

600MW 汽轮机组密封油真空系统改造优化

林炯炯

中电电力检修工程有限公司，上海 200050

DOI:10.61369/EPTSM.2026060011

摘 要： 针对某电厂600MW等级超临界机组密封油真空系统单泵运行可靠性低、能耗高、油品损耗大、环保性差等问题，本文提出将汽轮机主机真空系统应用于密封油真空油箱的改造方案。通过增设旁路管路、U型水封隔离装置及配套阀门，实现主机凝汽器大真空系统带替密封油小真空系统运行，原有密封油真空泵转为备用设备。改造后机组密封油箱真空度稳定达标，彻底解决了原真空泵超电流、轴承过热、漏油等故障问题，大幅降低设备运维成本与油品、电能消耗，消除油气直排的环保与防火隐患。

关 键 词： 600MW 火电机组；汽轮机；主机真空；密封油系统

Renovation and Optimization of the Sealing Oil Vacuum System for a 600 Mw Steam Turbine Unit

Lin Jiongiong

China Electric Power Maintenance Engineering Co., Ltd., Shanghai 200050

Abstract： Addressing issues such as low operational reliability, high energy consumption, significant oil loss, and poor environmental performance of the single-pump operation in the sealing oil vacuum system of a 600 MW supercritical unit at a power plant, this paper proposes a retrofit solution that integrates the steam turbine main unit's vacuum system into the sealing oil vacuum tank. By installing bypass piping, a U-shaped water seal isolation device, and corresponding valves, the large vacuum system of the main unit condenser can operate alongside the auxiliary sealing oil vacuum system, while the original sealing oil vacuum pump is converted to standby equipment. Post-retrofit, the vacuum level in the unit's sealing oil tank remains consistently within specified limits; this effectively resolves previous issues including overcurrent in the vacuum pump, bearing overheating, and oil leakage, significantly reduces equipment maintenance costs as well as oil and electricity consumption, and eliminates environmental and fire hazards associated with direct oil-gas discharge.

Keywords： 600 MW thermal power unit; steam turbine; main unit vacuum; sealing oil system

引言

在600MW等级大型火力发电机组中，发电机水-氢-氢冷却方式凭借高效冷却、能耗较低的优势被广泛应用，而密封油真空系统是保障氢冷发电机安全稳定运行的核心辅助系统。密封油真空油箱通过真空泵持续抽真空，去除密封油中混杂的空气、水蒸气及油气，保证发电机内部氢气纯度、湿度处于合格范围，杜绝氢气外漏引发的安全事故^[1]。

某燃煤电厂一期配备2×620MW东汽产超临界机组，机组投运后，原有独立式密封油真空系统长期存在运行缺陷，结合同类型机组改造成功经验，本次改造创新利用汽轮机主机凝汽器真空系统资源，通过管路优化、隔离防护装置增设，实现主机真空与密封油真空系统联动运行，构建“主机真空为主、原有真空泵为辅”的双保障真空系统。该改造方案依托机组现有设备资源，无需新增大型动力设备，具备施工便捷、投资成本低、节能增效显著、安全可靠性的优势，对600MW火电机组密封真空系统优化升级具有重要工程应用价值。

一、机组原有系统概况及存在问题

（一）原有系统工作原理

某电厂620MW超临界汽轮发电机组，发电机采用水-氢-氢冷却模式，配套真空净油型密封油系统。机组正常运行时，密封

油真空泵持续启停工作，维持真空油箱内部负压环境，将油箱内的油气、空气、水蒸气等介质抽出并直接排放至外界大气。通过持续抽真空净化密封油，降低油中水分、气体含量，避免水分和杂质随密封油进入发电机氢气系统，保障发电机氢气纯度、湿度符合机组运行标准，同时实现发电机轴端氢气密封，防止氢气泄

作者简介：林炯炯（1978.12-），男，汉族，上海人，大专学历，助理工程师，多年从事火力发电生产管理及相关设备检修运维技术应用研究。

漏。原有系统为独立真空运行模式，整套真空环境完全依靠单台密封油真空泵建立和维持，无备用真空源，系统运行稳定性完全依赖真空泵设备工况^[2]。

（二）系统现存主要缺陷

经过长期运行统计，该机组原有密封油真空系统在安全性、可靠性、节能性、环保性等方面均存在明显短板，具体问题如下：

（1）设备运行故障频发。密封油真空泵启动及加载耗时较长，启动过程中易出现超电流现象，设备长期高负荷运行导致电机轴承温度偏高，轴承箱过热引发轴端漏油问题，设备故障率居高不下，严重影响系统稳定运行。

（2）系统冗余不足，真空稳定性差。系统仅配置单台真空泵，无备用设备，一旦设备故障，密封油真空系统将直接失效。恶劣工况下设备频繁故障，导致系统真空度波动较大，除水除气效果大幅衰减，密封油中水分易混入发电机氢气系统，造成氢气湿度超标，威胁发电机绝缘安全。

（3）运维工作量大、耗材消耗高。为保障系统稳定运行，运行、检修人员需开展高频次定期巡检、设备维护、油气排放、补油换油等工作，不仅大幅增加人工劳动强度，还造成汽轮机油、备品备件等耗材大量消耗，运行成本居高不下。

（4）环保与安全隐患突出。系统抽出的油气直接排放至室外大气，一方面造成大气污染，不符合电厂环保运行要求；另一方面，油气属于易燃易爆介质，遇雷击、明火等极易发生爆燃事故，设备防火防控压力极大。

二、改造可行性分析及技术方案

（一）改造可行性分析

汽轮机主机凝汽器真空系统是机组核心辅助系统，机组正常运行时，凝汽器需维持高真空状态，其抽真空容积约1580m³，而发电机密封油真空系统抽真空容积仅2.7m³，后者容积占比仅1.7‰。机组启动建立真空后，主机真空泵仅需维持凝汽器真空度，新增密封油系统抽真空负荷几乎不会增加主机设备出力，具备“以大带小”的改造基础。

同时，国内多家同类型电厂已完成同类改造，芜湖发电、普安发电等机组改造后，密封油真空油箱真空度可稳定维持在机组标准范围内，系统运行稳定，节能、增效、环保效果显著，为本项目改造提供了成熟的工程实践依据。此外，本次改造依托机组现有管路及设备，无需新增大型设备，施工工期短、投资成本低、风险可控，具备极高的实施可行性^[3]。

（二）核心改造技术方案

本次改造核心思路为：将密封油真空油箱抽真空管道旁路对接至汽轮机凝汽器主机抽真空管道，增设隔离阀门与U型水封装置，优化管路坡度布局，实现主机真空系统替代原有真空泵为主力真空源，原密封油真空泵作为备用设备，具体技术方案如下：

（1）增设U型水封隔离结构。在改造管路中加装U型水封及配套隔离门，构建双向隔离防护体系。机组检修凝汽器灌水找漏作业时，即便隔离门处于开启状态，U型水封可有效阻断凝汽器

水介质进入密封油系统，同时防止虹吸现象导致的密封油涌入凝汽器真空系统，实现两大系统相互连通、互不干扰，杜绝人因失误引发的系统污染和设备故障。

（2）优化管路及阀门配置。改造管路采用Φ16×2mm的0Cr18Ni9不锈钢管，总长度25m，配套4只WJ15F1.6P波纹管截止阀，不锈钢材质可有效抵御油气腐蚀，避免产生次生污染物，保障介质清洁与管路使用寿命。阀门采用波纹管截止阀与针型阀组合配置，实现管路通断精准控制，提升系统调节灵活性与密封性^[4]。

（3）规范管路坡度设计。严格控制真空管水平走向坡降不小于1/50，以真空油箱顶部最低点为基准，利用长距离管路散热实现油气冷凝回流，让冷凝后的汽轮机油重新返回真空油箱，实现油品循环利用，彻底消除油品损耗与油气外排污染问题。同时调整原真空泵连接管路坡度，避免冷凝液体堆积在真空泵内部，防止设备长期备用产生锈蚀、沉淀物，保障备用设备工况良好。

（三）改造前后系统结构对比

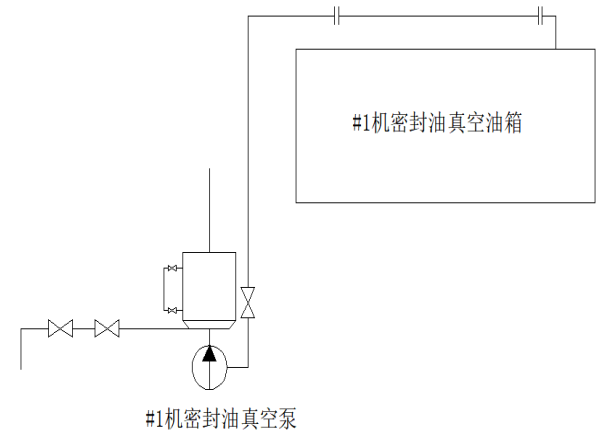


图1 改造前

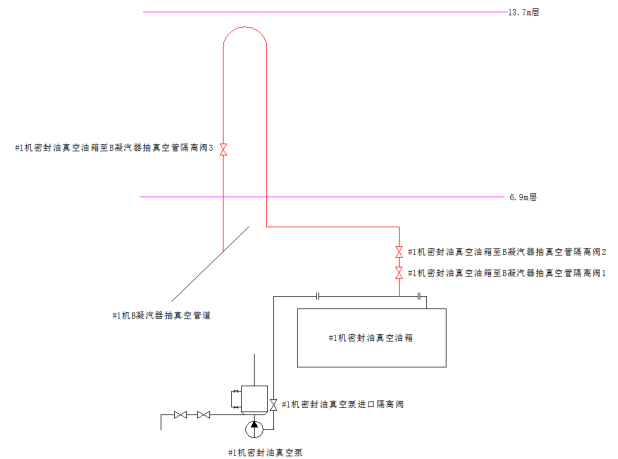


图2 改造后

改造前如图1：系统为独立运行模式，仅依靠单台密封油真空泵持续工作建立真空，无备用真空源，管路无坡度优化、无隔离防护装置，油气直排大气，设备故障风险高、系统稳定性差。改造后如图2：形成双真空源冗余系统，以汽轮机主机凝汽器真空为主要真空来源，原密封油真空泵作为应急备用；U型水封实现油

水双向隔离，优化坡度管路实现油气冷凝回收，彻底解决原有系统安全、环保、能耗缺陷。

三、改造应用效果与运行规范

（一）同类机组改造参考效果

国内同类型机组改造实践验证了本方案的可行性与优越性，具体运行数据如下：案例一，某发电同规格机组改造后，夏季高负荷工况下，密封油真空油箱真空度稳定维持在 -92KPa ，优于 $\geq -90\text{KPa}$ 的设计标准；案例二，某发电高海拔机组（海拔1580米）改造后，真空油箱真空度稳定在 -55KPa ，满足机组安全运行要求。两大案例均证明，主机真空系统应用于密封真空系统可实现系统稳定运行，改造技术成熟可靠。

（二）本次改造核心成效

改造后系统运行可靠性大幅提升，改造后形成主辅双真空源冗余运行模式，可随时切换运行工况，彻底解决原单泵运行故障率高、真空度不稳定的问题，有效规避氢气湿度、纯度超标风险，保障发电机安全稳定运行^[1]；节能降耗效果显著，机组正常运行时可停运原有密封油真空泵，仅每月定期试运2小时，大幅降低设备电能消耗；同时管路坡度优化实现油气冷凝回流，汽轮机油损耗基本消除，彻底杜绝日常补油、换油的耗材消耗；运维成本大幅降低，改造后取消了真空泵每日定期运维工作，将设备定期检修改为状态检修，大幅降低人工劳动强度，减少备品备件消耗与设备检修成本；安全环保隐患彻底消除，终结油气直排大气的运行模式，杜绝环境污染问题；无外排易燃易爆油气，彻底消除雷击、明火引发的爆燃火灾隐患，提升机组本质安全水平。

（三）改造后运行操作规范

为保障改造后系统稳定运行，制定专项运行操作规范：正常运行工况下，运行人员每月对原有密封油真空泵试运一次，单次运行时长2小时，保障备用设备工况良好；实时监视真空油箱液位，若出现液位异常上涨，立即关闭凝汽器抽真空管隔离阀，同步通知检修人员排查故障；凝汽器汽侧灌水查漏作业前，必须关闭系统隔离阀，防止凝汽器积水倒灌进入密封油系统。

四、项目经济效益分析

本次改造为小型技术优化项目，投资成本低，总投资共计

1958美元，主要包含材料费、施工费、设备附件费等，其中波纹管截止阀费用750美元、不锈钢管及附件费用108美元、管夹支架费用100美元、施工费用1000美元，无额外设计费及其他杂费，一次性投入成本可控。

电费节约：原密封油真空泵运行功率约1599.33W，机组年运行330天，年耗电量约12667kWh，按上网电价0.46元/kWh计算，单台机组每年可节约电费5826.82美元；油品节约：改造后消除汽轮机油损耗，每年可节约46#汽轮机油1980L，折合年度油品节约收益3514.5美元；检修成本节约：原真空泵定期检修备品备件、耗材成本约1676.67美元/3年，折合年均节约558.89美元。综合核算，单台机组年度节能降耗、运维节约总收益超9000美元，投资回报周期极短，经济效益十分显著。

五、风险分析与防控措施

本次改造项目整体风险可控，主要风险集中在施工阶段，核心风险为机械伤害与火灾风险。针对机械伤害风险，严格要求作业人员规范佩戴安全防护用品，熟练、合规使用各类工器具，杜绝违规操作；针对动火作业火灾风险，密封油系统区域动火必须办理一级动火作业票，作业前清理周边易燃易爆介质，铺设防火隔离设施，安排专人监护作业，全程落实防火防控措施，保障施工全过程安全可控。改造完成后系统运行风险远低于改造前，无新增长期运行风险，系统安全稳定性大幅提升。

六、结论

该改造方案施工工艺简单、投资成本低、风险可控、适配性强，无需复杂设备改造，仅通过管路优化、隔离装置增设即可实现系统升级，完全适配600MW等级同类型超临界火电机组。通过“以大带小”的系统资源优化模式，打破了原有密封油真空系统独立运行的局限。改造后系统真空度稳定、设备运行可靠、运维工作量大幅降低，不仅实现了电能、汽轮机油的大幅节约，降低机组运维成本，还彻底消除了油气外排污染与火灾爆燃隐患，兼具显著的经济效益、安全效益与环保效益。

参考文献

- [1] 赵晓宇. 优化600MW机组密封油抽真空系统提高设备稳定性[J]. 广西节能. 2019(04): 36-38.
- [2] 贾国喜; 贾翰烜. 660MW机组密封油真空系统改造[J]. 河南电力, 2024(S1): 3940.
- [3] 于沛东; 何晓迪; 展宗波; 姜伟; 刘涛. 基于PCA的密封油温异常故障诊断方法[J]. 工业控制计算机, 2023(09): 133-135+138.
- [4] 陈琴; 章官保. 发电机密封油提纯装置应用分析. 中国电力企业管理. 2021(21): 94.
- [5] 罗威; 熊鹏; 卢琳. 电厂密封油串流问题探索及解决策略. 设备管理与维修. 2021(21): 70-72.