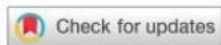


研究文章 | 1996年11月1日

## 一种新的二氧化碳覆盖状态方程

在压力高达800 MPa Q时，从三点温度到1100 K

罗兰斯潘；沃尔夫冈瓦格纳



J. 物理学。化学裁判员数据25, 1509–1596 (1996) <https://doi.org/10.1063/1.555991>



看法  
在线



出口  
引用

20  
24  
年  
5  
月  
5  
日  
15  
:

## AIP预付款

为什么要发布W Us7



25E43

平均时间到第  
一个决定



WL AUg

平均每员

利亚埃

cusvE

么ishing

# 从三点温度到1100 Kat压力至800 MPa的新状态方程

R. Span和W. Wagner

德国波鸿鲁尔大学，D-44780

1994年5月25日收到

This work reviews the available data on thermodynamic properties of carbon dioxide

以基本方程的形式表示状态的公式

亥姆霍兹自由能。亥姆霍兹自由能剩余部分的函数

拟合的数据如下：(a) 热性能

液相饱和度和曲线的单相区域 (ppT) 和 (b) (ps、p'、p “)

包括麦克斯韦准则、声速 (c)w 和 (d) 特定相区等压热容和饱和曲线、(e) 特定等温热容、(f) 特定温度、(g) 特定内部能量、(h) 理论系数  $\mu$ 。通过应用现代策略来优化状态方程的数学形式，并同时对所有这些特性的数据进行非线性拟合，结果公式可以代表最精确的数据到其实验的不确定性。在技术上最重要的温度为 30m，估计 equation ranges from  $\pm 0.03\%$  到  $\pm 0.05\%$ ，density， $\pm 0.03\%$  到  $\pm 1\%$ ， $\pm 0.15\%$  到  $\pm 1.5\%$ 。特别关注的是一直集中在关键区域的描述和公式的外推行为上。在没有补充状态尺度的情况下，新的形式甚至可以对点直接附近的热量性质进行合理的描述。对于压力、韧性、焓等基本性质，序列可以推定二氧化碳化学稳定性的极限。蒸气压和升华和熔化曲线压力的独立方程，模拟饱和液体和蒸汽密度，以及等压环气体热容量也包括在内。根据状态序列计算出的属性表见附录。0，1996年，美国物理研究所和美国化学学会

关键词：二氧化碳、相关性临界区域数据评价状态方程外推基本方程  
熔化线性性质表升华线热和热量性质蒸汽液共存。

## 内容

命名法.....	1513	3. Phase Equilibria of Carbon Dioxide.....	1519
二氧化碳的物理常数.....	1513	3.1 三重点.....	1519
1. 导入管 i.....	1514	3.2 关键点.....	1519
1.1 背景.....	1514	3.3 熔化压力.....	1520
1.2 二氧化碳的先验相关性		3.4 改进方案.....	1521
Properties and Demand on the New		3.5 蒸汽压力.....	1521
相关系数.....	1514	3.6 饱和液体密度.....	1524
1.3 文章的组织.....	1516	3.7 饱和蒸汽密度.....	1525
2. 方程式发展的基本要素		3.8 液蒸汽相的热量数据	
以一个基本方程的形式表示的状态.....	1516	边界.....	1526
2.1 Helmholtz Function.....	1516	4. 的新方程的实验基础	
2.2 理想气体的亥姆霍兹能量.....	1516	状态.....	1526
2.3 头盔能源的剩余合作伙伴.....	1517	4.1 热性能.....	1527
2.3.1 Fitting an Empirical Equation for		4.2 比等压热容量.....	1528
$\phi$		4.2.1 实验结果为具体分析	
到数据.....	1517	等重电容.....	1528
2.3.2 优化的数学形式.....	1518	比等压热的4.2.2 结果	
2.3.3 加权程序.....	1518		

## 1510 R. SPANAND W. 瓦格纳

理想汽油状态下的容量.....	1529
4. 3比等容热容.....	1530
4. 4声音速度.....	1532
4. 5焓.....	1532
4. 6内能.....	1532
4. 7焦耳托姆森系数.....	1532
4. 8 VirialCoefficients.....	1533
4. 9液体蒸气.....	1533
4. 10 Adjustmentof Dat.....	1534
4. 10. 1对数据集的调整, 如描述性	
关键的雷.....	1534
4. 10. 2 Adjustmentof ppTData.....	1534
4. 10. 3对等压热的校正	
容量.....	1535
5. 本研究中热力学概率的定义	
临界日.....	1535
5. 1状态解析方程的极限. 1536	
5. 2将非解析项作为积分的使用	
在一个经验的宽范围内的组件	
状态方程.....	1537
6. 新的状态方程.....	1541
6. 1亥姆霍兹能量的理想气体部分.....	1541
6. 2亥姆霍兹能量的剩余部分.....	1543
7. 比较了新的状态方程与	
实验数据和其他状态方程. 1546	
7. 1液体蒸发边界.....	1546
7. 1. 1关于共存的热特性	
曲线.....	1546
在共存问题上的7. 1. 2热量性质	
曲线.....	1547
7. 2单相区域.....	1547
7. 2. 1在单相结构中的热性能	
地区.....	1547
单相结构中的7. 2. 2热量性质	
地区.....	1553
7. 3新事物的外推行为	
基本方程.....	1556
7. 3. 1的外推法超出了它的范围	
主要数据.....	1557
“理想曲线”的7. 3. 2表示.....	1557
8. 新的基本方程式的不确定性.....	1559
9. 结论.....	1559
10. 附录: 碳的热力学特性	
二氧化物.....	1559
11. 确认信息.....	1593
12. 参考文献.....	1593

### 表清单

1. 可用的宽范围的状态方程	
二氧化物.....	1515
2. 碳排放状态的选定比例序列	
二氧化物.....	1515
3. 与热力学性质的关系	
dimensionlessHelmholtzfunction $\phi$ 组成的	
$\phi^\circ$ 和 $\phi'$ ; 看到等式 (2. 1) .....	1517
4. 关于碳的三点的扫描数据	
二氧化物.....	1520

5. 为碳的临界点提供的选定数据	
二氧化物.....	1520
6. 为升华的数据集的总结	
二氧化碳预处理.....	1521
7. 蒸汽压数据集汇总	
二氧化碳.....	1522
8. 对饱和和液体的数据集的总结	
二氧化碳密度.....	1523
9. 饱和蒸汽的数据集汇总	
二氧化碳密度.....	1524
10. Summaryofthe datasetsforcaloricproperties	
关于碳的液蒸汽相边界的研究	
二氧化物.....	1526
11. theppT的数据集摘要	
二氧化碳的关系.....	1527
12. 碳的ppT数据汇总	
二氧化碳: 详细信息见	
作者估计的不确定性评估和使用	
在加权程序中.....	1529
13. 的可用的数据集的摘要	
二氧化碳的比等压热容. 1530	
14. 选定数据的摘要	
二氧化碳的等压热能力; 详情	
信息提供了不确定性值	
由作者估计, 并由	
ourselvesandused intheweightingprocedure	
.....	1530
15. Datasetsfortheisobaricheat的容量在	
用碳二氧化物计算的理想气体状态	
理论方法.....	1530
16. 本文件中可用的数据集的摘要	
碳的比等容热容	
二氧化物.....	1531
17. 选定数据的摘要	
二氧化碳的等氯热容; 详情	
给出了关于不确定性值的信息	
由作者估计, 然后估计由	
我们自己使用, 并在加权程序中使用...1531	
18. 可用数据集的总结	
ofsoundof carbondioxi.....	1531
19. 关于声速的选定数据的汇总	
二氧化碳: 详细的信息	
对所估计的不确定性值进行	
authorsandthoseestimated byourselvesand	
在加权程序中使用.....	1532
20. 焓可用数据集的总结	
differencesof carbondioxid.....	1532
21. 可用于差异的数据集的摘要	
二氧化碳的内部能量.....	1532
22. 为Joule-可用的数据集的摘要	
Thomsoncoefficientof carbondioxide.1533	
23. 可用的数据汇总	
二氧化碳的第三个维里系数. 为了	
rcasonsexplainedin thetext, nodatawerec	
分配给组1.....	1533



## 关于二氧化碳的一个新的状态方程式1511

24. 对选定数据的摘要, 描述了 二氧化碳的液蒸气相平衡 给出了关于不确定性的详细信息 由作者估计的值和那些 由我们自己估计并用于加权 程序.....	1534	计算从Eq. (3.15)。由Angus等人 <sup>3</sup> are的相应方程计算出的 饱和蒸汽密度, 绘制为
25. 等压曲线的温度相关性修正 热容数据.....	1535	
26. 幂律描述的例子 沿着某些路径的热力学性质 在整个关键区域.....	1535	
27. 相关方程的系数, 式 (6.2) and Eq. (6.3), 分别为c和 $\phi^\circ$ .....	1540	
28. 无量次的亥姆霍兹的理想气体部分 能量 $\phi^\circ$ 及其衍生物.....	1541	
29. 用于线性分析的数据汇总 优化过程和非线性拟合.....	1541	
30. 银行中非解析项的参数 条款的“” .....	1543	
31. 等式的成本系数和指数(6.5) .....	1544	
32. 无量次亥姆霍兹的残余部分 能量 $\phi$ 及其衍生物.....	1545	
33. 零阶理想和一阶理想的定义 压缩因子Z的曲线.....	1557	
34. 饱和碳的热力学性质 二氧化物.....	1560	
35. 二氧化碳的热力学性质.....	1562	

## 图的列表

1. 实验熔化的相对偏差 压力数据从计算出的值从 混合压力方程, Eq. (3.10)。在这个图中, 校正的和未校正的 数据被绘制出来 (见Sec. 3.3) .....	1521
2. 选定的实验升华压力数据的绝对偏差 $\Delta P_{\text{sub}} =$ ( $P_{\text{sub, exp}} - P_{\text{sub, calc}}$ ) 从升华中计算出 的值 压力方程式, Eq. (3.12)。在这个图中, 校 正的和未校正的数据 Bilkadi等人。 <sup>4</sup> are绘制 (见第3.4节) .....	1522
3. 选定实验的相对偏差 瓦尔恩斯的蒸汽压数据 从蒸汽压方程可知, 等式(3.13). 蒸汽压力由 Angus et al. <sup>3</sup> are的对应方程式 绘制比较图.....	1523
4. 相对偏差 $100\Delta p^l = 100(p^{\text{exp}} - p^l)$ 计算) / 选定的实验饱和液体 密度数据来自于从计算出的值 Eq. (3.14). 饱和液体密度的计算结果 从相应的安格斯方程中得到 <sup>3</sup> are等人绘图进行比较.....	1524
5. 所选实验饱和蒸汽密度数据与值的相对偏 差	

比较.....	1525
6. 相对偏差 $100\Delta p=100(P_{\text{exp}}-P_{\text{eale}})/P_{\text{exp}}$ 对实验ppT数据的计算值 从等式(6.1)开始。这个图说明了 调整基里林第140号数据的原因 和米歇尔斯等人。 <sup>23</sup> (见秒。4.10.2).....	1534
7. 相对偏差 $100\Delta c_p=100(C_{p,\text{exp}}-C_{p,\text{calc}})/C_{p,\text{exp}}$ 的实验Cp数据来自 比等压热容计算自 式(6.1)。这个图说明了原因 修正了Ernst等人79和Bender的数据 等人。177(见Sec.4.10.3).....	1534
8. 相对偏差 $100\Delta p=100(p_{\text{exp}}-p_{\text{豌豆}})/p_{\text{exp}}$ 关于临界等温线的实验ppT数据 根据公式(6.1)计算出的值。对价值的看法 由陈的交叉方程计算得到 等人, <sup>27</sup> 和从重新改装的方程式中使用 CII <sub>4</sub> 和O <sub>2</sub> 形式(sce Sec.5.1)绘制 比较.....	1536
9. 具有代表性的等氯热的表示 关键区域内的容量数据。绘制的 曲线对应于从 Chen等人 <sup>27</sup> 的交叉方程 使用CH <sub>4</sub> -和O <sub>2</sub> -形式的回归方程式 (见第5.1节).....	1536
10. 虽然初步的状态方程显示了 还原的亥姆霍兹能量的三阶 密度导数的不连续图,但新的	

状态方程,例如。(6.1),产生连续的

## 第三个衍生品s.....1538的图

11. 具有代表性的等氯热的表示 关键区域内的容量数据。所绘制的曲线对应 于从 平衡(6.1), Chenetal.的交叉方程, 27和 一个使用CH <sub>4</sub> 形式的回归方程 (见Sec.5.1).....	1538
12. 声速的表示 临界区域的等温线。所绘制的曲线对应于从 等式中计算出的值 (6.1), Chen等人的交叉方程27 以及一个使用CH <sub>4</sub> 形式的重构方程(见 Sec.5.1).....	1538
13. 临界区域等温线上的等温热容的表示。绘制的 的 根据Eq(6.1)计算的数值, Chen等人的交 叉方程27 和一个使用theCH <sub>4</sub> 形式的回归方程(见 Sec.5.1).....	1539
14. 实验等温热的表示 单相容量数据(T>T <sub>e</sub> )和 两相(T<T <sub>e</sub> )在双对数图中的区域。所绘制的 曲线对应于 由Eq(6.1)计算出的临界等位线数据, Chen等人的交叉方程, 27 以及一个使用O <sub>2</sub> 形式的重构方程(见 Sec.5.1).....	1539

日  
15  
:

# 1512r. 跨度和W. WAGNER

15. 对于Te和Tc+之间的温度，1KEq (6.1) 导致了一个振荡图  
该密度附近的等压热容量。1539
16. c的相对偏差，数据与值的关系  
根据式 (6.2) 计算。图上的图示  
显示了根据统计数据计算出的数据  
热力学 (见表15) 和温度  
图中显示了从  
实验结果 (见表13)。由相应的方程式计算出的cp值  
<sup>3</sup> and Ely等人。I<sup>5</sup>are绘制  
比较 ..... 1540
17. 实验数据的分布用于建立的残余部分  
new f und母马 向  
*diagra* ...  
i n, .E. q. ( 6 . 5 ) , nai p T  
.... .. 1542
18. 相对偏差100Δy=100  
(y=ps, p ‘, p”) 的实验饱和度和  
Duschek等人58的数据来自于Eq. (6.1) 计算的值。计算从  
辅助方程的辅助方程。3、的  
Ely等人的状态方程<sup>5</sup>and Angus等<sup>3</sup>are的辅助方程  
比较... 1546
19. 近临界实验的相对偏差100Δy=100 (=-Δ)  
/yexp (y=, p ‘, p “)  
Duschek等人5<sup>8</sup>from的饱和数据  
根据公式 (6.1) 计算出的值。对价值的看法  
由所给出的辅助方程计算得出  
在第二秒。3和从的交叉方程中得到的  
绘制Chen等人<sup>2</sup>7以进行比较..... 1546
20. 相对偏差100Δy=100 (yexp-Yae) /yexp  
(y=w”, w ‘, c) 的实验热量数据  
由从等式计算出的值得出的饱和度(6.1).  
由宽范围方程计算出的数据  
<sup>5</sup>and Angus等人的<sup>3</sup>are绘制了  
比较..... 1547
21. 非常精确的ppT的相对密度偏差  
在亚临界温度下的数据  
根据式 (6.1) 计算。所计算的值:  
Ely等人的宽范围方程。I<sup>5</sup>and  
Angus等人, <sup>3</sup>areplotted进行比较..... 1548
22. 相对关系压力偏差非常准确  
扩展临界区域的ppT数据来自  
根据公式 (6.1) 计算出的值。对价值的看法  
由Ely的宽范围方程计算得到  
等人。 ‘<sup>5</sup>and Pitzer和Schreiber<sup>1</sup>°and来自  
绘制了Chen等人27的交叉方程  
为了比较.....1549
23. 植被分布的相对密度偏差  
在超临界温度下的数据，从取值中计算出来  
calculatedfrom Eq. (6.1). 所计算的值:  
Ely等人<sup>1</sup>°and的宽范围假设  
Anguser al<sup>3</sup>are被绘制出来以供比较..... 1550

J. 物理学。化学裁判员数据，卷。1996年6月25日

24. 所选ppT数据与Eq. (6.1) 计算的值的相对密度偏差。对价值的看法  
 根据Ely等人在<sup>5</sup>and Angus等人<sup>3</sup>are绘制的广泛方程计算  
 比较 ..... 1551
25. 选定的ppT数据在高温下与式 (6.1) 计算值的相对密度偏差。计算从  
 Ely等人, <sup>5</sup>and Angus的宽范围方程式  
<sup>3</sup>are等人绘制了比较图。155年226年。所选ppT数据的相对密度偏差  
 在高压下, 由计算出的值从  
 公式 (6.1)。从大范围内计算出的值  
<sup>5</sup>and Angus et al<sup>3</sup>are  
 绘制, 以便比较; 在此压力范围内  
 这两个状态方程至少部分地是这样的  
 外推结果 (见表1) ..... 1552
27. 所选择的等压热的相对偏差  
 计算的容量数据  
 公式 (6.1)。从大范围内计算出的值  
<sup>1</sup><sup>5</sup>and Angus等, <sup>3</sup>are  
 绘制出来以供比较..... 1553
28. 对上的等压热容的表示  
 等压线在气体区域和各州上  
 升华曲线 (饱和蒸汽)。对价值的看法  
 由Ely的宽范围方程计算得到  
<sup>5</sup>and Angus et al<sup>3</sup>are等人绘制了图  
 比较..... 1553
29. 等压热容数据的相对偏差  
 在高温下, 计算出的值由  
 公式 (6.1)。计算从  
 Ely等人的鉴定。i<sup>5</sup>and Angus  
 绘制等人<sup>3</sup>以进行比较..... 1554
30. 选定的等氯热的相对偏差  
 来自从等式计算出的值的容量数据  
 (6.1). 从大范围范围内计算出的值  
<sup>1</sup><sup>5</sup>and Angus等人是  
 绘制了比较ri..... 1554
31. 在高密度等位线上的等温热容的表示。对于每个等位线, 绘制的压力范围从  
 相应的蒸汽压力。由Ely等i<sup>5</sup>的宽方程计算的值和Anguset al<sup>3</sup>areplotted进行比较..... 1554年
32. 声数据速度的相对性偏差  
 超临界温度的值  
 根据式 (6.1) 计算。Valuescalculated  
 从皮策和施赖伯的Ely等人<sup>5</sup>and的宽范围, I<sup>6</sup>and的范围内  
 其有效性, 从陈氏氏的交叉方程出发  
 绘制<sup>2</sup>7等人以比较..... 1555
33. 声音数据的速度的相对偏差  
 高压的计算值由  
 公式 (6.1)。由Ely等人<sup>5</sup>and Angus等人<sup>3</sup>are的广泛方程计算的值  
 绘制的比较; 在这个压力范围内, 这两个状态方程至少是部分的



## 二氧化碳的新状态方程式1513

- 外推式（见表1） 1555.....
34. 实验确定的焦耳-汤姆逊系数与取值的相对偏差  
根据式（6.1）计算。已计算出的值  
从Elyetal.<sup>5</sup>and的广泛序列  
Angusetal.<sup>3</sup>are绘制以进行比较。这个  
武卡洛维奇等人的数据没有被使用. 206  
正在建立“等式”（6.1）..... 1556
35. 通过实验确定的表示法  
在非常高温下的等温线上的模糊度  
和压力。从计算值  
Ely等人在.<sup>5</sup>and Angus  
<sup>3</sup>are等人绘图进行比较..... 1556
36. 实验数据的表示，描述  
二氧化碳的胡戈诺特曲线。胡戈尼奥  
曲线的计算范围较广  
l<sup>5</sup>and Angus等，<sup>3</sup>are  
为c ris绘制的..... 1557
37. 由式计算的计算曲线  
（6.1）并以aplpe、日志（T/T）绘制图表  
焦耳-汤姆逊反转曲线和焦耳反转曲线都超过了  
温度范围  
在其中，等式（6.1）拟合了实验数据.....1557 38  
年。根据密度计算得出的密度公差图  
E<sub>sq</sub>. (6.1). 在iBther eg on u 新闻界不确定性  
I<sub>sq</sub>. given. ...  
u r e  
... 1558
39. 声音数据的速度公差图  
根据式（6.1）计算。在立即  
它就在临界点（区域G）附近  
很难估计w中的不确定性，因为  
中国对不确定性的影响越来越大  
温度和压力测量..... 1558
40. 等压热容公差图  
根据式（6.1）计算。在立即  
它就在临界点（区域G）附近  
很难估计cp中的不确定性，因为  
对日益增长的影响  
温度和压力测量.....1558

### 命名法

符号	描述
A、B、C、D、A、B、D、n、t	等可调参数
A	比亥姆霍兹能量第二维里系数
B	数第三维里系数
C	比等压热容比等压热容比热容
Cp	饱和液线
Co	比吉布斯能量比焓
Co	序列号
8	最大序列号数ij
h	数据数，摩尔质量压力
ij、k、	
l、mI、J	
M	
P	

R	气体常数
S	特殊熵
T	热力学温度，ITS-90的比质间能
u	双相体积
v	声速
w	自变量
x，	任何热力学性质的压缩因子
y	
Z	可调参数的临界指数
Z	
希腊语	
$\alpha, \beta, \gamma,$	在任何不同数量的函数
$\Delta, \theta$	降低密度（ $\delta = \rho/\rho_{\text{plpe}}$ ）
$\alpha, \beta, \gamma,$	偏微分模糊度
$\delta$	无量纲亥姆霍兹能量
$\Delta$	$[ \phi = A / (RTD) ]$
$\Delta, 0,$	焦耳-汤姆逊系数，质量
$\psi \delta$	密度
d	方差
$\phi$	逆降低温度（ $r = T. / T$ ）加权平方和
$\phi$	理想气体特性残留物
$\mu$	饱和和液态，饱和和蒸汽态表示一个矢量
p	在临界点
0	已计算
x2	已更正
上标0	实验指标
	表示熔化压力，Dnotes，
	蒸汽压力，表示升华
	压力
	在三点加权时
子脚本C	在参考状态下沿着饱和和液体曲线
卡	线
尔	在曲线曲线的初始状态
克	量度
exp	温度根据ITS-90温度根据IPTS-68温
ij、k、L、m	度根据IPTS-48温度
m	
S	
潜艇	
t	
wt	
J	
0	
OH	
90	
68	
48	

M摩尔mass:  $M=(44.0098\pm0.0016)\text{ g/摩尔}$ ; 请参见参考文献。1

J. 物理学。化学裁判员数据, 第25卷, 编号。6, 1996

R摩尔气体常数:  $R_m = (8.314510 \pm 0.000210^\circ)$   
J/(molK); 参见参考文献。2

R专用气体constant:  $R = R_m/M = (0.1889241$   
 $\pm 0.0000116)$  kJ/(kg K)

Tc临界温度:  $T_c = (304.1282 \pm 0.015)$  K; 请参见  
第3.2节

Pc临界压力:  $p_c = (7.3773 \pm 0.0030)$  MPa; 见第二节  
3.2

个人计算机临界密度:  $\rho_c = (467.6 \pm 0.6)$  kg/m<sup>3</sup>; s第3.2  
节

T, 三点temperature:  $T_r = (216.592 \pm 0.002)$  K; 参见  
第3.1节

Pt三点压力:  $p_r = (0.51795 \pm 0.00010)$  MPa  
见第3.1节

To 参考温度:  $T_o = 298.15$  K

便壶参考压力:  $p_o = 0.101325$  MPa

h8理想气体状态下的参考焓在To:  $h_8 = 0$  kJ/kg

理想气体状态下的s参考熵,  $P_o$ :  $s_8 = 0$  kJ/(kg K)

## 1. 介绍

### 1.1 背景

在过去的十五年里,人们对二氧化碳的特性产生了极大的兴趣。这种兴趣是从工业和科学应用中发展而来的。从工程的角度来看,二氧化碳已被证明是超临界流体萃取中最常用的溶剂,是提高采收率的良好工具。二氧化碳处理和流水线技术已经变得相当重要的商业意义。此外,对温室效应的讨论也集中在技术上关注二氧化碳作为影响大气的最重要的燃烧产物

从热力学的角度来看,二氧化碳通常是具有强四极矩的分子的最佳已知参考物,以及用于校准的测试流体。然而,在与热力学相关的科学中,兴趣主要是基于二氧化碳的广泛存在。例如,在外地幔条件下,化学平衡的地球物理计算需要在非常高的压力和温度下的二氧化碳的可裁剪的热力学数据。

此外,对二氧化碳热力学性质的研究一直受到结晶区域位置的影响。一方面,大约304 K的临界过程允许许多技术过程,例如管道过程,在临界或至少在扩展临界区域进行。因此,从技术的角度来看,一个足够准确的计算热力学性质对二氧化碳比其他物质更困难。另一方面,临界区域的数据情况非常好,这使得二氧化碳成为一个参考子

参考文献2给出了 $\pm 0.000070$  J/(mol K)的标准化偏差。

J. 物理学。化学裁判员数据,第25卷,第6期,1996年

对处理纯流体临界区域的理论方法的立场。几乎每一个描述关键区域的物理模型都经过了二氧化碳的测试

1965年,在国际纯化学和应用化学联盟(IUPAC)的鼓动下,建立了一个关于二氧化碳热动力学特性的国际研究项目。1976年,Angus等人<sup>3</sup> published出版了一本专著,回顾了到1973年为止的实验数据,并提出了来自选定状态序列的热和热量性质的广泛表。然而,对二氧化碳的热力学性质的了解仍然不能令人满意。因此,自1973年以来,为了提高整个数据集的质量,已经进行了大量的实验,包括显著提高精度的最先进的实验;目前可用的数据集有三分之一属于这一组

除了实验数据数量的增加外,相关性技术在过去的十年中也有了显著的改进。复杂的“多属性”拟合procedures<sup>4, 5</sup> and是一种优化经验相关equations<sup>6</sup> have结构的新策略,为经验状态方程的发展提供了新的基础。

### 1.2 二氧化碳的先验相关性 对新的相关性的属性和要求

自1960年以来,研究了许多二氧化碳的运动动力学性质的相关方程,但它们仅描述了在足够大的范围内的性质,包括气体、液体和超临界态。表一总结了自1970年以来发展起来的二氧化碳的状态方程。在研究了1973年现有的广泛的状态方程后,Angus等人<sup>3</sup> discussed IUPAC专著中的三个方程,即Bender方程,<sup>7</sup> 阿尔图宁和加迪茨基,<sup>8</sup> and Stein, 构成了表1的开始。最后,Angus等人决定使用Altunin和Gadetskii<sup>9</sup> as的方程作为IUPAC专著的基础。当时,现有的宽范围状态方程都没有对临界区域进行合理的描述。因此,安格斯等<sup>3</sup> combined的宽状态方程由查佩拉和罗林森开发的转换函数。<sup>20</sup> 虽然已知组合相关方程的评价会导致数值问题,并对开关开关的导出性质产生不正确的结果,但该方程被普遍接受为二氧化碳的参考。1988年,Pitzer和Schreiber<sup>16</sup> twok再次进行了IUPAC的编译,并表明如果在阿尔图宁和加德茨基方程中添加描述关键区域的特殊项,可以以更少的数值费用实现非常相似的重复侮辱。<sup>8</sup>

唯一真正改善Angus等人<sup>3</sup> are结果的相关性是由Ely<sup>14</sup> 和Ely在国家标准与技术研究所开发的方程

二氧化碳的新状态方程式1515

表1。可用的广泛范围的二氧化碳状态方程

作者	年	温度 范围 (K)	压力 范围 (MPa)	方程的结构	系数的数量。残余 部分	在相关性中使用 的数据
Bender <sup>2</sup>	1970	216–1076	0–50	ExtendedBWR <sup>2</sup>	20	ppT, psp' p''
阿尔图宁和加德斯基	1971	215–1300	0–300	多项式	50	ppT, cp
Stein <sup>9</sup>	1972	6	... b	多氏症	44	ppT, psp' p''
斯塔林等人 <sup>10</sup>	1972	243–413	0–48	扩展BWR <sup>2</sup>	11	ppT, h, ps
迈耶皮特罗夫	1973	200–1273	0–60	多氏症	84	ppT, psp' p'', c., h
Angus等人 <sup>3</sup> (IUPAC)	1976	220–1100	0–100	组合	50+5+4	ppT, cp
黄等人 <sup>12</sup>	1985	216–423	0–310	超过BWR*	27	ppT, pse' g
Ely <sup>14</sup>	1986	216–1023	0–300	施密特和Wagner <sup>4</sup>	32	ppT, psp' p'', c., C
伊利埃尔 <sup>1</sup>	1987	216–1023	0–300	施密特和Wagner <sup>4</sup>	32	ppT, psp' p'', c., C
Pitzerand Schrciber	1988	230–1.030	0–100	扩展多项式	53	ppT, psp' p'', c. d
伊利er al <sup>17</sup>	1989	216–1023	0–316	Jacobsenand Stewart <sup>1</sup>	32	ppT, pse' p'', c., c
皮策和Sterner <sup>1</sup>	1994	220–2000	0–10000	分数形式	28	ppT, psp' p'', B. f

Benedlct-Webb-鲁宾。

“没有信息发布。

由Ewer和Wagner<sup>13</sup> for开发的术语对关键地区的描述被取消。<sup>4</sup> Besides一些实验数据，主要是IUPAC tables<sup>3</sup> were作为输入数据

保留包含一些实验数据，主要来自Fly等ai方程。” 被作为输入数据

这些方程考虑了几乎所有已发表的实验结果。然而，一些最重要的二氧化碳实验当时还没有得到。一个详细的comparison<sup>2</sup> 显示了在参考文献中给出的方程。14和15表示由施密特和Wagner<sup>4</sup> is开发的形式优于参考文献中给出的方程。它使用了由雅各布森和斯图尔特开发的形式。18

对这些相关性的检验表明，所有现有的状态方程，独立于它们的不同质量，显示出以下局限性：

关于ppT关系的最先进的数据没有被重新代表

在他们的实验不确定性。

描述液-蒸气相的最新数据

平衡在实验不代表的不确定性范围内

在临界区域内，热量支柱的计算-

错误产生不合理的结果

不合理的行为可以在有a

数据状况不佳

将外推到外部的温度和压力上

有效性的范围会产生不合理的结果。

使用的温度值不对应于温度

1990年国际温度等级（ITS-90）。

皮克泽尔和斯特纳的关系主要可以被认为是具有合理外推行为的经验状态方程的一个例子；作者并没有声称这个方程改进了存在精确数据区域的热力学性质的描述

与描述临界区域内性质描述有关的问题基本上可以通过使用比例状态方程来解决；表2显示了描述二氧化碳裂缝区域的比例方法的选择相关性。然而，这些方程的有效性范围相对较小和其复杂的数学结构限制了它们的使用

关于有效性范围的一个例外是经验方程。这个方程使用了转换程序的改进形式，最初由福克斯开发，9来实现一个合理但不是as-

表2。二氧化碳的选定比例状态序列

作者	年	温度范围 (K)	密度 范围 (kg/m <sup>3</sup> )	使用的缩放技术	数偏置系数
Schofield <sup>19</sup>	1969	8	.6	简单缩放	5
维森蒂米索尼a	1969	301–313	327–608	简单缩放	6
墨菲 al=	1973	304–314	336–598	简单缩放	
艾布赖特 <sup>er</sup>	1987	301–323	290–595	修订和扩展	13
奥尔布赖特等 <sup>25</sup>	1987	298–322	245–600	杂交	12
埃里克森	1987	..4	..	转换	32+7
Chenet al.	1990	291–373	193–712	杂交	19
Kiselev <sup>2</sup>	1991	298–395	280–655	杂交	12

“对p=P的有效性范围对T=T

的有效性范围

“没有信息发布。

“比例尺宽范围方程。在温度从212 K到1000 K时，压力高达300个MPa

对关键区域的热量性质的精确正确描述。与其他参数化方法一样, 这个方程仍然需要复杂的迭代过程, 但它在工程应用中足够广泛的范围内是有效的。埃里克森警告的测试<sup>6</sup>表明, 在该区外, 由Jacobsen和Stewart<sup>18</sup>提出的基于该形式的变换方程低于Ely方程<sup>4, 15</sup>

本文的目的是提出一个新的亥姆霍兹能量中的二氧化碳状态方程, 旨在克服现有相关性的缺点。持续使用复杂的fitting<sup>3, 9</sup> and optimization<sup>6</sup> procedures允许在实验不确定性范围内表示最准确的数据。对数据集的广泛研究防止了该方程在拟合区域内的不合理行为, 并引入了新的程序来保证新方程的合理外推行为。在临界区域的热量性质的表示已经通过一种经验方法得到了改进, 该方法即使在临界点附近也能产生可靠的结果

本文给出的所有相关方程均对应于ITS-90的温度尺度

### 1.3 本篇文章的组织结构

2. 在秒中, 我们简要回顾了亥姆霍兹能量的经验方程作为密度和温度的应用; 这种变量的组合是基本方程的一种形式。简要介绍了用于开发发展的技术(多性能变换、优化程序)。第3节讨论了二氧化碳的液-蒸气、固-蒸气和固-液相平衡。本文讨论了现有的数据。除了式中的方程之外

建立了熔化压力 $P_m$ 、升华强度、蒸汽强度、饱和液体密度 $\rho^l$ 和饱和蒸汽密度 $\rho^v$ 的温度依赖性的简短补充方程。二节讨论了二氧化碳单相区域的实验信息。4. 在第二节中。5. 详细描述了表示临界区域的新方法。在经验的大范围状态方程中使用非解析项的可能性和局限性是孤立的。第6节自由能给出了亥姆霍兹自由能理想部分和剩余部分的新结论方程, 给出了最终的数据集和建立新方程的项库。将从新的二氧化碳状态方程计算出的性质与选定的实验数据以及从先前的相关性计算出的值进行比较, 这是presented in Sec. 7. A, 本节讨论了新的基本方程的外推行为。最后, 估计了新配方的不确定性, 并在附录中列出了二氧化碳的热力学性质表。

J. 物理学。化学裁判员数据, 第25卷, 第6期, 1996年

## 2. 是发展的基本要素

以a的形式存在的状态方程

基本方程

另外, 为表示二氧化碳的热力学性质而发展起来的新的状态方程, 是在赫尔姆霍兹能中显式的基本方程的经验表示。由于塞茨曼和Wagner<sup>6, 30</sup>以及Saul和Wagner广泛讨论了优化程序和多性质变换技术的应用, <sup>5</sup>this部分局限于一些基本事实, 对发展新方程的程序有了一个粗略的理解。然而, 这些以前没有发表过的事实被更详细地概述了

### 2.1 亥姆霍兹函数

本文给出的基本方程表示为亥姆霍兹能量的两个自变量密度 $p$ 和温度 $t$ 。无因次亥姆霍兹能量 $\phi = / (RT)$ 通常分为部分取决于理想气体行为 $\phi^o$ 和部分考虑到剩余的流体行为 $\phi^r$ , 即

$$\phi(\delta, r) = \phi^o(\delta, r) + \phi^r(\delta, r), \quad (2.1)$$

其中,  $\delta = p/p_c$ 为降低密度,  $r = T_c/T$ 为逆降低温度。密度 $p$ 和温度 $T$ 分别具有临界值 $p_{cc}$ 和 $T_c$ 。

由于亥姆霍兹能量作为密度和温度的函数是基本方程的一种形式, 纯物质的所有热力学性质都可以通过结合等式的导数来得到(2.1)。表3给出了 $g$ 之间的关系。(2.1)以及本文中所考虑的特性。蒸汽压和饱和液体和饱和蒸汽的密度可以通过等式的in  $\phi$  by同时解方程来确定

(2.2a)

$$\frac{p_s}{RT\rho_s^r} = 1 + \delta^r \phi_\delta^r(\delta^r, \tau), \quad \frac{p_s}{RT\rho_s^v} = 1 + \delta^v \phi_\delta^v(\delta^v, \tau), \quad (2.2b)$$

$$\frac{p_s}{RT} \left( \frac{1}{\rho_s^v} - \frac{1}{\rho_s^l} \right) - \ln \left( \frac{\rho_s^l}{\rho_s^v} \right) = \phi^r(\delta^l, \tau) - \phi^r(\delta^v, \tau), \quad (2.2c)$$

这对应于共存相中压力、温度和特定吉布斯能(麦克斯韦判据)的相等

### 2.2 理想气体的亥姆霍兹能量由

$$A(p, T) = h^o(T) - RT - Ts^o(p, T). \quad (2.3)$$

表3. 热力学性质与由  $\phi^o$  and  $d$  ‘组成的无量次亥姆霍兹函数  $\phi$  的关系; 见Eq。(2. 1)

财产和共同 热力学定义	与减少的亥姆霍兹能量的关系	$\phi$	及其衍生物
压力: $p(T, p) = (OA/0v)$ 熵: $s(T, p) = -(OA/OT)$ . 内部能量: $u(T, p) = A - T(OA/OT)$ . 同色热容: $c_v(T, p) = (ou/oT)$ . 焓: $h(T, p) = A - T(OA/OT)$ . $-v(OA/0o)$ 等压热能力: $c_p(T, p) = (oh/OT)$ 饱和液体热容量: $c_s(T) = (oh/8T)$ +T(ap10T) • (dps/dT)/(ap1ov),	$\frac{p(\delta, \tau)}{\rho RT} = 1 + \delta\phi'_\delta$ $\frac{s(\delta, \tau)}{R} = \tau(\phi_\tau^o + \phi'_\tau) - \phi^o - \phi^i$ $\frac{u(\delta, \tau)}{RT} = \tau(\phi_\tau^o + \phi'_\tau)$ $\frac{c_v(\delta, \tau)}{R} = -\tau^2(\phi_{\tau\tau}^o + \phi'_{\tau\tau})$ $\frac{h(\delta, \tau)}{RT} = 1 + \tau(\phi_\tau^o + \phi'_\tau) + \delta\phi'_\delta$ $\frac{c_p(\delta, \tau)}{R} = -\tau^2(\phi_{\tau\tau}^o + \phi'_{\tau\tau}) + \frac{(1 + \delta\phi'_\delta - \delta\tau\phi'_{\delta\tau})^2}{1 + 2\delta\phi'_\delta + \delta^2\phi'_{\delta\delta}}$ $\frac{c_s(\tau)}{R} = -\tau^2(\phi_{\tau\tau}^o + \phi'_{\tau\tau}) + \frac{1 + \delta\phi'_\delta - \delta\tau\phi'_{\delta\tau}}{1 + 2\delta\phi'_\delta + \delta^2\phi'_{\delta\delta}}$ $\cdot \left[ (1 + \delta\phi'_\delta - \delta\tau\phi'_{\delta\tau}) - \frac{\rho_c}{R} \frac{dp_c}{dT} \right]$ $\frac{w^2(\delta, \tau)}{RT} = 1 + 2\delta\phi'_\delta + \delta^2\phi'_{\delta\delta} - \frac{(1 + \delta\phi'_\delta - \delta\tau\phi'_{\delta\tau})^2}{\tau^2(\phi_{\tau\tau}^o + \phi'_{\tau\tau})}$ $\mu R \rho = \frac{-(\delta\phi'_\delta + \delta^2\phi'_{\delta\delta} + \delta\tau\phi'_{\delta\tau})}{(1 + \delta\phi'_\delta - \delta\tau\phi'_{\delta\tau})^2 - \tau^2(\phi_{\tau\tau}^o + \phi'_{\tau\tau})(1 + 2\delta\phi'_\delta + \delta^2\phi'_{\delta\delta})}$		
同事: $\mu(T, p) = (OTlop)$ 模糊性: $\ln(\varphi(T, p)) = \int_0^p \left[ \frac{v(T, p)}{RT} - \frac{1}{p} \right] dp_\tau$ 第二维里系数: $B(T) = \lim_{\rho \rightarrow 0} (\partial(p/(\rho RT))/\partial \rho)_T$ 第三维里系数: $C(T) = \frac{1}{2} \lim_{\rho \rightarrow 0} \{\partial^2[p/(\rho RT)]/\partial \rho^2\}$	$B(\tau)\rho_c = \lim_{\delta \rightarrow 0} \phi'_\delta(\delta, \tau)$ $C(\tau)\rho_c^2 = \lim_{\delta \rightarrow 0} \phi''_{\delta\delta}(\delta, \tau)$		

$$\ln \phi(8, 7) = d + 8 \phi g - \ln(1 + 8 \phi 0)$$

$$B(\tau)\rho_c = \lim_{\delta \rightarrow 0} \phi'_\delta(\delta, \tau)$$

$$C(\tau)\rho_c^2 = \lim_{\delta \rightarrow 0} \phi''_{\delta\delta}(\delta, \tau)$$

20  
24  
年  
5  
月  
5  
日  
15

—。 , d

理想气体的焓 $h^o$ of是温度的函数  
而理想气体的熵 $s^o$  取决于蛋彩画-  
缝合和密度。这两个属性都可以从一个  
理想气体热容方程。何时进入 $-c_p^o c_p^o$   
插入到等式中 $h(T)$ 和 $s(p, T)$ 的表达式中(2. 3)  
一个获得

$$A^o = \int_{T_0}^T c_p^o dT + h_0^o - RT - T \int_{T_0}^T \frac{c_p^o - R}{T} dT$$

$$-RT[\ln(p/p_0)] - Ts_8, (2. 4)$$

其中 $p_0 = p_0(T_0)$ 为密度,  $h_8$ 为焓,  $s$ 为理想气体的熵。  
 $\phi^o = A\%(RT)$ 的最终结果见第6. 1节。

### 2. 3亥姆霍兹能量的剩余部分

与理想气体的亥姆霍兹能量相比, 没有已知的理论方法  
可以得到亥姆霍兹能量剩余部分的充分计算方程, 并且  
在纯粒子的整个流体区域是有效的

态度因此, 必须通过优化其函数形式并通过将其系数与  
实验结果拟合来确定剩余部分的方程。由于亥姆霍兹能  
量无法直接测量, 因此已经开发了一种程序, 允许利用  
不同性质的数据建立亥姆霍兹能量残余部分的经验方程

#### 2. 3. 1拟合 $\phi$ ‘对数据的经验方程

赫尔姆-霍尔兹能量剩余部分的经验方程可以写成  $\phi(8, r, n)$ , 其中 $n$ 表示需要利用的系数的向量。阿伦茨  
和Bachr<sup>3</sup>

表明, 确定最优系数集可以使平方和最小化, 定义为属  
于拟合的不同属性的部分平方和:

本文中的“数据”一词被用来描述这些实验结果。

J. 物理学。化学裁判员数据, 第25卷, 第6期, 1996年

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^J \chi_j^2 = \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} \left[ \frac{[z_{\text{exp}} - z_{\text{calc}}(x_{\text{exp}}, y_{\text{exp}}, \vec{n})]^2}{\sigma_{\text{tot}}^2} \right]_{j,m}, \quad (2.5)$$

其中,  $j$  是匹配中涉及的属性的数量。  $M_j$  用于第  $j$  个属性的数据点的数量, 任何属性  $z(x, y)$  的  $Z_{\text{exp}}$  测量, 以及从参数向量  $\vec{n}$  的相关方程计算的  $X_{\text{exp}}, Y_{\text{exp}}$  的值。通用变量通常对应于  $T$ , 但  $y$  可以对应于  $p, p, p$ , 或  $p, p$ , 甚至可以消失。  $\sigma^2$  在  $T_j$  在  $\text{Sec. 2.3.3}$  中解释的方差  $\sigma^2$  是。

在一个线性的正规方程组中, 如果  $z$  依赖于  $T$  和  $p$ , 如果  $z$  和  $\phi_i$  之间的关系以及  $\phi_i$  是线性的导数, 则通过最小化  $\chi^2$  results 来确定  $\vec{n}$  (见  $\text{Table 3}$ )。如果这些条件不满足, 数据必须使用适当的 procedures<sup>32-5</sup> 或非线性 algorithms<sup>33</sup> have 进行线性化。塞茨曼和瓦格纳详细描述了使用与  $\phi$  有非线性关系的数据所产生的迭代拟合过程。<sup>30</sup> 在这篇文章中, 线性数据的  $pT$  关系的内能  $u$ , 等温热容量  $C_v$ , 第三维里系数  $C_3$ , 和线性化数据的焓  $h$ , 等压热容量  $C_p$  的均匀区域和饱和液体的声速  $w$ , 饱和液体, 饱和蒸汽, 麦克斯韦标准被用于线性拟合算法。在非线性的拟合过程中, 数据所有这些性质和焦耳-汤姆逊系数  $\mu$ , 不能以合理的方式线性化, 被直接使用, 这意味着没有任何线性化

### 2.3.2 优化了数学形式

上述的拟合过程假设一个相关方程的数学形式已经已知, 并且只需要确定系数  $\vec{n}$ 。由于描述亥姆霍兹能量的重对偶部分的方程的通用形式还不知道, 因此不满足这个重偶要求。因此, 首先要建立一个合适的数学结构。除了伊利和他的同事发展的状态方程, <sup>4</sup>。根据反复错的方程制造者的经验, 以主观的方式确定了二氧化碳方程的  $\text{I}^{\text{st}}$  形式。改进这个程序。Wagner 和他的同事们开发了不同的优化策略。<sup>136</sup> 通过引入选择数学结构的客观准则。Ely 和同事应用的数学结构是由施密特和 Wagner<sup>4</sup> for 氧气通过使用“进化优化方法”开发的。EOM。<sup>13</sup>

在本工作中, 由 Setzmann 和 Wagner<sup>6</sup> was 开发的优化方法用于确定一个合适的数学结构。对优化过程的随机部分进行了微小的改进。然而, 更重要的是塞茨曼-瓦格纳程序中关于处理不同功能形式所做的改变。

J. 物理学。化学裁判员数据, 第25卷, 第6期, 1996年

亥姆霍兹能量剩余部分的复杂相关方程由大量的项组成。因此, 单个项的数学形式可以与不同的官能团相关联, 从简化密度  $\delta$  的简单多项式和逆降低温度  $r$  到复杂的指数表达式 (见第6.2节给出的项组)。在已知的优化过程中, 只有优化方程的项的总数被限制在一个预选的值内。在这项工作中, 关于属于特殊官能团的术语数目的额外限制被证明是有用的。对优化程序的实际修正允许对特定术语形式的定义进行这种限制。新的二氧化碳方程已被发展为四个非分析项, 以避免在临界区域的不合理行为 (cf.  $\text{Sec. 5.2}$ ) 和八个多项式项来改进外推行为 (cf. 第7.3节和 Span 和 Wagner<sup>35</sup>)。

正如 Setzmann 和 Wagner, 6.30 所指出的, 优化程序只适用于线性或线性化的数据。这个限制导致了以前的 described<sup>30</sup> cyclic 过程, 包括线性化数据, 优化相关方程的数学结构, 以及系数的非线性拟合; 这些步骤是发展这些基本状态方程的典型步骤

### 2.3.3 加权的程序

当使用不同性质的数据集来建立相关方程时, 必然需要使用等式中的残差 ( $Z_{\text{exp}} - Z_{\text{calc}}$ ) (2.5) 通过对数据点的不确定性进行适当的测量来降低。根据高斯误差传播公式, 给出了测量数据点的不确定度

$$\sigma_{\text{exp}}^2 = \left( \left[ \frac{\partial \Delta z}{\partial x} \right]_{x,z}^2 \sigma_x^2 + \left[ \frac{\partial \Delta z}{\partial y} \right]_{x,z}^2 \sigma_y^2 + \left[ \frac{\partial \Delta z}{\partial z} \right]_{x,y}^2 \sigma_z^2 \right) \quad (2.6)$$

其中,  $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  和  $\sigma_z$  是关于不相关的单个变量  $x$ 、 $y$  和  $z$  的不确定性;  $z$  的偏导数可以从一个初步的状态方程中计算出来。

为了对数据集产生额外的影响, 引入了一个加权因子  $f_w$ 。在等式中使用的数据点的总方差  $\sigma_{\text{tot}}$  (2.5) 被定义为

$$\sigma_{\text{tot}}^2 = \sigma_{\text{exp}}^2 / f_w^2 \quad (2.7)$$

这样, 加权因子  $f_w > 1$  就扩大了……的影响一个关于平方和和加权的数据点

因子;  $f_w < 1$  还原它。通常对  $\text{onc}$  和  $\text{oic}$  是  $\sigma_{\text{exp}}^2$  等于; 然而, 在某些情况下, 会有不同的权重因子是用来补偿由

数据集的结构。这些影响可以分为以下两种:

以下组:

在一个特殊的区域内, 只有少数 ( $f_w > 1$ ) 或  $\text{except}$  也有许多 ( $f_w < 1$ ) 数据点具有大型实验技术的复杂数据集

可以被转换到一个更小但更一致的数据中吗

通过适当的数据选择进行设置（ $f_m > 1$ ）。在校正系统偏差后，一个数据集产生结果远好于其原始实验不确定度 $f_w > 1$ ）。在一个特殊的区域，扩大，但分歧可分配所选数据的确定性是预期的（ $f_m < 1$ ）。以提高数据的透明度尽可能设置，显示选定数据的表（参见秒。4）包含关于加权程序中使用的不确定性以及加权因子的平均值的附加信息。讨论了与 $f_w = 1$ 显著偏离的加权因素

3. 二氧化碳的相等式

用辅助均衡准确描述相平衡是发展大范围状态方程的重要前提，对只对相平衡感兴趣的用户也有帮助。因此，综述了三点、临界点、温度压、升华压、饱和液体密度以及液汽相边界的热性质等方面的实验信息。除了热性质，简单的相关方程的温度依赖系数对数据情况的描述，将单个数据集的特征信息汇总在表中，得到相应的属性。这些数据集被分为三组。该分配考虑了数据的严格评估的不确定性、数据集的大小和所覆盖的温度范围。此外，还需要关注各自财产的数据情况。组1包含用于开发相关响应相关方程的数据集。组2包含适合用于比较的数据集。与组1数据相比，这些数据线至少在上述三个方面之一。组3包含非常小的数据集和具有相当高的不确定性的数据集。在这里所期望的准确性水平上，考虑这些数据是不合理的。Nev-

然而，这意味着这些数据集不会贬值——整个排名更多的是基于与最佳有效参考数据相关的质量，而不是绝对水平的不确定性；为了其他目的，即使是第三组数据集也可以是。本文中的W相关方程和所有的温度值都对应于ITS-90的温度尺度。6根据较老的温度尺度，将现有数据的温度值转换为ITS-90。从IPTS-68温度等级到ITS-90温度的转换是根据Rusby解释的普雷斯顿-托马斯aral. 37的国际同意程序进行的。转换值的位数增加了一位，以保证数值上一致的再转换。但右边不超过四位

使用了小数点。根据Bedford和Kirby给出的程序，将IPTS-48温度尺度对应的数据转换为IPTS-68。39对于90K~900K之间的温度，ITS-27和IPTS-48的温度尺度不会相互偏离并且没有使用超过1927年的数据。用于从IPTS-68转换到ITS-90温度scale<sup>3</sup>8的算法会导致温度低于273.15 K的±增加1.5mK，温度超过273.15 K。不考虑本节表中给出的不确定性，因为这些不确定性主要用于不同作者的数据之间的一致性测试。在这种情况下，由转换的不确定性所注入的绝对温度的不确定性就不那么重要了。两个温度非常相似的温度值之间的比较，如果温度采用相同的温度进行转换，则不受转换类型的影响程序

3. 1三重点

在过去的90年里，许多作者已经确定了二氧化碳的两点温度，但三点压力的数据情况相当差。幸运的是，少数可用的测量值是非常一致的。表4显示了二氧化碳三点的选定数据。在对现有数据进行全面审查后，我们选择了以下内容

$$T_1 = (216.592 \pm 0.003) \text{K}, (3.1)_{pe} = (0.51795 \pm 0.00010) \text{MPa}. (3.2)$$

没有饱和液体和饱和蒸汽密度的数据，但中给出的相应相关方程的评价

第3.6节和3.7节收益率

$$\begin{aligned} p' &= (1178.53 \pm 0.18) \text{kg/m}^3, \\ p'' &= (13.7614 \pm 0.0034) \text{kg/m}^3. \end{aligned} \quad (3.3)$$

3. 2关键点

总共有75篇论文给出了二氧化碳临界点的数据。表5显示了临界温度、临界压力和临界强度的选定值。临界点密度的值在预期的不确定性范围内吻合良好，但裂缝的值。卡尔的温度显示出显著的差异，远远超出了一些作者给出的不确定性。本质上，临界压力的差异可以用蒸汽压力与假设的临界压力的变化来解释

在本工作中，没有新的尝试来确定二氧化碳的关键参数，但Duschek等人的评价在不同方面进行了测试。没有改变数据的理由变得明显，因此，我们已经使用了

05M  
ay2  
024  
15.  
31.  
27



表4。选择了二氧化碳这三点的数据

根源	年	T (K)	在 (K)	p (MPa)	Ap (MPa)
迈耶斯和Van Dusen <sup>4 0</sup>	1933	216. 5885	±0. 005	0. 51799	±0. 00006
安布罗斯 <sup>4</sup>	1957	216. 5885	+0. 002		
Lovejoy <sup>4 2</sup>	1963	216. 5915	±0. 001		
哈罗塔特 <sup>4</sup>	1979	216. 5945	±0. 002		
斯塔维利等人。	1981	216. 591		0. 51796	
Blanes-Rex等	1982	216. 5945	±0. 001		
帕维斯和菲米 <sup>4</sup>	1982	216. 5915	±0. 002		
贝德福德等人 <sup>47</sup>	1984	216. 5905	±0. 001		
博尼尔er al. <sup>4</sup>	1984	216. 5917	±0. 0002		
达什克	1989	216. 5915	±0. 003	0. 51795	±0. 0001

“所有的温度都被转换为ITs-90。高达0. 1 mK时，一个额外的数字将持续转换到IPts-68温度。这里不考虑从IPts-68到ITS-90的转换的不确定性。

Te=(304. 1282±0. 015)K, (3. 5)

Pc=(7. 3773±0. 0030)MPa, (3. 6)

pe=(467. 6±0. 6) kg/m<sup>3</sup> (3. 7) (Te中的附加数字在任何转换到IPts-68温度的数字一致性

规模

3. 3熔化压力

只有两组可用的测量方法来降低二氧化碳的混合压力。1942年，Michels等人测量了温度在217 K和266K之间的25个熔化压力，对应于0. 9 MPa和284 MPa之间的压力。1960年，Clusiusetal<sup>61</sup>发表了21份数据，覆盖范围从217 K到222 K，对应0. 5 MPa到24 MPa

不幸的是，这些数据彼此不一致，并且与最近的三点压力数据不一致。在这两个实验中，温度计都在二氧化碳的三点处进行了校准。因为是三点的值

米歇尔塞特al. 60和Clusius等a1<sup>6</sup>假设的温度偏离实际值[ef. 衰退商数 (3. 1)，所有的断层测量值都根据

T9o=Tc, 90-0. 05 K, (3. 8)

T9o=TM, 90-0. 04K (3. 9)

在它们转换到ITS-90的温度之后。

修正后的数据在预期的不确定度范围内是一致的，并用于建立熔化压力的简单相关方程：

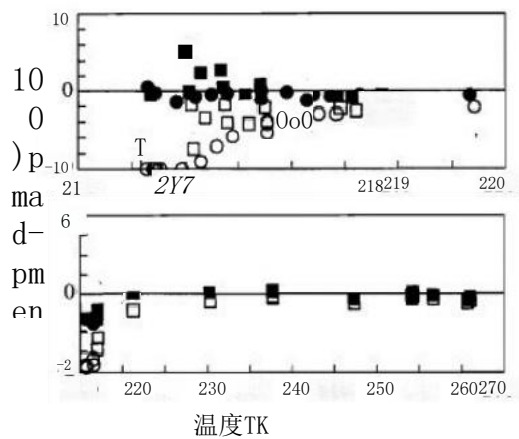
$$\frac{p_m}{p_1} \approx 1 + a_1 \left( \frac{T}{T_1} - 1 \right) + a_2 \left( \frac{T}{T_1} - 1 \right)^2, \quad (3. 10)$$

与T<sub>1</sub> =216. 592 K, p<sub>1</sub> =0. 51795 MPa, a<sub>1</sub> =1955. 5390和a<sub>2</sub> =2055. 4593合作。该方程的函数形式约束于三点压力。校正数据和未校正数据的表示如图所示。L. 等式的不确定性 (3. 10) 估计为Δpm/Pm≤±1. 5%for T<sub>1</sub> ≤T≤225K andΔpm/pm≤±0. 5%for

表5。纸箱二氧化碳的临界点的分段数据

根源	年	T. (K) -h	Pe (MPa)	P. ( kg/m )
水平信使和Chen <sup>3 0</sup>	1972	304. 182		
Moldovcr <sup>5</sup>	1974	304. 1192±0. 004	7. 3753	467. 8±2. 2
安格斯等人	1976	304. 202±0. 05	7. 3858±0. 005	468±5
Lipa eal <sup>32</sup>	1977	303. 9170±0. 005		
莫尔多弗等人	1979	304. 122	7. 375	467
Baade <sup>54</sup>	1983	304. 122	7. 375	467
Edwards <sup>5</sup>	1984	304. 0984±0. 0001		
复仇者和复仇者	1986	304. 122	7. 372	468
奥尔布赖特埃拉特。24	1987	304. 0992	7. 3719	467. 67
Ely等 <sup>2</sup>	1987	304. 1192	7. 37479	466. 5
陈等人。”	1990	304. 0992	7. 3916	467. 69
陈埃塔	1990	304. 1192	7. 3753	467. 83
达什克等人。	1990	304. 1282±0. 015	7. 3773±0. 003	467. 6±0. 6
阿卜杜拉加托夫等。”	1991	304. 1272=0. 010		4675

“所有的温度都被转换为ITS-90。超过小数点的4位数字是添加，以保证持续的重新转换到IPts-68的温度。这里不考虑从IPts-68到ITS-90的转换的不确定性。



Michesa Micnas dcond

根据熔化压力方程，Eq. (3.10) 计算出的实验熔化压力数据的FiG. 1. Relative偏差。在此图中，分别绘制了校正的和未校正的数据（见第3.3节）。

225K<T≤270K。方程的简单形式应确保合理的较高温  
度外推

3.4临界压力

由于固体二氧化碳的广泛使用，升华压力的数据情  
况非常好。二氧化碳升华压力的可用数据集见表6。  
这些数据按照上述程序进行分类。Bilkadi等人74的  
数据集必须进行校正，因为最近的三点温度与  
Bilkadi等人用于校准目的的数据集之间存在差异，  
因此需要进行校正。修正后的温度由

T<sup>90</sup>=T<sub>p</sub>i90-0.049 K (3.11)

升华压力可以用相关方程来描述

ln(p<sub>sub</sub>/p<sub>t</sub>) = T<sub>t</sub>/T · {a<sub>1</sub>(1 - T/T<sub>l</sub>) + a<sub>2</sub>(1 - T/T<sub>l</sub>)<sup>1.9</sup>  
+ a<sub>3</sub>(1 - T/T<sub>l</sub>)<sup>2.9</sup>}, (3.12)

使用 T<sub>t</sub> = 216.592 K, p<sub>t</sub> = 0.51795 MPa, a<sub>1</sub> = -14.740846, a<sub>2</sub> = 2.4327015和a<sub>3</sub> = -5.3061778. 该方  
程以其函数形式约束于三点压力。图2比较了1组和2  
组数据与Eq. (3.12计算的值)。估计185K≤T为  
△P<sub>sub</sub>≤250 Pa, 170K≤T≤185K为 △≤±100Pa,  
T≤170K为△≤±50Pa. Bedford等人47得出结论，在  
常压 (p<sub>o</sub>=0.101325 MPa) 下，升华温度的最新值为  
T=194.6857 K±0.0030K; 与等式迭代 (3.12)yields  
T=194.6855 K.

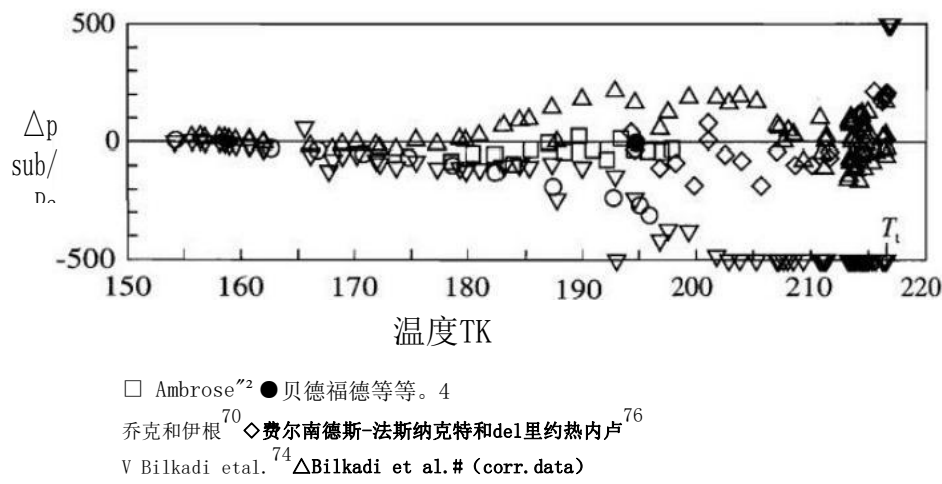
式 (3.12) 与154 K以上的数据进行拟合。Bryson  
等人75are的低温数据不代表在作者给出的不确定性  
范围内，但T>85 K和0.0001 Pa的偏差分别不超过  
0.001Pa。

3.5蒸汽压力

关于二氧化碳蒸气压的信息由36个数据集提供，相  
应的信息汇总见表7（重复发布的数据集仅列出一  
次）。Duschek等人58的非常精确的数据集描述了从三  
点温度到临界温度的蒸汽压。我们只选择了这组数据  
集来开发新的蒸汽压方程。对于转换为ITS-90温度尺  
度的数据，最佳值为

表6. 二氧化碳升华压力的数据集总结

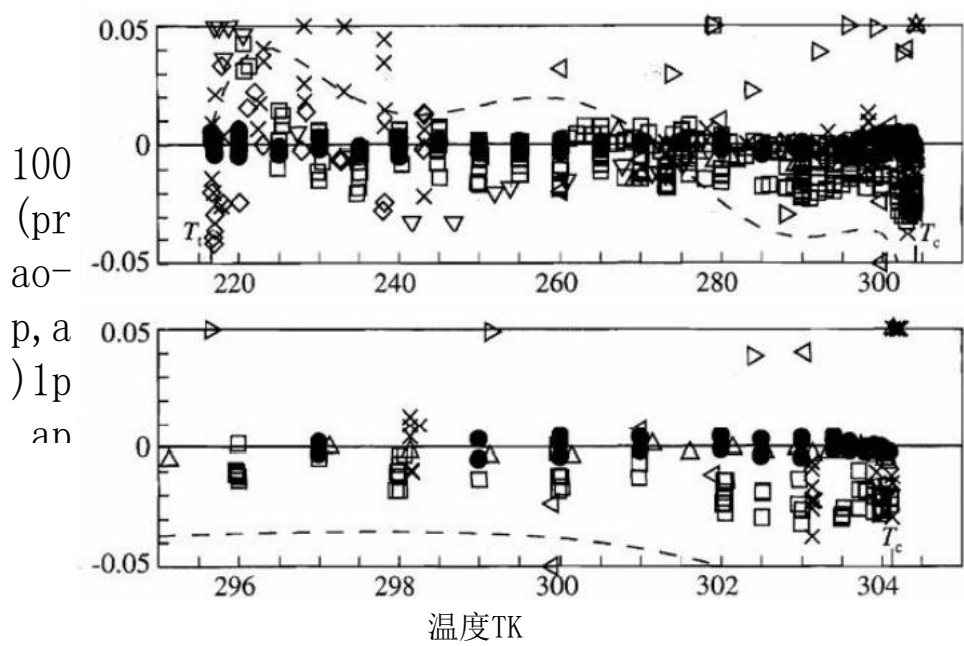
根源	年	数据 数量	温度范围， T (K)	△T (mK)	△p <sub>sub</sub>	组
Boisand Wls*2	1899	8	149-196			3
库宁和罗布森6	1902	6	195-215	±32		
Onnes和Weber*4	1913	9	90-106			
Siemens*6	1913	29	118-195	±20		3
Weber和Onnes*6	1913	15	104-138			
Henning*6	1914	18	192-195		±100 Pa	3
海斯和奥托6	1931	19	193-195	±2		3
Heuse和Ouo6	1932	7	195	±1		3
迈耶斯和范杜森40	1933	28	195-217		±0.02%	3
Giauque和Egan*7	1936	12	154-196	±	±3 Pa	
提克纳和损失	1951	13	106-154	±300		3
安布罗斯	1955	16	179-198	±1	±4 Pa	
希萨?	1970		216	±10		
比尔卡迪等人7	1974	132	154-217	±20		
布赖森等75	1974	62	70-103			
贝德福德等人+	1984		195	±3		
费尔南德斯-法斯纳特和德里约7	1984	21	194-243	±1	±100 Pa	



根据升华压力方程（3.12）计算出的Fig. 2. Absolute偏差 $\Delta p_{sub} = (P_{swap} - P_{abale})$ 。在此图中，Bikadi er al<sup>74</sup> areplotted的校正和未校正数据（见第3.4节）

表7. 二氧化碳压力的数据集总结

根源	年	数据数量	温度范围T (K)	AT (mK)	$\Delta p_s$	组
Kuenen和Robson <sup>3</sup>	1902	13	217-273	$\pm 32$		
基索姆	1903	4	298-304	$\pm 20$	$\pm 1000$ Pa	3
Jenkin和Pve <sup>7</sup>	1914	23	222-296	$\pm 10$	$\pm 0.2\%$	3
Bridgeman <sup>9</sup>	1927	30	273		$\pm 140$ Pa	3
迈耶斯和Van Dusen <sup>4</sup>	1933	67	217-304		$\pm 0.01\%$	3
罗巴克等人 <sup>8</sup>	1936		276-304	$6 \pm 10$	$\leq \pm 100$ Pa	3
	1942	19	223-304			3
米歇尔等人。 <sup>8</sup>	1950	19	217-276			3
铰刀er al. <sup>83</sup>	1951	2	279, 294	$\pm 14$	$\pm 0.1\%$	
比尔林和韦伯斯特	1953	9	274-304	$\pm 20$	$\pm 0.01\%$	
Cook <sup>8</sup>	1953	9	293-304	$\pm 10$		
Cook <sup>86</sup>	1953		293-303	$\pm 10$	$\pm 1000$ Pa	
施密特和托马斯 <sup>8</sup>	1954	$\infty$	274-304		$\pm 0.05\%$	
Wentorf <sup>9</sup>	1956		304	$\pm 1$	$\pm 132$ Pa	
Kletskii <sup>9</sup>	1964	2	260, 266			
格雷格和Dadson <sup>90</sup>	1966		273		$\pm 0.003, 4\%$	
爱德华兹和Johnson <sup>9</sup>	1968	28	273			
Vukalovich er al. <sup>92</sup>	1968	4	301-304			
Kirillin er al. <sup>93</sup>	1969		283-303			
Klolodov er al	1972	5	243-283			
水平信使和Chen <sup>90</sup>	1972	37	267-304	$\pm 2$	$\pm 500$ Pa	
Fredenslund andMollerup <sup>5</sup>	1974	5	223-293	$\pm 20$	$\pm 2000$ Pa	
Gugoni er al <sup>9</sup>	1974		241-269			
贝塞尔和罗宾逊 <sup>9</sup>	1975		274	$\pm 60$	$\pm 24000$ Pa	
达瓦洛斯等人 <sup>98</sup>	1976		230-270	$\pm 10$	$\pm 3000$ Pa	
Steadand Williams <sup>99</sup>	1980	9	220-300	$\pm 10$	$\leq \pm 0.1\%$	
王百等 <sup>100</sup>	1982	5	263-298	$\pm 30$	$\pm 3500$ Pa	
Al-Sahhafer al. <sup>10</sup>	1983	4	219-270		$\pm 0.14\%$	
百叶 <sup>54</sup>	1983	227	220-304	$\pm 3$	$\pm 80$ Pa	
费尔南德斯-法斯纳克特和德尔Rio <sup>7</sup>	1984	21	217-243	$\pm$	$\pm 100$ Pa	
Krat <sup>102</sup>	1984	7	289-294	$\pm 3$	$\pm 0.005\%$	
Holste等, <sup>103</sup>	1987	12	250-303	$\pm 10$		
布朗er al. <sup>04</sup>	198g	4	220-270	$\pm 20$	$\pm 0.1\%$	
达什克等人。 <sup>58</sup>	1990	109	217-	$\pm 3$	$\leq \pm 0.005$	
Shah等人 <sup>103</sup>	1991		304	$\pm 2$	$\pm 0.5\%$	3
			276+293	0		
Yurttas等 <sup>10</sup>	1994	$\infty$	230-280	$\pm 3$	$\pm 0.01\%$	



◇比尔林和韦伯斯特  
◆费尔南德斯-法斯纳克特和  
delRio<sup>7</sup>×Meyers和Van Dusen<sup>4</sup>  
□百叶窗  
●达什克埃拉尔  
---Angus et al. (aux.eq.)。

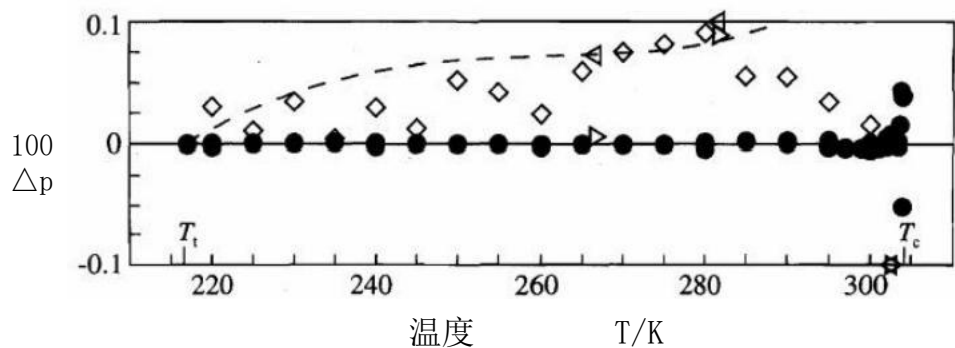
卡帕塔尔。  
△水平SengersandChen<sup>5</sup>  
▽Michols等人<sup>8</sup>

选定的实验蒸汽压数据与从蒸汽压方程计算出的值的Fig. 3. Relative偏差。Eq. (3.13)。根据Angus等人的<sup>3</sup>are计算计算出的蒸气压力以进行比较。

表8. 二氧化碳饱和和液体密度的数据集总结

根源	年	数据 数量	温度范围 T (K)	ΔT (mk)	Δp' (k)	组
阿玛加特0	1892	35	273-304			3
Bchn10	1900	1]	215-297			3
Lowryand Erickson108	1927	8	267-296		±0.1	
米歇尔斯等人	1936	9	276-304	写	±0.2	
	1951		279+294	±1 0 ±2 0		
比尔林和韦伯斯特	1953	6	274-304	±20	±0.5	
库克85	1053	11	203303	±10	±0.5	
乌卡洛维奇等人	1968	4	301-304		±0.5	
Straub <sup>90</sup>	1972	34	294-304			
Gugoni等9	1974	3	241-269			
贝塞尔和罗宾逊	1975		274	±60		
巴德	1983	115	220-304	±3		
海恩斯110	1985	17	220-300	±30	±0.1	2
埃斯佩特	1987	3	266-303		±0.2	
霍尔斯特等人103	1987	3	266-303	±10		
达什克等人。 <sup>5</sup>	1990	50	217-304	±3	±0.015h	
Abdulagatoyet al59	1994	5	304			

Esper “ ‘和Holsteeral.0<sup>3</sup>are的数据集对相同测量值的不同评估。在温度超过300k时，轮胎会上升到±值0.27。



霍夫塞 DEsper Duschck cta 58 ---安格斯etal.<sup>3</sup> (aux. eg.)

Fig. 4. Relative偏差100Δp ‘=100(选择的实验饱和液位密度数据的pap1/Pap从等式计算的值(3. 14). 根据Angus et al<sup>3</sup>are的相应方程计算出的饱和液位密度，以供比较

氮化过程得到了与Duschek等人使用的相同的数学形式，<sup>58</sup>to在ITS-68温度尺度中描述了该数据集；只有系数a<sub>5</sub>发生了变化。蒸汽压方程可以写成

$$\ln\left(\frac{p_s}{p_c}\right) = \frac{T_c}{T} \cdot \left[ \sum_{i=1}^4 a_i \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{t_i} \right], \quad (3. 13)$$

与T<sub>c</sub>=304. 1282 K, p<sub>c</sub>=7. 3773 MPa, a<sub>1</sub> =-7. 0602087合作，  
a<sub>2</sub> =1. 9391218, a<sub>3</sub> =-1. 6463597, a<sub>4</sub> =-3. 2995634, t<sub>1</sub> =1. 0, t<sub>2</sub> =1. 5、t<sub>3</sub> =2. 0和t<sub>4</sub> =4. 0。

图3显示了标记为组1和组2数据的数据集与Duschek等人<sup>58</sup>Considering测量的数据表示之间的良好一致性

这些数据的实验不确定性，即等式的类型（3. 13）估计为整个温度范围的Δp<sub>s</sub>≤±0. 012%for

图3中的虚线对应于Angus等人将<sup>3</sup>after转换为ITS-90的蒸汽压方程计算出的值。这种相关性的结果非常好，但是，当然，目前可用的最准确的数据并没有体现在他们的实验的不确定性范围内

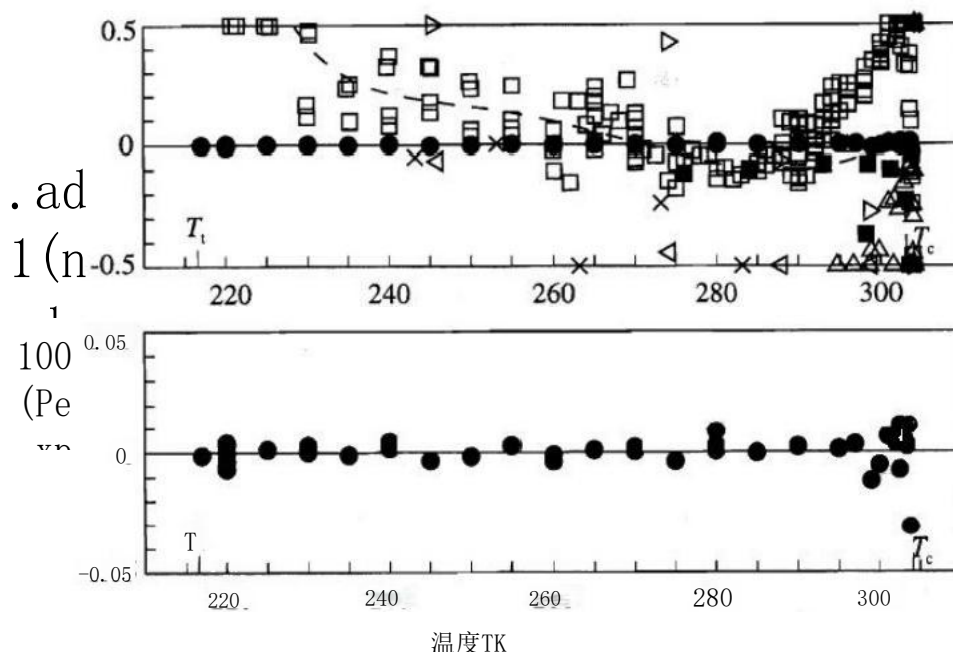
3. 6饱和液体密度

表8显示了17个二氧化碳分级液体密度数据集的信息。同样，只有数据

表9。关于二氧化碳的饱和蒸汽密度的数据集的总结

根源	年	数据数量	温度范围 T (K)	ΔT (mK)	Δp'' (%)	组
阿马加特尔0	1892	35	273-304			3
洛林和埃里克森10	1927	8	267-296		±0. 7	3
米歇尔和aL80	1936	9	276-304	≤±10		3
雷默等人8	1951	2	279, 294	±20	±0. 2	3
比尔林和Webster <sup>84</sup>	1953	9	274-304	±20	±0. 5	
库克85	1953	1	293-303	±10	±0. 5	
乌卡洛维奇和92	1968	4	301-304		±0. 8	
Kholodover. 94	1972	5	243-283			
斯特劳布109	1972	34	294-304			3
贝塞尔和罗宾逊9	1975	1	274	±60		3
Baade <sup>3</sup>	1983	145	220-304	±3		3
埃斯佩尔！ 1	1987	5	245-304		±0. 5	3
霍尔斯特等人103	1987	5	245-304	±10		3
达斯切克等人	1990	42	217-304	±3	±0. 0250	3
阿卜杜拉加托夫等人59	1994	2	304			3

“Esper ‘ ’ 和Holste等人103的数据集是对温度在295K以上的相同测量值的不同评估，不确定度上升到±0. 25%



## 巴德塔尔斯普尔DMichesetal

× Kholodov et al. ◇ Abdulagatov et al.

--- Angus et al.<sup>3</sup> (aux. eg.).

选择的实验饱和蒸汽密度数据与Eg. (3.15)计算值的Fig. 5. Relative偏差)。根据Angus等人<sup>3</sup>的相应方程计算出的饱和蒸汽密度，以便进行比较。

利用Duschkew等人的集合8，建立了一个简单的饱和液体密度方程。组2仅限于数据集，它们提供的不确定性与单相区域中的常见不确定性相当，即 $\Delta p' \leq \pm 0.2\%$  outside为临界区域。不幸的是，这一标准只有海恩斯，10Esper，“I和Holste等人； $10^3$  all其他数据被证明是较少的。

对于整个温度范围，都有简单的相关性

$$\ln\left(\frac{\rho'}{\rho_c}\right) = \sum_{i=1}^4 a_i \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{t_i} \quad (3.14)$$

使用 $T=304.1282$  K,  $p_c=467.6$

kg/m<sup>3</sup>.  $a_1 = 1.9245108$ ,

$a_2 = -0.62385555$ ,  $a_3 = -0.32731127$ ,  $a_4 = 0.39245142$ ,

$t_1 = \frac{1}{6}$ ,  $t_2 = \frac{1}{3}$ ,  $t_3 = \frac{1}{2}$ ,  $t_4 = \frac{1}{3}$ , 并描述了Duschkew等人<sup>5</sup> within的实验不确定性数据。对于这个方程，系数和指数都不同于Duschkew等人给出的公式8，该公式对IPTS-68上的温度有效。相关性函数形式的改变导致了临界区域的结果略有改善。根据所选数据的不确定性，等式的不确定性 (3.14) 估计为 $\Delta p' \leq \pm 0.015\%$  for  $T \leq T \leq 295$  K,  $\Delta p' \leq \pm 0.04\%$  for  $295 \text{ K} < T \leq 303 \text{ K}$ ,  $\Delta p' \leq \pm 0.303 \text{ K} < T \leq T_g$ 。

图4显示了组1和组2数据的不良情况，以及组I数据的高度准确表示。虚线对应于由Angus等人<sup>3</sup> for给出的饱和液体密度的辅助方程计算出的值

### 3.7饱和蒸汽密度

关于二氧化碳饱和蒸汽密度的数据见15个来源，其弧列于表9。如果使用第3.6节中提到的相同标准来区分第2组和第3组数据，则将米歇尔和all<sup>8</sup> can的数据分配到第2组。虽然许多作者发表了均匀气体区域的准确ppT数据，但即使是最近的饱和蒸汽密度数据集的密度分散高达 $\pm 0.5\%$ 。

饱和蒸汽的新相关方程强度，

$$\ln\left(\frac{\rho''}{\rho_c}\right) = \sum_{i=1}^5 a_i \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{t_i} \quad (3.15)$$

使用 $T_a=304.1282$  K,  $p_c=467.6$  kg/m<sup>3</sup>,  $a_1 = -1.7074879$ ,  $a_2 = -0.82274670$ ,  $a_3 = -4.6008549$ ,  $a_4 = -10.111178$ ,

$a_5 = -29.742252$ ,  $t_1 = 0.340$ ,  $t_2 = \frac{1}{3}$ ,  $t_3 = 1$ ,

$t_4 = 3$ , 和 $t_5 = \frac{1}{2}$ 号, J. Phys. 化学裁判员数据, 第25卷, 第6期, 1996年

表10. 碳液汽相边界热性质数据集总结  
二氧化物

根源	年	财产	数据 数量	温度范围 T (K)	无把握	组
Euckenand Hauck112	1928	Ca	8	223-293		3
诺维科夫和特雷林113	1960	w''	18	293-304		
阿米尔哈诺夫, '4佩切	1972	c	11	304		3
和范达尔	1972	w'	23	217-293	$\Delta w' = \pm 1\%$	
Magee和Ely116	1986	c	77	220-303		
Abdulagatov etal. 5	1994		8	304		3

在相边界上的特定等温热容不能直接测量；这些数据只能通过从均匀区域的外推来确定。

描述了Duschek et al. 58在其实验不确定性范围内的第1组数据。与相应的方程Duschek等，58的系数和指数相关已经修改为了实现稍微改进的表示数据set已经转换为ITS-90温度尺度，不确定性的估计可以由实验的不确定性。我们预计等式的不确定性（3.15）为  $\Delta p \leq \pm 0.025\%$  for  $T \leq T \leq 295K$ ， $\Delta p \leq \pm 0.08\%$  for  $295K < T \leq 303K$ ，和  $\Delta p \leq \pm 1\%$  用于  $303K < T \leq T$

图5显示了令人费解的糟糕数据情况，al-尽管只有自1970年以来发表的测量数据和米歇尔斯等人的旧数据。80年被绘制出来了。Duschek等人8的数据集是唯一一个能够发展饱和蒸汽强度精确相关性的数据集。Angus et al. 3 yields 的相关方程在275K以上的温度下得到可靠的结果，它主要依赖于米歇尔等人的数据集

3. 8液蒸汽相的热量数据  
边界

表10列出了有关数据集的信息，其中包含了在二氧化碳的液体-汽相边界上的不同热性质性质的测量值。没有开发出描述这些数据的辅助公式。相反，在新状态方程的发展中考虑了第一组数据，即在优化中性线性化形式，在非线性拟合中直接形式。关于这些数据的更详细信息在第4.9节中提供，以及描述Maxwell标准的选定数据

直接非线性拟合唯一没有考虑的数据是沿饱和和液体线的比热-容量cg数据。表3显示，无量次亥姆霍兹能量与c.之间的关系包含了蒸汽压的一阶导数。因此，根据式（2.2），将该性质直接包含到非线性拟合中，将涉及到与麦克斯韦准则的连锁关系。为了避免数值问题，根据关系将沿饱和和液体线的比热容转化为饱和和液体密度下的比等压热容

$$c_p'(T) = c_\sigma(T) - \frac{T}{(\rho')^2} \left( \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \frac{dp_\sigma}{dT} - \left( \frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_T \right) \quad (3.16)$$

温度高达295K，在等式中的分数（3.16）仍然小于cg的20%，可以从一个初步的状态方程中确定，估计的不确定度小于0.5%。因此，在cp中，由变换引起的不确定度小于0.1%，因此与由Magee和Ely测量的c.数据的实验不确定度相比可以忽略不计。16在295K以上的温度下，分数项的影响迅速增加，导数（apldp）r的不确定性也同样增加。因此，仅使用295K以上的转换c.数据进行比较；见图. 20.

4. 新方程的实验基础  
的状态

在本节中，介绍了描述二氧化碳堆积-相区热力学性质的数据集。对于本工作中考虑的每个属性，在相应的表中给出了关于所有可用数据集的一般信息和关于所选数据集的更详细信息。再次，数据集分为三组解释Sec. 3. Since均匀地区数据的情况不如明确的不同属性的情况阶段边界许多数据集与不止一组通常这些数据集在地区贫穷的数据情况，但他们只用于比较在更可靠的数据存在

所选数据集的信息包括作者估计的不确定性、我们自己估计的不确定性，以及由式（2.7）定义的加权因子fw的均方值。特别是对于一些有20多年历史的数据集，作者和我们自己估计的不确定性有很大差异。这种不同评估的原因可能是基于数据的分散和不确定性之间的差异，许多人没有考虑到

过去的作者。我们审查的不确定性造成的广泛的比较，至少应该是一个合理的估计。这些值在加权过程中被使用了

第4.9节包含了用于描述液-蒸气平衡的所有数据的相应信息。

4.1热性能

自1903年以来，已有59篇论文对二氧化碳密度的温度和压力依赖性进行了研究，覆盖了具有5508个数据点的叠相区域。表11显示了关于可用数据集的信息，包括它们的分类

对于温度高达360 K，压力高达13 MPa，ppT关系的描述主要基于Duschek等人的数据集。I<sup>54</sup>和Gilgen等人<sup>159</sup>这些数据集支持ps，p<sup>‘</sup>，p等人测量的数据由郭等人<sup>157</sup>and ppT数据测量的313 K等温线。I<sup>60d</sup>所有这些测量都是使用“双沉”浮力法进行的，<sup>161</sup>，这可能提供了目前可用的最准确的ppT数据。来自不同的双弦幽灵的数据在它们之间是一致的

无把握然而，在重叠区域（主要在8 MPa和9MPa之间），Duschek等<sup>154</sup>和Gilgen等<sup>159</sup>的数据集显示密度的小系统偏差高达±0.01%。

在233 K到523 K之间的7个等温线上，最近的研究补充了双胞胎的测量测量160, 1606与一个新的“单烧结”装置160, 160e，允许测量高达30 MPa的压力。原则上，对于密度超过100kg/m<sup>3</sup>的材料，该仪器的精度与双弦弦装置的精度相当，但由于二氧化碳的测量部分处于新仪器的测试阶段，因此必须假定略微增大的不确定性 在压力超过13 MPa时，Lau、49基里林等人<sup>93</sup>、137、140和米歇尔斯等人<sup>123</sup>（见Sec. 4.9.2）的调整数据集产生了Gilgen等人数据给出的过程的平稳延续。I<sup>59</sup>在30 MPa时，调整后的数据通常与新的单弦数据within±0.05%in密度相一致，但调整后的数据达到显著更高的压力。由于其高质量，这些调整后的数据集的使用显著增加了权重因子；详情见表12。对于523 K和698 K之间的温度和高达34MPa的压力，凤等最近的数据<sup>160</sup>改进了数据现场-

表11年。二氧化碳关系的数据集总结

根源	年	数据数量	温度范围 T (K)	Pressurerange, p (MPa)	组
凯森”	1903	151	298–333	6.0–14.2	3
詹金 <sup>17</sup>	1920	82	236–303	1.4–9.7	3
Maas和Menniel <sup>18</sup>	1926	16	203–373	0–0.1	3
库珀和马斯 <sup>119</sup>	1930	30	273–297	0–0.1	3
库珀和马斯 <sup>120</sup>	1931	47	242–350	0–0.1	3
卡伍德和帕特森 <sup>12</sup>	1933	8	273	0–0.4	3
米歇尔和Michels <sup>122</sup>	1935	190	273–423	1.6–25.3	1–2
米歇尔等人 <sup>123</sup>	1935	140	298–423	7.5–315.8	1–2
米歇尔等人 <sup>0</sup>	1936	179	276–413	3.6–9.9	∞
Reamer等 <sup>124</sup>	1944	147	344–510	0–	∞
波顿利等人 <sup>125</sup>	1950		295	70.0–	∞
巴图埃卡斯和洛萨 <sup>126</sup>				01	
	1954	32	280–282	0–0.1	∞
肯尼迪 <sup>127</sup>	1954		273–1273	2.5–140.0	∞
温托夫 <sup>8</sup>	1956	106	304	7.4	1–2
武卡洛维奇和阿尔图宁 <sup>12</sup>	1959	120	348–773	2.7–32.7	–2
武卡洛维奇和Altunin <sup>129</sup>	1962	205	473–1023	1.1–60.0	1–2
武卡洛维奇等人 <sup>30</sup>	1963	22	923–1076	2.1–15.0	1
武卡洛维奇等人 <sup>13</sup>	1963	124	313–423	2.1–60.0	1–2
Juza等人 <sup>132g</sup>	1965	82	323–748	70.0–400.0	
Ku和Dodgel	1967	13	373	0.6–	3
Sass等人， <sup>34</sup>	1967	47	348–398	25.1–	
				0.8–	
				25.3	
武卡洛维奇 <sup>al135</sup>	1968	168	273–308	0.8–30.0	∞
戈洛夫斯基和底马尔尼 <sup>36</sup>	1969	129	217–303	13.0–60.0	1–2
Kirillin等 <sup>7</sup>	1969	21	433–473	2.0–69.0	1–2
柯里林等人	1969	39	283–308	1.6–49.2	1–2
柯里林等人 <sup>1384</sup>	1969	99	223–473	1.6–54.0	1–2
Tsiklis等 <sup>39</sup>	1969	50	323–673	200.0–700.0	1
Kirillin et al <sup>140</sup>	1970	24	223–273	2.0–56.0	–
Popov和Sayapoy <sup>14</sup>	1970	117	223–303	0.7–30.0	1–2
Vukalovich et al. <sup>142</sup>	1970	95	238–268	0.7–19.0	1–2
43年申曼	1971	85	373–573	0.4–5.9	∞
霍洛多夫等人 <sup>14</sup>	1972	141	293–363	0.5–4.8	



该工厂的TABLE 11.5ummary可用来生产二氧化碳-继续					
根源	年	没有 ， 数 据	温度范围 T (K)	压力范围 p (MPa)	组
Kholodov等人， 94	1972	85	243-283	0.5-4.4	3
关卡复仇者和陈5	1972	22	304-319	7.4-10.0	2
斯特劳布109	1972	24	304	7.4	2
贝塞尔和罗宾逊14	1973	76	310-394	0.7-11.0	3
拉斯卡佐夫等人47	1974	148	248-303	0.5-5.6	2
Shmonov andShmulovich'4	1974	64	681-980	50.0-800.0	
刘149	1986	69	240-350	1.6-70.0	1-2
Esper' 1,	1987	73	246-320	0.1-47.7	1-2
Ilolte gt aL103.	1987	236	215-448	01-500	1-2
杰斯克15	1987	245	260-360	0.2-28.5	
杰斯克15	1987	27	273-353	0.2-30.0	
Magee和Ely'	1988	10	250-330	5.8-27.1	1-2
Elye aL	1989	61	250-330	2.2-35.4	1-2
霍因基斯145	1989	186	298-423	0.2-58.0	1-2
McElroy e al15	1989	44	303-333	0.8-6.0	3
Duschek等在154	1990	362	217-340	0.3-9.0	
达什克 et al'3 8	1990	87	295-304	6.0-7.4	
杰斯克等人。”	1990	270	270-320	0.2-12.0	
Nebendahl*6	1990	21	337-413	1.9-4.4	
郭等152	1992	40	273-293	1.0-3.3	
Wcber158	1992	12	320	0.1-6.0	
Oilgeu al59	1993	264	220360	0.3-13.0	
布拉查图斯164	1993	29	233-523	0.8-30.1	
160度的丰裕	1995	120	330-698	3.0-34.2	
Klimeck etat160%	1995	60	300-430	0.5-30.1	
Gokmenoglu etat160	1996	142	297-425	6.1-66.6	
Nowakel160	1997	21	313	8.4-12.1	

从度量值派生出来的属性表。“数据在两阶段区域内的参数。  
“我们使用的是最初公开的平滑数据；Angus etat<sup>3</sup>cannot发布的非光滑数据因为非常大的散点。  
本文还包含了Refs. 137. 91和140中的所有数据参数  
“ThedataofSchonmann<sup>4</sup> <sup>3</sup>were由霍因基斯重新评估：45个评估数据在本工作中考虑的数据幸福”是对霍尔斯泰塔尔. l<sup>3</sup>发表的测量结果的重新评估  
\*相边界附近的\*published数据数据，用于确定近临界区域的饱和液体和蒸汽密度。

ationsignificantly. Straub<sup>1</sup>09was的数据集不包含在用于开发最终方程的数据集中，但它被用作描述临界区域的敏感测试

4. 2比等压热容

对于特定的等压热容，数据情况的描述必须被划分为描述理想气体的热量行为的数据集和另外包含残余行为的数据集。虽然理想气体的热性质的数据情况是由理论方法主导的，但对实际气体行为的描述，其中考虑了热容的理想和残余部分，实际上局限于实验研究。为了解释这些不同的情况，本节分为两个子部分。

J. 物理学。化学瑞特。数据，第25卷，第6期，1996年

4. 2. 1对比等压热的实验结果  
容量

今天，用各种设备进行的量热测量提供了在温度和压力的较宽范围内的特定等压热容的精确数据。在低密度区域，这些结果通常比等脉络膜热容测量更有效  
包括最先进的数据的声音二氧化碳可用的温度范围，只有0.9 MPa的压力，表13中给出的数据集，特别是表14所示的数据集代表最重要的信息来源二氧化碳的热量行为。虽然Bender等人77的数据集提供了对低密度区域的准确描述，但Ernst和Hochberg<sup>1</sup> 78和Ernst等人179的数据允许对高达90 MPa的热量特性的精确描述。至少对于亚临界压力，这些数据集的准确性通过适当的修正得到提高；见Sec. 4. 9. 3。

二氧化碳的新状态方程1529

表12年。多化碳的ppT数据汇总：详细介绍了作者估计的不确定值和我们在加权程序中使用的值

根源	数据数量 含义	估计的不确定度 作者们 估计的不确定度 我们单独地根源	平均数据 数量f	估计的不确定度 作者们 估计的不确定度 我们单独地
米歇尔斯 和米歇尔122	9 4.00	N. R. E. # $\Delta p=1000\text{ Pa}$ , $\Delta p=0.2\%$ Lau149	42	$\Delta p=0.1\%$
米歇尔等人123	75 1.0 0	$\Delta p=0.02\%$ , $\Delta p=0.1\%$ 埃斯佩尔	3.7 1 45	$\Delta T=10\text{ mK}$ , $\Delta p=0.02\%$ , $\Delta p=0.1\%$ $\Delta p=0.03\text{--}0.11\%$
Wentorf*	87 0.09	$\Delta T=1\text{ mK}$ , $\Delta p=132\text{ Pa}$ , $\Delta p=0.02\%$ $\Delta T=2\text{ mK}$ , $\Delta p=500\text{ Pa}$ , $\Delta p=0.09\%$ Holsteet al.	1.00 103	$\Delta T=10\text{ mK}$ , $\Delta p=0.015\%$ , $\Delta p=0.05\%$ $\Delta T=10\text{ mK}$ , $\Delta p=0.015\%$ , $\Delta p=0.05\%$
乌卡洛维奇 和阿尔图宁128	44 1.07	$\Delta p=0.15\text{--}0.35\%$ $\Delta p=0.4\%$ 杰斯克150	0.80 245	N, R. E
乌卡洛维奇 andAltunin12	134 1.00	N. R. E. $\Delta p=0.2\%$ 杰斯克15	0.69 27	$\Delta T=5\text{mK}$ , $\Delta p=0.1\%$ , $\Delta p=0.1\%$ N. R. E.
乌卡洛维奇等人18	22 1.00	N. R. E. $\Delta p=0.2$	1.14 9	$\Delta T=5\text{ mK}$ , $\Delta p=0.05\%$ , $\Delta p=0.05\%$ $\Delta T=30\text{ mK}$ , $\Delta p=0.01\%$ , $\Delta p=0.1\%$
武卡洛维奇等人13	36 0.64	% N. R. E. $\Delta p=0.1$ %	0.16 52	$\Delta T=30\text{ mK}$ , $\Delta p=0.01\%$ , $\Delta p=0.1\text{--}0.15\%$
Juza e at12	82 1.0 0	$\Delta p=2\text{ MPa}$ , $\Delta p=0.3\%$ $\Delta T=0.2\text{ K}$ , $\Delta p=2\text{ MPa}$ , $\Delta p=0.4\%$ Hoinkis145	1.0 0 72	$\Delta T=30\text{ mK}$ , $\Delta p=0.01\%$ , $\Delta p=0.1\text{--}0.15\%$ $\Delta T=10\text{ mK}$ , $\Delta p=0.01\%$ , $\Delta p=0.16\%$
戈洛夫斯基 和西玛尼	108 2.2 5	$\Delta T=80\text{ mK}$ , $\Delta p=0.08\%$ , $\Delta p=0.15\%$ $\Delta T=80\text{ mK}$ , $\Delta p=0.08\%$ , $\Delta p=0.15\%$ Duscheke r al.	1.8 3 362	$\Delta T=10\text{ mK}$ , $\Delta p=0.01\%$ , $\Delta p=0.16\%$ AT=3 $\Delta T=3\text{ uK}$ , $\Delta p=0.006\%$ , $\Delta p=0.015\%$
Kinlliu er ull37e	17 9.6 5	$\Delta p=0.1\%$ $\Delta p=0.05\%$ , $\Delta p=0.2\%$ Duscheke等人。58	1.8 8 87	$\Delta p=0.03\text{--}0.25\%$
Kinillin等	29 4.00	N. R. E. $\Delta p=0.05\%$ , $\Delta p=0.2\%$ 杰斯克等人, 159岁	2.25 268 0.75	N. R. E. $\Delta T=5\text{ mK}$ , $\Delta p=0.05\text{--}0.1\%$ , $\Delta p=0.05\text{--}0.01\%$
Kirilllin etal138	66 1.0 0	$\Delta p=0.15\text{--}0.2\%$ 郭等157 $\Delta p=0.05\%$ , $\Delta p=0.2\%$	40 2.25	$\Delta T=3\text{ mK}$ , $\Delta p=0.005\%$ , $\Delta p=0.01\%$
Tsiklis等39	49 1.00	$\Delta p=0.3\%$ Gilgen等159 $\Delta T=0.5\text{ K}$ , $\Delta p=1\text{ MPa}$ , $\Delta p=1.0\%$	264 2.18	$\Delta T=3\text{ mK}$ , $\Delta p=0.005\%$ , $\Delta p=0.01\%$ $\Delta T=1.5\text{ mK}$ , $\Delta p=0.006\%$ , $\Delta p=0.015\%$
Kirilllin等人140e	24 4.00	$\Delta p=0.1\%$ 布拉查图斯16 $\Delta p=0.05\%$ , $\Delta p=0.1\%$	29 1.00	$\Delta T=1.5\text{ mK}$ , $\Delta p=0.006\%$ , $\Delta p=0.015\%$ $\Delta p=0.016\text{--}0.051\%$
波波夫 Sayapoyl4	73 1.00	N. R. E. 风和aL160 $\Delta T=30\text{ mK}$ , $\Delta p=0.05\%$ , $\Delta p=0.15\%$	120 1.00	$\Delta p=0.016\text{--}0.051\%$ $\Delta p=0.05\text{--}0.10\%$
武卡洛维奇等人14	86 1.0 0	$\Delta p=0.08\text{--}0.15\%$ 克里梅克等人160b $\Delta T=15\text{ mK}$ , $\Delta p=0.005\%$ , $\Delta p=0.08\text{--}0.15\%$	60 1.0 0	$\Delta p=0.10\%$ $\Delta T=6\text{ mK}$ , $\Delta p=0.006\%$ , $\Delta p=0.02\text{--}0.04\%$ $\Delta T=6\text{ mK}$ , $\Delta p=0.006\%$ , $\Delta p=0.02\text{--}0.04\%$
什莫诺夫 和什穆洛维奇尔4	60 1.44	$\Delta p=0.25\text{--}0.5\%$ 诺瓦克等150 $\Delta T=0.4\text{ K}$ , $\Delta p=0.2\%$ , $\Delta p=1.0\%$	21 1.00	$\Delta T=1.5\text{ mK}$ , $\Delta p=0.006\%$ , $\Delta p=0.015\%$

N. R. E.：作者没有给出合理的估计。给出了一致性，而不是不确定性。  
调整值在最终数据扫描，sce Sce.4.10。  
给出了饱和液体和饱和蒸汽密度的共同确定性。

Rivkin和Gukov171.174的数据集描述了二氧化碳的超临界区域。由于经验的状态等程可能对该区域内的氯化性质产生误导性的结果，这些数据集被认为对该新的基本方程的发展具有重要意义。不幸的是，这些数据被证明与其他数据和最先进的ppT数据不一致。由于参考文献中给出的数据。174是从一种二氧化碳含量较高的混合物的测量中推导出来的，

该数据集被分为第3组。参考文献中给出的数据集。171仅使用了相关的加权因子

4.2.2结果的比低压热容量  
天然气状态

根据《等式》（2.4），对理想气体状态下的比等压热容的知识形成了基础

表13年。二氧化碳特定等压热容的数据集汇总

根源	年	数据数量	温度范围 T (K)	压力范围 p (MPa)	组
凯斯和柯林斯162	1932		300	0.2	3
Kistiakowsky和米16	1939	3	300–367	0.1	
德格鲁特和米歇尔164ah	1948	92	298–423	0.1–206.5	
Masi和Perkor165a	1952	12	243–363	0.05–0.15	
Schrock' 66	1952	26	311–783	0.1–7.0	2–3
科佩尔和史密斯16	1960	102	291–322	7.2–8.3	3
武卡洛维奇等人168	1964	23	295–355	0.4–8.2	2–3
武卡洛维奇和Gureey' 69	1964	8	313–333	0.8–8.0	2–3
武卡洛维奇等	1965	86	293–493	1.0–22.2	2–3
里夫金和古科伊17	1968	221	283–403	8.8–24.5	1
Altunin andKuznetsoy' 72	1969	36	293–333	1.0–5.0	2–3
阿尔图宁和库兹尼斯! 73	1970	54	283–373	1.0–6.0	2–3
Rivkin和Oukuv74	1971	40	306–332	8.8–11.8	3
阿尔图宁和Kuznetsoy' 7	1972	30	253–323	0.9–6.0	2–3
塞古萨等等。76	1980	35	245–346	0.3–3.7	
Benderet atl77	1981	60	233–473	0.1–1.5	
埃姆斯特和霍赫格178	1989	9	303	0.3–52.2	
Emst et al' 9	1989	55	333–393	0.2–90.0	
多丹在a117	1994	40	327–416	5.1–25.1	3

本文还包含了理想中二氧化碳比等压热容的外推值

气态

根据ppT关系的测量值计算出的数据。

“高二氧化碳含量的混合物的测量；本文所考虑的结果从混合物实验外推到纯二氧化碳。

亥姆霍兹能量A的理想气体部分的描述（p，7）。c的结果，通过将cp测量值外推到零压力(cf。表13)对于这个应用程序既没有足够的管理范围，也没有覆盖足够宽的温度范围。因此，综述了描述二氧化碳在理想气体状态下的热量行为的理论方法。

关于二氧化碳分子的基本频率的信息可以在各种汇编中找到，但是

表14年。关于二氧化碳的特定等压热容量的选定数据的汇总；详细介绍了作者估计的不确定性值和我们自己估计的不确定性值 加重法

根源	数据数量	估计的不确定度 作者们 估计的不确定度 我们单独地
基斯佳科夫斯基和Rice'3	3	$\Delta c, =0.3\%$
马西	1.00	$\Delta T=30\text{ mK}, \Delta c, =0.3\%$
andPerkor165	12	$AT=30\text{ mK}, Ac, =0.19$
里夫金	1.00	$\Delta T=30\text{ mK}, \Delta c, =0.1\%$
和Gukoy	220	$\Delta T=10\text{ mK}, \Delta p=0.05\%, Ac, =2\%$
Benderat a17	0.17	$\Delta T=25\text{ mK}, \Delta p=0.05\%, \Delta c, =2\%$
	60	$\Delta c, =0.1\%-0.15\%$
	1.0	$AT=10\text{ mK}, \Delta p=0.01\%, Ac, =0.12\%$
	0	
埃姆斯特	9	$Ac, =0.2\%\sim 0.9\%$
andHochberg178b	2.25	$\Delta T=20\text{ mK}, \Delta p=0.1\%, \Delta c, =0.2-0.9\%$
Emst等	55	$Ac, =0.2\%-0.9\%$
	1.9	$\Delta T=20\text{ mK}, \Delta p=0.1\%, \Delta c, =0.2-0.9\%$
	2	

给出了一致性，而不是不确定性。修正后的值在最终的数据集中使用，见第二秒.4.10.

只有几篇论文包含cp的可靠数据，其中对多个刚性旋转器考虑了谐波振荡器模式，以达到较高的精度。表15总结了这些数据集，其中Chao' 84的数据集是最新的一个。Chao考虑刚性振器的一阶校正，谐振器模式)

由彭宁顿和神户开发的；85年，他估计他的结果的不确定性小于 $\pm 0.02\%$

4. 3比等容热容

关于二氧化碳的等温热容有七个数据集。表16总结了关于这些数据集的信息。更详细的信息是关于

表15年。用理论方法计算出的二氧化碳在理想气体状态下的等压热容量的数据集

根源	年	温度范围，T(K)
伍利180	1954	50–5.000
Bachr等	1968	10–6000
Gurvich' 8	1979	10–10.000
Chao'	1983	50–5000
赵18	1986	10–1500

二氧化碳的新状态方程1531

表16年。二氧化碳等氯热容数据集汇总

根源	年	数据数量	温度范围，T (K)	密度范围，p (kg/m <sup>3</sup> )	组
欧肯和哈克！2	1928	8	223-293		3
米歇尔斯和斯特兰86	1952	50	297-313	274-839	3
阿米尔哈诺夫等人187	1970	214	280-393	500-831	2
阿米尔哈诺夫和波利赫罗尼迪8	1971	733	276-403	512-903	1-2
Edwards <sup>5</sup>	1984	221	301-312	434-467	1
Mageeand Ely116	1986	113	223-330	88-1140	1-2
Abdulagatov etal.	1991	331	304-357	460-510	1-2
阿卜杜拉加托夫等人。	1994	88	304-357	460-510	1
59b	1994	230°	280-357	460-519	1-2

“由于温度分配不明确，阻碍了对数据的评估。\*有些数据是在两相区域。由Senger提供的白沙选择数值，18997次测量描述了两相区域内的状态。这些数据选择自阿卜杜拉加托夫等人提供的数据5

\*132个数据位于两相区域；在单相区域的98个数据中有88个已经来自阿卜杜拉加托维等人。9. 59

所选数据见表17。对于二氧化碳，等温热容的测量在下面讨论的两个区域是非常重要的。

Magee和Ely<sup>16</sup> yields的数据集是对高密度区域内热量特性的唯一全面的描述。在液体密度下，该数据集仅限于临界压力以上的压力，在均匀区域的有效热量数据和饱和液体曲线之间留下了一个差距（见Sec. 7. 2. 2）。在密度低于600kg/m<sup>3</sup>时，这些数据只能用作者估计的不确定性之外的系统偏差来表示。另一方面，在该区域，几个精确的state3. 5-17方程彼此一致，新的状态方程等压热容在2%左右，满足等压热容数据

表17年。特定二氧化碳等温热容量的选定数据摘要；提供了关于由作者估计的不确定性值和由我们自己估计并在加权程序中使用的不确定性值的详细信息

根源	数据含义的数量	估计的不确定度 作者们 估计的不确定度 我们单独地
阿米尔哈诺夫和波利赫罗尼迪188	18 1. 0 0	AT=5 mK, Δc, =2-4% ΔT=50mK, Δp=0. 05%, Δc, =2. 5% Δc, =0. 75%
Edwards <sup>5</sup>	124	
Magee和Ely <sup>16</sup>	0. 16 80	ΔT=1 mK. Δp=0. 05%, Δc, =2% AT=10 mK, Δp=0. 1%, Δc, =0. 5-2%
	0. 37	ΔT=10 mK, Δp=0. 1%, Δc, =0. 5-2%
Abdulagatoy e at5	233 0. 2 5	Δp=0. 023%. Δc, =2-3. 5% ΔT=10 mK. Δp=0. 05%, Δc, =5%
59岁时发育不全等	88 0. 2 5	Δp=0. 023%, Δc, =2-3. 5% ΔT=10 mK, Δp=0. 05%, Δc, =5%
Abdulagatov eal59	10 0. 2 5	Δp=0. 023%, Δc, =2-3. 5% ΔT=10 mK. Δp=0. 05%, Δc, =5%

在最终的数据集中使用了调整后的值；参见第4. 10节。给出的是精度，而不是不确定性。

由新的状态方程，小于0. 5%。基于这些事实，我们得出结论，1热热容高达8%的偏差可能是由于数据集的缺陷。因此，低密度测量的加权因子被大大降低

在扩展的临界区域内，Edwards<sup>5</sup>5和阿卜杜拉加托夫等人的数据集59, 59. 596的数据集对新的状态方程的发展有很大的影响。（爱德华兹的thesis<sup>55</sup>only书中包含了研究结果的图形插图。这里使用的数据是由Sengers提供的。189)选择表17中给出的减少的加权因子是因为在一个小而非常敏感的区域内有大量的数据点。使用fwt=I的这些数据集会导致对关键区域的过分强调；细节见秒。 5.

阿卜杜拉加托夫等人最近的数据首次发表在1991年在博尔德举行的第十届物理物理性质研讨会论文集上。当相应的paper<sup>6</sup>9在三年后发表时，它只包含了从诉讼程序中给出的331个数据点中分离出的88个数据点。同年，发表了另一个paper<sup>5</sup>98，其中包含之前发表的88个点，均匀相中一个等线的10个点，以及两个额外的132个点

表18年。对二氧化碳声速数据集的总结

根源	数量	年的数据	临时雇员的范围T (K)	压力范围，p (MPa)	组
赫格特9	1940	195	301-3117. 0-10. 3		2
诺维科夫和Trelin <sup>92</sup>	1962236288-3733. 0-10. 0				1
皮塔耶夫斯卡亚和比列维奇193	1973176298-47350. 0-450. 01-2				
勒明	1989	50	240-3600. 4-0. 9		

“光滑的数据

J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年

表19年。二氧化碳声速的分段数据摘要；详细提供了由作者估计的不确定性值和由我们自己估计并在加权程序中使用的的不确定性值的信息

根源	平均数据 数量f	估计的不确定度 作者们 估计的不确定度 我们单独地
人名 和Trelin <sup>19</sup>	234 0.77	N. R. E. $\Delta T=0.1 \text{ K}$ , $\Delta p=0.1\%$ , $\Delta w=0.5\%$
皮塔耶夫斯卡亚 和比列维奇 <sup>19</sup>	144 2.25	N. R. E. $\Delta T=0.1 \text{ K}$ , $\Delta p=0.2\%$ , $\Delta w=2\%$
莱明 <sup>19</sup>	44 0.0 6	$\Delta T=8\text{mK}$ , $\Delta p=4.2 \text{ mbar}$ , $\Delta w=0.015\%$ , $\Delta T=8\text{mK}$ , $\Delta p=4.2 \text{ mbar}$ , $\Delta w=0.015\%$

作者没有给出合理的估计。

相域阿卜杜拉加托夫等人的数据的不确定性被估计为至少与在原始数据集中可见的散点一样大。<sup>9</sup>

Lipa等人19052的论文经常在二氧化碳文献中引用，不包含数值再疏。由于Edwards<sup>6</sup>cover的数据是相同的，是用相同的设备测量，受杂质的影响较小，因此本研究未考虑Lipa等人的5<sup>5</sup>the数据

#### 4.4声音速度

二氧化碳声速数据中的三组被用于开发新的状态方程。表18包含了可用的数据集，表19提供了关于所选数据的附加信息。诺维科夫和Trelin<sup>19</sup>、皮塔耶夫斯卡娅和Bilevich<sup>19</sup>的数据集分别提供了关于扩展临界区和高压区的重要信息。虽然Lemming<sup>19</sup>4is发布的数据质量优于其他数据集，但这些数据仅在使用时降低了权重因子。在气体区域中，在压力低于1 MPa时，声速的剩余部分都小于总声速的2%。由于测量的不确定性与声速的总值有关，而不仅仅与残差部分有关，因此这些数据对描述残差模糊行为的经验相关性的发展的贡献是非常有限的

表20。二氧化碳焓差的数据集总结

根源	年	数据 数量	临时雇 员 范围T (K)	压力 一系列 p (MPa) Group
马斯和巴恩斯 <sup>200</sup>	1926	4	212-298	0.1
Koppel和Smith <sup>16</sup>	1960	102	291-322	7.2-8.3
Masalov <sup>20</sup> 武卡洛维奇和	1964	54	423-523	2.5-9.8
Masalov <sup>202</sup> Moller等人	1964	68	573-773	2.5-9.8
aL20	1993	10	233-358	15.5

J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年

表21年。关于二氧化碳内能差异的数据集的总结

根源	年	数据 数量	温度范围， T (K)	密度范围 p ( kg/m )	组
克鲁格 <sup>20</sup>	1964	454 <sup>o</sup>	274-325	190-870	1-2
巴克尔 <sup>20</sup>	1968	47	291-316	466	3

<sup>2</sup> Some of the 测量的温度间隔部分达到两相区域

除了表18中的数据外，还有5篇论文195-199涉及临界点附近的声速。这些发表于1951年至1970年的论文都没有包含数值结果。我们没有试图评估这些论文中给出的图形表示，因为当时没有充分考虑与关键区域的实验工作相关的具体问题

#### 4.5焓

有关焓测量的文献来源汇总在表20中。武卡洛维奇和Masalov<sup>201, 202</sup>和Moller等人的数据。本研究考虑了203个数据，但只有Moller等人的数据和作者给出的不确定性（10个数据选择了 $f^2=2.78$ ， $\Delta h=0.7\%$  or  $\Delta h=0.6 \text{ kJ/kg}$ 的平均值，以较大者为准）。这些数据提供了重要的信息，在高密度的数据情况，热量性质是差的。利用武卡洛维奇和Masalov<sup>201, 202</sup>的数据来测试关于高温下热量性质的新方程的质量

#### 4.6内能

表21列出了可用于内能差异的两个数据集的一般信息。由于（ $ou/8T$ ）的温度位移，Baehr<sup>203</sup> were在临界等位线上测量的数据没有使用。Baehr观察到的最大值无法解释。Kruger选择的150个数据，204个没有到达两相区域，估计的不确定度为 $\Delta T=40 \text{ mK}$ ， $\Delta p=0.2\%$ ， $\Delta u=2\%-4\%$ ，平均加权系数为 $f^2=0.88$ 。作者（ $\Delta T=10 \text{ mK}$ ， $\Delta p=0.03\%$ ， $\Delta u=1.4\%-3\%$ ）给出的不确定性太小，无法解释数据的分散性

#### 4.7焦耳汤姆逊系数

由于焦耳-汤姆逊系数的数据只能用于非线性拟合过程，而不能用于优化过程的线性算法，因此它们对经验基本方程的发展的影响相当小。Bender等人<sup>77</sup>的数据是唯一包含在用于非线性拟合的数据集中的数据

## 二氧化碳1533的新状态方程式3

表22，二氧化碳焦耳-汤姆逊系数的数据集汇总

根源	年	数据数量	温度范围， T (K)	压力范围 p (MPa)	组
布米特20	1923	127	273-393	2.0-7.7	3
罗巴克等人8	1942	151	198-573	0.1-20.7	3
德格鲁特和米歇尔斯164	1948	92	298-423	0.1-206.5	3
阿尔图宁和古里20岁	1970	131	253-343	0.6-5.9	2
	1972	92	293-500	1.5-22.0	2-3
本德等人7	1981	35	233-473	0.1-1.5	1
库斯科er al208	1995	33	350-500	1.0-4.6	3

由测量的ppT数据计算出的AJoule-汤姆逊系数。等温焦耳-汤姆逊系数， $8r=c$ ， $=$ 。

（使用 $\Delta T=10$  mK， $\Delta p=0.01\%$ 选择了34例数据， $\Delta \mu=$ 为0.4%， $f^2=$ 为0.36）。武卡洛维奇和al<sub>2</sub> 06的数据被证明是对气体区域一致描述的敏感性。表22给出了对处理焦耳-汤姆逊系数的数据集的调查

### 4. 8维里亚尔厨师

关于二氧化碳的文献中包含了许多论文，其中给出了关于第二和第三维里系数的信息。表23总结了相应的资料来源

表23年。第二和第三维二氧化碳系数的数据集汇总。由于文本中解释的原因，没有将数据分配给组I

根源	年	数据编号 B/C	温度范围， T (K)	组
米歇尔斯和米歇尔斯12	1935	13/13	273-423	3/3
Schafer <sup>2</sup> 09	1937	16/...	203-273	3/...
麦科马克和Schneider <sup>2</sup> 10	1950	9/9	273-873	3/3
科特雷尔和Hamilton <sup>2</sup>	1955	7/...	303-333	3/...
Pfefferle等人212	1955	2/2	303	3/3
科特雷尔等人213	1956	3/	303-363	3/...
库克214	1952	6/...	213-303	3/...
马西亚和佩纳219	1958	6/...	298-423	3/...
屠夫和爸爸21	1963	13/13	263-473	3/3
Huff和Reed <sup>2</sup> 17	1963	10/..	298-510	3/
武卡洛维奇和马萨洛夫2	1966	18/18	423-773	2/3
达德森等人219	1967	9/...	263-398	3/...
Ku和Dodge13	1967	1/	373	3/3
Sass等14。	1967	3/	348-398	3/...
季莫申科等人22	1970	9/...	224-313	3/...
武卡洛维奇等人+	1970	10/10	253-343	3/3
Vukaloviche al206	1970	14/	238-308	3/...
瓦克斯马尼塔尔2	1973	6/...	273-423	2/...
本德等人！7	1981	4/...	233-263	3/...
Ohgaki等222	1984	2/...	423-473	3/...
Holste等。	1987	18/16	217-448	2/2
Mallu等人22	1987	3/...	323-423	3/...
Hoinkis <sup>1</sup> 45	1989	4/4	298-423	2/2
Mallu等人224小时	1989	.../3	323-423	.../3
我EIroy等人1	1989	4/4	303-333	3/3
Duschek等14	1990	7/4	220-340	2/2

维里膨胀是在压力下形成的。这份文件还包括了已经是published<sup>2 3</sup> in 1987的值。

最近，Span<sup>2</sup> 25指出，将实验中的第二和第三维里系数纳入用于发展一个广泛范围方程的数据集并不是很有用的。大多数数据集来自于ppT测量，已经评估以确定维里系数。因此，使用原始测量值可以更好地获得所需的实验信息。此外，只有当维里系数的方程对应于维里系数的项相互独立时才有用，就像简单的维里展开的情况一样。但是，如果状态方程中包含指数函数，则不再满足这个条件。因此，在本文中，维里系数的可用值仅用于比较；没有一个数据集被分配到第1组。

然而，在温度低于220K时，第三维里系数 $[p/(pRT)=\dots+Cp^2+\dots]$ 的全部贡献小于最近的data<sup>1 54</sup>throughout的不确定性。因此，在低温下，如果方程只拟合toppT数据，则可能会出现从状态方程计算出的第三维里系数的物理不合理表示，因为在这个温度范围内，不能通过实验评估第三病毒效率的可靠值来建立，第三维里系数的13个值是由一个简单的多项式方程计算出来的，该方程描述了在实验不确定度内气体区域不同热力学性质的所有选定数据，并得到了低温下第三维里系数的合理图。这些第三个维里系数的“人工”数据随后在开发新的状态方程时被使用。

### 4. 9液蒸气平衡

在优化新状态方程结构的过程中，液-蒸气平衡以线性化的方式使用。32.30为此目的使用的数据集由205温度下的ps(T)、p'(T)和p“(T)值组成，这些值由eqs计算得出。(3.13)to (3.15). 这些数据覆盖了整个液汽相边界，温度间隔在接近时减小

J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年

表24年。描述二氧化碳液气相平衡的选定数据的摘要：详细提供了作者估计的污染值和我们估计的，以及在加权程序中使用的信息

根源		由作者估计的不确定性 的数量估计的数据不确定度 属性含义我们单独地	
诺维科夫和特雷林 <sup>13</sup> ,	w <sup>''</sup>	18	N. R. E. <sup>''</sup>
		1.00	$\Delta T=10\text{mK}, \Delta w^{\prime\prime}=0.5\%$
佩切和范达尔马吉和	w	23	$\Delta w^{\prime}=1\%$
		1.23	$\Delta T=0.1\text{K}, \Delta w^{\prime}=0.5\%$
伊利尔 <sup>16</sup>	Ca	739	N. R. E.
		2.04	$\Delta T=10\text{mK}, \Delta c_{\text{ac}}=1\%$
Duschek等人 <sup>58</sup>	Ps	109	$\Delta T=3\text{mK}, \Delta p, =0.005\%$
	,	1.00	$\Delta T=3\text{mK}, \Delta p, =0.005\%$
		50	$\Delta T=3\text{mK}, \Delta p^{\prime}=0.015\%$
Duschek等 <sup>5</sup>	p	1.00	$\Delta T=3\text{mK}, \Delta p^{\prime}=0.015\%$
	<sup>''</sup>	42	$\Delta T=3\text{mK}, \Delta p^{\prime\prime}=0.025\%$
	p	1.00	$\Delta T=3\text{mK}, \Delta p^{\prime\prime}=0.025\%$

名词性的。：作者给出的非估计“使用最终的数据集调整值；见第4.10节。  
只考虑了atT<295K的数据；见第3.8节。

临界温度此外，表10中已经出现的组1热量数据被用于拟合新的状态方程。

最终的方程直接与Duschek等人<sup>58</sup>和to的相平衡数据进行非线性拟合。表24给出了用于描述液-蒸气平衡的实验热量和热数据的详细信息。

4. 10数据调整

为了实现尽可能一致的最终数据集，必须调整一些选定的数据。因此，可以区分出三组数据，它们由于不同的原因进行了修正。这三组在以下的小节中被解释

4. 10. 1对描述关键区域的数据集的调整

对于描述临界点附近的热力学表面，测量温度和临界温度之间的温差比绝对温度更重要，这种温差可能也可能较少受系统偏差或样品杂质的影响。如果给出了相应的临界温度，则绝对温度可以通过该值与本工作中使用的值之间的差值来修正[cf]。公式（3.5））。这项技术被用于两组重要的热量数据

爱德华兹<sup>55</sup>。Tog=Tea. +29.8 mK, <sub>1</sub>

Novikov和Trelin<sup>13</sup>: T<sub>4</sub> 8=TNo-44mK. (4.2)

Wentorf<sup>8</sup>did没有提供任何与他的ppT数据对应的临界温度信息，但有类似的相关-

J. 物理学。化学瑞特。数据，第25卷，第6期，1996年

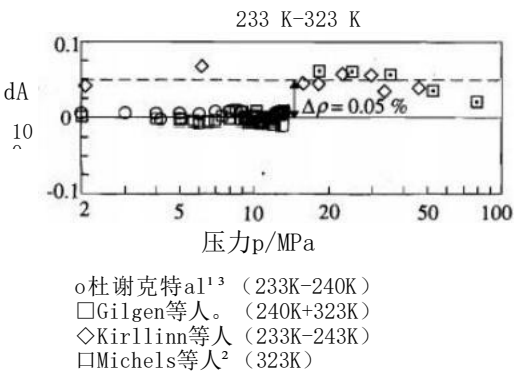


Fig. 6. Relative偏差100Δp/100(实验ppT数据从Eq. 1 (6.1) 计算的值。这张图说明了调整基尔林等人、<sup>140</sup>和米歇尔斯·埃尔·<sup>123</sup>的数据的原因(见Sec. 4. 10. 2)。

它可以根据临界等位线上的压力来确定。  
建议824. reasweabse与之前

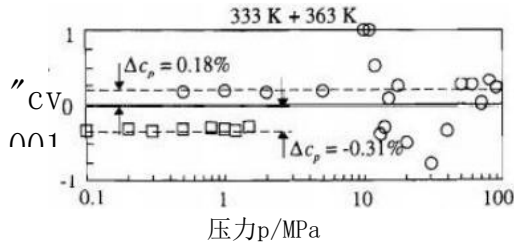
Wentorf<sup>8</sup>:T<sub>4</sub> 8=Twe. -27 mK. (4.3)

ppT数据的4. 10. 2调整

如果在参考数据重叠的区域出现系统偏差，可以对ppT测量进行合理的调整。通过这种方式，准确的信息ppT关系可以获得大约100 MPa，而数据等<sup>54</sup>和吉尔根等<sup>59</sup>限于9 MPa和13 MPa，分别的数据Brachthausen<sup>164</sup>和克里梅克等被限制在30 MPa。  
160

这种简单的修正被用于以下数据集：

Kirillin et al, 137. 93, 140. p-Pk<sub>1</sub> . 0. 9995, (4. 4)



哦，恩斯特等人！”(333K) □Bender et al!  
”(363K)

FIG. 7. 度。实验c的相对偏差100Δc/c, =100 (Cp. exp-Cp. cale) /cp. cp, 由式（6.1）计算出的特定等压热容量数据。此图说明了纠正Ernst等人<sup>9</sup>和Bender等人<sup>77</sup>的数据的原因(见Sec. 4. 10. 3)。

表25年。等压热容数据的温度依赖性修正

温度 T (K)	Cp. cor- Cp. exp Cpeap
本德et aL17	
233	+0.40%
243	+0.25%
273	+0.13%
323	+0.05%
363	+0.31%
393	+0.14%
423	+0.10%
473	-0.17%
埃姆斯特和霍奇伯格”？	
303	+0.36%
Emst等在17	
333	0.18%
363	±0.00%
393	-0.37%

### 等压热容的4.10.3修正

由于等压热容的低压极限， $c_p^\circ$  非常清楚地含有二氧化碳（见第6.1节），测量的等压热容的温度相关误差可以很容易地确定。图7显示了由Bender等人77和Ernst等人测量的数据的系统偏差。179同样，两个传入等温线合并在一个单一偏差图中。亥姆霍兹能量剩余部分等式的新方程的系统误差（6.5），会导致偏差，并随着压力的增加，因为对等压热容的剩余贡献在-起折痕

为了补偿这些温度依赖性的偏差，Bender等人的数据集，7Frmst和霍赫伯格的数据集。178和Ernst等人的179根据表25中给出的值进行了校正。

### 5. 在临界区域的热力学性质的描述

米歇尔等。123p=PMi • 0.9995, (4.5)

Lau<sup>1</sup> 49 . P=PLa • 0.9993 . (4.6)

图6显示了一个通过在一个单一偏差图中组合两个完全不同的等温线来证明这些调整的例子。由Kirillin等人发表的99项测量结果仅在参考文献中发表。138不能根据公式（4.4）进行调整。米歇尔等人的校正数据仅在18 MPa以上的压力下使用。在密度与温度和压力的依赖性较强的区域，数据根据等式进行调整（4.5）也产生了不令人满意的结果。

在过去的20年里，不同的作者50212427对米歇尔等人80, 123和米歇尔和米歇尔所使用的温度尺度提出了修正。22在这项工作中测试了可能的修正，但在ITS-27温度尺度和当时范德瓦尔斯实验室使用的温度尺度之间不能建立合理的温度变化。如果这些数据的系统偏差是由于温度尺度的误差，则对于在米歇尔的不同论文中发表的测量数据，必须假设不同的尺度。由于气体和扩展临界区域的数据情况有了显著改善，因此决定不在这些区域内兜售米歇尔的数据

很好的是，热力学性质可以用在整个纯流体的临界区域沿着特定路径的“幂律”来描述。这种描述，最初是由Verschaffel<sup>27</sup>在1896年作为一种实证尝试而提出的，现在已经得到了最近的理论结果的支持。特别是，由Wilson<sup>28</sup>引入的重整化群方法扩展了关于纯熔点在临界区行为的知识，并得到了临界指数的“普遍”值。这些值被定义为在与临界点消失距离的极限处的幂律指数。表26给出了一些最重要的幂律，并给出了通过对重整化群理论的评价所建立的相应临界指数的不同值。56通过在点上展开所谓三点接触的经典方程，以及在该点上展开所谓五点接触的经典方程。没有一个经典方程能够重现重整化群理论所预测的值

表26年。描述沿着整个临界区域的某些路径的热力学性质的幂次定律的例子

财产	幂律	描述的路径	关键的拥护者	由评估所确定的值		
				RG理论	三点方程式。	5点eq。
饱和密度	$(p^*-p^*)^{\beta}(T, -T)$	相界	$\beta$	0.326±0.002	0.5	0.25
等温压缩性	$Kr^{\gamma} T-T_c$	crit. isochore	$\gamma$	1.239±0.002		
压力	$p-Pd p-p_c^*$	临界等温线	$\alpha$	4.80±0.02	3	
同色热容	$c_p T-T_c$	crit. isochore	$\alpha$	0.110±0.003	0	0

根据信使和关卡信使的说法。56

\*这样的状态方程在临界点上受到条件  $(i_{plap})r=0$  和  $(q^2_{plap^2})r=0$ . where  $(^2_{plap^3})>0$  的约束。除了脚注b中给出的条件外，这个方程还产生  $(a^3_{plap^3})r=0$  和  $(a^1_{plap^4})r=0$ . where  $(8_{plap^3}r>0$ 。



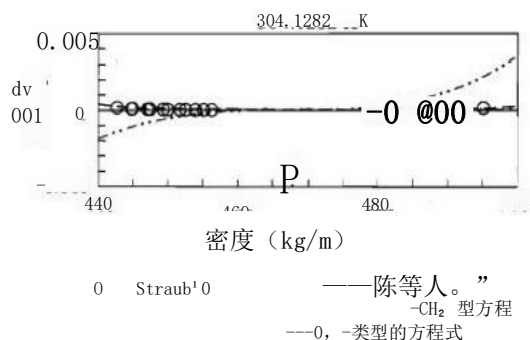


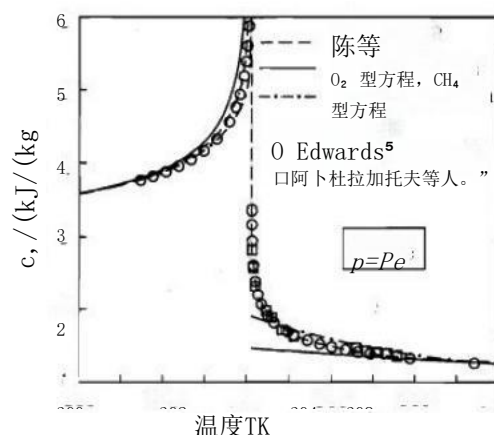
Fig. 8. Relative偏差100 $\Delta p=100$  (Pexp-Pauk) / Papp实验数据从等式计算的值(6.1). 从Chen et al.<sup>27</sup>的交叉方程和使用CH<sub>4</sub>-和O<sub>2</sub>-形式(见Sec. 5.1)中计算出的值被绘制出来以进行比较。

### 5.1 状态解析方程的限制

通常得出结论, 状态解析方程具有临界区域内纯流体的概率, 因为它们不能产生正确的临界指数。对于本文中所考虑的大多数性质, 如果考虑到最先进的方程式, 这个结论是不正确的。

在本节中, 从两个宽范围方程的临界范围内得到的结果与实验结果以及从专门为描述扩展临界区域而设计的非解析方程计算出的值进行了比较。为此, 我们选择了陈的交叉方程<sup>27</sup>交叉方程的临界参数被改变了在这项工作中使用的值, 因为否则方程的比较不同的关键参数会产生误导性的结果附近的临界点。举一个典型的现代宽范围方程的例子, 我们将施密特和Wagner<sup>4</sup> for氧发表的方程拟合到本工作中使用的数据集上; 这个方程称为O<sub>2</sub>型方程。Ely<sup>4</sup> and Ely等人<sup>5</sup>use的方程具有相同的函数形式, 但这些方程具有不同的临界参数。为了说明状态解析方程的极限, 我们重新设计了塞茨曼和Wagner<sup>30</sup>发表的甲烷公式, 称为CH<sub>4</sub>型方程。就临界区域的描述而言, 这个方程可能是目前最有效的解析方程

图8显示了从二氧化碳的新状态方程计算出的压力之间的相对偏差。(6.1) ] . from参考的CH<sub>4</sub>型和O<sub>2</sub>型方程和Chen等人的交叉方程, 与Straub测量的非常一致的数据相比, 109直接对二氧化碳的临界等温线。(没有一个宽范围方程拟合Straub的数据; 这些数据仅作为临界区域的一致性检验: cf. 第4.1节。)在图8中选择的分辨率中, 只有



临界区代表性等容热容数据的Fig. 9. Representation. 绘制的曲线对应于Chen et al.<sup>27</sup>的膝盖计算和使用CH<sub>4</sub>-和O<sub>2</sub>-form (see Sec. 5.1 重新构建的方程计算的值)。

O<sub>2</sub>型方程显示了临界等温线的0陡变过程, 这是由一个状态的解析方程所期望的。解析的CH<sub>4</sub>-type方程和新的状态方程得到几乎相同的结果, 并且表示数据与交叉方程一样准确, 尽管它们没有得到热极化群理论预测的相应临界指数 $\delta$ 的极限

沿临界等温线, ppT数据可以用宽范围方程非常准确地描述, 因为相应的幂律描述了在接近临界点时消失的压力差(cf. 表26)。因此, 临界指数 $\delta$ 的不同值, 即定义为极限 $|p-p_c| \rightarrow 0$ , 几乎不影响ppT表面的表示。本文中所考虑的大多数性质在接近临界点时表现出相似的行为

然而, 有两种性质表现出完全不同的方式: 特定的等温热容 $c_v$ 和声速 $w$ 。解析方程的计算得到一个临界指数 $\alpha=0$ , 在临界点得到一个有限的值 $c_v$ , 而热化群理论预测 $\alpha=0.110$ , 导致特定等温热容量在裂缝点的缓慢发散

图9显示了二氧化碳临界等孔上的比等温热容量以及由O<sub>2</sub>型方程、CH<sub>4</sub>型方程和交叉方程计算出的相关值。当接近临界温度时, 只有交叉方程能够跟踪数据的陡峭过程。CH<sub>4</sub>型方程在临界温度附近约 $\pm 0.5$  K的区间内失效, O<sub>2</sub>型方程在约 $\pm 2$  K的区间内失效。

由于声速与等温热的倒数有关, 因此也可以得到类似的结果

容量从理论的角度来看, 声速预计会在临界点上消失, 而解析方程只能产生一个有限的最小值。同样, 解析方程失效的温度区间, 分别在临界温度周围延伸到约±0.5 K和±2K上。

## 5.2将非解析项作为积分的使用 在一个经验的宽范围方程中的分量 的状态

一个复杂的状态解析方程的性能, 如CH<sub>4</sub> 型状态, 对于关键区域内的任何技术应用都是足够的。然而, 由于二氧化碳临界补充的科学重要性, 只要评估结果相关性的数值费用仍然是合理的, 对热量性质的改进描述被认为是可取的。因此, 我们拒绝了基于物理变量T和p以及所使用的数学变量的模型, 如switching<sup>3.229</sup>和transformation<sup>2.6</sup>approaches

在本文中提出的基本方程显然是经验的情况下, 与重整化群理论的预测相对应的渐近行为被认为是次要的, 混合理论和经验方法甚至可能产生误导性的结果。因此, 我们试图通过引入特殊的非解析项, 将经验的宽范围方程的定性正确行为扩展到临界点的附近。

这些公式的发展始于检查减少的亥姆霍兹能量和热量性质之间的关系。比等压热容量可以表示为

$$\frac{c_p}{R} = \underbrace{-\tau^2(\phi_{\tau\tau}^o + \phi_{\tau\tau}^r)}_{\frac{c_v}{R}} + \underbrace{\frac{(1 + \delta\phi_{\delta\delta}^r - \delta\tau\phi_{\delta\tau}^r)^2}{1 + 2\delta\phi_{\delta\delta}^r + \delta^2\phi_{\delta\delta}^r}}_{\sim \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_T} \quad (5.1)$$

其中R对应比气体常数,  $\phi$  对应还原亥姆霍兹能量的理想(上标o)和残余(上标r)部分, T对应逆还原温度,  $\delta$  对应还原密度。作为下标的量r和 $\delta$ 表示d的相应导数; 见表3的脚注。因为(olap) = 'grows'在接近临界点时比c快, 在等式中快得多(5.1)比等压热容主要由分数所主导, 这与ppT数据的表示密切相关。因此, 一个产生精确解的方程

在临界区域内的ppt表面也应该产生比等压热容量的可靠值。

等温比热容的情况有所不同

$$\frac{c_v}{R} = -\tau^2(\phi_{\tau\tau}^o + \phi_{\tau\tau}^r) \quad (5.2)$$

如果亥姆霍兹能量的残余部分在临界点上是有限的二阶导数, 特定等容热容的值也是有限的, 只有在 $\phi$ 中具有非解析行为的方程, 才能重现c中的期望散度。同时, 这样的公式会导致声速值的消失, 因为w对应于

$$\frac{w^2}{RT} = \underbrace{1 + 2\delta\phi_{\delta\delta}^r + \delta^2\phi_{\delta\delta}^r}_{\sim \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_T} - \underbrace{\frac{(1 + \delta\phi_{\delta\delta}^r - \delta\tau\phi_{\delta\tau}^r)^2}{\tau^2(\phi_{\tau\tau}^o + \phi_{\tau\tau}^r)}}_{\frac{c_v}{R}} \quad (5.3)$$

在临界点上, 表达式(apldp)变为零, 而(apl8T)p是一个有限的值。因此, 如果c变为无限, 声速就变为零

因此, 一个公式被发展, 它可以包含在一个经验的广泛状态方程, 作为对通常的项和的常规贡献, 并产生 $\phi$ 的预期的非解析行为。这样的公式必须满足三个附加的条件

对于 $\phi_r$ 所产生的值, 必须到处都是有限的

除了在高度点

其他二阶导数的奇异行为

关于 $\delta$ 的导数必须到处避免, 然而, 对于这些导数的行为没有进一步的限制——完整的状态方程必须以一种特殊的方式来设计, 而不仅仅是方程中的一项

在the  $\delta, r$ 表面的临界区域, 最大值

, 必须遵循饱和蒸汽和饱和液体线的路线, 以避免在该环相区域出现不合理的铜最大值

如果将以下数学形式的公式作为亥姆霍兹能量的剩余部分方程中的第1项, 则可以满足这些条件

$$\phi; = n; \Delta 18 \exp[-C; (8-1)^2 - D_1 (r-1)^2] \quad (5.4)$$

和

$$\Delta = \{(1-r) + A; [(8-1)^2]^{1/2} (2B)\}^2 + B[(8-1)^2] a;$$

指数函数抑制了该表达式在临界区域外的影响。距离函数 $\Delta bi$ 引入了非解析行为, 并确保了解析行为

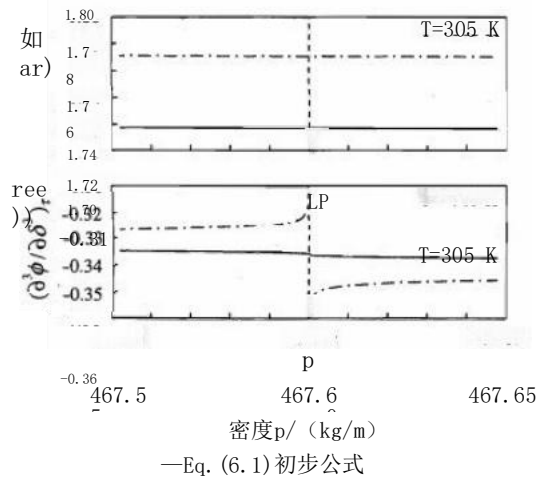


Fig. 10. While的初步状态方程显示了还原的亥姆霍兹能量的三阶密度导数的不连续图，即新的状态方程，等式（6.1），生成三阶导数的连续图。

在c中的最大值，遵循相位边界。最后， $\phi$  乘积中的密度降低在低密度极限下具有物理上的正确行为。

除了系数 $n_i$ ，Eq. (5.4) 介绍了七个信息：每个参数的“内部”参数（ $a$ 、 $B_1$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $i$ ）

项 $i$ ：原则上，这些参数扫描应该包含在整个方程的非线性拟合中。然而，由于这些参数的高度相关影响，单多点非线性拟合非常困难，因此，我们决定用我们的优化策略确定 $B_1$ ， $C$ ， $a$ 和 $b$ 的合理起点。随后对 $b_i$ ， $C$ ，和 $D_i$  resulted的非线性拟合，仅在对方程的微小改进中。 $B_1$  and  $a$ ，在当前的项目中没有重新安装。原则上， $A$ 和 $\beta_1$  corre符合比例因子和幂律对饱和液体和饱和蒸汽密度的临界解释（见表26），可以独立确定。在最后的术语组（见表30）中，使用了 $\beta$ 的值，它略小于相应临界指数的预期值，以满足条件

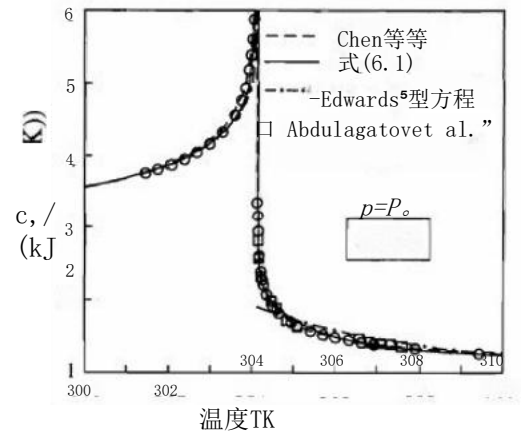
$$b_1 > 0.5 + \beta \quad (5.5)$$

和

$$\beta_i < \frac{1}{2a_i(1-b_i)+2} \quad (5.6)$$

方程（5.5）和（5.6）的结果是，除了在临界点上至少有相应的温度导数外，到处都必须避免奇异行为。未发表的初步方程没有满足这些条件，并导致了第三霍尔兹能量（ $a^3 \phi 18\sigma^3$ ）在临界等位线处的不连续图。图10显示了这种可能的错误行为的一个例子，并显示了最终的方程，等式（6.1），得到了一个关键的三阶导数的连续图。

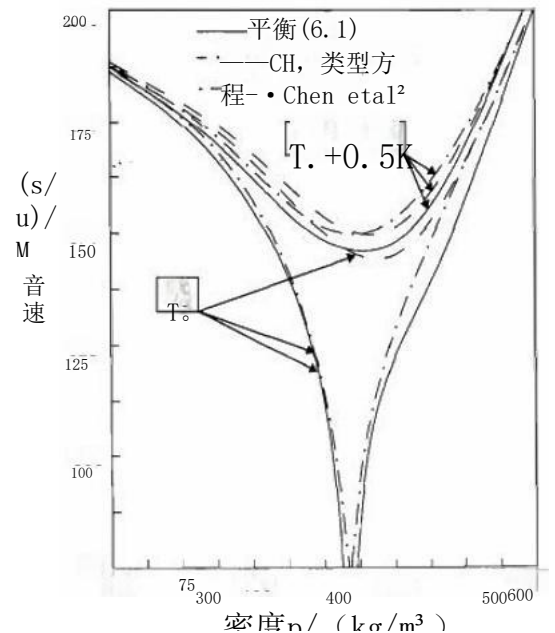
J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年



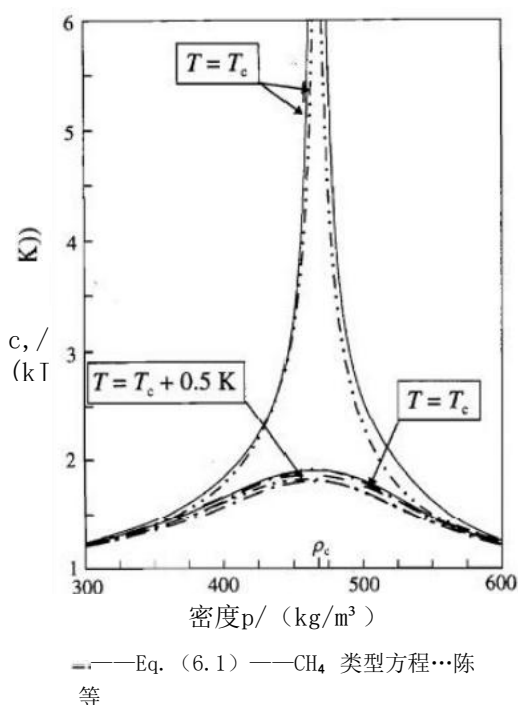
临界区代表性等容热容数据的Fig. 11. Representation. 所绘制的曲线对应于从等式中计算出的值（6.1），Chen等人的交叉方程采用 $CH_4$ 形式重新调整的方程（见第5.1节）。

状态序列中最小指数 $b_1$  occurring与临界指数 $\alpha$ 有关，该指数描述了比等温热容的散度表达

$$b_1 = 1 - \frac{\alpha}{2} \quad (5.7)$$



在临界区域的等温线上的声速的Fig. 12. Representation. 绘制的曲线与等式计算的值相应（6.1），Chenet等人27的交叉请求和使用 $CH_4$ 形式重新构建的方程（见第5.1节）。

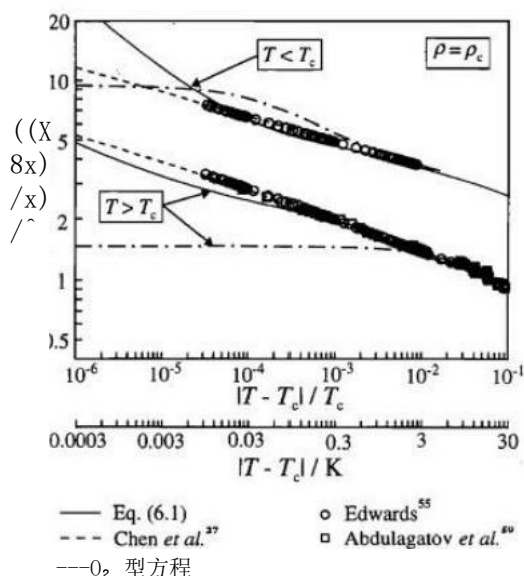


在临界区域的等温线上的等温热容量的 Fig. 13. Representation. 所绘制的曲线对应于从等式中计算出的值 (6.1), Chen 等人的交叉方程。” 和一个使用  $CH_4$  形式的回归方程 (见第 5.1 节)。

然而, 结合整个状态方程的所有项之和, 渐近期望的领先值  $b_1 = 0.945$  得到了不令人满意的结果。本节稍后将讨论这种差异

二氧化碳的最终状态方程, 在第二秒中详细介绍。6, 通过使用式 (5.4) 对应的非解析项来发展。优化状态方程结构的过程被限制在总共 42 项内最多 4 个非解析项。与四个以上的非分析项的初步相关性倾向于具有  $c$  依赖的不合理行为, 并在临界区域赢得密度; 此外, 当使用四个以上的复杂项时, 如果没有显著提高, 数值费用就会增加。预计秒。G 关于临界区域, 等式 (6.1) 我们将在本节中进行讨论, 以避免在本文后面重复对关键区域的热量性质表示的讨论

图 11 显示了  $c$  在临界等位线上的图; 对于状态的解析方程, 这个图已经在图 9 中显示出来了。然而, 在此图中, 实线对应于公式 (6.1)。与解析的  $CH_4$  型方程相比, 新的公式能够遵循  $c$  的强曲率, 在临界温度附近绘制, 并产生临界点上特定等脉络热容的无限值。因此, 评估



单相对数图 ( $T > T_c$ ) 和两相 ( $T < T_c$ ) 区域的实验等色热容量数据的 Fig. 14. Representation. 绘制的曲线对应于 eq 计算的临界等孔的数据。 (6.1), Chen 等人 27 的交叉方程和使用  $O_2$  形式的改装方程 (见第 5.1 节)。

平衡 (6.1) 在临界点处产生一个正在消失的声速。图 12 显示了声速的曲线, 绘制在两个等温线上作为密度的函数。在等温线  $T_c + 0.5 K$  下, 解析的  $CH_4$  型方程, Chen 等人 27 和等式的交叉方程 (6.1) 结果在非常

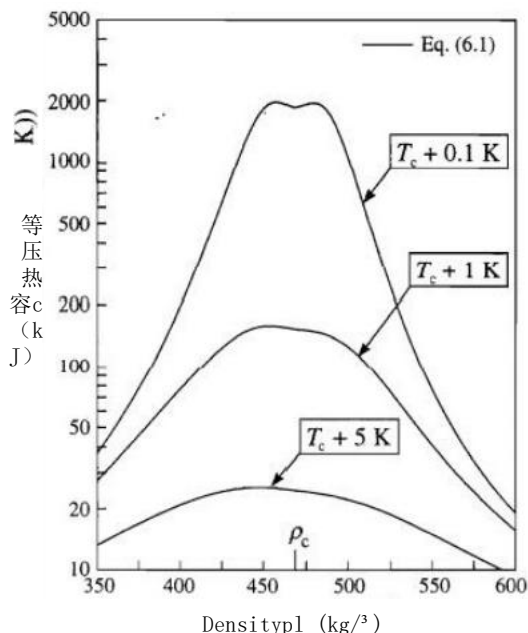


Fig. 15. For 温度在  $T$  和  $T_c$  之间,  $+1 K$  等式 (6.1) 结果是在临界密度附近的等压热容量的振荡图。

表27日。相关方程的系数，如。(6.2)和Eq。(6.3)，分别为c和 $\phi$ 。

$a^{\circ}$	0	i	$a^{\circ}$	69
8.37304456		5	0.62105248	6.11190
-3.70454304		6	0.411952.93	6.77708
2.50000000		7	1.04028922	11.32384
41.99427042	3.15163	8	0.08327678	27.08792

关于声速的相似值。然而，在接近临界温度时，交叉方程和非解析的宽范围方程，等式(6.1)，在声速上发展一个急剧的最小值，而由解析方程计算的声速在接近临界界时没有显著变化。在相同的密度范围内，图13显示了由同一组方程计算出的比等温热容的相应图

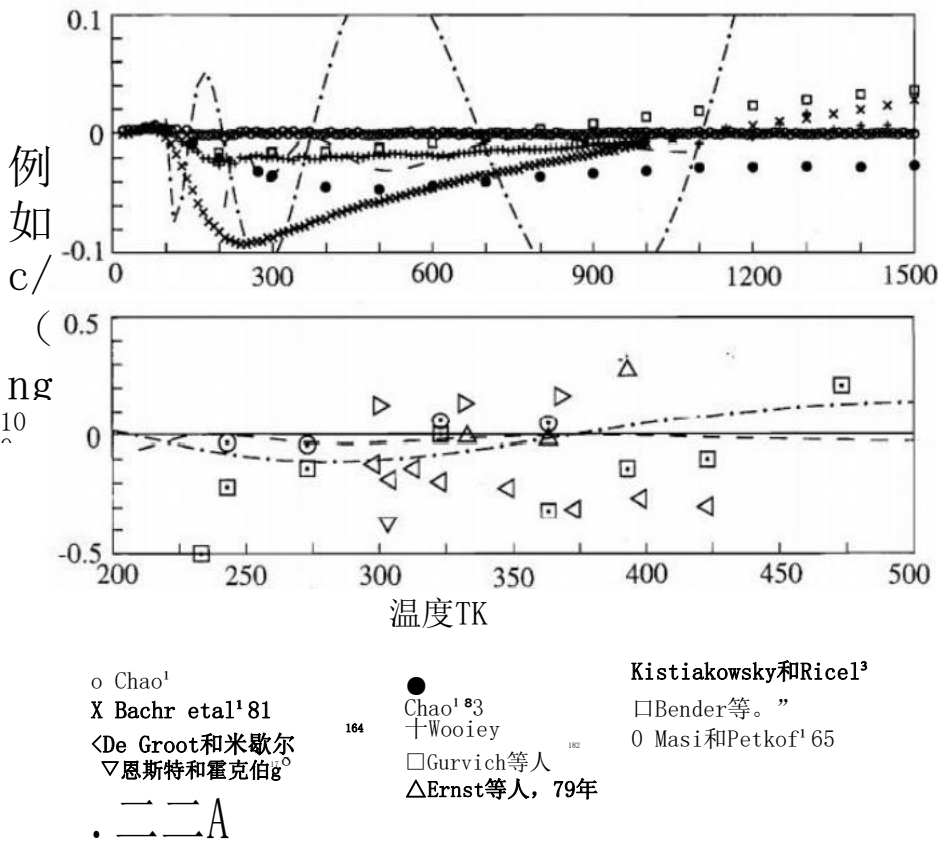
因此，等式(6.1)是第一个宽范围方程，它产生一个非解析行为的等温热容和声速的附近

这仍然是物理变量T和p的解释。在第二节中。7这将表明，这种非解析行为并不影响方程的质量，而不是对临界区域以外的其他性质的表示。

然而，如果需要对渐近幂律的精确满足，则包含非解析项的经验状态方程也会有一定的极限。等式中的非解析项(6.1)它们不能取代分析项在临界点周围的贡献，但它们填补了分析行为和非分析行为之间日益扩大的差距。因此，指数的有效值

b，比理论预期的要小，并导致一个渐近指数 $\alpha$ ，从渐近的角度来看太大[见等式](5.5)]。

图14显示了等式(6.1)表示c的测量和理论预测值，在 $|T-T_c|>0.2$  K区域的温度没有显著偏差， $0.2K \geq (T-T_c) \geq 0.3mK$ 和 $-0.2K \leq (T-T_c) \leq -10mK$ 两相区域的温度在 $\pm 10\%$ 内。绘制的c，过程对应于 $-(T>T_c)$ 和两相 $(T<T_c)$ 的临界等位线



e的Fig. 16. Relative偏差，从公式(6.2)计算值的数据。上面的图显示了从统计热力学中计算出来的数据(见表15，下面的图显示了从实验结果中推断出来的数据(见表13)。c值，由Angus et al<sup>3</sup> and Ely et al<sup>182</sup>的共响应方程计算，绘制比较。

二氧化碳状态方程1541

表28年。无量次海爾姆霍茲函数  $\phi^\circ$  的理想气体部分及其derivatives<sup>2</sup>

$\phi^\circ$	在 $\delta$	+ a	+a27	+a <sup>9</sup> ln (7)+	$\sum_{i=4}^8 a_i^9 \ln(1 - e^{-\theta_i^9 r})$
$\phi$	1	8	0 + 0	+ 0 +	0
$\phi$ 8=-1/8	/	+	+0	0 +	0
		+0		+	+
$\phi =$	0	+0	+	0 +	0 +
$\phi =$	0	+ 0	+a2	+ a9/r +	$\sum_{i=4}^8 a_i^9 \theta_i^9 [(1 - e^{-\theta_i^9 r})^{-1} - 1]$
$\phi =$	0	+0	+ 0	a <sup>9</sup> /r <sup>2</sup>	$\sum_{i=4}^8 a_i^9 (\theta_i^9)^2 e^{-\theta_i^9 r} (1 - e^{-\theta_i^9 r})^{-2}$

$\phi$  8=[o  $\phi$  %08],,  $\phi$  o8=[o<sup>2</sup>  $\phi$  108-],,  $\phi$  =[o  $\phi$  %8r]g,  $\phi$  8r=[o<sup>2</sup>  $\phi$  %ar<sup>2</sup> ]g, and  $\phi$  8=[o<sup>2</sup>  $\phi$  1080r].

地区然而，在约+0.1mK（在图14所示的温度范围之外）和-10mK附近的区域内，等式（6.1）产生特定的等脉络热容，显著大于交叉状态方程预测的值

图15显示了一个与接近临界点的导数（oplop）r的小振荡有关的问题。由于这个导数的数值在接近临界点时很小，即使是这个导数中很小的振荡也会导致其倒数值的显著振荡，如等压热容[见等式]（5.1）或等温可压缩性。这些特性的衍生物[例如，（3c，/ap）<sub>r</sub> ]不应在440kg/m<sup>3</sup> ≤p≤500kg/m<sup>3</sup> and（T-T<sub>c</sub>）≤2K范围内使用。在衍生物中也观察到os冷却（dc，107）。适用于约420kg/m<sup>3</sup> ≤p≤550kg/m<sup>3</sup> and（T-T<sub>c</sub>）≤15K。

Eq的质量。（6.1）对于任何需要临界区域热力学性质数值的应用，都应该是足够的。然而，方程（6.1）不适用于研究热力学性质的渐近性态，上述导数不应在所指示的区域中使用。

6. 新的状态方程式

如在第2.1节中所讨论的，二氧化碳的新状态方程是一个以亥姆霍兹能量为的形式表示的基本方程

$$A(p, T) / (RT) = \phi(\delta, r) = \phi(8, 7) + \phi(\delta, 7), \quad (6.1)$$

Wagner等人230对“热”指数β.y.和8的实验解析。根据临界点附近的测量表明，与重整化群理论预测的相关值有明显的差异。这些令人惊讶的结果可能是由于所谓的重力的显式影响（重力的隐性影响，例如。在评价实验ppT数据时，考虑了基于密度分层的平均误差）。因此，我们认为在纯燃料的气液临界点上的渐近行为尚未最终澄清。

其中， $\delta = p/p_c$ 和 $r = T_c/T$ 与 $p_c = 467.6 \text{ kg/m}^3$  and  $T_c = 304.1282 \text{ K}$ 描述亥姆霍兹能量的理想气体部分的公式，等式（6.3），以及亥姆霍兹能量的剩余部分，等式（6.5），将在本节中进行介绍

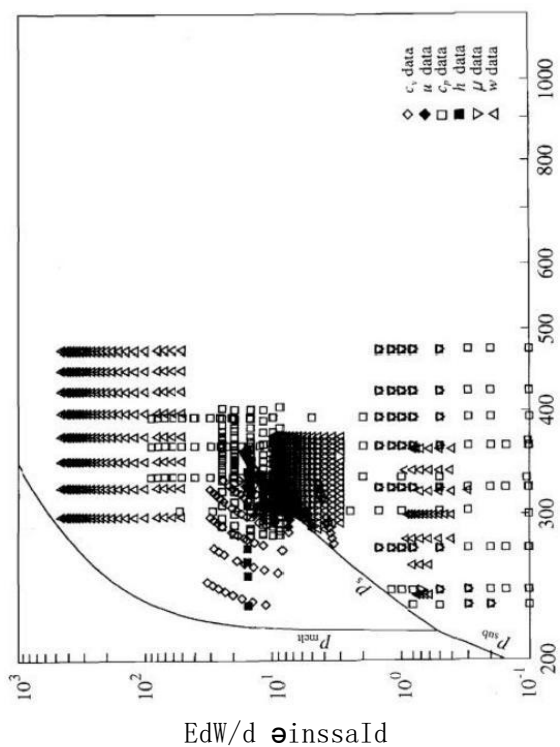
6.1亥姆霍兹能量的理想气体部分

根据《等式》（2.4），如果函数c(T)已知，则很容易得到亥姆霍兹能量的理想气体部分。利用Chao'84的150c°数据作为输入值，通过非线性拟合程序建立了c°(T)的相关方程(cf. Sec. 4.2.2)。根据系数见表27，得到的方程

表29年。用于线性优化方法和非直线车拟合的选定数据的汇总

财产	数据集的细节是给出	数据数量	
		线性的最优化	非线性拟合
p (T, p)	表12	2824	2824
c (T, p)	表14	553	553
c (T, p)	表17	359#	359
c' (7)	表24	73 “	73
w (T, p)	表19	422*	422
w' (T)	表24	230	23
w'' (T)	表24	18a	18
Δh (T, p)	第4.5节	10#	10
Δu (T, p)	第4.6节	150	150
μ (T, p)	第4.7节		34
p (T, p')		205h	
p (T, p'')		205	
Maxw.-crit.		205b	
p (T)	表7		109
p' (T)	表8		50
p'' (T)	表9		42
总数	的数据点	s5047	4667

“在优化过程中使用的线性化数据：见塞茨曼和Wagner30当使用辅助方程计算的数据时，麦克斯韦准则的解解。（3.13）到（3.15）；参见Wagner.<sup>2</sup>



D 是用于建立新基础生态离子的剩余部分，Ba (6 s)

J. 物理学。化学裁判员数据，第



$$\frac{c_p^0(T)}{R} = 1 + a_3^0 + \sum_{i=4}^8 a_i^0 (\theta_i^0 \tau)^2 \frac{\exp(\theta_i^0 \tau)}{[\exp(\theta_i^0 \tau) - 1]^2} \quad (6.2)$$

表示Chao的数据，偏差小于±0.005%

对于10K≤T<210K和小于±0.002%

210K≤T≤1500K。这意味着等式的不确定性

(6.2)几乎和数据类型相等

据Chao估计，这小于±0.02%。的外推法

平衡(6.2)产生的结果是可靠的±1%

T≤4000K和4000K<T≤5000K的±0.2%。图16

显示从cor-计算出的值之间的偏差 $c_p^0$ 由Angus et al<sup>3</sup> and, Ely等人给出的关系，I<sup>5</sup>data

通过理论方法和外推法得到的

实验结果，瓦尔恩斯由Fq计算。(6.2)。

它对应于零线

$\Phi(8, T)$ 的表达式，来源于等式(6.2)通过集成，是

$$\Phi(8, r) = \ln(\delta) + a_9 + a_{10} r + a_3 \ln(r) + \sum_{i=4}^8 a_i^0 \ln[1 - \exp(-\tau \theta_i^0)] \quad (6.3)$$

系数 $a^0$ 和 $\theta$ 见表27。这个系数 $a_i^0$ 我们重新调整了 $T_0 = 298.15K$ 的理想气体焓和 $T_0 = 298.15K$ 和 $p_0 = 0.101325 MPa$ 的理想气体熵为零。表28明确给出了计算热力学性质所需的理想气体部分 $\Phi^0$ 的所有导数。

## 6.2亥姆霍兹能量的剩余部分

利用该方法，建立了亥姆霍兹能量剩余部分的公式

$$\begin{aligned} \phi^r = & \sum_{i=1}^4 \sum_{j=0}^{20} n_{i,j} \delta^i \tau^{j/4} + \sum_{i=1}^6 \sum_{j=0}^{10} n_{i,j} \delta^i \tau^{j/2} e^{-\delta} + \sum_{i=1}^8 \sum_{j=0}^8 n_{i,j} \delta^i \tau^j e^{-\delta^2} + \sum_{i=1}^8 \sum_{j=0}^{16} n_{i,j} \delta^i \tau^j e^{-\delta^3} + \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=0}^{12} n_{i,j} \delta^i \tau^{2j} e^{-\delta^4} \\ & + \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=5}^{16} n_{i,j} \delta^i \tau^{2j} e^{-\delta^5} + \sum_{i=8}^{15} \sum_{j=5}^{16} n_{i,j} \delta^i \tau^{2j} e^{-\delta^6} + \sum_{i=1}^{48} n_i \delta^i \tau^i e^{-\alpha_i(\delta - \epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau - \gamma_i)^2} \\ & + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^3 \sum_{m=1}^3 n_{i,j,k,l,m} \Delta b_j \delta e^{-C_l(\delta - 1)^2 - D_m(\tau - 1)^2} \end{aligned} \quad (6.4)$$

使用 $\Delta = \{ (1-r) + A[(\delta-1)^2]12B\}^2 + B[(\delta-1)^2]\%$

表30年。银行项中非解析项的参数

j, k, l, m	a,	b;	B	C	医 学 博 士	A°	β <sup>2</sup>
2	3.0	0.87	0.3	10.0	225.	0.700	0.300
	0	5	0	0	0		
	3.5	0.92	1.0	12.5	250.		
	0	5	0	0	0		
	4.0			15.0	275.		
	0			0	0		

在临界区域的饱和液体和蒸汽密度。

在第2.3节中所讨论的内容。在Sec.4. Table 29中给出了构成二氧化碳新状态序列的实验基础的选定数据，并给出了所用数据的简要总结，并参考了相应的表格，其中给出了详细的信息。图17显示了所使用的实验数据的分布情况。此外，已经从辅助方程和初步状态方程计算了数据，以保证在现有测量产生的信息不足的区域的行为。详细地说，这些是第三个维里系数的13个值，这已经是

根据辅助方程计算（见第4.8节），23个比等温热容的值

已根据Chen等人<sup>27</sup>的交叉方程计算，以保证c对临界区域密度的依赖性

27个Tp点描述了焦耳曲线的发展过程

这是由图形外推法确定的（见Sec.7.3.2），

和70 ppT数据，这是计算从一个前

阈值状态方程与一个异常好的外推法有关（见Sec.7.3.1）。

所有这些“人工”数据既没有在表29中考虑，也没有在Fig. 17. The中考考虑液体区域内和500 K以上温度下缺乏热量数据的后果，在秒中讨论.7.2.2.

用于优化最终状态方程（见Sec.2.3.2）的项库总共包含了一个项

860条款。只要参数范围是由这种一般形式预先确定的，这些范围已经在广泛的测试中建立起来。本银行的条款可以写成

最初由塞茨曼和Wagner<sup>30</sup>引入的修正高斯项的参数对二氧化碳略有变化；其中48个表达式被用于涵盖以下参数范围的术语库：

$1 \leq d_1 \leq 3, 0 \leq t_1 \leq 3, 15 \leq a_1 \leq 25, 275 \leq \beta_1 \leq 325$ ，和

$1.16 \leq y_1 \leq 1.25$ 与 $e_1 = 1$ 。等式中108个非解析项参数的用数值(6.1)如表30所示。bj、C<sub>1</sub>和D<sub>m</sub>的值来自于初步公式的非线性拟合



1544年，斯普恩和瓦格纳

表31年。系数和指数指数。(6.5)

n;		d,	t					
2	0.38856823203161×10°		0.00					
	0.29385475942740×10		0.75					
3	-0.558.67188534934×10		1.00					
4	-0.76753199592477×10°		2.00					
3	0.31729005380416×100	2	0.73					
6	0.548.033158977.67×10°	2	2.00					
7	0.12279411220335×10	3	0.75					
° n;		d;	C					
8	0.216589615432.20×10		1.50					
9	0.15841735109724×10'	2	1.50					
10	-0.23132705405503×10°	4	2.50					
11	0.58116916431436×10-1		0.00					
12	-0.55369137205382×10°		1.50					
13	0.489466159.09422×10°	5	2.00					
14	-0.242757398435.01×10-	6	0.00					
15	0.62494790501678×10-	6	1.00					
16	-0.12175860225246×10°	b	2.00					
17	-0.37055685270086×10°		3.00					
18	-0.16775879700426×10-		6.00					
19	-0.11960736637987×10°		3.00					
20	-0.456193.62508778×10-1		6.00					
21	0.35612789270346×10-1	4	8.00					
22	-0.74427727132052×10-2		6.00					
23	-0.17395704902432×10-	8	0.0					
24	2 -	1	0					
25	0.21810121289527×10-		7.00					
	0.24332166559236×10-1		12.0					
			0					
26	-0.37440133423463×10-	3	16.00	3				
27	0.14338715756878×100	5	22.00	4				
28	-0.134.91969083286×10°	5	24.00	4				
29	-0.23151225053480X10-	6	16.00	4				
30	0.12363125492901×10-	7	24.00	4				
31	0.21058321972940×10-2	8	8.00	4				
32	-0.33958519026368×10-3	10	2.00	4				
33	0.55993651771592×10-2	4	28.00	5				
34	-0.30335118055646×10-1	8	14.0					
n		d	0 t <sub>1</sub>	a	β	γ	6	
35	-0.21365488688320×10	2	1.00	25	325	1.16	1.00	
36	0.26641569149272×10 <sup>2</sup>	2	0.00	25	300	1.19	1.00	
37	-0.24027212204557×10 <sup>3</sup>	2	1.00	25	300	1.19	1.00	
38	-0.283.416.03423999×10	3	3.00	15	275	1.25	1.00	
39	0.212.47284400179×10	3	3.00	20	275	1.22	1.00	
n		a	b <sub>1</sub>	β <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B	C	0,
40	-0.66642276540751×10	3.500	0.875	0.300	0.700	0.3	10.0	275
41	0.72608632349897×109	3.500	0.925	0.300	0.700	0.3	10.0	275
42	0.55068668612842×10-1	3.000	0.875	0.300	0.700	1.0	12.5	275

R=0.1889241kJ/(kg K);T<sub>2</sub> =304.1282K;p<sub>e</sub> =467.6kg/m<sup>3</sup>

采用改进后的优化方法（见Sec.2.3.2）  
以确定产生最佳结果的术语的组合（6.5）  
对线性化的数据集的表示。对发电机剩余部分的  
计算公式

$$\begin{aligned} \phi^t = & \sum_{i=1}^7 n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} + \sum_{i=8}^{34} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\delta^{t_i}} \\ & + \sum_{i=35}^{39} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-a_i(\delta - \epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau - \gamma_i)^2} \end{aligned}$$

$$+ \sum_{i=40}^{42} n_i \Delta^{b_i} \delta e^{-C_i(\delta - 1)^2 - D_i(\tau - 1)^2}$$

$$\text{with } \Delta = \{(1 - \tau) + A_i [(\delta - 1)^2]^{1/(2\beta_i)}\}^2 + B_i [(\delta - 1)^2]^{a_i}.$$

经过这个线性优化过程后，等式的系数n的最终值（6.5）通过对线性和非线性数据进行直接非线性拟合来确定。这些值在表3I中给出了，以及从优化过程中产生的参数。没有进一步的改进

J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年

表32年。无量纲赫姆霍尔兹能  $\Phi$  的剩余部分及其导数

$\phi^i = \sum_{i=1}^7 n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} + \sum_{i=8}^{34} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\delta^{t_i}} + \sum_{i=35}^{39} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\alpha_i(\delta - \epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau - \gamma_i)^2} + \sum_{i=40}^{42} n_i \Delta^{b_i} \delta \Psi \quad \text{with } \Delta = \theta^2 + B_i [(\delta - 1)^2]^{a_i}$	
$0 = (1-r) + AL \quad (8-1)^2 \quad 2p) \quad \Delta = e - C \quad (4-1)^2 - D, (r-1)$	
$\begin{aligned} \phi_\delta^i &= \sum_{i=1}^7 n_i d_i \delta^{d_i-1} \tau^{t_i} + \sum_{i=8}^{34} n_i e^{-\delta^{t_i}} [\delta^{d_i-1} \tau^{t_i} (d_i - c_i \delta^{c_i})] + \sum_{i=35}^{39} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\alpha_i(\delta - \epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau - \gamma_i)^2} \left[ \frac{d_i}{\delta} - 2\alpha_i(\delta - \epsilon_i) \right] + \sum_{i=40}^{42} n_i \left[ \Delta^{b_i} \left( \Psi + \delta \frac{\partial \Psi}{\partial \delta} \right) + \frac{\partial \Delta^{b_i}}{\partial \delta} \delta \Psi \right] \\ \phi_{\delta\delta}^i &= \sum_{i=1}^7 n_i d_i (d_i - 1) \delta^{d_i-2} \tau^{t_i} + \sum_{i=8}^{34} n_i e^{-\delta^{t_i}} [\delta^{d_i-2} \tau^{t_i} ((d_i - c_i \delta^{c_i})(d_i - 1 - c_i \delta^{c_i}) - c_i^2 \delta^{c_i})] + \sum_{i=35}^{39} n_i \tau^{t_i} e^{-\alpha_i(\delta - \epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau - \gamma_i)^2} \\ &\quad \cdot [-2\alpha_i \delta^{d_i} + 4\alpha_i^2 \delta^{d_i} (\delta - \epsilon_i)^2 - 4d_i \alpha_i \delta^{d_i-1} (\delta - \epsilon_i) + d_i (d_i - 1) \delta^{d_i-2}] + \sum_{i=40}^{42} n_i \left[ \Delta^{b_i} \left( 2 \frac{\partial \Psi}{\partial \delta} + \delta \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \delta^2} \right) + 2 \frac{\partial \Delta^{b_i}}{\partial \delta} \left( \Psi + \delta \frac{\partial \Psi}{\partial \delta} \right) + \frac{\partial^2 \Delta^{b_i}}{\partial \delta^2} \delta \Psi \right] \\ \phi_\tau^i &= \sum_{i=1}^7 n_i t_i \delta^{d_i} \tau^{t_i-1} + \sum_{i=8}^{34} n_i t_i \delta^{d_i} \tau^{t_i-1} e^{-\delta^{t_i}} + \sum_{i=35}^{39} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\alpha_i(\delta - \epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau - \gamma_i)^2} \left[ \frac{t_i}{\tau} - 2\beta_i(\tau - \gamma_i) \right] + \sum_{i=40}^{42} n_i \delta \left[ \frac{\partial \Delta^{b_i}}{\partial \tau} \Psi + \Delta^{b_i} \frac{\partial \Psi}{\partial \tau} \right] \\ \phi_{\tau\tau}^i &= \sum_{i=1}^7 n_i t_i (t_i - 1) \delta^{d_i} \tau^{t_i-2} + \sum_{i=8}^{34} n_i t_i (t_i - 1) \delta^{d_i} \tau^{t_i-2} e^{-\delta^{t_i}} + \sum_{i=35}^{39} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\alpha_i(\delta - \epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau - \gamma_i)^2} \left[ \left( \frac{t_i}{\tau} - 2\beta_i(\tau - \gamma_i) \right)^2 - \frac{t_i}{\tau^2} - 2\beta_i \right] \\ &\quad + \sum_{i=40}^{42} n_i \delta \left[ \frac{\partial^2 \Delta^{b_i}}{\partial \tau^2} \Psi + 2 \frac{\partial \Delta^{b_i}}{\partial \tau} \frac{\partial \Psi}{\partial \tau} + \Delta^{b_i} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \tau^2} \right] \\ \phi_{\delta\tau}^i &= \sum_{i=1}^7 n_i d_i t_i \delta^{d_i-1} \tau^{t_i-1} + \sum_{i=8}^{34} n_i e^{-\delta^{t_i}} \delta^{d_i-1} t_i \tau^{t_i-1} (d_i - c_i \delta^{c_i}) + \sum_{i=35}^{39} n_i \delta^{d_i} \tau^{t_i} e^{-\alpha_i(\delta - \epsilon_i)^2 - \beta_i(\tau - \gamma_i)^2} \left[ \frac{d_i}{\delta} - 2\alpha_i(\delta - \epsilon_i) \right] \left[ \frac{t_i}{\tau} - 2\beta_i(\tau - \gamma_i) \right] \\ &\quad + \sum_{i=40}^{42} n_i \left[ \Delta^{b_i} \left( \frac{\partial \Psi}{\partial \tau} + \delta \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \delta \partial \tau} \right) + \delta \frac{\partial \Delta^{b_i}}{\partial \delta} \frac{\partial \Psi}{\partial \tau} + \frac{\partial \Delta^{b_i}}{\partial \tau} \left( \Psi + \delta \frac{\partial \Psi}{\partial \delta} \right) + \frac{\partial^2 \Delta^{b_i}}{\partial \delta \partial \tau} \delta \Psi \right] \end{aligned}$	

距离函数 $\Delta$ 的衍生物

$$\frac{\partial \Delta^{b_i}}{\partial \delta} = b_i \Delta^{b_i-1} \frac{\partial \Delta}{\partial \delta}$$

$$\frac{\partial^2 \Delta^{b_i}}{\partial \delta^2} = b_i \left[ \Delta^{b_i-1} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial \delta^2} + (b_i - 1) \Delta^{b_i-2} \left( \frac{\partial \Delta}{\partial \delta} \right)^2 \right] \quad \text{指数函数 } \Psi \text{ 的导数}$$

$$\frac{\partial \Delta^{b_i}}{\partial \tau} = -2\theta b_i \Delta^{b_i-1}$$

$$\frac{\partial^2 \Delta^{b_i}}{\partial \tau^2} = 2b_i \Delta^{b_i-1} + 4\theta^2 b_i (b_i - 1) \Delta^{b_i-2}$$

$$\frac{\partial^2 \Delta^{b_i}}{\partial \delta \partial \tau} = -A_i b_i \frac{2}{\beta_i} \Delta^{b_i-1} (\delta - 1) [(\delta - 1)^2]^{1/2 \beta_i - 1} - 2\theta b_i (b_i - 1) \Delta^{b_i-2} \frac{\partial \Delta}{\partial \delta}$$

$$\frac{\partial \Delta}{\partial \delta} = (\delta - 1) \left\{ A_i \theta \frac{2}{\beta_i} [(\delta - 1)^2]^{1/2 \beta_i - 1} + 2B_i a_i [(\delta - 1)^2]^{a_i - 1} \right\}$$

$$\frac{\partial^2 \Delta}{\partial \delta^2} = \frac{1}{(\delta - 1)} \frac{\partial \Delta}{\partial \delta} + (\delta - 1)^2 \left\{ 4B_i a_i (a_i - 1) [(\delta - 1)^2]^{a_i - 2} + 2A_i^2 \left( \frac{1}{\beta_i} \right)^2 [(\delta - 1)^2]^{1/2 \beta_i - 1} + A_i \theta \frac{4}{\beta_i} \left( \frac{1}{2\beta_i} - 1 \right) [(\delta - 1)^2]^{1/2 \beta_i - 1} \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Psi}{\partial \delta} &= -2C_i (\delta - 1) \Psi \\ \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \delta^2} &= -2D_i (\tau - 1) \Psi \\ \frac{\partial \Psi}{\partial \tau} &= [2D_i (\tau - 1)^2 - 1] \gamma D_i \Psi \\ \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \delta \partial \tau} &= 4C_i D_i (\delta - 1) (\tau - 1) \Psi \end{aligned}$$

$$-(2C_1)^2 \frac{1}{\delta} \frac{\partial \Psi}{\partial \delta} + 2C_1 \frac{\partial \Psi}{\partial \delta}$$

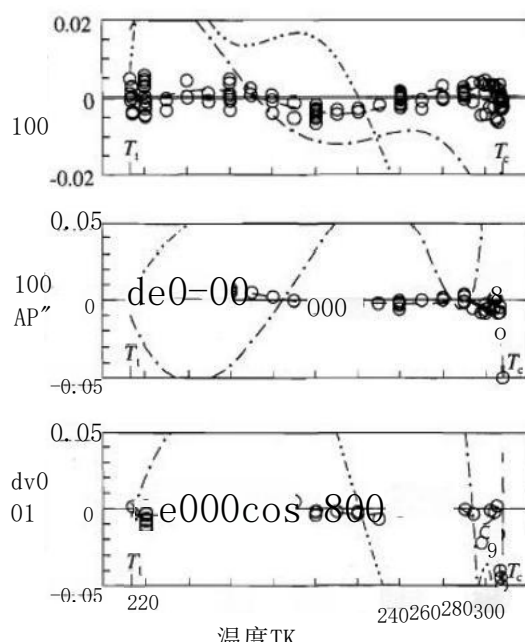
$$^3 \phi_\delta^i = \left( \frac{\partial \phi^i}{\partial \delta} \right)_{\tau}, \quad \phi_{\delta\delta}^i = \left( \frac{\partial^2 \phi^i}{\partial \delta^2} \right)_{\tau}, \quad \phi_\tau^i = \left( \frac{\partial \phi^i}{\partial \tau} \right)_{\delta}, \quad \phi_{\tau\tau}^i = \left( \frac{\partial^2 \phi^i}{\partial \tau^2} \right)_{\delta} \quad \text{and} \quad \phi_{\delta\tau}^i = \left( \frac{\partial^2 \phi^i}{\partial \delta \partial \tau} \right)_{\delta}$$

通过参考 $b_1$ 、 $C$ 和 $D$ 的解析项来实现相互关系。

$$216\text{K} \leq T \leq 1100\text{K} \text{ 和 } 0\text{MPa} \leq p \leq 800\text{MPa}$$

二氧化碳等式的新基本方程(6.1)，结合根据方程式得出的公式。(6.3)和(6.5)，被限制在第3.2节中给出的关键参数的范围内。它适用于可靠数据所覆盖的整个流体区域，即为

对等式的不确定性的估计(6.1)在第8节中给出；新状态序列的质量在第7节中讨论。 $F_q$ (65)的必要导数在表32中给出了导数。



哦，达什克等等。

—Aux. eqs. (见秒. 3)

—•—Ely等人。<sup>5</sup>

—Angus等人。<sup>3</sup>, aux. eqs

Dushek等有效饱和数据=100的Fig. 18. Relative偏差100 ( $\Delta$ ,  $\Delta$ )。<sup>58</sup>from值来自Eq (6.1)。由辅助方程式计算出的值。3、Elyetal.<sup>5</sup>and的状态方程，绘制Angusetal.<sup>3</sup>are的辅助方程进行比较。

## 7. 的新方程的比较

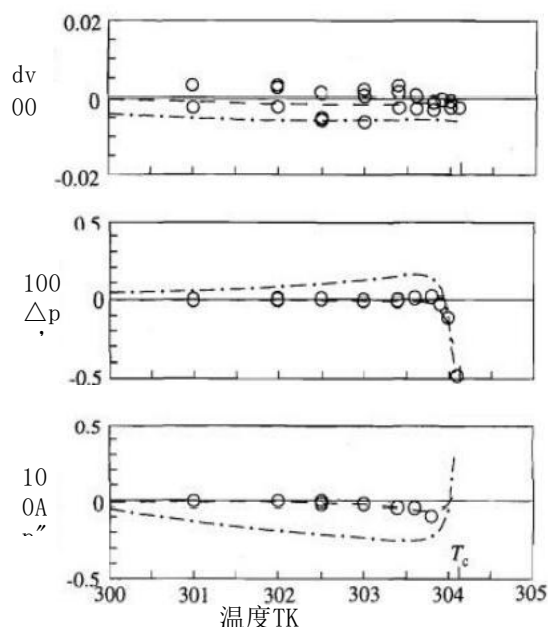
### 状态与实验数据和其他状态方程

在本节中，通过与选定的实验数据的比较，讨论了新的状态方程的质量。此外，大多数数据还显示了根据Angus等人发表的、<sup>3</sup>which是一种被公认的二氧化碳国际标准的状态方程计算出的值。<sup>16</sup>which被证明是二氧化碳的可用状态方程中最好的。

对于扩展的临界区域，应与完全的iupac方程（Angusetal.<sup>3</sup>）进行比较，该方程包括一个解析的宽范围方程、一个开关函数和一个描述临界区域的比例方程（见第1.2节）。由于组合方程的评价引起数值问题，我们决定使用皮泽和Schreiber<sup>16</sup>for com-的方程

IUPAC表中公布的数据根据IPTS-68温度尺度使用温度，但关于方程，所使用的温度尺度似乎有些不一致。在内部区域，已发表的等氯热容数据部分以图形方式确定。因为对组合方程的评价产生了不合理的结果。

J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年



哦，达什克。

—Aux. eqs. (见秒. 3)

—。陈等人。”

Fig. 19. 由式 (6.1) 计算出的Dushekaral.<sup>58</sup>fromvalues的近临界实验饱和数据的相对偏差100 ( $\Delta$ ,  $\Delta$ )。<sup>58</sup>from值来自Eq (6.1)。由辅助方程式计算出的值。3和从Chen等人的交叉图中，<sup>7</sup>are绘制了比较图

在扩展的临界区域中的参数。这个公式得到的结果与IUPAC方程非常相似，但数值费用明显更少。所有的数据呈现数据在这个地区还包含值计算的交叉方程陈et al. 27是最复杂的比例序列的状态公布的二氧化碳的表示特定等温热能力和声音的速度在关键地区详细讨论。<sup>5</sup>

现有的二氧化碳状态方程在ITS-90温度尺度上都不是有效的。因此，在从这些方程计算值之前，使用Preston-Thomas等人的程序将温度重新转换为IPTS-68尺度，37的IPTS-68尺度

## 7. 1液体蒸气边界

### 共存曲线上的7. 1. 1热性质

如第二秒所示。3、对液汽边界热性质的讨论仅限于Dushek等人的数据58这些数据与等式计算的值之间的偏差 (6.1) 利用相平衡条件 [见等式] (2.2) ]在Fig. 18. The中，偏差图中的附加线对应于辅助方程计算的值

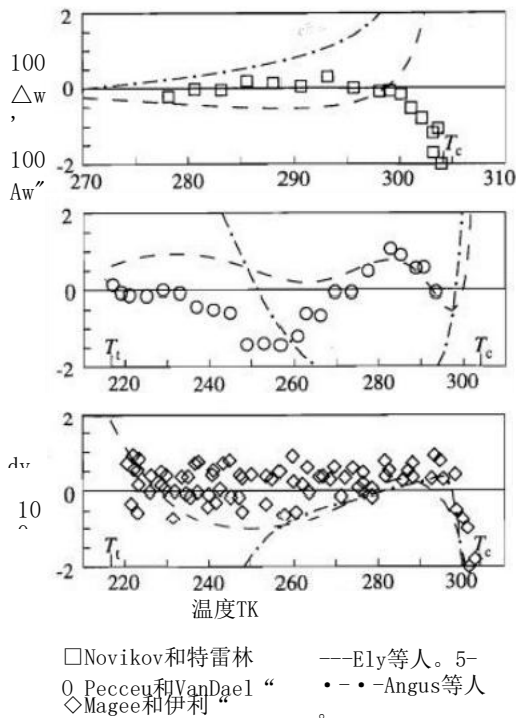


FIG. 20. Relative偏差 $100\Delta y=100(y_{\text{exp}}-y_{\text{ae}})/\Delta y$ , 饱和实验热量数据由公式计算的值(6.1)。根据Ely等人<sup>5</sup>和Angus等人<sup>3</sup>的广泛方程计算的数据绘制了比较。

迄今为止已知的方程至少不能在其不确定性范围内粗略地再现数据(不确定性值由表7-9给出)。

图19显示了在使用较大偏差尺度的临界区域的饱和特性的表示。当接近临界温度时,蒸汽压数据的良好表示实际上不受影响,而密度偏差仅略有增加。除了为饱和液体密度测量的最后一点。Duschek等人,<sup>58</sup>do没有对这一点的不确定性给出任何估计。

在饱和液体密度中的0.48%的温度偏差可以被认为是在实验的不确定度范围内

7.1.2的热量报告

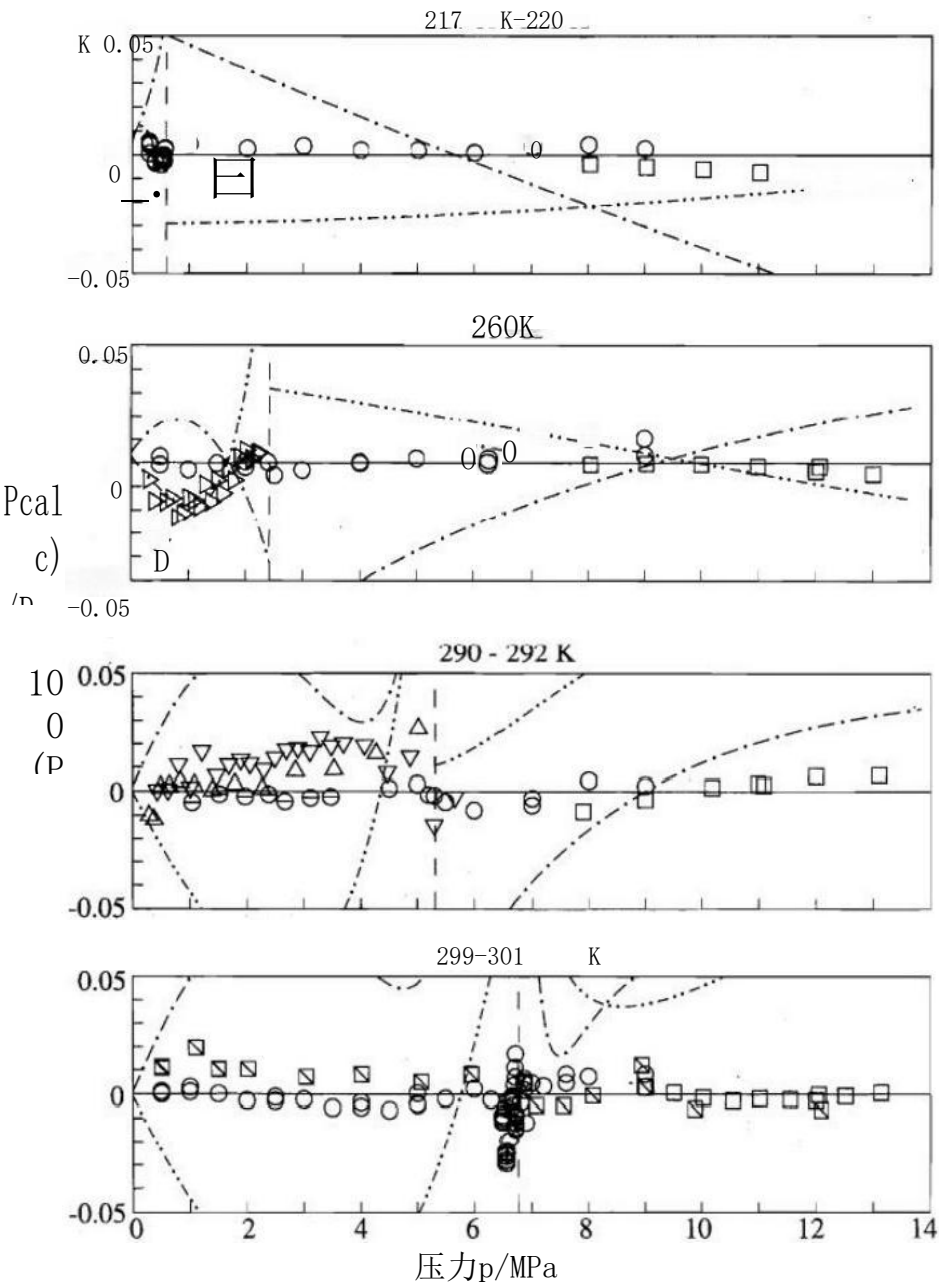
图20显示了第I组数据的表示,提供了关于相边界上的热量行为的信息。由Novikov和Trelin<sup>13</sup>are测量的饱和蒸汽态的声速数据再现了 $T>301\text{ K}$ 的within $\pm 0.5\%$ for  $T<301\text{ K}$ 和 $\pm 3\%$ 。

当接近临界点时,这一结果强调了等式对临界区域的一致描述(6.1)。

7.2单相区域

7.2.1在单相区的热特性

对于二氧化碳,地区ppT数据在参考质量可扩展13 MPa的温度高达360 K。在这个地区,数据集的al.58.154Gilgen等,159诺瓦克等,160和郭等<sup>157</sup>describe ppT表面的不确定性约 $\pm 0.02$ 密度和扩展0.02%



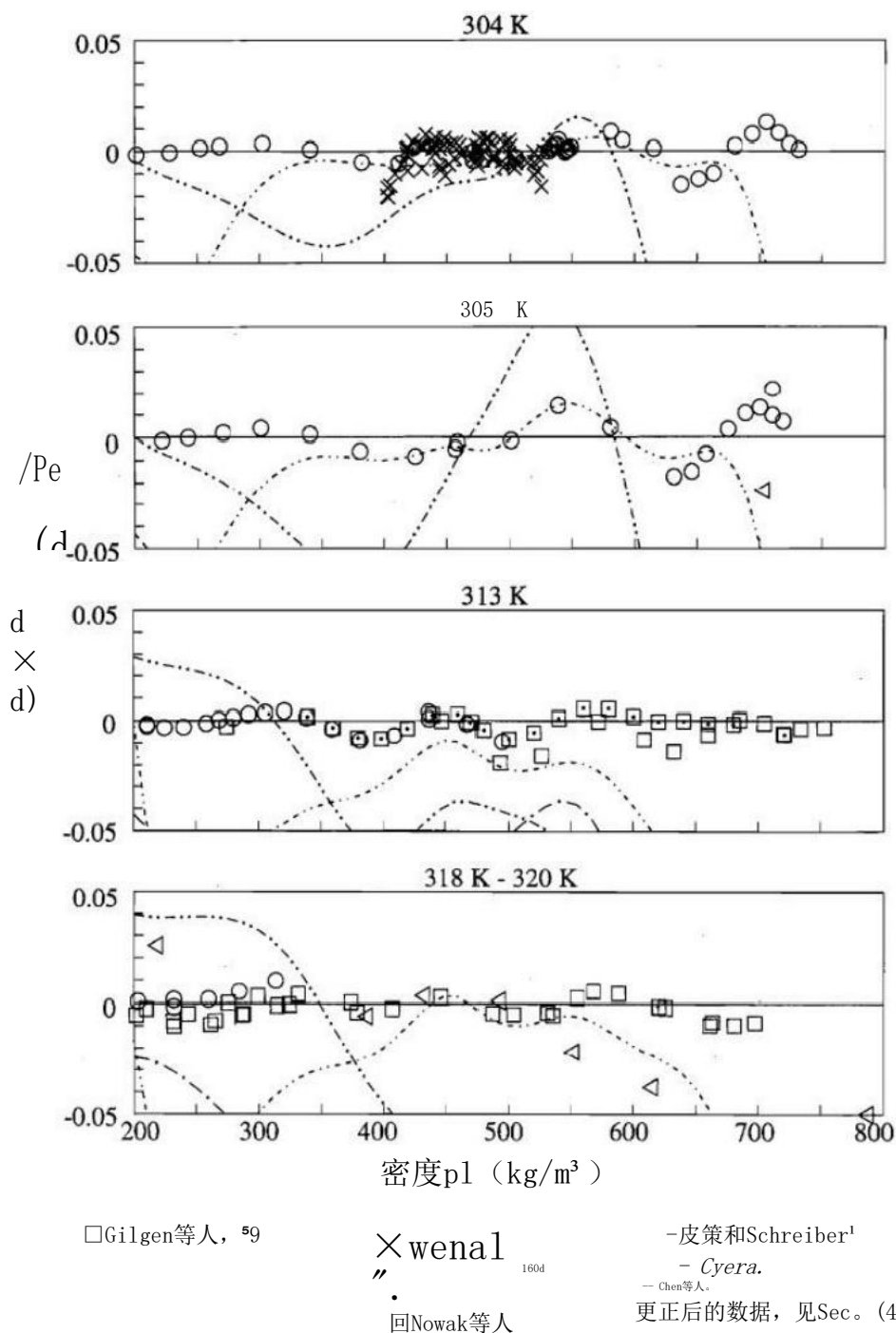
○ Duschek等。<sup>15</sup>  
○ 80. Guo等人，  
157  
□ 吉尔根etal<sup>59</sup>  
▽ D. Jaeschke等人。<sup>15</sup> (refr. i  
ndex)  
△△等在。<sup>55</sup> (Burnet)  
□□  
—Phasc边界—  
—Angus等人。  
—.....Ely等人<sup>1</sup>

根据Eg, (6.1) 计算出的硫糖温度流值下的真实准确的ppT数据的Fig. 21. Relative密度偏差。根据<sup>5</sup>and Angus等人<sup>3</sup>are的Ely er方程计算的值绘制了比较。

±区域的压力为0.02%。在一个压力达到30 MPa和温度达到523K的扩展区域内，Brachthäuser<sup>160</sup>和Klimeck等人<sup>160b</sup>的数据描述了ppT表面的不确定度为±0.02%到

±密度为0.05%。现有的状态方程都无法访问这些数据，因为这些数据自1990年开始公布。方程(6.1)能够在它们的实验不确定性范围内重现这些数据

# 二氧化碳的新状态方程1549

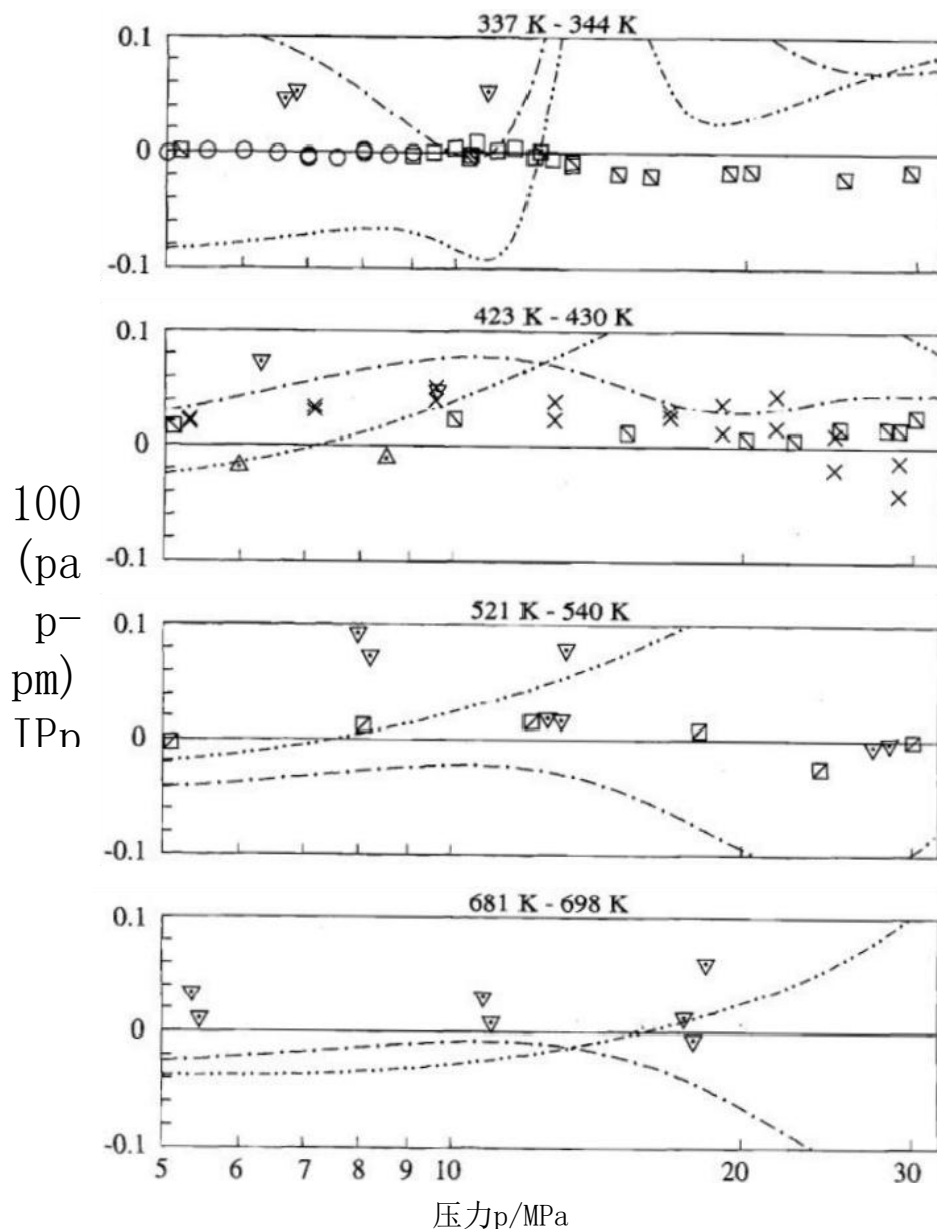


扩展临界区域中非常精确的pT数据与公式(6.1)计算值的Fig. 22. Relative压力偏差。由Ely et al<sup>5</sup> and Pitzer和Schreiber<sup>6</sup> and from的宽度方程计算, Chen等人的交叉方程。are plotted for比较

不确定度的计量值见表12)。图21到23显示了典型等温线上的一些参考数据的表示, 以说明这一陈述

图21还包含了Jaeschke<sup>150, 155</sup>的数据, 这也给出了pT表面的高质量描述

在气体和超临界区域。Ely等人的方程式。I<sup>5</sup> yields是低温下气体区域的合适描述, 但在250 K以上存在问题。Angus等<sup>3</sup> is的方程无法重现气体区域的最新数据。在



海塞塔尔  
□ Gilgen等<sup>15</sup>  
○ Duschek等, 154

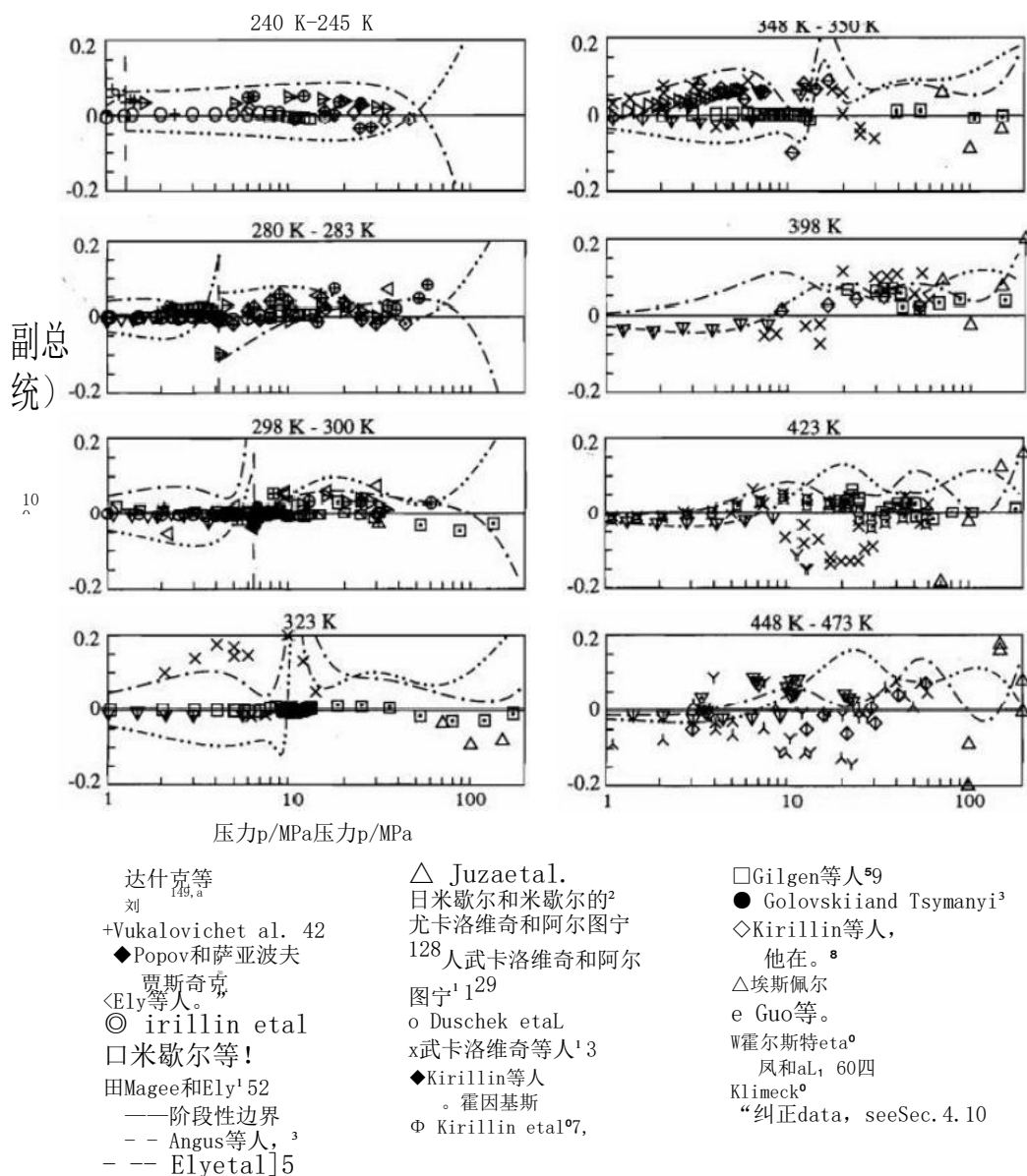
凤等60  
SKlimeck<sup>160b</sup>  
布拉查图  
斯

——阿格斯<sup>aa</sup>

从式 (6.1) 计算出的非常精确的ppT数据的Fig. 23. Relative密度偏差。根据Ely等人<sup>8</sup>和Angus等<sup>al</sup>的宽范围方程计算的数值进行比较。

液体区域，现有的状态方程都不能代表Duschek等154和Gilgen等<sup>159</sup>的参考数据，至少大致在他们的实验不确定度范围内

扩展关键区域的高质量ppT数据由58、154和Gilgen等人的Fig. 22. The数据由Wentor<sup>8</sup>的选定数据和Ely等人的数据补充，<sup>7</sup>which与一致



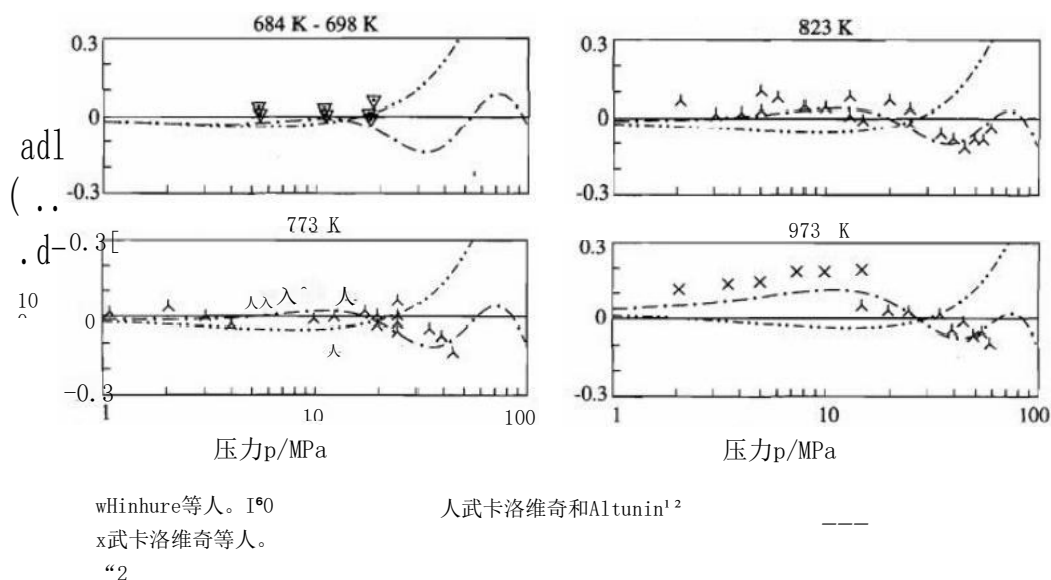
选定的ppT数据与例(6.1)计算值的Fio. 24. Relative density偏差。根据Ely et al.<sup>5</sup> and Angus和Lil.<sup>3</sup>绘制的宽范围计算出的值。

参考数据由±0.03%的压力。即使在这个地区，等式(6.1)表示在其实验不确定度范围内的参考数据。数据与Ely等人<sup>5</sup> increase的方程计算出的值之间的压力偏差高达0.1%，是数据不确定度的5倍，而Pitzer和Schreiber<sup>16</sup> deviates的方程的偏差高达0.2%。Chen等人<sup>27</sup>的公式是专门为描述这个区域而设计的，得到了一个非常合适的代表—

在临界等位线周围的ppT数据。然而，在较低密度和较高密度下，但明显在其有效性范围内，交叉方程不能在其实验不确定性范围内重现参考数据

图23显示了在较高温度和压力下的高质量数据。在高达523 K和30 MPa时，ppT表面由数据of Brachthausen<sup>160</sup>和Klimeck等人的1600定义，不确定度小于±0.05%



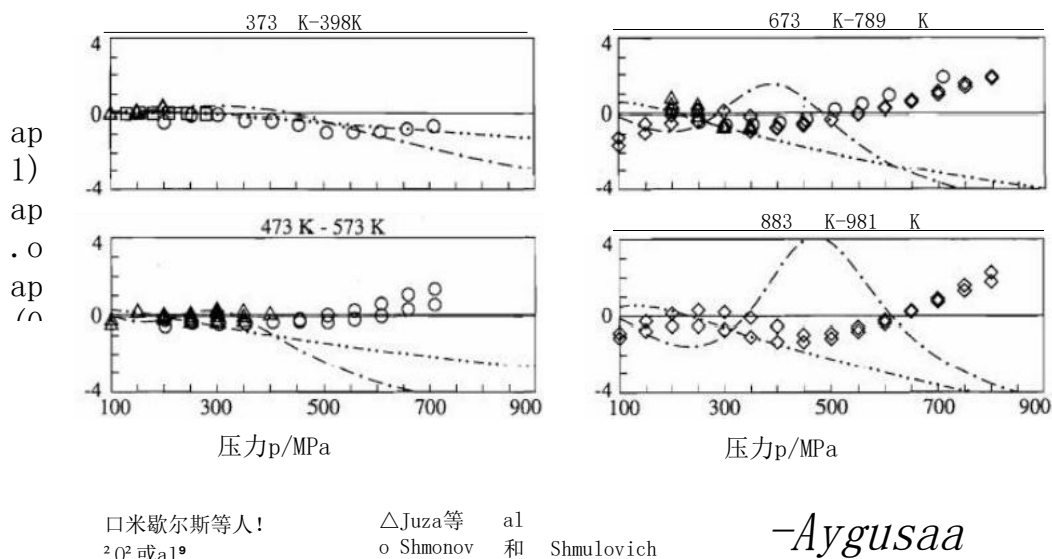


选定pT数据在高温下的Fia. 25. Relative密度偏差。根据Ely等人的<sup>13</sup> and Angus et al.<sup>13</sup> are plotted的宽范围方程计算出的值，以进行比较。

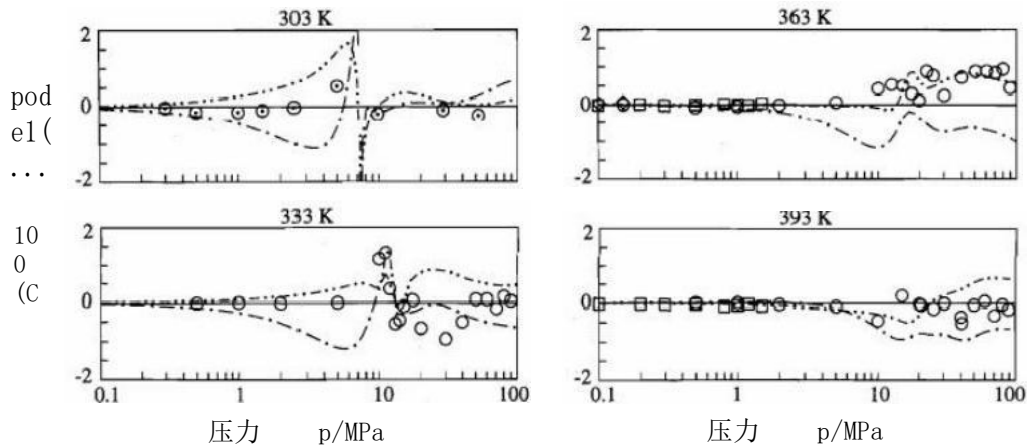
在密度。对于高达698K的温度，最近的数据。1000  
将ppT表面的不确定度提高到密度小于±0.1%

对温度为473 K的完整组ppT数据集的代表性观点

Fig. 24. Generally为200 MPa，状态计算比旧的方程更好地描述了可靠的数据。与Duschkew等<sup>154</sup>和Gilgen等<sup>159</sup>的数据集进行比较，发现使用调整后的数据（见Sec. 4.10）是合理的。



选定的pT数据在高压下与从等式计算出的值的Fio. 26. Relative密度偏差（6.1）根据Ely<sup>13</sup> and Angus<sup>13</sup>的广泛方程计算出的值：在此情况下，状态方程至少可以外推（见表1）。



奥埃姆斯特和霍奇伯格<sup>80</sup>恩斯特<sup>etal</sup><sup>19</sup>  
□Bender等人, Masi和Petko<sup>1</sup>.

—二<sup>Avy</sup>gusaa<sup>3</sup>  
“已更正的数据, 见Sec. 4. 10

选定等压热容数据与公式 (6. 1) 计算的值的Fig. 27. Relative偏差。从Ely等人的广泛序列的价值。<sup>5</sup>and Angus等人<sup>3</sup>are绘制了比较图。

在温度超过698K时, Eq. (6. 1) 基本上是基于与Ely等人的方程式相同的数据集。<sup>15</sup>和Angus<sup>etal</sup>.<sup>3</sup> Nevertheless, 三个方程在15 MPa以上显示出显著不同的过程。图25显示, 安格斯等<sup>3</sup> yields 最好的数据表示武卡洛维奇和Altunin.<sup>128, 129</sup>然而, 为了实现一致的描述热量和热属性在其他地区, 我们不得不假设这个数据集展品一个系统的错误。凤等<sup>160a</sup>的数据支持我们对温度高达698 K的ppT表面的解释。

图26显示了在高压ppT数据下是如何表示的。因为有效性的范围仅限于100 MPa方程的安格斯等<sup>3</sup> and 300 MPa伊利等方程, <sup>15</sup> these 方程已经推断时绘制值计算这些方程 Fig. 26. With估计不确定性从1%到2%, 密度等的的数据。<sup>139</sup>和什莫诺夫和Shmulovich<sup>14</sup> represent向等式的外推范围的过渡 (6. 1) 这在第二节中讨论。

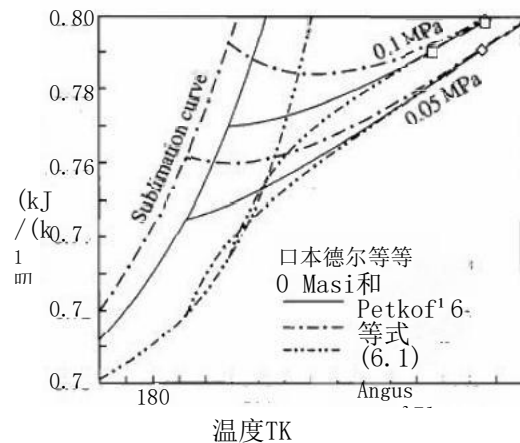
7. 3. 式 (6. 1) 得到了这些数据的适当表示

### 单相区域的7. 2. 2热量特性

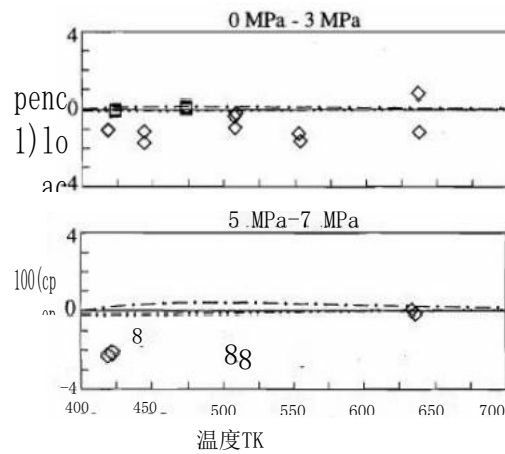
在气体和超临界区, 二氧化碳状态方程的热量行为可以通过比等压热容的例子来最有利地讨论。图27显示了从等式计算出的值之间的偏差 (6. 1) Bender等人!<sup>77</sup>恩斯特和霍奇伯格, <sup>78</sup>和恩斯特等人<sup>79</sup> were的数据根据描述校正

第4. 10节。在气体区域内的良好的数据表示, 其中众所周知的cp的贡献占主导地位, 证明了这种修正是正确的。在cp的超临界最大值区域, 偏差增加到约±1% (+1. 3%for的一个数据点), 但作者估计, 他们的数据的不确定性在该区域也增加到±0. 9%

在图28中, 绘制了低温气体区域的比等压热容的绝对值。当接近边界曲线时, 等式 (6. 1) 产生了一个原因—



在气体区域的等压线和在升华曲线 (饱和蒸汽) 的状态上的等压热容量的Fig. 28. Representation。根据广泛的方程计算出的值。<sup>5</sup>and Angus et al<sup>3</sup> are绘制了比较。

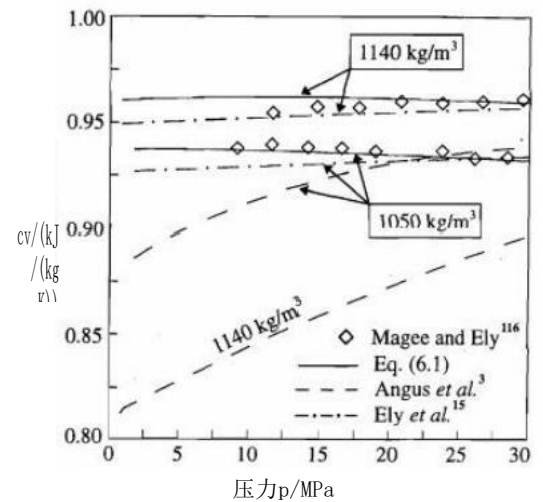


## 森德克雷 --- Aygusala

修正数据，见第4. 10节

高温下等压热容量数据与Eq. (6.1) 计算的值的Fig. 29. Relative偏差。根据Ely et al.<sup>15</sup> and Angus等<sup>3</sup> are的广泛方程计算的值绘制了比较。

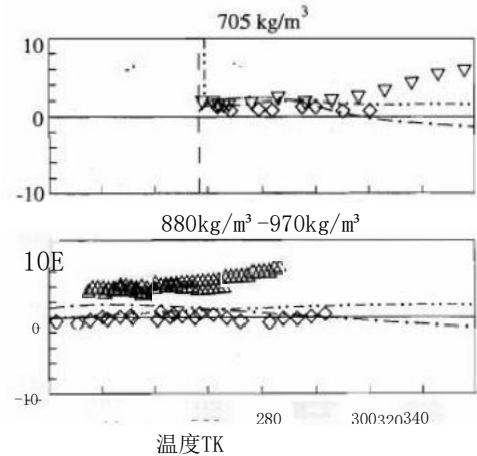
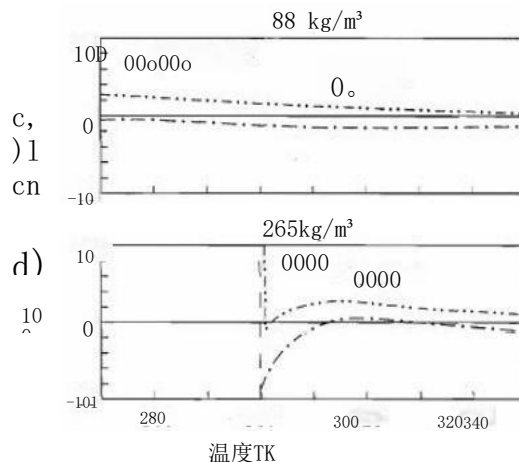
所绘制的等高压线的可外推。Angus等人<sup>3</sup> also的方程显示了合理的外推行为，但与最近233 K温度下的data<sup>177</sup> 比较表明，温度弧过高。对此，由Ely等人的方程计算等高线。Is intersect与彼此和与特定的iso-



高密度等家务上的等氯热容的Fig. 31. Representation。对于每个等位线，绘制的压力范围从相应的蒸汽压开始。根据Ely等人的宽范围计算的值。<sup>3</sup> and Angus等人为<sup>3</sup> are绘制了比较图。

在温度低于T时，升华线上的高压热容。由于CO<sub>2</sub> 的高三点压力 (pt=0.51795 MPa) 和干冰的广泛使用，该地区的不合理行为不如其他物质更容易接受

在400K以上的温度下，不同状态方程计算的值比绘制的Schrockl<sup>16</sup>数据要好得多



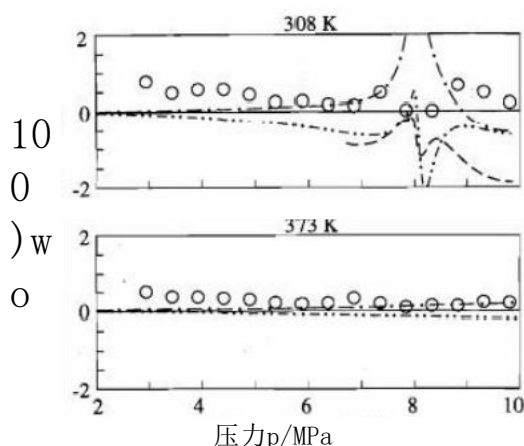
△阿米尔·哈诺夫和  
Polikhronidi<sup>1</sup>

◇ Magee和Ely<sup>6</sup>相边界

--- Angus等人<sup>3</sup>,  
Ely et al.<sup>15</sup>

选定等温热容量数据与公式 (6.1) 计算值的Fig. 30. Relative偏差。根据Ely et al. 和Angus等人的宽范围方程计算出的值以进行比较。

## 关于二氧化碳1555的一个新的状态方程式



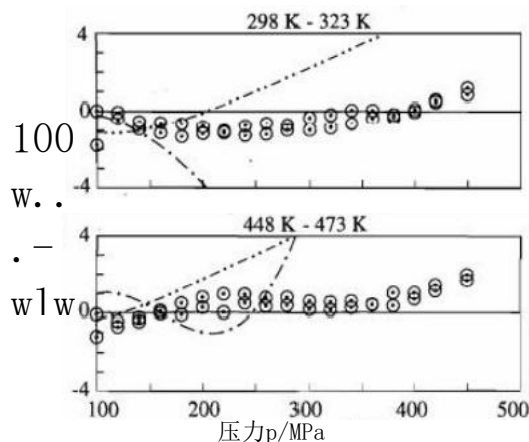
0 Novikov and Trelin<sup>1,2</sup>  
—伊利等人。  
—陈etal<sup>2</sup>

超临界温度下声音数据的速度与公式(6.1)计算的值的Fig. 32. Relative偏差。由皮泽尔和施赖伯的<sup>1</sup>和Ely et al.<sup>1</sup>和的宽范围计算的值，由Chen等人的交叉方程进行比较。

图29. 至多长达473K时，Bender等人的数据支持状态方程的结果。在较高的温度和中等压力下，cp剩余部分的注入减少。由于 $c^o(T)$ 的不确定性非常小（见Sec. 6.1），而且至少从ppT数据中可以得到一些关于状态方程剩余部分的信息，因此该方程似乎比该区域可用的cp数据的更可靠

气体和液体密度的特定等温热容偏差见图30。在气体区域，基于cp和w的精确数据的热产新基本方程的行为；根据等式计算的c、Magee数据和Ely<sup>1</sup>和值之间的偏差(6.1)和从其他状态方程，可能反映了数据的不确定性。这一事实导致了表17中列出的平均加权因子较低。然而，在高密度下，Magee和Ely<sup>1</sup>的c，实验得到了可靠的结果，这一定是关于液体密度的热量性质的信息来源。

不幸的是，这些数据只描述了超临界压力下的状态（见图17），因此在单相区和饱和液态之间存在很大的差距。图31显示了两个液体等温器上的比等温热容的绝对值，绘制了与压力的关系。公式(6.1)遵循对880kg/m<sup>3</sup>、970kg/m<sup>3</sup>和1050kg/m<sup>3</sup> isochors的测量值，随着压力的降低，产量的偏差略有增加，数值为1140kg/m<sup>3</sup> isochore。与之形成对比



Pitaevskaya和Bilevich<sup>1</sup>

—二—Ara

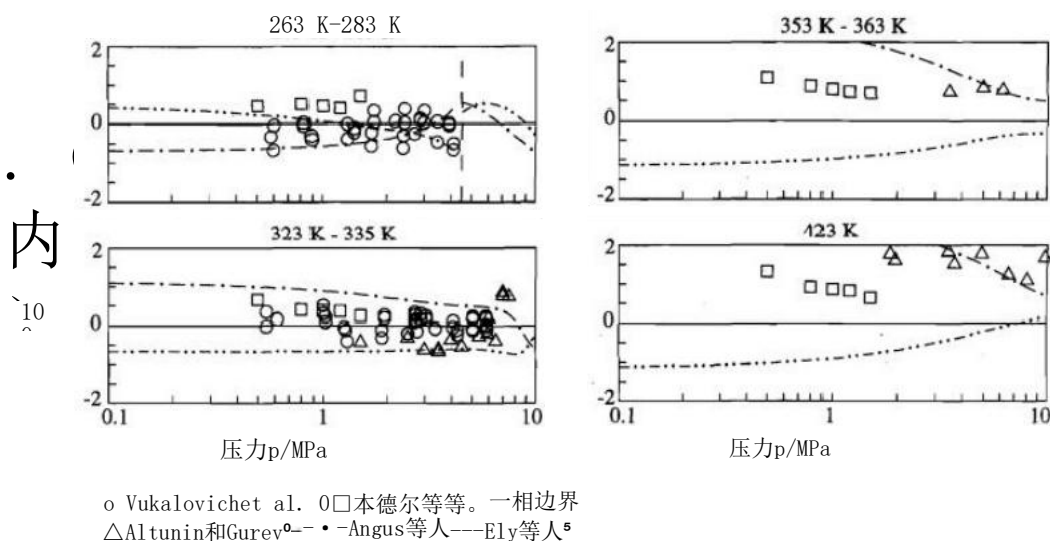
高压下声音数据速度与实例(6.1)计算的值的Fig. 33. Relative偏差。根据Ely等人的<sup>1</sup>和Angus等人计算的值进行比较；在此压力范围内，这两个状态方程至少部分外推（见表1）。

这种行为，Ely et al. 的方程式。遵循1140kg/m<sup>3</sup> isochore的过程，但在较低密度下产生的比等温热容略低。尽管有这些不同的趋势，从这些方程计算出的值c之间的偏差不超过1.5%。由于比热容的不确定性(6.1)估计压力高达40 MPa的be $\leq \pm 1.5\%$ in(见秒. 8)，我们认为在亚临界压力下的不确定性不会由于数据集的差距而增加。为了证明这种说法是否准确，我们需要更准确地描述液体二氧化碳的热量行为的新数据。

Angus等人<sup>3</sup> fails的方程完全描述了高密度下的特定等熵膜热容。在液体区，等式之间的偏差(6.1)这个配方会增长到16%。

对于二氧化碳，声速测量的表示是对后续两个单元中状态等量质量的敏感测试。Novikov和Trelin<sup>1,2</sup>的Tlhe数据描述了气体和超临界区域内的热量行为。图32显示了w值在该数据集的两个代表性等温线上的再现。虽然所有考虑的公式都代表了在373K的不确定性范围内的数据，但只有等式(6.1)能够重现308 K下的测量值；在扩展的临界区域，偏差 $\leq \pm 0.7\%$ ，在308 K等温线上，Chen等人的交叉方程的<sup>2</sup> yields偏差高达2%。

在温度在298 K到473 K之间。皮塔夫斯卡娅和Bilevich<sup>1,3</sup>测量了在压力下的声音数据的速度



实验中确定的Fic. 34. Relative偏差均来自于根据实例 (6.1) 计算出的值。根据Ely et al.<sup>3</sup> and Angus et al.<sup>3</sup> are的宽度方程计算出的值来进行比较。在建立等式时，没有使用武卡洛维奇和al<sup>2</sup>0的数据(6.1)。

450 MPa. 这些数据用等式表示 (6.1) 在他们预期的不确定性范围内，约为±2%。图33显示了覆盖该数据集的最低和最高温度的代表性偏差图。先前的状态方程都不能得到这些数据的合理表示。安格斯等人的方程仅向上有效。3 到 100 MPa，并且声速的外推值预计是不确定的。但Ely等人的方程至少在其有效性范围内产生可靠的结果，即高达300 MPa。

. 5

在压力高达1.5 MPa时，Bender等人的‘77的焦耳汤姆逊测量用于非线性拟合，但这些数据不能表示没有系统的轻微温度相关偏差。在完成了新的状态方程后，用武卡洛维奇测量了等温焦耳-汤姆逊系数

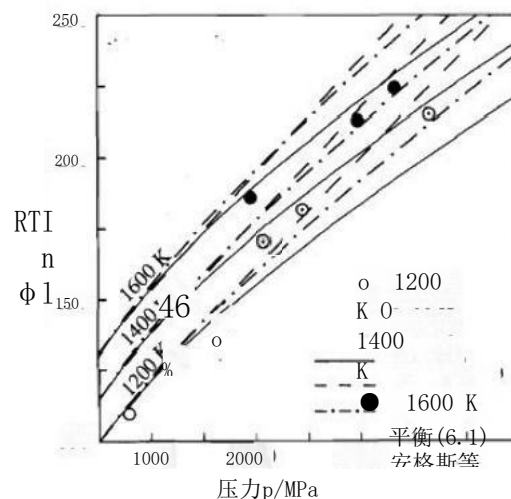
利用由式 (6.1) 计算出的比等压热容，将等206转化为微分焦耳-汤姆逊系数。新的方程表示Vukalovich等人的转换数据，没有系统偏差（见图34）；气体区域非常精确的ppT数据集阻止了Bender等人的测量结果的表示。与相关性相差约0.5%到1%。

### 7.3新的基本度方程的外推行为

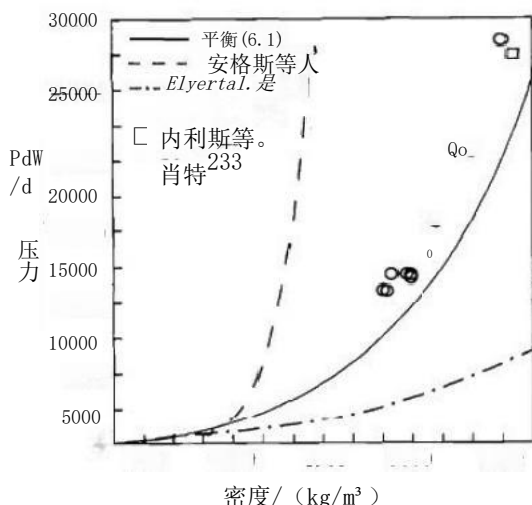
由于1990年在波鸿举行的第五届国际状态方程工作组的讨论，在对二氧化碳的工作中，对经验状态方程进行了外推行为，因为这些结果涵盖了不同子的特征

J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年

立场和一般的方法，它们将在其他地方讨论。35. 这里的考虑仅限于新的二氧化碳基本方程；下面的小节只会对等式的外推行为进行简要的调查(6.1)。



在非常高的温度和压力下等温线上的熔度的Fio. 35. Representation。根据Ely et al.<sup>3</sup> and Angus et al.<sup>3</sup> are的宽范围方程计算出的值以进行比较。



描述二氧化碳胡戈诺特曲线的实验数据的Fig. 36. Representation。由Ely等人<sup>5</sup>和 Anguseral.<sup>3</sup>are的宽范围方程计算的曲线进行比较。

### 7.3.1外载超出主数据范围

等式的有效性范围 (6.1) 是基于可靠的热力学性质数据存在的范围，但有两种数据超过了这个范围。

图35显示了在1200 K和1600 K温度下达到约3600 MPa的模糊度。在开发等式时没有使用哈塞尔顿等人<sup>23</sup>的数据 (6.1) 由于很难估计来自化学平衡测量的数据的不确定性，而且由于模糊度  $\phi$  和减少的亥姆霍兹能量之间的依赖关系的对数结构 (见表3) 阻止了纳入线性优化过程中。然而，等式 (6.1) 遵循测量过程，而Angus等人<sup>3</sup>的方程和Ely等人<sup>5</sup>的方程产生的融合明显过大。至少在低压下，剩余的系统偏差不能用状态方程的错误行为来解释。研究的铝等效态在1000 MPa以下压力下产生非常相似的熔度。在该区域，实验结果与较低温度下的ppT数据不一致。

在更高的压力下，冲击波测量得到胡戈诺关系的数据

表33年。压缩因子的零阶和一阶理想曲线的定义

理想曲线名称	定义
经典理想曲线	$Z = pv/RT = 1$
博伊尔曲线	$(\partial Z / \partial p)_T = 0$
焦耳汤姆逊反转曲线	$(\partial Z / \partial T)_p = 0$
焦耳反转曲线	$(\partial Z / \partial p)_T = 0$

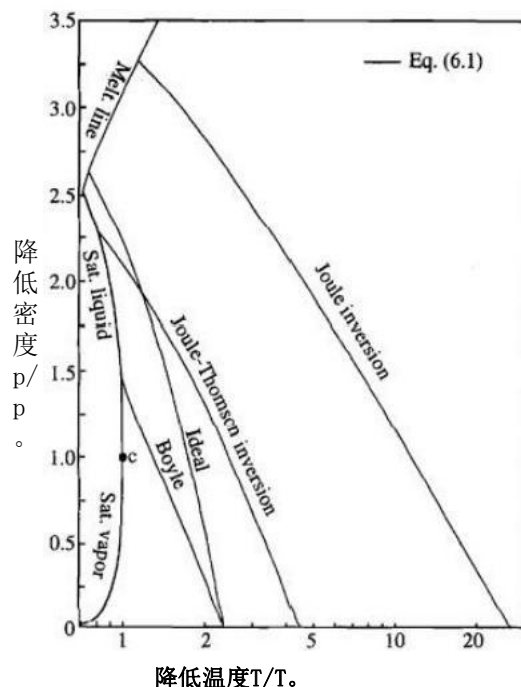


Fig. 37. The是由等式计算出的所谓的理想曲线 (6.1) 并绘制成p/p<sub>c</sub>，日志 (T/T<sub>c</sub>) 图。焦耳-汤姆逊反转曲线和焦耳反转曲线都超过了等式所处的温度范围 (6.1) 与实验数据相吻合。

$$h - h_0 = 0.5 (p - p_0) \cdot (1/p_0 + 1/p), \quad (7.1)$$

其中为焓， $p$ 为压力， $p$ 为释放激波后的密度， $p_0$ 和 $p_0$ 为初始值。尽管目前还不清楚这些测量结果是否描述了平衡状态，但与这些数据的比较是关于在超高压下状态的外推行为的实验信息的唯一来源。图36显示了等式的胡戈诺图 (6.1) 并从这里考虑的其他两个状态方程，与数据fNellis等人<sup>23</sup>和Schot进行比较。233在大约34000 MPa时，Nellis等人在胡戈诺特曲线的过程中观察到一个扭结，这被解释为自发解体反应的迹象。所以我们可以看到，等式 (6.1) 对二氧化碳的胡戈诺曲线进行了合理的描述。这里没有给出的 $T_p$ 图显示，由Ely等人、<sup>5</sup>and Angus和al<sup>3</sup>run的方程计算出的胡戈诺曲线变成了对应于约1400kg/m<sup>3</sup>密度以上的固态的低温度解

### “理想曲线”的7.3.2表示

不同的作者 (见参考文献。讨论了所谓的理想曲线图° 作为一个普遍的行为

理想曲线连接所有态的前，其中模糊的特殊性质等于相同状态下的假设理想气体的对应性质

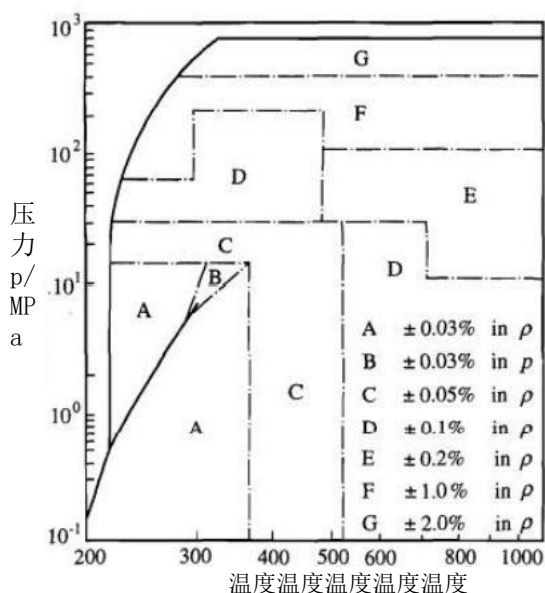


Fig. 38. 根据公式 (6.1) 计算的强度公差图。在B区内给出了轮胎压力

纯物质。1991年, de Reuck<sup>39</sup> gave对这个话题进行了一个简短的调查。

最常见的理想曲线是压缩因数的第零阶和一阶曲线, 它们由表33中给出的关系定义。图37显示了。的绘图

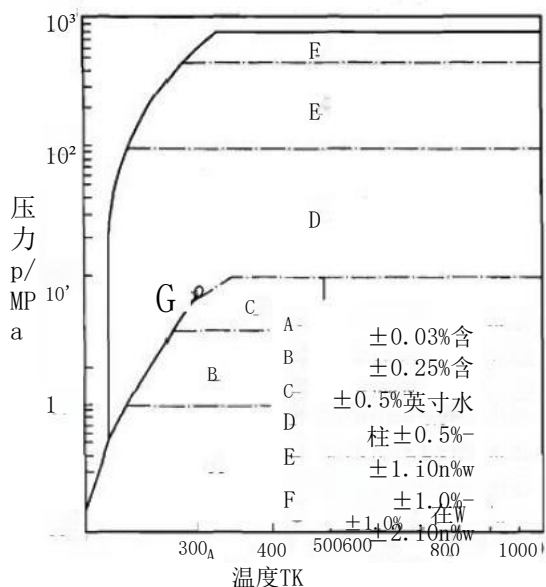


图39. 由等式计算出的声数据速度公差图 (6.1). 在临界点 (区域G) 附近, 由于温度和压力测量中的不确定度的影响越来越大, 很难估计w中的不确定度。

J. 物理学。化学裁判员数据, 第25卷, No. 6, 1996年

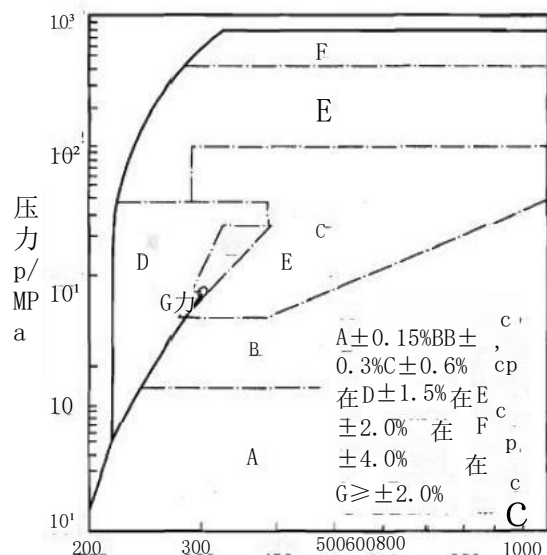


fig. 40. 根据式 (6.1) 计算的等压热容公差。在测量点 (G区) 附近, 由于温度和压力测量中的不确定度的增长影响, 难以估计c中的不确定度。

根据公式 (6.1) 计算得出。新的基本方程适用于  $p/p_c \sim 108$  降低压力下和  $T/T_c \approx 3.5$  降低温度下的数据。因此, 理想曲线的运动过程不会明显超过数据所覆盖的压力范围, 但焦耳-汤姆逊反转曲线和焦耳反转曲线的温度都明显超过了用于拟合等式的数据范围 (6.1)。

初步方程显示在极高温下的焦耳反演曲线不合理。为了迫使方程形成一个最大的第二个维里系数, 确保状态方程产生一个交点的焦耳反演曲线与零压力线的温度, 27Tp数据是由图形外推的焦耳反演曲线pT图 (见参考。35). 根据这些状态变量的值, 将焦耳反演曲线  $\phi_s = 0$  的条件引入调整式 (6.1) 时使用的数据集。由于估计反演条件的不确定性是不同的, 因此这些数据的权重是通过估计自变量T和p的不确定性, 并结合高斯误差传播公式来确定的 [见等式] (2.6)。

式 (6.1) 为高温区域理想曲线的合理图, 见图37。焦耳反转曲线与零压力线相交的温度和第二维里系数通过最大值的温度对应于约  $T/T_c = 26.9$ 。因此, 等式的合理行为 (6.1) 甚至达到  $t_{em}$

超过二氧化碳化学稳定性极限的性质

## 8. 的新方程的不确定性

### 状态

对经验状态方程的不确定性的估计必须通过与实验数据的比较来指导。在没有数据的地区，可以与现有的状态方程进行比较作为替代。由等式计算出的 $p$ 、 $T$ 、 $w$ 和 $c_p$ 值的不确定性的保守估计（6.1）显示在公差图和图中。38岁至40岁。在扩展的临界区域中， $c$ 中的不确定度可能超过 $c_p$ 中的不确定度。由等式计算出的 $\Delta h$ 或 $\Delta u$ 值的不确定性（6.1）分别小于或等于 $c_p$ 或 $c$ 中的不确定度

在其有效性的范围之外，等式（6.1）对二氧化碳整个化学稳定区域的压力、焓、气度等基本热力学性质可以得到合理的结果。当然，外推结果有更大的不确定性，无法估计。不建议计算衍生特性，如声速或比热容。如果需要这些数据，应仔细检查结果。

## 9. 结论

在对二氧化碳热力学性质的实验数据的基础上，建立了一个新的亥姆霍兹能量形式的基本方程。该经验公式在1100 K的温度和800 MPa的压力下是有效的。该方程能够表示均匀区域内的所有可靠数据

在其实验不确定度范围内的液-汽相边界。对技术数据的考虑导致了主要技术利益领域无与伦比的准确性。对所使用的数据集的一致性进行密集的研究，已经在数据状况较差的地区产生了合理的结果。

人们特别关注的是在临界区域的量热性质的行为和经验状态方程的外推行为。非解析项的引入使新的宽范围状态方程能够表示临界点附近的等色热容和声的速度；到目前为止，这个属性只是一个缩放状态方程域，引入了不同变量之间的迭代依赖关系和有限的有效性范围。对经验状态方程的外推行为的检验产生了新方法作为新公式的新方法。对于二氧化碳的基本性质，如压力、焓和浊度，新的基本方程应该在整个化学稳定性区域内得到合理的结果。

## 10. 附录：热力学特性

### 二氧化碳

为了保持热力学一致性，表34和表35中给出的所有值都仅从新的状态方程式（6.1）中重新计算。理想情况下，表中的每一个条目都应该给予一个比输入数据更重要的数字，但是严格遵守这一原则是困难的，而且总是通过包含比严格必要的更多的数字来避免可能的冲突。特别是在扩展的临界区域，给定值之间的插值可能导致的不确定性明显大于等式的不确定性（6.1）。对于复杂的应用程序，值应该直接从公式中计算出来

（6.1）；可以从作者处获得适合于这类应用程序的计算机代码

20  
24  
年  
5  
月  
5  
日  
15



1560年，跨度和瓦格纳

表34年。饱和二氧化碳的热力学特性								
温度 (K)	压力 (MPa)	密度 (kg/m³)	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C <sub>p</sub> [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s)	
216.592	0.51796	1178.46	-426.74	-2,2177	0.97466	1.9532	975.85	
218	0.55042	13.76	-	-	0.6292	0.9087	222.7	
		1	76.364	0.59999	1	2	8	
		1173.40	-	-2.2051	0.9726	1,9566	965.66	
		14.584	423.98	-	4	0.9174	222.94	
220	0.59913	1166.14	-	0.60815	0.6331	3	951.21	
			75.847	-	8	0.9303		
			-	-2.1873	0.9698	1.9618		
			420.05	-	3	2		
222	0.65102	1158.81	-	0.61957	0.6389	2	223.1	
			75.142	-	4	0.9438		
			17.13	-2.1697	0.9670	1.9676		
			1	416.11	-	7		6
224	0.70621	1151.40	-	0.63080	0.6448	5	223.31	
			74.473	-	5	0.9739		
			-412.16	-2.1522	0.96437	1.9739		
			18.53	-	0.6509	0.9580		
226	0.76484	1143.92	-	0.64185	1	7	223.4	
			0	-2.1348	0.9617	1.9810		
			20.016	-	4	0.9730		
			408.19	-	2	2		
228	0.82703	1136.34	-	0.65274	0.6571	2	907.95	
			73.246	-	2	0.9730		
			-	-2.1175	0.9591	1.9886		
			21.59	-	7	0.9887		
230	0.89291	1128.68	-	0.66347	0.6635	5	223.57	
			72.692	-	0	0.9887		
			-	-2.1003	0.9566	1.997		
			400.21	-	7	0		
232	0.96262	1120.93	-	0.67406	0.6700	1.005	223.5	
			72.178	-	4	3		
			-	-2.0832	0.9542	2.006		
			25.05	-	5	1		
234	1.0363	1113.08	-	0.68452	0.6767	1.022	223.5	
			71.708	-	5	8		
			-	-2.0661	0.95190	2.0160		
			26.93	-	3	1.041		
236	1.1141	1105.12	-	0.69487	0.6836	2	223.4	
			6	-2.0492	0.9496	2.026		
			28.935	-	3	7		
			388.11	-	8	1.060		
238	1.1961	1097.05	-	0.70511	0.6906	8	835.61	
			70.903	-	8	8		
			-	-2.0323	0.9474	2.038		
			31.05	-	5	4		
240	1.2825	1088.87	-	0.71526	0.6979	1.081	223.17	
			2	-	2	4		
			70.573	-	4	4		
			-	-2.0155	0.9453	2.0510		
242	1.3734	1080.56	-	0.72532	0.7053	1.1033	806.3	
			33.29	-	4	8		
			5	-	5	6		
			70.293	-	6	6		
244	1.4690	1072.13	-	0.73533	0.7129	1.126	222.9	
			35.67	-	7	7		
			0	-	5	5		
			70.066	-	7	0		
246	1.5693	1063.56	-	0.74527	0.7208	1.151	222.7	
			38.18	-	5	5		
			4	-	1	3		
			69.894	-	1	0		
248	1.6746	1054.84	-	0.75518	0.7288	1.177	776.8	
			40.84	-	5	6		
			5	-	9	8		
			69.780	-	9	6		
250	1.7850	1045.97	-	0.76506	0.7372	1.206	222.0	
			43.66	-	7	1		
			2	-	5	1		
			69.726	-	5	6		
252	1.9007	1036.93	-	0.76506	0.7372	1.206	731.7	
			46.64	-	3	0		
			4	-	1	6		
			69.736	-	1	2		
254	2.0217	1027.72	-	0.77492	0.7459	1.236	221.2	
			53.14	-	0	1		
			4	-	0	1		
			69.960	-	1	7		

256	2. 1483	1018. 32 56. 68 5	— 346. 15 — 70. 181	—1, 8826 — 0. 80458	0. 9330 0 0. 7738 8	2. 199 5 1. 342 9	685. 08 219. 5 6
258	2. 2806	1008. 71 60. 43 8	— 341. 77 — 70. 480	—1. 8660 — 0. 81453	0. 9324 4 0. 7839 0	2. 226 2 1. 384 4	668. 9 9 218. 9 0
260	2. 4188	998. 89 64. 417	— 337. 34 — 70. 862	—1. 8495 — 0. 82456	0. 9322 7 0. 7942 6	2. 255 4 1. 429 5	652. 58 218. 1 9
262	2. 5630	988. 83 68. 64	—332. 86 —	—1. 8329 —	0. 93258 0. 8049	2. 2874 1. 478	635. 84 217. 4
264	2. 7134	0 978. 51 73. 124	71. 332 — 328. 33 —71. 896	0. 83467 —1. 8162 —	8 0. 9334 4	7 2. 322 6	1 618. 75 216. 59
				0. 84488	0. 8160 4	1. 532 6	
266	2. 8701	967. 92 77. 891	— 323. 74 — 72. 561	—1. 7995 — 0. 85523	0. 9348 8 0. 8274 9	2. 361 7 1. 591 9	601. 3 1 215. 7 0
268	3. 0334	957. 04 82. 965	— 319. 09 — 73. 334	—1. 7827 — 0. 86573	0. 9369 3 0. 8393 5	2. 405 0 1. 657 5	583. 5 4 214. 76
270	3. 2033	945. 83 88. 374	—314. 37 — 74. 223	—1. 7658 — 0. 87641	0. 9395 9 0. 8516 8	2. 453 4 1. 730 7	565. 4 6 213. 7 5
272	3. 3802	934. 26 94. 148	—309. 57 75. 24 0	—1. 7488 0. 88732	0. 9428 3 0. 8645 4	2. 507 9 1. 812 8	547. 1 1 212. 6 8
274	3. 5642	922. 3 0 100. 3 2	—304. 70 — 76. 395	—1. 7317 — 0. 89849	0. 9465 9 0. 8780 1	2. 569 4 1. 905 7	528. 51 211. 5 5
276	3. 7555	909. 9 0 106. 9 5	— 299. 73 — 77. 702	—1. 7144 — 0. 90995	0. 9508 2 0. 8921 8	2. 639 6 2. 011 7	509. 7 1 210. 35

J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年

## 二氧化碳的一个新的状态方程式1561

表34年。饱和二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	压力 (MPa)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	公司 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kgK)]	声音冻结 (m/s)
278	3.9542	897.0	—	-1.6969	0.9554	2.720	490.7
		2	294.66	—	5	3	2
		114.0	—	0.92178	0.9071	2.134	209.0
280	4.1607	7	79.177	—	9	1	7
		883.5	—	-1.6792	0.9604	2.814	471.5
		8	289.48	—	6	1	4
282	4.3752	121.7	—	0.93401	0.9231	2.276	207.7
		4	80.840	—	6	9	2
		869.5	—	-1.6611	0.9658	2.924	452.19
284	4.5978	2	284.17	—	4	6	206.2
		130.0	—	0.94674	0.9402	2.445	8
		5	82.713	—	9	8	
286	4.8289	854.7	—	-1.6428	0.9716	3.056	432.63
		4	278.71	—	6	9	204.7
		139.0	—	0.96006	0.9587	2.649	4
288	5.0688	9	84.825	—	8	0	
		839.1	—	-1.6239	0.9780	3.218	412.8
		2	273.08	—	6	1	1
290	5.3177	148.9	—	0.97407	0.9789	2.897	203.1
		8	87.214	—	5	9	0
		822.5	—	-1.6046	0.9852	3.418	392.6
292	5.5761	0	267.24	—	8	9	3
		159.8	—	0.98894	1.0012	3.210	201.3
		7	89.926	—	4	4	4
294	5.8443	804.6	—	—	0.9937	3.675	371.9
		7	261.15	—	3	6	5
		171.9	—	1.5846	1.0260	3.614	199.4
296	6.1227	6	93.025	—	—	2	5
		785.3	—	—	1.004	4.014	350.4
		3	254.76	—	1	5	9
298	6.4121	185.5	—	—	1.054	4.155	197.38
		5	96.599	—	3	8	
		764.09	—	-247.97	1.0221	4.4834	327.85
300	6.7131	201.0	—	100.7	1.0177	4.919	195.0
		6	7	—	1.087	6	9
		740.2	—	1.5183	1.037	5.181	303.4
302	7.0268	8	240.68	—	1	3	4
		219.1	—	-105.74	-1.0624	1.126	192.4
		4	—	—	9	1	9
304	7.3773	712.7	—	—	1.067	6.347	276.4
		7	232.64	—	5	3	2
		24090	—	—	1.177	8.012	180.3
306	7.7131	111.83	—	—	4	8	8
		679.2	—	—	1.119	8.697	245.6
		4	223.40	—	9	9	7
308	8.1175	268.5	—	—	1.247	11.92	185.3
		8	119.70	—	6	1	3
		658.6	—	—	1.163	11.05	228.1
310	8.5175	9	218.03	—	1	3	8
		286.1	—	—	1.297	15.85	182.6
		5	124.73	—	2	9	1
312	8.9175	633.6	—	—	1.231	15.78	208.0
		9	211.76	—	6	6	8
		308.1	—	—	1.367	23.80	178.9
314	9.3175	131.05	—	—	6	0	1
		599.8	—	—	1.370	30.23	182.1
		6	203.73	—	2	3	4
316	9.7175	339.0	—	—	1.492	47.59	172.7
		0	139.91	—	5	9	1
		530.30	—	—	2.0531	386.88	134.14
318	10.1175	406.4	—	—	2.0679	555.58	147.62
		2	158.84	—	—	—	—
		467.6	—	—	—	—	—
320	10.5175	0	174.53	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—

三点。关键点

J. 物理学。化学裁判员数据，第25卷，第6期，1996年

表35年。二氧化碳的热力学性质

温度(K)	密度 (kg/m)	间质能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s)
0.05 MPa Isubar							
186.436*	1.4370	-123.74	-88.944	-0.23757	0.54404	0.74495	216.947
190	1.4089	-121.78	-86.286	-0.22345	0.54661	0.74660	218.90
200	1.3359	-116.22	-78.792	-0.18501	0.55478	0.75266	224.26
210	1.2704	-110.59	-71.228	-0.14811	0.56398	0.76029	229.41
220	1.2112	-104.86	-63.582	-0.11254	0.57386	0.76897	234.38
230	1.1575	-99.044	-55.846	-0.07816	0.58417	0.77834	239.20
240	1.1084	-93.125	-48.014	-0.04483	0.59473	0.78815	243.88
250	1.0634	-87.104	-40.082	-0.01245	0.60542	0.79823	248.44
260	1.0219	-80.978	-32.049	0.01906	0.61612	0.80845	252.88
270	0.98360	-74.747	-23.913	0.04976	0.62679	0.81871	257.23
280	0.94810	-68.412	-15.675	0.07972	0.63737	0.82895	261.49
290	0.91510	-61.973	-7.3344	0.10899	0.64782	0.83912	265.67
300	0.88434	-55.432	1.1072	0.13761	0.65812	0.84917	269.77
325	0.81585	-38.641	22.645	0.20655	0.68307	0.87366	279.71
350	0.75726	-21.246	44.781	0.27216	0.70681	0.89707	289.27
375	0.70656	-3.2771	67.489	0.33481	0.72932	0.91933	298.50
400	0.66224	15.237	90.738	0.39483	0.75063	0.94046	307.42
425	0.62317	34.268	114.50	0.45245	0.77081	0.96051	316.08
450	0.58847	53.788	138.76	0.50789	0.78995	0.97953	324.50
475	0.55743	73.774	163.47	0.56134	0.80811	0.99760	332.69
500	0.52951	94.201	188.63	0.61295	0.82537	1.0148	340.67
525	0.50426	115.05	214.20	0.66286	0.84179	1.0312	348.46
550	0.48130	136.29	240.18	0.71120	0.85744	1.0468	356.08
575	0.46035	157.92	266.54	0.75806	0.87236	1.0616	363.53
600	0.44115	179.92	293.26	0.80354	0.88660	1.0758	370.83
700	0.37809	271.21	403.45	0.97331	0.93747	1.1266	398.65
800	0.33081	367.15	518.30	1.1266	0.97994	1.1690	424.64
900	0.29404	466.98	637.03	1.2664	1.0155	1.2045	449.13
1000	0.26463	570.06	759.01	1.3949	1.0452	1.2342	472.37
100	0.24057	675.87	883.71	1.5137	1.0702	1.2592	494.54
0.10 MPa Isoba							
194.525°	2.7796	-120.24	-84.267	-0.34184	0.56013	0.76998	219.98
200	2.6980	-117.11	-80.049	-0.32046	0.56339	0.77091	223.00
210	2.5617	-111.36	-72.323	-0.28276	0.57062	0.77476	228.33
220	2.4394	-105.54	-64.547	-0.24659	0.57907	0.78067	233.45
230	2.3288	-99.645	-56.705	-0.21173	0.58833	0.78795	238.38
240	2.2282	-93.664	-48.785	-0.17803	0.59811	0.79618	243.15
250	2.1363	-87.589	-40.780	-0.14535	0.60818	0.80501	247.79
260	2.0519	-81.419	-32.684	-0.11360	0.61843	0.81424	252.31
270	1.9741	-75.151	-24.494	-0.08269	0.62872	0.82371	256.72
280	1.9021	-68.784	-16.209	-0.05256	0.63900	0.83330	261.03
290	1.8352	-62.317	-7.8279	-0.02315	0.64922	0.84293	265.25
300	1.7730	-55.751	0.64941	0.00559	0.65932	0.85253	269.39
325	1.6348	-38.911	22.260	0.07477	0.68392	0.87619	279.42
350	1.5167	-21.479	44.452	0.14054	0.70743	0.89903	289.04
375	1.4147	-3.4815	67.203	0.20332	0.72978	0.92090	298.31
400	1.3257	15.056	90.488	0.26342	0.75099	0.94173	307.28
425	1.2472	34.105	114.28	0.32111	0.77109	0.96156	315.97
450	1.1776	53.640	138.56	0.37661	0.79017	0.98041	324.41
475	1.1154	73.639	163.29	0.43011	0.80829	0.99835	332.62
500	1.0594	94.076	188.47	0.48175	0.82552	1.0154	340.62

二氧化碳的新状态方程1563

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	Internal energ) ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	古巴 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s )
0.10 MPa Isobar							
525	1.0088	114.93	214.06	0.53169	0.84192	1.0317	348.43
550	0.96283	136.19	240.05	0.58005	0.85755	1.0473	356.06
575	0.92087	157.82	266.42	0.62693	0.87245	1.0621	363.52
600	0.88242	179.82	293.15	0.67243	0.88668	1.0762	370.83
700	0.75619	271.13	403.38	0.84226	0.93752	1.1269	398.68
800	0.66158	367.09	518.24	0.99558	0.97997	1.1692	424.68
900	0.58803	466.93	636.99	1.1354	1.0155	1.2046	449.19
1000	0.52921	570.02	758.98	1.2639	1.0452	1.2343	472.43
1100	0.48109	675.83	883.69	1.3827	1.0702	1.2593	494.61
0.101325 MPa Isoba							
194.6854	2.8147	-120.18	-84.180	-0.34383	0.56049	0.77056	220.03
200	2.7345	-117.14	-80.083	-0.32307	0.56362	0.77141	222.97
210	2.5963	-111.38	-72.352	-0.28535	0.57080	0.77516	228.30
220	2.4722	-105.56	-64.573	-0.24916	0.57921	0.78098	233.42
230	2.3601	-99.661	-56.728	-0.21429	0.58845	0.78821	238.36
240	2.2581	-93.678	-48.806	-0.18057	0.59820	0.79639	243.14
250	2.1649	-87.602	-40.798	-0.14789	0.60826	0.80519	247.78
260	2.0793	-81.431	-32.701	-0.11613	0.61849	0.81440	252.30
270	2.0004	-75.162	-24.509	-0.08522	0.62878	0.82384	256.71
280	1.9274	-68.793	-16.223	-0.05508	0.63905	0.83341	261.02
290	1.8597	-62.326	-7.8410	-0.02567	0.64925	0.84303	265.24
300	1.7966	-55.760	0.63726	0.00307	0.65935	0.85262	269.38
325	1.6565	-38.918	22.250	0.07226	0.68394	0.87625	279.41
350	1.5369	-21.486	44.443	0.13803	0.70745	0.89908	289.03
375	1.4335	-3.4869	67.196	0.20082	0.72980	0.92094	298.31
400	1.3433	15.051	90.482	0.26092	0.75100	0.94177	307.28
425	1.2638	34.100	114.28	0.31862	0.77110	0.96159	315.97
450	1.1932	53.637	138.55	0.37412	0.79018	0.98044	324.41
475	1.1302	73.635	163.29	0.42761	0.80829	0.99837	332.62
500	1.0735	94.073	188.46	0.47926	0.82552	1.0155	340.62
525	1.0222	114.93	214.06	0.52920	0.84192	1.0317	348.43
550	0.97559	136.18	240.04	0.57756	0.85755	1.0473	356.06
575	0.93308	157.82	266.41	0.62444	0.87246	1.0621	363.52
600	0.89412	179.82	293.14	0.66994	0.88668	1.0762	370.83
700	0.76621	271.13	403.38	0.83977	0.93752	1.1269	398.68
800	0.67035	367.09	518.24	0.99309	0.97997	1.1692	424.69
900	0.59582	466.93	636.99	1.1329	1.0155	1.2046	449.19
1000	0.53622	570.02	758.98	1.2614	i.0452	1.2343	472.44
1100	0.48746	675.83	883.69	1.3803	1.0702	1.2593	494.61

2024年5月15日

表35年。二氧化碳的热力学性质-连续的

温度(K)	密度 (kg/m³ )	内能 ( kJ/kg )	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C <sub>p</sub> [kJ/(kg K)]	De (kg k	声速 (m/s)
0.20 MPa Isobar							
203.314	5.4054	-116.97	-79.973	-0.44750	0.58210	0.80842	222.32
210	5.2116	-112.95	-74.577	-0.42138	0.58456	0.80597	226.10
220	4.9495	-106.93	-66.522	-0.38391	0.58993	0.80556	231.52
230	4.7152	-100.87	-58.456	-0.34806	0.59692	0.80819	236.70
240	4.5039	-94.758	-50.352	-0.31357	0.60502	0.81291	241.68
250	4.3120	-88.575	-42.193	-0.28026	0.61383	0.81906	246.49
260	4.1369	-82.313	-33.967	-0.24800	0.62310	0.82618	251.16
270	3.9761	-75.967	-25.667	-0.21668	0.63264	0.83396	255.69
280	3.8280	-69.534	-17.286	-0.18620	0.64231	0.84219	260.10
290	3.6909	-63.010	-8.8222	-0.15650	0.65203	0.85070	264.42
300	3.5636	-56.394	-0.27188	-0.12751	0.66174	0.85938	268.64
325	3.2819	-39.454	21.487	-0.05786	0.68562	0.88131	278.83
350	3.0423	-21.947	43.792	0.00825	0.70867	0.90300	288.58
375	2.8360	-3.8914	66.631	0.07127	0.73072	0.92405	297.95
400	2.6562	14.692	89.987	0.13156	0.75170	0.94429	306.99
425	2.4981	33.778	113.84	0.18939	0.77166	0.96367	315.74
450	2.3580	53.344	138.16	0.24500	0.79062	0.98219	324.23
475	2.2328	73.368	162.94	0.29858	0.80865	0.99986	332.49
500	2.1204	93.827	188.15	0.35030	0.82582	1.0167	340.53
525	2.0188	114.70	213.77	0.40030	0.84217	1.0329	348.37
550	1.9265	135.97	239.79	0.44871	0.85776	1.0482	356.02
575	1.8424	157.62	266.18	0.49563	0.87263	1.0630	363.51
600	1.7653	179.63	292.93	0.54117	0.88684	1.0770	370.83
700	1.5124	270.99	403.22	0.71109	0.93761	1.1274	398.74
800	1.3230	366.97	518.13	0.86447	0.98003	1.1696	424.78
900	1.1759	466.82	636.91	1.0043	1.0155	1.2049	449.30
1000	1.0582	569.93	758.93	1.1329	1.0452	1.2345	472.56
1100	0.96197	675.75	883.66	1.2517	1.0702	1.2594	494.75
0.30 MPa Isobar							
208.797"	8.0141	-115.37	-77.936	-0.51088	0.59903	0.84154	223.07
210	7.9594	-114.62	-76.925	-0.50605	0.59918	0.84031	223.78
220	7.5367	-108.37	-68.563	-0.46715	0.60144	0.83277	229.53
230	7.1633	-102.13	-60.253	-0.43021	0.60593	0.82996	234.98
240	6.8298	-95.878	-51.953	-0.39488	0.61219	0.83067	240.18
250	6.5292	-89.579	-43.632	-0.36091	0.61964	0.83382	245.17
260	6.2564	-83.222	-35.271	-0.32812	0.62788	0.83863	249.98
270	6.0072	-76.795	-26.855	-0.29636	0.63662	0.84459	254.64
280	5.7785	-70.293	-18.376	-0.26553	0.64567	0.85136	259.17
290	5.5675	-63.710	-9.8262	-0.23553	0.65488	0.85869	263.58
300	5.3723	-57.043	-12010	-0.20629	0.66418	0.86640	267.88
325	4.9416	-40.000	20.709	-0.13615	0.68733	0.88653	278.24
350	4.5770	-22.417	43.128	-0.06970	0.70992	0.90702	288.11
375	4.2638	-4.3028	66.057	-0.00643	0.73165	0.92723	297.58
400	3.9916	14.326	89.485	0.05404	0.75242	0.94687	306.70

二氧化碳的新状态方程1565

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	Internal energ) ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	古巴 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s )
0.30 MPa Isobar							
425	3.7526	33.450	113.40	0.11202	0.77222	0.96580	315.52
450	3.5410	53.048	137.77	0.16774	0.79107	0.98397	324.06
475	3.3523	73.097	162.59	0.22141	0.80902	1.0014	332.36
500	3.1829	93.578	187.83	0.27320	0.82612	1.0180	340.43
525	3.0299	114.47	213.48	0.32326	0.84242	1.0340	348.30
550	2.8911	135.76	239.53	0.37172	0.85797	1.0492	355.98
575	2.7646	157.42	265.94	0.41868	0.87282	1.0638	363.49
600	2.6487	179.45	292.71	0.46426	0.88699	1.0778	370.84
700	2.2687	270.84	403.07	0.63428	0.93770	1.1279	398.80
800	1.9844	366.84	518.02	0.78771	0.98009	1.1699	424.87
900	1.7635	466.72	636.83	0.92761	1.0156	1.2052	449.41
1000	1.5870	569.84	75887	1.0562	1.0453	1.2347	472.69
1100	1.4426	675.67	883.63	1.1750	1.0703	1.2596	494.88
0.50 MPa Isobar							
216.075 <sup>4</sup>	13.282	114.05	76.405	-0.59404	0.62692	0.90323	222.86
220	12.974	-111.42	-72.876	-0.57785	0.62625	0.89522	225.33
230	12.265	-104.78	-64.010	-0.53843	0.62547	0.87913	231.38
240	11.646	-98.202	-55.270	-0.50124	0.62750	0.86991	237.06
250	11097	-91650	-46.594	-0.46582	0.63186	0.86583	242.44
260	10.606	-85.086	-37.941	-0.43188	0.63782	0.86526	247.58
270	10.161	-78.487	-29.281	-0.39920	0.64484	0.86710	252.51
280	9.7568	-71.840	-20.594	-0.36761	0.65255	0.87063	257.27
290	9.3864	-65.133	-11.865	-0.33697	0.66071	0.87537	261.87
300	9.0456	-58.359	-3.0836	-0.30721	0.66916	0.88096	266.35
325	8.2996	-41.105	19.139	-0.23606	0.69081	0.89726	277.05
350	7.6736	-23.365	41.793	-0.16892	0.71244	0.91523	287.18
375	7.1393	-5.1305	64.905	-0.10514	0.73353	0.93370	296.85
400	6.6770	13.593	88.478	-0.04430	0.75386	0.95209	306.13
425	6.2725	32.793	112.51	0.01397	0.77335	0.97010	315.07
450	5.9154	52.453	136.98	0.06991	0.79197	0.98757	323.72
475	5.5975	72.554	161.88	0.12376	0.80975	1.0044	332.10
500	5.3126	93.079	187.19	0.17570	0.82672	1.0207	340.25
525	5.0558	114.01	212.91	0.22588	0.84292	1.0363	348.18
550	4.8229	135.33	239.00	0.27443	0.85840	1.0512	355.91
575	4.6108	157.02	265.46	0.32148	0.87318	1.0656	363.47
600	4.4168	179.07	292.28	0.36713	0.88731	1.0794	370.85
700	3.7814	270.54	402.76	0.53734	0.93789	1.1289	398.92
800	3.3067	366.60	517.81	0.69090	0.98022	1.1707	425.06
900	2.9383	466.51	636.68	0.83087	1.0157	1.2057	449.64
1000	2.6439	569.65	758.77	0.95947	1.0453	1.2352	472.94
1100	2.4033	675.51	883.56	1.0784	1.0703	1.2600	495.15

2024年5月15日



表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度(K)	密度 (kg/m³)	Internal energy (kJ/kg)	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s)
0.75 MPa Isobar							
216.642	1178.77	-427.22	-426.58	-2.2178	0.97489	1.9518	976.77
220	1166.48	-420.66	-420.01	-2.1878	0.97002	1.9607	952.10
225	1147.71	-410.82	-410.17	-2.1435	0.96306	1.9772	915.26
225.505	1145.78	-409.83	-409.17	-2.1391	0.96238	1.9792	911.52
225.505°	19.640	-111.58	-73.389	-0.65006	0.65557	0.96925	223.51
230	19.095	-108.34	-69.068	-0.63108	0.65297	0.95402	226.53
235	18.535	-104.80	-64.335	-0.61073	0.65047	0.93952	229.79
240	18.018	-101.29	-59.668	-0.59107	0.64888	0.92783	232.92
245	17.536	-97.821	-55.052	-0.57204	0.64826	0.91866	235.94
250	17.087	-94.371	-50.477	-0.55356	0.64852	0.91161	238.87
255	16.665	-90.937	-45.933	-0.53556	0.64951	0.90630	241.70
260	16.269	-87.513	-41.412	-0.51800	0.65110	0.90241	244.46
265	15.894	-84.094	-36.907	-0.50084	0.65318	0.89969	247.14
270	15.540	-80.676	-32.414	-0.48404	0.65565	0.89792	249.76
275	15.204	-77.256	-27.927	-0.46757	0.65844	0.89696	252.32
280	14.884	-73.831	-23.443	-0.45141	0.66150	0.89665	254.83
285	14.580	-70.399	-18.959	-0.43554	0.66478	0.89691	257.29
290	14.290	-66.957	-14.473	-0.41994	0.66824	0.89764	259.70
295	14.013	-63.505	-9.9821	-0.40458	0.67184	0.89878	262.07
300	13.747	-60.041	-5.4847	-0.38947	0.67556	0.90026	264.41
305	13.493	-56.564	-0.97908	-0.37457	0.67937	0.90202	266.70
310	13.249	-53.072	3.5360	-0.35989	0.68326	0.90404	268.96
315	13.015	-49.566	8.0617	-0.34540	0.68720	0.90627	271.19
320	12.789	-46.044	12.599	-0.33111	0.69120	0.90868	273.39
325	12.572	-42.507	17.149	-0.31701	0.69523	0.91126	275.56
330	12.363	-38.952	21.712	-0.30307	0.69928	0.91397	277.70
335	12.162	-35.381	26.289	-0.28931	0.70336	0.91680	279.82
340	11.967	-31.793	30.880	-0.27570	0.70744	0.91973	281.91
345	11.77y	-28.187	35.486	-0.26225	0.71154	0.92274	283.98
350	11.597	-24.563	40.107	-0.24896	0.71562	0.92583	286.02
360	11.251	-17.262	49.397	-0.22279	0.72378	0.93217	290.05
370	10.927	-9.8882	58.751	-0.19716	0.73188	0.93869	294.00
380	10.621	-2.4415	68.171	-0.17204	0.73991	0.94532	297.88
390	10.333	5.0782	77.658	-0.14739	0.74784	0.95202	301.68
400	10.062	12.671	87.212	-0.12321	0.75568	0.95875	305.42
410	9.8042	20.336	96.833	-0.09945	0.76340	0.96549	309.11
420	9.5603	28.072	106.52	-0.07610	0.77101	0.97221	31273
430	9.3287	35.880	116.28	-0.05315	0.77850	0.97890	316.31
440	9.1085	43.758	126.10	-0.03057	0.78586	0.98554	319.83
450	8.8987	51.706	135.99	-0.00835	0.79310	0.99212	323.30
460	8.6988	59.723	145.94	0.01353	0.80022	0.99864	326.73
470	8.5079	67.807	155.96	0.03508	0.80722	1.0051	330.12
480	8.3254	75.957	166.04	0.05631	0.81409	1.0115	333.46
490	8.1508	84.174	176.19	0.07723	0.82084	1.0178	336.76
500	7.9835	92.455	186.40	0.09785	0.82748	1.0240	340.03

## 二氧化碳1567

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度(K)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	间歇能量(kJ/kg)	焓 (kJ/kg)	熵 (kJ/(kgK))	C [kJ/(kg K)]	Cp [kJ/(kg K)] g	声速 (m/s)
0.75 MPa Isobar							
525	7.5946	113.43	212.19	0.14818	0.84355	1.0391	348.03
550	7.2425	134.79	238.35	0.19686	0.85893	1.0537	355.83
575	6.9222	156.52	264.87	0.24401	0.87363	1.0678	363.44
600	6.6294	178.60	291.74	0.28974	0.88769	1.0813	370.87
625	6.3608	201.02	318.93	0.33415	0.90115	1.0943	378.14
650	6.1133	223.76	346.45	0.37732	0.91402	1.1068	385.26
675	5.8846	246.82	374.27	0.41931	0.92634	1.1188	392.23
700	5.6725	270.16	402.38	0.46021	0.93812	1.1302	399.08
800	4.9589	366.29	517.53	0.61391	0.98037	1.1716	425.30
900	4.4056	466.25	636.49	0.75398	1.0158	1.2064	449.93
1000	3.9639	569.43	758.63	0.88265	1.0454	1.2357	473.27
1100	3.6030	675.32	883.47	1.0016	1.0704	1.2604	495.50
1.00 MPa Isobar							
216.695b	1179.10	-427.26	-426.41	-2.2180	0.97514	1.9503	977.76
220	1167.03	-420.80	-419.95	-2.1884	0.97034	1.9589	953.55
225	1148.32	-410.99	-410.11	-2.1442	0.96337	1.9751	916.83
230	1128.97	-401.08	-400.19	-2.1006	0.95680	1.9959	879.82
233.028°	1116.90	-395.02	-394.12	-2.0744	0.95303	2.0111	857.18
233.028°	26.006	-109.94	-71.484	-0.68986	0.68026	1.0322	223.50
235	25.665	-108.42	-69.459	-0.68120	0.67819	1.0220	224.93
240	24.857	-104.64	-64.408	-0.65993	0.67332	0.99915	228.46
245	24.117	-100.92	-59.460	-0.63953	0.66959	0.98058	231.84
250	23.435	-97.266	-54.595	-0.61987	0.66716	0.96579	235.08
255	22.803	-93.650	-49.797	-0.60087	0.66588	0.95411	238.19
260	22.215	-90.065	-45.050	-0.58243	0.66557	0.94495	241.19
265	21.664	-86.503	-40.344	-0.56450	0.66605	0.93783	244.10
270	21.147	-82.957	-35.669	-0.54703	0.66718	0.93235	246.91
275	20.660	-79.422	-31.018	-0.52996	0.66884	0.92821	249.66
280	20.199	-75.892	-26.385	-0.51326	0.67092	0.92518	252.33
285	19.763	-72.364	-21.765	-0.49691	0.67335	0.92307	254.93
290	19.349	-68.836	-17.153	-0.48087	0.67607	0.92172	257.49
295	18.955	-65.303	-12.547	-0.46512	0.67902	0.92103	259.98
300	18.579	-61.765	-7.9420	-0.44964	0.68217	0.92089	262.43
305	18.221	-58.220	-3.3370	-0.43442	0.68547	0.92121	264.83
310	17.878	-54.665	1.2707	-0.41943	0.68890	0.92192	267.20
315	17.549	-51.100	5.8828	-0.40467	0.69243	0.92298	269.52
320	17.234	-47.523	10.501	-0.39013	0.69605	0.92433	271.80
325	16.932	-43.934	15.126	-0.37578	0.69974	0.92594	274.06
330	16.641	-40.331	19.761	-0.36163	0.70349	0.92777	276.28
335	16.361	-36.715	24.405	-0.34767	0.70729	0.92981	278.46
340	16.092	-33.084	29.059	-0.33387	0.71112	0.93200	280.62
345	15.832	-29.438	33.725	-0.32025	0.71498	0.93435	282.76
350	15.581	-25.777	38.403	-0.30679	0.71885	0.93681	284.86

20  
24  
年  
5  
月  
5  
日  
15  
时

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	体内能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	CCp速度 [kJ/(kg K)] [kJ/(kg K)] 声音 (m/s)		
1.00 MPa Isobar							
360	15.105	-18.406	47.797	-0.28033	0.72664	0.94206	289.00
370	14.659	-10.970	57.245	-0.25444	0.73442	0.94763	293.05
380	14.241	-3.4677	66.750	-0.22909	0.74217	0.95345	297.02
390	13.848	4.1027	76.315	-0.20425	0.74988	0.95944	300.91
400	13.477	11.741	85.939	-0.17988	0.75751	0.96555	304.72
410	13.127	19.449	95.626	-0.15596	0.76505	0.97174	308.47
420	12.796	27.224	105.37	-0.13247	0.77251	0.97798	312.16
430	12.482	35.068	115.19	-0.10939	0.77986	0.98423	315.79
440	12.183	42.979	125.06	-0.08669	0.78710	0.99049	319.37
450	11.899	50.957	135.00	-0.06436	0.79424	0.99673	322.89
460	11.629	59.001	144.99	-0.04238	0.80126	1.0029	326.37
470	11.371	67.112	155.05	-0.02075	0.80817	1.0091	329.79
480	11.125	75.287	165.18	0.00056	0.81497	1.0152	333.18
490	10.889	83.526	175.36	0.02156	0.82166	1.0213	336.52
500	10.664	91.829	185.60	0.04225	0.82823	1.0273	339.81
525	10.141	112.86	211.47	0.09273	0.84418	1.0420	347.90
550	9.6675	134.26	237.70	0.14154	0.85946	1.0563	355.76
575	9.2375	156.02	264.28	0.18879	0.87408	1.0700	363.42
600	8.8449	178.14	291.19	0.23462	0.88808	1.0833	370.90
625	8.4849	200.58	318.44	0.27910	0.90149	1.0961	378.20
650	8.1535	223.35	345.99	0.32233	0.91432	1.1084	385.36
675	7.8474	246.42	373.85	0.36438	0.92660	1.1202	392.37
700	7.5638	269.79	402.00	0.40533	0.93835	1.1315	399.24
800	6.6102	365.98	517.26	0.55918	0.98053	1.1725	425.54
900	5.8718	465.99	636.29	0.69934	1.0159	1.2071	450.22
1000	5.2826	569.20	758.50	0.82807	1.0455	1.2362	473.59
1100	4.8014	675.12	883.39	0.94708	1.0704	1.2608	495.84
2.00 MPa Isobar							
216.908	1180.41	-427.40	-425.70	-2.2187	0.97612	1.9443	981.71
220	1169.23	-421.39	-419.68	-2.1911	0.97160	1.9517	959.33
225	1150.73	-411.63	-409.89	-2.1471	0.96458	1.9667	923.07
230	1131.64	-401.78	-400.01	-2.1037	0.95796	1.9858	886.59
235	1111.85	-391.82	-390.02	-2.0607	0.95178	2.0100	849.70
240	1091.24	-381.73	-379.90	-2.0181	0.94610	2.0404	812.17
245	1069.65	-371.47	-369.60	-1.9756	0.94098	2.0786	773.73
250	1046.88	-361.01	-359.10	-1.9332	0.93660	2.1271	733.93
253.647	1029.36	-353.20	-351.26	-1.9021	0.93409	2.1710	703.64
253.647	52.540	-107.99	-69.929	-0.79292	0.76254	1.2983	220.27
255	51.941	-106.69	-68.187	-0.78607	0.75793	1.2773	221.55
260	49.914	-102.04	-61.969	-0.76192	0.74331	1.2130	226.07
265	48.129	-97.586	-56.031	-0.73930	0.73233	1.1646	230.27
270	46.533	-93.285	-50.304	-0.71789	0.72439	1.1276	234.21
275	45.090	-89.098	-44.742	-0.69748	0.71881	1.0987	237.93

二氧化碳的新状态方程1569

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m)	体内能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	佛得角 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m /s)
2.00 MPa Isobar							
280	43.772	-84.999	-39.308	-0.67789	0.71503	1.0758	241.45
285	42.560	-80.969	-33.977	-0.65902	0.71265	1.0574	244.82
290	41.438	-76.992	-28.728	-0.64076	0.71135	1.0425	248.05
295	40.395	-73.058	-23.547	-0.62305	0.71092	1.0305	251.15
300	39.420	-69.155	-18.420	-0.60581	0.71116	1.0206	254.15
305	38.506	-65.278	-13.338	-0.58901	0.71195	1.0125	257.06
310	37.645	-61.420	-8.2920	-0.57260	0.71317	1.0059	259.89
315	36.832	-57.577	-3.2763	-0.55655	0.71475	1.0005	262.63
320	36.063	-53.744	1.7152	-0.54083	0.71664	0.99621	265.31
325	35.333	-49.917	6.6872	-0.52541	0.71879	0.99276	267.93
330	34.639	-46.095	11.644	-0.51028	0.72117	0.99008	270.49
335	33.977	-42.273	16.589	-0.49541	0.72373	0.98805	272.99
340	33.346	-38.451	21.526	-0.48078	0.72645	0.98659	275.45
345	32.743	-34.627	26.456	-0.46638	0.72929	0.98561	277.85
350	32.165	-30.798	31.382	-0.45221	0.73225	0.98506	280.22
360	31.078	-23.121	41.232	-0.42446	0.73841	0.98503	284.83
370	30.075	-15.414	51.087	-0.39746	0.74484	0.98616	289.30
380	29.143	-7.6685	60.958	-0.37113	0.75144	0.98819	293.64
390	28.276	0.12033	70.853	-0.34543	0.75815	0.99093	297.87
400	22.464	7.9565	80.778	-0.32030	0.76494	0.99423	301.99
410	26.704	15.843	90.739	-0.29571	0.77175	0.99798	306.02
420	25.989	23.782	100.74	-0.27161	0.77856	1.0021	309.96
430	25.314	31.775	110.78	-0.24798	0.78535	1.0064	313.83
440	24.678	39.824	120.87	-0.22479	0.79211	1.0110	317.61
450	24.075	47.929	131.00	-0.20202	0.79881	1.0158	321.33
460	23.504	56.091	141.18	-0.17964	0.80545	1.0207	324.99
470	22.961	64.310	151.42	-0.15763	0.81202	1.0256	328.58
480	22.444	72.587	161.70	-0.13599	0.81852	1.0307	332.12
490	21.952	80.920	172.03	-0.11468	0.82493	1.0358	335.60
500	21.482	89.311	182.41	-0.09371	0.83126	1.0409	339.03
525	20.396	110.54	208.59	-0.04261	0.84670	1.0537	347.41
550	19.419	132.11	235.10	0.00670	0.86158	1.0664	355.52
575	18.536	154.02	261.91	0.05438	0.87589	1.0790	363.39
600	17.733	176.26	289.04	0.10056	0.88964	1.0912	371.05
625	16.999	198.82	316.47	0.14535	0.90284	1.1031	378.52
650	16.325	221.69	344.20	0.18884	0.91550	1.1147	385.81
673	15.705	244.85	372.20	0.23112	0.92764	1.1259	392.94
700	15.130	268.30	400.49	0.27227	0.93928	1.1367	399.92
800	13.207	364.75	516.19	0.42670	0.98114	1.1762	426.52
900	11.724	464.95	635.54	0.56724	1.0163	1.2099	451.40
1000	10.544	568.30	757.99	0.69622	1.0459	1.2384	474.89
1100	9.5815	674.33	883.06	0.81542	1.0707	1.2625	497.22

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 (kg/m³)	间质能量 (kJ/kg)	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kgK)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s)
3.00 MPa Isobar							
217.121b	1181.71	-427.54	-425.00	-2.2193	0.97705	1.9386	985.63
220	1171.40	-421.97	-419.41	-2.1938	0.97282	1.9449	965.03
225	1153.10	-412.25	-409.65	-2.1499	0.96576	1.9587	929.22
230	1134.25	-402.46	-399.82	-2.1067	0.95909	1.9763	893.25
235	1114.74	-392.57	-389.88	-2.0639	0.95286	1.9986	856.93
240	1094.46	-382.56	-379.82	-2.0216	0.94711	2.0265	820.08
245	1073.29	-372.40	-369.61	-1.9795	0.94190	2.0613	782.45
250	1051.02	-362.05	-359.19	-1.9374	0.93737	2.1051	743.69
255	1027.42	-351.46	-348.54	-1.8952	0.93383	2.1608	703.23
260	1002.13	-340.55	-337.56	-1.8526	0.93209	2.2331	660.22
265	974.65	-329.24	-326.16	-1.8091	0.93362	2.3306	613.45
267.5985	959.25	-323.15	-320.03	-1.7861	0.93647	2.3959	587.14
267.598	81.919	-109.79	-73.169	-0.86360	0.83693	1.6438	214.95
270	79.807	-106.92	-69.327	-0.84931	0.82029	1.5582	217.92
275	76.011	-101.35	-61.879	-0.82197	0.79485	1.4301	223.53
280	72.805	-96.166	-54.960	-0.79703	0.77747	1.3423	228.55
285	70.025	-91.258	-48.416	-0.77387	0.76520	1.2784	233.14
290	67.568	-86.550	-42.151	-0.75207	0.75645	1.2300	237.39
295	65.368	-81.993	-36.099	-0.73138	0.75024	1.1923	241.37
300	63.376	-77.552	-30.215	-0.71160	0.74589	1.1623	245.13
305	61.556	-73.203	-24.466	-0.69260	0.74293	1.1380	248.70
310	59.881	-68.927	-18.827	-0.67426	0.74101	1.1181	252.12
315	58.332	-64.710	-13.280	-0.65650	0.73994	1.1016	255.40
320	56.890	-60.540	-7.8071	-0.63927	0.73955	1.0878	258.56
325	55.544	-56.409	-2.3975	-0.62249	0.73974	1.0763	261.61
330	54.281	-52.309	2.9594	-0.60614	0.74041	1.0667	264.56
335	53.092	-48.233	8.2721	-0.59016	0.74148	1.0586	267.43
340	51.970	-44.178	13.548	-0.57453	0.74287	1.0518	270.21
345	50.908	-40.137	18.792	-0.55921	0.74453	1.0462	272.93
350	49.901	-36.108	24.011	-0.54419	0.74643	1.0414	275.58
360	48.031	-28.073	34.387	-0.51496	0.75077	1.0343	280.71
370	46.327	-20.052	44.705	-0.48669	0.75568	1.0296	285.63
380	44.765	-12.030	54.986	-0.45928	0.76102	1.0269	290.37
390	43.326	-3.9958	65.247	-0.43262	0.76667	1.0256	294.95
400	41.992	4.0597	75.502	-0.40666	0.77255	1.0255	299.39
410	40.752	12.143	85.760	-0.38133	0.77858	1.0263	303.70
420	39.594	20.261	96.030	-0.35658	0.78472	1.0279	307.90
430	38.509	28.416	106.32	-0.33237	0.79093	1.0301	312.00
440	37.491	36.613	116.63	-0.30866	0.79717	1.0327	316.00
450	36.531	44.854	126.98	-0.28542	0.80343	1.0358	319.91
460	35.625	53.141	137.33	-0.26261	0.80967	1.0392	323.74
470	34.768	61.475	147.76	-0.24023	0.81589	1.0428	327.50
480	33.956	69.858	158.21	-0.21823	0.82207	1.0467	331.19
490	33.185	78.291	168.69	-0.19661	0.82821	1.0507	334.81
500	32.451	86.774	179.22	0.17534	0.83429	1.0549	338.37

## 二氧化碳的新状态方程1571

表35年。二氧化碳的热力学性质-连续的

温度 (K)	密度 ( kg/m <sup>3</sup> )	体内能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 (kJ/ (kgK) )	C [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kg K)]	声速 (m/s )
3.00 MPa Isobar							
525	30.761	108.20	205.73	-0.12361	0.84921	1.0656	347.04
550	29.252	129.95	232.51	-0.07378	0.86369	1.0768	355.39
575	27.893	152.01	259.57	-0.02567	0.87769	1.0880	363.46
600	26.661	174.38	286.91	0.02087	0.89118	1.0992	371.30
625	25.540	197.06	314.53	0.06597	0.90418	1.1102	378.92
650	24.513	220.03	342.42	0.10972	0.91667	1.1211	386.34
675	23.569	243.29	370.58	0.15223	0.92868	1.1316	393.58
700	22.697	266.82	399.00	0.19357	0.94020	1.1419	400.65
800	19.789	363.53	515.13	0.34859	0.98175	1.1799	427.55
900	17.556	463.91	634.79	0.48950	1.0168	1.2126	452.61
1000	15.783	567.41	757.48	0.61874	1.0462	1.2405	476.2
1100	14.340	673.54	882.75	0.73811	1.0710	1.2642	498.61
4.00 MPaIsobar							
217.334°	1182.98	-427.67	-424.29	-2.2200	0.97796	1.9330	989.53
220	1173.53	-422.54	-419.13	-2.1964	0.97402	1.9384	970.66
225	1155.43	-412.87	-409.41	-2.1527	0.96691	1.9510	935.29
230	1136.80	-403.13	-399.62	-2.1096	0.96020	1.9673	899.79
235	1117.56	-393.31	-389.73	-2.0671	0.95391	1.9878	864.02
240	1097.60	-383.37	-379.73	-2.0250	0.94810	2.0134	827.80
245	1076.81	-373.30	-369.59	-1.9832	0.94281	2.0452	790.92
250	1055.01	-363.06	-359.26	-1.9415	0.93814	2.0849	753.10
255	1032.00	-352.60	-348.72	-1.8997	0.93435	2.1348	713.89
260	1007.49	-341.86	-337.89	-1.8577	0.93199	2.1986	672.67
265	981.06	-330.78	-326.70	-1.8150	0.93201	2.2823	628.62
270	952.10	-319.22	-315.02	-1.7714	0.93573	2.3972	580.72
275	919.56	-306.99	-302.64	-1.7259	0.94504	2.5660	527.52
278.450°	894.05	-297.98	-293.51	-1.6929	0.95655	2.7401	486.42
278.450°	115.74	-114.09	-79.534	-0.92449	0.91069	2.1642	208.78
280	113.08	-111.66	-76.288	-0.91286	0.89131	2.0294	211.36
285	106.02	-104.65	-66.920	-0.87969	0.84827	1.7461	218.60
290	100.47	-98.453	-58.641	-0.85089	0.82129	1.5780	224.72
295	95.884	-92.766	-51.048	-0.82493	0.80299	1.4657	230.14
300	91.965	-87.427	-43.932	-0.80101	0.79011	1.3850	235.04
305	88.543	-82.340	-37.165	-0.77864	0.78082	1.3244	239.56
310	85.508	-77.445	-30.665	-0.75750	0.77402	1.2773	243.77
315	82.781	-72.697	-24.376	-0.73737	0.76906	1.2397	247.73
320	80.306	-68.066	-18.256	-0.71809	0.76551	1.2092	251.49
325	78.043	-63.529	-12.275	-0.69955	0.76308	1.1842	255.07
330	75.958	-59.068	-6.4078	-0.68163	0.76156	1.1633	258.49
355	74.028	-54.670	-0.63601	-0.66427	0.76076	1.1459	261.78
340	72.231	-50.322	5.0556	-0.64741	0.76054	1.1312	264.95
345	70.552	-46.017	10.679	-0.63099	0.76080	1.1187	268.01
350	68.976	-41.746	16.245	-0.61497	0.76145	1.1080	270.98

20  
24  
年  
5  
月  
5  
日  
15  
:..  
..

表35。二氧化碳燃烧的热力学性质

温度 (K)	密度 ( kg/m³)	土著 (kJ/kg	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kg K)]	c [kJ/(kg K)]	音速 (m/s)
4.00 MPa Isobar							
360	66.092	-33.284	27.237	-0.58400	0.76371	1.0912	276.67
370	63.509	-24.899	38.084	-0.55428	0.76695	1.0789	282.06
380	61.173	-16.562	48.826	-0.52564	0.77091	1.0700	287.22
390	59.045	-8.2521	59.493	-0.49793	0.77542	1.0637	292.17
400	57.094	0.04711	70.107	-0.47105	0.78032	1.0595	296.93
410	55.294	8.3478	80.688	-0.44493	0.78553	1.0569	301.53
420	53.627	16.660	91.249	-0.41948	0.79097	1.0555	305.99
430	52.076	24.990	101.80	-0.39465	0.79657	1.0552	310.31
440	50.628	33.346	112.35	-0.37039	0.80228	1.0556	314.52
450	49.270	41.732	122.92	-0.34665	0.80808	1.0568	318.63
460	47.995	50.151	133.49	-0.32341	0.81391	1.0585	322.64
470	46.794	58.607	144.09	-0.30062	0.81978	1.0607	326.55
480	45.659	67.102	154.71	-0.27826	0.82564	1.0633	330.39
490	44.585	75.638	165.35	-0.25631	0.83150	1.0661	334.15
500	43.566	84.217	176.05	-0.23474	0.83733	1.0692	337.84
525	41.233	105.86	202.87	-0.18237	0.85173	1.0779	346.77
550	39.160	127.79	229.93	-0.13201	0.86580	1.0873	355.36
575	37.302	(50.00	257.24	-0.08346	0.87948	1.0971	363.63
600	35.625	172.51	284.79	-0.03655	0.89272	1.1072	371.63
625	34.103	195.30	312.60	0.00885	0.90551	1.1174	379.39
650	32.712	218.38	340.66	0.05287	0.91784	1.1274	386.93
675	31.437	241.73	368.97	0.09561	0.92971	1.1374	394.28
700	30.262	265.35	397.52	0.13715	0.94111	1.1471	401.45
800	26.355	362.32	514.09	0.29274	0.98236	1.1835	428.62
900	23.367	462.88	634.07	0.43402	1.0172	1.2153	453.84
1000	21.001	566.52	756.99	0.56351	1.0465	1.2425	477.55
1100	19.077	672.77	882.44	0.68306	1.0712	1.2658	500.01
5.00 MPa Isobar							
217.546	1184.25	-427.80	-423.58	-2.2206	0.97883	1.9275	993.41
220	1175.62	-423.10	-418.85	-2.1990	0.97518	1.9321	976.23
225	1157.72	-413.48	-409.16	-2.1554	0.96803	1.9436	941.27
230	1139.31	-403.79	-399.41	-2.1125	0.96127	1.9586	906.23
235	1120.32	-394.03	-389.57	-2.0702	0.95493	1.9775	870.97
240	1100.66	-384.17	-379.62	-2.0283	0.94906	2.0011	835.35
245	1080.22	-374.18	-369.55	-1.9868	0.94369	2.0302	799.17
250	1058.86	-364.03	-359.31	-1.9454	0.93891	2.0663	762.21
255	1036.39	-353.69	-348.87	-1.9041	0.93492	2.1112	724.10
260	1012.57	-343.12	-338.18	-1.8626	0.93209	2.1678	684.39
265	987.07	-332.23	-327.16	-1.8206	0.93107	2.2407	642.50
270	95930	-320.04	-315.73	-1.7779	0.93262	2.3377	597.75
275	928.78	-309.11	-303.72	-1.7338	0.93765	2.4735	549.26
280	893.90	-296.47	-290.88	-16875	0.94778	2.6797	495.52
285	852.04	-282.54	-276.67	-1.6373	0.96716	3.0437	433.50

二氧化碳的新状态方程1573

表35年。二氧化碳的热力学性质-连续的

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	间质能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kgK)]	C [kJ/(kg K)]	声速 (m/ s)
5.00 MPa Isobar							
287.434	827.32	-274.96	-268.91	-1.6101	0.98314	3.3572	398.39
287.4345	156.67	-121.04	-89.122	-0.98464	0.99465	3.1142	201.86
290	148.41	-115.58	-81.892	-0.95959	0.94334	2.5783	207.56
295	136.85	-106.98	-70.445	-0.92044	0.88615	2.0671	216.24
300	128.40	-99.772	-60.830	-0.88811	0.85258	1.8025	223.25
305	121.69	-93.344	-52.258	-0.85977	0.83051	1.6378	229.28
310	116.13	-87.423	-44.367	-0.83411	0.81508	1.5246	234.66
315	111.37	-81.856	-36.961	-0.81041	0.80388	1.4418	239.55
320	107.22	-76.552	-29.917	-0.78822	0.79562	1.3786	244.08
325	103.53	-71.448	-23.153	-0.76724	0.78951	1.3289	248.32
330	100.22	-66.502	-16.612	-0.74727	0.78505	1.2890	252.30
335	97.221	-61.681	-10.251	-0.72814	0.78185	1.2564	256.08
340	94.478	-56.961	-4.0388	-0.70973	0.77963	1.2294	259.68
345	91.955	-52.325	2.0498	-0.69195	0.77820	1.2067	263.13
350	89.619	-47.757	8.0342	-0.67473	0.77739	1.1875	266.45
360	85.418	-38.785	19.750	-0.64172	0.77727	1.1573	272.74
370	81.726	-29.974	31.205	-0.61034	0.77863	1.1349	278.64
380	78.440	-21.276	42.467	-0.58030	0.78109	1.1182	284.23
390	75.484	-12.655	53.584	-0.55142	0.78436	1.1058	289.55
400	72.804	-4.0846	64.593	-0.52355	0.78824	1.0965	294.63
410	70.355	4.4545	75.523	-0.49656	0.79259	1.0898	299.52
420	68.104	12.978	86.396	-0.47036	0.79729	1.0850	304.24
430	66.024	21.498	97.228	-0.44487	0.80226	1.0818	308.79
440	64.094	30.024	108.03	-0.42003	0.80743	1.0798	313.21
450	62.295	38.564	118.83	-0.39578	0.81274	1.0788	317.50
460	60.613	47.123	129.61	-0.37207	0.81817	1.0787	321.68
470	59.035	55.707	140.40	-0.34886	0.82367	1.0792	325.75
480	57.550	64.320	151.20	-0.32613	0.82921	1.0804	329.73
490	56.150	72.964	162.01	-0.30384	0.83478	1.0820	333.62
500	54.826	81.644	172.84	-0.28196	0.84035	1.0840	337.43
525	51.807	103.51	200.02	-0.22893	0.85423	1.0903	346.63
550	49.140	125.62	227.37	-0.17803	0.86790	1.0979	355.43
575	46.761	147.99	254.92	-0.12904	0.88126	1.1064	363.88
600	44.621	170.64	282.69	-0.08177	0.89425	1.1153	372.04
625	42.685	193.55	310.69	-0.03605	0.90684	1.1245	379.93
650	40.921	216.73	338.92	0.00823	0.91900	1.1338	387.59
675	39.307	240.17	367.38	0.05120	0.93073	1.1431	395.04
700	37.823	263.87	396.07	0.09293	0.94202	1.1523	402.30
800	32.904	361.11	513.07	0.24911	0.98296	1.1871	429.72
900	29.156	461.86	633.35	0.39075	1.0176	1.2179	455.10
1000	26.196	565.64	756.51	0.52048	1.0469	1.2446	478.91
1100	23.793	671.99	882.14	0.64021	1.0715	1.2674	501.43



表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度(K)	密度 ( kg/m³ )	间质能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 (kJ/ (kgK) )	公司 [kJ/(kg K)]	cp [kJ/(kg K)]	声速 (m/ s)
6.00 MPa Isobar							
217.758°	1185.49	-427.93	-422.87	-2.2212	0.97967	1.9222	997.26
220	1177.69	-423.65	-418.56	-2.2015	0.97632	1.9260	981.74
225	1159.97	-414.07	-408.90	-2.1581	0.96912	1.9366	947.17
230	1141.77	-404.44	-399.19	-2.1154	0.96232	1.9504	912.57
235	1123.02	-394.73	-389.39	-2.0733	0.95593	1.9678	877.80
240	1103.65	-384.94	-379.50	-2.0316	0.95000	1.9894	842.74
245	1083.55	-375.03	-369.49	-1.9903	0.94456	2.0162	807.22
250	1062.59	-364.98	-359.33	-1.9493	0.93968	2.0491	771.04
255	1040.62	-354.75	-348.99	-1.9083	0.93551	2.0897	733.92
260	1017.43	-344.31	-338.42	-1.8673	0.93233	2.1402	695.50
265	992.74	-333.60	-327.56	-1.8259	0.93057	2.2042	655.38
270	966.16	-322.55	-316.34	-1.7840	0.93070	2.2873	613.08
275	937.12	-311.04	-304.64	-1.7410	0.93321	2.3994	568.01
280	904.68	-298.90	-292.27	-1.6965	0.93889	2.5598	519.20
285	867.13	-285.81	-278.89	-1.6491	0.94979	2.8131	464.94
290	820.77	-271.08	-263.77	-1.5965	0.97135	3.2947	401.70
295	753.39	-252.51	-244.55	-1.5308	1.0250	4.7540	317.23
295.1285	751.03	-251.92	-243.93	-1.5288	1.0277	4.8386	314.35
295.1285	210.88	-131.91	-103.46	-1.0528	1.1086	5.5056	193.67
300	182.31	-117.53	-84.623	0.08943	0.96413	2.9858	207.78
305	166.26	-107.73	-71.643	-0.94650	0.90457	2.3038	217.07
310	154.99	-99.750	-61.037	-0.91200	0.87020	1.9705	224.44
315	146.25	-92.751	-51.726	-0.88220	0.84761	1.7687	230.73
320	139.11	-86.373	-43.243	-0.85548	0.83170	1.6322	236.30
325	133.08	-80.425	-35.341	-0.83098	0.82010	1.5335	241.37
330	127.87	-74.792	-27.869	-0.80816	0.81151	1.4588	246.04
335	123.27	-69.398	-20.726	-0.78668	0.80512	1.4004	250.39
340	119.18	-64.191	-13.846	-0.76629	0.80035	1.3536	254.48
345	115.48	-59.133	-7.1762	-0.74682	0.79684	1.3154	258.36
350	112.12	-54.197	-0.68096	-0.72812	0.79430	1.2837	262.05
360	106.19	-44.606	11.897	-0.69269	0.79142	1.2346	268.98
370	101.10	-35.295	24.054	-0.65937	0.79070	1.1988	275.41
380	96.643	-26.182	35.903	-0.62778	0.79152	1.1722	281.43
390	92.694	-17.210	47.519	-0.59760	0.79347	1.1521	287.12
400	89.155	-8.3384	58.960	-0.56863	0.79627	1.1368	292.53
410	85.954	0.46261	70.268	-0.54071	0.79971	1.1252	297.71
420	83.036	9.2162	81.474	-0.51371	0.80365	1.1164	302.67
430	80.360	17.940	92.604	-0.48752	0.80797	1.1099	307.45
440	77.892	26.648	103.68	-0.46206	0.81258	1.1051	312.07
450	75.605	35.351	114.71	-0.43726	0.81742	1.1018	316.54
460	73.477	44.059	125.72	-0.41307	0.82242	1.0996	320.88
470	71.488	52.778	136.71	-0.38944	0.82755	1.0984	325.10
480	69.625	61.513	147.69	-0.36632	0.83277	1.0980	329.21
490	67.874	70.271	158.67	-0.34367	0.83805	1.0983	333.23
500	66.223	79.054	169.66	-0.32148	0.84337	1.0991	337.15

2024年5月15日

二氧化碳的新状态方程1575

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	体内能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)	公司 [kJ/(kg K)	C [kJ/(kg K)	声速 (m/ s)
6.00 MPaIsobar							
525	62.477	101.14	197.18	-0.26777	0.85672	1.1030	346.60
550	59.186	123.45	224.82	-0.21633	0.86998	1.1087	355.60
575	56.264	145.98	252.62	-0.16690	0.88302	1.1157	364.23
600	53.645	168.76	280.61	-0.11925	0.89577	1.1234	372.54
625	51.282	191.80	308.80	-0.07323	0.90815	1.1317	380.56
650	49.136	215.09	337.20	-0.02868	0.92015	1.1402	388.32
675	47.176	238.62	365.81	0.01451	0.93174	1.1488	395.86
700	45.377	262.41	394.64	0.05645	0.94292	1.1574	403.20
800	39.435	359.91	512.06	0.21320	0.98356	1.1906	430.87
900	34.924	460.85	632.65	0.35520	1.0181	1.2206	456.39
1000	31.368	564.76	756.04	0.48518	1.0472	1.2466	480.28
1100	28.480	671.23	881.83	0.60507	1.0718	1.2691	502.86
700 MPa Isoba							
217.9695	1186.73	-428.06	-422.16	-2.2218	0.98048	1.9170	1001.1
220	1179.72	-424.19	-418.26	-2.2040	0.97743	1.9202	987.18
225	1162.17	-414.66	-408.64	-2.1607	0.97018	1.9298	952.99
230	1144.18	-405.07	-398.96	-2.1182	0.96334	1.9425	918.81
235	1125.67	-395.42	-389.21	-2.0763	0.95691	1.9585	884.52
240	1106.56	-385.69	-379.30	-2.0348	0.93092	1.9785	849.99
245	1086.78	-375.85	-369.41	-1.9938	0.94542	2.0030	815.07
250	1066.20	-365.89	-359.33	-1.9530	0.94045	2.0330	779.62
255	1044.69	-355.77	-349.07	-1.9124	0.93613	2.0699	743.39
260	1022.07	-345.46	-338.61	-1.8718	0.93267	2.1152	706.11
265	998.11	-334.91	-327.90	-1.8310	0.93037	2.1718	667.47
270	972.50	-324.07	-316.87	-1.7898	0.92952	2.2439	627.14
275	944.77	-312.83	-305.42	-1.7478	0.93042	2.3383	584.70
280	914.25	-301.09	-293.43	-1.7045	0.93353	2.4674	539.49
285	879.80	-288.61	-280.65	-1.6593	0.94003	2.6565	490.42
290	839.25	-275.01	-266.66	-1.6107	0.95290	2.9683	435.61
295	787.63	-259.35	-250.47	-1.5553	0.97893	3.5994	371.18
300	706.06	-238.25	-228.34	-1.4810	1.0529	5.9775	281.10
301.833°	638.31	-223.87	-212.90	-1.4297	1.2173	14.685	211.72
301.833	304.03	-152.89	-129.87	-1.1546	1.3535	21.953	179.63
305	243.08	-131.34	-102.55	-1.0644	1.0602	5.0681	199.60
310	210.63	-116.70	-83.469	-1.0024	0.95569	3.0512	212.29
315	191.97	-106.54	-70.071	-0.95947	0.90676	2.3936	221.05
320	178.74	-98.192	-59.029	-0.92468	0.87690	2.0539	228.16
325	168.48	-90.870	-49.322	-0.89458	0.85650	1.8433	234.30
330	160.11	-84.207	-40.487	-0.86760	0.84183	1.6992	239.80
335	153.05	-78.004	-32.266	-0.84287	0.83102	1.5942	244.81
340	146.95	-72.139	-24.503	-0.81987	0.82293	1.5144	249.45
345	141.59	-66.532	-17.094	-0.79823	0.81682	1.4517	253.79
350	136.82	-61.129	-9.9662	-0.77772	0.81220	1.4012	257.89

2024年5月5日 15:31

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	内能 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 (kJ/ (kgK)	公司 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kg K)]	声速 (m/ s)
700 MPa Isobar							
360	128. 61	-50. 782	3. 6440	-0. 73937	0. 80615	1. 3254	265. 47
370	121. 75	-40. 880	16. 616	-0. 70383	0. 80311	1. 2718	272. 42
380	115. 86	-31. 289	29. 127	-0. 67046	0. 80216	1. 2325	278. 88
390	110. 73	-21. 922	41. 298	-0. 63885	0. 80271	1. 2030	284. 94
400	106. 18	-12. 716	53. 210	-0. 60869	0. 80437	1. 1805	290. 66
410	102. 11	-3. 6281	64. 925	-0. 57976	0. 80688	1. 1632	296. 11
420	98. 436	5. 3748	76. 487	-0. 55189	0. 81003	1. 1499	301. 31
430	95. 090	14. 318	87. 932	-0. 52496	0. 81369	1. 1396	306. 30
440	92. 024	23. 220	99. 287	-0. 49886	0. 81773	1. 1317	311. 11
450	89. 200	32. 097	110. 57	-0. 47350	0. 82208	1. 1258	315. 75
460	86. 584	40. 960	121. 81	-0. 44880	0. 82666	1. 1214	320. 24
470	84. 151	49. 820	133. 00	0. 42472	0. 83141	1. 1183	324. 61
480	81. 880	58. 684	144. 18	-0. 40120	0. 83631	1. 1162	328. 85
490	79. 752	67. 559	155. 33	-0. 37820	0. 84130	1. 1150	332. 98
500	77. 753	76. 450	166. 48	-0. 35568	0. 84636	1. 1145	337. 01
525	73. 239	98. 773	194. 35	-0. 30129	0. 85919	1. 1158	346. 69
550	69. 294	121. 27	222. 29	-0. 24930	0. 87205	1. 1196	355. 89
575	65. 807	143. 97	250. 34	-0. 19942	0. 88478	1. 1250	364. 68
600	62. 694	166. 90	278. 55	-0. 15140	0. 89727	1. 1316	373. 12
625	59. 892	190. 05	306. 93	-0. 10506	0. 90945	1. 1388	381. 25
650	57. 354	213. 45	335. 50	-0. 06025	0. 92129	1. 1465	389. 12
675	55. 041	237. 08	364. 26	-0. 01683	0. 93275	1. 1545	396. 75
700	52. 922	260. 95	393. 22	0. 02530	0. 94382	1. 1625	404. 16
800	45. 945	358. 71	511. 07	0. 18262	0. 98415	1. 1942	432. 04
900	40. 668	459. 84	631. 96	0. 32498	1. 0185	1. 2232	457. 70
1000	36. 517	563. 89	755. 58	0. 45520	1. 0475	1. 2486	481. 67
1100	33. 158	670. 46	881. 58	0. 57527	1. 0720	1. 2707	504. 30
7. 50 MPa Isobar							
218. 074b	1187. 34	-428. 12	-421. 80	-2. 2221	0. 98087	1. 9145	1003. 0
220	1180. 72	-424. 46	-418. 11	-2. 2052	0. 97797	1. 9173	989. 88
225	1163. 26	-414. 95	-408. 50	-2. 1621	0. 97071	1. 9265	955. 88
230	1145. 37	-405. 39	-398. 84	-2. 1196	0. 96384	1. 9387	921. 90
235	1126. 97	-395. 76	-389. 11	-2. 0777	0. 95738	1. 9541	887. 83
240	1107. 99	-386. 06	-379. 29	-2. 0364	0. 95138	1. 9732	853. 55
245	1088. 36	-376. 26	-369. 37	-1. 9955	0. 94584	1. 9967	818. 94
250	1067. 96	-366. 34	-359. 32	-1. 9549	0. 94083	2. 0254	783. 82
255	1046. 67	-356. 27	-349. 10	-1. 9144	0. 93644	2. 0605	748. 00
260	1024. 32	-346. 02	-338. 70	-1. 8740	0. 93286	2. 1036	711. 24
265	1000. 70	-335. 55	-328. 05	-1. 8334	0. 93034	2. 1570	673. 27
270	975. 52	-324. 79	-317. 10	-1. 7925	0. 92912	2. 2243	633. 79
275	948. 38	-313. 68	-305. 78	-1. 7510	0. 92943	2. 3115	592. 46
280	918. 68	-302. 10	-293. 94	-1. 7083	0. 93163	2. 4284	548. 71
285	885. 48	-289. 88	-281. 41	-1. 6640	0. 93668	2. 5947	501. 67

2024年5月15

## 二氧化碳的新状态方程1577

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	体内能量 (kJ/kg)	焓 (kJ/kg)	熵 (kJ/(kgK))	C <sub>p</sub> [kJ/(kg K)]	C <sub>v</sub> [kJ/(kg K)]	声速 (m/s)
7.50 MPa Isobar							
290	847.07	-276.69	-267.84	-1.6168	0.94689	2.8557	449.91
295	799.88	-261.88	-252.50	-1.5643	0.96694	3.3335	390.87
300	733.90	-243.62	-233.40	-1.5001	1.0115	4.5507	317.38
305	389.85	-171.22	-151.98	-1.2323	1.5317	67.567	168.55
310	253.36	-129.11	-99.510	-1.0611	1.0261	4.5173	204.64
315	222.11	-115.30	-81.528	-1.0035	0.94620	2.9805	215.79
320	203.04	-105.22	-68.283	-0.96181	0.90445	2.3876	223.97
325	189.27	-96.845	-57.220	-0.92750	0.87759	2.0648	230.79
330	178.52	-89.456	-47.442	-0.89764	0.85879	1.8598	236.76
335	169.70	-82.714	-38.518	-0.87080	0.84513	1.7176	242.13
340	162.24	-76.430	-30.204	-0.84616	0.83499	1.6131	247.06
345	155.80	-70.486	-22.346	-0.82322	0.82734	1.5331	251.64
350	150.13	-64.802	-14.845	-0.80163	0.82151	1.4699	255.93
360	140.52	-54.014	-0.64140	-0.76161	0.81370	1.3768	263.84
370	132.60	-43.777	12.785	-0.72482	0.80942	1.3121	271.05
380	125.88	-33.921	25.660	-0.69048	0.80754	1.2652	277.72
390	120.06	-24.337	38.129	-0.65809	0.80736	1.2302	283.95
400	114.95	-14.951	50.293	-0.62729	0.80844	1.2036	289.83
410	110.40	-5.7101	62.222	-0.59783	0.81047	1.1832	295.40
420	106.31	3.4250	73.971	-0.56932	0.81323	1.1673	300.72
430	102.60	12.483	85.580	-0.54220	0.81654	1.1550	305.81
440	99.215	21.487	97.080	-0.51576	0.82030	1.1454	310.71
450	96.102	30.454	108.50	-0.49011	0.82440	1.1381	315.43
460	93.227	39.399	119.85	-0.46516	0.82877	1.1325	319.99
470	90.558	48.331	131.15	-0.44085	0.83334	1.1284	324.42
480	88.072	57.262	142.42	-0.41713	0.83807	1.1254	328.72
490	85.747	66.197	153.66	-0.39394	0.84291	1.1235	332.91
500	83.566	75.143	164.89	-0.37126	0.84785	1.1224	336.99
525	78.652	97.585	192.94	-0.31651	0.86041	1.1223	346.78
550	74.369	120.18	221.03	-0.26425	0.87307	1.1251	356.07
575	70.592	142.97	249.21	-0.21414	0.88565	1.1297	364.93
600	67.225	165.96	277.53	-0.16594	0.89802	1.1357	373.44
625	64.201	189.18	306.00	-0.11944	0.91010	1.1424	381.63
650	61.464	212.63	334.65	-0.07450	0.92186	1.1497	389.54
675	58.972	236.31	363.49	-0.03096	0.93325	1.1573	397.21
700	56.691	260.22	392.52	0.01126	0.94426	1.1651	404.66
800	49.193	358.12	510.58	0.16887	0.98445	1.1959	432.65
900	43.532	459.34	631.63	0.31141	1.0187	1.2245	458.36
1000	39.083	563.46	755.36	0.44175	1.0477	1.2496	482.37
1100	35.485	670.08	881.44	0.56190	1.0722	1.2714	505.03
8.00 MPa Isobar							
218.180 <sup>5</sup>	1187.95	-428.17	-421.44	-2.2224	0.98126	1.9120	1004.9
220	1181.72	-424.73	-417.96	-2.2065	0.97851	1.9145	992.56
225	1164.35	-415.23	-408.36	-2.1634	0.97122	1.9233	958.75
230	1146.54	-405.70	-398.72	-2.1210	0.96433	1.9349	924.97
235	1128.26	-396.10	-389.01	-2.0792	0.95786	1.9497	891.12

20  
24  
年  
5  
月  
5  
日  
15

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	体内能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	公司 [kJ/(kg K)	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/ s)
8. 00 MPaIsobar							
240	1109. 41	-386. 43	-379. 22	-2. 0380	0. 95182	1. 9681	857. 09
245	1089. 93	-376. 66	-369. 32	-1. 9972	0. 94626	1. 9906	822. 75
250	1069. 70	-366. 78	-359. 30	-1. 9567	0. 94120	2. 0181	787. 97
255	1048. 62	-356. 76	-349. 13	-1. 9164	0. 93676	2. 0516	752. 55
260	1026. 53	-346. 57	-338. 77	-1. 8762	0. 93307	2. 0925	716. 27
265	1003. 23	-336. 16	-328. 19	-1. 8359	0. 93036	2. 1429	678. 91
270	978. 46	-325. 50	-317. 32	-1. 7952	0. 92882	2. 2060	640. 22
275	951. 86	-314. 51	-306. 10	-1. 7541	0. 92864	2. 2867	599. 89
280	922. 92	-303. 08	-294. 41	-1. 7119	0. 93010	2. 3931	557. 45
285	890. 82	-291. 08	-282. 10	-1. 6684	0. 93400	2. 5408	512. 17
290	854. 20	-278. 25	-268. 88	-1. 6224	0. 94218	2. 7633	462. 96
295	810. 40	-264. 09	-254. 22	-1. 5722	0. 95803	3. 1417	408. 04
300	753. 17	-247. 44	-236. 82	-1. 5138	0. 98934	3. 9320	343. 66
305	656. 77	-223. 65	-211. 47	-1. 4301	1. 0822	7. 3125	255. 09
310	327. 71	-149. 25	-124. 84	-1. 1485	1. 1499	95864	194. 28
315	261. 29	-126. 27	-95. 650	-1. 0550	0. 99624	4. 0300	210. 19
320	231. 91	-113. 35	-78. 854	-1. 0021	0. 93636	2. 8750	219. 80
325	212. 90	-103. 49	-65. 909	-0. 96190	0. 90103	2. 3574	227. 35
330	198. 87	-95. 152	-54. 926	-0. 92836	0. 87714	2. 0594	233. 83
335	187. 79	-87. 747	-45. 140	-0. 89894	0. 86009	1. 8648	239. 37
340	178. 65	-80. 965	-36. 184	-0. 87239	0. 84758	1. 7274	244. 79
345	170. 89	-74. 629	-27. 814	-0. 84795	0. 83820	1. 6253	249. 61
350	164. 16	-68. 627	-19. 893	-0. 82515	0. 83106	1. 5463	254. 10
360	152. 93	-57. 348	-5. 0372	-0. 78329	0. 82137	1. 4326	262. 32
370	143. 82	-46. 747	8. 8792	-0. 74516	0. 81579	1. 3552	269. 78
380	136. 18	-36. 607	22. 140	-0. 70979	0. 81295	1. 2998	276. 65
390	129. 63	-26. 793	34. 923	-0. 67659	0. 81202	1. 2588	283. 05
400	123. 90	-17. 218	47. 348	-0. 64513	0. 81251	1. 2277	289. 07
410	118. 84	-7. 8163	59. 501	-0. 61512	0. 81406	1. 2038	294. 76
420	114. 31	1. 4561	71. 442	-0. 58634	0. 81641	1. 1852	300. 19
430	110. 21	10. 634	83. 219	-0. 55863	0. 81939	1. 1708	305. 37
440	106. 49	19. 742	94. 868	-0. 53185	0. 82286	1. 1594	310. 36
450	103. 07	28. 802	106. 42	-0. 50589	0. 82671	1. 1506	315. 15
460	99. 928	37. 829	117. 89	-0. 48068	0. 83087	1. 1438	319. 79
470	97. 016	46. 837	129. 30	-0. 45614	0. 83525	1. 1386	324. 28
480	94. 307	55. 834	140. 66	-0. 43221	0. 83982	1. 1348	328. 64
490	91. 778	64. 831	152. 00	-0. 40884	0. 84452	1. 1321	332. 88
500	89. 410	73. 833	163. 31	-0. 38599	0. 84933	1. 1302	337. 00
525	84. 085	96. 397	191. 54	-0. 33090	0. 86163	1. 1288	346. 90
550	79. 458	119. 09	219. 78	-0. 27835	0. 87409	1. 1306	356. 28
575	75. 385	141. 96	248. 08	-0. 22802	0. 88651	1. 1345	365. 22
600	71. 762	165. 03	276. 51	-0. 17963	0. 89876	1. 1398	373. 78
625	68. 511	188. 31	305. 08	-0. 13298	0. 91075	1. 1460	382. 03
650	65. 573	211. 81	333. 82	-0. 08790	0. 92242	1. 1529	389. 98
6/5	62. 901	235. 54	362. 73	-0. 04425	0. 93375	1. 1601	397. 69

20 24 年 5 月 5 日 15 : 31

# 二氧化碳的新状态方程1579

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Internal energ) ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	厘巴 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/ s)
8.00 MPaIsobar							
700	60.457	259.50	391.82	-0.00193	0.94470	1.1676	405.18
800	52.435	357.53	510.10	0.15596	0.98474	1.1977	433.26
900	46.389	458.84	631.29	0.29867	1.0189	1.2257	459.03
1000	41.644	563.03	755.14	0.42913	1.0478	1.2506	483.08
1100	37.807	669.71	881.31	0.54937	1.0723	1.2722	505.75
10.00 MPa Isobar							
218.600	1190.34	-428.40	-420.00	-2.2235	0.98274	1.9023	1012.5
220	1185.63	-425.77	-417.34	-2.2113	0.98061	1.9039	1003.1
225	1168.59	-416.36	-407.80	-2.1685	0.97323	1.9111	970.04
230	1151.15	-406.91	-398.22	-2.1264	0.96625	1.9208	937.02
235	1133.28	-397.41	-388.59	-2.0849	0.95969	1.9333	904.01
240	1114.92	-387.85	-378.88	-2.0441	0.95356	1.9488	870.9
245	1095.99	-378.22	-369.09	-2.0037	0.94788	1.9679	837.63
250	1076.42	-368.49	-359.20	-1.9637	0.94269	1.9910	804.05
255	1056.11	-358.64	-349.18	-1.9240	0.93803	2.0189	770.05
260	1034.95	-348.66	-339.00	-1.8845	0.93400	2.0524	735.50
265	1012.80	-338.51	-328.64	-1.8450	0.93072	2.0930	700.25
270	989.46	-328.16	-318.06	-1.8055	0.92828	2.1425	664.15
275	964.71	-317.56	-307.20	-1.7656	0.92676	2.2034	627.04
280	938.22	-306.65	-296.00	-1.7253	0.92632	2.2798	588.67
285	909.56	-295.36	-284.36	-1.6841	0.92734	2.3782	548.68
290	878.06	-283.55	-272.16	-1.6416	0.93072	2.5108	506.63
295	842.67	-271.03	-259.16	-1.5972	0.93777	2.7009	461.99
300	801.62	-257.46	-244.98	-1.5496	0.94964	2.9906	414.28
305	751.67	-242.25	-228.94	-1.4965	0.96817	3.4711	363.01
310	685.77	-224.06	-209.48	-1.4333	0.99962	4.4460	307.04
315	586.02	-199.41	-182.35	-1.3465	1.0487	6.6962	249.42
320	448.28	-166.19	-143.88	-1.2253	1.0577	7.6175	219.14
325	358.04	-140.73	-112.80	-1.1289	1.0095	4.9438	219.84
330	310.25	-124.28	-92.049	-1.0655	0.96291	3.5312	225.91
335	280.11	-112.06	-76.359	-1.0183	0.92780	2.8165	232.23
340	258.62	-102.06	-63.396	-0.97991	0.90255	2.4017	238.14
345	242.11	-93.404	-52.100	-0.94692	0.88431	2.1341	243.58
350	228.80	-85.626	-41.921	-0.91762	0.87083	1.9480	248.62
360	208.25	-71.776	-23.756	-0.86644	0.85262	1.7065	257.77
370	192.74	-59.374	-7.4896	-0.82186	0.84146	1.5574	265.97
380	180.38	-47.885	7.5523	-0.78174	0.83458	1.4570	273.47
390	170.18	-37.015	21.746	-0.74486	0.83060	1.3856	280.40
400	161.53	-26.584	35.325	-0.71048	0.82867	1.3327	286.88
410	154.05	-16.473	48.443	-0.67809	0.82827	1.2927	292.99
420	147.48	-6.5998	61.208	-0.64733	0.82901	1.2616	298.77
430	141.63	3.0936	73.698	-0.61794	0.83064	1.2373	304.28
440	136.39	12.651	85.972	-0.58972	0.83297	1.2181	309.55
450	131.63	22.106	98.073	-0.56252	0.83584	1.2028	314.60
460	127.30	31.483	110.04	-0.53623	0.83915	1.1906	319.48
470	123.32	40.803	121.89	-0.51073	0.84280	1.1809	324.18

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	间质能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	古巴 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	音速 (m/s)
10.00 MPa Isobar							
480	119.65	50.083	133.66	-0.48595	0.84672	1.1732	328.74
490	116.24	59.335	145.36	-0.46183	0.85085	1.1671	333.16
500	113.07	68.569	157.01	-0.43830	0.85516	1.1624	337.45
525	106.01	91.633	185.97	-0.38178	0.86644	1.1552	347.71
550	99.930	114.74	214.81	-0.32811	0.87812	1.1527	357.39
575	94.626	137.95	243.63	-0.27686	0.88993	1.1533	366.58
600	89.941	161.31	272.49	-0.22773	0.90169	1.1561	375.37
625	85.761	184.84	301.45	-0.18045	0.91329	1.1603	383.79
650	81.999	208.57	330.52	-0.13485	0.92464	1.1655	391.91
675	78.592	232.49	359.73	-0.09075	0.93571	1.1714	399.76
700	75.486	256.61	389.09	-0.04804	0.94645	1.1777	407.36
800	63.349	355.17	508.20	0.11097	0.98591	1.2046	435.79
900	57.759	456.85	629.99	0.25438	1.0198	1.2308	461.77
1000	51.825	561.32	754.28	0.38532	1.0485	1.2545	485.94
1100	47.040	668.21	880.79	0.50588	1.0728	1.2753	508.69
15.00 MPa Isobar							
219.644	1196.11	-428.91	-416.37	-2.2260	0.98604	1.8799	1030.9
220	1194.96	-428.25	-415.70	-2.2230	0.98548	1.8801	1028.7
225	1178.64	-419.02	-406.29	-2.1807	0.97789	1.8841	997.14
230	1162.02	-409.76	-396.86	-2.1392	0.97070	1.8900	965.81
235	1145.06	-400.49	-387.39	-2.0985	0.96394	1.8980	934.61
240	1127.73	-391.17	-377.87	-2.0584	0.95760	1.9081	903.50
245	1109.98	-381.82	-368.30	-2.0190	0.95169	1.9206	872.40
250	1091.77	-372.40	-358.66	-1.9800	0.94623	1.9358	841.27
255	1073.03	-362.92	-348.94	-1.9415	0.94121	1.9539	810.04
260	1053.71	-353.35	-339.12	-1.9034	0.93667	1.9752	778.68
265	1033.73	-343.69	-329.18	-1.8655	0.93264	2.0002	747.13
270	1013.01	-333.92	-319.11	-1.8279	0.92914	2.0294	715.36
275	991.45	-324.01	-308.88	-1.7903	0.92619	2.0635	683.32
280	968.93	-313.95	-298.47	-1.7528	0.92381	2.1034	650.96
285	945.30	-303.70	-287.83	-1.7152	0.92211	2.1501	618.23
290	920.40	-293.25	-276.95	-1.6773	0.92132	2.2055	585.07
295	894.00	-282.54	-265.76	-1.6390	0.92183	2.2727	551.45
300	865.82	-271.52	-254.20	-1.6002	0.92380	2.3557	517.40
305	835.48	-260.12	-242.17	-1.5604	0.92683	2.4583	483.07
310	802.54	-248.27	-229.58	-1.5195	0.93036	2.5830	448.77
315	766.51	-235.86	-216.30	-1.4770	0.93449	2.7343	414.97
320	726.83	-222.81	-202.18	-1.4325	0.93978	2.9188	382.22
325	683.09	-209.02	-187.06	-1.3857	0.94662	3.1280	351.34
330	635.51	-194.51	-170.91	-1.3363	0.95475	3.3309	323.89
335	585.40	-179.47	-153.85	-1.2850	0.96004	3.4748	301.72
340	535.55	-164.42	-136.41	-1.2333	0.95711	3.4738	286.11
345	489.42	-150.03	-119.38	-1.1836	0.94688	3.3164	276.63
350	449.20	-136.79	-103.39	-1.1376	0.93439	3.0688	271.76
360	387.08	-114.04	-75.292	-1.0584	0.91214	2.5672	270.06
370	343.43	-95.274	-51.596	-0.99347	0.89468	2.1949	273.34

2024年5月15

二氧化碳的新状态方程式1581

表35年。二氧化碳的热力学性质

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	体内能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kgK)]	声速 (m/s )
15.00 MPa Isobar							
380	311.48	-79.159	-31.001	-0.93853	0.88143	1.9402	278.46
390	286.97	-64.804	-12.533	-0.89055	0.87178	1.7638	284.22
400	267.42	-51.652	4.4400	0.84757	0.86502	1.6376	290.12
410	251.33	-39.353	20.329	-0.80833	0.86053	1.5445	295.97
420	237.78	-27.678	35.405	-0.77200	0.85782	1.4739	301.68
430	226.14	-16.471	49.860	-0.73798	0.85650	1.4192	307.22
440	215.98	-5.6217	63.828	-0.70587	0.85630	1.3761	312.59
450	207.01	4.9509	77.410	-0.67534	0.85698	1.3416	317.79
460	199.00	15.307	90.682	-0.64617	0.85839	1.3138	322.83
470	191.79	25.492	103.70	-0.61817	0.86037	1.2911	327.70
480	185.24	35.541	116.52	-0.59119	0.86283	1.2725	332.43
490	179.26	45.484	129.16	-0.56511	0.86568	1.2572	337.03
500	173.76	55.342	141.67	-0.53985	0.86884	1.2445	341.50
525	161.74	79.733	172.48	-0.47972	0.87776	1.2218	352.18
550	151.63	103.91	202.83	-0.42323	0.88763	1.2080	362.24
575	142.97	128.01	232.93	-0.36972	0.89803	1.2002	371.77
600	135.43	152.12	262.88	-0.31873	0.90867	1.1963	380.86
625	128.78	176.29	292.77	-0.26992	0.91936	1.1953	389.55
650	122.86	200.57	322.66	-0.22303	0.92998	1.1963	397.91
675	117.54	224.98	352.59	-0.17784	0.94044	1.1987	405.96
700	112.72	249.53	382.60	-0.13418	0.95067	1.2022	413.74
800	97.199	349.41	503.73	0.02753	0.98876	1.2213	442.71
900	85.740	452.00	626.95	0.17264	1.0218	1.2430	469.01
1000	76.856	557.14	752.31	0.30470	1.0501	1.2639	493.37
1100	69.730	664.55	879.66	0.42606	1.0741	1.2828	516.21
20.00 MPa Isobar							
220.677	1201.58	-429.34	412.70	2.2283	0.98884	1.8600	1048.9
225	1188.00	-421.49	-404.66	-2.1922	0.98212	1.8614	1022.8
230	1172.07	-412.41	-395.34	-2.1513	0.97475	1.8644	992.92
235	1155.89	-403.31	-386.01	-2.1111	0.96780	1.8690	963.24
240	1139.41	-394.20	-376.65	-2.0717	0.96128	1.8753	933.74
245	1122.62	-385.07	-367.25	-2.0330	0.95519	1.8833	904.38
250	1105.47	-375.91	-357.81	-1.9948	0.94951	1.8932	875.14
255	1087.95	-366.70	-348.32	-1.9572	0.94426	1.9050	845.98
260	1070.01	-357.45	-338.76	-1.9201	0.93944	1.9188	816.88
265	1051.60	-348.15	-329.13	-1.8834	0.93504	1.9349	787.84
270	1032.69	-338.77	-319.41	-1.8471	0.93107	1.9533	758.85
275	1013.23	-329.33	-309.59	-1.8110	0.92753	1.9742	729.90
280	993.16	-319.80	-299.66	-1.7753	0.92441	1.9979	701.00
285	972.43	-310.17	-289.61	-1.7397	0.92176	2.0245	672.16
290	950.97	-300.44	-279.41	-1.7042	0.91964	2.0543	643.38
295	928.71	-290.59	-269.06	-1.6688	0.91824	2.0881	614.69
300	905.57	-280.61	-258.52	-1.6334	0.91763	2.1267	586.17
305	881.46	-270.47	-247.78	-1.5979	0.91763	2.1709	537.91
310	856.27	-260.16	-236.80	-1.5622	0.91780	2.2204	530.04
315	829.92	-249.67	-225.57	-1.5262	0.91794	2.2743	502.71



表35年。二氧化碳的热力学性质。继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³	Intecmal energ) ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 (kJ/ (kgK) )	古巴 [kJ/(kg K)	发光强度 [kJ/(kgK) ]	声速 (m /s)
20.00 MPa Isobar							
320	802.33	-238.98	-214.05	-1.4900	0.91835	2.3324	476.13
325	773.46	-228.09	-202.24	-1.4533	0.91938	2.3952	450.59
330	743.30	-217.00	-190.10	-1.4163	0.92095	2.4010	420.44
335	711.96	-205.72	-177.63	-1.3788	0.92254	2.5246	404.10
340	679.68	-194.29	-164.87	-1.3410	0.92342	2.5778	384.01
345	646.90	-182.80	-151.88	-1.3030	0.92298	2.6122	366.45
350	614.18	-171.35	-138.79	-1.2654	0.92115	2.6207	351.52
360	551.54	-149.10	-112.84	-1.1923	0.91549	2.5511	329.54
370	496.14	-128.36	-88.048	-1.1243	0.90910	2.3976	316.94
380	449.68	-109.47	-64.990	-1.0628	0.90195	2.2129	311.16
390	411.63	-92.347	-43.760	-1.0077	0.89472	2.0369	309.69
400	380.50	-76.728	-24.165	-0.95804	0.88827	1.8868	310.75
410	354.772	-62.306	-5.9310	-0.91301	0.88304	1.7645	313.29
420	333.19	-48.819	11.205	-0.87171	0.87912	1.6664	316.66
430	314.83	-36.064	27.462	-0.83346	0.87643	1.5878	320.52
440	298.99	-23.881	43.011	-0.79771	0.87484	1.5244	324.64
450	285.14	-12.151	57.989	-0.76405	0.87419	1.4729	328.91
460	272.92	-0.78247	72.500	-0.73215	0.87434	1.4307	333.22
470	262.02	10.296	86.627	-0.70177	0.87517	1.3959	337.54
480	252.21	21.140	100.44	-0.67269	0.87657	1.3671	341.84
490	243.34	31.794	113.98	-0.64476	0.87845	1.3430	346.09
500	235.24	42.292	127.31	-0.61783	0.88074	1.3228	350.29
525	217.77	68.036	159.88	-0.55427	0.88779	1.2852	360.49
550	203.30	93.302	191.68	-0.49509	0.89618	1.2606	370.28
575	191.06	118.30	222.98	-0.43943	0.90540	1.2446	379.65
600	180.50	143.15	253.95	-0.38670	0.91508	1.2344	388.65
625	171.28	167.96	284.73	-0.33644	0.92499	1.2284	397.29
650	163.12	192.79	315.40	-0.28833	0.93496	1.2254	405.62
675	155.83	217.68	346.02	-0.24210	0.94487	1.2246	413.67
700	149.27	242.66	376.64	-0.19756	0.95465	1.2253	421.46
800	128.34	343.83	499.67	-0.03329	0.99149	1.2370	450.47
900	113.04	447.31	624.23	0.11340	1.0238	1.2545	476.80
1000	101.27	553.10	750.60	0.24652	1.0516	1.2727	501.16
1100	91.857	661.01	878.74	0.36864	1.0754	1.2898	523.98
25.00 MPa Isobar							
221.701	1206.79	-429.71	-409.00	-2.2303	0.99124	1.8421	1006.4
225	1196.78	-423.81	-402.92	-2.2031	0.98601	1.8419	1047.3
230	1181.45	-414.87	-393.71	-2.1626	0.97846	1.8427	1018.6
235	1165.92	-405.93	-384.49	-2.1230	0.97135	1.8448	990.21
240	1150.17	-396.00	-375.26	-2.0841	0.96468	1.8482	962.06
245	1134.16	-388.05	-366.00	-2.0460	0.95843	1.8530	934.14
250	1117.90	-379.09	-356.73	-2.0085	0.95259	1.8591	906.41
255	1101.35	-370.11	-347.41	-1.9716	0.94717	1.8666	878.88
260	1084.49	-361.11	-338.06	-1.9352	0.94215	1.8755	851.52
265	1067.29	-352.08	-328.65	-1.8994	0.93752	1.8859	824.34

二氧化碳1583

表35年。二氧化碳的热力学性质-续续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	冰层能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 (kJ/ (kgK) )	$\frac{C}{[kJ/(kg\ K)]}$	发光强度 [kJ/(kg K)]	音速 (m /s)
25.00 MPa Isobar							
270	1049.74	-343.01	319.20	-1.8641	0.93329	1.8978	797.36
275	1031.80	-333.90	-309.67	-1.8291	0.92943	1.9111	770.56
280	1013.45	-324.75	-300.08	-1.7946	0.92595	1.9259	743.98
285	994.67	-315.55	-290.41	-1.7603	0.92283	1.9422	717.64
290	975.42	-306.29	-280.66	-1.7264	0.92013	1.9600	691.56
295	955.68	-296.97	-270.81	-1.6927	0.91792	1.9794	665.77
300	935.42	-287.59	-260.86	-1.6593	0.91623	2.0008	640.35
305	914.62	-278.13	-250.80	-1.6260	0.91497	2.0242	615.36
310	893.25	-268.60	-240.61	-1.5929	0.91387	2.0495	590.90
315	871.29	-258.99	-230.30	-1.5599	0.91273	2.0760	567.03
320	848.72	-249.31	-219.85	-1.5270	0.91162	2.1032	543.81
325	825.55	-239.55	-209.27	-1.4942	0.91081	2.1309	521.34
330	801.80	-229.72	-198.54	-1.4614	0.91044	2.1592	499.77
335	777.50	-219.83	-187.68	-1.4287	0.91042	2.1876	479.28
340	752.73	-209.88	-176.67	-1.3961	0.91046	2.2143	460.05
345	727.58	-199.90	-165.54	-1.3636	0.91032	2.2369	442.23
350	702.22	-189.91	-154.31	-1.3313	0.90989	2.2525	425.97
360	651.72	-170.10	-131.74	-1.2677	0.90829	2.2554	398.41
370	603.10	-150.79	109.34	-1.2064	0.90620	2.2187	377.41
380	557.99	-132.28	-87.474	-1.1480	0.90373	2.1495	362.54
390	517.36	-114.74	-66.415	-1.0933	0.90075	2.0598	352.86
400	481.55	-98.223	-46.307	-1.0424	0.89744	1.9613	347.18
410	450.35	-82.696	-27.183	-0.99520	0.89418	1.8644	344.41
420	423.27	-68.058	-8.0932	-0.05136	0.89131	1.7753	343.67
430	399.72	-54.187	8.3578	-0.91053	0.88902	1.6967	344.32
440	379.13	-40.963	24.978	-0.87232	0.88742	1.6290	345.93
450	361.01	-28.279	40.971	-0.83637	0.88650	1.5713	348.19
460	344.95	-16.042	56.432	-0.80239	0.88624	1.5222	350.90
470	330.61	-4.1769	71.440	-0.77011	0.88657	1.4806	353.92
480	317.72	7.3809	86.066	-0.73932	0.88744	1.4453	357.14
490	306.07	18.683	100.36	-0.70983	0.88878	1.4153	360.51
500	295.46	29.772	114.39	-0.68150	0.89052	1.3897	363.96
525	272.64	56.782	148.48	-0.61496	0.89633	1.3407	372.76
550	253.87	83.077	181.55	-0.55341	0.90365	1.3073	381.59
575	238.08	108.92	213.93	-0.49583	0.91195	1.2845	390.28
600	224.54	134.50	245.84	-0.44152	0.92086	1.2689	398.77
023	212.77	159.92	277.42	-0.38994	0.93012	1.2586	407.04
650	202.40	185.28	308.80	-0.34072	0.93954	1.2520	415.08
675	193.18	210.63	340.05	-0.29354	0.94899	1.2483	422.90
700	184.90	236.02	371.23	-0.24818	0.95838	1.2465	430.51
800	158.65	338.44	496.02	-0.08156	0.99409	1.2516	459.06
900	139.62	442.77	621.83	0.06661	1.0258	1.2653	485.14
1000	125.04	549.19	749.14	0.20073	1.0532	1.2810	509.32
1100	113.42	657.58	878.01	0.32355	1.0766	1.2964	531.99

表35年。二氧化碳的热力学性质。继续

温度(K)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Internal energy (kJ/kg)	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	古巴 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s)
30.00 MPa Isobar							
222.715	1211.77	-430.02	-405.26	-2.2321	0.99332	1.8259	1083.4
225	1205.06	-425.99	-401.09	-2.2135	0.98964	1.8251	1070.6
230	1190.25	-417.17	-391.97	-2.1734	0.98193	1.8241	1043.0
235	1175.29	-408.37	-382.85	-2.1342	0.97467	1.8242	1015.8
240	1160.15	-399.58	-373.72	-2.0958	0.96786	1.8254	988.76
245	1144.83	-390.80	-364.59	-2.0581	0.96147	1.8277	962.05
250	1129.30	-382.01	-355.45	-2.0211	0.95550	1.8311	935.59
255	1113.55	-373.22	-346.28	-1.9848	0.94994	1.8355	909.37
260	1097.57	-364.42	-337.09	-1.9491	0.94478	1.8410	883.41
265	1081.34	-355.61	-327.87	-1.9140	0.94000	1.8475	857.70
270	1064.86	-346.78	-318.61	-1.8794	0.93559	1.8550	832.25
275	1048.09	-337.94	-309.32	-1.8453	0.93153	1.8635	807.08
280	1031.04	-329.07	-299.97	-1.8116	0.92783	1.8729	782.21
285	1013.68	-320.18	-290.58	-1.7784	0.92446	1.8831	757.65
290	996.01	-311.26	-281.14	-1.7456	0.92145	1.8942	733.44
295	978.02	-302.32	-271.64	-1.7131	0.91882	1.9060	709.61
300	959.70	-293.34	-262.08	-1.6809	0.91659	1.9186	686.21
305	941.04	-284.33	-252.45	-1.6491	0.91471	1.9322	663.31
310	922.04	-275.29	-242.76	-1.6176	0.91301	1.9464	640.96
315	902.69	-266.22	-232.99	-1.5863	0.91135	1.9610	619.20
320	883.00	-257.12	-223.15	-1.5553	0.90973	1.9756	598.05
325	862.99	-248.00	-213.23	-1.5246	0.90830	1.9899	577.56
330	842.66	-238.85	-203.25	-1.4941	0.90721	2.0041	557.78
335	822.06	-229.69	-193.19	-1.4639	0.90648	2.0179	538.80
340	801.21	-220.51	-183.07	-1.4339	0.90599	2.0312	520.72
345	780.17	-211.34	-172.88	-1.4041	0.90560	2.0432	503.62
350	758.98	-202.17	-162.64	-1.3746	0.90520	2.0529	487.58
360	716.55	-183.92	-142.05	-1.3166	0.90427	2.0618	458.95
370	674.75	-165.93	-121.47	-1.2602	0.90323	2.0517	435.21
380	634.51	-148.37	-101.09	-1.2059	0.90215	2.0224	416.28
390	596.59	-131.36	-81.073	-1.1539	0.90099	1.9781	401.73
400	561.50	-114.99	-61.559	-1.1045	0.89970	1.9233	390.99
410	529.46	-99.289	-42.627	-1.0577	0.89833	1.8625	383.45
420	500.50	-84.257	-24.317	-1.0136	0.89698	1.7995	378.49
430	474.48	-69.860	-6.6324	-0.97200	0.89581	1.7378	375.55
440	451.16	-56.044	10.452	-0.93272	0.89494	1.6799	374.14
450	430.25	-42.746	26.982	0.89557	0.89446	1.6270	373.89
460	411.46	-29.901	43.010	-0.86034	0.89440	1.5796	374.49
470	394.52	-17.449	58.593	-0.82682	0.89476	1.5378	375.74
480	379.18	-5.3349	73.783	-0.79484	0.89554	1.5011	377.47
490	365.24	6.4911	88.629	-0.76423	0.89671	1.4689	379.56
500	352.51	18.071	103.18	-0.73484	0.89824	1.4409	381.92
525	325.03	46.167	138.47	-0.66595	0.90339	1.3857	388.60
550	302.37	73.376	172.59	-0.60245	0.91002	1.3465	395.90
575	283.31	99.995	205.89	-0.54324	0.91767	1.3187	403.46

二氧化碳的新状态方程1585

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	光度 ( kg/m)	冰原能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C <sub>p</sub> [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/ s)
30.00 MPa Isobar							
600	266.99	126.23	238.59	-0.48756	0.92601	1.2990	411.10
625	252.82	152.22	270.88	-0.43483	0.93476	1.2852	418.70
650	240.36	178.08	302.89	-0.38462	0.94374	1.2757	426.21
675	229.30	203.86	334.70	-0.33660	0.95281	1.2695	433.60
700	219.39	229.64	366.38	-0.29051	0.96185	1.2657	440.86
800	188.05	333.24	492.77	-0.12174	0.99658	1.2650	468.48
900	165.44	438.40	619.73	0.02779	1.0277	1.2752	494.02
1000	148.15	545.42	747.91	0.16283	1.0547	1.2887	517.84
1100	134.40	654.27	877.48	0.28631	1.0778	1.3026	540.25
40.00 MPa Isobar							
224.715	1221.12	-430.49	-397.73	-2.2352	0.99675	1.7975	1116.0
225	1220.33	-429.99	-397.22	-2.2329	0.99628	1.7973	1114.5
230	1206.41	-421.40	-388.24	-2.1935	0.98829	1.7937	1088.7
235	1192.39	-412.82	-379.28	-2.1549	0.98078	1.7910	1063.3
240	1178.27	-404.28	-370.33	-2.1172	0.97373	1.7892	1038.2
245	1164.03	-395.75	-361.39	-2.0804	0.96713	1.7881	1013.4
250	1149.68	-387.24	-352.45	-2.0442	0.96096	1.7877	988.91
255	1135.19	-378.74	-343.51	-2.0088	0.95520	1.7881	964.76
260	1120.58	-370.26	-334.56	-1.9741	0.94983	1.7892	940.93
265	1105.83	-361.79	-325.61	-1.9400	0.94484	1.7908	917.41
270	1090.93	-353.32	-316.65	-1.9065	0.94022	1.7931	894.22
275	1075.88	-344.86	-307.68	-1.8736	0.93594	1.7959	871.38
280	1060.68	-336.41	-298.69	-1.8412	0.93198	1.7991	848.90
285	1045.33	-327.96	-289.69	-1.8093	0.92835	1.8027	826.79
290	1029.82	-319.51	-280.67	-1.7779	0.92502	1.8066	805.09
295	1014.16	-311.07	-271.62	-1.7470	0.92201	1.8108	783.81
300	998.35	-302.62	-262.56	-1.7166	0.91930	1.8152	762.99
305	982.39	-294.19	-253.47	-1.6865	0.91688	1.8198	742.65
310	966.29	-285.76	-244.36	-1.6569	0.91467	1.8245	722.85
315	950.05	-277.33	-235.23	-1.6277	0.91261	1.8291	703.59
320	933.68	-268.91	-226.07	-1.5988	0.91069	1.8334	684.89
325	917.21	-260.50	-216.89	-1.5704	0.90894	1.8375	666.75
330	900.63	-252.11	-207.70	-1.5423	0.90743	J.8412	649.20
335	883.97	-243.73	-198.48	-1.5146	0.90618	1.8444	632.25
340	867.25	-235.37	-189.25	-1.4872	0.90518	1.8473	615.94
345	850.50	-227.04	-180.01	-1.4602	0.90437	1.8497	600.32
350	833.72	-218.73	-170.76	-1.4336	0.90369	1.8514	585.39
360	800.23	-202.22	-152.23	-1.3814	0.90261	1.8525	557.71
370	767.03	-185.87	-133.72	-1.3307	0.90182	1.8492	533.02
380	734.39	-169.74	-115.27	-1.2815	0.90130	1.8400	511.44
390	702.64	-153.87	-96.942	-1.2339	0.90102	1.8242	493.01
400	672.08	-138.32	-78.806	-1.1880	0.90094	1.8021	477.59
410	642.96	-123.13	-60.917	-1.1438	0.90101	1.7750	464.90
420	615.44	-108.31	-43.316	-1.1014	0.90123	1.7446	454.60
430	589.59	-93.874	-26.030	-1.0607	0.90157	1.7123	446.38

20  
24  
年  
5  
月  
5  
日  
15

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m )	内能 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s )
40.00 MPa Isobar							
440	565.45	-79.814	-9.0735	-1.0217	0.90206	1.6790	439.96
450	542.98	-66.118	7.5496	-0.98436	0.90270	1.6457	435.07
460	522.12	-52.769	23.842	-0.94855	0.90351	1.6129	431.49
470	502.79	39.744	39.812	0.91420	0.90452	1.5814	429.01
480	484.89	-27.017	55.476	-0.88122	0.90574	1.5516	427.45
490	468.31	-14.563	70.851	-0.84952	0.90717	1.5238	426.63
500	452.94	-2.3539	85.959	-0.81899	0.90882	1.4981	426.42
525	419.10	27.259	122.70	-0.74727	0.91383	1.4435	427.89
550	390.67	55.849	158.24	-0.68114	0.91996	1.4013	431.27
575	366.46	83.699	192.85	-0.61959	0.92697	1.3692	435.81
600	345.60	111.02	226.76	-0.56185	0.93462	1.3451	441.07
625	327.40	137.98	260.16	-0.50733	0.94271	1.3271	446.76
650	311.36	164.69	293.16	-0.45555	0.95107	1.3139	452.71
675	297.09	191.24	325.88	-0.40615	0.95957	1.3043	458.80
700	284.29	217.70	358.40	-0.35885	0.96810	1.2975	464.97
800	243.83	323.44	487.49	-0.18646	1.0012	1.2880	489.58
900	214.66	430.11	616.45	-0.03457	1.0313	1.2926	513.34
1000	192.37	538.25	746.18	0.10210	1.0575	1.3024	535.98
1100	174.67	647.97	876.98	0.22676	1.0802	1.3137	557.53
50.00 MPa Isobar							
226.679	1229.78	-430.78	-390.13	-2.2377	0.99951	1.7735	1146.9
230	1221.01	-425.19	-384.24	-2.2119	0.99412	1.7700	1130.8
235	1207.74	-416.81	-375.41	-2.1739	0.98640	1.7654	1106.8
240	1194.42	-408.45	-366.59	-2.1368	0.97918	1.7615	1083.2
245	1181.04	-400.13	-357.79	-2.1005	0.97242	1.7582	1059.9
250	1167.59	-391.83	-349.01	-2.0650	0.96609	1.7556	1037.0
255	1154.07	-383.56	-340.23	-2.0303	0.96020	1.7534	1014.4
260	1140.47	-375.31	-331.47	-1.9962	0.95470	1.7518	992.10
265	1126.80	-367.09	-322.71	-1.9629	0.94958	1.7507	970.17
270	1113.05	-358.88	-313.96	-1.9301	0.94483	1.7500	948.60
275	1099.22	-350.70	-305.21	-1.8980	0.94042	1.7496	927.39
280	1085.32	-342.53	-296.47	-1.8665	0.93634	1.7496	906.55
285	1071.33	-334.39	-287.72	-1.8355	0.93257	1.7498	886.10
290	1057.27	-326.26	-278.97	-1.8051	0.92910	1.7502	866.05
295	1043.14	-318.15	-270.21	-1.7752	0.92592	1.7507	846.42
300	1028.94	-310.05	261.46	1.7458	0.92303	1.7514	827.23
305	1014.67	-301.98	-252.70	-1.7168	0.92039	1.7521	808.50
310	1000.35	-293.92	-243.94	-1.6883	0.91799	1.7527	790.25
315	985.97	-285.88	-235.17	-1.6603	0.91578	1.7533	772.50
320	971.55	-277.87	-226.41	-1.6326	0.91376	1.7538	755.25
325	957.10	-269.88	-217.64	-1.6055	0.91193	1.7540	738.51
330	942.63	-261.91	-208.87	-1.5787	0.91030	1.7539	722.28
335	928.14	-253.97	-200.10	-1.5523	0.90890	1.7536	706.59
340	913.66	-246.06	-191.33	-1.5263	0.90769	1.7529	691.43
345	899.19	-238.17	-182.57	-1.5007	0.90668	1.7520	676.84

# 二氧化碳1587的新状态方程1587

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Jotemal energy (kJ/kg)	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	$\frac{C}{[kJ/(kg K)]}$	$\frac{C}{[kJ/(kgK)]}$	声速 (m/s)
50.00 MPa Isobar							
350	884.76	-230.32	-173.81	-1.4755	0.90581	1.7507	662.81
360	856.03	-214.73	-156.32	-1.4263	0.90448	1.7469	636.48
370	827.61	-199.29	-138.88	-1.3785	0.90360	1.7414	612.45
380	799.62	-184.03	-121.50	-1.3321	0.90311	1.7340	590.70
390	772.18	-168.96	-104.21	-1.2872	0.90297	1.7243	571.22
400	745.45	-154.10	-87.024	-1.2437	0.90314	1.7120	554.02
410	719.54	-139.47	-69.977	-1.2016	0.90357	1.6970	539.02
420	694.59	-125.08	-53.092	-1.1609	0.90423	1.6796	526.11
430	670.67	-110.94	-36.392	-1.1216	0.90508	1.6602	515.13
440	647.87	-97.069	-19.893	-1.0837	0.90612	1.6394	505.87
450	626.20	-83.452	-3.6055	-1.0471	0.90732	1.6180	498.11
460	605.67	-70.087	12.460	1.0118	0.90868	1.5964	491.68
470	586.26	-56.964	28.322	-0.97766	0.91018	1.5749	486.40
480	567.95	-44.071	43.965	-0.94473	0.91184	1.5538	482.14
490	550.68	-31.396	59.400	-0.91290	0.91363	1.5333	478.77
500	534.42	-18.926	74.634	-0.88213	0.91557	1.5136	476.18
525	497.78	11.454	111.90	-0.80939	0.92101	1.4687	472.48
550	466.18	40.875	148.13	-0.74197	0.92723	1.4308	471.73
575	438.78	69.547	183.50	-0.67907	0.93410	1.3999	472.96
600	414.84	97.651	218.18	-0.62003	0.94148	1.3753	475.52
625	393.77	125.33	252.31	-0.56429	0.94924	1.3561	479.00
650	375.06	152.71	286.02	-0.51141	0.95724	1.3412	483.09
675	358.33	179.87	319.40	-0.46101	0.96537	1.3300	487.62
700	343.27	206.88	352.54	-0.41281	0.97355	1.3215	492.43
800	295.34	314.44	483.74	-0.23759	1.0055	1.3064	513.16
900	260.55	422.42	614.33	-0.08378	1.0347	1.3070	534.47
1000	233.89	531.57	745.34	0.05425	1.0603	1.3140	555.44
1100	212.66	642.08	877.19	0.17991	1.0825	1.3232	575.78
75.00 MPa Isobar							
231.448b	1249.06	-430.98	-370.94	-2.2420	1.0049	1.7265	1217.6
235	1240.63	-425.27	-364.81	-2.2157	0.99929	1.7213	1202.5
240	1228.76	-417.26	-356.22	-2.1795	0.99178	1.7146	1181.5
245	1216.90	-409.30	-347.67	-2.1442	0.98477	1.7083	1160.9
250	1205.04	-401.38	-339.14	-2.1098	0.97824	1.7025	1140.6
255	1193.18	-393.50	-330.64	-2.0761	0.97215	1.6972	1120.6
260	1181.32	-385.66	-322.17	-2.0432	0.96649	1.6922	1101.0
265	1169.46	-377.85	-313.72	-2.0110	0.96122	1.6876	1081.7
270	1157.60	-370.08	-305.29	-1.9795	0.95633	1.6833	1062.7
275	1145.74	-362.34	-296.88	-1.9487	0.95179	1.6793	1044.1
280	1133.89	-354.64	-288.50	-1.9184	0.94758	1.6756	1025.9
285	1122.04	-346.97	-280.13	-1.8888	0.94369	1.6720	1008.0
290	1110.20	-339.33	-271.78	-1.8598	0.94010	1.6687	990.43
295	1098.37	-331.72	-263.44	-1.8313	0.93680	1.6654	973.27
300	1086.56	-324.15	-235.12	-1.8033	0.93376	1.0623	956.50

1588年，r. 斯潘和w. 瓦格纳

表35年。二氧化碳的热力学性能-继续							
温度 (K)	密度 ( kg/m)	Iotemal energy) ( kJ/kg )	焓 ( kJ/ kg )	Eotuopy [kJ/(kgK) ]	C [kJ/(kg K) ]	c (kJ/(kg K) )	音速 (m /s)
75.00 MPaIsobar							
305	1074.76	-316.60	-246.82	-1.7759	0.93097	1.6593	940.12
310	1062.97	-309.09	-238.53	-1.7489	0.92843	1.6563	924.14
315	1051.22	-301.60	-230.25	-1.7224	0.92610	1.6534	908.56
320	1039.49	-294.15	-222.00	-1.6964	0.92399	1.6504	893.38
325	1027.79	-286.72	-213.75	-1.6708	0.92208	1.6474	878.62
330	1016.13	279.33	-205.52	-1.6457	0.92037	1.6444	864.28
335	1004.51	-271.97	-197.31	-1.6210	0.91884	1.6413	850.35
340	992.95	-264.64	-189.11	-1.5967	0.91750	1.6381	836.84
345	981.43	-257.35	-180.93	-1.5728	0.91632	1.6348	823.75
350	969.98	-250.08	-172.76	-1.5493	0.91530	1.6314	811.08
360	947.28	-235.66	-156.48	-1.5035	0.91369	1.6244	787.00
370	924.90	-221.36	-140.27	-1.4591	0.91262	1.6170	764.58
380	902.87	-207.21	-124.14	-1.4160	0.91202	1.6091	743.77
390	881.23	-193.20	-108.09	-1.3744	0.91184	1.6009	724.52
400	860.03	-170.33	-92126	1.3339	0.91204	1.5924	706.78
410	839.31	-165.61	-76.246	-1.2947	0.91258	1.5836	690.47
420	819.07	-152.02	-60.456	-1.2567	0.91342	1.5745	675.53
430	799.37	-138.58	-44.757	-1.2197	0.91452	1.5652	661.90
440	780.21	-125.28	-29.152	-1.1838	0.91585	1.5557	649.53
450	761.62	-112.12	-15.643	-1.1490	0.91738	1.5460	638.34
460	743.60	-99.093	1.7669	-1.1151	0.91910	1.5360	628.29
470	726.18	-86.204	17.076	-1.0822	0.92098	1.5258	619.31
480	709.36	-73.446	32.283	-1.0502	0.92300	1.5155	611.32
490	693.14	-60.816	47.387	-1.0190	0.92515	1.5052	604.25
500	677.52	-48.311	62.387	-0.98873	0.92742	1.4949	598.02
525	641.03	-17.555	99.444	-0.91641	0.93352	1.4699	585.62
550	608.02	12.545	135.90	-0.84857	0.94012	1.4468	576.92
575	578.19	42.085	171.80	-0.78473	0.94711	1.4260	571.08
0U0	551.22	71.136	207.22	0.72443	0.95439	1.4077	567.48
625	526.81	99.843	242.21	-0.66730	0.96187	1.3920	565.64
650	504.66	128.22	276.84	-0.61297	0.96949	1.3786	565.16
675	484.49	156.36	311.16	-0.56116	0.97717	1.3675	565.73
700	466.06	184.31	345.23	-0.51159	0.98486	1.3585	567.45
800	405.95	295.12	479.87	-0.33177	1.0149	1.3379	57/01
900	361.14	405.66	613.33	-0.17457	1.0424	1.3330	592.07
1000	326.23	516.83	746.72	-0.03403	1.0668	1.3356	608.08
1100	298.11	628.97	880.55	0.09352	1.0880	1.3414	624.65

关于二氧化碳的一个新的状态方程1589

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度(K)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	体内能量 (kJ/kg)	焓 (kJ/kg)	熵 [kJ/(kg K)]	C [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	音速 (m/s)
100.00 MPaIsobar							
236.031	1265.83	-430.62	-351.62	-2.2443	1.0097	1.6919	1280.4
240	1257.21	-424.46	-344.92	-2.2162	1.0037	1.6854	1265.1
245	1246.37	-416.74	-336.51	-2.1815	0.99659	1.6778	1246.2
250	1235.57	-409.07	-328.14	-2.1477	0.98997	1.6706	1227.6
255	1224.80	-401.45	-319.80	-2.1147	0.98383	1.6637	1209.4
260	1214.06	-393.87	-311.50	-2.0824	0.97812	1.6573	1191.4
265	1203.36	-386.33	-303.23	-2.0509	0.97282	1.6512	1173.7
270	1192.69	-378.83	-294.99	-2.0201	0.96790	1.6454	1156.4
275	1182.06	-371.37	-286.77	-1.9900	0.96335	1.6399	1139.3
280	1171.46	-363.95	-278.59	-1.9605	0.95913	1.6347	1122.6
285	1160.90	-356.57	-270.43	-1.9316	0.95524	1.6297	1106.2
290	1150.37	-349.22	-262.29	-1.9033	0.95164	1.6249	1090.2
295	1139.89	-341.90	-254.18	-1.8755	0.94833	1.6203	1074.5
300	1129.45	-334.63	-246.09	-1.8484	0.94528	1.6158	1059.1
305	1119.04	-327.38	-238.02	-1.8217	0.94249	1.6115	1044.0
310	1108.69	320.17	-220.97	1.7955	0.03993	1.6073	1029.3
315	1098.38	-312.99	-221.94	-1.7698	0.93760	1.6032	1015.0
320	1088.12	-305.84	-213.94	-1.7446	0.93548	1.5992	1001.0
325	1077.91	-298.72	-205.95	-1.7198	0.93356	1.5953	987.36
330	106776	-29164	-19799	-1.6955	0.93183	1.5914	974.07
335	1057.66	-284.59	-190.04	-1.6716	0.93028	1.5876	961.13
340	1047.62	-277.56	-182.11	-1.6481	0.92891	1.5838	948.54
345	1037.64	-270.57	-174.20	-1.6250	0.92769	1.5800	936.31
350	1027.73	-263.61	-166.31	-1.6023	0.92663	1.5762	924.42
360	1008.12	-249.78	-150.58	-1.5580	0.92495	1.5687	901.70
370	988.80	-236.07	-134.93	-1.5151	0.92378	1.5612	880.34
380	969.80	-222.47	-119.36	-1.4736	0.92309	1.5537	860.31
390	951.13	-209.00	-103.86	-1.4333	0.92283	1.5461	841.58
400	932.81	-195.64	-88.438	-1.3943	0.92295	1.5386	824.08
410	914.87	-182.39	-73.089	-1.3564	0.92341	1.5311	807.78
420	897.31	-169.26	-57.815	-1.3196	0.92418	1.5237	792.60
430	880.14	-156.23	-42.614	-1.2838	0.92522	1.5164	778.51
440	863.37	-143.31	-27.486	-1.2490	0.92650	1.5092	765.42
450	847.00	-130.49	-12.430	-1.2152	0.92801	1.5021	753.30
460	831.05	-117.77	2.5559	-1.1823	0.92970	1.4952	742.08
470	815.51	-105.15	17.473	-1.1502	0.93157	1.4884	731.73
480	800.39	-92.616	32.324	-1.1189	0.93359	1.4817	722.18
490	785.67	-80.171	47.108	-1.0884	0.93574	1.4752	713.39
500	771.37	-67.812	61.828	-1.0587	0.93801	1.4688	705.34
525	737.38	-37.261	98.354	-0.98741	0.94412	1.4534	688.12
550	705.86	-7.1663	134.50	0.92014	0.95070	1.4388	674.60
575	676.71	22.527	170.30	-0.85649	0.95763	1.4251	664.18
600	649.77	51.872	205.77	-0.79610	0.96480	1.4127	656.31
625	624.90	80.921	240.95	-0.73867	0.97211	1.4016	650.49
650	60191	10972	275.86	-0.68380	0.97951	1.3918	646.36

2024年5月15日



表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m³ )	内能 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	公司 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s )
100.00 MPa Isobar							
675	580.64	138.32	310.55	-0.63153	0.98693	1.3833	643.59
700	560.93	166.76	345.04	-0.58135	0.99434	1.3760	641.95
800	494.96	279.54	481.58	-0.39900	1.0231	1.3573	643.10
900	444.32	391.83	616.89	-0.23962	1.0494	1.3505	651.25
1000	404.15	504.47	751.91	-0.09737	1.0728	1.3507	662.59
1100	371.36	617.86	887.14	0.03152	1.0931	1.3544	675.48
200.00 MPa Isoban							
252.864	1318.45	-426.12	-274.43	-2.2449	1.0320	1.6131	1476.5
255	1314.84	-423.09	-270.99	-2.2314	1.0295	1.6096	1470.1
260	1306.44	-416.05	-262.96	-2.2002	1.0240	1.6016	1455.4
265	1298.11	-409.04	-254.97	-2.1697	1.0188	1.5940	1440.8
270	1289.84	-402.08	-247.02	-2.1400	1.0141	1.5867	1426.6
275	1281.64	-395.15	-239.10	-2.1110	1.0097	1.5797	1412.5
280	1273.50	-388.27	-231.22	-2.0826	1.0057	1.5730	1398.7
285	1265.43	-381.42	-223.37	-2.0548	1.0020	1.5666	1385.1
290	1257.43	-374.61	-215.55	-2.0276	0.99855	1.5604	1371.8
295	1249.48	-367.83	-207.77	-2.0010	0.99539	1.5545	1358.7
300	1241.61	-361.09	-200.01	-1.9749	0.99248	1.5488	1345.9
305	1233.79	-354.38	-192.28	-1.9493	0.98981	1.5434	1333.3
310	1226.04	-347.70	-184.57	-1.9243	0.98736	1.5381	1321.0
315	1218.35	-341.05	-176.90	-1.8997	0.98512	1.5331	1308.9
320	1210.72	-334.43	-169.24	-1.8756	0.98307	1.5282	1297.1
325	1203.16	-327.84	-161.61	-1.8519	0.98121	1.5235	1285.5
330	1195.66	-321.28	-154.01	-1.8287	0.97952	1.5190	1274.2
335	1188.22	-314.74	-146.42	-1.8059	0.97799	1.5146	1263.1
340	1180.84	-308.23	-138.86	-1.7835	0.97662	1.5104	1252.2
345	1173.53	-301.75	-131.32	-1.7615	0.97539	1.5064	1241.6
350	1166.27	-295.28	-123.80	-1.7398	0.97430	1.5025	1231.2
360	1151.94	-282.43	-108.81	-1.6976	0.97249	1.4950	1211.2
370	1137.86	-269.67	-93.896	-1.6568	0.97114	1.4880	1192.1
380	1124.01	-256.98	-79.049	-1.6172	0.97020	1.4815	1173.9
390	1110.41	-244.38	-64.266	-1.5788	0.96963	1.4753	1156.5
400	1097.04	-231.85	-49.543	-1.5415	0.96940	1.4695	1140.0
410	1083.91	-219.39	-34.876	-1.5053	0.96947	1.4640	1124.3
420	1071.02	-207.00	-20.262	-1.4700	0.96981	1.4588	1109.4
430	1058.36	-194.67	-5.6992	-1.4358	0.97040	1.4539	1095.3
440	1045.94	-182.40	8.8159	-1.4024	0.97121	1.4492	1081.9
450	1033.74	-170.19	23.286	-1.3699	0.97222	1.4448	1069.2
460	1021.78	-158.02	37.713	-1.3382	0.97341	1.4406	1057.1
470	1010.04	-145.91	52.099	-1.3072	0.97477	1.4367	1045.7
480	998.53	-133.85	66.447	-1.2770	0.97627	1.4329	1034.8
490	987.24	-121.83	80.758	-1.2475	0.97791	1.4294	1024.6
500	976.16	-109.85	95.035	-1.2187	0.97967	1.4260	1014.9
525	949.42	-80.066	130.59	-1.1493	0.98451	1.4185	992.79
550	923.96	-50.491	165.97	-1.0835	0.98986	1.4120	973.51
575	899.74	-21.088	201.20	-1.0208	0.99559	1.4065	956.68
600	876.60	8.1703	236.30	-0.06106	1.0016	1.4019	042.00

2024年5月5日 15:31

二氧化碳的一个新的状态方程式1591

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m <sup>3</sup> )	间质能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 (kJ/ (kgK) )	C [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s )
200.00 MPa Isobar							
625	854.75	37.312	271.30	-0.90391	1.0078	1.3980	929.18
650	833.86	66.359	306.21	-0.84915	1.0140	1.3948	918.02
675	813.97	95.331	341.04	-0.79656	1.0204	1.3922	908.32
700	795.00	124.25	375.82	-0.74597	1.0267	1.3900	899.91
800	727.46	239.61	514.53	-0.56073	1.0513	1.3851	876.78
900	671.10	354.93	652.94	-0.39771	1.0740	1.3836	865.84
1000	623.57	470.58	791.32	-0.25192	1.0942	1.3841	862.60
1100	583.00	586.76	929.81	-0.11992	1.1119	1.3860	864.16
400.00 MPa Isobar							
281.544	1392.45	-410.72	-123.46	-2.2315	1.0894	1.5590	1732.5
285	1388.17	-406.23	-118.08	-2.2125	1.0870	1.5546	1724.6
290	1382.04	-399.75	-110.32	-2.1855	1.0838	1.5485	1713.3
295	1375.97	-393.30	-102.59	-2.1591	1.0808	1.5426	1702.1
300	1369.95	-386.88	-94.895	-2.1332	1.0780	1.5369	1691.2
305	1364.00	-380.48	-87.224	-2.1078	1.0754	1.5314	1680.4
310	1358.11	-374.11	-79.581	-2.0830	1.0729	1.5260	1669.9
315	1352.28	-367.76	-71.964	-2.0586	1.0707	1.5209	1659.5
320	1346.50	-361.44	-64.371	-2.0347	1.0686	1.5160	1649.3
325	1340.78	355.14	56.803	2.0112	1.0667	1.5112	1630.3
330	1335.11	-348.86	-49.259	-1.9882	1.0650	1.5067	1629.5
335	1329.50	-342.60	-41.737	-1.9656	1.0633	1.5022	1619.8
340	1323.95	-336.36	-34.236	-1.9433	1.0618	1.4980	1610.3
345	1318.44	-330.14	-26.757	-1.9215	1.0605	1.4939	1601.1
350	1312.99	-323.94	-19.297	-1.9000	1.0592	1.4899	1591.9
360	1302.24	-311.60	-4.4362	-1.8582	1.0570	1.4824	1574.2
370	1291.69	-299.32	10.353	-1.8177	1.0552	1.4754	1557.2
380	1281.33	-287.10	25.074	-1.7784	1.0537	1.4690	1540.8
390	1271.16	-274.94	39.733	-1.7403	1.0525	1.4630	1525.0
400	1261.17	-262.83	54.335	-1.7033	1.0516	1.4574	1509.8
410	1251.35	-250.77	68.883	-1.6674	1.0510	1.4522	1495.3
420	1241.70	-238.76	83.381	-1.6325	1.0506	1.4475	1481.2
430	1232.22	-226.78	97.833	-1.5985	1.0504	1.4430	1467.7
440	1222.89	-214.85	112.24	-1.5654	1.0503	1.4389	1454.8
450	1213.72	-202.95	126.61	-1.5331	1.0505	1.4352	1442.3
460	1204.70	-191.08	140.95	-1.5016	1.0508	1.4317	1430.3
470	1195.83	-179.25	155.25	-1.4708	1.0513	1.4285	1418.8
480	1187.10	-167.44	169.52	-1.4408	1.0519	1.4255	1407.7
490	1178.51	-155.65	183.76	-1.4114	1.0526	1.4228	1397.1
500	1170.05	-143.89	197.97	-1.3827	1.0534	1.4203	1386.9
025	1149.47	-114.58	233.41	-1.3135	1.0559	1.4149	1363.0
550	1129.67	-85.361	268.72	-1.2478	1.0588	1.4106	1341.4
575	1110.59	-56.223	303.94	-1.1852	1.0622	1.4072	1321.8
600	1092.21	-27.143	339.09	-1.1253	1.0659	1.4045	1304.1
625	1074.47	1.8990	374.18	-1.0681	1.0698	1.4025	1288.1

表35年。二氧化碳的热力学性质-连续的

温度 (K)	密度 ( kg/m )	间歇性能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	公司 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s )
40000 MPa Teohar							
650	1057. 35	30. 916	409. 22	-1. 0131	1. 0739	1. 4011	1273. 5
675	1040. 82	59. 921	444. 23	-0. 96022	1. 0781	1. 4001	1260. 4
700	1024. 84	88. 926	479. 23	-0. 90931	1. 0825	1. 3995	1248. 5
800	966. 02	205. 09	619. 16	-0. 72246	1. 0999	1. 3997	1211. 0
900	914. 22	321. 71	759. 24	-0. 55747	1. 1165	1. 4023	1185. 7
1000	868. 27	438. 97	899. 65	-0. 40954	1. 1316	1. 4060	1168. 7
1100	827. 20	556. 88	1040. 44	-0. 27535	1. 1451	1. 4098	1157. 6
600. 00 MPa Isobar							
305. 996°	1448. 66	-391. 42	22. 754	-2. 2128	1. 1462	1. 5467	1910. 7
310	1444. 64	-386. 39	28. 939	-2. 1927	1. 1442	1. 5427	1903. 0
315	1439. 67	-380. 12	36. 640	-2. 1681	1. 1419	1. 5377	1893. 5
320	1434. 75	-373. 88	44. 317	-2. 1439	1. 1397	1. 5329	1884. 2
325	1429. 88	-367. 65	51. 970	-2. 1201	1. 1376	1. 5283	1875. 1
330	1425. 06	-361. 44	59. 600	-2. 0969	1. 1357	1. 5238	1866. 1
335	1420. 28	-355. 24	67. 208	-2. 0740	1. 1338	1. 5194	1857. 3
340	1415. 56	-349. 07	74. 794	-2. 0515	1. 1321	1. 5152	1848. 6
345	1410. 88	-342. 91	82. 360	-2. 0294	1. 1305	1. 5111	1840. 1
350	1406. 25	-336. 76	89. 905	-2. 0077	1. 1290	1. 5071	1831. 7
360	1397. 12	-324. 52	104. 94	-1. 9653	1. 1263	1. 4996	1815. 4
370	1388. 16	-312. 33	119. 90	-1. 9243	1. 1240	1. 4925	1799. 7
380	1379. 38	-300. 19	134. 79	-1. 8846	1. 1219	1. 4858	1784. 5
390	1370. 75	-288. 10	149. 62	-1. 8461	1. 1201	1. 4796	1769. 8
400	1362. 28	-276. 05	164. 38	-1. 8087	1. 1186	1. 4738	1755. 6
410	1353. 97	-264. 05	179. 09	-1. 7724	1. 1174	1. 4683	1741. 9
420	1345. 79	-252. 08	193. 75	-1. 7371	1. 1163	1. 4633	1728. 7
430	1337. 76	-240. 15	208. 36	-1. 7027	1. 1154	1. 4585	1715. 9
440	1320. 87	-228. 25	222. 92	-1. 6692	1. 1147	1. 4541	1703. 6
450	1322. 10	-216. 38	237. 44	-1. 6366	1. 1142	1. 4500	1691. 6
460	1314. 46	-204. 54	251. 92	-1. 6048	1. 1139	1. 4462	1680. 1
470	1306. 94	-192. 72	266. 37	-1. 5737	1. 1136	1. 4427	1668. 9
480	1299. 54	-180. 92	280. 78	-1. 5434	1. 1135	1. 4394	1658. 1
490	1292. 26	-169. 15	295. 16	-1. 5137	1. 1135	1. 4363	1647. 7
500	1285. 08	-157. 39	309. 50	-1. 4847	1. 1137	1. 4335	1637. 5
525	1267. 60	-128. 07	345. 26	-1. 4149	1. 1144	1. 4275	1613. 7
550	1250. 74	-98. 828	380. 89	-1. 3487	1. 1157	1. 4226	1591. 6
575	1234. 45	-69. 645	416. 40	-1. 2855	1. 1174	1. 4187	1571. 3
600	1218. 69	-40. 503	451. 83	-1. 2252	1. 1195	1. 4157	1552. 5
625	1203. 43	-11. 386	487. 19	-1. 1675	1. 1218	1. 4134	1535. 1
650	1188. 63	17. 720	522. 50	-1. 1121	1. 1243	1. 4117	1519. 1
675	1174. 27	46. 825	557. 78	-1. 0588	1. 1271	1. 4106	1504. 2
700	1160. 32	75. 938	593. 04	-1. 0075	11299	1. 4099	1490. 5
800	1108. 23	192. 61	734. 02	-0. 81926	1. 1419	1. 4103	1445. 3
900	1061. 27	309. 84	875. 20	-0. 65298	1. 1538	1. 4134	1412. 4
1000	1018. 66	427. 73	1016. 74	-0. 50386	1. 1649	1. 4175	1388. 8
1100	979. 76	546. 30	1158. 69	-0. 36856	1. 1749	1. 4216	1371. 9

2024年5月5日15:21

表35年。二氧化碳的热力学性质-继续

温度 (K)	密度 ( kg/m <sup>3</sup> )	体内能量 ( kJ/kg )	焓 (kJ/ kg)	熵 [kJ/(kg K)]	公司 [kJ/(kg K)]	发光强度 [kJ/(kg K)]	声速 (m/s )
800.00 MPa Isobar							
327.673b	1495.70	-369.91	164.96	-2.1926	1.1961	1.5477	2052.8
330	1493.71	-367.02	168.56	-2.1817	1.1951	1.5457	2048.9
335	1489.46	-360.83	176.28	-2.1585	1.1931	1.5415	2040.7
340	1485.25	-354.66	183.97	-2.1357	1.1912	1.5373	2032.6
345	1481.08	-348.50	191.65	-2.1132	1.1894	1.5333	2024.6
350	1476.96	-342.35	199.31	-2.0912	1.1877	1.5294	2016.8
360	1468.83	-330.09	214.56	-2.0482	1.1846	1.5218	2001.6
370	1460.85	-317.88	229.74	-2.0066	1.1817	1.5147	1986.8
380	1453.03	-305.72	244.86	-1.9663	1.1791	1.5080	1972.5
390	1445.35	-293.59	259.90	-1.9272	1.1769	1.5016	1958.7
400	1437.82	-281.51	274.89	-1.8893	1.1748	1.4956	1945.4
410	1430.42	-269.46	289.82	-1.8524	1.1730	1.4899	1932.4
420	1423.15	-257.45	304.69	-1.8166	1.1714	1.4845	1919.9
430	1416.00	-245.46	319.51	-1.7817	1.1699	1.4795	1907.8
440	1408.98	-233.51	334.28	-1.7478	1.1687	1.4748	1896.0
450	1402.08	221.58	349.01	1.7147	1.1676	1.4703	1884.6
460	1395.29	-209.67	363.69	-1.6824	1.1667	1.4661	1873.5
470	1388.60	-197.79	378.33	-1.6509	1.1659	1.4622	1862.8
480	1382.03	-185.93	392.93	-1.6202	1.1652	1.4586	1852.4
490	1375.55	-174.08	407.50	-1.5901	1.1647	1.4551	1842.3
500	1369.17	-162.26	422.04	-1.5608	1.1642	1.4519	1832.5
525	1353.64	-132.76	458.24	-1.4901	1.1636	1.4448	1809.1
550	1338.65	-103.33	494.29	-1.4230	1.1636	1.4389	1787.4
575	1324.16	-73.959	530.20	-1.3592	1.1640	1.4340	1767.1
600	1310.14	-44.627	566.00	-1.2982	1.1648	1.4301	1748.1
625	1296.54	-15.319	601.71	-1.2399	1.1659	1.4269	1730.4
650	1283.34	13.975	637.35	-1.1840	1.1673	1.4244	1713.8
675	1270.52	43.267	672.93	-1.1303	1.1688	1.4225	1698.2
700	1258.04	72.565	708.47	-1.0786	1.1706	1.4211	1683.6
800	1211.18	189.94	850.45	-0.88900	1.1785	1.4193	1633.6
900	1168.47	307.80	992.46	-0.72175	1.1868	1.4212	1594.8
1000	1129.16	426.25	1134.74	-0.57184	1.1948	1.4247	1564.9
1100	1092.77	545.32	1277.40	-0.43587	1.2020	1.4286	1542.2

极限温度。b熔化温度  
饱和温度。

11. 确认信息

作者非常感谢德国联邦科学基金会  
感谢他们对这个项目的财政支持

12. 参考文献

IUPAC原子量和同位素原子委员会, J物理. 化学裁判员数据 24. 1561 (1995)。  
<sup>2</sup>E. R. Cohen和B. N. 泰勒, 1986年基本面的调整  
心理学常数, CODATA公牛. No. 63 (波加蒙, 牛津, 1986)。S. 安格斯。B. 阿姆斯特朗, 和K. M. 德·雷克, 国际表格  
流体状态-3: 二氧化碳(Pergamon, 牛津. 1976).  
' R. 施密特和瓦格纳, 《流体相平衡》, 19. 175 (1985)。A. 扫罗和瓦格纳。J. 物理学。化学裁判员数据18、1537 (1989)  
。U. 塞茨曼和W. 瓦格纳, 国际。J. Thermophys. 10. 1103 (1989).  
E. 狂饮作乐状态方程精确地表示裸物质的相行为。在第五十五届热学研讨会上  
physic属性。C.F. 博尼拉。协调编辑器(ASME. 纽约1970)。  
\*v. V. Altuninand O. G. Gadetskii, Teploenergetica 18, 81 (1971).  
W. A. Stein . 化学雕刻Sci. 27. 1371 (1972)。

10K. E. Starling, P. N. Batdorf, 和Y. C. Kwok, 氢气探针。51, 2, 86 (1972)。  
论文, 慕尼黑大学 (1973)。  
1<sup>2</sup>F. H. Huang. M. H李。LL Lee, K. E. Starling和F. T. H. Chung, J  
化学 . N字g . . Jpn18 . 049 (1985 ) .  
J Eers a na w wagn er, A M et h 为了理论的建议  
状态值及其对氧状态方程的应用  
过程8th Symp. 热生理学。道具-卷1. J. V. Sengers, 协调编辑(Am  
。社会机械。雕刻纽约, 1982)。  
J. P. Ely, PureCO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> Rich M Ax的状态模型  
项目中的线程。第65圈。公约气体程序。使发生联系 (圣安东尼奥  
，德克萨斯州, 1986年)。  
15J. F. Ely. J. W. Magee, 和W. M. Haynes. 二氧化碳PAC, 项目可在  
Nat1提供。Bur. 站。(博尔德, 科罗拉多州, 1987)。  
\*k. S. Pitzer和D. R. Schreiber, 流体相平衡41, 1 (1988)  
1J. F. Ely. W. M. Haynes. and B. C. Bain, J. 化学热动力学。21. 879  
(1989).  
18R. I. Jacobsen和R. B. Stewar, J. 物理学家。化学裁判员数据  
2. 757 (1972年)。10K. S. Pitzer和S. M. Stemer. J. 化学。物理学。  
101, 4. 311 (1994)  
9p. 肖菲尔德。物理学。发动机的旋转Lett. 22. 606 (1969).  
G. A. hapela和J. S. Rowlinson. J. 化学。社会法拉第反式。(1) 70  
584 (1974)。  
JF EIy. J. . 麦高。和M. 海恩斯, 热物理性质

## 1594 R斯潘和w. 瓦格纳

- 特殊的高 $CO_2$  Content混合物, 重新提取报告RR-110(国家级美国标准局, 博尔德出版社, 1987年)。
- 22M. Vicenti-Missoni, J. M. H. 水平和M. S. Green, J. Res. Natl. Bur. 站。A 73, 563(1969)。
- 2T. A. Murphy, J. V. Sengers, andJ. M. H. 水平信使, 分析气体的压力应该是尺度方程中的临界点在, 中。6th Symp. 热电偶。Prop., P. E. Liley, 协调编辑 (ASME, 纽约, 1973年)。
- 24p. C. Albright, T. J. Edwards, Z. Y. Chen, 和J. V. Sengers, J. 化学Phys87, 1717 (1987)。
- 25p. C. Albright, Z. Y. Chen, 和J. V. Sengers, 物理学。Rev. 快速Commun. 36, 877(1987)。
- 26p. D. Erickson, T. W. Leland, 和J. F. Ely, 流体相位平衡 37 185(1987)。
- 27z. Y. 陈的话, 一个。Abbaci, S. Tang, andJ. V. Sengers, 物理学家。发动机的旋转A 4470(1990)。
- 28S. B. Kiselev, I. G. 和A. A. Povodyrev, Int. J. 热菲斯。12, 877(1991)。
- 2R. 福克斯, Fluid相位不平衡14, 45 (1983)。
- 30U. 塞茨曼和瓦格纳, J. 物理学家。化学裁判员数据20, 1061 (1990)。
- 3J. 阿伦茨和H. D. Baehr, 福尔施。英格。韦斯45, 1, 1(1979)。32w. 瓦格纳, 《低温学12214》(1972)。
- 3J. 阿伦茨和H. D. Bachr, 福尔施。英格。韦斯45, 2, 51(1979)。
- 34w. Wagnr, VDI Fortschritt-Ber, Reihe 3, Nr. 39(VDI-Verlag. 杜塞尔多夫, 1974年)。
- 35R. 斯潘和W. 瓦格纳, Int. J. Thermophys. (已提交)
- 36小时。普雷斯顿-托马斯, 大都会大学27, 3 (1990)。
- 3H. 普雷斯顿-托马斯, P. 布隆伯根, 和T. J. Quinn, 补充1990年国家温度表资料《思想与方法间理论》, 塞弗斯, 1990)。
- 8R. L. Rusby, J. 化学热力学。23, 1153(1991)。
- 39R. E. Bedford和C. G. M. Kirby, 大都会餐厅5, 83 (1969)。
- 40C. H. Meyers和M. S. Van Dusen说。站。J. Res. 10. 381 (1933)。41D. 安布罗斯, 英国人。J. Appl. 物理学。8, 32(1957)。
- 42D. R. Lovejoy, 《自然》, 197, 353 (1963)。
- 43E. 哈罗, E. 费尔南德斯-法斯纳克特, 和F. 德里约热内卢, 牧师。社会奎姆。军用交换机 23, 369 (1979)。
- 44L. A. K. 斯特夫利L. Q. Lobo和J. C. G. Calado, 低温学出版社, 21, 131 (1981)。
- 4R. Blanes-Rex, E. P. A. 费尔南德斯和F. 古兹曼, 低温学家22, 113 (1982)。
- 46F. Pavese和D. Feri, TMCSI 5, 217 (1982)。
- 47R. E. 贝德福德, G. 邦尼尔, H. Maas和F. 帕维斯, 大都会20, 145 (1984)。
- 48G. 邦尼埃, Y. Hermier, andW. B. Qin, “多室密封细胞中的二氧化碳三重点”, 在第二届IMEKO论文集工业与科学中的温度测量研讨会, B. 苏尔, 协调编辑, 民主德国, 1984。
- 49W. Duschck, VDI Fortschritt-Ber, Reihe 3, Nr. 187(VDI-Verlag, 博士-seldorf, 1989)。
- 50J. M. H. 水平和W. T. Chen, J. 化学物理学家。56, 595(1972)
- 5M. R. Moldover, J. 化学物理学。61, 1766(1974)。
- 52J. A. Lipa, C. 编辑器, 和M. J. Buckingham, 物理学。发动机的旋转A 15, 778 (1977)。
- M. R. Moldover, J. V. Sengers, R. W. Gammon, 和R. J. Hocken, 牧师。模块。物理学。51, 79(1979)。
- 5H. J. Badc, 毕业论文, 布劳恩施威格理工大学(1983)。
- 55T. J. Edwards, Ph. D. Thesis, 澳大利亚韦斯特姆大学(1984年)
- 5J. V. Sengers和J. M. H. 水平的信使们, 安努。发动机的旋转物理学。化学37, 189(1986)。
- 57z. Y. Chen, P. C. Albright, 和J. V. Sengers, 物理学。发动机的旋转A 41, 3161 (1990)。
- 58w. 杜谢克, R. 克莱因拉姆和瓦格纳, J. 化学热力学。22, 841(1990)。
- 59I. M. Abdulagatov, I. M. Abdurakhamov, R. G. Batyrova, and, “临界态区二氧化碳的等容热容与液气共存曲线”, 关于热物理》。提案, 博尔德, 科罗拉多, 1991年。
- 59-I. M. Abdulagatov, N. G. Polikhronidi, 和R. G. Batyrova, Ber. Bun-森格斯。物理学。化学98, 1068(1994)。
- 59I. M. Abdulagatov, N. G. 和R. G. Batyrova, J. 化学热力学。26, 1031(1994)。

- 0A. 米歇尔, B. 布莱斯和J. 胡格沙根, 《物理学杂志, 9565年 (1942年)》。
- 61K. Clusius, U. 皮斯伯根和瓦尔德, 海尔夫. 奇姆. Acta 43. 1290 (1960).
- 62 H. Bois和A. P. 遗嘱, 德国Verhandl. der物理学. Ges. 1, 168 (1899).
- 63J. P. Kuenen和W. G. Robson, Philos. Mag. 6. 149 (1902).
- 64K. H. Onnes和S. Weber, Com. 物理学. 实验室大学. 莱顿137b, 8 (1913).
- 6H. 西门子, 安. 物理学. 42, 871 (1913).
- 66s. Weber和H. K. Onnes, Com. 物理, 实验室. 大学. 莱顿137c, 26 (1913).
- 67F. 亨宁, 安. 物理学. 43, 282 (1914).
- 68W. Heuse and J. 哦, 安. Phys. 9. 486 (1931) 69W. 休斯和J. 奥托, 安. 物理学. 14, 185 (1932).
- 70W. F. Giauque和C. J. Egan, J. 化学物理学. 5, 45 (1936)
- 7A. W. Tickner和F. P. Loring, J. 物理学家. 胶体化学. 55, 733 (1951).
- 7D. 安布罗斯, 跨. 法拉第公司.
- 52, 772 (1955) 73 M. J. Hiza, 低温学学10, 106 (1970)。
- 74Z. Bilkadi, M. W. Lee, and J. Biegeleisen, J. 化学物理学. 62, 2087 (1974).
- 75C. E. Bryson, V. Cazcara, 和L. L. Levenson, J. 化学雕刻数据19、107 (1974)。
- 76E. 费曼德斯-法斯纳克特和F. 德里约热内卢, J. 化学热动力学. 16, 469 (1984).
- 77W. H. Keesom Com. 物理学. 实验室大学. 莱顿市88岁、1岁 (1903年)。
- 78C. F. Jenkin和D. R. Pye, 菲洛士. 反式 R. Soc. 213, 67 (1914). 790. C. Bridgeman, J. Am. Chem. 社会49, 1174 (1927).
- 80A. 米歇尔斯, B. Blaisse, 和 C. 米歇尔斯, 专业人员. R. Soc. A160. 358 (1936).
- 8J. R. Roebuck, T. A. Murell, 和E. E. Miller, J. Am. Chem. 社会64, 400 (1942).
- 82A. 米歇尔斯, T. Wassenar, Th. 兹维特林和P. 史密斯, 物理学16501 (1950).
- 83H. H. Reamer, B. H. Sage和W. N. Lacey, Ind. 雕刻化学432515 (1951).
- 84J. A. Bierlein和B. K. Webster, 印第安纳州. 雕刻化学45, 618 (1953) 8SD. 库克, 项目. R. Soc. 219, 245 (1953).
- D. 库克, 跨国公司. 法拉第Soc. 49, 716 (1953)
- 8E. 施密特和托马斯, 福尔施. 英格. 韦斯20, 161 (1954). 88R. H. Wentorf, J. 化学物理学. 24, 607 (1956).
- 89A. B. Kletskii, Ing. 物理学. Zeitschr. 7, 40 (1964).
- 90R. G. P. Greig和R. S. Dadson, 英国人. J. Appl. 物理学. 17, 1633 (1966). 91J. L. Edwards和D. P. Johnson, J. Res. Nat. Bur. 站. Sec. C72, 27 (1968).
- 92M. P. Vokalovich. V. P. Kobelev, 和N. I. Timoshenko, 四能量学15, 6, 80 (1968).
- 93V. A. Kirillin, S. A. Ulybin和E. P. Zherdev, 四能量学16. 6, 92 (1969).
- 94E. P. Kholodov, N. I. Timoshenko, 和A. L. Yainov, 四能量学19, 4, 84 (1972).
- 95A. Fredenslund and J. Mollerup, J. 化学社会法拉迪跨. (1) 70 1653 (1974).
- 96R. J. Gugoni, J. W. Eldridge, V. C. Okay, 和T. J. Lee, A. LCh. E. J. 20, 93 (1974).
- 97G. J. Besserer和D. B. Robinson, J. 化学雕刻数据21、81 (1975)。
- 98J. Davalos, W. R. Anderson, R. E. Phelps, 和A. J. Kidnay, 我. 化学雕刻数据21、81 (1976)。
- 99K. Stead和J. M. Williams, J. 化学Thermodyn. 12. 265 (1980)
- 100H. 黄裴, N. 长滨先生, 和平田先生, J. 化学雕刻数据27、25 (1982).
- 101T. A. Al-Sahhaf, A. J. Kidnay和E. D. Sloan, Ind. 雕刻化学基金22, 372 (1983).
- 102H. G. Kratz, 毕业论文, 波鸿鲁尔大学 (1984年)
- 103J. C. Holste, K. R. Hall, P. T. Eubank, G. 经验. M. O. Warowny . D. M Bailey, J. G. Young, 和M. T. Bellamy, J. 化学热动力学. 19, 1233 (1987).
- 104T. S. Brown, A. J. Kidnay, 和E. D. Sloan, Fluid相位不平衡40, 169 (1988).
- 105N. N. Shah, J. A. Zollweg, 和W. B. Street, J. 化学雕刻数据36、188 (1991)
- 105L Yurttas, J. C. Holste, K. R. Hall, B. E. Gammon, 和K. N. Marsh, J. 化学雕刻Data39, 418 (1994).
- 106M. E. 24 . Amagat, C. R. Acad . 科学. 114, 1093 (1892).

J. 物理学. 化学裁判员数据, 第25卷, 第6期, 1996年

## 一个关于二氧化碳的新状态方程式1595

- 107U. 贝恩, 安. Phys. 3. 733 (1900).
- 10sH. H. Lowry and W. R. Erickson, J. Am. Chem. 社会  
49, 2729 (1927). 109J. 斯特劳布, 《战争和战争》556 (1972)。  
10w. M. Haynes, 正压液体密度和介电常数
- 二氧化碳, 纸张出现在冷冻室。雕刻Conf., 质量。在。技术,  
剑桥, 1985年。
- G. J. Esper, 毕业论文, 波鸿鲁尔大学 (1987)。! A.  
欧几肯和F. 哈克, Z. 物理学家。化学134, 161 (1928)。
111. I. Novikov和Y. S. Trelin, Zur. Prik. 机械。技术Fiz。  
2, 112 (1960)。1<sup>1</sup> 4 K. I. Amirkhanov, N. G. Polikhronidi,  
B. G. Alibekov, and R. G. Baty-  
罗瓦, 第19、1、61页 (1972年)。
- 115w. Pecceu和W. Van Dael, Physica 63. 154 (1972)。
- 116j. W. Magee和J. F. Ely, Int.  
J. Thermophys. 7, 1163 (1986)。11<sup>7</sup>C. F. Jenkin, 程序。R.  
Soc. A 98, 170 (1920)。
1180. Maass和J. H. Mennie, Proc. R. Soc. A  
110, 198 (1926)。119D. LeB. Cooper和O. Maass, 是可以的  
。J. Res. 2, 388 (1930)。
- 120D. LeB. Cooper和O. 马斯岛, 可以。J. Res. 4, 283 (1931)。
- 21w. Cawood和H. S. Patterson, J. 化学  
Soc, 619 (1933)。122A. 米歇尔斯和C. 米歇尔斯, Proc. R.  
Soc. A 153, 201 (1935),  
A. 米歇尔斯, 米歇尔斯和沃特斯, 教授。R. Soc. A  
153, 214  
(1935)。
- 1<sup>2</sup> 4H. H. Reamer, R. H. Olds, B. H. Sage和W. N. Lacey, Ind. 雕刻化学  
36, 88 (1944)。
- 12SG. A. Bottomley, D. S. Massie, 和R. 惠特劳-格雷, Proc. R. Soc. A  
200. 201 (1950)。
- 126T. 巴图埃卡斯和C. G. Losa. Fis. 奎姆。B  
50, 845 (1954) 127G. C. Kennedy. Am. J. Scie. 252. 225  
(1954)。
- 128M. P. Vukalovich和V. V. Altunin, 四能量学6, 11, 58 (1959)。
- 129M. P. Vukalovich和V. V. Altunin, 四能量学9, 5, 56 (1962)。
- 130M. P. Vukalovich, V. V. Altunin, 和N. L. Timoshenko, 四能量学  
10. 2. 92 (1963)。
- 13<sup>1</sup> M. P. Vukalovich, V. V. Altunin, and N. L. Timoshenko, Teploenergetica 10, 1, 85 (1963)。
- 132J. Juza, V. 克莫尼切克和西夫纳, 物理31, 1735 (1965)
- 13p. S. Ku和B. F. Dodge, J. 化学雕刻数据12、158 (1967)
- 13#A. 萨斯, B. F. Dodge, 和R. H. Bretton, J. Chem. 雕刻数据12、168  
(1967)。
- 1M. P. Vukalovich, V. P. Kobelev, and N. I. Timoshenko, Teploenergetica  
15. 4. 81 (1968)。
- 136E. A. Golovskii和诉。Tsymamyi, Teploenergetica  
16, 1. 67 (1969)。1<sup>3</sup> 7V. A. Kirillin. S. A. Ulybin和E. P. Zherdev, 能  
量16. , 294  
(1969)。
- 138V. A. Kirillin. S. A. Ulybin和E. P. Zherdev, “二氧化碳密度在-  
50到+200 C和压力高达500巴的温度下的实验投资”, 在第一次  
实验-  
量热学和热力学专题会议, 华沙, 1969年。
- 1D. S. Tsiklis, L. R. Linshits, 和S. S. Tsierann, “在高压和温度  
下, 二氧化碳的摩尔体积和热力学特性的测量和计算”  
第一次量热法和热力学国际会议, 战争  
锯1969。
- 10V. A. Kirillin. S. A. Ulybin和E. P. Zherdev, 四能量学17, 5. 69  
(1970)。
- 141v. N. Popov和M. K. Sayapov. Teploenergetica 17. 4. 76 (1970)。  
M. P. 武卡洛维奇。N. L. 铁木辛哥和V. P. 科贝列夫。  
Teploenergetica 17. 12. 59 (1970)  
w. 申曼。论文。卡尔斯鲁厄 (1971)。  
EP. holodov . N. I. Tioshenko. and A. L. Yamnov. 四倍能量学  
19. 3. 84 (1972)。
- +5J. Hoinkis. 论文。TH Karlsruhe (1989)。  
D. B. Robinson和D. B. Robinson. J. 化学, 英。数据18. 137 (1973)  
)。+7D. S. Rasskazov. E. K. Petrov . G. A. Spiridonov, 和  
E. R. Ushmaikin。  
Teploenergetica 21. 1. 80 (1974)。
- 148v. M. Shmonov和K. I. Shmulovich, Akad. Wouk SSSR 217. 935  
(1974)。
- 1+w-W. R. Lau. Ph. D. Thesis . 德克萨斯农工大学 (1986)
- 150M. Jaeschke. ppT来自折射率测量的数据 (私人通信) (1987),
- 151M. Jaeschke. ppT数据来自布美特测量 (私人社区) (1987)。  
马吉和伊利。J. Thermophys. 9. 547 (19881)

153P. J. McElroy, R. 巴蒂诺, 和 1287 (1989)。  
154 w. 杜舍克, R. 克莱因拉姆, 和 827 (1990)。  
155M. Jaeschke, A. E. Humphreys, P. 范·卡内格姆, M. 福, R. 詹森-范·罗斯马伦, 和Q. 佩尔雷, GERG技术专著  
4-GERG数据库的高精度压缩系数均值-《采购》, 由欧洲研究集团编辑 (VDI Verlag, 杜塞尔多夫, 1990年)。  
156P. 内本达尔, 贝尔, 里赫3号。212 (VDI-Verlag, 杜塞尔多夫, 1990年)。  
157X. Y. Guo, R. Kleinrahn, and W. 瓦格纳, 实验者系统 *Meßfehler von Betriebsdichteaufnehmern - Meßtrecken-Meßergebnisse* : *Meßergebnisse Meßergebnisse*, 氦, 氮, 氮, 报告热工, 鲁尔-波鸿大学, 波鸿, 1992年。  
158L. A. Weber, Int. J. Thermophys. 13, 1011 (1992)。  
159R. 吉尔根, R. 克莱因拉姆和瓦格纳, J. 化学热力学。24, 1493 (1992)。  
160K. Brachthäuser, R. Kleinrahn, H-W. 洛什, 和 W. 瓦格纳, VDI 的。 , 河8号。371 (VDI-Verlag杜塞尔多夫, 1993年)。  
160-A. Fenghour, W. A. Wakeham和J. T. R. Watson, JI. 化学热 dyn 27, 219 (1995)  
160J. Klimczak, R. 克莱因拉姆, 和 W. Wagner (私人通信 (1995)。  
160z. Gokmenoglu, Y. 熊, 和基兰, 我。化学雕刻数据41、354 (1996)。  
100uP. 诺瓦克石油公司, T. Tielkes, R. Kleinrahn和W. Wagner (未发表)。  
160ew. 瓦格纳, K. Brachthäuser. R. 克莱因拉姆和H-W. 损失, Int. J. 热生理学。16, 399 (1995)。  
161R. 克莱因拉姆和瓦格纳, 北京大学, nr. 92 (VDI-Verlag, 迪塞尔多夫, 1986年)。  
162F. G. Keyes和S. C. Collins, Proc. N. A. S. 18, 328 (1932)  
163G. B. Kistiakowsky和W. W. Rice, J. 化学物理学。7, 5, 281 (1939)。  
164s. R. de Groot和A. 米歇尔斯, 物理学14218 (1948)。  
165J. F. Masi和B. Petkof, J. Res. Natl. Bur. 站。48, 179 (1952)。  
166V. E. Schrock, Calorimetric Determination of Constant-Pressure Specific  
二氧化碳在高压和温度下的热量, Na-航空技术咨询委员会。注2838 (1952)。  
167L. B. Koppel和J. M. Smith, J. 化学雕刻数据5437 (1960)。  
168M. P. Vukalovich. V. V. Altunin和A. N. Gureev. Teploenergetica 11, 9, 68 (1964)。  
169M. P. Vukalovich和A. N. Gureev, 四能量学11, 8, 80 (1964)。  
170M. P. Vukalovich, V. V. Altunin和A. N. Gureev, 能量, 7, 58 (1965)。  
17s. L. Rivkin和V. M. Gukov, 四15, 10, 72 (1968)。  
172v. V. Altunin和D. O. Kuznetsov, 四16, 8, 82 (1969)。  
173v. V. Altunin和D. O. Kuznetsov, 四倍能量学17. 11, 91 (1970) 17+。L. Rivkin and V. M. Gukov, Teploenergetica 18, 10. 82 (1971)。  
173v. V. Altunin和D. O. Kuznetsov, 四能量学19. 6. 67 (1972)。  
176s. 塞古萨。T. 小林尊, Y. 高桥和渡边k, 公牛。JSME 23, 2055 (1980)。  
17R. 狂饮作乐K. Bier和G. Maurer, Ber. 邦森格斯。物理学。Chem. 85. 778 (1981)。  
178G. 恩斯特和U. E. Hochberg. J. 化学。Thermodyn. 21. 407 (1989)。  
179G. Emst. G. 毛雷尔和维德鲁赫。J. 化学。热动力学。21, 53 (1989)。  
179年, 多丹, 科克森和戈利尔。RevSci Instrum 65. 10. 3263 (1994)。  
180H. W. Wooley. J. Natl. Bur. 站。52. 289 (1954)。

18H. D. Baehr. H. 哈特曼, H-C. 波尔和舒马克。热工温度为6000° K, 编辑 by H. D. Baehr (施普林格-verlag, 柏林, 1968年)。  
18-L. V. Gurvich. 特征物质的热力学性质 (瑞卡。莫斯科瓦1979年), 卷。二、II部分  
18J. Chao, 在TRC热模拟表Hydrocarbons, K. W. Marsh, 协调编辑 (德州农工大学, 奥斯汀。1983)。  
卷数。罗马数字 7  
184J. Chao (私人通信) (1986)。  
18SR. E. Pennington和K. A. Kobe, J. 化学Phys. 22. 1442 (1954)  
18A. 米歇尔斯和斯特里兰, 物理学18. 613 (1952)  
187K. L. Amirkhanov, N. G. Polikhronidi, 和R. G. Batyrova. 地球地质学17. 3. 70 (1970)。

J. 物理学。化学裁判员数据, 第25卷, 第6期, 1996年



## 1596年，跨度和

- 18K. 我是阿米尔哈诺夫和N.G.Polikhronidi, 时间报18.12, 59 (1971)。
- 189j. V. Sengers (私人通信) (1986)。
- 190J. A. Lipa, C. 爱德华兹, 和M. J. Buckingham. 物理学。发动机的旋转警报。25, 1086 (1970)。
- 19iC. M. Herget, J. 化学物理学。8, 537 (1940)
- 12[我。Novikov和Y. S. Trelin, 四倍能量学9, 2, 79 (1962)。
- 19L L. 皮塔耶夫斯卡娅和A. V. Bilevich, 拉斯。J. 物理学。化学47, 126 (1973)。
- 14w. 乐明。VDI Fortschritt-Ber, Reihe 19, Nr. 32 (VDI Verlag, Düsseldorf, 1989)。
- 1J. 滋养, 《我们的生活》(科学院, 1951年)。
- 196y. S. Trelin和E. P. Sheludiakov, J. E. TP. Let. 3. 2. 63 (1966)
- 1四R. W. Gammon, H. L. Swinney, 和H. Z. Cummins, 物理学。发动机的旋转让19, 1467 (1967)。
- 18G. T. Feke, K. Frisch, 和E. F. Carome, 物理学家。发动机的旋转拉脱维亚的23, 1282 (1969)
- 1° K. Frtsch和E. E. Carome, 流体在批评点附近的行为。NASA研究报告CR-1670 (1970)。
200. aass和W. H. Barnes, 项目。R. Soe. A 111, 224 (1926)。
- 201M. P. Vokalovich和Y. E. asalov. Teploenergetica 11, 7, 78 (1964). 202M. P. Vukalovich and Y. F. asalov, Teploenergetica 11, 11, 75 (1964)。
- 20<sup>1</sup> D. Moler, B. E. Gammon . K. N. Marsh, K. R. Hall 和J. C. Holste, J. 化学热动力学。25, 1273 (1993)
- 克里格, 北尔, 6号。1 (VDI-Verlag, 迪塞尔多夫, 1964年)。
- 20H. D. Baehr, “内部能量的测量和谷物在CO<sub>2</sub> 临界点附近的注入”, 在第四篇论文集上热物理性质研讨会 (ASME, 纽约, 1968年)。
- 20M. P. Vukalovich, v. V. Altunin, K. 布尔, D. S. 拉斯卡佐夫和D. 厄特尔Teploenergetica 17. 5. 60 (1970). 伯内特, 物理学。发动机的旋转22, 590 (1923)。
- 20ty. V. Altunin和A. N. Gureev, 四19. 1, 59 (1972)
- 20L. Cusco, S. E. McBain, 和G. Saville, J. 化学热动力学。27, 721 (1995)。
- 200K. 谢弗, Z. 物理学。化学B 36, 85 (1937)
- 200K E. 麦考马克和W. G. 。施耐德, J. 化学物理学。18, 1269 (1950),
- 2T. L. Cottrel和R. A. Hamilton, 反式的。法拉第Soc. 51, 156 (1955). 20w. C. Pfefferle, J. A. Goff, 和J. G. Miller, J. 化学Phys. 23. 509 (1955)。

J. 物理学。化学瑞特。数据, 第25卷, 第6期, 1996年

W. 瓦格纳

23T. L. Cotrill, R. A. Hamilton, 和 R. P. Taubinger, Trans. 法拉达索克  
52, 1310 (1956).  
214p. 库克, 可以。J. 化学, 35268 (1957)。  
215A. P. Masia 和 M. D. Pena, 安娜。Fis. 奎姆。B  
54. 661 (1958). 216E. G. Butcher 和 R. S. Dadson, Proc.  
R. Soc. 227, 448 (1963). 217IA. Huff 和 T. M. Reed, J. 化学雕刻  
数据 8306 (1963)。  
武卡洛维奇 和 Y. E. Masalov, 四 13, 5. 58 (1966)。219RS. Dadson,  
E. J. Evans 和 J. H. King. 过程物理学。社会 92, 115 (1967).  
220N. L. Timoshenko, V. P. Kobelev, 和 E. P. Kholodov, 四能量学  
17. 9. 64 (1970).  
22M. 韦克斯曼, H. 戴维斯和 J. R. 黑斯廷斯, “一个新的决定因素”  
在  $0^{\circ}$  和  $150^{\circ}\text{C}$  之间的二氧化碳温度系数及其可靠性的评价  
热物理特性研讨会 (ASME, 纽约 1973)。  
222K. Ohgaki, N. 酒井岛, Y. 佳野和片山, J. 化学雕刻 Jpn. 17.  
545 (1984)  
222B. V. Mallu, G. 和 D. S. Viswanath, J. 化学热动力  
学。19. 549 (1987).  
224B. V. Mallu, G. 和 D. S. Visanath, J. 化学热动力  
学。21. 989 (1989).  
2125R. 跨度, 北号, 6号。285 (VDI-Verlag. 解卷。  
1993).  
226j. M. H. Levelt Sengers, W. L. Greer, 和 J. V. Sengers, J. 物理学家。化学  
裁判员数据 5. 1 (1976)。  
2271E. 弗斯卡费尔特。Com. 物理学。实验室莱顿 28 (1896)。  
20K. G. 威尔逊, 物理。发动机的旋转 4, 3174 (1974).  
229p. 希尔, J. 物理学。化学裁判员数据 19. 1233 (1990)。  
20w. 瓦格纳, N. Kurzeja, and B. 皮佩贝克, 未来相平衡 79.  
151 (1992).  
20H. T. Haselton, W. E. Sharp 和 R. C. Newton, 地质。物品 5,  
753 (1978).  
222w. I. 内利斯。A. C. Mitchell, F. H. Ree, N. C. Holmes, 和 R. J. Trainor。  
J. 化学。物理学。95, 5268 (1991).  
20G. L. Schon, 高总统。Res. 6. 187 (1991).  
24E. H. Brown, Bul. Int. 在。Refrig. 1. 169 (1960).  
莫里, 论文, 卡尔努赫 (1963)。  
26D. 斯特劳布论文。TH Karlsruhe (1964)。  
29A. 沙伯, 论文。TH Karlsruhe (1965). 238p. G.  
米勒, 印第安纳州。雕刻化学 Fund. 9. 585  
(1970). 1° K. M. deReuck (私人通讯) (1991年)  
。

20  
24  
年  
5  
月  
5  
日