

煤矿紧急避险系统救生补给站关键技术研究

贺 超

(天地科技股份有限公司 建井研究院, 北京 100013)

[摘 要] 介绍了我国煤矿紧急避险系统建设的现状和当前我国在推动紧急避险系统建设中存在的问题, 提出了在紧急避险设施中增加救生补给站来增加逃生能力的新形式, 并从提高自救续航能力、提供基本生存保障、保障遇险人员生命安全等方面入手, 重点研究了救生过渡站的系统组成、结构形式、功能实现方式等关键技术。通过数值分析验证了救生补给站结构的抗爆冲击性能, 通过性能检验和真人载荷试验验证了救生补给站的应急逃生和避险能力。KBJ-50/6 型救生补给站符合我国矿山井下紧急避险系统建设的发展趋势, 适用于各类煤矿及非煤矿山。

[关键词] 紧急避险系统; 救生补给站; 生命保障; 应急逃生

[中图分类号] TD77.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2014) 01-0042-03

Key Technology of Lifesaving Supply Station of Emergency Rescue System for Underground Mine

HE Chao

(Mine Construction Research Institute, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 10013, China)

Abstract: This paper introduced current status and problems in emergency rescue system construction in China. It was put forward that rescue ability was improved by adding lifesaving supply station in emergency rescue system. Key technologies including system components, structure style and function realization of lifesaving supply station were researched from improving self-rescue ability, providing basic life support, protecting persons' life. Numerical simulation tested anti-explosion property of lifesaving supply station, quality examination and test of real load on person proved its emergency rescue ability. KBJ-50/6 lifesaving supply station is accordance with the development tendency of our country's underground emergency rescue system and suitable for all kinds of coalmine and non-coalmine.

Key words: emergency rescue system; lifesaving supply station; life support; emergency rescue

1 紧急避险系统现状及配置救生补给站必要性

《国务院关于进一步强化企业安全生产工作的通知》(国发[2010]23号)明确要求煤矿应在2013年6月底前建设完善井下紧急避险系统,各地、各煤矿井下紧急避险系统的建设正在紧锣密鼓地进行^[1]。目前各重要的国有煤矿都建设了以永久避难硐室为主、结合可移动式救生舱或者临时避难硐室的紧急避险模式。紧急避险设施内的制冷降温、除湿净化等技术都得到了快速的发展,为井下避险人员提供了可靠的生存保障。

按照国家现有规定,采区避难硐室或者救生舱布置在离采掘工作面1000m的范围内(煤与瓦斯突出矿井应设置在距采掘工作面500m的范围内),对国家未有规定的其他地点,目前还没有明确紧急避险设施的具体布局要求。紧急避险设施是在突发紧急情况下遇险人员无法逃脱时的最后保护方式,井下安全避险的基本理念应该是先撤离、后避险^[2]。只有在撤离路径被阻或撤退不能的情况下,

遇险人员才进入紧急避险设施避险待救。因此,需要研制一种能为井下遇险人员提供自救器等必要补给,同时也能满足少量遇险人员应急避险的救生补给站,从而提高避险人员依靠自救器续航逃生的能力,并为避险人员提供更换自救器的密闭空间。

2 救生补给站的系统组成与设计原则

救生补给站作为井下紧急避险设施的补充,应能够提供一定的安全避险空间,使得逃生人员能在安全可靠的空间内进行自救器的更换,同时该空间内应具备气密性和正压维持能力,保证救生补给站内处于正压状态,有效地阻隔有毒有害气体进入救生补给站内,并能提供一定时间的供氧能力,满足避险人员的应急避险需要。根据作用和功能,救生补给站应具备以下系统:

(1) 安全防护系统 为避险人员提供安全密闭空间,并具有一定的防护能力,对外能够抵御0.1MPa的抗爆冲击。

[收稿日期] 2013-06-27

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2014.01.012

[基金项目] 中央国有资本经营预算重大技术创新及产业化资金资助项目(zdjs-2010bjzm-1)

[作者简介] 贺超(1986-),男,山东东阿人,工程师,主要从事煤矿紧急避险系统设计和紧急避险设施研究工作。

[引用格式] 贺超.煤矿紧急避险系统救生补给站关键技术研究[J].煤矿开采,2014,19(1):42-44,63.

(2) 供氧系统 具备自供氧和矿井压风供氧 2 种供氧方式, 额定防护时间和额定防护人数下平均供氧能力不低于每人 $0.5\text{L}/\text{min}$; 矿井压风供氧具备减压、过滤等功能, 供风能力不低于每人 $0.1\text{m}^3/\text{min}$ 。

(3) 补给系统 配置一定数量的 ZYX120 压缩氧自救器和自救器存放装置, 满足避险人员逃生时的配备需要。

(4) 正压维持系统 配备自动泄压和手动快速泄压装置, 使救生补给站保持 $100 \sim 500\text{Pa}$ 的压力。

(5) 通讯系统 站内配置一部直通调度室的有线电话, 在通讯不被中断的情况下, 可及时汇报站内的避险状况。

(6) 环境监测监控系统 选择配置便携式多气体参数检测仪, 可对环境中的 CO_2 , CH_4 , O_2 , CO 进行检测。

(7) 接口系统 预留矿井安全监测监控系统、人员定位系统、视频监控接口。

结合我国紧急避险系统建设的现状, 救生补给站应遵循以救生补给为主、避险为辅的设计原则, 在满足基本功能的前提下, 简化配置, 降低成本。同时我国煤矿条件复杂, 救生补给站的设计应能便于在煤矿井下的布置、运输、装卸、安装以及井下移动, 结构上便于分体组合、占用空间小, 便于人员快速出入。

3 救生补给站的关键技术研究

目前国外市场上的应急救生补给站种类不多, 主要有美国斯特塔公司生产的应急过渡站, 主要应用于金属矿山, 其结构为整体式钢结构, 体积较大, 配置复杂。国内沈阳研究院研制的救生过渡站, 其结构是在硬体救生补给站基础上改进而来, 补给人数少^[3]。天地科技股份有限公司建井研究院研制的 KBJ-50/6 型救生补给站突出救生补给功能, 兼顾短时间的避险需要, 主要技术指标: 外形尺寸 (长×宽×高) $2.94\text{m} \times 1.32\text{m} \times 1.79\text{m}$; 额定补给人数 50 人; 额定避险人数 6 人; 应急避险时间矿井压风供氧为长期; 站内独立供氧 $\geq 4\text{h}$; 抗爆冲击压力 $\geq 0.1\text{MPa}$; 补给站内外压差 $100 \sim 500\text{Pa}$ 。

救生补给站无论在系统配置上还是结构功能上, 都要低于矿用可移动式救生舱, 抗爆冲击能力降低后的救生补给站的结构设计是保障其强度防护性能的关键, 是保证其在井下应用的前提条件。在简化掉温湿度调节系统之后, 救生补给站的传热能

力是决定救生补给站应急避险时间长短的重要因素, 影响着救生补给站在不同矿井温度下的应用。

3.1 结构设计

救生补给站采用分体组合式硬顶结构, 由前舱、中舱和后舱 3 个舱体组成, 舱体采用变截面法兰、弧形拱顶、内部螺栓连接、底部滑撬结构, 每个舱体两侧设有吊装孔, 如图 1 所示。为使得井下人员快速进出救生补给站、而且更有效地利用补给站站空间, 防护密闭门采用 L 型贯通式双门通道结构, 采用此种结构便于救生补给站在井下的布置, 使得矿井压风自救系统更加容易接入救生补给站内。

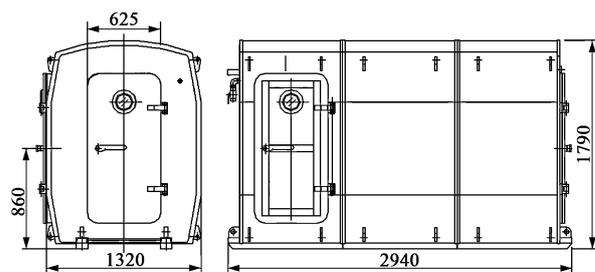


图 1 KBJ-50/6 型救生补给站结构

KBJ-50/6 型救生补给站采用变截面法兰结构以增加舱体连接部位及整体的承载能力, 端部及侧面设计布置有加强筋从而保证迎爆面的抗暴冲击能力, 整体抗暴冲击能力达到 0.1MPa 。

舱体设计采用法兰对接, 法兰面为铣削加工, 法兰密封面采用特制专用密封材料密封, 该材料具有环保、高黏、耐油、耐湿、耐压、耐高温等特性。进出站内的管路、通道均采取密封处理, 达到整体气密性。

3.2 传热计算

人体发热经过渡站的传热过程串联着 3 个环节: 救生补给站内高温空气到过渡站内壁的自然对流传热、过渡站内壁到外壁的固态导热、救生补给站外壁到站外低温空气的自然对流传热。根据可移动式救生舱真人载荷试验数据取自然对流传热系数 h_1, h_2 为 $12\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 低碳钢导热系数 λ 为 $43\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 钢板厚度 δ 为 6mm , 则传热系数 k 为:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} = \frac{1}{\frac{1}{12} + \frac{6 \times 10^{-3}}{43} + \frac{1}{12}} = 5.995\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

式中, λ 为人均发热量, 取为 108W (包括显热 43W 与潜热 65W), 则人体散热全热负荷 Q 为:

$$Q = 108 \times 6 = 648(\text{W})$$

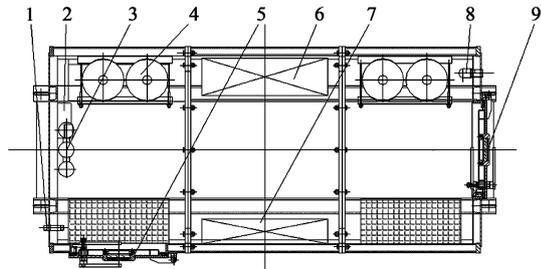
救生补给站外形尺寸 $2.94\text{m} \times 1.32\text{m} \times 1.79\text{m}$, 表面积 A 为 23.012m^2 , 则根据传热方程可知, 站

内外温差为:

$$\Delta t = \frac{Q}{k \times A} = \frac{648}{5.995 \times 23.012} = 4.697 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

4 救生补给站的强度分析与避险试验研究

如图 2 所示, KBJ-50/6 型救生补给站内配置 4 个 60L 的压缩空气瓶、1 套压风过滤装置、2 套压风自救装置、2 套自救器存放架 (存放 50 台 ZYX120 压风自救器)、1 部与矿井调度室直通的通讯电话、接口装置、自动排气装置等。



1—压风接口及开关; 2—通讯电话; 3—压风过滤控制装置;
4—压缩空气瓶; 5—前防护密闭门; 6—压风自救装置;
7—自救器存放装置; 8—自动排气装置; 9—后防护密闭门

图 2 救生补给站内设施布局

4.1 救生补给站有限元强度分析

依据 KBJ-50/6 型救生补给站实际结构尺寸建立了有限元分析模型, 利用三角波荷载 (作用到站体前) 条件下, 站体迎爆面 (所受最大冲击波超压为 0.2MPa)、各舱段两侧面、顶面及后端面不同位置施加最大压力荷载 (所受最大冲击波超压为 0.1MPa), 以此荷载作用到站体有限元分析模型, 作用时间为 300ms, 利用 LS-DYNA 模拟 KBJ-50/6 型矿用救生补给站站体动态响应过程。

KBJ-50/6 型救生补给站的应力应变云图见图 3, 图 4, 站体最大冲击变形发生在第二节蒙板中心部位, 变形值为 19mm。加强筋最大变形发生在中部竖筋中心部位, 变形值为 14mm, 冲击过程中站体所受最大应力值为 377MPa, 小于材料的极限强度 470MPa, 正门观察窗防爆玻璃所受最大应力为 4.9MPa, 侧门观察窗防爆玻璃所受最大应力为 3.6MPa, 小于防爆玻璃的极限强度 70MPa, 由此, 防爆玻璃处不会出现破坏部位; 站体前防爆门、侧门所受最大应力分别为 312MPa 和 333MPa, 均小于所用材料的屈服强度 345MPa, 前舱门、逃生门不会发生塑性变形; 前舱门、逃生门及法兰处, 两密封部件相对位移分别为 0.5mm, 1.4mm 和 0.03mm, 均小于 2mm, 满足规范要求^[4]。

数值分析结果表明: 考虑到 2 倍安全系数,

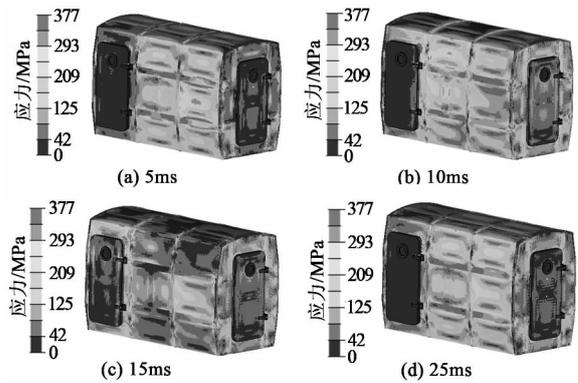


图 3 不同时刻 KBJ-50/6 型救生补给站抗暴冲击应力云图

KBJ-50/6 型救生补给站在冲击波作用下, 救生补给站站体迎爆面 (端面) 所受最大冲击波超压为 0.1MPa、作用时间 300ms 时, 可满足刚度和强度要求, 站体能够保持完整, 结构安全。

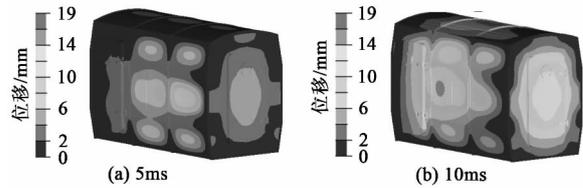


图 4 不同时刻 KBJ-50/6 型救生补给站抗暴冲击应变云图

4.2 救生补给站载人试验研究

对救生补给站进行 6 人 4h 的真人载荷试验, 试验隔绝外部动力, 采用站内压缩空气、压风自救装置进行 4h 的氧气供给, 配置的 ZYX120 压缩氧自救器作为备用, 配备多气体参数检测仪和温湿度计检测站内的环境中的 CO₂, CH₄, O₂, CO, 温度及湿度。

试验前检测了救生过渡站的正压维持性能, 泄压速率为 260Pa/h, 试验期间开启自动泄压装置。整个实验期间救生补给站内始终处于正压维持状态, 从图 5~图 7 可以看出, 站内温度从实验开始时的 12℃ 升高至试验结束时的 17.1℃, 并从试验开始后的 1.5h 救生补给站内外温差保持 5℃ 上下; 站内氧气含量维持在 19.8%~21.5%; CO₂ 含量维持在 0.5%~0.85%, 试验人员整个过程感觉无异常, 身体状况良好。救生补给站内的压风自救装置佩戴方便, 可同时满足 12 人佩戴呼吸面罩更换自救器; 自救器存取方便, 10 人配带自救器通过救生补给站的平均时间仅为 38.5s, 方便遇险人员迅速拿取自救器快速沿逃生路线撤离危险区域。

试验期间救生补给站内外温度曲线结果与传热计算结果基本一致, 表明了额定防护人数下,

(下转 63 页)

站 1.8m 时, 锚杆力低于初始压力。顶板锚杆力的变化滞后于帮锚杆力的变化, 高帮上部的锚杆受力大于下部的锚杆受力。

(2) 锚索力变化规律 由于锚索预紧力大, 回采期间锚索受力缓慢增加, 到工作面前方 6m 左右处, 达到最大值。

5 结论

(1) 通过对相似模拟的结果进行分析, 得到了大倾角煤层回采巷道围岩变形特征。大倾角煤层回采巷道高帮最大水平位移量和最大垂直位移量均大于顶板和低帮。因此, 对实体煤巷道要重点控制高帮。

(2) 在分析了大倾角煤层回采巷道围岩力学特征的基础上, 对 5620 (6) 工作面机巷进行了锚网索支护参数设计。通过对 5620 (6) 工作面机巷进行围岩位移特征分析与锚杆 (索) 受力特征分析得出: 顶底和两帮最大移近量分别为 425mm 和 340mm, 围岩变形趋于稳定时, 顶底和两帮移近量分别为 110mm 和 100mm。上述锚网索组合支护方案在新庄孜 5620 (6) 机巷得到了较好的应用, 达到了预期的支护效果。

[参考文献]

- [1] 伍永平, 解盘石, 王红伟, 等. 大倾角煤层开采覆岩空间倾斜砌体结构 [J]. 煤炭学报, 2010 (8): 1252-1256.
- [2] 黄志增, 任艳芳, 张会军, 等. 大倾角松软特厚煤层综放开采关键技术研究 [J]. 煤炭学报, 2010 (11): 1878-1882.
- [3] 负东风, 王晨阳, 苏普正, 等. 大倾角软顶软煤回采巷道支护技术 [J]. 煤炭科学技术, 2010 (10): 13-16.
- [4] 华道友. 大倾角煤层底板稳定性及破坏分析 [A]. 岩石力学与支护学术论文集 [C]. 1996.
- [5] 郭之宝. 大倾角松软突出煤层煤巷锚杆支护技术与实践 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (2): 9-11.
- [6] 何满朝, 齐干, 许云良, 等. 深部软岩巷道锚网索耦合支护设计及施工技术 [J]. 煤炭工程, 2007 (3): 30-33.
- [7] 康红普, 王金华, 马念杰. 高预应力强力支护系统及其在深部巷道的应用 [J]. 煤炭学报, 2007, 32 (12): 1233-1238.
- [8] 康红普, 王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [9] 王卫军, 侯朝炯. 回采巷道煤帮锚杆支护可靠性分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20 (6): 813-816.
- [10] 何满朝, 苏永华, 孙晓明, 等. 锚杆支护煤巷稳定性可靠度分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21 (12): 1810-1814.

[责任编辑: 姜鹏飞]

(上接 44 页)

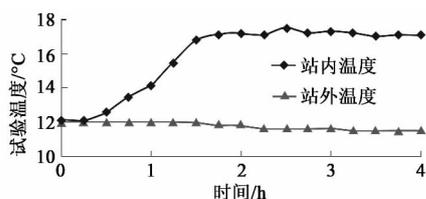


图 5 试验期间救生补给站内外温度曲线

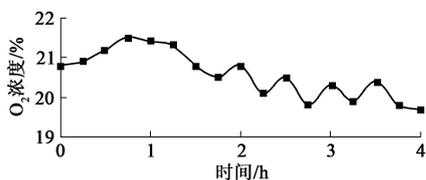


图 6 试验期间救生补给站内 O₂ 含量曲线

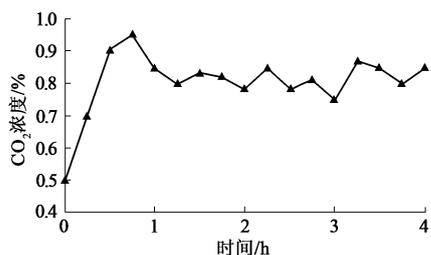


图 7 试验期间救生补给站内 CO₂ 含量曲线

KBJ-50/6 型救生补给站应急避险时站内温度高于

环境温度 5°C, 可用于指导救生补给站在矿井温度下的应用。

5 结束语

有限元强度分析和真人载荷试验验证了 KBJ-50/6 型救生补给站具备在无外界支持条件下实施救援补给和临时避险的能力, 有效解决了避难硐室、救生舱服务区域之外的逃生避险需要, 提高了遇险人员通过快速撤离逃生的概率, 增加了遇险人员逃生避险的选择, 将会对煤矿安全生产、安全装备的逐步完善、以及紧急避险设施的合理布局起到积极的促进作用。

[参考文献]

- [1] 杨大明. 关于井下紧急避险系统设计的探讨 [J]. 煤矿安全, 2011, 43 (1): 118-121.
- [2] 杨大明. 煤矿井下紧急避险系统建设中 [J]. 中国煤炭, 2011, 37 (11): 79-82.
- [3] 官成. 煤矿可移动式救生过渡站的配置及其供氧系统设计 [J]. 工矿自动化, 2013 (2): 90-91.
- [4] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿可移动式硬体救生舱通用技术条件 [S]. 2011.

[责任编辑: 王兴库]