

文章编号: 1007- 2985(2010) 04- 0090- 04

穿江隧道拱顶沉降的三维有限元分析

杨珺博, 董 辉, 陈家博, 侯俊敏
(湘潭大学土木工程与力学学院, 湖南 湘潭 411105)

摘 要:以浏阳河穿江隧道西线单洞 CD 法开挖为例, 利用 Ansys 有限元软件对隧道开挖过程进行了三维动态模拟分析, 得到在 CD 法开挖下隧洞拱顶沉降值, 并与实际监测数据进行对比, 总结了在该工程条件下隧道拱顶沉降的特点和变化规律, 为以后类似的工程提供借鉴、依据和指导. 研究表明: 拱顶沉降随空间位置变化不明显; 隧道上层覆土固结程度越高, 拱顶沉降越小; 加固区范围适合, 抗渗性良好, 渗流对拱顶沉降有一定的积极作用.

关键词:穿江隧道; 拱顶沉降; CD 法; 三维有限元

中图分类号: TU 457

文献标志码: A

我国是一个江河湖海分布较为广阔的国家, 因此公路道路规划中要穿越江河湖海时常遇到桥梁方案与隧道方案的选择问题. 过去在遇到此类情况时通常优先考虑桥梁方案, 这对于解决交通问题发挥了巨大作用. 但同时桥梁方案也存在很多不足的地方, 如由于桥梁净高过低^[1], 大型船只不允许桥下通航, 从而制约了经济的发展和两岸的交流; 其次桥梁易受大风大雾等外界天气因素的影响, 不利于行车安全和桥梁本身的稳定性, 尤其大风很可能对大跨度桥梁造成严重的损害; 最后桥梁的抗震性能远不及隧道等地下结构. 综上所述在穿越江河湖海时隧道方案的优越性明显高于桥梁.

穿江隧道地质条件复杂, 施工工艺还不完善, 由于存在软弱围岩或溶洞, 在施工过程中可能产生过大沉降, 影响施工安全和施工进度. 隧道的施工开挖过程不可避免的要扰动地下岩体^[2], 破坏了岩体的原有平衡状态, 使其向新的平衡状态发展, 发生了应力重分布. 由于外界力的扰动和岩体本身自重的作用隧洞会产生位移和变形, 如拱顶的沉降和隧洞的收敛等. 拱顶沉降范围是否合理是隧道施工安全的关键因素之一, 所以在隧道开挖过程中有效控制拱顶沉降具有极为重要的意义.

1 工程概况及有限元分析

1.1 工程概况

湘江大道浏阳河隧道下穿浏阳河, 属于水下浅埋软弱围岩隧道, 分离式双洞结构, 采用暗挖法施工. 浏阳河隧道为双向四车道, 车道净高 4.5 m, 界限净宽 9.5 m, 车道宽度为 3.75 m, 路缘带宽度为 0.5 m, 余宽为 0.25 m, 检修道宽为 0.75 m(含余宽), 建筑长度为 1 800 m, 距湘江东岸约 500 m, 隧道的南入口和北入口分别距离浏阳河南岸和北岸约 600 m, 过浏阳河河底长约为 200 m. 穿越浏阳河段采用矿山法施工, 两岸结构则采用明挖法施工.

场地位于湘江下游的右岸一级阶地及浏阳河出口河床段, 地理位置为浏阳河与湘江交汇处东边, 隧道呈南北穿越浏阳河, 场地中部为浏阳河河道, 河道宽度为(300~ 400) m, 河两岸修筑河堤, 浏阳河属常年性河流, 河道平直, 可通航, 河底标高为(20~ 23) m, 浏阳河南北两岸为菜地和民房, 场地地坪标高为(31~ 33) m.

* 收稿日期: 2010- 05- 21

作者简介: 杨珺博(1986-), 男, 陕西西安人, 湘潭大学土木工程与力学学院硕士生, 主要从事地下结构研究.

1.2 模型建立及参数设定

利用 Ansys 软件建立隧道开挖三维计算模型如图 1 所示, 模型尺寸为 72 m × 53 m × 240 m, 土体围岩、注浆加固区及预支护区采用 8 节点 6 面体实体单元, 共划分 23 040 个单元网格和 23 879 个节点。

由于锚杆的主要作用并非其自身强度对整体结构的贡献, 而是在施工过程中及时加固, 限制塑性区的发展, 使岩体能够保持较好的连续性和整体性, 从而使围岩能很好的起到自承作用, 因此锚杆可采用“等效材料”进行模拟。锚杆注浆加固区(见图 2)及围岩地层 Solid45 实体单元本构模型均采用 Drucker Prager 理想弹塑性模型; 钢拱架+网喷初支采用 Shell181 壳体单元模拟(见图 3)。

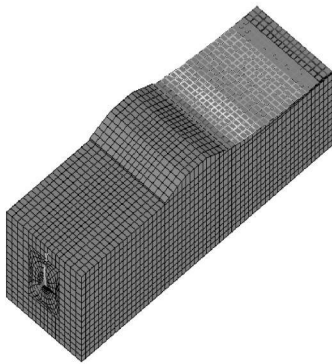


图 1 隧道开挖三维计算模型

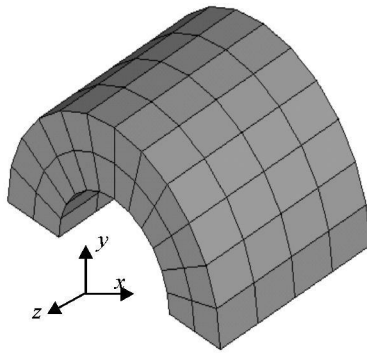


图 2 加固区模型

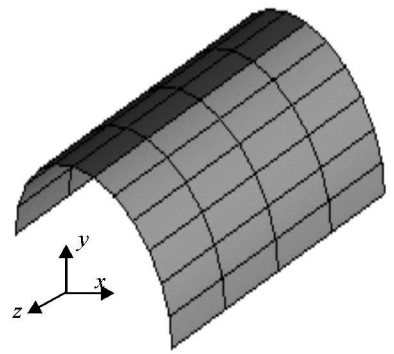


图 3 支护结构模型

在参考浏阳河隧道有关地质资料及类似工程的基础上, 得到模型单元所采用的力学计算参数如表 1, 2 所示。

表 1 Solid45 实体单元力学参数

材料	参数				
	密度/(kg·m ⁻³)	体积模量/MPa	粘聚力/MPa	泊松比	内摩擦角/(°)
覆盖土	2 200	185	0.045	0.28	30
注浆加固区	2 400	360	0.4	0.25	35

表 2 钢拱架+网喷初支 shell181 结构单元力学参数表

密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/Gpa	泊松比	厚度/m
2 600	10.5 × 10 ⁹	0.2	0.2

边界条件定义^[4]: 两侧边界约束 x 方向的位移, 下部地面约束 y 方向的位移, 上部地面为自由面, 前后边界约束 z 方向的位移。隧道穿江段覆盖土上层施加净水压力梯度荷载, 水位采用常年平均水位高程 27.3 m。

1.3 有限元分析计算

1.3.1 CD 法模拟计算步骤 (1) 开挖 1 部导坑; 初喷混凝土, 架立钢架; 喷射 20 cm 混凝土封闭侧壁, 架设临时钢架, 喷 10 cm 混凝土封闭台阶地面。(2) 上导坑施工 4 m 后, 开挖 2 部导坑, 接长钢架, 施做洞身初期支护, 喷射 20 cm 混凝土封闭侧壁, 接长临时钢架。(3) 开挖 3 部台阶, 及时封闭初期支护, 参见工序 1 进行。(4) 开挖 4 部台阶, 及时封闭初期支护, 参见工序 2 进行。^[5]

模拟计算中仅考虑初期支护^[6], 二衬作为强度储备在计算中不予反映, 如图 4 所示。

1.3.2 CD 法计算结果分析 隧道施工监控测量的主要目的是为了解各施工段地层与支护结构的动态变化, 服务于支护系统设计, 确立开挖方式及二次支

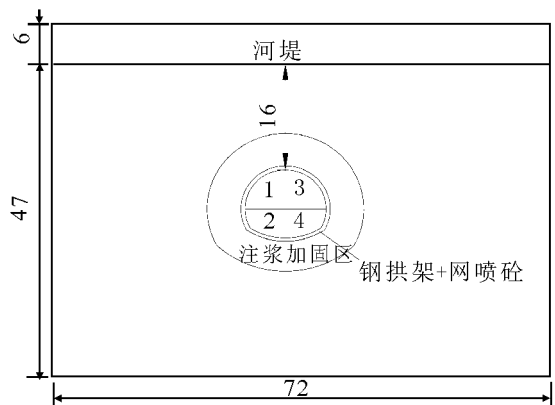


图 4 隧道开挖平面图

护时间,保障施工安全.用现场实测的结果弥补理论分析存在的不足,并把检测结果反馈设计,指导施工,为修改施工方法,调整围岩级别、变更支护参数提供参考依据;预报施工中可能出现的事故和险情,以便及时采取预防措施;了解该工程条件下所反映出来的一些地下工程规律和特点,为以后类似的工程提供借鉴、依据和指导.^[7]

根据本工程特点,将隧洞按穿越范围划分为地面段,河堤段和穿江段 3 个部分^[8],在每部分中均匀的选取几个拱顶点作沉降分析,如图 5~ 10 所示.

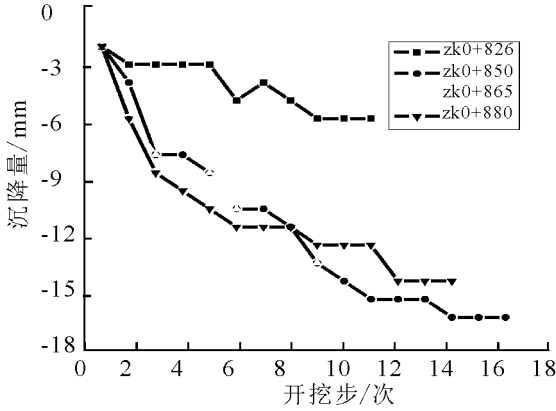


图 5 地面段实测拱顶沉降值

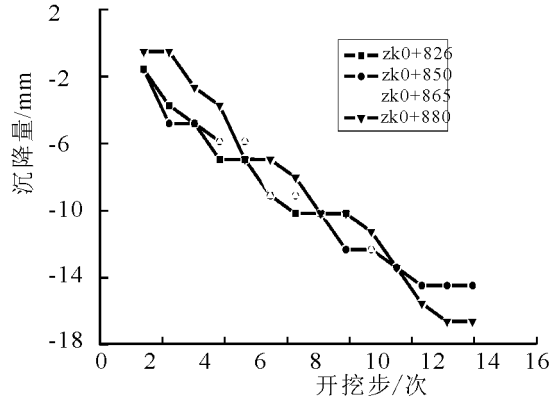


图 6 地面段模拟拱顶沉降值

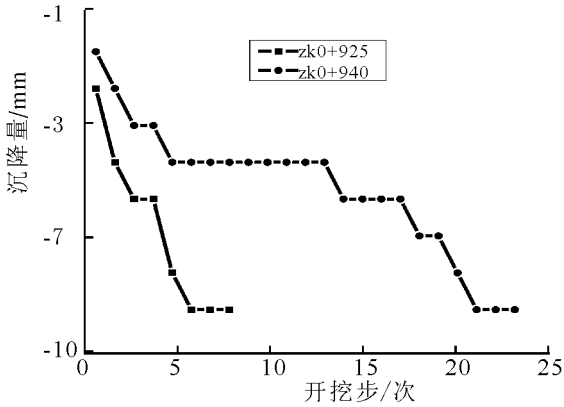


图 7 河堤段实测拱顶沉降值

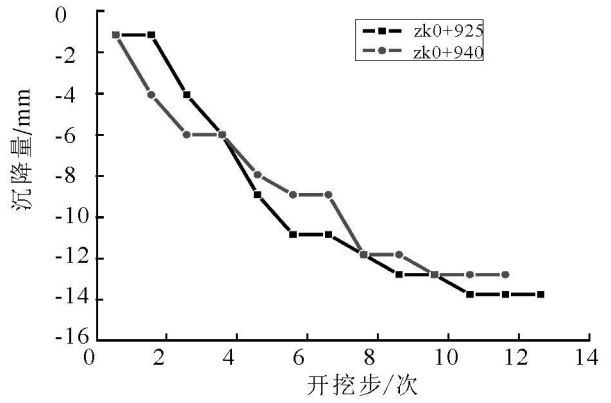


图 8 河堤段模拟拱顶沉降值

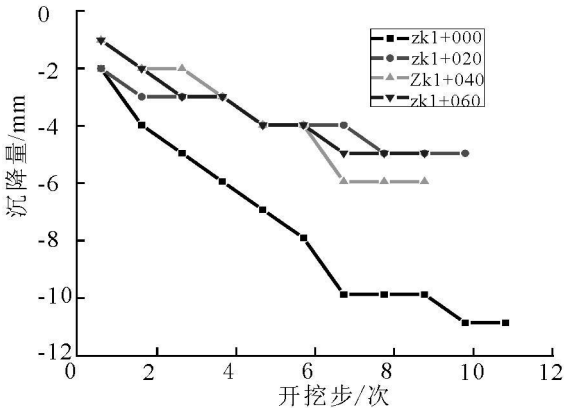


图 9 穿江段实测拱顶沉降值

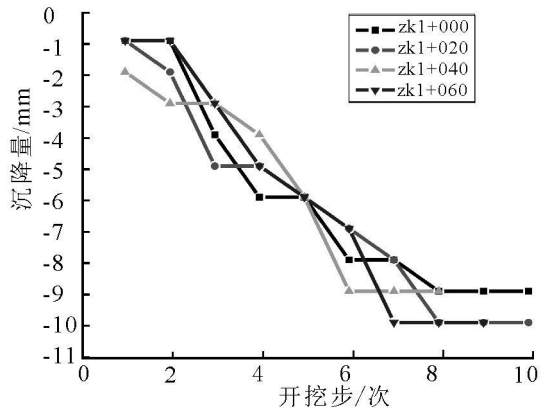


图 10 穿江段模拟拱顶沉降值

由图 5~ 10 得模拟沉降曲线与实测曲线的变化趋势大体上是一致的,随着掌子面的推进拱顶沉降值逐渐增大,而后趋于稳定.各段实测沉降值(见图 5, 7, 9)和模拟值(见图 6, 8, 10)在相同地质段内的大小相差不大,即拱顶沉降随空间位置变化不明显,因此隧道开挖研究时,当土质均匀,可以将三维问题简化为平面问题,且二维平面模型计算精度可以满足实际情况.由图 5~ 6 可知地面段实测沉降值与沉降的稳定时

间和模拟情况接近,因此建模所选取的材料参数和边界条件适用于地面段。由图7~8可知河堤段实测值与模拟值相差比较大,且模拟沉降的稳定时间比实际时间短,这是由于实际工程中河堤上有路基,常年受到车辆等移动活荷载的作用,固结程度较高,而在建模过程中所用的土体参数是相同的,并未考虑车辆等移动活荷载的作用和土体的实际固结情况。由图9~10可知穿江段模拟值最大且大于实测值近50%,这是因为在模拟过程没有考虑水的渗流作用,只是在穿江段施加净水压力梯度荷载,简单的将水压力作为外界永久荷载,即土体,加固区和支护结构完全不透水,但实际工程中有水的渗流作用。

3 结论

通过对穿江隧道开挖与支护的三维有限元动态模拟得出了如下结论:

- (1) 隧道开挖拱顶沉降随空间位置变化不大,即相同条件下沉降值趋于一致;
- (2) 拱顶沉降值受隧道上部覆盖土固结程度的影响,固结度越高,沉降值减小;
- (3) 注浆加固区的范围适合,抗渗性好,上层覆盖土水的渗流对拱顶沉降有一定的积极作用。

参考文献:

- [1] 杨红禹,周建民.论我国越江隧道的发展[J].地下空间,2000,20(3):209-213.
- [2] 许志英.岩石力学[M].北京:中国水利水电出版社,1993:159-260.
- [3] 张洵安,王显彬.软岩隧道开挖与支护的三维有限元仿真模拟[J].郑州大学学报,2008,29(2):137-140.
- [4] 汪小敏,黄宏伟,谢雄耀.软弱围岩隧道施工三维有限元分析[J].地下空间与工程学报,2007,3(6):114-118.
- [5] 朱永全.隧道工程[M].北京:中国铁道出版社,2007:124-186.
- [6] 李 围.隧道及地下工程ANSYS实例分析[M].北京:中国水利水电出版社,2007:306-380.
- [7] 孙桂云,史振春,王中睿.隧道施工监控测量浅析[J].铁道标准设计,2001,21(4):32-33.
- [8] 郝朋伟,宫能平.巷道开挖过程的三维有限元分析[J].中小企业管理与科技,2008,11(27):183-185.

Three-Dimensional Finite Element Analysis for the Displacement of River-Crossing Tunnel Vault

YANG Jur bo, DONG Hui, CHEN Jia bo, HOU Jur min

(Civil Engineering and Mechanics College, Xiangtan University, Xiangtan 411105, Hunan China)

Abstract: The research is based on the western tunnel crossing the Liuyanghe river. Ansys software is used to simulate the three-dimensional excavation with CD method. The displacement data of tunnel vault obtained is compared with the real data. The displacement characteristics and change regularities of this project are summarized. The research provides reference and experience for the future similar project. The results show that: the vault displacements change slowly with space location; the soil consolidation is better, the vault displacement is lower; Reinforcement area is appropriate, the seepage is good to vault displacement.

Key words: river crossing tunnel; displacement of tunnel vault; CD method; three-dimensional finite element

(责任编辑 陈柄权)