

氨制冷技术的应用现状及发展趋势*

杨一凡

(中国制冷学会 北京 100036)

摘要 剖析氨制冷剂的特点,分析国内外氨制冷系统的应用现状和存在的问题;从氨制冷系统优化、控制技术提高、安全性保障、氨系统小型化以及我国在氨制冷系统设计规范、设计手册中对安全性的要求等多个方面阐述氨制冷技术的发展趋势和尚需逐步解决的问题;提出简化氨制冷系统的具体思路;指出我国应加速研发小型氨制冷压缩机,重视氨制冷设备及应用的理论与试验研究,以简化系统、推进小型化进程,拓展氨制冷系统的应用领域。

关键词 热工学;氨制冷系统;安全;应用现状;发展趋势

中图分类号:TB61;TB641

文献标识码:A

Application and Development of Ammonia Refrigeration Technology

Yang Yifan[☆]

[☆]Chinese Association of Refrigeration, Beijing, 100036 China

Abstract In this paper, the characteristics of ammonia refrigerant are described. The application status and existing problems of ammonia refrigeration systems both in China and abroad are analyzed. The development trends of ammonia refrigeration technology including system optimization, improvement of control technology, safety guarantee and miniaturization of ammonia systems are discussed. Moreover, some main problems to be solved according to safety requirements of Design Codes and Manuals of ammonia refrigeration systems are indicated. In addition, the ideas of simplifying ammonia systems are presented. It is suggested that the development of small-scale ammonia refrigerant compressors should be speeded up and the theoretical and experimental studies both on ammonia refrigeration equipment and on practical applications should be emphasized in China.

Keywords Pyrology; Ammonia refrigeration systems; Safety; Application status; Development Trends

氨(Ammonia, NH_3)是一种常见的廉价无机化合物,同时也是一种天然制冷剂(R717)。由于其具有良好的热力学性能和对大气层无任何不良效应,在制冷技术的发展进程中,一直起到重要的作用。以1859年Ferdinand Carré研发出氨吸收式制冷机为标志,氨应用于制冷技术已有148年的历史^[1],随后,1872年David Boyle取得氨制冷压缩机的美国专利,1876年Carl von Linde制造出第一台氨压缩机,并于1877年对其进行了重大改进,使其效率得到大幅度提高且其质量大大减小,开创了氨蒸汽压缩式制冷技术的技术路线;我国自主研发、制造氨制冷压缩机的时间较晚,是从1951年前后开始的^[2]。由于氨具有毒性和在空间积聚的浓度达到一定程度时具有潜在的爆炸危险,使其在作为制冷剂使用时,其应用场合受到限制,而主要应用于大型工业制冷和商业冷冻冷藏领域。

近年来,由于发现氟利昂类制冷剂对大气臭氧层有破坏作用以及能产生温室效应等环境问题,国际上已达成完全禁用CFC、逐渐限制使用HCFC类制冷剂的共识。在全球积极研究氟利昂替代技术以解决对臭氧层破坏及“温室效应”问题的今天,天然制冷剂受到了越来越多的制冷科技工作者的青睐,人们对氨制冷剂开始重新评价,并已投入大量的人力物力,致力于氨的安全性能和制冷系统及其设备技术的研究。一些具有核心技术的氨制冷设备、控制元器件等已研发成功并批量生产,为氨制冷的技术进步创造了有利条件。如何更广泛地加快氨制冷系统的研究与应用,已成为全世界制冷科技工作者的重要课题之一。

文章结合一些国家和我国氨制冷系统的应用情况,分析国内外氨制冷系统的应用现状和存在的问题,分析氨制冷技术的发展趋势和应逐步解决的问



“制冷百家”

物性查询, 论文查看, 制冷、暖通最好的微信公众号, 关注送论文资料

* 收稿日期: 2007年4月15日

题, 提出我国在氨制冷技术方面需进一步开展的工作。

1 氨制冷剂的主要特点

1.1 氨制冷剂具有优良的环境性能和热力学性能

氨是一种天然的中温制冷剂, 具有优良的环境性能和热力学性能。

1) 氨的消耗臭氧潜能值 $ODP=0$, 温室效应潜能值 $GWP=0$, 是一种环境友好型制冷剂;

2) 氨的临界温度和临界压力分别为 132.3°C 和 11.33MPa , 高于 $\text{R}22$ ($96.2^{\circ}\text{C}/4.99\text{MPa}$) 和 $\text{R}410\text{A}$ ($70.2^{\circ}\text{C}/4.79\text{MPa}$)^[3], 可在较高的热源温度和冷源温度下实现亚临界制冷循环; 氨的标准沸腾温度 (-33.4°C) 低, 在蒸发器和冷凝器中的压力适中, 单位容积制冷量大, 导热系数大, 蒸发潜热大 (-15°C 时的蒸发潜热是 $\text{R}22$ 的 6.4 倍, 是 $\text{R}410\text{A}$ 的 5.5 倍), 节流损失小, 制冷系数高, 在相同工作温度和制冷量的条件下, 与 $\text{R}22$ 等制冷系统相比, 其压缩机和换热器的尺寸可以更小, 可节省材料;

3) 氨分子量为 17, 蒸气密度比空气小, 泄漏时极易上升从屋顶逸出室外; 氨极易溶于水, 当遇到大量泄漏的紧急情况时容易排除, 此外, 氨允许的含水量为 0.2% 以下, 即使有微量水存在, 也不会像氟利昂容易出现“冰塞”, 故对氨制冷系统管路系统的干燥要求不如氟利昂那样严格;

4) 氨的来源广泛、价格低廉, 在相同充注体积下, 其充注成本仅为 $\text{R}22$ 的 $1/10$ 左右; 比 $\text{R}410\text{A}$ 则更为廉价。

1.2 氨制冷剂存在缺点

氨制冷剂并不十全十美, 也存在以下缺点:

1) 氨的绝热指数较大 ($k=1.40$), 在蒸发温度较低、冷凝温度较高时压缩机的排气温度较高, 为保证润滑油的润滑特性, 必须采取相应的冷却措施;

2) 氨与矿物基润滑油和 PAO 润滑油不相容, 且因氨的密度比润滑油小, 润滑油沉积在制冷系统的管道、容器的底部, 故通常采用满液式蒸发器和氨泵供液形式, 并结合采用油分离器和集油器等设备, 通过手动与自动控制使润滑油安全返回压缩机;

表 1 不同浓度的氨对人体的影响^[9]

Tab. 1 The influence of different ammonia density on human body

空气中的浓度/(mg/kg)	一般反应及对人体的影响	允许暴露时间
5	感觉气味阈值, 近部分人有感觉	无害
20	大多数人有明显的刺激感, 无害	无害
25	以时间加权的安全阈值	每天 8h, 每周 40 天, 长期无害
100	多数人有不适感, 无害	不宜长期滞留
250	刺激鼻喉	30~60min, 无严重影响
400	人体可以忍受的极限, 无害	不宜长期滞留
700	刺激眼睛	30~60min, 无严重影响
1700	剧烈咳嗽, 严重刺激鼻、喉、眼	30min 以上可能导致死亡
2000~5000	剧烈咳嗽, 严重刺激鼻、喉、眼	15min 以上可能导致死亡
>5000	引起痉挛性呼吸困难, 窒息	不允许停留, 否则迅速死亡
160000~250000	较高温度下遇明火可引起爆炸 ^[6]	生命危险

3) 氨对钢铁、铝等金属材料无腐蚀作用, 但当氨中含有水分时, 则对锌、铜、铜合金(磷青铜除外)有腐蚀作用, 故在氨制冷系统的设备、管道、仪表、阀门具有“避铜”要求;

4) 氨具有刺激性气味且有一定的毒性和可燃性^[4], 在其安全性分类中属于 $\text{B}2$ 类制冷剂^[5]。当其在某一空间积聚的浓度达到一定限度时, 若人暴露

在其中, 将会对人的身体产生一定的危害(参见表 1); 只有在较高温度下, 氨和空气混合物体积浓度达到 16%~25% 时遇明火可引起爆炸^[6], 故在《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》中规定为 II AT 级^[7], 在《建筑设计防火规范》中规定为乙类^[8], 即氨属于最低爆炸危险等级。这些缺点都使其应用受到了一定的限制, 不宜用于民用建筑的空调冷源系统

汇聚制冷界、暖通界百余名专家学者倾力打造的平台, 物性查询、论文分享, 定时推送最新技术

中。

在氟利昂作为制冷剂造成严重环境问题的当今, 人们重新审视天然工质时, 很多专家认为氨的上述缺陷在“氟利昂时代”往往是被过度夸大^[2, 10]。实际上, 氨的燃点为(700~780)℃, 在没有明火持续提供足够的热量时, 不易发生燃烧或爆炸(在日本新潟、仙台等历次地震中, 制冷装置随遭破坏, 但没有火灾爆炸事故的报告^[2]); 氨的着火极限比烃类和天然气高 3~7 倍, 而燃烧热却只有它们的 50%左右, 其毒性只有氯气的 1/10~1/50^[11]。关于氨具有刺激性气味这个性质则应从两方面来考察: 一方面刺激性气味刺激人的鼻腔、咽喉, 使人感到不适; 另一方面, 刺激性气味很容易使人察觉到氨的泄漏, 甚至是微漏。因此, 一旦有微少的泄漏就会被及时发现, 而这一浓度远低于氨的着火浓度; 另外, 氨蒸气比空气轻, 很容易通过有组织通风排出室外; 而且, 当氨和水接触时能很快被水吸收, 这些性能可用来消除空气中的氨, 大大减少事故的发生, 100 多年的应用历史表明, 氨的事故率是很低的^[12]。

以日本氟利昂对策委员会提供(NHK 整理)的资料为例可以看出^[13], 从 1967~1991 年的 25 年间, 日本氨制冷系统总共发生事故 168 件, 其中, 因管道、密封垫腐蚀的有 48 件(29%)、日常操作错误(如: 液封安装、除霜操作、截止阀操作、制冷剂充灌与回收、放油等)52 件(32%)、液位计破裂 13 件(8%)、维修作业错误 22 件(13%), 其他 31 件(18%), 总共死亡 9 人、重伤 2 人、轻伤 127 人。

2 国内外氨制冷技术的应用现状

2.1 应用领域

1876~1877 年间, Linde 制造的氨压缩机就配置在慕尼黑的斯巴坦布罗啤酒厂, 用于麦芽和发酵桶的冷却; 1890 年英国采用氨直接膨胀供液方式并在墙上设置冷却盘管保存肉类制品, 从此, 氨制冷技术在食品冷冻冷藏领域逐步得到了快速发展^[1]。除了啤酒生产和食品的冷冻加工、食品冷冻贮藏、食品保鲜贮藏、冰激凌的制作以及大型制冰等应用了氨制冷系统外, 氨制冷技术也为化工领域、建筑领域、水利建设、远洋捕捞及特种实验场所提供制冷服务。如: 化工厂原料生产用冷、空调系统、大坝混凝土浇筑前的冷却水或制冰用冷、船用制冷、饮料生产、制

药等。另外在一些有大量余热利用的企业, 如化工、冶金和轻工业部门, 氨水吸收式制冷机也有较广泛的应用。

2.2 应用现状

1) 制冷系统

氨制冷系统在食品冷冻冷藏领域多为直接制冷系统, 但也有少量间接制冷系统。采用间接制冷系统主要是从安全角度考虑, 在特大型的贮藏果蔬的冷库中, 为防止氨制冷剂泄漏于冷却物冷藏间内、且尽量减少系统的用氨量, 采用有以氨为制冷剂、乙二醇为载冷剂的间接制冷系统, 如烟台复发中记装配式冷库。近年来, 欧洲和美国已开始应用 NH₃ 和 CO₂ 的复叠式制冷系统^[14], 其高温级采用 NH₃, 低温级采用 CO₂, 避免了因地震等意外原因可能导致的氨在库房内意外泄漏而影响贮存食品的安全问题, 同时也减少了整个制冷系统的用氨量, 提高了冷库系统的安全性。

在国外, 氨制冷系统的供液方式多为直接膨胀供液、重力供液和氨泵强制供液, 且系统自控能力较强。

我国在上个世纪 50 年代以前, 为食品冷冻冷藏配置的氨制冷系统多为直接膨胀供液, 由于自控系统落后, 一般采用人工调节, 因劳动强度过大、不安全因素极多; 从 70 年代开始, 随着我国自行研制的制冷自控元件的问世以及引进国外自控元件, 直接膨胀供液逐步被重力供液和氨泵强制供液所取代^[15]; 80 年代后, 随着计算机微电子控制技术的不断发展, 国内出现了以可编程序控制器(PLC)及用 PLC 组成的集散式控制系统(DCS 控制系统)控制的采用氨泵强制供液方式的全自动或半自动氨制冷系统, 2000 年, 我国在大连的一座水产品加工厂的氨制冷系统中第一次采用了 DANFOSS 公司的氨电子膨胀阀, 从而再次实现了直接膨胀供液, 与 50 年代前期的制冷膨胀供液相比, 系统的安全性和控制方式及自动化程度得到了极大的提高。但由于当时尚无与氨互溶的合成润滑油, 制冷系统仍配置的油分离系统, 未能实现制冷系统的完全简化。即使如此, 也使系统的用氨量大大的降低。

氨制冷系统在化工、大型空调系统、啤酒厂、制药厂中多为间接制冷系统, 如我国于 1988 年在南京开发出利用工业废热的双级氨水吸收式制冷机, 并

应用于 -20°C 和 -30°C 两个蒸发温度制冷系统^[10]。

2) 制冷部件

目前,在氨制冷系统中,制冷压缩机多为活塞式和螺杆式制冷压缩机。前者出现较早,使用也最为广泛,其优点在于:使用方便、运行可靠、管理经验成熟,冷量范围大、单位制冷量耗电量较低,加工较简单,造价较为低廉;其缺点是压缩机体积大、耗金属多、占地面积大,易损部件多,维护费用高,单机产量不能太大,能量无级调节比较困难。而螺杆式压缩机的结构简单、体积小、易损部件少、重量轻,振动小,容积效率高、对湿压缩不敏感,能实现无级调节;其缺点是单位冷量耗电比活塞式稍高,喷油冷却使得滑油系统复杂而庞大,耗油高,噪声大,螺杆的加工精度要求高^[10]。相对而言,因螺杆式压缩机能方便地控制排气温度,在氨制冷系统中将会更加广泛地应用。

在上世纪 80 年代以前,壳管式换热器应用较为普遍。但是其质量、占地面积、换热性能及拆卸灵活性等不如板式换热器。板式换热器应用于氟系统已有 20 余年的历史,此前未在氨系统中应用的根本原因是焊接钎料含有铜。当 CFC 和 HCFC 限制禁用后又重新使用氨时,为减少系统中氨的充灌量,人们又倾向于使用板式换热器,因此在传统板式换热器的基础上进行了大量改进,可作为冷凝器、蒸发器、油冷却器、过冷换热器和载冷剂冷却器等。如:瑞典的 Alfa Laval 公司实施每两片不锈钢板片用激光焊接成封闭模槽流道组,然后在组与组之间用橡胶密封圈密封,有螺栓施加密封压力,这样就避免了传统方式中封闭氨的边框橡胶密封圈,大大减少氨的渗漏;为杜绝氨的微量渗漏,该公司又研制了采用镍合金为焊料的焊接板式换热器。德国 GEAECOFLREX 公司在瑞典工厂生产采用 99.99% 铜钎料的焊接板式换热器(SUS316 板片),在氨的流通模槽流道中采用耐氨腐蚀涂层,其最大工作压力/温度分别达 3.0MPa/200 $^{\circ}\text{C}$ ^[16, 17]。

为减少制冷系统中氨的使用量,90 年代的欧洲和美国在氨制冷空调领域开始采用风冷冷凝器,随着蒸发式冷凝器的节能优势及防腐除垢技术的提高,目前蒸发式冷凝器已成为应用主流;采用干式蒸发器取代传统的满液式蒸发器,可减少氨充灌量 90%~95%,在食品冷速冻装置(食品单体速冻装

置、螺旋式食品速冻装置、食品平板式冻结装置、网带单体速冻装置、板带单体速冻装置、全流态化速冻装置、隧道式超低温速冻装置等)中,采用干式蒸发器直接或间接冷却食品,将大幅度削减氨制冷剂的充灌量,提高氨制冷系统的安全性。

3) 润滑油

润滑油是润滑、冷却、密封运动部件的介质,是保证制冷压缩机安全、可靠运行,延长使用寿命的重要条件。目前氨制冷系统的润滑油为矿物油,虽然其性能优良,但它的最大缺点是不能与氨相溶,因而氨系统不可缺少油分离器、集油器等设备,使氨系统的油路系统非常复杂、机组自动控制非常困难,使用氨充灌量稍的干式蒸发器困难重重。欲在氨制冷系统中使用干式蒸发器或简化油路系统,就必须找到与氨相溶的润滑油,如 PAG 油。

目前国际上已开发出能溶于氨的合成润滑油。据报道,在日本前川制作所开发的新型分体式氨制冷剂冷水机组中,采用了与氨互溶的润滑油^[18];据文献[19]报道,日本有美公司已研制出与氨互溶的润滑油,这样氨制冷系统不仅可以省去油氨分离器、集油器以及相应的管路,而且从工程造价和操作维护方面也将得到相应的收益,同时可以使制冷系统更加简单、紧凑,这对开发小型氨制冷装置及简化现有的氨制冷系统非常有利。

3 我国氨制冷系统中存在的问题

3.1 理论上认识不足、重视不够

氨制冷压缩机在我国较早地得到发展,为我国的工业、食品冷冻冷藏发挥了重大作用,但发展缓慢,尤其是研发成果较少。氨用换热器尺寸较为庞大,结构、形式维持原状,其它辅属设备以及氨用合成油等几乎没有得到发展^[19]。在 CFCs 替代工质方面,主要是在氟利昂系列的圈子内研究、寻找 CFC、HCFC 的替代物。现有的 R123、R134a、R407C 等都从国外公司购买。

虽然也有学者呼吁,提出在新的形势下应重新认识和扩大氨的应用范围。人类使用氨有一百多年的经验,在制造上也已十分进步和成熟,不妨可以使用氨作为 CFCs 的替代物质,但实际的研究工作却开展得很少。以利用余热的吸收式制冷来说,溴化锂吸收式制冷技术的研究很多,产品也很多,而能够制

取零度以下的氨水吸收式制冷机等却很少有人研究;有关氨制冷剂的强化传热传质技术也很少有研究报道;而氨冷水机组的研究制造几近空白^[21];到目前为止,国内虽有一些就氨制冷在冷冻冷藏领域等方面应用性的文章,但很少见到关于氨制冷技术研发方面实质性的报道。

中国作为发展中国家,在 CFCs 的限制和禁止使用上也有日程表,应尽相应的义务和责任,但与发达国家(特别是美国、德国等)相比,我国在研究如何安全使用氨制冷剂上力度还不够。总之,制冷方面的科研机构、大专院校、学会和政府主管等权威部门应从理论和战略上,高度重视氨在 CFCs 替代上对我国民族制冷空调事业所具有的重要意义。

3.2 设计、操作中存在不足

我国对氨制冷技术的应用一直没有中断(在食品冷冻冷藏行业,氟利昂的应用起源于上世纪 70 年代初从日本引进的三套 500 吨的 R22 制冷系统的装配式冷库^[15],之后才逐步在小型制冷系统中采用氟利昂),积累了很多氨制冷系统及装置的应用经验,但还缺乏对氨制冷系统的理论和综合性的研究。在现行的冷库设计规范^[22]和设计手册^[23]中有关氨制冷系统的计算公式等尚采用大量的经验系数,而这些系数的取得有的来自原苏联的资料,有的则是根据我国在 60~70 年代的一些调研数据而来,但经理论计算和实验验证的数据相对较少。如:机械负荷计算公式中的系数 R,即制冷装置和管道等冷损耗补偿系数,在直接冷却系统中取 1.07,间接冷却系统取 1.12,也就是在理论计算的基础之上增加了 7%~12% 预计损失量;在贮氨器的选型计算公式中,针对冷库的公称容积规定了贮氨器的体积系数和 70% 的氨液充满度等,在计算机技术高度发达的今天,完全可以根据具体工程情况,准确计算出相关取值,完全没有必要规定如此多的经验系数。

长期以来,氨的毒性和可燃性被人为夸大了。一是由于氨的气味具有强烈的刺激性,二是发生过一些氨泄漏及管路爆裂等事故。分析事故原因,完全可以从设计、工程安装和操作上避免。一些事故是由于操作人员缺乏有关技术知识(工人未经培训就上岗)、专业素质较差、不遵守操作规程等所致(大多数事故是操作不当导致的^[24]);另一方面,非技术人员设计系统、非正式安装单位安装工程,还有设备

制造质量问题也是导致事故的重要原因。对此,有关机构也加强了这方面国家标准的立项工作。

3.3 防护措施相对较弱

根据氨的特性要求,除了必备的安全措施外,还应不断完善其防护措施。安全措施在以往的氨制冷系统设计中考虑得较为周全,且得到不断完善。如系统双安全阀的使用、压力控制器在系统压力超过规定值的报警停机、液位控制器的正常液位控制及超高液位报警停机、现行氨制冷系统工程施工及验收规范^[25]对管路焊接和系统气密性试验的要求等。但是,国内氨制冷系统的安全防护措施相对较弱,虽然在以往的设计中设有紧急泄氨器,但缺乏连锁控制,且防护要求和必备设施也不够完备。

在由中国制冷学会组织的对美国氨制冷系统的考察中,专家们注意到:美国的氨制冷系统根据系统的用氨量设置有不同容量的水罐和相应的控制系统,已备事故时的紧急泄氨(应急措施);在机房外或可能需要检修的地方(如低压循环桶、氨泵附近)设有手拉式淋浴器和洗脸水盆,用于人身防护;在机房和库房内均设有吊顶消防喷淋装置,由独立的水系统组成,一旦发生泄漏,立即供水处理被泄漏房间。该防护系统由设在易漏氨区域的漏氨检测仪时时监控,确保氨制冷系统在紧急事故时的人员与设备安全、做到万无一失。

4 氨制冷技术的发展趋势

氨制冷系统中的应用已有百余年历史,应该说,人们对其优、缺点都有足够的认识。当前,为推进我国制冷空调产业可持续发展和环保、节能步伐,氨作为一种性能优良的天然制冷剂,在 CFCs 替代方面具有很强的优势。氨制冷技术在安全应用的基础上将会有很大的发展空间。

4.1 氨制冷设备的质量和能效将得到提高

随着研究工作的不断深入,一些科研成果、专利技术不断涌现。据文献介绍,国外有关公司已研制出 100HP 以下的全封闭氨制冷压缩机^[10,18],而对 100HP 以上的机组已研制出高效密封机构^[10];新型钎焊型热交换器和相溶性冷冻油的应用,使换热量比此前使用矿物油时增加了 160%,体积大大减小^[18]。可以预见,随着对氨制冷剂强化传热技术、氨用金属材料 and 润滑油、高效氨用压缩机等科研成

果的完善和加工工艺的进一步改进,氨制冷设备的整体质量将更有保障,运行能效比也将不断提高。

在我国,由西安交通大学和烟台冰轮集团联合研制的拥有 10 项国家专利技术的新型螺杆式制冷压缩机已批量生产,与国内同类产品比较,其能效比提高 6.7%,噪声下降 10dB,该技术于 2006 年和 2007 年分获中国制冷学会科学技术进步一等奖和国家科学技术进步二等奖;在换热器方面,冷凝器、蒸发器生产质量不断提高,已开发出氨用铝合金带翅片排管^[26],并可配备人工扫霜和电加热融霜等特色专利技术等,它不但解决了常规蒸发器排管采用无缝钢管光管用钢量大、质量大、建筑荷载大的问题,同时也提高了相同占用库房面积下的换热效率。上述技术将有助于进一步提高我国氨制冷系统与设备的品质和能效指标,伴随相溶性润滑油的应用,也将还原氨制冷剂所具有的良好热力学性质^[27]。

4.2 氨制冷系统将机组化、小型化

小型氨商用制冷系统在 30 ~ 40 年前曾相当普及,但时至今日,没有较大的实质性改进,而当时那种简陋的系统决不可能为今天的市场所接受。为促进氨制冷系统的广泛使用,必须进行氨用换热器的强化传热研究,缩小换热器尺寸,研发氨用电子膨胀阀和小型全封闭氨压缩机,同时通过优化设计,简化与完善制冷循环,实现氨制冷装置的机组化和小型化。

我国在 2000 年已首次将氨电子膨胀阀应用于氨制冷系统,目前已研制出制冷量为 0.58kW 以上氨用全封闭式制冷压缩机(包括活塞式、涡旋式、转子式)样机^[28,29],加之相溶性润滑油和氨用高效换热器技术已开始应用,为氨制冷装置的机组化和小型化提供了重要条件。

4.3 大型氨制冷系统将进一步简化

与氨相溶的润滑油开发成功后,在设计中,就可省去油氨分离器、集油器以及相应的管路和阀门;通过氨膨胀阀或氨电子膨胀阀,便可省去低压循环桶和氨等一些附属设备。如此,设计师们便可采用氟利昂制冷系统的设计思路来进行氨制冷系统设计,并在氨制冷系统的高压侧采用机电一体化的设计思路,氨制冷系统便可以得到进一步的简化。

4.4 氨制冷系统控制将更趋自动化

21 世纪的控制技术、计算机网络技术、远程监

控等为系统的自动控制提供了相应的技术支持和保证,也为氨制冷系统的全自动控制提供了发展空间。自动化问题涉及到油的开发、氨用电子节流阀的研制、系统循环设计、制冷系统的静态与动态特性等问题,而这些问题的逐步解决,将推进氨制冷系统的自动化进程,对制冷系统的高效节能运行、制冷系统的安全使用和安全防护、降低生产成本等都将带来新的变革。

4.5 氨制冷系统的安全性、可靠性将更加完善

安全使用是一项技术应用的前提。由于氨具有一定的毒性、且在一定的条件存在爆炸的可能性,因此采用氨制冷系统时,保证系统安全和不发生泄漏是至关重要的。

系统中的氨充灌量与其发生危险的可能性密切相关,使用板式换热器可以使制冷剂的充注量大幅度减少。如德国开发的紧凑型氨制冷装置,由于采用了板式换热器,使整个系统充注制冷剂的容量小于蒸发器的体积,单位制冷量所需氨制冷剂的容量仅为 65g/kW,这就意味着新型氨制冷装置在制冷量高达 700kW 时其充灌量也不超过 50kg。另外,采用直接膨胀供液和与氨互溶的润滑油简化的大型氨制冷系统也会因系统的简化,用氨量大大降低,安全性相应得到进一步的保证。

为减少氨的泄漏,除了对常用的开启式压缩机轴封进行技术改进外,研究和开发封闭式压缩机,是科研、制造部门当前值得考虑的一个重要问题,日本(株)前川制作开发的屏蔽电机(canned motor)一体化(整体式)螺杆式压缩机就是冷媒完全密封化的结构^[18]。另外,为了减少制冷装置泄漏的可能性,在设计、安装制冷系统时,将所有的管道连接尽量采用焊接,不用或少用法兰盘连接。系统中不设置可有可无的阀门,对一些控制、关闭阀门采用带密封帽的专用阀。在系统的低压部分,特别是在库房内,不应设置任何阀门,以防氨的泄漏而污染库藏物品。目前研发的新型氨冷水机组装在带密封装置的通风箱中,其良好的通风性能和检测控制性能大大提高了氨压缩制冷的安全性^[30]。

安全措施和防护措施兼备是氨制冷系统安全使用的必备条件。随着控制元件控制功能及其精度和质量的不断提高,安全措施也将得到进一步保障;由于氨属于天然工质,易溶于水,形成的氨水可成为农

田的肥料,通过合理的技术手段,将危险事故的处理转化为合理、安全、有益的应用。有这些安全防护措施再加上严格氨的使用、操作、维护规程,加强氨系统管理人员的培训,氨制冷系统的应用将更加完善。

4.6 氨制冷技术的应用范围将更加广泛

由于氟利昂制冷剂受限、受控,重新认识和评价天然制冷剂的问题成为世界性的课题。过去,氨的一些危害性被人们不恰当地夸大;而现在,人们越来越认识到保护大气臭氧层和减少温室效应气体效应的紧迫性,氨制冷剂在制冷空调领域的应用也将越来越广。联合国环境保护署(UNEP)曾在 1992 年的年度报告中,肯定了氨是一种性能非常好的制冷剂替代工质;美国环保局认为氨是一种可行的替代工质;ASHRAE 也一直认为氨是一种理想的制冷剂,并始终鼓励和促进氨制冷剂的安全使用,认为氨制冷剂在 CFC 和 HCFC 代的替代过程中必将起到重要作用;德国政府则建立了一系列有关鼓励和促进氨制冷剂使用的法规和政策,数家德国的制冷设备制造企业在相继研制成功了以氨为制冷剂的紧凑型冷水机组,并在民用的空调系统中使用;在荷兰也有氨制冷机应用于空调系统的案例;在日本,虽然有政府法规的约束、行政的干预,但有关部门正在进一步研究、制造大型氨制冷剂冷水机组和氨-水吸收式制冷机^[31]。

随着适用于氨系统的新材料的开发,制冷设备质量和效率的不断提高,制冷系统机组化、小型化,大型氨制冷系统的简化,自动化控制程度不断提高,以及氨制冷剂使用安全性更有保障,氨在制冷技术的应用领域将更加广泛。

5 结束语

通过研究国内外氨制冷系统的应用现状及相关机构和专家的研究报告,结合我国氨制冷系统设计及应用上存在的问题,分析我国氨制冷技术的发展趋势并指出今后的研究方向,供有关专业技术人员参考。

1)在氨制冷的核心设备螺杆式制冷压缩机生产技术有重大突破的基础上,不断加强氨用换热器的强化传热技术研究,不断研发适合各种制冷环境需要的高效换热器等设备;研发氨用电子膨胀阀和与氨互溶的润滑油,以提高系统的整体性能;

2)研发适用于氨制冷系统的新材料,深化小型氨制冷压缩机的研发,加强氨制冷循环及其运行特性研究,提高自动控制水平,实现氨制冷装置的机组化、小型化和自动化及大型氨制冷系统的简化;

3)加强氨制冷系统的安全保护及防护措施,在系统设计中通过优化系统,采用板式换热器、采用氨直接膨胀供液方式、采用 NH₃/CO₂ 复叠式制冷循环等措施,减少氨的用量;提高操作维修人员的技术水平,减少因操作带来的氨泄漏;在防护系统中设置应急水系统及氨回收系统,以应对突发事件的发生。

参考文献

- [1] 邱忠岳. 世界制冷史[M]. 北京: 中国制冷学会, 2001: 9-34.
- [2] 中国制冷学会组编, 王如竹主编. 制冷学科进展研究与发展报告[M]. 北京: 中国科学出版社, 2007.
- [3] ASHRAE Fundamentals Handbook, 2005. 20. 1-70.
- [4] HG20660. 压力容器中化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类[S].
- [5] GB/T7778-2001 制冷剂编号方法和安全性分类[S].
- [6] 彦启森, 石文星, 田长青. 空气调节用制冷技术(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [7] GB50058-1992 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范[S].
- [8] GB50016-2006 建筑设计防火规范[S].
- [9] 丁云飞, 冀兆良. 氨制冷剂在空调冷源中的应用前景分析[J]. 制冷学报, 2000, (1): 43-46.
- [10] 史一忠, 戚邦胜. 氨制冷系统在南京地区应用现状及发展趋势的调查报告[J]. 冷藏技术, 2002, (1): 32-35.
- [11] 马一太, 等. 自然工质在制冷空调领域里的应用分析[J]. 制冷学报, 2002, (1): 1-5.
- [12] G. Lorentzen. The use of natural refrigerants: a complete solution to the CFC/HCFC predicament[J]. Int. J. Refrig, 1995, 18(3): 190-197.
- [13] 日本フロン対策(委)资料, NHKまとめ, 去 25 年のアンモニア事故原因一覧表(1967-1991).
- [14] Ole Christensen. System Design for Industrial NH₃/CO₂ cascade Installations. Washington[C]; IIR 28th Annual Meet Technical Paper, 2006: 1-40.
- [15] 徐庆磊. 对我国一个世纪以来食品冷藏加工业制冷技术发展状况的回顾与分析[J]. 冷藏技术, 2004, (3): 1-6.
- [16] 任金禄. “老兵新传”-氨制冷机[J]. 制冷与空调, 1996, (03): 6-18.
- [17] 任金禄. “老兵新传”-氨制冷机(续一)[J]. 制冷与空

- 调, 1996 (04): 5-13.
- [18] 赤心信次郎. パッケージ型アンモニア冷冻机[J]. 冷冻, 1998, 37(6): 19-23.
- [19] 任金禄.“老兵新传”—氨制冷机(续二)[J]. 制冷与空调, 1997, (01): 4-17(发展氨冷水机组).
- [20] 格拉索冷冻系统(上海)有限公司. CP-412-100 系列润滑油产品介绍[G]. 2007.
- [21] 林康立. 重新评价和认识氨工质在 CFCs 替代中的作用[J]. 制冷技术, 2000, (02): 35-38.
- [22] GB50072-2001, 冷库设计规范[S]. 28-49.
- [23] 商业部设计院编. 冷库制冷设计手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [24] 于国先, 牟绍明. 氨(NH₃)冷水机组替代氟利昂(R22)冷水机组的讨论[J]. 制冷与空调, 1999, (01): 63-66
- [25] SBJ12-2000. 氨制冷系统安装工程施工及验收规范[S].
- [26] 史玉成. 铝合金翅片管[P]. 中国专利, 专利号: ZL200520017277. 1, 2006.
- [27] Cavallini Alberto. Condensation heat transfer and energy efficiency of working fluids in mechanical refrigeration[C] // the Proceedings of 5th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids Guangzhou, 2002. 1-13.
- [28] 崔炳如. 涡旋式制冷压缩机[P]. 中国专利, 申请号: 200710038515. 0, 2007.
- [29] 崔炳如. 动转子式制冷压缩机[P]. 中国专利, 申请号: 200710038514. 6, 2007.
- [30] 鲍琳, 袁玉超. 氨制冷系统的重新认识及在冷藏行业中的扩大使用[J]. 肉类工业, 2005, (08): 46-48.
- [31] 沈学明. 重新评价氨制冷剂在制冷空调领域的应用[J]. 制冷与空调(四川), 2002, (03): 22-25.