



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

古建筑结构监测系统设计标准

Standard for structural monitoring system design
for ancient buildings

征求意见稿

*****出版社

中国工程建设标准化协会标准

古建筑结构监测系统设计标准

Standard for structural monitoring system design
for ancient buildings

T/CECS XXX-202X

主编单位：北京交通大学
陕西省建筑科学研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会
施行日期：202X 年 X 月 X 日

*****出版社
202X 北 京

目 次

前 言	III
1 范 围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	3
4 基本规定	5
4.1 系统设计原则	5
4.2 系统设计流程	5
4.3 监测内容	6
4.4 系统构成	9
5 传感器选型与布置设计	11
5.1 一般规定	11
5.2 环境监测传感器选型与性能要求	11
5.3 结构响应监测传感器选型与性能要求	15
5.4 环境监测点布设要求与传感器安装方法	17
5.5 结构响应监测点布设要求与传感器安装方法	19
6 数据采集与传输设计	22
6.1 一般规定	22
6.2 数据采集	22
6.3 数据传输	24
7 监控中心设计	26
7.1 一般规定	26
7.2 监控中心设计原则	26
7.3 监控中心设计内容	26
8 系统软件设计	28
8.1 一般规定	28
8.2 数据层设计	28
8.3 平台层设计	28
8.4 应用层设计	29
8.5 软件维护	30
9 数据处理	31

9.1	一般规定	31
9.2	数据前处理	31
9.3	数据后处理	31
10	安全预警	34
10.1	一般规定	34
10.2	安全预警等级	34
10.3	安全预警响应机制	35
附录A	现场勘查	37
A.1	一般规定	37
A.2	现场勘查内容	37
A.3	现场勘查方法及注意事项	38
附录B	古建筑结构监测系统设计方案编制模板	39
附录C	结构损伤识别与状态评估方法	40
C.1	结构损伤识别方法	40
C.2	结构状态评估方法	42
	本标准用词说明	44
	条文说明	45

Contents

Preface	III
1 Scope	1
2 List of quoted standards.....	2
3 Terms and definitions	3
4 Basic requirements	5
4.1 Principles of system design	5
4.2 System design flow.....	5
4.3 Monitoring content	6
4.4 System composition.....	9
5 Sensor selection and layout design.....	11
5.1 General requirements.....	11
5.2 Selection and performance requirements of environmental factor monitoring sensor	11
5.3 Selection and performance requirements of structural response monitoring sensor.....	15
5.4 Layout requirements of environmental factor monitoring points and installation methods of sensors	17
5.5 Layout requirements of structural response monitoring points and installation methods of sensors	19
6 Data acquisition and transmission design.....	22
6.1 General requirements.....	22
6.2 Data acquisition	22
6.3 Data transmission	24
7 Monitoring center design.....	26
7.1 General requirements.....	26
7.2 Design principles	26
7.3 Design content	26
8 System software design	28
8.1 General requirements.....	28
8.2 Data layer design	28
8.3 Platform layer design.....	28
8.4 Application layer design	29
8.5 Software maintenance.....	30
9 Data processing	31
9.1 General requirements.....	31
9.2 Data pre-processing	31

9.3 Data post-processing.....	31
10 Safety early-warning.....	34
10.1 General requirements.....	34
10.2 Security early-warning level.....	34
10.3 Security early-warning response mechanism	35
Appendix A Field survey.....	37
A.1 General requirements.....	37
A.2 Field survey content.....	37
A.3 Methods and matters needing attention of field survey	38
Appendix B The template for the structural monitoring system design scheme for ancient buildings ...	39
Appendix C Methods of structural damage identification and condition assessment	40
C.1 Methods of structural damage identification.....	40
C.2 Methods of structural state assessment	42
Explanation of wording in this standard.....	44
Explanation of provisions.....	45

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2020]23 号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为 10 章和 3 个附录，主要技术内容包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、传感器选型与布置设计、数据采集与传输设计、监控中心设计、系统软件设计、数据处理和安全预警；附录内容包括：现场勘查、古建筑结构监测系统设计方案编制模板和结构损伤与状态评估方法。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接设计专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会检测与试验专业委员会归口管理，由北京交通大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有修改或补充，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：北京市海淀区西直门外上园村 3 号，北京交通大学土木建筑工程学院，邮编：100044），以供修订时参考。

主编单位：北京交通大学

陕西省建筑科学研究院有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

1 范 围

1.0.1 为规范古建筑结构监测系统的设计，提高古建筑结构监测系统设计质量，制定本标准。

1.0.2 本文件适用于木结构和砖石结构古建筑的监测系统设计。

1.0.3 古建筑结构监测系统设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 50165 古建筑木结构维护与加固技术标准

GB/T 39056 古建筑砖石结构维修与加固技术规范

GB/T 50452 古建筑防工业振动技术规范

JGJ 159 古建筑修建工程施工及验收规范

GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范

CECS 333 结构健康监测系统设计标准

GB 50911 城市轨道交通监测技术规范

GB 50026 工程测量规范

JGJ 8 建筑变形测量规范

GB 50292 民用建筑可靠性鉴定标准

GB 50007 建筑地基基础设计规范

GB/T 28418 土壤水分（墒情）监测仪器基本技术条件

GB/T 35228 地面气象观测规范 降雨量

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50174 电子计算机机房设计规范

GB 2887 计算站场地技术条件

GB/T 9361 计算站场地安全要求

GB/T 8567 计算机软件文档编制规范

GB/T 20271 信息安全技术-信息系统通用安全技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 古建筑 ancient building

运用传统材料、传统技术建于 1840 年以前的具有历史、艺术、科学、社会和文化价值的建筑物和构筑物。

3.2 古建筑结构监测 structural monitoring for ancient building

利用现场的、无损的、连续的方式采集古建筑结构的输入与输出信息，分析其性能的波动、劣化或损伤特征的演化，并为管理和保护提供决策支持的技术。

3.3 古建筑环境监测 environmental monitoring for ancient building

对影响古建筑结构响应的周边气象环境、人为环境、其他环境威胁等因素进行的监测工作，包括环境温度、环境湿度、人群荷载、生物环境、风环境、地震作用、地下环境和环境振动等。

3.4 结构响应监测 response monitoring

对古建筑结构响应进行的监测工作，包括结构及构件的变形、应变、振动等。

3.5 传感器 sensor

将古建筑环境监测和结构响应监测的信息按一定的规律转换成某种可用信号输出的器件或装置。

3.6 监测测点 monitoring point

为达到某一监测目标，对结构或构件信息进行采集的点位。

3.7 实时监测 real-time monitoring

监测仪器按既定程序进行数据采集和传输或在通讯指令干预下进行数据即时或触发采集和传输。

3.8 定时采集 timing collection

数据采集设备在固定时刻进行固定时间长度的数据采集。

3.9 全时采集 real-time collection

数据采集设备按照某采样频率进行全天候数据采集。

3.10 预警 early-warning

监测结果超出阈值时，向相关部门发出预警信息的过程。

3.11 预警阈值 early-warning threshold

为保障古建筑结构安全性要求，控制监测对象的状态变化，针对各监测项目的监测数据变化量所设定的受力、变形或环境监测指标的警戒值。

3.12 损伤识别 damage identification

利用结构的响应数据来分析结构物理参数的变化，对结构局部或全局是否存在损伤、损伤定位和损伤程度进行判断。

3.13 状态评估 state assessment

基于监测、检测和巡检的结果，结合恰当的评估方法，对构件或结构的工作状态进行评估和判断。

4 基本规定

4.1 系统设计原则

4.1.1 古建筑结构监测系统应满足文物保护的最小干预原则，不得改变古建筑的形制特征、结构构造、彩绘壁画及其它文物要素；优先选择无损或非接触式无线监测设备；长期布设在古建筑上的监测设备与线路，应与古建筑历史风貌相协调。

4.1.2 安装在古建筑结构上的监测设备应可拆除，且拆除后不会对结构造成损伤。

4.1.3 古建筑结构监测系统的使用寿命应不低于五年，应优先选用稳定性强，耐久性好的监测设备和传输方式，并具有系统硬件防护及软件安全保障措施。

4.1.4 系统硬件应易于检修、更换和扩展；系统软件应具有兼容性并易于升级，并能保障系统更新后的数据接力。

4.1.5 对多座古建筑或古建筑群进行联测时，应满足系统内部之间数据的兼容性和共享性要求。

4.1.6 应保证系统建成后易于日常管理和维护。

4.2 系统设计流程

4.2.1 古建筑结构监测系统设计应包括受理委托、资料收集、现场勘查、方案设计及方案验收环节。

4.2.2 古建筑结构监测系统设计的流程应按照图1的规定进行。

4.2.3 古建筑结构监测系统设计现场勘查的内容及方法宜参照附录A；监测系统设计方案的模板宜参照附录B。

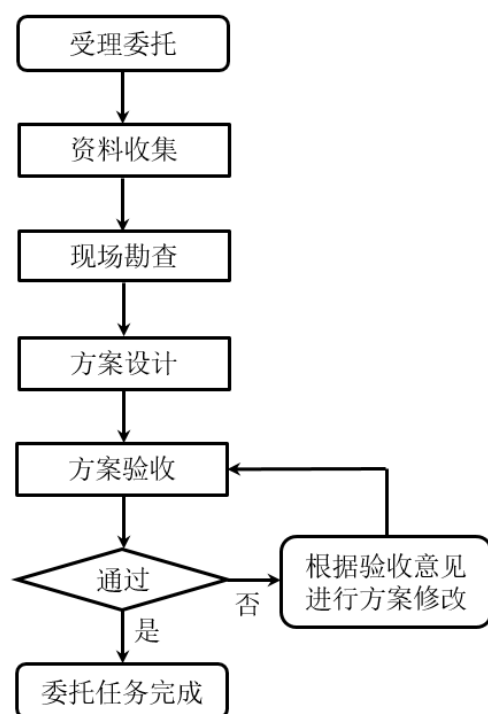


图 1 古建筑结构监测系统设计流程

4.3 监测内容

4.3.1 古建筑结构监测内容应根据监测目的、古建筑的重要性及管理需求、结构力学特征、环境复杂性以及系统建造成本综合确定。

4.3.2 古建筑环境监测和结构响应监测指标应符合表 1~表 6 的规定。

表 1 单层木结构主要监测指标

监测内容	分项	监测指标		
		应测	宜测	可测
古建筑环境	环境温度	—	室内温度	室外温度
	环境湿度	—	室内湿度	室外湿度
	人群荷载	人群数量峰值	人群数量分布	—
	地震作用	—	地面水平加速度	—
	环境振动	—	—	室外环境振动
结构响应	水平构件	挠度、歪闪		应变、跨中竖向振动
	垂直构件	倾角	应变	顶部水平振动

	连接节点	--	--	错动变形
	基础	--	不均匀沉降	--

表 2 多层木结构主要监测指标

监测内容	分项	监测指标		
		应测	宜测	可测
古建筑环境	环境温度	室内温度	室外温度	--
	环境湿度	室内湿度	室外湿度	--
	生物环境	--	--	白蚁虫害
	地下环境	--	--	水位变化、冻土深度
	人群荷载	人群数量峰值、分布	--	人群振动
	风荷载	--	--	风速、风向
	地震作用	--	地面水平加速度	地面竖向加速度
	环境振动	--	--	室外环境振动
结构响应	水平构件	挠度、歪闪、应变		跨中竖向振动
	垂直构件	倾角、应变	顶部水平振动	--
	连接节点	--	错动变形	--
	整体变形	--	顶部位移	顶部振动
	基础	不均匀沉降	--	倾角

表 3 塔式木结构主要监测指标

监测内容	分项	监测指标		
		应测	宜测	可测
古建筑环境	环境温度	室外温度、室内温度	--	--
	环境湿度	室外湿度、室内湿度	--	--
	生物环境	--	白蚁虫害	--
	地下环境	--	水位变化、冻土深度	
	人群荷载	人群数量峰值、分布	人群振动	--
	风荷载	风速、风向	--	--
	地震作用	地面水平加速度、	--	--

		竖向加速度		
	环境振动	--	室外环境振动	--
结构响应	水平构件	挠度、歪闪、应变		跨中竖向振动
	垂直构件	倾角、应变、 顶部水平振动		--
	连接节点	错动变形	--	--
	整体变形	顶部位移	顶部振动、层间扭转	--
	基础	不均匀沉降	倾斜	--

表 4 单/多层砖石结构主要监测指标

监测内容	分项	监测指标		
		应测	宜测	可测
古建筑 环境	环境温度	--	室内温度	室外温度
	地下环境	--	--	水位变化、冻土深度
	人群荷载	人群数量峰值	人群数量分布	人群振动
	风荷载	--	--	风速、风向
	地震作用	--	地面水平加速度	--
	环境振动	--	--	室外环境振动
结构响应	水平构件	挠度、歪闪	--	应变、裂缝
	垂直构件	外鼓、倾角、裂缝	应变、顶部水平振动	
	整体变形	--	顶部位移	顶部振动
	基础	不均匀沉降	--	倾斜

表 5 塔式砖石结构主要监测指标

监测内容	分项	监测指标		
		应测	宜测	可测
古建筑 环境	环境温度	室内温度	室外温度	--
	地下环境	--	水位变化、冻土深度	
	人群荷载	人群数量峰值、分布	人群振动	--
	风荷载	风速、风向	--	--

	地震作用	地面水平加速度、 竖向加速度	--	--
	环境振动	--	室外环境振动	--
结构响应	水平构件	挠度、歪闪、应变	裂缝	--
	垂直构件	外鼓、倾角、 裂缝、应变	顶部水平振动	
	整体变形	顶部位移	顶部振动、层间扭转	--
	基础	不均匀沉降	倾斜	--

表 6 城墙类砖石结构主要监测指标

监测内容	分项	监测指标		
		应测	宜测	可测
古建筑 环境	环境温度	外部温度	--	--
	环境湿度	外部湿度	--	--
	地下环境	--	水位变化、冻土深度	
	人群荷载	人群数量峰值	人群数量分布	人群振动
	风荷载	--	--	风速、风向
	地震作用	地面水平加速度	--	地面竖向加速度
	环境振动	--	室外环境振动	--
结构响应	夯土层	温度、土壤含水率	位移	--
	砌筑层	外鼓、倾角、裂缝	界面间位移	
	整体变形	顶部位移	顶部振动	--
	基础	不均匀沉降	倾斜	--

4.3.3 其他复杂结构及古建筑群宜根据建筑材料特点和结构受力特征，结合建筑单体之间的相互关联关系，进行结构监测系统专项设计后确定监测内容。

4.4 系统构成

4.4.1 古建筑结构监测系统应由传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据处理与安全预警子系统所构成，并通过系统集成技术将上述子系统的软、硬件整合为可协调运行的监测系统。

4.4.2 传感器子系统应能实现古建筑环境及结构各类响应指标的获取功能。

4.4.3 数据采集与传输子系统应能实现多种类型传感器的数据采集与传输功能。

4.4.4 数据处理与安全预警子系统应能实现古建筑结构监测数据的前后处理及数据在线显示与安全预警功能；宜具备结构损伤识别与状态评估功能。

4.4.5 各子系统设计的主要要素应满足表 7 的要求。

表 7 古建筑结构监测系统构成及设计要素

系统构成	系统设计的主要要素
传感器子系统	应包括监测指标与传感器类型、传感器性能参数、传感器布设要求、传感器安装方法、传感器布设位置与安装方法 对古建筑的影响评价及文物保护措施
数据采集与传输子系统	应包括数据采集方式、数据传输方式、监控中心设计、数据采集与传输设备与线路走线及监控中心选址等对古建筑 的影响评价及文物保护措施
数据处理与安全预警子系统	应包括系统软件设计（包括数据层、平台层及应用层设计和软件维护策略制定）数据前后处理方法、安全预警等级及响应机制制定；宜包括在线或离线方式的结构损伤识别和状态评估方法，具体可参照附录 C 执行。

5 传感器选型与布置设计

5.1 一般规定

5.1.1 古建筑结构监测系统应根据监测对象、监测需求、现场情况进行传感器选型与布置设计。

5.1.2 监测测点应设置于存在较为明显的结构损伤部位，以及能够反映古建筑环境和结构响应状态及其变化趋势的关键处和敏感处。

5.1.3 监测测点数量应满足掌握古建筑环境和结构响应状态及其变化趋势的需要。

5.1.4 如无特殊说明，传感器宜满足以下通用性能指标：

- 1 正常工作温度宜满足 $-20^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$ ，在极寒地区使用时宜满足 $-40^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$ 。
- 2 在古建筑室内宜采用电池供电。
- 3 在古建筑室内宜采用无线数据传输。
- 4 防护等级宜等于或优于 IP65。

5.2 环境监测传感器选型与性能要求

5.2.1 温湿度监测方法与性能要求宜符合以下规定：

1 温度监测可选用铂电阻、热敏电阻、热电偶、半导体、光纤等温度传感器，其技术指标宜符合表 8 的规定：

表 8 温度监测设备技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	$-20\sim 60^{\circ}\text{C}$ $-40\sim 60^{\circ}\text{C}$ （极寒地区）
测量分辨率	$\leq 0.1^{\circ}\text{C}$
最大误差	$\leq \pm 0.3^{\circ}\text{C}$

防护等级	优于 IP65，与湿度传感器联合使用时符合湿度传感器的防护等级要求
------	-----------------------------------

2 湿度监测可选用电容式、电阻式等湿度传感器，其技术指标宜符合表 9 的规定：

表 9 湿度监测设备技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	0~100%RH
测量分辨率	$\leq 0.1\%RH$
最大误差	$\leq \pm 3\%RH$
防护等级	优于 IP54

5.2.2 风环境监测方法与性能要求宜符合以下规定：

1 风速监测可选用超声波式或机械式传感器，其技术指标宜符合表 10 的规定：

表 10 风速监测设备技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	0~60m/s
采样频率	$\geq 5Hz$ （超声波式风速传感器） $\geq 1Hz$ （机械式风速传感器）
测量分辨率	$\leq 0.01m/s$ （超声波式风速传感器） $\leq 0.1m/s$ （机械式风速传感器）
最大误差	$\pm 0.3m/s$ 或 $\pm 3\%$ 示值，取更大值（0~35m/s） $\pm 5\%$ 示值（35~60m/s）（超声波式风速传感器） $\pm 5\%$ 示值（机械式风速传感器）

2 风向监测可选用机械式或超声波式传感器，其技术指标宜符合表 11 的规定：

表 11 风向监测设备技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	0~360°

采样频率	$\geq 5\text{Hz}$ （超声波式风速传感器） $\geq 1\text{Hz}$ （机械式风速传感器）
测量分辨率	$\leq 0.1^\circ$ （超声波风向传感器） $\leq 1^\circ$ （机械式风向传感器）
最大误差	$\leq \pm 1^\circ$ （超声波风向传感器） $\leq \pm 3^\circ$ （机械式风向传感器）

3 风压监测可选用陶瓷型或扩散硅微压差传感器，其技术指标应符合表 12 的规定：

表 12 风压监测设备技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	-5000 ~5000Pa
测量分辨率	1Pa
采样频率	$\geq 20\text{Hz}$
最大误差	$\leq 1\%$

4 风环境传感器的采样频率宜根据监测要求和功能要求设定。

5.2.3 降雨量监测方法与性能要求应符合以下规定：

1 降雨量监测可选用翻斗式、称重式、雷达式、光学式等降雨量传感器。

2 降雨量监测设备的技术指标应符合表 13 的规定：

表 13 地下水位监测设备技术指标

指标名称	指标范围
雨强范围	0~4mm/min
测量分辨率	0.2mm
最大误差	$\leq 3\%$
正常工作温度	0~50℃（翻斗式、称重式降雨量传感器） -40~60℃（雷达式、光学式降雨量传感器）

5.2.4 白蚁监测方法可选用微波雷达监测、红外热成像监测、声频探测及诱饵站监测。

5.2.5 地下水位监测方法与性能要求应符合以下规定：

1 地下水位监测可选用投入式、雷达式、超声波式和激光式等液位传感器。

2 地下水位监测设备的技术指标宜符合表 14 的规定：

表 14 地下水位监测设备技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	当地地下水常规全年涨落量的 1.5~3 倍
测量分辨率	1mm
最大误差	≤0.25% F.S.
正常工作温度	0~40℃

5.2.6 人群数量监测可根据现场实际情况选用基于视频的人数统计传感器、双目摄影人数统计传感器、红外遮断人数统计传感器等。人群数量监测传感器的误差宜≤10%。

5.2.7 振动监测方法与性能要求宜符合以下规定：

1 地震振动、环境振动、人群振动监测可选用加速度型或速度型传感器；

2 加速度传感器监测设备的技术指标宜符合表 15 的规定：

表 15 加速度传感器技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	-2~2g
采样频率	0.5~256Hz，可根据现场情况设置
测量分辨率	≤10μg

3 速度传感器监测设备的技术指标宜符合表 16 的规定：

表 16 速度传感器技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	0~0.4m/s
采样频率	0.5~256Hz，可根据现场情况设置
测量分辨率	≤10μm/s

5.3 结构响应监测传感器选型与性能要求

5.3.1 变形监测方法与性能要求宜符合以下规定：

1 监测参数应根据现场勘查结果，选择倾斜、水平位移、挠度、歪闪、裂缝、错动变形及不均匀沉降。倾斜监测可选用倾角传感器进行直接测量，或选用激光测距传感器等进行间接测量；水平位移与挠度监测可选用激光、毫米波雷达等测距传感器；歪闪、裂缝、错动变形等监测可选用接触式或非接触式位移传感器；不均匀沉降监测可选用光学式、连通管静力式等水准传感器。

2 传感器分辨率宜能反映出结构变形因日常环境变化而产生的波动，且具有足够的重复精度。

3 倾角传感器的技术指标宜符合表 17 的规定：

表 17 倾角传感器技术指标

指标名称	指标范围
测量内容	被监测对象在 X、Y 两轴相对于水平面的倾斜度、倾斜方向
标称范围	-15~15°
测量分辨率	≤0.01°
重复误差	≤0.1°

4 测距传感器的测量分辨率宜≤1mm，重复误差宜≤±1mm。

5 接触式位移传感器可选用电阻式、电感式、机械式或光纤光栅式位移计；非接触式位移传感器可选用激光、视觉式位移传感器。位移传感器的技术指标宜符合表 18 的规定：

表 18 位移传感器技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	≥5mm
测量分辨率	≤0.01mm
重复误差	≤0.1mm

6 水准传感器的技术指标宜符合表 19 的规定：

表 19 水准传感器技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	$\geq 100\text{mm}$
测量分辨率	$\leq 0.1\text{mm}$
重复误差	$\leq 0.1\% \text{F.S.}$
正常工作温度	$-20\sim 60^{\circ}\text{C}$

5.3.2 应变监测方法与性能要求宜符合以下规定：

- 1 应变监测可选用电阻式、振弦式、光纤光栅式等应变传感器。
- 2 采用电阻应变计时，电阻应变计的测量片和补偿片应选用同一规格产品，并进行屏蔽绝缘保护。
- 3 测量应变时，应进行温度修正。
- 4 应变传感器的技术指标宜符合表 20 的规定：

表 20 应变传感器技术指标

指标名称	指标范围
标称范围	应变估计值或允许值的 1.5~3 倍
测量分辨率	$\leq 1\mu\epsilon$
重复误差	$\leq \pm 0.5 \text{ F.S.}$

5.3.3 古建筑水平/竖向振动监测可选用加速度型或速度型传感器，技术指标可参照 5.2.7 的规定。

5.3.4 夯土含水量监测方法与性能要求宜符合以下规定：

- 1 夯土含水量监测宜选择时域反射式和频域反射式土壤含水量传感器。
- 2 土壤含水量传感器应符合 GB/T 28418 的规定，主要技术指标符合表 21 的规定：

表 21 土壤含水量传感器技术指标

指标名称	指标范围
测量参数	土壤体积含水量（VWC）
标称范围	0~50%
测量分辨率	0.1%
测量误差	体积含水量 3%~10%：±5%；15%~25%： ±2.5%；35%~45%：±5%

5.4 环境监测点布设要求与传感器安装方法

5.4.1 环境温湿度监测测点布设应符合下列规定：

- 1 不应受到太阳辐射及其它热源的直接影响。
- 2 温湿度传感器宜布设在受温度影响较大的应变、位移、倾角等传感器附近，以及温度、湿度梯度变化较大、对结构耐久性影响大的区域。监测建筑内部温度时，相对独立空间应设 1~3 个监测点。温湿度监测数据宜能反映结构竖向及水平向温度场和湿度场的变化规律。
- 3 温湿度传感器布设时应避开通风口。监测建筑内部平均温度时，监测点可设在结构内部距结构平面高 1.5m 的代表性空间内。
- 4 宜对古建筑室内、室外的环境温度和湿度进行同步监测，以便对比分析。

5.4.2 风环境监测测点布设应符合下列规定：

- 1 风压测点可根据结构风作用表面划分的区域布设。
- 2 风压传感器宜采用支座固定在建筑结构表面；当采用胶体等黏结材料时应保证其耐久性。
- 3 风速风向测点应布设在结构绕流影响区域之外。
- 4 风速风向传感器应采用专用支架安装在古建筑结构上或建筑周边的塔架等构筑物上。支架距离所安装的主体结构边缘不宜少于 5m，应具有足够刚度和强度，连接牢固，并满足抗风设计要求。当安装在建筑

周边的塔架上时，应保证塔架与古建筑之间无遮挡物。设置于建筑顶部的风速风向传感器宜高于顶部 1m，并在避雷针覆盖范围内。

5.4.3 降雨量测点的布设应符合下列规定：

- 1 应符合 GB/T 35228 的要求，应避开强风区，宜避开地形、建筑物、树木、植被等影响区。
- 2 雨量计宜与风速仪等环境监测设备布设在同一场所。

5.4.4 白蚁监测测点布设应符合下列规定：

- 1 白蚁诱饵站装置安装前应采用人工对白蚁活动情况进行检查，根据白蚁可能入侵的途径安装监测装置。
- 2 采用诱集监测时测点应布设于诱集装置上或与诱集装置集成；采用光电监测时，测点的布设应能满足蚁道路径判断需要。

5.4.5 地下水位测点的布设应符合下列规定：

- 1 宜根据场地水文地质条件及其对古建筑的影响，确定地下水位监测钻孔的位置。
- 2 宜根据含水层性质、埋深、分层等确定监测装置在探孔内安装位置。选用激光式液位传感器时应采用合适方式在探孔内设置反光浮标。

5.4.6 人群监测测点的布设应符合下列规定：

- 1 人数监测测点宜布设于出入卡口及人员进出通道的前后正上方。
- 2 区域人数及人群分布测点应优先覆盖易于受到人群聚集影响的区域，且监测传感器安装时应避免安装在人群可能聚集、停留、徘徊的位置。

5.4.7 地震监测测点布设应符合下列规定：

- 1 地震设防烈度 6 度以上的地区宜设置地震测点。
- 2 加速度传感器或地震记录仪宜安装在专用的监测墩上。

5.5 结构响应监测点布设要求与传感器安装方法

5.5.1 倾斜测点的布设应符合下列规定：

1 古建筑存在较为明显扭倾的构件、主要承载受力的柱、梁等构件宜开展倾斜监测。

2 倾角传感器宜在被测组件或构件的上部布设，并应在构件表面紧密固定。如果确实无法布设，可在组件或构件侧面或下部布设。

3 观测古建筑整体倾斜时，宜在古建筑的顶部布设倾斜测点。

4 在构件表面确实无法布设倾角传感器的情况下，可采用激光测距传感器根据三角测距原理测量古建筑的倾斜，应将传感器紧密固定在不高于测点的稳定构筑物上。

5.5.2 水平位移和挠度测点的布设应符合下列规定：

1 塔类古建筑结构顶部宜设置水平位移测点。

2 已存在较大弯曲且跨度较大的梁、枋，宜在跨中或挠度最大的位置设置挠度测点。

3 采用激光测距传感器或者毫米波雷达传感器测量水平位移或挠度时，应将传感器紧密固定在稳定的构筑物上。采用激光测距传感器时，激光反射点应保证具有较高的反射率，必要时可固定激光反射板。采用毫米波雷达传感器时，测点应布设角反射器。

5.5.3 裂缝宽度测点的布设应符合下列规定：

1 古建筑受力构件的明显裂缝处或有发展趋势的裂缝处宜进行裂缝监测；宜选择应力或应力变化较大部位的裂缝或存在明显发育的裂缝布置测点。

2 采用接触式位移传感器测量裂缝宽度时，传感器应紧密固定于裂缝两侧，传感器方向应垂直于裂缝走向。

3 采用激光位移传感器测量裂缝宽度时，传感器应紧密固定于裂分一侧，在裂缝另一侧的对应位置如无遮挡物，则应固定激光反射块。

4 采用视觉位移传感器测量裂缝宽度时，应根据传感器的视角、焦距等参数，在测点正上方选择合适的位置固定传感器，并在传感器拍摄的图像上设定合适的裂缝宽度测量位置。

5.5.4 错动变形测点的布设应符合下列规定：

1 古建筑榫卯、搭接等受力结构上存在明显的歪闪、错动、拔榫、压缩等情况的位置宜进行错动变形监测。测点应布设于存在明显错动变形的构件上，且与错动变形的受力或变形方向一致。

2 测点可充分利用构件自身结构，采用具有回弹能力的接触式位移传感器或激光位移传感器等方式进行测量，应减少在构件表面的传感器固定点位。

5.5.5 不均匀沉降测点的布设应符合下列规定：

1 存在明显沉降的柱基、墙角、建筑接壤处等部位宜设置沉降测点。

2 整体倾斜风险的高台建筑的台座中部、转角处及各柱柱础上宜设置沉降测点。

3 采用液体静力水准仪时应对连通管加以保护，并做隐蔽处理。

5.5.6 应变测点的布设应符合下列规定：

1 宜与变形监测点统筹布设，可依据有限元分析确定的极值和关键控制位置布设。

2 宜选择应力较大或应力变化较大的构件、受力不利构件，以及其他重要构件或曾发生过重大破坏并加固过的部位布设应变测点。

3 应变传感器与构件应紧密连接且连接不引起局部变形，以真实反映构件的受力状态。

5.5.7 振动测点的布设应符合下列规定：

1 测量外部振动对结构稳定性的影响时，宜沿结构两个主轴方向在古建筑地面设置监测点。

2 测量水平响应时，宜沿结构两个主轴方向在古建筑承重结构顶部设置监测点。

3 测量古建筑结构振型时，可在古建筑结构各层对应位置设置监测点。

4 传感器应与被测结构牢固连接，传感器的敏感轴方向应与测量方向一致。

5.5.8 夯土含水量监测测点的布设应符合下列规定：

1 宜在夯土层的不同深度设置 1-3 个含水量测点。存在明显渗水情况的部位宜加密含水量测点。

2 土壤含水量传感器安装时应先开挖尺寸略大于传感器的土坑，将传感器水平放置，再用原位土壤填埋压实。

6 数据采集与传输设计

6.1 一般规定

6.1.1 数据采集设计应包括设备选型和规则制定，其中数据采集规则设计包括对采集方式、采集模式、采集时间同步精度和采样频率的设计。

6.1.2 数据传输宜采用无线传输。

6.1.3 数据采集与传输设备的选型应满足监测的目的、功能和性能。

6.1.4 数据采集与传输设备的安装应根据现场勘查结果确定合适安装方法，且宜与古建筑历史风貌相协调。

6.2 数据采集

6.2.1 数据采集设备的选型应符合下列规定：

- 1 采集设备应根据传感器输出信号的特点按下列要求进行选型：
 - 1) 数字信号宜选用基于 RS485、Modbus、SDI-12、CAN、TCP/IP 的总线设备；
 - 2) 模拟信号应根据电流、电压的不同类型进行选型，电流模拟信号宜选用可接收 4 mA ~ 20 mA 标准工业信号的调理模块，电压模拟信号宜选用可接收 0 V ~ 10 V 标准工业信号的调理模块；
 - 3) 模拟信号应根据静态和动态信号的不同类型进行选型，静态信号可选用具有多路模拟开关和采样保持器的信号调理模块，动态信号可选用具有抗混滤波功能的信号调理模块；
 - 4) 光信号应根据静态和动态信号的不同类型进行选型，静态信号宜选用采样频率为 1 Hz ~ 100 Hz 的光纤解调设备；动态信号宜选用采样频率为 100 Hz ~ 1000 Hz 的光纤解调设备。
- 2 采集模数转换分辨率应满足传感器分辨率的要求，不宜小于 16 位。
- 3 采集设备供电应符合下列规定：

- 1) 数字信号宜用电池供电，电池容量不宜小于 19 A•h，使用寿命不宜小于 5 年；
- 2) 静态模拟信号宜用电池供电，电池容量不宜小于 19 A•h，使用寿命不宜小于 5 年，动态模拟信号宜用市电供电；
- 3) 光信号宜用市电供电。

6.2.2 数据采集规则的制定应符合下列规定：

- 1 采集方式宜选用分布式或混合式采集。
- 2 采集模式应符合下列规定：
 - 1) 对温湿度、风速、风向、风压、白蚁、降雨量、人群数量、地下水位宜采取全时采集，对地震作用宜采取触发采集，触发阈值应根据古建筑受力特点确定；
 - 2) 对结构的变形、应变，宜采取全时采集；对结构振动宜采取定时采集，定时时段宜根据人群密集时段确定；
- 3 采集时间同步精度应符合下列规定：
 - 1) 动态数据采集的同步误差宜小于 10 ms；
 - 2) 静态数据采集的同步误差宜小于 30 s。
- 4 采样频率应满足奈奎斯特采样定理的要求，且宜符合表 22 的规定：

表 22 采样频率基本要求

监测指标	环境温度湿度	风速风向	风压	白蚁、地下水位、降雨量	人群数量	地震作用	振动	变形	应变
采样频率	$\geq 1/3600$ Hz	超声速风速风向仪 ≥ 10 Hz；机械式风速风向仪 ≥ 1 Hz	≥ 20 Hz	$\geq 1/3600$ Hz	≥ 25 Hz	≥ 50 Hz	≥ 20 Hz	$\geq 1/3600$ Hz	$\geq 1/3600$ Hz

6.2.3 数据采集模块应完成对监测传感器数据接收、汇聚及处理的功能，具体包括：

1 按照设定的规则，完成对纳入采集范围的所有采集设备数据的采集、汇聚及处理。

2 对各采集设备的数据采集方式进行灵活配置，配置内容应包括以下因素：

- 1) 基本参数；
- 2) 地址、端口、通信协议；
- 3) 数据采集频率；
- 4) 数据采集形式（主动式、被动式）；
- 5) 数据处理规则。

3 支持以下网络通信形式：以太网、WiFi、GPRS、3G/4G、NB-IoT/5G、Zigbee、Z-wave、LoRa、蓝牙、无线 RF433/315M、串口和 USB 接口。

6.3 数据传输

6.3.1 无线传输应符合下列规定：

1 无线传输方式的选取应符合下列规定：

- 1) 传输距离不超过 100 m 时宜采用无线局域通信网；
- 2) 传输距离超过 100 m 时应采用无线广域通信网，或无线局域通信网和有线传输相结合的方式。

2 无线传输设备的安装位置应符合下列规定：

- 1) 发射端不宜安装在电磁干扰强度高于 3 V/m 的位置，当无法避免时应采取适当的防干扰措施；

2) 接收端不宜安装在电磁干扰的电场强度高于 3 V/m 且信号强度低于 -120 dBm 的位置，当无法避免时应采取适当的防干扰和信号增强措施。

6.3.2 有线传输应符合下列规定：

1 传输线缆的选型应符合下列规定：

- 1) 电信号应采用屏蔽电缆或屏蔽网线；
- 2) 光信号宜采用铠装光缆。

2 线缆敷设方式应符合下列规定：

- 1) 室内敷设可采用明敷设的方式，当穿越外墙时应尽量隐蔽；
- 2) 室外敷设宜采用暗配管埋地的方式。

3 线缆支架固定应采用无损或微损的安装方式。木结构宜采用抱箍进行固定，抱箍固定件与木构件之间应加设保护垫片。砖石结构宜采用在砖（石）缝隙之间放置插片的方式进行固定。

7 监控中心设计

7.1 一般规定

7.1.1 监控中心应具备数据存储、数据分析、数据展示、数据备份、安全监控、预警报警及应急指挥功能。监控中心的设计应包括为实现以上功能而进行的软硬件系统设计。

7.1.2 古建筑结构监测监控中心的选址不应対古建筑结构安全及历史风貌产生不良影响，建设过程不应给古建筑结构带来其他风险或破坏。

7.2 监控中心设计原则

7.2.1 应根据监测系统的规模，合理选择监控中心的建设规模和建设模式。当监控规模较小或投资受限时，宜将监控中心设置在云端。

7.2.2 在保证古建筑安全且空间允许的情况下，监控中心可利用古建筑既有空间来进行改造建设。

7.2.3 建筑平面和空间布局应具有可调整性。

7.2.4 配电设计宜由两路独立电源供电，主电源和备用电源应有足够容量，能够完成自动切换。

7.2.5 室内温度宜控制在 16~30℃，相对湿度宜控制在 30~75%；室内地面应防静电、光滑、平整、不起尘。

7.2.6 主服务器应具有海量数据的存储、备份功能，能自动处理和分析数据。服务器配置设计应满足监测数据长期存储及数据异地备份的要求，数据存储能力不宜低于 20 年。

7.2 监控中心设计内容

7.3.1 监控中心具体设计内容应包括基础硬件设施设计、应用系统环境设计、网络及安全系统设计、数据存储及备份系统设计、显示系统设计

及环境条件配置设计，并应符合以下规定：

1 基础硬件设施设计应包括数据传输服务器、应用服务器、数据库服务器及监控终端的设计。

2 应用系统环境设计应根据各种服务器、监控终端的数量和配置种类决定配备的操作系统及数据库等应用软件的类型和数量。

3 网络及安全系统设计应包括路由器、交换机、防火墙及防病毒软件的设计。

4 数据存储及备份系统设计应包括数据存储和数据备份的软硬件及相关机制的设计。

5 显示系统设计应包括用于监测数据展示分析的显示单元的设计，显示单元可根据条件选择 LCD 屏、LED 屏及投影。

6 环境条件配置设计应包括供电系统、空调系统、接地防雷、静电防护、综合布线、消防系统及安防系统的设计。

7.3.2 当监测系统规模较大且条件允许时，监控中心应对机房进行独立设计，具体设计内容可参照 GB 50174、GB 2887、GB/T 9361 的进行。

8 系统软件设计

8.1 一般规定

8.1.1 系统软件设计应综合实际需求和古建筑结构监测特点，设计内容应包括数据层、平台层、应用层三部分，同时包含软件维护需求。

8.1.2 系统软件应采用模块化设计，各模块的功能宜相对独立，模块之间耦合性低，便于调试和后期维护。

8.2 数据层设计

8.2.1 数据层应包含数据传输协议、数据前处理、数据存储、数据共享和数据安全功能。

8.2.2 数据传输协议设计应包括通信协议和数据规范设计；通讯协议宜采用物联网通用协议；数据规范应对数据的报文格式、最大长度等进行约束。

8.2.3 数据前处理应能实现异常数据的诊断与修复和数据的消噪与滤波处理。

8.2.4 数据存储应支持不同数据格式的存储、备份与恢复。

8.2.5 数据共享应支持其他系统对数据共享访问，同时可向其他系统分发数据；应支持共享访问和分发数据的安全管理。

8.2.6 数据安全应确定敏感数据的加密方式及安全策略，并应满足不同用户需求。

8.3 平台层设计

8.3.1 平台层应包含系统管理、日志管理、认证管理、工程管理、运维管理和视频管理功能。

8.3.2 系统管理应实现系统的用户及权限等基础数据的管理。

8.3.3 日志管理应提供完备的日志保存和日志管理功能。

8.3.4 工程管理应能实现工程信息的管理，包括配置管理、传感器管理和采集设备管理。

8.3.5 运维管理应实现硬件设备和软件设备的运维管理，具备设备状态管理、服务器状态管理、数据库管理、模块运行状态管理。

8.4 应用层设计

8.4.1 应用层应具备资产管理、巡查管理、监测预警、监测展示、视频展示、数据分析、数据下载、业务统计、评估报告和移动应用的功能。

8.4.2 资产管理应能实现对古建筑的基础信息录入、修改、导出以及多个单体古建筑间关联关系的管理功能。

8.4.3 巡查管理应能实现对巡查分类、巡查项、巡查内容、巡查计划和巡查结果反馈的管理的功能。

8.4.4 监测预警应能实现预警级别及预警阈值设置、预警信息推送、预警事件处理和预警历史查询的功能。

8.4.5 监测展示应能实现传感器位置检索、历史监测数据的查询、展示及导出和预警数据展示的功能。

8.4.6 数据分析应能实现数据的在线后处理功能，宜包括数据基本统计分析、概率密度函数估计、极值分析和相关分析。

8.4.7 数据下载应能实现对存储数据的在线下载和定时任务下载的功能。

8.4.8 业务统计应能实现对古建筑监测的相关业务数据进行查询、统计、导出和生成可视化报表等功能。

8.4.9 评估报告应能实现在线生成报告和管理离线报告的功能。

8.4.10 移动应用宜具备数据监视、预警信息查看处理和传感器状态监视的功能。

8.5 软件维护

8.5.1 系统软件的设计应能满足物理安全、网络安全、主机安全、应用安全、数据安全及安全管理的要求，建成可管理、可控制和可信任的信息安全体系。

8.5.2 应具有系统软件故障监控工具，可对软件系统造成的故障进行及时预警。

9 数据处理

9.1 一般规定

- 9.1.1 古建筑监测数据处理宜包括前处理和后处理。
- 9.1.2 监测数据前处理宜包括数据消噪与滤波、异常数据判断与修复。
- 9.1.3 监测数据后处理宜包括数据统计分析、模态参数识别。

9.2 数据前处理

- 9.2.1 应对监测数据的数据缺失、数据漂移和数据跳点异常情况进行判断。
- 9.2.2 宜对异常监测数据进行修复。
- 9.2.3 应对监测数据的工频噪声、尖峰噪声、起伏噪声进行消噪与滤波处理。

9.3 数据后处理

- 9.3.1 应对监测的环境和响应数据开展基本统计分析、概率密度函数估计、极值分析和相关分析。
- 9.3.2 基本统计分析应包括集中趋势和离散程度分析。
- 9.3.3 宜采用高斯混合模型和核密度估计拟合监测数据的概率密度函数。
- 9.3.4 宜采用耿贝尔分布（Gumbel）、韦布尔分布（Weibull）或弗雷谢分布（Frechet）拟合监测数据的最大值分布和最小值分布。
- 9.3.5 宜按表23对古建筑监测数据开展基本统计分析、概率密度函数估计和极值分析。

表 23 监测数据的基本统计分析、概率密度函数估计和极值分析

监测内容	监测指标	集中趋势	离散程度	概率密度函数估计	极值分析
古建筑环境	室内外温度	★	▲	★	★
	室内外湿度	★	▲	★	★
	水位变化	★	▲	○	▲
	冻土深度	★	▲	○	▲
	人群振动	★	▲	▲	★
	风速、风向	★	▲	★	★
	地面加速度	★	▲	★	★
	室外环境振动	★	▲	★	★
结构响应	挠度	★	★	★	★
	歪闪	★	▲	○	○
	应变	★	▲	★	★
	裂缝	★	▲	○	★
	跨中竖向振动	★	▲	★	★
	顶部水平振动	★	★	★	★
	顶部位移	★	★	★	★
	错动变形	★	▲	★	▲
	倾角	★	▲	★	★
	不均匀沉降	★	▲	○	○

注：★应开展项 ▲宜开展项 ○可开展项

9.3.6 监测数据的相关分析应符合下列要求：

- 1 宜采用皮尔森（Pearson）相关系数度量两个单变量监测数据的相关性。
- 2 宜采用典型相关分析度量两个多变量监测数据的相关性。
- 3 宜采用线性回归分析度量两组监测数据间的线性依赖关系。
- 4 宜采用多项式回归分析、支持向量机和人工神经网络度量两组监测数据间的非线性依赖关系。

9.3.7 宜按表24对古建筑监测数据开展相关分析。

表 24 监测数据的相关分析

监测物理量	挠度、歪闪、裂缝、倾角	应变
室内外温度	★	★
人群振动	★	★
风速	★	▲
室外环境振动	★	▲

注：★应开展项 ▲宜开展项

9.3.8 古建筑结构模态参数识别应符合下列要求：

- 1 识别的模态参数应包括结构的频率、振型和阻尼比。
- 2 用于模态参数识别的监测数据时长应大于600s。
- 3 模态参数识别可选用频域法、时域法和时频域法。

10 安全预警

10.1 一般规定

10.1.1 安全预警项目应根据结构类型、荷载作用、关键构件和整体结构特点确定，并应具有适用性、可操作性和稳定性。

10.1.2 应根据安全预警等级制定包括警情报送对象、时间、方式和流程的管理体系。

10.1.3 监测数据宜经数据处理后再用于预警。

10.2 安全预警等级

10.2.1 采用监测数据确定安全预警阈值时应符合下列原则：

1 当监测时间不足一年时，预警阈值可根据经验值、理论计算值、数值分析值确定，当监测时间超过一年时，预警阈值应综合监测数据的分析结果进行设置。

2 在使用过程中应对预警阈值进行检验、修正和优化。

3 环境监测预警阈值应根据环境监测指标的类型和特点，并结合环境监测指标对古建筑安全影响的程度和重要性确定。

4 预警阈值应包括监测数据的累计变化量和变化速率值。

10.2.2 古建筑环境监测安全预警宜包括以下项目：

1 室内外温湿度；

2 地下水位；

3 人群振动；

4 风速及风向；

5 地面振动；

6 环境振动。

10.2.3 木结构结构响应安全预警宜包括以下项目：

- 1 整体倾斜及变化速率；
- 2 基础沉降及变化速率；
- 3 水平构件挠度及变化速率；
- 4 水平构件应变及变化速率；
- 5 垂直构件倾角及变化速率；
- 6 垂直构件应变及变化速率。

10.2.4 木结构裂缝宽度和深度、腐朽程度、虫蛀程度的安全预警阈值应根据GB/T50165确定。

10.2.5 砖石结构结构响应安全预警宜包括以下项目：

- 1 整体倾斜及变化速率；
- 2 基础沉降及变化速率；
- 3 多层结构层间倾斜及变化速率。

10.2.6 安全预警等级宜按表25的规定划分。

表 25 安全预警等级划分

序号	安全预警等级	设置规定
1	黄色预警	监测项目超过预警阈值的70%时
2	橙色预警	监测项目超过预警阈值的85%时
3	红色预警	监测项目超过预警阈值时

10.2.7 安全预警内容宜按表26的内容制定。

表 26 安全预警内容

序号	安全预警等级	预警内容
1	黄色预警	古建筑结构将进入异常状态，需加强监测
2	橙色预警	古建筑结构进入警戒状态，需进行检测
3	红色预警	古建筑结构进入危险状态，需进行处理

10.3 安全预警响应机制

10.3.1 古建筑结构监测预警响应机制应按照图2执行。

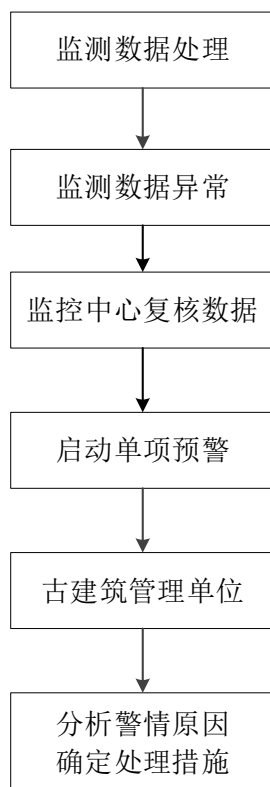


图 2 古建筑结构安全预警响应机制流程示意图

10.3.2 安全预警方式宜包括计算机蜂鸣、指示灯、声音、短信、界面显示、可变情报板和路侧广播等。

10.3.3 安全预警信息应形成日志。

附录 A 现场勘查

A.1 一般规定

A.1.1 现场勘查应明确古建筑的特性、类别，对与监测相关的几何形体和物理参数进行测量、记录，并对古建筑结构存在的安全风险作出评估。

A.1.2 应初步确定可行的监测设备与线路传输方案，并对监测设备安装方法与位置提出建议。

A.1.3 应初步确定监测中心的选择方案，并对可能的选址进行初步的调研与比选。

A.2 现场勘查内容

A.2.1 现场勘查应包括环境条件勘查和古建筑结构勘查。

A.2.2 环境条件勘查包括以下内容：

- 1 古建筑所在地区的地理、气象、水文地质资料；
- 2 古建筑与周围建筑群的关系；
- 3 古建筑所在地区网络信号强弱；
- 4 监测中心的可能选址及布设条件；
- 5 监测仪器安装条件；
- 6 古建筑内及其周围的现代系统、设置、管道的状况。

A.2.3 古建筑结构勘查包括以下内容：

- 1 古建筑的文物级别；
- 2 古建筑的类型、属性和功能；
- 3 屋顶形式、形状和坡度等；
- 4 结构形式及建筑材料特性；
- 5 承重构件变形情况；
- 6 结构的整体变位和支承情况；

- 7 构件残损分布及其形态;
- 8 主要节点、连接的工作状态;
- 9 构件表面装饰工艺、材料;
- 10 古建筑室内陈列品的特性。

A.3 现场勘查方法及注意事项

A.3.1 现场勘查可采用调查、访问、目测和仪器测量相结合的方式进行,并做好现场原始记录。

A.3.2 应根据现场勘查原始记录,进行整理,归纳并形成供监测系统设计用的现场勘查报告。

A.3.3 现场勘查报告应包括本文件 A.2 中所规定的环境条件及古建筑结构的勘查结果,同时应对监测的方法、监测设备选择及安装方法与位置、监控中心的选址等提出建议,此外还应写明勘查时间及参与勘查的人员。

A.3.4 现场勘查报告应作为结构监测系统设计的依据存档保存。

附录 B 古建筑结构监测系统设计编制模板

B.1 古建筑结构监测系统设计宜包括方案设计和施工图设计。

B.2 方案设计应包括项目概况，系统架构设计，硬件设计与实施，软件设计与实施，数据处理与安全预警方法，结构损伤与状态评估方法，系统维护与管理等内容，并应符合以下规定：

1 项目概况宜包括古建筑基本情况，勘查现状，监测目的、范围及必要性。

2 系统架构设计宜包括监测内容及指标设计以及监测系统的组成架构设计。

3 硬件设计宜包括测点布置方案设计、监测设备选型、数据采集及传输方案设计；硬件实施包括人员组织、实施步骤、监测设备安装与防护、线缆敷设与防护及硬件调试等详细方案。

4 软件设计与实施宜包括软件功能设计和软件部署及应用等详细方案。

5 数据处理与安全预警方法宜包括针对所监测指标的数据前处理及后处理方法；数据预警的计算依据，等级设置及预警响应机制等内容。

6 结构损伤与状态评估方法宜包括采用何种方法对监测所得数据进行专项分析。

B.3 施工图设计宜包括设计说明，传感器布置及安装图，数据采集传输系统图等内容，并应符合以下规定：

1 设计说明应宜括设计说明、图例说明、编码说明等。

2 传感器布置及安装图宜包括总体布置图、各监测项布置图、设备安装图等。

3 数据采集传输系统图宜包括系统图、采集站布置图、硬件索引表、线缆索引表、电气原理图、采集站内部设备布置图、接线图、线缆路由图等。

附录 C 结构损伤识别与状态评估方法

C.1 结构损伤识别方法

C.1.1 在下列情况下宜对古建筑进行定期损伤识别：

- 1 重点维修工程；
- 2 使用过程中监测数据超出阈值而报警的古建筑；
- 3 遭受地震、风灾、水灾、火灾、雷击等较大灾害的古建筑。

C.1.2 用于损伤识别的特征指标宜具有如下性质：

- 1 对损伤敏感；
- 2 特征指标与结构不同部位的位置坐标有关；
- 3 结构损伤后特征指标在非损伤位置或者不发生变化，或者发生变化的幅度明显小于预先设定阈值，而在损伤位置应出现高于阈值的变化。

C.1.3 结构损伤识别的对象可为整幢古建筑或古建筑中相对独立的子单元，也可为古建筑中具备特定价值的构件或构件集。

C.1.4 结构损伤识别宜按照图 C.1 的流程进行。

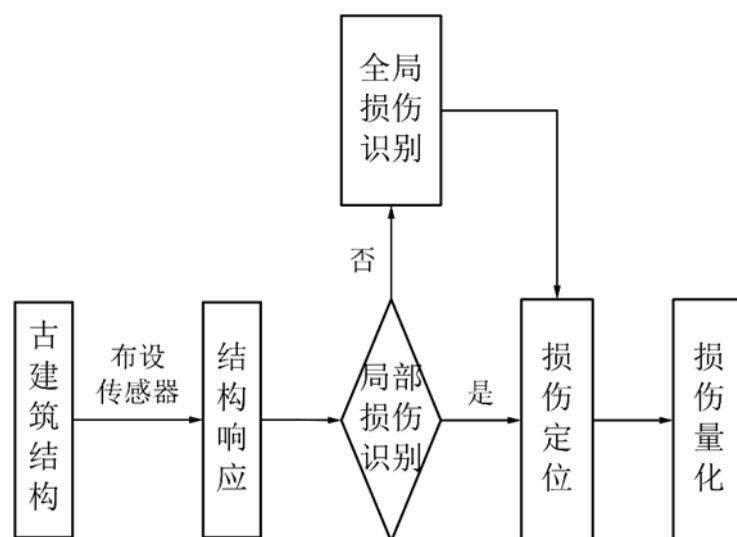


图 3 结构损伤识别流程

C.1.5 古建筑的局部、相对独立的子单元、构件等的损伤识别宜采用局部损伤识别技术，复杂的结构等损伤识别宜采用全局损伤识别技术。

C.1.6 古建筑木结构的损伤识别可按 GB/T 50165 中的规定进行。

C.1.7 古建筑砖石结构的损伤识别可按 GB/T 39056 中的规定进行。

C.2 结构状态评估方法

C.2.1 古建筑应根据监测数据和维护情况，定期开展结构状态评估，评估周期不宜超过一年。

C.2.2 在下列情况下，应进行结构安全性状态评估：

- 1 古建筑进行大规模修缮前；
- 2 古建筑遭受洪水、地震、地质灾害、台风、火灾等自然灾害或突发事件后；
- 3 古建筑在监测过程中，结构单项监测参数达到红色预警级别或结构综合监测参数达到橙色预警级别；
- 4 古建筑结构经损伤识别后，发现结构动力特征或响应出现明显变化。

C.2.3 结构状态评估的对象可为整幢古建筑或古建筑中相对独立的子单元，也可为古建筑中具备特定价值的构件或构件集。

C.2.4 结构状态评估应结合结构各类监测参数的预警指标，通过对监测数据的处理分析，对结构状态进行评估分级。

C.2.5 结构状态评估应能对监测和损伤识别的结果进行趋势对比、分析与预测。

C.2.6 结构状态评估宜按照图 C.2 的流程进行。

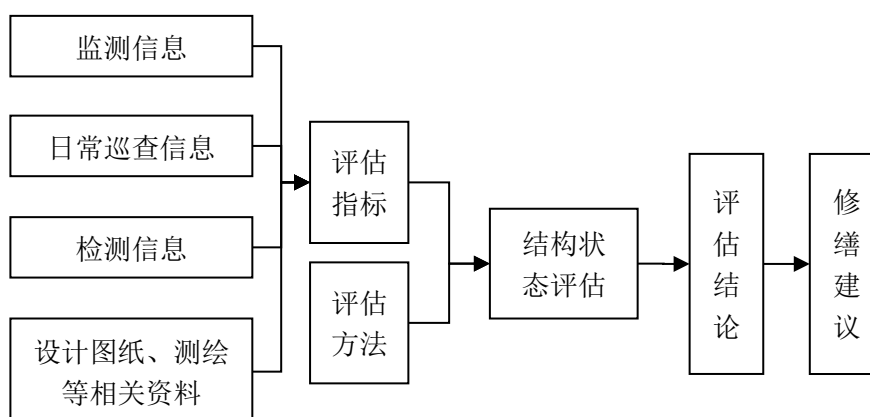


图 4 结构状态评估流程

- C.2.7** 古建筑木结构的安全性状态评估可按 GB 50165 中的规定进行。
- C.2.8** 古建筑砖石结构的安全性状态评估可按 GB 39056 中的规定进行。
- C.2.9** 其它类型的古建筑安全性状态评估可按 GB 50292 中的规定进行。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时应首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中国工程建设协会标准

古建筑结构监测系统设计标准

T/CECS XXX-202X

条文说明

目 次

1	范 围	48
4	基本规定	49
4.2	系统设计流程	49
4.4	系统构成	49
5	数据采集与传输设计	50
5.2	环境监测传感器选型与性能要求	50
5.3	结构响应监测传感器选型与性能要求	50
5.5	结构响应监测点布设要求与传感器安装方法	50
6	数据采集与传输设计	51
6.2	数据采集	51
8	系统软件设计	52
8.1	一般规定	52
8.2	数据层设计	52
8.3	平台层设计	52
8.4	应用层设计	53
8.5	软件维护	54
9	数据处理	55
9.2	数据前处理	55
9.3	数据后处理	55
10	安全预警	57
10.2	安全预警等级	57
10.3	安全预警响应机制	57
附录C	结构损伤识别与状态评估方法	58
C.1	结构损伤识别方法	58
C.2	结构状态评估方法	59

Contents

1	Scope	48
4	Basic requirements	49
	4.2 System design flow.....	49
	4.4 System composition.....	49
5	Sensor selection and layout design.....	50
	5.2 Selection and performance requirements of environmental factor monitoring sensor	50
	5.3 Selection and performance requirements of structural response monitoring sensor.....	50
	5.5 Layout requirements of structural response monitoring points and installation methods of sensors	50
6	Data acquisition and transmission design.....	51
	6.2 Data acquisition	51
8	System software design	52
	8.1 General requirements.....	52
	8.2 Data layer design	52
	8.3 Platform layer design.....	52
	8.4 Application layer design	53
	8.5 Software maintenance.....	54
9	Data processing	55
	9.2 Data pre-processing	55
	9.3 Data post-processing	55
10	Safety early-warning	57
	10.2 Security early-warning level.....	57
	10.3 Security early-warning response mechanism	57
	Appendix C Methods of structural damage identification and condition assessment	58
	C.1 Methods of structural damage identification	58
	C.2 Methods of structural state assessment	59

1 范 围

1.0.2 木结构古建筑包括单层木结构、多层木结构、塔式木结构；砖石结构古建筑包括单层砖石结构、多层砖石结构、塔式砖石结构、城墙类砖石结构，其他类型古建筑可参考使用。

4 基本规定

4.2 系统设计风格

4.2.1 古建筑结构监测系统设计风格各个环节所包括的内容解释如下：

1 受理委托：根据委托方要求，初步确定古建筑结构监测系统设计的目的、内容和范围。

2 资料收集：收集分析古建筑结构的有关资料，包括古建筑历史沿革、价值评估、测绘图纸资料、水文气象资料、历史勘查报告及以往修缮资料。

3 现场勘查：了解古建筑结构的实际情况，为监测方案的编制提供现场信息，并为监测系统软硬件的合理化配置提供依据。

4 方案设计：在现场勘查基础上，根据古建筑结构及所处环境特点，在进行结构受力性能分析基础上，编制监测系统设计方案。方案中应针对所建设的监测系统对古建筑的影响及文物保护措施进行专门论述。

5 方案验收：配合委托方进行结构监测系统设计方案验收程序。

4.4 系统构成

4.4.3 数据采集与传输子系统由采集设备、传输设备以及采集子站与监控中心组成。

4.4.4 数据处理与安全预警子系统是由数据层、平台层和应用层构成的数据库及子系统，可在现场服务器或云平台上运行。

5 数据采集与传输设计

5.2 环境监测传感器选型与性能要求

5.2.4 微波雷达技术是通过木质构件的密实程度进行监测来判断是否有白蚁虫害。当木质中存在大面积的空穴时，基本可判定有白蚁存在。

白蚁在啃食活动中会产生热量，白蚁群居巢穴中，其温度往往较环境温度高 5~10℃，红外成像技术通过对木质温度进行分析，可以识别白蚁产生的高温区域，探测深度在 100mm~150mm 范围。

白蚁在啃食活动中会发出声音，因木材内部传音效果较好，声频探测仪可以通过高精度声音传感器，捕捉木质内部的异常声音，以发现白蚁病害。

5.3 结构响应监测传感器选型与性能要求

5.3.1

1 变形监测的各项指标主要用于分析古建筑的整体结构和构件局部结构是否存在持续的变化趋势或异常的变化特征，并据此设置预警阈值。因此，各变形监测传感器的重复精度是衡量测量数据有效性的重要指标。

2 因古建筑结构自身和变形监测传感器都有可能受到环境变化，特别时温度和湿度变化的影响，因此变形监测传感器的测量分辨率宜足以反映出日常环境变化产生的波动，以便通过数据分析分别确定环境变化对传感器和建筑结构的影响程度。

5.5 结构响应监测点布设要求与传感器安装方法

5.5.7 确定外部振动源的振动特性时，可临时性地在怀疑的外部振动源与古建筑结构之间布设远、近监测点各一处。

6 数据采集与传输设计

6.2 数据采集

6.2.2

2 定时采集是指用户通过数据采集系统的控制中心来指定数据采集设备在固定时刻进行固定时间长度的数据采集；全时采集是指数据采集设备按照某采样频率进行全天候数据采集。

4 地震作用采样频率为触发采集时的采样频率；振动采样频率为定时采集时段的采样频率。

8 系统软件设计

8.1 一般规定

8.1.2 软件设计过程中应形成的文档包括：总体设计报告、需求分析说明书、概要设计说明书、详细设计说明书、数据库设计报告、测试报告、系统使用手册、系统维护手册，且内容要求应符合 GB/T 8567 的规定。

8.2 数据层设计

8.2.4 应能支持结构化、半结构化、非结构化数据的存储以及实时数据和历史数据的存储，其中历史数据的存储应根据应用的需求设置存储年限；应支持数据存储的备份，并可对备份的数据进行压缩、备份与应用分离；应支持对数据存储的恢复。

8.2.5 数据共享应满足相应部门的应用需要，应符合相应部门的数据规范。

8.2.6 支持对于敏感性数据加密方式存储，按照国家相关保密部门要求采用合适的加密算法、密钥长度和密钥管理机制；应支持制度安全策略，并按照安全策略启用控制用户和系统对数据的访问；应实现不同级别的用户权限分离管理机制，同时对用户访问应分配最小访问权限；应制定共享和分发策略，不同的用户和系统访问不同的数据。

8.3 平台层设计

8.3.2 系统管理应包括用户管理、角色管理、权限管理、组织管理等。

8.3.3 日志需对功能、数据等类型操作进行完整记录，同时日志禁止修改、删除，保存时间不少于六个月。

8.3.4 配置管理包括工程项目管理、传感器及数据采集设备管理等；设备管理包括采集设备参数配置、采集设备状态查询、采集设备远程控制、

软件版本升级；传感器管理包括传感器参数管理、采样参数管理、传输参数管理、存储参数管理。

8.3.5 设备状态管理包括设备寿命、在线状态、故障状态等功能；服务器状态管理包括 CPU 状态、硬盘使用状况、内存使用状况、网络访问量等功能；数据库管理包括数据库运行状态、空间使用状况、备份与恢复等功能；模块运行状态管理包括应用层模块的心跳管理、模块远程控制等功能。

8.4 应用层设计

8.4.2 古建筑的基础信息宜包括：古建筑整体信息、历史信息、文物信息、图纸档案信息、文档档案信息、图片档案信息、三维模型信息等。

8.4.3 古建筑巡查管理应具备对古建筑结构、监测设备进行定期巡检，能自动生成巡查日志，并按时间轴做好系统记录的功能。

8.4.4 监测预警应具备接收各设备上报的预警和故障通知，并提供故障根据配置的故障等级、故障类型等进行分类功能。预警信息应能够通过各种方式通知相关的设备负责人，通知方式可包括：电话、手机 APP 推送、短信通知、邮件通知等，并可根据定义不同的故障等级，配置组合预警提醒方式。

8.4.5 传感器位置展示可通过 3D 模型和二维平面图展示，标注传感器的位置、监测数据等信息。历史监测数据查询可通过数据列表、图形方式显示查询结果，并列表显示特征值数据（如最大值、最小值、平均值、方差、标准差等）。提供对历史数据和特征值数据转换成 excel 文件格式的功能，并提供文件下载功能。通过监测数据数字颜色改变、多级预警线的方式展示预警数据。

8.4.7 在线下载宜提供按时间段下载、按传感器分类下载等多种组合下载方式。

8.4.8 相关业务数据宜包括传感器信息、预警记录、巡查数据等。

8.4.9 在线生成报告宜包括报告配置、时间配置、模板配置等功能，实现对监测数据的长期分析、特殊事件后数据分析等目标。对离线报告的上传时间、上传人等信息进行管理。

8.4.10 数据监视宜包括实时数据和历史数据，实时数据应具备折线图展示数据，列表展示特征数据，历史曲线支持时间段选择等功能。预警信息查看宜包括列表展示预警记录、查看预警记录的详细信息、折线图展示预警数据产生前后的历史数据。传感器状态监视宜包括当前在离线状态和数据完整性统计。

8.5 软件维护

8.5.1 信息安全体系宜包括但不限于以下内容：

定期更换系统密码，定期核准用户权限，防止系统出现越权访问。
定期进行 IP 地址测试，检测非法用户，防止非法用户入侵；

定期对病毒库进行升级，当有新病毒出现时，随时升级。防止病毒侵入和传播；

加强配置文件管理，包括服务器的系统配置和服务设定的配置文件的管理，定期对系统安全性进行有效性评估和检查，及时发现系统的新增缺陷或漏洞；

制定安全事件报告和处置管理制度，明确安全事件类型，明确安全事件的现场处置、事件报告、后期恢复、事后教育和培训等的管理职责；

建立网络安全管理制度，制定网络安全配置、日志保存时间、安全策略、升级与打补丁、口令更新周期等方面的要求。

9 数据处理

9.2 数据前处理

9.2.1 宜采用直接判断法判断数据缺失。宜采用数据拟合趋势判断法、概率密度分布系数分析法判断数据漂移。宜采用基准比较法、置信区间法、k-means 聚类法判断数据跳点。

9.2.2 宜采用邻近数据插值、knn 最近邻填补法、概率密度分布随机生成、多项式插值法对数据缺失、数据跳点进行修复。宜采用多项式插值、经验模态分解对数据漂移进行修复。

9.2.3 工频噪声指 50Hz 的交流电以电磁波辐射形式对电气设备、电子设备造成的 50Hz 单频噪声干扰。宜采用低通滤波、高通滤波、带阻滤波、带通滤波法在频域内滤除工频噪声。

尖峰噪声指非连续的、由持续时间短和幅度大的不规则脉冲或尖峰组成的噪声干扰。宜利用限幅滤波法、中值滤波法滤除尖峰噪声。

起伏噪声又称高斯噪声，是一类频谱很宽的、在时频域内普遍存在且无法避免的噪声干扰。宜采用递推平均滤波法滤除起伏噪声。

9.3 数据后处理

9.3.2 宜采用均值、众数或中位数反映古建筑监测数据的集中趋势。宜采用方差、标准差、极差或变异系数反映监测数据的离散程度。

应根据数据分析时长选择分析区间。当数据时长为 1-6 个月时，宜采用 10 分钟为分析区间；当数据时长为 6 个月-2 年时，宜采用 1 小时为分析区间；当数据时长为 2 年以上时，宜采用 1 天为分析区间。

9.3.3 概率密度函数分析所采用的古建筑监测数据时长不应少于 1 年。

9.3.4 极值分析所采用的古建筑监测数据时长不应少于 1 年。

9.3.8 频域法包括增强频域分解法（EFDD）,时域法包括随机子空间法（SSI）、特征系统实现法等（ERA），时频域法包括小波分析法（WT）、希尔伯特-黄变换（HHT）等。

10 安全预警

10.2 安全预警等级

10.2.3 可根据 GB/T50165 和 GB50007 确定预警阈值。

10.2.5 可根据 JGJ159、GB50007、GB/T39056-2020 确定预警阈值。

10.3 安全预警响应机制

10.3.3 安全预警日志应包括始末时间、警示事项、预警级别、预警传感器编号和位置、预警监测值和预警频率等。

附录 C 结构损伤识别与状态评估方法

C.1 结构损伤识别方法

C.1.1 损伤识别属于结构专项检测，一旦古建筑常规监测所得数据发生单项预警，宜进行损伤识别。

C.1.2 特征指标与结构不同部位的位置坐标间存在关联是为了损伤定位，通过特征指标在不同位置的变化幅度，即可确定某个位置是否发生损伤。

C.1.5 局部损伤识别技术一般指根据古建筑结构的温度监测、湿度监测、变形监测、应变监测等得到的响应开展损伤识别的技术，常用的响应特征指标有温度、湿度、倾角、挠度、裂缝、沉降量、应变、应力、图像等，结构损伤识别可采用动静态损伤识别技术开展，采用人工观察法、特征指标、计算机视觉技术和 GB/T 50165 和 GB/T 39056 中的规定开展损伤识别。

全局损伤识别技术一般指根据结构的风环境监测、地震监测、振动监测等得到的响应开展损伤识别的技术，常用的响应特征指标有频率、振型、应变模态、柔度、频响函数、特征参数的灵敏度等。

C.2 结构状态评估方法

C.2.7 在 GB50165 中，针对古建筑木结构的安全性鉴定提出了基于残损点的评估方法。其评估流程主要为：（1）针对承重木柱、承重木梁（枋）、斗拱、屋盖、楼盖、围护结构等构件进行残损点的勘查，勘查项目包括材质劣化、变形、损伤、构造、连接等；（2）依据残损勘查结果和构件承载力验算，分别评定构件的残损等级和承载能力等级，进而确定构件的安全等级；（3）依据构件集的安全性等级和结构体系整理牢固性等级，对结构体系的安全性等级进行综合判定。（4）若古建筑木结构安全性鉴定需要考虑地基基础和场地影响，或古建筑的安全问题主要由地基基础或场地引起时，还需要对地基基础和场地安全性进行鉴定。

综上，对古建筑木结构的安全性状态进行评估是一项综合性的工作，需要的数据除了来源于监测项目外，还需要结合结构检测、日常巡查和相关资料的收集、测绘，在多源数据信息进行综合分析的基础上，才能对结构的安全状态做出评估。

C.2.8 在 GB/T39056 中，对古建筑砖石结构的安全性鉴定提出了两级安全性鉴定的方法。其评估内容主要包括：（1）分别针对地基基础、主体结构和围护系统，按构件、分部结构和整体结构三个层次进行第一级评估。第一级评估以外观损伤等宏观控制和构造鉴定为主进行综合评定，评估结果分为三个等级；（2）当第一级评估的结果为 II 级（有缺陷）或 III 级（危险）时，应进行第二级评估。第二级评估以承载力验算为主进行综合评定，评估结构分为四个等级。

综上，对古建筑砖石结构的安全性状态进行评估是一项综合性的工作，需要根据调研、勘查、监测、检测、验算的数据资料进行综合评定。

C.2.9 古建筑中虽然木结构和砖石结构占据大多数，但仍有其他结构形式的古建筑，包括砖木混合结构、石木混合结构、土木混合结构等。这

些古建筑的结构安全性评估可以借鉴 GB50292 的思路，采用构件安全性鉴定→子单元安全性鉴定→鉴定单元安全性鉴定的思路，逐层进行评级，最终确定古建筑的安全性状态。