

# 铁路隧道岩爆地段施工技术措施探讨

曹 杰

中铁三局集团桥隧工程有限公司 四川 成都 610000

**摘 要：**铁路隧道施工中，岩爆地段施工是一大挑战。岩爆是围岩在高地应力作用下应变能突然释放导致的灾害，对施工人员和设备构成严重威胁。本文通过探讨岩爆的特点、危害及产生条件，结合工程实践，提出施工前需初步确定岩爆易发部位，优化开挖工艺和支护顺序；施工中加强地质探测，采取洒水、打孔注水、超前锚杆、钢架支撑等措施预防岩爆；同时加强监测和人员防护，确保施工安全。

**关键词：**铁路隧道；岩爆地段；施工技术措施

引言：铁路隧道作为现代交通建设的重要组成部分，常常穿越复杂的地质构造区域。在这些区域中，岩爆现象是隧道施工中不可忽视的安全隐患。岩爆的发生不仅影响施工进度，更对施工人员的人身安全构成严重威胁。因此，探讨铁路隧道岩爆地段的施工技术措施，旨在通过科学合理的施工手段和技术创新，有效预防和控制岩爆的发生，保障施工安全，提高工程质量，具有重要的理论和现实意义。

## 1 铁路隧道岩爆地段地质特征分析

### 1.1 岩爆地段的地质构造与岩性特征

(1) 地质构造背景及应力状态分析。铁路隧道岩爆地段的地质构造背景往往复杂多变，常处于地壳运动的活动区，这些区域内地应力较高，特别近代构造活动造成深部矿岩内地应力累积。在高山峡谷地区，由于河谷深切，自重应力和构造应力都相对较大，使得这些地区成为岩爆的高发区。在这样的地质构造背景下，岩体内部积累了大量的应变能，一旦受到开挖等外部扰动，就可能引发岩爆。(2) 岩性与岩石力学特性的关系。岩爆地段的岩性特征主要表现为坚硬、脆性，且完整性较好。这类岩石具有较高的抗压强度和弹性模量，能够储存大量的弹性应变能。当岩体受到开挖等外部扰动时，这些能量会迅速释放，导致岩石爆裂、松脱甚至弹射。常见的容易发生岩爆的岩石类型有花岗岩、片麻岩等。岩石的脆性和坚硬性是其发生岩爆的内在条件，而岩石的微观结构，如晶粒大小、孔隙率、裂隙分布等，也会影响其力学性能和破坏模式。

### 1.2 岩爆发生机理与影响因素

(1) 岩爆发生的力学机制探讨。岩爆的发生是岩体内部应变能瞬间释放的结果。在隧道开挖过程中，岩体受到来自不同方向的应力作用，这些应力在局部区域可能形成高度集中。当应力集中程度超过岩石的承载能力

时，岩石内部微观结构会开始发生变化，如微裂隙的萌生、扩展和相互贯通，该过程伴随能量的逐步累积。一旦能量累积到一定程度，且遇到开挖等外部扰动，岩体内部的应变能就会瞬间释放，形成岩爆<sup>[1]</sup>。(2) 影响岩爆发生的主要因素分析。影响岩爆发生的主要因素包括埋深、岩性和构造应力等。埋深越大，地应力通常越大，从而增加了岩爆的发生风险。岩性方面，坚硬、脆性的岩石更容易发生岩爆。构造应力是影响岩爆发生的关键因素之一，高地应力区域往往是岩爆的高发区。此外，开挖方式、支护措施以及地下水等因素也可能对岩爆的发生产生影响。

## 2 铁路隧道岩爆地段施工技术措施

### 2.1 超前地质预报与应力释放技术

在铁路隧道岩爆地段施工中，超前地质预报是预防岩爆的重要手段。通过地质勘察与数据分析，可以初步判断岩爆发生的可能性及强度，为后续的应力释放与支护措施提供科学依据。(1) 超前钻孔释放围岩应力。超前钻孔技术是一种有效的应力释放方法。在隧道开挖前，利用地质钻机在掌子面上打设超前钻孔，通过钻孔释放围岩中的应力，降低岩爆的发生概率。钻孔的深度和数量需根据地质勘察结果与施工经验进行确定，以确保应力释放的充分性。此外，钻孔过程中还需对钻孔排出的岩屑进行地质分析，以进一步了解前方岩体的地质特征。(2) 超前预裂爆破技术的应用。超前预裂爆破技术通过控制爆破参数，在掌子面前方形成预裂面，降低开挖过程中的应力集中。这种方法可以减小开挖对围岩的扰动，从而降低岩爆的发生风险。预裂爆破的参数设计需考虑地质条件、开挖断面尺寸等因素，以确保预裂效果<sup>[2]</sup>。(3) 超前导洞开挖法的作用与原理。超前导洞开挖法是通过先行掘进一个小断面导洞，使岩层中的高地应力得以部分释放，再进行隧道的扩挖。这种方法能

够显著降低隧道开挖过程中的应力集中,减少岩爆的发生。超前导洞的位置、断面尺寸及开挖方式需根据地质勘察结果与施工条件进行合理设计。

## 2.2 加强支护与防护措施

在铁路隧道岩爆地段,加强支护是确保施工安全的关键措施。通过合理的支护设计,可以提高围岩的稳定性,降低岩爆的危害程度。(1)锚杆、钢拱架等超前支护措施。在隧道开挖前,需在掌子面前方打设超前锚杆,以增强围岩的稳定性。锚杆的长度、直径及间距需根据地质条件与支护要求进行设计。此外,在隧道开挖过程中,还需及时架设钢拱架等支护结构,以防止围岩塌落。(2)强支护措施的选择与设计。强支护措施包括喷射混凝土、锚杆加固等。喷射混凝土能够迅速形成一层保护壳,提高围岩的抗剪、抗压强度。锚杆加固则通过打入锚杆并注浆,将围岩与支护结构紧密结合,提高整体稳定性。在支护设计过程中,需充分考虑地质条件、开挖断面尺寸及施工要求,以确保支护效果。(3)作业人员个人防护措施。在铁路隧道岩爆地段施工中,作业人员面临较高的安全风险。因此,必须为作业人员提供充分的个人防护措施,如穿戴防砸背心、防砸鞋等防护装备,以降低岩爆产生的飞石对作业人员的伤害。

## 2.3 监控量测与预警系统

监控量测是铁路隧道岩爆地段施工中的关键环节。通过实时监测围岩的变形与应力状态,可以及时发现并预警潜在的岩爆风险。(1)岩爆监控量测技术的发展与应用。随着科技的不断进步,岩爆监控量测技术得到了快速发展。目前,已广泛应用的监控量测技术包括应力监测、位移监测、声波测试等。这些技术能够实时监测围岩的应力状态、变形情况以及岩体的完整性,为施工提供重要的数据支持。(2)应力与变形监测方案设计。针对铁路隧道岩爆地段的特殊性,应力与变形监测方案设计需考虑多个因素。首先,监测点的布置需根据地质勘察结果与施工经验进行合理规划,确保监测数据的全面性和准确性。其次,监测设备的选择也至关重要,需选用高精度、高稳定性的监测仪器,以提高监测数据的可靠性。此外,还需制定详细的监测数据处理与分析流程,以便及时发现并预警潜在的岩爆风险<sup>[3]</sup>。(3)岩爆预警系统的建立与实施。岩爆预警系统是铁路隧道岩爆地段施工中的重要安全保障措施。通过整合监测数据、地质勘察结果及施工经验,建立岩爆预警模型,实现对岩爆风险的实时监测与预警。预警系统需具备实时性、准确性及可靠性,能够在岩爆发生前及时发出预警信号,为施工人员提供足够的逃生时间。同时,还需制定

详细的应急响应预案,以便在岩爆发生时能够迅速采取有效的应对措施。

## 2.4 控制爆破技术

在铁路隧道岩爆地段施工中,控制爆破技术是降低岩爆风险的重要手段。通过优化爆破参数、采用预先释放能量的方法以及加强爆破后加固措施,可以有效控制爆破对围岩的扰动程度,降低岩爆的发生概率。(1)爆破参数优化。爆破参数的优化包括减小装药量、控制爆破孔间距等。通过降低装药量,可以减小爆破产生的冲击波和地震波对围岩的扰动。同时,合理控制爆破孔间距,可以确保爆破能量的均匀分布,避免局部应力集中。在优化爆破参数时,需充分考虑地质条件、开挖断面尺寸及施工要求,以确保爆破效果。(2)预先释放能量的方法。预先释放能量的方法包括松动爆破法、超前钻孔预爆法等。这些方法能够在隧道开挖前释放部分围岩中的应力,降低开挖过程中的应力集中程度。松动爆破法通过控制爆破参数,在掌子面前方形形成松动带,使围岩中的应力得以释放。超前钻孔预爆法则是在超前钻孔中装入少量炸药进行爆破,以释放钻孔周围岩体的应力。这些方法需根据地质条件与施工要求进行合理选择与实施<sup>[4]</sup>。(3)爆破后加固措施的选择与实施。爆破后加固措施是确保隧道结构稳定性的重要环节。在爆破完成后,需及时对围岩进行加固处理,以提高其抗剪、抗压强度。加固措施包括喷射混凝土、锚杆加固等。喷射混凝土能够迅速形成一层保护壳,防止围岩塌落。锚杆加固则通过打入锚杆并注浆,将围岩与支护结构紧密结合,提高整体稳定性。在选择与实施加固措施时,需充分考虑地质条件、开挖断面尺寸及施工要求,以确保加固效果。

## 3 案例分析与实践应用

### 3.1 典型铁路隧道岩爆地段施工案例——拉林铁路巴玉隧道

#### 3.1.1 案例背景与工程概况

拉林铁路巴玉隧道,全长13073米,是拉林铁路的重要组成部分。该隧道穿越地质条件极为复杂的区域,94%的隧道长度位于岩爆区,是世界上岩爆现象最强的隧道之一。岩爆是由于围岩体的突然破坏,伴随着岩体内应变能的突然释放,产生岩石破裂失稳现象,导致岩石碎片从岩体中剥离、崩出,成为岩石地下工程和岩石力学领域的世界性难题。巴玉隧道的施工面临巨大的挑战,必须采取一系列先进的技术和措施来确保工程的安全进行。

#### 3.1.2 施工技术措施的实施过程与效果

(1) 超前地质预报与应力释放: 巴玉隧道的施工采用了微震监测、地应力检测和超前地质预报等技术, 建立了微震传感器阵列动态布置技术, 实时监测和预警岩爆风险。同时, 通过打设超前钻孔、进行松动爆破等应力释放措施, 有效降低了围岩中的应力集中程度。

(2) 加强支护与防护措施: 在隧道开挖过程中, 中铁十二局采用了锚杆支护、挂网喷浆封闭等措施, 对岩爆部位进行了彻底的支护。锚杆的长度和间距根据实际情况确定, 以确保支护效果。同时, 加强了作业人员的个人防护, 穿戴防砸背心、防砸鞋等防护装备, 防止岩爆产生的飞石击伤。(3) 监控量测与预警系统: 在隧道施工中, 建立了完善的监控量测体系, 包括应力监测、位移监测和声波测试等。通过实时监测围岩的变形和应力状态, 及时发现并预警潜在的岩爆风险。同时, 制定了详细的应急预案, 确保在岩爆发生时能够迅速有效地应对。(4) 控制爆破技术: 采用了优化爆破参数、减小装药量、控制爆破孔间距等措施, 降低了爆破对围岩的扰动程度。同时, 在爆破后立即进行支护, 防止围岩塌落和岩爆的发生。通过这些措施的实施, 巴玉隧道的施工取得了显著的效果。岩爆的发生频率和强度得到了有效控制, 施工安全性得到了显著提高。隧道开挖进度顺利, 质量得到了保障<sup>[5]</sup>。

### 3.1.3 施工中遇到的问题及解决方法

在巴玉隧道的施工过程中, 遇到了岩爆持续时间长、强度大等难题。针对这些问题, 施工团队采取了多种措施进行应对。一方面, 加强了对岩爆的监测和预警, 通过实时监测和数据分析, 及时发现并预警潜在的岩爆风险。另一方面, 优化了支护措施, 采用了更先进的支护技术和材料, 提高了支护效果。同时, 还加强了作业人员的培训和管理, 提高了他们的安全意识和应急处理能力。

## 3.2 技术措施的经济效益与安全效益分析

### 3.2.1 对施工进度、成本的影响分析

巴玉隧道的施工采用了先进的技术和管理措施, 虽然在一定程度上增加了施工成本, 但这些措施的实施有效提高了施工效率和质量, 降低了施工风险和安全隐患。通过加强超前地质预报和应力释放、加强支护与防护措施、建立监控量测与预警系统以及采用控制爆破技

术等措施, 有效减少了岩爆的发生频率和强度, 避免了因岩爆导致的停工和延期。这在一定程度上节省了施工时间和成本, 提高了工程的经济效益。

### 3.2.2 对施工安全性的提升效果评估

巴玉隧道的施工安全性得到了显著提升。通过加强监测和预警、优化支护措施、加强个人防护和培训管理等多种措施的实施, 有效降低了施工风险和安全隐患。特别是在岩爆地段施工过程中, 通过采取一系列针对性的技术措施和管理措施, 成功控制了岩爆的发生, 保障了作业人员的生命安全。这些措施的实施不仅提高了施工安全性, 也增强了施工人员对岩爆等地质灾害的认识和应对能力。从具体的数据来看, 巴玉隧道在施工过程中, 岩爆事故的发生次数大幅降低, 相较于未采取特殊技术措施前, 岩爆导致的停工时间减少了近70%。同时, 由于加强了个人防护和培训管理, 施工人员的受伤率也显著降低。这些都充分证明了技术措施对于提升施工安全性的重要性和有效性。

## 结束语

综上所述, 铁路隧道岩爆地段的施工技术措施是一个综合性的系统工程, 涉及超前地质预报、应力释放、加强支护、监控量测与控制爆破等多个环节。通过科学合理的施工技术与管理措施, 我们可以有效控制岩爆风险, 确保施工安全与质量。未来, 随着科技的不断进步和实践经验的积累, 我们应持续优化和改进这些技术措施, 以更好地应对岩爆挑战, 推动铁路隧道建设事业的高质量发展。

## 参考文献

- [1] 刘华礼. 超深埋隧道高地应力岩爆地段施工技术[J]. 文化科学, 2020, (12): 118-119.
- [2] 苏建国, 常文. 铁路高原岩爆隧道施工技术研究[J]. 市政工程, 2023, (05): 47-48.
- [3] 刘江涛. 浅谈铁路隧道岩爆防治措施[J]. 工程地质学, 2021, (05): 50-51.
- [4] 胡应洪. 岩溶地段隧洞施工技术措施的探讨[J]. 建筑设计及理论, 2020, (10): 98-99.
- [5] 赵鑫, 孙林, 刘文龙. 高埋深隧道开挖岩爆治理施工技术探讨[J]. 建筑设计及理论, 2020, (12): 117-118.