

电力系统中氢气的制备、纯化与应用管理

[130021] 吉林省电力试验研究所 武惠脚
[101601] 三合热电厂 徐振山

【摘要】 结合电力生产实际,论述了氢气在电力系统中的生产、纯化及应用等方面的问题,着重介绍了氢气的除湿、除氧方法和氢气应用中的监督管理。

【关键词】 氢气 纯化 监督管理

1 氢气的制备与纯化

用氢气代替空气作为发电机的冷却介质是由 25 MW 及以下容量向 100 MW 及以上容量发展的一大突破,这是由于氢气和氮气是所有气体中导热率最高的,而氢气居

都是 1990 年沈变生产的变压器,不能不引起我们的注意。

一般来说,变压器绝缘油中的主要杂质是机械杂质、水份和气体,近几年又发现有胶状杂质。前者可以用压榨式滤油机或高真空净油机进行处理,而后者用这两种滤油机处理都无能为力。原因是据有关资料介绍,这种胶体杂质的分子链半径只有 $1 \times 10^{-9} \sim 10 \times 10^{-9} \text{ m}$,而高真空净油机最细的过滤芯的精度是 $1 \times 10^{-6} \text{ m}$,故高真空净油机不能把这种非常小的胶状杂质过滤掉。根据这种情况,我们采用真空热油循环吸附剂的方法,对绝缘油中的胶状杂质进行过滤吸附。介损值超标、分层的绝缘油,按上述方法处理后,介损值都降下来了,而且介损值都不再分层了,也稳定了,满足了试验标准要求。

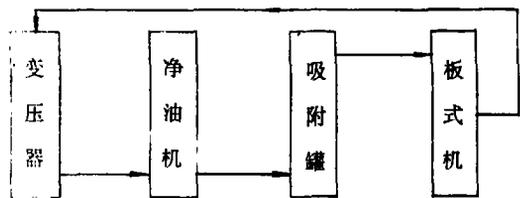
3 吸附剂处理绝缘油的工艺要点

于首位,其导热率为 $1.82 \text{ mW/cm} \cdot \text{°C}$,是空气的 7.4 倍。

虽然有市售的钢瓶装氢气,但是由于氢气用量大,运输、贮存及传送都有一定危险性,因此,我国各火电厂都设置制氢站,电解制取并贮于专用的贮存罐中。

氢气可由电解水得到。电解液为 NaOH

a. 按附图所示工艺流程将所需设备、机具、管道连接好。



附图 绝缘油处理工艺流程

b. 吸附剂可采用沈阳北方干燥剂厂生产的高铝微球高效吸附剂,使用量为处理绝缘油量的 1%。

c. 吸附剂处理要连续进行,并且每隔 24~48 h 换一次吸附剂。

d. 换吸附剂的同时取油样,测量介损值、耐压和含水量。若在合格范围内,吸附处理绝缘油的工作即可结束。

(收稿日期 1997 02 02)

或 KOH 的水溶液,在电解过程中它们本身基本不消耗,水被电解成为氧气与氢气。氧气经水洗排放,也有收集使用的,氢气则经洗涤和冷却后进入贮氢罐。如需补充氢气时由贮罐送至发电机。电解槽的工作温度为 60~80 °C,经洗涤冷却后的氢气为 30 °C 左右。

浑江发电厂从 1979 年投产至 1992 年一直以 NaOH 水溶液作为电解液,其密度控制在 1.25~1.30 g/cm³ 之间。1992~1993 年的上半年,改用了 KOH 水溶液,1993 年下半年又改回了 NaOH 水溶液。实践证明,NaOH 和 KOH 相比有以下优点:一是 NaOH 分析纯试剂纯度高,比 KOH 用量少;二是 NaOH 价格比 KOH 低;三是 NaOH 的腐蚀性比 KOH 弱。应用 KOH 时,500 kg 电解液加入 1 kg 重铬酸钾缓蚀,不足 1 个月电解液外观由黄色变成淡绿色,且电解液中杂质(主要是铁锈、石棉布片等)较多,碱液过滤器无法投入,而且制氢纯度下降。甚至在电解液中发现固定石棉布的螺母若干个。再者,运行中由于电解液中杂质太多,电解槽经常发生爆鸣现象。

由于氢气自碱的水溶液中制得,并经清洗,所以必然带有该温度下饱和的水分,这就是供应发电机的氢气中湿分的来源,其含湿量直接影响发电机氢气含湿量。另外氢气中也可能混进一些氧气。氢气纯化的目的,一是提高氢气纯度,即降低氢气中的含氧量;二是降低氢气中含水量即湿度。我们常以绝对湿度计量,单位为 g/m³。

为去除氢气中的湿分,浑江发电厂在制氢系统上(如 DQ-4 型原设备)设计了两级冷却器,用来降低氢气温度,使电解产生的氢气中所带的极少量电解液因凝结而排掉。其关键是冷却水温度,过去都用一般工业水,现多采用地下水作为水源。自 1992 年改成了金英泉水,使水温最低在 5 °C 以下。根据近年 200 MW 发电机用氢要求,在电解

系统的两级冷却器基础上,该厂于 1992 年又增加了两级冷却器及一台内干式硅胶氢气干燥器(哈尔滨电站辅机厂生产的 NGQ-2 型),内装变色硅胶。通过上述措施,制氢湿度一般可控制在 2.0~2.5 g/m³。

在发电机氢气系统中,该厂应用过无水氯化钙吸附式干燥器、变色硅胶吸附式干燥器和冷凝式干燥器作为纯化除湿设备。无水氯化钙不易再生,吸水后易于潮解,使干燥器排污管堵塞。硅胶易于再生,再生周期在 100 MW 机上一般为 1 个月,在 200 MW 机上为 10~15 d,硅胶的缺点是遇水滴易炸裂,所以要防止密封油进入氢气系统。冷凝式干燥器是近年采用的新设备,采用氟利昂制冷,可使氢气温度降至 5 °C 以下,将氢气中大部分水蒸汽凝结为水,利用排污排掉。该装置制冷效果好,维护量小,启停方便。缺点是氟利昂易在停用时漏泄或回路不大畅通。要求采用高质量的氟利昂,当设备长时间停用时,将氟利昂泄出回收。

发电机氢气除氧,可应用大连催化剂厂生产的 105 催化剂,使发电机氢气中含氧量降至 0.2%~0.6%,保证氢气纯度在 96% 以上。

2 氢气应用中的监督管理

2.1 氢气监督

2.1.1 湿度分析 一般采用天津海洋气象仪器厂生产的 DHM-2 型通风干湿表(阿斯曼通风湿度计)进行湿度分析。由于其主要用于大气湿度分析,所以对压强大于大气压的气体有一定的分析误差;不同人、时间、场所都会使结果产生偏差,重现性极差。近年来,清华大学精密仪器与机械学系与东北电力试验研究院联合研制,由北京华滨传感技术工程公司制造的 QH-90 型快速温湿度测量仪已经辽电、锦州等电厂应用。浑江发电厂订购了中国船舶工业总公司第七研

究院第 718 研究所研制的 SF-902 型含湿量分析仪。

a. 通风干湿表计算氢气湿度

$$I = I_{T_a} - 0.5(T_c - T_a) \quad (1)$$

式中 I ——绝对湿度, g/m^3

I_{T_a} —— T_a 时的绝对水蒸汽含量, g/m^3 (查表)

T_a ——湿球指示温度, $^{\circ}C$

T_c ——干球指示温度, $^{\circ}C$

0.5——系数

b. 发电机内绝对湿度

$$I_1 = I \cdot P_2 / P_1 \quad (2)$$

式中 I ——测量绝对湿度, g/m^3

P_2 ——机内绝对压力, MPa

P_1 ——大气压, 一般取 0.1 MPa

2.1.2 纯度分析 浑江发电厂用测量氢气中含氧量来计算氢气纯度。测氧方法采用吸收法, 所用仪器为梳型吸收瓶, 药剂为焦性没食子酸的碱性溶液。氢气纯度计算:

a. 制氢系统氢气纯度计算

$$C = (V - V_0) / V \times 100\% \quad (3)$$

式中 C ——氢气纯度, %

V ——分析气体样品体积, ml

V_0 ——气样中含氧量, ml

b. 发电机内氢气纯度计算方法 (此计算方法可供参考不够精确)

$$C_z = 100\% - y_z - (y_z - y_H) \times 3.8 \quad (4)$$

式中 C_z ——发电机氢气纯度, %

y_z ——发电机氢气中的含氧量, %

y_H ——氢站制、储氢气中的含氧量, %

3.8——大气中氧气与氮气的比例数

2.2 氢气系统查漏方法

a. 利用 RD-2059 携带式氢分析器。该仪器指示氢气百分含量。因其用胶囊手按吸排气取样, 所以反应速度较慢。

b. 利用可燃气体测定仪 (吉林大学生产)。该仪器较灵敏, 对所有可燃气体均动作

报警, 但寿命较短。

c. 利用中国船舶工业总公司第七研究院第 718 研究所生产的 QCB 87-C 型氢气测报仪, 但探头保养要求高。

d. 利用长春科隆电子实业公司生产的 GP-109 数字可燃气体检测器。该仪器体积小, 携带方便, 反应快, 灵敏, 现成为主要查漏工具。

2.3 氢气系统置换排氢时, 浑江发电厂采用氮气排氢气, 空气排氮气。充氢时, 氮气排空气, 氢气置换氮气至氢气纯度合格为止。

入厂氮气和置换时氮气的纯度分析方法同氢气。即测氮气中含氧量, 用此计算氮气纯度。

入厂氮气纯度标准: N_2 含量 $\geq 98\%$

氢站系统置换标准:

N_2 气排空气时: N_2 含量 $\geq 98\%$

N_2 气排 H_2 气时: H_2 含量 $\geq 3\%$

H_2 气排 N_2 气时: H_2 含量 $\geq 99.5\%$

发电机内气体置换标准:

N_2 气排空气时: N_2 含量 $\geq 98\%$

N_2 气排 H_2 气时: H_2 含量 $\geq 3\%$

H_2 气排 N_2 气时: H_2 按各厂各机运行标准控制, 浑江发电厂 3 号、4 号机含量 $\geq 96\%$, 5 号机含量 $\geq 97\%$ 。

2.4 电解槽大修

当电解槽严重漏碱, 气体纯度迅速下降, 极间电压不正常且清洗无效, 石棉橡胶垫大部损坏以及其它原因必须解体大修方可保证安全生产时, 应将电解槽大修。

2.4.1 大修顺序

a. 大修前应备好所需的备件并整理记载极间电压、气体纯度等情况, 供拆槽时分析;

b. 切断电源;

c. 放净槽内的电解液, 并用清水将电解槽内外冲洗干净;

d. 用氮气吹扫电解槽及其附属设备, 直至取样分析合格为止;

- e. 松开夹紧螺杆,按照电解槽组装的相反顺序进行解体;
- f. 清洗极板和隔膜框;
- g. 隔膜框试压;
- h. 检查零部件;
- i. 用2%~3%的硼酸溶液洗涤全部绝缘器;
- j. 组装电解槽;
- k. 经过24 h试车,测试各项运行参数,均达到设计指标后交付使用。

2.4.2 大修中的注意事项

- a. 电解槽拆修前,应与正在运行的电解槽进行绳索隔离,并悬挂安全标语;
- b. 检修人员与碱液接触时,必须戴好防护用具,在现场应备有2%~3%的硼酸水溶液;
- c. 检修过程中应注意不得损坏石棉布、镀镍层、活化层和密封线;
- d. 严禁将油污、铁屑、尘粒及其它金属物带入槽体内;
- e. 保护好各个管接口,以避免管路堵塞。

2.5 事故处理

氢气生产运行中经常出现一些故障,现将几种常见故障及处理办法简述如下:

- a. 电解槽绝缘不良 先用1%硼酸水擦洗绝缘器件,然后用去离子水擦洗,再用空气吹干;更换有裂缝的绝缘套管及损坏的石棉橡胶垫片;清洗全部绝缘零、部件后,再把蒸汽通入分离柱冷却管,保持电解槽液位高于出气管中线以上,进行逆循环,加热至绝缘合格。
- b. 电解槽中绝缘零件起火 应使用紧急停车按钮迅速切断电源,同时,使用二氧化碳、四氯化碳或干粉灭火器灭火,不得使用消火栓及泡沫灭火器。然后,修补泄漏处,更换损坏的绝缘零件。

- c. 氢气纯化设备的加热炉、吸附器和脱氧器等着火 立即往着火设备内部通入纯净的氮气,将氢气吹除掉,便可灭火。

2.6 氢气监督管理

从1987年黑龙江某电厂发生储氢罐检修中因未加堵板造成一死一重伤一轻伤的事故和1989年河北某电厂因电解系统中氧调压器针型阀卡涩使氢气纯度下降,在倒罐中因罐内铁锈受冲击产生火花引爆氢气,造成一人死亡的事故后,部有关部门制定了加强对氢站的管理的规定。原能源部安全环保局1990年2月15日就河北某电厂氢罐爆炸事故要求如下:

2.6.1 加强设备管理

- a. 更换新型的压力调整器,加装液位差越限联锁保护装置,实现氢气纯度在线监测。
- b. 制氢设备每年小修一次,每3 a大修一次。
- c. 按照《防火检查手册》要求,做好防静电措施。

2.6.2 加强技术管理,保证氢气纯度

- a. 成立制氢班,专门负责制氢设备及系统的运行和维护检修(浑江发电厂1991年12月18日成立制氢班);
- b. 进一步完善规程制度(浑江发电厂1992年编制了油气监督管理制度);
- c. 加强对氢气纯度的运行监督。

2.6.3 加强技术培训,重点有以下几项:

- a. 制氢生产工艺流程及异常运行情况处理;
- b. 氢、氧特性及防火防爆措施;
- c. 氢气纯度、湿度、微量氢的取样分析方法;
- d. 制氢设备检修工艺。

(收稿日期 1997 03 07)