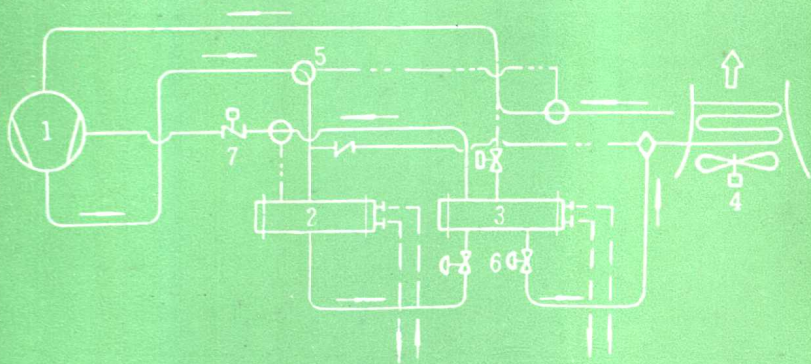


re beng kong tiao xi tong de she ji yu chuang xin

# 热泵空调系统的设计与创新

郑祖义 著



华中理工大学出版社

# 热泵空调系统的设计与创新

郑祖义 著

江苏工业学院图书馆  
藏书章

华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

热泵空调系统的设计与创新/郑祖义著

—武汉,华中理工大学出版社—1994.8

ISBN 7-5609-0945-0

I·热…

II·郑…

III·热泵空调—制冷除湿

IV·TK·018

热泵空调系统的设计与创新

郑祖义 著

责任编辑:殷伯明 李立鹏

\*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 430074)

新华书店湖北发行所经销

中国科学院武汉数学物理所印刷厂印刷

\*

开本,787×1092 1/32 印张:7.5 字数:165 000

1994年8月第1版 1994年8月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 7-5609-0945-0/TK·30

定价:6.80元

## 内 容 提 要

本书以理论与实验相结合的方法,研究了最新复合源热泵循环,二次进气螺杆机内压缩过程,热泵除湿新方案系统,以及辅助蓄热热泵中央空调和土壤热源热泵等热力学问题。研究内容包括模型的背景,模型理论的数学推导及分析,试验应用及其评价。

本书可作为工程热物理,制冷工程,空气调节,暖通及压缩机技术等专业的高年级学生、研究生和教师的参考用书,也可供设计研究人员参考。

## 序

在人类生活的环境中,许多场合需要低温热能,这种热能通常是从电能或燃烧燃料时产生的高温热能中获得。根据热力学第二定律,把高品位能量作为低品位能量使用是不等位的交换,要浪费一次能源。热泵则是利用优质能品位的优势,吸取周围环境(大气、水、地热、太阳能等)或工厂排放的尚未利用的热能,使其温位适当升高,转换为可供利用的热能。这是一种既可节约一次能源,又可减少环境污染的有效节能手段,得到了世界各国的高度重视,已在发达国家得到高速发展和普遍应用。发达国家不仅各种民用热泵、工业热泵实现商品化,投入了市场,而且正在逐步向大、中型和多样化方向发展。

热泵空调研究应用,在我国起步较晚,处在发展阶段,有不少的科技工作者,正在献身于热泵空调研究应用领域,是可贺可喜的。

郑祖义博士自1983年以来,一直在从事热泵原理与应用技术的开发研究,并取得了可喜的成就。《热泵空调系统的设计与创新》论著,凝聚了他探索热泵技术在我国的应用与发展所付出的艰辛汗水。他提出的热经济工程模糊分析、复合源热泵循环、二次进气压缩机模糊等效模型等等创造性成果,对于具有热回收蓄热系统的热泵中央空调、热泵除湿新方案,以及土壤热源热泵等领域的研究亦有独到见解,既有其理论深度,又有较大的实用价值,为热泵技术在我国的发展,并在此领域

赶上世界水平做出了一定的贡献。

《热泵空调系统的设计与创新》已与读者见面,籍此书的出版发行,可望在同行中起到抛砖引玉的作用,期盼更多的科技工作者献身于热泵技术研究,为使我国热泵技术应用研究,发展到一个更高的水平——世界先进水平而奋斗。

钱立钧

1994年春节于武汉

## 前 言

能源的危机和矿物能燃烧过程对生态环境的污染,均是对现代人类生存的严重威胁与挑战。热泵技术正是开发和强化高质能源利用率的重要手段,是获取可再生能源及维护生态平衡环境的有效途径之一。作者在致力于开发研究这一技术的过程中,已获得如下技术成果:

1. 空气热源热泵及其除霜装置,1989年获武汉市发明一等奖,同年获全国发明银牌奖;

2. 复合热源热泵,1988年入选比利时布鲁塞尔第37届“尤里卡”世界发明博览会展;

3. KF16型空气,水复合型螺杆热泵,1990年获武汉市自然科学技术研究成果证书;

4. CST80螺杆热泵除湿机,1990年获武汉市自然科学技术和研究成果证书;

5. 新型可带双效中冷器的螺杆机,1990年获国家发明专利权证书;

6. Multiple Source Screw Heat Pump,1989年获武汉市自然科学技术理论研究优秀论文二等奖;

7. 复合源热泵、新型热泵除湿,1992年经专家评审同时被上海科教电影制片厂摄制为我国首部热泵科教片。

热泵是利用那些因温度太低而不可能被别的设备加以利用的热量的唯一系统,可把无价值的环境大气及土壤中的太

阳潜能(或工业废热)去替代商品能源。热泵空调技术的魅力不仅在于节能,而更为重要的是消除锅炉烟气对环境的污染,保护和净化人类赖以生存的自然环境。热泵除湿技术,除节能以外,还可提高产品除湿干燥过程的质量,加快生产干燥除湿过程,为制造商节约成本和提高利润。

热泵的热力学研究,一方面始终围绕着热泵循环优化的热力学过程的分析与讨论,另一方面又涉及到热泵自身的热经济学最佳值问题。因此,整个热力学研究过程呈现着强烈的相互制约性和互补性。本文以热泵空调和制冷除湿为实际应用背景,研究热泵及其过程的热力学问题。

第一章,论述了能源革命与人类社会发展的相关性,环境污染与人类生存的危机。热泵原理的产生及发展,正是适应这一时代发展的必然,为此系统地回顾了热泵的发展历史与现状。最后对本课题的背景和主要研究方向作了说明。

第二章,介绍了压缩式热泵的基本过程及其研究的基本方法,分析了典型的热泵循环过程的焓损失流率。基于现行热力学分析法的特殊性,首次运用模糊数学理论,探讨了热力体系的热经济工程模糊分析。该分析方法,从某种意义上可称为是对热力体系分析方法的进一步完善和补充,是对现行热力学分析拓展的探索。

第三章,根据空气热源热泵与恒温水热源热泵的特点,结合热泵工程应用背景,提出了空气、水复合热源热泵循环原理,即单机压缩,两级节流,双蒸发温度,二次非等压进气的热泵循环。将灰色系统理论引入循环系统热力学特性分析,获得一维灰色动态发展模型,建立了对试验数据序列的量化分析方法。将模糊数学的广义模糊变换引入热泵循环系统的多参



量模糊择优的热经济工程模糊分析,获得了热力循环系统的热经济工程模糊综合决策模型,给出了对不同循环系统特征的综合模糊择优排序,以及全封闭热泵系统发展的模糊预测分析。

第四章,根据热泵主机,二次进气螺杆机内部过程的热力学实质,讨论了最佳循环中压与螺杆机二次进气口位置的相互影响关系。给出了最佳设计原则是二次进气过程的可逆性设计。将热力学过程的特性参数分析引入到模糊数学方法,获得了二次进气螺杆机压缩过程的模糊等价模型,建立了对该过程实现预测和控制的方法。由灰关联分析实现了对二次进气过程损失的评估分析方法。最后,提出了三次进气的热泵模拟系统。

第五章,讨论了具有辅助热回收蓄热系统在热泵中央空调中的设计策略和工业性中试应用研究所取得的一些阶段性成果。

第六章,讨论了热泵除湿循环的新方案系统及其在工程中的实验研究,并引入集合论二元交集的分析方法进行了理论和实验的对比论证。研究表明,本文提出的单机压缩双蒸发温度,两次进气热泵除湿循环是合理而可行的。

第七章,作为土壤热源热泵的开发,实验研究地表温度分布对地下水平盘管传热的影响,选取几种不同状况下的地下水平埋管进行试验,得到了初步结论。

热泵技术的研究是一门富有活力的学科,它必将进一步地发展。本书的研究如能如一朵小葩为科学添彩,如能做一颗碎石为他人铺路,将是作者平生最大的意愿和努力不懈的目标。

本书承蒙钱壬章教授,郭方中教授,金六一副教授对全文进行了详细的审阅,吕灿仁教授,王珈璇教授也对本书提出了宝贵意见,在此深表谢意。

作者

1994年夏于清华园



### 作者简介

郑祖义 1955年11月生于武汉市,1993年获华中理工大学工学博士学位,现为清华大学热能系博士后高级工程师(副研究员)。

1983年7月自华中理工大学制冷及低温技术专业毕业以来,一直从事热泵空调、制冷除湿技术的研究工作,曾先后获发明专利八项,国家及省市发明奖、科技成果奖多项,并在国内外期刊杂志及学术会议上发表论文近四十余篇。1991年元月被国务院授予国家级有突出贡献的“八十年代优秀大学毕业生”称号。近期主要研究方向:热泵空调系统及其热力学过程。

# 目 录

序

前 言

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 世界能源结构的转变和发展	(1)
§ 1.2 热泵的研究与发展	(3)
§ 1.3 课题开发的背景	(13)
第二章 能量系统的分析与热经济工程模糊分析	(19)
§ 2.1 引言	(19)
§ 2.2 热泵制热性能的热力学分析	(20)
2.2.1 COP 分析	(20)
2.2.2 PER 分析	(23)
2.2.3 焓分析	(24)
2.2.4 热经济学分析	(28)
§ 2.3 热经济工程模糊分析	(30)
2.3.1 背景	(30)
2.3.2 热经济工程模糊分析在方法论上的特点	(31)
2.3.3 热经济工程模糊分析的因素指标集	
V 为可变化和发展的空间	(34)
§ 2.4 结语	(35)
第三章 热泵循环系统的热力学分析与研究	(37)

§ 3.1	引言	(37)
§ 3.2	准双级压缩带中冷器的热泵循环	(38)
§ 3.3	复合热源热泵循环	(45)
3.3.1	开发背景	(45)
3.3.2	复合热源热泵工作原理	(47)
3.3.3	复合热源热泵循环特征值函数 COP <sub>0</sub> 建模及其排序分布	(51)
§ 3.4	热泵循环实验台及其对比试验	(54)
3.4.1	实验装置简介	(54)
3.4.2	试验方法的设定	(62)
3.4.3	试验参数的选定	(64)
3.4.4	试验测试的数据及其计算结果	(65)
§ 3.5	对比试验数据序列的灰色动态系统一维模型	(72)
3.5.1	灰色系统的引入	(72)
3.5.2	GM(1,1)一维模型的灰微分方程	(73)
3.5.3	模型的分析与讨论	(75)
§ 3.6	热经济工程模糊分析-模糊决策	(80)
3.6.1	背景	(80)
3.6.2	决策论域 $U$ 与常值目标函数集的确定	(82)
3.6.3	因素指标矩阵 $F$ 与模糊矩阵 $R$	(83)
3.6.4	因素指标重要程度模糊子集 $A$	(86)
3.6.5	模糊方程与决策分析	(89)
§ 3.7	结论	(92)
<b>第四章</b>	<b>热泵主机二次进气压缩过程的热力学特征</b>	<b>(94)</b>
§ 4.1	引言	(94)

§ 4.2	螺杆制冷压缩机的工作原理·····	(96)
§ 4.3	二次进气螺杆制冷机补气—压缩过程的 热力学实质·····	(100)
§ 4.4	二次进气螺杆机中压进气口位置影响的讨论 ·····	(102)
§ 4.5	二次进气螺杆机压缩过程的模糊等价数学模型 ·····	(117)
4.5.1	背景·····	(117)
4.5.2	补气—压缩过程的损耗分析·····	(118)
4.5.3	二次进气螺杆机系统的模糊等价模型·····	(122)
4.5.4	二次进气压缩过程的模拟方程·····	(130)
§ 4.6	二次进气螺杆机等价模型的预测估计···	(133)
4.6.1	背景·····	(133)
4.6.2	对母体单级螺杆机先验信息的回归分析·····	(134)
4.6.3	二次进气螺杆机等价模型的预测估计·····	(139)
§ 4.7	二次进气螺杆机中压补气损失因素的 灰关联分析·····	(141)
§ 4.8	二次进气螺杆机的拓展—三次进气·····	(146)
§ 4.9	结论·····	(148)
<b>第五章</b>	<b>具有热回收蓄热系统的热泵中央空调·····</b>	<b>(150)</b>
§ 5.1	引言·····	(150)
§ 5.2	蓄热系统在空气热源热泵空调中的方案设定 ·····	(153)
§ 5.3	具有热回收蓄热系统的中央空调的 实验与讨论·····	(157)

§ 5.4	结论 .....	(163)
<b>第六章</b>	<b>热泵除湿循环新方案系统</b> .....	<b>(164)</b>
§ 6.1	引言 .....	(164)
§ 6.2	热泵型除湿循环新方案系统的提出 .....	(167)
§ 6.3	热泵型除湿循环新方案系统模型的热力学分析 .....	(172)
§ 6.4	热泵型除湿循环新方案系统的应用与试验 .....	(173)
§ 6.5	新方案系统在汉口新火车站地下商业城的实施 .....	(176)
§ 6.6	结论 .....	(181)
<b>第七章</b>	<b>土壤热源热泵的实验研究</b> .....	<b>(183)</b>
§ 7.1	引言 .....	(183)
§ 7.2	试验装置及程序 .....	(184)
§ 7.3	大气温度对土壤温度分布的影响 .....	(189)
§ 7.4	地下埋管的方式(单层、双层)及管内 流速对换热特性的影响 .....	(192)
§ 7.5	土壤热源热泵地下埋管换热特性的 数值计算分析 .....	(193)
§ 7.6	结论 .....	(197)
<b>全书结论</b>	.....	<b>(198)</b>
	附录一、葛洲坝水力发电厂热泵中央空调示范工程部分 景点 .....	(201)

附录二、武汉市汉口新火车站地下商业城热泵除湿空调 工程部分景照.....	(204)
附录三、比利时布鲁塞尔第37届“尤里卡”世界发明展证 书.....	(206)
附录四、热泵除湿新方案系统循环特性的热力学证明… .....	(207)
参考文献.....	(213)



# 第一章 绪 论

## § 1.1 世界能源结构的转变和发展

18世纪60年代从英国开始的产业革命,促使世界能源结构发生第一次大转变,即从木柴转向煤碳。在整个19世纪,煤碳成为资本主义工业化的动力基础。

从本世纪20年代开始,世界能源结构发生第二次大转变,即从煤碳转向石油和天然气。这一转变首先是在美国出现的,二次大战后,几乎所有国家都转向石油。

20世纪70年代以来,世界能源结构开始经历第三次大转变,即从油气为主的能源系统转向以可再生能源为基础的持久能源系统。发生这种转变是因为现今以石油为主的石化能源是不可再生的,供应也过分集中。1973年中东战争触发的世界石油危机,说明现有能源系统不可能长久维持下去。据估计,目前全世界已经探明的煤炭、石油、天然气、油页岩等石化燃料资源的总量,大约只够人类使用100年。表1.1为各种石化燃料的最终可采储量估计。但更重要的原因仍是技术的进步,世界新的技术革命,促使新兴工业的蓬勃发展,终将形成新的生产体系。这种新的生产体系要求采用可再生的、分散的和多样化的能源<sup>[2]</sup>。1860—2030年世界能源结构的演变见图1-1<sup>[1]</sup>。