

# 岭澳二期核电站3R55穹顶管道 焊接技术

凌张庆<sup>1</sup>, 冯英超<sup>2</sup>

(1.中国核工业第二三建设公司, 山东 荣成 264312; 2.核工业工程技术研究设计院, 北京 101601)

**摘要:**3R55 穹顶管道安装具有施工周期短、工作难度大的特点, 结合岭澳二期核电站 3R55 穹顶管道对穹顶管道焊接系统工作进行了介绍, 并从岭澳二期核电站 3R55 穹顶管道实际焊接工作出发, 重点对施工前准备、焊接工艺和焊工资格选择、技术要求及施工难点等方面进行了详细的陈述。同时, 针对此项工作开展的过程中存在的问题进行了分析和总结, 为后续工作的开展积累了一定经验, 从而达到节省时间和成本的目的。

**关键词:**穹顶; 系统; 焊接工艺; 焊工资格

**中图分类号:** TG457.6

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2303(2009)08-0030-04

## Welding technology conclusion of 3R55 dome pipes in Ling'ao 2 period nuclear power plant

LING Zhang-qing<sup>1</sup>, FENG Ying-chao<sup>2</sup>

(1.China Nuclear Industry 23rd Construction Corporation, Rongcheng 264312, China; 2.Nuclear Engineering Research and Design Institute, Beijing 101601, China)

**Abstract:** Pipe installation of 3R55 dome has a lot of difficulties and need short erection period. This article introduces the welding of the 3R55 dome pipes associating with Ling'ao 2 period nuclear power plant firstly, and then states the preparation before welding, choice of welding procedure, welder qualification, technique requirements and the erection difficulties in detail. At the same time, analysis and summarization are made for the questions existing during welding, which supply experience for the latter work and accomplish the aim of saving time and cost.

**Key words:** dome; system; welding procedure; welder qualification

## 1 工程概况

3R55 穹顶包括两个系统的管线: 安全壳喷淋系统(EAS)和反应堆空气监测系统(ETY)。EAS 系统管线材料为不锈钢, 材质 Z2ZN18.10, 规格为  $\phi 114.3 \text{ mm} \times 3.05 \text{ mm}$ ,  $\phi 168.2 \text{ mm} \times 3.4 \text{ mm}$ ,  $\phi 219 \text{ mm} \times 3.75 \text{ mm}$ ,  $\phi 273 \text{ mm} \times 4.19 \text{ mm}$ , 焊口 96 个; ETY 系统管线材料为碳钢, 材质 P265GH, 规格  $\phi 273 \text{ mm} \times 4.19 \text{ mm}$ 、焊口 4 个。管道等级为 RCCM 2 级, 接头检验包括: 100%

目视检查、100%液体渗透和 100%射线检验。

3R55 穹顶管道支架 131 个, 本次安装 97 个, 需要经过焊接连接的支架 58 个, 其余的在穹顶吊装后安装。支架等级为 RCCM 2 级, 接头: 100%外观检验。

## 2 施工前准备

(1) 焊工。已通过培训并取得相应焊接资格, 焊工人数和焊接资格满足现场焊接需求; 检查、检验人员已获得相应资格并经授权。

(2) 程序。质量计划涉及的程序; 各程序版本为最新版; 现场所需的工艺评定和数据单已包括在焊接数据包和接头目录中。

收稿日期: 2009-07-16

作者简介: 凌张庆(1982—), 女, 广西来宾人, 工程师, 学士, 主要从事核电焊接工艺技术和管理工作。



(3)焊接设备、工机具。设备、工机具已标定且在有效期内使用,无损检验设备应满足现场需求。

(4)材料。焊接所需材料、填充材料应满足要求。

(5)对焊工进行技术交底,使焊工熟悉各焊口、支架的焊接工艺及要求;掌握焊接过程中的主要焊接技术参数,如电流、氩气流量和层间温度;清楚其焊接资格,明确注意事项及易产生的问题和解决措施。

3 焊接工艺和焊工资格选择

3.1 焊接工艺

根据已发布的数据包和接头目录选择焊接工

艺。选择焊接工艺时,在满足现场要求的前提下,选择材料级别高,接头形式、管径、厚度覆盖范围广,电流可选性大的工艺,以减少产品见证件的数量和下个工程的工艺评定项目,节约成本。

对于所有的焊接工艺,不锈钢、异种钢焊接背面保护氩气流量大于 5 L/min,直到熔敷金属厚度大于 4 mm。碳钢层间温度不能超过 250 ℃,不锈钢、异种钢层间温度不超过 175 ℃。

- (1)管道焊接工艺如表 1 所示。
- (2)支架焊接工艺如表 2 所示。

表 1 管道焊接工艺

| 母材类别 | 焊接方法 | 直径<br>$\varphi$ /mm | 厚度<br>$\delta$ /mm  | 底层焊道      |                                       | 填充焊道      |                                       |
|------|------|---------------------|---------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
|      |      |                     |                     | 电流<br>I/A | 氩气流量(正面)<br>$Q/L\cdot\text{min}^{-1}$ | 电流<br>I/A | 氩气流量(正面)<br>$Q/L\cdot\text{min}^{-1}$ |
| 不锈钢  | TIG  | >16.70              | $3\leq\delta\leq10$ | 40~120    | >12                                   | 40~120    | >12                                   |
| 碳钢   | TIG  | >30.15              | $3\leq\delta\leq10$ | 60~135    | >9                                    | 60~135    | >9                                    |

表 2 支架焊接工艺

| 母材类别  | 焊接方法     | 厚度<br>$\delta$ /mm             | 底层焊道      |                                       | 填充焊道      |                                       |
|-------|----------|--------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
|       |          |                                | 电流<br>I/A | 氩气流量(正面)<br>$Q/L\cdot\text{min}^{-1}$ | 电流<br>I/A | 氩气流量(正面)<br>$Q/L\cdot\text{min}^{-1}$ |
| 碳钢    | SMAW     | $4.50\leq\delta\leq35.00$      | 80~130    | —                                     | 80~130    | —                                     |
|       | TIG+SMAW | $4.50\leq\delta\leq35.00$      | 83~135    | >7.2                                  | 80~130    | —                                     |
|       | SMAW     | $1.50\leq\delta\leq2.20$       | 80~130    | —                                     | —         | —                                     |
|       |          | $2.25\leq\delta\leq3.30$       |           |                                       |           |                                       |
|       |          | $3.97\leq\delta\leq7.92$       |           |                                       |           |                                       |
|       | TIG+SMAW | $15.00\leq\delta\leq35.00$     | 119~180   | >9                                    | 90~130    | —                                     |
| CS 补焊 | TIG      | $2.30\leq\delta\leq4.60$ (多道焊) | —         | —                                     | 35~100    | >9                                    |
| 异种钢   | TIG      | $3.00\leq\delta\leq10.00$      | 50~138    | >9                                    | 50~138    | >9                                    |
|       | TIG+SMAW | $2.29\leq\delta\leq7.58$       | 70~120    | >9                                    | 75~115    | —                                     |

3.2 焊接填充材料

所用焊接填充材料如表 3 所示。

表 3 焊接填充材料

| 序号 | 焊材类型  | 牌号              | 规格               |
|----|-------|-----------------|------------------|
| 1  | 不锈钢焊丝 | OK16.30         | $\varphi$ 1.6 mm |
| 2  | 碳钢焊丝  | CARBOROD        | $\varphi$ 1.6 mm |
| 3  | 碳钢焊条  | SUPERCITO 7018S | $\varphi$ 3.2 mm |
| 4  | 异种钢焊丝 | OK Tigrod 309L  | $\varphi$ 1.6 mm |
| 5  | 异种钢焊条 | OK67.60         | $\varphi$ 3.2 mm |

3.3 焊工资格

根据穹顶管道支架的工程量,穹顶安装焊接工

作分三个阶段(焊工共 12 人),各阶段焊工分配如下:

(1)管道安装。管道焊工 6 人,忙时 7 人。

(2)管道、支架同时安装。管道焊工 4 人,CS 支架 6 人,异种钢支架 1 人,气焊 1 人。

(3)支架安装。11 人,气焊 1 人。

选择焊工时,应要求其具有相应的焊接资格。焊接位置难以接近、焊接变形大、因管子椭圆度超出公差而导致错边量大、焊缝二次返修时,应选择有相应经验的高技能焊工。位置好、变形小、可以卸下的活动焊口,可以让其他焊工尝试。如果条件允许,应尽量让更多的焊工从事管道焊接,以培养更多高技



能的管道焊工。

## 4 主要技术要求

为保证施工质量,施工前需编制详细的施工质量计划,施工过程中通过对焊接控制单和工作计划的发点、消点,由各设点单位对各工序进行检查见证消点,对施工过程进行严格控制,以获得良好的焊接接头。在整个施工中有 QC 检查人员对焊接工艺参数进行记录和监督,跟踪检查,保证施工质量。焊接过程中每道工序应严格按照相应程序要求执行。各工序主要技术要求如下:

### 4.1 管道焊接

- (1)采用机加工或打磨加工坡口,不可采用热切割。
- (2)组对前坡口及其邻近 20 mm 内外表面打磨出金属光泽,采用丙酮去除油污。
- (3)临时焊缝标识,CS 采用 CS 胶带,SS 采用 SS 胶带。
- (4)管子对口内壁应平齐,内错偏差 $\delta/20\text{ mm}+1\text{ mm}$ ,最大 1.5 mm;外错偏差 $\delta/4\text{ mm}$ 。
- (5)组对时采用定位焊或点固块点固,焊接时焊接参数应符合相应焊接数据单的要求。
- (6)永久性焊缝标识 CS 采用油漆笔,SS 采用振动笔;焊口标识为:图纸号+焊口号;焊缝标识距离焊口 40 mm。

### 4.2 支架焊接

支架焊接包括碳钢和异种钢支架的焊接。

- (1)采用热切割和打磨加工坡口,也可采用机加工。
- (2)坡口及其邻近 20 mm 内外表面机加工打磨去除油漆、锈迹、油污等。
- (3)点焊长度不能小于 10 mm。
- (4)除非有特殊要求,角焊缝焊喉要达到最薄件厚度的 70%,UC 板点焊一边至少点两处,焊喉不小于 3 mm。
- (5)采用 SMAW 摆动焊接时,焊道宽度不能大于焊条直径的 3 倍。

## 5 施工难点

3R55 穹顶管道安装工期短(只有 40 天),施工难度大,主要表现在以下几方面:

- (1)管道焊接变形大,3R55 穹顶管道普遍存在管子规格不均、椭圆度差,使组对时错边量大、难以组对,造成消点人员到现场等待多时却因组对困难

而无法消点的现象。常采用边焊边翘、改变焊接顺序、焊后缓冷的方法解决组对时的错边问题。

(2)焊接工艺过程控制严格,质量级别高,工序复杂。管道焊口有焊接控制单对每道工序严格进行质量控制;焊接工序中所有的检查、检验都要设点。支架由工作计划进行质量控制。3R55 穹顶管道安装采用的工艺多为现场第一次采用,控制单、质量计划焊接组装件的点都发 H 点(停工待检点),管道按工艺评定消点,支架按数据单消点。这大大增加了工作人员的工作时间,使工作效率下降。

(3)支架焊接位置困难,电流浮动范围小,采用小电流焊厚支架易出现未焊透的现象。这就需要加强焊工焊接过程中的自检,通过选择对电流控制能力强的焊工焊接该类支架,或增加工艺评定使电流适合现场焊接。

(4)焊接充氩困难,费时费力。对于立管的三个焊口 BN3R55006 M21、BN3R55007 M20 和 BN3R55008 M21 均为管道冲洗后焊接,无法采用水溶纸做氩气室,只能采用泡沫板封堵,氩气管长达 10 m。对于采用 TIG+SMAW 的异种钢支架,打底焊接时需配专人从对面用铜管充氩。

## 6 总结

(1)工作中因无法满足现场要求而需增加的工艺评定、焊工资格,主要归咎于技术人员不了解现场施工所致。在施工前,技术员应仔细研究图纸和现场施工情况,对出现的问题应有预见性并及时反映。同时应了解施工进度状况,有针对性地开展技术交底,使施焊焊工熟悉现场工艺。

(2)在施工中出现的缺少工艺评定的现象,主要原因是工艺评定的开展没有以现场施工为主。岭澳二期核电建设相对于一期而言,主要有以下变化:

a. 参考标准变化,工艺评定厚度的等效范围有了很大变化。一期的参考标准为 RCCM 93,二期为 RCCM2000+2002 补遗。

厚度等效范围的变化导致工艺评定数量的增减、试件规格的变化。如果二期做工艺评定的前提是以工艺评定厚度覆盖范围包含一期的厚度覆盖范围,则必然导致多数工艺不适用于现场要求,增加成本。

b. 某些区域厂房外包,如柴油机厂房,用于改厂房的工艺评定也外包,但是否其他区域也需要这些工艺评定?材料变化,如 L 区的水泥管改为碳钢管带阴极保护管。现有的工艺能满足该类碳钢管,是

否要补做?

c. 电流控制严格,一期电流选择范围广,二期电流覆盖范围在工艺评定范围内 15%浮动,焊接实施困难。为了保证工艺评定一次通过,通常选择经验丰富、对电流控制能力强的焊工焊接试件。然而对于同一试件,让两个实力有差别的焊工焊接,选择焊接电流范围不一样但都在供货商规定的范围内,获得的结果都是令人满意的,但数据单里的焊接电流范围只有一个。电流选择范围太主观,可能出现该电流范围只适合极少数焊工焊接的情况。

此外,做工艺评定时,应考虑当厚度范围取到最大时,采用的电流是否能满足要求,如数据单 136。工艺评定位置 2G、3G1、4G,工艺评定对接可以覆盖角接,厚度的覆盖范围为  $4.5\text{ mm} \leq \delta \leq 35\text{ mm}$ ,但打底 TIG 焊电流为 83~135 A,填充 SMAW 电流为 80~130 A,不能满足现场  $\delta = 10\text{ mm}$  的支架焊接。

建议统计现场焊口、支架信息,因图纸尚未全

部进入施工阶段,可以以岭澳一期信息为主,去除外包部分,加上增加的材料。以现场为主制定工艺评定方案。工艺评定开展时选择新焊工焊接,选择电流范围尽量大,且工艺评定考虑等效厚度时调查焊工,验证电流能否满足要求。

(3)焊工培训考核应以现场需求为准,以人力动员计划为前提,提前三个月提出培训申请,只申请现场需要的焊工资格,以降低培训和资格证延期的成本。考虑资格的等效范围时应考虑是否符合现场情况,是否符合相应工艺要求。如对异种钢焊接资格 TMT-K5111,5112,焊接方法 TIG,厚度 3~12 mm,然而对于厚度大于 10 mm 的支架无 TIG 焊接工艺,且焊接速度慢、严重影响工作效率。

(4)对于其他因设计问题导致焊接施工困难的情况,应寻找原因,在问题发生的源头解决问题,严格把关,尽早发现,及时解决。设计时应考虑到焊接工作实施的可行性。

Page 26



图 11 II 形管和蒸发器蒸汽出口连接

c. 通过贯穿件清洁 WX 厂房侧管道内部,然后根据管道实际情况加工闭合段,完成贯穿件和水平管段的焊接(见图 12)。



图 12 闭合段与水平管段连接

d. 连接立管和水平管段(见图 13)。



图 13 立管与水平管段连接

(7)VVP 管线可拆卸射线检验塞的固定部分焊缝和与其相连的对接焊缝应经过消除应力热处理。

(8)采用人工清洁管道内部,分段清洁,分段发布清洁度报告。

(9)在进行该管道第一个焊口焊接时,必须认真记录焊缝的焊接收缩量,以便给切割余长提供可靠的数据。

(10)必须具备可靠的电源提供给热处理器,在整个焊口的预热、后热和消除应力热处理过程中不允许停电。

## 4 结论

通过以上控制方案,成功完成了核岛主蒸汽管道的焊接,为以后同类产品的焊接提供参考。