

Construction Technology of Stone Static Crushing in Foundation Pit adjacent to Existing High-speed Railway under Complex Environment

Mingming Ma

The Second Branch of China Railway Tunnel Group, Yanjiao, Hebei, 065201, China

Abstract

In order to prevent the rock blasting excavation of the foundation pit from causing harm to the existing high-speed railway lines, surrounding buildings (structures) and passing vehicles (people), the static crushing method is adopted to pre crack, reduce and clear the rock. Through the geological and hydrogeological investigation and process test of the construction area, selecting appropriate mechanical equipment and crushing agent, and taking necessary control measures, the stone excavation of the foundation pit of the existing high-speed railway near the East Xuzhou Station of Xuzhou Metro Line 1 was completed safely and efficiently, which laid the foundation for the smooth opening of Xuzhou Metro Line 1.

Keywords

adjacent to; high-speed railway lines; static crushing; construction technology

复杂环境下邻近既有高铁线基坑石方静态破碎施工技术

马明明

中铁隧道集团二处有限公司, 中国·河北 燕郊 065201

摘要

为了防止基坑石方爆破开挖对既有高铁线路、周边建(构)筑物和过往车辆(人员)等造成危害,采用静态破碎的方法进行石方预裂、解小、清运。通过对施工区域的地质、水文地质调查和工艺试验,选用合适的机械设备和破碎剂,采取必要的控制措施,安全、高效的完成了中国徐州地铁1号线徐州东站邻近既有高铁线路基坑石方开挖,为徐州地铁1号线顺利通车奠定了基础。

关键词

邻近; 高铁线路; 静态破碎; 施工技术

1 引言

二十一世纪以来,中国在原有的“八纵八横”铁路网上又新建和改建了“八纵八横”高铁线路,铁路网越来越密集,而近年来修建地铁的城市逐渐增多,下穿或邻近既有铁路营业线施工也越来越普遍,周边基坑开挖时经常会遇到坚硬的岩石。一般情况下,石方破除可以选用常规爆破来完成。但是常规炸药爆破有极大的破坏性,也有巨大的冲击波、满天粉尘、飞石,这些对于远离城市、人烟稀少的郊区或山区则影响较小,而对于城市市区,巨大的震动和冲击波会对周围高大拥挤的建筑物造成很大的安全隐患,飞石则危及街道上的行人、行车安全,粉尘在造成环境污染的同时也给城市居民的身体健康带来严重危害。为解决上述问题,必须寻求一

种既能破碎岩石,又能保护环境的施工方法,上世纪八十年代研制出了一种静态破碎剂,也称无声破碎剂,代号“SCA”,逐步广泛应用于各种工程实践中^[1-2]。

2 工程概况

2.1 工程简介

中国徐州市城市快速轨道交通1号线一期工程地下市政工程土建施工B合同段,包含振兴路站~徐州东区间及徐州东车站,共1站1区间,工程起点里程DK21+076.369,终点里程DK22+966.426,全长1.89km。

根据设计文件,本项目静态破碎范围为振兴路站~徐州东明挖区间DK22+167.834~DK22+317.076段以及徐州东车站DK22+317.076~DK22+370.076段、

DK22+540.076 ~ DK22+740 段。

2.2 地形、地貌及地层岩性

场地地貌单元为剥蚀-溶蚀丘陵及丘间谷地地貌单元，地势较为平缓，地面标高 40.55 ~ 41.159m。上部土层以杂填土为主，基岩以寒武系灰岩为主。

①填土

杂填土：杂色，松散，以黏性土为主，夹有碎石、碎砖、块石等。该层土为人工弃土，堆填时间 3 ~ 5 年，没有经过压实改造，人为随意性较大，均一性差，多为欠压密土，结构疏松，强度较低、压缩性高、荷重易变形等特点，工程性质差。场区大部分布，厚度：1.6 ~ 8.7m，平均 4.8m。

②黏土

第四系上更新统黏土：黄褐色，硬塑状，切面光滑，干剪强度高，韧性高，含少量铁锰质结核和钙质结核，呈零星透镜体状分布，厚度 0.7 ~ 1.9m，平均 1.3m。位于杂填土与基岩面之间，大部分地段缺失。

③基岩

场区主要揭露的为寒武系中统张夏组灰岩。

中风化寒武系灰岩：青灰色，局部夹肉红色、灰黄色，中风化，隐晶质结构，层状构造，节理裂隙较发育，局部具溶蚀现象，多为方解石充填，岩芯呈短柱状、块状。基岩走向为 NE-SW，倾向 SE，倾角为 30° ~ 80°。属较硬岩~坚硬岩，较完整，岩体基本质量等级为 II ~ III 级，灰岩天然抗压强度 74.9Mpa，最高达 128.3Mpa，密度平均值 2.63g/cm³，为普坚石。

2.3 工程水文地质

(1) 地下水类型

本区段场地地下水按赋存条件、含水介质及水力特征分析，上部填土中存在上层滞水，因水量不大，对本工程影响较小；下部基岩中地下水主要为岩溶裂隙水。岩溶裂隙水主要赋存于寒武系灰岩的溶洞和溶（裂）隙中，含水层的渗透系数 >20m/d，属强透水。

(2) 地下水的补给与排泄

岩溶裂隙水补给条件受岩体破碎程度、节理裂隙张开程度及延伸情况等控制，以垂直下渗为主；主要赋存于岩溶裂隙、溶蚀孔穴中，受土层地下水或周围岩溶裂隙水补给，沿构造

破碎带、节理裂隙密集带汇集径流，在岩溶发育处、地层接触带等以地下径流的形式排泄，部分消耗于蒸发。本区裂隙岩溶水的补给来源主要是大气降水入渗补给和区外岩溶地下水的侧向径流补给，局部地段接受地表水的渗透补给。

3 工法选用原因

(1) 原因一

国务院令 639 号《铁路安全管理条例》第三十四条规定：“在铁路线路两侧从事采矿、采石或者爆破作业，应当遵守有关采矿和民用爆破的法律法规，符合中国标准、行业标准和铁路安全保护要求。”徐州铁路管理部门明确提出邻近营业线 200m 范围内不允许采用爆破作业。

(2) 原因二

本项目位于正在运营的京沪高铁七大主要站区之一的徐州东站两侧，行车密度最密集时约 3min/趟车次，周边建（构）筑物较多，人车流量密集，石方爆破不仅危及铁路运营安全，也可能对高铁站前广场周边的人车造成危害。

(3) 原因三

设计图中提出“若不允许使用炸药爆破，应采用无振动、无冲击波、无飞石的静力爆破方式来破碎岩石。”

(4) 原因四

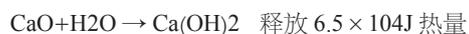
原合同单价中明挖车站和区间土石方开挖仅 57.15 元 / m³ 和 69.29 元 / m³，采用静态破碎开挖可申请重新组价，提高项目经济效益。

4 工法介绍

4.1 静态破碎作用原理

人工或机械钻孔后，将静态破碎剂用适量水调成流动状浆体，直接灌入钻孔中，经水化反应，使晶体变形，随着时间的增长产生巨大膨胀压力（径向压应力和环向拉应力），缓慢地、静静地施加给孔壁，经过一段时间后达到最大值，将混凝土或岩石胀裂、产生裂缝，再使用破碎锤或风镐解小、破除，从而达到开挖的目的。

静态破碎剂的破碎机理：静态破碎剂是一种高膨胀性能的粉状无机材料，以特殊硅酸盐、氧化钙为主要原料，配合其他有机、无机添加剂而制成的粉末状物质，典型的化学反应式为：



当氧化钙变成氢氧化钙时,其晶体结构发生变化,会引起晶体体积的膨胀。根据测定,在自由膨胀的前提下,反应后的体积可增长2~3倍,孔隙率随之增大,其表面积也增大近100倍,同时每摩尔还释放出 $6.5 \times 10^4 \text{J}$ 的热量。如果将它注入炮孔内,这种膨胀受到孔壁的约束,压力可上升到30~80Mpa,介质在这种压力作用下会产生径向压缩应力和切向的拉伸应力^[3-4]。

4.2 静态破碎的优、缺点

(1) 优点

破碎剂不属于危险品,在购买、运输、保管、使用上不受过多限制;施工中不产生震动、冲击波、飞石、噪音、有毒气体和粉尘等危害;在静态爆破法施工过程中,破碎剂用水拌合后灌入炮孔即可,不需专业工种,操作方便。

(2) 缺点

不适用于松散多孔体岩层和高耸结构;与传统爆破剂炸药相比,静态破碎剂能量不如炸药大,施工中钻孔多,破碎效果受气温及施工人员经验影响较大;施工效率低,破碎剂购买成本较高,施工中有喷浆和强碱性等危害。

4.3 施工工艺

施工准备→布孔设计→测量定位→钻孔→药剂拌和→装药→药剂反应→破碎清渣→下一循环。

5 施工方法

5.1 施工准备

(1) 人员准备

项目部配置工区主任和技术人员,选择有资质的专业分包单位承担本标段所有基坑石方静态爆破工程,分包单价为185元/m³(含税)。

(2) 机械准备

项目部为分包队伍提供2台HG375D-10空压机和4台KGH3履带钻机,其余小型机具(YT28风钻、手持电动搅拌机等)和挖机、破碎锤由分包队伍自带。

(3) 材料准备

经过比选,破碎剂选用徐州中国矿大爆破技术有限公司生产的“保利特静力破碎剂”,单价为3600元/t。

5.2 布孔设计

依据静态破碎布孔参数表及相关静态破碎经验,结合实

际岩层及工程量情况,按中硬度岩石参数应选择浅孔破碎参数。但本工程石方静态破碎量达6.5万方,方量较大,采用常规浅孔破碎工期无法保证,因此在施工前对中深孔破碎方法进行了试验,中深孔破碎的主要思路为钻大孔、小孔距、大排距,起到同排裂开成条状切割方法,切割后采用机械破除,试验证明中深孔一次破碎方量大,破碎剂单耗较浅孔破碎并未增加,所以决定在刷坡位置用手持风钻采用浅孔破碎,基坑中部采用浅孔和深孔破碎相结合的方法施工。

(1) 浅孔静态破碎参数:孔深H=2m,孔距35cm,排距35cm,孔径40mm,沿坑窝侧布三排眼共45个孔、宽度范围5m,破碎方量约10.5m³,破碎剂使用量15kg/m³。单孔装药量3.5kg。

(2) 中深孔静态破碎参数:孔深H=5m,孔距40cm,排距80cm,孔径70mm,三排眼共38个孔、宽度范围5m,破碎方量约60m³,破碎剂使用量15kg/m³。单孔装药量23.7kg。

5.3 测量定位及钻孔

由测量组放出开挖范围线,并用红油漆按设计的孔距在岩石表面标识清楚,准备施钻。浅孔采用手持风钻成孔直径Φ40mm孔,中深孔采用Φ70潜孔钻机钻孔。成孔后对孔口进行有效保护,避免杂物调入孔内堵塞。

孔径:孔径越大则药效的膨胀压也越大,但由于孔间距也相应较大而使切割面平整度下降,对于平整度要求较高的边坡坡面等增加了修整工作量,而孔径过小又因打孔太密而不够经济,综合诸种因素,故边坡刷坡孔采用YT28风钻打设40mm的孔洞,以保证边坡的坡率和平整度,其余部位采用打设40mm和70mm孔洞相结合的方式进行,加快施工进度。

孔深:孔深按照布孔设计打设。

钻孔方向:钻孔方向要根据破碎现场结构状况而定。一般尽可能钻垂直孔,钻孔施工和填充破碎剂方便。但是为了达到最佳破碎效果,也可在适当部位上钻水平孔、斜孔和向上孔。

5.4 药剂拌和及装药

先将按重量比为28-35%的水倒入容器中,然后加入SCA,大量用手持电动搅拌机,小量用手工拌制(用手搅拌要戴橡胶手套),搅拌成具有流动性的粘稠状浆体。再采用

人工装入钻孔内。搅拌时间以破碎剂搅拌均匀为宜控制，具体搅拌时间进行现场试验确定。

5.5 药剂反应

药剂反应的快慢与温度有直接的关系，温度越高，反应时间越快，反之则慢。气温较低，药剂反应时间会延长，反应时间太长会给施工带来不便。一般解决办法是加入保温剂和提高拌和水温度。保温剂加入过多，也会降低药剂膨胀力。拌和水温可根据实际适当提高，但最高不可超过 40℃，否则可能冲孔。反应时间一般控制在 30 至 60 分钟为较好，条件较好的施工现场可根据实际缩短反应时间，以利于施工。药剂反应时间过快易发生冲孔伤人事故，可使用延缓反应时间的抑制剂。药剂反应过程中，作业范围必须进行警戒防护，设置警戒标示，严禁人员进入。

5.6 破碎清渣

根据理论药剂反应时间，由原装药人员检查药剂反应效果，待药剂完全反应、岩体被涨开形成裂缝后，解除施工警戒范围，采用 PC450 破碎锤破除翻倒、解小，挖机配合场内倒运，腾出工作面并进入下一循环。

6 施工安全措施

(1) 无关人员不得进入施工现场。

(2) 采用具有腐蚀性的静态破碎剂时，灌浆人员必须戴防护手套和防护眼镜。孔内注入破碎剂后，作业人员应保持安全距离，严禁在注孔区域行走。

(3) 在相邻两孔之间，严禁钻孔与注入破碎剂同步进行^[5-6]。

(4) 静态破碎时，发生异常情况必须停止作业，待查明原因并采取相应措施确保安全后，方可继续施工。

(5) 在药剂灌入钻孔到岩石开裂前，不可近距离直接面对已装药的钻孔。药剂灌装完成后，盖上麻袋或棕垫，远离灌装点。观察裂缝发展情况时应更加小心。此外施工现场应专门备好清水和毛巾，冲孔时如药剂溅入眼内和皮肤上，应立即用清水冲洗，情况严重者应立即送医院检查治疗。

(6) 在破碎工程施工过程中需要改变和控制反应时间时，必须依照规定加入抑制剂或触发剂，并按要求配制使用，严禁擅自加入其它任何化学物品。

(7) 严禁将破碎剂加入水后装入小口容器内。

(8) 刚钻完孔或刚冲孔的钻孔，孔壁温度较高。应确保温度正常符合要求并清洗干净后才能继续装药。

(9) 破碎剂在运输和储存过程中应防潮，开封后应立即使用。如一次未使用完，应立即扎紧袋口，需用时开封。破碎剂严禁与其它材料混放。

(10) 使用破碎剂前确保操作人员对说明书已仔细阅读并理解。

(11) 位于地下水以下的钻孔装药需先将套筒插入钻孔内，然后往套筒内装药，从而使药剂发挥最大的效力。

(12) 装药顺序从临空面开始逐孔逐排顺序装药，当一次药量较大，装药时间超过 2 个小时，临空面采取防护措施，作业人员远离临空面，防止装药过程临空面先装孔产生反应，发生临空面涨裂滑塌现象。

7 经济效益分析

本合同段静态破碎范围沿线构建筑物多，其中 DK22+167 ~ DK22+317 段沿线北侧紧邻高铁西广场地下停车场结构侧墙、南侧紧邻公交站台及铂骊四星级酒店；DK22+317 ~ DK22+370 段下穿站前高架桥、紧邻高铁站台及高铁西出站口。为确保京沪高铁运营线周边旅客、设施安全、酒店运营，夜间不得进行钻孔及机械破碎等噪声较大的工序施工。受高铁商务区影响，白天严禁出渣、夜间出渣时间受限且经常禁止出渣，为了创造后续工作面必须在场地内堆渣倒运，施工进度缓慢，结合以往施工进度，所以按平均 3000m³/月开挖方量进行计算，每月管理人员工资及其他措施费约 100000 元，机械折旧和电费约 50000 元，计算如下：

每月静态破碎产值： $3000(\text{m}^3) \times 280(\text{元}/\text{m}^3) = 84$ 万元

扣除分包费用和其他费用： $840000 - 185 \times 3000 - 100000 - 50000 = 13.5$ 万元

每方纯利润： $135000/3000 = 45$ 元 /m³

总利润： $45(\text{元}) \times 65000(\text{m}^3) = 292.5$ 万元

8 结论和建议

8.1 结论

静态破碎工艺解决了在某些特殊情况及特殊环境下不允许使用常规炸药爆破来拆除构筑物及对岩石、矿石的开采这个长期存在并造成困扰的难题。土石方工程中针对不能炸药

爆破和深基坑岩石破碎效率低等复杂环境和要求很高的条件下,没有临空面的深基坑内也能获得理想的静破效果。基坑石方破碎可使用浅孔和中深孔结合的方法进行施工,但在一些名贵矿石开采或破除少量混凝土结构时,尽量选择小型机具打设浅孔,同时减小孔距和排距的方式进行。静态破碎是一种新型的爆破方法,它是常规炸药爆破的一种发展、延伸,虽然静态爆破技术现阶段在中国还没有炸药爆破技术那样广泛应用,但也应当看到静态破碎它的前景是非常光明的^[7-8]。

8.2 建议

破碎剂虽使用塑料袋封装,但存放时仍要防潮、防水,一次购买量不宜过多。岩石预裂需要有足够的临空面。自由临空面可以减少膨胀所需要压力、有效提高静态破碎剂的使用效率,同时加快开挖速度。施作的钻孔应及时进行保护。先前施工好的钻孔,应及时的填塞孔口,以防止其他杂物掉入孔中,影响后续的工作。根据现场情况分多个工作面进行。因为每个工作面在施工时,最好一次开裂一层岩石,然后再进行另一区域的岩石,这样可以进行时空轮换,增加工效,降低施工成本。要根据不同的气温选择不同类型的破碎剂,不同型号不可混用,冬季气温较低时,可采用热水拌和。使用静态破碎剂进行装孔后,防止高温造成喷孔伤人,要求操作工人佩戴护目镜和防护手套^[9-10]。

参考文献

- [1] 蒋吉红,杜勇,杨洁.浅谈静态爆破施工技术及应用[J].四川建材,2017,43(1):129-131,132.
- [2] 张宁,李志.静态破碎技术在坚硬岩质边坡开挖中的应用[J].中国水运(下半月),2009,9(4):186-187.
- [3] 马冬冬,马芹永,袁璞.气温和水温对静态破碎剂膨胀性能影响的试验分析气温和水温对静态破碎剂膨胀性能影响的试验分析[J].爆破,2014(4):124-128.
- [4] 王建鹏.静态破碎剂破岩机理研究[J].中国矿业,2008,(11):90-92.
- [5] 中国安全生产监督管理总局.AQ1108—2014.煤矿井下静态破碎技术规范[S],2014.
- [6] 中华人民共和国发展和改革委员会.JC506—2008.无声破碎剂[S],2008.
- [7] 王光辉.静态破碎剂在特殊路段路基岩石开挖中的应用[J].甘肃水利水电技术,2008,44(1):67-68.
- [8] 张然,王季夏.成熟社区内岩石基坑的开挖工艺[C].中国建筑学会建筑施工分会2011年八届二次年会暨施工技术交流会论文集,2011.
- [9] 张承超.SCA加载介质力学特性及膨胀压力测试[D].河北工程大学,2013.
- [10] 单飞.紧邻500kVA高压铁塔弱风化岩石路堑静态爆破开挖施工技术[J].科技创新导报,2017,(21):22-23.