

ZHILENG YU KONGTIAO
GONGCHENG SHIYAN JIAOCHENG

制冷与空调工程 实验教程

主编 / 张志刚 郭春梅
胡豫杰 张丽璐



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

制冷与空调工程实验教程

主 编 张志刚 郭春梅 胡豫杰 张丽璐



内容提要

本书是热能与动力工程专业(制冷方向)、建筑环境与设备工程专业在制冷与空调工程方面的特色实验教程。本书在参考了国内外最新实验内容后,依托自主开发的实验平台编写而成。全书共分6章,内容包括:基本操作知识、空气调节系统的测试与调节、室内空气环境的测定与调节、空气净化系统测试与调节、制冷与热泵系统测试与运行、中低温制冷综合实验系统。书中还提供了一些测试表格和测试用数据、公式、计算方法及测试步骤等。

本书既可作为相关专业学生的实验教材,又可作为工程技术人员培训用实训教材。

图书在版编目(CIP)数据

制冷与空调工程实验教程/张志刚,郭春梅,张丽璐等
主编. —天津:天津大学出版社,2012. 10

ISBN 978-7-5618-4531-8

I. ①制… II. ①张… ②郭… ③张… III. ①制冷工
程—教材②空气调节系统—教材 IV. ①TB6②TU831

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 247078 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
网址	publish.tju.edu.cn
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	8.75
字数	218 千
版次	2012 年 10 月第 1 版
印次	2012 年 10 月第 1 次
定价	20.00 元

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

前 言

本教材是结合我校教师多年的科学研究成果和教学实践经验;参考国内外最新实验内容,基于天津城市建设学院能源与安全实验中心的实验教学体系构架,依托自主开发的实验平台进行实验项目开发编写而成的,系该实验中心教材建设的系列教材之一。

实验教材编入了建筑环境与设备工程专业、热能与动力工程专业(制冷方向)目前所涉及的专业课实验内容,为实践教学改革中的认识性实验、验证性实验、应用性实验、设计性实验、综合性实验的开发奠定了基础。

本教材的构架适用于本科实验教学和理论教学同步进行的需要,更适用于实验课单独设课的教学模式。每一章节均从概述入手,详细地介绍了实验系统的组成及各项实验的实验目的、实验原理、实验装置、实验方法和步骤、实验数据处理。对于实验过程中的操作步骤及注意事项,书中也均作了说明,建设性地提出了关于该项实验的思考问题。本书的特点是实验联系工程应用,可作为相关专业的实验教材,也可作为工程实训参考书。

参加本教材编写的有天津城市建设学院郭春梅(第2章)、张丽璐(第1章、第3章、第4章、第6章)、胡豫杰(第5章),由张志刚、张丽璐统稿,张志刚、郭春梅、胡豫杰、张丽璐任主编。实验中心全体老师对本书的编写作出了很大的贡献。天津城市建设学院校办工厂、龙川科贸公司及天津大学热能研究所在系统的搭建上给予了技术支持,特此致谢。

由于编者水平所限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编者

2012年4月

目 录

第1章 基本操作知识	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 实验室安全规则	(1)
1.3 实验系统的基本操作	(2)
第2章 空气调节系统的测试与调节	(5)
2.1 概述	(5)
2.2 空气调节实验系统的组成	(6)
2.3 空气的热湿处理过程	(10)
2.4 空气输配系统	(15)
2.5 空调系统冬季运行工况实验	(22)
2.6 空气调节综合性实验	(24)
第3章 室内空气环境的测定与调节	(25)
3.1 概述	(25)
3.2 室内空气温度和相对湿度的测定	(25)
3.3 室内空气风速的测定	(30)
3.4 压力的测定	(33)
3.5 室内空气温、湿度的测定与调节	(35)
3.6 室内空气中含尘浓度的测定	(36)
3.7 室内空气中可吸入颗粒物(PM_{10})的测定	(38)
3.8 室内热舒适度测定实验	(42)
3.9 室内空气质量综合性测试	(46)
第4章 空气净化系统测试与调节	(50)
4.1 概述	(50)
4.2 空气净化系统简介	(52)
4.3 洁净室内温湿度的检测和调节方法	(53)
4.4 高效空气过滤器的泄漏检测	(53)
4.5 室内空气洁净度等级的验证	(59)
4.6 风量、风速及换气次数的校核	(64)
4.7 静压差的测试	(67)
4.8 照度及均匀度的测试	(69)
4.9 噪声测试	(70)
4.10 室内气流组织的测定	(71)
4.11 流线平行性的检测	(71)
4.12 自净时间换气次数的测试	(73)

4.13	洁净室验收与调试	(74)
第5章	制冷与热泵系统测试与运行	(76)
5.1	概述	(76)
5.2	制冷、热泵实验系统的组成	(78)
5.3	制冷与热泵系统测试	(85)
5.4	系统综合性测试	(101)
第6章	中低温制冷综合实验系统	(103)
6.1	概述	(103)
6.2	食品冻结曲线测定	(118)
6.3	不同形式换热器性能比较实验	(121)
6.4	不同形式膨胀阀的性能比较实验	(124)
6.5	冷库内温度场分布测定实验	(127)
6.6	制冷机自动启停及变频容量调节实验	(130)
参考文献		(133)

第1章 基本操作知识

1.1 概述

为学好建筑环境与设备专业及热能与动力工程专业(制冷方向)所开设的实验课程,特提出以下几点要求。

①实验前必须进行充分预习,并做好以下相关的准备工作。

a. 了解实验目的,掌握实验原理以及实验内容。

b. 了解实验所用仪器的正确操作方法和注意事项。

c. 在预习的基础上写出预习报告,报告内容包括实验目的、简单原理和实验步骤及设计数据记录表等。在进入实验室后将预习报告交给老师,对于设计性、综合性实验需提前在网上提交预习报告,预习报告合格后方可预约时间进行实验。

②应在指定时间按设计步骤进行实验,实验过程中应认真调整实验系统并实事求是地记录实验数据,独立完成规定的实验内容。

③要爱护仪器设备,节约水、电、柴油、药品等。

④保持实验室干净整洁,实验完毕后,需将所用仪器、仪表交还仪器室,放置整齐并请老师检查。

⑤实验的调整过程和实验数据需经实验指导教师当场签字,确认数据有效后方可离开实验室。应按时提交实验报告供老师批阅。

⑥最后离开实验室的人员负责清扫实验室,关闭水、电、气的总开关,经指导教师同意后方可离开实验室。

⑦认真做好大型仪器使用记录,原始资料不得涂改。

1.2 实验室安全规则

建筑环境与设备专业及热能与动力工程专业(制冷方向)所进行的空调与制冷工程实验所用的系统均为大型仪器设备,不可避免地需开启动力电系统、水系统、风系统及制冷剂系统。冬季进行实验时,需点燃柴油锅炉。在这样的环境下,潜在的危险性较高,因此进入实验室后必须遵守实验室的安全规则。

①严禁实验人员在实验室点火,严禁在有易燃易爆物品处吸烟。

②实验室内的物品要存放有序,易燃易爆物品要远离电源、热源。

③严格控制使用电加热器,并设专人负责使用、管理,用后要立即断电。禁止使用非实验的电炉、加热器及大功率灯泡。

④实验人员要经常检查电器设备,发现异常和漏电等现象及其他安全隐患要立即切断电源,及时处理并上报有关部门。

- ⑤进行实验的学生要遵守实验室相关规定和操作规程。
- ⑥实验人员不准随便乱拉电线,如需临时用电,请电工按规定安装,用后立即拆除。
- ⑦实验完毕要做到先拉电闸后锁门,停电时,也要及时拉电闸。
- ⑧实验人员要在发生火灾时会报警,且会使用灭火器材。

1.3 实验系统的基本操作

1.3.1 空调净化系统的基本操作

1. 系统简介

该系统由两台风冷冷水机组提供冷源,换热装置为表冷器和淋水室,冷冻水循环动力由冷冻水主循环泵及喷水室循环泵组成,高位水箱起到对系统定压的作用,同时兼作冷冻水箱向喷水室提供冷冻水。由电子水处理仪对水系统进行软化处理,快速除污器对水系统杂质进行过滤,留有供系统扩容的冷冻水供、回水备用口。

2. 系统充水

系统充水前应先关闭“表冷及喷水系统连接阀”,由高位水箱补水口向系统充水,如使用喷水室,在系统充水的同时,可开启喷水室补水阀向喷水室的水循环系统充水。

3. 系统启动

在关闭“表冷及喷水系统连接阀”的情况下,先启动冷冻水系统主循环泵。

在使用表冷器时,控制程序是:系统向表冷器充水,然后关闭连接阀,而后先启动主循环泵,再启动冷水机组,进行流量调节,使表冷器正常运转。

使用喷水室时,控制程序是:关闭喷水室水循环环路通断阀,先使表冷器循环正常运转,再使喷水室循环环路充水,在逐渐关小表冷器回水阀的同时,逐渐打开表冷器及喷水循环系统连接阀,待溢流供水管在喷水室供水口有冷冻水流出时开启“喷水室水循环环路通断阀”,启动喷水室循环泵,使喷水室工作,继而调节喷水室阀门以调节喷水量。

4. 系统维护

每次冷冻水系统运行结束后,应在关闭冷冻水主循环泵前关闭表冷及喷水系统连接阀。

如系统水流量明显偏小或除污器阻力偏大,应及时开启除污器除污。

各系统最低点均留有泄水口,系统长期不用或进入冬季前应及时放水。

5. 空调水系统及风系统控制说明

对于空调水系统中的冷水机组,可根据设定对冷冻水的供回水温度进行调节,其他设备的冷量、热量则采用手动调节阀进行水流量的调节;风系统则由相应的电动调节阀来完成一次回风、二次回风及新风量的调节。

水系统启动供电程序是:先按下总控制启动按钮,再按下循环水泵启动按钮,待水系统稳定运行后,再开启冷水机组启动按钮(台佳空调/康迪空调),最后按下喷水室循环泵启动按钮。

风系统启动送风程序是:先按下总控制启动按钮,然后启动风机,待风系统稳定运行后,按下电极加湿器供电按钮,使电极加湿器开关开启,对系统进行加湿。

康迪冷冻水机组启动及温度设置、水温实时监测情况、故障诊断等显示及控制,均在主

控制柜面板控制操作器上完成。

6. 测量

定压给水箱、表冷器及喷水室供水量均采用涡轮流量计计量,计量结果显示在主控制柜的显示终端上,可计量瞬时流量及累计流量。冷水机组出水量则采用浮子流量计计量。

1.3.2 制冷热泵综合实验台的基本操作

制冷热泵综合实验台由制冷剂循环、冷冻水循环和冷却水循环三个系统组成,分数据采集和控制两大部分。为确保实验的安全进行,应按如下步骤进行。

1. 准备工作

①开机前必须熟悉本实验台的工作原理及工艺流程。

②开机前检查压缩机油位、压缩机进出口阀门及系统阀门:压缩机油位必须在视镜范围内,压缩机进出口阀门及压缩机进排气阀必须全部开启,系统阀门的开关必须使循环回路畅通。

③开机前保证电气控制回路完好,送电后各参数应显示正常。

④检查控制面板温控仪的温度设置。温控仪已屏蔽的控制参数不得更改设置。

2. 开机顺序

开机顺序是:先开启冷却水泵,然后依次开启冷冻水泵(含搅拌泵)、冷却塔、电加热器和压缩机。

3. 关机顺序

关机顺序是:先关闭压缩机,而后依次关闭电加热器、冷却塔、冷却水泵和冷冻水泵(含搅拌泵)。

4. 注意事项

①开机时为使系统快速接近设定工况点,可关闭中间换热器冷却水回路的阀门,待系统参数接近设定工况点时,再开启中间换热器冷却水回路的阀门。

②系统运行时,若出现不明原因的噪声、振动、参数的异常波动或相关参数超出安全范围,应立即停机检查。

③系统安全参数范围:压缩机吸气压力 $0.3 \sim 0.55$ MPa、压缩机排气压力 $1.0 \sim 2.0$ MPa、冷却水流量 ≥ 4.5 m³/h、冷冻水流量 ≥ 3.5 m³/h、冷冻水出水温度 ≥ 3 °C、冷却水进水温度 ≤ 35 °C。

1.3.3 中低温制冷综合实验系统的基本操作

中低温制冷综合实验系统系针对保鲜冷库内需维持 $-1 \sim 5$ °C、储存冻结食品需维持 $-25 \sim -18$ °C 的情况设计而成。冷库的温度调节范围为 $(-25 \sim 5$ °C) ± 1 °C。库体用厚 120 mm 硬质聚氨酯高压发泡双面彩钢板装配而成,手动推拉铰链式冷库门采用相同的板材,库内安装 2 盏 40 W 日光灯。该系统由制冷系统、计算机数据采集和控制系统组成。学生应在了解实验台构造、各部件名称、系统流程的基础上,按如下步骤进行操作。

1. 准备工作

①相关人员到位,查看仪器、仪表、水电等是否正常。

②检查系统(制冷剂、水)中有无泄漏情况,润滑油位是否良好。

2. 开机顺序

接通系统总电源,将各控制柜电源开关拨到“开”的位置,然后打开计算机,进入操作系统后,运行数据采集系统,检查系统各参数的初始值,并设定冷库运行参数,而后启动机组,待系统运行稳定后,按照相应的实验步骤进行操作。

3. 关机顺序

中低温综合实验系统的关机顺序是:先关闭机组,退出数据采集系统,关闭计算机,切断各控制柜电源,最后切断系统总电源。

4. 安全操作注意事项

①系统的制冷剂 R22 充灌量在 8 ~ 10 kg,每半年应检查制冷剂,若蒸发器过热度过高,则可能是制冷剂发生泄漏,应及时充灌制冷剂。

②根据实验内容正确选择冷凝器、蒸发器和节流阀型式,并保证控制箱的按钮在相应的位置上。切换设备前,务必先停机。

③若使用套管冷凝器,开机前应先打开水龙头和流量调节阀,关机 10 min 后,再关闭水龙头。

④尽管系统配备了自动保护装置,但为以防万一,操作人员仍应密切关注压缩机进出口压力、温度,压缩机电流、功率等。一般情况下,压缩机的出口压力应低于 2 MPa,排气温度低于 100 ℃,压缩机功率不高于 3.5 kW,电流小于 5 A。

⑤在运行过程中,要时刻关注润滑油的油位。当油位低于下限时,应打开回油阀,使回油至油位视镜中部位置。

⑥如发现异常情况,应紧急关闭压缩机。

第2章 空气调节系统的测试与调节

2.1 概述

2.1.1 空气调节的任务和作用

空气调节系统采用一定的技术手段,在某一特定空间(或房间)内,对该空间的空气温度、湿度、流动速度及洁净度进行人工调节和控制,以满足人体舒适或工艺生产过程的要求,现代某些领域还要求对空气的压力、成分、气味及噪声等进行调节与控制,是专门研究和满足各类工作、生活、生产和科学实验所要求的内部空气环境的工程技术。

空气调节对国民经济各部门的发展和人民物质文化生活水平的提高具有重要意义。它不仅使受控的空气环境能保证工业生产过程的稳定操作和产品质量,而且对提高劳动生产率、保证安全操作、保护人体健康、创造舒适的工作和生活环境起到重要作用。

2.1.2 一般空气调节系统的组成

一定空间内的空气环境通常要受到两方面的干扰:一方面是来自空间内部生产过程、设备及人体等所产生的热、湿和其他有害物的干扰,另一方面是来自空间外部气候、太阳辐射及空气中的有害物的干扰。要保证内部空间空气环境的有关参数(温度、湿度、风速及洁净度等)处于限定的变化范围内,就需要对受控环境造成不利影响的热、湿及其他有害物等干扰因素进行控制,消除它们的影响,实现空气调节要求。空气调节系统一般由以下几部分组成。

1. 新风部分

空调系统在运行过程中必须采取一部分室外的新鲜空气(即新风),这部分新风必须满足室内工作人员所需的最小新鲜空气量、补充局部排风要求和补充室内“正压”要求中的最大值,因此空调系统的新风取入量取决于空调系统的用途和卫生要求。新风的导入口一般设在周围不受污染影响的建筑物外围护结构上。新风的导入口和空调系统的新风管道以及新风的滤尘装置(新风空气过滤器)、新风预热器(又称为空调系统的一次加热器)共同组成了空调系统的新风系统。

2. 空气净化部分

根据用途的不同,空调系统对空气的净化处理方式也不同。在空调系统中有设置一级初效空气过滤器的简单净化系统,也有设置一级初效空气过滤器和一级高效空气过滤器的一般净化系统,还有设置一级初效空气过滤器、一级中效空气过滤器和一级高效空气过滤器的三级过滤装置的高净化系统。

3. 空气热湿处理部分

对空气进行加热、加湿和降温、减湿,将有关的处理过程组合在一起,称为空调系统的热

湿处理部分。在对空气进行热、湿处理过程中,可以采用表面式空气加热器(在表面式换热器内通过热水或蒸汽的称为表面式空气加热器,简称为空气的汽水加热器)和表面式冷却器(以冷水或制冷剂作冷媒,亦称为水冷式或直接蒸发式表面冷却器)两类。设置在系统的新风入口,一次回风之前的空气加热器称为空气的一次加热器;设置在降温减湿之后的空气加热器,称为空气的二次加热器;设置在空调房间送风口之前的空气加热器,称为空气的三次加热器。三次空气加热器主要起调节空调房间内温度的作用,常用的热媒为热水或电。也有采用喷淋冷水或热水的喷水室,还有采用直接喷水蒸汽的处理方法,来实现空气的热湿处理过程。

4. 空气的输送、分配和控制部分

空调系统中的风机和送、回风管道称为空气的输送系统。风口与风管中风阀等构成基本的空气分配、控制部分。

5. 冷、热源部分

空调系统中所使用的冷源分为天然冷源和人工冷源。天然冷源一般指地下深井水,由于城市大量使用深井水引起地层下沉等影响,一般已禁止使用。人工冷源是通过人工制冷方式来获得的,它包括蒸汽压缩式制冷、吸收式制冷以及蒸汽喷射式制冷等多种形式。

空调装置的热源也有自然和人工两种方式,自然热源指太阳能和地热能,人工热源是指以煤、石油、天然气等为燃料的锅炉。

2.1.3 空气调节系统的分类

空气调节系统有多种分类方式,按空气处理设备的设置情况可分为集中式系统、半集中式系统和全分散式系统;按系统所用介质的种类的不同,可分为全空气系统、全水系统、空气-水系统和冷剂系统;按空调系统处理的空气来源可分为封闭式系统、直流式系统和混合式系统。

2.1.4 空调系统的测试与调节

空调系统的测试与调节主要分为两方面:空气动力参数测试与调节、空气热力参数测试与调节。前者包括风量及风量分配和系统压力状况的测试与调节,后者包括空气处理过程及空间内空气参数的测试与调节。

由于空调系统的服务对象对空调要求不同,因而测试与调节的精度要求也不同。一般舒适性空调系统的要求较低;工艺性空调系统,尤其是恒温恒湿及高洁净度的空调净化系统要求较高。

2.2 空气调节实验系统的组成

2.2.1 实验系统概况

本实验系统是一个较全面的空气调节与净化系统综合性能实验台。它采用压缩式风冷冷水机组为冷源,燃油锅炉为热源。空气处理系统包括空气预加热器、二次加热器、喷水室、表冷器、喷雾加湿器、初效过滤、中效过滤等功能段,可组合成一次回风系统、二次回风系统,

续表

序号	设备名称	参 数
5	电子水处理仪	北京禹辉高频电子水处理仪,型号 WD-65-S/D,输水管径 65 mm,处理流量 15~30 m ³ /h。工作环境要求:温度 -40~55 ℃,湿度 <95%,除垢有效率≥91%,杀菌灭藻有效率≥90%
6	玻璃转子流量计	工作温度 0~120 ℃,工作压力≤0.4 MPa
7	涡轮流量传感器	LWGY 型
8	膨胀水箱	1 m×1 m×1 m
9	温度计	
10	压力表	

2. 热水系统

热源来自燃油锅炉房提供的热水,热水系统对空调机组一次加热器及二次加热器分别供热。热水系统均有流量、压力、温度测量仪表,各供水系统均设置手动三通调节阀,对系统流量进行调节。空调热水系统如图 2-2 所示。

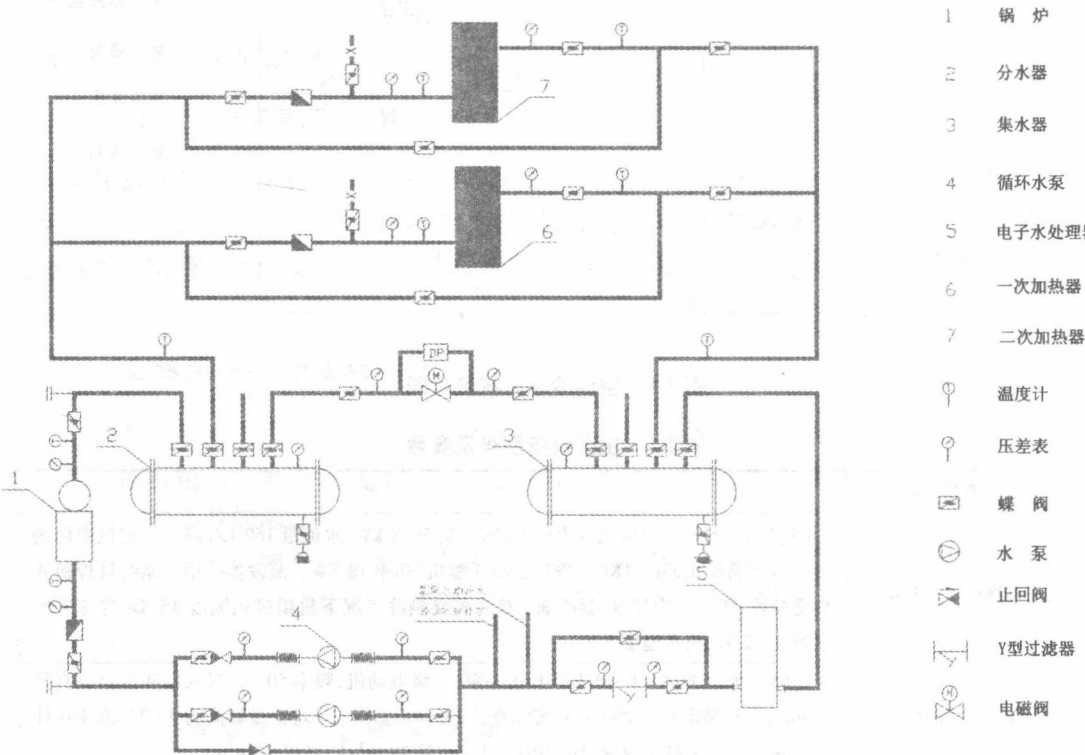


图 2-2 空调热水系统流程图

3. 空气处理和输送分配系统

KK—1.0 型组合式空调机组,风量为 10 000 m³/h,主要功能段包括新风段、一次回风段、初效过滤段、一次加热段、喷水室、表冷段、二次加热段、二次回风段、加湿段、风机段、中

效过滤段和送风段。

洁净实验室设置 ISO 5 级间及缓冲间、ISO 6 级间及缓冲间和 ISO 8 级更衣室、换鞋室及参观走廊。ISO 5 级洁净间采用顶板满布的 FFU 送风,正压风量和冷、热负荷由空调机房集中送风予以满足,每台 FFU 的运行均可单独控制。ISO 6 级洁净间有六个标准的 GB 01—1.0 型高效过滤器送风口,风量均可调节,并且在房间的一侧满布四个 GB 01—1.5 型高效过滤器送风口,可做矢流送风。与各送风口连接的支管均为软管,送风口的位置可根据实验需要进行调整。洁净更衣室为 ISO 8 级,与 ISO 6 级缓冲间之间设风淋室;换鞋室及参观走廊无洁净级别要求。

洁净实验室的围护结构采用双面聚苯乙烯夹芯彩钢板,彩钢板结构为四面封口的拼装结构。ISO 5 级洁净间,一侧的回风夹道设检修门,检修或参观可通过回风夹道直接进入 ISO 5 级洁净间夹层。ISO 6 级洁净间顶板配合高效过滤器送风口位置的调整,设计成易于更换和调整的结构。

4. 控制系统

冷水机组可根据设定值调节冷冻水供回水温度。室内相对湿度控制通过设在回风干管内的湿度传感器将湿度信号传至外置的电极式加湿器,控制加湿量。其他的冷量、热量采用手动调节,一次回风量、二次回风量及新风量均采用电动调节阀调节。

2.2.2 洁净室内空气设计参数

洁净室内空气设计参数见表 2-2。

表 2-2 洁净室内空气设计参数

房间名称	压力 (Pa)	换气次数 (次/h)	截面平均风速 (m/s)	温度 (℃)	相对湿度 (%)	洁净度 级别
ISO 5 级间	30	—	0.25 ~ 0.3	22 ~ 26	45 ~ 65	ISO 5 级
ISO 5 级缓冲间	25	50	—	22 ~ 26	45 ~ 65	ISO 6 级
ISO 6 级间	20	50	—	22 ~ 26	45 ~ 65	ISO 6 级
ISO 6 级缓冲间	15	25	—	22 ~ 26	45 ~ 65	ISO 7 级
洁净更衣室	10	15	—	22 ~ 26	45 ~ 65	ISO 8 级
更鞋间	5	10	—	22 ~ 26	45 ~ 65	—
参观走廊	5	8	—	22 ~ 26	45 ~ 65	—

注:ISO 5 级洁净间为单向流,按截面平均风速确定送风量;ISO 5 级缓冲间、ISO 6 级间、ISO 6 级缓冲间与洁净更衣室为非单向流洁净室,按换气次数确定送风量;更鞋间和参观走廊无洁净级别要求。

2.2.3 系统操作方法和注意事项

1. 空调水系统操作程序

①系统充水。系统充水前应先关闭“表冷及喷水系统连接阀”,由高位水箱补水口向系统充水。如使用喷水室,在系统充水的同时,可开启喷水室补水阀向喷水室水系统充水。

②系统启动。在关闭“表冷及喷水系统连接阀”的情况下,先启动冷冻水系统主循