

# Comparative Study of Step Method and CD Method for Microseismic Monitoring of Weak Surrounding Rock Tunnel Construction

Xiaoqiang Li

Yunnan Jiaotou Highway Construction Third Engineering Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

## Abstract

The analysis of weak surrounding rock tunnels involves many technical contents, mainly focusing on the stability of different excavation methods and the changes in tunnel settlement, and the research rules are obvious. In the process of monitoring the microseismic state of weak surrounding rock tunnels, two construction methods can be considered: the step method and the CD method. This article briefly introduces the relevant theoretical content, analyzes the micro vibration monitoring operation of weak surrounding rock tunnels, and the related concepts of stepped method and CD method construction. Then, the specific microseismic monitoring operation of weak surrounding rock tunnels will be compared between the step method and CD method construction, and the control effect of surrounding rock deformation, distribution of surrounding rock stress and plastic zone, construction disturbance characteristics, mechanical behavior, construction efficiency and economy of the two construction methods will be compared and studied. Finally, discuss and provide practical application suggestions for two construction methods.

## Keywords

weak surrounding rock tunnel; Microseismic monitoring operation; CD method; Construction Dibi; Mechanical behavior

## 软弱围岩隧道微震监测下台阶法与 CD 法施工对比研究

李小强

云南交投公路建设第三工程有限公司, 中国·云南昆明 650000

## 摘要

软弱围岩隧道的分析工作涉及诸多技术内容, 主要针对不同开挖方法稳定性以及隧道沉降度变化展开分析, 研究规律表现明显。在针对软弱围岩隧道微震状态进行监测工作过程中, 可以考虑采用下台阶法与CD法两种施工方法。本文中简单介绍了相关理论内容, 分析软弱围岩隧道微震监测作业以及下台阶法、CD法施工的相关概念。然后就具体的软弱围岩隧道微震监测作业展开台阶法与CD法施工对比, 对比研究两种施工的围岩变形控制效果、围岩应力与塑性区分布、施工扰动特征、力学行为、施工效率与经济性。最后, 再讨论给出两种施工方法的实践应用建议。

## 关键词

软弱围岩隧道; 微震监测作业; CD法; 施工迪比; 力学行为

## 1 引言

软弱围岩隧道由于围岩隧道强度相对偏低, 所以岩体稳定性表现较差, 导致施工过程中产生各种安全风险问题。在如此不良地质条件下, 围岩的抗压强度表现偏低, 容易发生变形或者坍塌事故。如果从专业角度讲, 软弱围岩的抗压强度普遍在 30MPa 以下, 这种软岩的岩体破碎概率大, 不具备良好稳定性。所以, 软弱围岩隧道的施工技术应用面临巨大挑战, 例如针对工程扰动而言敏感度极高, 在受拉或者受压条件下产生较大塑性区, 围岩支护变形问题旋即发生。

如果在施工中方法运用不得当, 所导致的结果就是初期支护变形或者隧道直接塌方。在具体的施工作业中, 需要采用多种围岩隧道微震监测施工技术方法。

## 2 理论研究

### 2.1 微震监测作业的基本概念

微震监测作业所采用核心技术设备为传感器, 通过传感器大量收集软弱岩体或者岩石破裂所发射传导的地震波信号。作业中对地震波的处理分析非常到位, 可以精准定位矿震发生位置, 与此同时对震级大小、能量、地震矩等关键信息进行判断与明确。目前微震监测作业中所适用的便携式软件为传感器, 传感器遵循地震学原理可以实现对围岩的应力应变状态分析与处理, 在判断岩层稳定性方面表现突出。

【作者简介】李小强 (1994-), 男, 中国湖北钟祥人, 本科, 工程师, 从事公路工程研究。

目前,我国矿山的数字化、信息化发展程度普遍较高,微震监测技术的分支技术内容逐渐丰富,例如在冲击地压、岩爆等方面表现比较突出,特别是在深井矿山等方面都装备了微震监测技术系统。伴随水平井技术与压裂技术的全面进步,微震监测作业的实施覆盖范围也逐渐加大。在过去10年,该技术在地球物理学领域得以长足发展,在验证微地震监测过程中,主要在公路隧道、岩石边坡以及水利工程领域展开技术实践应用<sup>[1]</sup>。

## 2.2 台阶法的基本概念

台阶法在隧道施工中比较常见,它所采用的是分步开挖施工技术方法,可以将断面分为上下多个台阶再展开顺次施工,满足同步开挖施工要求。在不同地质条件或者隧道断面尺寸下,台阶法还能分为长台阶法以及短台阶法,另外还有特殊的超短台阶法。台阶法可以被广泛应用于Ⅲ~Ⅵ级围岩隧道工程中,它的技术分类参数参考具体如下:

如果采用长台阶法,台阶长度>50m或者存在5倍洞跨,可以进行上下台阶平行作业。

如果采用短台阶法,台阶长度为5m~50m,通过缩短支护闭合时间或者条件来控制台阶变形情况。

如果采用超短台阶法(微台阶法),台阶长度为3m~5m。适用于不稳定围岩或者大断面隧道,配合超前支护措施展开施工技术操作。

台阶法拥有施工操作灵活性强、适应不同地层条件的特点,可以为施工过程提供较为充足的作业空间,而且施工效率相对偏高。台阶结构增强开挖面稳定性表现水平较高,但是多次开挖可能增加围岩扰动风险,必须通过及时封闭分析未支护段施工情况,避免发生位移突变。如果是单线隧道施工,洞径需要控制在1.5倍范围内;如果是双线隧道,洞径则需要控制在1.0倍范围内<sup>[2]</sup>。

## 2.3 CD法的基本概念

CD法(Center Diaphragm)属于中隔离法,在软弱围岩大跨度隧道施工中主要通过开挖隧道一侧设计中间部位,然后再开挖另一侧展开进一步施工。这种中隔离施工方法也比较适用于某些不稳定岩体,对于地面沉降要求比较严格。如果CD法施工无法满足技术要求,则需要施工基础上增加临时仰拱,采用CRD(Cross Center Diaphragm)交叉中隔壁法。施工中需要重点考虑时空效应影响,保证开挖施工过程快速推进,有效消除工作面应力过分松懈问题,必要时应当增大沉降值。

上述两种施工方法都能被应用于软弱围岩隧道微震监测作业中,但是两种施工技术方法各有优势,有必要对CD法和台阶法进行各项施工技术对比,了解微震监测数值模拟情况,下文将详细展开研究<sup>[3]</sup>。

## 3 基于软弱围岩隧道微震监测作业的台阶法与CD法施工技术对比

软弱围岩隧道的微震监测作业主要采用上文探讨的台

阶法与CD法两种施工技术,这两种施工技术各有优势,在施工的围岩变形控制效果、围岩应力与塑性区分布、施工扰动特征、力学行为、施工效率与经济性诸多方面都能实现有效对比,下文逐一谈:

### 3.1 围岩变形控制施工技术效果的对比

如果采台阶法展开围岩变形控制施工,它是存在一定的施工局限性的。具体表现在全断面一次性开挖设置的应力示范范围不断增大。例如在施工中,存在拱顶沉降速率突然变化明显情况,具体表现就是开挖面距离断面为12m左右。目前,在隧道围岩变形控制施工技术实际操作中会考虑使用台阶法,台阶法所提供的是超前支护、上、中、下台阶开挖施工技术内容。在处理某些特殊工况工作时,所呈现的施工技术效果主要包含2点:第一,渗水段处置,可以采用径向注浆方法,配合排水盲管直接进行导流操作。施工中要确保珠江压力不超过地层抗压强度的80%甚至以上;第二,处理局部坍塌情况。主要通过回填分析混凝土喷射封闭掌子面情况。为确保施工效果得到优化,应当考虑架设临时支撑,或者直接采用Φ108尺寸大管进行棚超前支护施工。在施工后,围岩的变形控制效果比较合理<sup>[4]</sup>。

相比较而言,如果采用CD法,施工优势则体现在对隧道拱顶沉降的控制上。根据数据显示,采用CD法进行拱顶沉降处理,相比于台阶法可以减少沉降值大约25.2%。经过实际测量了解到,CD法的围岩变形控制指标为17.99mm,台阶法的围岩变形控制指标为19.38mm<sup>[5]</sup>。

### 3.2 围岩应力与塑性区分布施工技术效果的对比

软弱围岩隧道的应力与塑性区分布施工技术也可以采用CD法以及台阶法两种施工方法。施工中,两种施工技术方法存在应力集中差异,CD法的集中应力体现在临时支撑位置,整体表现为拉应力、压应力值均明显低于台阶法。举例来说,如果拱顶所产生的拉应力为2.5MPa,那么台阶法所产生的拱顶拉应力则应该在3.0MPa左右。

在施工中,主要采用软弱围岩隧道中的自上而下2~3部分开挖隧道一侧,初步完成初期支护以及CD法应用隔离,保证所喷射混凝土达到施工图标标示强度要求,确保强度等级控制在70%左右。在另一侧,则需要做好开挖与支护施工工作,形成合理支护洞室施工技术优势。在施工完毕后,则要通过CD法拆除支护,同时有效填充仰拱衬砌部分,提高软弱围岩隧道的综合施工水平。

如果采用台阶法,对比CD法的隧道拱顶拉应力会进一步增大。这一施工技术容易在拱脚上产生集中应力。例如,压应力应该控制在3.25MPa左右。上述两种施工技术方法的塑性区域范围调整也有所不同,如果对比来看,CD法的塑性面积对比于台阶法最大减少20%~40%,施工中可以将两种施工技术的应用中心放在不同位置,例如在拱肩位置采用CD法,拱脚位置采用台阶法。当然,台阶法的扰动范围会不断增大,因此软弱围岩隧道施工中也会出现塑性区域扩展显著问题,导致隧道塌方风险发生率明显增加<sup>[6]</sup>。

### 3.3 施工扰动技术特征的对比

如果对软弱围岩隧道采用微震监测技术,配合CD法与台阶法需要分别了解两种施工方法所产生的扰动技术特征,并进行特征对比。

如果采用CD法,则扰动技术特征偏向于局部化扰动。简言之微震事件一旦发生,所发生位置就是临时支撑拆除阶段,施工技术全部客观反映在中隔墙的应力转移技术背景下。在CD法局部扰动分析过程中,对锚杆轴力的处理主要将锚杆轴力控制在最大65.0kN,而且轴力分布比较均匀。采用台阶法主要配合拱顶锚杆分析拉应力集中情况。

如果采用台阶法,它的扰动范围更大,可以保证微震活动贯穿于整个开挖施工过程中,在台阶衔接过程中有效解决围岩松弛。在设计地表沉降槽过程中,采用CD法沉降曲线更加平缓,最大沉降差则可以控制在30%左右<sup>[7]</sup>。

### 3.4 施工力学行为的对比

在施工力学行为的对比方面,则主要通过台阶法分析应力开挖变化曲线。这其中,台阶法相比于CD法对拱顶的应力影响相对较小。在开挖过程中如果观测断面为7m,则压应力明显增加。如果压应力趋于稳定,则最大压应力会控制在2.49MPa,拉应力则相比于压应力开挖影响较晚。一般来说,施工力学会随着中下台阶的开挖面变化而变化,断面观测效果表现突出。总体来讲,CD法相比于台阶法的受开挖面影响有限,所以结合开挖过程分析台阶法的压应力会明显增大,但是CD法的拉力影响更大。通过拱脚压力集中范围扩大可以分析塑性区域宽度与深度变化,分别控制为3m和6m,根据软弱围岩的变形以及塑性发展变化分析CD法应用情况。可以借助有限差分软件分析FLAC 3D隧道开挖过程,做好数值模拟计算操作,满足软件安全应用要求,强化知乎设计,确保安全快速开挖隧道。在这一过程中,对于开挖围岩应力位移变化数据的分析必须到位,结合模拟数据获得完整规律,提高技术应用水平<sup>[8]</sup>。

## 4 基于软弱围岩隧道微震监测作业的台阶法与CD法施工技术推荐建议

如果是大断面、超浅埋施工技术场景,可以推荐的施

工方法为CD法,因为CD法在控制地表沉降度方面表现出色,可以动态分析地表沉降最小值;如果是软弱围岩结构而且工期紧迫施工技术场景,则推荐使用改进台阶法,有效增设核心土或者临时仰拱,保证施工平衡效率与安全水平提高。

## 5 结语

在当前基于微震监测的软弱围岩隧道施工作业中,采用CD法或者台阶法各有技术优势。前者通过分块开挖配合封闭支护控制变形塑性区,非常适用于某些高风险的软弱围岩施工段;后者则通过围岩条件调整提高稳定施工效率,是相当优秀的动态施工方法,非常值得在地质预警技术体系中实践应用。因此在我的软弱围岩施工作业中还要做到因地制宜、因技术制宜,合理选择两种施工技术方法。

## 参考文献

- [1] 李壮,徐奴文,孙志强,等.基于微震监测与数值模拟的高应力软岩隧道围岩大变形特征分析[J].岩石力学与工程学报, 2024, 43(11):2725-2737.
- [2] 熊炎林,陈冠甫,刘晓丽.深埋隧道微震事件规律及岩爆前兆微震信息研究[J].地下空间与工程学报, 2024, 20(4):1375-1381.
- [3] 李天斌,许韦豪,马春驰,等.基于深度学习的隧道微震监测及岩爆预警技术与系统研究[J].岩石力学与工程学报, 2024, 43(5):1041-1063.
- [4] 蒙慧林.基于微震监测的隧道开挖全过程安全监测及预警技术[J].建筑工程技术与设计, 2024(17):16-18.
- [5] 黄登侠,周小龙,赵健,等.基于微震监测的TBM掘进工程岩爆预警研究[J].有色金属(矿山部分), 2024, 76(6):105-112.
- [6] 张强,申超飞,李永超,等.基于WOA-LSTM和微震监测的岩爆等级预测模型[J].安徽理工大学学报(自然科学版), 2024, 44(4):50-59.
- [7] 皮锦添,徐奴文,张丰收,等.基于微震监测与DFN模拟的金川水电站尾闸室破坏机制[J].隧道与地下工程灾害防治, 2024, 6(3):60-72.
- [8] 石万波,郭满.复杂环境下微震控制爆破技术在隧道施工中的应用[J].中国水运(下半月), 2024, 24(3):129-131.