

AP1000核电站铜管焊接技术分析

王轶

【摘要】通过对AP1000铜管钎焊过程中出现钎焊“焊不上”以及钎焊中产生裂纹的问题进行分析,提出解决措施,使焊缝质量最终满足设计要求。通过本文的分析总结,充分掌握铜钎焊的技术要点,为后续类似工程施工提供经验。

关键词: AP1000; 核电站; 铜管焊接

1. 概述

AP1000核电机组核岛单堆铜管焊口数约2900道,管道材质为纯铜ASTM B88 UNS-C12200,管件材质为黄铜ASTM B283 UNS-C37700,接头形式为嵌接,涉及的焊接方法有软钎焊、硬钎焊两种,常见铜管连接形式如图1所示。

为保证现场焊接质量的可靠性,根据AP1000核电管道技术规格书要求,对该类管件进行焊接试验。

2. 焊接工艺

AP1000核岛铜管钎焊采用火焰钎焊(TB),火焰钎焊是利用可燃气体与氧气混合燃烧产生

的热量进行钎焊。火焰钎焊工具简单,操作方便,非常适合在工程施工中使用。

AP1000核岛铜管连接方式为嵌接,铜管与管件或阀门嵌接时伸入长度 $\geq 20\text{mm}$ 。由于钎焊接头的承载能力与接头连接面大小有关,因此保证伸入长度、控制合理的间隙,是保证钎焊强度的重要条件。

3. 材料

(1) 母材 AP1000核岛铜管道材质为纯铜ASTM B88 UNS-C12200,管件材质为黄铜ASTM B283 UNS-C37700,其化学成分如表1~表2所示。铜管尺寸如表3所示。

(2) 焊材 铜管钎焊使用的焊材称为钎料,钎焊分为硬钎料、软钎料。硬钎料熔点一般在 450°C 以上,AP1000核电铜管焊接采用铜基硬钎料为主,硬钎料焊出的接头有较高的强度且耐高

温,可靠性强。

根据AP1000核电管道技术规格书要求,铜管硬钎焊钎料需使用BCuP系列,现场使用钎料为BCu91PAg,其化学成分如表4所

表1 铜管ASTM B88 UNS-C12200
化学成分

化学元素	(质量分数, %)
铜	99.9
磷	0.015~0.040

表2 管件ASTM B283 UNS-C37700
化学成分

化学元素	(质量分数, %)
铜	60
锌	38
铅	2

表3 铜管尺寸 (mm)

名义尺寸	外径	壁厚
76.2	79.4	2.3

表4 BCu91PAg化学成分
(质量分数) (%)

P	Ag	Cu	杂质总量
6.8~7.2	1.8~2.2	余量	0.005

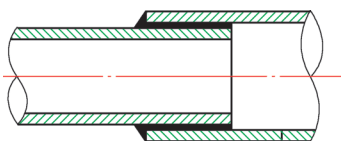


图1 典型铜管连接形式

示。

钎料表面应光洁，不应有影响钎焊性能的油污、夹杂物、起皮、分层和裂纹等缺陷。对于直径在0.8~2.0mm之间的焊丝，允许偏差为 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

4. 焊接过程中遇到的问题及解决措施

(1) 问题描述 焊工在进行3"铜管与管件钎焊的试焊过程中发现，钎焊过程钎料漫流性差、毛细作用不明显，液态钎料无法漫流进入管件中的间隙，同时管件部分位置被熔化。

焊工在中止焊接后，采用水冷方式对工件进行了冷却，冷却后发现黄铜管件上产生了大量裂纹，裂纹出现在热影响区，黄铜管件外壁有大量氧化痕迹。同时黄铜管件内壁存在钎料流失的现象，如图2所示。

(2) 原因分析 ①钎焊过程钎料漫流性差、毛细作用不明显，问题产生的原因是组对间隙过大，部分位置间隙达到约1mm。钎焊过程中液体钎料要沿着间隙去填满钎缝，这一作用称之为毛细作用，毛细作用的大小，决定钎料能否填满钎缝间隙。当接头有较小的间隙时，才可以得到良好的钎料流动与填充性能，通过多次试验，间隙一般控制在0.05~0.3mm。②黄铜管件



图2 黄铜管件钎焊问题

部分位置被熔化，问题产生的原因是钎焊温度过高，加热时间过长，焊工在钎焊过程中发现钎料流动性差无法进入间隙，因而对该处反复填丝加温，导致母材熔化。③裂纹产生的原因主要是黄铜、纯铜的热膨胀系数不同，导热系数不同，加热不均匀，加热过程及散热过程导致纯铜管、黄铜管件膨胀和收缩过程不同步，膨胀量、收缩量也不相同，易导致裂纹出现。

(3) 解决措施 ①钎焊前打磨母材，纯铜管打磨范围应略大于伸入长度，黄铜管件内壁及管件端面需打磨，磨除表面氧化层、油污、毛刺、杂质，打磨量不宜太大，确保间隙在0.3mm以内。②钎焊前检查钎料焊丝表面无氧化层、油污、毛刺、杂质，确保钎焊过程中钎料不会因表面杂物而影响流动性及毛细作用。③钎焊时，火焰应用中性焰，焰芯长度为30~40mm。④钎焊顺序如图3所示，采用双焊炬同时对管子和管件，加热应均匀，待管件颜色变为暗橙色时，开始添加钎料。钎料凝固后，仍需均匀加热，逐渐降低加热，自

然冷却不得水冷。焊工按上述措施对同类、同规格纯铜管与黄铜管件进行钎焊，焊缝外形美观，水压试验满足设计要求。

5. 结语

AP1000核电铜管焊接技术设计要求高，异种铜焊接难度大，焊接过程中出现的问题多，所以对于异种铜焊接只有重点控制组对间隙、待焊区域表面清洁、温度控制、加热区域、母材颜色等方面，才能完成焊接并获得合格的焊缝，避免裂纹的产生。

此外在核电工程建造过程中，只有不断的发现问题、分析问题、解决问题，并不断总结，才能提高个人的技术水平和公司整体的技术能力，提升核电建造水平。

参考文献：

- [1] 陈祝年. 焊接工程师手册[M]. 北京：机械工业出版社，2001.
- [2] ASME IX, Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, Welding and Brazing Operator[S]. 2013.

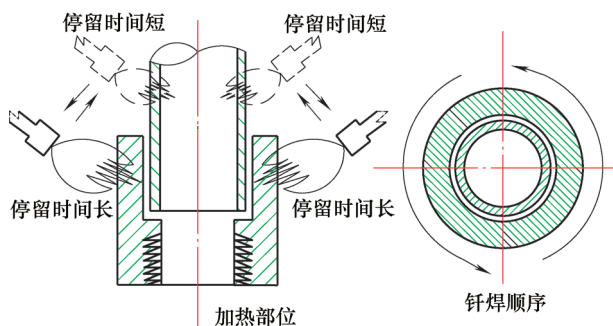


图3 钎焊顺序

作者简介：王轶，浙江兴土桥梁专用装备制造有限公司。

MW 20170824