

沈阳地铁岩土工程条件分析

高翠玲¹, 宋德文¹, 袁茂才²

(1. 沈阳市勘察测绘研究院, 辽宁 沈阳 110015; 2. 沈阳铝镁勘察设计院, 辽宁 沈阳 110015)

摘要:从区域地质、地貌、工程地质条件、水文地质条件和建筑场地的稳定性和适宜性几个方面, 对沈阳地铁二号线的岩土工程特性进行综合分析评价, 对地铁建设提供了可行的施工方法、施工工艺, 也为沈阳的城市建设提供了岩土参数, 为工程建设提供了设计依据。

关键词:地铁勘察; 施工方法; 岩土参数; 岩土特性

中图分类号: P64; U231+.3

文献标识码: A

文章编号: 1671-1211(2007)06-0678-05

0 引言

沈阳地铁二号线一期工程是沈阳市快速交通线网规划二号线中段, 北起松山路, 线路沿黄河大街、泰山路、北陵大街向南, 斜穿北站后沿惠工街、青年大街、浑河大街—环城高速公路, 线路正线全长19.245 km。全线17个车站, 全部为地下车站。本线是连接浑河南北的骨干线路, 贯穿市内六个行政区。

1 地形、地貌^[1]

沈阳位于辽东山地与下辽河平原的交接地带。沈阳城区北东—东南与天柱山、辉山坡麓相连, 西北—西南与辽河冲积平原相接。地势东、北高, 西、南低, 其高程一般在40~60 m之间。浑河自东部山区流向西部平原的出口处, 将大量的碎屑物沉积下来, 在宏观上形成东窄西宽、东高西低如同扇面状的浑河冲洪积扇。地貌成因类型属河流侵蚀堆积地貌。微观形态为低漫滩、高漫滩、浑河新扇、浑河老扇。

2 工程地质条件

在勘探深度范围内, 该场地地基土主要由第四系全新统和更新统粘性土^[2]、砂类土及碎石类土组成, 按地貌单元分别叙述如下:

2.1 第四系全新统人工填土层(Q_4^{ml})

杂填土(①): 黑褐色、褐色, 松散—中密, 稍湿。主要由路面、碎石、混粒砂、粘性土及建筑垃圾组成, 局部为素填土、耕土。该层分布连续, 层厚0.20~11.00 m, 层底埋深0.20~11.00 m, 层底标高33.62~51.61 m。

2.2 第四系全新统浑河低漫滩冲积层(Q_4^{3al})

粉细砂(②-2): 黑褐色、褐色、黄褐色, 松散—稍密, 稍湿—饱和。混粒结构, 矿物成分以石英、长石为主, 粘粒含量5%。充填少量淤泥质粘性土, 局部为中砂, 粉土与粉、细砂互层。该层分布不连续, 分布于线路K10+971 m~K11+151 m, K14+444 m~K15+376 m之间, 厚度0.50~6.80 m, 层底埋深0.50~13.50 m, 层底标高34.95~40.38 m。

砾砂(②-4): 褐色、灰褐色、黄褐色, 中密—密实, 饱和。混粒结构, 矿物成分以石英、长石为主, 粘粒含量6%。含>2 mm颗粒的占总重的35%~45%, 钻探过程中所见最大粒径80 mm。该层分布不连续, 分布于线路K14+905 m~K15+376 m之间, 层厚4.40~15.30 m, 层底埋深5.00~17.80 m, 层底标高20.15~34.15 m。

2.3 第四系全新统浑河高漫滩及古河道冲积层(Q_4^{2al})

粉质粘土(③-1): 黄褐色、灰褐色、黑褐色, 可塑, 局部软塑, 稍湿—湿。局部为粉土、淤泥质土。稍有光泽, 干强度中等, 韧性中等, 无摇震反应。含氧化铁结核、云母、砂粒。该层局部分布, 厚度0.20~11.00 m, 层底埋深1.80~13.00 m, 层底标高32.60~43.33 m。

粉细砂(③-2): 黄褐色, 稍密—中密, 湿。颗粒较均匀。矿物成分以石英、长石为主, 粘粒含量23%。局部为中砂或粉土, 存在砂土互层现象。该层分布不连续, 分布于线路K17+674 m~K17+826 m之间, 厚度2.60~9.00 m, 层底埋深8.50~13.00 m, 层底标高32.22~36.84 m。

中粗砂(③-3): 黄褐色、褐色, 稍密—中密, 湿。混

粒结构,矿物成分以石英、长石为主,粘粒含量6%。该层分布于K2+973 m~K14+444 m,K15+418 m~K17+592 m之间,厚度0.30~7.70 m,层底埋深2.20~13.70 m,层底标高30.13~43.64 m。

砾砂(③-4):黄褐色,中密—密实,局部为稍密状态,湿—饱和,混粒结构,矿物成分以石英、长石为主。粘粒含量7%。含>2 mm的颗粒占总重的25%~45%,最大粒径100 mm。该层局部层位为圆砾或粗砂,夹较多的粘性土、中、粗砂及圆砾薄层,该层分布于K2+973 m~K17+624 m之间,层厚0.60~22.20 m,层底埋深6.50~28.00 m,层底标高14.85~39.86 m。

圆砾(③-5):黄褐色,中密—密实状态,湿—饱和。颗粒不均,亚圆形,磨圆度较好。母岩以火成岩为主。最大粒径100.0 mm,一般粒径2~10 mm。含>2 mm的颗粒占总重的50%~65%,中、粗砂充填。该层分布于线路K2+973 m~K5+280 m之间,厚度0.80~9.00 m,层底埋深11.80~23.10 m,层底标高21.30~34.47 m。

2.4 第四系全新统浑河新扇冲洪积层(Q_4^{al+pl})

粉质粘土(④-1):灰褐色、黄褐色、黑褐色,可塑,湿—饱和。局部为粉土。稍有光泽,干强度中等,韧性中等,无摇震反应。含氧化铁结核、云母、砂粒。该层局部分布,厚度0.10~12.30 m,层底埋深4.40~25.70 m,层底标高19.72~40.52 m。

粉细砂(④-2):灰褐色、黄褐色,中密—密实,湿。颗粒较均匀,矿物成分以石英、长石为主,粘粒含量13%。局部为中砂、粉土。该层断续分布,厚度0.20~4.00 m,层底埋深6.50~13.50 m,层底标高31.70~37.96 m。

中粗砂(④-3):灰褐色、黄褐色,稍密—中密,湿—饱和。颗粒较均匀,矿物成分以石英、长石为主,粘粒含量13%。该层局部分布,厚度0.20~5.20 m,层底埋深7.70~26.30 m,层底标高19.12~39.01 m。

砾砂(④-4):黄褐色,中密—密实,局部为稍密状态,湿—饱和,混粒结构,矿物成分以石英、长石为主,粘粒含量10%。含>2 mm的颗粒占总重的25%~45%,最大粒径100 mm。该层局部分布,层厚0.40~26.00 m,层底埋深12.20~43.50 m,层底标高3.01~36.28 m。

圆砾(④-5):黄褐色,中密—密实,饱和。级配良好,>2 mm的砾石占全重的50%~60%,一般粒径2~20 mm,最大粒径100 mm,母岩以火成岩为主,呈亚圆形,填充物为中、粗砂及少量粘性土,局部粘性土含量偏高。该层局部分布,厚度2.20~7.20 m,层底埋

深15.10~21.10 m,层底标高24.78~34.08 m。

2.5 第四系上更新统浑河老扇冲洪积层(Q_3^{al+pl})

粉质粘土(⑤-1):棕黄色,锈黄色,橘黄色、黄褐色,可塑—硬塑,稍湿—湿。稍有光泽,干强度中等,韧性中等,无摇震反应。含氧化铁结核、云母、砂粒。该层局部分布,厚度0.10~14.00 m,层底埋深7.30~21.00 m,层底标高20.55~43.99 m。

中粗砂(⑤-3):橘黄、浅黄色、黄褐色,中密—密实,湿—饱和。混粒结构,矿物成分以石英、长石为主,粘粒含量12%。该层局部分布,厚度0.30~9.60 m,层底埋深9.70~35.20 m,层底标高8.91~42.40 m。

砾砂(⑤-4):橘黄、浅黄色、黄褐色、灰褐色,中密—密实,局部稍密状态,湿—饱和,混粒结构,矿物成分以石英、长石为主,粘粒含量10%。含>2 mm的颗粒占总重的25%~45%,最大粒径80 mm。该层局部层位为圆砾或粗砂,夹较多的粘性土、中、粗砂及圆砾薄层,该层分布于全线起点~K2+973 m之间及K10+011 m~全线终点之间,层厚1.50~28.50 m,层底埋深16.00~44.00 m,层底标高-2.15~36.17 m。

圆砾(⑤-5):黄褐色,中密—密实,饱和。级配良好,>2 mm的砾石占全重的50%~55%,一般粒径2~20 mm,最大粒径60 mm,母岩以火成岩为主,呈亚圆形一次棱角状,填充物为中、粗砂及少量粘性土,局部粘性土含量偏高。该层局部分布,分布于全线起点~K2+973 m之间,厚度1.30~12.00 m,层底埋深22.10~32.20 m,层底标高17.43~29.47 m。

2.6 第四系中更新统冰积层(Q_2^d)

泥砾(⑦):黄褐色、浅黄色,密实状态,湿—饱和。颗粒不均,颗分结果以砾砂及粗砂为主,含砾石,局部为粉质粘土。砾石风化严重,具胶结性,含土量较大。该层分布于线路K10+110 m~K18+105 m之间,本次勘察未穿透该层,最大揭露厚度23.00 m。

2.7 第四系下更新统冰水沉积层(Q_1^{el})

粘土(⑧):棕红色、灰白色、黄褐色,可塑—硬塑,湿。稍有光泽,干强度中等,韧性中等,无摇震反应。含氧化铁结核、云母、砂粒。该层局部分布但分布连续,在ZC-1078孔、ZC-1082孔、ZX-1205孔、ZX-1213孔、ZX-1222孔有揭露,其中ZX-1205孔穿透该层,厚度4.20 m,其它钻孔未穿透该层。最大揭露厚度11.00 m,层顶埋深44.00~47.90 m,层顶标高-3.00~0.85 m。

2.8 前震旦系花岗片麻岩层(AnZ)

花岗片麻岩(⑨):强风化,黑褐色,坚硬,呈块状,

手可折断,用镐可挖,干钻不易钻进。主要矿物为石英、长石、云母、角闪石。粒状结构,块状构造,结晶发育,风化裂隙发育,RQD 指标较差。该层仅在 ZC1076 孔、ZX1198 孔及 ZX1205 孔有揭露且未穿透,最大揭露厚度 10.50 m,层顶埋深 44.50~49.40 m,层顶标高 -4.12~0.56 m。

3 水文地质条件

沈阳市地铁二号线一期工程从北至南横贯浑河冲洪积扇。扇地地下水的赋存条件与古地貌、地层结构、岩土孔隙度和水理性质等因素密切相关,不同砂体赋存地下水的丰富程度有很大差别。整个浑河扇地蕴藏着丰富的孔隙承压水、潜水。

勘察期间,各勘探孔均见地下水,水温 9~15℃,一般 11~13℃,属冷水,地下水类型为第四系松散岩类孔隙潜水,勘察期间实测稳定水位埋深 5.1~15.7 m 之间,水位标高 31.75~42.29 m。地下水常年水位变幅 0.5~2 m。

地铁隧道在 K14+888~K15+385 段穿越浑河。1995 年发生百年一遇的洪水,据沈阳水文站实测水头高 $H=40.95$ m、流量 $Q=5\,010\text{ m}^3/\text{s}$ 、流速 $V=3.14\text{ m/s}$,

河底最大冲刷变幅 7.0 m。

浑河扇地地下水流向总体上由东向西径流。抽水试验表明单井涌水量在 $1\,720.8\sim6\,306\text{ m}^3/\text{d}$,降深 1.72~12.05 m,单位涌水量 $104.3\sim3\,665.02\text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$,水量丰富—极丰富。含水层综合渗透系数 (K) $74.8\sim210$ m,影响半径 (R) $80\sim350$ m。

4 地基土的分析与评价

4.1 场地稳定性与适宜性评价^[3]

勘察场地地势平坦,无不良地质作用,场地稳定,适宜建设。但地下水丰富,地基土渗透系数大,设计、施工过程中应高度重视地下水对工程及周边建(构)筑物的不利影响。沈阳市地铁二号线一期工程结构底板埋深 9~27 m,底板处各层均可作为天然地基持力层。设计时应注意不同层位、不同岩性持力层力学性质的差异。根据场地工程地质条件和各类桩基础的适用性分析,采用桩基础时以钻孔灌注桩为宜。钻孔灌注桩属于非挤土成桩法,不挤压周围土体,无振动,对周围环境影响较小。使用泥浆护壁时应采取措施控制泥浆的排放,避免污染环境。各层地基土岩土参数见表 1。

表 1 各层地基土岩土参数表

Table 1 Geotechnical parameters of foundation soil in each layer

地层 编号	岩土 名称	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	C/kPa	$\phi_k/(^{\circ})$	$E_{s0.1-0.2}/$ MPa	E_0/MPa	f_{ak}/kPa	q_{sa}/kPa	q_{pa}/kPa
①	杂填土							10	
②-2	粉细砂	17.0~19.0	2	33	9.3	10	100		
②-4	砾砂	19.0~20.0	0	35		30	350		
③-1	粉质粘土	18.0~19.4	20.0~36.0	12.0~18.0	3.0~5.5		150~180	14~22	
③-2	粉细砂	18.5	5	20		5	170		
③-3	中粗砂	15.0~18.5	0~4	26.0~30.0	6.0~12.0	15.0~24.0	240~300	18.0~23.0	
③-4	砾砂	18.0~19.0	0~4	32.0~35.0	8.8~12.1	30.0~35.0	400~500	26.0~50.0	1 400~2 000
③-5	圆砾	18.8~20.5	1.5~3.0	35.0~36.0		36.3~38.4	550	48.0~49.0	2 200
④-1	粉质粘土	18.5~20.0	24.0~35.0	12.0~19.0	4.2~6.5		120~180	10.0~24.0	
④-2	粉细砂	18.5	6	20.0~30.0	6.1~7.3		190	26	
④-3	中粗砂	16.0~20.0	0~5	28.0~32.0	6.9~9.2	15.0~24.6	240~320	19.0~25.0	1 500
④-4	砾砂	18.5~20.0	0~4	32.0~37.0	10.3	30.0~35.0	420~500	42~50	1 800~2 400
④-5	圆砾	19.0~20.0	2~3	34.0~35.0		28.0~42.0	550~600	38	2 200
⑤-1	粉质粘土	19.3~19.7	24.5~45.0	10.0~19.0	5.1~6.4		150~180	10.0~22.0	
⑤-3	中粗砂	18.1~19.6	0~6	28.0~33.0	8.8~10.5	15.0~20.0	240~320	25~35	1 200~1 800
⑤-4	砾砂	19.5~20.7	0~4	33.0~37.8	9.2~20.9	30.0~35.0	440~500	42.0~50.0	1 800~2 200
⑤-5	圆砾	18.5~20.0	0~4	34.0~36.0	9.6	32.0~44.6	600	47.0~55.0	2 000~2 200
⑦	泥砾	19.0~20.0	2.0~40.0	30.0~35.0	8.8	29.0~38.0	500~550	45.0~50.0	1 200~2 400
⑧	粘土	19.8	70	25	12		280		
⑨	花岗片 麻岩						600		

4.2 施工及基坑围护方案建议

建议沈阳市地铁二号线一期工程施工方法可采用明挖法、盾构法、矿山法,各工法的施工围护方案如下。

4.2.1 明挖法^[4]

根据场地工程地质条件、水文地质条件、周围环境情况等分析,建议采用支护开挖方式。基坑支护方式建议采用锚拉或内支撑排桩支护体系或地下连续墙支护体系。若采用锚拉或内支撑排桩支护体系,排桩桩型可采用钻孔灌注桩。

排桩或地下连续墙的埋置深度应满足基坑稳定性与变形要求。设计时应考虑机械设备施工、车辆运行等地面荷载及周围建筑物等既有荷载对围护体系的影响,建议施工过程中尽量减小基坑边缘的堆载,减少车辆的运行,开挖土方及时清运,避免堆放在基坑边缘,以减少对围护体系的不良影响。

基坑开挖和支撑的施工技术要点是:按一定长度分段开挖和浇筑结构,在每段开挖中再分层、每层分小段地开挖和支撑,随挖随撑,施加支撑预应力,完成每小段的开挖和支撑的施工时间限制在一定范围之内。

基坑开挖施工时应作好基坑周围地下水位、土方分层变形、支护结构自身的强度和变形等的监测工作,同时应做好基坑周围建筑物及地下构筑物、管线的监测工作。

明挖法适合在人群少、建筑群少、无交通、管线较少之地应用。如浑南地区可采用。

4.2.2 盾构法

建议采用土压平衡盾构或泥水平衡盾构。隧道衬砌结构可根据施工区段具体部位采用预制装配式衬砌、双层衬砌或挤压混凝土整体式衬砌。采用装配式衬砌或双层衬砌时,隧道接缝防水材料宜选用高强度、高精度复合型管片,满足隧道强度、刚度及防水使用要求。

盾构机在地下水位以下掘进,掘进地层主要为砾砂、圆砾、中粗砂,所含颗粒最大粒径为80~100 mm,属强透水地层。设计、施工过程中应加强防水措施,防止涌水、涌砂发生。

盾构施工过程应密切注意穿越区地面建筑物和地下重要管线的变形和位移。设计时应充分考虑建筑物基础与隧道结构之间的相互影响。在施工过程中,为预防隧道围岩变形破坏的发生,或控制其破坏的规模,可采用预注浆加固和排水降压等措施。

盾构法适合在较软弱、富含流砂之地,断面不变的区域应用。如区间跨越浑河。

4.2.3 矿山法

矿山法需在无水条件下施工,因此应采取施工降水。根据水文地质条件、地层及周围环境特征,工程降水适宜采用管井井点降水方法。

由于隧道主要位于地下水位以下强透水的砾砂、圆砾等层中,围岩类别为Ⅰ类、Ⅱ类,围岩不稳定,易坍塌,因此应采取辅助施工措施,比如侧壁导坑法并辅以小导管注浆等预支护措施,隧道开挖面采用双层衬砌。

矿山法适合粘性土层、砂层、砂卵石层,可在人群密集、城市交通繁忙的区域应用。如青年大街道。

4.3 施工中应注意的问题

(1) 明挖法施工,基坑开挖深度大、含水层透水性,支护体系应具有良好的止水效果,设计施工时应注意防止产生潜蚀、管涌、流砂等渗流破坏,确保支护体系的稳定。

(2) 工程降水、基坑施工时,应建立完整的测量和监控测量系统,对地面建筑、地下管线、地层和支护结构的动态进行观测,并及时反馈信息。

(3) 基坑支护设计需考虑由于局部管线渗漏形成的上层滞水。

(4) 盾构法施工,应注意由于砾卵石被盾构设备切削头带动而扰动土层造成超挖和地层下沉。建议在盾构机中设置破碎机。由于地层易坍塌,盾构衬砌完成后,盾尾与衬砌间的建筑空隙应及时回填。

(5) 矿山法施工,由于隧道围岩不稳定,施工过程中初期支护的挖、支、喷三环节必须紧跟,当开挖面稳定时间满足不了初期支护施工时,应采取超前支护或注浆加固措施。

(6) 明挖法和矿山法施工需降水,由于水位降深较大,降水过程中将形成较大范围的降落漏斗,设计时需考虑降水引起的地面及周围建筑物的附加变形。同时采取回灌或综合利用等措施,减少水资源的浪费。

(7) 矿山法和盾构法施工时,应对洞内有害气体含量进行监测。

(8) 黄河大街大二环立交桥下防空洞较多,大二环桥为桩基础,且路两侧有高大建筑物深基础,盾构法施工有可能遇到,应注意。

(9) 黄河大街、泰山路、北陵大街、沈阳北站—公安厅两侧、惠工街、友好街、青年大街两侧高大建筑物基础施工时基坑围护有可能有锚杆,盾构法和矿山法施工时有可能遇到,应注意。

5 结论与建议

(1) 采用明挖法施工时,基坑支护结构可优先采用内支撑或锚拉式地下连续墙,也可考虑采用内支撑或锚拉式排桩加隔水帷幕支护结构。

(2) 采用矿山法施工时,建议在隧道轮廓线以外设小导管注浆预支护。

(3) 基坑降水建议采用管井井点降水系统,同时采取回灌或综合利用等措施,减少水资源的浪费。

(4) 采用盾构法施工时,需要通过对密封舱内的弃土添加水、膨润土、粘土浆液、气泡、高级水性树脂等外加剂,经强制搅拌使挖土获得必要的流动性和抗渗性,用以平衡开挖面上的水、土压力,既起止水作用,又能保持开挖面的稳定。

(5) 施工中应加强对支护结构的位移,周围建筑物、地下管线及道路的沉降、基坑内外地下水位等的监测工作,同时应做好基坑周围土体分层变形、车站结构

自身的强度和变形等的监测工作,发现问题及时采取补救措施。

(6) 施工过程中及竣工后对地下水动态进行观测,建议设置地下水动态观测点。

(7) 施工过程中及竣工后应加强对沿线建筑物、地下管线及道路的变形等的监测工作,以便发现问题及时采取补救措施,确保安全使用。

(8) 隧道施工过程中应对洞内有害气体含量及环境进行监测。

参考文献:

- [1] 杨惠昌. 沈阳市城区工程地质图编制报告[R]. 沈阳:沈阳市勘察测绘研究院,1988.
- [2] 王世平,梁政国. 沈阳市区第四纪沉积物工程地质研究[J]. 辽宁地质,2001(1).
- [3] DB21/907—2005,建筑地基基础技术规范[S].
- [4] GB50307—1999,地下铁道、轻轨交通岩土工程勘察规范[S].

Analysis on the Geotechnical Engineering Conditions of Subway in Shenyang

GAO Cui-ling¹, SONG De-wen¹, YUAN Mao-cai²

(1. Shenyang Institute of Investigation and Survey, Shenyang, Liaoning 110015; 2. Shenyang Institute of Al-Mg Investigation and Design, Shenyang, Liaoning 110015)

Abstract: On some aspects as the regional geology, geomorphology, engineering geological conditions, hydrogeology conditions and the stability as well as the suitability of the building field, the geotechnical characteristics of No. 2 subway are analyzed and evaluated comprehensively, then the authors obtain a certain understanding of geotechnical engineering properties of No. 2 subway in Shenyang. The result provides a feasible method and technology for subway construction. Meanwhile, it also offers the geotechnical parameters for urban construction of Shenyang and provides the feasible design basis for engineering construction.

Key words: subway investigation; construction method; geotechnical parameter; geotechnical characteristics