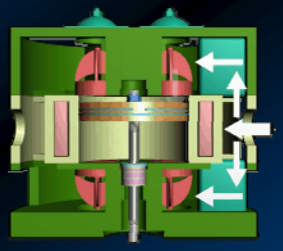
容积式压缩机



参考文献:

郁永章．活塞式压缩机（M）．北京：机械工业出版社，1982

姜培正．流体机械（M）．北京：化工出 版 社，1991

郁永章．容积式压缩机技术手册（M）．北京：机械工业出版社；2000

基本内容

- 基本结构组成（1h）
- 热力学原理（10h）
- 动力特性（4h）
- 气量调节等（1h）

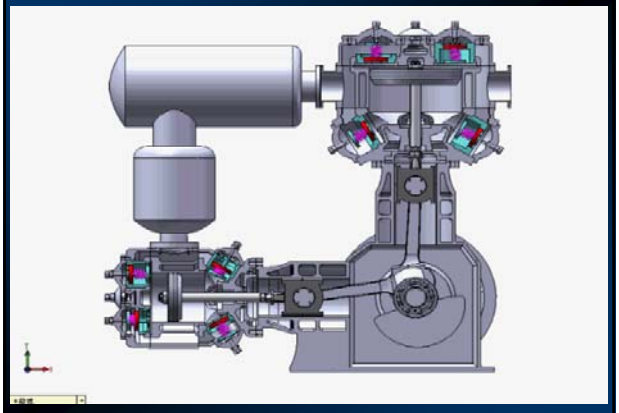
第二章 热力学原理

P6~7

第1节结构形式

基本内容

- 主要组成部分
  - 工作腔部分
  - 传动部分
  - 机身部分
  - 润滑部分
  - 气量调节
  - 冷却系统
- 分类和型式
  - 排气压力
  - 排气量
  - 压缩级数
  - 工作腔
  - 气缸中心线
  - 列数
- 系列编号



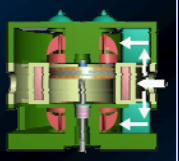
第1节 结构形式

P6~7

主要组成部分

- 气缸
  - 缸体
  - 缸盖
  - 缸座
- 活塞
  - 活塞体
  - 活塞杆
  - 活塞环
- 填料
- 气阀
  - 弹簧
  - 阀片
  - 阀座
  - 升程限制器

工作腔部分



气 缸 盖

气 缸

活塞组件

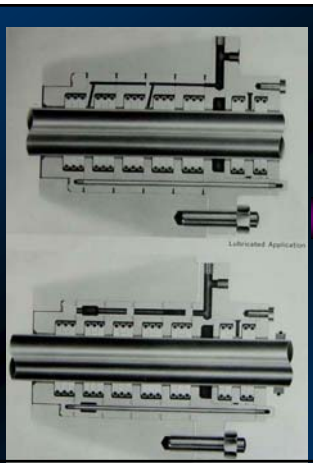
活塞1

活 塞

活塞2

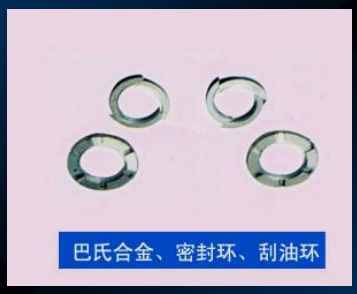
活塞杆

活塞杆

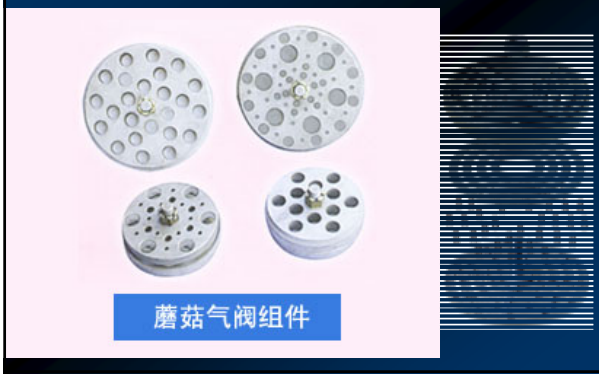


填料密封

密封环、刮油环



巴氏合金、密封环、刮油环



蘑菇气阀组件

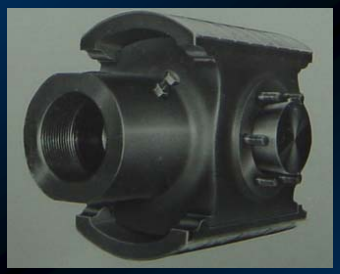
第 1 节 结构形式

P6~7

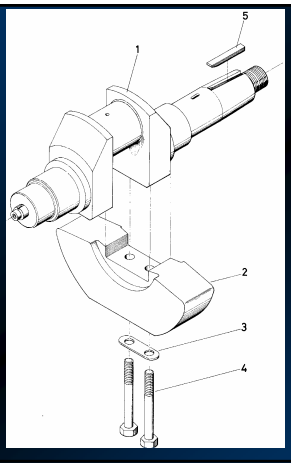
主要组成部分

- 传动部分
- 十字头
- 曲轴
  - 轴承
  - 平衡铁
  - 飞轮
- 连杆
  - 连杆体
  - 大头盖
  - 小铜套
  - 连杆螺栓
  - 大头瓦

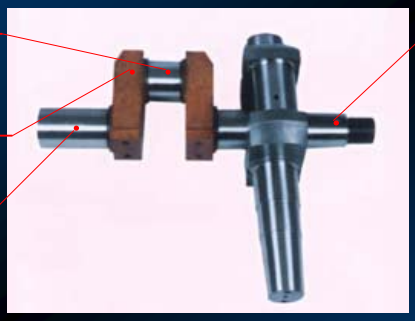
十字头



曲轴

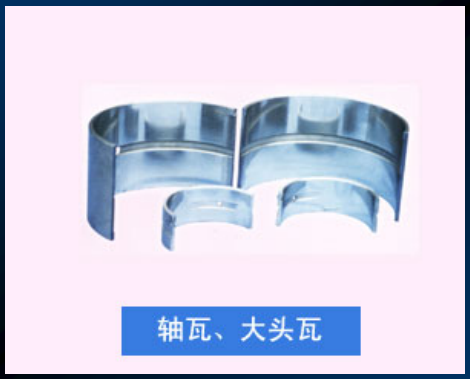


曲轴



连杆

铜套、小头瓦



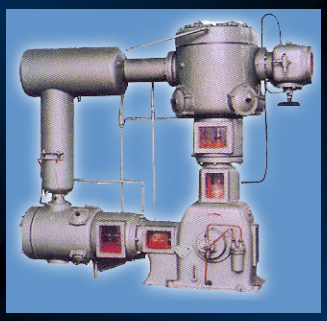
轴瓦、大头瓦

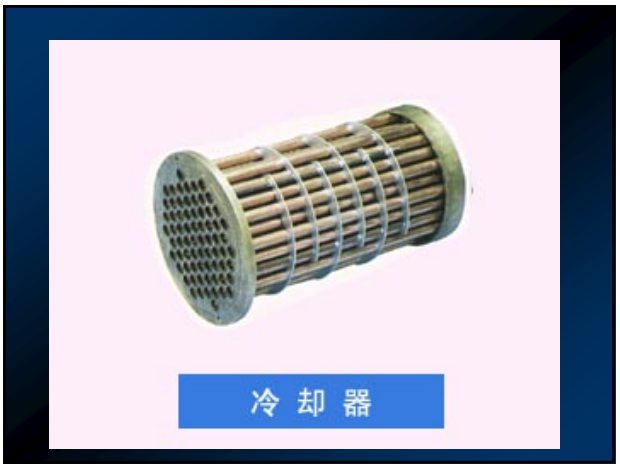
第 1 节 结构形式

P6~7

主要组成部分

- 机身部分
  - 机身
  - 十字头滑道
  - 中间体
- 润滑部分
  - 齿轮泵
  - 注油器
- 气量调节
- 冷却系统





第1节 结构形式 分类和型式 P51~54

按排气压力

- 鼓风机:<0.3MPa
- 低压: 0.3~1.0MPa
- 中压:1.0~10.0MPa
- 高压:10~100MPa
- 超高压:>100MPa

按排气量

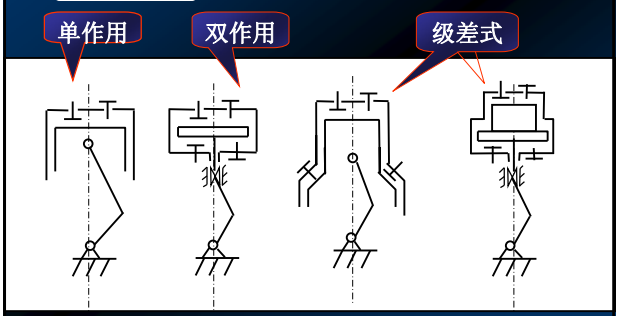
- 微型：〈1m³/min
- 小型：1~10 m³/min
- 中型：10~100 m³/min
- 大型：〉100 m³/min

按级数

单级 两级 多级

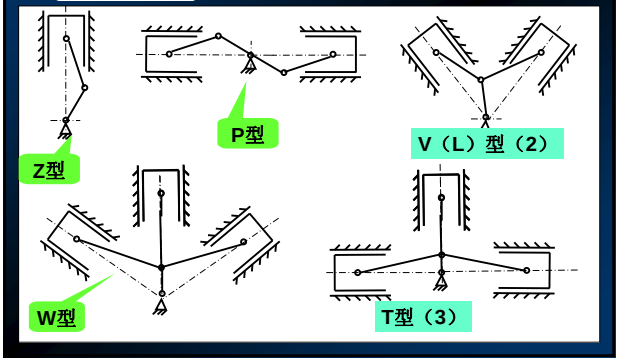
第1节 结构形式 分类和型式 P51~54

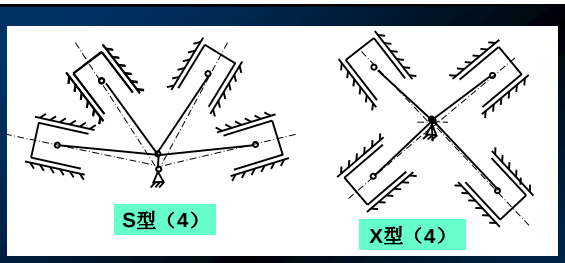
按工作腔类型



第1节 结构形式 分类和型式 P51~54

按气缸中心线

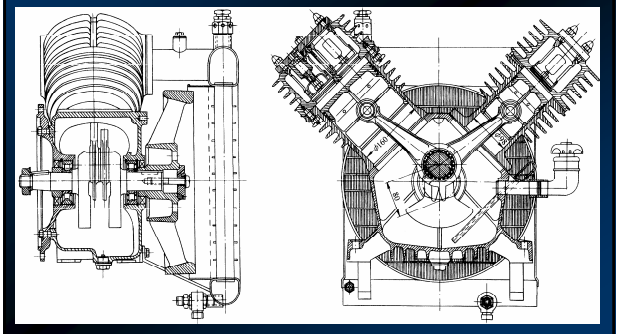




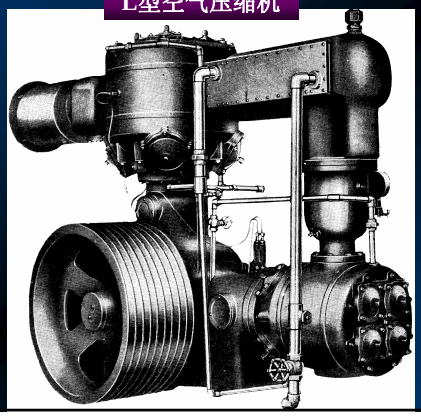
按列数

- 单列
- 两列
- 多列

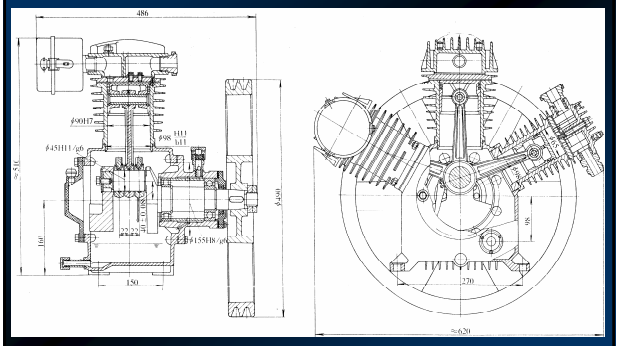
V型空气压缩机

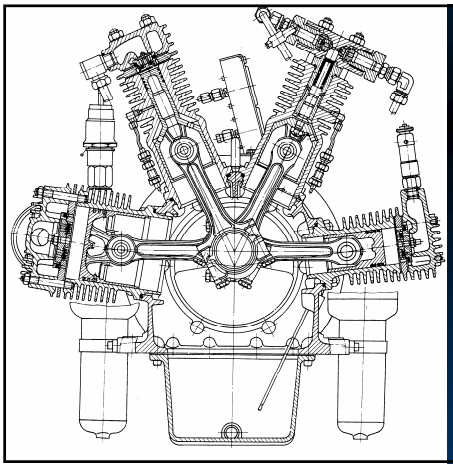


L型空气压缩机



W型空气压缩机





扇型空气压缩机

第1节 结构形式

系列编号

一般活塞压缩机

X X X X — X X — X

- 第1个X：列数或设计序号
- 第2个X：机器型式
- 第3个X：活塞力T
- 第4、5个X：排气压力（表）
- 第6个X：进气压力（常压不注）
- 排气量（m^3/min）
- 机器特征：Y—移动式；W—无油润滑；F—风冷

例1. 4M18—70/320

4—4列； M—M型；
18—活塞力为18吨；
70—排气量为70m^3/min；
320—排气压力为320X10^5Pa（表压）

例2. 2VY—6/7

2—2列； V—V型； Y—移动型；
6—排气量为6m^3/min；
7—排气压力为7X10^5Pa（表压）

例3. 4L—20/8

4—第四次设计
L—L型
20—排气量为20 m^3/min
8—排气压力为8X10^5 Pa（表压）

第1节 结构形式

小结

主要组成部分

- 工作腔部分：气缸、活塞、填料、气阀
- 传动部分：十字头、曲轴、连杆
- 机身部分
- 气量调节
- 润滑部分
- 冷却系统

分类和型式

- 排气压力
- 排气量
- 压缩级数：单级、两级、多级
- 工作腔：单作用、双作用、级差
- 气缸中心线
- 列数：单列、两列、多列

思考题

1. 往复活塞压缩机由哪几部分组成？它们的功用如何？
2. 往复活塞压缩机工作腔由那些组件组成？各有什么作用？
3. 往复活塞压缩机传动部分由那些组件组成？各有什么作用？
4. 活塞压缩机按压缩级数、工作腔类型、列数如何分类？
5. 指出课本图2.1L型空气压缩机属几级、几列？是否单作用？

第2节热力学原理与热力循环

基本内容

- 理论压缩循环
  - 循环过程
  - 循环特征
  - 进气量
  - 热力过程（定温 / 定熵 / 多方）
  - 指示功
  - P-v图
- 实际压缩循环
  - 循环过程
  - 循环特征
  - 进气量
  - 热力过程
  - 指示功
  - P-v图

P7~16 P27~30 P59~68

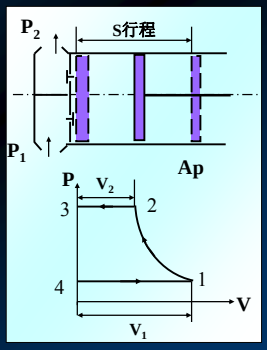
基本内容

- 多级压缩
  - 原因
  - 级数、压力比
- 热力设计计算
  - 步骤
  - 举例
- 热力性能
  - 排气压力
  - 排气量
  - 排气温度
  - 功率
  - 效率
- 热力复算计算
  - 步骤
  - 举例

P7~10

1 级的理论压缩循环

- 循环特征
  - 气缸无余隙容积
  - 进、排气无阻力损失
  - 气缸无泄漏
  - 气体在循环中是绝热
  - 过程指数恒定
- 循环过程
  - 进气
  - 压缩
  - 排气



P7~10

1 级的理论压缩循环

- 循环进气量 $V_1 = A_p \cdot s = V_h$
- 热力过程

I.G

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$$

R.G

$$T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{\frac{k_T-1}{k_T}}$$

$$V_2/V_1 = (z_2/z_1)(p_1/p_2)^{\frac{1}{k_T}}$$

- 定温压缩 n=1；定熵压缩n=k；多方压缩n>k， or ,1< n<k
- V_1、V_2分指压缩过程初、终态气缸内气体体积
- $k_T \approx k$（温度绝热指数）

P7~10

1 级的理论压缩循环

压缩机对气体作功为正！

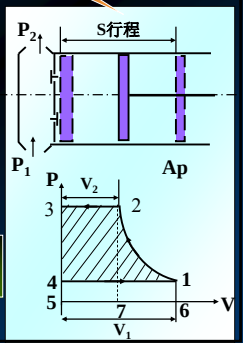
- 循环指示功

进气过程：$W_1 = -A_p \times p_1 \times s$ 面积5614 $= -V_1 \times p_1$

排气过程：$W_2 = A_p \times p_2 \times s_2$ 面积7235 $= V_2 \times p_2$

压缩过程：$W_s = -\int_1^2 pdV$ 面积6127

$$W_i = p_2V_2 - \int_{V_1}^{V_2} pdV - p_1V_1 = \int_{V_1}^{V_2} Vdp$$



P7~10

1 级的理论压缩循环

- 循环指示功

I.G

$$W_{ad} = p_1V_1 \frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$$

$$W_{pol} = p_1V_1 \frac{n}{n-1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

$$W_{is} = p_1V_1 In \frac{p_2}{p_1}$$

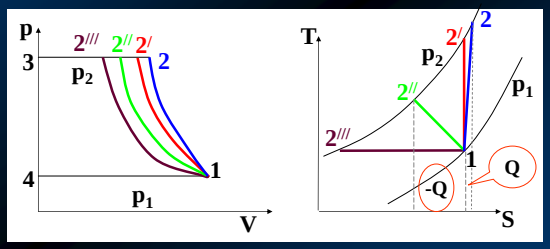
R.G

$$W_{ad} = p_1V_1 \frac{k_T}{k_T-1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k_T-1}{k_T}} - 1\right]\frac{z_1+z_2}{2z_1}$$

第 2 节热力学原理与热力循环 P7~10

1 级的理论压缩循环

- P-v图



第 2 节热力学原理与热力循环 P7~10

理论压缩循环小结

内容

- 循环过程
- 循环特征
- 进气量
- 热力过程 → 定温 / 定熵 / 多方
- 指示功
- P-v图

思考题

1. 压缩机的理论压缩循环由哪几个过程组成？哪个过程是热力过程？示功图
2. 绝热、多方、等温压缩过程的终温如何计算？
3. 压缩机绝热、多方、等温循环中的压缩功如何计算？
4. 压缩循环功量和压缩过程功量分别如何计算？有何区别？

习题

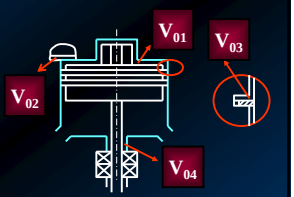
已知单级空压机的进气压力p_1=1×10^{5}Pa，进气温度20℃，排气压力p_2=7×10^{5}Pa（表）.求吸入每1m^{3}空气的理论循环耗功及排气温度。按等温、绝热、多方（ m=1.25）过程分别计算，并比较其结果。

第 2 节热力学原理与热力循环 P10~13

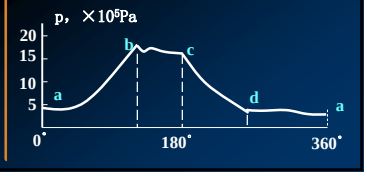
2 级的实际压缩循环

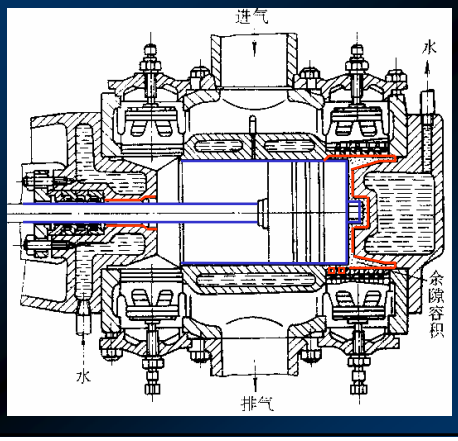
- 循环特征
  - 气缸有余隙容积

余隙 $V_o = V_{o1} + V_{o2} + V_{o3} + V_{o4}$



- 进、排气有阻力损失

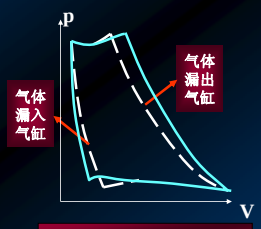




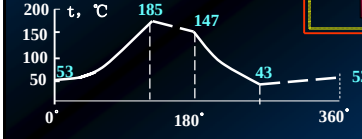
第 2 节热力学原理与热力循环 P10~13

2 级的实际压缩循环

- 循环特征
  - 气缸存在泄漏
  - 气体在循环中是非绝热系



泄漏对指示图的影响



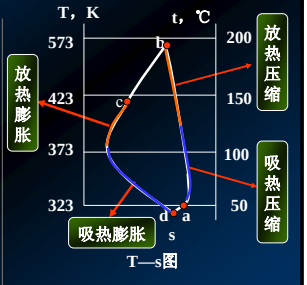
两级空气压缩机第二级气缸内的工作过程（n=163.2r/min，D_2=120mm，s=220mm进口t_w=8.8 ℃）

第 2 节热力学原理与热力循环 P10~13

2 级的实际压缩循环

- 循环特征
  - 气体在循环中是非绝热系
  - 吸气过程：Ta↑
  - 排气过程：Td↓

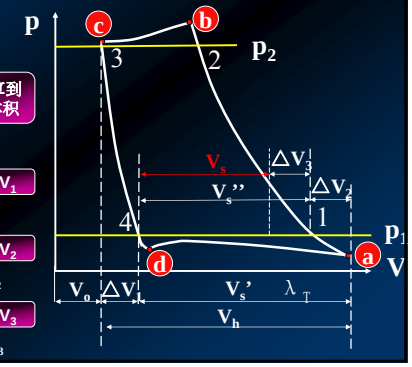
吸热压缩n>k；绝热压缩n=k；放热压缩n<k	放热膨胀n>k；绝热膨胀n=k；吸热膨胀n<k



- 循环过程：进气 → 压缩 → 排气 → 膨胀

2级的实际压缩循环

- 循环进气量
  - 定义：进入缸内气体折算到p_1、t_1时的气体体积
  - 影响因素
    - 余隙膨胀损失ΔV_1：$V_s' = V_h - \Delta V_1$
    - 压力膨胀损失ΔV_2：$V_s'' = V_s' - \Delta V_2$
    - 温度膨胀损失ΔV_3：$V_s = V_s'' - \Delta V_3$



2级的实际压缩循环

- 循环进气量
  - 进气系数λ_s 温度系数λ_T 压力系数λ_p 容积系数λ_v
  - $V_s = V_h \lambda_T \lambda_p \lambda_v$
  - $\lambda_s = \frac{V_s}{V_h} = \frac{V_s}{V_s''} \cdot \frac{V_s''}{V_s'} \cdot \frac{V_s'}{V_h}$
- 容积系数λ_v
  - 容积系数λ_v确定（p12）
  - $\frac{V_o + \Delta V_1}{V_o} = (\frac{p_2}{p_1})^{\frac{1}{m}}$
  - $\Delta V_1 = V_o[(\frac{p_2}{p_1})^{\frac{1}{m}} - 1]$
  - 相对余隙容积 $\alpha = V_o/V_h$
  - 名义压力比 $\varepsilon = p_2/p_1$
  - I.G：$\lambda_v = 1 - \alpha[\varepsilon^{\frac{1}{m}} - 1]$
  - R.G：$\lambda_v = 1 - \alpha[\frac{z_4}{z_3}\varepsilon^{\frac{1}{m}} - 1]$
  - Z_3、Z_4指膨胀始点3、终点4的压缩因子

2级的实际压缩循环

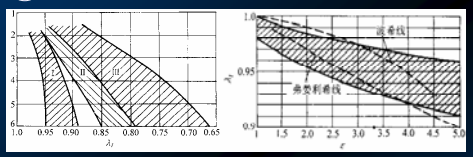
- 容积系数λ_v影响因素
  - 相对余隙容积 α
    - 气缸结构
    - 气阀配置方式
    - 气阀结构
    - 特殊机器场合
  - 低压级：a=0.07—0.12
    中压级：a=0.09—0.14
    高压级：a=0.11—0.16
  - 压力比 ε
  - 膨胀指数m

进气压力10^5Pa	任意k值	k=1.4
1.5	m=1+0.5（k-1）	1.2
1.5~4.0	m=1+0.62（k-1）	1.25
4.0~10	m=1+0.75（k-1）	1.30
10~30	m=1+0.88（k-1）	1.35
大于30	k	1.40

2级的实际压缩循环

- 压力系数λ_p
  - $\lambda_p = 1 - \frac{\Delta V_2'}{V_s'} \approx \frac{p_a}{p_1}$
  - 影响因素
    - 进气阀关闭状态的弹簧力
    - 进气管道中压力脉动
  - 取值
    - 低压级：λ_p=0.95~1.0
    - 中高压级：λ_p=1.0
- 温度系数λ_T
  - 影响因素
    - 通道、气缸、活塞(转速.压比.气缸冷却.气体性质)
    - 进气压力损失
  - 取值
    - λ_T=0.90~0.98

2级的实际压缩循环



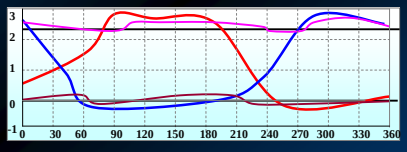
温度系数与压力比的关系

习题

已知双作用气缸，活塞直径D=146mm，行程s=150mm（不计活塞杆直径d）。p_1=1×10^5Pa，p_2=5×10^5Pa（表），相对余隙a=5%，膨胀过程指数m=1.3，求吸气系数λ_s和进气量V_s。

2级的实际压缩循环

- 循环指示功
- 指示功测定
- 由p—θ图，求指示功

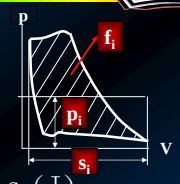


$W_i = 2\ p_i\ A_p\ s$（J）

p_i—平均指示压力，Pa；A_p—活塞面积，m^2；s—行程，m

2 级的实际压缩循环

- 指示功测定
- 由p—s图，求指示功



$p_i = m_p f_i / s_i \rightarrow W_i = p_i A_p s$ (J)

- 设计指示功
- 图形简化
  - 简化原则：图 形面积未变；止点位置不变
  - 简化方法：平均进、排气压力代替波动压力；m=n=const

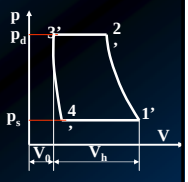
2 级的实际压缩循环

- 求取指示功

$$W_i = \int_{1'}^{2'} V dp - \int_{4'}^{3'} V dp$$

$$= p_s V_{1'} \cdot \frac{n}{n-1}[(\frac{p_d}{p_s})^{\frac{n-1}{n}} - 1)] - p_s V_{4'} \cdot \frac{m}{m-1}[(\frac{p_d}{p_s})^{\frac{m-1}{m}} - 1)]$$

$$= p_s \cdot \frac{n}{n-1}[(\frac{p_d}{p_s})^{\frac{n-1}{n}} - 1)](V_{1'} - V_{4'})$$



又：$V_{3'} = \alpha \cdot V_h$　$V_{4'} = \alpha \cdot V_h (p_d / p_s)^{1/n}$　$V_{1'} = (1+\alpha) \cdot V_h$

所以：$V_{1'} - V_{4'} = (1+\alpha)V_h - \alpha V_h (p_d / p_s)^{1/n} \approx V_h \lambda_v$

又：$\varepsilon' = \frac{p_d}{p_s} = \frac{p_2 + \Delta p_2}{p_1 - \Delta p_1} = \frac{p_2}{p_1}(\frac{1 + \Delta p_2 / p_2}{1 - \Delta p_1 / p_1}) = \frac{p_2}{p_1}(\frac{1+\delta_d}{1-\delta_s}) \approx \varepsilon(1+\delta_0)$

2 级的实际压缩循环

- 求取指示功

I.G

$$W_i = (1-\delta_s) p_1 V_h \lambda_v \cdot \frac{n}{n-1}\{[\varepsilon(1+\delta_0)]^{\frac{n-1}{n}} - 1\}$$

R.G

$$W_i = (1-\delta_s) p_1 V_h \lambda_v \cdot \frac{n}{n-1}\{[\varepsilon(1+\delta_0)]^{\frac{n-1}{n}} - 1\} \frac{z_1 + z_2}{2 z_1}$$

- 系数选取

n的取值:低压级 n=(0.95—0.99)k；中、高压级 n=k

相对压力损失：$\delta_{0'} = 7.545 / p^{0.3}$ 或 $\delta_{0'} = 2.654 / p^{0.25}$

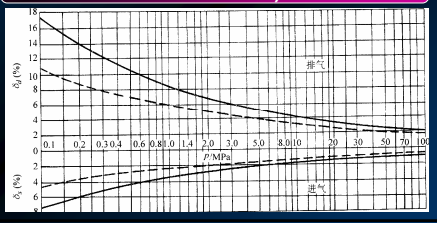
$\delta_s = 0.3\delta_{0'}; \delta_d = 0.7\delta_{0'}; (p: Pa)$

2 级的实际压缩循环

- 系数选取

注：δ_0是根据空气以及重度接近于空气的气体在活塞平均线速度3.5m/s的机器绘出的，条件变化时应作修正.

$$\delta' = \delta(\frac{c_m}{3.5})^2; \quad \delta' = \delta(\frac{\gamma'}{\gamma})^{2/3}$$



相对压力损失图

实际压缩循环小结

内容

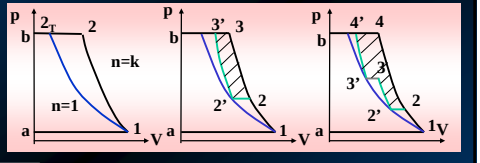
- 循环过程
- 循环特征
- 进气量
- 热力过程
- 指示功
- P-v图

思考题

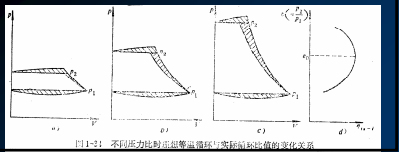
1. 实际压缩循环哪几个过程组成？哪个过程是热力过程？绘出p-v示功图
2. 实际循环指示图与理论循环指示图有何区别？怎样形成这些差异的？
3. 影响实际循环进气量的因素有哪三方面？各用什么系数反映及计算？其中哪个系数的影响最大？
4. 为什么膨胀过程指数m比压缩过程指数n小？影响容积系数λv的因素有哪些？如何提高λv？
5. 气缸冷却的好坏对压缩机工作有何影响？指数n和m有何变化？

3 多级压缩

- 多级压缩原因
  - 省功
  - 降温
  - 增量
  - 减力



- 级数的选择
  - 选择原则：省功
  - 单级最佳压力比



3 多级压缩

- 单级最佳压力比

等温指示效率 $\eta_{i-is}=\dfrac{\text{级的理论等温循环指示功}W_{is}}{\text{级的实际循环指示功}W_i}$

$$\eta_{is}=\frac{p_1V_s In\frac{p_2}{p_1}}{(1-\delta_s)p_1\lambda_v V_h\frac{n}{n-1}\{[\varepsilon(1+\delta_0)]^{\frac{n}{n-1}}-1\}}\overset{\lambda_T\approx 1}{\approx}\frac{In\varepsilon}{\frac{n}{n-1}\{[\varepsilon(1+\delta_0)]^{\frac{n-1}{n}}-1\}}$$

$$\frac{\partial\eta_{i-is}}{\partial\varepsilon}=\frac{\frac{1}{\varepsilon}\{[\varepsilon(1+\delta_0)]^{\frac{n-1}{n}}-1\}-\frac{n-1}{n}In\varepsilon\cdot(1+\delta_0)^{\frac{n-1}{n}}\varepsilon^{-\frac{1}{n}}}{\frac{n}{n-1}\{[\varepsilon(1+\delta_0)^{\frac{n-1}{n}}-1\}^2}=0$$

$$\varepsilon^{\frac{n-1}{n}}(1-\frac{n-1}{n}In\varepsilon)=\frac{1}{(1+\delta_0)^{\frac{n-1}{n}}}$$

即：$\varepsilon_0=\varepsilon(\delta_0、n)$

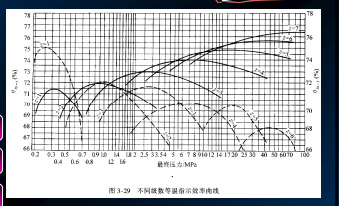
3 多级压缩

- 级数的选取

大中型压缩机z=ln ε / ln ε 0

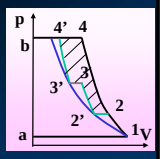
小型移动压缩机取小z

特殊气体Z取决于排气温度

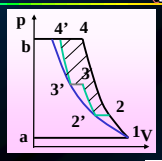


- 压力比的分配

$$w_i=p_1\frac{k}{k-1}[(\frac{p_{x1}}{p_1})^{\frac{k-1}{k}}+(\frac{p_{x2}}{p_{x1}})^{\frac{k-1}{k}}+\cdots+(\frac{p_z}{p_{x(z-1)}})^{\frac{k-1}{k}}-z]$$



3 多级压缩



- 压力比的分配

$$\frac{\partial w_i}{\partial p_{x1}}=p_1\frac{k}{k-1}[\frac{k-1}{k}p_1^{-\frac{k-1}{k}}p_{x1}^{-\frac{1}{k}}-\frac{k-1}{k}p_{x2}^{\frac{k-1}{k}}p_{x1}^{-\frac{2k-1}{k}}]=0\quad p_{x1}^2=p_1p_{x2}$$

$$\frac{\partial w_i}{\partial p_{x2}}=0\Rightarrow p_{x2}^2=p_{x1}p_{x3}\qquad \frac{\partial w_i}{\partial p_{x3}}=0\Rightarrow p_{x3}^2=p_{x2}p_{x4}$$

$$\frac{p_{x1}}{p_1}=\frac{p_{x2}}{p_{x1}}=\frac{p_{x3}}{p_{x2}}=\cdots=\frac{p_z}{p_{x(z-1)}}=\sqrt[z]{\frac{p_z}{p_1}}=\sqrt[z]{\varepsilon}$$

1.一台二氧化碳压缩机，进气压力为0.1MPa，排气压力为22MPa，压缩级数为5级。若各级进、排气相对压力损失均为 δ_s=0.08， δ_d=0.03，试计算各级的实际压力比。已知名义压力比按等压比分配。

名义压力比 $\varepsilon=\sqrt[z]{p_e/p_1}=\sqrt[5]{22/0.1}=2.9409$

实际压力比 $\varepsilon'=\varepsilon(1+\delta_0)=\varepsilon(1+\delta_s+\delta_d)$

$=2.9409\times(1+0.08+0.03)=3.264$

实际压力比 $\varepsilon'=K\sqrt[z]{p_e/p_1}$ $K=1.08\sim1.15$

压力损失系数K，低压段取1.2，高压段取1.05，一般设计值为1.1

2.已知双作用气缸，活塞直径D=146mm，行程s=150mm（不计活塞杆直径d）。p_1=1×10⁵Pa， p_2=5×10⁵Pa（表）， 相对余隙a=5%，膨胀过程指数m=1.3，压缩过程指数n=1.4，进气相对压力损失 δ_s=0.07，排气相对压力损失 δ_d=0.1。分别求理论循环进气量Vt、实际循环进气量Vs、理论循环压缩功W_t、实际循环压缩功W_s。

4 热力性能

- 排气压力
- 定义

排气压力：最终排出压缩机的气体压力

级间压力：压缩机末级以前各级的排出压力

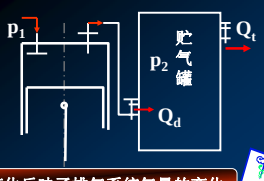
额定排气压力：设计工况下的排气压力(铭牌压力)

- 实质

$Q_d=Q_t$，压缩机稳定运行

$Q_d>Q_t$，罐内气体质量↑，p_2↑

$Q_d<Q_t$，罐内气体质量↓，p_2↓



压力取决于排气系统的压力，压力的变化反映了排气系统气量的变化

- 排气压力

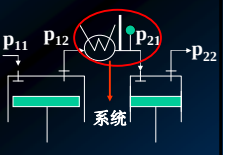
举例：

若T_{21}↑，p_{21}↑ 二级进气阀漏气

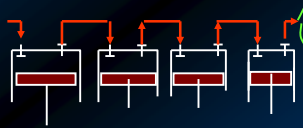
若p_{21}↑ 二级排气阀或活塞环漏气

若T_{11}↑ p_{12}↓ 一级进气阀漏气

若p_{12}↓ 一级排气阀或活塞环漏气



- 多级压缩机排气压力的建立



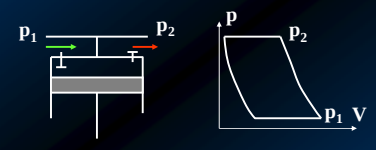
各级气缸逐次工作，各级压力建立时间增大。

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能

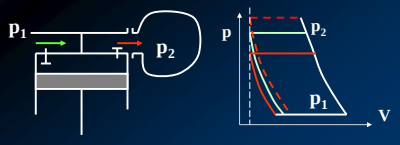
排气压力

吸、排气系统对指示图的影响

自无限大空间吸入气体，并排入无限大空间



自无限大空间吸入气体，并排入有限大空间

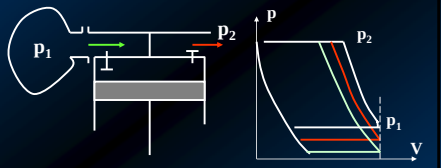


第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能

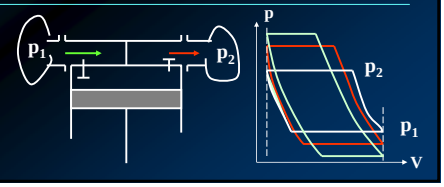
排气压力

吸、排气系统对指示图的影响

自有限大空间吸入气体，并排入无限大空间



自有限大空间吸入气体，并排入有限大空间



第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能

P27~30

排气量Q_0

定义

排气量：单位时间内压缩机最后一级排出的气体折算到一级进口温度和压力时的气体体积(m^3/min)

供气量：（由于计量需要）将排气量折算到标准状态(1.1038 × 10^5Pa, 0 ℃)时的干气容积(m^3/min) 。Q_N

额定排气量：(压缩机铭牌上标注的排气量)指特定的进口状态(如:p_1=10^5Pa,t_1=20 ℃)时的排气量。

供排气量关系

$$Q_N = Q_0 \frac{(p_1 - \varphi p_{s1})T_0}{p_0 T_1}$$

Ψ：进气状态气体的相对湿度

p_{s1}：T_1时水蒸汽饱和压力Pa

p_1、T_1：一级进口压力Pa、温度K

p_0、T_0：指1.1038 × 10^5Pa、273K

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能

P27~30

排气量

排气量测定

$$Q_0 = Q_d \frac{p_d}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_d} \cdot \frac{z_1}{z_d} + Q_\varphi + Q_c$$

p_d、T_d—测Q_d时的压力Pa、温度K

p_1、T_1—第一级进口压力Pa、温度K

z_1、z_d—相应于p_1、T_1及p_d、T_d时的压缩因子

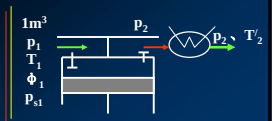
Q_Φ—分离出的水分折算到一级进口状态时的容积$Q_\Psi = m_w p_{s1}/(\rho_{s1} p_1)$

Q_c—中途抽走的气体折算到一级进口状态时的容积

析水系数

析水判据 $\varphi_1 \cdot p_{s1} \frac{p_2}{p_1} > p_{s2}$

计算依据 干气体质量恒定



第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能

排气量

析水系数推导

1m³湿气体中干气体分体积 $V_1' = (p_1 - \varphi_1 \cdot p_{s1}) \times 1/p_1$

p_2、T_2时干气体分体积 $V_1' \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2'}{T_1}$

析出水分后湿气体体积 $V_2' = V_1' \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2'}{T_1} \cdot \frac{p_2}{p_2 - p_{s2}}$

V_2折算到进气状态 $V_2 = V_2' \cdot \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_2'}$

析水系数 $\lambda_{\varphi 2} = \frac{(p_1 - \varphi_1 p_{s1})}{p_2 - p_{s2}} \cdot \frac{p_2}{p_1}$

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能

排气量

析水系数物理意义

$\lambda_{\Phi j}$表示气体经过j-1级压缩冷却后析出总水分的多少。

$$\lambda_{\varphi j} = \frac{(p_1 - \varphi_1 p_{s1})}{p_j - p_{sj}} \cdot \frac{p_j}{p_1}$$

j级进气压力

j级进气温度下水蒸气饱和压力

析水系数应用

1. 第一级$\lambda_{\Phi 1}$=？随压缩级数增加，$\lambda_{\Phi j}$↑或↓ ？Φ ↑ 或↓ ？

2. 若整个压缩过程均无水分析出，析水系数？试分析原因？

3. 压缩机排气量与实测排气量Q_d ，末级析水系数$\lambda_{\Phi j}$关系 $Q_0 = Q_d / \lambda_{\Phi j}$，$\lambda_{\Phi j}$是否越小越好？

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能 P13

- 排气量
  - 排气量理论计算 $Q_0 = V_{h1} \cdot \lambda_{v1} \cdot \lambda_{p1} \cdot \lambda_{T1} \cdot \lambda_{l1} \cdot n \quad (m^3/\min)$
  - 泄漏系数 λ_1 $\lambda_{l1} = \frac{Q_0}{V_{s1} n}$
    - 泄漏部位：气阀、活塞环、填料、管道等
    - 泄漏类型：内泄漏、外泄漏
    - 泄漏影响：内泄漏（功耗、压力比）；外泄漏（功耗、排气量）

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能

- 排气量
  - 泄漏系数计算 $\lambda_{lj} = \frac{V_{jd}}{V_{jd} + V_{jl}} = \frac{1}{1 + V_{jl}/V_{jd}} = \frac{1}{1 + \sum \gamma_{ji}}$
    - $\sum \gamma_{ji} = \gamma_{jv} + \gamma_{jr} + \gamma_{jp,z}$
      - 填料=（0.0005—0.0010）z
      - 活塞环：单作用 γ_{jr} =0.01—0.05；双作用 γ_{jr} =0.003—0.015
      - 气阀=0.01—0.04
    - 影响因素
      - 列数↑，填料↑，外泄漏↑
      - 气缸直径D↑，λ_1↑，反之小直径气缸 λ_1↓
      - 无油润滑较有油润滑小
      - 压力↑、级数↑ λ_1↓
      - 转数n↑ λ_1↑
      - 分子量小（H_2）具有较大的渗透性，λ_1↓
      - 低粘性气体（石油气） λ_1↓

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能 P29

- 排气量
  - 排气量影响因素 $Q_0 = V_{h1} \cdot \lambda_{v1} \cdot \lambda_{p1} \cdot \lambda_{T1} \cdot \lambda_{l1} \cdot n \quad (m^3/\min)$
    - 进气压力
    - 进气滤清器
    - 泄漏
    - 余隙容积
    - 进气温度
    - 转速
- 排气温度
  - 定义：排气温度：每一级排出气体的温度.通常在各级排气管处或阀室中测量。
  - 计算 $T_d = T_1 \cdot \varepsilon^{\frac{n-1}{n}}$ $T_2 = T_d \cdot \varepsilon'^{\frac{n-1}{n}} = T_a \cdot [\varepsilon(1+\delta_0)]^{\frac{n-1}{n}}$
    - 名义进气温度
    - 名义压力比
    - 进气终了气体温度

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能 P29

- 排气温度
  - 空气压缩机：固定式≯160 ℃；移动式≯180 ℃；润滑油粘度下降；导致轻质馏分挥发
  - 氮.氢气压缩机：T_d ≯160 ℃
  - 氯气压缩机：干氯气≯130 ℃；湿氯气≯100 ℃；氧化腐蚀加剧；电化学腐蚀
  - 石油裂解气：≯100 ℃；裂解气聚合成乳白色胶状物
  - 乙炔气压缩机：≯100 ℃；乙炔聚合或分解放热易导致爆炸
  - 乙烯气压缩机：≯80~100 ℃；乙烯分解放热易导致爆炸
  - 无油润滑压缩机：≯180 ℃；受自润滑材料限制

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能 P29

- 功率
  - 轴功 $N_z = \Sigma N_{ij}$ + 摩擦功 N_m
  - 指示功率 $N_{ij} = \frac{1}{60} n(1-\delta_{sj}) p_{sj} \lambda_{vj} V_{hj} \frac{n_j}{n_j - 1} \{[\varepsilon_j(1+\delta_{0j})]^{\frac{n_j-1}{n_j}} - 1\}; W$
  - $Q_{0j} = V_{hj} \lambda_{vj} \lambda_{pj} \lambda_{Tj} \lambda_{lj} n; \quad Q_0 \lambda_{\varphi j} \frac{p_1}{T_1} \frac{T_j}{p_{1j}} = Q_{0j}$
  - $N_{ij} = \frac{1}{60} Q_0 \frac{p_1 T_j}{T_1} \frac{\lambda_{\varphi j}}{\lambda_{pj} \cdot \lambda_{Tj} \cdot \lambda_{lj}} (1-\delta_{sj}) V_{hj} \frac{n_j}{n_j - 1} \{[\varepsilon_j(1+\delta_{0j})]^{\frac{n_j-1}{n_j}} - 1\}, W$
  - 影响因素
    - 进气温度 T_j
    - 析水系数 $\lambda_{\varphi j}$
    - 阻力损失 δ_{sj}
    - 压缩过程指数 n_j
    - 压缩因子 z_1、z_2
    - 膨胀过程指数 m_j

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能 P30

- 功率
- 摩擦功率
  - 活塞环(处于气体力作用下)：38~45%
  - 活塞环(仅本身弹力)：5~8%
  - 填料：2~10%
  - 十字头滑道：6~8%
  - 十字头销：4~5%
  - 曲柄销：15~20%
  - 主轴销：13~18%
- 效率
- 机械效率 $\eta_m = \frac{N_i}{N_z}$
  - 中大型压缩机：η_m =0.90~0.96
  - 小型压缩机：η_m =0.85~0.92
  - 微型压缩机：η_m =0.82~0.90

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能 P30

效率

等温指示效率

$$\eta_{i-is}=\frac{\sum_{j=1}^{z}W_{i-is}}{\sum_{j=1}^{z}W_{ij}}$$

Σj级理论等温循环指示功 / Σj级实际循环指示功

反映泄漏、热交换、进、排气阻力造成的损失（未计及回冷不完善），反映压缩机实际消耗的功与最小功接近的程度。

等温轴效率

$$\eta_{is}=\frac{\sum_{j=1}^{z}W_{i-is}}{W_z}$$

η_{is}=0.6—0.75；同时反映了摩擦损失。

绝热效率

$$\eta_{ad}=\frac{\text{理论绝热循环指示功}}{\text{轴功}}=\frac{\sum_{j=1}^{z}W_{i-adj}}{W_z}$$

反映泄漏、气阀通流阻力和摩擦等损失。

第2节热力学原理与热力循环 4 热力性能 P30

效率

等温—绝热效率

$$\eta_{is-ad}=\frac{\text{理论等温循环指示功}}{\text{理论绝热循环指示功}}=\frac{W_{is}}{W_{ad}}$$

η_{is-ad}反映气体热交换情况。即：级数对压缩机经济性影响。

比功率（kw/m³/min）

指排气压力相同的机器，单位排气量消耗的功。

反映了同一类压缩机的经济性。

排气压力p_2;进气状态 p_1 T_1, 冷却水量及冷却水入口温度相同。

第2节热力学原理与热力循环 P30

思考题

1.压缩机的热力性能包括哪些方面？什么叫压缩机的排气压力？压缩机的排气压力取决于什么？排气压力的变化反映的实质是什么？

2.何为压缩机的排气量？为什么要把压缩机出口测得的体积流量换算到入口状态？排气量的大小反映的实质是什么？

3.析水系数λφj的物理意义是什么？随着级数增加，$\lambda_{\varphi j}$是增加还是减少？为什么？在什么情况下$\lambda_{\varphi j}$=1？

4.活塞压缩机的漏气部位有哪些？何为内泄漏？外泄漏？两者对压缩机各有何影响？

5.影响排气量的因素有哪些？怎样提高压缩机的排气量？

6.何为排气温度和压缩终了温度？如何计算排气温度和压缩终了温度？

7.何为压缩机的指示功率、轴功率？什么是机械效率？

8.何为等温指示效率、绝热指示效率和比功率？衡量比功率大小有何前提？这些效率的高低反映了什么问题？

第2节热力学原理与热力循环 P60，62~66

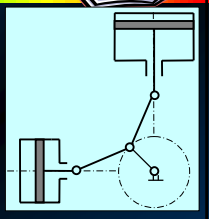
5 热力设计计算

初步确定级数及各级的压力和压力比：z、 ε

总压力比 $\varepsilon=p_2/p_1=9/1=9$

查图知：z=2时， η_{i-is}最大

最省功原则 $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\sqrt[2]{\varepsilon}=3, N_i\rightarrow N_{i(\min)}$



$p_{11}=1\times10^5\,p_a \quad p_{12}=3\times10^5\,p_a \quad p_{21}=3\times10^5\,p_a \quad p_{22}=9\times10^5\,p_a$

计算排气温度： T_d ≯ 160 ℃

$$T_{11}=20^\circ C=293K;T_{12}=T_{11}\varepsilon_1^{\frac{k-1}{k}}=293\times3^{\frac{1.4-1}{1.4}}=401.04K$$

$$T_{12}=30^\circ C=303K;T_{22}=T_{21}\varepsilon_2^{\frac{k-1}{k}}=303\times3^{\frac{1.4-1}{1.4}}=414.73K$$

第2节热力学原理与热力循环 P60，62~66

5 热力设计计算

考虑实际气体影响

P_{r11}=0.026, T_{r11}=2.21 → z_{11}=1	P_{r12}=0.079, T_{r12}=3.029 → z_{12}=1
P_{r21}=0.079, T_{r21}=3.029 → z_{21}=1	P_{r22}=0.238, T_{r22}=3.13 → z_{22}=1

确定各级的吸、排气系数

一级 $\lambda_{s1}=\lambda_{v1}\lambda_{p1}\lambda_{T1};\quad \lambda_{d1}=\lambda_{v1}\lambda_{p1}\lambda_{T1}\lambda_{l1}$

$$m_1=1+0.5(k-1)=1.2$$

$$\lambda_{v1}=1-\alpha_1(\varepsilon_1^{\frac{1}{m1}}-1)=1-0.1(3^{\frac{1}{1.2}}-1)=0.8502$$

$$\lambda_{p1}=0.95;\quad \lambda_{T1}=0.96;\quad \lambda_{l1}=0.97;\quad \lambda_{\varphi1}=1$$

第2节热力学原理与热力循环 P60，62~66

5 热力设计计算

二级

$$m_2=1+0.62(k-1)=1.25$$

$$\lambda_{v2}=1-\alpha_2(\varepsilon_2^{\frac{1}{m_2}}-1)=1-0.11(3^{\frac{1}{1.25}}-1)=0.8451$$

$$\lambda_{p2}=0.98;\quad \lambda_{T2}=0.96;\quad \lambda_{l2}=0.97$$

$$p_{s1(20^\circ C)}=2.3368kPa;\ p_{s2(30^\circ C)}=4.2417kPa$$

$$\lambda_{\varphi2}=\frac{p_{11}-\varphi p_{s1}}{p_{21}-p_{s2}}\cdot\frac{p_{21}}{p_1}=\frac{1-0.8\times0.023368}{3-0.042417}\times\frac{3}{1}=0.9954$$

确定各级气缸行程容积 $Q_0=V_{h1}\lambda_{v1}\lambda_{p1}\lambda_{T1}\lambda_{l1}n$

5 热力设计计算

一级

$$V_{h1}=Q_0/\lambda_{v1}\lambda_{p1}\lambda_{T1}\lambda_{l1}n$$
$$=21.5/(0.8502\times0.95\times0.96\times0.97\times n)$$
$$=0.07146m^3$$

二级

$$Q_0'=V_{h2}\lambda_{v2}\lambda_{p2}\lambda_{T2}\lambda_{l2}n \qquad Q_0=\frac{Q_0'}{\lambda_{\varphi2}}\frac{p_{21}}{p_{11}}\frac{T_{11}}{T_{21}}\frac{z_{11}}{z_{21}}$$

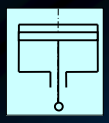
$$V_{h2}=\frac{Q_0\lambda_{\varphi2}}{\lambda_{v2}\lambda_{p2}\lambda_{T2}\lambda_{l2}n}\cdot\frac{p_{11}}{p_{21}}\cdot\frac{T_{21}}{T_{11}}\cdot\frac{z_{21}}{z_{11}}$$
$$=\frac{21.5\times0.9954}{(0.8451\times0.98\times0.96\times0.97\times400)}\times\frac{1}{3}\times\frac{303}{293}\times\frac{1}{1}$$
$$=0.02391m^3$$

5 热力设计计算

确定各级气缸直径

双作用气缸

$$V_{h1}=\frac{\pi D_1^2}{4}s+(\frac{\pi D_1^2}{4}-\frac{\pi d^2}{4})s$$



$$D_1=\sqrt{\frac{V_{h1}+\frac{\pi d^2}{4}s}{\frac{\pi s}{4}\times2}}=\sqrt{\frac{2V_{h1}}{\pi s}+\frac{d^2}{2}}=\sqrt{\frac{2\times0.07146}{3.14\times0.24}+\frac{0.045^2}{2}}$$
$$=0.4366m$$

圆整到D_1=440mm

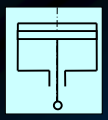
$$D_2=\sqrt{\frac{2V_{h2}}{\pi s}+\frac{d^2}{2}}=\sqrt{\frac{2\times0.02391}{3.14\times0.24}+\frac{0.045^2}{2}}$$
$$=0.2539m$$

圆整到D_2=260mm

5 热力设计计算

圆整后各级名义压力及温度

圆整后各级气缸的实际行程容积



$$V_{h1}^*=(\frac{\pi D_1^2}{2}-\frac{\pi d^2}{4})s=(\frac{0.44^2}{2}-\frac{0.045^2}{4})\times3.14\times0.24$$
$$=0.07257m^3$$

$$V_{h2}^*=(\frac{\pi D_2^2}{2}-\frac{\pi d^2}{4})s=(\frac{0.26^2}{2}-\frac{0.045^2}{4})\times3.14\times0.24$$
$$=0.02509m^3$$

5 热力设计计算

各级压力修正系数

吸气压力修正系数 β_{sj}

$$\beta_{sj}=\frac{V_{h1}^*}{V_{h1}}\cdot\frac{V_{hj}}{V_{hj}^*}$$

排气压力修正系数 β_{dj}

$$\beta_{dj}=\beta_{s(j+1)}=\frac{V_{h1}^*}{V_{h1}}\cdot\frac{V_{h(j+1)}}{V_{h(j+1)}^*}$$

$$\beta_{s1}=1;\beta_{d2}=1;\beta_{d1}=\beta_{s2}=\frac{V_{h1}^*}{V_{h1}}\cdot\frac{V_{h2}}{V_{h2}^*}=\frac{0.07257}{0.07146}\cdot\frac{0.02391}{0.02509}=0.9678$$

修正后各级名义压力及压力比

一级

$$p_{11}^*=\beta_{s1}\cdot p_{11}=1\times10^5\,p_a$$
$$p_{12}^*=\beta_{d1}\cdot p_{12}=0.9678\times3\times10^5=2.9034\times10^5\,p_a$$
$$\varepsilon_1^*=p_{12}^*/p_{11}^*=2.9034$$

5 热力设计计算

修正后各级名义压力及压力比

二级

$$p_{12}^*=\beta_{s2}\cdot p_{12}=0.9678\times3\times10^5=2.9034\times10^5\,p_a$$
$$p_{22}^*=9\times10^5\,p_a$$
$$\varepsilon_1^*=p_{22}^*/p_{21}^*=9\times10^5/2.9034\times10^5=3.10$$

修正后各级排气温度

$$T_{12}^*=T_{11}\cdot\varepsilon_1^{*\frac{1.4-1}{1.4}}=293\times2.9034^{\frac{1.4-1}{1.4}}=397.31K$$
$$T_{22}^*=T_{21}\cdot\varepsilon_2^{*\frac{1.4-1}{1.4}}=303\times3.1^{\frac{1.4-1}{1.4}}=418.63K$$

5 热力设计计算

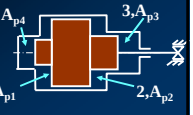
计算活塞力（校核活塞杆直径）

计算气缸内实际吸、排气压力

级次	修正后名义压力 1×10⁵Pa		相对压力损失（%）		气缸内实际压力 1×10⁵Pa		实际压力比
	p_1'	p_2'	δs	δd	$p_1^*(1-\delta s)$	$p_2^*(1+\delta d)$	
Ⅰ	1	2.9034	17.1578	12.1307	0.9284	3.2556	3.5067
Ⅱ	0.9034	9	5.1989	8.6394	2.7524	9.7775	3.5524

计算各列活塞力

$$F_{gG}=(p_{s2}A_{p2}+p_{s3}A_{p3})-(p_{d1}A_{p1}+p_{d4}A_{p4})$$
$$F_{gZ}=(p_{d2}A_{p2}+p_{d3}A_{p3})-(p_{s1}A_{p1}+p_{s4}A_{p4})$$



5 热力设计计算

计算各列活塞力

级次	内止点活塞力（kN）		外止点活塞力（kN）	
	轴侧 F_z（+） $p_d(A_p-\frac{\pi}{4}d^2)$	盖侧 F_g(-) p_sA_p	轴侧 F（+） $p_s(A_p-\frac{\pi}{4}d^2)$	盖侧 F_g(-) p_dA_p
I	48.96	-14.11	13.96	-49.45
	F_{Z1}=48.96-14.11=34.85		F_{G1}=13.96-49.45=-35.49	
II	50.33	-14.61	14.17	-51.89
	F_{Z1}=50.33-14.61=35.72		F_{G1}=14.17-51.89=-35.49	

5 热力设计计算

计算轴功率,选取电机

计算指示功

$$N_{ij}=\frac{1}{60}np'_{sj}\lambda_{vj}V_{hj}\frac{k_j}{k_j-1}\{[\varepsilon_j(1+\delta_{0j})]^{\frac{k_j-1}{k_j}}-1\}\quad W$$

$$N_{i1}=\frac{1}{60}\times400\times0.9284\times10^5\times0.07257\times0.8502\times\frac{1.4}{1.4-1}(3.5067^{\frac{1.4-1}{1.4}}-1)$$
$$=57.626kW$$

$$N_{i2}=\frac{1}{60}\times400\times2.7524\times10^5\times0.02509\times0.8451\times\frac{1.4}{1.4-1}(3.5524^{\frac{1.4-1}{1.4}}-1)$$
$$=59.434kW$$

总指示功:$N_i=N_{i1}+N_{i2}$ =117.06kW

5 热力设计计算

选电机

η_m =0.90，轴功率 $N_z=N_i/\eta_m$ =117.06kW

η_c =0.94，电机有效功率Ne $N_e=N_z/\eta_c$ =138.37kW

贮备系数k=1.1，电机功率Ng： $N_g=kN_e$ =152.2kW

等温指示效率

一级理论等温指示功

$$N_{i-is1}=\frac{1}{60}n\cdot p_{s1}\cdot\lambda_{v1}\cdot\lambda_{p1}\cdot\lambda_{T1}\cdot V_{h1}\cdot In\varepsilon_1$$
$$=\frac{400}{60}\times1\times10^5\times0.8502\times0.95\times0.96\times0.07257\times In2.9034$$
$$=39.98kW$$

5 热力设计计算

等温指示效率

二级理论等温指示功

$$N_{i-is2}=\frac{1}{60}n\cdot p_{s2}\cdot\lambda_{v2}\cdot\lambda_{p2}\cdot\lambda_{T2}\cdot V_{h2}\cdot In\varepsilon_2$$
$$=\frac{400}{60}\times2.9034\times10^5\times0.8451\times0.98\times0.96\times0.02509\times In3.1$$
$$=43.68kW$$

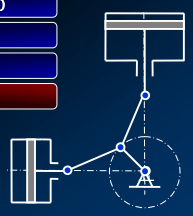
总等温指示功:$N_{i-is}=N_{i-is1}+N_{i-is2}$ =83.66kW

等温指示效率 $\eta_{i-is}=\frac{N_{i-is}}{N_i}=\frac{86.33}{117.06}=71.5\%$

5 热力设计计算

步骤

- 初步确定级数及各级的压力和压力比：z、 ε
- 计算各级的系数： λv、λp、λT、λl、λw
- 计算各级气缸行程容积及直径：V_h 、 D
- 复算各级实际压力和压力比： ε'
- 计算各级排气温度：T_d
- 计算各级功率和效率：Ni、 η



6 复算性计算

步骤

- 各级压力比、排气温度
  - 设想容积V_{h0}
  - 初步估算任一级的进气压力
  - 任一级的容积系数、进气温度
  - 级的进、出口状态压缩因子
  - 复算各级压力、压力比
  - 检验
- 复算容积流量
- 复算轴功率
- 复算最大活塞力

6 复算性计算

举例

- 压缩介质：氧气k=1.4
- 排气量：Q_0 =9.2m³/min
- 吸气压力： 1.267×10⁵Pa
- 排气压力： 31×10⁵Pa
- 吸气温度：小于30 ℃
- 三列立式双作用水冷三级氧压机
- $n_1= n_2 = n_3$ =1.4，
- m_1=1.25， m_2=1.30， m_3=1.35

- 曲轴转速n=485rpm
- 活塞行程s=180mm
- 活塞杆直径d=50mm
- 一级相对余隙a_1=0.14
- 二级相对余隙a_2=0.16
- 三级相对余隙a_3=0.18
- 一级缸径D_1=320mm
- 二级缸径 D_2=185mm
- 三级缸径 D_3=115mm

复算排气压力p_d=2.1MPa时，各级排气温度变化

6 复算性计算

计算各级行程容积

$$V_{h1}=\frac{\pi}{2}(D_1^2-\frac{d^2}{2})s=\frac{\pi}{2}\times(0.32^2-\frac{0.05^2}{2})=0.0286\ m^3$$

$$V_{h2}=\frac{\pi}{2}(D_2^2-\frac{d^2}{2})s=\frac{\pi}{2}\times(0.185^2-\frac{0.05^2}{2})=0.0093\ m^3$$

$$V_{h3}=\frac{\pi}{2}(D_3^2-\frac{d^2}{2})s=\frac{\pi}{2}\times(0.115^2-\frac{0.05^2}{2})=0.0034\ m^3$$

确定各级系数

级次	压力系数 λ_p	温度系数 λ_T	泄漏系数 λ_l	$\lambda_{0j}=\lambda_{pj}\lambda_{tj}\lambda_{lj}$
Ⅰ	0.96	0.96	0.98	0.903
Ⅱ	0.98	0.97	0.92	0.8475
Ⅲ	1.0	0.972	0.90	0.875

6 复算性计算

计算设想容积

$$V_{hj}^0=V_{hj}\lambda_{0j}T_{s1}/T_{sj}=V_{hj}\lambda_{0j}/\lambda_{kj}$$

级次	进气温度T_{sj}	λ_{oj}	$\lambda_{kj}=T_{sj}/T_s$	V_{hj}^0/m³
Ⅰ	300	0.903	1.00	0.02583
Ⅱ	306	0.8475	1.02	0.007727
Ⅲ	309	0.875	1.03	0.002889

压力比及容积系数

$$p_{s1}V_{h1}\lambda_{01}/T_{s1}=p_{sj}V_{hj}\lambda_{0j}/T_{sj}$$

$$\Rightarrow p_{s1}V_{h1}^0=p_{sj}V_{hj}^0\Rightarrow p_{sj}=p_{s1}V_{h1}^0/V_{hj}^0$$

$$\lambda_{vj}=1-\alpha_j(\varepsilon_j^{\frac{1}{m_j}}-1)$$

6 复算性计算

压力比及容积系数

级次	$p_{sj}=p_{s1}V_{h1}^0/V_{hj}^0$	p_{dj}	ε_j	λ_{vj}
Ⅰ	0.1267	0.4235	3.3425	0.7724
Ⅱ	0.4235	1.1328	2.675	0.8189
Ⅲ	1.1328	2.1	1.8538	0.8957

各级压力比复算

次数	级次	$p_{sj}=p_{s1}\frac{V_{h1}^0\lambda_{v1}}{V_{hj}^0\lambda_{vj}}$ MPa	p_{dj}/MPa	ε_j	λ_{vj}	$V_j=V_{hj}^0\lambda_{vj}\frac{p_{sj}}{p_{s1}}$	$\frac{V_{min}}{V_{max}}$
1	Ⅰ	0.1267	0.3995	3.153	0.7892	0.02039	0.9374
	Ⅱ	0.3995	0.9769	2.445	0.8417	0.02050	
	Ⅲ	0.9769	2.1	2.15	0.8627	0.01922	

6 复算性计算

各级压力比复算

次数	级次	$p_{sj}=p_{s1}\frac{V_{h1}^0\lambda_{v1}}{V_{hj}^0\lambda_{vj}}$ MPa	p_{dj} MPa	ε_j	λ_{vj}	$V_j=V_{hj}^0\lambda_{vj}\frac{p_{sj}}{p_{s1}}$	$\frac{V_{min}}{V_{max}}$
2	Ⅰ	0.1267	0.3971	3.134	0.7909	0.02043	0.9382
	Ⅱ	0.3971	0.9750	2.455	0.8407	0.02036	
	Ⅲ	0.9750	2.1	2.154	0.8622	0.01917	
3	Ⅰ	0.1267	0.3984	3.144	0.79	0.02041	0.9822
	Ⅱ	0.3984	1.039	2.608	0.8255	0.02006	
	Ⅲ	1.039	2.1	2.02	0.877	0.02078	

6 复算性计算

复算排气量

$$Q_0=V_{h1}\lambda_{p1}\lambda_{T1}\lambda_{v1}\lambda_{l1}n$$
$$=0.0286\times0.96\times0.96\times0.79\times0.98\times485$$
$$=9.897m^3/\min$$

复算排气温度

$$T_{d1}=T_{s1}\varepsilon_1^{\frac{n_1-1}{n_1}}=300\times3.144^{\frac{1.4-1}{1.4}}=416.2K$$

$$T_{d2}=T_{s2}\varepsilon_2^{\frac{n_2-1}{n_2}}=306\times2.608^{\frac{1.4-1}{1.4}}=402.4K$$

$$T_{d3}=T_{s3}\varepsilon_3^{\frac{n_3-1}{n_3}}=309\times2.02^{\frac{1.4-1}{1.4}}=377.7K$$