



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

制冷装置设计

主编 申江



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

制冷装置设计

主 编 申 江
副主编 臧润清 彭 苗
参 编 李慧宇 宁静红 刘清江
主 审 陈天及 何少书



机械工业出版社

本书比较全面地介绍了大中型氨、氟利昂制冷装置及小型专用制冷装置的设计理论。其内容包括制冷系统及其方案设计, 制冷负荷计算, 制冷压缩机与设备的选型计算, 管道设计, 机房和库房设计, 制冰与冰库, 冷藏陈列柜, 预冷、快速冻结与冷藏运输装置。书中详细阐明了制冷装置的设计方法、设计方案比较、装置的结构特点、机器设备选型的依据, 以及机房和库房设计、布置的方法等。本书内容详尽并注重实际应用, 附有大量的图表, 力图使读者从理论和实践两个方面掌握制冷装置设计技术。

本书可作为高等院校热能与动力工程专业制冷技术方向专业课的教材, 也可供从事制冷机械设备、冷藏冷冻、冷藏运输以及空调热泵专业工作的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

制冷装置设计/申江主编. —北京: 机械工业出版社, 2010.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-31679-4

I. ①制… II. ①申… III. ①制冷装置—设计—高等学校—教材 IV. ①TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 168852 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 蔡开颖 责任编辑: 蔡开颖 周璐婷

版式设计: 张世琴 责任校对: 申春香

封面设计: 张静 责任印制: 乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18 印张 · 445 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-31679-4

定价: 33.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着制冷技术的发展和日益广泛的应用，各行各业对制冷技术人才的需求越来越多。冷链技术的发展和推广应用，使农副产品从收获到销售实现了一条龙的食品冷链：冷加工、冷藏运输、冷藏储存、冷藏销售，大大提高了农副产品的品质与经济效益。而实现食品冷链的必要保证是提供适用的制冷装置。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。“制冷装置设计”是高等工科院校热能与动力工程专业（制冷技术方向）的主要专业课程之一。本书力图阐明制冷装置的设计理论和国内外的先进技术与实践经验，以及本学科的最新成就，以使学生在紧密联系“工程热力学”、“传热学”、“流体力学”等课程内容的基础上，掌握制冷装置基本原理和制冷装置设计的基本方法，从而能进行一般的制冷装置设计。

本书主要介绍冷库及小型制冷装置的制冷系统设计、制冷负荷计算、制冷机器设备的选择方法、管道设计、机房和库房设计、冷藏陈列柜设计，以及预冷、快速冻结与冷藏运输等内容。

本书由天津商业大学制冷与空调工程系制冷教研室组织编写。参加编写的有：申江教授（绪论、第2章）、臧润清教授（第1章）、宁静红副教授（第3章、第4章）、李慧宇副教授（第5章、第8章）、彭苗副教授（第6章的6.1节、第7章）、刘清江副教授（第6章的6.2节）。

本书由上海海洋大学陈天及教授和天津商业大学何少书教授主审。

在本书的编写过程中，杨永安高级工程师、刘斌博士和邹同华博士提供了许多宝贵的资料，在此表示衷心的感谢。

本书可作为“热能与动力工程”、“建筑环境与设备工程”等专业本科生的教材，也可供机械、水产、建筑、食品、医药等领域从事制冷及低温工程、建筑环境与设备相关的科研、设计、生产等工作的技术人员参考。

由于编者水平所限，书中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
主要符号	
绪论	1
第1章 制冷系统及其方案设计	6
1.1 氨高压系统	6
1.1.1 压缩部分	6
1.1.2 冷凝部分	11
1.1.3 调节部分	17
1.2 氨低压系统	20
1.2.1 直接冷却系统	20
1.2.2 间接冷却系统	30
1.3 融霜系统和润滑油系统	35
1.3.1 融霜系统	35
1.3.2 润滑油系统	39
1.4 制冷装置的供水系统	40
1.4.1 供水系统	40
1.4.2 供水量计算	41
1.4.3 制冷装置供水的水温、水质标准及水压要求	42
1.4.4 水冷却设备的选择	44
1.5 氟利昂制冷系统	46
1.5.1 高压系统	46
1.5.2 低压系统	50
1.5.3 油路系统	52
1.5.4 融霜系统	53
第2章 制冷负荷计算	54
2.1 围护结构传热量 Q_1	54
2.1.1 综合温度作用下的传热特性	55
2.1.2 围护结构传热量 Q_1 的计算	62
2.2 货物热量 Q_2	71
2.3 通风换气热量、电动机热量和操作热量	77
2.3.1 通风换气热量 Q_3	77
2.3.2 电动机热量 Q_4	77
2.3.3 操作热量 Q_5	77
2.4 冷库制冷负荷	78
第3章 制冷压缩机与设备的选型计算	83
3.1 制冷压缩机的选型计算	83
3.1.1 制冷压缩机的选型原则	83
3.1.2 计算参数的确定	83
3.1.3 往复式压缩机的选型	85
3.1.4 回转式压缩机的选型	96
3.2 换热设备的选型计算	99
3.2.1 冷凝器的选型计算	99
3.2.2 蒸发器的选型计算	108
3.2.3 中间冷却器的选型计算	119
3.2.4 回热式换热器的选型计算	120
3.2.5 冷凝蒸发器的选型计算	120
3.3 辅助设备的选型计算	121
3.3.1 液体储存设备	121
3.3.2 分离捕集设备	123
3.3.3 节流机构	124
3.3.4 分液器	137
3.3.5 制冷剂泵	140
3.3.6 干燥器和过滤器	140
第4章 管道设计	141
4.1 氨制冷系统的管道设计	141

4.1.1 管道要求	141	6.2 快速制冰	210
4.1.2 管道的计算	143	6.2.1 片冰机	210
4.1.3 管道的布置	151	6.2.2 块冰机	212
4.1.4 管道和设备的保温	152	6.2.3 管状制冰机与冰晶制冰机	219
4.2 氟利昂制冷系统的管道设计	152		
4.2.1 管道要求	153	第7章 冷藏陈列柜	221
4.2.2 管道的计算	153	7.1 冷藏陈列柜的结构	221
4.2.3 管道的布置	158	7.1.1 冷藏陈列柜的分类	221
4.2.4 管道的安装	169	7.1.2 陈列柜的总体结构	223
第5章 机房和库房设计	172	7.1.3 陈列柜的使用要求	225
5.1 机房设计	172	7.1.4 冷藏陈列柜的制冷系统	227
5.1.1 机房设计的一般要求	172	7.2 典型的陈列柜结构	230
5.1.2 制冷压缩机的布置	174	7.3 冷藏陈列柜的设计计算	235
5.1.3 辅助设备的布置	175	7.3.1 敞开型陈列柜的热负荷计算	235
5.2 冷却间和冻结间	180	7.3.2 冷藏陈列柜的设计计算	239
5.2.1 冷却间	180	7.3.3 陈列柜的节能途径	241
5.2.2 冻结间	182	第8章 预冷、快速冻结与冷藏	
5.3 冷却物冷藏间	188	运输装置	245
5.3.1 均匀送风道的设计计算	188	8.1 食品预冷技术与装置	245
5.3.2 均匀送风道的布置	192	8.1.1 差压预冷	245
5.3.3 冷却物冷藏间的通风与 加湿	193	8.1.2 水预冷	248
5.3.4 气调库设计	193	8.1.3 真空预冷	251
5.4 冻结物冷藏间	198	8.2 速冻、解冻装置	254
5.4.1 风冷式冻结物冷藏间	198	8.2.1 食品速冻装置	254
5.4.2 空气自然循环式冻结物 冷藏间	199	8.2.2 解冻装置	264
5.4.3 夹套式冷库	199	8.3 冷藏运输装置	267
第6章 制冰与冰库	201	8.3.1 冷藏运输装置的特点与 要求	268
6.1 盐水制冰	201	8.3.2 铁路冷藏车	271
6.1.1 制冰装置	201	8.3.3 冷藏汽车	273
6.1.2 盐水的配置	204	8.3.4 冷藏船	276
6.1.3 制冰负荷及设备的选型计算	207	8.3.5 冷藏集装箱	276
6.1.4 制冰间设计	209	参考文献	279

绪 论

制冷装置设计主要是研究和选用性能匹配的主机与辅机，由合理的管道连接组成不同特性的制冷系统，还包括与建筑、结构相适应的给水排水、采暖通风、机械传送、电力照明以及自动控制等方面的系统设计与优化。随着国民经济的飞速发展和人民生活水平的不断提高，制冷装置在工业、农业、国防、建设、科学研究等国民经济各个部门中的作用和地位日益重要，应用也越来越广泛，对制冷装置的类型与特性的研究和更新也就显得尤为重要。

0.1 制冷装置的分类

制冷装置是将制冷设备与消耗冷量的设备组合在一起的装置。制冷装置设计不仅要研究用不同类型的制冷机械来提供冷量，而且更重要的是要研究和解决制冷装置的类型和特性去满足消耗冷量的用户。随着冷量使用方式的不同，制冷装置的类型亦有各种各样，发展十分迅速，新型制冷装置越来越多，其应用几乎渗透到各个生产技术、科学研究领域，在改善人类的生活质量、促进社会文明发展方面发挥着巨大作用。

1. 冷藏制冷装置

冷藏制冷装置主要用于食品的保鲜储藏与冷藏链，其目的是为了保持食品的原有质量和风味，以防止因生化作用或霉菌腐蚀而腐败变质，减少食品在储藏期间的干耗。根据冷藏产品的种类和用途的不同，冷藏制冷装置的种类包括：各种不同温度范围的冷库、冷藏汽车、冷藏火车、冷藏船、冷藏飞机、冷藏集装箱、冷藏陈列柜、冰柜和冰箱等。

2. 速冻制冷装置

速冻制冷装置主要应用于鲜活商品的低温冷加工和易腐食品的冷加工。其目的是能够最大限度地保持食品的鲜度和品质，延长食品的货架期，极大地丰富了食品市场需求。速冻食品的种类很多，有肉类、水产类、果蔬类和大量的调理食品类。根据速冻食品的种类和特性不同，速冻制冷装置的种类包括平板冻结机，流态化速冻床，网传送式、链传送式、盘传送式速冻机，各种隧道式速冻机，螺旋速冻机等。这些速冻装置大部分采用超低温冷加工和无极调速自动传送技术，大大提高了产品质量并减少了劳动强度，具有很好的市场发展前景。

3. 空调制冷装置

空调制冷装置是为了保证一个既定空间内温度、湿度和空气洁净度的要求，以保证产品质量的工艺条件（如用于电子器件生产车间、精密仪器生产车间、计算机房及生物实验室等）和提供舒适的工作环境（如用于住房、办公室、影剧院、商场、体育馆、医院、汽车、火车、船舶及飞机等）。根据实际需求和用冷场合，空调制冷装置分为大中型中央空调制冷装置、商用空调制冷装置和家用空调器等。

4. 工业冷却装置

工业冷却装置根据产品生产工艺要求所配置的冷却系统，主要用于石油化工，有机合成等工业中的分离、结晶浓缩、提纯催化、控制反应温度等单元操作中。此外，该装置还广泛

应用于食品工业生产中，如啤酒生产发酵过程的温度控制、碳酸饮料生产过程的水冷却以及真空冷冻干燥技术等。随着科学技术的飞速发展和产品加工工艺的不断更新，工业冷却制冷装置越来越受到人们的重视。

5. 商业制冷装置

商业制冷装置是在商业和公共饮食业中广泛使用的各种制冷装置，单机名义产冷量为0.35~18kW，介于家用与工业用制冷装置之间。商业制冷装置按其功能和用途，大体上可分为两大类，即用于短期储藏各种易腐败商品（主要以食品为主）的商业制冷柜库和用于专门用途的商业专用制冷装置，如用于大型商场、饭店、超级市场等场所，用于商品的短期储藏和保鲜的商业用冷库，用于商品或食品展示与销售的冷藏陈列柜，用于商业、零售业、超级市场或酒店及宾馆等。此外，制作冷食饮料的商业制冰机、商业冰淇淋机和商业冷饮水机等专用制冷装置也属于商业制冷装置。

6. 液氮制冷装置

液氮制冷装置主要应用于冷冻医疗、冷冻美容、地层加固、食用菌菌种保藏、水产品的快速冻结，以及超导等方面。地铁施工中采用液氮冻结土层进行隧道式挖掘。液氮制冷装置有浸渍式、喷淋式和冷气循环式三种。

利用液氮冻结食品具有质量高、干耗小、占地面积小、初投资低、装置效率高的优点；但液氮冻结成本高，不宜冻结廉价食品。

7. 真空冷冻干燥装置

真空冷冻干燥装置俗称冻干机，是一种升华脱水的制冷装置。由于冷冻对象经过冻干处理，可以无限期储存而不变质，这对于血液、精子储存及遗传生物工程研究，以及食品制作等具有独特意义。

8. 其他制冷装置

(1) 工程用制冷装置 如在建筑大、中型水电枢纽的混凝土工程中，混凝土浇灌必须应用制冷装置。

(2) 试验用制冷装置 该装置专门用于产品的性能试验及科学研究，以检查它们在低温条件下能否保证所规定的性能指标以及能否正常工作。

(3) 采用风能、海洋能、太阳能等新能源的制冷装置，以及半导体制冷的制冷装置 这些制冷装置都在深入研究，并取得了不少成果。

0.2 制冷装置的应用

1. 冷藏链

冷藏链是指食品从产地进行冷加工后冷藏运输至冷藏库储存，然后通过冷藏销售柜由市场进入家用冰箱。它表示食品从生产到消费的各个环节，都必须采用冷藏方法来保存。食品从采集、加工、冷冻、运输、储藏、零售到消费者等各个环节构成了完整的食品冷藏链，它的各个环节均需要不同形式的制冷装置。由于我国还未真正形成冷藏链，每年腐败变质的食品达30%以上。因而，应尽快开发更多的制冷装置使冷藏链早日完善。冷藏链包括：

1) 易腐食品的采摘、捕捞或屠宰后的冷加工。

- 2) 真空预冷、强制通风预冷、差压通风预冷和水预冷等食品的预冷。
- 3) 吹风冻结法、接触冻结法、浸没冻结法、流化床冻结法以及液氮或 CO₂ 低温液体冻结法等食品的冻结。
- 4) 冷藏汽车、冷藏火车、冷藏船、冷藏飞机及冷藏集装箱等冷藏运输。
- 5) 冷库、冷藏柜、冻结柜及家用冰箱等冷藏储存。
- 6) 超市中的冷藏陈列柜等食品的冷藏销售。

2. 工业冷却

在石油化工、激光电子、生物制药、仪器仪表、纺织、建筑等行业中，许多生产工艺过程需要在低温条件下进行，才能保证生产和产品质量。在工业领域内，越来越广泛地应用制冷装置为工业产品工艺冷却，以提高产品质量。如对钢的低温处理，使金相组织内部的奥氏体变为马氏体，改善钢的性能；在钢铁铸造过程中，采用低温除湿送风技术，保证产品的质量；此外，用于气体的液化、盐类结晶、润滑油脱脂、石油裂解、合成橡胶等。

3. 创造舒适环境

为了创造一个舒适的生活和工作环境，在娱乐场所、车站、机场、宾馆、体育馆、大会堂、图书馆、办公楼、医院、学校、影剧院、商店直至民用住宅，都采用了各种不同的空气调节制冷装置，以及在各种交通工具，如轿车、客车、飞机、火车、船舱等采用空调设施，以提高工作效率，便利生活。采用制冷除提供空气调节外，还用于建造人工冰场。

4. 科学研究

许多科研课题的研究工作，如气象科学中所需的云雾室、高寒地区农作物的培育，文物保藏环境等都需要制冷装置。

0.3 制冷装置的发展趋势

现代科学和技术的发展在为人类带来巨大利益的同时，也极大地破坏了环境和自然资源。能源和环境是现代生活赖以生存和发展的基础，环境污染问题、能源紧张问题和食品安全问题越来越引起世界各国的关注。保护生态环境，节约自然资源，与自然和谐发展，是制冷行业面临的严峻挑战。采用新的制冷设备与技术工艺，对于提高制冷装置的效率、节约能源、保护环境、实现行业的可持续性发展具有重要的意义。

1. 制冷压缩机技术

(1) 应用变频制冷压缩机 利用变频控制器根据设定的控制温度及热负荷的变化，自动控制制冷压缩机（压缩机）的转速，实现制冷量供需的基本平衡和制冷系统的高效率运行，具有高效、节能和控温精度高的优点，比固定转速制压缩机可节能 30% 以上，可以减轻制冷设备在非满负荷条件下工作及频繁开停机对电网电压造成的影响。

(2) 应用并联制冷压缩机组 配有高效油分离器和油位控制器的并联压缩机组，利用微电脑控制器，可根据设定的温度及负荷的变化实现分级能量调节，最高地发挥单台制冷压缩机的效率，同时多台并联，其中一台压缩机出现故障，不影响其他制冷压缩机正常工作，提高制冷系统的可靠性，增强了制冷机组的制冷能力。

(3) 应用回转式制冷压缩机 涡旋式和螺杆式制冷压缩机由于没有吸气阀和排气阀，具有吸、排气连续，起动力矩低以及抗液击能力好的特性，将得到广泛的应用。

2. 制冷装置的自动控制

制冷装置的自动控制，已从单机自动安全保护、单机自动运行发展到多机组自动控制，利用计算机检测和控制，由制冷压缩机自动控制系统、冷凝压力自动控制系统、供液自动控制系统、冷间温度自动控制系统、融霜自动控制系统及计算机集中监控系统组成的集散控制系统，实现运行工况最佳化，降低能源消耗。

3. 利用可再生能源

由于太阳能、地热等可再生能源可以缓解不可再生能源所面临的危机，而且清洁、无污染、可再生，有效保护和改善人类的生存环境，已成为各国实施可持续发展的重要选择。

(1) 利用太阳能 太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源，也是人类可利用的最丰富的能源。随着适用太阳能驱动制冷机组的研究，太阳能集热器集热效率的提高，以及造价的降低，将太阳能制冷和太阳能供热切实合理地整合，真正使高品位和低品位的太阳能辐射各尽其用。太阳能吸收式制冷（溴化锂-水，水-氨）、太阳能吸附式制冷（物理吸附与化学吸附的多种吸附制冷工作对）、太阳能热驱动的除湿蒸发冷却空调、太阳能驱动的蒸气喷射制冷和太阳能半导体制冷等，利用太阳能驱动制冷装置将是其方向。

(2) 利用地热 地热是来自地下的热能资源，地球是一个巨大的地热库。地源热泵技术是通过安装在地下的系列地温收集器，从土壤中吸收能量，经过能量转换实现空气调节功能。地源热泵由于其节能、环保、可持续发展的优点，将成为中小型生态建筑空调冷热源合理可行的选择方案之一。

4. 应用自然工质

常规制冷装置中使用的人工合成制冷工质 CFCs 和 HCFCs，引起的臭氧层破坏和全球温暖化，已成为日益严峻的全球环境问题，对人类的生态环境造成巨大的威胁。而 R134a 等若干人工合成的 HFC 及其混合物，大都有较高的温室效应并存在某些缺陷，未达到“长期”替代的要求。从对环境的长期安全来看，起用自然工质是一种非常安全的选择。

(1) 氨的应用 氨 (NH_3) 具有优良的热力性质，ODP = 0，GWP 接近于 0，广泛应用于带载冷剂的中央空调系统和间接制冷系统中。目前，高压级用 NH_3 、低压级用 CO_2 的 NH_3/CO_2 复叠式制冷系统，用于食品、饮料、医药和石化产品的储存、食品的快速冻结、低温环境测试实验室、超市制冷和大型冷库；氨/乙烷复叠式制冷装置，用于家用电器和汽车轮胎等高分子产品回收的低温粉碎机。随着技术的发展，系统密封性能提高，氨制冷机润滑方式改进，氨报警系统更加可靠，减少氨的充灌量，开发小容量的氨制冷机，将扩大氨的应用范围。

(2) 碳氢化合物的应用 目前作为制冷剂应用的碳氢化合物主要是丙烷 (R290)、丁烷 (R600) 和异丁烷 (R600a) 等，碳氢化合物的优点是 ODP = 0，GWP 很小，和所有常用的工程材料和润滑油都能兼容，且价格低廉，已广泛用于冷藏箱和冷冻箱中。

R290 (Propane) 具有优良的热力性能，主要物理性质与 R22 极其相近，可采用 R22 系统，不对原机和生产线进行改造，直接灌装丙烷，属于直接替代物，目前已用于家用空调和家用冰箱，R290/ CO_2 复叠式制冷系统已用于小型超市中。异丁烷 (R600a) 临界温度高，运行压力低，可在较高的冷凝温度下工作，具有较高的能效比和很高的可靠性，已广泛用于冰箱中。通过改进产品结构和生产工艺，采用新型材料，减少泄漏的可能性，采用高效紧凑的换热设备，减少制冷剂的充注量，应用自动检测、通风等安全和防范装置，扩大碳氢化合

物在制冷装置的应用范围，将具有良好的前景。

(3) 二氧化碳的应用 CO_2 (R744) 的 $\text{ODP} = 0$, $\text{GWP} = 1$, 无毒, 不燃, 适用于各种润滑油和常用机械零部件材料; 即使在高温下也不会分解产生有害气体; CO_2 液体在低温下粘性小, 流动阻力小, 管路尺寸小, 对设备材料没有腐蚀, 可以直接供冷; 对被冷冻冷藏物品 (如食品、医药、农作物种子等) 无污染, 保证物品的品质。以 CO_2 为工质的制冷装置, 特别是以 CO_2 作为低温制冷工质, 具有很好的发展前景。

第 1 章 制冷系统及其方案设计

制冷系统是利用外界能量使热量从温度较低的物质（或环境）转移到温度较高的物质（或环境）的系统。制冷系统的类型很多，按所使用的制冷剂种类分为氨制冷系统、氟利昂制冷系统、混合工质制冷系统、二氧化碳制冷系统及空气等工质制冷系统；按工作原理分为机械压缩式、吸收式、蒸气喷射式、热电式、吸附式等制冷系统。机械压缩式制冷系统又称为蒸气压缩式制冷系统，这种系统性能好，效率高，应用最为广泛。本章重点介绍以氨和氟利昂为工质的蒸气压缩式制冷系统。

完整的蒸气压缩式制冷系统应包括制冷剂循环系统，润滑油的添加、排放和处理系统，融霜系统，冷却水循环系统。间接冷却的场合还有载冷剂循环系统。制冷剂循环系统由制冷压缩机、冷凝器、节流阀、蒸发器四个基本部件组成。为了保障制冷系统的安全性、可靠性、经济性和操作的方便，系统还包括辅助设备、仪表、控制器件、阀门和管道等。

制冷剂循环系统由两个主要部分组成：一部分是制冷剂离开节流阀进入蒸发器，经过吸气管到达制冷压缩机吸气阀的回路。这部分管道和设备中制冷剂的压力接近蒸发压力，称为低压系统。它的作用是向蒸发器输送低温液体制冷剂，在蒸发器内蒸发吸收周围环境的热量。低压系统的设备和管道大部分置于库房中，也可称为库房系统。另一部分是指制冷剂从制冷压缩机排气阀经排气管、油分离器、冷凝器、泄液管、储液器、高压输液管到达节流阀的部分回路。这部分管道和设备中的制冷剂压力接近冷凝压力，因此称其为高压系统。高压系统的作用是提高制冷剂压力，通过冷凝器使蒸气冷凝为液体，恢复蒸发吸取冷却对象热量。在高压系统中，制冷剂向周围环境放出热量。在冷库制冷系统中，高压系统的管道和设备大部分置于机器间或室外，因此也称其为机房系统。

1.1 氨高压系统

制冷压缩机从蒸发器吸入低压氨蒸气，经过压缩提高压力后排入高压管，经油分离器除去自压缩机中带出的润滑油，进入冷凝器。在冷凝器中放出氨气中的热量，使得高压氨气冷凝成高压氨液，高压氨液借助重力或压差作用流入高压储液器，从高压储液器出来的氨液经液体分配系统和节流阀送入蒸发器，或经过低压设备送入蒸发器。高压系统可分为三个部分，即压缩部分、冷凝部分和调节部分。

1.1.1 压缩部分

由于食品的冻结和低温储藏温度，工业产品生产工艺对温度的要求，各种空调房间的温、湿度，都有相当大的差距，制冷系统不但适用于单一蒸发温度，而且还应适用于多个不同的蒸发温度。对于较高的蒸发温度可配以单级压缩制冷系统，对于较低的蒸发温度则需要配以双级压缩制冷系统，蒸发温度更低时可采用复叠式制冷系统，当要求有多个高低不同的蒸发温度时，则需要使用单、双级混合系统。

压缩部分主要由制冷压缩机，吸、排气管和双级系统的中间冷却器组成。

1.1.1.1 单级压缩

单级压缩有单级单机压缩和单级多机压缩两种形式。单级单机压缩一般仅适用于单一的蒸发温度系统。如果采用单机承担多个蒸发温度则很不经济，除小型系统和特殊情况之外很少采用这种方案。单级多机压缩适用于负荷变化较大的单一温度场所和多个蒸发温度的系统。

单级单机压缩的制冷管道由吸、排气管和相应的阀门组成，如图1-1所示。用于切断制冷压缩机与制冷系统间氨工质通路的有两排阀门，一般称其为双排阀结构。双排阀的用途有三个方面的，其一是便于更换制冷压缩机，减少或完全消除氨制冷剂的泄漏；其二是对单向阀的保护作用，单向阀是自动元件，出现故障的可能性较大，双排阀结构可使得更换单向阀更容易；其三是为反向工作管道的设置提供了可能性。

单向阀是用来防止排气管中的氨液倒流，并且可以简化制冷压缩机操作而专门设置的。在制冷压缩机长期停止工作期间，排气管中的氨气在环境温度较低条件下会冷凝成氨液，下次开机时氨液经排气阀进入制冷压缩机。简化压缩机操作是指在制冷压缩机起动之前可以开启排气阀，避免起动与开启排气阀两个操作过程在时间上的重合。

在图1-1中交叉于吸、排气管上排阀之间的阀门称为反向工作阀。反向工作就是通过制冷压缩机吸排气阀的调换，将高压系统的氨气输送到低压系统，使高压系统形成真空，以便对高压系统的管道和设备进行检修。这里应该注意的是，利用反向工作将高压储液器中的氨液送入低压系统是相当困难的，因此，在进行反向工作之前应首先利用输液管，将高压系统中的氨液全部送入低压系统。

单级多机压缩实际上是多台制冷压缩机的并联，对于多蒸发温度系统只是排气管的并联，如图1-2所示。每一台制冷压缩机承担一个蒸发温度，考虑到各蒸发温度系统的制冷压缩机出现故障时不影响该系统降温，在回气管上设置了吸气互换阀，通过此阀每一台制冷压缩机不但可承担本蒸发温度系统的降温，在特殊情况下，也可以承担其他蒸发温度系统的工作。这不但提高了制冷系统的可靠性，而且增加了制冷机调度的灵活性。

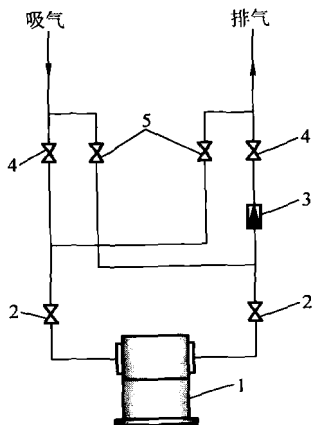


图 1-1 单级单机压缩部分

1—制冷压缩机 2—本机阀
3—单向阀 4—上排阀 5—反向工作阀

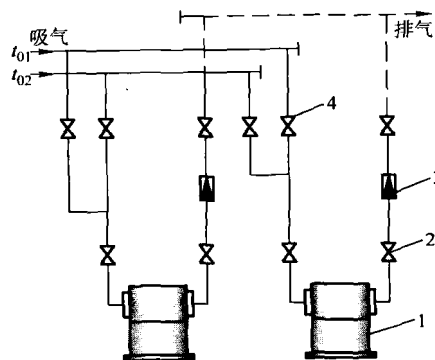


图 1-2 单级多机压缩部分

1—压缩机 2—本机阀
3—单向阀 4—上排阀

制冷压缩机有自动调节排气压力的功能，各台压缩机的排气管可接于同一条排气总管上。虽然吸气压力不同，却可以以同样的排气压力工作，使整个系统只有一个冷凝压力和冷凝温度，从而简化系统，并减少设备。

1.1.1.2 双级压缩

制冷压缩机的工作效率受工作工况的影响，在比较恶劣的条件下，单级压缩效率降低，甚至不能达到要求的温度，其原因如下：

1) 制冷压缩机制冷量与蒸发温度、冷凝温度密切相关。当蒸发温度降低，冷凝温度升高时，制冷量将大幅度降低，在较低的蒸发温度下，制冷压缩机的吸气比体积增大，在制冷压缩机固有余隙容积的影响下使得实际输气量 $V_s = 0$ 。这时制冷压缩机会失去制冷能力。

2) 较低的蒸发温度和较高的冷凝温度会导致压缩机产生过高的排气温度。由压—焓图可知，蒸发温度越低，通过吸气状态点的等熵线越趋于平坦，等熵线与冷凝压力等压线的交点温度值越大。过高的排气温度可使制冷剂和润滑油分解，部分润滑油炭化，这将严重影响压缩机的正常工作。

3) 蒸发温度降低，冷凝温度升高，使得制取单位冷量的功耗大幅度增加，制冷装置的性能系数显著减小。

4) 随着蒸发温度降低，冷凝温度升高，冷凝压力与蒸发压力的差值 $(p_k - p_0)$ 增大，甚至超过制冷压缩机的限定工作条件，压缩机处于危险的工作状态，随时都可能发生事故。

确保制冷压缩机在安全、可靠的条件下工作，并尽可能提高工作效率，氨活塞式制冷压缩机当 $p_k/p_0 > 8$ 时就应采用双级压缩。双级压缩制冷循环主要有两级节流循环和一级节流循环两种形式。在这两种循环中，又有中间完全冷却和中间不完全冷却两种方式。氨制冷剂应采用哪种形式，需要通过分析确定。

首先分析节流次数。节流次数越多，节流损失越小，制冷循环的制冷系数越高。但多级节流循环所组成的制冷系统比较复杂。例如，一个三级节流的制冷系统需要有三台制冷压缩机、两个中间容器、三个节流阀件。多级节流系统过多的节流阀也给实际操作带来许多不便。例如，两级节流的双级压缩系统，中间冷却器中的制冷剂流量随蒸发器热负荷的变化而变化，为了适应负荷的变化，必须不断地调节两个节流阀的开启度。由于两个阀门的开启度相互影响，相互制约，很难适应负荷的变化，为了降低中间冷却器液面波动幅度，确保较好的中间冷却，必须采用较大容积的中间冷却器，从而增加了制冷装置建造的一次性投资。因此，采用一级节流循环的优点要多于二级节流方式。

另一方面是中间冷却方式。采用哪种中间冷却方式取决于排气温度。在某一工况工作的制冷压缩机，其排气温度由所采用的制冷剂等熵指数 $(\kappa = c_p/c_v)$ 、制冷压缩机的吸气温度、压缩机的气缸冷却效果及压缩机的效率决定。如果能够保证气缸的冷却效果和制冷压缩机的效率，则排气温度由制冷剂的等熵指数和制冷压缩机的吸气温度所决定。氨制冷剂的等熵指数较高 $(k = 1.30)$ ，压缩中的排气温度较高。为了降低排气温度，最有效的方法是降低吸气温度，所以应采用中间完全冷却的方式。综上所述，氨双级压缩制冷系统应采用一次节流中间完全冷却的方式。

双级压缩制冷系统由单机双级制冷压缩机或配组式双级制冷压缩机及中间冷却器组成，如图 1-3、图 1-4 所示。低压级制冷压缩机自低压设备吸入低压蒸气，经压缩排入中间冷却器

并被冷却为具有中间压力的饱和蒸气，然后由高压级压缩机吸入，再次压缩后排入油分离器。

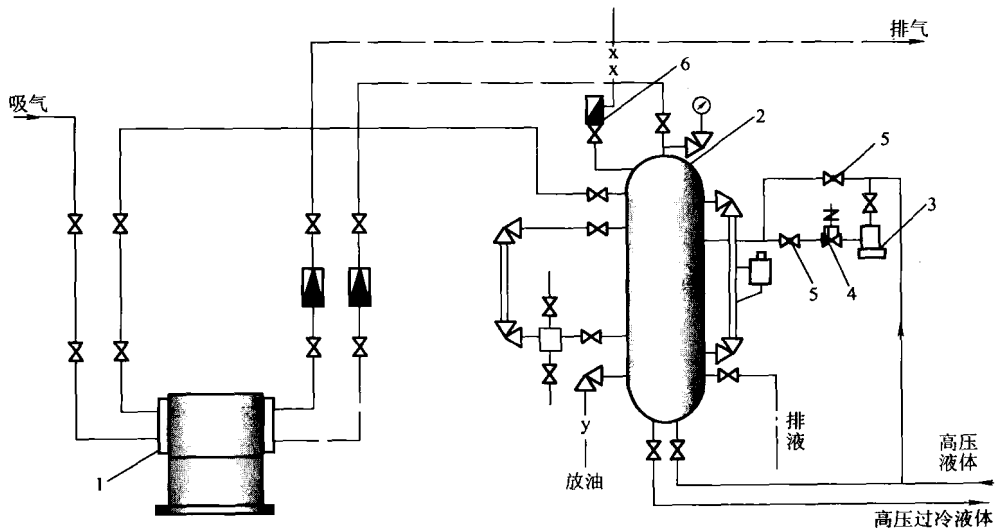


图 1-3 单机双级机压缩部分

1—制冷压缩机 2—中间冷却器 3—过滤器 4—电磁主阀 5—节流阀 6—安全阀

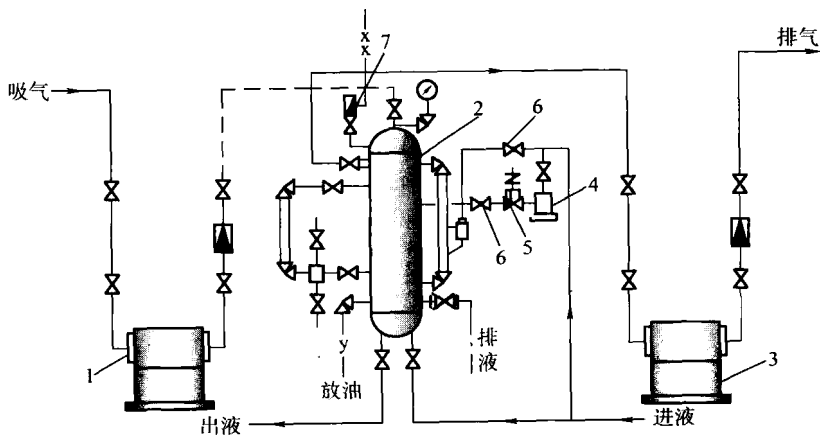


图 1-4 配组式双级机压缩部分

1—低压级制冷压缩机 2—中间冷却器 3—高压压缩机 4—过滤器 5—电磁主阀 6—节流阀 7—安全阀

在中间冷却器中，用来冷却低压级排气的冷却液体是由高压储液器供给的，它的一部分经节流阀节流后进入中间冷却器，作为冷却低压级排气的冷源；另一部分进入中间冷却器的蛇形盘管，降温后送往液体分配站。双级压缩系统的中间冷却器有三个作用，第一是降低低压级压缩机的排气温度；第二是使高压液体在节流前得到过冷，以提高低压级制冷压缩机的制冷能力，减少节流过程产生的闪发气体；第三是将低压级制冷压缩机带出的润滑油，通过改变流向、降低流速、洗涤和降温作用分离出来，并通过放油管排出。

要承担上述三个作用，中间冷却器上必须设置液位恒定装置。在简易制冷装置中，可采用一只普通节流阀，人工调节向中间冷却器的供液量。这种简单的方法在负荷变化大的制冷装置中需要经常改变节流阀的开启度，给调节过程增添了许多麻烦，现在已很少采用。机械

式的浮球阀可自动调节向中间冷却器的供液量，并恒定液面。浮球阀应安装于中间冷却器桶身高的 1/2 位置，导液管和导气管通过截止阀与中间冷却器相接，进液口和出液口要安装截止阀，为了防止污物随氨液进入浮球阀，在进液管上还要加装氨液过滤器，进液管和出液管之间安装的节流阀可在浮球阀出现故障时使用。浮球阀可以起到两个作用，即恒定液位和节流降压。液面也可以采用只有开闭功能的电磁阀或电磁主阀控制，电磁主阀采用液用常闭型，前端安装液体过滤器和截止阀，后端安装手动节流阀，考虑到电磁阀损坏时装置能正常工作，可在电磁阀进口和出口加装手动节流阀。电磁阀是一个执行元件，它需要与遥测式浮球液位控制器联合使用。遥测式浮球液位控制器可感受中间冷却器的液位变化，并发出开闭电磁阀的控制信号。遥测式浮球液位控制器一般装两只，一只用于控制正常液位，另一只用于警戒液位报警。

除了对制冷系统进行控制，还需要对制冷系统的运行参数有直观的了解，设备的液位就是其中的一个运行参数。液位的指示采用液位指示器，应用较多的有两种。一是玻璃管式液面指示器，如图 1-5 所示。玻璃管式液面指示器可用于高、中、低压三种设备，玻璃管极易破碎引起氨制冷剂泄漏，因此，在玻璃管的两端装有防止制冷剂泄漏的弹子式直角阀。玻璃管液位指示器的优点是简单和直观；缺点是在低温设备上使用时表面结霜影响视线，同时通过玻璃管有冷量损失，玻璃管极易破碎，有氨制冷剂泄漏的危险。二是油包式液面指示器。在玻璃管液面指示器的基础上增加一个油包就可制成油包式液面指示器，如图 1-6 所示。油包内加入冷冻油，容器内的氨液对冷冻油施加压力，迫使冷冻油进入玻璃管并指示液位高度，由于氨液与冷冻油的密度不同，油位与实际氨液的液位会有一些差距。油包的下部接有排污阀，上部接有放气阀。向油包内加油时关闭 A、C 阀，开启 D 阀从 A 阀丝堵处缓慢加油，直到 D 阀管口能看见油面时关闭丝堵和 D 阀，开启 A、C 阀。油包式液面指示器用于中、低压设备，玻璃管表面不会结霜，观察方便，无冷量损失，是一种应用较为普遍的液面指示器。

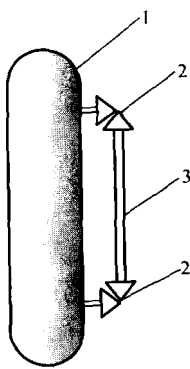


图 1-5 玻璃管式液面指示器
1—容器 2—弹子式直角阀 3—玻璃管

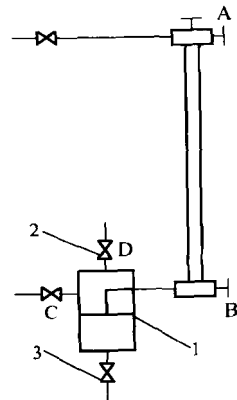


图 1-6 油包式液面指示器
1—油包 2—放气阀 3—排污阀

通过中间冷却盘管的高压液体温度在 0℃ 左右，因此应做好隔热处理，减少冷量损失。排液管与系统中的排液桶、低压储液器或循环桶相通，当中间冷却器液位超高时，排泄其中的液体。放油管应接于集油器进油管，用集油器分出其中的氨再将润滑油排出系统。应用安

全阀保证容器的安全，中间冷却器的安全阀调定值为 1.25MPa（表压），设备上的压力表采用氨专用压力表，最大量程应不小于设备最大工作压力的 1.5 倍，精度不低于 2.5 级，压力表应每年校正一次，连接管采用直径为 10mm 的无缝钢管，前部安装截止阀。

图 1-7 所示是具有三个蒸发温度的压缩部分设计方案。其中，单级制冷压缩机 1 用于 -15°C 蒸发回路，配组式双级压缩机 2 和 3 用于 -28°C 蒸发回路，单机双级制冷压缩机 4 用于 -33°C 蒸发回路。为了使一机多用，调配灵活，方案中的压缩机 1 和 2 可以互换使用， -28°C 与 -33°C 蒸发回路通过过桥阀实际混打（“混打”是制冷行业内对制冷系统各蒸发温度合并的一种称谓）。

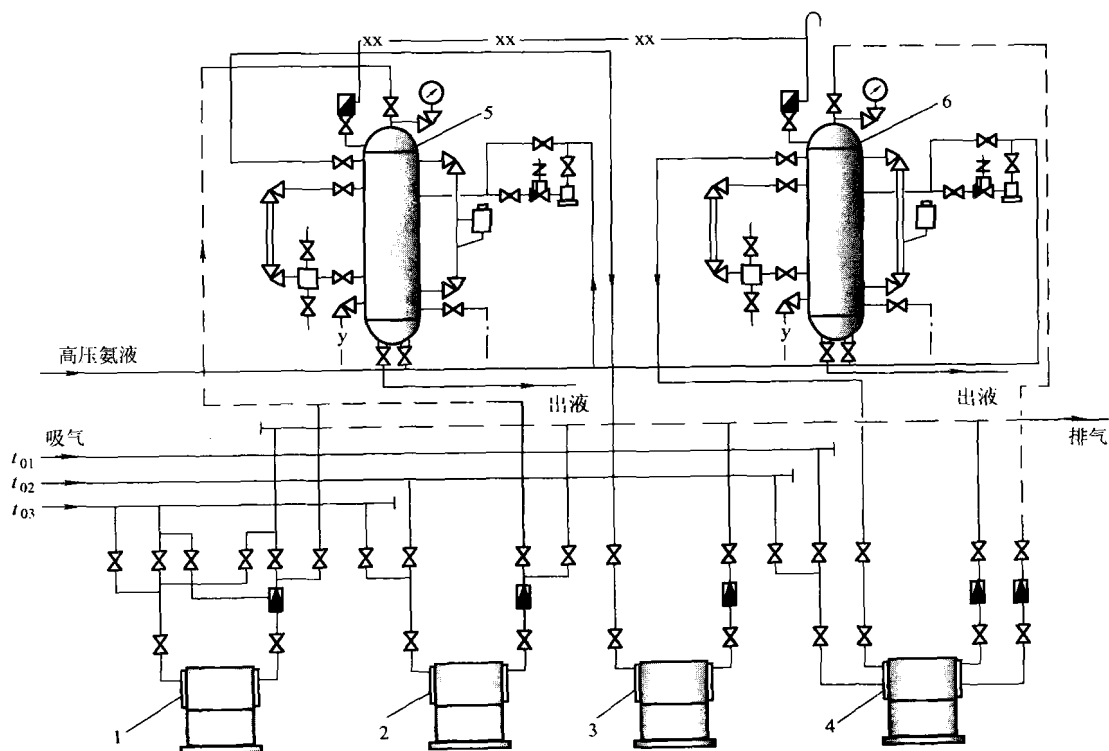


图 1-7 具有三个蒸发温度的压缩部分设计方案

1—单级制冷压缩机 2、3—配组式双级压缩机 4—单机双级制冷压缩机 5、6—中间冷却器

确定双级压缩方案时，是采用单机双级压缩机还是采用配组式双级压缩机要根据具体情况确定。单机双级压缩机可节省机房面积及制冷管道，方便操作，但制冷压缩机的高低压缩比 $\xi = V_{gp}/V_{dp}$ 是固定的，只有 0.5 和 0.33 两种。配组式双级压缩机则比较灵活，可根据实际需要选用不同系列、不同规格的制冷压缩机实现多种高低压缩比，适用各种特殊需要。

1.1.2 冷凝部分

1.1.2.1 冷凝部分的组成

制冷压缩机内部有供各运动部件润滑的油路系统，这些润滑油可起到四个作用：一是对运动部件的润滑；二是对运动部件的冷却；三是活塞与气缸间的润滑与密封作用；四是利用