

冻土层条件下探槽爆破施工技术

孙宗席^{1,2}

(1. 中国地质大学(北京),北京 100083; 2. 武警警种学院,北京 102202)

摘要:介绍了季节性冻土的爆破类型、特点及破碎机理。通过对黑龙江省宝兴沟矿区冻土层下球状药包爆破工艺研究,成功解决了冻土层中探槽爆破施工难题。实践表明,只要根据当地气候、土质等实际情况合理选定爆破参数和技术经济指标,就可以有效控制爆破飞石,降低成本,提高施工效率,取得良好的爆破效果。给出了技术参数和参数指标,可为同类型探槽爆破施工提供参考。

关键词:冻土层;探槽;爆破;球状药包

中图分类号:P633.2 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2014)11-0070-03

Technology of Exploration Ditch Blasting Beneath Frozen Ground/SUN Zong-xi^{1,2} (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Specialized Forces of College of CAPE, Beijing 102202, China)

Abstract: The paper introduces the blasting types, characteristics and fracturing mechanism in seasonal frozen soil. By the study on blasting technology of spherical charge beneath frozen ground in Baoxinggou mining area of Heilongjiang, the construction difficulties in exploration ditch of frozen ground are successfully solved. The practice shows that blasting flyrock can be effectively controlled by rational blasting parameters and economic and technical indexes selected on basis of the actual situation of the local climate and soil to lower the construction cost and improve the construction efficiency. The paper presents the technical parameters and parameter indexes which can be reference to the similar exploration ditch blasting construction.

Key words: frozen ground; exploration ditch; blasting; spherical charge

0 引言

我部所在施工区,线多面广,分布在全国各地,尤其在天山、青海、东北等地区冬季施工时,天气寒冷,表土层冻结,人工挖掘困难,挖掘探槽主要依靠爆破施工来提高效率。由于工程技术人员短缺及爆破技术不过硬等原因,时常出现爆破事故,尤其是在冻土层条件下探槽爆破效果不佳、成形困难,施工难度极大,常出现粘土破而不碎、哑炮等事故,碎石、粘土清理难度大。处理哑炮事故时,由于冬季人体静电的影响,还易引起哑炮爆炸,且出现过亡人事故,潜在威胁很大。因此,解决好“冻土层条件下探槽爆破施工技术”这一老大难问题,是当前燃眉之急,对确保我部安全施工和官兵生命安全具有十分重要的意义。

1 冻土爆破类型与特点解析

在北方冬季施工中,探槽施工多在冻土层中进行。冻土一般是指在0℃或0℃以下,并含有冰的各种岩土和土壤。冻土按保持冻结状态时间长短,

可分为短时冻土、季节冻土以及多年冻土,其中季节冻土和多年冻土约占我国陆地面积的70%左右。通过查阅资料和深入研究,笔者认为冻土的爆破类型可分为3类:即常年冻土爆破、人工冻土爆破和季节性冻土层爆破。

(1)常年冻土爆破。常年冻土在我国境内主要集中在大、小兴安岭地区,厚度大,多在20~30m以上。多采用深孔和药壶爆破法。

(2)人工冻土爆破。在不稳定表土层中,为达到施工目的而进行冻结的冻土施工爆破。如:冻结法凿井中冻土爆破,为保护井筒外侧的冻结管,多采用浅孔多循环爆破法。

(3)季节性冻土层爆破。季节性冻土层具有显著的季节性变化特征。在我国江淮流域冻土持续时间相对较短,从当年的12月到次年的2月,约3个月左右,冻结深度约为0.2~1.2m;在部分地区冻结时间可达半年以上,如大、小兴安岭地区和青藏高原地区的季节性冻土,冻结深度约为0.5~2m。关于季节性冻土爆破,其显著特点是随着气候、土

收稿日期:2014-06-13; 修回日期:2014-09-27

基金项目:中国人民武装警察部队黄金指挥部专项基金资助项目(HJ20130028)

作者简介:孙宗席(1971-),男(汉族),安徽蚌埠人,中国地质大学(北京)在职研究生,武警警种学院副教授,地质工程专业,主要从事探矿、地球物理勘探的教学与研究工作,北京市昌平区南口镇武警警种学院黄金系勘探教研室,woszx1971@163.com。

质、含水率不同,冻土的性质及其可爆性变化范围较大。原状粘土的韧性和压缩性要比砂土大,爆破后易出现大块;压实或回填的粘土层可爆性差,且同一冻土层的韧性和压缩性随含水率的增大而增大。根据季节性冻土的特点和施工经验,采用冻土层下球状药包的爆破方法,既可有效控制爆破飞石,也可减少钻孔工作量。

2 冻土层下爆破破碎机理

冻土是一种特殊的爆破介质,压缩强度值不大,约为 $(0.04 \sim 0.35) \times 10^5 \text{ Pa}$ 。为分析球状药包在冻土层下爆破破碎机理,我们在黑龙江省塔河县宝兴沟矿区冻土层下进行了一系列爆破漏斗试验。

矿区地表覆盖第四系砂质冻土层,海拔高度为300~400 m,属低山丘陵区,北寒温带大陆性季风气候,冻土持续时间长达7个月,冻结平均深度约1.5 m,是典型的季节性冻土工作区。

2.1 爆破漏斗试验

试验时,我们将单个药包埋设在接近冻土层下的非冻土层中。通过现场试验,我们发现冻土层下单个药包爆破漏斗试验的结果与均匀介质条件下爆破漏斗情况不同,试验结果不是倒锥形,而是一个近似的圆台形,在药包位置形成半球形药壶,如图1所示。

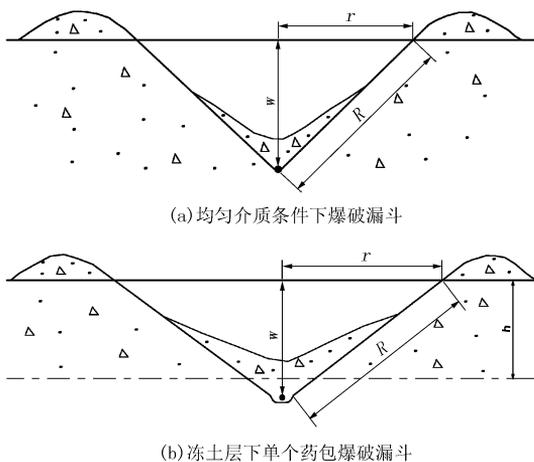


图1 爆破漏斗试验

W—最小抵抗线;R—爆破作用半径;r—爆破漏斗底圆半径;h—冻土层厚度

2.2 破坏过程分析

当球状药包布置在接近冻土层的非冻土中时,冻土层下部的半无限土体具有一定的韧性和可压缩性,对炸药爆轰产生的能量具有一定的吸收作用,压缩性好的土体在压缩过程中吸收的能量比压缩性差的土体要多,破碎同量冻土层则需要更多的炸药,而

药包上部的冻土层在其完全破裂之前,则起到一个覆盖层的作用,可有效防止飞石的产生。

当球状药包爆炸时,产生的高温高压的气体会使冻土层产生向外凸起的弯曲变形。当冻土层表面在弯曲应力作用下,所产生的拉应力超过了冻土的抗拉强度时,冻土层表面开始产生弯曲径向和环向裂隙,在弯曲裂隙和爆腔内的高压气体的共同作用下,冻土层开始破碎,被分割成块。尤其在压力最大的药包部位,弯曲应力最大,冻土层弯曲变形后,厚度较薄,裂隙最早贯穿,最先受到破坏,冻土被压碎。在冻土层破碎后,爆腔内气体若还有一定压力,破碎冻土块就会被向上抛起。在粘性冻土层中,接近药包的冻土在高温、高压气体作用下,常形成一个压密层,使压缩空腔与地表破碎部分不能贯穿,易产生大块,爆腔泄压后,冻土回落,张开裂隙闭合恢复原状,仍难挖掘。只有当药量达到一定数值时,该压密层才会被破裂。

根据双药包现场爆破试验结果,除药包联线两端外,在两药包共同作用范围内,以平行于药包联线方向的弯曲破坏裂隙为主;对于群组药包爆破,爆破范围大,开挖土石方量也比较大,除边界药包外,中间药包爆破时相对夹制作用较小,有利于破碎冻土,但由于冻土层性质的变化和爆破参数的改变,易造成裂隙的不规则性和块度的不均匀性。

3 探槽爆破施工工艺

3.1 钻孔

钻孔工作是冻土层爆破工作中的一个非常重要的环节,为确保钻孔质量,我们将原先使用的冲击式钻机改为使用煤电钻,且将钻杆换为直径为40 mm的麻花钻杆,解决了排渣困难的问题,取得了很好的效果。由于地面不平,钻孔深度为1.4~1.6 m之间,钻孔效率为0.2~0.85 m/min。实践证明,对于密实性好的回填料钻孔速度低而密实性差的原状冻土钻孔速度高。

3.2 爆破

3.2.1 爆破器材

使用的爆破器材主要有:延期抗杂电雷管、2号岩石铵梯炸药、MFB-25型发爆器等。

3.2.2 扩壶

宝兴沟矿区探槽爆破,采用的是冻土层下球状药包爆破法。此爆破方法要求钻孔必须穿过冻土层,然后用炸药进行扩壶,使整个药壶位于冻土层下。现场经验表明,钻孔通常超过冻土层5 cm左右

即可,扩壶的药量要根据冻土层下约束土质的可压缩性的确定。扩壶药量不宜过大,否则容易将地面炸裂或将炮孔炸坏。当装药量在 500 ~ 1700 g 时,扩壶药量控制在 50 ~ 100 g 范围内即可。若要进行二次扩壶,可将药量增加 1 倍。对于压缩性较好的粘土,只需一次扩孔即可满足装药量的要求。可通过估算药壶半径来计算药壶的体积。在扩壶前用炮棍量得孔深(孔底为药壶中心),扩壶后再量孔深,扩壶前后孔深差即为药壶半径。

3.2.3 装药

扩后的药壶,其壁面光滑、密实。装药过程中要随时测量孔深,不能使装药面上升到炮孔内,以防止爆破时出现冲孔,影响爆破效果。为提高装药速度及质量,降低成本,选用散装 2 号岩石铵梯炸药。

3.2.4 炮孔封堵

炮孔封堵的目的是为防止爆轰产生的大量气体从炮孔中冲出,从而提高炸药的有效利用率。药壶装药后,可就地取材,只需用土或砂填满整个炮孔即可,也可用炮泥封堵,填塞长度即为冻土层厚度。对炸药面上升到孔内的个别炮孔,孔口要用土袋覆盖防护,以加强封口。

3.2.5 起爆方法

为确保探槽施工质量,取得良好的爆破效果,起爆方法采用微差电雷管起爆法。由于探槽沿勘探线方向工作面比较长,通常可达 50 ~ 100 m,采取工作面分段起爆。在每段内采用微差爆破,雷管采用并联法,MFB-25 型发爆器起爆。

3.3 爆破参数确定

3.3.1 炸药单耗

由于冻土层下球状药包的爆破漏斗是一个近似的圆台形,不是一个标准的倒锥形,漏斗的开口直径要比药包埋深大,所以,实际爆破的体积应按圆台形计算。根据工程实践,对 2 号岩石硝铵炸药多排孔爆破的炸药单耗进行了多次分析研究,最终确定了炸药单耗(见表 1)。

表 1 2 号岩石硝铵炸药在不同冻土层中的炸药单耗

冻土类型	二次回填土或碾压土		原状土		
	沙土	粘土	砂土	砂粘土	粘土
单耗 q /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.6 ~ 0.8	0.8 ~ 1.0	0.4 ~ 0.5	0.6 ~ 0.8	0.8 ~ 0.9

3.3.2 孔网参数

为确保冻土层爆破后块度的均匀性,采用冻土

层下的球状药包爆破,方形布孔,以使炸药能量均匀分布。考虑到我部探槽施工规格:上口宽 3 m,底宽 1 m,深度 ≤ 3 m。在宝兴沟矿区针对冻土层厚度(平均 1.5 m)的实际,在进行冻土层探槽爆破施工时,我们沿勘探线方向(探槽沿勘探线布置)布置 2 排炮孔(如图 2 所示)。采用了 2 m \times 2 m 的孔网参数,药包埋深 1.55 m,取得了非常好的爆破效果。根据工程实践,对于厚度为 0.8 ~ 1.5 m 的冻土层,孔网参数控制在 1.5 m \times 1.5 m 至 2.5 m \times 2.5 m 范围内都是可以的。

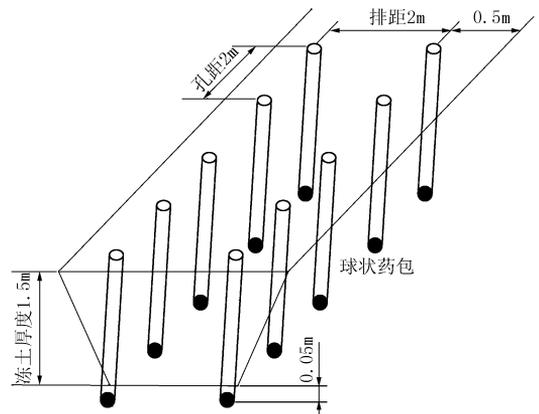


图 2 探槽炮孔布置示意

3.3.3 装药量

接近冻土层下的药包装药量可按下式计算:

$$Q = qabh$$

式中: q ——炸药单耗,可根据冻土层类型和性质选取, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; a ——药包间距, m; b ——药包排距, m; h ——冻土层厚度, m。

工作面装药量技术经济指标如表 2 所示。

表 2 球状药包爆破技术经济指标

爆破方法	冻土厚度 /m	药包埋深 /m	孔网参数 /(m \times m)	单孔药量 /kg	炸药单耗/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	爆破效果
冻土层下球状装药	1.5	1.55	2.0 \times 2.0	2.5	0.67	破碎、少量飞石

3.3.4 微差时间

由于探槽的长度比较长,我们实行的是分段施工,每段 40 m 左右。在段区内为取得良好的爆破效果,沿探槽延伸方向采用微差爆破。由于冻土层下药包爆破所产生的地震波强度较大,可采用毫秒延期微差爆破技术,控制一次起爆药量,微差时间 ≤ 160 ms。

(下转第 76 页)

敛变形基本已趋于稳定,不会像软岩产生较大的后期蠕变变形。该沉降量与上文采用数值方法得到的结果也存在较大区别,主要原因是数值计算结果包括了从开挖到围岩趋于稳定的全部变形量,而加密观测点的拱顶沉降量为初期支护结束后的测得,因此沉降量较数值结果小得多。综合上述分析,对于类似脆性岩体围岩条件下应该通过勘查与超前地质预报等辅助手段,更为准确地掌握隧道围岩地质赋存条件,确定合理的开挖方法与支护参数,避免发生塌方事故。

6 结语

山岭隧道施工中,塌方事故时有发生,究其原因,主要有不良地质条件、勘查设计不当及施工作业不规范等因素。在工程施工中,为了避免类似事故的发生,应做好不良工程地质条件的超前预报工作,遵循“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”原则,规范施工工序,加强围岩监控量测工

作,完善风险预报预警系统,发现问题,及时采取相应措施。

参考文献:

- [1] 刘旭. 乌竹岭隧道塌方事故原因分析和处治方法研究[D]. 吉林长春: 吉林大学, 2008.
- [2] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] 汪成兵, 朱合华. 隧道塌方机制及其影响因素离散元模拟[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(3): 450-456.
- [4] 张光杰. 高速铁路隧道围岩大变形特征及机理分析[J]. 湖南城市学院院报, 2014, 22(3).
- [5] 王迎超, 尚岳全, 靖洪文, 等. 隧道塌方段施工方案优化及效果评价[J]. 岩土力学, 2011, (Z2): 514-520.
- [6] 陈秋南, 赵明华, 周国华, 等. 复杂层状岩层隧道塌方原因分析与加固后信息化施工技术[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 650-653.
- [7] 高攀科, 毛红梅, 宋秀清, 等. 渝湘高速公路正阳隧道塌方治理方案研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 93-95.

(上接第72页)

4 结语

在冻土层条件下,进行探槽爆破施工,需要考虑探槽施工规格、冻土层的自然条件、爆破参数的选择及飞石控制等诸多因素,有一定的难度。通过对黑龙江省塔河县宝兴沟矿区冻土层下探槽爆破施工工艺的研究,经现场多次实验和技术攻关,成功解决了冻土层中探槽爆破施工难题。试验结果表明,只要根据当地气候、土质等实际情况合理选定爆破参数和技术经济指标,改进施工工艺,就可以取得良好的爆破效果。冻土层下球状药包爆破法,可有效控制爆破飞石,加快施工进度,是一种安全、高效、快捷的爆破方法。采用此方法后,宝兴沟矿区仅2013年就

节省探槽施工经费10万元左右。此项技术目前已在我国部全面推广使用,深受广大官兵的欢迎。

参考文献:

- [1] 郭威, 刘华南, 孙友宏, 等. 东北冻土区天然气水合物科学钻探试验及钻进效率影响因素分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 6-9.
- [2] 王兆林, 孙贵仁. SH30-2A型钻机在冻土爆破中的应用[J]. 探矿工程, 1992, (2): 62-63.
- [3] 杨滨荪. 冻土层采用爆破法挖槽效率提高三倍以上[J]. 探矿工程, 1960, (5).
- [4] 陶永生, 马芹永. 冻土试块爆破漏斗试验研究[A]. 现代矿山建设技术文集[C]. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 1993.
- [5] 马芹永. 冻土爆破冻结管受力计算[J]. 煤炭科学技术, 1995, 23(12).
- [6] 冯叔瑜, 马乃耀. 爆破工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1980.

刘广志院士逝世

中国共产党的优秀党员、中国工程院资深院士,杰出的探矿工程专家,新中国地质探矿工程的主要奠基人和开拓者,国土资源部咨询研究中心咨询委员刘广志同志,因病于2014年11月19日(星期三)23时2分在北京逝世,享年92岁。