

超级节能冰箱的研究与开发

李成武 程德彬 李腾昌 胡锋

[海信容声(广东)冰箱有限公司,528303]

摘要:通过对VIP材料以及在冰箱上应用的研究,充分利用动态仿真软件,分析产品性能的设计参数,并经过大量的试验和各种检验方法的验证,开发具有超级节能的冰箱

关键词:VIP 仿真 节能 测试

Super Saving-Energy Refrigerators' Research & Development

LiChengwu, Cheng Debin, Li Tengchang, Hu Feng

[Hisense Ronshen (Guangdong) Refrigerator Company Ltd., 528303]

Abstract: By researching VIP material and applying in refrigerator's production, analyse product parameter with theory simulation software, validate the result under the help of much tests and means, developing super saving-energy refrigerator

Keywords: VIP, Simulation, Saving-energy, Test

1 引言

目前国内冰箱的节能已经有了很大的变化,在200L容积左右的双门直冷冰箱,能耗水平在0.4kWh/24h的范围,与10年前的冰箱相比,至少节能50%,这主要得益于压缩机水平的提高。压缩机的COP在10年前一般在1.1左右,制冷剂主要用R12。后来通过采用R600a制冷剂,国内压缩机的COP提高到1.3左右,在2003年前后,压缩机的COP快速提高为1.7左右。一方面由于电机技术的提高,另一方面借鉴国外压缩机在结构方面的改进设计。目前压缩机COP基本上达到1.8的水平,更高的甚达到2.0,所以从冰箱节能的发展史来说,压缩机的贡献最大,但是这种贡献也走向了“死角”,要有新的突破面临更大的技术难度。

另外,在冰箱保温材料方面也发生了较大的变

化。一方面由于国际与国内环保的要求,冰箱保温所用发泡材料由R11转换到R141b和环戊烷,冰箱的保温效果变差10%~20%,目前在环戊烷的性能改进方面也起到了一定的效果,如海信科龙在2007年开始采用R245fa混合发泡料,基本上可以达到R141b发泡料的保温效果。这种保温材料目前在冰箱行中开始大量使用,对冰箱的节能起到7%~10%的作用。

虽然冰箱在其它方面也有一些改进,相对于压缩机与保温材料方面来说,提高能效的作用相对有限。要想更好地提高冰箱性能,降低耗电量,大幅提高压缩机的性能似乎已不太现实,所以需要寻找新的途径。

2009年,海信科龙开始生产耗电量为0.25kWh/24h的冰箱,这一个时代的节能特征主要开始全面采用真空隔热板(VIP)。

从许多的试验数据来看,采用VIP可以大幅降

第一作者简介:李成武,1992年毕业于郑州轻工业学院制冷专业。目前就职于海信科龙冰箱公司研发中心,制冷高级工程师,主要从事冰箱系统及性能研究。

低冰箱的耗电量,相比较现在技术降低冰箱能耗40%以上。

为更好地研究冰箱的节能技术,我们开展了超级节能冰箱的研究项目,将冰箱的节能技术更加细化研究,尤其是对VIP材料的应用加以研究。

2 VIP材料的研究

对于冰箱,保温是产品性能好坏的基础。利用VIP真空隔热板可以取到只有发泡料20%的导热系数的效果,从而使冰箱的热负荷更小。

目前研究与生产VIP的厂家比较多,从各生产厂的技术特点来分析,VIP的主要芯材为玻璃纤维棉。按照有关资料^[1]显示,还有更加节能的芯材,但在成本与生产工艺方面还不适合于冰箱生产。另外玻璃纤维棉也有许多的种类,这些不同种类在性能方面也有一些差异。吸附剂的效果、复合膜的差异,最后都会体现在导热系数方面。

在VIP的生产方面也有不同。综合目前VIP生产商的情况,一般可以分为干法生产与湿法生产。干法生产的生产条件要求高,对操作员工要有较好的保护,否则会影响员工的呼吸系统,有害身体健康。湿法生产的成本较高,生产条件也相对较好。不过,相对于干法生产,如果生产环节的除湿控制不好,性能会差一些,一般有10~20%左右的差异。但是如果在生产工艺中控制好,效果也可以达到相等水平。另外真空度是VIP性能好坏最关键的工艺参数,抽真空时间的控制,真空设备的好

坏都会影响到最后的性能。

VIP材料的性能与在它冰箱的保温层中可以达到的效果并不一定等同。这主要与VIP的特性有关,由于其内部长期处于真空负压状态,在自然力的作用下,会有一个失效的过程,这种缓慢性失效有一个时间效应,它的最终结果使产品出现能耗偏大,平衡破坏等问题。

另外对于VIP在冰箱发泡环境中的适应性也需要考虑。通过对比测试后发现,在数据方面有一些变化,虽然这种变化的原因还在研究分析及改进中,但是这种因素肯定存在,这也是VIP能否大量使用的主要原因。

目前VIP生产企业对冰箱的研究较少,而冰箱企业对VIP的研究才刚开始。我们通过不断完善企业的技术标准,增加各种试验的方法,提高VIP的技术与质量。

通过对目前国内外许多生产商的VIP产品进行对比测试,发现不同公司测试的结果有较大的差别。这可能与设备有很大的关系,但通过统一的测试方法与设备,还是可以分析出目前VIP的技术状态。表1为对目前不同生产商的VIP性能测试结果。

3 冰箱仿真软件的模拟

通过对VIP的研究,确定VIP的性能参数,并利用我公司长期从事冰箱技术的研究成果,开发出冰箱制冷系统仿真软件,通过此软件可以在理论上对产品的性能进行分析。

表1 不同VIP生产商样品测试结果

	国内商1	国内商2	国内商3	国外商1
样品(mW/m.k)	3.6/3.6/3.3	3.4/3.3/3.2/3.3	4.36/4.52/4/3.75	3.56/3.34/3.24/2.95/3.29
平均值(mW/m.k)	3.5	3.3	4.16	3.28

注:以上数据为海信科龙的测试数据,是基于本公司的计量标准采集

通过输入产品结构参数、控制参数、选择VIP参数、制冷系统的设计特点,确定压缩机性能参数,最终可以通过软件模拟出冰箱性能最后的结果。这种仿真的结果使我们可以通过理论比较分析,优化产品的设计,使产品的性能目标达到要求,减少设计的盲目性,加快产品开发的进度,提高产品开发质量,减少产品开发的失误。

对于超级节能冰箱的开发,更需要有精确的设计研究,如VIP的设计部分,VIP的厚度选择,VIP的导热系数要求,不同参数的变化对冰箱能耗的影响等,如果没有软件进行理论上的分析,无法得到更科学的判断方法。另外我们通过对冰箱中各部位的热负荷进行计算,可以找到冰箱保温的最差环节,通过改进后得到事半功倍的效果。图1

为我们专门针对超级节能冰箱开发的仿真软件局部窗。图 2 为我们为研究超级节能冰箱的耗电达到 0.22kWh/24h 的计算结果。

4 产品设计优化与工艺改进

有了理论的分析,我们可以针对产品结构设计中的局部进行改进,尽量降低热负荷。为保证产品的最佳保温效果,对设计中的一些“冷桥”处理,如控制部分,管道部分等都进行优化。

由于 VIP 在冰箱泡料中占有一定的空间,对冰箱的发泡流动性产生影响,这种影响的结果导致发泡的效果变差,因此要对 VIP 的冰箱中的装

配位置进行充分的研究与验证,并对原有的发泡工艺进行改进。

为适应产品的特点,在冰箱的结构中有一些非常特殊的位置也需要有特殊 VIP 形状,如要对 VIP 进行打孔或弯曲等,它给 VIP 生产带来困难,也对 VIP 本身的性能产生影响,所以要对它的效果进行综合分析。

通过软件分析,可以确定最佳保温结构设计。尤其在节能冰箱中,在保温技术得到较大改进后,门封的保温问题也显得更加突出,所以还需要进行超薄门封的开发、双门封的设计、门封材料的低温特性研究等。门体结构设计对冰箱的最后保温

图 1 冰箱制冷系统性能仿真软件局部

调节变量			
冷冻蒸发面积 m ² :	0.92	环境温度 °C:	25
冷藏温度 °C:	5	冷冻温度 °C:	-18
蒸发温度 °C:	-27.32	冷藏蒸发面积:	0.08765
压机制冷量 w:	95	压机 COP:	1.92
		压机实际 COP:	1.936
压机实际冷量 w:	91.99	结构系统冷量 w:	91.99
耗电量 kWh/24h:		.2265	
开机率 %:		19.87	

图 2 某型号经过计算后的耗电量结果

效果也非常关键。

图3为门封高度与单位长度的负荷理论计算关系。经过实际测试,在普通冰箱中有节能3%的效果,但在超级冰箱项目中,经过软件计算,有约5%的节能效果。

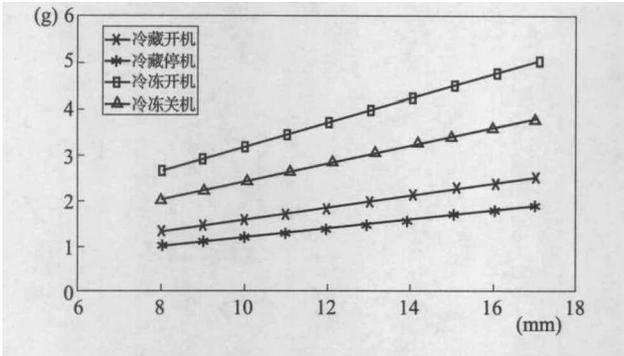


图3 门封高度与单位长度的负荷

根据仿真计算结果,可以对制冷系统进行优化,确定蒸发器面积与效率,温度分布的均匀性以及散热的效果等,更有效地降低冰箱的能耗。

我们通过软件对不同参数的压缩机进行性能对比分析,也可以选出更好匹配效果的压缩机,同时尽量降低压缩机的成本。对冰箱不同部位发泡层厚度的对比分析,找出值得改进的部位。

5 实际测量数据与结果分析

为更好地分析产品,尤其对比理论与实际的数据,我们通过各种试验方法改进产品的性能。

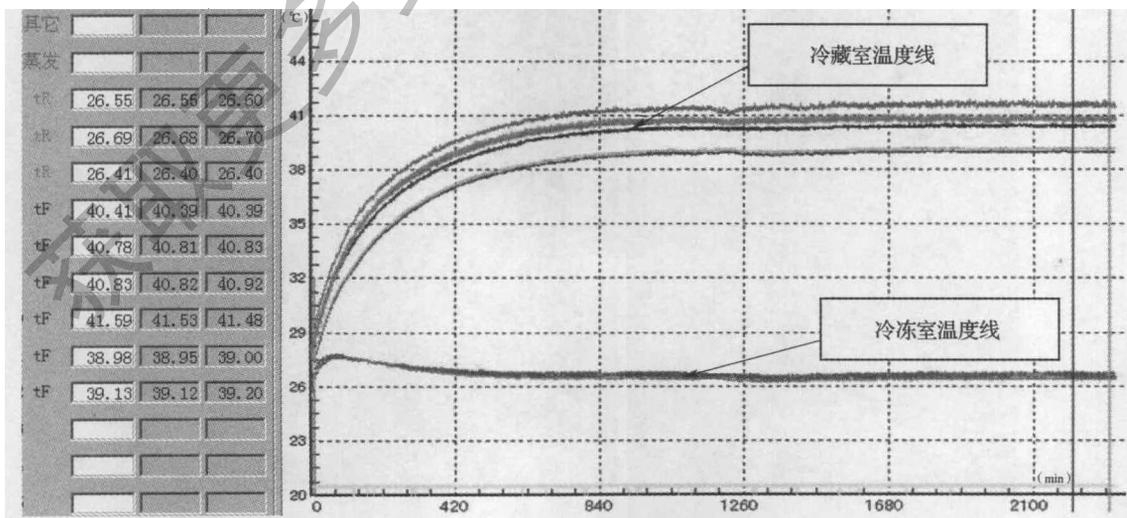


图4 热负荷测试平衡温度分布

5.1 逆向热负荷测试法

经过软件计算的热负荷,再通过逆向加热的方式来判断冰箱保温的效果。此方式初步确定产品的保温效果与设计要求的差别,从而可以初步确定冰箱的保温效果是否达到设计的要求,尤其是VIP的效果是否达到要求。这种方式的判断基本上与冰箱的制冷系统无关,避开制冷系统设计的好坏,压缩机的性能高低,冷凝器对冰箱能耗的影响,蒸发器效率的高低等因素,从而使分析简单化,也可以更好地控制产品质量。

为了更方便地研究VIP对冰箱的保温效果,需要删除其它对保温有影响的因素,如制冷系统,压缩机的性能。如果我们只通过冰箱的耗电量来判断VIP的效果好坏,难度比较大。通过逆向加热的方式,VIP的不同参数,不同位置,不同的生产工艺,不同生产商种类,以及发泡层的密度等,可以通过在冷冻室加热的方法进行对比。这种加热可以采用加热丝或白炽灯的方式,通过测量冰箱达到稳定平衡后的温度数据,对比分析VIP的好坏以及保温的效果与仿真的目标差异。

5.2 热源分析法

冰箱制冷系统的散热部分,包括有冷凝管与压缩机,此部分设计的好坏也会影响到冰箱的热负荷,冷凝温度的高低,冷凝面积的大小,冷凝管的粘贴情况如何,通过采用红外成像仪后,可以对此部分进行优化设计。

对比没有采用 VIP 与采用 VIP 的冰箱侧板热源温度结果,发现,采用 VIP 板的冰箱侧板温度高。而且不同大小,不同厚度的 VIP,也体现不同的结果,这说明 VIP 可以有效地阻止冷凝热进入到泡层内部。同时通过热温图也可以较好地分布冷凝管的布置,粘贴,材质等。另外,对比分析采用外挂冷凝器对冰箱性能的影响,以及冰箱停机后冰箱表面的温度变化,可以找到冰箱出现“冷桥”的位置,再通过结构改进设计得到更好的保温效果。

压缩机在运行时也是一个主要的散热体,对冰箱来说,有约 20% 的热量通过压缩机来散热。一方面是压缩机的高温,另一方面压缩机本身直接处于环境空间中,最容易散热。所以通过对压缩机热温图的监视,也可以分析出采用何种压缩机更有利于节能,以及压缩机仓的更合理设计更有利于散热。这些部位也是 VIP 应该重点考虑的范围,但由于这些部位形状复杂,对 VIP 的加工增加了难度,如对 VIP 进行打孔或开孔的不规则形状在增加生产的难度同时,可以将冰箱的负荷做到更小。

同样在门封的研究上,也可以进行对比试验,测试温度对比更直观。

5.3 性能测试法

性能测试基本按照标准布点进行,测出产品

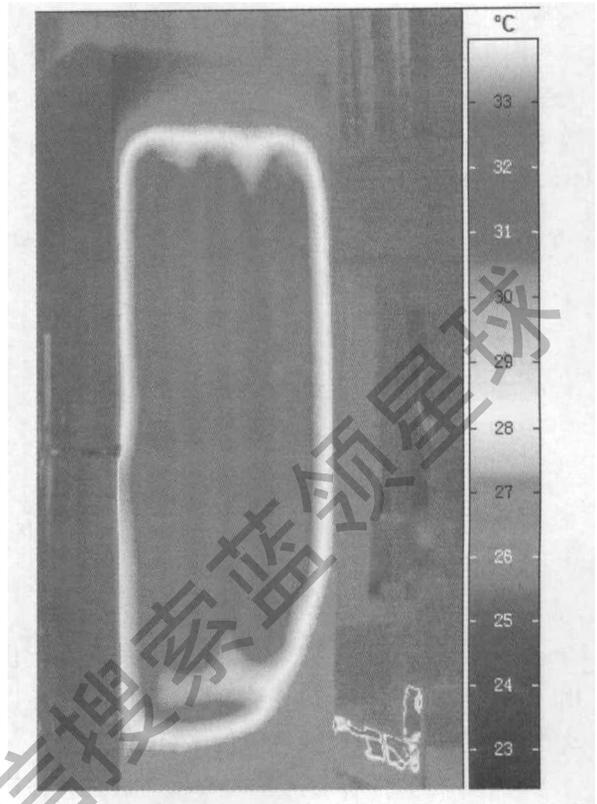


图5 冰箱侧部冷凝器的温度分布图

的最终性能结果,从而检验冰箱的最低能耗是否达到设计要求。

性能测试结果主要体现冰箱制冷系统的运行是否达到要求,温度场的分布是否合理,开机率是否达到要求,压缩机的功率运行情况,制冷剂量的

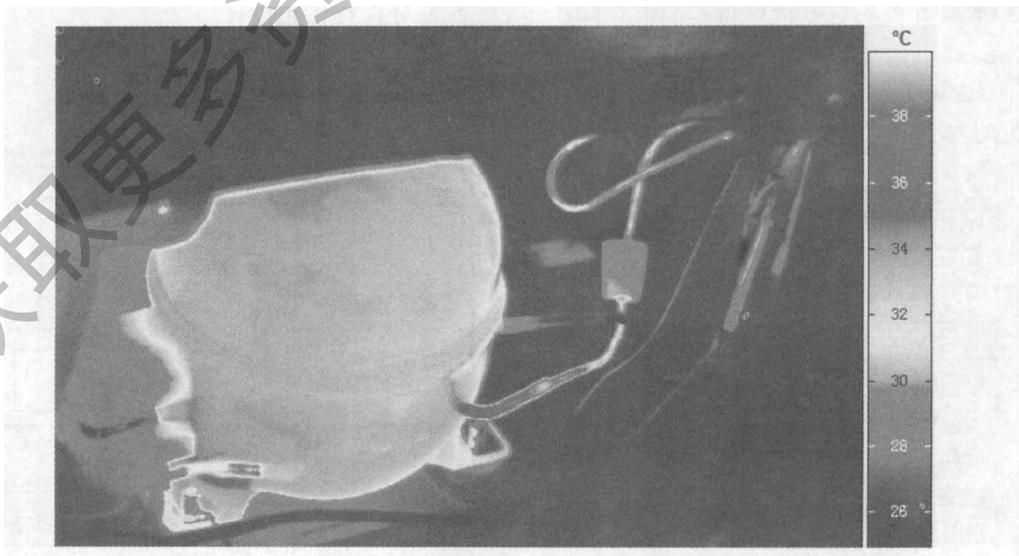


图6 压缩机的表面温度分布图

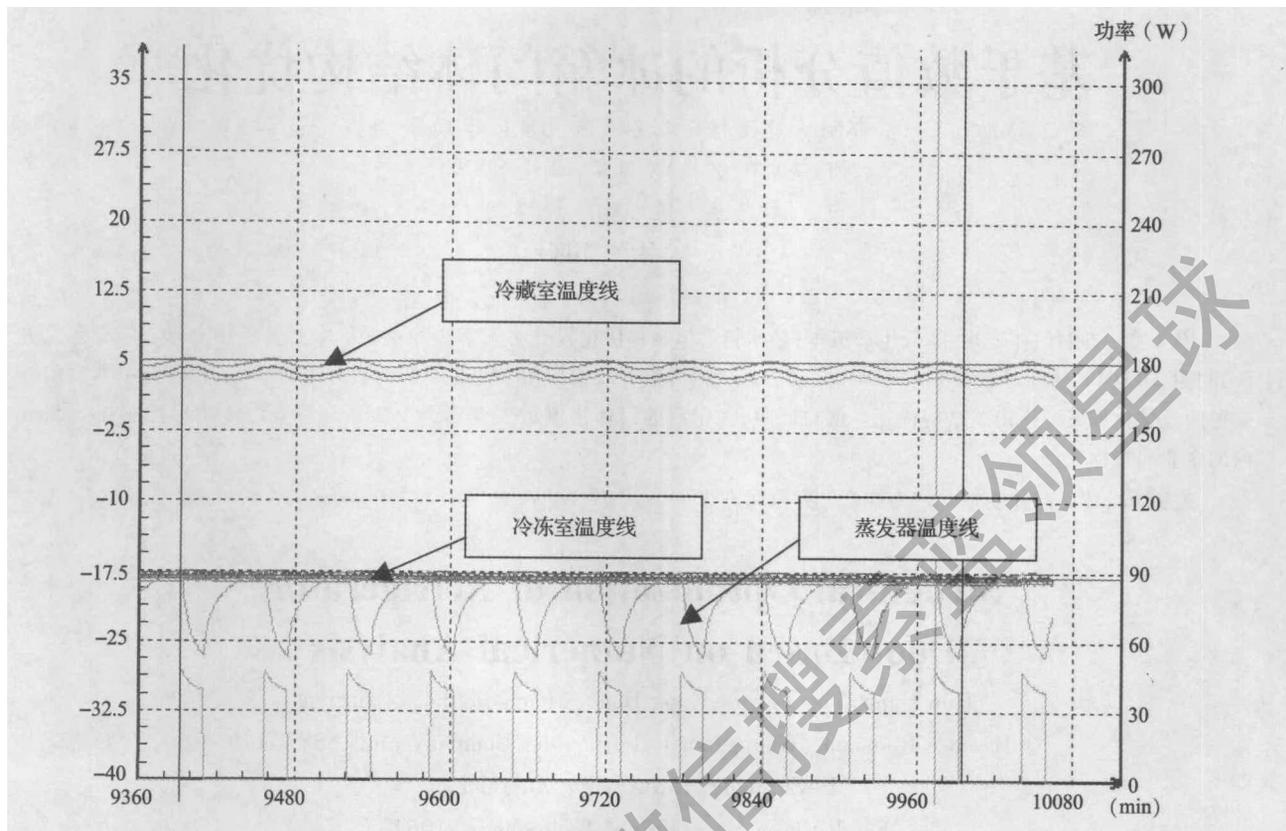


图7 性能测试曲线

控制是否最佳,压缩机的单次运行时间长短等,最终体现冰箱在 25℃ 环境下的耗电量。同时将此结果与仿真结果进行对比分析,从而可以找出偏差的原因,进而通过改进而达到目标。

在对产品的性能测试中,对冷冻室的温度均匀性进行了大量的改进工作,使冰箱冷冻室的温度尽可能达到一致,保证了最好的温度场,从而减少能耗损失。

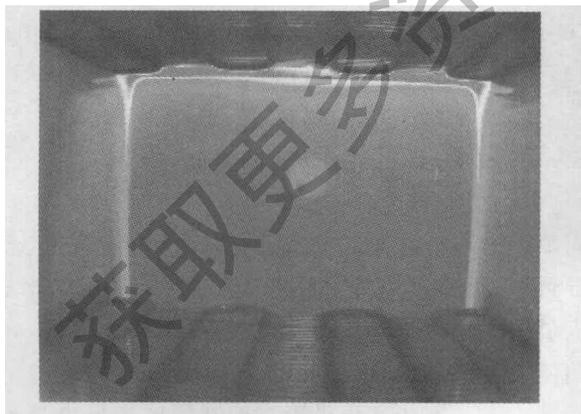


图8 门封漏冷

经过对冰箱的不同改进设计、参数修改,并经过多次性能对比试验,冰箱的能耗基本达到设计的要求,从而达到产品开发的目的是。

6 结论

通过对超级节能冰箱项目的研究开发,主要采用 VIP 的技术,通过设计参数的理论软件分析与实际产品开发相结合,以及大量的数据测试与修正和以及生产工艺的改进,各种相关节能技术的综合运用,将容积超过 200L 的冰箱耗电量做到 0.22kWh/24h 的水平。

此项目研究成果 2011 年通过了国家相关机构的鉴定。

参考文献:

弗兰克·英克鲁佩勒等著. 传热和传质基本原理(原著第六版). 化学工业出版社