

堆芯指套管磨损分析及移位和堵管处理

曾令林

中核检修有限公司昌江分公司 海南省 昌江县 572700

摘要：堆芯指套管是堆芯中子测量系统中的测量通道，为中子通量探测器提供从核反应堆堆外进入核反应堆堆芯提供一个导向通道，它是一回路的边界，其破损将导致一回路介质外泄。本文针对指套管磨损情况进行分析，及时进行移位和堵管处理，保证系统的安全运行。

关键词：指套管；磨损；移位；堵管

引言

指套管属于堆芯测量（RIC）系统的一部分，为中子通量探测器提供从核反应堆堆外进入核反应堆堆芯提供一个导向通道，它是一回路的边界，属于RCC-M二级承压设备^[1]。指套管全长一般14~16米^[2]，大部分位于导向管内，仅有小部分（下堆芯板到燃料组件底部之间）裸露在一回路流体中，直接与冷却剂接触，由于工作过程中振动和干涉等因素，导致指套管在堆芯内产生磨损减薄。本文所述内容适用于目前国内除VVER堆型外其他二代和二代加轻水堆核电机组。

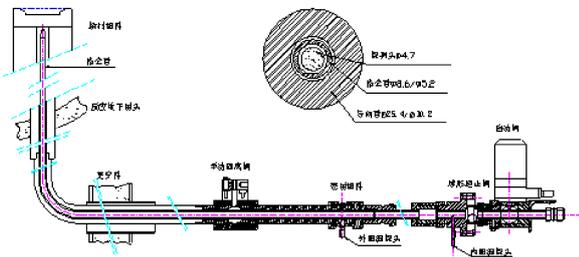


图1 RIC和指套管结构示意图

1 指套管磨损机理

由于指套管不完全都位于导向管内，下堆芯板到燃料组件底部之间部分处于一回路流体中（见图2 堆芯中子通量测量导向管及指套管示意图），直接与冷却剂接触，且每根指套管除密封法兰段与密封线固定外，全长未设置任何固定装置，故在机组运行期间，指套管在堆芯内受冷却剂横向冲击和轴向流动共同作用下因流至振动，会在通道截面突变处产生“微振腐蚀”^[3]，再加上堆内构件振动的影响，指套管和堆内构件的导向通道发生碰撞和摩擦，从而导致指套管壁厚的减薄，目前尚未能准确的预测指套管磨损情况，只能定期（一到两个燃料周期）对指套管进行检测。

根据法马通对2000年研讨会简报书面订正、NSSS设备制造和材料特性研讨会简报GST-2000-56，给出的指套

管磨损量与允许运行时间：

- 减薄量 < 40%，无需采取纠正行动；
- 减薄量 < 50%，名义剩余寿命大于2个燃料周期；
- 减薄量 > 50%，抽取少量的指套管的一小段；
- 减薄量 < 65%，名义剩余寿命大于1个燃料周期；
- 减薄量 > 65%，堵管或更换指套管。

当检测结果为指套管管壁减薄量 δ （ $50\% < \delta < 65\%$ ）时，为了防止碰撞和摩擦导致减薄的位置缺陷扩大，需进行移位处理；当检测结果为指套管管壁减薄量 $\delta > 65\%$ 时，为了防止指套管穿孔，导致一回路介质外泄，需进行堵管或更换，由于更换较为麻烦，而指套管有冗余设计，考虑经济性，一般采取堵管进行处理。

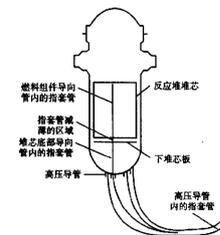


图2 堆芯中子通量测量导向管及指套管示意图

2 指套管移位

指套管堵管工序分为指套管拔出、指套管切割、指套管焊接、指套管回推，其中需要用到专用零件：1个手柄止推段、1个手柄延长段，由于考虑原手柄切割打磨难度及耗时问题，为节省检修时间和人员受照剂量，移位通常直接更换新手柄，旧手柄待后续重新加工再使用。



（①手柄止推段，②手柄延长段）

图3 指套管结构示意图

2.1 指套管拔出

2.1.1 确认需移位的指套管通道后，拧松密封组件上

下游螺母，先将指套管抽出约N1毫米，再适当拧松密封组件中间螺母；

2.1.2 将指套管抽出至适合加工的位置后，并用要求的力矩拧紧上游螺母。

2.2 指套管切割

2.2.1 根据指套管移位距离X毫米，在指套管手柄止推段端面前约X+N2毫米位置处做好标记，标记J1；

2.2.2 若移位距离较短，将小布条塞入距指套管止推段端面约50mm处；

2.2.3 根据指套管移位距离X毫米，在手柄止推段法兰前X-N3毫米位置处，用手锯将指套管缓慢切断，切割面尽量垂直。

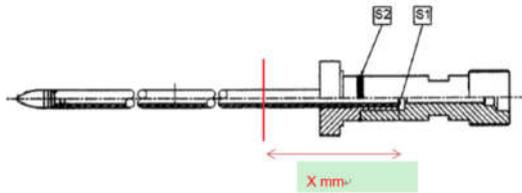


图4 指套管切割位置示意图

2.3 指套管焊接

2.3.1 将备件指套管手柄止推段套入指套管中，完成指套管与止推段焊口S1焊接；

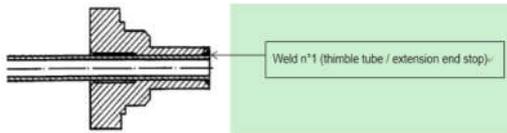


图5 指套管手柄止推段焊接示意图

2.3.2 将指套管延长段完全套入止推段中，并完成止推段与延长段焊口S2焊接；

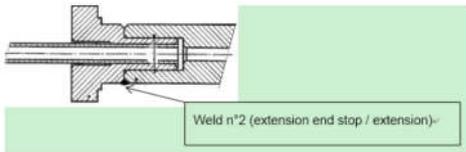


图6 指套管手柄延长段焊接示意图

2.4 指套管回推

2.4.1 使用专用扳手适当拧松指套管密封组件上游螺母；

2.4.2 将指套管插入到距离底部约N1毫米处，拧紧密封组件中间螺母，将指套管回插入底；

2.4.3 回装密封段下游螺母及垫片；

2.4.4 以要求的力矩值拧紧密封组件上游螺母和下游螺母。

3 指套管堵管

指套管堵管工序分为指套管拔出、指套管切割、指

套管焊接、指套管止推段安装、指套管回推，其中需要用到专用零件：1个堵塞连接头、1个堵塞公头、1个堵塞手柄及1个盖形螺母（止推段），其中：

➤ 堵塞连接头用于指套管高放段与指套管耐磨段之间的连接，均为插套密封焊；

➤ 堵塞公头以及指套管耐磨段与止推段之间的连接。堵塞公头与指套管耐磨段之间为插套密封焊，堵塞公头另一端穿过止推段后通过螺母将两者连接固定；

➤ 指套管耐磨段从待封堵指套管上截取，用于指套管堵管塞子之间的连接；

➤ 端塞手柄用于封堵后指套管的可靠固定，防止正常运行期间指套管因承受外压冲出。

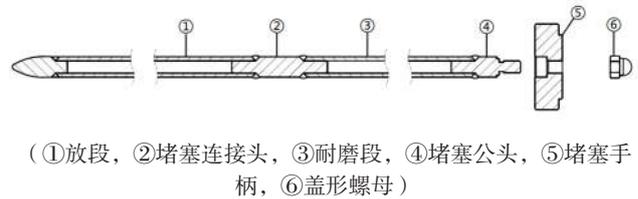


图7 指套管堵管示意图

3.1 指套管拔出

(1) 使用专用工具旋下密封段下游螺母，露出指套管止推段；

(2) 小心地松开密封段的上游螺母（约1/2圈）。将指套管拔出约N4毫米；

(3) 缓慢用插销扳手松开密封段内部螺母1圈，将指套管拔出至约N5毫米处；

(4) 拧紧密封段上游螺母；

(5) 随后将密封段内部螺母拧紧；

3.2 指套管切割

3.2.1 耐磨段切割

(1) 从止推段尾部的端面上起测，在抽出长度N6毫米位置做标记A，此标记对应于指套管的首次切割位置；

(2) 将切下段按照N7毫米和N8毫米进行长度分割（切割标记B），其中N7毫米段为特氟龙耐磨涂层段，用做堵管耐磨段。

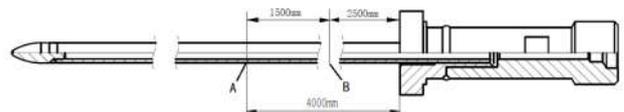


图8 指套管补偿段切割位置示意图

3.2.2 去除段切割

(1) 再次旋松密封段上游螺母（约1/2圈），将指套管拔出约N4毫米；

(2) 缓慢用插销扳手松开密封段内部螺母1圈, 将指套管拔出至约N9毫米处, 拧紧密封段上游螺母, 随后将密封段内部螺母拧紧;

(3) 从指套管断口位置起测, 在抽出长度N6毫米位置做标记C, 此标记对应于指套管的二次切割位置;

(4) 使用专用工具将指套管从标记C处切断。

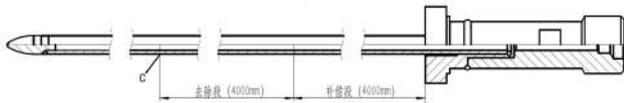


图9 指套管去除段切割位置示意图

3.3 指套管焊接

3.3.1 将指套管堵塞公头 (①) 安装至耐磨段, 对M3焊口进行焊接;

3.3.2 将指套管堵塞连接头 (②) 一端安装指高放段, 对M1焊口进行焊接;

3.3.3 然后再将堵塞连接头另一端与耐磨段连接, 注意检查同轴度, 对M2焊口进行焊接。

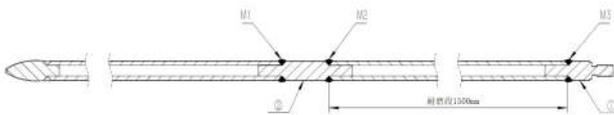


图10 指套管堵管示意图

3.4 指套管止推段安装

将堵塞手柄 (图7 ⑤) 安装至堵塞公头 (图7 ④), 并用盖形螺母 (图7 ⑥) 旋紧。

3.5 指套管回推

3.5.1 检查指套管止推段端面O型密封圈 (⑥) 是否老化、破损, 并对缺陷O型圈进行更换;

3.5.2 旋松上游螺母 (③) 和密封段内部螺母, 将指

套管推入至密封段位置约50mm处;

3.5.3 用插销扳手将密封段内螺母 (⑧) 拧紧;

3.5.4 将指套管完全推入密封组件;

3.5.5 将上游螺母安装至密封段;

3.5.6 将耐磨垫圈 (⑦) 和下游螺母 (④), 分别安装至密封段;

3.5.7 将下游螺母拧紧;

3.5.8 在上游螺母 (③) 第一次拧紧24小时后, 对其进行力矩复检, 拧紧防松螺母。

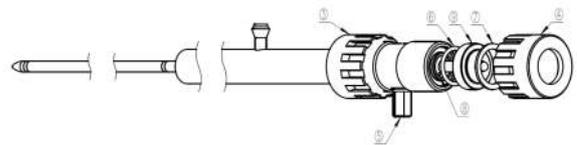


图11 指套管回推示意图

4 总结

指套管作为一回路边界, 保障其完整性对机组的安全稳定运行有着至关重要的作用。当其管壁减薄量 δ ($50\% < \delta < 65\%$) 时, 需进行移位处理, 避免该段管壁继续减薄穿孔; 当其管壁减薄量 $\delta > 65\%$ 时, 避免该段管壁穿孔, 考虑到经济性, 对其进行堵管处理, 即封堵该通道, 不再使用^[1]。

参考文献

- [1] 法国法马通公司主编. 指套管安装运行维修手册 [M].
- [2] 陈松等. 核电站指套管减薄根本原因分析[J]. 设备管理与维修. 2018 (22): 65.
- [3] 代巍巍 侯志华 陈红卫 王玉彬. 秦山第二核电厂堆芯指套管维修[J]. 中国机械. 2014: 254.