

文物建筑健康监测技术规范

Technical specification for health monitoring of
heritage building

(征求意见稿)

(本稿完成时间: 2023 年 7 月 29 日)

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 基本规定	2
4.1 一般规定	2
4.2 时空基准	2
4.3 方案设计	2
5 监测内容	3
6 监测方法	4
6.1 一般规定	4
6.2 变形监测	5
6.3 应力应变监测	5
6.4 环境监测	5
6.5 生物病害监测	6
6.6 土质监测	6
7 监测频率	6
8 监测预警	7
9 监测实施	7
9.1 监测仪器设备要求	7
9.2 监测点布设	7
9.3 数据采集	8
9.4 巡查	8
10 数据处理及信息反馈	8
11 质量检验与成果整理	9
11.1 质量检验	9
11.2 成果整理	9
附录 A（资料性）竖向位移监测阶段性报表	10
附录 B（资料性）水平位移监测结果汇总表	11
附录 C（资料性）倾斜观测成果表	12
附录 D（资料性）现场巡查记录表	13
附录 E（资料性）风环境监测记录表	14
附录 F（资料性）温湿度环境监测记录表	15
附录 I（资料性）土体剥落监测结果汇总表	16
附录 G（资料性）等沉降曲线图	17
附录 H（资料性）应力曲线图	17
参考文献	18

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。

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。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：XXXXX、XXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

文物建筑健康监测技术规范

1 范围

本文件规定了文物建筑健康监测的监测内容、监测方法、监测频率、监测预警、监测实施、数据处理及信息反馈、质量检验与成果整理等要求。

本文件适用于文物建筑健康监测过程中的通用性监测工作。

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 24356 测绘成果质量检查与验收

GB 50167 工程摄影测量规范

GB 50497 建筑基坑工程监测技术标准

GB 55018 工程测量通用规范

CH/T 1004 测绘技术设计规定

JGJ 8 建筑变形测量规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

文物建筑 Heritage Building

文物建筑是指被文物部门核定为各级文物保护单位和登记公布的不可移动文物，具有历史、艺术、科学、社会及文化价值的古建筑、近现代史迹及代表性建筑、革命旧址和纪念性建筑以及历史文化名城、名镇、名村中的建筑等。

3.2

健康监测 Health Monitoring

通过现场采集文物建筑的结构、环境、土质等信息，获取文物建筑的变化情况，分析各种反应特征及其健康状况的工作。

3.3

连续监测 Continuous Monitoring

以连续或触发控制的方式进行监测。

3.4

监测系统 Monitoring System

由监测设备组成实现一定监测功能的软件及硬件集成。

[来源：GB 50982-2014，2.1.4]

3.5

预警 Prewarning

在危险发生之前,根据监测、损伤情况和安全评定结果向相关部门发出紧急信号的过程。

3.6

巡查 Site Inspection

对文物建筑的病害情况、风险程度、保护设施及监测设备的使用情况，以及周边环境开展的检查工作。

3.7

土质监测 Soil monitoring

采用电位计法、玻璃电极法、电化学法、土工试验等方法与手段，定期观测文物建筑本体及周边土体变化过程的工作。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 文物建筑日常维护、应急处置、动态维修、异地迁建等工作应进行健康监测。

4.1.2 文物建筑健康监测工作前应根据监测要求和监测目的，结合监测对象特点及周边环境编制监测方案。

4.1.3 文物建筑健康监测仪器设备应满足监测内容和监测精度要求，优先选择无损或非接触式监测设备。

4.1.4 文物建筑健康监测除应符合本文件外，尚应符合国家、行业和地方有关标准的规定。

4.2 时空基准

4.2.1 文物建筑健康监测水平控制基准宜采用 2000 国家大地坐标系，高程基准宜采用 1985 国家高程基准。当采用独立控制基准时，宜与国家统一的空间基准建立联系。

4.2.2 文物健康监测时间系统应采用公历纪元和北京时间。

4.3 方案设计

4.3.1 文物建筑健康监测方案编制前应充分收集并分析文物建筑现状、历史修缮、岩土工程勘察、安全评估、气象、水文及周边环境等资料，并进行现场踏勘。

4.3.2 方案设计应包括下列内容：

- a) 工程概况；
- b) 监测依据；
- c) 监测内容及目的；

- d) 监测方法;
- e) 人员及设备;
- f) 监测点布设与保护;
- g) 监测频次;
- h) 监测预警;
- i) 监测成果报送;
- j) 监测过程中文物建筑保护措施;
- k) 其他内容。

4.3.3 方案设计书的编写应按照 CH/T 1004 的规定执行。

5 监测内容

5.1 文物建筑健康监测的内容包括变形、应力应变、环境、生物病害和土质等监测。文物建筑具体监测内容应根据结构类型选择，一般参考表 1 确定。

表 1 监测对象及其内容要求

结构类型	监测对象	监测内容				
		变形监测	应力应变监测	环境监测	生物病害监测	土质监测
土质结构	房屋	☼	☼	ρ	☼	ρ
	城墙	☼	ρ	ρ	ρ	ρ
	窑洞、窖穴	☼	ρ	ρ	☼	ρ
	塔	☼	☼	ρ	ρ	ρ
木质结构	房屋	☼	☼	ρ	ρ	☼
	桥梁	☼	ρ	☼	☼	☼
	塔、亭、牌坊	☼	☼	ρ	ρ	☼
砖木结构	房屋	☼	☼	ρ	ρ	☼
	桥梁	☼	ρ	☼	☼	☼
	塔、亭、牌坊	☼	☼	ρ	ρ	☼
砖石结构	房屋	☼	☼	ρ	☼	☼
	城墙	☼	ρ	ρ	ρ	☼
	桥梁	☼	ρ	☼	ρ	☼
	塔、亭、牌坊	☼	☼	ρ	ρ	☼
	碉堡及其他构筑物	☼	☼	☼	ρ	☼
砖混结构	房屋	☼	☼	ρ	☼	☼
	城墙	☼	ρ	ρ	ρ	☼
	桥梁	☼	ρ	☼	ρ	☼
	塔、亭、牌坊	☼	☼	ρ	ρ	☼
	碉堡及其他构筑物	☼	☼	☼	ρ	☼
混凝土结构	房屋	☼	☼	ρ	☼	☼
	城墙	☼	ρ	ρ	ρ	☼
	桥梁	☼	ρ	☼	ρ	☼

	塔、亭、牌坊	⊗	⊗	ρ	ρ	⊗
	碉堡及其他构筑物	⊗	⊗	⊗	ρ	⊗
钢结构	房屋	⊗	⊗	ρ	⊗	⊗
	城墙	⊗	ρ	ρ	ρ	⊗
	桥梁	⊗	ρ	⊗	ρ	⊗
	塔、亭、牌坊	⊗	⊗	ρ	ρ	⊗
注：⊗-为应监测项，ρ-为宜监测项，⊗-为可监测项；						

5.2 其他监测对象及内容应根据相关部门要求、本体保存现状、文物保护单位等级、赋存环境、结构类型综合确定。

6 监测方法

6.1 一般规定

6.1.1 文物建筑健康监测的监测项目应根据监测要求、现场条件、地方规定和方法适用性等综合确定。

6.1.2 文物建筑健康监测宜采用自动化监测，推荐使用新技术。

6.1.3 文物建筑健康监测的监测方法应根据监测内容、监测项目、现场条件、监测设备及其性能、监测频次等合理确定，可按表 2 选择。

表 2 监测项目及方法

监测内容	监测项目	监测方法
变形监测	竖向位移	几何水准测量、静力水准测量、电磁波测距三角高程测量、地基雷达干涉测量、机器视觉等
	水平位移	三角形网、极坐标法、交会法、自由设站法、卫星定位测量、三维激光扫描法、地基雷达干涉测量法、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、精密测距法、伸缩仪法、多点位移计法、倾斜仪法、摄影测量、机器视觉等
	倾斜	投点法、水平角观测法、前方交会法、垂线法、倾斜仪法、三维激光扫描法、差异沉降法等
	挠度	垂线法、差异沉降法、位移计法、挠度计法、全站仪坐标法、三维激光扫描法等
	裂缝	精密测量距法、伸缩仪法、测缝计法、位移计法、光纤光栅传感器法、摄影测量等
	鼓胀	参照水平位移、竖向位移和倾斜监测方法
	剥蚀	三维激光扫描法、摄影测量等
应力应变监测	内力监测	应变计法、应力计法等
	孔隙水压力	应变式孔隙水压力计法、钢弦式孔隙水压力计法等
	土压力	土压力计法
环境监测	温度湿度	温湿度计法
	风环境	超声风速仪法、机械式风速仪法、风压计法等
	振动	振动测试法
	地下水位	水位计法
	气体	空气质量检测仪法

生物病害监测	植物病害	影像技术、温湿度计、诱饵法、微波雷达法、红外热成像及声频探测法、取样检测法等
	动物病害	
	微生物病害	
土质监测	PH 值	电位计法、玻璃电极法、电化学法、土工试验等
	腐蚀度	

6.1.4 各项监测方法的主要技术要求应符合 GB 55018、GB 50167 和 JGJ 8 相关规定。

6.2 变形监测

6.2.1 竖向位移监测基准网应布设成环形网，宜一次布设，并应采用几何水准测量方法观测。当需要自动化实时监测或几何水准测量实施困难时可采用静力水准测量、电磁波测距三角高程测量、地基雷达干涉测量等方法，其中电磁波测距三角高程测量适合用于较低精度（三、四等）的竖向位移监测。

6.2.2 水平位移监测基准网可采用基准线、单导线、导线网、边角网和卫星定位控制网等。测定特定方向上的水平位移时，可采用视准线活动觇牌法、视准线测小角法、激光准直法等；测定监测点任意方向水平位移时，可视监测点的分布情况，采用极坐标法、交会法和自由设站法等。

6.2.3 文物建筑倾斜监测应包括基础倾斜、整体倾斜和内部结构倾斜等。倾斜监测应测出总体倾斜量、倾斜度、倾斜方向及随时间变化的倾斜变化量。

6.2.4 文物建筑基础的竖向挠度监测可采用三点法计算，线性文物建筑的挠度可采用多点法计算。

6.2.5 当文物建筑出现不同程度裂缝时，其观测方法的选用应符合下列要求：

- a) 对数量少、量测方便的裂缝，可分别采用比例尺、小钢尺或游标卡尺等工具定期量出标志间距离求得裂缝变化值，或用方格网板定期读取坐标差计算裂缝变化值；
- b) 对大面积且不利于人工量测的裂缝，宜采用前方交会或摄影测量方法观测；
- c) 当需要连续监测裂缝变化时，可采用测缝计或传感器自动测记方法观测；
- d) 对裂缝深度量测，当裂缝深度较小时，宜采用凿出法和单面接触超声波法监测；当深度较大时，宜采用超声波法监测。

6.2.6 文物建筑鼓胀监测应确定合理的基准面，测出鼓胀部位范围及相对于基准面的变形量。

6.2.7 文物建筑剥蚀监测应测出剥蚀部位范围、剥蚀深度及剥蚀量。

6.3 应力应变监测

6.3.1 应力应变监测宜选用电阻应变计、振弦式应变计、光纤光栅类应变计等直接监测。当文物建筑结构构件无法安装应变传感器时，可采用位移间接监测方法。

6.3.2 孔隙水压力宜通过埋设应变式或钢弦式等孔隙水压力计测试。孔隙水压力计埋设可采用压入法、钻孔法等。

6.3.3 土压力宜通过界面土压力计进行监测。土压力计埋设可采用埋入式或边界式。

6.3.4 孔隙水压力与土压力的监测结果宜综合分析研判。

6.4 环境监测

6.4.1 当温度、湿度环境对文物建筑有显著影响时，宜对文物建筑室内外环境进行温度、湿度自动化监测。

6.4.2 风环境监测宜包括风速、风向、风压监测，风速风向监测宜选用超声风速仪或机械式风速仪，风压监测宜选用陶瓷型或扩散硅微压差传感器，也可选用专用的风压计。

6.4.3 当文物建筑周边出现明确振源时，应进行振动监测，宜采用测试法测定振动速度。文物建筑的振动监测不得损害文物建筑的主体结构。

6.4.4 当地下水位变化对文物建筑存在潜在影响时，应对地下水位进行监测。地下水位监测方法宜参照国家标准 GB 50497 相关规定执行。

6.4.5 当气体环境对文物建筑存在影响或有要求时，应对气体环境进行监测。气体质量监测采用空气质量监测仪，气体质量应自动在线连续监测。

6.5 生物病害监测

6.5.1 动物病害监测可采用诱饵法、微波雷达、红外热成像及声频探测等方法对白蚁、蠹虫、木蜂、鼠类等进行监测；监测设备应布设在易发生动物病害的位置。

6.5.2 植物病害监测宜通过现场巡查、影像监测技术相结合的方式进行。

6.5.3 微生物病害监测宜通过现场巡查、影像监测和仪器检测技术相结合的方式进行。

6.6 土质监测

6.6.1 PH 值监测可采用电位法或锥形玻璃电极法。

6.6.2 腐蚀监测可采用电化学法和取样试验方法，监测参数应包括结构腐蚀电位、腐蚀电流和温度。

7 监测频率

7.1 监测频率应根据监测对象、监测目的、监测内容、监测精度、周边环境、工程地质条件等情况和特点综合确定。周边工程对文物建筑产生安全影响时，应根据影响因素的重要性和预测的影响程度确定监测频率。

7.2 日常维护期间的监测频率应根据日常巡查的情况、监测项目的变化速率进行调整，监测频率不应低于 1 次/年。

7.3 在文物建筑本体、环境条件、外部作用等产生明显变化，当前监测频率不能反映被监测量值的发展速度、趋势等变化规律时，应适当加密监测。

7.4 动态维修期间的监测频率应确保监测信息及时、系统地反映修缮施工工况及监测对象的动态变化。并应符合下列规定：

- a) 应根据结构应力或变化速率实时调整监测频率；
- b) 当涉及主体和承重结构改动或增加荷载时，应适当加密监测；
- c) 施工开始、停工、复工和施工完毕时均应进行至少 1 次监测。

7.5 文物建筑结构受到地震、暴雨、洪水、台风、爆破、交通事故等异常情况影响时，应在确保监测人员安全的情况下立即进行应急处置监测。应急处置监测初期的频率应根据文物建筑受到的损害程度确定，监测频率不应低于 1 次/周，后期监测频率应依据监测和巡查结果综合判断调整。

7.6 当文物建筑周边出现隧道、基坑等施工工程，且文物建筑在施工影响范围内时，文物建筑应作为重要监测对象，按相关规范规定的频率进行监测。

8 监测预警

8.1 文物建筑健康监测应设置监测预警值。

8.2 监测预警值宜包括监测项目的累计变化预警值和变化速率预警值，预警值宜按下列情况确定：

- a) 根据文物建筑结构形式、建筑规模、修建年代和当前健康状态，结合地质条件和环境条件综合确定；
- b) 修缮期间预警值应参照修缮设计要求、文物建筑状态等确定；
- c) 文物建筑受施工影响时，应根据施工设计、施工影响程度、文物健康状态等确定。

8.3 当发生下列情况之一时，应及时预警：

- a) 监测数据达到监测预警值；
- b) 变化速率突然增大或变化速率较大且不收敛；
- c) 建筑本体出现新的明显损害；
- d) 周边地表出现明显沉降或较严重的突发裂缝、坍塌；
- e) 周边环境出现危害文物建筑健康的滑坡、沉降、倾斜、裂缝等；
- f) 发现病虫害及腐蚀情况；
- g) 出现危及文物建筑健康的其他情况。

9 监测实施

9.1 监测仪器设备要求

9.1.1 文物建筑健康监测应使用专业的监测仪器设备，并满足以下要求：

- a) 监测仪器设备应经过检定或校准、调试，确保量测精度和可靠性；
- b) 监测仪器设备在监测过程中应定期检校；
- c) 监测仪器设备的安装宜不影响文物建筑的外观和结构。

9.2 监测点布设

9.2.1 监测传感器埋设前应进行标定，满足要求后使用。

9.2.2 监测点的布设应根据文物建筑的重要程度及安全状态确定，当周边有施工影响时，应进行加密布设。还应符合下列规定：

- a) 水平及竖向位移监测点应布设在文物建筑的承重墙、柱、拱及基础上，基础为规则形状的文物建筑，应沿轴线呈对称方式布设；
- b) 倾斜监测点应在文物建筑主体结构的顶部与底部对应成组布设；
- c) 已出现裂缝区域，应布设裂缝监测点，并在裂缝两侧布设沉降监测点，测量差异沉降；如裂缝出现错位滑移现象时，还应布设水平位移监测点；
- d) 温度梯度变化较大位置，应对称、均匀布设能反映结构竖向及水平向温度场变化规律的温度监测点；

- e) 风速及风向监测点应在周边最高建筑物上布设；
- f) 振动监测点应在工程结构振动敏感处布设；
- g) 对地下水位影响较为敏感的文物建筑应布设水位监测点；
- h) 对气体反映影响较为敏感的文物建筑应布设气体监测点；
- i) 其他监测内容应根据文物建筑的结构类型、现状情况进行确定。

9.3 数据采集

9.3.1 文物建筑健康监测应严格按照方案设计的精度要求、监测方法和技术要求实施；

9.3.2 观测记录内容应真实、完整，电子记录应完整存储在可靠介质上，过程记录应及时备份。

9.3.3 每期观测结束应及时检查和处理数据，超过规范规定限差要求时应及时返工复测。

9.3.4 自动化监测应满足以下要求：

a) 硬件应选用方便安装及维护、稳定的设备，能够长期适应监测环境，主要性能参数满足相应的技术规范要求；

b) 软件应具备自主监测和人机交互选测的功能，宜能兼容各种监测设备及传感器；

c) 通讯设备应根据现场网络信号的强度、稳定性等因素选用；

d) 监测系统应具备监测预警信息定制、推送、数据备份等功能；

e) 自动化监测方法应满足监测项目的精度要求。

9.4 巡查

9.4.1 文物建筑的巡查包含日常巡查、定期巡查、视频监控。

9.4.2 巡查应做好巡查记录，留存相关影像资料，可辅助以量尺、钎锤、放大镜、测距仪及照相机等工具设备。巡查宜包含以下内容：

a) 建筑局部或整体有无较大变形增量；

b) 梁、柱、墙有无新裂缝出现及裂缝增宽、增长；

c) 建筑整体及构件的糟朽、病害情况；

d) 周边有无出现塌陷、浸水等不良地质状况；

e) 周边新增施工工程；

f) 周边较大振动源；

g) 人流量及车流量变化情况；

h) 监测设施完好状况；

i) 其他不良状况。

9.4.3 巡查内容发生异常时应及时上报。

10 数据处理及信息反馈

10.1 监测数据应及时进行整理、校对和分析，出现异常数据时，应进行现场核对或复测。

10.2 数据处理时应对变形基准点稳定性进行检验分析。

10.3 数据处理应计算监测项目的累计变化值、相邻观测周期变化值、变化速率，结合相关影响因子绘制变化曲线，结合现场巡查结果综合分析。

10.4 应根据委托方要求和项目需要编制阶段性报告和总结报告进行信息反馈。

11 质量检验与成果整理

11.1 质量检验

11.1.1 文物建筑健康监测质量检查内容应包括监测方案、监测点的布设、仪器设备、数据采集、数据处理、成果图表、技术报告等。

11.1.2 各期监测成果完成后应严格落实过程检查，发现问题及时纠正。

11.1.3 质量检验应按照二级检查一级验收方式进行，并应符合 GB/T 24356 的规定。

11.2 成果整理

11.2.1 文物建筑健康监测成果资料应包含技术设计书、原始记录、巡查记录、数据处理资料、监测成果及监测过程中的其他资料等。

11.2.2 电子成果资料应完整存储在可靠介质上。

11.2.3 成果资料应按档案管理要求整理、编号。

附录 C

(资料性)

倾斜观测成果表

倾斜监测汇总表按表C.1执行。

表 C.1 XXX 倾斜观测成果表

次数	观测日期	倾斜分量		倾斜分量 本次变化量		倾斜分量 累积变化量		倾斜度 (%)	倾斜方向	倾斜量 (m)
		纵向 (m)	横向 (m)	纵向 (mm)	横向 (mm)	纵向 (mm)	横向 (mm)		(XXX 偏 XXX)	
									。 , ”	
<p>注：1、纵向倾斜分量大于零为向北偏，横向倾斜分量大于零为向东偏。 2、计算倾斜率的高度以地面起算至塔顶（避雷针与塔顶结合部中心），高度为 29.87m。 3、纵向倾斜分量变化量正值为向北位移，横向倾斜分量变化量正值为向东位移。 4、地面至避雷针顶部高度为 34.40m。</p>										

测量单位：

制表：

检查：

日期：

附录 D

(资料性)

现场巡查记录表

现场巡查记录按表D.1执行。

表D.1 现场巡查记录表

巡查日期		天气		温度	℃
巡查设备			巡查人:		
巡查对象					
序号	巡查内容	存在问题	位置	是否上报	现场照片数
1	建筑局部或整体变形情况				
2	梁、柱、墙裂缝情况				
3	整体及构件的糟朽、病害情况				
4	周边不良地质状况如有塌陷、浸水等				
5	周边较大振动源				
6	周边施工工程情况				
7	人流量及车流量变化情况				
8	监测设施				
9					
10					
11					
备注					

附录 F

(资料性)

温湿度环境监测记录表

温湿度环境监测按表F.1执行。

表F.1 温湿度环境监测记录表

项目名称:

监测点编号								
次数	观测日期 YYYY-MM-DD HH:MM	温度 (°C)			湿度 (%rh)			备注
		观测值	本次变化量	累计变化量	观测值	本次变化量	累计变化量	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
变化曲线图								

测量单位:

制表:

检查:

附录 I
(资料性)
土体剥落监测结果汇总表

表 I.1 土体剥落监测结果汇总表

项目名称							
监测部位							
仪器		天气		温度		日期	
<p>监测成果</p> 	<p>位置照片</p> 						
<p>监测结果 简述</p>							

监测单位:

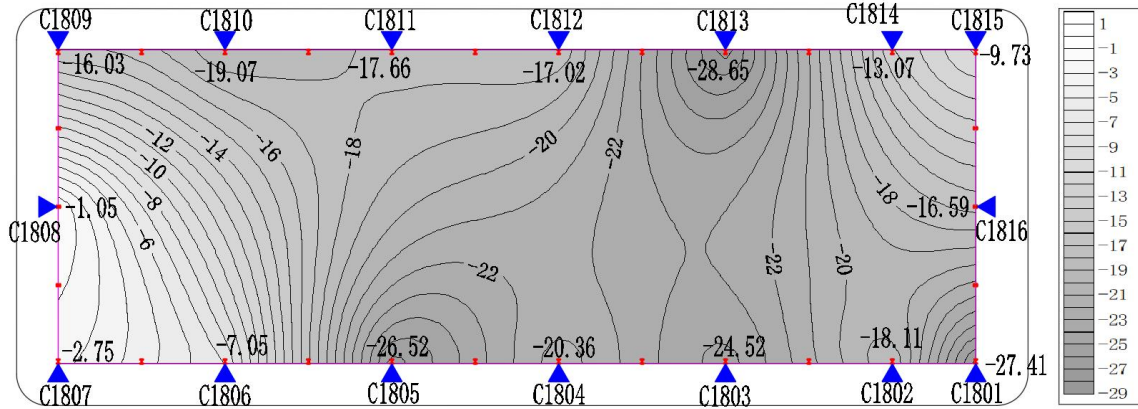
制表:

检查:

编制日期:

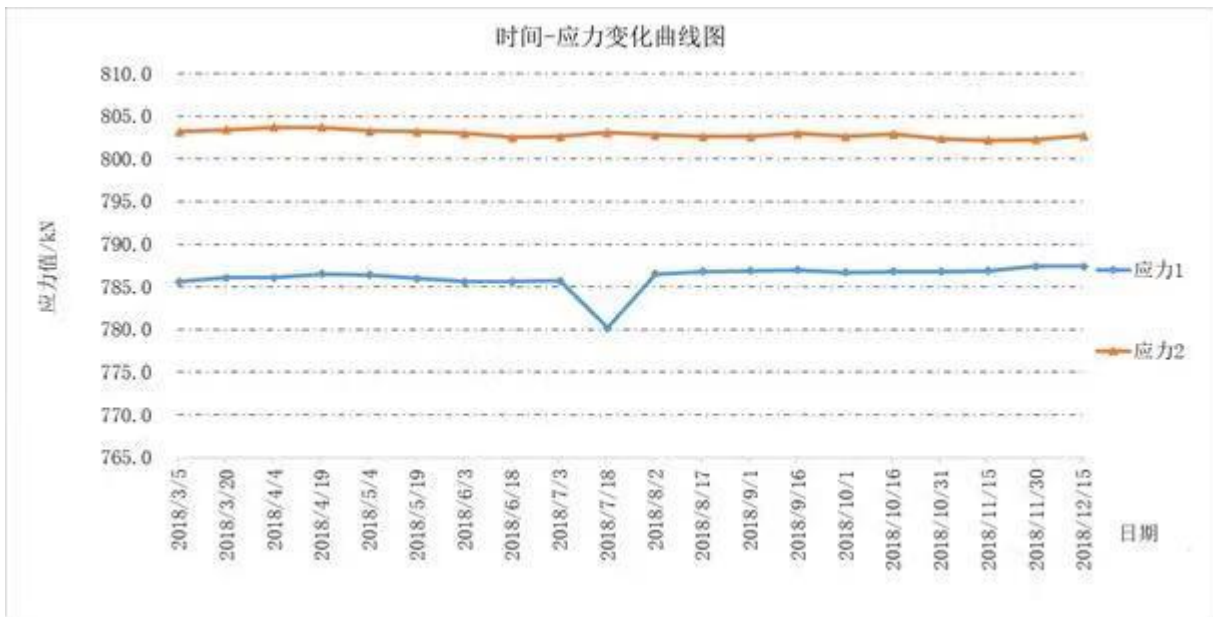
附录 G
(资料性)
等沉降曲线图

G.1 XXX基础等沉降曲线图示例



附录 H
(资料性)
应力曲线图

H.1 XXX应力变化曲线图示例



参 考 文 献

- [1] GB/T 50452-2008 古建筑防工业振动技术规范
 - [2] GB 50982-2014 建筑与桥梁结构监测技术规范
 - [3] CH/T 1001-2005 测绘技术总结编写规定
 - [4] CH/Z 3017-2015 地面三维激光扫描作业技术规程
 - [5] CH/T 6005-2018 古建筑测量规范
 - [6] CECS 333:2012 结构健康监测系统设计标准
 - [7] DB11/T 1473-2017 文物建筑安全监测规范
 - [8] 《文物建筑检测鉴定评估指南》张文革等主编，中国建材工业出版社
-