

# 温州瓯江口深基坑土石方工程施工技术研究

张玉东

上海久事体育建设管理有限公司, 上海 200030

DOI:10.61369/ERA.2026050011

**摘 要 :** 温州瓯江口地区为滨海填海区域, 地下水位高, 土层主要为淤泥质黏土, 深基坑土石方工程存在边坡失稳、基底隆起、支护变形等问题。本文以温州瓯江口一期 E-14-01a、E-14-01b 地块工程为研究对象, 对本区域深基坑土石方施工技术进行研究, 包括分层分阶段开挖、土方外运环保协同、桩间及坑中坑精细化开挖、基坑回填平整等核心技术。另外还要阐述围护桩支撑体系、地下水控制、信息化监测、支护结构保护等辅助技术。针对项目难点提出有针对性的防控措施。研究成果解决了滨海填海区深基坑施工的技术难题, 保证工程的安全和进度, 为同类区域施工提供实践参考。

**关 键 词 :** 温州瓯江口; 深基坑; 土石方工程; 施工技术

## Research on Construction Technology for Earthwork and Stonework Engineering of Deep Foundation Pit in Wenzhou Oujiang Estuary

Zhang Yudong

Shanghai Jiushi Sports Construction Management Co., Ltd., Shanghai 200030

**Abstract :** The Oujiang Estuary area in Wenzhou is a coastal reclamation region characterized by a high groundwater level and predominantly silty clay soil layers. Deep foundation pit earthwork and stonework projects in this area face challenges such as slope instability, basal heave, and support deformation. This paper takes the E-14-01a and E-14-01b plots of Phase I in the Oujiang Estuary area of Wenzhou as the research subjects, focusing on the construction technology for deep foundation pit earthwork and stonework in this region. It covers core techniques including stratified and phased excavation, coordinated environmental protection for earthwork transportation, refined excavation between piles and within pits within pits, and foundation pit backfilling and leveling. Additionally, it elaborates on auxiliary technologies such as retaining pile support systems, groundwater control, information-based monitoring, and support structure protection. Targeted prevention and control measures are proposed to address project challenges. The research findings resolve technical difficulties in deep foundation pit construction in coastal reclamation areas, ensuring project safety and progress while providing practical references for similar regional construction endeavors.

**Keywords :** Wenzhou Oujiang Estuary; deep foundation pit; earthwork and stonework engineering; construction technology

伴随着我国城市化进程的加快和土地资源的日益紧张, 地下空间的开发利用已经成了解决城市用地矛盾、提高基础设施承载能力的重要途径。深基坑工程是地下结构施工的重要前置工序, 技术复杂、安全风险大, 特别是滨海软土地区, 高地下水位、厚淤泥层、低土体强度等对施工造成很大困难。在此背景下, 对适合高水位软土地层的深基坑土石方施工技术进行深入研究, 对于保证工程本体安全、质量, 保障城市公共安全、推动绿色建造、提高行业技术水平都具有十分重要的现实意义。

### 一、土石方工程概述

土石方工程是建筑工程施工的基础性工程, 主要包含场地平整、基坑开挖、回填、支护等, 施工质量直接影响到后面结构的安全和整个工程的进度。深基坑工程开挖深度大、地质条件复杂、周边环境敏感, 土石方作业的技术要求和安全风险比一般的

要高。温州瓯江口地区位于滨海软土回填带, 地下水位高, 土层主要为淤泥质黏土, 承载力低、压缩性大, 对基坑稳定性造成很大影响。因此, 在该区域进行深基坑土石方工程施工时, 必须综合运用地质勘察、支护设计、降水排水、分层分段开挖、信息化监测等技术手段, 保证施工安全可控。

## 二、工程概况

温州瓯江口一期 E-14-01a、E-14-01b 地块土石方工程位于温州市洞头区瓯江口大道与霓贤路交叉口东北侧，即海洋经济发展示范区昆鹏街道霓贤路50号。项目规划用地总用地面积72122.48平方米，其中 E-14-01b 地块面积64505.50平方米，E-14-1a 用地面积7616.98平方米。总建筑面积为136724.25平方米，地上建筑面积为79359.43平方米，地下室面积为57364.82平方米，总居住户数为325户。上述工程规模以及地下室开发体量决定了本项目基坑开挖面积大、作业周期长、地下水影响大，对土石方施工组织、分区开挖节奏、地下水控制提出了更高的要求。

## 三、土石方施工技术

### （一）分层分阶段开挖施工技术

分层分阶段开挖技术的核心是“先撑后挖、分层分段、对称均衡”，适合软土、杂填土等复杂地质条件，是深基坑施工控制变形、保证安全的重要技术。施工前依据基坑深度、地质勘察报告、支护结构设计，科学地划出开挖分区、分阶段，决定各区域开挖顺序，防止局部应力集中造成土体失稳。杂填土、黏土层每层开挖厚度控制在1.5m 以内，淤泥等软土层不超过1m，防止边坡坍塌。第一阶段开挖至冠梁底，同时进行基坑顶截排水沟施工，为支护结构施工创造条件。待支护结构强度达标后进行第二阶段开挖，开挖到设计标高以上30cm 处，减少基底土体扰动；最后阶段主要针对坑中坑等特殊部位，采用小型机械配合人工清底，保证开挖精度。开挖过程中要同步进行基坑变形监测，根据监测数据调整开挖节奏，发现异常立即采取回填反压等应急措施。在温州瓯江口一期 E-14-01a、E-14-01b 地块施工中，严格按分层分阶段开挖工艺执行，有效控制了软土层应力释放速率，基坑变形一直处在监测预警控制范围内，证明了该技术在滨海填海软土区深基坑工程中是适用的、安全的。

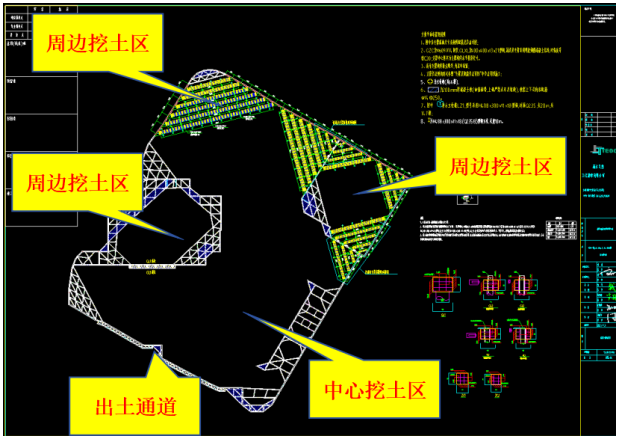


图1 分区挖土区示意图

### （二）工程桩间及承台坑中坑开挖技术

工程桩间和承台坑的坑开挖要采用精细化施工技术，保证工程桩的安全和开挖精度。开挖前根据桩位平面图准确标注桩位，

明确开挖边界，桩周30cm 范围内土体用人工清理，防止机械碰撞桩身造成桩体偏移或者损坏。严格控制桩间土体高差不超过0.5m，软土区开挖后及时清理桩侧浮泥，防止不均匀受力造成桩体倾斜。承台和坑中坑开挖前必须完成降水作业和周边土体加固，保证作业面干燥稳定。用小型长臂挖机分层开挖，每层不超过1m，边坡放坡比1:0.67。深度大于4m 的坑中坑采用通挖法开挖，开挖范围延伸到坑边外50cm 处，必要时设置临时支护。开挖至设计标高后预留20cm 至30cm 的人工清底，清除基底杂物和扰动土体，及时浇筑垫层封闭基底，缩短土体暴露时间，防止积水浸泡造成基底失稳。根据本项目工程桩数量多、承台密集分布的特点，采用精细化桩间及坑中坑开挖工艺，有效防止施工过程中对工程桩的不利影响，保证承台及桩基结构在复杂软土地层条件下受力安全。

### （三）基坑回填与场地平整施工技术

基坑回填、场地平整应按照分层夯实、精准控高、保护结构的技术原则进行。回填土分为场内预留土方和外部调配土方，优先选用级配好、含水率适宜的土体，运距选择经济合理的范围。回填前彻底清理基底杂物、积水，砖胎膜周边、结构边角等机械难以作业的地方用人工回填压实，防止机械碾压破坏结构构件。平整用分层夯填法，每层回填厚度不超过30cm，用蛙式打夯机或平板振动器压实。压实系数要达到设计要求。场地平整以规划标高为基准，布设10×10m 方格网控制标高精度，用挖掘机配合推土机整平，保证场地坡度满足排水要求（一般不小于2‰）。地下室顶板回填前要铺设防护层，严禁重型机械直接碾压。平整后的场地标高误差控制在±5cm 以内，无明显坑洼，为后面的结构施工提供平整、稳定的作业面。本项目回填及场地平整施工过程中，对回填材料质量及分层压实工艺进行严格控制，地下室周边回填土整体性较好，没有出现明显的不均匀沉降，为后续主体结构施工提供了一个稳定的施工条件。

## 四、支护与辅助施工技术

### （一）围护桩及内支撑体系施工技术

围护桩及内支撑体系施工要坚持支护先行，协同开挖的原则，适应深基坑、复杂地质条件。围护桩施工前需要精确放线，钻孔灌注桩施工时孔位偏差不得大于50mm，孔深误差 $\leq \pm 100\text{mm}$ ，保证桩体垂直度符合规范要求。成桩后及时进行桩身质量检测，合格后方可进行下道工序。内支撑体系使用钢筋混凝土支撑，施工要与土方开挖同步进行，遵循先撑后挖的原则。支撑梁模板安装要保证刚度和稳定性，钢筋绑扎要保证节点锚固质量，混凝土浇筑采用分层振捣工艺，保证密实度。支撑强度达到设计要求80% 以上时，才能进行下一道土方开挖工序。施工时对支撑与围护桩接缝精度要严格把控，用预埋钢板、焊接加固等措施来提高协同承载力，防止基坑的侧向土压力。温州瓯江口一期工程将围护桩、内支撑施工与土方开挖工序紧密衔接，形成了以项目施工节奏为支护协同体系，在实际施工中有效地控制了围护结构侧向变形。

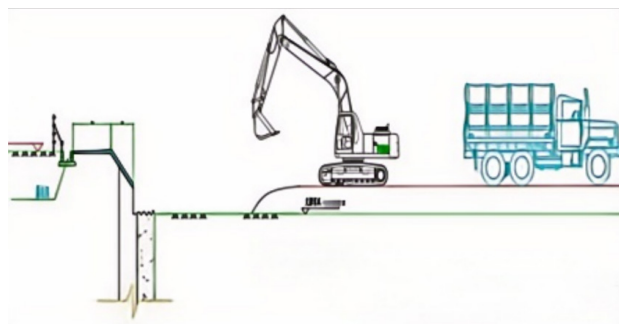


图2 第一层土方开挖剖面图

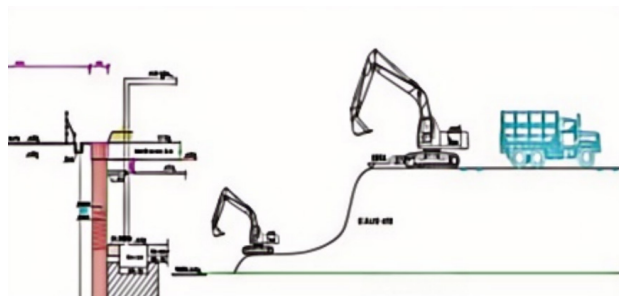


图3 第二层土方开挖剖面图

### (二) 深厚软土地区地下水控制技术

在深厚软土地区进行深基坑工程，常规的“降水+排水”措施虽然可以降低地下水位，但是不能解决淤泥质土层强度低、压缩性高、固结缓慢等根本问题，很容易造成基底隆起、边坡失稳等风险。因此本工程把真空预压技术作为地下水和地基协同控制的主要手段，重点用于开挖深度大、淤泥层厚（30~50m）、天然承载力低（ $\leq 80\text{kPa}$ ）的区域。施工时，先清除表层杂填土，铺30cm厚中粗砂垫层（含泥量 $\leq 3\%$ ），做水平排水通道。随后按 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ 梅花形布置 $\Phi 50\text{mm}$ 塑料排水板，使塑料排水板穿透深厚淤泥质黏土层，进入下伏粉质黏土层不小于1.0m，形成完整的竖向—水平排水网。在此基础上用厚度不小于0.12mm的聚乙烯密封膜覆盖双层，加铺无纺布防止膜破损。膜周边开挖梯形密封沟，深度到地下水位以下2.0m，回填优质黏土并分层夯实，保证系统气密性。真空系统采用射流泵组，单台控制面积不大于 $1000\text{m}^2$ ，启动后逐步升压到80~90kPa，连续抽气时间不少于30天，期间连续72小时负压不低于80kPa。施工过程中设置真空度监测点，膜破损或者漏气及时修补，保证负压均匀传递。在此基础上，辅以轻型井点降水，预压期水位降至砂垫层以下1.5m，开挖期水位低于作业面1.0m。坑内设30cm $\times$ 40cm环形排水沟，坡度2‰~3‰，填碎石滤层，每20m设一座深1.5m集水井，配污水泵及时抽排。外围同步做水泥土搅拌桩止水帷幕，阻断侧向渗流。施工全过程中布设水位、孔压、沉降监测点，动态调节运行参数。给深基坑安全、连续施工提供有力的保障。

### (三) 桩头破除与支护结构保护技术

桩头破除要采用环切、分段破除的精细化工艺，防止桩身主筋、混凝土结构受到损伤。根据设计标高弹出环切控制线，用专用环切工具切割，深度控制在30~40mm，再用风镐分段破除多余桩头，严禁整体冲击破除。破除后清除桩头杂物和松散混凝土，使桩头平整，露出新鲜混凝土面。支护结构保护贯穿施工全

过程，土方开挖时机械与围护桩、支撑梁保持安全距离，严禁碰撞。工程桩、立柱桩周围30cm范围内人工开挖，控制桩周土体高差不超过0.5m。暴露的支护结构要及时加以保护，雨天用覆盖物防冲刷，冬季要做好防冻保护。施工过程中设专人巡查支护结构的状态，发现裂缝、位移等异常现象时立即采取加固措施，防止损失扩大。本项目实施过程中，通过桩头破除、支护结构保护工序的精细化控制，施工期间没有出现桩体损坏或者支护结构破坏的情况，有效保障了基坑施工阶段结构体系的整体安全。

## 五、项目难点及对策

### (一) 滨海高水位软土地层中深基坑边坡稳定性控制

项目位于软土分布区，基坑开挖深度为4.30~7.50m，开挖会破坏原有的土体平衡，软土分层开挖的深度和坡度控制要求高，容易因为土体应力释放过快而发生坍塌或者滑坡，并且要配合支护结构施工节奏，防止无支撑暴露时间过长。

按照先撑后挖、分层分段、严禁超挖的原则进行。软土层开挖深度每层不超过1m，其它地层每层开挖不超过1.5m，分段跳挖，分段开挖长度严格控制在20m以内，采用交错开挖减少土体连续扰动。建立基坑稳定多维实时监测体系，设置基坑水平位移、沉降和支护结构应力实时监测点，采用每4小时采集1次数据的方法对基坑稳定性进行监测，根据实时测量值精准控制基坑的开挖速度和支护。开挖过程中同步修整边坡，根据土方1:0.67、石方1:0.3的设计坡比精细修整，采用机械粗修、人工精修相结合的方式保证坡面平顺，支护结构施工与开挖工序紧密衔接，支撑体系成型时间控制在8小时内，最大限度减少无支撑暴露时间，保证基坑整体稳定。根据项目基坑开挖深度大、软土层分布连续的工程实际情况，上述分层分段、跳挖控制措施都以项目现场支护成型节奏为约束条件进行实施。施工过程中，基坑各阶段水平位移、沉降的发展趋势平稳，监测结果表明边坡稳定性满足设计要求，在本项目中取得了良好的工程应用效果。

### (二) 厚层淤泥质土条件下基底隆起与管涌风险防控

项目基坑底部分布深厚淤泥质软土层，该土层具有高压缩性、低承载力、强触变性，开挖后坑内外土压力差大，容易造成基底土体回弹隆起，引起坑底土体结构扰动、承载力降低。同时基坑下伏承压含水层水头压力较大，随着开挖深度的增加，隔水层厚度不断减小，当承压水头压力超过隔水层抗浮承载力时，容易突破隔水层发生突涌，带走土层细颗粒形成土体空洞。两者叠加会造成坑外地面不均匀沉降、周边建构筑物开裂，还会造成支护结构受力失衡，引起基坑整体失稳，对施工安全造成严重威胁。

对策为基坑内按20~30m间距设置深度为500~800mm的集水坑，配套设置坡度为1%~2%的环形和纵向排水沟，沟内填碎石滤水层形成完整的排水系统，配备大功率污水泵实时抽排，不断降低孔隙水压力。为降低承压水突涌的风险，在前期通过增加地质钻孔确定含水层的分布及水头压力，隔水层薄弱处采用深层搅拌桩（桩径500mm~600mm、桩长穿透软土层进入下伏硬土层1m左右）或者水泥水玻璃双液注浆加固被动区，提高隔水层

整体性和抗浮能力。同步加密监测频率，开挖期间每4小时测一次地下水位及基底隆起量，将地下水位单次变化大于50cm、基底隆起累计大于30mm 设为预警值，预警后立即停止开挖，采取回填反压或者加密支撑等应急处理措施，实现风险早管控。

（三）地下水控制难度大

场地内分布有含砂淤泥、淤泥等土层，地下水分布复杂，水位较高，下伏有承压含水层。地下水控制不当容易造成基坑内积水、涌砂，影响土方开挖作业，软化坑底土体，侵蚀支护结构，降低土体承载力。随着开挖深度的增加，隔土层厚度变小，承压水头超过隔土层就会产生突涌，对基坑整体安全造成影响。

对策是提前做详细的地质勘察和地下水位调查。采用井点降水或者管井降水技术降低地下水位，保证水位始终在开挖面以下1m 以上。在基坑周围设置深层搅拌桩止水帷幕，桩径500mm 至600mm，桩长穿透软土层进入下伏硬土层1m 至2m，阻断地下水侧渗路径。坑内按20-30m 间距设深度500-800mm 的集水坑，配套设坡度1%-2% 的环形及纵向排水沟，沟内填碎石滤水层，形成排水系统，设足够数量的污水泵抽排积水。施工期间加强地下水位的监测，在开挖过程中每4小时检测一次，根据水位变化及时调整降水参数，雨天加测次，及时查出涌水隐患，防止由于水位的变化造成涌砂、坑底隆起等。本项目地下水类型繁多、补给条件复杂，井点降水、止水帷幕和坑内排水系统在项目实施过程中形成了协同运行机制。施工期间基坑内没有出现涌砂、突涌等不良现象，土方开挖作业连续性良好，说明上述地下水控制措施可以满足本项目深基坑施工的实际需要。

六、经验总结

通过参加温州瓯江口深基坑土石方工程的全流程施工和技术控制，我认为。滨海软土区深基坑施工的关键就是地质匹配和节奏控制。对于高水位、低强度软土层容易出现的边坡失稳、基底隆起等状况，必须依靠分层分段、支护协同、信息化监测的组合策略。滨海软土区深基坑施工要根据项目地质条件及施工进度，把施工技术措施和动态监测反馈结合起来形成闭环控制，才能有效降低施工风险。为以后滨海软土区深基坑工程提供可复制的施工范式。

七、结束语

滨海软土区深基坑土石方工程全流程技术优化属于一项系统工程，核心就是把精细化施工当作根基，信息化管理当作抓手。文章中提出的分层开挖、降水协同、桩基保护、变形控制等技术措施，在温州瓯江口项目中得到实践证明，对软土基坑失稳、基底隆起、管涌等问题的解决有显著效果。另外，由于 BIM、物联网等新技术的融合应用，深基坑施工技术管理将会越来越智能化、实时化。因此，行业内各参与者应不断加强技术创新，形成地质勘察到交付运维的全生命周期技术管控体系，从而达到高安全、高效率的基坑施工目的，满足城市可持续发展的需要。

参考文献

[1] 苏杰锋. 浅析会展嘉园深基坑支护及土石方开挖施工技术 [J]. 建设机械技术与管理, 2025, 38(05): 105-107.  
[2] 朱君. 复杂环境地质条件下的深基坑设计与施工探讨 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(06): 28-30.  
[3] 吴军. 超大深基坑工程支护施工探讨 [J]. 山西建筑, 2025, 51(05): 82-85.  
[4] 李亚强. 公路建设中土石方工程施工技术与管理 [J]. 运输经理世界, 2025, (03): 61-63.  
[5] 邓瑞良. 针对建设项目土石方及边坡支护工程施工工艺的分析 [J]. 中国住宅设施, 2024, (11): 178-180.