

煤矿井下救生舱的设计思路

1 概述

根据世界各国对矿井事故的调查,在火灾、爆炸等事故发生现场瞬间受到伤害死亡的矿工只占事故伤亡人数的一部分,有相当一部分矿工都是因为在矿井透水或火灾、爆炸后不能及时升井或逃离高温有毒有害气体现场,导致溺水、窒息或中毒死亡的。因此,各国都在大力建设矿井避难硐室和研制矿用救生舱,以便为矿井发生事故后无法及时撤离的矿工提供一个安全的密闭空间,对外能够抵御爆炸冲击、高温烟气,隔绝有毒有害气体,对内能为被困矿工提供氧气、食物和水,去除有毒有害气体,赢得较长的生存时间。同时,被困人员还能通过舱内通讯监测设备,引导外界救援。

目前,矿用救生舱可分为固定式和移动式两类。由于移动式救生舱能够随着作业场所变迁而移动,可根据需要改变架设位置,具有方便灵活的特点,所以应用日趋广泛。

2 国外研究与应用现状

加拿大、美国、澳大利亚等国家的矿山安全法规和标准对推广、使用矿用救生舱有着硬性的规定。在相关政策法规的支持下,欧美各国十分重视矿山应急救援工作及相关研究,投入了大量的资金,使得一些具有较强科研实力的企业单位参与其中,如澳大利亚的 MineARC 系统公司(MineARC Systems)、Shairzal 安全工程公司(Shairzal Safety Engineering)、Cowan 制造有限责任公司;美国杰克·肯尼迪金属制品公司(Jack Kennedy Metal Products)、现代矿

业安全支持有限公司(Moder Mine Safety Supply, LLC)、Srata 公司(Srata Products USA); 德国德尔格安全设备有限责任公司(Draeger Safety Inc.)等。

国外矿用救生舱已有不少成功应用的案例。如 2006 年 1 月 29 日凌晨 3 时,加拿大萨斯喀彻温省(Saskatchewan)一座钾盐矿井发生火灾事故,72 名矿工被困井下,转移至矿井救生舱(澳大利亚 MineARC 系统公司生产)中,经过 26 小时全力营救,72 名矿工全部成功获救,在世界范围内引起轰动效应。

3 国内研究现状

与国外相比,国内对矿用移动式救生舱的研究起步较晚,其设计思路还不十分成熟,缺少必须的试验和检验支持,更无行业标准可以依据。据不完全统计,到目前为止,国内有十几家企业、单位在进行矿用救生舱的研制工作。其中,北京科技大学承担的“十一五”国家科技支撑计划对救生舱的研究进展较快,2008 年 7 月,在山西潞安集团模拟巷道内完成了 4 人、96 小时的安全验证试验。

4 救生舱设计中需要注意的几个问题

目前,国内对矿用救生舱的研制工作虽然在紧锣密鼓地进行,但由于种种原因,至今还没有成熟的产品投入实际应用。一些厂家在研制过程中,由于对煤矿井下发生事故时特殊的环境条件导致的特殊要求了解不深,导致研究工作走弯路,或者研制的产品不能适应实际需要。笔者认为,在研制煤矿井下移动救生舱时,必须注意以下几个方面的问题。

4.1 功能定位

移动救生舱一般为车体式结构，整个救生舱舱体由耐高温、抗冲击的材料构成，设有观察窗和逃生窗。国外矿用救生舱高度、宽度普遍在 2m 左右，长度则依据要求容纳的人数改变，但总空间体积必须达到 1.5m³/人以上，以保证密闭空间中人员的生命安全。

煤矿井下环境复杂，事故多样。瓦斯爆炸、煤尘爆炸、火灾、冒顶、透水，每一类灾害带来的伤害都不尽相同。对于爆炸，要求救生舱能够抗高温和冲击；对于火灾，救生舱必须抗高温；对于水灾，救生舱需要防水，甚至要求在数百米静水压力下仍有良好的密封性。

考虑到我国现阶段的技术水平和制造成本，几乎不可能造出一种能应对所有矿井灾害的救生舱。因此应首先确定救生舱主要防哪一种灾害，根据灾害特点有针对性、有重点地进行设计。

4.2 舱内设施

矿用救生舱一旦开始运行，被困人员要在这个密闭空间中可能生存长达数天的时间，为了保证人员的生命安全，救生舱内所有生命维持设备必须持续正常运行，将室内的氧气、CO 等各类气体的浓度、环境温度、湿度等生存参数都稳定控制一个适宜人类生存的范围。救生舱整体结构与有关设施设计，应重点解决以下几个方面的问题。

4.2.1 供氧系统

救生舱内正常氧气供应主要有矿用压缩空气、储备压缩氧以及化学反应生成氧气三种方式，氧气供应装置应满足三个条件：①尽量供应组分接近空气组分的气体，纯氧气应先经过混气再进入救生舱供呼

吸；②能够持续不间断地供应氧气：，一般通过两套以上独立的供气系统来实现；③能够调节氧气释放速率与救生舱中人员消耗速率达到一致，以稳定氧气的浓度。

4. 2. 2 排泄物的收集与处理

为了避免人体排泄物污染舱内环境，影响被困人员健康，舱内的厕所必须科学设计，妥善收集处理排泄物。

4. 2. 3 空调系统

矿用救生舱为了最大限度的延长被困人员的生存时间，要求对矿井内的恶劣环境如爆炸、冲击、火灾等具有相当的防护能力，因此，救生舱的外壳必然有一定的隔热性能。而在救生舱内部，被困人员自身会产生大量的热辐射。美国《肯塔基州矿井安全建议》中提到，在救生舱空间中，正常成年人每天能够释放 10133. 76kJ 的热量。同时，由于处理 CO 等有害气体的化学反应多数也要释放热量，如此多的热量聚集在救生舱中无法排出会导致温度升高以及一些严重的后果。因此，如何解决隔热的密闭空间中的热量累积问题是救生舱研究中非常困难的一个部分。

为了控制救生舱内温度不至于过高，必须使用空调来控制温度。空调主机可置于救生舱内部，而压缩机必须外置，这就不可避免地带来了空调压缩机的防爆问题。此外，在 20 多立方米的空间中要保持让人舒适的温度，需要有足够的电力运行空调，而矿难时外部电力往往中断，只能靠电池维持。所以，救生舱维持生存时间的长短很大程度上要决定于空调和备用电池的功率之间的相互协调。

4. 2. 4 监测系统及清除有毒有害气体

在救生舱中生存时，随着被困人员在救生舱内的时间增长，舱内将会有 CO、CO₂、HS、CH₄ 等多种有毒有害气体的积聚，被困人员必须时刻掌握所处密闭空间内外的各类参数，根据情况的变化采取相应措施维持生存条件。多数有毒气体浓度的变化不可能通过人体器官及时感知就足以致命了，因此，救生舱内应安装各类监测仪器即时监控所有主要的生存环境参数，并配备吸收或清除上述气体的装置。要求操作简便、自动化程度高、性能可靠。

救生舱中的监测系统主要监测的对象一般包括氧气、CO₂、CO、H₂S、CH₄、压力、温度、湿度以及各种设备的运行状况。气体浓度的监测按照气体对人体的影响设定仪器的监测范围及报警数值。

4. 2. 5 通信系统

在事故发生时，遇险矿工进入救生舱只是第一步，利用救生舱里的通信系统，及时与外界取得联系，引导救援人员前来救援才是最重要的。当前，国外救生舱也很少安装有效的通信系统，而救生舱中如能配备先进可靠的可与地面联络的通信系统，无疑对救援工作的顺利开展有着极其重要的意义。

4. 2. 6 能量与动力系统

救生舱中的空调、照明、通信、电子控制设备等都要依靠电力来维持，尤其是大功率的空调压缩机，要消耗大量的电力资源。能否为救生舱耗电设备提供电力，维持其长时间稳定的运行，对延长救生时间有着极大的影响。事故发生时，外部供电中断，救生舱只能依靠自

身的蓄电池供电。矿井用蓄电池要求本质安全，并且需要能够长时间维持空调等各类设备运行。

4.3 检测检验

根据国家有关规定，矿用救生舱必须取得安标之后，才允许在煤矿井下使用。目前，国内矿用救生舱还没有取得安标的先例，国内生产企业如何取得安标、如何确定防水、防爆、防火、抗冲击等各类检测指标，都是迫切需要解决的问题，亟待有关方面尽快研究解决。

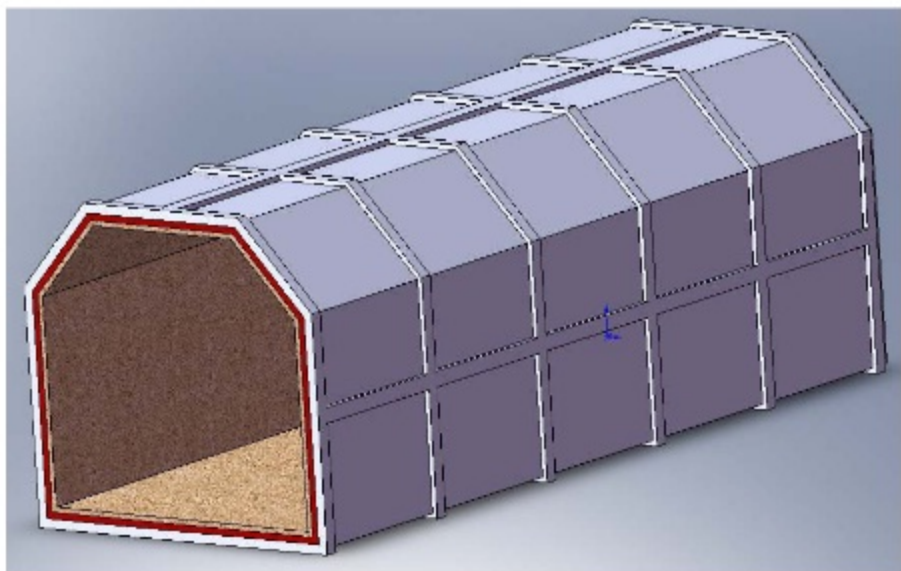
4.4 使用与维护

为了使矿用移动救生舱能适应中国煤矿矿井条件、工艺和管理水平，还必须考虑到救生舱尺寸大小；下井方式；放置地点的确定；维护保养方式，包括食品、药品及其他物资设备的更新等问题。

5 自主开发井下救生舱的技术方案和技术路线

5.1 舱本体

根据中华人民共和国安全生产行业标准--矿用可移动式救生舱通用技术条件提出的结构和安全防护的相关要求：“人均有效容积不小于1立方米，总有效容积大于8立方米”，以及“强度安全性能：硬体救生舱体应具有足够应承受不低于0.5MPa的冲击压力。”“抗爆炸冲击性能，救生舱应具备可承受最大爆炸冲击压力不低于1.0MPa”。并参照澳大利亚 miniarc 公司产品，救生舱本体采用3层复合结构，其形式如图1所示。



其外层为 6 毫米厚钢板，通过 60*40 槽钢加固。外形尺寸：长 8.9 米，宽 2.7 米，高 1.9 米。有效体积 36 平米。中间夹层为隔热层，其备选材料如下表所示：

表2-1 常用隔热材料分类表

分 类	材料名称	特 点	使用场合	
按成分	有机材料	软木，聚 乙 烯 泡 沫 塑 料，牛毛毡，羊毛毡，聚氨酯甲酸酯类	密度小，导热率小，原料来源广，不耐高温，吸湿后易腐烂	低温隔热工程
	无机材料	石棉，硅藻土，珍珠岩，玻璃纤维，泡沫混凝土，硅酸钙	不腐烂，不燃烧，耐高温	热力设备与管道
按使用温度	高 温	硫酸铝纤维，硅纤维	用于700℃以上	工业炉耐火砖间质料
	中 温	石棉，矿渣棉，玻璃纤维，硅酸钙，膨胀珍珠岩，蛭石，泡沫混凝土	用于100~700℃	热力设备与管道
	低 温	氨基甲酸乙酯泡沫塑料，泡沫玻璃，玻璃棉毡	用于100℃以下	保冷工程
按形状	松散粉末，纤维状，粒状，瓦状，砖块			

舱体内部用木制板进行内衬，通过拉铆钉的方式进行连接。关键部位通过焊接在外壳上面的加强螺栓进行紧固处理。

地面铺设空心防滑垫。材料为无毒化处理的耐高温聚氨酯。舱体内设座椅，钢板钣金结构。喷消防漆。

5.2 供氧系统

救生舱应具备压风系统、自备氧及自救器三级供氧保障体系，保障救生舱内人员呼吸氧气。压分系统注入的空气通过减压、节流、消噪声和除水、除油、除尘三级过滤，通过 1/8” 铜管进入舱体。保证压风供氧速率不低于每人 2.5L/min（标准状态下），连续噪声不高于 70dB（A），出口压力不高于 0.2MPa。末端的涡流管将产生的冷空气注入舱内，将热空气排出舱外，实现供氧和空调的双重效果。

氧气瓶的医用氧气作为自备氧，通过减压和流量调节装置，直接注入救生舱主舱。操作简便、快捷；流量计方便读数，具备明显的调节指示；氧气瓶应符合 GB5099 和《压力容器安全技术监察规程》有关标准的规定；显示压力表应符合 GB/T1226 的有关规定；呼吸系统应符合 AQ1053、AQ1054、GA632、MT867 的规定。自救器使用时间不低于 45min，配备量不低于额定人数的 1.5 倍。

供氧系统同时作为舱体正压的主要贡献单元，是整个系统的重要组成部分，管路的布置应根据实际情况不断调整。同时需要进行钢瓶固定器、风笛设计等工作。

5.3 空气净化与温湿度调节系统

救生舱应具有有效的空气净化与温湿度调节系统，在额定防护时间内保障舱内空气及有害气体浓度满足表 2 的规定，并应具备烟雾过滤功能。

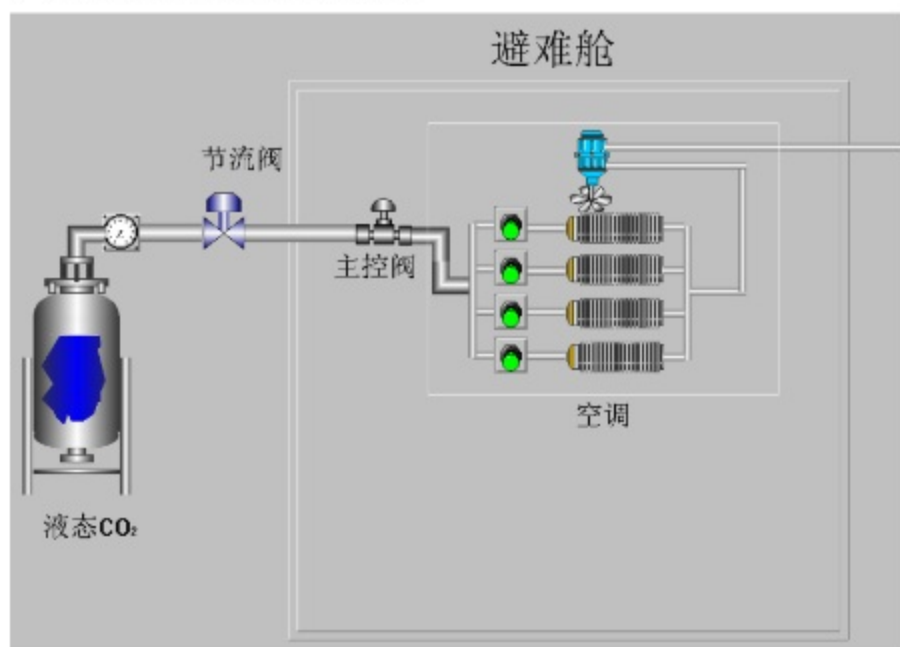
项目	O ₂	CO	CO ₂	H ₂ S	CH ₄	温度	湿度	烟雾浓度
指标	18.5%~23%	≤21×10 ⁻⁶	<1.0%	≤6×10 ⁻⁶	≤1.0%	30℃±2℃	≤85%	22%ob/m

救生舱的空气净化与温湿度调节系统是通过着色化学反应配合空调制冷风机联合实现的。风机流量进风口 20L/min~50L/min 范围内。气动马达马力 0.26KW 扭力 3.4N.M 速度 2000~3000r.p.m。叶片直径 450 毫米，同时在空调下方安置一个反向叶轮，使得空调内部不会产生涡流，并净化后的气体通过排风孔排出。即使空调低速运行，也能够保证国家标准中关于进风口流量的要求。

对于二氧化碳，采用着色 UOH 和 NaOH 颗粒吸收。

5.4 空调系统设计

下图为空调系统的简要原理图：



救生舱尾部的液态二氧化碳钢瓶通过直插入钢瓶内部的长管，在钢瓶内部 16MPa 气压的作用下，经过气压显示和气压调节装置进入避难

舱内部。当主控阀开关打开时，液态二氧化碳进入空调。通过四组并联的空调排管，液态二氧化碳与周围空气充分进行热量交换，二氧化碳气化吸收大量热量，气化的二氧化碳气体最后汇集推动气体马达运转，空气在马达上的叶片的作用下形成气流，将低温排管上面的冷空气吹出空调，达到制冷的目的。

最后空气通过管道直接排出舱外，在救生舱外部形成一层二氧化碳气层，起到阻燃目的。

5.5 环境监测与通讯系统设计

根据相关标准，环境监测系统包括 CO、CO₂、O₂、CH₄、H₂S、温度和湿度；舱外环境监测参数至少应包括 CO、O₂、CH₄、CO₂、温度。通常采用机械式无源设备，对于一些有源设备采用本质安全型设备。舱体提供相关接口。舱体设有与外界通信的接口，防护等级达到 ip67.