

660MW 超超临界汽轮发电机组氢气泄漏分析及处理

陈益飞, 梁建群, 陈晟宇

(江苏射阳港发电有限责任公司, 江苏 射阳 224345)

摘 要: 分析总结了 660MW 超超临界汽轮发电机组氢冷系统氢气泄漏的共性问题。对江苏国信射阳港电厂 660MW 超超临界#5 发电机组氢气泄漏问题进行针对性分析和处理, 并对发电机氢冷器密封条材质和形状进行技术更新。本文可为解决同类型机组类似问题提供借鉴。

关键词: 漏氢; 内漏; 外漏; 密封瓦; 氢冷器

0 前言

江苏国信射阳港电厂#5 机组于 2011 年 8 月 4 日正式投入商业运营, 该机组型号为 N660-25/600/600, 是东方汽轮机厂引进和吸收国内外先进技术设计制造的最新超超临界 660MW 机型。发电机采用东方电机股份有限公司生产的三相同步汽轮发电机。发电机型号: QFSN-660-2-22 型。发电机冷却方式为水—氢—氢, 定子线圈为水内冷, 定子铁芯和转子采用氢气冷却。密封油系统采用单流环式密封瓦设计, 额定氢压 0.45MPa, 冷却水压力 0.40MPa, 冷却水温 20~38℃。氢气由装在转子两端的轴流式风扇驱动强制循环, 并通过设置在定子机座四角的四组氢气冷却器进行冷却。氢气系统由发电机定子外壳、端盖、氢气冷却器、密封瓦、密封油系统以及氢气管路构成全封闭气密结构。

1 发电机采用氢气冷却的优劣性

氢气具有很高的导热性, 它的导热率比空气大 6.7 倍。发电机采用氢气冷却可提高发电机效率, 减小发电机尺寸, 冷却器的表面减小, 通风损耗减小, 发电机运行噪声降低等优点。此外, 氢气不起氧化作用, 可以增强发电机绝缘材料的稳定性。氢气不助燃, 当电机内部发生绝缘击穿故障时, 不会引起火灾。因此现代大型发电机广泛采用氢气进行冷却。

但使用氢气冷却发电机组也存在着一定的危险性, 原因是: 1) 氢气有其特殊的化学特性—易燃性, 氢气燃烧时有浅蓝色火焰, 燃烧的发热量为液化石油气的两倍半。由于发热量较大, 极易发生爆炸现象。2) 当氢气与空气混合比达到 4.1%~75%

或与氧气混合比达到 4.5%~95%, 遇明火就会发生爆炸。3) 氢气比空气轻, 且无色无味, 因而其扩散速度快, 易积聚在设备、容器、建筑物的顶部, 且不容易被人们察觉。4) 纯氢燃烧后, 如果不能及时发现、扑灭、就会引起火灾或爆炸, 危害较大。所以当机组氢冷系统发生泄漏时, 应高度重视, 防止氢气在机房内聚积与空气混合达到一定浓度时, 存在发生爆炸的危险。

2 发电机氢气泄漏可能原因分析

氢气的密度非常小, 只有空气的 1/14。所以具有很大的扩散速度, 极容易发生泄漏。射阳港电厂#5 机组发电机氢冷系统自 168h 整套启动调试以来, 一直存在氢气泄漏问题, 漏氢量大概在 80m³/d 左右 (规范值为 13~19m³/d)。机组每日补氢 40-50m³ 并左右, 氢压在 0.40 MPa 以上很难维持 (额定 0.45MPa)。监理单位和建设单位等各方多次处理, 均未取得好的效果。临时采用了提高密封油压力和降低氢气压力的方法, 才能勉强维持机组运行。我们根据发电机氢冷系统的结构原理及现场实际情况分析, 发电机氢气泄漏的可能原因有以下几方面:

(1) 发电机氢冷系统外部管道、阀门以及连接部件存在泄漏点 (包括热控仪表各阀门与连接部件);

(2) 供氢系统过压阀压力整定值偏低, 造成氢气泄漏;

(3) 供氢系统排气阀内漏, 造成氢气泄漏;

- (4) 发电机氢冷器密封压条老化以及装配不严密，造成氢气泄漏；
- (5) 发电机密封瓦安装间隙过大或密封瓦磨损，导致氢气从密封瓦氢气侧通过密封瓦进入了密封瓦空气侧，造成氢气泄漏；
- (6) 发电机线棒绝缘磨损或水接头密封失效、焊缝开焊、绝缘引水管损伤等原因也会造成氢气泄漏。

3 发电机氢气泄漏检查与处理

针对发电机氢冷系统泄漏的可能原因，经过现场检查，对#5 发电机氢冷系统制定了具体的检查处理方案：

(1) 采用肥皂水测试法，对氢冷系统的阀门法兰、管道连接部件等进行逐一检查。发现#5 发电机绝缘在线监测装置放气隔离门、#5 发电机 C 氢冷器底部放气门、#5 机氢气干燥器进汽管道放气门内漏。利用机组停运机会，我们对几只隔离门进行解体检查，发现均是阀芯与阀座密封面存在杂质，造成阀门轻微泄漏。#5 发电机氢冷系统中所使用的阀门，均采用波纹管焊接式截止阀。这种阀门的阀芯与阀座之间采用软密封垫结构，其优点是密封性好。我们将阀芯与阀座密封面之间杂质清除后，阀门的隔断功能恢复。

(2) 对供氢系统过压阀压力进行重新整定，并关闭过压阀前后隔离阀，对系统氢压进行观察，确定过压阀不存在泄漏问题。

(3) 使用精确氢气测量仪对供氢系统排气阀出口氢气含量进行检测，排除排气阀内漏的可能。

(4) 对发电机定冷水水箱顶部漏氢检测点进行测量，并未检测到氢气泄漏，排除了发电机线棒绝缘磨损或水接头密封失效、焊缝开焊、绝缘引水管损伤造成氢气泄漏的可能。

5、对密封油系统空气侧排油烟管道出口处排查时发现该处氢气含量较高，达到 2%（正常值<0.1%）。说明氢气从密封瓦氢气侧通过密封瓦进入了密封瓦空气侧，再由空气侧排油烟管道泄漏出系统。

#5 发电机密封瓦结构为单流环式，见图 1。密封油的主油源来自汽机的润滑油。密封瓦的作用是既不能使油漏入发电机内，又要达到良好密封，不

使氢气外漏。所以对密封瓦与发电机转子之间的间隙要求很高。

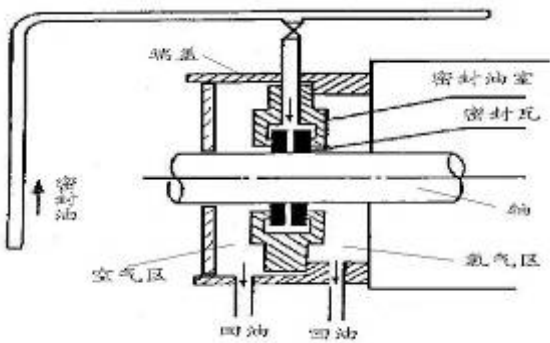


图 1 发电机密封瓦结构图

利用#5 机组调停机机会，我们对#5 机密封瓦进行解体检查。发现主要问题是：①发电机侧密封上瓦径向有磨痕 0.15-0.35mm（是油中杂质进入所致）。②同时我们取出发电机两侧密封瓦，对密封瓦间隙进行检测。结果显示发电机两侧密封瓦间隙超标。经研究决定使用机组备用密封瓦。对更换后的密封瓦间隙进行检测(结果见表 1)，符合要求。处理后#5 机组氢气泄漏量为每天 13m³左右。在 13~19 m³ 的规范值之内。

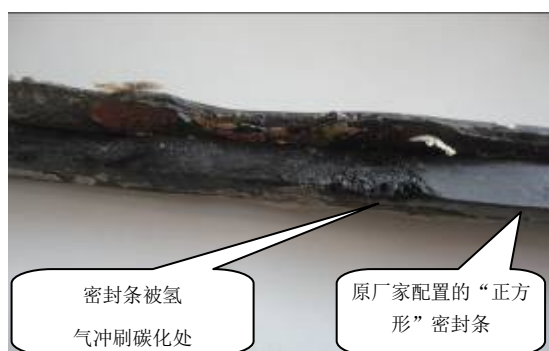
表 1 密封瓦间隙检测结果					mm
位置	汽氢侧	汽空侧	励氢侧	励空侧	标准值
原密封瓦径向间隙	0.24	0.29	0.25	0.24	0.17-0.2
新密封瓦径向间隙	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17-0.2

2012 年 2 月 14 日检修人员在#5 机 6.8m 层巡检时，发现#5 发电机 B 氢冷器底部有漏氢现象，漏氢量为 35 m³/d 左右。对#5 发电机 B 氢冷器密封条压紧螺栓进行复紧，氢气泄漏量稍有减小。随着机组长期高负荷、环境温度变化等影响，氢冷器的密封性能逐渐减弱，漏氢量也发生明显变化。2012 年 2 月 18 日#5 发电机氢气泄漏量已急剧增大到 250 m³/d 左右，严重影响机组安全运行。对#5 发电机 B 氢冷器密封条压紧螺栓进行复紧，氢气泄漏量没有减小。经过分析，初步认定#5 发电机 B 侧氢冷器密封垫在机组 168h 试运行期间，因浸油老化导致弹性减弱，密封条很可能出现裂纹或缺口。经过多方讨论，决定采取“内部螺栓孔注胶，外部强力胶堵缝”的方法(见图 2)，将氢气泄漏点封堵起来。我们制定了切实可行的堵漏“三措”（安全措施、技术措施、组织措施）。2012 年 2 月 19 日下午，#5 发电机氢气

泄漏量被控制在 $25 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右，成功地避免了一次机组非停，节约启停费用上百万元。



图2 “内部螺栓孔注胶，外部强力胶堵缝”堵漏方法



a) 原厂家配置的密封条



b) 自行设计的密封条

图3 密封条由正方形改成梯形

维持 $25 \text{ m}^3/\text{d}$ 漏氢量运行将近 1 个半月时间。4 月上旬利用机组调停的机会，我们对#5 发电机四只氢冷器密封压条进行了全面更换。经与设备厂方沟通，厂方同意了我们提出的改进方案：①密封条材质由原来的普通橡胶更换为耐油氟橡胶，提高了密封条的耐油性、耐温性和弹性；②将密封条尺寸由原来的 $9.5 \times 9.5 \text{ mm}$ 增加到 $9.5 \times 10.5 \text{ mm}$ ，密封条截面形状由原来的正方形变为梯形状。见图 3。这样既有利于密封条安装，又减小了密封条与密封腔室侧壁的间隙，还给万一氢气泄漏时留有再次复紧的余量。氢冷器密封条更换完成机组投运后，经测算#5 机组氢气系统泄漏量下降到 $8 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右，达到优秀标准。#5 机组发电机氢冷器密封效果的大幅提高，说明对氢冷器密封条的技术更新取得成功。

4 发电机氢气泄漏对策与建议

(1) 由于#5 机组是新投产机组，利用今年 9 月至 10 月机组 B 修期间，将发电机漏氢检查工作作为专项列出，针对氢气管道、阀门、密封瓦、发电机端盖结合面、氢冷器端盖密封条及发电机本体与外界连接部分的密封部件进行检查、清洗、更换。

(2) 因新机组在管道安装时残留杂质较多，氢冷系统多只排气阀的阀芯与阀座密封面之间存在杂质，阀门密封效果差，造成了多处排气阀出口漏氢的共性问题。在本次 B 修时，用压缩空气对氢冷系统管道进行吹扫，清除了残留杂质，消除了以上漏氢因素。

(3) 定期对供氢系统过压阀压力进行整定。既避免了氢气从过压阀处泄漏，又保证了供氢系统安全稳定的运行。

(4) 加强对发电机定冷水水箱顶部漏氢检测点的监控，及时发现发电机线棒绝缘磨损或水接头密封失效、焊缝开焊、绝缘引水管损伤等造成氢气泄漏的缺陷，确保机组安全运行。

(5) 对氢冷系统补充氢气时，应尽量控制氢气流速。防止氢气流速过快，冲斜密封瓦位置，造成密封瓦处氢气泄漏。（同类型电厂发生过类似情况）

(6) 机组正常运行时，操作人员及时地调整密封油、氢气压力，确保科学的油氢压比。

(7) 机组新投产应加强润滑油油务管理。定期对机组润滑油进行滤油工作，控制油质颗粒度，将

油系统内残余的杂质过滤干净，避免密封油中的杂质冲刷损坏密封瓦。

(8) 氢冷器端盖密封条为橡胶材质容易老化。机组有调停机会就应该对密封条进行检查，必要时进行更换。机组连续运行 6 个月以上，调停时应应对氢冷器密封条进行全面更换。

5 结束语

江苏国信射阳港电厂#5 机组漏氢故障发生的原因及所采取的措施，具有典型性和代表性。完全可借鉴到其它火电厂检修维护中。采取正确的检修维护方法，就能降低漏氢故障的发生。同时也避免了火灾、爆炸等重大事故的发生，保障了电厂的安全经济运行。

参考文献：

- [1] 国家电力公司发输电运营部.防止电力生产重大事故的二十五项重点要求（第一版）[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 宋志明.电气设备与运行（第一版）[M]. 北京:中国电力

出版社,2008.

- [3] 华东六省一市电机工程（电力）学会.电气设备及其系统（第二版）[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [4] 国家电网公司.电力安全工作规程（变电部分）（第一版）[M]. 北京:中国电力出版社,2009.

作者简介：

- 陈益飞（1969-），男，江苏盐城人，高级工程师，电气维护高级技师，电厂检修部主任，主要从事发电厂的技术管理工作，Email: cheniyifei8979@126.com;
- 梁建群（1973-），男，江苏盐城人，助理工程师，电厂本调检修技师，主要从事汽轮机设备检修及技术管理工作
Email: sygpassword@tom.com;
- 陈晟宇（1973-），男，江苏盐城人，助理工程师，电厂电机检修技师，主要从事电气设备检修及技术管理工作，
Email: csy7090318@sina.com。