

文章编号: 1007-2993(2013)01-0021-04

# 南京长江漫滩地层中地铁车站基坑方案研究

孙晓锋 方忠强

(江苏省交通规划设计院股份有限公司, 江苏南京 210005)

**【摘要】** 总结了南京河西长江漫滩地层的工程地质和水文地质特点, 在调查了该地区已建地铁车站支护方案及实施效果的基础上, 对适用于长江漫滩区地铁车站的基坑支护结构方案进行比较, 对基坑工程中常见问题提出了针对性措施, 对今后该地区地铁车站基坑工程设计和施工具有一定的指导意义。

**【关键词】** 长江漫滩, 基坑工程, 地铁车站

**【中图分类号】** TV 551.4; TU 942

**【文献标识码】** B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2013.01.006

## Study on Foundation Pit Project of Subway Station in Yangtze River Floodplain

Sun Xiaofeng Fang Zhongqiang

(Jiangsu Provincial Communication Planning and Design Institute Co., Ltd. Nanjing 210005, Jiangsu, China)

**【Abstract】** This paper summarizes engineering geological and hydrogeological characteristics of the Yangtze River floodplain in the west river area of Nanjing. And surveyed the built subway station foundation pit support scheme and implementation effect, compared the foundation pit support scheme of subway station for the west river area of Nanjing, proposed targeted measures for common problem. This paper has a certain guiding value for design and construction of subway station pit in this area.

**【Key words】** yangtze river floodplain; foundation pit engineering; subway station

### 0 引言

南京河西地区位于内秦淮河以西与长江中间的区域, 为长江低漫滩冲积平原<sup>[1]</sup>。第四系覆盖层厚度较大, 主要为长江漫滩相冲淤积成因的饱和软弱粘性土、饱和粉土及砂土。随着河西新城的开发建设, 已有工程建设者和学者对该地区软土特性进行了一些研究<sup>[2-3]</sup>, 对该地区基坑工程的设计和施工进

行了探讨<sup>[4-5]</sup>。

南京河西地区地铁有已建成 1、2 号线、在建 10 号线一期工程, 规划还有多条地铁线路。由于地铁基坑深度较大, 一般两层车站基坑深度超过 15 m, 三层车站基坑深度则超过 20 m, 基坑施工难度和风险均较大, 有必要对该地区的地铁车站基坑进行系统分析。南京河西长江漫滩主要地层分布见图 1。

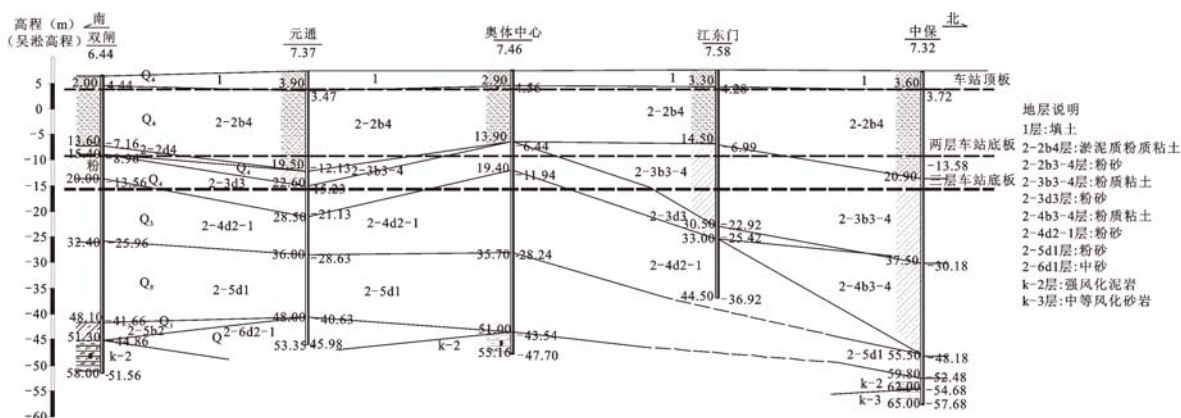


图 1 南京河西长江漫滩地区典型地质剖面图

作者简介: 孙晓锋, 1980 年生, 男, 汉族, 江苏如皋人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事地下工程和隧道的设计研究。E-mail: shawn\_xiaofeng.sun@gmail.com

## 1 河西地区工程地质及水文地质特点

1) 区域地质总体分布为上部淤泥质粉质粘土, 下部粉土、粉砂地层, 基岩埋置深度 50~60 m, 不透水地层埋置深。基坑施工时, 地下水难以隔断。

2) 软塑—流塑淤泥质粉质粘土及粉土、粉砂层分布范围广, 厚度大, 其中淤泥质粘土土质差、厚度大、含水量高、强度低、高压缩性、高灵敏度、易产生蠕变, 软土指标见表 1。

表 1 河西地区软土层物理力学性质表

含水率	孔隙比	液限	塑限	塑性指数	液性指数	重度	粘聚力	内摩擦角	压缩系数	压缩模量
$w/\%$	$e$	$w_L/\%$	$w_p/\%$	$I_p$	$I_L$	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$c/\text{kPa}$	$\varphi/(\text{°})$	$a_{1-2}/\text{MPa}^{-1}$	$E_{s1-2}/\text{MPa}$
36~56	0.95~1.7	32.5~52	19~35	11~30	0.95~2	16~18.7	2~15	2~16	0.6~1.1	1.7~3.5

注: 表中剪切指标为直接快剪试验结果

3) 场地承压水含水层厚度大且与长江及秦淮河水系连通, 含水量丰富, 渗透系数大(见表 2), 在水位以下稳定性差, 受扰动强度将明显降低。

表 2 河西地区粉砂层渗透系数

项目	室内试验成果	现场实验 (奥体中心)	现场试验 (10 号线)
渗透系数 $/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	8.6e-4~ 3.6e-3	1.70e-2~ 4.40e-2	1.29e-2~ 1.56e-2

## 2 河西地区已建地铁车站基坑调查分析

河西地区的基坑工程根据其开发建设时续不同、基坑的深度与周边条件不同, 采用的基坑保护等级和基坑围护结构及降水方案各不相同。在

2001 年—2004 年开发河西新城之初, 由于河西地区处处是农田、菜地、沟塘, 基本没有需要保护的周边建、构筑物, 因此基坑工程的支护结构及降水方案主要从满足基坑工程安全、经济、施工快速角度考虑, 较浅基坑多采用大放坡开挖辅以管井降水, 较深基坑多采用复合土钉墙或钻孔桩+止水帷幕, 极少采用地下连续墙围护。随着早期开发建筑的建成, 后期施工的基坑工程要考虑其施工期间对周边已建成建筑、地下构筑物的影响, 后续施工的基坑围护结构型式出现多样性。主要有如下几种: 地下连续墙、钻孔桩+止水帷幕、SMW 工法桩、套管咬合桩等, 见表 3。

表 3 河西地区已建地铁车站围护结构及实施效果统计一览表

站 位	车站规模	位 置	周边环境	围护结构	降水情况	实施效果
奥体中心站	地下一层、地上三层侧式车站	奥体大街与乐山路口西北角	周边场地开阔	复合式土钉墙	管井井点与轻型井点结合降水	地面沉降大
元通站(一号线)	两端地下二层, 中间地下一层	河西大街与江东中路交叉口	周边为农田、鱼塘, 场地开阔	套管咬合桩	坑内管井井点降水	地面沉降大
中胜站	地下一层侧式车站	河西大街与泰山路交叉口	周边为农田、鱼塘, 场地开阔	$\phi 850@600$ SMW 桩	坑内管井井点降水	地面沉降大, 围护结构变形大
雨润大街站	地下两层岛式车站	雨润大街与黄山路交叉口	距双和园小区数栋高层居民楼 40 m	$\phi 850@600$ SMW 桩	坑外管井减压井降水	沉降大
元通站(二号线)	地下三层岛式车站	河西大街与江东中路交叉口	周边为国际博览中心及多栋在建高层建筑	800 地下连续墙	坑内管井井点降水, 坑外管井减压井降水	围护结构渗漏、管涌, 造成周边路面坍塌
奥体东站	地下两层岛式车站	江东中路和新安江街交叉口	周边场地开阔, 与开发合建	$\phi 850@600$ SMW 桩	坑内管井井点降水, 坑外管井减压井降水	地面沉降大
兴隆大街站	地下两层岛式车站	兴隆大街与江东中路交叉口东北角	周边场地开阔	$\phi 1000@800$ 套管咬合桩	坑内管井井点降水	沉降控制较好
集庆门大街站	地下两层双岛式车站	集庆门大街与江东中路交叉口	周边有利德家园(15 层)、鹭鸣苑、建华商城等多栋建筑物	$\phi 1000@800$ 套管咬合桩	坑内管井井点降水	基坑管涌, 周边地表沉降大, 建筑物局部开裂
云锦路站	地下两层岛式车站	水西门大街与纪念馆东路交叉口	千峰彩翠高层, 数栋多层建筑	600 地下连续墙	坑内管井井点降水	沉降控制较好

### 3 地铁车站基坑工程方案比较

结合河西地区工程地质及水文地质资料,对适用于河西地区地铁车站的主要围护结构型式进行经

济技术比较(见表4),新建工程可根据车站规模、周边环境等因素选择合适的支护方案。

表4 地铁车站围护结构方案经济技术比较表

项目	SMW工法	套管咬合桩	地下连续墙	钻孔灌注桩+止水帷幕
地层适应性	适用于软弱地层	适用于软弱地层,也可适用于一定自稳能力地层	适用于软弱地层,也可用于半土半石地层	适用于多种地层
围护结构效果	围护结构变形大,地表沉降不易控制	围护结构刚度大、变形小,基坑施工对邻近建筑物和地下管线影响小	围护结构刚度大、变形小,基坑施工对邻近建筑物和地下管线影响小	围护结构刚度大、变形小,基坑施工对邻近建筑物和地下管线影响小
防水效果	施工质量易保证,造价较低,沿墙体无接缝,止水效果好	咬合桩对竖向垂直度要求较高,施工不到位容易产生漏水涌泥的问题	防水效果取决于墙接缝的质量,总体上防水效果好	设置止水帷幕后防水效果较好
与永久结构结合情况	内插型钢回收,不考虑作为永久结构	可作为永久结构的一部分受力	可为单层结构,亦可与内衬墙组合成复合结构共同受力	可作为永久结构的一部分受力
对环境的影响	无泥浆污染,废土外运量只有连续墙的1/5左右	无须排放泥浆,近于干法成孔,机械设备噪音较小	产生泥浆和噪音,对环境造成一定的污染	产生泥浆和噪音,对环境造成一定的污染
设备要求	需要专用大型设备	需要专用大型设备	需要大型挖槽机	需要小型设备,三轴搅拌桩作止水帷幕设备较大
场地要求	较大	较大	大	较小
工艺、难度	工艺成熟、难度小	工艺成熟、难度小	工艺成熟、难度小	工艺成熟、难度小
施工进度	施工速度快	施工速度慢	软弱层施工速度快	施工速度慢
造价	较低	较高	高	较高(含止水帷幕)

### 4 河西地铁车站基坑工程常见问题及针对性措施

1) 淤泥质粉质粘土厚度较大,该地层具有含水量高、强度低、高压缩性、高灵敏度、易产生蠕变等工程特性。有如下几个工程问题:

① 在进行基坑开挖时易引发基坑失稳、滑塌,造成周边管线、建(构)筑物变形过大,影响其使用,甚至发生灾害事故;

② 基底土体作为天然地基时承载力不足;

③ 可能引起车站主体结构不均匀沉降;

④ 易产生坑底土隆起。

针对性措施:

① 根据基坑深度和周边建(构)筑对变形的要求等因素确定基坑等级。基坑等级较高时采用刚度大的围护结构。在基坑的竖向支撑体系中,车站的第一道支撑采用砼支撑,其余采用钢支撑,见图2。

钢筋混凝土支撑抗压强度高,变形小,刚度大,对控制基坑侧向变形、保护围护结构稳定性具有重要作用,钢支撑施工速度快,可以通过预加支撑轴力求控制基坑侧向变形,缩短坑底土体的暴露时间,减小坑底土体流变而造成的强度削弱。



图2 河西某地铁车站基坑

② 当车站底板或出入口位于软弱土层时,对地基土进行加固处理,可采用水泥土搅拌桩、旋喷桩等。车站主体基坑坑底加固范围一般可采用裙边+抽条型式<sup>[6]</sup>(见图3),当基坑较宽时可采用裙边+格栅型式,加固深度坑底下3~5 m。以改善坑内土性质,提高被动土压力,提高坑底土的地基承载力。



图3 地基加固平面图

2)粉土、粉砂层中含有微承压水,承压水水头位于地下0.5~2.0 m,且与长江、秦淮河有联系,含水量丰富,相对隔水层埋深较大,在高水头承压水作用下容易出现涌水、涌砂等危害基坑安全问题。

针对性措施:

①采用纯隔渗方式,即止水帷幕插入下部不透水层。地下连续墙在满足嵌固深度后到隔水层段可采用素混凝土灌注,保证隔水效果;或者采用超深三轴水泥土搅拌桩,目前国内已有成功应用的案例,桩长超过50 m<sup>[7-8]</sup>。此方案对周边环境影响较小,但围护结构或止水帷幕深度很大,工程造价相对较高。

②采用隔渗与深井减压降水相结合的方式,止水帷幕不插入下部不透水层,满足抗渗流计算要求,并且超过坑内降水井底1~2 m。坑内设置2排降压井,根据“按需降水”的原则进行减压降水,合理控制承压水水位,减小降水对周边环境的影响。

3)淤泥质粉质粘土具有高压缩性、高灵敏性,粉土、粉砂地层受扰动强度将显著降低。因此基坑周边降水施工时,地表沉降难以控制,对建(构)筑物及地下管线保护不利。

针对性措施:基坑围护结构与保护建筑之间根据保护要求采用SMW工法施工的隔断墙将地下水降落曲线隔断;坑外设置一定数量的水位观测井兼回灌井,控制基坑降水的对周边环境的影响。

4)根据地铁车站主体结构基坑开挖深度,基底土主要由淤泥质粉质粘土和粉砂组成,基坑开挖过程中,因土体卸荷会造成坑底土的回弹隆起。

针对性措施:对坑底土进行加固处理,以增加坑底一定深度范围内的土体刚度,在合理的工期内尽

量减少基坑暴露时间,基坑分段分层开挖,将回弹量控制在一定的范围内。

## 5 结论

南京河西长江漫滩地层,上部为流塑状软土,下部为粉细砂,基岩埋藏较深,在这样的地层中地铁车站基坑开挖风险较大。本文在调查了该地区已建地铁车站支护方案及实施效果的基础上,对适用的基坑支护结构方案进行比较,并对基坑工程中常见问题提出了针对性措施,对今后该地区地铁车站基坑工程设计和施工具有一定的指导意义。

## 参考文献

- [1] 南京市建设委员会. DGJ32/J 12-2005 南京地区建筑地基基础设计规范[S]. 229.
- [2] 朱春明. 南京河西地区软土成因及工程性质评价[J]. 山西建筑, 2009, 35(30): 94-96.
- [3] 侯晓亮, 赵晓豹, 李晓昭. 南京河西地区软土次固结特性试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(5): 888-892.
- [4] 胡光云, 刘鑫泉. 南京河西软土区基坑工程设计与施工要点[J]. 山西建筑, 2009, 35(15): 73-74.
- [5] 周金陵, 徐锦生. 长江漫滩区域基坑支护和土方开挖施工中的问题及其对策[J]. 江苏建筑, 2007(1): 68-73.
- [6] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [7] 杨学军, 姜炜华. 超深三轴搅拌桩止水帷幕关键技术深基坑中的应用[J]. 地下工程与隧道, 2009(1): 28-34.
- [8] 章兆雄, 李星, 谢兆良, 等. 超深三轴水泥土搅拌桩技术及在深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S2): 383-386.

收稿日期: 2012-11-05

(上接第12页)

- [4] 于海成, 席宁中, 李业龙. 真空联合堆载预压处理大面积软土地基变形规律及分析[J]. 建筑科学, 2009, 25(3): 61-64.
- [5] 黄知元. 真空联合堆载预压法在高速公路软基加固中的应用[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(2): 80-84.
- [6] 范志强, 刘小峰, 马建宏. 真空联合堆载预压处理深圳机场软土地基[J]. 人民长江, 2001, 32(4): 22-24.
- [7] 朱建才, 陈兰云, 龚晓南. 高等级公路桥头软基真空联合堆载预压加固试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(12): 2160-2165.
- [8] 金小荣, 俞建霖, 龚晓南, 等. 含承压水软基真空联合堆载预压加固试验研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(5): 784-789.
- [9] 张照华. 真空联合堆载预压排水固结法在沿海吹填造地中的应用[J]. 建筑科学与工程, 2009(3): 125-128.
- [10] 孙善标, 金同武, 朱慧芬. “真空联合堆载预压法”处理软基在连云港港陆桥保税库地基加固工程中的应用[J]. 公路与水路运输, 2004(12): 9-14.

收稿日期: 2012-10-12