

DOI: 10.7672/sgjs2025130140

基于 BIM 技术的古建筑自动估料方法研究*

田晨^{1,2}, 孙晓阳^{1,2}, 张博玮^{1,2}, 张有志², 李越宇²

(1. 中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200122; 2. 中建八局文旅博览投资发展有限公司, 江苏 南京 210000)

[摘要] 随着古建筑营造市场的发展,对目前古建筑构件营造行业提出了更高的要求。目前古建筑营造仍依赖于工匠施工,从加工到现场建造的工业化和数字化水平较低。产业的工业化和数字化发展须立足在标准化和信息化,古建筑营造领域的标准化和信息化建设亟需提升。通过将 BIM 技术与传统古建筑营造技术有机结合,本研究实现了高效率、高精度的古建筑自动估料技术,为古建筑营造和算量领域提供了一种全新的估料方法和思路。

[关键词] 古建筑;建筑信息模型;自动估料;数字化

[中图分类号] TU17

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)13-0140-05

Research on Automatic Estimation Method of Ancient Buildings Based on BIM Technology

TIAN Chen^{1,2}, SUN Xiaoyang^{1,2}, ZHANG Bowei^{1,2}, ZHANG Youzhi², LI Yueyu²

(1. China Construction Eighth Engineering Division Co., Ltd., Shanghai 200122, China; 2. The Cultural Tourism EXPO Investment Development Co., Ltd. of CSCEC 8th Division, Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: With the development of the ancient building construction market, higher requirements have been put forward for the current ancient building component construction industry. Currently, the construction of ancient buildings still depends on the construction of craftsmen, and the level of industrialization and digitization from processing to on-site construction is low. The industrialization and digital development of the industry must be based on standardization and informatization. And the standardization and informatization construction in the field of ancient building construction needs to be improved. Through the organic combination of BIM technology and traditional ancient building construction technology, this study realizes the automatic estimation technology of ancient buildings with high efficiency and high precision and provides a new estimation method and idea for the field of ancient building construction and calculation.

Keywords: ancient buildings; building information modeling (BIM); automatic estimation; digitization

0 引言

古建筑是科技文化知识与艺术的结合体,同时也是历史载体,应当传承发扬。经调研,目前大多数古建筑加工厂仍以人工加工为主,辅助普通的木材加工机械。由经验丰富的大木匠师承担“算房师傅”,根据设计图纸对加工用料进行估料下料。但仍采用传统的人工估料下料方式,依赖于大木匠师的个人经验,效率较低,也容易出错,产生不必要的废料。大木作毛坯料下料是整个加工过程的重要

工序,也是加工厂成本控制的核心工作。同时,随着古建筑营造行业的从业人员日趋减少,现有工匠老龄化严重,从业人员鲜有年轻人的身影,以 BIM (building information modeling) 技术和数字化为代表的建筑领域新技术难以在古建加工行业中很好的应用。

随着三维信息模型技术的发展,基于三维信息模型的参数化建模可以解决复杂多曲面的古建大木作模型建立和施工深化的难题,通过基于三维信息模型的二次开发等技术解决大木作快速精确估料下料及制作毛坯料单等难题也成为可能,同时为古建筑加工生产线数字化升级提供数据链支撑。

* 南京市建设行业科技计划:古建筑大木作参数算例与自动估料技术研究(2023-4-12)

[作者简介] 田晨,助理工程师,E-mail:917166914@qq.com

[收稿日期] 2025-01-10

1 古建筑自动估料技术路线

开发了古建筑自动估料的技术路线,论述古建筑信息模型在输出毛坯料信息模型和规格料信息模型的应用方法。该技术路线包含 5 个步骤,整个技术路线围绕 BIM 软件展开,过程中采用 Revit, Rhino, Grasshopper 及对应软件的二次开发技术实现。

1.1 创建古建筑信息模型

通过 BIM 软件将古建筑构件的几何信息、构造信息、材质信息、物理信息、油漆彩绘和说明备注等方面的信息都集成到 1 个古建筑信息模型中。

1) 本技术路线中对建立古建筑信息模型的方式不做要求,重要的是能够将三维模型和相对应的信息矩阵完整地整合到 Revit 或 Rhino 软件中,采用 .rvt 和 .3dm 格式,可以与常用的 BIM 软件进行通信。

2) 古建筑构件的信息直接存储在模型(结构化数据文档)中,信息作为模型的一部分,信息的生命周期与模型的生命周期相等,在任意时间都能打开模型读取其储存的信息。

1.2 古建筑信息模型预处理

提取古建筑构件的构件编码、构件数量等加工古建筑毛坯料相关的信息数据,形成古建筑构件毛坯料信息矩阵。

1) 古建筑构件模型与相关联的信息矩阵有相对应的驱动关系,信息值与模型可以双向驱动。采用 Rhino. Inside. Revit 开源插件在 Rhino 和 Revit 间进行数据信息交互。

2) 通过软件二次开发技术将古建筑信息模型中古建筑构件的构件编码、构造信息、材质信息、物理信息、油漆彩绘和说明备注等与毛坯料加工相关的信息统一提取形成古建筑构件信息矩阵表。

1.3 输出古建筑构件毛坯料信息模型

通过 BIM 软件及软件相关开发技术结合古建筑构件加工生产技术数据运算得到古建筑构件毛坯料模型,集成前述的构件毛坯料信息矩阵,形成古建筑构件毛坯料信息模型。

1) 首先根据古建筑信息模型中的构造信息明确古建筑构件的毛坯料分类体系(目前市场通用分类体系包括圆柱体毛坯料、长方体毛坯料)与尺寸规格标准,构件毛坯料体系不同分类的古建筑构件应分别计算构件毛坯料模型。

2) 通过软件二次开发技术判别古建筑构件几何图形各个面的相对面积比即可确定古建筑构件的毛坯料分类体系,确定分类体系后应根据古建筑

构件几何图形在 BIM 软件中的具体坐标系找出古建筑构件的最小包围盒(也叫外接最小矩形,是一种求解离散点集最优包围空间的算法,基本思想是用体积稍大且特性简单的几何体来近似地代替复杂的几何对象),根据实际加工需要对古建筑构件的最小包围盒在三维坐标系下进行三轴缩放后即可得到古建筑构件的毛坯料模型。在毛坯料模型中挂接前述得到的古建筑构件信息矩阵列表后得到古建筑构件毛坯料信息模型。

1.4 古建筑构件毛坯料信息模型预处理

提取古建筑构件毛坯料信息模型的构件编码、构件数量等加工古建筑规格料相关的信息数据,形成古建筑构件规格料信息矩阵。

1) 对已得的古建筑构件毛坯料信息模型按几何图形各向异性(或作异向性、非均向性,与各向同性相反,此处指古建筑构件模型随长、宽、高方向的不同而在长、宽、高方向展示出的长度不同的特性)进行分类,划分为常规毛坯料和特殊毛坯料。

2) 根据古建筑构件毛坯料的规格和数量结合市场通用的古建筑规格料尺寸确定拟采用的古建筑规格料尺寸。

1.5 输出古建筑规格料信息模型

通过 BIM 软件及软件相关开发技术结合前述古建筑构件毛坯料信息模型运算得到古建筑构件规格料模型,集成前述的规格料信息矩阵,形成古建筑构件规格料信息模型。

1) 在 BIM 软件三维坐标系内按照前述拟采用的古建筑规格料尺寸创建对应的几何图形,使用软件二次开发技术在已创建的古建筑规格料几何图形内进行古建筑构件毛坯料的自动化排布。

2) 在软件计算古建筑毛坯料的自动化排布过程中,若当前规格料无法对目前的毛坯料进行完全排布,应根据实际加工需要更换其他尺寸的规格料或增加当前规格料的几何图形副本继续运算排布。

3) 由于古建筑毛坯料构件的排布顺序及排布方向的差异可能导致最后需要的古建筑规格料数量及大小不同,最后根据加工需要选择对应的排布方案生成古建筑规格料模型,挂接从古建筑构件毛坯料信息模型中继承得到的构件数据即可得到古建筑规格料信息模型。

2 古建筑自动估料关键技术

2.1 输出古建筑毛坯料信息模型技术

采用 Revit+Rhino 软件协同及软件开发的方式实现了由古建筑信息模型转换成古建筑构件毛坯料信息模型的技术路径,如图 1 所示。

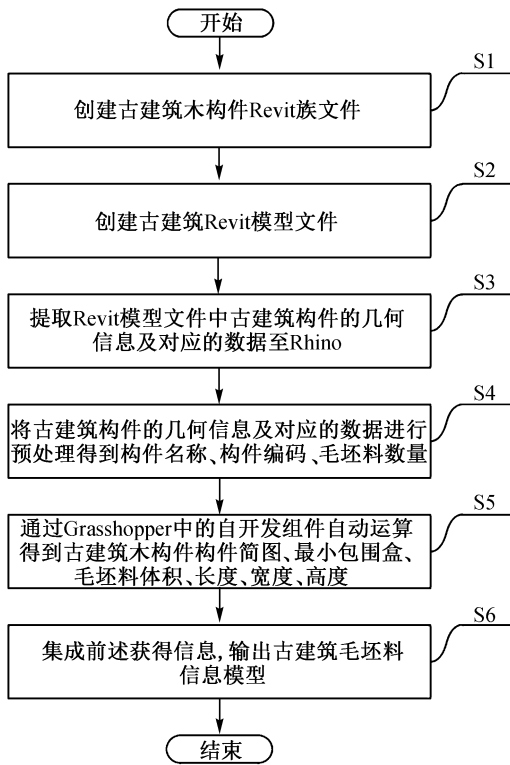


图1 输出古建筑毛坯料信息模型技术路径

Fig. 1 Technical path of output ancient building raw material information model

1) S1: 在 Revit 中创建族文档, 对于常规构件, 直接建模即可; 对于特殊构件, 例如昂类构件(见图 2), 可以使用 Rhino 及 Dynamo 和 Grasshopper 辅助创建。



图2 昂类构件

Fig. 2 Ang class components

2) S2: 创建建筑的轴网, 将 CAD 图纸导入项目文档中作为参照, 载入族文档, 以实际古建筑建造安装顺序在项目文档中放置 S1 中所述方法建立的古建筑构件族, 逐步搭建 Revit 里面的古建筑模型。模型创建完毕后, 将古建筑构件对应的构件编码、构造信息、材质信息、物理信息、油漆彩绘和说明备注等信息输入对应的构件模型中。

3) S3: 用 Rhino. Inside 开源插件将 Revit 中的几何模型与数据提取至 Rhino 中(此步骤亦可使用其他方式, 例如通过 IFC 转换、Speckle 软件等)。

4) S4: 运行 Grasshopper, 根据构件族的特征及标记对几何模型中的构件按照构件类型名称进行分类, 取得模型中每种构件类型的名称、编码以及毛坯料(构件)数量。

5) S5: 使用自开发的 Get Thumbnail 组件(调用 Rhino. Inside API 和 Revit API), 如图 3 所示, 获得所有构件族类型的缩略图, 并将取得的所有缩略图存储在计算机本地文件夹中, 并输出完整图片路径列表。



图3 Get Thumbnail 组件

Fig. 3 Get Thumbnail component

在 S4 步取得的每种构件类型中各取 1 个实例(避免重复计算)组成构件列表作为参数输入自开发的 Bounding Box Pro 组件, 如图 4 所示, 自动运算得到古建筑木构件最小包围盒, 将构件列表传入 Bounding Box Pro 组件之中, 执行如下计算: ①进行第 1 次循环, 以 z 轴为旋转轴旋转 xy 平面, 每旋转 1° 便创建几何体的最小包围盒(Grasshopper 的 BoundingBox), 并记录包围盒体积, 累计旋转 360° , 通过比较得到包围盒体积最小值, 更改坐标系的 xy 平面为当前循环运算得出的最小包围盒体积最小值相应的 xy 平面; ②进行第 2 次循环, 以 x 轴为旋转轴旋转 yz 平面, 每旋转 1° 便创建几何体包围盒, 记录包围盒体积, 累计旋转 360° , 通过比较得到包围盒体积最小值, 更改坐标系的 yz 平面为当前循环运算得出的最小包围盒体积最小值相应的 yz 平面; ③进行第 3 次循环, 以 y 轴为旋转轴旋转 xz 平面, 每旋转 1° 便创建几何体包围盒, 记录包围盒体积, 累计旋转 360° , 通过比较得到包围盒体积最小值, 更改坐标系的 xz 平面为当前循环运算得出的最小包围盒体积最小值相应的 xz 平面; ④以最终得到的坐标体系为准创建 BoundingBox, 得到输入构件的最小包围盒列表; ⑤将取得的构件最小包围盒列表、毛坯料在 x, y, z 三轴所需要加工误差尺寸作为参数输入自开发的 Rough Box 组件, 如图 5 所示, 自动运算得到每种古建筑木构件的最小毛坯料包围盒、毛坯料的长度、宽度、高度、体积。该组件运算思想如下: 将构件最小包围盒列表、毛坯料在 x, y, z 三轴所需要加工误差尺寸传入 Rough Box 组件之中, 执行如下计算。对输入的最小包围盒遍历执行以下操作: 参照输入的 x, y, z 轴加工误差尺寸进行三轴缩放, 得到对应构件的最小毛坯料, 根据最小毛坯料包围盒的属性输出毛坯料的长度、宽度、高度、体积。

6) S6: 将 S3 得到的古建筑构件信息挂接到经过自研发节点 Rough Box 组件处理后得到的模型中

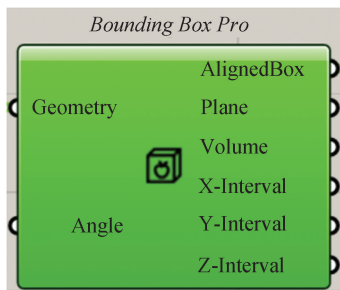


图 4 Bounding Box Pro 组件

Fig. 4 Bounding Box Pro Components

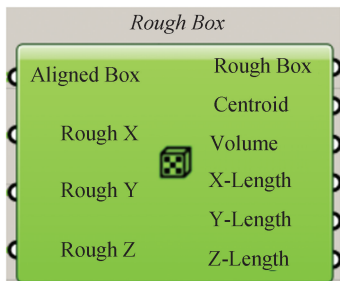


图 5 Rough Box 组件 (未输入数据)

Fig. 5 Rough Box component (no data input)

得到古建筑构件毛坯料信息模型。将 S4 步取得的每种构件类型的名称、编码以及毛坯料(构件)数量、S5 取得的图片路径、每种古建筑木构件毛坯料的体积、长度、宽度、高度一一对应集成至表格中,即可得到古建筑构件毛坯料料单。

2.2 输出古建筑规格料排料信息模型技术

通过对 Grasshopper 进行二次开发的方式实现了由古建筑构件毛坯料信息模型转换成古建筑规格料信息模型的技术路径,如图 6 所示。

1) S1:对模型中的古建筑木构件毛坯料进行分类、统计、排序(按体积从大到小排序),得出常规毛坯料所需规格料的尺寸和特殊毛坯料所需规格料的尺寸。

2) S2:根据 S1 步骤得到的预处理结果,筛选出常规毛坯料和特殊毛坯料的几何图形列表,方便后续步骤对常规毛坯料和特殊毛坯料分别单独计算排料。

3) S3:根据 S1 步骤得到的常规毛坯料所需的规格料尺寸和特殊毛坯料所需的规格料尺寸通过脚本文件在 Rhino 视窗中设置好规格料的几何尺寸和控制位置。

4) S4:通过留白空间参数(需要用户根据实际规格料取材情况设置,亦可不设置),选择留白空间几何图形,本参数用于保留、弃置 1 块或多块规格料内几何空间。

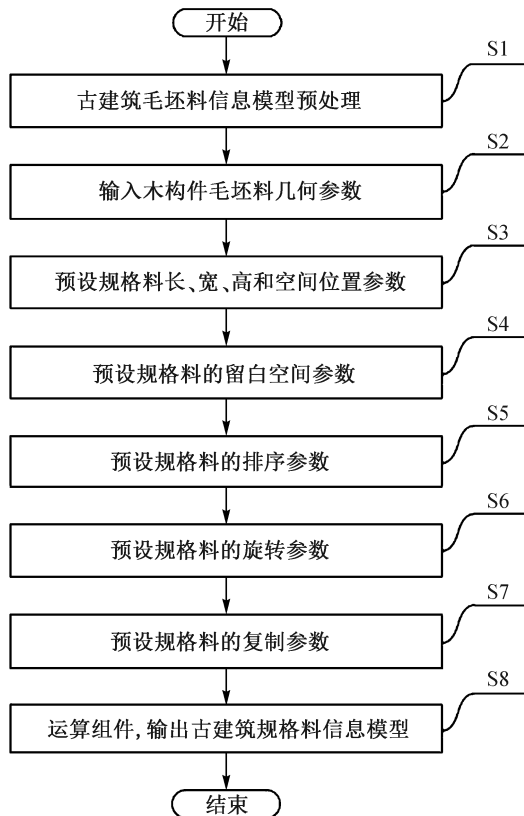


图 6 输出古建筑规格料排料信息模型技术路径

Fig. 6 Technical path of the model for exporting material layout information of ancient architecture specifications

5) S5:通过排序布尔参数控制脚本在进行排料计算前是否提前进行构件排序,true 代表会将排序之后的毛坯料构件作为参数计算,输出规格料排料方案,false 代表直接将输入的毛坯料构件作为参数计算,输出规格料排料方案。本参数默认设置为 true。

6) S6:通过旋转参数控制脚本在进行排料计算时是否提前进行构件旋转,true 代表在进行规格料排料计算时会考虑毛坯料构件的旋转排列,false 代表在进行规格料排料计算时不会考虑毛坯料构件的旋转排列,直接按照当前坐标系下的空间相对位置进行排列。本参数默认设置为 true。

7) S7:通过复制布尔参数控制脚本在进行排料计算时是否考虑多块规格料排列,false 代表在进行规格料排料计算时不会考虑多块规格料排列,true 代表会在当前规格料无法完全排布毛坯时增加与当前设置相同尺寸的规格料副本进行排料计算。本参数默认设置为 false。

8) S8:通过前述 S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 步骤的参数设置,已获取脚本运行所需信息,运行当前脚本文件即可得到规格料排料方案信息。

以某古建筑模型为例(见图 7),通过预设参数面板(亦可直接通过脚本设置)、排料方案可视化面

板(亦可直接通过脚本设置)的预设参数及脚本设置(见图8,9),可得到某古建筑信息模型部分规格料排料三维图(见图10),可根据输出的古建筑规格料信息模型进一步深化排料方案,指导施工。

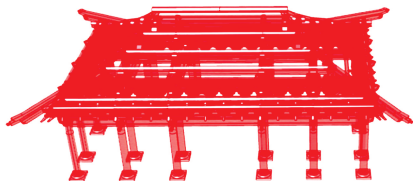


图7 某古建筑信息模型

Fig. 7 Information model of a certain ancient building

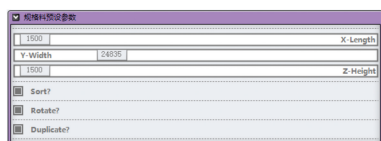


图8 预设参数面板

Fig. 8 Preset parameter panel

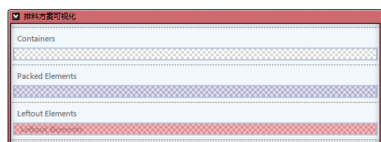


图9 排料方案可视化面板

Fig. 9 Visualization panel for material layout plan

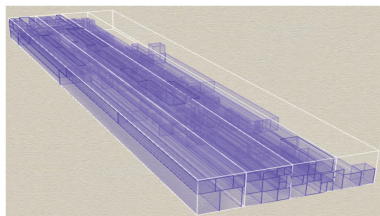


图10 某古建筑信息模型部分规格料排料三维图

Fig. 10 Three dimensional of material layout for some specifications of an ancient building information model

3 结语

1) 通过使用 BIM 软件处理古建筑木构件毛坯料、规格料信息模型,在脚本计算的过程当中就能够对规格料进行智能排料,做出准确分析,得到的排料方案可以直接指导工人加工,也可以用作 CNC 加工的模型文件直接用来进行数字化加工。

2) 绝大多数常规构件可以通过软件的算法求得最合适的规格料排料方案信息,少数特殊构件需要单独设置参数进行规格料排料。通过古建筑规格料信息模型可以精确指导材料的采购,最大化避免材料浪费,经过测算,相对于传统的工地现场加

工,可以提高出材率 30% 以上。

3) 通过软件的应用,可以精确建模并分析构件的合理关系。同时能够生成加工和下料的数据,指导古建筑材料加工,最大化节约原材料。此外,规格料的排料不需要人工计算,能够通过本技术路线自动取得。

参考文献:

- [1] 王茹,孙卫新,张祥. 明清古建筑构件参数化信息模型实现技术研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2013, 45(4): 479-486.
WANG R, SUN W X, ZHANG X. Research on parametric information model of ancient buildings of Ming and Qing Dynasties[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (natural science edition), 2013, 45(4): 479-486.
- [2] 王茹,韩婷婷. 基于 BIM 的古建筑构件信息分类编码标准化研究[J]. 施工技术, 2015, 44(24): 105-109.
WANG R, HAN T T. Standardized management research on ancient building components information classification and encoding based on BIM[J]. Construction technology, 2015, 44(24): 105-109.
- [3] 路世重,余智敏,周泽佳. 基于信息流的古建筑装配化建造数字技术体系[J]. 城市建筑, 2022, 19(10): 29-32.
LU S Z, YU Z M, ZHOU Z J. The digital technology system for assembly construction of the ancient buildings based on information flow[J]. Urbanism and architecture, 2022, 19(10): 29-32.
- [4] 林凯鑫,龙永焯,陈伯科. 岭南古建筑装配式一体化 BIM 算量方法研究[J]. 砖瓦, 2022(3): 81-84.
LIN K X, LONG Y Z, CHEN B K. Research on BIM calculation method for assembly integration of Lingnan ancient buildings[J]. Brick-tile, 2022(3): 81-84.
- [5] 郭正可. 基于 BIM 的唐代建筑大木作参数化建模研究——以五台山佛光寺东大殿为例[D]. 太原: 太原理工大学, 2018.
GUO Z K. Research on parametric modeling of carpentry work in Tang dynasty based on BIM[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2018.
- [6] 孙晓阳,严光芒,徐巧,等. 复杂仿古建筑群数字化建模与孪生再现技术研究与应用[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(13): 136-140, 146.
SUN X Y, YAN G M, XU Q, et al. Research and application of digital modeling and twin reproduction technology for complex antique architecture complexes[J]. Construction technology, 2024, 53(13): 136-140, 146.
- [7] 孙晓阳,于健伟,房晓宇,等. 复杂仿古阁楼钢木组合结构构造及施工关键技术[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(13): 131-135.
SUN X Y, YU J W, FANG X Y, et al. Structure and key construction technologies of complex antique attic steel and wood combination structure[J]. Construction technology, 2024, 53(13): 131-135.
- [8] 王志强,周为,于海龙,等. BIM 技术在建筑设计中的应用研究[J]. 城市建筑空间, 2024, 31(4): 120-122.
WANG Z Q, ZHOU W, YU H L, et al. Application of BIM technology in architectural design stage[J]. Urban architecture space, 2024, 31(4): 120-122.