

# 冰箱冷藏蒸发器结构应力分析及结构优化

孔冬 游飞越 许锦潮 张丁 毛庆成  
(海信容声(广东)冰箱有限公司 广东顺德 528303)

**摘要:** 本文对大容积单门冰箱箱体内胆的开裂问题进行了总结与分析,提出了降低蒸发器铝板结构刚度以减小内胆热应力积聚的解决思路,并进行相关的试验验证,证明本文工作对抑制内胆开裂具有显著改善,为设计人员提供了设计依据。

**关键词:** 冰箱; 内胆; 开裂; 热应力; 蒸发

## 1 引言

国内冰箱制造商主要采用ABS和HIPS作为冰箱内胆材料,在生产、储存和用户使用过程中,存在着一定的内胆开裂现象,既影响用户观感和体现,又大大降低冰箱性能和使用寿命。由于内胆开裂主要发生在用户使用三个月甚至半年后,生产现象也很难通过有效方法进行检验,因此,内胆开裂是困扰冰箱生产企业的困难之一。图1(左)所示为某款大容积冷藏箱,在内胆后背平面有两处开裂,上面的裂口有三条、在冷藏蒸发器位置、排列不规则,下面的裂口有两条在冷藏蒸发器附近;图1(右)显示内胆局部位置有多条龟裂纹,在冷藏蒸发器位置,排列不规则,冷藏蒸发器已生锈。

## 2 问题分析

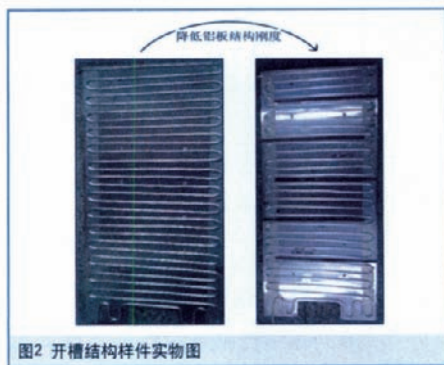
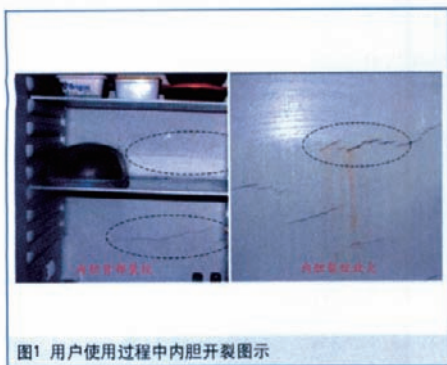
经过对冰箱内胆材料开裂现象的分析发现,其开裂主要由材料的物理性能、部件结构设计、材料加工工艺和生产使用中所接触的化学物质等方面的原因所致,如表1所示。经过我们的分析比对,导致内胆开裂的主要原因不

外乎应力腐蚀:一是由于作用在内胆上的机械应力导致的机械应力开裂;二是由于一些化学介质的作用,使内胆材料发生溶胀,增加其内部应力而导致的化学应力开裂。大部分冰箱内胆的开裂均是在机械应力加上化学介质的综合作用下形成的。故解决内胆开裂问题的思路也主要有两个方面:一是通过增加内胆的机械性能与工艺成型质量以提高HIPS内胆的材料强度,或降低化学侵蚀对HIPS内胆的化学腐蚀以减小所产生的化学应力,二是在装配工艺和结构设计方面着手,减小内胆上机械应力的积聚。

而本文就是对冰箱箱体内胆的开裂问题进行了分析,提出了在蒸发器铝板开槽以减小内胆上热应力积聚的解决方法,并进行相关的实验验证,为设计人员提供了设计依据。通过建立箱体的有限元模型,对温度荷载下的箱体进行热力学分析,由应力云图我们看出,内胆的背面与泡层内表面上都有较大的应力分布,这些应力是造成内胆开裂的重要因素,而此位置恰恰是板式蒸发器的粘贴位置。我们推测较大

表1 初步问题排查

大类	子类	排查分析
材料性能	HIPS性能不足	低温韧性不够可能会造成内胆温度低的位置开裂。
	回收料添加比例	HIPS箱胆回收料添加比例控制在35%~40%之间。
	泡沫空洞使发泡剂集中	发泡剂空洞会积聚发泡剂,CP可以溶解HIPS,而导致开裂。
成型工艺	吸塑模具温度过低、残留应力大	经拆箱检查,各项指标符合工艺要求,因此,可排除。
	吸塑板料加热不透造成材料冷拉伸	
化学侵蚀	发泡剂	环戊烷可以溶解HIPS;发泡剂对内胆均有腐蚀,会在胆背形成比较脆的一个薄层,在一定限度内不会造成内胆开裂,但此处刚好有应力缺陷或应力比较大则有可能开裂;空泡处会积聚发泡剂,会加大对内胆的腐蚀,内胆开裂的机会大大增加。
	生产清洁剂	主要成分是C9~C13烷烃和环烷烃,环烷烃可以溶解HIPS。
	蒸发器粘贴不良,导致空泡、局部温度不均匀。	蒸发器压贴不良,可能会引起内胆与蒸发器之间有孔洞,孔洞积聚发泡气体会腐蚀内胆。
结构设计	双面胶残留溶剂	存在双面胶残留溶剂腐蚀内胆致裂的可能,还需要作进一步对比测试才能最终确认。
	内胆拉伸比过大	箱胆拉伸比小于1,不存在拉伸比过大导致应力集中问题。制冷时整个胆的收缩变形量会比较大。
	存在几何突变部位	箱胆背部不存在几何突变,故可排除之。



进行22小时50℃的高温冲击，依次进行温度交替。内胆开裂对比试验，共经过4个周期的高低冲击实验，并在每个周期结束时进行检查、记录。

从表2所示的实验结果可以看出，经过4个周期的高低冲击，原结构不论是否涂橄榄油都出现了裂纹，尤其是涂橄榄油的原结构更是在第2个周期并出现了裂纹，且随着持续的高低冲击过程，裂纹逐渐的扩展，最后甚至形成了贯穿整个箱后背部的大裂纹。而相比较开槽结构，则不管是否涂油，都未发生开裂现象。由以上试验支持可以确定对铝板进行结构优化以降低内胆热应力的举措是有效的。

对3台使用开槽结构蒸发器的冰箱进行耗电量检测，从表3的检测结果可以看出，使用开槽结构蒸发器的冰箱，在抑制内胆开裂的同时，也符合能耗的要求。

本文对解决大容量单门冰箱内胆开裂进行了蒸发器结构优化，核心思想便是通过减小蒸发器铝板结构刚度以减小内胆热应力，因此，除了如上文所示的一种结构优化形式（图4A）外，还可以有多种形式均可起到类似效果，如图4B、C、D所示。在实际运用中，要综合考虑各种结构的工艺可操作性、成本变化及现场装配等问题。

#### 4 总结

导致冰箱内胆开裂的原因是多方面的，如材料性能、成型工艺、化学侵蚀、结构设计等因素。对于大容量单门冰箱，通过对箱体的应力分析，我们目前是从蒸发器结构优化入手，以达到彻底解决内胆开裂问题的目的。

表2 高低温冲击试验对比结果

序号	实验方案	1个周期后	2个周期后	3个周期后	4个周期后
1	原结构	无开裂	无开裂	无开裂	有轻微开裂
2	原结构+橄榄油	无开裂	开裂	开裂	开裂
3	开槽结构	无开裂	无开裂	无开裂	无开裂
4	开槽结构+橄榄油	无开裂	无开裂	无开裂	无开裂

表3 蒸发器开槽的箱体耗电量测试报告

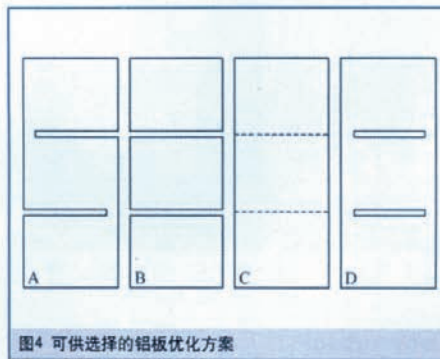
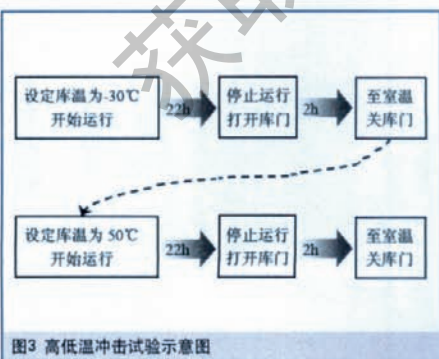
标准值	实测值			结论
E1 (kW·h/24h)	0.449	0.474	0.418	合格
冷藏室: tm1 < 5℃	4.2	4.5	4.9	
工作系数: R1 (%)	22.1	21.4	20.3	
温控器点数: Cn1 冷藏: +2℃ ~ +8℃	4℃	4℃	4℃	
E2 (kW·h/24h)	0.435	0.463	0.435	
冷藏室: tm2 > 5℃	6.1	5.2	6	
工作系数: R2 (%)	19.4	20.3	19.4	
温控器点数: Cn2 冷藏: +2℃ ~ +8℃	6℃	5℃	5℃	
当 tm = 5℃ 时的能耗 (kW·h/24h)	0.443	0.446	0.42	
耗电量测试时, 当各间室温度达到特征温度时, 温控器点数不能低于中间点数。	不适用	不适用	不适用	
实测值不应超过额定值 0.49kW·h/24h 的 1.03% 即耗电量值应 < 0.505kW·h/24h。	0.443	0.446	0.42	

应力的产生与板式蒸发器结构有关，所以我们尝试对蒸发器结构进行改造，以减小内胆上的机械应力。通过有限元分析，对内胆的应力分布有了更直观的了解，对优化内胆与蒸发器结构、松弛内胆热应力、降低内胆开裂几率等方面具有重要的作用。

#### 3 实验验证

通过初步问题排查与有限元分析，我们选取了在蒸发器铝板上开槽的方案，即在铝板上蒸发铝管间隔处开槽设计，以降低蒸发器的纵向结构刚度，起到松弛内胆热应力的目的，开槽结构如图2所示。

为验证新结构对抑制内胆开裂的作用，我们将装有开槽结构蒸发器的箱体和使用原蒸发器的箱体进行高低温冲击对比试验，并在对比箱体内胆的背面上涂上橄榄油以加大化学腐蚀。图3所示了高低温冲击试验的流程，低温冲击部分包含22小时-30℃的温度环境，然后打开库门进行2小时自然恢复到室温，之后



#### 参考文献

- [1] 刘万青, 郭玉坤, 张群香, 袁灵光. 电冰箱内胆材料开裂原因及解决方案. 《家电科技》, 2000, 7: 59.
- [2] 李. 电冰箱制造过程中内胆开裂现象的研究. 《家用电器科技》, 2002, 7: 68-67.
- [3] Roel Vossen. Optimizing performance and Minimizing Costs in Refrigerator/Freezer Liners. Appliance, 2010, 67.
- [4] 孔冬, 许锦潮, 姚小虎, 郭别, 游飞越. 有限元法在冰箱箱体设计中的应用. 《家电科技》, 2011, 6: 25-28.
- [5] 许锦潮, 孔冬, 姚小虎, 游飞越. 冰箱箱体制冷状态下的有限元分析. 顺德职业技术学报, 2011, 3: 7-9.