

引用格式:谢世棋,仲伟,高泽民,等. 矿山井下排水系统自动化应用研究[J]. 有色设备,2024,38(2):71-77.

XIE Shiqi,ZHONG Wei,GAO Zemin,et al. Research on application of automation in underground drainage system of mines [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024,38(2):71-77.

矿山井下排水系统自动化应用研究

谢世棋, 仲伟, 高泽民, 高磊, 许康, 罗文昊

(金川集团股份有限公司, 甘肃 金昌 737100)

[摘要] 矿山井下水仓排水系统多采用自吸式排污泵进行排放污水,排水期间需要人员手动开启水泵及阀门,并且需对水泵的排水状况进行实时监管,否则当水仓内污水排空时,若不及时关闭水泵及阀门则会引发电机烧毁、泵头机械密封损坏等一系列故障。针对这一现状,本文对矿山井下水仓排水系统进行自动化控制改造,在原有排水系统的基础上增设电动偏心半球阀、水位传感器、搅拌机以及电气控制系统等相关部件,利用水位传感器的信号自动控制水泵的启停以阀门的开关,同时优化安装工艺并进行调试,实现了排水自动化。经过对比分析,系统故障率下降了60%,现场使用效果显著,减轻了维修人员的工作量,切实提高了矿井排水的安全性以及稳定性。

[关键词] 排水系统; 自吸式排污泵; 自动控制; 工艺优化; 水仓

[中图分类号] TD407; TP273

[文献标志码] A

[文章编号] 1003-8884(2024)02-0071-07

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.02.012

排水系统是矿山井下最重要的系统之一,井下各中段临时水仓是污水处理系统的重要组成部分,目前井下各个作业面施工产生的废水、巷道渗水或涌水均需要通过临时水仓分级逐步向中央水仓进行转排。因此,建立一个安全可靠、运行稳定的排水系统是保证整个矿山良好运转的前提。

目前井下临时水仓因人员、环境等因素影响,污水池中往往会沉淀较多淤泥,进而出现淤泥堵塞吸水口等情况,甚至造成排污泵泵头机械密封损坏或电机烧毁问题。因此,为解决井下水仓无人员看护出现的污水沉淀淤积问题、排污泵因管道回水导致叶轮反转脱落问题、水仓自动排水风水联动问题,需要对水仓排水系统进行智能化改造,建立一套安全可靠的智能化排水系统,最大限度实现无人看守水仓的自动高效排水,进一步提高排水效率及生产效率。

1 井下排水系统的现状

某集团公司矿山井下局部巷道生产示意图如

图1所示,其中井下水泵担负着巷道内排水的作用,以保证矿井生产安全和顺利进行,通过排水降低井下水位,防止水灾事故,保证巷道的正常使用。前期因技术限制,多年来水泵一直是人工手动控制,由于人为的因素等导致误判及操控措施不及时,水泵运行一直不稳定,时停时修,故障不断,抢修、停修经常发生,水泵维修工作量大并对矿井安全生产造成很大的隐患。

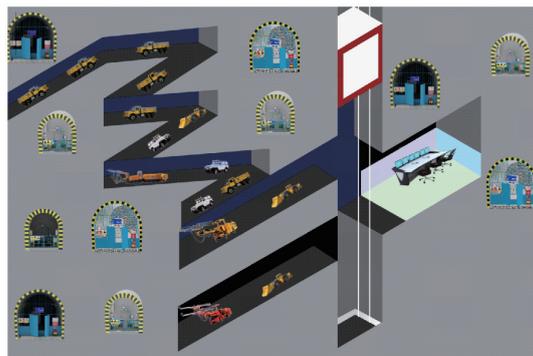


图1 矿山井下局部巷道生产示意图

Fig.1 Schematic diagram of local roadway production in the underground mine

[收稿日期] 2023-12-19

[第一作者] 谢世棋(1971—),男,山东聊城人,机械工程师,主要从事矿山设备研究。

1) 经前期初步试验,发现水仓内水池底部泥沙经管道风吹动,搅拌效果不理想,达不到要求的快速、全部搅动水池底部沉淀泥沙的效果,分析原因主

要有2点:①沉淀泥沙主要以矿砂为主,其本身密度大且易结壳和结块,移动阻力大;②井下巷道内风管中压力风的压力在常压范围内,且井下水仓位置在设计上分布很散,多数水仓距离井下空压机房很远,长距离管道输送风压及流量损失都较多,现场水泵房内管道风压检测只有0.3 MPa,同时水的阻力消耗掉一部分能量,风搅动水池底部沉淀泥沙效果较差。

2)在使用中发现,由于水池内的矿砂水非静止而是不断涌入并流动抽出的,每当水池内矿砂水被抽出导致水位降低时,水池底部隔墙直接影响水池内部过水;其次,当对水池内底部沉淀物清理不及时而导致水池底部沉淀物超过隔墙高度时,沉淀物堵塞吸水管的吸水口;同时,水池内矿砂水的表面若有编织袋类的漂浮物,漂浮物会直接越过水池底部隔墙,堵塞吸水管的吸水口。以上情况会导致水泵发生上水不力,甚至水泵电机烧损等状况。

2 排水系统自动化设计

针对上述问题,对水泵操作进行自动化提升改造即排水系统自动化控制改造^[1-4]。排水系统自动化控制,采用现代化的自动化控制技术,在原有排水系统的基础上增设了电动偏心半球阀、水位传感器、搅拌机以及电气控制系统等相关部件,可对排水系统进行监控和调节,实现排水系统的智能化运行。

2.1 设计思路

如图2所示,自动排水系统由ZW型自吸式排污泵、电动偏心半球阀、浮子传感器、电动控制箱、水仓及连接管道等组成。水仓中浮子传感器可以将水位信号传递给电动控制箱,电控控制箱可根据信号控制排污泵的运转和电动偏心半球阀的通断,以此来实现水仓排污水的自动化。

当水仓中水位达到排水要求水位时,水泵电机自动启动,水泵开始进行排污水工作;当水仓内水位降低到下限,水泵将自动停止运转,同时电动偏心半球阀会立即关闭,一方面防止管道中污水回流,另一方面可保持排污泵泵腔的真空度,有利于水泵的再次启动。

系统在水仓内引入生产用风,通过高压风将水仓底部沉积的泥沙搅动起来,再用排污泵将泥沙水

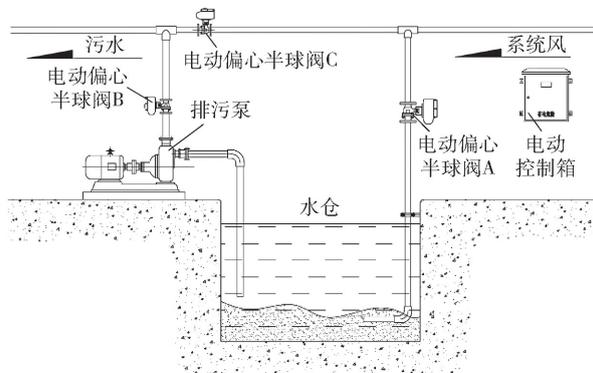


图2 自动排水系统设计原理

Fig. 2 Design principle of automatic drainage system

快速排出,一方面可减少水仓底部大量泥沙沉积,避免沉积泥沙堵塞排污泵吸入管,保证排污泵运行工况完好,另一方面利用系统风将排污泵出水管内沉积的泥沙等杂物吹送干净,保证排污泵出水管路的畅通。排污泵的进出管路畅通为水泵平稳可靠运行提供了良好的保证。

2.2 排污泵

井下排污水系统采用的水泵主要为ZW型自吸式无堵塞排污泵。如图3所示,该排污泵具有自吸和无堵塞功能,结构为轴向回流外混式,能吸排含有大颗粒固体和长纤维杂质液体,适合井下巷道水仓排污水使用^[5-6]。

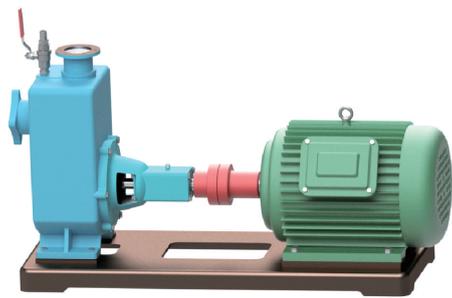


图3 ZW型自吸式无堵塞排污泵

Fig. 3 ZW type self-suction non-clogging sewage pump

1) 排污泵使用条件范围:①环境温度 $\leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,介质温度 $\leq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,特殊要求可达 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$;②铸铁材质耐受介质pH值为6.9,不锈钢为2Cr13;③介质重度不超过 $1\ 240\text{ kg/m}^3$;④自吸高度不能超过 $4.5\sim 5.5\text{ m}$,吸入管长度为 10 m ;⑤通过能力其最大悬浮颗粒直径为泵口径的60%,纤维长度为泵口径的5倍。

2) 排污泵结构。ZW型自吸式无堵塞排污泵主

要由泵体、叶轮、机械密封、泵轴、轴承、进口阀座、气液分离管、加水阀门、出口阀门等部件组成,其内部结构如图4所示。

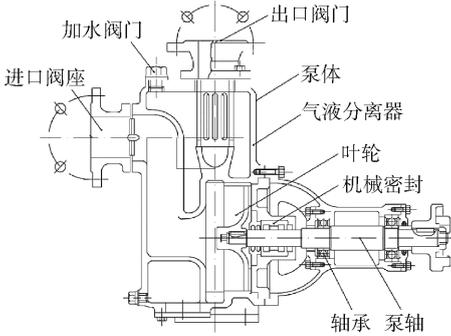


图4 ZW型自吸式无堵塞排污泵内部结构

Fig.4 Internal structure of ZW type self-suction non-clogging sewage pump

3) 排污泵工作原理。排污泵泵体内设有储液腔,并通过上方的回流孔和下方的循环孔与泵工作腔相通,构成泵的轴向回流外混式系统。泵停止工作后,泵内腔已储有一定容积的液体。当泵启动时,泵内的储液在叶轮的作用下,夹带着空气向上抛出,液体通过气液分离管的网格回流到工作腔,气体被排出泵外,使泵内形成一定的真空度,达到自吸的作用。

4) ZW型自吸式无堵塞排污泵扬程校核。ZW型自吸式无堵塞排污泵参数:流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 60 m ,功率 22 kW ,介质为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 井下水仓水,测得流量为 10 L/s ,泵进口压力表读数为 0.063 MPa ,出口压力表读数为 0.723 MPa (表压),已知两表间垂直距离为 80 mm ,泵的吸入管直径 d_1 为 80 mm ,压出管直径 d_2 为 60 mm 。如图5所示。

$$H = \frac{(p_2 - p_1)}{\rho g} + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} + z_2 - z_1 \quad (1)$$

由式(1)计算,得出: $p_1/\rho g = 0.063 \times 1\,000 / (1.2 \times 9.8) = 5.36\text{ m}$; $p_2/\rho g = 0.651 \times 1\,000 / (1.2 \times 9.8) = 55.36\text{ m}$; $v_1 = 4q_v/\pi d_1^2 = 4 \times 10 \times 10^{-3} / \pi \times 80^2 \times 10^{-6} = 1.99\text{ m/s}$; $v_2 = 4q_v/\pi d_2^2 = 4 \times 10 \times 10^{-3} / \pi \times 60^2 \times 10^{-6} = 3.54\text{ m/s}$; $z_2 - z_1 = 80/1\,000 = 0.08\text{ m}$; $H = (55.36 - 5.36) + (3.54^2 - 1.99^2) / (2 \times 9.81) + 0.08 = 69.37\text{ m}$ 。

故该水泵的扬程为 $69.37\text{ m} > 60\text{ m}$ (额定扬程)符合要求。

5) 排污泵自动排水设计如下:①水位达到排水

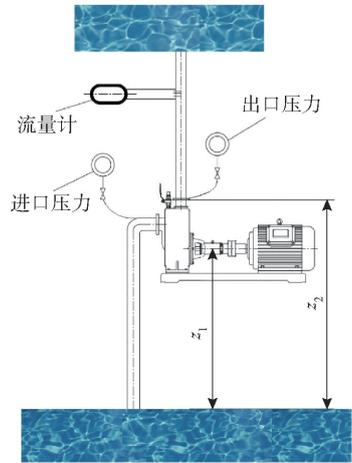


图5 排污泵扬程计算

Fig.5 Calculation of head of sewage pump

要求水位时,水位信号由水位浮子传递给电动控制箱,电动偏心半球阀A将被打开,对水仓进行高压供水,使沉淀于底部的稀泥与清水充分混合;②电动控制箱控制电动偏心半球阀B打开,同时启动水泵开始抽水,随水位的下降电动偏心半球阀A将自动被调小;③当水位下降至下限时,首先浮子信号将传递给电动控制箱停止水泵电机,同时电动偏心半球阀A、电动偏心半球阀B也会立即停止工作,其次电动偏心半球阀C将被打开,利用生产高压风将排污管道中的泥沙冲洗干净,以免泥沙长期堆集对管道造成堵塞和锈蚀;④当水位再次上升到排水要求水位时,电动偏心半球阀C首先被关闭,而后按①和②中工作流程再次启动自动排水系统,如此循环往复,实现井下水仓污水排放的自动化。

2.3 电动阀门

井下排水系统自动控制项目中,为保证排水自动可靠性,将图2所示的电动偏心半球阀A、电动偏心半球阀B、电动偏心半球阀C等阀门全部用新型电动阀门设计。在对目前电动阀门比对后选择PQ940Y型电动偏心半球阀,该电动阀是一种新型的球阀类别,启闭迅速,力矩小,采用新型控制,便于编码设置,动作灵敏可靠,可编程控制;球体采用半圆形通道,具有良好的流通性能和线性调节性能,且杂质不会沉积在阀体中腔内,阀门自身具有足够的强度,这些均符合井下水仓现场排水自动控制使用。电动偏心半球阀如图6所示。

该阀门内偏心曲轴采用固定球结构,在高流速下无任何振动。这种电动偏心半球阀结构简单、体

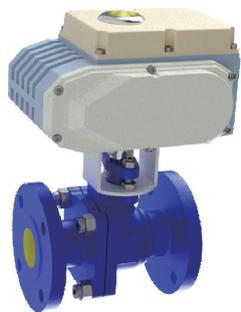


图6 电动偏心半球阀

Fig. 6 Electric eccentric hemisphere valve

积小、重量轻,流体阻力小,其阻力系数与同长度的管段相等。具体使用型号为PQ940Y-16C。

2.4 电动潜水搅拌机

改用电动搅拌机代替管道风,选用QJB型电动潜水搅拌机。如图7所示,该电动潜水搅拌机结构紧凑,操作维护简单,安装检修方便,使用寿命长。其叶轮采用优秀的水力设计,工作效率高,后掠式叶片具有自洁功能,可防止杂物缠绕和堵塞,能有效防



图7 QJB型电动潜水搅拌机

Fig.7 QJB electric submersible mixer

止沉淀。

2.5 电气控制系统

井下水仓电气控制系统设计的主要目标,是实现自动化无人值守的远程监控系统,提高水仓排水效率,减少人力资源消耗,提升井下作业的安全性,同时降低电费支出。根据以上硬件设计系统的电气控制系统,使用仿真工具对控制系统进行仿真和测试,以验证控制系统的性能和稳定性。排污系统电气原理图如图8所示。

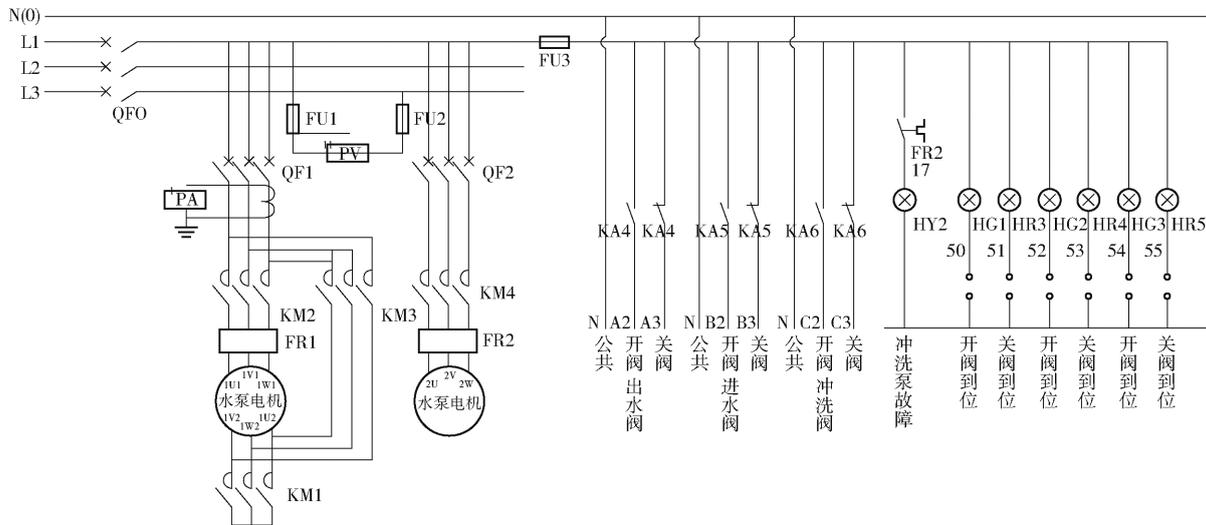


图8 排污系统电气原理

Fig. 8 Electrical principle of sewage discharge system

其中,根据水位传感器信号,控制器自动启动或停止水泵及相关电动阀门,控制系统的自动排水功能,保持水位在设定范围内。

自动排水控制系统设计有过载保护、短路保护、漏电保护等功能,确保设备安全运行。通过这个系统,可以大幅提高井下水仓的排水效率,降低运营成本,提升安全性。

2.6 井下水仓水池

原井下水仓内部水池为矩形结构,上部铺设厚度 ≥ 50 mm、宽度 ≥ 200 mm的长条支撑木板,木板上放置水泵等。水池深约5 m,在底部靠近水泵吸水管旁设有1道约1 m高的矮隔墙,用于阻挡隔断矿砂杂物等沉淀被水泵吸入。

为此,将隔墙高度改成与水池周边堤堰高度相

同,并在中间隔墙底部靠上位置设有过孔,设计成排孔。中间隔墙在阻挡水池底部沉淀物的同时,既可过水,又可阻拦漂浮杂物。

根据井下自动排水系统设计要求,对水仓进行设计并用计算机软件做了三维模型,通过水仓剖视图(图9)对水仓具体要求:水仓内水池分沉淀池和抽水池2部分,其中,沉淀池占2/3空间,抽水池占1/3空间,2个水池中间设置隔墙分别相隔,在中间隔墙接近中部稍低处设有排式过孔,过孔直径为80~100 mm。

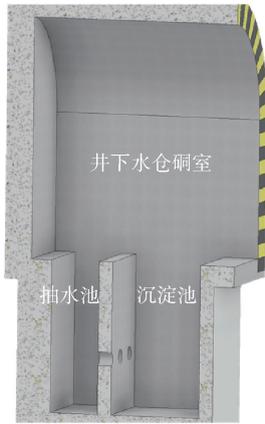


图9 井下水仓水池剖面

Fig. 9 Cross section of water tank in mining well water drainage tank

矿砂水进入水仓后,先慢慢进入沉淀池,然后通过中间隔墙上的过孔流入抽水池,此时,水中多数杂物沉淀在沉淀池底部,只有部分沉淀物进入抽水池,水面漂浮物被阻挡在隔墙一侧。

根据设计对井下自动排水系统的水仓进行了整体布置(图10),其中,排污泵的抽水管设置在水仓硐室的抽水池,电动潜水搅拌机也放置在抽水池,潜水搅拌机的叶轮朝向排污泵抽水管的进水口,并与进水口错开,同时保证潜水搅拌机叶轮与抽水管的进水口之间至少有200 mm左右的距离。

水仓现场安装有2台排污泵,2台水泵并列安装在同一管道系统,以提高流量的供应能力。2台水泵1开1备,当1台水泵出现故障时,另1台水泵可以继续承担全部流量需求,从而保证系统的正常运行。同时,出水管道上安装止回阀,用以防止水泵倒流。

将2台水泵的电源线连接到配电柜,并确保电气连接正确、牢固。根据需要,同时安装双电源切换

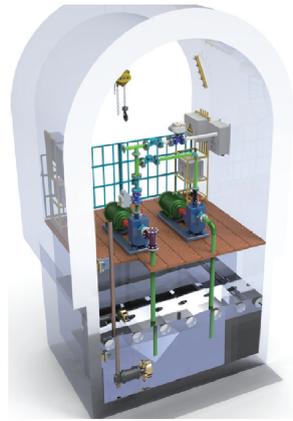


图10 井下水仓整体布置

Fig. 10 Overall layout of mining well water storage tank

装置,保证在电源故障时自动切换到备用电源。

为方便监控和控制水泵的运行,安装有水位控制器、压力控制器等自动控制设备,这些设备用以实现水泵及电动阀门的自动启停、流量调节等功能。

在电动潜水搅拌机所在硐室顶部事先定位打孔浇筑1个弯钩形吊装锚杆,用于吊装,并在附近硐室侧强和水池侧壁相应的位置浇筑附设钢板预埋件,用于联接和固定电动潜水搅拌机所属滑动轨道及其支座。

电动潜水搅拌机依靠倒链和滑轨吊置定位和固定,并根据抽水池内存水的具体情况调整潜水搅拌机的位置,通过倒链并沿着滑轨在抽水池中进行潜水搅拌机的上下位置调整,以适应抽水池中不同的水位。

在完成整个水仓排水自动控制系统安装后,进行调试和试运行,检查各部件是否正常工作。在试运行过程中,观察水泵、电动阀、电动潜水搅拌机等主要部件的运行参数,如流量、扬程、功率等,确保排水自动控制系统满足设计要求。

沉淀池中的沉淀杂物还需人工定期清理,特别是清理沉淀池中的大件杂物,如编织袋、塑料袋、塑料管等,这些杂物容易对管路和水泵造成堵塞及伤害^[8];同时,若沉淀池中沉淀物过多,也会堵塞水池中间隔墙的底部过孔,直接影响过水,引起水仓堵水及溢出,发生抽水不急导致的跑水事故。

3 建立模型

通过利用计算机三维软件建立井下水仓自动

排水系统的三维模型,通过三维模型对现场硬件的具体确认及布置,并对相关的电气控制箱及管路配件等做了对应的配置和确认^[7-9]。三维模型如图 11 所示。



图 11 自动排污水系统三维模型

Fig.113D model of automatic sewage discharge system

三维模型中各个硬件均按实际真实尺寸绘制及渲染,并对各部件间相对位置和空间进行了确认,通过三维模型对井下水仓自动排水系统进行进一步的仿真和分析^[10-12]。其中,2 台水泵的位置及间距,管路和阀门的配置,潜水搅拌机的具体放置和相应的活动空间设置,电气控制箱的放置位置及对应的尺寸空间,滑动轨道及支撑座的布置和对应固定预埋件的设置,吊装锚杆及吊装倒链的位置及吊装空间等,进行了实物验证,以提高自动排水系统的设计及运行的可靠性。

4 项目实施效果

井下自动排污水系统投入实施使用半年后,对水仓自动排污时系统的运行相关数据进行了采集并分析,分别对比了井下水仓安装自动排水系统前后故障数据。

自动排水系统项目实施前故障统计数据见表 1。自动排水系统项目实施后故障统计数据见表 2。

通过对比分析可知,矿山井下水仓自动排水系统的运用使水仓排水机械的故障率下降约 60%,由此表明:自动排污水系统使水仓故障得到有效缓解,其中电机烧损故障明显减少,这可有效延长电机设

表 1 井下水仓故障统计(项目实施前)

Table 1 Statistics of mining wellwater storage tank faults (before project implementation)

统计项	不上水	上水不力	电机烧损	合计	故障率/%
某龙首	19	13	5	37	72.3
某二矿	23	17	9	49	78.2
某三矿	15	10	2	27	70.3
总计	57	40	16	113	70~80

表 2 井下水仓故障统计(项目实施后)

Table 2 Statistics of mining wellwater storage tank faults (after project implementation)

统计项	不上水	上水不力	电机烧损	合计	故障率
某龙首	3	4	1	8	8.4
某二矿	6	5	2	13	9.7
某三矿	2	2	0	4	5.3
总计	11	11	3	25	6~10

备的使用寿命,现场使用效果良好,操作简单,大幅度减轻了维修人员的工作量,最大限度保证了水仓排污水工作的安全稳定性。该井下自动排水系统项目已获得国家知识产权局颁发的实用新型专利证书^[9]。

5 结论

1) 本文通过对原有自吸式排污泵的结果原理进行分析,在原有排水系统上增设电动偏心半球阀、水位传感器、搅拌机以及电气控制系统等相关部件,通过数据对比以及现场的使用情况,选定了相关部件的具体型号及安装方法。

2) 自动排水系统利用水位传感器给出信号,当水仓内水位达到上限时,电动偏心半球阀自动打开,水泵开始工作,污水向外排除;当水仓内水位达到下限时,电动偏心半球阀自动关闭,水泵停止工作,同时关闭相关阀门,有效排除了由于水仓缺水而导致水泵出现故障的风险。

3) 通过对矿山井下排水系统的自动化改造,有效实现了井下水仓的自动化排水,经数据对比研究,自动排水系统故障率下降了 60%,现场使用效果良

好,有限降低了人工成本,提高了矿山井下水仓排水的安全性及稳定性。

[参考文献]

- [1] 王汝美. 实用机械密封技术问答[M]. 北京: 中国石化出版社, 1996.
- [2] 费敬银. 机械设备维修工艺学[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998.
- [3] 贾安东. 焊接结构及生产设计[M]. 天津: 天津大学出版社, 1989.
- [4] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [5] 殷冠军, 赵子恒. 基于板框压滤机间断卸料自动控制的应用研究[J]. 有色设备, 2023, 37(2): 61-64.
- [6] 邓川南. 基于底吹炉余热锅炉漏水和堵塞问题的改进研究[J]. 有色设备, 2023, 37(2): 80-83.
- [7] 仲伟, 杨有林, 张周平, 等. 基于 Inventor 的耙矿绞车三维机构运动分析[J]. 有色设备, 2019(3): 55-60.
- [8] 陈义伟. 保德煤矿底板隔水性分析和防治水措施[J]. 中国矿山工程, 2019, 48(1): 38-40.
- [9] 谢世祺, 仲伟, 姜丽, 等. 一种利用高压风的井下水仓排污装置[P]. 甘肃省: CN210917656U, 2020-07-03.
- [10] 赵晶莹. 麻希巴露天矿排水系统与设备选型分析[J]. 有色矿冶, 2023, 39(6): 52-55.
- [11] 连松锦, 马栋棋, 姜利昭, 等. 基于 CFX 的长短叶片双切割排污泵数值模拟研究[J]. 机电技术, 2021(4): 32-34.
- [12] 李朝泽. 小龙潭露天矿坑底水泵房防排水系统优化[J]. 露天采矿技术, 2022, 37(2): 37-39+43.

Research on application of automation in underground drainage system of mines

XIE Shiqi, ZHONG Wei, GAO Zemin, GAO Lei, XU Kang, LUO Wenhao
(Jinchuan Group Co., Ltd, Jinchang 737100, China)

Abstract: The drainage system of mining well water storage often uses self-suction sewage pumps to discharge sewage. During the drainage period, personnel need to manually open the water pump and valves, and real-time monitoring of the drainage status of the water pump is required. Otherwise, when the sewage in the water storage tank is discharged, if the water pump and valves are not closed in time, it will cause a series of faults such as motor burning and mechanical seal damage of the pump head. In response to this situation, this article has carried out automation control transformation on the sewage discharge system of the mining well water storage tank. On the basis of the original drainage system, relevant components such as electric eccentric hemisphere valve, water level sensor, mixer, and electrical control system have been added. The signal of the water level sensor is used to electrically control the start and stop of the water pump and the switch of the valve. At the same time, the installation process has been optimized and debugged, achieving drainage automation. After comparative analysis, the system failure rate has decreased by 60%, and the on-site use effect is significant, reducing the workload of maintenance personnel and effectively improving the safety and stability of mine drainage.

Key words: sewage drainage system; self-suction sewage pump; automatic control; process optimization; water storage tank

