

内 容 简 介

本书为有志于从事数据中心暖通系统运维工作的人员提供了必需的入门知识。本书遵循由浅入深的原则,首先以“零基础”视角系统介绍了暖通系统运维人员必备的入门基础理论知识,主要包括空气调节理论、热力学定律、制冷原理、常见制冷系统组成及各部件工作原理,这些构成了本书的重点内容。随后本书以数据中心暖通系统为聚焦点,介绍了数据中心暖通系统的常见组成方式、各部分工作原理,其中针对数据中心暖通系统的空调机组、风系统、水系统等进行了比较详细的介绍。最后为了开阔读者视野、激发读者兴趣,书中涉及了一些数据中心暖通系统设计方面的内容。

本书适用于从事数据中心暖通系统运维工作的初学者以及对数据中心暖通系统感兴趣的人士。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinuan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

数据中心暖通系统运维 / 杨迅, 汪俊宇, 刘相坤主编. —北京: 清华大学出版社, 2023.3

(新基建·数据中心系列丛书)

ISBN 978-7-302-62873-6

I. ①数… II. ①杨… ②汪… ③刘… III. ①数据处理中心—空气调节设备—设备管理
②数据处理中心—通风设备—设备管理③数据处理中心—采暖设备—设备管理 IV. ① TP308

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 037760 号

责任编辑: 杨如林

封面设计: 杨玉兰

版式设计: 方加青

责任校对: 胡伟民

责任印制:

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:

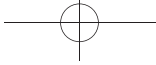
经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 12.25 字 数: 295 千字

版 次: 2023 年 5 月第 1 版 印 次: 2023 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元

产品编号: 096114-01



编委会名单

主 任

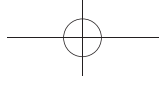
叶社文 安 鸥 汪怡君

专 家

刘相坤 刘玉岭 汪 翰

编 委

何 丽 黄富涛 杨少林
王俊阳 刘翰阳 何 洋
高善有 梁奥康 张 杰



前 言

近年来，中国数据中心规模保持高速增长。据统计，中国数据中心规模从 2015 年的 124 万家增长到 2020 年的 500 万家；2020 年中国数据中心建设投资 3000 亿元，2021—2023 年数据中心产业投资将达 1.4 万亿元。

在全国数据中心建设、建成数量快速增长的背景下，对数据中心基础设施（主要包括电力设备、环境控制设备、监控设备、安全装置）运维管理人才的需求激增，而我国当前的人才现状与数据中心基础设施运维行业的需求严重不匹配，运维管理人才短缺问题非常严重，已成为制约行业发展的重要因素。为加快培养出合格的数据中心基础设施运维各专业的人才，提高从业人员的整体技能水平，由中国智慧工程研究会大数据教育专业委员会牵头，北京慧梵科技有限公司组织编写了“新基建·数据中心系列丛书”，以应急需。

暖通系统作为组成数据中心基础设施的五大系统之一（其他四个分别为电气系统、弱电系统、消防系统、装饰系统），其首要作用就是通过制冷将数据中心内设备产生的大量热量带走，保障数据中心运行于适宜的温度环境中，同时还要保障数据中心的湿度、空气洁净度在合理的范围内。本书作者从培养一名合格的数据中心暖通系统运维人员这一目标出发，参阅了大量的相关培训教程、教材以及专业书籍，梳理出了相对全面的基础知识结构体系。一名合格的暖通系统运维人员不仅要巡视设备、记录运行数据、开关机器、遵照规程进行维护保养，还必须对常见故障有一定的预见及处理能力。此外，用人单位也应当考虑运维人员将来的职业提升空间问题，对运维人员给予相应的能力知识培养，这样才能吸引并留住人才。

本书正是基于上述考虑，撷取其中精华形成了 11 章内容。第 1 章概述数据中心暖通系统。第 2 章侧重于暖通空调及制冷的基础理论知识，其中部分内容对初学者有一定难度，但学习和掌握这些知识，对正在或即将从事数据中心暖通系统运维的读者来说，关系到他们职业发展的“后劲”。第 3 章对空调系统分类进行了专门介绍。第 4 章则对机房精密空调这种形式的空调的使用与维护进行了较为详细的介绍，由于这种机型结构相对简单，在数据中心中应用广泛，初学者从此种机型开始学习较为合适。第 5～10 章以图文并茂的形式，比较翔实地介绍了目前常见的数据中心主机房暖通系统各组成部分的结构、原理和工作过程，有了前面章节的知识作为基础，这部分的学习难度并不大。

第 11 章介绍了典型的数据中心暖通系统设计实例，供读者学习和参考。

本书作者曾长期从事暖通系统运维工作，在工作中积累了大量人才培养的经验，对暖通系统运维人员需要具备的知识体系、能力结构以及学习中的难点有比较清晰的了解。

在本书的编写过程中，参阅了许多相关参考文献和资料，在此对参考文献的原编著者表示敬意和感谢。兰凡璧、杨少林在书中插图的绘制方面提供了大量帮助，在此对他们一并表示感谢。

由于时间仓促并且作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望广大读者批评和指正。

作者

2022 年 10 月

教学建议

章号	学习要点	教学要求	参考课时（不包括实验和机动学时）
1	• 暖通的定义 • 暖通系统在数据中心中的主要作用 • 暖通系统对数据中心的重要性	• 对暖通系统做一般性了解	2
2	• 空气调节技术的发展历史及应用 • 湿空气的物理性质和状态参数 • 湿空气的焓湿图 • 制冷技术的发展历史及应用 • 制冷基本名词术语 • 热力学基本定律及其在制冷技术中的应用 • 制冷原理、压 - 焓图 • 制冷剂、载冷剂和润滑油 • 数据中心制冷系统常用压缩机分类 • 冷凝器工作原理 • 蒸发器工作原理 • 节流机构种类及工作原理 • 制冷系统辅助设备种类	• 掌握空气调节的基本概念、常用名词 • 掌握制冷技术的基本概念、常用名词 • 掌握蒸气压缩式制冷方式的原理 • 掌握蒸气压缩式制冷循环的基本构成	15
3	• 空调分类概述 • 根据空调冷（热）源分类的各种空调 • 根据空气处理设备的设置情况分类的各种空调 • 根据负担室内空调负荷所用的介质分类的各种空调 • 根据集中系统处理的空气来源分类的各种空调 • 根据使用目的分类的各种空调 • 多联机可变流量空调介绍 • 氟泵式空调介绍	• 了解常见的空调分类方法 • 对常见的空调机组的不同之处有所了解	3

续表

章号	学习要点	教学要求	参考课时（不包括实验和机动学时）
4	● 数据中心机房的负荷特点 ● 机房精密空调与舒适性空调的区别 ● 风冷直膨式机房精密空调的系统组成及工作原理 ● 机房精密空调的安装与调试 ● 机房精密空调的管理维护与保养 ● 机房精密空调的故障排除	● 了解国家标准 GB 50174—2017 ● 了解机房专用空调与舒适性空调之间的差异 ● 了解机房专用空调的特点、优点 ● 掌握风冷直膨式机房精密空调的系统组成 ● 了解机房精密空调的安装调试方法 ● 掌握机房精密空调的日常操作、管理、维护及常见故障处理方法	8
5	● 数据中心冷负荷的类型 ● 数据中心冷负荷工程计算方法	● 冷负荷的概念及单位 ● 冷负荷的来源 ● 新风的概念	3
6	● 风冷型机房空调系统 ● 冷冻水型机房空调系统 ● 水冷型机房空调系统 ● 乙二醇冷却型机房空调系统 ● 双冷源型机房空调系统	● 几种常见数据中心暖通空调系统的组成、工作原理 ● 不同类型暖通空调系统之间的异同点、优缺点	3
7	● 送风方式 ● 数据中心气流组织形式 ● 数据中心设备布置 ● 数据中心空调风系统设计核算	● 了解常见送风方式的空气循环路径 ● 了解气流短路的概念 ● 了解静压箱的概念和意义 ● 了解局部热点的概念	2
8	● 数据中心暖通水系统的分类与选择 ● 数据中心暖通水系统的承压设计 ● 数据中心暖通水系统的设计与计算	● 了解水的传热特性 ● 了解水系统的分类 ● 了解几种典型的水系统的作用	2
9	● 高热密度区域解决方案 ● 局部热点解决方案 ● 专用高热密度封闭机柜解决方案 ● 其他高热密度散热解决方案	● 了解常见的针对高热密度机柜的解决方案	2
10	● 新风机组 ● 蓄冷罐 ● 循环水处理系统 ● 软化水装置 ● 反渗透水处理器 ● 补水装置 ● 旁滤设备 ● 压差旁通阀	● 对数据中心暖通系统其他常见设备做一般性了解	4
11	● 中小型数据中心暖通系统的设计方法 ● 云计算数据中心暖通系统的规划设计案例	● 不要求会设计计算，但须理解设计中要考虑的各种因素 ● 通过学习设计过程加深对数据中心暖通系统的理解	4

目 录

第 1 章	导论	1
1.1	暖通系统概述	1
1.2	数据中心暖通空调系统典型组成形式	2
1.2.1	由风冷机房精密空调机组组成	2
1.2.2	由水冷冷水机组和通冷冻水型机房精密空调组成	3
1.2.3	由间接蒸发冷却式空调机组组成	3
1.3	暖通系统在数据中心中的作用	4
第 2 章	暖通基础知识	6
2.1	暖通空调及制冷技术的发展历史	6
2.2	制冷技术的应用领域	7
2.3	湿空气的物理性质	8
2.4	暖通基本术语	8
2.5	湿空气的焓湿图及应用	14
2.5.1	利用焓湿图求空气的湿球温度	15
2.5.2	干式冷却过程在焓湿图上的表示	15
2.5.3	减湿冷却过程在焓湿图上的表示	15
2.5.4	加热过程在焓湿图上的表示	16
2.5.5	等焓加湿过程在焓湿图上的表示	16
2.6	空气环境对数据中心的影响	17
2.6.1	数据中心 IT 设备的特点	17
2.6.2	不良空气环境对数据中心 IT 设备的危害	19
2.7	热力学基本定律及其在制冷技术中的应用	23
2.7.1	热力学第一定律	23
2.7.2	热力学第二定律	24
2.7.3	热力学第三定律	25
2.8	蒸气压缩式制冷原理	25

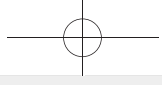
2.8.1	制冷剂的状态及相关术语	26
2.8.2	制冷剂的压 - 焓图	29
2.8.3	制冷系统中制冷剂的状态变化	30
2.9	制冷剂、载冷剂和润滑油	33
2.9.1	制冷剂	33
2.9.2	载冷剂	36
2.9.3	压缩机润滑油	38
2.10	常见制冷方法	39
2.10.1	常见制冷方法与原理	39
2.10.2	常用蒸气制冷方法与原理	41
2.11	数据中心制冷系统常用压缩机简介	44
2.11.1	往复式活塞压缩机	45
2.11.2	涡旋式压缩机	47
2.11.3	数码涡旋式压缩机	48
2.11.4	螺杆式压缩机	48
2.11.5	离心式压缩机	50
2.12	冷凝器	51
2.12.1	冷凝器的传热原理	51
2.12.2	冷凝器的种类及特点	53
2.13	蒸发器	59
2.13.1	卧式蒸发器	59
2.13.2	冷却排管	61
2.13.3	冷风机 (空气冷却器)	62
2.14	节流机构	64
2.14.1	手动节流阀	64
2.14.2	浮球节流阀	65
2.14.3	热力膨胀阀	65
2.14.4	毛细管	68
2.15	制冷系统辅助设备	70
2.15.1	油分离器	70
2.15.2	集油器	72
2.15.3	空气分离器	72
2.15.4	中间冷却器	72
2.15.5	储液器	72
2.15.6	电磁阀、单向阀、针阀	73
2.15.7	压力开关	73
2.15.8	视液镜	74
2.15.9	电加热器	74

2.15.10	温度继电器	74
2.15.11	干燥过滤器	74
2.15.12	风扇调速器	75
2.15.13	漏水告警器、烟雾告警器、火灾告警器	75
2.15.14	板式换热器	76
第 3 章 空调的分类及各类空调简介		77
3.1	空调常见分类	77
3.1.1	根据空调冷（热）源分类	77
3.1.2	根据空气处理设备的设置情况分类	77
3.1.3	按负担室内空调负荷所用的介质分类	79
3.1.4	根据集中系统处理的空气来源分类	80
3.1.5	按照使用目的分类	80
3.1.6	按送风速度分类	81
3.2	多联机空调介绍	81
3.3	机房精密空调介绍	82
3.4	氟泵式制冷节能型空调机组	83
第 4 章 机房精密空调的使用与维护		84
4.1	数据中心机房的负荷特点	84
4.2	数据中心机房的环境特点及相关国标	84
4.3	数据中心机房的环境参数对空调的要求	86
4.4	数据中心机房采用机房精密空调的必要性	87
4.5	风冷直膨式机房精密空调的系统结构及维护保养要点	90
4.5.1	框架系统	91
4.5.2	送风系统	92
4.5.3	制冷系统	93
4.5.4	电加热系统	93
4.5.5	加湿系统	94
4.5.6	控制系统	95
4.6	风冷直膨式机房精密空调的送回风系统	96
4.6.1	送风系统的布置	96
4.6.2	机房的构造及气流组织方式	96
4.6.3	风道系统的组成	96
4.6.4	风机风量的调节	97
4.7	风冷直膨式机房精密空调加热装置	97
4.8	风冷直膨式机房精密空调加湿装置	97
4.8.1	电加湿罐	97

4.8.2 远红外加湿器	98
4.9 风冷直膨式机房精密空调控制系统	98
4.9.1 常见功能介绍	98
4.9.2 通过机组本地用户终端进行的操作	99
4.10 风冷直膨式机房精密空调安装调试方法及注意事项	100
4.10.1 场地准备	100
4.10.2 精密空调的安装	100
4.10.3 精密空调的调试	101
4.11 风冷直膨式机房精密空调的管理维护及保养	102
4.11.1 管理及其准则	102
4.11.2 管理工作的基本内容	102
4.11.3 日常维护保养的内容及实施周期	103
4.12 风冷直膨式机房精密空调一般故障的判断及排除	104
4.12.1 控制系统故障原因及排除方法	104
4.12.2 风道故障报警的原因及排除方法	105
4.12.3 制冷系统故障原因及排除方法	105
4.12.4 加热故障报警的原因及排除方法	108
4.12.5 加湿故障报警的原因及排除方法	108
4.12.6 故障快速判断速查表	109
4.13 风冷直膨式机房精密空调的局限性	110
第 5 章 数据中心暖通系统的冷负荷计算	111
5.1 数据中心各类冷负荷的计算方法	111
5.1.1 设备散热冷负荷的计算	111
5.1.2 建筑围护结构传热冷负荷的计算	112
5.1.3 通过外窗进入的太阳辐射热冷负荷	112
5.1.4 人体散热冷负荷的计算	112
5.1.5 照明装置散热冷负荷的计算	113
5.1.6 新风冷负荷的计算	113
5.1.7 其他冷负荷的计算	113
5.1.8 机房总冷负荷的确定	114
5.2 数据中心冷负荷工程计算方法	114
5.2.1 功率面积法	114
5.2.2 面积法	115
第 6 章 数据中心暖通系统的常用方案	116
6.1 风冷型机房空调系统	116
6.2 冷冻水型机房空调系统	117

6.3	水冷型机房空调系统	118
6.4	乙二醇冷却型机房空调系统	119
6.5	双冷源型机房空调系统	119
6.6	其他形式的空调系统方案	120
6.6.1	行级空调	120
6.6.2	顶置对流空调系统	121
第 7 章	数据中心暖通风系统设计	123
7.1	送风方式	123
7.1.1	风帽上送风	123
7.1.2	风管上送风	124
7.1.3	地板下送风	125
7.2	数据中心气流组织形式	127
7.2.1	数据中心气流组织影响因素	127
7.2.2	服务器等设备气流规范	127
7.2.3	数据中心机架 / 机柜气流组织	128
7.2.4	防静电地板高度选择	132
7.3	数据中心设备布置	133
7.4	数据中心空调风系统设计核算	137
第 8 章	数据中心暖通水系统设计	139
8.1	数据中心暖通水系统的分类与选择	140
8.1.1	开式系统和闭式系统	140
8.1.2	两管制、三管制和四管制系统	141
8.1.3	同程式和异程式系统	141
8.1.4	定流量和变流量系统	143
8.2	数据中心暖通水系统的承压设计	145
8.2.1	水系统的承压计算及设备选型	145
8.2.2	水系统的承压分区	147
8.2.3	水系统的定压	147
8.3	数据中心暖通水系统的设计与计算	148
8.3.1	确定机房设计参数和总冷负荷	148
8.3.2	确定制冷系统结构及制冷机组、冷却塔、制冷终端的类型、容量和台数	148
8.3.3	水系统设计	149
8.3.4	保温设计	155

第 9 章	高热密度数据中心暖通系统简介	157
9.1	高热密度区域解决方案	157
9.2	局部热点解决方案	158
9.3	专用高热密度封闭机柜方案	159
9.4	其他高热密度散热解决方案	160
第 10 章	数据中心暖通系统其他常见设备	161
10.1	新风机组	161
10.1.1	新风机组的控制	161
10.1.2	新风机组的工作原理	163
10.1.3	新风机组功能段	163
10.2	蓄冷罐	164
10.3	循环水处理系统	165
10.3.1	加药装置	165
10.3.2	微晶旁流装置	166
10.4	软化水装置	166
10.5	反渗透水处理器	167
10.5.1	反渗透水处理器设备概述	167
10.5.2	反渗透水处理器工作原理	168
10.5.3	反渗透水处理器工艺流程	168
10.5.4	反渗透水处理器的清洗	168
10.6	补水装置	169
10.6.1	定压补水装置	169
10.6.2	冷却水补水系统	169
10.7	旁滤设备	170
10.8	压差旁通阀	171
第 11 章	数据中心暖通系统设计方法及实例分析	172
11.1	中小型数据中心暖通系统的设计方法	172
11.1.1	空调负荷计算	172
11.1.2	空调选型	173
11.1.3	空调布置	173
11.2	云计算数据中心暖通系统的规划设计案例	174
11.2.1	暖通系统设计	174
11.2.2	方案小结	179
	参考文献	180



第 2 章 暖通基础知识

2.1 暖通空调及制冷技术的发展历史

在现代社会，制冷已经成了人类社会最基本的需求之一，空调则是制冷应用的一个重要方面。古代的人们，也很早就懂得对冷的利用，如中国古代就有人用天然冰冷藏食品和防暑降温。但现代的制冷技术是在 18 世纪后期发展起来的。

以下简要介绍一下空调及制冷技术的发展历史。

1755 年，爱丁堡的化学教师卡伦利用乙醚蒸发使水结冰，他的学生布莱克从本质上解释了熔化和汽化现象，提出了潜热的概念，并发明了冰量热器，标志着现代制冷技术的开始。

1834 年，发明家波尔金斯造出了第一台以乙醚为工质的蒸气压缩式制冷机，这是后来所有蒸气压缩式制冷机的雏形。

1859 年，卡勒发明了氨水吸收式制冷系统。

1902 年，美国工程师及发明家威利斯·开利为一个印刷厂安装了自己设计的设备，以保持印刷需要的温湿度，取得了良好的效果，开利设计的这台设备是世界上第一台空气调节系统，这被视为空调业的诞生标志。

1906 年，开利以“空气处理装置”为名申请专利，这是他人生中的第一个专利，开利因此被称为“空调之父”。

1910 年左右，马利斯·莱兰克发明了蒸气喷射式制冷系统。

20 世纪，制冷技术有了更大的发展。美国通用电气公司成功地研制出全封闭式制冷压缩机；米奇利发现氟利昂制冷剂并用于蒸气压缩式制冷循环以及混合制冷剂的应用。

空调与制冷是两个密切相关的领域。从提供的功能上看，空气调节除了提供制冷降温功能，也可以提供加热取暖功能，因此制冷只是空调的功能之一。另一方面，制冷技术所涵盖的温度范围比通常建筑物空间的空气调节温度范围要宽许多，还有很多其他的应用场合。下一节将就这一点进行介绍。

2.5.1 利用焓湿图求空气的湿球温度

知道了湿空气的状态点，通过等焓线，就可以得到湿球温度。

例如，在标准大气压下，已知空气干球温度 t 为 25°C ，相对湿度 ϕ 为 50%，即可知道此状态下空气的湿球温度，如图 2.4 所示。

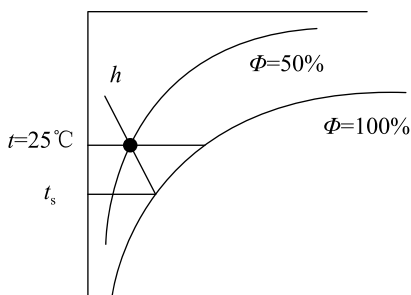


图 2.4 焓湿图应用（求湿球温度）

2.5.2 干式冷却过程在焓湿图上的表示

空气降温而过程中未发生结露现象，此过程叫干式冷却，在焓湿图上以直线 $A \rightarrow C$ 表示，如图 2.5 所示。

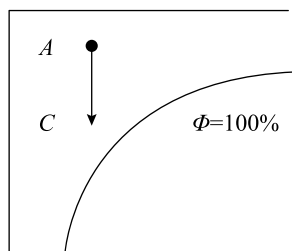


图 2.5 干式冷却在焓湿图上的表示

2.5.3 减湿冷却过程在焓湿图上的表示

表面式冷却器（表冷器）结构如图 2.6 所示。

空气与表面式冷却器接触时，若表面式冷却器表面温度低于空气露点时，则会发生结露现象，此过程叫减湿冷却，在焓湿图上以直线 $A \rightarrow G$ 表示，如图 2.7 所示。

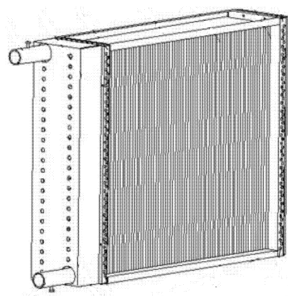


图 2.6 表面式冷却器结构

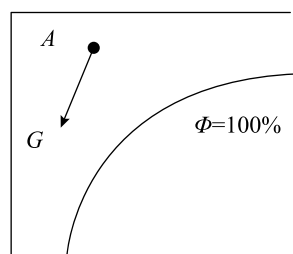


图 2.7 减湿冷却在焓湿图上的表示

2.5.4 加热过程在焓湿图上的表示

利用热水、蒸气、燃气、电阻丝、电热管等热源，通过热表面加热湿空气，空气不与这些供热物质直接接触，只进行热量交换。这种加热过程中空气的含湿量是不变的，而温度会升高。图 2.8 所示为空气通过电加热器的情形。

此过程在焓湿图上可以用直线 $A \rightarrow B$ 表示，如图 2.9 所示。

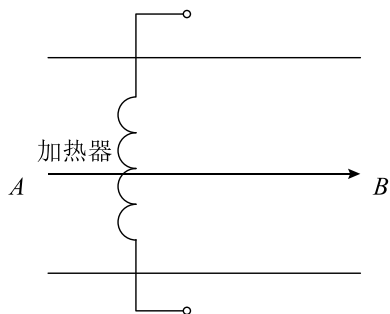


图 2.8 空气经过电加热器示意图

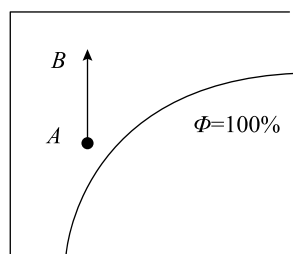


图 2.9 加热过程在焓湿图上的表示

2.5.5 等焓加湿过程在焓湿图上的表示

在喷水室利用循环水喷淋空气，这是空调工程中的加湿方法之一，如图 2.10 所示。水与空气长时间直接接触，水吸收空气中的显热而蒸发为水蒸气，空气的显热量减少，蒸发的水蒸气跑到空气中，空气含湿量增加，潜热上升，两相抵消，焓值基本不变，这种方式加湿称为等焓加湿。在焓湿图上等焓加湿过程可以用直线 $A \rightarrow E$ 表示，如图 2.11 所示。

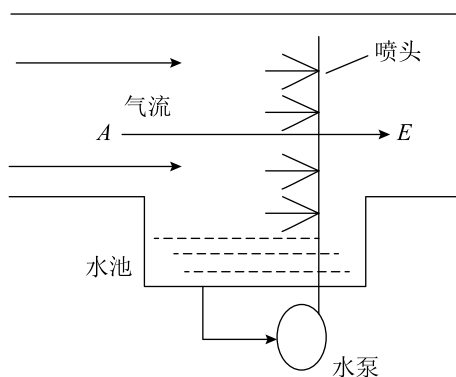


图 2.10 喷水室加湿示意图

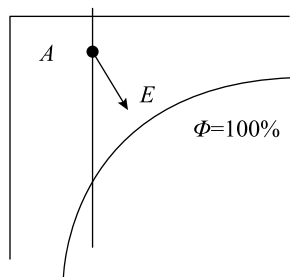


图 2.11 等焓加湿在焓湿图上的表示

2.6 空气环境对数据中心的影响

有了对空气基本物理性质的了解，下面来讨论一下空气环境对数据中心的影响。

2.6.1 数据中心IT设备的特点

一个运行中的数据中心，其暖通系统首先必须解决由于 IT 设备大量散热产生的控制空气环境温度使之不至于过高的问题，数据中心中大量使用服务器等 IT 设备，其核心器件为半导体器件，发热量很大。以主要的计算芯片 CPU 为例，早年其发展速度遵循著名的“摩尔定律”，即半导体芯片上的晶体管数（密度）大约每两年就翻一番，现在虽然提升速度有所放缓，但之前的累积增长已经到了一个相当高的高度。

随着 CPU 运算速度的提升，所需要的驱动功率也成倍增加。为了平衡运算速度的提高和驱动功率的增长，出现了双核、三核、四核的 CPU，并且 CPU 的功率需求也进一步提升。除 CPU 外，计算机的其他处理芯片，如总线、内存、I/O 设备等，均是高发热器件。当前，1U 高（约 44.4mm）的双核服务器的发热量可达 1000W 左右，放满刀片式服务器的机柜满负荷运转，发热量可达 20 ~ 30kW。

以服务器为例，其功率密度在过去的 10 年中增长了 10 倍。这个数据基本意味着单位面积的发热量也提高了近 10 倍。

与此同时，在同等计算能力下，计算机集成度大大提高了。

在同等计算能力下消耗的机柜、服务器数量、占地和耗电对比如图 2.12 所示。



图 2.12 在同等计算能力下消耗的机柜、服务器数量、占地和耗电对比

数据中心一旦投入运行, 其 IT 设备处于每年 365 天, 每天 24 小时不间断运行过程中, 除了前述必须保证为 IT 类设备提供正常工作的温度环境外, 对湿度、空气洁净度等空气环境指标也有要求。每个 IT 设备的厂家对设备运行环境的温度、湿度、洁净度都有一个严格的要求范围。表 2.3 为部分厂家、机构对设备运行环境的要求。部分交换机型号对设备运行环境的要求如表 2.4 所示。

表 2.3 部分计算机厂家、机构对设备运行环境的要求

国家	公司	标准	温度 /℃	湿度 /%
美国	IBM 公司部分机型		24±1	50±10
		ASHRAE 标准	23.9±1	45±5
	Honey Well 部分机型		22±1	40 ~ 60
日本	富士通		22 ~ 24±2	50±10
	横河电机研究所		夏 26±2	50±10
			冬 21±2	
		工业标准 JEIDA-29 A 级	15 ~ 30	40 ~ 70
		工业标准 JEIDA-29 B 级	5 ~ 40	20 ~ 80
		工业标准 JEIDA-29 S (S ₁) 级	0 ~ 50	10 ~ 90
德国	西门子公司部分机型		20±2	55±5

表 2.4 部分交换机型号对环境的要求

生产国	设备型号	建议范围	
		温度 /℃	湿度 /%
瑞典	AXE -10	15 ~ 25	40 ~ 65
日本	HDX-10	18 ~ 30	50 ~ 60

续表

生产国	设备型号	建议范围	
		温度 /℃	湿度 /%
法国	E ₁₀ B	15 ~ 30	30 ~ 70
中国	S1240	15 ~ 35	20 ~ 80
	F-150	15 ~ 30	40 ~ 64

2.6.2 不良空气环境对数据中心IT设备的危害

数据中心不良空气环境会对 IT 设备产生危害。

数据中心的不良空气环境包括温度问题、湿度问题、灰尘量超标问题等。

1. 温度问题

温度与平均无故障工作时间（Mean Time Between Failure, MTBF）的关系存在一个“10℃”法则：由于现代电子设备所用的电子元器件的密度越来越高，使元器件之间通过传导、辐射和对流产生了热耦合。因此，热应力已经成为影响电子元器件失效率的一个最重要的因素。对于某些电路来说，可靠性几乎完全取决于热环境。为了达到预期的可靠性目的，必须将元器件的温度降低到实际可以达到的最低水平。有资料表明：环境温度每提高 10℃，元器件寿命约降低 30% ~ 50%。这就是有名的“10℃”法则。

高温对元器件的具体影响如下：

- 对于半导体器件，由于电子元器件在工作时产生大量的热，如果没有有效的措施及时把热散走，就会使集成电路和晶体管等半导体器件形成结晶，这种结晶是直接影响计算机性能、工作特性和可靠性的重要因素。根据实验得知，室温在规定范围内每增加 10℃，其可靠性约降低 25%。器件周围的环境温度大约超过 60℃时，就将引起计算机发生故障，当半导体器件的结温过高时，其穿透电流和电流倍数就会增大。
- 对于电容器，温度对电容器的影响主要是：使电解电容器电解质中的水分蒸发增大，降低其容量，缩短使用寿命，改变电容器的介质损耗，影响其功率因数等参数的变化。由实验得知，在超过规定温度工作时，温度每增加 10℃，其使用时间下降 50%。
- 对于记录介质，实验表明，当磁带、磁盘、光盘所处温度持续高于 37.8℃时，开始出现损坏；当温度持续高于 65.6℃时则完全损坏。
- 对于磁介质来说，随着温度的升高，磁导率增大；当温度达到某一值时，磁介质丢失磁性，磁导率急剧下降。磁性材料失去磁性的温度称为居里温度。
- 对于绝缘材料，由于高温的影响，用玻璃纤维胶板制成的印制电路板将发生变形甚至软化，结构强度变弱，印制板上的铜箔也会由于高温的影响而使粘贴强

度降低甚至剥落。高温还会加速印制插头和插座金属簧卡的腐蚀,使接点的接触电阻增加。

- 对于电池,电池寿命与温度的关系如图 2.13 所示。电池是对环境温度最敏感的器件(设备),其适宜的工作温度在 25℃ 上下,每上升 10℃,寿命下降 50%。

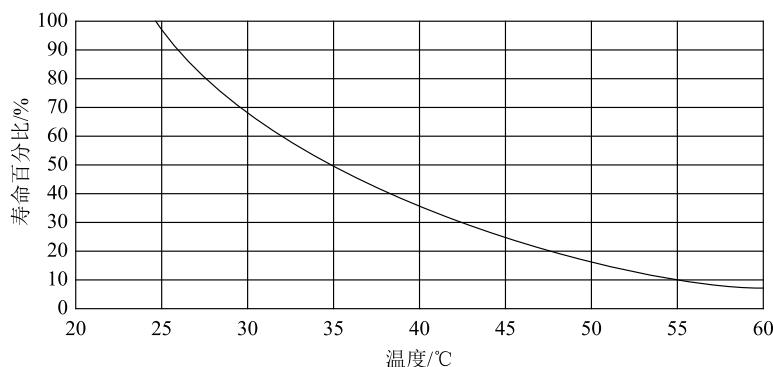


图 2.13 电池寿命与温度关系

以上说明了高温对元器件的具体影响,低温同样导致 IT 设备运行、绝缘材料、电池等出现问题。当机房温度过低时,部分 IT 设备将无法正常运行。低温对 IT 设备运行的具体影响如下:

- 当机房环境温度低于 5℃ 时,通信设备将无法正常运行。
- 当机房的环境温度低于 -40℃ 时,铅酸电池无法提供能量。
- 低温时,绝缘材料会变硬、变脆,结构强度同时也减弱。
- 对于轴承和机械传动部分,由于低温其自身所带的润滑油受冷凝结,黏度增大而出现黏滞现象。
- 温度过低时,含锡量高的焊剂会发生支解,从而降低电气连接的强度,甚至出现脱焊、短路等故障。
- 对于电池,当工作温度为 25℃ 之下时,随着温度的下降,电池放电容量下降。

低温影响电池放电容量如图 2.14 所示。

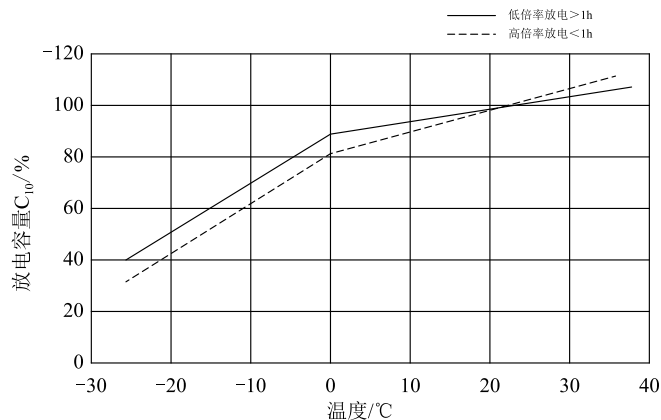


图 2.14 低温影响电池放电容量

2. 湿度问题

通常，湿度要求为 40% ~ 65%，在 IT 类设备工作时，湿度要求为 40% ~ 55%。如果湿度超过 65%，为湿度过高。如果湿度超过 80%，属于潮湿。如果湿度低于 40%，属于湿度过低（空气干燥）。

1) 湿度过高对 IT 类设备运行的影响

当空气的相对湿度大于 65% 时，物体的表面会附着一层厚度为 0.001 ~ 0.01 μm 的水膜。当湿度为 100% 时，水膜厚度为 10 μm 。这样的水膜容易造成“导电小路”或者飞弧，会严重降低电路可靠性。

在相对湿度保持不变的情况下，温度越高，对设备的影响越大，这是因为水蒸气压力随温度升高而增大，水分子易于进入材料内部。

当相对湿度由 25% 增加到 80% 时，纸张的厚度将增加 80%，这就是在潮湿的天气里，打印机无法正常工作的原因。

2) 湿度过低对 IT 类设备运行的影响

静电放电（Electrostatic Discharge, ESD）是电子工业中曾遍存在的“硬病毒”，在内外因条件具备的特定时刻便会发作，已成为电子工业的隐形杀手。

据报道，仅美国电子工业每年因 ESD 造成的损失就达几百亿美元。根据 Intel 公司公布的资料显示，在引起计算机故障的诸多因素中，EOS（Electrical Over Stress，电气过应力）/ ESD 是最大的隐患，将近一半的计算机故障都是由 EOS/ESD 引起的，ESD 对计算机的破坏作用具有隐蔽性、潜在性、随机性和复杂性的特点。

Intel 公司统计的计算机故障原因分布，如图 2.15 所示。

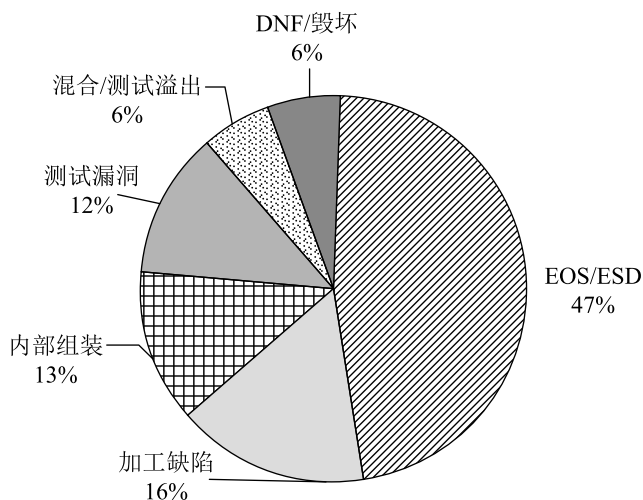


图 2.15 Intel 公司统计的计算机故障原因分布

IT 类设备由众多芯片、元器件组成，这些元器件对静电都很敏感，不同的静电敏感器件受静电损伤的阈值电压如表 2.5 所示。

表 2.5 静电损伤的阈值电压

器件类型	耐静电放电电压值 /V
奔腾处理器	5
EPROM 芯片	100
CMOS	250
肖特基二极管	300
可控硅	680

在空气湿度过低（干燥环境）时，工作人员的活动非常容易产生静电。表 2.6 反映的是在不同条件下人的各种动作所产生的静电电压。

表 2.6 静电电压产生量

人体动作产生的静电电压 /kV	相对湿度		
	10%	40%	55%
人在塑胶地板上行走	12	5	3
人在塑胶工作台上工作	6	0.8	0.4
在塑料台面上滑动塑料盒	18	9	2
从泡沫塑料包装中取出 PCB	21	11	5.5

实验表明，当机房相对湿度为 30% 时，静电电压为 5000V；当相对湿度为 20% 时，静电电压为 10 000V；当相对湿度降到 5% 时，静电电压高达 20 000V 以上。

根据 IEC 61000-4-2 测试标准，静电放电时，产生的瞬间电压可达到 7000V，甚至超过 10 000V。

3. 灰尘问题

除温度和湿度之外，灰尘对 IT 类设备是更厉害的杀手。其危害表现在以下几个方面。

1) 腐蚀电路板

微小颗粒吸收空气中的湿气后，在被微小颗粒污染的设备表面上形成电解层，这对许多金属会产生腐蚀作用。如果电解液浸透到导线保护层形成腐蚀点，并且该腐蚀点所处位置的导体有不同的电压，则在导线与导体之间就可能产生电弧，这样的电弧通常会烧坏元器件。严重的电弧会电解电路板形成导电电桥。

2) 降低绝缘性能

灰尘中存在大量的金属离子，这些金属离子与潮湿空气结合，就会降低电路与元器件的绝缘性能。

3) 影响散热

间接地促使零部件温度升高，影响寿命。一定量的灰尘附着在电路与元器件上，影响散热效果，导致局部元器件的温度上升。

除了上述几点外，美国贝尔实验室研究报告认为，导致电子设备退化的最主要环境

因素是灰尘颗粒和水蒸气。暴露在潮湿空气中的电子设备被微小颗粒污染后,就可能产生故障,这种故障在电信系统通常表现为串话和软故障。

数据中心非常重视防尘工作。在基础设施完工,机架准备投用前需要对整个数据中心进行“精保洁”。在整个建设阶段,也非常重视防尘工作。机房土建中,要注意室内地面的工艺及质量,防止不合格地面后期不断产生灰尘杂质。土建完成,进入IT机房内部机柜及设备安装阶段时,要注意场地清洁,定期清理已就位机柜的内外表面;有切割板材等造成大量灰尘的作业,尽量安排在室外进行,要防止施工作业产生的灰尘进入IT机柜,必要时对IT机柜区域进行遮挡密封以防施工降尘。

2.7 热力学基本定律及其在制冷技术中的应用

制冷及空调设备运行过程中存在着热量的转移、能量的转换,研究这类热能与其他形式能量之间相互转换规律的问题属于热力学的范畴。热力学(Thermodynamics)是从宏观角度研究物质的热运动性质及其规律的学科,属于物理学的分支。早期热力学的发展与蒸汽机的使用与发展密切相关。蒸汽机的活塞、气缸、曲柄连杆等机构与活塞式压缩机的相应部件其实是相似的。在空调制冷领域里广泛使用着热力学的理论与实践研究成果,以下先介绍一下热力学基本定律。

2.7.1 热力学第一定律

热力学第一定律是能量守恒与转换定律在热力学范畴的具体运用。

在常见的热能与机械能之间的转换过程中,存在这样的规律:一定量的热能消失时必然产生数量一定的机械能;反之,当一定量的机械能消失时,将产生一定数量的热能,转换前后能量的总量维持恒定。这就是热力学第一定律。

原理内容比较抽象,下面举个简单的例子说明一下能量转换的场景。

汽车发动机对外做功时,燃油燃烧产生的热能传给气缸内气体,气体通过改变容积推动活塞做了功,将热能转换为机械能;活塞式空气压缩机或氟利昂压缩机对外做功,是由压缩机通过活塞往复机械运动,对制冷剂蒸气进行压缩,使得气体温度升高,将是机械能转换为热能。

热力学第一定律也可表述如下。

进入系统的能量 = 系统中内能的增加 + 离开系统的能量

以封闭热力发动机系统为例,如图2.16所示,设封闭系统有 m kg工质(空气),当外界加给系统热量 Q 时,系统内能增加了 ΔU ,同时工质推动活塞左移,对外界做了膨胀功 W 。热力学第一定律认为:当系统与外界发生能量传递与转换时,加给系统的能量等于系统内能的增加与系统对外界做功之和。于是便可写出热力学第一定律的数学

表达式为

$$Q = \Delta U + W$$

式中： $Q > 0$ 时，外界对系统增加热， $Q < 0$ 时，系统对外界放热；

$\Delta U > 0$ 时，系统内能增加， $\Delta U < 0$ 时，系统内能减少；

$W > 0$ 时，系统对外界做功， $W < 0$ 时，外界对系统做功。

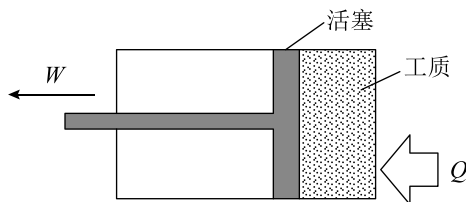


图 2.16 封闭热力发动机工作示意

热力学第一定律是人们在长期的实践中总结出来的原理，没有任何前提假设和推导，具有广泛的意义。

2.7.2 热力学第二定律

能量转换过程能否实现呢？过程可能向什么方向发展？过程进行到什么程度为止？这些具有很大大实际意义的问题，热力学第一定律没有给予解决，而热力学第二定律却给予了答案。有许多自然现象是不可逆的，是有方向性的。例如：水往低处流，热量总是自发地从高温物体传向低温物体，这类过程称为自发过程；反之，低处的水不会自发地向高处流，热量不会自发地从低温物体传向高温物体；这类不能自动进行的过程称为非自发过程。

非自发过程并非绝对无法实现。例如：利用水泵就可将水从低处送到高处，利用制冷机就可将热量从低温物体传向高温物体。

热力学第二定律有多种表述，其中之一就是：热量不可能自发地、不付代价地从低温物体传向高温物体。

第二定律告诉我们，在制冷过程中，只有消耗外界一定的能量（机械能或热能）作为补偿，才能实现将热量从低温物体（被冷却介质）传向高温物体（环境介质）的过程，从而实现制冷的目的。制冷循环，如图 2.17 所示。

热力学第二定律的另一表述是：物质从高温物体吸收的热量只能部分做功转换为机械能，剩余部分热量传给低温物体。亦即热机的热效率永远小于 1。

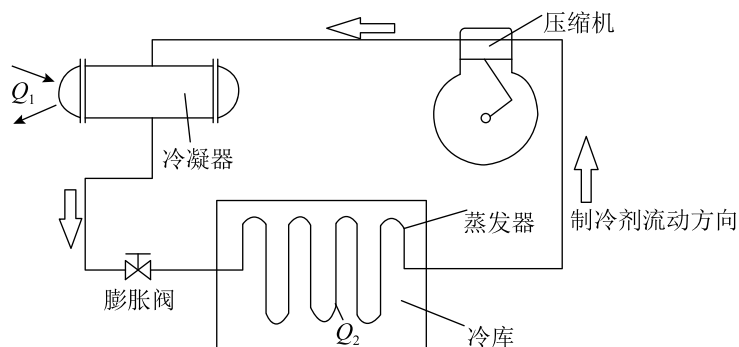


图 2.17 制冷循环

注： Q_1 放热量； Q_2 吸热量。

2.7.3 热力学第三定律

热力学第三定律是研究低温现象而得到的一个定律。其表述为：绝对零度（0K）只能无限地接近，但无法达到。

2.8 蒸气压缩式制冷原理

蒸气压缩式制冷是数据中心空调系统必备的一种制冷方式。这种方式使用一种叫作氟利昂的物质来吸取室内热量，并带至室外散发到空气中。在此过程中，氟利昂是被不断循环利用的，理论上没有任何损耗。

要完成氟利昂从室内将热量带到室外，除了需要氟利昂本身以外，一般还需要四大基本构件：压缩机、冷凝器、节流机构、蒸发器。由这四大构件可组成一个基本的制冷系统。如图 2.18 所示。在这样的系统中，氟利昂被称为制冷剂。

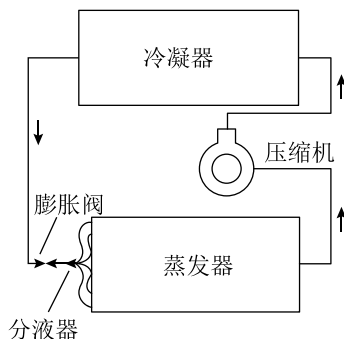


图 2.18 蒸气压缩式制冷系统

以下对这种使用氟利昂的制冷系统工作原理加以阐述。

取 1kg 液态 R12 注入气缸中，并保持在一一定的压力下对其进行加热（或冷却），如图 2.19 所示，此时所引起的温度和体积的变化规律如图 2.20 所示。注意此处气缸活塞是既能起到密封作用又可以无摩擦自由滑动。

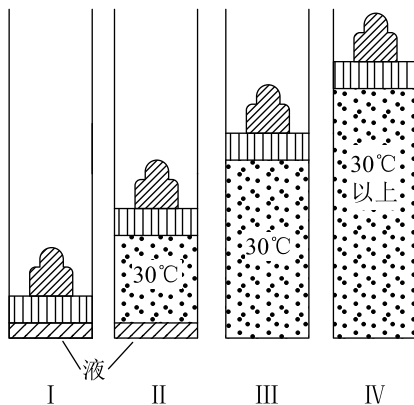


图 2.19 定压加热时氟利昂的变化

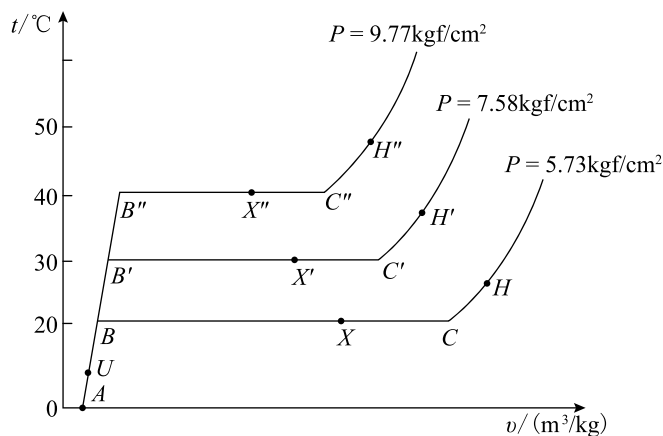


图 2.20 R12 定压加热时温度与体积的变化曲线

2.8.1 制冷剂的状态及相关术语

1. 定压

下面以一个实验案例讲解制冷剂在定压加热（或冷却）条件下状态的变化特性，实验采用的是氟利昂-12（R12），其他种类氟利昂也有类似的特性。所谓定压就是在整个状态变化过程中气体压力不变。在研究其他问题时有时会在等容、等温的状态下进行实验，所谓等容、等温分别是指在整个状态变化中保持气体体积不变或温度不变。

2.11 数据中心制冷系统常用压缩机简介

制冷压缩机是制冷装置中最主要的设备，通常称为制冷装置中的主机，其主要功能如下：

- (1) 蒸发器内吸取制冷剂蒸气，以保证蒸发器内一定的蒸发压力。
- (2) 提高压力将低温低压的制冷剂蒸气提高为高温高压的过热蒸气，以创造在较高温度（如夏季 35℃ 左右的气温）下冷凝。
- (3) 输送并推动制冷剂在系统内流动，完成制冷循环。

制冷压缩机的种类和形式很多，根据其工作原理，可分为容积型和速度型两大类，如图 2.27 所示。

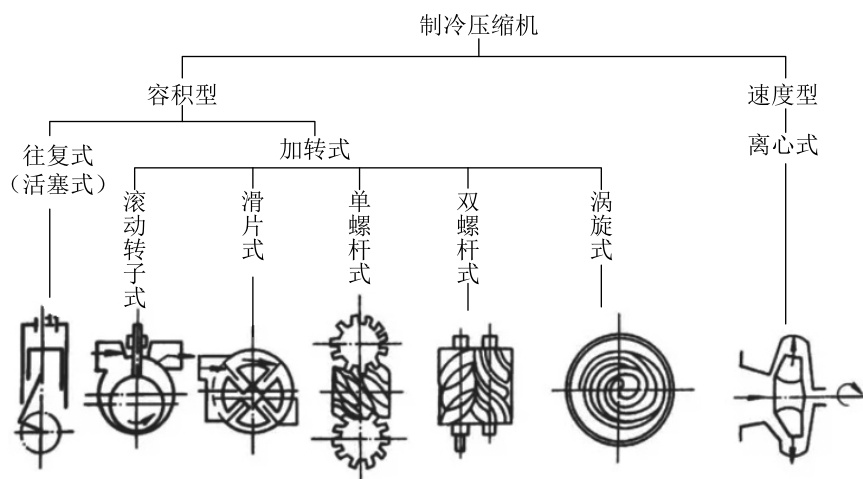


图 2.27 制冷压缩机的分类

■ 容积型。

容积型压缩机是靠工作腔容积的改变实现吸气、压缩、排气等过程。

容积型压缩机根据其工作部件的运动形式，又分为往复式和回转式，前者活塞在气缸内做往复运动，而后者是工作部件在气缸内做回转运动，螺杆式、滑片式等压缩机均为回转式。目前制冷工业使用最广泛的为往复式压缩机，且机型有几十种之多。

■ 速度型。

速度型压缩机是靠高速旋转的工作叶轮对蒸气做功，使压力升高并完成输送蒸气的任务。这类压缩机根据蒸气的流动方向分为离心式和轴流式两种，其中应用较广的是离心式。

常用压缩机与使用功率范围，如表 2.8 所示。

表 2.8 常用压缩机与使用功率范围

压缩机形式	用途					
	家用冷藏箱、冻结箱 /W	房间空调器 /W	汽车空调设备	住宅用空调器和热泵 /kW	商用制冷和空调设备 /kW	大型空调设备 /kW
往复式（活塞式）	100				200	
滚动转子式	100			10		
涡旋式		5k			70	
螺杆式					150	1400
离心式						350 及以上

数据中心制冷系统常用的压缩机通常为往复式活塞压缩机、涡旋式压缩机、螺杆式压缩机及离心式压缩机。

2.11.1 往复式活塞压缩机

1. 往复式活塞压缩机的机械结构

往复式活塞压缩机的机械结构类似于汽车的发动机系统，由于其运作原理基于消耗电能（电动机旋转）带动连杆和活塞往复运动，所以一般称为往复式活塞压缩机。

往复式活塞压缩机的作用方式，如图 2.28 所示；压缩机中气体流动方式，如图 2.29 所示。

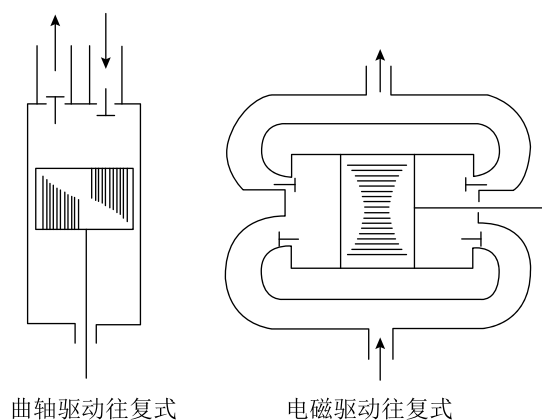


图 2.28 往复式活塞压缩机的作用方式

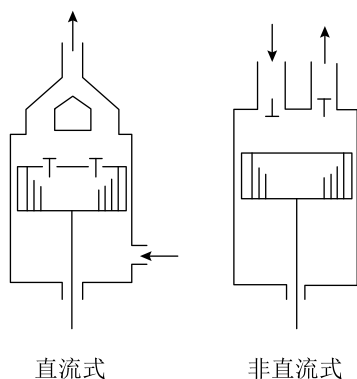


图 2.29 压缩机中气体流动方式

压缩机曲轴的功率输入端伸出曲轴箱外，通过联轴器或皮带轮和电动机连接，因此在曲轴伸出端必须安装轴封，以免制冷剂向外泄漏。这种形式的压缩机为开启式压缩机。

由于开启式压缩机轴封的密封面磨损后会造成泄漏口，增加了操作维护的困难，人们在实践的基础上，将压缩机的机体和电动机的外壳连成一体，构成密封机壳。这种形式的压缩机称为半封闭式压缩机。这种机器的主要特点是不需要轴封，密封性好，对氟利昂压缩机很适宜。目前使用的往复式活塞压缩机一般是半封闭式压缩机。往复式活塞压缩机如图 2.30 所示。

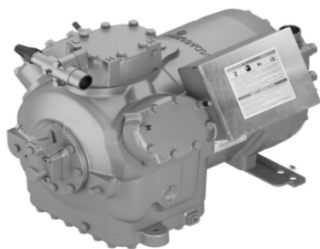


图 2.30 往复式活塞压缩机

2. 往复式活塞压缩机的特性

往复式活塞压缩机的特性如下：

- (1) 由于运行的连杆和活塞是重复性往复运动，存在节奏性噪声，所以往往会搭配使用消声器以降低噪声。
- (2) 往复式活塞压缩机的功率可以很大。在大功率的场合一般使用往复式活塞压缩机。
- (3) 往复式活塞压缩机是半封闭结构，可以拆卸维护。使用寿命较长。
- (4) 往复式活塞压缩机在工作时不能压缩液体，抗液击能力差。如果其吸气口有液体存在，可能会打断其内部的曲轴。在使用中应格外注意。
- (5) 往复式活塞压缩机的体积一般较大，但是可以在非常恶劣的环境中使用。

2.11.2 涡旋式压缩机

1. 涡旋式压缩机的机械结构

涡旋式压缩机的机械结构如图 2.31 所示，其工作原理如图 2.32 所示。

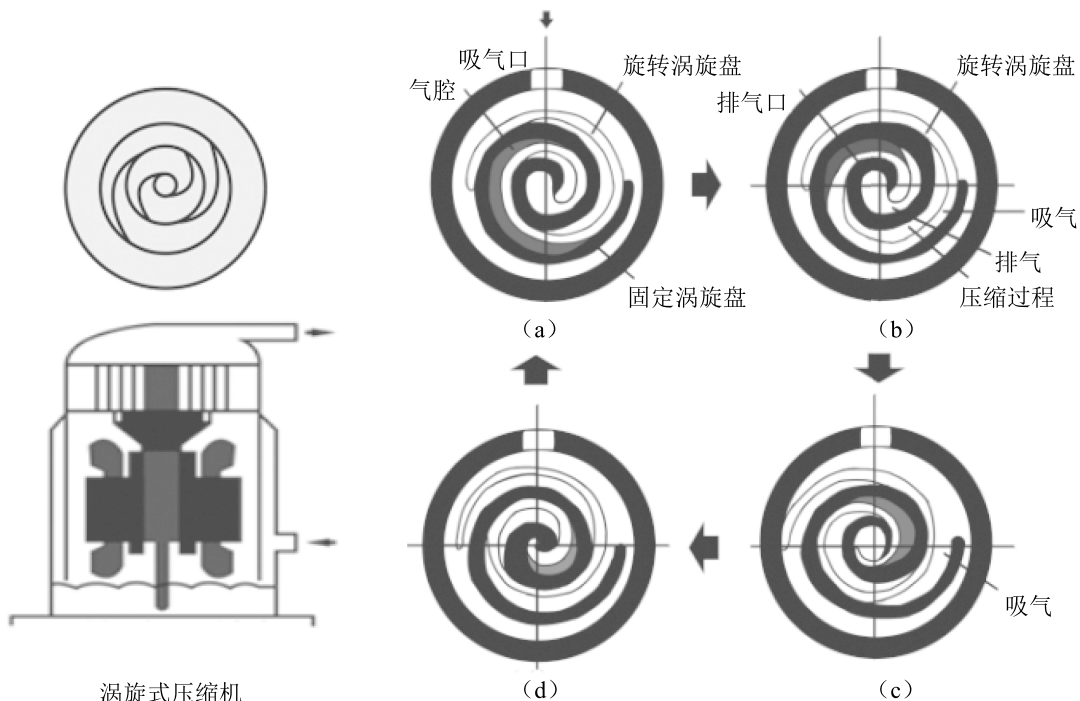


图 2.31 涡旋式压缩机的机械结构

图 2.32 涡旋式压缩机的工作原理

压缩腔由一个固定涡旋盘和一个旋转涡旋盘组成。旋转涡旋盘由一个偏心轴带动，与固定涡旋盘相互配合，形成几对弯月形工作容积，这就是气缸的可变容积。偏心轴带动旋转涡旋盘做回转的平面运动，使弯月形工作容积从外部逐渐向中心移动，容积逐渐变小。图 2.31 (a) 表示吸气终了状态，此时最外面的两个弯月形工作容积被封闭。随着偏心轴的继续转动，压缩过程开始，如图 2.31 (b) 所示，两个弯月形工作容积逐渐向中心移动，容积逐渐减小，充满在工作容积内的气体受到压缩，压力逐渐升高。在图 2.31 (c) 中，两个弯月形工作容积已经移到中心，并与中心处的排气孔口接通，工作容积内的气体开始排出。在图 2.31 (d) 中，最外边的两个弯月形容积与吸气腔接通，又开始吸气和压缩过程。如此循环往复，周而复始，压缩不断进行。

2. 涡旋式压缩机的特性

涡旋式压缩机的特性如下：

- (1) 相对于往复式活塞压缩机来说，功率要小一些。
- (2) 相对于往复式活塞压缩机来说，噪声等级低很多，无须配备消声器。

- (3) 是全封闭结构，一般不可以拆卸维护。
- (4) 是柔性涡旋盘结构，抗液击能力较强。但是，在使用中仍然要尽量避免液击。
- (5) 较往复式活塞压缩机的体积小。

2.11.3 数码涡旋式压缩机

数码涡旋式压缩机的历史相对较短，但是它在空调器中的使用却在与日俱增。数码涡旋式压缩机与现在广泛使用的往复式压缩机、旋转式压缩机相比较，有以下特点：

(1) 技术含量高，具有很好的稳定性和节能性。由于涡旋式压缩机在设计上采取了独特的工作原理，气体压缩引起的力矩波动较小，所以与往复式和旋转式压缩机相比，它的振动可维持在一个较低的水平。因此，涡旋式压缩机具有很好的稳定性和节能性，噪声相对比较低。

(2) 把复杂技术简单化，属于技术含量较高的产品。同时，涡旋式压缩机通过本身的变容量技术就解决了节能问题，不再需要复杂的电子控制，从而减少了线路和电子元器件。

(3) 数码涡旋式压缩机在超低温条件下能够很好地运转，并拥有更高的能效比。数码涡旋压缩机从“负载状态”到“卸载状态”的变换损耗只有 10%，低于变频压缩机的综合能源损耗，并且数码涡旋技术能让压缩机在 10% ~ 100% 容量范围内，实现整个范围内的无级调节运行，具有优秀的季节能耗比。

2.11.4 螺杆式压缩机

螺杆式压缩机是指用带有螺旋槽的一个或两个转子（螺杆）在气缸内旋转使气体压缩的制冷压缩机。螺杆式压缩机属于工作容积做回转运动的容积型压缩机。按照螺杆转子数量的不同，螺杆式压缩机有双螺杆与单螺杆两种。

1. 工作原理及工作过程

螺杆式压缩机主要由转子、机壳（包括中部的气缸体和两端的吸、排气端座等）、轴承、轴封、平衡活塞及输气量调节装置组成。图 2.33 是螺杆式压缩机的一对转子、气缸和两端端座的外形图。

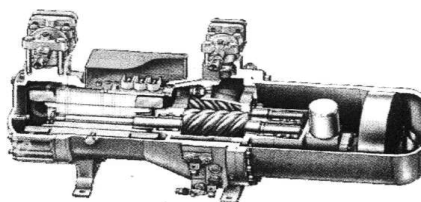


图 2.33 螺杆式压缩机

螺杆式压缩机工作时是利用一对相互啮合的阴、阳转子在机体内做回转运动，周期性地改变转子每对齿槽间的容积来完成对气体的压缩，其工作过程可分为吸气、压缩、排气等过程。

图 2.34 为螺杆式压缩机的工作过程示意图。



图 2.34 螺杆式压缩机的工作过程示意图

吸气过程：当转子转动时，齿槽容积随转子旋转而逐渐扩大，并和吸入口相连通，由蒸发系统来的气体通过孔口进入齿槽空间开始气体的吸入过程；在转子旋转到一定角度以后，齿槽空间越过吸入孔口位置与吸入孔口断开，吸入过程结束。

压缩过程：当转子继续转动时，被机体、吸气端座和排气端座所封闭的齿槽空间内的气体，由于阴、阳转子的相互啮合和齿的相互填塞而被压向排气端，同时压力逐步升高进行压缩过程。

排气过程：当转子转动到使齿槽空间与排气端座上的排气孔口相通时，气体被压出并从排气法兰口排出，完成排气过程。

由于每一齿槽空间里的工作循环都要出现以上 3 个过程，在压缩机高速运转时，几对齿槽空间重复进行吸气、压缩和排气循环，从而使压缩机的输气连续、平稳。

2. 特点

就压缩气体的原理而言，螺杆式压缩机与往复式活塞压缩机一样，同属于容积式压缩机械；就其运动形式而言，螺杆式压缩机的转子与离心式压缩机的转子一样，做高速旋转运动。螺杆式压缩机兼有二者的特点。

1) 优点

螺杆式压缩机的优点具体如下：

- (1) 转速较高、质量轻、体积小、占地面积小。
- (2) 因动力平衡性能好，故基础可以很小。
- (3) 结构简单紧凑，易损件少，维修简单，使用可靠，有利于实现操作自动化。
- (4) 对液击不敏感，单级压力比较高。
- (5) 输气量几乎不受排气压力的影响。在较宽的工况范围内，仍可保持较高的效率。

2) 缺点

螺杆式压缩机的缺点具体如下：

- (1) 噪声大。

- (2) 需要有专用设备和刀具来加工转子。
- (3) 辅助设备庞大。

2.11.5 离心式压缩机

离心式压缩机的构造和工作原理与离心式鼓风机极为相似。它的工作原理与往复式压缩机有根本的区别，它不是利用气缸容积减小的方式来提高气体的压力，而是依靠动能的变化来提高气体压力。离心式压缩机具有带叶片的工作轮，当工作轮转动时，叶片就带动气体运动或者使气体得到动能，然后使部分动能转化为压力能从而提高气体的压力。这种压缩机由于工作时不断地将制冷剂蒸气吸入，又不断地将制冷剂蒸气沿半径方向甩出去，所以称为离心式压缩机。根据压缩机中安装的工作轮数量的多少，可分为单级式和多级式。如果只有一个工作轮，就称为单级离心式压缩机；如果是由几个工作轮串联组成，就称为多级离心式压缩机。离心式压缩机外形，如图 2.35 所示。

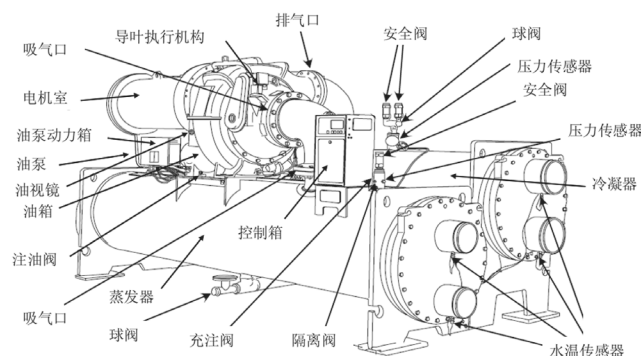


图 2.35 离心式压缩机

离心式压缩机作为速度型压缩机，具有以下优点：

- (1) 在相同冷量的情况下，特别是在大容量时，与螺杆式压缩机组相比，省去了庞大的油分装置，机组的重量及尺寸较小，占地面积小。
- (2) 结构简单紧凑，运动件少，工作可靠，经久耐用，运行费用低。
- (3) 容易实现多级压缩和多种蒸发温度，容易实现中间冷却，使得功耗较低。
- (4) 离心机组中混入的润滑油极少，对换热器的传热效果影响较小，机组具有较高的效率。

离心式压缩机具有以下缺点：

- (1) 转子转速较高，为了保证叶轮具有一定的宽度，必须用于大、中流量场合，不适合用于小流量场合。
- (2) 单级压比低，为了得到较高压比必须采用多级叶轮，一般还要用增速齿轮。
- (3) 喘振是离心式压缩机的固有缺点，机组必须添加防喘振系统。
- (4) 同一台机组工况不能有大的变动，适用的范围较窄。