

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.01.029

# 压密注浆在深厚杂填土地基坑止水帷幕的应用

李玉龙

(天津市勘察院, 天津 300191)

**摘要:**以苏州某基坑工程止水帷幕设计、施工为例,详细论述了压密注浆在深厚杂填土地作止水帷幕的原理、可行性、主要工艺参数、施工流程和适用条件,并与采用双轴搅拌桩止水的原设计方案的经济性和合理性进行了对比分析。结果表明,在深厚杂填土的狭小场地复杂环境基坑工程中,采用压密注浆工艺不仅具有良好的止水效果,且更具有场地适用性和经济性,对类似工程具有一定的参考价值。

**关键词:**压密注浆;深厚杂填土;基坑工程;止水;搅拌桩

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)01-0163-05

## Pressure Grouting Technology in Water Curtain of Excavation of Deep Miscellaneous Fill

LI Yulong

(Tianjin Institute of Geotechnical Investigation and Surveying, Tianjin, 300191, China)

**Abstract:** This paper takes the design and construction of a foundation pit project in Suzhou city as an example, the principle, feasibility, main technological parameters, construction process and suitable conditions of the grouting as water curtain in deep and miscellaneous fill site are discussed in detail. We also analyzed the economy and rationality between the grouting plan and the original design that used the double mixing pile to stir the water. The results show that, in the complex environmental foundation pit engineering of a small site with deep and mixed soil filling, the compaction grouting process not only has a good waterproof curtain effect, but also has the site applicability and economy. The Successful experience is a valuable reference to similar projects.

**Keywords:** pressure grouting; deep miscellaneous fill; excavation engineering; waterproof curtain; mixing pile

随着土地资源的日趋紧张和工程技术的不断进步,城市地下空间的开发和利用越来越受到人们的青睐与重视。在基坑工程向着更大更深方向发展的同时,一些老旧城区改建工程中的小型基坑,由于受到周边环境和施工条件的影响,如交通不便、工作面狭小、古旧建筑、老旧基础等,也对工程技术和施工工艺提出了诸多更为严苛的挑战。

在老旧房屋拆除后,由于交通不便、资金压力和工期紧张等诸多因素,往往导致没有条件在短时间内将大量建筑垃圾及时外运并完成换填,故一般只将大块建筑垃圾外运后将剩余部分就地平整,这就意味着后续的工程将在深厚的杂填土地条件下完成。此类杂填土中大粒径的砖石瓦块含量极

高,土颗粒含量较少,渗透性高,在此类场地做基坑止水帷幕的设计和施工时,需要充分考虑杂填土对于止水工艺的限制和止水效果的影响,而注浆技术经过多年的理论研究和工程实践,已在隧道工程、地基加固和基坑堵漏等方面得到了较为广泛的应用<sup>[1-3]</sup>,亦有利用压密注浆成桩技术运用于堤防加固<sup>[4]</sup>。在杂填土地采用压密注浆进行基坑止水帷幕的加固和堵漏较为常见<sup>[5-7]</sup>,但单独用压密注浆进行基坑的止水设计鲜有成功案例。

本文以苏州老城区某基坑工程止水帷幕设计与施工为例,面对深厚杂填土地和紧凑的施工工作面,将设计方案优化,采用压密注浆施工工艺取代双轴搅拌桩,应用于基坑止水工程当中。从帷幕施工、

到基坑开挖,再到基础施工全过程的效果反馈来看,该工艺既保证了基坑的止水效果,方案切实可行,也降低了一定的工程造价,取得了较好的经济效益和社会效益。

## 1 工程概况

项目位于苏州市姑苏区东小桥弄与孔付司巷交口,分为东西 A、B、C 三个地块,拟建地上建筑主要为 2F 的别墅和 1F 公建用房,地下建筑为满铺的 1 层地下车库,基坑开挖深度为 5.5 m,本文主要以 BC 地块为阐述对象。项目周边环境复杂,基坑北侧,基础外边线距离红线最近约为 4.7 m,红线外为既有别墅甬道,红线外 6 m 为既有 2 层天然地基的别墅;东侧地下室基础外边线距离用地红线最近约 3.0 m,特别是 C 地块东侧为东吴饭店既有控保建筑和老旧房屋,且部分房屋墙体已进入红线范围内;基坑南侧基础外边线距离红线约 4.6 m,红线外紧贴围墙为现状 3 层天然地基住宅楼;基坑西侧基础外边线距离红线最近为 3.6 m,红线外为现状迎风桥弄,宽度约 6 m,路面下分布有市政雨污水管和燃气管等。

该项目位于老城区,周边道路狭窄,能够满足货车进出场的道路仅有东小桥弄转孔付司巷一条,其中孔付司巷上有四座受保护的紫藤树及配套钢架,导致通行限宽限高分别为 3.2 m 和 3.6 m,这就对施工机械和设备进出场做出了严苛的限定。

原基坑支护方案拟采用钻孔灌注桩+一道钢筋混凝土土内支撑的支护形式,双轴搅拌桩全封闭止水,详见图 1。

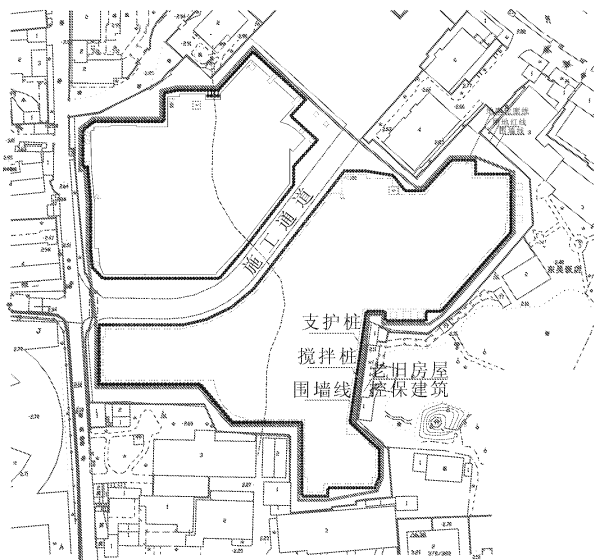


图 1 基坑周边环境及原支护止水方案图

## 2 场地地质条件

场地地貌单元属于长江三角洲太湖流域冲湖积平原,原为工厂厂区,施工前已拆除平整。场地内地势较为平坦,各土层参数如下:

① 杂填土:杂色,松散。主要由块石、碎砖石、混凝土块等建筑垃圾组成,中间充填少量黏性土,局部底部夹有少量淤泥。场地内均有分布,层厚 2.00 m~4.60 m,层底标高 -1.62 m~-1.60 m,系低强度土层,工程特性差。

② 黏土:灰绿色—褐黄色,可塑—硬塑,含铁锰结核,夹有灰色条纹。场地内局部缺失(缺失范围详见“建筑物及勘探点平面布置图”),层厚 0.90 m~4.00 m,层底标高 -3.22 m~-1.90 m,该土层压缩性中等,工程特性良好。

③ 粉质黏土:灰黄色,可塑,含铁锰质斑点,局部粉质含量较高。场地内均有分布,层厚 2.00 m~4.70 m,层底标高 -7.77 m~-6.08 m,该土层压缩性中等,工程特性中等。

④ 粉质黏土夹淤泥质粉质黏土:灰色,软塑~流塑,夹粉土薄层,稍具层理。场地内均有分布,层厚 1.40 m~6.70 m,层底标高 -13.61 m~-8.53 m,该土层压缩性中等偏高,工程特性一般。

⑤<sub>1</sub> 粉土:灰色,稍密中密,饱和。偶夹薄层状粉质黏土。场地内局部缺失,层厚 0.80 m~3.90 m,层底标高 -14.57 m~-9.89 m,该土层压缩性中等,工程特性中等。

⑤<sub>2</sub> 粉质黏土夹粉土:灰色,软塑,夹薄层粉土,局部粉质含量稍高。场地内局部缺失,层厚 1.70 m~5.00 m,层底标高 -15.35 m~-12.77 m,该土层压缩性中等,工程特性一般。

在踏勘走访、平整场地和工程桩施工过程中,发现该场地内分布有大量老旧方桩,桩顶埋深约 1.0 m~2.5 m,桩长不小于 6 m,由于数量多、资料不详,工作面狭小等因素很难拔除。

## 3 止水方案的调整

### 3.1 调整的原因

原止水帷幕的设计方案为双轴搅拌桩,参数为  $\Phi 700@900$ ,有效桩长 7.5 m,BC 地块共计 553 组,固化剂采用 P·O 42.5 水泥,掺入比不小于 16%,水灰比 0.45~0.55。但在施工中遇到如下问题:

(1) 场地内分布深厚的杂填土,局部厚度将近 5 m,且黏土颗粒极少,若采用双轴搅拌桩,则因缺少



排注浆压力不大于 2 MPa。注浆流量控制在 7 L/min ~ 10 L/min。

(5) 注浆顺序。应先对最外侧注浆孔进行注浆,用以封堵内侧两排注浆孔的水泥渗透路径。注浆采用隔二注一的方式进行注浆,以避免后续注浆对前一个注浆孔内浆液固化的干扰,并能保证浆液更好的向孔隙处渗透。间隔注浆完成需间隔 24 h 后,方可进行中间孔的注浆。

(6) 注浆方式。每套设备使用两台注浆泵进行注浆,一台注入水泥浆,另外一台随之注入水玻璃,通过流量计、压力表等进行过程控制。注浆时先将打孔注浆管压入(人工和小型震动器配合)预定标高,然后通过流量计按单延米深度进行该孔注浆量的分配控制,即每 1 m 提升一次注浆管,但单孔任一深度点位的注浆量不能超过该孔注浆量的 40%。若超过 40%,需要检查周边环境,环境正常且注浆压力未超过 2 MPa,则可以暂停该孔注浆,待 24 h 后进行二次注浆。

(7) 由于杂填土的孔隙复杂性、不均匀性和浅层滞水,施工过程中需根据实际情况(注浆速率、冒浆、串浆等)对上述参数进行微调修正,当调整水灰比和注浆压力,以确保杂填土孔隙填充的均匀性和密实度。

(8) 本工程压密注浆用于基坑止水,而非地基加固,故只需要将杂填土内的孔隙填堵固化,无需扩大浆液渗透范围;且内侧的支护桩为钻孔灌注桩,桩径 700 mm ~ 900 mm,桩间距 200 mm,桩间杂填土在支护桩施工过程中已被一定程度挤密压实,渗透性降低,可以减小相邻注浆孔的浆液向坑内渗透,与最外排先注浆的土体形成截流墙,在中间排注浆时可以更好的保证浆液的使用效率,且可以避免浆液扩散至周边,既提高了浆液的利用效率,又可以一定程度避免浆液外溢对周边管道和路面产生影响。

由于杂填土组成成分和孔隙率差异较大,水文条件不尽相同,故注浆参数可于正式施工前根据现场区段试验进行确定。

### 3.3 施工工艺主要流程

施工工艺主要流程见图 3。

### 3.4 压密注浆止水效果

该基坑已于 2018 年 5 月开槽,并随之进行后续施工,至今已 5 个月有余,且经过了南方梅雨季节,经现场查勘和观测井监测,基坑内未发现渗漏点,止水效果良好。可见,压密注浆止水工艺用作深厚杂填土地基坑止水帷幕的方案是可行的。

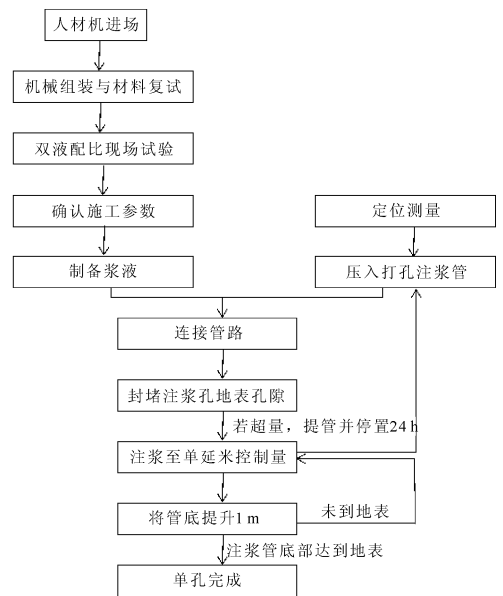


图 3 施工工艺主要流程

### 3.5 适用范围

结合压密注浆的止水原理和本文的工程案例可见,本文注浆参数下压密注浆止水工艺的适用条件为:

- (1) 场地周边环境复杂、施工工作面狭小的场地。
- (2) 场地存在深厚杂填土,下部土体为渗透性差的黏性土层。
- (3) 基坑开挖不宜太深,5 m ~ 7 m 为宜,超过此深度的基坑有待工程实际检验,但可以考虑调整设计参数和开展区段试验验证适用性<sup>[16]</sup>。

## 4 方案的对比分析

(1) 采用双轴搅拌桩做止水帷幕的原方案未充分考虑场地地质条件和周边环境因素对方案可实施性的影响;采用压密注浆工艺止水,考虑了支护桩桩间土的止水作用,更充分发挥了场地杂填土和②③层土的特性,更具备可操作性。

(2) 注浆设备相对于搅拌桩设备更加轻巧灵活,对施工工作面的要求较低,墙下施工和围墙拐点处理更加方便,且土层适用性强;且低压注浆的挤土效应小,使得对周边老旧围墙和控保建筑的保护更加可控。

(3) 由表 2 可知,压密注浆止水的施工费用仅为双轴搅拌桩的 35%,材料费用稍低,总体造价压密注浆止水不足双轴搅拌桩止水的 60%,故此压密注浆的成本要低;且前者设备小,功率低,设备数量

便于增减,便于工期调控;在狭小空间内与其他工序交叉作业时彼此影响更小,经济效益和社会效益更加明显。

表2 两种工艺工程经济指标对比

工艺	工作量	工期 /d	材料费 /万元	施工费 /万元	备注
双轴	367组	21	27	45	1台设备
注浆	1051孔	21	25	16	2套设备

注:表中注浆的材料费已包含水玻璃费用。

综上,本工程的止水工艺采用压密注浆更具可操作性,也更加经济、合理。

## 5 结 论

本文以苏州某基坑工程止水帷幕的方案设计为例,结合该项目地质条件、周边环境和施工工艺等因素,阐述了以压密注浆作为止水措施的必要性和可行性。

根据止水帷幕的工程要求和杂填土的特性出发,详细介绍了孔位、注浆材料、注浆量、注浆压力、注浆顺序和注浆压力等压密注浆止水施工工艺的相关参数和施工要点,为工程顺利实施和质量的管控提供了切实的保障。

从经济指标、方案合理性和施工便捷性等方面对比了压密注浆在类似场地的优越性,开挖后基坑的止水效果良好,无渗漏情况发生,且工程造价较原双轴搅拌桩方案降低约40%,具有良好的适用性和经济性。

设计方案要因地制宜,保证安全的同时也要做到切实可行,本案例的成功经验为今后的类似项目提供了新的思路,具有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

[1] 王卫东,朱合华,李耀良.城市岩土工程与新技术[J].

地下空间与工程学报,2011,7(S1):1274-1291.

- [2] 黄 戡.裂隙岩体中隧道注浆加固理论研究及工程应用[D].长沙:中南大学,2011.
- [3] 张成平,张顶立,叶 英,等.高压富水岩溶隧道注浆机理及作用效果分析[J].地下空间与工程学报,2009,5(5):996-1002.
- [4] 宾 斌,蒋厚良,王雪龙,等.导水布袋复合压密注浆桩技术在软土质堤防加固处理中的应用研究[J].水利与建筑工程学报,2015,13(4):183-187,219.
- [5] 张学飞,李连营,王大伟,等.杂填土地基坑支护设计与施工[J].施工技术,2012,41(7):18-20.
- [6] 朱永清.复杂环境条件下深基坑综合支护技术的应用[J].施工技术,2011,40(7):30-33.
- [7] 陈国庆,潘仪凯,肖 亮.某深大基坑透水事故分析及处理[J].水利与建筑工程学报,2016,14(5):229-234.
- [8] 夏长华.深厚杂填土地基处理应用研究[D].北京:中国地质大学,2008.
- [9] Landa A O, Clark J I. Geotechnics of Waste Fill: Theory and Practice [C]//Astm International, In: Landva A, Knoules D(eds) American Society for testing and matericls, Philadelphia, Pennsylvania, 1990:86-103
- [10] 郭 颖.岩溶地基强化注浆浆液性能控制机理及其应用研究[D].北京:北京交通大学,2018.
- [11] 窦玉东,罗晓生,杨兴建,等.袖阀管注浆在超大规模深基坑中的应用[J].施工技术,2017,46(S2):207-209.
- [12] 周建华,张金接,赵卫全,等.控制性灌浆帷幕在桥墩围堰防渗处理中的应用研究[J].水利与建筑工程报,2018,16(4):11-15.
- [13] 冯庆元,曹建磊.岩石裂隙注浆技术在吉隆坡岩溶地区深基坑施工中的应用[J].现代隧道技术,2018,55(3):193-199.
- [14] 徐 程.小开度裂隙注浆封堵扩散规律及控制参数研究[D].济南:山东大学,2016.
- [15] 何忠明.裂隙岩体复合防渗堵水浆液试验及作用机理研究[D].长沙:中南大学,2007.
- [16] 王新争.复杂场地基坑工程的系统方案设计与实施要点研究[D].济南:山东大学,2014.