

煤炭港区雨污分流及生产废水回用系统设计研究

雷跃林

中交天航南方交通建设有限公司, 广东 深圳 518000

[摘要]针对煤炭港区含煤径流收集、生产废水处理与回用供水衔接不足的问题, 结合某港区, 构建雨污分流、含煤废水处理回用与含油污水独立收储的系统方案。旱天混入雨水管网的煤水及初期污染径流经切换阀进入含煤处理系统; 雨量增大后转入雨水池调蓄, 满足接管要求后泵送市政雨水管网, 雨后存水分批回送处理回用。旱天煤水及降雨初期污染径流经切换阀进入含煤处理系统; 短历时暴雨转入雨水池削峰, 长历时暴雨按池位及下游接纳能力持续泵排, 雨后存水分批回送处理回用。含油污水单独收集暂存, 定期委托有资质单位回收。生产回用供水采用3台离心泵, 两用一备, 单泵流量110m³/h、扬程80m、功率50kW, 采用一对一变频恒压控制。通过切换分流、雨水泵分级投运及回用水量平衡, 衔接暴雨排水和生产供水。针对大流量雨水泵的启停适配问题, 提出双池统筹调蓄、小流量泵排及逐级增减泵的优化方案, 衔接持续降雨排水和生产供水。

[关键词]煤炭港区; 雨污分流; 含煤废水; 含油污水; 变频恒压供水; 生产回用

DOI: 10.33142/ec.v9i10.20524

中图分类号: TU992

文献标识码: A

Design and Research on Rainwater and Sewage Diversion and Production Wastewater Reuse System in Coal Port Area

LEI Yuelin

CCCC TDC Southern Communications Construction Co.,Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract: In response to the problem of insufficient connection between coal bearing runoff collection, production wastewater treatment, and reuse of water supply in a coal port area, a system scheme for rainwater and sewage separation, coal bearing wastewater treatment and reuse, and independent storage of oily wastewater is constructed based on a certain port area. The coal water mixed into the rainwater pipe network during dry weather and the initial pollution runoff enter the coal containing treatment system through the switching valve; After the increase in rainfall, it is transferred to the rainwater tank for regulation and storage. After meeting the requirements for connection, it is pumped into the municipal rainwater pipeline network, and the stored water after rain is sent back for treatment and reuse in batches. During dry weather, coal water and pollution from early rainfall enter the coal containing treatment system through a switching valve; The short duration rainstorm is transferred to the rainwater pool to cut the peak, and the long duration rainstorm is continuously pumped according to the pool location and downstream acceptance capacity, and the water stored after the rain is returned in batches for treatment and reuse. Oil containing wastewater shall be collected separately and temporarily stored, and regularly entrusted to qualified units for recycling. Three centrifugal pumps are used for production reuse water supply, with two in use and one as backup. Each pump has a flow rate of 110 m³/h, a head of 80 m, and a power of 50 kW. It adopts one-to-one variable frequency constant pressure control. Connect rainstorm drainage and production water supply through switching and diversion, graded operation of rainwater pump and balance of reused water. Aiming at the problem of adapting the start stop of high flow rainwater pumps, an optimization plan is proposed for dual pool coordinated regulation and storage, low flow pump discharge, and step-by-step increase and decrease of pumps, connecting continuous rainfall drainage and production water supply.

Keywords: coal port area; rainwater and sewage diversion; coal containing wastewater; oily wastewater; variable frequency constant pressure water supply; production reuse

引言

煤炭港区的排水负荷随降雨和装卸输煤作业变化,煤粉冲刷、车辆带泥及维修油污使不同区域径流水质呈现明显差异。封闭煤棚扩大了屋面汇水范围,也使清洁径流的独立输送成为控制污水站负荷的关键。港区水系统设计需要将污染物来源、短时排涝能力及生产回用需求落实到具体管线和控制节点。本文围绕某港区的给排水工程,围绕旱天煤水收集、初期径流截流及暴雨泵排工况,重点研究生产废水分质收集、含煤废水处理回用、含油污水暂存回收及变频恒压供水的衔接关系,形成与厂区生产用水相适应的系统设计。

1 汇水分区

1.1 污染边界

研究对象为某港区,新建1个5万t级散货泊位,水工结构按7万t级建设,设计年吞吐量532万t,主要货种为煤炭。陆域面积约13.51hm²,纵深约544m,设置两座跨度96m的干煤棚。污染边界按物料接触过程划定,煤棚地坪、输送转运节点和装卸作业面构成含煤废水收集区,屋面及辅助生产区按径流污染程度设置雨水支路。沉煤池石油类污染物主要来源为车辆冲洗及设备检修油污^[1]。针对油类污染源,维修车间和维修场地设置独立含油污水收集及暂存设施,定期委托有资质单位回收,不接入含煤

废水处理系统和生产回用水管网。生活污水汇入市政污水管网,船舶污水通过接收设施转交专业单位。各类排水在源头确定去向,使煤粉沉降、含油污水暂存和生活污水输送分别对应明确的设施边界。分区台账随作业组织变化同步更新。

1.2 径流分配

港区雨水分配以污染程度和来水量共同确定,初期污染雨水收集处理,后期雨水在满足接管要求后排放^[2]。煤棚屋面落水经立管接入雨水检查井,含煤地面水经排水沟汇入集污池,空间分隔关系如图1所示。集污池内含煤污水由渣浆泵提升至含煤污水处理站,保持独立收集处理。雨水管网另设切换节点:旱天打开通往含煤处理系统的切换阀,将地面冲洗等作业混入管网的煤水接入含煤水收集路径;降雨初期维持该通道,使冲刷管网积煤形成的污染径流进入含煤处理系统。雨量增大、来水超过含煤系统接纳能力时,关闭通往含煤处理系统的阀门并切换至雨水池进水通道,使后续径流进入沉淀池调蓄。切换以降雨变化、来水水质、含煤系统可接纳水量及雨水池液位综合判定,操作后核对阀位反馈和实际流向。雨停且管网来水回落,恢复旱天煤水收集通道;煤棚门口及车辆通行交界处通过坡向和清扫控制散煤越界,减少雨水支路污染。

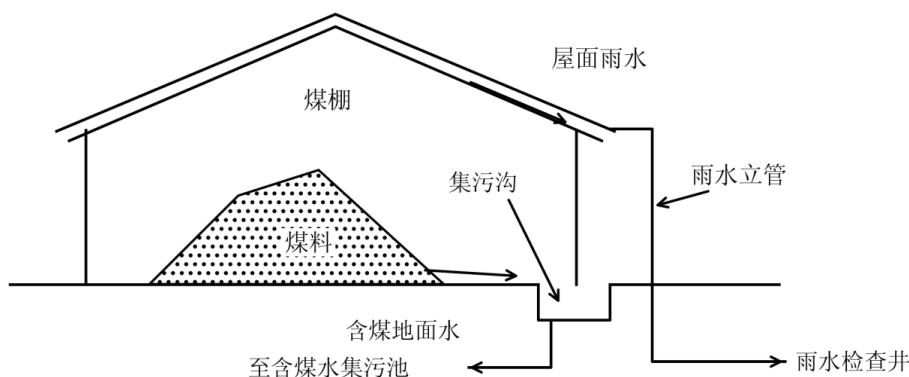


图1 煤棚汇水分隔示意

1.3 管网布置

生产废水的收集优先采取新增重力流排水管道的方式^[3]。本工程以排水沟、检查井和集污池串接含煤水汇流路径,在集污池设置渣浆泵,将煤污水提升送入含煤污水处理站。雨水管网切换节点分别衔接含煤收集路径和雨水池进水支路,按来水工况选择流向。变更将集污池和污水池内的潜污泵调整为渣浆泵,管线设计随泵型调整复核过流断面、局部阻力及检修条件。含煤水压力支管采用公称

直径100mm、150mm的管道,管径选择结合设备流量和输送距离逐段核定。弯头、阀门前后及低点设置清通条件,减少煤粉沉积形成的阻力增长。重力管保持连续坡降,穿越道路处结合荷载和覆土条件设置保护构造,井内接口按流向顺接。施工完成后逐段核对井号、管底标高、坡向及排水终点,开展通水检查和密闭性检验。验收记录对应竣工管线图建立台账,使后续清淤和故障排查能够准确定位。转弯节点作为巡检清通的重点部位。

2 雨水调蓄

2.1 汇水负荷

雨水负荷采用钦州市暴雨强度关系,按式 1 计算。式中, q 为暴雨强度,单位为 $L/(s \cdot hm^2)$; P 为重现期,单位为 a ; t 为降雨历时,单位为 min ; lg 为常用对数函数。取 P 为 $2a$,以地面集水阶段 t 为 $10min$ 求得入口控制强度 $400.08L/(s \cdot hm^2)$,干管计算历时沿汇流路径计入管内流行时间。设计流量按式 2 计算, Q 为径流流量,单位为 m^3/h ; ψ 为径流系数; F 为汇水面积,单位为 hm^2 ; 3.6 为流量单位换算系数。码头面、道路及屋面的 ψ 取 0.9 ,绿化取 0.15 。以 $13.51hm^2$ 陆域全部按硬化地表构造上包络,得到 $17512.5m^3/h$,较四台雨水泵额定总量高 $712.5m^3/h$ 。该比对于识别峰值调蓄需求,实际入池过程按分区面积、清污去向及汇流时差展开复核。该上包络仅作短时负荷筛查,实际入池过程按分区面积、清污去向及汇流时差复核。长历时暴雨采用相应历时的设计雨型,逐时段核算累计入池量和受限泵排量。 $10min$ 雨强仅用于相应历时的负荷筛查,泵组冗余程度以全过程排水需求和可用能力为判据。

$$q = \frac{1815.359[1 + 0.594 \lg P]}{(t + 6.669)^{0.596}} \quad (1)$$

$$Q = 3.6\psi q F \quad (2)$$

2.2 池体配置

雨水沉淀池设置两座,单池内部尺寸为 $60m \times 20m \times 6.2m$;雨水提升池设置两座,单池内部尺寸为 $20m \times 10m \times 5m$ 。沉淀池承接上游径流并提供缓冲,提升池集中布置水泵,二者通过受控过水节点衔接。池体内部尺寸用于构造布置,运行调蓄量依据可用水位区间及沉积占容确定。沉淀池底按 0.005 坡度组织排空,端部设置清理条件,进水口周边保留便于清除沉煤的作业空间^[4]。泵站主要设备参数见表 1 原设计泵站设备参数见表 1,四台轴流泵额定总能力为 $16800m^3/h$,雨水提升泵采用 $10kV$ 供电,由提升池将雨水泵送至市政雨水管网。暴雨时沉淀池缓冲来水,提升池随液位升高逐级增加排水能力;超过泵组实际排水能力的来水暂存于池内,所需调蓄量按降雨全过程的累计进出水量差核验。两组池体分别设置进水控制和检修隔离条件,清淤安排随池底沉积厚度调整,保持水泵进水通道顺畅。两池通过启闭机连通后按一个排水单元调度,并保留检修隔离条件。连通孔过流能力、局部损失及泵启动时池间液位差均需复核,确认有效连通后方可合算调节容积。清淤安排随沉积厚度调整,保持进水通道顺畅。池体结构深度、正常运行水深及安全超高分别管理。

表 1 泵站设备设计参数原设计泵站设备参数

设备	数量	单台流量/(m^3/h)	扬程/ m	单台功率/ kW
雨水提升泵	4	4200	15	250
雨水回用泵	2	50	25	7.5
雨水冲洗泵	2	50	25	7.5

2.3 提升控制

暴雨工况下,雨水管网切换至雨水池,来水经沉淀池进入提升池,4台 $10kV$ 轴流泵按液位分级启动,将雨水泵送至市政雨水管网,控制关系如图 2 所示。原设计采用 4 台 $10kV$ 轴流泵泵排,启停液位设定如图 2 所示。1~4 号泵启动水位依次为 $-3.650m$ 、 $-3.400m$ 、 $-3.150m$ 和 $-2.900m$,统一停泵水位为 $-3.900m$,报警水位为 $-2.800m$,均为工程相对高程均为工程相对高程,图示设定仅作为原方案复核基准。相邻启泵水位差为 $0.250m$,形成逐级增加的出流能力,启动点和停止点之间保留回差,抑制液面波动引起的频繁启停。进水启闭机按池组轮换开启,开启确认信号进入泵组联锁,泵运行状态、阀位及池位记录保持对应首泵启停回差为 $0.250m$; 仅计两座连通提升池,平面面积 $400m^2$ 对应调节水量 $100m^3$ 按单泵额定流量且忽略来水,抽降时间约 $1.43min$ 。隔离为单池时,两项数值分别为 $50m$ 和 $0.71min$,存在单次运行过短的风险。沉淀池能否参与同水位调节应由连通水力条件判定;启停回差需结合有效容积、最大机组流量及设备允许启动次数重新整定^[5]。泵送外排前确认雨水水质及市政管网接纳条件;高液位报警时核查泵组、电源和出水通道,结合上游蓄水余量开展应急调度。泵组按四台均可投入配置,运行管理重点检查故障泵退出后的可用能力及上游蓄水余量。雨后沉淀上清液由雨水回用泵分批送入含煤污水处理站,处理合格后作为生产回用水源。底部沉积煤水结合清淤安排定期回送,回送量按处理站剩余接纳能力控制;粗颗粒沉积物及时清除,逐步降低池内存水位,恢复下一场降雨的调蓄空间。

优化方案采用双池统筹控制,增设独立的小流量雨水排水支路,泵流量按低流量入池过程、允许排空时间及下游接纳能力选定,出口接经核验的市政雨水接口。原 $50m^3/h$ 雨水回用泵继续承担向含煤处理站转送任务。低流量阶段优先调蓄或小泵排水,入流增大后再投入大泵;大泵按池位、液位上涨速率和允许排量逐台加入,水位回落时依次减泵。启停回差、最短运行时间、停机间隔及允许启动频次按厂家条件联调;低液位按安装高程及最小淹没深度核定,缺水和过载保护优先。四台原配大泵由两池统一调度,备用数量在设计雨型、单泵故障及检修隔离

工况复核后确定。

降雨初期保持含煤通道开启,初期污染径流在处理站可接纳水量内截流;短历时暴雨切换至雨水池,利用有效库容削峰后分级泵排。长历时暴雨按连续入池过程维持泵排,逐时段预测剩余库容及满池时间。两台、四台大泵额定合计流量分别为 8400m³/h 和 16800m³/h,实际排量由泵管联合工况及市政接纳上限共同确定;下游顶托时限制增泵并转入应急调度。超标降雨或停电工况设置受控应急溢流路径,按池顶安全高程、沿程坡降及接纳水位确定出口,

配置防倒灌措施。具备接管水质和下游安全条件后方可外排,污染径流导入事故调蓄设施;重力外排条件不足时配置移动泵接口及经核验的临时排水路径,避免将积水风险转移至下游。

雨后沉淀上清液由雨水回用泵分批送入含煤污水处理站,处理合格后作为生产回用水源。底部沉积煤水结合清淤安排定期回送,回送量按处理站剩余接纳能力控制;粗颗粒沉积物及时清除,逐步降低池内存水位,恢复下一场降雨的调蓄空间。

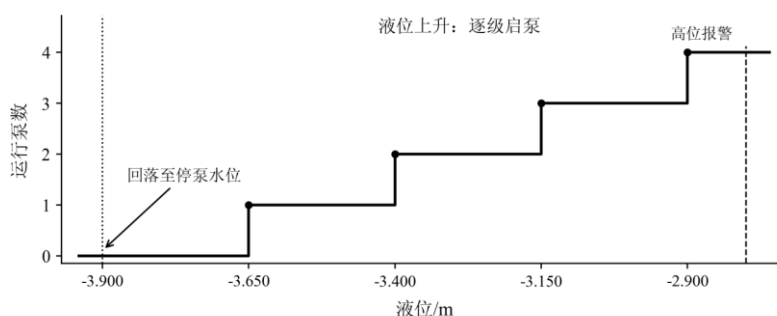


图2 雨水提升泵分级启动水位原设计雨水提升泵启动水位

3 生产废水处理及回用系统设计

3.1 含煤废水处理工艺

含煤废水处理站按 50m³/h 设计规模组织处理,工艺由煤水初沉池、电子絮凝器、离心澄清器、中间水池、多介质过滤器组及回用水池串联组成。煤棚地坪、转运节点和装卸作业面的含煤冲洗水及切换收集的初期污染径流,经分区管沟汇入集污池,前端拦截较大杂物后由渣浆泵提升送入煤水初沉池,利用沉降去除粗煤粉并调节水量、水质。初沉出水经煤水提升自吸泵送入电子絮凝器,再进入离心澄清器完成固液分离;澄清出水汇入中间水池,经提升自吸泵加压进入多介质过滤器组,进一步截留细颗粒,处理水进入回用水池。设备配置次氯酸钠加药装置用于回用水消毒,形成预沉、絮凝澄清、过滤、消毒及储水供水的连续路径。

煤水初沉池承担进站调蓄,中间水池衔接澄清与过滤,回用水池平衡处理产水与生产取水,三个储水环节分别控制,避免将生产用水峰值直接传递给处理设备。煤水提升自吸泵和中间水提升自吸泵各配置 2 台,均为一用一备,单泵流量均为 50m³/h,扬程分别为 30m 和 40m。电子絮凝器单台处理能力 50m³/h,配置 2 台、一用一备。煤水初沉池沉泥由抓斗移至卸泥区后装车外运,处理设备排污及过滤反洗排水经专用排污沟收集处置,与清水储存和生产供水路径分开,保持后续处理和回用设施的有效容积。

3.2 含油污水收集暂存

含油污水主要来自维修场地冲洗和维修车间排水,采

用独立汇集、沉砂隔油及调蓄暂存的收储方式。本系统采用含油污水独立收集暂存、定期委托有资质单位回收的方式确定最终去向,含油污水及分离油污均不进入含煤处理站回用水池和厂区生产回用水管网。独立收储可避免油类进入含煤水处理和供水设施,形成含煤水处理回用、含油水暂存外运的分质管理边界。

含油污水暂存设施应采取防渗、防溢流措施,设置液位观察及高液位报警,并为抽吸转运车辆预留作业位置和检修通道。有效储存容积按含油污水产生量、两次回收间隔和异常工况余量确定,高液位时及时安排清运并控制继续进水,避免溢流进入雨水沟。回收时间、数量、去向及承接单位资料纳入台账,使厂内收集、暂存和委外回收连续衔接。

3.3 生产回用恒压供水

生产回用水由回用水池经回用水泵加压后送入厂区生产回用水管网,供给煤棚喷洒、堆取料设施除尘及地面冲洗等用水点。回用水泵采用离心泵,共 3 台,两用一备,单台设计参数为 Q=110m³/h、H=80m、N=50kW。两台工作泵在设计工况下合计流量为 220m³/h,3 台总装机功率为 150kW;备用泵用于故障替代和轮换运行,不计入正常同时供水能力。水泵按共用供水总管并联布置,各泵支管设置检修隔离和止回设施,总管设置压力检测及流量计量,回用出水接港区中水管,泵房出口总管为 DN250,各生产支路设置分区阀门和用水标识。

回用水泵承担处理后清水的生产供水任务,与前端含煤污水提升渣浆泵及表1中的雨水回用泵分别配置。雨水回用泵单台 50m³/h、25m 的参数用于将雨水池沉淀上清液转送至含煤处理站,生产回用泵则向用水点输送处理后的合格回用水。生产回用泵 80m 为设计扬程,恒压设定值应结合回用水池运行水位、最不利用水点高差、管路损失及末端工作压力确定,并通过管网水力计算和联调校核。

生产回用泵组采用一对一变频恒压控制,运行控制按用水变化调节。每台回用水泵配置1台独立变频器,由控制系统根据供水总管压力与设定值的偏差调节运行泵频率。用水量较小时由1台泵变频供水;单泵接近设定频率上限且压力持续低于允许范围时,延时投入第2台工作泵并协调调速。用水量下降后按压力反馈和稳定运行时间依次减泵,避免频繁启停。控制系统按累计运行时间轮换工作泵与备用泵,运行泵或其变频器故障时退出故障机组并投入备用机组,保持正常最多2台泵同时供水。

泵组运行同时受回用水池液位和供水压力约束:低液位报警并调整用水调度,低低液位停止回用水泵,液位恢复后按启泵条件复位;总管超压、泵电机过载和变频器故障分别报警并执行相应保护。自动运行保留检修所需的就地操作条件,压力异常和缺水保护保持有效,启停延时、压力回差及最低运行频率结合泵性能与现场用水过程整定。

回用水池共2座,单池内部尺寸为15m×17m×4m,最高、最低有效运行水位分别为+3.600m和+1.000m。按两池平面尺寸及2.6m水位差估算,理论可调水量约1326m³,实际可用储量需结合内部构件占容、池组投用状态及运行余量复核^[6]。供水调度分别核算处理站50m³/h设计处理能力与实际净产水量、回用水池储量与生产瞬时用水量,220m³/h为两台回用泵的设计工况合计流量,不代表处理站每小时均能补足同等水量。生产集中用水时利用储水补偿短时缺口,低负荷时恢复储量。雨水池沉淀上清液和定期回送的沉积煤水均纳入处理站进水量核算,按剩余处理能力分批接纳,避免与含煤生产废水集中进站。每日记录处理产水、雨水回送量、生产取水和池存变化,依据水量平衡调整喷洒、冲洗班次及补水安排。消防给水与自来水按各自独立系统配置,回用水补水接口设置防回流措施。

3.4 运行监控

监控点设置在含煤水进站口、处理出水口和回用供水总管,形成进水识别、处理判定及末端核查的连续观测链。在多介质过滤器出水管设置在线浊度监测,并结合生产用水要求监测流量及酸碱度,定期取样检测悬浮物,防止细颗粒进入供水管网后堵塞喷嘴。浊度持续上升时核查絮凝

澄清、排泥和过滤压差;出水不满足回用要求时将不合格水隔离暂存并安排重新处理,复测合格后恢复供水。回用水池液位、总管压力、泵组运行频率及支路流量同步记录,用于判断缺水、堵塞和用水突变。雨水切换节点同步记录旱天收集、初雨截流、雨量增大入池及雨停复位的阀位和时间,并核对池位、泵排量及雨后回送量,检查各工况水流去向。含油污水单独核对暂存液位、收集量和委外回收量,做好回收单位、时间及数量记录,不设置通往生产回用水管网的供水支路。

4 结束语

煤炭港区雨污分流应将旱天煤水收集、降雨切换和暴雨泵排落实到具体设施。某港区的煤污水由渣浆泵收集提升至含煤处理站;平时混入雨水管网的煤水及初期污染径流通过切换阀进入含煤处理路径,雨量增大时关闭该通道,转入雨水池调蓄,满足接管条件后由4台10kV轴流泵排入市政雨水管网。短历时暴雨时切换入池调蓄,长历时暴雨在满足接管条件后持续泵排。优化方案将两池统筹调度,增设小流量排水支路,按来水及下游接纳能力逐级投运原配10kV大泵,并设置受控应急排水路径。池内沉淀上清液回送处理作为回用水源,沉积煤水定期分批回送。含油污水独立暂存并委外回收,生产回用泵按3台、两用一备配置,通过一对一变频恒压控制供水,分别核算处理能力、池内储量和生产取水量,可使雨水排放、煤水处理及生产回用在不同工况下连续衔接。同类型港区应联合复核设计雨型、有效调节容积、泵组启停频次和下游接纳能力,再确定泵型、数量及启停水位,为排水设施选型和运行控制提供依据。

[参考文献]

- [1]包宇,李一龙.微介质沉淀耦合陶瓷膜在高浊微污染废水再生利用系统中的研究及应用[J].煤炭工程,2026,58(5):35-41.
- [2]翟宇昆,唐玮.散货港区雨污分流设计实例分析研究[J].中国水运,2025(21):45-47.
- [3]王晨光.钢铁企业雨污分流改造方案及设计实例[J].工程建设与设计,2024(6):51-53.
- [4]明瑞平,谢艾利,张亚杰,等.老旧城区雨污分流改造工程结构设计探讨[J].工程建设与设计,2026(7):115-117.
- [5]李超,王国旗,林晓,等.雨污分流改造中破损管道的CIPP非开挖修复工艺优化[J].科学技术创新,2026(16):105-108.
- [6]曾欢.市政给排水工程中雨污分流改造的设计要点研究[J].工程建设与设计,2026(1):83-85.

作者简介:雷跃林(1992—),男,汉族,云南省普洱市,本科,中级职称,研究方向为市政工程方向。