

# 小断面隧洞爆破控制

夏瑞燕

湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司 湖北 武汉 430000

**摘要：**小断面隧洞在各类工程中扮演着重要角色，尤其在水利、交通和矿山等领域；然而，由于其断面面积相对较小，施工过程中的难度相应增加，需要精密的施工技术。特别是爆破作业，面临断面小、地质条件复杂以及爆破参数难以确定等多重挑战；本文将深入探讨这些难题，并分析先进的爆破控制技术，以为小断面隧洞的施工提供有益的参考和指导。

**关键词：**小断面；隧洞；爆破控制；技术分析

引言：随着此类爆破技术在引水隧道工程的普及，爆破技术得到了扎实有效的理解，本文探讨了小断面隧洞施工中的爆破难题及其控制技术。小断面隧洞因其空间限制、地质条件复杂性和爆破参数确定的困难，给施工带来了诸多挑战；也分析了孔径与孔深选择、装药量控制等关键爆破参数，并介绍了微震动控制爆破、光面爆破、预裂爆破以及毫秒延时起爆等先进技术，这些技术对于提高爆破效果、保护围岩稳定性和提升施工安全性具有重要意义。

## 1 小断面隧洞的概述

小断面隧洞，顾名思义，指的是断面面积相对较小的隧道，这类隧洞在各类工程中有着广泛的应用，如水利、交通、矿山等领域。小断面隧洞的特点在于其紧凑的空间设计，这既是出于工程经济性的考虑，也是为了适应特定的地质和地形条件，由于其断面小，施工过程中的难度相应增加，需要精密的施工技术和严格的安全管理措施。并且，小断面隧洞的通风和排水问题也需要特别注意，以确保施工和运营期间的安全；在实际工程中，小断面隧洞的设计和施工往往需要根据具体的地质勘察资料和工程要求进行定制化的方案设计。例如，在地质条件复杂的山区，小断面隧洞的设计可能需要充分考虑岩石的层理、节理、断层等地质构造，以及地下水的分布和活动情况<sup>[1]</sup>。此外，小断面隧洞的施工方法也多种多样，包括掘进法、盾构法、爆破法等，选择哪种方法取决于工程的具体条件和要求。

## 2 小断面隧洞的爆破难题

### 2.1 断面小，施工空间有限

小断面隧洞的特点是其断面面积相对较小，这种空间上的限制对施工过程带来了显著的挑战，小断面意味着施工机械和人员的活动空间受到了极大的压缩。在这样有限的空间里，大型施工机械难以灵活操作，有时甚

至无法使用，这无疑大大降低了施工效率，施工人员在这样的环境下作业，不仅需要更高的操作精度，还要面对更加困难的施工条件。长时间在密闭、狭窄的环境中工作对施工人员的身心健康提出了严峻的挑战，狭小的空间可能导致施工人员感到压抑，影响工作效率和身心健康。此外，由于空间限制，施工过程中的通风问题也显得尤为突出，通风不佳可能导致有害气体积聚，对施工人员的健康和安全的构成威胁。同样，照明问题也是一个不容忽视的挑战，在狭小的空间内提供充足的照明是确保施工准确性和安全性的关键，但这也可能增加施工难度和成本。

### 2.2 地质条件复杂

在小断面隧洞施工中，地质条件的复杂性是一个极为棘手的问题，隧洞施工需要穿越多种地质层，这就意味着施工团队必须随时准备应对各种地质特性的挑战。比如，一些岩层因为富含石英等硬质矿物，使得岩石的硬度极高，这就给破碎工作带来了极大的困难，施工团队不得不采用更为强力的爆破手段，这无疑增加了施工的危险性和技术难度。另外，有些岩层含有的粘土矿物较多，这类岩石虽然相对容易破碎，但破碎后可能产生的泥化现象也是一个不容忽视的问题。泥化不仅会影响施工进度，还可能对隧洞的稳定性和安全性构成威胁；此外，地质层中的节理发育情况也是施工中需要重点关注的因素，在节理密集的区域，岩石的完整性往往较差，爆破时容易产生不规则的碎片，这不仅会影响爆破效果，还可能因为岩石的不均匀破碎而引发局部坍塌等安全事故。

### 2.3 爆破参数难以确定

在小断面隧洞施工中，爆破参数的确定成为了一个极为复杂且关键的问题，隧洞断面狭小，加之地质条件的多变性，给爆破参数的选择带来了极大的挑战。（1）

孔径和孔深的选择需要极其精准,孔径过大会浪费钻孔资源,过小则可能导致爆破威力不足,无法有效破碎岩石;同样,孔深过深会增加钻孔难度和时间成本,过浅则可能达不到预期的爆破深度。(2)装药量的控制更是关键中的关键。装药量过多,可能会引发围岩的过度损伤,对隧洞的稳定性造成威胁;装药量过少,则可能使得岩石无法被有效破碎,导致欠挖等问题。(3)起爆顺序的设计也极具挑战性。它需要综合考虑岩石的层理、节理以及应力分布情况,如果起爆顺序设计不当,可能会导致岩石破碎不均匀,甚至出现大块飞石等安全隐患,这不仅会影响施工进度,还可能对施工人员的生命安全构成威胁。

### 3 小断面隧洞的爆破控制技术分析

#### 3.1 爆破参数的精确计算

##### 3.1.1 孔径与孔深选择

在小断面隧洞施工中,孔径与孔深的选择对于整个爆破工程的安全与效率具有至关重要的作用。这两个参数的选择,实际上是在保护围岩与提高爆破效率之间找到一个最佳的平衡点,对于孔径的选择,需要特别注意其对围岩稳定性的影响。在隧洞断面较小的情况下,采用较小的孔径进行爆破可以显著减少对周围岩石的扰动,这在地质条件复杂或岩石脆弱的区域尤为重要。小孔径爆破有助于保持隧洞围岩的完整性,降低因爆破产生的震动和应力集中,从而有效预防可能的地质灾害;然而,孔径过小也可能带来一些问题,如岩石破碎不充分,这会对工程进度产生负面影响。在选择孔径时,必须根据隧洞的设计要求、地质条件、施工环境以及预期的爆破效果进行综合考虑,以确保在保护围岩的同时,也能保证工程的顺利进行。孔深的选择同样需要细致的考量<sup>[2]</sup>。孔深过浅可能导致岩石破碎效果不佳,需要多次爆破才能达到预期效果,这不仅会增加工程成本,还会延长工期,而孔深过深,则会增加钻孔的难度和时间成本,同时也会提高炸药的使用量,进而增加爆破成本和安全风险。

##### 3.1.2 装药量控制

装药量控制在爆破作业中的重要性不容忽视,装药量的精确控制能够直接影响到爆破威力和岩石的破碎效果,从而决定工程的进度和质量。在确定装药量时,爆破工程师必须深思熟虑,充分考虑各种影响因素,岩石的物理性质是其中的关键因素,如硬度、层理和节理等都会对炸药的需求量产生影响;不同性质的岩石对炸药的敏感度和反应速度各不相同。此外,孔径和孔深也是装药量控制中不可忽视的因素,孔径的大小直接关系

到炸药的分布情况和爆炸威力的释放,而孔深则影响着炸药在岩石中的位置及其作用范围。合理的孔径和孔深设置能够使炸药更加均匀地分布在岩石中,从而达到更好的爆破效果,装药量的过多或过少都会带来一系列问题,装药量过多会导致围岩过度破碎,增加围岩的不稳定性,甚至可能引发安全事故。而装药量过少则可能无法达到预期的爆破效果,需要进行额外的破碎作业,这不仅增加了工程成本,还延长了工程周期,因此,为了实现最佳的爆破效果,工程师需要根据实际情况进行精确的装药量计算。

#### 3.2 微震动控制爆破技术

微震动控制爆破技术是现代爆破工程领域中的一项目标创新,它通过精细的操作和控制,显著提升了爆破作业的安全性和精确性,在隧洞施工和矿山开采中,这项技术正受到广泛的关注和应用,尤其在隧洞施工中,它对于确保围岩稳定、预防坍塌事故具有特别重要的意义。传统的爆破方法常伴随着强烈的震动,这种震动对围岩造成显著的扰动,极大地增加了安全事故的风险。然而,微震动控制爆破技术的出现,正是为了解决这一问题,它通过精细化的操作,大幅度地降低了爆破过程中产生的震动,从而有效地保护了围岩的完整性。实现微震动控制爆破技术的关键在于两大要素。(1)选择合适的炸药。工程师们通常会选择低威力、低爆速的炸药,这样做的目的是为了减少爆炸时释放的能量,进而降低产生的震动。(2)爆破设计的精确性也至关重要,这需要爆破工程师根据具体的工程环境和岩石特性进行详细的计算和设计。他们必须考虑炮眼的布局、起爆顺序以及延时设置等多个因素,以确保爆破能量的均匀释放,同时达到最小化震动的目标;由于减少了对围岩的扰动,工程师们可以更加放心地进行连续作业,而无需频繁停工以检查围岩的稳定性。

#### 3.3 光面爆破技术

光面爆破技术,作为隧洞施工中的一项目标关键技术,旨在通过精确控制爆破过程,使隧洞周边形成光滑、平整的洞壁,以最小化对围岩的损伤。这种爆破方法的应用,不仅提升了隧洞的美观性,更重要的是,它显著增强了隧洞结构的稳定性,提高了整体工程的安全性;在实施光面爆破时,技术的核心在于对周边炮眼间距、抵抗线和装药量的精确控制。这些参数的设定直接决定了爆破效果的好坏,若参数设置不合理,可能会导致洞壁不平、超挖或欠挖等问题,对隧洞的质量和安全性造成严重影响。为了确保光面爆破的成功实施,爆破工程师需要进行细致入微的计算和设计,他们必须深入了解岩

石的物理特性,如硬度、层理和节理等,以此为基础来确定炮眼的间距和抵抗线<sup>[3]</sup>。这一过程的复杂性和技术性要求极高,需要工程师们具备丰富的专业知识和实践经验;通过精确的计算和严格的设计,光面爆破技术能够在爆破后形成平整的洞壁,这不仅提升了隧洞的美观性,更重要的是增强了其结构的稳定性。平整的洞壁有助于减少应力集中现象,从而降低隧洞在使用过程中出现裂缝或坍塌的风险;此外,光面爆破技术还对提高隧洞施工效率起到了积极作用,由于爆破后洞壁平整,减少了后期清理和修整的工作量,从而节省了时间和人力成本。

### 3.4 预裂爆破技术

预裂爆破技术,在隧洞开挖与岩石工程中,被视作一项革命性的技术,它的主要任务是在隧洞边缘精确地形成一道预裂缝,这样可以大幅度减少主爆破作业对围岩的损伤。在隧洞施工中,我们都知道,保持围岩的稳定性是至关重要的,因为这直接关系到整个工程的安全性和稳定性。预裂爆破技术就是在这样的背景下应运而生,为工程师们提供了一个有效的解决方案,除了对围岩的出色保护,预裂爆破技术还具备其他显著的优势。它能够在一定程度上控制爆破后产生的碎石大小和分布,让整个施工现场更加整洁有序;这不仅降低了清理和后期处理的工作量,还提高了整个工程的效率和安全性。值得一提的是,预裂爆破技术还大大提高了工作效率,在传统的爆破作业中,工程师们总是需要在保护围岩和保证工作效率之间做出权衡。但有了预裂爆破技术的加持,这种权衡变得不再那么艰难,预裂爆破为主爆破作业创造了一个更加安全的环境,使得工程师们可以更加放心大胆地进行作业,从而节省了大量的时间和人力成本。然而,预裂爆破技术的实施并不简单,它需要工程师们对预裂孔的间距、装药量和起爆时间进行精确的控制,这些参数的设定直接影响到预裂缝的形成效果和位置精度;因此,工程师们需要对岩石的各种物理特性进行深入的研究,以便能够精确地计算出最合适的参数设置。

### 3.5 毫秒延时起爆技术

光面爆破技术,这一在隧洞施工中被广泛采纳的爆破方法,具有举足轻重的地位;它的核心目标是在隧洞

开挖过程中,使洞壁保持平整光滑,以最大限度地减少对周边岩石的损伤。这种技术的重要性不仅体现在隧洞的美观上,更关乎其结构稳定性和长期安全,在进行光面爆破时,爆破工程师需对炮眼的间距、抵抗线和装药量进行精确把控<sup>[4]</sup>。这些参数是光面爆破技术的关键,直接影响爆破效果,若设置不当,很可能导致洞壁出现凹凸不平、超挖或欠挖等问题,进而对隧洞的整体质量和安全性产生不良影响。为了获得理想的爆破效果,工程师们必须根据岩石的具体特性,如硬度、层理和节理等,进行细致的计算和设计;这一过程的复杂性和技术性极高,要求工程师们具备丰富的专业知识和实践经验。光面爆破技术的优势显而易见。(1)它显著提升了隧洞的美观性,使洞壁呈现出平整光滑的外观。更重要的是,平整的洞壁有助于增强隧洞的结构稳定性,这是因为平整的表面能够减少应力集中,从而降低隧洞在使用期间出现裂缝或坍塌的风险。(2)光面爆破技术还能有效提高施工效率。由于爆破后洞壁平整,大大减少了后期清理和修整的工作量,这不仅缩短了工期,还降低了人力和时间成本。

结语:小断面隧洞爆破施工极具技术挑战。为确保施工的安全与效率,需精确计算爆破参数,运用先进的爆破控制技术至关重要。采用微震动控制、光面爆破、预裂爆破及毫秒延时起爆等手段,可显著提升施工质量。随着科技的不断进步,我们坚信小断面隧洞的施工将迎来更高的精准度、安全性和效率。未来,通过持续创新和技术升级,小断面隧洞的施工方法将更趋完善,不仅提升工程质量,还能保障施工人员的安全,推动整个行业的持续发展。

### 参考文献

- [1]赵泽昌,张翼翔,刘万林.中等砂化白云岩小断面隧洞控制爆破技术:以滇中引水工程玉溪段隧洞为例[J].科学技术与工程,2023,23(29):12663-12671.
- [2]刘斌.简谈小断面引水隧洞爆破开挖质量控制[J].大众标准化,2023(15):37-39.
- [3]张大牛.山西中部引黄工程小断面隧洞快速掘进施工方法[J].山西建筑,2020,4205:182-184.
- [4]王虎山.高海拔地区长轴线小断面隧洞施工机械的研究[J].陕西水利,2019,05:92-93.