

控爆技术、无声破碎和被动防护网 在危岩排险中的综合应用探讨

黄德全, 陈剑峰, 杨小兵, 蔡颖, 刘进平

(重庆市地质勘察局 107 地质队, 重庆 401120)

摘要: 危岩是三峡库区主要地质灾害之一, 呈现出多发、频发的趋势。危岩的分类为坠落式、倾倒式和滑塌式。危岩的综合治理措施有清除、支撑、锚固、拦截、封堵、灌浆、排水、防护网等。控爆技术, 包括洞室控爆技术、深孔控爆技术、光面爆破、预裂爆破、浅眼循环控爆技术等, 以及无声破碎和防护网, 均适用于危岩排险工程。危岩的爆破不同于一般的工程爆破, 针对不同的危岩类型采用不同的控爆技术和综合应用措施, 可以充分保护母岩, 稳定岩体, 达到应急排险的目的。

关键词: 危岩; 控爆技术; 无声破碎; 被动防护网; 洞室爆破; 深孔爆破

中图分类号: P642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)04-0064-05

Discussion on Comprehensive Application of Controlled Blast, Soundless Breaking and Passive Protection Network in Dangerous Rock Elimination/HUANG De-quan, CHEN Jian-feng, YANG Xiao-bing, CAI Ying, LIU Jin-ping (107 Geological Team, Chongqing City Bureau of Geological Exploration, Chongqing 401120, China)

Abstract: As a main geological hazard, dangerous rock is multiple and frequent phenomenon in the Three Gorges reservoir area, which is divided into falling, overthrowing and sliding unstable. The comprehensive treatment of dangerous rock includes removal, supporting, anchoring, intercepting, sealing, grouting, seepage and protection network. Controlled blast includes cavern controlled blast, deep hole controlled blast, smooth blast, pre-splitting blast, short hole circulation controlled blast, and soundless breaking and protection network, all suitable to dangerous rock elimination. According to the types of dangerous rock, different controlled blast and comprehensive application measures were adopted to protect parent rock and stabilize the rocks for emergent danger elimination.

Key words: dangerous rock; controlled blast technology; soundless breaking; passive protection network; cavern blast; deep hole blast

0 前言

斜坡上的岩土块有松动变形和位移崩塌的迹象但还没有掉下来称为危岩。危岩崩塌是指斜坡上岩土块在重力、地震力以及其他外力作用下发生断裂、倾倒和坠落等块体运动的迹象。危岩是三峡库区主要地质灾害之一, 随着三峡大坝的修建和库区的蓄水以及恶劣气候条件的反复交替, 三峡库区的地质灾害呈现出多发、频发的趋势。1987年9月1日, 重庆市巫溪县城南崩塌岩土体 4000 m³, 砸死 95 人伤 24 人; 1996~2000 年间, 重庆市万州区太白岩危岩发生大小崩塌 10 余起, 造成 1 人死亡, 交通中断和厂房被毁; 2000 年 1 月, 重庆市云阳县五峰山发生滑移式危岩体崩塌, 虽未造成人员伤亡, 但云阳县城紧急疏散人员 3 万余人, 严重影响了当地居民的春节节日生活; 2009 年 2~3 月间, 重庆市巫山县三

县煤矿发生危岩体坠落式崩塌, 造成 1 人死亡和该县属煤矿的全面停产; 2008 年 11 月 23 日和 2009 年 5 月 23 日, 重庆市巫山县龚家坊危岩发生滑移式崩塌, 崩塌规模达 37.0 × 10⁴ m³, 崩塌体泄入长江形成了 10 余米高的涌浪, 残留危岩体 14.58 × 10⁴ m³, 严重威胁长江航道的安全; 2010 年 7 月 11 日, 重庆市酉阳县城北社区苏家坡暴雨诱发危岩, 危岩体 3500 m³, 威胁着该城区居民 300 余人和城区主干道的通行安全。库区因危岩崩塌造成的损失虽还没有一个完整的统计数据, 但危岩的多发性, 分布的广泛性和灾害的严重性是不容置疑的。

危岩的综合防治措施有多种, 但对于应急排险, 客观要求要迅速解除大的危险, 尽快恢复当地居民的生产、生活秩序。目前, 很多专家担心爆破清除法会诱发次生灾害或爆破失败造成危岩更危, 以致不

收稿日期: 2010-09-16

作者简介: 黄德全(1964-), 男(汉族), 重庆合川人, 重庆市地质勘察局 107 地质队高级工程师, 探矿工程专业, 从事公路、铁路、水电、矿山等工程的项目管理及三峡库区的爆破排险等工作, 重庆市渝北区两路镇双凤支路 5#5-2, h dq_107@163.com。

可收拾的局面,要求在排危设计中采用人工清除法,这导致了排危工期长,且人工清除中施工人员的风险大增。笔者认为危岩的防治措施应首推爆破清除

笔者近年来在排危施工中,通过有声控爆技术、无声爆破技术和被动防护网等综合措施的应用实践,认为应急排险施工中,通过控爆技术、无声破碎技术和被动防护网,防护沟等措施的综合应用,完全可以有效控制爆破影响的范围、充分保护母岩体,达到安全、快速、彻底地排除危岩体;完全可以有效控制爆破震动、爆破飞石、爆破气体、爆破空气冲击波等爆破有害效应。本文针对不同类型的危岩,就控爆技术、无声破碎和被动防护等进行了一定程度的应用尝试。

1 危岩的分类和一般防治措施

1.1 危岩的分类

按危岩的体积分类法,体积 $\geq 1000\text{ m}^3$ 为特大型,体积 $=100\sim 1000\text{ m}^3$ 为大型,体积 $=10\sim 100\text{ m}^3$ 为中型,体积 $=1\sim 10\text{ m}^3$ 为小型,体积 $<1\text{ m}^3$ 为落石。

按危岩运动趋势分类法,可以分为坠落式、跳跃式、滑动式和复合式。重庆交通学院岩土工程研究所的陈洪凯教授将危岩按其失稳和运动的方式分为坠落式、倾倒式、滑塌式,具有实际意义。

坠落式是指高悬于陡崖上端和岩腔顶部的危岩体,受裂隙切割脱离母岩,因其底界临空条件良好,在重力作用下基本不受阻挡便失稳坠落的崩塌方式。

倾倒式是指危岩体在变形破坏时,危岩体的顶部首先脱离母岩,然后沿基座支点转动,最终产生倾倒式破坏。

滑塌式是指危岩体附着于母岩上,以一定角度的层面、结构面等相接,在危岩体自重和其他因素的共同影响下,危岩体沿母岩(或基座)发生剪切滑移破坏的方式。

1.2 危岩的治理措施

对于坠落式危岩,主要是危岩体在自重作用下的拉裂破坏的问题;对于倾倒式危岩,主要关注其抗倾稳定性的问题;而对于滑塌式危岩,主要考虑因素在于提高滑面的抗剪强度。危岩体的综合治理措施一般有清除、支撑阻挡、护坡护墙、锚固、拦截、遮盖、封填、灌浆、排水、主被动防护网等,在治理设计上一般为几种方式的组合。

1.2.1 清除

包括人工清除和爆破清除,而爆破清除又包括有声爆破清除和无声爆破清除。在有声爆破的范畴中,一般又包括浅眼循环爆破、深孔梯段爆破、洞室爆破等方式。清除方式对于危岩治理来说,是彻底消除隐患的方式。清除方式适用于坠落、倾倒和滑塌破坏的危岩体。

1.2.2 支撑

对于高大的悬崖,倒坡状危崖采用浆砌条石或混凝土支撑,支撑形式包括墙、柱、蹬等。

1.2.3 护坡护墙

对于坡度不大,岩体破碎、节理发育,整体稳定性较好边坡,可以采取混凝土或浆砌条石护坡护面,防止边坡继续风化。

1.2.4 锚固

对于裂隙较为发育的柱状危岩体,采用锚钉、锚杆、锚索等方式将危岩锚固在完整的母岩体上,外锚头采取肋、梁、格构或点锚等方式以加强危岩的整体性。

1.2.5 拦截

危岩下有一定的空地可供修建拦石墙等构筑物,该构筑物一般有重力式墙、拦石栅、板桩式拦石墙等。拦石墙的设置一般要设置不小于1.5 m的缓冲垫层和落石沟,并要有足够的拦截净空高度。

1.2.6 封填

对于高度和深度不大的危岩下部的岩腔,直接采用混凝土或浆砌条石砌筑封填。

1.2.7 灌浆

用水泥砂浆或其他材料封闭危岩体裂缝,抑制裂缝的进一步发展,防止地下水侵入危岩体。

1.2.8 排水

在危岩区外设置畅通的截排水系统。

1.2.9 主、被动防护网

在危岩体面上设置主动防护网,对于危岩面上的小块危岩块起到阻滑阻坠作用,在危岩体下方一定距离外设置被动防护网,对于危岩体的小块坠落起到拦截防滚作用。

2 控爆技术、无声破碎和防护网的应用原则

所谓控制爆破,是指通过一定的技术措施严格控制爆炸能量和爆破规模,使爆破的声响、震动、飞石、倾倒方向、破坏区域以及破碎物的散坍范围在规定限度以内的爆破方法。通俗地讲,控制爆破是指对工程爆破过程中由于炸药在岩土中的爆炸而产生的飞行、地震、空气冲击波、烟尘、噪声等公害通过一

定的技术手段加以控制的一种新的爆破技术。控制爆破目前在拆除工程中得到广泛应用。控制爆破不同于一般的工程爆破,对由爆破作用引起的危害有更加严格的要求,多用于城市或人口稠密、附近建筑物群集的地区拆除房屋、烟囱、水塔、桥梁以及厂房内部各种构筑物基座的爆破。

对于危岩的清除爆破,严格来讲,其也是拆除工程的一方面。在拆除工程中的所有爆破方式也是适用于危岩爆破的,只不过在危岩施工中,对于爆破设计,特别是炮眼的方向、深度、线装药量、起爆顺序、堵塞和覆盖等方面,和拆除工程相比,有更高的要求 and 操作难度。不仅在声响、震动、飞石、倒向、破坏区域和散塌范围有严格的要求和限制,更在于保护母岩,不产生次生灾害,对于临近建构筑物的充分保护等方面。

2.1 洞室控制爆破在危岩排险中的应用原则

我国的洞室爆破技术的应用和发展经历了3个阶段。在20世纪50~60年代,利用洞室爆破大大提高了石方开挖工效,加快了新线铁路的建设速度。在60~70年代,在洞室爆破方面采取了定向爆破技术,完成了大量的定向筑坝和定向抛掷,是我国洞室爆破技术发展的第二阶段。70年代以后,条形药包的洞室爆破设计是我国洞室爆破技术发展的第三阶段。对于洞室爆破技术在危岩中的应用,目前虽无较多的案例和专著,笔者通过2009年重庆市巫山县三县危岩28.4万 m^3 的洞室爆破尝试,认为危岩洞室爆破除应遵守一般洞室爆破原则外,尚应考虑以下几点应用原则。

(1)对于倾倒式的高耸大体积危岩,可以在危岩体中分层、分排设置分、集药包和条形药包进行洞室大爆破,药室设置主要集中在危岩体的根部或中下部位,爆炸能量的设置按照减弱抛掷爆破为原则,确保危岩底部根的危岩体被爆破抛掷造成高耸大体积危岩失稳倾倒。

(2)洞室药室设置不可太靠近危岩体的竖向拉裂缝,以免伤害母岩以致产生新的危岩面,对于拉裂隙发育深度较大的危岩体,在洞室药室设计时,可以将危岩体按照四面临空的原则布置,在危岩体主崩方向上,洞室药室按外抵抗线 $2/3$,内裂隙向 $1/3$ 的位置布设,这样可以确保爆破不伤害母岩,爆破后危岩体根部不堆积较多的爆渣。

(3)洞室爆破和监控预警相结合的原则。洞室开挖致使危岩体中下部的断面减小,加之导洞开挖反复的爆破震动,极易诱发危岩体的突然失稳倾倒,

造成重大的安全事故。因此,在导洞开挖中的监测预警十分重要,是确保爆破施工的安全关键环节。

2.2 深孔爆破,光面、预裂爆破在危岩排险中的应用原则

深孔爆破是指孔深 $>5\text{ m}$ 、孔径 $>50\text{ mm}$ 的以台阶式推进的爆破作业方式。对于滑移式大体积危岩的爆破清除,结合光面爆破、预裂爆破技术可以取得很好的爆破效果。笔者认为在危岩排险中应用深孔爆破技术,应遵守以下几点原则。

(1)孔深应控制在20 m以内、孔径控制在150 mm以内为宜。由于危岩体多数情况下地貌陡峭,不便于穿孔作业,孔径过大和孔深过深,不便于机具设备的搬运和保证穿孔的准确性,也就不能保证爆破效果。

(2)深孔爆破孔的孔底距离拟爆线的距离保证大于25倍孔径。按照文献4的结论,爆破对围岩稳定性的影响在大于25倍孔径时围岩基本质量指标下降10%~30%。预留的保护层应采取光面爆破、预裂爆破等爆破方式进行控制爆破,以此充分保护母岩。

(3)充分利用孔底垫层和不耦合装药爆破技术的原则。深孔爆破孔一般不进行孔底钻渣清孔,以此作为缓冲垫层,光面孔和预裂孔,进行全孔段不耦合装药。

(4)在缓冲垫层和预留光爆层的情况下,对于滑移式危岩体的深孔爆破可以采取抛掷爆破的药量设计,减少人工翻渣量的设计原则。

2.3 浅眼循环控制爆破在危岩排险中的应用原则

浅眼循环控制爆破技术在坠落式、倾倒式和滑塌式危岩中均可以应用,但和一般工程爆破相比,笔者认为尚应遵守以下几点原则。

(1)加强爆破覆盖和堵塞的原则。由于爆破炮眼较浅,容易产生爆破飞石,故需要特别加强覆盖和堵塞。

(2)逐孔确认抵抗线和计算装药量的原则。由于危岩体一般地形地貌复杂,单孔抵抗线多变,如果不进行逐孔校核,爆破产生飞石的影响难以控制。

2.4 主、被动防护网在危岩排险中的应用

主、被动防护网在危岩排险中作用十分重要,特别是被动防护网的拦截阻挡作用和紧急排危快速施工方面,拥有防护沟、防护墙、钢管排架、混凝土格栅墙等刚性墙体不可比拟的优越性,在危岩排险工程中是值得大力推广的技术措施。刚性的防护墙体在滚石的冲击动能作用下很容易倒伏破坏,而被动防

护系统因系统的柔性防护和拦截强度足以吸收和分散传递滚石的冲击动能,减压环的设计和采用使系统的抗冲击力得到了进一步的提高。被动防护网是由钢丝绳网、环形网(需拦截小块落石时附加一层铁丝格栅)、固定系统(锚杆、拉锚绳、基座和支撑绳)减压环和钢柱4个主要部分构成。钢柱和钢丝绳网连接组合构成一个整体,对所防护的区域形成面防护,从而阻止崩塌岩石土体的下坠,起到边坡防护作用。

主、被动防护网系统的部件全部采用标准化的工厂生产,现场施工。除小量的以锚杆安装为主体的基础施工外,主要为积木式安装,使施工人员与机器设备减少,安装达到简便易行,从而缩短工期。

被动防护网的施工选型主要考虑因素有安装的方便性和地形地貌以及爆破的块度。RX-050型和RX-075型是排危施工的主选型号,网高一般选择3~4 m,间距一般选择5~10 m的为宜。

主被动防护网可以反复使用,成本较低。

2.5 无声破碎的应用

静态破碎剂是一种不用炸药就能使岩石、混凝土破裂的粉状工程施工材料(又名无声破碎剂,静态爆破剂,无声炸药,膨胀破碎剂,裂石剂等),主要用于混凝土构筑物、岩石的无声破碎与拆除及大理石、花岗石等珍贵岩石开采等。和普通爆破技术相比,无声破碎技术具有安全、无噪声、无震动、无飞石、无硝烟、无污染、不影响周围环境等诸多优点。

在危岩的应急排险施工中,有时因紧急疏散了大量居民,严重影响了居民的生活,也给当地政府增加了压力,所以,安全、快速的排险在时间上就显得特别紧迫。而现今的爆炸物质的管理十分严格,从方案编写到完成审批购买到炸药快者7~10天,慢者月余尚说不定。所以,对于小型、中型的危岩体,笔者建议大量采用无声破碎技术。就无声爆破和浅眼循环爆破的成本来说,无声破碎的钻眼量增加40%~50%,材料费增加30%~40%,总成本增加大约50%左右。虽然成本增加了,但为排危可以赢得宝贵的时间。

在危岩体下方近距离范围有特别精密的仪器不允许爆破震动的情况下,静态爆破是唯一的选择。

3 工程实例

3.1 工程概况

2010年7月10~12日,重庆市酉阳县城北社区三组苏家坡因暴雨诱发局部卸荷崩塌形成了危

岩,岩性灰岩。该危岩体由5块单体危岩组成,从上往下编号依次为W1、W2、W3、W4、W5,其中W1、W2体量最大,估算体积约1500 m³,已严重外倾并滑移1.5 m左右;W3位于W1、W2的左侧,现斜靠在近85°的岩壁上,下部形成了1~2 m的凹岩腔;W4、W5为本次卸荷的崩塌体,现位于W1、W2下方的台阶上体上,该土体台阶松软,在雨水冲刷下极易发生该危岩体倾倒翻滚。5块危岩体的总方量约3500 m³。W1、W2现处于极限平衡状态,险情在即。一旦失稳,将沿坡角约50°的坡面崩落、跳跃、滚动,危及坡下城区主干道两侧约70余户、300余人的生命财产安全,并堵塞交通。因此,应急抢险治理是十分必要和紧迫的。

该危岩体位于高度20余米的陡坎上,陡坎的上半部10~12 m在暴雨诱发下外倾、崩塌,形成W1、W2危岩体。在W1、W2危岩体下三级阶地,一级阶地宽度3~3.5 m,高度8~10 m;二级阶地宽度5 m,高度2~2.5 m;三级阶地宽度2.0~3.5 m,高度2~2.5 m,三级阶地外为近乎直立的陡坎,陡坎下为居民区和城区主干道。经目测,该危岩体距离居民区的平距为20~25 m,垂直高度为25~30 m。见图1、图2。



图1 W1、W2危岩体



图2 下方居民区和城区主干道

3.2 爆破方案的选择

3.2.1 方案选择

本处排危拟分3步:(1)修凿人工便道;(2)对

W1危岩体采用浅眼循环减弱松动爆破的方式循环破碎危岩;对W2危岩体采取静态爆破剂爆破;(3)岩块二次破碎和转运堆砌。在实施过程中应边施工边转运岩石。

方案选择上主要考虑因素是防止产生大的滚石破坏民居和危害城区主干道道路。深孔爆破虽然具有一次爆破量大、排危施工迅速等特点,但因该危岩体呈薄片状直立,炮眼布置时抵抗线大小和装药量难以掌握,爆破时容易产生飞石和爆破地震波,爆破后的岩块块度较大,大量岩块崩落时会冲击危岩下的阶地,岩块在滚动过程中会跳跃冲出被动防护网,滚动距离长等,以致对民居和城区主干道产生严重的破坏等。故此,对W1危岩体的爆破排危宜采取浅眼短循环的减弱松动爆破的方式。

3.2.2 爆破参数选择

表1 W1、W2危岩体爆破参数表

危岩体名称	孔深/m	孔径/mm	孔距/m	排距/m	单孔装药量/kg	单耗/(kg·m ⁻³)	炸药种类	雷管种类
W1	1.2	40	0.8	0.6	0.09~0.15	0.2~0.3	2号岩石	毫秒延期
W2	1.5	40	0.3~0.4	0.25~0.35		15		

爆破施工时,为防止爆破飞石对周围建筑设施及居民造成伤害,施工过程中必须采用近体防护措施。即每次爆破时必须对爆破体直接覆盖,并按要求覆盖严实,搭头重叠,有一定弹性,有一定质量。覆盖材料使用软体材料,如橡胶板、棕垫或草席、废旧轮胎、钢丝网等;

本爆破不得使用硬体材料覆盖。

防滚石措施为:在危岩体下方二级台阶上设置长度50 m、高度4 m的RX-075被动防护网一道,如图3所示。



图3 RX-075被动防护网

3.3 应急排危效果

该应急排危工程于2010年7月12日进场施工,历时15天,共应急排危3500 m³,其中,松动爆破排危1250 m³,无声破碎排危2250 m³(破碎剂效果

对W1钻孔作业前,先清除危岩体表面的浮土和灌木,然后从岩体上表面向下垂直钻孔。为保证控制爆破的爆破效果和安全,钻孔必须垂直,误差 $\leq 5^\circ$ 。综合考虑拟选择的爆破参数为:炮眼深度 $L=1.2$ m,炮眼直径 $\varphi=40$ mm,炮眼间距 $a=0.8$ m,炮眼排距 $b=0.6$ m,堵塞长度 $l \geq 0.8$ m。每个炮孔装药量0.6~1条(0.09~0.15 kg),装药单耗为0.2~0.3 kg/m³。根据现场情况适当调整爆破参数,尽可能采用密眼、小药量的破碎爆破,综合单耗控制在0.3 kg/m³。

对W2危岩体进行静态爆破剂爆破时,其参数的选取涉及到爆破剂的配方和威力,本工程拟选取使用范围甚广的超力牌静态破碎剂进行爆破。

爆破参数如表1所示。

见图4)。排危中未出现飞石、震动等爆破危害,未阻断城区主干道的交通,防护网成功阻截了1~2 m³的滚石5~6块,尽最大可能不扰民,取得了显著的社会效益和经济效益。见图5、图6所示。



图4 破碎剂效果图



图5 应急排危后下视图

(下转第77页)

正常工作时钻井液通过钻杆内部向孔底流动时,在活塞-铁砧2的上部由于过流通道直径变小而形成水压,给钻头增加附加荷载。

当下部钻具被卡时,操作者上提钻杆拉紧整个钻杆柱。此时,上杆5、下杆8和开槽主轴12被卡住的钻具固定,而未卡住的外壳部分随上部钻杆拉长可能出现拉伸变形。当外壳的变形量使台阶6从与上杆5的凸台配合中脱离时,由于钻杆柱的弹性作用,将使台阶6带动冲锤4给活塞-铁砧2施加一次冲击作用。由于活塞-铁砧2通过活塞杆和主轴12与被卡钻具刚性的连接在一起,因此冲击功即可传递给被卡钻具。当机构完成冲击动作后,可下放外壳并重复上述过程,达到重复冲击的目的。

4 结论

通过对比分析乌克兰地质工作者针对两种不同情况分别进行的新型震击器的设计之后可以得出以下结论。

(1)针对比较严重的卡钻事故而设计的新型液动震击器,能通过高频的震击力提高解卡工作的效率;加装的弹簧加压式阀门也能增加震击器工作的可靠性。

(2)针对易卡钻地区设计的随钻式震击器,能

够在卡钻发生的第一时间内进行解卡工作,能够有效避免卡钻事故的进一步恶化,节省处理事故的时间。

(3)机械式震击器利用钻杆柱的弹性势能产生单次冲击进行解卡,相对于液动震击器结构简单,加工精度低,强度大,更加适合于被设计为随钻式震击器。

参考文献:

- [1] 雷万能,朱忠喜.粘吸卡钻的成因及处理[J].内蒙古石油化工,2007,(11):84-86.
- [2] 张林强.井下卡钻分析及处理[J].海洋石油,2007,(9):112-115.
- [3] Калиниченко О. И., Зыбинский П. В., Каракозов А. А. Погружные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе (大陆架钻探用的潜水钻具及设备)[C]. Донецк: Изд. «Вебер», Донецкое отделение, 2007.
- [4] Калиниченко О. И. Особенности конструкций и элементы проектирования характеристик гидроударных буровых снарядов для одноразового бурения подводных скважин (用于单回次水下钻进的液动冲击器结构特征及其元件设计)[J]. Збірник наукових праць ДонДТУ. Серія гірничо-геологічна, 2000, (11).
- [5] 贺志刚,陈平.随钻震击器安放位置优化设计[J].石油机械, 2001, (30):25-28.

(上接第68页)



图6 应急排险后上视图

4 结语

(1)控爆技术、无声破碎和被动防护网的组合措施,是适于危岩体的应急排险工程中的。只要组织得当,计划周密,科学施工,是可以确保爆破后的母岩面光滑、平整和稳定的。

(2)对于小型危岩体的应急排险,应首推无声破碎和浅眼循环爆破以及被动防护网防护等。

(3)对于大型危岩体,采用洞室爆破和深孔爆

破技术结合监测预警,可以快速、安全地完成危岩体的应急排险。

参考文献:

- [1] 陈洪凯,等.三峡库区危岩综合治理技术及应用[J].地下空间,2002,(2).
- [2] 冯叔瑜,等.中国工程爆破技术发展及历程[A].工程爆破文集(第六辑)[C].广东深圳:海天出版社,1997.
- [3] 汪旭光,等.我国爆破事业的发展和新世纪的展望[A].工程爆破文集(第七辑)[C].新疆乌鲁木齐:新疆青少年出版社,2001.
- [4] 杨小林,等.爆破对围岩力学性质和稳定性的影响[A].工程爆破文集(第七辑)[C].新疆乌鲁木齐:新疆青少年出版社,2001.
- [5] 陈作彬.田湾核电站扩建山体爆破工程质量安全控制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3).
- [6] 姚尧,等.深孔孔底垫层的减震作用[A].工程爆破文集(第七辑)[C].新疆乌鲁木齐:新疆青少年出版社,2001.
- [7] 黄德全,周勇,陈剑锋,等.条形药包洞室爆破技术在山体危岩排险施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1).