

传统木结构榫卯节点 BIM 参数化建模

王佳辰¹ 董菁良^{1,2} 宋晓滨^{1,2,*}

(1. 同济大学建筑工程系, 上海 200092; 2. 同济大学工程结构性能演化与控制教育部重点实验室, 上海 200092)

摘 要 传统木结构建筑是我国优秀传统文化的结晶, 其以榫卯节点为代表的建造技艺具有重要的历史文化价值。近年来, 基于 BIM 技术的结构参数化设计正在被逐步推广和应用。通过数字驱动模型实现项目全生命周期中的数据资源共享, 在传统木结构保护领域具有良好的应用前景。总结了传统木结构建筑中典型榫卯节点的形制特点, 完成了各类榫卯节点的参数化表征, 并基于 Revit 平台搭建了相关榫卯节点的动态族库, 提高了传统木结构建模效率及准确性。

关键词 木结构榫卯节点, 参数化建模, Revit 族, Revit 二次开发

中图分类号: TU366.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.15935/j.cnki.jggcs.202502.0005

BIM-based Parametric Modeling of Mortise-Tenon Joints in Traditional Timber Structure

WANG Jiachen¹ DONG Jingliang^{1,2} SONG Xiaobin^{1,2,*}

(1. Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Key Laboratory of Performance Evolution and Control for Engineering Structures, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract Chinese mortise and tenon joints present significant historical and cultural value. Recently, BIM-based structural parametric design has been increasingly promoted and applied. Through the digital model, the entire life cycle of traditional structure will be recorded for their conservation. This paper summarizes the shape characteristics of typical mortise and tenon joints. Based on dimension feature, family templates of mortise and tenon joints were developed on the Revit platform, which improves modeling efficiency and accuracy.

Keywords mortise and tenon joints, BIM-based parametric modeling, Revit family, Revit SDK

0 引 言

中国具有悠久的木结构建造历史, 作为传统木结构建筑中应用最为广泛的技艺, 榫卯节点蕴含了前人无数的智慧^[1-2]。榫卯节点的起源可追溯至七千年前的河姆渡文化, 榫(又称公榫, 为木构件切削形成的突出部分)置入卯(又称母榫, 为木构件凿刻形成的凹陷部分)中, 使千百件独立、

松散的构件紧密结合形成符合设计和使用要求的完整结构体^[3-4]。时至今日, 大量优秀传统木结构建筑消失在人们的视野中, 以榫卯节点为代表的各式传统木结构建筑技艺传承也逐渐消亡^[5]。因此, 研究榫卯节点的形制特点, 建立典型榫卯节点参数化族库, 对传承榫卯节点营造技艺, 实现仿古建筑工业化, 具有重要意义。

近年来, 随着建筑行业信息化程度的提高, 参数化设计理念已逐渐应用于结构的设计施工阶

收稿日期: 2022-12-10

作者简介: 王佳辰, 女, 本科, 从事传统木结构参数化建模研究。E-mail: liliy365@126.com

* 联系作者: 宋晓滨, 男, 教授, 博士, 从事现代和传统多高层木结构抗震性能研究。E-mail: xiaobins@tongji.edu.cn

段。李洁等^[6]建立了混凝土结构中柱、梁、板等构件的参数化族库,提高了结构的建模及工程量计算效率。郑茂等^[7]通过算法完成了钢结构的参数化设计,实现了节点连接件布置随梁柱截面尺寸的自动调整。王中毅等^[8]将参数化设计理念应用到异形建筑设计中,有效避免了后期施工中可能出现的构件碰撞等问题。Yoo 等^[9]将参数化建模方法推广应用于建筑施工阶段,针对锥形滑模系统建立参数化模型,提高了模板施工效率。Park^[10]提出了一套用于传统木结构建筑参数化设计的完整体系,并通过小型试验验证了该体系的可行性。毕天平等^[11]基于 BIM 技术实现对预制板创建和拆分的参数化设置。

传统木结构构件具有明显的模数化和形制化特点,宋式建筑“以材为祖”,清式建筑以斗口为度量单位。现有研究已将参数化设计应用于传统木结构建筑中,杨晓慧等^[12]通过三维激光扫描和摄影测量技术获得了传统木结构建筑的构件信息,完成了相关构件的参数化建模;闫泽文等^[13]以清代的《工程做法则例》^[14]和《清工部〈工程做法则例〉图解》^[15]为依据,建立了单翘单昂斗拱的参数化模型;王茹等^[16]对两类斗拱进行参数化建模,并将其纳入基于 AutoCAD 的古建筑构件信息模型设计平台,为传统木结构参数化设计提供参考。

榫卯节点作为传统木结构中常用的连接方式,其构造具有严格的模数规定。宋代的《营造法式》^[17]和清代的《工程做法则例》^[14]记录了传统木结构建筑中常见的榫卯节点类型及其构造特征,对榫卯节点的相关研究具有重要参考价值。本文参考清式建筑中的榫卯节点做法,总结了传统木结构建筑中典型榫卯节点的形制特点,完成了各类榫卯节点参数化表征,并基于 Revit 平台建立了榫卯节点动态族库,实现了各式榫卯节点基于少量基本参数的快速建模及模型修改。相较于已有研究,本文总结的各式榫卯节点模数关系更加全面,所建立的榫卯节点参数化族库更加便于传统木结构的参数化设计。

1 传统木结构榫卯节点几何特性的参数化表征

1.1 传统木结构榫卯节点的主要分类

传统木结构建筑中榫卯节点的构造形态不仅

取决于榫卯节点的功能,还与构件位置、构件间的结合角度、结合方式以及木构件的安装顺序和安装方法等因素有关。其中榫卯节点按照功能,可以分为六大类^[18]:

① 固定垂直构件的榫卯节点:包括管脚榫、套顶榫、瓜柱柱脚半榫;

② 水平构件与垂直构件拉结相交使用的榫卯节点:包括馒头榫、燕尾榫、箍头榫、透榫、半榫;

③ 水平构件互交部位常用的榫卯节点:包括大头榫、十字刻半榫、十字卡腰榫;

④ 水平或倾斜构件重叠稳固所用的榫卯节点:包括栽销、穿销;

⑤ 用于水平或倾斜构件叠交或半叠交的榫卯节点:包括桁碗、卧梁阶梯榫、压掌榫;

⑥ 用于板缝拼接的榫卯节点:包括银锭扣、穿带、抄手带、裁口、龙凤榫。

根据榫卯节点在连接大木作时的使用频率及现有研究对各类榫卯节点的关注度,最终选取管脚榫、套顶榫、燕尾榫、箍头榫、透榫、半榫、十字刻半榫这七种榫卯节点进行研究。

1.2 典型榫卯节点的模数化特征

相较于宋式建筑的“随宜加減”,清式建筑的模数规定更加严格,且存在参考实例,因此本文选取清式建筑的榫卯节点进行参数化表征。榫卯节点的模数规定主要参考《工部工程做法则例》(以下简称《则例》)^[14]和《清工部〈工程做法则例〉图解》^[15],对《则例》中未详细说明的构造参数,则参考汤崇平先生根据北京地区清代官式木结构建筑编写的《中国传统建筑木作知识入门——木装修、榫卯、木材》^[19]。

1.2.1 管脚榫

根据《则例》中的记录,管脚榫“每柱径一尺,再加上下榫各长三寸”。同时结合工程实例,管脚榫榫头存在收溜,溜的尺寸取为榫根尺寸的 $1/10$ ^[19]。因此,本研究选取柱径(D)为关键参数,对管脚榫的几何特性进行参数化表征,其他参数包括:榫长(l)、榫根径(a)和收溜(p)。管脚榫各参数对照如图 1 所示,具体参数关系见表 1。

1.2.2 套顶榫

套顶榫榫头的长短通常取为柱子露明部分的 $1/4 \sim 1/5$,榫径约为柱径的 $1/2 \sim 4/5$ ^[20]。因此,本研

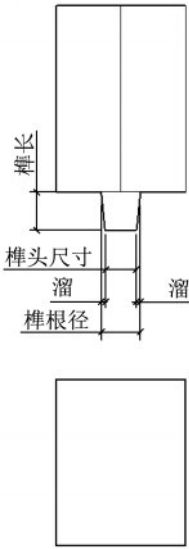


图1 管脚榫参数对照示意图

Fig.1 Schematic diagram of pinned tenon parameters

表1 管脚榫参数表

Table 1 Pinned tenon parameters table

参数	函数关系	参数类型
柱径(D)	—	关键参数
榫长(l)	$l = 3/10 \times D$	非关键参数
榫根径(a)	$a = 3/10 \times D$	非关键参数
收溜(p)	$p = 1/10 \times a$	非关键参数

究选取柱子露明部分长度(L)和柱径(D)为关键参数,对套顶榫的几何特性进行参数化表征,其他参数包括:榫长(l)和榫径(a)。套顶榫各参数对照如图2所示,具体参数关系见表2。

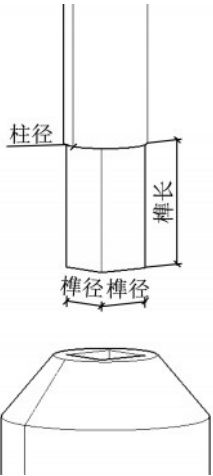


图2 套顶榫参数对照示意图

Fig.2 Schematic diagram of the top tenon parameters

1.2.3 燕尾榫

燕尾榫根部窄、端部宽的形状称为“乍”。根

表2 套顶榫参数表

Table 2 Top tenon parameters table

参数	函数关系	参数类型
柱径(D)	—	关键参数
柱露明长度(L)	—	关键参数
榫长(l)	$l = 1/4 \times L$	非关键参数
榫径(a)	$a = 2/3 \times D$	非关键参数

据《则例》中小额枋与金柱连接处的榫卯节点做法,燕尾榫“入榫分位亦按柱径四分之一,如柱径一尺五寸,得榫长各三寸七分五厘”,即燕尾榫榫长取1/4柱径,乍的尺寸可取为榫长的1/10。本研究选取柱径(D)、枋宽(B)及枋高(H)作为关键参数,对燕尾榫的几何特性进行参数化表征。燕尾榫的各参数对照如图3所示,具体参数关系见表3。

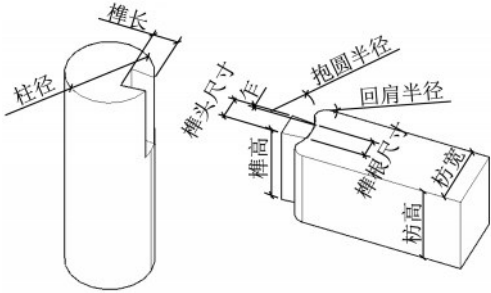


图3 燕尾榫参数对照示意图

Fig.3 Schematic diagram dovetail-tenon parameters

表3 燕尾榫参数表

Table 3 Dovetail-tenon parameters

参数	函数关系	参数类型
柱径(D)	—	关键参数
枋高(H)	—	关键参数
枋宽(B)	—	关键参数
榫头尺寸(A)	$A = 1/4 \times D$	非关键参数
榫根尺寸(a)	$a = 8/10 \times A$	非关键参数
乍(p)	$p = 1/10 \times A$	非关键参数
榫长(l)	$l = A$	非关键参数
榫高(h)	$h = H$	非关键参数
抱圆直径(d)	$d = D$	非关键参数
撞肩半径(r_1)	$r_1 = 1/6 \times B$	非关键参数
袖肩宽(b)	$b = 1/2 \times B - 3/25 \times D$	非关键参数
撞肩宽(b_1)	$b_1 = 1/3 \times b$	非关键参数
回肩宽(b_2)	$b_2 = 2/3 \times b$	非关键参数
回肩半径(r_2)	$r_2 = 2/3 \times b$	非关键参数

1.2.4 箍头榫

根据《则例》中的记录,箍头榫厚度规定为柱径的3/10,入榫一侧榫高取为枋高,出榫高度则取

枋高的 4/5。柱皮以外的箍头部分,为“出柱径外半分”,长度取为柱径的一半。本研究选取柱径(D)、山面枋宽(B_1)、枋高(H_1)、檐面枋宽(B_2)及枋高(H_2)作为关键参数,对箍头枋的几何特性进行参数化表征。箍头枋的各参数对照如图 4 所示,具体参数关系见表 4。

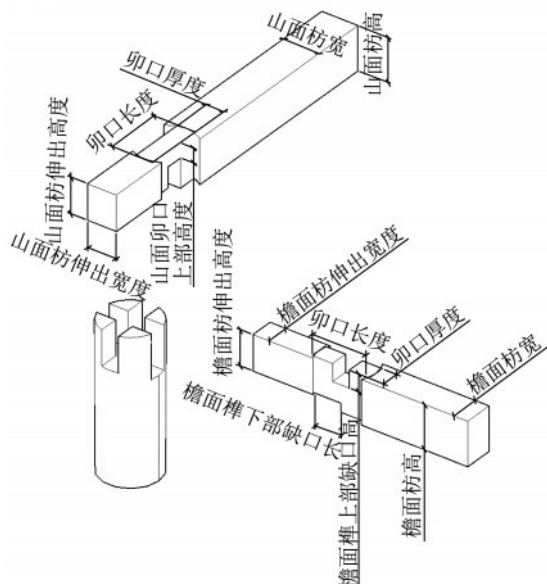


图 4 箍头枋参数对照示意图

Fig.4 Schematic diagram of collar tenon parameters

表 4 箍头枋参数表

Table 4 Table of collar tenon

参数	函数关系	参数类型
柱径(D)	—	关键参数
山面枋高(H_1)	—	关键参数
山面枋宽(B_1)	—	关键参数
檐面枋高(H_2)	—	关键参数
檐面枋宽(B_2)	—	关键参数
山面里口高(h_0)	$h_0 = H_1$	非关键参数
山面外口高(h_1)	$h_1 = 8/10 \times H_1$	非关键参数
山面枋上部高度(h_2)	$h_2 = 1/2 \times h_4$	非关键参数
山面枋上部长度(l_0)	$l_0 = b$	非关键参数
檐面里口高(h_3)	$h_3 = H_2$	非关键参数
檐面外口高(h_4)	$h_4 = 8/10 \times H_2$	非关键参数
檐面枋上部缺口高(h_5)	$h_5 = 1/2 \times h_4$	非关键参数
檐面枋上部缺口长(l_1)	$l_1 = b$	非关键参数
檐面枋下部缺口长(l_2)	$l_2 = 1/2 \times L$	非关键参数
卯口长度(L)	$L = D$	非关键参数
卯口厚度(b)	$b = 3/10 \times D$	非关键参数

1.2.5 透榫

根据《则例》中小额枋与檐柱连接处透榫的做法:“其廊子小额枋一头加柱径半分,又照本身之

高加半分得出榫分位。如本身高一尺,得出榫长五寸”。透榫的穿入部分高度取为枋高,穿出部分高度取枋高的一半。透榫的进榫部分从枋端延伸至半柱径处,半高的榫头穿出部分净长等于柱径,此时榫头由枋外皮向外伸出柱径长度的一半。榫厚通常取等于或略小于柱径的 3/10,并且需大于等于枋厚的 1/3,若无法同时满足,则根据具体情况酌情增减。出榫部分可根据建筑物不同的性质和用途,做成方头、三岔头或麻叶头状^[19]。本研究选取柱径(D)、枋宽(B)及枋高(H)作为关键参数,对方头透榫的几何特性进行参数化表征。透榫的各参数对照如图 5 所示,具体参数关系见表 5。

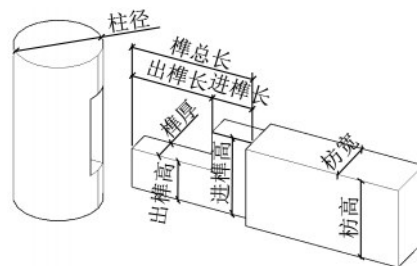


图 5 透榫参数对照示意图

Fig.5 Schematic diagram of through tenon parameters

表 5

透榫参数表

Table 5 Table of through tenon parameters

参数	函数关系	参数类型
柱径(D)	—	关键参数
枋高(H)	—	关键参数
枋宽(B)	—	关键参数
榫厚(b)	$b = 3/10 \times D$	非关键参数
进榫高(h_1)	$h_1 = H$	非关键参数
出榫高(l_1)	$l_1 = 1/2 \times H$	非关键参数
榫总长(h_2)	$h_2 = 3/2 \times D$	非关键参数
出榫长(l_2)	$l_2 = D$	非关键参数

1.2.6 半榫

半榫的做法与透榫相似,当柱两侧同时与枋进行连接时,要将半榫榫头做出等掌和压掌,以增加榫卯节点的接触面^[19]。入榫部分的初始高度取为枋高,当延伸至 1/3 柱径处时,将榫头尺寸改为 1/2 枋高,且继续向内延伸 1/3 柱径^[20]。另一侧的半榫按同样的做法,使两侧榫头上下搭接,横向贯通整个柱节点。本研究选取柱径(D)、枋宽(B)及枋高(H)作为关键参数,对半榫的几何特性进行参数化表征。半榫的各参数对照如图 6 所示,具体参数关系见表 6。

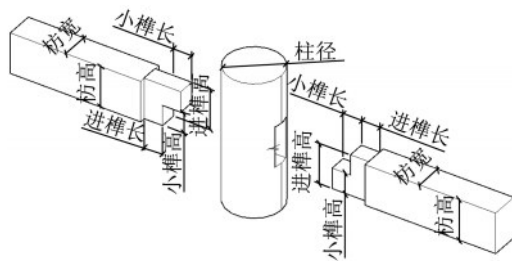


图6 半榫参数对照示意图

Fig.6 Schematic diagram of semi-tenon parameters

表6 半榫参数表
Table 6 Table of semi-tenon parameters

参数	函数关系	参数类型
柱径(D)	—	关键参数
枋高(H)	—	关键参数
枋宽(B)	—	关键参数
榫厚(b)	$b = 3/10 \times D$	非关键参数
进榫高(h_1)	$h_1 = H$	非关键参数
进榫长(l_1)	$l_1 = 1/3 \times D$	非关键参数
小榫高(h_2)	$h_2 = 1/2 \times H$	非关键参数
小榫长(l_2)	$l_2 = 1/3 \times D$	非关键参数

1.2.7 十字刻半榫

十字刻半榫的做法是按枋子本身宽度,将两块相交枋各刻去一半的厚度。刻掉上面一半的为等口,刻掉下面一半的为盖口。等口、盖口十字扣搭时要遵循“山面压檐面”的原则^[21]。在实际工程中,通常将刻口宽定为枋宽的4/5,剩余1/5宽度做成对称的隔角袖肩^[19]。本研究选取等口宽(B_1)、盖口宽(B_2)及枋高(H)作为关键参数,对十字刻半榫的几何特性进行参数化表征。十字刻半榫的各参数对照如图7所示,具体参数关系见表7。

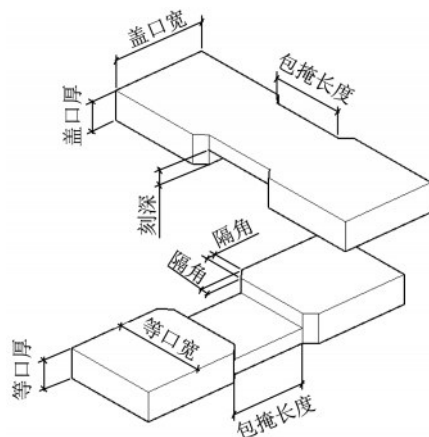


图7 十字刻半榫参数对照示意图

Fig.7 Schematic diagram of cross semi-tenon parameters

表7 十字刻半榫参数表
Table 7 Table of cross semi-tenon

参数	函数关系	参数类型
枋高(H)	—	关键参数
盖口宽(B_2)	—	关键参数
等口宽(B_1)	$b = B$	非关键参数
刻深(h)	$h = 1/2 \times D$	非关键参数
包掩长度(l)	$l = B - 2a$	非关键参数
隔角(a)	$a = 1/10 \times B$	非关键参数

2 基于 Revit 的榫卯节点参数化建模

BIM 技术通过一系列参数来表征对象的几何特征和非几何特征,建立具有拓扑关系的数字驱动型模型,传统木结构建筑的榫卯节点具有模数化特点,适于搭建参数化族库。本研究采用 Autodesk 公司开发的 Revit 软件,基于“公制常规模型族”创建榫卯节点参数化族库,通过 Revit 中的“实心拉伸”功能对实体构件和榫头部分进行建模,再通过“空心拉伸”形成卯口和其他镂空部位。

2.1 参数化榫卯节点族库的创建

在创建 Revit 族时,需要进行构件定位并指定构件的初始姿态。本研究中所创建的所有榫卯节点均通过参考点进行定位,定位点统一选择为“公制常规模型族”中默认的参照标高所在平面与左右中心平面、前后中心平面的交点。建模时以基准平面和定位点为基准,尽量保证模型规则对称,且与系统坐标系方向保持一致。以图8(f)半榫模型为例,创建梁柱截面时皆选取规则几何图形,采用圆柱方梁,以柱上下底面的中间面为基准平面,并使该基准平面与系统坐标系中的 xoy 平面重合,柱的沿伸方向与系统坐标系中的 z 轴重合,梁的沿伸方向则保持与 x 轴重合,使得梁端的进榫与出榫、柱上的卯口分别关于基准平面对称。选择该类建模方式更加便于后续的榫卯节点装配工作。

在建立原始族模型时,遵循“清式建筑”的尺寸规则,以斗口为度量单位,并规定斗口尺寸为 2.5 寸(相当于 8 cm)。柱参考带斗拱大式建筑木构件中的檐柱尺寸,取柱净高为 70 斗口(即 560 cm),取柱径为 6 斗口(即 48 cm)。枋的截面尺寸分别参照大额枋、穿插枋和平板枋,前两者用于半榫、透榫、燕尾榫和箍头榫,后者用于十字刻半榫。大

额枋枋高取 6.6 斗口 (即 52.8 cm), 枋厚取 5.4 斗口 (即 43.2 cm); 穿插枋枋高取 4 斗口 (即 32 cm), 枋厚取 3.2 斗口 (即 25.6 cm); 平板枋枋宽取 3.5 斗口 (即 28 厘米), 枋高取 2 斗口 (即 16 cm)^[18]。

各式榫卯节点的尺寸模数关系参考 1.2 节所述, 根据榫卯节点的实际功能和作用空间维度确定了模型的初始姿态, 创建的榫卯节点库模型如图 8 所示。



图 8 榫卯节点库模型示意图

Fig.8 Diagram of mortise and tenon library model

2.2 基于 Revit 的榫卯节点参数化建模插件开发

基于 Revit.API 平台进行二次开发, 可创建自定义插件实现参数化建模, 同时支持第三方应用连接外部数据库实现数据的转换与分析应用。因此, 本研究基于 Revit.API 平台开发榫卯节点参数化建模辅助程序, 通过结合 2.1 节中建立的榫卯节点参数化族库, 实现静态参数化模型的动态调用

和修改。

为实现交互式快速建模, 本研究基于 Visual Studio 2019 的 C#.NET Framework 模块辅助二次开发, 并结合 RevitSDK 组件创建用户自定义面板, 如图 9 所示。插件的具体开发流程如图 10 所示, 首先, 添加引用 RevitAPI.dll 和 RevitAPIUI.dll 文件来继承外部命令 (IExternalCommand) 和外部应用 (IExternalApplication) 接口; 外部命令采用

Execute 函数创建供 Revit 调用的程序接口,通过 RevitSDK 中应用类(Application 类)和文档类(Document 类)获取 Revit 模型数据,添加插件功能;外部应用通过 OnStartup 和 OnShutdown 函数分别创建 Revit 启动和关闭时的自定义功能,在 OnStartup 函数中,添加 Tab、Panel、Button 等命令,扩展 Revit 主程序功能区。

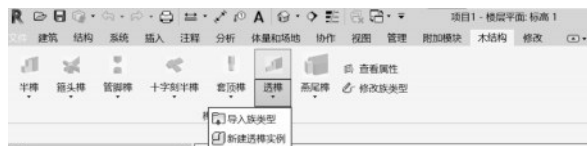


图9 榫卯节点参数化建模插件

Fig.9 Mortise and tenon parametric modeling plug-in

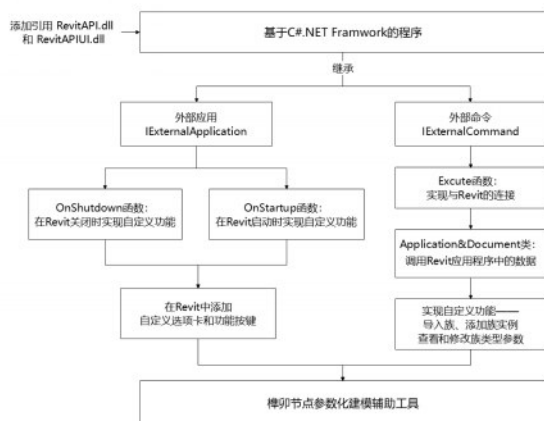


图 10 基于 C#.NET Framework 的 Revit 二次开发实现思路

Fig.10 Revit secondary development C# .NET Framework

本研究开发的参数化建模辅助程序可实现以下四种功能:导入榫卯节点族类型、新建族实例、查看和修改族类型参数。“导入榫卯节点族类型”模块以榫卯节点的原始静态族库为模板,遵循模板族中定义的几何尺寸模数关系,结合用户输入的构件信息生成新的榫卯节点族,并导入项目文件,如图 11 所示。“新建族实例”模块在“导入榫卯节点族类型”的基础上,使用项目文件中已有的自定义榫卯节点族,建立榫卯节点实体模型,如图 12 所示。“查看族类型参数”模块以表格形式展示实例对应的族类型参数,结合榫卯节点参数对照示意图,使用户获得更为详细、直观的榫卯节点几何信息,如图 13 所示。“修改族类型参数”模块能够对项目中存在的榫卯节点族类型进行编辑,通过调整榫卯节点的关键参数,获得新的族类型,实现项目文件中族

实例的统一修改,如图 14 所示。



图 11 透榫定义窗口

Fig.11 Through tenon definition window

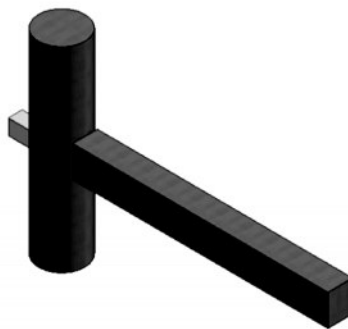


图 12 新建透榫实例

Fig.12 Creating a new through tenon instance

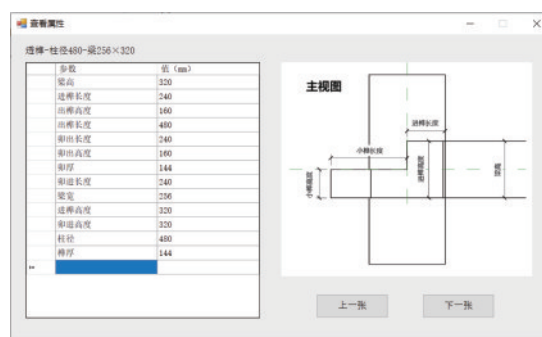


图 13 查看透榫属性

Fig.13 Viewing through tenon properties



图 14 修改透榫参数

Fig.14 Modifying through tenon parameters

3 结 论

本文总结了传统木结构建筑中典型榫卯节点的几何特征及其模数规律,建立了各式榫卯节点参数化模型,获取了榫卯节点的静态族库。同时,本研究基于 Revit API 平台完成了榫卯节点参数化建模插件的二次开发,该插件支持导入榫卯节点族类型、创建榫卯节点族实例、查看和修改族类型参数四项功能,使静态的榫卯节点族库能够被动态地调用和编辑。

本研究的榫卯节点参数化建模方法及 Revit 建模插件开发思路,可供其他木构件参数化建模参考,该成果可辅助传统木结构的正向建模技术,对现存传统木结构建筑的保护及新建传统木结构的参数化设计具有参考价值。

参 考 文 献

- [1] 侯艳芳,胡卫兵,杨佳.基于自相关峰值变化率的古木结构损伤识别[J].结构工程师,2020,36(3):48-55.
HOU Yanfang, HU Weibing, YANG Jia. Damage identification and location of ancient timber structure based on auto-correlation function peak change rate [J]. Structural Engineers, 2020, 36 (3) : 48-55. (in Chinese)
- [2] 周彬.赣西地区某历史会馆结构修缮设计及抗震性能分析[J].结构工程师,2024,40(5):178-187.
ZHOU Bin. Retrofit design and seismic performance analysis of a historic hall in west jiangxi province [J]. Structural Engineers, 2024, 40 (5) : 178-187. (in Chinese)
- [3] 王钟箐,路峻,吴启红.基于装配式的古建筑榫卯库的参数化构建[J].成都大学学报,2021,40(4):440-446.
WANG Zhongqing, LU Jun, WU Qihong. The parameterization design study of sunmao based on the assembly-type ancient architecture [J]. Journal of Chengdu University, 2021, 40 (4) : 440-446. (in Chinese)
- [4] 王钟箐,胡强,路峻.基于Dynamo可视化编程的攒尖亭参数化设计[J].西安建筑科技大学学报,2021,53(2):247-253.
WANG Zhongqing, HU Qiang, LU Jun. Parametric design of Cuanjian pavilion based on dynamo programming [J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology, 2021, 53 (2) : 247-253. (in Chinese)
- [5] CHUN Q, JIN H. Research on mechanical properties of dingtougong mortise-tenon joints of chinese traditional hall-style timber buildings built in the song and yuan dynasties [J]. International Journal of Architectural Heritage, 2020, 14(5), 729-750.
- [6] 李洁,王亮,张瑞强.基于Revit模型与清单映射的二次开发研究[J].北京建筑大学学报,2021,37(4):9-18.
LI Jie, WANG Liang, ZHANG Ruiqiang. Research on the secondary development based on Revit model and bill mapping [J]. Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2021, 37 (4) : 9-18. (in Chinese)
- [7] 郑茂,姚韡,周庆权.参数化模型在江苏省涟水市某钢结构住宅项目中的应用[J].建筑结构,2021,51(S2):1254-1257.
ZHENG Mao, YAO Wei, ZHOU Qingquan. Application of parametric modeling method in the steel structure in Lianshi City, Jiangsu Province [J]. Building Structure, 2021, 51(S2): 1254-1257. (in Chinese)
- [8] 王中毅,徐羿,张笛,等.单叶双曲面建筑的几何建构及参数化设计[J].土木建筑工程信息技术,2022,14(2):71-76.
WANG Zhongyi, XU Yi, ZHANG Di, et al. Geometric modeling and parametric design of one-sheet hyperboloid architecture [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2022, 14(2): 71-76. (in Chinese)
- [9] YOO B, YOON H, KIM Y, et al. Stepwise application of bim-based parametric modeling to tapered slip-form

- system[J].Procedia Engineering,2016,145:112-119.
- [10] PARK J.BIM-based parametric design methodology for modernized korean traditional buildings[J].Journal of Asian Architecture and Building Engineering,2011,10(2):327-334.
- [11] 毕天平,赵小伟.基于 Revit 的预制板 BIM 智能创建与拆分软件开发[J].结构工程师,2022,38(5):44-50.
- BI Tianping, ZHAO Xiaowei. Development of BIM intelligent creation and splitting software for precast slab based on Revit[J].Structural Engineers,2022,38(5):44-50.(in Chinese)
- [12] 杨晓慧,程峰,李金虎,等.基于 Revit 建立木结构古建筑构件参数化动态族库的方法研究[J].住宅与房地产,2021(34):96-97.
- YANG Xiaohui, CHENG Feng, LI Jinhu, et al. Research on the method of building parametric dynamic family library of wood structure ancient building components based on Revit[J].Housing and Real Estate,2021(34):96-97.(in Chinese)
- [13] 闫泽文,王子彦,闫伟文,等.基于 BIM 技术的古建筑典型构件参数化建模方法研究[J].武汉大学学报,2020,53(S1):323-329.
- YAN Zewen, WANG Zixiang, YAN Weiwen, et al. Research on parameterized modeling method of typical components of ancient architecture based on BIM technology[J].Journal of Wuhan University,2020,53(S1):323-329.(in Chinese)
- [14] 允礼(清).工程做法则例[M].清工部,1734.
- YUN Li. Standards of architecture engineering [M]. Qing Dynasty Ministry of Works,1734.(in Chinese)
- [15] 梁思成.清工部《工程做法则例》图解[M].北京:清华大学出版社,2006.
- LIANG Sicheng. Illustration of the Qing Dynasty Ministry of Works' "Examples of Engineering Practices" [M]. Beijing: Tsinghua University Press,2006.(in Chinese)
- [16] 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 Ru, SUN Weixin, ZHANG Xiang. Research on parametric information model of ancient buildings of Ming and Qing Dynasties [J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology (Natural Science Edition),2013,45(4):479-486.(in Chinese)
- [17] 李诫(宋).营造法式[M].上海:商务印书馆,1950.
- LI Jie. Ying Zao Fa Shi [M]. Shanghai: Commercial Press,1950.(in Chinese)
- [18] 马炳坚.中国古建筑木作营造技术[M].北京:科学出版社,2003.
- MA Bingjian. Woodwork construction technology of ancient architecture in China [M]. Beijing: Science Press,2003.(in Chinese)
- [19] 汤崇平.中国传统建筑木作知识入门,木装修、榫卯、木材[M].北京:化学工业出版社,2018.
- TANG Chongping. Introduction to Chinese traditional architecture woodwork, wood decoration, mortise and tenon, wood [M]. Beijing: Chemical Industry Publishing House,2018.(in Chinese)
- [20] 程万里,马炳坚.清式木构建筑的节点和榫卯[J].建筑技术,1981(3):58-64.
- CHENG Wanli, MA Bingjian. Joint and tenon and mortise of Qing style wooden architecture [J]. Architecture Technology,1981(3):58-64.(in Chinese)
- [21] 程万里.宋、清建筑特点对照[J].古建园林技术,1992(1):53-55.
- CHENG Wanli. Comparison of architectural features between Song Dynasty and Qing Dynasty [J]. Traditional Chinese Architecture and Gardens,1992(1):53-55.(in Chinese)