

DOI: 10.11779/CJGE2015S2015

基坑支护新技术在敏感环境深大地下工程中的应用

陈永才^{1, 2}

(1. 华东建筑设计研究总院地基基础与地下工程设计研究中心, 上海 200002; 2. 上海基坑工程环境安全控制工程技术研究中心, 上海 200002)

摘要: TRD 水泥土搅拌墙技术和“桩墙合一”技术是基坑支护工程中的新技术。南京生态公园项目周边邻近诸多城市干道、地铁隧道、市政管线, 环境保护要求较高。文章介绍了该基坑工程的工程概况及总体设计方案, 重点说明针对保护地铁而采用的TRD水泥土搅拌墙、为节能降耗而采取的“桩墙合一”等关键技术, 并对主要的监测结果作了分析。该基坑工程已顺利完成, 设计方案的实施保证了该工程紧迫的工期要求, 大幅节省了工程造价, 并很好地保护了基坑周边的环境。

关键词: 基坑工程; 桩墙合一; TRD 水泥土搅拌墙; 承压水

中图分类号: TU43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2015)S2-0070-04

作者简介: 陈永才(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地基基础与地下工程的设计研究。E-mail: yongcai_chen@ecadi.com.

Application of a new retaining structure in deep underground projects adjacent to sensitive environment

CHEN Yong-cai^{1,2}

(1. Department of Underground Structure & Geotechnical Engineering, East China Architecture Design & Research Institute, Shanghai 200002, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Safety Control for Facilities Adjacent to Deep Excavations, Shanghai 200002, China)

Abstract: Both the TRD construction method and dual-purpose wall method are newly developed retaining techniques for excavations. Adjacent to the excavation of Nanjing Ecological Park, there are several streets, a metro station, tunnels and a lot of municipal pipelines. The general information of the project and the design work of the deep excavation are introduced. In particular, the details of the TRD construction method used for protecting the metro station and the dual-purpose wall method adopted for energy saving purpose are introduced. The field monitoring results on the performance of the excavation are discussed as well. With the help of these new techniques, the excavation has been successfully completed. The monitoring results show that the influences of the excavation on the adjacent environments are limited by using the TRD construction method and dual-purpose wall method.

Key words: excavation; dual-purpose wall method; TRD construction method; confined water

1 工程概况

TRD 水泥土搅拌墙技术和“桩墙合一”技术是基坑支护工程中的新技术^[1]。TRD 水泥土搅拌墙技术常用于沿江沿海等软土地区深基坑的承压水处理, 对控制抽降承压水带来的周边环境影响较为显著, 因此在敏感环境条件下的深基坑工程得到了广泛应用。深大基坑工程常采用围护排桩作为基坑挡土结构, “桩墙合一”技术, 不仅将围护排桩作为基坑挡土结构, 同时将其作为地下室外墙以及地下室边桩, 节能降耗显著, 是可持续发展的基坑支护新技术。基于地铁车站等敏感环境的保护要求以及节能降耗的理念, 在南京生态公园项目基坑支护设计过程中成功应用了上述两项新

技术, 达到了预期的目标。

1.1 工程简介

南京生态公园项目位于南京河西地区, 是 2014 年南京市青奥会配套工程。该项目为全埋式地下结构, 建筑面积 56000 m²。除了一些出地面的通风、采光、汽车坡道及楼梯之外, 无上部结构, 后期地面将作为公园使用。本工程为框架结构, 采用桩筏基础。基坑总面积约 28300 m², 基坑总延长 838 m, 基坑挖深约为 10.25 m。

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAJ01B02); 上海市科委工程技术研究中心平台建设项目(13DZ2251400)

收稿日期: 2015-03-26

1.2 基坑周边环境概况

基坑周边环境如图 1 所示。基坑北侧为江东南路, 江东南路下有宁和城际轨道交通一期(地铁 12 号线)黄河路站, 黄河路站设备房距离地下二层区域基坑约 43.2 m, 距离下沉式广场基坑约 6.6 m, 北侧除了有地铁车站外, 尚有地铁隧道, 地下二层区域距离地铁隧道距离约 74.2 m, 汽车坡通道距离地铁隧道约 7.7 m。本工程与地铁的关系如图 2 所示。基坑西侧为空地, 基坑南侧和东侧为市政道路, 市政道路下方埋设有较多的市政管线。

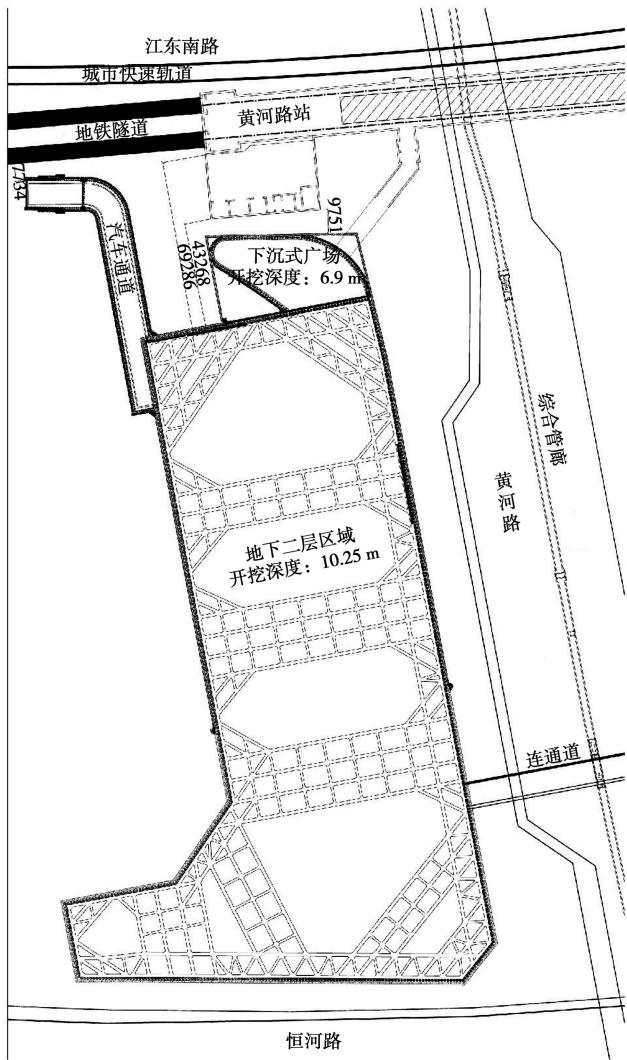


图 1 基地环境总平面图

Fig. 1 Plan view of construction site

1.3 地质概况

场地表层①为人工填土, 其下为黏土、淤泥质黏土; 中部为粉细砂、中细砂, 下部为卵石土层; 下覆基岩为粉砂质泥岩。土层物理力学性质指标详见表 1。

场地内浅层地下水属潜水, 地下水埋深约为 0.95 m。③₁ 层粉砂及以下各砂层和卵石土层为弱承压含水层, 补给来源主要为长江。弱承压水位埋深约为 5.10

米。本工程基坑基底已接近承压含水层, 基坑工程将面临严峻的承压水影响问题。

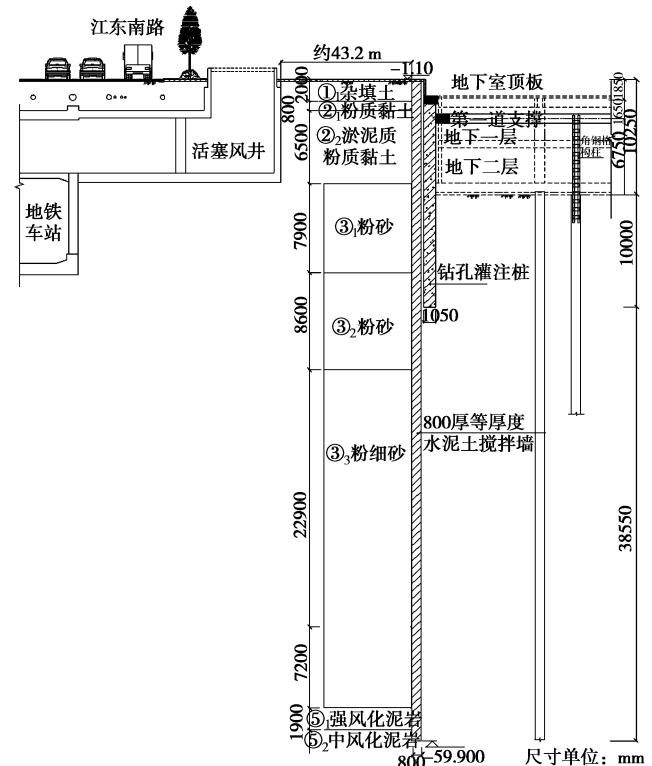


图 2 基坑围护结构剖面图

Fig. 2 Sectional view of supporting structure

表 1 土层物理力学性质指标

Table 1 Parameters of soils

层号	地层名称	重度 $\gamma/(kN\cdot m^{-3})$	固结快剪 c/kPa	固结快剪 $\phi/(^\circ)$	渗透系数/(cm·s ⁻¹)	
					垂直	水平
①-1	杂填土	18	10	15	1.00×10^{-4}	1.00×10^{-4}
①-2	素填土	18	10	15	1.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}
②-1	粉质黏土	18.1	12	16.7	4.00×10^{-7}	4.82×10^{-7}
②-2	淤泥质 粉质黏土	17.5	9	14.8	1.06×10^{-6}	1.62×10^{-6}
③-1	粉砂	18.4	3	23.2	1.40×10^{-3}	1.85×10^{-3}
③-2	粉砂	18.9	2	32.3	2.51×10^{-3}	3.25×10^{-3}
③-3	粉细砂	18.9	2	31.0	4.17×10^{-2}	9.85×10^{-3}
④	卵石土	20.0	2	40	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}

2 基坑支护设计方案

基坑工程的安全性是设计与施工的首要控制目标, 同时也必须采取合理、有效的方案型式与技术措施以控制工程造价和实现工期目标。

(1) 本工程作为 2014 年南京市青奥会配套工程, 开工时距离青奥会开幕仅有半年多时间, 因此工程工期异常紧迫。根据对多种围护体的对比分析, 采用与主体结构设计关联度较小的钻孔灌注桩作为围护结构

可大大提前工程的开工时间，为后续工作争取时间。同时，考虑到本工程面积较大，属于全埋式地下结构，地下室抗浮要求较高，本工程采用“桩墙合一”技术^[2]，以进一步降低工程造价。

(2) 本工程水文地质条件较为复杂，且北侧邻近地铁车站及区间隧道，为控制抽降承压水对周边环境的影响，特别是地铁车站及隧道的影响，北半部考虑采用 TRD 工法等厚度水泥土搅拌墙隔断坑内外的承压水，南半部采用悬挂式三轴水泥土搅拌桩止水帷幕结合坑内降水的方式进行承压水处理。

(3) 考虑到工期较为紧张，为加快施工工期，本工程通过加大围护桩的桩径，在变形满足要求的前提下，仅设置一道钢筋混凝土支撑。

综上所述，本工程总体设计方案为：采用“桩墙合一”钻孔灌注桩围护墙结合外侧隔水帷幕，北半部分设置落底式 TRD 工法等厚度水泥土搅拌墙隔水帷幕，南半部分设置悬挂三轴水泥土搅拌桩隔水帷幕；基坑竖向均设置一道临时混凝土支撑，支撑体系布置采用对撑角撑体系。

3 “桩墙合一”设计

本工程基坑面积较大，开挖深度较深，围护结构采用水平向与竖向双向结合的“桩墙合一”技术，即围护桩同时考虑作为正常使用阶段地下室侧壁挡土结构的一部分，亦作为地下室结构边跨竖向抗拔结构的一部分。其主要的优点有：①将常规废弃的临时围护桩作为永久地下室侧壁的一部分，减少地下室外墙的厚度（可以从 700~800 mm 减薄为 350 mm），节约工程造价，减少钢筋混凝土材料浪费。②本工程为全埋式地下结构，地下室抗浮要求较高，钻孔灌注桩承受地下室边跨的水浮力。

本工程开挖深度约 10.25 m，采用 Φ1050@1250 灌注桩，有效长度为 18.1 m，插入基底以下 10.0 m。

钻孔灌注桩除满足基坑开挖阶段的受力要求外，尚应满足正常使用阶段的受力要求；钢筋混凝土内衬墙承受永久使用阶段的水压力以及按刚度分配的部分土压力。

在压顶圈梁内预留插筋与结构顶板有效连接，以及钻孔灌注桩在底板范围内的预留插筋与基础底板连接，承受地下室边跨的水浮力，达到减少结构边柱的目的。

“桩墙合一”设计考虑将地下室外墙与围护排桩紧贴，在基坑开挖至基底后在围护桩表面施工防水及保温层后单侧支模施工地下室外墙，形成桩与墙共同作用的挡土止水地下室侧壁。“桩墙合一”节点详见图 3。

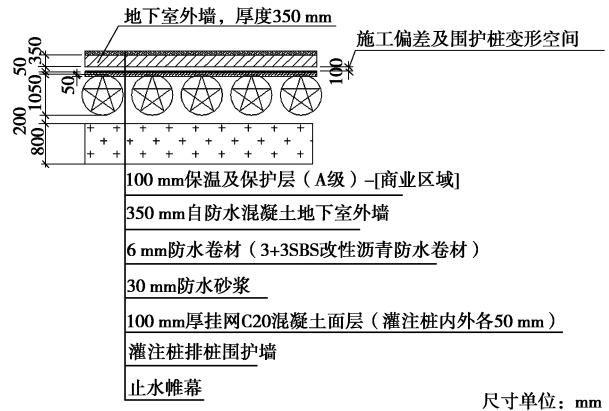


图 3 “桩墙合一”周边围护体节点

Fig. 3 Joint details of pile wall

4 TRD 水泥土搅拌墙

4.1 TRD 水泥土搅拌墙设计

本工程开挖面位于③₁层顶面位置，基坑面临着严峻的承压水问题，为减小基坑降水对基坑北侧地铁车站及隧道等敏感环境的影响，本工程在基坑北半部采用帷幕隔断坑内外的承压水的水力联系，水泥土搅拌墙^[3-4]隔水帷幕采用 800 mm 厚 TRD 水泥土搅拌墙，深度 58.8 m，进入中风化泥岩层不少于 500 mm。基坑南侧环境保护要求相对较低，南半部采用悬挂式隔水帷幕，帷幕深度 35 m，采用加接钻杆工艺进行施工。

4.2 TRD 工法墙体实施及承压水控制效果

图 4 为南京河西生态公园水泥土搅拌墙取芯芯样照片。芯样自上而下均较为完整，连续性好，破碎较小，芯样呈水泥土颜色，并且自上而下颜色较为均匀。



图 4 水泥土搅拌墙取芯芯样照片

Fig. 4 Photo of cement-soil wall core samples

图 5 为各钻孔芯样抗压强度检测结果随土层深度的变化曲线。芯样强度平均值为 3.14~3.41 MPa，强度较为均匀且基本大于 3.0 MPa，强度指标满足深厚粉砂层中承压水的隔水帷幕设计要求。

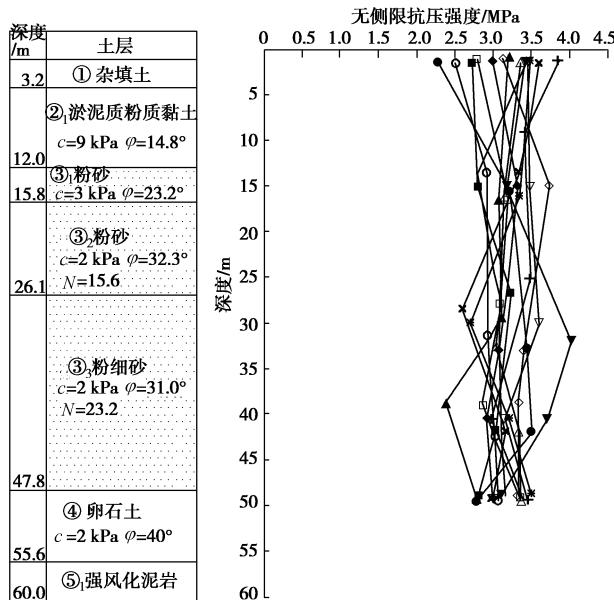


图 5 水泥土搅拌墙 28 d 抗压强度检测结果

Fig. 5 28-day compressive strengths of cement-soil wall

图 6 为坑内外承压水观测曲线图。北半部等 TRD 水泥土搅拌墙隔断区域，在基坑内降水过程中，坑外承压水的水位不随坑内水位发生变化；南半部悬挂帷幕区域，坑内外水位变化幅度最大达到 3:1，说明水泥土搅拌墙起到了很好的隔水效果。

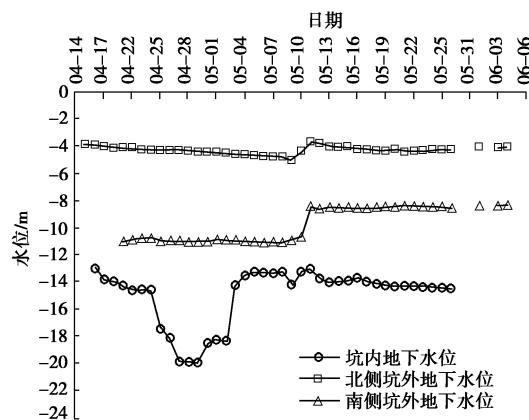


图 6 生态公园坑内外承压水位变化曲线

Fig. 6 Variation of table of confined ground water inside and outside of excavation

5 结语

南京河西生态公园项目基地北侧的环境保护要求

较高，而且作为配合 2014 年南京青奥会的重要工程，工程工期要求极高。本工程基坑支护设计中采用了保护地铁而采用的 TRD 水泥土搅拌墙、为节能降耗而采取的“桩墙合一”等关键技术，基坑竖向设置一道钢筋混凝土水平支撑，在满足工期要求的前提下，节约了造价，有效地保护了基坑周边的环境。工程按期实施完成，监测结果表明，基坑开挖引起的围护桩的最大侧向位移为 17~20 mm，基本发生在基坑中部位置，同时地铁车站及隧道也得到了有效保护，这说明本工程的设计是成功的。

参考文献：

- [1] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation engineering handbook[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 王卫东, 沈健. 基坑围护排桩与地下室外墙相结合的“桩墙合一”的设计与分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(增刊): 303~308. (WANG Wei-dong, SHEN Jian. Design and analysis of unity of support piles and basement external walls[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S0): 303~308. (in Chinese))
- [3] 王卫东, 常林越, 谭轲. 采用 TRD 工法控制承压水的邻近地铁深基坑工程设计与实践[J]. 岩土力学, 2012, 42(5): 168~171. (WANG Wei-dong, CHANG Lin-yue, TAN Ke. Design and practice of a deep excavation using TRD construction method cutting off confined water nearby subway tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 42(5): 168~171. (in Chinese))
- [4] 王卫东, 翁其平, 陈永才. 56 m 深 TRD 工法搅拌墙在深厚承压含水层中的成墙试验研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(11): 3247~3252. (WANG Wei-dong, WENG Qi-ping, CHEN Yong-cai. Experimental investigation of construction of a 56m deep constant thickness cement-soil wall using Trench Cutting Re-mixing Deep Wall (TRD) method in deep aquifers[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(11): 3247~3252. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)