

核电站现场着色渗透检测的工艺优化

牛 壮

(中核检修有限公司,上海 201103)

摘 要:从渗透剂污染控制、检测试块操作便利性、罐装渗透剂释放和废罐处理、检测试块可靠性验证等方面对核电站现场着色渗透检测的工艺进行研究,有针对性地优化了工艺方案,包括设计和制作辅助工装、提出检测试块的可靠性验证方法等,旨在为同行提供参考。

关键词:渗透检测;工艺优化;工装

中图分类号: TG115.28 文献标志码: B 文章编号: 1000-6656(2022)02-0060-05

Process optimization of dye penetrant testing technology in nuclear power plant

NIU Zhuang

(China Nuclear Industry Maintenance Co., Ltd., Shanghai 201103, China)

Abstract: Studies were made on the process of on-site color penetration testing of nuclear power plants as from the aspects of penetrant pollution control, convenience of test block operation, canned penetrant release, waste tank disposal and test block reliability verification was taken, and solutions for the process optimization of the field dye penetrant testing in the nuclear industry were proposed, including the design and production of auxiliary fixture and verification methods of test block reliability, etc., which may provide references for peers.

Key words: penetrant testing; process optimization; fixture

着色渗透检测是核电站全寿命周期中进行系统、设备和材料质量验证的常规无损检测手段之一,应用非常广泛,对于核电站的安全和可持续运行起着至关重要的作用。

在核电站现场着色渗透检测工作的实施中,特殊工件和特殊环境下,所涉及的技术标准和检测工艺文章不予讨论。

笔者主要从检测便利性、渗透剂污染控制等角度出发,结合自身的核电现场着色渗透检测工作经历,针对性地提出了现场着色渗透检测工艺优化的相应措施和技术方案。

1 着色渗透检测工艺

目前,核电行业现场着色渗透检测应用的标准较多,包括 RCC-M—2000《压水堆核岛机械设备设

计和建造规则》、ASME BPVC V—2017《锅炉及压力容器规范 第 V 卷 无损检测》和 NB/T 47013.5—2015《承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测》等,这些标准均对着色渗透检测工艺作出了详细的规定。总体上看,现场检测的基本流程大体相同,其流程图如图 1 所示。文章中所提到的检测工艺包含了基本工艺流程,同时也涵盖检测前的技术准备工作。

2 工艺优化关注点

在检测工艺优化方面,行业内对检测工艺流程中涉及的被检表面粗糙度、表面温度、观察光照条件、渗透和显像时间等技术参数研究较多,但在渗透剂污染控制、检测试块操作便利性、罐装渗透剂释放和废罐处理、检测试块可靠性验证等方面,对检测工艺的论述较少,笔者将这些方面列为工艺优化的关注点,重点进行阐述和探讨。

2.1 渗透剂污染控制

在核电站现场检测时,尤其是核电站大修期间,检测条件较为复杂,会出现空间受限、设备管道被遮

收稿日期:2021-08-11
作者简介:牛 壮(1985—),男,本科,高级工程师,主要从事何
种工作?
通信作者:牛 壮,15959165986@163.com

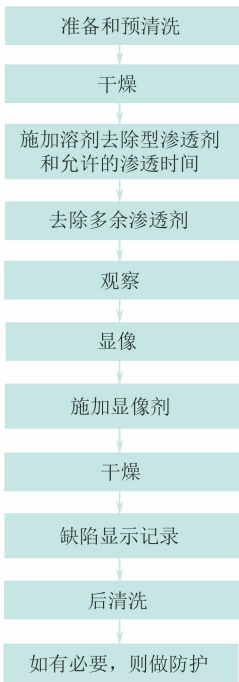


图 1 现场检测流程图

挡、被检部位为垂直立面等情况，致使检测人员很难顺畅地施加渗透剂；同时渗透剂受重力影响下淌严重，易形成检测区域外渗透剂污染，渗透剂污染示例如图 2 所示。鉴于上述情况，应重点考虑对工件检测区域外的渗透剂污染进行控制，以避免污染对渗透检测的影响。



图 2 渗透剂污染示例

2.2 检测试块操作便利性

在现场检测工作中检测试块能够起到灵敏度验证的作用，如标准 NB/T 47013.5—2015 中使用的 A 型铝合金试块和三点式 B 型镀铬试块，标准 ISO 3452.2—2001《无损检测渗透检测 第 2 部分：检测材料》和标准 ISO 3452.3—2001《无损检测渗透检测 第 3 部分：参考试块》中所规定使用的 1 型和 2 型试块。

上述检测试块尺寸相对较小，使用时很不方便，存在影响擦洗、影响观察、容易破坏缺陷影像，容易形成指印污染等问题。如擦洗 ISO 3452.3—2001 双片式 1 型试块的侧边时，为防止手指污染试块检

测面，多余渗透剂的清洗可能不彻底，形成如图 3 所示的影像。

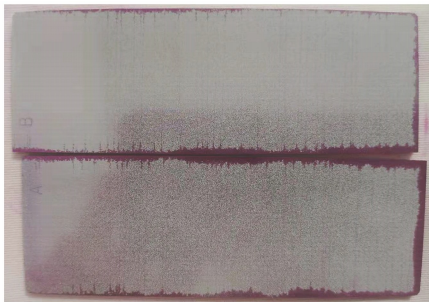


图 3 双片式 1 型试块渗透剂清洗不彻底影像

为了现场检测人员能够更方便和规范地使用试块进行灵敏度确认，需要考虑对其进行改进和优化。

2.3 罐装渗透剂释放和废罐处理

散装渗透剂对保存方法、浓度校验、相对密度校验、外观检验、性能对比试验等均有特定要求，而罐装渗透剂相比于散装渗透剂具有使用和携带方便、性质稳定等突出优势，因此罐装渗透剂在核电站现场着色渗透检测中得到了广泛应用。

在这种情况下，如检测现场优先选择刷涂的方式施加渗透剂时，罐装渗透剂的局限性就显现出来了（如具有一定压力而不便释放渗透剂，完成刷涂渗透剂的操作工序）。为解决这些问题，可以从设计和制作辅助工装的角度进行考虑。

废罐处理时，罐体内部仍有一定量的检测试剂，存在一定压力，辅助工装可以解决此问题。

2.4 检测试块可靠性验证

核电站现场渗透检测工作中使用 A 型铝合金试块、三点式 B 型镀铬试块、1 型试块和 2 型试块时，可能会出现检测灵敏度不达标的情况，所显示的缺陷影像不能够与参考的缺陷影像相对应。分析其中的原因可能有两个方面，一方面是检测试块被污染而堵塞了试块中的缺陷；另一方面是对应的渗透检测灵敏度达不到要求。

如因检测试块被污染或检测灵敏度不符合要求而造成误判，则需对检测试块可靠性进行验证。

3 工艺优化措施

笔者针对于上述问题，以设计和制作辅助工装为解决措施，提出检测试块可靠性的验证方法，阐述并探讨检测工艺的优化方案。

3.1 渗透剂污染控制工装

为了解决渗透检测时检测区域外渗透剂形成的污染问题，笔者利用特制磁橡胶密封条进行限位和

限液，达到了限定检测区域而避免污染的目的，同时也起到了节省渗透剂的作用。

该特制密封条材料为磁橡胶，具有柔韧性、弹性、可绕曲性、磁性等特性，可固定于金属体。利用磁橡胶的特性，制作成特定形状的密封条，可应用于铁磁性材料的着色渗透检测。

该工装包括磁橡胶密封条主体和专用堵头，两者磁性应为异性，确保能够相互吸住，从而形成储液空间。磁橡胶密封条工装结构如图 4 所示，专用堵头工装如结构图 5 所示，磁橡胶密封条装配结构如图 6 所示。

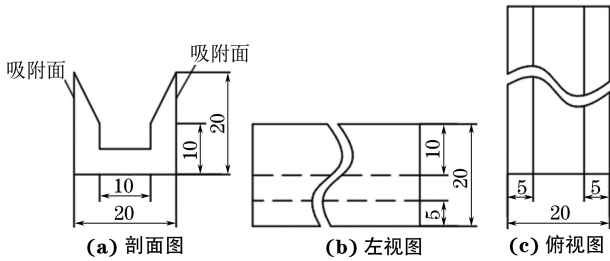


图 4 磁橡胶密封条工装结构示意图

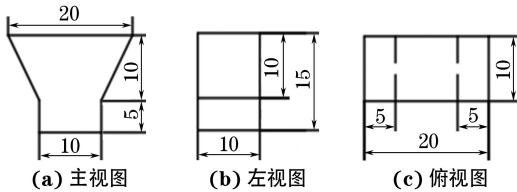


图 5 专用堵头工装结构示意图

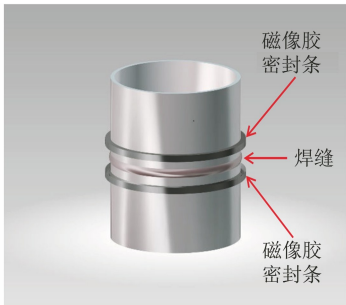


图 6 磁橡胶密封条装配结构示意图

采用该工装进行着色渗透检测时，宜采用刷涂的方法，具体步骤如下。

- (1) 确定被检件的检测区域。
 - (2) 将密封条主体的吸附面吸附于被检部件的区域边界上，起到检测限位的作用。
 - (3) 用专用堵头封住所有被检件上的密封条的两端，形成固定容积的储液空间，起到限液的作用（见图 6，被检件为管道焊缝时无需专用堵头）。
 - (4) 后续按照常规渗透检测流程执行检测工作。
- 刷涂渗透液时，多余渗透液会受重力作用流入

到密封条的储液空间中，可用刷子蘸取刷涂于检测区域，充分利用这些多余的渗透液。对于专用堵头与密封条之间密封不严、密封条与被检件之间密封不严的部位可用橡皮泥进行补充密封。该密封条可根据常用的实际被检件的尺寸进行长度裁剪，确保尺寸的吻合性。

工装使用完毕后应及时用湿棉布进行擦拭、清理，然后放置于阴凉处储存。目前该磁橡胶密封条工装已获得国家实用新型专利授权。

3.2 检测试块辅助工装

3.2.1 试块结构

文章中提到了现场着色渗透检测中常用到的 4 种试块，包括标准 NB/T 47013.5—2015 中使用的 A 型铝合金试块和三点式 B 型镀铬试块，RCC-M—2000 中规定所使用的 1 型和 2 型试块，4 种试块结构如图 7~10 所示。

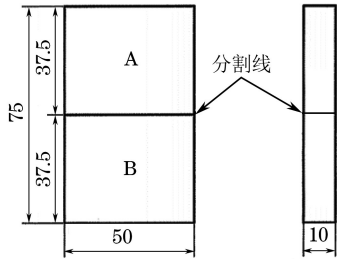


图 7 A 型铝合金试块结构示意图

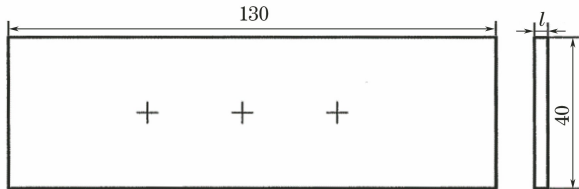


图 8 三点式 B 型镀铬试块结构示意图

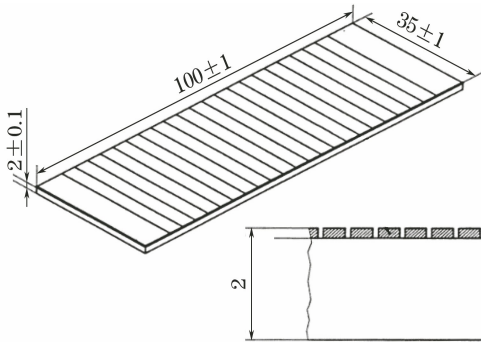


图 9 1 型试块结构示意图

检测人员操作时为了避免污染检测面，可能会出现边侧清洗不彻底的问题，同时也存在不方便把握的问题。对于上述情况，设计和制作辅助工装——检测试块台架可以有效解决该问题。检测试

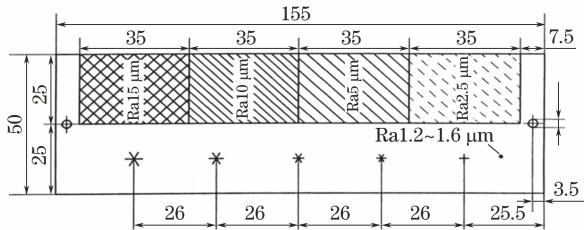


图 10 2 型试块结构示意图

块台架设计时有以下要求。

- (1) 应设置导液槽、凸台斜面和围挡,利于多余渗透剂的分离和储存。
- (2) 试块台架底部应设置防滑脚垫,利于固定该装置。
- (3) 应根据图 7~10 试块的厚度设置相应试块安放槽的深度,深度约为试块厚度的 1/2,注意槽深不得超过电镀层与基体的界面。
- (4) 应根据图 7~10 试块的尺寸设置试块安放槽的尺寸,安放槽的尺寸应比试块的尺寸大 1 mm,以便于试块的安放和取出。
- (5) 设计试块台架时应考虑通用性。

3.2.2 技术方案

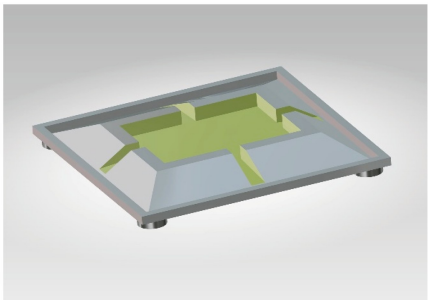
因为 A 型铝合金试块应用于非标准温度下检测灵敏度的对比验证,A 区进行标准方法检测,B 区进行非标准方法检测,两区分开进行检测,检测条件不同,所以设计试块台架时不能放置在同一台架上,应以单个试块进行设计;两区对应的试块应使用同种试块台架进行检测,以比较两区裂纹的显示痕迹。A 型铝合金试块台架结构如图 11 所示。

复合型试块台架可以同时满足三点式 B 型镀铬试块、1 型试块和 2 型试块的使用要求,其中三点式 B 型镀铬试块和双片式 1 型试块放置在对应的试块安放槽内进行检测即可;2 型试块本身设置有 2 个 $\phi 3\text{ mm}$ 的通孔,可以直接利用两个通孔达到固定试块的目的,不必设置专用的试块安放槽,同时在在试块台架的指定位置设置 2 个 $\phi 3\text{ mm}$ 定位销,其穿过试块上的 $\phi 3\text{ mm}$ 通孔即可进行固定。复合型试块台架结构如图 12 所示。

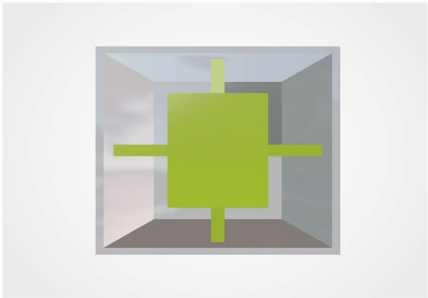
3.3 罐装渗透剂释放和废罐泄压工装

为解决检测现场使用罐装渗透剂而采用刷涂方式施加时存在的局限性,笔者设计和制作了罐装渗透剂释放和废罐泄压工装。

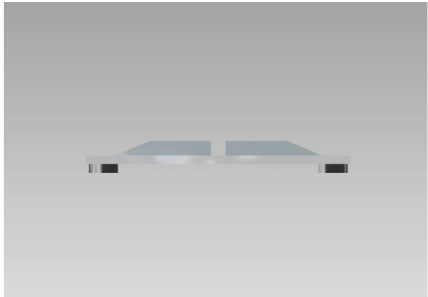
设计的总体要求是工装能够刺破渗透剂罐体并承受其释放时产生的压力,同时渗透剂释放时产生的气雾颗粒能被有效地屏蔽;工装应具有导流管以



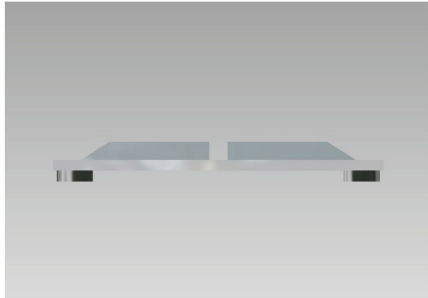
(a) 立体图



(b) 俯视图



(c) 左视图

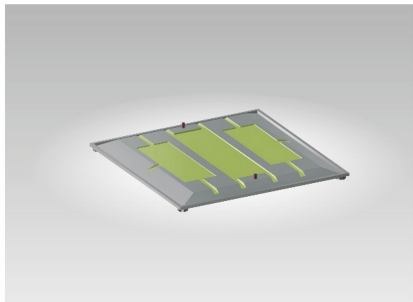


(d) 主视图

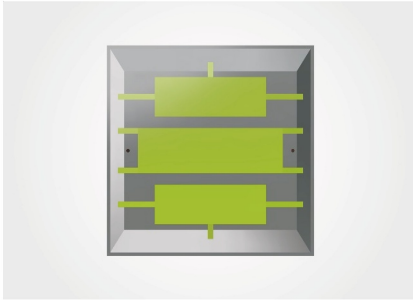
图 11 A 型铝合金试块台架结构示意图

便将释放出来的渗透剂盛放入指定容器,具体的技术方案由以下 4 部分组成。

- (1) 工装通过设置螺杆、压板和蝶形螺母与筒体配合产生压力,使渗透剂罐体与筒体底部的尖锥接触,达到刺破罐体的目的。
- (2) 筒体顶部设置与罐体吻合的通孔,同时压板上开有可供喷嘴通过通孔,以形成有效的压力传导。
- (3) 工装配套有特制的弹性密封环,可以对渗透剂气雾进行有效隔离。



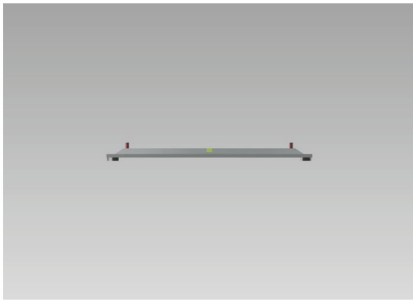
(a) 立体图



(b) 俯视图



(c) 左视图



(d) 主视图

图 12 复合型试块台架结构示意图

(4) 筒体底部设置有导流管,以便在渗透剂释放完毕后进行引流。

罐装渗透剂释放和废罐泄压工装如图 13 所示。该着色渗透检测辅助工装重点解决了渗透剂污染控制、检测试块操作便利性需求、罐装渗透剂释放和废罐泄压的问题,能够达到检测工艺优化的目的,为检测人员的现场检测工作执行起到了良好的促进作用。

3.4 检测试块可靠性验证

核电站现场渗透检测工作中所使用的检测试块



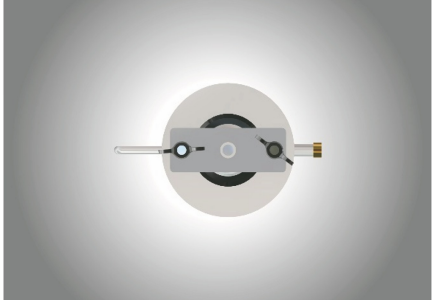
(a) 立体图



(b) 主视图



(c) 剖面图



(d) 俯视图

图 13 罐装渗透剂释放和废罐泄压工装示意

应做好日常的清洗和保存工作,这是检测试块有效性的基本前提。按照标准 NB/47013.5—2015 的要求,检测试块使用完毕后要用丙酮进行彻底清洗,之后再 将试块放入装有丙酮或者丙酮和无水酒精混合液体(体积混合比为 1:1)的密闭容器中浸渍 30 min,干燥后保存。可以在清洗步骤时使用超声波清洗,以进一步提升清洗效果。每次检测后检测人员应按照此要求进行操作,最大程度上保证检测试块的正常使用。

(下转第 77 页)