

基于历史建筑设计原则的 HBIM 参数化探索

佟昕宇¹，张澄^{1*}，董一平¹，李月²，高欢悦¹

(¹西交利物浦大学设计学院，江苏 苏州 215123;²西交利物浦大学智能工程学院，江苏 苏州 215123)

【摘要】历史建筑信息模型 (HBIM) 可以在建筑的维护、修缮、传播等环节起到关键作用。历史建筑构件具有复杂而独特的几何形态，这给传统建模带来了很大困难与挑战。参数化建模根据建筑物或构件的设计原则来定义模型，可对模型进行灵活调整，已经在正向建模和逆向建模上均有应用。本文选择苏州宋代罗汉院双塔的局部作为案例，以中国传统建筑的设计原则，使用 Grasshopper 对砖塔的仿木结构进行了参数化建模，探索了结合参数化古建筑 BIM 的逆向建模方法。

【关键词】HBIM；参数化建模；点云；三维重建；设计原则

1 引言

建筑遗产是历史的见证，它是一个民族文化的体现，需要被合理地保护并利用。BIM (Building Information Modelling, 建筑信息模型) 技术是一种三维数字化技术，它将建筑的几何、功能、性能等信息整合于三维模型中。目前 BIM 技术在现代建筑的规划、设计、施工、运营等全生命周期中均有应用案例，能够有效地对建筑物进行管理。对于历史建筑，Murphy 最早提出了历史建筑信息模型 (Heritage-BIM, HBIM) 的概念^[1]，HBIM 可以在历史建筑的维护、修缮、传播等环节起到很大的作用：大量历史建筑由于年代久远，其设计信息往往为手稿，精度有限，或完全不存在，这使得维护过程需要反复确认，消耗了大量的人力和物力。而通过 HBIM 可以清晰地将历史建筑的结构、尺寸、材料等信息整合在模型中，提高了维护效率。此外，通过将历史建筑的几何形态保存在 HBIM 中，也保证了其万一遭遇自然或人为的毁坏后，也能够追溯其三维的样貌。HBIM 还可以结合 VR、AR 等技术，更加身临其境地向游客介绍历史遗迹相关知识^[2]。

生成 HBIM 的方案有两种，一种是正向建模，是指不依赖从真实历史建筑上采集的数据，直接通过图纸等设计方案，通过建模软件生成模型。而对于年代久远的建筑，可能并没有留存完整清晰的图纸，因此需要利用摄影或激光扫描等技术采集真实建筑的形态、结构等数据，并通过三维重建技术 (3D Reconstruction) 逆向生成模型，这种方法为逆向建模。历史建筑的构件常常具有复杂而独特的几何形态，例如欧式古建筑的非线性装饰和中国古建筑的榫卯结构等，这给无论是正向建模还是逆向建模都带来了较大的困难，传统方法往往需要耗费大量的时间。因此，本文引入了参数化建模方法，将历史建筑的设计原则转化为参数化的表达，探索了中国历史建筑的建模过程，并对现有研究较少的砖仿木结构塔形建筑创建了参数化模型。相比于传统方法，能够快速生成多层模型，提高了建模效率。

【基金项目】苏州市科技计划项目 2022 SS51-基于建筑信息系统与扩展现实技术的建筑遗产重现应用研究

【作者简介】佟昕宇 (1996)，男，研究生在读。主要研究方向为历史建筑三维重建。E-mail: Xinyu.Tong22@student.xjtlu.edu.cn

张澄 (1974)，女，高级副教授。主要研究方向为土木工程信息技术。E-mail: cheng.zhang@xjtlu.edu.cn

董一平 (1978)，女，副教授。主要研究方向为建筑历史与建筑遗产。E-mail: Yiping.Dong@xjtlu.edu.cn

李月 (1996)，女，助理教授。主要研究方向为人机交互、虚拟现实、增强现实和文化遗产。E-mail: Yue.Li@xjtlu.edu.cn

高欢悦 (1998)，男，研究生在读。主要研究方向为双塔参数化建模。E-mail: Huanyue.Gao16@student.xjtlu.edu.cn

2 参数化建模

20 世纪 70 年代, 形状语法 (linguistics) 的概念被提出, 它是指通过基本几何形状的变换和组合来表示新的几何形状^[3]。基于这一概念, Rhino3D、AutoCAD 等软件开始引入“参数化建模 (Parametric Modelling)”的功能, 在创建模型的过程中考虑了建筑物的设计原则, 通过引入形状、尺寸、位置关系等参数来创建和编辑模型。相比于传统模型, 参数化模型具有更高的灵活性, 因为当模型需要被调整时, 仅需对相应的参数进行修改, 而无须重新绘制模型。此外, 参数化模型也比传统模型包含更多的语义信息, 能够体现建筑物各部分的构造和功能, 有利于对建筑物的管理^[4]。

凭借以上优势, 参数化建模已经广泛应用于建筑领域。对于历史建筑来说, 参数化建模在古建筑的正向以及逆向建模中均有应用和研究。在正向建模方面, 已有许多国内外的项目应用参数化建模对历史建筑或者仿古建筑进行模型设计。法国公司育碧在虚拟环境中建立了巴黎圣母院的模型, 帮助巴黎圣母院的塔尖部分在火灾损毁后的修复^[5]; 微软的基于古希腊遗址中残存构件的测量数据, 还原出两千年前古希腊的完整建筑物的景象^[6]; 陆永乐根据中国历史建筑的设计原则, 在 ArchiCAD 软件中引入参数化插件, 能够对构件样式进行调整并生成仿古建筑模型^[7]。由于逆向建模能反映出现存古建筑的真实情况, 因此逆向建模在古建筑的研究中更多。许多研究探索将逆向建模过程与参数化建模过程相结合: Murphy 根据西方建筑手稿设计了构件的参数化规则, 并使用几何描述语言 (Geometric Descriptive Language) 构建参数化对象并整合到一个库中, 在对历史建筑建模时, 可以将库中已有的构件模型映射到对应位置, 以生成整个模型^[8]; 近年来, 一些研究致力于从图像或激光点云数据中自动提取构件的参数信息, 并根据设计原则生成构件模型, 在窗户^[8]、门楣^[9]等结构简单的平面构件上取得了良好的效果; 对于中国古建筑, Liu 等人对一个单独的斗拱实体模型进行扫描, 并通过算法从其轮廓中提取参数信息^[10]。

根据已有研究, 本文总结出参数化在古建筑建模中的两个应用方向, 并加以探索:

(1) 参数化模型与真实模型的融合

在获取实际建筑物的点云时, 常会受到光照、障碍物等外界干扰, 以及由于高度、地形等原因仪器难以达到拍摄或扫描位置, 这些影响因素会导致获取到的点云精度不高、丧失细节, 甚至部分缺失。依据建筑物的设计原则, 通过生成参数化构件模型, 可以对真实模型进行补充和修复。

(2) 使用参数化构件库直接生成模型

如何从获取的数据中自动识别出构件类型并生成模型是目前研究的热门, 其中关键步骤之一是参数库的构建。在参数库中调用相同风格、相同类型的构件, 调整后映射到点云的相应位置, 能够节省重复的建模过程, 提高历史建筑三维重建的效率。参数库中的构件也可以反过来作为训练样本, 提高点云识别算法的准确度。

3 中国历史建筑设计原则

许多历史资料记载了中国历史建筑的设计原则。宋代的《营造法式》和清代的《工程做法则例》是当时官府颁发的工程规范, 是两部最有参考意义的古籍。通过这些历史资料可以理解历史建筑的建筑术语、建造技术, 以及建筑细节。

中国历史建筑在发展过程中, 各个构件的尺度之间形成了固定的比例关系。在宋代, 这种比例关系称为“材分制”: 《营造法式》中先以具体尺寸定出八个等级的 3:2 矩形截面, 称之为“材”。材按其高度均分为十五, 各为一“分”。《营造法式》规定, 建筑中的所有结构都按其所用材的等级中相应的分为度, 即一栋房屋的规格及其各部之间的比例关系, 都可以使用材、分来衡量。因此, 只需要定义以材、分为首的几个基本尺寸参数, 便可以衍生出每个构件的其他尺寸参数。以大木作为例, 大木作是中国历史建筑体系的主要部分, 是木结构建筑的框架, 而铺作层是大木作最复杂的一部分, 由斗拱、枋、梁等交叠而成, 支撑了屋架和挑檐, 并将重量传递给柱头等下部结构。表 1 列举了大木作框架中柱头铺作所涉及的部分构件的尺寸与位置关系^[11], 可见多数构件的尺寸都是以材、分为基本参数, 并且遵循严格的位置关系。

《营造法式》柱头铺作设计原则

表 1

层级	构件名称	相应尺寸	构件位置
由上至下	昂	下昂为单材, 长度一般为 23 分	斜置于斗拱中
	泥道拱	长 62 分	铺作横向中心线上
	华拱	长一般为 72 分	栌斗之上
	栌斗	长宽一般为 32 分, 高度为 20 分。斗耳 8 分, 斗平 4 分, 斗敞为 8 分。开口宽度 10 分, 深度 8 分	柱头之上
	柱	直径: 殿阁柱两材两架至三材, 厅堂柱两材一架; 卷杀: 柱长分三等分, 最上一等分再分三等分, 渐收至上径比栌斗底各出 4 分	地面之上
	“分”	1/15 材料的断面高度为 1 “分”	
	“材”	以具体尺寸、具体比例定出八个等级的木材截面	

因此, 根据设计原则而建立参数化模型, 前期确定好基本参数后, 便可以方便地生成构件, 相比于传统建模时反复对每个尺寸进行设置, 大大提高了工作效率, 且便于后期对模型的统一调整。

4 项目案例

本项目选取了位于江苏省苏州市的罗汉院双塔为研究对象。罗汉院双塔始建于北宋太平兴国七年(公元 982 年), 是江南地区重要的宋代建筑遗构。双塔原为砖身木檐塔, 经历代重修, 于太平天国时期毁坏, 现存为砖结构砖塔主体, 木结构不存。东西二塔在尺寸、结构、形式上大致相同。双塔平面为八角形。每层设四处壶门, 朝向四个方向; 其余四边墙上刻有直棱窗。门窗上方有屋檐凸起, 由六层砖组成, 每隔一层有花牙子砖边缘。砖砌平座层位于下层檐之上。中国营造学社早在 20 世纪 30 年代就开始对双塔进行了科学性的实测与记录, 双塔的设计复原研究已有一定的基础^[12]。近年来, 西交利物浦大学团队在罗汉院双塔持续开展工作, 使用最新的测绘手段与参数化建模方式来尝试进一步理解 10 世纪的仿木砖塔的设计原则。然而, 从理解并转换以宋代大木作设计的基本原则, 到每一个具体的建筑实例中, 需要首先认识对象的具体性。

本目前期的数据采集工作使用 DJI Phantom 4RTK 无人机获取了整个双塔的图像数据, 并使用 Leica P40 ScanStation 地面扫描仪获取了第一层的激光点云数据。通过采集的数据可以测算出双塔的实际尺寸, 并结合历史资料中的测绘信息, 以宋时期江南地区营造尺为基本尺度单位, 设定双塔仿木结构所选用的材等与构架原则。

首先选取东塔的第一层作为参数化建模对象。建模使用 Rhinoceros 软件的内置插件 Grasshopper 进行。Grasshopper 是一种基于节点操作的可视化编程语言。根据表 1 介绍的历史建筑设计原则, 可以在 Grasshopper 中定义材、分等基本参数, 进而衍生出其他的各种构件参数, 如图 1 所示。

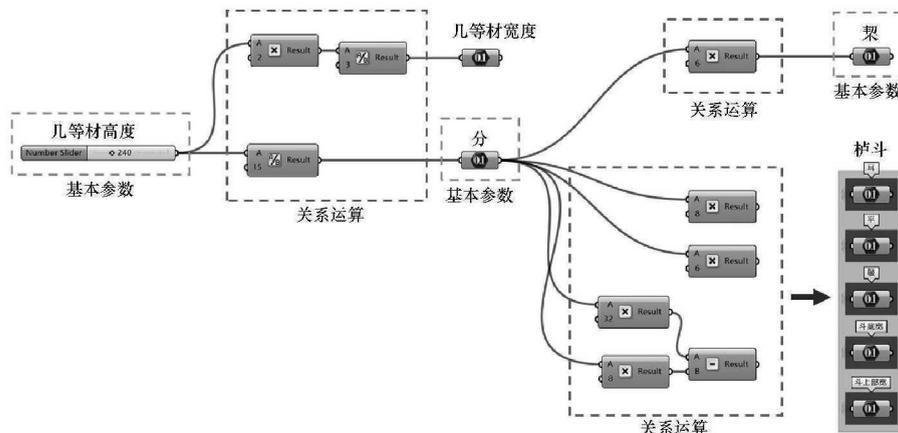


图 1 Grasshopper 参数设置

将所需要的参数定义完成后，便可以使用这些参数，根据《营造法式》的设计原则生成构件模型。以柱构件为例，根据表 1 的材分等基本参数可以定义柱的尺寸，再根据设计原则以程序化流程定义柱的几何形态，如图 2 所示。

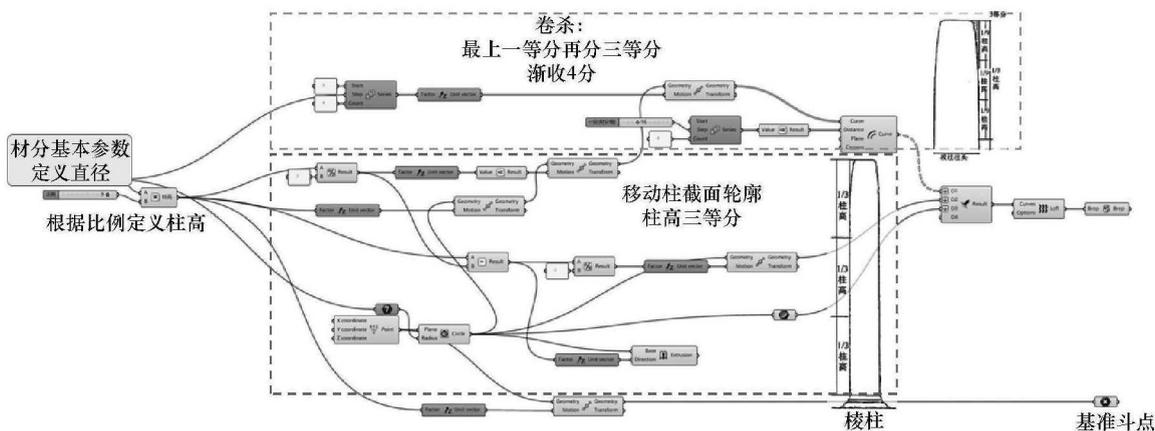


图 2 柱构件 Grasshopper 参数设置

最后根据构件之间的位置关系，将各个构件拼接组合，便可以生成完整的双塔第一层模型，如图 3 所示。由于塔每层的结构具有相似性，将第一层的参数化模型进行复制，并对尺寸和方位等参数进行调整，就可以方便地生成二层以上的模型，相比传统建模方法节约了工作量。生成的参数化模型可以与通过激光或图像数据得到的真实模型进行对比，如图 4 所示，并在后续研究中使用。

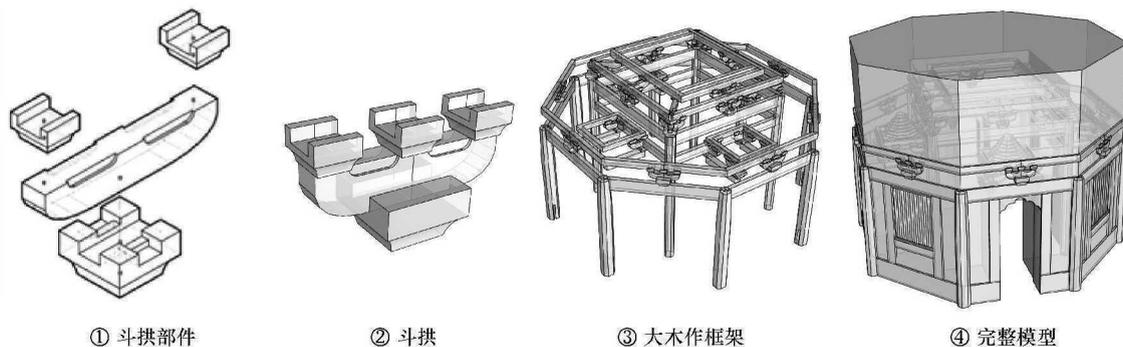


图 3 参数化模型生成步骤



图 4 参数化模型与真实模型结合

5 总结与展望

本项目从《营造法式》等古籍中获取了中国历史建筑在几何形状、尺度、位置等方面的设计原则，并根据设计原则对构件进行参数化设计。使用所设计的构件对苏州罗汉院双塔进行了参数化建模，建模

效率优于传统方法，并将参数化模型与真实模型进行比对，修复了真实模型的缺失部分。后续的研究将会提高参数化建模的自动化程度，使用参数库对机器学习算法进行训练，使其能够从真实的激光或图像数据中识别构件的类型、尺寸、位置等信息，进而自动生成完整的参数化模型。

参 考 文 献

- [1] Murphy M, McGovern E, Pavia S. Historic building information modelling (HBIM)[J]. *Structural Survey*, 2009, 27(4): 311-327.
- [2] López F J, Leronés P M, Llamas J, et al. A review of heritage building information modeling (H-BIM)[J]. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2018, 2(2): 21.
- [3] Murphy M, McGovern E, Pavia S. Historic Building Information Modelling-Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture[J]. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2013, 76: 89-102.
- [4] Radanovic M, Khoshelham K, Fraser C. Geometric accuracy and semantic richness in heritage BIM: A review[J]. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2020, 19: e00166.
- [5] Duan H, Li J, Fan S, et al. Metaverse for social good: A university campus prototype[C]//*Proceedings of the 29th ACM international conference on multimedia*. 2021: 153-161.
- [6] Microsoft. Ancient Olympia; Common Grounds. [EB/OL] [2023-7-10].
- [7] 曾旭东, 龚淳, 陆永乐. 基于参数化 GDL 语言的古建筑构建方法研究[C]//中国民族建筑研究会. 中国民族建筑研究会第二十届学术年会论文特辑(2017). 2017:136-141.
- [8] Dore C, Murphy M. Semi-automatic modelling of building facades with shape grammars using historic building information modelling[J]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2013, 40: 57-64.
- [9] Chevrier C, Charbonneau N, Grussenmeyer P, et al. Parametric documenting of built heritage: 3D virtual reconstruction of architectural details[J]. *International Journal of Architectural Computing*, 2010, 8(2): 135-150.
- [10] Liu H, Xie L, Shi L, et al. A method of automatic extraction of parameters of multi-LoD BIM models for typical components in wooden architectural-heritage structures[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2019, 42: 101002.
- [11] 潘谷西, 何建中. 营造法式解读[M]. 南京: 东南大学出版社. 2005.
- [12] 刘敦桢. 刘敦桢全集(第十卷)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社. 2007.