

高压线下桥涵基坑静态爆破技术优化研究

吴国银, 李成, 杜倩倩, 范云, 程广福
中建交通建设集团有限公司, 北京 100040
DOI:10.61369/ERA.2026060037

摘 要 : 在高压输电线路下方开展桥涵基坑施工, 安全风险高、控制要求严, 传统静态爆破常出现坡面成型差、超欠挖明显、岩石粒径不均等问题。本文以高压线下特殊工况为背景, 围绕装药量、孔径、孔深及孔位布置开展静态爆破技术优化研究, 通过合理匹配参数组合, 改善破碎均匀性与坡面成型质量, 减少后期修整作业, 同时提升爆破石料对路基填料的适用性, 实现安全施工、质量控制与资源利用的统一。文章从工况特点、机理分析、参数优化、工艺控制等方面进行系统论述, 可为类似工程提供理论依据与技术参考。

关 键 词 : 高压线下; 桥涵基坑; 静态爆破; 参数优化; 路基填料

Optimization Research on Static Blasting Technology for Bridge and Culvert Foundation Pits Under High-Voltage Power Lines

Wu Guoyin, Li Cheng, Du Qianqian, Fan Yun, Cheng Guangfu
China Construction Communications Engrg.Group Corp.,Ltd.,Beijing 100040

Abstract : In the construction of bridge and culvert foundation pits under high-voltage transmission lines, the safety risks are high and the control requirements are strict. Traditional static blasting often suffers from problems such as poor slope forming, obvious over-under excavation, and uneven rock particle size. Based on the special working conditions under high-voltage lines, this paper conducts an optimization study on static blasting technology focusing on charge weight, borehole diameter, borehole depth and borehole layout. By reasonably matching parameter combinations, the fragmentation uniformity and slope forming quality are improved, the later trimming work is reduced, and the applicability of blasted stone materials to subgrade fillers is enhanced, so as to realize the unity of safe construction, quality control and resource utilization. The paper systematically discusses the working condition characteristics, mechanism analysis, parameter optimization and process control, which can provide theoretical basis and technical reference for similar projects.

Keywords : under high-voltage lines; bridge and culvert foundation pit; static blasting; parameter optimization; subgrade filler

前言

随着交通建设不断向复杂地形推进, 桥涵基坑施工时常遭遇临近高压输电线路的工况。受电磁安全、环境敏感及结构精度约束, 常规爆破方式难以适用, 静态破碎技术成为主要选择。但传统静态爆破在参数设计上多依赖经验, 易出现破碎不均、坡面平整度不足、超欠挖控制不佳等问题, 既增加修整工作量, 又导致石料难以直接利用。为解决上述问题, 本文结合高压线下施工的特殊性, 从装药量、孔径、孔深、孔位布局等关键环节入手, 对静态爆破技术进行系统性优化, 在确保施工安全的前提下, 提升基坑成型质量与岩石资源化利用率, 为工程提质增效提供理论支撑与实践思路^[1]。

一、高压线下桥涵基坑施工特点与技术难点

(一) 工况特殊性

高压线下桥涵基坑属于典型受限空间施工, 其特殊性主要体现在电磁安全风险高、施工扰动控制严、周边环境敏感。施工过程中不允许出现震动、飞石、冲击波及电火花等隐患, 因此只能采

用无震动、无起爆、低干扰的静态爆破方式。同时, 桥涵基坑对基底稳定性、边坡平顺度要求较高, 爆破效果直接影响后续结构施工质量与运营安全。

(二) 传统静态爆破存在的问题

传统的静态爆破没有做精细的参数设计, 在实际施工过程中存在着两个方面的不足。一方面, 破碎过程的可控性差, 坡面平

作者简介: 吴国银 (1988-), 汉族, 男, 内蒙古赤峰市人, 本科, 工程师, 研究方向: 桥梁。

整度不能保证,超挖和欠挖现象普遍,造成人工修整量大、工期延长、成本增加。另一方面,岩石破碎粒径分布不均,大块石过多或者过细,不能满足路基填料的级配要求,一般要进行二次破碎,影响施工效率,也不利于资源就地利用。

（三）优化目标与技术思路

本次技术优化以安全可控、坡面规整、粒径适宜为原则,对钻孔参数和装药参数进行系统匹配,达到岩石均匀破碎、边坡成型效果改善、后期修整作业减少的目的,同时提高破碎程度,使更多的石料满足路基填筑直接使用的要求,达到工程效益和经济效益双提升的效果。以机理分析为基础,以参数协同优化为手段,以工艺控制为保证,创建出适合于高压线下桥涵基坑的静态爆破优化体系^[2]。

二、静态爆破作用机理及主要影响因素

（一）静态爆破基本原理

静态爆破依靠破碎剂遇水发生水化反应产生体积膨胀,在钻孔约束下形成持续膨胀压力,当压力超过岩石抗拉强度时,岩石内部产生裂隙并逐步贯通,最终实现岩体破碎。整个过程无爆破震动、无飞石、无噪音,对高压线路、周边建(构)筑物干扰极小,适合在敏感环境下使用^[3]。

（二）装药量对破碎效果的影响

装药量决定了膨胀压力的大小和作用范围,也是控制破碎程度的方法。药量过低会造成岩体开裂不足,整体性好,开挖困难,粒径大;药量过高容易造成局部应力集中,坡面出现过破碎、掉块、超挖等现象,影响边坡平顺性。合理的药量要兼顾破碎程度和坡面稳定,达到均匀开裂的目的。

（三）孔径与孔深的控制作用

孔径影响单位孔内装药量及膨胀压力分布,孔径太小会导致药剂填充不足,破碎效果差;孔径太大容易造成应力集中,不利于边坡轮廓控制。孔深同开挖深度、基底保护有关,孔深不足容易造成底部岩体没有充分破碎,孔深过大又会扰动基底,影响基坑成型质量。

（四）孔位布置对平整度与粒径的影响

孔位布置有孔距、排距、布孔方式和坡面边界孔位控制等,是决定边坡平整度和岩石粒径均匀性的因素。孔距过大容易造成裂隙不能贯通,粒径过大;孔距过小容易造成破碎过度。边界孔位布置不合理,很容易造成坡面凹凸不平、超欠挖严重。经由改良孔位排布方式,可以使得膨胀压力得到均匀的传递,进而改善坡面的规整状况以及破碎情况。

三、高压线下桥涵基坑静态爆破参数优化

（一）装药量优化原则

高压线基坑静爆药量优化以“安全可控、适度破碎、保护边坡、兼顾效率”为原则,符合高压线路无扰动、低风险施工底线的要求,符合基坑成型质量的要求。装药量直接影响破碎剂的膨

胀压力大小,是控制破碎效果和施工安全的关键,要分区精细控制。

边坡轮廓区以“控形、保稳”为主,减小装药量,防止应力集中造成超挖、崩落,防止坡面破损、修整量增大,避免边坡失稳。基坑中部岩体远离边坡,在安全距离内可以适当增大药量提高破碎强度,使岩体充分开裂,防止大块残留。采用分区差异化控制方式可以达到整体破碎效果的同时又保护了边坡质量,减少修整工作量,防止药量失控^[4]。

（二）孔径与孔深优化

孔径优化是静态爆破的关键,要考虑破碎能力、施工精度、边坡稳定这三个因素之间关系,根据岩体强度、风化程度、设备条件等因素来综合选择^[5]。孔径太小,破碎剂填充量少、膨胀压力低,会造成岩体破碎不彻底、大块率高;孔径过大,容易产生局部应力集中,孔口岩体松散,破坏坡面平整度。因此要选择合适的孔径区间,保证破碎剂填充密实、压力稳定释放,提高破碎的可控性。

孔深优化是以设计开挖深度为基础,结合岩体风化、层理变化来确定的。孔深过浅容易造成下部岩体欠挖,增加修整的难度;孔深过大会扰动基底,降低承载力。精确控制孔深,可以保证膨胀压力的均匀传递,使岩体有序开裂,防止欠挖和基底扰动,提高基坑成型精度,严格控制钻孔偏差,保证施工安全高效。

（三）孔位系统优化

孔位布置是保证坡面平整度、岩石粒径均匀性、石料利用率的主要方法。高压线下桥涵基坑静态爆破采取“整体均匀布置、边界精细控制、分区差异化布设”的办法来符合特殊工况的要求。基坑内根据孔距、排距的合理安排,保证膨胀应力能顺利传导,使破碎后的粒径均匀,提高路基填料的直接利用率,降低二次加工和外运成本。

边坡区需要精细布孔,适当加大边界孔距、优化钻孔角度,使岩体沿坡面有规律地开裂,形成整齐的破裂面,控制平整度、减小超欠挖。经过优化的孔位可以使得膨胀压力分布更加均匀,破裂路径也更容易控制,从而得到设计轮廓一致的破碎形态。通过协调布置可以提高破碎的均匀性以及基坑轮廓的平整度,达到坡面质量、石料利用率同时提高的目的^[6]。

（四）参数协同匹配

静态爆破效果是由装药量、孔径、孔深、孔位共同决定的,单一参数的优化不能达到综合目标,必须建立多参数协同匹配机制。高压线施工时,参数组合要根据地质情况、岩性、风化程度、基坑深浅和安全距离一起规划、随时变动。

经过参数协同匹配之后,膨胀压力分布符合预期的破碎形态,不会出现破碎不均、边坡失稳、粒径离散大的问题。药量与孔径适配、孔深与开挖深度一致、孔位与破碎强度相吻合,在保证线路及边坡安全的基础上,减小后期修整工作量,使岩石达到填料直接使用的条件。该模式提高了特殊工况下静态爆破的适用性,实现了安全、质量、效益三者统一,可以给类似工程提供借鉴。

四、施工工艺控制与质量保障措施

（一）钻孔施工控制

钻孔精度是静态爆破效果的基础保证，直接影响后面破碎剂膨胀压力的传递和岩体开裂形态，施工全过程要严格控制钻孔施工质量，杜绝各种钻孔缺陷影响整体施工效果。施工前根据优化后的参数方案进行精确放样孔位，做好标记并进行复核，防止孔位偏移、间距不均等情况的发生；钻孔时安排专业技术人员全程旁站监督，严格控制钻孔的孔位偏差、倾角、深度，使用专业的测量工具实时校验，防止出现偏孔、缩孔、孔深不足或者超深等问题^[7]。

尤其对于边坡区域的钻孔来说，它是坡面成型的关键控制点，必须予以重点专项控制。按照设计坡度调节钻孔倾角，保证钻孔顺直、间距一致，为后续形成规整平顺的坡面做好铺垫。钻孔结束后要及时清除孔内石粉、碎屑，保证孔内干净，防止堵塞影响破碎剂灌注和压力传递，做好孔口防护，防止杂物落入，保证钻孔符合设计要求，为后续爆破作业打下质量基础。

（二）破碎剂拌和与灌注控制

破碎剂拌和、灌注质量对水化反应及膨胀压力有影响，是控制破碎质量的重要工序。拌和时要严格控制水胶比，根据材料要求及现场情况准确配比，不得随意加水；使用专用机具充分拌和，防止结块、离析，保证水化反应均匀稳定，使膨胀压力持续可靠释放^[8]。

灌注按照自上而下、连续密实的原则进行，匀速施工并辅以轻微捣实，保证孔内填充饱满无空洞，使膨胀压力有效传递，岩体均匀开裂，减少欠挖和粒径不均。对边坡区域钻孔要加大灌注质量控制力度，防止由于填充不足引发坡面开裂不规则、平整度不好，保证整体破碎效果达到设计标准。

（三）高压线下安全管控措施

高压线施工要以安全为根本，严格遵守电力安全相关规定，建立全过程的安全控制体系。施工前主动联系电力管理部门，确定安全作业距离和防护要求，做好安全技术交底，使作业人员了解施工的禁忌和注意事项；现场设安全作业区，设警示标志、隔离设施，严禁无关人员、设备进入。

施工期间由专职安全员全程监督，保证人员、设备处在安全距离以内。在使用绝缘工具及防护用品时规范临时用电、消除电气隐患、排除电磁干扰。在保证高压线路安全稳定运行的基础

上，有条理地组织施工，使施工安全和进度得到控制。

（四）破碎效果监测与调整

静态爆破施工受到岩体岩性、风化程度、环境温度等诸多因素的影响，实际破碎效果同预期存在差别，因此施工时要创建起实时监测、动态微调、持续改进的管控体系，保证最终成果符合要求。安排专业技术人员全程对岩体开裂状况、坡面成型平整度、岩石粒径分布等进行观测，做好实时记录和效果评价工作，重点观察边坡区域成型质量及石料粒径的匹配程度^[9]。

若监测到岩体破碎不充分、坡面平整度不足、粒径过大等问题，分析原因，根据现场实际情况调整装药量、孔距等参数，有针对性地对后续施工工艺进行优化；如果出现局部超挖、破碎过大的情况，立即改变药量和孔位布置，用实时监测和动态调整来不断改善破碎均匀性、坡面平整度和石料适用性，逐步达到预期的控制目标，保证整个施工过程质量可控、效果达标，充分发挥参数优化和工艺管控的综合效益。

五、工程应用价值与综合效益

优化后的静态爆破技术更适应高压线下桥涵基坑的严苛工况，在安全、质量、经济三方面体现出明显优势。安全层面，无震动无飞石，对高压线路干扰极小，施工风险显著降低。质量层面，坡面平整度提升，超欠挖得到有效控制，基坑成型质量更好，后期修整工作量明显减少。经济层面，岩石粒径均匀性提高，更多石料可直接作为路基填料使用，降低二次破碎成本与外运成本，提升资源就地利用率，缩短工期，提高综合效益^[10]。

六、结尾

本文针对高压线下桥涵基坑这一特殊工况，对静态爆破技术进行了系统性理论优化，通过对装药量、孔径、孔深、孔位的协同控制，有效改善坡面平整度，减少超欠挖与后期修整工作量，同时提升岩石粒径对路基填料的适用性。该优化思路以安全为前提、以质量为核心、以效益为目标，理论逻辑清晰、工程适用性强，可为类似敏感环境下的基坑开挖提供参考。在后续实践中，可结合不同岩性与现场条件进一步细化参数体系，推动静态爆破技术向更精细化、高效化方向发展。

参考文献

- [1] 朴占华. 紧邻商业区城市深基坑静态爆破技术应用研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2019(08).
- [2] 曹小娟. 路基深挖路段坚石级岩石光面爆破施工[J]. 黑龙江交通科技, 2019(01).
- [3] 曹鑫. 静态破裂剂膨胀机理的研究[D]. 武汉理工大学, 2007.
- [4] 孟建创. 静态爆破技术在石质路堑施工中的应用分析[J]. 价值工程, 2018(19).
- [5] 智慧矿山中预裂+浅孔+深孔组合爆破施工技术[J]. 王峰. 建筑机械, 2025(03).
- [6] 蔡李荣. 孔爆破在坑槽石方开挖施工中的应用[J]. 低碳世界, 2017(26).
- [7] 范志光. 既有有线附近爆破施工探析[J]. 建筑技术开发, 2017(08).
- [8] 罗卫华; 陈彩苑. 某边坡爆破施工对既有隧洞影响数值分析[J]. 城市道桥与防洪, 2022(04).
- [9] 刘永. 高速公路土石方开挖作业中的静态爆破施工技术[J]. 中国高新科技, 2021(08).
- [10] 李金龙. 高速公路隧道掘进爆破施工技术应用研究[J]. 居舍, 2021(11).