

DOI: 10.11779/CJGE2019S2032

CSM 工法在软土地区深基坑承压水控制中的应用

李成巍, 梁志荣, 魏 祥, 王国粹

(上海申元岩土工程有限公司, 上海 200040)

摘 要: 以上海前滩 33-01 地块项目深基坑工程为背景, 介绍了软土地区深厚承压水含水层的水文地质条件下, 在上海地区首次采用 50 m 深 CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙作为落底式止水帷幕, 隔断承压水含水层, 保护基坑及周边环境的安全。通过 CSM 工法钻芯取样结果以及基坑监测数据的分析表明, 基坑工程采取 CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙, 隔水效果良好, 有效的控制了基坑降承压水对周边保护对象的影响, 可以为类似工程提供一定的参考。

关键词: CSM 工法; 等厚度水泥土搅拌墙; 承压水控制; 深基坑; 止水帷幕

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2019)S2-0125-04

作者简介: 李成巍(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事基坑工程领域的设计和研发工作。E-mail: chengwei_li@arcplus.com.cn。

Application of CSM method in control of confined groundwater of deep excavations in soft soils

LI Cheng-wei, LIANG Zhi-rong, WEI Xiang, WANG Guo-cui

(Shanghai Shenyuan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shanghai 200040, China)

Abstract: Based on the deep excavation project of Shanghai Qiantan Block 33-01, the choice and analytic thoughts of deep excavation support systems are put forward for the hydrogeological conditions of deep confined aquifer in soft soil areas. The technical countermeasures corresponding to the control of confined groundwater of the deep excavation are introduced. In order to reduce the the adverse effects of pit construction on the surrounding environment, the confined water layer is blocked by the CSM method constant-thickness cement-soil wall. The monitoring data indicate that the surrounding environment is effectively protected by the proposed support design and implementation. Furthermore, these solutions may provide valuable reference for other similar projects in soft soils.

Key words: CSM method; constant-thickness cement-soil wall; control of confined groundwater; deep excavation; curtain for cutting off water

0 引 言

随着城市地下空间开发的不断发展, 基坑工程也不断向着更深、更大方向发展, 施工场地环境条件和工程地质条件越来越复杂, 环境保护要求高, 给基坑工程的设计和施工带来很大的难度。

深基坑开挖过程中人工降低地下水位, 特别是抽降承压水, 将对周围一定范围的地面沉降, 严重时会引起周边管线或邻近建构筑物的破坏。上海软土地区深大基坑承压水控制措施中, 根据场地周边环境因素和水文地质条件, 在有条件隔断承压水含水层时, 较多采用落底式止水帷幕的方式, 以控制基坑抽降承压水对周边环境的不利影响。常用的落底式止水帷幕为地下连续墙、超深三轴水泥土搅拌桩、TRD 工法等厚度水泥土搅拌墙等, 在一些基坑工程实践中取得了良好的效果。

CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙, 又称双轮铣深层搅拌技术, 是英文 Cutter Soil Mixing 的缩写。该技术是由德国宝峨公司开发, 2011 年左右引入国内的。该工法具有施工效率高、适合复杂场地条件、垂直度控制精度高、防渗效果好、土体置换率低和绿色环保等优点, 近年来在国内岩土工程领域得到了一定的推广和应用。上海地区的基坑工程实践中, CSM 工法多用于 SMW 工法、地下连续墙槽壁加固等用途, 深度一般不超过 30 m。

本文以前滩 33-01 地块项目为例, 针对场地存在深厚的承压水含水层、周边环境复杂、承压水控制难度高的特点, 在上海地区首次采用 50 m 深的 CSM 工

基金项目: 华东建筑集团科研项目 (16-1 类-0489-地)

收稿日期: 2019-04-28

法等厚度水泥土搅拌墙作为落底式止水帷幕，隔断承压水含水层。通过本工程的成功实施，证明了 CSM 工法落底式止水帷幕的施工质量可靠，可以有效保护基坑及周边环境的安全，为在软土地区进一步推广应用提供了一定的参考。

1 工程概况

本项目位于上海前滩国际商务区，地块东邻东育路，西接前茂路，南至高青西路，北侧为海阳西路。地下室为地下 3 层，基坑形状较规则，呈梯形，基坑开挖面积约 1.4 万 m²，周长 460 m，基坑开挖深度 14.45~19.35 m。

1.1 周边环境条件

本项目周边环境复杂，除西侧为规划道路外，其余 3 条道路均已施工完成，其下分布有大量市政管线，包括大直径的给水管、燃气管、集中供能管、雨水管、污水管等，距离地下室最近仅 3.5 m。场地北侧 25-02 地块（地下 4 层，基坑挖深约 20 m）以及西侧 34-01 地块（地下 3 层，基坑挖深约 15 m），正在进行桩基施工，与本基坑工程存在交叉施工的影响。周边环境情况如图 1 所示。

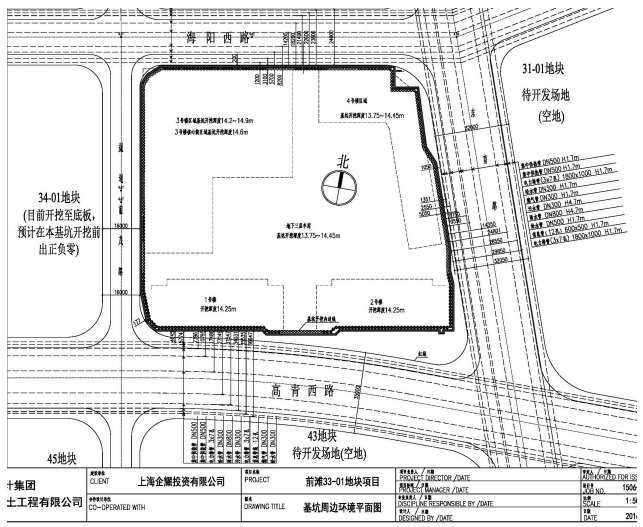


图 1 基坑周边环境图

Fig. 1 Plan view of environment of excavation

1.2 水文地质概况

根据岩土工程勘察报告，本工程基坑施工影响范围内的土层为上海地区比较典型的软土地层，土层分布相对稳定，各土层物理力学指标见表 1。

本场地浅部地下水属潜水类型，受大气降水及地表迳流补给。勘察期间所测得的地下水稳定水位埋深一般为 0.90~2.45 m。

本场地内位于第⑤₂层、⑦层、第⑨层土中的地下水属于承压水。对本工程有影响的承压含水层为：

微承压水含水层——第⑤₂层砂质粉土，埋深约 18 m，层厚约 12 m，其下是上海地区传统的第一承压含水层——第⑦层粉砂，埋深约 29 m，层厚约 17 m，二者之间联通，详见图 2。勘探期间实测稳定水位埋深在 5.16~5.38 m，本工程基坑开挖时，存在承压水突涌的问题。

表 1 土层物理力学性质综合成果表

Table 1 Physical and mechanical parameters of soils

编号	土层	层厚 h/m	重度 γ /(kN·m ⁻³)	c /kPa	ϕ /(°)	k 试验值 /(cm·s ⁻¹)
①	填土	3.15				
②	粉质黏土	1.2	18.8	21	20.5	1.6×10^{-6}
③	泥质粉质黏土 夹薄层粉砂	4.6	17.9	12	20.5	6.2×10^{-5}
④	淤泥质黏土	9.4	16.8	11	12.0	4.7×10^{-7}
⑤ ₂	砂质粉土	11.8	18.3	6	31.0	6.2×10^{-4}
⑦	粉砂	17.1	18.5	4	33.0	8.0×10^{-4}
⑧	粉质黏土	13.2	18.3	17	20	

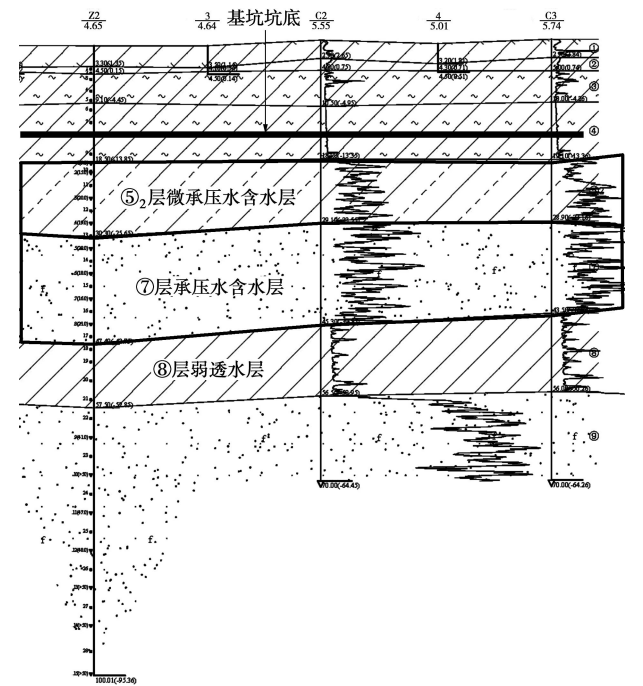


图 2 典型土层剖面图

Fig. 2 Typical geological profile of excavation

考虑前滩地区较多基坑同时开挖，承压水抽取相互影响显著，导致周边道路沉降明显，因此，需要采取安全可靠的承压水控制措施，以确保基坑及周边环境的安全。

2 基坑围护设计

2.1 主要技术难点

(1) 本项目周边环境复杂，市政管线密集，且西侧和北侧场地基坑与本项目存在交叉施工影响。因此如何控制基坑施工引起的周边环境的影响，保证周边保护对象的变形在安全范围之内，是制约本工程基坑围

护设计成败的关键因素。

(2) 本项目场地内存在深厚的承压水含水层(第⑤₂层砂质粉土与第⑦层粉砂连通), 总厚度约为 30 m, 埋深约 18 m。基坑开挖期间需要抽降承压水, 如何减小基坑降压对周边环境的影响, 是本工程基坑设计和施工需要重点考虑的问题。

2.2 基坑围护设计方案

按上海市工程建设规范《基坑工程技术规范》, 本基坑工程安全等级应为一级, 环境保护等级为二级。

本次基坑设计方案采用钻孔灌注桩+止水帷幕作为周边围护结构, 坑内设置三道钢筋混凝土水平支撑, 见图 3。

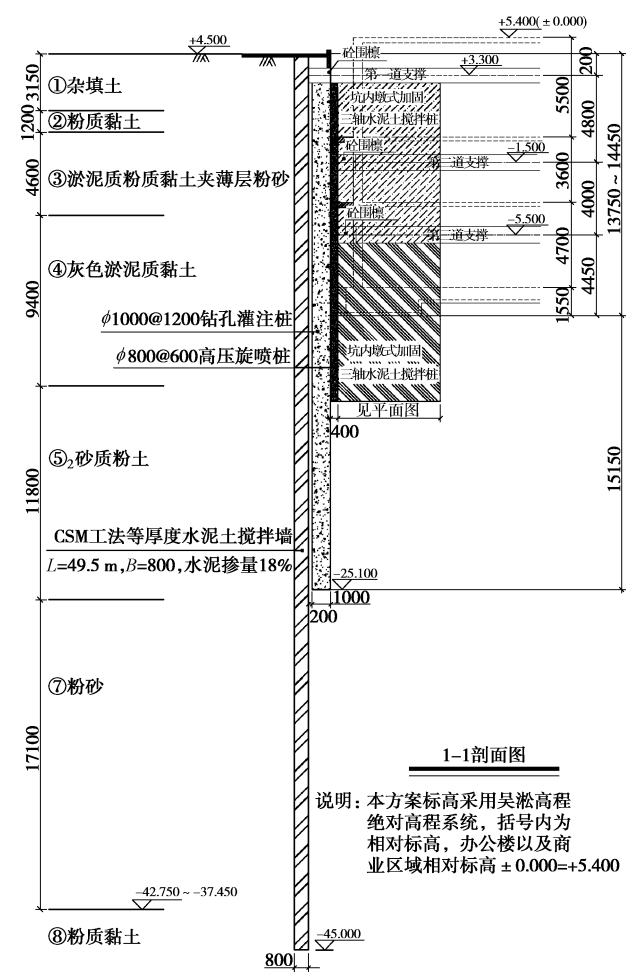


图 3 围护剖面示意图

Fig. 3 Typical section of retaining structures

2.3 承压水控制措施

本工程基坑开挖时, 存在严重的承压水突涌的问题。考虑前滩地区较多基坑同时开挖, 承压水抽取相互影响显著, 为了减少基坑降承压水对周边环境的不利影响, 基坑围护在上海地区首次采用 50 m 深 CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙作为落底式止水帷幕, 对⑤₂层和⑦层承压水层完全隔断。该止水帷幕为目前上海

地区已实施的最深 CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙。

CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙厚度为 800 mm, 采用 P.O 42.5 级普通硅酸盐水泥, 水泥掺量不小于 18%, 水灰比 1.5, 单幅墙宽 2800 mm, 相邻幅墙体槽段搭接不小于 400 mm, 深度为 49.5 m, 深入⑧层粉质黏土层不少于 2 m。墙体 28 d 无侧限抗压强度不小于 0.8 MPa。由于本工程采用的 CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙深度较大, 为保证墙幅搭接质量, 采用双侧搭接套铣施工成墙, 详见图 4。

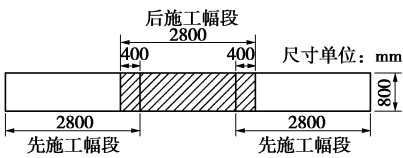


图 4 CSM 工法平面布置示意图

Fig. 4 Typical floor plan of CSM method

3 基坑实施及监测情况

3.1 CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙施工及取芯试验

CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙施工过程顺利, 施工设备在软土地区的地质条件下施工效率较高, 下沉速度约 0.5~0.8 m/min, 提升速度约 0.8~1.0 m/min, 单台设备每天可成槽 8 幅左右。

CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙养护 28 d 后, 进行了钻孔取芯检测, 共检测 CSM 工法等厚度水泥土搅拌墙 10 幅, 墙身所取芯部位墙身无侧限抗压强度代表值范围在 0.82~0.86 MPa, 均不小于设计要求的 0.8 MPa。编号 C45 的墙幅取芯检测结果详见图 5。

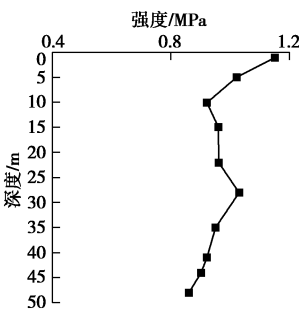


图 5 等厚度水泥土搅拌墙取芯检测结果

Fig. 5 Test results of coring samples of CSM wall

3.2 基坑开挖前群井试抽水试验结果

本工程止水帷幕理论上隔断承压水基坑内外水力联系, 在基坑开挖前, 进行了群井试抽水试验, 主要目的在于: 检验降水方案的合理性; 验证止水帷幕、承压含水层下相对隔水层的隔水性能; 为止水—降水—回灌的基坑承压水治理方案的确定提供参考依据。

通过群井试抽水试验过程中, 坑内水位观测井和

坑外水位观测井的观测结果可知(图6),在坑内抽降承压水6 d后,坑内观测井的承压水水位最大降深约8.28 m,坑外观测井的承压水水位最大降深约1.1~2.0 m。CSM工法等厚度水泥土搅拌墙的止水效果可靠,有效的阻隔了基坑抽降承压水过程中,坑外承压水含水层对坑内的补给作用,减少了基坑降压对周边环境的不利影响。

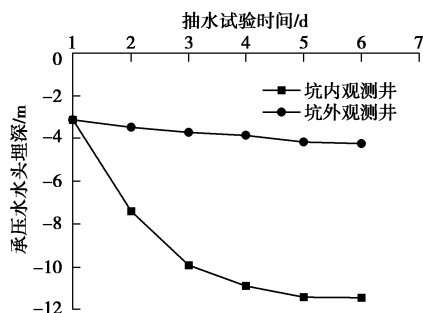


图6 群井试抽水试验结果

Fig. 6 Test results of pumping wells

3.3 基坑监测结果

图7反映了基坑施工过程中坑外潜水水位和承压水水位的变化情况。从监测结果可知,基坑施工期间,坑外潜水水位和承压水水位基本保持稳定,最大降深均在2 m以内。

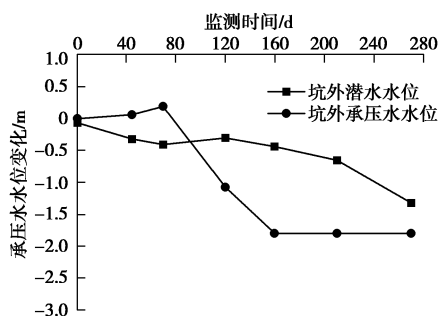


图7 坑外水位变化图

Fig. 7 Variation of groundwater table outside excavation

从基坑实施结果可知,CSM工法等厚度水泥土搅拌墙的止水效果可靠,有效的阻隔了坑内外水力联系,基坑内部抽降承压水对抗外的水位影响较小,在可控范围以内。在软土地区深大基坑中,采用CSM工法等厚度水泥土搅拌墙作为止水帷幕,来进行承压水控制,具有良好的工程应用前景。

4 结 论

(1) 本文以前滩33-01地块项目为例,针对场地

周边环境复杂、水文地质情况复杂、与临近地块存在交叉施工影响等不利因素,采用了大直径钻孔灌注桩挡土+CSM工法等厚度水泥土搅拌墙落底式止水帷幕+三道钢筋混凝土水平支撑的围护形式,通过一系列安全可靠的技术措施,保证了本项目的顺利实施和周边环境的安全。

(2) 本项目在上海软土地区首次采用50 m深的CSM工法等厚度水泥土搅拌墙落底式止水帷幕进行承压水控制,通过钻孔取芯结果,基坑开挖前的群井试抽水试验结果,以及基坑实施过程中的监测数据,验证了CSM工法等厚度水泥土搅拌墙施工质量可靠,止水效果良好,为该工法在深大基坑承压水控制中的进一步推广应用提供了良好的工程案例。

参考文献:

- [1] 高凤栋, 廖春华, 胡正亮, 等. CSM工法在天津软土地区超深基坑的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(5): 77 - 80. (GAO Feng-dong, LIAO Chun-hua, HU Zheng-liang, et al. Application of CSM method in super deep foundation pit support engineering in soft soil area of Tianjin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(5): 77 - 80. (in Chinese))
- [2] 吴海艳, 林森斌. CSM工法在深基坑支护工程中的应用[J]. 路基工程, 2013(2): 168 - 173. (WU Hai-yan, LIN Sen-bin. Application of CSM method in deep foundation pit support engineering[J]. Subgrade Engineering, 2013(2): 168 - 173. (in Chinese))
- [3] 魏 祥, 梁志荣, 李 博, 等. TRD水泥土搅拌墙在武汉地区深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(增刊2): 222 - 226. (WEI Xiang, LIANG Zhi-rong, LI Bo, et al. Application of TRD cement-soilwall in deep excavations in Wuhan area[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(S2): 222 - 226. (in Chinese))
- [4] 李成巍, 李 伟, 梁志荣. 软土地区复杂环境条件下深基坑变形控制设计与实践[J]. 建筑科学, 2016, 32(增刊2): 151 - 155. (LI Cheng-wei, LI Wei, LIANG Zhi-rong. Design and application of deformation control of the deep excavation with complex environment in soft soils[J]. Building Science, 2016, 32(S2): 151 - 155. (in Chinese))

(责编: 胡海霞)