

合肥弱膨胀土地层明挖车站结构设计方法

贾永刚

(北京城建设计研究总院有限责任公司 北京 100037)

摘要 分析合肥弱膨胀土地层的特点,其中合肥市轨道交通1号线一、二期工程有82%处于膨胀土地层。以合肥市轨道交通1号线葛大店站为设计实例,对合肥弱膨胀土地层明挖车站结构设计方法进行阐述,可为相关工程提供一定的参考。

关键词 城市轨道交通;合肥弱膨胀土地层;明挖车站;结构设计方法

中图分类号 U231.4 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2013)01-0059-05

合肥市轨道交通1号线一、二期工程起点为合肥站,终点为徽州大道站,全部为地下线,线路全长约24.58 km,共设车站23座,其中换乘站6座,车站均采用明(盖)挖法施工。1号线工程位于合肥市中心城区及滨湖新区,属江淮波状平原。根据勘察及区域地质资料,将合肥市轨道交通1号线一、二期工程划分为3个工程地质单元。

工程地质Ⅰ单元:合肥站—明光路站(不含),本段线路地形较为平坦,地势自北向南逐渐降低,地貌类型主要为南淝河一级阶地和二级阶地,该范围共2站2区间。

工程地质Ⅱ单元:明光路站—南一环站(不含)。本段线路地形略有起伏,总体地势为自北向南逐渐升高,地貌类型主要为南淝河河床及河漫滩、南淝河一级阶地,该范围共3站3区间。

工程地质Ⅲ单元:南一环站—终点。本线路地形有一定起伏,地势自北向南呈波状起伏,自然地面标高约在11.55~29.70 m之间,地貌为南淝河二级阶地,该

范围共18站17区间。

根据勘察报告显示,南淝河一级阶地和南淝河二级阶地范围内的土层膨胀性较为明显,对工程影响较大,据统计合肥市轨道交通1号线一、二期工程受膨胀土影响的范围占全线的82%,因此对于合肥地区弱膨胀潜势地层地铁明挖车站结构设计方法进行探讨十分必要。

1 合肥地区膨胀土概况^[1-2]

膨胀土是指具有较大的吸水后显著膨胀、失水后显著收缩特性的高液限黏土。1号线工程南淝河一级阶地和南淝河二级阶地范围内分布的黏土②层、黏土③、黏土④层均具有膨胀性,具有显著的吸水膨胀和失水收缩的变形性能,即使在荷重作用下仍能浸水膨胀,产生膨胀压力,同时膨胀土还具有胀缩变形的可逆性,在吸水膨胀、失水收缩后,有再吸水膨胀、再失水收缩的特性,在反复膨胀收缩过程中,能够产生较高的膨胀力。具体以葛大店站为例,如表1所示。

表1 膨胀性指标

地层代号	岩性名称	自由膨胀率 $\delta_{ef}/\%$	膨胀率 $\delta_{e50}/\%$	收缩系数 λ_s	膨胀力 P_e/kPa	
					试验值	经验值
②	黏土	55	0.44	0.40	64.0	60
③	黏土	60	0.68	0.44	58.31	60
④	黏土	50	0.40	0.41		60

根据GBJ 112—87《膨胀土地区建筑技术规范》中表2.3.3膨胀土的膨胀潜势分类,1号线工程南淝河一级阶地和南淝河二级阶地范围内分布的黏土膨胀潜势为弱膨胀潜势,见表2。

表2 膨胀土的膨胀潜势分类

自由膨胀率 $\delta_{ef}/\%$	膨胀潜势
$40 \leq \delta_{ef} < 65$	弱
$65 \leq \delta_{ef} < 90$	中
$\delta_{ef} \geq 90$	强

收稿日期: 2012-03-12 修回日期: 2012-10-08

作者简介: 贾永刚,男,硕士,高级工程师,合肥分院副院长,合肥市轨道交通1号线一、二期工程设计总体兼结构总体负责人,主要从事城市轨道交通设计研究工作,4449266@qq.com

2 明挖车站结构设计^[2-7]

明挖车站结构设计工作一般分为基坑支护结构设计、主体结构设计两部分,下面针对此内容分别结合合肥地区弱膨胀潜势地层情况进行分析。

2.1 明挖车站基坑支护结构设计

由于膨胀土的胀缩特性,在明挖车站基坑支护设计针对其特性设计首先从“短开挖、快封闭、强措施、防渗入、留基土”等构造措施入手最大限度地减少膨胀土的危害。

“短开挖”指基坑开挖深度不宜过大,一般不超过2 m,方便桩间挂网喷砼的施作。

“快封闭”指随挖随对桩间暴露土体进行挂网喷砼,保证土体的临空面最短时间内封闭,保证土体天然含水量的变化较小。

“强措施”指由于桩间土体有膨胀性,为保证桩间土体的稳定,结合合肥地区基坑支护经验,采取桩间挂网喷砼中增加加强钢筋的做法来处理。

“防渗入”指雨水、施工用水、管网漏水等水体不得流入基坑围护桩与土的缝隙,地表水渗入后会造成膨胀土的天然含水量发生较大变化从而发生危害。

“留基土”指基坑挖土接近基底设计标高时,宜在其上部预留150~300 mm土层,待下一工序开始前人工挖除,并及时对基坑底进行覆膜或垫层施工。

除上述构造措施之外,对于地铁基坑支护结构设计至关重要的首先是土压力的选取与计算,而土压力的大小关键取决于勘察报告提供的土的抗剪强度指标,根据勘察单位提供的勘察报告,具体以葛大店站为例,见表3。

表3 葛大店站岩土物理力学性质综合统计

层号	岩土名称	统计指标	土的物理性质					土的压缩性		天然快剪		固结快剪	
			$\omega/\%$	S_r	e	I_p	I_L	E_{S1-2} /MPa	a_{1-2} /MPa ⁻¹	c/kPa	$\phi/^\circ$	c/kPa	$\phi/^\circ$
①	粉质黏土填土	建议值								10	8		
		平均值											
		标准值											
① ₁	杂填土	建议值								0	8		
		平均值											
		标准值											
②	黏土	建议值						10		45	12	45	12
		平均值	23.5	93.7	20.9	22.9	0.08	12.5	0.14	70	17	75	15
		标准值								66	15	69	12
③	黏土	建议值						11		47	12	47	12
		平均值	23.5	93.7	20.9	22.9	0.08	12.5	0.14	70	17	75	15
		标准值								66	15	69	12
④	黏土	建议值						13		45	12	45	12
		平均值	21.9	90.4	20.9	23.5	0.04	14.0	0.12	85	16	91	15
		标准值								82	15	85	14

由勘察单位提供的表3中可以看出,土的抗剪强度指标中平均值与建议值,对于黏聚力指标基本上是根据多年来合肥地区民用建筑基坑工程的经验进行了0.52~0.67倍的折扣,对于内摩擦角则是采取了0.8倍的折扣。设计取用的抗剪强度指标是表3中的建议值。

明挖车站基坑设计主要原则是基坑围护结构采用以分项系数表示的极限状态设计法设计;围护结构上作用土压力及地面超载产生的侧压力,按朗肯主动土

压力,黏土中水土合算;围护结构综合荷载分项系数取1.25;对围护桩(墙)的内力设计值,按照地勘报告提供的土体抗剪强度指标建议值选取;以内支撑为水平受压为主的受力构件,是基坑工程失稳的首要关键,因此为保证基坑工程的整体稳定,内支撑稳定性计算时考虑3种工况进行分析:1)不考虑膨胀力因素,土压力按照上述土体抗剪强度指标建议值选取,最后取轴力设计值计算支撑稳定;2)考虑膨胀力因素,膨胀力分项系

数为 1.0,此时对应的土压力荷载按照上述土体抗剪强度指标建议值选取,最后取轴力标准值计算支撑稳定;
3)考虑膨胀力因素,膨胀力分项系数为 1.0,土压力按照土体抗剪强度指标标准值选取,最后取轴力设计值计算支撑稳定。

膨胀力的取值按照支撑受荷面积内土体的膨胀率,查膨胀率-压力曲线(见图 1)求得。膨胀率按下式计算

$$\delta = x/h \tag{1}$$

式中: δ 为膨胀率; x 为支撑受荷面积内围护的平均变形值; h 为膨胀土的大气急剧影响深度,合肥地区为 1 500 mm。

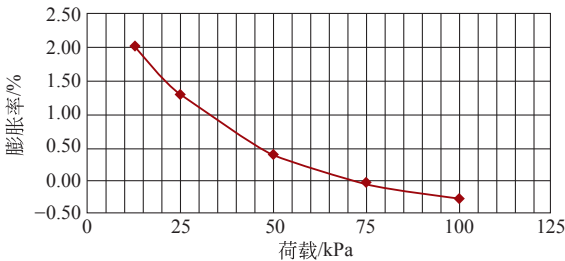


图 1 膨胀率-压力曲线

2.2 明挖车站主体结构设计

明挖车站主体结构设计主要原则是明挖车站主体结构采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠度指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行设计;明挖车站主体结构上作用水、土压力,按静止水、土压力取值,水土分算;明挖车站主体结构宜按底板支承在弹性地基上的结构物计算,结构宜简化为平面问题进行分析并计入立柱和楼板的压缩变形、斜托的影响。

明挖车站主体结构计算按照下述工况分析:一是正常使用极限状态,此工况考虑永久荷载与基本可变荷载效应准永久组合,其中土压力按照土体抗剪强度指标建议值选取,此工况一般以裂缝宽度为主要控制指标;二是承载能力极限状态,此工况一般以强度为主要控制指标,此状态可分为 4 种工况:1)考虑永久荷载与基本可变荷载效应组合设计值,其中土压力按照土体抗剪强度指标建议值选取,对于明挖车站主体结构一般情况由永久荷载控制,永久荷载的分项系数取 1.35;2)考虑地震作用效应和其他荷载效应的基本组合,其中重力荷载分项系数,一般取 1.2,水平地震作用分项系数取 1.3;3)考虑人防荷载和永久荷载效应的基本组合,其中永久荷载分项系数,一般取 1.2,人防荷载作用分项系数取 1.0,此工况材料强度设计值需根据

《人民防空工程设计规范》中相关规定计算;4)考虑永久荷载与膨胀力荷载效应组合设计值,其中土压力按照土体抗剪强度指标建议值选取,对于明挖车站主体结构一般情况由永久荷载控制,永久荷载的分项系数取 1.2,膨胀力荷载分项系数取 1.0。

2.3 例题

合肥市轨道交通 1 号线一期工程葛大店站位于二环路和祁门路之间的包河大道路口,车站偏包河大道东侧敷设。本站为地下 2 层岛式车站,总长为 200 m,标准段宽度 19.9 m,顶板覆土约 3 m,底板埋深约 16.5 m,基坑支护采用 $\phi 800@1300$ 围护桩支护,标准段竖向 3 道支撑,1 道换撑,本站邻近高架桥桥基,因此首道支撑采用混凝土支撑。下面依据上述设计原则对该站的基坑支护结构和车站主体结构进行相应分析。图 2 地质柱状图中②黏土、③黏土、④黏土均为合肥弱膨胀土层,具体膨胀性能指标见表 1。

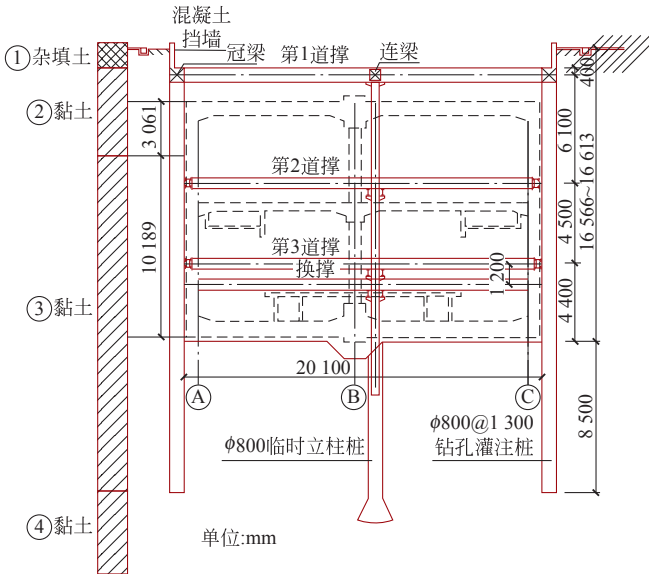


图 2 葛大店站标准断面围护结构剖面图

2.3.1 支护结构计算

围护结构采用 Fspw6.0(理正)进行计算,对围护桩的内力设计值,按照地勘报告提供的建议值即考虑膨胀力影响折减后的土体抗剪强度指标计算,计算过程与常规地层相同,在此不再赘述,计算结果见图 3、表 4。下面重点介绍内支撑轴力的设计分析。

理论上讲,明挖基坑内支撑的计算工况 c 更符合实际。工况 a、b 的计算结果较接近,比工况 c 的计算值分别大 42.6%、34.3%,可以初步判定地勘报告对土体抗剪强度指标的折减偏安全。

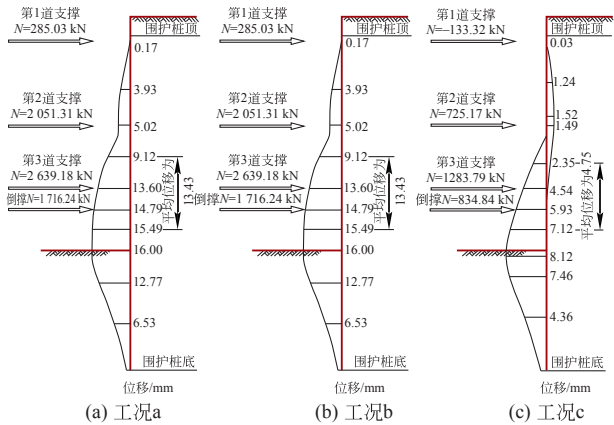


图3 各工况计算支撑轴力及围护变形图

表4 各工况支撑轴力计算对比

工况	围护变形值 x/mm	膨胀率 $\delta = x/h$	膨胀力 N_1/kN	支撑轴力标准值 N_2/kN	支撑轴力组合方式	支撑轴力组合值 N/kN
a	13.43	0.9	/	2 639.18	$N = 1.25N_2$	3 298.975
b	13.43	0.9	467.25	2 639.18	$N = N_1 + N_2$	3 106.43
c	4.75	0.32	707.55	1 283.79	$N = N_1 + 1.25N_2$	2 312.288

注： h 为膨胀土的大气急剧影响深度，合肥地区为1 500 mm。

2.3.2 明挖车站主体结构计算

明挖车站主体结构按照上述荷载组合原则,按以下5种荷载组合对地铁明挖主体结构进行计算,计算程序采用通用程序SAP84,计算结果见图4、表5~表9。

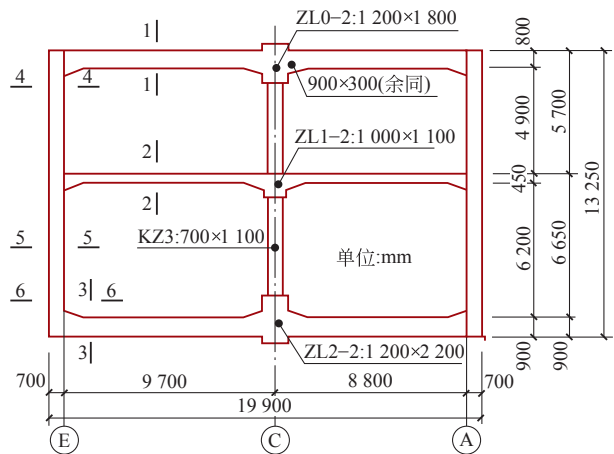


图4 葛大店站标准断面图

荷载组合1: $S = S_{\text{GK}} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{QiK}$, 其中 ψ_{qi} 取0.6~0.8。

荷载组合2: $S = \gamma_G S_{\text{GK}} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{QiK}$, γ_G 取1.35, γ_{Qi} 取1.4。

荷载组合3: $S = 1.2 S_{\text{GK}} + 0.6 S_{QiK} + 1.3 E_k$

荷载组合4: $S = 1.2 S_{\text{GK}} + R_k$

荷载组合5: $S = 1.2 S_{\text{GK}} + P_k$

式中, S_{GK} 为永久荷载标准值; S_{QiK} 为可变荷载标准值; E_k 为地震荷载标准值; R_k 为人防荷载标准值; P_k 为膨胀力荷载标准值。

表5 荷载组合1:永久荷载与基本可变荷载效应准永久组合内力设计值(裂缝计算)

断面编号	断面尺寸/mm	弯矩/kNm	剪力/kN	轴力/kN	裂缝宽度/mm	配筋面积/mm ²	是否控制配筋
1-1	800	542.5	0	324.3	0.3	3 250	控制
2-2	450	94.5	0	412.8	0.3	520	不控制
3-3	900	904.3	748	896.1	0.3	4 100	控制
4-4	700	643.4	324.4	537.2	0.3	4 730	控制
5-5	700	151.6	0	792.5	0.3	385	不控制
6-6	700	846.6	700	851.7	0.3	5 950	控制

表6 荷载组合2:永久荷载与基本可变荷载效应组合内力设计值(强度计算)

断面编号	断面尺寸/mm	弯矩/kNm	剪力/kN	轴力/kN	配筋面积/mm ²	是否控制配筋
1-1	800	733.1	0	438.2	2 638	不控制
2-2	450	127.7	0	557.8	900	控制
3-3	900	1 222	1 011	1 211	3 202	不控制
4-4	700	869.5	438.4	726	3 755	不控制
5-5	700	204.9	0	1 071	最小配筋率	不控制
6-6	700	1 144	945.9	1 151	4 312.02	不控制

表7 荷载组合3:地震作用效应和其他荷载效应的基本组合

断面编号	断面尺寸/mm	弯矩/kNm	剪力/kN	轴力/kN	配筋面积/mm ²	是否控制配筋
1-1	800	611.5	0	467	2 054	不控制
2-2	450	91.89	0	25.97	最小配筋率	不控制
3-3	900	696.4	803.9	418.8	2 108	不控制
4-4	700	456.1	289.9	584.4	1 538	不控制
5-5	700	135.1	0	852.9	最小配筋率	不控制
6-6	700	781.6	418.9	933.2	2 733.88	不控制

表8 荷载组合4:人防荷载和永久荷载效应的基本组合

断面编号	断面尺寸/mm	弯矩/kNm	剪力/kN	轴力/kN	配筋面积/mm ²	是否控制配筋
1-1	800	943.9	0	527.6	246 9	不控制
2-2	450	128.5	0	422.4	最小配筋率	不控制
3-3	900	1 346	1 180	1 164	2 550	不控制
4-4	700	1 119	527.9	923.4	3 229	不控制
5-5	700	163.5	0	1 269	最小配筋率	不控制
6-6	700	1 287	1 042	1 349	3 416.47	不控制

表9 荷载组合5:永久荷载与膨胀力荷载效应组合设计值

断面 编号	断面尺寸 /mm	弯矩/ kNm	剪力 /kN	轴力 /kN	配筋面积 /mm ²	是否控 制配筋
1-1	800	648.1	0	512	2 153	不控制
2-2	450	127.7	0	856.2	最小配筋率	不控制
3-3	900	1 230	967.1	1 390	2 972	不控制
4-4	700	789.8	1 390	665.3	3 164	不控制
5-5	700	260.6	0	1 009	1 400	控制
6-6	700	1 149	927.2	1 090	4 426.29	不控制

3 结论

通过表4的分析可知,对于明挖基坑内支撑稳定性计算,工况c的计算结果比工况a、b的计算值小很多,初步分析地勘报告中提供的土体抗剪强度指标建议值的折减偏安全。建议在后续工程施工取得大量监测统计数据的基础上优化对土体抗剪强度指标的折减系数。

通过表5~表9的分析可知,明挖车站主体结构构件的配筋主要为裂缝验算工况控制,也有部分构件配筋为其他工况控制,如楼板跨中为强度计算控制,侧墙跨中为膨胀力工况控制,按上述5种工况进行设计分析是十分必要的。

本文在撰写过程中得到了北京城建设计研究总院胡显鹏工程师、王金山助理工程师、胡玉超助理工程师的协助,在此表示感谢。

参考文献

[1] GBJ 112—87 膨胀土地区建筑技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,1989.
[2] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建

(上接第53页)

通线路的通道和换乘节点。市域轨道交通的通道可适当偏离中心城最核心的客流走廊,这将有利于今后的控制和实施。

参考文献

[1] 朱卫国. 基于出行时耗的轨道交通功能定位[J]. 都市快轨交通,2010,23(3):60-63.
[2] 赵永平,顾仲阳,于猛. 城镇化,让百姓生活更美好[N/OL]. 人民日报,2012-09-04.
[3] 国务院发展研究中心课题组. 中国城镇化:前景、战略与政策[M]. 北京:中国发展出版社,2010.
[4] 刘友梅,杨颖,李耘菴. 区域交通发展需要的新型轨道交通车辆——通勤动车组[J]. 电力机车与城轨车辆,2011,34(4):1-3.
[5] 中国地铁工程咨询有限责任公司. 宁波市余慈地区轨道交通线网规划[R]. 北京,2009.

(编辑:郝京红)

筑工业出版社,2011.

[3] 北京城建设计研究总院有限责任公司. 合肥市轨道交通1号线葛大店站施工设计图A版[G],北京,2011.
[4] GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
[5] GB 50009—2001 建筑结构荷载规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
[6] 北京城建勘测设计研究院有限责任公司. 合肥市轨道交通1号线一期工程葛大店站(车站主体部分)岩土工程勘察报告[R],北京,2010.
[7] REJ 02—2009 轨道交通工程人民防空设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2009.

(编辑:郝京红)

Design of the Station Structure in Weak Expansive Soil by Open-cut Method in Hefei Metro

Jia Yonggang

(Beijing Urban Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100037)

Abstract: This paper introduces the features of weak expansive soil in Hefei city. 82% of the phase 1 and 2 projects on Line 1 of Hefei metro will traverse the expansive soil. This paper takes Hefei metro Line 1 Gedadian station as an example and elaborates the station structural design. The station was embedded in weak expansive soil and built by open-cut method. The practice may be of help to similar engineering projects.
Key words: urban rail transit; Hefei weak expansive soil; open-cut station; structural design method

On the Development of Regional Rail Transit during the Rapid Urbanization Process in China

Jiang Yong Liu Qian

(China Metro Engineering Consulting Corporation, Beijing 100037)

Abstract: The concept of regional rail transit is clarified into two types, namely, regional rail transit and regional railway from perspectives of service object, function orientation and technical requirements. This article puts forward two types of regional rail transit based on urban development patterns. It further elaborates the requirements of regional rail transit from the characteristics of Chinese urbanization development, and explores the key issues of regional rail transit development from the aspects of road network, development of vehicle systems, multi-level network connection, management system of approval and selecting construction occasions.
Key words: regional rail transit; urbanization; road network; vehicle; network connection; examination and approval; construction occasion