**陕西省工程建设标准**

**城市轨道交通工程文物保护技术规程**

Technical specification for the protection of cultural relics in urban rail transit engineering

**（征求意见稿）**

**《城市轨道交通工程文物保护技术规程》编制组**

**2025年04月**

**前　　言**

根据陕西省住房和城乡建设厅、陕西省市场监督管理局《关于下达2024年度工程建设标准制定计划的通知》（陕建标发〔2024〕1007号）文件要求，标准编制组经广泛调研，参考了相关国家、行业和地方标准，结合实际，在广泛征求意见及充分论证基础上，制订本规程。

本规程的主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.文物影响评估；5.考古勘探与发掘；6.变形影响专项评估；7.振动影响专项评估；8.设计；9.施工；10.文物监测。

本规程由陕西省住房和城乡建设厅归口管理，陕西省建设标准设计站负责日常管理，西安市轨道交通集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至西安市轨道交通集团有限公司（地址：西安市凤城八路126号，邮编：710018，电话：029-89615576，电子信箱：zxxadt@163.com）。

本规程主编单位：西安市轨道交通集团有限公司

机械工业勘察设计研究院有限公司

本规程参编单位：陕西省文化遗产研究院

西安市文物保护考古研究院

中铁第一勘察设计院集团有限公司

广州地铁设计院股份有限责任公司

中铁二十局集团有限公司

北京交通大学

西安城墙管理委员会

本规程主要起草人员：康 佐 钱春宇 何小华 李勇伶 庞子涛

张继文 冯 滨 温克兵 张 鑫 张新颖

雷永生 杨 飞 王自力 王 龙 楼海婷

高 强 唐喜奎 马 蒙 邓国华 马志尧

李俊连 解志远 孙 薏 于文龙

规程主要审查人员：

目　　次

[1　总　　则 1](#_Toc188367246)

[2　术语和符号 2](#_Toc188367247)

[2.1 术语 2](#_Toc188367248)

[2.2 符号 4](#_Toc188367249)

[3　基本规定 5](#_Toc188367250)

[3.1 工作原则 5](#_Toc188367251)

[3.2 工作流程 5](#_Toc188367252)

[4　文物影响评估 8](#_Toc188367253)

[4.1 一般规定 8](#_Toc188367254)

[4.2 评估流程 8](#_Toc188367255)

[4.3 评估方法及内容 9](#_Toc188367256)

[5　考古勘探与发掘 12](#_Toc188367257)

[5.1 一般规定 12](#_Toc188367258)

[5.2 考古勘探 12](#_Toc188367259)

[5.3 考古发掘 14](#_Toc188367260)

[6　变形影响专项评估 15](#_Toc188367261)

[6.1 一般规定 15](#_Toc188367262)

[6.2 变形控制值 15](#_Toc188367263)

[6.3 变形预测及评估 16](#_Toc188367264)

[7　振动影响专项评估 19](#_Toc188367265)

[7.1 一般规定 19](#_Toc188367266)

[7.2 振动控制值 19](#_Toc188367267)

[7.3 振动预测及评估 22](#_Toc188367268)

[8　设计 26](#_Toc188367269)

[8.1 一般规定 26](#_Toc188367270)

[8.2 线路设计 26](#_Toc188367271)

[8.3 结构设计 28](#_Toc188367272)

[8.4 其他设计 29](#_Toc188367273)

[8.5 专项设计文件内容 29](#_Toc188367274)

[9　施工 31](#_Toc188367275)

[9.1 一般规定 31](#_Toc188367276)

[9.2 施工准备 31](#_Toc188367277)

[9.3 施工技术及要求 31](#_Toc188367278)

[9.4 信息联通及应急处置 33](#_Toc188367279)

[10　文物监测 34](#_Toc188367280)

[10.1 一般规定 34](#_Toc188367281)

[10.2 变形监测 34](#_Toc188367282)

[10.3 振动监测 37](#_Toc188367283)

[10.4 现场巡查 39](#_Toc188367284)

本规程[用词说明 41](#_Toc188367286)

[引用标准名录 42](#_Toc188367287)

Contents

[1　General Provisions 1](#_Toc21892)

[2　Terms and Symbols 2](#_Toc29741)

[2.1 Terms 2](#_Toc16743)

[2.2 Symbols 4](#_Toc5131)

[3　Basic Requirements 5](#_Toc2905)

[3.1 Working Principles 5](#_Toc15661)

[3.2 Workflow 5](#_Toc28705)

[4　Cultural Relic Impact Excavation 8](#_Toc3816)

[4.1 General Requirements 8](#_Toc6366)

[4.2 Excavation Process 8](#_Toc24713)

[4.3 Excavation Method and Content 9](#_Toc20367)

[5　Archaeological Exploration and Excavation 1](#_Toc3164)2

[5.1 General Requirements 1](#_Toc25740)2

[5.2 Archaeological Exploration 1](#_Toc27554)2

[5.3 Archaeological Excavation 1](#_Toc21370)4

[6　Special Evaluation of Deformation Impact 1](#_Toc826)5

[6.1 General Requirements 1](#_Toc8646)5

[6.2 Deformation Control Value 1](#_Toc4457)5

[6.3 Deformation Prediction and Evaluation 1](#_Toc8858)6

[7　Special Evaluation of Vibration Impact 1](#_Toc18669)9

[7.1 General Requirements 1](#_Toc6577)9

[7.2 Vibration Control Value 1](#_Toc10199)9

[7.3 Vibration Prediction and Evaluation 2](#_Toc22782)2

[8　Design 2](#_Toc23537)6

[8.1 General Requirements 2](#_Toc23077)6

[8.2 Line Design 2](#_Toc25525)6

[8.3 Structure Design 2](#_Toc32297)8

[8.4 Other Design 2](#_Toc12501)9

[8.5 Content of Special Design Documents 29](#_Toc188367274)

[9　Construction 3](#_Toc23661)1

[9.1 General Requirements 3](#_Toc29120)1

[9.2 Construction Preparation 3](#_Toc163)1

[9.3 Construction Technology and Requirements 3](#_Toc25046)1

[9.4 Information Connectivity and Emergency Response 3](#_Toc25943)3

[10　Cultural Relic Monitoring 3](#_Toc13172)4

[10.1 General Requirements 3](#_Toc5487)4

[10.2 Deformation Monitoring 3](#_Toc18426)4

[10.3 Vibration Monitoring 3](#_Toc11919)7

[10.4 On Site Inspection 3](#_Toc10527)9

[Explanation of Wording 4](#_Toc21925)1

[List of Duoted Standards 4](#_Toc22903)2

# 1　总　　则

**1.0.1** 为规范陕西省城市轨道交通工程中涉及文物保护的规划、建设和运营相关工作，做到技术先进、经济合理、成果可靠，确保文物安全，制定本规程。

【条文说明】陕西文物遗存众多，如何处理好轨道交通建设与文物保护的关系是一个重大技术难题。多年来，地铁建设者通过科技攻关和实践，采取了平面避让、加大埋深、工法优化、隔离保护、轨道减振和长期监测等措施，形成了一套完整的文物保护关键技术，建立了规划、建设和运营全过程保护体系。经实践证明，提出的控制值科学合理，采用的文物保护措施合理有效。为了更好的规范和指导陕西省城市轨道交通工程中涉及文物保护的相关工作，需要制定一项科学、合理、可靠的标准。

**1.0.2** 本规程适用于城市轨道交通工程涉及文物保护工作的文物影响评估、考古勘探与发掘、变形影响专项评估、振动影响专项评估、设计、施工、文物监测等。

**1.0.3** 城市轨道交通工程中涉及文物保护的相关工作除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2　术语和符号

### 2.1 术语

**2.1.1** 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、轻轨、单轨、有轨电车、磁浮、自动导向轨道、市域快速轨道交通系统等。

**2.1.2** 不可移动文物 immovable cultural relics

不可移动文物包括：古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺、古石刻、古壁画、近代现代重要史迹和代表性建筑等，分为全国重点文物保护单位，省级文物保护单位，设区的市级、县级文物保护单位和未核定公布为文物保护单位的不可移动文物。

**2.1.3** 文物影响评估 cultural relics impact assessment

在涉及文物影响范围内轨道交通建设工程项目的规划、建设、运营阶段，对文物本体及依存环境产生影响的分析、预测及评估。

**2.1.4** 保护区划 protection zoning

为文物保护单位的保护、管理划定的各类区域的统称，包含保护范围和建设控制地带。

**2.1.5**重要文物保护区域 important cultural relic protection areas

全国重点文物保护单位及陕西省文物保护单位的保护区划以及新发现的重要文物遗存的保护范围。

**2.1.6** 变形控制值 deformation control value

文物在赋存条件下，文物结构各受力部位所能承受的最大形变值。

**2.1.****7** 振动控制值 vibration control value

文物在周边环境振动长期作用下所能承受的最大振动速度。

**2.1.8** 减振措施 special vibration reduction

是为解决轨道交通中振动，实现城市轨道建设可持续发展而开发出的在减振降噪方面有突出效果的工程技术。

**2.1.9** 隔离保护 insulating and protecting

利用工程措施起到阻隔地基附加应力、地层变形传递及振动波传递作用，并减少对文物影响的工程措施。

**2.1.10** 振动监测 vibration monitoring

在文物结构承重构件处布置水平和竖向振动传感器，动态采集受周边环境振动作用时的响应输出。

### 2.2 符号

*l*——相邻监测点距离；

*r*——距振源中心的距离；

*v*——结构振动速度响应值；

*v*e——振动叠加速度有效值；

*v*m——地脉动下振动速度测试值；

*v*p——振动叠加速度峰值；

*v*r——距离振源中心*r*处地面振动速度；

*v*S——土层剪切波速；

[*v*]——振动速度控制值；

*β*——结构动力放大系数；

*Cf*——波峰因子。

# 3　基本规定

### 3.1 工作原则

**3.1.1** 城市轨道交通工程中涉及的文物保护工作应严格遵守相关法律、法规，依据相关规范、标准开展工作。

**3.1.2** 对文物进行调查、勘查、监测及保护时，不得对文物本体造成损害。

**3.1.3** 在城市轨道交通工程规划、建设和运营中，应分析工程对文物的影响，科学评估各种影响因素及影响程度，制定有效的文物保护措施，确保文物安全。

### 3.2 工作流程

**3.2.1** 城市轨道交通工程中涉及的文物保护工作应分规划、建设、运营三个阶段，具体应按表3.2.1执行。

表3.2.1 各阶段工作内容及提供成果

|  |  |
| --- | --- |
| 阶段 | 工作内容及成果 |
| 规划阶段 | 1. 编制轨道交通建设规划方案；
2. 对规划线路沿线进行文物调查，编制文物影响评估报告。
 |
| 建设阶段 | 1. 施工前开展考古勘探与发掘，编制相应报告；2. 对规划阶段筛选出来的重要文物保护单位及考古新发现的重要遗存，应进行下列工作：1）进行专题影响评估，对施工变形和运行振动影响进行预测，提出保护措施建议，编制专题影响评估报告；2）编制文物保护专项设计方案并实施；3）编制专项施工方案并实施；4）对重要文物保护单位编制专项监测方案并实施，施工期间开展文物本体的监测。 |
| 运营阶段 | 根据文物行政部门的批复要求开展文物本体长期变形和振动监测，编制运营阶段的专项监测报告。 |

【条文说明】本规程中规划阶段特指城市轨道交通工程建设规划阶段，根据城市轨道交通工程基本建设流程，建设规划是城市轨道交通近期将要实施项目的纲领性规划，建设规划的批复是国家有关部门对近期建设项目的立项批复。建设阶段指建设规划批复后，城市轨道交通项目从工程可行性研究、初步设计、施工图设计、工程施工直至工程竣工的阶段。运营阶段指城市轨道交通项目通过竣工验收并投入初期运营之日起，涵盖轨道交通系统全生命周期运营管理活动的阶段。

**3.2.2** 建设方案应取得文物行政部门的审批，各阶段的工作流程应按图3.2.2执行。

|  |  |
| --- | --- |
| 规划阶段 | 批复未通过文物行政部门审查编制规划阶段文物影响评估报告编制建设规划方案 |
| 建设阶段 | 编制工程可行性研究报告是否涉及重要文物是否有新发现重要遗存考古勘探开展工程初步设计是否工程施工考古发掘编制重要文物保护专项设计、施工方案编制重要文物变形、振动影响专项报告编制重要文物影响评估报告未通过文物行政部门审查批复考古发掘重要文物施工监测工程施工 |
| 运营阶段 | 文物长期变形、振动监测 |

图3.2.2 各阶段工作流程图

【条文说明】根据《中华人民共和国文物保护法》有关条款规定：“文物保护单位的保护范围内不得进行其他建设工程或者爆破、钻探、挖掘等作业。但是，因特殊情况需要在文物保护单位的保护范围内进行其他建设工程或者爆破、钻探、挖掘等作业的，必须保证文物保护单位的安全，并经核定公布该文物保护单位的人民政府批准，在批准前应当征得上一级人民政府文物行政部门同意；在全国重点文物保护单位的保护范围内进行其他建设工程或者爆破、钻探、挖掘等作业的，必须经省、自治区、直辖市人民政府批准，在批准前应当征得国务院文物行政部门同意”“在文物保护单位的建设控制地带内进行建设工程，不得破坏文物保护单位的历史风貌；工程设计方案应当根据文物保护单位的级别，经相应的文物行政部门同意后，报城乡建设规划部门批准。”因此，在城市轨道交通建设中，必须严格执行文物保护法的各项规定，履行规定的各级文物行政部门的审批手续。

# 4　文物影响评估

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 文物影响评估在资料收集、现状调查的基础上，应评估城市轨道交通规划、建设和运营过程中对文物本体及环境造成的影响，提出建设方案优化建议和文物保护措施建议。

【条文说明】确保评估工作基于翔实、无偏见的信息，为后续决策提供科学依据，保护文物不受损害或将其影响降至最低。描述的内容必须与实际情况相符，不得虚构或夸大；使用精确的数据和测量值，避免模糊或不确定的表述；以事实为依据进行描述；涵盖文物本体及其周边环境的所有重要方面，不遗漏任何关键信息。

**4.1.2** 文物影响评估应在方案编制过程中提前介入，指导建设方案编制。

### 4.2 评估流程

**4.2.1** 文物影响评估，应按照下列步骤进行：

**1**收集与轨道交通工程方案相关的基础资料；

**2**初步筛查线路沿线涉及的不可移动文物，并收集相关资料；

**3**初步评估工程方案是否可行，指导方案优化；

**4**调查优化后方案涉及的文物保存现状；

**5**分析评估工程方案对文物可能产生的影响；

**6**提出文物保护措施建议；

**7**形成文物影响评估结论。

【条文说明】细化收集资料的范围和深度，包括历史文献、现状照片、测量数据等；明确筛查的标准和方法，如使用地理信息系统（GIS）进行空间分析；建立评估标准体系，对方案进行可行性分析，提出优化建议；制定详细的调查计划，包括调查内容、方法、时间等；运用专业技术手段，就方案对文物的影响进行分析；根据评估结果，制定具体的保护措施和实施方案；总结评估过程，提出明确的评估结论和建议。

**4.2.2** 文物影响评估流程应按图4.2.2所示进行。

资料收集

筛查方案周边文物分布

是否涉及重要

文物保护区域

否

调整方案

避让文物

文物现状调查

文物影响评估

提出保护措施建议

评估结论及相关建议

是

图4.2.2 文物影响评估流程图

### 4.3 评估方法及内容

**4.3.1** 文物影响评估报告应包括工程资料收集、文物筛查、文物现状调查、文物影响评估、文物保护措施建议、评估结论及相关建议等内容。

**4.3.2** 工程资料收集应包括下列内容：

**1** 规划阶段：收集线路规划路径、站位设置、敷设方式、大宗用地选址、区间及车站的施工方法等；

**2** 建设阶段：收集线路区间地理位置、隧道结构设计方案、车站及场段建筑结构设计方案、工程施工工法、相关技术指标等。

【条文说明】明确资料收集的时间节点和更新频率，确保资料的时效性和准确性；细化收集资料的具体路径范围、场站规模及其他建设的各项指标。

**4.3.3** 规划阶段，文物筛查范围不应小于规划线路两侧各200m，明确文物点数量、等级、范围，核实文物与线路的空间关系。

【条文说明】相关资料来源可依据但不限于文物保护法规、文物保护档案、文物普查登记资料、文物保护单位已公布的现状保护区划、历史文化遗产保护规划及考古调查成果等。

城市轨道交通工程主要有车站、区间隧道、高架桥梁及场段等。一般地铁车站基坑开挖深度在15m～30m之间，开挖影响范围为基坑深度的2倍，即最大影响范围60m；隧道工程开挖影响范围也不超过60m，高架桥梁基础工程开挖深度更小，其影响范围相对较小；场段工程均为地上建筑，其基坑深度一般不会超过20m，对周边的影响范围最大40m；但在基坑开挖、矿山法隧道施工时，还涉及到地下水控制问题。根据西安第一、二、三期建设规划项目实施的经验，黄土地层中降水，地面沉降的范围一般不超过5倍的降深，降水深度最大不超过25m，即其沉降影响半径最大为125m。砂卵石地层降水，地面沉降范围相对黄土地层更小。同时，从施工振动的角度出发，考虑到城市环境的特点，一般采用无振动低噪音的工法，其最大影响范围不超过100m。为此，考虑到文物保护的重要性，提出了筛查范围不应小于规划线路两侧各200m的要求。

**4.3.4** 当规划方案沿线涉及的不可移动文物相关资料不详，可在沿线范围开展考古调查，调查范围应结合工程特点综合确定。

**4.3.5** 建设阶段，依据考古勘探报告明确方案涉及的文物数量、等级，核实文物与线路的位置关系。

**4.3.6** 编制单位应依据建设项目与文物的空间位置关系及可能造成的影响，提出方案优化建议。

【条文说明】方案在最大程度上避让重要文物的保护区划，重点避让文物核心区及保护范围，具体措施如调整线路、优化施工方法等。

**4.3.7** 文物现状调查应包括不可移动文物现状及其历史沿革，评估文物价值，收集文物存在病害，分析评估病害等级，调查文物周边环境现状等。

【条文说明】调查方案涉及的不可移动文物当前状态和历史背景，准确评估文物的历史价值、艺术价值、科学价值等。收集文物存在的可见病害信息，包括结构、材质、现状破损变形等现象，并分析病害等级，必要时对病害情况加以量化，确定病害的严重性和紧迫性。调查文物周边环境现状时，记录现状如自然环境（如气候、地质、水文等）和人文环境（如建筑、交通、人口等），存在问题包括污染、振动、遮挡等。

在调查过程中，尊重文物的原貌和历史背景。调查人员需要具备专业的知识和技能，确保调查结果的准确性和可靠性。调查过程中做好记录和档案保存工作，为后续的评估工作提供依据。

**4.3.8** 文物影响评估应在分析方案与涉及文物之间的关系的前提下，评估方案中各项技术指标及施工措施对文物带来的影响，提出文物保护措施建议。

【条文说明】分析评估过程针对文物整体保护状况的影响，包括文物本体、历史环境、风貌特色等，制定评估标准体系，确定施工沉降影响范围、运营振动控制标准，分析调整后方案与涉及文物之间的空间关系，评估是否影响或可能对文物造成物理性破坏或视觉干扰，如有影响预测影响程度，同时评估方案是否与文物的保护范围、建设控制地带等存在冲突或潜在影响。针对可能产生不利影响的情况，对设计、施工及运营阶段提出原则性文物保护缓解措施建议。

**4.3.9** 基于文物影响评估内容，形成评估结论。

【条文说明】基于文物影响评估内容，综合考量文物价值、保护需求以及建设项目的影响，形成评估结论。表述文物受到的影响程度和类型，如有无直接影响、影响是否可控，明确城市轨道交通工程是否可行。

# 5　考古勘探与发掘

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 城市轨道交通工程应按照先考古后建设的“考古前置”原则执行，在项目建设阶段工程施工前进行考古勘探。

【条文说明】2018年10月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于加强文物保护利用改革的若干意见》，明确要求“完善基本建设考古制度，地方政府在土地储备时，对于可能存在文物遗存的土地，在依法完成考古调查、勘探、发掘前不得入库”。2021年3月，自然资源部、国家文物局印发《关于在国土空间规划编制和实施中加强历史文化遗产保护管理的指导意见》，在“健全‘先考古，后出让’的政策机制”方面明确“经文物主管部门核定可能存在历史文化遗存的土地，要实行“先考古、后出让”制度，在依法完成考古调查、勘探、发掘前，原则上不予收储入库或出让”。2023年10月，西安市文物局、西安市发展和改革委员会、西安市财政局、西安市自然资源和规划局、西安市住房和城乡建设局联合印发的《西安市基本建设工程考古工作实施方案》提出：“基建考古工作按照‘既有利于基本建设，又有利于文物保护’原则，全面落实‘先考古、后出让’原则”“基建考古工作包括调查、勘探和必要的发掘工作，基本建设工程和土地储备项目都应开展调查、勘探”。因此，在轨道交通工程建设中，执行涉文物基本建设工作流程、落实“考古前置”即先考古、后建设的基本工程建设原则。

**5.1.2** 考古勘探发现文物遗存应按照文物行政部门的意见进行考古发掘。

**5.1.3** 考古勘探报告和考古发掘工作报告需提交文物行政部门审批，根据审批意见开展下一步工作。

### 5.2 考古勘探

**5.2.1** 考古勘探工作应按照文物行政部门规定组织实施。

**5.2.2** 考古勘探范围涉及各级文物保护单位及一般不可移动文物的，应取得相应级别文物行政部门的审批意见。

**5.2.3** 在工程用地范围或开挖区域应开展考古勘探，下列情况可不进行考古勘探：

**1** 地面不开挖、且超过一般文物埋藏深度的地下隧道工程；

**2** 采用高架形式敷设的线路架空区域；

**3** 现代河道漫滩、岩石山地等特殊地质地貌，且未发现文物遗存的区域。

【条文说明】西安地铁自建设以来，始终遵循“保护优先、考古先行”的工作原则，严格依据《中华人民共和国文物保护法》及地方性法规要求开展考古勘探工作。关于考古勘探范围，原则上工程施工前建设工程用地范围以内均需要进行考古勘探，由于轨道交通地下盾构、暗挖隧道和高架桥梁架空区域不对地面开挖，隧道埋深较大基本避让了考古文化层，同时现有地面人工铲探的方法对地下隧道工程和穿越河流水域采取的地下隧道或水上高架路桥也无法进行勘探。因此多年以来，西安市文物部门对于地铁建设项目的考古勘探范围，主要为地铁站点主体和附属结构（含出入口、风亭等）、明挖法施工的区间隧道、高架段基础工程、车辆段和停车场等场段设施等地面动土开挖范围等。地面非开挖施工的地下隧道部分和高架架空部分的建设面积，不列入文勘范围之中。2024年9月19日，经西安市市政府常务会审定，西安市文物局印发了《西安市提高文物保护管理水平保障高质量项目建设若干措施》，关于科学开展考古勘探方面，结合多年来考古勘探工作情况，明确了可不进行考古勘探的情况。因此本条结合轨道交通的工程实际和政策文件，对可不进行考古勘探的情况进行规定。

**5.2.4** 考古勘探工作开展前，应完成勘探范围内的拆迁、清表等工作并具备下列条件：

**1** 勘探范围的边界或桩点明确；

**2** 地面建筑物、青苗、林木等附属物和各类垃圾、地面硬化层、铺垫渣土层清除，现代墓葬迁移，地下管网分布情况标示明确，土地清表达到勘探要求；

**3** 无妨碍考古勘探工作的权属纠纷。

**5.2.5** 考古勘探完工后应及时验收，并出具考古勘探报告。可根据建设进度分期、分区实施，出具阶段性考古勘探报告。

【条文说明】由于轨道交通工程的特殊性，车站、区间一般位于主干道或者人、车密集区，为保障施工期间城市交通不受较大影响，轨道交通工程一般按照分期、分区进行施工，车辆段、停车场占地面积较大，通常无法一次性完成征地拆迁。考古勘探需结合工程进度分区域、分阶段实施。

**5.2.6** 考古勘探报告应包括下列内容：项目概况、现场及周边文物分布调查情况、队伍组成、勘探工作过程、勘探成果、有关影像资料、工作总结、意见及建议等。

### 5.3 考古发掘

**5.3.1** 考古发掘工作应按照文物行政部门规定组织实施。

**5.3.2** 考古发掘范围涉及各级文物保护单位及一般不可移动文物的，应取得相应级别文物行政部门的审批意见。

**5.3.3** 考古发掘范围及工作内容较复杂的，可根据工程进度分区域、分阶段开展考古发掘工作。

**5.3.4** 考古发掘过程中遇到重大发现的，应报告文物行政部门及项目建设单位，做好现场的文物保护工作；按专家论证和文物行政部门意见需要原址保护的，应对工程建设方案进行调整。

**5.3.5** 考古发掘完工后，应组织专家验收，出具考古发掘工作报告。

**5.3.6** 考古发掘工作报告应包括下列内容：项目概况、队伍组成、发掘经过、主要收获、现场考古遗迹及出土文物的保护情况、发掘工作总结、后续保护意见及建议等。

# 6　变形影响专项评估

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 文物变形控制值应结合其保存现状、历史沿革、结构形式、基础类型、地质条件等综合确定。

【条文说明】不可移动文物的保存情况、结构类型、基础类型及地质条件不尽相同，故本标准规定变形控制值应根据城市轨道交通沿线文物的保存现状、历史沿革、结构形式、基础类型、地质条件等条件综合选用。

**6.1.2**在城市轨道交通规划阶段，文物变形预测宜采用理论法和工程类比法；在建设阶段，文物变形预测宜采用数值计算法和工程类比法。

【条文说明】理论计算、工程类比和数值计算是预测地层开挖引起地表变形常采用的方法。基于理论法的经验公式是获取定量结果的较便捷手段，但存在一定的假设和简化，导致计算精度往往难以满足工程计算的要求。在实际应用中，新建项目的规划阶段进行文物变形影响评估时，可采用理论计算法进行快速预测，为规划和决策提供依据。同时，由于全国各地相似工程的开展，也为变形预测中一些参数的取值提供了合理建议，因此可以结合工程类比法提高预测精度。除此之外，借助数值计算模型，可以通过输入准确的地层、荷载参数、文物本体参数等，获得不同工况下不可移动文物变形变化规律。数值分析时如果有相似类型实测值的校核，数值计算结果的准确度将得到一定程度的提高。

### 6.2 变形控制值

**6.2.1** 变形控制值应包括变形累计控制值和变形速率控制值。

【条文说明】变形监测不但要控制监测项目的变形累计值，还要注意控制其变形速率。过大的变形速率，往往是突发事故的先兆。因此，变形监测数据的控制值应包括变形累计值和变形速率值这两部分内容。

**6.2.2** 全国重点文物保护单位的基础变形控制值应满足表6.2.2的规定，其他文物保护单位的变形控制值可参考执行或结合实际情况确定。

表6.2.2 文物基础变形控制值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 阶段 | 监测项目 | 沉 降 | 隆 起 | 不均匀沉降 |
| 建设期 | 累计值（mm） | 15 | 5 | 0.001*l* |
| 变化速率（mm/d） | 2 | 1 | / |
| 运营期 | 变化速率（mm/d） | 0.02 | / |
| 注：*l*为相邻监测点距离（mm）。 |

【条文说明】不可移动文物年代久远，受日晒雨淋、自然灾害、人为活动的影响，结构自身存在风化、裂缝、基础沉降等病害，其抵抗变形的能力较弱，确定严谨、科学、合理的变形控制值，对确保文物安全至关重要。在西安最早修建地铁2号线期间，通过对西安城墙等古建筑既有的沉降裂缝发育情况进行调查，建立地基变形对文物建筑结构安全影响的有限元仿真模型，并结合国内外相关控制值，最终制定了-15~+5mm的变形控制值（“-”表示沉降、“+”表示隆起）。根据《建筑地基基础设计规范》（GB 50007-2011）的规定，各种类型建筑物的地基不均匀沉降最小控制值为0.001*l*，结合文物的重要性，按照此标准执行。在西安2号线建设施工中对盾构施工工艺进行了严格控制和优化，实际发生的变形量均满足上述控制值。后续多条线路建设涉及到重点文物的变形控制基本采用了此控制值，取得了良好的效果。地铁绕穿西安钟楼时，考虑到2号线和6号线的交汇，因此制定了±5mm更加严格的控制值。

根据《工程测量标准》（GB 50026-2020）的规定，建（构）筑物沉降观测的终止观测的稳定指标值为0.02mm/d，即从长期监测来看0.02mm/d的沉降速率意味着变形基本稳定。制定文物长期监测控制值时，由于文物的特殊性，因此采用上述最严格的稳定标准来控制，换算到年沉降累计值为7.3mm。经过对西安城墙和西安钟楼等重点文物的长期变形监测数据分析，各监测点的年沉降累计最大值不超过5mm，因此将0.02mm/d的作为运营期文物长期监测的沉降速率控制值是科学可行的。

**6.2.3** 城市轨道交通工程施工不应造成文物本体出现新裂缝。

### 6.3 变形预测及评估

**6.3.1** 预测和评估城市轨道交通工程对文物产生变形的影响，可按下列步骤进行：

**1** 资料收集；

**2** 确定文物的变形控制值；

**3** 制定预测及评估方案；

**4** 变形预测计算；

**5** 综合分析提出评估结论。

【条文说明】资料收集是评估的基础；变形控制值是评估的标准；方案是评估工作的指导；计算是评估的方法；轨道交通建设或者运营对文物是否造成有害变形影响是评估的目的。

**6.3.2** 资料收集应包括下列内容：

**1** 城市轨道交通工程的工程概况、线路、埋深、施工方法及工艺、岩土工程勘察资料等；

**2** 文物现状及历史沿革、保护级别、结构类型、建筑材料、图纸资料等；

**3** 两者之间的空间关系等；

**4** 文物周边环境情况。

**6.3.3** 采用理论法预测隧道施工影响下文物变形量时，可采用PECK法；考虑降水影响时，可按照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定计算附加沉降量。

【条文说明】PECK在分析了大量地表沉降数据后，提出了地表沉降槽符合高斯分布的概念（如图6.3.3-1所示）。认为地层变形由地层损失引起，施工引起的地面沉降是在不排水的条件下发生的，从而假定地表沉降槽体积等于地层损失体积。PECK法在世界上广泛应用，成为预估沉降槽的经典公式。在国内，多地区的地铁隧道施工变形监测数据表明，经修正后的PECK公式能较好的预测隧道施工的变形量。《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438中，也推荐了PECK公式预测沉降。

|  |
| --- |
| IMG_256 |
| 图6.3.3-1 沉降槽横向分布图 |

降水引起的地层变形量参照《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120按式（1）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （1） |

式中：*s*为降水引起的地层变形量，单位为m；

*ψw*为沉降计算经验系数，应根据地区工程经验取值，无经验时，宜取*ψw*＝1；

∆σ*zi*为降水引起的地面下第*i*土层中点处的附加有效应力，单位为kPa；对黏性土，应取降水结束时土的固结度下的附加有效应力；

Δ*hi*为第*i*层土的厚度，单位为m；

*Esi*──第*i*层土的压缩模量，单位为kPa；应取土的自重应力至自重应力与附加有效应力之和的压力段的压缩模量值。

**6.3.4** 采用工程类比法预测施工影响下文物变形量，应采用类似工程地质条件和同等工程条件下，已建工程的实测变形数据作为参考。

**6.3.5** 采用数值计算方法预测施工影响下文物变形量，应建立地层-结构-文物基础的整体模型进行计算，模型中土层的物理力学参数应按相应岩土工程勘察成果资料确定。

**6.3.6** 对文物产生的变形影响预测及评估报告应包括下列内容：

**1** 工程建设情况及文物的基本情况；

**2** 评估目的及工作内容；

**3** 预测所采用的方法、计算过程；

**4** 不同工况下，变形数据处理的方法和结果；

**5** 对计算结果与变形控制值进行分析、对比，提出变形对文物影响程度的结论；

**6** 根据评估结果，提出变形控制措施和建议。

# 7　振动影响专项评估

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 文物结构振动控制值，应根据文物保护级别、结构类型、结构安全性等级选用。

【条文说明】不可移动文物的保存情况、结构类型不尽相同，而且不同的保护级别所受的重视程度也不同，故本条规定的文物振动控制值应根据其结构类型、保护级别和安全性等级选用。

**7.1.2** 在城市轨道交通规划阶段，文物结构振动响应预测宜采用经验法；在建设阶段，文物结构振动响应预测宜采用数值计算方法，具备测试条件的，可采用传递函数法。

【条文说明】经验法是获取定量结果最简单的手段，由于振动问题的复杂性，在处理工程问题时进行了大量的简化，简化后的计算方法在精度上往往难以满足工程计算的要求，但经验法仍然是定性分析重要的手段。在项目的规划阶段对文物进行文物影响安全评估时，可采用经验法进行快速预测，为规划和决策提供依据。

数值计算是解决实际工程问题最为快捷的工具之一。借助数值计算模型，结合准确的地层、结构静力、动力及振动荷载等参数，可以获得不同工况下文物的振动响应值及变化规律。同时结合类似工程实测值，数值计算的预测结果一般能够与运营后的实际情况相吻合。

### 7.2 振动控制值

**7.2.1** 文物结构的振动控制值以振动速度峰值[υ]表示。

【条文说明】本标准以疲劳极限作为文物防振动的控制指标。疲劳是材料或结构在往复荷载作用下由变形累积到一定程度后所导致的破坏。引起材料或结构疲劳破坏的下限值就是疲劳极限，当最大往复应力小于疲劳极限时，此应力的变化对材料或结构疲劳不起作用，也就是说当最大往复应力小于疲劳极限时，无论往复多少次，材料或结构的变形达到一定值后就不再继续增长，也不会产生疲劳破坏。根据这一特性，将文物承受的最大容许动应力（或动应变[ε]）控制在疲劳极限以下，这样即使经过无限多次往复运动，文物也不会产生新的裂缝，已有的裂缝也不会扩展。标准编制组开展了针对古建材料（古木、古砖）的疲劳试验，通过大量的试验获得了古建材料的典型的疲劳曲线，得到材料的最大容许动应力。通过建立文物整体模型，输入不同的振动荷载，得到文物发生疲劳破坏的最大容许动应力（或动应变[ε]），从而对应的输入振动速度即为文物容许振动阈值。鉴于文物既有病害现状及承振能力退化，在对振动速度阈值进行一定的修正得到振动控制值。

振动通过土层以波动的形式传至文物本体，从而引起结构的动力反应。根据有限弹性介质中波动方程的解得知：文物上任一点的动应变（ε）与该处质点速度（v）成正比。在振动作用下，当文物的动应变ε小于容许动应变[ε]时则认为工业振源产生的振动对文物无有害影响。为便于使用，振动标准以质点振动速度[v]（峰值）表示。

**7.2.2**古建筑砖石结构的振动控制值，宜按表7.2.2-1的规定采用；古建筑木结构的振动控制值，宜按表7.2.2-2的规定采用。

表7.2.2-1 古建筑砖石结构的振动控制值[υ]（mm/s）

| 保护级别 | 控制点位置 | 控制点方向 | 安全性等级 |
| --- | --- | --- | --- |
| 一 | 二 | 三 |
| 全国重点文物保护单位 | 各层承重结构最高处 | 水平 | 0.30 | 0.20 | 0.15 |
| 省级文物保护单位 | 0.45 | 0.30 | 0.22 |
| 市、县级文物保护单位 | 0.60 | 0.40 | 0.30 |
| 注：古建筑砖石整体结构的安全性等级应按现行国家标准《古建筑砖石结构维修与加固技术规范》GB/T 39056的规定执行。 |

表7.2.2-2 古建筑木结构的振动控制值[υ]（mm/s）

| 保护级别 | 控制点位置 | 控制点方向 | 安全性等级 |
| --- | --- | --- | --- |
| A | B | C |
| 全国重点文物保护单位 | 各层承重结构最高处 | 水平 | 0.35 | 0.22 | 0.18 |
| 省级文物保护单位 | 0.50 | 0.32 | 0.25 |
| 市、县级文物保护单位 | 0.70 | 0.45 | 0.35 |
| 注：古建筑木结构体系的安全性等级应按现行国家标准《古建筑木结构维护与加固技术标准》GB/T 50165的规定执行。 |

【条文说明】表7.2.2-1~7.2.2-2中表中振动控制速度的划分综合考虑了文物的重要性和文物对振动的敏感程度等因素。一个严重损伤有倒塌风险的市级文物与一个保存完好的全国重点文物，前者对振动的敏感程度明显高于后者，如果仅按照文物的保护级别来确定文物振动是片面的，因此引入了文物安全性等级。

古建筑砖石结构安全性鉴定依据现行国家标准《古建筑砖石结构维修与加固技术规范》GB/T 39056的规定，分两级进行评估。第一级评估以外观损伤等宏观控制和构造鉴定为主，分为I、II、III，3个级别；符合I级的要求，说明结构具有足够的承载力，安全等级较高，不需要进行二级评估；第一级安全评估为II级（有缺陷）、III级（存在安全隐患，危险）的，应进行第二级评估，并由第二级评估给出最终结论。第二级评估以承载能力验算为主，分为一、二、三、四，4个级别，安全性等级依次降低。在进行砖石结构古建筑振动容许标准取值时，本标准表7.2.2-1中的安全性等级“一”，不仅对应第二级评估中鉴定结果为“一”的情况，还包含第一级评估结果为Ⅰ级，不需要进行第二级评估的情况。

古建筑木结构安全性鉴定依据现行国家标准《古建筑木结构维护与加固技术标准》GBT 50165的规定，从其结构特点出发，按勘查项目、构件和结构体系逐层进行评定。古建筑木结构的承振能力涉及整个结构所有构件之间的连接、拉结、锚固和支撑等，因此古建筑木结构容许振动标准的选取有必要对结构体系进行鉴定评级。该层次安全性等级共划分为4个级别，分别为A、B、C、D。A级安全性等级最高，D级安全性等级最低。

**7.2.3** 以砖砌体为主要承重体系的砖木混合结构的振动控制值，可按本规程表7.2.2-1采用；以木材为主要承重体系的砖木混合结构的振动控制值，可按本规程表7.2.2-2采用；外侧为砖砌体、内部夯筑土的城墙类古建筑的振动控制值，可按本规程表7.2.2-1采用。

**7.2.4** 当采用弹性波在古建筑结构中的传播速度作为分类指标时，古建筑的振动控制值可按现行国家标准《古建筑防工业振动技术规范》GB/T 50452的规定执行。

【条文说明】在进行振动对文物影响评估前，原则上需要针对重要的文物，应进行专项的安全性评估。对于不具备进行安全性评估的文物，建议按照国家标准《古建筑防工业振动技术规范》GB/T 50452的有关规定，依据弹性波速划分结构的承振能力。

**7.2.5** 土遗址结构振动控制值可按照现行陕西工程建设标准《城市轨道交通工程沿线土遗址振动控制与监测标准》DB 61/T5079的规定执行。

### 7.3 振动预测及评估

**7.3.1** 振动预测及评估，可按下列步骤进行：

**1** 调查文物现状和环境振动状况；

**2** 确定文物的振动控制值；

**3** 制定现场测试及预测评估方案；

**4** 现场振动测试和振动响应计算；

**5** 综合分析提出评估结论。

**7.3.2** 调查文物现状和环境振动状况，应包括下列内容：

**1** 城市轨道交通工程的工程概况、线路、埋深、车辆参数、轨道参数、工程地质和水文地质条件；

**2** 文物的历史沿革、保护级别、结构类型、建筑材料、图纸资料及现状评估的安全性等级；

**3** 两者之间的空间关系等；

**4** 文物周边环境振动情况。

**7.3.3** 文物结构振动响应的预测，应包括地面振动速度预测及结构振动控制点响应预测。

【条文说明】振源产生振动后，经由土体传至建筑物内。通常沿着这个传播路径，可以把振动的预测分为两个部分，即地面振动值以及地面振动激励文物的振动响应。用于预测文物的振动响应可以从这两个部分出发，分别建立每一个对象的预测模型以及各对象之间的相互耦合关系，也可以建立包含所有对象的整体模型。

**7.3.4** 采用经验法预测文物结构振动响应时，宜符合下列规定：

**1** 宜先确定城市轨道交通引起地面的振动速度，再根据文物结构的振动控制点实测动力放大系数确定文物的振动响应值；

**2** 当场地土为黏土土层，剪切波速在140～220 m/s范围内时，不同距离处的地面振动速度，可按表7.3.4选用；未做测定的场地土，不同距离处的地面振动速度，可按现行国家标准《古建筑防工业振动技术规范》 GB/T 50452的规定进行计算。

表7.3.4 不同距离处的地面振动速度*v*r（mm/s）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 场地土类型 | *v*s（m/s） | 距离*r*（m） |
| 10 | 50 | 100 | 200 | 400 | 500 |
| 黏土 | 140～220 | 0.418 | 0.166 | 0.072 | 0.056 | 0.044 | 0.040 |

注：1 *v*s为土层剪切波速；

2 城市轨道交通*v*r值，当距离*r*等于1倍～3倍地铁隧道底埋深（*H*）时，应乘1.2；当采用特殊城轨道床时，应乘0.7。

**3** 通过动力放大系数计算文物各结构层振动速度响应值时，应按下列公式计算：

$v\_{i}=β\_{i}v\_{r}$ （7.3.4-1）

$β\_{i}=\frac{v\_{m,i}}{v\_{m,r}}$ （7.3.4-2）

式中：*vi*——第*i*层结构振动速度响应值（mm/s）；

*v*r——地面振动速度（mm/s），按本规程第7.3.4条规定执行；

*βi*——文物第*i*层结构动力放大系数；

*v*m,*i*——地脉动下文物第*i*层结构振动速度测试值（mm/s）；

*v*m,*r*——地脉动下文物地面振动速度测试值（mm/s）。

【条文说明】动荷载作用下结构的动力放大系数与频率比（自振频率、荷载频率）、阻尼比有关。城市轨道交通引起结构的振动一般是微振动，短时间内不会对结构造成损伤，因此结构的自振频率和阻尼比一般也不会发生改变。当振源荷载以及结构类型确定时，结构的动力放大系数一般不会发生改变，因此，通过地脉动下测得文物建筑各层响应值相对于基础处振动响应值的动力放大系数可以准确反映其动力特征，结合基础处地面的振动响应值和动力放大系数计算结构振动响应值所得的结果比较准确，更有利于实际工程的应用。

**7.3.5** 采用数值计算方法预测文物结构振动响应时，宜符合下列规定：

**1** 模型中土层的动力参数应按现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269的规定进行测试。

**2** 列车振动荷载，宜通过车辆-轨道耦合动力模型计算，亦可通过类比测试方法获得；确定列车荷载时应考虑车轮不圆度和轨道不平顺对计算结果的影响。

**3** 结构单一的砖石类、土遗址类文物，可建立轨道结构-地层-文物整体模型。

**4** 结构复杂的木结构、砖木混合类文物，宜采取两步建模方法，先建立轨道结构-地层-文物模型，在文物基础顶面附加上部结构的自重荷载，计算基础顶面的振动响应；再单独建立文物本体结构数值计算模型，将基础顶面计算结果作为荷载条件输入模型，计算文物结构的振动响应；也可按本规程7.3.4条第3款通过实测动力放大系数的规定计算文物结构的振动响应。

【条文说明】数值计算模型和参数选取的不确定性将直接影响结果的准确性。为了提高结构振动响应的预测精度，结合振动测试，提出了动力放大系数替代的方法。实际工程中，可以根据研究对象模型的复杂程度选用合适的方法，确定最优结果。

**7.3.6** 评估城市轨道交通建设对文物的影响时，当附近存在多种振源，应计入多种振源的叠加作用；多种振源共同作用下结构振动响应速度可按下列公式计算：

$v\_{e}=\sqrt{\sum\_{i}^{n}\left(v\_{e,i}\right)^{2}}$ （7.3.6-1）

$C\_{f}=max\left(\frac{v\_{p,1}}{v\_{e,1}}，\frac{v\_{p,2}}{v\_{e,2}}，……，\frac{v\_{p,i}}{v\_{e,i}}，……，\frac{v\_{p,n}}{v\_{e,n}}\right)$ （7.3.6-2）

$v\_{p}=C\_{f}v\_{e}$ （7.3.6-3）

式中：*v*e——振动叠加速度有效值（mm/s）；

*v*e,*i*——振源*i*引起结构振动速度的有效值（mm/s）；

*n*——振源数量；

*v*p,*i*——振源*i*引起结构振动速度的峰值（mm/s）；

*v*p——振动叠加速度峰值（mm/s）；

*Cf*——波峰因子，应取所有振源单独作用时结构振动速度峰值（*v*p）与有效值（*v*e）比值中的最大值；当无法通过测试方法获取某振源单独作用时下的波峰因子时，简谐振源的*Cf*可取1.41，随机振源的*Cf*可取4或5，对全国重点文物保护单位的文物宜取5。

【条文说明】振动叠加的方法具体步骤及方法如下：

（1）通过数值计算或者实测，得到不同振源引起结构振动速度峰值（$v\_{p,i}）$和有效值（$v\_{e,i}）$；

（2）根据振动能量叠加原理，计算该点不同振动叠加情况下的速度有效值，计算公式见式（7.3.6-1）；

（3）利用波峰因子（*Cf*），按式（7.3.6-3）计算得到测点在不同振源叠加情况下的速度峰值，联系峰值与有效值。

根据相关文献的研究结果，对于随机振动响应可以看做均值趋近于0、方差为*σ*2的平稳窄带高斯过程（即近似服从瑞利分布），其信号样本序列的均方根值为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6） |

式中：*x—*随机变量；

*xi—*随机变量中某一数值；

σ*—*随机变量标准差；

*μ—*随机变量均值。

即均方根值与其信号样本序列的标准差相等。对于高斯分布，以均值为中心，*nσ*为半径涵盖样本出现的几率为：

|  |  |
| --- | --- |
| $$\left\{\begin{array}{c}p\left(3σ\right)=99.730020\%\\p\left(4σ\right)=99.993666\%\\p\left(5σ\right)=99.999943\%\end{array}\right.$$ | （7） |

即波峰因子*Cf*取3、4和5时分别可以满足99.9700%、99.9937%和99.9999%的保证概率。

**7.3.7** 振动影响专项评估报告应包括下列内容：

**1** 振源及文物的基本情况；

**2** 评估目的及工作内容；

**3** 预测所采用的方法、测点布置及计算过程；

**4** 数据处理的方法和结果；

**5** 对不同工况下，测试或计算结果与振动控制值进行分析、对比，提出振动对文物影响程度的结论；

**6** 结合振动影响程度，提出减振或隔振措施和建议。

# 8　设计

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 下穿或近距离绕行重要文物保护区域的城市轨道交通工程，应以控制施工期变形和运营期振动为目标，开展轨道交通工程文物保护专项设计。

**8.1.2** 开展专项设计工作前，应收集文物影响评估、文物现状调查评估、工程地质及水文地质、文物保护成功经验等资料，制定科学合理的保护方案。

**8.1.3** 文物保护专项设计可根据专项评估成果采用平面避让、加大埋深、工法优化、隔离保护、注浆加固、临时防护、结构加强、轨道减振、专项监测等措施。

【条文说明】西安地铁2、6号线绕行西安钟楼和下穿西安城墙时，采用了以下文物保护措施：（1）线路在经过钟楼时采取了双绕的方案，经过城墙时从两侧的券门下穿，并加大了埋深。通过采用平面避让、加大埋深的空间避让设计，远离了钟楼台基、城墙等重要文物建筑的变形敏感区，降低了施工变形和运行振动对文物的影响。（2）选择了对环境影响最小、沉降控制最有效的盾构法施工。（3）预先对钟楼、城墙等重要文物建筑采取了隔离桩保护措施，减少了施工及运营过程中对文物建筑的影响。（4）对城墙门洞进行了型钢支撑防护。（5）轨道采取了无缝线路，道床采用了钢弹簧浮置板减振道床，减少了地铁运营期间对文物的影响。（6）开展了文物保护专项监测。

根据国家文物局和陕西省文物局的批复要求，对西安城墙及西安钟楼等全国重点文物保护单位进行了施工变形及运营期的变形和长期振动监测。监测数据表明，沉降和振动均满足控制值和国家文物局有关批复文件的要求，前期专题研究提出的控制值科学合理，采用的文物保护措施合理有效。

**8.1.4** 重要文物保护区域城市轨道交通工程专项设计可采取工程类比、理论分析和数值计算等多种方法相互验证。

### 8.2 线路设计

**8.2.1** 城市轨道交通线路平面设计应优先绕避重要文物保护区域。

**8.2.2** 涉及重要文物保护区域的轨道交通线路，应考虑敷设方式对文物本体和周边环境的影响。

**8.2.3**城市轨道交通线路近距离绕行文物本体时，平面设计宜加大线路与文物本体的距离；盾构和浅埋暗挖工程，线路与文物本体的水平距离不宜小于15m；明挖工程，基坑与文物本体的水平净距不宜小于2.5倍基坑深度。

【条文说明】对于无法绕避的文物本体或遗址，遵循与重要文物“近而不进”的原则，在线路平面设计上尽量远离文物本体。西安地铁2、6号线在西安钟楼处采取左、右线分开绕行以隧道方式通过，2号线右线中线距钟楼台基最近15.3m，左线15.7m；为了尽量减少6号线运行与2号线振动叠加的影响，地铁6号线加大了与钟楼的距离，右线中线与钟楼台基最近30.2m，左线30.1m；2号线钟楼站距钟楼96m，6号线钟楼站距离钟楼140m。

**8.2.4** 城市轨道交通线路下穿或近距离绕行文物本体时，纵断面设计宜加大线路埋深，纵断面宜平缓，避免设置大坡度；盾构和浅埋暗挖工程隧道拱顶覆土不宜小于2.0倍洞径。

【条文说明】下穿或近距离绕行文物本体的轨道交通线路，线路纵断面尽量加大埋深，远离文物本体，降低施工期间对文物沉降变形的影响及运营期间振动对文物的影响。根据现有工程经验和监测结果，当拱顶覆土大于2.0倍洞径时，施工期变形较为可控，且运营振动也可满足要求。西安地铁已建成的1、2、4、6号线下穿西安城墙、绕行西安钟楼时，线路均加大了埋深，隧道拱顶覆土大于2.0倍洞径。统计如下表所示：

表 8.2.4-1 西安地铁线路下穿或近距离绕行文物类型类比表

| 文物名称 | 结构型式 | 基础型式 | 隧道拱顶埋深 | 线路下穿型式 | 下穿地层 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 西安钟楼 | 木结构 | 砖土基础 | 2号线12.5～16m，6号线24.4～25.5m | 绕行 | 古土壤、粉质黏土 和粉土 |
| 西安城墙 | 永宁门 | 夯筑芯墙+外包砖 | 条石或青砖 | 17.4~18.5 m | 门洞下方下穿 | 古土壤、老黄土和 粉质黏土 |
| 安远门 | 夯筑芯墙+外包砖 | 条石或青砖 | 13.0~14.7m | 门洞下方下穿 | 古土壤、老黄土和 粉质黏土 |
| 朝阳门 | 框架结构 | 桩基础 | 18.5m | 左线下穿城墙地下 室；右线下穿门洞 | 老黄土和粉质黏 土 |
| 玉祥门 | 框架结构 | 钢筋混凝土条石基础 | 16.8m | 门洞下方下穿 | 古土壤、粉质黏土 和粉土 |
| 和平门 | 夯筑芯墙+外包砖 | 砖砌条形基础 | 18.2m | 门洞下方下穿 | 老黄土和古土壤 |
| 长乐门 | 夯筑芯墙+外包 砖 | 砖砌条形基础 | 22.0m | 门洞下方下穿 | 老黄土和古土壤 |
| 安定门 | 夯筑芯墙+外包砖 | 砖砌条形基础 | 17.6m | 门洞下方下穿 | 粉质黏土 |

**8.2.5** 城市轨道交通线路涉及重要文物保护区域，应综合考虑线路与文物本体的位置关系，合理选择车站及区间附属工程的平面位置。

### 8.3 结构设计

**8.3.1** 重要文物保护区域城市轨道交通地下隧道工程应优先选择盾构工法，明挖工程优选刚度大、整体性及抗渗性优良的基坑围护结构型式，靠近文物地段内支撑均采用刚度较大的支撑体系，严格控制周边建（构）筑物变形。

**8.3.2**对重要文物的基础或地基进行加固时，可采取袖阀管注浆、树根桩、钢管桩、及钢筋混凝土隔离桩保护等加固措施，加固措施应选择合理的施工工艺和施工设备，不得对文物造成损害。

【条文说明】隔离桩可有效隔离盾构隧道施工过程中对土体扰动产生的变形和地表沉降，是目前国内建构筑物保护较为有效的保护措施之一。

西安地铁在绕行西安钟楼段，在钟楼台基周边打设隔离桩进行地基加固；在钟楼基座外围8 m左右设一圈隔离桩，桩径1m，间距1.3ｍ，桩长深入2号线隧道底10m，桩顶设置冠梁，起到隔离作用。后期监测证明，隔离桩不仅将盾构施工期间的最大沉降量降低到3.28mm，而且对后期地铁运行和路面交通振动产生了显著的隔振作用。

西安地铁下穿安远门、永宁门段，在隧道平行瓮城段沿瓮城外周打设隔离桩（桩径1.0m@1.3m），门洞基础下方预埋袖阀管对土体进行跟踪注浆加固，袖阀管采用Ф80，间距0.6m，梅花形布置，加固范围为地面以下3～11m；下穿长乐门、安定门段，在平行瓮城段沿隧道打设一排钻孔桩（桩径1.0m@1.5~2.5m），并在距离城墙根2m 处打设钢管静压桩（桩径0.16m@1.0m，双排梅花形布置），城墙门洞基础周边布置 2 排袖阀管对门洞基础下方土体进行预注浆加固，袖阀管采用Ф80，间距1.0m，梅花形布置，加固范围为地面以下2～10m。

袖阀管注浆加固采用水泥－水玻璃双液浆加固，现场可根据实际情况以及所需的凝结时间适当调整水灰比和双液比。注浆过程中要注意控制注浆压力，防止注浆压力过大，造成对文物基础的破坏。

**8.3.3** 在轨道交通施工期间，可对受影响的文物本体或隐患部位进行临时防护，且不得对文物造成损害。

**8.3.4** 轨道交通结构应具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性，结构安全等级应为一级。

**8.3.5** 地下水控制宜采用止水方案，当确需采用降水措施时，应先编制降水影响评估报告，再开展降水方案专项设计及论证。

### 8.4 其他设计

**8.4.1** 重要文物保护区域城市轨道交通工程，轨道应采取无缝线路，道床应采取高等减振或特殊减振道床。

**8.4.2** 重要文物保护区域内的地面工程设计，尚应考虑与文物景观的协调统一。

**8.4.3** 保护区域内的轨道交通工程，应综合考虑后期线路建设的影响，保护区域内的预留工程宜同期评估、同期设计、同期施工。

### 8.5 专项设计文件内容

**8.5.1** 专项设计文件包括专项设计说明、设计图纸、相关评审和审批材料。

**8.5.2** 专项设计说明宜包含下列内容：

**1** 项目概述：包含轨道交通工程概述，涉及的文物保护对象概述、保护区划范围以及相关管理规定，与文物空间关系；

**2** 工程地质及水文地质条件；

**3** 涉及文物的轨道交通工程设计参数；

**4** 施工方法及拟采取的辅助工法；

**5** 轨道交通通过文物时线路方案；

**6** 已施工线路下穿文物情况；

**7** 施工期变形控制值的确定；

**8** 施工对文物影响分析及变形影响专项评估结论；

**9** 运营振动控制值的确定；

**10** 运营期振动对文物影响分析及振动影响专项评估结论；

**11** 加固及保护处理措施；

**12** 监控量测方案；

**13** 结论。

# 9　施工

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 施工前应详细调查文物及周边环境现状，编制文物保护专项施工方案。

**9.1.2** 施工期间应建立完善的监测、信息联动、预警及应急响应机制，定期实施安全检查。

### 9.2 施工准备

**9.2.1** 施工前应结合工程地质、水文地质、文物保护现状、周边环境，对施工风险进行辨识和评价，并提出风险处置措施。

**9.2.2** 文物保护专项施工方案应明确工期计划、施工设备、施工工艺、技术要求、文物保护措施、施工安全保证措施和应急处置措施等。

**9.2.3** 应选择无振动或低振动、低噪音的施工机械和施工工艺。

**9.2.4** 施工前应组织条件验收和核查，并配足应急抢险物资。

### 9.3 施工技术及要求

**9.3.1** 盾构施工应符合下列规定：

**1** 盾构设备选型满足地质条件和周边环境要求；

【条文说明】盾构施工前，由资深专家团队依据工程地质、水文地质、线路布局、周边环境、设计文件及工期需求，综合评估盾构机选型的合理性，确保所选盾构机的基本设计、技术参数及配置可适应本标段隧道设计、地质及环境条件。

**2** 开展同类地层试验段施工，确定掘进参数和注浆压力，包含掘进速度、推力、扭矩、出土量、注浆量等，确保变形控制满足要求；

【条文说明】开展同类地层试验段施工，确定掘进参数与注浆压力，是重要文物保护区域内城市轨道交通施工风险控制的关键。通过试验段施工，为文物保护区域施工提供技术支撑。如西安地铁2号线下穿的西安钟楼、永宁门、安远门，6号线下穿长乐门、安定门，采用的6m洞径土压平衡盾构。通过试验段施工，确定了盾构掘进速度为30～40mm/min，刀盘扭矩为2500～3000kN·m，推力为10000～12000kN。同时，为确保施工质量和地层稳定，每环的出土量不超过52m³，控制同步注浆量及注浆压力，浆液注入量一般为理论盾尾空隙量得150%～200%，每环注浆量不少于4.5m³，注浆压力控制在250～400kPa。此外，实施二次注浆紧跟作业，每环均进行二次补浆，为了及时有效控制历史文物地基的沉降,为防止浆液粘住盾尾,离盾尾1~4环应注单液浆,离盾尾4环后应注双液浆，盾构过文物保护区域时每环的二次注浆量通常较同步注浆量稍大,一般每环的补浆量在4~9m³，视地质状况不同略有差异。上述试验参数的确定，有效实现了施工过程中的变形控制，确保了文物安全。

**3** 盾构施工匀速、连续不间断；

**4** 设置止浆环，及时开展同步注浆和二次注浆；

**5** 制定监测与巡视制度。

**9.3.2** 明挖施工应符合下列规定：

**1** 明确施工工艺和技术参数、施工设备、场地布置和验收标准；

**2** 采用对环境影响小的施工工艺和技术，不应采取强夯、冲击钻、爆破等施工工艺；

**3** 桩基施工时，采用技术成熟的成孔工艺，避免塌孔和水土流失；

【条文说明】桩基施工中，采用成熟成孔工艺至关重要。根据地质条件，调控泥浆参数，尤其在杂填土、软弱土层及砂卵石层，必要时设置护筒或采用全回转钻进工艺。

**4** 基坑土方开挖遵守开槽支撑、先撑后挖、分层开挖、严禁超挖的施工原则，确保分层、分步、对称、平衡、限时进行；

**5** 基坑工程施工连续作业，主体结构完成后及时回填。

**9.3.3** 暗挖施工应符合下列规定：

**1** 开展同类地层试验段施工，确定施工参数，包括止水参数、开挖方式及参数、壁后注浆量及执行时段等；

【条文说明】同类地层试验段施工在暗挖隧道工程中至关重要，通过试验确定止水参数、开挖方式（如台阶法、预留核心土法等）、参数（包括开挖进尺、台阶长度、核心土保留等）以及壁后注浆量、注浆压力、注浆时段等关键要素，为后续施工提供坚实依据。以西安地铁6号线临近西安钟楼段暗挖施工为例，该工程利用试验段所得参数，确保了注浆作业均匀连续，无盲区，注浆加固长度建议为10-15m每段，严控注浆压力，防止地层隆起，实现了对隧道土体的有效加固及止水处理。注浆止水后，暗挖隧道影响区域明显缩减，验证了注浆止水的可行性。同时，地表沉降、净空收敛等工况监测分析显示，注浆止水方案有效，施工沉降得到了有效控制。

**2** 施工期间观测地层、水位、水质变化情况，加强支护结构监测与检查，确保安全与质量；

**3** 施工前，严格实施超前探孔作业，详细掌握地下地质结构、水文条件情况，规避潜在风险。

**4** 严格控制开挖进度，避免过快导致地层失稳或文物受损。

**5** 加强施工过程监测，确保施工活动不会对文物造成过大的扰动。

**9.3.4** 地下水控制施工应符合下列规定：

**1** 施工过程中加强对地下水位及工程环境的监测，根据监测结果动态优化地下水控制方案；

**2** 采取注浆止水的严格控制注浆止水参数，确保止水效果，维持地下水位稳定不变；

**3** 采取降水的，应分级降水，逐步降低地下水位，严控排水量和出砂率；采取帷幕止水的，满足止水效果要求；

**4** 降水过程中加强对降水井及降水系统的检查和维护，确保降水系统连续运行；

**5** 地下工程降水建立完整的排水系统，包括集水坑、排水沟、排水管网等，确保排水畅通。

### 9.4 信息联通及应急处置

**9.4.1** 下穿和近距离绕行重要文物保护区域时，建设、勘察、设计、监理、监测、施工单位及文物行政部门应建立信息共享与应急联动机制。

**9.4.2** 建立应急组织机构，加强对施工风险的防范、监测和处置能力。

**9.4.3** 施工中发现文物遗存，应立即停止施工，保护现场，并逐级上报。

# 10　文物监测

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 施工阶段对影响范围内的文物本体应开展变形监测及现场巡查。

**10.1.2** 运营阶段应建立对文物的长期监测机制，定期现场巡查，对文物变形及振动响应进行长期监测。

**10.1.3** 监测方案应包括现状分析、监测方法、监测设备及精度要求、监测点布设、监测频率、监测控制值、监测数据处理、监测预警及处置等。

【条文说明】监测方案编制之前，需要综合研究工程的风险特点以及影响文物安全的重要工程部位和施工过程，并对关键部位关键过程和关键时间提出监测重点，以确保监测方案的针对性。

**10.1.4** 文物监测采用的仪器设备应定期检定、校准，并在有效期内。

**10.1.5** 需实时采集数据时，可采用自动化设备进行监测。宜配备独立于自动监测仪器的人工测量设备，对自动化系统进行定期校核，并确保自动监测仪器发生故障时获取监测数据。

**10.1.6** 监测数据触发预警值或文物结构出现新的病害，应进行现场核对或复测。

### 10.2 变形监测

**10.2.1** 文物变形监测内容应包括基础沉降监测、裂缝监测等。

【条文说明】基础沉降监测包括沉降量、沉降差及沉降速率；裂缝监测包括位置分布、走向、长度、宽度、深度及变化情况。除此之外，根据具体的文物安全需要，还包括文物的水平位移、倾斜度、应力应变等监测内容。

**10.2.2** 文物变形监测应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026相关规定，变形测量精度不宜低于二等。沉降监测点测站高差中误差不应大于0.5mm；裂缝的宽度测量精度不宜低于1.0mm。

【条文说明】变形监测的精度等级，是根据我国变形监测的经验，并参考国外标准有关变形监测的内容确定的，按变形观测点的水平位移点位中误差、垂直位移的高程中误差或相邻变形观测点的高差中误差的大小来划分的。《工程测量标准》 GB 50026-2020根据精度要求将变形监测分为4个等级，对于古建筑而言要求至少是二等精度。

**10.2.3** 文物变形监测方法及仪器可按表10.2.3选用。

表10.2.3 文物变形监测方法及仪器选用表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 监测内容 | 监测方法 | 常用监测仪器 |
| 基础变形监测 | 几何水准法、三角高程法、静力水准法等 | 精密数字水准仪、全站仪、静力水准仪等 |
| 裂缝监测 | 量测法、图形对比法等 | 裂缝计、比例尺、游标卡尺、摄影测量相机等 |

**10.2.4** 变形监测应设置基准点，基准点不应少于3个；当基准点与所测文物距离较远致使变形测量作业不方便，宜设置工作基点，基准点和工作基点的布设应满足现行国家标准《工程测量标准》GB 50026-2020的规定。

【条文说明】二等以上的沉降观测的基准点数不应少于3个，是为了保证有足够数量的基准点可用于检测其稳定性，从而保证沉降观测成果的可靠性。

对较大规模的文物沉降观测，每一期的作业时间往往也较长，为方便作业，通常设置工作基点。由于工作基点位置距待测建筑一般较近，因此在每期变形观测开始时，应先进行工作基点与基准点的联测，然后再利用工作基点进行监测点的测量。其位置及数量可根据现场条件和作业需要来确定。

**10.2.5** 沉降监测点的布设宜符合下列规定：

**1** 沿文物建筑的外墙布设，主要承重的墙、柱、拱、基础底板的四角和塔体处应布设监测点，对于城墙类文物建筑监测点布设间距宜为10~15m；

**2** 基础埋深相差较大、填土与原状土接壤处、不同结构分界处、转角处、严重开裂处宜布设监测点；

**3** 每处文物的监测点不应少于4个；

**4** 监测点距地面高度不宜大于0.5m，水平嵌入墙体下部，外露不宜大于20mm。

**10.2.6** 裂缝监测点的布设宜符合下列规定：

**1** 受力构件的明显裂缝处或有发展趋势的裂缝处；

**2** 每条裂缝宜布设3组观测标志，其中一组在裂缝最宽处，另两组分别在裂缝的末端处。

**10.2.7** 各期观测宜采用相同的观测网、观测路线和观测方法，宜使用相同的测量仪器设备。

【条文说明】对于不同期的变形测量，特别是高等级的变形测量，应尽可能采用相同的观测网形、观测路线、观测方法、仪器设备，并在同等或相近的环境条件下观测。这样规定的目的是尽可能地减弱系统误差影响，提高观测精度，保证成果质量。

**10.2.8** 首次变形监测应在温度稳定时连续进行两次独立量测，当相应两次观测数据的较差不大于极限误差时，取两次量测的平均值作为变形量测的初始值。

【条文说明】首次观测值(初始值)是整个变形测量的基础数据，进行两次同精度独立测量，可以保证首期测量成果具有足够的可靠性。首期两次测量，不仅针对基准点网的测量，也针对利用基准点(或借助工作基点)对所有监测点进行的测量。这里的极限误差为所选观测等级对应的中误差数值（见表10.2.8-1）的2倍。

表10.2.8-1 建筑变形测量的等级、精度指标及其适用范围

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 等级 | 沉降监测点测站高差中误差（mm） | 位移监测点坐标中误差（mm） |
| 特等 | 0.05 | 0.3 |
| 一等 | 0.15 | 1.0 |
| 二等 | 0.5 | 3.0 |

**10.2.9** 根据变形监测数据，应分析变形量的累计最大、最小、平均值及最大速率、变形差，并绘制沉降、裂缝随时间变化等图表。

**10.2.10** 城市轨道交通施工阶段中文物变形监测频率宜满足现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911的规定。

**10.2.11** 城市轨道交通运营一年内，文物变形监测频率宜为2~4次/年；运营一年后文物变形监测宜为1~2次/年。

【条文说明】因地质条件、结构形式、周边环境及施工方法的不同，各地及不同区段等轨道交通线路结构达到完全稳定的持续时间有很大的差异，沉降速率和最终沉降量也各不相同。因此，监测频率可以根据各自的实际情况确定，以能够及时、准确、系统地反映线路结构变形为确定原则，当无相关经验参考时，可按本条规定执行。

**10.2.12** 施工期间监测预警等级划分及应对管理措施应符合表10.2.12的规定。

表10.2.12 监测预警等级划分及应对管理措施

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 监测预警等级 | 监测比值 | 应对措施 |
| 一级（黄色） | 0.6≤R＜0.8 | 监测预警，并采取加强巡视、加密监测点或提高监测频率等措施 |
| 二级（橙色） | 0.8≤R＜1 | 监测预警，应暂停施工，各方共同制定相应安全保护措施，并经审查后，开展后续工作 |
| 三级（红色） | 1≤R | 监测预警，启动应急处置 |
| 注：1、监测比值R=监测项目实测值/监测项目控制值；2、监测预警等级的划分，尚应考虑监测数据的变化速率；3、同一监测点连续两天变形增量均达到2mm/d时，监测预警应视做二级。 |

【条文说明】为了便于预警工作的统一管理，根据西安地铁工程特点、监测项目控制值、施工经验等，结合相关规范标准（《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911-2013、《西安城市轨道交通工程监测技术规范》DBJ61-98-2015等）研究制定了表10.2.12的监测预警等级和预警标准。

### 10.3 振动监测

**10.3.1** 文物振动监测应符合下列规定：

**1** 监测仪器应满足低频、微幅的要求，低频起始频率不应高于0.5Hz，测振系统的分辨率不应低于1×10-3mm/s；

**2** 监测时应避免外界振源干扰；

**3** 每个测点的传感器应按照测试的方向摆放一致，每个测点应留影像资料，传感器应固定在被测主体结构构件上，测线电缆应固定在结构构件上，不得悬空；

【条文说明】测试时，传感器测试方向摆放不一致，其感应振动分量就会有差异，影响分析结果。

**4** 振动监测时传感器宜采用竖向和水平向的速度型传感器，通频带宽应能涵盖所关心的频率成分，且不宜高于100Hz，传感器应作防水密封；

**5** 振动监测的采样频率不宜低于150Hz，记录应包含一个振动响应周期，且时间每次不应少于15min，记录次数不应少于5次；

**6** 监测时应记录日期、周边环境、风向风速、测试次数、记录时间、测试方向、测点设置、各测点对应的通道号、传感器编号以及标定值、各通道的记录情况等。

【条文说明】为了减小干扰的后期处理，提高采集、分析数据的准确性，对测试环境和测试记录做了规定。

**10.3.2** 文物振动监测的测点布置宜符合下列规定：

**1** 古建筑类：监测点布置在文物的基础及承重结构最高处，其余楼层逐层布置测点，每个文物的振动测点不应少于4个；

**2** 土遗址类：已被土层覆盖的土遗址，监测点布置在遗址正上方地表处，裸露地表的土遗址监测点布置在土遗址的基础及最高处；

**3** 各监测点在竖向和两个水平向布置振动测试传感器。

【条文说明】响应测试的测点位置依据反映整体承重结构最大响应确定。一般来说，振动在建筑物随着高度会放大，不可移动文物最高处的响应往往是结构的最大响应。实测表明，由于文物形制的特殊性，最大振幅并不一定发生在结构顶部,中间“反弯点”处的振动反而更大。所以振动响应测点建议逐层布置，以免漏测。

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

【条文说明】现场实测时应尽量避开机、电和人为干扰，调整零点漂移，但实际情况仍会或多或少的有一些干扰。因而数据分析前，应检查记录信号，通过去直流、删除干扰区段、对电信号进行带阻滤波等方法处理波形的失真。

**10.3.4** 文物振动测试数据的确定应符合下列规定：

**1** 稳态周期振动采用时域分析法，并将测试信号中所有幅值在测试区间内进行平均，测试结果亦可采用幅值谱分析的数据；每个样本数据不应少于1024个，并应进行加窗函数处理，频域上的总体平均次数不应少于20次；

【条文说明】每个样本的记录长度是根据数据分析的要求定的。对于采用快速傅里叶变换（FFT)分析的数据，每个数应为2n个。最常用的数据量为512、1024和2048等。为了确保分析精度，本标准建议取不少于1024个点。

**2** 随机信号分析时，对随机信号的平稳性进行评估；对于平稳随机过程采用总体平滑的方法提高测试精度；当采用快速傅里叶变换分析或频谱分析时,每个样本数据不应少于1024个，并进行加窗函数处理，频域上的总体平均次数不应少于32次；

**3** 振动响应幅值分别按同一高度、同一方向各测点速度时程最大峰峰值的一半确定，并取5次有效记录的平均值。

**【**条文说明】峰峰值是指一个周期内信号最高值和最低值之间差的值，而幅值是从零点到波峰或者波谷的距离，在实际采样的过程中，采集到的数据并不是严格以平衡轴（X轴）上下波动的，经常会出现轻微的漂移，在这种情况下幅值所获取的数据就会带来较大的误差，因此，以峰峰值的一半取值。

本标准规定了每个测点记录有效振动数据的次数不得少于5次，是为了确保振动测试数据的可靠和精确。

**10.3.5** 运营期间文物振动监测宜为1~2次/年。

【条文说明】轨道交通运营期间工况众多，建议对平峰工况、高峰工况、夜间工况等进行监测，同宜组合地面交通综合分析。

### 10.4 现场巡查

**10.4.1** 现场巡查宜包括下列内容：

**1** 文物本体：局部或整体有无较大变形增量，有无积水区域，有无新裂缝出现及裂缝变宽；

**2** 重要文物保护区域内的城市轨道交通工程主体现场巡查内容按照现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911规定执行；

**3** 周边环境：地表变形、场地及周边积水、较大振源变化情况；

**4** 监测设施：基准点、监测点完好状况；监测元件的完好及保护情况；有无影响监测工作的障碍物；

**5** 根据文物现状确定的其它巡视检查内容。

【条文说明】实际现场巡查工作中应包括但不仅限于此内容，要根据实际情况进行适当增加。其中监测基准点、监测点、监测元器件的稳定或完好状况，直接关系到数据的准确性、真实性及连续性，因此是现场巡查的内容。

根据巡查计划，结合施工进度，及时进行巡查，并详细做好巡查记录。

**10.4.2** 现场巡查应符合下列规定：

**1** 巡视检查以目测为主，可辅以锤、钎、量尺、放大镜等工器具及摄像、摄影等设备进行；

**2** 发出预警信号时，应加强巡视检查：当发现异常或危险情况，应及时通知相关单位；

**3** 巡视检查宜由熟悉工程情况的人员参加，并相对固定；

**4** 巡视检查应做好记录。

【条文说明】现场巡查和仪器监测数据成果之间大多存在着内在的联系，可以把被监测对象从定性和定量两方面有机地结合起来，更加全面地分析工程及文物的变形规律及安全状态，更好地指导工程进展或及时采取相应的安全措施，保证工程顺利进行。现场巡查到的任何异常情况必须引起足够重视，并结合出现异常区域的监测数据和施工工况进行综合分析判断，及时发现可能出现的事故隐患或征兆，以便施工方及相关单位及时启动应急预案，采取应对措施，避免事故的发生。

**10.4.3** 应根据实际情况安排现场巡查次数，在施工期、关键工况、特殊天气等情况下应增加巡查次数。

# 本规程用词说明

**1** 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明以下：

1） 表示很严格，非这样做不可的用词：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用词：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，在条件许可时首先应这样做的用词：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时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

**1** 《工程测量标准》GB 50026

**2** 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911

**3** 《盾构隧道工程技术标准》GB 54138

**4** 《古建筑砖石结构维修与加固技术规范》GB/T 39056

**5** 《古建筑木结构维护与加固技术标准》GB/T 50165

**6** 《地基动力特性测试规范》GB/T 50269

**7** 《古建筑防工业振动技术规范》GB/T 50452

**8** 《建筑变形测量规范》JGJ 8

**9** 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

**10** 《城市轨道交通结构形变监测技术规范》CHT 6007

**11** 《城市轨道交通工程沿线土遗址振动控制与监测标准》DB 61/T 5079