

家用冰箱冷凝器技术发展动态

刘桂兰

(广州铁路职业技术学院机电系, 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

【摘要】 文章介绍了家用冰箱冷凝器的结构型式、设计方法、材料和视觉效果等多个方面的现状和进展, 并从各方面指出了冰箱冷凝器的发展趋势和科研工作者的努力方向。

【关键词】 家用冰箱; 冷凝器; 发展动态

【中图分类号】 TB123 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1003-2673(2007)04-0049-02

前言

冰箱是家用电器中唯一的全天耗电用品, 给人们带来舒适生活的同时, 也消耗了大量的电能。我国《家用电冰箱耗电量限定值及能源效率等级 (GB12021.2-2003)》的出台, 已经强制性地要求在冰箱上进行技术改造和创新, 以更加节能。当前冰箱的生产中主要通过采用以下方法, 如使用高效压缩机, 加强系统匹配的研究, 加厚隔热层, 采用真空绝热技术以及改进换热器强化换热技术等来提高电能利用效率, 并取得了一定成果。从制冷系统来说, 冷凝器承担向外散热的任务, 热负荷皆加于其上, 因而是需加强节能研究的主要部件之一。家用冰箱上的冷凝器主要有丝管式、百叶窗式和箱壁式, 其换热机理都是内部高温制冷剂通过其与周围环境进行对流和辐射来散热。近年来对冰箱冷凝器的研究和应用, 可以从以下几个方面分别阐述。

1 结构型式的演变

从冰箱出现至今多年使用情况来看, 冷凝器型式基本如前文所述之三种:

1.1 丝管式冷凝器

丝管式冷凝器的邦迪管弯成多个 S 形, 并与多根钢丝点焊在一起。这种冷凝器体积小, 重量轻, 散热效果好, 便于机械化生产, 换热系数高于平板式冷凝器约 50%, 也比百叶窗式冷凝器高 10%~15%, 其换热系数 $k=12\sim 15\text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}$, 因而成为 20 世纪 80 年代中期以后生产的电冰箱普遍采用的形式。丝管式冷凝器需专门生产设备和邦迪管。邦迪管分单层卷制管和双层卷制管两种。单层卷制管只在内表面镀铜, 钢丝直径为 1.6~2.0mm, 钢丝间距约为 5~8mm。水平钢丝冷凝器的效率高于垂直钢丝冷凝器的效率。

1.2 百叶窗式冷凝器

百叶窗式冷凝器也可算是翅片管式冷凝器的一种, 一般是由 5-6mm 镀铜管式或铜管, 其上抱有 0.5-0.6mm 厚冲孔钢板组成, 工艺简单, 几乎与丝管式冷凝器同时开始应用, 鉴于其结构和散热效果皆弱于前者, 因而自上世纪八十年代末期已经开始减少。

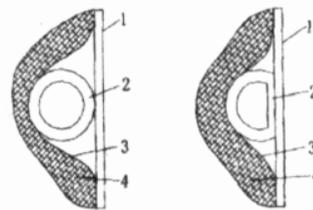
1.3 箱壁式冷凝器

箱壁式也分为平背式、间壁式、板管式、内藏式 (hot-wall,

tube-plate, wrapper type)。由 5-6mm 镀铜钢管单层薄壁管式或铜管, 用铝箔粘附于外钢板上或与冰箱外钢板的内壁点焊而成, 结构紧凑、不占用外部空间、不易损伤、便于清洁、平整美观。由于和箱壁有热传递, 所以冰箱隔热层厚于前两种。

冷凝管和钢板 (即冷凝板) 的连粘, 理论上其接触只能是一条线, 如果管的垂直度或板的平整度不能保证, 甚至会是一条“虚”线。为确保二者能紧密接触, 同时加大由管或板的传热面积, 一种圆管变扁管的研究也进行过, 如下图 1 所示。

不管结构型式如何, 如何加强散热是一个主题, 大结构型式下的小调整, 管的横向、竖向布置, 横竖交叉布置都有研究, 据称冷凝器竖向能加速空气流动, 横向则能加大扰动, 何种方式更优是见仁见智, 尚无定论。



1—钢板 2—冷凝管 3—铝箔 4—发泡层

图 1 圆管与扁管的比较示意图

文献^[1]设计了横、竖盘管混排结构冷凝器, 通过分析冷凝器内制冷剂气液两相状态, 流态变化和内、外部换热条件, 得出横排管冷凝器的换热系数比竖排管冷凝器增加 3 倍以上, 采用横、竖盘管相结合走向的冷凝器将会提高冷凝器换热效果。

文献^[2]总结了冷凝器传热量大小的相关因素, 概括了加大散热的方法, 与结构改进有关的有: 加大管径合理布局以减少流阻, 将冷凝器设计成波纹管以使内壁面形成紊流, 加长冷凝器 (管) 的方式来加大对流换热面积, 采用高导热系数及较薄壁厚的材料, 在外壁上加肋片, 努力提高外壁面温度及加深外壁面颜色以增大热辐射强度等方式来提高其散热效率。同时, 对于在冷凝过程中起重要作用的防露管, 提出应保证利用液相制冷剂作为防凝露的热媒, 以取得较小的温差, 避免向箱内散热过多, 故而不要直接将防露管接压缩机的排气管。而文献^[2]则表示, 对于以 R600a 为制冷剂的冰箱, 可以直接将防露管接压缩机出口。

【作者简介】 刘桂兰, 女, 讲师, 工程硕士, 研究方向: 制冷与空调。

文献^[3]探讨了一种箱壁式冷凝器竖直通道布置方式的思路,既具有普通箱壁式冰箱的优点,又能明显增大换热系数。

中科院理化所近年研制出一种“蓄冷(热)式不间断工作冷凝器、蒸发器”,通过在传统冷凝器和蒸发器上加装“蓄冷(热)液”等关键技术手段,储存冰箱压缩机工作输出的能量,在压缩机停机时继续释放冷(热)量,实现冰箱冷凝器和蒸发器不间断工作,从而开拓扩展传热时间,有效降低传热温差,达到制冷节能的目的。据测试节能 28%~50%。成本的增加是其推广使用的主要障碍。

2 设计方法的改进

80 年代末,国内冰箱产品在进行冷凝器设计时,冷凝换热系数主要取经验值,90 年代中期,文献^[4,5]提出了设计计算丝管式和箱壁式冷凝器较有影响的两种思路,根据一般冰箱运行工况,容积,确定热负荷,由此得出单位面积散热量、面积,进而确定长宽尺寸,这种方法推广了在冷凝器设计方面精确计算的思路,在了解最基本的设计原理和流程方面,也很方便。

但是在计算过程中,仍然忽略了以下因素,由于管内冷凝换热系数相对管外换热系数大得多,故冷凝换热热阻很小,在计算中就忽略了管内制冷剂冷凝放热系数,自制冷剂向空气传播过程中的接触热阻,污垢热阻,甚至于管壁热阻都忽略不计,同时,也不考虑透过箱体隔热层向箱内的漏热;另一方面,对空气热湿性质不同时对换热的影响也考虑甚少。近年来的研究已考虑这些因素,Bansal^[6]就综合考虑各种因素,建立了箱壁式冷凝器的数学模型。对冰箱冷凝器设计的研究,着重在以下几个方面:

2.1 管内冷凝换热系数的研究

制冷管内冷凝换热研究已经有了诸多成果,1979 年 Shah^[7]总结前人成果,提出于后来有深远影响的冷凝换热系数关联式,这也成了一般制冷剂空调工程及产品的设计依据。当前总的情况是,从节省材料和加大制冷剂流速来看,管径有减小的趋势,目前有的产品中冷凝管内径已经低于 3mm。

随着尺寸的减小,表面张力作用增强,使得凝结换热机理与传统尺寸通道 ($D_n > 3\text{mm}$) 不同。基于大通道内凝结换热实验数据的关联式很难应用于微细通道。近年来国际上对微细尺度的研究和应用已经如火如荼地展开,就家用冰箱相近的管径和流体来说,Yan 和 Lin^[8]研究发现 R134a 在管径为 2mm 内的凝结换热系数在整个干度范围内比 Eckels 和 Pate^[9]在内径为 8mm 的通道内得到的凝结换热系数高 10%。

总的来说,更适用于细管的各种流型,针对特定制冷剂如 R134a 和 R600a 的冷凝换热的研究,越加强,对冷凝器换热的设计计算就越准确,换热关联式也才能更完善。

2.2 冷凝器外壁面换热

冷凝器外壁面散热,是以大空间壁面自然对流换热理论为基础,同时综合了辐射换热的理论,如文献^[5-7]。

文献^[10]研究了丝管式冷凝器确定系统黑度的方法,同时对钢丝直径和间距变化对辐射特性的影响进行了实验,证明间距越小,对辐射散热越不利。

文献^[11]利用红外摄像仪测得了丝管式冷凝器表面温度变化,用精确的数值方法求得了空气侧总散热量,与现有数据相

比,本方法误差在 10%以内,证明本方法可以使用。

文献^[12]通过对丝管式冷凝器周围空气的温度分布和流动进行的实验研究和数值模拟,证明了丝管式冷凝器两侧的空气流动是一种湍流状,同时建立了计算丝管式冷凝器周围空气温度相对准确可靠的数学模型。

文献^[13]对丝管式冷凝器在大空间内的自然对流进行三维数值模拟,结果表明钢丝冷凝器的竖丝对横管换热削弱,且这种作用随着竖丝间距的增加而减小。

对于钢丝冷凝器的竖丝,瑞利数和竖丝间距对其换热量都有明显的影响。随着瑞利数和间距的增加其对流换热量也在增加。

在箱壁式冷凝器的研究上,文献^[14]以背板为控制容积,将背板的自然对流和辐射传热视为热汇,建立了具有较高精度的换热器数学模型,可用于求解耦合导热、自然对流和辐射的非等温平板传热问题。

文献^[15]考虑了背板的非等温特性,建立了用于计算箱壁式冷凝器空气侧换热的数学模型,确定了背板表面传热系数的计算公式,并讨论了影响空气侧换热的因素。

2.3 计算机模拟方法

经过早期的经验设计,当前利用计算机进行数值模拟和 CFD 模拟是一个热点。文献^[16]讨论了几种冷凝器动态模型,并重点研究了动态参数模型的建立方法,对冷凝器的质量判定,管路的优化配置,冷凝器两相区的理解等均有重要的意义。文献在冰箱系统仿真中,分析了冷凝器的动态特性,建立了准动态数学模型,并编制出了实用软件。

3 材料和视觉效果

3.1 材料

冰箱冷凝器使用的管道材料目前主要是 ACR 铜管(空调与制冷用铜管,简称 ACR 铜管)和邦迪管(含钢质焊管)。文献^[17]指出,由于钢材和铜材的价格因素,有如下趋势:钢板变薄,铜管变细,管间距变大,减少钢和铜的使用量,由于导热热阻不是影响散热的主要因素,理论上用非铜管替代铜管,在管径相近的情况下可以不改变管道的长度,而达到相近的换热效果。非铜管替代的一个最大优势是具有良好的经济性,它能使企业明显降低材料成本。在加工工艺上,如改换非铜管后,不再用弯管工艺,而是用交错开的铜铝接头来连接,应保证其密封性。

3.2 涂漆

冰箱体涂漆最基本的目的是防锈防腐蚀,间接效果是美观,同时,一般情况下其辐射换热系数,随着颜色的加深而增大。以往的外置式冷凝器,由于其独立性,一般表面涂黑漆,在尽可能大地增加辐射散热的同时,并不影响冰箱的整体美观。在箱壁式冷凝器使用越来越广泛的情况下,基本上箱体涂漆颜色决定了冷凝器的颜色,文献指出,现在产品多是银灰色,深灰色,浅黑色,灰蓝等深沉色彩,总的趋势是颜色较深,既庄重典雅,而不影响辐射散热。

4 结论和展望

综上所述,可以看出,冰箱冷凝器并非独立发展,而是做为冰箱的一部分,随着冰箱节能、环保等发展方向随之发展的。

(下转第 74 页)

3.2 国内

由于我国污水处理产业发展较晚,与国外相比,我国对污泥的研究起步也较晚,始于二十世纪八十年代末。利用中国期刊网数据库对我国有关城市污水污泥研究的文献进行统计,结果表明:1994年之前有关污泥的研究只有零星报道,近些年,随着我国污水处理率的提高及污泥产量的迅速增加,越来越多的科研工作者和环境工作者开始致力于这方面的研究,为污泥处置寻找合适的途径(图2B)。与国外相比,总体上我国对污泥的研究深度不够,目前多停留于总结国外研究状况、探讨污泥稳定方法和污泥的农艺价值等方面,而有关污泥中的污染物及其环境风险的研究较少。图3B结果表明,就污泥中的重金属、有机污染物和病原物三类污染物而言,我国对重金属进行了较多研究,有关病原物和有机污染物的研究还很少。

4 结语

综上所述,随着我国城市生活污水排放量的增加和污水处理率的提高,污泥的产生量也将逐年增加。污泥的组成复杂,既含有各种潜在有利用价值的物质,有害有各种有毒有害物质,如果处置不当,必将对生态环境、人类和其他生物健康产生风险。对污泥进行安全处置,首先要对污泥的组分及各组分的环境风险进行详细研究,然后寻求合适的处理处置工艺。降低污泥处理处置过程中的环境风险除了依靠科学技术的提高外,很大程度上取决于国家环境法律法规的完善和人们保护环境自觉程度,这一方面需要环境科学和市政工程等相关学科及其专家们的通力合作,同时也需要政府、管理部门和企业及其与科技界的共同努力,以推动和促进污泥及其资源化利用的研究与管理工作。

(上接第50页)

(1) 冷凝器研究进展比较全面,值得讨论之处也较多,个别节能的方式方法上尚无定论。

(2) 探索在结构方式上变化导致的变化仍在进行中。在管间距,管径,板厚等全面优化,找出制冷效果最佳点,同时进行经济性的合理性研究。

(3) 微细尺度换热的研究已经起步,微细管径的冷凝器将可能是一个热点。

(4) 数值模拟和CFD仿真仍将继续加强,这对减少成本,加快研发周期,得出最佳预期值具有重要意义。

(5) 冰箱制冷系统中各部件不是独立的,讲究整体效果,因此,在设计计算冷凝器结构时,应综合考虑与其它各部件的匹配。

参考文献

- [1] 李刚,蔡颖玲,等.电冰箱制冷系统优化设计再析.计量与测试技术,2004,9.
- [2] 蔡文波.节能技术在家用电冰箱设计中的应用.中国家用电器技术大会论文集,2000.
- [3] 宋鹏,李红旗.冰箱用管板式冷凝器垂直通道布置初探.北京制冷学会第八界学术年会论文集,北京,2005.
- [4] 接基华.冰箱用管管式冷凝器的设计计算.制冷,1994,1.
- [5] 接基华.冰箱用箱壁式冷凝器的传热面积确定.制冷,1995,1.
- [6] P.K.Bansal,T.C.Chin.Design and modeling of hot-wall condenser in domestic refrigerator. Applied Thermal Engineer,2002,

参考文献

- [1] 中国环境年鉴编辑委员会.中国环境年鉴.北京:中国环境年鉴社,2001.
- [2] 中国环境年鉴编辑委员会.中国环境年鉴.北京:中国环境年鉴社,2002.
- [3] 中国环境年鉴编辑委员会.中国环境年鉴.北京:中国环境年鉴社,2006.
- [4] United States Environmental Protection Agency.Land Application of Sewage Sludge- A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge (40 CFR Part 503.EPA/831-B-93-002b).Washington,DC: Office of Enforcement and Compliance Assurance,1994.
- [5] Water Environment Federation. Biosolids Composting.A Special Publication. Water Environment Federation. Alexandria,1995.
- [6] United States National Research Council. Biosolids applied to land: advancing standards and practice. Committee on Toxicants and Pathogens in Biosolids Applied to Land, Board on Environmental Studies and Toxicology, Division on Earth and Life Studies National Academy Press Washington, DC. 2002.
- [7] 乔显亮.污泥的化学组成、土壤利用风险和复合污染土壤修复研究.中国科学院南京土壤研究所博士论文,南京:2003.
- [8] 李贵宝,尹澄清,单保庆.我国森林与园林绿地污泥的利用及其展望.北京林业大学学报,2001,23(4):71~74.
- [9] Wang, M.J Land application of sewage sludge in China The Science of the Total Environment, 1997, 197,(1-3): 149~60.
- [10] Lewis D.L., and Gattie, D.K. Pathogen risks from applying sewage sludge to land. Environmental Science and Technology, 2002, 28(7A)~293A.
- [11] Shah, M.M. A general correlation for heat transfer during film condensation in tubes. Int. J. Heat Mass Transfer, 1979, 22(4): 547-556.
- [12] Yan, Y.Y., Lin, T.F. Condensation heat transfer and pressure drop of refrigerant R-134a in a small pipe. Int. J. Heat Mass Transfer, 1999, 69(7): 697-708.
- [13] Eckels, S.J., Pate, M.B. An experimental comparison of evaporation and condensation heat transfer coefficients for HFC-134a and CFC-12. International Journal of Refrigeration, 1991, 14(7): 70-77.
- [14] 李安柱, 吴业正. 冰箱钢管冷凝器的辐射换热特性. 制冷学报, 1998, 4.
- [15] 胡夏萍, 林兆庄. 管式冷凝器空气侧散热计算. 工程热物理学报, 1997, 1.
- [16] 成耀龙, 徐明仿, 吴业正. 丝管式冷凝器周围空气温度场的计算及实验研究. 第七界海峡两岸制冷空调技术交流会论文集, 西安: 2005.
- [17] 丁鹏. 离散型热体及钢丝冷凝器自然对流的数值模拟. [硕士论文], 西安: 西安建筑科技大学, 2005: 67-79.
- [18] 陈林辉, 田怀璋, 王石, 等. 板管式换热器背板温度场和传热研究. 西安交通大学学报, 2005, 39(1): 391.
- [19] 王石, 陈林辉, 易佳婷, 等. 冰箱板管式冷凝器空气侧换热研究. 制冷与空调, 2005, 39(5): 39-42.
- [20] 葛云亭, 彦启森. 冷凝器动态参数数学模型的建立与理论计算. 制冷学报, 1995, 3.
- [21] 童蕾, 陈超敏, 等. 对冰箱换热器使用的管道材料的分析. 制冷学报, 2004, 25(4): 1601-1617.