

数字化遗产景观：基于三维点云技术的上海豫园大假山空间特征研究

Digital Heritage Landscape: Research on Spatial Character of the Grand Rockery of Yuyuan Garden in Shanghai Based on 3D Point Cloud Technologies

杨 晨
韩 锋*

Yang Chen
Han Feng

摘要：三维点云技术的快速发展为重新认知中国古典园林遗产提供了重要机遇。以遗产景观保护为视角，对上海豫园黄石大假山空间特征进行量化研究：全面梳理大假山的历史演进与核心特征，集成运用数字化近景摄影测量技术、激光雷达扫描技术和点云可视化技术采集大假山的空间信息，构建数字化三维模型，更正对其空间尺度认知的误差，并以此为基础，对豫园大假山主次分明、浑然一体、峰峦相间、错落有致、蹬道迂回、盘旋曲赴六大空间特征开展量化的识别与分析，相关成果为进一步研究大假山的遗产价值和保护策略提供了新的视角和工具。

关键词：风景园林；点云技术；豫园大假山；空间特征；数字化近景摄影测量；激光雷达

文章编号：1000-6664(2018)11-0020-05

中图分类号：TU 986

文献标志码：A

收稿日期：2018-08-07

修回日期：2018-08-18

基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目“基于三维点云数据的遗产景观空间模式识别研究”(编号51608369)和同济大学中央高校基本科研业务费专项基金项目“新型测绘技术支持下的遗产景观空间模式识别与可视化”(编号22120180065)共同资助

Abstract: The rapid development of three-dimensional point cloud technologies has provided significant opportunities for re-examining the rockworks in Chinese classical gardens. With a perspective of heritage conservation, the aim of this research was to quantitatively explore the spatial character of the Grand Rockery in Yuyuan Garden in Shanghai. This research has comprehensively examined the evolution and the character of the Grand Rockery. It has integrated digital close-range photogrammetry, light detection and ranging, and point cloud visualization technologies to collect spatial information of the Grand Rockery, and then built digital models to update existing maps. Based on the new data, this research re-identified the spatial character of the Grand Rockery. The outcomes of this research provided innovative perspectives and tools on heritage value research and conservation strategies for the Grand Rockery.

Key words: landscape architecture; point cloud technology; grand rockery of Yuyuan Garden; spatial character; digital close-range photogrammetry; LiDAR

中国古典园林蕴含着丰富的营造智慧、山水文化和生存哲学，不仅具有重要的历史价值，也对当代人居环境建设具有指导意义，是珍贵的文化遗产。假山作为中国古典园林中独具特色的要素，是园林遗产价值的核心载体，相关研究是风景园林学界的重要议题^[1-4]。上海豫园大假山建成于明万历年间，是豫园中唯一的明代原物^[5]，也是中国古典园林掇山艺术盛期的珍贵遗存^[6]，具有极高的遗产价值(图1)。然而，目前豫园大假山的研究和保护面临诸多困境：1)园林假山几何形态极为丰富且不规则，利用传统测绘方法难

以精确量测^[7-9]；2)传统意向性绘图不能精确表达大假山的形态和纹理，其空间特征缺乏科学有效的记录手段^[10]；3)对大假山的研究仍基于20世纪60年代的测绘成果，全面性、准确性和时效性均存在缺陷，在保护和管理中缺乏量化依据。以上问题也是目前中国大多数古典园林假山类遗产所面临的共同问题^[7, 10]，亟待科学性、系统性的探索。

近年来以三维点云技术为代表的新型测绘技术迅速发展，为重新认知中国古典园林假山带来了重要机遇^[9, 11]。点云(Point Cloud)是指在同

一空间参考系下表达目标空间分布和表面特性的海量点的集合，每个点包含对象的三维空间坐标信息以及色彩、材质等属性信息。点云技术即是以计算机技术为依托的一系列采集、处理和可视化点云数据的技术集合。与传统手工测绘技术相比，点云技术具有数据采集速度快、精度高、灵活性强、不接触被测目标物等优势^[12]，数据成果能够通过构建三维模型直观地表现复杂环境的空间信息，并通过量化分析模型的物理特性来识别空间环境特征。因此，点云技术对古典园林假山遗产的研究和保护有巨大的应用价值。

* 通信作者(Author for correspondence) E-mail: franhanf@qq.com

目前,点云技术已经大量应用于文化遗产的保护研究,并逐渐形成数字化研究的新视角和新方法。有学者开始将点云技术应用到古典园林研究当中,如刘千里等利用近景摄影测量技术获取点云数据,构建了基于点云技术的园林建筑建模方法^[13];薛彩霞等利用地面三维激光扫描技术采集点云数据,探讨了苏州古典园林的数字化测量和表达方法,重点关注对地形、建筑等对象的测绘及纹理映射问题^[11];张青萍等以私家园林为研究对象,将近景摄影测量技术与激光雷达技术相结合,设计并验证了针对园林平面布局及水体、建筑、植物、叠山等要素的数字化测绘方法,系统论述了该方法的优势和局限^[9]。同时,已有部分学者开始重点关注古典园林叠山的数字化测绘。古丽圆等运用无人机和摄影测量技术研究园林假山测绘,验证了新技术对园林假山类遗产的适用性,并指出该方法为测绘不规则园林要素带来了划时代的变革^[7];喻梦哲等以苏州环秀山庄和耦园假山为例,结合三维激光扫描及近景摄影测量技术,设计了针对假山遗产的较为全面的数字化测绘方法^[8]。

综上所述,点云技术极大增强了假山类不规则园林要素测绘成果的完整性、精确性和工作效率,明显地提高了园林空间数据的质量和表现的丰富度^[9],为园林遗产的研究和保护方法带来了革命性变化。如何在现有技术的基础上,将测绘定量成果与遗产历史信息相互对照,开展遗产特征考证研究,是新技术应用的重要落脚点之一。本文从遗产景观保护的视角出发,全面梳理豫园大假山的历史演进与核心特征,并利用点云技术测绘大假山,构建三维模型,对其空间特征开展量化分析。在此基础上进一步讨论大假山的遗产价值,为相关研究和保护实践提供重要参考。

1 豫园大假山的历史演进与空间特征

明万历五年(1577年),曾任四川布政使的上海人潘允端解职回乡,为侍奉其父潘恩扩建家宅西侧的园林,即豫园。潘允端聘请了当时江南一带叠山名家张南阳负责豫园设计与叠山工程,大约在1582年初步建成^[14]。豫园建成时占地70余亩(约46 667m²),以大水池为中心,布局虚实互映,曲折有法。乐寿堂景区是豫园的主要景区之一,该景区沿大水池展开,池南



图1 豫园大假山现状

有名为“南山”的大型假山,是全天最为着力营造的部分^[6, 14]。而本文所研究的大假山,即今日豫园中的黄石大假山位于池北,在园林兴建之初规模不大,也非全园主景,很可能是作为进入主山“南山”之前的铺垫^[6]。《豫园记》中仅提到它以武康石叠造,“峻峭秀润,颇惬观赏”^[15]。王世贞在游记中也写道:“右为折楼,楼不甚精好,而中庭一小山皆叠武康石为之。”^[16]但对大假山的具体形态并未详述。

明末后,潘氏家道衰落,豫园逐渐荒废。清乾隆二十五年(1760年),上海当地绅商集资购得部分园林,重修山石楼台,作为集中活动的场所^[17],建成后更名为西园。乾隆四十九年(1784年)《上海县志》中的《邑庙西园图》较为直观地展示了改扩建工程告竣后豫园大假山及周边环境的空间格局(图2):此时“南山”已不存,黄石大假山成为全园的主山,也是全园的制高点。在乐寿堂原址上新建三穗堂,与北部的黄石大假山构成明确的轴线关系。大假山三面环水,前临曲溪,由山谷切分为东西两部分,主次分明。主峰偏西,层峦错叠,而东部的次峰与萃秀堂形成围合的院落。乾隆年间乔钟吴所作《西园记》详细记载了西园黄石大假山的特征:“由萃秀堂出,右仰巨山,层崖峭壁,森森若万笏状,其金碧秀润之气,常朴人眉宇,遥望之若壶中九华,天造地设,几不知其为人力也。从麓而上,盘旋二三百步,陟其颠,视黄浦、吴淞皆在足下,而风帆云树则远及于数十里之外,观至此称大快。”^[19]由此可见,当时大假山内部的

游径较长,若以步距0.7m计算,从山麓登至山顶的距离约为140~210m。

清道光年间地方官通令各个同业公所分管豫园,作为议事之所,各行业各区一处,自行修葺^[20],逐渐形成了会馆建筑与园林结合的特征。第二次鸦片战争时期和镇压太平天国时期,豫园屡遭重创,多半沦为废墟。之后各行业公所又陆续重建或修复园中建筑,至1875年大多数建筑得到修复^[21]。其中同治五年(1866年)在大假山和三穗堂之间加建仰山堂和卷雨楼,改变了大假山与三穗堂之间的空间关系,基本形成今日所见大假山及其周围区域的空间格局。在“八一三”抗战和“文化大革命”期间,豫园又遭破坏,也由于长期无人维护,多数景物残破不堪。大假山虽在战火变乱中得以幸存,却必定经历过多次破坏、修复乃至局部重构,今日所见乃是历史不断层累叠加的结果。因此,对大假山进行科学的研究和保护,必须精确描述现存空间的特征,在历史与现状的相互印证中还原遗产的真实性。

2 上海豫园大假山的当代测绘与保护

20世纪50年代以来,大量专家学者为豫园大假山的科学化保护不断做出努力。1956—1988年间,多次组织专家学者对豫园进行修缮、修复及重建工作。同济大学陈从周先生于1957和1961年发表了《上海的豫园与内园》^[20]《明代上海的三个叠山家和他们作品》^[22]等文章,以史为据,详细论述了豫园的发展演变以及大假山的主要特征,开辟了相关研究的先河,至今仍是研究和保

护大假山的重要文献。在修复豫园的过程中，同济大学建筑系教研室的师生开展了一系列测绘工作，形成了《豫园图录参考资料》^[23](以下简称《图录》)这一重要成果。《图录》中包含大量测绘图纸、现场照片和文字说明，是后来研究豫园的重要依据^[24]，为大假山的研究和保护做出了重要贡献(图3)。大假山测绘平面图和立面图均根据实际投影比例绘图，较为准确地反映了豫园大假山及周边区域的平面布局 and 空间结构，具有一定的写实性^[24]。然而由于当时的测绘主要基于传统手工测量，并未采集假山各部分的详细尺寸信息，对高程信息的估测存在误差，因此很难满足现代遗产空间分析和遗产监测的需要。

时隔六十载，测绘技术和计算机技术的巨大发展为重新认知豫园大假山提供了重要机遇。本研究采用数字化近景摄影测量与激光雷达相结合的方法^[7]，于2017年12月—2018年4月对豫园大假山区域进行多次实地测绘。测绘范围包括北至萃秀堂，南至三穗堂及南大门，西至小世界围墙，东至渐入佳境长廊，共计约2 768m²的区域。并利用点云处理软件对点云数据进行配准、拼接、裁切、滤波等处理，构建大假山区域三维点云模型。模型包含大假山区域关键尺度信息，对模型的剖切、截取以及不同角度的渲染，为大假山空间特征的定量化分析提供了重要基础。

3 基于点云数据的豫园大假山空间特征定量化识别与分析

测绘成果表明，目前对豫园大假山空间尺度的认知存在误差。大假山区域的遗产解说标识将其描述为“宽约60m，纵深约40m”。但根据本研究测绘的成果，大假山东西宽度为42.1m，南北纵深为44.1m(正负误差小于0.1m)，占地面积约为990m²(图4)。对大假山高度的认知亦有较大误差，《图录》中示意大假山高度为13.2m，大多数文献将大假山的高度描述为12m或14m。但根据本次测绘，豫园大假山的高度为7.4m(正负误差小于0.1m)(图5)。三维点云技术纠正了对大假山空间尺度认知的误差，为进一步的空间分析提供了精确的数据基础。

基于最新测绘数据，对大假山的主要空间特征开展定量化识别与分析。

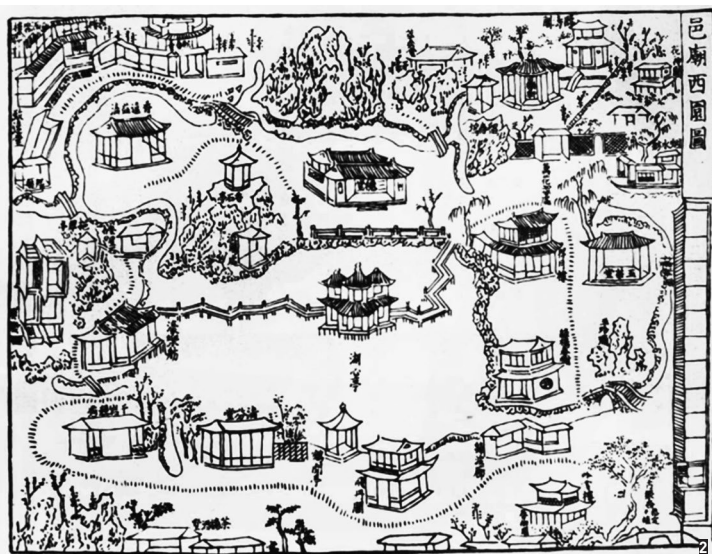


图2 《吕庙西园图》^[18]
图3 豫园大假山测绘平面图^[23]
图3-1 豫园测绘平面
图3-2 大假山部分放大图

1)主次分明，浑然一体。大假山平面呈三角形，山体由深壑切分为东、西两部分。主峰偏西北，逐渐向东南延伸；次峰体积较小，位于东北部萃秀堂前，两部分由石桥相连。整个山体由南北、东西2条轴线控制。测绘发现，大假山的制高点位于三穗堂中轴线的延长线上，也是山体东西、南北方向轴线的交点(图4)。大假山造景主要沿南北轴线展开，与清代“吕庙西园图”中所描绘的空间结构基本一致。南坡布局3层平台，与仰山堂北立面构成近乎平行的关系(图5)。同时，山涧沿南北轴线从山顶一直延伸到水池中，将主峰分为两半。测绘数据表明，大假山

最高峰与三穗堂的水平视距为45.8m，高度为7.4m，视距与高度比例约为6:1，形成约9°的仰角，创造出平远的景观层次(图4、5)。而同治年间建造的仰山堂缩短了大假山的观赏距离，增大了视角并强化了仰视的感受，已无法一览大假山的全貌。

2)峰峦相间，错落有致。测绘成果显示，大假山高差极为丰富，南北、东西向剖面显示较明确的标高21处，微小的高差及坡度变化更多，由此形成峰峦相间的突出特征(图6)。其中，连续2层平台之间最大高差为3.2m(东西山体之间的深壑以及萃秀堂前院地面与石壁顶部的高差)，与

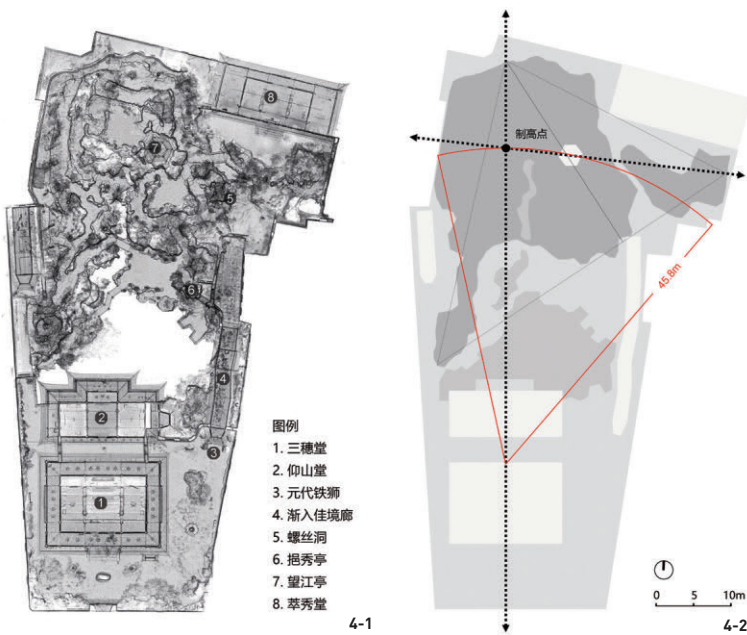


图4 豫园大假山测绘平面图(4-1), 大假山平面空间结构分析图(4-2)
图5 豫园大假山剖面测绘图比较
图5-1 《图录》中大假山剖面图(1964年)^[23]
图5-2 本研究测绘大假山剖面图(2018年)
图5-3 两版剖面图叠合对比

乔钟吴《西园记》中描述的“右仰巨山，层崖峭壁，森森若万笏状”的特征较为一致^[19]；平台间多次出现大约0.2~0.4m的小高差，变化丰富。大假山高度变化虽多，但仍符合一定的规律，从而形成错落有致的空间特征：南侧作为主要景观面，其高度变化最大(图6)，平台间高差控制在2.3~2.5m之间；大假山主峰离北围墙之间的水平距离约为7m，较为局促，因此紧邻北围墙设置3.5m高的石壁，由于水平空间局促，因此平均高差较小(约为0.98m)；而西侧与北侧相似，都是在有限的水平空间中满足交通的需求，平台间平均高差为1.35m；大假山东部相对平缓，自东部院墙一侧台阶而上，高度依次为3.0、3.2、2.6和3.2m，形成一系列微高差，石桥以西高差突然增大，所构成的仰角也相对最大(约为36°)(图6)，符合《西园萃秀堂记》中描述的“山石耸确，窿然岭起”之特征^[25]。由此可见，豫园大假山在有限的水平空间内通过各个方向的高差设计和组织，形成了峰峦相间、错落有致的空间特征。

3) 蹬道迂回，盘旋曲赴。豫园大假山力求在有限空间中创造各个维度的丰富变化，游径便是其中最典型的要素。本研究利用点云处理技术剥离模型中的建筑、围墙、植物等元素，构建大假

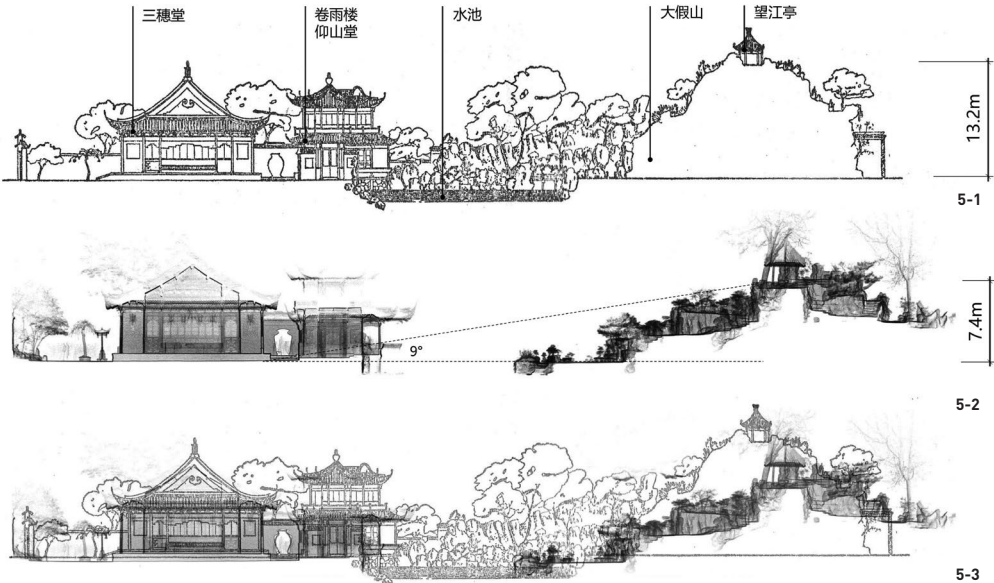
山三维点云模型，更直观地表现大假山的游径体系(图7)。数据分析发现，豫园大假山占地约990m²，假山内部游径的总长度约为330m，游径密度约为0.33m/m²，与乔钟吴《西园记》中“从麓而上，盘旋二三百步，陟其颠”的相关描述具有一致性。有学者曾对游径较长的苏州环秀山庄假山进行过测算，环秀山庄假山占地约半亩(约333m²)，游径长度约为70~80m，游径密度约为0.24m/m²^[26]。可见豫园大假山的游径密度

在古典园林假山作品中是较高的。

4 豫园大假山的遗产价值与保护

本研究利用三维点云技术，定量化验证了豫园大假山的遗产特征。研究发现，豫园大假山现存空间要素和空间特征与古代文献中的描述具有一致性：现存大假山虽仅占地约40m²，高度也不过7.4m，却构建了峰峦、洞壑、涧谷、蹬道等一系列自然景观要素，创造出长达300余米的游径，并利用假山的开合、高低变化营造出咫尺山林的空间感受，充分体现了叠山者在方寸之地全面平衡复杂空间关系和景观要素的能力。大假山以建筑轴线控制造景，划分山体主次结构并组织视线关系，通过各个方向的高差变化解决竖向交通问题，营造出极为丰富的空间感受，展现了极高的艺术构思水平和工程实践技巧。豫园大假山整体上具有明代叠山主峰突兀、层次分明的特征，在空间要素上反映了张南阳善于利用涧壑、蹬道、石壁表现大山气势的叠山手法，在空间构成上与明末清初上海园林景观日趋繁复的风格具有一致性。

三维点云技术不仅可以为假山遗产的研究提供数据支持，在遗产保护实践中也具有重要的应用价值。首先，点云技术可以替代二维线划图成为古典园林数字化记录的重要途径。点云包含高精度的三维空间信息，能够更全面、更精准地记录园林假山空间，为遗产的真实性、完整性保护提供更科学的基础数据。其次，三维点云技术使



得园林遗产的动态监测成为可能，通过比较不同时期的点云数据，能够快速准确地识别各类园林要素的变化并采取相应的措施，形成新的管理工作方法和路径。再次，三维点云技术可以支持园林假山遗产的虚拟解说。利用三维点云技术，可以在虚拟现实环境中对园林假山空间进行精确的建模和描述，并进一步转化为数字化展示平台，为公众提供更多了解遗产价值的机会。因此，如何利用三维点云技术提升古典园林假山遗产保护方法的科学性，推动保护手段的现代化，是风景园林、测绘学和文化遗产保护等专业未来重要的学科交叉方向。

注：文中图片除注明外，均由作者拍摄或绘制。

致谢：感谢上海豫园管理处为本研究现场测绘提供的支持；感谢同济大学建筑与城市规划学院图书馆李丽、建筑系朱宇辉在研究过程中给予的帮助。

参考文献：

[1] 曹汛.略论我国古代园林叠山艺术的发展演变[C]//中国建筑学会建筑史学会.建筑历史与理论(第一辑).北京:中国建筑工业出版社,1980:82-83.

[2] 陈从周.说园(典藏版)[M].上海:同济大学出版社,2017:46-47.

[3] 汪星伯.假山[C]//清华大学建筑工程系.建筑史论文集(第三辑).北京:清华大学出版社,1979.

[4] 童鸞.江南园林志(典藏版)[M].第2版.北京:中国建筑工业出版社,2014:31-43.

[5] 周维权.中国古典园林史[M].北京:清华大学出版社,1999:301.

[6] 朱宇辉.上海传统园林研究[D].上海:同济大学,2003.

[7] 古丽圆,古新仁,扬伍斯德拉.三维数字技术在园林测绘中的应用:以假山测绘为例[J].建筑学报,2016(1):35-40.

[8] 喻梦哲,林溪.基于三维激光扫描与近景摄影测量技术的古典园林池山部分测绘方法探析[J].2017(2):117-122.

[9] 张青萍,梁慧琳,李卫正,等.数字化测绘技术在私家园林中的应用研究[J].南京林业大学学报:自然科学版,2018(42):1-5.

[10] 张勃.以三维数字技术推动中国传统园林掇山理法研究[J].古建园林技术,2010(2):36-38.

[11] 薛彩霞,杨威,张璟.园林三维数字化测绘研究与应用[J].现代测绘,2011(34):53-55.

[12] 欧阳平.LIDAR点的精度检验[J].城市勘测,2013(4):122-126.

[13] 刘千里,李春友,柳瑞武.多基线数字近景摄影测量系统在古典园林建筑物三维重建中的应用[J].西北林学院学报,2009(4):224-227.

[14] 顾凯.明代江南园林研究[M].南京:东南大学出版社,2010:144-145.

[15] (明)潘允端.豫园记[EB/OL].(2004-02-20)[2018-06-04].http://www.shtong.gov.cn.

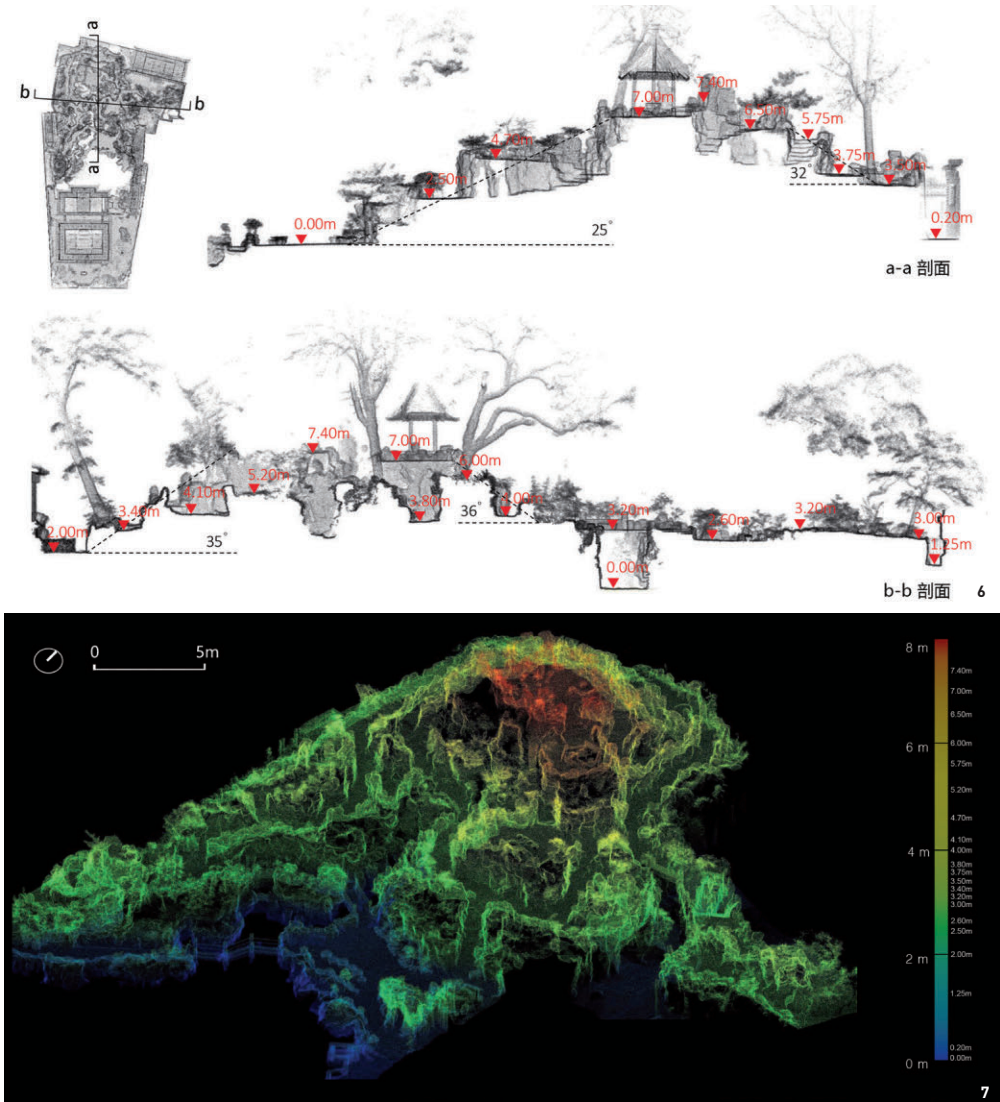


图6 豫园大假山剖面图及高差分析
图7 豫园大假山三维点云模型高程分析

[16] 赵厚均,杨鉴生.中国历代园林图文精选(第三辑)[M].上海:同济大学出版社,2005:214-216.

[17] 汪菊渊.中国古代园林史(下卷)[M].北京:中国建筑工业出版社,2006:877.

[18] 范廷杰.上海县志[Z].乾隆四十九年木刻本.1784.

[19] (清)乔钟吴.西园记[M]//薛理勇.文以兴游:豫园匾对、碑文赏析.上海:同济大学出版社,1987.

[20] 陈从周.上海的豫园与内园[J].文物参考资料,1957(6):34-35.

[21] 项伊晶,张松.上海豫园保护修缮历程及评述[J].城市建筑,2013(3):42-45.

[22] 陈从周.明代上海的三个叠山家和他们作品[J].文物,1961(7):56-58.

[23] 陈从周.豫园图录参考资料[M].上海:同济大学教材材料出版,1964.

[24] 路秉杰.陈从周与上海豫园的修建(上)[C]//黄昌勇,封云.园林大师陈从周.上海:同济大学出版社,2014.

[25] (明)叶维庚.西园萃秀堂记[EB/OL].(2018-06-04).http://www.shtong.gov.cn.

[26] 魏菲宇.中国园林置石掇山设计理论[D].北京:北京林业大学,2009.

(编辑/马琳)

作者简介：

杨 晨
1985年生/男/博士/同济大学建筑与城市规划学院景观学系助理教授,硕士生导师/文化遗产档案国际科学委员会专家委员/研究方向为数字化遗产景观(上海 200092)

韩 锋
1966年生/女/博士/同济大学建筑与城市规划学院景观学系系主任,教授,博士生导师/ICOMOS-IFLA国际文化景观科学委员会副主席/UCN世界保护地委员会专家/研究方向为遗产景观、文化景观/本刊编委(上海 200092)