

# DR 检测技术在空调零部件焊接领域的应用

冯韶楠,苗立亚,孙刚,尹亮亮,张杰

(格力电器(石家庄)有限公司,石家庄 050000)

**摘要:** 主要采用数字射线(DR)检测技术对空调各焊接零部件进行了检测。检测结果表明,采用 DR 检测技术可实现对空调各部件的有效检测,特别是针对截面变化较大的黄铜和紫铜异种材料焊接部件,可实现焊缝质量的准确判断;相较于之前人工解剖的破坏性检测方法,采用 DR 检测技术降低了员工的劳动强度避免了成本浪费,极大地提高了生产效率且保证了产品质量。

**关键词:** 数字射线检测;火焰钎焊;无损检测;空调构件

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号:1000-6656(2020)02-0032-03

## Application of digital radiographic testing of welds in air conditioning parts

FENG Shaonan, MIAO Liya, SUN Gang, YIN Liangliang, ZHANG Jie

(Gree Electric (Shijiazhuang) Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China)

**Abstract:** This paper mainly uses digital radiographic testing technology to test the welding parts of air conditioners. The test results show that the DR detection technology can effectively detect the various components of the air conditioner, especially for the welded parts of brass and copper dissimilar materials with large cross-section changes, which can achieve clear and accurate judgment of weld quality; Compared to the destructive detection method of artificial dissection, the nondestructive testing technology not only reduces the labor intensity of employees, but also avoids cost waste. At the same time, the introduction of this technology greatly improves the production efficiency and ensures the product quality.

**Key words:** digital radiographic testing; flame brazing; nondestructive testing; air conditioning component

随着经济社会的发展,消费者对产品质量的要求越来越高。蒸发器、冷凝器及节流装置作为空调的核心部件,在空调正常运转过程中起着重要作用。而焊接<sup>[1]</sup>作为连接这些部件的最有效方式,其质量对空调的使用性能至关重要。目前空调零部件的焊后缺陷主要有:焊堵、焊瘤、气孔、未熔合、蚀穿、熔深不足等;其中焊瘤、蚀穿及未熔合均可通过外观识别检出,但焊堵、气孔及熔深不足等缺陷不易识别且难以检出。同时现阶段的破坏性解剖抽检,不仅劳动强度大,检测成本高,并且难以准确检测焊接质量,因此引入无损检测技术具有重要意义。

数字射线检测技术(Digital radiographic testing,

DR)为可获得数字化图像的射线检测技术<sup>[2-4]</sup>,可在不破坏构件的前提下对焊缝缺陷进行准确、高效地识别,相较于原有破坏性解剖手段,该技术具有独特的优势,能有效保障空调零部件的焊后质量。

## 1 数字射线检测技术原理与试件制备

### 1.1 基本原理

数字射线检测基本原理如图 1 所示,检测时射线源释放 X 射线,射线穿过被检测的工件后携带有工件内部的组成信息,并被平板探测器接收,探测器

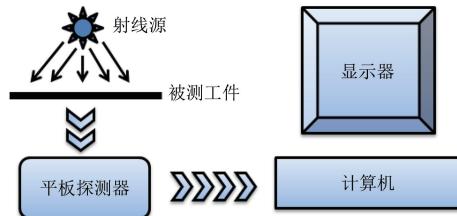


图 1 数字射线检测原理示意

收稿日期:2019-07-14

作者简介:冯韶楠(1991—),男,硕士,助理工程师,主要从事火焰钎焊及无损探伤相关工艺研究

通信作者:冯韶楠,fshaonan@163.com

将所接收到的 X 射线光子转换为数字信号, 数字信号再被计算机接收后转换为数字图像, 最终在显示器上显示出来, 根据所显示的图像可判断出工件内部是否存在缺陷以及存在缺陷的信息。

## 1.2 DR 检测系统组成

DR 检测系统主要由成像部分和控制部分组成, 成像部分主要有 X 射线机和平板探测器, 如图 2 所示; 控制部分则由成像软件和计算机工作站组成。



(a) 便携式 X 射线机



(b) 非晶硅平板探测器

图 2 成像部分的主要部件

采用 ICM 的便携式 X 射线机(型号 IXS160BP400)进行试验, 其主要参数为: 最大管电压 160 kV, 焦点尺寸为  $0.8 \text{ mm} \times 0.7 \text{ mm}$ ; 其中平板探测器采用奕瑞 Eart0505XN 平板探测器, 平板类型为非晶硅, 像素尺寸为  $85 \mu\text{m}$ , 外观尺寸(长  $\times$  宽  $\times$  高)为  $186 \text{ mm} \times 183 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ , 成像区尺寸(长  $\times$  宽)为  $13 \text{ cm} \times 13 \text{ cm}$ , 使用温度为  $-10 \sim 50^\circ\text{C}$ , 质量约为 2 kg。

## 1.3 试件制备与检测参数

焊接件主要材料为 TP2 紫铜及黄铜, 焊接方式为火焰钎焊, 采用中性焰内外焰往复摆动式加热焊接<sup>[5]</sup>, 焊接过程中根据施焊材料的物理特性合理选择钎料和钎剂。试件为随机选取试样与预制缺陷试样, 随机选取试样均为外观检测合格(无明显焊接缺陷)试样。检测试件的规格(直径  $\times$  壁厚)分别为  $5 \text{ mm} \times 0.23 \text{ mm}$ ,  $7 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ ,  $8 \text{ mm} \times 0.65 \text{ mm}$ ,  $9 \text{ mm} \times 0.71 \text{ mm}$ ,  $12 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ ; 试验中的检测参数如下: 电压,  $150 \text{ kV}$ ; 电流,  $0.4 \text{ mA}$ ; 积分时间,  $10 \sim 15 \text{ s}$ ; 焦距,  $80 \sim 90 \text{ cm}$ 。

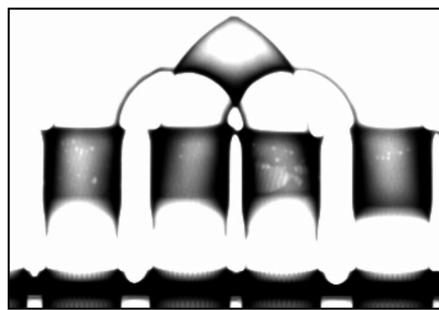
## 2 试验结果分析

主要对空调制造过程中涉及焊接的构件进行检

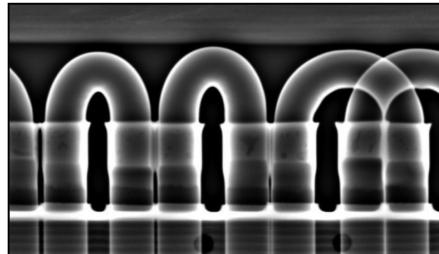
测分析, 这些构件包括换热器组件、集气管管接头、过滤器和四通阀组件等, 分别从焊接缺陷检测分析、装配间隙及接头熔深三个方面进行检测分析。

### 2.1 焊接缺陷分析

图 3 所示为换热器组件焊后的检测结果。从图 3(a)中可以看出小弯头接头部位缺陷明显, 焊缝中存在大面积焊料未填充现象, 该情况与前期使用清洁度较低的弯头进行焊接时的结果一致, 同时表明焊件表面清洁度对焊接质量存在重要影响; 图 3(b)为软件强化后的缺陷对比图, 可以看出通过增强图像对比度可实现对缺陷的准确识别。为了验证检测结果, 对检测弯头进行解剖, 结果如图 4 所示, 可见弯头焊缝处存在大面积焊料未填充现象, 焊料沿螺纹管进行润湿铺展, 与检测结果一致。



(a) 检测原图



(b) 软件处理后图像

图 3 换热器组件的检测结果



图 4 缺陷件解剖示意

### 2.2 装配间隙检测结果分析

图 5 为单向阀两侧毛细管及配管焊接接头的检测结果。单向阀管端为压制成型件, 配合毛细管凸台实现定位, 焊接过程中毛细管会因弯制应

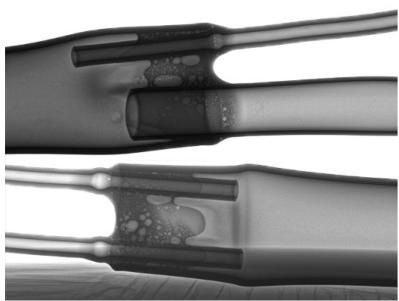


图 5 单向阀检测结果

力发生回弹而致使配管装配不到位。从图 5 中可看出:单向阀两侧焊缝存在明显的气孔缺陷,并且毛细管及配管装配、配合状态可有效识别;毛细管装配长度大于焊缝,可避免使用中杂质沉积堵塞毛细管而影响空调整机的使用性能,即配管长度及间隙可有效满足使用要求。

管接头为带螺纹黄铜构件,与紫铜管焊接形成固定接头。其结构特点决定了焊缝较厚(3~4 mm),而与配管存在较大的厚度差,并且两种材料的物理性质差异会使得检测过程中存在显著的边蚀效应,严重影响构件的检测分析。

图 6 为采用辅助工装后的检测结果,可以看出焊缝熔深满足工艺要求,焊接质量良好,但管接头与铜管之间的配合存在一定的间隙。

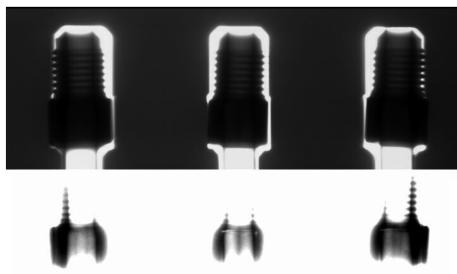


图 6 管接头检测结果

### 2.3 熔深检测结果分析

图 7 为过滤器的检测结果,从图中可以看出,过滤器内部滤网结构清晰,同时对焊缝部分图像

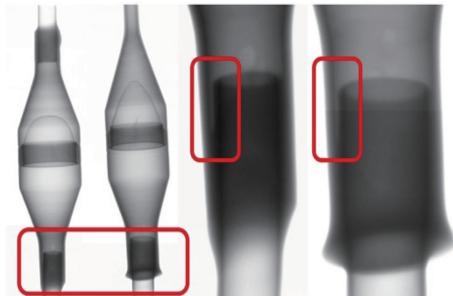


图 7 过滤器检测结果

进行放大处理后可看出焊缝左侧存在一定程度的焊料不足,但经测量分析焊缝熔深满足公司的质量要求。

检测前,为了检测管接头类构件的焊接熔深质量,可以通过减少焊料添加量制备试件。

管接头试件的检测结果如图 8 所示,可见,由于钎料添加不足,焊缝存在显著的熔深不足缺陷;如图 8(a)所示,与样件制备过程中焊料添加不足相吻合,右侧焊缝存在显著熔深不足。为进一步验证检测结果,将样件旋转 180°再次进行检测,结果如图 8(b)所示,在左侧焊缝发现了缺陷且缺陷形状与图 8(a)所示的一致,经分析软件测量,缺陷尺寸为 2.63 mm,不满足质量要求。

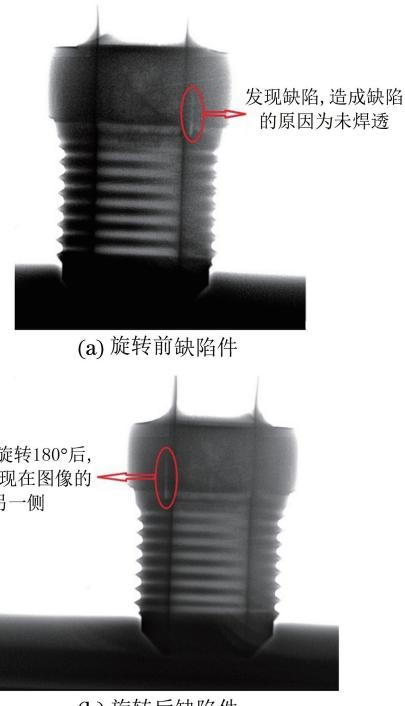


图 8 管接头熔深检测结果

### 3 结论

(1) 对于空调管路系统焊接构件,通过射线检测技术可实现对焊缝缺陷、构件装配间隙及焊缝熔深的可视化检测。

(2) 针对空调换热器构件,采用数字射线检测技术可实现弯头焊接质量的准确识别,并且通过分析软件的优化,可实现焊缝缺陷的准确化表征。

(3) 相较于破坏性检测手段,数字射线检测技术的应用在降低检测成本的同时,可明显提高焊接质量的检测分析效率。

(下转第 51 页)

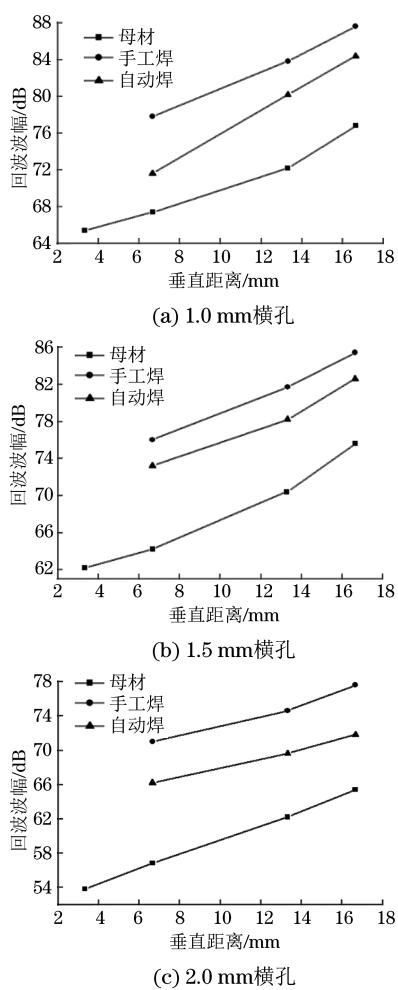


图 3 不同直径横孔的距离-波幅曲线

状晶比较粗大并且具有各向异性, 增大了超声波在焊缝中的衰减, 焊缝的检测灵敏度降低; 而母材为正火态, 组织均匀, 衰减小。试验结果表明了检测定量结果修正的必要性。

(2) 不同的焊接工艺对焊接接头透声性能的影响不同。手工焊的焊缝横孔回波增益要比自动焊中的增益大。两种焊接工艺都采用多层或多道焊, 焊接过程中部分区域会出现二次热循环, 二次热循环部位的晶粒会生长而变得粗大。手工电弧焊二次热循环区域较大, 晶粒也就更粗大。这一试验结果与SMAW的焊缝树枝晶明显大于FCAW的焊缝树

(上接第 34 页)

#### 参考文献:

- [1] 邹家生, 韩逸生. 钎焊技术在家用空调器制造中的应用[J]. 暖通空调, 2001, 31(2):81.
- [2] 韩焱. 射线数字成像检测技术[J]. 无损检测, 2003, 25(9):468-471.

枝晶的金相分析结果一致。

#### 3 结论

研究了焊接工艺对 9Ni 钢焊缝超声传播特性的影响, 比较了焊缝与母材中声传播性能的差异, 得到以下结论。

(1) 母材与焊接接头对比, 焊缝接头对超声波的衰减比母材中的衰减要大得多, 因此焊接对超声传播特性的影响比较大, 会降低检测灵敏度。

(2) 自动焊和手工焊的焊缝组织受焊接工艺参数的影响, 包括热输入值、焊接速度、焊道焊层数等, 超声波在不同焊接工艺焊缝中的衰减程度不一样。按文中所述的焊接工艺条件, 手工焊焊接接头中的超声波衰减要大一些, 增益补偿也随之增大, 需要的检测灵敏度比自动焊需要的灵敏度高。

(3) 试验结果给 9Ni 钢焊缝缺陷超声检测的定量修正提供了方法与依据。实际检测中, 用 9Ni 钢母材制作对比试块, 并按标准规定制作反射体的距离-波幅曲线进行评定, 焊接缺陷定量修正时可利用相应焊接工艺的曲线。当然, 每一种焊接工艺要有自己的修正曲线。

#### 参考文献:

- [1] 赵中龄, 崔建英, 李明, 等. 9Ni 钢大型球罐焊缝的超声波探伤[J]. 北方交通大学学报, 1997, 21(4):476-480.
- [2] 车成武. 9Ni 钢球罐对接焊缝超声波探伤试验[J]. 机械工程师, 1997(4):39-41.
- [3] 李衍, 薛飞展. 9%Ni 钢焊缝超声 TOFD 法探伤中小波变换信号处理法的应用介绍[J]. 无损探伤, 2005, 29(1):5-8.
- [4] 孟根巴根, 林光文, 马成勇, 等. 焊接方法对 9Ni 钢焊接接头组织及低温韧性的影响[J]. 热加工工艺, 2009, 38(15):8-10.
- [5] 黄宗仁, 董岱林, 冯琳娜. 核电厂主管道手工焊与自动焊工艺对比分析 [J]. 电焊机, 2015, 45(11):107-111.
- [6] 李亚江, 王娟, 刘鹏. 低合金钢焊接及工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社工业装备与信息工程出版中心, 2003:143-159.
- [3] 郑世才. 数字射线检测技术基本理论[J]. 无损探伤, 2011, 35(5):4-9.
- [4] 黄文大, 郭伟灿, 强天鹏, 等. 胶片射线检测与数字射线检测的焊接缺陷检出能力比较[J]. 无损检测, 2015, 37(9):30-34.
- [5] 温筠. 空调器中钢管焊接分析[J]. 制冷与空调, 2013, 13(1):63-66.