

氢气供应系统储氢罐的置换操作及危险因素分析

胡立川，陈裕忠，林少国

(华能海门电厂，广东汕头515132)

摘要：以某4×1036MW机组的氢气供应系统为例，介绍了氢气供应系统的组成及设备状况。当储氢罐需检修时，应进行检修前和检修后的置换操作。在置换操作过程中，易产生各种影响设备安全的危险因素。为此，提出了相应的预防措施和对策。通过分析，为防止危险的发生，提出了有益的建议，并在储氢罐的置换操作中得到实施，确保了机组的稳定运行。

0概述

随着火力机组的迅速发展，发电机组中的电机也越来越大。氢气是发电机的冷却介质之一，氢气冷却系统的作用也日益受到关注，对冷却系统稳定运行的要求也不断提高。某型机组的一期工程4×1036MW的发电机型号为QFSN-1000-2-27，发电机为全封闭、自通风、强制润滑、水/氢/氢冷却、圆筒型转子、同步交流发电机。定子绕组为直接水冷，定、转子铁芯及转子绕组为氢气冷却。

1氢气的理化性质

氢气是一种无色、无味的气体，无腐蚀性，但有很强的渗透性；密度为 0.09kg/m^3 ，比空气轻，不溶于水。

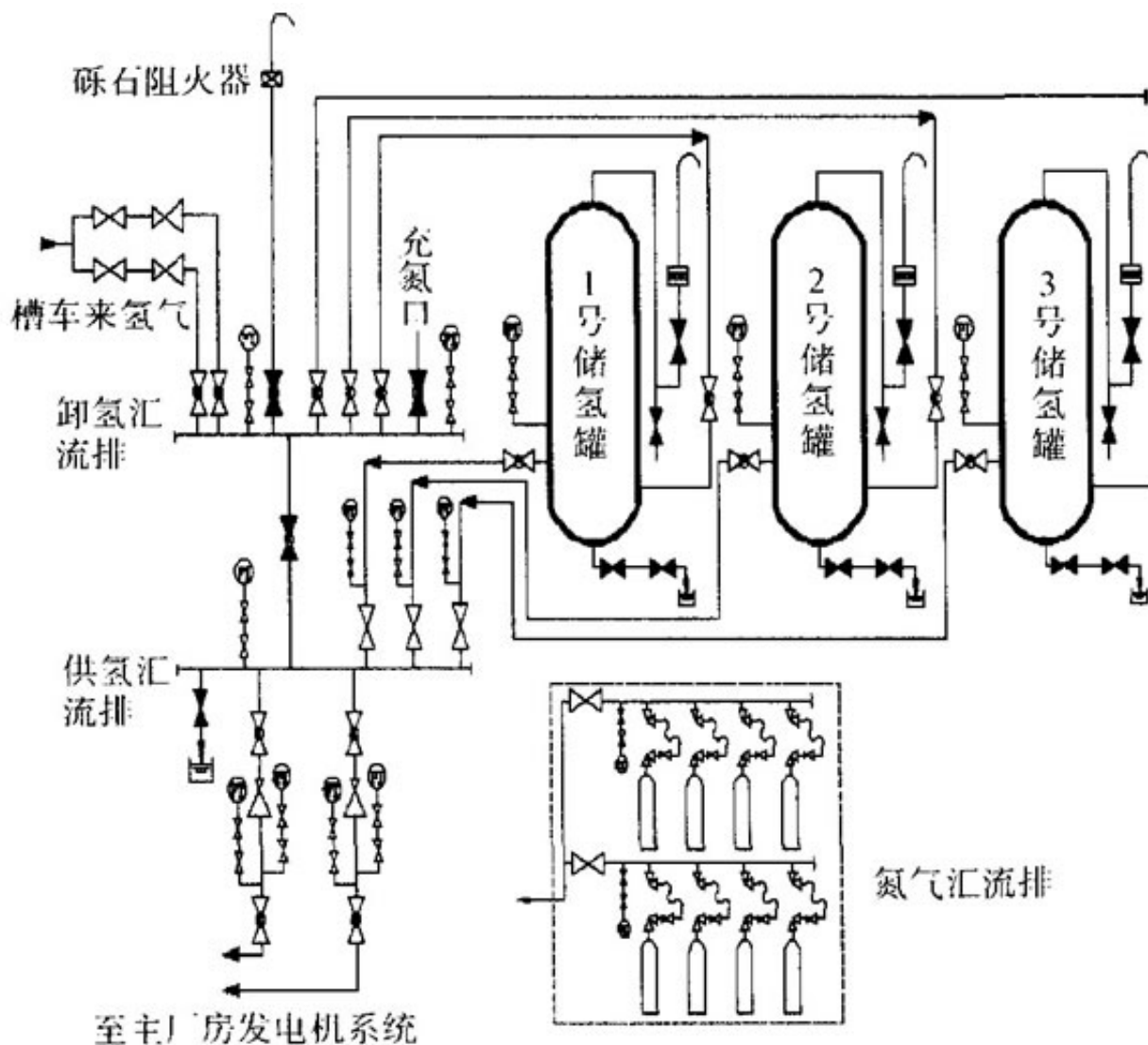
氢气易燃易爆，无色无味，不易被人体感官发现。氢气与氧气混合燃烧的火焰温度为 $2100\sim 2500$ ，氢气与空气混合发生爆炸的极限比例为 $4.2\sim 74.2\%$ 。

氢气密度小，热传导率高(其热传导率比空气大6倍)，因此被广泛应用于发电机冷却，提高了发电机的效率，从设计上使得发电机尺寸、冷却器的表面积减少，降低了通风损耗及发电机运行噪声。

2氢气储存系统

2.1供气储存罐

某工程中，利用大容量储存罐储存氢气，减压后向发电机氢气系统供氢。供氢系统的工艺流程为：氢气槽车一减至氢气储存罐一减压至发电机组。供氢装置主要由卸氢汇流排、储氢罐、供氢汇流排、氮气汇流排及控制柜组成。电厂的外购氢气(氢气槽车 $V=20\text{m}^3$ ， $P=20\text{MPa}$)经减压后，送入氢气分配盘，再分别汇入3台储氢罐($V=30\text{m}^3$ ， $P=5\text{MPa}$)。当发电机需用氢气冷却时，储氢罐内的氢气通过氢气分配盘二级减压后，送往发电机。储氢罐共有3个，储罐的工作压力为 5.0MPa ，容积为 30m^3 。每个储罐上布置有压力表口、温度表口、排空口、排污口、取样口、安全阀出口，并通过进气口和出气口与氢气分配盘连接。氮气汇流排将8个氮气的氮气经减压后。送入氮气汇流排母管，用于系统充氮。氢气供应系统的布置，如图1所示。



(注：安全阀及管道未标出，黑色阀门为常闭门)

图 1 氢气供应系统流程图

氢气供应系统主要由储氢罐、卸氢汇流排、供氢汇流排、充氮装置及相关阀门、管道、监测点等组成。

3储氢罐的置换操作

电厂储氢罐的充氢、退氢操作，使用水和氮气作为中间介质。气体监测及置换操作的内容，如表1所示。

表 1 储氢罐的操作内容

置换内容	操作内容	取样位置	被测成分	标准含量
储氢罐充氢	水置换空气	上部	/	有水连续流出
	N ₂ 倒换水	下部	/	没有湿气排出
	H ₂ 倒换 N ₂	底部	O ₂	≤0.5%
			H ₂	≥99.7%
储氢罐退氢	N ₂ 倒换 H ₂	上部	H ₂	≤0.5%

3.1储氢罐检修前的置换操作

(1)确认储氢罐的内部氢气已基本用空，压力1.0MPa以下。关闭储氢罐进口一、二次门，出口二次门，底部排污门，顶部排气门和取样门。打开储氢罐顶部排气门，通过阻火器将储氢罐内氢气压力降至0.05MPa。

(2)用氮气置换储氢罐中氢气，调整氮气瓶组的出口压力为0.2MPa，核查其他储氢罐进口一、二次门，确认卸氢A路二次阀关闭，卸氢B路二次阀关闭。

(3)打开卸氢汇流排充氮门，打开储氢罐进口一、二次门，将储氢罐升压至0.10MPa后，关闭储氢罐进气母管氮气进口门。待储氢罐静止4h后，打开储氢罐顶部排气门，通过阻火器将储氢罐内部气体压力降至0.05MPa。重复该操作步骤3次以上。

(4)连续3次取样，当储氢罐顶部取样门排出的气体中含氢量不超过0.5%，氮气置换储氢罐内部氢气的操作结束。关闭储氢罐进口一、二次门，打开储氢罐底部排污门、顶部排气门，进行卸压。卸压完成后，关闭储氢罐出口一次门、底部排污门、顶部排气门。在储氢罐进口二次门后的管道法兰处和出口一次门前管道法兰处，加装堵板，将储氢罐完全隔离。

3.2储氢罐检修后置换操作

3.2.1注水排空气

确认储氢罐检修工作完成后，检查储氢罐的外观。检查在储氢罐进口二次门后管道法处和出口一次门前管道法兰处的堵板已拆除，核查储氢罐进出口的一、二次门，将安全阀进口手动阀关闭。

在储氢罐底部排污阀处连接1条临时工业水管，打开储氢罐底部排污门、顶部排气门、取样门，向储氢罐内注水排出空气。当取样门有水气混合物流出时，立刻关闭顶部排气门。当取样门有连续而且稳定水流流出时，关闭取样门、底部排污门。检查确认储氢罐人孔、阀门等法兰处没有泄漏，储氢罐的注水排空气操作结束。拆除在储氢罐底部排污门临时加装的工业水管。

3.2.2充氮顶压查漏及排水

检查确认卸氢A、B路一、二次门，卸氢汇流排与供氢汇流排联络手动门关闭，储氢罐进口一、二次门关闭。调整供氢站操作间内氮气瓶组的出口压力为5.0MPa，打开卸氢汇流排充氮门，打开储氢罐进口一、二次门，用氮气将储氢罐的内部压力升至5.00MPa。检查无泄漏后，关闭卸氢汇流排充氮门，停止氮气供应。打开储氢罐底部排污门，对储

氢罐排水泄压至0.5MPa后关闭。调整供氢站操作间内氮气瓶组出口压力为5.35MPa，打开卸氢汇流排充氮门，将储氢罐升压至5.35MPa，关闭卸氢汇流排充氮门，停止氮气供应，关闭储氢罐进口一次门。对储氢罐进口一次门至储氢罐出口一次门之间的设备、管道进行气密性试验，如储氢罐压力维持48h不变，则说明系统的严密性良好，无泄漏发生。

打开储氢罐底部排污门，对储氢罐排水泄压至0.3MPa后关闭。打开储氢罐安全阀隔离手动阀，调整充氮汇流排氮气出口压力至0.5MPa，打开卸氢汇流排的充氮门、储氢罐进口一次门，向储氢罐充氮。同时，打开储氢罐底部排污门，维持储氢罐压力在0.2MPa左右，连续排水，直至储氢罐底部排污阀没有水排出，关闭底部排污门。

用氮气将储氢罐升压至0.3MPa后，关闭卸氢汇流排充氮门。每隔约4h(静置4h)，打开储氢罐底部排污门排水，泄压至0.2MPa，然后再升压至0.3MPa，连续3次以上。重复该操作步骤，直到确认储氢罐底部排污门已没有湿气排出，关闭卸氢汇流排充氮门，关闭储氢罐底部排污门，控制储氢罐内部氮气压力在0.1MPa，用氮气置换储氢罐内积水的操作结束。

3.2.3 氢气置换氮气

打开储氢罐(选择压力较低的储氢罐)进口一、二次门，通过储氢罐进气管将其它储氢罐内的氢气送入该储氢罐，控制储氢罐的升压速度。当储氢罐压力为0.2MPa时，停止充氢。关闭其它储氢罐进口一次门，关闭储氢罐进口一次门。储氢罐静止4h后，打开储氢罐底部排污门，将储氢罐压力降至0.1MPa。重复该操作步骤3次以上，直到连续3次从储氢罐底部排污门取样化验的氢气纯度达到99.7%时，关闭储氢罐底部排污门，储氢罐用氢气置换氮气的工作结束。

确认储氢罐内部氢气压力在0.1MPa以上，关闭其它储氢罐进口一、二次门，关闭储氢罐进口一、二次门，打开储氢罐出口一、二次阀、卸氢母管与供氢母管联络阀、卸氢母管排气阀，对储氢罐出口管道进行吹扫(保持储氢罐内为正压)。吹扫完毕后，关闭卸氢母管与供氢母管联络阀、储氢罐出口一、二次阀、卸氢母管排气阀，储氢罐恢复备用。

4 危险因素分析

4.1 储氢罐检修前的置换操作

排氢气时，需严密注意储氢罐内压力。保持储氢罐为正压，以防止空气进入储氢罐。氢气必须由排气管经阻火器排出，不能混入空气。排气时，气体磨擦管壁，有可能产生静电，而氢气与空气混合后，可能引发爆炸。

充氮前，必须检查卸氢汇流排和供氢汇流排的联络阀已关闭，防止氮气进入供氢汇流排，如氮气混入，将导致其它储氢罐向机组供氢时，氢气的纯度不合格。

氢气的密度小，应在储氢罐顶部取样门的排出气体中，用氢气纯度仪测得含氧量不超过0.5%，作为判断储氢罐置换完成的标准，但因氢气纯度仪可能存在误差，应同时在取样门处用氢气检漏仪来检测排出的气体，确认没有报警。

储氢罐置换完成后，需在氢罐本体连接管道(进、出口管道)的第一道法兰处加装堵板，才可进行检修工作。不可采取关闭手动门作为隔离储氢罐的手段。储氢罐堵板装好后需进行耐压试验，防止在检修过程中因阀门内漏或其他原因使堵板破裂，导致氢气进入检修储氢罐，试验压力推荐为5.5MPa。如欲打开储氢罐人孔门入内检修，应对储氢罐加强通风，执行受限空间作业相关规定，防止检修人员窒息。

4.2 储氢罐检修后的置换操作

4.2.1 注水排空气

注水前应先拆除堵板，将法兰连接牢固，以便后续过程中检查管道的严密性，但一定要确认储氢罐进、出口一、二次阀关闭严密，防止水进入储氢罐进、出口管道。

注水后，应确认储氢罐内已注满水，防止储氢罐内还有残存空气。

4.2.2 充氮顶压查漏和排水

储氢罐进行升压操作前，一定要检查其它氢罐进口一、二次阀已关闭，防止氮气进入其它储氢罐，导致其它储氢罐

内的氢气纯度不合格。储氢罐进行升压操作时，应注意阀门开启顺序，应先将氮气汇流排压力调整好，再依次开启卸氢汇流排充氮门、储氢罐进口一次阀、进口二次阀，确保整个过程中卸氢汇流排的压力高于储氢罐压力，防止储氢罐内的水反灌入卸氢汇流排。在储氢罐的升压、静置、查漏过程中，严禁开启储氢罐的出口一、二次阀，防止储罐内水进入供氢汇流排，导致发电机补氢时进水。

储氢罐升压完毕后，在静置过程中，压力轻微波动属正常现象，这与环境温度变化存在一定的关系。此时，应用肥皂水涂抹等方法进行人工查漏，特别对于法兰、人孔门等易泄漏处，进行综合判断，确认储氢罐的密封是否严密。储氢罐排水完毕后，应使用氮气经卸氢汇流排、供氢汇流排、储氢罐出口管道吹扫至储氢罐(防止储氢罐出口管道有积水)，才可进行排湿气工作，确保储氢罐内干燥，防止储氢罐内氢气的湿度不合格。在排水、排湿气过程中，应保持储氢罐为正压，防止空气进入储氢罐内。

4.2.3 氢气置换氮气

氢气的密度小，应在储氢罐底部排污门排出的气体中，用氢气纯度仪测得氢气纯度达到99.7%，作为判断储氢罐氢气合格的标准。

当储氢罐内氢气纯度合格后，对储氢罐的出口管道进行吹扫，经供氢汇流排、卸氢汇流排、由卸氢汇流排排气阀经阻火器排至室外，防止出现置换的死点。严禁由供氢母管排污阀排氢气，防止氢气在室内聚集，引起爆炸。

5 结语

大部分火电厂的储氢罐置换均使用水、氮气作为中间介质，而氮气密度与空气接近不能作为置换空气的介质。因工艺、置换条件的限制，二氧化碳无法应用于储氢罐置换工艺。利用水置换储氢罐内的空气，具有操作方便、易置换完全等优点，但也带来一些危险及有害因素，针对氢气置换操作的危险性，应注意几个方面的问题。

(1)操作氢气供应系统所有阀门时，应缓慢均匀，严禁使用铁制板手，禁带火种。关闭手机。

(2)在整个氢罐置换过程中。禁止进行卸氢工作，防止备用储氢罐进水或进氮气。

(3)在排氢、排水、排湿气过程中，保持氢罐内有一定压力(建议不小于0.05MPa)，防止氢罐内混入空气，达到爆炸的极限浓度。

(4)应定期检测氢气纯度仪和氢气检漏仪，选择有资质的检验单位进行检验，确保氢气纯度仪和氢气检漏仪测量数据的正确性。用氮气置换储氢罐内氢气时，应在储氢罐顶部取样，用氢气纯度仪测得的含氢量不得超过0.5%，并用氧气检漏仪检测无氢气后，才可泄压检修处理。而用氢气置换氮气，应在储氢罐底部取样。连续3次测得氧气纯度达到99.7%，才可判断储氢罐内的氢气纯度合格。

(5)储气罐排氢气时，必须由排气阀经阻火器排放。在储氢罐氢气置换氮气操作时，应从底部排污门排气。此时，储气罐内的压力不宜太高(建议不超过0.2MPa)，通过排污门开度，控制排放速度，防止流速过大导致静电的产生，引发火灾和爆炸。

(6)在储氢罐排湿气时，建议间隔4h操作1次。夜间气温较低，查看储氢罐底部排气时，确保每次排放初期无湿气，防止储氢罐备用后氢气湿度小合格。

(7)在注水升压查漏过程中储氢罐内有水，且升压查漏的压力较高，可能存在储氢罐出口一、二次阀内漏，导致供氢汇流排进水。如果此时发电机需补氢，有呵能导致发电机进水，建议先将水排至储氢罐进、出口管道以下，再进行升压奄漏工作，但需耗费大量的氮气，应在经济和安全方面进行综合考量。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/158629.html>