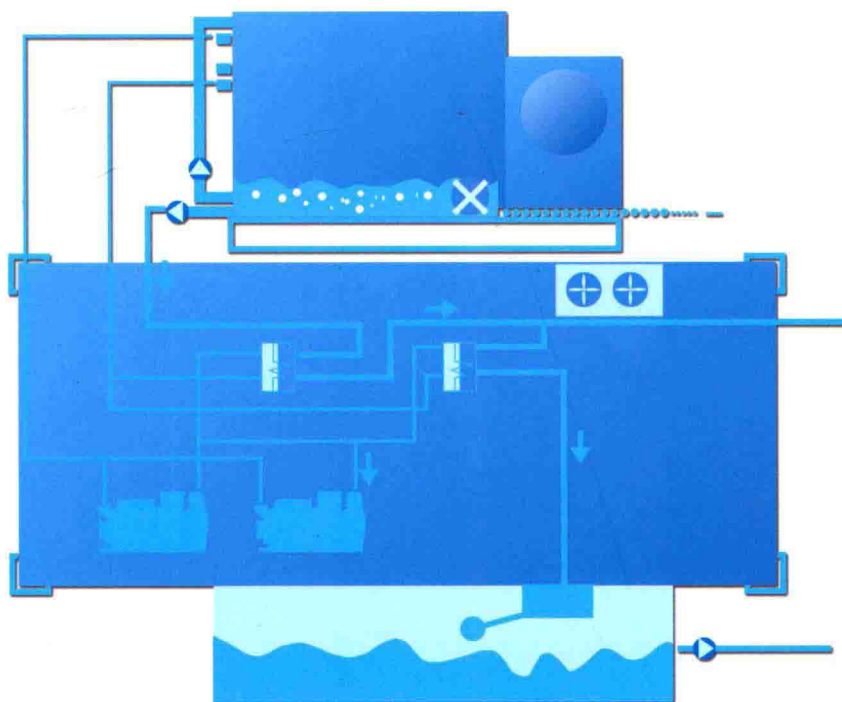


【第3版】

制冷装置设计

ZHILENG ZHUANGZHI SHEJI

庄友明 编著



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

制冷装置设计 [第3版]

ZHILENG ZHUANGZHI SHEJI

庄友明 编著



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

制冷装置设计 / 庄友明编著. —3 版. —厦门 : 厦门大学出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-5615-6649-7

I. ①制… II. ①庄… III. ①制冷装置-设计 IV. ①TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 193013 号

出版人 蒋东明
责任编辑 陈进才
封面设计 蒋卓群
技术编辑 许克华

出版发行 厦门大学出版社
社 址 厦门市软件园二期望海路 39 号
邮政编码 361008
总 编 办 0592-2182177 0592-2181406(传真)
营销中心 0592-2184458 0592-2181365
网 址 <http://www.xmupress.com>
邮 箱 xmup@xmupress.com
印 刷 泉州刺桐印务有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16
印张 16
插页 1
字数 380 千字
版次 2017 年 8 月第 3 版
印次 2017 年 8 月第 1 次印刷
定价 36.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换



厦门大学出版社
微信二维码



厦门大学出版社
微博二维码

内容摘要

本书系统地阐述了冷库制冷装置设计的基本知识,重点介绍了氨制冷系统的基本构成、方案确定、节能措施、负荷计算、设备选型与布置等内容。

全书共分九章,第一章为系统基本情况及方案设计,第二章至第四章为冷负荷计算及设备管道的选型计算,第五章、第六章为制冷机器设备的空间定位及各种冷间里的设备布置及气流组织形式,并有 IQF 速冻设备的内容,第七章专门介绍盐水制冰系统及快速制冰设备,第八章为设计文件编制及图纸画法简介,第九章为安装调试及操作运行。全书图文并茂,语言简练易懂。该书除可供有关院校师生作教材或教材参考书外,也可供从事冷库设计、施工的工程技术人员及系统管理操作人员参考。

再版前言

《制冷装置设计》一书出版发行至今已有 7 个年头,这几年随着我国国民经济持续迅速发展,人民生活水平得到不断提高,我国制冷行业的科学技术也有了很大的进步。制冷技术应用和制冷工程建设已渗透到社会经济建设和人民日常生活的各个角落。《制冷装置设计》作为与制冷工程建设密切相关的技术著作,受到许多制冷工程技术人员关注和青睐,也曾被一些高校作为制冷相关专业学生的专业教材,这几年在读者中有一定影响,在行业中发挥了积极的作用。但由于编著时间和经验不足,书中也的确存在一些瑕疵,许多读者纷纷来函向作者纠正书中错误。在此,特别感谢大家的关心和帮助!

此次再版,作者除对错漏之处一一更正外,还根据 2001 年新实施的《冷库设计规范》(GB 50072-2001)内容修改了一些表格和附录的数据;部分章节的内容也做了新的修改;补充了两个附录和一个参考书目。通过这些修改和补充,力争使新版的《制冷装置设计》更加完善,使其今后能在制冷行业的科研、教学和工程建设中发挥更大的作用。

编 者

2006 年 11 月

前 言

《制冷装置设计》是食品加工相关院校制冷工艺专业学生的主要必修专业课,鉴于目前全国还没有此门课的统编教材,原来我院制冷专业一直沿用制冷教研室教师集体编写的讲义作教材,由于编写年代的关系,书中部分数据资料已陈旧,加之几年来制冷专业此门课的时数已历经几次更动,不管从专业内容、时数安排或印刷质量,原教材均已无法适应当前的教学要求。为了解决此门课的教材问题,在有关领导的鼓励和支持下,笔者承担了《制冷装置设计》的编写任务。

此次教材编写,在原教材的基础上做了很大的改动,第一章至第四章是该书的重点,此次全部重新编写,内容仍以活塞式制冷装置为重点,另外增加了螺杆压缩制冷装置的内容。书中插图全部由电脑绘制。其他章节也进行了不同程度的修改,增、删了一些内容,更新了一些数据和图表资料,部分地方也做了较彻底的改动。全书容量适合于60~80学时的课程,不同课时可通过对“*”号章节的选用加以调节。书中专业术语与《冷库设计规范》相一致,名义工况采用国标的最新规定,量纲单位全部使用SI制,力争能满足目前《制冷装置设计》课程的教学要求。

书稿印成后,在试用过程中受到学生很高的评价,许多同行朋友也纷纷来函来电索要,由此使笔者萌生了出版此书的念头。在院、处、系各级领导的大力支持下,本书得到了集美大学的教材出版资助。经征求有关同行专家的意见后,笔者对教材进行反复修改和补充,从而形成现有的书样。由于时间紧,水平有限,书中纰漏在所难免,敬请同行专家、老师、同学们继续提出宝贵意见,以便在今后的岁月里对此书加以不断地完善。

此次教材的编写和出版,得到了校、院、处、系各级领导的大力支持,在此对他们表示衷心的感谢!另外,还要感谢林瑞镛教授和蔡文庆教授对书中内容提出了宝贵的意见!

编 者

目 录

第一章 制冷系统方案设计	(1)
第一节 制冷系统概述	(1)
一、制冷系统的定义及分类	(1)
二、蒸汽压缩式制冷系统的基本构成	(1)
三、蒸汽活塞压缩式制冷装置原理图	(3)
第二节 制冷系统方案设计	(5)
一、提高制冷效率的基本措施	(5)
二、制冷系统的安全保护措施	(8)
三、制冷系统供液方式的确定	(11)
四、冷间冷却方式的确定	(14)
五、制冷系统供冷形式	(15)
六、制冷系统蒸发温度回路的方案确定	(15)
七、制冷系统自控程度等级划分	(18)
第三节 制冷机器、设备的配置方案	(19)
一、压缩机部分	(19)
二、高压侧部分的配置方案	(20)
三、低压侧部分的配置方案	(25)
四、独立部件部分	(33)
第四节 螺杆压缩式制冷系统	(35)
一、螺杆压缩的油回路	(35)
二、带经济器的螺杆压缩制冷装置	(37)
第五节 冷库制冷装置部分自控方案	(38)
一、库房回路自控方案	(38)
二、供液的自动控制	(45)
三、中间冷却器的自动控制	(47)
第二章 制冷负荷计算	(49)
第一节 计算的基础资料和一般规定	(49)
一、基础资料	(49)
二、设计参数的确定	(50)
三、冷库的设计规模	(53)

第二节 冷间内各项冷负荷的确定	(54)
一、围护结构传入热 Q_1	(54)
二、货物放热量 Q_2	(58)
三、通风换气冷负荷 Q_3	(63)
四、电机运行热当量 Q_4	(64)
五、操作管理冷负荷 Q_5	(65)
第三节 冷却设备负荷和机械负荷的计算	(66)
一、库房冷却设备负荷 Q_q	(66)
二、机械负荷 Q_j	(67)
第四节 小型冷库制冷负荷估算图表	(70)
一、小型冷库单位制冷负荷估算表	(70)
二、装配式冷库冷却面积比及单位制冷负荷性能表	(71)
三、土建冷库冷却面积比及单位制冷负荷性能表	(72)
四、小型系列装配式冷库制冷负荷表	(73)
第三章 制冷机器设备的选型计算	(74)
第一节 活塞式压缩机的选型计算	(74)
一、选型的一般原则	(74)
二、几个主要计算参数的确定	(75)
三、名义工况及名义制冷量	(77)
四、选型计算	(78)
第二节 螺杆式制冷压缩机的选型	(86)
一、型号标识	(86)
二、名义工况及机器的工作条件	(88)
三、计算与选型	(89)
第三节 冷凝器的选型计算	(94)
一、选型的一般原则	(94)
二、选型计算	(94)
第四节 冷却设备的选型计算	(96)
一、选型原则	(96)
二、冷却面积计算	(96)
三、冷却设备每通路的压力降	(101)
第五节 节流阀的选型计算	(101)
一、流量计算	(101)
二、选型	(102)
第六节 辅助设备的选型计算	(104)
一、中间冷却器的选型计算	(104)
二、油分离器的选型计算	(105)
三、贮液器的选型计算	(106)

四、汽液分离器的选型计算	(106)
五、低压循环桶的选型计算	(106)
六、氨泵的选型计算	(108)
七、排液桶的选型计算	(109)
八、低压贮液器的选型	(109)
九、空气分离器的选型	(109)
十、集油器的选型	(109)
十一、干燥器和过滤器的选型	(109)
第四章 制冷管道设计计算	(110)
第一节 制冷管道的阻力计算	(110)
一、单相流体的阻力计算	(110)
二、两相流体的阻力计算	(112)
第二节 制冷管道设计计算	(114)
一、管径的选择计算	(114)
二、管材的选用	(123)
第三节 管道的伸缩和补偿	(125)
一、管道的伸缩	(125)
二、热补偿方法	(126)
第四节 管道的隔热	(127)
第五章 机房设计	(129)
第一节 机房的建筑要求	(129)
一、机房在冷库总平面上的布置	(129)
二、机房的组成	(129)
三、机房的建筑形式	(129)
四、机房的地面、墙裙和机座的要求	(130)
五、考虑扩建余地	(130)
第二节 机器设备和管道的布置原则	(130)
一、机器和设备的布置原则	(130)
二、制冷管道的布置原则	(131)
第三节 机器、设备和管道的布置	(132)
一、压缩机部分的布置	(132)
二、高压侧设备的布置	(134)
三、低压设备的布置	(137)
四、调节站的布置	(139)
第六章 冷间设备布置及气流组织	(143)
第一节 冷却间	(143)
一、肉类冷却间	(143)
二、果蔬冷却间	(145)

三、鲜蛋冷却间	(146)
第二节 冻结间	(146)
一、白条肉冻结间	(146)
二、盘装、箱装食品的冻结间	(150)
三、强吹风“单体速冻”冻结装置(IQF)	(156)
第三节 冷却物冷藏间	(161)
第四节 冻结物冷藏间	(165)
一、空气自然对流循环式冻结物冷藏间	(165)
二、风冷式冻结物冷藏间	(168)
三、夹套式冷库	(169)
第五节 贮冰间(冰库)	(172)
一、贮冰间制冷工艺的要求	(172)
二、贮冰间的建筑要求	(173)
第七章 制冰	(174)
第一节 盐水制冰	(174)
一、盐水的参数要求	(174)
二、制冰间的设备与工艺流程	(175)
三、盐水制冰的有关计算	(176)
四、制冰设备布置	(179)
五、制冰间的建筑要求	(182)
六、提高盐水制冰效率的措施	(183)
第二节 快速制冰	(184)
一、AJB-15/24 型桶式快速制冰机	(185)
二、沉箱管组式快速制冰机	(187)
三、管冰机	(188)
四、片冰机	(189)
五、板冰机	(190)
第三节 冰的输送	(191)
一、块冰的输送	(191)
二、碎冰输送	(191)
三、冰块轧碎	(192)
第八章 设计文件及图纸的要求	(194)
第一节 设计文件的编制	(194)
一、扩初设计(两段设计)阶段	(194)
二、施工图设计阶段	(194)
三、设计文件的排列顺序	(195)
第二节 施工图纸的绘制要求	(196)
一、制冷工艺图纸绘制的一般规定	(196)
二、主要图纸的绘制要求	(198)

第三节 制冷工艺专业与其他专业的配合	(201)
一、向土建专业提供的主要条件	(202)
二、向给、排水工种提供的主要条件	(202)
三、向供、配电专业提供的主要条件	(202)
第九章 制冷装置的安装与调整	(203)
第一节 制冷机器设备的安装	(203)
一、制冷压缩机的安装	(204)
二、冷凝器的安装	(205)
三、蒸发器的安装	(205)
四、辅助设备的安装	(206)
第二节 制冷管道的制作及安装	(206)
一、弯管的制作	(207)
二、管道的除污工作	(207)
三、管道的连接	(207)
第三节 制冷设备及管道的隔热	(209)
一、隔热材料的选择	(209)
二、隔热结构的施工	(210)
第四节 制冷装置试运转	(216)
一、制冷装置的吹污、检漏和抽空	(216)
二、添加制冷剂	(219)
三、添加润滑油	(219)
四、制冷装置的试运转	(221)
第五节 制冷装置的调整及冷库投产	(224)
一、制冷装置的主要参数	(224)
二、制冷装置的调整	(226)
三、冷库的降温和试生产	(227)
附录 1 各主要城市部分气象资料	(228)
附录 2 冷库常用建筑材料及防潮、隔汽材料的物理性能	(236)
附录 3 一般食品的主要物理特性	(238)
附录 4 空气的含热量值 h (压力为 101.325 kPa)	(241)
附录 5 R717 制冷剂饱和和热力特性表	(243)
附录 6 R717 制冷剂热力特性图	(245)
参考文献	(246)

第一章 制冷系统方案设计

第一节 制冷系统概述

一、制冷系统的定义及分类

1. 定义

任何使用外部能量不断把温度低的物质的热量移给温度较高的物质的系统称制冷系统。

2. 分类

按上述定义,制冷系统可分为蒸汽制冷系统、空气制冷系统和热电制冷系统。其中蒸汽制冷系统又可分为:(1)蒸汽压缩式;(2)蒸汽喷射式;(3)蒸汽吸收式。

蒸汽制冷系统是利用液体汽化成蒸汽时要吸收热量的原理来实现制冷的。可以说蒸汽制冷系统是目前使用得最为广泛的制冷系统,特别是冷库中的制冷装置,绝大部分是采用蒸汽压缩式制冷系统,因此本教材所述及的范围也只限于蒸汽压缩式制冷系统的设计。

二、蒸汽压缩式制冷系统的基本构成

1. 单级压缩系统的基本构成

①蒸发器,②压缩机,③冷凝器,④节流阀,这是单级压缩系统必不可少的四大部件,如图 1-1-1 所示。这些设备之间用管道依次连接形成一个封闭系统,制冷剂在系统中经过压缩、冷凝、节流、汽化这样四个过程,完成了一个循环。

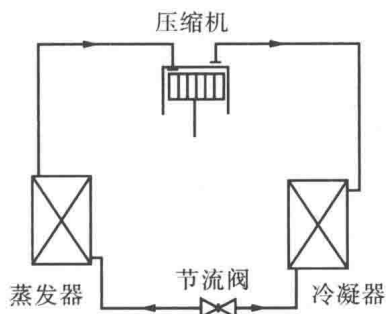


图 1-1-1 单级压缩基本构成

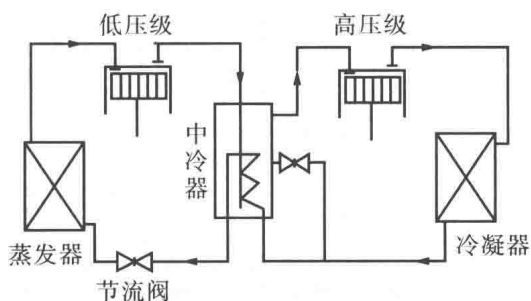


图 1-1-2 双级压缩系统基本构成

2. 双级压缩系统的基本构成

①蒸发器,②低压级压缩机(缸),③中间冷却器,④高压级压缩机(缸),⑤冷凝器,⑥节流阀,这是双级压缩系统必不可少的六部件,把它们依次用管道连接起来,就构成了一个最基本的双级压缩系统,如图 1-1-2 所示。来自蒸发器的制冷剂先经低压级压缩机(缸)压缩至中间压力,由低压级排出的过热气体在中冷器中被等压冷却至饱和蒸汽,然后再入高压级压缩机被压缩至系统的冷凝压力,最后经节流阀进入蒸发器去执行制冷任务。

3. 单、双级综合系统的基本构成

冷库中,蒸汽压缩制冷装置并不总是纯粹的单级或纯粹的双级系统,更多的情况是两者并存的综合系统,如图 1-1-3 所示,由图可见:综合系统实际上是单级系统和双级系统共同并联到一个冷凝器上的综合体。

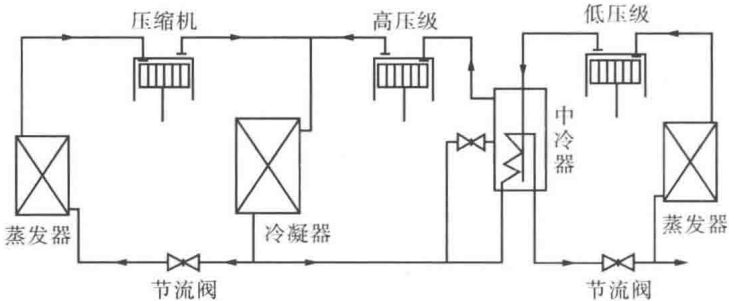


图 1-1-3 单、双级压缩综合系统基本构成

从理论上讲,一个系统只要有上述的基本部件就可以工作了。但在实际的制冷装置中,为了提高运行的经济性和保证操作管理的安全可靠,除了这些部件外,还增设了许多其他的辅助设备,这些辅助设备有:油分离器、高压贮液器、汽液分离设施、排液桶、集油器、空气分离器、加氨站和各种高、低压调节站。这些设备和基本部件的关系见图 1-1-4 制冷流程方框图。

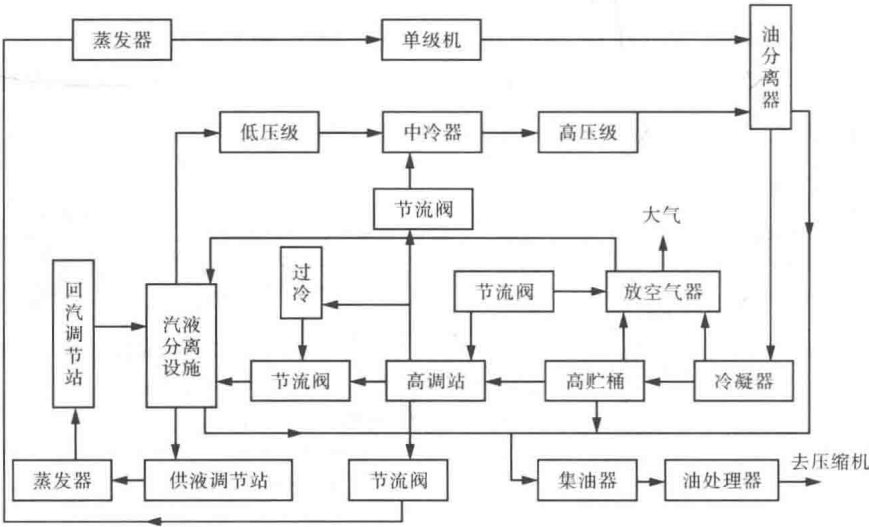
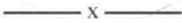
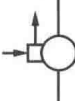


图 1-1-4 单、双级综合系统制冷流程

三、蒸汽活塞压缩式制冷装置原理图

制冷系统原理图以平面的形式体现出制冷装置中所有设备、容器、管阀、仪表的相互关系,是表达整个系统全貌的关键图纸。从原理图上可以看出:①系统的规模和特性;②设备的容量、数量、规格型号;③系统是否先进、合理等。因此查阅系统原理图是了解制冷装置的重要手段,在学会设计制冷系统之前,应先学会阅读制冷系统原理图。图 1-1-5 是个典型食品冷库的制冷系统原理图,正规的设计图纸,除了有图 1-1-5 的内容外,一般还应有图标、图例、设备一览表、备注等内容。看图时,应首先了解一下图例,冷库制冷装置原理图常见的图例见表 1-1-1。

表 1-1-1 制冷原理图常用管阀图例

部件名称	常用符号	部件名称	常用符号
低压气体管		电磁阀	
高压气体管		自动旁通阀	
液体管		安全阀	
放油管		止逆阀	
放空气管		浮球阀	
排液管		立式过滤器	
平衡管		卧式过滤器	
安全管		液位控制器	
冷媒管			
水管			
直通截止阀			
直角截止阀			
节流阀			
热力膨胀阀			

在图例清楚之后,就开始寻找制冷剂的整个循环过程,由于实际系统中往往有些并联管道或切换阀,所以制冷剂的流向有时并不是单一的。查阅回路时要先找主要循环。看图时,循环的始点往往是从蒸发器的出口处出发。

(1)单级压缩回路:蒸发器出口→回汽调节站→汽液分离设备→单级压缩机→油分离器→冷凝器→高压贮液桶→高压液体调节站→节流阀→

重力桶
低循环桶

→氨泵→低压液体调节站→

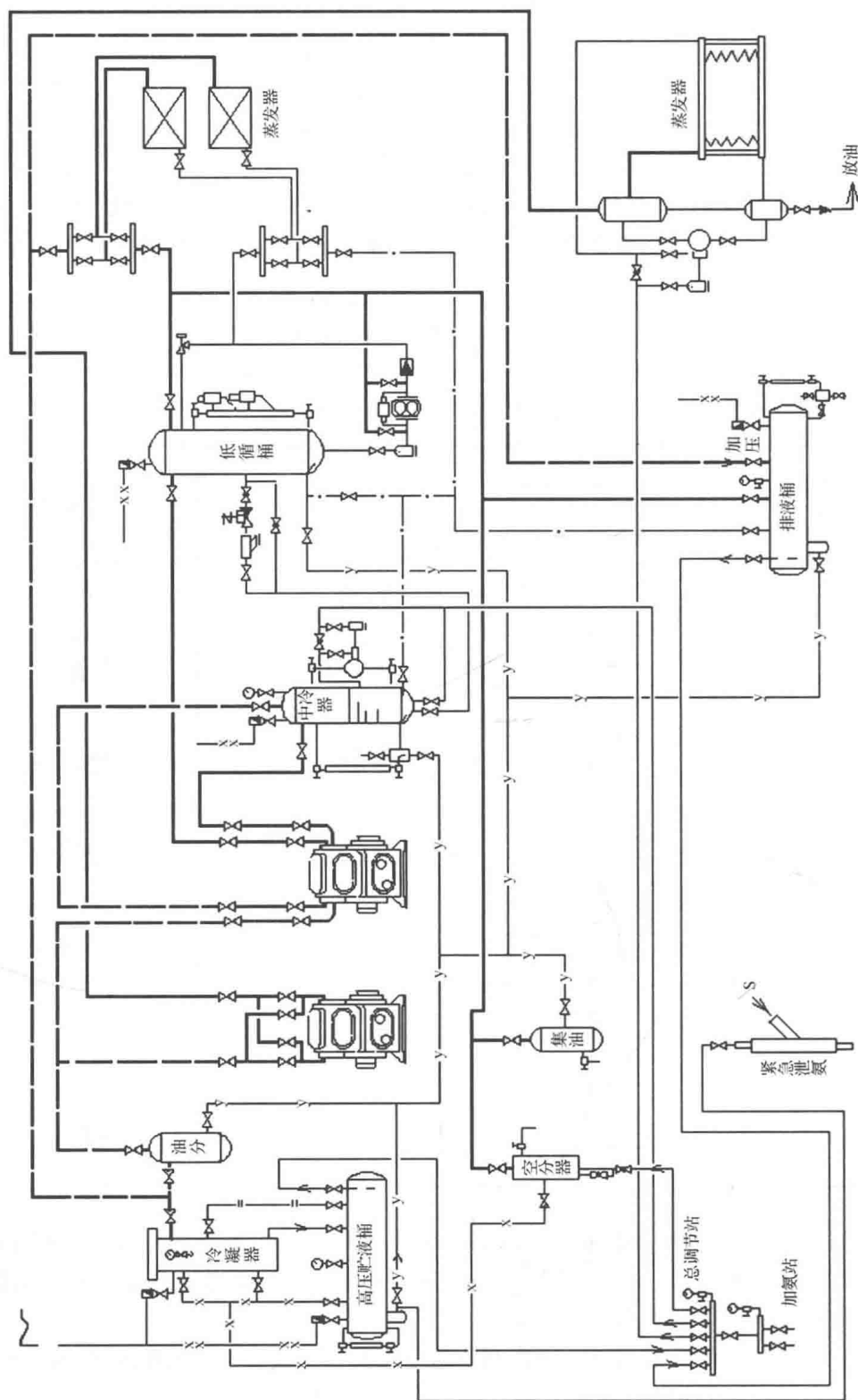


图 1-1-5 常见的冷库制冷系统原理

蒸发器进口→蒸发器出口。

(2) 双级压缩回路: 蒸发器出口→回汽调节站→汽液分离设备→低压级压缩机→低压级油分→中间冷却器→高压级压缩机→油分离器→冷凝器→贮液桶→^{中冷供液}_{中冷器过冷盘管}→高压液体调节站→节流阀→^{重力桶}_{低循桶}→氨泵→低压液体调节站→蒸发器进口→蒸发器出口。

主循环搞清楚之后, 接下来应探究各压缩机互相切换的可能性, 把起多种作用的压缩机的吸、排气接管搞清楚。最后才是寻找各种辅助流程, 如放空气流程、放油流程、紧急泄氨和充注制冷剂流向等。在弄懂了这些循环和流程之后, 对整个系统就有了初步的印象。再深究下去就是搞清各种阀门及仪表在系统中所起的作用。结合一览表, 还可了解各设备的尺寸、容量等。

第二节 制冷系统方案设计

一、提高制冷效率的基本措施

1. 润滑油的分离与回收

润滑油对于压缩机来说不仅起着润滑、降低摩擦力的作用, 还起着密封、带走磨屑和热量以及作能量调节机构的动力的作用, 尤其是对螺杆压缩机的正常运行更显得重要。

但是, 压缩机在运行时, 当排气速度达到 $24 \sim 30 \text{ m/s}$ 时, 就会把部分润滑油带出气缸。此外, 当排气温度达 $90 \sim 140^\circ\text{C}$ 时, 部分润滑油也会气化为油气(直径为 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 的油粒), 随着制冷剂蒸汽进入排气管(见表 1-2-1), 所以, 压缩机在运行时总是把润滑油源源不断地排入系统的高压部分。

表 1-2-1 压缩机的排温与油的蒸发率的关系

压缩机的排温($^\circ\text{C}$)	80	100	120	140
润滑油蒸发率(%)	3.13	7.86	16.03	39.68

润滑油进入系统的循环回路将造成下述不良后果:

(1) 油积存在设备和管道内, 使其工作容积减少;

(2) 油的黏度大, 遇到污物和机械杂质后易混合成为胶状物质。当其积聚在截面较小的管道或阀门中时, 易造成堵塞, 使系统不能正常运行;

(3) 油的导热系数远比金属小, 当附在热交换器壁面时, 将使传热恶化, 引起冷凝温度升高和蒸发压力下降, 并使排气温度上升, 从而使制冷装置的工作效率降低;

(4) 若润滑油无法及时返回压缩机曲轴箱时, 可能导致压缩机失油而发生事故。

因此, 在设计时必须采取措施使油从系统的积油设备中分离出来, 然后通过手动或自动使之返回压缩机曲轴箱循环使用。

在氨制冷装置中, 由于油的比重大于氨, 因此进入循环回路的油则沉积于管道、设备的

底部而无法自行返回压缩机,一般是采取油分离措施将油放出系统,经处理后再加入压缩机曲轴箱。

首先,应在压缩机和冷凝器之间的排气管上设置油分离器,利用降低流速、改变流向、液态制冷剂洗涤和冷却,或利用重力和离心力的作用,使绝大部分的油在进入冷凝器之前就被分离出来。为了进一步分离少量混入冷凝器、又随制冷剂液体流出的润滑油,还可以在冷凝器的出液管上设置液油分离器,利用离心力的作用使油从液体中分离出来。通过这两道分离后,仍有少量的润滑油混同在制冷剂液体中而进入其他设备,所以在贮液器、中冷器、低压循环桶、排液桶、汽液分离器以及蒸发器等设备的底部,都会沉积润滑油,因此还应在这些设备的底部设置放油管道。

为了操作的安全和回收制冷剂,各设备中放出的油应先导入专设的集油器进行升温降压抽除掉氨气。由于压缩机的排温较高而使润滑油轻度碳化,同时油中还含有系统中的污物杂质和水分以及少量的制冷剂,所以,从集油器中放出的油应经过油处理设备的再生处理,经抽除氨气,过滤油污,蒸发水分后再注入压缩机循环使用。

2. 不凝性气体的分离

在制冷装置中,由于金属材料的腐蚀,润滑油的分解,制冷剂不纯及接触污物后的分解,负压运行时由于制冷装置不密闭或手动加油时把空气吸入系统,投产前和维修后对系统的空气抽除不干净等原因,使系统内含有 O_2 、 N_2 、 H_2 、 Cl_2 、水汽和其他碳氢化合物的混合气体。这些混合气体混同制冷剂在制冷装置中循环,由于不能被液化,使冷凝器内增加这部分不凝性气体的分压力造成冷凝压力升高,冷凝器的传热效果下降。而且,混合气体中的水分和 O_2 会加剧对金属材料的腐蚀和加速润滑油的氧化。因此,制冷系统中若有不凝性气体存在,就必须及时放出。

由于不凝性气体总是和制冷剂气体混合存在,采用直接排放的方法势必同时放掉一部分制冷剂,这样既不安全又造成浪费,所以应设置空气分离器,通过它来冷凝回收不凝性气体中的制冷剂。只有经常处在正压下工作的制冷装置,才可以不设置空气分离器,但仍需设置放空气阀,必要时从冷凝器或贮液器的顶部直接排放掉系统中的不凝性气体。

水冷立式冷凝器中的不凝性气体有的比重大于氨,有的比重小于氨,所以,冷凝器(指立式)的最上部分和下部的近出口处,以及贮液器的顶部,都应设置放空气管接头。在制冷装置运行期间,冷凝器下部温度最低,此处空气含量最大,所以这时从冷凝器下部和贮液器顶部放空气最有利。停机后,如果继续开冷却水一段时间,把其中残余的氨气冷凝下来,也可以从冷凝器上部接口放出空气和其他不凝性气体。

3. 高压制冷剂液体的过冷

液体在饱和状态下继续放热使其温度下降到该压力下的饱和温度以下的过程,称为过冷。对高压液体在进入节流阀前进行过冷,可以避免液体在供液管内流动产生的闪气,以减少流动压力降;同时,还可以减少制冷剂在节流过程中的闪气,提高节流阀的制冷量,并提高被过冷制冷剂的单位制冷量。因此,在制冷系统设计时,应采取适当的措施来保证节流阀前制冷剂液体具有一定的过冷度。

我国在 20 世纪 50 年代建造的一批冷库,大都采用水冷却的套管式过冷器,来自贮液器的氨液进入过冷器套管之间的环状空间,沿内管外表面流动,水在内管与氨液呈逆向流动,