

现代红木家具中直角榫卯配合尺寸关系分析

李敏^{1, 2}, 吴智慧¹, 张继雷²

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 密西西比州立大学, 美国 MS 39759)

摘要: 对红木家具生产中的直角榫卯配合尺寸进行测量, 计算并发现直角榫卯三维结构的公差配合规律。实测结果显示, 红木家具构件直角榫公差配合关系中, 榫眼宽与榫头厚为过盈配合, 与 QB/T 4452-2013《木家具 极限与配合》要求略有差异, 分析产生差异的原因, 提出标准修改建议。

关键词: 红木家具; 直角; 榫卯接合; 公差配合

中图分类号: TS664.1 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2016) 04-0029-04

Tolerance and Fit of Rectangular Mortise and Tenon in Modern Hongmu Furniture Production

LI Min^{1, 2}, WU Zhi-hui¹, ZHANG Ji-lei²

(1. Nanjing Forestry University, College of Finishings and Industrial Design, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Mississippi State University, MS 39759, United State)

Abstract: The authors measured and analyzed three-dimensional sizes of rectangular mortise and tenon joints used in modern Hongmu furniture products. The main tolerance and fit rule for rectangular mortise and tenon joints was that tenon thickness and mortise width were interference fit, which was different from the specifications of Standard QB/T 4452-2013 for Wooden furniture-Limit and fit. Revising the above standard was proposed.

Key words: Hongmu furniture; rectangle; mortise and tenon joint; tolerance and fit

在现代红木家具生产制造过程中, 受机械化和大规模生产趋势影响, 零部件榫卯的加工正逐步由传统手工制作, 转变为半机械化加工^[1]。由于红木家具用材的特殊性和榫卯应用的多样性, 榫卯配合关系不完全同于普通实木家具, 生产加工还主要依赖于工人的经验, 尚未形成规范通用的标准。

以往关于榫卯的研究主要集中在结构强度、功

能设计等方面^[2-5], 针对榫卯尺寸的配合研究相对较少。在《木制家具制造工艺学》^[6]中, 列出了榫卯配合关系的技术要求, 以方形榫头为例, 榫卯公差配合关系研究主要包括: 榫眼深与榫头长、榫眼宽与榫头厚、榫眼长与榫头宽的配合。

笔者以取自某工厂的不贯通红木直角榫为例, 通过测量其三维尺寸数据, 分析总结其榫卯三维公差配合关系, 并与普通实木家具配合关系对比, 分析差异缘由, 对相关标准的修订提出意见。

1 材料与方法

红木家具生产中, 多数榫头端面为方形, 而榫眼为椭圆形, 且需涂胶装配。因为圆形钻头较方形

收稿日期: 2015-11-12; 修改日期: 2016-06-07

基金项目: 国家自然科学基金项目“古典木家具及木制品的修复机理与保护方法研究”(30972308); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

作者简介: 李敏(1987—), 女, 南京林业大学家居与工业设计学院/美国密西西比州立大学博士研究生。

责任作者: 吴智慧, 男, 南京林业大学家居与工业设计学院教授, 博士生导师。

钻头,更不易劈裂木材,且不易磨损,榫卯组装时可避免应力集中,故现行生产工艺,椭圆榫眼已逐步代替传统的直角榫眼。本研究以直角榫头和椭圆榫眼配合为研究对象。

1.1 试材

所选榫卯构件试件,均为常用榫卯尺寸,用材为大果紫檀(*Pterocarpus macarocarpus*)。干燥后含水率12%~14%。在生产过程中木料含水率变化微小,可忽略木材干缩湿胀对其尺寸的影响。

1.2 方法

榫卯三维尺寸测量和分析的步骤如下:

1) 随机从4个工位抽取四种不贯通直角榫构件(图1),每种构件选10个样件。设计尺寸范围:

榫头长(榫眼深)为17~30 mm;榫头厚(榫眼宽)为8~10 mm;榫头宽(榫眼长)为16~20 mm。

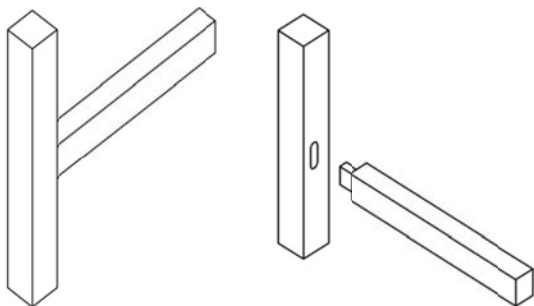


图1 不贯通直角榫构件

Fig.1 Blind rectangular mortise and tenon

2) 测量榫眼和榫头的三维尺寸(mm),每一维度在两端和中间共取三组数值(图2),记录数据。

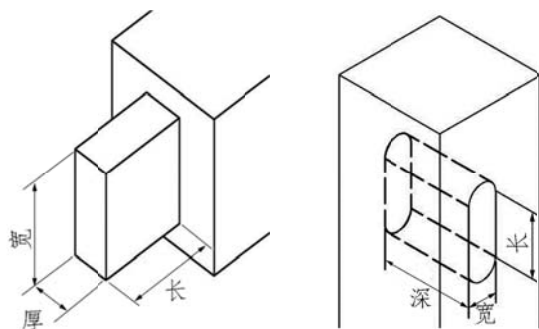


图2 直角榫三维测量图

Fig.2 Three-dimensional sketch of rectangular mortise and tenon

3) 数据输入 Excel,生成三维测量的平均值,对比设计尺寸,求出偏差。

4) 根据偏差数据,分析每种形式的配合关系。

在孔轴代号^[7]的基础上,对配合关系分析中涉及到公式和代号进行如下定义:

$$\Delta = T - M \quad (1)$$

$$\Delta_{\max} = T_{\max} - M_{\min} \quad (2)$$

$$\Delta_{\min} = T_{\min} - M_{\max} \quad (3)$$

$$D = (\Delta_{\min}, \Delta_{\max}) \quad (4)$$

其中: T 代表榫眼, M 代表榫头;

$\Delta/\Delta_{\max}/\Delta_{\min}$ 分别为: 公差/最大公差/最小公差,即榫头与榫眼上下极限尺寸之间的差值。

$T/T_{\max}/T_{\min}$ 分别为: 榫眼某维度尺寸/最大值/最小值;

$M/M_{\min}/M_{\max}$ 分别为: 榫头对应的某维度尺寸/最小值/最大值;

D 为公差带^[8],即最小公差与最大公差之间的区域。

配合关系为:

当 $\Delta_{\min} \geq 0$ 时, 间隙配合;

当 $\Delta_{\max} \leq 0$ 时, 过盈配合;

当 $\Delta_{\min} < 0$ 且 $\Delta_{\max} > 0$ 时, 过渡配合。

在过渡配合关系中,当 $1/2(\Delta_{\min} + \Delta_{\max}) > 0$ 时,配合关系为平均间隙,反之为平均过盈^[8]。

2 结果与分析

2.1 榫眼深与榫头长的配合

4 种直角榫构件的榫眼深与榫头长的测量尺寸及配合关系计算结果,列于表1。

表1 不贯通直角榫榫眼深与榫头长配合关系

Tab.1 Fitting relationship between rectangular tenon length and mortise depth

构件	设计尺寸/mm	榫眼深/mm		榫头长/mm		公差/mm		配合关系
		$T_{\max}$	$T_{\min}$	$M_{\max}$	$M_{\min}$	$\Delta_{\max}$	$\Delta_{\min}$	
1	28	29.80	27.89	28.89	27.51	2.29	-1.00	平均间隙配合
2	27	27.50	26.31	25.59	24.82	2.68	0.72	间隙配合
3	17	17.99	16.91	14.99	14.21	3.78	1.92	间隙配合
4	30	30.59	29.93	28.54	27.71	2.88	1.39	间隙配合
QB/T 4452-2013								无

QB/T 4452-2013《木家具 极限与配合》中没有列出相关要求。从表 1 数据得出,红木家具直角榫的榫头长一般小于榫眼深,平均配合关系为间隙配合,避免榫头干缩湿胀或加工不精确触及榫眼底部,形成榫肩与榫眼构件的间隙;同时,组装时施胶加以辅助固定,并填补榫眼底部的间隙空间。

2.2 榫眼宽与榫头厚的配合

4 种直角榫构件的榫眼宽与榫头厚的测量尺寸及配合关系计算结果,列于表 2。

表 2 直角榫榫眼宽与榫头厚配合关系
Tab.2 Fitting relationship between rectangular tenon thickness and mortise width

构件	设计尺寸/mm	榫眼宽/mm		榫头厚/mm		公差/mm		配合关系
		T _{max}	T _{min}	M _{max}	M _{min}	Δ _{max}	Δ _{min}	
1	8	7.98	7.73	8.11	8.03	-0.05	-0.38	过盈配合
2	10	9.81	9.30	10.19	9.53	0.28	-0.89	平均过渡配合
3	8	7.85	7.49	8.28	7.93	-0.08	-0.79	过盈配合
4	8	7.99	7.56	8.14	8.01	-0.02	-0.58	过盈配合
QB/T 4452-2013								过渡配合

从表 2 数据得出,红木家具直角榫的榫头厚一般大于榫眼宽,平均配合关系为过盈配合,与 QB/T 4452-2013 规定的实木制品榫卯配合的一般规律为过渡配合不一致。

这是由于红木家具木材纹理的特殊性,很少出现平行的竖直纹理,同时木材硬度大,当榫头厚略大于榫眼宽时,不仅不会造成榫眼长度方向的木纹劈裂,还可利用木材的韧性,加强榫卯接合的牢固性。但是过盈量需保证在榫头在进入榫眼过程中,不得使榫眼产生破坏为前提^[9]。

2.3 榫眼长与榫头宽的配合

4 种直角榫构件的榫眼长与榫头宽的测量尺寸及配合关系计算结果,列于表 3。

从表 3 数据得出,红木家具直角榫榫眼长与榫头宽的配合可能为间隙或者过盈,平均配合关系为过渡配合,与 QB/T 4452-2013 对实木家具的要求一致。由于木材密度越大,最佳过盈配合量越小^[10],同时榫眼顺纹方向为椭圆形,两端的弧面对过盈部分也有一定的容纳空间,不会造成劈裂。

表 3 直角榫榫眼长与榫头宽配合关系
Tab.3 Fitting relationships between rectangular tenon width and mortise length

构件	设计尺寸/mm	榫眼长/mm		榫头宽/mm		公差/mm		配合关系
		T _{max}	T _{min}	M _{max}	M _{min}	Δ _{max}	Δ _{min}	
1	28	28.95	28.32	28.63	28.16	0.79	-0.31	平均间隙配合
2	20	19.83	19.48	21.00	20.00	-0.17	-1.52	过盈配合
3	18	18.50	18.19	18.87	18.72	-0.22	-0.68	过盈配合
4	16	16.67	15.92	16.56	16.45	0.22	-0.64	平均过渡配合
QB/T 4452-2013								过渡配合

4 种直角榫的榫卯配合三维关系,汇总于表 4。

表 4 红木家具生产直角榫实际配合关系和配合公差
Tab.4 Fitting relationships and tolerance of rectangular mortise and tenon in Hongmu furniture production

构件编号	榫眼深/榫头长		榫眼宽/榫头厚		榫眼长/榫头宽	
	配合关系	公差带/mm	配合关系	公差带/mm	配合关系	公差带/mm
1	平均间隙	+2.29 -1.00	过盈	-0.05 -0.38	平均间隙	+0.79 -0.31
2	间隙	+2.68 +0.72	平均过盈	+0.28 -0.89	过盈	-0.17 -1.52
3	间隙	+3.78 +1.92	过盈	-0.08 -0.79	过盈	-0.22 -0.68
4	间隙	+2.88 +1.39	过盈	-0.02 -0.58	平均过盈	+0.22 -0.64

在实际生产中,红木家具直角榫三个维度的配合各不同,其中榫眼深与榫头长以间隙配合为主,榫眼宽与榫头厚以过盈配合为主,榫眼长与榫头宽以过渡配合为主。

本试验中,配合公差带波动范围偏大,其原因是生产中榫头和榫眼的加工属于粗加工,受表面粗糙度影响,加工精度难以保证,使得测量数据的波动性和误差加大。

3 结论与建议

1) 以工厂实际生产加工的红木直角榫为例,其三维配合关系为:榫眼深与榫头长以间隙配合,榫眼宽与榫头厚以过盈配合,榫眼长与榫头宽以过渡配合为主。

2) 本试验所取红木构件直角榫试样的配合关系, 与 QB/T 4452-2013《木家具 极限与配合》标准附录 C 规定存在差异, 现行标准没有考虑木材纹理特性和后续加工工序对榫卯尺寸的影响, 应对不同组装形式(拆装式, 固定式等)和不同特性的榫卯配合进行具体分析。如拆装式直角榫功能要求满足组装时自由拆卸, 故三维配合要求与固定式直角榫配合关系不同。

3) 建议在原有标准基础上, 根据木材的特性和榫卯组装工艺特点, 制定榫卯三维方向的配合关系和配合公差标准; 从最终成品组装的配合要求出发, 考虑后续加工工序对榫头尺寸的影响; 在现有加工和组装工艺条件下, 寻找榫卯最佳配比关系和配合公差, 并进行规范化, 使其既满足力学强度要求, 又能进行批量生产。

参考文献:

- [1] 李敏, 吴智慧, 毛轶超. 现代红木家具榫卯形式的研究[J]. 包装工程, 2015, 36 (04): 88-92.
- [2] 李吉庆, 张齐生, 陈孔辉. 竹集成材家具木圆榫接合强度的研究[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31 (6): 74-77.
- [3] 胡传双, 李重根, 李鹏等. 非胶合条件下松木直角榫卯接合的抗拉力[J]. 木材工业, 2007, 21 (4): 21-23.
- [4] 薛坤, 许柏鸣. 传统家具的拆装结构研究与现代设计应用[J]. 包装工程, 2012 (06): 57-60.
- [5] 王月磊. 从文化多元性的角度探讨中国传统家具的传承与发展[J]. 包装工程, 2011 (02): 127-130.
- [6] 吴智慧. 木质家具制造工艺学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 41-46.
- [7] 黄云清. 公差配合与测量技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 6-12.
- [8] 方坤凡. 公差与配合实用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 2-6.
- [9] 张立, 张亚池, 张帆. 实木框架家具力学结构分析方法[J]. 家具, 2010 (3): 90-91.
- [10] 钟世禄, 关惠元. 椭圆榫过盈配合量与木材密度的关系[J]. 林业科技开发, 2007, 21 (2): 57-59.

(责任编辑 向 琴)

(上接第 28 页)

参考文献:

- [1] 国家林业局. 第八次全国森林资源清查主要结果 (2009—2013 年) [R/OL]. 北京: 国家林业局, 2014. <http://www.forestry.gov.cn/main/65/content-659670.html>.
- [2] 联合国粮食及农业组织. 粮农组织林产品年鉴 2013[M]. 罗马: 联合国粮食及农业组织, 2015: 6.
- [3] 周奕景, 吕飞, 顾忠盈, 等. 我国口岸林木病害检疫现状分析与建议[J]. 植物检疫, 2015, 29(2): 72-74.
- [4] ISPM15, Regulation of Wood Packaging Material in International Trade (2009)[S].
- [5] USDA APHIS. 7 CFR Parts 300 and 319 [Docket No. 91-074-6] RIN 0579-AA47, Importation of logs, lumber, and other un-manufactured wood articles[J]. Rules and regulations, Federal register, 1995, 60(101): 27666-27667.
- [6] European Council. COUNCIL DIRECTIVE 2000/29/EC of 8 May 2000 on protective measures against the introduction into the Community of organisms harmful to plants or plant products and against their spread within the Community[J]. Official Journal of the European Communities, No. L169: 40-41.
- [7] Simpson W, Wang X P, Verrill S. Heat Sterilization Time of Ponderosa Pine and Douglas-Fir Boards and Square Timbers[R]. Madison: Forest Products Laboratory, USDA, 2003.
- [8] Simpson W. Estimating heating times of wood boards, square timbers, and logs in saturated steam by multiple regression[J]. Forest Products Journal, 2006, 56(7/8):26-28.

- [9] Simpson W, Wang X P, Forsman J, et al. Heat Sterilization Times of Five Hardwood Species[R]. Madison: Forest Products Laboratory, USDA, 2005.
- [10] Nzokou P, Tourtellot S, Kamdem D P. Kiln and microwave heat treatment of logs infested by the emerald ash borer (*Agrilus planipennis Fairmaire*) (Coleoptera: Buprestidae)[J]. Forest Products Journal, 2008, 58(7/8):68-72.
- [11] Dubey M K, Janowiak J, Mack R, et al. Comparative study of radio-frequency and microwave heating for phytosanitary treatment of wood[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2016, 74(4): 491-500.
- [12] Cai J, Ding T, Li T, et al. An investigation of drying technologies for small Masson pine logs[J]. Forest Products Journal, 2012, 62(5): 383-387.
- [13] Defo M, Brunette G A. A log drying model and its application to the simulation of the impact of bark loss[J]. Forest Products Journal, 2006, 56(5): 71-77.
- [14] USDA APHIS. An efficacy review of control measures for potential pests of imported Soviet timber[R]. Washington: Animal and Plant Health Inspection Service, USDA, 1991: 17-18
- [15] Simpson W. Heating times for round and rectangular cross sections of wood in steam[R]. Madison: Forest Products Laboratory, USDA, 2001.
- [16] MacLean J D. Average temperature and moisture-reduction calculation for steamed round southern-pine timbers[C]. Memphis: American Wood-Preservers' Association, 1936.

(责任编辑 姜 征、劳万里)

投稿、订阅请登录: mcgy.criwi.org.cn 微信公众号: [mucaigongye](https://www.mucaigongye.com)