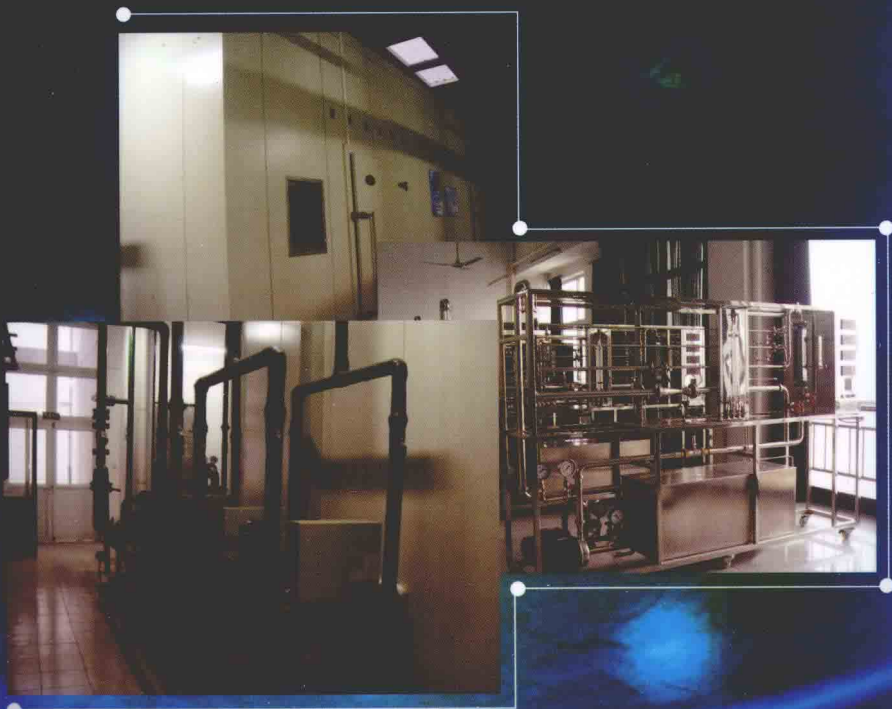


制冷与空调实验教程

—— 制冷部分

主 编 李慧宇 邹同华
副主编 藏润清 郭宪民



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

制冷与空调实验教程

——制冷部分

主 编 李慧宇 邹同华
副主编 臧润清 郭宪民



内 容 提 要

本实验教材在总结多年实验教学经验的基础上,基于天津商业大学制冷与空调实验教学中心的实验教学体系构架编写而成,系该中心教材建设中的系列教材之一。

本教材介绍了制冷原理、制冷机器设备、制冷系统设计、制冷系统控制、食品贮藏等相关专业课在教学过程中所配备的教学实验。详细论述了各个实验的实验目的、实验内容、实验原理、采用的实验测试方法和实验步骤,对参加实验的人员提出实验要求和在实验中要注意的事项,给出了针对课程和实验的思考题并提出实验报告的要求。本教材的架构既便于实验教学与课程理论教学的同步进行,也便于实验课程单独设置的教学模式。

本教材不仅方便学生实验课上使用,也便于学生理解各专业课之间的关系,使各专业课之间更系统有机地结合起来。本书适用于热能与动力工程专业本、专科学生使用,也可供相关专业学生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

制冷与空调实验教程. 制冷部分/李慧宇,邹同华主编. —
天津:天津大学出版社,2010.3
ISBN 978-7-5618-3381-0

I. ①制… II. ①李… ②邹… III. ①制冷技术—实验—教材 ②空气调节设备—实验—教材 IV. ①TB657-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 031529 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 12
字 数 300 千
版 次 2010 年 3 月第 1 版
印 次 2010 年 3 月第 1 次
定 价 50.00 元(共三册)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

序

2001年8月教育部下发的《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》一文明确指出,要进一步加强实践教学,注重学生创新精神和实践能力的培养。众所周知,大学作为高素质创新人才的培养基地,更应特别重视本科实践教学,重视知识、能力和素质的综合训练,为国家培养大批创新人才。因此,国家级实验教学示范中心建设的目的在于发挥其辐射作用,促进本科教学质量的提高。目前,实验教学的最大弊病就是开设了大量仅为理论教学服务的验证性实验,而缺乏培养工程应用能力的实验。国外大学的人才培养模式并非完美无缺,但其重视能力培养的模式的确是我们所应借鉴的。审视我们人才培养体系所塑造、培养的毕业生,虽然有着基础知识扎实等优点,但在创新意识和能力的培养等方面却存在着明显的不足。实验教学要向实践教学的方向迈进,实践教学环节是一个将知识转化成能力的"酿造过程"。作为素质教育的重要内容,实验教学不仅是理论教学的补充、解释、验证和延伸,更应当作为一个与理论教学同等重要的环节来设计,实验教学与理论教学应该相互促进、相辅相成。所以,构建一批适应于教学改革为目的,更具专业性、设计性和创造性的实验教材非常之必需,以便使学生在4年学习中能接受多个带有实践环节的培养。实践创新教育是重视学生对所学知识的应用空间,是重视学生的思维意识,是重视创新精神和实践能力的培养。

近年来,各高校教学环境及硬件设备都有很大的提高,但是相对于实验教学软件方面的重视尚有待加强,如改进实验教学体系,开发设计性、创新性和综合性实验教学项目,重视实验教材的建设等方面。基于目前情况,天津商业大学热能与动力工程实验教学中心依据自身的实验教学体系,编写了这套《制冷与空调实验教程》的实验教材,教材包括了专业基础、制冷和供热空调三大部分。将实践性较强、与制冷及暖通专业联系密切、注重培养专业技能的一些实验编进本套教材,是一件非常有意义的工作,适应于热能与动力工程及相关专业实验教学发展的需要。所以,该实验教材的编写出版在满足本校实验教学需要的同时,更因为其中

许多内容体现了天津商业大学制冷学科多年的实践积累,可以为国内其他高校相关专业所参考和借鉴,更好地发挥其国家级实验教学示范中心的辐射作用。

天津商业大学制冷学科与社会的接触较为密切,多个科研和生产单位已作为学生的实习基地,这对于实践教育改革的实施也是非常有利的条件,同时毕业生也容易被社会所接纳。该教材的出版也体现了他们的工作成效,在此感谢参与这套实验教材建设的教师们,也感谢天津大学出版社。这套实验教材将在我国能源动力类实验教学发展中发挥巨大作用。

热能与动力工程教学指导委员会副主任



2009年6月

前 言

全国设置热能与动力工程和建筑环境与设备工程专业的学校有 100 多所,由于这两个专业在一定程度上是相通的,服务的行业也有一定的相似性,因此这 100 多所学校中大部分学校这两个专业都有,有的是先有热能与动力工程专业(原名制冷设备专业或制冷工艺专业,习惯称制冷专业),后有建筑环境与设备专业(原名为供热、供燃气、通风与空气调节专业,习惯称空调专业);也有的是先有建筑环境与设备工程专业,后有热能与动力工程专业。在国家相关专业教学指导委员会制定的教学大纲的指导下,各学校根据自身的办学特色,在理论课教学过程中除了选择一些国家级“十五”或“十一五”规划教材外,还选择一些自编的特色教材,而在实验教学方面则是根据各学校实验设备条件来设置一定的实验课。各学校并无统一的实验教学大纲和教学方案,更无统一的实验教材。为此,我们在“高等学校本科教学质量与教学改革工程”建设思想指导下,组织编写了这本《制冷与空调实验教程》,全套书分三部分:专业基础部分、制冷部分和供热空调部分,这套实验教程的出版,一方面总结了我校多年来在制冷与空调实验教学方面的经验,使实验教学内容和体系更加完善;另一方面也对有相关专业的学校起一个辐射和示范作用。

实验教学是实践教学的重要内容之一,是专业人才培养过程中的重要教学环节。制冷原理、制冷机器设备、制冷系统设计、制冷系统控制、食品贮藏等方面相关专业课在热能与动力工程、建筑环境与设备工程等相关专业人才培养的课程体系中占有重要的地位,这类课程的实验教学在理论知识与方法的传授、工程应用与创新能力的培养过程中起着重要作用。

《制冷与空调实验教程——制冷部分》主要对应与专业密切相关的课程(制冷原理与设备、制冷压缩机、制冷装置设计、制冷装置自动控制、吸收式制冷机、冰箱与空调、食品冷藏工艺学等),本教程体系并没有按课程来进行实验项目的安排,而是按专业方向和专业技能来安排实验项目,各实验项目相对独立,形成一个较完整的实验体系。

为便于学生实验前预习增强每个实验过程的系统性,各实验项目的阐述采用了统一的内容构架,即实验目的,实验原理、方法和手段,实验内容,实验准备,实

验步骤,注意事项及其他说明,思考题,实验报告等八部分;为了强化实验教学和
相关理论知识的联系,提高实验教学的效率和效果,对每个实验项目都设置了与
实验内容和方法相关的思考题,学生在完成后,应对实验内容和方法进行认真思
考,以巩固实验成果。

本教程由李慧宇、邹同华担任主编,各实验项目由制冷专业教研室和实验室
全体教师共同完成,参与本书编著人员:李慧宇、邹同华、臧润清、郭宪民、杨永安、
彭苗、宁静江、刘斌、刘清江、张哲、毛力、汪伟华、田津津。全书由李慧宇统稿。

在本书的编写过程中,参阅了以往其他兄弟院校的同类教材、资料及文献,并
得到许多同行专家、教授的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请广大师生、读者提出宝贵
意见,以求进一步改进。

编者

2009年6月

目 录

实验一	单级蒸气压缩式制冷实际循环的性能测试实验	(1)
实验二	制冷机变工况特性实验	(7)
实验三	制冷机热平衡实验	(11)
实验四	有回热与无回热循环性能比较实验	(18)
实验五	制冷设备结构认识实验	(23)
实验六	压缩机性能测试实验	(27)
实验七	活塞制冷压缩机拆装实验	(31)
实验八	活塞式制冷压缩机示功图实验	(34)
实验九	回转式制冷压缩机的结构认识实验	(40)
实验十	第二制冷剂量热器法测试实验	(44)
实验十一	一机二库制冷装置性能实验	(49)
实验十二	小型制冷装置性能实验	(56)
实验十三	典型专用制冷装置结构认识实验	(62)
实验十四	氨泵制冷装置性能实验	(67)
实验十五	热气融霜制冷系统性能实验	(75)
实验十六	电子膨胀阀流量性能测试实验	(80)
实验十七	温度双位调节系统实验	(83)
实验十八	制冷空调电器控制系列实验	(87)
实验十九	调节器参数整定实验	(91)
实验二十	调节对象反应曲线测定实验	(94)
实验二十一	空调与电冰箱维修实验	(97)
实验二十二	制冷制热综合实验	(100)
实验二十三	间冷式双门电冰箱线路的接线与故障实验	(103)
实验二十四	空调循环演示实验	(106)
实验二十五	电冰箱故障及排除方法实验	(109)
实验二十六	冷库围护结构性能参数的测定实验	(111)
实验二十七	活塞式压缩机检测实验	(115)
实验二十八	装配库蒸发温度的调试实验	(119)
实验二十九	电冰箱维修实验	(122)
实验三十	汽车空调系统故障诊断实验	(125)
实验三十一	汽车空调充灌制冷剂实验	(128)
实验三十二	热力膨胀阀特性实验	(132)
实验三十三	换热设备性能测试实验	(137)
实验三十四	冷水机组性能实验	(142)

实验三十五	溴化锂吸收式制冷机循环性能测定及结构认识实验	(147)
实验三十六	单效溴化锂吸收式制冷系统性能实验	(150)
实验三十七	太阳能热利用性能实验	(156)
实验三十八	沸腾炉冷态实验	(160)
实验三十九	内燃机结构原理(性能)实验	(164)
实验四十	食品的冷却实验	(167)
实验四十一	食品在空气中冻结温度曲线的测定实验	(171)
实验四十二	果蔬预冷实验	(174)
实验四十三	食品冷害实验	(177)
实验四十四	食品干耗实验	(180)

实验一 单级蒸气压缩式制冷实际循环的性能测试实验

一、实验目的

通过本实验的学习,使学生掌握蒸气压缩式制冷循环的组成和工作原理、蒸气压缩式制冷机性能测试的原理与方法、单级蒸气压缩式制冷循环性能参数的确定方法,能够熟练掌握制冷剂热物性图表的使用;认识实验装置中的有关仪器仪表,掌握这些仪器仪表的使用方法。

二、实验原理、方法和手段

本装置为英国 HILTON 公司生产的单级蒸气压缩式制冷教学实验装置,制冷系统原理图见图 1-1。

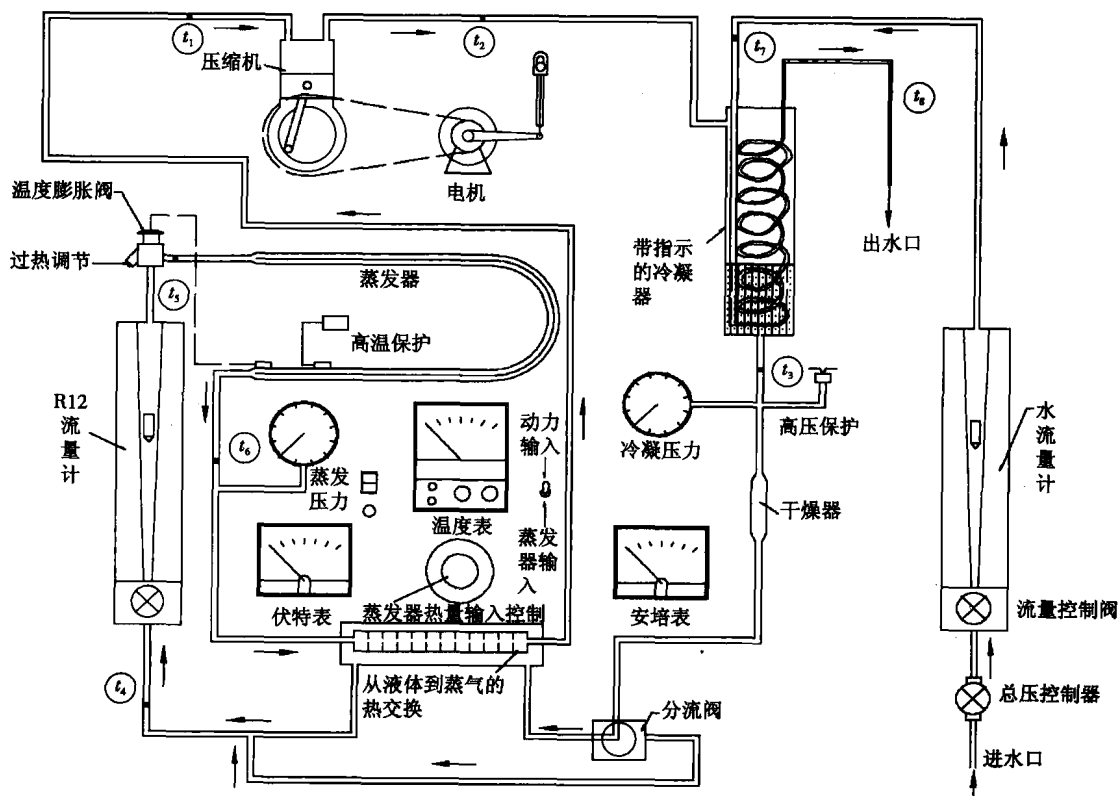


图 1-1 单级蒸气压缩式制冷教学实验装置原理

制冷循环的工作原理:蒸发器中的制冷剂液体在低压、低温下通过电加热吸收了热量而蒸发,产生的低压制冷剂蒸气被压缩机吸入,经压缩后成为高压气体进入冷凝器,制冷剂在冷凝

器中放出热量被凝结为液体,高压液体经膨胀阀节流降压,成为湿蒸气后进入蒸发器。

制冷机的负荷是由蒸发器的电加热元件输入量决定的,并由热量输入控制装置控制,实验台上电流与电压表上的转换开关处于向下位置时,电压表和电流表读数的乘积即为蒸发器的热量输入值,即

$$Q_e = V_e L_e \quad \text{kW}$$

蒸发压力和冷凝压力由压力表读得(注意此时的压力是表压)。蒸发压力是由热力膨胀阀自动控制,并随着负荷的增加而增大。冷凝压力由冷却水量控制,减少冷却水流量可提高冷凝压力。

蒸发器出口的过热度是由热力膨胀阀自动控制的,且应在 $3 \sim 10 \text{ K}$ 之间(即 t_6 要比 t_5 高 $3 \sim 10 \text{ K}$)。

实验台制冷系统中 8 个测温点的温度可在电子温度计上选择显示。

手持式转速表接触于电机轴的末端,可以测量电机轴的转速。手持式转速表接触压缩机的轴端部,则可测得压缩机的转速。

电功率测量:当转换开关向下拨时,蒸发器的电加热输入功率为电压表、电流表上的电压、电流值的乘积;当转换开关向上拨时,电动机的输入功为电压表、电流表上的电压、电流值及功率因数的乘积。

电机的轴功率是扭矩和角速度的乘积。

制冷剂流量和冷却水流量通过流量计读得。

单级蒸气压缩式制冷系统实际循环在压-焓图上的表示见图 1-2。

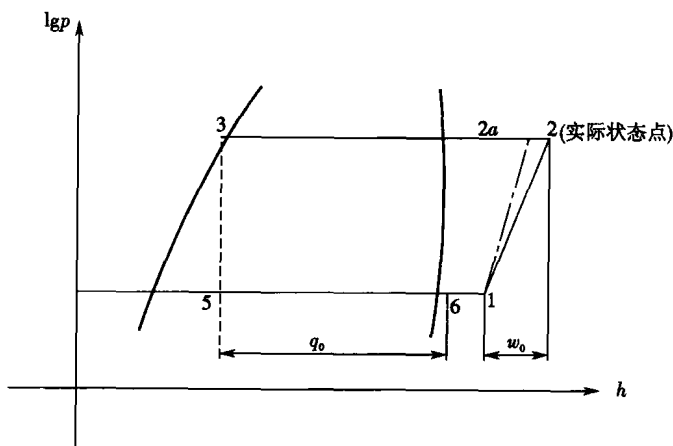


图 1-2 制冷实际循环

实验中测量制冷系统中的制冷剂蒸发压力、冷凝压力、制冷剂在制冷循环中的各状态点温度,通过制冷剂的热力性质图表可以确定各状态点的焓值,计算得到制冷循环的性能指标。

$$\text{单位制冷量} \quad q_0 = h_6 - h_5 \quad \text{kJ/kg}$$

$$\text{单位容积制冷量} \quad q_v = \frac{q_0}{V_1} \quad \text{kJ/m}^3$$

$$\text{制冷机制冷量} \quad Q_0 = q_m q_0 \quad \text{kW}$$

$$\text{压缩机理论比功} \quad w_0 = h_2 - h_1 \quad \text{kJ/kg}$$

压缩机理论功率 $P_0 = q_m w_0 \quad \text{kW}$

压缩机轴功率 $P_e = 0.15F \frac{2\pi n_m}{60} \quad \text{kW}$

冷凝器热负荷 $Q_k = G_w c_{pw} (t_8 - t_7) \quad \text{kW}$

制冷循环制冷系数 $\varepsilon = \frac{Q_0}{N_e}$

式中的符号含义见表1。

三、实验内容

- (1) 了解制冷系统开机程序。
- (2) 熟悉单级蒸气压缩式制冷系统的组成和工作原理。
- (3) 掌握制冷系统性能测试的方法。
- (4) 在系统稳定后,读取温度仪表、压力表、流量计、电压表、电流表的读数,测量压缩机和电机转速。
- (5) 通过实验测量制冷循环相关参数,由制冷剂热物性图表确定制冷剂各点焓值,计算得到制冷机性能指标。

四、实验准备

- (1) 学生在进行实验前,应预习实验指导书和《制冷原理与设备》教材中的相关知识。
- (2) 熟悉制冷系统工作原理,熟练应用制冷剂热力性质图表。
- (3) 熟悉测量仪器仪表的使用方法。
- (4) 接通电源和冷却水,打开总压力控制阀。

五、实验步骤

- (1) 开启冷却水管路中的截止阀。
- (2) 打开电源总开关,启动电动机。
- (3) 观察冷凝压力表,粗调节冷却水量控制阀,使冷凝压力接近要求值。
- (4) 观察蒸发压力表,粗调蒸发器热量输入旋钮,使蒸发压力接近要求值。
- (5) 反复微调冷却水量控制阀及蒸发器热量输入旋钮,使 p_0 、 p_k 接近要求值。
- (6) 待工况稳定后,依次记录各仪表上的读数。
- (7) 实验结束后,关机。
 - ① 蒸发器热量输入旋钮拨至零。
 - ② 大约 1 min 后,关闭电源总开关和冷却水阀。

六、注意事项及其他说明

- (1) 一定要严格按照本实验装置的操作要求进行实验。启动本装置一般要在中等负荷(约 700 W 左右)下运行 5 ~ 10 min,然后再改变工况。
- (2) 实验结束时,减小制冷机的负荷(蒸发器的热量输入控制)到零,约 1 min 后关闭电源开关,最后关闭冷却水阀。

七、思考题

- (1) 简述单级蒸气压缩式制冷循环的基本组成和工作原理。
- (2) 通过实验分析,需要测量哪些参数才能确定该制冷循环的制冷系数?
- (3) 通过实验数据判别制冷剂出冷凝器和出蒸发器的状态。

八、实验报告

学院、系: _____ 专业、班级: _____ 成绩: _____
 姓名: _____ 学号: _____ 同组姓名: _____
 实验时间: _____ 实验地点: _____ 指导教师: _____
 课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验类型: _____

1. 实验目的

2. 实验内容及原理

3. 实验仪器

4. 实验步骤

5. 实验过程及实验数据记录(见表1至表3)

表1 实验数据记录

项 目	单位	序号			算术平均值	备注
		1	2	3		
蒸发压力 p_0	kPa					要求值
冷凝压力 p_k	kPa					要求值
吸气温度 t_1	℃					以下为测量值
排气温度 t_2	℃					

续表

项 目	单位	序号			算术平均值	备注
		1	2	3		
冷凝器出口温度	t_3	℃				
蒸发器进口温度	t_5	℃				
蒸发器出口温度	t_6	℃				
冷却水进水温度	t_7	℃				
冷却水出水温度	t_8	℃				
制冷剂流量	q_m	g/s				
冷却水流量	G_w	g/s				
电加热器电压	V_e	V				
电加热器电流	I_e	A				
电动机电压	V_m	V				
电动机电流	I_m	A				
电动机转速	n_m	r/min				
弹簧力	F	N				

注：计算查图(表)时,压力值要用绝对压力。规定：

绝对压力 = 表压 + 大气压力 = 表压(kPa) + 1(kPa)。

表 2 状态参数

项目	单位	数 据				
焓值	kJ/kg	$h_1 =$	$h_2 =$	$h_4 =$	$h_5 =$	$h_6 =$
比容	m ³ /kg	$V_1 =$				

注：节流前后焓值相等

表 3 实验计算结果

项 目	计算公式	单位	结果	备注
冷负荷	$Q_e = V_e L_e$	W		
单位制冷量	$q_0 = h_6 - h_5$	kJ/kg		
单位容积制冷量	$q_v = \frac{q_0}{V_1}$	kJ/m ³		
制冷量	$Q_0 = q_m q_0$	W		
输气量	$V_s = \frac{Q_0}{q_v \times 3.6}$	m ³ /h		
冷凝负荷	$Q_k = G_w c_{pw} (t_8 - t_7)$	W		$c_{pw} = 4.18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
压缩机理论功率	$P_0 = G_r (h_2 - h_1)$	W		
压缩机轴功率	$P_e = T_w = 0.15 F \frac{2\pi n_m}{60}$	W		
压缩机摩擦功率	$P_m = 0.15 F_f \frac{2\pi n_m}{60}$	W		

续表

项 目	计算公式	单位	结果	备注
压缩机指示功率	$P_i = P_e - P_m$	W		
电动机输入功率	$P_{el} = V_m I_m \cos \Phi$	W		$\cos \Phi = 0.6$
制冷系数	$\varepsilon = \frac{Q_0}{P_e}$			

6. 实验情况分析 with 问题讨论

7. 思考题

实验二 制冷机变工况特性实验

一、实验目的

通过本实验的学习,使学生掌握蒸气压缩式制冷循环的组成和工作原理、测量制冷循环中各参数的方法,熟练掌握制图表的使用;了解蒸气压缩式制冷机性能测试的原理与方法,能够确定制冷剂各点的焓值;通过实验得出 p_k 不变, p_0 改变时制冷机性能变化的结论;同时认识实验装置有关仪器仪表,掌握这些仪器仪表的使用方法。

二、实验原理、方法和手段

本装置为英国 HILTON 公司生产的单级蒸气压缩式制冷教学实验装置,制冷系统原理图见图 1-1。

同一台制冷机,当压缩机转速恒定,理论输气量 q_{vh} 是一个确定数值。当工作温度不同时,其单位制冷量 q_0 、压缩机理论比功 w_0 、制冷剂循环量 G_r 都发生变化,因此制冷机的制冷量 Q_0 与压缩机消耗的轴功率 P_e 也相应地改变。

$$P_0 = G_r Q_0 = \lambda q_{vh} q_v$$

$$P_e = \frac{G_r w_0}{\eta_s} = \frac{\lambda q_{vh} w_v}{\eta_s}$$

式中: λ ——输气系数;

q_v ——单位容积制冷量, kJ/m^3 ;

η_s ——压缩机绝热效率;

w_v ——压缩机压缩一立方米吸气状态下的蒸气所消耗的理论功,称为比容积压缩功, kJ/m^3 。

可见, Q_0 与 P_e 随着 λ 、 q_v 、 w_v 、 η_s 的变化而变化。

在实验过程中维持冷凝压力不变,分别设定 5 个蒸发温度(压力),记录 5 个工况下制冷循环的参数,分别计算这 5 个工况下的性能指标。

三、实验内容

(1) 测量 5 个工况下的各状态点的温度。

(2) 测量冷凝压力和蒸发压力,注意观察实验中的冷凝压力,调节水量调节阀维持冷凝压力不变。

(3) 由转子流量计分别测得制冷工质和冷却水的流量。

(4) 电功率测量:当转换开关向下拨时,蒸发器的电加热输入功率为电压表、电流表上的电压、电流值的乘积;当转换开关向上拨时,电动机的输入功为电压表、电流表上的电压、电流值及功率因数的乘积。

(5) 转速测量:电机及压缩机转速用手持转速表测量。

四、实验准备

- (1) 学生在进行实验前,应预习实验指导书和《制冷原理与设备》教材中的相关知识。
- (2) 了解制冷系统工作原理,熟悉测量仪器仪表的使用方法。

五、实验步骤

- (1) 始终保持冷凝压力 p_k 不变,而使蒸发压力 p_0 变化。查出 p_0 、 p_k 相应的温度值 t_0 、 t_k 。
- (2) 做好实验的准备工作,接通电源和冷却水,打开总压力控制阀。
- (3) 打开电源总开关,启动电动机。
- (4) 观察冷凝压力表,粗调节冷却水量控制阀,使冷凝压力接近要求值。
- (5) 观察蒸发压力表,粗调蒸发器热量输入旋钮,使蒸发压力接近要求值。
- (6) 反复微调冷却水量控制阀及蒸发器热量输入旋钮,使 p_0 、 p_k 接近要求值。
- (7) 待工况稳定后,依次记录各仪表上的读数。
- (8) 实验结束后,关机。
 - ① 蒸发器热量输入旋钮拨至零。
 - ② 大约 1 min 后,关闭电源总开关和冷却水阀。

六、注意事项及其他说明

- (1) 一定要严格按照本实验装置的操作要求进行实验。启动本装置一般要在中等负荷(约 700 W)下运行 5 ~ 10 min,然后再改变工况。
- (2) 需要得到性能曲线,最好从小制冷量(约 300 W)开始并且以约 250 W 的量增加制冷量,直到最大制冷量。
- (3) 负荷变化后,装置很快稳定。在高负荷时,负荷变化后,通常 2 ~ 3 min 内达到稳定。而在低负荷时,需要略长一点时间。当压力、温度、流量等变化停止后,即可达到稳定。
- (4) 实验结束时,减少制冷机的负荷(蒸发器的热量输入控制)到零,约 1 min 后关闭电源开关,最后关闭冷却水阀。

七、思考题

- (1) 影响制冷循环制冷系数的因素有哪些?
- (2) 通过实验数据分析冷凝温度不变,蒸发温度升高时,制冷循环的制冷量、耗功、制冷系数的变化。

八、实验报告

学院、系: _____ 专业、班级: _____ 成绩: _____
 姓名: _____ 学号: _____ 同组姓名: _____
 实验时间: _____ 实验地点: _____ 指导教师: _____
 课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验类型: _____