

# 过载保护器发热件制备工艺优化研究

施庆生

(广州森宝电器股份有限公司)

**摘要：**发热件是过载保护器的核心零部件，通常由电热丝、电热丝端子板、触点端子板采用电阻焊的方式连接而成，由于受焊接材质、焊接参数、焊接件结构等因素影响，焊接件常出现虚焊、扭力不足等异常。针对上述问题，研究不同焊接参数、不同焊接件结构对焊接质量的影响。实验结果表明，通过增加端子板表面积的方式可大幅度提升焊接质量，以触点端子板点焊扭力测试为例，平均扭力由 1.4 kgf 提升至 4.4 kgf，有效提升了发热件制备的工艺水平。

**关键词：**发热件；扭力；端子板；电阻焊

## 0 引言

过载保护器是保护制冷压缩机在异常工况下安全稳定运行的重要电子器件，常规过载保护器通常由保护器盖、双金属片、发热件、调节螺丝、接线线及保护器盒等零部件组成<sup>[1-2]</sup>。

发热件作为过载保护器的核心零部件，其工作原理：当回路电流过大或制冷压缩机壳温度过高时，引起发热件温度升高。当温度升高到一定程度时，双金属片会动作，断开电路，实现保护制冷压缩机安全运行的目的<sup>[3]</sup>。

常规的发热件主要由电热丝、电热丝端子板、触点端子板组成，电热丝与端子的常规连接方式包含端子压接、锡焊、超声波焊接以及电阻焊等。电阻焊因其焊接效率高、质量好、成本低廉、无需金属填充物、自动化程度高等优点得到了广泛应用，目前已在航空航天、家电制造、汽车制造、石油化工等领域成功应用<sup>[4-5]</sup>。

电阻焊质量通常受到焊接材料、焊接电流、焊接时间、电极压力和配件结构的影响，在实际焊接过程中易出现虚焊、组件变形、扭力不足等缺陷，焊接质量直接影响着发热件的使用寿命，通过焊接工艺改进可有效提升电阻焊接组件的质量<sup>[6-8]</sup>。

## 1 电阻焊接原理及质量影响因素

### 1.1 电阻焊原理

电阻焊按照焊接方式的不同通常可以分为搭焊法和对接法，其中又以搭焊法最为常见，因电极外形不同又可以分为凸焊、缝焊和点焊。凸焊主要用于将切制的螺纹零件与冲压件进行连接；缝焊是指搭接接头并置于两滚轮电极之间，滚轮加压焊件并转动，形成一条连续焊缝；点焊是将配件搭接接头压在两电极之间，利用电阻热进行局部加热，熔化金属丝、端子表面，同时电极施加压力形成焊点的焊接方法，其电阻热量为：

$$W=I^2Rt \quad (1)$$

式中， $W$ 为焊接时局部产生的热量； $I$ 为焊接时通过焊接件两端的电流； $R$ 为焊接电阻，包括电热丝电阻及端子电阻； $t$ 为焊接时间。

焊接电流可以通过调节焊接机来调整，焊接电阻与焊接配件自身的材质、结构有关，焊接时间通过焊接机来控制。电阻焊原理如图1所示。

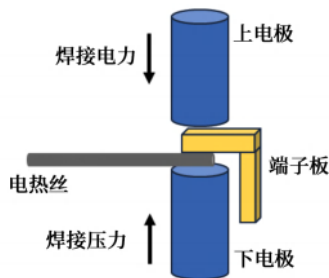


图1 电阻焊原理图

### 1.2 电阻焊质量影响因素

电阻焊的焊接质量受到多种因素的影响，主要包括焊接材料、焊接参数和焊接件结构等。

#### (1) 焊接材料

不同材质的焊接材料在电阻率、导电性、导热性等方面均有不同，采用相同焊接参数时焊接效果不同；焊接材料清洁度、平整度对焊接效果也有影响，如表面覆盖有脏污、焊接面有凸起或凹痕均会影响焊接效果，降低焊接质量。

#### (2) 焊接参数

焊接参数由焊接设备进行设定，主要包括预压时间、焊接电流、焊接压力、焊接时间、电极速度等。

一般情况下，预压时间过长会影响生产效率，预压时间过短，电极通电尚未施加压力，易产生飞溅现象；焊接热量与焊接时间、焊接电流均呈正相关，电流过大或时间过长易造成穿焊等异常，根据焊接件材质、结构的不同设定合理的焊接时间、焊接电流可一定程度提升焊接质量；焊接压力过大会降低焊接件电

阻，易导致穿焊现象，也不利于焊核金属成核，焊接压力过小焊接过程易出现飞溅，降低焊接质量。

#### (3) 焊接件结构

焊接件结构主要包括电热丝结构和端子板结构。电热丝面的形状，如圆形、平面型结构对焊接效果有影响；端子板宽度一定程度上决定了焊接时的接触面积，增大接触面积可提升焊接质量。

## 2 电热丝与端子板电阻焊工艺改进

### 2.1 焊接材料选择

本实验中过载保护器发热件是由大线径发热丝与窄端子板焊接组成，发热丝采用线径为 $\phi \geq 1.0\text{mm}$ 的铁铬铝电热丝，电热丝端子板为辛白铜材质，触点端子板为辛白铜材质表面镀银层。焊接后发热丝与端子板扭力值需 $T \geq 1.2\text{kg}$ 。

### 2.2 焊接设备主要参数优化

焊接设备参数通常包括预压时间、缓升时间、焊接电流、焊接时间、脉冲次数、冷却/维持/休止时间、焊接压力和电极速度等。不同参数的选择对于焊接质量具有不同影响，以 $\phi \geq 1.0\text{mm}$ 的铁铬铝电热丝与白铜材质端子板焊接为研究对象，采用正交试验的方式，得到一组最优参数。预压时间：8ms，焊接电流：50%，焊接时间：3ms，焊接压力：0.3Pa，在焊接设备上完成上述参数的设定，并进行点焊试验，扭力测试数据结果如表1所示。

表1 优化焊接参数扭力测试结果

样品	与触点端子板点焊扭力测试结果 (kgf)	与电热丝端子板点焊扭力测试结果 (kgf)
标准值	$\geq 1.2$	
1	1.2	1.2
2	1.0	1.3
3	1.3	1.1
4	1.2	1.4
5	0.8	1.2
平均值	1.1	1.2

如图 2 所示，对比扭力测试前后加热件外观，可发现电热丝与端子板的断开属于虚焊现象。通过外观对比和扭力测试结果表明，在确定电热丝、端子板材质、尺寸以及结构的情况下，通过调节参数来提升焊接质量的效果较差，无法满足实际生产需求。



图 2 优化焊接参数扭力测试前后外观对比

### 2.3 电热丝连接头形状优化

电热丝通常为圆柱形结构，本研究探索不同电热丝连接头（与端子板接触面）形状对焊接质量的影响，主要进行圆形连接头（原始形态）与平面型连接头焊接质量对比，不同形状连接头如图 3 所示。

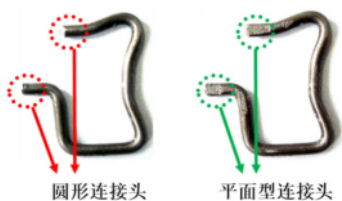


图 3 不同形状连接头外观对比

在焊接设备参数相同的情况下，分别采用圆形和平面型的铁铬铝电热丝与相同规格的端子板进行焊接，对比不同样品测扭力前后的外观情况，并进行扭力测试，具体外观及测试数据如图 4 和表 2 所示。



图 4 不同形状连接头扭力测试前后外观对比

表 2 优化连接头形状扭力测试结果

样品	平面型连接头		圆形连接头	
	与触点端子板点焊扭力测试结果 (kgf)	与电热丝端子板点焊扭力测试结果 (kgf)	与触点端子板点焊扭力测试结果 (kgf)	与电热丝端子板点焊扭力测试结果 (kgf)
标准值	≥1.2			
1	1.4	1.6	1.2	1.2
2	1.2	1.3	1.2	1.1
3	1.1	1.2	0.8	1.4
4	1.4	1.1	1.1	1.2
5	1.1	1.3	1.2	0.8
平均值	1.2	1.3	1.1	1.1

通过对比不同形状连接头扭力测试前后外观，可以清晰发现扭力测试前，两种连接头焊接效果基本相同，均为满焊；扭力测试后，圆形连接头电热丝与端子板完全脱离，平面型连接头电热丝与端子板属于半分半连的状态，平面型连接头焊接效果略好于圆形连接头焊接效果，其原因在于平面型连接头发热丝较圆形连接头发热丝与端子板接触的初始面积变大，增加了电热丝与端子板的接触面，在同等焊接电流、焊接时间和焊接压力下，提升了端子板与电热丝的融合效率，一定程度上提升了焊接质量。

通过扭力测试结果可知，采用平面型连接头电热丝与端子板焊接效果略好于圆形连接头电热丝与端子板焊接效果，扭力平均值符合标准值，但焊接后存在一定比例扭力不合格的发热件，焊接质量不够稳定，存在扭力值偏低的风险。

### 2.4 端子板表面积优化

通过电热丝连接头形状优化的实验结果可以得知，通过改变电热丝连接头形状的方式提升焊接接触面积，进而一定程度的提升焊接质量。本研究决定采用对比不同端子板表面积焊接效果的方式开展进一步的探索，上述实验中使用的辛白铜材质端子板尺寸为 4.0mm×2.8mm，新制备一款尺寸为 5.5mm×3.2mm 的端子板进行对比实验，两款端子板结构图如图 5 所示。

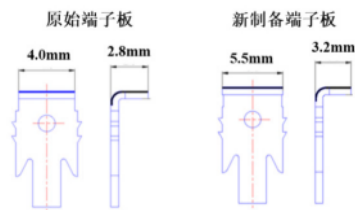


图5 不同表面积端子板结构图

在焊接设备参数相同的情况下，分别采用原始端子板和新制备端子板与相同规格的电热丝进行焊接，对比不同样品测扭力前后的外观情况，并进行扭力测试，具体外观及测试数据如图6和表3所示。



图6 不同表面积端子板扭力测试前后外观对比

表3 优化端子板表面积扭力测试结果

样品	原始端子板		新制备端子板	
	与触点端子板点焊扭力测试结果 (kgf)	与电热丝端子板点焊扭力测试结果 (kgf)	与触点端子板点焊扭力测试结果 (kgf)	与电热丝端子板点焊扭力测试结果 (kgf)
标准值	≥ 1.2			
1	4	4	1.5	1.6
2	6	6	2.1	1.8
3	4	6	1	1.2
4	4.2	4	1.4	1.5
5	3.9	3.9	1	1.4
平均值	4.4	4.8	1.4	1.5

通过对比不同表面积端子板扭力测试前后外观可知：扭力测试前，原始端子板焊接件电热丝面低于端子板平面，新制备端子板焊接件电热丝与端子板平面高度一致；扭力测试后，原始端子板与电热丝断开，新制备端子板虽然形状被扭弯，但电热丝仍没有与端子板分开。

通过扭力测试结果可知，采用表面积更大的新制备端子板进行焊接，大幅度提升了加热件的焊接质量，有效解决了虚焊、扭力不足的问题。

### 3 结束语

本文介绍电阻焊的基本原理及影响焊接质量的主要因素，包括焊接材质因素、焊接参数因素及焊接件结构因素等。重点研究不同焊接设备参数、不同形状电热丝连接头及不同表面积端子板对焊接质量的影响。通过实验对比，在固定焊接件组成的情况下，改变焊接参数对于提升焊接质量作用有限；改变焊接头形状可一定程度的提升焊接质量；增大端子板表面积可大幅度提升焊接质量，以与触点端子板点焊扭力测试为例，平均扭力由1.4kgf提升至4.4kgf，扭力提升214.3%，为提升焊接件质量提供了一种可行的工艺优化方法。

### 参考文献

- [1] 金华强. 制冷压缩机连续过载运行测试系统的研究与实现 [D]. 杭州：浙江工业大学，2009.
- [2] 邵英. 过载保护器对空调压缩机保护效果的实验分析 [J]. 家电科技，2010（9）：74-75.
- [3] 李廷勋，戚文端，姜丰. 压缩机跳停过程温度变化特性试验研究 [J]. 家用电器，2018（9）：76-79，92.
- [4] 蔡洋，张红兵，李桂军，等. 电线电阻焊接参考 [J]. 汽车电器，2022（8）：82-84，86.
- [5] 申洁. 电阻焊应用现状分析 [J]. 山西冶金，2021，44（5）：137-138，143.
- [6] 季洪成，顾廷权，王鲁，等. 电阻焊质量评估技术现状与展望 [J]. 机械设计与制造，2023（2）：

（下转第81页）

(上接第 68 页)

121-126.

[7] 王建勋. 电阻焊焊接质量影响因素分析 [J]. 技术与市场, 2017, 24 (4): 136, 138.

[8] 吴德成. 双金属带锯条精密电阻焊设备及焊接机理研究 [D]. 广州: 广东工业大学, 2019.

**(收稿日期: 2024-04-02)**