



# 中华人民共和国林业行业标准

LY/T 2146—2024

代替LY/T 2146—2013

## 古建筑木构件的非破坏性检测 方法及腐朽分级

Non-destructive testing method and defects classification for wooden  
components of ancient buildings

2024-02-07发布

2024-06-02实施

国家林业和草原局 发布  
中国标准出版社 出版

目 次

前言 .....III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 工具和仪器 .....2

5 检测方法及适用范围 ..... 2

    5.1 目测、锥扎和敲击 ..... 2

    5.2 皮罗钉探针检测法 .....2

    5.3 阻力仪检测法 ..... 3

    5.4 应力波检测法 ..... 3

    5.5 检测方法综合应用 ..... 3

6 计算 .....4

    6.1 皮罗钉探针打入深度增加率 ..... 4

    6.2 阻力仪阻力值降低率 .....4

    6.3 应力波检测缺陷率 .....4

7 木构件缺陷分级 ..... 4

附录A（资料性）古建筑木构件缺陷状况检测记录表 ..... 7

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替LY/T 2146—2013《古建筑木构件的非破坏性检测方法及腐朽分级》，与LY/T 2146—2013相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“应力波检测”术语和定义(见3.5)；
- b) 更改了“仪器和设备”为“工具和仪器”(见第4章，2013年版的5)；
- c) 更改了“探针检测仪”为“皮罗钉探针检测仪”(见4.3, 2013年版的5.2)；
- d) 增加了“应力波检测仪”及参数要求(见4.5)；
- e) 增加了“木材含水率快速检测仪”及参数要求(见4.7)；
- f) 删除了“生长锥”(见2013年版的5.4)；
- g) 更改了“检测程序”为“检测方法及适用范围”(见第5章，2013年版的第6章)；
- h) 增加了“应力波检测法”及相关适用范围和检测过程(见5.4)；
- i) 删除了“生长锥检测”(见2013年版的6.2.2)；
- j) 增加了“应力波检测缺陷率”计算(见6.3)；
- k) 增加了木构件腐朽分级的状态描述的量化指标(见表1, 2013年版的表1)；
- l) 增加了“木构件虫蛀分级”及状态描述和量化指标(见表2)；
- m) 更改了木材缺陷的皮罗钉探针检测分级描述(见表3, 2013年版的表2)；
- n) 更改了木材缺陷的阻力仪检测分级描述(见表4, 2013年版的表3)；
- o) 增加了“木构件缺陷程度的应力波检测分级”(见7.5)；
- p) 增加了“同一部位或同一木构件的缺陷分级依据上述所有检测结果综合判定”(见7.6)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国家林业和草原局提出。

本文件由全国木材标准化技术委员会(SAC/TC 41)归口。

本文件起草单位：中国林业科学研究院木材工业研究所、广州市白云文物保护工程有限公司、江苏慧典新材有限公司、成都文物考古研究院、北京林业大学、中国文物保护基金会、西安交通大学、西安建筑科技大学、中冶建筑研究总院有限公司、山东建筑大学。

本文件主要起草人：马星霞、黄荣凤、安鑫、王晓欢、陈晓宁、陈粤、张育栋、李锦文、张厚江、杨淑燕、谢启芳、张文革、葛浙东、张斌、王双永、方旋、王艳华。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2013年首次发布为LY/T 2146—2013；

——本次为第一次修订。

# 古建筑木构件非破坏性检测 方法及腐朽分级

## 1 范围

本文件规定了古建筑木构件非破坏性检测的检测方法及适用范围、结果计算和木构件缺陷分级。本文件适用于古建筑木构件缺陷状况检测和缺陷分级，现代建筑木构件缺陷检测可参照本文件。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 14019—2009 木材防腐术语

GB/T 28990—2012 古建筑木构件内部腐朽与弹性模量应力波无损检测规程

GB 50005—2017 木结构设计规范

## 3 术语和定义

GB/T 14019—2009、GB/T 28990—2012和 GB 50005—2017界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**木构件** **wooden components**

木结构建筑中可划分为最基本单位的木质件。

### 3.2

**非破坏性检测** **non-destructive testing**

在不破坏木材原有特性、受力状况和最终用途的情况下，对木材内部的腐朽、缺陷及物理力学性能的检测。

### 3.3

**探针检测** **pin penetration testing**

在固定力作用下，将皮罗钉等微型探针打入木材内部，根据进针深度的变化判断木材缺陷程度的一种非破坏性检测方法。

注：检测结果采用相对值表示，即用缺陷部位木材的打入深度相对于无疵部位木材打入深度变化的百分比表示。

### 3.4

**阻力仪检测** **resistance testing**

将阻力仪微型探针钻入木材内部，根据探针前进时所遇到的阻力，判断木材的密度及内部腐朽、开裂、结疤等缺陷的一种非破坏性检测方法。

注：检测结果采用相对值表示，即用缺陷木材的阻力值相对于无疵木材阻力值变化的百分比表示。

### 3.5

#### 应力波检测 stress wave testing

采用应力波检测仪,在不破坏木材的前提下,使木材产生应力波并在木材内部传播,通过测定应力波的传播时间,经波速计算评估或进行矩阵变换和图像重构后,以二维图像直观显示木材内部缺陷情况的测定方法。

## 4 工具和仪器

4.1 锥子:长为200 mm~300 mm。

4.2 锤子:橡胶锤或木锤。

4.3 皮罗钉探针检测仪:钢针直径 $\leq 2.5$  mm,检测深度 $\leq 40$  mm。

4.4 阻力仪:探针轴直径 $\leq 1.5$  mm,探针针头直径 $\leq 3$  mm,检测深度 $\leq 1000$  mm。

4.5 应力波检测仪:仪器测定记录时间至少为微秒( $\mu$ s)级。

4.6 卷尺:长为2m~10m,分度值为1 mm。

4.7 木材含水率快速测定仪:接触式,精度 $\pm 1\%$ 。

4.8 记号笔或粉笔。

## 5 检测方法及适用范围

### 5.1 目测、锥扎和敲击

#### 5.1.1 适用范围

适用于表层和浅层缺陷,通过目测和简易工具。表层指径向深度 $\leq 3$  mm,或深度占构件深度 $\leq 3\%$ ;浅层指径向深度约为3 mm~15 mm,或深度占构件深度 $\leq 10\%$ 。

#### 5.1.2 检测过程

##### 5.1.2.1 目测

肉眼观察木构件的外部是否有腐朽、虫眼、裂纹等缺陷。

##### 5.1.2.2 锥扎

对有腐朽和密集虫蛀迹象的部位用锥扎初步检测缺陷深度,测量缺陷部位,按照表1、表2对腐朽和虫蛀进行初步缺陷分级和记录,测量并记录裂纹宽度、长度和深度。

##### 5.1.2.3 敲击

用锤子轻轻敲击木构件(梁、柱等),初步判断其内部是否存在空洞等缺陷,如有明显的空鼓音则后续选择合适的仪器重点检测。

##### 5.1.2.4 木构件含水率测定

测定木构件含水率,记录在附录A的表A.1中。对缺陷部位拍照,记录检测时间。

### 5.2 皮罗钉探针检测法

#### 5.2.1 适用范围

适用于距离表面不大于40 mm深度的木材缺陷检测。

5.2.2 检测过程

用皮罗钉探针检测仪对同一木构件在缺陷和无疵部位，分别进行同一平面方向检测，同一部位按实际缺陷状况设置不少于3个检测点，将检测结果记录在表A.1 中，根据6.1计算。

5.3 阻力仪检测法

5.3.1 适用范围

适用于距离表面大于40 mm 深度的木材缺陷检测，最大检测深度不大于1000 mm。

5.3.2 检测过程

5.3.2.1 将阻力仪垂直于木材表面钻入，自动记录检测结果并打印或传输检测结果图谱。根据6.2计算阻力值降低率。

5.3.2.2 对非接触地面的木构件，在目视、敲击判断有缺陷的情况下，应从有缺陷的部位开始，向长度方向的两侧每隔500 mm 设置1个检测部位，每个部位至少从2个方向检测，直至检测到阻力值未见明显降低区域为止。

5.3.2.3 对接触地面的木构件，应进行内部缺陷检测。检测应从距离地面高200 mm 开始，检测部位的纵向间隔应小于500 mm，每个部位至少从2个方向检测，直至检测到阻力值未见明显降低区域为止。

5.3.2.4 对于目测或轻微锥扎(敲击)有明显缺陷的区域，应在该区域适当增加检测点，确定缺陷区域。

5.4 应力波检测法

5.4.1 木材横向应力波检测法

参照GB/T 28990—2012进行。

5.4.2 木材二维图像应力波检测法

5.4.2.1 适用范围

适用于目测敲击等有明显缺陷，但无法判断缺陷区域和程度的大木构件的检测。

5.4.2.2 检测过程

5.4.2.2.1 选定木构件待测面，测量并记录待测面尺寸及检测位置。

5.4.2.2.2 将传感器均匀间隔布置在待测面上，用橡胶锤将传感器钉入木构件，确保每个传感器间连接良好，打开系统附带成像软件，测量并录入传感器之间的距离，传感器布设避开缺陷部位。

5.4.2.2.3 用钢锤逐个均匀力度轻轻敲击传感器震动销，每个敲击3次~5次，软件接收各位置点之间的声波传播时间，并根据距离自动换算传播速度，经过成像，生成木构件断面二维图像。根据6.3计算应力波检测缺陷率。

5.4.2.2.4 对于目测或轻微锥扎(敲击)有明显缺陷的区域，应在该区域适当增加检测面数量，确定木构件缺陷区域。

5.5 检测方法综合应用

木构件内部不同深度的缺陷状况应综合采用上述方法进行检测和判断。

## 6 计算

### 6.1 皮罗钉探针打入深度增加率

根据无疵木材部位的皮罗钉探针打入深度和缺陷部位的皮罗钉探针打入深度，计算打入深度增加率，按式(1)计算，精确到0.1%。

$$P = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

P ——皮罗钉探针打入深度增加率；

L<sub>0</sub> ——无疵部位的探针打入深度，单位为毫米(mm)；

L<sub>1</sub> ——缺陷部位的探针打入深度，单位为毫米(mm)。

### 6.2 阻力仪阻力值降低率

根据无疵木材部位的平均阻力值和缺陷部位的平均阻力值计算阻力值降低率，按式(2)计算，精确到0.1%。

$$R = \frac{r_0 - r_1}{r_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R ——阻力值降低率，%；

r<sub>0</sub> ——无疵部位的平均阻力值；

r<sub>1</sub> ——缺陷部位的平均阻力值。

### 6.3 应力波检测缺陷率

#### 6.3.1 木材横向应力波检测缺陷率

参照GB/T 28990—2012进行计算。

#### 6.3.2 木材二维图像应力波检测缺陷率

在生成的木构件被侧面二维图像上，通过软件计算，将开裂、空洞、腐朽等缺陷面积进行叠加，得到S<sub>1</sub>，与被侧面面积S。相比计算应力波检测缺陷率，按式(3)计算，精确到0.1%。

$$S = \frac{S_1}{S_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S ——应力波检测缺陷率，%；

S<sub>1</sub> ——被侧面所有缺陷面积之和，单位为平方米(m<sup>2</sup>)；

S<sub>a</sub> ——被侧面面积，单位为平方米(m<sup>2</sup>)。

## 7 木构件缺陷分级

### 7.1 木构件腐朽程度的分级按表1的规定执行。

表 1 木构件腐朽分级

| 腐朽等级 | 状态及描述                                                                    |
|------|--------------------------------------------------------------------------|
| 0    | 材质完好。肉眼观察或轻微锥扎(敲击)后未发现腐朽现象                                               |
| 1    | 轻微腐朽。肉眼观察或轻微锥扎(敲击)后发现表层腐朽，或腐朽深度占木构件厚度的3%以内，且腐朽面积不超过木构件表面面积的10%           |
| 2    | 明显腐朽。肉眼观察或轻微锥扎(敲击)后发现浅层腐朽，或腐朽深度占木构件厚度的3%~5%以内，且腐朽面积达到木构件表面面积的10%以上和30%以下 |
| 3    | 严重腐朽。肉眼观察或轻微锥扎(敲击)后发现深层腐朽，或腐朽面积达到木构件的30%以上和60%以下                         |
| 4    | 损毁腐朽。肉眼观察或轻微锥扎(敲击)后发现深层腐朽，或腐朽面积达到构件的60%以上，已失去其结构性作用                      |

7.2 木构件虫蛀程度分级按表2的规定执行。

表 2 木构件虫蛀分级

| 虫蛀等级 | 状态及描述                                      |
|------|--------------------------------------------|
| 0    | 材质完好。肉眼观察无虫蛀现象                             |
| 1    | 轻微虫蛀。木构件表面面积50%以上可见虫眼≤3个，木材表层仅有不相连贯的简短蛀道   |
| 2    | 明显虫蛀。木构件表面面积50%以上可见虫眼4个~5个，木材仅表层内蛀道相连      |
| 3    | 严重虫蛀。木构件表面面积50%以上可见虫眼6个~10个，木材浅层内蛀道交叉相连    |
| 4    | 损毁虫蛀。表面虫眼密布，木材深层蛀道交错相连，整个木构件成蜂窝状，已失去其结构性作用 |

7.3 木构件缺陷程度的皮罗钉探针检测分级按表3的规定执行。

表 3 木构件缺陷的皮罗钉探针检测分级

| 缺陷等级 | 皮罗钉探针打人深度增加率/%   |
|------|------------------|
| 0    | 0                |
| 1    | $0 < P \leq 24$  |
| 2    | $24 < P \leq 60$ |
| 3    | $60 < P \leq 90$ |
| 4    | $P > 90$         |

7.4 木构件缺陷程度的阻力仪检测分级按表4的规定执行。



表 4 木材缺陷的阻力仪检测分级

| 缺陷等级 | 阻力仪阻力值降低率/%      |
|------|------------------|
| 0    | 0                |
| 1    | $0 < R \leq 15$  |
| 2    | $15 < R \leq 25$ |
| 3    | $25 < R \leq 35$ |
| 4    | $R > 35$         |

7.5 木构件缺陷程度的应力波检测分级

- 7.5.1 木构件缺陷程度的横向应力波检测分级参照GB/T 28990—2012进行。
- 7.5.2 木构件缺陷程度的二维图像应力波检测分级按表5的规定执行。

表 5 木构件缺陷的二维图像应力波检测分级

| 缺陷等级 | 应力波检测缺陷率/%       |
|------|------------------|
| 0    | 0                |
| 1    | $0 < S \leq 10$  |
| 2    | $10 < S \leq 30$ |
| 3    | $30 < S \leq 60$ |
| 4    | $S > 60$         |

7.6 同一部位或同一木构件的缺陷分级依据上述所有检测结果综合判定。

附录 A  
(资料性)  
古建筑木构件缺陷状况检测记录表

古建筑木构件缺陷状况检测记录见表A. 1。

表 A.1 古建筑木构件缺陷状况检测记录表

1. 古建筑名称：\_\_\_\_\_ 2. 地点：\_\_\_\_\_

3. 检测时间：\_\_\_\_\_ 4. 检测人：\_\_\_\_\_ 5. 记录人：\_\_\_\_\_

| 木构件名称 | 木构件编号 | 直径<br>长×宽<br>×厚<br>mm | 木构件含水率<br>% | 裂纹有无、大小及分布情况 | 检测部位<br>(距地面或端头)<br>mm | 缺陷范围     |          | 皮罗钉探针打入深度<br>mm |   |   | 阻力值<br>记录<br>编号 | 应力波<br>检测<br>编号 | 照相<br>时间<br>s |
|-------|-------|-----------------------|-------------|--------------|------------------------|----------|----------|-----------------|---|---|-----------------|-----------------|---------------|
|       |       |                       |             |              |                        | 长度<br>mm | 宽度<br>mm | 1               | 2 | 3 |                 |                 |               |
|       |       |                       |             |              |                        |          |          |                 |   |   |                 |                 |               |
|       |       |                       |             |              |                        |          |          |                 |   |   |                 |                 |               |
|       |       |                       |             |              |                        |          |          |                 |   |   |                 |                 |               |
|       |       |                       |             |              |                        |          |          |                 |   |   |                 |                 |               |
|       |       |                       |             |              |                        |          |          |                 |   |   |                 |                 |               |
|       |       |                       |             |              |                        |          |          |                 |   |   |                 |                 |               |
|       |       |                       |             |              |                        |          |          |                 |   |   |                 |                 |               |

