

城市轨道交通工程对文物建筑影响评估技术规范

Technical Code for Evaluation of Urban Rail Transit Impact on Ancient Buildings

地方标准信息服务平台

2021 - 12 - 09 发布

2022 - 07 - 01 实施

目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	2
4	原则	4
4.1	依法评估原则	4
4.2	保护为主原则	4
4.3	最小干预原则	4
4.4	真实性、完整性原则	4
4.5	全面、客观、科学性原则	4
5	总体要求	4
5.1	保护要素与影响因素	4
5.2	流程	4
5.3	技术路线	5
5.4	方法	6
5.5	结论与建议	6
6	阶段及内容	8
6.1	一般规定	8
6.2	规划阶段	8
6.3	设计阶段	8
6.4	建设阶段	9
7	现场勘查与检测	10
7.1	一般规定	10
7.2	状况调查	10
7.3	几何状态观测	10
7.4	材料强度、性能及缺陷检测	12
7.5	弹性波速测试	12
7.6	振动测试	12
8	历史文化要素影响评估	14
8.1	一般规定	14
8.2	影响评估步骤	14
8.3	影响评估内容	14
9	安全性评估	15
9.1	一般规定	15
9.2	地基基础构件安全性评估	16
9.3	上部结构构件安全性评估	17
9.4	结构安全性综合评估	22

10 振动影响评估	24
10.1 一般规定	24
10.2 步骤和方法	24
10.3 施工期振动影响评估	25
10.4 运营期振动影响评估	26
附录 A（资料性） 城市轨道交通工程对文物建筑影响评估报告的编制要求	28
附录 B（规范性） 城市轨道交通工程涉文物建筑影响范围	29
附录 C（规范性） 单个构件的划分原则	31
附录 D（资料性） 构件权重计算方法	32
附录 E（资料性） 文物建筑防振措施与加固方法	34

地方标准信息服务平台

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。

本文件由江苏省文化和旅游厅（省文物局）提出并归口。

本文件起草单位：南京工业大学、南京地铁集团有限公司、苏州高新有轨电车集团有限公司、南京市文化和旅游局、东南大学、无锡地铁集团有限公司、中国铁路设计集团有限公司、中国建筑第八工程局有限公司、南京工大桥隧与轨道交通研究院有限公司。

本文件主要起草人：余才高、朱利明、林劲、陈志宁、黎庆、王霆、陈宁欣、张国祥、张静、耿天霜、王宁、沈山杉、孟江、陈彦铭、张森、曹双寅、张春雷、嵇旭东、许炳刚、于海鹏、苏兴国。

地方标准信息服务平台

城市轨道交通工程对文物建筑影响评估技术规范

1 范围

本文件规定了开展城市轨道交通工程对文物建筑影响评估的原则、流程、阶段及内容，提出了现场勘查与检测、历史文化要素影响评估、安全性评估、振动影响评估的方法和要求。

本文件适用于城市轨道交通工程及市域郊铁路进入文物保护单位保护范围和建设控制地带的文物建筑影响评估，包括古建筑、石窟寺及石刻、近现代重要史迹及代表性建筑等。地下不可移动文物和重要遗址的影响评估方法可参照执行。

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 39056	古建筑砖石结构维修与加固技术规范
GB 50007	建筑地基基础设计规范
GB 50009	建筑结构荷载规范
GB 50068	建筑结构可靠性设计统一标准
GB/T 50165	古建筑木结构维护与加固技术标准
GB 50292	民用建筑可靠性鉴定标准
GB/T 50344	建筑结构检测技术标准
GB/T 50452	古建筑防工业振动技术规范
GB 50463	工程隔振设计标准
WW/T 0048	近现代历史建筑结构安全性评估导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市轨道交通 urban rail transit

采用专用轨道导向运行的城市公共客运交通系统,包括地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统。

3.2

文物建筑 ancient buildings

文物建筑指具有历史、文化、艺术、科学及社会价值的建筑类文物,包括古建筑、石窟寺及石刻、近现代重要史迹及代表性建筑等。

3.3

影响评估 impact assessment

以文物建筑保护为目的,应用系统、科学的方法,对文物建筑保护要素及影响因素进行识别、分析,评估文物建筑受影响的程度,并提出相关建议。

3.4

检测 testing

对结构的状况或性能所进行的现场测量和取样试验等工作。

3.5

结构安全性 structural safety

在正常使用期间,不考虑偶然作用条件下,结构满足承载力和稳定性的能力。

3.6

作用 action

施加在结构上的集中力或分布力(直接作用,也称为荷载)和引起结构外加变形或约束变形的原因(间接作用)。

3.7

永久作用 permanent action

在结构使用期间,其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。

3.8

可变作用 variable action

在结构使用期间，其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。

3.9

作用效应 effect of action

由作用引起的结构或结构构件的反应。

3.10

抗力 resistance

结构或结构构件承受作用效应的能力。

3.11

工业振动 Industrial vibration

铁路、公路、城市轨道交通、大型动力设备、工程施工等工业振源产生的振动。

3.12

动力特性 dynamic characteristic

表示结构动态特性的基本物理量，如固有频率、振型和阻尼等。

3.13

动力响应 dynamic response

结构受动力输入作用时的输出，如位移响应、速度响应、加速度响应等。

3.14

防振距离 vibration proof distance

文物建筑不受地面振动有害影响所需的最小距离。

3.15

振源减振 vibration absorption of source

通过采取措施以减小振源产生的振动。

3.16

传播路径隔振 vibration isolation of propagation path

通过采取措施在传播路径上设置隔振屏障以隔离振动。

4 原则

4.1 依法评估原则

影响评估应严格遵守相关法律、法规，依据相关规范、标准开展工作。

4.2 保护为主原则

影响评估应将文物建筑及其周边环境的保护置于首位，在重视文物建筑保护原则下正确处理经济建设、社会发展与文物建筑保护的关系。

4.3 最小干预原则

在确保文物建筑安全的前提下，城市轨道交通工程应减少对文物建筑干预的程度与频率。

4.4 真实性、完整性原则

充分考虑文物建筑保护和日常管理需要，注重与文物建筑历史文化要素相协调，最大限度地保持所涉及文物建筑及其周边环境的真实和完整。

4.5 全面、客观、科学性原则

影响评估应全面阐释文物建筑核心价值，客观分析城市轨道交通工程对文物建筑可能造成的影响，科学评估各种影响因素及影响范围，为决策提供科学依据。

5 总体要求

5.1 保护要素与影响因素

5.1.1 影响评估应明确文物建筑的保护要素，文物建筑的保护要素包括：

- a) 文物建筑历史文化要素，包括文物建筑价值、历史文化风貌、历史格局等；
- b) 文物建筑安全性，包括变形、开裂、不均匀沉降、损伤及工业振动长期作用导致的不利影响等。

5.1.2 应针对城市轨道交通工程可能对文物建筑产生影响的各种因素进行分析，包括但不限于：

- a) 车站、高架桥等结构物导致地面上景观环境改变；
- b) 基坑、隧道、高架桥施工及地下水位变化等因素导致的文物建筑变形、开裂、不均匀沉降等；
- c) 城市轨道交通工程运营振动导致文物建筑的损伤等。

5.2 流程

5.2.1 建设单位应根据城市轨道交通工程建设特点组织编制建设方案，在规划、设计、建设三个阶段开展影响评估，并根据影响评估报告优化建设方案。建设单位应提交建设方案和影响评估报告，根据需要在相应阶段上报对应级别的文物行政部门。

5.2.2 各阶段影响评估的实施流程应按图 1 进行。

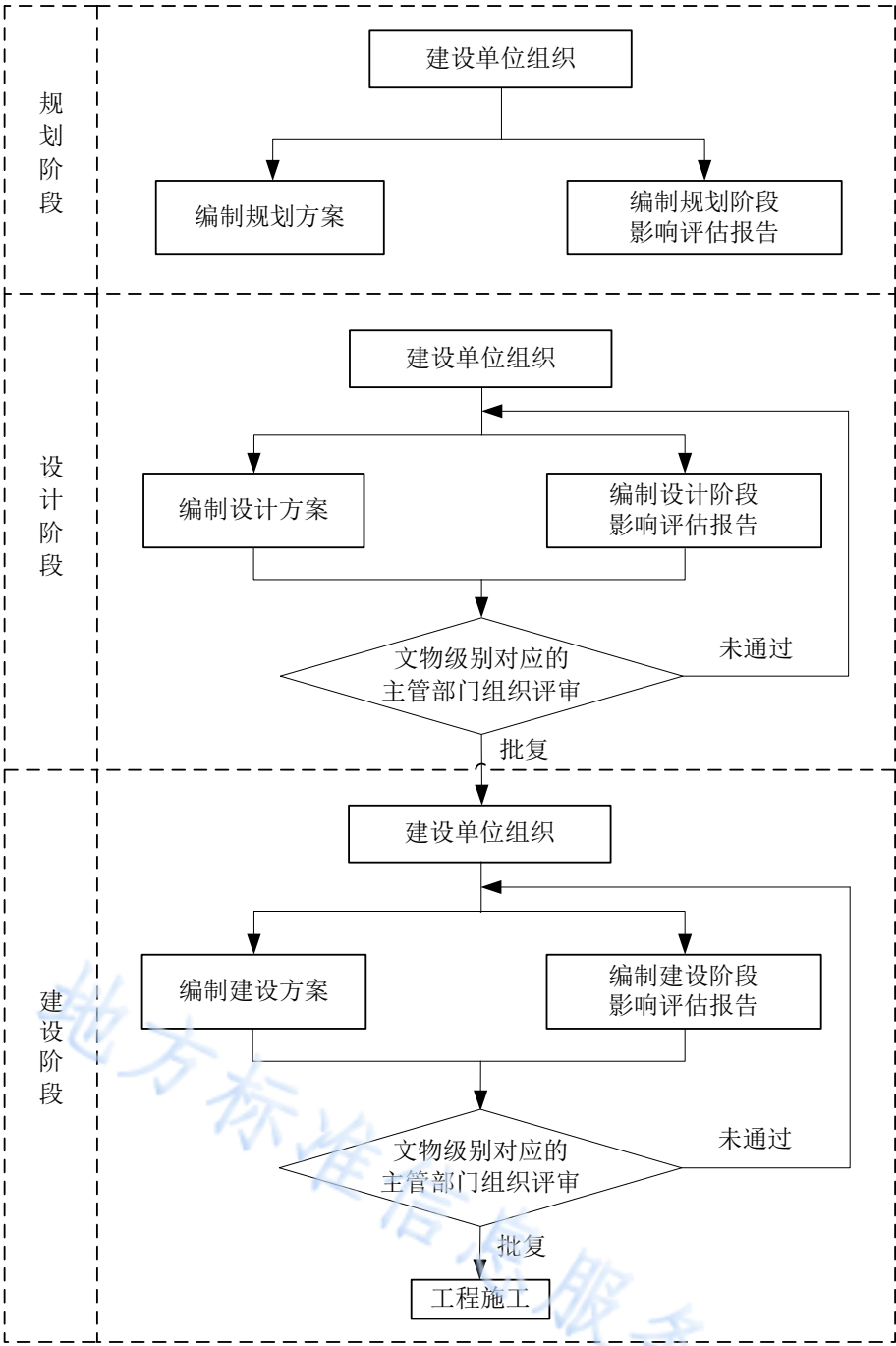


图1 影响评估流程图

5.3 技术路线

影响评估技术路线可按图 2 的流程进行，包括资料调查、现场勘查与检测、合规性评价、历史文化要素影响评估、安全性评估、影响评估报告编制。

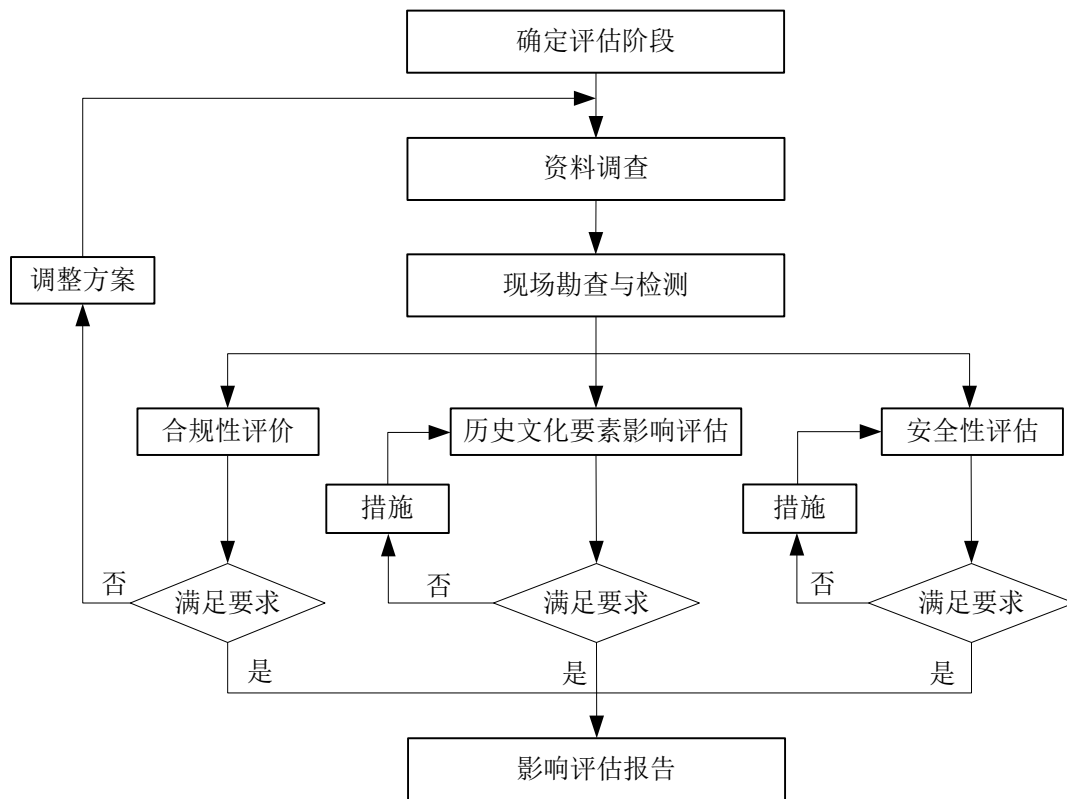


图2 影响评估技术路线图

5.4 方法

5.4.1 历史文化要素影响评估采用对比法，比较工程建设前后文物建筑历史文化要素的变化情况，评估城市轨道交通工程对历史文化要素的影响程度。

5.4.2 安全性评估，是针对城市轨道交通工程实施前或实施后的文物建筑状态进行评估，其评估方法为：

$$A_{0i} \leq [A_i] \quad (1)$$

$$A_i = A_{0i} + \Delta_i \leq [A_i] \quad (2)$$

式中： A_{0i} —评价文物建筑初始状态的各项安全性参数；

A_i —评价文物建筑实施后状态的各项安全性参数；

Δ_i —城市轨道交通工程各因素导致的安全性参数变化量；

$[A_i]$ —各安全性参数的限值，包括第9章的倾斜率、变形、裂缝等及第10章的振动。

5.5 结论与建议

5.5.1 影响评估应对各保护要素进行全面分析，确定各影响因素对各保护要素产生影响的程度，并给出结论，结论类型有：

- a) 项目可行。建设项目符合评估要求，对文物建筑及周边环境影响较小或通过增设的保护措施使影响可控，项目可行；
- b) 项目调整后可行。建设项目不符合评估要求，对文物建筑及周边环境影响较大，调整项目选址或加强保护措施后，影响可控，项目调整后可行；
- c) 项目不可行。建设项目不符合评估要求，对文物建筑及周边环境影响很大，且采取保护措施后仍不可控。

5.5.2 影响评估应给出有利于文物建筑历史文化要素保护、文物建筑安全性等方面的建议。

地方标准信息服务平台

6 阶段及内容

6.1 一般规定

影响评估应明确其工作阶段，根据各阶段工作需求，确定影响评估的深度和内容。

6.2 规划阶段

6.2.1 宜选择在建设规划阶段开展影响评估。

6.2.2 应重点论证工程建设对文物保护单位的不可避让性，对工程建设的必要性、合理性进行分析。

6.2.3 应统计各方案进入文物保护单位保护范围和建设控制地带的工程项目，明确城市轨道交通工程与文物建筑的相对位置关系。

6.2.4 应搜集文物建筑相关资料，确定文物保护单位的基本信息（建设年代、保护级别、结构类型、文化价值等）。

6.2.5 应对工程建设是否符合现有涉文物保护法律、法规、规划等进行合规性评价。

6.2.6 应对文物建筑历史文化要素进行简要分析并对现状简要描述，评估工程建设对其产生的影响程度。

6.2.7 应根据建设规划方案明确城市轨道交通的类型，并简要阐述工程方案和施工工法。

6.2.8 应调研类似城市轨道交通工程涉文物建筑保护案例，影响评估可结合已有案例定性开展。

6.3 设计阶段

6.3.1 宜选择在工程可行性研究阶段开展影响评估。

6.3.2 应充分论证工程建设对文物保护单位的不可避让性，论述设计方案的合理性，重点评估文物建筑保护的可行性。

6.3.3 应明确城市轨道交通工程与文物建筑的相对位置关系。

6.3.4 应根据工程类型、地质条件对工程建设影响范围进行界定，影响范围的界定见附录 B。

6.3.5 应进行文物建筑调查，宜按资料收集、现场勘查方式开展，确定文物建筑的详细信息（建设年代、保护级别、结构类型、历次改造加固情况、前期文物建筑状态检查及评估报告等）。

6.3.6 应对工程建设是否符合现有涉文物保护法律、法规、规划等进行合规性评价。

6.3.7 应对文物建筑历史文化要素进行详细分析并对现状详细描述，评估工程建设对其产生的影响程度。

6.3.8 应依据调查结果，对文物建筑现状安全性作初步评估。

6.3.9 应依据设计方案开展影响安全性评估，评估可结合已有案例，必要时进行现场测试和数值分析，对后续工作提出指导性要求。

6.3.10 应采用算法或测试法评估运营期振动对文物建筑耐久性的影响。

6.3.11 应结合工程与文物建筑的位置关系、工程地质条件、轨道交通敷设方式、施工工法等因素，提出文物建筑保护的相关建议。

6.4 建设阶段

6.4.1 应详细说明新建工程与文物建筑的相对位置关系，重点阐述施工图设计、施工组织设计的内容。

6.4.2 应采取可行的方法对文物建筑进行现场勘查与检测，包括文物建筑基础、结构体系、构件残损、材料性能及强度等，以确定文物建筑的保存现状，按第7章执行。

6.4.3 应对工程建设是否符合现有涉文物保护法律、法规、规划等进行合规性评价。

6.4.4 应对文物建筑历史文化要素进行全面分析并对现状全面描述，评估工程建设对其产生的影响程度，按第8章执行。

6.4.5 应依据现场勘查与检测结果，对文物建筑进行现状安全性评估，按第9章执行。

6.4.6 应采用现场实测、归纳统计或数值分析等方法针对施工全过程开展影响安全性评估，按第9章执行。

6.4.7 应充分考虑周边建设环境对文物建筑安全的影响，包括但不限于地下水变化、堆卸土、边坡稳定性等。

6.4.8 应根据施工组织设计，评估施工工法、施工机具等诱发的振动对文物建筑的影响，必要时进行现场测试或数值分析，按第10章执行。

6.4.9 应采用算法或测试法评估运营期振动对文物建筑安全性的影响，按第10章执行。

6.4.10 根据影响评估结果，针对影响较大的文物建筑，评估单位应提出文物建筑变形、裂缝、振动速度等方面的控制标准。

6.4.11 应评估保护方案的有效性和合理性，并提出文物建筑保护的相关建议。

7 现场勘查与检测

7.1 一般规定

7.1.1 应根据文物建筑与周边环境合理确定勘查与检测内容，为影响评估提供依据。

7.1.2 检测应符合下列要求：

- a) 检测方法应符合现行国家标准 GB/T 50344 的有关规定，优先采用非破损方法；
- b) 检测应按本文件划分的构件单位（见附录 C）进行，并应有取样、布点方面的详细说明；
- c) 对检出的异常值，应寻找其技术上、物理上的产生原因，作为处理异常值的依据。有充分依据时，方可剔除或修正。

7.1.3 抽样原则：

- a) 原则上采取随机抽样的方法进行检测，抽样数量应符合现行国家标准 GB/T 50344 的有关规定；
- b) 对使用环境恶劣、存在明显缺陷等构件应进行单独检测；
- c) 当构件总数少于 5 个时，应逐个进行检测。

7.2 状况调查

状况调查应包括下列内容：

- a) 文物建筑的修建年代、保护级别、结构体系、结构类型、基础形式、周边环境、历史格局演变及现状等；
- b) 城市轨道交通工程与文物建筑的位置关系、敷设方式等；
- c) 工业振源的类型、频率范围、分布状况、场地土类别等。

7.3 几何状态观测

7.3.1 应测量文物建筑的几何尺寸，包括长度、宽度、结构总高度等。

7.3.2 应对文物建筑上部结构、墙、柱等进行变形观测。

7.3.3 对文物建筑进行变形观测时，可采用全站仪投点法、水平角观测法、前方交会法。当采用投点法时，测站点宜选在与变形方向成正交的方向线上距照准目标 1.5~2.0 倍目标高度的固定位置，测站点的数量不宜少于 2 个。当采用水平角观测法时，应设置好定向点。

7.3.4 竖向变形观测应符合下列规定：

- a) 桥梁、大跨度构件等以挠曲变形为特征的建筑物，观测点应沿其表面左右两侧布设；
- b) 竖向变形值 f_1 （见图 3）应按下列公式计算：

$$f_1 = \Delta s_{AE} - \frac{L_{AE}}{L_{AE} + L_{BE}} \Delta s_{AB} \quad (3)$$

$$\Delta s_{AE} = s_E - s_A \quad (4)$$

$$\Delta s_{AB} = s_B - s_A \quad (5)$$

式中： S_A 、 S_B 、 S_E —A、B、E的位移量（mm）；

L_{AE} 、 L_{EB} —A、E之间及E、B之间的距离（m）。

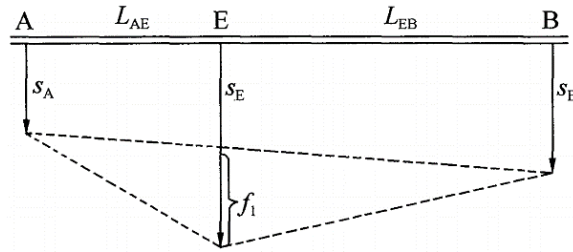


图3 竖向变形值计算示意图

7.3.5 横向变形观测应符合下列规定：

- a) 对建筑结构横向变形观测，测点应按建筑结构类型沿同一竖直线在不同高度上布设。
- b) 横向变形值 f_2 （见图4）应按下列公式计算：

$$f_2 = \Delta d_{AE} - \frac{L_{AE}}{L_{AE} + L_{EB}} \Delta d_{AB} \quad (6)$$

$$\Delta d_{AE} = d_E - d_A \quad (7)$$

$$\Delta d_{AB} = d_B - d_A \quad (8)$$

式中： d_A 、 d_B 、 d_E —A、B、E点的位移分量（mm），其中E点位于A、B两点之间；

L_{AE} 、 L_{EB} —A、E之间及E、B之间的距离（m）。

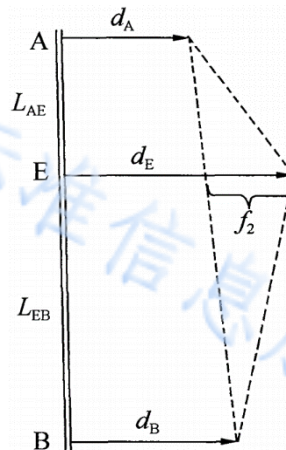


图4 横向变形值计算示意图

7.3.6 变形观测应提供下列成果资料：

- a) 测点布置图；
- b) 观测成果表；
- c) 变形曲线。

7.4 材料强度、性能及缺陷检测

结构的强度、性能及缺陷检测可按现行国家标准GB/T 50344的规定执行。

7.5 弹性波速测试

7.5.1 本节适用于文物建筑木结构、砖石及混凝土结构的弹性波传播速度测试。

7.5.2 弹性波传播速度测试采用非金属超声检测分析仪，其声时测读精度不得低于 0.1 μ s。

7.5.3 弹性波传播速度的测试应符合下列规定：

- a) 弹性波传播速度应采用平测法测试（即发射换能器和接收换能器均布置在构件同一平面内）；
- b) 测点处的表面宜清洁、平整；
- c) 采用纵波换能器，换能器和测点表面间用黄油耦合；
- d) 用钢卷尺测量发射换能器和接收换能器两者中心之间的距离（以下简称测距），记录数据应精确到 1 mm。

7.5.4 木结构的弹性波传播速度测试尚应符合下列规定：

- a) 测试柱子和主梁的顺纹纵波传播速度；
- b) 测点应布置在靠近柱底、主梁两端和跨中以及柱和主梁上有木节、裂缝、腐朽和虫蛀处；布置测点的柱子（包括金柱、檐柱和廊柱）和主梁分别不应少于其总数的 20%；
- c) 测距宜选择 400~600 mm。

7.5.5 砖石及混凝土结构的弹性波传播速度测试尚应符合下列规定：

- a) 测试砖石砌体或混凝土构件的纵波传播速度；
- b) 测点应布置在承重结构底部和拱顶以及风化、开裂、鼓凸处；每层测点不应少于 10 个；
- c) 测距宜选择 200~250 mm。

7.5.6 每处测点应改变发射电压，读取 2 次声时，取其平均值为本测距的声时。对于声时异常的测点，必须测试和读取 3 次声时，读数差不宜大于 3%，以测值最接近的 2 次平均值作为本测距的声时。

7.5.7 测点的弹性波速按公式（9）计算，文物建筑的弹性波速应取所有测点弹性波速的平均值。

$$v_e = \frac{L_c}{t} \quad (9)$$

式中： v_e —测点的弹性波速（m/s）；

L_c —测距（m）；

t —测点的平均声时（s）。

7.6 振动测试

7.6.1 本节适用于文物建筑木结构、砖石及混凝土结构的动力特性（固有频率、振型和阻尼）和响应的测试。

7.6.2 文物建筑动力特性和响应的测试，当结构对称时，可按任一主轴水平方向测试；当结构不对称时，应按各个主轴水平方向分别测试。

7.6.3 文物建筑动力特性和响应的测试应符合下列要求：

- a) 测试仪器应满足低频、微幅的要求，其低频起始频率不应高于 0.5 Hz，测试系统分辨率不应低于 10^{-6} m/s；
- b) 测试仪器应在标准振动台上进行系统灵敏度系数的标定，并给出灵敏度系数随频率变化曲线；
- c) 动力特性应在脉动环境下测试，结构响应应在工业振源作用下测试；测试时不得有任何机、电、人为干扰和一级以上风的影响；
- d) 传感器应牢固固定在被测结构构件上；测线电缆应与结构构件固定在一起，不得悬空；
- e) 测试时应详细记录测试日期、周边环境、风速风向、测试次数、记录时间、测试方向、测点位置、各测点对应的通道号、传感器编号、放大倍数以及标定值、各通道的记录情况等；
- f) 低通滤波频率和采样频率应根据所需频率范围设置，采样频率宜为 100~120 Hz；记录时间每次不应少于 15 min，记录次数不得少于 5 次。

7.6.4 文物建筑动力特性测试宜按以下要求布置测点：

- a) 测定砖石或混凝土结构的水平振动，测点宜布置在各层平面刚度中心或其附近；
- b) 测定木结构的水平振动，测点宜布置在中跨的各层柱顶和柱底。

7.6.5 文物建筑响应测试应按以下要求布置测点：

- a) 测定砖石或混凝土结构的水平响应，测点应沿两个主轴方向分别布置在承重结构的最高处；
- b) 测定木结构的水平响应，测点应布置在两个主轴中跨的顶层柱顶；
- c) 测定石窟的响应，测点应布置在窟顶的径向、切向和竖向。

7.6.6 数据分析前，应对实测原始记录信号去掉零点漂移和干扰，并对电信号干扰进行带阻滤波，处理波形的失真。

7.6.7 文物建筑动力特性应按下列方法确定：

- a) 对处理后的记录进行自功率谱、互功率谱和相干函数分析，同时宜加指数窗，平均次数宜为 100 次左右；
- b) 结构固有频率和振型应根据自功率谱峰值、各层测点间的互功率谱相位确定，测点间相干函数不得小于 0.8；
- c) 模态阻尼比可由半功率带宽法确定。

文物建筑动力响应应分别按同一高度、同一方向各测点速度时程最大峰值的一半确定，并取5次的平均值。

8 历史文化要素影响评估

8.1 一般规定

8.1.1 历史文化要素包括文物建筑价值、历史文化风貌、历史格局等，影响评估应明确文物建筑核心价值及主要保护要素。

8.1.2 历史文化要素影响评估应先进行单一要素影响评估，包括文物建筑价值影响、历史文化风貌影响、历史格局影响等。

8.1.3 应根据单一要素影响评估结果，给出综合影响评估结论，可分为：影响很小、影响较小、影响较大。

8.2 影响评估步骤

评估建设项目对文物建筑历史文化要素的影响，可按下列步骤进行：

- a) 明确历史文化要素和核心价值；
- b) 明确影响因素，包括车站、高架桥、隧道等结构物；
- c) 评估各影响因素对历史文化要素的影响程度；
- d) 给出评估结论。

8.3 影响评估内容

8.3.1 应从历史价值、文化价值、艺术价值、科学价值、社会价值多方面对文物建筑进行价值论述，评估建设项目对文物建筑五个价值的影响程度。

8.3.2 应阐述文物建筑历史文化风貌，根据现状地面构筑物与文物建筑的位置关系，对现状景观环境进行评述；评估建设项目对文物建筑历史文化风貌的影响程度。

8.3.3 应从功能和空间两方面阐述文物建筑的历史格局，根据历史文献研究和考古调查，将历史格局资料与现状进行叠置分析，确定历史格局主要保护元素；评估建设项目对历史格局的影响程度。

8.3.4 应根据保护区划与管理规定，结合 8.3.1~8.3.3 条，综合评估建设项目对历史文化要素的影响程度。

9 安全性评估

9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于文物建筑现状安全性评估及影响安全性评估。

9.1.2 安全性评估方法

9.1.2.1 安全性评估可按 WW/T 0048 的规定分为一级评估和二级评估。一级评估包括结构损伤状况、构件变形、构件裂缝、节点及连接构造等，二级评估为结构安全性验算。

9.1.2.2 一级评估符合要求，可不再进行二级评估，评定安全性满足要求。一级评估不符合要求，评定安全性不满足要求，应进行二级评估。

9.1.2.3 二级评估应依据一级评估结果，建立整体力学模型，进行结构承载力验算，对于建筑体系或地质条件复杂的文物建筑，宜采用数值分析方法。

9.1.3 安全性评估层次划分

安全性评估应按构件、组成部分、整体三个层次进行，从第一个层次开始，分层进行：

- a) 根据构件各评估项目评定结果，确定单个构件安全性等级；
- b) 根据单个构件的评定结果，确定组成部分安全性等级；
- c) 根据组成部分的评定结果，确定整体安全性等级。

9.1.4 安全性等级划分

9.1.4.1 构件安全性等级

构件安全性等级分为安全和不安全两个等级，安全表示构件不需处理；不安全表示构件需要维护加固。

9.1.4.2 组成部分安全性等级

9.1.4.2.1 地基基础安全性等级

地基基础安全性等级分为a、b、c、d四级，分别代表地基基础安全性满足要求、地基基础安全性基本满足要求、地基基础安全性显著不满足要求、地基基础安全性严重不满足要求。

9.1.4.2.2 上部结构安全性等级

上部结构安全性等级分为a、b、c、d四级，分别代表上部结构安全性满足要求、上部结构安全性基本满足要求、上部结构安全性显著不满足要求、上部结构安全性严重不满足要求。

9.1.4.3 整体安全性等级

建筑整体安全性等级分为A、B、C、D四级，分别代表建筑整体安全性满足要求、整体安全性基本满足要求、整体安全性显著不满足要求、整体安全性严重不满足要求。

9.1.5 结构安全性验算

9.1.5.1 结构安全性验算应考虑基本组合与偶然组合，并采用公式（10）进行验算。应按现行国家标准 GB 50009、GB 50068 对承载力公式和分项系数进行逐项核对。

$$R/S=K \quad (10)$$

式中：R—结构抗力；
S—作用效应；
K—抗力与作用效应比值。

9.1.5.2 结构的抗力、作用效应按下列原则确定：

- a) 结构上的作用可按现行国家标准 GB 50292 的规定取值；
- b) 作用效应的组合应考虑最不利组合，按以下规定确定：
 - 1) 当作用效应对结构不利时永久作用分项系数取 1.3；当作用效应对结构有利时永久作用分项系数取 1.0；
 - 2) 可变作用分项系数取 1.5。
- c) 宜参照相关结构设计规范关于抗力的计算方法进行计算。

9.1.5.3 结构材料强度的标准值应根据结构的实际状态按下列原则确定：

- a) 若原设计文件有效，且结构没有严重的性能退化或施工偏差小，可采用原材料强度标准值；
- b) 若实际情况不符合上款的要求，宜进行现场检测，并按 GB/T 50344 的规定确定其标准值；
- c) 当无设计文件且不具备现场检测条件时，可参考相关资料，选用同时期同类型结构材料强度标准值。

9.1.5.4 结构的几何参数宜采用实测值，并应计入风化、局部缺陷或缺损、虫蛀、锈蚀、腐朽以及施工偏差等的影响。

9.2 地基基础构件安全性评估

9.2.1 一般规定

9.2.1.1 地基基础安全性评估应包括地基和基础两部分的评估。

9.2.1.2 地基安全性应根据岩土工程勘察报告、地基沉降资料或地基不均匀沉降在上部结构中的反应进行评估。

9.2.1.3 基础安全性应根据上部结构尤其是砖墙上是否出现或会出现与地基不均匀沉降相关的墙体裂缝，以及裂缝的走向、宽度、延伸状况、是否贯穿等情况进行评估。

9.2.2 一级评估

9.2.2.1 当建筑物地基出现或会出现不均匀沉降导致倾斜率大于 7‰时，为地基不满足一级评估，应进行二级评估。

9.2.2.2 当建筑物基础出现下列现象之一，为基础不满足一级评估，应进行二级评估：

- a) 上部结构砌体部分出现或会出现宽度大于 5 mm 的沉降裂缝，预制构件的连接部位出现或会出现宽度大于 2 mm 的沉降裂缝；
- b) 基础存在明显的老化、腐蚀、酥碎、折断等损坏现象。

9.2.2.3 影响安全性评估应根据现场实测值叠加数值分析结果，当叠加结果出现下列现象之一，为地基不满足一级评估，应进行二级评估：

- a) 建筑物地基会出现不均匀沉降，倾斜率大于 7‰。
- b) 建筑物的砌体部分会出现宽度大于 1.5 mm 的裂缝；或附近地面会出现宽度大于 10 mm 的裂缝。
- c) 基坑底部或周围土体会出现可能导致土体剪切破坏或其他可能影响地基安全的状况。

9.2.3 二级评估

9.2.3.1 地基基础二级评估根据安全性验算结果进行。

9.2.3.2 地基安全性验算可按国家标准 GB 50007 进行，考虑地基土长期压密效应，根据公式 (11) 进行安全性评估。当 $K_0 \geq 1.0$ 时，判定地基安全性满足要求；当 $K_0 < 1.0$ 时，判定地基安全性不满足要求。

$$\xi_c R / S = K_0 \quad (11)$$

式中： ξ_c —地基土长期压密提高系数，其值可按表 1 采用；

K_0 —考虑抗力提高系数时，抗力与作用效应的比值。

表1 地基土长期压密提高系数

年限与岩土类别	P_0 / f_{ak}			
	1.0	0.5	0.4	<0.4
2 年以上的砾、粗、中、细、粉砂				
5 年以上的粉土和粉质黏土	1.2	1.1	1.05	1.0
8 年以上地基土静承载力标准值大于 100 kPa 的黏土				

注：1 P_0 指基础底面实际平均压应力(kPa)；

2 f_{ak} 指地基承载力特征值(kPa)；

3 使用年限不够或岩石、碎石土、其他软弱土，提高系数值可取1.0。

9.2.3.3 基础安全性验算可按 9.1.5 条，根据公式 (10) 进行安全性评估。当 $K \geq 1.0$ 时，判定基础安全性满足要求；当 $K < 1.0$ 时，判定基础安全性不满足要求。

9.3 上部结构构件安全性评估

9.3.1 混凝土结构构件

9.3.1.1 一般规定

混凝土构件的一级评估应包括混凝土的外观质量、变形、裂缝、钢筋锈蚀、构造等5个项目，任一项目不满足一级评估，应进行二级评估。

9.3.1.2 一级评估

9.3.1.2.1 混凝土外观质量

当混凝土构件出现老化、酥裂、起壳等外观质量缺陷，其截面损失率大于表2规定的限值时，不满足一级评估。

表2 混凝土构件截面损失率限值

检查项目	截面损失率
梁、板	10%
墙、柱	5%

9.3.1.2.2 混凝土构件变形

当混凝土构件出现或会出现变形，其变形数值大于表3规定的限值时，不满足一级评估。

表3 混凝土构件变形限值

检查项目	变形限值
桁架、屋架挠度 (mm)	$L_0/250$
梁、板挠度 (mm)	$L_0/200$
柱、墙侧移 (mm)	$h/350$

注： L_0 指构件计算跨度 (mm)， h 指层高 (mm)。

9.3.1.2.3 混凝土构件裂缝

当混凝土构件出现或会出现受力裂缝或非受力裂缝，其裂缝宽度大于表4规定的限值时，不满足一级评估。

表4 混凝土构件裂缝宽度限值

检查项目	受力裂缝宽度 (mm)	非受力裂缝宽度 (mm)
混凝土	0.3	0.5

当混凝土结构构件出现或会出现受压区混凝土有压裂或剪切裂缝时，不论其裂缝宽度大小，均为不满足一级评估。

9.3.1.2.4 混凝土构件钢筋锈蚀

当混凝土构件出现钢筋锈蚀，其截面锈蚀率大于表5规定的限值时，不满足一级评估。

表5 混凝土构件钢筋截面锈蚀率限值

检查项目	钢筋截面锈蚀率
梁、板	5%
墙、柱	7%

9.3.1.2.5 混凝土构件构造

当混凝土构件的构造不满足表6规定的构造要求时，不满足一级评估。

表6 混凝土构件构造要求

检查项目	构造要求
连接(或节点)构造	连接方式正确，主要构造基本符合国家现行鉴定规范要求，无缺陷，或仅有局部的表面缺陷，工作无异常。
受力预埋件	构造合理，受力可靠，无变形、滑移、松动或其它损坏。

9.3.1.3 二级评估

9.3.1.3.1 混凝土构件二级评估根据承载力验算结果进行。

9.3.1.3.2 混凝土构件承载力验算可按 9.1.5 条，根据公式（10）进行安全性评估。当 $K \geq 1.0$ 时，判定混凝土构件安全性满足要求；当 $K < 1.0$ 时，判定混凝土构件安全性不满足要求。

9.3.2 砌体结构构件

9.3.2.1 一般规定

砌体结构构件的一级评估应包括砌体的外观质量、变形、裂缝、构造等4个项目，任一项目不满足一级评估，则应进行二级评估。

9.3.2.2 一级评估

9.3.2.2.1 砌体结构构件的外观质量

当砌体结构构件出现各种砌筑质量引起的缺陷，或人为破损，以及自然风化，而导致其承重的有效面积削弱，其有效面积受损率大于表7规定的限值时，不满足一级评估。

表7 砌体构件截面削弱率限值

检查项目	受损率
墙	6%
柱	4%

9.3.2.2.2 砌体结构构件变形

当砌体结构构件出现或会出现变形，变形数值大于表8规定的限值时，不满足一级评估。

表8 砌体构件变形限值

检查项目	变形限值
侧向弯曲矢高（mm）	$h/350$
倾斜率	6‰

注： h 指层高（mm）。

9.3.2.2.3 砌体结构构件裂缝

当砌体结构构件出现或会出现下列形式的受力裂缝时，不满足一级评估：

- a) 墙、柱的端部或中部，出现沿块材断裂（贯通）的竖向裂缝；
- b) 建筑承重外墙的变截面处，出现水平裂缝或斜向裂缝；
- c) 砌体过梁的跨中或支点出现裂缝；
- d) 拱、壳支点附近或支承的墙体上出现沿块材断裂的斜裂缝；
- e) 其他明显的受压、受弯或受剪裂缝。

当砌体结构构件出现或会出现下列形式的非受力裂缝时，不满足一级评估：

- a) 纵横墙连接处出现通长的竖向裂缝；
- b) 身裂缝严重，且最大裂缝宽度大于 3 mm；
- c) 出现宽度大于 1.5 mm 的裂缝，或有断裂、错位状况；
- d) 其他显著影响结构整体性的裂缝。

9.3.2.2.4 砌体构件的构造

当砌体结构构件的构造不满足表9规定的构造要求时，不满足一级评估。

表9 砌体构件构造要求

检查项目	构造要求
墙、柱的高厚比	符合国家现行设计规范的要求
连接及其他构造	连接及砌筑方式正确，主要构造基本符合国家现行设计规范要求，无缺陷或仅有局部的表面缺陷，工作无异常

9.3.2.3 二级评估

9.3.2.3.1 砌体构件二级评估根据承载力验算结果进行。

9.3.2.3.2 砌体构件承载力验算可按 9.1.5 条，根据公式（10）进行安全性评估。当 $K \geq 1.0$ 时，判定砌体构件安全性满足要求；当 $K < 1.0$ 时，判定砌体构件安全性不满足要求。

9.3.3 木结构构件

9.3.3.1 一般规定

9.3.3.1.1 木结构构件的一级评估应包括木构件的外观质量、变形、裂缝、构造等 4 个项目，任一项目不满足一级评估，则应进行二级评估。

9.3.3.1.2 当需要对木结构进行二级评估时，应对木材的力学性能，以及木材的腐朽、蛀蚀、缺陷进行检测；同时应扣除各种因素造成的截面损失，实测木构件截面有效值。

9.3.3.2 一级评估

9.3.3.2.1 木结构构件的外观质量

当木结构构件出现腐朽、蛀蚀、缺陷，或人为损坏，而导致其承重的有效面积削弱，其有效面积受损率大于 7.5% 时，为不满足一级评估。

对木结构构件缺陷的现场勘查，应采用敲击法或仪器探测，一旦检测到有心腐缺陷的木构件，可直接判定其安全性不满足。

9.3.3.2.2 木结构构件变形

当木结构构件出现或会出现变形，其变形数值大于表10规定的限值时，不满足一级评估。

表10 木构件变形限值

检查项目	变形限值
抬梁式屋架	$L_0/180$
三角桁架	$L_0/160$
梁	$L_0/180$
搁栅、檩条	$L_0/160$
柱	$h/180$

注： L_0 指构件计算跨度（mm）， h 指层高（mm）。

9.3.3.2.3 木结构构件的斜裂缝

当木结构构件出现或会出现斜裂缝，其斜率大于表11规定的限值时，不满足一级评估。

表11 木构件斜裂缝斜率限值

检查项目	斜率 ρ 限值
受拉构件	8%
受弯构件	12%
偏压构件	12%
轴压构件	17%

注：斜率 ρ 为斜裂缝与纵轴线夹角的正切值。

9.3.3.2.4 木结构构件的构造

当木结构构件的构造不满足表12规定的构造要求时，不满足一级评估。

表12 木构件构造要求

检查项目	构造要求
连接（或节点）	连接方式正确，主要构造基本符合国家现行设计规范要求，无缺陷，或仅有局部表面缺陷，通风良好，工作无异常。
屋架起拱值	符合或略不符合国家现行设计规范要求，但未发现有推力所造成的影响。

9.3.3.3 二级评估

9.3.3.3.1 木构件二级评估根据承载力验算结果进行。

9.3.3.3.2 木构件承载力验算可按 9.1.5 条，根据公式（10）进行安全性评估。当 $K \geq 1.0$ 时，判定木构件安全性满足要求；当 $K < 1.0$ 时，判定木构件安全性不满足要求。

9.4 结构安全性综合评估

9.4.1 基本要求

结构安全性综合评估，应考虑下列因素：

- 不安全构件在整栋建筑中的地位；
- 不安全构件的保护价值；
- 不安全构件在整栋建筑中所占数量和比例。

9.4.2 安全性不满足要求的构件权重比

安全性不满足要求的构件权重比应按下列步骤确定：

- 确定各构件的影响权重（参见附录 D 的方法）；
- 确定各构件的安全性等级，分别为满足和不满足；
- 根据公式（12）确定安全性不满足要求的构件权重比 Γ 。

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{j=1}^m w_j} \times 100\% \quad (12)$$

式中： n —安全性不满足要求的构件总数；

i —安全性不满足要求的构件编号；

w_i —第 i 号构件的权重；

m —所有构件总数；

j —所有构件编号；

w_j —第 j 号构件的权重。

9.4.3 组成部分安全性等级评估

组成部分安全性等级根据表13确定。

表13 组成部分安全性等级评估

等级划分	评判标准
a	$\Gamma=0$
b	$0.05 \geq \Gamma > 0$
c	$0.30 \geq \Gamma > 0.05$
d	$\Gamma > 0.3$

9.4.4 建筑整体安全性等级评估

9.4.4.1 建筑整体安全性等级评估按组成部分安全性等级较低一个等级确定，并用对应的大写字母表示。若结构布置不合理，存在薄弱环节，或结构选型、传力路线设计不当及其他明显的结构缺陷，建筑整体安全性等级（不含 D 级）在原有基础上降低一级。

9.4.4.2 若有下列情况之一，建筑整体安全性等级评为 D 级：

- a) 上部结构存在或会出现承重构件断裂、局部坍塌等显著破坏现象；
- b) 上部结构承重构件存在或会出现严重的异常位移，存在或会出现失稳现象；
- c) 连接节点存在或会出现松动变形、滑移、沿剪切面开裂、剪坏等致使连接失效等现象；
- d) 承重构件截面存在或会出现削弱面积超过截面 1/4；
- e) 存在或会出现其他严重影响结构安全的损伤。

地方标准信息服务平台

10 振动影响评估

10.1 一般规定

10.1.1 文物建筑的容许振动应以结构的最大动应变为控制标准，以振动速度表示。

10.1.2 文物建筑的容许振动速度，应根据结构类型、保护级别、弹性波在文物建筑中的传播速度选用。

10.1.3 列入世界文化遗产名录的文物建筑，其容许振动速度应按全国重点文物保护单位的规定采用。

10.1.4 评估振动对文物建筑的影响，应根据工业振源、文物建筑的现状调查、文物建筑的容许振动速度，通过分析论证，提出评估意见。

10.1.5 文物建筑振动速度响应的确定，宜采用计算法。当文物建筑周边已有工业振源时，亦可采用测试法。对于周边道路交通引起的振动或其他工业活动亦须考虑，应采用叠加法计算其振动影响。

10.1.6 对振动影响评估超限的文物建筑，应提出针对性的防振措施或加固建议，具体内容见附录 E。

10.2 步骤和方法

10.2.1 评估振动对文物建筑的影响，可按下列步骤进行：

- a) 调查文物建筑和工业振源的状况；
- b) 测试弹性波在文物建筑的传播速度；
- c) 确定文物建筑的容许振动标准；
- d) 计算或测试文物建筑的速度响应；
- e) 综合分析提出评估意见。

10.2.2 弹性波传播速度的测试，应符合本文件 7.5 节的规定。

10.2.3 文物建筑的容许振动速度，应根据所调查的结构类型、保护级别和测得的弹性波传播速度按本文件 10.3 及 10.4 节的规定确定。

10.2.4 当评估建在条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石和强风化岩石的陡坡、河岸和边坡边缘等不利地段的文物建筑时，应估算不利地段对文物建筑的振动放大作用。其值应根据不利地段的具体情况确定，可依据相应计算结果乘以 1.1~1.6 调整系数。

以突出地形的高差 H ，坡降角度的正切 H/L 以及场址距突出地形边缘的相对距离 L_1/H 为参数，归纳出各种地形的动力放大作用如下：

$$\lambda = 1 + \xi \alpha \quad (13)$$

式中： λ —局部突出地形顶部振动影响的放大系数；

α —局部突出地形振动影响的增大幅度，按表 14 采用；

ξ —附加调整系数，与建筑场地离突出台地边缘的距离 L_1 与相对高差 H 的比值有关。

当 $L_1/H < 2.5$ 时， ξ 可取为 1.0；当 $2.5 \leq L_1/H < 5$ 时， ξ 可取为 0.6；当 $L_1/H \geq 5$ 时， ξ 可取 0.3。 L 、 L_1 均应按距离场地的最近点考虑。

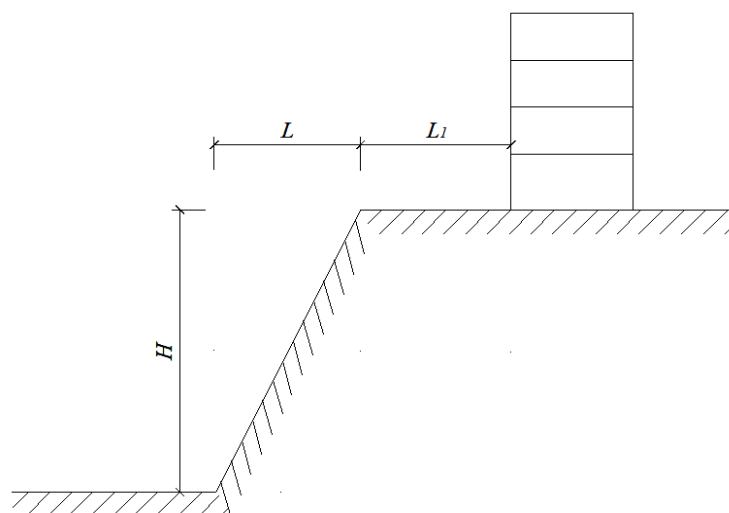


图5 局部突出地形计算图示

表14 局部突出地形振动影响的增大幅度

突出地形的高度	非岩质地层	$H < 5$	$5 \leq H < 15$	$15 \leq H < 25$	$H \geq 25$
	岩质地层	$H < 20$	$20 \leq H < 40$	$40 \leq H < 60$	$H \geq 60$
局部突出台地边缘的侧向平均坡降 H/L	$H/L < 0.3$	0	0.1	0.2	0.3
	$0.3 \leq H/L < 0.6$	0.1	0.2	0.3	0.4
	$0.6 \leq H/L < 1.0$	0.2	0.3	0.4	0.5
	$H/L \geq 1.0$	0.3	0.4	0.5	0.6

10.3 施工期振动影响评估

10.3.1 评估城市轨道交通工程施工期间对文物建筑的影响，应根据工程设计资料并结合现场调查，详细分析文物建筑所受到的工业振动激励源。

10.3.2 应根据实际情况对文物建筑所受到的施工振动影响因素及类型参数进行详细分析，常见施工振动影响因素及类型参数见表 15。

表15 施工振动影响因素及类型参数表

序号	影响因素	类型参数
1	施工机械	挖掘机、成槽机、盾构机、打桩机等
2	运输车辆	车辆的载重、与文物建筑的距离、行进速度等
3	钻孔	钻孔机械、设备功率、冲击次数、最大冲程等

序号	影响因素	类型参数
4	盾构掘进	总推力、推进速度、刀盘转速和扭矩等
5	施工爆破	爆破类型、爆破参数、围岩级别等
6	地质条件	土层及岩石成分、密度、弹性模量、剪切模量、剪切系数和损失因子等
7	自身因素	基础形式、结构质量、刚度、阻尼等

10.3.3 文物建筑施工期的容许振动速度应按表 16 的规定采用。

表16 文物建筑施工期的容许振动速度[v] (mm/s)

保护级别	控制点	控制点方向	容许振动速度[v] (mm/s)
全国重点文物保护单位	承重结构最高处	水平	2.5
省级重点文物保护单位	承重结构最高处	水平	4.5
市、县级文物保护单位	承重结构最高处	水平	7.5

10.3.4 评估城市轨道交通施工期间对文物建筑的影响,主要施工机械的振动速度应借鉴已有经验或进行现场实测。

10.3.5 对爆破施工引起的振动,应通过多种方法综合论证分析,采取相应减振措施,并在爆破施工全过程对文物建筑进行振动监测。

10.4 运营期振动影响评估

10.4.1 本节适用于文物建筑砖石结构和木结构动力特性和响应的评估,其他结构类型应借鉴已有经验或进行专题研究。

10.4.2 文物建筑动力特性和响应的计算,应对文物建筑进行现场调查和收集资料,确定计算简图和相关数据。

10.4.3 文物建筑动力特性和响应的计算,当结构对称时,可按任一主轴水平方向计算;当结构不对称时,应按各个主轴水平方向分别计算。

10.4.4 文物建筑砖结构运营期的容许振动速度应按表 17 的规定采用。

表17 文物建筑砖结构的容许振动速度[v] (mm/s)

保护级别	控制点	控制点方向	砖砌体 V_p (m/s)		
			<1 600	1 600~2 100	>2 100
全国重点文物保护单位	承重结构最高处	水平	0.15	0.15~0.20	0.20
省级重点文物保护单位	承重结构最高处	水平	0.27	0.27~0.36	0.36
市、县级文物保护单位	承重结构最高处	水平	0.45	0.45~0.60	0.60

注:当 V_p 介于1600~2100 m/s之间时, [v] 采用插值法取值。

10.4.5 文物建筑石结构运营期的容许振动速度应按表 18 的规定采用。

表18 文物建筑石结构的容许振动速度 $[v]$ (mm/s)

保护级别	控制点	控制点方向	石砌体 V_p (m/s)		
			<2 300	2 300~2 900	>2 900
全国重点文物保护单位	承重结构最高处	水平	0.20	0.20~0.25	0.25
省级重点文物保护单位	承重结构最高处	水平	0.36	0.36~0.45	0.45
市、县级文物保护单位	承重结构最高处	水平	0.60	0.60~0.75	0.75

注：当 V_p 介于2300~2900 m/s之间时， $[v]$ 采用插值法取值。

10.4.6 文物建筑木结构运营期的容许振动速度应按表 19 的规定采用。

表19 文物建筑木结构的容许振动速度 $[v]$ (mm/s)

保护级别	控制点	控制点方向	顺木纹 V_p (m/s)		
			<4 600	4 600~5 600	>2 900
全国重点文物保护单位	顶层柱顶	水平	0.18	0.18~0.22	0.22
省级重点文物保护单位	顶层柱顶	水平	0.25	0.25~0.30	0.30
市、县级文物保护单位	顶层柱顶	水平	0.29	0.29~0.35	0.35

注：当 V_p 介于4600~5600 m/s之间时， $[v]$ 采用插值法取值。

10.4.7 砖木混合结构的容许振动速度，主要以砖砌体为承重骨架的，可按表 17 的规定采用；主要以木材为承重骨架的，可按表 19 的规定采用。

10.4.8 涉及城市轨道交通工程的文物建筑运营期振动影响评估可按国家标准 GB/T 50452 的规定执行。

10.4.9 当建筑体系或地质条件复杂时，文物建筑动力特性和响应的计算宜采用数值分析方法。

附录 A

(资料性)

城市轨道交通工程对文物建筑影响评估报告的编制要求

A.1 评估报告目录设置

文物建筑影响报告目录包括：

第一章 总论（包括项目背景、评估内容及范围、文物建筑简介、历史沿革、考古情况、价值论述）

第二章 工程概况与工程分析（详细的工程概况、与文物建筑相对位置关系、施工工法等）

第三章 评估依据（主要包括法律法规、技术规范及其他相关文件）

第四章 现场勘查与检测（主要包括现状调查、变形观测、材料强度及缺陷检测等）

第五章 工程项目合规性评价（论述工程项目是否符合现有涉文物保护法律、法规、规划等条文）

第六章 历史文化要素影响评估（包括历史文化要素分析、现状描述、论述工程建设对历史文化要素的影响）

第七章 安全性评估（包括现状安全性评估、工程施工及运营对文物建筑安全的影响）

第八章 结论及建议

A.2 评估报告主要附表

文物建筑影响评估报告主要附表包括：

- a) 评估范围内沿线文物建筑总表；
- b) 城市轨道交通工程与沿线文物建筑位置关系；
- c) 历史文化要素影响评估表；
- d) 主要施工机械振动速度；
- e) 影响评估结论表。

A.3 评估报告主要附图

文物建筑影响评估报告主要附图包括：

- a) 城市轨道交通工程建设规划图；
- b) 文物保护单位保护范围和建设控制地带示意图；
- c) 站点或区间线路设计图；
- d) 城市轨道交通工程与文物建筑位置关系图；
- e) 主要施工步骤图；
- f) 文物建筑结构图。

A.4 文物影响报告书应全面、概括性地反映文物建筑影响评估的全部工作，要求资料准确，文字简洁，论点清晰，结论明确。报告书可采用图、表和照片，评估图册可放于附录。

附录 B
(规范性)
城市轨道交通工程涉文物建筑影响范围

B.1 一般规定

B.1.1 本附录影响范围的界定仅限于城市轨道交通工程进入文物保护单位的保护范围或建设控制地带的情况。

B.1.2 影响范围界定应考虑工程地质条件、基坑深度、隧道埋深、施工工法等影响，宜采用现场测试、数值分析等方法综合确定。

B.2 变形影响范围

B.2.1 变形影响评估时，影响范围应考虑基坑工程、隧道工程、桩基工程对周围岩土体扰动和周边环境影响的程度及范围。

B.2.2 基坑工程影响范围宜按表B.1的规定进行划分。

表B.1 基坑工程影响范围

地质类型	影响范围
砂土、硬黏土	基坑周边 $2H_e$
软黏土	基坑周边 $3H_e$

注：1 H_e 为基坑设计深度(m)，对于成层土，取厚度加权平均值。

2 基坑开挖范围内存在基岩时， H_e 可为覆盖土层和基岩强风化层厚度之和，当边坡存在外倾结构面时，还应考虑外倾结构面的影响。

3 表中数值为一般建议值，其影响范围与施工工法有关。

4 根据现场具体条件，若工程地质及水文地质条件复杂，影响范围应会同设计单位进行确定。

B.2.3 当基坑采用悬挂式降水措施时，还应考虑降水漏斗的影响范围。基坑降水时，含水层的影响半径宜通过试验确定。缺乏相关试验结果时，可按下列公式计算并结合当地经验取值：

a) 潜水含水层

$$R = 2S_d \sqrt{kH_0} \quad (\text{B.1})$$

b) 承压水含水层

$$R = 10S_d \sqrt{k} \quad (\text{B.2})$$

式中： R —影响半径 (m)；

S_d —井点水位降深 (m)；当井点水位降深小于 10 m 时，取 $S_d = 10$ m；

k —含水层的渗透系数 (m/d)；

H_0 —潜水含水层厚度 (m)。

B.2.4 隧道工程影响范围宜按表B.2的规定进行划分。

表B.2 隧道工程影响范围

评估类型	影响范围
隧道工程	隧道上方及沉降弯曲反弯点 $3i$ 之内

注： i 为隧道地表沉降曲线Peck计算公式中的沉降槽宽度系数（m）。

表B.3 部分地区沉降槽宽度参数 m 的建议值

地区	基本地层特征	m 建议值
上海	饱和软黏土，粉砂	0.50
杭州	砂质粉土、粉土夹淤泥质土	(0.30~0.60)
南京	饱和软黏土、粉质黏土、粉细砂	(0.35~0.78)
苏州	黏性土、粉砂	(0.35~0.65)
合肥	黏性土、粉细砂	(0.5~0.7)

m 为沉降槽宽度参数， $m=i/h$ ， h 为隧道埋深（m）。

B.2.5 高架桥桩基工程影响范围宜按表B.4的规定进行划分。

表B.4 桩基工程影响范围

评估类型	影响范围
桩基工程	桩基周边 l

l 为桩的设计长度（m）。

B.3 振动影响范围

B.3.1 确定振动影响范围时，需要考虑文物建筑所处地理位置、文物建筑特征、振源类型、地面振动速度、场地土类别、隧道埋置深度等因素。

B.3.2 无实测资料时，振动影响范围宜按表B.5的规定进行划分。

表B.5 振动影响范围

振动类型	影响范围
高架线	线路两侧50 m
地面线	线路两侧60 m
地下线	线路两侧60 m

附录 C (规范性) 单个构件的划分原则

C.1 一般规定

单个构件可按地基基础、墙、柱、梁式构件、板、桁架、拱架进行分类。单个构件应包含构件本身及其连接、节点。

C.2 地基基础单个构件划分

地基基础按以下规定进行单个构件划分：

- a) 独立基础：一个基础为一个构件；
- b) 墙下条形基础：一自然间的一轴线为一个构件；
- c) 带壁柱墙下条形基础：按计算单元的划分确定；
- d) 单桩：一根为一个构件；
- e) 群桩：一个承台及所含的基桩为一个构件；
- f) 筏形基础和箱形基础：一个计算单元为一个构件；
- g) 一个结构单元对应的地基为一个构件。

C.3 墙单个构件划分

墙按以下规定进行单个构件划分：

- a) 砌筑的横墙：一层高、一自然间的一轴线为一个构件；
- b) 砌筑的纵墙（不带壁柱）：一层高、一自然间的一轴线为一个构件；
- c) 带壁柱的墙：按计算单元划分确定；
- d) 剪力墙：按计算单元划分确定。

C.4 柱单个构件划分

柱按以下规定进行单个构件划分：

- a) 整截面柱：一层、一根为一个构件；
- b) 组合柱：一层、整根（即所含柱肢）为一个构件。

C.5 梁式构件单个构件划分

梁式构件一跨、一根为一个构件；若仅鉴定一根连续梁时，可取整根为一个构件。

C.6 板单个构件划分

板按以下规定进行单个构件划分：

- a) 预制板：一块为一个构件；
- b) 现浇板：按计算单元的划分确定；
- c) 木楼板、木屋面板：一开间为一个构件。

C.7 桁架、拱架单个构件划分

桁架、拱架一榀为一个构件。

附 录 D
(资料性)
构件权重计算方法

D.1 用层次分析法确定每层各类构件的相对于本层的权重系数

D.1.1 构造判断矩阵

用 c_{ij} 表示构件 i 和构件 j 对结构的影响之比，按公式 D.1 形成判断矩阵。

$$C=(c_{ij}) \quad (D.1)$$

矩阵元素的取值按表 D.1 确定。

表D.1 构件权重比值的确定

i/j	相同	稍强	强	很强	绝对强
比值	1	3	5	7	9

D.1.2 权重计算

判断矩阵 C 的最大特征值对应的特征向量即为权重向量，计为 ω 。

D.1.3 一致性检验

权向量 $\omega=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 。 $\chi^2 = \frac{1}{\sigma^2} \sum_i \sum_j (a_{ij} - 1)^2$ 服从自由度为 n^2 的 χ^2 分布，当判断矩阵 C 的观测值 $\chi^2 > \chi_{1-\alpha}^2(n^2)$ 时，即 C 的一致性不满足要求；反之，则认为 C 的一致性满足要求。对低阶判断矩阵一般可取 $\sigma^2=1/16$ ，高阶判断矩阵可取 $\sigma^2=1/9$ ；一般取 $\alpha=0.05$ 。

D.1.4 简化计算方法

采用D.1.1~D.1.3确定的每层结构构件的权重，进行简化，得到典型各类构件的权重比值如表D.2所示。

表D.2 典型各类构件权重比值

楼(屋)面板	次梁	主梁	柱	墙体
1	1.76	2.96	5.36	5.36

根据每层各类构件的数量，按公式 D.2 计算各构件权重系数：

$$\omega_i = \frac{r_i}{\sum r_i n_i} \quad (D.2)$$

式中： ω_i — i 类构件各构件的权重系数；

r_i — i 类构件的权重比，按表D.2取值；

n_i — i 类构件的数量。

D.2 确定楼层权重系数

楼层在建筑整体中的权重系数按公式D.3确定。

$$\omega_j = \frac{n+1-j}{\sum j} \quad (\text{D.3})$$

式中： ω_j —第 j 层在建筑整体中的权重；

n —总楼层数，包含基础；

j —第 j 楼层，基础为第一层，以上依次累加。

D.3 确定构件在建筑整体中的权重系数

构件在楼层中的权重系数与楼层在建筑整体中的权重系数乘积即为构件在建筑整体中的权重系数。

地方标准信息服务平台

附录 E (资料性) 文物建筑防振措施与加固方法

E.1 振源减振

E.1.1 车辆减振可采用以下措施：

- a) 降低车辆悬挂刚度；
- b) 降低车辆重量；
- c) 对车辆转向架进行定期润滑，增大车轮的平滑程度。

E.1.2 轨道减振可采用以下措施：

- a) 中级减振措施：压缩型轨道减振扣件等，可使振动速度降低 10%~20%；
- b) 高级减振措施：Vanguard 扣件，隔离式减振垫、固体阻尼钢弹簧浮置板等，可使振动速度降低 30%~50%；
- c) 特殊减振措施：橡胶弹簧浮置板、液体阻尼钢弹簧浮置板等，可使振动速度降低 60% 以上；
- d) 其他有效减振措施。

E.1.3 大型动力设备减振，可按现行国家标准 GB 50463 的有关规定执行。

E.1.4 文物建筑保护区内不宜实施强夯，桩基施工不宜采用冲击成孔施工工艺，确须使用应采取保护措施。

E.2 传播路径隔振

E.2.1 主动隔振时，沟式屏障、排桩应环绕振源设置；被动隔振时，沟式屏障、排桩的长度应根据隔振对象的长度、沟式屏障与隔振对象距离、隔振对象的容许振动标准等综合确定，并应大于隔振对象的长度。

E.2.2 连续隔振屏障

a) 空沟隔振：空沟的宽度一般大于波长即可，对于波长小于空沟埋深的振动分量，空沟可以使其幅值衰减约一半；

b) 填充沟隔振：填充材料的波阻抗比是影响填充沟隔振效果的主要因素，一般情况下，柔性材料的波阻抗比越小，其隔振效果越好；刚性材料与之相反，其波阻抗比越大，隔振效果越好。

E.2.3 非连续隔振屏障

a) 连续桩墙隔振：在空沟隔振较难实现的情况下，可采用连续桩墙隔振；

b) 波阻块隔振：可将波阻块建造于振源下方或附近，方法可采用加硬土体或用混凝土置换土体，形状可采用实体波阻块或蜂窝状波阻块，该方法对低频振动减隔振效果明显。

E.3 文物建筑隔振

E.3.1 文物建筑内部隔振：通过在楼板、墙壁上增加附加阻尼元件，从而改变结构的固有频率，进而降低共振的发生。

E.3.2 文物建筑基础隔振：合理布置楼板上下部件格局、安置调频质量阻尼器、增大楼板阻尼、设置楼板隔振系统等降低振动对结构的影响，安装后的自振频率可以减小到5~15 Hz。

E.4 加固一般规定

E.4.1 文物建筑的加固应以结构可靠性的鉴定为依据，对每一残损点，几经鉴定确认需要处理者，应按不同的要求，分别轻重缓急予以妥善安排。凡明显影响结构安全者，应立即进行支顶或加固。

E.4.2 对文物建筑进行整体加固，应符合下列要求：

- a) 加固方案不得改变原文物建筑形制，不得损害文物建筑的原有历史信息；
- b) 对原来结构和构造的固有缺陷，应采取有效措施予以消除，对所增设的连接件应设法加以隐蔽；
- c) 对本应拆换的梁枋、柱，当其文物价值较高而必须保留时，可另加支柱；
- d) 对任何整体加固措施，木构架中原有的连接件，包括椽、檩和构架间的连接件，应全部保留。

若有短缺时，应重新补齐。

E.4.3 文物建筑砖石结构加固可对地基基础、砖柱、墙体、砖过梁、混凝土梁、楼板和整体进行加固，具体可按GB/T 39056规定执行。

E.4.4 文物建筑木结构加固可对木结构进行局部加固或整体加固，具体可按GB/T 50165规定执行。

地方标准信息服务平台