

# 超市旧店改造冷链系统节能方案分析

陈颖颖 吴腾飞 李成祥 卞磊 王晓杰  
 青岛海尔开利冷冻设备有限公司, 山东 青岛 266000

**[摘要]**从超市旧店改造冷链系统节能方案入手, 介绍分析了压缩机组空调联动, 展示柜加门和防凝露节能, 展示柜风机更换, 系统制冷剂更换等节能方案。通过对比各方案的优点和存在问题, 为旧店改造节能方案提供指导方向。

**[关键词]**空调联动; 防凝露节能; 风机; 制冷剂更换

DOI: 10.33142/ec.v5i5.5921

中图分类号: TU995

文献标识码: A

## Analysis of Energy-Saving Schemes for Transforming Cold Chain System for Old Supermarket

CHEN Yingying, WU Tengfei, LI Chengxiang, BIAN lei, WANG Xiaojie  
 Qingdao Haier Kai li Refrigeration Equipment Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000, China

**Abstract:** This paper starts with the energy-saving scheme of transforming the cold chain system in the old supermarket, introduces and analyzes the energy-saving measures such as air conditioning linkage of the compressor unit, adding shutter door to display cabinet, implementing energy-saving of anti-condensation, fan-replacement of display cabinet, and refrigerant replacement of the system. By comparing the advantages and existing problems of each scheme, it provides guidance for the energy-saving scheme of the old store transformation.

**Keywords:** air conditioner linkage; energy-saving of anti-condensation; fan; refrigerant replacement

### 引言

超市冷链行业的迅猛发展, 节能、环保的产品被广泛的应用在各个领域, 超市中的冷冻冷藏系统能耗约占超市总能耗的 20%, 是超市中耗能的主要方面。大部分早期建设的超市能耗指标较高, 对这些超市的冷冻冷藏系统进行节能改造将会为超市带来可观的成本节约, 同时也具有较大的社会效益。超市冷藏冷冻系统的节能理念使整个制冷行业面临很大的机遇和挑战。我们经过多年的门店改造经验总结, 旧店改造的冷链系统的节能方案必须做到以下三点:

- (1) 改造措施快捷方便, 最大减少对营业超市的营运损失;
- (2) 在节省耗电量给客户带来 收益的同时, 还要能优化制冷系统, 使系统运行稳定;
- (3) 减少柜温波动, 有利于生鲜食品的健康保存。

以上三点的指引下, 本文从超市旧店改造的节能方案入手, 深入分析了各种方案的利弊和数据, 进行了方案实施难度和问题的对比。

### 1 超市冷链冷冻冷藏系统介绍

超市冷链冷藏冷冻系统主要包括展示柜冷库, 节流装置 (膨胀阀), 压缩机和冷凝器四大部分。压缩机将制冷剂压缩为高温高压的气体输送到冷凝器, 冷凝器将高温高压的气体冷凝为高温高压的液体, 液体经过节流装置, 降低压力, 制冷剂进入展示柜的蒸发器内蒸发从而达到制冷效果。这四大部分中耗能最多的是压缩机和冷凝器, 占整个制冷系统耗能的 30%以上, 因此节能首先从压缩机和冷

凝器入手进行分析。

### 2 压缩机排气废热回收和空调联动系统

压缩机的高温高压的气体在输送到冷凝器的过程中, 管道是暴露在空气中, 这部分的废热无疑是整个系统的浪费。如果把这部分废气的热量进行回收, 无疑是系统的能量的回收再利用, 且对于冷藏冷冻系统没有任何影响。在一些超市中有些制冷系统做壳管式的热回收桶, 将排气管道和水桶结合回收废热。我们研发生产的一种新型的空调联动系统, 采用板式换热器, 相较于管壳式换热器的换热效率更高。夏季空调冷水经过板式换热器, 给予冷凝器出来的回液提供过冷, 提高压缩机的 COP, 降低机组能耗。冬天利用排气废热, 高温的制冷剂气体经过板式换热器加热空调水, 给空调水循环的主机提供动力。实际案例显示, 在冬天, 如下图 1 中白天水经过板换

时间	SI 2分 焓	MT热板换进水温	SI 2分 焓	MT热板换出水温
22:00	16.3	19.9	10.1	20.0
23:00	19.2	21.7	10.3	16.3
00:00	22.0	23.7	10.6	16.8
01:00	25.1	26.6	11.6	17.1
02:00	27.9	29.2	13.0	16.8
03:00	31.2	32.4	13.8	17.1
04:00	34.3	35.6	15.0	17.1
05:00	37.6	38.7	16.2	17.1
06:00	40.7	41.8	17.0	16.8
07:00	42.6	42.3	13.2	16.5
08:00	37.3	38.2	12.8	16.6
09:00	34.4	35.4	12.7	16.3

图 1 白天进出板换水温

图 2 夜间进出板换水温

水温平均升高 4℃，夜晚水循环关闭，水温从 16℃ 升高到 42℃。

能大大节省直接电力加热的能耗，按照此店一天内压缩机实际运行小时数加排气量理论计算，如下表 1：

表 1 排热量理论计算表

	1号压缩机	2号压缩机	3号压缩机	4号压缩机	5号压缩机
运行小时 h	23.94	20.77	8.010	1.11	0.5
排气量 Kg/h	483	483	659	659	659
每台压缩机每天总排气量 Kg	11561.8	10032.3	5278.86	734.51	329.5
总排气量 Kg	27937				
排热量 KJ/Kg	196				
一天内总排热量 KJ	5475652				

一天内总排热量达 5475652KJ。节能量非常大。但是此节能方案存在如下两个缺点：

某些门店冬季压缩机启动的较少，排气散热量小，排气温度低，因此节能量远远小于理论计算数值。

由于板式换热器对水的清洁度要求较高，水里面一旦存在杂质或者水的腐蚀性较高，对于整个系统隐患较大，因此在做板式换热器的系统，我们建议水质的要求如下：

为防止板换结垢和磨损，水质参数同时需满足：

(1) 水中 TDS 值小于 300ppm。(国家标准 GB5749-2006《生活饮用水卫生标准》中对饮用自来水的溶解性总固体值 (TDS) 有限量要求：溶解性总固体 ≤ 1000mg/L。

(2) 水中的不溶于水的悬浮物肉眼不可见

此节能方案施工需要对制冷系统进行改造，加装板换，工程量较大，且对于系统循环水质要求高，并未大量推广。

### 3 展示立柜的加门和防凝露加热方案联合

展示柜的直接能耗主要体现在展示照明，化霜，商品保鲜的风机耗电。很多老的超市的敞开式的柜体没有玻璃门，尤其是奶制品，蔬菜柜体，柜体内陈列的商品与超市内热空气交流多，造成大量冷量散失，因此耗能较多。不带玻璃门的柜体比带玻璃门的柜体的设计蒸发温度低，热负荷大，配置的压缩机组相对较大。柜体增加玻璃门后，对柜体内商品和超市内热空气进行了有效隔绝，既节能，又能保证商品温度的稳定性，有效保持商品的品质。但是当柜体增加玻璃门后，玻璃门的表面温度低于超市内的露点温度（由环境空气温度和相对湿度决定）以下时，玻璃门表面就会产生凝露，从而影响产品的展示效果。很多国内外研究标明，冷藏展示柜的可能凝露位置进行排查发现，玻璃门框的凝露是冷藏展示柜凝露的主要部位。<sup>[1]</sup>为了避免这一现象，我们的传统立柜都是在大门框上增加加热丝，玻璃门上增加导电膜，加热丝 24 小时常开，通过提高门框和玻璃表面的温度防止玻璃门凝露。但是在空气湿度小或超市夜间关门的状态下，加热丝的常开无疑是能源浪费。针对这种情况，我们在门框和玻璃门的防凝露加热丝上增

加防凝露控制器，在空气湿度小的情况下，加热丝的功率随之变小，从而能有效节约能源。防凝露控制器的组成：由 1 个主控制器、1 个温湿度传感器、2 个温度传感器和 2 个固态继电器组成。2 路独立控制回路。1 路用于玻璃门的加热控制，1 路用于门框加热丝的加热控制。

我们在玻璃门的防凝露加热丝的线上接入控制元器件，温湿度传感器定时采集室内温湿度传输给主控制器，主控制器计算出露点温度。2 个温度传感器采集门框温度和玻璃门温度。主控制器得出露点温差（露点温差=门框温度（玻璃门温度）-露点温度 - 补偿温度）。根据露点温差的变化，主控制器 0~100% 调功输出，控制加热丝的加热功率。

实际案例：我们在某超市两台冷冻立柜的大门框加热丝进行了防凝露控制器的测试，防凝露控制器装在门框 10 个月的累计耗电量，带防凝露控制器的单台柜体节能率 52%。以下为 10 个月后门框加热丝电表的数据：



图 3 带防凝露控制器的单台柜体耗电      图 4 不带防凝露控制器的单台柜体耗电

该门店的立柜进行了加门和改装 LED 灯的改造。

通过改造前后对比，一台 12' 中温立柜加门后可节能 45 度/天，12' 中温立柜共 3 个门框，6 个玻璃门，则每个玻璃门节能：45/6=7.5 度/（门\*天）。

由于我们需要得到纯粹加门的节能量，所以现在把改装 LED 灯的节能量去掉。

柜体改装 LED 节能估算：

原柜子按 6 层日光灯算，每列 6 层日光灯的耗电为：36 瓦/灯\*6=216W。

每列灯对应改后的 1 个门框，2 个门。柜体加门后把原来的日光灯全部取消，只需要门上的一根立 LED 灯。

（每组柜子多一只就忽略了），每根 LED 灯的功率为：18W。节省的耗电为：216-18=198W

分担到每个门节能：198W/2=99W/门

每个门每天节能量：99/1000\*24=2.376 度/（门\*天）得出纯加门节能量为：

7.5 度/（门\*天）-2.376 度/（门\*天）=5.124 度/（门\*天）

给展示柜尤其是立风柜的加门的节能方案显著，但是

加门后势必会影响顾客拿取商品的方便程度,有些门店还会影响展示效果。但是此节能措施投入少,施工简单,回收成本快,特别是加入了防凝露加热丝受控的装置后,受到很多南方高温高湿地区的超市的青睐。

#### 4 展示柜内风机由 Q 风扇电机改为 IQ 风扇电机

展示柜耗能的另一方面就是展示柜风机的电机,当前展示柜通用的风扇电机有 Q 马达和 IQ 马达两种风扇电机。Q 马达是普通的电机,它是利用通电线圈(也就是定子绕组)产生旋转磁场并作用于转子(如鼠笼式闭合铝框)形成磁电力旋转扭矩。IQ 马达是永磁同步电动机,永磁体提供磁场,没有励磁磁场损耗,提高了电动机的效率,节省耗电。如今 IQ 马达在很多新的门店的展示柜中得到广泛应用。此外 IQ 马达的轴承系统是双轴承低摩擦轴承系统,具有噪音低的优点,有利于为客户创造一个更加舒适的购物环境。Q 马达和 IQ 马达的接口相同,更换方便,现在在很多超市的旧店节能改造中普遍应用。例如一台普通展示柜, Q 马达的功率为 29KW, 更换成 IQ 马达, 功率为 7KW, 一天按照运转 22 个小时(考虑到夜间负荷小, 马达关闭), 改造前 1 个马达一天的耗电量为 0.64KWh, 改造后 1 个 IQ 马达的耗电量为 0.16KWh, 一天节省耗电 0.48KWh。按照一年运转 320 天算, 一个超市更换 20 个马达, 一年可节省 3098KWh 的耗电。对于大超市的改造, 这部分的节能效果尤为明显。现在很多电机厂家生产的风圈和电机接口对于两种电机都是适用的, 增大了客户选择的空间, 安装方便。

#### 5 制冷剂更换 R22 切换为 R404a 或 R448a 制冷剂

老的超市冷链系统中应用较多的制冷剂为 R22 的制冷剂, R22 是氢氯氟烃的一种, 按照《蒙特利尔议定书》有关规定, 我国将在 2040 年禁止使用该钟制冷剂。现在旧店改造中, 作为 R22 的替代制冷剂首选为 R404a, 但是 R404aGWP 值较高<sup>[1]</sup>, 不是可以长久替代的制冷剂。因此很多超市尝试采用新型环保制冷剂 R448a (N40)。如下为此三种制冷剂的物性参数表汇总:

表 2 R22, R404a, R448a 物性参数对比

	R22	R404a	R448a
组成成分	CHCLF2	HFC125, HFC-134a, HFC-143	HFC32, HFC-134a HFC-143 HFCR234yf
臭氧消耗潜值 ODP	0.034	0	0
全球变暖潜能值 GWP	1700	3943	1273
安全等级	A1	A1	A1
排气温度 (-35/45℃)	138	90	115
价格(每 KG)	17	27	260

从表 2 中可以看出, R448a 和 R404a 相同属于非共沸制冷剂, 排气温度较 R22 高, R448a 的价格是 R404a 的接近于 10 倍。但是相比于 R22, R448a 的单位质量换热量增大, 换热效率高约 25%。R448a 存在的缺点是, 它的价格比较昂贵, 对于有泄露风险的改造项目中不适用。

以比泽尔压缩机头 6GE-34Y 为例子, 我们在低温工况: 蒸发温度为 -32℃, 冷凝温度为 45℃ 下, 的软件上进行计算, 在这里进行计算时注意在各种品牌压缩机组的核算, 都要考虑温度滑移对蒸发温度和冷凝温度的影响

新型环保制冷剂 R448a 为例, 如下表 3: 在 COP 性能方面提高了 20%:

表 3 R22, R404a, R448a 压缩机性能对比表

项目	R448A	R404a	R22
制冷量/Kw	21.7	22.7	18.68
输入功率/Kw	15.2	17.84	15.05
COP	1.43	1.27	1.24
排气温度/℃	126.6	107.1	

另外, 由于这三种制冷剂的物性不同, R404A, R448A 替代 R22 要注意如下问题:

(1) 使用 R404A 和 R448A 替代 R22 的最大问题是润滑油问题, 必须配套使用 PVE 酯类油替换 R22 用矿物润滑油。酯类润滑油和水的亲和性高, 脱水性差, 故在使用中应尽量避免与外界空气接触, 容器开封后, 应尽快使用, 使用后须密封保存; 远离氧化剂、强碱、强酸, 在通风良好处保存; 使用时应避免接触皮肤和眼睛, 避免吸入其蒸气和喷雾。老店改造的超市工程项目中, 润滑油对于阀件和管路的浸润程度不可估算, 因此对于十多年的老店改造, 制冷阀件和管路建议全部更换, 避免润滑油不溶, 造成系统内积碳影响, 带来压缩机运行卡缸的现象。

(2) R404A 制冷剂的排气压力约为 R22 的 1.2 倍, 质量流量是 R22 的 1.5 倍左右, 排气流速增加, 阻力增大。

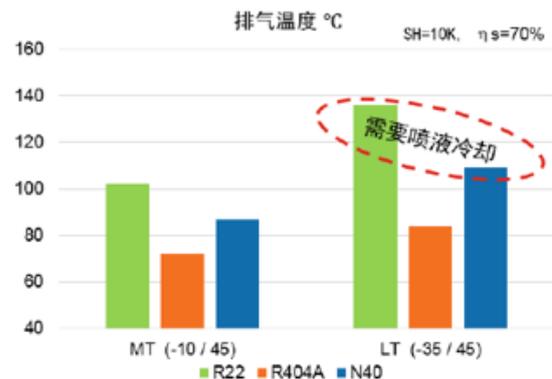


图 5 R22, R404a, R448a 排气温度对比

尤其是在低温系统的改造中, R404a 的压缩头上要加装喷液冷却装置。机头增加喷液冷却装置, 冷冻油不同阀

件更换,管径的校核。

(3)相同温度下 R404A, R448a 与 R22 的饱和压力不同,所以 R404A, R448a 热力膨胀阀的动作机构与 R22 不同。同时由于 R404A 制冷剂及润滑油对密封材料相容性不同,膨胀阀的阀芯也要进行相应变更,所以,在热力膨胀阀的选择上要选用 R448A 专用膨胀阀。R404A 替换 R22 制冷剂时要对膨胀阀的阀芯进行重新计算校核。

(4)由于 R404A, R448A 的饱和压力比 R22 高,所以系统中压力容器(储液罐,气液分离器,水冷冷凝器的)设计压力要进行更改,以确保安全性。尤其时老店改造中这些压力容器不更换的前提下,要向当地质监局进行报备,并根据相应的法律法规进行设备的耐压试验和铭牌变更和报备,同时系统配件上安装的安全阀及易熔塞设定值也要随之变更。如下为不同制冷剂的物性参数,对应 60℃, R22 的饱和蒸汽压力为(表压) 2.5Mpa<sup>[5]</sup>, R404A 的饱和蒸汽压力为(表压) 2.9Mpa, R448A 的饱和蒸汽压力(表压)为 2.95Mpa。在进行老店改造时进行相应调整。

(5)由于在相同排气量的条件下, R404A 的气体密度比 R22 要大 50%左右,故在使用 R404A 制冷剂进行配管设计时,液管的管路选择的管径要比 R22 大。在旧店改造中可对管路进行重新复核,对于可以继续使用的管路,进行增加支路,从而达到扩大管径的效果。

(6)制冷剂替换后,系统电器控制器的参数根据使用工况进行相应调整。

更换制冷剂的节能措施,工作量较大,投入成本较高,

可以和其他的改造措施或店内布局更新换代一起进行。

## 6 结论

本文提出的四项超市旧店改造冷链系统节能方案,风机更换和防凝露改造两个柜体节能的改造,操作简单,工程量小,难度低,投入少,容易实现。空调联动系统和制冷剂更换属于系统节能改造,需要对原来系统中设备,管路,阀件等进行核算或更换,有的项目还需要停机改造,操作复杂,工程量大,难度较大,对客户出投资要求较高,且会短时间内影响店内的营运,可在旧店翻新,重构改造中进行整体应用。

### [参考文献]

- [1]高迎彬. 立式双门冷藏展示柜的设计[D]. 山东: 中国石油大学(华东), 2016.
- [2]卞伟. 风冷玻璃门冷冻柜门体的优化设计[J]. 制冷与空调, 2012, 12(3): 36-38.
- [3]徐松, 高飞, 刘忠赏, 杨晓倩. R22、R404A 与 R407F 制冷剂压缩机性能对比[J]. 低温与特气, 2016, 34(1): 7-10.
- [4]马松, 赵李曼. HFC 及其混合物作为 R22 替代制冷剂的应用分析[J]. 冷藏技术, 2021(4): 40-44.
- [5]国家能源局. 中华人民共和国能源行业标准, 制冷装置用压力容器: NB/T47012-2020[S]. 北京: 新华出版社, 2020: 6.

作者简介: 陈颖颖(1984.11-)女, 专业: 热能工程, 毕业院校: 青岛大学, 目前就单位: 青岛海尔开利冷冻设备有限公司, 职务: 设计主管, 职称: 中级工程师