

# 古建筑木结构安全性能检测项目和抽样方法探讨

刘 佳<sup>1</sup> 申克常<sup>1</sup> 刘 骁<sup>2</sup> 巴合卓力·克孜尔开勒迪<sup>1</sup> 姬中良<sup>1</sup>

(1. 中国建筑标准设计研究院有限公司, 北京, 100048;

2. 中核工程咨询有限公司, 北京, 100000)

**摘要** 本文探讨了古建筑木结构安全性能检测项目和抽样方法, 对古建筑木结构安全性能检测的检测目的、检测内容和项目、古建筑木结构的现状分级及检测类别划分、抽样方案等问题进行了分析探讨, 分析提出了古建筑木结构检测类别划分方法、抽样方案和检测批划分的原则以及不同检测类别检测批的最小样本容量要求等, 为科学、合理制定古建筑木结构检测方案并有效实施提供了参考。

**关键词** 安全性能检测 现状分级 检测类别划分 检测批划分

## 引言

基于古建筑木结构宝贵的文物价值, 在古建筑木结构检测中应采取最小干预的保护原则, 抽样检测数量应在满足要求前提下尽可能少并优先采用无损或微损方法。历经数百年甚至上千年的古建筑木结构在饱经地震、火灾、洪水等灾害侵蚀和人为破坏后又屡次修缮加固, 其结构现存内容及其目前的工作状态等方面往往较为复杂, 导致在现场检测时不可避免地要加大抽样数量。如何采用科学、合理的抽样方法, 确定最佳抽样数量, 既要满足安全性能和检测精度要求, 又要避免对古建筑本体造成不必要的损伤, 一直是古建筑木结构安全性能抽样检测方面存在的难题。鉴于以上这些方面与近现代的既有建筑存在很大的不同, 古建筑木结构安全性能检测的目的、内容、项目及抽样方法与一般的既有建筑也有所不同。

本文对古建筑木结构安全性能检测的检测目的、检测内容和项目、古建筑木结构的现状分级及检测类别划分、抽样方法等问题进行了分析探讨。

## 1 检测目的

与新建工程通过随机抽样进行实体结构检测并确认其施工质量是否满足设计和验收标准的要求不同, 既有建筑结构检测主要是面向结构性能鉴定, 通过检测获取结构承载力分析与构造鉴定所需的结构体系与结构布置、结构和构件的变形与缺陷损伤、构件材料强度和截面尺寸以及连接构造等

参数，最终给出结构安全性与抗震能力是否满足要求的鉴定结论。

由于古建筑保护的重要性，当古建筑木结构遇到结构安全性鉴定、建筑抗震性能鉴定、拟进行结构改造或使用功能改变以及大修等情况时，应进行结构检测与检查，通过检测为安全性评价提供计算参数和可靠依据。此外，对于毗邻的建设工程施工或周边环境改变，影响古建筑使用和结构安全性与抗震性能、结构整体出现地基不均匀沉降引起的明显变形与损伤以及木构件出现明显变形与腐朽、虫蛀、裂缝等损伤情况时，也应进行木结构检测。

古建筑木结构使用了数百年甚至上千年，其现场检查与检测属于掌握结构变形与损伤现状和结构性能参数的环节。只有切实掌握古建筑的实际情况，才能准确找出存在的问题和薄弱环节以及损伤的原因，正确评价结构安全性与抗震性能，并得出需要加固的范围等处理建议。因此，古建筑木结构检测是结构安全性与抗震鉴定中非常重要的基础工作之一，是搞好结构安全性和抗震性能鉴定的重要环节。

## 2 检测内容和项目

古建筑木结构检测的内容和项目应依据被测古建筑的现状并满足结构安全性评价所需的技术参数确定，主要应包括古建筑木结构的场地和地基基础（台基）、结构布置与构造、结构与构件几何尺寸、外观和内部缺陷与损伤、木材的树种和强度或弹性模量检测、结构整体与构件变形以及围护结构等项目。

### 2.1 初步查勘内容

古建筑木结构使用超载、装修变动结构主体、周围地下施工以及维护不到位等，可能出现结构安全和适用性的问题，木结构存在的缺陷与损伤、结构构件过大的变形、地基不均匀沉降等问题均会暴露出来。只有对所检测古建筑进行初步查勘以后，才能进行检测分类和进一步确定检测的目的、内容、重点、检测批的划分、抽样数量和所采用的检测方法，提出有针对性的检测方案。

在深入检测之前，应对所检测的古建筑进行初步查勘，包括建筑物使用条件、使用环境和工作现状。应采取收集图纸资料和现场查勘的方法进行。收集图纸资料可以大体了解需要检测古建筑的结构类型、建造年代、结构体系及构造、木构件材料性能等，以及建筑物资料的完整性。使用条件和环境的调查与检查则包括结构上的作用、建筑所处环境与使用历史情况等。

现场查看可了解结构的损伤现状，有无地基不均匀沉降、结构损伤及损伤的部位、程度，结构有无进行过改造，使用功能有无改变等。

### 2.2 现状调查与检测项目

对场地与地基基础（台基）、上部承重结构和围护结构三个部分在内的古建筑木结构现状的调查与检测，是在初步查勘基础上的深入工作。

#### 2.2.1 场地与地基基础（台基）的现状调查与检测项目

古建筑地基的岩土工程勘察资料是了解古建筑所处地下岩土工程情况的最好途径，但由于建

造年代久远以及建造时还缺乏勘察的手段等，资料一般是没有的。对于地基所处场地比较平坦情况时，也可通过查阅古建筑场地周边的岩土工程勘察报告以及有关图纸资料作为参考。

勘察古建筑实际使用荷载、沉降量、沉降稳定情况、沉降差、上部结构倾斜、扭曲、裂缝、地下室和管线状况。若地基资料不全，对于不增加过多荷载情况下的修缮，可根据地基不均匀沉降在上部结构中的反应进行评估。当不存在地基不均匀沉降时，可认为地基基础满足承担上部结构荷载的要求。当存在明显的地基不均匀沉降或地基变形比较大或需要增加荷载时，宜对场地地基进行近位勘察。地基变形有继续发展情况时，应进行沉降观测。

对于基础（台基）类型及其材料性能，宜首先通过查阅图纸资料确定。当资料不全或有疑问时，可开挖探坑进行检测，检测内容应包括基础（台基）类型、尺寸、埋深、材料强度、变位和损伤情况等。

2.2.2 上部承重结构的现状调查与检测项目

上部承重结构主要包括木柱、大梁（桷）组成的木构架和大梁（桷）以上的瓜柱、梁、枋、檩等构件组成的木屋架，其现状调查与检测内容如下：

- 1）结构体系及其整体性的调查与检测，应包括结构平面布置、竖向承重构件布置、木结构承重梁或屋架布置形式、木柱承台设置、木构架间纵向连系、木结构与围护结构间的连系构造等。
- 2）结构构件及其连接的调查与检测，应包括结构构件的材料强度、几何参数、木柱与梁、木构架与屋架间的连接形式等。
- 3）结构构件缺陷、变形与损伤状况的调查与检测，应包括木材木节、斜纹、扭纹、裂缝、构件尺寸偏差、构件及其连接变形、榫卯节点拔榫以及木材的虫蛀、腐朽、空洞、碳化等。
- 4）结构位移和变形的调查与检测，应包括结构顶点和层间位移、受弯构件的挠度与侧弯、木柱的侧倾等。

2.2.3 围护结构的现状调查与检测项目

围护结构主要包括围护砖墙和由椽条、苫背、望板、屋面瓦等组成的屋面围护结构，其现状调查与检测，应在查阅资料和普查基础上，针对不同围护结构的特点，对墙体和屋面围护结构及其与主体结构的连接、围护墙体的歪闪、屋面的塌陷和渗漏等进行检测。

3 现状分级与检测类别划分

3.1 现状分级

所检测古建筑的地基基础（台基）、上部承重结构和围护结构的状况可基本反映出结构体系与结构布置的合理性、古建筑是否存在地基不均匀沉降、结构构件是否存在过大变形以及裂缝等损伤。对所检测古建筑的现状进行分类，有助于现场检测的针对性和抽样的合理性，一般情况下可将古建筑木结构的现状分为良好、一般和较差三种级别。各级别的分级标准见表1。

| 表1 古建筑木结构的现状 |                                                                                                                        |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 现状级别         | 分级标准                                                                                                                   |
| 良好           | 结构体系与构件布置合理，结构整体性和构造及连接良好，地基无明显变形和不均匀沉降，结构构件和围护结构构件无裂缝和损伤                                                              |
| 一般           | 结构体系与构件布置基本合理，结构整体性或构造及连接有局部缺陷，地基无明显变形和不均匀沉降，结构构件无影响安全的损伤，建筑围护结构构件存在不影响安全的裂缝                                           |
| 较差           | 结构体系与构件布置不合理，或结构整体性有缺陷、连接方式不合理，或构造有严重缺陷，或节点连接处存在明显松弛变形、滑移、沿剪切面开裂等损伤，或地基有明显变形或不均匀沉降，或结构构件存在影响其承载力的损伤，或建筑围护结构构件存在影响安全的裂缝 |

3.2 检测类别划分

对古建筑木结构的检测类别进行划分的目的是使结构检测项目和抽样符合结构实际和更加科学合理。影响古建筑木结构检测类别划分的因素主要有资料完整性情况、建筑物状况和建筑物功能的重要性等。有效图纸资料情况和建筑物状况类别是主要影响结构检测分类的关键因素，没有有效的建筑结构图纸或图纸资料不全或与实际不符合，其结构检测应是对所有结构参数的全面检测，应能满足建立结构分析模型的深度要求；结构现状损伤表明结构存在可能或已经影响结构安全方面的问题，应通过仔细检测为找出损伤的原因提供可靠的数据。

因此，根据所检测古建筑木结构的重要性（文物建筑的级别）、资料提供情况、建筑物状况和所在的抗震设防烈度区，将检测类别分为Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类，主要是体现现场检测和鉴定区别对待的原则。各检测类别的分类标准见表2。

| 表2 古建筑木结构的检测类别 |                                                                                                                                                                                 |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 检测类别           | 分类标准                                                                                                                                                                            |
| Ⅰ              | 不属于国家级、省级和市级文物的古建筑木结构，能提供符合现状且有效、完整的图纸资料，建筑物状况良好，所在抗震设防烈度区为6度、7度区                                                                                                               |
| Ⅱ              | 不属于国家级、省级和市级文物的古建筑木结构，能提供符合现状且有效、完整的图纸资料，建筑物状况良好，所在抗震设防烈度区为8度、9度区；或能提供符合现状且有效、完整的图纸资料，建筑物状况一般或较差；或不能提供符合现状且有效、完整的图纸资料，建筑物状况良好属于国家级、省级和市级文物的古建筑木结构，能提供符合现状且有效、完整的图纸资料，建筑物状况良好或一般 |
| Ⅲ              | 不属于国家级、省级和市级文物的古建筑木结构，缺少完整的符合现状的图纸资料且建筑物现状一般或较差<br>属于国家级和省级文物的古建筑木结构，能提供符合现状且有效、完整的图纸资料但建筑物状况较差，或不能提供符合现状有效、完整的图纸资料                                                             |

4 抽 样 方 法

4.1 选择合适的抽样方案

古建筑木结构检测的抽样方法是为结构鉴定提供可靠的结构参数服务的，其现场检测的抽样方案主要可分为全数检测或按检测批进行的抽样检测两类。

古建筑木结构安全性能检测，应在外观缺陷或表面损伤普查即全数检测的基础上，选取对结构安全性影响较大以及出现明显损伤的构件和连接进行抽样。其检测应按主要构件、一般构件和关



键部位等合理划分检测批并进行抽样，木柱、梁、枋宜为主要构件，木檩和木椽、望板宜为一般构件，木结构连接节点、斗拱宜为关键部位。

当遇到外观缺陷或表面损伤普查，或受检范围较小或构件数量较少，或检验指标或参数变异性大或构件状况差异较大，或灾害发生后对结构受损情况的外观识别，以及委托方要求进行全数检测等情况时宜采用全数检测方式。

对古建筑木结构抽样检测并不过分强调随机抽样，检测批的划分也不必过分强调按楼层划分，而是强调对重要楼层、主要构件、关键部位进行重点抽样。重要楼层是结构安全性和抗震性能影响大的楼层（一般为底层），关键部位是节点和构件间连接等易发生明显变形或损伤的部位。重点抽样应在最小样本容量要求的基础上，根据实际状况采取加严抽样方案。对于一般楼层和一般构件可采用一般的抽样方案，对于非结构构件则可采用放宽的抽样方案等，而不是一味强调随机抽样。

此外，抽样检测宜重点关注以下构件或部位：

1) 被墙体包裹构件，未被墙体遮挡但长期不见阳光的构件，通风效果较差、存在渗漏和受潮现象的构件。

2) 底层木柱根部、主要的承重梁和枋。

3) 存在腐朽、虫蛀或蚁蚀等菌虫危害区域的构件。

4) 受力集中的构件或部位（包括承重木柱的根部、主要承重大梁的梁端和跨中等部位）。

对于古建筑木结构检测中的结构与构件几何尺寸检测，不是判定结构与构件几何尺寸的施工质量，而是通过对结构与构件几何尺寸的检测，给出古建筑木结构进行安全性评价时的结构与构件的几何参数取值。因此，对每个楼层、每类构件几何尺寸检测，可按跨度、开间相同或截面相近的构件划分检测批。抽样结果的分析是应用统计的方法给出所检测结构与构件几何参数的概率统计特征（平均值、方差和变异系数）和相应的取值，即所谓的计数抽样。

对于其他方面的检测，如地基与基础（台基）、木构件内部缺陷与损伤、木材的树种、强度或弹性模量等，应在普查的基础上按楼层、构件类别等合理划分检测批并进行抽样检测，属于计量抽样。

## 4.2 不同检测类别检测批的最小样本容量要求

古建筑木结构安全性能检测应选取对结构安全影响较大的构件及其连接节点和损伤的部位进行抽样。抽样检测应体现图纸资料与现状损伤的差异，不同古建筑木结构检测类别的构件抽样检测类别和最小样本容量可按以下方案调整。当按该方案进行抽样检测时，应先统计各检测批的容量，再根据以下方案确定合理的抽样检测类别及样本最小容量，检测批的最小样本容量不宜小于表3的限定值。

1) 对于检测类别为Ⅰ类的古建筑木结构，宜适当减少现场检测抽样数量，并可按表3的A类抽取；当实际检测结果符合图纸资料要求，但存在结构体系或构造上的缺陷时，宜按Ⅱ类古建筑木结构要求进行补充抽样。

2) 对于检测类别为Ⅱ类的古建筑木结构，其主要构件和关键部位宜按表3的B类抽取，一般构件可按表3的A类抽取；当Ⅱ类古建筑木结构检测结果存在比较严重的问题时，宜按Ⅲ类古建筑木结构要求进行补充抽样。

3) 对于检测类别为Ⅲ类的古建筑木结构，其主要构件和关键部位宜按表3的C类抽取，一般构

件可按表3的B类抽取。

4) 抽样检测的对象和部位应具有代表性, 当采用局部破损检测方法时, 宜选择构件受力较小的部位取样。

表3 古建筑木结构抽样检测的最小样本容量

| 检测批的容量  | 抽样检测类别和样本最小容量 |    |    | 检测批的容量     | 抽样检测类别和样本最小容量 |    |     |
|---------|---------------|----|----|------------|---------------|----|-----|
|         | A             | B  | C  |            | A             | B  | C   |
| 3 ~ 8   | 2             | 2  | 3  | 91 ~ 150   | 8             | 20 | 32  |
| 9 ~ 15  | 2             | 3  | 5  | 151 ~ 280  | 13            | 32 | 50  |
| 16 ~ 25 | 3             | 5  | 8  | 281 ~ 500  | 20            | 50 | 80  |
| 26 ~ 50 | 5             | 8  | 13 | 501 ~ 1200 | 32            | 80 | 125 |
| 51 ~ 90 | 5             | 13 | 20 | —          | —             | —  | —   |

注: 抽样检测类别A适用于结构性能验证性检测, 抽样检测类别B适用于结构性能的检测, 抽样检测类别C适用于结构性能的严格检测。

结 语

古建筑木结构安全性能检测的主要目的是为结构安全性与抗震性能鉴定提供准确可靠的计算参数。因此研究古建筑木结构安全性能的检测项目和抽样方法以及检测批划分的基本原则等, 对于提高古建筑木结构的安全水平和抗灾能力, 延续人类宝贵的文化遗产有着非常重要的意义。本文通过分析提出了古建筑木结构检测类别划分方法、抽样方案和检测批划分的原则以及不同检测类别检测批的最小样本容量要求等, 为科学、合理制定古建筑木结构检测方案并有效实施提供了有益参考。