



凝汽器钛管与钛复合管板管口焊接探讨

李革宣 刘新红

【摘要】 针对用于发电机组的凝汽器中冷却方式是直流供水，海水冷却。其冷凝管材质是钛，管板是钛复合的管板，设计要求是密封焊加贴胀结构。由于公司首次焊接钛材料，为此在选择合理的焊接方法、确定正确的焊接工艺及焊接参数等方面进行了理论分析及工艺评定探讨。

关键词： 管口焊；管口自动钨极氩弧焊；焊接工艺；气体保护拖罩

1. 概述

凝汽器是凝汽式汽轮机的主要辅助设备，是汽轮机的重要组成部分。随着汽轮机单机功率的不断增加，凝汽器的尺寸及重量越来越大。图1为某公司2×16.5MW凝汽燃煤机组配套生产的N1350凝汽器，本设备与汽轮机相配套，是出口产品。

(1) 凝汽器简介 凝汽器分为单背压、单壳体、对分双流程、表面式几种类型；冷凝管材质：钛 $\phi 20\text{mm} \times 0.7/0.5\text{mm}$ ；管板材质/厚度：钛复合板(SA-516Gr70+TA2)/45+5mm；冷却方式：直流供水，海水冷却；凝汽器重量：凝汽器净重/33.25t，凝汽器运行重/48.35t；汽侧灌水试验时重量(水侧无水)/80t；凝汽器底部支座形式：弹性支座；凝汽器结构：如图1所示。

设计图样要求管子两端胀焊在管板上，以保证管板与管子连接严密，管口达15 000多个。根

据以上要求，该凝汽器使用的是钛管，钛材对氯化物、硫化物和氨具有较好的耐蚀性，耐冲击腐蚀性能也较强。直径为20mm的钛管，在主要冷却区及空冷区，采用0.5mm壁厚的钛管，顶部迎汽区采用0.7mm壁厚的厚壁钛管。

(2) 公司首次焊接钛材料，钛管与钛复合管板的管口焊要求很高，焊接难度很大，是特别不易焊接的材料。目前最好的办法是采用管口自动钨极氩弧焊，氩气的纯度要达到99.99%。这种方法具有国内先进水平，有创造性。但焊接设备要求高，投入大，配套件多，操作工要求高，要不断地改进保护设备，更

好地满足管口焊接质量要求，以达到使用性能。

2. 钛材的焊接性分析

(1) 钛材的焊接性 钛材的焊接接头易脆化，造成脆化的主要元素有氧、氮、氢、碳等，尽可能控制其含量，同时焊前应仔细清理焊件、焊材上的油污。

(2) 焊接接头的裂纹 冷裂纹倾向大，焊缝和热影响区因氧、氢、氮含量较多而使性能变脆，在常温下易形成裂纹。

(3) 焊缝气孔是常见的缺陷 O_2 、 N_2 、 H_2 、 CO_2 、 H_2O 能引起气孔，氢气是钛焊接中形成气孔的主要气体。

(4) 防止粗晶 钛的熔点

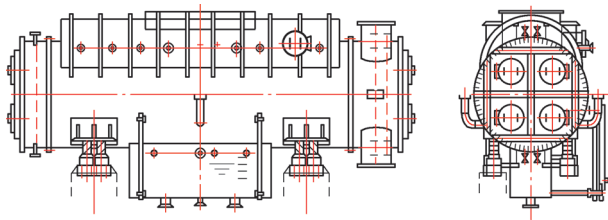


图1 凝汽器结构

高、热容量大、导热性差，焊接时易形成较大的熔池，且熔池的温度更高，晶粒有长大倾向，为此应严格控制热输入量，并且要减小热影响区。

在钨极氩弧焊时，氩气的纯度要达到99.99%，仅仅依靠喷嘴保护是不够的，还要辅以其他保护方式，否则会造成焊缝吸氢、吸氧、吸氮，从而导致焊缝塑性下降，脆化程度加重。

3. 钛管与钛复合管板管口自动焊工艺评定方案

鉴于以上原因及设计图样，要求凝汽器的钛管与钛复合管板连接严密，钛管、钛制管板的焊接保护很重要，要采取合适的保护方式，在300℃以上应保证其保护可靠。我们查阅了许多相关的钛材管口焊接资料，经多次焊接施焊试验，并进行充分比较分析，选择合理的管口自动焊工艺评定方案如下。

首先，主要内容包括：焊接接头型式；焊接参数；质量检验项目和标准。

其次，管口自动焊工艺评定方案详细内容如下：①焊接接头形式：角接头（见图2）。②管口自动钨极氩弧焊机：型号/电源EWA406+机头TP060。③焊接参数，如附表所示。④质量检测项目和标准。检测10个管口，对焊缝表面颜色检查达到要求，同时按照GB151—1999《钢制管壳式换热器》的附录B进行评定。

4. 钛管与钛复合管板管口自动焊过程

（1）焊前准备 ①焊接施工在室内，保持操作场地整洁，焊

接环境应在空气洁净、无尘、无烟的条件下进行。②施焊前，管口处用白绸布蘸浓度>95%的酒精或丙酮擦洗，不染色为合格。

③施焊前钛管与钛复合管板试件清理、装配、胀接。钛管装配顺序为清洗，穿管，清洗，胀接。穿管前还应严格清理管孔油污及水分。管子与管板装配图（见图3）：左边为P304-1，右边为P304-2。保证管子伸出管板长度为0.3~0.5mm。④选用并安装保护气体拖罩，在高于300℃时，保护良好。⑤焊工必须穿戴清洁工作服、白手套，使用保护良好的面罩等。⑥接通电源检查仪表，预定焊接参数，检查氩气质量是否符合要求。

（2）焊接 ①焊工严格按照焊接工艺设置焊接参数进行施焊，焊接过程中如果氩气的压力降至1MPa时应停止使用，以保证焊接接头质量。②焊接过程中机头局部如图4所示。③焊接时选用钨钨极电极（ $\phi 2.4\text{mm}$ ）。安装钨极时，钨极应处于焊枪喷嘴的中心位置，不得偏斜，原则上应采用小的焊接热输入，尽可

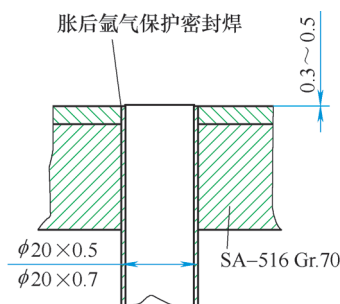


图2 钛管与钛复合管板接头

能减少焊件过热。钨极形状尺寸如图5所示。④控制好焊接参数（见附表）。

（3）起弧和收弧 位置按顺时针，从11点位置起弧，逆时针旋转焊接一周后在11点位置开始衰减，机头继续转动至9点位置收弧，整个过程均应氩气保护。然后从9点焊嘴返回到11点起弧位置，准备下个管口焊接。

（4）焊接顺序 由于钛在高于300℃以上时就容易吸收有害于焊缝质量的气体，故采用Z字



图3 管子与管板装配



(a) 焊接过程机头



(b) 焊接过程机头

图 4

焊接参数

T01: 3s	T02: 5s	I11: 90A	T11: 2s	I12: 130A	T12: 0.05s
I13: 56A	T13: 0.05s	N11: 366°	T14: 4s	I21: 350% ₀₀	Ar: 20~22L/min

注：T为时间，I为焊接电流，N为机头旋转角度，V为旋转线速度。

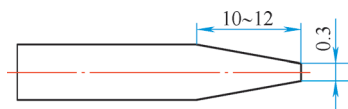


图5 钨极加工形状

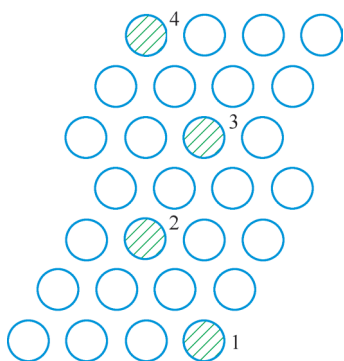


图6 Z字型焊接顺序

型跳焊法焊接顺序，使焊件温度不致于集中，如图6所示。

(5) 钨极伸出长度 钨极伸出气体保护罩（焊接气体保护罩）长度为9~10mm，同时采用气体保护拖罩进行二次保护。气体的流量为20~21L/min（不加丝状态）。

(6) 钨极位置的设置 焊接时钨极与管板的位置如图7所示。其中 a 为钨极伸出长度9~10mm， b 为钨极与管板间距离1.5~2mm， θ 为钨极与管板面角度 $38^\circ \sim 40^\circ$ 。

(7) 焊后效果 试件焊后如图8所示。焊后试件图8a为P304-1， $\phi 22\text{mm} \times 0.7\text{mm}$ ；图8b

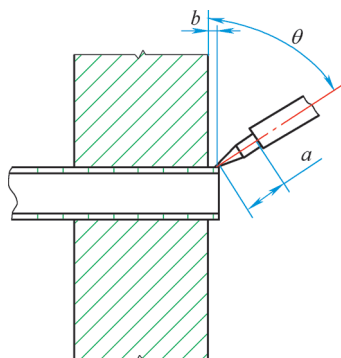


图7 钨极与管板位置

为P304-2， $\phi 22\text{mm} \times 0.7\text{mm}$ 。焊缝成形光滑，焊缝表面颜色为银白色和少量银黄色，结果焊缝表面颜色检查，全部合格。焊缝余高在0~0.5mm，焊缝宽度为2.5~4mm。

(8) 着色检测 试件焊后着色检测结果如图9所示。焊后着色试件图9a为P304-1，图9b为P304-2。对10个焊接接头进行着色检查，表面无气孔，无裂纹，全部合格。

(9) 金相检测 试件加工成试样后如图10所示，金相试样：图10a为P304-1，图10b为P304-2。沿评定用管中心线至少

切开两个焊接接头，对其中4个剖面的8个观察面进行检查。首先，对观察面用10倍放大镜进行宏观检查，应无裂纹、未熔合等缺陷；其次，所有受检查剖面角接接头的H值都不得小于管壁厚度的1.4倍。

5. 结语

(1) 钛管与钛复合管板间的焊接采用不加丝的钨极自动氩弧焊，并用气体保护拖罩进行二次保护。焊缝成形光滑美观，焊缝表面颜色为银白色和少量银黄色，焊缝检测各项均合格。焊后焊缝最高点距管端0~0.5mm，焊缝宽度为2.5~4.0mm。为避免

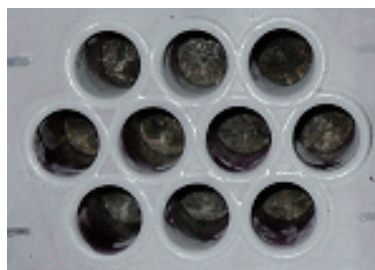


(a) 焊后试件P304-1



(b) 焊后试件P304-2

图 8



(a) 焊后着色试件P304-1

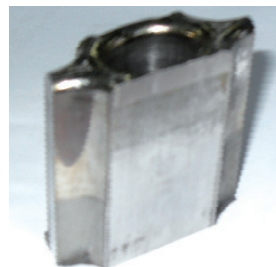


(b) 焊后着色试件P304-2

图 9



(a) 金相试样P304-1



(b) 金相试样P304-2

图 10



SB-407钢焊接操作技法

张国勇 李永红 范绍林

【摘要】 阳城国际发电有限公司一期6×350MW机组的高温过热器管排为美国福斯特·惠勒公司供货，材质为SB-407钢，属非铁基母材。当时由于该钢材在国内电站中属初次使用，为此公司组织焊接技术人员和焊工进行了大量的焊接性试验、最终完成了该钢种的工艺评定试验及焊工培训工作。

关键词： SB-407；焊接特点；焊接工艺

1. 概述

阳城国际发电有限公司一期6×350MW机组的高温过热器管排为美国福斯特·惠勒公司供货，材质为SB-407钢，属非铁基材

料。共有42排管片，每排管片由7根管子组成，共336道焊口。该钢材因在国内电站中较少使用，有关方面的资料介绍很少，故施工方只能靠自己探索、研究来寻

找最佳焊接方案。

2. 焊接特点

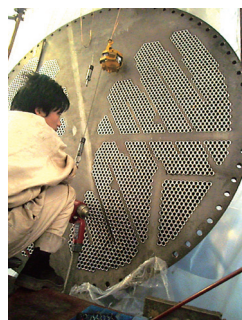
SB-407钢材焊接工艺评定所用的钢材和设备焊接试件均为由过热器厂家提供，所以工艺评

管壁向内口塌陷，严格按照焊接工艺及有关操作技术规程进行焊接。

(2) 采用钨极自动氩弧焊，使焊缝组织致密，密封性好，焊接时可操作性更强，将焊缝泄漏可能性降到了最低，具有良好的焊接工艺性能，大大减轻了焊工劳动强度，焊接管口达到15 000多个。焊接前，采用必要的防风遮挡等措施，焊接环境应空气洁净、无尘、无烟。产品焊接如图11所示，焊后能确保凝汽器管子与管板的焊接质量控制达到设计和使用要求，保证了出口产品的总体质量。



(a) 焊接工艺支架P11-1



(b) 焊接中管口P11-2

图 11

参考文献：

- [1] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册（第1-2卷 焊接方法及设备、材料焊接）[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

作者简介：李革宣，中建七局安装工程有限公司技术质量部；刘新红，东方电气河南电站辅机制造有限公司。

MW 20161123