

山区高速公路岩溶隧道围岩与支护结构稳定性研究

李海鸿¹, 郭延辉², 宋琴¹, 黄永华¹, 付小兵¹

(1. 云南建投第六建设有限公司, 云南 玉溪 653199; 2. 昆明理工大学 公共安全与应急管理学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 为研究某山区岩溶隧道建成后围岩与支护结构的稳定性。运用三维有限元 MIDAS GTS NX, 分析隧道建成后围岩、衬砌及锚杆的位移场和应力场, 探究在设计支护参数下隧道的稳定性。结果表明: 在设计支护条件下, 隧道围岩、衬砌及锚杆的位移较小, 围岩没有发生较大的应力集中, 衬砌和锚杆受力状态良好; 说明设计支护参数能够满足隧道支护要求, 能确保隧道的安全使用。研究成果对该隧道的稳定性及后期的运营安全具有重要意义。

关键词: 岩溶隧道; 支护; 变形; 稳定性

中图分类号: U459.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1006—7973 (2022) 09—0126—04

随着国家“一带一路”倡议的深入实施, 西南喀斯特山区高速公路网的建设达到了前所未有的规模。与此同时, 西南喀斯特山区岩溶隧道的数量和里程也不断增加。隧道开挖将破坏岩体原岩应力平衡状态, 从而引起围岩应力重分布, 导致隧道建成后围岩可能出现一定的变形和破坏, 严重时会出现冒顶、塌方等^[1-3]。特别是隧道经过岩溶地段时, 由于岩溶地区特殊的地质条件, 围岩松散破碎, 岩土体稳定性往往较差, 突水突泥、垮塌等灾害较多, 可能严重威胁隧道的施工和运营安全^[4]。

因此, 对山区岩溶隧道建成后的围岩与支护结构的稳定性进行研究具有重要意义。

鉴于近年来我国隧道建设数量和难度不断增加, 众多学者对隧道施工和运营的围岩与支护结构进行研究, 并且已经取得了较为丰富的成果。张幸等^[6]分别应用 DP 与 EDP 模型对隧道进行数值模拟, 并与解析解进行三方对比, 得出应用 EDP 模型的数值模拟结果更接近实际, 解析解塑性区半径比数值模拟小。钟爱军等^[7]建立了隧道上穿溶洞的计算模型, 通过数值模拟手段分析

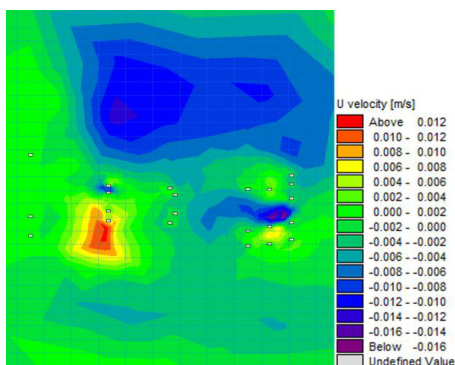


图9 枯水期取水口处横向流速图

2.4 结果分析

由以上计算结果可知, 远征化工取水口工程在洪水期、平水期、枯水期工况下, 最大纵向流速均未超过 3m/s, 最大横向流速均未超过 0.3m/s, 对东门河航道水流条件及通航安全影响较小。

3 结论

本文采用二维水动力模型对远征化工东门河航道取水口位置处流场进行数值模拟, 计算结果表明, 模型能够较好地反映水流流速、流向等通航水力要素变化情况, 该方法可作为航道主管部门审批类似工程的技术支

撑。

参考文献:

- [1] GB 50319-2014. 内河通航标准 [S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2014.
- [2] 李振亚. 阜阳市南照淮河取水口工程对航道通航条件的影响研究 [J]. 工程与建设, 2019(5):742~743.
- [3] 高子双, 刘杰章, 等. 潍坊港扩建航道潮流场的平面二维数值模拟 [J]. 中国水运, 2017(7):241~244.
- [4] 王春宇. 基于二维水动力学模型的河流水力学特征分布研究 [J]. 水利技术监督, 2016(4):56~58+101.
- [5] 任梅芳, 徐宗学, 等. 基于二维水动力模型与经验公式的桥梁壅水计算及其对比分析 [J]. 水力发电学报, 2017(5):78~87.
- [6] 陈佰福, 邢德龙, 等. 二维数值模型在嫩江滩桥改造项目洪水影响评价上的运用 [J]. 黑龙江水利技术, 2020(2):193~196.
- [7] 夏冬梅, 张丹蓉, 等. 二维水动力模型在姚江大库船闸通航影响分析中的应用 [J]. 水电能源科学, 2019(7):146~149+98.

了该施工条件下管片衬砌结构稳定性的变化规律。李晓刚等^[8]进行了室内岩溶隧道模型试验,分析了不同溶洞分布大小、不同节理倾角及降雨等条件下隧道衬砌受力规律。郑现菊等^[9]基于三维数值模拟仿真,分析了隧道围岩及支护受隐伏溶洞的影响。

综上所述可以看出,虽然针对隧道稳定性的研究较为丰富,但对岩溶发育区隧道围岩与支护结构的稳定性研究方面还不足。本文以西南山区某岩溶隧道为背景,采用三维数值分析方法,对隧道建成后围岩及支护结构稳定性进行分析,研究成果对该隧道的运营安全具有指导意义。

1 工程概况

某隧道位于广西与云南两省的交界处,是一座双向四车道分离式隧道,隧道左线全长 1080m(广西段长 671m,云南段长 409m),右线长 1052m(广西段长 652m,云南段长 400m),由广西、云南各自施工所辖范围段,在两市交界位置处实现贯通。隧道断面采用曲墙式,宽 8.66m,高 7.10m,最大埋深约为 80m,最小埋深为 8m。

本文重点针对隧道Ⅲ级围岩段进行开挖支护计算分析。所研究隧道段地质情况如下:地表为少量红砂岩覆盖,下伏地层为石灰岩,中厚层状构造,中风化或微风化,岩体较破碎,局部地段存在少量渗水或滴水现象,产生较大规模涌水可能性小,但洞室地处岩溶发育区。

2 隧道支护参数设计

隧道设计采用全断面法开挖,开挖后及时施作相应的初期支护,初期支护稳定后施作二次衬砌。初期采用Φ22药卷锚杆,L=2.5m,按梅花形布置,并结合岩层产状适当调整锚杆位置和方向,喷射 10cm 厚 C25 混凝土加钢筋网支护;二次衬砌为喷射 35cm 厚的 C30 混凝土,如图 1 所示(图 1 中尺寸除钢筋、钢管直径以 mm 计,其余均以 cm 计)。图中 Φ22 药卷锚杆仅示一半,另一侧关于隧道中心线对称布置,边墙及拱部设钢筋网应焊接在系统锚杆外露端。钢筋网全断面布设,钢筋网采用 Φ8 钢筋,网格尺寸为 2525cm,钢筋网片采用梅花形焊接。

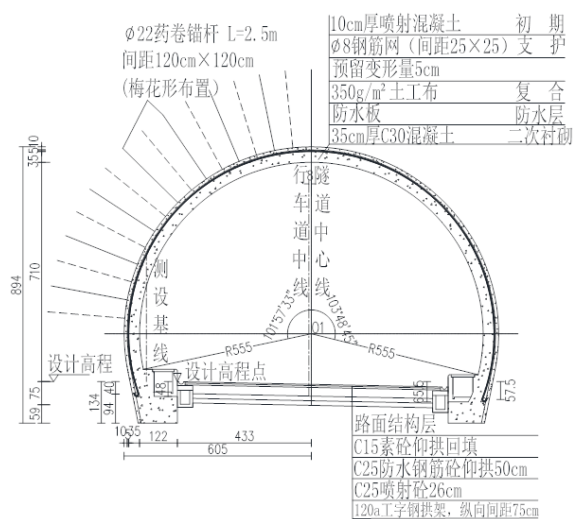


图 1 隧道复合式衬砌结构设计断面图

3 计算模型及力学参数

3.1 计算模型的构建

三维数值模型计算选取垂直隧道走向方向 120m,沿隧道走向方向 140m,高度方向最高 117m。三维模型的单元总数为 196730,节点总数为 276572,整体计算模型见图 2,隧道衬砌及锚杆布置模型见图 3。在模型的左右边界,固定 X 方向的位移,在模型的前后边界,固定 Y 方向的位移,在模型底部,固定三个方向的位移,模型顶部为自由边界。

3.2 岩土力学参数及计算本构模型

计算所采用的岩土体力学参数依据某隧道工程地质勘察报告以及国内外类似工程岩土体力学参数而确定,见表 1,结构力学参数见表 2。计算采用 Mohr-Coulomb 弹塑性本构模型^[10]。

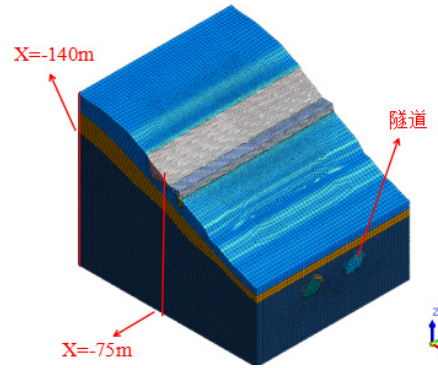


图 2 三维力学模型图

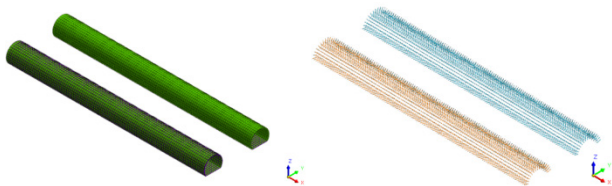


图3 隧道衬砌及锚杆布置模型图

表1 岩土体力学参数

岩土名称	ρ (kg/m ³)	c (MPa)	φ (°)	E (GPa)	μ
残积土	1800	0.05	15	0.012	0.33
强风化灰岩	2090	1.02	38	7	0.30
中-微风化灰岩	2200	1.60	45	10	0.29

表2 结构力学计算参数

构件	密度(kg/m ³)	弹性模量 (GPa)	泊松比
C25 砼喷层	2480	27.5	0.167
C30 砼喷层	2480	27.5	0.167
砂浆锚杆	2500	200	0.30

4 隧道建成后围岩及支护结构稳定性分析

4.1 隧道围岩稳定性分析

图4为隧道建成后总位移分布图,可以发现,隧道围岩位移主要集中在顶板和底板中间位置,位移最大值为1.747mm,位于隧道埋深最深处,主要原因是随着埋深的增加,地应力一般也随之增加。随着埋深的降低,隧道总位移呈现逐渐减小的趋势。为了便于分析隧道横断面上的应力位移分布情况,本文重点选取剖面X=-75m作为典型剖面进行开挖支护分析。隧道建成后,剖面X=-75m围岩顶板下沉,底板隆起,顶板最大垂直位移为1.75mm,底板最大隆起量为1.50mm,隧道X方向水平位移均较小,没有超过规范要求,隧道整体稳定状态较好。

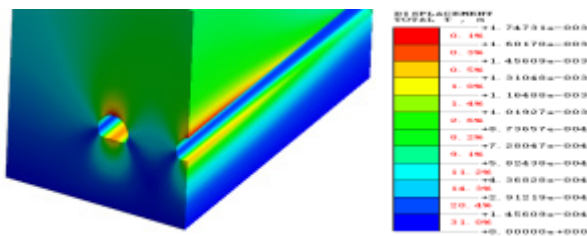


图4 建成后隧道围岩总位移分布图

隧道开挖支护后,由于开挖卸荷作用,顶底板应力得到了一定释放。从最大主应力来看(图5),隧道底板最大主应力为0.149MPa,顶板最大主应力为0.424MPa,在隧道边墙部分出现了压应力集中,最大主压应力为2.905MPa。隧道围岩最小主应力在顶底板处

出现了一定的拉应力集中,拉应力最大值为0.295MPa,没有超过隧道衬砌所用混凝土强度标准值,基本不会发生由于强度不足引起的安全问题。

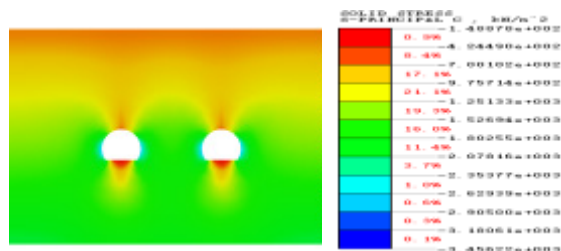


图5 建成后隧道围岩最大主应力分布图

4.2 隧道衬砌结构稳定性分析

图6为隧道建成后二次衬砌总位移图。不难发现,隧道建成后初衬和二衬位移分布规律和数值大小基本接近,衬砌拱顶最大位移值为1.747mm。隧道左线和右线衬砌结构位移随着隧道埋深的增加而逐渐增大,变形规律较为一致。可以看出,隧道衬砌整体位移较小,未超出规范要求。

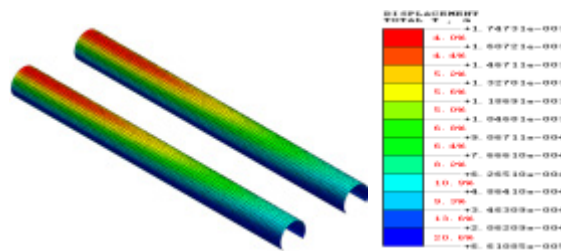


图6 建成后隧道二衬总位移图

图7为隧道二衬最大主应力图,可以看出,隧道二衬最大主应力和最小主应力同初衬一致也均表现为压应力,其中二衬最大主应力极值7.822MPa,较初衬增大2.225MPa,位于埋深较深部位的拱脚处。最小主应力整体表现为压应力,在拱脚位置出现了一定的拉应力,拉应力最大值为0.286MPa。

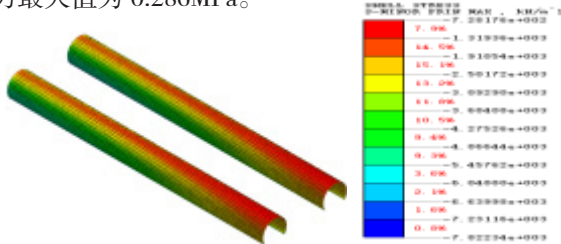


图7 建成后隧道二衬最大主应力分布图

4.3 隧道建成后锚杆结构可靠性分析

隧道建成后锚杆出现一定的位移,其中沿竖直方向最大位移出现埋深最深处,最大值为1.747mm,随着隧道埋深的降低,锚杆竖向位移逐渐减小。水平方向最大位移出现在隧道中部位置附近靠近隧道一端,其值为

0.244mm。

图8为锚杆结构轴力分布图,隧道开挖支护完成后,锚杆轴力以受拉为主,随着隧道埋深的增加,锚杆轴力逐渐增大。锚杆最大轴力为9.347kN,基本在允许范围内。

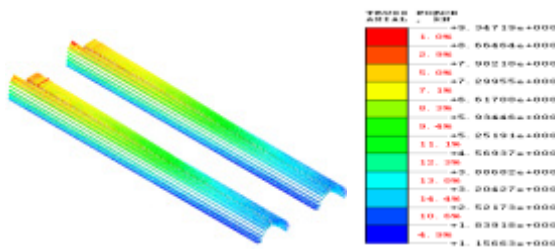


图8 锚杆结构轴力分布图

5 结论

本文应用三维有限元数值计算软件 MIDAS GTS NX 对某山区岩溶隧道建成后的围岩和衬砌的稳定性,及锚杆的可靠性进行模拟分析,通过计算分析,主要得出以下结论:

- (1) 运用三维数值计算软件 MIDAS GTS NX 进行隧道开挖,围岩与支护结构稳定性分析是行之有效的,该软件在衬砌,锚杆等支护单元建模上具有一定的优势。
- (2) 隧道开挖支护建成后,隧道拱顶下沉最大值为 1.747mm,底板向上隆起最大为 1.50mm,隧道围岩、衬砌和锚杆等位移均较小,隧道衬砌和锚杆受力状态较好,表明该山区岩溶隧道整体围岩及支护结构基本处于稳定。
- (3) 通过数值模拟仿真,计算分析得到该隧道的整体稳定性,进一步验证了该岩溶隧道开挖支护参数设计的合理性,研究成果对该类山区岩溶隧道的支护参数的设计及隧道稳定性控制具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 肖明清,徐晨. 基于临界稳定断面的隧道围岩稳定性分析方法探讨 [J/OL]. 岩土力学, 2020(05): 1-9.

[2] 丁尧,王俊,徐国文. 层状岩体隧道围岩稳定性的数值模拟分析 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2019, 46(03): 363-372.

[3] 张顶立. 隧道围岩稳定性及其支护作用分析 [J]. 北京交通大学学报, 2016, 40(04): 9-18.

[4] 吴雷雷. 岩溶地质环境下影响高速公路隧道溶洞稳定

性的数值模拟 [J]. 公路工程, 2017, 42(03): 245-248+265.

[5] 陈禹成,王朝阳,郭明,等. 隐伏溶洞对隧道围岩稳定性影响规律及处治技术 [J/OL]. 山东大学学报 (工学版): 1-11

[6] 张辛,宋宏伟,闫晓. DP 与 EDP 模型及其在隧道稳定分析中的应用 [J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(06): 1652-1657.

[7] 钟爱军,李懋,王立新,等. 隧道上穿溶洞对管片衬砌结构稳定性影响分析 [J]. 交通科学与工程, 2018, 34(02): 71-77.

[8] 李晓刚,支华龙,彭帆,等. 岩溶区运营公路隧道衬砌受力特性模型试验分析 [J]. 公路, 2018, 63(05): 296-302.

[9] 郑现菊,吴孟桃. 岩溶隧道围岩及支护稳定性数值模拟分析 [J]. 公路工程, 2017, 42(02): 170-173+186.

[10] 骆俊晖,米德才,叶琼瑶,等. 基于 Midas 模型下考虑构造应力场深埋隧道围岩稳定性研究 [J]. 灾害学, 2018, 33(S1): 81-86.

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目 (2022J0065); 昆明理工大学分析测试基金重点项目 (2021T20200145)。

