

New Technology and Application of
Industrial Refrigeration Integration

工业制冷集成 新技术与应用

李宪光 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工业制冷集成新技术与应用

李宪光 编著



机械工业出版社

本书介绍了欧美国家在工业制冷领域的理论,以及近十年来在冷链物流冷库与速冻加工中制冷工艺的设计理念。介绍了作者在吸收了这些先进理念与技术的同时,结合国内现状,在制冷工程项目中的具体应用。这些应用在制冷系统节能与操作无人值守方面达到了预期效果。

欧美国家的制冷系统是如何优化设计的?螺杆压缩机的补气负荷是如何形成与计算的?螺杆压缩机油冷却的虹吸桶的设计依据以及配套的制冷剂冷却进液、回气管是如何计算的?冷风机设计有什么特点?热气融霜的技术与设计有什么要求?蒸发式冷凝器目前在国外又有什么进展?自动放空气器与国内的产品有哪些差别?真正放空气原理是如何实现的?制冷使用的分离器的设计原理以及氨与氟利昂又有什么差别?立式分离容器与卧式容器的计算是如何进行的?其制冷量又是如何计算的?以上问题本书均能给读者一些启示。

本书是理论与实践相结合的工具书,许多技术数据来源于工程实际和国外厂家提供的实验数据。本书可作为工程技术人员在制冷工程设计时的参考依据,也可供能源与动力工程专业制冷方向研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业制冷集成新技术与应用/李宪光编著. —北京:机械工业出版社, 2017.3

ISBN 978-7-111-56290-0

I. ①工… II. ①李… III. ①制冷技术-研究 IV. ①TB66

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第047053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:刘涛 责任编辑:刘涛 臧程程 责任校对:肖琳

封面设计:李冬卉 责任印制:常天培

中教科(保定)印刷股份有限公司印刷

2017年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19印张·465千字

标准书号:ISBN 978-7-111-56290-0

定价:98.00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

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

序

人工制冷技术起源于18世纪中叶的苏格兰。19世纪80年代，随着西方列强用武力敲开清帝国的大门，人工制冷技术也伴随着西方商品的涌入而传入我国东南沿海一带，被首先应用到水产品和农产品的加工、运输和储藏方面。西方国家开始在我国东南沿海港口和码头，在人口密集的东部大城市兴建冷库。这一阶段可称为人工制冷技术应用阶段，也是我国大力引进与吸收这种技术的阶段。在这期间也诞生了我国首批具有现代热工知识的制冷技术专业人才。

新中国成立后，政府为了“发展生产、保障供给”，专门责成政府相关部门负责国人食品供给的计划保障工作，这期间除了发展生产外，还主要依靠了人工制冷技术在易腐食品的生产、加工、储运领域的广泛应用，才得以完成政府之托。20世纪50年代，受苏联政府的委派，由苏联肉乳工业部派出专家，亲自到我国相关部委工作，指导制冷技术在易腐食品加工、储藏方面的应用，同时在我国高等院校也开设了“制冷机”这门专业课程，教授人工制冷技术。从那时起，我国开始有了具备系统制冷专业知识的高级技术人才，制冷技术也在我国商业、农业、机械、轻工、外贸、化工、石油、交通、水利、采矿、制药、医疗卫生、国防等领域得到了广泛的应用。

改革开放以来，随着我国国际交往范围的扩大，以及国人对科学技术的引进与吸收工作的推进，美国及欧洲一些国家近几年制冷技术研发的成果也被迅速地引入我国，为我国广大的从事制冷技术研发与应用的科技工作者提供了新的思路和借鉴。

本书作者正是在这种历史大背景下成长起来的生产一线制冷科技工作者，受过系统的高等制冷专业教育，加之个人勤奋，结合自己多年的制冷工程设计与安装工作的实践，以及在国外专业技术考察期间的学习心得，结题成文，写成本书。这也是近十几年来我们食品冷藏行业难得的一本系统论述工业制冷技术，在食品加工与储运方面具体应用实例的专业书籍。特别是作者将一些国外最新制冷工程实践的实例，图文并茂地介绍给读者，足见作者在专业领域内学习与钻研所下的功夫，使本书突出了针对性和实用性，值得向国内从事工业制冷技术学习、应用与研究的广大师生、科技人员推荐。

中国制冷学会理事

徐庆磊

2016年7月30日

贺 信

November 8, 2016

Dear Mr. Li Xianguang,

Congratulations on your first publication titled, “New Technology and Application of Industrial Refrigeration Integration.”

The United States will continue to be a strong partner in China’s rapidly developing industrial refrigeration industry. U. S. companies are eager to partner with China’s cold chain leaders and experts to advance cold chain capabilities, promote emerging technologies, and share best practices in the industrial refrigeration sector.

Our U. S. Commercial Service team in Guangzhou looks forward to working with you to further strengthen China’s industrial refrigeration sector and broaden and deepen the U. S. – China commercial relationship.

Sincerely,



Darrel Ching

Principal Commercial Officer

U. S. Consulate General in Guangzhou

贺信（大意）

尊敬的李宪光先生：

祝贺您题为《工业制冷集成新技术与应用》的新书出版。

美国愿意继续做中国的合作伙伴，一起合作发展工业制冷行业。美国的公司渴望与中国的冷链领导和专家们合作，推进冷链发展，促进新兴技术，并分享工业制冷行业的最佳成果。

我们美国在广州的商业服务团队期待与你们的合作，希望进一步加强与中国在工业制冷领域的合作，深化美国与中国的商业合作关系。

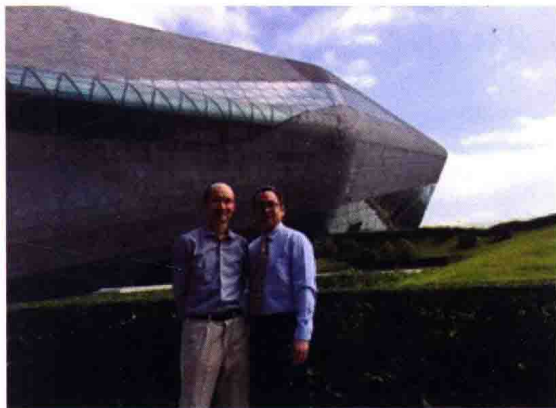
诚挚的问候

美国驻广州总领事馆

首席商务领事

Darrel Ching

2016年11月8日



Darrel Ching 先生与笔者合影

采用本书介绍的工业制冷新技术完成的国内工程项目（图1~图6）



图1 2013年完工的北京京津港冷链物流冷库的低温穿堂



图2 2013年完工的北京京津港冷链物流冷库的外形



图3 2012年完工的山东中凯兴业贸易广场有限公司15万吨冷库



图4 山东中凯兴业贸易广场有限公司15万吨冷库压缩机采用闪发经济器补气连接



图5 粤联公司首先使用二次节流供液的粤泰冷链物流有限公司冷库（2009年完工）

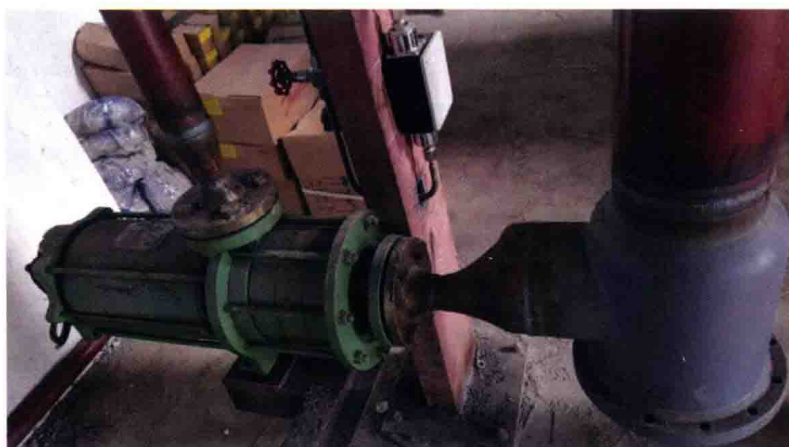


图6 解决制冷剂泵自动上液的管道阀门与泵的连接（在第6章有详细介绍）

采用最新工业制冷技术的国外工程项目（图7~图11）

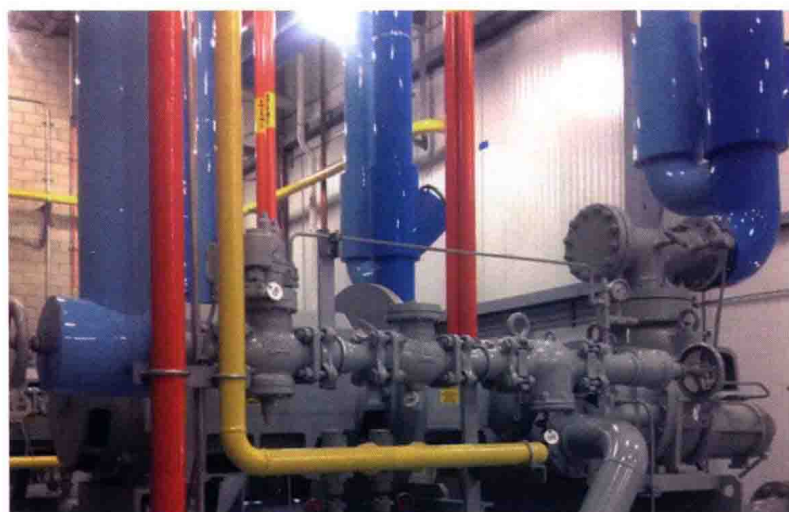


图7 采用补气连接的管道和阀门与压缩机的接入大样图（Lineage公司，2014年完工，美国）



图 8 低温低压循环桶（浅蓝色）与中温低压循环桶（深蓝色）的安装现场
（Lineage 公司，2014 年完工，美国）



图 9 低温低压循环桶（浅蓝色）与中温低压循环桶（深蓝色）的一次节流供液（向下箭头）与二次节流供液（向上箭头）
（Lineage 公司，2014 年完工，美国）



图 10 Diepop's-Hertogenbosch B. V. 工厂的机房压缩机的补气连接（2012 年，欧洲）



图 11 采用二次节流供液方式，制冷液体在进入其中一台中温低压循环桶液体节流后，再向另一台低温低压循环桶进行二次节流供液（Diepop's-Hertogenbosch B. V，欧洲）



图 12 在高压贮液器出液管上的紧急关闭阀（Diepop's-Hertogenbosch B. V，欧洲）

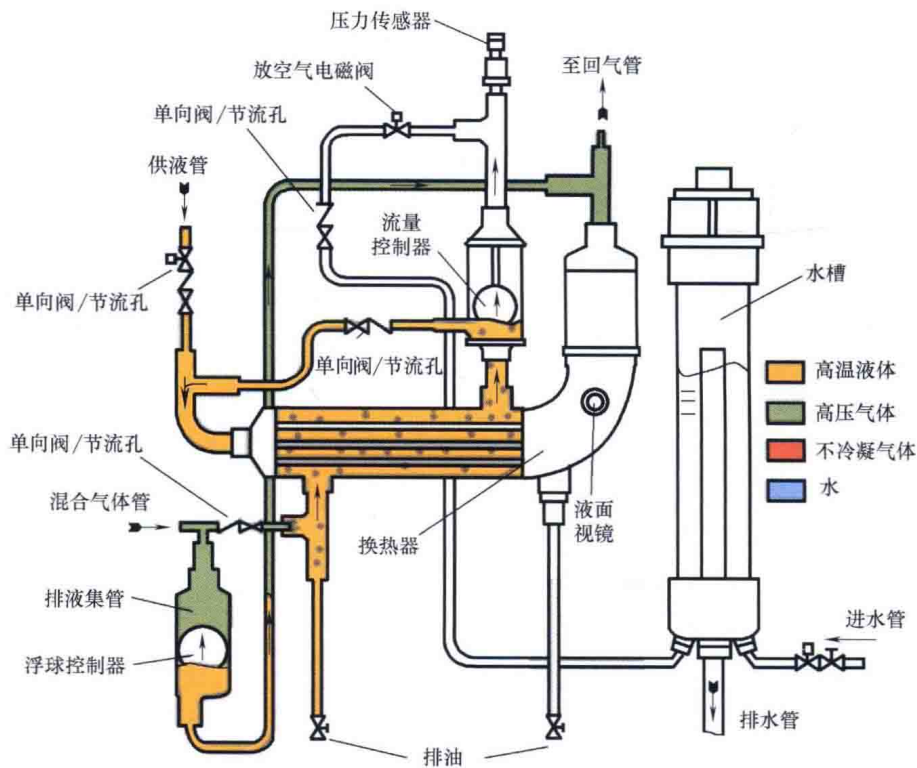


图 5-21 混合气体进入自动放空气器时的状态

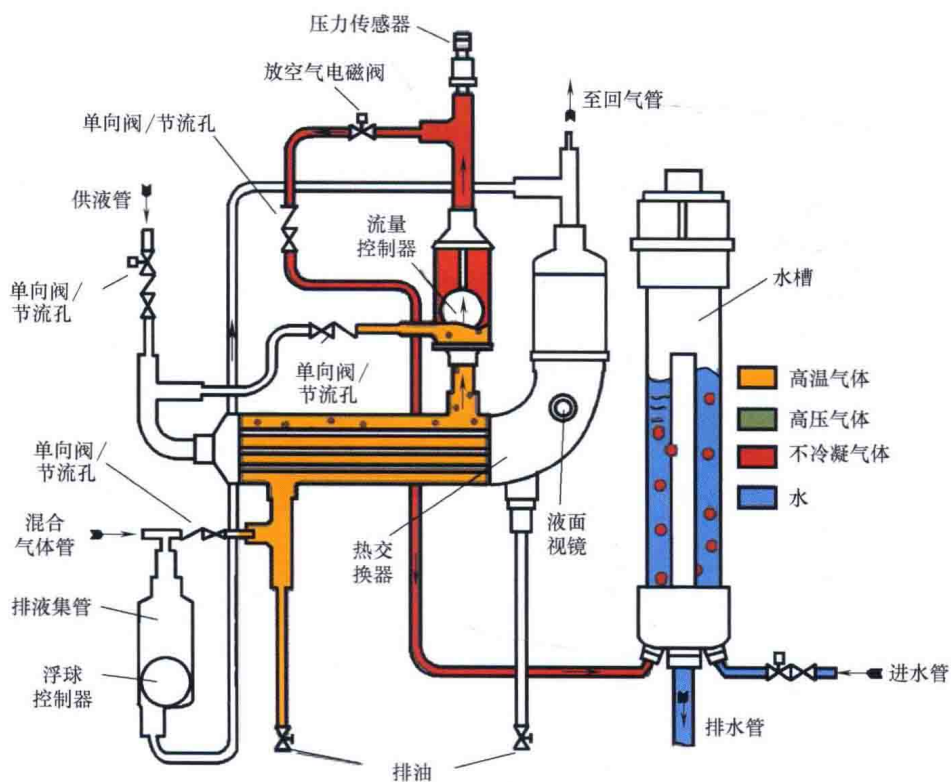


图 5-22 自动放空气器放出空气时的状态

前 言

笔者从事食品冷链冷藏的工作已经有三十四年了，1982年大学本科（制冷工艺专业）毕业后，从冷藏管理工作开始，到后来的冷链冷藏库的设计、安装、维护及调试工作，虽然有过一两次的岗位变动，但一直都没有离开这个行业。目前的岗位是广州市粤联水产制冷工程有限公司制冷高级工程师。

在这三十多年中，直接或间接参与设计、安装及调试的冷冻冷藏库已经接近九十万吨。在这些完成的项目中，有全国最大的冷库群之一的山东中凯公司17.5万吨冷库（位于山东潍坊），还有据说是全球单体最大的自动立体库——深圳正中置业10万吨冷库。在这些冷冻加工食品冷藏企业中，除了常用的冷藏物冷藏间、冻结物冷藏间、肉类食品速冻库、水产食品速冻库以外，还有用于加工金昌鱼的复叠速冻制冷系统及配套的超低温冷库（ $-50\sim-65^{\circ}\text{C}$ ）、食品加工间的低温空调（含洁净空调）（ $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ），国内常见的多层土建冷库，单层组合冷库。这些经历为笔者的职业生涯提供了比较丰富的经验和充实的数据。

从1978年笔者学习制冷工艺专业开始，就一直关注这个行业的发展，包括这个行业在社会经济中所占的位置，及应用技术的创新发展。在我国经济高速发展的三十多年中，这个行业在社会经济中所占的位置越来越重要，从原来的冷冻冷藏贮存型冷库已经逐步向冷链物流配送型冷库发展，即由原来的注重食品的加工保存以及如何延长食品的保存期向冷藏食品的保存和流通以及整个流通环节冷链形成转变。由原来的农贸市场的经营模式逐步向超市经营模式过渡。

20世纪80年代初我国的冷藏库保有量不足100万吨，经过三十多年的发展，到2014年年底已经达到3320万吨以上，在世界上冷藏库的总库容根据美国全球冷链联盟（GCCA）2015年的统计，我国已经位于第三位（仅次于美国与印度）。我国冷藏行业的发展速度已经超过世界上所有的国家，这种高速发展需要技术的支持。虽然这些年制冷技术经过我国技术人员的不断努力，已经有了比较大的进步，但由于国内原来的制冷计算基础是苏联的模式，随着苏联的解体，这种技术随着时代的变迁，已经显得相当落伍了。而设计规范和设备选型计算仍然沿用原有的模式，以致最近几年冷库及冷冻加工车间不断地出现不应有的安全事故，严重的还导致人员死亡和伤残。这除了施工质量的原因以外，制冷技术的落后是不争的事实。

至于冷库的能源消耗方面（指保证同样的温度工况下），与发达国家也有相当的差距。而且现在国内许多冷库还在不断地出现由氨系统改为氟利昂系统的怪现象，根据2015巴黎世界气候大会的要求，排放温室气体的市场会在21世纪的上半段结束。也就是说，大部分氟利昂制冷剂（包括环保型的氢氟烃制冷剂）会在这三十年内退出市场，因为它们都是温室气体。

为了让同行更好地了解欧美国家这方面的制冷技术，特别是制冷工艺技术，笔者这些年一直努力收集欧美国家已经公开的一些资料 and 文章，而这些收集到的资料 and 文章，基本上能满足目前工业制冷通常使用的设备和工艺计算的应用。

2012 年笔者参观了欧洲制冷展，并同时参观了德国与荷兰的制冷设备厂、实验室与冷库及加工线。2013 年到丹麦参观了丹佛斯总部与工厂以及相关的冷库。2014 年应美国贸易署的邀请，从美国的西岸到东岸，参观了二十多家冷库与加工厂，并与他们进行了许多有益的对话。

在这期间全球冷链联盟陪同我们一起参观的一位老专家，向笔者推荐了他们国家制冷界的一本经典《Industrial Refrigeration Handbook》（工业制冷手册），在陪同参观的十多天中，这本书他一直随身带着，有时间还在阅读。通过参观与交流，笔者带回了许多这方面的资料。为了较全面地介绍欧美国家的制冷技术，从美国回来后，笔者再次阅读了《Industrial Refrigeration Handbook》（笔者是 2008 年第一次读这本书的），经过十个月的阅读和准备，为此还翻译了近几十万字资料。

本书尽量以他们演绎的方式去介绍这些方面的知识，并且尽量转换为国际单位制（SI）。本书还对制冷循环系统演化到目前欧美国家采用的主流制冷系统进行了介绍，并在理论上做了进一步的说明。

本书主要介绍的是以制冷工艺为主的制冷循环，而制冷设备的发展由于产品研究的日新月异，不同的生产厂家有各种不同的优势产品。笔者也无法得到他们的核心数据，因此在介绍这些产品时，只能介绍与这些产品连接需要的制冷工艺数据以及这些产品原来设计的依据。

为了与目前的设计计算接轨，本书把这些问题作为重点进行介绍。我国目前的设计计算除了压缩机的选择采用不同的工况有不同的制冷量以外，其余的选择如蒸发器和冷凝器是以面积来计算，管道是以图表来计算。由于外资的制冷设备厂家为了使他们的产品更加容易选择，他们根据自己的计算模式，不同的工况编制成不同的设备选型软件。现在国内的设计已经几乎没有人再使用原来的设计手册计算模式来选择蒸发器、冷凝器、阀门与管道，而更多的是采用计算机软件进行选型。

相反，压力容器由于国内基本限制引进，外资目前也只有一家有自己的产品目录，而且他们的产品数据是保密的，给出的容器尺寸也只能适用于氨制冷剂，如果应用于氟利昂或者二氧化碳系统，需要修改相关的接管尺寸，因此没有形成市场。如果他们把容器选型的数据做成产品目录，相信在这个市场氛围中，不需要两个月，他们的优势会荡然无存。引进的蒸发式冷凝器生产就是一个例子。

在制冷剂的数据引用部分，氟利昂 R22 制冷剂由于保护臭氧层的原因，在我国已经属于即将淘汰的品种，但为了引用数据的完整性以及作为基础理论知识的补充对其进行介绍，目前允许使用环保型的氢氟烃制冷剂（氟利昂）许多数据仍然是由 R22 推导而来的。而且它们之间的特性有许多相似之处。因此提及氟利昂 R22 的数据可以作为环保型的氢氟烃制冷剂的参考依据。只有具有良好的制冷基础理论知识，才能谈得上在制冷方面的创新和发展。

反思最近几年国内的冷库制冷系统经常出现问题，甚至出现重大安全事故。造成这种现象的原因有很多。氨这种在全球冷库制冷系统占有率 85% 以上的制冷剂，在我国新建的冷库中居然已经日渐式微。从深层次的方面考虑，是制冷基础知识薄弱以及技术落后的一种表现。与我国冷库的发展速度形成很大的反差。

本书引用了一些国外最近几年完工的制冷项目，在参观过程中拍摄了一些图片、图样及技术资料，其中包括 2012 年在欧洲参观的 GEA 公司的一些设计与安装，包括刚刚完工的肉类速冻加工生产线及冷库。2014 年在美国参观的由 Stellar（恒星）公司（美国最大的氨制冷工程公司）为 Lineage 公司（世界第二大冷链物流公司）设计与建造的冷库（2014 年完工）。虽然这些例子不能全面反映欧美冷库的全部，但可以代表这些国家制冷技术在冷链物流行业的应用主流。通过书中提供的公式与数据，利用现有生产厂家的公开软件完全可以把这些设计内容演绎出来。本书会分别列举采用氨制冷剂及 R507 的工程实例的选型计算，这些工程已经顺利投产 3~5 年了。运行的结果证明是节能和使用方便的。

本书主要适合于工程人员在制冷工程设计时作为参考。并且可以利用书中的数据复核引进制冷项目。对目前通常使用的制冷剂的制冷系统（氨与氟利昂都有它们对应的数据与公式）有参考价值。由于笔者长期在基层从事技术应用工作，因此本书在制冷的理论方面相对薄弱，有些地方可能会有偏差。

笔者作为工程公司的技术负责人，对于引进国外的技术，由于没有人在前面引路，许多问题和疑难需要自己与伙伴们一起去探索和承担，笔者也曾经失败过，走过一些弯路。但坚持下来，取得了一个比一个更好的工程成果。

笔者是实践者，从事这个行业三十多年，大部分时间都是通过实践学习。很多新的技术都是一边学习一边查找它的理论依据，因此这些理论可能不是一个完整的体系。书中许多内容是通过翻译、整理和笔者的理解与推导编写而成的。

笔者也曾经在高校兼任校外的一些工作，如华南理工大学食品科学与工程学院的硕士生校外导师、顺德职业技术学院的兼职教师，对目前大学的专业教材还是有一些了解的，发现我国工业制冷技术的教材与欧美国家在这些方面有相当的距离。在欧美国家，教材与一线的技术差距一般在 5~10 年，而国内这方面的教材，差距会更大一些。

笔者没有在国外留学的经历，也没有当过访问学者，更没有得过什么奖励。几次出国参观学习的累积时间也没有超过一个月。好在工业制冷这门学科是一门实践性的学科，通过不断的学习、实践、与国外同行的交流，同样可以达到很高的技术境界。书中有一些内容并不是新的技术，只是国内在这一方面没有报道，可以作为理论基础的一个补充材料，也让学习这门学科的学生更多地了解欧美国家这方面的真正水平。

如果这本书能够得到同行的认可，需要感谢许多对笔者在事业上有过很大帮助的人，首先感谢的是粤联公司总经理吴少强先生和把笔者引入粤联公司的何刚明先生，以及这个公司的股东们。没有他们的全力支持，笔者不可能走到这一步。还有笔者的伙伴潘洪准、林良影、陈炳耀先生在笔者提出新的制冷流程时对工程的实施，以及在工程调试中骆锦登先生和他的伙伴的全力配合，及时把现场调试的结果反馈上来，并进行总

结。正是他们的帮助，才使本书介绍的这种制冷技术在工程上经过七年的磨炼从尝试走向成熟。

另外，笔者更要感谢的是为本书引路和审核的张建一教授，他为本书的写作、文字的处理提出了不少意见和建议。庄友明老师为本书的书名提供重要的思路。还要感谢第一个支持笔者做这种尝试的工程的老板：粤泰冷链物流有限公司陈拱龙先生，以及给笔者最大实践项目的物流先行者——福建名成水产实业有限公司的林香建先生（参与这家公司的项目达 38 万吨冷库），还有为本书提供资料的约克（中国）商贸有限公司、比泽尔压缩机（北京）有限公司、丹佛斯中国公司、Kelvion 热交换设备有限公司、福建雪人股份有限公司、阿法拉伐（中国）公司、伐德鲁斯换热设备（张家港）有限公司、路伟换热器有限公司、上海汉钟精机股份有限公司、银海洁科技有限公司、优泰门业有限公司。

本书的制冷剂热力性质及相关数据、压焓图来自 Department of Energy Engineering Energy Systems Group Refrigeration Technical University of Denmark（丹麦）提供的免费软件，同时感谢广东省冷链协会会长李健华小姐以及美国驻广州总领事馆商务处的大力支持。分离容器的选型软件编辑由程传凯先生完成、制冷剂数据编辑由黄寿德先生协助完成，封面由李冬卉小姐设计。当然也少不了笔者家人的全力支持。

由于本人长期在工程公司基层工作，因此编写本书时在理论方面会有所欠缺，希望同行的朋友给予谅解及指正，谢谢。

李宪光

2016 年深秋于珠江畔

目 录

序	
贺信	
前言	
第 1 章 工业制冷	1
1.1 什么是工业制冷	1
1.2 工业制冷的定义与范围	1
1.3 工业制冷的理论基础	2
1.4 转型中的冷链物流冷库与发展情况	3
本章小结	7
参考文献	7
第 2 章 制冷循环的演变	8
2.1 闪发气体的产生	8
2.1.1 作图计算	9
2.1.2 理论计算	10
2.2 软件计算工具	11
2.2.1 采用工程管道阀门的选型软件 计算	11
2.2.2 质量流量	13
2.3 闪发气体的去除	14
2.3.1 含有闪发气体的制冷循环	14
2.3.2 去除部分闪发气体的制冷循环	14
2.3.3 现代去除闪发气体的方式	18
2.4 双级压缩系统	24
2.4.1 实现制冷循环的双级系统运行的 几种模式	24
2.4.2 双级制冷系统压缩的改进	26
2.5 压缩机的吸气压力损失与排气压力 损失	26
2.5.1 压缩机的吸气压力损失与吸气 温度过热度	26
2.5.2 排气压力损失	27
2.5.3 不同工质的过热度与能效比	27
2.5.4 压缩机吸气和排气压力损失对 压缩功率的影响	29
2.5.5 双级制冷压缩的选型计算	31
2.6 复杂的混合制冷系统	34
2.6.1 同时具有冷藏物冷藏间和冻结物 冷藏间的制冷系统设计	34
2.6.2 同时具有冷藏物冷藏间和冻结物 冷藏间、速冻系统的制冷系统 设计	35
2.6.3 高层冻结物冷藏间的制冷系统 设计优化	35
本章小结	36
参考文献	37
第 3 章 压缩机与制冷工艺相关的 技术	39
3.1 螺杆式压缩机及油冷却	39
3.1.1 螺杆压缩机的产生与发展	39
3.1.2 螺杆压缩机的油冷却	40
3.2 油冷却负荷的计算及虹吸冷却系统	43
3.2.1 螺杆压缩机的油冷却负荷计算	43
3.2.2 螺杆压缩机的热虹吸冷却及 计算	43
3.2.3 螺杆压缩机的热虹吸桶布置	48
3.2.4 热虹吸与系统贮液器的合并	49
3.3 螺杆压缩机的补气原理与中间压力	50
3.3.1 螺杆压缩机的补气	50
3.3.2 螺杆压缩机补气旁路的吸气压力 与中间压力	51
3.3.3 旁路负荷的应用概念	55
3.3.4 螺杆压缩机补气系统单向阀的 设置	55
3.4 并联压缩机组	56
本章小结	57
参考文献	57
第 4 章 蒸发器的现代技术	59
4.1 蒸发器	59
4.2 冷风机的基本设计参数	60
4.2.1 冷风机	60
4.2.2 冷风机的基本计算	62
4.2.3 对数温差的概念	64
4.2.4 制冷剂流动与进风对比的逆流与 顺流	64

4.2.5	传热系数 U 值	65	选择	86	
4.2.6	换热管的直径以及布置	65	4.5.3	冷风机风机参数之间的关系	87
4.2.7	管的排列形式 (顺排与叉排)	66	4.5.4	冷风机在冷库中的气流组织	88
4.2.8	管间距与位置	66	4.6	冷风机的融霜	90
4.2.9	翅片材料和厚度对冷风机制冷量的影响	66	4.6.1	霜层的估算	91
4.2.10	翅片形状的影响	66	4.6.2	计算融霜所需的热量	92
4.2.11	翅片与换热管的接触	67	4.6.3	空气融霜	93
4.2.12	片距	67	4.6.4	电热融霜	94
4.2.13	冷风机迎风面的流速	67	4.6.5	热气融霜	94
4.2.14	外部传热效率 (制冷量的百分比) 与迎风面速度	67	4.6.6	水融霜	99
4.2.15	内部传热效率	68	4.6.7	乙二醇融霜	100
4.2.16	显热率 (SHR)	68	4.6.8	有利于融霜的附件	101
4.2.17	外部污垢系数	69	4.6.9	融霜温度探头在蒸发盘管的位置	102
4.2.18	相对湿度对冷风机的影响	70	4.7	壳管式、板式及板壳式换热器	103
4.2.19	供液过冷对直接膨胀的冷风机换热量的影响	72	4.7.1	壳管式换热器	103
4.2.20	霜层厚度对冷风机换热量的影响	74	4.7.2	板式换热器	104
4.2.21	射程的定义	74	4.7.3	板壳式换热器	106
4.2.22	计算冷风机的换热面积	74	本章小结	107	
4.3	不同类型的冷风机设计	75	参考文献	108	
4.3.1	冷风机的最佳蒸发回路	75	第5章 冷凝器的发展	109	
4.3.2	泵供液盘管	77	5.1	冷凝器概述	109
4.3.3	垂直供液盘管	78	5.2	蒸发式冷凝器	111
4.3.4	重力供液盘管	78	5.2.1	冷凝过程	111
4.3.5	乙二醇盘管设计	78	5.2.2	排热比	112
4.3.6	冷风机的变片距设计	79	5.2.3	管内冷凝	112
4.3.7	分液器的设计	80	5.2.4	湿球温度对蒸发式冷凝器排热能力的影响	113
4.4	冷风机的类型与特点	80	5.2.5	蒸发式冷凝器的选型方法	114
4.4.1	冷风机两种典型送风形式	80	5.2.6	蒸发式冷凝器的循环水参数	116
4.4.2	两种吹风形式的制冷量比较	81	5.2.7	排热量控制	116
4.4.3	两种吹风形式的相对湿度比较	82	5.2.8	蒸发式冷凝器的发展	118
4.4.4	风机的选择	82	5.2.9	蒸发式冷凝器的安装位置	121
4.4.5	吊顶式冷风机	84	5.2.10	冷凝器的放空气	121
4.4.6	落地式冷风机	84	5.2.11	蒸发式冷凝器管道连接的一些要求	124
4.4.7	屋顶式冷风机	84	5.2.12	蒸发式冷凝器并联运行时管道的连接要求	125
4.4.8	货仓式冷风机	85	5.2.13	蒸发式冷凝器的水处理	128
4.4.9	绝热型冷风机	85	5.3	风冷式冷凝器	130
4.5	冷风机的循环风量和气流组织	86	本章小结	132	
4.5.1	贮存冷库风量选择	86	参考文献	132	
4.5.2	速冻产品的风量以及风速的		第6章 供液方式与液体循环	134	

6.1 供液方式	134	容积	186
6.1.1 直接膨胀供液	134	8.4.5 卧式分离容器的稳定容积	186
6.1.2 满液式供液	135	8.4.6 卧式分离容器的缓冲容积	186
6.2 循环倍率	138	8.5 分离容器的实际设计	187
6.3 制冷剂泵	141	8.5.1 立式分离容器的实际设计	187
6.3.1 制冷剂泵的种类	141	8.5.2 变温容器的相关说明	190
6.3.2 净正吸入压头	141	8.5.3 气液分离器的设计	192
6.3.3 制冷剂泵的主要参数	141	8.5.4 中间冷却器设计	193
6.3.4 最大流量孔板和最小流量孔板的 设置	142	8.5.5 闪发式集中经济器的设计	193
6.3.5 制冷剂泵的布置	143	8.5.6 没有中温负荷的集中闪发式 经济器的设计	196
6.3.6 循环桶的控制液面至制冷剂泵的 进液管中心线的高度要求	146	8.6 恒温容器	196
本章小结	146	本章小结	196
参考文献	146	参考文献	197
第7章 管道与阀门的选择	148	第9章 冷链物流冷库的自动控制	199
7.1 管道的选型	148	9.1 冷链物流冷库常用的自动控制系统	199
7.1.1 管道的种类	148	9.1.1 冷链物流冷库总的控制概念	199
7.1.2 循环管道内流体的压力降	149	9.1.2 压缩机控制回路	199
7.1.3 压力降测定	152	9.1.3 桶泵机组的控制回路	201
7.1.4 管道配件的压力降	152	9.1.4 冷风机(蒸发器)的控制回路	201
7.1.5 最佳管道尺寸	154	9.1.5 蒸发式冷凝器的控制回路	202
7.1.6 液体提升管	158	9.2 自动控制系统与制冷工艺的配合	206
7.2 阀门及配套的控制元件	160	本章小结	207
7.2.1 阀门的类型	160	参考文献	207
7.2.2 阀门的流量和阻力损失	161	第10章 制冷系统计算的应用与 实践	208
7.2.3 同一种阀门不同的用途	161	10.1 实际的冷库工程设计	208
7.2.4 选择阀门的一些特殊要求	162	10.1.1 高层冷库的设计应用	208
本章小结	164	10.1.2 确定中温低压循环桶兼经济器 的计算负荷	209
参考文献	164	10.1.3 确定低温低压循环桶的相关 参数	213
第8章 容器的功能设计	165	10.1.4 螺杆压缩机补气口阀组的选择 与计算	216
8.1 我国容器的设计计算现状	165	10.1.5 蒸发器的连接与布置	216
8.2 容器体积的基本计算方法	168	10.1.6 阀站的布置	217
8.3 立式变温容器的分离计算原理	171	10.1.7 高压贮液器的设置	219
8.3.1 立式分离容器的分离概念	171	10.2 冷冻速冻生产线的设计	219
8.3.2 立式分离容器的实际工程计算	174	10.2.1 速冻加工生产线的氟利昂系统 设计	219
8.3.3 立式分离容器的基本构成	175	10.2.2 闪发式经济器的选择	220
8.4 卧式变温容器的分离计算原理	178	10.2.3 低压循环桶的选型	221
8.4.1 卧式变温容器的分离理论	178		
8.4.2 卧式分离容器在工业制冷中的 计算	182		
8.4.3 卧式分离容器的工业产品设计	183		
8.4.4 卧式分离容器的低液位报警			

10.3 多级节流技术	223	11.7 冷链物流冷库的系统安全	250
本章小结	226	11.7.1 设计与安装规范	250
参考文献	227	11.7.2 制冷系统的气体检测	252
第 11 章 冷链物流冷库的新动态	228	11.7.3 氨制冷系统的紧急关闭阀	256
11.1 制冷系统的热回收	228	11.7.4 新的安全技术——设备机房以及 管道阀门布置在冷库的顶层	256
11.2 冷链物流冷库热负荷的其他计算 方式	231	11.7.5 氨制冷系统的安全标识	256
11.3 未来的制冷剂	233	11.8 冷链物流冷库的网络监控	259
11.4 二氧化碳制冷系统的特点	237	11.8.1 网络监控的基本概念	259
11.4.1 二氧化碳制冷系统应用的 压缩机	238	11.8.2 网络监控的分类	259
11.4.2 二氧化碳制冷剂在冷库的工作 压力范围	238	11.8.3 实现制冷系统的互联网监控	259
11.4.3 采用二氧化碳复叠制冷系统在 冷库的节能问题	240	11.8.4 制冷系统在互联网上真正实现 实时监控	262
11.4.4 二氧化碳制冷系统的小型并联机 组系统	241	11.9 冷链物流冷库设计的新工具	263
11.4.5 冷库二氧化碳制冷系统的融霜 问题	241	11.9.1 三维设计软件 Revit	263
11.4.6 二氧化碳作为载冷剂的制冷 系统	242	11.9.2 Revit 在冷库建筑上的设计 应用	264
11.5 冷库快速门	243	11.9.3 Revit 在冷库制冷系统管道 布置上的应用	264
11.5.1 滑升门	244	11.9.4 用 Revit 制作的制冷设备以及 阀门管道连接	265
11.5.2 快速卷帘门	245	本章小结	265
11.6 自动仓储系统	246	参考文献	266
11.6.1 自动仓储系统在冷库的基本 构成	246	附录	267
11.6.2 堆垛机	247	附录一 R22 热力性质表	267
11.6.3 自动仓储系统的货物进出模式 以及盘点模式	247	附录二 R507 热力性质表	270
11.6.4 自动仓储系统在冷库的布置与 安装要求	249	附录三 R717 热力性质表	274
		附录四 R449a 热力性质表	277
		附录五 部分国家的制冷系统的主要标准 与规范	282
		后记	288