

核电机组埋地供氢法兰泄漏处理及改进措施分析

朱凯亮 李伟 朱元生 尹轶萱 黎豪锴

(中核核电运行管理有限公司 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 核电厂两台机组耗氢量增加, 排查发现供氢站围栏外东南角地面氢气浓度超过测氢仪的量程, 初步判断供氢站至两台机组的埋地供氢管线存在泄漏情况。本文通过分析发现, 引起缺陷的直接原因是供氢总埋地法兰因法兰螺栓应力松弛、垫片预紧力下降导致法兰垫片无法密封, 产生泄漏; 根本原因是供氢总埋地法兰未曾安排定期预维检查项目。切除埋地法兰, 将法兰连接改为管道焊接形式, 同时将氢气系统剩余 2 处法兰连接变更为直通管连接, 从根本上消除漏氢隐患。并在供氢母管上增加一对隔离法兰和一个隔离阀, 以实现供氢站与机组间实体隔离的建立, 同时增加一个机组临时供氢接口, 以降低检修操作风险。

关键词: 氢气; 埋地管线; 法兰; 泄漏

0 引言

核电厂反应堆是加拿大 CANDU6 型加压重水堆, 外购氢气通过相应的充装管道和阀门充装到氢气系统的四个储氢罐, 由四个储氢罐向两台机组的氢冷系统连续供气, 补充机组正常运行时损耗的氢气、启机前发电机置换的氢气及升压所需要的氢气。氢气属于易燃易爆气体, 在设计、运行过程中需严格遵守国家标准和运行规程。因此, 确保供氢系统的安全可靠对机组安全运行具有重要意义。

1 概述

1.1 供氢系统简介

核电厂两台机组发电机使用氢气冷却, 共用一套供氢系统, 设备基本都布置在供氢站的围栏内。供氢系统主要由 4 个储氢罐和汇流排组成。4 个储氢罐用来储存氢气, 2 台运行 2 台备用; 汇流排带有减压阀, 将储氢罐内的高压氢气压力降至 0.65MPa, 并供给两台机组的氢冷系统, 以维持氢冷系统的压力。电场内材质为 304L 的供氢管道与多条不同材质、不同功能的管道连接, 共同使用一个强制电流阴极保护系统。两台机组各有一台整流器输出保护电流, 氢气管道分布于机组常规岛区域, 氢气管道总长约 200m。

1.2 供氢总管漏氢缺陷描述

2020 年 9 月, 两台机组耗氢量增加, 每日增加氢气消耗量约 15m^3 , 10d 后每日增加氢气消耗量约 30m^3 。通过对供氢管线进行排查, 发现供氢站围栏

外东南角地面氢气浓度超过测氢仪的量程, 初步判断供氢站至两台机组的埋地供氢管线存在泄漏情况。随即联系土建专业人员开始挖掘, 发现距离地面约 1.5m 深处的供氢管线上存在一处法兰 (图 1), 肉眼观察法兰螺栓已松动。使用喷壶向法兰处喷涂检漏液, 发现有大量气泡涌出。



图 1 泄漏埋地法兰

2 供氢总管漏氢缺陷原因分析及修复方案

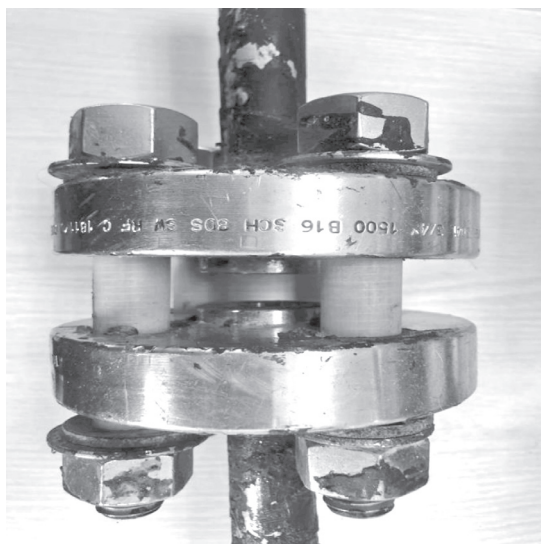
2.1 漏氢缺陷可能原因

在土建专业挖掘地面前, 推测漏氢的原因如下:

- (1) 埋地的不锈钢管道或管件出现老化、腐蚀；
- (2) 埋地的管道焊缝存在缺陷或出现腐蚀。

2.2 供氢管线现场检查

供氢站至两台机组汽轮机厂房内的氢气控制系统埋有一条 3/4" (1"=25.4mm) 的 304L 不锈钢管道, 该管道埋地深度为 1.5 ~ 2.6m。检查埋地管道, 发现管道外包防腐层完好、无破损, 不锈钢管道表面无老化、腐蚀。该区域管段无焊缝, 埋地法兰连接方式较为特殊, 法兰垫片为 3 层, 中间层为电木绝缘板, 两侧为 GARLOCK 垫片, 法兰螺栓均使用四氟套管与法兰隔离, 法兰螺栓两侧靠近法兰侧垫片均使用了电木绝缘板进行隔离, 如图 2 所示。



(a) 埋地管道法兰实物图



(b) 法兰垫片实物图

图 2 埋地管道法兰

2.3 供氢管线埋地法兰结构设计分析

埋地供氢管线使用防腐层与外加电流阴极保护联合进行防腐保护, 在氢气站及两台机组主变压器分侧西南角均设置电位测试桩, 以进行保护电位的检测。

该泄漏法兰属于氢气站外埋地管道与地面管道的连接绝缘法兰, 为阴极保护隔离法兰, 将地面上的管线和埋地管线进行隔离。国家标准 GB/T 21448-2017《埋地钢质管道阴极保护技术规范》第 4.1.1 节中规定: 埋地油气长输管道、油气田外输管道和油气田内埋地集输干线管道应采用阴极保护; 其他埋地管道宜采用阴极保护^[1]。

防腐层作为埋地管道的第一道保护伞, 既能隔离腐蚀性的土壤和金属管体, 降低管道被腐蚀的风险, 又能降低对管道阴极保护电流的需求。虽然管道外表面做了防腐处理, 但并不是万无一失的, 埋地管道应该进行阴极保护。阴极保护主要是防止针孔结构以及其他原因造成的微小破损导致的局部腐蚀, 延长管道的使用寿命。被保护的管道、管道段必须和其他埋地管道、电缆、接地极绝缘, 可采用绝缘接头或法兰, 且套管与输送管之间应安装绝缘垫片。

2.4 原因调查及分析

法兰在长期运行中可能出现垫片老化、回弹力下降、密封性能下降、螺栓力矩下降等问题, 因此法兰螺栓、法兰垫片处可能发生泄漏。2017 年, 核电厂编制了供氢管线法兰预防性维修大纲, 因工程师不熟悉该氢气管线的等轴图, 仅发现了供氢总管进入两台机组汽轮机厂房处的两对法兰, 未能排查出靠近供氢站处的埋地总管上的法兰。

针对上述两对法兰, 核电厂编制了 2 条预维项目, 分别为法兰螺栓力矩定期紧固 (周期 6 年) 和法兰垫片定期更换 (周期 12 年)。埋地供氢总管上的法兰自建厂至今 20 年, 未曾进行预维工作。

据上判断: 埋地供氢总管上的法兰因螺栓应力松弛、垫片预紧力下降, 造成法兰垫片无法密封, 产生泄漏。

2.5 原因总结

根据上述分析, 总结事件原因如下:

- (1) 直接原因为供氢总管埋地法兰因法兰螺栓应力松弛、垫片预紧力下降, 导致法兰垫片无法密封, 产生泄漏。

(2) 根本原因为供氢总埋地法兰未曾安排定期预维检查项目。

(3) 促成原因为工程师不熟悉该氢气管线的等轴图, 未能排查出该对埋地法兰。

2.6 修复方案

(1) 安措建立: 将发电机内氢气升压至 435kPa, 确认发电机内部氢气能够满足两台机组 48h 连续运行的需求, 关闭氢气供气隔离阀、储氢罐出口隔离阀, 隔离泄漏法兰所在管线。用氮气对氢气管线进行吹扫, 确认无氢气残留。

(2) 处理措施: 该法兰所处位置特殊, 在室外埋地 1.5m 深处, 且法兰垫片中间层为电木绝缘板。厂内无电木绝缘板类板材, 常用的聚四氟乙烯材料在潮湿和低温的工况下易脆化, 而埋地法兰在少量泄漏的情况下较难监测, 因此对该法兰进行预维需要挖地, 风险较高。经讨论, 将此处法兰连接变更为管道焊接形式, 从根本上消除法兰处氢气泄漏的隐患。

(3) 检修方案: 确认泄漏管道区域开挖的空间满足管道切割、焊接要求后, 拆除管道保护层, 并将周围的接线保护好。用锯弓在距离法兰两侧 142mm 处将法兰整体切除。将预制不锈钢管道与 2 个不锈钢接头装至供氢总管道原管线位置, 确保预制新管线、2 个接头同原管线中心在同一直线上。对 4 处角焊缝进行逐层焊接, 并进行层间 PT 检查, 确认合格, 如图 3 所示。

对管线内部进行充氮, 用检漏液喷涂 4 处管道焊缝, 确认无外漏。确认系统满足投用条件后, 恢复管道及法兰防腐层, 回填开挖区域。



图 3 角焊缝位置示意图

2.7 小结

本节从设计、安装和运行三方面分析了供氢管线漏氢的直接原因、根本原因和促成原因, 并制定了相应的修复方案, 从根本上解决了供氢管线埋地法兰漏氢问题。

3 修复方案有效性评估及改进方案

3.1 修复方案有效性评估

埋地管道的阴极保护电流在埋地管道与地上设备之间无法形成电连接, 原因为地上管道没有处在土壤中, 不会传导阴极保护电流^[2]。现场整流器输出电流值很小, 阴极保护电流无法形成回路, 地上设备不会受到杂散电流的干扰, 因此取消该埋地法兰对埋地管道的阴极保护没有影响, 无需恢复法兰设置或将法兰移至地面供氢管道上, 修复方案可靠有效。

3.2 改进方案

GB 50177-2005《氢气站设计规范》中规定: 氢气管道的连接, 应采用焊接。但与设备、阀门的连接可以采用法兰或锥管螺纹连接。GB 4962-2008《氢气使用安全技术规程》中规定: 氢气管道的连接应采用焊接或其他有效防止氢气泄漏的连接方式^[3]。根据上述国家标准, 氢气系统管道上的法兰连接设计不合理, 需要纠正。排查氢气系统管线布置图, 确认仅存在 1 对埋地法兰。而供氢总管上共设计了 3 对法兰连接, 故将剩余 2 处法兰改为直通管连接, 以降低法兰处氢气泄漏的可能性。

经过本次缺陷处理, 发现供氢站区域内管线与机组之间无法建立隔离安措。现机组运行期间安措的建立方式有 2 种, 一是确认发电机内氢气能够满足两台机组 48h 连续运行后, 建立隔离安措, 使用氮气吹扫, 维修人员需要在规定时间内完成缺陷处理。二是在 1# 机组大修期间, 对 2# 机组建立临时供氢管线接口, 通过定期更换氢气瓶的方式保证机组氢气供应, 操作流程复杂、实施风险高。

为方便后续检修实施, 决定在大修执行储氢罐整体更换的窗口, 在供氢母管上增加一对隔离法兰和一个隔离阀, 实现供氢站与机组间实体隔离的建立。同时增加一个机组临时供氢接口, 消除 48h 检修时间的限制, 降低实施风险。变更设计图纸及变更后管线布置情况见图 4。

本次变更优化了氢气分配系统原管路设计, 无论

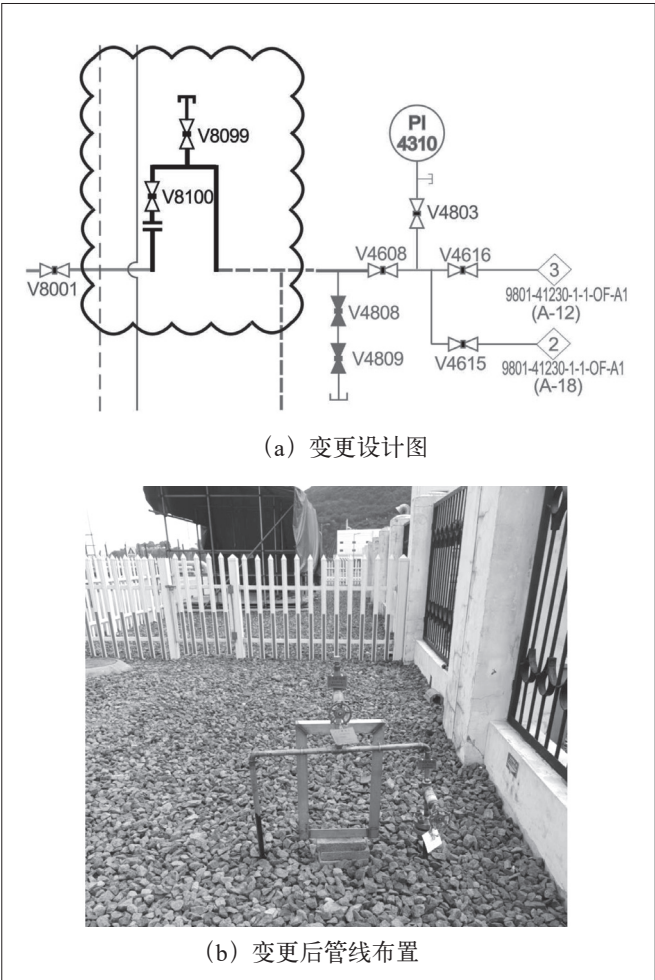


图 4 变更设计图及变更后管线布置情况

在机组日常运行期间还是机组大修期间，均能够快速建立隔离安措，简化了安措建立的操作流程，方便维修人员快速开展检修工作，从根本上消除了机组运行期间发电机内部氢气因检修需要导致氢气供

应不足的隐患。

3.3 小结

本节确认了供氢管道法兰连接方式变更方案的可行性及有效性，变更后从根本上消除了法兰连接处氢气泄漏的可能，提高了氢气系统的安全性。并在机组大修期间，在供氢母管上增加一对隔离法兰和一个隔离阀，实现供氢站与机组间实体隔离的建立，同时增加一个机组临时供氢接口，方便检修实体安措的建立。

4 结语

本文对供氢总管线埋地法兰漏氢缺陷原因进行了分析，并通过取消埋地法兰、变更法兰连接方式等方法，从根本上消除了泄漏隐患。并通过在供氢母管上增加一对隔离法兰和一个隔离阀，实现供氢站与机组间实体隔离的建立，同时增加一个机组临时供氢接口，方便检修实体安措的建立，为机组安全稳定运行提供了保障。

参考文献：

[1] 胡治平，池华建．阴极保护防腐蚀技术在变电所及发电厂的应用 [J]．江苏电机工程，2006，25(2)：82-84.

[2] 中华人民共和国信息产业部．氢气站设计规范：GB 50177-2005[S]．北京：中国计划出版社，2005.

[3] 蒋庆梅，王琴，谢萍，等．国内外氢气长输管道发展现状及分析 [J]．油气田地面工程，2009(12)：6-8+64.

作者简介：朱凯亮（1993.06-），男，汉族，河北沧州人，本科，工程师 / 技师，研究方向：汽轮机设备维修。