

文章编号: 1673-3363-(2013)01-0136-07

煤矿井下新型压风自救系统的研究

张英华, 黄梦钰, 黄志安, 高玉坤, 古柯瑞

(北京科技大学金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要 针对现行的压风自救装置系统是深色在井下不容易寻找, 噪声大、净化空气效果差, 也不能解决井上、井下通讯联络的问题等缺陷, 结合原装置的原理, 对其进行改进优化。以理论研究与设计为基础, 以试验研究及计算机软件辅助研究为手段, 结合 ZigBee 无线通信协议, 确定了包含有 LED 报警灯、蜂鸣器和高反光莹光材料的新型压风自救装置及系统的设计, 实现了利用压风自救装置实现自动化的预警和启动功能, 以及井下避险时的网络化通讯。对加工出的产品进行基本性能试验研究, 结果证明该装置参数符合人体适应性, 可用于井下避险。研究结果为井下工矿人员的应急自救问题提出了合理的解决方案。

关键词 压风自救装置; 压风自救系统; 安全

中图分类号 TD 434

文献标志码 A

Research on advanced compressed air self-rescue system in underground mine

ZHANG Ying-hua, HUANG Meng-yu, HUANG Zhi-an, GAO Yu-kun, GU Ke-ru

(State Key Laboratory of High-Efficient Mining and Safety of Metal Mines, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract Aimed at the defects of current compressed air self-rescue device, such as deep colour which is difficult to be found out in underground, loud noise, poor air purification, unable to solve the communications between surface and underground, we try to optimize and ameliorate the device combined with its original principles in this paper. Based on theoretical analysis, experimental study and CAD software, combined with ZigBee wireless communication protocol, we designed a new and advanced air self-rescue device, which containing LED warning lights, buzzer and high-reflective fluorescent material, achieving the functions of automated warning and starting, and underground communication network in urgency. The basic performance tests of the processed products show that the device parameters are suitable for human adaptability and can be used for underground emergency. The results provide a reasonable solution for workers to rescue themselves in emergency in underground mining.

Key words compressed air self-rescue device; compressed air self-rescue system; safety

目前, 我国矿井发生有害气体突然涌出、冒顶和坍塌等灾害时主要使用口袋式压风自救装置, 该装置的结构主要包括管路、开关、送气器、防护袋

等部分, 当灾害发生时, 避灾人员跑到自救装置处, 解开防护袋, 打开通气开关, 然后迅速钻进防护袋内, 压气管路中的气压经减压阀处理形成新鲜空

收稿日期: 2011-11-10

基金项目: 教育部第二类特色专业项目(TS2053)

作者简介: 张英华(1964-), 男, 河北省赵县人, 教授, 博士, 从事煤炭自燃理论与防治技术、安全应急管理及其装备等方面的研究。

通信作者: 黄志安

E-mail: huang_za@263.net

Tel: 010-62313972

气，持续提供给避灾人员。同时防护袋保证避灾人员不受有害气体的侵害，从而使避灾人员得到救护，等待救援或寻机逃生。

但该装置操作复杂，在袋内完全是黑暗状态，影响避难人员视线，不利于有效避难，不仅其口袋使用寿命短，口袋材料本身发挥的气味对人体存在毒害作用，而且噪声大、净化空气效果差，最主要的是它在井下没有明显标志，都是深色，不利于在灾害发生时工人迅速寻找到压风自救装置，也不能解决井上、井下通讯联络的问题^[1-3]，因此本文对已发明并装在井下的固定式压风自救系统及其装置进行改进，研制出一款对以上问题和技术方面加以改进优化的新型压风自救系统，使之成为较完善的自救器。当矿井发生煤与瓦斯突出灾害时，矿工

即可就近使用该自救器避灾，对保障矿工生命安全具有重要意义。

1 新型压风自救装置的设计

1.1 装置内外部结构细节设计

本新型压风自救装置(图 1)的外部包括三通管路、电磁阀、LED 报警灯、带有电磁锁的箱体门、贴有高莹光条的箱体。详细说明见图 1a 压风自救装置主视图，图 1b 压风自救装置左视图和图 1c 压风自救装置俯视图。供风量由电磁阀自动调节减压，工作人员应事先将电磁阀的风压大小调节好，其大小应为装设在送气器(图 2a)上的的 5 个口鼻罩决定，单个出风接口的供风量应为 150~200 L/min。

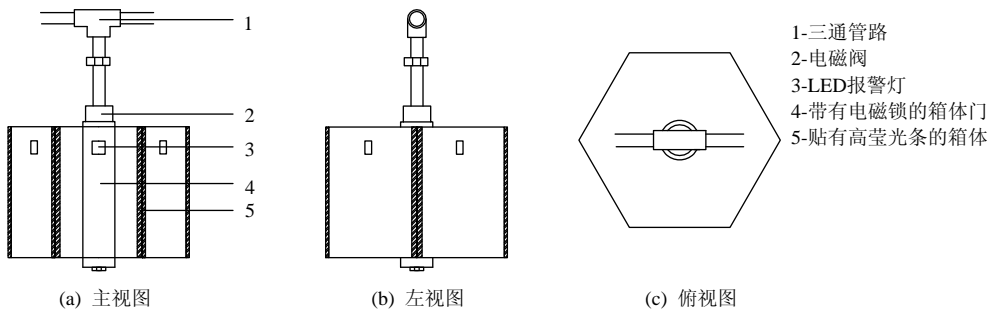


图 1 压风自救装置
Fig.1 Compressed air self-rescue device

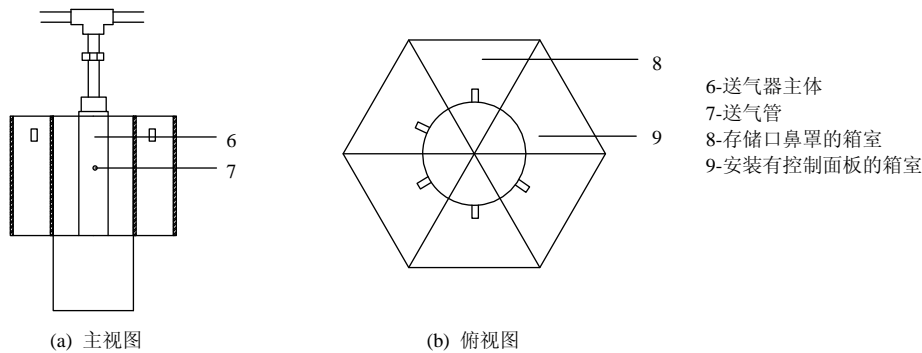


图 2 压风自救装置送气器
Fig.2 Aspirated device in compressed air self-rescue device

内部是由送气器、安装有控制面板的箱室和口鼻罩组成。送气器和口鼻罩均存储在箱体中。箱体应为一个六面体，每一面由一个单独的带电磁锁的、可向下方开启的箱体门构成。每一面由箱体内的隔板单独隔开，里面放有带有螺旋形输气管的口鼻罩，可供每一个井下工作人员在发生紧急情况时单独使用。

送气器是由送气器主体和连接在送气器主体上的送气管组成。其中送气器主体由箱体内隔板隔

开，如图 2b 压风自救装置送气器俯视图所示，一共有五面是由存储口鼻罩的箱室组成，余下一面是由安装有控制面板的箱室组成。

送气器主体(详见图 3)是由经一定粒度的铜粉热压加工而成的双层铜网、泡沫、粗细石英砂互层、多孔板、送气室、多孔板、集水室和排水开关构成。当来自压风管的 0.3~0.7 MPa 的压缩空气经管路、电磁阀进入送气器的主体时，先由电磁阀自身对压风进行减压使之压力降至 0.1 MPa 以下，再

经双层铜网和夹于双层铜网的泡沫进行第 1 次过滤,再进入第 2 层双层铜网与粗、细石英砂互层进行第 2 次滤清消除噪音。最后经过多孔板经过第 3 次过滤后,进入具有弹性的螺旋形输气管,再进入口鼻罩供避灾人员呼吸,空气中多余的水蒸气可经多孔板汇集流入集水室 16 中,平日里工作人员可以打开排水开关排出多余的积水。

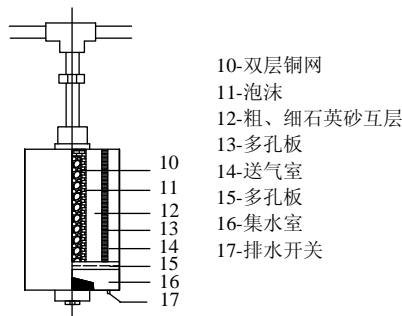


图 3 过滤装置主体主视图
Fig.3 Front view of the key body of filtrating equipment

经过 3 次过滤,可保证压缩空气中的油、水及其它杂质被过滤除去、净化,且充分降压,同时还可以将在节流降压过程中产生的噪声降至 80 分贝左右,更好地保证了避灾人员的稳定情绪。

安装有控制面板的箱室(图 4)则存储了集成的 ZigBee 通讯模块,LED 报警灯,蜂鸣器和电磁阀电路。在控制面板上有 3 个仪表盘,可以分别显示井下周围的湿度,瓦斯含量和温度,便于在自救时,更好地自我判断周围环境的危险程度。

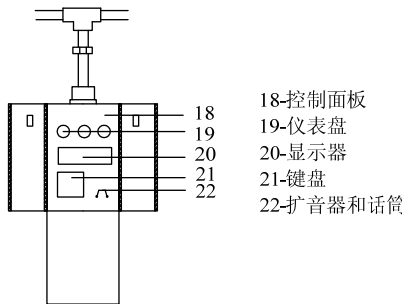


图 4 控制面板主视图
Fig.4 Front view of control panel

口鼻罩(图 5)由螺旋形的输气管,带有头箍的呼吸罩组成。其中 A-A 面为排气单向阀,即用于排出口鼻罩中多余的空气和呼出的废气。当吸气时口鼻罩内气压急剧下降,排气单向阀迅速关闭从而防止有害气体进入口鼻罩内;当呼气时口鼻罩内气压迅速上升,排气单向阀迅速打开从而排出有害气体。口鼻罩的尺寸为 140 mm×140 mm×85 mm,材料

由符合国家标准 GB2626 的材料制作而成。而螺旋形的输气管可保证采用新型压风自救装置的井下工人可以在更远的一定距离活动,且口鼻罩的设计也保证了采用新型压风自救装置的井下工人可以随时观察井下安全情况,使自救与安全避险的工作可以更好地进行。

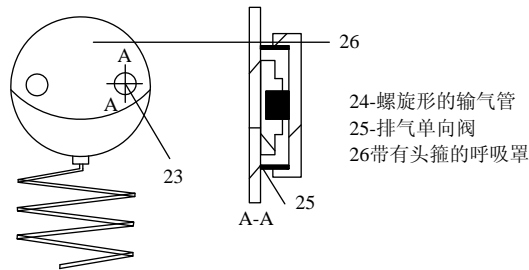


图 5 口鼻罩主视图
Fig.5 Front view of oronasal cover

1.2 控制方式

此新型压风自救装置是全自动化的,其控制使用依托于箱室中的控制面板。控制面板中主要的 ZigBee 硬件电路框图和控制面板电路图如图 6, 7 所示。

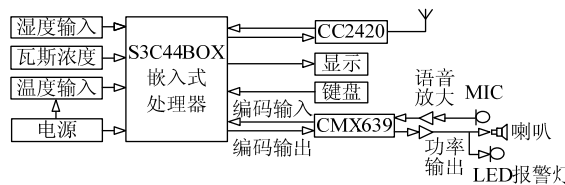


图 6 ZigBee 硬件电路框图
Fig.6 ZigBee hardware circuit block diagram

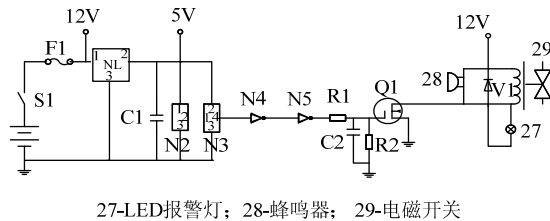


图 7 控制面板电路图
Fig.7 Circuit diagram of control panel

ZigBee 模块的组成部分,其主要包括嵌入式处理器、ZigBee 通信模块、传感器模块、电源、MIC 放大电路、语音功率放大、语音编解码电路。其中,处理器选用三星 ARM7 系列的 S3C44B0X 芯片,ZigBee 通信模块选用 Chipcon 公司的 CC2420 射频芯片^[4-5]。

S3C44B0X 处理器是电路的核心,采集的温度、湿度、瓦斯浓度信号,经 CC2420 无线模块送

入 ZigBee 网络^[6]；当瓦斯体积分数大于 4% 时，则直接经 CMX639 解码电路发出报警声音，并发出电路信号自动开启新型压风自救装置上的电磁开关(即上文所指的电磁阀和箱体门的电磁锁)和蜂鸣器，并触发 LED 报警灯。若想使用通话功能，使用键盘拨号，经 ZigBee 模块送入地面交换中心，对方空闲返回提示音，接通后，由麦克风、喇叭、CMX639 编解码电路，双方可以进行正常通话^[7]。

而图 7 控制面板电路图是整个控制面板的电路工作原理图，电源 12 V 由 N1(7805)的 1 脚进入，经调压成 5 V 电压，为控制电路部分供电。电路中有保险丝 F1。N1 的 3 脚接超再生式接收器 N2(PC-RZ3A)的 1 脚，预警信号经解码器单元 N3(74HC14)解码，六反相解发器 N4(74HC14)，N5(74HC14)2 次触发到(IRF540)三极管场效应管 Q1，Q1 的输出端将信号传给电磁开关(即上文所指的电磁阀和箱体门的电磁锁)和蜂鸣器，并触发 LED 报警灯。电磁开关(即上文所指的电磁阀和箱体门的电磁锁)开启，压风自救装置开始自动工作。矿工人员听到蜂鸣声或看到 LED 报警灯，立即到达新型压风自救装置进行自救避险工作。并应立即启动控制面板上的通话装置，报告井下的紧急情况与人员安全情况。

1.3 通信方式

如今，在大多地下矿井已铺设了通信电缆，巷道内也已根据需要架设了无线基站。此新型压风自救装置内有植入 ZigBee 通信模块及 LED 报警灯和蜂鸣器(供电由为 LED 防爆矿灯供电的充电电池供电，杜绝潜在危险，同时 ZigBee 技术极其省电)，这样可以在已有的无线基站的基础上建立起 ZigBee 无线预警与通讯网络^[8]。

在控制面板(图 7)上除了有 3 个仪表盘外，还有显示器和键盘可以用以与地面控制中心取得联系。键盘可拨号，在扩音器和话筒的帮助下，可以使井上救援人员尽快详尽地知道井下灾害情况，也可使井下工作人员相互沟通了解各自工作面情况。这样更利于在发生紧急危险情况时，救援人员可以迅速开展井下营救工作。

2 新型压风自救系统网络的设计

本文设计的新型压风自救系统以新型压风自救装置为井下终端，结合了现有的井下压风管道和 ZigBee 技术^[9]，使单个压风自救装置作为井下超低功耗的无线传感器网络节点与语音终端的煤矿安

全监测网络，能够利用已有的地面控制中心，实现对矿区瓦斯含量、温度、湿度实时监测和智能预警，并使用语音通信功能以进一步加强井下人员安全避险与迅速救援的能力。ZigBee 方案的总体框图如图 8 所示。

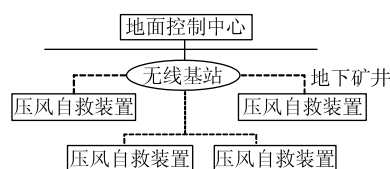


图 8 ZigBee 方案的总体框图

Fig.8 ZigBee general block diagram

如依据图 11ZigBee 方案的总体框图而绘制出的图 9 新型压风自救系统网络效果图所示，当井下矿工人员在遇到突发性的重大灾害(如井下发生有害气体突然涌出、冒顶和坍塌等灾害和爆炸事故时)而使用新型压风自救装置进行压风自救避险时，利用已构建而成的网络，可以通过已有的无线基站和井下交换机与地面控制中心取得联系。这样，无论是重大的人员伤亡灾害还是个体的遇险，地面控制中心可以通过网络化的压风自救系统第一时间与井下人员取得联系，了解井下避险人员的安全状况和周围的环境危险程度，从而更好地计划安排井下营救工作。网络化与自动化的压风自救系统可以更好地更全面更迅速地帮助救援队伍开展好井下救援工作。

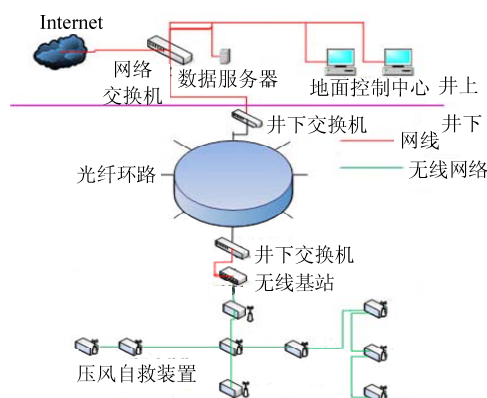


图 9 新型压风自救系统网络效果图

Fig.9 Network effect diagram of advanced compressed air self-rescue system

3 新型压风自救系统的装设和使用

压风自救器可安装在矿井巷道内或硐室内，也可安装在工作面内或掘进头内，即是说凡在有井下工作人员工作的地点都可以进行装设。每个自救器

可以连接 5 个口鼻罩, 供一个矿工小组使用。一个工作地点可安装一个或几个压风自救器。经常有人流动的工作地点可以安装足够多的自救器。该自救器用三通与井下压风供气管连接。

箱体应为一个六面体, 每一面由一个单独的带电磁锁的、向下开启的箱体门构成。每一面可以单独隔开, 里面放有带有螺旋形弯管的口鼻罩, 可供每一个人员在发生紧急情况时单独使用。当井下发生有害气体突然涌出、冒顶和坍塌等灾害和爆炸事故时, 控制面板接受到预警信号, 使电磁开关, 蜂鸣器和 LED 报警灯自动开启报警, 同时在高荧光条的帮助下, 尽管在矿井下发生有害气体突然涌出、冒顶和坍塌等灾害和爆炸等灾害事故时井下能见度低或环境混乱, 井下矿井工作人员仍然可以迅速地找到就近的压风自救装置, 从而得到迅速的自救避险的目的。此时带有电磁锁的箱体门自动打开, 当矿工到达自救压风自救装置时便可以直接摘取存储在箱室内的口鼻罩进行呼吸自救。此新型压风自救装置无需手动开启箱体门, 无需手动调节风压大小, 全面的装置自动化为矿工的应急自救节省了大量的时间。一旦出现危机, 蜂鸣器、LED 报警灯及箱体的高荧光条分别在听觉和视觉上给井下工作人员以刺激, 方便工作人员在较暗状态下能准确找到紧急避险装置的位置, 同时该装置全自动启动, 矿井工作人员只需按前面的刺激找到位置摘取口鼻罩即可自救, 容易操作。

新型压风自救系统的整个使用过程如图 10 新

型压风自救系统工作效果图所示。其中, 30 为地面控制中心, 31 为新型压风自救装置, 32 为危险发生地点。在井下人员到达就近的新型压风自救装置, 佩戴上口鼻罩后, 矿工人员便可以通过控制面板中的 ZigBee 模块功能与地面控制中心取得联系, 向地面控制中心报告井下灾害严重情况与井下人员的伤亡情况, 从而使井上的地面控制中心可以更好地安排好井下的救援工作, 达到及时迅速救援的目的。

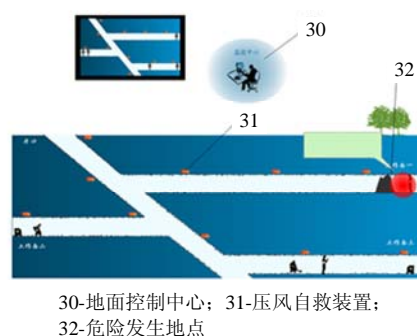


图 10 新型压风自救系统工作效果图

Fig.10 Work effect diagram of advanced compressed air self-rescue system

根据新型压风自救系统的产品设计图, 利用 3dsMAX 软件做出产品的效果图。新型压风自救装置的主体效果、新型压风自救装置的送风器效果、新型压风自救装置的口鼻罩效果、新型压风自救系统的产品效果以及新型压风自救装置的产品效果分别如图 11 所示。

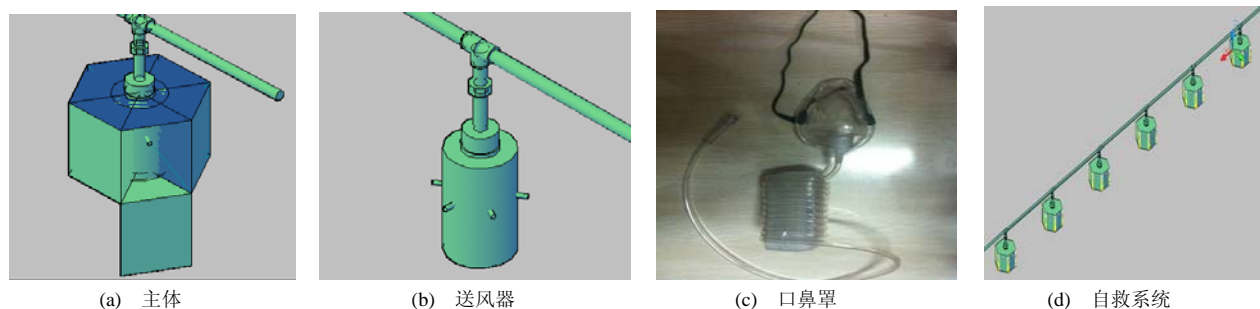


图 11 新型压风自救装置的产品效果图

Fig.11 Product rendering of advanced compressed air self-rescue device

4 新型压风自救装置的性能实验

压风自救装置利用矿井管道压缩空气作新鲜空气源。根据人体需要应对自救装置进行量值优化处理, 如供风量、供风压力下限、消声、净化空气等。对这些量值进行分析研究, 以优化选择能保证人体正常呼吸的有关量值。

4.1 供风压力分析

基于由压缩空气压力与流量的互依关系而设计出测试系统, 使用漩涡流量计、气体压力表, 对新型压风自救装置的出风接口的压力、流量的关系进行测试, 试验系统如图 12 所示。

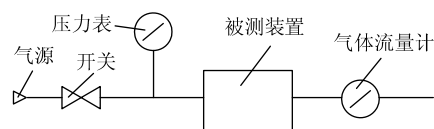


图 12 试验系统示意图

Fig.12 Experimental system schematic diagram

调整试验系统开关、观察供风压力。然后调整装置的阀门大小,使供风压力分别为 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40 MPa 时,测量单个新型压风装置的接气口的气体流量。

根据测量结果绘制出压力流量关系曲线如图 13。

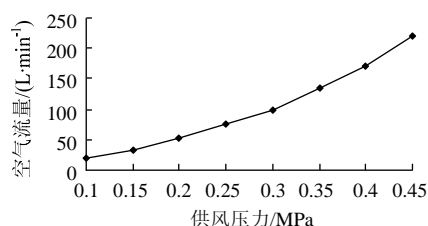


图 13 压力流量关系曲线图

Fig.13 Curve of relationship between pressure and flow

由图 13 中的曲线可以得出,当流量为 100 L/min 时,对应的供风压力约是 0.3 MPa。即对单个压风自救装置(5 个出风接口),则可规定 0.3 MPa 为供风压力的下限^[10]。

对于整个压风自救系统,如每隔 100 m 左右装设一个压风自救装置的情况下,尽管由于装备工作面条件有差异,但也要严格满足系统中每一个自救装置的供风压力下限。压风自救系统主要由空气压缩机、井下压风管路及固定式永久自救装备组成,系统末端自救装置的流量能否满足要求,与该压风自救装置本身无关,而是受压风自救系统中另外 2 个条件的影响。应通过改变和完善这些与自救装置相联系的外部条件,如建设压风机房,增加系统中地面空气压缩机的数量或功率,完善井下压风管路,来保证每一个压风自救装置的供风压力下限 0.3 MPa,以确保系统末端的流量至少可以达到 100 L/min。

4.2 消声参数的分析研究

在压风自救装置减压、节流过程中,排出的空气的体积突然变化会产生噪声,噪声过大会影响避灾者情绪的的稳定。使用铜粉末冶金件做为双层钢网的材料,其烧结的孔隙大小因其粒度不同而不同。就其常用的 273~334 μm 材料与 231~273 μm 材料相比较后选择使用,进行了 2 种孔隙不同的消声

材料作测试,结果如图 14。

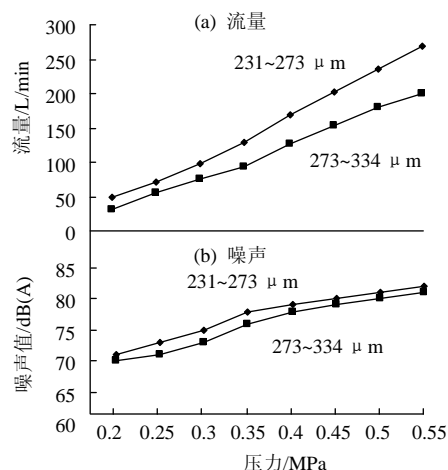


图 14 消声参数测量值

Fig.14 Measurements of attenuation parameters

孔隙大小不同,所测的噪声值不同,但差别较小。噪声值较小者,其流通阻力大;噪声值较大者,其流通阻力小。综合分析认为选用孔隙尺寸 273~334 μm 者为好,其消声后的噪声值低于环保卫生规定的小于 85 dB(A) 的要求。

4.3 装置外观质量及舒适感的检查

当供风压力为 0.7 MPa 时,距出气口大约 250 mm 处,用手心迎气流检查气压大小,无刺痛和压迫感。

用感官法对加工的新型压风装置的模具进行检查,装置零、部件的连接牢固、可靠;外表面光滑、无毛刺,表面涂、镀层均匀、牢固;装置具有减压、节流、消噪声、过滤和开关等功能;装置的操作简单、快捷、可靠。

4.4 净化空气的分析研究

净化空气是一个模糊概念,仅仅是一个要求。由于压气主要来自大气,大气的净化程度处于自然状态,由于输送压力的管道会有锈渣和尘粒,净化空气则主要是指滤除锈渣尘粒。用于消声的双层铜网也能完成净化空气的作用,使压风保持大气的净化标准。

5 结 论

1) 得到新型压风自救装置的可行性设计。从压风自救装置的原理入手,自主设计出了新型压风自救装置,解决了灾害发生时装置难找到、人员难活动、净化效果差及通讯等实际应用中常遇到的关键问题,弥补了现有压风自救装置的缺陷与不足。

2) 为新型压风装置的装配加工提供实验数据

支持。经过实验表明,对整个压风自救装置(5 个出风接口),单个压风自救装置的供风压力下限应为 0.3 MPa,装置应选用孔隙目数 45~55 的消声材料。

3) 得到可用于工业生产的新型压风自救系统的装设方案。本装置应在工作面或硐室每隔 100 m 左右装设,应按 5 人一组进行自救训练。方案可立即投入工业生产运营,且产品成本可控,属于实用型的创新研究,为矿井安全生产提供了更好的解决方案。

4) 本新型压风自救装置是该领域第一个提出并实现了利用压风自救装置实现自动化的预警和启动功能,此新型压风自救装置无需手动开启箱体门,无需手动调节风压大小,为井下工矿人员在遇到突发事件时的紧急自救节省了大量宝贵的时间;

5) 本文是该领域第一个提出了利用压风自救装置实现井下避险时的网络化通讯和预警功能,并利用已有的 ZigBee 技术,给出了具有可行性的解决方案,解决了旧式压风自救装置无法实现井上,井下通讯联络的问题。

参考文献:

- [1] 邱爱平. 压风自救系统及装置在井下避灾中的应用与不足[J]. 煤矿安全, 1992(3): 32-34.
QIU Ai-ping. The application and shortage of compressed air self-rescue system and device using in underground for disaster prevention[J]. Mine Safety, 1992(3): 32-34.
- [2] 周连根. 自救器在使用中存在的问题及对策[J]. 矿业快报, 2004(12): 36-37.
ZHOU Lian-gen. The problems and countermeasures of using self-rescue device[J]. Express Information of Mining Industry, 2004(12): 36-37.
- [3] 朱志坚. “压风自救装置系统”简介及应用[J]. 中州煤炭, 1988(3): 10-11.
ZHU Zhi-jian. The introduction and application of compressed self-rescue device[J]. Zhongzhou Coal, 1988(3): 10-11.
- [4] 王秀梅, 刘乃安. 利用 2.4 GHz 射频芯片 CC2420 实现 ZigBee 无线通信设计[J]. 国外电子元器件, 2005(3): 59-62.
WANG Xiu-mei, LIU Nai-an. 2.4 GHz RF Chip CC2420 and its application in ZigBee communication[J]. International Electronic Elements, 2005(3): 59-62.
- [5] 韩晓冰, 孙弋, 雷文礼. 现代无线通信技术在煤炭生产中的应用[C]//西安科技大学 2006 年学术大会论文集. 西安: 西安科技大学, 2006: 290-293.
- [6] 马力, 郭辉. 基于 ZigBee 协议的煤矿井下智能传感器[J]. 仪表技术与传感器, 2007(8): 66-68.
MA Li, GUO Hui. Smart Sensor for underground coal mine based on ZigBee protocol[J]. Instrument Technique and Sensor, 2007(8): 66-68.
- [7] 王树奇, 孙弋. 基于 S3C2410 的井下 WiFi 便携终端的设计[J]. 微计算机信息, 2007(4): 186-188.
WANG Shu-qi, SUN Ge. Design of WIFI terminal based on S3C2410 in mine tunnel[J]. Control and Automatic, 2007(4): 186-188.
- [8] 敖日格乐. 基于 Zigbee 技术的井下人员监控系统开发[D]. 北京: 北京科技大学土木与环境工程学院, 2008.
- [9] 田子建. 井下数字移动通信语音编码的选择和语音通信的设计实现[J]. 中国煤炭, 2007(4): 43-45.
TIAN Zi-jian. The options of speech coding and design achieving of voice communication of underground digital mobile communication[J]. China Coal, 2007(4): 43-45.
- [10] 钟继宁, 林贤锦, 郭福庆. 压风自救系统的设计与使用[J]. 中州煤炭, 1992(4): 36-37.
ZHONG Ji-ning, LIN Xian-jin, GUO Fu-qing. The design and application of compressed self-rescue system[J]. Zhongzhou Coal, 1992(4): 36-37.
- [11] DU Ze-sheng. Determination of coal seam gas drainage radius in Henan Pingbao Coal Co. Ltd [J]. Safety in Coal Mines, 2009(7): 40-42.
- [12] 曹新奇, 辛海会, 徐立华, 等. 瓦斯抽采钻孔有效抽采半径的测定[J]. 煤炭工程, 2009(9): 88-90.
CAO Xin-qi, XIN Hai-hui, XU Li-hua, et al. Determination of effective coal seam gas drainage radius[J]. Coal Engineering, 2009(9): 88-90.
- [13] 马宏宇, 王兆丰, 杨宏民, 等. 寺河矿下向穿层钻孔有效抽采半径研究[J]. 煤炭工程, 2011(5): 96-98.
MA Hong-yu, WANG Zhao-feng, YANG Hong-min, et al. Study on effective drainage radius of downward borehole drilled through strata in si jia zhuang mine[J]. Coal Engineering, 2011(5): 96-98.
- [14] 俞启香. 煤矿瓦斯防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992: 229-230.
- [15] 徐东方, 王兆丰. 压降法测定钻孔的抽采影响半径试验研究[J]. 煤矿安全, 2009(5): 1-3.
XU Dong-fang, WANG Zhao-feng. Experimental investigation on pressure falling method measuring the borehole's influence radius[J]. Safety in Coal Mines, 2009(5): 1-3.

(上接第 135 页)