

新疆准东区域燃煤电厂深度优化用水改造路线探讨及其影响分析

于卫卫¹, 申苗苗², 李艳雯², 李媛媛², 黄汝梦², 李会吉^{2*}, 孙海杰^{2*}

¹华电郑州机械设计研究院有限公司, 河南 郑州

²郑州师范学院化学化工学院, 河南 郑州

收稿日期: 2021年11月29日; 录用日期: 2021年12月29日; 发布日期: 2022年1月5日

摘要

结合某准东煤矿坑口电厂高盐废水相关系统取排水现状, 对新疆准东区域燃煤电厂深度优化用水改造路线进行深入探讨, 并全面分析深度优化用水对于现有辅机循环冷却水系统浓缩倍率以及末端高盐废水水量、水质的影响。结果表明: 深度优化用水可显著降低辅机循环冷却水系统运行浓缩倍率, 但往往会造成脱硫系统脱硫废水排放量较设计工况下有所增加。深度优化用水改造路线的确定, 需结合电厂现有构筑物布置等实际情况, 酌情实现锅炉补给水处理系统排水的分开收集、分别回用; 需对不同的凝结水精处理系统高盐废水回用方案进行经济技术对比分析, 以确定凝结水精处理系统排水改造路线; 另外需开展脱硫系统氯离子浓度控制提升试验, 以明确脱硫废水水质远期控制水平。

关键词

高盐废水, 脱硫系统, 凝结水精处理系统, 浓缩倍率

Discussion on Reformation Route and Influence Analysis of Deep Optimization of Water Use for Coal Fired Power Plant in Zhundong Region of Xinjiang

Weiwei Yu¹, Miaomiao Shen², Yanwen Li², Yuanyuan Li², Rumeng Huang², Huiji Li^{2*}, Haijie Sun^{2*}

¹Huadian Zhengzhou Mechanical Design Institute Co. Ltd., Zhengzhou Henan

²School of Chemistry and Chemical Engineering, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou Henan

*通讯作者。

文章引用: 于卫卫, 申苗苗, 李艳雯, 李媛媛, 黄汝梦, 李会吉, 孙海杰. 新疆准东区域燃煤电厂深度优化用水改造路线探讨及其影响分析[J]. 化学工程与技术, 2022, 12(1): 16-23. DOI: 10.12677/hjct.2022.121003

Abstract

Combined with the current situation of extraction and drainage of part of water treatment system of a certain Zhundong coal mine's Keng Kou power plant, the reform route of deep optimization water use for Xinjiang Zhundong regional coal-fired power plant is discussed in depth, and the influence of deep optimization water use on concentration ratio of existing auxiliary circulating cooling water system and water quantity and quality of terminal wastewater is comprehensively analyzed. The results show that the depth optimization of water use can significantly reduce the concentration ratio of the auxiliary circulating cooling water system, but inevitably leads to an increase in the discharge of desulphurization wastewater in the desulphurization system compared with the design condition. To determine the route of deep optimization of water use transformation, it is necessary to realize separate collection and reuse of drainage of boiler supply water treatment system according to the actual situation of existing structure layout of power plant. It is necessary to make economic and technical comparative analysis of different high-salt wastewater reuse schemes of condensate treatment system to determine the drainage reform route of condensate treatment system. In addition, the chloride ion concentration control and improvement test of desulfurization system should be carried out to determine the long-term control level of desulfurization wastewater quality.

Keywords

High Salt Wastewater, Desulfurization System, Condensate Refined Treatment System, Concentration Ratio

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

准东煤矿是新疆昌吉州境内一座千万吨大型现代化露天煤矿,是我国最大整装煤矿[1][2][3]。区域内存在中国华电集团有限公司、神华集团有限责任公司等各大发电集团多座大型燃煤坑口电厂,大部分电厂排污许可证、环评批复等政策性文件均要求电厂“正常工况下,生产废水和生活污水处理后全部回用,不外排”。随着国家节能降耗以及环保政策的日趋收紧,区域内电厂取水、排水等环保压力极大,开展全厂深度优化用水改造工作迫在眉睫[4][5][6][7]。本文结合某 $2 \times 350 \text{ MW} + 2 \times 660 \text{ MW}$ 准东煤矿坑口电厂部分水处理系统取排水现状,对新疆准东区域燃煤电厂深度优化用水改造路线进行深入探讨,并全面分析深度优化用水对于现有辅机循环冷却水系统浓缩倍率以及末端废水水量、水质的影响。以期为准东区域燃煤电厂深度优化用水改造路线设计提供参考。

2. 电厂内涉及高盐废水的水处理系统取排水现状

2.1. 脱硫系统取排水现状

该准东煤矿坑口电厂2021年4月开展全厂水平衡试验,试验期间一期 $2 \times 350 \text{ MW}$ 机组脱硫系统、二期 $2 \times 660 \text{ MW}$ 机组脱硫系统用水结构如图1、图2所示,相关取排水数据如表1所示。

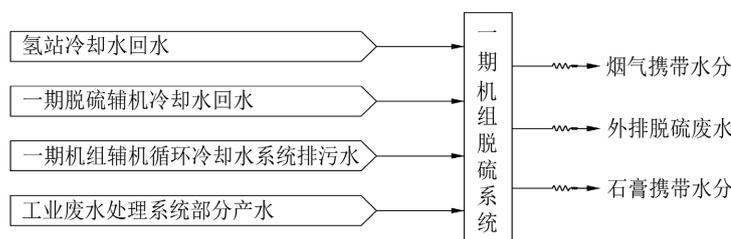


Figure 1. Water structure diagram of desulfurization system for phase 1 2 × 350 MW unit during water balance test

图 1. 全厂水平衡试验期间一期 2 × 350 MW 机组脱硫系统用水结构图

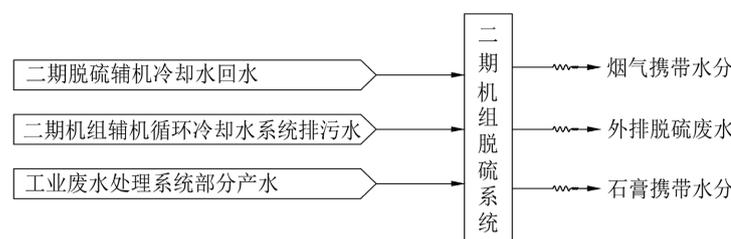


Figure 2. Water structure diagram of desulfurization system for phase 2 2 × 660 MW unit during water balance test

图 2. 全厂水平衡试验期间二期 2 × 660 MW 机组脱硫系统用水结构图

Table 1. Using water and drainage data for the desulfurization system of the first stage 2 × 350 MW units and the two stage 2 × 660 MW units during the whole plant water balance test

表 1. 全厂水平衡试验期间一期 2 × 350 MW 机组、二期 2 × 660 MW 机组脱硫系统取排水数据

一期 2 × 350 MW 机组脱硫系统		二期 2 × 660 MW 机组脱硫系统			
试验条件	全厂平均发电负荷率 71.65% 工况				
取水数据	氢站冷却水回水	2.6 m ³ /h	取水数据	二期脱硫辅机冷却水回水	60.0 m ³ /h
	一期脱硫辅机冷却水回水	46.0 m ³ /h		二期机组辅机循环冷却水系统排污水	36.0 m ³ /h
	一期机组辅机循环冷却水系统排污水	12.0 m ³ /h		工业废水处理系统部分产水	29.0 m ³ /h
	工业废水处理系统部分产水	27.9 m ³ /h		/	/
排水数据	烟气携带水分(水蒸气形式)	82.5 m ³ /h	排水数据	烟气携带水分(水蒸气形式)	115.2 m ³ /h
	外排脱硫废水	5.0 m ³ /h		外排脱硫废水	8.0 m ³ /h
	石膏携带水分(固体携带形式)	1.0 m ³ /h		石膏携带水分(固体携带形式)	1.8 m ³ /h

由图 1、图 2、表 1 可以看出, 该电厂一期、二期脱硫系统补水水源均以脱硫辅机冷却水回水(工业水)为主, 用水结构不合理, 且全厂脱硫废水总排放量 13 m³/h 较设计值偏小(设计工况下, 一期机组脱硫废水消耗量 7.0 m³/h; 二期机组脱硫废水消耗量 18.7 m³/h)。水平衡试验期间, 一期机组/二期机组脱硫废水处理系统出水水质化验结果见表 2 和表 3。根据上表数据显示, 该电厂由于脱硫废水实际排放量较少, 导致现机组脱硫系统氯离子浓度远高于设计值(20,000 mg/L)。

Table 2. Analysis results of effluent water quality of the first stage desulfurization wastewater treatment system
表 2. 一期脱硫废水处理系统出水水质分析结果

项目名称	分析结果	项目名称	分析结果
pH	7.17	COD _{cr}	1400 mg/L
硫酸根	1180 mg/L	氯离子	24,000 mg/L
钙离子	407 mmol/L	镁离子	189 mmol/L

Table 3. Analysis results of effluent water quality of phase II desulfurization wastewater treatment system
表 3. 二期脱硫废水处理系统出水水质分析结果

项目名称	分析结果	项目名称	分析结果
pH	7.13	COD _{cr}	1467 mg/L
硫酸根	1240 mg/L	氯离子	38,000 mg/L
钙离子	432 mmol/L	镁离子	217 mmol/L

2.2. 锅炉补给水处理系统废水排放现状

该电厂全厂水平衡试验期间锅炉补给水处理系统用水结构如图 3 所示。由图 3 可以看出，锅炉补给水处理系统产生废水主要有超滤反洗水、超滤加强反洗排水、反渗透浓水及离子交换树脂再生废水。根据电厂水平衡试验数据显示，全厂平均发电负荷率 71.65% 工况下，锅炉补给水处理系统产生超滤反洗水 10.0 m³/h、超滤加强反洗排水 0.0 m³/h、反渗透浓水 26.0 m³/h 及离子交换树脂再生废水 4.0 m³/h。该电厂锅炉补给水处理系统排水未进行分类收集、分质回用，系统废水一并通过地沟进入废水贮存池，由废水输送泵排入工业废水处理系统。

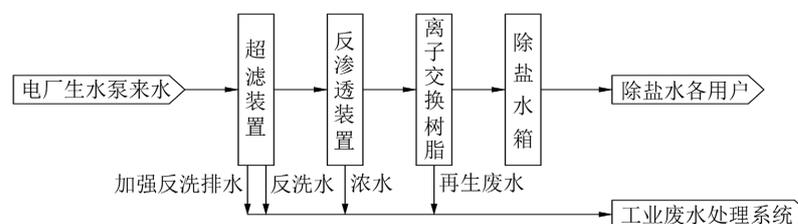


Figure 3. Water structure diagram of boiler supply water treatment system during water balance test

图 3. 全厂水平衡试验期间锅炉补给水处理系统用水结构图

2.3. 凝结水精处理系统废水排放现状

该准东煤矿坑口电厂全厂水平衡试验期间锅炉补给水处理系统用水结构如图 4 所示。由图 4 可以看出，凝结水精处理系统排水主要分为前置过滤器反洗/冲洗水、高速混床再生废水两种，一期、二期机组前置过滤器反洗/冲洗水均经地沟收集至凝泵坑经泵带压排入工业废水处理系统，高混再生废水均进入再生废水池经泵带压排入工业废水处理系统。根据该电厂相关数据显示，冬季供热期一期、二期凝结水精处理系统高混平均再生周期为 3.5 天/套，2020 年 06 月至 2021 年 06 月，高混再生废水(约 6.8 m³/h)未进行分类回用。

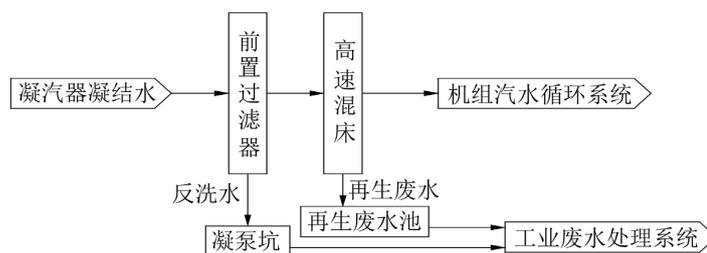


Figure 4. Water structure diagram of condensate treatment system during water balance test

图 4. 全厂水平衡试验期间凝结水精处理系统用水结构图

3. 深度优化用水改造路线

3.1. 脱硫系统用水结构改造方案

鉴于一期、二期脱硫系统补水水源均以脱硫辅机冷却水回水(工业水)为主,用水结构不合理,对于脱硫系统,提出优化脱硫系统用水结构改造方案,即分别将一期、二期脱硫辅机冷却水回水母管延伸敷设至辅机循环冷却水系统,将脱硫辅机冷却水回水回用于辅机循环冷却水系统,进而加大脱硫系统对于辅机循环冷却水系统排污水的消耗,原一期、二期脱硫辅机冷却水回水母管至脱硫工艺水箱管道保留,增加手动阀门隔断;相关系统改造后,脱硫系统、辅机循环冷却水系统用水结构得以优化,且显著降低了辅机循环冷却水系统运行浓缩倍率和结构倾向。

3.2. 锅炉补给水处理系统废水排放改造方案

对于锅炉补给水处理系统废水,超滤反洗水是属于悬浮物较高的废水,可新增处理设备处理合格后回用或利用厂内现有的设备处理后回用,如原水预处理系统、循环水旁流过滤系统、工业废水处理系统等。一级反渗透浓水属于含盐量较高、浊度很低的废水,可根据水质情况回用至循环水系统、脱硫系统、复用水系统等。超滤加强反洗排水属于酸碱废水,可对其进行单独收集回用至工业废水处理系统,处理合格后回用。离子交换树脂再生废水属于含盐量较高的酸碱废水,可利用中和池液位控制及再生步序控制,将离子交换树脂再生过程中产生酸碱废水和冲洗水分开收集、分别回用,冲洗水可回用至工业水系统、循环水系统、脱硫系统等,酸碱废水可作为末端高盐废水回用至煤场、灰场、湿渣等系统。

由于该电厂锅炉补给水处理系统附近以及现有建筑内可供利用空间有限,对于锅炉补给水处理系统,提出以下改造方案,仅对废水量较大的超滤反洗水进行单独收集回用至原水预处理系统,而超滤加强反洗排水、一级反渗透浓水、离子交换再生酸碱废水仍通过现有设施进入工业废水处理系统处理回用。

在锅炉补给水处理车间附近新增 1 座废水池,敷设超滤反洗水至新增废水池管道,将过滤器反洗水单独收集至新增废水池;敷设新增废水池至原水预处理系统机械加速澄清池进水区管道,将过滤器反洗水升压输送至原水预处理系统回用。

3.3. 凝结水精处理系统再生废水回收改造方案

结合全厂机组除渣系统运行情况,该电厂凝结水精处理系统再生废水回收改造方案可分为一期/二期高混再生废水分质回收方案、一期/二期高混再生废水输送至二期湿除渣系统直接回用方案两种。不同改造方案技术经济对比如表 4。

综上对比分析,本次改造拟对凝结水精处理系统排水进行分类收集、分质回用改造。系统改造后,将高速混床再生阶段的冲洗水和进酸(进碱)、置换阶段含盐量较高的酸碱废水分类收集、分质回用,高速

混床再生阶段的冲洗水与前置过滤器反洗水一起回收至工业废水处理系统，含盐量较高的再生酸碱废水则作为末端高盐废水回用至煤场、灰场、湿渣等系统。

Table 4. Technical and economic comparison of different transformation schemes

表 4. 不同改造方案技术经济对比

名称	分质回收方案	直接回用方案
改造内容	在一期、二期凝结水精处理系统再生装置现有树脂捕捉器进水管上分别新增气动阀门、电导率仪表，对凝结水精处理系统排水分类收集、分质回用，将高速混床再生酸碱废水单独收集后直接作为末端高盐废水进行处理回用，将前置过滤器反洗水、高速混床再生阶段冲洗水单独收集，回收至工业废水处理系统。	该电厂仅二期机组为湿式除渣。经核实，该方案需敷设一期、二期高混再生废水池至二期机组湿除渣系统补水管道约 1000 m，从而将高速混床再生废水回用于二期机组湿除渣系统。剩余部分无法复用精处理系统高混再生废水以及前置过滤器反洗废水仍沿原有途径回收至工业废水处理系统经处理合格后回用于脱硫系统。
方案优劣	该方案敷设管道距离较短，但需增设气动阀门、电导率仪表等设备	该方案敷设管道距离较长，对应保温等附属设施量较大，尤其一期机组高混再生废水至二期机组湿除渣系统管道。
经济对比	经技经专业核算，该方案投资费用约 63 万	经技经专业核算，该方案投资费用约 67 万
结论	综上对比分析，本次改造拟对凝结水精处理系统排水进行分类收集、分质回用改造	

4. 深度优化用水影响分析

4.1. 工程实施后对于辅机循环冷却水系统浓缩倍率的影响

水平衡试验期间及深度优化用水改造后，该准东煤矿坑口电厂一期 2 × 350 MW 机组辅机循环冷却水系统、二期 2 × 660 MW 机组辅机循环冷却水系统排水及浓缩倍率控制数据对比如表 5。

Table 5. Control data of drainage and concentration ratio of circulating cooling water system of auxiliary machine during water balance test and after water modification in depth optimization

表 5. 水平衡试验期间及深度优化用水改造后辅机循环冷却水系统排水及浓缩倍率控制数据

全厂水平衡试验期间			深度优化用水改造后		
条件	全厂平均发电负荷率 71.65% 工况		条件	夏季额定发电负荷运行工况	
一期辅机循环冷却水系统	蒸发损失	24.5 m ³ /h	一期辅机循环冷却水系统	蒸发损失	39.9 m ³ /h
	风吹损失	2.9 m ³ /h		风吹损失	3.3 m ³ /h
	系统排污至一期脱硫系统	12.0 m ³ /h		系统排污至一期脱硫系统	76.2 m ³ /h
	控制浓缩倍率	2.64		控制浓缩倍率	1.50
二期辅机循环冷却水系统	蒸发损失	63.9 m ³ /h	二期辅机循环冷却水系统	蒸发损失	89.9 m ³ /h
	风吹损失	7.1 m ³ /h		风吹损失	7.0 m ³ /h
	系统排污至二期脱硫系统	36.0 m ³ /h		系统排污至二期脱硫系统	121.8 m ³ /h
	不明损耗	23 m ³ /h		/	/
	控制浓缩倍率	1.97		控制浓缩倍率	1.70

经深度优化用水改造后,一期辅机循环冷却水系统控制浓缩倍率由 2.64 降为 1.50,二期辅机循环冷却水系统控制浓缩倍率由 1.97 降为 1.70,显著降低了辅机循环冷却水系统腐蚀结构倾向。

4.2. 工程实施后对末端高盐废水水量的影响

4.2.1. 末端高盐废水中酸碱再生废水含量

对于锅炉补给水处理系统离子交换再生酸碱废水,鉴于现场条件限制值,本工程未对离子交换树脂再生过程中产生的酸碱废水和冲洗水进行分开收集、分别回用,不会对末端高盐废水水量造成影响。

对于凝结水精处理系统高混再生酸碱废水,该电厂冬季机组平均负荷率较高,根据电厂提供数据显示,冬季凝结水精处理系统高速混床平均再生周期为 3.5 天/套,结合电厂高速混床再生步序计算得出再生一套高速混床产生酸碱废水量约 31.2 m^3 ,即 $1.3 \text{ m}^3/\text{h}$ 。鉴于酸碱再生废水含盐量较高,本工程直接将其升压输送至末端废水处理系统,归入末端高盐废水统一处理回用。

故经全厂深度优化用水改造后,本工程末端高盐废水中酸碱废水水量为 $1.3 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

4.2.2. 末端高盐废水中脱硫废水水量

根据该电厂设计资料显示,在设计工况下(工艺用水规定水质-循环水,不含废水),一期机组脱硫装置脱硫废水消耗量为 $7.0 \text{ m}^3/\text{h}$;二期机组脱硫装置脱硫废水消耗量为 $18.7 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

全厂深度优化用水改造后,该燃煤电厂一期、二期机组脱硫系统工艺用水水源主要为辅机循环冷却水系统排污水(循环水)及工业废水处理系统产水(主要为化学制水车间一级反渗透浓排水),其中一级反渗透浓排水水质明显劣于全厂机组脱硫装置工艺用水规定水质-循环水。由于脱硫系统补水水源组成的不同,深度优化用水改造后全厂脱硫系统必然较设计工况下多产生一定量的脱硫废水。

综合原水氯离子含量、脱硫废水中氯离子含量、原水预处理聚合氯化铝加药含量等数据综合计算得出,由于脱硫系统补水水源组成的不同,该燃煤电厂深度优化用水改造后全厂脱硫系统较设计工况下多产生脱硫废水约 $2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

4.3. 工程实施后对末端高盐废水水质的影响

该燃煤电厂由于脱硫废水实际排放量较少,导致脱硫系统氯离子控制浓度远高于设计值($20,000 \text{ mg/L}$),故现脱硫废水实际水质无法代表电厂远期控制水平,不能作为本改造工程末端高盐废水水质的判定依据。

电厂脱硫废水水质远期控制水平需电厂配合开展脱硫系统氯离子浓度控制提升试验进行确定,通过试验该电厂一二期脱硫系统浆液氯离子在控制上限均在 $20,000 \text{ mg/L}$ 左右,满足系统设计值要求,超过 $20,000 \text{ mg/L}$ 时系统存在溢流现象。

5. 结论

本文对准东区域燃煤电厂高盐废水相关系统深度优化用水改造路线进行了深入探讨,并详细分析了工程实施对辅机循环冷却水系统浓缩倍率以及末端高盐废水水量、水质的影响。通过对脱硫系统、辅机循环冷却水系统用水结构进行优化,显著降低了辅机循环冷却水系统运行浓缩倍率,进而降低系统结垢可能性。在锅炉补给水处理系统排水综合利用过程中,需结合电厂构筑物布置等实际情况,酌情实现系统排水的分开收集、分别回用。对于设计有湿除渣系统电厂,凝结水精处理系统高盐废水回用方案,需进行经济技术对比分析,综合考虑方案费用投资。电厂深度优化用水改造的实施,往往造成脱硫系统工艺用水水质劣化,脱硫废水排放量较设计工况有所增加,该部分脱硫废水量需仔细论证得出。各电厂现脱硫废水实际水质通常无法代表其远期控制水平,深度优化用水改造过程中需电厂配合开展脱硫系统氯

离子浓度控制提升试验, 以确定脱硫废水水质远期控制水平。

基金项目

河南省科技攻关项目(202102310592); 河南省高等学校重点科研项目(20A150045); 河南省大学生创新创业训练计划项目(S202112949017); 郑州师范学院大学生创新创业训练计划项目(DCY2020025); 郑州师范学院大学生科研创新基金项目(2021008)。

参考文献

- [1] 严陆光, 夏训诚, 吕绍勤, 等. 大力推进新疆大规模综合能源基地的发展[J]. 电工电能新技术, 2011, 30(1): 1-7.
- [2] 刘威, 张忠孝, 乌晓江, 等. 高碱煤燃烧特性试验研究[J]. 电站系统工程, 2014, 30(2): 20-22.
- [3] 李路明. 燃烧新疆准东煤 350 MW 超临界锅炉设计应用[J]. 电站系统工程, 2014, 30(2): 39-41.
- [4] 宋达, 王仁雷, 王群奎, 等. 基于全厂水平衡试验的燃煤电厂深度优化用水分析[J]. 节能, 2020, 39(5): 134-136.
- [5] 包宇航. 某燃煤电厂水网络优化及末端废水回用工艺可行性研究[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 东北电力大学, 2021.
- [6] 刘世杰, 邝文斌, 李锋, 等. 燃煤电厂废水综合治理近零排放解决方案探讨[J]. 给水排水, 2021, 57(9): 69-75.
- [7] 江鹏威. 燃煤电厂通过内部循环实现废水近零排放的设想[J]. 给水排水, 2019, 55(2): 70-74.