

滨海填海区域绿色空间营建策略——以东莞滨海湾新区苗涌及其周边环境工程项目为例

Green Space Construction Strategies for Reclamation Coastal Areas: A Case Study of the Miaoyong and Surrounding Environment Project in Dongguan Binhaiwan New Area

侯永峰 陈吉妮

HOU Yongfeng, CHEN Jin

摘要

滨海填海区域作为城市空间拓展的重要载体, 普遍面临软土深厚、含水率高、地基沉降显著及土壤盐碱化等复杂工程地质问题, 严重制约了绿色空间的稳定性、生态功能发挥与植物的正常生长。以东莞滨海湾新区苗涌及其周边环境工程项目为例, 通过场地工程地质勘察与分析, 系统揭示了填海区域典型的地质特征与核心营建难点。针对不同场地特征与差异化需求, 提出建构筑物区采用“桩基 + 构造适应”, 车行道与大面积广场采用复合地基, 园路与小面积广场采用浅层换填的分级软基处理策略, 实现成本控制与建设周期的平衡。

Abstract

As an important carrier for urban spatial expansion, reclamation coastal areas generally face complex engineering geological issues such as deep soft soil, high water content, significant foundation settlement, and soil salinization, which severely restrict the stability of green spaces, the exertion of ecological functions, and the normal growth of plants. Taking the Miaoyong and its surrounding environmental engineering projects in Dongguan Binhaiwan New Area as examples, a site engineering geological investigation and analysis were conducted, systematically revealing the typical geological characteristics and core construction difficulties of the reclamation area. In response to the varying requirements of different site conditions, a graded soft foundation treatment strategy is proposed: pile foundations with structural adaptation for building and structural areas; composite foundations for roadways and large plazas, shallow replacement for garden paths and small plazas. This strategy aims to achieve a balance between cost control and construction timelines.

文章亮点

1) 针对建构筑物、道路广场与绿化区差异化需求, 提出分级软基处理策略, 突破了传统单一处理模式的局限。2) 通过同类项目对比, 验证了分级软基处理策略在控制造价与保障长期稳定性方面的综合优势。3) 为滨海填海区域绿色空间的科学、经济、高效营建提供了可复制的技术路径与决策参考, 填补了多要素复合场地软基处理研究的实证缺口。

关键词

绿色空间; 填海造地; 软基处理;
复合地基; 沉降控制

Keywords

Green space; Land reclamation;
Soft foundation treatment;
Composite foundation;
Settlement control

收稿日期: 2025-09-16

修回日期: 2026-03-23

对全球滨海都市区域而言, 滨海新区开发和填海造地已成为缓解用地紧张的重要途径^[1], 但也加剧了气候与地质灾害风险。因此, 如何在此类区域实现可持续的土地利用与公共空间建设, 不仅关系到城市功能与民生福祉, 更直接影响区域应对全球气候变化的能力。近年来, 学界对填海造地区域的关注逐渐增加。相关研究指出, 填海区域的绿色空间系统普遍面临空间破碎、生态脆弱、共享性不足与防灾性能弱等问题, 进而提出构建“存量绿色土地库”等生态修补策略^[2]。国际上, 荷兰等国在填海区域开展了盐沼营造、天然防波堤建设与红树林恢复等依托自然过程的实践^[3], 为高度人工化区域的生态重建提供参考。然而, 当前关于填海造地滨水绿色空间的研究主要聚焦于宏观规划与常规设计方法层面, 填海造地区域的特殊性、与滨水空间设计方法之间的匹配度仍较低^[4]。此外, 针对填海造地区域独特的工程属性(如深厚软土、高含水率、地下水位浅与盐分累积)^[5]如何影响绿色空间的构建、运行与维护的系统性研究仍较为欠缺。

为确保绿色空间在填海造地区域的长期稳定运行, 首先必须解决软基处理的关键工程技术难题。厚层淤泥具有高含水率、低强度和强压缩性, 极易发生蠕变和侧向滑移, 导致地表结构在荷载作用下出现不均匀沉降甚至开裂。浅地下水位和盐碱化则加剧了施工难度与后期生态恢复的复杂程度。只有通过科学的软基加固与沉降控制措施, 减缓地面沉降速度, 改善土壤理化性质, 才能为植物群落的稳定建立和景观设施的长期运行提供可靠保障。现有研究在软基处理方面已形成较成熟的工程技术体系^[6], 包括换填法、排水固结(如堆载预压、真空预压、联合预压)、复合地基(如深层搅拌桩、碎石桩)以及高压注浆、强夯与强夯置换等方法, 不同技术在成本、工期与沉降控制上各有差异, 广泛应用于建筑与市政基础设施领域。然而, 这些研究大多以承载结构或大型建筑为对象^[7-9], 重点关注承载力、

安全系数及沉降控制指标, 鲜少针对包含建筑、道路、植被、水体等多类型要素的绿色空间软基处理, 更缺少基于实际项目的监测数据与效能评估。这种知识缺口使得规划建设部门和风景园林师在应对复杂场地条件时往往缺少决策依据, 难以充分发挥绿色空间在适应和缓解气候变化方面的综合潜力。

综上, 当前滨海填海区绿色空间营建仍存在三方面关键研究缺口: 一是现有软基处理技术多服务于建筑工程, 缺乏面向绿色空间中建筑、道路、铺装、植被等多要素复合需求的差异化适配策略; 二是工程实践中常陷入“高成本保安全”或“低成本冒风险”的二元困境, 缺少兼顾工期、造价与长期稳定性的系统性决策方法; 三是针对填海区特殊地质条件下的绿色空间营建效果, 缺乏基于长期监测数据的实证效能评估方法。基于此, 本文以东莞滨海湾新区苗涌及周边环境工程项目为实证对象, 通过工程地质勘察与案例分析, 探索多种软基处理方案、土壤改良技术与景观设计策略的协同作用, 为滨海城市绿色空间营建提供可推广的技术路径和经验支撑。

1 项目背景

东莞滨海湾新区苗涌及周边环境

工程项目的总用地面积为 35.8 hm², 包含文体公园(10 hm²)与苗涌公园(25.8 hm²)两大板块。项目场地淤泥流变较明显, 属于近期填海形成的不稳定沉降区, 未来将面临较大的沉降问题。

项目规划建设滨海湾新区重要的公共绿色开放空间, 以承担市民游憩、生态调节、气候缓冲等多重功能。设计方案以“丝路新织, 海湾创智”为理念, 串联运动区、演艺剧场区、密林活动区和湿地体验区等空间。文体公园布局羽毛球馆、体育俱乐部、室外球场以及多座特色构筑物; 苗涌公园聚焦生态滨水体验, 保育红树林空间, 重点建设沿河生态绿廊及慢行系统(图1)。依据功能差异, 场地划分为建构筑物、车行道及大面积广场、园路及小面积广场, 以及绿化区域4块区域, 不同区域的地基处理要求具有显著差异。

2 场地勘察分析与核心难点

2.1 工程地质勘察分析

项目于2021年3月开展地质勘测工作, 严格遵循线性均匀布控、面域网格布控、重点区段加密、深度穿透控层4项布设原则, 采用分功能分区、分层钻孔取样的方式进行(图2)。其中, 线性路段孔距按20~30 m控制;



图1 项目总平面图

Fig.1 Project master plan

广场板块钻孔按 25 m×25 m 网格均匀布设;软土厚度突变、河道岸线及地下水位变幅区额外加密校核孔,钻孔深度穿透软弱土层至持力层以下不少于 3 m。全场共布设各类钻孔 72 个,总进尺 1 860 m,采取原状土样 216 件、扰动土样 144 件、地下水样 18 组,以便对岩土层进行分层定名及取样(图 3)。试验检测严格依据《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019)、《土壤检测》(NY/T 1121)及《供水水文地质勘察规范》(GB 50027—2001)开展,涵盖土工物理力学试验、土壤盐碱化与地下水腐蚀性评价、标准贯

入与静力触探原位测试,为分级软基处理策略提供精准可靠的地质依据。

钻孔揭露结果表明,场地自上而下依次为人工填土(杂填土及素填土)、淤泥、淤泥质砂、粉质粘土、粉细砂、淤泥质土及中粗砂,下伏基岩为中风化花岗岩。其中,表层人工填土厚度约为 1.8~8.5 m,主要为素填土和杂填土,成分复杂且密实度不均,尚未完成自重固结;其下分布厚度为 3.4~17.5 m 的淤泥及淤泥质土(表 1),具有高含水率(大于 60%)、高孔隙比(大于 1.5)、低承载力(天然地基承载力特征值仅 40~60 kPa)、高压

缩性和显著触变性、流变性等特征。这类软土在外荷载作用下易产生软土震陷、侧向滑移、不均匀沉降及长期蠕变,对建筑物和铺装的稳定性构成威胁。地勘报告同时指出,文体公园区域属于近期填海形成的不稳定沉降区,软弱土层较深厚,仅用垫层局部位换上层软弱土时,下卧软弱土层在荷载的长期作用下依然会产生较大形变。

此外,场地地表水系主要包括苗涌、沙涌及交椅湾。勘察期间正值枯水期,地表水位变幅为 0.00~2.00 m。勘测发现,地下水初见水位埋深为

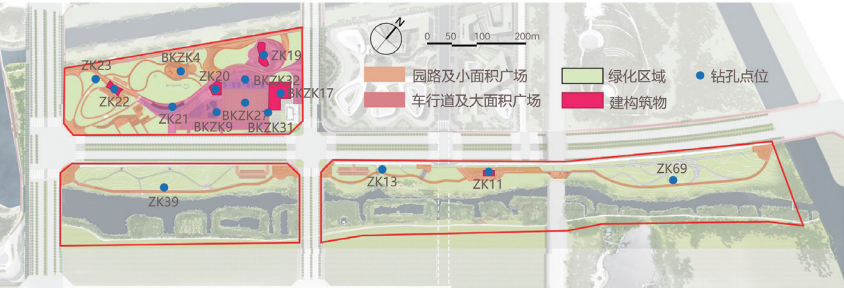


图 2 项目功能分区
Fig.2 Project functional zoning

表 1 不同功能分区的钻孔勘测结果
Tab.1 Borehole survey results of different functional zones

功能分区	回填土厚度	淤泥厚度
园路及小面积广场	3.5~6.7 m	4.7~11.4 m
车行道及大面积广场	1.8~8.2 m	3.4~11.4 m
建筑物	5.3~8.5 m	4.7~17.5 m
绿化区域	2.9~6.2 m	3.9~14.6 m



图 3 地勘钻孔岩芯与土壤取样
Fig.3 Geological drilling core and soil sampling

0.00~3.30 m, 平均埋深为 1.40 m, 高程为 0.50~5.20 m; 稳定水位埋深为 0.00~3.70 m, 平均埋深为 1.70 m, 高程为 0.80~5.30 m。近五年内地表水位变化幅度一般为 0.50~2.00 m, 场地地下水位随季节略有变化, 但地下水较为丰富。

综合分析表明, “填海 - 回填”体系存在显著的不均匀性与未固结问题, 未来场地整体仍将出现较大幅度的下沉, 需要针对不同功能分区采用相应的软基处理方案。

2.2 核心技术难点

2.2.1 分类处理场地地基

项目场地为典型填海造地区域, 地质条件极为复杂。勘测结果显示, 场地内广泛分布厚层淤泥质软土, 回填土层厚度不均, 成分复杂且尚未完成自重固结; 同时地下水位浅, 加剧了地基的不稳定性。在此地质背景下, 场地承载着建构物、车行道、大面积广场、园路及绿化区域等多种功能。不同功能区域对地基承载力、沉降控制和工后使用性能的要求存在显著差异。建构物需严格控制绝对沉降与差异沉降, 而绿化区可容许较大幅度的自然沉降。面对软土层厚、承载力低、长期沉降与不均匀沉降风险突出的地质条件, 如何针对各功能区的差异化需求制定相应的地基处理方案, 成为项目必须面对的技术难题。若沉降控制不足, 广场、人行道和构筑物等表面结构的完整性将受到破坏, 后期将面临频繁维护与高昂修复成本。

2.2.2 平衡建设周期与造价

在技术方案选型过程中, 项目面临建设周期与工程造价之间的现实矛盾。填海区域常用的软基处理技术各具特点: 预压固结法造价相对较低、适用范围广, 但需要较长的堆载与固结时间, 且受限于滨海地区多雨、台风等气候条件, 施工进度难以保障; 复合地基法(如搅拌桩等)能够显著增强地基承载力、有效缩短工期, 但工程造价较高; 浅层换填法

造价低, 但对于深厚软土层而言, 仅靠换填无法解决下卧软土层的长期沉降问题。作为东莞滨海湾新区的重要公共空间, 该项目既需确保质量与安全, 又面临 6 个月内建成的紧迫时序和有限的财政预算。在此背景下, 如何在安全性、经济性和施工效率之间实现科学权衡, 成为项目决策的核心难题。

3 详细策略

3.1 案例分析

在滨海填海区域软基处理工程中, 造价与工期的平衡是决定技术方案成败的关键。国内同类项目在应对这一难题时, 积累了丰富的实践经验, 形成了多种技术路径的比选依据。以下选取深圳、东莞、天津三地的典型公园项目, 梳理其软基处理做法及造价与工期特征(表 2)。

深圳宝安滨海文化公园(一期)位于宝安中心区, 属于典型的填海造地区域。该项目的软基处理采用三轴搅拌桩复合地基方案, 通过水泥与软土充分搅拌形成具有一定强度的桩体, 与桩间土共同承担荷载。该方案能够在较短时间内完成地基加固, 满足项目整体建设进度要求。但由于复合地基需大量使用水泥等材料且施工工艺要求较高, 其造价相对昂贵, 约为 1 500 元 /m²。

深圳人才公园位于深圳湾前海填海区, 同样面临软土地基的工程挑战, 其采用了复合地基与抛石挤淤组合工艺: 首先通过抛填块石挤出淤泥, 增强浅层地基承载力, 再结合复合地基进行深层加固。该组合方案提升了地基处理效果, 工期控制也较为理想, 但因复合地基造价较高, 叠加抛石挤淤的材料与施工成本, 整体造价仍处于较高水平, 约为 1 200 元 /m²。

东莞滨海湾东宝公园坐落于茅洲河入海口, 是东莞首个贴近滨海风光的生态湿地公园, 周边区域为近期填海形成, 软土层较厚。该项目采用浅层换填与抛石挤淤相结合的经济

表 2 同类项目的软基处理做法比较

Tab.2 Comparison of soft foundation treatment practices for similar projects

案例	地质条件	软基做法	单方造价 / (元 /m ²)	工期	后期监测 / 沉降情况	主要优点	主要局限
深圳宝安滨海文化公园(一期)	典型填海区, 存在深厚淤泥软土层	复合地基(三轴搅拌桩)	1 500	短	建成后沉降稳定, 满足设计要求	施工快, 承载力高, 沉降控制效果好, 适用于高荷载、工期紧的建构物区	造价最高, 对施工工艺和质量控制要求高
深圳人才公园	深圳湾前海填海区, 软土层深厚	复合地基 + 抛石挤淤	1 200	较短	地基处理后沉降量小, 场地稳定性好	结合深层加固与浅层处理, 综合性能好, 能有效处理不同深度软土	造价仍然较高
东莞滨海湾东宝公园	茅洲河入海口新近填海区, 软土层厚	浅层换填 + 抛石挤淤	400	长	绿化区沉降可接受, 但硬质铺装及道路区偶有不均匀沉降, 需局部修补	造价经济, 适用于荷载要求不高的绿化、园路等区域	对深层软土固结沉降控制有限, 工期待料, 后期沉降风险相对较高
天津滨海新区南湾公园	吹填造陆区, 软土厚度大, 含水率高	堆载预压 + 浅层换填	300	长	固结周期长, 建成初期仍有持续沉降, 需预留足够的工后沉降时间	工艺成熟, 造价最低, 适用于大面积、低荷载且工期极为宽松的生态区域	工期最长, 受气候(降雨、台风)影响大, 对工期紧迫的项目不适用

型方案，通过挖除浅层软弱土后回填适宜填料，并结合抛石挤淤加固深层软土。该方案造价较低，约为 400 元/m²，大幅节约了工程投资；但由于浅层换填对深层软土沉降的控制能力有限，且抛石挤淤需一定时间完成固结，整体工期较长。

天津滨海新区南湾公园位于中新天津生态城滨海旅游区，属于典型吹填造陆区。该项目采用堆载预压与浅层换填组合工艺，通过堆载加速深层软土排水固结，同时结合浅层换填增强表层地基承载力。堆载预压法工艺成熟、造价低廉，约为 300 元/m²，但受限于滨海地区多雨、台风等气候条件，施工进度难以保障，整体工期较长。

上述案例表明，滨海软基处理技术的选择需在工期、造价、处理效果三者之间寻求平衡。复合地基方案工期短、稳定可靠但造价高，适用于工期紧迫的重点项目；堆载预压与浅层换填方案造价低但周期长，适用于工期较为宽松的区域。单一技术难以同时满足质量、工期与成本要求，需结合项目具体条件优化选择。这些实践经验为东莞滨海湾新区苗涌及周边环境工程项目的软基处理方案决策提供了重要参考。

3.2 分级软基处理策略

基于不同功能分区的荷载需求和使用特性，项目团队在充分理解场地地质条件的基础上，综合考虑结构稳定性、施工工期与经济成本等因素，制定了分区化的软基处理策略（图 4），以确保整体场地在满足安全与使用要求的同时，实现资源利用效率和生态效益的最大化。

3.2.1 建构筑物区：桩基处理

对于建构筑物区，项目采用“桩基+构造适应”的综合策略，以确保结构安全与使用功能的长期稳定。建构筑物区主要使用预应力混凝土管桩穿透软弱层，将荷载传递至深部持力层，从根本上减少地面沉降带来的风险。工程选用的预应力管桩桩身混凝土强度等级为 C80，单桩竖向承载力特征值可达 1 300 kN。根据不同建筑

位置的持力层深度，管桩长度设计为 25~37 m，其中羽毛球馆平均桩长约 34 m（图 5），苗涌驿站约 25 m，均以全风化或强风化花岗岩作为持力层。施工采用静压沉桩工艺，避免对周边软土产生扰动，并通过桩顶插筋与 C30 微膨胀混凝土灌芯增强桩体与

上部结构连接。在桩基之外，楼板与地面接口采用架空楼板或局部可维护回填的构造做法，以降低局部沉降对使用功能的影响。该方案桩体刚度大、沉降控制效果显著，计算最终沉降量不大于 50 mm，满足《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2011）对重



图 4 分区软基处理策略
Fig.4 Soft foundation treatment strategies for functional zones

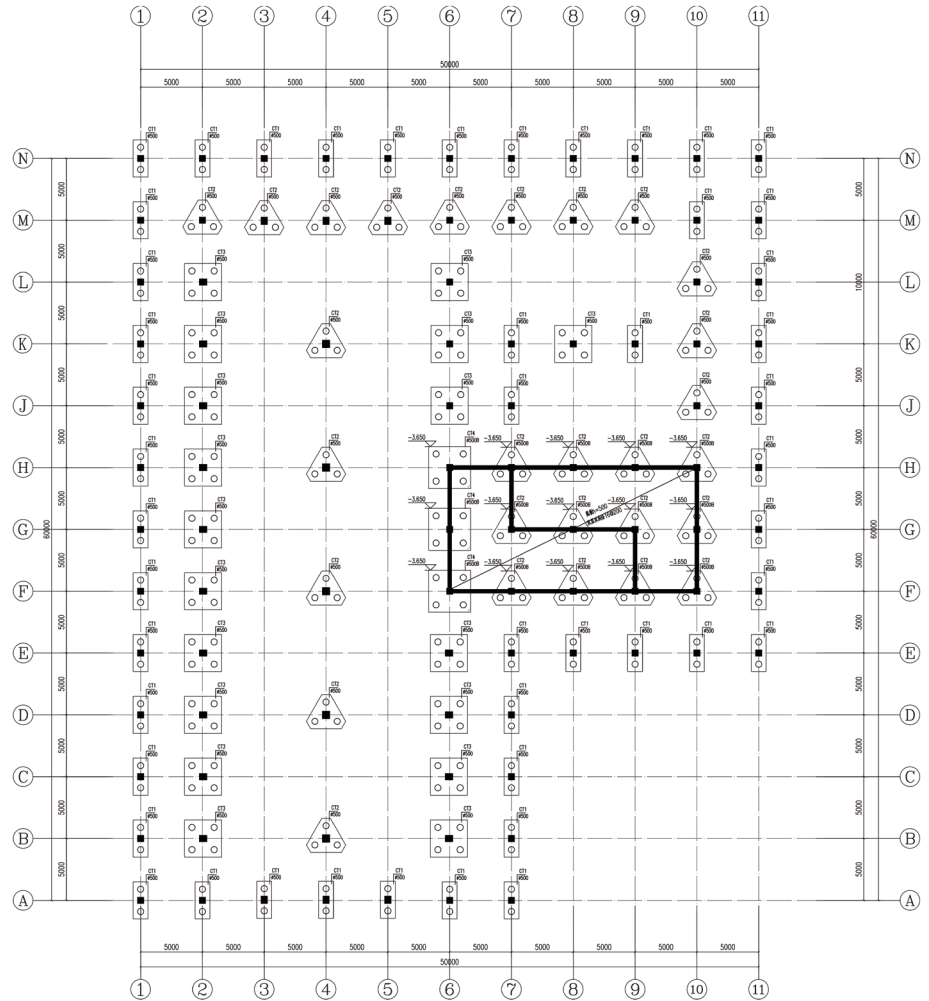


图 5 羽毛球馆地基结构图
Fig.5 Foundation structure diagram of the badminton hall

要构筑物的控制标准，能够为项目在复杂软土条件下的安全运营提供可靠保障。

3.2.2 车行道与大面积广场：复合地基

针对车行道与大面积广场等高承载、使用频繁的功能区，项目团队在比选多种技术方案后，采用以水泥搅拌桩复合地基为主的处理策略。设计团队根据不同区域地质条件，将该功能区划分为2个区域，A区（回填土厚0.9~8.5 m、淤泥厚4.6~17.0 m）桩长取14 m，以黏土层作为持力层；B区（回填土厚2.0~6.0 m、淤泥厚11.4~19.6 m）桩长取16 m（图6）。复合地基的验算承载力特征值为74.70~88.55 kPa，沉降量控制在92.49~96.67 mm，满足车行30 kPa、广场人行10 kPa的荷载及景观铺装的变形标准。相比之下，堆载预压的成本较低，但需要超过180天的堆载时间，占用施工场地时间长。考虑到滨海地区频繁降雨与台风干扰，复合地基方案在缩短工期（约3个月）和保障施工稳定性方面具有优势；但如果建设

周期允许，更推荐堆载预压方式。这一比选过程体现了项目在技术、经济与气候多重约束下的优化决策。

3.2.3 园路与小面积广场：浅层换填

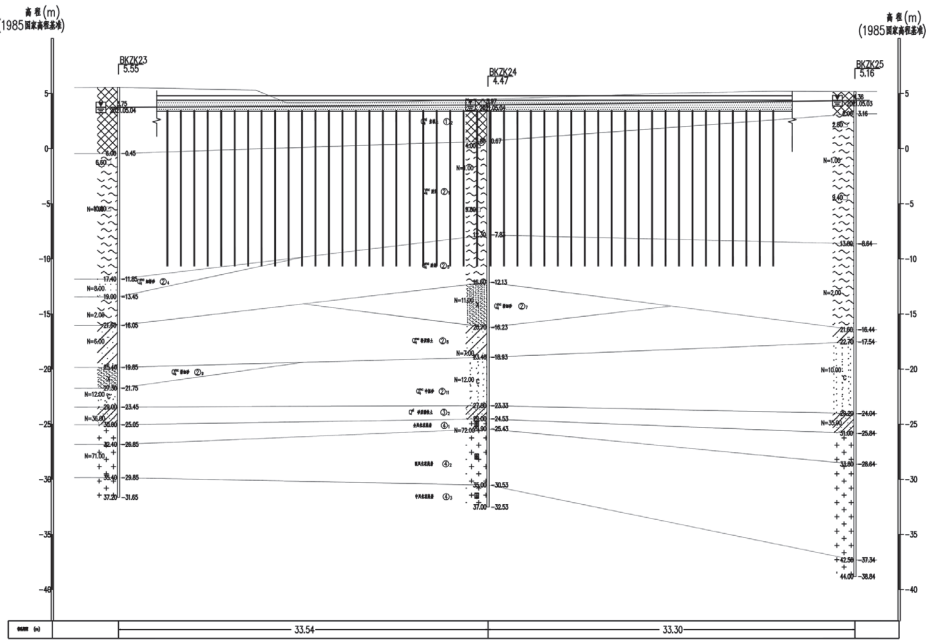
在园路与小面积广场等荷载较小、但对景观连贯性和表面平整度要求较高的区域，项目采用浅层换填这一经济型处理方案，在控制成本的同时降低不均匀沉降导致的铺装开裂风险。具体做法为：挖除软弱土层后，回填厚度为3 m的适宜填料，并设置厚度约800 mm的级配碎石垫层与土工格栅，以增强整体承载力并协调变形；其上铺设厚度为200 mm的C30钢筋混凝土面层，形成稳定的路面结构；施工过程中使用12 t压路机进行不少于3遍的振动碾压，确保压实度达到0.9以上，从而提高地基整体稳定性（图7）。与复合地基等高成本方案相比，浅层换填可节省约70%的造价，并通过土工格栅的加筋作用有效减少不均匀沉降带来的破坏。在沉降量允许范围内，该方案还能与绿化区的自然沉降协同调节，兼顾经济性与景观品质。

3.2.4 绿化区：自然固结

在荷载较小、以生态功能为主的绿化区，项目采取以自然固结为主的软基处理策略，旨在降低造价并减少对环境的干扰。该功能区不进行主动的地基加固，而是利用时间与植被根系的固土作用，逐步促进软土的自然固结与结构稳定。施工阶段进行必要的场地平整与表层改良，允许局部沉降对植被生长产生的影响。此策略不仅减少了土方开挖与桩基施工带来的破坏，还为构建多样化植物群落、增强碳汇和雨水滞蓄能力创造了条件，实现了经济性、生态性与长期韧性的统一。

3.3 建成效果与评价

项目预算中复合地基部分造价为2 703.0万元，面积为31 461.5 m²，平均单价约859.1元/m²；浅层换填造价为678.1万元，面积为10 112.3 m²，平均单价约670.6元/m²；建构筑物桩基造价为300.4万元，面积约2 300.4 m²；其余绿化区域采用自然固结方式，未计入造价。地基处理部分



注：图纸展示了16 m水泥搅拌桩软基处理横断面与地质剖面的关系。

图6 车行道与大面积广场区域地基结构图

Fig.6 Foundation structure diagram of roadway and large-area square area

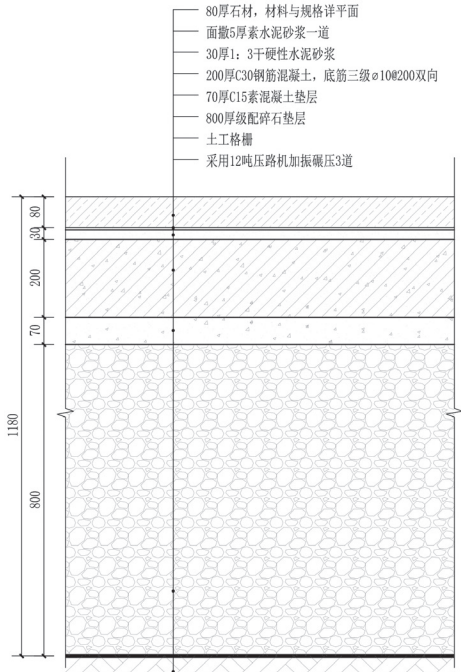


图7 园路与小面积广场区域地基结构图

Fig.7 Foundation structure diagram of garden path and small-area square area

总计单方造价为 839.1 元 /m² (表 3)。

公园构建了全龄友好、功能复合的公共活动体系，满足了不同年龄段群体的健身、游乐与漫步需求，体现了包容性城市公共空间的设计导向。运营期间，日均人流量稳步增长，不同群体在此开展运动、聚会等活动。公园已成为区域内核心的社会交往载体，强化了社区邻里联系，逐步增强市民对滨水空间的场所认同与归属感。设施完好率维持在较高水平，运动场地、游乐设施与步道系统运维有序，证明了设计方案的耐久性与运维管理的高效性。

建成 4 年来，公园已形成蓝绿交织、近自然化的生态景观基底。持续监测可知，工程核心区域（建构筑物、车行道、广场等）的累计沉降量普遍控制在 5 cm 以内，满足设计及规范要求，场地结构稳定性得到验证。以乡土乔木为主体的复层植物群落逐步演替成熟，本地适生乔木（如秋枫 *Bischofia javanica*、水黄皮 *Pongamia pinnata*、蜡烛果 *Aegiceras corniculatum* 等）保存率超过 90%，群落郁闭度已达 0.6 以上。乔木、灌木与地被层的有机配置显著提升了绿色空间的生态稳定性，实现了滞尘降噪、降温增湿的气候调节功能，同时为本土生物提供了栖息生境。景观视廊与滨江风貌形成有机呼应，空间品质与美学价值得到持续彰显，初步构建了城市滨水生态廊道（图 8）。

4 结语

滨海填海区域的绿色空间营建是一项涉及岩土工程、景观生态学与水文的系统工程，其复杂性与特殊性远超常规城市的绿色空间建设。本文以东莞滨海湾新区苗涌及其周边环境工程项目为实证对象，通过场地工程地质勘察、同类案例比较与技术经济评估，系统揭示了填海区域典型的地质特征对绿色空间稳定运行的核心制约机制。在此基础上，针对建构筑物、车行道与大面积广场、园路与小面积广场及绿化区等不同功能分区对地基承载力、沉降控制标准与使用性能的

表 3 工程软基处理造价分析

Tab.3 Cost analysis of soft foundation treatment for this project

一级项目	造价 / 万元	面积 / m ²	单方造价 / (元 / m ²)	二级造价组成
复合地基	2 703.0	31 461.5	859.1	深层水泥搅拌桩、砂褥垫层、土工格栅铺设、截凿桩头
				水泥稳定碎石基层 (80 cm)
				C30 钢筋混凝土面层
浅层换填	678.1	10 112.3	670.6	C15 混凝土垫层
				土工格栅铺设
				场地整形碾压
建构筑物桩基	300.4	2 300.4	1 305.8	预制钢筋混凝土管桩
				送桩
				预制桩钢桩尖
				截凿桩头
				管桩填芯混凝土
总计	3 681.5	43 873.8	839.1	桩头插筋



图 8 建成实景照片
Fig.8 Post-construction photos

差异化需求，提出了分级软基处理策略，并通过工程实施验证了其可行性与有效性。研究结果表明，基于功能分区的分级地基处理策略能够在保障工程安全与使用功能的前提下，实现工程造价、建设周期与长期服役性能的平衡，为滨海填海城市绿色空间的科学营建提供了可推广的技术路径与实证依据。

本研究仍存在三方面局限：1) 监测周期有限。当前仅获取了建成至今的沉降与植被数据，而填海区软基沉降与植物群落演替的周期通常可达10年以上，更长时序的性能演变规律仍需持续追踪。2) 案例地域局限性。研究基于东莞滨海湾新区地质条件，其软土层厚度、水文特征与珠江三角洲其他填海区域相近，但与长江三角洲、环渤海地区等粉砂质软土或高盐渍化填海区的适配性仍需跨区域验证。3) 生态量化评估不足。现有生态效益分析以定性描述为主，缺乏对碳汇增量、雨水滞蓄能力、生物多样性等指标的定量核算，后续需结合长期监测数据深化多维度生态绩效评估体系。

从更宏观的视角来看，本研究所提出的分级处理策略体现了对填海区域复杂地质条件的精准响应，但其意义不仅限于技术层面的优化。在应对全球气候变化与城市化双重压力的背景下，滨海填海区域的绿色空间营建正面临更高的目标要求：不仅需要满足基本的使用功能与审美需求，更应承担气候调节、生态修复、碳汇增强与灾害缓冲等多重生态系统服务功能。这要求未来的研究与实践必须在现有工程技术基础上，进一步推动基于自然的解决方案与岩土工程技术的深度融合，探索更具韧性与适应性的绿色空间营建范式。展望未来，滨海填海区域绿色空间的营建应朝着更加智能化、生态化与更具韧性的方向发展。一方面，应积极引入人工智能与大数据分析等新兴技术，构建地基沉降预测与风险预警模型，实现从被动应对向主动调控的转变；另一方面，应深化对滨海湿地、红树林、盐沼等自然生态系统结构与功能的认识，借鉴荷兰、新加坡等国在填海区域生态修复、基于自然的解决方案方面的成功经验，探索适用于我国滨海城市的人工与自然耦合系统营建模式。在气候变化持续加剧的背景下，海平面上升，极端降水与台风风暴潮等灾害风险日益凸显，填海区域的绿色空间必须承担起缓冲与适应的功能。因此，未来的软基处理策略应更加注重长期韧性，充分考虑气候变化对地基稳定性、土壤盐渍化与植被演替的潜在影响，构建能够动态响应环境变化的适应性管理体系。

注：图片均由作者自摄自绘。

参考文献：

- [1] SENGUPTA D, CHEN R, MEADOWS M E. Building beyond land: An overview of coastal land reclamation in 16 global megacities[J]. Applied geography, 2018, 90: 229-238.
- [2] 张赫, 董雪玲, 王睿, 等. 填海造地区域绿地系统存量修补策略研究——以天津市滨海新区绿地系统为例[J]. 西部人居环境学刊, 2019, 34 (4) : 20-26.
- [3] 王宗祺, 张路峰. 从抵御到接纳——荷兰填海造地实践中基于自

然的解决方案[J]. 新建筑, 2024 (2) : 72-77.

[4] 张赫, 郭潇玲, 王睿, 等. “空间-特征”匹配下的填海区滨水空间设计优化方法研究——以山东省招远市滨海海域填海区概念规划设计为例[J]. 中国名城, 2018 (11) : 39-44.

[5] XU Y, PU L, ZHU M, et al. Spatial variation of soil salinity in the coastal reclamation area, eastern China[J]. Journal of Coastal Research, 2014, 30 (2) : 411-417.

[6] 郭峰. 不同处理方法下的软土地基沉降监测分析[J]. 山西建筑, 2021, 47 (14) : 65-67.

[7] 孟宪伟, 刘毅, 张吉庆, 等. 填海造陆场地基桩竖向承载特性试验研究[J]. 工程勘察, 2024, 52 (12) : 14-19.

[8] 朱斌. 填海区软土地基处理施工技术探讨[J]. 中国设备工程, 2025 (S2) : 269-271.

[9] 杨凯, 刘乾烈, 李达. 厦门新机场填海造地软基处理方法研究[J]. 建筑机械, 2023 (11) : 2, 18-23.

作者简介：

侯永峰/1989年生/男/福建福州人/硕士/广州市林业和园林科学研究院(广州510000)/高级工程师/专业方向为风景园林与城市生态

陈吉妮/1990年生/女/海南海口人/硕士/广州市城市规划勘测设计研究院有限公司(广州510060)/高级工程师/专业方向为城市规划与风景园林