生产实践

水泵在极端水质条件下的管理与维护

王冬[1],杨东升[1],黄祺[1],魏彬[2]
(1.鞍钢水务科技(辽宁)有限公司,辽宁 鞍山 114031;
2.鞍钢股份有限公司能源动力总厂,辽宁 鞍山 114001)

摘要:针对水站中板冲渣水回收过程中,因水中含有大量氧化铁皮导致水泵出现盘根漏水、轴承损坏、轴套磨损等故障问题进行了深入探讨。提出了通过加强水泵关键部件材质硬度和定期维修等措施,以减少故障并实现稳定运行。应用上述措施后,水泵年均故障率从10.0%降至3.2%,设备综合效率(OEE)从76.2%提升至89.7%,年维护成本降低46.5%,技术改造投资回收期14个月,不仅实现了设备稳定高效运行,而且对于提高类似环境下水泵的稳定性和使用寿命具有一定的参考价值。

关键词:冲渣水;氧化铁皮;水泵故障;材质强化;定期维护
中图分类号:TV675 **文献标志码**:A **文章编号**:1006-4613(2026)04-0068-05
DOI:10.3969/j.issn.1006-4613.2026.04.010

Management and Maintenance of Water Pumps under Extreme Water Quality Conditions

WANG Dong[1], YANG Dongsheng[1], HUANG Qi[1], WEI Bin[2]
(1. Ansteel Water Science and Technology (Liaoning) Co., Ltd., Anshan 114031, Liaoning, China;
2. General Energy and Power Plant of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114001, Liaoning, China)

Abstract: Aiming at the problems of packing leakage, bearing damage, shaft sleeve wear and other pump failures during slag flushing water recovery for medium plate in the water station due to a large amount of iron oxide scale in the water, an in-depth discussion was carried out. Measures including improving the material hardness of key pump components and implementing regular maintenance were proposed to reduce failures and achieve stable operation. After the application of these measures, the average annual failure rate of pumps decreased from 10.0% to 3.2%, the overall equipment effectiveness (OEE) rose from 76.2% to 89.7%, and the annual maintenance cost was reduced by 46.5%, with a payback period of 14 months for the technical renovation. This not only ensured stable and efficient operation of the equipment, but also provided certain reference value for improving the stability and service life of pumps under similar environment.

Key words: slag flushing water; iron oxide scales; pump failure; material strengthening; regular maintenance

随着工业技术的飞速进步,水资源的循环利用对于企业的可持续发展具有重要意义[1]。11水站为鞍钢本部配套的工业水循环利用水站,核心功能是承接中板厂生产产生的冲渣水,经物化处理后完成回水提升与循环供给,为中板厂生产工序提供冷却、冲渣等工业用水保障,是鞍钢本部重要配套水系统。在鞍钢能源动力总厂11水站(以下简称"11水站")的实际运作过程中,由于场地限制等原因,造成一次沉淀池缺失,使中板

王冬,工程师,2006年毕业于辽宁科技大学给排水科学与工程专业。E-mail:wangdong_as@163.com

厂的冲渣水直接回用至11水站的提升吸水井，导致回收水中含有大量的氧化铁皮和其他杂质，给水泵设备带来了严重的损耗问题[2]。通过分析这种特殊水质对水泵的影响，并结合实际操作，提出切实可行的解决方案，本文对此作一介绍。

1 水质分析及影响

1.1 实验方法

为全面评估中板冲渣水的水质特性及其对水泵设备的影响，本实验采用系统化的取样检测方法。在2021—2024年，研究小组按照《水和废水监测分析方法》标准[3]，每月定期在11水站提升吸水井的固定取样点采集水样。所有样品均采用标准取样容器盛装，并在6 h内送至化验室进行分析测试。主要检测指标包括悬浮物含量、氧化铁皮浓度、水温、残渣量及含油量等关键参数[4]。每个样品均进行三次平行测定，确保数据的准确性和可靠性。2021—2024年中板冲渣水平均回水指标见表1。

表1 2021—2024年中板冲渣水平均回水指标

Table 1 Average Return Water Indexes of Medium Plate Slag Flushing Water from the Year of 2021 to 2025

年份	悬浮物/（mg/L）	氧化铁皮/（mg/L）	水温/℃	残渣/（mg/L）	油/（mg/L）
2021	280	4 800	40	1 200	130
2022	270	4 900	42	1 400	180
2023	290	4 700	39	1 300	210
2024	295	4 870	40	1 300	200

1.2 实验分析

将普通工业水与回收冲渣水进行对比，不同水质关键参数对比见表2。由表2可知，回收中板冲渣水的悬浮物含量为（280 ± 15）mg/L，是普通工业用水悬浮物的5倍多，含油量为（180 ± 20）mg/L，氧化铁皮含量为（4 800±200）mg/L，而普通工业水几乎未检测出氧化铁皮。

不同水质条件下水泵性能参数对比见表3。在不同水质下，水泵性能参数存在显著差异，与使用普通工业用水相比，使用回收冲渣水时水泵的磨损速率有所增加，使用回收冲渣水的水泵磨损速率是使用普通工业用水的5倍。在密封性能方面，使用回收冲渣水的水泵表现也较差，水泵的密封性能维持时间大约为90 d，而在普通工业用水条件下，水泵的密封性能维持时间可以延长到360 d以上。

表2 不同水质关键参数对比

Table 2 Comparison of Key Parameters for Different Water Qualities mg/L

项目	悬浮物	氧化铁皮	含油量
普通工业用水	50 ± 5	<5（未检出）	10 ± 2
回收冲渣水	280 ± 15	4 800±200	180 ± 20

表3 不同水质条件下水泵性能参数对比

Table 3 Comparison of Pump Performance Parameters under Different Water Quality Conditions

项目	磨损速率/（mm/1 000 h）	密封寿命/d	振动速度/（mm/s）
普通工业用水	0. 05±0. 01	360±15	2. 1±0. 3
回收冲渣水	0. 25±0. 03	90±7	4. 8±0. 5

注：所有数据均通过三坐标测量仪（精度0.001 mm）和振动分析仪（ISO 10816标准）测得，置信区间95%（数据来源：2021—2024年连续监测结果）。

因此，回收冲渣水中悬浮物、氧化铁皮、含油量大幅超标，导致水泵过流部件磨损、堵塞、卡涩，进而出现流量下降、电流波动、振动增大、异响甚至过载跳闸等运行异常，从而影响了水泵的整体运行效率和稳定性。

2 解决方案

结合对水质的分析，回收冲渣水因缺失沉淀池预处理，存在氧化铁皮、悬浮物、含油量大幅超标的极端水质问题，因受场地客观条件限制，无法通过工艺改造对水质进行前置优化处理，只能从水泵设备本身入手，通过材质强化、密封升级、规范维护、智能监控等综合措施，提升水泵对恶劣水质的适应能力，从根源上解决杂质磨蚀、密封失效、故障频发等问题，实现设备稳定运行。以下为具体解决方案。

2.1 加强水泵关键部件材质硬度

回收冲渣水中存在着浓度相当高的氧化铁皮以及其他杂质，这些因素严重地加剧水泵的磨损，这就对水泵部件的耐腐蚀性提出了苛刻的要求[5]。之前所采用的水泵型号为20SA-22，为了

能够更有效地应对如此棘手的状况,将水泵型号升级为材质得到强化的20SAP-22。水泵关键部件升级对比见表4。

表4 水泵关键部件升级对比

Table 4 Comparison of Upgrades for Key Components of Water Pumps

关键部件	升级前	升级后	改进效果
叶轮	普通铸铁	不锈钢(如304/316)	磨损速率从(0.25±0.03) mm/1 000 h降至(0.17±0.02) mm/1 000 h,降幅32%
轴套	碳钢	高硬度不锈钢(如440C)	使用寿命从6个月延长至14个月
泵轴	普通碳钢	45#钢调质处理	泵轴无断裂、变形故障,抗冲击磨蚀能力提升
内衬涂层	无	金属陶瓷涂层(Al_2O_3-TiO_2复合材料)	泵壳内壁冲蚀磨损量<0.05 mm/a,无涂层脱落、腐蚀点,设备整体抗磨蚀能力提升

由表4可知,20SAP-22型号水泵关键部件都有了显著的改进,叶轮从原本易加工但不耐腐蚀的铸铁件升级为耐腐蚀且不易生锈的不锈钢叶轮,轴套升级为高耐磨性的不锈钢材质,泵轴采用了优质的45#钢材质。在全面采用高强度、高耐磨关键部件的同时,在泵壳内部均匀涂抹了金属陶瓷涂层[6],使水泵在极其恶劣的工作环境中更有力地抵御铁皮等杂质带来的持续磨损以及腐蚀性物质的侵蚀,相较于20SA-22型号水泵,其在使用寿命的延长以及稳定可靠运行方面的表现有了质的飞跃,切实地确保了它可以长时间持续稳定且可靠地运行,以及升级后的水泵所具有的强大优势和出色性能。

2.2 盘根密封材料升级

针对盘根密封这一关键部件,推行材料更新方案[7]。鉴于牛油石棉盘根难以承受回收水中高浓度杂质与腐蚀性物质的长久侵蚀,致使盘根在短时间内出现密封失效情况,进而诱发轴承损坏、串轴等一系列故障。因此,采用软填料与柔性石墨盘根相配合填加的方式取代牛油石棉盘根。由于无石棉高分子材料所合成的密封软填料,外观呈胶泥状,且具有可塑性,能够在填料函内被两端盘根环封闭住填料后形成圆筒状滑块,可与轴的相对运动面之间生成极为微薄的液膜,所产生的摩擦热近乎为零。同时,填料之间的高分子阻隔剂能够确保介质之间不发生泄漏。软填料与柔性石墨盘根相互配合能够强化密封效果,更好地适应各种工况与密封要求,提升耐磨性能与耐腐蚀性,有效应对回收水中杂质和腐蚀性物质的侵蚀,延长密封部件的使用寿命,降低泄漏风险。还能够发挥各自特性的优势互补,进一步增进整体密封性能的可靠性与稳定性,保障设备的正常运行。盘根密封材料升级对比见表5。

表5 盘根密封材料升级对比

Table 5 Comparison of Upgrades for Packing Sealing Materials

项目	原密封材料	升级后密封材料	改进效果
材质特性	牛油石棉盘根材质,耐杂质磨蚀、抗油污能力弱,易硬化开裂	无石棉高分子软填料+柔性石墨材质,可塑性强、摩擦系数低	耐磨蚀性提升,摩擦热近乎为零,适配高杂质、含油水质
密封原理	硬性贴合轴面,密封面易磨损,易出现介质泄漏	软填料形成圆筒状滑块,与轴面生成微薄液膜,高分子阻隔剂防泄漏	密封贴合性、密封性大幅提升,无明显泄漏点
泄漏频次	3.2次/月	0.8次/月	下降75%
更换周期	(90±7)/d	(210±15)/d	密封件使用寿命延长133%

2.3 定期维修和保养

在硬件材质升级的基础上,为缓解极端水质对水泵的持续损耗,减少杂质堆积、部件磨损引发的突发故障,持续抵消冲渣水高杂质、高磨蚀特性带来的设备损耗,保持水泵的长期稳定运行,定期的维修和保养是必不可少的配套措施[8]。结合水泵在冲渣水工况下的部件磨损规律、密封寿命及故障高发节点,制定以6个月为核心周期的标

准化定修保养计划，后续按该周期循环执行，覆盖日常巡检、月度点检、季度维护、半年度定修全维度；同时明确各保养环节的操作标准、质量要求及安全规范[9]，避免因操作不当导致的二次故障或安全隐患，从制度层面保障设备运行稳定性，为降低故障率、减少非计划停机筑牢基础。制定详细的维修和保养计划，包括定期更换磨损严重的部件，清理水泵内部的杂质和污垢，检查并紧固各连接部位，检测密封及轴承运行状态等[10]。水泵定修保养周期计划见图1。

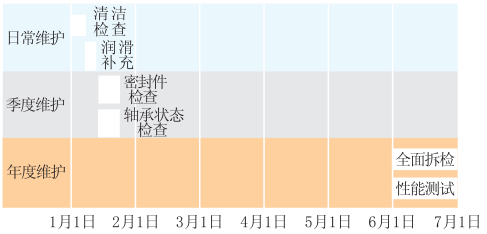


图1 水泵定期保养周期计划

Fig. 1 Water Pump Regular Maintenance Schedule

在实际操作中，严格落实维修和保养的标准化和规范化，确保维修和保养工作的质量和效率，从运维端进一步提升水泵对恶劣水质的适应能力。

2.4 引入智能数据监控系统

为了进一步大幅提升水泵的运行效率与稳定性，引入了先进的智能化数据监控系统[3]。通过精确安装各类传感器和高效的监控设备，能够实时、动态地监测水泵的运行状态、温度、振动等关键参数。设定统一的检测指标和标准数据范围，如压力、流量等参数的标准值等。利用系统的数据分析功能，对水泵的运行状态进行全面的预测与准确的评估[4]。智能化数据监控系统的引入能够提前敏锐地发觉潜在的问题和故障趋势，从而及时、有效地采取针对性的措施进行维修与保养，有效地避免故障的发生或扩大。水站监控系统画面见图2。

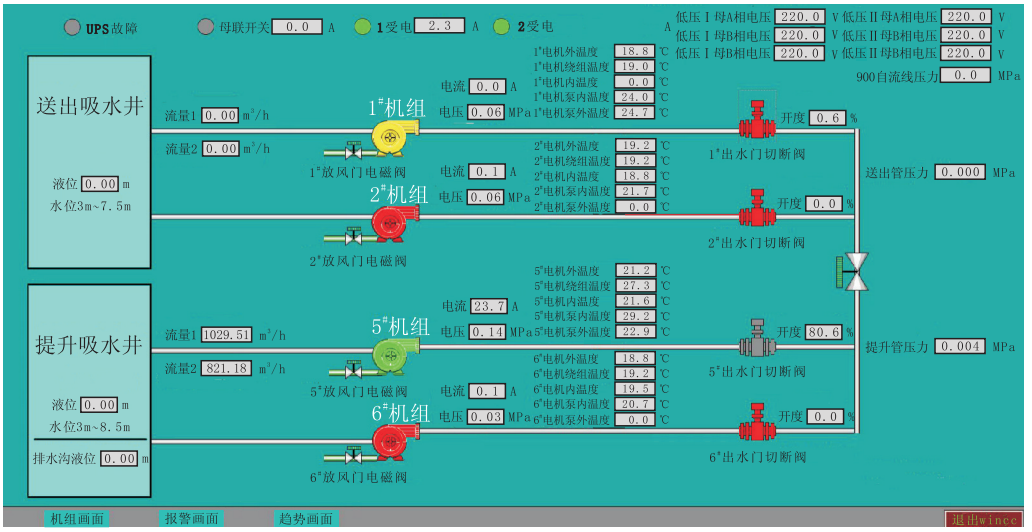


图2 水站监控系统画面

Fig. 2 Water Station Monitoring System Screen

3 实施效果

3.1 材质升级效果

（1）耐磨性能提升：叶轮磨损速率从(0.25±0.03) mm/1 000 h降至(0.17±0.02) mm/1 000 h(降幅32%)，轴套使用寿命从6个月延长至14个月。

（2）密封性能改善：盘根泄漏频次从3.2次/月降至0.8次/月，下降75%，密封件更换周期从(90±7) d延长至(210±15) d。

3.2 维护制度成效

（1）运行稳定性提升：平均故障间隔时间从720 h提升至2 160 h，年非计划停机次数从15次降至4次。

（2）维护成本降低：备件消耗量减少42%，人工维护工时缩短35%。

3.3 智能监控系统应用效果

（1）故障预警能力：可提前24~72 h预警机械

密封失效(准确率达92%),轴承异常振动识别成功率达89%。

(2) 运行优化效果:经能效分析,系统为设备运行年节电12.6万kW·h(节电率达7.3%),最佳效率点运行时间占比从68%提升至86%。

3.4 综合效益分析

(1) 设备可靠性指标:设备综合效率(OEE)从76.2%提升至89.7%,优于行业标准82%。年均故障率从10%降至3.2%,设备连续稳定运行能力大幅提升。

(2) 经济收益指标:技术改造总投入23.5万元,通过材质升级、维护优化、智能监控的综合实施,年综合创效20.2万元,具体分步核算如下:

维护成本:年度备件及人工维护总费用从18.7万元降至10.0万元,降低46.5%,年直接节约8.7万元;

节电收益:通过智能监控系统优化运行能效,年节电12.6万kW·h,按工业用电0.68元/(kW·h)计算,年节电收益8.568万元;

故障停机损失:年非计划停机次数从15次降至4次,减少生产供水中断造成的连带损失,年间接创效2.932万元;

因此,年综合创效合计:8.7万元+8.568万元+2.932万元=20.2万元。

技术改造投资回收期:

23.5万元÷20.2万元≈1.16年,折算为14个月。

4 结语

针对鞍钢能源动力总厂11水站中板冲渣水回收环境中水泵面临的严重磨损问题,提出了关键部件材质升级、盘根密封系统改造、智能监控系统部署三项解决方案。通过运行验证,设备综合效率(OEE)提升至89.7%,优于行业标准82%。本研究为高固含量工业废水处理系统的设备管理提供了可量化的技术路径。

参考文献

[1] 申晓霞,孙晖,周健飞,等. 工业废水的处理与循环再利用研究[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(12): 42-44.
[2] 余思民. 渣水泵磨损原因分析及改造方法[J]. 云南化工, 2014, 41(1): 50-52.
[3] 孙涛. 离心式渣浆泵常见磨损部位和磨损机理分析[J]. 中国金属通报, 2019(8):170-171.
[4] 赵媛媛. 水泵曲轴的表面激光熔凝与综合性能检测分析研究[J]. 机械工程与自动化, 2019(6):142-144.
[5] 张惠轩, 张雅萍, 李建军. 钢塑陶瓷复合防腐耐磨离心泵[J]. 腐蚀与防护, 2011, 32(12):993-995.
[6] 夏永忠. 离心泵软填料密封问题的分析与对策[J]. 中小企业管理与科技, 2018(23):110-111.
[7] 温永波. 回水冲渣泵节能改造[J]. 冶金动力,2014(1):55-56.
[8] 康冠军. 离心式水泵密封失效分析及技术改进[J]. 润滑与密封, 2002(1):63-65.
[9] 中华人民共和国国家质量监督检验疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5656—2008,离心泵技术条件(Ⅱ类)[S]. 北京: 中国标准出版社,2008.
[10] 卢明君,刘兴发,王得胜,等. 离心泵振动故障分析与处理研究[J]. 中国设备工程, 2021(23):10-12.

(编辑 白璐)
修回日期:2026-02-28

* *

《鞍钢技术》版权声明

遵循《中华人民共和国著作权法》,作者向本刊主动投稿(或接受约稿),视为作者将该论文的许可使用权(复制权和发行权)、汇编权、信息网络传播权及其他各种形式出版的使用权等授予《鞍钢技术》编辑部。本刊一次性支付作者的稿酬包含上述各种稿酬。作者应保证论文的原创性、不涉密、不侵权、署名无争议。若发生问题,一切责任由作者承担,文责自负。未经书面许可,任何人及单位不得以任何形式复制、翻印、使用本刊的任何图文。如作者不同意将文章版权交予《鞍钢技术》编辑部,敬请在来稿首页显著位置作出书面声明。

《鞍钢技术》编辑部