

# 发电机密封油系统的稳定性及异常处理方式

钟鸣东

华电潍坊发电有限公司 山东潍坊 261000

**摘要:** 发电机两端必须用密封油密封,防止湿气和空气进入发电机内,防止氢气泄漏到内部。本文详细描述氢气泄漏事件的过程,并列出发生的发电机进油事故,然后,对发电机密封油系统进行深入分析,分析密封油系统的日常运行情况,从而对发电机系统的稳定性进行了说明。最后,介绍异常处理情况,提出相应措施,进行制度改革,确保发电机密封油系统正常运行。

**关键词:** 发电机;稳定性;密封油系统

## 引言:

发电机密封油系统的作用是保持发电机内的氢气压力,防止氢气从转子两端泄漏。密封油系统的运行直接影响发电机的安全,影响密封油系统运行的主要因素有系统设计、设备安装、维修质量、运行控制等。本文主要从操作控制的角度分析了系统中存在的安全风险,并提出了防范措施。确保发电机在事故工况下的正常运行和设备的安全。

## 一、概述

发电机定子绕组水冷、定子铁芯和转子绕组氢冷发电机广泛应用于发电厂,发电机密封油系统的作用是向发电机轴封连续供应密封油,防止发电机漏氢。防止外界空气进入发电机,保证氢气的纯度。发电机转子轴封装置采用双环、流动油封,密封瓦两侧即氢气侧和空气侧设有独立的油路,该设计控制两股油流相互串联流动。空气侧回油和来自空气和氢油源的9#和10#瓦轴承润滑油会合到空气侧回油箱,然后溢流到汽轮机润滑油箱。

### 1. 发电机密封油系统调节原理

在整个调节系统中,基于整个控制系统中的氢气压力,空气侧密封液在高速时跟随氢气压力,并且,当空气侧密封的变化发生变化时,调整氢气侧密封液。氢气压力在正常情况下变化非常缓慢。因此,当系统正常调节时,空气侧密封油压和氢气侧密封油压保持稳定,整个密封油系统形成循环连续流动。任何一个环节的异常,都会导致整个系统的调整。在系统小扰动等不稳定的情况下,平衡阀和差压阀的自动调整可以保证系统的稳定性。如果扰动很大,超过平衡阀和差压阀的调节能力,系统会剧烈抖动,无法自动调节,需要恢复,需要人工干预。

### 2. 发电机密封油系统作用

- (1) 提供发电机两端密封装置工况所需的密封油;
- (2) 处理密封油,保证发电机内氢气的纯度;
- (3) 提供

相关回路,有效保证分离空气中的氢气。

## 二、案例分析

### 1. 密封油过滤器堵塞导致发电机漏氢分析

#### 1.1 事件概述

2013年3月17日,某机组汽轮机怠速达到623r/min时,主控氢气液压差突然减小,空/氢气侧直流油泵开始报警。差值低至9.4kpa,在这个压差下,密封油无法再密封发电机中450KPa压力下的氢气。

主控室的操作员启动了第二台排气风扇,发现两个风扇同时运行,但意识到风扇入口处没有设置负压,并且发电机中有氢气。转运操作员报告9瓦处有气带油喷出,维修也确认此时发电机氢气压力正在下降,测得密封油空气侧排风机出口氢气含量范围为100%。

#### 1.2 事件原因

事故的直接原因是密封油过滤器堵塞和空侧密封油堵塞,压力下降到不能维持氢油压差的程度。空侧油流是空侧油泵过滤器。空侧油有三个可供选择的油源,但压力表显示所有油源都经过过滤。因此,这种情况下备用油源将不起作用,为了将氢气水压差保持在35kPa以上,加压氢气必须密封在发电机中。

### 2. 发电机进油事件

#### 2.1 事件概述

2002年5月7日,某机组处于商业运行后的首次小修。发电机内压缩空气减压,高压备用密封油泵运行,调试人员要测试刚刚更换的发电机密封油系统上的备用压差控制阀,启动空侧交流密封油泵,但没有启动氢气侧交流密封油泵,导致5分钟后氢气侧回流罐,溢流进入主控消泡箱,主控消泡罐高液位显示报警。主控操作员迅速关闭空侧交流密封油泵和高压备用密封,但发电机吸油事故仍时有发生。导致发电机的末端会进油,发电机出口三相封闭母线进油,延长了单元维修时间。

## 2.2 事件原因

发电机进油事故的直接原因是只开启了空气侧交流油泵。由于氢气侧油泵不启动，因此，无法在现场控制氢气侧回油箱的油位。由于，测试人员没有对测试项目进行足够的风险分析，同时，缺乏现场沟通，最终导致发电机吸油事故的发生。

## 三、系统运行

正常运行时，主润滑油系统的油进入真空罐，通过真空泵设定真空将气体排出。真空油箱内的密封油由主密封油泵升压。然后，通过供油滤清器和压差调节阀进入发电机两侧的密封瓦。

当主密封油泵或真空油箱出现故障时，来自主润滑油系统的油通过供油滤清器直接进入副油泵，升压后通过油进入发电机两侧的密封瓦、供应过滤器和压差调节阀。

如果辅助油泵也出现故障，则来自主润滑油系统的油通过补油滤清器，直接进入直流油泵，增压后经供油滤清器和压差阀控制阀；如果直流油泵同样失效，主润滑油系统的油将通过过滤器和压差调节阀供油，发电机密封油直接进入两侧的密封瓦。此时，发生器中的氢气压力应降低至80kPa。

如果主机润滑油系统出现故障，密封油系统可以独立循环。此时，发生器的氢气压力应降至80kPa。

### 1. 异常运行参数分析

在实际运行中，密封油箱内的油位往往呈下降趋势，主要是由于密封瓦在运行一定时间后磨损，轴颈有划痕，主要出现垫片的垫片。密封瓦破损，与氢气侧的间隙变大，是空气侧大量的密封油粘连造成。近年来，发电企业密封油箱油位急剧骤降数次。由于密封的油箱中缺少油，大量发电机使用氢气运行，防止火灾和停机。经确认，在停机检修过程中，密封瓦内部的密封垫片出现裂纹和损坏。

实际运行中，密封油箱油位过高，除非影响氢气侧回油，否则不会对密封油系统造成安全隐患。但油位过高，密封的油箱会充满油，如果发现不及时，可能会出现发电机油污染等副作用。当密封罐充满油时，氢气侧的回油受阻，氢气侧的密封油压升高。如果密封瓦的制造和安装不符合要求，密封瓦之间的间隙过大，氢气侧的密封油很容易进入发电机内部。机组运行时，由于补油电磁阀开启后自动失效或补油电磁阀旁通阀过热，或者注油电磁阀旁通门开度太大，操作人员没有及时发现。

密封油压差阀和平衡阀自动跟踪。如果油质差或内部零件安装不正确，容易出现卡死或跳漏现象，压差阀

和平衡阀的自动开度过大，使密封瓦的油耗增加，出口密封油泵压力降低。这是因为差压阀和平衡阀用于稳定密封油系统中的油压。因此，跟踪性能直接影响密封油系统对发电机冷却氢的密封效果。

## 四、发电机密封系统稳定性分析

空侧密封油泵提供发电机空侧密封油的压力，分为交流油泵和直流油泵，油泵出口压力一般在0.65Mpa左右，自动调节到空气压差阀确保侧油压在密封瓦上，并保持空气侧密封油压高于氢气压力0.084Mpa。在这个稳定的系统中，基于氢气压力，当空气侧密封液跟随氢气压力时，空侧密封油压跟随氢压进行快速运行，氢密封液根据空气侧密封油压的变化而变化，从而使两侧保持发电稳定机封油系统形成循环流动。任何一个部位出现问题，都会导致发电机密封油系统变得不稳定。

## 五、发电机组密封油系统的常见问题

### 1. 密封油系统振动

由于密封油母管的油压波动，密封油压差阀的阀芯经常上下波动。同时，密封油管路产生剧烈振动，可能损坏密封油管路，引起断裂。

### 2. 汽轮发电机进油、跑氢

机油进入发电机会降低定子绕组的绝缘，进入出线套管会降低发电机的对地绝缘，会导致绕组绝缘放电破坏，导致绝缘降低。如果发电机启动，保护动作停止，发电机组损坏或发电机严重运行，都可能发生氢气爆炸。

### 3. 调试过程中常见问题处理

#### 3.1 发电机气密试验不合格

发电机气密性试验是汽轮机运行前的一项重要试验，将发电机每天的氢气泄漏控制在规定的范围内。

发电机气密试验时，24h换算成大气压的压降为2.05kPa，气密试验不合格。现场采用常规充氦法现场进行漏气检查，检查系统接头和外部阀门的焊缝，未发现大量漏气。最终，发现大量漏气在出口处，油氢分离箱顶部的排气扇出口检测到大量气体泄漏。此时，氢气侧回油箱油位稳定在390mm。通过场景检查，如何关闭氢气侧回油箱的放油阀，以减少排油并提高氢气侧回油箱的密封油位，油位稳定在450mm左右，排气风机漏气量减少。

#### 3.2 油氢差压变送器示数波动

密封油系统中油与氢的压差，由压差控制阀控制，密封油的压力必须保持高于发生器内氢气压力50MPa，以防止氢气泄漏。差压调节阀具有自动跟踪调节功能，通过采样管检测密封油的液压和氢气压力，自动调节密封油的液压。

在调试密封油系统时，油氢差压变送器波动频繁。

为此,将油氢压差调节器切换到旁路供油,断开压差控制阀,并保持油氢压差信号管通畅。引压管内的气体全部排出后,放入还原系统和差压调节阀。此时,油氢压差变送器指示稳定在50kPa左右,误差消除,工作正常。

#### 4. 密封油系统运行好坏问题

##### 4.1 油温影响汽轮发电机轴承振动

当密封油的油温降低时,密封瓦的体积很小。在温度降低时,可以更快地收缩,而转轴的体积比密封瓦的体积大得多。温度降低,振动收缩。事实证明,提高密封油的油温对改变发电机和励磁机轴的振动有明显的作用。

##### 4.2 造成发电机进油

发电机运行时,进入发电机的密封油阻塞了氢气回路,造成绕组局部过热,转子绕组表面的油渍也影响散热,长期运行会引起短路。如发电机中有大量密封油。此外,高速转子或风扇可能会直接撞击损坏,造成严重事故。

### 六、发电机密封油系统异常处理方法

#### 1. 改善密封油系统投运异常

油封系统工作时,最重要的是调整氢气侧密封油箱、压差阀和平衡阀的油位,需要多次调整。当系统失去稳定时,及时打开旁路自动门,逐步恢复稳定。慢慢降低油位,提高差压和平衡阀的油位。系统正常后,关闭非自动门稳定。

#### 2. 实施系统改造,优化汽轮发电机氢分离工艺

主要是油氢分离罐、主回路自控调节阀、前后截止阀、辅助回路截止阀等设施。分离油罐内液位信号,控制主回路自动控制调节阀的开关,实现油位的自动控制。平衡汽轮发电机氢气侧入口,送至集控DCS进行氢气分离系统、远程自动控制和手动控制操作,以达到进油和回油回收的目的。

#### 3. 发电机密封油系统油源设计及控制

##### 3.1 空侧密封油

正常运行时,空气侧密封油由空气侧交流密封油泵供给,使氢油之间的压差为0.084MPa。第一备用油源为汽轮机主油泵高压油,第二备用油源为汽轮机高压备用密封油泵,第三备用油源由汽轮机主油泵供油,第四备用油源是汽轮机轴承润滑油泵。

##### 3.2 氢侧密封油回路

正常运行时,发电机密封油系统空气侧油压跟踪氢气压力,氢气侧密封油压跟踪空气侧油压,氢气侧回油箱油位控制非常关键。氢气侧回油箱油位低时,在空气侧油泵出口压力下通过自动注油阀补油,油位高时,氢气排出。如果发电机在事故情况下紧急排放氢气,应打开氢气侧的低压放油阀。

#### 3.3 定期全面检修

根据发电机密封油系统运行参数的变化,检查密封瓦进油孔板尺寸并调整到设计值,修正调整发电机密封瓦与转子的配合间隙轴径达到设计值时,并保证氢气侧回油控制阀不卡,浮油箱机械浮阀不卡,连杆无裂纹,油箱液位计正常没有被阻止。

### 七、结语

发电机采用双流环形密封油系统,密封性能非常好,可实现自动调节和稳定。如果系统内压力波动幅度较大,系统不能自动调节恢复,必须通过这种方式进行维修和调节。发电机密封油系统经常出现问题,首先有利于系统恢复稳定,根据问题解决故障,使系统工作自如。

综上所述,通过发电机组密封油系统的一般问题进行综合分析,帮助操作人员找到涡轮发电机组密封油系统,制定常见的缺陷原因及相应的补救措施。现场运维人员根据汽轮发电机密封油系统的实际运行情况优化,及时排除系统设备故障,密封油系统创新研究与实施,可提高汽轮发电机组运行安全性和可靠性的技术。

#### 参考文献:

- [1]崔健,杜景轩,韩传慧.密封油系统异常分析及解决策略[J].现代工业经济和信息化,2021,11(10):206-207+226.
- [2]罗威,熊鹏,卢琳.电厂密封油串流问题探索及解决策略[J].设备管理与维修,2021(21):70-72.
- [3]严平.汽轮发电机组密封油系统常见问题分析及处理措施[J].机电信息,2019(17):96-97.
- [4]谭江锋.M701F3发电机组密封油系统联锁试验异常分析及处理[J].燃气轮机技术,2017,30(04):59-62.
- [5]余敏.发电机密封油系统的稳定性及异常处理[J].科技传播,2016,8(15):167-168.
- [6]袁守金.发电机密封油系统的原理及异常处理[J].科技创新与应用,2016(06):131.
- [7]彭勇,吴青虎.发电机密封油系统常见故障的原因分析及处理[J].电力安全技术,2016,18(02):42-45.
- [8]温冠峰.发电机密封油系统故障及氢气纯度异常分析[J].山东工业技术,2015(21):283-284.
- [9]丁超.发电机密封油系统及其运行[J].科技与创新,2014(22):16-17.
- [10]王志强.发电机单流环密封油系统常见问题分析及处理[J].河北电力技术,2014,33(01):31-34.
- [11]苏磊,李松海,王安平,徐寅超.CPR1000核电汽轮发电机单流环密封油系统问题分析与处理[J].机械工程师,2018(04):153-155+159.