

核电厂换料水箱底板焊缝排查与处理应用

方磊

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i5.9865

[摘要] 在反应堆装置出现失水事故的意外情况下,换料水箱能够为安全喷淋系统和安全注入系统提供所需的含硼水。而在机组停堆换料大修期间采用渗透、目视、泄漏等无损检测方法开展换料水箱底板焊缝检查,发现缺陷后采用金相检验的方法分析漏点原因,能够有效保证换料水箱底板焊缝安全可靠。基于此,本文详细介绍换料水箱无损检测方案及验收标准,针对产生的缺陷与漏点简要分析,旨在能为相关核电厂排查与处理提供一定的借鉴。

[关键词] 核电厂; 换料水箱; 无损检测; 金相检验

中图分类号: TL48 文献标识码: A

Application of Investigation and Treatment of Weld Seam on Bottom Plate of Reactor Cavity and Spent Fuel Pit Cooling and Treatment in Nuclear Power Plant

Lei Fang

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD

[Abstract] In the event of an unexpected loss of water in the reactor pressure vessel, the fuel replacement water tank provides the required boron-containing water for Containment Spray and Safety Injection in the Containment. During the outage for fuel replacement and maintenance, various nondestructive testing methods, including penetrant testing, visual inspection, and leak detection, are used to inspect the welds on the bottom plate of the Reactor Cavity and Spent Fuel Pit Cooling and Treatment vessel. After defects are found, the cause is analyzed using metallographic examination methods to ensure the safety and reliability of the welds on the bottom plate of the fuel replacement water tank. Based on this, this paper provides a detailed description of the nondestructive testing scheme and acceptance standards, briefly analyzes the defects and leaks that have occurred, and aims to provide some reference for related nuclear power plants to detect and handle such issues.

[Keys words] Nuclear Power Plant; Reactor Cavity and Spent Fuel Pit Cooling and Treatment; Non-Destructive Testing; Metallographic examination

引言

国内某核电厂换料水箱底部与地面之间存在缝隙渗水,并且辐射防护人员现场测量存在放射性。经过逐步排查发现缝隙处持续渗水,初步分析换料水箱底部钢板母材或焊缝存在渗漏。为保证发现缺陷后完成维修处理,核电厂决策在机组停堆解列大修(以下简称大修),使用目视检测、渗透检测、泄漏检测等无损检测方法,完成换料水箱底板内部焊缝排查工作。渗透检测发现的缺陷,返修期间利用泄漏检测方法发现一处贯穿性漏点缺陷,同时利用金相检验方法完成漏点分析工作,最终设备专业完成该漏点维修处理,确保换料水箱的正常使用功能。

1 换料水箱设备情况

换料水箱为圆柱形立式容器,上部封头为球冠,球冠厚度为6mm。设计压力为常压,设计温度为7~100℃,容器全高17.952m,

外径11.8m,储液罐空重94000kg,运行条件下总质量为1850000kg,液体介质1600m³。容器壁从上到下分七段从厚度6.5mm到31mm对接焊接而成,容器底板外围为一圈厚度为20mm的钢板对接焊接而成,中心底板是6mm厚的钢板错落搭接焊接而成,容器本体全部材料为不锈钢。

换料水箱底板直径 $\phi 12240$ mm,由12块20mm厚的环形边缘板和21块6mm厚的中幅板拼接成形,边缘板之间连接形式为对接,中幅板之间、中幅板与边缘板之间的连接形式为搭接。底板为多块不锈钢板搭接而成,其底板的焊接结构形式分为四类:底板搭接角焊缝A、底板搭接角焊缝B、底板全焊透对接焊缝、底板与筒体全焊缝角焊缝。

2 检查方案

2.1 目视检测

2.1.1 检验对象及时机

目视检测是指用观察评价物品(诸如容器和金属结构和加工用材料、零件和部件的正确装配、表面状态或清洁度等)的一种无损检测方法,他仅指用人的眼镜或借助光学仪器对工业产品表面做观察或测量的一种检测方法^[1]。在大修期间对换料水箱底板对接焊缝、筒体与底板全焊透角焊缝、底板不锈钢板母材执行直接目视检测。完成换料水箱内部排水后,开始对内表面进行去污,以降低内部环境剂量率。完成烘干后,开始执行直接目视检测工作。

2.1.2 目视检测要求

现场不借助目视辅助设备,检验人员用眼睛直接进行检验。使用内部照明以及头灯开展被检部件的目视检测,被检部件表面的光照度不低于1000lx。检测灵敏度采用现场能在18%中性灰卡上分辨出一条宽度为0.8mm的黑线。检测范围为焊缝本体与焊缝两侧各15mm,母材的检测范围为整个被检区域表面。检验人员充分接近换料水箱底部,眼睛与被检部件表面距离不超过600mm,与被检部件表面所形成的视角不小于30°,同时针对缺陷位置,可使用放大倍数不大于6倍的放大镜重点检查。

2.1.3 目视检测验收标准

按照RCC-M标准(2000年版及2002年补遗)验收,下列情况不允许接受:

焊缝及母材表面的裂缝和裂纹或推断/分析得出的裂缝和裂纹;焊缝表面的焊瘤、未焊满、未焊透、焊缝塌陷,缩孔,超标,蜂窝状缺陷和局部隆起及夹杂物;外来物体对表面的撞击或损伤;腐蚀导致材料的缺失;任何泄漏或泄漏痕迹;开裂;明显变形及存在松动部件;其他重要缺陷。

2.2 渗透检测

2.2.1 检验对象及时机

渗透检测是一种以毛细作用为原理为基础的检查表面开口缺陷的无损检测方法^[2]。在大修期间对换料水箱底板对接焊缝、筒体与底板全焊透角焊缝执行渗透检测。在实施检测前完成对被检焊缝打磨,要求焊缝两侧25mm相邻区域表面不应该有任何可能阻塞缺陷表面开口或干扰检验进行的污垢、油脂、纤维屑、锈皮、焊渣、焊接飞溅物、油以及其他的外来物质。焊缝沟槽圆滑过渡,焊缝表面粗糙度(Ra)应小于或等于6.3 μm 。

2.2.2 渗透检测要求

被检焊缝表面温度控制在10~50℃,表面光照强度不低于1000lx。采用溶剂去除型渗透法,检测灵敏度使用不锈钢镀铬辐射状裂纹试块(B型试块)可见三点缺陷显示。

完成灵敏度校验后,开始使用清洗剂执行预清洗工作,表面干燥后采用刷涂方法施加渗透剂,被检焊缝较长,选择分段渗透,渗透期间保持润湿状态,渗透时间至少20分钟。随后用干净的布或卷筒纸擦去多余的渗透剂,用蘸有清洗剂的布或卷筒纸擦去余下的渗透剂。单方向擦拭,不得往复擦拭,不得用清洗剂直接在被检焊缝上冲洗,避免过清洗。待表面干燥后,将显像剂喷涂在被检焊缝表面,自然风干后开始观察与评定。检验人员应按照

相应资质人员开展评级与缺陷记录。完成全部工作后,最终清除全部渗透检测材料。

2.2.3 渗透检测验收标准

按照RCC-M标准(2000年版及2002年补遗)验收,下列情况不允许接受:

线性显示;最大尺寸大于4mm的圆形显示;3个或3个以上显示在一条直线上,且两显示边与边的距离小于3mm的显示;以最不利的方式选择的最大变成不大于20cm的100cm²的矩形表面上,8个或8个以上的显示。

2.3 泄漏检测

2.3.1 检验对象及时机

泄漏检测真空气泡法检漏的原理是:当漏孔两侧存在压差时,示漏气体就通过漏孔从高压侧向低压侧流动,如果在低压侧有显示液体(水、氟油、酒精等),漏孔处将有可能吹起一个个气泡,从而显示出漏率大小及漏孔位置^[3]。在大修期间对换料水箱底板对接焊缝、筒体与底板全焊透角焊缝执行真空盒气泡法泄漏检测,同时在目视和渗透检测缺陷返修后位置执行返修后泄漏检查。

2.3.2 泄漏检测要求

真空盒中所要求的真空使用真空泵抽气装置。真空表的量程为0Kpa~100Kpa。真空盒具备适当尺寸,选择在其敞开底部的对面有一个观察窗,敞开底部的边缘装有适当的垫圈,真空盒与被检焊缝表面密封,配置连接头,阀门、照明以及测量的真空表。

工艺验证:在试验期间,每天和每次发泡检验后,对发泡溶液进行标定,在工艺验证泄漏试板上,涂敷一层薄薄的发泡溶液,将真空盒放置在该泄漏板上并将盒内压力降低,直到盒内压力和周围大气质量的压差至少为0.5x10⁵Pa为止。泄漏试板上有一个或多个气泡形成并可检验出来,则可认定该检测工艺有效。

被检焊缝表面温度应在5~50℃之间,必要时允许局部加热或冷却。表面光照强度不低于1000lx。用刷涂的方法将发泡溶液涂敷在受检部位,不能有影响观察的起泡现象。将真空盒放置在被检焊缝上,开启真空泵降低盒内压力使之与周围空气的压差至少为0.2x10⁵Pa,停留至少10秒钟并观察;继续抽真空,直到盒内压力和周围大气之间的压差至少为0.5x10⁵Pa,停留至少30秒钟并观察盒内被检焊缝的情况。每一相邻区域的试验,真空盒的放置至少有50mm的重叠区域。对检测结果进行分析评定,如被检焊缝表面上发现连续气泡,表示被检区域中有贯穿性泄漏孔存在,完成记录。完成全部工作后用干净的布将表面的发泡剂去除干净。

2.3.3 泄漏检测验收标准

发现连续气泡或重复气泡为不可验收。

3 检验结果及分析

3.1 底板对接焊缝、筒体与底板全焊透角焊缝及母材检测结果及处理过程

底板对接焊缝:目视检测和泄漏检测无异常;筒体与底板全焊透角焊缝:目视检测无异常;底板母材:目视检测无异常。

3.2 底板搭接角焊缝检测结果及处理过程

底板搭接角焊缝打磨后渗透检测发现14处显示,经泄漏检查未贯穿泄漏;14处显示打磨可消除,再次渗透检测合格;对所有搭接角焊缝执行泄漏检查,未见泄漏。对14处渗透检测显示缺陷补焊修复,返修后渗透检测均合格。

维修方案决定对全部搭接角焊缝补焊一层,焊接顺序说明:参考工程施工期间焊接方案,采取采跳焊的方式,从底板中心向圆周逐渐施焊,4名焊工同时施焊,对中间焊缝向两边焊接,再制定顺序从中腹板与环形板搭接优先进行焊前渗透检测,合格后再进行对称焊接。

焊接完成后,执行焊后渗透检测过程中,发现一处0.4mm显示,进行逐层打磨,发现显示逐渐扩大并变为线性,打磨3mm后,显示长5mm,宽0.8mm;执行真空盒检查,产生气泡,确定WB02焊缝为漏点焊缝。对漏点开展金相检验与分析。完成后对漏点缺陷全部挖除,执行焊前、层间、焊后渗透检测和泄漏检测,最终均合格。所有工序完成后,对所有焊接焊缝进行酸洗钝化。

3.3 金相检验

3.3.1 宏观检验

对加强焊缝WB02焊缝上的漏点开展宏观检查。对缺陷位置进行精磨抛光约0.5mm后开展首次金相检验,随后再次对缺陷位置进行打磨抛光约4mm后开展金相检验。

宏观检查发现,漏点缺陷1位于熔合线处,首次测量缺陷1长度约7mm,打磨深度约4mm后测量缺陷1长度约15mm。缺陷2也位于熔合线处,与缺陷1间距约5mm,首次测量缺陷2长度约10mm,打磨深度约4mm后测量缺陷2长度约20mm。

3.3.2 金相分析

依据GB/T 17455-2008标准,对WB02焊缝缺陷位置焊缝、热影响区及母材开展金相分析。金相检验结果表明:(1)各检验位置焊缝组织均为铸态枝晶组织,母材均为孪晶奥氏体,组织未见异常;(2)漏点(缺陷1)位于熔合线处,整体较平直,尖端较为圆钝,向焊缝侧轻微扩展;(3)缺陷2位于熔合线处,整体较平直,

尖端较为圆钝,未见明显扩展,缺陷内可见疑似夹杂物;(4)由缺陷特征判断,两处缺陷均为未熔合。

3.3.3 分析结论

通过对WB02焊缝缺陷开展金相检验发现,WB02焊缝两处缺陷特征主要表现为:缺陷均沿WB02焊缝熔合线分布,整体较平直,尖端较为圆钝,缺陷尺寸随着打磨深度增加而明显增大,缺陷2内可见疑似夹杂物,且缺陷区域未见补焊痕迹,由此判断缺陷性质为原始未熔合缺陷。综合以上分析及理化检验结果,结论如下:缺陷处焊缝组织为铸态枝晶组织,母材均孪晶奥氏体,组织未见异常,热影响区也未见过热等异常特征;缺陷性质为原始未熔合缺陷。

4 结语

换料水箱在大修期间所使用的目视、渗透、泄漏检测等无损检测方法,完成了换料水箱底板内部焊缝排查工作,排查期间发现14处渗透检测缺陷,目视、泄漏均未发现异常。返修及补焊期间利用泄漏检测方法发现一处贯穿性漏点缺陷,同时利用金相检验方法完成漏点分析工作,最终确定缺陷定性为未熔合,维修后最终泄漏检测合格。本次换料水箱排查及处理,有效检查出底板焊缝存在的原始缺陷,同时无损检测与维修策略的运用,为后续核电厂机组换料水箱排查提供宝贵实施经验及借鉴意义,为核电厂换料水箱安全使用保驾护航。

[参考文献]

- [1]王跃辉.目视检测.国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材[M].机械工业出版社,2006.
- [2]胡学知.渗透检测[M].中国劳动社会保障出版社,2007.
- [3]吴孝俭.泄漏检测.国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材[M].机械工业出版社,2005.

作者简介:

方磊(1992—),男,蒙古族,内蒙古通辽市人,中广核核电运营有限公司,工程师,大学本科,研究方向:无损检测,在役检查,电力、核能、能源。