

氢冷发电机的氢气纯度控制

卢洪坤¹, 胡军², 邹晓峰², 孙红军²

(1. 浙江省电力公司电力科学研究院, 杭州 310014; 2. 杭州意能电力技术有限公司, 杭州 310014)

摘要: 介绍了2010年底浙江省氢冷发电机氢气纯度的统计情况, 阐述了相关规程对氢冷发电机氢气纯度的规定和保持氢气高纯度的意义。分析氢气纯度下降的原因和特点, 通过理论计算分析了氢气纯度下降的过程以及提高和保持氢气纯度的方法。在分析原因和理论计算的基础上提出控制氢气纯度的建议。

关键词: 发电机; 氢气; 纯度; 控制

中图分类号: TM317

文献标志码: B

文章编号: 1007-1881(2012)12-0057-03

Hydrogen Purity Control of Hydrogen Cooling Generators

LU Hong-kun, HU Jun, ZOU Xiao-feng, SUN Hong-jun

(1. Z(P)EPC Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China;

2. Hangzhou Yineng Power Technology Co., Ltd., Hangzhou 310014, China)

Abstract: This article introduces statistics of hydrogen purity of hydrogen cooling generators at the end of year 2010 and expounds relevant regulations of hydrogen purity and significance of high hydrogen purity. It analyzes reasons and characteristics of hydrogen purity decrease, the process of hydrogen purity decrease by theoretical calculation as well as methods for hydrogen purity improvement and maintenance. On the basis of the reasons and theoretical calculation, the paper makes suggestions on hydrogen purity control.

Key words: generator; hydrogen; purity; control

《电业安全工作规程》、《电力设备典型消防规程》、《汽轮发电机运行规程》等都对氢冷发电机内氢气纯度有明确的规定。综合各规程的规定, 氢冷发电机内氢气应满足以下要求: 当氢气纯度小于96%, 或氧气含量超过1.2%时, 应立即进行处理; 氢气纯度低于90%时, 应立即停机(本文中气体纯度均为体积比)。

2010年底进行浙江省发电机运行参数统计时收集的41台氢冷发电机的纯度统计如表1所示。其中, 8台发电机的氢气纯度不满足规程的要求, 最严重的3台其纯度仅为90%。氢气纯度低的问题已严重影响机组的安全运行, 急需进行分析和治理。

1 保持氢气高纯度的意义

1.1 安全性

空气进入发电机内, 使氢气纯度下降, 同时氧气含量增加, 由于氧气量不大, 正常情况下不

表1 氢冷发电机氢气纯度统计

纯度 $U/\%$	台数
<95	3
$95 \leq U < 96$	5
$96 \leq U < 97$	5
≥ 97	28

会发生爆炸, 但是发电机运行时是发热体, 当达到一定温度或发电机内由于电晕等原因出现电火花时, 氢气与较低含量的氧气也有可能发生燃烧, 燃烧后热量增加从而形成氢爆, 严重影响氢冷发电机组的运行安全。

1.2 经济性

保持氢冷机组在高氢气纯度下运行, 具有一定的经济价值。

根据相关文献介绍: 1台运行压力为0.5 MPa、有功功率为907 MW的氢冷发电机, 当其氢气纯度从98%下降到95%时, 摩擦和通风损耗将增加约32%, 相当于损失685 kW。一般情况下, 当机

内氢气压力不变时,氢气纯度每降低1%,其摩擦和通风损耗将增加约11%(摩擦和通风损耗约占发电机总损耗的20%)。以1台有功功率为600 MW、效率为98.95%的发电机为例,发电机内氢气纯度每降低1%,其损耗增加约138.6 kW。

因此,保持氢冷发电机在较高的氢气高纯度下运行,兼具安全和效益两方面的重要意义。

2 氢气纯度下降的原因探讨

2.1 氢冷发电机密封瓦结构型式及特点

为防止发电机内的氢气通过轴端向外泄漏,在发电机的两端设置了油密封瓦装置,装置主要有单流环和双流环2种结构,省内还没有三流环密封结构的发电机。单流环密封结构的油系统为开放式,当油与发电机内氢气接触时,氢气溶解于密封油中,溶解在油中的氢气和空气经真空脱气处理。单流环密封结构的发电机整机漏氢量相对较大,在未设置真空脱气处理或该装置工作不良时也会出现氢气纯度下降较快的问题。双流环密封结构的油系统采用氢侧油和空侧油2个相对独立的密封系统,2个系统的换油较少,一般不设置真空脱气装置,整机漏氢量相对较小,但在平衡阀调节不理想时会出现串油现象,溶有空气的空侧油混入氢侧油。由于油压高于氢压,油中的空气释放到发电机内使氢气纯度下降较快。双流环密封结构的发电机以采用西屋技术生产的发电机为代表,国内主要包括上海和哈尔滨汽轮发电机有限公司生产的300 MW和600 MW大型氢冷发电机。2010年底浙江省内氢气纯度不满足规程要求的8台发电机均为双流环密封结构。

从双流环密封结构发电机的空气进入途径可以看出:进入发电机内的空气量与发电机内原有氢气的纯度无关,而与回油含空气量或串油量有关。发电机稳定运行时,一段时间内(以下均以1天来考虑)进入发电机的空气量应为定值,而不是通常理解的每天氢气纯度下降率为定值。随着机内氢气纯度的下降,每天的氢气纯度下降率会减小,并将最终稳定。

2.2 发电机气体平衡模型

如图1所示,把发电机看作1个容器,1天内该容器内增加的气体包括补入的氢气 V_1 (理想地认为其纯度为100%)和通过密封油释放到发电

机内的空气 V_2 ,容器内减少的气体为发电机整机泄漏量 V_3 和人为排污排出的混合气体 V_4 ,可以通过该模型用迭代方法理论计算运行中和排、补氢过程中发电机内氢气纯度变化的过程。

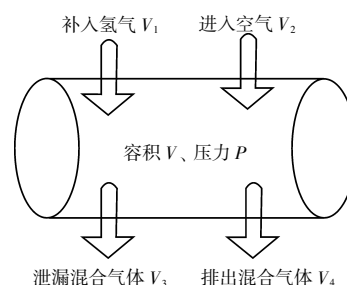


图1 发电机气体平衡模型

2.3 发电机内氢气纯度下降的机理

发电机运行1天进入的空气量为 V_2 ,同时排出混合气体 V_3+V_4 ,若排出的混合气体中含有的空气小于进入的空气 V_2 ,多余的空气残留在发电机内,会导致发电机内氢气纯度降低。以1台上海电机厂生产的300 MW发电机为例,容积68.8 m³,额定氢压0.31 MPa,假设漏进空气 V_2 为0.45 m³/d,整机漏氢量 V_3 为5 m³/d,每天补气至额定压力,不进行排气,通过计算得到该发电机投运后的氢气纯度下降过程如图2所示。

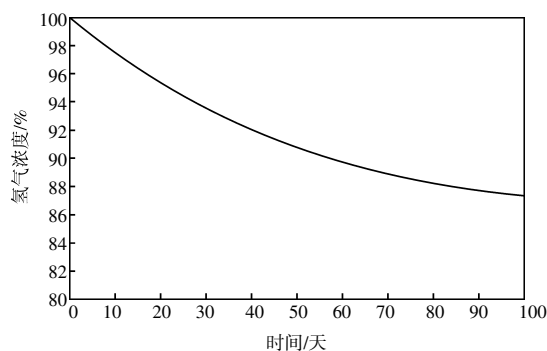


图2 发电机内氢气纯度下降过程

每天进入发电机内的空气量 V_2 越小、整机漏氢量 V_3 小或不进行人为排出混合气体 V_4 ,当满足排出的混合气体中含有的空气量小于进入发电机内的空气量时,发电机内的氢气纯度就会持续下降。与单流环密封结构的发电机相比,双流环密封结构的发电机在串油的情况下 V_2 较大,加上整机漏氢量 V_3 较小,若不进行人为排氢,就容易出现氢气纯度低的问题。

综上所述,对于部分机组,单纯补氢保持氢压并不能保证氢气纯度。

2.4 运行管理的误区

由于在发电机厂家提供的说明书中一般只要求氢气纯度大于95%,所以部分电厂运行时按大于95%进行控制。而安全规程及行业标准的要求高于制造厂说明书,因此应按照安全规程的要求进行控制。

部分电厂怀疑氢气浓度在线检测仪不准而未及时控制氢气纯度。用同一台便携式氢气浓度检测仪检测3个电厂的12台发电机氢气浓度,对比后发现,在线仪表与便携仪的浓度偏差均在0.5%以内,说明氢气浓度在线检测仪的测量值还是比较可信的,不应轻易怀疑其准确度。

进入发电机内的空气量 V_2 较大,且漏气量 V_3 较小,运行中因对规程的理解偏差及怀疑氢气浓度检测仪的准确度等原因,未及时排补发电机内氢气,这就是省内部分发电机氢气纯度较低仍长期运行的原因。

3 提高和保持氢气纯度的方法

3.1 提高发电机氢气纯度的方法

发电机内氢气纯度下降后,需要通过氢气的排补来置换发电机内含有空气的氢气。发电机在运行时,一次性大量排气会造成发电机内氢气压力下降太多而不安全,需要采用连续排补的方式。

以上海电机厂生产的300 MW发电机为例,假设原有氢气纯度为90%,一次性排气需要排掉机内混合气体共 149.3 m^3 ,此时发电机内压力将降至 0.217 MPa ,这是很不安全的。建议根据每次排补量小于发电机整机每天漏氢量的“合格”指标来进行排补。针对该发电机,按每次排补 14.5 m^3 , 11.5 m^3 和 8.5 m^3 (分别对应整机每天漏氢量的合格、良好、优秀指标)计算,氢气纯度从90%提高到97%的过程如图3所示。

按每次以不同的量进行排补,使用的总气量如表2所示。

从表2可以看出,每次氢气排补的量越少,需要排补的次数越多,但是需要的总用氢量相差不多。这是由于排出的混合气体中含有空气的浓度是差不多的。某些电厂发现用排补的办法无法提高氢气纯度,这是因为排补的次数还不够。

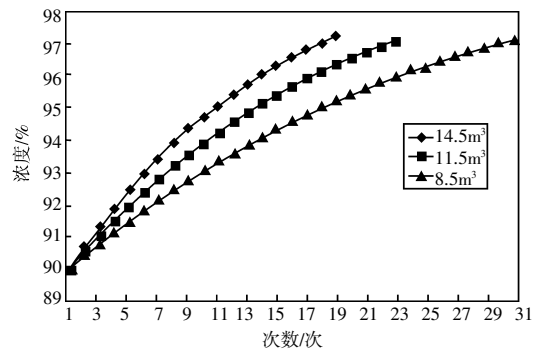


图3 不同排补量下氢气纯度上升过程

表2 不同排补量下使用的总气量

每次排补量/ m^3	排补次数/次	总用氢量/ m^3
14.5	18	261
11.5	22	253
8.5	30	255

3.2 保持发电机氢气纯度的方法

对通过补气仍无法保持氢气纯度大于96%的发电机,可通过定期排补的方法提高 V_4 的量,使氢气纯度满足要求。由于密封系统每天进入发电机内的空气为定值,将氢气保持在不同的纯度,每天需要排补的氢气量也不同。

假设将纯度保持在95%,96%,97%,98%和99%,需要补入的氢气量分别为 VP_1 , VP_2 , VP_3 , VP_4 和 VP_5 ,要保持氢气纯度稳定,必须满足每天进入发电机内的空气量等于排出的空气量,即:

$$V_2 = (1-95\%)VP_1 = (1-96\%)VP_2 = (1-97\%)VP_3 = (1-98\%)VP_4 = (1-99\%)VP_5$$

$$VP_1:VP_2:VP_3:VP_4:VP_5 = (V_2/5):(V_2/4):(V_2/3):(V_2/2):(V_2/1)$$

大致比例关系如表3所示。

表3 不同纯度要求下的补气比例

保持的纯度/%	补气比例/%	保持的纯度/%	补气比例/%
95	1	98	2.5
96	1.25	99	5
97	1.67		

4 结论及建议

(1)进入发电机内的空气多于通过发电机整机漏气和人为排气过程排出的空气,进入发电机的空气无法充分排出是造成部分发电机氢气纯度下降的原因。

(下转第63页)

(上接第 59 页)

(2)对氢气纯度下降的机理不了解和管理上的错误认识,造成部分机组在氢气纯度控制不理想的状态下长期运行。

(3)排气与补入纯氢气相结合的定期排补技术是提高和保持发电机内氢气纯度的有效方法。

参考文献:

[1] 史新刚,郝俊,李燕.600 MW 机组氢气纯度下降快原因

分析与解决[J].山东电力技术,2005,2:22-24.

[2] 谢尉扬.发电机漏氢标准讨论[J].电力建设,29(2):67-69.

[3] 李燕勇,董川.氢冷双流环发电机氢气纯度下降原因分析[J].云南电力技术,2009,37(3):15-16.

收稿日期:2012-02-02

作者简介:卢洪坤(1979-),男,四川遂宁人,助理工程师,主要从事电厂调试及发电机试验研究工作。

(本文编辑:徐 晗)