

文章编号: 1006-4710(2015)01-0078-05

盾构下穿铁路框架桥中路面沉降变形规律分析

郑明新, 吴勇, 黄文君, 欧阳林, 胡国平

(华东交通大学 岩土与道桥工程研究所, 江西 南昌 330013)

摘要: 以南昌地铁 1 号线盾构下穿京九铁路框架桥工程实例为背景, 通过对现场监测数据分析, 得到了盾构单线隧道施工引起市政道路路面纵横沉降变形规律: 盾构刀盘前 10 m 以内和后 20 m 以内为影响区域, 其中刀盘前后 10 m 为显著影响区, 在纵断面上沿盾构中心轴线左右两侧 4~8 m 为横向主要影响范围; 在整个穿越过程中, 盾构施工引起上部铁路框架桥竖向位移特征与公路路面沉降规律基本相似, 其沉降量或隆起量均在控制范围内, 表明在盾构穿越过程中土压力、注浆压力和注浆量三个影响地表沉降因素的取值是可行的。

关键词: 盾构下穿; 铁路框架桥; 现场监测; 变形规律

中图分类号: U455.4

文献标志码: A

An analysis of the deformation regulation of road settlement when shield underneath passing the railway frame bridge

ZHENG Mingxin, WU Yong, HUANG Wenjun, OU Yanglin, HU Guoping

(Institute of Bridge&Road and Geotechnical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Taking the Nanchang Metro Line 1 shield underneath passing the frame bridge of Jingjiu Railway as object, based on the in-situ monitoring data analysis, the deformation laws of the shield single line tunnel construction settlement of municipal road surface caused by vertical and horizontal can be obtained; The shield cutter head within 10 m before and within 20 m after can be served as the area of influence, of which within 10 m before and after is significantly affected area, and in the vertical, the shield for the transverse main impact range is the section along the central axis 4~8 m left and right sides. Through the whole process, the vertical displacement characteristics of the upper frame rail bridge caused by shield construction are substantially similar with the settlement laws of the road, whose amount of settlement or uplift are under control, whereby showing that the earth pressure, grouting pressure and quantity of grouting affecting the value of facts of surface subsidence is feasible during the shield process.

Key words: shield underneath pass; railway frame bridge; in-situ monitoring; deformation regularity

在城市地铁隧道施工过程中, 盾构施工引起土体变形和位移可能影响到既有地面建筑、铁路和地下管线等设施, 有必要对盾构隧道施工进行现场监测, 以期探讨盾构施工引起的地层变形并控制对既有铁路线路的影响。目前, 盾构单线隧道施工引起的地表沉降分析及预测的理论方法主要有经验公式^[1]、理论分析法^[2-5]、数值模拟^[6-8]、现场实测^[9-11]等方法。但目前针对下穿铁路框架桥的沉降控制的监测及相关论文还鲜有报道。本文以南昌地铁 1 号

线盾构下穿京九铁路框架桥工程实例为背景, 通过现场监测, 分析先行施工的下行线地铁隧道盾构施工引起地表纵向沉降和框架桥竖向位移规律, 进一步分析了影响地表沉降的三个因素: 土压力、注浆压力和注浆量, 探讨了减少地表沉降的控制措施。

1 工程概况

南昌地铁 1 号线丁公路北站—师大南路站区间隧道呈长条形, 位于市政主干道北京西路东部

收稿日期: 2014-09-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51068006)。

作者简介: 郑明新, 男, 教授, 博导, 主要研究方向为路基与边坡工程。E-mail: zhengmx2002@aliyun.com。

位置,新公园以东,师大南路以西。设计里程范围:S(X)K16+608.035~S(X)K17+465.610,上、下行线隧道长均为858.475 m,双线全长1 716.95 m。在SK17+112.403~SK17+132.403处盾构下穿京九铁路(8+12+8)m三孔连续钢筋混凝土钢筋框架桥基础,总长20.8 m,总宽30.4 m。桥上有3股道,分别为京九上、下行线及南昌商储公司专用线,铁路行车密度高,且通行动车组。区间隧道道路沿线建筑物密布,地下管线复杂,大部分管线埋深在0.5~3.0 m,所以采用土压平衡ZTE6250盾构法施工。

隧道埋深10.12 m,两隧道水平中心间距13.4 m,管片外径6.0 m,内径5.4 m,管片采用预制HRB335钢筋混凝土,强度等级为C50,厚度为0.3 m,环宽1.2 m,管片为通用环,采用错缝拼装。

根据地勘报告,主要地层有人工填土(Qm1)、第四系上更新统冲积层(Q3a1),下部为第三系新余群(Exn)基岩。岩性自上而下依次为杂填土、粉质粘土、细砂、粗砂、圆砾、卵石、强风化粉砂质泥岩和中风化粉砂质泥岩。其盾构下穿京九铁路框架桥地质情况见图1。

2 现场监测点的布置

2.1 监测内容

丁师区间盾构下穿铁路框架桥,监测内容包括:市政道路路面沉降监测和框架桥竖向位移监测。市政道路路面沉降监测控制标准为:-30~+10 mm;框架桥沉降监测控制标准为:-10~+10 mm,相邻框架沉降差控制在5 mm范围内。

2.2 监测点布置

盾构下穿铁路框架桥时监测范围为:桥底部正下方及两侧约30 m范围。具体地表沉降点布置:隧道纵断面方向上每隔5环在两侧各布置一个监测点,每个断面上布置11个监测点,共9个断面;横断面(垂直轴线)上,从隧道轴线由中心向两侧由近到远,每隔3 m或4 m布置一个监测点,每个断面8或9个监测点,共11个断面。框架桥隔墙上每6 m设置一个监测点,每个断面设置3个监测点,共4个断面,见图2。

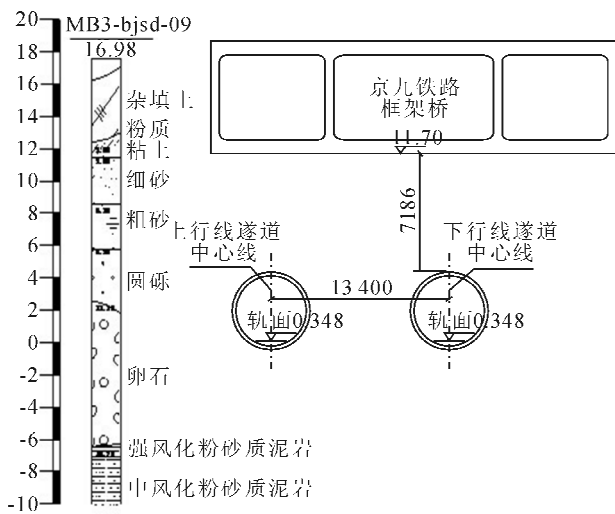


图1 盾构下穿京九铁路框架桥地质剖面图

Fig.1 Geological profile of the shield underneath pass the frame bridge of Jingjiu Railway

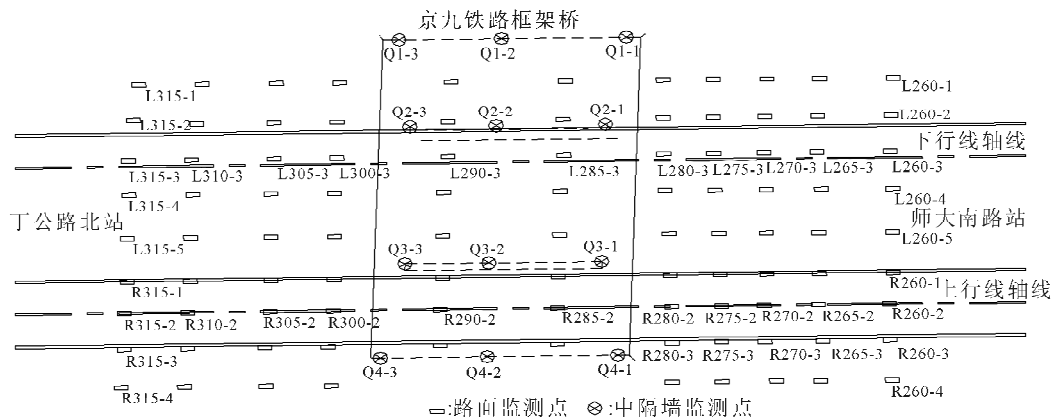


图2 沉降监测点布置图

Fig.2 Subsidence monitoring plan

2.3 监测方法

采用高精度自动安平水准仪DS05进行监测。工作基点和附近水准点联测取得初始高程。首次观

测应对测点进行连续两次观测,两次高程之差应小于±0.5 mm,取平均值作为初始值。盾构推进时,监测范围为机头前20 m和机头后30 m。

3 沉降规律分析

选取先行施工的下行线地铁隧道盾构施工引起的公路路面沉降和框架桥中隔墙竖向位移进行分析。选取 L275、L285、L290 和 L300 四种典型断面进行整理分析。

3.1 纵向路面沉降数据分析

1) 纵向路面沉降与刀盘距离的关系

利用盾构隧道轴线上监测点的观测数据,分析路面沉降与刀盘距离的关系得出相应的纵向地表沉降。这里主要利用盾构距离断面 5D 左右直至离开断面 5D 左右处测点的路面沉降值绘成图,见图 3。

2) 从图 3 可知,盾构掘进对前方土体影响范围大约在盾构机刀盘前方 30 m 范围,前方土体的沉降量一般不超过 4 mm。盾构掘进对后方土体

影响范围大约在盾构机刀盘后 20 m 范围内,尤其是在刀盘后 10 m 范围内曲线沉降速率较快,沉降量变化较大,此过程正是盾构通过和盾尾脱出阶段,该阶段的沉降量占总沉降量的 44%~87%,该阶段是盾构掘进过程中产生沉降的主要阶段,应加强该阶段监测,并及时将数据反馈给施工方,以便优化施工参数,做到信息化施工,减少地表沉降。盾构掘进距离监测断面 20~30 m 时,沉降速率明显减缓,沉降量趋于平稳,表明盾构掘进对地表沉降的影响不大。若沉降速率仍是很大,则可通过二次注浆使地表沉降有所回弹,减少最终沉降量,之后趋于平稳。

3.2 横向路面沉降数据分析

通过对 4 个监测断面的现场数据进行整理和分析,得到如下横向沉降曲线,见图 4。

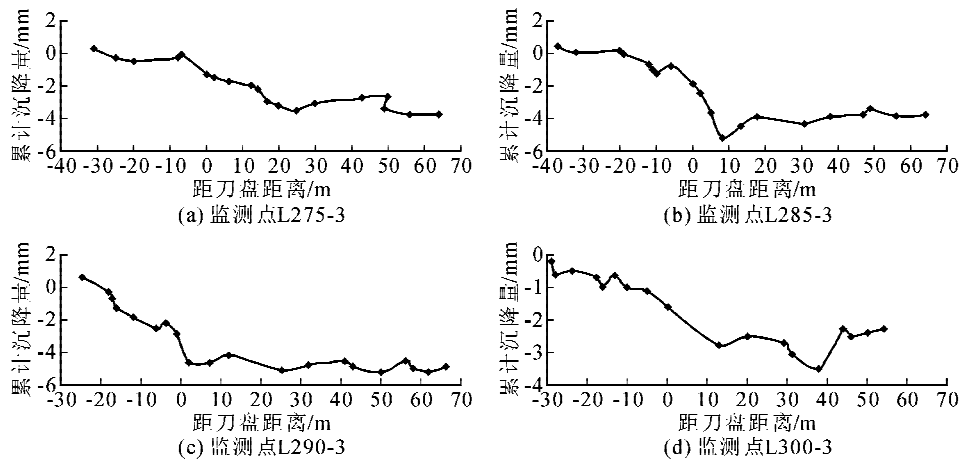


图 3 各监测点路面沉降与刀盘距离关系曲线

Fig. 3 Settlement curves of distance and monitoring point of L275-3, L285-3, L290-3 and L300-3

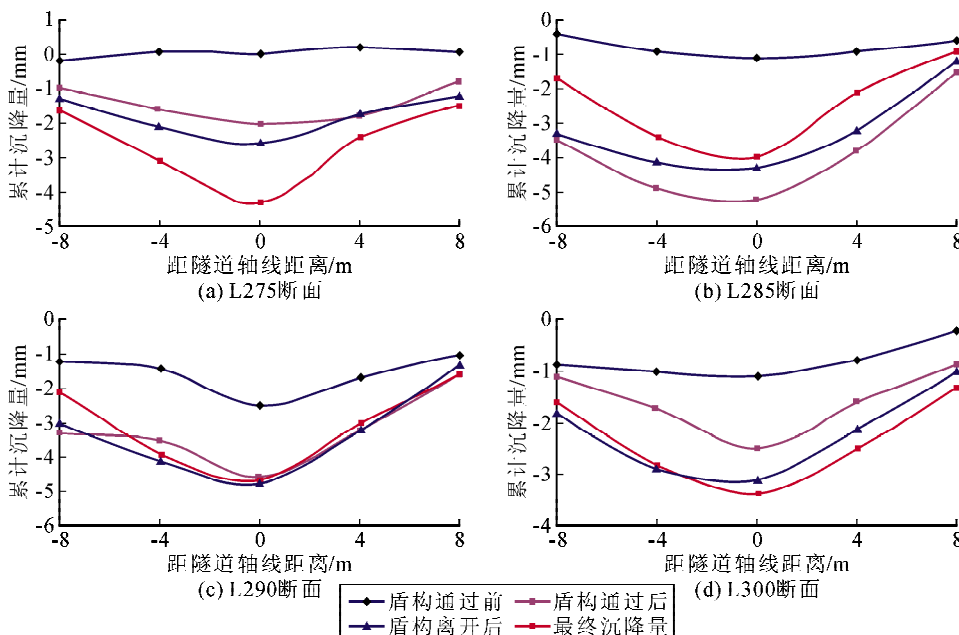


图 4 下行线各断面路面沉降曲线

Fig. 4 Settlement curves of downline L275-3, L285-3, L290-3 and L300-3 section

由以上 4 个典型断面沉降曲线图可以看出以下几点:

1) 单线盾构施工引起的路面横向沉降大致沿盾构隧道轴线中心呈对称分布,最大沉降发生在轴线中心的正上方,沉降槽类似于正态分布曲线,呈槽状,符合 Peck 地表沉降槽理论^[12]。

2) 盾构施工对路面沉降横向主要影响范围在隧道轴向中心 4 m 范围内,路面沉降拐点位于隧道轴线中心 4 m 之内,在这一区域其沉降平均值占最终沉降值的 70%~85%。

3) 盾构通过监测断面前后沉降量变化最大,施工过程中应注意该阶段对施工参数的优化,防止地表产生过大沉降。

3.3 中隔墙沉降分析

针对盾构下穿框架桥过程中,盾构施工破坏了土体平衡状态,从而引起隧道上方及周围土体发生位移,中隔墙受周围土体位移影响而产生相应变形。盾构掘进过程中通过对框架桥 1 号和 2 号中隔墙的监测点数据进行整理,分析得到如下时程沉降曲线,见图 5。

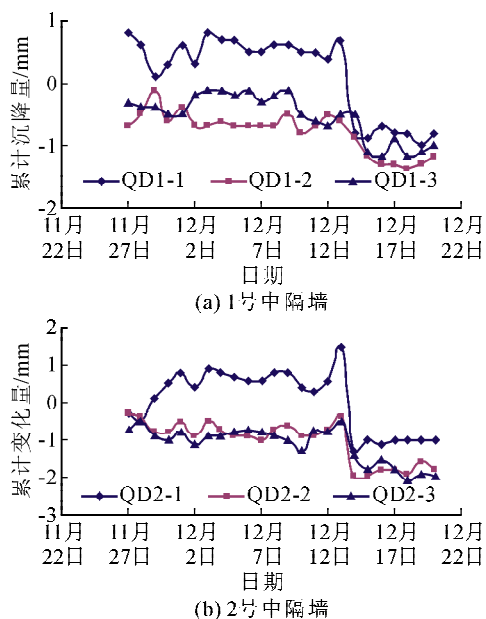


图 5 京九铁路框架桥 1 号、2 号中隔墙竖向位移曲线
Fig. 5 Vertical displacement curves of No 1 and No 2 partition wall of frame bridge of Jingjiu Railway

由图 5 可以看出以下几点。

1) 中隔墙的沉降规律与地表沉降规律相似,盾构通过前有微小沉降;盾构通过时,因土压力、注浆等施工参数桥墩沉降有所回升;盾构通过一段时间后,沉降基本达到平稳状态。

2) 1 号和 2 号中隔墙中的监测点 QD1-1 和 QD2-1、QD1-2 和 QD2-2、QD1-3 和 QD2-3 之间的沉降规律相似,但沉降量不同。

3) 同一隔墙上监测点 1[#] 不同于监测点 2[#]、3[#],它在盾构通过前呈现隆起,可能此处土体在盾构通过前受到挤压作用,从而引起中隔墙发生一定倾斜。

4 施工参数对沉降的影响分析

影响地表沉降的因素有很多,如盾构机土压力控制值、注浆压力、注浆量、推进速度、刀盘的转速等。在此主要对土压力控制值、注浆压力和注浆量三个因素进行分析。

4.1 土压力的控制

由于土压力升高或者降低对框架桥易于造成地面的隆起和沉降,因此在盾构下穿过程中要严格保持掘进面的土压稳定。根据本工程,下穿铁路框架桥段盾构隧道覆土厚度约为 7.17 m,盾构穿越框架桥段理论控制土压力应为 0.8 bar。两者对比见图 6。

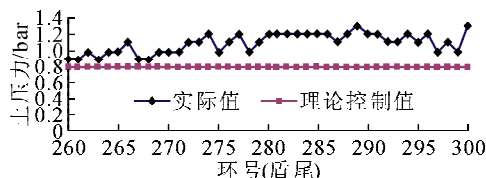


图 6 上覆土压力和理论控制土压力的比较
Fig. 6 Comparison between the actual earth pressure and soil pressure control

从图 6 可知,盾构施工过程中实际土压力始终大于控制值。在盾构施工穿越框架桥中实际土压力采用理论控制值的 1.4~1.6 倍,框架桥沉降波动保持在 1 mm 左右。

4.2 注浆压力与注浆量的确定

注浆压力通常由施工技术人员试验确定。本工程采用土压平衡盾构技术,理论注浆率为 100%~120%,注浆量为 2.88~3.46 m³/环,现场实际注浆压力、注浆量见图 7 和图 8。

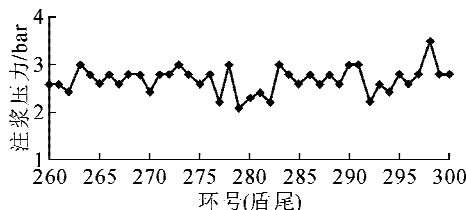


图 7 实际注浆压力
Fig. 7 The actual grouting pressure

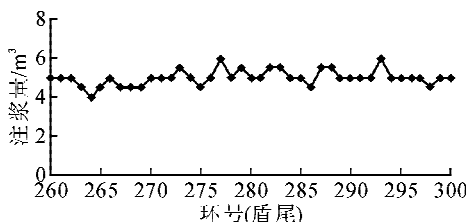


图 8 实际注浆量
Fig. 8 The actual quantity of grouting

从图 7 和图 8 可知,实际注浆压力为 2~3 bar 左右,实际注浆量为 4.5~6.0 m³/环,是理论注浆量的 150%~180%,注浆率为 150%~200%。从图 5、图 7 和图 8 可知,在盾构机尾部刚通过框架桥瞬时,框架桥有较大沉降速率,产生沉降较大,但通过加大注浆压力(由 2.4 bar 逐渐加到 3.5 bar),并保持注浆量在 5 m³/环左右,可使框架桥沉降有所回升,沉降逐步趋于稳定。

5 结 论

1) 项目盾构机刀盘前 10 m 以外和后 20 m 以外,为盾构隧道非影响区域;盾构机刀盘前 10 m 以内和后 20 m 以内为盾构隧道施工影响区域,其中又以刀盘前后 10 m 为主要影响区,盾构通过该区域产生的沉降占总沉降量的 44%~87%,在实际工程中,应加强该阶段监测,并及时反馈,以便优化施工参数,减少地表沉降。

2) 盾构施工对横向路面沉降的主要影响区域为隧道轴线两侧 4~8 m,约为盾构开挖的 1D~2D,并且在盾构通过后一周左右基本趋于稳定。

3) 盾构下穿框架桥时使得中隔墙周围土体发生了位移,而中隔墙受到周围土体一定的连动作用而产生相应的沉降,但不完全一致。在盾尾脱离时,中隔墙和土体沉降变化速率很快,沉降量明显增大,此时应注意该阶段施工参数的控制,其中土压力采用 1.1~1.3 bar、注浆压力采用 2~3 bar、注浆量采用 4.5~6 m³/环为宜,实现“确保注浆压力,兼顾注浆量”的双重保障原则。

4) 在整个穿越过程中,框架桥因盾构施工产生的最大沉降为 2.0 mm、最大隆起为 1.5 mm 均在控制范围内。盾构下穿框架桥时施工参数建议在:土压力控制在 1.4~1.6 倍上覆土压力,注浆量采用理论值 150%~180%,注浆率采用理论值 150%~200%。

参考文献:

[1] 璩继立. 盾构施工引起的地面长期沉降研究[D]. 上海: 同济大学, 2002.
Qu Jili. Study on the long-term ground settlement caused by shield construction [D]. Shanghai: Tongji University, 2002.

[2] 吴东海, 龙汉, 张希. 盾构法隧道施工纵向地表沉降的随机预测[J]. 岩土工程界, 2004, 7(12): 64-66.
Wu Donghai, Long Hai, Zhang Xi. Stochastic prediction of shield tunnel longitudinal ground settlement [J]. Geological Exploration For Non-ferrous Metals, 2004, 7(12): 64-66.

[3] 张云, 殷宗泽, 徐永福. 盾构法隧道引起的地表变形分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 12(3): 388-392.

Zhang Yun, Yin Zongze, Xu Yongfu. Analysis on three-dimensional ground surface deformations due to shield tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 12(3): 388-392.

[4] 陶龙光, 刘波, 丁城刚, 等. 盾构过地铁站施工对地表沉降影响的数值模拟[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(3): 27-31.
Tao Longguang, Liu Bo, Ding Chenggang, et al. Numerical simulation of ground settlement due to constructing metro-station based on shield tunneling[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(3): 27-31.

[5] 刘铭, 刘印, 王志良. 上海地区盾构施工扰动对隧道弹性沉降的影响估算方法[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2012, 28(3): 480-484.
Liu Ming, Liu Yin, Wang Zhiliang. Estimate method of elastic settlement of tunnel due to shield tunnel construction disturbance in Shanghai[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University(Natural Science), 2012, 28(3): 480-484.

[6] 李庆, 杨璐, 王场. 地铁隧道盾构施工引起地表沉降分析[J]. 企业技术开发, 2011, 30(3): 85-87.
Li Qing, Yang Lu, Wang Chang. Analysis on ground surface settlement caused by subway shield construction [J]. Technological Development of Enterprise, 2011, 30(3): 85-87.

[7] 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.
Yu Ning, Zhu Hehua. Analysis of earth deformation caused by shield tunnel construction and 3D-FEM simulation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(8): 1330-1334.

[8] 王跃力. 基于地铁双线盾构的隧道开挖地表沉降规律研究[J]. 交通标准化, 2012, 1: 102-104.
Wang Yueli. Ground settlement law of tunnel excavation based on metro double line shield [J]. Transportation Standardization, 2012, 1: 102-104.

[9] 冯国冠. 基于某地铁盾构隧道施工地表沉降的分析研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(4): 81-84.
Feng Guoguan. Based on the subway shield tunneling construction of surface subsidence analysis [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2010, 6(4): 81-84.

[10] 胡鑫. 长沙地铁二号线土压平衡盾构隧道施工引起的地表沉降特征研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
Hu Xin. Study of characteristics of ground surface settlement induced by EPB shield construction in Changsha No. 2 metro line [D]. Changsha: Central South University, 2012.

[11] 李文华. 大断面超小横净距双线地铁隧道施工控制技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
Li Wenhua. Study on tunnel construction control technology of large cross-section and ultra-small transverse spacing double-lane subway [D]. Changchun: Jilin University, 2013.

[12] Peck R B. Deep excavations and tunneling in soft ground[C]//Proc. 7th int. Conf. on SMFE. 1969: 225-290. (责任编辑 王卫勋)