

光面爆破技术在隧道开挖过程中的应用与推广

白周全

四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300

摘要 : 本文分析了光面爆破技术的原理、优势及在隧道施工中的应用, 强调了精确控制爆破参数的重要性。文章详细介绍了设计关键参数, 并以实际工程为例, 验证了其在复杂地质中的效果。同时, 指出了技术推广的挑战, 并提出了促进技术进步和施工质量提升的策略。

关键词 : 光面爆破技术; 隧道开挖; 爆破参数; 应用案例; 问题与对策

Application and Promotion of Smooth Blasting Technique in Tunnel Excavation

Bai Zhouquan

Sichuan Chuanjiao Road and Bridge Co., Ltd. Guanghan, Sichuan 618300

Abstract : This paper analyzes the principle, advantages, and application of smooth blasting technology in tunnel construction, emphasizing the importance of precise control over blasting parameters. The article introduces the key design parameters in detail and verifies its effectiveness in complex geology through practical engineering examples. Meanwhile, it points out the challenges of technology promotion and proposes strategies to promote technological progress and improve construction quality.

Keywords : smooth blasting technology; tunnel excavation; blasting parameters; application cases; problems and countermeasures

引言

光面爆破技术作为一种精确控制爆破方法, 在地下工程尤其是隧道开挖中具有重要地位。本文将深入探讨光面爆破技术的原理、特点以及在隧道开挖中的具体应用, 分析实际工程案例, 并针对其应用推广面临的问题提出相应对策, 以为该技术的进一步发展和应用提供有益的参考。

一、光面爆破技术原理及特点

(一) 技术原理剖析

光面爆破可以提高开挖效率, 精确控制爆破范围和爆破力度, 可以提高经济效益, 被广泛应用于地下工程中。在上个世纪中, 西方科学家发现炮孔装药结构对爆破效果有较大的影响, 并且在之后的一些试验项目中对爆破参数进行测试, 取得了较为理想的效果。之后, 其他国家陆续将光面爆破应用在采矿和隧道施工等项目^[1]。

光面爆破技术通过精确选择爆破参数、装药结构和起爆顺序, 旨在实现平整的开挖岩面, 减少对围岩的破坏。该技术先通过掏槽眼创造临空面, 辅助眼破碎岩石, 而周边眼采用不耦合装药方式, 最后起爆, 确保爆炸能量有效作用于岩石。爆炸产生的应力波和爆生气体的作用使岩石沿炮孔方向拉裂并剥落, 实现光面爆破。在硬岩隧道施工中, 精确控制光爆孔参数可确保规整的岩壁, 为支护和衬砌创造条件。

(二) 技术特点归纳

光面爆破技术在隧道施工中显著提升了开挖精度, 保护了围

岩稳定性, 并提高了施工安全与经济效益。该技术通过精确控制爆破参数, 有效减少了超挖, 如在山岭隧道中, 超挖量控制在10%以内, 节约了成本并提升了效率。它对围岩的微小扰动保留了其原有强度, 有利于维持稳定, 减少支护受力, 预防地质灾害。在软弱围岩隧道中, 光面爆破显著减小了围岩变形, 提升了支护安全性^[2]。

光面爆破的安全性高, 减少了飞石等危险, 尤其在城市地铁隧道等复杂环境中, 有效控制了爆破影响范围, 保护了地面建筑和地下管线。与传统爆破相比, 它减少了围岩扰动, 降低了坍塌风险。实际应用中, 光面爆破后的围岩裂隙较少, 为支护提供了良好条件。该技术还确保了高标准的成型质量, 使开挖面更平整, 减少了后期修正工作, 节约了成本和时间。

二、光面爆破技术在隧道开挖中的关键参数确定

(一) 爆破参数设计

在光面爆破技术中, 精确确定炮眼间距、最小抵抗线、装药量以及炮眼深度是确保隧道开挖效果的关键。炮眼间距的设定与

岩石的性质和炸药性能紧密相关,对于坚硬完整的岩石,炮眼间距通常在50—80cm之间,而对于破碎松软的岩石,则需缩小至30—50cm。这一参数的确定,通常依据经验公式和现场试验,取值范围约为钻孔直径的10至18倍。例如,在以石灰岩为主的隧道中,若钻孔直径为40mm,炮眼间距可选取约40cm。

最小抵抗线,即从装药重心到自由面的最短距离,其取值通常为炮眼间距的1.2至1.8倍,一般介于50—80cm之间^[3]。这一参数的合理设置对于岩石的破碎程度和抛掷方向至关重要。在不同的隧道断面和围岩条件下,最小抵抗线的取值需要相应调整,以避免岩石过度破碎或破碎不完全。

装药量的精确计算对于光面爆破的成功至关重要。周边眼的装药量通常采用线装药密度来衡量,根据岩石硬度等因素,线装药密度在0.2—0.3kg/m之间调整。装药量的计算通常采用体积公式法或经验类比法,并根据现场试爆情况及时调整,以避免超挖或围岩破坏。

炮眼深度的确定则需要综合考虑隧道断面大小、施工进度和围岩状况。小断面隧道的炮眼深度一般在1.5—2.5m,而大断面隧道可能会加深至3—5m,以提升施工效率,同时也要考虑到钻孔设备的能力和爆破效果的控制难度。

(二) 装药结构与起爆顺序

在光面爆破技术中,装药结构和起爆顺序的精心设计对于实现高效且安全的隧道开挖至关重要。装药结构通常采用不耦合装药和间隔装药两种形式。不耦合装药通过在较大直径的炮孔内装入较小直径的药卷,形成空气间隙,这样可以在爆炸时降低对孔壁的冲击压力,减少围岩的破坏^[4]。不耦合系数的选取通常在1.5到2.5之间,例如在石灰岩隧道中,可能会选择1.5左右的不耦合系数。而间隔装药则是通过将炸药分段并用炮泥间隔,以实现爆炸能量的均匀分布,从而提升岩石的破碎效果。

起爆顺序的安排则是先从掏槽眼开始,以此创造一个临空面,为后续的爆破提供条件。随后是辅助眼的起爆,这一步骤旨在扩大和加深掏槽效果,进一步破碎岩石。周边眼的起爆则用于形成平整的开挖轮廓。为了达到最佳的爆破效果,起爆网络通常采用微差起爆技术,通过合理设置各段雷管的延期时间,使得爆炸应力波能够相互叠加,从而实现岩石的充分破碎。特别是在周边眼的起爆中,常采用同时起爆或极小的微差起爆时间间隔,这样有利于沿着轮廓线形成平整的裂缝,同时有效控制爆破振动,确保施工的安全和效率。

(三) 钻孔施工要求

钻孔施工精度对光面爆破效果影响极大。钻孔设备要依据岩石条件和隧道断面合理选择,像凿岩台车、风钻等较为常用^[5]。在钻孔时,必须严格把控炮眼的位置、角度和深度,确保各炮眼间距、排距及相对角度符合设计要求,相邻炮眼偏差要控制在规定误差范围内,角度偏差一般不宜超过3°—5°,深度偏差控制在合理区间,如±0.1m以内,否则会影响开挖面平整度和岩石破碎效果。而且钻孔过程中要及时清理炮孔内岩屑等杂物,保障装药等后续工序顺利开展,可采用激光指向仪等设备辅助钻孔定位,提高钻孔精度,同时保证钻孔孔径均匀、孔壁光滑,避免出现钻孔

弯曲、孔径变化过大等问题,施工人员还需定期维护和检查钻孔设备,确保钻头磨损在合理范围,并严格按照操作规程施工,如控制钻进速度等,以保证钻孔质量。

(四) 炸药类型

炸药类型应选用低爆速、低密度、高威力的炸药,如乳化炸药,其爆炸冲击波相对柔和,对围岩破坏小,有利于光面形成;雷管则要选择高精度的毫秒延期雷管,根据起爆顺序合理选用不同段别,确保各炮孔按预定时间依次起爆,达到理想爆破效果^[6]。爆破后还需对开挖轮廓面平整度、半孔率以及超挖和欠挖情况进行检测和控制,轮廓面平整度要求平整度控制在±15cm以内,硬岩中半孔率一般应达80%以上,软岩中不低于50%,超挖率要控制在设计允许范围内,若出现问题需及时调整爆破参数及施工操作,从而保障光面爆破技术在隧道开挖中的有效实施,确保隧道施工的质量与安全,提高施工效率和经济效益。

三、光面爆破技术在具体隧道工程中的应用案例分析

(一) 工程概况介绍

峨眉至汉源高速公路大峡谷隧道为特长隧道,左线长12105m,右线长12146m,是本项目的控制性工程。隧道地质条件复杂,穿越多种地层,如板岩、变质砂岩、流纹岩、白云岩等,且受多条大型断层影响,存在岩爆、大变形、涌突水等风险。

(二) 光面爆破技术应用情况

隧道爆破设计的核心在于精密的炮眼布置、精确的炸药单耗、合理的装药结构以及严格的施工工艺,这些要素共同确保了爆破作业的安全、高效与质量。周边眼沿隧道轮廓线布置,间距保持在30—50cm,采用1.5—2.0的不耦合系数装药,以减少对围岩的冲击^[7]。在III级围岩中,周边眼间距通常为40cm。掏槽眼位于开挖中心,深度比其他炮眼深10—20cm,确保有效掏槽。辅助眼均匀分布在掏槽眼与周边眼之间,间距50—80cm,以扩大自由面。

炸药单耗根据围岩等级设定,如V级围岩0.7—0.9kg/m³,IV级围岩0.9—1.1kg/m³,III级围岩1.1—1.3kg/m³,具体数值通过计算和现场试验确定。装药结构上,周边眼采用间隔装药,掏槽眼和辅助眼则连续装药,确保爆破效果。施工工艺方面,高精度钻孔确保炮眼位置和角度精准,严格控制误差。装药与连线严格按设计执行,使用非电毫秒雷管起爆网络,起爆前进行安全检查。

质量控制措施包括优化爆破参数,提高周边眼痕迹率,控制超欠挖在规定范围内^[8]。安全防护措施涵盖提供个人防护装备,加强安全培训,并在爆破前将设备撤离至安全区域。

(三) 应用效果

光面爆破技术在隧道施工中的应用,显著提升了围岩稳定性,加快了施工进度,并有效降低了工程成本。该技术通过使隧道开挖轮廓更加平整,减少了对围岩的扰动,从而有效控制了围岩的变形和坍塌。在施工监测中,围岩变形量的明显减小和支护

结构受力状态的改善，特别是在不良地质地段如断层破碎带，围岩自稳能力的保持，大幅减少了支护结构的加固工作量，提高了施工安全性。同时，光面爆破技术减少了超欠挖处理的需求，提升了钻孔和爆破效率，使得施工进度加快。例如，在大峡谷隧道施工中，单循环进尺提高了10%~20%，月进尺增加，施工周期相应缩短。此外，由于超欠挖的减少，混凝土衬砌的超方量得到控制，节约了材料成本，同时减少了支护材料的消耗和设备维修费用。在左线某段施工中，光面爆破技术的应用使得超欠挖处理费用降低了约30%，支护材料消耗减少了约20%，从而整体降低了工程成本^[9]。

(四) 经验总结

光面爆破技术的有效应用依赖于设计优化、施工精准控制和监测反馈的协同。设计阶段需根据地质和断面尺寸进行爆破设计，施工中通过试验和监测数据调整爆破参数，以适应不同围岩条件。如在峡谷隧道施工中，调整炮眼间距和炸药单耗等。施工控制要求严格，包括精确钻孔、装药和起爆，强化人员培训和操作技能。监测反馈通过全站仪等设备实时监测爆破效果和围岩变形，及时调整参数，确保施工安全与质量。

四、光面爆破技术应用推广面临的问题与对策

(一) 面临的技术难题

光面爆破技术在隧道施工中面临诸多挑战。复杂地质条件下，如遇断层、破碎带、岩溶等，岩体特性多变，地应力不均易引发岩爆、大变形，地下水还会增加爆破难度、影响炸药性能，使得统一爆破参数难以制定。爆破参数确定复杂，受多种因素影响，因实际条件限制难以充分试验计算，准确性难以保证。施工中，钻孔精度受设备、人员和环境制约，难以达标，装药连线操作复杂，对药包位置、药量和起爆顺序要求高^[10]。爆破器材性能有限，炸药在能量、抗水、安全等方面有不足，雷管起爆精度和可靠性待提升。

安全环保方面，爆破振动需严控以保护周边设施，而爆破产生的粉尘和有害气体污染严重，治理困难，威胁施工人员健康。总之，光面爆破技术在隧道施工中，需攻克地质复杂、参数优化、施工精度、器材性能及安全环保等诸多难题，才能更好地发挥其作用。

(二) 应对的策略探讨

地质勘察与分析层面，应集成地质雷达、地震波层析成像、钻孔窥视等技术开展精细勘察，施工中利用全站仪、位移传感器实时监测围岩与地应力变化，建立地质信息数据库和动态反馈机制，为爆破设计施工筑牢基础。爆破参数设计优化方面，运用LS-DYNA、ANSYS等软件模拟分析不同参数组合效果，结合现场试验确定最佳参数，同时开发智能化系统，依据地质、隧道情况自动推荐并动态调整参数。

施工精度控制手段提升上，研发新型高精度钻孔设备，如自动定位凿岩台车，升级现有设备，增设精度控制装置，制定装药连线标准化流程，加强人员培训考核与现场监督。安全与环保措施强化方面，深入研究爆破振动规律和预测模型，研发减振爆破技术与材料，改进通风系统设计，采用混合式通风等，研发净化设备，优化爆破工艺，如水封爆破、预湿岩石等，减少粉尘和有害气体，推动光面爆破技术有效应用与广泛推广。

五、结束语

光面爆破技术在隧道施工中已证明其高效、安全和经济的优势，但面临地质复杂性、技术优化、精度控制、爆破器材性能和安全环保等挑战。通过地质勘察、爆破设计优化、施工精度提升和安全环保措施加强，有望解决这些问题，推动技术进步。随着科技进步和经验积累，光面爆破将在地下工程中发挥更大作用，助力基础设施建设。工程技术人员应持续关注并创新，以最大化技术价值和社会效益。

参考文献

- [1] 吴玮琛. 火成岩中复杂结构隧道水压光面爆破理论与控制技术 [D]. 太原理工大学, 2023. DOI: 10.27352/d.cnki.gylgu.2023.001743.
- [2] 林志灵. 隧道掘进光面爆破关键技术参数的确定及应用分析 [J]. 福建交通科技, 2023, (12): 55-59.
- [3] 高原. 矿山法隧道光面爆破技术及超挖控制方法 [J]. 工程机械与维修, 2023, (06): 109-111.
- [4] 熊春耀. 光面爆破技术在隧道施工中的标准化应用 [J]. 品牌与标准化, 2023, (06): 114-116.
- [5] 冯畅, 吴室瑜, 袁正兵. 大断面软弱围岩隧道光面爆破技术研究 [J]. 现代交通技术, 2023, 20(04): 21-26.
- [6] 武兆弛, 高远, 陶峰, 等. 聚能水压光面爆破在隧道掘进中的实用技术 [J]. 铁路工程技术与经济, 2023, 38(04): 24-29+34.
- [7] 安自学. 高速公路隧道工程建设中的光面爆破施工技术 [J]. 交通世界, 2023, (20): 141-143. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2023.20.033.
- [8] 袁丁. 光面爆破技术在碎裂岩石层隧道开挖中的应用分析 [J]. 石材, 2023, (07): 138-140. DOI: 10.14030/j.cnki.scaa.2023.0303.
- [9] 关培山. 高原铁路隧道岩爆施工技术研究 [J]. 铁道建筑技术, 2023, (05): 180-183+188.
- [10] 祝铭洋. 高速公路隧道光面爆破施工技术的应用研究 [J]. 运输经理世界, 2023, (14): 130-132.