

# 冰箱制冷系统铜铝管的连接方法

山东大学材料科学与工程学院(济南市 250061) 赵越 邹增大  
青岛建筑工程学院(266032) 王岩

**摘要** 介绍了国内外冰箱制造行业在制冷管路系统中铜铝管连接时所采用的电阻焊、爆炸焊、摩擦焊、储能焊、钎焊以及洛克环密封、热溶胶密封等各种方法,对这些工艺方法和成本进行综合分析和比较,认为钎焊、电阻焊是比较理想的铜铝管连接方法。

**关键词:** 铜铝管连接 钎焊 电阻焊 爆炸焊

## JOINING METHOD OF Al-Cu TUBE FOR REFRIGERATING SYSTEM OF REFRIGERATOR

School of Material Science and Engineering, Shandong University      Zhao Yue, Zou Zengda  
Qingdao Institute of Architecture and Engineering      Wang Yan

**Abstract** The joining methods adopted for Al-Cu tube of refrigerating system of refrigerator including resistance welding, explosive welding, friction welding, stored energy welding, brazing, LUOKE loop seal and hot sol seal at home and abroad are summarized in this paper. Through the comprehensive analysis and comparison of every technique and its cost, it can be found that brazing and resistance welding are the two relatively perfect joining techniques for Al-Cu tube.

**Key words:** joining for Al-Cu tube    brazing    resistance welding    explosive welding

### 0 前 言

冰箱制冷管路系统是由蒸发器、除露管、冷凝器、毛细管、干燥过滤器和压缩机组成,系统对导热要求最高,必须由导热性能良好的材料构成,紫铜具有良好的导电、导热及耐蚀性,因此,以前国内外冰箱行业都是采用紫铜管作为制冷管路系统的材料,但随着冰箱等制冷产品的日益普及,合理选材、降低产品售价已是这一行业所面临的共同问题。寻找一种性能相近、价格较低的材料代替铜是冰箱生产中不应忽视的重要问题。从导热性能分析,铝可以取代铜。这种替代不仅可以明显地降低制冷设备的制造成本,而且不降低冰箱性能。因此近年来,国内外冰箱管路系统中的蒸发器采用铝管制造已成趋势。但铜管在一些制冷管路构件中仍是不可替代的,如干燥过滤器、毛细管、压缩机三管等,还是要采用

铜管制作,这样在制冷管路又有铝管又有铜管,必然带来铜铝管连接问题。本文重点对冰箱制冷系统铜铝管连接的国内外研究进行讨论。

### 1 国内外冰箱制冷管路系统铜铝管连接方法

#### 1.1 接头的质量要求

为防止冰箱运行过程中因管路系统堵塞而损坏,必须控制系统内颗粒状杂质、矿物油和氯离子含量,为防止损坏压机阀门,管路加工时内壁不能有易脱落的毛刺和飞溅物。与其它管路系统相比,制冷管路通过的是制冷剂,冰箱制冷剂渗漏 10%就可导致冰箱不制冷,密封要求相当高,当采用氦质谱检漏仪对管路系统接点进行致密性检查时,仪表显示漏量 $\leq 0.5$  g/年为合格,接头要达到整机寿命 12 年的要求。

#### 1.2 国内现状

目前国内冰箱制冷管路系统铜铝管连接应用较为普遍的是以下几种方法。

(1)摩擦焊 采用对接接头,在蒸发器中的应用方法如图 1,接头管壁的剖面如图 2。工艺要求被焊铜铝管的壁厚大于 1.25 mm,由于采用了对接接头,致密性不易保证,摩擦焊工艺中的顶锻压力在铜铝接头的内外表面挤出飞溅物,因此焊后还要求对管路内外壁进行加工清理。经过从部件到组装的产品上的多道检验发现其渗漏比例大约在 0.5%左右。

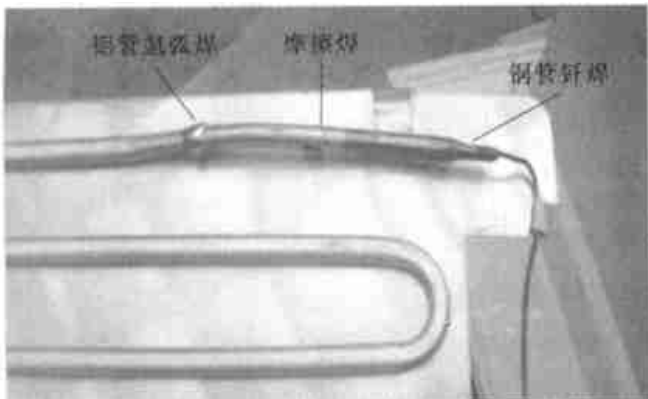


图 1 铜铝管摩擦焊接头应用

(2)储能焊 采用对接接头,虽从工艺上对最小壁厚没有要求,但某些厂家采用超薄壁厚,以期降低成本,这样会带来批量焊漏问题。储能焊工艺中的顶锻压力在铜铝接头的内外表面挤出飞溅物,因此焊后也要求对管路内外壁进行清理。经过从部件到产品的多道检验发现其渗漏比例高于摩擦焊,且比较容易产生虚焊,储能焊接头在蒸发器中的应用方法和接头剖面与摩擦焊相似。

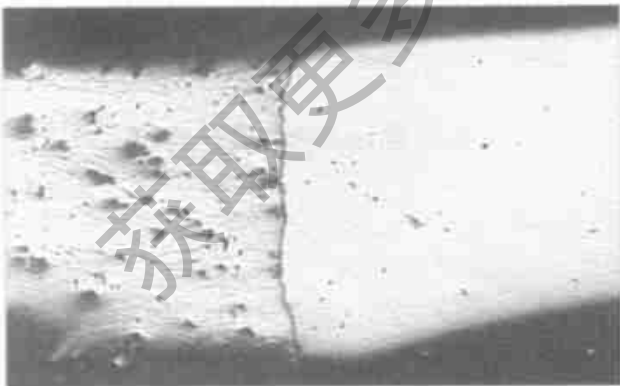


图 2 接头管壁的剖面图 40×

(3)洛克环密封 插接接头见图 3。其工艺为:将洛克环套到铜管上,将铜管插到铝管中,在插管管口加以甲基丙烯酸酯为基本成分的密封液 1~2 滴,然后用专用设备将洛克环套在接头上,使套接的铝外管受压产

生弹性变形,与内部的铜管紧密接触防止渗漏,密封面上如果有划伤或微隙等缺陷,靠密封液堵漏,漏率在 0.5%左右。该工艺方法的成本较高,连接后接头不允许扳动,洛克环密封液固化温度偏高,固化时间偏长,其接头连接质量不高。但其优点是可以在冰箱总装线上使用。



图 3 洛克环接头应用

### 1.3 国外冰箱制冷系统铜铝管连接方法

(1)爆炸焊方法连接 连接接头应用方式见图 4,因爆炸焊瞬间完成(2 500 m/s),爆炸热来不及传递到金属材料上,所以是纯粹的冷压焊,其特征是压接面呈细波状(图 5)。该方法生产的接头密封长度达 20 mm,漏率在  $3.7 \times 10^{-6}$  以下。是漏率最低的连接方法,但加工工艺复杂,需要有铝-铝接头。



图 4 爆炸焊接头应用

(2)电阻焊方法连接 接头连接方式如图 6 所示,插接接头,接头密封面长度达到 8~10 mm(图 7),漏率在  $5 \times 10^{-4}$  以下,质量远优于储能焊、摩擦焊和洛克环密封。由于管路内部不受顶锻力的影响,洁净程度高,不需清理,铝管长度不受限制,对比图 1、图 4 和图 6 可以发现,电阻焊连接的管路系统中没有铝-铝焊点。这种工艺目前国内只在少数大企业如海尔冰箱中使用,但

设备投资高, 生产效率低, 制约了它的大范围应用。

法在总装线生产冰箱的铜铝管接头。

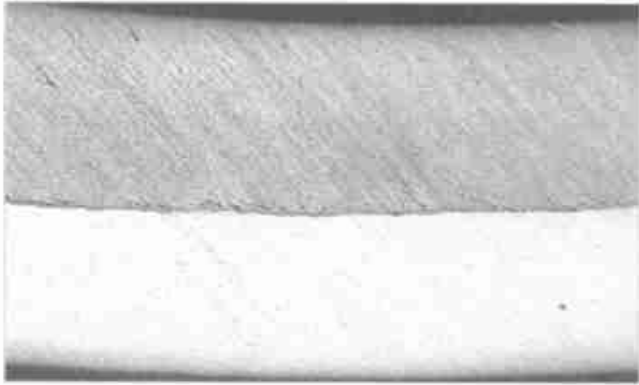


图 5 爆炸焊接头剖面 40×

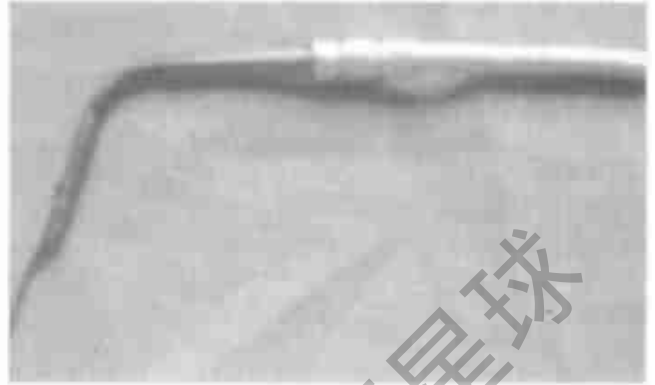


图 8 热溶胶密封接头

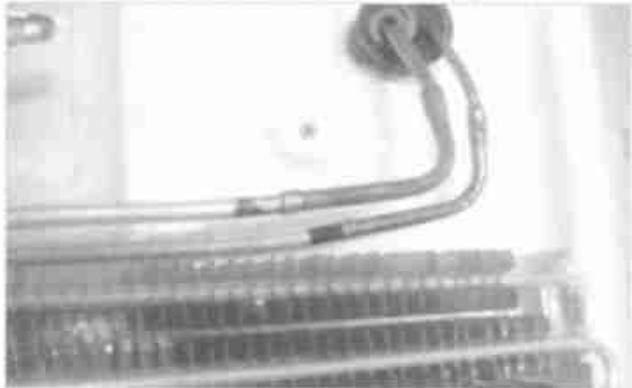


图 6 电阻焊接头应用



图 9 热溶胶密封接头剖面 100×

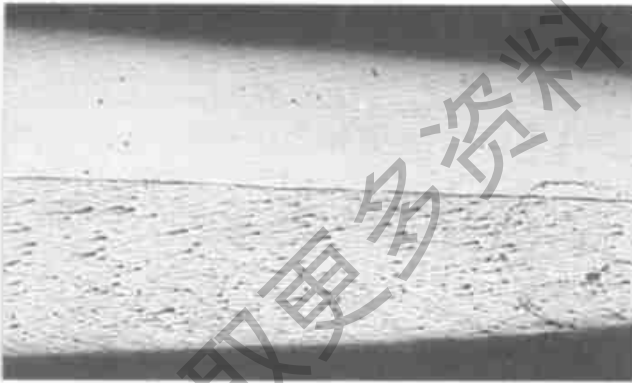


图 7 电阻焊接头剖面 40×



图 10 钎焊接头剖面图 100×

(3)热溶胶密封 采用密封胶密封, 在密封面上增加了两道缩紧来保证密封效果(图 8~图 9)。

(4)钎焊 插接接头, 可在线生产, 采用以 Al(OH)<sub>3</sub>、HF 和 KOH 为原材料的 NOCOLOK 钎剂钎焊。其接头剖面见图 10, 接头形式见图 11。其接头结构复杂, 加工难度较大, 在实际应用中限制了其大量应用。但钎焊方法成本低, 设备简单, 如果选择合适的加热方法和钎料, 操作将十分方便。钎焊连接的接头漏率在  $5 \times 10^{-4}$  以内, 国内如海尔冰箱部分采用了铜铝钎焊方

#### 1.4 各种方法比较

目前国内冰箱行业铜铝管连接的主要方法是摩擦焊、储能焊和洛克环连接等。这些方法均存在易虚焊、漏率偏高的问题, 特别目前采用的摩擦焊和储能焊必须先在生产厂生产, 采用过渡铜铝接头的接头内部还需要专门的清理, 导致成本增加。正是因为必须采用过渡接头, 使得制冷管路系统中增加了铝—铝和铜—铜两个焊点(图 1), 这不仅增加了制冷部件的制造成本, 而且更增加了系统渗漏的隐患。洛克环连接尽管不需要

过渡接头,可以在线使用,但可靠性不高,设备和材料成本也明显高于钎焊。爆炸焊和电阻焊接头的质量明显高于上述方法,但其设备投资大,工艺复杂,生产效率低。综上所述,冰箱制冷管路铜铝管连接从方便应用、高质量、低成本来综合考虑,如采用过渡接头以电阻焊最佳。如在冰箱总装线上连接时,钎焊工艺应是最佳选择。

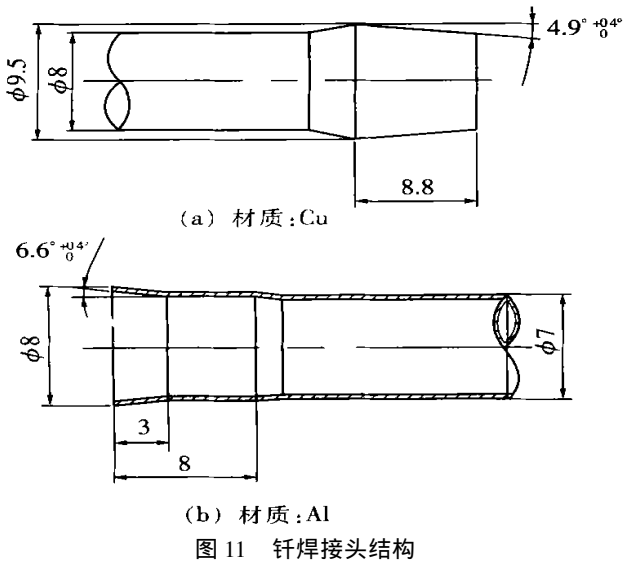


图 11 钎焊接头结构

## 2 冰箱制冷管路系统铜铝接头的钎焊方法

钎焊具有工件变形小,设备简单,操作方便,可以在总装现场进行等优点,因此,开展铜铝钎焊接头性能研究有着重要的理论意义和实际价值。

而铝与铜的连接属于异种金属的连接,由于两者存在较大的物理及化学性能上的差异,所以给钎焊带来很大的困难。首先铝的熔点比铜的熔点低  $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,热容量及熔化潜热大,熔化时所需的热量比铜多;铜铝直接钎焊时必须使用腐蚀性强的钎剂去除铝的氧化膜,钎剂残渣吸潮后形成电解液,构成强烈的腐蚀剂;另外铜铝原子扩散较快,容易在接头中形成低熔点的脆性  $\text{Al}-\text{CuAl}_2$  共晶(熔点为  $548\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),使接头强度较低,限制了铜和铝之间的钎焊性,导致加工困难。国外资料介绍需要专门的技术避免脆性,脆性是影响铜铝钎焊应用的主要障碍。由上分析实现铜铝直接钎焊难度较大。国外冰箱生产中使用铜铝钎焊的产品很少见,目前主要是以爆炸焊和电阻焊过渡接头的连接较为普遍。

对国内铜铝钎焊的研究,有报道使用铝硅系钎料、锌铝系钎料、锌锡系、锌镉系钎料。国内学者认为, $\text{Zn}-40\text{Sn}-2\text{Cu}$  及  $\text{Zn}-55\text{Sn}-2.5\text{Al}-2.5\text{Ag}$  钎料与铝反应钎剂匹配可取得钎焊  $\text{Al}-\text{Cu}$  接头较为理想的结果,在钎料中添加微量的稀土元素可提高  $\text{Al}-\text{Cu}$  钎焊接头的

强度和抗腐蚀性,但是没有提及使用反应性钎剂所产生的气孔问题以及解决办法。有些学者早在几年前提出, $\text{Zn}-\text{Al}-\text{Cu}$  钎料的铺展性、拉伸强度以及火焰钎焊后的接头强度、抗腐蚀性均比  $\text{Zn}-\text{Sn}-\text{Cu}$  好,是一种用于铜铝钎焊较好的软钎料; $\text{Zn}-\text{Al}-\text{Si}$  的电阻系数、拉伸强度及火焰钎焊后的接头强度也较好,是一种用于铝铜钎焊较好的硬钎料,适用于腐蚀性不强的铜铝钎焊接头; $\text{Zn}-\text{Al}-\text{Cu}$  火焰钎焊的接头钎缝的组织成分中含有一定量的富锌铝铜金属间化合物,但由于其过渡层较宽,认为对性能影响不大;而  $\text{Zn}-\text{Al}-\text{Si}$  火焰钎焊接头的组织中,含有较多的铝铜金属间化合物,并且过渡层较窄,对接头性能影响较大。但上述研究成果尚未在国内冰箱生产中得到应用,笔者以实际应用为最终目的,对采用锌基钎料对冰箱制冷管路系统的铜铝接头连接进行了研究,并对锌基系钎料接头进行了抗腐蚀实验。结果表明,锌基系钎料连接铜铝管其钎焊接头的耐腐蚀性能达到冰箱设计寿命。

## 3 结 论

- (1) 冰箱制冷管路系统中,以铝管部分代替铜管是冰箱中材料选择中的重要研究问题之一。
- (2) 国外铜铝管连接主要采用电阻焊、爆炸焊、热溶胶密封法和钎焊,加工成本较高,其中电阻焊应用前景较好。
- (3) 国内广泛使用摩擦焊、储能焊和洛克环连接等方法,这些连接方法中均存在渗漏高的问题。
- (4) 研究冰箱制冷管路系统中铜铝管钎焊方法,既可以满足在总装线直接钎焊铜铝接头的生产要求,又能降低成本提高质量,是应用前景广阔的连接方法。

## 参 考 文 献

- 1 American Welding Society. Brazing Handbook, Fourth Edition, 1991.
- 2 美国金属学会. 金属手册 第九版(第六卷). 北京: 机械工业出版社, 1994: 1 252~1 254
- 3 孙德超. 铜铝接头钎焊研究. 焊接技术, 2002, 31(2)
- 4 苏文英. 铝-铜火焰钎焊材料研究. 北京工业大学学报, 1994, 12(4)
- 5 杨瑞鹏. 铝铜直接钎焊的研究. 焊接技术, 1999, 28(5)

(收稿日期 2003 06 06)

作者简介: 赵 越, 1960年生, 在读研究生, 高级工程师, 现就职于青岛海尔股份有限公司。