

冷库制冷系统及其自动化研究进展

Research progress of cold storage refrigeration system and automation

刘寒^{1,2,3,4} 谢晶^{1,2,3,4} 王金锋^{1,2,3,4}

LIU Han^{1,2,3,4} XIE Jing^{1,2,3,4} WANG Jin-feng^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306;

4. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心〔上海海洋大学〕, 上海 201306)

(1. Shanghai Ocean University College of Food Science and Technology, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai 201306, China; 4. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering [Shanghai Ocean University], Shanghai 201306, China)

摘要:从节能的角度,综述制取环境温度以下到 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-18\sim-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-60\sim-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3个常用温度区间所对应的高效制冷系统,并且从制冷能效角度分别对单级压缩循环、双级压缩循环、复叠式及自复叠式压缩循环进行分析比较;概述 PLC 控制、传感器、上位机软件等自动化技术,提出冷库自动化对实现冷库节能的重要性及冷库自控技术未来发展的趋势。

关键词:冷库节能;制冷循环系统;冷库自动化

Abstract: In recent years, the energy consumption of our country is becoming more and more serious, and the energy consumption of cold storage occupies a considerable proportion in that of all industries. Therefore, it has become more and more important to reduce the energy consumption of cold storage. The energy conservation, the efficient refrigerating system of three commonly used temperature range with $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ and above, -18 to $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ was summarized in this review, respectively, and the single-stage compression cycle, two-stage compression cycle and cascade and auto cascade compression cycle several commonly used refrigeration cycle from the perspective of energy consumption were also analyzed and compared. In addition to the PLC control, and a variety of

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(编号: CARS-47); 2016 年上海市科技兴农重点攻关项目〔编号: 沪农科攻字(2016)第 1-1 号〕; 上海市科委平台能力建设项目(编号: 16DZ2280300); 上海市科委公共服务平台建设项目(编号: 17DZ2293400)

作者简介:刘寒,男,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:谢晶(1968—),女,上海海洋大学教授,博士生导师,博士。

E-mail: jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2018-03-16

cold storage sensor, PC software automation technology were summarized, which led to the importance of cold storage and its automation control technology, and the future development trend of energy saving of cold storage was also proposed.

Keywords: cold storage energy saving; refrigeration system; cold storage automation

冷库是广泛应用于果蔬、肉类、水产、化工品、医药、育苗等的恒温贮藏的特殊建筑物,通过采用人工制冷的方式延长贮藏物保质期^[1]。冷库也可以为一些科学试验提供低温环境^[2]。近几年随着冷库应用领域的不断增多,中国冷库规模逐年扩大。中物联冷链委发布 2014 年中国冷库总量达到 $3.320\times 10^7\text{ t}$,且“十三五”期间中国冷库需求有望呈年均 $15\%\sim 20\%$ 趋势稳健增长。而冷库也是耗电的大户,冷库运行的节能降耗将是未来冷库行业绿色发展所要面临的首要问题。据统计中国每年平均冷藏耗电量为 $131\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,是英国、日本等国平均水平的 2~3 倍^[3]。导致中国冷库运行耗电量大的主要原因有以下两点:① 冷库建造过程中制冷系统选择不合理,造成冷库运行时的过载或冷量浪费;② 冷库自动化程度低下,不能对冷藏温度实时调控,从而导致电能浪费。本文拟从节能的角度,综述制取不同低温时选取高效制冷系统的方法,并对自动化技术应用于冷库节能的重要性及未来发展趋势进行展望。

1 冷库用制冷系统

一般冷库多由制冷机制冷,利用汽化温度很低的液体作为制冷剂,使其在低压下汽化,吸收冷库内的热量,从而达到冷却降温的目的。又由于不同低温贮藏的货物所需的温度

不同,且同一低温采用不同制冷系统耗能也会不同。所以对不同功用的冷库来说,选用合适的制冷系统就显得尤为重要了。有统计^[4]表明:压缩机耗能占系统总能耗 2/3 左右,对于冷藏温度要求较低的系统,冷库系统的性能很大程度上决定于制冷压缩机的功效。由于不同领域对低温要求不同,分别对环境温度以下到 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-18\sim-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-60\sim-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3 个常用温度段的温度制取方式进行论述。

1.1 环境温度以下到 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库制冷系统

生活中常见的食品、药品、疫苗等物品的存储运输一般需要 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以上温度,此温度相对较高,制冷系统压缩比一般小于 8,宜采用单级蒸气式压缩制冷循环。乔明琦^[5]从工艺角度,对温度要求为 $2\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$,内含有冷链包装区、成品冷库等功能间的综合药品仓库制冷方式进行了探讨,结果表明:首先利用单级压缩制冷系统制取冷量,再通过采用载冷剂($10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 乙二醇水溶液)为冷库提供冷量,这种方式既能满足药品保存温度要求,又能有效节约能源。单级蒸气式压缩制冷循环常采用容积式制冷压缩机,如活塞式压缩机和螺杆式压缩机^[6]。输气量和功率消耗作为衡量压缩机最主要的 2 个性能指标,马麟等^[7]通过活塞式与螺杆式的性能对比研究,得出当螺杆式压缩机和活塞式压缩机输入相同功率时,前者能够获得较高的输气量,即冷库中采用螺杆式压缩机更加节能。在性能特点方面,螺杆式压缩机具有制冷量范围大,自动化程度高,运行可靠性好等优点^[8]。马一太等^[9]对几类常用容积式压缩机电效率进行分析,活塞式压缩机电效率一般为 $0.50\sim 0.65$,而螺杆压缩机电效率为 $0.65\sim 0.75$,因此螺杆式压缩机在制冷循环中有更高的效率。在经济性方面,分别对比活塞式和螺杆式 2 种压缩制冷系统的初投资、运行维护、使用效率及寿命得出:当制冷量大且长时间运行时,宜选择螺杆机;当制冷量较小,运行时间较短时,更宜选择活塞式压缩机^[10]。综上所述:在温度要求为环境温度以下至 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷库制冷中,宜选用单级压缩制冷系统。而对于单级压缩制冷系统压缩机的选择,大中型冷库选择螺杆式制冷压缩机更加节能高效,小型及运行时间较短的冷库选择活塞式制冷压缩机会更加经济节能。

1.2 $-18\sim-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库制冷系统

对于 $-18\sim-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度区间的制冷,理论上可供选择的制冷压缩系统包括:单级系统、双级系统、复叠式系统。由于一些食品特别是水产品等在冷藏中对温度要求较低,欲达到 $-18\sim-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度区间,就要求蒸发器蒸发温度较低,而且这种冷库制冷系统压缩比既可能出现小于 8 的情况,又有可能出现大于 8 的情况。孙志高等^[11]打破了传统设计模式限制,利用共沸工质 R404a 充注单级压缩制冷系统并进行保存箱制冷试验探究,最终在 1.7 h 内使箱内温度下降至 $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$,并且系统在运行过程中安全、稳定。与单级压缩相比,将制冷剂分 2 个阶段进行压缩,以制取更低温度的循环系统被称为双级压缩系统,其蒸发温度可以低至 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[12-13]。张建一等^[14]通过工程实例,从技术经济角度对单级和双级 2 种压缩方式进行了分析论证,结果表明:在蒸发温度低于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$,且不管压缩比小于 8 还是大于 8 的工

况下,采用双级压缩时理论制冷系数都比采用单级压缩有很大提高。由于螺杆制冷压缩机具有吸气、压缩、排气单向进行的特点,在单级压缩制冷系统中加入经济器,且在压缩机压缩过程中设置一个能够吸入经济器闪发蒸气的中间补气孔口,那么单级压缩就具有了和双级压缩一样的工作过程^[15]。带经济器的螺杆式制冷压缩系统(即准双级运行)与活塞式双级压缩制冷系统相比,既降低了运行成本,又便于操作管理^[16]。带经济器的螺杆式系统通常用于蒸发温度高于 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的场合。复叠式制冷系统由低温和高温两部分组成,在两部分分别充注沸点不同的制冷工质^[17]。 NH_3/CO_2 复叠系统是利用 NH_3 作为高温制冷剂, CO_2 作低温制冷剂,由于 NH_3/CO_2 良好的物理性质与经济性,此系统既能满足经济要求又能满足环境要求^[18]。国内外研究^[19-21]表明:相比于常规制冷剂复叠循环与双级循环, NH_3/CO_2 制冷循环有一定的特殊性,即当蒸发温度在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时, NH_3/CO_2 复叠式循环性能系数高于 NH_3 双级压缩循环系统;但当蒸发温度在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时, NH_3 双级循环的性能优于 NH_3/CO_2 复叠循环。又由于 NH_3/CO_2 是一对环保高效的制冷工质,因此在 $-30\sim-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 食品冷冻冷藏中具有广阔的应用前景和巨大的发展潜力^[22-23]。因此,对于 $-15\sim-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 制冷区间,特别是在系统运转时间较少的场合,如冷藏船、冷藏车、小型冷库以及一些试验装置等,在能够满足工艺性生产和经济性运行的前提下,为了简化系统,可以选择合适的单级压缩制冷系统;在 $-30\sim-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 制冷区间中,既可以选择双级压缩制冷系统又可以选择不同制冷剂组合的复叠制冷系统,具体选择可根据冷藏物性质及运行费用综合考虑。为了简化系统, $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温时也推荐采用带经济器的螺杆式单级系统。

1.3 $-60\sim-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库制冷系统

对于制冷温度为 $-60\sim-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区间,理论上可供选择的制冷压缩系统包括:双级系统、复叠式系统和自复叠式系统等。通过对双级压缩和复叠式制冷系统的吸气压力、制冷系数等参数进行技术经济分析得出:在相同工况下, $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下低温的制取,复叠式压缩更加节能,更具有应用前景^[24-25]。更多研究^[26-27]得出:在温度低于 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,复叠制冷系统优于双级压缩制冷系统。自复叠系统是利用一台压缩机对多种沸点不同的工质进行多级复叠压缩的制冷循环系统,因其结构上所具有的特点,自复叠式循环系统也是制取 $-60\sim-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度区间的常用方式之一^[28]。以上研究结论表明: $-60\sim-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区间温度的制取,使用复叠制冷系统将更加经济节能。

2 冷库的自控

目前,中国大多数冷库控制处于手动控制或者自控程度比较低的水平,众多研究^[29-30]表明,由于大多数冷库自控程度的差异,相同冷藏温度下其中全自动冷库相比于手动控制的冷库节约约 $5\%\sim 15\%$,而且由于前者温、湿度控制精准,冷冻冷藏出来的食品质量更高。因此冷库自控水平的提高及完善将有利于改善冷库运行现状,即改善冷库冷藏效果以及降低冷库能源消耗。常见大中型冷库的自动控制一般以

集中监控、分散控制的原则将自控系统分为三部分:控制层、监控层、设备层。

2.1 控制层

传统冷库控制大多采用继电器、逻辑电路及单片机控制,但随着冷库自控化程度要求越来越高,当前,冷库的自动控制大多是利用基于现场工业总线 PLC(Programmer Logic Controller,可编程式控制器)的集散式控制系统^[31]。黄荣雪^[32]通过对 PLC 控制与传统控制 2 种方式的对比,得出用 PLC 控制系统不仅会大大减少接线数量,而且也将缩小控制电路所占用控制系统的空间,有效提高工作效率。PLC 系统与传统单片机相比,具有编程简单,易于掌握等优点。PLC 的工作过程是通过内部存储器编写的程序,进行逻辑、顺序和算术运算,计时、计数等操作的指令,再通过控制器工业控制元件相连接的接口,输入和输出模拟式数字数据,控制各种类型的机械或生产过程^[33]。通过对采用 PLC 自控系统的小型冷库进行制冷性能研究,发现 PLC 控制下的小型冷库相比于传统控制,不仅能耗有所降低,而且能够在无人值守情况下的高效运行^[34-36]。孟大伟等^[37]通过对采用 PLC 自控系统的大型冷库进行分析研究,得出该冷库既能满足安全环保要求,又能节约冷库运营成本和提高冷库运行效率。丁莉君^[38]通过对基于 PLC 的立体冷库自控系统进行设计研究,实现了冷藏物完全自动化的入库和出库,该实践表明 PLC 自控技术对现代化立体冷库自动控制的实现具有重大意义。因此,PLC 技术在冷库自控方面的应用将有效提高冷库运行效率,降低冷库运行能耗。

2.2 监控层

监控层是集中管理与操作的核心层。控制层的 PLC 与监控层的人机交互页面通过网络进行信号传递,控制人员通过人机界面上所安装的组态软件进行设备状态的查看、设置、报警等管理,生成报表,设备运行各项数据采集与管理等,因此人机界面的组态软件是实现设备控制智能化的关键部分。徐旻晨等^[39]通过 LABVIEW 软件,设计出一套超低温冷库监控系统,经试验表明该系统能够对冷库进行实时、高精度监控,且该系统人工交互界面友好、操控简单、功能完善。王帅^[40]通过上位机软件 King view 与 PLC 的搭配,通过设置计算机与人机界面同时控制冷库,不仅能够实现冷库的监测控制等自动化功能,而且即使当计算机发生故障时,也能有效避免整个冷库系统瘫痪。Sousa 等^[41]通过开发一种嵌入式监测系统安装于冷库,实现了冷库各运行参数的采集、分析与调节。如今上位机组态软件功能模块越来越完善,相对于传统编程其优势在于能够利用通俗易懂图形构件,以数据流的形式搭配计算机完成仪器的编程、数据的采集^[42]。而且随着大数据时代的到来,数据的存储与分析与深度挖掘将显得尤为重要,对于冷库系统来说,监控层是对整个冷库运行数据收集功能的重要部分,通过人机界面组态软件所保存的设备运行参数,技术人员能够通过其对隐藏于生产过程的相关规律性知识、控制人员的操作经验与决策进行深度挖掘,从而帮助用户发现制冷设备所存在的问题,方便用户进行在线故障诊断,并能够有效为用户提供在线故障

解决方案,而且为以后的系统及设备维护和升级改造提供依据,进而提高制冷系统运行效率,减少能源浪费。

2.3 设备层

先进的软件只是实现冷库自控的一个重要部分,另一个重要部分是能够传输软件命令对冷库进行温湿度控制与信息采集的硬件设施。常安装于自动化冷库中的感应部件有温度传感器、压力传感器、质量流量传感器、电力仪表、各种电磁阀及接触器等^[43]。自控冷库温度的调控是通过温度传感器自动将采集值与设定值进行比对,比对信息传输到监控层,随后系统智能调节供液阀,回气阀,以及冷风机的顺序延时开停;对于冷风机蒸发器来说,自动除霜功能是通过程序设定好除霜时间与周期,根据设定系统智能关闭或开启热氨阀,蒸发器进口端的供液电磁阀、回气电磁阀和库内冷风机^[44]。若冷却物冷藏库中二氧化碳浓度也需要实时监测,则可以安装二氧化碳传感器^[45]。对于适配于各种微机控制的数字温度传感器,能输出即时温度监测数据及温度相关量,可以使冷库在无人值守的情况下全自动正常运行^[46-47]。兀伟等^[48]通过数字式温湿度传感器对一大型冷库进行多点温湿度参数监测,并将采集数据传输至上位机,长时间的监测结果表明通过传感器监测控制的冷库运行更加安全、稳定和高效。美国、荷兰等西方国家在渔船冷库中利用各种传感器对温度、压力等各种信息进行采集,再结合船只控制系统,方便船员实时控制冷库运行并实现自动化^[49]。旋转编码器常应用于立体式冷库测量位移,处理转动,也利用微动开关对立体式冷库库位是否上货进行检测^[50]。设备层的各种传感器在整个冷库自控系统中属于金字塔最低端,但是又属于核心部分。因此制冷系统中各种传感器、电磁阀的应用对未来冷库自控的发展至关重要。

3 结论与展望

制冷能耗在各行业中占很大比重,有统计^[51-52]称制冷设备用电约占中国总耗电的 1/7。随着中国能源日益紧张,节能也成为冷库建造首要考虑的问题。由于冷库目前广泛采用压缩式制冷装置,因此在制冷系统中压缩机及压缩方式的选取对于冷库节能显得尤为重要。而且为了追求冷库控制更加高效节能,冷库控制完全自动化必然将成为未来冷库发展的一大趋势;现今互联网、人工智能等先进科技蓬勃发展,将为冷库的完全智能化控制提供更大机遇。

参考文献

- [1] 唐友亮, 杨雪, 胡顺宝. 国内冷库建设现状与发展趋势分析[J]. 科技展望, 2016, 26(15): 305.
- [2] YUMRUTAŞ R, KUNDUZ M, KANOGLU M. Exergy analysis of vapor compression refrigeration systems[J]. Exergy An International Journal, 2002, 2(4): 266-272.
- [3] 杜世春. 浅谈冷库的节能设计和运行管理[J]. 上海节能, 2016(8): 429-431.
- [4] 李夔宁, 王贺, 吴治娟, 等. 冷库节能途径探讨[J]. 制冷技术, 2008(2): 1-4, 12.
- [5] 乔明琦. 药厂冷库的工艺设计探讨[J]. 化工与医药工程, 2017, 38(2): 21-24.

- [6] 王君, 李娟娟, 李强. 容积式压缩机排气流动的数值计算[J]. 压缩机技术, 2007(5): 20-23.
- [7] 马麟, 邹同华, 孙欢. 比较螺杆式与活塞式压缩机在冷库应用中的节能效果[J]. 保鲜与加工, 2007(1): 18-20.
- [8] 杨光, 祁影霞. 低温冷库中压缩机选择及其节能效果探讨[J]. 流体机械, 2009, 37(11): 42-45, 87.
- [9] 马一太, 刘忠彦, 李敏霞. 容积式制冷压缩机电效率分析[J]. 制冷学报, 2013, 34(3): 1-7.
- [10] 肖慧儒, 杨清柏, 何方金. 螺杆式空压机与活塞式空压机的技术经济指标比较[J]. 压缩机技术, 2012(1): 42-45.
- [11] 孙志高, 刘成刚, 黄海峰. 单级低温系统性能实验研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(9): 2 147-2 148, 2 152.
- [12] 原惠惠. 双级压缩制冷系统设计及实验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2016: 10-12.
- [13] 王玉珏, 黎立新, 季建刚. 非共沸工质自复叠制冷技术研究现状[J]. 制冷与空调, 2008, 8(6): 22-26.
- [14] 张建一, 宋怡梦. 单级压缩或双级压缩制冷的技术经济分析[J]. 低温与超导, 2009, 37(12): 23-28.
- [15] 王炬, 高赞军, 李胜全, 等. 带经济器的飞机蒸发循环制冷系统方案研究[J]. 航空科学技术, 2016, 27(10): 60-67.
- [16] 杨丽, 王文, 白云飞. 经济器对压缩制冷循环影响分析[J]. 制冷学报, 2010, 31(4): 35-38.
- [17] 牛宝联. 复叠制冷系统低温环路自然工质混合物的理论及实验研究[D]. 天津: 天津大学, 2007: 11-13.
- [18] 曹文胜, 鲁雪生. CO₂-NH₃复叠与 NH₃制冷系统的流程参数比较[J]. 化工学报, 2010, 61(S2): 178-182.
- [19] 卢允庄, 张为民. 用于低温复叠式制冷的 CO₂ 螺杆式压缩机组的性能试验[J]. 制冷与空调, 2011, 11(5): 93-97.
- [20] LLOPIS R, SÁNCHEZ D, SANZ-KOCK C, et al. Energy and environmental comparison of two-stage solutions for commercial refrigeration at low temperature: Fluids and systems[J]. Applied Energy, 2015, 138(C): 133-142.
- [21] 王炳明, 于志强, 姜绍明, 等. NH₃/CO₂复叠制冷系统实验研究[J]. 制冷学报, 2009(3): 21-24.
- [22] 曹兴中, 王智明. 现代工业低温制冷技术概述[J]. 低温与特气, 2012, 30(6): 7-12.
- [23] PEARSON S F. Saving energy in refrigeration, air conditioning and heat pump technology[M]. New York: International Institute of Refrigeration, 2008: 12-20.
- [24] 郭耀君, 谢晶, 朱世新, 等. 双级压缩与复叠式压缩制冷系统的技术经济分析[J]. 化工进展, 2015, 34(8): 3 194-3 201.
- [25] CHUNG H S, JEONG H M, KIM Y G, et al. Temperature characteristics of cascade refrigeration system by pressure adjustment[J]. Journal of Mechanical Science & Technology, 2005, 19(12): 2 303-2 311.
- [26] KILICARSLAN A. An experimental investigation of a different type vapor compression cascade refrigeration system [J]. Applied Thermal Engineering, 2004(24): 2 613-2 619.
- [27] 杨富华. 金枪鱼冷冻冷藏链研究及开发[D]. 大连: 大连理工大学, 2006: 67.
- [28] 芮胜军, 张华, 吴裕庆. 非共沸混合工质单级压缩回热循环实验研究[J]. 制冷学报, 2012, 33(6): 63-67.
- [29] 孙亚娟. 浅谈冷库的节能与自动控制[J]. 黑龙江科技信息, 2011(3): 31.
- [30] 张伟. 自动化冷库制冷自控与节能降耗介绍[J]. 制冷与空调, 2013, 13(6): 5-8.
- [31] 付焕森, 王郭全, 夏华凤, 等. 农产品保鲜冷库的 PLC 控制与关键技术研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 233-236.
- [32] 黄荣雪. 浅谈可编程控制技术的特点[J]. 黑龙江科技信息, 2011(3): 31.
- [33] 甘能. 基于 PLC 控制在工业自动化中的应用研究[J]. 电子技术与软件工程, 2015(6): 159-160.
- [34] 刘焕卫, 周秋淑, 王培凤, 等. 小型冷库 PLC 自动控制系统设计及试验[J]. 烟台大学学报: 自然科学与工程版, 2015, 28(4): 303-307.
- [35] GAO Xin, LU Zhen-jun. The design of cold storage control system in food refrigeration based on PLC[J]. China Shiprepair, 2013, 26(1): 38-40, 43.
- [36] LUO Xiao-zhen. Application of PLC in small cold storage system[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2010(2): 164-165.
- [37] 孟大伟, 赵广涛, 姜韶明, 等. 用于大型冷库的 NH₃/CO₂复叠式制冷系统的自动控制方案[J]. 制冷与空调, 2015, 15(12): 57-61.
- [38] 丁莉君. 基于 PLC 的立体冷库控制系统设计[J]. 物流技术, 2014, 33(17): 423-425.
- [39] 徐旻晟, 谢晶, 王金锋. 基于虚拟仪器技术的渔船超低温冷库制冷监控系统研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 122-127.
- [40] 王帅. PLC 在自动化冷库中的应用[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2007(11): 100-102.
- [41] SOUSA P J, QUINTAS M R, ABREU P. Modular system for cold storage monitoring[J]. International Journal of Online Engineering, 2016, 12(4): 46.
- [42] 王孝红, 韩丹, 景绍洪. 组态软件上位机监控系统设计与开发[J]. 信息技术与信息化, 2005(6): 78-80.
- [43] 胡日刚. 浅谈 PLC 控制在自动化冷库中的应用[J]. 制冷与空调, 2013, 13(6): 16-18.
- [44] 杜丽芬. 全自动冷库房控制器方案设计与应用[J]. 制造业自动化, 2009, 31(5): 139-140.
- [45] 杨桦, 李然, 李林林. 基于物联网技术的智能冷库综合监控系统及其应用[J]. 山东通信技术, 2012, 32(1): 4-5.
- [46] 吴立群. 一种新型温度传感器及其在冷库控制中的应用[J]. 中国仪器仪表, 2006(7): 66-69.
- [47] WU Li-qun. A kind of new temperature sensor and its application in cold storages control[J]. Refrigeration, 2006(4): 37-40.
- [48] 兀伟, 王航宇. 多种温度传感器信号调理电路设计[J]. 电子设计工程, 2012, 20(22): 73-75.
- [49] TORRES-IRINEO E, GAERTNER D, CHASSOT E, et al. Changes in fishing power and fishing strategies driven by new technologies: The case of tropical tuna purse seiners in the eastern Atlantic Ocean[J]. Fisheries Research, 2014, 155(4): 10-19.
- [50] 苏天宇, 陈震, 刘金勇, 等. 浅谈自动化立体仓库[J]. 沈阳工程学院学报: 自然科学版, 2007(4): 391-392, 398.
- [51] 孙忠宇, 程有凯. 冷库现状及冷库节能途径[J]. 节能, 2007(7): 53-54, 3.
- [52] 龚海辉, 谢晶, 张青. 冷库结构与保温材料现状[J]. 物流科技, 2010, 33(2): 121-123.