

Analysis on the Energy Saving and Pollutant Reduction of the Food Cold-Chain System in the Low-Carbon Economic Model

Li Zhang^{1,2}, Weihua Shu³, Hongyan Gao¹, Chunguang Yang¹, Xingwang Tian¹, Lian Duan¹

¹ Dalian Ocean University, Dalian, China, 116023

² Dalian University of Technology, Dalian, China, 116033

³ Dalian Sanyo Cold Chain Co., Ltd., Dalian, China, 116600

Email: zhangl@dlou.edu.cn

Abstract : When the non-renewable resources reducing and global warming, the energy saving and pollutant reduction become an inevitable route for technological progress. It is very important how to accomplish low carbon consumption in supermarket cold-chain system, which is a very big user of energy-consuming. The main purpose of this study is to discuss the methods of energy saving and pollutant reduction. Both the showcase itself and refrigeration system of the supermarket were discussed, and the energy-saving mechanism was analyzed thoroughly. Maybe it can be a references for the design and management of supermarket refrigeration system.

Keywords: energy saving and pollutant reduction; low carbon; food cold-chain; refrigeration system

低碳经济模式下食品冷链系统节能减排措施分析

张 丽^{1,2}, 舒卫华³, 高红岩¹, 杨春光¹, 田兴旺¹, 段 炼¹

¹ 大连海洋大学, 大连市, 中国, 116023

² 大连理工大学, 大连市, 中国, 116033

³ 大连三洋冷链有限公司, 大连开发区, 中国, 116600

Email: zhangl@dlou.edu.cn

摘 要: 随着不可再生资源的日益短缺和全球气温变暖的严峻趋势, 节能减排已成为科技发展的必然路线。超市食品冷链系统也是耗能大户, 因此研究高碳能源低碳化就显得尤其重要。主要从超市的陈列柜柜体本身和制冷系统两个方面出发, 介绍了节能减排方法, 并且具体分析了每种方法的节能机理, 为超市食品冷链系统的设计、运行管理提供参考。

关键词: 节能减排; 低碳; 食品冷链; 冷冻冷藏系统;

1 引言

随着人们生活水平的提高, 室内制冷空调、食品冷藏链等设备越来越普及, 同时其消耗的大量的能源也越来越引起人们的注意。近年来, 每年夏天我国大部分省市都会出现电力紧缺问题。中国电监会的一项调查显示, 空调制冷负荷快速增长是导致电力吃紧供需矛盾加剧的不可忽视因素。未来数年在全球变暖的大背景下, 我国华东、华中、华南地区将持续高温, 空调制冷负荷将急剧猛增。华东电网、南方电网、华中电网空调制冷负荷比重已超过 30%, 个别省电网甚

至接近 40%。而电能的产生又要消耗大量的化石燃料, 如煤等, 不但造成大量的不可再生能源的消耗, 而且燃烧产生如 CO₂ 等温室气体。温室气体的排放导致地球“发烧”, 即气温升高、气候发生变化, 这已是不争的事实。2009 年 12 月 8 日, 世界气象组织公布的“2009 年全球气候状况”报告指出, 近十年是有记录以来全球最热的 10 年。此外, 全球变暖也使得南极冰川开始融化, 进而导致海平面升高。

在超市食品冷藏链中制冷设备, 尤其是陈列柜耗电又是超市中的耗电大户, 在美国和法国等超市发达

的国家,其超市的耗电中大约有 50%~70%是由制冷系统所消耗的。因此,对超市冷链系统进行节能研究显得尤为重要。因此,各种节能减排措施的实行、各领域节能减排产品的研发和使用,已成为各国政府和研究部门广大科研工作者的工作重点。

2 产品节能措施分析

2.1 陈列柜柜体节能技术

2.1.1 照明系统节能方法

(1) 进行产品更换

超市陈列柜通常采用普通荧光灯,能耗较大,考虑安装 LED 灯能够起到一定节能作用。所谓 LED 是英文 Light Emitting Diode (发光二极管)的缩写,这种灯由高亮度发光二极管组成,在室内或室外要求光照强度不高时,可安装这种灯,既能满足超市卖场正常的照度要求又能节能。由于发光机理的区别,其消耗能量较同光效的荧光灯减少 60%。同时这种灯的寿命比一般灯都长,目前在部分冷柜制造厂商新一代的陈列柜上已经开始使用。表 1 是普通白炽灯与 LED 灯性能对照表。

Table 1 Proerties Comparison of fluorescent lamp and LED
表 1 普通荧光灯与 LED 等性能对照表

种类	普通荧光灯	LED 灯
低温启动性能	不良	良好
破损后有无污染	有	无
使用寿命	10000 小时	50000 小时*
配件使用寿命	160000h (启辉器,铜铁镇流器)	50000h 以上 (发光二极管)
维修成本	高 (更换配件)	无
两年以上综合使用成本	高	低 (仅需电费)

*: 50000 小时相当于每天使用 15 小时,可使用 9 年

(2) 对照明时间和照明亮度进行控制

以前产品均为只要开店就将照明完全打开,甚至在夜间部分照明也是开启的,这样不但灯管耗电,其因照明发热引起的热负荷又造成二次能耗。其实在超市无顾客或人少时完全可以将照明关闭或将照度降低;对其控制可采用时间控制或者红外控制,只要将

柜体上加装一个红外感知器,当有人靠近时自动将灯打开或将照度增加,已达到节能目的。

2.1.2 对柜体扶手防露加热进行控制

此项主要针对放冷冻食品的卧式冷冻岛柜,为了防止扶手结露,影响展示效果,在扶手内设有 24 小时加热丝;虽然加热丝功率不大,但是由于其为不间断耗电,累积起来也是一项不小的能耗;对此项进行节能改造一是可以对加热丝进行间隔通电,例如加热 5 分钟,停止 5 分钟,具体数据可以根据卖场的不同条件具体设定,以不结露为准;第二种方法是增加一个控制器,进行露点控制,当低于露点时电源接通,其余时间则不通电,以达到节能目的。

2.1.3 冷柜加盖(加门)节能方法

正常为方便顾客参观选购食品,超市冷柜一般为敞开式,采用空气幕的形式来解决冷量外泄问题,但空气幕只能起到部分作用,仍有大量冷量外泄。考虑在冷柜上加装可滑动的玻璃罩,能更好的减少冷气外泄和柜内外热湿交换,因而节能效果突出,以卧式岛柜为例,经试验单台柜减低能耗损失达到 30%。对于立柜同样可以采用加门的方式解决,目前这一措施在欧洲已经得到广泛的使用,国内也开始研究开发此类产品。

2.2 冷凝器节能方法

2.2.1 采用冷凝器风机变频器

超市制冷系统中冷凝器常采用风冷冷凝器。一般风冷冷凝器的风扇转速恒定,它是通过风扇电机的启停来控制冷凝压力的控制。根据空气动力学理论,如果冷凝器风机采用变频器控制,制风量能够使能耗成三次方下降,从而大大减小风机的功率消耗,进而可实现大幅度节约电能的目的^[1];其二是采用变频器控制可降低冷凝器风机的启停次数,据实验显示变频控制可降低风机起停次数 15~40%左右;其三是使用风机变频器可以调节风机转速,使冷凝压力为浮动冷凝压力,更加有利于冷凝压力的稳定,从而降低整个机组的能耗。而且使用风机变频器还能起到降低噪音和延长电机使用寿命的作用。

2.2.2 采用蒸发式冷凝器替代风冷冷凝器

风冷冷凝器换热系数较低,且冷凝温度高。蒸发

式冷凝器以水作为换热介质,利用冷却水蒸发时吸收潜热,同时空气也能带走一部分冷凝热量。这种冷凝器耗水量很小,结构紧凑可以安装在屋顶上不占地面空间^[2]。其节能作用体现在以下三点:

(1) 蒸发冷凝器热效能卓越,换热效果好,压缩机运行效率高;

(2) 蒸发冷凝器故障率比水冷式蒸发系统低,蒸发温度比风冷冷凝器低,蒸发冷凝器的冷凝温度一般保持在 36~40℃;

(3) 提高压缩机组能效比,同时降低系统运转率。

综合以上各项,制冷系统若采用蒸发式冷凝器,可比风冷冷凝器预计节能 5~8%。

2.3 采用冷凝热回收装置节能方法

目前在很多超市,尤其是外资超市例如家乐福、沃尔玛等在系统上要求采用一切可能的方式和手段以

达到节能的目的,其中对制冷系统冷凝热的回收就是其措施之一。

所谓冷凝热回收,是将压缩机排出的高温高压制冷剂气体经过电磁三通阀后进入热回收装置(即热交换器),在其中制冷剂被预冷,放出的冷凝热加热超市加工间、卫生保洁的日常用水。在冷凝压力不足的时候(如北方冬季),如不想让压缩机排气在热交换器中预冷,则可以通过电动三通阀直接进入冷凝器。采用冷凝热回收不仅节约超市温水的费用,同时减少冷凝设备负荷,在一定程度上可节约系统运行成本。

冷凝热回收的工作原理原理如图 1 所示,对于一个采用制冷主机功率为 200hp,营业面积在 20000 m²左右的超市来说,通过回收热基本可以满足店面内的生活用温水,再辅之以电加热,可以将 22℃左右的自来水加热到 85℃。如超市每天的热水量达到 6 t,则每天可节省的电能为 266 kW·h^[3]。

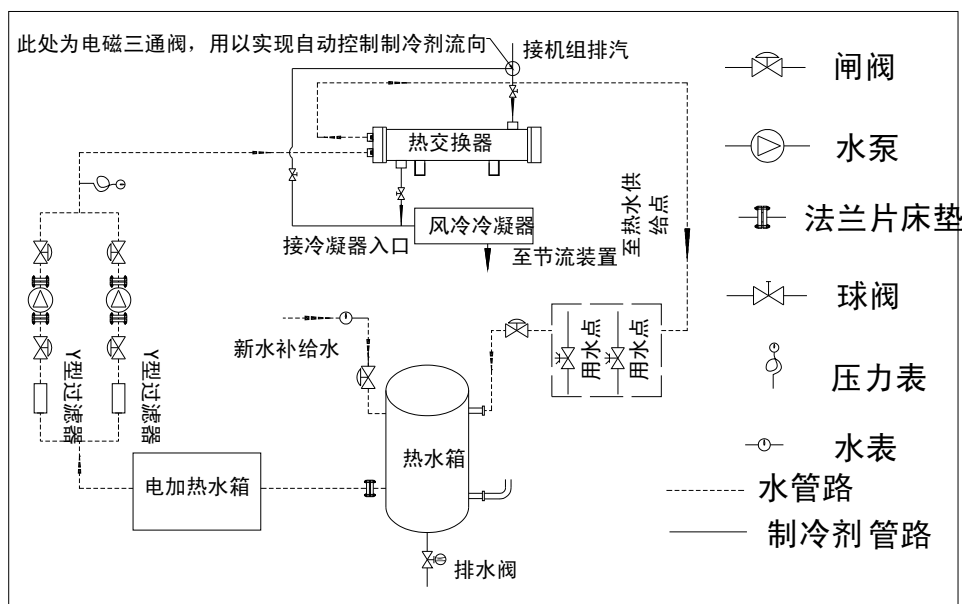


Figure 1. Heat recovery system
图 1 热回收系统图

2.4 热氟融霜节能方法

超市陈列柜系统一般采用电加热融霜,这种融霜方法耗电量大,对柜温影响也很大,融霜时间长。采用热氟融霜,融霜时间短,除霜效果好,且在融霜期间,温湿度波动小,更有利于柜内食品的品质保持。

现在在超市制冷系统中采用热氟除霜实现节能的也正在逐渐增加,其原理就是将一个大的系统划分成若干个小系统,利用一部分系统的制冷冷凝热取代电加热去给另外一部分系统除霜,除霜后的制冷剂回收收到储液管重新制冷,原理图如图 2 所示。由于超市的制冷系统相对冷来说,末端设备品种更加多样化,控制要

求也更精细；所以采用热氟除霜还有很多的难点需要解决，所以该融霜方式一般用在小型系统中比较多，

大型系统目前尚属探索阶段。

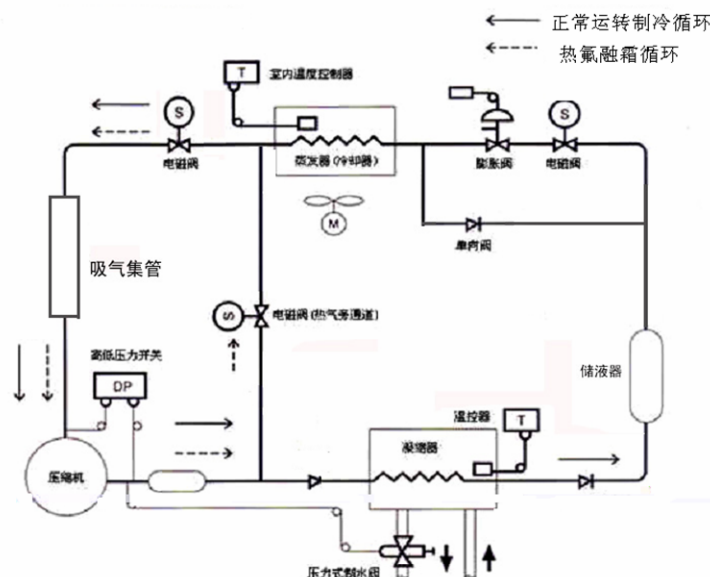


Figure2. Principle diagram of hot-gas defrosting
图 2 热氟除霜制冷原理图

2.5 采用变频压缩机节能方法

大中型超市制冷主机一般采用并联压缩机组，它是根据负荷变化改变投入运行的并联压缩机的台数，也就是通过压缩机的启停控制来实现能量调节的^[4]，此时每台压缩机转速恒定，输气量一定。而采用变频压缩改变每台压缩机转速从而改变输气量来实现能量调节，这种调节方法使得机组输出冷量与末端负荷需求实现线性匹配，不仅能有效提高压缩机组的运行效率，而且大大减少了压缩机的启停次数，库房温度更易于稳定，体现了很大的节能优势。图 3 表示了采用变频压缩技术和普通压缩机对用冷场所温度和系统负荷的影响对比。

2.6 采用卫星机节能方法

对供液温度进行过冷，可以提高单位流量制冷剂的制冷能力，在末端冷负荷需求一定的情况下，使用过冷机组就可以降低压缩机匹数，起到节能作用。即低温机组加装过冷器，具体方法是用中温或高温压缩机给低温机组过冷，使低温系统的供液温度由 30℃ 达到储液罐出口 15~10℃，这种情况能使单位流量的制

冷剂制冷能力大幅提高。系统采用三级过冷，即用中温机组作卫星机，卫星机分为两部分，高压段共用，低压吸气部分分开。中温蒸发器共用一个温度带，温度为 -10℃；空调间（12℃ 加工处理间）和提供过冷器冷量部分共用一个温度带，温度为 0℃；低温系统液体温度过冷到 15℃，中温系统液体温度过冷到 25℃。此方式对于加工处理间数量偏多的超市节能效果尤为明显。

3 采用新型环保制冷剂

温室气体在全球气温变暖过程中扮演了一个关键角色。许多气体都是温室气体，包括甲烷、一氧化二氮、氯氟碳族(CFC)、氢氯氟碳族 (HCFC)、氢氟碳族 (HFC)、全氟碳族(PFC)、六氟化硫(SF₆)和二氧化碳(CO₂)。CFCs 族、HCFCs 族和 HFCs 族今天大部分用作制冷剂。驱动制冷系统的电能大部分来自化石燃料的燃烧，燃烧会排放 CO₂。从对增加温室效应的贡献来看，最重要的气体是 CO₂，大约起 66% 的作用；其次，CH₄ 和 CFC_s 物质分别起到 16% 和 12% 的作用。从以上分析可以看出，制冷剂的排放或泄漏到大气中

对温室效应的作用很大, 研究采用温室效应值小的制冷剂也具有积极意义。

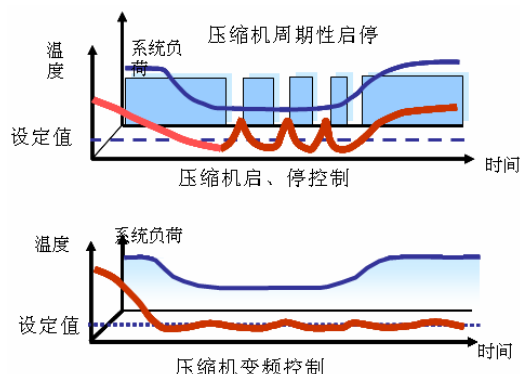


Figure3. Contrast diagram of two compressor control methods

图 3 压缩机启停控制和变频压缩技术对比图

自然工质 NH_3 、二氧化碳、碳氢化合物等物质由于天然存在, 普遍认为是比较有前途的绿色制冷剂。

3.1 氨

氨已被使用达 120 年之久而至今仍在许多国家的大型工业系统中应用。其优点是 ODP (Ozone depletion potential, 臭氧层破坏潜能值) 等于 0, GWP (Global warming potential, 温室效应潜能值) 接近于 0, 具有优良的热力性质, 价廉且容易检漏, 在适宜的机器设备中甚至更小容量的氨制冷机也已逐渐推向市场, 新设计的系统中所需氨的充灌量已大为减小, 系统的密封性能有较大的改进。人们对氨考虑更多的是毒性和易燃易爆性, 近几年, 人们一直在探索研究氨制冷系统安全性问题的解决办法。

3.2 二氧化碳

二氧化碳是天然制冷剂, 自然界天然存在的物质, 不破坏臭氧层, ODP 等于 1, 对人体健康与居住环境持久性无害, 同时也恰好利用了排向大气的废物, 故不需回收或再处理, 安全无毒, 不可燃, 即便在高温下也不分解产生有害气体。事实上二氧化碳作制冷剂已有 100 多年的历史, 只是在上世纪三十年代氟利昂制冷剂的出现, 二氧化碳才被替代。自从意识到氯氟烃类物质对环境的破坏性之后, 二氧化碳又重新收到了人们的关注。前国际制冷学会主席 G.Lorentzen 就多

次撰文指出 CO_2 是“无可取代的制冷剂”^[5]。

3.3 碳氢化合物

碳氢化合物的优点是 ODP 为零, GWP 很小, 和所有常用的工程材料和润滑油都能相溶, 且价格低廉。因为可以作为制冷剂的碳氢化合物原先就已存在, 并不需要另外去合成, 不会改变自然界碳氢化合物的含量, 并且碳氢化合物在大气中性质不稳定, 特别容易分解, 即使泄漏对温室效应也没有直接影响。目前在欧洲就有多个超市的制冷工程使用氨、二氧化碳和碳氢化合物作制冷剂。

4 结束语

当“绿色环保”、“低碳生活”越来越受到世界各国的关注, 制冷行业作为能源使用大户又一次迎来巨大发展的机遇和挑战, 积极探索更节能、更低碳环保的制冷技术和设备产品是今后永恒的主题。

致 谢

感谢三洋冷链有限公司的舒卫华工程师在实验方面给予的大力支持, 同时也非常感谢大连海洋大学程有凯教授在论文研究和实验方案方面给予的精心指导!

References (参考文献)

- [1] Liu Xunhai, Jiang Jingde, Zhang Zhaohui, etc. Research on Frequency Conversion Energy-saving Technology for Evaporator in Low Temperature Cold Storage [J]. Journal of Refrigeration, 2008, 29 (1): 51~54.
刘训海, 姜敬德, 张朝辉等. 低温冷库冷风机的变频节能研究 [J]. 制冷学报, 2008, 29 (1): 51~54
- [2] Wu Yezheng, Han Baoqi. Refrigeration principle and equipment [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1997: 207~211
吴业正, 韩宝琦. 制冷原理与设备 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1997: 207~211
- [3] Lin Fengbo, Liu Peiji, Lin Fengyun. Study on Refrigeration System with Heat Reclaim of Compressor Discharge Gas [J]. Journal of Qingdao University Engineering & Technology Edition, 2006, 21 (4): 83~86
林丰波, 刘培基, 林风云等. 超市制冷系统冷凝热回收应用研究 [J]. 青岛大学学报, 2006, 21 (4): 83~86
- [4] Chen Zhongren. Refrigeration equipment automazition [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1996
陈忠忍. 制冷装置自动化 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996
- [5] G.Lorentzen. Revival of carbon dioxide as a refrigerant [J]. International Journal of Refrigeration, 1994, 17 (5): 292-301