



新建下穿运煤通道对既有高速公路桥墩基础稳定性的影响

李港港¹, 胡应全¹, 王刘文², 李 彬¹

(1. 贵州煤设地质工程有限责任公司, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省煤矿设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为分析新建下穿运煤通道对既有高速公路桥墩基础的稳定性影响, 以某燃料煤地下运输通道项目为例, 采用力学解析法进行地基稳定性评价, 并运用 Midas GTS NX 有限元建模软件验算。结果表明: 1) 按力学解析法评价的运煤通道下穿方案, 既有高速公路桥墩地基基础为稳定状态; 2) 数值模拟显示的桥墩变形为 0.171 mm, 桥梁路面的综合位移为 0.160 mm, 小于设计及规范要求的 5 mm 限值; 3) 对比数值模拟结果和力学解析计算结果, 影响范围在地表处符合规范建议的按破裂角 $45^\circ + \varphi/2$ 划定的影响范围, 但在开挖通道到地面范围内的开挖影响范围却超出了破裂角影响范围。本文成果可为类似工程提供参考。

关键词: 运煤通道; 桥墩基础; 稳定性; 力学解析; 数值模拟

中图分类号: U443.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)12-0040-04

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.12.159

Analysis of influence of newly built underpass on stability of bridge pier foundation of existing expressway

LI Ganggang¹, HU Yingquan¹, WANG Liuwen², LI Bin¹

(1. Guizhou Coal-based Geological Engineering Co., Ltd., Guiyang 550025, Guizhou, China;

2. Guizhou Coal Mine Design and Research Institute Co., Ltd., Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: In order to analyze the influence of the newly-built underpass on the stability of the bridge pier foundation of the existing expressway, taking an underground fuel coal transportation tunnel project as an example, the stability of the foundation is evaluated by the mechanical analytical method, midas GTS NX finite element modeling software is used to check the calculation. The results show that: 1) according to the mechanical analysis method, the foundation of the existing expressway bridge pier is stable; 2) the deformation of the bridge pier is 0.171 mm, and the comprehensive displacement of the bridge pavement is 0.160 mm, which is less than the limit value of 5 mm required by the design and code; 3) compared with the numerical simulation results and the mechanical analysis results, the influence range conforms to the influence range of $45^\circ + \varphi/2$ defined by the code on the ground surface, but the influence range of the excavation in the range from the excavation tunnel to the ground exceeds the influence range of the fracture angle. The results of this paper can provide reference for similar projects.

Key words: coal road; pier foundation; stability; mechanical analysis; numerical simulation

随着我国交通的迅速发展, 新建交通线路和既有交通设施相互交叉的现象屡见不鲜。为保障新建线路建设安全和既有线路的运营安全, 需对

两者存在的相互影响关系进行分析, 特别是新建线路下穿对既有公路路基及桥墩基础的影响问题。杜明芳等^[1]总结了新建下穿通道施工全过程对邻

收稿日期: 2024-04-30

作者简介: 李港港(1997—), 男, 助理工程师, 从事地质灾害防治和岩土工程勘察设计工作。

通信作者: 胡应全(1970—), 男, 高级工程师, 从事地质灾害防治和岩土工程勘察设计工作。

1.2 地质环境概况

项目区属构造剥蚀-侵蚀-溶蚀成因的河谷斜坡地貌,斜坡受流水侵蚀作用及可溶岩的溶蚀作用,分布冲沟、谷地及沟槽。场地高程约为 1 335.00~1 485.00 m,地形起伏大,斜坡平均坡度约为 25°,相对高差约为 150 m,整体呈西南低,东北高的地势。区内地质构造不发育,下穿通道不受断层影响。钻孔揭露地层主要为第四系残坡积层黏土碎石土、三叠系下统飞仙关组粉砂质泥岩。区内小冲沟较多,呈树枝状分布,主要冲沟的走向与地层走向基本一致;地下水以裂隙、孔隙水为主,多沿裂隙、孔隙呈隙流及分散流的方式短距离迳流,以下降泉及分渗流的形式近源排泄于沟、谷等地形低凹处。

2 力学解析法稳定性分析

2.1 整体稳定性分析

整体分析采用《工程地质手册(第五版)》中极限平衡计算公式,但需改进公式中部分参数的物理意义。通过力学平衡推导,公式中基底附加应力应为基底应力,内摩擦角应为岩土体的等效内摩擦角^[6]。力学解析法计算简图如图 2 所示,其中: P 为基底压力,kN; f 为摩擦力,kN; G 为重力,kN; B 为计算宽度,m; E_a 为主动土压力,kN; H_0 为极限平衡状态顶板厚度计算值,m。

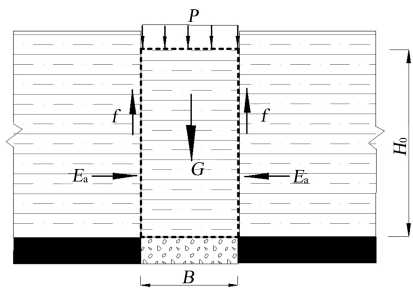


图 2 力学解析法计算简图

极限平衡计算公式:

$$Q = G + BP - 2f = \gamma H [B - H \tan \varphi \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_e}{2})] + BP = 0 \quad (1)$$

即

$$Q = r \tan \varphi \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_e}{2}) H^2 - \gamma B H - BP = 0 \quad (2)$$

式中: Q 为竖向力,kN; γ 为岩土体重度,kN/m³; H 为顶板计算高度,m; φ 为内摩擦角,(°); φ_e 为等效内摩擦角,(°)。

式(2)为一元二次方程,其解为

$$H_{1,2} = \frac{B\gamma \pm \sqrt{B^2\gamma^2 + 4B\gamma P \tan \varphi_e \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_e}{2})}}{2\gamma \tan \varphi_e \tan(45^\circ - \frac{\varphi_e}{2})} \quad (3)$$

式中: $H_{1,2}$ 为顶板临界高度,m。

取式(3)大值,则

$$H_0 = \frac{B\gamma + \sqrt{B^2\gamma^2 + 4B\gamma P \tan \varphi_e \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_e}{2})}}{2\gamma \tan \varphi_e \tan(45^\circ - \frac{\varphi_e}{2})} \quad (4)$$

式中: B 取 5.4 m; γ 取 20 kN/m³。

采用改进过的计算公式对车载及上部结构、盖梁、桥墩、桩基础荷载进行分析。左右幅 19#及 20#墩的 8 根桩承担荷载总计约为 65 502 kN,按 30 m×20 m 面积考虑,基底应力取 110 kPa,摩擦角取值 40°,破裂角取 45+40/2=65°,代入上式, H_0 计算值为 34.3 m。

通道顶板厚度取 52.3 m,根据《煤矿采空区岩土工程勘察规范(2017 版)》判定, $H > H_0 = 34.3 \times 1.5 = 51.45$ m,判为地基稳定。

2.2 单桩稳定性分析

以左幅 19#墩左侧单桩来计算。其单柱最大荷载(车载及上部结构、盖梁、桥墩、桩基)约为 8 037 kN,如按桩底全部承担,基底压力为 3 999 kPa(桩基直径为 1.6 m)。依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)附录 K,将圆桩换算成方桩,方桩计算宽度 $b = 1.6 \times 0.886 = 1.42$ m。荷载附加系数取 0.002,取计算深度为 Z (m),则对应 $Z \div (1.42/2) = 14$,反算可得距桩底以下深度为 $14 \times (1.42/2) = 9.94$ m,对应的荷载为 $0.002 \times 4 \times 3 999 = 32$ kPa;因未考虑 15 m 嵌岩桩的侧阻力,可完全忽略剩余 32 kPa。因此,从桩底 9.94 m 位置开始,其基底应力为 0,依然采用公式(4)计算,则有

$$H_0 = \frac{B \times \gamma}{\gamma \times \tan \varphi \times \tan^2(45^\circ - \varphi/2)} =$$

$$\frac{5.7 \times 20}{20 \tan 40^\circ \times \tan^2(45^\circ - 40^\circ/2)} = 29 \text{ m}$$

此时, 通道顶板厚度 $H = 44.46 \text{ m} > 1.5H_0 = 29 \times 1.5 = 43.5 \text{ m}$, 判为地基稳定。

3 数值建模稳定性分析

3.1 模型建立

为分析运输通道施工对高速公路的影响, 采用有限元软件 Midas GTS NX 建立模型进行计算, 建立的有效元模型如图 3 所示。其中地层及桥墩路面使用实体单元进行模拟, 支护结构使用板单元进行模拟。有限元计算模型边界条件中模型四周及底面采用法向位移约束条件, 并赋予模型实体单元(包含桥墩、桥面)真实的自重应力场及桥面荷载。

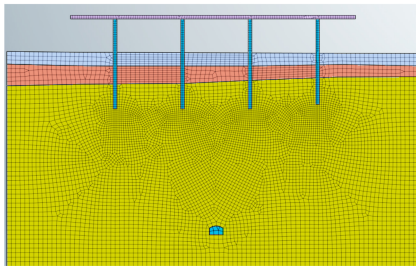


图3 有限元数值模型

3.2 参数选择

数值模型中, 运输通道围岩采用实体单元模拟, 遵循摩尔库伦屈服准则 (Mohr-Coulomb), 计算模型中, 地层材料参数物理力学参数依据勘察资料提供的数据。通道支护衬砌及桥墩路面模型选择为弹性体结构, 计算模型中各个计算单元的物理力学参数如表 1 所示。

表 1 选用材料的物理力学参数

材料名称	容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模 量/GPa	泊松 比	内聚力/ kPa	内摩擦 角/($^\circ$)
围岩	26	8.06	0.31	100	40
桥墩路面	24	30.00	0.20	—	—
通道支护结构	22	23.00	0.20	—	—

3.3 模拟过程

利用数值模型对运输通道施工过程进行模拟时, 具体模型建立及计算相应过程: 1) 模型几何化处理, 几何模型建立; 2) 材料属性输入、网格划分扩展、结构单元析取; 3) 边界荷载设置、施

工阶段定义; 4) 初始地应力计算, 平衡计算, 初始位移清零; 5) 运输通道的开挖及支护模拟。

3.4 模拟结果分析

3.4.1 通道开挖影响

图 4 为开挖通道上覆岩土体及桥墩的综合位移云图。由图 4 可知: 受运输通道的开挖影响, 桥墩底部综合位移为 0.171 mm , 桥梁路面的综合位移为 0.160 mm , 竖向和水平位移更小, 远远小于设计及《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》(TB 10314—2021)中限制的 5 mm 位移。

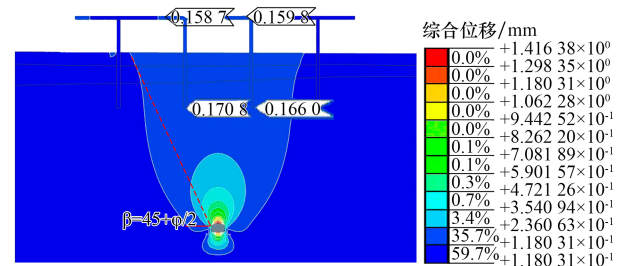


图4 综合位移等值线图

3.4.2 竖向影响的影响

图 5 为通道开挖竖向位移云图。运输通道洞顶标高距桥墩底部的距离为 $52.3 \sim 54.1 \text{ m}$, 由图 5 可知: 运输通道采用综合化机械掘进未直接影响到高速公路桥墩, 因此该通道的开挖对高速公路的位移产生的影响较小。

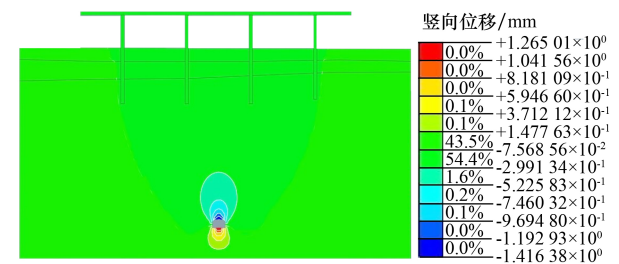


图5 竖向位移等值线图

值得注意的是, 虽然地表影响范围符合规范建议的按破裂角 $45^\circ + \varphi/2$ 的影响范围, 但在开挖通道到地面这段范围内开挖影响范围已超出了破裂角影响范围(图 4), 这和高速公路对变形比较敏感及该区域围岩(粉砂质泥岩)的岩体力学参数较低有关, 应引起类似工程的重视。

4 结 论

(1) 通过力学解析法的极限平衡公式计算时,

(下转第 49 页)

参考文献:

- [1] 巩江峰,王伟,王芳,等. 截至 2023 年底中国铁路隧道情况统计及 2023 年新开通重点项目隧道情况介绍[J]. 隧道建设(中英文),2024,44(2):377-392.
- [2] 黄新连. 市政道路近距离上跨运营铁路隧道方式研究[J]. 铁道建筑技术,2019(5):41-44;69.
- [3] 王志杰,陈铁卫. 新建公路路基上跨既有铁路隧道安全性评估[J]. 四川建筑,2019,39(6):88-91.
- [4] 王晓星,张昱辉,鲁彪. 机械与爆破法下路基开挖对既有临近隧道的影响[J]. 公路交通科技,2022,39(4):101-107.
- [5] 史世波,刘尚各,陈飞飞,等. 新建路基开挖换填对下方既有盾构隧道影响研究[J]. 路基工程,2021(3):165-170.
- [6] 彭智勇,杨秀仁. 路基开挖对邻近既有盾构区间变形的影响分析[J]. 低温建筑技术,2019,41(3):107-110.
- [7] 陈永伟. 路堑爆破开挖对既有铁路路基振动影响研究[J]. 铁道勘察,2021,47(3):61-64.
- [8] 钱明渊. 紧邻皖赣铁路的高边坡路基开挖爆破施工[J]. 煤矿爆破,2017(4):21-25.
- [9] 叶道奎. 高速公路路基施工对下部深埋铁路隧道的影响分析[J]. 黑龙江交通科技,2020,43(5):129-130.
- [10] 黄文杰. 上方路基开挖对既有隧道的影响研究[J]. 浙江水利水电学院学报,2023,35(4):68-74.
- [11] 顾兴民. 桥梁基坑开挖对邻近铁路路基的影响研究[J]. 现代交通技术,2023,20(3):41-43.
- [12] 张世宁. 基坑开挖对邻近高速铁路路基的影响分析[J]. 四川建筑,2023,43(5):204-206.
- [13] 铁路隧道设计规范:TB 10003—2005[S]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [14] 公路工程技术标准:JTGB 01—2003[S]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [15] 爆破安全规程:GB 6722—2014[S]. 北京:冶金工业出版社,2014.

(上接第 43 页)

应采用岩体的等效内摩擦角而非内摩擦角、采用基底应力而非基底附加应力,通过改进的计算公式得出,新建地下通道开挖不会对高速公路桥墩地基存在影响,通道实际的顶板厚度大于 1.5 倍的极限平衡厚度,地基判定为稳定。

(2)通过有限元数值模拟分析,受运输通道开挖影响,桥墩底部综合位移为 0.171 mm,桥梁路面的综合位移为 0.160 mm,小于设计及规范要求值;采用综合掘进开挖引起的应力应变未传递到高速公路桥墩底部,新建下穿运煤通道对既有高速公路桥墩基础稳定性影响较小,下穿方案可行。

(3)数值模拟结果和理论计算结果进行对比,发现新建运煤通道开挖影响范围在地表处符合规范建议的按破裂角 $45^\circ + \varphi/2$ 划定的影响范围,但在开挖通道到地面这段范围内的开挖影响范围却超出了破裂角影响范围,这与高速公路对变形比较敏感及该区域围岩(粉砂质泥岩)的岩体力学参数较

低有关,应引起相应类似下穿工程重视。

参考文献:

- [1] 杜明芳,张燕,陈家豪,等. 下穿通道施工全过程对既有地铁隧道变形的影响[J]. 工程建设,2024,56(4):20-24.
- [2] 相博,张学东,王才静,等. 新建隧道正交下穿既有隧道间距影响分析[J]. 云南水力发电,2023,39(12):63-66.
- [3] 余敦猛. 暗挖隧道施工对下穿既有铁路路基沉降规律分析[J]. 城市道桥与防洪,2023(1):250-255.
- [4] 唐浩,李有福. 新建隧道爆破施工对既有隧道的影响分析[J]. 工程建设,2021,53(8):62-66.
- [5] 冯超,谭威. 盾构下穿施工对既有立交桥桥墩位移影响研究[J]. 福建交通科技,2021(3):60-62.
- [6] 冉章清,王刘文,潘显威,等. 荷载临界影响深度法在小煤窑采空区场地稳定性评价中的运用[J]. 土工基础,2023,37(3):418-421.