

厚壁弓形铝导体焊接变形的控制方法

辽宁装备制造职业技术学院 (沈阳 110161) 王丽辉

【摘要】通过对弓形结构 16mm 厚壁 6063—T 铝导体的焊接试验,分析其产生焊接变形原因,制定出合理的焊接方法、工艺规范、施焊顺序及矫正方法。试验表明,采用脉冲 TIG 焊方法,配合正确的焊接工艺,可有效地解决类似导体的焊接变形问题,保证导体批量生产的质量。

一、概述

特高压 1100kV 输变电设备高压开关采用 $\phi 240\text{mm}$ 、壁厚 16mm 的 6063—T 铝合金作为导电体,受设备结构限制,该导体为弓形焊接结构。由于结构特殊,焊后易变形,所以厚壁铝合金管焊后矫正难度大。经过焊接试验,总结出对于类似结构的厚壁导体,采取不同位置适当调整坡口角度,先

另外,监造服务商在回复中也认为,超标缺陷不会影响设备使用性能和寿命。针对厂家的回复,我们再进行质疑,充分论证,使制造厂针对该缺陷升版和补充了厂内验收标准。

在此过程中,多次向有关专家进行咨询,买方内部召开了内部会议,跟踪缺陷处理和评估进展。制造厂一直回避面对面进行评估、沟通和论证。

2011 年 9 月,在积极协调和努力推动的前提下,由我们组织制造厂代表和相关专家在现场召开了特殊静叶堆焊缺陷专题评审会,形成了会议纪要。会议结论主要有以下几个方面:

(1) 制造厂的工艺未要求对堆焊层内部进行无损探伤检查。我们要求,制造厂在进行破坏评估时,也应考虑堆焊层内部各类缺陷的影响。

(2) 制造厂认为在采用不锈钢堆焊的情况下,不需考虑腐蚀的影响。我们要求,制造厂应进一步论证当前缺陷在湿蒸汽冲蚀情况下不会扩展。

焊接弓形背侧,在适当时采取焊前刚性固定,选择合适的工艺规范与施焊顺序等措施,可以有效地防止导体焊后变形,保证焊接质量,满足设计图样要求。

二、导体焊接性分析

6063—T 为 Al-Si 系列合金,其化学成分如表 1 所示,物理性能如表 2 所示。

(3) 制造厂在同类型机组设备制造中,都出现过同样的问题,处理结果都是照用。

(4) 当制造厂生产的同类型机组在运行中出现因汽封槽堆焊缺陷引起的问题时,应及时向我们反馈相关信息,提出处理方案并负责处理。

4. 结语

该缺陷在制造厂作了一些补充论证,提交补充论证材料后,经过评审,已同意认可该不符合项照用的处理意见。通过这一事件,使我们清楚地认识到在 AP1000 汽轮机特殊静叶汽封槽上出现堆焊缺陷问题的成因及影响,了解了处理问题的方法和措施。

但在后续机组相关的质量监督工作中,更应关注的是如何防止问题的产生。总之,只要工艺改进,改善并加工条件,再加上严格的监督和管理,我们相信一定能最终解决 AP1000 汽轮机特殊静叶汽封槽上的超标缺陷问题。MW (20120413)

表 1 6063 的化学成分 (质量分数) (%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr、Zn、Ti	其他杂质	Al
0.2 ~ 0.6	≤0.35	≤0.10	≤0.10	0.45 ~ 0.9	≤0.10	≤0.10	余量

表 2 6063 的物理性能

比热容 /J · (kg · K) ⁻¹	电导率 (%) I. A. C. S	热导率 /W · (m · K) ⁻¹	线膨胀系数 (20 ~ 100℃ 时) /10 ⁻⁶ · °C ⁻¹
860	55	220	23.4

由于 6063 合金比热容高, 电导率、热导率大, 焊接时热输入流失迅速, 接头不易熔化, 易产生未焊透, 所以为保证焊接质量, 必须采用大功率能量集中的热源。本文所述导体管壁厚 16mm, 结构特殊, 接头位置为带角度对接, 无止口固定, 焊后易变形, 不易矫正。

三、焊接工艺的初步确定

1. 焊接设备

采用松下 YC—500W4 交直流脉冲氩弧焊机。由于焊机具备脉冲功能, 可以有效地控制焊接热循环, 既能保证较大的热输入, 又可以较好地控制热影响范围, 从而减小焊接变形。

2. 焊材选择

经对上述 6063 材质焊接性分析, 焊材选择时既要降低裂纹气孔倾向, 保证焊缝及接头有良好的力学性能, 同时又要保证焊丝与母材同为 Al-Si 系列。经查资料, ER4043 焊丝为 AlSi—1 焊丝, 该焊丝液态流动性好, 形成焊缝金属塑韧性好, 能有效防止焊缝结晶裂纹, 抗热裂倾向强, 因此选择 ER4043 焊丝。

3. 初步焊接工艺方案

由于导体结构特殊 (见图 1), 焊后易产生变形, 所以初步决定采用铆装放样固定法, 即先将图中项①、②、③、④铆装, 焊接时先焊弓形导体的弓背侧, 后焊内侧, 焊后进行火焰加支撑矫正变形。

(1) 焊前准备 工件开坡口, 将导体碱洗后, 项①、②、③、④分别按图样要求打磨出 45° 坡口, 并将坡口位置用丙酮擦拭干净。

划线放样, 按图样 (见图 1) 要求将尺寸按 1:1 放样于铆装平台上, 经实测项①~④导体管实际直

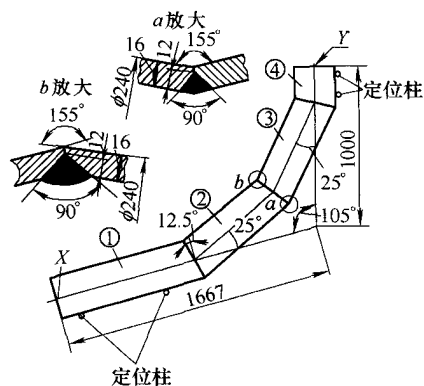


图 1 弓形导体结构

径为 241mm, 因此在项①、④中心线弓形外侧 120.5mm 位置划定位线; 为便于测量 105° 角度, 将①、④两轴线端点 X、Y 两点间距离 L_{XY} 进行计算。焊后只需检查 1667、1000 和 L_{XY} 的线性尺寸是否合格, 即可判定角度是否合格。

(2) 铆装定位焊 在项①、④弓形外侧定位线位置焊接 $\phi 40$ mm 的定位柱 4 个 (见图 1), 用来固定导体。铆装时先将项①、④与定位柱靠严, 以保证导体管直径公差部分均匀分布在中心线两侧, 再放置项②与③, 因有角度限制, 项②、③只能在划线位置。调整间隙后定位焊, 由于导体管端面角度机加工和手工打磨坡口均有一定公差, 两项公差积累造成铆装时局部有 2~6mm 不同程度的间隙, 而间隙过大容易造成焊接过程的变形。为减少变形量, 定位焊时, 间隙大的位置定位焊长度略大, 约为 60mm; 其余位置定位焊长度 30~40mm, 在管圆周方向共定位焊四点。

(3) 预热 由于导体管壁较厚, 铝热传导快, 为减缓焊后冷却速度, 防止急冷造成应力变形, 减少裂纹危险, 所以焊前应对工件采取人工氧乙炔焰预热, 对焊缝 50mm 范围内预热 200℃ 后再进行焊接, 以提高工件基础温度, 获得优质焊缝。

(4) 焊接参数与焊接顺序 经过试验确定焊接参数如表 3 所示, 焊接顺序如图 2 所示。按 C、A、B、

表 3 导体焊接参数

焊接层数	焊接电流 I/A	焊丝直径 /mm	焊接速度 /mm · min ⁻¹	氩气流量 /L · min ⁻¹	电源极性
1	380 ~ 400	5	65 ~ 80	20	交流
2	360 ~ 390	5	90 ~ 110	20	交流
3	350 ~ 380	5	120 ~ 130	20	交流

D、F、E 顺序焊接，以保证导体外侧刚性固定后，D、E、F 段收缩受限制，不易造成较大变形。

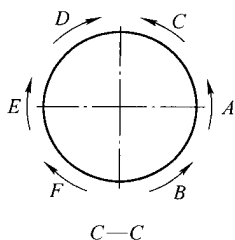


图2 结构图中 C-C 方向焊接顺序

注：图中箭头为焊接顺序。

(5) 焊接操作要点 焊接时焊枪与导体呈 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，并随焊接位置调整，因坡口增大，电弧需横向摆动，运动需均匀，并始终保持电弧长度 $3 \sim 5\text{mm}$ 不变，以免形成夹钨。焊接方向按如图2箭头所示方向，即由圆弧下侧向上运动。送丝时焊丝与焊件夹角 $\leq 15^{\circ}$ ，以保持氩气流的稳定性，焊丝不能进入弧柱区，以防钨极氧化，应靠弧柱周围火焰熔化。收弧时要将弧坑填满，以防产生弧坑裂纹和缩孔。

(6) 焊后检查 工件完全冷却后检查，焊道表面无气孔、裂纹，但划线检查图样上为 1667mm ，尺寸实测为 1655mm ，XY 间距离实测为 2144mm ，说明 105° 变小，工件不合格。

(7) 矫正 用火焰烘烤导体弓背侧（图2中 B-A-C）半圆周焊道，弓内侧加杆支撑进行矫正，矫正过程中由于导体受力过大，项③、④之间 E 段焊道出现裂纹。24h 后将支撑件撤除，测量 XY 间距尺寸实为 2146mm ，仍小 8mm 。经研究将 A 位置 100mm 长焊缝磨开，将支撑点固于项①、④两端，重新预热后再次施焊，并将 E 段裂纹处打磨补焊。冷却后测量 AB 间距离实为 2152mm ，图样上 1667mm 尺寸实测为 1664mm ，仍不合格。

四、焊接变形分析

(1) 焊接是以 C-A 顺序开始的，对于变形收缩最大的 E 段反变形控制效果不是最好的，按照对称施焊变形补偿的原则，A 段先焊接应更有利于控制 E 段焊接收缩。

(2) 项①~④单件端面本身有 12.5° 斜度，坡口均为 45° 时，E 段（见图 1b 放大）焊接时除将焊缝坡口填满外，还要将结构本身角度形成焊脚填满，

因此 E 段实际焊缝金属填充量比 A 段（见图 1a 放大）多，受热时间比 A 段长，焊后收缩量大，导致焊接结构变形。

(3) 焊前项①、④两端为自由状态，无刚性拘束，焊接过程自然变形导致 XY 间尺寸变小， 105° 变小。

五、焊接工艺确定

经上述分析后，将工艺做如下修改：

(1) 修改焊件坡口，A、B、C、D、F、E 坡口逐渐由 45° 过渡到 38° ，焊缝金属差额部分由结构角度补偿，以减少 A 侧与 E 侧焊道差。

(2) 调整焊接顺序，先焊 A 段，然后为 C-B，在弓形外侧的 A、B、C 三段焊接完成后，将导体自然冷却使其自由收缩，然后将项①、④两端用铝管定位点固并加支撑（见图3），形成刚性拘束，再焊接 D、F、E 段，待焊后自然冷却后拆除支撑。

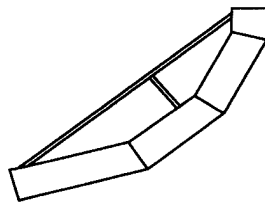


图3 导体支撑件位置

(3) 焊前预热温度、焊接参数、操作技术等与试验件一致。

按上述工艺方案焊接后检查，焊道表面无气孔、裂纹，划线后 1667mm 尺寸实测为 1666mm ，XY 段尺寸实测为 2153mm ， 1000mm 实测为 998mm 、 105° ，在公差范围内，符合图样要求，工件合格。

六、结语

(1) 材质为厚壁铝合金管的类似结构工件，焊后容易出现变形，焊后矫正效果不良，在制定焊接工艺时应更加注重预防焊接变形，而非焊后矫正。

(2) 上述工艺方案简单有效，在工件的坡口设计上进行了大胆尝试，配合焊接顺序的有效调整，对控制焊接变形效果明显，可以为类似结构件的焊接提供借鉴。

(3) 上述工艺已用于生产，并取得了良好效果。

MW (20120328)