

平邑石膏矿坍塌事故救援成功后的几点思考

李亮^{1,2}

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 济宁 272100; 2. 山东省华鲁工程总公司, 山东 济宁 272100)

摘要:2015年12月25日,平邑某石膏矿发生坍塌事故,多人被埋井下。救援人员经过共同努力,将被困井下36天的4名幸存矿工成功救出,创造了中国矿山救援史上第一个通过地面打孔救援的案例。针对该案例,对矿山事故救援、矿山地质灾害预防及治理、地面钻进大口径钻孔应急救援技术等相关问题进行了思考。

关键词:坍塌矿区;救援;矿山地质灾害;大口径钻孔救援;平邑石膏矿坍塌事故

中图分类号:P634;TD77⁺1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)10-0281-06

Discussion of Pingyi Gypsum Mine Collapse Accident Rescue/Li Liang (1. Shandong Provincial Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Jining Shandong 272100, China; 2. Shandong Provincial Hualu Construction Engineering Corporation, Jining Shandong 272100, China)

Abstract: On Dec. 25 in 2015, collapse accident happened in Pingyi, many people were trapped underground. By the unremitting effort, 4 survival miners were rescued after being trapped for 36 days, which created the first rescue case by drilling hole from the ground in the history of China's mine rescue. In view of this case, some related problems such as mine accident rescue, mine geological disaster prevention and control and emergency rescue by large diameter drilling on the ground are discussed.

Key words: collapsed mining area; rescue; mine geological disaster; large hole drilling for rescue; collapse accident in Pingyi gypsum mine

0 引言

地下资源的开采和利用,对于国民经济的发展、社会的稳定以及人民生活水平的提高等方面起着极其重要的、积极的作用。与此同时也产生了大量矿山地质灾害问题,比如采空区塌陷问题,地下水污染问题,土壤污染问题以及滑坡、泥石流和水土流失等问题。这些问题的出现,严重威胁着人身财产安全,影响了社会安定,制约了国民经济的可持续发展。所以,如何实现“在开发中保护,在保护中开发”,是摆在我们面前亟待解决的现实问题。2015年12月25日发生在山东平邑的某石膏矿坍塌事故,引起全国人民的高度关注,中央电视台安排专人现场进行跟踪报道,直至被困井下36天的4名幸存矿工被成功救出。国家安监总局对此次事故高度重视,在事故发生后立刻成立救援指导小组,同时山东省也启动了应急预案,紧急调度多支救援队赶赴现场抢险救灾。副省长张务锋坐镇现场指挥救援,平邑县委书记、县长、常务副县长、分管副县长被免职;事后,临沂市政府对辖区内所有非煤矿山企业进行全面清理整顿,凡是有安全隐患的,一律不得恢复生产,还

将对一百多万平方米的采空区进行规范化处理,以降低事故发生的可能性。

本次平邑石膏矿坍塌事故救援,引发了笔者对我国矿山事故救援、矿山地质灾害预防及治理等各方面问题的思考。

1 事件概述

2015年12月25日,山东省临沂市平邑县一石膏矿发生坍塌事故,29名作业人员被困井下。该石膏矿发生坍塌事故后,引发震动致使山东省临沂市平邑县(北纬35.5°,东经117.7°)发生4.0级地震。地震还引发了严重的次生灾害,导致矿区附近农田产生多条裂缝,部分道路断裂塌陷。

救援人员冒着生命危险,掘进修复井下巷道,先后救出11名被困矿工。由于矿区地质结构异常复杂,井下坍塌比较严重,同时,由于坍塌造成的井下涌水量较大,而且水位线高于被困矿工所在深度,如果地下水涌入,受困人员根本没有生还的可能。鉴于上述原因,为避免次生事故,井下救援工作被迫终止,继而采用从地面施工大直径垂直救生孔进行救

援的方案。

根据救援工作的需要,指挥部共安排施工生命探测孔3个,分别为1号孔、2号孔、6号孔,救援孔为2号孔和7号孔;救生孔3个,分别为3号孔、4号孔、5号孔。我单位用新购置的德国宝峨BG26型旋挖钻机负责4号救生孔上部孔段的施工任务;北京大地特勘救援队投入的T200XD型多功能钻机负责4号救生孔下部孔段的施工任务;德国宝峨天津分公司投入的BG38型旋挖钻机负责5号救生孔上部孔段的施工任务;国家矿山应急救援淮南队投入的RB-T90型多功能钻机负责5号救生孔下部孔段的施工任务。在这场与时间赛跑的生命大营救中,各单位救援人员通力协作,全力以赴,经过不懈的努力,2016年1月29日21点38分,第一名被困人员成功升井!随后其他3人也顺利获救,创造了中国矿山救援史上第一个通过地面打孔救援成功的案例,具有里程碑意义。

2 原因分析

平邑县为矿产资源大县,石膏矿是其经济支柱之一,当地有十多家石膏矿开采企业,开采企业极少回填。近几年石膏矿的过度开采已让平邑县形成79.12公顷的地下采空区,已被划为潜在塌陷区,事故发生地的玉荣矿曾是地质灾害防治的重点单位,在2015年10月23日已按上级主管部门的要求停止开采。事发时,29名矿工正在井下进行安全隐患整改和巷道检修。经过认真分析,并结合现场情况,确定石膏矿垮塌的原因是因临近的废弃石膏矿采空区坍塌而引发坍塌,属非天然地震。塌陷地震是因岩层崩塌陷落而形成的地震,属于地震的其中一种。在石灰岩等易溶岩分布广泛的地区,由于下覆岩体长期受地下水侵蚀形成多处溶洞,洞顶塌落而形成塌陷地震,这种地震占世界地震总数的3%左右。

采矿塌陷是个十分复杂的过程,受到岩层的岩性、成分、结构、构造等诸多因素影响,加之监测和分析极为困难,矿层应力变化和岩层位移情况难以观测,至今为止尚未形成公认的采矿塌陷机理。但是几种假说如拱形冒落论和压力拱假说、悬臂梁(板)冒落论和冒落岩块碎胀充填论、冒落岩块铰结论和砌体梁平衡学说等,从不同角度阐述了各类矿山塌陷的形成机制。

3 相关问题思考

3.1 思考之一:救援时间为什么这么长

从坍塌事故发生到4名矿工成功升井,整个过程持续了36天。救援时间为什么这么长?笔者认为有以下几方面原因。

(1)情况复杂,救援的难度大、风险高,巷道救援方案被迫终止。

指挥部最初确定的救援方案是采用巷道救援,由于矿区情况十分复杂,坍塌掉块现象时有发生,矿区坍塌的落石有的重达十几吨、甚至几十吨,强烈的挤压、冲撞致使井筒严重变形,井底巷道几乎被完全堵死,难以通行。

一线救援人员人工强行掘进、修复支护的多处巷道反复被毁。另外,地质结构复杂,井下涌水量大,井下一氧化碳浓度升高等,也给救援工作带来诸多困难。为避免次生事故,经过一段救援后,救援人员不得不撤出,救援方案由巷道救援变更为地面大直径钻孔救援。如果巷道救援能够顺利实施,那么救援时间将大大缩短。

(2)地层复杂。

事发矿区所处地层地质条件本身就比较破碎,发生矿难事故后,矿区坍塌导致应力的变化,造成地层情况更加复杂。指挥部最终选择了从地面施工大直径垂直救生孔进行救援的方案,但实施过程并不顺利,砂质泥岩风化带和石膏互层破碎带在成孔钻进过程中不断发生坍塌掉块、缩径等现象,很容易造成孔内事故;石灰岩地层中有溶洞存在,地层破碎,裂隙发育,泥浆易漏失,钻头易卡住,钻进施工难度很大。

(3)钻孔垂直度要求高。

钻孔深度为220m,而被困人员所处巷道宽度只有3m,钻孔中心点距两边各1.5m,对钻孔垂直度要求极为严格,稍一疏忽,钻孔就有可能偏出巷道,造成二者对接不上。5号救援孔钻深至220m时,钻孔未能与巷道直接贯通,有约0.8m的偏离,实际就是钻孔垂直度控制方面的原因。

(4)大口径地面钻孔救人属国内首例,无经验可供借鉴,救援过程一波三折。

大口径地面钻孔救人属国内首例,由于无以往经验可供借鉴,救援方案不断调整。以5号救援孔为例,由国家矿山应急救援淮南队使用RB-T90型多功能钻机直接开孔钻进并不顺利,于是换了一个

孔位,由于塌方严重,钻进更不理想,无奈又撤回原孔位,改用德国宝峨BG38型旋挖钻机先行开孔钻进。为了给下一步多功能钻机成孔钻进和套管的下入、安放方案调整留出余地,从而保证救生孔的最终成功,决定使用直径1500 mm旋挖钻头开孔,钻进3 m,换 \varnothing 1250 mm旋挖钻头,钻进至54 m,下套管、固井。然后再由RB-T90型多功能钻机换径继续钻进。孔深钻至170 m时,由于地层的不稳定性,发生了埋钻事故,在强力提升未果的情况下,决定先将孔内沉渣进行清理,再活动钻具解卡,进而提出钻具。利用此法,历时10天,终于将孔内事故排除,恢复钻进。为避免孔内沉渣会减小钻孔有效深度,决定终孔深度为228.5 m,但钻孔仍未能与巷道直接贯通。随后,救援人员通过小直径救生孔向井下被困矿工递送了工具,指导他们从巷道向钻孔凿进,打通了最终的通道,实现了大直径救援孔与被困人员所处巷道的贯通。救援过程可谓一波三折。

3.2 思考之二:创造了历史

“最遥远的距离,最漫长的守候,有无数个理由,让我们可以选择绝望,但因为那句承诺,没有人想过放弃。新技术,新纪录,是为了二百多米地下的亲人。三十六天的阔别,终于完成从炼狱到人世的回归,那一刻,寒风如刀,感动如春。”这是2015齐鲁公益盛典颁奖现场,平邑石膏矿生命大救援获评“年度生命救援”时的颁奖词,这也是这场事故救援的真实写照。36天,创造了我国矿难救援的最长时间纪录,也是我国大口径钻孔救援成功首例,创造了世界矿难救援的奇迹。此前,大口径钻孔救援有2次成功的先例分别发生在智利和美国:2010年,智利圣何塞铜矿发生坍塌事故,33名矿工被困于井下700余米处,救援人员采用地面钻孔的方法,经过68天的努力将受困人员成功救出;2002年,美国宾夕法尼亚州奎溪煤矿发生透水事故,9名矿工被困于井下80多米处,救援人员采用地面大直径钻孔,奋战77 h将受困人员成功救出。

3.3 思考之三:关于矿山应急救援

矿山应急救援体系建设是我国矿山行业安全生产工作中的一项重要内容,随着经验的不断积累和技术装备的持续改良,逐步建立并取得了一定的成效,为保护国家财产和人民群众生命安全立下了汗马功劳。但是仍存在一定的问题和不足,完善应急救援体系、提高基地布局的合理性、增强救援力量的

配置(包括人员和设备)将成为其发展的重中之重。

(1) 标准化建设问题。

就我国目前国情来看,与一些发达国家相比,在安全生产事故应急救援和相关体系建设方面还相对落后,还有很长一段路要走。发达国家应急救援体系涉及到各个层面以及各个环节,从事事故的预防、预警、响应和恢复,在开展的整个过程中都具有详细的程序流程和规范标准,为矿山的安全运营和发展提供保障。因此,需要专业人员详尽考虑各种事故情况,进行应急救援标准化体系的制定,促进体系完善。

(2) 人员问题。

在矿山应急救援体系实际建设的过程中,对应急救援发展有着最直接影响的的就是人才资源的建设。因此,在实际开展建设工作的時候,需要保证持续性的优秀人才储备、更新,应充分认识到人才培养、选拔的重要性,不要局限于人才选拔形式,从而为矿山应急救援体系的良好发展提供人才保障。在本次平邑石膏矿坍塌事故发生后,山东省地矿局第一时间响应,组织人员、设备在事发2 h到达现场,发挥地质专业优势,全程全力参与抢险救援,在救援孔、救生孔定位和施工方案设计、老窿水监测与分析、排水孔施工和竖井封堵、矿山外围塌陷调查等方面发挥了非常重要的作用。参与抢险救援的人员当中,有水文、钻探、地质、测量等方面的专家,有操作技术能手,他们丰富的专业知识以及直接参与矿山抢险积累的实践经验,将会在今后采用“地面大口径钻孔救人”的矿山应急救援中发挥极其重要的作用,应将他们纳入矿山应急救援专家储备库中。

(3) 设备问题。

我国矿山应急救援体系的建设,需要更多的资金投入、更强的相关装备配置,并保证所用装备的维护和更新,才能促进其持续有效的发展。我国矿山应急救援设备的研究,需要提高重大设备的自动化及智能化,提高设备整体技术水平,从而使我国矿山应急救援工作在现实开展过程中的需要得到满足。

为保障本次救援工作进行顺利,救援指挥部累计调集一流矿山救援设备600余台(套),设备水平为全国历次矿山事故救援最先进。此次救援中4号孔使用的钻机和作为备用方案的5号孔使用的钻机,都是国家安监总局为了适应当前国内的安全生产局势与应对安全生产问题,特意从国外购置的救

援基础设备,其中4号孔钻机于2013年购进,耗资4000万元,此次是首次用于矿山实地救援,平时处于闲置状态。从另一个角度讲,说明在矿山救援设备的研发方面,跟国外同行相比,我们还存在一定的差距。期待在不久的将来,投入矿山应急救援的设备,由国内自主研发的设备逐步取代国外进口的设备,而且平时可进行正常的生产作业,有救援任务时立即参与,做到生产、救援两不误。

3.4 思考之四:关于矿山地质灾害治理

(1) 搞好地质灾害评估工作。

随着矿山开采的面积和深度的逐渐增加,那种“重视矿山开采,不顾矿山地质环境保护与治理工作”理念的弊端开始显现,大面积的地面坍塌和地裂缝产生,崩塌、滑坡、泥石流等次生地质灾害频发。社会发展、城市扩张,需要越来越多的土地资源,而矿山废弃地所压占的土地是否能被利用,是否存在地灾隐患,需要我们进行评估。在开展地灾评估工作过程中,应在进行现场调查、收集并利用前人资料的基础上,利用相关的评估理论和方法,进行综合分析评估,提出针对性的治理措施,采用合理地质灾害监测方法进行监测,及时发现矿山地质灾害隐患并上报给相关主管部门。

(2) 采用合适的治理方法。

中国式的矿山开发常引发多种地质灾害,常见的有崩塌、滑坡、泥石流、水土流失、采空区塌陷等,均带来了严重的危害。崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害多见于露天矿产开发中,而采空区塌陷多发生在地下矿坑开采中。防治采空区塌陷的方法有很多,采用较多的是充填复垦法,即利用矿区附近的粉煤灰、煤矸石、露天矿剥离物等可供利用的充填材料充填采空塌陷地,填充完成后再进行复垦。此法多用于有充足、无污染的充填材料,可经济有效防治的地区。采用这种治理方法,既解决了塌陷地复垦问题,又解决了矿山固体废弃物的处理问题。此外,某些山体复绿治理项目栽种的植物难以适应当地环境,“一年绿,两年荒,三年死光光”,导致治理区域生态环境无法恢复、重建,这种违反自然规律的行为应加以避免。因此,有关专家建议在矿山复绿治理设计前,应先了解当地的地质、环境、气候等条件,开展区域林相调查,充分考虑基材和物种多样性搭配以及植物群落的相生相克关系等因素,保证边坡稳定、水土保持、整体复绿,进而恢复山体原貌。强调所选植

物需适应治理区土壤和气候特点,以树植为主,草、木、花为辅,相辅相成,同时注重本地化和多样化,在必要时可引进少量外来无害物种,以实现自然生长、避免养护的效果。

(3) 加强管理。

有资料显示,矿山地质灾害造成的经济损失每年高达300亿元,这是一个让人触目惊心的数字,同时说明矿山地质灾害的综合治理工作确实是一项“功在当代、利在千秋”的伟大工程,各级主管、职能部门一定要恪尽职守,做好管理工作。关于加强管理,笔者认为有2方面的工作内容。

一是加大对正在开采的矿山企业的管理力度,矿山开采过程中就应该采取行之有效的、科学的、合理的技术手段,避免新的不良的地质灾害的形成。对于那些小的、黑的矿山企业,包括一些规模较大但开采不规范、管理跟不上的矿山企业,要关停并转,绝不手软。“谁开发谁保护,谁闭坑谁复垦,谁破坏谁治理”的原则,必须无条件地坚决贯彻执行。

二是加大对于业已存在的矿山地质灾害进行治理、管理的力度。毫不客气地讲,各级国土资源部门一度被社会上列为“高危行业”之一,成为腐败易发、高发领域,主要原因就是由于监督管理力度不够甚至出现缺位现象。无论是地质灾害治理项目的招投标过程,还是设计过程,施工过程以及监理过程,都曾存有管理漏洞,招投标过程进行串标、围标,设计理念滞后、设计方案过于保守,施工过程不执行设计方案、偷工减料以及非法分包、转包,监理过程睁一只眼闭一只眼等现象时有发生。更有甚者,想方设法巧立名目套取财政资金,或挪作他用,或非法侵占,导致国家经济利益受损。所以,要从根本上杜绝上述现象,加强管理势在必行。

(4) 提倡、鼓励社会资金进行矿山地质环境治理。

进入21世纪,随着社会主义市场经济体制的初步建立和逐步完善,我国各行各业的许多方面都取得了长足的进步。在矿山地质环境治理方面,我们也要进一步认识和掌握社会主义市场经济的特点和内在规律,引入市场机制,积极探索矿山生态环境恢复治理的新方法,实行企业化经营,产业化发展。鼓励广大企业加大矿山环境保护资金投入,使矿山地质灾害治理工作走向良性循环的健康发展道路。这方面已有不少成功案例,比如我单位承揽的爱康嘉

祥 20 MW 山地光伏电站破损山体地质环境治理项目,即由江苏爱康集团出资进行矿山生态环境恢复,恢复后的场地经国土资源管理部门验收合格后用于该企业光伏发电。最近几年我国光伏发电因符合国家产业发展要求,发展迅速,但是由于土地紧张,国家工业用地审批越来越难,即使审批下来,成本也居高不下。到底如何解决建设用地问题?爱康人棋高一着,将适宜光伏电站建设的废弃矿山进行改造,改造完成后做为光伏电站的建设用地,可谓一举两得:既大大减少了企业的投资成本,又能为国家的废弃矿区地灾治理、生态恢复事业做出贡献,提高了土地利用效率,减少了国家在矿山环境治理方面的投资。该项目由我单位通过竞标获得,接受任务后,我们结合场地实际情况,综合分析各处危岩体的特征,为防止光伏电站工程安装及运营期间的人身、设施安全受到破碎山体的伤害,分别采取了局部渣土移除、局部削坡、锚喷加固、松动岩石撬除、局部裂隙灌浆、局部喷面、主动防护网铺设、被动防护网架设、砌筑毛石挡墙等相应的治理方法,最终达到了业主的预期,实现了排险加固、增加土地利用效率的目的。施工过程及治理效果见图 1~6。

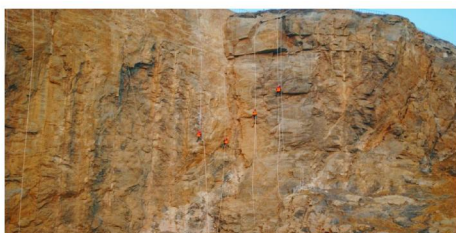


图1 崖壁锚杆施工



图2 主动防护网施工



图3 被动防护网施工



图4 20号治理区段治理前后实景



图5 危岩体排险后光伏板布置图(局部)



图6 爱康嘉祥 20 MW 山地光伏电站排险加固工程治理后项目全景

可以看出,本工程取得了非常理想的治理效果,投资商获得了可观的社会效益和经济效益。所以,笔者认为,社会资金参与矿山地质环境治理,利国利民,国家应该出台更加优惠的政策,大力提倡。

3.5 其他相关思考

(1)我国地面钻进大口径钻孔应急救援技术水平亟待提高。以本次救援为例,36天,时间太漫长了。所以,要想缩短救援时间,提高地面钻进大口径救援孔技术水平是关键,这也是我们探工人义不容辞的神圣职责,相信我们有能力解决好这个问题。

(2)关于我国矿山地质环境保护法制化建设,也是一个值得深入思考并且应给予高度重视的问题。《矿山地质保护规定》已于2009年5月1日起施行,并于2015年5月6日进行了第一次修正,于

2016年1月5日进行了第二次修正,标志着我国矿山地质环境保护已经走上了法制化道路,但是实际执行过程中,是否真正做到“有法可依,有法必依,执法必严,违法必究”,还有待于验证。

4 结语

随着时间的推移,平邑石膏矿地面大直径钻孔救援的轰轰烈烈的救人场面,早已归于沉寂,被困人员成功升井的那一幕激动人心的画面,也总有一天会慢慢从人们的脑海中淡化远去,留给人们的是无尽的思考。亡羊补牢也好,未雨绸缪也罢,对于大直径钻孔救援技术的探索,应该永不停止;对于救援设备不断地研发、改进,应该永不停止;对于矿山应急救援体系的标准化建设,应该永不停止;对于矿山地质环境灾害如何更好地进行预防、治理的研究,更应该永不停止。我国矿山具有基础差、分布广、种类多的特点,由于管理、技术、效益等方面尚未成熟,在矿产开发过程中存在较多的安全隐患,特别是闭矿后留下的矿坑、尾砂库和采空区塌陷等问题严重威胁了周边居民人身财产安全。因此,对矿山地质灾害这种人为带来的安全隐患必须高度重视,地灾防治需从根本上治理,才能防患于未然。将资源开发与环境保护、矿山安全与环境科学两两相结合,采用岩

土工程、采矿工程的新技术、新理论、新方法,完善采矿工艺和安全措施,才能有效降低地质灾害隐患,避免安全事故和生态破坏,为“绿色矿山”早日实现做出应有的贡献。

参考文献:

- [1] 刘建伟.我国近十年来矿山环境保护的回顾与思考[J].水文地质工程地质,2009,(6).
- [2] 高树志,丁继新,初娜.矿山地质灾害评估与治理工作思路探讨[J].中国矿业,2014,(8).
- [3] 岳境,姜国虎,张元彩.矿山开采引发的地质灾害及其治理方案初探[J].资源环境与工程,2006,(10).
- [4] 蒋德献.我国矿山应急救援体系的建设现状及对策[J].中国高新技术企业,2014,(22).
- [5] 李亮.旋挖钻机在平邑石膏矿坍塌事故大直径救生孔钻进中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5).
- [6] 李亮,石燕霞.建筑桩基技术规范修订实施以来的若干思考[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5).
- [7] 李亮,王天放,曲守全.旋挖成孔工艺在黔东某电厂桩基工程中的实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(9).
- [8] 李亮.关于桩与深基础施工技术发展创新的思考[J].地质装备,2015,(6).
- [9] 中国地质调查局.水文地质手册(第二版)[M].北京:地质出版社,2012.
- [10] 刘文峰,肖卫国.山东梁山石灰岩矿区矿山地质环境保护与恢复治理[J].山东国土资源,2015,(5).

(上接第277页)

地温能应用技术研究示范工程项目。本项目工程包括钻探施工、成井工艺、套管换热器安装、井口处理等。其中换热器将采用我院研发的寒区地温能高效换热器。

该换热器已获得国家知识产权局授予的实用新型专利,专利号:ZL 2015 2 0583140.6。

5 结语

研制的寒区地温能高效换热器,给出了一种寒区地温能开发利用的较简单实用的能量采集系统解决方案。采用该寒区地温能高效换热器设计安装方案,可以满足换热器总体设计原则和寒区地温能采集的实际需求。在技术上是可行的。目前,该方案在管材和钻孔成本等方面,尚存在资金投入较高、资金回收期较长的问题,还有待采取相应的措施进一步降低成本。

下一步将通过开展寒区地温能应用技术与示范工程项目的实施,进一步改进优化,使研制的寒区地温能高效换热器结构参数更加合理,成为一种满足寒区地温能采集的经济、高效的换热器。

参考文献:

- [1] 李悦,关铎.我国地热资源开发利用优势对比分析[J].水文地质工程地质,2011,(6):1-3.
- [2] 丁勇,李百战,卢军,等.地源热泵系统地下埋管换热器设计[J].暖通空调,2005,35(3):86-89.
- [3] 王欣,俞亚男,高庆丰.地源热泵垂直套管式换热器传热研究[J].暖通空调,2005,35(6):16-19.
- [4] API spec 5CT,套管和油管规范[S].
- [5] API SPECIFICATION 5B,套管、油管和管线管螺纹的加工、测量和检验规范[S].
- [6] GB 50366—2009,地源热泵系统工程技术规范[S].
- [7] DZ/T 0225—2009,浅层地热勘查评价规范[S].
- [8] 张燕立,张新发,由世俊.埋管地源热泵系统设计中几个问题的看法[J].制冷与空调,2007,7(5):74-77.