

# 核电用冷凝罐 BOSS 焊缝的射线检测

孙 彪, 闫 超, 孟 帅, 程宏霞, 苗畅颖, 原 瑜  
(青岛兰石重型机械设备有限公司, 青岛 266426)

**摘 要:** 根据冷凝罐 BOSS 焊缝(小支管与筒体的安放式角焊缝)的制造工艺和结构特点, 结合客户对 BOSS 焊缝体积型缺陷的检测要求, 参照标准 RCC-M—2007《压水堆核岛机械设备设计与建造规则》制定了冷凝罐 BOSS 焊缝的射线检测工艺, 并进行射线检测试验和工艺验证。射线检测结果符合检测相关标准要求, 检测效果非常显著。根据检测出的缺陷类型, 改进了制造工艺, 提高了产品合格率。

**关键词:** BOSS 焊缝; 射线检测; 工艺验证

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2021)09-0073-04

## Radiographic testing of BOSS welding seam of condenser tank for nuclear power plant

SUN Biao, YAN Chao, MENG Shuai, CHENG Hongxia, MIAO Changying, YUAN Yu  
(Qingdao LS Heavy Machinery Equipment Co., Ltd., Qingdao 266426, China)

**Abstract:** According to the manufacturing process and structural characteristics of the BOSS welding seam (Placement fillet weld between small branch pipe and cylinder) of the condensing tank, combined with the customer's requirements for the detection of BOSS welding seam defects, and referring to the standard RCC-M—2007 “Design and construction rules for pressurized water reactor nuclear island mechanical equipment”, the condensation Radiographic inspection process of tank BOSS welds was drafted, and radiographic inspection test and process verification were correspondingly conducted. The radiographic inspection results meet the requirements of relevant inspection standards, and the inspection results are very significant. According to the types of defects detected, the manufacturing process is improved and the product qualification rate is increased.

**Key words:** BOSS weld; radiographic testing; process validation

核电用冷凝罐安装于差压式变送器的测量管线上, 主要作用为冷却管线中的水汽, 避免其在仪表管线中冷凝积累。核电厂冷凝罐 BOSS 焊缝主要是指小支管与筒体的安放式角焊缝, 装焊工艺通常为先将带坡口的棒材安放在筒体上(预钻孔), 完成施焊, 再对棒材钻孔, 最终形成 BOSS 焊缝。在实际检测过程中, 不能对 BOSS 焊缝的内部缺陷进行渗透检测, 同时按客户要求增加了体积型缺陷辅助检测, 超声检测也无法对此类结构较小焊缝进行检测, 只能选择射线检测方法<sup>[1]</sup>。

以筒体尺寸为 88.9 mm×7.62 mm(直径×壁厚), 接管外径为 26.5 mm, 单壁厚度为 10.25 mm, 高度为 27 mm 的 BOSS 焊缝为例, 参照标准 RCC-M—2007《压水堆核岛机械设备设计与建造规则》的要求, 对射线检测工艺进行研究。

## 1 结构及参数

### 1.1 基本结构

冷凝罐基本结构如图 1 所示, BOSS 焊缝结构如图 2 所示。

### 1.2 焊接及检测要求

对于 BOSS 焊缝, 考虑到焊材填充量以及接管直线度的要求, 焊工施焊难度较大, 该焊缝坡口角度为 30°, 母材为 Z2CND18-12 控氮不锈钢,

收稿日期: 2021-03-23

作者简介: 孙 彪(1988—), 男, 助理工程师, 主要从事特种设备  
及核二、三级核电设备的无损检测工作

通信作者: 孙 彪, sunbiao@lshec.com

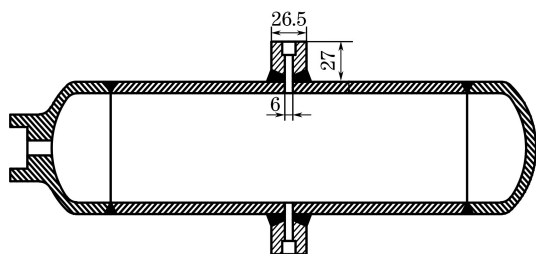


图 1 冷凝罐基本结构示意图

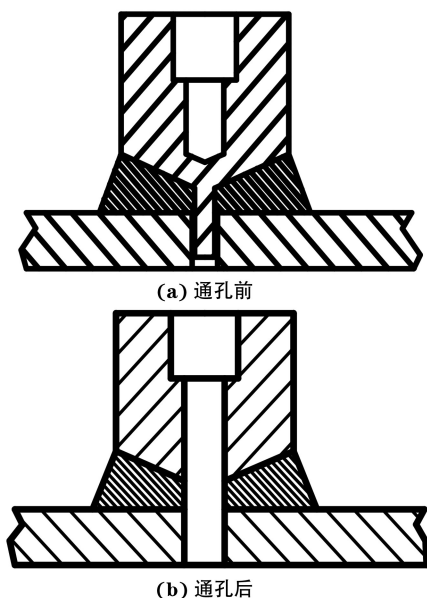


图 2 BOSS 焊缝结构示意图

焊材为 ER316L 奥氏体不锈钢焊丝,焊丝直径为 2.0 mm,综合考虑,采用手工钨极氩弧焊对此类接头施焊。

按照分批生产的原则,一般每批为 20~30 台,按批次对 BOSS 焊缝抽取 3%(不足 3 条,按 3 条)进行射线检测。如发现不合格,则在同批焊缝中再抽取 4 条焊缝进行射线检测;如仍有不合格,则对该批所有焊缝进行射线检测。

## 2 射线检测工艺制定

### 2.1 透照设备的选择

根据 RCC-M—2007 标准中关于透照设备的要求,BOSS 焊缝最小透照厚度为 20.5 mm,现有的 450 kV(额定电压)X 射线机(COMET MXR-451/26 型)符合标准要求。

对于 X 射线源,焦距参考插套焊焊缝的要求,应大于支管外径的 10 倍,假定焦距为 850 mm,以 C3 等级胶片为例,通过计算获得 450kV 射线机的曝光参数(见表 1),X 射线检测的对比度和清晰度高,曝光时间短,工作效率高。

表 1 450 kV 射线机的曝光参数

设备型号	焦距/mm	焦点尺寸/mm	电压/kV	电流/mA	透照时间/min
COMET MXR-451/26	850	2.5	280	2.75	3.6

### 2.2 像质计的选择及摆放

根据 RCC-M—2007 标准要求,像质计应符合标准 BS EN 462-1—1994《中英文版 无损检测-射线底片质量 第 1 部分:像质计 图像质量评价》,识别丝号按 BOSS 焊缝两个管壁的厚度(两层壁厚)进行选择,由于此结构余高变化量较大,可适当加余高,需看到 12 号丝,像质计型号为 10 FE EN。

像质计的摆放方式有 2 种,分别为钢丝平行于焊缝或垂直于焊缝(见图 3),标 \* 处代表需要识别的像质计的钢丝。

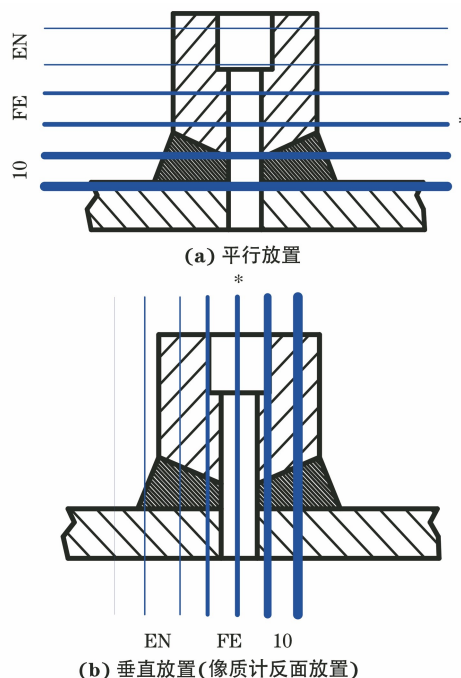


图 3 像质计放置方向示意图

如果平行放置,接管高度为 27 mm,像质计长度为 70 mm,宽度为 30 mm,没有太多的摆放空间,所识别的钢丝也不能放置于焊缝位置,且透照厚度变化较大,像质计的丝径显示不能够代表真实的灵敏度,因此该放置方式不合适。

像质计垂直焊缝放置时,可以把要识别的钢丝放置在接管孔中心,铅字标识放置在母管上,这样,像质计钢丝显示较长,焊缝处的丝径也能够代表真实厚度的灵敏度,故选择像质计垂直焊缝放置<sup>[2]</sup>。

### 2.3 胶片技术、胶片等级、增感屏的选择

参考 RCC-M—2007 标准,由于 BOSS 焊缝的

直径小,透照厚度差比较大,为提高底片宽容度,选择双胶片技术进行透照。因透照设备为 X 射线机,胶片等级选择 C3 类胶片,如锐珂 MX125 型胶片。

选用管电压小于 400 kV 的 X 射线机,透照厚度小于 30 mm 时采用双片技术,可不用中屏,增感屏选用前后 0.1 mm 厚的铅箔。

## 2.4 透照方式和方向的选择

参考相关标准发现,BOSS 焊缝结构的透照方式,都是支管内侧贴片,支管外侧放置放射源,沿支管垂线方向,向支管侧偏移  $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$  进行透照,因为产品支管内径太小且无法布片,所以参考小径管的焊缝结构和插套焊焊缝结构的检测方式,选择平面法进行透照。

接管和筒体焊缝相贯线曲率半径变化较大,参考插套焊的透照方式,透照两次,两次相隔  $90^{\circ}$ ,一次沿筒体的周向方向透照[见图 4(a)],一次沿筒体的轴向方向透照[见图 4(b)]。

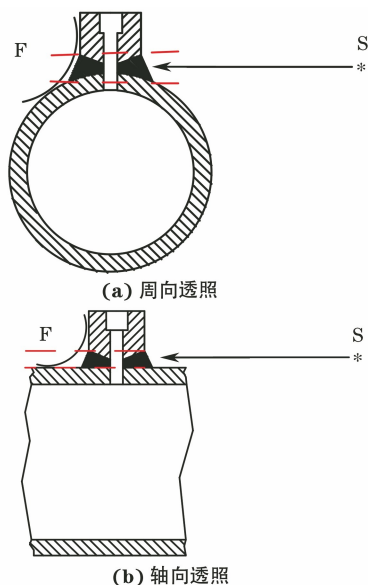


图 4 透照方向示意

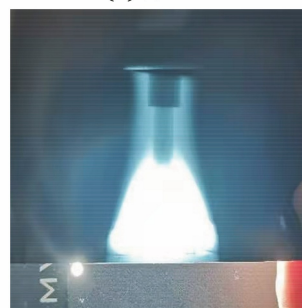
沿筒体的轴向方向透照时,底片上显示的透照区域范围小,焊缝及热影响区母材轮廓不清楚,会造成母管焊缝根部缺陷漏检。沿筒体周向方向透照时,底片上焊缝及母材轮廓非常清晰,能够全部投影到胶片上,透照区域尺寸大(见图 5),因此,选择周向方向透照一次。

## 2.5 底片黑度的要求

参考 RCC-M-2007 标准中的黑度要求,单片观察时黑度为 2.0~4.5,双片观察时黑度为 2.7~4.5,且两张底片评定区内相同点黑度差应不大于 0.5。



(a) 周向透照



(b) 轴向透照

图 5 两种透照方向的检测底片

## 2.6 评定要求

根据此类冷凝罐产品的技术等级要求,BOSS 焊缝理论厚度为 10.25 mm,按 RCC-M-2007 标准进行验收,不允许出现以下缺陷:① 裂纹、未熔合、未焊透或咬边;② 直径大于 3.41 mm 的气孔;③ 在 123 mm 长度上,累计尺寸大于 10.25 mm 的线状或密集气孔。间距小于较大气孔尺寸 6 倍的气孔,可视为同一线状/密集气孔;④ 夹渣长度大于 6.83 mm;⑤ 在 123 mm 长度内,累计尺寸大于 20.5 mm 的夹渣组,相邻间距小于较小缺陷长度的 6 倍,可视为同一夹渣组。

## 3 工艺验证

采用上述工艺进行验证,单片观察时支管孔中心(箭头处)能够清楚地识别所需灵敏度所对应的 12 号钢丝(见图 6)。双片观察时,黑度最小区域为支管内孔根部 1# 点,黑度为 2.92,满足标准要求

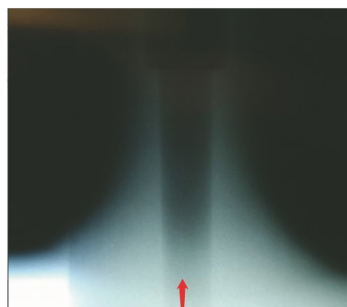


图 6 像质计灵敏度观察结果

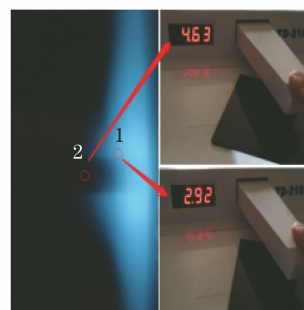
(2.7~3.5 之间), 支管侧中心孔焊缝 2<sup>#</sup> 点黑度大于 4.5, 单片观察时, 测量 3<sup>#</sup> 点黑度为 2.8, 4<sup>#</sup> 点黑度为 2.1, 且两张单片同位置黑度差值小于 0.5, 由此可见, 该射线工艺的黑度及灵敏度均满足标准要求(见图 7), 可以执行该检测工艺。

#### 4 实际产品检测中的应用效果

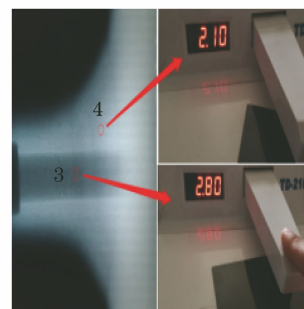
在产品制造过程中, 按上述射线检测工艺, 对该类产品多批次的 BOSS 焊缝进行射线检测抽检, 发现多类型危害性焊接缺陷, 例如根部未熔合、未焊透、层间未熔合等, 共抽查 BOSS 焊缝 69 个, 发现层间未熔合 5 处, 气孔 2 处, 根部未焊透 3 处, 缺陷检出率高(见图 8)。

通过相关的缺陷分析, 得出缺陷产生的原因, 做出相应的整改措施。焊接打底后和内孔机加工钻通后, 应使用内窥镜对焊缝根部成型进行目视检测, 以确保根部焊接质量。焊接过程中应增加互检、专检的次数, 采用多层多道焊接, 保证单道焊道厚度为 2~3 mm, 避免单道焊道过厚所产生的层间缺陷。

在后续的产品制造过程中, 对该类焊缝结构进



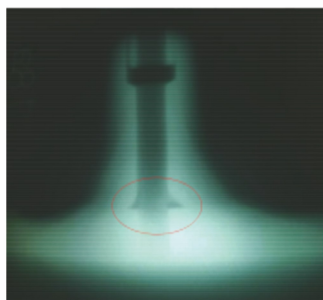
(a) 双片黑度



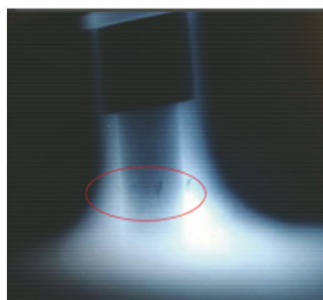
(b) 单片黑度

图 7 单双片黑度观察结果

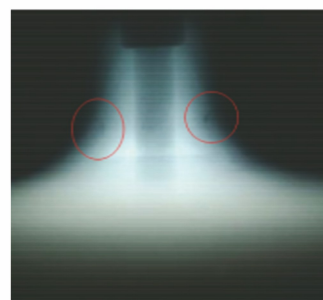
行射线检测抽检, 合格率为 99.4%。说明整改措施大大提升了产品质量。



(a) 根部未焊透



(b) 层间未熔合一



(c) 层间未熔合二

图 8 典型缺陷底片

#### 5 结语

分析了冷凝罐 BOSS 焊缝的射线检测工艺, 重点解决了像质计摆放和透照方向等技术难点, 经检测验证, 底片成像质量符合相关标准要求, 而且能够有效提高层间未熔合、根部未熔合、未焊透缺陷的检出率, 提升核电产品的合格率。该射线检测工艺能

够满足产品 BOSS 焊缝的质量检测要求, 值得推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 吴伟邦, 许金才. 核电 BOSS 头焊缝无损检测要求[J]. 无损检测, 2018, 40(3): 51-55.
- [2] 李予卫. 核电厂管道 BOSS 焊缝射线检测工艺研究和验证[J]. 电焊机, 2019, 49(4): 26-31.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告