

CPR1000 机组蒸汽发生器二次侧检查技术的发展及应用

周国正¹, 颜安和², 谢 杰¹

(1. 苏州热工研究院有限公司, 苏州 215004; 2. 中广核检测技术有限公司, 深圳 518124)

摘 要:介绍了国内 CPR1000 机组蒸汽发生器二次侧管板泥渣冲洗及视频检查技术的发展及应用现状, 阐述了目前蒸汽发生器二次侧管板泥渣冲洗及结果评价所采用的技术手段, 包括外来物的取出与验收标准。现有设备及技术可满足国内新投运 CPR1000 机组蒸汽发生器二次侧管板的清洁度检查要求。通过介绍现有设备及技术在应用方面的局限性, 旨在为 CPR1000 机组蒸汽发生器二次侧泥渣冲洗及视频检查技术与设备的进一步研究与开发提供启示。

关键词:蒸汽发生器; 泥渣冲洗; 视频检查

中图分类号: TB302.5

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2014)09-0049-05

Development and Application of the Secondary Side Inspection Technology of CPR1000 Unit Steam Generator

ZHOU Guo-zheng¹, YAN An-he², XIE Jie¹

(1. Suzhou Nuclear Power Research Institute Co., Ltd., Suzhou 215004, China;

2. CGNPC Inspection Technology Co., Ltd., Shenzhen 518124, China)

Abstract: This paper introduces the technology and application of sludge lancing and TV inspection for secondary side of steam generators for CPR1000 units. It introduces the current technology and equipment of sludge lancing and TV inspection used for cleaning tube plates for the secondary side of steam generators for CPR1000 units in China, including foreign object removal and acceptance criteria. It is concluded that the current sludge lancing and TV inspection technology and equipment could satisfy the requirements for cleaning and checking the tube plates of steam generators for CPR1000 units. Moreover, it provides some inspiration for the research and development of the sludge lancing and TV inspection technology and equipment which should be improved and developed in the future, whereas some limits of the current technology and equipment are pointed out at the same time.

Keywords: Steam generator; Sludge lancing; TV inspection

CPR1000 机组是当前国内普遍采用的二代加机型, 其蒸汽发生器采用立式、U 形管结构。蒸汽发生器作为主要的承压边界及一、二回路的连接枢纽, 是核电站的关键设备, 同时也是最薄弱的设备之一, 其可靠性直接影响到核电站的安全性。传热管破损是影响蒸汽发生器可靠性的最主要原因, 在

蒸汽发生器制造、安装与调试阶段, 因各种原因散落于外环廊、中心管廊、管束间的不同属性的外来物(通常将几何尺寸大小小于 1/2 管间尺寸的外来物体定义为外来物), 特别是金属外来物、极有可能损害传热管, 如图 1 所示。而运行阶段泥渣的沉积则是传热管破损的直接原因。泥渣是由给水带入蒸汽发生器的, 主要由微小悬浮固体颗粒和溶盐组成。泥渣在管板、传热管、支撑板表面的沉积对点蚀、应力腐蚀、晶间腐蚀等几种腐蚀过程都有重要的影响。此外, 泥渣在传热管表面的沉积会降低蒸

收稿日期: 2013-12-26

作者简介: 周国正(1986—), 男, 工程师, 学士, 主要从事核电站在役检查规范研究与现场无损检测监督。

汽发生器的换热效率,导致二次侧蒸汽压力降低。当支撑板缝隙泥渣沉积严重时,甚至造成二次侧水循环路径阻塞,两相流不稳定,使运行时水位不稳,控制困难^[1]。

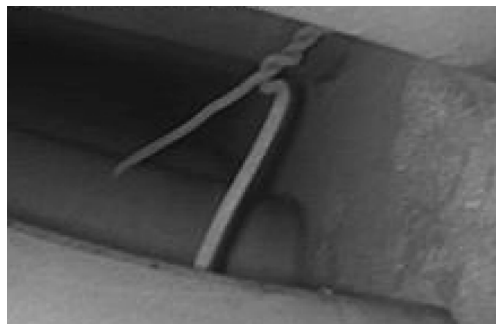


图1 管间外来物

当前主要采用冲洗减少蒸汽发生器二次侧的泥渣沉积状况,并通过视频检查评价冲洗的效果及外来物情况,以保证蒸汽发生器二次侧清洁度。

1 二次侧冲洗

1.1 国内外发展概况

由于蒸汽发生器的重要性,核电厂在每次换料大修期间,均需对蒸汽发生器二次侧进行全面冲洗。

目前国际上具备独立开发、设计、应用蒸汽发生器二次侧冲洗系统的服务商主要有法国 SRA SAVAC 公司,美国 Westinghouse 公司,加拿大 Babcock & Wilcox 公司等。其中法国 SRA SAVAC 公司凭借其强大的设备开发能力,优质高效的冲洗设备,丰富的现场技术服务经验,在全世界核电厂蒸汽发生器二次侧冲洗市场拥有很高的市场占有率,其在法国核电市场的占有率更高达 75%。

目前,国内主要通过引进并消化吸收 SRA SAVAC 公司的蒸汽发生器二次侧冲洗技术及设备,形成了 EPR 三代核电机组及 CPR1000 机组的蒸汽发生器二次侧冲洗的技术能力,并在国内多家核电厂成功应用。通过与 SRA SAVAC 的全面合作,国内已具备蒸汽发生器二次侧冲洗技术及装备开发的自主化能力。

1.2 冲洗原理

蒸汽发生器二次侧泥渣冲洗就是用特定的技术及设备清洗蒸汽发生器二次侧管板上表面沉积的泥渣,包括管板外环廊、中心管廊、传热管管间的全方位清洗。

清洗的工作原理为:常压的清洁水源通过高压单元形成高压水,高压水通过高压枪喷射在传热管间的管板上,松动并冲洗沉积在管板上的泥渣,泥渣随着水流流向管板外环廊,枪体通过步进和旋转实现全管束的清洗;环流水则是将冲洗至外环廊的泥渣随着水流转移到抽吸头处被气动隔膜泵抽至缓冲水箱进行沉淀,并经转移泵由预过滤器和过滤器进行过滤;经过过滤后存储在主水箱的水再向高压泵和环流泵供水,如此完成一个循环水回路。

国际上通常采用的冲洗技术分为硬性冲洗和柔性冲洗。硬性冲洗通常针对蒸汽发生器管板的全面冲洗,主要用于各新运行机组,该类机组因投运时间不长,蒸汽发生器管板积累的泥渣通常便于清洗,因此使用的压力通常为 10 000~30 000 kPa。而柔性冲洗则是针对蒸汽发生器管板特定区域的高压清洗,该局部区域沉积较多硬质泥渣,通过硬性冲洗无法将该区域泥渣清洗干净,因此通过较高压(通常为 30 000~60 000 kPa)的水源专门对该区域进行局部冲洗。柔性冲洗通常与硬性冲洗结合使用,主要用于投运时间较长并沉积了一定硬质泥渣的蒸汽发生器。因国内核电机组主要为新投运机组,且二回路水质控制相对较好,因此蒸汽发生器二次侧管板沉积的硬质泥渣相对较少,目前还没有进行柔性冲洗的迫切需求,普遍采用的是蒸汽发生器二次侧管板硬性冲洗。但是随着机组投运时间的加长,蒸汽发生器二次侧管板沉积的硬质泥渣将逐渐增多,对柔性冲洗的需求也将在不久的将来变得尤为迫切。因此,柔性冲洗技术及设备的积累及开发,将是国内各专业公司对于蒸汽发生器冲洗技术发展的一大方向。

2 二次侧视频检查

当前,国内 CPR1000 机组的蒸汽发生器二次侧视频检查采用手动光纤探头的形式,所有的视频检查均采取“回拉检查”的方法,这样可以保证探头行进过程中的平稳性,提高检查质量。

2.1 视频检查系统

目前采用美国韦林公司 XLG3 视频检查装置,具有 440 000 像素,1/6 英寸彩色 SUPER HADTM CCD 摄像头,通过钨丝及电动螺杆驱动全方位 360° 连续导向,可提供高质量图像,明亮、清晰的图像。探头结构如图 2 所示:

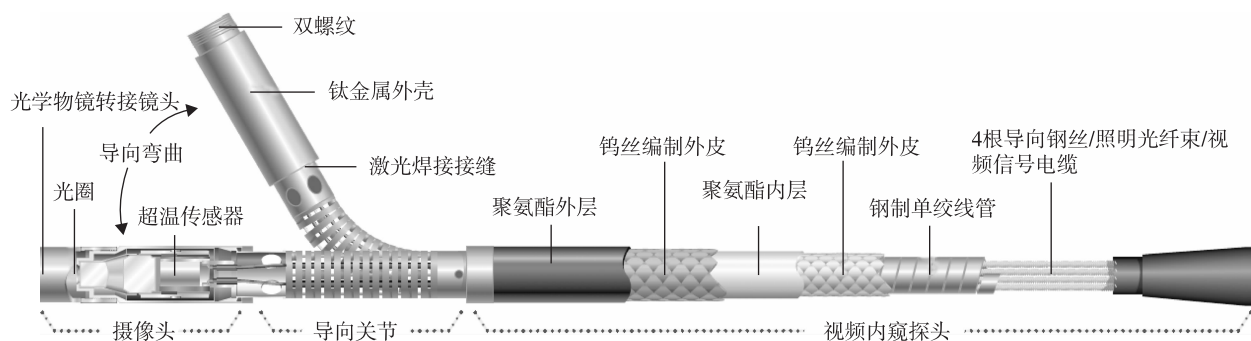


图2 视频探头结构

整套视频检查装置连接和布置如图3,其中外环廊及中间管廊检查采用 $\phi 8.4 \text{ mm} \times 8 \text{ m}$ 工业视频探头,管间检查采用XLG3 $\phi 6.1 \text{ mm} \times 6 \text{ m}$ 工业视频探头。

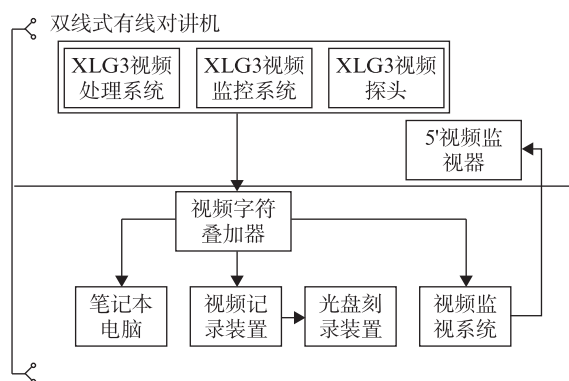


图3 XLG3 设备连接和布置

此外,还准备有视频探头推进装置、探头导向装置、外来物取出装置及其它辅助工具。

2.2 冲洗前检查

冲洗前的检查包括外环廊与中心管廊及其邻近区域^[2],一般在维修冷停期间,待二次侧内部水排干,且手孔及眼孔打开后进行。

2.2.1 外环廊检查

外环廊检查一般起点为 0° APG排污管出口,终点为 180° APG排污管出口。检查重点是关注是否存在外来物,外环廊不允许存在任何松动类外来物。检查工具有:视频探头推进装置、 $\phi 8.4 \text{ mm}$ 视频探头及绑扎材料。

一般步骤如下:

(1) 正确安装和连接检查设备,并确认视频探头绑扎可靠。

(2) 登记送入蒸汽发生器二次侧的所有设备和工具的数量。

(3) 打开蒸汽发生器二次侧手孔上的临时

盖板。

(4) 将视频探头及其推进装置通过 0° 或 180° 手孔送入蒸汽发生器二次侧,检查外管廊及其邻近区域的清洁度,录像记录整个检查过程。

(5) 检查发现外来物时,要对外来物的位置进行录像记录。

(6) 若有必要和可能时,用取异物工具取出外来物。

(7) 录像记录检查和取异物过程。

(8) 检查完成,将视频探头,推进装置等从手孔撤出,并仔细核对从蒸汽发生器撤出的设备和工具并确认无任何工具遗留在蒸汽发生器内部。

2.2.2 中心管廊检查

中心管廊检查的起点和终点与外环廊检查一致。检查区域包括:冷侧检查时,探头由上方翻过阻挡块,检查管板;热侧检查时,探头从下方钻过阻挡块,检查管板。中心管廊的检查重点是关注是否存在外来物及机械异常。在中心管廊之上有9层支撑板和传热管倒U型段以及防震条层层阻拦^[3],相对外来物较少。中心管廊同样不允许存在任何松动类外来物。中心管廊检查的工具具有:视频探头导向装置, $\phi 8.4 \text{ mm}$ 视频探头及绑扎材料。

检查步骤如下:

(1) 登记送入蒸汽发生器二次侧的所有设备和工具的数量。

(2) 将 $\phi 8.4 \text{ mm}$ 视频探头及视频探头导向装置通过 0° 或 180° 手孔送入蒸汽发生器,检查中心管廊及其邻近区域的清洁度,录像记录整个检查过程。

(3) 中心管廊发现外来物时,对外来物的位置进行录像记录。

(4) 若有必要和可能时,用取异物工具取出外来物。

(5) 录像记录检查和取异物过程。

(6) 检查完成,将视频探头,导向装置等从手孔撤出,并仔细核对从蒸汽发生器撤出的设备和工具并确认无任何工具遗留在蒸汽发生器内部。

2.3 冲洗后检查

冲洗后的检查包括外环廊、中心管廊及其邻近区、管间的清洁度。冲洗后需用热的、无油压缩空气对管板干燥,并确认管板无积水。外环廊、中心管廊及其邻近区的检查与冲洗前检查相同。

管间的检查采取“3 抽 1”的方式,即保证连续 3 次大修全部检查一遍。

大修开始前,要对管间检查计划进行确认,需要跟踪检查的管间要一同列入计划。管间检查重点是关注次硬性泥渣的分布,检查完成需将检查结果通知涡流检查人员以便增加必要的涡流检查。管间允许存在不能取出的松动类或夹紧类外来物。对松动类外来物,在下次检查时,应跟踪其新的位置。对夹紧类外来物,无论取出与否,建议对与之相邻的传热管进行涡流检查。如果在画面上能够看到“倒角”则证明管间是清洁的。“倒角”是由于传热管胀管工艺所形成的,如图 4。管间检查使用的工具有:视频探头导向装置, $\phi 6.1\text{ mm}$ 视频探头及绑扎材料。

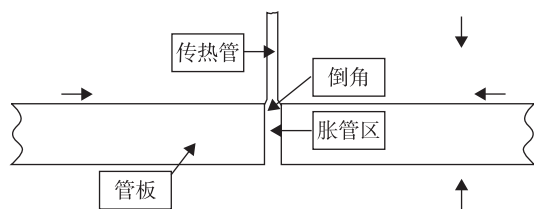


图 4 传热管“倒角”

管间检查步骤如下:

(1) 正确安装和连接检查设备,并确认视频探头绑扎可靠。

(2) 登记送入蒸汽发生器二次侧的所有设备和工具的数量。

(3) 将 $\phi 6.1\text{ mm}$ 视频探头及探头导向装置经 0° 或 180° 手孔送入蒸汽发生器二次侧内部,使导管端口朝向被检管间的适当位置。

(4) 基本采取每 3 行管间检查 1 行的检查方式对管间进行检查;若 $\phi 6.1\text{ mm}$ 视频探头不能通过的受检管间(有支撑杆阻挡),则必须检查相邻二个管间中的一个。

(5) 若按照正常管间检查不能鉴别外来物形状,则有必要检查邻近管间,直到完全确定此外来

物的大小和形状为止。

(6) 逐步检查管间,录像记录检查过程。

(7) 对于管间检查过程中发现的泥渣分布、泥渣结垢、外来物,要准确标记其位置,并认真地进行录像记录。

(8) 对于管间检查发现的非夹紧类外来物,若能取出则必须取出。

(9) 检查完成,将视频探头,推进装置等从手孔撤出,并仔细核对从蒸汽发生器撤出的设备和工具并确认无任何工具遗留在蒸汽发生器内部。

2.4 外来物的取出

2.4.1 外来物分为松动类和夹紧类

松动类外来物指在蒸汽发生器二次侧管间能够自由移动的任何类型物体。

夹紧类外来物指卡在两个或更多管子间的且自身无法移动的任何类型物体。

为取出外来物配备有三爪、鳄鱼钳、磁铁、套圈与真空吸尘装置。

2.4.2 对外来物的处理原则

(1) 允许管间存在现有条件和设备不能取出的松动类外来物或夹紧类外来物。对松动类外来物,在下次检查时,应跟踪其位置。对夹紧类外来物,无论取出与否,建议与之相邻的传热管进行涡流检查。

(2) 不允许外环廊和中心管廊存在任何松动类外来物。

(3) 对外来物的任何尝试,都不允许产生新的外来物。

2.4.3 外来物取出操作步骤

(1) 验证检查设备连接准确无误。

(2) 登记进入蒸汽发生器内部的所有设备和工具。

(3) 将上述工具与视频探头组合将松动类外来物移至外环廊或中心管廊。

(4) 优先使用真空吸尘器、三爪或磁铁工具来清除可以取出的外来物。

(5) 使用外来物取出工具时必须与视频探头配合使用,取外来物应在视频探头严密监视下进行,整个取出过程应进行录像记录。

2.5 记录与验收标准

2.5.1 视频检查记录

蒸汽发生器二次侧视频检查记录分为检查记录和分析记录两部分。

检查记录包括:

(1) 检查过程必须进行视频记录。

(2) 外环廊和中心管廊吸尘过程必须进行视频记录。

(3) 外来物定位和抓取过程必须进行视频记录。

(4) 管间泥渣结垢定位、分布必须进行视频记录。

分析记录是由具有丰富经验的 VT-II 级或者 VT-III 级人员,通过观看检查记录的视频影像,对蒸汽发生器二次侧管板清洁度状况有一个正确的、确切的全面认识,并绘制出蒸汽发生器二次侧管板的清洁度示意图,以判断它是否合格。

2.5.2 验收标准

蒸汽发生器二次侧视频检查不仅要提供表面的清洁度状况,还需根据一定的标准得出清洁度结论。一般原则如下:

(1) 管板上 1 mm 以下的泥渣厚度是可以接受的。它可能均匀地分布在一个特定区域。

(2) 局部(小于 20% 管板面积)2~5 mm 厚度的泥渣是允许的。

(3) 允许水力清洗死区存在泥渣。

(4) 允许管板泥渣堆积区存在现有设备不能冲掉的硬性沉积物。

(上接第 10 页)

问题 43 对不同截面、不同长度适用的电磁导行波信号源功率,有何区别?

答:对不同截面、不同长度适用的电磁导行波信号源功率是不相同的。电磁导行波信号源功率,随着探测距离的加长就得相应地提高;另一种方法,在一定长度传输线情况下,只要能压缩扫频的带宽,也可以获得相应被检测金属管长度的提升。

问题 44 不同缺陷(如裂纹方向、深度,腐蚀程度及是否贯穿等)对导行波的传输反射有何影响?

答:的确有影响。具体问题要具体分析,也就是裂纹方向、深度,腐蚀程度要做比对分析。

问题 45 对不同材质、不同长度的试验对象开展试验,有别于涡流检测的哪些优点?

答:对比涡流技术,它不需要探头内穿被测管,能够

3 结论

蒸汽发生器二次侧冲洗与视频检查技术已经广泛开展。实践证明,泥渣冲洗与视频检查在保障蒸汽发生器可靠性方面有重要作用。当然,目前所采用的管廊型泥渣枪不能深入到管束中清除硬泥渣,远距离手动视频检查也不能在整个管束高度上进行目视检查。随着我国核电站运行时间的增长,需要对上部管束进行目视检查,以确定管子上污垢层厚度、支撑板的堵塞程度及是否需要清洗等情况^[4]。相关的技术还需进一步研究和掌握。

参考文献:

- [1] 张孟琴,张树丰,潘庆春,等. 核电厂蒸汽发生器二次侧淤渣化学清洗[J]. 中国核科技报告, 2002(00): 340-352.
- [2] 丁训慎. 目视检查——用于检查蒸汽发生器的清洗效果[J]. 清洗世界, 2004, 20(8): 23-27.
- [3] 刘振凤,赫玲波. CPR1000 蒸汽发生器的结构分析[J]. 一重技术, 2010(3): 17-20.
- [4] 丁训慎. 核电站蒸汽发生器的清洗和目视检查的经验与技术[J]. 清洗世界, 2008, 24(6): 15-18.

实现轴向和周向定位,适用于多种管子,包括直管、弯管和螺旋式盘管等传热部件,适合核电及其他电力行业热交换器的在役检查。

问题 46 在超声导波应用研究中的问题,在导行波检测技术中会出现吗?

答:在对超声导波管道衰减的试验中发现,导波在黏弹性管道中的衰减十分严重。而在弹性材料管道中,随着传播距离的增大,导波能量也逐步减弱。导波的频散,多模态以及衰减特性,一定程度地影响了导波对裂纹,特别是微小裂纹的检测能力。且缺陷的方位难以确定。而在导行波检测技术中,相同的是随着传播距离的增大,传输能量或功率也会逐步减弱;但它不需要弹性介质。电磁的频散,多模态也存在;但发现不连续点的方位可以确定。

(未完待续)