

数字技术驱动的覆土建筑景观设计——以深圳湾文化广场为例

Digitally-Driven Approaches to Landscape Architectural Design for Soil-Covered Buildings: A Case Study of Shenzhen Bay Culture Plaza

甘海涛 黄嘉丽 林丽丹

GAN Haitao, HUANG Jiali, LIN Lidan

摘要

随着建筑生态学及数字技术不断发展,大型覆土建筑艺术近年来获得了建筑学界的高度关注,其设计模式正逐步向数据驱动的精细化模式转型融合。深圳湾文化广场的大型覆土建筑在异形屋面、超大坡度与复杂生态约束下面临着结构安全、防滑固土、排水效率及植物微环境构建等核心挑战。以深圳湾文化广场为例,通过引入 LIM (Landscape Information Modeling) 技术构建跨专业数字化协同框架,整合结构工程、景观设计与生态分析数据,实现从荷载梯度控制、雨水径流模拟到植物配置的全流程参数化设计与模拟。研究表明,该方法有效提升了覆土建筑在超高复杂度条件下的结构安全性、地形稳定性与生态适应性,保障了 3.66 万 m² 覆土屋面的技术可行性与实施精准度,为同类项目提供了可推广的数据驱动设计参考体系。

Abstract

With the continuous advancement of architectural ecologies and digital technologies, the art of large-scale soil-covered architecture has received growing attention in architectural research in recent years, with its design paradigms progressively shifting toward data-driven precision models. This study examines the core challenges in large-scale soil-covered buildings—such as structural safety, slope stabilization, drainage efficiency, and the development of plant micro-environments under complex roof geometries and steep slopes—by exploring digitally-driven precision design approaches. Taking Shenzhen Bay Culture Plaza as a case study, this study develops a LIM-based digital collaborative framework to integrate structural, landscape, and ecological data, enabling parametric modelling and simulation, including load gradient control, stormwater runoff analysis, and planting configuration. The results demonstrate that this method significantly enhances structural safety, slope stability, and ecological compatibility in high-complexity conditions, while ensuring the technical feasibility and implementation precision of a 36 600 m² soil-covered roof. The study establishes a replicable data-driven design framework for similar projects.

文章亮点

1) 基于 LIM 技术构建项目数据,准确反映建筑结构、覆土荷载、地表径流与景观要素的空间关系,分析深圳湾文化广场项目概况及重难点,快速反馈项目设计中存在的问题并及时调整;2) 通过案例研究、理论分析、LIM 技术分析,分别针对异形屋面荷载梯度化控制、异形双曲界面的超大坡度绿化防滑固土、非对称变坡区雨水径流分析与计算、异形结构顶板约束下的生态性植物微环境分析构建四个维度,提出相应的解决策略,以确保项目落地可行性。

关键词

覆土建筑; 屋面绿化; LIM; 参数化设计; 数字技术协同; 景观设计

Keywords

Soil-Covered Architecture; Roof greening; Landscape Information Modelling; Parametric Design; Digital Collaboration Technologies; Landscape Design

收稿日期: 2025-06-01

修回日期: 2025-07-31

覆土建筑特点是屋顶使用大面积土壤进行覆盖, 通过植被种植来模仿自然环境, 并为人们提供一个玩耍或休息的场所^[1]。随着生态危机威胁的加剧, 自 20 世纪 60 年代, 对于覆土建筑的研究从未间断, 从提出可持续发展绿色建筑的概念发展为在实践中运用该概念进行设计, 并逐步完善覆土建筑在各功能与外部环境的理论与经验。在此过程中覆土建筑景观设计的要求也从单一品种地被覆绿, 转变为结合周边环境营造多样活动场所。为应对覆土建筑高差变换、活动空间多元、植物层次丰富等复杂的景观需求, 需要综合考虑建筑各专业与景观衔接以确保工程技术安全。深圳湾文化广场项目面临超高复杂度结构、大跨度斜坡屋面、薄板种植等挑战, 存在以下风险: 1) 土壤滑坡造成植被滑落、黄土裸露; 2) 雨水在低点积水影响植物生长或硬质基础耐久性; 3) 植被品种光照习性与日照环境不相适应, 导致其长势不佳。因此, 传统技术手段难以直观分析问题并实现景观效果, 本文借助 LIM 技术手段对其覆土建筑景观设计实施性进行研究。

2009 年国际数字景观大会上, 哈佛大学 Dr.Vin 教授首次提出 LIM (Landscape Information Modeling), 即应用于景观行业的数字技术。此概念聚焦于景观数字化及模拟技术、风景园林分析评价与参数化设计、数字景观教育等领域, 弥补了 BIM (Building Information Modeling) 在具有多尺度特性的景观设计建造管理运用的不足^[2]。此后, 学者与行业从业人员在 BIM 技术的基础上不断研究, 并在实际项目中运用 LIM 技术。近年来, 国内学者开始将 LIM 技术应用于景观规划设计, 主要运用于科学量化分析场地、参数化生成方案等协同优化设计方面。如邢天等基于连云港市刘志洲山体育公园设计, 通过 Civil 3D 对场地进行高程、坡度、坡向分析^[3]; 西湖大学项目将 CAD 等高线导入 Rhino 生成曲面并调整地形, 导出 Dwg 格式三维文件^[4]; 赵从博利用斯维尔节能软件对既有住宅小区建筑室外风、光、热进行模拟, 并根据分析结果提出改造方案^[5]。基于深圳湾

文化广场覆土建筑面临的复杂挑战以及传统技术手段的局限性, 本文参考以上实际案例, 着重研究如何运用 LIM 技术对大跨度顶板及草坡的坡度、坡向开展精准模拟分析, 对种植的环境条件进行精细化模拟, 对地形、自然花境等设计进行准确表达等问题, 以期荷载安全、固土防滑和排水设计提供精确的数据, 为选择植物品种及调节场地环境微气候提供量化依据, 以实现景观效果可视化展示, 辅助设计比选与决策, 保障其景观设计的实施性与安全性, 且为同类大型覆土建筑景观数字化设计提供借鉴, 提高项目在设计过程中的工作效率和质量。

1 深圳湾文化广场项目概况与重难点

1.1 项目概况

深圳湾文化广场位于南山区粤海街道科苑南路以东、登良路以北, 占地面积约 5 hm², 总建筑面积约 18.8 hm², 建筑基底面积约 3.66 hm², 建筑最高高度约 52.3 m, 景观面积约 6 hm²。项目包括“深圳创意设计馆”和“深圳科技生活馆”。其中, 深圳创意设计馆为“深圳市新时代十大文化设施”之一, 深圳科技生活馆为深圳“市级重大文体设施规划”项目之一。项目定位为设计与科技融合创造力中心, 展馆的外部空间旨在现代大城市和自然之间打造一座文化地标, 形成如大地艺术公园般自由的市民空间。

MAD 建筑事务所与 Sasaki 事务所分别负责本项目总体规划、建筑设计和景观设计, 整体的设计理念是将展馆比作大海边亘古不变、相互依靠的石群, 石群之间与绿坡之下, 丰富的灰空间提供文化滋养的环境。项目二层屹立着浮水石、悬云石、倚虹石、摄云石、衔海石等“石群”, 其余屋面均为覆土景观(图 1)。大面积屋面的公共环境不仅需要满足多元的活动休憩场所, 还应营造变化丰富的景观效果, 这对于景观工程技术而言存在一定的挑战。

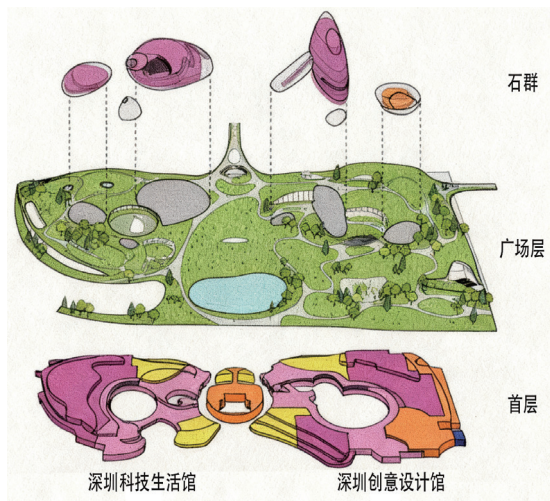


图 1 深圳湾文化广场建筑布局及鸟瞰效果图

Fig.1 Building layout and bird's eye view of Shenzhen Bay Cultural Plaza

1.2 项目重难点

项目二层建筑顶板不同于常规项目大面积同一排水坡度的平整地库顶板，一层 90% 为室内异形双曲空间，空间宽阔，顶板坡率变化无规律，柱梁结构跨度大，草坡屋面的落地对景观工程技术来说存在以下 4 个挑战：1) 异形屋面荷载梯度化控制：屋面结构复杂，可划分成 5 类梯度覆土荷载区，覆土高度分别是 250 mm、300 mm、500 mm、700 mm、1 500 mm。建筑顶板与草坡屋面坡度变化大，建筑顶板与草坡屋面的高差每一点都是变化的，超荷载具体范围和高度难以用传统的二维方式进行分析计算。2) 异形双曲界面的超大坡度绿化防滑固土：建筑顶板与草坡屋面形成的异形双曲界面，由于建筑部分坡度超出屋面规范的技术要求，部分草坡屋面坡度也超过了土壤安息角，需要结合建筑顶板与超大坡度绿化考虑屋面防滑及表土固土措施。3) 非对称变坡区雨水径流分析与计算：草坡屋面与建筑顶板变坡点不一致，草坡屋面与建筑顶板汇水分区呈现非对称分布，同时排水受超荷载解决措施的影响，包括 EPS 换填材质阻隔草坡雨水下渗至建筑顶板疏水层，园路基础隔断顶板疏水层雨水流通。4) 异形结构顶板约束下的生态性植物微环境分析构建：屋面结构荷载存在限制，覆土深度对乔木种植成活率及后期长势有所影响；而建筑顶板坡率分布复杂、景观地形变化丰富，导致每个种植点位的覆土深度不同，需逐一复核并确保满足种植要求。同时，场地临近海边且处于深圳特殊的气候环境中，需要考虑强日照、高温、极端降水及台风灾害等诸多自然环境因素对乔木的影响，并提出应对措施。

1.3 技术路线

针对以上 4 个挑战，通过 LIM 与参数化数字技术结合运用，提升项目结构安全、地形护坡、排水效率及生态关系等设计精度，具体表现在以下方面：1) 在屋面荷载方面，

运用 Civil 3D 梳理顶板与草坡高差关系，精准分析需要换填的区域，为减荷提供数据基础；2) 在地形护坡与顶板防滑方面，可借助 Civil 3D 精细化地分别获取顶板与草坡每一点的坡度值，筛查需要固土防滑的区域，并以三维立体形式呈现解决策略；3) 在雨水径流分析中，可运用 Civil 3D 模拟场地雨水在地表或顶板上的排水路径，以方便划分汇水分区，复核排水能力；4) 在植物环境构建中，运用斯维尔软件参数化分析环境条件可避免植物因环境错配而效果不良并减少后期维护成本；运用 Rhino 软件中的 Grasshopper 参数化平台可快速生成多个花境方案进行比选，其融合了生态逻辑、美学规则与数据算法。下文将基于此技术路线展开论述及分析（图 2）。

2 异形屋面荷载梯度化控制

覆土建筑景观设计需以结构承载性能为优先约束条件，设计过程中遵循《种植屋面工程技术规程》(JGJ155-2013)^[6]中第 3.2.3 条强制性技术条款：“种植屋面工程结构设计时应计算种植荷载”，即量化评估建筑顶板的覆土深度、荷载能力。进行主要构筑或大乔种植设计时可对应建筑梁柱设置；堆坡造型超出荷载范围值时，需要轻质换填^[7]。基于 LIM 构建精细化荷载分布模型，严格计算每一处的荷载，针对覆土超限区域，提出轻质材料换填方案，确保景观荷载值低于建筑顶板极限承载力阈值。

2.1 建筑顶板覆土深度分析

在荷载计算前，需基于建筑结构顶板三维空间开展覆土深度分析，使用 Civil 3D 软件计算的填方量即为每个区域的覆土深度（图 3）。同时，优先验证景观营造的技术可行性：

- 1) 覆土厚度是否满足绿化种植需求；
- 2) 核查地下结构构件（防滑墩、暗沟）的竖向高程是否突破覆土界面，避免空间

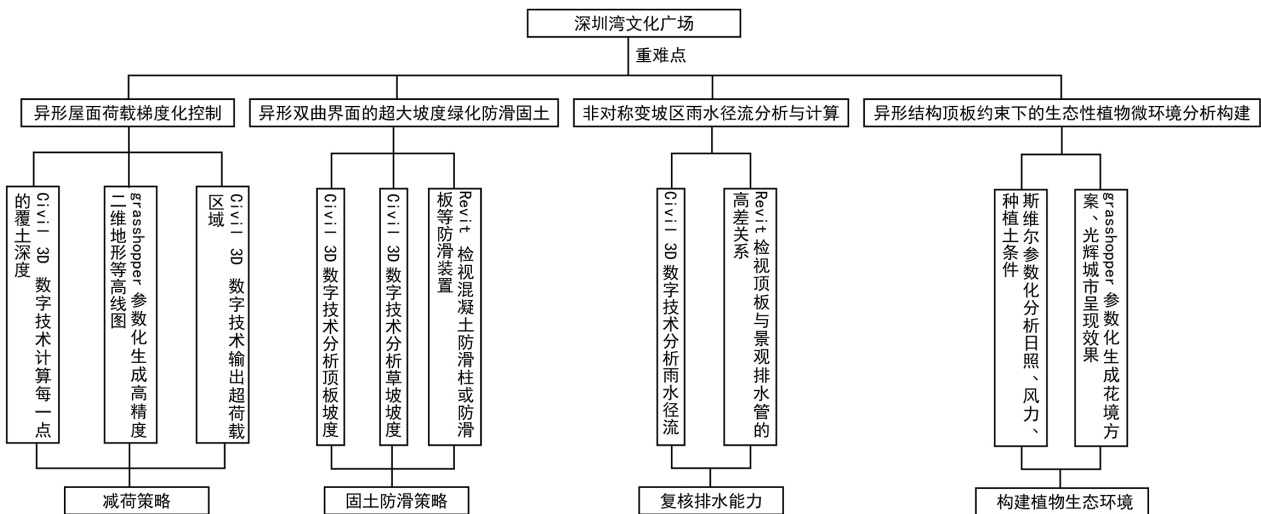


图 2 研究技术路线

Fig.2 Research workflow

冲突等。

2.2 超荷载换填分析

经多方技术验证，运用 Rhino Grasshopper 参数化建模工具生成高精度二维地形等高线图（图 4），基于此地形数据，重新计算覆土深度，结果显示建筑顶板与草坡屋面的坡度复杂导致每一处的实际覆土深度都在变化，且顶板荷载覆土厚度值分为 250、300、500、700、1 500 mm 等 5 个梯度，划成 20 个不同区域（图 5），这种梯度化荷载分布格局对超荷载区域换填技术带来了巨大的挑战。研究首先筛查超荷载区域，再分别按硬质与绿化提出不同的减荷策略。

2.2.1 超荷载深度分析

基于覆土荷载梯度分布理论，将景观地形曲面依据最大覆土厚度阈值划分为 5 类分区（250 mm、300 mm、500 mm、700 mm、1 500 mm），在 Civil 3D 中采用分区独立计算法分析需要换填的高度，按 100 mm 等高距生成超荷载区域平面分布图（图 6），将换填高度梯度可视化。

项目超荷载总面积约 23 720 m²，将显著影响建筑结构安全。如何解决大范围减荷问题是首要需要梳理的内容，将项目拆解为硬质铺装、草坡绿化，分项分析减荷策略。

2.2.2 硬质铺装减荷策略

针对园路超荷载区域的结构优化策略，按超荷载区域与

顶板的高差分为不大于 1 m 和大于 1 m 两种情况。高差不大于 1 m 采用砖砌体地垄墙与构造柱的结构形式，高差大于 1 m 采用梁柱支撑架空的结构形式。

2.2.3 草坡绿化减荷策略

鉴于顶板最陡斜率 70%、换填最高 4 m，面积达 23 720 m²，采用传统方式陶粒换填需要解决大面积材料的防滑与吸水性导致顶板荷载增加等问题，因此草坡绿化超荷载区域选用 EPS 轻质块换填。为确保大体积 EPS 换填工程的可行性，需遵循系统性技术验证流程“理论及规范研究 - 案例研究 - 工艺研究 - 厂家考察”，并结合规范《绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料（EPS）》^[8]及《公路路基施工技术规范》^[9]中对 EPS 物理性能要求。选用 EPS 轻质换填块应符合以下要求：密度不小于 20 Kg/m³、燃烧等级 B1 级、10% 应变的抗压强度宜不小于 110 kPa，抗弯强度宜不小于 150 kPa，压缩模量宜不小于 3.5 MPa，

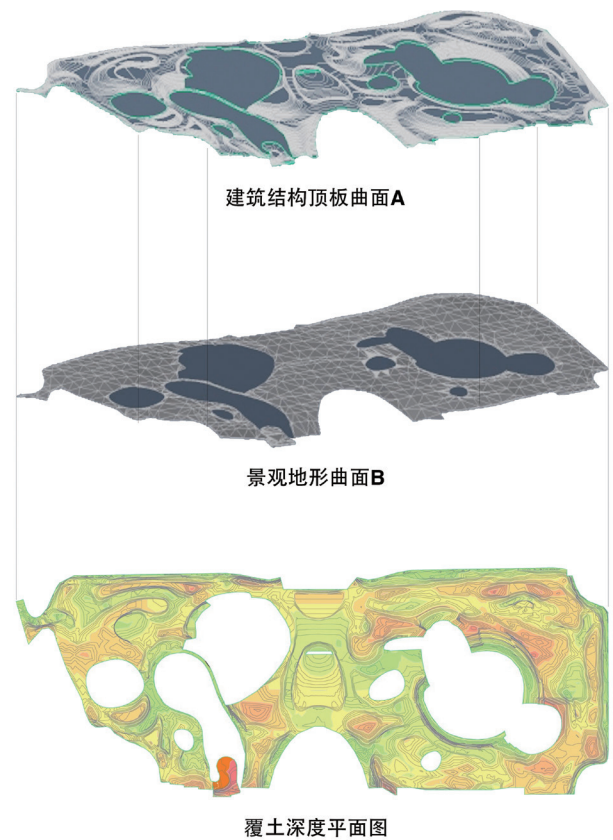


图 3 建筑顶板覆土深度计算流程
Fig.3 Workflow for calculating soil depth on building roof slab

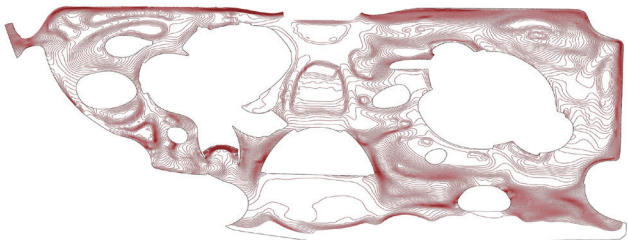


图 4 参数化输出的二维地形图
Fig.4 Parametric output of 2D terrain map

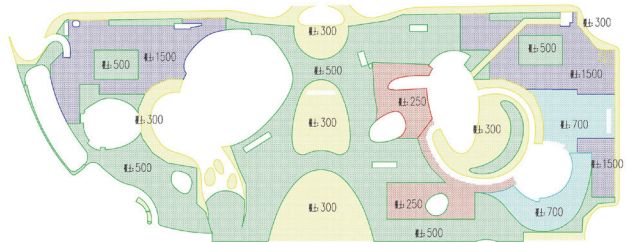


图 5 建筑顶板荷载覆土换算平面图
Fig.5 Plan of soil load distribution on building roof slab

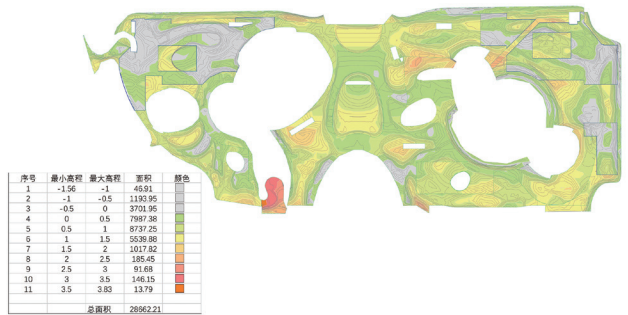


图 6 覆土超荷载深度平面图
Fig.6 Plan of overload soil depth

7 d 体积吸水率宜不大于 1.5%。

3 超大坡度绿化防滑固土

项目斜坡屋面顶板与草坡因坡度较大，需分别针对以下两方面进行专项研究：1) 对于建筑顶板的大面积斜板，须重点评估其与 EPS 或覆土层的抗滑稳定性；2) 针对草坡防护体系，系统考虑覆土固持措施，以防止表土滑移。研究分别对屋面顶板防滑与草坡固土进行分析，再结合项目具体情况提出解决策略。

3.1 屋面顶板抗滑移分析

建筑顶板坡度为 0%~70%，根据《种植屋面工程技术规程》^{[6]20} 中第 5.3.3 条例要求，屋面坡度不小于 20% 时需要考虑土壤防滑措施。但雨水入渗至 EPS 填方层与斜屋面界面后，界面摩擦系数显著降低，导致临界滑移风险向低坡度区域延伸。上海迪士尼乐园假山 EPS 换填工程的施工单位从 1997 年起实施了近百个 EPS 换填工程，对 EPS 各方面均有成熟的认知。经与之交流，项目在 EPS 换填块防滑区域，将防滑阈值扩展至 10%~70% 区域；在坡度大的区域，利用建筑顶板预埋防滑墩与加筋混凝土挡墙形成抗滑骨架，根据顶板不同坡度采取相应的防滑策略（表 1）。此外，运用 Revit 软件系统地可视化检验混凝土防滑柱、防滑板高度是否满足防滑措施的安装要求。

3.2 草坡表皮固土分析

根据《种植屋面工程技术规程》^{[6]12} 中常用的改良土配制，项目选用配比轻沙壤土：腐殖土：蛭石=5：3：2 的改良土，其湿土自然安息角为 25°，即当草坡坡角大于 25°时便需要固土。为适应项目工期紧迫的状况，选用蜂巢格

室体系固土，采用模块化装配工艺，其施工速度快且可呈现即时效果。植被覆土后即可减缓雨水对土壤冲刷，避免水土流失。

3.3 防滑固土解决策略

项目屋面顶板和草坡表皮坡度复杂且坡向不一致，利用 Civil 3D 筛查，结合完成面坡度、换填及结构顶板斜率等因素，发现有 6 种情况需要特别处理，并在 Revit 软件中模拟相应的设计策略（表 2）。

4 非对称变坡区雨水径流分析与计算

深圳湾文化广场项目不同于常规项目简单的径流下渗排水路径，其排水复杂原因包括：1) 建筑顶板与草坡屋面汇水径流不一致；2) 大面积换填 EPS 阻隔地表水下渗至顶板，园路基础隔断顶板疏水层，降低顶板排水效率；3) 建筑主体排水路径和最低点的排水设施受顶板坡向影响，需要复核

表 2 6 种特殊情况的设计策略

Tab.2 Design strategies for six specific scenarios

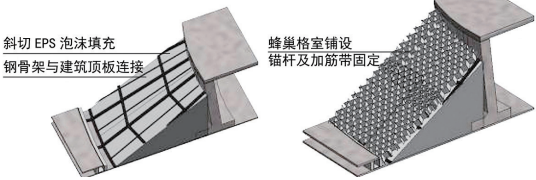
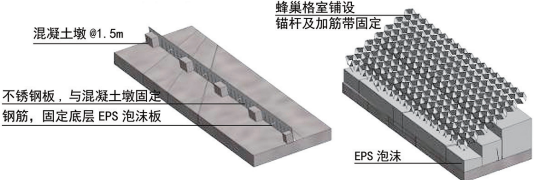
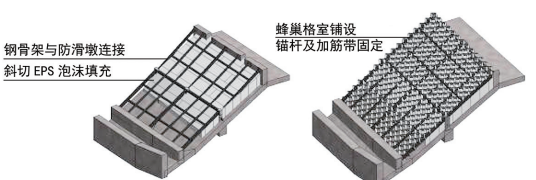
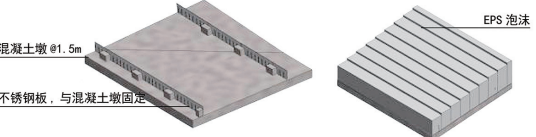
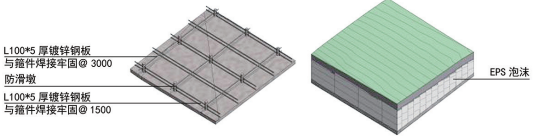
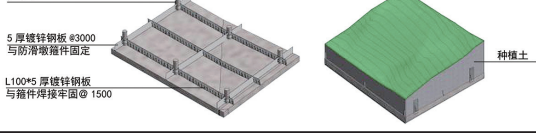
序 号	需要 换填	顶板斜率	需要 防滑	需要 固土	设计策略示意图
1	是	0%~10%	否	是	
2	是	10%~20%	是	是	
3	是	> 20%	是	是	
4	是	10%~20%	是	否	
5	是	> 20%	是	否	
6	否	> 20%	是	否	

表 1 屋面防滑措施

Tab.1 Anti-slip measures for roof surfaces

顶板坡度 /%	处理策略
< 10	不作防滑处理
10~20	仅对换填区 EPS 轻质块进行防滑处理
≥ 20	对 EPS 轻质块或土壤进行防滑处理

整体排水路径和最低点的排水设施。为解决项目复杂的排水问题，本节按雨水轨迹分析项目排水的可行性。

4.1 草坡屋面排水分析

项目草坡屋面的雨水由地表流至建筑雨水斗。利用 Civil 3d 或 Grasshopper 软件分析雨水地表径流，结合场地竖向特征、覆土厚度空间分布及建筑排水节点空间关系，精细化划分出 51 个汇水分区，并依据《室外排水设计标准》^[10] 计算雨水设计流量，确保各分区雨水径流与建筑暗沟的排水能力。

4.2 建筑顶板排水分析

顶板的雨水下渗至疏水板上，流经建筑暗沟再通过雨水斗排走，其排水是否通畅需要关注雨水的下渗能力、疏水板雨水排水效率及暗沟雨水斗是否在低点。覆土深度影响雨水下渗系数取值，覆土深度大于 500 mm 的区域下渗系数为 0.75；覆土不大于 500 mm 的区域下渗系数为 0.6^[11]；而 EPS 轻质换填块对雨水下渗有所阻碍，因此在换填区内每 3 m 设置一根 DN100 排水管，形成分布式导排网络。园路地

垄墙影响顶板疏水板排水流通性，故在底部基础每 2 m 设置 1 m 的花砖形式过水洞。最后运用 revit 平台复核景观排水管是否能将水排进建筑排水沟及雨水斗。

5 异形结构顶板约束下的生态性植物微环境分析构建

在严苛的屋面顶板上建立可持续性植物生态体系，需全面考虑植物环境因子，包括其日照环境、风力强度、屋面坡度及种植土等条件因素。鉴于项目处于深圳滨海区位，尤其需重点评估乔木的抗风能力，通过品种选择与加固措施增强绿化抗风能力。

5.1 日照分析

本文基于斯维尔软件平台构建建筑日照参数化模型，通过模拟解析冬夏两季太阳轨迹，获取场地典型日最大光照时数空间分布数据（图 7）。以此分析图叠合地被设计平面图，将日照模拟结果与植物配置方案进行分析，揭示出部分物种存在光周期适应性冲突，见表 3。

光照影响植物生长的同时，乔木对场地环境微气候进

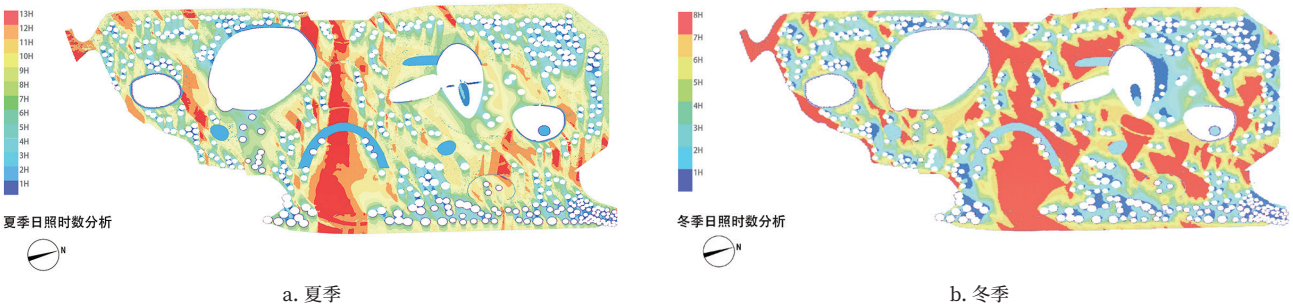


图 7 项目夏冬季日照时数分析图

Fig.7 Sunshine hours analysis in summer and winter for the project site

表 3 场地地被植物与日照条件对比
Tab.3 Comparison of site ground cover and solar exposure

季节	平均日照时数	区域设计植物种类	适宜该环境植物	总结
夏季	>6 h	萼距花 <i>Cuphea hookeriana</i> 、细叶结缕草 <i>Zoysia pacifica</i> 、马鞭草 <i>Verbena officinalis</i> 、白车轴草 <i>Trifolium repens</i> 、狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i> 、鼠尾草 <i>Salvia japonica</i> var. <i>japonica</i> 、花烟草 <i>Nicotiana glauca</i> 、细叶芒 <i>Miscanthus sinensis</i> ‘Gracillimus’、斑叶芒 <i>Miscanthus sinensis</i> ‘Zebrinus’、马利筋 <i>Asclepias curassavica</i> 、松果菊 <i>Echinacea purpurea</i> 、火把莲 <i>Kniphofia uvaria</i> 、秋英 <i>Cosmos bipinnatus</i> 、假蒿 <i>Eupatorium capillifolium</i> 、花叶芒 <i>Miscanthus sinensis</i> ‘Variegatus’、坡地毛冠草 <i>Melinis nerviglumis</i> ‘Pink Crystals’、栀子 <i>Gardenia jasminoides</i> 等	喜阳耐晒植物	建议复核环境日照条件，更换栀子等不耐晒种类
	4~6 h	鹅掌柴 <i>Heptapleurum heptaphyllum</i> 、马鞭草、细叶芒、假蒿、花叶芒、花烟草、艳芦莉 <i>Ruellia elegans</i> 、细棕竹 <i>Rhapis gracilis</i> 、栀子、细叶结缕草、萼距花、大布尼狼尾草 <i>Pennisetum orientale</i> ‘Tall’、小兔子狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i> ‘Little Bunny’、绿苞爵床 <i>Justicia betonica</i> 、红椿蕨 <i>Neoblechnum brasiliense</i> 、龟背竹 <i>Monstera deliciosa</i> 等	喜阳不耐晒植物	建议复核环境日照条件，更换红椿蕨、龟背竹等喜阴种类
冬季	2~4 h	绿苞爵床、迷迭香 <i>Rosmarinus officinalis</i> 、芙蓉菊 <i>Crossostephium chinense</i> 、玉蝉花 <i>Iris ensata</i> 、肾蕨 <i>Nephrolepis cordifolia</i> 、西伯利亚鸢尾 <i>Iris sibirica</i> 、小天使鹅掌芋 <i>Thaumatococcus xanadu</i> 等	喜阴或喜阳耐半阴植物	建议复核环境日照条件，更换玉蝉花等喜阳种类
	<2 h	芙蓉菊、蓝雪花 <i>Ceratostigma plumbaginoides</i> 、孔雀竹芋 <i>Goeppertia makoyana</i> 、蒲苇 <i>Cortaderia selloana</i> 、千屈菜 <i>Lythrum salicaria</i> 、风车草 <i>Cyperus involucratus</i> 、西伯利亚鸢尾等	喜阴植物	建议复核环境日照条件，更换芙蓉菊、蓝雪花、千屈菜等喜阳种类

行调节，通过降低空气温度和提供遮荫来提升街道空间热舒适度^[12]。乔木对场地日照的影响分析可以清晰地观察场地的热舒适度，在热舒适度低的区域选择叶面积大的乔木或增加乔木数量可提升遮荫率。

5.2 风力分析

基于《绿色建筑评价标准》（GB/T 50378-2019）^[13]，使用斯维尔软件分析项目冬夏季风力（图 8），冬季功能区如风速超过 2 m/s，需要提升乔木遮蔽度，夏季活动区如出现涡旋或无风区，植物采取“抱角”布置形式。

除了关注项目日常风力，深圳夏秋季常受台风侵袭，灾后乔木损害情况分为主干折断、倒伏、枝条折断、倾斜、主干皮伤等 5 级，后果包括换树、重新种植、威胁人身安全、阻塞交通、清理、重新加固等^[14]，损害的原因包括树种自身抗风性差、养护管理不善，未及时剪枝加固、立地环境影响根系生长及下扎受阻等^[15]。应对风折、倒伏、拔根等

台风灾害，可以采取选择抗风性强的树种，对树木进行加固保护、台风来临前疏剪枝条、管养着重增强根系发育以提高根冠比等措施^[15]。利用斯维尔软件，采用计算流体力学方法模拟场地夏季东南风 12 级台风风速（图 9）。其中超过 12 级台风的风速区域主要在建筑之间，最强风速区域为东北角及北侧，这些区域在保证场地遮荫率的前提下减少乔木种植，重点运用抗风树种，并强化防台风支护措施。台风来临前，重点景观活动区的乔木需采用两套支护加固，且根据树形不同采取不同策略疏剪枝条（表 4），以应对台风带来的经济损失及安全隐患。

5.3 种植土厚度分析

为保证后期植物长势良好、低成本养护，根据《园林绿化工程施工及验收规范》（CJJ 82-2012）表 4.1.1 草坪、花卉、草本地被一般栽植土壤有效土层厚度大于 300 mm；乔木种植土壤有效土层厚度大于 1 000~1 800 mm^[16]，考虑结构与土壤成本，项目按大于 1 200 mm 考虑。经 Civil 3D 核查（图 10~11），位于黄色区域的乔木点位覆土不满 1 200 mm，建筑边缘部分区域覆土不足 300 mm，难以满足植被生长需求，需要调整这些区域的地形。

5.4 花境植物种类选择与参数化生成

结合南北两馆不同的功能定位和设计目标，提出具有色彩视觉差异化的植物设计策略。团队针对北馆创意设计馆的功能，提出了“生命与起源”这一概念，营造模拟原生状态的自然景观。色彩选择上，整体以富含生命力的绿色为主基调，明亮度相近的黄色、白色作为核心渐变色彩，局部使用冷色系调和，协调整体。而南馆作为科技生活馆，强调“生活与感知”，采用低明度的灰色系作为整体色调，以富含艺术气息与浪漫氛围的蓝紫色作为核心色彩，并穿插暖色系以营造亮点，打造诗意栖居的自然景观。结合方案构想，从筛选的植物中提取出更符合设计效果的种类，并根据植物形态特征确定种植比例（表 5~6）。

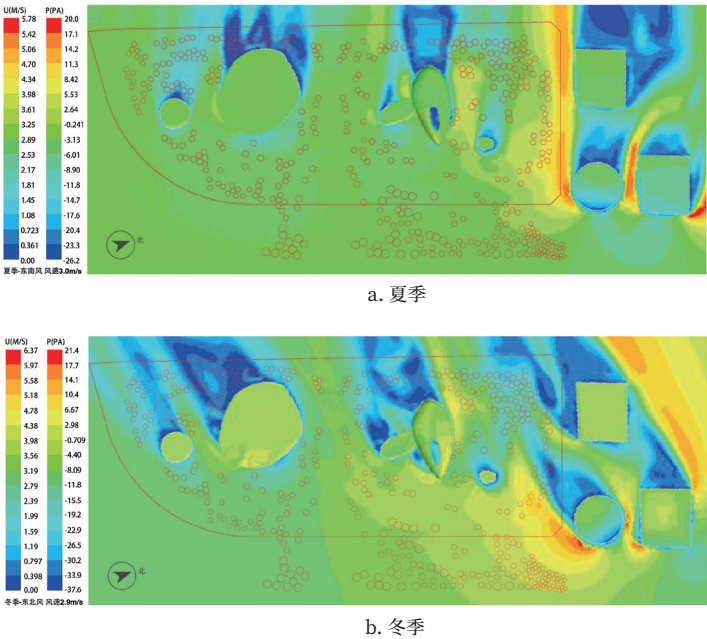


图 8 项目夏冬季风速分析
Fig.8 Wind speed analysis in summer and winter for the project site

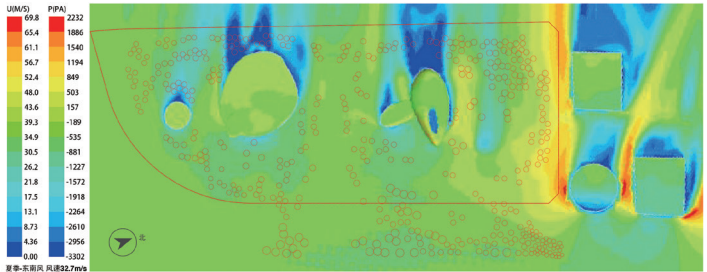


图 9 项目夏季东南风 12 级台风风速
Fig.9 Southeaster winds in summer for the project with typhoon-force wind speed (scale 12)

表 4 不同树形乔木的修剪措施

Tab.4 Pruning management practices for different tree canopy forms			
乔木类型	总体策略	项目树种（仅举典例）	具体措施
冠大	缩剪	朴树 <i>Celtis sinensis</i> 、南洋楹 <i>Falcataria falcata</i> 、乌桕 <i>Triadica sebifera</i>	对树冠进行回缩，降低头重脚轻的程度
	中度修剪（疏剪、回缩结合）	铁刀木 <i>Senna siamea</i> 、榄仁 <i>Terminalia catappa</i> 、仪花 <i>Lysidice rhodostegia</i>	平时定期疏除不抗风的枝条
叶型较大	疏枝与短截	宫粉羊蹄甲 <i>Bauhinia variegata</i> 、白花羊蹄甲 <i>Bauhinia acuminata</i>	定期修剪，保持树冠大小适中，并进行永久性护树架固定
枝干多、冠大	疏枝与短截	秋枫 <i>Bischofia javanica</i> 、降香 <i>Dalbergia odorifera</i>	疏通内部枝条

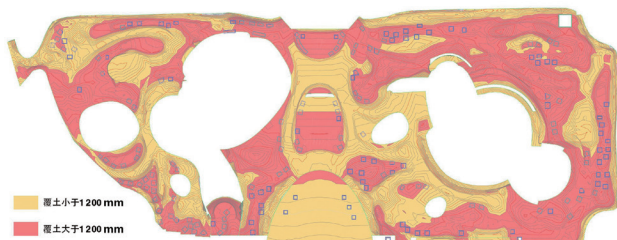


图 10 核查乔木点位覆土高度
Fig.10 Verification of soil depth at tree planting locations

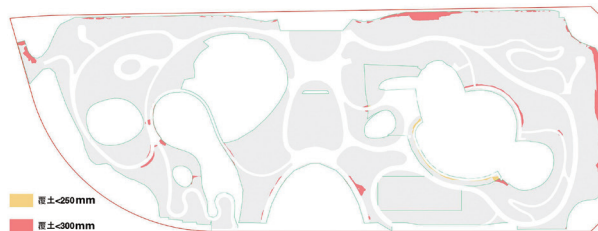


图 11 核查绿化覆土厚度
Fig.11 Verification of topsoil thickness

将确定的种类配比，输入 Rhino 平台构建参数化数字模型的可视化编程语言插件 Grasshopper（图 12）中，即可自动生成花境种植平面图（图 13），滑动滑块可获得更

均衡的斑块随机散布效果。将生成的平面导入 3D 建模软件 Mars（光辉城市），在斑块上填充对应的植物素材模型，即可获得花境的落地效果（图 14）；同时开启季节同步功能或素材替换，可以预览花境随季节更迭所展现出的不同景致。

表 5 斑块混种植物种类及配比

Tab.5 Species assemblage and ratio for mixed planting in patches

类别	植物种类	观赏期	观赏色	种植比例	
				北馆	南馆
基底植物	蓝箭灯芯草 <i>Juncus</i> 'Blue Arrows'	近全年	蓝绿色	15%	15%
	蓝花草 <i>Ruellia simplex</i>	春季、夏季、秋季	白色	10%	10%
填充植物	蓝金花 <i>Otacanthus azureus</i>	春季、夏季、秋季	蓝紫色	5%	20%
	垂筒花 <i>Cyrtanthus mckenii</i>	春季、冬季	浅粉色	20%	10%
	须尾草 <i>Bulbine frutescens</i>	春季、夏季、秋季	橙黄色	20%	5%
骨架植物	东方狼尾草 <i>Pennisetum orientale</i>	近全年	灰白色	10%	10%
	细叶芒	近全年	绿色	10%	10%
	山桃草 <i>Oenothera lindheimeri</i>	夏季、秋季	浅粉色	10%	20%

表 6 自由分布混种植物种类及配比

Tab.6 Plant species and ratio for randomized mixed planting

类别	植物种类	观赏期	观赏色	种植比例	
				北馆	南馆
基底植物	紫娇花 <i>Tulbaghia violacea</i>	夏季、秋季	淡紫色	10%	25%
	须尾草	春季、夏季、秋季	橙黄色	25%	10%
填充植物	黄冠马利筋 <i>Asclepias curassavica</i> 'Flaviflora'	夏季、秋季	白色	5%	5%
	蓝金花	春季、夏季、秋季	蓝紫色	5%	5%
骨架植物	东方狼尾草	近全年	灰白色	20%	20%
	双色离被鸢尾 <i>Dietes bicolor</i>	春季、夏季	米白色	35%	35%

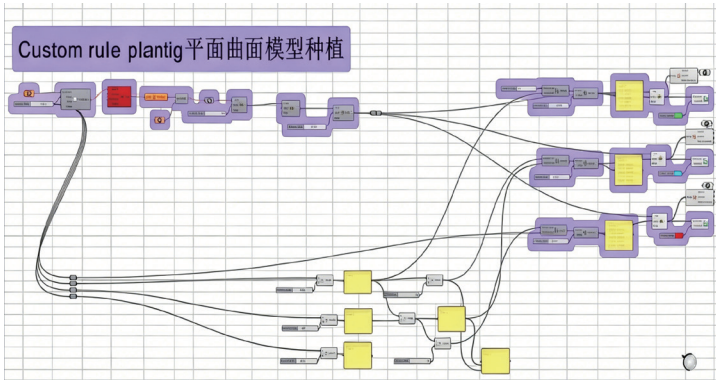


图 12 Grasshopper 参数化电池组示意图
Fig.12 Diagram of parametric node cluster in Grasshopper

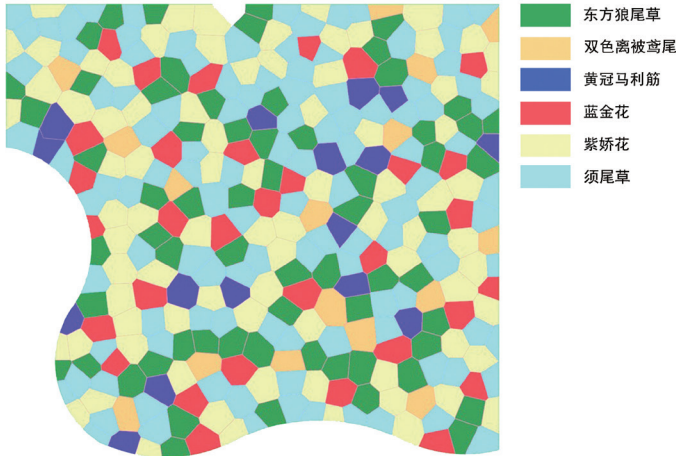


图 13 北馆自由分布混种打样平面图
Fig.13 Plan of randomized mixed planting layout in the North Hall



图 14 北馆自由分布混种打样夏季效果图

Fig.14 Summer visualization: randomized mixed planting layout in the North Hall

6 总结

研究表明，深圳湾文化广场项目中运用 LIM 技术能够有效整合多源数据，在复杂条件下分析高程、坡度、坡向为建筑结构安全、固土防滑、排水系统等问题提供精准数据，模拟种植条件为绿化设计提供依据，并通过参数化设计草坡地形与自然花境，实现设计过程的精准化、可视化、协同化。本文对于大型覆土建筑景观设计借助 LIM 数字化研究，突破了传统设计中依赖经验判断和点状数据处理的局限，实现全面的数据驱动，确保了在复杂条件下设计的落地性。然而，辅助 LIM 技术得出的成果精度有赖于原始数据的完整性及准确度，且施工工艺及工期受限，实际效果与设计预期存在落差。因此在施工阶段需要实时追踪，及时沟通协作。本文旨在通过建立适应项目特点的技术路径，有效应对设计中的核心问题，并为不同尺度的覆土建筑景观设计提供 LIM 数字技术应用的系统性参考。

注：图1由MAD建筑事务所提供，其余图片均为作者自绘。

参考文献：

- [1] 毛凌俊. 基于某公共建筑的屋顶花园设计分析 [J]. 四川建筑, 2020, 40 (2) : 19-20.
- [2] 刘颂, 章舒雯. 数字景观技术研究进展——国际数字景观大会发展概述 [J]. 中国园林, 2015, 31 (2) : 45-50.
- [3] 邢天, 李晓颖, 孙新旺. LIM 技术在风景园林设计中的应用研究——以连云港市刘志洲山体育公园为例 [J]. 设计, 2019, 32 (13) : 70-72.
- [4] 颜海鹏. 西湖大学景观地形 BIM 建模实践 [J]. 上海建设科技, 2021 (5) : 88-90.
- [5] 赵从博. 基于绿建标准的既有居住区室外环境分析和改造 [D]. 沈阳: 沈阳大学, 2020.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 种植屋面工程技术规程: JGJ155-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [7] 李萍. 屋面景观设计要点及其施工策略 [J]. 山西建材, 2022 (8) :

205-207.

- [8] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 绝热用模塑聚苯乙烯泡沫塑料 (EPS) : GBT10801.1—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [9] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基施工技术规范: JTG/T 3610—2019[S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 室外排水设计标准: GB50014-2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
- [11] 深圳市市场监督管理局. 雨水利用工程技术规范: SZDB/Z 49—2011[S]. 深圳: 深圳市市场监督管理局, 2011.
- [12] 刘滨谊, 魏冬雪. 场地绿色基础设施对户外热舒适的影响 [J]. 中国城市林业, 2016, 14 (5) : 1-5.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 绿色建筑评价标准: GB/T 50378-2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [14] 朱伟华, 谢良生. 台风灾害对深圳城市园林树木的影响和对策——以 9910 号台风为例 [J]. 广东园林, 2001 (1) : 25-28.
- [15] 韩梦梦, 罗旸武, 粟春青, 等. 沿海地区园林树木抗台风研究进展 [J]. 浙江林业科技, 2024, 44 (6) : 117-122.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 园林绿化工程施工及验收规范: CJJ 82-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

作者简介：

甘海涛 / 1986 年生 / 男 / 湖北公安人 / 本科 / 深圳翰博设计股份有限公司 (深圳 518000) / 高级工程师 / 从事风景园林规划设计与景观数字化研究

黄嘉丽 / 1995 年生 / 女 / 广东河源人 / 本科 / 深圳翰博设计股份有限公司 (深圳 518000) / 助理工程师 / 从事风景园林施工图设计

林丽丹 / 1984 年生 / 女 / 福建漳州人 / 本科 / 华润置地有限公司 (深圳 518000) / 中级工程师 / 从事风景园林设计管理工作