

指套管移位处理技术研究

田荣 李辉

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i1.11437

[摘要] 针对核电厂指套管在运行期间流致振动导致的管壁磨损减薄缺陷,本文介绍了一种新型移位处理技术。该技术改进了原有移位处理方法,通过在线切割分离工具实现指套管任意长度的切割,延长设备使用寿命,同时,该技术可实现指套管止推环和延伸接头的重复利用,降低维修成本。

[关键词] 指套管; 移位处理; 止推环; 延伸接头

中图分类号: TV 文献标识码: A

Study on the treatment technology of finger casing displacement

Rong Tian Hui Li

CGN Nuclear Power Operation Co.,LTD.

[Abstract] This article introduces a new cutting and displacement treatment technology for thimble tube wall wear and thinning defects caused by flow induced vibration during the operation of nuclear power plant casing. This technology improves the original method of thimble tube cutting displacement by using online cutting separation tools to cut thimble tube of any length, extending the service life of the equipment. At the same time, this technology can achieve the reuse of thimble tube stop and extension joints, reducing maintenance costs.

[Key words] thimble; cutting and displacement; stop; extension joint

前言

指套管是M310及同类压水堆核电站堆芯中子通量探测器的测量通道(50个),其长度约为13—17m不等,内壁干燥,中子测量探头可在里面移动,外壁与一回路介质接触,指套管连同机械密封组件成为一回路压力边界,其完整性对核电厂的机组安全至关重要。完整指套管由堵头(1)、套管(2)、止推环(3)和延伸接头(4)4部分组成,各部件之间通过指套管与止推环之间的密封焊(S1)、止推环与延伸段的对接焊(S2)、子弹头与指套管的插套焊(S3)相连。如图1所示。

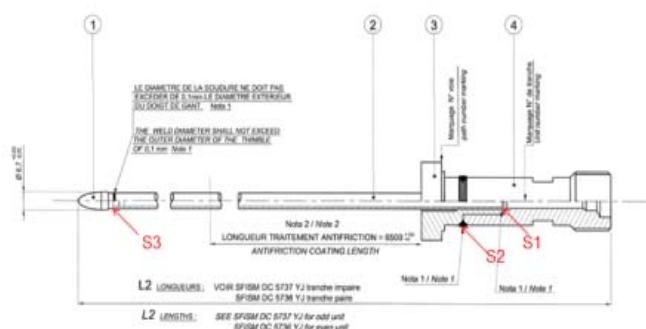


图1 完整指套管结构图

在机组运行期间,指套管在水流长期冲击下,其导向通道截

面突变处容易产生微振磨损。为避免出现指套管破损断裂情况,每次大修期间需要通过涡流方式检测壁厚磨损情况,当磨损程度达到标准时需通过移位处理的方式将指套管从尾部切割一段长度,将减薄位置进行移位,避开水流冲击较大的位置,避免进一步磨损导致更严重的情况,这种处理方式称为指套管的移位处理。

1 行业现状分析

根据指套管涡流检查后磨损程度的不同,行业内一般采取抽取一小段指套管、封堵通道或更换新的指套管等不同的处理措施,国内现阶段普遍执行的指套管磨损处理的标准(如下表)来源于法国EDF经验值^[1]。

表1 指套管磨损缺陷处理标准

分类	行动	磨损量
记录缺陷	无须采取纠正行动	[0%, 50%]
超标缺陷	抽取一小段指套管	(50%, 65%]
	堵管或更换	(65%, 100%]

现有技术在处理达到磨损标准的指套管时,是对指套管截短一段距离,使磨损严重的位置避开水流冲击大的地方,由于指套管有一段40mm插入止推环中,现有移位工艺只能延止推环内壁进行手动切割,每次割管移位长度范围40—45mm。由于指套管

需要为中子测量探头提供通道,因此指套管不能无限制切割,一旦超出切割限值(约100mm),指套管内部通道长度尺寸将无法满足不同燃料组件段的测量要求,只能将此指套管进行封堵或更换,无法继续使用。

由此可见,该维修技术存在明显局限性,每根指套管寿期内最多允许移位处理2次,超过2次则无法继续使用,这大大限制了指套管的使用寿命,增加了维修成本。其次,现行维修策略缺乏灵活性,不能根据不同的磨损情况进行精准处理。例如,在面对一些磨损程度较轻但位置较为关键的指套管时,也只能按照统一的移位长度标准进行处理,可能导致不必要的资源浪费^[2]。

2 移位处理新工艺研究

为优化改进现行指套管移位处理工艺,需要从指套管磨损缺陷形态、磨损缺陷长度、切割移位位置及方式等方面进行研究。

想要通过技术工艺优化方式增加指套管割管移位次数,延长指套管寿命,必须解决如下两个问题:

(1)增加割管移位次数情况下必须缩短单次切割长度,缩短后的长度能否完全避开原缺陷,避免新旧缺陷叠加。(2)新工艺会改变原切割位置,需要开发自动工具满足在线精准切割。

2.1 指套管磨损形态分析

指套管磨损的原因是外部导向段不连续,部分位置与一回路水直接接触受到水流冲击,运行期间不间断振动与外部导向或支承部件接触。根据国内部分核电厂不同结构位置记录的磨损数量对比图显示,指套管主要在P1(堆芯下板上表面区域)位置处发生磨损,约占70%,其次是P4(堆芯支承柱与格架板连接处)位置,约占20%,其他位置磨损较少,本节主要对占比90%以上的P1和P4点缺陷进行分析。

根据指套管涡流检查结果,指套管磨损缺陷类型主要有三种,三种典型缺陷类型与涡流检查信号图对应如图2所示。

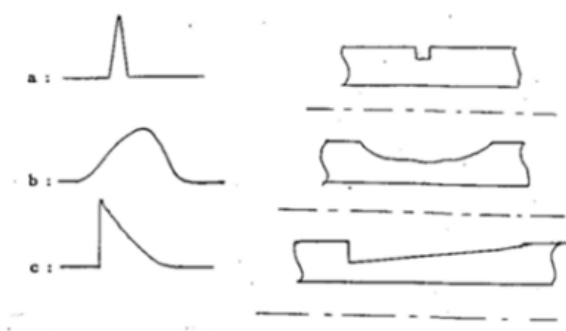


图2 指套管磨损缺陷类型与涡流信号对比图

分析P1点位置涡流信号图可以发现此位置磨损属于典型的a类型缺陷,特点是磨损范围小但是磨损量比较大,根据涡流检查信号图推测P1点磨损长度仅约10mm。P4点磨损属于b类典型缺陷,范围长但磨损量变化小,目前的移位处理方式无法完全避开原磨损位置,根据涡流检查信号图推测P4磨损长度大于80mm。

综合本节分析,不同位置缺陷长度差别较大,尤其磨损最多

的P1点,实际缺陷长度只有10mm左右,按照目前割管移位工艺切割40mm无疑造成无谓的浪费,若通过工艺优化将切割长度减为10mm,也可以将原磨损点完全避开,同时每根指套管寿期内的切割次数将由2次变为10次,寿命延长5倍,收益显著。针对磨损位置第二多的P4点,目前40mm的切割量无法完全错开磨损缺陷,若将切割长度增加至50mm可将缺陷错开更远距离,大大降低下一循环磨损量且不会减少指套管寿期内的割管移位次数,尤其对已经封堵的指套管进行移位时可考虑直接切割100mm以上,进一步减少后续移位次数。

2.2 切割移位位置分析

现有割管移位工艺是沿着止推环内壁进行手动切割,切割位置因人而异略有差异,切割长度范围在40~45mm,切割后的止推环和延伸接头无法继续使用,只能报废处理。如果考虑P4位置增加切割长度只需将切割点前移,与原工艺无差别,在此不再赘述。

针对P1位置缺陷,为缩短指套管切割长度将切割位置后移至止推环段,必然涉及对止推环和延伸接头进行切割。止推环和延伸接头材质均为奥氏体不锈钢,大量研究表明,奥氏体不锈钢部件可以重复焊接,对于非承压段焊缝,重复焊接3次及以内对部件力学性能影响不大^[3]。为同步实现止推环和延伸接头的重复利用,最佳方式是将原焊缝S2、S1切割,首先将对接焊缝S2切割,可完整取出延伸接头,随后将密封焊缝S1切割,实现止推环和指套管分离,完整取出止推环后可对指套管进行任意长度切割。这个切割过程需要对焊缝精准定位,切割过程需精确控制切割深度,必须开发一套轻巧便捷的在线切割分离工具,取代原有的手动切割方式。

3 在线切割分离工具

为实现指套管移位处理新技术实施,特开发一种在线切割分离工具,可快速实现焊缝S2、S1的精确定位切割分离及焊接坡口打磨。

3.1 对接焊切割工具

3.1.1 技术要求

为满足所有指套管位置的切割,对接焊切割工具需满足以下技术要求:

(1)该工具可完成外径22mm的焊缝S2的切割及延伸接头分离;(2)满足现场实际作业空间要求,能在现场狭小空间快速完成安装和切割操作;(3)可实现快速精准定位,并固定牢靠;(4)具备焊缝切割及坡口加工功能,坡口尺寸满足图纸要求(1.5mm×45°)。

3.1.2 总体方案

对接焊切割工具整体结构如图3所示,主要由刀架组件、进给电机、定位安装组件、气动马达等部件组成,切割最大直径22mm,切割深度5mm。

其安装时仅需将工具由延伸接头尾部穿入,直至与尾部对中盘接触,延伸接头插入行程可确保切割刀架与焊缝的精确定位,通过固定在尾部对中盘上的调节螺母可以对延伸接头插入

行程进行微量调整, 调整范围约5mm。通过锁紧螺母旋转自对中抱夹套实现切割刀架与延伸接头的径向对中定位, 切割过程中通过进给电机可以实现切割深度的远程定量控制。刀架安装两种刀具: 45° 扎刀和平面刮刀, 扎刀在切割焊缝的同时可自动完成坡口打磨, 平面刮刀用于切割后的外壁面修整, 避免切割过程中产生的金属碎屑堆积。

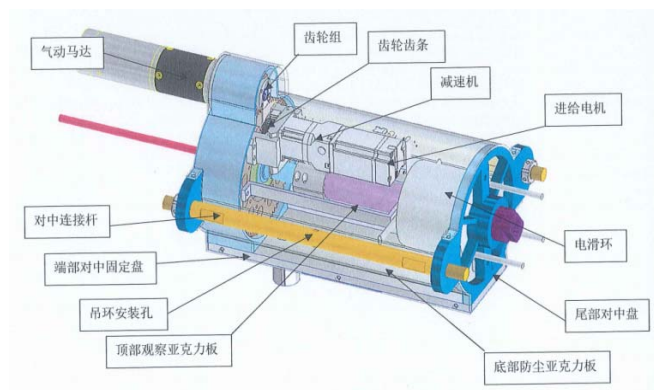


图3 对接焊切割工具结构图

3.2 密封焊切割工具

3.2.1 技术要求

密封焊切割工具需满足以下技术要求:

(1) 可实现 $\Phi 8.7\text{mm}$ 的指套管与止推段间密封焊去除; (2) 切割工具具备焊缝切割及坡口加工功能, 工具切割焊缝后, 需确保焊缝切口平齐, 止推段长度损失小于0.5mm; (3) 切割工具需控制径向切削进刀量, 尽可能减小切割工具对指套管的切削力, 避免损伤指套管。

3.2.2 总体方案

密封焊切割工具整体结构如图4所示, 主要由传动箱体、轴向进给手轮、组合刀盘、气动马达、刀架组件等部件组成, 整体重量约5KG, 切割最大直径8.7mm, 切割行程20mm。

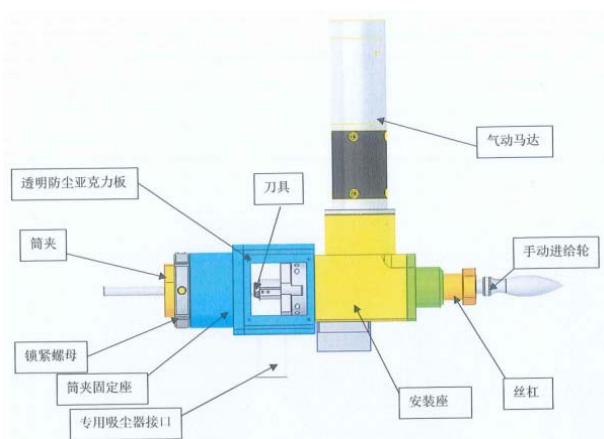


图4 密封焊切割工具结构图

该工具操作过程中人员手持, 通过抱夹扼架与止推环进行自动对中夹持紧固, 刀架由分离刀、平面刀及侧角刀组成, 分别

实现指套管与止推环分离、端面修正及内外焊接坡口打磨功能, 进刀过程由轴向进给手轮手动控制, 进刀过程中人员可以通过观察窗观察切割情况, 切割后指套管长度损伤可以控制在0.5mm以内。

3.3 防异物控制要求

考虑到指套管内部是为中子测量探头提供通道, 指套管内径5.2mm, 测量探头外径4.6mm, 切割过程中产生的任何微小金属碎屑都不允许进入指套管内部通道, 否则可能造成指套管不可用, 鉴于此, 工具开发过程中通过两个方向避免此类情况发生。

(1) 对接焊和密封焊切割工具均在底部预留了吸尘器接口, 切割过程中始终保持抽吸状态, 保证工具内部一定的负压, 金属碎屑在切割过程中大部分进入吸尘器; (2) 设计了一种专用封堵工具, 切割前将堵塞头安装到指套管内部, 堵塞头通过两道密封圈保证封堵效果, 堵头安装后推杆可旋转180° 取出, 不会影响焊缝切割。

3.4 技术应用情况

目前, 大亚湾核电站等国内多个核电厂已逐步推广应用本文介绍的指套管移位处理新技术, 将P1点缺陷切割长度由40mm缩短至20mm。据统计, 新技术应用已累计减少指套管切割长度600mm以上, 重复利用止推环和延伸接头20套以上, 在解决核电厂生产运维实际问题方面成效显著。

4 结语

核电厂堆芯中子通量测量指套管移位问题对核电厂的安全运行有着重要影响, 通过深入分析指套管移位的原因, 研究多种检测技术和处理技术, 并结合实际案例验证, 本文提出了一套较为完整的指套管移位处理策略。在实际应用中, 核电厂运维人员可根据具体情况选择合适的检测与处理技术, 保障指套管的正常位置, 确保堆芯中子通量测量的准确性, 从而提升核电厂的运行安全性和可靠性。未来, 随着技术的不断发展, 还需要进一步优化指套管移位检测与处理技术, 以适应核电厂更高安全标准和更复杂运行环境的要求。

[参考文献]

- [1]张弛, 张挺, 夏清友, 等. 核电厂堆芯中子通量测量指套管外壁磨损缺陷分布及移位处置策略研究[J]. 科技视界, 2022(10): 24-27.
- [2]张磊, 刘武军, 解社娟. 核电站指套管磨损缺陷的扫频涡流检测及创新型特征提取[J]. 中国机械工程, 2021, 32(1): 18-25.
- [3]田文博, 黄震, 陈日昱. 多次返修对应变强化用奥氏体不锈钢焊接接头性能影响分析[J]. 中国修船, 2023, 36(z1): 12-16.

作者简介:

田荣(1987—), 男, 汉族, 河北省邯郸市人, 工程师, 本科, 研究方向: 核电站静止设备管理与维护。