

井下紧急避险技术

金龙哲 等 著



煤炭工业出版社

井下紧急避险技术

金龙哲 等著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

井下紧急避险技术/金龙哲等著. --北京:煤炭工业出版社, 2013

ISBN 978-7-5020-4204-2

I. ①井… II. ①金… III. ①煤矿开采—井下作业—安全技术—研究 IV. ①TD7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 058576 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 889mm × 1194mm¹/₁₆ 印张 27
字数 778 千字 印数 1—1 000
2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷
社内编号 7027 定价 68.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

党中央、国务院一直以来高度重视煤矿安全生产，相继采取了一系列重大举措加强煤矿安全生产工作，并取得了显著成效。2008年，遵照党中央、国务院的重要批示精神，国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局成立了学习南非经验专题工作组，赴南非等国考察学习矿山安全生产经验，而后，开展煤矿井下安全防护体系与技术装备的研究，并将研究成果进行煤矿井下紧急避险设施建设试点，开启了针对我国矿井安全生产现状的井下紧急避险技术发展研究之路。

为进一步遏制煤矿的重特大事故，加强煤矿安全生产工作，提高企业安全生产水平，在借鉴国外先进技术的基础上，结合我国矿山事故成功救援经验，国务院2010年7月出台《国务院进一步加强企业安全生产工作的通知》，明确要求煤矿、非煤矿山要制定和实施生产技术装备标准，安装监测监控系统、井下人员定位系统、紧急避险系统、压风自救系统、供水施救系统和通信联络系统等技术装备，并于3年之内完成。而后，国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局下发了《国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局关于建设完善煤矿井下安全避险“六大系统”的通知》，要求2012年6月底前，所有煤（岩）与瓦斯（二氧化碳）突出矿井，中央企业和国有重点煤矿中的高瓦斯、开采容易自燃煤层的矿井，要完成紧急避险系统的建设完善工作；2013年6月底前，其他所有煤矿要完成紧急避险系统的建设完善工作。至此，建设完善紧急避险系统成为加强我国矿井安全生产、完善安全避险“六大系统”工作的重中之重。

为了规范煤矿井下紧急避险系统建设管理工作，充分发挥井下紧急避险系统在安全避险中的重要作用，进一步提高煤矿安全保障能力，2011年1月，国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局下发了《煤矿井下紧急避险系统建设管理暂行规定》（以下简称《暂行规定》）。为了进一步推进《暂行规定》的执行，国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局于2012年1月20日下发了《关于煤矿井下紧急避险系统建设管理有关事项的通知》。至此，煤矿井下紧急避险系统的完善建设进入了加速推进期，系统的设计、建设、测试、使用、管理等技术日趋完善，安全标准、建设原则以及各方面技术指标逐渐形成。

随着我国紧急避险系统建设工作的不断推进，井下紧急避险系统涉及的相关技术缺少全面完善的理论研究支持，系统的安全性、可靠性、实用性等仍需理论的验证和实践的检验等问题日趋突出。为此，研究井下人员灾害情况下基本的生理特性和人体舒适度，进而对密闭避难空间的安全防护、氧气供给、空气净化、温湿度控制等关键系统的主要参数进行全面系统的研究，对我国紧急避险技术的进一步发展及煤炭安全生产具有

重要意义。

本书在对紧急避险技术进行系统、深入研究的基础上,结合编者多年的研究成果及现场实践经验,深入浅出地对紧急避险系统的基础理论,避险设施的设计、建设和使用进行了详细的阐述,可用于指导国内矿井紧急避险系统的建设工作,也可供从事紧急避险技术研究的技术人员和管理人员参考。

本书由北京科技大学金龙哲等著,其中第1章至第3章由金龙哲编写,第4章由栗婧编写,第5章至第10章由李芳玮编写,第11章由高娜编写,第12章、第16章至第18章由詹子娜编写,第13章至第15章、第19章由黄志凌编写。另外,本书在编写过程中,参考参阅了大量文献,在此,对所引用的参考资料的原作者表示感谢。

紧急避险系统的完善建设是近年来安全生产工作中的一项重要实践应用创新,关于紧急避险技术的理论及相应的规范标准仍在不断健全完善之中,国内外研究成果和各地成功的经验仍需不断总结,编者亦存在能力有限和经验不足等问题。因此,本书不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年6月

目 次

第1篇 绪 论 篇

1 紧急避险系统研究背景与意义	3
1.1 紧急避险系统研究背景	3
1.2 紧急避险系统研究意义	4
2 紧急避险系统研究现状	5
2.1 紧急避险系统国外研究现状	5
2.2 紧急避险系统国内研究现状	7

第2篇 理论与实验篇

3 紧急避险系统基础理论	13
3.1 紧急避险系统	13
3.2 紧急避险设施的构成及其布置方式	17
3.3 避难硐室的选址问题研究	25
4 紧急避险设施密闭空间人体生存环境参数研究	35
4.1 模拟实验平台的建立	35
4.2 实验内容及目的	37
4.3 实验室人体生存模拟实验研究	38
5 避险设施防护技术研究	55
5.1 救生舱的防护结构	55
5.2 避难硐室防护门研究	56
5.3 避难硐室防护墙研究	65
5.4 气幕阻隔系统研究	74
5.5 避难硐室正压密闭系统研究	83
6 密闭空间氧气供给技术研究	90
6.1 密闭空间内供氧技术分析	90
6.2 避难硐室地面钻孔研究	91
6.3 压风供氧系统研究	94
6.4 化学供氧技术研究	112
6.5 压缩氧供氧技术研究	118

7 密闭空间内部空气分布规律研究	121
7.1 避难硐室内扰动源分析	121
7.2 避难硐室模型建立	131
7.3 避难硐室数值模拟结果分析	137
8 密闭空间空气净化技术研究	149
8.1 二氧化碳净化系统研究	149
8.2 氢氧化锂性能与成型方案研究	156
8.3 氢氧化锂吸收二氧化碳效果研究	166
8.4 低能耗二氧化碳净化系统的建立	184
9 密闭空间温湿度控制技术研究	187
9.1 密闭空间温度控制研究	187
9.2 避难硐室内湿度来源分析	190
9.3 实验环境的建立及除湿药剂吸湿效果对比实验	193
10 灾变时期人体舒适度影响研究	207
10.1 密闭空间内环境因素对人体舒适度的影响分析	207
10.2 模拟生存实验分析研究	223
11 紧急避险设施载人实验研究	230
11.1 救生舱载人实验研究	230
11.2 潞安集团常村煤矿 N3 采区 80 人永久避难硐室载人实验研究	266
11.3 大屯煤电公司孔庄煤矿 I 6 采区 100 人永久避难硐室载人实验研究	271

第3篇 实践应用篇

12 潞安常村煤矿安全防护体系建设	287
12.1 项目概况	287
12.2 矿井概况	287
12.3 矿井主要危险因素分析	290
12.4 紧急避险设施设置	290
12.5 救生舱设计	294
12.6 避难硐室设计	298
12.7 避灾路线优化与应急预案修改	304
12.8 管理和培训	304
13 大屯煤电公司紧急避险系统建设	306
13.1 项目概况	306
13.2 徐庄煤矿紧急避险系统建设	307
13.3 孔庄煤矿紧急避险系统建设	311

13.4	龙东煤矿紧急避险系统建设	314
13.5	姚桥煤矿紧急避险系统建设	316
13.6	徐庄煤矿Ⅱ(3)采区避难硐室建设	320
14	王家岭煤矿提升钻孔永久避难硐室建设	327
14.1	项目概况	327
14.2	矿井概况	327
14.3	避难硐室结构设计	329
14.4	内部系统配备	331
14.5	钻孔系统设计	333
14.6	地面配套系统设计	335
14.7	项目投资估算	343
15	基于过渡站的孔庄煤矿Ⅳ1采区紧急避险体系建设	344
15.1	项目背景	344
15.2	设计原则	344
15.3	煤矿事故伤害机理分析	345
15.4	Ⅳ1采区紧急避险系统构建	347
15.5	投资估算	353

第4篇 培训与保障篇

16	基于紧急避险系统的避灾路线	357
16.1	避灾路线选择的基本原则	357
16.2	避灾路线计算的数学模型	357
16.3	井巷当量长度的计算	358
16.4	避灾路线网络求解算法	359
16.5	灾变避灾原则	361
17	基于紧急避险系统的应急预案	367
17.1	应急预案编制的原则与依据	367
17.2	灾变情况下人员心理及行为	368
17.3	火灾应急救援预案编制	369
17.4	水灾应急预案编制	375
17.5	煤尘瓦斯爆炸应急预案编制	378
18	灾变应急救援信息系统	385
18.1	系统开发平台	385
18.2	软件架构设计	387
18.3	数据库	389
18.4	应急救援指挥系统软件设计	391

19 安全避险“六大系统”培训基地建设	410
19.1 项目概况	410
19.2 培训基地总平面布置	410
19.3 培训楼与实验楼设计	410
19.4 模拟巷道设计	415
19.5 培训体系建立	418
参考文献	421

井下紧急避险技术

第1篇 绪 论 篇



1 紧急避险系统研究背景与意义

1.1 紧急避险系统研究背景

我国煤炭资源储量比较丰富,这些资源的开采,为国民经济建设提供了强有力的支持。但由于矿山开采的特殊性,在开采过程中存在水、火、瓦斯等自然灾害,严重威胁着矿井的安全生产和社会的和谐,这已引起党中央及各级政府的高度重视。

煤矿安全是全国安全生产的重中之重,党和政府高度重视煤矿安全工作。近年来,在党中央、国务院的领导下,各级地方党委、政府认真贯彻落实党中央、国务院关于煤矿安全生产工作的一系列重要部署,地方各级煤矿安全监管、煤炭行业管理等部门、驻各地煤矿安全监察机构和广大煤矿企业,持续推进煤矿瓦斯治理和整顿关闭工作,扎实开展三项行动,全面加强三项建设,煤矿事故总量连续3年下降幅度超过20%,煤矿安全生产形势保持了总体稳定、趋于好转的发展态势,但社会影响恶劣的重特大事故仍旧时有发生。

通过调研发现,南非、加拿大、美国、澳大利亚等采矿业发达国家,对矿井事故的应急救援工作十分重视,将应急避难硐室和救生舱作为地下矿山应急救援工作的重要部分进行了大量的研究,并有了多次成功营救的经验。国外采矿业发达国家矿井安全生产具有较高的水平及完善的法律法规制度,为矿井的安全防护提供了法律和制度的保障。

2008年8月,温家宝总理、张德江副总理等党和国家领导人作出批示,要求学习南非等国家的先进经验,进一步提高我国应急救援水平,减少因矿难事故造成的损失。2010年7月19日,国务院下发了《国务院关于进一步加强企业安全生产工作的通知》(国发〔2010〕23号)文件,明确要求“强制推行紧急避险系统、监测监控系统、井下人员定位系统、压风自救系统、供水施救系统和通信联络系统等技术装备,并于3年之内完成。逾期未安装的,依法暂扣安全生产许可证、生产许可证”。8月24日,国家安全监管总局、国家煤矿安监局联合下发了《国家安全监管总局、国家煤矿安监局关于建设完善煤矿井下安全避险“六大系统”的通知》,要求2013年6月底前,所有煤矿要完成紧急避险系统的建设完善工作。矿井紧急避险设施是安全避险“六大系统”的一个重要环节,通过与煤矿监测监控、人员定位、压风自救、供水施救和通信联络系统相结合,构成完整的紧急避险系统,在煤矿井下灾害突发紧急情况时为被困矿工提供保证生命安全的生存空间,是井下作业人员的最后一道生命保障。

此前,我国煤矿尚未在井下使用避难硐室或救生舱等安全防护设施,但有关部门已开始了避难硐室、矿山应急救生舱等方面的研究工作。

在可移动式救生舱的研究方面,北京科技大学、陕西重生科技有限公司、天津向日葵集团公司、无锡永神利安全设备厂、济宁恒泰矿业科技有限公司、天津鸿绪工贸有限公司等多家单位自发进行了相关研究。

2006年,科技部批准立项的国家“十一五”科技支撑计划“矿井重大灾害应急救援关键技术研究”项目的专题“遇险人员快速救护关键技术与装备的研究”中,提出了“可移动式救生舱”子专题,致力目标于:矿难事故发生后出现人员被困情况下,救护队使用高效防爆清矸装载机械,快速打通被堵巷道,并可在短时间内实现对井下一定空间的支护,对遇险人员实施救护;同时,幸存人员可沿既定避灾路线到达最近预先设置的救生舱或避难所,人员在救生舱或避难所内可通过舱内设备紧急

救助一定范围内受伤、受困人员，并通过监测仪器了解所处环境各类参数，通报井下情况，与矿井各部门取得联系，对可能发生的灾变作出预警。救生舱可提供避难人员 4 日的氧气、食物及水等生存物质。

近年来，我国投入了大量的人力物力从事矿山安全防护领域的研究工作，各类技术装备研发、示范推广、技术标准和法律法规的制修订等各项工作有计划地分步实施，合理衔接和互动，建立和不断完善煤矿井下紧急避险系统。

1.2 紧急避险系统研究意义

近 10 年来，我国煤矿事故死亡人数总数达 8 万之多，据不完全统计，仅有 10% 的井下作业人员是死于瓦斯突出、火灾、爆炸等事故的瞬间伤害，其余超过 80% 的遇险矿工的遇难是由于其周围区域的氧气殆尽、高浓度有毒有害气体的存在、撤离路线不清楚或被阻隔等原因，导致避难人员不能及时逃离危险现场，未能得到及时的救治而造成的。矿井抢险救灾工作与其他行业相比，实际救援工作对井下救援方式提出了多样化的需求，需要更强的技术性、时效性，并存在更大的危险性。惨痛的教训要求我们必须尽快构建一套有效的适用于不同灾变的紧急避险系统，建立一套平时用于培训演练，战时用于紧急避险救灾的矿井应急救援指挥体系，做好事故的预防和救援工作，减少人员伤亡。

随着矿井“六大体系”在全国矿井的全面建设，紧急避险系统全新推出。但我国对于紧急避险系统的研究还处在起步阶段，如何最大化地发挥紧急避险系统的作用，如何在灾变时指导井下矿工在最短时间内进入紧急避险设施内，在复杂的灾变环境下，如何确保避难人员在紧急避险设施内生命安全得到保障是亟待解决的重要问题。

2 紧急避险系统研究现状

目前,国内外将避难硐室和可移动式救生舱统称为避难所,其具体分类及概念如下:

永久性固定避难所 (Permanent Chamber):在矿井巷道两侧地层中直接挖掘而成,主要布置在主巷或逃生路线上。利用贯穿到地面的钻孔,向避难所内持续输送新鲜空气,并实现与地面的通信。

临时性固定避难所 (Temporary Chamber):在矿井工作面附近的巷道或煤层中挖掘而成,依靠氧气瓶等设备为避难所提供一定时间的氧气。当该工作面停产后,临时性避难所即被废弃,避难所内密封门、氧气瓶、通信装置、监测仪器等设备被转移到新的临时避难所中。

可移动式救生舱 (Portable Chamber):多数为舱体式结构,具有行进装置或者吊装、拖曳部件,能在巷道中移动,随工程进度不断改变位置。氧气瓶、通信装置、监测仪器等设备均安装在舱体内。

2.1 紧急避险系统国外研究现状

一直以来,欧美各采煤国家对矿井事故的应急救援工作十分重视,针对紧急避险技术和避险设备进行了大量的研究与实验,已经形成了一套较完善的体系。其中,南非、加拿大、美国、澳大利亚等国家对紧急避险系统研究取得的成果尤为突出,建立了以矿井永久避难硐室和可移动式救生舱为主要救援设备的矿井紧急避险体系,已经取得了多次成功营救的经验,并且仍在不断完善中。同时,根据该体系的建立,出台相应的政策和法规,将体系与法律紧密结合,保证体系实施的法律效力。

2.1.1 南非井下紧急避险系统

南非的煤矿紧急避险系统的发展经历了3个时期:未建立紧急避险系统,矿井伤亡事故多发的体系初期(1904—1916年);紧急避险系统构建雏形,考虑人的安全防护和人机之间协调性问题,事故伤亡改善的体系形成期(1961—1989年);重视并加强安全防护建设,极少事故发生,紧急避险系统已经达到了世界领先水平的体系发展期(1994年迄今)。其研制的高精度瓦斯分析仪、被困人员定位仪、井下救援通信系统以及惰性气体灭火系统、井下紧急呼吸机、便携式自救器等一系列矿井安全及救援产品均在国际上获得广泛好评。图2-1所示为南非Surviviar型可移动式救生舱。目前,南非是各国建立紧急避险系统学习的主要对象。

2.1.2 美国煤矿井下紧急避险系统

美国作为井下安全防护系统开发较早、技术较发达的国家之一,其完善的体系是建立在强大的生产技术基础上的,尤其体现在井下通信技术。美国正在使用的安全防护救援系统PED通信系统始于1990年,在很多火灾事故中成功实现了报警功能。美国目前正在研制的TeleMag Transtek系统是一种无线TTE双向语音和数据通信系统,它是一种便携式站对站系统,目前尚未在煤矿使用。

美国对于矿井移动式救生舱的研究已经趋于成熟,主要产品包括:美国杰克·肯尼迪金属制品公司可移动式救生舱(图2-2),现代矿业安全有限责任公司救生舱(图2-3),美国Strata公司充气式避难硐室(图2-4)等。

2.1.3 澳大利亚井下紧急避险系统

澳大利亚研究的安全防护设施主要包括防护服装、紧急呼救器(能给矿工提供40~50 min的氧气)、救生站(避难硐室)等。该国对于移动式救生舱的研究也取得了较好成绩,主要研究企业包括:澳大利亚MineARC系统公司(MineARC Systems,图2-5),澳大利亚Shairzal安全工程公司(Shairzal Safety Engineering),澳大利亚Cowan制造有限责任公司(Cowan Mfg, Pty, Ltd.)。



图 2-1 南非 Surviviar 型可移动式救生舱



图 2-2 美国杰克·肯尼迪金属制品公司可移动式救生舱



图 2-3 现代矿业安全有限责任公司救生舱

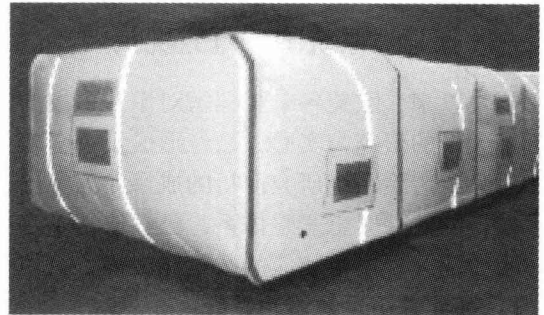


图 2-4 美国 Strata 公司充气式避难硐室



图 2-5 MineARC Systems 公司救生舱

澳大利亚的紧急避险系统不仅加强了对矿山企业的监督和管理,也对从事矿井工作的人员提出了法律要求,若触犯了相关法律也要受到制裁。澳大利亚一种较有代表性的安全防护救援技术是单向 TTE 传输系统。这种系统是根据漏泄馈电原理实现无电缆方式的信息传输 PED 通信系统,该系统可以将信息传送到矿灯蓄电池上部的液晶显示器上。

2.1.4 加拿大井下紧急避险系统

加拿大的紧急避险系统的研究处于世界领先水平,其自主研发的 Flexalert 系统是一种单向 TTE 传输应急疏散系统。在矿山地面架设 10 ~ 120 m 金属环形天线,矿灯内安装接收器。接收的疏散信号使矿灯闪光,继而收到所传送的信息,收发信号能力及效果得到使用方好评。

此外,法国煤炭研究所提出了充气避难硐室的设想,并已进行了若干次实验。充气避难硐室是用柔性的材料作为避难硐室的挡帘,挡帘可以起到隔火、隔热、隔绝有毒气体的作用,从而可以有效地保护人员。充气避难硐室里设有压缩风机送入新鲜空气,有电话、巷道平面图等。充气避难硐室作为一种原始的避难硐室,在目前的生产中很少被采用。

发达国家除了在大型设备如移动式救生舱方面的研究达到了世界领先水平外,在一些小型的设备如井下呼吸自救器方面的研究也领先于其他国家。

2.2 紧急避险系统国内研究现状

相比于国外发达国家,我国井下紧急避险系统研究工作还存在很大的差距。虽然《煤矿安全规程》中已经规定了矿工自救中构建紧急避险系统的必要性,但实际生产过程中,矿井紧急避险系统的构建还没有成型的技术和规范标准。

近年来,我国的部分企业和高校在井下可移动式救生舱研究工作中已取得了一定的进展。山西潞安集团与北京科技大学联合组成矿用可移动式救生舱项目研究课题组,在国内率先展开对救生舱的研究,并研发出国内首台救生舱(图 2-6)。

2006 年以来,北京科技大学的研究人员在实验室条件下进行了密闭空间内人体生存参数的实验研究、密闭空间内氧气供应装置的研发、密闭空间内有毒有害气体去除系统的实验研究、密闭空间内气体监控系统的建立、密闭空间内空气调节技术的研究,得出了密闭空间内人的生存涉及的氧气、二氧化碳、热量、湿度等参数,建立了动力系统、密闭空间内气体监控系统、密闭空间内动力供应系统、密闭空间内卫

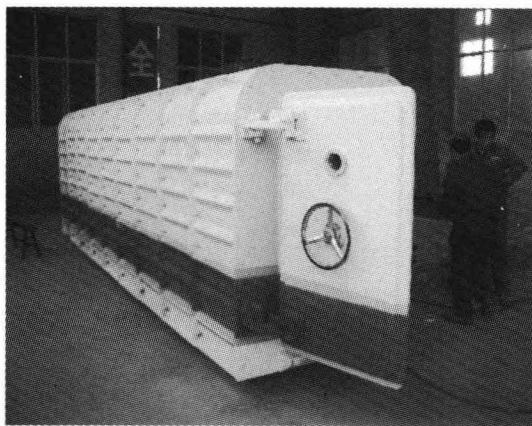


图 2-6 矿用可移动式救生舱

生设施等。2008 年初开始,在实验室实验的基础上,课题组开始了井下可移动式救生舱的设计、安装、调试和实验,完成了井下救生舱体结构的设计,灾变环境下密闭空间内氧气供应装置的研发,有毒有害气体去除系统的实验研究,密闭空间内空气调节技术的研究,救生舱监测系统的选择、布置及实验,系统设备动力供应系统的设计与制造,通信、监测、动力及附属装备的研究,并在此基础上,完成了 4 人 96 h 真人生存实验(图 2-7)。

在矿用可移动式救生舱研发的基础上,北京科技大学进行了避难硐室的研究,在潞安集团常村煤矿建设完成国内首个永久避难硐室,并进行了 80 人 48 h 真人生存实验(图 2-8)。

目前,我国对于紧急避险系统的研究发展迅速。尤其是对可移动式救生舱的研究已经形成了国家—科研机构—高校—企业等多种方式共存的开发局面,国内相关研究单位已达百余家。其代表性产品如图 2-9 至图 2-11 所示。

在避难硐室建设方面,各煤矿企业虽然缺乏设计施工经验,亦无相关的成熟、完善的标准可循,但仍通过与科研机构合作,自主研发或引进国外先进技术等多种方式全面展开。自我国第一个避难硐室建设完成并实验成功后,目前已有不少矿井建成避难硐室。山西资源整合后的部分矿井在兼并重组项目初步设计中,已经为矿井配备了可移动式救生舱,设计了避难硐室。目前,各煤矿企业多采用“总体规划、分步实施、逐步完善”的模式进行紧急避险系统的建设,即先对整个煤矿的紧急避险系

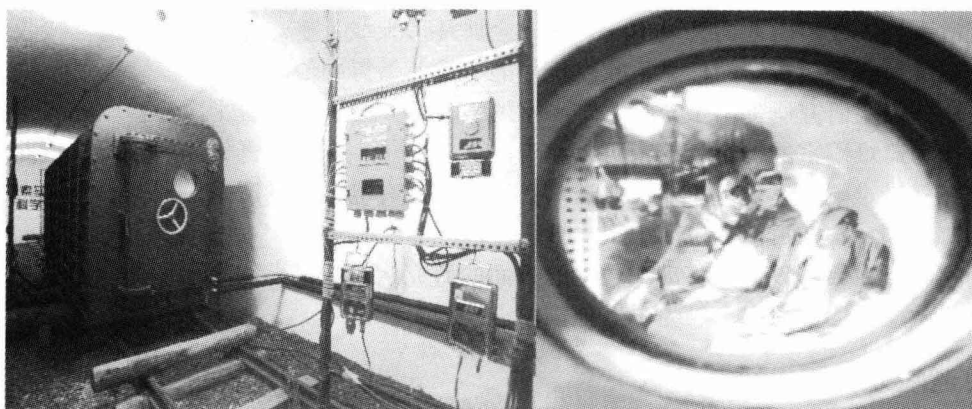


图 2-7 矿用可移动式救生舱真人生存实验



图 2-8 避难硐室真人生存实验

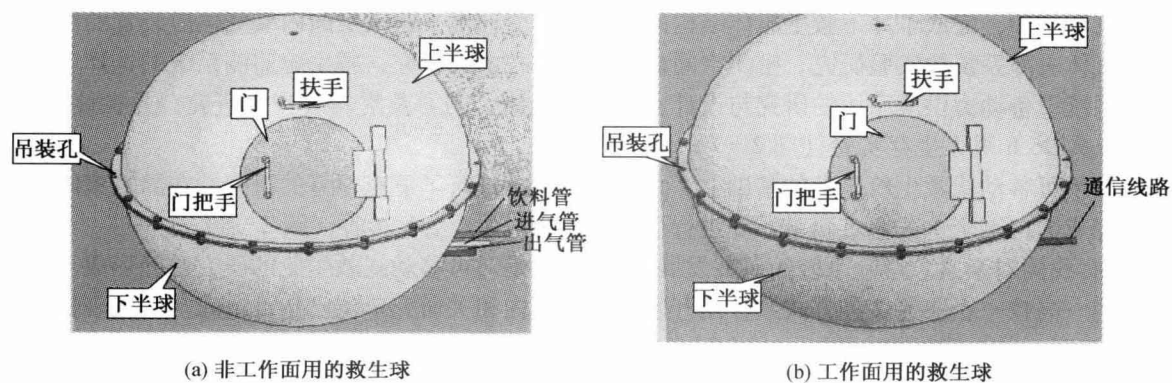


图 2-9 厦门大学煤矿多用途生命球

统进行总体规划，然后进行试点避难硐室和救生舱的建设，最终建设完成覆盖整个矿井的紧急避险系统。