



移动扫码阅读

刘宁宁.神东大型井田紧急避险逃生模式及装备研究[J].煤炭科学技术,2019,47(12):150-155.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.022

LIU Ningning.Research on refuge escape model and equipment for large mine field of Shendong[J].Coal Science and Technology,2019,47(12):150-155.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.022

神东大型井田紧急避险逃生模式及装备研究

刘 宁 宁^{1,2,3}

(1.煤炭科学技术研究院有限公司,北京 100013;2.煤矿应急避险技术装备工程研究中心,北京 100013;
3.北京市煤矿安全工程技术研究中心,北京 100013)

摘 要:为改变现有避险逃生模式无法满足神东矿区大型井田避险逃生需求的现状,分析了逃生路线前端、中部和末端存在的问题,提出“可移动式救生过渡站+永久避难硐室+逃生通道”的避险逃生模式,计算逃生路线的关键参数,为关键节点配套了逃生装备;基于逃生时间和施工技术水平,提出了逃生通道内配套设备的选择方法;研究了以钻孔垂直度综合控制技术和大直径预钻孔长时稳定护孔技术为核心的大直径预钻孔技术;开发了车载救援提升系统,在神华神东煤炭集团大柳塔煤矿建设了示范工程。结果表明:大直径预钻孔孔斜度 0.102%,与避难硐室顺利贯通,车载救援提升系统运行良好,形成了大型井田自采掘面至地表的覆盖全程的避险逃生路线,满足大型井田避险逃生需求。

关键词:避险逃生;逃生通道;大直径预钻孔;救援提升;应急救援

中图分类号:TD77.1

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)12-0150-06

Research on refuge escape model and equipment for large mine field of Shendong

LIU Ningning^{1,2,3}

(1. China Coal Research Institute Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. Engineering Research Center for Technology Equipment of Emergency Refuge in Coal Mine, Beijing 100013, China; 3. Beijing Engineering and Research Center of Mine Safe, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to change the present situation that the existing refuge escape model can't meet the refuge escape needs of Shendong with large mine field, the paper analyzed the problems existing in the front, middle and end of the escape route and promoted the refuge escape model "movable lifesaving transition station + permanent refuge chamber + escape channel", calculated the key parameters of escape route and matched equipment for the key nodes. Based on the escape time and the level of construction technology, the equipment selection method for escape channel was promoted. The paper researched the large diameter pre-bored technology which mainly composed by borehole verticality integrated control technology and longtime stable protecting technology for large diameter hole. Vehicle rescue lifting system was developed and demonstration project was constructed in Daliuta mine of Shenhua Shendong Coal Group. The result showed that the pre-bored hole connected the refuge chamber smoothly for the inclination was only 0.102%, the vehicle rescue lifting system worked well, the escape route covering the whole course from the mining face to the surface was formed and meet the refuge escape needs of large mine field.

Key words: refuge escape; escape channel; pre-bored hole with large diameters; rescue lifting; emergency rescue

0 引 言

随着科技进步和管理水平提高,煤矿安全形势大幅持续好转,然而我国开采地质条件复杂,煤矿安

全事故无法根本上避免,仍然时有发生。2011 年以来,借鉴南非、美国、澳大利亚避险逃生系统建设经验^[1],国家安全生产监督管理总局下发了《煤矿井下紧急避险系统建设管理暂行规定》(安监总煤

收稿日期:2019-06-04;责任编辑:赵 瑞

基金项目:神华集团科技创新资助项目(SHGF-13-20)

作者简介:刘宁宁(1986—),男,河北衡水人,助理研究员,硕士。E-mail:liuningning@ccrise.cn

装[2011]15号)等系列文件,开始了我国煤矿紧急避险系统从无到有的建设实践。目前,已经形成了“救生舱/临时避难硐室+永久避难硐室+生产井筒”为主的避险逃生模式^[2-3],配套的压缩氧自救器、可移动救生舱、永久避难硐室、专用通风管路等装备设施逐步发展完善^[4],并在全国范围内推广,能够满足中东部井田范围较小矿井的避险逃生需求。紧急避险逃生模式建设及配套装备主要由矿井开拓方式、巷道布置、人员分布、灾害事故类型、主要风险因素等矿井内在因素决定,并受装备技术发展水平、管理制度、逃生人员素质等外在因素影响^[5-6]。

以神东矿区为代表的大型井田具有明显区别于中东部矿井的地质条件和开采特点,概括为“两长一大,两多一浅,一集中”,即:大巷长度长,普遍在2.5 km以上,最长达20 km;工作面推进距离长,巷道长度普遍在3 km以上,最长达6 km;井田面积大,普遍在50 km²以上,最大达到200 km²;可采煤层3层以上,采掘工作面普遍5个以上;埋深普遍为200~300 m,最深不超过600 m;井筒位置多集中于井田边界的工业广场^[7-9]。现有避险逃生模式及装备无法满足此类大型井田的安全生产需求,因此,笔者开展针对性研究,提出适合大型井田的避险逃生模式并开发配备系列逃生装备。

1 神东矿区避险逃生模式及关键参数

1.1 紧急避险逃生模式的提出

神东矿区“九矿十井”普遍采用“救生舱/临时避难硐室+永久避难硐室+生产井筒”的常规紧急避险系统,避险为主,逃生为辅,未形成逃生路线的全程防护^[10]。逃生路线前端:救生舱拆装搬运困难,临时避难硐室一次性使用,建设周期长,均与采掘面的快速推进不相适应;逃生路线中部:逃生路线长,救生舱或临时避难硐室内一次更换自救器无法保证安全逃生;逃生路线末端:永久避难硐室避险人数及防护时间有限,建设数量不满足全矿井避险需求,仅能被动避险;逃生通道(井筒)位置和数量依据生产需要建设,集中于井田边界工业广场,不能保证灾害情况下人员安全撤出。课题组根据神东矿区特点及我国避险逃生装备技术水平,提出大型井田自采掘工作面至地表的覆盖逃生路线全程的避险逃生模式“可移动式救生过渡站+永久避难硐室+逃生通道”^[11],即前端采用过渡站替代临时避难硐室和救生舱,解决与采掘工作面快速推进不相适应问题;中部采用过渡站与长时自救器相配合接力逃生,解决逃生路线长,自救器防护时间有限的问题;末端采用大直径逃生通道与避难硐室相结合,增加全矿井安全出口的数量,解决安全出口过于集中,实现避和逃的统一。大型井田避险逃生模式如图1所示。

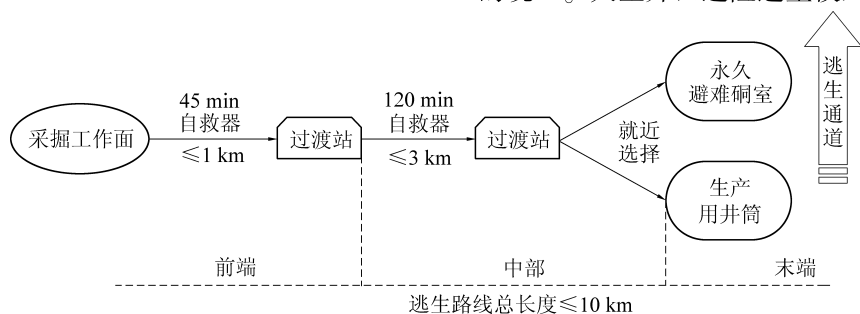


图1 大型井田避险逃生模式

Fig. 1 Refuge escape model for large mine field

1.2 逃生路线的关键参数

依据统计数据,逃生人员在井下熟悉黑暗环境逃生速度约为0.7 m/s,成人剧烈运动4 h需要较长时间休息及能量补充^[12-13]。根据理论计算及试验研究,目前使用的压缩氧自救器有效防护时间约为额定防护时间的2/3^[14]。考虑一定的安全系数,据此可确定逃生模式的3个关键参数。

1) 逃生路线前端:首个过渡站至采掘工作面的距离 $D_1 \leq 1$ km。

2) 逃生路线中部:过渡站之间的距离 $D_2 \leq$

3 km。

3) 逃生路线末端:逃生路线全长 $D_0 \leq 10$ km。

受逃生路线全长的限制,中部过渡站数量应不超过2台,根据神东矿区巷道长度,逃生路线末端两逃生通道之间的距离 $D_3 \leq 6$ km。

依据上述数据,结合矿井实际开拓开采部署,即可确定需要增加安全出口的位置。

1.3 逃生路线关键节点配套设施及装备

逃生模式关键节点配套的装备主要有可移动式救生过渡站、长时压缩氧自救器和配备逃生通道的

永久避难硐室。

1)可移动式救生过渡站:提供自救器更换的安全环境,必要时用于避险,与救生舱相比取消有毒有害气体去除、降温除湿系统,仅接入矿井压风,配备压缩空气瓶,维持200~500 Pa正压,防止有毒有害气体侵入;两端过渡室与补给室之间悬挂气体阻隔帘,保证气密性的同时减轻自重;不同方向2个门L型贯通式结构,减少爆炸冲击;站体材质选用屈服强度超过600 MPa的特种钢,整体抗冲击能力超过0.1 MPa。与救生舱相比,长度由约10 m缩短至6.0 m,质量由16 t以上降至4.5 t,支架搬运车可轻松搬运,实现了快速移动,能够与工作面快速推荐相适应。可移动式救生过渡站如图2所示。

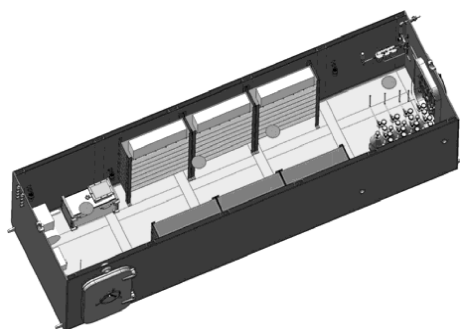


图2 可移动式救生过渡站

Fig. 2 Movable lifesaving transition station

2)配备逃生通道的永久避难硐室。大直径钻孔作为逃生通道与永久避难硐室相连,使永久避难硐室在具有避险功能的基础上,具有逃生功能。突破了避难硐室额定防护人数限制,多个盘区可共用,减少了硐室建设数量。通道内配备逃生螺旋梯或配套矿井救援提升系统^[15-17]。

2 逃生通道逃生方式

提出了适合大直径钻孔逃生通道的2种逃生装备:螺旋梯、车载式提升舱。螺旋梯结构简单,可满足多人连续主动逃生,车载式提升舱机械化程度高,提升速度快,可实现多井共用,需要针对神东矿区特点进行选择。

1)基于逃生时间。采用登居民楼的方式开展逃生人员登梯试验,结果表明:自救器有效防护时间内攀登楼层高度95层,折合243 m;登梯后期体力进入高强度无氧运动,逃生效率下降;安全系数按照1.2计算,螺旋梯适用逃生深度202 m。登梯试验典型心率变化如图3所示。登梯高度及自救器余压变化如图4所示。

2)基于施工技术水平。综合考虑行人空间宽度、中部立柱直径等因素,适用螺旋梯的大直径钻孔

净直径应不小于1 500 mm,护壁钢管质量0.70 t/m,采用下管提升能力较大的托底法下护壁钢管,最大提升约200 t,因此现有下管施工技术施工深度不超过280 m。煤层埋深202 m以浅采用螺旋梯,埋深超过202 m采用提升舱。神东矿区普遍埋深200~300 m,选择提升舱作为逃生通道内的逃生装备。

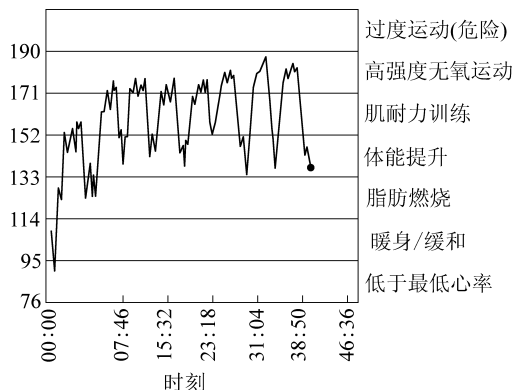


图3 登梯试验典型心率变化

Fig. 3 Typical heart rate curve in climbing test

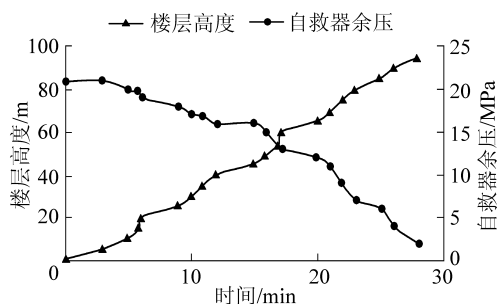


图4 登梯高度及自救器余压变化

Fig. 4 Change of climbing height and self-rescuer excess pressure

3 大直径预钻孔技术

大直径预钻孔是在灾害发生之前钻进与永久避难硐室相联通的直径超过500 mm的钻孔,作为灾害时的逃生通道。为保证大直径钻孔与井下已施工的避难硐室顺利贯通,保证钻孔内救援提升设备安全运行,以及钻孔的长时稳定需要采取必要的技术措施。

3.1 钻孔垂直度综合控制技术

采用复合钻孔工艺,多次分级扩孔至终孔,上部松散层及全风化基岩段采用“一开四扩正循环复合施工工艺”,稳定基岩段采用“二开三扩返提复合施工工艺”。采用无线随钻测斜技术实时监测钻孔轨迹,并运用单点测斜技术辅助验证。设备操作过程中注意开孔段低速慢进。

3.2 大直径预钻孔长时稳定护孔技术

1)围岩应力环境方面,采用岩层移动理论划设

保护煤柱范围,部分扩大大巷保护煤柱,防止采动损害。

2) 在 Clinedinst 圆管失稳计算公式中引入 1.5 倍安全系数计算钢管壁厚为^[18]

$$p_e S_c = \frac{2E}{(1-\mu^2)(D/t)[(D/t)-1]^2} \quad (1)$$

式中: p_e 为护壁钢管承受的围岩压力,MPa; S_c 为引入的安全系数,取 1.5; E 为钢材的弹性模量,MPa; μ 为钢材泊松比; D 、 t 分别为钢管的外径和壁厚,mm。经计算, $t=18.92$ mm,选定钢管壁厚 20 mm。

3) 施工工艺方面:钢管连接焊缝 3 次焊接完成,并进行无损探伤,外部焊接加强板;钢管内外及焊缝进行防腐处理;采用吊环、吊卡配合钢丝绳兜底的方法将钢管下入钻孔,防止传统穿杠下管法给钢管带来的强度损害。

4 车载救援提升系统研发

研制了一种通过大直径钻孔对煤矿井下被困人员进行救援提升的矿山救援快速响应装备。

1) 功能特点及参数。车载救援提升系统通过集成化设计将提升舱、转盘机构、绞车等集成在卡车底盘上,能够快速抵达灾害现场;配备柴油和电力双动力系统,适应灾害现场复杂条件;实现了手柄和遥控互锁双控制。车载救援提升系统主要技术参数如下:

最大提升力/kN	50
额定提升力/kN	18
提升速度/(m·s ⁻¹)	0.8
下放速度/(m·s ⁻¹)	0.8
最大提升深度/m	600
卷筒容绳量/m	700
容纳人数/人	1
承载能力/kg	600
舱体外径/mm	550
舱体有效空间/(mm×mm)	φ540×1 900
最大作业幅度/m	9.2
回转工作范围/(°)	±360

2) 提升安全保障技术。开发全液压传动,采用恒功率变量泵和变量马达,实现绞车提升速度的无级变速,保证提升过程平稳;采用光电编码技术,实时监测绳速和提升舱位置;采用钢丝绳无损在线检测技术,利用永磁、漏磁原理,实时监测钢丝绳缺陷;研发防旋转装置,实现钢丝绳旋转时,提升舱不旋转;采用导电滑环,实现钢丝绳与提升舱之间四芯电

缆电流的可靠传递;开发缓降逃生装置,实现卡罐条件下缓降逃生。

3) 三重触底安全保障技术。提升舱下放接近井底时,需要减速并缓慢软着陆。舱底配备了超声波近地传感器,提升舱距孔底小于 5 m 时,自动减速;开发了触底开关,触底后无法继续下放,保证提升舱直立,同时钢丝绳处于绷紧状态;研发液压触底缓冲装置,防止落底时硬着陆冲击。提升舱结构如图 5 所示。

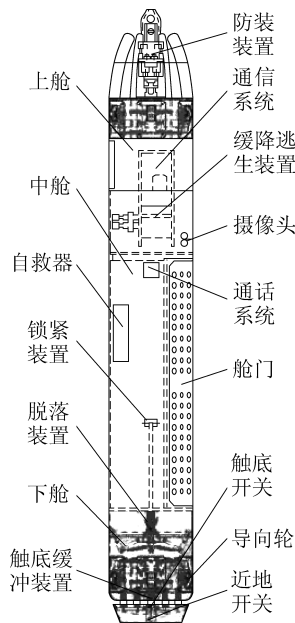


图 5 提升舱结构

Fig. 5 Structure of lifting chamber

4) 提升舱音视频通信及环境在线监测。采用内置线缆钢丝绳实现通信及控制信号传输;研究井上下音视频通信技术,实时观察舱内状况,并进行双向语音通话;研发四参数环境检测仪,对舱内 CH₄、CO₂、CO、O₂ 实时监测;采用 DSL 技术,实现音视频信号、环境参数数据、近地传感器数据及触底开关数据利用两芯线缆同步传输。

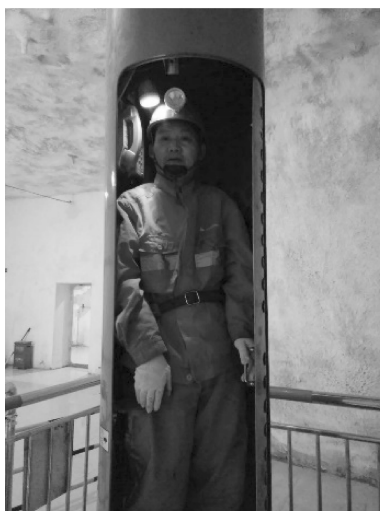
5 示范工程建设

“可移动式救生过渡站+永久避难硐室+逃生通道”的避险逃生模式在神华神东煤炭集团大柳塔煤矿建设了示范工程。井下依据逃生模式确定的关键参数布置了过渡站,并根据生产条件动态调整位置;在 5-2 煤六盘区建设了额定防护 100 人的永久避难硐室,施工了与之联通的大直径预钻孔,净直径 660 mm,孔深 244.6 m,孔斜偏距 250 mm,孔斜度 0.102%,与预先施工的避难硐室准确贯通,下管过程安全顺利。救援提升试验如图 6 所示。

研发的车载救援提升系统与大直径逃生通道配



(a) 状态 1



(a) 状态 2

图 6 救援提升试验

Fig. 6 Test of rescue lifting

合开展了多次人员提升现场试验,系统各项功能运行良好,提升舱与逃生通道配合良好,运行流畅,达到了快速救援的目的。

6 结 论

1)在分析神东矿区避险逃生系统特点的基础上,提出了大型井田自采掘工作面至地表的覆盖逃生路线全程的避险逃生模式“可移动式救生过渡站+永久避难硐室+逃生通道”,计算并给出了首个过渡站至采掘工作面的距离、过渡站之间的距离、逃生路线全长、逃生通道间距4个逃生路线的关键参数的取值范围。

2)开发了可移动式救生过渡站,为逃生人员提供自救器更换的安全环境。

3)提出了煤层埋深202 m以浅采用螺旋梯,埋深超过202 m采用提升舱。神东矿区宜选用提升舱

作为逃生通道的逃生装备。

4)提出了以钻孔垂直度综合控制技术和大直径预钻孔长时稳定护孔技术为核心的大直径预钻孔技术,保证了大直径钻孔的垂直度及安全施工。

参考文献(References):

- [1] 杨大明,武越.中美两国煤矿井下紧急避险相关规定对比分析[J].煤炭科学技术,2012,40(2):40-44.
YANG Daming, WU Yue. Comparison analysis on underground mine related emergent refuge regulations of china and USA[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(2): 40-44.
- [2] 杨大明.煤矿井下紧急避险技术装备现状与发展[J].煤炭科学技术,2013,41(9):49-52.
YANG Daming. Status and development on technology and equipment of emergency refuge system in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 49-52.
- [3] 高娜,刘建国,金龙哲,等.矿井避险空间生氧净化系统研究与试验[J].煤炭学报,2015,40(3):616-622.
GAO Na, LIU Jianguo, JIN Longzhe, et al. Study and experiment of the system of oxygen supply and purification in the mine refuge space[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(3): 616-622.
- [4] 孙继平,钱晓红.煤矿重特重大事故应急救援技术及装备[J].煤炭科学技术,2017,45(1):112-116,153.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Emergency rescue technology and equipment of mine extraordinary accidents[J]. Coal science and technology, 2017, 45(1): 112-116, 153.
- [5] 孙继平.煤矿井下紧急避险关键技术[J].煤炭学报,2011,36(11):1890-1894.
SUN Jiping. Research on key technologies of emergency refuge system in underground coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(11): 1890-1894.
- [6] 窦宏莺.矿用救生舱整体结构设计及抗爆性能研究[D].太原:太原理工大学,2016.
- [7] 王磊,金龙哲,高娜,等.布尔台煤矿2-2煤永久避难硐室的构建及紧急避险系统建设问题研究[J].中国矿业,2013,22(1):123-126.
WANG Lei, JIN Longzhe, GAO Na, et al. Study on the Buertai coal mine permanent refuge chamber construction and the emergency system construction[J]. China Mining Magazine, 2013, 22(1): 123-126.
- [8] 叶青.神东矿区高效建设与生产模式[J].中国煤炭,2003(4):5,6-9.
YE Qing. Highly efficient Shendong coal mine area; mode of construction and production[J]. China Coal, 2003(4): 5, 6-9.
- [9] 王淑燕.神东矿区资源开发利用研究与探索[J].煤矿安全,2017,48(S1):104-108.
WANG Shuyan. Research and exploitation of resource development and utilization of Shendong mining area[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(S1): 104-108.
- [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] 李磊,崔刚,霍中刚,等.基于神东现代化矿井特点的紧急避险逃生模式[J].煤矿安全,2015,46(5):127-129.
Li Lei,Cui Gang,Huo Zhonggang, *et al.* Emergency refuge and escape mode based on characteristics of Shendong modernized mine[J].Safety in Coal Mines,2015,46(5):127-129.
- [12] 邹雪梅.基于人员健康度的矿山灾害逃生研究[D].长沙:中南大学,2013.
- [13] 王刚,郭德勇,吴建民.高原地区煤矿应急救援人员体能训练分析[J].中国煤炭,2012,38(1):121-125.
Wang Gang,Guo Deyong,Wu Jianmin. Analysis of physical training of emergency rescue personnel for coal mine accident on plateau area[J].China Coal,2012,38(1):121-125.
- [14] 王欢,郑迎东,张彦峰,等.登楼梯能量消耗的测量与统计方法研究[J].中国体育科技,2010,46(2):11-13,25.
Wang Huan,Zheng Yingdong,Zhang Yanfeng, *et al.* Study on the measurement and statistical method of energy expenditure of taking the stairs[J].China Sport Science and Technology,2010,46(2):11-13,25.
- [15] 唐永志,赵俊峰,丁同福,等.复杂地质条件下大直径救生孔成孔关键技术与工艺[J].煤炭科学技术,2018,46(4):22-26,39.
Tang Yongzhi,Zhao Junfeng,Ding Tongfu, *et al.* Key technology and technique of large diameter rescue borehole drilling under complicated conditions geological[J].Coal Science and Technology,2018,46(4):22-26,39.
- [16] 李钊源,金龙哲,李芳玮,等.煤矿避难硐室提升钻孔系统研究[J].中国安全科学学报,2013,23(11):97-101.
Li Zhaoyuan,Jin Longzhe,Li Fangwei, *et al.* Research on hoisting drilling-based refuge chamber[J].China Safety Science Journal,2013,23(11):97-101.
- [17] 陈宝强,蒋曙光,孙勤盛,等.煤矿井下避难硐室钻孔逃生模式应用探讨[J].煤炭工程,2014,46(12):6-9.
Chen Baoqiang,Jiang Shuguang,Sun Qinsheng, *et al.* Discussion on application of borehole escape mode to refuge chamber in underground mine[J].Coal Engineering,2014,46(12):6-9.
- [18] 张宇寒,张建兵,张雄,等.抗挤强度新算法对套管柱设计安全系数的影响[J].石油矿场机械,2014,43(10):16-20.
Zhang Yuhuan,Zhang Jianbing,Zhang Xiong, *et al.* Analysis of how new equations for calculating casing collapse strength affects safety factor of casing string design[J].Oil Field Equipment,2014,43(10):16-20.