

# EES软件应用于制冷原理课程教学的研究与实践<sup>①</sup>

虞效益 陈光明

(浙江大学宁波理工学院 浙江宁波 315100)

**摘要:**制冷循环热力计算是“制冷原理”课程教学的重要内容。该文结合教学实践,在“制冷原理”课程教学过程中引入国际著名教学辅助工具Engineering Equation Solver (EES),探索该软件在制冷循环热力计算教学中的应用,以使学从繁琐的计算与重复的物性查找中解脱出来,把更多的时间和注意力放在对循环本身的分析上,从而达到事半功倍、提高教学质量的目的。问卷调查结果表明,学生对该软件的反响普遍较好。

**关键词:**制冷原理 热力计算 EES软件

**中图分类号:** G642

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-098X(2016)04(b)-0130-03

“制冷原理”课程主要讲授制冷的方及其热力学原理、制冷工质及其性质、制冷循环的特性及其分析计算等知识,是高等学校热能与动力工程专业制冷方向的一门专业必修课程,是学生从基础课程学习进入到后续专业课程学习的过渡桥梁,对于培养高水平、有创新精神的专业人才起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。

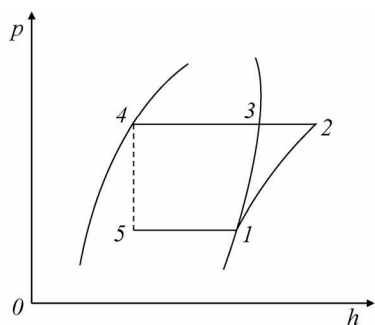


图1 循环p-h图

修课程,是学生从基础课程学习进入到后续专业课程学习的过渡桥梁,对于培养高水平、有创新精神的专业人才起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。

对制冷循环进行热力学分析和计算是“制冷原理”课程教学的重要内容,也是该专业方向学生需具备的一项基本能力。制冷循环的热力学计算离不开对制冷工质热力性质的计算。制冷工质的常用热力性质包括压力、温度、比体积、比热力学能、比焓、比熵、比热容等,它们常被表示成两种形式:一种是热力性质图和表;另一种是参数关系方程式。查图和表或利用参数关系方程式是获得制冷工质热力性质的传统方法。然而,参数方程式往往比较复杂导致计算繁琐;查图

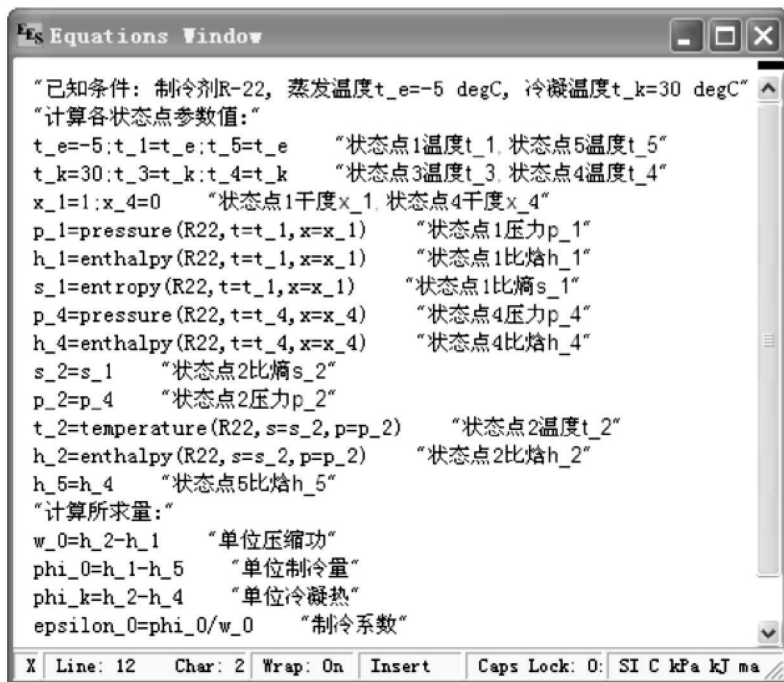


图2 计算程序语句

①基金项目: 浙江大学宁波理工学院校级教学研究与改革项目 (NITJG-201632)。

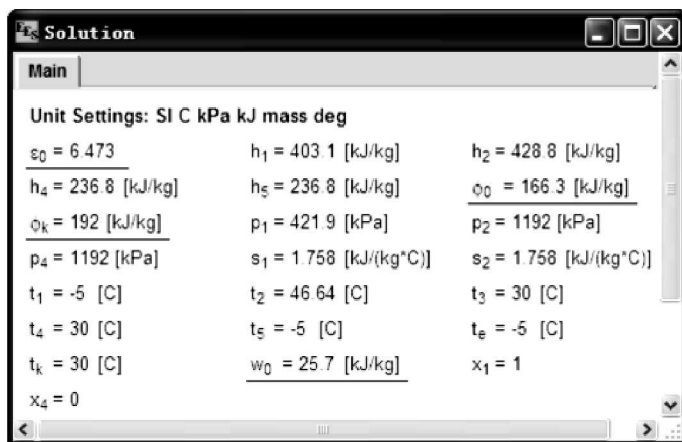


图3 计算结果

	$\epsilon_0$	$\phi_0$ [kJ/kg]	$\phi_k$ [kJ/kg]	$w_0$ [kJ/kg]	$t_e$ [C]
Run 1	7.529	167.9	190.1	22.29	-1
Run 2	7.24	167.5	190.6	23.13	-2
Run 3	6.969	167.1	191.1	23.98	-3
Run 4	6.713	166.7	191.5	24.83	-4
Run 5	6.473	166.3	192	25.7	-5
Run 6	6.245	165.9	192.5	26.57	-6
Run 7	6.031	165.5	193	27.45	-7
Run 8	5.827	165.1	193.5	28.34	-8
Run 9	5.635	164.7	194	29.24	-9
Run 10	5.452	164.3	194.5	30.14	-10

图4 各性能参数随蒸发温度的变化

和表虽然方便,但查热力性质图一般无法获得精确值,热力性质表则目前一般只用饱和性质表。在对制冷循环进行热力计算时,采用传统方法获得工质的物性数据不仅不便,而且往往耗费学生大部分的时间和精力。而实际上,一旦学生熟悉了这些物性数据图、表和公式,对它们的进一步使用并不能对学生能力的提高有所帮助,反而会使学生对循环的热力计算产生消极情绪,失去学习兴趣。

Engineering Equation Solver (EES) 软件如其名称所述是一款方程求解器,由美国威斯康星大学麦迪逊分校的Sanford Klein教授开发,其最初的目的是辅助本科生“工程热力学”课程的教学,后来发展成为一款在暖通空调与制冷领域广泛应用的商业软件<sup>[2]</sup>。EES的基本功能是求解代数方程(组),而与现有的其他方程求解软件不同的是,EES内置了大量热力学和流体力学方面的物性数据。例如:EES中内置有庞大的制冷工质热物性数据库,根据任意两个物性参数就可通过调用一个内置函数而获得其他的物性参数,这给制冷循环的热力计算带来了极大便利。

## 1 EES教学应用举例

问题<sup>[3]</sup>: 简单蒸气压缩理想制冷循环,用R-22作为制冷剂,蒸发温度为 $-5^\circ\text{C}$ ,冷凝温度为 $30^\circ\text{C}$ ,试计算:(1)单位

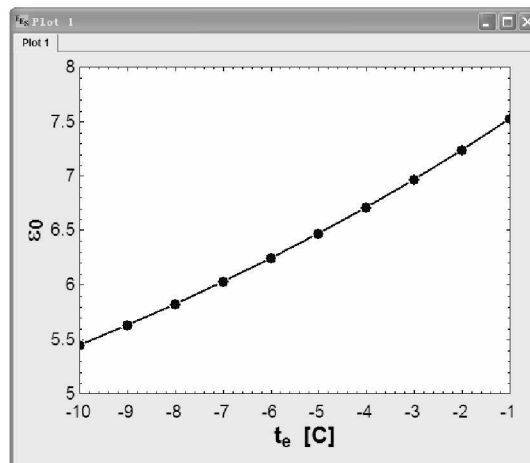


图5 制冷系数随蒸发温度的变化

压缩功;(2)单位制冷量;(3)单位冷凝热;(4)制冷系数。

求解: 对于上述问题,可以先画出循环的 $p$ - $h$ 图帮助分析(如图1所示)。用EES求解时只需先在软件中设定好参数的单位(点击“Options—Unit System”进入),然后在软件的“Equations window”窗口中编制如图2所示程序,点击“Solve”即可得到答案(如图3所示),所有参数的值一目了然,对于需要重点显示的参数可以选择添加下划线、字体加粗或者是用方框框起来,参数值的有效数字等也可以设置。

在编制EES程序时,使用的变量无需定义,热力性质的计算直接调用软件内置的函数,整个程序语句的编写过程基本就是解题的过程,简单而直观,非常具有可读性。另外,还可以使用双引号对变量、语句和整个程序进行说明(如图2所示),以增强程序的可交流性。利用EES对制冷循环进行热力计算使得学生从繁琐的计算与重复的物性查找中解脱出来,把更多的时间和注意力放在对制冷循环的热力分析上。

另外,在向学生讲授“制冷循环特性分析”这一部分内容时,借助 $p$ - $h$ 图来解释制冷机的性能随冷凝温度和蒸发温度的变化关系是常用的方法,但这只是一种定性的说明。仍

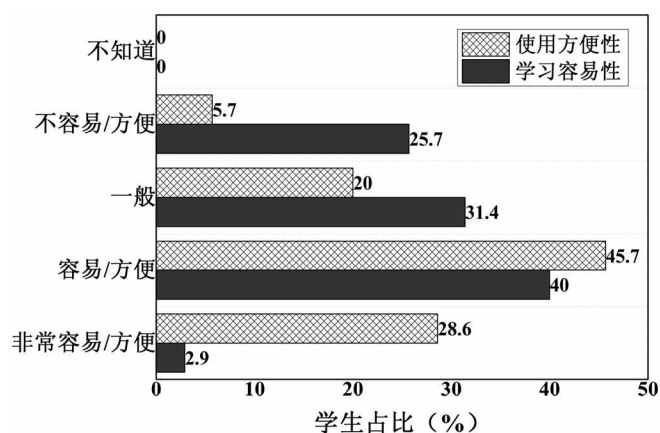


图6 EES软件学习容易性和使用方便性的问卷调查结果

旧以上述问题为例,若利用EES的参数化表格计算以及绘图功能,则可以非常方便地从定量的角度加以印证(如图4、5所示),从而可以加深学生对此部分知识的印象。

## 2 学生反馈与评价

鉴于EES软件在制冷循环热力计算中的显著优势,笔者在2015—2016学年第一学期给浙江大学宁波理工学院能源与环境系统工程专业学生讲授的“制冷原理”课程中进行了应用实践。在课程结束之后,就软件本身的学习容易性和使用方便性,以及以后再碰到制冷循环热力计算问题时是否会优先考虑使用EES3个问题对学生进行了问卷调查,发放问卷35份,回收有效问卷35份。调查结果如图6、7所示。图6显示,认为EES容易学习的学生(42.9%,其中认为非常容易的仅2.9%)要远少于认为该软件使用方便的学生(74.3%,其中认为非常方便的达28.6%),这可能是由于安排的学时比较少(约3节课)以及本科生接触类似专业软件较少的缘故,但也说明,一旦学生学会使用EES,就会感到其带来的巨大便利,图7显示的若再碰到制冷循环热力计算问题时71.4%的学生会优先考虑使用EES也印证了这一点。

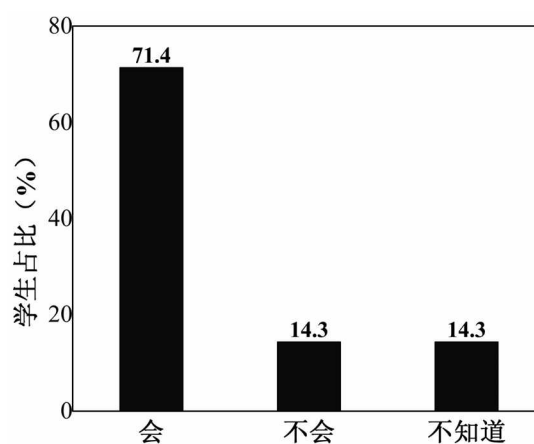


图7 是否会优先考虑使用EES软件的问卷调查结果

## 3 结语

当今社会快速发展,教育教学也必须紧跟时代的变化,针对现代学生计算机水平较高、乐于接受新事物的特点,适当地引入实用又相对易学的专业软件,不仅可令本科课程教学达到事半功倍的效果,也有益于日后学生的就业以及研究生教育。当然,一些传统优秀的教学方法的运用也应当继续坚持,比如说重点公式的推导和原理图的绘制还是需要黑板上进行演示。总之,在信息快速发展的今天,教育教学必须在坚守优良传统的同时,与时俱进。

## 参考文献

- [1] 何国庚,郑贤德,李嘉.制冷技术教材建设的思考[C]//第五届全国高等院校制冷空调学科发展研讨会.厦门,2008.
- [2] Klein S, Nellis G. Thermodynamics[M]. Cambridge University Press, 2012.
- [3] 陈光明,陈国邦.制冷与低温原理[M]. 2版.北京:机械工业出版社,2013.

## 《中外医疗》稿件要求

1. 来稿具有科学性、先进性和实用性,论点鲜明、论据充分、数据准确、逻辑严谨、文字通顺、图表规范。每篇论文2000~6000字(一般不超过8000字),短篇1500字以内,直接发至电子信箱,来稿请详细注明作者单位、地址、科室、邮编、办公电话、手机号码及E-mail。
2. 来稿不涉及保密问题,署名无争议,稿件一律文责自负,本刊有权对来稿做文字修改。本刊不退稿,请作者自留底稿,请勿一稿多投。
3. 凡投稿后10个工作日未接到稿件处理通知的作者,请及时与本刊联系。