

文章编号:1671-251X(2018)03-0021-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017090074

避难硐室自动供氧系统设计

张明¹, 李素静¹, 李玮²

(1. 唐山科技职业技术学院 机电工程系, 河北 唐山 063000;

2. 中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:针对现有避难硐室供氧系统大多采用多级防护体系,各级供氧系统相互独立,系统之间无法自动切换而不能持续稳定供氧等问题,设计了一套基于 PLC 和 PID 控制技术的避难硐室自动供氧系统。该系统通过环形光纤系统将多级供氧系统和硐室环境参数监控系统集为一体,基于实时检测的环境参数,利用 PLC 和 PID 控制技术,实现了各级供氧系统之间的智能化调节和井下硐室的自动连续供氧,并能在某一级供氧系统出现故障时自动切换至下一级供氧系统,从而提高了避难硐室供氧的稳定性和安全性。现场测试结果验证了该系统的可靠性。

关键词:避难硐室;自动供氧;多级供氧系统;环境监控;传感器;PLC;PID

中图分类号:TD77 文献标志码:A 网络出版时间:2018-01-31 13:53

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180130.1741.005.html>

Design of automatic oxygen supply system of refuge chamber

ZHANG Ming¹, LI Sujing¹, LI Wei²

(1. Department of Electrical and Mechanical Engineering, Tangshan Vocational College of Science and Technology, Tangshan 063000, China;

2. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In view of problem that most of existing oxygen supply systems of refuge chamber applied multistage protection system, and oxygen supply subsystems are independent of each other and cannot automatically switch among them, which causes the oxygen supply unstable, an automatic oxygen supply system of refuge chamber based on PLC and PID monitoring technology was designed. The system integrates multistage oxygen supply systems and environment parameters monitoring system through loop optical fiber system. Based on the detected environment parameters in real-time, and uses PLC and PID monitoring technology, the system can realize intelligent adjustment between all levels of oxygen supply system and automatic continuous supply oxygen of underground refuge chamber, and can automatically switch to the next level of oxygen supply system when a certain level of oxygen supply system happens failure, which improves stability and safety of the oxygen supply of refuge chamber. The site test results verify reliability of the system.

Key words: refuge chamber; automatic oxygen supply; multistage oxygen supply system; environment monitoring; sensor; PLC; PID

收稿日期:2017-09-28;修回日期:2017-12-22;责任编辑:张强。

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0801800)。

作者简介:张明(1982—),女,河北唐山人,讲师,研究方向为自动化技术,E-mail:187314207@qq.com。

引用格式:张明,李素静,李玮. 避难硐室自动供氧系统设计[J]. 工矿自动化,2018,44(3):21-25.

ZHANG Ming, LI Sujing, LI Wei. Design of automatic oxygen supply system of refuge chamber[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(3): 21-25.

0 引言

中国煤炭资源丰富,但煤炭赋存条件存在差异性、多样性,95%的煤炭产量是井工生产的,自然灾害较为严重^[1]。当前,我国现有井工开采矿井中,高瓦斯和有煤与瓦斯突出危险的矿井占50%以上,超过半数的矿井有自然发火倾向,80%以上的矿井有煤尘爆炸危险。部分矿井还受热害、水害的威胁^[2-3]。我国每年矿难死亡人数占世界煤矿事故死亡人数的80%^[4]。2009年以前,事故发生后,主要采取救护队救援,救助设备主要为自救器。由于发生矿难时环境条件恶劣,许多遇险人员得不到及时有效的救援^[5-6]。根据煤矿事故统计和救援经验可知,在事故发生的瞬间,因爆炸、坍塌、冲击波等伤害而遇难的人员,仅占事故总伤亡人数的10%左右^[7-8],而90%的矿工遇难都是由于事故发生后临近区域O₂耗尽,或是吸入含有高浓度有毒、有害气体,或是逃生路线被阻断而无法及时撤离到安全区域造成的^[9]。为此,国家大力推广井下“六大系统”的建设工作,其中紧急避险系统中的避难硐室可为避险人员提供O₂和有效的防护空间,对硐室中供氧系统的研究具有重要意义^[10-11]。

现阶段所研究的避难硐室供氧系统大多采用多级防护体系^[12],即采用多级供氧装置,供氧方式主要有钻孔供氧、高压氧气瓶供氧、矿井压风供氧、化学氧和自救器等。但多级防护体系比较复杂,而且其中的各个系统是相互独立的,无法根据井下硐室环境变化进行高效准确的供氧控制。针对上述问题,本文设计了一套基于PLC和PID控制技术的避难硐室自动供氧系统。该系统将多级供氧系统和硐室环境参数监控系统整合为一个高度自动化的智能系统,根据井下硐室环境参数变化,能够及时准确地控制多级供氧系统持续高效地为井下供氧。该系统能够在恶劣的工作环境中长期稳定可靠运行,保证了井下硐室内人员的生命安全。

1 系统硬件组成及程序设计

1.1 系统硬件组成

避难硐室自动供氧系统由多级供氧系统和硐室环境参数监控系统组成。其中多级供氧系统包括井下压风供氧系统、地面钻孔压风供氧系统和氧气瓶组供氧系统。避难硐室自动供氧系统中心枢纽是放置于避难硐室内的硐室自动供氧监控中心站。该中心站通过环形光纤系统将多级供氧系统和硐室环境

参数监控系统紧密联系在一起。硐室自动供氧监控中心站根据硐室环境参数监控系统采集的硐室环境参数来控制多级供氧系统,实现井下硐室的自动连续供氧。

井下压风供氧系统由井下压风供氧监控分站、电磁阀A和井下压风管道等组成。地面钻孔压风供氧系统由地面钻孔压风供氧监控分站、空压机、储气罐、电磁阀B和空调等组成。氧气瓶组供氧系统由氧气瓶组监控分站、电磁阀C和氧气瓶组等组成。硐室环境参数监控系统由硐室环境监控分站、CO₂传感器、O₂传感器和温度传感器等组成。

多级供氧系统均可手动和自动控制。其中,手动控制利用闸阀实现,自动控制利用硐室自动供氧系统实现。硐室自动供氧系统的硬件组成如图1所示。

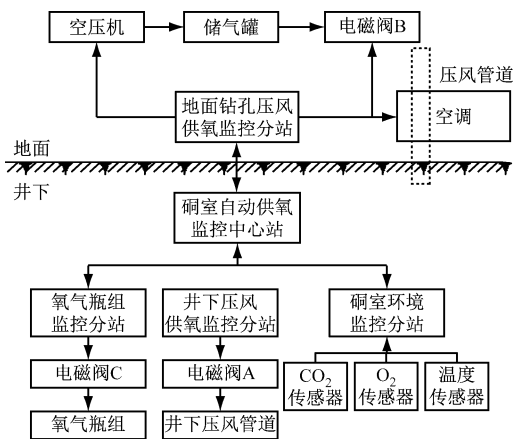


图1 避难硐室自动供氧系统硬件组成

Fig. 1 Hardware of the automatic oxygen supply system of refuge chamber

1.2 系统程序设计

避难硐室自动供氧系统控制程序利用西门子Step7-MicroWin V4.0 SP6软件编写,并将编写好的程序下载到CPU226CN处理器中,对系统进行监测和控制。

硐室环境参数监控系统能够实时采集硐室内的O₂体积分数、CO₂体积分数和温度等参数,并将这些参数值传送给硐室自动供氧监控中心站。为了保证井下人员的安全,上述环境参数都有一个标准值^[11],O₂体积分数标准值为18.5%~23%,CO₂体积分数标准值为小于1%,温度标准值为小于35℃。硐室自动供氧监控中心站会根据环境参数是否达到标准值,按照图2所示程序流程对多级供氧系统进行智能化调控,为避难硐室内工作人员提供舒适的生存环境。

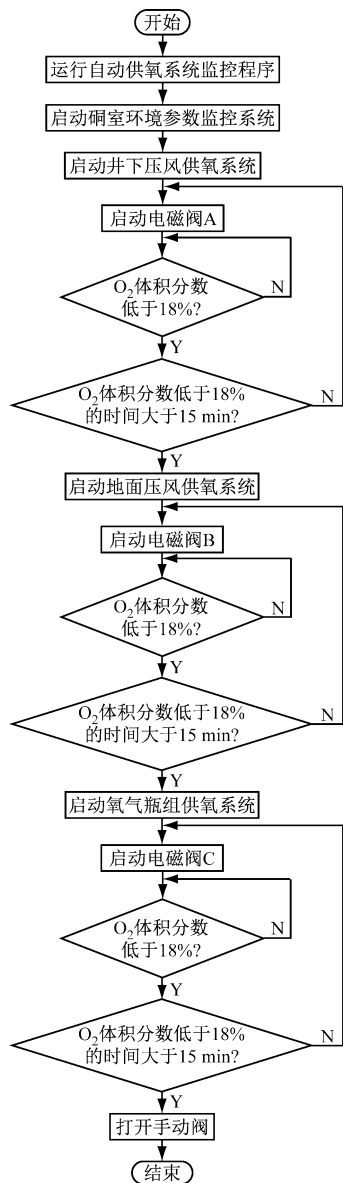


图2 避难硐室自动供氧系统程序流程

Fig. 2 Program flow chart of automatic oxygen supply system of refuge chamber

避难硐室自动供氧系统分为多级供氧,每一级供氧系统均通过PID运算实现对氧气浓度的控制^[15]。下面以地面钻孔压风供氧系统为例来介绍氧气浓度控制程序。

地面钻孔压风供氧系统主要根据硐室内O₂体积分数的变化来调节地面钻孔压风管道内的空气输出量。监控分站首先读取O₂体积分数设定值SV,然后根据硐室环境参数监控系统反馈的当前O₂体积分数值PV进行PID运算,控制PLC输出口Q0.0的电压开断频率,进而控制电磁阀B的开启时间,从而准确调节空气释放量。在控制程序中,将O₂体积分数设置为20%,通过PID参数的整定,最终将硐室内的O₂体积分数维持在18.5%~23%。

地面钻孔压风供氧控制程序流程如图3所示。

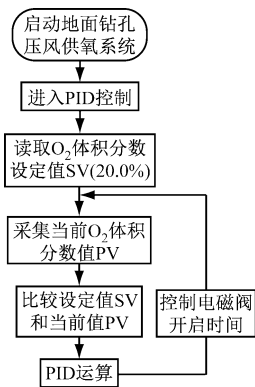


图3 地面钻孔压风供氧控制程序流程

Fig. 3 Control program flow chart of ground borehole pressure for oxygen supply

2 系统现场验证

2.1 自动供氧系统

本文进行试验的避难硐室长为51 m,宽为4.1 m,高为2.8 m。按照每人1.0 m³的空间计算,除去设备所占空间,该避难硐室应有100 m³的有效使用空间,可满足100人的生存需要。该避难硐室包括一间休息室、一间进风侧过渡室和一间回风侧过渡室,如图4所示。自动供氧系统包括:地面钻孔压风供氧系统(①),井下压风供氧系统(②),硐室环境参数监控系统(③),氧气瓶组监控系统(④),硐室自动供氧监控中心站(⑤)。①—⑨为传感器测点,这些测点均与硐室环境监控分站相连接。每个测点可同时监测该处的O₂体积分数、CO₂体积分数和温度。

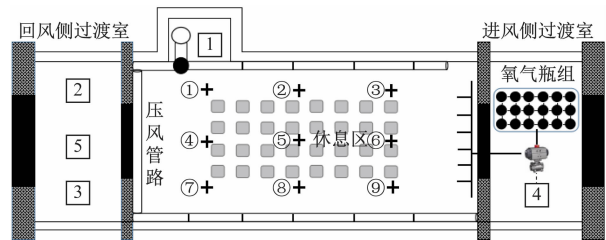


图4 现场试验系统

Fig. 4 Field testing system

2.2 试验步骤

为了验证避难硐室自动供氧系统的可靠性,检测该系统在某一级供氧系统出现故障时的应急处置能力,按照以下步骤分别实施。

- (1) 启动避难硐室自动供氧系统,系统进入实时的硐室环境参数监控和多级供氧系统控制状态,开始计时。
- (2) 待避难硐室内环境参数达到标准值后,

第 50 min 时请 50 个试验人员进入避难硐室进行测试。

(3) 第 100 min 后通过手动关闭井下压风管路闸阀,以模拟井下压风供氧系统故障。

(4) 第 200 min 后通过手动关闭地面钻孔压风管路闸阀,以模拟地面钻孔压风供氧系统故障。

(5) 第 300 min 后通过手动关闭氧气瓶组供氧管路闸阀,以模拟氧气瓶组供氧系统故障。

(6) 对硐室环境参数监控系统采集的数据进行处理分析。

2.3 现场试验结果及分析

正常大气中的 O_2 体积分数为 21%,而当空气中的 O_2 体积分数在 18.0% 以上时,人们能正常呼吸;当 O_2 体积分数在 16.0%~18.0% 时,人们会感到呼吸困难;当 O_2 体积分数低于 16.0% 时,人们就会窒息。所以,井下 O_2 体积分数标准值设定为 18.5%~23%。试验避难硐室平均 O_2 体积分数随时间变化曲线如图 5 所示。由图 5 可知,在前 50 min 内,自动供氧系统首先进入井下压风供氧控制程序。避难硐室内没有逃生人员时,自动供氧系统的 O_2 平衡性很好, O_2 体积分数波动维持在 19.98%~20.01%,变化幅度较小。当有人员进入避难硐室后,人员消耗硐室内 O_2 , O_2 体积分数以 0.027%/min 的速率下降至 19.84%。根据图 2 程序,当 O_2 体积分数低于 20% 时,井下压风供氧监控分站控制电磁阀 A 打开频率,向硐室内注入 O_2 ,硐室内 O_2 体积分数会先下降再上升。在井下有逃生人员时, O_2 体积分数波动较大,维持在 19.84%~20.06%。

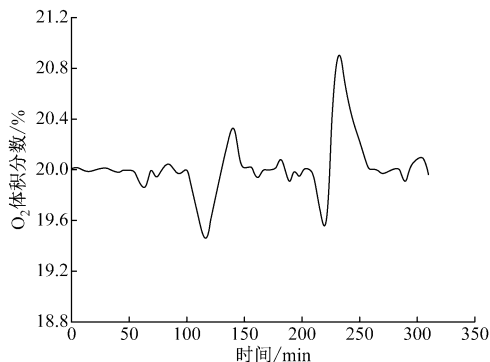


图 5 试验避难硐室平均 O_2 体积分数随时间变化曲线

Fig. 5 Curve of average O_2 concentration varying with time of testing refuge chamber

当该级供氧系统发生故障时,根据图 2 可知,当硐室自动供氧监控中心站监测到的硐室内 O_2 体积分数低于 20% 的时间超过 15 min 时,会自动切换到下一级供氧系统。由图 5 可知,在 100 min 时井

下压风供氧系统发生故障,硐室内 O_2 体积分数会因为井下人员的消耗而持续下降,在 115 min 时,硐室自动供氧监控中心将供氧方式切换到地面钻孔压风供氧系统,地面钻孔压风供氧监控分站控制电磁阀 B 打开频率进行供氧。3 min 后,硐室内 O_2 体积分数开始上升,当 O_2 体积分数上升至 20% 后仍会小幅度上升,上升到了 20.32%,平均上升速率为 0.037%/min。这是因为 O_2 体积分数低于 20%,电磁阀开启频率越大,供氧越多,导致 O_2 体积分数达到 20% 后仍会上升 0.32%。

当地面钻孔压风供氧系统出现故障时,硐室自动供氧监控中心将供氧方式切换至氧气瓶组供氧系统。氧气瓶组供氧监控分站控制电磁阀 C 开启。硐室内 O_2 体积分数马上会以 0.11%/min 速率迅速上升,并持续升高至 20.91%。这是因为氧气瓶组释放的纯氧浓度较高,使空气中 O_2 体积分数上升较快。

试验避难硐室平均 CO_2 体积分数随时间变化曲线如图 6 所示,在井下人员进入避难硐室之前,硐室内的 CO_2 体积分数波动起伏很小,基本稳定在 0.2%。第 50 min,试验人员进入避难硐室后,硐室内的 CO_2 体积分数开始上升,上升至 0.28%。随后,井下压风供氧系统调节电磁阀 A 开启时间进行供氧, CO_2 体积分数逐渐降低至 0.2% 左右。在 75~100 min 时硐室内 CO_2 体积分数基本稳定,波动值为 0.03%。

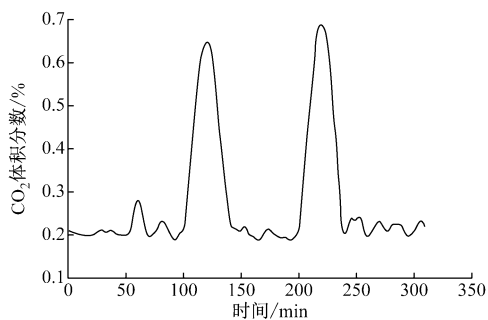


图 6 试验避难硐室平均 CO_2 体积分数随时间变化曲线

Fig. 6 Curve of average CO_2 concentration varying with time of testing refuge chamber

100 min 时,井下压风供氧系统出现故障,硐室内人员持续消耗 O_2 并产生 CO_2 , CO_2 体积分数逐渐升高。在 118.94 min 时, CO_2 体积分数达到最高 0.64%,然后 CO_2 体积分数降低,并在 0.2% 上下浮动。200 min 时,地面钻孔压风供氧系统出现故障,硐室内 CO_2 体积分数逐渐升高。第 241 min 时, CO_2 体积分数达到最大值 0.67%,随后迅速

降低。

O₂ 和 CO₂ 体积分数是硐室环境的关键参数, O₂ 和 CO₂ 体积分数能否达到标准设定值将直接影响到逃生人员的生命安全。图 5、图 6 表明, 自动供氧系统在某一级供氧系统出现故障后会自动切换到下一级供氧系统, 且 O₂ 和 CO₂ 体积分数波动在标准设定值内, 保障了人员生命安全。

3 结语

避难硐室自动供氧系统通过环形光纤系统将多级供氧系统和环境参数监控系统集成为高度自动化的系统, 该系统根据实时检测的环境参数, 不仅可以维持井下连续供氧, 还能在某一级系统发生故障时自动切换到下一级系统, 为井下硐室持续稳定供氧。在某一级供氧系统未发生故障时, 避难硐室自动供氧系统可使 O₂ 体积分数维持在 19.84%~20.06%。当某一级供氧系统发生故障时, O₂ 体积分数波动较大, O₂ 体积分数为 19.47%~20.9%, 但是最低 O₂ 体积分数仍大于 18.5%, 为井下人员的生命安全提供了保障。

参考文献 (References):

- [1] 国家安全生产监督管理局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [2] 王显政. 煤矿安全新技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [3] 赵铁锤. 中国煤矿防灾减灾状况及展望[J]. 煤矿安全, 2000, 31(4): 5-6.
- [4] 刘仁生, 曹晨忠, 赵兵, 等. 我国矿井救援设备的发展分析[J]. 中国西部科技, 2011, 10(8): 6-7.
- [5] 赵利安, 孟庆华. 矿业发达国家安全硐室的发展及经验借鉴[J]. 矿业安全与环保, 2008, 35(2): 73-75. ZHAO Lian, MENG Qinghua. Development of safety chambers in developed mining countries and use of their experience for reference[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2008, 35(2): 73-75.
- [6] 相桂生. 应急避难室在矿难救援中的应用[J]. 劳动保护, 2006(4): 92-93.
- [7] 胡姣丽. 煤矿采区永久和临时固定式避难硐室建设[J]. 山西煤炭, 2010, 30(7): 71-72. HU Jiaoli. Permanent and temporary fixed shelters construction in mining area[J]. Shanxi Coal, 2010, 30(7): 71-72.
- [8] 汪声, 金龙哲, 栗婧. 国外矿用应急救援舱技术现状[J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(4): 119-123. WANG Sheng, JIN Longzhe, LI Jing. The present status of overseas mine emergency refuge chamber

technology [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2010, 6(4): 119-123.

- [9] 王观昌. 积极开展井下避险设施的建设应用——着力打造应急救援体系示范矿井建设[J]. 中国矿业, 2010, 19(10): 67-70. WANG Guanchang. Active in the construction of underground facilities, application of hedge efforts to build the mine emergency rescue system for building model[J]. China Mining Magazine, 2010, 19(10): 67-70.
- [10] 盛武, 高明中, 杨力, 等. 煤矿紧急避险体系构建与应急救援模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(4): 171-176. SHENG Wu, GAO Mingzhong, YANG Li, et al. Study on coal mine emergency refuge system construction and rescue model [J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(4): 171-176.
- [11] 高娜, 金龙哲, 樊晶光, 等. 矿井避难硐室防护系统研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(11): 169-173. GAO Na, JIN Longzhe, FAN Jingguang, et al. Research on the protection system of refuge haven of underground mine[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7(11): 169-173.
- [12] 韩海荣, 金龙哲, 高娜, 等. 常村矿避难硐室地面钻孔生命保障系统研究[J]. 金属矿山, 2011, 40(5): 149-153. HAN Hairong, JIN Longzhe, GAO Na, et al. Life support system of ground boreholes in refuge station of Changchun Mine [J]. Metal Mine, 2011, 40(5): 149-153.
- [13] 裴为华, 蒋曙光, 张哲瑞, 等. 基于 PLC 的避难硐室有毒气体隔离系统设计[J]. 煤炭技术, 2013, 32(2): 99-101. PEI Weihua, JIANG Shuguang, ZHANG Zherui, et al. Design on poisonous gas isolation system of refuge station based on PLC [J]. Coal Technology, 2013, 32(2): 99-101.
- [14] 张平, 蒋曙光, 刘涛. PLC 在煤矿避难硐室监控系统的应用[J]. 煤矿安全, 2012, 43(12): 110-112. ZHANG Ping, JIANG Shuguang, LIU Tao. Application of PLC in refuge chamber monitoring system of coal mine [J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(12): 110-112.
- [15] 胡成洲, 蒋曙光, 吴征艳. 基于 PLC 的避难硐室自备供氧系统设计 [J]. 矿山机械, 2013, 41(4): 134-137. HU Chengzhou, JIANG Shuguang, WU Zhengyan. Design on self-contained oxygen supply system of refuge chamber based on PLC [J]. Mining & Processing Equipment, 2013, 41(4): 134-137.