

盾构隧道下穿施工对严重倾斜挡墙影响及加固措施分析

Analysis of the Influence of Shield Tunnel Construction on the Existing Serious Inclined Retaining Wall and the Reinforcement Measures in Advance

刘小锐¹, 张 晗²

(1. 北京市建设工程质量第三检测所有限责任公司, 北京 100037; 2. 北京市市政工程研究院, 北京 100037)

摘要: 地铁隧道施工会对地表上既有建筑物、城市道路交通设施等结构的安全产生不利影响, 地铁隧道施工前需评价既有道路设施的状态。目前地铁施工前影响范围的构筑物如有结构安全隐患, 往往不加分析的进行结构加固处置, 造成了费用的增加与工期的延迟, 甚至产生不良的社会影响。以北京地铁 12 号线某区间工程为例, 采用 FLAC 3D 数值模拟对地铁盾构下穿严重倾斜的既有装配式挡墙的影响进行分析。结果表明: 盾构下穿既有挡墙虽有部分严重倾斜, 但模拟结果显示安全, 施工后验证了挡墙无新增倾斜及其他变形, 因此在实际工程中可根据挡墙的形式及浇筑方式综合确定是否进行预加固处理。

关键词: 隧道下穿施工; 严重倾斜挡墙; 变形影响分析; 加固措施

中图分类号: TU375 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249 (2025) 01-0145-05

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2025.01.027

LIU Xiaorui¹, ZHANG Han²

(1. Beijing Construction Quality 3rd Text Limited Liability Company, Beijing 100037, China;
2. Beijing Municipal Engineering Research Institute, Beijing 100037, China)

Abstract: The construction of subway tunnel will have an adverse effect on the deformation of the superstructure. And the structural safety state of the surface structure before construction has a safety consideration for the construction of the tunnel project, and even determines the feasibility of the project implementation. Before subway construction, it is necessary to evaluate the status of existing road facilities. At present, if there are structural safety hazards in the structures before subway construction, structural reinforcement and disposal are often carried out without analysis, resulting in increased costs and delays in construction period, and even adverse social impacts. Taking the section of Hepingxiqiao Station ~ Guangximen Station of Beijing Metro Line 12 as an example, this paper analyzed the causes of the serious inclination of the existing prefabricated retaining wall based on the radar and total station detection data, and analyzed the influence of the construction of the subway section on the deformation of the retaining wall based on the continuous medium dynamics analysis software FLAC. It will avoid the existing measures of reinforcement when the inclination exceeds the standard, and save investment and construction period.

Key words: tunnel underpass construction; seriously inclined retaining wall; deformation impact analysis; reinforcement measures

0 引言

随着我国的经济发展和城市化建设, 地铁规模逐渐增大, 目前在建或已规划的地铁建设路线均需穿越城市繁华地区, 这些地区建(构)筑物、城市道路交通设施等均已建成并稳定运行、使用。地铁

研究与应用

隧道下穿施工,可能对该地区建(构)筑物、城市道路交通设施的安全性产生影响,因此,如何在轨道交通建设中保证既有结构的安全性,降低它们受邻近地铁隧道下穿施工影响的风险至关重要。

地铁隧道下穿施工随着城市地铁建设快速发展,市区内地铁施工对地表道路设施结构产生了不可忽视的影响,而开工前需对影响范围内的道路设施现状进行检测评价,进而分析地铁施工对道路设施的影响特征,挡土墙属于道路设施中较重要的部位,如挡墙结构在地铁施工的影响下风险较大,实际工程中,则往往在地铁隧道施工前需要在施工前对道路设施挡土墙结构进行预加固。

芮瑞等^[1]采用活动门下沉模拟隧道地层损失,考虑隧道埋深与宽度比、隧道埋深与侧限宽度比、隧道埋深与距离比技术指标进行模型试验,分析了盾构隧道穿越临近地下挡土结构时对挡土结构土压力和地表沉降的影响,得到侧限条件下挡土结构土压力和地表沉降的影响规律;宋月光^[2]首先基于理论分析的方法建立三维有限元模型对盾构下穿施工过程进行数值模拟,并将数值计算结果与实测数据进行了对比分析,对下穿施工存在的工程风险提出了针对性的保护措施;Jongpradist等^[3]对盾构穿越过程中桩基进行数值模拟,评估不同相对下桩基弯曲及沉降受盾构开挖的影响程度;陈迪猛^[4]对近距离侧穿高大挡墙进行了风险分析,并结合施工过程中的监测数据,得到了施工参数、注浆等措施对控制沉降的影响规律;沈宇鹏等^[5]采用Midas/GTS有限元软件分析了盾构法先后施工左右线隧道引起的挡墙的变形变化特征;王体广^[6]采用经验公式及有限元计算分析等方法,研究区间隧道各施工阶段和采取措施前后对桥梁、挡墙的影响;晁峰等^[7]对暗挖隧道穿越回填土挡墙施工风险进行分析,并就施工期间出现的沉降超限现象,提出了针对性处理措施;侯志国^[8]结合北京某地区积水治理项目实例,分析了顶管下穿施工对下凹立交桥区道路及其挡土墙的变形影响,提出了一系列变形控制措施;赵萌^[9]依托北京土城北桥区积水治理工程D1400 mm进出水管线工程,采取顶前预加固,控制顶进速度、出土量、泥水仓压力等技术措施,将变形量控制在允许范围内;马文辉等^[10]依托京沈客专望京双洞盾构隧道施

工下穿北京机场线路基工程,研究泥水盾构双洞先后下穿施工影响下既有挡墙式路基的沉降控制措施,通过分析现场监测数据及盾构施工参数,提出了控制沉降的盾构施工参数调控和注浆加固、沉降补偿的经验。

国内外学者通过理论分析、数值模拟并结合现场实测等手段,对工程穿越既有建(构)筑物的影响进行了大量的研究。目前对于地表已经存在严重变形的既有建(构)筑物,采用盾构法施工时一律采取先加固后施工方案,很少分析既有建(构)筑物变形的成因及加固的必要性与合理性。依托北京地铁12号线和平西桥站~光熙门站区间盾构下穿既有严重倾斜挡土墙项目,在分析既有挡墙倾斜原因的基础上,通过FLAC 3D模拟下穿施工过程,分析了施工影响下既有严重倾斜挡墙继续变形的风险提出预加固措施为类似工程提供参考。

1 工程概况

1.1 盾构施工概况

北京地铁12号线和平西桥站~光熙门站区间线路是一条重要的地铁规划交通路线,地铁隧道设计平面最小曲线半径为1 000 m,线间距为18.2~48.91 m,线路纵坡为“一”字坡,线路坡度为5.58‰。该区间为盾构法施工,工程施工需下穿北三环路装配式挡墙,施工过程中会对地上既有建(构)筑物扰动。

1.2 既有建(构)筑物概况

既有建(构)筑物为扶壁式挡墙,挡墙每隔16 m(在基础错台处及挡土墙与桥台相接处)设伸缩缝一道,缝宽均2 cm,缝内填沥青麻筋,填土一侧设油毡防水层,挡墙泄水孔间距4 m,设在距地面线以上30 cm板缝处,泄水孔采用外径30 mm镀锌钢管,孔眼进口处采用直径2.5~7.0 cm砾石堆料,直径不小于50 cm。地铁区间穿越位置挡土墙高度为0.5~4.3 m。挡墙实景如图1所示,挡墙结构如图2所示。

2 挡墙状态及倾斜成因

2.1 挡墙状态

以立板为界限划分挡墙单元,在检测范围内,

部分挡墙可见明显倾斜，但外观质量基本完好。倾斜严重的挡墙平面位置如图 3 所示。



图 1 挡墙实景图

Fig. 1 Real view of retaining wall

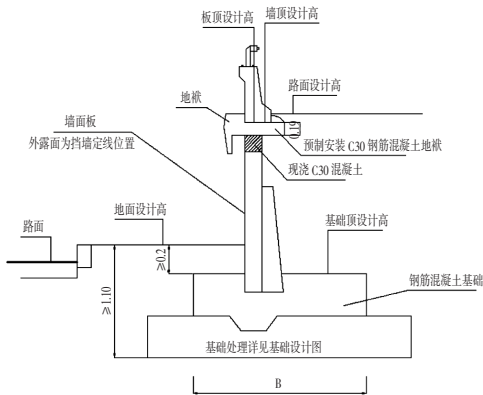


图 2 挡墙结构图

Fig. 2 Retaining wall structure diagram

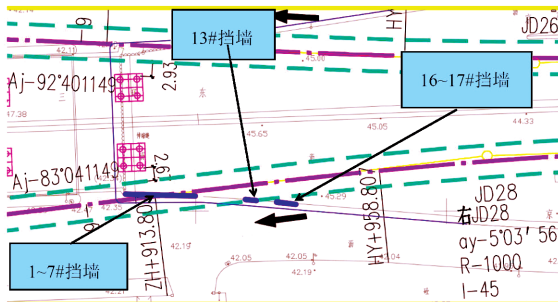


图 3 倾斜严重挡墙分布平面位置图

Fig. 3 Distribution plane position diagram of inclined serious retaining wall

采用全站仪对挡墙进行垂直度检测，检测结果表明，西侧高速入口南挡墙内共 10 个编号的挡墙倾斜较为严重，其中 4#挡墙的倾斜率达到 22.6‰，现场检测数据见表 1。

经现场踏勘发现，挡墙立板中部及底部共布设两道水平向挡墙缝隙，经判定为浇筑施工缝。对倾斜严重挡墙立板中部施工缝上下两部分挡墙斜率进行分别检测，检测结果显示，立板中缝上、下部的

垂直度均降低，其中 4#挡墙的倾斜率为 16.9‰，且部分挡墙中缝上部 and 下部存在了倾斜方向不一致现象，检测结果见表 2。

表 1 挡墙倾斜病害统计数据

Table 1 Retaining wall tilt disease statistics data

编号	垂直度/‰	倾斜方向	挡墙高度/m
1	-6.1	内倾	3.7
2	-10.4	内倾	3.6
3	-10.7	内倾	3.5
4	-22.6	内倾	3.5
5	-9.6	内倾	3.5
6	10.5	外倾	3.3
7	10.7	外倾	3.3
13	11.8	外倾	2.9
16	-7.8	内倾	2.7
17	-5.2	内倾	2.6

表 2 挡墙倾斜复核统计数据

Table 2 Proof test data of retaining wall inclination review

编号	复核部位	垂直度/‰	倾斜方向	挡墙高度/m
1	中缝上部	-6.8	内倾	3.7
	中缝下部	-1.6	内倾	
2	中缝上部	-10.1	内倾	3.6
	中缝下部	1.2	外倾	
3	中缝上部	-10.9	内倾	3.5
	中缝下部	1.5	外倾	
4	中缝上部	-16.9	内倾	3.5
	中缝下部	9.5	外倾	
5	中缝上部	-9.8	内倾	3.5
	中缝下部	1.3	外倾	
6	中缝上部	8.9	外倾	3.3
	中缝下部	-1.3	内倾	
7	中缝上部	8.9	外倾	3.3
	中缝下部	-1.4	内倾	
13	中缝上部	9.6	外倾	2.9
	中缝下部	-2.1	内倾	
16	中缝上部	-7.1	内倾	2.7
	中缝下部	2.2	外倾	
17	中缝上部	-4.6	内倾	2.6
	中缝下部	2.1	外倾	

用地质雷达对挡墙基础下部的密实性进行探测，挡墙地基密实度探测云图如图 4 所示。探测结果表明，地层反射波没有出现中断、不连续现象，地层反射波组特征差异不明显。

2.2 挡墙倾斜严重成因分析

检测结果显示部分挡墙倾斜严重，倾斜无明显规律性，挡墙基础下部无不密实情况，挡墙基础未发生不均匀沉降，同一挡墙施工缝上、下部分倾斜

研究与应用

垂直度不一致,因此推测挡墙倾斜斜率异常原因主要为挡墙施工过程中施工缝上、下现浇段垂直度控制不良。

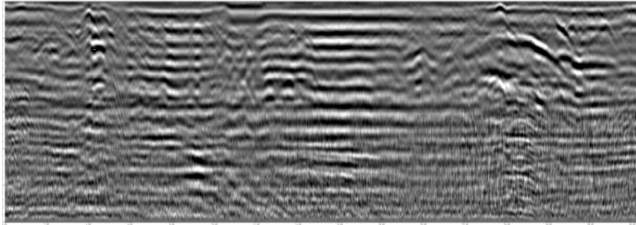


图4 挡墙地基密实度探测云图

Fig.4 Cloud image of retaining wall foundation compactness detection

3 数值模拟分析

3.1 数值模型的建立

为研究盾构隧道下穿施工对既有严重倾斜挡墙影响规律,采用连续介质动力学分析软件 (FLAC 3D) 对盾构隧道下穿严重倾斜挡墙建立数值模拟分析模型。

模型采用土压平衡式盾构,盾构区间内径 5.4 m,管片厚 300 mm。盾构下穿挡墙段覆土约 21 m,考虑边界条件和实际计算能力,计算模型尺寸为 30 m × 20 m × 38 m (长 × 宽 × 高),模型下部采用固定约束边界,上部采用自由边界,其余侧采用水平约束边界。数值模型划分为 75 212 个实体单元,13 430 个节点。隧道穿越挡墙数值模型如图 5 所示,隧道与挡墙位置关系模型如图 6 所示。

FLAC3D 3.00
Step 33105 Model Perspective
11:34:11 Mon May 15 2023
Center: X: 3.446e+001 Y: 1.000e+001 Z: -7.046e-001
Rotation: X: 20.000 Y: 0.000 Z: 130.000
Dist: 1.441e+002 Mag.: 1
Increments: Move: 4.723e+000 Ang: 22.500 Rot.: 10.000

Block Group
地层土体
盾构隧道结构
挡墙底板
挡墙17
挡墙16
挡墙13
挡墙7
挡墙6
挡墙5
挡墙4
挡墙1
挡墙2
挡墙3

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

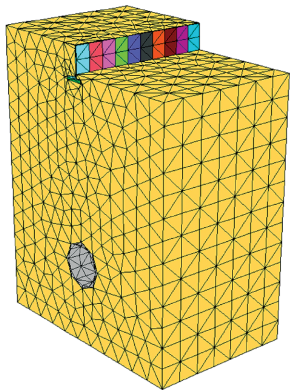


图5 隧道穿越挡墙数值模型图

Fig.5 Numerical model of tunnel crossing retaining wall

3.2 模型参数选取

混凝土材料及挡土墙采用线弹性模型模拟,各

层土体采用 Duncan - Chang 非线性双曲线模型。各个土层的参数根据地勘报告取值,由于覆土土层较多,可将性质相近的土层划分为一类土层,模型地层共划分为 5 层,各土层参数见表 3。

3.3 计算分析

对盾构下穿进行施工模拟分析后得到施工完成后挡土墙水平位移计算云图,如图 7 所示。

FLAC3D 3.00
Step 33105 Model Perspective
11:35:49 Mon May 15 2023
Center: X: 3.545e+001 Y: 9.169e+000 Z: 2.846e+000
Rotation: X: 20.000 Y: 0.000 Z: 140.000
Dist: 1.441e+002 Mag.: 1.25
Increments: Move: 4.723e+000 Ang: 22.500 Rot.: 10.000

Block Group
盾构隧道结构
挡墙底板
挡墙17
挡墙16
挡墙13
挡墙7
挡墙6
挡墙5
挡墙4
挡墙1
挡墙2
挡墙3

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

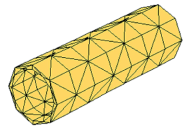
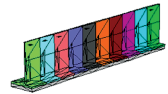


图6 隧道与挡墙位置关系模型图

Fig.6 Model diagram of tunnel and retaining wall position relationship

表3 土层力学参数

Table 3 Mechanical parameters of soil layer

编号	材料名称	重度/ (kN/m ³)	压缩模量 /MPa	静止侧压 力系数	黏聚力 /kPa	内摩擦角 / (°)
1	素填土	15.3	3.0	0.50	6.0	15.0
2	含碎石 粉质黏土	16.8	3.5	0.52	26.8	20.0
3	粉土	15.6	13.2	0.36	23.4	23.1
4	细沙	20.5	26.8	0.32	4.0	35.8
5	混凝土	25.0	3 × 10 ⁴	0.30	-	-

FLAC3D 3.00
Step 33105 Model Perspective
11:37:30 Mon May 15 2023
Center: X: 3.866e+001 Y: 7.433e+000 Z: 1.270e+001
Rotation: X: 20.000 Y: 0.000 Z: 140.000
Dist: 1.441e+002 Mag.: 2.44
Increments: Move: 4.723e+000 Ang: 22.500 Rot.: 10.000

Contour of X-Displacement
Magfac = 0.000e+000
2.6869e-005 to 4.0000e-005
4.0000e-005 to 6.0000e-005
6.0000e-005 to 8.0000e-005
8.0000e-005 to 1.0000e-004
1.0000e-004 to 1.2000e-004
1.2000e-004 to 1.4000e-004
1.4000e-004 to 1.6000e-004
1.6000e-004 to 1.8000e-004
1.8000e-004 to 2.0000e-004
2.0000e-004 to 2.0401e-004
Interval = 2.0e-005

Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

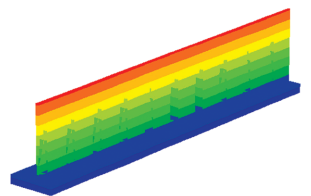


图7 施工完成后挡墙水平位移云图

Fig.7 Horizontal displacement diagram of retaining wall after completion of construction

由数值模拟计算的结果分析可知，挡墙的变形减小，最大增加水平位移仅为 0.35 mm，最大新增倾斜率为 0.26‰，最大沉降为 5.8 mm。由施工引起的挡墙变形较小，数值模拟结果小于控制指标值。分析结果表明盾构施工对既有挡墙的变形影响较小，挡墙的倾斜斜率无发展风险，因此施工前对该斜率较大的挡墙无需采取预加固措施，建议将挡墙锚索及腰梁加固措施作为应急加固措施，当施工过程中出现挡墙倾斜超标甚至有倾覆风险时及时施加应急措施。

4 地铁施工后挡墙监测结果

该地铁区间按照预先设计正常穿越施工，并未预先施加任何预加固措施，只是针对倾斜较大的 1~7#、13#、16~17#挡墙加密监测。

施工完成后，挡墙最大沉降量为 3.2 mm，新增最大水平位移为 0.21 mm。挡墙无新增倾斜及沉降等变形。

5 结论

以北京地铁 12 号线某区间工程为例，通过对挡墙较大倾斜斜率的成因分析，数值模拟分析，施工期间加密监测等措施来判断挡墙的倾斜斜率在区间穿越的过程中有无新增发展的风险，结论表明：无需对该倾斜较大挡墙进行预加固措施处理，只需加强监测做好应急保障措施；在实际工程中建议根据挡墙的形式及浇筑方式，需要对挡墙病害检测方式有所区别，作为挡墙的重要指标的倾斜斜率更应谨

慎对待，采取多种检测方式方法校核验证，对倾斜较大的原因及时进行分析，力求客观准确，采取合理的方式综合判定是否进行欲加固措施。

参 考 文 献

- [1] 芮瑞, 何清, 陈成, 等. 盾构穿越临近地下挡土结构土压力及沉降影响模型试验 [J]. 岩土工程学报, 2020, 42 (5): 864 - 872.
- [2] 宋月光. 地铁盾构区间下穿挡墙式铁路路堤变形控制措施研究 [J]. 铁道勘察, 2021, 47 (2): 128 - 134.
- [3] JONGPRADIST P, KAEWSRI T, SAWATPARNICH A, et al. Development of tunneling influence zones for adjacent pile foundations by numerical analyses [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2013, 34: 96 - 109.
- [4] 陈迪猛. 盾构近距离侧穿高大挡墙施工及沉降控制措施 [J]. 广东建材, 2022, 38 (10): 97 - 100, 48.
- [5] 沈宇鹏, 王辉煌, 黄乐艺, 褚满帅. 盾构下穿高速公路扶壁式挡土墙的变形分析 [J]. 铁道工程学报, 2015, 32 (1): 27 - 31, 37.
- [6] 王体广. 复杂环境下不同工法地铁结构多次穿越大型市政立交桥及挡墙影响分析 [J]. 隧道建设 (中英文), 2023, 43 (增刊 2): 78 - 90.
- [7] 晁峰, 油新华, 郭小红, 等. 暗挖隧道穿越回填土挡墙施工技术 [J]. 现代隧道技术, 2020, 57 (增刊 1): 1107 - 1112.
- [8] 侯志国. 顶管穿越下凹式立交桥区道路及挡墙变形控制技术研究 [J]. 交通世界, 2020 (23): 104 - 105.
- [9] 赵萌. 顶管穿越下凹式立交桥区道路及挡墙变形控制技术 [J]. 建筑技术, 2018, 49 (11): 1205 - 1207.
- [10] 马文辉, 杨成永, 彭华, 等. 大直径泥水盾构下穿地铁挡墙路基沉降控制 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2020, 47 (3): 44 - 53.

E - mail : fhmzhly@163.com