

Application of Chromatographic Analysis in Monitoring Hydrogen Leakage in Hydrogen Cooled Generators

Jian Guan Feng Yu

Qinghuangdao Power Plant Co., Ltd., Qinghuangdao, Hebei, 066003, China

Abstract

Most large capacity steam turbine generators use hydrogen cooling method, and also use two cooling media, water and hydrogen. Hydrogen leakage has become a special problem in the operation of large capacity generators. The large amount of hydrogen leakage not only reduces the economic efficiency of generator operation, but also seriously threatens the safety of the generator itself. The paper introduces the application of gas chromatography analysis technology in monitoring hydrogen gas leakage during operation of generators, starting from online leak detection in two directions: cooling water and sealing oil.

Keywords

Hydrogen; leak detection; gas chromatography

色谱分析在监测氢冷发电机氢气内漏的应用

关键 于枫

秦皇岛发电有限责任公司, 中国·河北 秦皇岛 066003

摘要

大容量汽轮发电机多数采用氢气冷却方式, 同时也采用了水和氢气两种冷却介质, 漏氢成为大容量发电机运行中特殊存在的问题, 漏氢量大不但降低了发电机运行经济性, 而且使发电机本身的安全受到严重威胁。论文从发电机内冷水、密封油两个方向运行中在线检漏出发, 介绍气相色谱分析技术在运行中发电机氢气内漏监测中的应用。

关键词

氢气; 泄漏监测; 气相色谱

1 引言

大容量汽轮发电机多数采用氢气冷却方式, 同时也采用了水和氢气两种冷却介质。由于氢气分子小、质量轻、扩散快、渗透能力强, 加上密封油携带漏氢等, 在实际运行过程中发电机内氢气是在持续泄漏的; 漏氢成为大容量发电机运行中不可忽视的问题, 漏氢量大不但降低了发电机运行经济性, 而且使发电机本身的安全受到严重威胁。

2 发电机漏氢分类

我公司一期发电机为哈尔滨电机厂制造 QFSN-220-2 型汽轮发电机。二期发电机为上海电机厂制造 QFSN-320-2 型汽轮发电机。四台发电机均采用水—氢—氢冷却方式。定子线圈冷却水由励端进入汽端排出, 与水系统构成密闭循环冷却, 出线套管亦采用水冷却。发电机运行中氢气纯度低于 96% 时, 需要向发电机内补充纯度不低于 99.5% 的氢气(表 1) 漏氢是氢冷发电机运行中普遍存在的现象, 漏氢量是氢冷发

电机安全运行的主要技术指标之一, 氢冷发电机运行中氢气泄漏可分为内漏和外漏两种情况。

表 1 秦电氢气用量 (2022 年 1-9 月)

机组	排补氢量 (m ³)	补氢量 (m ³)	总补氢量 (m ³)
#1	458.12	179.04	637.16
#2	132.86	179.62	312.48
#3	1717.26	0	1717.26
#4	2039.24	22.68	2061.92

2.1 发电机氢气内漏

定子线圈水回路 (由于发电机运行中氢压大于水压, 氢气通过水电连接管和定子线棒漏至定冷水内)、油密封 (密封油系统、密封瓦座密封垫老化, 氢气漏入油室内; 密封瓦间隙过大或轴颈磨损严重以及油氢压差不够, 导致氢气沿轴颈泄漏。密封油也可通过密封瓦间隙进入发电机, 引起发电机进油, 空倾侧微量串油带入空气进入发电机引起氢气纯度下降)、转子导电杆及导电螺钉、氢气冷却器、出线套管、安装在发电机定子机座上的监测仪表、仪器内漏; 氢气控制系统管路上的阀门、仪表、设备内漏等。

【作者简介】关键 (1968-), 男, 满族, 中国辽宁辽阳人, 本科, 高级工程师, 从事发电厂化学监督研究。

2.2 发电机氢气外漏

定子机座以及机座上的各处焊缝、人孔门，发电机与外部管路连接法兰处、出线套管与出线罩把合部位；氢气冷却器与机座把合面；发电机测温插座、定子端部及出线测振法兰处；端盖与机座把合面；端盖水平合缝面；发电机与辅助系统各连接部位及辅助系统管道上的仪表、阀门以及各连接部位等；外漏可通过肥皂液、卤素检漏仪等多种检漏方法找到漏点并加以消除。

3 在线监控氢冷发电机氢气内漏

影响发电机漏氢量的因素很多，若想从根本上控制漏氢量的大小，发电机运行中需要注意调整密封油压，时刻注意保持密封瓦氢气、空气侧的油压平衡；必要时检测排烟风机管路口氢气的浓度，确认是否大量氢气漏入油系统中日常漏氢检测、漏氢量数据分析方面需要不断探索采用先进的检测手段和防范措施，并严密监视发电机的漏氢，以便及时发现漏氢并处理，防止事故扩大，保证氢冷发电机组的安全运行。论文的分析重点是运行中监测发电机氢气漏入内冷水系统、密封油空侧回油系统。

3.1 在线内冷水溶解氢检测

定子水箱气侧的氢气来源于内冷水，氢气在内冷水中及水箱气侧存在动态平衡，水中的氢含量波动平缓（黄色曲线），但气侧（红色曲线）的氢含量经常在0~4%之间波动。（见图1），说明定子水箱在线漏氢检测仪（漏氢检测仪的安装位置在内冷水箱顶部排空管道中）已失灵，原因是基于电化学检测原理的在线漏氢检测仪存在先天问题，当该类型的传感器长期处于较高浓度的氢气中时，传感器中的固体电解质和氢气反应消耗后，传感器很快失灵，无法起到准确连续监测作用；由于内冷水箱液位的波动造成内冷水箱压力波动频

繁，会造成发电机内冷水箱排空管道中气体排出很不均匀，线漏氢检测仪检测的数据也会有波动。

蕊奥博公司借鉴气相色谱分析仪传感器设计理念，设计研制了一种应用于电厂水汽系统微量溶解氢含量测定的热导监测池；水中溶解氢的测定采用热导（TCD）检测原理，是基于不同气体具有不同的导热性能，在惠斯通电桥中利用热丝具有电阻随温度变化的特性，载气中待测组分的浓度越大，测量池中气体热导率改变就越显著，温度和电阻值改变也越显著，电压信号就越强。此时输出的电压信号与样品的浓度成正比。上述发电机内冷水中的氢含量为 NEW-6860 在线水中氢测量仪检测的结果。

3.2 溶解氢数据发现泄漏点实例

秦电公司从2016年12月到2017年7月，通过溶解氢曲线发现#1发电机停机后趋势一直在增长，对比氢气压力及温度变化，经分析判定#1发电机内部定子水管法兰处存在渗漏点。确认隐患成因后，该厂抽调人力精心策划进行发电机气体置换、定子水压试验、内部检查、法兰处螺栓紧固，连续24小时处理完毕。#1发电机运行后氨水检测装置数值反馈良好（见图2），确认消除渗漏点。

广东某电厂通过在线内冷水溶解氢检测发现1、2号600 MW 发电机线棒有漏氢点，并利用机组停机检修机会成功查找到漏点，消除了漏点。2号机组发电机线棒更换后，发电机内冷水溶解氢数值超过400 $\mu\text{g/L}$ ，停机查找到的漏点明显，如不能及时发现消除势必造成发电机损坏事故。在这么大漏点漏氢情况下，内冷水箱上部的漏氢检测仪表没有报警（指示0.005%），可见发电机内冷水溶解氢数据可靠性较发电机内冷水箱上部漏氢检测仪表要高很多。国内其他电厂也曾发生过几起运行中发电机损坏的事故，其中不排除发电机线棒泄漏造成事故的可能性。

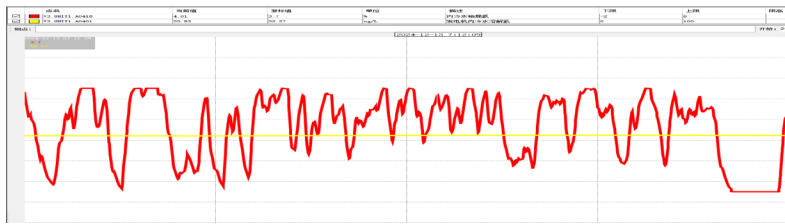


图1 秦电 #1 机内冷水含氢量 ($\mu\text{L/L}$) 及水箱上部漏氢量 (%) 对比图

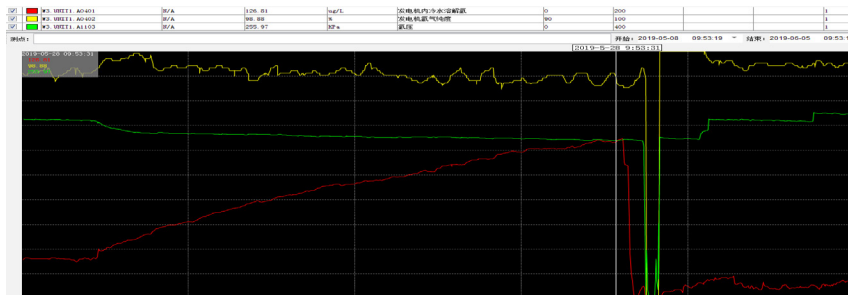


图2 秦电 1 号发电机漏氢隐患处理前后的溶解氢趋势 (红色曲线)

3.3 发电机密封油中气体组分监测

西安热工院检测了4台发电机密封油中气体组分：除氢气外的气体组分与氢气纯度下降后、排补氢前发电机内氢气中的杂质气体组分相对应，说明密封油中的空气等组分是发电机内氢气的污染源。

3.3.1 单流环密封油系统

发电机密封油直接来自主机汽轮机油，可直接通过密封油中总含气量的水平来体现密封油中各气体组分含量水平（图3）。

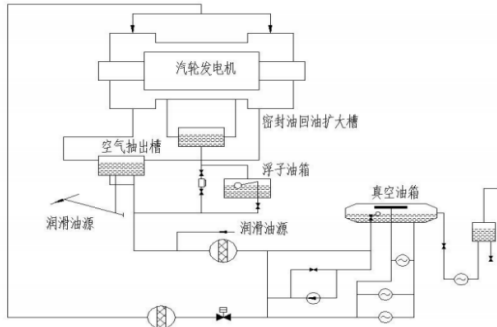


图3 单流环密封油系统

3.3.2 双流环密封油系统

空侧密封油直接来自主机汽轮机油，因主机汽轮机油含有较多空气，故空侧密封油中除氢气外的其他气体含量基本等于或略少于空侧密封油的总含气量，可直接通过密封油中总含气量的水平来体现密封油中各气体组分含量水平；氢侧密封油来自空侧密封油，因其在相对独立的氢侧油路中循环，与外界大气及空侧密封油进行交换的气体的量较少，受到的污染相对较少，故氢侧密封油中除氢气外的其他气体含量少于氢侧密封油的总含气量，且两者均少于空侧密封油含气量（图4）。

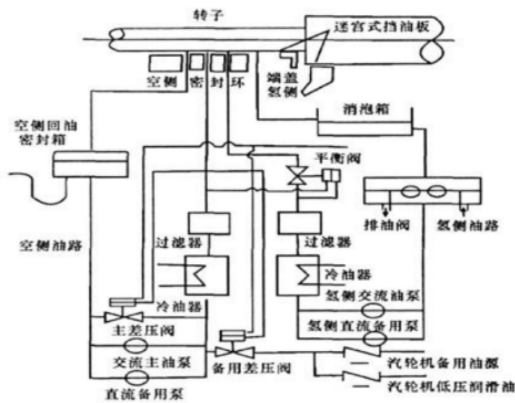


图4 双流环密封油系统

从表2~表4的数据可以看出：密封油中的氢气含量较高（因为氢侧密封油直接接触氢气，且氢气在油中的溶解度远高于在水中的溶解度），远高于内冷水中的含氢量（一般 $< 50\mu\text{L/L}$ ），通过在线对发电机密封油中溶解氢含量的监测，可以实现对密封油系统内漏程度的在线评价，对于保证密封油系统安全有着重要意义。

表2 西安热工院检测密封油气体组分含量（ $\mu\text{L/L}$ ）

检测日期	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
500MW 机组	2861.98	30.41	1.31	722.14
500MW 机组	—	2.45	1.35	358.22
600MW 机组	10108.74	18.35	1.13	178.01

表3 秦电 #3 机密封油气体组分含量（ $\mu\text{L/L}$ ）

检测日期	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
2024.5.28	37,643.9	7.6	1.4	202.4
2024.6.10	39,605.9	8.0	0.3	205.8
2024.7.22	34,428.9	19.2	2.5	296.3
2024.8.22	40,636.8	15.6	2.4	313.8

表4 秦电 #4 机密封油气体组分含量（ $\mu\text{L/L}$ ）

检测日期	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
2024.5.14	54256.0	5.9	1.8	208.9
2024.5.28	68352.1	3.3	0.8	227.0
2024.6.10	42183.6	2.3	0.5	245.2
2024.7.22	36148.8	6.7	0.6	263.5
2024.8.22	35490.8	2.9	0.6	308.4

4 结语

通过准确在线监测发电机内冷水和密封油两方面的漏氢状态，及时发现发电机内部的隐蔽性较强的故障，保障发电机安全运行，避免恶性事故发生；还可以提高发电机运行的经济性，据文献估算得出秦电4台机组风摩损耗与氢气纯度的关系为：纯度下降1%，损耗平均增加105kW，按年运行4000小时计算，增收约150万元。

参考文献

- [1] 王笑微,刘永洛,尹文波,等.密封油含气量对氢冷发电机氢气纯度影响研究[J].热力发电,2021,50(4):5.
- [2] 吴曙笛.热力设备水汽系统含氢量连续测定[J].陕西电力,2000,28(2):28-31+64.
- [3] 曹洪宇,李志成,王丹.在线溶解氢仪表在潮州电厂发电机氢气系统泄漏监督的应用[J].华北电力技术,2017(8):6.