

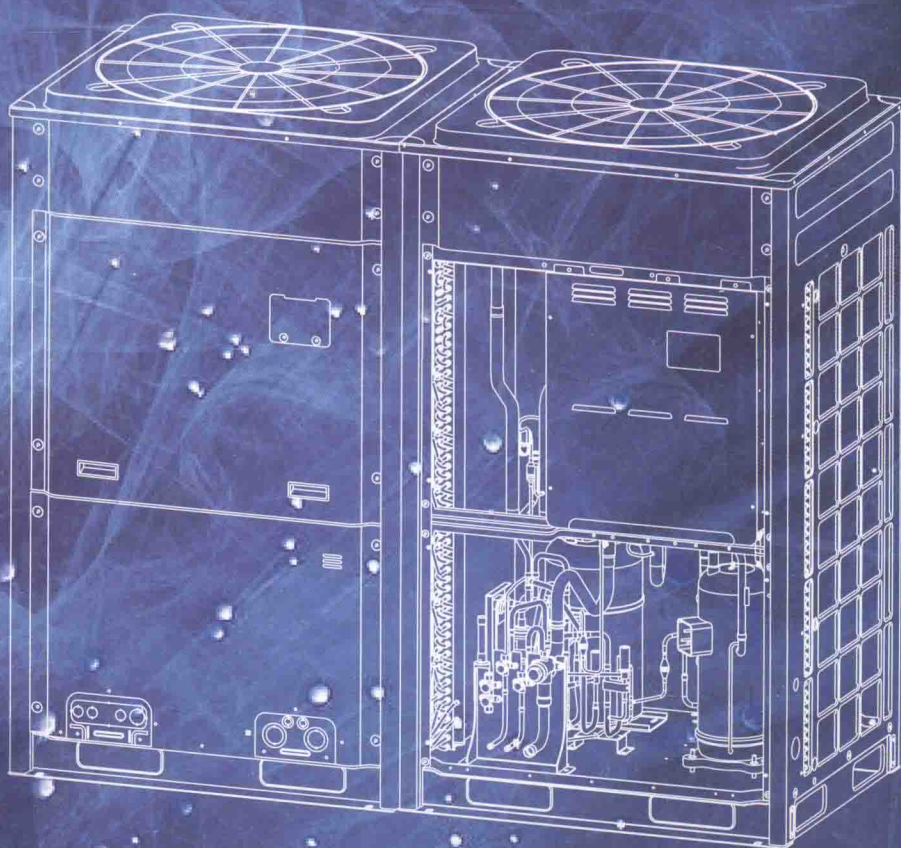
国家“985工程”三期清华大学人才培养建设项目资助

小型空调 热泵装置设计

Design of Small Capacity Air Conditioners and Heat Pumps

石文星 王宝龙 邵双全 编著

石文星 主编 吴德绳 马最良 主审



中国建筑工业出版社

国家“985 工程”三期清华大学人才培养建设项目资助

小型空调热泵装置设计

Design of Small Capacity Air Conditioners and Heat Pumps

石文星 王宝龙 邵双全 编著
石文星 主编
吴德绳 马最良 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

小型空调热泵装置设计/石文星, 王宝龙, 邵双全编
著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-112-15519-4

I. ①小… II. ①石…②王…③邵… III. ①空气调
节设备-热泵系统-系统设计 IV. ①TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 130761 号

本书以蒸气压缩式小型空气源热泵装置为主要对象, 沿产品主流程为主线, 探讨空调热泵装置设计各阶段的关键技术问题, 系统阐述产品的设计流程、设计思想、循环设计、设计计算、运行特性、自动控制以及性能评价问题, 为相关产品的研究开发提供理论指导和知识储备。本书突出原理讲述, 引导读者触类旁通; 注重系统特性分析, 便于读者灵活应用。书后增加了三个附录, 简要讲解知识产权、产品标准、质量管理基础知识, 以弥补产品研发过程中所需的关联知识。书中各章留有思考题和仿真训练作业, 通过对问题的思考和对产品开发的全程训练, 培养读者对产品开发的宏观掌控能力和微观设计技巧。

本书适用于制冷空调产品研发人员的专业培训和自学, 也可作为建筑环境与能源应用工程、制冷及低温工程等专业的本科高年级学生和研究生选修课教材。

* * *

责任编辑: 齐庆梅
责任设计: 张虹
责任校对: 王雪竹 党蕾

小型空调热泵装置设计

Design of Small Capacity Air Conditioners and Heat Pumps

石文星 王宝龙 邵双全 编著

石文星 主编

吴德绳 马最良 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 $\frac{1}{2}$ 字数: 510 千字

2013 年 10 月第一版 2013 年 10 月第一次印刷

定价: 56.00 元

ISBN 978-7-112-15519-4

(24110)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

科学技术含量高的行业，重大的发展多会从科研学术领域最先显现，体现“科学技术是第一生产力”的道理。

建筑业界的后起之秀“建筑设备”专业为建筑物大大提升了使用质量，对建筑业发展立下了重要的历史功勋。人们的愿景却因此而越发扩展，使建筑业发展又遭瓶颈。“建筑设备”专业又承担了节能、减排、低碳、绿色的解惑重任，在这光荣的历程中，专业也不断得到发展，在本科专业目录中的称谓变化就可以看到使命和地位的进步。20世纪50~60年代通称“暖通空调专业”，1998年专业目录调整后称“建筑环境与设备工程专业”，2012年再次调整为“建筑环境与能源应用工程专业”。

在建筑业重视节能之后，节能的含义发展到了更新的高度，不但要节省能量，还要在能源的品位应用上节约。这个社会需求和科学技术的基础推动了热泵技术的大发展。在热泵科技发展中，产生了丰富多彩的品种和类别，“小型空调热泵装置”可谓其中的奇葩之一，因为它在宽广的气候区适宜，又恰在急待提升建筑环境品质的大量建筑中非常适用。对空气源热泵而言，虽然目前“空气源”未被列入“可再生能源目录”而不能获得政策补贴，但空气源本质确属“可再生”的优质能源，只是政策暂时的缺欠，然而从它的环保特质足以预见其巨大的发展前景。

石文星、王宝龙、邵双全等学者多年来对热泵的系统深入研究，成了“有准备的头脑”，他们对“小型空调热泵装置”大发展的机遇是最好的迎接者，其实也是引领者。

本书是他们多年科研实践、教学的成果总结，特别是石文星教授曾主编了相关高校教科书，并在其中体现了创新的科学教学理念。这次的编著从多个方位全面阐述了热泵这一专项技术的重点，产品的设计思想、循环设计、热工计算、系统运行、设备自控、性能评价等都是创新性的论述和介绍。由于内容包含基础理论、产品研发思想、技术路线分析、细节设计技巧，对业界的研发人员、工程师、高校师生均有重要作用，作为执业参考书和学习教材，本书应属珍品！

我欣喜地想到，这本书的出版定将是空调热泵装置产业迅速发展的助推器和必要支柱。

吴德绳
2013年春

前 言

空调热泵装置是保证人们生活、工作环境舒适性和生产工艺环境要求的重要设备，开发高性能的空调热泵产品是我国暖通空调与制冷行业极为重要的任务。

为使在校本科生和研究生毕业后能快速适应空调热泵装置的开发工作，在彦启森先生的倡导下，自 2003 年开始，清华大学建筑环境与能源应用工程（原“建筑环境与设备工程”）专业开设了“空调热泵设备研发实战”（原“小型空调制冷系统分析”）的研究型选修课程。作者总结多年教学工作的经验和教训，逐步调整教学内容，改进教学方式，形成了沿产品开发流程主线，以课堂讲解、仿真训练（即模拟设计）、问题讨论、参观实习（或实物解剖）、分组辅导相结合的实战型产品模拟研发的教学模式。实践表明，该教学模式取得了良好效果：学生在就业前已基本掌握产品的开发流程、各阶段任务和设计方法，工作后在较短时间内即可适应研发工作，并能承担组织产品研发的重任，基本实现了缩短从基础理论到实际应用、从在校学生到产业工程师、从人才培养到社会需求之间距离的教学目标。

根据上述教学实践，在广泛听取产品研发工程师的实际需求和产业界专家的宝贵建议后，我们针对建筑环境与能源应用工程、供热供燃气通风及空调工程、制冷及低温工程等相关专业的本科高年级学生和研究生的知识结构，结合多年来的产品研发和教学经验，经过 6 年时间完成了“空调热泵设备研发实战”选修课教学指导书《小型空调热泵装置设计》的编著任务。

当把完成的书稿寄送给多个企业的研发主管、产品设计工程师和行业专家征求意见时，他们反馈的意见令我们鼓舞。他们认为：本书内容是从事本专业科学研究、产品开发和教学实践中精心总结、提炼出的，具有良好的前沿性、交叉性和启发性，对培养读者掌握产品开发关键问题和提高综合分析问题的能力很有帮助，符合本专业新时代人才培养的要求和未来发展的需要。建议扩大本书的读者群，不要仅限于在校学生，更要面向产业技术人员，特别是对快速提升新入职技术人员的产品研发能力很有帮助。

基于上述原因，我们对本书内容和结构进行了适当调整，使之既能保证产业工程师的培训、自学需要，又能满足在校学生的学习之用，希望能够使产业工程师和在校学生均能受益。

在本书的策划阶段，得到了恩师彦启森先生的精心指导；北京市建筑设计研究院顾问总工吴德绳教授和哈尔滨工业大学马最良教授对书稿的结构和内容提出了很多建设性意见，并抽出大量时间审定了全书内容；吴德绳教授还为本书作序。

本书共六章和三个附录。第 1、2、5、6 章和附录 1、2 由清华大学石文星编写，第 3 章由清华大学王宝龙编写；第 4 章由中国科学院理化技术研究所邵双全编写，附录 3 由石家庄国祥运输设备有限公司冯旭伟编写，全书由石文星统稿。全国冷冻空调标准化技术委员会秘书长张明圣研究员帮助修改、审定了第 6 章和附录 2；同方股份有限公司研发管理部副总经理、专利代理人李国良高级工程师帮助审定了附录 1；北京德华佳业科技有限公

司技术总监满伟工程师为第5章中5.5.1节和5.5.2节的撰写提供了素材，并帮助审定了相应内容；石家庄国祥运输设备有限公司品保部科长冯旭伟工程师，结合大学期间选修“空调热泵设备研发实战”课程的体会以及从事产品研发和质量管理的经验，从学生需求角度出发撰写了附录3。第4章4.3节和第5章5.2、5.3节的主要内容是根据日本三菱电机株式会社松冈文雄先生（现东京大学教授）的“冷凍サイクルの動特性と制御（制冷循环的动态特性与控制）”连载论文编译而成的。

清华大学建筑技术科学系江岸、吴成斌、李筱、游田、韩林俊、张朋磊、吴伟、李子爱、杨明洪、艾淞卉等研究生帮助整理了部分资料并校对了书稿内容；中国建筑工业出版社齐庆梅副编审为本书的立项和出版付出了辛勤劳动；本书还得到了国家“985工程”三期清华大学人才培养建设项目的资助。在此，一并向众多引文作者、给予我们大力支持和帮助的人士以及清华大学表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，书中不妥和错漏之处在所难免，恳请读者批评指正！

为使读者在阅读本书前对其有一个总体了解，下面对本书的特点、结构和学习方法进行简要说明。

（1）本书特点

本书以蒸气压缩式小型空气源热泵装置为主要对象，沿产品研发流程主线，探讨空调热泵装置（不局限于蒸气压缩式小型空气源热泵装置）在设计各阶段的关键技术问题，系统阐述产品的设计思想、循环设计、设计计算、运行特性、自动控制以及性能评价问题，为相关产品的研发提供理论指导和知识储备。本书突出原理讲述，引导读者触类旁通；注重系统特性分析，便于读者灵活应用。为保证在校学生的需要，书中各章留有思考题和仿真训练作业，通过对一个产品的全程开发训练，培养学生对产品开发的宏观掌控能力和微观设计技巧。此外，还在附录中简要阐述了知识产权、产品标准、质量管理方面的基础知识，以弥补在学校的教学环节中难以纳入但又至关重要的知识点，同时也为产业工程师提供了更为系统的产品研发知识。

（2）本书结构

产品研发不仅仅是将一个构想（输入）转化为产品实物（输出）的过程（该过程可称为“狭义开发过程”），而是贯穿产品生命期全过程的技术工作的总称。因此，产品研发过程是一个“广义开发过程”。根据其特点，可以将研发过程划分为产品规划、原理研究、样机开发、小批试制及工艺定型、批量生产和信息反馈6个阶段。本书的章节设置基本遵循产品的广义开发过程（参见图0-1），但是，所讲述的内容仅涉及空调热泵产品研发过程中制冷工程师（或产品的工艺工程师）的主要任务，很多细节和各类工程师之间相互协调的工作内容还有待于读者在实际工作中去学习、总结和领悟。

在产品规划阶段，需对当前空调热泵装置产品开展广泛的技术、经济、政策和市场调研，确立新产品的研发方向，本书第1章针对相关内容进行说明，并阐述产品广义开发过程各阶段的主要任务和相互关系；在此基础上拓展了部分内容，以便读者能更为全面地了解空调热泵装置的设计思想。

在原理研究阶段，重点是确定需开发的空调热泵装置的制冷循环，故第2章主要讲述制冷循环设计的目的与任务，通过对典型制冷循环的分析，以期培养读者如何构建能够满

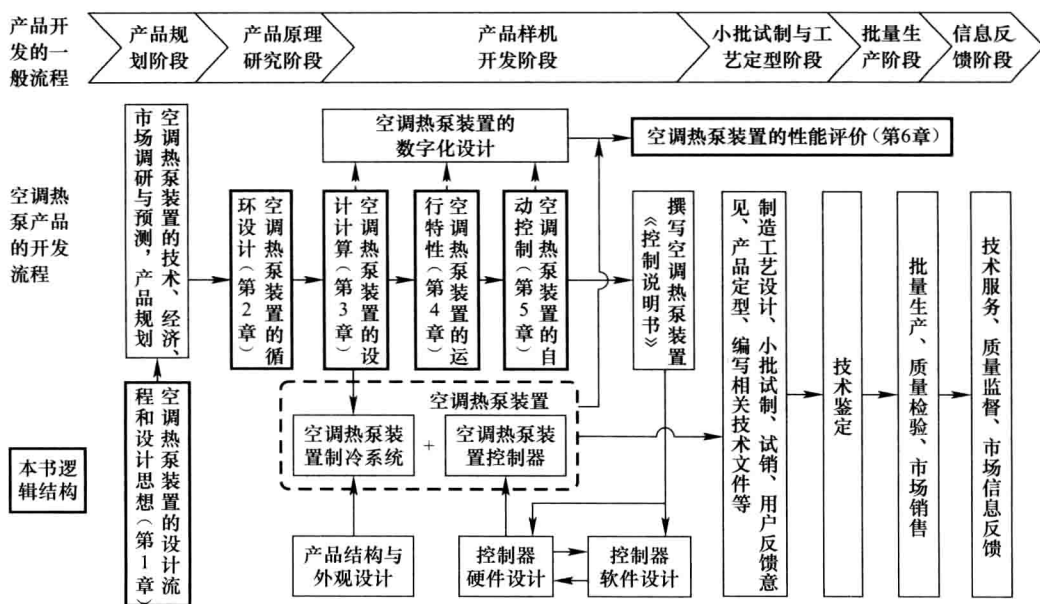


图 0-1 本书结构与空调热泵产品开发流程的关系

足功能和性能要求的新型制冷循环。

在样机开发阶段，需进行空调热泵装置的设计计算，完成各部件的设计或选型，优化匹配系统，以实现各种功能并达到产品的性能指标（该内容在第 3 章讲述）；需研究空调热泵装置的稳态与动态特性，为提升产品性能、实现优化控制、改善调控品质奠定理论基础（该内容在第 4 章讲述）；需根据空调热泵装置的稳态和动态特性提出产品的控制策略（包括控制规则和控制算法），为产品控制器的研发提供技术条件（该内容在第 5 章讲述）。

性能评价是贯穿样机开发、小批量试制与工艺定型、批量生产和信息反馈各阶段的重要任务，如在样机开发阶段需进行大量的试验、验证和修正设计，考察控制器的功能是否正确，检验产品性能是否全面达到设计要求等；在小批量试制和批量生产阶段需经常抽检产品，保证产品质量的一致性；即使在信息反馈阶段（销售阶段）也需接受用户、行业和国家质检部门的抽查和检验。因此，在本书的第 6 章介绍了产品性能的基本内容、评价方法和评价手段。

对于企业的工程师而言，非常容易实现对所研发产品的性能评价。但对于在校学生而言，则受学校条件和学习时间的限制，很难将课程学习中设计的作品转化为产品，更不可能检验自己设计作品的性能，但通过对本章的学习使学生明确性能检测是贯穿产品开发始终的重要环节、了解空调热泵装置的性能检测方法和装置则对今后的工作颇有益处。

笔者重视与产业工程师的交流学习和对毕业生的跟踪调查，从他们的亲身体会中吸收营养，丰富教学内容。他们认为，在学校的教学环节中增加知识产权、产品标准和质量管理等方面的培训，是缩短人才培养与社会需求之间距离的有效途径。故本书提供了与书中内容相互呼应的三个附录，并将之融入课堂教学和仿真训练等相关环节。

(3) 学习方法

对于产业工程师而言，本书的学习方法较为简单，只需你跟随产品研发过程的各个环节逐章学习相应内容即可；对于刚入职的技术人员而言，你可以参考下面针对在校学生的

学习方法，在项目负责人（相当于指导老师）的指导下，一边研发产品，一边学习相应内容，相信你比在校学生进步得更快。

由于空调热泵装置设计是一项理论联系实际、工程性与实用性强、多专业合作的系统工程，不可能由一人独立完成，故对于在校学生而言，我们特向你推荐如下学习方法，可能收获更大。

1) 阅读教材：由于学生读者一般都是高年级本科生或研究生，都具有读懂本书内容的基础知识，故在老师讲解、答疑的前提下阅读本书不会出现障碍。当阅读完一章内容后，做做思考题，检验你对本章内容的学习效果。

2) 仿真训练：由3~4位学生组成一个课题组学习（需确立课题组长或项目负责人1人），共同完成每章后的“仿真训练”作业，且从第1章开始就选定一个题目一直做下去，直至课程结束。

仿真训练贯穿整个教学过程，需完成某种产品的设计。由于产品设计必须依据一定的标准，特别是当你设计的产品为非标产品时，则需要提出产品的设计条件、性能指标要求和性能测试方法。本书在附录2中介绍了标准制定过程及产品标准的主要内容，你可参考该内容提出自己所设计产品的设计工况、考核指标乃至此非标产品的企业标准全部内容。该工作也属于仿真训练作业内容的范畴。

3) 探索创新：在仿真训练中，鼓励学生针对国家政策、行业需求，提出自己的仿真训练题目。指导教师应鼓励学生研究需求、研究技术，鼓励学生发现问题并针对性地提出新的想法、观点和技术措施。当你提出的技术方案具有实用性、新颖性和创造性，则可参阅附录1并仿照案例，学习撰写专利申请文件，由指导老师帮助你申请专利。

在仿真训练过程中，指导教师需分阶段检查学生的工作进度，并对学生存在的问题进行点评和辅导，这种过程既蕴含了附录3中产品研发过程中的质量管理思想，又可考察学生的作业进度，校正学生的技术路线，以保证学生顺利完成全程的仿真训练任务。学生完成的各章仿真训练作业可作为该课程的中期考核报告（并在老师的指导下修改各部分中期报告），课程结束时，所形成的完整设计报告即为该课题组的考试答卷，根据各位学生的工作量和最后的答辩效果给定该课程成绩。采取这样的学习和考核方式不仅可以减少每位学生的工作量，而且还可以通过各环节的实践训练，使每位学生都明确其他学生的工作以及与自己工作之间的关系，以培养学生之间的合作精神和课题组长的组织管理能力。

通过对各章的学习，并针对一个产品完整地进行一轮仿真设计训练，相信我们的在校学生离产品设计师的距离就不会太远了！

石文星

2013年2月于北京清华园

目 录

第 1 章 空调热泵装置的设计流程和设计思想	1
1.1 空调热泵装置的特点	1
1.1.1 空调热泵装置的分类与容量划分	2
1.1.2 空调热泵装置的特点	5
1.2 空调热泵装置的设计流程	9
1.2.1 产品开发团队	9
1.2.2 产品的开发流程	10
1.2.3 《设计任务书》的基本内容	14
1.3 空调热泵装置的设计思想	15
1.3.1 节能减排原则	15
1.3.2 系统思维原则	16
1.3.3 优化设计原则	17
1.3.4 用户至上原则	17
1.4 空调热泵技术的核心问题	17
1.4.1 空调热泵系统的组成	17
1.4.2 空调热泵技术的核心问题	17
思考题	20
仿真训练	20
参考文献	21
第 2 章 空调热泵装置的循环设计	23
2.1 制冷循环设计的目的与任务	23
2.1.1 制冷循环设计的目的	23
2.1.2 制冷循环设计的任务	24
2.2 压焓图在制冷循环设计中的作用	25
2.2.1 制冷剂的压焓图	25
2.2.2 压焓图的作用	26
2.3 各种典型制冷循环	26
2.3.1 常规空调热泵装置	26
2.3.2 低环境温度用空气源热泵装置	28
2.3.3 多联机空调(热泵)系统	40
2.3.4 改善除湿性能的制冷循环	48

2.4 制冷循环设计举例	52
2.4.1 设计任务	53
2.4.2 制冷循环设计	53
思考题	55
仿真训练	55
参考文献	55
第3章 空调热泵装置的设计计算	57
3.1 空调热泵装置的设计原则	57
3.2 压缩机的选型	58
3.2.1 活塞压缩机	59
3.2.2 滚动转子压缩机	65
3.2.3 涡旋压缩机	71
3.2.4 螺杆压缩机	80
3.2.5 压缩机选型流程	86
3.3 换热器的选型与设计	88
3.3.1 换热器选型与设计的一般原则与过程	88
3.3.2 换热器的通用设计方法	88
3.3.3 传热系数及阻力系数	94
3.3.4 风冷换热器设计	101
3.3.5 壳管式换热器设计	114
3.3.6 冷凝器与蒸发器传热系数的概略值	118
3.4 节流装置及其他附件的选择	119
3.4.1 节流装置的选型	119
3.4.2 其他部件的选择	123
3.5 连接管路的设计	123
3.5.1 制冷剂管路的布置原则	123
3.5.2 制冷剂管路管径的确定	126
3.6 制冷剂充注量的确定	128
思考题	129
仿真训练	130
参考文献	130
第4章 空调热泵装置的运行特性	131
4.1 空调热泵装置的扰动与调节因素	131
4.1.1 扰动因素	131
4.1.2 调节因素	132
4.2 空调热泵装置的稳态特性	133

4.2.1 空调热泵装置的稳态特性	133
4.2.2 空调热泵装置运行特性的定性分析方法	138
4.3 空调热泵装置的动态特性	148
4.3.1 定速空调器的动态特性	148
4.3.2 压缩机启动时制冷剂的迁移特征	152
4.3.3 减小压缩机启/停损失的技术措施	155
思考题	157
仿真训练	157
参考文献	157
第5章 空调热泵装置的自动控制	158
5.1 空调热泵装置控制的基本内容	158
5.1.1 控制系统简介	158
5.1.2 控制策略	159
5.1.3 空调热泵装置控制的功能	159
5.2 制冷循环的可控部件	160
5.2.1 压缩机	160
5.2.2 电子膨胀阀	164
5.2.3 换热器	168
5.3 制冷循环控制方法	172
5.3.1 变频空调器的制冷循环控制方法	172
5.3.2 多联机系统的制冷循环控制方法	186
5.3.3 减少制冷剂充注量的控制方法	197
5.4 安全保护与附加功能控制	201
5.4.1 安全保护控制	201
5.4.2 附加功能控制	202
5.5 空调热泵装置控制器研发的技术条件	203
5.5.1 控制器的种类及选用原则	203
5.5.2 制冷工程师需向电控工程师提出的技术要求	205
5.5.3 《控制说明书》编制举例	207
思考题	220
仿真训练	221
参考文献	221
第6章 空调热泵装置的性能评价	222
6.1 空调热泵装置性能评价的原则	222
6.1.1 性能指标确定原则	222
6.1.2 试验方法确定原则	223

6.1.3 产品性能评价的意义	223
6.2 空调热泵装置的性能指标	224
6.2.1 热工性能指标	224
6.2.2 可靠性与安全性指标	232
6.3 空调热泵装置的季节性能评价	235
6.3.1 季节性能评价的基本要素	235
6.3.2 APF 指标体系的构建方法	236
6.3.3 IPLV 指标体系的构建方法	247
6.4 空调热泵装置热工性能的测量装置	253
6.4.1 制冷剂流量计法	254
6.4.2 水侧量热计法	255
6.4.3 空气侧量热计法	257
思考题	266
仿真训练	266
参考文献	267
附录 1 知识产权基础知识	269
A1.1 知识产权与自主创新	269
A1.1.1 WTO 与知识产权的关系	269
A1.1.2 知识产权的内容与特点	270
A1.1.3 自主创新是中国发展的必经之路	272
A1.2 专利技术与专有技术	275
A1.2.1 专利技术	275
A1.2.2 专有技术	277
A1.3 专利申请文件的撰写方法	279
A1.3.1 专利申请文件的内容及其作用	279
A1.3.2 专利申请文件的撰写方法	280
A1.4 专利申请文件的撰写示例	283
A1.4.1 说明书	283
A1.4.2 说明书摘要	287
A1.4.3 权利要求书	287
思考题	288
参考文献	288
附录 2 产品标准基础知识	290
A2.1 标准的定义与特点	290
A2.1.1 标准的定义	290
A2.1.2 标准的特点	290

A2.2 标准的分类	291
A2.2.1 根据法律约束性的分类	291
A2.2.2 根据适用范围的分类	292
A2.3 标准的制定、复审与修订	292
A2.3.1 标准制定	292
A2.3.2 标准复审与修订	294
A2.3.3 标准废止	294
A2.4 产品标准的主要内容	294
思考题	298
参考文献	298
附录3 质量管理基础知识	300
A3.1 什么是质量管理	300
A3.1.1 质量管理的相关概念	300
A3.1.2 质量管理的发展简历	301
A3.2 ISO 质量管理体系	302
A3.2.1 质量管理体系的主要内容	302
A3.2.2 产品设计和开发过程中的质量管理	305
A3.3 如何进行产品设计和开发的质量管理	306
A3.3.1 设计和开发策划	306
A3.3.2 设计和开发输入	309
A3.3.3 设计和开发输出	310
A3.3.4 设计和开发变更	314
思考题	316
参考文献	316

第 1 章 空调热泵装置的设计流程和设计思想

由美国工程院与 30 多家美国职业工程协会历时半年评出的 20 世纪对人类社会影响最大的 20 项工程技术成就中，“空调和制冷”技术排名第十^[1]。可以想象，如果没有空调和制冷技术，“四季如春”将永远是诗人的梦想。

作为奠定空调和制冷技术的基础，除了被誉为“空调之父”^[2]的开利（Willis H. Carrier）博士 1911 年创立的空气调节理论外，还应包括人工制冷技术。人工制冷技术从 1755 年（William Cullen 发表《液体蒸发制冷》）开始起步^[3]、1824 年获得理论突破（S. Carnot 发表关于卡诺循环论文^[4]）、1875 年出现重大技术突破（Linde 发明了蒸气压缩式氨制冷机^[3]），并在 20 世纪 20 年代以后得到飞速发展。由于人工制冷可为空气处理提供低于环境温度的冷源，故其成为空调技术发展的重要技术支撑。

19 世纪初，人们对热能是否可以用“泵”送至较高温度产生了兴趣，著名物理学家焦耳（J. P. Joule）论证了改变气体压力能引起温度变化的原理，此后汤姆逊（W. Thomson，后来改名为 Lord Kelvin）教授于 1852 年发表论文指出制冷机也可用于供热，从而成为提出热泵系统设想的第一人。虽然热泵的工作原理与人工制冷相同，但因有许多比热泵供热更为简单、方便、廉价的供热技术途径，故在相当长的时间内热泵技术未得到发展，直到 1927 年霍尔丹（Haldane）在苏格兰安装试验了第一台空气源热泵后^[5]，热泵技术才开始真正起步，直到 1973 年能源危机后，热泵技术才得到迅速发展，目前已成为空调技术中的重要内容。

1.1 空调热泵装置的特点

广义热泵（Heat pump）可以定义为：在某种动力驱动下，通过热力学逆循环连续地将热能从低温物体（或介质）转移到高温物体（或介质），并用以制冷或制热的装置。根据工作原理不同，热泵可以分为蒸气压缩式、吸收式以及化学热泵等。低温物体（或介质）是热源（通常称为低温热源），高温物体（或介质）是热汇（通常又称为高温热源）。

从上述定义可知，热泵包含了制冷机，但目前人们习惯对其分别称谓。二者的主要区别在于^[4]：

（1）使用目的不同。热泵利用制冷系统冷凝器所放出的热量来制热，为采暖、空调和生活热水等提供热量；而制冷机则是利用蒸发器来吸取空调冷水或环境空气等介质的热量，为空调环境提供冷量；

（2）工作温度区不同。热泵和制冷机的高温热源与低温热源都是相对于环境温度而言的，由于二者的使用目的不同，环境温度是热泵的低温热源，也是制冷机的高温热源，由于热泵和制冷机的运行季节不同，热泵运行时的工作温度范围（即环境温度与室内温度的差值）通常大于制冷机。

建筑物的空调系统一般应满足夏季制冷和冬季供热两种相反的需求，故传统空调系统通常需分别设置冷源（如：制冷机）和热源（如：锅炉）设备。夏季制冷是建筑物空调系统的基本功能，如果让制冷机能够在冬季以热泵方式运行，则可实现“冷热同源”，大大节省设备投资，还可减少因冬季供热时排烟造成的区域环境污染。

本书所谓的空调热泵装置就是指这种夏季和冬季分别为建筑物提供空调用冷、热水或冷、热风的冷热同源设备，根据习惯，通常也将这些装置称为空调热泵机组。

1.1.1 空调热泵装置的分类与容量划分

1.1.1.1 空调热泵装置的基本形式

空调热泵装置的基本原理如图 1-1 所示，它由压缩机、热源侧换热设备、节流装置（如膨胀阀）和使用侧换热设备等基本部件构成，通过循环流动的制冷剂（也称工质）将低温环境中的热能转移到高温环境中去，实现制冷或制热要求。通常在此基本制冷循环中设置四通阀，通过改变制冷剂流向来转换使用侧换热设备的功能（制冷时为蒸发器，制热时为冷凝器）。

根据热源侧（或放热侧）和使用侧（即用户侧）的载能介质的种类不同，可将空调热泵装置划分为 4 种基本形式^[6]，即空气—空气热泵、空气—水热泵、水—空气热泵和水—水热泵（“—”前为热源侧介质，“—”后为使用侧介质），参见图 1-2 和表 1-1 的第 6 类。

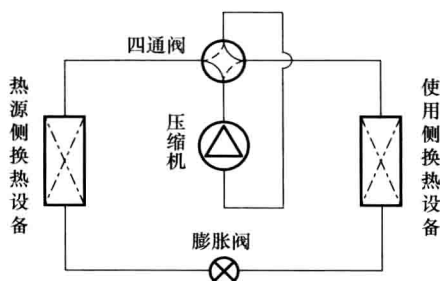


图 1-1 制冷（热泵）循环

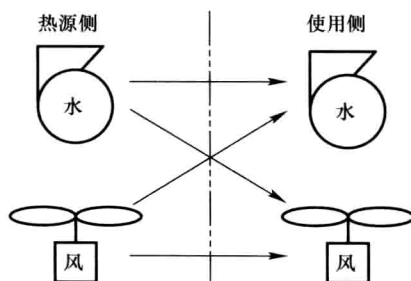


图 1-2 空调热泵装置的基本形式

当热源侧载能介质为水（或液态载冷剂）时，称为水源（或水冷式）热泵机组，若为空气时，则称为空气源（或风冷式）热泵机组。为改善换热条件，在热源侧采用水与空气结合的复合载能介质的蒸发冷凝式冷水（风）机组已得到应用和发展，目前暂时将之纳入空气源类机组进行管理。当使用侧载能介质为水（或液态载冷剂）时，称为冷（热）水机组，当采用空气时即为冷（热）风机组。

空调热泵装置最终都是以冷风或热风方式向室内提供冷（热）量的。因而冷（热）水机组需要配套冷（热）水输配系统和空气处理末端设备（如：风机盘管、空调箱等），而冷（热）风机组则可直接向房间提供经过热湿处理后的空气。在冷（热）风机组中，可以将使用侧换热器直接设置在室内的送风位置（如：房间空调器等），也可以设置在远离送风位置（如：风管式空调机等），通过风道将处理后的冷（热）空气送入室内，实现供冷、供热目的。

1.1.1.2 空调热泵装置的分类

根据特点不同，空调热泵装置具有不同的分类方法，参见表 1-1，这些分类方法基本涵盖了我們日常使用的各种装置。

1.1 空调热泵装置的特点

空调热泵装置的分类方法

表 1-1

序号	分类方法	装置种类	特 点	
1	根据动力源类型划分	蒸气压缩式冷/热水/风机组	以机械能作为动力源，利用气液相变吸收（释放）热量，制取冷（热）水或冷（热）风，目前广泛采用	
		吸收式冷/热水/风机组	以热能作为动力源，利用气液相变吸收（释放）热量，制取冷（热）水或冷（热）风；当利用余热、废热时凸现其节能优势	
2	根据装置的功能划分	单冷型机组	只利用制冷循环的蒸发潜热制取冷水（风）	
		热泵型机组	利用制冷循环的冷凝热制取热水（风），也可以包括利用蒸发潜热制取冷水（风），我国所谓的热泵机组一般包括此两种功能	
		热回收型机组	利用制冷循环的冷凝热和蒸发潜热，可在装置的不同部位同时制取冷水（风）或热水（风），如：热回收型多联式空调（热泵）机组、（常规型与调温型）冷冻除湿机组等	
3	根据各部件之间是否分离设置划分	整体式机组	构成制冷循环的各个部件设置在同一个壳体内的机组	
		分体式机组	构成制冷循环的各个部件设置在一个以上的壳体内的机组，如：多联式空调（热泵）机组、分体空调器等。根据压缩机、冷凝器、蒸发器及其换热风扇等部件设置在不同壳体内的组合方式，又有不同类型的分体机组 ^[7]	
4	根据制冷系统容量是否可以调节划分	定容量系统	主要特征是压缩机为定容量压缩机（压缩机的理论输气量恒定）	
		变容量系统	主要特征是压缩机（组）至少有一台为变容量压缩机（压缩机的理论输气量可以调节），如：采用转速可控型压缩机的制冷或热泵机组	
5	根据外部热源类型划分	空气（空气源）	制冷时向室外空气中排放冷凝热，制热时从室外空气中取热	
		水（水源）	制冷时向水中排放冷凝热，制热时从水中取热。该水可以是地下水、江河湖海的地表水、建筑中水和城市原生污水与再生水等	
		土壤（地源）	设置土壤换热器，以水或载冷剂为载能介质在制冷时将冷凝热排放至土壤中，制热时从土壤中取热。但从与制冷剂的换热介质上看，仍属于水源热泵（称为地下环路式水源热泵机组 ^[7] ）	
6	根据热侧（或放热侧）载能介质的种类划分	水冷式热泵机组	水冷式冷（热）风机组	以水为环境热源制取冷（热）风的设备，如：水冷式单元式空调机、水冷式多联式空调（热泵）机组等
			水冷式冷（热）水机组	以水为环境热源制取冷（热）水的设备，如水冷式冷水机组，水环式、地下水式和地下环路式水源热泵等 ^[8]
		风冷式热泵机组	风冷式冷（热）风机组	以室外空气为热源制取冷（热）风的设备，如：房间空调器、单元式空调机、多联式空调（热泵）机组、冷冻除湿机等
			风冷式冷（热）水机组	以室外空气为热源制取冷（热）水的设备，如：风冷式冷（热）水机组等

1.1.1.3 空调热泵装置的容量划分

空调热泵装置的种类繁多，从其基本形式出发可以分为空气源热泵机组和水源热泵机组两大类。各种机组一般都以单台机组的名义制冷量作为其容量划分的基准，不同国家对同一类产品所划分的容量范围也不完全相同。

1. 空气源热泵机组（air-source heat pump）

空气源热泵机组是以空气为冷（热）源，制取冷（热）风或冷（热）水的设备，房间空调器、单元式空气调节机、风冷式冷水（热泵）机组和多联式空调（热泵）机组是其主要产品类型。

(1) 房间空气调节器（room air conditioner，简称：空调器）：中国标准规定其名义制

冷量在 14kW 以下^[9]，日本标准则规定为 10kW 以下^[10]。

(2) 单元式空气调节机 (unitary air conditioner, 简称: 单元式空调机): 中国规定了最小名义制冷量为不小于 7kW 的下限^[11], 而日本则规定了其名义制冷量的上限为 28kW^[12]; 美国 ARI 标准将制取冷风的单元式空调机根据单台机组的名义制冷量大小划分为两个档次: 135000Btu/h (约 40kW) 以下的机组采用 ANSI/ARI 210/240 标准 (并规定了 19kW 以下和 19~40kW 两档)^[7], 大于 40kW 的机组则采用 ANSI/ARI 340^[13] 或 ANSI/ARI 360 标准^[14]。

(3) 风冷式冷水 (热泵) 机组 (water chilling (heat pump) packages, 简称: 冷热水机组): 我国将风冷式冷水 (热泵) 机组根据户用和工商业用对其容量也进行了划分, 户用机组的名义制冷量不大于 50kW^[15], 而工商业用机组的名义制冷量为 50kW 以上^[16]; 美国 ARI 标准没有对冷水机组的容量进行明确分档, 但规定了容积式压缩机冷水机组采用 ANSI/ARI 590 标准^[17], 离心式和螺杆式冷水机组 (最大单机容量低于 5627kW 时) 采用 ARI 550 标准^[18]。

(4) 多联式空调 (热泵) 机组 (multi-split air-conditioners, 简称: 多联机): 我国对多联机的容量没有明确的规定^[19], 而日本在 2006 年制定《单元式空调机的期间能源消费效率》标准时将多联机划归为单元式空调机范畴, 故其容量上限为 28kW, 而在 2009 年修订时, 将其容量上限扩大至 50.4kW^[20]; 而家用一拖多空调器均属于房间空气调节器范畴, 中国标准规定其容量为 14kW 以下^[9], 日本单独制定了行业标准, 规定其容量为 10kW 以下^[21]。

2. 水源热泵机组 (water-source heat pump)

对于水源热泵而言, 由于冬季制热时需要从水源中取热, 为防止水体冻结一般难以利用冷却塔从空气中取热, 故水源热泵机组是“一种采用循环流动于公共管路中的水、从水井、湖泊或河流中抽取的水或在地下盘管中循环流动的水为冷 (热) 源, 制取冷 (热) 风或冷 (热) 水的设备; 包括一个使用侧换热设备、压缩机、热源侧换热设备, 具有单一制冷或制冷和制热双重功能”。水源热泵机组按使用侧换热设备的形式分为冷 (热) 风型水源热泵机组 (water-to-air heat pump) 和冷 (热) 水型水源热泵机组 (water-to-water heat pump), 按冷 (热) 源类型分为水环式水源热泵机组 (water-loop heat pump)、地下水式水源热泵机组 (ground-water heat pump) 和地下环路式水源热泵机组 (ground-loop heat pump)^[8]。

国家标准《水源热泵机组》GB/T 19409—2003 给出了冷热风或冷热水型机组的单机容量范围小至 4.5kW 以下, 大至 230kW 以上, 包含了户用、工商业用和类似用途的所有类型的水源热泵机组^[8]。

由于名义 (额定) 制冷量不大于 50kW 的各类空调热泵机组广泛应用于家庭和工商用途的建筑, 从产量到产值都占有所有空调热泵装置的绝大部分, 因此, 本书根据《蒸气压缩循环冷水 (热泵) 机组》GB/T 18430 的分类原则, 将名义制冷量大于 50kW 的机组称为大、中型空调热泵装置, 而将名义制冷量不大于 50kW 的户用和类似用途的机组称为小型空调热泵装置 (实际上也覆盖了美、日等国的小型空调热泵装置的容量范围), 并以制取冷、热风 and 冷、热水的小型空气源热泵装置 (简称: 空气源热泵) 为重点, 讲述空调热泵装置的优化设计问题。其设计思想对其他类型与容量的产品设计同样具有指导意义。