



玉环-乐清500kV双回输电线路工程关键焊接技术

赵连桂 程文

【摘要】 通过合理的焊接工艺，有效地解决了球形节点焊接难度大、焊后变形大、尺寸精度难以保证的焊接难点。

浙江玉环-乐清500kV双回路输电线路工程起源于玉环电厂，终于乐清市变电站，普通线路长22km，乐清湾大跨越线路长6.48km。跨越塔为自立式钢管、球体相结合塔，塔身为全钢管结构，部分为钢管与球体相贯连接式结构。

1. 加工难点

主要难点在于球形节点的加工制造。球形节点构件定位及装配精度、焊接质量等对铁塔制造企业来说极具挑战性。

具体难点分析如下：

(1) 球体规格大、焊缝长 球体最大直径为1 700mm，最大厚度为24mm。其中最長焊缝（最大球赤道焊缝）为5 341mm。

(2) 结构复杂 球体内部纵肋、横肋交错，外壁大量相贯管节点、联板和加劲板等（见图1~图3）。

(3) 焊缝质量要求高，焊接工作量大 球体赤道焊缝为一级焊缝，节点相贯焊缝为二级焊缝。每个球形节点有一条赤道焊

缝（环焊缝），5~12条相贯焊缝和若干条角焊缝。

(4) 尺寸精度控制难度大 每个节点尺寸及角度均不相同，而管节点为刚性连接一旦出现角度或位置偏移，将会造成现场安装困难甚至无法实现安装等问题。

(5) 焊后热处理 球体加工时有大量焊接加工，在焊接处存在着应力集中，球体焊接完成后还需进行大量的节点钢管、联板和加劲板的焊接。因此在球体加工完成后需对球体进行热处理，以消除残余焊接应力。

2. 球形节点加工方案及工艺

球形节点的球体采用两个经冲压形成的半球，球内纵横加劲板装配焊接后，再将其扣合形成球体。管节点装配在专用装配胎具上完成，确保装配精度满足技术及后续加工要求。赤道焊缝（球对接环焊缝）采用自动熔化极气体保护焊(GMAW-ArA)进行打底焊接，采用自动埋弧(SAW)焊进行填充及盖面焊

接，其他焊缝采用半自动熔化极气体保护焊（GMAW-Ar）施焊。



图1 半圆球体



图2 球形节点



图3 试组装效果

球形节点焊接完毕后进行整体退火消应处理。热处理结束后再进行管节点、联板和加劲板的焊接。

3. 关键焊接技术

(1) 下料加工 球形节点加劲板采用数控火焰切割加工, 加工后必须将氧化物清理彻底。管节点采用等离子相贯切割线加工, 加工后用角磨机将坡口30mm范围内打磨至露出金属光泽。

(2) 坡口加工 厚度 $\leq 12\text{mm}$ 的加劲板: 加工单V形坡口, 坡口面角度为 $35^\circ \pm 5^\circ$, 钝边尺寸4mm。厚度 $>12\text{mm}$ 的加劲板: 加工K形坡口, 坡口面角度为 $35^\circ \pm 5^\circ$, 钝边尺寸4mm。管节点均加工单V形坡口, 坡口面角度 $45^\circ \pm 5^\circ$, 钝边尺寸1mm。

(3) 装配 装配顺序: ①先将球体(半球)内部加劲板与球体装配。②球体内部加劲板装配后先进行初步焊接, 焊接后将两半球及加强管装配并焊接。③装配管节点并焊接。④最后装配球体其他零部件。

装配质量: ①加劲板与球体应自然贴合, 不得强行装配, 且加劲板与球体面最大间隙 $\leq 2\text{mm}$ 。②球体赤道接缝

(两半球对接焊缝)装配间隙为2.0~3.0mm, 错边量控制在 $\leq 2.5\text{mm}$, 定位焊缝采用手工氩弧焊(GTAW)焊接, 定位焊缝长度25~40mm, 两定位焊缝间隔300~400mm/段, 且 ≥ 6 段, 定位焊缝质量须达到单面焊双面成形要求。③管节点与球体装配间隙1.5~2.5mm, 装配时采

用专用垫片(1.5mm垫片)来确保装配间隙。两定位焊缝间隔200~300mm/段, 且 ≥ 3 段; 定位焊缝质量须达到单面焊双面成形要求。

(4) 焊接 焊接顺序: ①焊接半球与内部加劲板角焊缝。②焊接赤道对接焊缝及加强管焊缝。③焊接管节点与球体焊缝。④焊接其余焊缝。

焊接方法: 赤道焊缝(两半球对接焊缝)的定位焊缝采用钨极氩弧焊(GTAW)施焊, 打底焊道采用自动熔化极富氩混合气体保护焊(GMAW-ArA)施焊, 填充及盖面焊道采用自动埋弧焊(SAW)进行施焊; 其他焊缝采用半自动熔化极富氩混合气体保护焊(GMAW-Ar)进行施焊。

焊接参数: 为确保焊接质量应采取中等焊接参数进行施焊, 气体保护焊热输入控制在15~25kJ范围内, 埋弧焊热输入控制在30kJ范围内, 层间温度控制在50~200℃内。

焊缝质量: 赤道焊缝须符合一级焊缝质量要求, 百分之百超声波检测; 管节点与球体焊缝须符合二级焊缝要求, 百分之百超声波检测; 其余焊缝应满足二级焊缝外观标准。

焊脚尺寸: 全熔透管节点焊缝焊脚尺寸为 $0.7t$ (较薄母材的0.7倍), 其他焊缝为 $1.0t$ (较薄母材的1.0倍)且 $\geq 6\text{mm}$ 。

(5) 焊接变形控制 管节点的尺寸精度及角度精度是球形节点结构焊接控制的重中之重。焊接时, 采取合格的定位焊缝, 分段对称施焊, 小参数施焊等措

施。具体控制措施如下:

第一, 严格按照要求, 确保定位焊缝质量满足熔透及强度要求。

第二, 焊接时, 根据定位焊缝将整圈焊缝分为4段焊缝进行对称施焊。

第三, 打底焊接要确保外部施焊内部完全熔透的效果(达到单面焊双面成形效果), 同时打底焊道厚度应控制在3mm范围内。

打底焊道焊接时, 采用较小的焊接参数进行施焊。

(6) 焊后热处理 球形节点焊接结束后, 进行整体炉中消应热处理, 以去除焊接残余应力。

热处理温度580~620℃, 加热速度应符合规范要求, 加热到400℃后, 加热速度应控制在200℃/h以内。保温时间1~1.5h, 冷却速度、加热速度应符合规范要求, 冷却到400℃后, 冷却速度应控制在250℃/h以内。

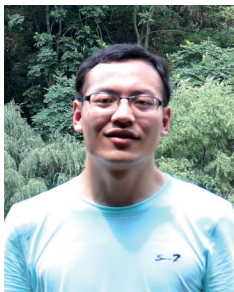
4. 检测

(1) 母材及焊材检测 球体、钢管及钢板按相关规定进行化学成分分析和力学性能试验, 焊材按照相关规定进行化学成分分析和力学性能试验。

(2) 焊缝质量检测 焊缝外观检测: 外观检测包括焊缝成形质量检测、焊脚尺寸检测、焊接缺陷检测等内容, 当发现裂纹缺陷或怀疑有裂纹缺陷时, 应采用磁粉探伤或渗透探伤进行确认。

焊缝内部质量检测: 一级、二级焊缝均采用超声波检测, 当超声波无法确定缺陷性质时应采用射线检测进行确认。

(3) 试组装检测 镀锌前进



小管径纵缝双面埋弧焊 工艺应用

张涛 贾义庚 王胜 陈苏文 卢华兴

【摘要】 引进小管径纵缝埋弧焊焊接工作站，研究开发外径750mm以下小管径纵缝双面埋弧焊焊接工艺，提高制管焊接效率，缩短海洋钢结构制作周期。

关键词： 纵缝；埋弧焊；焊接工艺评定

1. 概述

传统小管径纵缝焊接过程是下料时钢板预制坡口，通过卷板机完成卷制后坡口朝外，采用SMAW+FCAW-GS组合工艺完成纵缝的打底填充盖面焊接。焊接过程全部由手工焊接完成，机械化水平低，工作强度大，焊接质量不易保证。为改善焊接作业强

度，保证焊接质量，我公司引进小管径纵缝埋弧焊工作站，针对焊接站工作特点，开发适应性焊接工艺满足工程建设要求。

小管径纵缝埋弧焊工作站包括立柱（提升机构、配重部件）、横梁（齿条及驱动部件）、回转机构（手动或电动）、回转锁紧机构（手动或气

动）、台车（手动或电动）及小臂等部件（见图1）。工作站配备图2所示焊接控制箱，焊接时可以调节焊接电流、电弧电压、送丝速度，焊剂可以控制输送、停止、回收，此外焊接站配备焊缝激光跟踪系统，可以在显示面板实时观察焊接状态，利于跟踪焊缝质量。

行试组装检验，试组装合格后方可批量生产及进行镀锌防腐处理。

（4）镀锌检测 按施工图样要求对构件进行锌层厚度及附着力检测。

（5）最终检测 产品出厂前必须进行最终检测，以确保产品外观、尺寸及镀锌质量符合施工图样及工艺要求。

5. 取得成效

第一，球形节点赤道焊缝

（一级焊缝）一次超声波检测合格率98.57%。

第二，节点相贯焊缝（二级焊缝）一次超声波检测合格率95.25%。

第三，现场安装一次成功，构件返厂率为零。

第四，得到了业主项及同行业高度评价。

6. 结语

通过严格控制下料尺寸精度、装配尺寸及间隙精度，采用

先进的自动化焊接技术有效地解决了球形节点结构复杂，加工难度大，尺寸精度保障难度大等问题，圆满完成浙江玉环-乐清500kV双回输电示范工程大跨越工程加工供货任务，为今后类似结构加工奠定了坚实的基础。

作者简介：赵连桂，江苏翔宇电力装备制造有限公司；程文，潍坊长安铁塔股份有限公司。

MW 20160425