

The effect of hydrogen purity on generator efficiency and economic analysis

Feng Yu

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

Abstract

Hydrogen has the advantages of high thermal conductivity, strong fluidity, low density, and no combustion support. Controlling the hydrogen quality of operating units is an important prerequisite to ensure the safe and economic operation of hydrogen cooled generators. The main monitoring indicators of hydrogen in the generator are pressure, purity and humidity. This paper focuses on the influence of hydrogen purity on generator efficiency, and points out the importance of improving hydrogen purity in energy saving and consumption reduction.

Keywords

Hydrogen; Efficiency; Wind friction loss

氢气纯度对发电机效率影响及经济性分析

于枫

秦皇岛发电有限责任公司, 中国·河北 秦皇岛 066003

摘 要

氢气具有导热性高、流动性强、密度小、不助燃等优点,是目前大型汽轮发电机主要采用的冷却介质。控制好运行机组的氢气品质是确保氢冷发电机安全经济运行的重要前提。发电机内氢气的主要监测指标是压力、纯度和湿度。本文重点论述了氢气纯度对发电机效率的影响,指出了提高氢气纯度在节能降耗方面的重要意义。

关键词

氢气纯度;效率;风摩损耗

1 引言

氢气是一种重要的工业气体,无色、无味、无臭、易燃。由于氢气热容量大,导热性比空气高 7 倍,流动性比空气好,纯氢的密度为空气的 1/14,使得发电机内的通风摩擦损耗大大减小,同时可提高发电机的单机容量和缩小发电机的体积,是目前大型汽轮发电机主要采用的冷却介质,也是发电厂安全生产的一项重要指标。

2 发电机对氢气品质的基本要求

我公司四台发电机均采用定子线圈水内冷、转子线圈氢气内冷、定子铁芯及结构件氢气冷却的水-氢-氢冷却方式。氢气与空气混合占 4%~74% 为爆炸范围。发电机内部氢纯度应在 96% 以上,含氧量小于 1.2%。向发电机内补充的新鲜氢气,纯度不低于 99.5%,氧气和其他气体的含量不得大于 0.5%。当氢气纯度低于 96% 时,应立即进行补氢,

使纯度保持在合格范围。发电机应在额定氢压下运行,氢压应维持在 0.3MPa,运行中如果氢压降低到 0.285MPa 时,必须立即进行补氢。氢气母管压力正常应保持在 0.7~1.0MPa,最低不得低于 0.5MPa。发电机内氢气露点最高 0℃,最低 -25℃。

3 我公司发电机氢气纯度运行情况

我公司 4 台机组 2022 年 6 月至 11 月氢气纯度趋势见图 1。自上而下分别为 1、2、3、4 号机。

4 我公司发电机氢压及排补氢情况

4.1 氢气压力情况及排补氢次数

我公司 4 台机组 2022 年 6 月至 11 月氢气压力趋势见图 2。自上而下分别为 1、2、3、4 号机。

由图 1 可知:1~4 号发电机氢气纯度可提升至 98% 以上运行,当氢气纯度下降至 96% 进行排补氢,但一般每次排补氢操作提高纯度至 97% 左右就不再操作。

由图 2 可知:1、2 号机每次补氢操作时间约 20 分钟,排补氢操作 50 分钟。3、4 号机组每次排补氢操作约 30 分钟。具体排补氢次数详见表 1。

【作者简介】于枫(1986-),女,硕士,工程师,从事电厂化学研究。

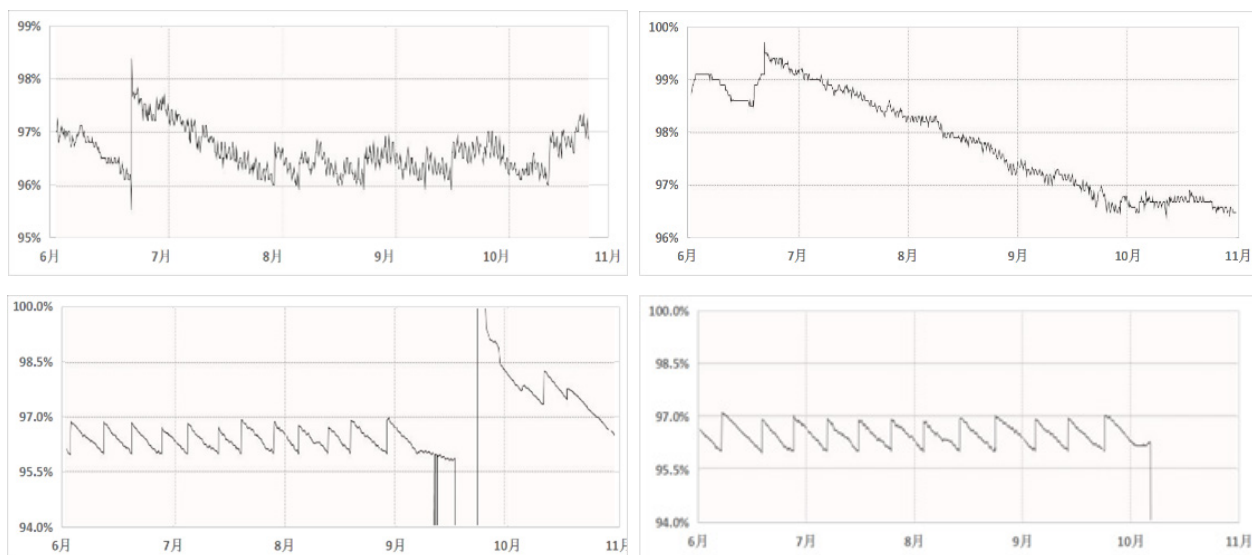


图 1 一 ~ 四号发电机氢气压力趋势图

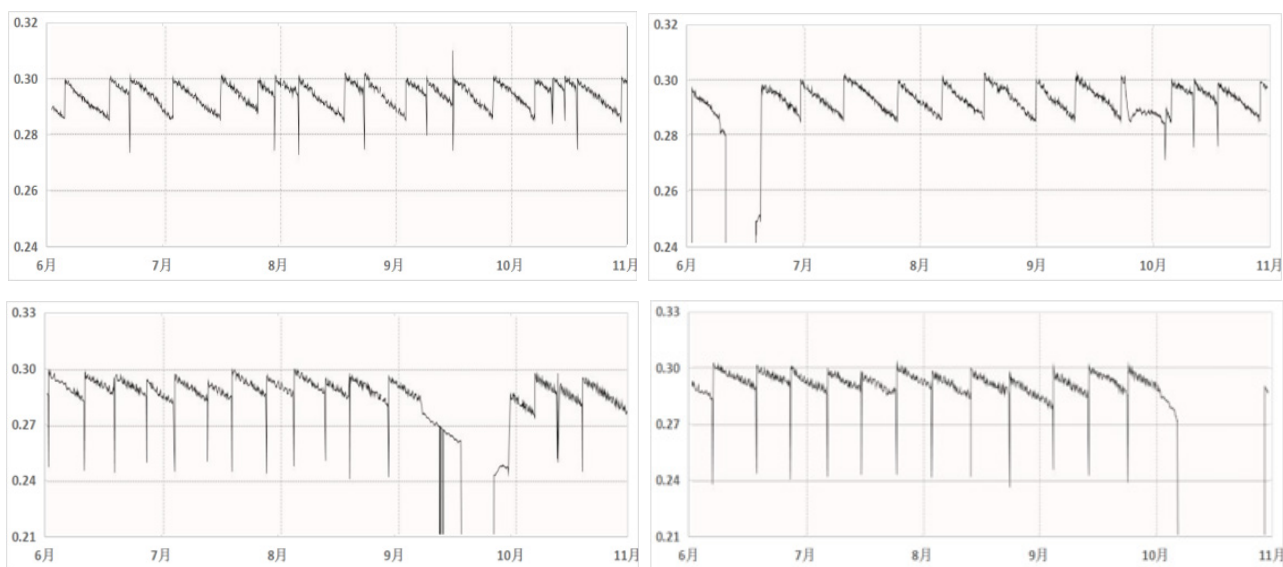


图 2 一 ~ 四号发电机氢气压力趋势图

表 1 一 ~ 四号机排补氢次数统计表

项目 机组	补氢次数	排补氢次数
一号机	10	9
二号机	9	3
三号机	0	14
四号机	0	12

表 2 我公司 2022 年 1—9 月氢气用量统计表

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

4.2 氢气用量统计

2022 年 1 至 9 月我公司氢气用量见表 2。一号机总补氢 637.16 m³，二号机总补氢 312.48 m³，三号机总补氢 1717.26 m³，四号机总补氢 2061.92 m³。三、四号机组总补氢量明显高于一、二号机组。氢气制备成本为 2.5 元 /m³，2022 年 1—9 月制氢总成本约为 1.2 万元，估算全年制氢总成本约为 1.6 万元。

5 发电机氢气纯度低原因分析

发电机运行中氢气纯度下降的主要原因是漏氢和油气混入氢气中：

①氢气系统管道、阀门漏氢；发电机本体端盖、人孔、手孔外漏；发电机测温元件密封不良，造成漏氢。转子导电螺钉处密封不良造成漏氢。

②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，空侧微量串油带入空气进入发电机引起氢气纯度下降。

③氢气通过水电连接管和定子线棒漏至定冷水内。

④发电机出线套管自身有砂眼、法兰浇注粘接材料质量差、密封垫未垫好或有裂纹，导致氢气漏入封闭母线箱内。

6 氢气纯度对发电机效率影响

6.1 国外就氢气纯度对发电机影响的量化分析研究实例

2003年美国《电力工程》就氢气纯度对发电机经济性的影响进行了量化分析，其关系曲线如图3所示。

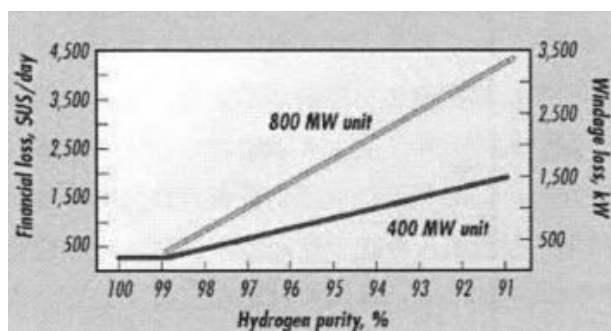


图3 氢气纯度与风摩损耗关系图^[1]

①两条曲线分别是400MW和800MW发电机。

②横坐标从左向右延伸表示纯度从100%下降到91%，每1%。

③左纵坐标表示经济损失，单位是美元/每天。

④右纵坐标表示发电机风摩损耗，单位是kW。

⑤在氢气纯度低于99%左右时，风摩损耗就开始随纯度降低而呈反比线性增加。

⑥发电机容量越大，风摩损耗随氢气纯度下降而增大的变化斜率越大，即氢气纯度对容量较大的发电机影响更大。

6.2 氢气纯度上节能费用计算

据文献记载：800MW汽轮发电机纯度在99%以下时，每下降1%，增加风摩损耗366kW；通过图3估算得出220MW机组风摩损耗与氢气纯度的关系为纯度下降1%，损耗增加90kW。320MW机组风摩损耗与氢气纯度的关系为纯度下降1%，损耗增加120kW。

按我公司一台机组年运行5000h、上网电价0.439元/kWh计算，氢气纯度若提高两个百分点，全年4台机组节能费用为：

一期： $180 \times 5000 \times 0.439 \times 2 = 79.0$ (万元)

二期： $240 \times 5000 \times 0.439 \times 2 = 105.4$ (万元)

合计： $79.0 + 105.4 = 184.4$ (万元)

投入产出比： $1 : (184.4 / 1.6) = 1 : 115$ (全年制氢成本约为1.6万元)

7 结论

目前，我公司采用间断排补氢方式来提高氢气纯度，但氢纯仅提高至97%，操作较为频繁。本文从分析氢气纯度降低会增加发电机的风摩损耗，进而降低发电机输出功率着手，估算出氢纯提高至99%以上，每年将产生近200万经济效益，投入产出比高达1:115。

为了有效提高氢纯，建议增加运行岗位的小指标奖励，以绩效考核的方式，提高员工在机组实实在在节能降耗的积极性，为我公司扭亏增盈做出贡献，实现多赢。

参考文献

- [1] 王斌. 提高650MW发电机氢气纯度及经济性分析. 2016年(第七届)电力行业化学专业技术交流会.
- [2] 刘勇. 氢气品质对氢冷发电机运行的影响. 能源科技.