

编委会 (排名不分先后)

李向民 林波荣 李振宇 伊立
郭广寨 韩震雄 董浩明 俞海勇
施惠生 周翔 龚治国 王琼
李景广 王昆 田成钢 黄彬辉
施凯捷 秦砚瑛

主 编：朱 雷
执行主编：黄蓓华
副 主 编：陈 浩
编 辑：胡 静
美术编辑：周 萍
发 行：徐照照
编 辑：《建筑科技》编辑部
出 版：上海建科文化传媒有限公司
地 址：上海市徐汇区宛平南路75号
邮 编：200032
电 话：021-64687232
联系邮箱：jzkbjb@sina.com
投稿网址：www.shjkw.com
印 刷：上海商务联西印刷有限公司
发行范围：公开
国内发行：上海市邮政局
国内订阅：全国各地邮局
邮发代号：4-936
定 价：20元/本

国际标准连续出版物号：ISSN 2096-3815
国内统一连续出版物号：CN 31-2135/TU

目 次 C O N T E N T S

人物专访

01/ 李佳毅:26年初心如磐 铿锵玫瑰的绽放之路

规划与设计

03/ 人工构筑近自然山体的探索实践——以上海“双子山”项目为例/刘 丽, 李佳毅, 易卫军
Exploration Practice Of Artificial Natural-Similar Mountains—Example Of Shanghai "Twin Mountain" Project/LIU Li, LI Jiayi, YI Weijun

建筑结构

- 06/ 混凝土支撑支护下宽大深基坑受力变形分析/许 珏
Analysis Of Force Deformation Of A Wide And Deep Foundation Pit Under Concrete Support/XU Jue
- 11/ 预应力技术在南京市广播电视塔结构中的应用/李占鸿, 喻 洪, 李 进, 白 雪, 宋攀峰
Application Of Prestressing Technology In The Structure Of Nanjing Radio And Television Tower/LI Zhanhong, YU Hong, LI Jin, BAI Xue, SONG Panfeng
- 15/ 增强现实 (AR) 技术在结构健康监测领域的应用进展/徐佳琦, 王卓琳, 陈玲珠
Overview Of Augmented Reality Technology Application In Structural Health Monitoring/XU Jiaqi, WANG Zhuoling, CHEN Lingzhu
- 19/ 基于统一强度理论的钢管高强混凝土剪力墙轴压承载力计算/马福栋
Calculation Of Axial Compression Bearing Capacity Of Steel Pipe High Strength Concrete Shear Wall Based On Unified Strength Theory/MA Fudong

智能建筑

22/ 基于互联网思维和技术运用对智慧楼宇系统建设方案的研究/翁晓红, 王生伟, 王 健, 彭 湃
Research On The Construction Scheme Of Intelligent Building System Based On Internet Thinking And Technology Application/WENG Xiaohong, WANG Shengwei, WANG Jian, PENG Pai

城市更新

- 26/ 既有建筑消防水源及供水设施改造之设计难点及改进对策/吴 帆, 焦玲玲, 冯静慧
Design Difficulties And Improvement Countermeasures For The Renovation Of Fire Fighting Water Source And Water Supply Facilities In Existing Buildings/WU Fan, JIAO Lingling, FENG Jinghui
- 29/ 城市更新视角下的既有地下空间联通设计要点研究/朱 颂
Research On The Important Issues Of Existing Underground Space Connection Design From The Perspective Of Urban Renewal/ZHU Song

建筑环境

34/ 建筑垃圾资源化建设项目环境影响评价分析/蒋中锐, 傅 蕾
Environmental Impact Assessment Analysis Of Construction Waste Resourceization Project/JIANG Zhongrui, FU Lei

机械与设备

38/ 桥梁工程中钢箱梁节段划分与吊装设备选型要点探究/肖 飞
Exploration On Key Points for Segmentation and Lifting Equipment Selection of Steel Box Girders in Bridge Works/XIAO Fei

建筑材料

- 40/ 可分散乳胶粉对C1级瓷砖胶粘接强度的影响研究/王宏斌, 赵明慧, 王 培, 赵 伦
Research on Impact of Dispersible Latex Powder on Bonding Strength of Class C1 Ceramic Tile Adhesive / WANG Hongbin, ZHAO Minghui, WANG Pei, ZHAO Lun
- 44/ 利用工程废弃泥浆制备“流态土”回填材料的技术探究/董 欢
Technical Investigation On The Production Of "Fluid Soil" Backfill Material By Using Construction Waste Slurry/DONG Huan
- 47/ 线性规划理论在建筑工程下料优化中的应用/董京京
The Application Of Linear Programming Theory In The Optimization Of Construction Material Sampling / DONG Jingjing

目次 CONTENTS

- 50/ 玻璃幕墙光污染问题与防治措施/张军丽
Glass Curtain Wall Light Pollution Problem And Prevention Measures/ZHANG Junli

施工技术

- 53/ 超深基坑土方盖挖逆作施工技术研究/杨春生
Research On The Construction Technology Of Reverse Work Of Ultra-Deep Foundation Pit Earth Cover Excavation/YANG Chunsheng
- 57/ 富水岩溶地层中暗挖联络通道开挖突水控制技术/王杰
Water Gushing-Out Control Technology Of Undercutting Contact Channel Excavation In Water-Rich Karst Strata/WANG Jie
- 62/ 束合管幕狭长空间自密实混凝土浇筑技术研究——以上海轨道交通某车站束合管幕工程为例/诸颖
Research on Pouring Technology of Self-compacting Concrete in Narrow and Long Space of Bundled Pipe Curtain—Taking the Bundled Pipe Curtain Project of a Rail Transit Station in Shanghai as an Example/ZHU Ying
- 66/ 既有高速铁路42号道岔改造四跨绝缘关节施工技术方案探究/赵东波
Exploration Of The Construction Technology Scheme Of Four-Span Insulated Joint Modification In Existing High-Speed Railroad Turnout No.42/ZHAO Dongbo

评估与检测

- 70/ 近海海域监测浮标海上比测试验研究/刘兴斋
Offshore Sea Monitoring Buoy Comparative Sea Trial Test Research/LIU Xingzhai
- 73/ 一种基于层次分析法的建筑领域大数据质量评价指标体系及评价模型研究/张承雄
A Big Data Quality Evaluation Index System And Evaluation Model Based On Hierarchical Analysis Method In Construction Field/ZHANG Chengxiong
- 79/ 快速检测蒸压加气混凝土砌块干密度的方法探讨/田瑞良
Exploration Of A Rapid Detection Method Of Dry Density Of Autoclaved Aerated Concrete Blocks/TIAN Ruiliang

建筑经济与管理

- 82/ 新形势下环保行业BOT项目跟踪审计的问题与对策/刘洪涛
The Problems And Countermeasures Of BOT Project Tracking Audit In Environmental Protection Industry Under The New Situation/LIU Hongtao
- 85/ 上海市农村地籍更新之宅基地调查流程研究/孟海梅, 姬艳曼, 杨黎明
Study On The Process Of Residential Base Survey In Shanghai Rural Cadastral Update/MENG Haimei, JI Yanman, YANG Liming
- 88/ 建筑工程施工阶段造价管理要点分析/周奋
Analysis on Key Points in Cost Management during Construction of Building Works/ZHOU Fen
- 91/ 世赛混凝土建筑项目选手选拔及培养对策研究/仇成威
Study On Selection And Training Strategies Of Concrete Construction Project In World Championships/QIU Chengwei

专栏

- 95/ 引孔钻机在应急处置中的适用性分析/杜广清
Analysis Of The Applicability Of Pilot Hole Drilling Rig In Emergency Treatment/DU Guangqing
- 99/ 超深基坑施工中CSM工法止水帷幕的工艺研究/陆文岐
Research On The Key Technology Of PC Component Assembled Concrete Structure Construction/LU Wenqi
- 104/ 地铁近距离钢结构二层连廊施工技术浅析/焦卓
Construction Technology Analysis Of Close Range Steel Structure Two-Story Connecting Corridor In Subway/JIAO Zhuo
- 109/ 三线顶管不间断穿越构筑物的施工技术研究/尹港华
Construction Technology Research on Continuous Crossing of Structures with Three-line Pipe Jacking/YIN Ganghua
- 112/ 全回转钻机清除盾构通道内障碍物施工技术/荆武杰
Construction Technology for Removing Obstacles in Shield Tunnels with Full Rotary Drilling Machine/JING Wuji



投稿须知

1. 本刊唯一投稿方式为官方网站的在线投稿系统。请登录本刊官网 <https://www.shjkw.com/>, 点击首页右上角的“杂志投稿”, 在“作者中心”中免费注册, 登录后即可在线投稿。

2. 本刊没有设定任何电子邮箱, 不接受纸质信件与光盘投稿。本刊审稿周期为三个月, 投稿三个月后没有接到用稿通知者请另投他刊。

3. 本刊刊登的文章, 将择优适在本刊网站、微信公众平台展示。本刊有权将所刊登文章另行汇编成文集后出版。





本刊记者 叶召梅

李佳毅，现任华建集团环境院总工程师、园林景观院副院长、教授级高工，同济大学大学建筑学学士、风景园林硕士，一级注册建筑师、注册城市规划师。曾主持完成了多项市级以上重点工程的设计工作，获得多项国家级、市级专业设计奖项；多次荣获市重点工程立功竞赛“先进个人”以及住建委系统“先进个人”“新长征突击手”“三八红旗手”“五一劳动奖章”等市级荣誉称号，并入选“光华龙腾”奖中国设计业青年百人榜；参与了部市级、集团和公司级多个科研课题的研究，包括市科委“建筑屋面绿化构造技术集成研究与示范”课题、“大型文化公园集成技术研究及示范应用”课题，市住建委“上海市海绵城市建设建筑与小区系统低影响开发技术筛选”课题。作为园林景观专业负责人参与了上海市海绵城市建设指标体系、技术导则和标准图集的编制工作等。

李佳毅：26年初心如磐 铿锵玫瑰的绽放之路

1997年毕业于同济大学的李佳毅，同年入职华东建筑设计研究院，成为一名设计师；时至今日，李佳毅已成为华建集团环境院总工程师、园林景观院副院长。26年的从一专注、砥砺前行，李佳毅从一名普通设计师历练成一名集专业技术与管理才能为一身的复合型人才。时光荏苒，岁月蹉跎，与日俱增的是李佳毅对专业领域的拓展和各方面经验的积累，《建筑科技》编辑部特对其进行采访，带领大家一起探知李佳毅这朵“铿锵玫瑰”背后恣意生长的韧性人生。

保持设计热情，角色的演变是对能力的锤炼

玫瑰的绽放是无数个日与夜、无数次风与雨的促就。26年来，李佳毅从无名之辈到先后担任众多大型项目的设计总负责工作，其中包括2010年上海世博会世博轴景观设计项目、上

海国际旅游度假区探险岛项目、世博文化公园项目等。这些项目承载了她的光阴与荣誉，也是对其个人的洗礼与蜕变。

在问及李佳毅参与的众多项目中最有成就感的项目时，她回答是上海世博文化公园项目。据了解，该项目位于浦东滨江核心地区，总用地面积1.82 km²，园内保留改造4个原世博会场馆，同时新建世博花园、江南特色园申园、双子山、上海温室花园、世界花艺园等设施。“正是这样庞大的体量，多个且复杂的单体项目设计，给我们的设计工作带来了巨大的挑战。这是一项需要耗费大量时间与精力的项目。”李佳毅感叹道。2017年3月，政府相关部门于后滩调研，同年7月项目即正式开工。2021年12月31日，上海世博文化公园北区正式开放，而南区双子山等项目仍在建设



世博文化公园保留场馆区实景图



世博文化公园开园区俯瞰图

中。从时间的跨度来看，该项目耗时4年多，但仍未完全竣工，确实是一项建设难度巨大的系统性工程。

“除此之外，上海世博文化公园项目位于上海中心城区，交通繁忙，需更多地考虑安全、工期、设施保护等因素，而从个人角度出发，这也是对我综合能力的挑战。”李佳毅说道。在这次项目中，李佳毅从设计师的角色演变为总控的角色。该项目作为一种大体量的复合开放空间，专业交叉且知识融合，对李佳毅是一次考验。作为项目设计负责人，参与项目近4年时间，她始终走在前列、干在实处，主动担当、主动作为，带领团队出色完成各项任务。同时，李佳毅还是业主的“参谋”，为保证施工进度，她长期驻场工作，及时跟进业主时间节点要求，针对现场出现的问题及时提出解决方案。为了更好地规范项目在设计 and 建设中的相关问题，李佳毅组织专家团队深入调研，汇编整理了设计导则，也为同行提供了一些参考意义。

通过这些大大小小项目的历练，李佳毅始终保持对设计的热情和初心，保持不断学习的态度，不断延伸和拓展自己的视角，在领域里奋楫扬帆、乘风破浪。

人与自然相统一，打造持久生命力的城市空间

有人说，景观设计既是一门艺术

也是一门技术，李佳毅则表示，景观设计是技术与艺术的综合呈现，要“用科技武装头脑，用艺术抚慰心灵。”在她看来，作为一名

设计者，需要打造的是人与自然和谐统一、科技与艺术于一体、能够抚慰观者心灵的城市空间。

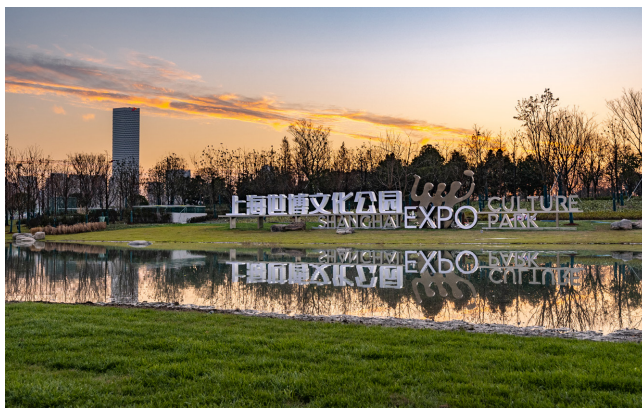
打造这样的空间需要具备哪些要素呢？李佳毅结合自己的设计经验，给出了一些自己的看法。她认为，以往项目设计可能会更注重“经济、适用、美观”这三点要素，但在当前环境下，景观设计持久的生命力更应被关注。在交流中，李佳毅以上海世博文化公园项目为例，向我们阐释了生命力的内涵。上海世博文化公园项目

采用“城中有景、景中有城”的整体景观设计理念，即“造山”：最高48 m 的人造山体，山上植被覆盖，绿意环绕整个公园；“引水”：U形水体成为连接各个功能区的核心，利用已有水利设施，实现自然流动；“成林”：七彩森林覆盖整个公园，高达80%以上的绿地率，成为城市中心的新绿肺；“聚人”：该项目保留了场馆、温室、江南园林等现代

建筑，将丰富多彩的城市生活融入自然。山、水、林、人的融合，是静态与动态的统一，是人与自然的统一，也是生命力内在与外在的呈现。上海世博文化公园项目以“生态自然有序，文化融合创新，市民欢聚共享”为目标，致力打造世界一流的城市中央公园。

智慧城市的构建、“双碳”目标的提出，也给相关从业人员提出了更高的要求。结合上海世博文化公园的项目经验以及对行业始终保持敏感度的李佳毅给出了自己的一些看法。她认为，未来景观设计应该从生态、智慧方面入手，同时关注乡村的发展与建设，以契合行业发展趋势。“生态是新时代的要求，也是景观设计的核心；智慧化是社会发展目标，也是景观设计的重要加持；而乡村建设则是未来重要建设方向，于设计行业来说具有巨大发展前景。”李佳毅说道。

(部分图片由康劲拍摄)



世博文化公园东入口实景图



世博文化公园总体鸟瞰图

人工构筑近自然山体的探索实践 ——以上海“双子山”项目为例

Exploration Practice Of Artificial Natural-Similar Mountains — Example Of Shanghai "Twin Mountain" Project

刘 丽¹, 李佳毅¹, 易卫军² (1. 上海现代建筑装饰环境设计研究院有限公司, 上海 200120; 2. 上海世博文化公园建设管理有限公司, 上海 200126)

摘要: 中国园林一直崇尚和追求山环水抱的格局, 但现阶段人造山体的实践案例和理论研究仍然集中在土石堆砌山体范畴。土石堆山建造时间长, 堆砌高度有限。世博文化公园双子山项目探索使用现代建筑技术构筑山体结构空腔, 并在腔体外部覆土至少 2.5 m, 上方种植乔灌木万余株, 营造近自然的生态环境以实现自然山体的效果, 是人工构筑近自然山体的新尝试。

关键词: 人造山; 山体景观; 屋面种植

中图分类号: TU986.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-3815 (2023) 02-0003-03

0 引言

现代的城市生活使人们与自然的距离越来越远, 青山碧水成为人们向往的风景。在城市中心区诸多建筑的重重包围中, 能否通过仿自然的手段建造一座自然山林? 结合以往的理论实践研究, 笔者团队进行了上海“双子山”工程的探索实践。

“双子山”是世博文化公园的组成部分, 位于公园南区, 占地面积约为30万 m²。项目旨在探索于城市中心区的大型公园中, 通过人工手段建造近50 m高的近自然山体。

1 人造山理论及实践现状

人造山指在公园绿地, 按照一定的技术要求用填料填筑或结构构筑, 表层主要用植被和天然材料覆盖的, 具有生态、景观、休闲活动等功能的仿自然山体。

1.1 人造山实践案例现状

我国人工筑山的起源很早, 从大禹疏导治洪水成功后, 疏浚挖出的泥土以人工堆成的九州山, 到秦汉有神话色彩“一池三山”的土山可知, 那时我国就已经开始用土堆砌人工山体。汉代、南北朝至唐代, 苑囿园林中均以土筑为主要的造山手段。宋代宋徽宗开大量用石之风气, 明清两代园林中也是石山成风。后来也出现了反对用石过多和主张土山戴石的声音, 传统园林叠山又开始重新审视宋代以前那种古朴自然的风格和土石相间的经济原则。

20世纪60—70年代, 中国曾在华北、内蒙等平原地带修筑了众多的人造山, 此类人造山内部为军事工程, 需承担火炮站、炮兵观察所及指挥所等功能, 要求自然通风、供电、供水。由于当时技术和施工管理水平的限制, 这些工程塌方事故多, 故也未能达到预期的使用要求。

现代, 我国的城市建设中涌现了一批城市绿地中的人工堆山造景工程, 也有不少成功的优秀案例, 如北京奥林匹克

森林公园、镇江蛋山体育公园、武汉王家墩公园、铁岭凤冠山、天津大港望海山、天津南翠屏堆山公园、太仓郑和公园、淮安钵池山公园、上海长风公园铁臂山等等。这些案例中绝大部分采用常规的土石堆山技术，出于生态及经济性原则，部分也使用建筑垃圾或工业废料等作为堆山材料。

国外也有人造山案例，如欧洲的西尔布利山是一座有4 000多年历史的史前人造山，高37 m，研究认为共有四五代人参与建造。现代西方还有不少在设想过程中的人造山计划，德国建筑师Jakob Tigges提出在柏林建造一座史无前例的人造景观——一座高度超过1 000 m的人造假山——The Berg，为全柏林市民提供休闲旅游的去处。荷兰人赛基斯·桑尼维尔德提出要在本国造一座山的计划——“Die Berg Kom + Er”（山来了）计划称，建筑师已经绘制出一座2 133.6 m高山的图纸，成本预计400~2 700亿英镑。

总体来说，国内外案例中大部分人造山仍是传统的土石堆山。土石堆山的技术由于土壤安息角及沉降不均匀等限制，在一定的占地面积内能堆砌的高度有限，施工时间较长。如要突破传统土石山的高度和施工周期限制，需探索一种新的人工山体构筑方法。

1.2 人造山理论研究现状

关于人工山体的理论研究总体较少，主要集中在人工山体堆砌的工程技术、人工山体的种植设计方面，也有少量的人工山体山形塑造理论研究。

关于山形塑造理论，齐羚^[1]以中国传统山水文化特色和中国传统园林设计理法精髓为基础，以山水城市为背景，从立意、三要法、布局形势、未山先麓、左急右缓、近看有质、因山构室、敷绿青山、山中诗意、时空变化10个方面系

统分析总结基于中国国情的筑山设计序列和创作方法。通过深入研究中国筑山文化，由表及里，再结合中国筑山设计理论与大量古今例释和实践案例分析进行演绎归纳。

人工山体堆砌的工程技术及种植理论大部分基于项目经验总结而成，如刘晓璐等^[2]基于北京奥林匹克森林公园主山绿化工程项目，总结其景观设计及施工过程的经验教训，探讨了在城市园林中大型人工山体或荒山绿化的景观设计中，如何进行生态景观设计。

总体来说，人工山体的实践案例和理论研究仍然集中在传统的土石堆砌山体范畴。“双子山”项目结合全面的案例及理论研究，并基于场地的现状，尝试了一种新的人造山构筑模式，用现代建筑技术构筑山体结构，并在上方营造近自然的生态环境以实现自然山体的效果。

2 上海“双子山”项目的新探索

“双子山”占地约30万 m²，位于世博文化公园南部，用地范围内主要为原上海克虏伯不锈钢有限公司厂区，东侧为打浦路隧道，西侧为规划19号线后滩站，南侧有卢浦大桥。

项目旨在位于缺少城市绿地高度的上海市中心区域建造一座人造仿自然山林，既可弥补上海市区没有山的遗憾，也将成为世博文化公园山水格局塑造的重要组成部分。如图1所示，“双子山”最高峰设计相对高度为48 m，余脉高为8~24 m不等，形成东高西低的走向。考虑到占地面积有限、坡度陡、土石堆山会对周边桥隧形成较大侧压力等因素，采用现代建筑技术来构筑山体结构空腔，山体内部设计为停车库，为公园今后游玩提供充足的停车资源，保证交通畅通。



图1 双子山效果图

2.1 设计要点

2.1.1 竖向设计

基地地势平坦,平均地面高程4.5 m左右。设计中尊重和利用现状场地基本条件,地势北低南高,整体呈环抱之势,与山下水体形成公园的山水格局。

山体主峰高程为53 m,次峰39 m,余脉高程为8~24 m不等,形成全园景观制高点及周边场地的聚焦点。山体北面有溪流瀑布流入山脚湖体,主湖面常水位高程为2.8 m,池底0.3 m,局部深潭-0.7 m。

2.1.2 功能布局

山体外部场地主要分为星光草坪(林下活动空间)、山体区、静谧林、滨湖区4个功能不同的地块,塑造疏密结合、大森林大草坪的城市生态公园。

山体内部腔体主要体现社会公益性功能,包括停车场、展厅及管理配套用房等。内部结构腔体共8层,总建筑面积约8.3万m²,其中车库面积约7.5万m²。建筑部分总体分为3个主要功能区:下部空间为停车库,局部2层;停车库西侧为变电站及其前场;上部空间为展览中心,结合外部游览路线设置露天观景平台。

展览中心面积为3472 m²,分3个展厅,展览主题分别为后滩变迁、浦江两岸生态改造以及“双子山”的建设历程。展厅的观展体验作为山体游览线的一部分,游人通过展厅逐层登上山顶。

2.1.3 风貌特色

近自然景观:景观设计模拟自然山林的起伏竖向变化,并在两个山峰中间形成一条从高往低曲折蜿蜒的山涧溪流跌水及瀑布的自然景观。两座山峰山腰处贯穿4 m宽主路路兼做消防车行道,同时围绕着整个山体设置7条人行步道,便于游客从各个游览方向登山。在接近“双子山”的最高峰区域设立了观景平台环道,形成景观视线的制高点,也是俯瞰整个公园的最佳观赏点,并且与山体最高峰上建筑内部展览展示空间出入口形成交通流线上的串联。

去建筑化设计:为打造纯粹、安静、郁郁葱葱的城市自然山,空间上,建筑结构通过充分与山形磨合,与山体内腔融合起来;形式上,弱化建筑造型,埋进山体中;材料上,因地制宜,新旧材料结合利用。

所有山体的建筑人行出入口设计尽可能地更为隐蔽,与自然植物融合为一体。整体“双子山”内停车场建筑区域及结构空腔区域,顶板均预留2~2.5 m的种植土厚度;其余结构占地范围之外均为景观堆土造坡,堆坡高度超过2 m的堆土地基,结构也考虑设计了桩基进行地基加固处理。

2.1.4 种植设计

“双子山”山体区植被从北至南由片状纯林种植模式逐渐过渡到自然混交林种植模式。以常绿树种打底,在山坡北

侧混种大量色叶乔木,形成层林尽染的秋季观赏效果;南侧朝向城市面则以常绿树种为主,保持森林城市的绿色生态景观效果。

星光草坪区主要以疏林草地的种植方式为主,给游客提供休憩、停留的绿化空间;滨湖区主要使用杉类林与其他乡土乔木林形成背景,沿湖滨岸线成片种植丰富的水生植物、湿生植物及鸟嗜植物,点缀观花植物,打造局部精致的水生植物园;静谧林区局部位于打浦路隧道上方,为减轻荷载,覆土深度较浅,此区采用外密内疏的种植方式,隧道顶以大面积开花的灌木及缀花草甸形成景观特色。

2.1.5 游憩规划

“双子山”游览围绕山峰、山体核心景观、南区景观广场,结合立体的坡道台阶系统,整合局部山体消防道路,形成了完整的“双子山”主景观游览体系,并将山体景观建筑、景观节点串联起来。展厅的观展体验是山体游览线的一部分,也是游览线的高潮,游人通过展厅逐层登上山顶,更能从展览中阅读体会上海这座城市发展奇迹背后的原动力。

2.2 项目难点

(1)复杂的周边环境条件。“双子山”背倚浦江南岸,为中心城区少有的大规模软基堆山造景工程,山体南部紧邻卢浦大桥,堆山区距离卢浦大桥引桥垂直投影最近仅处28 m,而卢浦大桥是黄浦江上的核心要道之一,故设计追求极高。项目中对卢浦大桥环境影响进行了安全分析论证咨询,对地基处理方案进行了分析咨询。传统的堆山方式会对卢浦大桥产生较大的侧向压力,种种限制条件下的最优解决方案为采用现代技术来构建山体空腔结构。

(2)结构空腔上方的近自然林种植。在山体空腔结构上方覆土种植并达到近自然林的效果,需有足够厚的覆土层,需解决土壤的固土排水、植物的防风固定等多方面的问题。项目围绕人工构筑近自然山体的山体形成、表面固土、排水及绿化种植,在设计、建造到维护全过程的关键技术节点上提出创新性的解决方案。

2.3 关键技术

2.3.1 山体表层包络形成技术

“双子山”项目首次采用内部为空腔建筑结构、顶部为覆土造山的形式,建造高度将近50 m的人工构筑近自然山体。山体结构体系采用部分包覆钢-混凝土组合结构(Partially Encased Composite,简称PEC),是国内目前在建的最大规模PEC结构体系建筑,可以更好地满足耐久性、抗震性能等设计要求。

(下转第10页)

基坑变形受力的主要规律可总结如下。

(1) 围护地墙测斜值随基坑开挖推进呈现明显的阶段性变化的规律；具体为在每层土方开始开挖至支撑养护结束这个施工阶段，所有深度处的测斜发展规律均为先增长到一定程度，然后有一个并不十分明显的回调，并且最后趋于稳定；这一发展规律直到底板浇筑完成后才结束。

(2) 在基坑开挖完成前，各立柱累计隆起均有3次台阶式的增长过程，之后隆起略有回调并且最终趋于收敛。

(3) 不同深度位置的混凝土支撑随着土方开挖阶段各工序的施工，其轴力存在同步增长、同步回调的规律。

(4) 深基坑周边地表沉降总体上靠近基坑越近沉降越大；但是距离围护结构较近时，由于地墙的粘附作用导致地面沉降有所减少。

根据以上4条规律可以发现，基坑测斜、立柱隆起（坑

边变形）、混凝土支撑轴力均与基坑的开挖工艺有很大关系。当基坑开挖时，测斜、立柱隆起、支撑轴力均会随着开挖的进行逐步增大；当基坑进行混凝土支撑施工之时，测斜、立柱隆起、支撑轴力均停止增长或者有小幅的回调。此规律一直到基坑土方开挖完毕、底板施工开始才结束。

收稿日期：2022-10-26

作者简介：许珏，1982年生，工程师，从事地下空间工程建设工作，现供职于上海公路桥梁（集团）有限公司。

通信地址：上海市徐汇区广元西路420弄3号。

（上接第5页）

山体表层包络形成，包含山形实现、山体构筑、水土保持、植物种植及稳固4方面，通过园林景观专业与建筑、结构、机电专业互相密不可分的协调配合工作模式和创新的技术来实现。

设计中根据场地基础条件，以仿自然设计为导向，借助于实体模型3D扫描、GIS、BIM等软件辅助设计，通过模块化组合构筑起山体建筑空间内核与表皮景观包络之间的配合关系及创新构造节点。

2.3.2 增强现实技术创新应用

增强现实（Augmented Reality，简称AR）技术的日趋成熟以及移动智能手机的性能提升，为AR技术的创新应用与普及创造了先决条件。“双子山”项目中，结合AR技术的虚实融合特性及移动终端的便携性，可实现在项目实施现场、重要设计节点准确地还原园林景观设计，与现实施工环境进行对比。AR技术可为工程建设者提供实时、准确的实施参考，因而大大提升了项目人员的工作效率，提高了工程项目的整体质量。

3 结 语

已有的人造景观堆山，绝大部分是以分层填土堆高造山种树的模式实现的。上海“双子山”项目首次采用内部为空洞建筑结构、顶部为覆土造山的形式，建造高度将近50 m的人工构筑近自然山体，满足“全乔灌木覆盖”的城市景观需求，为国内首例在软土地基、城市敏感环境中人工建设的

大规模仿自然山体。

在缺少城市绿地高度的上海市中心区域，建造一座纯粹、安静、郁郁葱葱的人造仿自然山林，且山体内部的停车场能满足公园游客的停车需求，打造一个在繁杂工作和生活之余可以放松压力的自然栖息地，既满足了上海市民对城市公园生态性的殷切期盼，也响应了国家对公园城市建设的宏伟蓝图。

参考文献：

- [1] 齐玲. 中国园林筑山设计理法研究[D]. 北京：北京林业大学, 2015.
- [2] 刘晓路, 丘荣, 李毅. 人工山体的生态景观设计：浅析奥林匹克森林公园主山绿化工程[C]//北京园林学会, 北京市园林绿化局, 北京市公园管理中心. 2009北京生态园林城市建设. 北京：中国林业出版社, 2010:31-37.

基金项目：上海市科学技术委员会，大型文化公园集成技术研究及示范应用项目阶段成果（21DZ1203006）

收稿日期：2023-02-24

作者简介：刘丽，1986年生，工程师，从事景观规划设计咨询、生态滨水区设计等领域研究工作，现供职于上海现代建筑装饰环境设计研究院有限公司。

通信地址：上海市静安区石门二路258号现代建筑设计大厦4楼。