

静态爆破法在城市隧道施工中的应用研究

高智神¹ 高兰丝²

1 湖南湘江新区投资集团有限公司 2 湖南理工学院

DOI:10.12238/etd.v6i2.12982

[摘要] 为了应对日益严格的环境保护和安全生产文明施工要求,城市隧道施工领域引入了静态爆破技术。通过科学对比,合理选择参数,采用静态爆破技术施工隧道显著减少了对周边环境的负面影响,并确保施工进度提高了项目社会效益。该技术为类似的城市隧道工程建设项目提供了宝贵的参考。

[关键词] 静态爆破; 隧道开挖; 无声破碎

中图分类号: U455.91 文献标识码: A

Application Research of Static Blasting Method in Urban Tunnel Construction

Zhishen Gao¹ Lanshi Gao²

1 Hunan Xiangjiang New Area Investment Group Co., LTD

2 Hunan Institute of Science and Technology

[Abstract] In response to increasingly stringent environmental protection and safety requirements for civilized construction, the urban tunnel construction sector has introduced the static blasting technology. Through scientific comparison and rational selection of parameters, the application of static blasting technology in tunnel construction has significantly reduced the negative impact on the surrounding environment, ensured construction progress, and enhanced the social benefits of the project. This technology provides valuable reference for similar urban tunnel engineering construction projects.

[Key words] static blasting; tunnel excavation; Silent shattering

前言

随着工程技术的不断进步,静态爆破技术在矿山开发、隧道建设等领域的应用日益广泛。静态爆破技术是一种利用爆炸能量破坏或改变物体结构的方法,它通过精确控制爆炸物的性质和布置方式,实现对岩石、土壤等材料的破碎、拆除、挤压等作业。在矿山开发中,静态爆破技术可用于矿石的采掘和矿山的开拓。通过在矿石中布置爆炸物,利用爆炸能量破碎矿石,使其更易于采掘和处理。这种技术不仅提升了矿石的开采效率,还减少了人力和时间成本,对于提高经济效益具有显著意义。

鉴于静态爆破技术在安全性和文明施工方面的显著优势,结合工程实际,通过优化破碎剂水灰比、爆破孔设置方式等措施,成功实现了隧道中的静态爆破施工。该技术对于环境保护和安全生产文明施工要求高的拆除作业具有良好的应用前景。本项目以长望路藕塘隧道工程建设为依托,对新建隧道静态爆破施工技术进行了深入研究,旨在为其他类似城市隧道项目提供技术参考。

1 工程概况

长望路藕塘隧道位于K1+900-K2+200长度约350米,下穿谷山公园山体。设计为双洞6车道,设计时速为60km/h;隧道净空

断面为五心圆,行车道宽度为11米,建筑界限净高5m。隧道小里程端洞口地形起伏较大,南北呈“两侧陡峭,中间平缓”的U型地形,东西向呈“东高西低”的陡峭地形;地质报告表明,地表土层主要由黏性土夹植物根茎组成,下伏基岩为全风化、中风化至微风化板岩。隧道进洞口北侧紧临龙湖原著小区,南侧为山体;出洞口北侧为砖混房屋的密集居民区,南侧为一小型水库。见图1。



图1 隧道地理位置图

本项目原设计开挖方式采用的是普通爆破(钻爆法),刚一开工就由于爆破施工的震动强、噪音大,对周边建筑物及居民生活影响很大,引起当地居民强烈不满。经研究后决定改用静态爆破法进行施工掘进。

2 静态爆破破碎原理及特点应用

2.1 静态爆破破碎原理

静态爆破技术,亦称作静态膨胀破碎技术^[1],是一种利用破碎剂的水化反应实现混凝土或岩石破碎的技术。该破碎剂主要由氧化钙构成,并辅以适量的外加剂,形成无机盐类化合物。这种粉状材料在水化反应过程中表现出显著的膨胀性能(24小时内膨胀压可达30~60MPa,远超混凝土的抗拉强度),因此亦被称作无声破碎剂(SCA)。在实际操作过程中,首先需在岩石上布置钻孔,清孔后填灌调配好的破碎剂,待岩石整体胀裂破碎后,再利用炮机进行进一步破碎和挖掘。

2.2 静态爆破工艺特点

(1)应用范围广泛。静态爆破技术在施工环境受限、对噪音环境要求较高的区域具有显著的适用性。该技术有效规避了传统钻爆法所引发的振动、噪声及环境污染问题,特别适合于城市中心区域、临近地铁站及历史建筑、深基坑等敏感区域的施工需求。

(2)安全性高且易于控制。静态爆破技术的实施过程中,岩石的应力释放过程平稳,不会产生振动和飞石等不良现象。该施工方法对周边环境无任何负面影响,无噪音与震动,确保了施工过程的安全性,并且易于控制。

(3)环保节能效果显著。在施工过程中使用的破碎剂主要成分为钙、镁、铝等无机盐类,这些材料及其水化反应过程均不涉及燃烧、爆炸或产生有毒物质,因此在环保节能方面表现出色。

3 静态爆破施工工艺流程及操作要点

3.1 施工工艺流程

岩石破碎过程涉及将岩石从其原始状态破碎成较小的块体或粉末。在实施岩石破碎前,必须进行详尽的指标统计与分析,以评估围岩的强度特性、节理裂隙的发育程度、埋藏深度、构造特征、水文地质条件、区域地质背景以及超前地质预报信息。这些统计与分析数据对于选择适宜的破碎方案和开挖模式具有至关重要的作用。

在破碎施工启动之前,必须依据设计参数执行钻孔布设、浆体材料配置、灌注孔隙及养护等准备工作。钻孔布设涉及在适当的位置和角度进行钻孔作业,以实现最优的破碎效果;浆体材料配置是指根据实际需求,在钻孔中注入特定的浆体材料,旨在增强破碎效果和提升稳定性;灌注孔隙是指将浆体材料注入钻孔中,确保其完全填充钻孔空间;养护是指在灌注完成后,对浆体进行一定时间的保持,以确保其性能得到充分发挥。

岩石破碎作业完成后,可利用破碎锤等机械设备进行二次清理,以清除剩余的岩石块或粉末,为下一轮破碎施工的开展做好准备。

3.2 操作要点

3.2.1 静态破碎剂的选择

本工程选用某建材公司生产的静态破碎剂HSCA。根据施工所处的环境和气候,选用HSCA-II型静态破碎剂,破碎剂的型号及适用的温度范围^[2]。(见表1)

表1 破碎剂的型号及适用的温度范围

膨胀剂型号	适用环境温度
HSCA-I	25—40℃
HSCA-II	10—25℃
HSCA-III	-10—10℃

3.2.2 钻孔参数设计

静态爆破参数按照以下原则确定^[4]:

(1)孔径D。通常由被岩体的材质属性和结构形状等因素确定,一般孔径为28~60mm,超过60mm的孔径容易冲孔。根据以往成熟经验,钻孔孔径确定为40mm。

(2)孔深L。孔深是保证装药量蓄积能量,是静态爆破的关键参数^[3]。根据相关资料表明,钻孔深度与被破岩体的高度有关,其关系如下:

$$L = k * H \quad (1)$$

式中,H为被破碎体的高度(m);k为孔深系数,与约束条件有关。对于钢筋混凝土体,一般选取k=0.95~1.0。本工程岩体厚度大,需采用分层破拆,故确定钻孔深度为1m。

(3)抵抗线W。抵抗线W通常由被爆岩体的形状、强度等因素决定。一般对岩石取20~30cm,一般取30~40cm。本工程基础中硬岩石较密,故取w=20cm。

(4)孔间距和孔排距。影响钻孔间距和孔排距的关键因素包括:岩体的强度、孔径、自由面的数量以及破碎剂的膨胀压力等。在其他条件保持不变的情况下,孔距和排距越小,岩体越容易发生开裂,但减小这些参数无疑会增加钻孔作业量和装药量。根据相关研究,间距的确定可以通过以下公式进行计算:

$$a = K_1 * d \quad (6)$$

式中,a为孔距;d为孔径;K₁为破碎系数,对于普通破碎剂,K₁值可参考下表数据,孔排间距可按孔间距的1.2~2.0倍确定。本工程参考素混凝土的相关数据:

表2 混凝土的K1值(孔径d≤50mm)

混凝土种类	含筋量/(kg/m ³)	K1 值
素混凝土	0	10-18
钢筋混凝土	30-60	8-10
	60-100	6-8
	>100	5-7

3.3 施工工艺及过程控制

3.3.1 施工准备及安全注意事项

在施工前,必须进行充分的准备工作,确保所需材料和工具的完备性,包括破碎剂、洁净的自来水、水桶、拌和盆、护目镜、橡胶手套等。同时,需确认钻孔所用风镐、岩石切割设备等的正常运作。鉴于本工程施工在隧道内进行,空间受限,因此在静态爆破施工过程中必须严格遵守以下安全注意事项:

(1) 安全防护措施: 施工前必须实施有效的安全防护措施,设置合理的物流通道,分段分层按顺序组织施工。

(2) 劳保用品穿戴: 操作人员必须穿戴完整的劳保用品,尤其是必须佩戴防护眼镜。

(3) 操作安全规范: 药剂灌入钻孔后,在岩体未开裂前,禁止近距离面向已装药的钻孔,以防止喷孔现象发生,确保人身安全不受伤害。

(4) 应急准备措施: 施工现场应预备清水和毛巾等物品,以便在药剂意外溅入眼睛或皮肤时能立即进行清洗。

(5) 破碎剂的储存与运输: 破碎剂的运输和储存需采取防潮、防晒措施,拆封后应尽量一次性使用完毕。若一次未使用完毕,应采取包装密封措施。

3.3.2 隧道断面开挖顺序

隧道采用双侧壁导坑法施工,先施工左导坑,再施工右导坑,然后是上下台阶,最后是仰拱施工。

3.3.3 静态爆破施工

(1) 台架就位。目前隧道内采用的是轮式开挖台架,台架长9m,重15t,工字钢骨架,上端铺设钢制人行道网,前后左右设置伸缩杆作为辅助作业平台,施工过程中需要装载机配合行走,专人进行指挥,行走到位安装阻车器。

(2) 钻孔布孔。①钻孔直径。钻孔的直径与岩石破碎效果有直接关系,根据前述的参数选择直径为40mm钻孔,钻孔内的余水和余渣应用高压风吹洗干净,孔口旁应干净无土石渣。②钻孔布置。顺开挖轮廓线内逐圈布孔,开挖面中间设置密孔作为开挖掏槽,孔位顺开挖面向前施做,布孔分两种类型,一种类型为掏槽孔,一种为预裂辅助孔,沿开挖轮廓内侧逐圈布置,孔位顺开挖面向前施做,钻眼与隧道线路垂直夹角3-5度,略向下倾斜,两种类型孔同步施做。掏槽孔位开挖面中间2m*2m范围内,设置密孔间距20cm*20cm,提前形成临空面;辅助孔均匀布置利用掏槽形成的临空面进行静态预裂,环向孔距30cm、排距50cm。见图2。

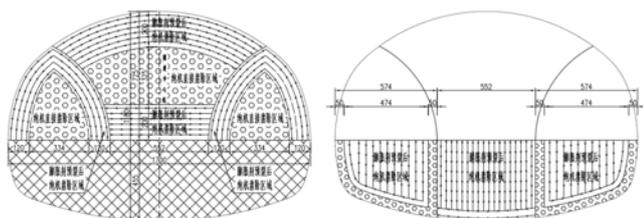


图2 静爆分区及钻孔布置

(3) 破碎剂的配置与灌注。①破碎剂配置。破碎剂的配置工作应由专业人员负责执行,作业过程中必须佩戴防护眼镜。配置地点应选择常温环境下,拌制用水温度不得高于30摄氏度。使用胶质盛水桶、拌和盆及水瓢进行拌和。破碎剂的配置分为两种形式:一种为糊状,另一种为药卷状。②破碎剂灌注。首先进行掏槽孔的灌注,待其反应完全后,利用破碎锤进行凿除,形成核心临空面。随后开始辅助孔的灌注,辅助孔安装完毕并反应3-6小时后,即可进行机械破除施工。

采用略小于钻孔直径的纤维袋装入药剂,制成药剂卷。将装好的药剂卷分组置于盆中,倒入洁净水进行完全浸泡。待药剂卷充分湿润且不再冒气泡,约需30-50秒,取出药剂卷,从孔底开始逐条装入并捣实,直至密实地装填至孔口。此过程遵循“集中浸泡,充分浸透,逐条装入,分条捣实”的原则。亦可将药剂拌和后使用灰浆泵压入孔内,孔口留5cm用黄泥封堵,确保水分和药剂不外流。

药剂装填完成后,需等待岩石预裂,裂缝宽度约为2-3厘米。岩石刚开裂后,可向裂缝加水以支持药剂持续完全反应,从而获得更佳效果。鉴于隧道施工的特殊性,药剂反应时间结束后,若及时进行机械破除,则可移除孔口防护;若暂不进行岩石破除,则需继续进行封盖保护。

由于破碎作业需循环进行,操作人员之间的协调配合极为关键^[3]。建议采用多个灌装小组进行作业,每组由一名主灌装手和一名副灌装手组成。在取药浸泡、搅拌过程中,主灌装手负责取药分量、浸泡和搅拌,副灌装手负责装药,确保药剂捣实,并在完成后用炮泥封堵孔口。各小组应采取“同步操作,小拌勤装”的模式,即每次操作循环中负责装孔的数量不宜过多,每次拌制的药量不得超过实际能够完成的工作量。

各灌装小组在取药、加水、拌药、灌装过程中应保持同步,并保持适当距离进行作业(以避免相互干扰和冲孔导致安全事故),确保每孔内药剂的最大膨胀基本同步发生,有利于岩石的破碎。每次装填过程中,必须遵循“即泡即装”的原则,已开始发生化学反应的药剂(表现为开始冒气和温度快速上升)不得装入孔内。



图3 钻孔照片



图4 静爆清理后的照片

(4)破碎锤凿除岩石。①掏槽孔成型。利用220挖掘机配置破碎锤对掏槽部位进行凿除,配置专人指挥、指导、调度,因设备利用率高、持续作业时间长,需要配置专业修理工,保障机械正常作业。②辅助孔凿除。利用一台370、一台220挖掘机配置破碎锤同步凿除作业,凿除过程中需相互配合,注意石块掉落伤害,因220及370挖机属于大型挖掘机,隧道呈弧形轮廓,凿除过程中需利用一台小型150挖掘机配置破碎锤进行修边作业,顺轮廓线凿除岩石,并开挖成型。③渣体清除。在围岩凿除过程中,需要配置220挖机随时扒渣,确保破碎锤作业空间,挖机扒渣后,利用50c装载机配合自卸汽车进行出渣。

3.3.4洞渣利用

隧道洞身开挖总量约8.8万方,用作路基填筑材料,可减少土石方的外弃与外借方量,降低了工程造价。

4 结论

静态爆破技术,作为近四十年来发展起来的破岩技术已在混凝土结构拆除、石方开挖、隧道掘进等多个领域得到广泛应用。本文聚焦于静态破碎施工技术在城市隧道施工中的应用,并将其应用于实际工程实践。实践表明,通过合理设定破碎参数并采取解除岩石约束的措施,可以有效克服静态破碎技术在隧道掘进过程中的限制因素,从而获得显著的施工成效。与传统爆破方法相比,静态爆破法操作简便,对周边环境、建筑物以及当地居民的日常生活影响较小。

此外,通过静态爆破开挖得到的洞渣,经过进一步加工处理,可作为路基填料使用。这不仅降低了运输和处理成本,还提升了施工效率。同时,洞渣作为路基填料还具备较高的密实度和稳定性,能够有效承载道路荷载,进而延长道路的使用寿命。

[参考文献]

[1]付虎成.静态爆破在深基坑混凝土中隔墙拆除中的应用[J].建筑施工,2020,42(7):1134-1137.

[2]王兴虎.利用静态破碎技术拆除大型设备基础的应用研究[D].兰州大学2017.

[3]朱珉,王宝伦,许伟民.静态破裂技术在深基坑土石方开挖中的运用[C],《第二十届华东六省一市建筑施工技术交流会》,2013-05-01.

[4]李杰浩,黄世林,罗登钢,等.城市复杂环境下水工隧洞静态爆破施工技术[J].工程建设与设计,2021(14):142-144,154.

作者简介:

高智神(1972—),男,汉族,湖南桃江人,硕士研究生,高级工程师,长期从事道路桥梁隧道工程及市政工程项目建设管理工作。