

毗邻地铁隧道深基坑支护方案研究

郝东雷¹,关英斌¹,张立钊²,赵文亮¹,李延申¹

(1. 河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038;2. 辽宁省有色地质局勘查总队,辽宁 沈阳 110013)

摘要:北京市某深基坑工程毗邻正在运营的地铁10号线,距离地铁隧道衬砌管片最近距离5.0 m,为保证地铁的运营安全,要求由于基坑的开挖引起的轨道位移不超过3 mm。针对这些问题并根据拟建基坑工程本身特点和周围的环境及水文地质情况,深基坑支护选用上部为复合土钉墙,下部为地下连续墙支护。运用理正深基坑软件对地下连续墙的内力、位移、地表沉降计算,并对其进行了整体稳定性、抗倾覆和抗管涌验算。现场监测结果表明边坡位移量较小,地铁轨道位移控制在3 mm以内,总方案经济合理、技术可行。

关键词:深基坑;毗邻地铁;土钉墙;地下连续墙;理正计算

中图分类号: TU470+.3

文献标识码: A

The supporting scheme design about a deep foundation pit adjacent to subway tunnel

HAO Dong-lei¹, GUAN Ying-bin¹, ZHANG Li-Zhao², ZHAO Wen-Liang¹, LI yan-shen¹

(1. College of Natural Resource, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. Exploration Institute of Liaoning Province Non-Ferrous Geological Bureau, Liaoning Shenyang 110013, China)

Abstract: A deep foundation pit project of Beijing is adjacent to the operating metro line 10, the distance of a subway tunnel lining segment recently distance is 5.0 m, in order to ensure the safety of subway operation, orbit requirements caused by foundation pit excavation displacement is less than 3 mm. To solve these problems and according to the planned excavation engineering itself characteristics and the surrounding environment and hydrogeology condition, deep foundation pit supporting choose the upper for composite soil nail wall and lower as the underground continuous wall. This paper use li-zheng deep foundation pit software to calculate internal force and displacement of underground continuous wall, surface settlement, and carries on the overall stability, resistance to overturning and piping resistance calculation. Calculation results conform to the requirements of the specification. The field monitoring results show that the slope displacement is small, the rail displacement control within 3 mm, the total scheme is reasonable in the economy and feasible in the technology.

Key words: deep foundation pit; adjacent to the subway; soil nailing wall; underground continuous wall; li-zheng software calculation

随着城市建设的快速发展和人们对城市空间需求的急剧增加,各种高层建筑迅猛发展。尤其是在建筑密集的大城市各种深基坑的开挖对周围既有的建筑物产生影响,对临近的地下建筑物及附近管线的安全造成很大威胁,深基坑的开挖对邻近建筑物尤其是地铁隧道的影响研究及隧道的

保护已经成为一个十分重要的问题。张建新等^[1]运用 ABAQUS 有限元软件,对下卧地铁各个面的水平和竖向位移进行了三维数值模拟计算和对比分析,发现靠近基坑边缘位置的隧道水平位移相对较大。吴伯建等^[2]运用有数值模拟软件 PLAXIS 模拟临近地铁隧道深基坑开挖全过程,结果表

明基坑开挖诱发邻近地铁隧道产生的水平位移值大于沉降值。孔令荣等^[3]通过临近地铁隧道由基坑开挖引起的变形监测结果分析,得出了基坑开挖对间距在4 m以内的邻近地铁隧道产生的水平、沉降位移变形最大。通过对这些成果的学习,本文以北京市临近地铁隧道的某深基坑工程为例,运用理正深基坑软件对土钉墙和连续墙支护方案的计算优化,最终施工过程中基坑的开挖引起的临近地铁轨道位移不超过3 mm,保证了地铁的运营安全。

1 工程概况及周边环境

工程建筑场地位于北京市朝阳区亮马桥路(图1)。设计±0.000标高值为绝对标高39.40 m,基础开挖深度为15.00 m。工程场地地形较平坦,周边环境条件较复杂,北侧为正在使用的外交公寓C座公寓楼及地下车库,最近距离约10.40 m;西南侧14.00 m为北京汇佳国际教育中心科研办公楼;西侧为正在运营的地铁10号线,拟建建筑地下室外墙距离地铁隧道衬砌管片最近距离(南侧)5.00 m;东侧基坑外侧10 m为东方东路。据《建筑基坑支护技术规程》(DB 11/489-2007)^[4],基坑侧壁安全等级全部为一级,重要性系数取1.10。本论文就西侧基坑支护进行研究分析。

2 工程地质概况

根据岩土工程勘察报告,建筑场地内的地层为人工堆积层和第四纪沉积层两大类。其中基坑开挖范围内的土层参数及地下水类型如下表:

表1 土层参数与地下水类型

Tab.1 The soil parameters and types of groundwater

| 层号 | 土层名称 | 厚度/m | 重度/(kN m ⁻³) | 浮重度/(kN m ⁻³) | 粘聚力/kPa | 内摩擦角/(°) | 与锚固体摩阻力/kPa | 粘聚力水/kPa | 内摩擦角水下/(°) | 地下水类型 | 水位埋深/m |
|----|------|------|--------------------------|---------------------------|---------|----------|-------------|----------|------------|-------|-------------|
| 1 | 杂填土 | 1.10 | 18.0 | --- | 10.00 | 10.00 | 40.0 | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 粉土 | 1.80 | 20.3 | --- | 16.00 | 22.50 | 50.0 | --- | --- | 台地潜水 | 5.90~10.80 |
| 3 | 粘性土 | 3.70 | 19.7 | --- | 23.00 | 24.00 | 80.0 | --- | --- | 台地潜水 | |
| 4 | 粉土 | 2.10 | 20.5 | --- | 25.00 | 32.50 | 95.0 | --- | --- | 层间水 | 17.80~18.40 |
| 5 | 粉土 | 2.30 | 20.7 | 10.7 | 26.00 | 23.00 | 95.0 | 26.00 | 23.00 | 层间水 | |
| 6 | 粘性土 | 6.50 | 20.3 | 10.3 | 53.00 | 18.00 | 90.0 | 53.00 | 18.00 | 台层间水 | 20.70~23.10 |
| 7 | 细砂 | 1.30 | 21.0 | 11.0 | --- | --- | 100.0 | 0.00 | 28.00 | 承压水 | 24.30~25.00 |
| 8 | 粘性土 | 2.70 | 20.2 | 10.2 | --- | --- | 90.0 | 25.00 | 26.00 | --- | --- |
| 9 | 中砂 | 2.70 | 21.0 | 11.0 | --- | --- | 100.0 | 0.00 | 30.00 | 承压水 | 28.80~29.20 |
| 10 | 卵石 | 5.00 | 21.0 | 11.0 | --- | --- | 120.0 | 0.00 | 40.00 | 承压水 | |

3 深基坑支护方案设计

3.1 支护方案选择

北京地区的深基坑开挖深度一般大约在10 m~20 m,大部分集中在15 m左右。由于北京地区的地层条件较好,深基坑支护类型为预应力土钉墙、桩锚等各种复合型支护形式^[5]。但是本基坑西侧为正在运营的地铁10号线,拟建建筑地下室外墙距离地铁隧道衬砌管片最近距离(南侧)5.00 m,最远距离(北侧)15.90 m,地铁隧道采用盾构法施工,基坑底面为保证地铁的运营安全,北京市地铁运营有限公司要求由于基坑的开挖引起的轨道位移不超过3 mm,并且有较高的地下水位。因此基坑支护结构本身必须安全可靠,同时要防止因基坑变形过大对地铁运营安全产生不利影响,所以在基坑支护结构的选型上必须仔细慎重。

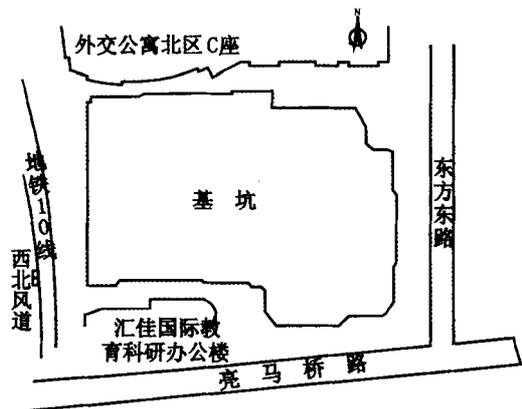


图1 基坑位置图

Fig.1 The position of foundation pit

基坑开挖会对临近已运营的地铁隧道产生一定的影响,北京地区深基坑的围护结构墙体的最大侧移位置在开挖面的上方 $0.26H - 0.88H$ (H 为基坑开挖深度)范围内,最大侧移位置大部分集中在1/2开挖深度附近^[5]。所以本基坑深基坑围护结构的设计应以满足安全可靠、经济合理性和施工便利并保证工期为原则^[6],基坑西侧采用复合土钉墙+地下连续墙+预应力锚索的复合支护方案。深基坑上部6 m采用复合土钉墙支护,此支护方式适合在周围空间较密集的环境条件下选用,工程造价较低,可以很好地控制基坑水平变形^[7]。下部9 m采用地下连续墙,此支护方式可以作为基坑开挖和地下建筑的临时或永久性挡土结构可以有效地减少周围土体的扰动和变形;地下水位以下的可作为止水帷幕;部分工程的墙体还承受上部建筑的永久荷载,兼有挡土墙和承重基础作用等^[8]。

3.2 特殊设计

因地铁和基坑两者距离较近、以及地铁在运行中,为保证两者互不影响,在临近地下连续墙外侧增设一排旋喷隔离桩。有效桩长13.50 m,桩端标高-10.5 m,桩径600 mm,桩距450 mm,搭接150 mm。此排旋喷隔离桩可以起到以下三个作用:(1)阻断和减弱基坑和地铁之间应力联系,减少对地铁影响;(2)此排旋喷隔离桩可以起到对地下连续墙槽壁加固作用,可以确保地下连续墙在施工过程中槽壁稳定不坍塌,避免因施工过程中槽壁塌陷产生对地铁不利影响的风险;(3)此排旋喷隔离桩为连续施工、相互搭接,是很好的止水帷幕,可以很好弥补地下连续墙局部特别是接头处渗漏,从而可以杜绝坑壁产生流沙、涌砂的风险。

3.3 支护体系计算

复合土钉墙基坑墙体侧移模式为“三角形”,最大侧移位于墙顶,沿墙身往下逐渐减小^[9],基坑在这部分土层比较稳定,对基坑变形影响较小,故此部分不做重点研究。本文选择地下连续墙支护部分来做分析选用理正深基坑软件对支护方案连续墙支护部分进行计算。本次基坑开挖工程分为5个工况计算简图见图2。

(1) 内力及位移计算

维护结构上的内力、连续墙的水平位移、弯矩、剪力等计算结果见图3,地表沉降图见图4。

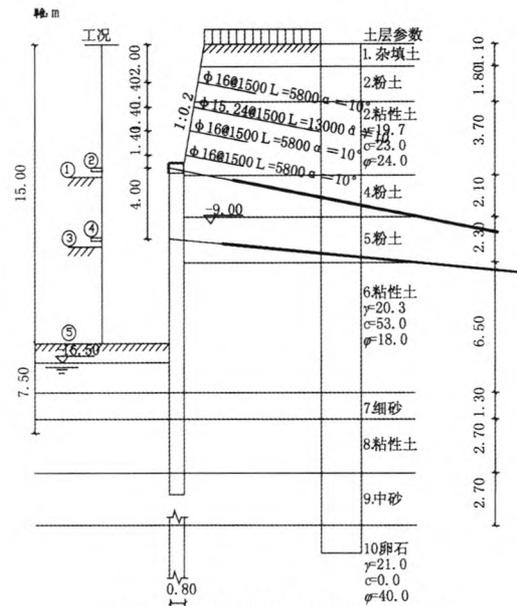


图2 地下连续墙支护计算简图

Fig.2 The calculating diagram of underground continuous wall supporting

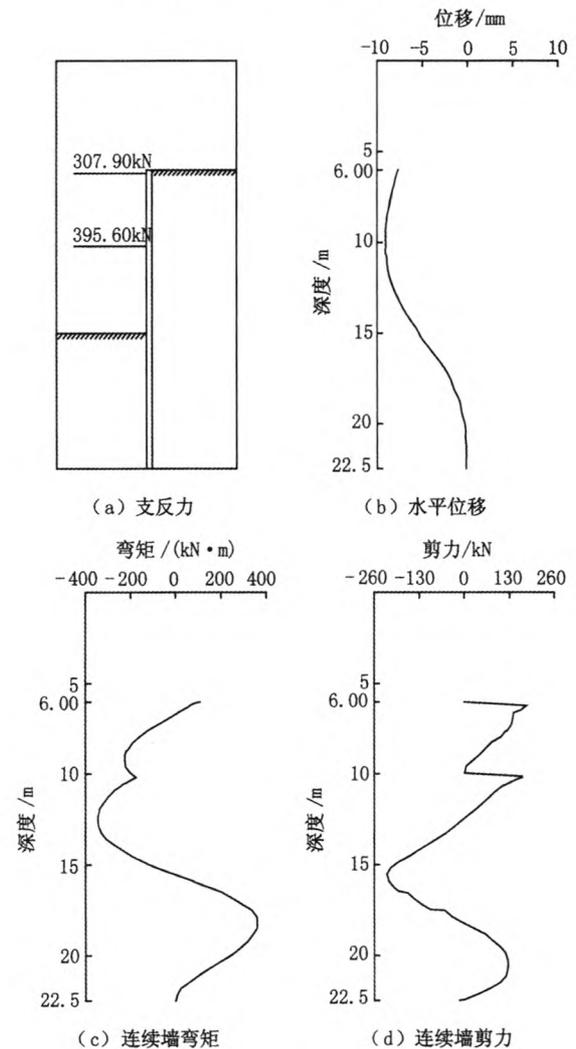


图3 内力包络图

Fig.3 The force envelope diagram

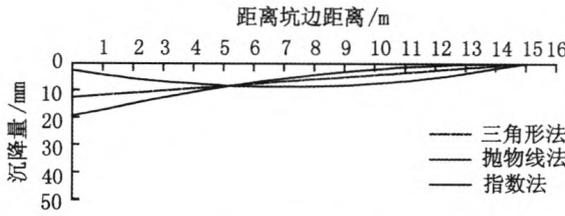


图4 地表沉降图

Fig. 4 The surface subsidence diagram

从图3-a可以看出维护结构的顶部的支反力为307.90 kN,中间部位为395.60 kN,皆大于土压力;

从图3-b可以看出连续墙的水平最大位移为8.81 mm < 20 mm(预警值为20 mm);

从图3-c可以看出连续墙的最大弯矩为346.62 kN·m 小于设计值428.94 kN·m;

从图3-d可以看出连续墙的剪力值最大为221.62 kN 小于设计值373.12 kN,满足规范要求^[10]。

经计算地表沉降最大值为19.0 mm < 0.2% H (H = 15.0 m,基坑开挖深度)满足规范要求^[10]。

(2) 锚杆自由段长度计算结果

表2 锚杆自由段长度计算结果表

Tab. 2 The length calculation of anchor free segment

| 支锚道号 | 支锚类型 | 自由段长度实用值/m | 锚固段长度实用值/m | 实配面积 /mm ² | 计算面积 /mm ² | 锚杆刚度 / (MN/m) |
|------|------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| 1 | 锚索 | 6.0 | 15.0 | 420.0 | 325.7 | 11.89 |
| 2 | 锚索 | 5.0 | 18.0 | 560.0 | 413.7 | 17.91 |

(3) 整体稳定验算

整体稳定性计算采用瑞典条分法,条分法中的土条宽度为0.40 m,应力状态为总应力法,圆心坐标 x = -3.475 m,圆心坐标 y = 14.370 m,圆弧半径 R = 22.284 m,整体稳定安全系数 K_s = 1.746 > 1.2 满足规范要求(图5)^[10]。

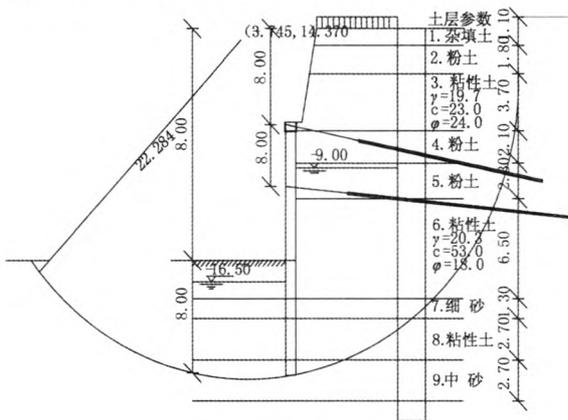


图5 整体稳定性计算简图

Fig. 5 The calculating diagram of stability stability

(4) 抗倾覆稳定性验算

$$K_s = \frac{M_p}{M_a}$$

式中: M_p - 被动土压力及支点力对桩底的抗倾覆弯矩,对于内支撑支点力由内支撑抗压力决定;对锚杆或锚索,支点力为锚杆或锚索的锚固力和抗拉力的较小值。M_a - 主动土压力对桩底的倾覆弯矩。

$$\text{工况 1: } K_{s1} = \frac{41\ 252.861 + 0.000}{1\ 937.279} = 21.294$$

$$\text{工况 2: } K_{s2} = \frac{41\ 252.861 + 5\ 932.955}{1\ 937.279} = 24.356$$

$$\text{工况 3: } K_{s3} = \frac{19\ 509.589 + 5\ 932.955}{5\ 704.977} = 4.459$$

$$\text{工况 4: } K_{s4} = \frac{19\ 509.589 + 10\ 461.736}{5\ 704.977} = 5.253$$

$$\text{工况 5: } K_{s5} = \frac{5\ 989.051 + 1\ 046.736}{7\ 984.080} = 2.060$$

计算结果表明:安全系数最小的工况号:工况5。最小安全 K_s = 2.060 ≥ 1.2, 满足规范要求^[10]。

(5) 抗管涌验算

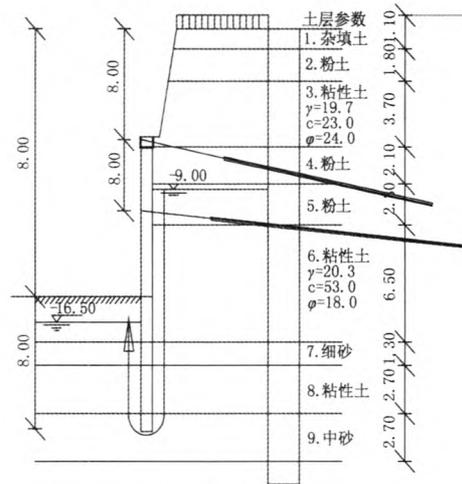


图6 抗管涌验算简图

Fig. 6 The calculating diagram of piping resistance

抗管涌稳定安全系数(K ≥ 1.5):

$$K = \frac{\gamma'(h_w + 2t)}{\gamma_w h_w}$$

式中 γ₀ - 侧壁重要性系数; γ' - 土的有效重度, kN/m³; γ_w - 地下水重度, kN/m³; h_w - 地下水位至基坑底的距离, m; t - 桩(墙)入土深度, m; K = 3.970 ≥ 1.5, 满足规范要求(图6)^[10]。

(6) 方案选择分析

根据设计和施工经验可知围护结构墙体的最大侧移位置在 1/2H 附近^[11], 由于基坑上部土层较

稳定故深基坑上部 6 m 采用复合土钉墙支护,工程造价低,并且能达到施工要求。下部 9 m 采用地下连续墙,经理正深基坑软件计算其结构设计参数正确,引起的地表沉降量最大值 $19.0 \text{ mm} < 0.2\% H$ ($H = 15.0 \text{ m}$, 基坑开挖深度), 整体稳定性系数 $K_s = 1.746 > 1.2$, 最小抗倾覆安全系数 $K_s = 2.060 > 1.2$, 抗管涌稳定安全系数 $K = 3.970 \geq 1.5$, 均满足规范要求^[10]。表明支护方案的各项设计参数科学合理, 支护方案安全可靠, 经济可行。

4 结论

复合土钉墙 + 地下连续墙联合支护将临近的地铁轨道位移控制在 3 mm 以内, 达到了北京市地铁运营有限公司的要求。旋喷隔离桩和地下连续墙结合的起到了很好的止水效果, 并且地下连续墙在施工过程中槽壁没有任何坍塌, 避免了因施工过程中槽壁塌陷产生对地铁不利影响的风险。从施工开始到施工结束全程监测, 结果表明边坡位移量较小, 各种市政地下管线和其它市政设施未受影响。此支护方式在本案例成功的运用对临近既有建(构)筑物的深基坑工程设计和施工提供有益参考。

参考文献:

[1] 张建新, 王传庆, 栾开运, 等. 基坑开挖对邻近既有

下卧隧道的影响分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29(3): 23 - 26.

- [2] 吴伯建, 朱珍德, 高伟, 等. 深圳某邻近地铁隧道深基坑支护方案分析[J]. 施工技术, 2012, 41(374): 23 - 26.
- [3] 孔令荣, 崔永高, 隋海波. 基坑开挖对邻近地铁变形的影响分析[J]. 工程勘察, 2010(6): 15 - 20.
- [4] DB 11/489-2007, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [5] 高红梅, 杜文学. 地下水渗流对基坑侧压力的影响[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(1): 50 - 54.
- [6] 张玉坡, 霍伟, 陈东英, 等. 花管复合土钉墙支护在基坑中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(3): 44 - 47.
- [7] 李晶晶, 程祖锋, 耿立立, 等. 基于 FLAC3D 的复合土钉支护数值模拟分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(3): 5 - 8.
- [8] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [9] 胡海军. 双排桩-锚杆支护的有限元模拟[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(11): 69 - 71.
- [10] YB9258-97, 建筑基坑工程技术规范[S].
- [11] 马文旭, 袁庆生, 孙瞻, 等. 广东某基坑 T 型墙 + 预应力锚索支护体系数值模拟分析[J]. 中国煤炭地质, 2013, 25(1): 55 - 58.

(责任编辑 马立)