

# 寨子沟隧道进洞段围岩安全工程稳定性研究

李 慧

北京信息科技大学 北京 100192

**【摘要】**：公路隧道进洞段的岩体上方的土层深度小，洞口处围岩受风化侵蚀作用是松散破碎的状态，以至于洞口段的工程设计施工往往困难重重。本文主要结合河南省南阳市西峡地区双西高速的寨子沟隧道左线西峡端进洞段的实际工程概况，分析现场监测所得数据和运用有限元软件对隧道进洞开挖进行数值模拟分析等方法，研究了隧道进洞口围岩的加固施工技术方法。

**【关键词】**：公路隧道；围岩加固；安全工程；监控测量；数值模拟

中国交通运输的发展逐步向西部地区推进，西部的山岭较多，修建越来越多的隧道，本文在分析河南省南阳市西峡地区双西高速寨子沟隧道进洞段围岩加固时结合 abaqus 软件建立有限元模拟模型，分析得出隧道进洞口围岩的不稳定的部分，并对设计进行优化，以帮助现场施工。

## 1 寨子沟隧道工程概况

郑州至西峡高速公路双龙至西峡段起点位于双龙镇南侧的柳树沟口附近，终点在刘庄西设双喇叭型立交与沪陕高速连接。起讫桩号：K128+100-K141+500，路线全长约 13.4 公里。其中寨子沟隧道左线长 637 米（起讫桩号：ZK137+092-ZK137+729），V 级围岩：328m，IV 级围岩：235m，III 级围岩：74m，最大埋深 74.602 米。右线长 588 米（起讫桩号：K137+101-K137+689），V 级围岩：292m，IV 级围岩：233m，III 级围岩：63m，最大埋深 78.013 米。寨子沟隧道净宽为 10.25 米，净高为 5.0 米。

## 2 基于 abaqus 的加固分析

### 2.1 abaqus 数值模型

结合寨子沟隧道的相关工程地质资料，选择使用 abaqus 有限元模拟软件建立二维模型模拟寨子沟隧道左线双龙段洞口加固前后围岩变形特征。

寨子沟隧道上表面距离地表的距离为 20 米，隧道模型的边界尺寸取隧道半径为 6 米。这里取长为 60 米，宽为 60 米正方形二维模型。

根据工地勘察数据，寨子沟隧道左线双龙段洞口围岩为全风化至强风化石英片岩，节理裂隙发育，碎石状，层间结合差，稳定性极差，围岩等级为 V 级，弹性模量为 200 兆帕，泊松比为 0.2。

### 2.2 隧道进洞段围岩自然状态下稳定性数值模拟分析

计算假定材料均为均质连续各向同性，不考虑构造应

力。ABAQUS 数值模拟模型：本次模拟的是河南省南阳市西峡县寨子沟隧道进洞口洞内开挖 V 级围岩衬砌支护前后的情况（如下图 1）。

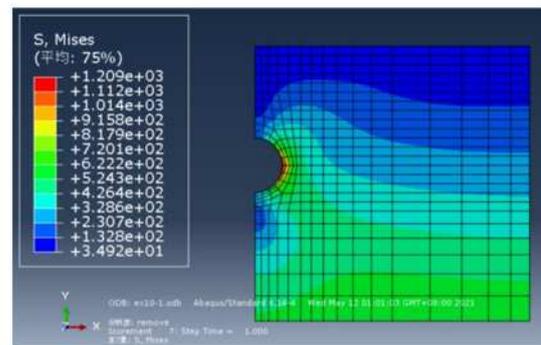


图 1 衬砌加固前的云图

寨子沟隧道在进行开挖施工之前的状态是受重力并处于相对平衡的状态，然而由于开挖施工打破了这一平衡状态，所以会引起隧道的变形，变形到隧道达到新的平衡状态。在进行模拟隧道开挖前，先进行地层的地应力平衡计算，先计算出模型仅在自重荷载作用下的围岩应力，并将围岩应力（S11、S22）加入模型，作为初始应力（如图 2，图 3，图 4 所示）。

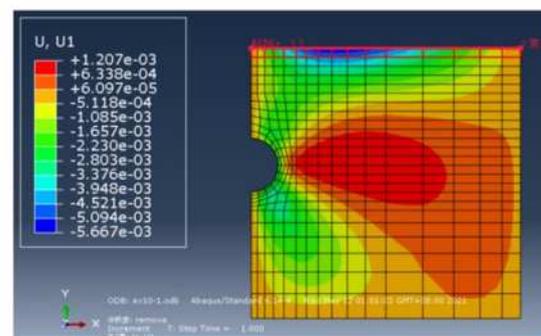


图 2 水平位移云图

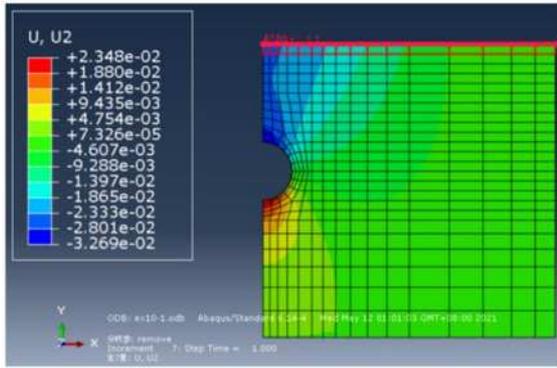


图3 竖直位移云图

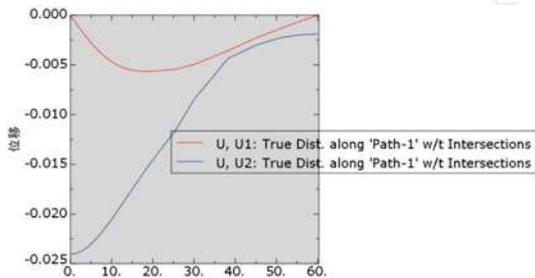


图4 水平位移与竖直位移对比曲线图表 水平位移

综合分析：在寨子沟隧道的上方水平位移为零，越向隧道两侧水平位移越大，达到峰值之后，水平位移越来越小。隧道顶部的沉降量是最大的，越向两边沉降量越小。隧道上方发生沉降，隧道底部回弹。

### 2.3 隧道进洞段围岩加固后稳定性数值模拟分析

在开挖的施工步骤完成之后，因为岩土体的变形导致隧道的底部的部分土体受到拉应力作用，隧道的中间部位则会受到围岩的压应力作用，边开挖边重新分布围岩压力，如图所示围岩的最大的压应力为 9.7MPa，隧道的仰拱和拱顶出现拉应力。肉眼无法观察到衬砌前后弯曲的变化效果，所以将模型放大了 123 倍，河南省南阳市西峡地区双西高速的寨子沟隧道进洞段围岩施加衬砌前后的沉降对比图如图 5。

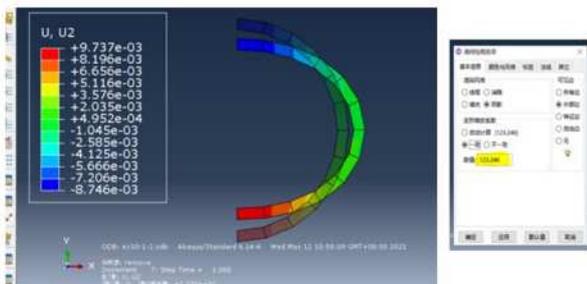


图5 加固后的衬砌云图

## 3 监测数据分析

### 3.1 隧道进洞段围岩随时间变形分析

在河南省南阳市西峡县双西高速寨子沟隧道的开挖过程中，随着时间的推移，隧道左线西峡端洞口施工监测，左线西峡端洞口（桩号 ZK137+729）处设置五个监测点 Z1-Z5，根据所监测到的沉降量，随着监测日期的推移，各监测点累计下沉量逐渐趋于稳定（寨子沟隧道 ZK137+729 地表下沉测点时态曲线如图 6）。

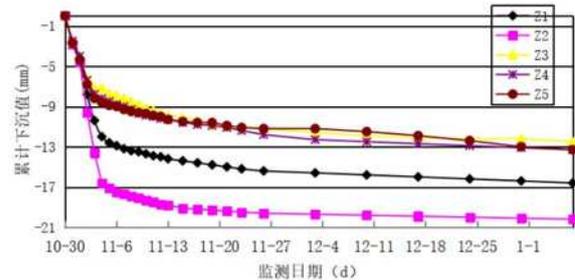


图6 寨子沟隧道 ZK137+729 地表下沉测点时态曲线图

据数据得出，桩号 ZK137+729 断面上 Z1 测点最大沉降量不高于 17 毫米。地表测点下沉由一开始的急剧下沉变为在十一月初左右地表下沉量出现放缓趋势，随着时间的推移变化越来越慢并逐渐达到最大沉降量。总体上看，桩号 ZK137+729 断面上各个测点（Z1-Z5）总的最大沉降量不高于 21 毫米。地表沉降监测数据正常，满足相关规定。

### 3.2 隧道进洞段围岩累计空间变形分析

随着河南省南阳市西峡县双西高速寨子沟隧道开挖过程中掌子面的不断向前推进（ZK137+729 断面据掌子面的距离以每天推进 1.2 米变化），隧道掌子面据进洞口地表监测断面的距离越来越远，地表下沉的变形速率（地表下沉值曲线的斜率）变小，并且逐渐趋于稳定，即地表下沉的变形率几乎为零（寨子沟隧道 ZK137+729 地表测点下沉速率-开挖距离曲线如图 7）。但是可以明显观察到的是 11 月 1 日至 11 月 2 日（掌子面据进洞口地表监测断面的距离大概为 6 米时）寨子沟隧道进洞段地表下沉出现最大下沉速率，分析研究得出这是因为当天受降雨的影响 Z1 至 Z5 各测点隧道进洞段地表下沉沉降速率均有所增大。之后因为天气的转晴，沉降速率逐渐变小并趋于稳定。

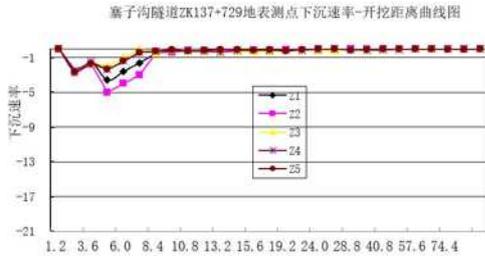


图7 寨子沟隧道 ZK137+729 断面地表下沉速率曲线图

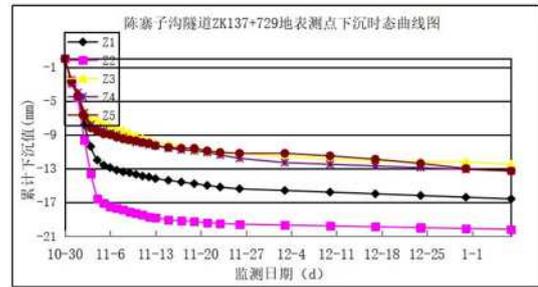


图9 监测数据曲线图

#### 4 监测数据与数值模拟结果对比分析

通过下图 8、图 9 分析比较可知：河南省南阳市西峡县双西高速寨子沟隧道洞口处衬砌相对位移实测结果与数值模拟结果吻合较好，桩号 ZK137+729 处 5 个监测点所发生的沉降占该监测断面总沉降量的比例基本相同。

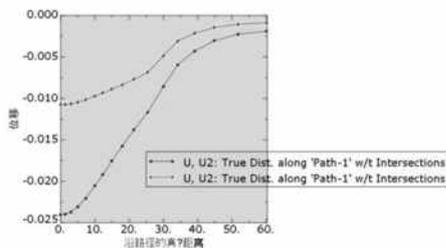


图8 数值模拟结果图

#### 5 结论

(1) 结合河南省南阳市西峡地区双西高速的寨子沟隧道进洞段施工的大概情况，制定施工监测的方案，以及使用数值模拟的方法预测围岩加固后的应力分布情况。

(2) 利用 ABAQUS 有限元数值模拟的常用软件对河南省南阳市西峡地区双西高速的寨子沟隧道进洞段在开挖施工之前和在进行开挖施工时的围岩稳定性进行详细分析，得到围岩的应力分布及稳定性情况。进行数值模拟的结果显示出寨子沟隧道的洞口处开挖对整个隧道的隧道中线附近会有比较大的地表沉降变化，届时拱顶处容易发生安全事故。

#### 参考文献：

- [1] 涂孝波.隧道围岩与支护结构相互作用机理及其应用研究[D].东华理工大学,2019.
- [2] 张辉.隧道洞口段边仰坡破坏机理及加固研究[D].山东建筑大学,2019.
- [3] 张罗逊.富水断层隧道掌子面稳定性及预加固对策研究[D].西南交通大学,2018.
- [4] 易运洋.隧道掌子面失稳模式及超前锚杆加固机理的研究[D].天津大学,2014.
- [5] 张伟杰.隧道工程富水断层破碎带注浆加固机理及应用研究[D].山东大学,2014.
- [6] 刘斌.软弱围岩隧道洞口段预加固技术研究[D].长安大学,2014.
- [7] 刘卫.预加固对软弱围岩隧道掌子面稳定性的影响研究[D].北京交通大学,2013.
- [8] 闵书.隧道超前小导管注浆预加固数值分析[D].重庆大学,2013.
- [9] 韩道录.软弱围岩大断面隧道超前预加固分析[D].重庆交通大学,2013.
- [10] 周朋.深埋隧道软弱围岩稳定性研究及其加固效果分析[D].北京交通大学,2013.
- [11] 黄鹤.浏阳河隧道掌子面超前预加固施工技术研究[D].西南交通大学,2011.
- [12] 张宏洲.隧道小导管注浆加固区围岩力学参数反分析研究[D].中国地质大学(北京),2007.
- [13] 吴旦,皮圣,荆永波,杨玉贵.超前小导管支护快速进洞技术在软弱围岩隧道工程中的应用[J].中外公路,2021,41(01):186-189.

作者简介：姓名：李慧，出生年：1998，性别：女，民族：汉，籍贯：河南省商丘市，学校：北京信息科技大学，学历：全日制硕士研究生，研究方向：工业工程与管理。