

无水砂卵石地层盾构施工下穿建筑物风险分析与控制

高丽娟

新疆维吾尔自治区交通建设管理局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年3月30日; 录用日期: 2022年4月19日; 发布日期: 2022年4月29日

摘要

目前地下掘进技术已取得显著发展, 盾构法也被运用在众多城市地铁隧道施工中。地铁隧道往往建设在城市中建筑物高度集中的地段, 施工过程必然会引起对邻近建筑物的影响。而这一影响在无水砂卵石地层的隧道施工中更为明显, 建筑物有开裂、变形的风险。本文对无水砂卵石地层盾构施工下穿建(构)筑物的风险进行分析, 并介绍相应控制措施。

关键词

盾构机, 砂卵石, 风险分析, 控制措施

Risk Analysis and Control of Shield Construction under Buildings in Anhydrous Sandy Pebble Stratum

Lijuan Gao

Traffic Construction Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang

Received: Mar. 30th, 2022; accepted: Apr. 19th, 2022; published: Apr. 29th, 2022

Abstract

At present, the underground tunneling technology has made remarkable development, and the shield method has also been used in the construction of many urban subway tunnels. Subway tunnels are often built in areas where buildings are highly concentrated in cities, and the construction process will inevitably have an impact on adjacent buildings. This effect is more obvious

in tunnel construction in anhydrous sandy pebble stratum, and the buildings have the risk of cracking and deformation. This paper analyzes the risk of shield construction under buildings (structures) in anhydrous sandy pebble stratum, and introduces the corresponding control measures.

Keywords

Shield Machine, Sandy Pebbles, Risk Analysis, Control Measures

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

无水砂卵石地层含大量卵石颗粒,颗粒之间几乎没有任何胶结力,使得该种土体的自身稳定性极差,力学性质不稳定。在此种地层进行盾构施工时,盾构刀盘在旋转作业时切削土体极易破坏地层原有平衡状态,开挖面的稳定性也会受到一定影响,造成地表变形、下沉,管线变形破坏等问题。而这些问题势必会对邻近建筑物产生影响,造成损害。由于无水砂卵石地层盾构施工中的种种难题,在此施工工程中的风险管控十分必要。本文以乌鲁木齐地铁一号线为研究背景,分析了在此种特殊地层中进行盾构施工的风险,并提出相应的风险控制方法(图 1)。



Figure 1. Sample of anhydrous sand and pebble soils
图 1. 无水砂卵石土样貌

2. 盾构施工下穿建(构)筑物风险分析与控制

本节从总体概念上阐述无水砂卵石地层盾构施工过程中的施工风险,并对施工过程对建筑物的影响以及产生的风险进行分析,并提出对应的控制措施。

2.1. 盾构施工下穿建(构)筑物影响分析及风险分析

2.1.1. 盾构施工引发既有桩基承载力变化

盾构施工会引起无水砂卵石地层的变形,改变桩基周围土体的力学性能[1] [2]。施工带来的影响主要有三方面:

- 1) 盾构施工会引起土体的变形，桩基周围土体的变形会对桩体产生摩阻力。
- 2) 土体的侧向变形会引发桩的侧向变形。
- 3) 隧道位于桩体下方时，土体的变形也会引起桩的隆起或沉降。

2.1.2. 盾构施工引发上部建筑变形

盾构推进所引起的土体变形会影响到建筑物的基础，建筑物因支撑条件的改变而发生沉降[3]。外力条件的变形分类如下：

- 1) 地层应力释放是外力条件变形的体现，主要原因有超挖、盾尾空隙等，土体的变形会改变地基反力的分布。
- 2) 土层的有效覆土压力会随水位的下降而改变，当土体被压密后会产生一定沉降，此时地基垂直压力会增大。
- 3) 在盾构施工过程中，盾构机与附近土体之间会产生摩擦，地基土压力因此增大。
- 4) 盾构施工扰动土体也会影响地基反力的分布。

2.1.3. 盾构施工与既有建筑相互影响

当盾构掘进施工穿过既有建筑物下方土层时，附近土体会产生一定范围的沉降或隆起，进而引起一些安全问题。施工过程中的不合理也会对建筑物的性能产生影响，同时建筑物也会影响整个施工工程，施工难度以及成本因此增加[4] [5]。盾构施工与既有建筑的相互影响如下：

1) 建筑物自重的影响

地面建筑物会对土层产生附加荷载，盾构施工中的荷载因此发生变化，在推进工程中，土体变形的控制难度就会更大。

2) 相对位置的影响

既有建筑物的受力情况会随其与隧道的相对位置改变而改变。当建筑物处于一定范围内，隧道施工对建筑物造成的影响较大，结构可能出现开裂现象，在此种情况下必须采取相应加固措施。

3) 建筑物本身刚度的影响

建筑物对地层变形产生的外力的抵抗能力与其自身的刚度有关。自身刚度越大，受外力时所产生的变形越小。

4) 隧道埋深的影响

隧道开挖必然会引起地层的变形，地层变形的程度与其距开挖位置的距离成反比。

2.1.4. 盾构施工下穿建筑物风险分析

盾构推进过程中会影响周围土体，土体受到干扰产生的风险主要有以下：

- 1) 包裹地下管线的回填土发生松动，管线无法得到足够的支撑保护；
- 2) 盾构施工范围内存在河流时，河水对土体的渗透作用可能影响水囊的稳定性，土体下沉引发河水倒灌、涌水涌沙等现象；
- 3) 盾构施工引起的地表下沉会对既有结构的地基产生影响，带来安全问题。

2.2. 盾构施工下穿建(构)筑物风险控制措施

盾构施工风险控制措施需要将风险预测与地表沉降的原因相结合。地面措施的处理效果可分为两种，一种是达到完全抵抗地层变形带来的影响，另一种是在可承受的变形影响范围内进行控制、补偿。

传统的地面措施一般有加固既有建筑、隔断两者地基、改良地基性质三个方面。选取地面措施时应考虑施工范围内建筑物密度、具体现场条件等[6] [7] [8] [9] [10]。

袖阀管地面注浆法是通过打设注浆孔压注水泥浆液来起到隔离效果。

托换基础法是通过设置支撑柱，以托换建筑物的基础，可抑制建筑物的变形，但工程量较大。

3. 乌鲁木齐轨道交通一号线盾构施工下穿建(构)筑物风险分析与控制

本节利用数值模拟得到乌鲁木齐地铁一号线盾构施工过程中对中国石油东方地球物理公司框架结构的影响，分析施工工程中的风险问题并提出相应控制措施。

3.1. 工程概况

盾构施工范围内建(构)筑物调查是施工准备阶段的必要环节，重点调查对象是四层以上的建筑物。

中国石油东方地球物理公司为5层钢筋混凝土框架结构。隧道施工线路与该建筑的位置关系如图2、图3所示。

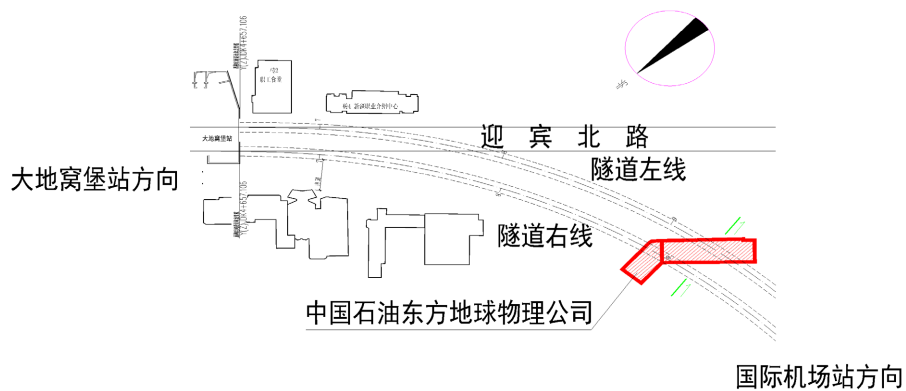


Figure 2. Plan of the company's frame structure in relation to the Metro Line 1

图2. 公司框架结构与地铁一号线平面位置关系图

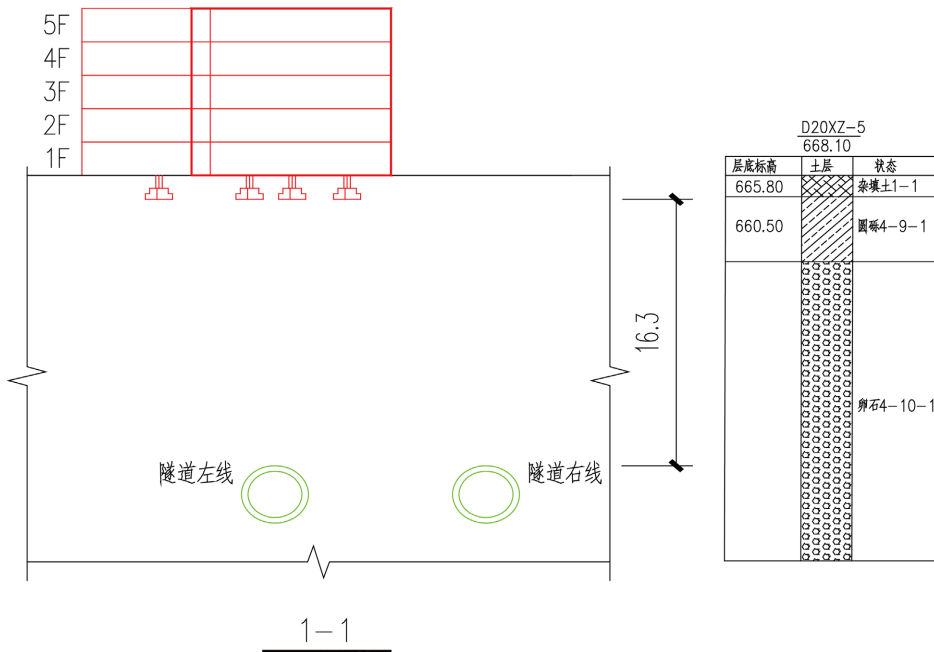


Figure 3. Cross section of the company's frame structure in relation to the location of Metro Line 1

图3. 公司框架结构与地铁一号线位置关系断面图

3.2. 基于数值模拟的盾构施工风险分析

1) 本构模型的选取

由于岩土是各向异性材料，具有非常复杂的力学特性，在本构模型的选择问题上要着重考虑影响其变形的特性，以本构模型反映应力应变关系的能力为原则来判断本构模型的合理性[11] [12] [13]。

摩尔-库仑模型在岩土工程研究中的应用非常广泛，具有准则原理简单，操作应用方便的优点，在反映岩土体的强度特性方面较为全面。Mohr-Coulomb 强度准则将土体的受力条件与强度条件结合，可作为判别岩土体破坏情况的依据，该准则使用方便、原理简单，且在反应岩土体强度特性方面较为全面。

2) 盾构下穿公司办公楼模拟构建

采用 ANSYS 软件进行数值建模，自底向上建立模型，基础单元采用 SOLID45 六面体单元，通过 VSWEAP 对模型进行网格划分，在 FLAC3D 有限差分软件中进行盾构隧道下穿工况的数值模拟。所建隧道模型及既有建筑物模型尺寸如图 4 所示：

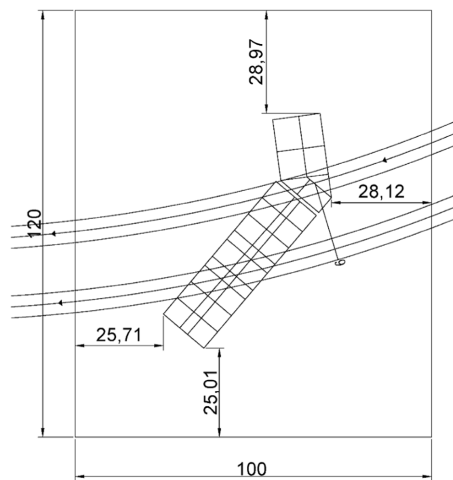


Figure 4. Model plane (Unit of size: m)

图 4. 模型平面(尺寸单位: m)

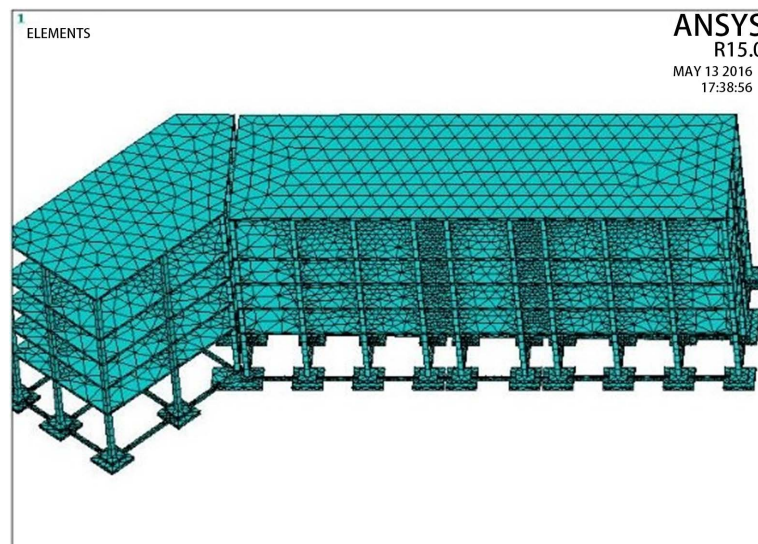


Figure 5. Grid division of company office buildings

图 5. 公司办公楼网格划分

通过 VSBW 将模型切分为 1221 个个体，再进行每个个体的网格划分，中国石油东方地球物理公司的有限元模型网格划分情况如图 5、图 6、图 7、图 8 所示。

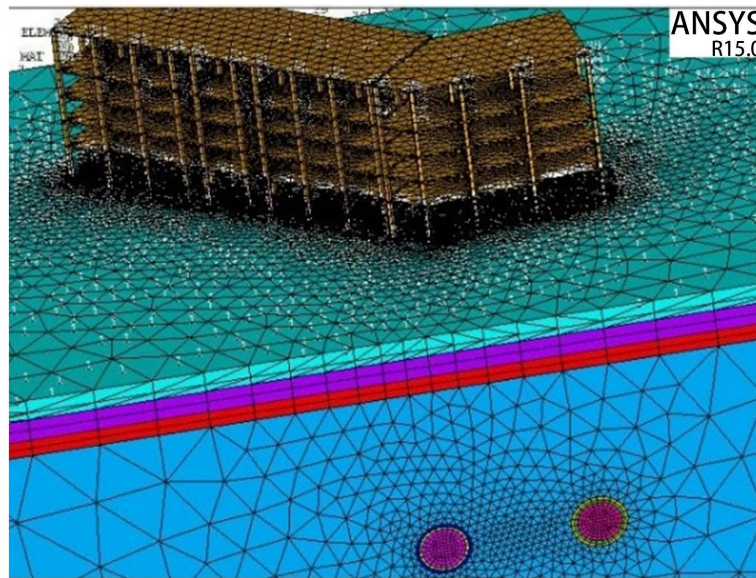


Figure 6. Model meshing
图 6. 模型网格划分

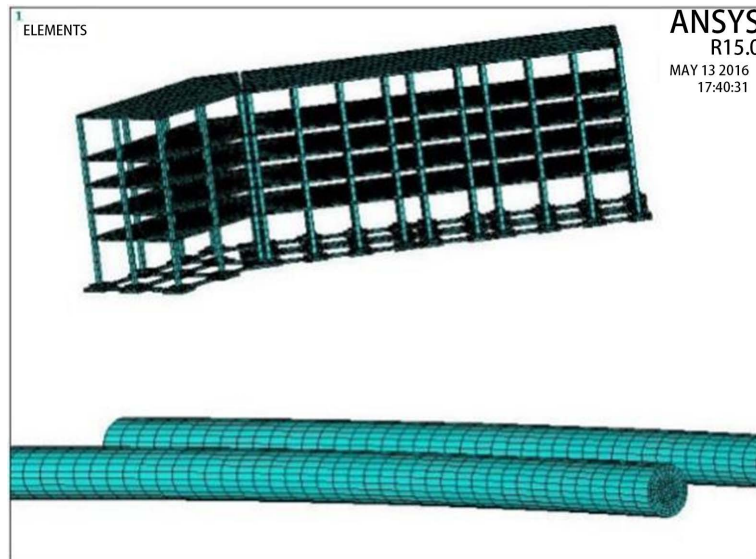


Figure 7. Company office building and tunnel grid division
图 7. 公司办公楼及隧道网格划分

本次盾构隧道掘进开挖过程使用 null 模型模拟，掘进步距为 1.2 米，模型中的盾构隧道采用六面体实体单元建模，隧道外部直径 6.2 米，内部直径 5.5 米，如图 9 所示。

3) 施工模拟分析

本节分别对盾构隧道右线开挖距离建筑物 10 m、盾构隧道右线开挖距离建筑物 5 m、盾构隧道右线穿越建筑物中心、盾构隧道左线开挖距离建筑物 10 m、盾构隧道左线开挖距离建筑物 5 m 和盾构隧道左线穿越建筑物中心进行有限元施工模拟分析，并给出了相应的施工建议。以下为盾构隧道右线穿越建筑

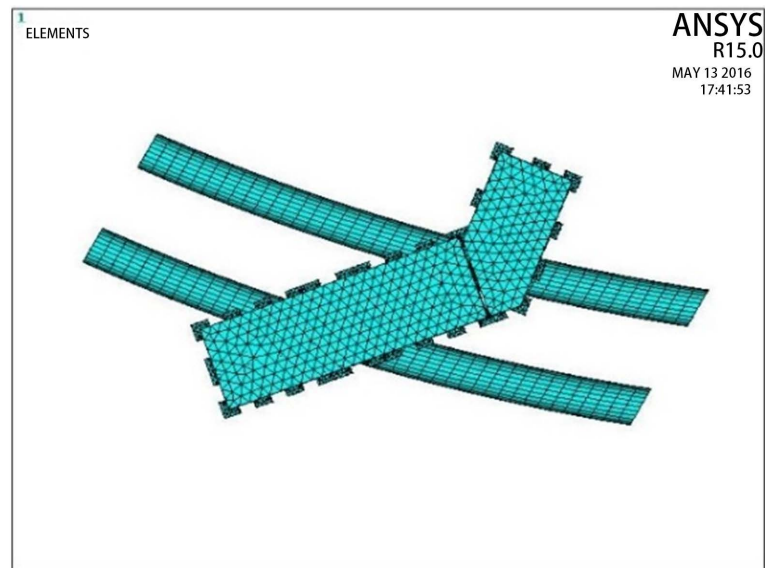


Figure 8. Top view of the model mesh

图 8. 模型网格俯视图

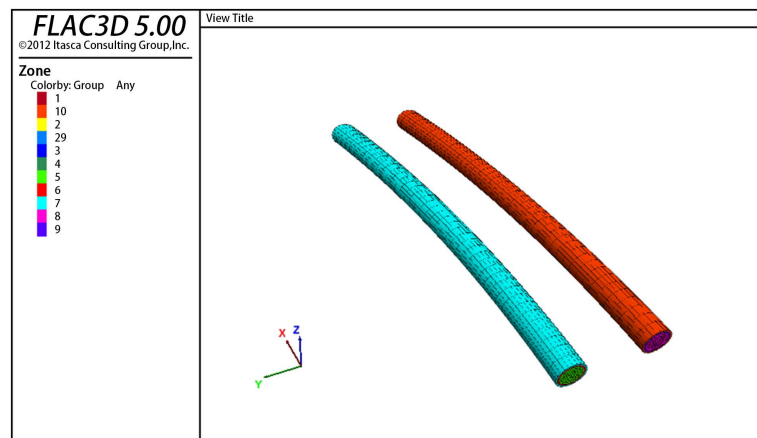


Figure 9. Shield tunnel model

图 9. 盾构隧道模型

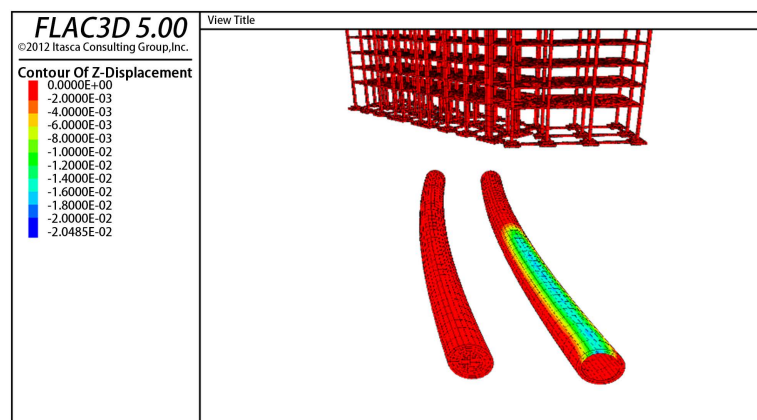


Figure 10. Contour of settlement of surrounding soil/m

图 10. 周围土体沉降等值线/m



Figure 11. Maximum principal stress/Pa
图 11. 最大主应力/Pa

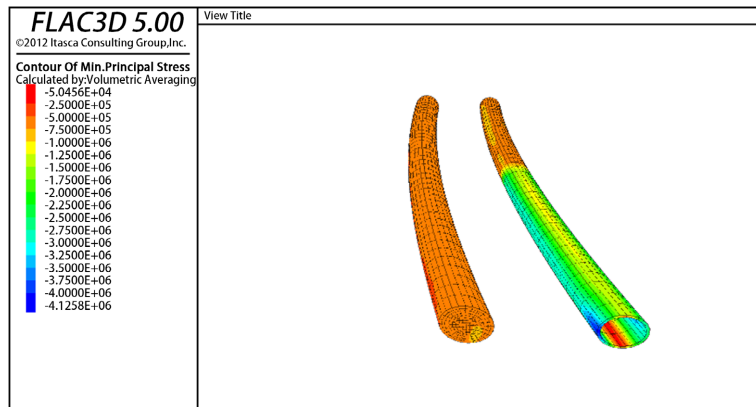


Figure 12. Minimum principal stress/Pa
图 12. 最小主应力/Pa

物中心该种情况的相关计算结果。

盾构施工时隧道衬砌范围内土体变形情况以及应力大小情况如下图 10~图 12 所示。

图 13 为盾构施工时相应范围地面的沉降等值图。产生沉降的地面范围大致是以隧道中线为中心的 25 m 以内，通过有限元模拟计算得出地面的最大沉降值为 3.6 mm，并不位于隧道正上方位置。

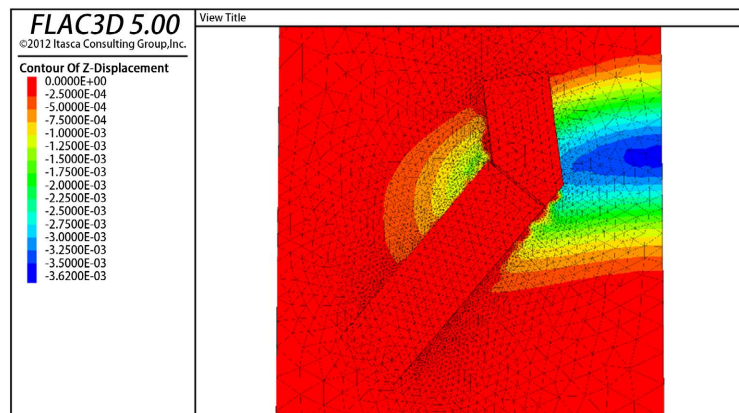


Figure 13. Contour map of ground settlement/m
图 13. 地面沉降等值线图/m

公司办公楼基础的沉降情况如图 14 所示,通过有限元模拟计算得出公司办公楼基础的最大沉降值为 2.8 mm。

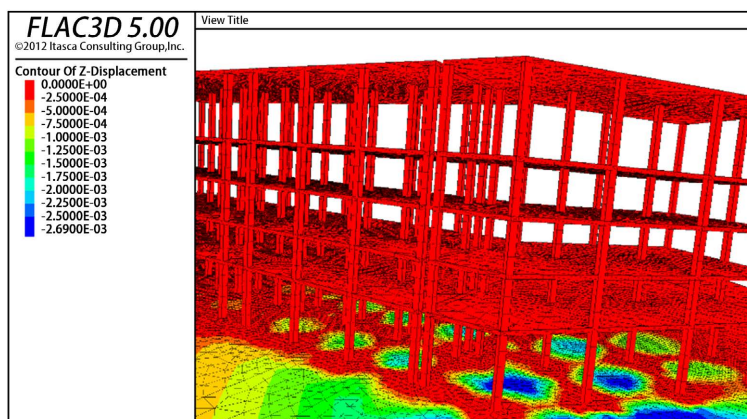


Figure 14. Foundation settlement value/m when the right line crosses the centre of the company's frame structure

图 14. 右线穿越公司框架结构中心时基础沉降值/m

根据构建的本构模型以及相关计算,得到盾构掘进过程中沿线建筑物的沉降变形计算值,其中局部倾斜值为 0.0003721,《建筑地基基础设计规范》中,对于该公司办公楼结构的变形控制要求为局部倾斜值 < 0.0011 ,可知该工程沿线建筑基础沉降在安全范围之内。

3.3. 下穿建筑物盾构施工风险控制措施

通过盾构施工下穿公司框架结构的模拟分析可看出,盾构隧道下穿建筑物会带来多方面影响,隧道衬砌结构周围土体会产生变形,隧道上方地面会产生一定范围沉降,建筑物的基础也会产生一定范围沉降。因此,一系列相适应的风险控制措施显得尤为重要。

为降低盾构隧道穿越民建房屋的施工风险,需要通过一定的措施来控制地面沉降,以保证建(构)筑物不发生因掘进而引起的结构破坏。

具体措施如下:

- 1) 在盾构施工穿过建筑物之前,应避免漏浆现象的发生,调整好盾尾空隙。
- 2) 盾构施工掘进时应注意保持土压平衡,加强对出土量的控制,避免出现超挖,施工推进过程应保持匀速,平缓地进行推进,避免对范围内土体产生的扰动过大。
- 3) 在注浆环节应保持时间的同步,从而保证地面的稳定,防止沉降。
- 4) 穿过房屋期间搅拌站应及时清理筛网中的碎渣,避免堵塞注浆管。
- 5) 穿越建筑物时尽量减少纠偏动作,防止对土体产生多余扰动。
- 6) 盾构机穿越后,会出现后期沉降现象,持续的沉降监测十分必要。
- 7) 当隧道内二次注浆效果不佳时可采用地面注浆,可采取袖阀管注浆的方法进行补浆加固,起到控制地面沉降的效果。

同时需要进行盾构施工过程中的信息化管理,通过完整的信息化反馈系统进一步控制盾构掘进施工过程中对沿线建筑物的影响。这一环节是运用“远程监控系统”传输盾构施工过程中的各种数据,通过对应的监控管理站点对数据进行处理以便及时作出相应施工调整措施。

4. 总结

盾构穿越建(构)筑物是地铁施工的主要风险来源之一,对施工过程的监控十分必要。本文首先分析了

盾构施工对建(构)筑物的影响,给出了无水砂卵石地层地铁盾构施工下穿建筑物的风险,之后列举施工过程中常用的施工风险控制措施,然后以乌鲁木齐市地铁一号线为案例,识别了盾构施工穿越中国石油东方地球物理公司的风险,分析了相适应的施工风险控制措施。

参考文献

- [1] 姜忻良, 赵志民, 李园. 隧道开挖引起土层沉降槽曲线形态的分析与计算[J]. 岩土力学, 2004(10): 1542-1544.
- [2] 王忠凯, 徐光黎. 盾构施工对既有建(构)筑地基承载力影响及加固土体稳定性分析[J]. 地质科技通报, 2020, 39(4): 109-116.
- [3] 李宁, 顾强康, 朱才辉, 苏立海. 西安地铁二号线下穿古城墙段地表沉降控制标准研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S2): 3753-3761.
- [4] 胡欣雨, 张子新. 砂卵石地层土压盾构开挖面动态平衡机理研究[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(6): 1115-1121.
- [5] 马可栓. 盾构施工引起地基移动与近邻建筑保护研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [6] 陈海丰, 袁大军, 王飞, 王梦恕. 软弱地层地铁盾构下穿高铁的安全控制技术研究[J]. 土木工程学报, 2015, 48(S1): 256-260.
- [7] 霍军帅, 王炳龙, 周顺华. 地铁盾构隧道下穿城际铁路地基加固方案安全性分析[J]. 中国铁道科学, 2011, 32(5): 71-77.
- [8] 廖凌军, 宁毅, 杨帅, 雷亮亮, 孙立冬. 软弱地层地铁盾构下穿既有高铁线路施工技术[J]. 施工技术, 2020, 49(19): 118-120.
- [9] 马文辉, 杨成永, 彭华, 程霖, 车敬珂, 王永刚. 卵石地层中地铁盾构近距下穿盾构隧道施工沉降控制[J]. 太原理工大学学报, 2020, 51(3): 372-379.
- [10] 毛海东. 砂卵石地层盾构施工诱发地表塌陷机理及处置技术研究[J]. 市政技术, 2020, 38(1): 148-151+156.
- [11] 程子聪, 沈蓉, 王新新, 孙廉威. 基于精细化建模的叠层盾构施工扰动数值分析[J]. 地基处理, 2019, 1(2): 82-87.
- [12] 林伯华. 三维数值模拟盾构开挖对运营高铁沉降变形的研究[J]. 福建建筑, 2019(12): 69-74+102.
- [13] 于宁, 朱合华. 盾构施工仿真及其相邻影响的数值分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(2): 292-296.