

钻孔爆破技术在水利水电工程隧洞施工中的应用

王树仁

中国水利水电第三工程局有限公司 陕西 西安 710000

摘要: 本文聚焦钻孔爆破技术在水利水电工程隧洞施工中的应用。先阐述该技术原理与基本步骤,接着分析隧洞施工地质条件复杂、高水压、安全要求严苛等特点。随后介绍光面、预裂、掏槽爆破技术及特殊地质条件下的爆破应用。最后探讨其发展趋势,包括智能化技术应用、环保型爆破材料研发及与其他施工技术融合,旨在为相关施工提供参考。

关键词: 钻孔爆破技术; 水利水电工程; 隧洞施工

1 钻孔爆破技术原理及基本步骤

1.1 技术原理

钻孔爆破技术主要基于炸药爆炸时产生的巨大能量来破碎岩石。当炸药在钻孔内爆炸时,瞬间产生高温、高压气体,使周围的岩石受到强烈的冲击和挤压。这种冲击力首先使岩石产生裂纹,随着爆炸能量的持续作用,裂纹不断扩展、贯通,最终导致岩石破碎。同时,爆炸产生的应力波在岩石中传播,进一步加剧岩石的破碎过程。通过合理设计钻孔的参数,如孔径、孔深、孔距和排距等,以及控制炸药的用量和装药结构,可以实现对岩石破碎范围和块度的有效控制,满足不同工程的需求。

1.2 基本步骤

钻孔爆破技术的基本步骤包括钻孔、装药、堵塞、联网起爆和爆后检查。钻孔是爆破作业的首要环节,其目的是为炸药提供放置空间,并形成一定的爆破自由面。根据不同的工程要求和岩石条件,选择合适的钻孔设备,如手风钻、气腿式风钻、潜孔钻等。钻孔时要严格控制孔径、孔深、孔向和孔距等参数,确保钻孔质量符合设计要求^[1]。装药是将炸药按照设计要求装入钻孔内的过程。装药方式有连续装药、间隔装药和耦合装药等多种形式,不同的装药方式适用于不同的岩石条件和爆破效果要求。在装药过程中,要注意炸药的装填密度和装药结构,以保证炸药能够充分发挥爆炸能量。堵塞是在装药完成后,用炮泥或其他材料将钻孔口封堵严实。堵塞的作用是防止爆炸气体过早泄漏,延长爆炸气体在岩石中的作用时间,提高爆破效果。堵塞长度一般根据钻孔直径和岩石性质确定,通常为钻孔直径的12—20倍。联网起爆是将各个钻孔内的炸药通过导爆索、导爆管或电雷管等起爆器材连接成一个爆破网络,然后按照预定的起爆顺序和起爆时间进行起爆。在联网过程中,

要确保起爆网络的连接可靠,避免出现瞎炮和拒爆等情况。爆后检查是在爆破作业完成后,对爆破效果进行检查和评估。检查内容包括爆破后岩石的破碎程度、爆堆形状和尺寸、有无瞎炮等。根据检查结果,及时调整爆破参数和施工方案,为后续的爆破作业提供参考。

2 水利水电工程隧洞施工特点

2.1 地质条件复杂

水利水电工程隧洞建设往往需要穿越广泛且多样的地质区域,这使得地质条件呈现出复杂多变的特征。在隧洞掘进过程中,极有可能遭遇各类不良地质现象。断层作为常见的地质构造,其破碎带内岩石破碎、结构松散,稳定性极差,隧洞施工经过断层时,极易引发坍塌事故。破碎带同样如此,岩石的完整性被破坏,力学性能大幅降低,给施工带来巨大挑战。软弱夹层则像隐藏在岩体中的“定时炸弹”,其强度低、变形大,在隧洞开挖后,可能导致围岩应力重新分布,进而引发围岩失稳。岩溶地貌的存在也不容忽视,溶洞、地下暗河等发育,一旦施工过程中揭露,可能造成突水、突泥等灾害。面对这些复杂地质条件,必须采取针对性措施。超前支护可在隧洞开挖前对前方岩体进行加固,增强其稳定性;注浆加固则通过向岩体中注入浆液,填充裂隙,提高岩体的整体性和强度,为隧洞施工创造安全稳定的环境,保障工程顺利进行。

2.2 高水压环境

众多水利水电工程隧洞处于地下水位以下的位置,这使得施工过程中不可避免地面临高水压问题。高水压对隧洞施工的影响是多方面的且十分严重。在隧洞开挖阶段,强大的水压力会对开挖面产生巨大的冲击,导致开挖难度大幅增加,甚至可能引发开挖面的失稳和坍塌。对于隧洞支护结构而言,高水压会施加额外的荷载,使支护结构承受更大的压力,若支护措施不当,极易出现

支护结构变形、破坏等情况，威胁隧洞的整体稳定。更为严重的是，高水压还可能诱发涌水、突泥等地质灾害。大量的地下水突然涌入隧洞，不仅会淹没施工设备、影响施工进度，还可能对施工人员的生命安全造成直接威胁^[2]。为了有效应对高水压环境，需要采取一系列排水和防水措施。设置排水孔和安装排水管可将地下水有序排出，降低水压；采用防水混凝土能增强隧洞结构的防水性能，阻止地下水渗入。同时，加强对地下水的监测和预警，及时掌握地下水的动态变化，以便在出现异常情况时能够迅速采取应对措施，确保施工安全。

2.3 安全要求严苛

水利水电工程隧洞施工是一项庞大且复杂的系统工程，涉及众多的人员和各类大型设备。由于隧洞施工环境的特殊性，一旦发生安全事故，其后果往往不堪设想，不仅会造成严重的人员伤亡和财产损失，还可能对周边环境和生态系统产生长期的负面影响。因此，对施工安全的要求极为严苛。在施工过程中，严格遵守相关的安全规章制度和操作规程是保障安全的基础。每一个施工环节都必须按照规范要求进行操作，杜绝违规行为的发生。加强安全教育培训至关重要，通过定期组织培训活动，向施工人员传授安全知识和技能，提高他们的安全意识和自我保护能力，使施工人员能够在面对突发情况时迅速做出正确的反应。同时，要建立健全安全管理体系，明确各级管理人员和施工人员的安全职责，加强对施工现场的安全检查和监督。定期进行全面的安全检查，及时发现和消除安全隐患，对违反安全规定的行为进行严肃处理。通过全方位、多层次的安全管理措施，营造一个安全可靠的施工环境，确保水利水电工程隧洞施工能够安全、顺利地进行。

3 爆破技术在水利水电工程隧洞施工中的具体应用

3.1 光面爆破技术

光面爆破技术是一种先进的爆破方法，它通过科学合理地布置周边眼以及精准控制炸药用量，达成爆破后隧洞轮廓面平整、光滑的效果。在水利水电工程隧洞施工中，此技术意义重大。它能有效把控隧洞的超挖与欠挖情况，避免因过度挖掘或挖掘不足带来的资源浪费和质量隐患。同时，最大程度减少对围岩的扰动，让围岩保持相对稳定的原始状态，进而提高围岩自身的稳定性。这不仅保证了隧洞的施工质量，还为施工安全提供了坚实保障。光面爆破技术的核心在于周边眼布置和装药结构设计。周边眼间距需依据岩石性质和爆破效果要求确定，一般在30-50厘米。装药结构采用不耦合装药，在药卷和孔壁间留空气间隙，降低爆炸冲击波对孔壁的

破坏。而且要严格把控周边眼装药量，确保爆破后能形成规整、平整的轮廓面，满足隧洞施工的精度要求。

3.2 预裂爆破技术

预裂爆破技术是在隧洞正式开挖前，先沿着设计轮廓线爆破出一条具有一定宽度的预裂缝。这一操作的主要目的是减少主爆区爆破时对围岩的破坏，最大程度保护围岩的完整性。该技术尤其适用于地质条件不佳、对围岩稳定性要求较高的隧洞施工场景。预裂爆破的钻孔布置和装药结构与光面爆破有相似之处，但预裂孔间距更小，通常在20-40厘米，装药量也相对较少。预裂爆破效果的评估主要依据预裂缝的宽度、平整度以及减震效果。在实际施工中，通过合理调整预裂孔的各项参数和装药结构，能够实现理想的预裂效果。良好的预裂效果能为后续隧洞开挖创造有利条件，降低施工难度和风险，保障施工的顺利进行^[3]。

3.3 掏槽爆破技术

掏槽爆破技术作为隧洞爆破施工中的核心手段，有着极为关键的作用。在隧洞开挖作业时，它率先在开挖面上爆破出一个特定形状的槽腔。这个槽腔意义重大，能为后续的爆破作业创造出全新的自由面。有了这个自由面，炸药爆炸产生的能量能够更有效地作用于岩石，大大提高爆破效率，减少炸药的消耗量，进而降低施工成本。掏槽爆破形式丰富多样，较为常见的有直眼掏槽、斜眼掏槽和混合掏槽等。直眼掏槽的炮孔垂直于开挖面布置，它适用于岩石质地较为坚硬、隧洞断面相对较小的工程。在这种条件下，直眼掏槽能更好地集中爆破能量，实现有效的破岩。斜眼掏槽的炮孔则与开挖面呈一定角度倾斜，它对岩石节理裂隙发育的情况有一定的适应性，能利用岩石的天然缺陷，使爆破效果更理想。在选择具体的掏槽形式时，需要全面综合考虑岩石硬度、节理裂隙发育程度、隧洞断面尺寸等多方面因素。而且，掏槽孔的深度、间距和装药量也需合理确定。只有将这些参数精准把控，才能确保掏槽爆破达到预期效果，让隧洞开挖工作得以高效、顺利地推进，保障整个工程按时、高质量完成。

3.4 特殊地质条件下的爆破

在水利水电工程隧洞施工中，常会遭遇特殊地质条件，像断层、破碎带、岩溶等。在这些地质条件下进行爆破施工，面临诸多挑战，必须采取特殊的爆破技术和措施，才能确保施工安全和爆破效果。对于断层和破碎带，由于岩石破碎、稳定性差，爆破时极易引发坍塌和冒顶等严重事故。因此，爆破前要先进行超前支护和注浆加固，增强围岩稳定性。同时，采用小药量、短进

尺的爆破方式,尽量减少对围岩的扰动。在岩溶地区,隧洞爆破可能遭遇溶洞和地下暗河,施工难度和风险极大。爆破前,需通过地质勘探和超前预报等手段,精准掌握岩溶分布和发育特征。对于小溶洞,可采用填充和加固处理;对于大溶洞和地下暗河,则要制定专门施工方案,采取绕避或跨越等措施,确保施工安全顺利开展。

4 钻孔爆破技术在水利水电工程隧洞施工中的发展趋势

4.1 智能化技术的应用

随着科技日新月异的发展,智能化技术在水利水电工程隧洞施工领域的应用日益广泛且深入。在钻孔爆破这一关键环节,智能化技术的优势体现得淋漓尽致。自动化钻孔设备的应用是一大亮点,它借助先进的定位系统和精准的机械控制,能够实现钻孔的精准定位和自动操作。这不仅极大地提高了钻孔效率,减少了人工操作的误差和时间成本,还显著提升了钻孔质量,为后续的爆破作业奠定了坚实基础。同时,传感器和数据分析技术的融合为爆破参数的优化提供了有力支持。通过在施工现场布置各类传感器,实时收集地质条件、岩石特性等数据,再利用强大的数据分析算法对这些数据进行深度挖掘和分析。根据不同的地质状况和施工要求,系统能够自动生成最佳的爆破方案,精准调整炸药用量、装药结构等关键参数,从而提高爆破效果,实现经济效益的最大化。另外,无人机和三维激光扫描技术的运用,可对爆破效果进行全方位、实时的监测和评估,及时发现潜在问题并迅速处理,为后续施工提供准确可靠的参考依据。

4.2 环保型爆破材料的研发与应用

传统的爆破材料在水利水电工程隧洞施工中发挥着重要作用,但其在爆炸过程中会产生大量的粉尘、刺耳的噪音和有害气体,对周边环境造成了严重的污染,不符合当下绿色发展的理念。随着人们环保意识的不断提高,研发和应用环保型爆破材料已成为钻孔爆破技术发展的必然趋势。环保型爆破材料涵盖了低烟、低毒、低噪音的炸药以及环保型的起爆器材等。这些新型材料在爆炸时,能够显著减少粉尘的飞扬、降低噪音的强度和有害气体的排放,对环境的影响大幅降低。同时它们还具备较高的安全性和可靠性,经过严格的测试和验证,

能够满足水利水电工程隧洞施工的严格要求。目前,国内外科研团队已经投入大量精力进行研发,并取得一系列成果,一些环保型爆破材料已经在实际工程中得到了应用,不仅有效保护环境,还为工程的顺利推进提供保障,取得良好的经济和环境效益。

4.3 与其他施工技术的融合

钻孔爆破技术与其他施工技术的融合将成为未来水利水电工程隧洞施工的重要发展方向。以与盾构施工技术的结合为例,这种融合能够实现隧洞的快速开挖和高效支护^[4]。在盾构施工过程中,当遇到硬岩地层时,盾构机的切削难度会大幅增加,施工进度也会受到影响。此时,利用钻孔爆破技术对硬岩进行预处理,能够降低岩石的硬度,使盾构机更轻松地地进行切削,从而提高施工进度,保障工程的按时完成。另外,钻孔爆破技术与灌浆技术、锚喷支护技术等结合也具有重要意义。通过将不同技术的优势有机整合,形成一套综合的隧洞施工技术体系,能够更好地应对水利水电工程隧洞施工中遇到的各种复杂问题。例如,在爆破后及时进行灌浆和锚喷支护,可以增强围岩的稳定性,提高隧洞的安全性和耐久性,进而提升整个工程的质量和施工效益,推动水利水电工程隧洞施工技术不断向更高水平发展。

结束语

钻孔爆破技术在水利水电工程隧洞施工中意义重大。面对复杂的地质条件、高水压环境及严苛安全要求,该技术凭借多种爆破形式有效推进施工。未来,智能化技术将提升施工精准度与效率,环保型材料减少环境影响,与其他技术融合形成综合施工体系。持续探索创新,能让钻孔爆破技术更好服务于水利水电工程建设,推动行业高质量发展。

参考文献

- [1]黄勇刘大军.钻孔爆破技术在水利水电工程隧洞施工中的应用[J].治淮,2022(8):41-42.
- [2]张国庆.水利水电工程施工中隧洞钻孔爆破技术分析[J].建材发展导向,2022,20(16):157-159.
- [3]卢常兴.水利水电工程施工中隧洞钻孔爆破技术[J].石材,2024,(01):13-15.
- [4]唐经华.隧洞钻孔爆破技术在水利水电工程施工中的应用分析[J].四川水泥,2020(11):135-136.