

大断面隧道开挖对相邻既有隧道稳定性影响的数值分析

李旺林, 郭浩宇

(西南交通大学希望学院, 四川 成都 610400)

摘要 新建大断面公路隧道的开挖会导致相邻已运营隧道周边围岩的应力分布发生变化, 从而对既有隧道的支护结构造成不利影响。为了研究新建大断面公路隧道开挖对相邻既有隧道稳定性的影响, 本文采用了数值模拟方法进行计算分析, 揭示了相邻既有隧道支护结构的位移变化规律。研究表明: 新建隧道开挖会对相邻隧道的洞口造成较大变形。新建隧道开挖后, 相邻隧道位移变化随着新建隧道的开挖深度趋于稳定; 且洞口左拱肩区域的竖向位移变形最大, 增长 5.6 倍; 左拱腰区域的横向位移变形最大, 增长 33 倍。研究结果旨在为修建既有隧道旁的复线工程提供参考, 以防止既有隧道的支护结构破坏和洞口边坡失稳等工程灾害。

关键词 隧道; 大断面开挖; 稳定性; 变形; 数值模拟

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)03-0010-03

1 前言

我国交通领域建设快速发展, 早期建造的单洞公路隧道在现如今的交通流量下已经不足以满足需求。因此, 为了增加交通流量, 近年来修建了越来越多的隧道复线^[1]。但新建隧道开挖施工会导致相邻已运营隧道周边围岩的应力分布发生变化, 从而对既有隧道的支护结构造成不利影响, 为了确保相邻隧道的安全性和稳定性, 需要对相邻隧道支护结构的位移演化规律进行研究^[2]。

许德鹏^[3]利用实地测量和数值模拟技术研究了隧道洞口开挖对已支护相邻隧道围岩稳定性的影响, 结果表明洞口开挖对支护隧道围岩的变形影响较大。

罗阳^[4]和何剑^[5]通过数值模拟软件模拟了新建隧道掌子面爆破对先行隧道围岩振动的影响, 发现相邻隧道迎爆面的围岩受到的爆破振动影响较大于背部爆破面。

吴文琦^[6]等人采用有限元软件, 深入研究了侧壁导坑法分阶段开挖施工对小距离相邻隧道爆破振动的影响, 研究表明小距离隧道的拱腰和拱脚部位所受到的爆破振动影响最大。

此外, 周杰^[7]、李军^[8]及邓宏^[9]等学者也利用数值模拟软件, 对新建隧道施工对邻近已运营隧道的安全影响进行了系统评估。

由此可见, 新建隧道的施工过程对相邻既有隧道结构的安全性产生的不同程度的影响, 已经引起了国

内学术界的高度关注和深入研究。

综上, 本文以某典型已运营隧道旁侧新建大断面公路隧道为背景, 建立数值模型。基于数值模拟结果, 重点分析新建公路隧道开挖施工对已运营相邻隧洞稳定性的影响, 并给出结构支护的优化建议。

2 工程背景

新建隧道和既有隧道洞均长为 837m, 道路等级为一级公路。根据勘察结果, 隧道洞身穿越地段以凝灰熔岩为主, 围岩处于微风化的状态, 属于坚硬岩石类别, 虽然其结构面的结合程度一般, 但岩体的完整性较好; 由于受到区域构造的影响, 部分地方的岩体完整性较差, 表现为局部破碎。据现场地质调查和收集新建隧道施工成果, 隧道开挖时, 地下水呈点滴状出水, 开挖后局部拱部易产生掉块、小坍塌及初期支护变形破坏。根据本次勘察和收集到的相关资料, 两隧道该段围岩等级暂定为 III 级, 与岩土工程勘察报告围岩等级基本吻合, 若施工阶段存在局部岩体破碎, 节理裂隙较为发育, 拱部存在掉块等影响隧道稳定性情况, 应降低围岩等级至 IV 级, 加强支护措施和洞内超前地质预报。

3 数值模拟

3.1 模型建立

在考虑隧道结构特征和围岩条件的基础上, 建立三维有限元模型。该模型包括一个新建隧道和一个既

有隧道,两个隧道之间相距 15m。模型包含了 254610 个单元和 259191 个结点。在模型计算时,模型的环侧和底部边界采用了严格垂直约束。对于隧道围岩,采用了基于摩尔-库伦屈服准则的弹塑性模型,而对于隧道衬砌,采用了弹性模型。为了确保有限元模型固定边界条件对隧道开挖模拟计算的影响最小化,对围岩模型进行了改进,通过将围岩模型的横向宽度增加到隧道直径的 5 倍,将隧道底板与围岩模型底边距离增加到隧道直径的 4 倍,极大地减少了影响。同时将围岩上表面的模拟距离扩展到地表,埋深达 100m,以尽可能准确地模拟真实环境。根据隧道的结构特征和围岩条件,对隧道支护结构和围岩体采用了三维实体单元模拟,支护结构厚度为 1m。

3.2 参数设置

根据 JTG 3370.1-2018《公路隧道设计规范》,选择表 1 中列出的各材料物理力学参数取值。

表 1 围岩及衬砌结构基本物理力学参数

围岩与 支护	密度 ρ / (kg/m^3)	弹性模量 E/GPa	泊松比 ν	内摩擦 角 φ ($^\circ$)	粘聚力 c (MPa)
围岩	2450	10	0.28	45	1
初期 支护	2500	28	0.2	—	—
二次 衬砌	2500	30	0.2	—	—

3.3 工况设置

在模型建立后,模型左侧模拟新建隧道的实际开挖过程,模型右侧分析既有隧洞的支护结构变形演化规律。在进行数值计算时:

首先,进行了地应力的平衡分析,以确保隧道的开挖前的稳定。

其次,模拟了新建隧道的开挖过程,并在适当的位置施加了支护结构,在释放围岩的压力的时候确保隧道的稳定性和安全性。

新建隧道开挖时,对开挖进尺进行控制。本次模拟总开挖深度为 300m,共设置 11 个工况,即记录开挖前初始状态和每次开挖 30m 时既有隧道支护结构的竖向位移和横向位移的变形发展,对既有隧道的支护结构的变形进行监测,直至新建隧道开挖且支护完成的隧道长度达到 300m。对支护结构危险断面设置监测点,包括拱顶、左拱肩、右拱肩、左拱腰、右拱腰、左拱脚、右拱脚和拱底,如图 1 所示,监测该位置的位移演化规律。

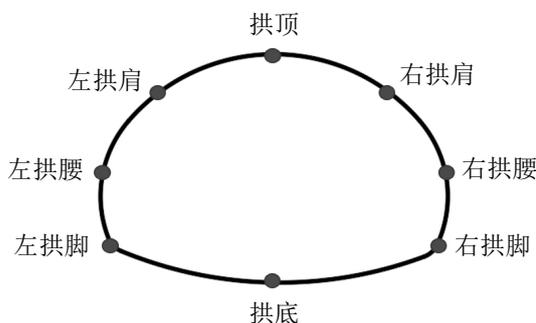


图 1 既有隧道支护结构监测点布置图

4 结果分析

4.1 支护结构整体变形分布趋势

随着新建隧道的开挖,既有隧道支护结构的竖向变形会逐渐增大。隧道洞口的竖向变形是整个支护结构变形的显著体现。根据开挖数据,当开挖深度达到 60m 时,隧道洞口的支护结构最大竖向位移为 0.4mm,位于拱顶-左拱肩-左拱腰区域。随着开挖深度增加至 150m,隧道洞口的支护结构最大竖向位移为 0.47mm。而在开挖深度达到 300m 时,洞口的支护结构最大竖向位移仍为 0.47mm,同样位于拱顶-左拱肩-左拱腰区域。可以看出,随着隧道深度的增加,洞口的竖向位移呈现出逐渐增大并趋于稳定的趋势,表明洞口支护结构的变形程度较大,同时,随着开挖深度的增加,洞口周边围岩的稳定性受新建隧道开挖的影响越来越小,而与隧道掌子面较近的围岩稳定性受新建隧道开挖的影响较大,但与新建隧道掌子面较近的围岩变形程度仍不如洞口周边的围岩变形程度。

综上,新建隧道开挖时,相邻既有隧道的洞口变形较大,是整座支护结构的危险断面。为进一步研究支护结构危险断面位移演化规律,对洞口设置监测点,包括拱顶、左拱肩、右拱肩、左拱腰、右拱腰、左拱脚、右拱脚和拱底,分别监测已支护隧道在新建隧道开挖 0m 至 300m 全过程中的竖向变形量和横向变形量的发展趋势。

4.2 支护结构危险断面位移演化规律

对隧道的变形位移监测和安全评估是确保隧道安全运营的重要环节,如图 2 所示,对于既有隧道洞口面上监测点的竖向位移和横向位移的变形情况,在隧道开挖的不同阶段,变形的幅度和趋势有所不同。可以看出:既有隧道的支护结构的变形随着新建隧道的开挖可以分为两个阶段。当新建隧道刚开挖时,既有隧道的支护结构的竖向位移和横向位移会出现急剧变化。这是由于地层的松动和应力重分布,支护结构受到较大的变形影响。随着新建隧道的开挖深度增加,

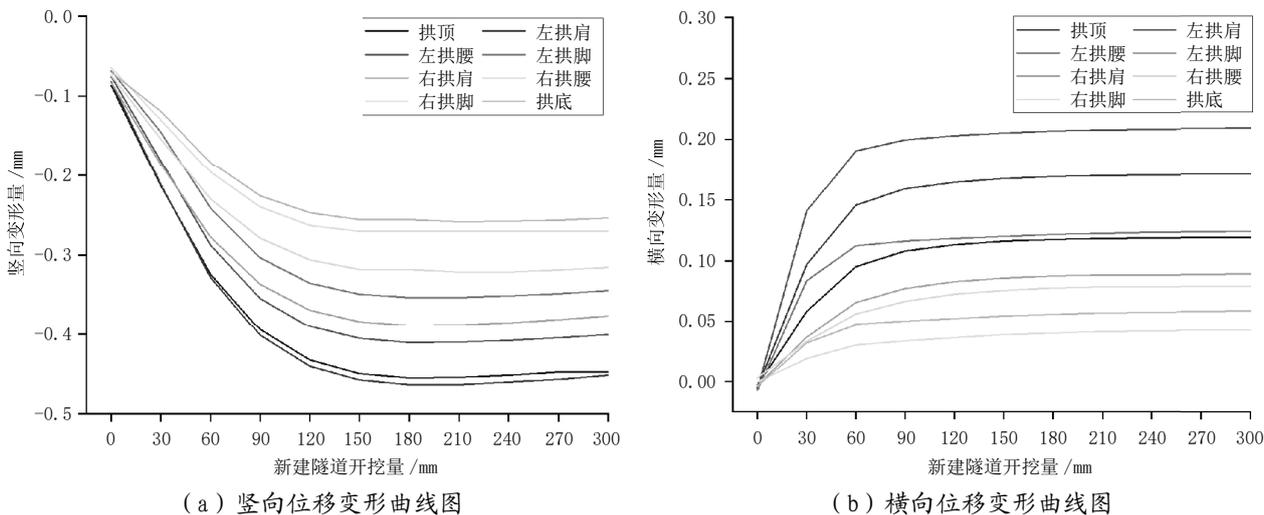


图2 既有隧道洞口面上监测点的竖向位移和横向位移的变形发展趋势

支护结构的竖向变形趋于稳定。在开挖至150m时,竖向位移的变形幅度较小,变形趋势相对平稳。这意味着隧道的稳定性得到了较好的控制和保证。相比竖向位移,支护结构的横向变形相对稳定的阶段较早。在新建隧道开挖至90m时,支护结构的横向变形趋于稳定。

支护结构在不同监测点的变形情况是不同的。从拱顶、左拱肩、右拱肩、左拱腰、右拱腰、左拱脚、右拱脚以及拱底区域来看,竖向位移变形最大的是左拱肩区域。在新建隧道未开挖至开挖300m这个阶段,竖向位移变形量增长了5.6倍。而在左拱腰区域,横向位移变形最大,相比未开挖阶段,横向位移变形量增长了33倍。虽然变形增长的数值较小,但其变形量与初始变形量的比重不可忽视。拱底和右侧区域的变形虽然也有所变化,但与左侧区域相比,数值更小。

对既有隧道左右侧区域的位移变化进行比较,可以发现相对于隧道左侧区域,位于隧道的右侧区域整体位移变化较小。这可能是因为既有隧道左侧靠近新建隧道掌子面,新建隧道的开挖工作导致左侧区域的岩体松散,而右侧区域相对稳定。因此,在新建隧道施工过程中,需要采取相应的支护措施来降低左侧区域的位移变形。故针对既有隧道旁隧道复线的修建工程过程,应加强同侧的支护结构强度,同时对同侧的支护结构的变形随时监测,防止已运营隧道支护结构破坏及洞口段边坡失稳等工程灾害发生。

5 结论与建议

(1) 通过对某大断面隧道开挖施工对相邻既有隧道影响的数值分析表明:新建隧道开挖对已运营隧道洞口造成较大变形,特别是靠近新建隧道一侧。需要关注洞口支护结构的安全问题。(2) 既有隧道的支护

结构变形可分为两个阶段。新建隧道刚开挖时,支护结构的竖向和横向位移急剧变化;开挖至150m时,竖向变形趋于稳定;新建隧道开挖至90m时,横向变形趋于稳定。(3) 在复线工程中,需要加强同侧支护结构的强度,监测其变形情况,以避免已运营隧道支护结构的破坏和洞口边坡失稳等工程灾害发生。特别需要关注同侧拱肩区域的竖向位移变形和同侧拱腰区域的横向位移变形,这两个区域变形最为明显。

参考文献:

- [1] 《中国公路学报》编辑部. 中国交通隧道工程学术综述·2022[J]. 中国公路学报, 2022, 35(04): 1-40.
- [2] 罗阳. 爆破施工对相邻隧道围岩振动影响规律研究[D]. 杭州: 浙江科技学院, 2019.
- [3] 许德鹏, 吴俊浩, 李献民. 隧道洞口段开挖对相邻隧洞影响的数值分析[J]. 路基工程, 2015(02): 148-151, 165.
- [4] 罗阳, 韦麟, 支彦锋, 等. 相邻隧道围岩爆破振动影响规律研究[J]. 浙江科技学院学报, 2019, 31(05): 412-418.
- [5] 何剑, 朱映丞, 沈明炜, 等. 地铁隧道小净距爆破施工对相邻隧道支护振动响应研究[J]. 路基工程, 2022(01): 171-176.
- [6] 吴文琦, 任小峰. 小净距隧道爆破开挖对相邻洞的影响研究[J]. 公路, 2011(12): 204-208.
- [7] 周杰, 罗军强, 杨凡杰, 等. 安家庄隧道施工对相邻已运营隧道安全性的评估[J]. 土工基础, 2018, 32(02): 146-150.
- [8] 李军, 吕婧, 刘瑞. 新建隧道施工对近距离既有隧道的影 响及安全风险评估[J]. 公路与汽运, 2017(05): 183-187.
- [9] 邓宏. 新建隧道施工对既有隧道的安全风险评估研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.