

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.02.001

高寒高海拔地区爆破技术综述及展望*

郝亚飞, 黄雄, 冷振东, 周桂松

(中国葛洲坝集团易普力股份有限公司, 重庆 401121)

摘要: 针对我国高寒高海拔地区矿产资源丰富, 而低温、低气压、冻融循环、生态脆弱等特点, 导致现有的开采理论与技术不能满足矿产资源的安全高效开采的问题, 对高寒高海拔地区爆破技术开展了大量文献调研, 总结出高寒高海拔地区爆破施工难点主要分为: 高原、冻土、生态环境三方面的问题。针对“高原”问题, 提出加强安全管理措施, 保证施工人员的安全; 成品炸药添加防冻剂、粒状硝酸铵添加防结块剂等方法保证炸药性能; 导爆管雷管进行泄压处理提高其传爆可靠性等措施来解决。针对“冻土”问题, 采用深孔药壶爆破, 并调整装药结构、施工组织等方法来改善冻土爆破效果; 采用超钻、清淤、护孔等方式解决钻孔难的问题。针对“生态环境”问题, 以“预防为主, 保护优先, 开发和保护并重”为原则, 尽量避免爆破开挖对施工点周围生态环境的破坏、减少冻土的热融等方式保护生态环境。对导爆管雷管、电子雷管、现场混装炸药技术在高寒高海拔地区的应用进行详细介绍, 导爆管雷管的缓慢泄压可有效降低盲炮的产生; 电子雷管的施工效率较导爆管雷管提升3倍左右, 且其可进行网路检测, 可保障准爆率; 现场混装炸药技术有降低现场施工人员劳动强度、提高工作效率、扩大爆破规模、改善爆破效果等优势。并展望未来高寒高海拔地区现场混装炸药爆破技术、隧道型电子雷管、矿山复绿等研究方向及发展趋势。

关键词: 高寒高海拔; 爆破技术; 矿山开采; 冻土; 生态环境

中图分类号: TD235.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)02-0001-08

Summary and Prospect of Blasting Technology in Alpine and High-altitude Areas

HAO Ya-fei, HUANG Xiong, LENG Zhen-dong, ZHOU Gui-song

(CHINA Gezhouba GROUP Explosive Co., LTD., Chongqing 401121, China)

Abstract: Mineral resources are abundant in cold and high-altitude areas in China. However, these areas are characterized by low temperature, low atmospheric pressure, freeze-thaw cycle and fragile ecology, which lead to the existing mining theory and technology can't meet the problem of the safe and efficient mining of mineral resources. Therefore, through a large number of literature research, the difficulties of blasting construction in alpine and high altitude areas are summarized, which are mainly divided into three aspects: plateau, frozen soil and ecological environment. In response to the plateau problem, measures of strengthening safety management are proposed to ensure the safety of construction personnel. The important measures such as adding antifreeze to finished explosives and adding anti-caking agents to granular ammonium nitrate to ensure the performance of explosive, and improving the reliability of detonation transmission by pressure relief treatment of detonating detonators. Aiming at the problem of frozen soil, deep hole blasting is used. The important measures such as adjusting the charging structure and construction organization to improve the effect of frozen soil blasting, and using over-drilling, dredging, and hole protection to solve the problem of difficult drilling. As for the issue of ecological environment, the principle of prevention first, protection first, development and protection equally important is adopted to avoid blasting excavation damage to the ecological environment around the construction site and reduce the thermal thawing of frozen soil to protect the ecological environment. In addition, the application of detonating tube detonator, electronic detonator and field mixed explosive tech-

nology in cold and high-altitude area is introduced in detail. The slow pressure relief of detonator can effectively reduce the generation of blind gun. The construction efficiency of electronic detonator is about 3 times higher than that of detonating tube detonator, which can carry out network detection and guarantee the quasi-explosion rate. The technology of field mixed charge explosive has the advantages of reducing labor intensity, improving work efficiency, enlarging blasting scale and improving blasting effect. Finally, the research direction and development trend of field mixed explosive blasting technology, tunnelling electronic detonator and mine greening technology in cold and high-altitude areas in the future are prospected.

Key words: alpine and high altitude; blasting technology; mining; frozen soil; ecological environment

2016年《全国矿产资源规划(2016—2020)》指出金属矿产资源开发应该逐步向西部地区进军^[1],将高寒高海拔地区金属矿产资源开发上升到国家战略高度。高寒高海拔地区空气稀薄、含氧量低、气压低、昼夜温差大,尤其在冬季,严重威胁着现场施工人员的安全;且普通爆破器材在此特殊环境下质量难以得到保证,钻孔、爆破施工困难,导致钻孔、爆破质量得不到保证。针对上述问题,立足于对国内外高寒高海拔地区爆破技术研究现状,全面探讨高寒高海拔地区爆破施工重难点及其解决方法,介绍导爆管雷管、电子雷管、现场混装炸药技术在高寒高海拔地区的应用情况,并对现场混装炸药爆破技术、隧道型电子雷管、矿山复绿等研究方向及发展趋势进行展望。

1 高寒高海拔地区施工难点

高寒高海拔地区具有低温、低压、冻融循环、生态脆弱等特点,在爆破施工过程中要克服诸多困难^[2],如作业人员施工困难、炸药性能下降、钻机效率低、地下水结冰、冻土爆破大块率高等,相应地对施工人员、设备、矿山开采技术及环境保护等方面提出了更高的要求。

1.1 “高原”问题

高寒高海拔地区的“高原”问题主要为含氧量低且昼夜温差大,对现场施工人员安全、设备性能、爆破器材均有较大影响。

1.1.1 施工人员安全问题

目前高海拔地区的恶劣气候条件易导致高原职业病发生。高原地区白天温度较高,夜间温度降至零度以下,水资源丰富区域白天冻土融化,夜晚重新冻结;岩层间隙的存在导致边坡岩层会发生反复冻

融破坏,冻融破坏对边坡稳定影响巨大^[3],在开挖过程中时常发生塌方、滑坡等地质灾害,存在较大的安全风险;同时冬季路面易结冰,氧气含量更低,现场工作人员劳动强度高,防范意识减弱,极易产生交通事故,给爆破施工安全带来安全隐患。

高玉刚研究发现在高海拔地区^[4],炸药热点增多引起猛度增大,施工时若未对炸药单耗进行改变或未加强防护,极易产生爆破飞石,威胁现场施工人员安全。

1.1.2 设备的问题

(1) 钻机的影响

特殊的气候地理环境对设备影响较大,矿山设备效率大幅降低。冬季钻孔施工时,若岩层有水,水将从孔内随着压缩气体一起喷出,易造成钻具、机架、电动机和操作窗口等处结冰,导致钻机回转和提升工作困难,同时增加了钻头耗损。另外低温环境下钻机的润滑油易冻凝,导致保养时注油困难,对钻机的维护、钻孔作业均存在一定的影响。

(2) 其他设备的影响

高原地区由于含氧量低、昼夜温差大,施工设备经夜晚长时间低温停机后,机油粘度增大,导致设备启动困难;同时由于氧气含量低,发动机内燃烧不充分,造成功率下降,使施工设备的可靠性、安全性及使用寿命得不到保证,增加了维护和保养成本。

1.1.3 爆破器材的问题

(1) 对炸药的影响

在冬季采用包装炸药进行作业时,作业人员穿着厚实,导致作业效率低、劳动强度大、安全性差,制约了矿山的开采能力,不利于矿山生产组织和安全管理^[5]。

1) 包装乳化炸药的影响。乳化炸药在高原低温条件下,极易冻结、硬化、变形^[2]。施工中,冻结硬化的炸药往往会出现雷管无法引爆的现象;炸药变形后在装药时易卡孔,给施工带来困难。有关资料表明^[6]:随着温度的降低,炸药的分子运动减慢,炸药分解所需的起爆能增大,炸药感度降低,因此在

收稿日期:2022-01-15

作者简介:郝亚飞(1983-),男,博士研究生、正高级工程师,从事工程爆破技术研究,(E-mail)153158039@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51809016);重庆市自然科学基金面上项目(cstc2019jcyj-msxmX0645);重庆市青年拔尖人才支持计划(CQYC2021059619)

高寒高海拔地区进行爆破施工时炸药应具有良好的防冻性。

2) 现场混装炸药的影响。在高寒高海拔地区的露天矿山冬季因使用混装车受低温严寒的限制, 乳化基质、水箱易结冻, 系统输送阻力大, 造成泵送装药困难^[7], 导致现场混制的乳化炸药性能下降, 甚至发生拒爆; 同时混装车底盘、自控、液压等系统在低温环境下运行极易出现故障; 液压油在低温环境下难以保持正常温度范围, 致使铰油炸药车的螺旋转速发生变化, 计量误差增大, 造成出料不准。上述问题导致在高寒高海拔地区正常使用混装车进行爆破作业难度增大。

高海拔条件对爆炸冲击波参数也有一定影响, 谢雪滕基于奥尔连科云爆公式^[8], 采用 TNT 炸药参数, 研究了爆炸冲击波传播特性的高原效应, 在不同海拔高度下, 靠近装药的空气冲击波超压值差异明显, 在监测点 3 m 处, 海拔高度 4500 m 的超压峰值相对于海平面下降了 23%, 随着海拔高度的增加, 超压值下降的程度随之加剧。故对于相同的岩体力学性质, 高海拔地区的爆破参数需要相应调整。

(2) 对雷管的影响

高原地区的雷电较多^[9], 因此爆破器材的贮运应有较好的防雷避雷设施。普通导爆管在高海拔地区使用时, 由于导爆管内部压力与使用环境的大气压力差异较大, 从而导致导爆管被炸开后向传爆方向的相反方向瞬间泄压, 带动附着在内壁上的炸药飘散, 炸药量减少, 难以维持爆轰波继续传播, 极易发生“断爆”现象^[10]。

1.2 “冻土”问题

目前冻土施工开挖方法一般分为破碎法和融化法。破碎法有人工挖掘、机械开挖和爆破开挖三种, 人工挖掘与机械开挖仅适用于 1 m 厚度以下的薄片小片冻土, 对于多年大规模冻土带的开挖能力受限; 融化法主要有烟火烤法、循环针法和电流法^[11,12], 但融化法成本过高, 耗能巨大, 且容易导致周边冻土温度上升, 不利于环境保护。因此, 对于高寒高海拔地区较厚的多年冻土层, 采用爆破开挖较为合适^[13]。国内外学者对冻土爆破效果与冻土特性之间的关系开展了大量研究^[14-28], 主要通过爆破漏斗试验研究冻土的爆破特性, 并通过钻孔试验确定合适的钻孔方式, 研究发现冻土区施工难点主要包括爆破施工和钻孔施工。

1.2.1 爆破施工问题

与正常岩土相比, 高寒高海拔地区冻土具有显著的力学表现, 在非冻结状态下, 岩土出现不同

程度的裂隙或层理。经过冻结之后, 部分或全部裂隙被粘连, 使岩土表现出很高的同一性, 同时岩土的物理力学性质发生了很大的变化, 首先是其弹性模量成倍增长, 其次是岩土对炸药爆炸后所产生的拉伸力和剪切力的抗性增强。而且高原冻土的施工环境恶劣, 在炮孔成型和爆破过程中, 容易产生冻融循环的问题, 产生大面积的冻土。

高原冻土在冻结过程中由于水分迁移和水结冰引起体积膨胀和土层隆起。融化过程中, 体积收缩引起土层沉陷。当受到炸药爆炸的冲击作用时, 土与冰的界面直接影响爆炸应力波在土体中的传播, 进而影响冻土裂隙的生成、发展, 导致爆后岩体结块、大块多, 降低爆破效果, 增加了二次破碎成本, 严重影响工程各方面的进展, 因此对冻土区爆破施工方法方面亟待研究。

1.2.2 钻孔施工问题

冻土是由固体矿物颗粒、粘塑性包裹体、未冻水以及气体包裹体组成的复杂四相体^[29], 其对钻削和冲击能量的吸收与普通岩土不同。含冰量和冻结程度的不同, 钻凿性质也发生变化, 大量的机械能通过摩擦转化成热能, 恶化了钻屑的形成和排出条件, 降低了钻孔效率, 最终导致钻孔失败。同时钻孔时喷出的地下水流入地表, 表土层及填塞炮孔的岩土冻结后, 使炮孔填塞时难度加大, 影响施工效率和质量。

顾毅成等研究发现在冻土地区进行钻孔施工时^[30], 钻进过程中引起冻土热融形成泥浆未及时排出而回冻, 地表水及融化层的层上水流入孔内回冻, 局部地层中因流沙或不良地质造成孔壁坍塌, 进而引起炮孔逐渐变浅; 同时孔壁在有水的状态下结冰, 导致孔径缩小, 增加了装药难度, 最终爆破后出现大量根底。

1.3 生态环境问题

高海拔脆弱的生态环境容易遭受矿床开采的破坏。高寒高海拔地区植物覆盖度低, 土地荒漠, 生态环境恶化。人类经济、工程活动作用, 诸如开挖地表、铲除植被、修筑路堤等改变了天然地表状态, 使冻土的温度发生变化, 加剧或引起更多的冻土环境工程地质灾害。

青藏高原生态环境十分脆弱, 20 世纪 70 年代修建青藏铁路前进行过大量冻土爆破试验, 有些破坏严重的地区植被至今未恢复^[31], 现今国家大力推进环境保护政策, 大力推广绿色矿山, 因此爆破开挖必须把环境保护提到前所未有的高度。

2 解决措施和方法

针对高原职业病的严重现状, 提出改善劳动环

境和提高矿山人员工作能力的措施,在低海拔采矿标准管理体系的技术上,建立和完善高海拔矿山健康、安全和环境(HSE)标准管理体系。

2.1 安全管理措施

(1)建立、健全安全管理制度。岗前对现场施工人员进行三级安全教育,指导现场施工人员学习爆破安全规程中的相关规定,学习了解爆破安全相关方面的法律、法规和国家标准,增强现场施工人员安全意识。

(2)加强施工现场管理。每天清理道路,防止路面结冰;冰雪天气要及时处理路面积雪或在路面撒炉灰做好路面防滑工作;车辆使用前需对车辆进行检测,有问题的车辆不上路,行进过程应严格控制车速、车距,保证安全运行。

(3)加强人员安全管理。做好现场施工人员保暖等后勤保障工作,缩小爆区规模,合理安排施工时间;装药、联网、爆破等工序实现连续作业、快速施工,防止现场施工人员因工作强度高而出现高原反应。

(4)加强爆破工程施工质量管理。依据“宁超勿欠”的原则进行爆破开挖,确保炮孔深度符合设计要求;提高爆破设计科学性,保证填塞质量,防止出现飞石伤人事故。

2.2 炸药

2.2.1 包装炸药

暖季施工时所用炸药以普通硝酸铵炸药和乳化炸药为主。乳化炸药有一定的抗冻防水性能,可在有水炮孔内装填,无水炮孔内装填散状硝酸铵炸药,尽可能加大炮孔线装药密度,提高钻爆效率。

冬季施工时乳化炸药存在受冻硬化的问题,极易造成装药困难,因此选取防冻型乳化炸药,并应尽量缩短炸药库存时间。在 -25°C 以下温度时,为保证乳化炸药质量,每批次炸药均要做爆炸试验,确保具有雷管感度。

2.2.2 混装炸药

(1)对粒状硝酸铵添加防结块剂,以改善结块性;采用表面活性剂、添加金属粉末进行金属化处理等提高铵油炸药的爆轰性能;对于有水的炮孔,选用混装乳化炸药进行装填。

(2)混装炸药在现场进行混制装填,可以制成任意长度的药柱。遇到容易漏药的炮孔时,先在炮孔中置入高强度塑料薄膜袋,再按常规装药进行装填,可避免漏药,保证药柱的形状和高度。

(3)采取保温措施,对乳化基质料仓、水箱、敏化剂、催化剂、液压油箱、水箱进行保温处理或加装保温装置。乳化炸药输药时,采用 $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的热水

润滑减阻,并在水中添加抗冻剂和一些对乳化炸药性能无影响的无机盐。

2.3 起爆器材

高寒高海拔地区冻土区爆破开挖时所用起爆器材不仅要考虑地区雷电天气以及低气压的影响,还需考虑一定的防水抗冻要求,起爆器材的贮运应有较好的防雷避雷设施。露天爆破作业使用非电导爆管雷管较可靠,同时导爆管应选耐冻型(最低气温达 -40°C)。

普通导爆管雷管在高原环境下“断爆”现象严重,魏格平等提出采取先泄压再连线的作业顺序^[10],一是一次性泄压,将导爆管封口端一次性剪去;二是用钢针在紧靠导爆管封口处扎几个小孔,缓慢释放管内的压力。采用上述泄压方式后,盲炮次数明显减少,研究表明平原生产的导爆管雷管在高原环境下可以使用,但应提前泄压。

2.4 冻土爆破施工方法

厚层冻土爆破后在爆堆上部容易出现大块,为了获得冻土开挖的最佳爆破效果,应选择合理的钻孔设备和爆破器材,爆破施工技术也需要进一步提高。目前国内外大多数学者主要通过采用深孔药壶爆破^[22-26],同时调整装药结构、施工组织等方法改善冻土爆破效果。

(1)深孔药壶爆破。深孔药壶爆破指钻机成孔后扩大孔底,加大孔底药量,进而调整孔网参数,大幅度地减少钻孔数量。

(2)调整装药结构。爆破区域内存在大面积冻土层时采用间隔装药方式,优化爆破参数,做到一次爆破开挖成型;孔内雷管进行延时设置时,冻土层段先于主装药段雷管起爆,使冻土层受到2次爆破作用,达到改善爆破效果、降低大块的目的。若爆破区域孔网参数较大时或破碎块度要求较小时,可采用浅孔爆破与深孔爆破结合的爆破方法,在深孔中间设置浅孔,浅孔深度等于冻土层厚度,进一步控制大块的产生。

(3)优化施工组织。冻土爆破开挖施工时,合理安排施工时间,尽量安排冬季施工,并确定合理爆破规模,减少每个施工环节的作业时间,防止热融病害。

2.5 冻土钻孔方法

冻土钻孔作业过程中,泥浆回流和冻融失稳易导致孔深不足甚至废孔等问题,可采取以下措施予以解决。

(1)加大炮孔深度。在常规炮孔设计深度基础上,可考虑增加 $20\sim 50\text{ cm}$ 的附加超钻量,对于基底保护没有严格要求时,深孔台阶爆破的超钻量为 $40\sim 50\text{ cm}$;浅孔台阶爆破超钻量为 $20\sim 30\text{ cm}$ 。

(2) 爆破清淤。钻孔完成后,马上采用小药包(100~300 g)爆破法清除炮孔中的积水和淤泥。

(3) PVC管防护。钻孔完成后,将PVC管放进孔内,并在孔外留出一定长度,以便装药后取出。其中PVC管一端设计为楔形,直径比炮孔直径小5~20 mm,PVC管炮孔防护示意如图1所示。

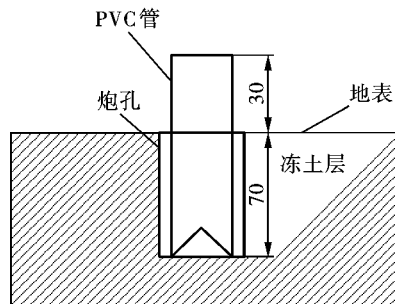


图1 PVC管防护^[10](单位:cm)

Fig. 1 PVC pipe protection(unit:cm)

2.6 生态环境保护措施

多年冻土地区的生态环境极其脆弱,一经破坏后难以恢复,甚至不可逆。因此,爆破开挖施工应尽量减少对多年冻土环境的破坏,严格贯彻“预防为主、保护优先,开发和保护并重”的原则。

为避免爆破开挖对施工点周围生态环境的破坏,高原冻土地地区路基施工中,原则上不得采用硇室爆破;深孔爆破宜采用松动爆破,当必须采用抛掷爆破时,应具备爆破弃碴对开挖限界以外的生态环境(如地表植被等)不受破坏的条件,或采取相应的保护生态环境的技术措施;为降低爆破振动,提高爆破破碎效果,应采用毫秒微差爆破;爆堆挖运不宜使用履带式推土机和铲运机。

减少冻土的热融。爆破开挖地表范围内的草皮,爆破前一般不宜破坏;如为利用爆破开挖地表范围内的草皮,应先行铲下,挖掘后地面宜采取临时保温措施以防铲去草皮后的冻土融化。在暖季施工条件下应遵循快速施工的原则,若暂时不能开挖或开挖中途停顿时,对爆破体应敷设临时保温材料,或采取其他措施控制爆破体的冻融;开挖后路堑暴露的冻土层,应作简易遮挡防护,以减少热融影响。

3 高寒高海拔地区爆破技术应用成果

3.1 导爆管雷管应用方面

内蒙古康宁爆破有限责任公司魏格平为解决普通导爆管雷管在高原环境下“断爆”现象^[10],在义海木里露天煤矿采取先泄压再连线的作业顺序,并提出两种泄压方式,一是将导爆管封口端一次性剪去,

快速泄压;二是用钢针在紧靠导爆管封口处扎几个小孔,缓慢释放压力,泄压后的雷管准爆率明显提升,现场对比实验结果见表1。

表1 泄压实验结果

Table 1 Pressure relief test results

泄压方法	引爆雷管数量	未爆雷管数量	未爆雷管数量比例/%
快速泄压/不泄压	99/95	1/5	1/5
缓慢泄压/不泄压	100/96	0/4	0/4

3.2 数码电子雷管应用方面

数码电子雷管具有延期精度高、延期时间设置灵活、安全程度高等优点,预计到2022年底,将实现数码电子雷管全覆盖。宏大爆破有限公司王涛等在西藏玉龙铜矿西山I号矿体的冻土层区域实施了数码电子雷管爆破试验^[2],海拔高度为4650 m。

为确保数码电子雷管在高海拔地区使用的可靠性,在大规模应用前分别对数码电子雷管做了浸水实验与起爆网路实验,在水中浸泡72 h后,雷管仍能正常起爆且起爆网路可稳定传爆。现场试验表明:数码电子雷管的网路连接、检查效率较导爆管雷管提高3倍左右,且在起爆前可进行整个网路检测,网路准爆性得到了有效保障;并且针对冻土爆破采取了冻土间隔装药(如图2所示)、孔内分段延时起爆技术,有效克服了冻土对爆破施工的影响,同时在冻土层处分段,利用数码电子雷管实现孔内延时爆破技术,成功解决了冻土层爆破大块率高的问题。该应用实例证明了数码电子雷管在高寒、高海拔地区的富水露天矿山冻土岩层,可实现大规模控制爆破,减少对环境的污染。

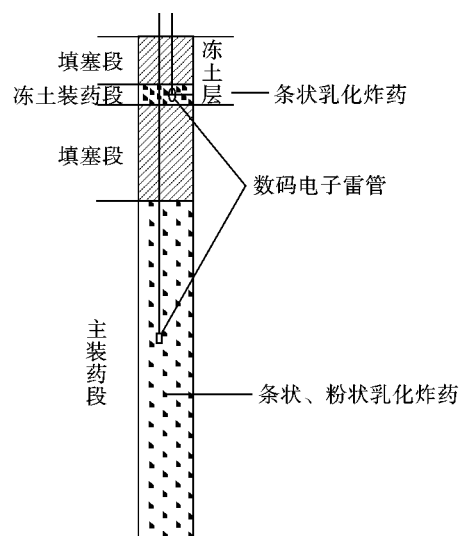


图2 装药结构^[2]

Fig. 2 Charge structure

3.3 混装炸药车的应用方面

现场混装炸药技术具有工艺简便、机械化程度高、经济性好、安全性高等优点,在高原地区具有较大的应用潜力,但也面临着一些问题,因此研究现场混装炸药技术在高海拔严寒地区的应用,有助于推动民爆技术在高原地区的发展。

中国葛洲坝集团易普力股份有限公司以西藏巨龙铜业驱龙矿山为工程背景^[7,32],研究了现场混装炸药技术在高海拔露天矿山的应用,通过优化调整现场混装炸药配方和施工工艺,应用低温敏化技术解决了现场混装炸药在高寒高海拔地区恶劣的气候条件下性能下降、泵送困难等问题;辅以炮区无线红外智能防护警戒系统对爆区进行实时监控(如图3所示),为现场混装炸药预装药爆破技术解决难题;

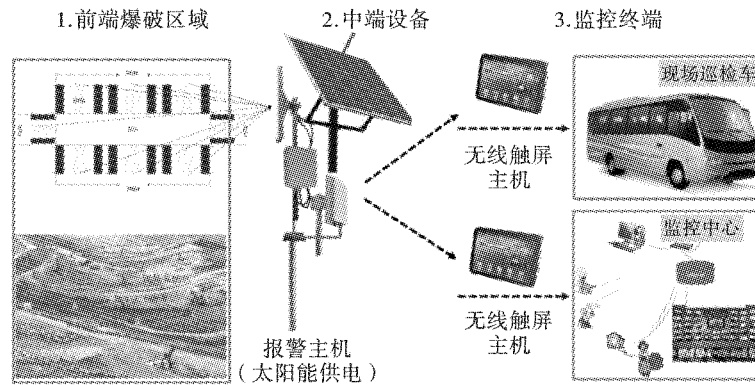


图3 炮区无线红外智能防护警戒系统

Fig. 3 Battery area wireless infrared intelligent protection and warning system



图4 机械填孔装备

Fig. 4 Mechanical hole filling equipment

黑龙江华安民爆器材有限责任公司孙晓东等^[5],针对国内现场混装乳化炸药车在高寒地区的使用情况和遇到的主要问题,从现场混装乳化炸药的配方、生产工艺及混装车的保温、液压、自控系统等方面进行研究和试验。分析研究了不同分散相体系、不同防冻剂、不同油相配比等对乳化基质低温性能的影响。其主要技术途径是以提高乳化体系的耐寒稳定性为前提,研究防冻添加剂及添加工艺,使其

以及机械填孔装备改变人工填孔作业的模式(如图4所示),实现机械化填孔作业,降低了现场填孔作业劳动强度,减少了现场工作人员数量;最后通过现场混装炸药爆破施工精细化管理措施,对现场施工各个环节(钻孔环节、装药前准备环节、装药作业、堵塞环节、起爆环节)制定严格操作流程,实现精细化管理,首次将大孔径(310 mm)、高台阶(20 m)、现场混装炸药预装药爆破模式应用于海拔5000 m以上的工作面,单次爆破现场混装炸药用量超过100 t,单次爆破方量超过 $2 \times 10^5 \text{ m}^3$,实现机械填孔,降低了现场填孔作业劳动强度、提高了工作效率、保证了作业安全,在高寒、缺氧区域采用现场混装炸药预装药爆破施工模式意义尤为重大。

达到降低冰结点,提高耐冻性能。

通过调整BCHR-15型现场混装炸药车的乳化炸药工艺与配方^[33],对基质料仓、水箱等进行保温处理,并采取其他的保温减阻措施,成功在黑龙江一处铜矿使用,可以有效解决矿山高寒高海拔环境下所急需的装药设备配套问题,使用效果良好。

4 结论与展望

4.1 结论

(1)针对高寒高海拔地区爆破技术开展了大量文献调研,总结出高寒高海拔地区爆破施工难点主要分为:高原、冻土、生态环境三方面的问题。“高原”问题主要对人员安全、炸药及相关爆破器材有影响;“冻土”问题主要影响钻孔与爆破施工,降低钻孔效率与炮孔质量,使岩石力学性质发生变化,导致爆破效果不足;“生态环境”主要指破坏施工区域生态环境,加剧或引起更多的冻土环境工程地质灾害,同时与国家政策不符等问题。

(2)针对高寒高海拔地区爆破施工难点提出相

应的解决方法。针对“高原”问题,提出加强安全管理措施,保证施工人员的安全;成品炸药添加防冻剂、粒状硝酸铵添加防结块剂等方法保证炸药性能。针对“冻土”问题,采用深孔药壶爆破,并调整装药结构、施工组织等方法来改善冻土爆破效果;采用超钻、清淤、护孔等方式解决钻孔难的问题。针对“生态环境”问题,以“预防为主、保护优先,开发和保护并重”为原则,尽量避免爆破开挖对施工点周围生态环境的破坏、减少冻土的热融等方式保护生态环境。

(3) 高寒高海拔地区使用导爆管雷管前进行缓慢泄压可有效降低盲炮的产生;使用电子雷管的施工效率较导爆管雷管提升3倍左右,提前对网路进行检测,可有效保障可靠性;使用现场混装炸药技术具有降低现场施工人员劳动强度、提高工作效率、扩大爆破规模、改善爆破效果等优势。

4.2 展望

(1) 目前国家已全面启动川藏铁路建设,川藏铁路海拔3000 m以上隧道总长度约580 km,占全线长度72.4%,具有夏季高温、冬季严寒、地应力高、隧道内热泉可达92℃等特点;川藏铁路建设的绝大多数隧道掘进工序,可采取现有技术实现机械化,唯独装药爆破工序仍采用人工作业方式,严重制约了整体机械化水平的提升。故急需研究解决适应高海拔地区,尤其是适应高海拔地区隧道爆破作业特点的现场混装炸药爆破技术,包括现场混装炸药装药设备、乳胶基质工艺配方以及现场混装乳化炸药爆破服务一体化作业模式等。

(2) 国家为保障公共安全,大力推进工业电子雷管应用。据统计,工业电子雷管在隧道和井下故障率远远高于露天应用环境,故亟须研究适合高寒高海拔爆破作业需要,尤其是适合高海拔地区隧道爆破开挖用工业电子雷管及其起爆系统的研发。

(3) 高寒高海拔地区植物覆盖度低、土地荒漠、生态环境极其脆弱,在国家大力提倡生态环境保护、建设绿色矿山号召下,不仅应保护开挖限界以外的生态环境,还应考虑爆破后的矿山复绿等问题。

参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国自然资源部. 全国矿产资源规划(2016—2020年)[EB/OL]. 自然资源部. http://www.mnr.gov.cn/gk/gjhj/201811/t20181101_2324927.html. 2016-11-15.
- [2] 王涛, 吴校良, 李新, 等. 高寒高海拔露天矿山大规模控制爆破的实践[J]. 工程爆破, 2019, 25(1): 60-63.
- [2] WANG Tao, WU Xiao-liang, LI Xin, et al. Practice of large-scale controlled blasting in high cold and high altitude open pit mined [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(1): 60-63. (in Chinese)
- [3] 李长洪, 肖永刚, 王宇, 等. 高海拔寒区岩质边坡变形破坏机制研究现状及趋势[J]. 工程科学学报, 2019, 41(11): 1374-1386.
- [3] LI Chang-hong, XIAO Yong-gang, WANG Yu, et al. Review and prospects for understanding deformation and failure of rock slopes in cold regions with high altitude [J]. Chinese Journal of Engineering, 2019, 41(11): 1374-1386. (in Chinese)
- [4] 高玉刚, 赵晓莉, 徐龙, 等. 高海拔压力环境对炸药猛度影响的实验研究[J]. 火工品, 2013(5): 36-39.
- [4] GAO Yu-gang, ZHAO Xiao-li, XU Long, et al. Experimental research on brisance of explosive in simulated high altitude environment [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2013(5): 36-39. (in Chinese)
- [5] 孙晓东, 蒋文斌, 李大财. 混装乳化炸药车在高寒地区的应用研究[J]. 煤矿爆破, 2013(2): 15-17.
- [5] SUN Xiao-dong, JIANG Wen-bin, LI Da-cai. Research on the application of mixed loading emulsion explosive truck in the alpine region [J]. Coal Mine Blasting, 2013(2): 15-17. (in Chinese)
- [6] 杨家松. 高原隧道爆破施工技术探讨[J]. 现代隧道技术, 2003(2): 21-24.
- [6] YANG Jia-song. Discussion on blasting technique in plateau tunnel [J]. Modern Tunnelling Technology, 2003(2): 21-24. (in Chinese)
- [7] 保天才, 罗非非, 刘思斌, 等. 现场混装炸药技术在高海拔严寒地区的应用[J]. 施工技术, 2018, 47(S1): 1696-1699.
- [7] BAO Tian-cai, LUO Fei-fei, LIU Si-bin, et al. Application of on-site mixed explosive technology in high altitude and severe cold area [J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 1696-1699. (in Chinese)
- [8] 谢雪腾. 高原环境爆炸冲击波传播特性的数值模拟与实验研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.
- [8] XIE Xue-teng. Numerical simulation and experimental research on propagation characteristics of blast shock wave at plateau environment [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2017. (in Chinese)
- [9] 杨年华, 张志毅, 傅洪贤, 等. 青藏铁路冻土爆破开挖技术[J]. 中国铁道科学, 2005(3): 11-15.
- [9] YANG Nian-hua, ZHANG Zhi-yi, FU Hong-xian, et al. Blasting technique of exploiting frozen earth in Qinghai-Tibet railway project [J]. China Rail Way Science, 2005(3): 11-15. (in Chinese)
- [10] 魏格平, 张士春, 于蒙洲, 等. 义海木里露天煤矿冻土爆破实验研究[J]. 工程爆破, 2017, 23(4): 1-5, 20.
- [10] WEI Ge-ping, ZHANG Shi-chun, YU Meng-zhou, et al. Experimental study on frozen soil blasting in Yihaimuli open coal mine [J]. Engineering Blasting, 2017, 23(4): 1-5, 20. (in Chinese)
- [11] 张定忠. 青藏铁路高原冻土区冻土爆破施工技术

- [J]. 黑龙江科技信息, 2011(8):242.
- [11] ZHANG Ding-zhong. Blasting construction technology of frozen soil in Qinghai-Tibet plateau frozen soil area[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2011(8):242. (in Chinese)
- [12] 孙剑涛, 李冰, 王晓龙. 浅析冻土开挖技术[J]. 黑龙江水利科技, 2003(3):112.
- [12] SUN Jian-tao, LI Bing, WANG Xiao-long. Analysis of frozen soil excavation technology[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2003(3):112. (in Chinese)
- [13] 杜海丽, 刘宁, 蒯亚敏. 冻土爆破开挖技术[J]. 筑路机械与施工机械化, 2015, 32(10):82-84.
- [13] DU Hai-li, LIU Ning, LIN Ya-min. Brief analysis of permafrost blasting excavation[J]. Bridge and Tunnel Construction and Machinery, 2015, 32(10):82-84. (in Chinese)
- [14] GU Yi-cheng, FENG Shu-yu. Main characteristics and technical countermeasures for blast cutting of frozen earth in the plateau area[C]//FRAGBLAST 7 ROCK FRAGMENTATION BY BLASTING. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2002, 482-488.
- [15] SENGUPTA M. Logistics of arctic mining[C]//Preprints for presentation at the Annual Meeting. New Orleans, Mining Engineers Press, 1986. 13-24.
- [16] PAUL J P, SENGUPTA M. Computer aided blasting-round design in an arctic coal[J]. Mining Science & Technology, 1987, 5(3):299-308.
- [17] GAFFNEY E S, SMITH E A. HYDRO PLUS Experimental study of dry, saturated, and frozen geological materials[R]. AD-A278 837.
- [18] MELLOR M. Blasting and blast effects in cold regions[R]. Part1. AD-A166 315/1/HDM.
- [19] DUTTA P k, FARRELL D, KALAFUT J. CRREL (Cold Regions Research and Engineering Laboratory) Hopkins on bar apparatus[R]. AD-A190 599/1/HDM.
- [20] MCCOY J E. Excavation in frozen ground Alaska[R]. AD-616314.
- [21] MELLOR M, SELLMANN P V. Experimental blasting in frozen ground. USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory[R]. AD738 798.
- [22] BENERT R. (1961) Excavation in frozen ground-Critical depth shots(100 and 500 lb) in Fort Churchill till. Cold Regions Research and Engineering Laboratory [R]. AD652 715.
- [23] NORTH Smith. High-explosive cratering in frozen and unfrozen soil in Alaska[R]. AD A084702.
- [24] MELLOR M. Blasting and blast effects in cold regions. Part 3. Explosions in ground materials[R]. AD-A209 382 /1/HDM.
- [25] SIMPSON J K, JARRETT P J. Explosive excavation of frozen soils[C]//Permafrost: Proceedings of International Conference. 17-22 July, Fairbanks, Alaska. Washington, DC: National Academy Press, 1160-1165.
- [26] 崔旺, 张红峰, 张建华, 等. 青海木里煤矿冻土爆破大块率控制措施[J]. 现代矿业, 2015, 31(4):196-198.
- [26] CUI Wang, ZHANG Hong-feng, ZHANG Jian-hua, et al. Control measures for blasting massive rate of frozen soil in Muli Coal Mine, Qinghai Province[J]. Modern Mining, 2015, 31(4):196-198. (in Chinese)
- [27] 于继来, 周聪, 张起博. 冻土爆破钻孔机械的选用[J]. 南方农机, 2016, 47(10):133.
- [27] YU Ji-lai, ZHOU Cong, ZHANG Qi-bo. Selection of drilling machinery for permafrost blasting[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2016, 47(10):133. (in Chinese)
- [28] 傅洪贤, 冯叔瑜, 张志毅. 冻土爆破研究的最新进展[J]. 铁道学报, 2002(6):105-110.
- [28] FU Hong-xian, FENG Shu-yu, ZHANG Zhi-yi. Frozen soil blasting and its advanced research progress[J]. Journal of the China railway society, 2002(6):105-110. (in Chinese)
- [29] 马英. 西藏嘉黎县蒙亚啊露天矿高原冻土爆破剥离浅析[J]. 有色矿冶, 2008(4):17-18.
- [29] MA Ying. Analyzing on blasting and stripping plateau permafrost at Mengyaa Open Mine Pit in Jiali County of Tibet [J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2008(4):17-18. (in Chinese)
- [30] 顾毅成, 冯叔瑜. 高原冻土地区路堑爆破开挖施工的基本原则[J]. 中国铁道科学, 2001(6):96-100.
- [30] GU Yi-cheng, FENG Shu-yu. Basic principles of railway-trench excavation by blasting in plateau frost soil zone[J]. China Railway Science, 2001(6):96-100. (in Chinese)
- [31] 傅洪贤. 青藏铁路爆破施工对冻土环境的影响及对策[J]. 环境科学学报, 2008(1):204-208.
- [31] FU Hong-xian. Qinghai-Tibet railway construction: permafrost disturbance and protective countermeasures[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008(1):204-208. (in Chinese)
- [32] 保天才, 罗非非, 朱根华. 大孔径高台阶爆破技术在高海拔露天矿山的应用[J]. 有色金属(矿山部分), 2018, 70(5):70-73.
- [32] BAO Tian-cai, LUO Fei-fei, ZHU Gen-hua. Application of large aperture and high bench blasting technology in high-altitude open-pit mine[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2018, 70(5):70-73. (in Chinese)
- [33] 赵海燕. BCLH-15型现场混装粒状铵油炸药车在酒钢石灰石矿的应用[J]. 现代矿业, 2015, 31(9):192-193, 203.
- [33] ZHAO Hai-yan. Application of BCLH-15 on-site mixed granular ANFO explosive truck in Jiugang limestone mine[J]. Modern Mining, 2015, 31(9):192-193, 203. (in Chinese)