



高等学校建筑环境与能源应用工程专业
“十三五”规划·“互联网+”创新系列教材

Commissioning of HVAC Engineering

暖通空调工程调试

王志毅 黎远光 王志鑫 江吉华 编著

| 虚拟化 | 移动化 | 数据化 |
| 个性化 | 精准化 | 场景化 |



扫描书中的二维码，阅读丰富的工程图片，演示动画，
操作视频，工程案例，拓展知识，三维模型……

NUANTONG KONGTIAO
GONGCHENG TIAOSHI



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



高等学校建筑环境与能源应用工程专业
“十三五”规划·“互联网+”创新系列教材

暖通空调工程调试

王志毅 黎远光 王志鑫 江吉华 编著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

暖通空调工程调试/王志毅等编著. —长沙:中南大学出版社,
2017.3

ISBN 978-7-5487-2745-3

I. 暖... II. ①王... ②黎... ③王... ④江... III. ①采暖设备-
调试方法 ②通风设备-调试方法 ③空气调节设备-调试方法
IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 061503 号

暖通空调工程调试

王志毅 黎远光 王志鑫 江吉华 编著

☐责任编辑 刘颖维

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市井岗印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 15 ☐字数 376 千字

☐版 次 2017 年 3 月第 1 版 ☐2017 年 3 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-2745-3

☐定 价 52.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换



高等学校建筑环境与能源应用工程专业
“十三五”规划·“互联网+”创新系列教材编委会

主 任

廖胜明 杨昌智 王汉青

副主任(按姓氏笔画排序)

王春青 周文和 郝小礼 曹小林 寇广孝

委 员(按姓氏笔画排序)

王志毅 方达宪 向立平 刘建龙 齐学军

江燕涛 孙志强 苏 华 杨秀峰 李 沙

李新禹 余克志 谷雅秀 邹声华 张振迎

陈 文 周乃君 周传辉 黄小美 隋学敏

喻李葵 傅俊萍 管延文 薛永飞

秘 书

刘颖维(中南大学出版社)



出版说明

Publisher's Note

遵照《国务院关于印发“十三五”国家战略性新兴产业发展规划的通知》(国发[2016]67号)提出的推进“互联网+”行动,拓展“互联网+”应用,促进教育事业服务智能化的发展战略,中南大学出版社理工出版中心、中南大学能源科学与工程学院廖胜明教授,湖南大学土木工程学院杨昌智教授,南华大学王汉青教授等共同组织国内建筑环境与能源应用工程领域一批专家、学者组成“高等学校建筑环境与能源应用工程专业‘十三五’规划·‘互联网+’创新系列教材”编委会,共同商讨、编写、审定、出版这套系列教材。

本套教材的编写原则与特色:

1. 新颖性

本套教材打破传统的教材出版模式,融入“互联网+”“虚拟化、移动化、数据化、个性化、精准化、场景化”的特色,最终建立多媒体教学资源服务平台,打造立体化教材。采用“互联网+”的形式出版,其特点为:扫描书中的二维码,阅读丰富的工程图片,演示动画,操作视频,工程案例,拓展知识,三维模型等。

2. 严谨性

本套教材以《高等学校建筑环境与能源应用工程本科指导性专业规范》为指导,教材内容在严格按照规范要求的基础上编写、展开、丰富,精益求精,认真把好编写人员遴选关、教材大纲评审关、教材内容主审关。另外,本套教材的编辑出版,中南大学出版社将严格按照国家相关出版规范和标准执行,认真把好编辑出版关。

3. 实用性

本套教材针对90后学生的知识结构与素质特点,以应用型人才培养为目标,注重理论知识与案例分析相结合,传统教学方式与基于现代信息技术的教学手段相结合,重点培养学生的工程实践能力,提高学生的创新素质。

4. 先进性

本套教材要既能突出建筑环境与能源应用工程专业理论知识的传承,又能尽可能全面反映该领域的新理论、新技术和新方法。本着面向实践、面向未来、面向世界的教育理念,培养符合社会主义现代化建设需要,面向国家未来建设,适应未来科技发展,德智体美全面发展以及具有国际视野的建筑环境与能源应用工程专业高素质人才。

本套教材不仅仅是面向建筑环境与能源应用工程专业本科生的课程教材,还可以作为其他层次学历教育和短期培训教材和广大建筑环境与能源应用工程专业技术人员的专业参考书。由于我们的水平和经验有限,这套教材可能会存在不尽人意的地方,敬请读者朋友们不吝赐教。编审委员会将根据读者意见、建筑环境与能源应用工程专业的发展趋势和教学手段的提升,对教材进行认真的修订,以期保持这套教材的时代性和实用性。

编委会

2017年1月



前言

Preface

建筑系统调试是一个确保建筑所有的系统按照业主的使用要求及设计意图的需求协调运行的系统化过程,通过从设计初期阶段编制项目要求和设计基础,直到施工、验收和维保阶段进行系统运行性能的实际测量验证达到上述目的。

暖通空调工程的测试和调整统称为调试。暖通空调工程调试是近年来迅速发展的一项能够提高建筑运行能源效率的涉及工程专业技术经验、技能和管理的工作。由于其对建筑工程交付时的性能能够带来明显有效的提升,近年来成为众多建筑工程业主、工程管理团队的新宠。暖通空调工程调试是一项非常有推广前景的无成本(从硬件成本的角度考虑)或低成本的建筑节能增效措施,可以为建筑业主、住户和物业管理团队带来令人惊喜的回报。

在暖通空调工程安装结束,正式投入使用前进行系统调试,对于检验设计是否正确、施工是否可靠、设备性能是否合格都是必不可少的,也是施工单位交工前的重要工序。

暖通空调工程测定与调整,就是要检测各机组风量、水量和性能是否满足设计要求,并按设计要求调整平衡各个风口的风量、末端设备的水量,以保证室内新风量、温度、湿度等满足人体舒适性要求。

检测完毕后,应针对检测中发现的问题提出恰当的改进措施,使系统更完善,从而使暖通空调系统在运行中达到经济和实用的目的。

基于此,本书从暖通空调基础知识及调试中经常使用的焓湿图、压焓图出发,学习设计图纸后,逐步论述主机、末端、辅机、水风平衡、电气控制的调试,并且介绍了测量仪表,提供调试案例、清单参考。

本书编写过程中,上海交通大学的谷波教授提供了一些有益的资料;在暖通空调主机末端设备调试方面,参考了浙江盾安机电科技有限公司的产品;浙江省汉嘉建筑设计研究院的金晓楠工程师,研究生罗晨娴、任夫磊、王应杰等在本书的编写过程中做了不少工作,在此表示诚挚的谢意。

本书得到了浙江理工大学教材建设项目资助,适合作为建筑环境与能源应用工程专业的教学用书,也可以供暖通空调施工安装、现场调试人员、运行管理人员参考。限于作者的水平,缺点、差错在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

2017年2月



目录

Contents

绪 论	(1)
0.1 暖通空调工程调试的意义	(1)
0.2 暖通空调工程调试的重要性	(1)
0.3 联合调试与测控	(2)
第1章 热力学原理及常用图表	(8)
1.1 湿空气	(8)
1.2 制冷剂的压焓图($\lg p-h$ 图)	(15)
1.3 载冷剂	(22)
第2章 设计图纸的学习与分析	(26)
2.1 设计说明内容	(26)
2.2 空调房间的冷负荷校核	(31)
2.3 设计深度	(35)
2.4 施工图设计	(36)
2.5 需要认真学习的环保、节能措施	(42)
第3章 空调制冷主机系统调试	(44)
3.1 水冷冷水机组概述	(44)
3.2 水冷冷水机组收货存放与安装前期准备	(45)
3.3 管道连接	(47)
3.4 水冷冷水机组电气连接	(49)
3.5 水冷冷水机组运转调试	(51)
3.6 水冷冷水机组机器保养维护与故障处理	(55)
3.7 风冷式冷水(热泵)机组概述	(59)
3.8 机组安装调试前期准备	(60)
3.9 关于调试操作使用前的检查	(63)
3.10 空气侧换热器清洗	(64)
3.11 调试中满液式机组油位保护处理流程	(64)

第4章 集中空调末端调试	(68)
4.1 组合式空调机组	(68)
4.2 风机盘管	(80)
4.3 柜式空气处理机组	(83)
第5章 屋顶机、多联机系统调试	(86)
5.1 屋顶机系统	(86)
5.2 多联机	(93)
第6章 空调水系统调试	(98)
6.1 供暖空调工程水管道系统	(98)
6.2 水系统调试准备工作	(104)
6.3 空调水系统的调试	(107)
6.4 冷却塔	(109)
6.5 水系统调试案例	(116)
第7章 通风空调风系统调试	(121)
7.1 概 述	(121)
7.2 风机	(123)
7.3 风管漏光法检测和漏风量测试	(126)
7.4 空调系统风量测定	(127)
7.5 风系统调试案例	(133)
第8章 电气控制系统调试	(136)
8.1 电控系统调试用低压电器	(136)
8.2 电动机	(137)
8.3 电气线路、电气图	(137)
8.4 自动控制设备	(137)
8.5 中央空调控制逻辑	(140)
8.6 自控系统调试案例	(148)
第9章 调试常用测量仪表	(157)
9.1 超声波流量计	(158)
9.2 红外热像仪	(160)
9.3 钳形电流表	(164)
9.4 皮托管	(165)

第 10 章	暖通空调工程调试实例	(167)
10.1	项目背景	(167)
10.2	调试组织	(167)
10.3	地源热泵空调系统概况	(167)
10.4	系统分项调试	(169)
10.5	地源热泵及水泵的能效评价	(171)
10.6	调试结论及建议	(171)
第 11 章	暖通空调工程调试清单	(173)
11.1	系统设备预调试	(173)
11.2	功能性调试单	(200)
11.3	系统联动调试	(222)
参考文献		(227)

绪 论



0.1 暖通空调工程调试的意义

随着经济的发展和人民生活水平的提高,暖通空调在国民经济的各个部门中发挥着越来越重要的作用。尤其是近年来暖通空调技术的迅速发展和广泛应用,不仅为工农业生产、科学研究、国防建设以及医疗卫生、商业、文化、娱乐业提供了必要的环境,而且也创造了可观的经济效益。同时,民用建筑的日益普及,暖通空调给民众创造了舒适的生活环境,极大地提高了民众的物质文化生活水平。

暖通空调工程的测试和调整统称为调试。通过调试,一方面可以发现工程设计、施工和设备性能等方面的问题,从而采取相应的措施,保证系统达到设计要求;另一方面也可以使运行人员熟悉和掌握系统的性能和特点,并为系统的经济合理运行积累资料。对于已经投入使用的空调系统,如因工艺条件的改变或维护管理不当出现系统失调,也可以通过测定与调整改进运行状况,或找出系统不能正常工作的原因并加以改进。因此对空调系统的测定与调整是检查空调系统设计是否达到预期效果的重要途径。这项工作对设计、施工和运行管理技术人员而言都是非常重要的。

0.2 暖通空调工程调试的重要性

暖通空调系统工程由于其安装、运行条件可能发生改变,或者经过长时间的运行,其性能会发生一定程度的衰减。有关文献指出:热泵在实际运行时的效率比标准试验条件下的效率低 10% 左右,而某些安装不合适的热泵,其性能衰减甚至会高达 30%。调试对于暖通空调系统是非常重要的,它不仅能监测暖通空调设备的运行和参数优化,而且也能够实现暖通空调系统的故障报警、故障诊断及故障隔离,甚至可以帮助操作者进行系统评估、系统维护,从而降低暖通空调系统运行能耗,延长其使用寿命,并防止事故发生。近年来也有研究表明,商业建筑中的暖通空调经过故障检测和诊断调试后,能达到 20% ~ 30% 的节能效果,有的甚至达到 36% 的节能效果。

大型暖通空调系统部件众多,管路复杂,制冷机组冷凝器、蒸发器、锅炉、换热器等都是压力容器,其安装、调试都有严格的要求。由于大型暖通空调系统在安装调试过程中涉及业主、施工单位(可能是不同的施工单位或同一施工单位的不同施工小组)和设备的生产商等几方,所以在施工调试过程中,因各方互不协调或未严格按照规范和施工调试要求所造成的安

装调试不过关或设备性能下降甚至设备报废的事情屡见不鲜。

0.3 联合调试与测控

0.3.1 联合调试

暖通空调工程调试对于保证系统的正常运行和提高设备能效具有重要意义。为了使整个工程系统在节能、高效的状态下运行,以达到设计预期的效果,调试的质量十分重要。对于新建的暖通空调系统,在完成安装交付使用之前,应通过测试、调整和试运转来检验设计、施工安装和设备性能等方面是否符合生产工艺和使用要求。如发现问题,必须采取相应的技术措施,保证达到设计要求。另外,通过调试,还可以使运行人员熟悉和掌握系统的性能和特点,并为系统的经济合理运行积累资料。对于已经投入使用的空调系统,当发现某些方面不能满足生产工艺和使用要求时,需要通过测试查明原因,以便采取措施予以解决。因此,暖通空调系统调试是全过程、全方位的调试,不仅包括暖通空调工程管道、风道、末端设备,还包括主机、锅炉设备的运转调试;调试既是检验安装质量好坏的重要手段和措施,也是保证暖通空调系统能够良好运行的必要步骤。

传统的设备调试仅关注于个体设备的启动调试、水系统及风系统系统平衡测试。而新型的系統联合调试包括:①设计评价;②设备的安装及启动测试;③水系统及风系统系统平衡测试;④各系统功能测试及运行,测量其性能;⑤各系统控制策略;⑥各系统整体运行;⑦设备及系统操作维护人员培训;⑧后期系统运行效果回访。

系统联合调试的优点:

对于业主:①得到更高质量的建筑物;②提高舒适性,达到建筑使用要求;③减少设计错误与遗漏;④改善施工效率与协调;⑤减少施工变更合约;⑥改善节能效率;⑦改善室内环境品质;⑧节约运行及维护成本。

对于承包商:减少返工,降低维保期内故障率。

系统调试是必要的,但不能取代良好的工程设计、施工、测试调整及平衡作业。

0.3.2 调试与测控相辅相成

暖通空调工程调试是保证施工质量、确保节能运行的根本保障,同时又是实现暖通空调控制的重要手段。因此,调试实现了从暖通空调方案设计到施工管理、从设备选型到材料采购、从系统维护到运行管理一体化。现代暖通空调工程中,调试和测控已密不可分。

暖通空调系统运行管理的自动控制,不仅可以保证房间温度、湿度的精度要求,也是实现自动控制,节省人力及节约能量的重要环节。暖通空调自动控制系统包括冷(热)源的能量控制、自动显示,自动记录等内容。可以通过预测室内外空气状态参数(温度、湿度、焓等),并以维持室内舒适度为约束条件,把最小耗能量作为评价函数,进而判断和确定所提供的冷热量、冷(热)源和主机、水泵、风机的运行台数、工作顺序、运行时间以及系统各环节的操作运行方式,以达到最佳运行效果的目的。

0.3.3 调试标准

为了保证暖通空调工程调试的效果,规范各个环节的监督和验收,国家专门制定了暖通空调工程系统调试的相关标准。这些标准既反映了国际上暖通空调工程调试新技术的变化,又总结了以往的工程经验。

国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》(GB 50243—2002,以下简称《规范》)规定:通风与空调工程安装完毕,必须进行系统的测定和调整(简称调试),调试应以施工企业为主,监理单位监督,设计单位、建设单位给予配合。对本身不具备工程系统调试能力的施工企业,则可以委托给具有相应调试能力的其他单位。同时,本《规范》明确将暖通空调工程调试分成两个阶段:一个是工程施工竣工验收阶段;另一个是工程交付使用的交工验收阶段。

表0-1列举了暖通空调工程调试常用的主要标准,这些标准同国家其他相关标准能源空调设计图纸、设备技术文件等共同组成了暖通空调《规范》调试的“规章制度”。因此对于调试人员,应加强对现行设计标准的学习,提高贯彻执行设计标准的自觉性。

表0-1 暖通空调工程调试常用标准

序号	标准号	标准名称
1	GB 50243—2002	通风与空调工程施工质量验收规范
2	GB 50242—2002	建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范
3	GB 50235—1997	工业金属管道工程施工及验收规范
4	GB 50275—1998	压缩机、风机、泵安装工程施工及验收规范
5	GB 50411—2007	建筑节能工程施工质量验收规范
6	02K101-1~3	通风机安装
7	97K130-1	ZP型片式消声器,ZW型消声弯管
8	02K150-1~3	风帽及附件
9	06K131	风管测量孔和检查门
10	06K105	屋顶自然通风器选用与安装
11	08K132	金属、非金属风管支吊架
12	09CK134	机制玻镁复合板风管制作与安装
13	08K106	工业通风排气罩
14	07K201	管道阀门选用与安装
15	03K202	离心式水泵安装
16	05K232	分(集)水器分汽缸
17	05K210	采暖空调循环水系统定压

续表 0-1

序号	标准号	标准名称
18	94K302	卫生间通风器安装
19	94K303	分体式空调器安装
20	05R407	蒸气凝结水回收及疏水装置的选用与安装
21	01R415	室内动力管道装置安装(热力管道)
22	03R401-2	开式水箱
23	05R410	热水管道直埋敷设
24	06R403	锅炉房风烟管道及附件
25	03R402	除污器
26	97R412	室外热力管道支座
27	05R417-1	室内管道支吊架
28	03SR417-2	装配式管道吊挂支架安装图
29	03R420	流量仪表管路安装图
30	07K120	风阀选用与安装
31	02K110-1~3	通风机附件安装
32	06K301-1	空气-空气能量回收装置选用与安装(新风换气机部分)
33	01(03)R414	室外热力管道安装(架空支架)(含2003年局部修改版)
34	01(03)K403	风机盘管安装(2003年局部修改版)
35	08K507-1~2	管道与设备绝热
36	02K402-1~2	散热器系统安装
37	05K405	新型散热器选用与安装
38	06K504	水环热泵空调系统设计与安装
39	04K502	热水集中采暖分户热计量系统施工安装
40	07K506	多联式空调机系统设计与施工安装
41	06K610	冰蓄冷系统设计与施工图集
42	07R202	空调用电制冷机房设计与施工
43	03R102	蓄热式电锅炉房工程设计施工图集
44	06R115	地源热泵冷(热)源机房设计与施工
45	02R110	燃气(油)锅炉房工程设计施工图集
46	99R101	燃煤锅炉房工程设计施工图集
47	05R103	热交换站工程设计施工图集
48	03SR113	中央液态冷(热)源环境系统设计施工图集

续表 0-1

序号	标准号	标准名称
49	01R406	温度仪表安装图
50	01R405	压力表安装图
51	01R409	管道穿墙、屋面防水套管
52	03R411-1	室外热力管道安装(地沟敷设)
53	03R411-2	室外热力管道地沟
54	05R401-3	常压蓄热水箱
55	03R421	物(液)位仪表安装图
56	98R401-1	常压密闭水箱
57	06K301-2	空调系统热回收装置选用与安装
58	07K304	空调机房设计与安装
59	07R408	蒸汽管道附件
60	07K103-2	防排烟系统设备及附件选用与安装
61	07K133	薄钢板法兰风管制作与安装
62	94R404	热力管道焊制管件及设计选用图
63	06R201	直燃型溴化锂吸收式制冷(温)水机房设计与安装
64	01(03)R413	室外热力管道安装(架空敷设)(含 2003 年局部修改版)
65	03(05)K404	低温热水地板辐射供暖系统安装(2005 年局部修改版)

0.3.4 调试部署及准备工作

1. 系统调试参与人员

系统调试参与人员包括:系统调试专家、系统调试小组、业主代表、设计咨询代表、项目经理、设计院代表、总包、机电分包、日照和人工照明分包、楼宇自控分包、机电设备供应商、设备运行操作人员。

2. 任务分配

系统调试任务分配如表 0-2 和表 0-3 所示。

表 0-2 调试任务分配表

调试人员	任务分配
调试专家与调试团队	协调系统调试的过程;领导调试现场工作;编写测试方案;检查设备安装、启停调试情况;指导并记录性能测试;检查设备运行和维护手册;检查并指导操作人员培训;撰写调试报告

续表 0-2

调试人员	任务分配
业主与项目经理	推动并支持调试过程；对调试工作提供最后的批准验收
设计院	参与工地现场调试工作；协助解决调试过程中的问题
总包	推动调试过程；确保各个分包商履行各自的责任，将系统调试工作整合到施工过程和施工时间表中
各分包	完成设备安装检查；完成设备的测试、调节和平衡工作；证明系统性能的完好性；解决调试中发现的性能缺陷问题
设备供应商	提供调试工作需要的文件，按照合同要求调试设备并提供操作培训

表 0-3 调试人员和责任矩阵图表

责任分配		调试人员	调试专家与 调试团队	业主代表与 项目经理	设计院	总包	机电承 包商	控制系统 承包商	设备 供应商
施工阶段									
1	组织协调调试工作		L						
2	问题跟踪		L						
3	参与审核招标文件是否符合 业主项目要求和设计意图		L	S					
4	编写安装和功能性测试方案		L						
5	管路系统检查，提交检查报告		O			S	L		
6	安装检查，提交检查报告		O			S	L		
7	设备启动，提交启动报告		O			S			L
8	楼宇自控系统检查，提交检查 报告		O			S		L	
9	水和风系统平衡，提交平衡调 试报告		O			S	L		
10	功能性测试		O			L	L	L	L
11	撰写设备运行维护手册					L	L	L	L
12	检查设备运行维护手册是否 符合项目要求		L						
13	撰写系统运行手册		O		L	L	L	L	
14	对业主员工进行设备操作维 护培训					L	L	L	L
15	检查并确保业主员工培训完 成工作		L						
16	对业主员工进行系统操作维 护培训		O		L		L		

注：L = 负责，S = 配合，O = 参与。

0.3.5 调试程序

调试程序包括:

1) 在系统安装完毕, 试压合格后, 会同建设单位进行全面检查, 保证系统全部符合设计、施工及验收规范和工程质量检验评定标准要求, 然后再进行设备调试。

2) 熟悉设计图纸和有关技术文件, 弄清楚送(回)风系统、供冷和供热系统、自动调节系统的全过程。

3) 备好调试所需的仪器仪表、必要的工具和有关记录事项。

4) 保证通风空调系统调试所需的电源、水源、冷(热)源具备条件。

5) 通用设备检查, 包括: ①核对所有风机、水泵、电机型号规格是否与设计相符。②检查地脚螺栓是否拧紧, 皮带或联轴器是否找正, 支、吊架是否牢靠、稳固。③检查轴承处是否有足够的润滑油, 加注润滑油的种类和数量是否与设备技术文件相符。④检查手动盘车运转是否均匀灵活、无卡滞及异常声音。⑤检查电机接地连接是否可靠, 电气保护继电器的整定是否符合规范要求。⑥检查管道水阀、风管调节阀开启是否灵活、定位是否可靠。

6) 水泵单机试运转包括: ①关闭出口阀门, 开启进水阀, 待水泵运行后再将出水阀打开。②水泵启动后, 应立即停止运转, 观察电机运转方向, 如不符合工作要求, 应调换电机相序。③水泵再次启动时, 检测电压、电流、转速及噪声等技术参数, 并不得超出规范要求, 如有不正常现象应立即停机分析原因, 检查处理。④水泵运行过程中, 应监听水泵轴泵、电机轴承有无杂音, 判断轴承是否损坏, 轴承运转时滚动轴承温度不高于 75°C , 滑动轴承不应高于 70°C , 电动轴承温升不大于电机铭牌的规定值。⑤水泵经检查符合要求后, 按规定连续运转 2 h, 如无异常即为合格。⑥水泵运行结束, 应将阀门关闭, 切断电源开关, 并按调试运行表格逐一填写。

7) 风机试运转(含送排风机和空调风机), 包括: ①风机试运前, 应认真清理机房, 大量的灰尘和杂物可导致过滤网和管道的污染、堵塞。②开风机前, 应将风道和风口的调节阀放在全开位置, 三通调节阀放在中间位置, 空气处理室中的各种阀门也放在实际运行位置。③通风机和电动机的皮带轮端面在同一平面上, 运轮皮带的松紧度适中。④风机启动后, 立即停止运转, 检查运转方向是否正确, 是否与机壳标注方向一致, 否则调换电源接线顺序调试。⑤风机正式启动时, 机内不得有异物杂音, 运转正常后, 应用钳形电流表检测起动电流, 运行电流、振动、转速及噪声, 并在可能的情况下, 试运行 30 min 后检测轴承温度, 其值必须达到设备说明书的要求。⑥经上述检查确认无误后, 应连续运转 2 h, 如未发生其他问题, 即为合格, 并将测试结果按表填写。

0.3.6 调试成功的关键因素

暖通空调工程调试成功的关键因素有:

- ①业主的全力支持与专业调试团队的加入。
- ②项目成立初期便加入专业的调试团队。
- ③项目所有成员以团队合作的方式进行设计与施工。
- ④营运维修人员的早期参与和进行完善的培训学习。



第 1 章 热力学原理及常用图表

热力学是研究热能与其他形式能量之间相互转换的规律，以及热力系统内、外条件对能量转换影响的学科。暖通空调工程应用热力学原理，服从热力学基本规律。

1.1 湿空气

暖通空调工程中，空气中水蒸气的作用非常重要(空气中除水蒸气以外的所有气体称为干空气)。干空气与水蒸气的混合气体称为湿空气。正常情况下，大气中干空气的组成比例基本上是不变的，如表 1-1 所示。虽然在某些局部范围内，可能因为某些因素(如人的呼吸作用使 O_2 的含量减少， CO_2 的含量增加；或在生产过程中，产生了某些有害气体污染了空气)使干空气的组成比例有所改变，但可以认为这种改变对干空气的热工特性影响很小。这样，在研究空气的物理性质时，可以把干空气作为一个不变的整体来看待(理想气体)，以便分析讨论。

表 1-1 干空气的组成

成分	相对分子质量	容积成分(摩尔分数)(%)	组成气体的部分相对分子质量
N_2	28.016	78.084	21.878
O_2	32.000	20.946	6.704
Ar	39.944	0.934	0.371
CO_2	44.010	0.033	0.013

水蒸气来源于地球上海洋、江河、湖泊表面水分的蒸发，各种生物的代谢过程，以及生产工艺过程产生的水的蒸发。在湿空气中，水蒸气所占的百分比是变化的，常常随着海拔、地区、季节、气候、散湿源等各种条件的变化而变化。虽然湿空气中水蒸气的含量少，但它的变化对人们的影响却很大。

1.1.1 湿空气的状态参数

湿空气的基本状态参数有：压力、温度、相对湿度、含湿量及焓等。
在热力学中，常温常压下的干空气可认为是理想气体。而湿空气中的水蒸气由于处于过热(饱和)状态，同时数量微少，分压力很低，比体积很大，也可以近似地当作理想气体来对