

650 MW 汽轮发电机组密封油备用差压阀 联动试验优化实践

肖承明,王众汗

(国家能源集团黄金埠发电有限公司,江西 上饶 335101)

摘 要:某发电公司 650 MW 汽轮发电机组密封油备用差压阀在联动试验中,由于设计原因存在密封油泵憋泵和发电机漏氢风险,运行中难以开展试验。通过分析研究,创新运用操作备用差压阀旁路门方式,实现备用差压阀联动试验成功,经实践检验,试验方法安全可靠,保证了密封油备用差压阀的功能。

关键词:发电机;密封油;备用差压阀;联动试验;优化

中图分类号:TM 72 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-348X(2026)02-0041-04

0 引言

发电机密封油系统备用差压调节阀(简称备用差压阀)是密封油系统中关键的备用控制设备,其核心作用是当发电机空侧密封油主油源失供时,能够自动投入运行,精准维持密封油压高于机内氢气压力 0.056 MPa,防止氢气外漏,保障发电机安全稳定运行。在机组正常运行期间,备用差压阀长期处于关闭状态,为确保其在紧急情况下能够可靠动作,需定期在发电机运行状态下开展联动试验。然而,传统试验方法存在诸多缺陷,导致试验过程存在较大安全隐患,难以顺利开展,因此,亟需对试验方法进行优化改进。

当前,国内外学者及电力行业从业者针对发电机密封油系统及差压阀相关问题开展了大量研究;王立华等针对发电机双流密封油系统的运行优化进行了实践探索,提出了基于油压差精准控制的系统调整方案,有效提升了密封油系统的稳定性,但未涉及备用差压阀联动试验方法的优化^[1];严平分析了汽轮发电机组密封油系统的常见故障及处理措施,指出了差压阀动作异常可能引发的安全风险,却未给出具体的试验优化路径^[2];王磊聚焦双流环密封油系统发电机进

油问题,提出了密封瓦间隙调整等改进措施,对密封油系统的运行维护具有指导意义,但未关注备用差压阀的试验安全性^[3];李志高、任辉针对发电机密封油差压低的问题进行了原因分析,提出了差压阀参数调整的解决方案,为差压阀的日常维护提供了参考,但未涉及联动试验的优化^[4];王利伟等对 660 MW 超临界机组双流环密封油系统的事故进行了分析,总结了差压阀故障的应急处理方法,却未深入研究试验方法的安全性改进^[5]。

综合现有研究成果可以发现,当前相关研究多集中于密封油系统故障处理、差压阀参数调整及系统运行优化,针对备用差压阀联动试验方法的优化研究较少,尤其缺乏能够有效解决试验过程中油泵憋泵、发电机漏氢等安全风险的具体方案。文中结合某 650 MW 机组的实际运行经验,针对传统试验方法的不足,创新提出试验优化方案,通过实践验证其可行性,填补现有研究的不足,为同类机组备用差压阀联动试验提供参考。

1 系统介绍

某 650 MW 机组汽轮发电机采用水-氢-氢冷却方式,发电机内氢气采用密封油系统密封(见图 1)。

收稿日期:2025-10-10

作者简介:肖承明(1972),男,本科,高级工程师,从事大型电站汽轮机技术管理。

密封油系统采用双流环式密封瓦,由空侧密封瓦和氢侧密封瓦组合而成,空侧密封油通往空侧密封瓦并沿轴和密封瓦之间的间隙流往轴承侧,与轴承回油一起流回空侧密封油箱,构成空侧油路;氢侧密封油通过氢侧密封瓦,回到氢侧密封油箱构成氢侧油路。

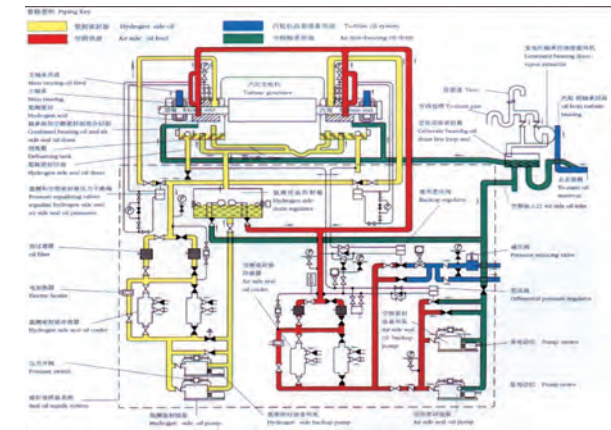


图1 发电机密封油系统图

空侧密封油路设有一台交流密封油泵和一台直流油泵,正常运行中交流密封油泵运行,直流密封油泵备用,设有一台主差压阀和一台备用差压阀,正常运行中主差压阀工作,控制密封油油氢差压 84 kPa 以上(密封油压高于氢压 84 kPa),备用差压阀一直处于备用状态;当空侧密封油油氢差压低至 56 kPa 时,备用差压阀联动开启,维持油氢差压 56 kPa。

氢侧密封油路设有两台交流密封油泵,正常运行时,一台运行、一台备用,设有两台平衡阀调节氢侧密封油压力,维持空、氢侧密封油压差 ± 0.49 kPa,保证空、氢侧密封油互不串油。

2 传统备用差压阀联动试验及存在问题

2.1 试验相关设备及原理

空侧密封油系统设计有主差压阀和备用差压阀,两者协同实现密封油压的精准控制(见图2)。主差压阀连接于空侧密封油泵的进油口,起旁路调压作用,通过采集发电机内氢压和空侧密封油压信号,自动调节旁路流量,确保空侧密封油压始终高于发电机内氢压 0.084 MPa;备用差压阀串接于空侧高压与低压备用油路之间,核心功能是保证备用密封油油压始终高于机内氢压 0.056 MPa^[6-10]。

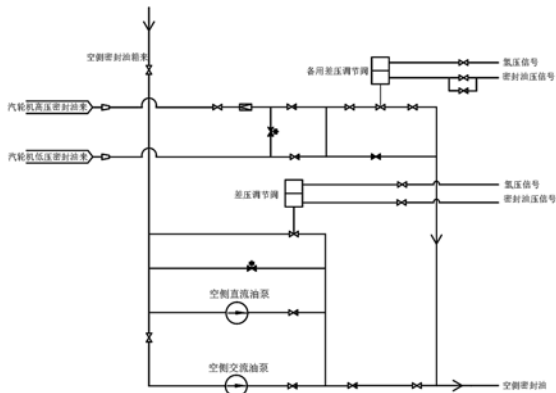


图2 密封油差压阀调节原理图

2.2 传统试验方法

传统备用差压阀联动试验主要有两种方法,具体操作流程如下:

方法一:停止空侧交流密封油泵,空侧密封油压与发电机内氢压的差值(简称油氢差压)将快速降至 0.056 MPa 以下。此时,备用差压阀应立即自动投入运行,并维持油氢差压稳定在 0.056 MPa;试验正常后,重新启动空侧交流密封油泵,油氢差压恢复至 0.084 MPa 的正常值,备用差压阀自动退出运行。

方法二:保持空侧交流密封油泵运行,缓慢关小其出口阀门,密切监视油氢差压变化;当油氢差压降至 0.056 MPa 时,备用差压阀应自动开启并进行调节,维持该差压稳定运行;随后,全关空侧密封油泵出口阀,确认空侧密封油压不再下降,验证备用差压阀投运正常;之后,缓慢开启空侧密封油泵出口阀,观察主差压阀逐渐关小并自动调节,油氢差压恢复至 0.084 MPa;最后,全开空侧密封油泵出口阀,检查备用差压阀自动关闭正常,恢复系统正常运行方式。

2.3 试验存在的安全隐患

方法一主要适用于机组未启动、发电机处于低氢压的工况,试验局限性较大。从试验过程来看,若备用差压阀出现拒动、不能正常投入的情况,且空侧直流油泵无法联动投入,将直接导致发电机氢气泄漏,严重威胁机组安全稳定运行。

方法二是机组运行期间最常用的试验方法,但存在明显的安全隐患。由于主差压阀安装于空侧交、直流密封油泵出口与入口管道之间,是依靠油压差自动控制空侧密封油泵再循环流量的压力调节阀。试验时,关小空侧密封油泵出口阀,会导致空侧密封油压下降,此时,主差压阀会自动关小,以维持额定油氢差

压;当空侧密封油泵出口门关至某一开度时,主差压阀已完全关闭,继续关小出口阀,油氢差压才会开始下降。这一过程必然导致空侧密封油泵憋压,可能引发空侧密封油安全阀动作,同时油泵会出现剧烈振动,严重时会造成设备损坏,影响机组正常运行。

3 备用差压阀联动试验优化方案

3.1 优化思路

针对传统试验方法存在的安全隐患,为确保备用差压阀联动试验能够安全、顺利开展,运行技术人员开展专项攻关,结合系统结构特点及现有研究成果,创新提出一种基于备用差压阀旁路手动门操作的试验方法。该方法的核心思路是利用备用差压阀旁路手动门的调节作用,保证试验全过程中空侧密封油始终有稳定油源供应,避免密封油压中断或油泵憋压,实现试验的安全无扰开展。

3.2 具体试验步骤

具体试验思路如下:先手动缓慢稍开备用差压阀旁路手动门,使高压备用密封油逐步进入空侧密封油系统,促使空侧密封油压上升;此时主差压阀会自动开大,维持油氢差压稳定,直至主差压阀完全打开后停止调节,此时空侧密封油压由高压备用密封油接管控制;继续缓慢稍开备用差压阀旁路门,使空侧密封油油氢差压上升至0.1 MPa左右后停止操作;随后退出空侧直流密封油泵备用,停运空侧交流密封油泵,此时空侧密封油完全由高压备用密封油提供;缓慢关小备用差压阀旁路门,逐步降低空侧密封油压,密切监视油氢差压变化;若油氢差压降至0.056 MPa左右后继续下降,说明备用差压阀未能正常动作投运,需立即停止试验,启动空侧交流密封油泵,恢复主差压阀正常工作;若油氢差压降至0.056 MPa后稳定不变,表明备用差压阀已正常投运;继续关小备用差压阀旁路门直至全关,确认空侧密封油完全由备用差压阀提供,且运行正常;最后,启动空侧交流密封油泵,主差压阀自动接管控制,将空侧密封油油氢差压恢复至0.084 MPa,投入空侧直流密封油泵备用,恢复系统正常运行方式,试验结束。

3.3 优化方案关键点

该试验方法的核心优势是能够保证试验全过程中空侧密封油压不中断,有效避免了备用差压阀拒动

可能引发的发电机氢气泄漏事故,同时也杜绝了空侧密封油泵憋压损坏的风险。经过多次讨论、模拟推演确认,试验的关键要点是备用差压阀旁路门的操作必须缓慢,确保高压备用密封油的介入、接管、退出全过程实现无扰切换,避免密封油压出现大幅波动;同时,试验全过程需有专业技术人员现场指导、全程把控,确保试验方案安全可靠、操作规范有序。

4 试验实施及结果分析

4.1 试验准备

试验前,组织专业技术人员及操作人员开展安全技术交底,明确试验流程、操作要点及应急处置措施;检查密封油系统各设备运行状态,确认空侧、氢侧密封油泵、差压阀、旁路门等设备无异常;检查监测仪表(压力变送器、差压表等)精度合格,确保试验过程中参数监测准确;制定详细的试验方案及应急预案,针对试验过程中可能出现的油泵憋压、氢气泄漏等异常情况,明确处置流程及责任人。

4.2 试验过程

2024年7月3日上午11时,按照优化后的试验方案开展备用差压阀联动试验。操作人员携带对讲机到现场就位,集控室人员严密监视发电机密封油系统画面,通过对讲机与现场操作人员保持全程实时沟通,确保操作同步、监测到位。

试验开始后,现场操作人员缓慢稍开备用差压阀旁路手动门,密切观察空侧密封油油氢差压变化,发现油氢差压由0.095 MPa上升至0.206 MPa后快速下降至0.098 MPa,确认主差压阀已全开,高压备用密封油通过旁路门介入并接管空侧密封油控制,此时,空侧交流密封油泵出油通过主差压阀打循环,不再向密封瓦供送密封油,维持当前旁路门开度不变。

11时07分,退出空侧直流密封油泵备用,停运空侧交流密封油泵,检查空侧密封油油氢差压稳定在0.098 MPa,无明显波动。随后,现场操作人员逐步缓慢关小备用差压阀旁路手动门,持续监视油氢差压变化,观察到油氢差压逐步降至0.064 MPa后稳定不变,表明备用差压阀已自动投入正常运行。

继续关小备用差压阀旁路手动门直至全关,检查空侧密封油油氢差压始终稳定在0.064 MPa,备用差压阀

运行状态正常,无卡涩、泄漏等异常情况。11时17分,启动空侧交流密封油泵运行,观察到主差压阀逐渐开启,空侧密封油油氢差压逐步升至0.09 MPa,主差压阀顺利接管空侧密封油控制;随后投入空侧直流密封油泵备用,恢复空侧密封油系统正常运行方式,试验顺利结束。

4.3 试验结果分析

试验结束后,调取密封油系统各参数变化趋势数据,对试验过程进行全面分析。结果表明,整个试验操作过程中,密封油系统各参数(空侧密封油压、氢侧密封油压、油氢差压等)运行稳定,无大幅波动;主、备用差压阀的动作压力与设定值完全相符,动作灵敏、可靠;高压备用密封油的投入、退出与密封油主油源的退出、投入实现了无扰切换,未出现油泵憋压、氢气泄漏等安全隐患,试验取得了预期效果。

该优化试验方法在该公司已推广应用超过一年,尤其是在空侧密封油泵故障检修前,通过该方法开展备用差压阀联动试验,能够有效检验备用差压阀的备用自投功能,为空侧直流密封油泵提供可靠备用保障,显著提高了密封油系统的运行可靠性。同时,通过定期开展试验,实现了备用差压阀的定期动作,有效防止了阀门卡涩、拒动等故障,消除了机组运行中的重大安全隐患,为机组安全稳定运行提供了有力保障。

5 结语

5.1 结论

发电机密封油系统作为发电厂重要的辅助系统,直接关系到机组的安全稳定运行,一旦出现故障,轻则造成发电机漏氢、着火、爆炸,重则可能引发人员伤亡事故。备用差压阀作为密封油系统的关键备用设备,其备用可靠性至关重要,必须通过定期联动试验,确保其在紧急情况下能够可靠动作。

文中提出的“手动开启备用差压阀旁路门实现备用差压阀自动投入和退出”的优化试验方法,经实践检验安全可靠,有效解决了传统试验方法存在的油泵憋压、发电机漏氢等安全隐患,确保了试验过程的安全有序开展,同时保障了备用差压阀处于真正备用状态。该方法操作简便,无需额外增加设备投入,具有较强的实用性和可操作性,值得同类机组借鉴应用。

结合试验实践及相关研究,试验过程中需重点关注

以下三点:一是手动开启备用差压阀旁路门时必须缓慢操作,实时跟踪密封油压变化,若油压变化超出预期值,需及时回调旁路门开度,确保密封油压平缓变化,避免大幅波动破坏系统稳定;二是试验过程需全程跟踪监测,明确操作人员职责,现场确认每一步阀门动作是否到位,确保试验结果准确可靠;三是试验前必须制定完善的试验方案和应急处置措施,严格按照方案逐项操作,若发现备用差压阀未能正常自投,需立即启动空侧交流密封油泵,防止密封油中断引发氢气泄漏。

5.2 展望

本次试验优化仅针对650 MW机组密封油备用差压阀联动试验方法进行了改进,后续可结合机组运行数据,进一步优化试验参数,提高试验效率和可靠性;同时,可探索将智能化监测技术应用于试验过程,实现密封油参数的实时监测、异常预警及自动处置,进一步降低人为操作风险。此外,可加强与同类电厂的技术交流,总结不同机组的试验优化经验,形成标准化的试验规范,为行业内备用差压阀联动试验提供更全面的参考。

参考文献:

- [1] 王立华,高志圣,李永军.发电机双流密封油系统运行实践优化[J].机电信息,2024(24):66-69.
- [2] 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.
- [3] 王磊.双流环密封油系统发电机进油原因分析及处理[J].煤炭科技,2019,40(02):102-103,107.
- [4] 李志高,任辉.发电机密封油差压低原因分析及处理[J].山东工业技术,2019(03):183.
- [5] 王利伟,吕蒙,张鹏.660 MW超临界机组双流环密封油系统事故分析及处理[J].电站系统工程,2018,34(06):73-75.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 刘克为,张志强,杨金福,等.汽轮机密封油系统故障树分析[J].汽轮机技术,2002(05):296-298.
- [9] 石福军.300 MW机组密封油系统试验安全性探讨[J].电力安全技术,2006(12):22-24.
- [10] 王智伟,朱真博,王浚哲.发电机密封油系统运行及特殊运行方式分析[J].电工技术,2023(19):123-126.