

卧式商用冰箱制冷系统工艺优化与性能提升

吴建红 杨文广

浙江星宝电器有限公司 浙江嘉兴 314000

【摘要】深入研究制冷系统的核心组成部件，如压缩机、冷凝器、蒸发器和膨胀阀。分析不同类型和规格的部件在卧式商用冰箱中的性能表现，包括制冷量、能效比、可靠性等指标。在对关键部件分析的基础上，针对现有制冷系统工艺存在的问题，提出优化方案。这包括改进制冷循环流程，如采用新型的制冷循环技术，提高制冷效率；优化部件之间的连接和匹配方式，减少能量损失；改进制冷剂的充注量和充注方式，提高制冷系统的稳定性和可靠性。

【关键词】卧式商用冰箱；制冷系统；性能；提升

【中图分类号】 TB657.4

Process optimization and performance improvement of horizontal commercial refrigerator refrigeration system

Wu Jianhong Yang Wenguang

Zhejiang Xingbao Electric Appliance Co., LTD. Jiaxing, Zhejiang 314000

【Abstract】 This paper delves into the core components of refrigeration systems, such as compressors, condensers, evaporators, and expansion valves. It analyzes the performance of different types and specifications of these components in horizontal commercial refrigerators, including metrics like cooling capacity, energy efficiency ratio, and reliability. Based on the analysis of key components, it proposes optimization solutions to address issues in existing refrigeration system processes. These solutions include improving the refrigeration cycle process, such as adopting new refrigeration cycle technologies to enhance cooling efficiency; optimizing the connection and matching between components to reduce energy loss; and improving the charging amount and method of refrigerants to increase the stability and reliability of the refrigeration system.

【Key words】 horizontal commercial refrigerator; refrigeration system; performance; improvement

对卧式商用冰箱制冷系统工艺进行优化，制冷系统工艺优化，可以采用高效率压缩机、节能型控制策略、保温性能优异的保温材料等降低冰箱能耗。不仅节约了企业的经营成本，还符合可持续发展理念，减少对环境的污染。在市场竞争方面，卧式商用冰箱市场竞争越来越激烈，产品的性能、能耗是消费者选购的主要依据。优化冰箱的制冷系统工艺，卧式商用冰箱凭借性能好，能耗低，在市场上脱颖而出，增强企业的市场竞争力，为公司增加市场份额与利润。

1. 卧式商用冰箱制冷系统

商用冰箱的制冷系统主要包括压缩机、冷凝器、蒸发器和节流装置等核心部件，这些部件相互配合，一起完成制冷的功能。

制冷系统动力来自于压缩机，压缩机能够对低温低压制冷剂蒸汽进行压缩，最终形成高温高压过热蒸汽。压缩机主要有活塞式、螺杆式与涡旋式压缩机等多种压缩方式，每一种压缩机有各自的特性，能够广泛运用于商用冰箱的不同规模上。

冰箱的压缩机将膨胀阀送出的过热高压制冷剂蒸气降低温度冷凝成液态，并从其周围带走热量。按照冷却剂的种

类不同可分为水冷式、风冷式、蒸发式三类。以水为制冷剂的水冷式冰箱热交换效率高，冷却效果好，较为适用于具有丰富水源且制冷量较大环境中；以空气为冷却剂的风冷式冰箱具有结构简单易装配、不需要冷却水体系等特点，较为适用于没有水源和需要较大安装空间的环境中；而以蒸发为制冷剂的冰箱以水的蒸发过程带走热量的原理来进行制冷剂蒸汽冷却，节省了制冷剂所需的冷却水体，适用在没有水、缺水的地区。风冷式冰箱大多用于商用的立式冰箱，一般置于冰箱的后方或侧方，制冷剂蒸气热量的转移通过自然或强迫对流的方式散发到周围的环境空气中。

蒸发器是制冷装置的重要组成部分，其是使低压低温的制冷剂液体在蒸发器内气化为气体，并吸收周围介质热量实现制冷的目的。蒸发器的结构型式十分复杂，常见的有管翅式、板管式和吹胀式。管翅式蒸发器由换热管以及翅片构成，传热面积大、传热系数大，适用于制冷量要求较高的卧式商用冰箱；板管式蒸发器是蒸发管与金属板通过焊接组合形成，其结构紧凑、换热系数较大，并易于加工成型；吹胀式蒸发器是通过把铝箔或铜板吹胀加工，形成蒸发管道，其具有换热系数高、管路布局合理等优点，但是管路一旦漏气，很难修复。在卧式商用冰箱的蒸发器一般都安装在箱体内侧，直接与被冷物料接触，以获得高效的制冷效果。

节流装置主要是降低由冷凝器得到的高压压力的制冷剂液体制冷剂并将它转化为低压制冷剂液体制冷剂送给蒸发器以产冷。节流装置的常见类型是膨胀阀以及毛细管。膨胀阀可以根据蒸发器的出风口温度来改变制冷剂流动量,以便使制冷装置的良好运行不受到运行环境影响;而毛细管作为一种简单的低成本节流装置,是通过管道阻力来降低压力的方法,却没有办法根据需求变化自动调节制冷剂流通量,更适合用在体积小的柜式商用冰箱,适用于制冷量变化不大的情况。

2 卧式商用冰箱制冷性能评价指标

制冷量作为商用冰箱的重要技术参数之一,是对卧式商用冰箱制冷能力和制冷效果的描述,是单位时间内被冷却对象热量被商用冰箱从内部转移出去的能量,常用单位 W 或 kW。制冷量的大小在物理中可以反映商用冰箱制冷设备一定工况下的制冷效果,是评估冰箱性能优劣和有效使用范围的重要参数之一。通常,制冷量的计算可以结合热力学原理和能量守恒定律展开。商用立式冷冻(冰柜)技术中制冷量是通过对产品内部液态物质由低温到高温转变过程的释放和吸收的能量进行测定得出达到目标温区需具备的降温能力的一种估算方法[2]。具体的计算方法为 $Q=m \times h_1-m \times h_4$;在此表示被冷却或需要的能够达到目标温度的要使用的最大有效工作容量”,“M”表示通过该系统内流体的重量与流体单位体积的流体体积量之间的单位体积的流量之比,“H1”为通过该装置前端的气体绝对压力的与比容乘积;是用以衡量气体材料等物体中所含全部可利用的全部已形成和未形成的一切可能存在的各种不同的形式的能够使用和被使用的全部的可能用能与有用能总和的能力的评价指标,H4”则表示出口时的此参数的计算。在实际计算过程中,制冷剂的制冷量流量可以通过计算压缩机排气量和制冷剂密度进行估算[2]。

能效比是卧式商用冰箱的关键指标,提高能效比的方法和途径很多。在制冷系统设计方面,优化制冷循环是制冷系统能效比提升的核心,采用补气增焓、复叠制冷循环等新型制冷循环,可提升制冷系统效率,进而提高能效比。在压缩机中间补气可以增加制冷剂质量流量,增大制冷量,同时压缩机功耗降低,从而提高了能效比。

3. 制冷系统工艺优化方法

3.1 部件选型优化

螺杆压缩机由于其部分零件简单、易损件少、耐用、可靠性高、安全、紧凑等优点,在大吨位商业卧式冰箱中崭露头角,该机型由螺旋转子、机壳与轴承等部件组成,依靠螺旋转子的啮合运动实现对被冷却剂蒸气的连续压缩。螺杆式压缩机在部分负荷工况下的效率较好,当制冷量经常发生变

化的场合时具有较好的节能效果,不易发生液击,在液击时不敏感,在一些对制冷稳定性有较高要求的场合具有显著的优势。

涡旋式压缩机近几年在要求安静运行和具有良好稳定性的卧式商用冰箱使用很广泛它结构紧凑、体积小、重量轻、零件少、稳定性能好、振动微弱、运行平稳、噪音低。其工作原理是涡旋式压缩机是借助2个涡旋盘的相互啮合,固定涡旋盘与旋转涡旋盘在相互运动后将形成若干个月牙型工作腔,制冷剂蒸气在此腔内被压缩,并逐渐增大,由于没有余隙容积,可保证涡旋式压缩机进行正常运转。其具有较高体积功率系数,即便在相同的运行环境下,冷冻效果也会较好;涡旋式压缩机还具有较低的噪声水平、运行的稳定性以及高度安全性,也不会出现较多的液击状况,因此,其可用于商业性使用,可以带来更加稳定、值得信赖的冷冻防护。

3.2 系统匹配优化

制冷系统主要由压缩机、冷凝器以及蒸发器三部分构成,其匹配性关系对整体制冷系统效果有着直接影响,而三者互为关联、彼此协同,任一部件性能发生变化均会不同程度地影响制冷系统工作效果、稳定性。

压缩机作为制冷系统的动力源,其性能参数直接决定了系统的制冷能力和能耗。不同类型和规格的压缩机,其制冷量、功率、转速等参数各不相同。挑选合适的压缩器需对立式商业冷冻柜的需求、工作条件等多方面因素加以权衡。若选用的压缩器的制冷能力不足以达到冷冻柜的降温要求,则可能会使内部温度不能到达预设水平,从而削弱食品的新鲜度;反之,假如所选制的冷却力过于强大,除了提高机器的价格与能源消耗外,还有可能引发压缩器频密启动停止,进而减少其使用的年限。[3]

冷凝器主要将压缩机排出的高温高压的制冷剂蒸气进行冷却与冷凝,转变为制冷剂液体,其换热性能对于制冷系统的冷凝温度及冷凝压力将产生一定的影响,若冷凝器的换热面积过小或是换热性能低,将致使制冷剂蒸气无法与冷凝器充分冷却冷凝,致使冷凝温度与冷凝压力增加,将导致压缩机的工作效率降低,并且也将对空调系统的整体能源利用效率造成一定的影响,甚至会打破压缩机的稳定的工作状态,以此缩减压缩机的使用年限,而在高温状态下,冷凝器的冷却能力较弱,致使冷凝温度提高,因而压缩机需要消耗更大的气力压缩制冷剂,这也对能源的消耗造成了影响。

蒸发器通过蒸发汽化低压低温的制冷剂液体,吸收周围热量制冷。蒸发器的换热性能和面积大小直接影响系统的蒸发温度和制冷量。蒸发器换热面积小或换热性能差会造成制冷剂液体不全部汽化、蒸发温度高、制冷量小。蒸发器表面结霜增加热阻、影响换热性能,使得蒸发温度升高、制冷量减少。此时压缩机吸气量加大了以确保制冷效果,增加压缩机负荷及耗能。

根据卧式商用冰箱的制冷量大小和使用环境,从压缩机的类型、型号、冷凝器和蒸发器的设计结构以及参数等方面

综合考虑,匹配压缩机、冷凝器和蒸发器。对制冷量较高的卧式商用冰箱要选用制冷量大、能效比较高的压缩机;对使用环境温度较高处的压缩机宜选用适合高温环境的压缩机;根据压缩机的性能参数和对压缩机的匹配要求,采用合理的结构形式及参数确定冷凝器和蒸发器。通过改变冷凝器的换热面积及换热管的布置方式、翅片的形式和翅片间距等提升冷凝器的换热能力;通过改变蒸发器的换热面积、制冷剂的分配方式和空气运动途径等提高蒸发器的换热能力。

3.3 控制策略优化

智能温控技术基于先进的控制算法和传感器技术,实现了对冰箱温度的精准控制,显著提升了制冷系统的性能和稳定性。

模糊控制原理是智能温控的另一种核心技术,它是以模糊逻辑为理论基础模拟人类经验和思维的过程对复杂系统的非线性控制。在商用卧式冰箱中的模糊控制是将温度传感器采集冰箱内温度值的变化,将当前温度的变化量和变化速率为输入量,经过模糊化处理、模糊推理及解模糊处理的规则后得到温度系统的控制量,以此对压缩机、冷凝风机、蒸发风机等进行控制,从而实现冰箱温度的精确调节。在检测到冰箱箱体温度高于箱内设定温度且变化较大时,模糊控制器将压缩机转速提升,以此增加压缩机的制冷能力,并增加冷凝器及蒸发器风机的风速,以此加大压缩机与蒸发器的散热和换热能力,以此降低冰箱箱体温度;在检测到冰箱箱体温度较低且变化较小时,降低冰箱压缩机及风机的风速和转速,降低冰箱的功率耗能,以此使冰箱内温度基本保持不变。模糊控制的特点是没有要求系统的精确数学模型,对于系统参数的变化和外界干扰的鲁棒性较强,这决定了它能够适用于商用卧式冰箱的多变复杂环境,因此温度控制准确性得到了一定的保障。通过研究发现,模糊控制的卧式商用冰箱,冰箱内的温度差波动幅度控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,相比于传统的温控方式,温度均匀性和稳定性得到了一定的提升。

神经网络控制是重要的智能温控技术,它模仿生物神经网络的结构和作用,利用大量数据样本训练,学习系统的输入、输出关系,从而实现对系统的控制。神经网络控制用于

卧式商用冰箱的制冷系统,采用温度传感器、压力传感器等多种传感器采集的信息作为神经网络的输入量,经过神经网络的学习和推理,得到压缩机、冷凝器风机、蒸发器风机的控制信号神经网络控制,由于具备自我学习、自适应和强大的非线性映射能力,使其能够处理复杂的非线性问题。另外,对冷却系统的动态特性以及干扰适应性都很好,可以不断地学习、优化控制策略,自动地根据不同工况、环境条件,调整控制策略,实现对冰箱温度的最优化控制。例如,夏季环境温度较高,神经网络自动调整压缩机的运行频率,增大制冷量,以满足冰箱的制冷要求;冬季环境温度较低,又能适当降低压缩机的运行频率,节约能源。相对于传统的控制方法,采用神经网络控制的卧式商用冰箱,在相同工况条件下,能耗可减少10%~15%,同时温度控制更加精确,制冷效果更加稳定。

除了可以提升卧式商用冰箱的温控精度,智能温控技术还有很多优势。通过对冰箱中的冷却系统进行精细化控制,可以有效提高压缩机、冷凝器风机、蒸发器风机等设备的使用周期,节约设备维护费用;通过精细的控温,可以提升食品保存的保鲜功效,减少食品的损耗,给用户带来更好的使用体验;物联网技术应用的发展,还可以使智能温控技术实现远程监控与管理,通过手机APP或电脑客户端随时随地查询冰箱的运行状态,对温度进行设置,进行故障诊断,更加方便、智能化。

4 结语

本文针对卧式商用冰箱制冷系统的工艺优化及性能优化方面进行了一些研究,对制冷系统的相关部件作了深入剖析、研究多种工艺优化方案,有了一些关键性的理论意义与应用价值的研究结果。对冷却系统重要部分剖析,对压缩机、冷凝器、蒸发器与节流阀等部件进行解剖。制冷系统工艺优化是本文中的重头戏。匹配适合的节流装置,保障制冷系统的运转。

参考文献

- [1]刘翔宇.新型平行制冷对开门冰箱的研究与开发[D].东南大学,2020.
- [2]李靖,刘青山,杨鹏,等.斯特林制冷机在冰箱系统中的应用及可行性研究[J].制冷学报,2024,45(01):137-144.
- [3]任爱梅,刘玲玲,王毓钊,等.基于工艺过程控制及改进的风冷冰箱产能提升[J].家电科技,2016,(01):70-72.
- [4]张淑萍,杨昭,赵延峰,等.无霜冰箱压缩机与风机运行特性研究[J].流体机械,2024,52(11):23-29+38.
- [5]张洋洋,黄刚,张巍,等.新型双吸往复式压缩机及冰箱制冷系统技术研究(I)[J].家电科技,2023,(S1):37-41.DOI:10.19784/j.cnki.issn1672-0172.2023.99.009.

作者简介:吴建红,女,1976.08,汉族,籍贯浙江杭州,研究方向机电制造;

杨文广(1973——),男,研究方向为工程技术。