

# 基于材份制的文物建筑测绘精度分析

白成军<sup>1、2</sup>, 吴 葱<sup>2</sup>, 狄亚静<sup>3</sup>

(1. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072; 2. 天津大学建筑学院, 文物建筑测绘研究国家文物局重点科研基地, 天津 300072; 3. 北京故宫博物院, 北京 100006)

**摘要:** 古建筑测绘研究领域长期存在“重测量方法、轻测量精度”思想, 给遗产保护和建筑研究带来诸多问题。以中国古代建筑营造的材份制思想为基本出发点, 探讨了古建筑测绘的需求层级, 在充分考虑古建筑施工和后续变形的基础上, 分析了材份制思想中蕴含的基本测量精度需求, 进一步阐述了古建筑测绘精度分级思想及精度指标体系的确定方法。

**关键词:** 材份制; 古建筑测绘; 精度分级; 精度指标

**中图分类号:** P204

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2015)04-0560-5

## Surveying and mapping of cultural relic building based on the material system accuracy analysis

BAI Chengjun<sup>1,2</sup>, WU Cong<sup>2</sup>, DI Yajing<sup>3</sup>

(1. Construction engineering college under the Tianjin university, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin university school of architecture, the state administration of cultural heritage building surveying and mapping of cultural relics research key research base, Tianjin 300072, China; 3. The Palace Museum in Beijing, Beijing 100006, China)

**Abstract:** Ancient architecture research field of surveying and mapping long-standing idea of “measuring method, measuring precision”, brings many problems for heritage protection and building research. Based on the materials of ancient Chinese architecture as the basic starting point, the paper discusses the demand level of ancient building surveying and mapping. On the basis of fully considering the construction of buildings and the subsequent deformation, the kinds of basic material of system thought, measuring precision demand were analyzed, by further elaborating the ancient building surveying and mapping precision classification thought and calculation method of precision index system.

**Key words:** material; ancient architectural structures; classification accuracy; precision index

中国古代传统的实用理性思想和“师徒相授、口口相传”的技艺传承方式<sup>[1]</sup>, 致现存典籍中关于古代工程营造技术的相关记载较少。遍布全国各地的大量古建筑, 它们的造型、结构手法及实测尺寸, 是研究中国古代建筑史和建筑理论的最重要实证资料。在古建筑保护中, 取得图纸是一项非常重要、刻不容缓的任务, 而古建筑测绘是完成这一任务必不可少的第一步, 是极其重要的基础工作。在摄影、文字记载等所有信息采集和表达方式中, 只有古建筑测绘及其成果可以准确反映建筑的尺度和它在结构上的科学比例关系<sup>[2]</sup>。

长期以来, 古建筑测绘研究领域存在“重测量方法、轻测量精度”的思想, 给基于古建筑测绘的遗产保护和建筑研究带来诸多问题。傅熹年院士在研究古代城市规划、建筑组群的设计方法时, 因为国内目前尚无按统一要求精测的古代建筑图纸和数据, 不得不声明他引用的数据有一定误差<sup>[3]</sup>。感慨于测绘成果资料层次不齐, 傅熹年先生曾向相关

部门发出呼吁: “应及时订立一套严格的、规范化的测绘要求, 以尽可能取得完整准确精密的图纸”<sup>[3]208</sup>。而著名古建筑专家陈明达先生一生致力于中国古代木结构技术研究, 成绩卓著, 但因缺乏精确的实测资料只完成了战国至北宋部分, 南宋以后的相关研究则未能完成<sup>[4]</sup>。

随着国家对文物建筑遗产保护工作力度的加大, 以测绘成果为基础的“文物四有”作为文物遗产保护的基本要求, 以三维激光扫描技术<sup>[5]</sup>、低空遥感技术为代表的测绘新技术在古建筑测绘中已经普遍应用, 这些因素导致古建筑测绘成果的生产速度比以往任何时候都要快。藉此, 基于古建筑的特点, 制定以精度指标为核心的、科学的古建筑测绘质量控制和评价标准是当前最紧迫的工作之一。

## 1 中国古代建筑的模数制特点

建筑上的模数制和定型化, 是中国古代建筑的一个最显著特点<sup>[6]</sup>。在现有典籍资料中, 宋《营造

法式》（简称法式）和清《工部工程作法》（简称做法）详细记载了中国古代建筑中采用的“材”及“斗口”这一材份制基本模数单位。

宋《营造法式》中载有“构屋之制，以材为祖。材有八等，度屋之大小因而用之。”、“各以其材之广，分为十五分，以十分为其厚。凡屋宇之高深，曲折举直之势，规矩绳墨之宜，皆以所用才之份，以为制度焉”<sup>[7]</sup>，结合《法式》中大量采用“尺、寸、分、厘”为基本度量单位对大木之外其它构件的描述，这些清楚说明：“材、份”是宋之前的古代人在建筑营造中采用的基本模数单位，“尺、寸、分、厘”是所采用的基本度量单位。对此，陈明达先生在大量研究的基础上指出“房屋建筑的一切制度，均以材为基本标准，以材为模数，份为分模。在一

座建筑中使用最多的构件截面恰恰是一材，而其它的构件是“材”或“份”的整数倍”<sup>[8]</sup>。古建筑专家王璞子先生亦指出：“凡建筑各部权衡比例，构件大小尺寸，割截卷杀分数，各有规定，利用材累高分作为度量标准单位”<sup>[9]</sup>。作为宋《营造法式》材份制规定进一步演化发展的成果，清《工部工程做法》详细记载了清代采用的“斗口”这一基本模数制单位。具体来讲就是：对于大木大式带斗科做法的建筑，采用斗口作为度量标准单位；大式不带斗科做法和小式大木及小木作则以檐柱径为据直接应用营造尺为度量标准单位<sup>[9][215]</sup>。显见，明清建筑营造中以“斗口”及营造尺之“尺、寸、分、厘”为基本度量单位。

表 1 宋代及清代材等基本度量单位对照表

Tab.1 Comparison of material, the basic unit of measure in the Song dynasty and the Qing dynasty												
宋代材等	一	二	三	四	五	六	七	八				
宋《法式》材高（尺）	0.6	0.55	0.5	0.48	0.44	0.4	0.35	0.3				
清代材等	一	二	三			四	五	六	七	八	九	十
清《做法》斗口（尺）	0.6	0.55	0.5			0.45	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15
基本度量单位（1 份/0.1 斗口）/寸	0.6	0.55	0.5	0.48	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
基本度量单位营造尺折算长度/mm	19.2	17.6	16.0	15.36	14.4	12.8	11.2	9.6	8.0	6.4	4.8	3.2

比较宋《营造法式》之“材分八等”及清工部《工程做法》之“十一等斗口份数”（如表 1 中）可以看出：如不考虑《营造法式》之四等材，则清工部《工程做法》之一等材至七等材和《营造法式》之一至八等材是一一对应的；清工部《工程做法》中凡是采用“斗口”作为度量单位的构件，都以“0.1 斗口”作为最小度量单位，“斗口”恰恰等同于《营造法式》之“材厚”（即十份）；两者均以“份”为基本度量单位，并且除去《营造法式》三、四等材之间，其它各材等均以“0.05 尺”（即 5 分）为差数。如以 32 cm 作为营造尺长度，考虑《法式》四等材的情况下，各材等基本度量单位营造尺折算长度之间的差数最小为 0.64 mm；不考虑《法式》之四等材，各材等基本度量单位营造尺折算长度之间的差数为 1.6 mm。

另外，《营造法式》作者李诫在书的序言中指出“臣考究经史群书，并勒人匠逐一讲说，…”，陈明达先生在测绘研究现存唐宋（辽）古建筑的基础上亦指出：“材份制的使用，是一个由来已久的制度，是工匠世代相传、不断改革的成果总结”<sup>[10]</sup>。

2 古建筑测绘精度需求分析

2.1 测绘精度确定的一般性原则

在国家相关测绘规范、规程的制定过程中，无

论是通用性的《工程测量规范》<sup>[11]</sup>，还是专门性的《建筑变形测量规程》<sup>[14]</sup>，都把“技术先进、经济合理、安全适用、确保质量”作为测绘方法选择和测量精度确定的通用性原则。在这一以“安全适用”为核心的原则中，要求测绘中选用的测量方法和精度指标满足测绘目的所确定的测绘需求，同时“留有余量”以实现“精度储备”。古建筑测绘的精度确定也应遵循“安全适用”原则，既要“够用”，又要避免过分追求高精度造成“浪费”。

2.2 古建筑测绘成果需求层级分析

精度需求取决于测绘目的，讨论古建逐测绘的精度，首先要弄清古建筑测绘的目的。对此，已故古建筑专家罗哲文先生将古建筑测绘的目的分为“形成科学记录档案”、“修缮设计、施工的基础图纸资料”及“研究中国建筑史和建筑理论的基础资料”<sup>[2][234]</sup>三个层次，据此将古建筑测绘分为“大修工程前的测量”、“取得科学记录档案资料的测量”及“粗略测量”<sup>[2][330]</sup>。古建专家王其亨教授在《古建筑测绘》一书中将测绘目的分为“探求建筑的初始状态，为建筑构造做法和设计原理研究提供资料的典型测绘”、“为建立科学记录档案的全面测绘”和“为建筑普查的简略测绘”<sup>[13]</sup>。此外，还有学者将古建筑测绘目的分为“探究古建筑的内在规律”和“获得古建筑现存状况”<sup>[18]</sup>。综合上述，古建

筑测绘成果应该分别满足下述四个层级的需求：一是文物建筑普查的需求；二是建筑理论研究的需求；三是古建筑维修设计、施工对图纸的需求；四是建立科学记录档案的需求。四个需求层级对测绘成果的准确度、精细度要求逐级增高。其中，为建立科学记录档案所进行的测绘，其测绘精度及测绘精细程度最高，测绘图纸也是最全面的。《全国重点文物保护单位记录档案工作规范（试行）》对此作出了详细规定：建筑图纸应该包括建筑群体总平面图、单体平面图、立面图、剖面图、结构图、节点大样图等，图纸应由受过专业训练的技术人员按照国家相关标准绘制<sup>[15]</sup>。

### 2.3 基于不同需求的古建筑测绘精度分析

根据文中古建筑模数制特点分析，如测绘以进行建筑布局分析、建筑基本形制分析等大尺度分析研究为目的，为体现木建筑构件的材等差异，在考虑和不考虑法式四等材的情况下，测绘的精细程度应分别达到 0.64 mm 及 1.6 mm。以五等材为例，测量的容许误差分别为 0.64(1.6)/14.4=1/22(1/9)。精度需求最高的一等材建筑，构件测量的容许相对误差为 0.64/19.2=1/30；精度需求最低的十一等材建筑，构件测量的容许相对误差为 0.64/3.2=1/5。在不知道建筑具体材份制的情况下，为揭示建筑的材份制特点，只能选用精度最高的测量等级。

当然，上述分析是一种理想状态，实测的木构件尺寸中还包括了构件的制作、安装误差及经年累月的变形值。这些因素是否已经打破了已有的材份制规律呢？在缺乏详细记录的情况下，这些误差的实际值无法确知，但根据新建木构建筑的质量评定标准可以窥其端倪。在《古建筑修建工程质量检验评定标准》中，对木构建筑加工制作、安装的控制标准做了较详细规定，如表 2 及表 3<sup>[16]</sup>。表中可以看出：构件制作的最低精度为 1/30。古建筑（构件）的变形误差包括构件自身的干缩变形和木构件在空间内的位置变化。前一个方面影响到单个构件的尺寸，后一个方面影响到建筑面阔、进深、高度等整体性尺寸。构件的空间位置变形应通过考察地基下沉、卵樨压实、梁枋弯曲、倾斜等现象确定，而干缩变形取决于木材的干缩率特性。对于一般的木材，湿材自然风干的顺纹方向干缩率（纵向）约为 0.1%，径向干缩率约为 3~6%，弦向干缩率约为 6~12%<sup>[17]</sup>。将上述木材的干缩率套用梁、柱，大木构件的长向干缩变形值为长度的 0.1%，高、厚方向干缩变形值为相应尺寸的 3~12%。实际上，构

件制作前木材总是要经过干燥处理，构件的干缩变形值要远远小于利用木材干缩率计算出的变形值。

表 2 建筑木构件制作容许误差

Tab.2 Allowable error in building wooden parts production

构件名称	梁	柱	枋	檩	椽
长	±1/2 000	±1/1 000	无规定	无规定	无规定
高	-1/30	±1/50	±1/60	±1/50	±1/30
宽	±1/30	±1/50	±1/30		

通过上述分析，结合古建筑测绘需求层次可以明显看出：相对误差 1/30 是古建筑材份制特点对测量提出的最低精度要求，长向精度 1/2 000、短向精度 1/30 是客观反映古建筑存在状态的最基本要求。

表 3 建筑木构件安装容许误差

Tab.3 Building wooden erection tolerance

部位	规定容许误差
面阔	面宽的±1.5/1 000
进深	进深的±1.5/1 000
檩平直度	3 mm
梁柱中线对准	8 mm（五间或建筑的一面）

## 3 文物建筑测绘分级方法及相应精度指标体系确定

当然，古建筑测量不仅仅是木构件的测量，也不仅仅是某个单体建筑的测量，还包括总平面、剖面、立面图等反映构件及建筑空间关系的测绘。随着测量和制图技术的发展，可以采用的测量绘图方法是多种多样的，需要制定一套通用、可行的精度指标体系。借助于国家文物局指南针专项研究的支持，参照我国已有相关规范及《英格兰遗产建筑测量规范》（作者译）<sup>[18]</sup>，基于中国古代建筑的模数制特点，在对古建筑测绘按照需求进行精度分级的基础上，确定了相应的精度指标体系，具体情况如下。

### 3.1 基本分级思想

文物建筑测绘的重点是建筑单体测绘，单体测绘中包含了详细的建筑单体平面图，总图只需反映单体建筑之间以及单体建筑与周围环境间的关系。同时古建筑测绘中总图测绘范围不大，一般选用相对固定比例尺（如 1: 500 比例尺）绘图。考虑到上述因素，古建筑测绘总图测绘精度应采用同一精度级别。

当前，文物建筑保护的观念及实际保护方式已经上升到了以变形监测为核心的健康监测和预警之前置保护高度，文物建筑变形监测是文物建筑测绘的重要组成部分，监测精度高于其它内容的测绘，故将文物建筑变形监测确定为“特级”，以体现“特”字。在此基础上，依据建筑单体测绘需求层级分析，

将文物建筑测绘数据精度由高到低分为特级、一级、二级和三级. 特级适用于文物建筑变形监测; 一级限定为极其重要的文物建筑测绘; 二级适用于以建立文物建筑科学档案记录为目的的测绘或重要文物建筑测绘; 三级适用于以进行建筑布局分析、建筑基本形制分析等大尺度分析研究为目的测绘, 或建筑普查测绘, 或一般文物建筑的测绘.

文物变形监测精度取决于文物建筑的结构形式、变形速率、扰动情况、破坏限值等因素, 很难以一概之, 未对文物建筑测绘之特级作相应精度指标规定. 对文物进行变形监测时, 依据监测对象的变形速率、变形破坏容许值、监测周期等确定变形监测精度, 依据变形监测精度选用合适的监测方法.

3.2 总图测量精度指标体系

文物建筑总图测量精度的衡量, 参照专业测量规范总所习用的做法, 以点位中误差作为精度衡量指标. 用于总图测绘的平面控制测量, 根据选用的测量方法依照国家相关测绘规范执行, 但严格规定图根平面控制点点位中误差不大于相应比例尺图上 0.1 mm 所代表的实际长度, 图根高程控制点高程中误差不大于相应比例尺基本等高距之 1/10. 碎部点平面测量精度不大于相应比例尺之图上 0.3 mm, 高程测量精度不大于相应比例尺之基本等高距之 1/3. 各常用比例尺图测绘精度指标见表 4 及表 5 中.

表 4 图根控制测量精度对照表  
Tab.4 Figure root control accuracy of measurement table

总图比例	基本等高距/m	图根点点位中误差/mm	图根高程中误差/mm
1: 500	0.5	±50	±50
1: 300	0.2	±30	±20
1: 200	0.1	±20	±10

表 5. 碎部点测量精度对照表  
Tab.5 Detail point measurement precision table

总图比例	基本等高距/m	图根点点位中误差/mm	图根高程中误差/mm
1: 500	0.5	±150	±150
1: 300	0.2	±90	±60
1: 200	0.1	±60	±30

3.3 单体建筑测量精度指标体系

古建筑自身特殊的点、线、面、体为古建筑测绘提供了测绘必需的基准, 同时起到了控制测量误差积累的作用. 测量这些点、线、面、体的工作可以称为单体建筑控制测量. 相对于这些特殊的点、线、面、体, 能够直接详细描述建筑风格、形态、式样的点、线、面、体的测量称为单体建筑碎部测

量. 单体建筑碎部测量中的测量尺寸又分为通尺寸、结构尺寸和细小尺寸. 为此, 古建筑测绘单体建筑测量精度宜按照表 6 及表 7 之规定实施.

表 6 测绘精度指标  
Tab.6 Surveying and mapping precision index

等 级	单体建筑控制测量精度指标		单体建筑碎部测量精度指标			
	图根点平面点位中误差	图根点高程中误差	通尺寸	结构性构件		细小构件
				长向	短向	
一级	图上 0.1mm	$\frac{1}{10}K$	1/3 000	1/2 000	1/60	±3mm
二级	图上 0.2mm	$\frac{1}{5}K$	1/2 000	1/1 000	1/50	±5mm
三级	图上 0.2mm	$\frac{1}{5}K$	1/1 000	1/500	1/30	±8mm

注: K 是高中误差系数, 与比例尺相关, 参见表 7

表 7 测绘精度指标对照表  
Tab.7 Surveying and mapping precision index cross-references

		一级		二、三级	
单体建筑常用 成图比例尺	基本等高距/m	图根点平面点位中误差	图根点高程点位中误差	图根点平面点位中误差	图根点高程中误差
1: 100	0.1	±10mm	±10mm	±20mm	±20mm
1: 50	0.05	±5mm	±5mm	±10mm	±10mm
1: 20	0.02	±2mm	±2mm	±5mm	±5mm

注: 其他比例选择表中相近比例尺指标

参考测量精度确定的传统方法, 依据人眼的实际分辨能力将图根点平面点位置精度确定为图上 0.1 mm. 二级及三级中细部尺寸测量精度指标不同, 但两种级别测绘中图根控制测量精度指标相同, 这样规定考虑到既体现了精度分级, 又保证了作为测绘基准的控制测量精度. 细小尺寸精度指标的确定主要参照了《古建筑修建工程质量评定标准》中“梁类构件制作的容许偏差”的相关规定, 同时依据测绘精度分级之测绘目的作适当调整, 以保证“不遗漏文物建筑信息、同时兼顾还原建筑历史风格”的原则, 同时兼顾了现有的测量技术手段实现的可行性. 采用直接或间接测量长度绘制图纸是文物建筑测绘习惯采用的方法, 考虑到实际可操作性, 细部测量的精度应以相对误差的形式给出. 如果采用单点或面式数据采集方式, 可将精度衡量的相对误差指标作相应变换.

4 结 论

(1)基于材分的模数制反映了中国木构古建筑构件尺寸所具有的规律性. 在根据测绘层级需求确定古建筑测绘精度时, 应基于这种规律性, 充分考虑古建筑本身所携带的、不可忽视的施工误差和长

期变形累积。

(2)在利用测绘成果进行古建筑相关研究时,应剔除包含在测量数据中的施工误差和变形累积,还原模数制的本来面目。

(3)古建筑保护对古建筑测绘的需求是多样化的。同一需求下测绘的精度要求也不尽相同。充分调查研究细分不同的需求及所对应的测量精度将是个长期的工程,也是推动文物建筑测绘规范化进程的基础工作。

## 参考文献 References

- [1] 白成军, 王其亨. 宋《营造法式》测量技术探析[J]. 天津大学学报, 2012(5):415.  
BAI Chengjun, WANG Jiheng. Song "create a French" measurement technology analysis [J]. Journal of tianjin university, 2012 (5) : 415.
- [2] 罗哲文. 中国古代建筑[M]. 上海: 上海古籍出版社, 2001: 323.  
LUO Zhewen. Ancient Chinese architecture [M]. Shanghai: Shanghai ancient books publishing house, 2001:323.
- [3] 傅熹年. 关于唐宋时期建筑物平面尺度用“分”还是用尺来表示的问题[J]. 古建园林技术, 2004(3):34.  
FU Xinian. About the tang and song dynasties plane scale building use a "points" or a ruler to show the problem [J]. J hexiang garden technology, 2004 (3) : 34.
- [4] 陈明达. 中国古代木结构建筑技术(战国至北宋)[M]. 北京: 文物出版社, 1990: 2.  
CHEN Mingda. Ancient wooden structure and technology of China (the warring states period to the northern song dynasty) [M]. Beijing: the cultural relics publishing house, 1990:2.
- [5] 白成军, 吴葱. 文物建筑测绘中三维激光扫描技术的核心问题研究[J]. 测绘通报, 2012(1):36.  
BAI Chengjun, WU Cong. Building surveying and mapping of cultural relics in the core issue of 3 d laser scanning technology research [J]. Bulletin of surveying and mapping, 2012 (1) : 36.
- [6] 马炳坚. 中国古建筑木作营造技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003:8.  
MA Bingjian. Chinese ancient wooden building technology [M]. Beijing: science press, 2003:8.
- [7] [宋]李诫. 营造法式[M]. 邹其昌点校, 北京: 人民出版社, 2006: 19、324、416.
- [8] LIE Jie. Create a French [M]. Zou Jichang proofreading, Beijing: people's publishing house, 2006, 19, 324, 416.  
陈明达. 中国古代木结构建筑技术(战国至北宋)[M]. 北京: 文物出版社, 1990:2.  
WANG Puzi. Catalpa industry set-Wang Puzi proceedings of construction [M]. Beijing: the Forbidden City publishing house, 2007:212.
- [9] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 《工程测量规范》(GB 50026-2007) [M]. 北京: 中国计划出版社, 2008: 1.  
The ministry of construction of the People's Republic of China, the state administration of quality supervision, inspection and quarantine of the People's Republic of China. "engineering measurement standard" (GB 50026-2007) [M]. Beijing: China planning press, 2008:1.
- [10] 中华人民共和国建设部. 《建筑变形测量规范》(JGJ 8-2007) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 1.  
The ministry of construction of the People's Republic of China. The building deformation measurement specifications "(JGJ 8-2007) [M]. Beijing: China building industry press, 2007:1.
- [11] 王其亨, 吴葱, 白成军. 古建筑测绘[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006: 52.  
WANG Jiheng, WU Cong, BAI Chengjun. Ancient building surveying and mapping [M]. Beijing: China building industry press, 2006-52.
- [12] 张荣, 刘畅, 臧春雨. 佛光寺东大殿实测数据解读[J]. 故宫博物院院刊, 2007(2):50.  
ZHANG Rong, LIU Chang. Buddha temple, the east hall measured data interpretation [J]. Proceedings of the national Palace Museum, 2007 (2) : 50.
- [13] <http://www.wenwuchina.com/news/list7/detail37/1918.html>.
- [14] 中华人民共和国建设部. 《古建筑修建工程质量检验评定标准》(CJJ 39-91) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991: 29-45.  
The ministry of construction of the People's Republic of China. The ancient building construction engineering quality test assessment standard "(CJJ 39-91) [M]. Beijing: China building industry press, 1991:29-45.
- [15] 高建民. 木材干燥学[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 20.  
GAO Jianmin. wood drying learning [M]. Beijing: science press, 2008:20.
- [16] PAUL Bryan, BILL Blake, JON Bedford. Metric survey specifications for cultural heritage[M]. English Heritage, 2009.

(编辑 吴海西)