

# 陡倾斜岩层隧道开挖支护效果研究

程建波 肖俊华

中冶南方城市建设工程技术有限公司 湖北武汉 430077

**摘要:**以武安旅游环线公路仙灵隧道在陡倾斜岩层中开挖变形过程为工程背景,并结合该工程地质情况、现场施工情况与结构设计的概况确定相关参数,研究在陡倾斜岩层中隧道开挖支护数值分析与模拟,对临时仰拱支护工法的效果进行研究。通过有限元软件Midas GTS NX建立的陡倾斜岩层隧道在不同工况的数值模型,通过数值计算与现场施工监测数据对理论计算结果进行对比验证,在拱顶最大位移、水平收敛、不同支护对初支的影响等方面进行了详细分析,并探讨临时仰拱的支护效果。研究结果表明,在陡倾斜岩层中的隧道,增设临时仰拱措施是控制钢拱架不均匀变形的有效处理措施,所得结果能够为在陡倾斜岩层中的隧道施工建设中的开挖变形防控提供借鉴。

**关键词:**隧道;陡倾斜岩层;隧道开挖;隧道支护效果

## Study on the supporting effect of steep inclined rock layer tunnel excavation

Jianbo Cheng, Junhua Xiao

MCC Southern City Construction Engineering Technology Co., LTD. Wuhan Hubei 430077

**Abstract:** Taking the excavation deformation process of Xianling Tunnel in steep inclined rock stratum as the engineering background, and combining the engineering geological condition, site construction situation and structural design situation to determine the relevant parameters, the numerical analysis and simulation of tunnel excavation support in steep inclined rock stratum are studied, and the effect of temporary invert support method is studied. The numerical model of steep inclined rock tunnel under different working conditions was established by the finite element software Midas GTS NX. The theoretical calculation results were compared and verified by numerical calculation and on-site construction monitoring data. The maximum displacement of the arch roof, horizontal convergence, influence of different supports on the initial support were analyzed in detail, and the supporting effect of the temporary invert was discussed. The results show that adding temporary invert measures is an effective treatment measure to control the uneven deformation of steel arch in tunnels in steep inclined rock strata, and the obtained results can provide reference for the excavation deformation prevention and control in tunnel construction in steep inclined rock strata.

**Keywords:** Tunnels; Steeply sloping rock layers; Tunnel excavation; Tunnel supporting effect

### 引言:

随着我国公路工程基础建设的不断发展,各种长隧道、大跨度隧道的工程应用也越来越多。与一般中短隧道、小跨度隧道相比,长隧道、大跨度隧道在施工时遇到复杂不良地质的种类、概率和各种突发状况也相对更多,譬如涌水、岩溶、岩层断裂带等。尤其在陡倾斜岩层中开挖隧道时,由于初期支护两侧边墙支撑在不同岩层或土层中,若采用传统工法将面临着巨大风险,安全

性也得不到保证。因此,陡倾斜岩层中隧道开挖支护研究是很有必要的。

基于上述背景,本文以仙灵隧道在陡倾斜岩层中开挖支护过程为研究对象,通过建立陡倾斜岩层隧道的三维实体模型,分析隧道开挖过程中的变形及分布情况。对围岩是否增加临时仰拱支护措施进行分析对比,并结合施工监测数据验证分析。从而得到在陡倾斜岩层隧道开挖支护控制变形的有效处理措施,为同类型隧

道的施工提供一定的参考,提高隧道的施工质量和结构安全性。

### 一、项目概况

仙灵隧道属于武安市旅游环线公路工程中的一段,位于河北省武安市活水乡。该项目是武安市旅游环线(贺进-龙井)公路工程的重要组成部分,起于下口上村,终点与国道G234兴阳县平面交叉。仙灵隧道主洞为分离式双向行车的单洞隧道,同时在该隧道左侧设置一平行主洞的绿道隧道,绿道隧道为行人隧道。主洞隧道单洞长1705米,属长隧道;绿道隧道单洞长1690米,属长隧道。武安市旅游环线公路沿线除北铭河上游第四系覆盖层较厚,下覆地层主要由古老的长城系组成,其它地段岩石出露良好。隧道所处地貌属于太行山隆起与华北平原沉降带交界部位,经不同时期、不同规模的地壳运动,构造较为复杂,褶皱和断裂都很发育。隧道围岩主要为中风化石英砂岩、强风化片麻岩、碎石土等,岩级别多为Ⅲ~Ⅴ级。隧道出口所处岩层的各组结构面呈高陡状的陡倾岩层,当陡倾的结构面形成临空面时,将沿着结构面剪切或坠落破坏。岩体破碎,层间结合差,节理裂隙发育,裂隙渗水严重。施工风险较大,不恰当的爆破施工、坡比较陡、地表水冲刷等情况下,边坡岩土体易产生坍塌、碎落,具有较高的施工风险。

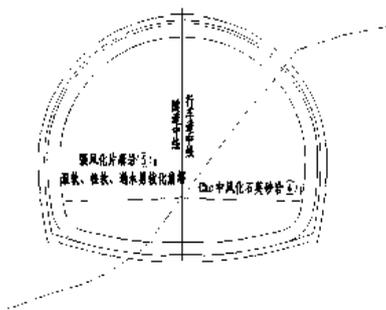


图1.1 隧道出口地质横断面图(单位:m)

### 二、有限元模型

#### 1.模型计算参数

采用有限元分析软件Midas GTS-NX对前述陡倾斜岩层隧道的开挖进行模拟计算。隧道围岩的材料按D-P屈服准则的弹塑性介质进行模拟,初期支护采用板单元模拟,钢拱架的强度折算给初期支护。根据地勘资料确定模型的力学参数。

#### 2.实体模型建立

为研究不同开挖方法对隧道衬砌位移及应力造成的影响,本隧道采用三台阶法开挖,模型四周及底部设置位移边界约束,循环进尺为4m。

### 三、计算结果与分析

为研究不同支护方法对衬砌位移的影响,本研究分别对采用临时仰拱支护的三台阶开挖法和不采用临时仰拱的三台阶开挖法进行对比分析,分析不同开挖阶段衬砌的变形情况,计算分析结果如下:

#### 1.隧道初支最大位移分析

为研究开挖后陡倾岩层隧道在不同支护方法下的支护效果,分别分析研究不同支护工况下的水平和竖向位移云图(见3.1~3.4)。

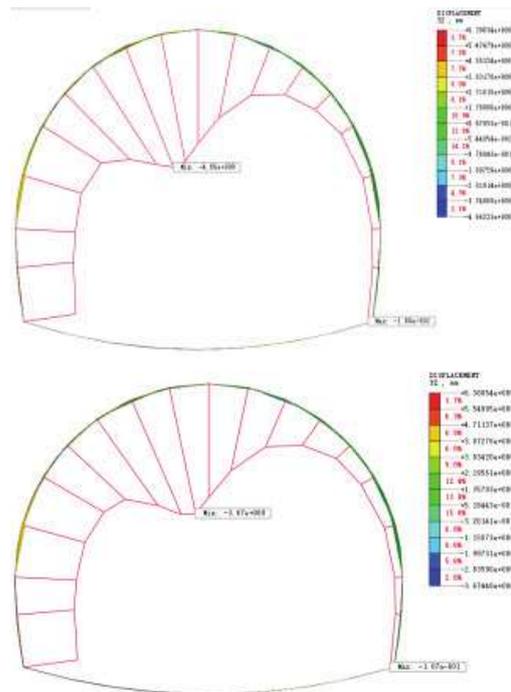


图3.1 无临时支护最大位移及有临时支护最大位移

根据最大竖向位移变化曲线图(3.1所示),可以看出:

(1)采用不同支护方法,对隧道初支的最小竖向位移影响较大,其中竖向位移差异最大的施工阶段为阶段2。此时有临时仰拱支护时隧道初支最大位移-3.7mm,无临时仰拱支护时隧道初支最大竖向位移-4.7mm。

(2)采用不同的支护方法,对隧道水平位移影响较大。两种施工方法在施工阶段2的水平位移差异最大,此时加临时仰拱初支水平位移-0.9mm,不加临时仰拱初支最小水平位移-1.4mm。

#### 2.隧道拱顶竖向位移分析

由于本项目的隧道断面处于陡倾地质当中,在开挖施工过程中隧道初支的最大变形位置并不固定,但是隧道顶部作为几何特征明显的位置,在本节中选取了拱顶作为位移控制位置,研究不同支护方法的条件下拱顶竖向位移随不同开挖阶段的变化。

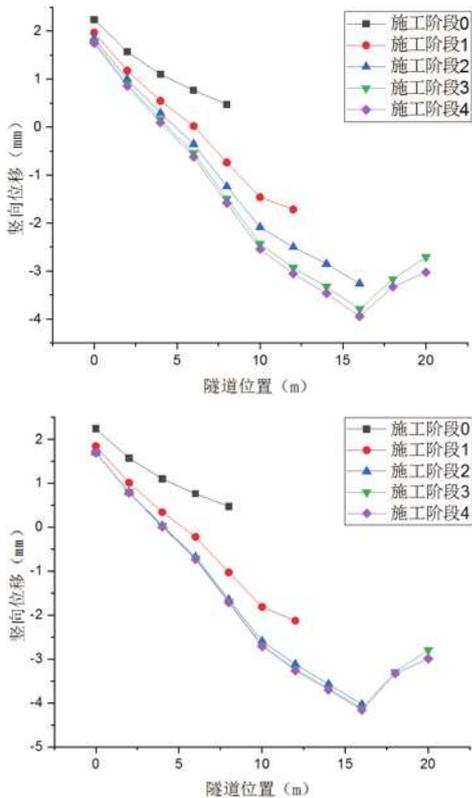


图3.2 有临时仰拱竖向位移及无临时仰拱竖向位移

通过对不同工法及施工阶段拱顶的竖向位移变化可知：

(1) 拱顶的最大竖向位移出现在距门洞端部16m处，其中加临时仰拱拱顶最大位移3.9mm，不加临时仰拱时拱顶初支最大竖向位移4.2mm。

(2) 通过对不同施工阶段拱顶的竖向位移变化分析可知，随着隧道开挖长度的增加，拱顶竖向位移会先迅速变大后逐渐趋于稳定，其中加临时在施工阶段3拱顶位移达到最大；不加临时仰拱时在施工阶段2拱顶竖向位移达到最大，所以在施工时加临时仰拱在减小拱顶最大竖向位移的同时，也能延缓拱顶达到最大位移的施工阶段。

#### 四、实测数据与有限元计算对比

根据以上分析，相比不设置临时仰拱，采用临时仰拱能较大减小施工过程中初支的竖向及水平变形，所以在本项目施工时采用设置临时仰拱的施工方法，并对陡倾段隧道进行了施工监测，监测位置分别为距离洞口14m，16m，18米初支拱顶处，监测结果如下。

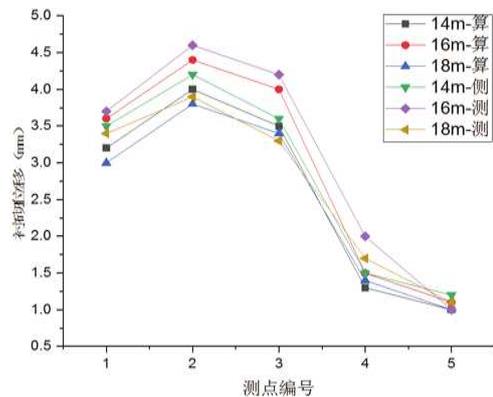


图4.1 台阶开挖施工图及计算、实测对比结果

根据隧道断面上的位移监测点结果与有限元计算对比可知，施工监测结果与有限元计算结果整体上吻合较好，总体来说数值模拟计算比较可靠。同时根据实测结果，对于这种陡倾斜岩层隧道，在开挖施工过程中建议采用增加临时仰拱的方法，可有效减小开挖过程中由于初支的左右非均匀受力导致的偏心变形。

#### 五、结论

本文结合仙灵隧道在陡倾斜岩层中开挖支护的实际情况，通过数值模拟和施工监测数据对比验证分析，研究了不同支护方法下隧道的变形，得出以下结论：

- 1.当隧道断面处于陡倾地质且陡倾地质左右相差较大时，建议设置临时仰拱的台阶施工方案，即可增加隧道初支的稳定性，又能减少隧道初支的位移。
- 2.当隧道断面处于陡倾地质且陡倾地质左右相差较大时，施加临时仰拱支护可有效减小初支拱顶竖向位移。
- 3.当隧道断面处于陡倾地质中时，施加临时仰拱支护相比不施加临时仰拱在减小初支水平位移效果较为显著。

#### 参考文献：

[1]李丹，夏彬伟，陈浩，等.缓倾角层理各向异性岩体隧道稳定性的物理模型试验研究[J].岩土力学，2009，30（7）：1933-1938.

[2]徐海岩，王志杰，陈昌健，蔡李斌，李振，邓宇航，夏勇等.土砂互层隧道塌方及演变规律的模型试验研究[J].岩土工程学报，2021，43（6）.

[3]苏俊军.陡倾岩层中隧道围岩失稳机理及塌方处理对策探讨[D].西安：长安大学，2011.

[4]张乐中.水平岩层地区隧道围岩稳定性研究[D].西安：长安大学，2006.

[5]彭焱森，邱奎等.陡倾层状不同倾角岩体下隧道的施工力学行为分析[J].全国公路隧道学术会议，2013.