

# 300MW 水氢氢发电机内部漏氢分析及处理

池海江, 金俊逸, 张 杰

(江苏省太仓港协鑫发电有限公司, 江苏 太仓 215433)

**摘 要:** 水氢氢汽轮发电机内部漏氢严重威胁着发电机的运行安全, 文中介绍太仓港协鑫发电有限公司4号发电机内部漏氢处理方案、处理经过, 并结合现场处理经验, 对发电机内部漏氢的情况进行技术分析, 提出了解决方案, 为发电机内部漏氢处理提供实际应用参考。

**关键词:** 发电机; 内部漏氢; 渗漏点; 电气及非电气试验; 油污; 热水循环

## 0 引言

江苏太仓港协鑫发电有限公司4号发电机由上海汽轮发电机有限公司生产, 2003年8月出厂, 2004年7月投运至今, 型号为QFSN2-300-2, 额定氢压为0.31MPa。2011年7月开始4号发电机每天补氢量约 $20\text{m}^3$ , 大大超过技术要求(发电机漏氢量 $\leq 10\text{m}^3$ )。现场测量发现渗漏到定子冷却水箱氢气换算成24小时漏氢量约 $8.6\text{m}^3$ 。2011年10月解体发电机汽、励侧端部, 进行定子线圈水回路水压试验, 发现4号发电机汽侧33槽定子绕组绝缘引水管三通接头存在砂眼, 同时发现发电机汽侧18槽、19槽定子绕组绝缘引水管内壁存在油污。对上述缺陷进行处理。

文中介绍4号发电机定子绕组绝缘引水管三通接头砂眼、绝缘引水管油污的检查及处理过程, 结合现场处理过程, 对发电机内部漏氢处理进行技术探讨。

## 1 事情经过

### 1.1 4号发电机内部漏氢处理经过

发电机氢气置换完毕, 因定冷水电导率 $>1.5\mu\text{S}/\text{cm}$ , 不符合电气试验要求, 研究后决定发电机修前电气试验推后进行, 发电机解体漏氢检查工作开始。

4号发电机两侧端盖、导风筒拆除完毕, 定子绕组水回路进行检查性水压试验, 发现汽侧第33槽(汽侧端部3点钟方向)定子绕组绝缘引水管三通部位存在渗水, 打开手包绝缘检查为绝缘引水管三通接头存在砂眼, 在不动氢冷器的情况

下, 对砂眼进行补焊, 并重新更换第33槽定子绕组绝缘引水管, 补焊完毕后进行水压0.5MPa、时间8h定子绕组水回路水压试验, 修后定子绕组水回路水压试验顺利通过, 漏氢点处理完毕。

漏氢点处理完毕, 定冷水系统恢复并进行发电机定冷水回路反冲洗, 每天跟踪测量定冷水水质、发电机汇水环对地绝缘电阻、绕组绝缘电阻数据变化情况, 定冷水电导率由起初的 $8.9\mu\text{S}/\text{cm}$ 下降至 $1.416\mu\text{S}/\text{cm}$ , 总汇水环对地绝缘电阻由 $0.2\text{k}\Omega$ 上升至 $18\text{k}\Omega$ , 绕组绝缘电阻R15:  $1.84\text{G}\Omega$ 、R60:  $1.81\text{G}\Omega$ 、吸收比接近1, 绕组直流泄漏及直流耐压试验无法进行。随后检查发现发电机汽侧18槽、19槽定子绕组绝缘引水管内壁存在异物, 检查定冷水系统A、B两侧滤网滤芯颜色发黑, 经过化验确定定冷水滤芯上物质为油及24%铜、1%铁混合物。

发现油污后, 采用定冷水回路全部放水并用仪用压缩空气吹净方法将定子绕组水回路内残留水吹干, 符合电气试验条件后进行定子绕组绝缘、绕组直流泄漏及直流耐压、33槽绕组电位外移及绕组直流电阻等相关的电气试验工作, 试验数据符合规程要求。随后进行发电机定冷水系统热水循环冲洗(定冷水水温加热到 $60^\circ\text{C}$ ), 经过4次换水14h热水循环冲洗, 汽侧19槽定子绕组绝缘引水管内壁油污基本消失, 汽侧18槽定子绕组绝缘引水管内壁油污面积减小。停止热水循环, 联系电科院进行发电机内冷水流量试验、端部模态试验, 试验数据合格。热水循环后定子绕组绝缘和汇水环对地绝缘明显提高, 发电机修后电气试验数据均合格。

4号发电机修后每天(24h)的补氢量 $\leq 10\text{ m}^3$ , 24小时漏氢量符合发电机技术标准要求。

## 2 技术分析及处理方案

### 2.1 4号发电机内部漏氢分析及处理

#### 2.1.1 渗漏位置

4号发电机进行定子绕组水回路检查性水压试验(水压试验方法: 试验水压缓慢上升, 水压值 0.2MPa, 停留 30 min 检查; 水压值 0.3MPa, 停留 30 min 检查; 水压值 0.4MPa, 停留 30 min 检查; 水压值 0.5MPa, 4 h 无渗漏), 发现汽侧第 33 槽定子绕组绝缘引水管三通部位存在渗水, 打开手包绝缘检查为水电连接处三通接头绝缘引水管侧的紫铜接头存在砂眼。

图 1 为 4 号发电机汽侧第 33 槽定子绕组绝缘引水管三通接头在水压试验时的渗漏点。图 2 为 4 号发电机汽侧第 33 槽定子绕组绝缘引水管三通接头的砂眼位置



图 1 #4 机第 33 槽定子绕组绝缘引水管三通接头渗漏点



图 2 #4 机第 33 槽定子绕组绝缘引水管三通接头砂眼位置

#### 2.1.2 技术分析

发电机本体定子内冷水回路主要包括: 定子绕组绝缘引水管及法兰、引水管汇水环、中性点套管及出线套管、定子绕组线棒。

定子绕组端部三通接头水电连接采用“水电分开”结构。线棒由实心铜线棒和空心铜线棒交叉组成, 鼻部有变换装置, 将线棒部分两排变换成

三排, 两侧是实心铜线棒, 中间是空心铜线棒, 电连接由上、下两层线棒的实心铜线棒焊接实现。定子端部三通接头水电连接采用“水电分开”结构。水连接是由每个线棒的空心铜线棒套入一个“烟斗”状的过渡接头, 然后用一个紫铜接头将上、下层线棒的两个“烟斗”并联, 紫铜“烟斗”状接头与不锈钢接头(引水管侧)采用气焊连接形成三通接头, 不锈钢接头(引水管侧)与引水管采用连接头进行连接。紫铜接头和不锈钢接头连接处用 Bag45CuZn(料 303)银焊条和焊剂气焊而成, 紫铜接头和紫铜板“烟斗”状接头处同样采用上述材料和方法焊接。

图 3 为发电机定子线圈水回路水电连接结构图。图 4 为定子线圈紫铜接头和不锈钢接头结构图。

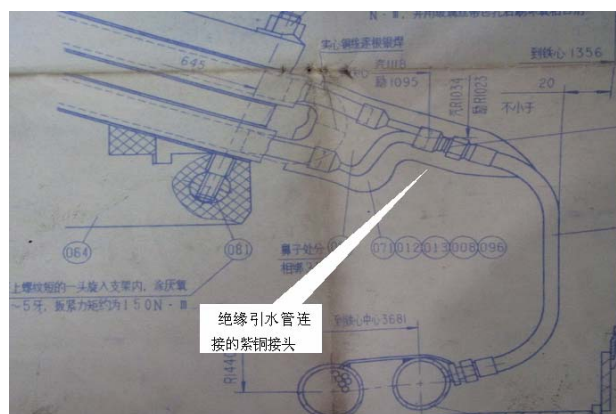


图 3 发电机定子线圈水回路水电连接结构图

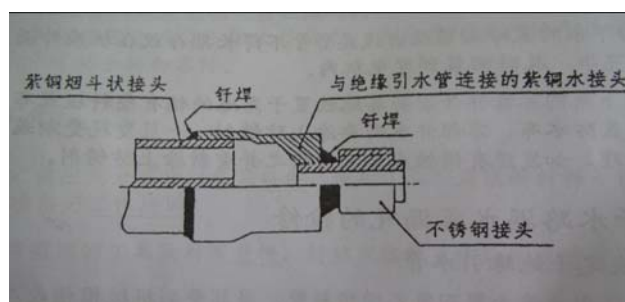


图 4 定子线圈紫铜接头和不锈钢接头结构图

4号发电机 2004 年投入运行, 2008 年进行第一次解体检修, 修后 0.5MPa 水压试验合格通过, 2011 年 7 月份漏氢量增加至  $20\text{ m}^3$ , 2011 年 9 月份发电机进行解体检修, 发现 4 号发电机汽侧第 33 槽定子绕组绝缘引水管连接的紫铜水接头, 此三通接头紫铜接头处存在砂眼(砂眼为  $\Phi 0.8$  圆孔), 由于发电机运行时, 膛内氢气压力约 0.29 MPa 左右, 内冷水水压 0.26 MPa 左右, 氢气正是

通过这个砂眼渗漏到内冷水系统。紫铜水接头上的砂眼是由于制造工艺质量存在缺陷所致。此砂眼可能发电机出厂时已经存在,但由于接头外包裹严密的手包绝缘,手包绝缘的环氧粘胶剂封堵住砂眼,水暂时无法从砂眼漏出。发电机长时间运行,绝缘材料老化,受到内冷水的长期冲洗致使砂眼环氧粘胶剂封脱落,氢气渗漏至内冷水系统。

## 2.2 4 号发电机汽侧 18 槽、19 槽定子绕组绝缘引水管内壁存在油污的分析及处理

### 2.2.1 油污位置

发电机进行电气试验时,化验内冷水电导率为  $1.4 \mu\text{S}/\text{cm}$  时,测量汽、励两侧及出现套管汇水环对地绝缘电阻均低于  $30\text{k}\Omega$ ,考虑直流耐压时泄漏电流超标,因此继续更换内冷水至电导率为  $0.8 \mu\text{S}/\text{cm}$ ,测量汇水环对地绝缘电阻仍然低于  $30\text{k}\Omega$ 。鉴于此情况,检修人员重点检查绝缘引水管、发电机内冷水水质,最终发现汽侧 18 槽、19 槽定子绕组绝缘引水管内壁和内冷水滤网滤芯均存在油污。

图 5 为汽侧 18 槽绝缘引水管油污处理前、后变化情况。图 6 为汽侧 19 槽绝缘引水管油污处理前、后变化情况。图 7 为发电机内冷水滤网滤芯油污图片。

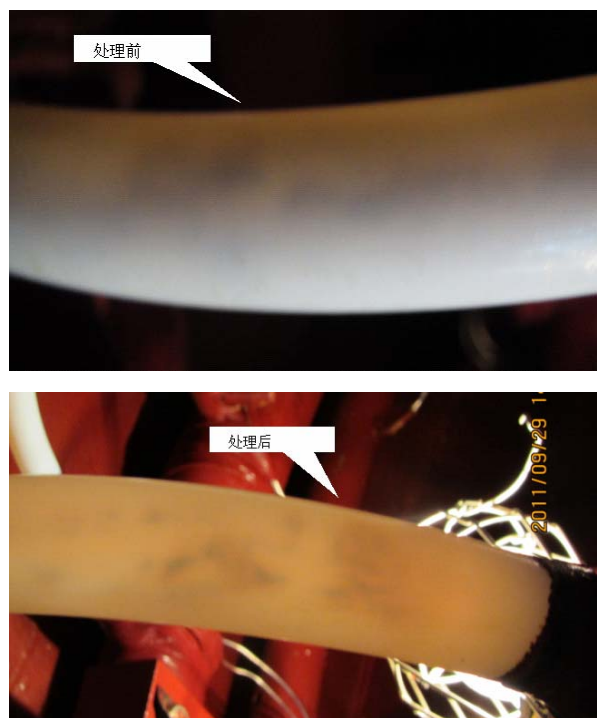


图 5 汽侧 18 槽绝缘引水管油污处理前、后变化情况

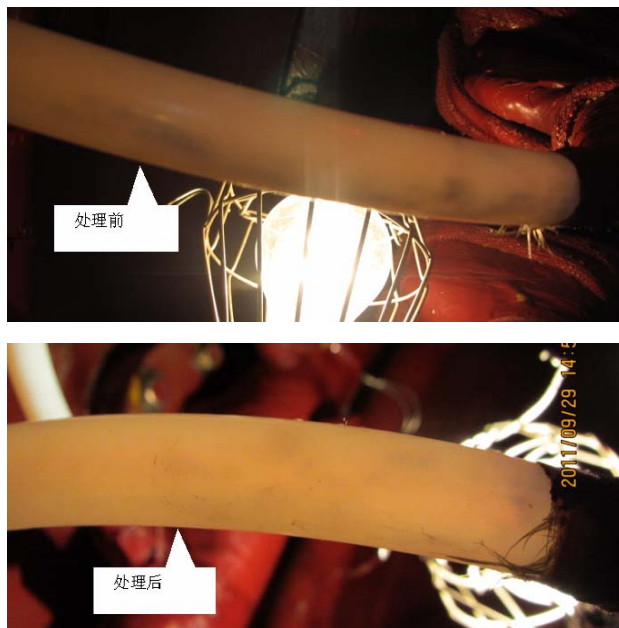


图 6 汽侧 19 槽绝缘引水管油污处理前、后变化情况



图 7 发电机内冷水滤网滤芯油污图片

### 2.2.2 技术分析

发电机汽侧第 33 槽定子绕组绝缘引水管三通接头的紫铜水接头存在砂眼,造成氢气渗漏至内冷水系统,同时,将污物一同带到内冷水系统。滤网滤芯送至华东电科院进行了化验,其滤芯上的物资化验结论为:油及 24%铜 1%铁混合物。含混合物的油蒸汽与氢气通过砂眼进入内冷水,油污附着于绝缘引水管、滤网滤芯表面。混合物同时也降低了发电机线圈绕组及总汇水环对地绝缘电阻,致使发电机电气试验暂时无法进行,水回路油污经过处理,符合电气试验条件后,发电机电气试验顺利进行且数据均合格。

### 2.3 处理方案

我公司发生发电机水回路存在油污情况后,与上海电机厂、江苏电科院、国华徐电检修相关

人员进行讨论和分析，最后确定使用热水循环冲洗方法进行油污处理。内冷水进行加热且温度保持在 60℃，发电机内冷水回路进行 2 次正冲洗及 2 次反冲洗共计 13 h，冲洗期间对发电机内冷水含铜量进行监测，保持在 59μg/L 左右不变，热水循环对发电机定子线圈铜线棒无影响。冲洗完毕后进行发电机电气试验工作，各项试验数据全部合格。同时进行发电机内冷水流量试验，试验数据全部合格。

### 3 结束语

4 号发电机 2011 年 7 月份开始内部漏氢，我们采取有效措施进行监控，通过整体发电机及附属系统的反复查漏和在内冷水箱氢气排水法测试结果检测漏氢量是否范围扩大。10 月份及时进行

停机处理。在 4 号发电机内部漏氢处理过程中，积累很多经验：进行渗漏点处理时，采取一些有效方法，未进行氢冷器拆除，控制了工作范围；水压试验分为检查性水压试验和考核性水压试验，有效地查出漏点；汽侧 18 槽、19 槽定子绕组绝缘引水管内壁存在油污的处理采用内冷水箱用辅汽加热的方法进行热水循环处理。

4 号发电机修后运行情况优良，每天（24 h）的漏氢量在 6m<sup>3</sup>左右。

#### 参考文献：

- [1] DL/T 607-1996, 汽轮发电机漏水、漏氢检验[S].
- [2] 上海汽轮发电机有限公司.300 350MW 水氢氢汽轮发电机产品说明书[Z].