

DOI: 10.7672/sgjs2026010123

超深基坑单侧挡土快速回填施工技术研究*

罗洪刚^{1,2}, 赵云鹏^{1,2}, 谭健^{1,2}, 简正阳^{1,2}, 张成功^{1,2}

(1. 中建三局集团有限公司, 湖北 武汉 430075; 2. 中建三局集团西南有限公司, 四川 成都 610218)

[摘要] 城市核心区深基坑工程周边人流量密集、车流量大, 在有限场地内修建大体量建筑, 往往因狭窄场地内施工阶段的场地转换与组织协调受到制约。考虑施工场地受限、工期紧张, 如何实现快速回填施工, 成为超深基坑工程常面临的问题。采用流态固化土回填材料进行肥槽回填, 实现了快速回填, 满足施工高效安全的功能需求。

[关键词] 深基坑; 回填; 流态固化土; 数值模拟; 施工技术

[中图分类号] TU753

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)01-0123-05

Research on Rapid Backfilling Technology for Ultra Deep Foundation Excavation

LUO Honggang^{1,2}, ZHAO Yunpeng^{1,2}, TAN Jian^{1,2}, JIAN Zhengyang^{1,2}, ZHANG Chenggong^{1,2}

(1. China Construction Third Engineering Bureau Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430075, China;

2. China Construction Third Engineering Bureau Group Southwest Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610218, China)

Abstract: The deep foundation excavation project in the core area of the city has a dense flow of people and a large flow of traffic. The construction of large buildings in a limited site is often restricted by the site conversion and organization coordination in the construction stage of the narrow site. Considering the limited construction site and tight construction period, how to realize rapid backfilling construction has become a common problem in ultra-deep foundation excavation engineering. The use of fluidized solidified soil backfill material to backfill the fertilizer tank realizes rapid backfill and meets the functional requirements of efficient and safe construction.

Keywords: deep foundation excavation; backfilling; fluid solidified soil; simulation; construction

0 引言

传统回填主要通过分层碾压或夯实素土来达到规定的压实度和强度, 回填效率低, 易受天气影响, 还会造成环境污染^[1], 且对回填区结构承载力有一定要求。实现外墙肥槽快速回填, 不仅需对不同回填材料进行研究分析, 更需具备提前插入盲沟、防水、防水保护层、保温层等多项前置条件, 通过优化设计创造条件、预制防水保护层、分仓分层回填等各项工艺技术紧凑衔接, 形成系统的地下室外墙肥槽快速回填技术。

超深基坑回填挡墙结构受力情况复杂, 肥槽有限土压力计算受力分析困难, 国内外相关计算模型单一, 主要针对单一回填材料进行研究, 不同回填

材质对回填施工工艺影响差别巨大, 传统回填施工方法消耗大量砂石等建材, 不利于可持续发展。李明月等^[2]利用固化剂、水泥、粉煤灰、水和土形成预拌流态固化土; 李敏等^[3]利用一种由素土、KEP 岩土固化剂及水拌和生产的液态固化拌和土进行回填, 这些技术从一定程度解决素土回填难以压实、机械施工局限性等难题。肥槽回填尽量选用弱透水或不透水材料^[4], 通过管道输送或泵送, 自密实、自硬化的低强度流态填筑材料及其应用技术应运而生, 用于替代传统碾压或夯实工艺。

1 工程概况

重庆观音桥中環万象城项目顶部无塔楼, 如图1所示, 总建筑面积为 268 849.7m², 地下4层、地上9层, 本项目边坡安全等级为一级, 主要采用桩锚(锚杆、锚索)挡墙、板肋式锚杆挡墙、锚喷、坡率法进行支护, 北侧外墙回填至 L1 层、东侧外墙回填至 LG 层, 回填高度 20.6~27.6m, 肥槽宽度约 1.5m,

* 中建三局集团西南有限公司科研课题: 超高层建筑高效建造关键技术研究与应用(CSCEC3BCD-2022-4)

[作者简介] 罗洪刚, 工程师, E-mail: 861748524@qq.com

[收稿日期] 2025-07-10

其中首开区结构最窄处仅 3 跨,31m,外墙回填时后置区还未进行结构施工,如图 2 所示,属于超深基坑单侧挡土回填。该项目地处城市核心区,具有体量大、工期紧、场地狭窄、超深基坑、周边环境复杂等特点,建造难度大,外墙回填施工部署困难。



图 1 项目效果

Fig. 1 Project rendering



图 2 项目施工航拍

Fig. 2 Aerial photographs of project construction

通过对肥槽回填地下室外墙土压力分析、单侧支挡地下室结构受力三维模拟、回填材料无侧限抗压强度及泊松比检测分析,比选出最优回填方式。外墙防水提前插入、分仓分层回填、预制混凝土防水保护层等工序紧凑衔接,形成系统的地下室外墙肥槽快速回填技术。

2 施工关键技术

2.1 肥槽回填模拟分析

2.1.1 流态固化土试验检测

制作 2 块流态固化土试块,分为试块 1 和试块 2,对试块 1 养护 7d,试块 2 养护 28d,采用静态应变试验仪与抗压试验机配合检测流态固化土试块。与 C15 混凝土进行对比,试块 1 和试块 2 相关试验数据如表 1 所示,试块纵向与横向应变值如图 3 所示。

表 1 试验数据

Table 1 Test data

项目	固化土试块 1	固化土试块 2	C15 混凝土
养护龄期/d	7	28	28
湿密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1 800	1 850	2 350
干密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1 600	1 650	2 150
抗压强度/MPa	0.438	1.085	7.200
泊松比	0.35	0.30	0.20

通过试验数据分析,流态固化土具有早期强度

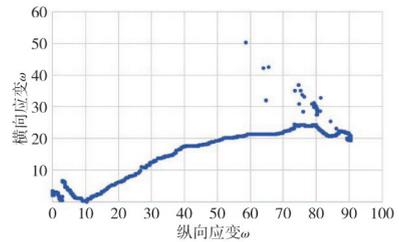


图 3 试块纵向与横向应变

Fig. 3 Longitudinal and transverse strain of test block

较高、固化时效快等特点,按照本工程设计回填要求,上层回填完毕后 12h 即可进行下一层施工。

2.1.2 地下室外墙土压力分析

为分析肥槽回填受力,建立地下室外墙及支护模型,如图 4 所示,仅考虑肥槽中的填土和积水对墙的侧压力,无需考虑外部岩土体的侧向力。根据回填工况建立计算模型,计算不同强度固化土回填过程及回填完成后对地下室外墙产生的作用力。

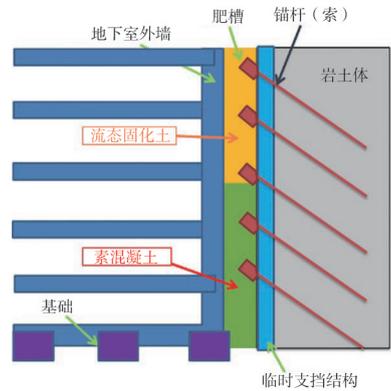


图 4 肥槽回填立面

Fig. 4 Backfill elevation of fertilizer trough

采用分层回填,分层厚度 $H_1 = 3\text{m}$,每层凝固后进行下一层回填,浇筑过程中材料为流态,对地下室外墙最大侧压力计算,得出外墙土压力分布如图 5 所示。回填材料在受到侧向土压力时表现出了良好的抵抗能力^[5],为地下室结构因流水分区施工未封闭前单侧肥槽回填时地下室结构受力三维模拟提供基础。

2.1.3 单侧支挡地下室结构受力三维模拟

建立肥槽回填时已施工结构的三维模型,中间区域为还未施工的后置区,如图 6 所示,对不同肥槽回填材料,包括素土、素混凝土、流态固化土,输出不同工况下结构配筋、变形、裂缝等指标分析计算结果,如图 7 所示,择优选出施工工期短、成本经济、满足结构承载要求的肥槽回填方案。结果表明,使用素混凝土+流态固化土进行回填为最优方案,其特点为下部采用素混凝土能够有效避免肥槽中的

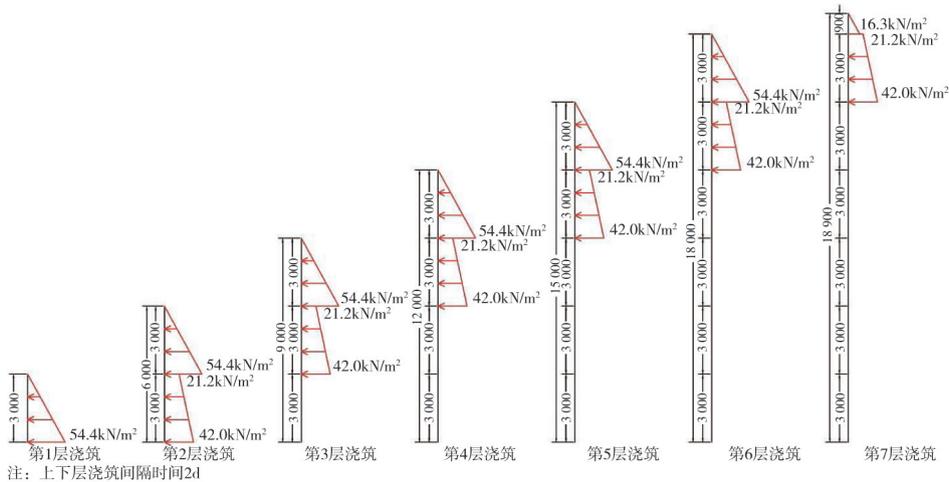


图 5 固化土回填压力分布

Fig. 5 Distribution of backfill pressure for solidified soil

积水深入底板下方引发抗浮问题,上部回填材料采用经济性较好的流态固化土,能够降低肥槽回填成本。

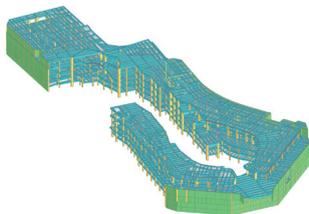


图 6 已施工区域结构模型

Fig. 6 Structural model of constructed area

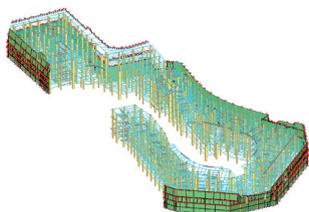


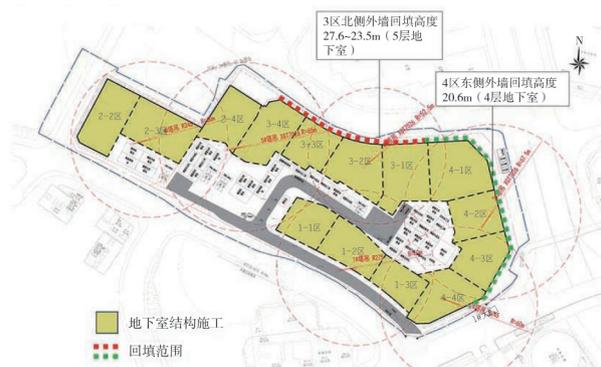
图 7 不同工况下指标分析计算结构模型

Fig. 7 Structural model for index analysis and calculation under different working conditions

肥槽回填保证了基础的嵌固要求,有利于地基承载力的提高、地震和风荷载作用下结构的抗倾覆及地下结构防水与抗浮,项目超深基坑单侧挡土外墙回填做法为:地下 2 层楼面标高及以下采用 C20 素混凝土,地下 2 层楼面标高以上采用流态固化土形式回填。回填前后施工平面布置如图 8 所示。

2.1.4 回填材料配合比优化

预拌流态固化土是将固化剂、外加剂和水按一定比例混合均匀后,再与土料按一定比例拌和,形成具有一定流动性且凝固后能达到一定强度的混合物^[6]。本工程根据回填土质、回填区域不均匀沉



a 回填前施工平面布置

拟施工方案: 3区、4区地下室结构施工完成后, 3区北侧、4区东侧外墙分层进去回填, 回填完成后作为场内施工道路。



b 回填后施工平面布置

图 8 回填前后平面布置

Fig. 8 Layout plan before and after backfilling

降处理土质、建筑地坪荷载等要求,结合流态固化土配合比设计,选择流态固化土按照 28d 强度达到 0.4MPa 进行配制。

土料可充分利用基坑开挖等产生的弃土、渣土、尾矿等材料,有机质含量 ≤ 5%,含水量不作要求;固化剂采用以 CaO、SiO₂ 和 Al₂O₃ 为主要成分的无机水硬性胶凝材料作为土壤固化剂;混凝土强度等级为 C20。固化土拌和用水可以是饮用水、

地表水和地下水,氯离子的含量不超过 500mg/L,不得有明显漂浮的油脂和泡沫,不应有明显颜色和异味。

固化剂与工程用土充分拌和后,通过其自身各组分之间以及与软土之间的物理、化学反应,可显著改善土的物理力学性质,形成满足环境标准并保持长期稳定的固化体。施工前应进行固化土配合比设计,本项目采用的流态固化土配合比是水 380kg/m³,土壤 1 400kg/m³,固化剂 135kg/m³,材料用量应以固化土强度试验确定,28d 强度达到 0.4MPa。固化土流动性采用坍落度控制,范围为 220~260mm。

2.1.5 地下室外墙回填方案

本项目分别对素土、素混凝土、素混凝土+素土、素混凝土+流态固化土 4 种回填方案进行分析,如表 2 所示,根据本工程的工况特点,选择素混凝土+流态固化土的回填方案。

2.2 地下室外墙肥槽快速回填技术

基于对肥槽回填的模拟分析,同时根据本工程特点,综合考虑各方案优缺点,本项目选择采用底部素混凝土、上部流态固化土的回填方案。本项目施工工期紧,需要快速完成肥槽回填,从而完成钢筋加工房、临时道路的场地转换,因此需结合外墙防水提前插入、预制防水保护层施工、分仓分层回填等各项工序,形成系统的较为完整的地下室外墙肥槽快速回填技术。

2.2.1 肥槽盲沟施工工序优化

1) 在肥槽外架搭设前提前插入盲沟施工,盲沟与外墙基础同步施工,外墙防水、防水保护层施工完成及外架拆除后,便于快速插入肥槽回填,缩短地下室外墙肥槽回填施工工期。

2) 优化盲沟施工工艺,增加盲沟混凝土面层,可以作为外架立杆搭设基础,混凝土面层完成面浇

筑在同一标高,无需外架立杆底座调节。

3) 基坑肥槽排水永临结合,在盲沟混凝土面层每隔 3m 设置 50mm 渗水缝,基坑肥槽积水通过盲沟和盲沟集水井排入市政管道,如图 9 所示。



a 增加盲沟混凝土面层,作为外架立杆搭设基础
b 外架前插入盲沟施工,便于快速插入肥槽回填

图 9 肥槽盲沟施工工序优化

Fig. 9 Optimization of construction process for blind ditch in fertilizer trough

2.2.2 地下室外墙防水保护层预制混凝土肋形板快速施工技术

常规外墙防水保护层采用挤塑聚苯板,但存在与高分子防水卷材表面粘结性较差,容易出现脱料等缺陷,预制混凝土肋形板与泡沫挤塑板和砌砖等传统地下室外墙防水保护层相比,可提高本身的质量要求,缩短施工工期,节约人工成本。预制混凝土肋形板为水泥混凝土制品,使用寿命同结构年限;相比砖砌防水保护层,预制混凝土肋形板材料规格大,安装简单,施工速度快。

为防止预制混凝土肋形板单次安装高度过高,通过设计优化,在外墙上竖向每层设置 1 道水平结构悬挑板,如图 10 所示,与外墙结构一次浇筑完成,将防水保护层分为多段,可一次安装到顶,加快施工进度。在悬挑结构板上穿孔埋设钢管,用作外架连墙件,降低地下室外墙结构渗漏风险。

2.2.3 分仓、分层式流态自密实固化土回填施工技术

1) 设置混凝土分仓带:在外墙与基坑支护间设

表 2 回填方案优缺点分析

Table 2 Analysis of advantages and disadvantages of backfilling scheme

方案	回填材料	优点	缺点
1	素土	原土回填费用小、环保,适用于一般的回填情况	回填质量较难控制,素土运输对于城市核心区污染更多,空间有限难以夯实,特别是有锚头的情况,容易出现盆池效应
2	素混凝土	肥槽回填质量易控制,可避免盆池效应,强度高	经济成本高,自重较大,需多次分层回填,周期长
3	素混凝土+素土	能够有效避免肥槽中的积水深入底板下方引发抗浮问题	上部容易产生盆池效应
4	素混凝土+流态固化土	能够有效避免肥槽中的积水深入底板下方引发抗浮问题,上部采用经济性较好的填料,能够降低肥槽回填成本,预拌流态固化土早期强度较高、固化快	—

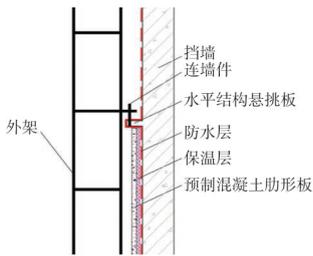


图 10 结构悬挑板立面

Fig. 10 Vertical view of structural cantilever board

置混凝土挡墙支腿分仓带,如图 11 所示,此混凝土挡墙与外墙同步浇筑,达到节约工期的目的。混凝土分仓带无外观要求,模板可以使用周转次数高、质量不佳的模板以控制成本并保护环境。

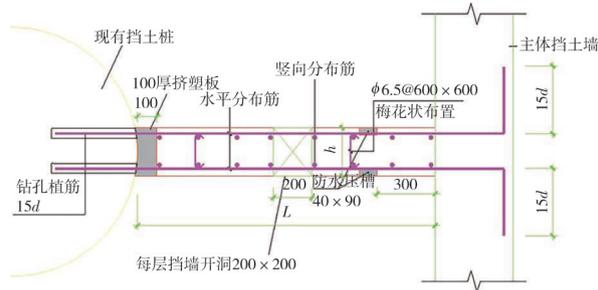


图 11 挡墙支腿大样

Fig. 11 Detail of retaining wall support legs

2)分仓浇筑素混凝土:分仓带将肥槽回填分成多段,分别对混凝土回填浇筑,跳仓浇筑,控制单次浇筑混凝土体积的同时可以一次达到设计浇筑高度,相比传统回填土回填无需分层压实,极大提高了肥槽混凝土回填速度。

3)分仓回填固化土:拌和料到达施工现场后,采用专用拌和机械设备进行拌和,拌和时间需大于2min,参照拌和均匀程度、稳定性、和易度等标准。利用泵送(局部溜槽),回填不受场地限制^[7]。自密实固化土的初凝和终凝时间分别为6,12h,上层回填完毕后12h即可进行下一层施工,每次浇筑厚度按照现场实际需要并小于3m,分仓回填浇筑高差控制在1m内,流态自密实固化土养护28d后,强度需保证达到1.0MPa。

3 结语

1)流态固化土具有早期强度较高、固化时效快等特点,固化土回填过程及回填完成后对地下室外墙产生的作用力小,上层回填完毕后12h即可进行下一层施工。

2)选择合适的肥槽回填材料非常重要,根据项目的工况特点,分析对比择优选出满足项目需求的肥槽回填方案。

3)通过对传统肥槽回填施工工艺进行技术革新,优化肥槽盲沟施工工序,采用预制混凝土肋形板、设置混凝土挡墙支腿分仓带实现快速回填,在加快现场施工进度和提高施工质量的同时还能够有效降低施工安全风险及施工成本,项目实现零时间间隔场地转换。

4)本研究在重庆观音桥中環万象城项目肥槽回填工程成功应用,创造了良好的经济效益,为类似深基坑快速回填提供可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 赵玉波,代跃强,卢守龙,等.狭小场地条件下深基坑建筑废弃泥浆固化回填施工技术[J].施工技术(中英文),2023,52(10):95-98,134.
ZHAO Y B, DAI Y Q, LU S L, et al. Construction technology for curing backfill of construction waste mud in deep foundation excavation under narrow site conditions [J]. Construction technology, 2023, 52(10): 95-98, 134.
- [2] 李明月,陈少军,郑巍,等.深基坑狭窄肥槽预拌流态固化土回填施工技术[J].建筑施工,2024,46(2):169-172.
LI M Y, CHEN S J, ZHENG W, et al. Backfill construction technology of deep foundation excavation narrow trench premixed fluidized solidified soil [J]. Building construction, 2024, 46(2): 169-172.
- [3] 李敏,朱晏礼,李磊,等.基坑肥槽流态固化拌和土回填技术[J].安装,2023(S2):90-91.
LI M, ZHU Y L, LI L, et al. Backfilling technology of liquid solidified mixed soil in fertilizer tank of foundation pit [J]. Installation, 2023(S2): 90-91.
- [4] 李冰,李焕君,刘金波,等.某建筑散水开裂原因分析及肥槽回填质量控制[J].施工技术(中英文),2022,51(11):131-135.
LI B, LI H J, LIU J B, et al. Analysis of cracking causes of outdoor waterproof floor in a building and quality control of backfilling in foundation trench [J]. Construction technology, 2022, 51(11): 131-135.
- [5] 高健.地下室侧壁回填材料比选研究——以湖州市长兴县太湖古镇某高层酒店项目为例[J].建筑科技,2024,8(3):58-62.
GAO J. Research on basement sidewall backfill material comparison and selection: an example of a high-rise hotel project in Taihu ancient town, Changxing county, Huzhou city [J]. Building technology, 2024, 8(3): 58-62.
- [6] 丁霄霄.自密实土在深基坑隧道土方回填中的应用[J].施工技术(中英文),2025,54(5):96-99.
DING X X. Application of self-compacting solidified soil in backfilling of deep foundation excavation tunnel earthwork [J]. Construction technology, 2025, 54(5): 96-99.
- [7] 黄越,米梓阳.作业面受限的深基坑预拌流态固化土回填施工技术应用[J].建筑机械,2022(9):34-36.
HUANG Y, MI Z Y. Application of backfilling technology of pre-mixed fluid solidified soil in deep foundation pit with restricted working face [J]. Construction machinery, 2022(9): 34-36.