

文章编号:1671-251X(2024)S1-0183-04

煤矿排水系统防结冰控制方法

巴显一^{1,2,3,4}, 李标^{1,2,3,4}, 贺伟⁵

- (1. 煤炭科学技术研究院有限公司, 北京 100013;
2. 煤炭智能开采与岩层控制全国重点实验室, 北京 100013;
3. 煤矿应急避险技术装备工程研究中心, 北京 100013;
4. 北京市煤矿安全工程技术研究中心, 北京 100013;
5. 山西天地王坡煤业有限公司, 山西 晋城 048021)

摘要:针对北方煤矿冬季气温低导致排水系统地面管道结冰问题,提出了一种煤矿排水系统管路防结冰方案。在原有排水系统上设置放水管,放水管连接排水主管路与水仓,通过放水管上的电动阀门将主管路的水排入水仓,防止主管路结冰。排水逻辑:先判断液位,液位达到水仓排水水位即开启水泵,没达到水仓排水水位则对比下次排水时间与结冰预测时间,如果下次排水时间大于结冰预测时间,说明在排水之前管道将会有结冰风险;之后判断管道温度,当水温低于 2℃ 时,进一步判断液位,若此时液位大于最低液位,则开启排水泵至最低液位,若此时为最低液位则开启放水管,将主管路的水排至水仓。应用结果表明,该方案实现了煤矿排水系统的无人化,节约了能源。

关键词:煤矿排水;管路防结冰;排水逻辑;结冰预测;水泵控制

中图分类号:TD744 文献标志码:A

Anti-freezing control method for coal mine drainage system

BA Xianyi^{1,2,3,4}, LI Biao^{1,2,3,4}, HE Wei⁵

- (1. CCTEG China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Intelligent Coal Mining and Strata Control, Beijing 100013, China; 3. Engineering Research Center for Technology Equipment of Emergency Refuge in Coal Mine, Beijing 100013, China;
4. Beijing Engineering and Research Center of Mine Safe, Beijing 100013, China;
5. Shanxi Tiandi Wangpo Coal Industry Co., Ltd., Jincheng 048012, China)

0 引言

煤矿排水系统能够将井下的地下水和雨水及时排出,防止水灾事故发生,确保矿井正常运转与矿工安全,以便于进行开采活动^[1-2]。排水系统一般由水仓、注水系统、离心泵和电动闸阀组成。一旦发生问题,会影响煤矿正常生产,因此煤矿排水系统的稳定性尤其重要^[3-4]。煤矿中央泵房在整个煤矿的最低处,未实现自动化的泵房需要人员不间断值班,保障排水系统正常,排水系统的自动化运行有利于节约人力与保障煤矿安全生产。在我国北方煤矿生产中,冬季的低温环境给排水系统的自动化带来了挑战。排水泵在一定时间内未进行排水,地面管道部

分中不流动的水容易结冰,导致排水系统无法正常运行。这不仅严重影响矿井排水工作,还增加了生产环节的安全隐患和业务风险。排水管道的冬季结冰问题,成为煤矿排水系统实现无人化运行的关键问题。排空管道或给外露管道缠绕保温材料^[5-8]可以达到一定效果,但排空管道需要每次排水后进行人工干预,缠绕保温材料则只能延长水管结冰的时间,若长时间未开启水泵,依然存在管道结冰的隐患。

山西某煤矿排水系统自动化水平较高,但部分排水管路为地面部分,为防止地面部分管路结冰,在冬季每次排水完成后,需要泵房工人手动打开排水管中的放水阀门,将排水管中的水再放空至水仓中,

收稿日期:2024-01-25;责任编辑:盛男。

基金项目:煤科院科技发展基金项目(技术创新基金Ⅱ类)(2023CX-Ⅱ-10)

作者简介:巴显一(1996—),男,黑龙江大庆人,现从事煤矿设备自动化相关工作,E-mail:j841399434@qq.com。

无法实现全自动运行,同时浪费能源。为解决该问题,对排水系统增加控制器件,提出了新的排水逻辑。

1 总体设计

1.1 管路设计

排水系统管路如图 1 所示。中央泵房内设有水仓,水仓用于收集煤矿废水;设有 5 台离心泵,用来将水仓内的水排至地面;为每套离心泵配置射流抽真空系统,在启泵前给离心泵注水;在水泵上方配备排水阀门,并配备液位传感器用以监测水仓液位^[9-11]。为解决结冰隐患,安装了放水管路,放水管连接排水主管路与水仓,在每次排水后工人手动打开放水管上的阀门,将主管路的水排入水仓,防止主管路结冰。将放水管路上的手动阀门改为电动阀门,以实现硬件上的自动开关阀门,在地面管道内安装温度传感器用以监测地面管道内水温,同时在管道周围安装温度传感器以监测环境温度。

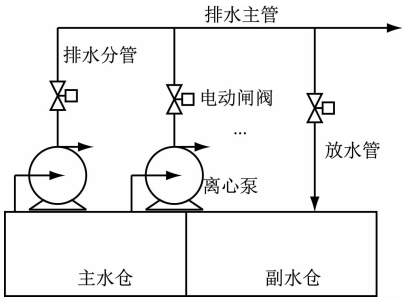


图 1 排水系统管路

1.2 硬件配置

控制系统硬件包括工控机、主站控制箱、从站控制箱、通信设备、现场仪表和执行设备。在运行层配备了上位机软件,实现对系统的监测和操作。控制层采用以西门子 1200 系列 PLC 为主站的控制箱,并辅以远程 IO 为核心的从站控制箱以确保系统能够正常运行。在设备层方面,运用了各类设备和仪表来实现对生产过程的监测和控制,如图 2 所示。

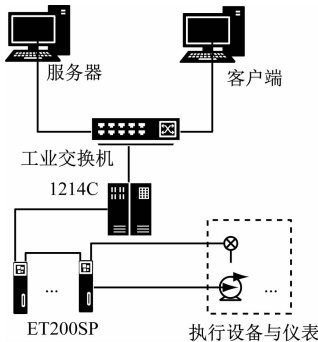


图 2 系统硬件结构

为保证各系统之间的通信和协作,控制层与运行层之间采用工业以太网 TCP/IP 通信方式。设备

层与控制层之间采用硬接线通信、RS485 总线及模拟量通信等方式,以确保控制的可靠性和数据传输的精准性。控制系统经过分层构建,具备良好的可拓展性。

1.3 软件设计

为了对排水系统进行全面监测,系统使用上位机与触摸屏对全流程进行监测。上位机以 WinCC 为基础进行设计,上位机画面为监测人员提供排水系统的全方位信息,确保系统稳定运行。为方便现场人员测试与启动设备,泵房控制系统支持就地和远程 2 种控制方式。在就地状态下,操作人员可以通过柜门按钮控制泵房中的单个设备;在远程状态下,则通过上位机和触摸屏操作。在远程状态手动模式下的上位机界面可直接对单个设备进行启停控制。

原有控制逻辑:当水仓液位达到设定的高液位时,系统会自动启动排水。在排水过程中,通过抽真空系统向离心泵注水,并使用负压表监测真空度,以确定离心泵是否注满水。当离心泵中的水注满时,系统将自动关闭抽真空系统并启动离心泵,同时使用正压传感器监测压力,当达到系统设定值时,打开电动闸阀,将水仓中的水排放到污水处理厂。系统还可根据水仓水位变化实现水泵自动启停^[12-14]。泵房内的自动控制系统有效实现对矿井废水的收集、排放和监测,流程如图 3 所示。当到达低液位时,系统自动关闭排水,关闭过程中,先关闭排水阀门,待排水阀门关闭完成后,关闭排水泵。

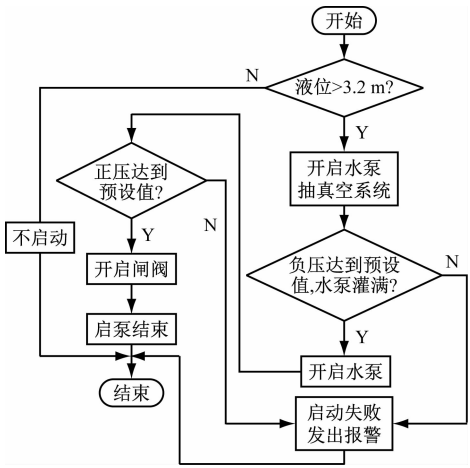


图 3 排水系统自动启动流程

2 防结冰预测计算

水结冰是水的热量散失到达冰点后继续散失热量导致的。地面部分水管内水的热量散失功率与散热面积、容器内部体积、水温与环境温度有关,水的总热量与水质量和水体温度有关。在一段管道中,

当水为流动的状态时,水质量为流经该管道内所有水的总质量,相当于在散热功率不变的情况下,总热量很大,因此在常规温度下,水不断流过时,不会结冰。

防止水管结冰有 2 个关键的参数:管道内停滞水结冰的时间和下次启动水泵的时间。通过对 2 个时间参数进行对比,可作为逻辑判断的基础。

2.1 水管结冰时间计算

相对于水而言,铁材质管路的导热系数较高,因此,可忽略其自身厚度,将水管内面积视为水体的散热面积,同时将管道视为封闭容器,可将管内水体的散热过程近似为没有对流的情况,符合牛顿热传导方程^[15-18]:

$$Q_w = a(T_w - T_o)F \tag{1}$$

式中: Q_w 为管路内水体在单位时间内传导的热量; a 为水的综合换热系数; T_w 为容器内水的温度; T_o 为容器外部的环境温度; F 为容器内侧与水接触的表面积。

此时水体的换热过程可表示为

$$Q = cmT_w \tag{2}$$

式中: c 为水的比热容; m 为水的质量。

水的质量可进一步表示为

$$m = V\rho \tag{3}$$

式中 ρ 为水的密度。

进而可得

$$Q = V\rho T_w c \tag{4}$$

当水温降至 0℃时,若水体再持续散热将会结冰,而水在 0℃结冰时所散发的热量可忽略,因此,式(4)中的 Q 为当前水温降至 0℃时水的散热总量,式(1)中的 Q_w 为水体在单位时间内传导的热量。此时,可将 Q/Q_w 近似表示为水的结冰时间,可得地面上水管内的水根据水温和环境温度得出的结冰时间为

$$T = \frac{Q}{Q_w} = \frac{V\rho T_w c}{a(T_w - T_o)F} \tag{5}$$

此时水管内水为圆柱体,因此适用圆柱体的体积与表面积的计算公式:

$$V = \frac{\pi d^2}{4}h \tag{6}$$

$$F = \pi dh \tag{7}$$

将式(6)与式(7)代入式(5)中,可得

$$T = \frac{Q}{Q_w} = \frac{d\rho T_w c}{4a(T_w - T_o)} \tag{8}$$

由于在散热过程中 T_w 会随着散热不断降低,直到 0℃,此过程中 T_w 为连续变化的值,而式(8)中的散热功率是当下的瞬时值,当考虑持续的温度变化

过程时,需要对功率进行修正,因此,修正后公式可表示为

$$T = \frac{Q}{Q_w} = \frac{d\rho T_w c}{4a(T_w/2 - T_o)} \tag{9}$$

2.2 排水时间计算

排水系统的下一轮排水时间与水池排水高度、当前水位和涌水量有关,水池排水高度是固定值,当前水位可通过传感器获取到实时数值,涌水量与天气、采矿工作情况关系较大,非固定数值,也无法通过传感器采集,只能通过水泵房水仓的实时液位变化进行推算。

$$T_p = \frac{h_p - h_t}{\Delta h} \tag{10}$$

式中: T_p 为水位达到排水位的当前计算时间; h_p 为水仓排水水位; h_t 为实时液位; Δh 为实时液位变化^[19-21]。

2.3 逻辑处理

启停排水系统的流程按照原有逻辑运行,改造后新增启停排水逻辑判断液位、温度与时间。先判断液位,液位达到水仓排水水位即开启水泵,没达到水仓排水水位则对比下次排水时间与结冰预测时间,如果下次排水时间大于结冰预测时间,说明在排水之前管道将会有结冰风险;之后判断管道温度,当水温低于 2℃时,进一步判断液位,若此时液位大于最低液位,则开启排水泵至最低液位,若此时为最低液位则开启放水管,将主管道的水排至水仓内。排水逻辑如图 4 所示,确保在不发生管路结冰的前提下尽量不排空已留存在管路中的水。

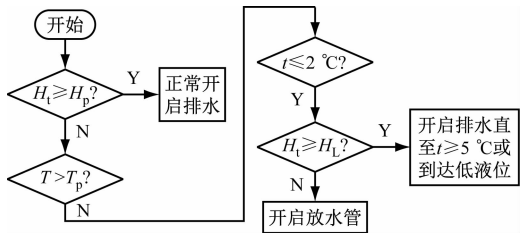


图 4 排水系统流程

某煤矿水泵电动机功率为 160 kW,根据现场观察,水泵启动后灌满空管道需要 10 min。查看上位机数据记录,发现 10 d 内水泵启动了 12 次,仅放水 2 次,与以往相比节约了时间与能源。

3 结语

提出了一种煤矿排水系统管路防结冰方案,在原有的排水逻辑上增加了结冰时间预测计算与排水时间预测计算,从而构建排水启动逻辑与放水逻辑,实现了煤矿排水系统的无人化,节约了能源。

参考文献：

[1] 张锋. 多级水泵房自动化排水控制系统设计[J]. 工矿自动化, 2014, 40(12): 108-110.

[2] 石鑫毅. 基于 PLC 的煤矿井下主排水泵房自动化控制[J]. 机械管理开发, 2023, 38(4): 184-185, 192.

[3] 陈子春, 刘向昕. 井下中央泵房水泵自动化控制系统的应用[J]. 工矿自动化, 2007, 33(2): 77-79.

[4] 韩秀琪. 矿井多水平接力排水系统优化控制[J]. 工矿自动化, 2020, 46(9): 109-112.

[5] 李少杭. 高位消防水箱间几种保温措施的设计研究[C]. 中国建筑学会建筑给排水研究分会第四届第二次全体会员大会暨学术交流会, 西安, 2023: 301-309.

[6] 俞宙. 居民住宅自来水管道的防冻的研究[J]. 科技视界, 2016(16): 255, 233.

[7] 张谢平, 宁雪姣, 田强. 换流站户外消防水管的防冻研究[J]. 电器工业, 2024(3): 25-29.

[8] 姚建华, 刘爱芳. 北方地区地铁给排水管道防冻及保温措施[J]. 铁道标准设计, 2011(11): 101-103, 107.

[9] 吴文臻. 矿用多水平智能排水系统的应用研究[J]. 煤矿机械, 2022, 43(10): 166-168.

[10] 辛义亭. 煤矿井下排水泵房 PLC 控制系统分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(19): 125-126.

[11] 李传昊. 煤矿井下中央水泵房自动化排水系统优化的探讨[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2019(9): 126-127.

[12] 王晏. 煤矿井下主排水泵房的自动化控制研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(23): 186-187.

[13] 李亚哲. 煤矿井下主排水系统工艺流程及其自动控制系统设计[J]. 工矿自动化, 2011, 37(5): 15-18.

[14] 槐利, 谭一川, 徐育军, 等. 煤矿井下主排水自动控制系统的应用[J]. 工矿自动化, 2012, 38(3): 63-65.

[15] 李东梅, 聂治盟, 王英志. 北方某城市地铁高架车站管道防冻保温技术分析[J]. 低温建筑技术, 2020, 42(9): 104-106.

[16] 王善库, 赵立菊, 王俊波. 寒区隧道消防管道温度场三维分析[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(8): 1102-1105.

[17] 夏才初, 张国柱, 肖素光. 考虑衬砌和隔热层的寒区隧道温度场解析解[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(9): 1767-1773.

[18] 龙垚. 寒区长隧道温度场的三维分析及保温措施研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.

[19] 王坦果. 煤矿水泵房智能化改造分析[J]. 能源与节能, 2022(7): 189-191.

[20] 陈海亮. 煤矿中央水泵房自动化排水控制系统的研究[J]. 机械管理开发, 2021, 36(8): 256-257, 260.

[21] 王志国, 郭峰. 煤矿中央水泵房自动控制系统的应用[J]. 工矿自动化, 2011, 37(6): 76-78.

~~~~~

(上接第 129 页)

[ 9 ] 柳霞, 蒋淑霞, 张长伟, 等. 时频特征降维和多层次聚类相结合的轴承故障诊断新方法[J]. 噪声与振动控制, 2023, 43(6): 123-128.

[10] 王茂辉, 汤勇, 李海翔, 等. 基于 Morlet 小波与尺度空间的滚动轴承故障诊断研究[J]. 机车电传动, 2021(3): 132-139.

[11] 张春林, 吴允恒, 蔡克燊, 等. 基于改进连续小波变换增强非凸正则项稀疏分解的滚动轴承变转速故障冲击特征提取方法[J/OL]. 机械工程学报: 1-15[2024-03-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2187.TH.20240123.1116.010.html>.

[12] 黄斯琪, 谭志银, 杨思国, 等. 改进的傅里叶分解方法及其在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 振动与冲击, 2023, 42(12): 178-186.

[13] 冯葛豪, 胥永刚, 孙国栋, 等. 谱聚类傅里叶分解及其在轴承故障诊断中应用[J/OL]. 轴承: 1-10[2024-03-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1148.th.20230923.0532.002.html>.

[14] 郑直, 李显泽, 刘伟民, 等. 基于 log-SAM 改进 Autogram 的滚动轴承故障诊断[J]. 现代制造工程, 2023(12): 132-139.

[15] 姜祖华, 张坤, 杨苗蕊, 等. 局部谱幅值调制及其滚动轴承故障诊断应用[J/OL]. 轴承: 1-9[2024-03-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1148.TH.20231010.1104.002.html>.

[16] 战欣, 刘卓娅. 基于 PSO-SES-BPNN 算法的液压系统故障诊断模型[J]. 兵器装备工程学报, 2023, 44(4): 172-178.

[17] 孙壮壮, 郑近德, 童靳于, 等. 二维多尺度符号样本熵在滚动轴承故障诊断中的应用[J/OL]. 机械科学与技术: 1-11[2024-03-07]. <https://doi.org/10.13433/j.cnki.1003-8728.20230294>.

[18] 卢太武, 马洪波, 王先芝, 等. 时变工况下基于精细复合多尺度散度熵的旋转机械故障诊断方法[J]. 振动与冲击, 2023, 42(21): 211-218.