

高效真空泵组气冷罗茨泵传动齿轮损坏分析及处理措施

刘旭东

浙能阿克苏热电有限公司, 新疆 阿克苏 843000

DOI: 10.61369/ME.2024070032

摘 要 : 1号机高效真空泵组气冷罗茨泵出现异常声音、振动, 检查发现气冷罗茨泵自由端从动齿轮损坏断齿进行原因分析和处理, 经对气冷罗茨泵各部件解体检查、对相关部位安装间隙测量及运行数据进行分析, 查找出齿轮损坏的最终原因, 并给出了有效的处理措施及建议。

关 键 词 : 气冷罗茨泵; 传动齿轮; 润滑不良; 冲击载荷; 高温异音

Analysis and Treatment Measures of Transmission Gear Damage of Air Cooled Roots Pump in High Efficiency Vacuum Pump Set

Liu Xudong

Zhejiang Energy Aksu Thermal Power Co., Ltd. Aksu, Xinjiang 843000

Abstract : The gas-cooled Roots pump of the high-efficiency vacuum pump set in Unit 1 exhibited abnormal sounds and vibrations. Upon inspection, it was found that the free end driven gear of the gas-cooled Roots pump had broken teeth. After disassembling and inspecting the various components of the gas-cooled Roots pump, measuring the installation clearance of relevant parts, and analyzing operational data, the final cause of the gear damage was identified, and effective measures and recommendations were provided.

Keywords : air-cooled roots pump; transmission gear; poor lubrication; impact load; high temperature noise

一、设备概述

某电厂1号机组抽真空系统原有两台水环式真空泵, 2018年在原设备系统基础上升级装备一套高效真空泵组, 每套真空泵组包括一台高效水环泵、一台气冷罗茨泵、两台凝水泵、一台喷淋式凝水装置及配套凝水冷却器、罗茨泵专用冷却器、工作液冷却器等辅助设备。高效真空泵组工作流程: 机组正常运行时抽出的气体首先进入喷淋式冷凝器, 将抽汽中大部分的水蒸汽凝结成水, 剩余的空气和少量水蒸汽进入气冷罗茨泵, 气冷泵将气体压缩进入级间换热器进一步冷却凝结后, 最后进入高效水环泵将气体排出。这样机组将吸入的气体不断的排出, 从而形成系统的抽真空^[1]。

气冷罗茨泵, 是在 ZJ 系列罗茨真空泵的基础上改进而成, 增加了旁路气体冷却系统, 在泵的排气口或回流管路中安装换热器, 排气口排出的气体经过换热器冷却, 冷却后的气体从泵体的两侧进入泵腔并冷却转子及泵体, 使其可以在高压差下不会产生高温^[2]。

二、异常情况

2024年01月20日15:45, 运行巡检发现1号机高效真空泵组气冷罗茨泵声音异常, 16:30维护检修人员及设备部点检前往

现场检查确有明显断续“哐当”敲击碰磨声, 同时泵体振动有所增大, 随即联系运行准备停泵检查, 17:18气冷罗茨泵运行中跳闸(报电气故障, 就地报过流报警) A 水环真空泵联启, 运行退出高效真空泵组运行^[3]。组织检修人员对气冷罗茨泵进行解体检查, 解体后发现传动齿轮的从动齿轮有10个齿断裂(见图1)。



图1 气冷罗茨泵从动齿轮损坏图片

三、原因分析

(一) 负载过大

如果泵的工作负载超过设计范围, 齿轮可能承受过大的应力, 导致疲劳损坏或断裂。查看历史曲线, 气冷罗茨泵电流在1号机组 A 修前平均26A左右, A 修后电流在34A左右且有较大波动, 结合 A 修后高效真空泵水环泵工作液温度高的问题, 分析认为由于在 A 修期间在1号机组抽真空母管至高效真空泵组检修完成后没有对该系统进行打压查漏, 在运行中由于高效真空泵组存在漏点 使外界空气吸入真空系统, 另外 A 修期间在抽真空母管至

高效真空泵入口管加装一根 DN32 的小旁路，母管集聚的冷凝水与漏人的空气混合后形成水汽较大湿空气，增加了气冷罗茨泵负载^[4]。加上2024年5月至9月份在处理水环泵工作液温度高问题期间，对高效真空泵频繁启停，叠加导致齿轮承受冲击载荷，加速齿轮疲劳损伤（见图2）。



图2 齿面磨损、齿跟裂纹情况

（二）润滑油不足或质量差

齿轮润滑不足会导致摩擦增大，进而加速磨损。检查罗茨泵从动齿轮侧的圆柱滚子轴承径向游隙达到0.30mm，查阅相关标准 NJ215E 轴承自由状态下的游隙标准为0.08–0.12mm，已严重超标，观察轴承内外圈滚道有大面积的点蚀坑眼，滚柱表面有较多的环形磨痕^[5]。检查罗茨泵转子轴端密封件唇边有磨损变形。观察润滑油成黑黄色，手指搓动感觉油中有微小颗粒、基本无粘度感。分析原因为含有较大水分的湿空气进入罗茨泵凝结并附着于泵内部件表面，在泵内压出端水汽被压入齿轮及轴承箱，使润滑油质劣化，加上罗茨泵负载增加存在冲击载荷（深调低负荷工况时会出现间断异常振动和异音），进一步加速轴承、传动齿轮磨损及轴端密封的损伤（见图3）。



图3 罗茨泵轴承腐蚀磨损严重

（三）检修工艺不当

检修安装时齿轮对中不准确会导致局部应力集中，加速磨损或断裂。紧固件松动：齿轮或轴承的紧固件松动会导致振动和冲击，进而损坏齿轮^[6]。经检查确认紧固螺栓及齿轮涨紧套等紧固件无松动、预紧力距正常，测量转子各部间隙也在合格范围，在静态无载荷情况下检查齿轮端面瓢偏0.06mm及晃度0.04 mm也基本符合技术要求，测量齿轮轴晃度及平行度0.02mm，检查以上相关安装数据满足要求，故认为检修工艺不良的因素较小。

（四）振动和冲击

不平衡载荷增加、轴承磨损间隙过大及其他机械问题引起罗茨泵的振动过大，进而影响齿轮的正常工作^[7]。突然的冲击载荷

导致齿轮断裂或齿面损坏（见图4）。

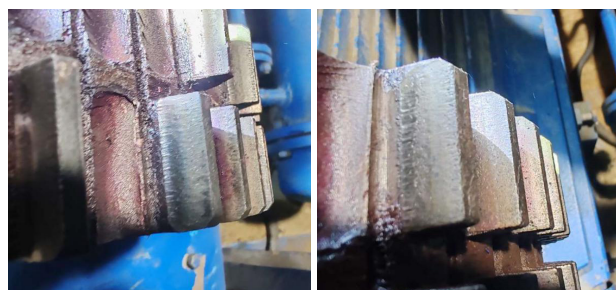


图4 齿面异常磨损及被冲击痕迹

（五）罗茨泵冷却回流系统故障

冷却系统失效可能导致泵体及齿轮箱温度升高，影响齿轮寿命。由于罗茨泵与水环泵因布置标高存在设计问题，罗茨泵冷却器的疏水无法顺利排至水环泵，疏水不断增加淹没冷却器管束失去冷却气体的作用，罗茨泵本身得不到回流冷却加上负载的增大，导致罗茨泵体及齿轮箱温度整体升高（最后造成水环泵工作液温度也过高）^[8]。

（六）异物进入齿轮啮合面内

杂质或颗粒物进入，可能会卡在齿轮啮合处，导致齿轮损坏^[9]。检查油质含有小颗粒单不至于损坏齿轮，主要原因因为载荷增大、润滑不良、温度偏高、振动和冲击等综合因素叠加，使最先疲劳脱落的轮齿被带入主、从动齿轮啮合面内，将连续相邻多个齿被打坏（见图5）。

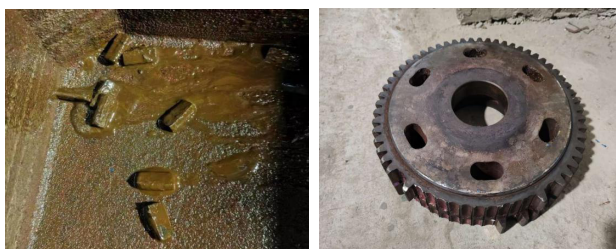


图5 断落的轮齿

四、处理措施

- 1.全面彻底清洗罗茨泵各零部件保证设备内部的清洁度，按照厂家说明书要求调整各部位间隙，严格按照检修工艺进行回装^[10]。
- 2.定期检查润滑油品质，发现油质性能降低及时查找出问题及更换新油，保证良好润滑。
- 3.加强巡检，发现振动和温度异常及时分析并消除。定期对高效真空泵系统进行严密性检查，及时消除系统泄漏，防止罗茨泵、水环泵过负荷。
- 4.在停机检修时，将加装在主机抽真空母管至高效真空泵组入口的小旁通管道加装隔离阀，在高效真空泵组独立运行时能将小旁通管完全隔离，改善高效真空泵运行环境。
- 5.更换损坏的备件：传动齿轮，轴承、隔套密封环、转子轴

端密封圈等。

6.缩短检修周期，做到逢修必检：轴承磨损情况、传动齿轮啮合间隙及啮合面磨损情况、转子各部配合间隙、更换密封件等。

五、结论

此次高效真空泵气冷罗茨泵损坏的根本原因为：增加的小旁

通管增加了泵内的水汽，以及系统严密性不佳造成气冷罗茨泵负荷增加，抽入的空气含有较大水汽进入油室污染润油质，冷却器设计缺陷使疏水不畅造成温度过高，加上频繁启停的载荷冲击等因素叠加，加剧传动齿轮异常磨损，最终导致齿面损伤疲劳断裂。

参考文献

[1]张森.基于音频信号的风电叶片损伤检测算法研究[D].北方民族大学,2024.DOI:10.27754/d.cnki.gbfmz.2024.000392.

[2]程志峰.600MW级超临界汽轮机盘车装置优化探析[J].中国设备工程,2023,(S2):155-157.

[3]肖时晖.盾构主减速机冷却装置设计及试验验证[D].湘潭大学,2023.DOI:10.27426/d.cnki.gxtdu.2023.002183.

[4]程晓涵,李宗吾,王亚洲,等.振动筛激振器斜齿轮中心距对其动力学特性的影响分析——仿真实验与科研实践联动的案例设计[J].实验技术与管理,2023,40(09):220-228+259. DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2023.09.031.

[5]郭阿童.风电机组齿轮箱常见故障及防护措施[J].仪器仪表用户,2023,30(10):92-94+84.

[6]聂林红.农业机械零件断裂失效主要类型与优化策略研究[J].南方农机,2023,54(17):87-88+126.

[7]黄昌顺.基于深度学习的滚动轴承故障诊断方法研究[D].沈阳化工大学,2023.DOI:10.27905/d.cnki.gsgghy.2023.000068.

[8]张楠楠.基于标志性特征提取和深度学习的轴承故障诊断[D].河南理工大学,2023.DOI:10.27116/d.cnki.gjzgc.2023.000312.

[9]赵东辉.基于深度学习的滚动轴承故障诊断研究[D].大连交通大学,2023.DOI:10.26990/d.cnki.gsltc.2023.000299.

[10]邵雯丽.输出 PDF 预测及其在气化炉烧嘴剩余寿命的研究[D].内蒙古科技大学,2023.DOI:10.27724/d.cnki.gnmngk.2023.000205.