

城市地铁施工沉降的数值模拟研究

刘洪海, 黄永红

(重庆市勘测院, 重庆 400020)

摘要:地下工程施工,会引起地层移动而导致不同程度的沉降和位移,从而影响到隧道和地表建筑物的正常使用和安全运营。以某一地铁施工为依托,运用 PLAXIS 有限元软件对施工进行动态开挖模拟,分析其沉降因素,正确估计特定地区可能发生的地面变形沉降,将模拟结果与现场监测的资料进行了对比分析,模拟结果可信度高。该研究对城市地铁隧道工程的设计与施工具有重要的指导意义。

关键词:城市地铁;沉降;数值模拟

中图分类号:U25

文献标识码:A

随着全球城市建设的飞速发展,城市化进程加快,城市人口高度集中,生产和交通工具密集,解决城市发展过程中的交通问题乃是一大难题。为缓解地面交通压力,近几个世纪来,许多国家大中城市纷纷兴起了大规模建造地铁和轻轨的热潮,开发地下空间。

地下工程施工,会引起地层移动而导致不同程度的沉降和位移,由于施工技术及周边环境和岩土介质的复杂性,即使采用最先进的施工方法,其施工引起的地层移动也是不可能完全消除的。当地层移动和地表变形超过一定的限度时就会造成地面沉陷、基坑垮塌、隧道破坏、周边建筑物损害、地下管线损害等事故,将会导致严重经济损失并产生不良的社会影响,从而影响到隧道和地表建筑物的正常使用和安全运营。因此本文运用有限元技术对施工进行动态模拟,分析其沉降因素,正确估计特定地区可能发生的地面变形沉降,进而选择最佳的施工技术;并将模拟结果与现场监测的资料进行对比分析,对城市地铁隧道工程的设计与施工具有重要的指导意义。

1 工程概况

南京地铁二号线一期工程区间设计为左右线分离的单洞单线隧道,左、右线隧道长度均为 440.15 m。区间隧道从管家桥金鹰过街通道下侧穿过后与新街口站相接。区间拱顶覆土厚 8.4 m ~ 12.1 m,左右线线间距

16.2 ~ 17.2 m。区间与上海路站设计分界里程 K13 + 062.50 m,与新街口站设计分界里程 K13 + 502.65 m,区间最大纵坡 12‰,最小竖曲线半径 3000 m。区间隧道上方管线密集,主要有 $\phi 600$ 给水管, $\phi 450$ 雨污水管, $\phi 500$ 煤气管及较多的电信电缆, 110 KV 电力电缆, 10 KV 电力电缆, 380 V 路灯电缆等。

该区间跨长江 I 级阶地和秦淮河河漫滩地貌单元,勘探深度范围内,地表浅部为近期杂填土、素填土,区间东部具有新近沉积土;下部主要为一般沉积的粉质粘土和中粗砂混卵砾石;基岩为白垩系“红层”,岩性为泥质粉砂岩、角砾砂岩、粉砂质泥岩,软硬相间,属极软岩。区间西段主要为粉质粘土,东段为粉土、淤泥质粘土和粉质粘土。洞室围岩稳定性整体较差。其中粉质粘土具弱膨胀潜势,施工中应注意水对粉质粘土强度和变形的不利影响。

2 地铁隧道的有限元模拟

2.1 隧道开挖过程有限元理论分析

隧道开挖过程的应力与变形的有限元分析不同于其它的有限元分析理论。其主要表现在隧道开挖过程中分析对象几何模型是随着开挖进度不断变化的,且因被开挖掉的土体在开挖前即有初始应力,因而,在开挖掉的这部分土体后,不仅分析对象的几何尺寸一直在变化,还有剩余部分的结构应力和变形也在变化。关键点

是运用有限元来模拟开挖不同阶段的特点,进而使被开挖的部分应力完全消失,使其应力变成一个自由面。而有限元分析可以很好地模拟隧道开挖这一过程,因而是一种很好的分析方法^[1-3]。

2.2 PLAXIS 有限元分析介绍

PLAXIS-3D-TUNNEL 软件是 PLAXIS 软件模块系列之一,PLAXIS 软件是在国外应用较为广泛,而在国内引进较晚,所以目前应用不是很多。PLAXIS 的始于 1987 年荷兰 Delft 大学开始开发的,而 PLAXIS-3D-TUNNEL 程序是目前唯一针对地下隧道工程而建立的模块,其也可以应用于相近的岩土工程的计算与分析。PLAXIS-3D-TUNNEL 程序可以提供成千上万个有限单元来更加精确地模拟岩土工程实体,并对实际岩土工程进行一系列计算与分析。本文将 PLAXIS-3D-TUNNEL 模块用来模拟动态地铁隧道开挖^[4-5]。

2.3 有限元分析模型

在模拟隧道浅埋段时,本次模拟隧道开挖 20 m,模型共划分 5850 个单元(图 1)。隧道围岩材料按均质弹塑性考虑,采用 Druck-Prager 屈服准则,参数可由现场监测数据资料反演得出(参数取值见表 1);因初期支护、二次衬砌和锚杆力学特性远远好于围岩,计算中可将其看作弹性体,参数则参考相关规范确定(参数取值见表 2);喷射混凝土中钢拱架的作用采取等效方法来模拟;为了简便计算,临时支护的锚杆作用直接采用其加固效果增强加固区材料参数来模拟;对于隧道拱顶部超前注浆小导管,其作用是在顶部形成加固层和起到“抬梁”的效果,以阻止隧道顶部过大变形而造成局部坍塌,可采用释放荷载的方法来模拟其作用;为保证计算的准确性,模型尺寸为:隧道左右分别取 40 m,竖直向上取至地表,向下取 60 m;因隧道埋深较浅,故计算时按自重应力场考虑^[6]。

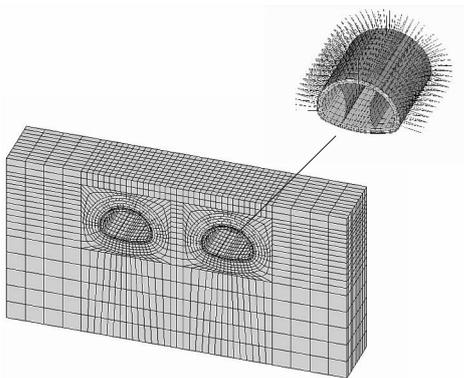


图 1 有限元分析模型

表 1 隧道围岩材料力学参数

容重	粘聚力	内摩擦角	弹性模量	泊松比
27kN/m ³	6MPa	30°	10 ⁴ MPa	0.35

表 2 支护结构力学参数

名称	容重	弹性模量	泊松比
衬砌	22kN/m ³	2.4 × 10 ⁴ MPa	0.2
锚杆	77kN/m ³	21 × 10 ⁴ MPa	0.3

3 计算结果分析

3.1 地表沉降分析

为保证施工期间及以后上部结构的安全运营,需要严格控制地表沉降。通过图 2 隧道开挖完成后地表沉降曲线可以看出,地表沉降关于双线隧道大致对称分布,呈 W 形状;其中在先行洞(左洞)隧道拱顶正上方沉降最大,沉降量为 5.31 mm,这是由于先行洞隧道开挖后,受到后续洞(右洞)施工扰动所致,与现场监测资料数据规律一致;后续洞拱顶正上方沉降为 5.21 mm,在中轴线附近沉降较两线隧道拱顶正上方处偏小,沉降仅为 2.87 mm;总体来说,地表下沉能够保证上部结构安全运营的前提下正常施工;从图中还可以看出,隧道开挖对地表沉降的影响在距离中轴线 3.5 倍洞径趋于稳定,这也说明本次模拟模型范围的选取是在误差范围内的。

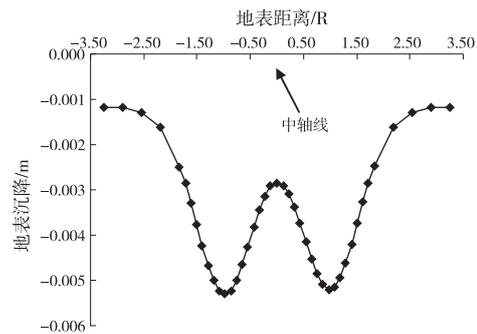


图 2 地表沉降曲线图

3.2 模拟结果与现场监测数据对比

现场监测主要是对数值试验结果的验证和评价,限于篇幅,在此只做左右双线隧道拱顶沉降值的量测数据和计算结果的对比。为便于比较,将施工完成后双线隧道起始开挖断面的拱顶沉降实测变化曲线和对应点上的数值模拟结果绘于图 3,图 4。

从图 3,图 4 可以看出,从埋设量测元件监控数据开始至模型段开挖结束,其对应的左右线拱顶下沉变化曲线规律与数值模拟计算结果的变化曲线规律基本一致。先行洞拱顶下沉监测基点埋设于下一个循环开挖时段(也即开挖步 10),监测沉降值最后稳定于 5.82 mm,而数值模拟计算结果最终沉降稳定值为 7.33 mm;后续洞

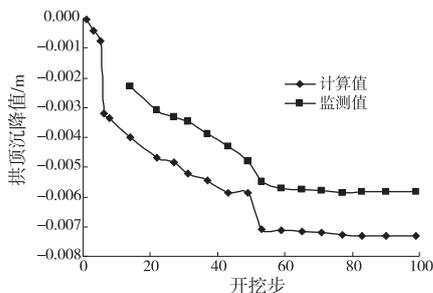


图3 先行洞拱顶沉降变化比较图

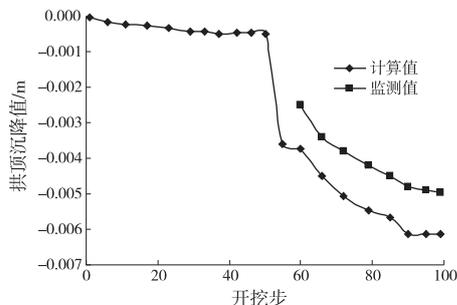


图4 后续洞拱顶沉降变化比较图

拱顶监测元件埋设于后续洞开挖下一个循环时段(也即开挖步60),监测值稳定在4.95 mm,计算稳定值为6.13 mm;这是由于监测元件埋设时,先前循环段的开挖已经引起拱顶一定量值的下沉,而下沉值无法准确测量导致;两者差值基本稳定,也说明隧道三维弹塑性分析结果是可信的;其中先前开挖引起的下沉分别占拱顶总沉降值的20.6%、19.4%,这比一般公式算出的开挖面效应值要小,是因为本文模型在开挖方向范围误差导致选取的研究目标面未能真实反应隧道开挖引起的全部位移变化所致;综上所述隧道施工过程中在断面开挖后

应及时进行量测元件的埋设,尽量减小由于时空效应带来的影响。

4 结论

(1)隧道地表的沉降分布是以双线中轴线为中线的,呈W形状分布。沉降主要集中在距离中轴线三倍洞径范围内。

(2)在隧道周边围岩变形位移结果来看,后行洞的开挖对先行洞的地表沉降和隧道周边各点竖向位移影响要远大于先行洞对后行洞的影响,如何有效的控制施工过程中反复扰动是施工成败的关键。

参考文献:

- [1] 于宁,朱合华.盾构隧道施工地表变形分析与三维有限元模拟[J].岩土力学,2004,25(8):1330-1334.
- [2] 朱泽兵,刘新荣,张永兴.大跨度浅埋轻轨车站隧道开挖方法研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(2):290-295.
- [3] 郝文洲.偏压小净距隧道合理施工工序的探讨[J].铁道建筑,2011(10):26-28.
- [4] 边翔.大跨度隧道施工方法数值模拟与动力响应分析研究[D].武汉:武汉理工大学,2005.
- [5] 王庆国,庞旭卿,何章义.马蹄形隧道掏槽爆破三维数值模拟[J].四川理工学院学报:自然科学版,2010,23(6):745-749.
- [6] 樊融,张成江.五指山隧道渗漏水连通试验分析[J].四川理工学院学报:自然科学版,2009,22(1):116-120.

Research on Numerical Simulation of Subway Construction Settlement

LIU Hong-hai, HUANG Yong-hong

(Chongqing Survey Institute, Chongqing 400020, China)

Abstract: Underground engineering will cause stratum movement, which may lead to varying degrees of settlement and displacement. It would affect the serviceability and safe operation of the tunnel and surface buildings. The study researched on the dynamic simulation of construction based on a subway, applied the program of PLAXIS to analyze the factors of the settlement and to estimate the ground deformation and settlement of a specific area accurately by finite element method (FEM). The simulation result was analyzed comparing with on-site monitoring data. It has an important instruction to design and construct the subway tunnel.

Key words: subway; settlement; numerical simulation