

doi: 10.7690/bgzdh.2020.05.022

装有易燃易爆药剂的封闭容腔高压充气焊接技术

苏增尚, 孙安昌, 李红梅, 魏娟, 张伟

(北方特种能源集团有限公司西安庆华公司工艺装备技术研究所, 西安 710025)

摘要: 为解决抛防弹做工时, 药剂燃烧不充分对飞机挂架产生污染的问题, 提出一种装有易燃易爆药剂的封闭容腔高压充气焊接技术。根据产品工艺需要, 结合被焊接产品的实际, 通过介绍电阻焊接原理和相关方法, 对充气方法、焊接方法以及焊接的强度和安全性进行分析和测试, 对高压自动焊接装置进行设计, 实现了自动化焊接。测试结果表明, 该技术操作简单、安全可靠、快速高效。

关键词: 封闭容腔; 高压充气系统; 自动化焊接; 焊接强度; 气密性检测

中图分类号: TJ450.5 **文献标志码:** A

Closed Cavity High Pressure Gas Welding with Inflammable and Explosive Agents

Su Zengshang, Sun Anchang, Li Hongmei, Wei Juan, Zhang Wei

(Institute of Process Equipment Technology, Xi'an Qinghua Company,
North Special Energy Group Co., Ltd., Xi'an 710025, China)

Abstract: To resolve the pollution problems of the aircraft pylon which is caused by the agents combustion insufficient when the throwing bomb working, we provide a closed cavity high pressure gas welding technology with flammable and explosive agents. According to the needs of the product process and the reality of the welded product, the resistance welding principle and the related methods are introduced and the inflation methods, welding methods and welding strength and safety are analyzed and tested. The high pressure automatic welding device is designed to realize automatic welding. The results show that the operation is simple, safe, reliable, fast and efficient.

Keywords: closed cavity; high pressure pneumatic system; automatic welding; welding strength; air-leakage test

0 引言

随着国防军工技术装备的不断发展, 对具有点火、传火、做功等功能的火工品也不断提出新的要求^[1]。洁净抛放弹即是在现有标准抛放弹的基础上开发的一种升级换代产品, 要求在保留抛防弹做功功能的基础上, 克服抛防弹做工时药剂燃烧不充分, 产生的残渣对飞机挂架产生污染的问题。为解决此问题, 科研人员做了大量实验, 最终采用给封闭容腔充入 7~15 MPa 的氩/氦混合气体来解决此问题。为解决这一工艺瓶颈, 对工艺装备研发提出了较高的要求。笔者对焊接方法、充气方法的安全性和焊接强度等进行研究和探索, 研制操作简单、安全可靠, 具有较高生产效率的自动化生产设备。

1 焊接方法

焊接工艺种类繁多, 各有特性。能用于火工品焊接的方法有气体保护焊、等离子焊接、激光焊接、摩擦焊、电阻焊等。如图 1 所示, 这些焊接方法中

能够满足其产品的焊接方法有摩擦焊和电阻焊。

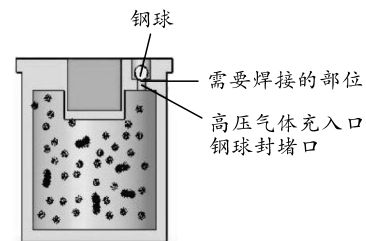


图 1 被加工产品

在摩擦焊接中, 焊件必须夹持在移动和旋转夹具中。文中的焊件基体为管件, 另一高压封口件为球形件, 要在充高压气的状态下将球形件封堵在管件的孔内。

电阻焊是将焊件组合后通过电极施加压力, 利用电流通过接头的接触面及邻近区域产生电阻热进行焊接的方法。电阻焊具有焊接安全、生产效率高、成本低、节省材料、易于自动化等特点。

比较以上 2 种焊接方法, 结合被焊接产品实际, 笔者选择电阻焊。其焊接原理和相关方法介绍如下。

收稿日期: 2019-12-28; 修回日期: 2020-01-20

作者简介: 苏增尚(1959—), 男, 陕西人, 大专, 工程师, 从事药剂制造, 火工品装配非标装备设计和制造, 调试及使用维护研究。E-mail: 1492429788@qq.com。

1.1 焊接部分连线

如图 2 所示，焊接的逆变电源输入交流 380 AVC，输出部分和焊接变压器相连，同时感应线缆连接着焊接电源和变压器，焊接时电流通过电流检测线圈套装在负极回路中，电压检测线缆连接在变压器次级线圈的输出端，电流检测和电压检测线的另外一端连接在 MM-370B 上；手持编程器 MA-627A 通过回线电缆连接于 IB-120B 的前端接口处。

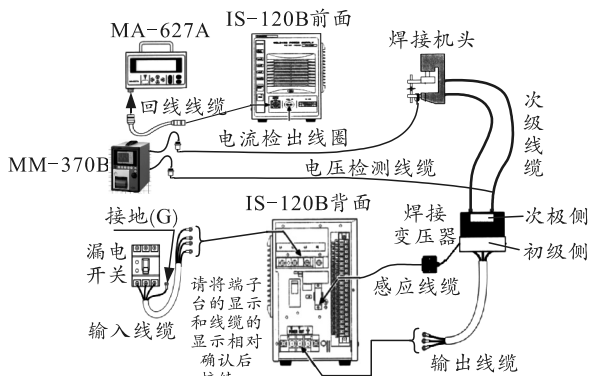


图 2 焊接部分连线

1.2 自动化控制系统

PLC 和 24 V 直流电源的输入电压都为 220 VAC，24 V 电源主要给触摸屏和输入输出信号提供电源，PLC 通过编程实现自动控制。

1.3 压力位移检测器 MU-100

如图 3 所示，MU-100 是连接焊接压力传感器和熔深位移传感器的检测器件。2 种传感器安装在焊接模具上，检测信号传输入 MU-100 进行处理。

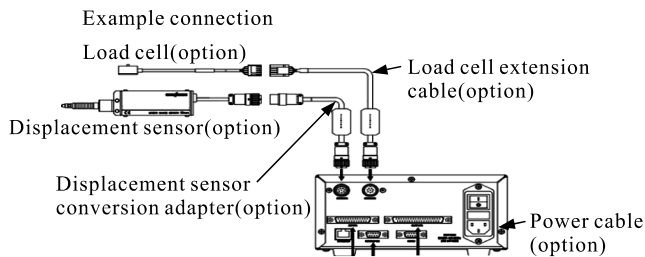


图 3 压力位移检测连线

1.4 工控机的连接

工控机由显示器和主机组成，工控机通过数据线和 MU-100、MM-370B 连接，采集焊接时的电压、电流、压力、熔深、焊接时间等信号。

2 充气方法

向产品的密闭腔体中进行充气有 2 种方法：一种方法是先充气后放钢球，另一种方法是先放钢球

后充气。

2.1 先充气后放钢球

常规充气方法是先充气后放钢球，然后焊接。如图 4 所示，这种方法是将产品定位机构、焊机负极、偏心找正机构、钢球输送机构安装在一个高压密封腔体中。密封腔体上开有一个门。打开门，将产品放入定位机构并找正，将焊接钢球放入钢球输送机构，关门。打开高压气充气，达到充气压力后，输送机构将钢球送入产品台阶孔内，焊机正极下移将钢球堵焊在充气口上。

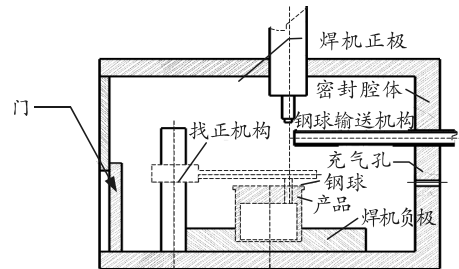


图 4 先充气后放钢球的结构

这种结构要求高压密封腔体较大(因为它不仅要产品、找正机构、送钢球机构放入密封腔体内，而且要满足找正时手动操作)，送钢球机构设计难度大；整套装置结构复杂，加工难度大，不容易实现；总体制造成本很高；要充入的氩/氦气体利用率很低(在腔体中的气体焊接完门打开后将排掉，若要回收氩/氦气体还需增加回收装置)，导致装置工作效率低。

2.2 先放钢球后充气

先放钢球后充气是将产品定位、焊接负极、放钢球等机构放在密封腔体外。如图 5 所示，充气腔体小而精巧，极大地减小了密封腔体的体积；同时焊接的工装结构简单；钢球在焊接前已放入需要焊接的位置，减少了结构设计和装置制造的复杂性，以及充气气体的浪费。

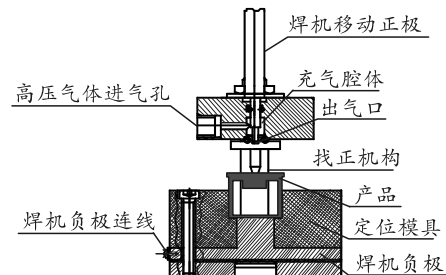


图 5 先放钢球后充气的结构

2.3 用实验和理论分析证明自由充气的可靠性

图 1 中，先放钢球后充气存在的最大问题是，

高压气体能否从钢球周围进入火工品的密闭腔体。

2.3.1 理论分析证明这种充气方式的可行性

如图 6 所示, 该火工品放钢球的台阶孔系钻削加工, 几何精度和表面粗糙度较低。钻削加工孔径的精度一般为 1T12-13 级, 表面粗糙度 $Ra12.5 \mu m^{[2]}$ 。从产品结构上看台阶孔过渡处无过渡斜面。而要满足金属钢球硬密封的条件应是: 1) 对孔的要求是: 密封孔的孔径精度应在 1T7 级以上; 孔口应有 45° 倒角与钢球形成密封环带; 密封环带的表面粗糙度 $Ra0.1 \sim 0.4$ 之间; 材质硬度应低于钢球的硬度。2) 对钢球的要求是: 钢球应有一定的硬度, 一般为 HRC38~45; 钢球的尺寸精度应在 1T7 级以上; 表面粗糙度应在 $Ra0.1 \sim 0.4$ 内; 钢球和通孔的直径之比为 1:0.6 到 1:0.8。

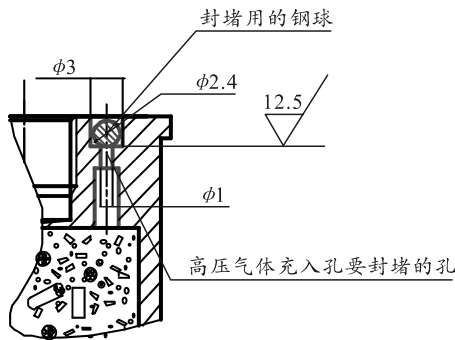


图 6 产品的局部放大图

由此可见, 本产品密闭腔体封口处和钢球连接处不可能硬封闭。所以放在台阶孔上的钢球和台阶孔之间存在缝隙, 这一缝隙宽度粗略计算大于 0.01 mm, 而气体分子的直径大概是 0.3 nm, 不是一个数量级的缝隙给气体分子提供了进出的通道。又根据

同一个容器中的气体压力平衡原理和文丘里原理可知: 高压气体会通过此缝隙迅速进入产品中, 直至产品内外压力平衡为止, 同时, 在腔内气体平衡过程中压差越大, 达到平衡的速度越快。为封闭腔内气体充气争取了时间。以上 2 点充分证明了这种充气方法的可行性^[3-4]。

2.3.2 自由充气实验证明这种充气方法的可行性

如图 7 所示, 把测试工装放入 0.4 MPa 气体的容器中, 2 s 气压表压力显示为 0.4 MPa, 气压表的显示说明高压气体通过钢球周边已经进入产品腔体中。这一充气测试装置充分说明了先放钢球再充气的可行性。

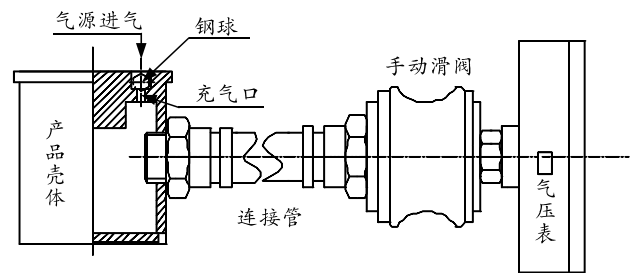


图 7 自由充气测试工装

3 焊接方法研究和测试

3.1 气密性测试

如图 4 所示, 取产品两发, 进行自由充气、焊接后, 在正常大气压下放置 48 h 后, 充气测试装置中的气压表几乎没有变化, 说明这种焊接几乎不漏气, 气密性可靠。同时这种火工品 5 发, 笔者对通过此焊接机焊接的产品样件充气 7.5 MPa, 并进行氦质谱检漏密封实验结果如表 1。

表 1 焊接火工品密封性测试

序号	质量/g	充气后质量/g	密封性	高温 70 °C, 48 h		高温后低温 -62 °C, 48 h	
				质量/g	密封性	质量/g	密封性
1	78.673	79.679 4	2.4×10^{-8}	79.679 9	1.0×10^{-8}	79.679 6	1.1×10^{-8}
2	78.597	79.545 1	2.4×10^{-8}	79.545 6	1.3×10^{-8}	79.545 0	1.6×10^{-8}
3	78.798	79.773 5	1.6×10^{-8}	79.773 5	1.2×10^{-8}	79.772 0	1.3×10^{-8}
4	78.761	79.757 1	2.4×10^{-8}	79.757 7	1.6×10^{-8}	79.755 5	1.2×10^{-8}
5	78.778	79.736 7	3.2×10^{-8}	79.736 8	1.1×10^{-8}	79.734 0	1.4×10^{-8}

通过测试可看出: 焊接后的气密性基本没有变化, 都在同一数量级内。说明焊接后的气密性良好, 满足产品的要求。

3.2 安全性实验

产品的密闭容腔中装有易燃易爆的药剂, 焊接的温升和焊接时产生的火花直接影响到产品的安全; 所以, 笔者进行了火花和焊接区域温度测试实验。取样件 4 件, 每次焊接都用高速摄影仪进行检

测, 均无飞溅火花。同时进行焊接区域温度测试。因焊接时间只有 50 ms, 在短时间内焊接区域始终测到的都是常温。说明此种焊接方法适宜此种火工品的焊接。

3.3 焊接强度的测试

密封腔体内密封的是高压气体, 所以焊接处的强度必须能够承受高压气体的压力。笔者取样件 11 发, 焊接强度实验如表 2 所示。金相分析如图 8—11。

表 2 焊接强度实验

编号	一次压力/N	保压时间/s	状态	二次压力/N	保压时间/s	状态
1	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移
2	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移
3	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移
5	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移
7	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移
8	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移
9	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移
10	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移
11	1 500	30	无位移	2 000	30	无位移

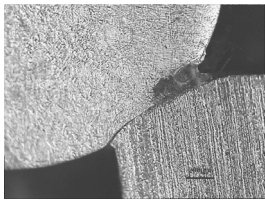


图 8 4# 50×-1 腐蚀后

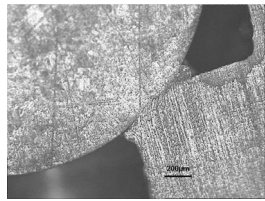


图 9 6# 50×-1 腐蚀后

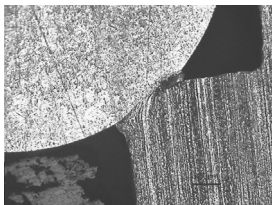


图 10 × 50×-1 腐蚀后

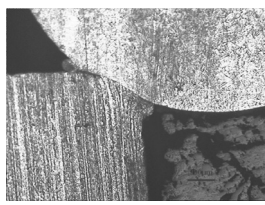


图 11 ×1 50×-2 腐蚀后

对比分析结果充分证明了焊接强度能满足产品技术要求，该焊接方法可行。

4 实现工艺加工过程的自动化

通过以上工艺研究，笔者确定了产品焊接工艺过程，设计了高压自动焊接装置，不仅能够实现这些焊接工艺过程，而且能实现自动化^[2]焊接，使得焊接过程更加安全可靠，提高了焊接时操作人员的劳动强度和安全性。整体设备结构如图 12。

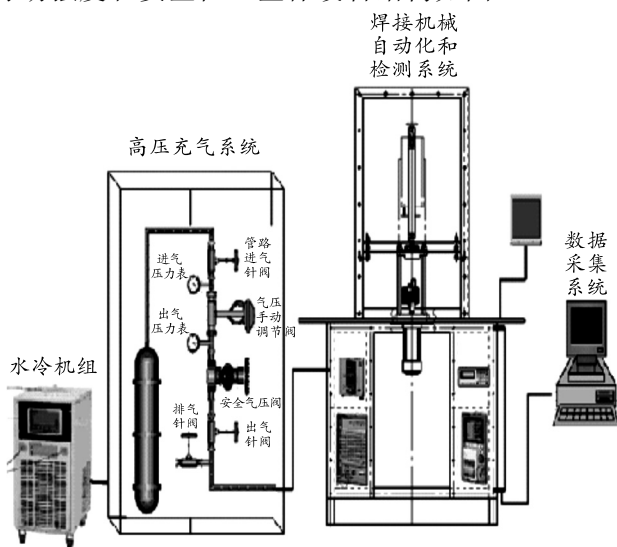


图 12 洁净抛放弹高压充气焊接装置

1) 工件夹持、高压充气、焊接等工艺过程实现自动化，使得产品在加工时安全、可靠，设备操作的人性化方面都有很大程度的改善和提高。打开防护门，将产品放入夹持模具中找正，充高压气体的孔口放入钢球，按下启动按钮，防护门自动关闭，高压充气阀打开启动充气，气压到达设定的气压值后延时 1 s；电阻焊机移动焊极下移压紧钢球进行焊接；焊接完成后移动焊极自动上升，夹紧气缸带产品下移；防护门打开，手动将成品取出。整个过程实现了自动控制^[5]。

2) 焊接时精确的熔深和熔焊温度的控制。采用 IS-120B 的大容量的点焊及热压焊接装置，同时使用 MM-370B 多功能检测仪和控制系统形成闭环控制，实时检测和调节焊接质量，确保焊接满足加工产品时所需要的焊接强度 160 ℃温度和无火花的要求。

3) 简易的菜单选择控制方式。整套设备的操作可以进行点动和自动运行 2 种方式。点动方式是在调试和维修设备时使用，其操作画面如图 13 所示。自动方式在产品正常焊接加工时使用，其监控画面如图 14 所示。能确保操作人员的安全和加工产品的可靠性。为了实现稳定的焊接品质，焊接控制器可以选择图 5 的方式：定电流有效值控制，定功率有效值控制，电流峰值控制，电压有效值控制，定位相控制等。控制器上设有菜单选择方式，能够简单地进行各种控制设定。

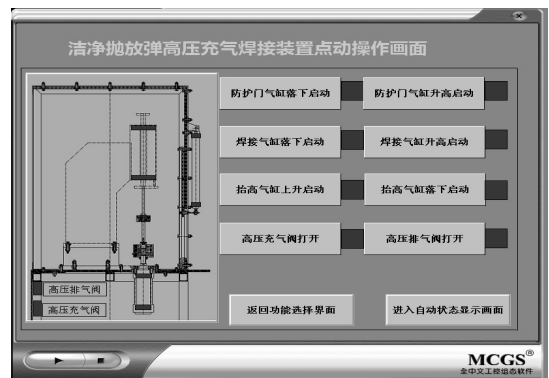


图 13 点动操作画面

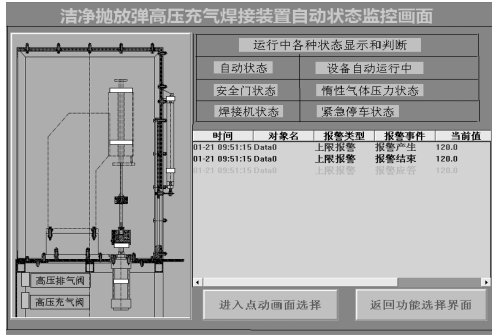


图 14 自动操作画面

4) 实时监控高压充气的过程与焊接自动化相结合。实时监控高压充气过程的画面如图 15 所示。

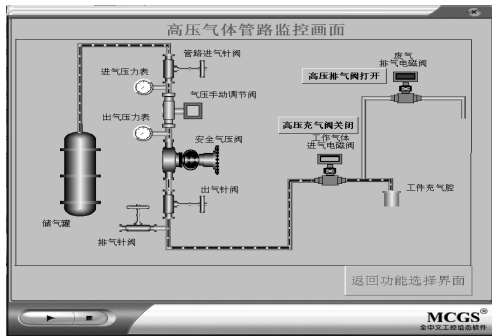


图 15 高压充气过程监控画面

5) 安全保障。热压焊接是瞬时大电流设备，保障安全是第一，所以焊接器上设有过电流检测功能、

无通电检测功能、温度异常检测功能和自我诊断功能等，确保焊接过程的安全性。

MM-370B 检测的电流信号、熔深的位移等反馈给焊接控制器，控制器计算和处理后的信号控制焊接，确保焊接时火工品的状态不发生变化。

5 结束语

笔者通过对装有易燃易爆药剂的封闭容腔内充入高压气体，并实现自动焊接的工艺进行研究，不但解决了洁净抛防弹高压充气焊接的工艺瓶颈，而且研制出了操作简单、安全可靠、快速高效的自动化生产设备。

参考文献:

[1] 玄立伟, 陈超波, 张彬彬, 等. 基于超级电容充放电的火工品启爆仪[J]. 兵工自动化, 2018, 37(6): 18-22.

[2] S7-200PLC 应用基础与实例[S]. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 1-5.

[3] 朱启明. 机械加工工艺手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996: 10-185.

[4] 蒋良荳, 刘濛, 王逸鸣. 创新设计在机械结构设计中的应用研究[J]. 兵工自动化, 2019, 38(7): 41-42.

[5] 杨吉林, 田晓丽, 乔茹斐, 等. 焊接钢质药筒力学特性分析研究[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(4): 61-66.

[6] *****

[46] 狄长安, 孔德仁, 王昌明, 等. 水下发射装置膛压测量方法探讨[J]. 仪器仪表学报, 2002(z1): 18-19.

[47] 王昌明, 沈勇, 赵治栋, 等. 水下枪械活动件运动分析[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2002, 26(02): 123-126.

[48] 鲁刚, 何云峰, 王昭, 等. 自动机运动模拟装置设计及试验分析[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2012, 36(5): 810-813.

[49] 陈静. 水下压力与速度测试研究[J]. 探测与控制学报, 2006, 28(2): 13-15.

(上接第 89 页)

[42] 章启成. 水下高速运动体运动特性分析与试验研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2011.

[43] 李涛. 基于大靶面光幕靶的数据采集与传输技术[D]. 太原: 中北大学, 2018.

[44] 陈静. 水下压力与速度测试研究[J]. 探测与控制学报, 2006, 28(2): 13-15.

[45] 张瑜, 张红艳, 祖静. 武器膛压测试系统传压管道的频率响应特性分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2012(4): 83-86.