

何兴斌, 刘潘, 邹一. 双膜法工艺在矿井水深度处理中的应用实例[J]. 净水技术, 2024, 43(1):118-124.

HE X B, LIU P, ZOU Y. Application case of double-membrane process in advanced treatment of mine water[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(1):118-124.

双膜法工艺在矿井水深度处理中的应用实例

何兴斌*, 刘潘, 邹一

(四川赛诺行环保科技有限公司, 四川绵阳 621000)

摘要 高矿化度煤矿矿井水往往具有盐含量高、硬度和碱度高的特征, 处理工艺复杂, 难度较高。陕西某煤矿矿井水深度处理回用工程设计进水量为 7 200 m³/d, 产水量为 4 800 m³/d(25 ℃), 系统回收率为 65%, 采用超滤(UF)+反渗透(RO)双膜法工艺, 产水回用于井下生产。该工程通过定量投加复合阻垢剂取代传统的药剂软化工艺, 节约了投资成本和运行成本。运行数据表明: 矿井水原水(经过格栅+预沉调节池+磁加载沉淀处理后)温度约为 27 ℃, 溶解性总固体质量浓度为 3 700~4 000 mg/L, 硬度在 450~500 mg/L; 产水 TDS 质量浓度在 70 mg/L 左右, 硬度质量浓度≤6.0 mg/L, 氯离子质量浓度<35 mg/L, 硫酸根质量浓度<5.5 mg/L, 脱盐率为 98%, 系统回收率为 71.4%, 运行稳定可靠。

关键词 矿井水回用 深度处理 超滤(UF) 反渗透(RO) 双膜法 软化工艺

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)01-0118-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.01.015

Application Case of Double-Membrane Process in Advanced Treatment of Mine Water

HE Xingbin*, LIU Pan, ZOU Yi

(Sichuan Sainuoxing Environmental Protection Technology Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract High salinity coal mine water often has the characteristics of high salt content, high hardness and alkalinity, and the treatment process is complex and difficult. The design influent capacity of an advanced treatment and reuse project of a certain coal mine water in Shaanxi Province is 7 200 m³/d, water yield is 4 800 m³/d(25 ℃), and the design system recovery rate is 65%. UF+RO double-membrane process is used in this project, and the effluent water is reused for underground production. In this project, through quantitative dosing composite scale inhibitor, the traditional chemical softening process is replaced and the costs of investment and operating are reduced. Operation data indicates that, the temperature of the raw mine water which is pretreated through grille, pre-sedimentation regulating tank and magnetic loading precipitation, is about 27 ℃, TDS is 3 700~4 000 mg/L, and hardness is 450~500 mg/L; the TDS in effluent water is about 70 mg/L, hardness is no more than 6.0 mg/L, Cl⁻ is less than 35 mg/L, SO₄²⁻ is less than 5.5 mg/L, the salt rejection rate is 98%, and the system recovery rate is 71.4%, the whole system runs stable and reliable.

Keywords reuse of mine water advanced treatment ultrafiltration (UF) reverse osmosis (RO) double-membrane process softening process

我国水资源分布极不均衡, 北方煤炭基地大多位于缺水地区, 形成了“煤多水少”的局面, 水资源不足已成为制约矿区经济发展的重要因素。与此同时, 根据统计, 全国平均采 1 t 煤, 排放矿井水量约为 2.1 m³, 存在水资源严重浪费的问题^[1]。因此, 加强煤矿矿井水深度处理回用是必然的趋势, 也是

缓解矿区“煤多水少”问题的最佳解决方法。现阶段国内外矿井水的处理工艺多种多样, 其中去除悬浮物和普通污染物的工艺主要包括混凝沉淀过滤工艺、超磁分离工艺、高效旋流技术等。针对一些酸性矿井水、高氟矿井水、重金属矿井水等特殊矿井水, 还需要专门的处理, 包括酸碱中和、离子交换、吸附、化学沉淀等。对于高矿化度矿井水或涉及到矿井水回用、对产水溶解性总固体(TDS)要求较高的场合, 膜浓缩技术也得到了应用, 包括纳滤(NF)、反渗透(RO)和电渗析(ED)等技术^[1-3]。对于一些 TDS 不

[收稿日期] 2023-08-24

[通信作者] 何兴斌(1987—), 男, 工程师, 研究方向为工业废水处理 and 膜法水处理工艺, E-mail: 634449275@qq.com。

高的矿井水,但产水浑浊度要求很高的处理系统中,超滤(UF)技术也得到了较为广泛的应用。

陕西某煤矿矿井水原有处理工艺为“格栅+预沉调节池+磁加载沉淀”,沉淀池出水达标后外排,其出水的矿化度和部分离子指标无法满足相关回用标准。为缓解矿区用水紧张的局面,同时满足国家对矿井水回用的相关要求,并为后期将全部矿井水进行深度处理回用做技术和工程上的探索,采用UF+RO双膜法工艺,将一部分原有系统出水进行深度处理,取得了良好的效果。

1 项目概况

1.1 设计规模

深度处理系统设计进水量为 7 200 m³/d(24 h 工作制),产水量为 4 800 m³/d(25 ℃),系统总回收率 ≥65%。

1.2 进出水水质

该系统原水为矿井涌水经过“格栅+预沉调节池+磁加载沉淀”处理后的水。经过多次取样检测,部分关键指标平均值如表 1 所示,来水水质较为稳定,波动性较小。

表 1 原水水质

Tab. 1 Raw Water Quality

指标	数值
pH 值	7.48
温度/℃	27.3
TDS/(mg·L ⁻¹)	3 950
Na ⁺ /(mg·L ⁻¹)	1 119
Cl ⁻ /(mg·L ⁻¹)	710
总硬度(以 CaCO ₃ 计)/(mg·L ⁻¹)	512
SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)	1 728
HCO ₃ ⁻ /(mg·L ⁻¹)	199

深度处理系统产水主要回用于井下生产,包括井下消防、洒水、液压系统用水等,主要指标如表 2 所示^[4-5]。

1.3 工艺选择及流程

1.3.1 工艺选择

本系统矿井水主要水质特征如下:(1)TDS 质量浓度达到 3 950 mg/L,矿化度高,其盐类成分主要是 Na⁺、Ca²⁺、硫酸盐、酸式碳酸盐和氯化物等;(2)硬度大,总硬度(以 CaCO₃ 计)达到 512 mg/L,

表 2 回用水水质标准

Tab. 2 Standards of Reuse Water Quality

指标	数值
pH 值	6~9
浑浊度/NTU	≤5
悬浮物粒径/mm	<0.3
总硬度(以 CaCO ₃ 计)/(mg·L ⁻¹)	≤250
Cl ⁻ /(mg·L ⁻¹)	≤200
SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)	≤240

其中钙硬度(以 CaCO₃ 计)为 285 mg/L,属于极硬水范畴;(3)经格栅+预沉调节池+磁加载沉淀处理后的原水外观清澈,浑浊度低,色度低;(4)矿井水作为地下水,经过预处理后,有机物含量低,微生物含量也较低;(5)HCO₃⁻ 质量浓度为 199 mg/L,碱度较高。

根据以上水质特征,工艺思路如下。

(1)原水 TDS 较高,要去除水中的无机离子,以达到回用要求,国内外的处理技术有化学法、热力学及膜分离法等。化学法处理不够彻底,主要去除硬度物质,且成本较高;热力学包括多级闪蒸和机械蒸汽压缩,其运行过程中易结垢、易腐蚀,且蒸馏设备前期投入大,能耗高;较为成熟的工艺是膜工艺,包括 NF 和 RO 技术等^[3,6]。本工程采用“UF+RO”双膜法脱盐处理,UF 主要用于保障进入 RO 膜装置的淤泥密度指数(SDI)和浑浊度满足要求,确保 RO 的稳定运行;并采用多介质过滤器进行预处理,去除大的杂质和颗粒,保护膜系统。

(2)一般针对极硬且碱度较高的原水,须在预处理段设置软化工艺段,通常采用石灰、碳酸钠和硫酸等药剂,以避免膜系统结垢,但同时也会增加系统的运行成本,引入新的盐分,提高进入 RO 的盐含量,导致 RO 运行压力升高。也可采用离子交换树脂软化,但需进行树脂再生,同时也会有高浓度盐水产生,对于高硬度水的软化经济性差,目前只有小型系统使用。表 3 是 3 种软化工艺的技术经济对比。经过计算(表 4),原水的朗格利尔指数(LSI)为 0.1,浓水的史蒂夫戴维斯指数(S&DSI)为 1.06,浓水离子积 I_{pb} 为溶度积 K_{sp} 的 1.17 倍^[7],需要采取措施阻止结垢。随着现今阻垢剂性能进一步得到提升,通过优化选型并定量添加复合阻垢剂,以防止

RO 膜的结垢^[6], 另外 UF 装置酸洗不采用弱酸柠檬酸, 而采用盐酸清洗以强化酸洗除垢效果。因此, 从节约投资、简化工艺路线、便于运行管理的角度出发, 不设置预处理软化工艺, 采用投加复合阻垢剂的方式保障 RO 正常运行。

(3) 为便于检修和化学清洗, 设置多介质过滤器 4 套、UF 和 RO 装置各设置 2 套, 且工艺段间均设置中间池。在对其中任何一套装置进行检修维护或者清洗时, 系统仍可不停产运行, 提高了系统在线率, 最大化地保障矿区用水需求。

表 3 3 种软化工艺的技术经济对比

Tab. 3 Technical and Economic Comparison of Three Softening Processes

项目	加药沉淀软化	树脂软化	阻垢剂防止结垢
技术特点	一般通过高密沉淀池等进行反应, 将水中硬度、悬浮物和部分有机物等以污泥的形式排放出来, 污泥量大, 会增加产水的 TDS	利用离子交换剂来降低水中硬度, 仅适用于低硬度的小型系统, 对于高硬度水经济性较差	能够分散水中难溶性无机物、阻止和干扰难溶性无机物的沉淀、结垢, 以起到阻垢的作用
占地面积	较大	一般	小
施工周期	结构复杂, 施工周期长	设备化产品, 施工周期短	设备化产品, 施工周期短
系统运行	加药量不容易控制精准, 容易出现翻泥现象, 运行稳定性差	运行稳定, 树脂需要再生, 有高盐产生	运行稳定, 操作简便
检修维护	工作量较大	工作量一般	工作量小
系统投资	需修建反应池、沉淀池、污泥脱水系统等构筑物, 以及搅拌机、排泥泵、污泥脱水设备等, 投资较大	需设置树脂罐、再生盐箱、再生泵等, 投资一般	仅需设置加药罐和加药计量泵, 投资小

表 4 原水和 RO 浓水结垢指数

Tab. 4 Scale Index for Raw Water and RO Concentrated Water

指标	原水	浓水
pH 值	7.48	7.92
TDS/(mg·L ⁻¹)	3 950	15 800
钙硬度(以 CaCO ₃ 计)/(mg·L ⁻¹)	285	1 140
SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)	1 728	6 912
HCO ₃ ⁻ /(mg·L ⁻¹)	199	766
LSI	0.1	-
S&DSI	-	1.06
I _{pb}	0.513×10 ⁻⁴	8.21×10 ⁻⁴
K _{sp}	2.70×10 ⁻⁴	7.0×10 ⁻⁴
I _{pb} /K _{sp}	0.19	1.17

1.3.2 工艺流程

系统来水(经格栅+预沉调节池+磁加载沉淀处理后的水)进入原水池, 用泵提升至多介质过滤器, 去除水中一部分胶体和大部分悬浮物, 产水进入中间池 1。中间池 1 的水用泵提升至 UF 装置, 截留下胶体、蛋白质、微生物及大分子有机物等污染物之后进入中间池 2。UF 装置前设有 100 μm 自清洗过滤器, 以保护 UF 膜丝不被水中可能的大的杂质损坏。中间池 2 的水经由低压泵提升至 5 μm 保安过滤器后, 再由高压泵加压进入 RO 装置。RO 装置能有效

截留绝大部分的溶解盐分及分子量大于 150 的有机物^[7], 装置出水进入清水池, 供井下回用。

多介质过滤器反洗排水、UF 气洗排水、RO 冲洗水及化学清洗废水均排入污水池, 然后用泵排至预处理系统后, 同矿井水原水一起再次进行预处理。RO 浓水进入浓水池, 黄泥灌浆用水对水质矿化度无要求, 浓水用于井下黄泥灌浆。工艺流程和水量平衡如图 1、图 2 所示。

2 工程设计

2.1 多介质过滤工艺段

多介质过滤工艺段包括原水池、多介质过滤器。多介质过滤器属于压力式过滤器设备, 在供水泵提供的一定压力下, 使原液通过滤料, 水中的悬浮物、不溶性颗粒物、絮状沉淀等杂质经过滤料间的孔隙被截留和俘获, 对后续 UF 和 RO 工艺段起到保护作用。

(1) 原水池: 暂存经“格栅+预沉调节池+磁加载沉淀”预处理工艺处理后的矿井水。原水池设计为地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为 300 m³, 停留时间为 1 h, 池内壁采用玻璃钢防腐。配置多介质提升泵 3 台, 2 用 1 备, 单台流量 $Q = 145 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 $H = 30 \text{ m}$, 功率 $N = 22 \text{ kW}$, 过流部件材质为 SS316L, 带变频电机, 配套 1 支投入式静压液位计。

(2) 多介质过滤器: 4 套, 单套处理能力为 75

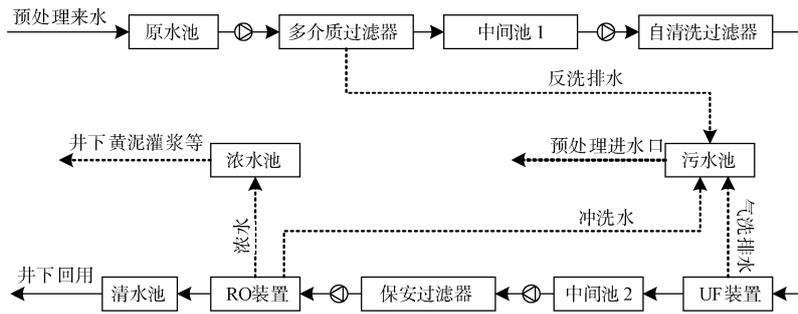


图1 工艺流程

Fig. 1 Process Flow

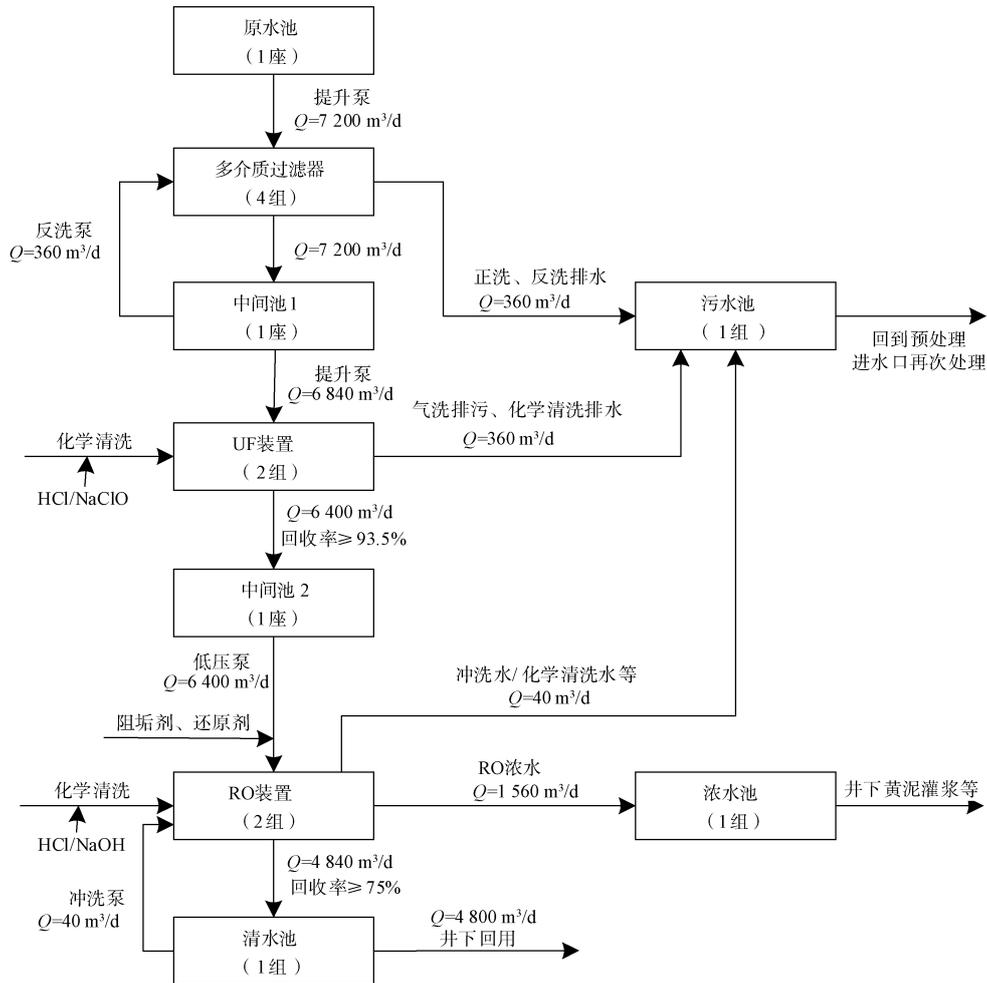


图2 水量平衡图

Fig. 2 Diagram of Water Balance

m³/h,碳钢防腐结构,内部填充有石英砂和无烟煤,石英砂滤料粒径为0.5~1 mm和1~2 mm两种,装填高度为800 mm,无烟煤粒径为1~2 mm,装填高度为400 mm,并配置了相应的电动阀和压差检测仪表。

2.2 UF 工艺段

UF 工艺段包括中间池 1、自清洗过滤器和 UF

装置。UF 能够去除水中的悬浮物、胶体、微生物以及大分子有机物,用于表示 UF 膜孔径的切割分子量一般在 1 000 ~ 500 000 Da,出水浑浊度 < 0.1 NTU、SDI ≤ 3,可以满足 RO 的进水要求。

(1)中间池 1:暂存多介质过滤器产水,设计为地下式钢筋混凝土结构,有效容积为 150 m³,停留

时间为 30 min, 池内壁采用玻璃钢防腐。配置 UF 提升泵 3 台, 2 用 1 备, 单台 $Q=145\text{ m}^3/\text{h}$, $H=30\text{ m}$, $N=22\text{ kW}$, 过流部件材质为 SS316L, 带变频电机。另配置有多介质反洗泵 2 台, 1 用 1 备, 单台 $Q=350\text{ m}^3/\text{h}$, $H=20\text{ m}$, $N=30\text{ kW}$, 过流部件材质为 SS316L, 带变频电机, 配套 1 支投入式静压液位计。

(2) 自清洗过滤器: 2 台, 精度为 $100\text{ }\mu\text{m}$, 用于截留大颗粒杂质, 以保护 UF 装置的安全运行, 避免 UF 膜丝被大颗粒物堵塞或者划伤。

(3) UF 装置: 2 套, 配置有相应的流量计、浊度仪、压力传感器和气动阀门。单套装置列装 58 支膜元件, 单支膜元件膜面积为 52 m^2 , 膜孔径为 $0.04\text{ }\mu\text{m}$, 膜材质为聚偏二氟乙烯 (PVDF), 处理能力为 $150\text{ m}^3/\text{h}$ ($25\text{ }^\circ\text{C}$), 设计平均通量为 $49.7\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 回收率 $\geq 93.5\%$ 。

2.3 RO 工艺段

RO 工艺段包括中间池 2、RO 装置和清水池。RO 装置能有效截留绝大部分的溶解盐分及大分子有机物^[7], 同时允许水分子通过。

(1) 中间池 2: 暂存 UF 产水, 设计为地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为 150 m^3 , 停留时间为 30 min, 池内壁采用玻璃钢防腐。配置设备如下: ①RO 低压泵 3 台, 2 用 1 备, 单台 $Q=135\text{ m}^3/\text{h}$, $H=32\text{ m}$, $N=30\text{ kW}$, 过流部件材质为 SS316L, 带变频电机; ②投入式静压液位计 1 支; ③保安过滤器 2 套, 单套处理能力为 $135\text{ m}^3/\text{h}$, 配置 4 支 $5\text{ }\mu\text{m}$ 大流量折叠滤芯; ④RO 高压泵, 3 台, 2 用 1 冷备, 立式多级离心泵, 单台 $Q=135\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ m}$, $N=110\text{ kW}$, 过流部件材质为 SS316L, 带变频电机。

(2) RO 装置: 2 套, 配置有相应的流量计、电导率仪、pH 仪、ORP 仪、压力传感器、气动阀门、还原剂加药装置和阻垢剂加药装置等。单套装置安装 144 支抗污染型 RO 膜元件, 24 支六芯装 300PSI 玻璃钢膜壳, 成 2:1 排列, 单支膜面积为 37.2 m^2 , 系统平均通量为 $18.9\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 产水能力为 $100\text{ m}^3/\text{h}$ ($25\text{ }^\circ\text{C}$), 回收率为 74%, 正常操作压力为 1.2 MPa 。

(3) 清水池: 暂存 RO 产水, 设计为地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为 300 m^3 , 停留时间为 1 h, 池内壁采用玻璃钢防腐。配置 RO 冲洗泵 2 台, 1 用 1 备, 单台 $Q=126\text{ m}^3/\text{h}$, $H=32\text{ m}$, $N=30\text{ kW}$, 过流部件材质为 SS316L, 带变频电机。配置有 1 套次氯酸钠消毒加药装置 (设计投加质量浓度为 $3\text{ mg}/\text{L}$)、

1 支投入式静压液位计。

2.4 配套设施

其他配套设施包括鼓风机、压缩空气系统、加药及清洗系统、污泥池和污水池等。

(1) 鼓风机: 罗茨鼓风机, 2 台, 1 用 1 备, 单台 $Q=5\text{ m}^3/\text{min}$, 升压可至 70 kPa , 电机 $N=1.5\text{ kW}$, 用于多介质过滤器和 UF 装置的气洗操作。

(2) 压缩空气系统: 为所有气动阀门提供压缩空气, 空压机 2 台, 1 用 1 备, 单台 $Q=1\text{ m}^3/\text{min}$, 压力为 $0.6\sim 0.8\text{ MPa}$, $N=5.5\text{ kW}$; 储气罐, 1 台, 容积为 1 m^3 , 压力等级为 1.0 MPa ; 冷干机 1 台, $Q=1.5\text{ m}^3/\text{min}$, $N=0.55\text{ kW}$ 。

(3) 加药及清洗系统: 设置有次氯酸钠、盐酸加药系统。另有 1 套清洗系统, 包括 1 套清洗罐、2 台清洗泵和 1 台 $5\text{ }\mu\text{m}$ 清洗过滤器及其他配件, 用于 UF 和 RO 装置的在线清洗。

(4) 污水池: 1 座, 暂存多介质过滤器反洗排水、UF 气洗排水及 RO 冲洗水等排污水。污水池设计为地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为 150 m^3 , 池内壁采用玻璃钢防腐, 配套 1 支投入式静压液位计。

(5) 浓水池: 1 座, 暂存 RO 浓水。浓水池设计为地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为 150 m^3 , 池内壁采用玻璃钢防腐, 配套 1 支投入式静压液位计。

系统平面布置如图 3 所示。

3 处理效果及成本分析

3.1 处理效果

工程于 2022 年 8 月完成系统调试和试运行, 系统按照设计的参数能够平稳运行。系统平均进水量为 $280\text{ m}^3/\text{h}$, 产水量为 $200\text{ m}^3/\text{h}$, 产水水量达到了设计要求; 系统回收率为 71.4%, 优于设计值 (66.7%)。矿井水水温稳定在 $27\text{ }^\circ\text{C}$ 上下, TDS 质量浓度在 $3\text{ }700\sim 4\text{ }000\text{ mg}/\text{L}$, 硬度在 $450\sim 500\text{ mg}/\text{L}$, 来水水质波动小。定期检测数据表明, 系统投用以来, 产水 TDS 及各离子含量远优于设计要求, 且产水水质稳定, 脱盐率达到 98%, 满足回用要求, 具体如下表 5 所示。

受益于矿井水有机物含量低, 微生物含量也较低, 水温较高, UF 膜系统进水量为 $140\sim 150\text{ m}^3/\text{h}$ 时, 跨膜压差 (TMP) 为 26 kPa 左右, 且较为稳定。UF 膜化学清洗以盐酸为主, 次氯酸钠为辅。每 3 d

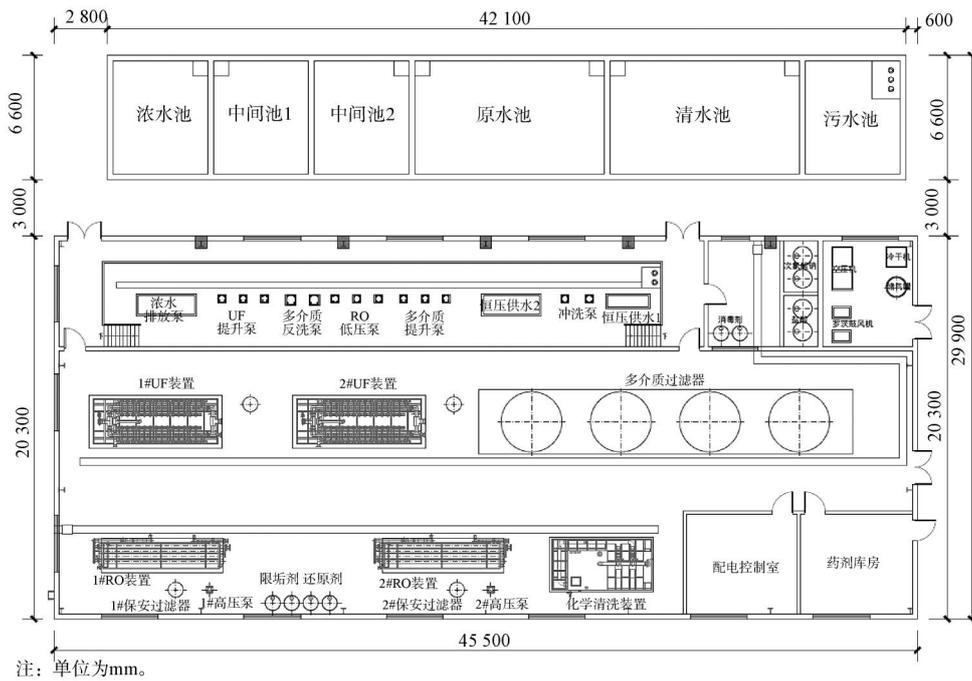


图3 平面布置示意图

Fig. 3 Schematic Diagram of Plan Layout

表5 出水水质定期检测数据

Tab. 5 Regular Detection Data of Effluent Quality

检测日期(2022年)	pH值	TDS/(mg·L ⁻¹)	硬度(以CaCO ₃ 计)/(mg·L ⁻¹)	Cl ⁻ /(mg·L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ /(mg·L ⁻¹)
8月25日	7.21	70.5	6.0	34.5	5.1
8月30日	7.19	62.5	5.4	30.6	4.6
9月10日	7.21	69.3	4.9	33.8	5.0
9月26日	7.18	61.9	5.3	30.3	4.5
10月20日	7.18	65.0	5.6	31.9	4.8
11月5日	7.19	66.7	5.7	32.5	4.8
11月16日	7.20	70.1	5.9	34.4	5.0
12月18日	7.20	69.4	4.2	33.9	4.4

进行一次0.2%的低浓度盐酸化学清洗,每月进行一次500 mg/L次氯酸钠溶液及0.6%盐酸溶液化学清洗,约半年进行一次高浓度的次氯酸钠和盐酸溶液循环化学清洗。从清洗过程中可以发现,在进行盐酸溶液清洗时,清洗液pH有升高趋势,此时应适当添加酸溶液,保障清洗效果,也说明膜丝结垢现象的存在,主要是由于原水硬度和碱度较高,实践证明通过规律的化学清洗可以控制。

由于该废水SO₄²⁻和硬度均较高,RO系统运行需特别注意防止硫酸钙垢的形成,该项目运行时连续投加还原剂和阻垢剂,且在可编程逻辑控制器(PLC)系统中设置了连锁保护,当阻垢剂和还原剂

停止投加时,系统立即报警并自动停止RO系统运行。阻垢剂种类为多聚丙烯酸盐类复合阻垢剂,投加量经计算后确定为10 g/m³。从实际运行效果来看,RO运行压力在1.2 MPa左右,段间压差为50~60 kPa,RO系统运行平稳。在连续运行4个月后,段间压差有所上升,尤其是二段段间压差上升更明显一些,达到80 kPa,判断为存在少量硫酸盐和碳酸盐结垢,随即对RO膜进行化学清洗,清洗药剂包括0.1%氢氧化钠+1.0% EDTA-4Na、0.2%盐酸溶液,清洗后压差恢复。

3.2 成本分析

本工程设备总投资为512.9万元(不含水池和

土建费用),其中设备采购费为 427.0 万元,安装及调试费为 55.1 万元,其他费用为 30.8 万元,即本项目吨水(以小时产水量为准)设备投资成本约为 2.56 万元/m³。

工程运行成本主要包括人员工资福利、电费、药剂费(次氯酸钠、盐酸、阻垢剂和还原剂等)、检修维护费用和折旧费用等,本项目综合运行成本为 1.51 元/m³,具体如表 6 所示。

表 6 运行成本
Tab. 6 Operation Cost

序号	项目	标准	吨水成本/(元·m ⁻³)
1	人员工资福利	4 人,5 万元/(人·年)	0.11
2	电费	4 000 kW·h/d,单价按 0.6 元/(kW·h)	0.50
3	药剂	1 884 元/d	0.39
4	检修维护费用	按设备总投资额的 2%,计 10.26 万元/年	0.06
5	折旧费用	UF 膜按 20%折旧,RO 膜按 30%折旧,其余按 10%折旧,计 79.55 万元/年	0.45
6	合计	-	1.51

原井下用水主要抽取地下水,其地下水用水成本为 1.95 元/m³。按每日运行 20 h 计算,本工程投用后可以减少抽取地下水的量为 146 万 m³/年,综合计算可节约用水成本为 64.24 万元/年,具有明显的经济效益。

4 结语

(1)本工程采用 UF+RO 双膜法工艺对高矿化度煤矿矿井水进行深度处理回用,实践证明技术可行、运行稳定可靠,工艺路线具有典型性。

(2)该工程来水为极硬水,硬度质量浓度达到 512 mg/L(以 CaCO₃ 计),且硫酸盐和碱度也较高,经过结垢倾向计算,通过合理选型阻垢药剂种类和投加量,并优化选取了 UF 化学清洗药剂,省去了预处理软化工艺段。从实际运行效果来看,RO 装置段间压差稳定,没有出现明显结垢的现象,系统运行稳定。

(3)煤矿矿井水的深度处理回用,积极响应了国家对加强矿井水回用的要求,减少了高矿化度矿井水的排放量,同时缓解了矿区用水紧张的局面,并对后续将全部矿井水进行深度处理回用进行了有益的工艺探索,具有明显的经济效益和社会效益。

参考文献

[1] 崔玉川,曹昉. 煤矿矿井水处理利用工艺技术与设计[M]. 北京:化学工业出版社,2015.
CUI Y C, CAO F. Technology and design of coal mine water treatment and utilization process [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2015.

[2] 肖艳. 煤矿高矿化度矿井水零排放处理技术现状及展望

[J]. 能源环境保护, 2021, 35(2): 7-13.
XIAO Y. Current situation and prospect of zero discharge treatment technology for high mineralized mine water[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(2): 7-13.

[3] 王皓,董书宁,尚宏波,等. 国内外矿井水处理及资源化利用研究进展[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(1): 222-236.
WANG H, DONG S N, SHANG H B, et al. Domestic and foreign progress of mine water treatment and resource utilization [J]. Coal Geology & Exploration, 2023, 51(1): 222-236.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 煤矿井下消防、洒水设计规范: GB 50383—2016[S]. 北京:中国计划出版社,2016.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of the fire protecting, sprinkling system in underground coalmine: GB 50383—2016[S]. Beijing: China Planning Press, 2016.

[5] 国家安全生产监督管理总局. 液压支架用乳化油、浓缩油及其高含水液压液用水标准: MT/T 76—2011[S]. 北京:煤炭工业出版社,2012.
State Administration of Work Safety. Emulsifying oil, concentrate fluid and high-water content hydraulic fluid used for powered support: MT/T 76—2011 [S]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2012.

[6] 刘遵义,李小亮. 高矿化度矿井水处理技术应用现状[J]. 洁净煤技术, 2023, 29(s2): 436-441.
LIU Z Y, LI X L. Application status of mine water treatment technology with high salinity[J]. Clean Coal Technology, 2023, 29(s2): 436-441.

[7] 冯逸仙. 反渗透水处理系统工程[M]. 北京:中国电力出版社,2020.
FENG Y X. Reverse osmosis water treatment system engineering [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2020.