

# 偏压层状围岩隧道开挖围岩力学研究

普选

西南林业大学 土木工程学院

DOI: 10.12238/jpm.v5i9.7203

**[摘要]** 本研究针对偏压层状围岩隧道开挖过程中的力学行为，运用 FLAC3D 数值模拟软件进行建模和分析。通过模拟不同倾角的层状围岩隧道开挖过程，研究隧道拱顶沉降、拱底隆起、以及支护结构的应力分布和变形特征。结果表明，隧道开挖过程中围岩应力分布不均匀，表现为拱顶和拱底的应力集中，且支护结构变形显著。本文提出了合理的支护措施和开挖方法，以提高隧道工程的安全性和稳定性。

**[关键词]** 偏压隧道；层状围岩；数值模拟；应力分布；FLAC3D

## Study on the mechanics of surrounding rock in biased layered surrounding rock tunnel excavation

Pu Xuan

Southwest Forestry University, College of Civil Engineering

**[Abstract]** This study models and analyzes the mechanical behavior with FLAC3D numerical simulation software. It study the settlement of the tunnel vault, the uplift of the vault, and the deformation characteristics. The results show that the surrounding rock stress distribution is uneven during the tunnel excavation, which shows the stress concentration of the vault and arch bottom, and the supporting structure deform significantly. Reasonable support measures and excavation methods are proposed to improve the safety and stability of tunnel engineering.

**[Keywords]** bias tunnel layered surrounding rock, numerical simulation, stress distribution FLAC3D

### 引言

由于国民经济的发展和路网完善的需求，高速公路逐步进入山区。山区一般地形地质条件复杂，地质环境脆弱，地质灾害多发，高速公路的建设不可避免的要切坡、填沟、打洞（隧道），对地质环境造成严重破坏，处理不好还会诱发和加剧各种地质灾害，增加公路建设投资，影响工期，甚至给运营阶段带来严重的安全隐患。要建设一条兼顾交通、环保、生态等方面要求的高标准的山区高速公路，应该重视和加强地质工作，并加强对施工过程中施工工艺的研究。

基于偏压层状围岩隧道开挖的研究，很多学者对此展开研究。沙杰等<sup>[1]</sup>使用 UDEC 软件模拟不同倾角层状岩体的变形，提出变形破坏机制。赖天文等<sup>[2]</sup>研究了不同岩层倾角对隧道围岩变形和稳定性的影响。徐同启等<sup>[3]</sup>和刘红兵等<sup>[4]</sup>利用 FLAC3D 软件分析地层倾角对隧道拱顶沉降和偏压作用的影响。沙鹏等<sup>[5]</sup>提出了层状围岩的合理支护设计建议。胡学亮等<sup>[8]</sup>研究大跨公路隧道二次衬砌的力学行为演变。

### 1 工程概况

宝石山起讫桩号为左幅 ZK6+598~ZK10+134（全长 3532.15 9 米），右幅 K6+650~K10+095（全长 3441.356 米），为一座双向 4 车道分离式特长隧道。隧道进口位于保山市板桥镇阿家村，出口位于板桥镇董达村，隧道区主要属于构造剥蚀、溶蚀中山地貌区，地形起伏大，隧道最大埋深约 232m，隧道纵坡为 -1.35%，采取进、出口两头掘进施工，进出口分界桩号为 K8+400。本研究针对偏压层状围岩隧道开挖展开研究偏压情况如

下图 1 所示



图 1 隧道外部偏压情况

## 2 数值模拟

### 2.1 模型建立

表 1 围岩计算参数

围岩材料	凝聚力 /GPa	内摩擦角 / (°)	泊松比	剪切模量 /GPa	容重 / (kg/m <sup>3</sup> )
岩石 1	1.3	44	0.24	5.31	2560
岩石 2	1.2	43	0.25	6.56	2700

表 2 支护结构计算参数

结构单元	弹性模量/GPa	泊松比	厚度/cm	密度 / (kg/m <sup>3</sup> )
衬砌支护	30	0.24	20	2300

本模型采用 FLAC3D 进行建模，建立不规则分层模型以模拟偏压情况下的隧道开挖，模拟过程中采用三台阶法进行施工，模型由 120×120×100 和 100×40×60 的两个立方体组成

模型如下图 2 所示模型参数见下表 1。围岩采用 Mohr-Coulomb 本构关系，计算只考虑重力的影响，衬砌采用 shell 单元模拟，钢拱架以及锚杆采用 cable 单元模拟。为模拟分层情况模型采用两种围岩，并赋予不同的参数。

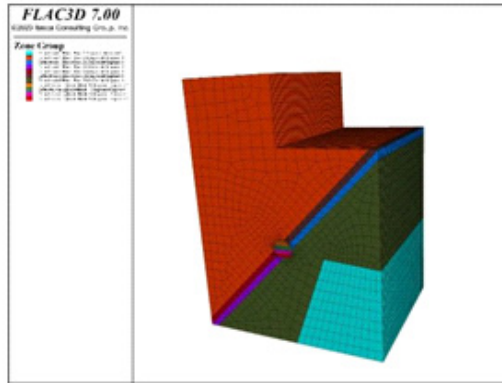
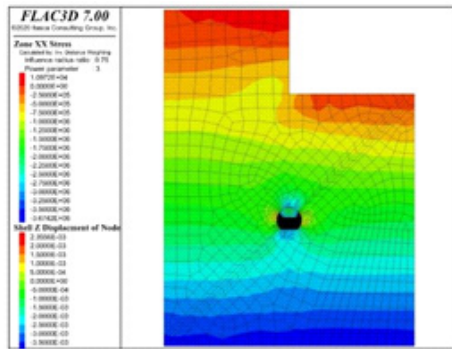


图 2 数值模拟图

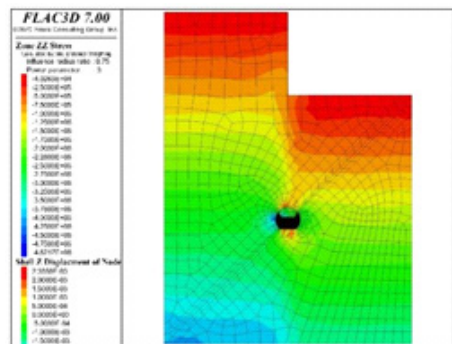
2.2 数值模拟结果分析

由图 3 可知，偏压层状围岩隧道开挖过程中的应力分布不均匀，呈现不对称、不规则的形状。在模型较高的一侧对隧道的影 响反而较小，而在模型较低的一侧对隧道开挖的影响较大，这就说明隧道产生了偏压的情况。对于 Z 方向的应力，拱顶和拱底所受的应力较大，所表现的为位移模式大致为拱顶沉降和拱底隆起。对于 X 方向的应力，应力方向一致，由模拟云图所示应力都是向 X 的负方向，使得钢拱架以及衬砌支护承受不一样的变形，这就需要我们根据施工以及支护变形情况来制定相应的开挖顺序以及支护顺序。

由图 4 可知，偏压隧道衬砌同样产生不均匀的分布应力，与模型整体应力云图类似，需要考虑支护顺序以及隧道一侧加强支护。

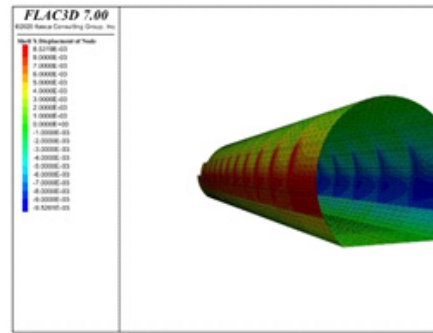


X 方向应力云图

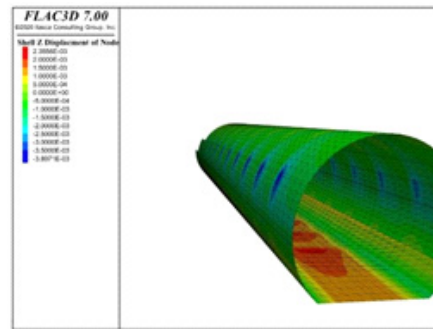


Z 方向应力云图

图 3 模型整体应力云图



X 方向衬砌应力云图



Z 方向衬砌应力云图

图 4 衬砌应力云图

3 根据模拟优化开挖

由模拟的应力云图可知，将模型原本的“三台阶开挖法”改变为“三台阶五步骤开挖法”，并且将衬砌厚度由 20cm 改为 25cm，开挖步骤图如下图 5 所示。三台阶五步开挖施工法是一种灵活、高效的隧道开挖方法，具有施工空间大、方便机械化施工、多作业面平行作业等特点。它能够适应不同跨度和多种断面形式，初期支护工序操作便捷，同时在开挖过程中预留核心土，左右侧错开开挖。其具体特点和施工步骤如下：

特点：

1. 施工空间大：能够提供充足的作业空间，方便机械化设备的使用，提高施工效率。
2. 多作业面平行作业：多个作业面可同时进行，缩短施工周期。
3. 灵活调整施工工序：能够根据现场实际情况灵活、及时地调整施工方法和工序。
4. 适应性强：适用于不同跨度和多种断面形式，具有较强的适应能力。
5. 初期支护便捷：施工过程中，初期支护工序操作简便，有助于迅速稳定围岩。

施工步骤：

1. 第一步：

超前小导管施工：在隧道弧形拱顶处施作超前小导管，预支护围岩。

开挖顶部①部分：开挖隧洞顶部①部分，长度约 4~5 米。  
初步支护：进行锚杆、钢筋网、喷射混凝土的初步支护，确保开挖面的稳定性。

2. 第二步：

开挖侧部②部分：上下两侧同时开挖②部分，每次开挖 4~5 米，先开挖上侧围岩，再开挖下侧围岩。

支护：上下两侧同时进行锚杆、钢筋网、喷射混凝土支护，保证两侧围岩的稳定。

3. 第三步：

开挖右侧③部分：对右侧③部分进行开挖，施工工序与左侧相同。

支护: 完成开挖后, 进行锚杆、钢筋网、喷射混凝土支护。

#### 4. 第四步:

开挖中部核心土: 根据开挖进程, 逐步向前推进中部核心土的开挖, 确保整体结构的稳定。

#### 5. 第五步:

开挖仰拱: 仰拱部分开挖长度为 11 米, 开挖过程中架设钢拱架, 拉设栈桥。

仰拱支护: 进行仰拱的钢筋网施工, 并浇筑混凝土。

循环开挖: 完成上述步骤后, 继续进行爆破、出渣, 循环进行上述开挖步骤。

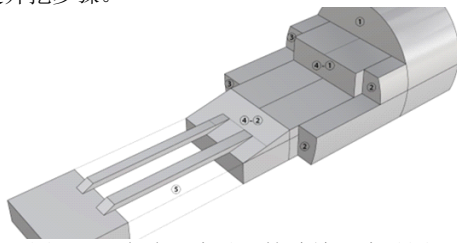
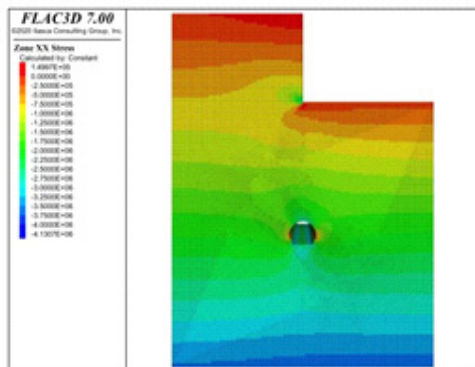
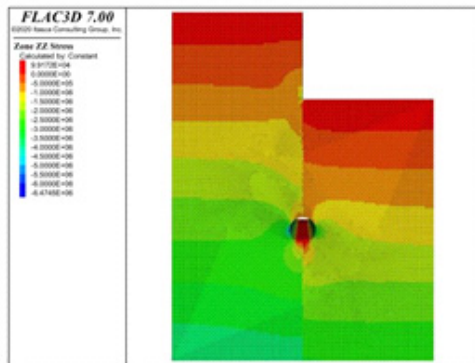


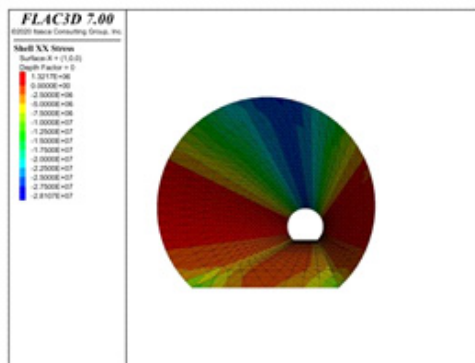
图5 三台阶五步骤开挖法施工步骤图



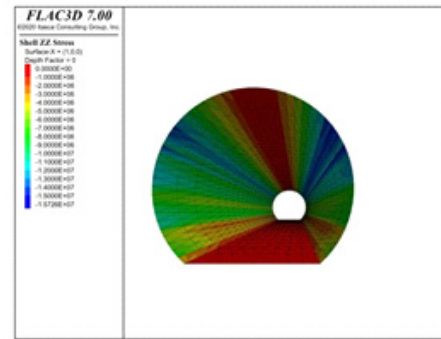
X方向整体应力模拟云图



Z方向整体应力模拟云图



X方向衬砌应力模拟云图



Z方向衬砌应力模拟云图

图6 三台阶五步骤开挖法应力云图

数值模拟模型不变, 改变开挖步骤、衬砌厚度。以下图6为“三台阶五步骤开挖法”数值模拟后围岩整体的应力云图。由应力云图与之前的模拟云图对比可知, 最大主应力明显减小。由整体应力云图来看, 原本的拱顶拱底集中力得到有效分散, 最大应力也相应减少。而衬砌所受的力也变得相对均衡, 偏压情况有所改善。根据实际施工情况, 先开挖围岩较弱的一侧, 进行加强支护, 再开挖围岩较好的一侧, 可有效分散围岩压力, 通过增加一定的工期来确保隧道安全有效的进行。

通过以上两个模拟的对比, 我们得出偏压层状隧道再开挖过程中可能出现不对称受力问题, 将会使围岩的一侧压向另一侧, 使得隧道产生不平衡受力, 以至于容易产生滑塌、垮塌等风险, 这就需要在开挖过程中根据围岩情况不断调整开挖策略以及支护方法, 以确保工程的稳定进行。

## 4 结语

针对偏压层状围岩隧道开挖过程中的受力不均匀变形的措施包括以下几个方面:

1. 采用合理的支护结构, 如加固拱架、锚杆、喷射混凝土等, 增强围岩的整体稳定性。根据岩层倾角和地质条件, 选择合适的支护参数, 确保支护体系的有效性。

2. 在隧道开挖前进行超前支护, 如超前锚杆和超前小导管, 预防围岩的松动和变形。超前支护应根据具体地质条件进行设计, 以确保支护效果。

3. 选择合适的开挖方法和顺序, 如分部开挖、环形开挖等, 减少围岩的扰动。控制开挖进尺, 避免大范围开挖导致围岩失稳。

4. 对于特别复杂的地质条件, 可以采用注浆加固技术, 改善围岩的力学性质。

必要时可以使用预应力锚杆, 增强支护体系的承载能力。

5. 根据模拟的应力位移分布, 开挖工程需要选择适当的开挖顺序和方法, 以减少对围岩的影响和破坏。可考虑采用分段开挖、交替开挖、局部加固等策略, 降低围岩变形和位移风险, 确保隧道开挖的顺利进行。

## 【参考文献】

[1]沙杰, 叶义成, 姚团. 不同倾角层状岩体巷道围岩变形破坏特征及机制研究[J]. 金属矿山, 2023, (12): 62-68.

[2]赖天文, 雷浩, 刘志强等. 不同岩层倾角深埋硬岩隧道围岩开挖变形研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(07): 69-76.

[3]徐同启, 严松宏, 王凤菲等. 地层倾角对浅埋偏压隧道拱顶沉降的影响研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(12): 137-140+149.

[4]刘红兵. 岩层倾角对层状岩体隧道稳定性影响分析[J]. 公路工程, 2013, 38(04): 167-169+182.

[5]沙鹏, 伍法权, 李响等. 高地应力条件下层状地层隧道围岩挤压变形与支护受力特征[J]. 岩土力学, 2015, 36(05): 1407-1414.

作者简介: 普选(1999.5), 男, 汉族, 云南玉溪人, 西南林业大学土木工程学院, 22级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 岩土与地下工程。