

Analysis on Measures of Grouting Reinforcement of Shield Tunnel Crossing Buildings in Shenyang Metro

Ju Chen

Shenyang Metro Corporation, Shenyang Liaoning
Email: 271112949@qq.com

Received: May 9th, 2018; accepted: May 25th, 2018; published: May 31st, 2018

Abstract

Based on the shield tunnel engineering of the Shenyang metro line 10, the different scheme of grouting reinforcement for the shield underpass buildings is studied. The building settlement control in best situation is obtained when the grouting reinforcement area is 1.5 m above the tunnel roof, the thickness of grouting reinforcement area is 3 m and its width varies in 7.5 - 8.5 m along the axis of the tunnel. This result is further verified by the site operation, and it also provides valuable experience for the construction of Shenyang metro at the same time.

Keywords

Shenyang Metro, Shield Tunnel, Grouting Reinforcement, Building Settlement

沈阳地铁盾构区间穿越建筑物注浆加固措施分析

陈菊

沈阳地铁集团有限公司, 辽宁 沈阳
Email: 271112949@qq.com

收稿日期: 2018年5月9日; 录用日期: 2018年5月25日; 发布日期: 2018年5月31日

摘要

依托沈阳地铁十号线某盾构区间下穿建筑物的工程实例, 对盾构下穿建筑物所采用的注浆加固方案进行

了研究,得到了加固区距隧道拱顶1.5 m、水平宽度沿隧道轴线向两侧各取7.5~8.5 m且厚度3 m时建筑物沉降控制效果最好,此结论得到现场施工效果进一步验证,同时为沈阳地铁盾构区间下穿建筑物提供了宝贵的经验。

关键词

沈阳地铁, 盾构, 注浆加固, 建筑物沉降

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市建设的快速发展,城市轨道交通工程依旧表现出高速发展态势,城市轨道交通多为地下工程,地质条件和周边环境复杂,工程技术难度高,盾构施工由于其机械化与自动化程度高,依旧作为城市轨道交通的主要方法。盾构隧道穿越建筑物、桥梁、既有线、铁路等风险源是在城市地铁修建过程中极为常见的,研究盾构区间穿越建筑物的加固措施是非常有必要的[1]-[11]。

胥明[12]等结合南昌地铁盾构工程研究得到控制盾构开挖造成建筑物不均匀沉降的最佳注浆浆液配比。蔡小培[13]等在考虑高速铁路结构间的相互作用条件下对盾构下穿高速铁路时路基与铁路变形进行分析,得到了盾构下穿对列车运行的影响规律。胡长明[14]等结合突变理论分析盾构下穿危旧房屋及河流段的风险性,得到了合理的施工参数。何志辉[15]针对盾构穿越不同风险等级的建筑物时的情况,研究得到不同注浆加固范围及盾构掘进参数。

本文依托沈阳地铁十号线滂~长盾构施工区间对盾构下穿高层建筑时采用不同注浆加固措施得到的加固效果进行分析,并研究出最佳注浆加固方案。

2. 工程概况

2.1. 区间工程概况

沈阳地铁十号线滂~长盾构区间沿滂江街敷设,区间右线长度为870.598 m,左线长度为878.782 m,隧道断面形式为单洞单线圆形断面,线间距12~17 m,线路为单向坡。整个盾构区间该区间下穿2处建筑物,为一级风险,情况如下:1)在K16+420~470处盾构下穿瑞光北巷3-1号楼,该楼由2层商铺和6、7层老旧住宅楼组成,均为砖混结构,基础为条形基础,房龄约30年,该处区间覆土约18 m;2)在K16+530~590处盾构下穿滂江街37号楼,该楼为8层砖混结构住宅楼,基础为条形基础,房龄约30年,该处区间覆土约17.6 m。

结合实际施工可知存在三种形式的隧道断面与建筑物关系,如图1所示。图1中(a)表示楼房右侧与隧道右边缘平齐;(b)表示楼房右侧与隧道左边缘平齐;(c)表示楼房右侧与隧道左边缘水平间距4 m。

2.2. 工程地质概况

场地地基土主要由第四系全新统和更新统粘性土、砂类土及碎石类土组成。区间隧道主要穿越砾砂及圆砾层。地下水主要为孔隙潜水,水位随季节影响而有所变化,地下水位埋深7.0 m左右。

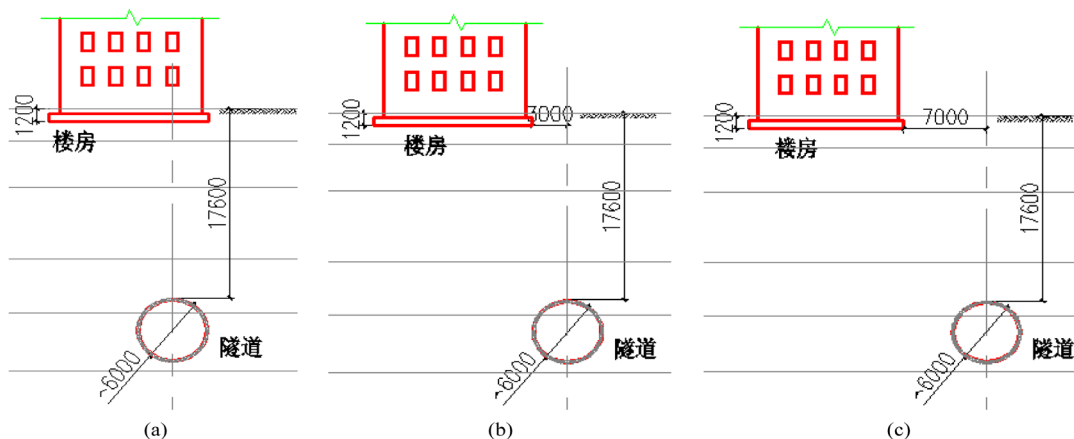


Figure 1. Relative Position between Tunnel and Building
图 1. 隧道与建筑物的相对位置关系

3. 盾构区间穿越建筑物加固措施数值模拟研究

3.1. 注浆加固方案的选取

结合本工程实际穿越建筑物的实际情况，注浆加固方案主要从上方注浆加固区的厚度、注浆加固区的水平宽度两方面进行分析。结合实际隧道与建筑物的相对位置，注浆加固厚度选取最不利工况进行分析(图 1(a)所示)，注浆加固区水平宽度选取图 1(a)与图 1(b)两种位置关系分析。

对于注浆加固区的厚度的研究，首先确定加固区宽度，结合实际工况设计标准，加固总宽度为 17 m，加固体底部距隧道拱顶 1.5 m，宽度以隧道轴线为中线两侧各取 8.5 m，加固区厚度分别取值为 3 m、4 m 和 5 m，见图 2。

对于注浆加固区水平宽度的研究，结合实际设计工况首先固定注浆加固区厚度为 3 m，加固体底部距隧道拱顶 1.5 m。假设注浆加固区处于隧道中心线左侧宽度为 A，右侧宽度为 B，加固区总宽度为 A + B(见图 3)，研究 A、B 不同取值对建筑物的沉降影响，取值见表 1。

3.2. 数值模拟模型的建立

本文采用岩土工程大型通用有限元软件 Midas-GTS 进行分析，选取两段隧道下穿建筑物的最危险断面，采用二维有限元数值模型进行分析(图 4)。土体材料服从摩尔库伦屈服准则，模型土体及楼房采用实体单元模拟，盾构隧道衬砌采用梁单元模拟且其材料采用弹性结构。建模严格遵照 3~5 倍隧道洞径的宽度选取，模型总长 350 m，高 150 m，整个模型底部土体采用铰接约束，两侧土体采用侧向水平约束，材料参数见表 2。

3.3. 数值模拟结果分析

1) 注浆加固区不同厚度分析

对于注浆加固方案中加固区厚度分别取值为 3 m、4 m 和 5 m 的数值计算结果如表 2 所示，为了更加明显的表达出不同加固厚度对隧道拱顶与建筑物沉降计算结果的影响，引入无加固条件下的陈将计算结果与降低百分比，降低百分比计算公式为：

$$\text{降低百分比} = (\text{注浆加固沉降计算值} - \text{无加固沉降计算值}) \times 100\% / \text{无加固沉降计算值}。$$

由表 3 可知，隧道上方土体经加固区达到本文设定厚度后，隧道拱顶、建筑物沉降量达到 50%左右，

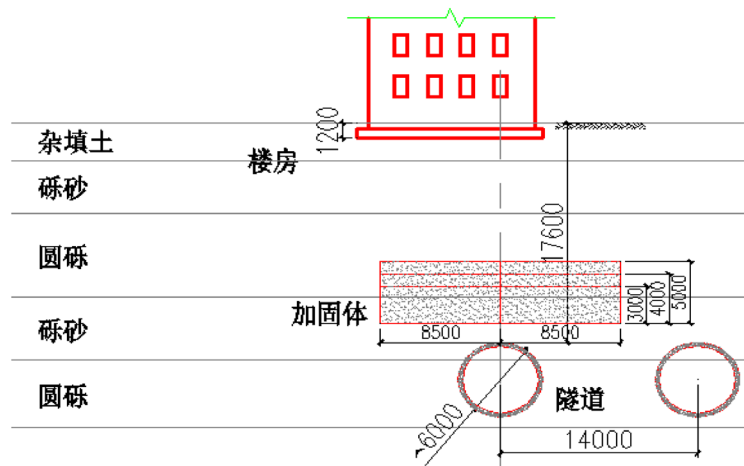


Figure 2. Thickness of Grouting Reinforcement Area above Tunnel (unit: mm)

图 2. 隧道上方注浆加固区的厚度研究模型图(单位: mm)

Table 1. Different values of A and B (unit: m)

表 1. A、B 的不同取值(单位: m)

| 位置一 | | 位置二 | |
|-----|-----|-----|-----|
| A | B | A | B |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8.5 | 8.5 | 8.5 | 8.5 |
| 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| 3 | 3 | 3 | 3 |
| 8.5 | 3 | 8.5 | 3 |
| 7.5 | 3 | 7.5 | 3 |
| 6.5 | 3 | 6.5 | 3 |
| 8.5 | 7.5 | 8.5 | 7.5 |
| 8.5 | 6.5 | 8.5 | 6.5 |
| 7.5 | 6.5 | 7.5 | 6.5 |
| | | 8.5 | 0 |
| | | 7.5 | 0 |
| | | 6.5 | 0 |
| | | 3 | 0 |

沉降量大幅度降低, 效果明显。结合此三种工况条件下的计算结果, 加固区厚度每增加 1 m 对隧道拱顶与建筑物沉降值影响值在 0%~3% 以内, 影响程度很小, 考虑到施工加固的技术条件与施工成本, 加固区厚度取 3 m 较为合适。

2) 注浆加固区不同宽度分析

① 位置关系一计算结果分析

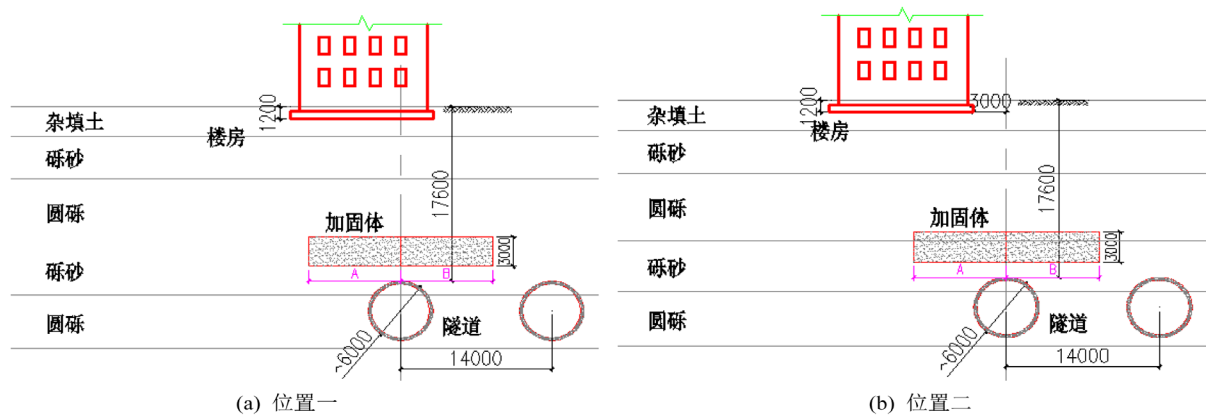


Figure 3. Width of Grouting Reinforcement Area above Tunnel (unit: mm)

图 3. 注浆加固区水平宽度研究模型图(单位: mm)

Table 2. Parameters of Material

表 2. 材料参数

| 参数 材料 | 密度 ρ (kg/m ³) | 泊松比 μ | 黏聚力 c (kPa) | 内摩擦角 φ (°) | 弹性模量(MPa) |
|----------|-----------------------------------|-----------|------------------|-----------------------|-----------|
| 杂填土 | 1700 | 0.33 | 16 | 20 | 12 |
| 砾砂 | 1850 | 0.35 | 0 | 30 | 28 |
| 圆砾 | 1980 | 0.35 | 0 | 36 | 33 |
| 注浆 | 2000 | 0.30 | 1800 | 42 | 49 |
| 管片 | 2500 | 0.17 | — | — | 34,500 |

Table 3. Calculation Results of Different Thickness of Grouting Reinforcement Area above Tunnel

表 3. 不同注浆加固区厚度计算结果

| 注浆加固 厚度(m) | 沉降值(mm) | | | |
|---------------|---------|--------|-------|--------|
| | 隧道拱顶 | 降低百分比 | 建筑物 | 降低百分比 |
| 无加固 | 43.93 | — | 11.81 | — |
| 3 | 22.94 | 47.78% | 6.38 | 45.98% |
| 4 | 21.32 | 51.47% | 6.16 | 47.84% |
| 5 | 21.03 | 52.13% | 6.17 | 47.76% |

对于注浆加固方案中加固区宽度 A、B 的取值及计算结果如表 4 所示, 同理, 为方便分析, 引入降低百分比。

由表 4 可知当 A 与 B 的取值相同时, 两侧水平加固宽度越大, 隧道拱顶与建筑物沉降量越小, 并且加固区为 6.5~8.5 m 时相比 3~6.5 m 时, 隧道拱顶沉降平均水平降低约 20%左右, 建筑物沉降平均水平降低约 19%左右。当 A 与 B 的取值不同时且 A 处于 6.5~8.5 m 时, B 的取值对最终的沉降影响显著, 变化范围达到沉降降低水平波动在 0~20%之间, 两侧水平加固宽度为 7.5 m~8.5 m 时, 加固效果好, 可使隧道拱顶、建筑物沉降值降低近 40%~45%。隧道中心线两侧水平加固宽度为 3 m 时, 加固效果差, 效果不明显。

②位置关系二计算结果分析

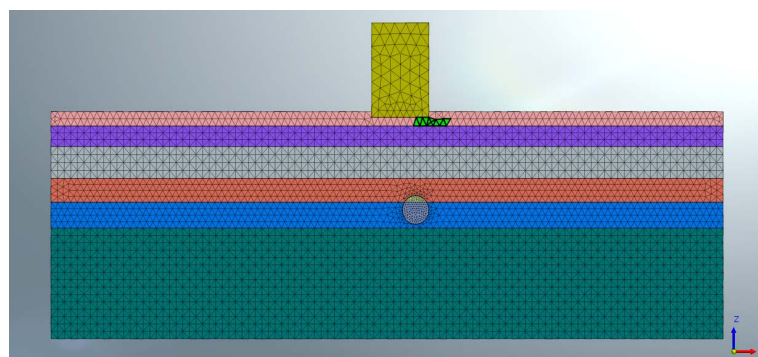


Figure 4. Finite Element Model

图 4. 有限元模型

Table 4. Calculation Results of Different Width of Grouting Reinforcement Area above Tunnel in Position 1

表 4. 位置一注浆加固区宽度对沉降的影响比较表

| 加固范围 | | 沉降值(mm) | | | |
|------|------|---------|--------|-------|--------|
| A(m) | B(m) | 隧道拱顶 | 降低百分比 | 建筑物 | 降低百分比 |
| 0 | 0 | 43.93 | — | 11.81 | — |
| 8.5 | 8.5 | 22.94 | 45.98% | 6.38 | 44.76% |
| 7.5 | 7.5 | 23.4 | 41.83% | 6.87 | 40.56% |
| 6.5 | 6.5 | 24.01 | 37.00% | 7.44 | 35.63% |
| 3 | 3 | 30.24 | 8.04% | 10.86 | 7.52% |
| 8.5 | 3 | 26.93 | 30.74% | 8.18 | 30.08% |
| 7.5 | 3 | 27.15 | 28.20% | 8.48 | 27.66% |
| 6.5 | 3 | 27.35 | 25.57% | 8.79 | 25.07% |
| 8.5 | 7.5 | 23.16 | 43.95% | 6.62 | 42.61% |
| 8.5 | 6.5 | 23.47 | 41.66% | 6.89 | 40.20% |
| 7.5 | 6.5 | 23.68 | 39.46% | 7.15 | 38.14% |

由表 5 可知当 A 与 B 的取值相同时, 其沉降变化规律与位置一情况类似, 但加固区为 6.5~8.5 m 时相比 3~6.5 m 时, 隧道拱顶沉降平均水平降低约 15% 左右, 相比于位置一影响减小, 建筑物沉降平均水平降低约 10% 左右。当 A 与 B 的取值不同时且 A 处于 6.5~8.5 m 时, B 的取值对最终的沉降影响同样显著, 但变化范围达到沉降降低水平波动在 0%~17% 之间, 两侧水平加固宽度为 7.5 m~8.5 m 时, 依旧加固效果好, 可使隧道拱顶、建筑物沉降值降低近 45%~48%。同时 B 侧取值为 0 沉降控制量能达到水平加固宽度为 7.5 m~8.5 m 时的一半水平。

4. 现场实施方案及效果

结合实际工况与第 3 部分的分析结果, 盾构实际采用注浆加固区厚度为 3 m, 水平加固总宽度为 17 m ($A = B = 8.5$ m), 注浆加固体底部距隧道拱顶 1.5 m。实际施工过程中采用上述措施后, 左线盾构区间造成建筑物本次沉降量为 1.3~2.1 mm, 叠加右线盾构区间引起建筑物 3.4~4.7 mm 的沉降量, 建筑物最大累计沉降量为 6.5 mm, 实际沉降比计算沉降(10~11 mm)减小了 4 mm, 达到预期建筑物沉降的控制效果, 安全的穿越了建筑物。

Table 5. Calculation Results of Different Width of Grouting Reinforcement Area above Tunnel in Position 2
表 5. 位置二注浆加固区宽度对沉降的影响比较表

| 加固范围 | | 沉降值(mm) | | | |
|------|------|---------|--------|------|--------|
| A(m) | B(m) | 隧道拱顶 | 降低百分比 | 建筑物 | 降低百分比 |
| 0 | 0 | 40.29 | — | 8.81 | — |
| 8.5 | 8.5 | 20.86 | 48.23% | 5.54 | 37.12% |
| 7.5 | 7.5 | 21.33 | 47.06% | 5.88 | 33.26% |
| 6.5 | 6.5 | 21.94 | 45.54% | 6.25 | 29.06% |
| 3 | 3 | 27.79 | 31.03% | 8.28 | 6.02% |
| 8.5 | 3 | 24.39 | 39.46% | 6.82 | 22.59% |
| 7.5 | 3 | 22.78 | 43.46% | 6.72 | 23.72% |
| 6.5 | 3 | 24.77 | 38.52% | 7.34 | 16.69% |
| 8.5 | 7.5 | 21.04 | 47.78% | 5.67 | 35.64% |
| 8.5 | 6.5 | 21.31 | 47.11% | 5.83 | 33.83% |
| 7.5 | 6.5 | 21.58 | 46.44% | 6.05 | 31.33% |
| 8.5 | 0 | 30.65 | 23.93% | 6.92 | 21.45% |
| 7.5 | 0 | 30.81 | 23.53% | 7.19 | 18.39% |
| 6.5 | 0 | 31.02 | 23.01% | 7.47 | 15.21% |
| 3 | 0 | 33.52 | 16.80% | 8.81 | 0.00% |

5. 结论及建议

基于以中粗砂和圆砾为主的沈阳地区地质条件特点,对于盾构下穿区建筑物施工期间采用的土层注浆加固方案进行研究,得出以下几点结论:

1) 隧道上方加固区厚度取 3 m 条件下得到的建筑物沉降相比无加固时下降了约 50%,并且在此基础上注浆加固厚度越厚,沉降量改变幅度不明显。

2) 隧道上方注浆加固体底部距隧道拱顶 1.5 m 且加固区水平宽度沿隧道轴线向两侧各取 7.5~8.5 m 时,对沉降控制效果最好。

3) 实际施工控制好盾构施工参数、推进姿态,及时同步及二次注浆与采用合理的注浆加固方案同样重要,是成功穿越建筑物的关键。

参考文献

- [1] 贺美德,刘军,乐贵平,王梦恕,张顶立. 盾构隧道近距离侧穿高层建筑的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(3): 603-608.
- [2] 王晓锋. 超大直径盾构下穿地下管线的变形及其安全控制研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(1): 169-173.
- [3] 杨战博,寇君淑,杨欢,等. 关林子公路隧道下穿既有道路施工风险评估[J]. 水利与建筑工程学报, 2016, 14(2): 30-34.
- [4] 史芳. 地铁车站下穿既有结构风险分析[J]. 低温建筑技术, 2014, 36(5): 111-114.
- [5] 许奎. 新建地铁隧道密贴下穿既有地铁车站风险控制研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [6] 王刚,李俊松,张兴刚. 地铁区间暗挖隧道下穿既有铁路站场安全风险研究[J]. 铁道标准设计, 2014, 58(9): 93-98.
- [7] 张恒臻. 地铁盾构隧道下穿既有铁路沉降分析与控制研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2015.

-
- [8] 张旭, 张成平, 韩凯航, 等. 隧道下穿既有地铁车站施工结构沉降控制案例研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(4): 759-766.
- [9] 石建泽. 某盾构下穿北京地铁双线盾构区间结构变形分析及控制研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [10] 王子甲, 陈峰, 梁青槐. 双线暗涵近距离下穿既有地铁车站的沉降研究[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(2): 385-390, 397.
- [11] 李骥. PBA 工法地铁车站密贴下穿既有车站工程风险控制研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [12] 胥明, 张细宝, 刘卫, 何小辉, 阳军生. 南昌地铁盾构下穿建筑物注浆加固技术研究[J]. 中外公路, 2016, 36(1): 11-14.
- [13] 蔡小培, 蔡向辉, 谭诗宇, 彭华, 郭亮武. 盾构下穿施工对高速铁路轨道结构的影响研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(7): 11-17.
- [14] 胡长明, 张文萃, 陆征宇, 梅源. 基于突变理论的盾构下穿危旧房屋及河流段风险评价与控制方法研究[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(4): 1221-1227.
- [15] 何志辉. 地铁隧道盾构法施工下穿建筑物沉降分析与控制[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 湖北工业大学, 2017.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjce@hanspub.org