

中华人民共和国国家标准

建筑与桥梁结构监测技术规范

Technical code for monitoring of building
and bridge structures

GB 50982 - 2014

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 5 年 8 月 1 日

中国建筑工业出版社

2014 北 京

中华人民共和国国家标准
建筑与桥梁结构监测技术规范
Technical code for monitoring of building
and bridge structures
GB 50982 - 2014

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
环球印刷（北京）有限公司印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：3 $\frac{1}{4}$ 字数：82 千字
2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月第一次印刷

定价：**16.00 元**

统一书号：15112·23997

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 583 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《建筑与桥梁结构监测技术规范》的公告

现批准《建筑与桥梁结构监测技术规范》为国家标准，编号为 GB 50982 - 2014，自 2015 年 8 月 1 日起实施。其中，第 3.1.8 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2014 年 10 月 9 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2011年工程建设标准制订、修订计划〉的通知》(建标[2011]17号)的要求,规范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外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制本规范。

本规范主要技术内容是:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.监测方法;5.高层与高耸结构;6.大跨空间结构;7.桥梁结构;8.其他结构。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送中国建筑科学研究院(地址:北京市北三环东路30号;邮编:100013)。

本规范主编单位:中国建筑科学研究院
海南建设工程股份有限公司

本规范参编单位:重庆大学
北京工业大学
清华大学
北京市建筑设计研究院有限公司
奥雅纳工程咨询(上海)有限公司
中交公路规划设计院有限公司
云南省地震工程研究院
中国铁道科学研究院
北京市市政工程研究院
澳门土木工程实验室

天津市建设工程质量安全监督管理
总队

本规范主要起草人员：段向胜 常 乐 郭泽文 阳 洋
王 霓 邸小坛 聂建国 潘 鹏
刘 鹏 裴岷山 徐教宇 潘宠平
闫维明 安晓文 束伟农 曾志斌
冯良平 何浩祥 李 骞 蔡 奇
樊健生 区秉光 尹 波 张新越
黄宗明 雷立争

本规范主要审查人员：周福霖 柯长华 傅学怡 李国强
娄 宇 李 霆 刘凤奎 杨学山
李 乔 周 智 薛 鹏

目 次

| | | |
|-----|--------------|----|
| 1 | 总则 | 1 |
| 2 | 术语和符号 | 2 |
| 2.1 | 术语 | 2 |
| 2.2 | 符号 | 3 |
| 3 | 基本规定 | 4 |
| 3.1 | 一般规定 | 4 |
| 3.2 | 监测系统、测点及设备规定 | 4 |
| 3.3 | 施工期间监测 | 6 |
| 3.4 | 使用期间监测 | 9 |
| 4 | 监测方法 | 12 |
| 4.1 | 一般规定 | 12 |
| 4.2 | 应变监测 | 12 |
| 4.3 | 变形与裂缝监测 | 13 |
| 4.4 | 温湿度监测 | 16 |
| 4.5 | 振动监测 | 17 |
| 4.6 | 地震动及地震响应监测 | 18 |
| 4.7 | 风及风致响应监测 | 18 |
| 4.8 | 其他项目监测 | 20 |
| 4.9 | 巡视检查与系统维护 | 21 |
| 5 | 高层与高耸结构 | 22 |
| 5.1 | 一般规定 | 22 |
| 5.2 | 施工期间监测 | 24 |
| 5.3 | 使用期间监测 | 26 |
| 6 | 大跨空间结构 | 29 |
| 6.1 | 一般规定 | 29 |

| | | |
|------|----------------|----|
| 6.2 | 施工期间监测 | 30 |
| 6.3 | 使用期间监测 | 32 |
| 7 | 桥梁结构 | 33 |
| 7.1 | 一般规定 | 33 |
| 7.2 | 施工期间监测 | 34 |
| 7.3 | 使用期间监测 | 36 |
| 8 | 其他结构 | 40 |
| 8.1 | 隔震结构 | 40 |
| 8.2 | 穿越施工 | 41 |
| 附录 A | 监测设备主要技术指标 | 42 |
| 附录 B | 不同类型桥梁使用期间监测要求 | 45 |
| | 本规范用词说明 | 48 |
| | 引用标准名录 | 49 |
| | 附：条文说明 | 51 |

Contents

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | General Provisions | 1 |
| 2 | Terms and Symbols | 2 |
| 2.1 | Terms | 2 |
| 2.2 | Symbols | 3 |
| 3 | Basic Requirements | 4 |
| 3.1 | General Requirements | 4 |
| 3.2 | Monitoring System, Point and Equipment | 4 |
| 3.3 | Construction Monitoring | 6 |
| 3.4 | Post Construction Monitoring | 9 |
| 4 | Monitoring Methods | 12 |
| 4.1 | General Requirements | 12 |
| 4.2 | Stress and Strain | 12 |
| 4.3 | Deformation and Crack | 13 |
| 4.4 | Temperature and Humidity | 16 |
| 4.5 | Vibration | 17 |
| 4.6 | Earthquake and Seismic Response | 18 |
| 4.7 | Wind and Wind-induced Response | 18 |
| 4.8 | Other Items | 20 |
| 4.9 | Patrol Inspection and System Maintenance | 21 |
| 5 | High-rise Building and Structure | 22 |
| 5.1 | General Requirements | 22 |
| 5.2 | Construction Monitoring | 24 |
| 5.3 | Post Construction Monitoring | 26 |
| 6 | Long-span Spatial Structure | 29 |
| 6.1 | General Requirements | 29 |

| | | |
|------------|---|----|
| 6.2 | Construction Monitoring | 30 |
| 6.3 | Post Construction Monitoring | 32 |
| 7 | Bridge Structure | 33 |
| 7.1 | General Requirements | 33 |
| 7.2 | Construction Monitoring | 34 |
| 7.3 | Post Construction Monitoring | 36 |
| 8 | Other Structures | 40 |
| 8.1 | Seismically Isolated Structure | 40 |
| 8.2 | Crossing Construction | 41 |
| Appendix A | Technique Requirement of Monitoring Equipment | 42 |
| Appendix B | Monitoring Requirement of Different Types of Bridges | 45 |
| | Explanation of Wording in This Code | 48 |
| | List of Quoted Standards | 49 |
| | Addition: Explanation of Provisions | 51 |

1 总 则

1.0.1 为规范建筑与桥梁结构监测技术及相应分析预警，做到技术先进、数据可靠、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于高层与高耸、大跨空间、桥梁、隔震等工程结构监测以及受穿越施工影响的既有结构的监测。

1.0.3 建筑与桥梁结构的监测，除应符合本规范的规定外，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 结构监测** structural monitoring
频繁、连续观察或量测结构的状态。
- 2.1.2 施工期间监测** construction monitoring
施工期间进行的结构监测。
- 2.1.3 使用期间监测** post construction monitoring
使用期间进行的结构监测。
- 2.1.4 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。
- 2.1.5 监测设备** monitoring equipment
监测系统中，传感器、采集仪等硬件的统称。
- 2.1.6 传感器** transducer / sensor
能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。
- 2.1.7 监测频次** times of monitoring
单位时间内的监测次数。
- 2.1.8 监测预警值** precaution value for monitoring
为保证工程结构安全或质量及周边环境安全，对表征监测对象可能发生异常或危险状态的监测量所设定的警戒值。
- 2.1.9 监测系统稳定性** monitoring system stability
监测系统经过长期使用以后其工作特性保持正常的性能。
- 2.1.10 监测设备耐久性** monitoring equipment durability
监测设备在正常使用和维护条件下，随时间的延续仍能满足监测设备预定功能要求的能力。
- 2.1.11 传感器频响范围** sensor frequency range

传感器在此频率范围内，输入信号频率的变化不会引起其灵敏度和相位发生超出限值的变化。

2.1.12 结构分析模型修正 structural analyzing model updating

通过识别或修正分析模型中的参数，使模型计算分析结果与实际量测值尽可能接近的过程。

2.1.13 穿越施工 crossing construction

地下工程穿越既有结构的施工过程。

2.2 符 号

f_n —— n 阶自振频率；

l —— 长度或跨度；

n —— 振型阶数；

P —— 推力；

r —— 导线电阻；

T —— 索力；

δ —— 相对变形量；

ϵ —— 应变；

ρ —— 单位长度质量。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑与桥梁结构监测应分为施工期间监测和使用期间监测。

3.1.2 施工期间监测宜与量测、观测、检测及工程控制相结合，使用期间监测宜采用具备数据自动采集功能的监测系统进行。

3.1.3 监测期间应进行巡视检查和系统维护。

3.1.4 施工期间监测宜与使用期间监测统筹考虑。

3.1.5 监测前应根据各方的监测要求与设计文件明确监测目的，结合工程结构特点、现场及周边环境条件等因素，制定监测方案。

3.1.6 对需要监测的结构，设计阶段应提出监测要求。

3.1.7 下列工程结构的监测方案应进行专门论证：

1 甲类或复杂的乙类抗震设防类别的高层与高耸结构、大跨空间结构；

2 特大及结构形式复杂的桥梁结构；

3 发生严重事故，经检测、处理与评估后恢复施工或使用的工程结构；

4 监测方案复杂或其他需要论证的工程结构。

3.1.8 建筑与桥梁结构监测应设定监测预警值，监测预警值应满足工程设计及被监测对象的控制要求。

3.1.9 监测期间，应对监测设施采取保护和维护措施。

3.1.10 建筑与桥梁结构监测应明确其目的和功能，未经监测实施单位许可不得改变测点或损坏传感器、电缆、采集仪等监测设备。

3.2 监测系统、测点及设备规定

3.2.1 应根据监测项目及现场情况对结构的整体或局部建立监

测系统，并宜设置专用监控室。

3.2.2 监测系统应具有完整的传感、调理、采集、传输、存储、数据处理及控制、预警及状态评估功能。

3.2.3 监测系统应按规定的方法或流程进行参数设置和调试，并应符合下列规定：

- 1 监测前，宜对传感器进行初始状态设置或零平衡处理；
- 2 应对干扰信号进行来源检查，并应采取有效措施进行处理；
- 3 使用期间的监测系统宜继承施工期间监测的数据，并宜

进行对比分析与鉴别。

3.2.4 监测系统的采样频率应满足监测要求。

3.2.5 监测期间，监测结果应与结构分析结果进行适时对比，当监测数据异常时，应及时对监测对象与监测系统进行核查，当监测值超过预警值时应立即报警。

3.2.6 测点应符合下列规定：

1 应反映监测对象的实际状态及变化趋势，且宜布置在监测参数值的最大位置；

2 测点的位置、数量宜根据结构类型、设计要求、施工过程、监测项目及结构分析结果确定；

3 测点的数量和布置范围应有冗余量，重要部位应增加测点；

4 可利用结构的对称性，减少测点布置数量；

5 宜便于监测设备的安装、测读、维护和替代；

6 不应妨碍监测对象的施工和正常使用；

7 在符合上述要求的基础上，宜缩短信号的传输距离。

3.2.7 监测设备应符合下列基本规定：

1 监测设备的选择应符合监测期、监测项目与方法及系统功能的要求，并具有稳定性、耐久性、兼容性和可扩展性；

2 测得信号的信噪比应符合实际工程分析需求；

3 在投入使用前应进行校准；

4 应根据监测方法和监测功能的要求选择安装方式，安装方式应牢固，安装工艺及耐久性应符合监测期内的使用要求；

5 安装完成后应及时现场标识并绘制监测设备布置图，存档备查。

3.2.8 监测传感器除应符合本规范第 3.2.7 条基本要求以外，尚应符合下列规定：

1 传感器的选型应根据监测对象、监测项目和监测方法的要求，遵循“技术先进、性能稳定、兼顾性价比”的原则；

2 宜采用具有补偿功能的传感器；

3 传感器应符合监测系统对灵敏度、通频带、动态范围、量程、线性度、稳定性、供电方式及寿命等要求。

3.2.9 监测设备作业环境应符合下列基本规定：

1 信号电缆、监测设备与大功率无线电发射源、高压输电线和微波无线电信号传输通道的距离宜符合现行国家标准《综合布线系统工程设计规范》GB 50311 的相关要求；

2 监测接收设备附近不宜有强烈反射信号的大面积水域、大型建筑、金属网及无线电干扰源；

3 采用卫星定位系统测量时，视场内障碍物高度角不宜超过 15° 。

3.3 施工期间监测

3.3.1 施工期间监测应为保障施工安全，控制结构施工过程，优化施工工艺及实现结构设计要求提供技术支持。

3.3.2 施工期间监测，宜重点监测下列构件和节点：

1 应力变化显著或应力水平较高的构件；

2 变形显著的构件或节点；

3 承受较大施工荷载的构件或节点；

4 控制几何位形的关键节点；

5 能反映结构内力及变形关键特征的其他重要受力构件或节点。

3.3.3 施工期间监测项目可包括应变监测、变形与裂缝监测、环境及效应监测。变形监测可包括基础沉降监测、竖向变形监测

及水平变形监测；环境及效应监测可包括风及风致响应监测、温湿度监测及振动监测。

3.3.4 施工期间监测前应对结构与构件进行结构分析，结构分析应符合下列规定：

1 内力验算宜按荷载效应的基本组合计算，结构分析计算值与应变实测值对比应按荷载效应的标准组合计算，变形验算应按荷载效应的标准组合计算；

2 应考虑恒荷载、活荷载等重力荷载，可根据工程实际需要计入地基沉降、温度作用、风荷载及波浪作用；

3 应以实际施工方案为准，施工过程中方案有调整的，施工全过程结构分析应相应更新；计算参数假定与施工早期监测数据差别较大时，应及时调整计算参数，校正计算结果，并应用于下一阶段的施工期间监测中；

4 宜采用实测的构件和材料的参数及荷载参数；

5 结构分析模型应与设计结构模型进行核对；

6 应结合施工方案，采用实际的施工工序，并应考虑可能出现风险的中间工况；

7 应充分考虑施工临时支护、支撑对结构的影响。

3.3.5 施工期间的监测预警应根据安全控制与质量控制的不同目标，宜按“分区、分级、分阶段”的原则，结合施工过程结构分析结果，对监测的构件或节点，提出相应的限值要求和不同危急程度的预警值，预警值应满足相关现行施工质量验收规范的要求。

3.3.6 施工期间的监测频次应符合下列规定：

1 每一个阶段施工过程应至少进行一次施工期间监测；

2 由监测数据指导设计与施工的工程应根据结构应力或变形速率实时调整监测频次；

3 复杂工程的监测频次，应根据工程结构形式、变形特征、监测精度和工程地质条件等因素综合确定；

4 停工时和复工时应分别进行一次监测。

3.3.7 当出现下列情况，应提高监测频次：

- 1 监测数据达到或超过预警值；
- 2 结构受到地震、洪水、台风、爆破、交通事故等异常情况影响；

3 工程结构现场、周边建（构）筑物的结构部分及其地面出现可能发展的变形裂缝或较严重的突发裂缝等可能影响工程安全的异常情况。

3.3.8 监测数据应进行处理分析，关键性数据宜实时进行分析判断，异常数据应及时进行核查确认。

3.3.9 施工期间监测应按施工进度进行巡视检查。

3.3.10 施工期间监测工作程序，可按图 3.3.10 的流程实施。

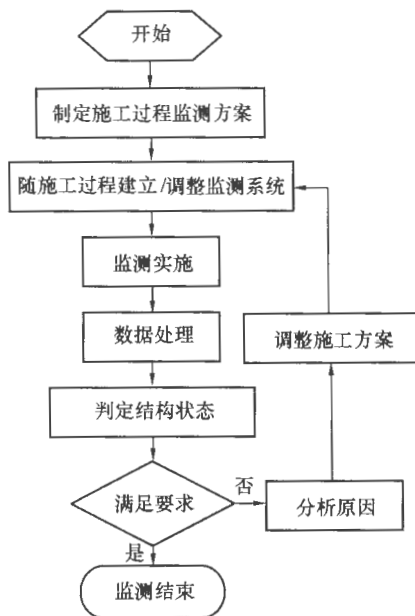


图 3.3.10 施工期间监测流程图

3.3.11 施工期间的监测报告宜分为阶段性报告和总结性报告。阶段性报告应在监测期间定期提交，总结性报告应在监测结束后提交。

3.3.12 监测报告应满足监测方案的要求，内容完整、结论明确、文理通顺；应为施工期间工程结构性能的评价提供真实、可靠、有效的监测数据和结论。

3.3.13 阶段性监测报告应包括下列内容：

1 项目及施工阶段概况；

2 监测方法和依据，包括：监测依据的技术标准，监测期和频次，监测参数，采用的监测设备及设备主要参数，测点布置，施工过程结构分析结果及预警值；

3 监测结果，包括：监测期间各测点监测参数的监测结果，与结构分析结果的对比情况，预警情况及评估结果，测点的变化情况，对监测期间异常情况的处理记录；

4 监测结论与建议；

5 预警报告、处理结果及相关附件。

3.3.14 总结性监测报告应反映整个监测期内的监测情况，报告内容应包括各阶段监测报告的主要内容。

3.3.15 监测记录应在监测现场或监测系统中完成，记录的数据、文字及图表应真实、准确、清晰、完整，不得随意涂改。

3.3.16 监测方案、监测报告、原始记录应进行归档，原始记录中应包括施工过程结构分析的计算书、结构变形及应变监测的监测记录 and 对比分析结果，对异常情况的处理记录，预警报告及处理结果。

3.4 使用期间监测

3.4.1 使用期间监测应为结构在使用期间的安全使用性、结构设计验证、结构模型校验与修正、结构损伤识别、结构养护与维修以及新方法新技术的发展与应用提供技术支持。

3.4.2 使用期间监测项目可包括变形与裂缝监测、应变监测、索力监测和环境及效应监测，变形监测可包括基础沉降监测、结构竖向变形监测及结构水平变形监测；环境及效应监测可包括风及风致响应监测、温湿度监测、地震动及地震响应监测、交通监

测、冲刷与腐蚀监测。

3.4.3 使用期间的监测宜为长期实时监测。

3.4.4 重要结构使用期间监测宜进行结构分析模型修正，修正后模型应反映结构现状。

3.4.5 使用期间的监测预警应根据结构性能，并结合长期数据积累提出与结构安全性、适用性和耐久性相应的限值要求和不同的预警值，预警值应满足国家现行相关结构设计标准的要求。

3.4.6 使用期间监测系统应能不间断工作，宜具备自动生成监测报表功能。

3.4.7 当监测数据异常或报警时，应及时对监测系统及结构进行检查或检测。

3.4.8 使用期间监测应定期进行巡视检查和系统维护。

3.4.9 使用期间监测工作程序，可按图 3.4.9 的流程实施。

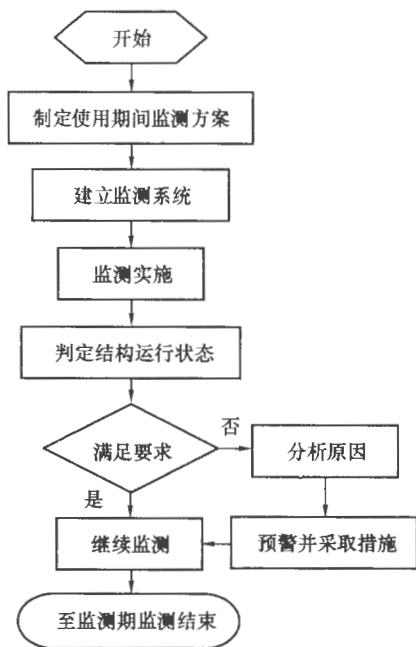


图 3.4.9 使用期间监测流程图

3.4.10 使用期间的监测报告可分为监测系统报告和监测报表，监测系统报告应在监测系统完成时提交，监测报表应在监测期间由监测系统自动生成。

3.4.11 监测报表应为使用期间结构性能的评价提供真实、可靠、有效的监测数据和结论。

3.4.12 监测系统报告应包括项目概况、施工过程、监测方法和依据、监测项目及监测系统操作指南。

3.4.13 监测报表应包括下列内容：

1 监测结果及对比情况，包括：规定时间段内的监测结果及与结构分析结果的对比，预警值；

2 监测结论。

3.4.14 监测报表、原始记录应进行归档。

4 监测方法

4.1 一般规定

4.1.1 监测项目宜包括应变监测、变形与裂缝监测、温湿度监测、振动监测、地震动及地震响应监测、风及风致响应监测、索力监测和腐蚀监测。

4.1.2 监测参数可分为静态参数与动态参数，监测参数的选择应满足对结构状态进行监控、预警及评价的要求。

4.2 应变监测

4.2.1 应变监测可选用电阻应变计、振弦式应变计、光纤类应变计等应变监测元件进行监测。

4.2.2 应变计宜根据监测目的和工程要求，以及传感器技术、环境特性进行选择。

4.2.3 应变计应符合下列基本规定：

1 量程应与量测范围相适应，应变量测的精度应为满量程的 0.5%，监测值宜控制为满量程的 30%~80%；

2 混凝土构件宜选择大标距的应变计；应变梯度较大的应力集中区域，宜选用标距较小的应变计；

3 应变计应具备温度补偿功能。

4.2.4 选用不同类型的应变传感器应符合下列规定：

1 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；

2 振弦式应变计应与匹配的频率仪配套校准，频率仪的分辨率不应大于 0.5Hz；

3 光纤解调系统各项指标应符合被监测对象对待测参数的规定；

4 采用位移传感器等构成的装置监测应变时,其标距误差应为 $\pm 1.0\%$,最小分度值不宜大于被测总应变的 1.0% 。

4.2.5 应变传感器的安装应符合下列规定:

- 1 安装前应逐个确认传感器的有效性,确保能正常工作;
- 2 安装位置各方向偏离监测截面位置不应大于 30mm ;安装角度偏差不应大于 2° ;
- 3 安装中,不同类型传感器的导线或电缆宜分别集中引出及保护,无电子识别编号的传感器应在线缆上标注传感器编号;
- 4 安装应牢固,长期监测时,宜采用焊接或栓接方式安装;
- 5 安装后应及时对设备进行检查,满足要求后方可使用,发现问题应及时处理或更换;
- 6 安装稳定后,应进行调试并测定静态初始值。

4.2.6 应变监测应与变形监测频次同步且宜采用实时监测。

4.2.7 应变监测数据处理应符合下列规定:

1 采用电阻应变计量测时,按下列公式对实测应变值进行导线电阻修正:

采用半桥量测时:

$$\epsilon = \epsilon' \left(1 + \frac{r}{R} \right) \quad (4.2.7-1)$$

采用全桥量测时:

$$\epsilon = \epsilon' \left(1 + \frac{2r}{R} \right) \quad (4.2.7-2)$$

式中: ϵ ——修正后的应变值;

ϵ' ——修正前的应变值;

r ——导线电阻 (Ω);

R ——电阻应变计电阻 (Ω)。

2 采用光纤类应变计及振弦式应变计量测时,应按校准系数进行换算。

4.3 变形与裂缝监测

4.3.1 变形监测可分为水平位移监测、垂直位移监测、三维位

移监测和其他位移监测。

4.3.2 根据监测仪器的种类，监测方法可分为机械式测试仪器法、电测仪器法、光学仪器法及卫星定位系统法。

4.3.3 应根据结构或构件的变形特征确定监测项目和监测方法。

4.3.4 变形监测应建立基准网，采用的平面坐标系统和高程系统可与施工采用的系统一致。局部相对变形测量可不建立基准网，但应考虑结构整体变形对监测结果的影响。

4.3.5 变形基准值监测应减少温度等环境因素的影响。

4.3.6 变形监测的结果应结合环境及效应监测的结果进行修正。

4.3.7 变形监测仪器量程应介于测点位移估计值或允许值的 2 倍~3 倍；采用机械式测试仪器时，精度应为测点位移估计值的 1/10。

4.3.8 监测标志应根据不同工程结构的特点进行设计；监测标志点应牢固、适用和便于保护。

4.3.9 基坑监测应按现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 有关规定执行；当采用光学仪器法、卫星定位系统法进行变形监测时，应按现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 有关规定执行；振动位移监测应按本规范第 4.5 节规定执行。

4.3.10 对于施工阶段累积变形较大的结构，应按设计要求采取补偿技术修正工程结构的标高，宜使最终的标高与设计标高一致，标高补偿技术应采用预测和监测相结合的方式进行。

4.3.11 变形监测的频次应符合下列规定：

1 当监测项目包括水平位移与垂直位移时，两者监测频次宜一致；

2 结构监测可从基础垫层或基础底板完成后开始；

3 首次监测应连续进行两次独立量测，并应取其中数作为变形量测的初始值；

4 当施工过程遇暂时停工，停工时及复工时应各量测一次，

停工期间可根据具体情况进行监测；

5 监测过程中，监测数据达到预警值或发生异常变形时应增加监测次数。

4.3.12 根据现场条件和精度要求，三维位移可选择光学仪器法、卫星定位系统法及摄影法进行监测。

4.3.13 倾斜及挠度监测应符合下列规定：

1 倾斜监测方法的选择及相关技术要求应按现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 有关规定执行；

2 重要构件的倾斜监测宜采用倾斜传感器，倾斜传感器可根据监测要求选用固定式或便携式；

3 倾斜和挠度监测频次应根据倾斜或挠度变化速度确定，宜与水平位移监测及垂直位移监测频次相协调，当发现倾斜和挠度增大时应及时增加监测次数或进行持续监测。

4.3.14 裂缝监测宜采用量测、观测、检测与监测方法独立或相结合的方式。

4.3.15 裂缝监测参数包括裂缝的长度和宽度，监测中应符合下列规定：

1 裂缝长度和较大裂缝的宽度可采用钢尺或机械式测试仪器法测量。直接测量时可采用裂缝宽度检验卡、电子裂缝观察仪，每个测点每次量测不宜少于3次；裂缝宽度检验卡最小分度值不宜大于0.05mm；利用电子裂缝观察仪时，量测精度应为0.02mm；

2 对于宽度1mm以下的裂缝，可采用电测仪器法，仪器分辨率不应大于0.01mm；

3 需监测裂缝两侧两点位移的变化时可用结构裂缝监测传感器，传感器包括振弦式测缝计、应变式裂缝计或光纤类位移计，传感器的量程应大于裂缝的预警宽度，传感器测量方向应与裂缝走向垂直；

4 已发生开裂结构，宜监测裂缝的宽度变化；尚未发生开裂结构，宜监测结构的应变变化。

4.4 温湿度监测

4.4.1 温湿度监测可包括环境及构件温度监测和环境湿度监测。

4.4.2 大体积混凝土温度监测应按现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 有关规定执行。

4.4.3 温度监测精度宜为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，湿度监测精度宜为 $\pm 2\% \text{RH}$ 。

4.4.4 环境及构件温度监测应符合下列规定：

1 温度监测的测点应布置在温度梯度变化较大位置，宜对称、均匀，应反映结构竖向及水平向温度场变化规律；

2 相对独立空间应设 1 个~3 个点，面积或跨度较大时，以及结构构件应力及变形受环境温度影响大的区域，宜增加测点；

3 大气温度仪可与风速仪一并安装在结构表面，并应直接置于大气中以获得有代表性的温度值；

4 监测整个结构的温度场分布和不同部位结构温度与环境温度对应关系时，测点宜覆盖整个结构区域；

5 温度传感器宜选用监测范围大、精度高、线性化及稳定性好的传感器；

6 监测频次宜与结构应力监测和变形监测保持一致；

7 长期温度监测时，监测结果应包括日平均温度、日最高温度和日最低温度；结构温度分布监测时，宜绘制结构温度分布等温线图。

4.4.5 环境湿度监测应符合下列规定：

1 湿度宜采用相对湿度表示，湿度计监测范围应为 $12\% \text{RH} \sim 99\% \text{RH}$ ；

2 湿度传感器要求响应时间短、温度系数小，稳定性好以及湿滞后作用低；

3 大气湿度仪宜与温度仪、风速仪一并安装；宜布置在结构内湿度变化大，对结构耐久性影响大的部位；

4 长期湿度监测时，监测结果应包括日平均湿度、日最高湿度和日最低湿度。

4.5 振动监测

4.5.1 振动监测应包括振动响应监测和振动激励监测，监测参数可为加速度、速度、位移及应变。

4.5.2 振动监测的方法可分为相对测量法和绝对测量法。

4.5.3 相对测量法监测结构振动位移应符合下列规定：

- 1 监测中应设置有一个相对于被测工程结构的固定参考点；
- 2 被监测对象上应牢固地设置有靶、反光镜等测点标志；
- 3 测量仪器可选择自动跟踪的全站仪、激光测振仪、图像识别仪。

4.5.4 绝对测量法宜采用惯性式传感器，以空间不动点为参考坐标，可测量工程结构的绝对振动位移、速度和加速度，并应符合下列规定：

1 加速度量测可选用力平衡加速度传感器、电动速度摆加速度传感器、ICP型压电加速度传感器、压阻加速度传感器；速度量测可选用电动位移摆速度传感器，也可通过加速度传感器输出于信号放大器中进行积分获得速度值；位移测量可选用电动位移摆速度传感器输出于信号放大器中进行积分获得位移值；

2 结构在振动荷载作用下产生的振动位移、速度和加速度，应测定一定时间段内的时间历程。

4.5.5 振动监测前，宜进行结构动力特性测试。

4.5.6 动态响应监测时，测点应选在工程结构振动敏感处；当进行动力特性分析时，振动测点宜布置在需识别的振型关键点上，且宜覆盖结构整体，也可根据需求对结构局部增加测点；测点布置数量较多时，可进行优化布置。

4.5.7 振动监测数据采集与处理应符合下列规定：

- 1 应根据不同结构形式及监测目的选择相应采样频率；
- 2 应根据监测参数选择滤波器；

- 3 应选择合适的窗函数对数据进行处理。
- 4.5.8** 动应变监测设备量程不应低于量测估计值的 2 倍~3 倍，监测设备的分辨率应满足最小应变值的量测要求，确保较高的信噪比。振动位移、速度及加速度监测的精度应根据振动频率及幅度、监测目的等因素确定。
- 4.5.9** 动应变监测应符合下列规定：
- 1 动应变监测可选用电阻应变计或光纤类应变计；
 - 2 动态监测设备使用前应进行静态校准。监测较高频率的动态应变时，宜增加动态校准。

4.6 地震动及地震响应监测

- 4.6.1** 下列结构，应进行地震响应监测：
- 1 设防烈度为 7、8、9 度时，高度分别超过 160m、120m、80m 的大型公共建筑；
 - 2 特别重要的特大桥；
 - 3 设计文件要求或其他有特殊要求的结构。
- 4.6.2** 监测参数主要为地震动及地震响应加速度，也可按工程要求监测力及位移等其他参数。
- 4.6.3** 结构地震动及地震响应监测应符合下列规定：
- 1 监测方案应包括监测系统类型、测点布置、仪器的技术指标、监测设备安装和管理维护的要求；
 - 2 测点应根据设防烈度、抗震设防类别和结构重要性、结构类型和地形地质条件进行布置；
 - 3 可结合风、撞击、交通等振动响应统筹布置监测系统，并应与震害检查设施结合；
 - 4 测点布置应能反映地震动及上部结构地震响应；
 - 5 监测设备主要技术指标可按本规范附录 A 执行。

4.7 风及风致响应监测

- 4.7.1** 对风敏感的结构宜进行风及风致响应监测。

4.7.2 风及风致响应监测参数应包括风压、风速、风向及风致振动响应，对桥梁结构尚宜包括风攻角。

4.7.3 风压监测应符合下列规定：

1 风压监测宜选用微压量程、具有可测正负压的压力传感器，也可选用专用的风压计，监测参数为空气压力；

2 风压传感器的安装应避免对工程结构外立面的影响，并采取有效保护措施，相应的数据采集设备应具备时间补偿功能；

3 风压测点宜根据风洞试验的数据和结构分析的结果确定；无风洞试验数据情况下，可根据风荷载分布特征及结构分析结果布置测点；

4 进行表面风压监测的项目，宜绘制监测表面的风压分布图。

4.7.4 风压计的量程应满足结构设计中风场的要求，可选择可调量程的风压计，风压计的精度应为满量程的 $\pm 0.4\%$ ，且不宜低于 10Pa ，非线性度应在满量程的 $\pm 0.1\%$ 范围内，响应时间应小于 200ms 。风速仪量程应大于设计风速，风速监测精度宜为 0.1m/s ，风向监测精度宜为 3° 。

4.7.5 风速及风向监测应符合下列规定：

1 结构中绕流风影响区域宜采用计算流体动力学数值模拟或风洞试验的方法分析；

2 机械式风速测量装置和超声式风速测量装置宜成对设置；

3 风速仪应安装在工程结构绕流影响区域之外；

4 宜选取采样频率高的风速仪，且不应低于 10Hz ；

5 监测结果应包括脉动风速、平均风速和风向。

4.7.6 风致响应监测宜符合下列规定：

1 风致响应监测应对不同方向的风致响应进行量测，现场实测时应根据监测目的和内容布置传感器；

2 风致响应测点可布置量测不同物理量的多种传感器；

3 应变传感器应根据分析结果，布置在应力或应变较大或刚度突变能反映结构风致响应特征的位置；

4 对位移有限制要求的结构部位宜布置位移传感器，位移传感器记录结果应与位移限值进行对比。

4.8 其他项目监测

I 拉索索力监测

4.8.1 拉索索力监测应符合下列规定：

1 监测方法可包括压力表测定千斤顶油压法、压力传感器测定法、振动频率法；

2 压力表测定千斤顶油压法与振动频率法监测精度宜为满量程的 5.0%，压力传感器测定法监测精度宜为满量程的 3.0%；

3 振动频率法监测索力的加速度传感器频响范围应覆盖索体振动基频，采用实测频率推算索力时，应将拉索及拉索两端弹性支承结构整体建模共同分析；

4 索力监测系统在设计时，宜与结构内部管线、通信设备综合协调；

5 拉索索力监测预警值应结合工程设计的限值、结构设计要求及监测对象的控制要求综合确定。

4.8.2 索力监测应符合下列规定：

1 应确保锚索计的安装呈同心状态；

2 采用振动频率法监测时，传感器安装位置应在远离拉索下锚点而接近拉索中点，量测索力的加速度传感器布设位置距索端距离应大于 0.17 倍索长；

3 日常监测时宜避开不良天气影响，且宜在一天中日照温差最小的时刻进行量测，并记录当时的温度与风速。

II 腐蚀监测

4.8.3 在氯离子含量较高或受腐蚀影响较大的区域或有设计要求时，可进行腐蚀监测。

4.8.4 腐蚀监测应符合下列规定：

1 腐蚀监测方案中应包括腐蚀监测方法、监测参数、监测位置和监测频次；

2 腐蚀监测宜选用电化学方法，电化学监测方法可选用电流监测、电位监测，也可同时采用电流和电位监测；

3 腐蚀监测参数可包括结构腐蚀电位、腐蚀电流和混凝土温度；

4 腐蚀监测位置应根据监测目的，结合工程结构特点、特殊部位、结构连接位置、不同位置的腐蚀速率等因素确定；测点宜选择在力与侵蚀环境荷载分别作用的典型区域及侵蚀环境荷载作用下的典型节点；

5 腐蚀传感器应能分辨腐蚀类型、测定腐蚀速率。可采用外置式和嵌入式两种方式布置；对于新建结构，可在施工过程中将传感器埋入预定的位置；对既有结构，可在结构相应测点的邻近位置外置传感器。

4.9 巡视检查与系统维护

4.9.1 巡视检查内容应包括监测范围内的结构和构件变形、开裂、测点布设及监测设备或结合当地经验确定的其他巡视检查内容。

4.9.2 系统维护应确保监测系统运行正常，并进行系统更新。

4.9.3 巡视检查应符合下列规定：

1 巡视检查以目测为主，可辅以锤、钎、量尺、放大镜等工器具以及摄像、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 巡视检查的重点是确认基准点、测点的位置未改变及完好状况，确认监测设备运行正常及保护状态；

4 巡视检查宜由熟悉本工程情况的人员参加，并相对固定；

5 巡视检查应做好记录。

5 高层与高耸结构

5.1 一般规定

5.1.1 除设计文件要求外，高度 250m 及以上或竖向结构构件压缩变形显著的高层与高耸结构应进行施工期间监测，高度 350m 及以上的高层与高耸结构应进行使用期间监测。

5.1.2 除设计文件要求或其他规定应进行施工期间监测的高层与高耸结构外，满足下列条件之一时，高层及高耸结构宜进行施工期间监测：

- 1 施工过程增设大型临时支撑结构的高层与高耸结构；
- 2 施工过程中整体或局部结构受力复杂的高层与高耸结构；
- 3 受温度变化、混凝土收缩、徐变、日照等环境因素影响显著的大体积混凝土结构及含有超长构件、特殊截面的结构；
- 4 施工方案对结构内力分布有较大影响的高层与高耸结构；
- 5 对沉降和位形要求严格的高层与高耸结构；
- 6 受邻近施工作业影响的高层与高耸结构。

5.1.3 除设计文件要求或其他规定应进行使用期间监测的高层与高耸结构外，满足下列条件之一时，高层及高耸结构宜进行使用期间监测：

- 1 高度 300m 及以上的高层与高耸结构；
- 2 施工过程导致结构最终位形与设计目标位形存在较大差异的高层与高耸结构；
- 3 带有隔震体系的高层与高耸结构；
- 4 其他对结构变形比较敏感的高层与高耸结构。

5.1.4 开挖深度大于等于 5m 或开挖深度小于 5m 但现场地质情况和周围环境较复杂的基坑工程以及其他需要监测的基坑工程应

实施基坑工程监测，监测实施应按现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定执行。

5.1.5 高层与高耸结构施工期间监测项目应根据工程特点按表 5.1.5 选择。

表 5.1.5 施工期间监测项目

| | 基础沉降监测 | 变形监测 | | 应变监测 | 环境及效应监测 | | | 基坑支护监测 |
|------|--------|------|----|------|---------|-----|----|--------|
| | | 竖向 | 水平 | | 风 | 温湿度 | 振动 | |
| 高层结构 | ★ | ★ | ★ | ★ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| 高耸结构 | ★ | ★ | ★ | ★ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |

注：★应监测项，▲宜监测项。

5.1.6 高层与高耸结构使用期间监测项目应根据结构特点按表 5.1.6 进行选择。

表 5.1.6 使用期间监测项目

| | 基础沉降监测 | 变形监测 | | 应变监测 | 环境及效应监测 | | |
|------|--------|------|----|------|---------|-----|----|
| | | 竖向 | 水平 | | 风 | 温湿度 | 地震 |
| 高层结构 | ▲ | ▲ | ★ | ▲ | ▲ | ▲ | ★ |
| 高耸结构 | ▲ | ▲ | ★ | ▲ | ▲ | ▲ | ★ |

注：★应监测项，▲宜监测项。

5.1.7 高层与高耸结构监测应与结构分析相结合，结构分析应符合下列规定：

1 伸臂桁架和悬吊构件的施工过程应进行施工过程结构分析，且应真实反映设计和实际施工的顺序，以及节点的连接方式；

2 结构分析应按工程精度需要，计入结构构件的安装和刚度生成、支撑的设置和拆除等刚度变化影响因素；宜考虑几何非线性及混凝土材料收缩徐变的影响；

3 结构分析中,应根据实际施工方案预测施工过程中整个建筑的沉降变形、楼层的累积变形以及关键部位的变形和内力,为施工及监测方案的调整提供指导,保证完工后结构的水平度和标高满足设计要求;

4 框架-剪力墙结构或剪力墙结构中的连梁刚度不宜折减。

5.2 施工期间监测

I 沉降监测

5.2.1 沉降监测中应先引测工作基点,再分区布置沉降测点,沉降监测点宜与水平位移监测点一致。

II 变形监测

5.2.2 施工期间变形监测可包括轴线监测、标高监测、建筑体形之间联系构件的相对变形监测、结构关键点位的三维空间变形监测。

5.2.3 施工周期超过一年的结构或昼夜温差较大地区的结构施工,宜进行日照变形监测。

5.2.4 变形监测测点应布置在结构变形较大或变形反应敏感的区域。

5.2.5 滑模施工过程中,应对滑模施工的水平度及垂直度进行监测。

5.2.6 悬臂和连体结构施工过程中,应对悬臂阶段的施工位形进行监测。

5.2.7 高层与高耸结构变形监测的监测频次除应符合本规范第4.3.11条的规定外,尚应符合下列规定:

- 1 地下施工期间,楼层每增加1层监测一次;
- 2 地上结构施工期间,楼层每增加1层~5层监测一次;
- 3 关键楼层或部位施工时期,监测频次不应低于日常监测频次的2倍;

4 对于高耸结构，除重要的受力节间外，可按一定的高度间隔取相应的结构节间进行监测；应至少在重量达到总重的50%和100%时各监测一次。

III 应变监测

5.2.8 在荷载变化和边界条件变化的主要施工过程中，应进行应变监测。

5.2.9 监测测点应布置在特征位置构件、转换部位构件、受力复杂构件、施工过程中内力变化较大构件。

5.2.10 测试截面和测点的布置应反映相应构件的实际受力情况；对于后装延迟构件和有临时支撑的构件，应反映施工过程中构件受力状况的变化。

5.2.11 施工期间对结构产生较大临时荷载的设施，宜对相应受力部位及设施本身进行应变监测。

5.2.12 塔吊支承架结构的主梁以及牛腿预埋件结构，应根据塔吊支承架结构的受力特点及现场施工条件确定支承架主梁的应力测点以及牛腿预埋件应力测点的位置及监测方案。

5.2.13 应变的监测频次除应符合本规范第4.2.6条规定外，尚应符合下列规定：

1 对于连体、后装延迟构件或有临时支撑的结构，连体合龙前后、延迟构件固定前后及支撑拆除前后，相应应力变化较大的构件应增加监测频次；

2 应符合本规范第5.2.7条第2~4款规定，本规范第5.2.7条其他款项可参照执行。

IV 风及风致响应监测

5.2.14 当获取平均风速和风向，且施工过程中结构顶层不易安装监测桅杆时，可将风速仪安装于高于结构顶面的施工塔吊顶部。

5.3 使用期间监测

I 变形监测

5.3.1 变形监测测点可选择下列位置：

1 影响结构安全性的特征构件、变形较显著的关键点、承重墙柱拐角、大的工程结构截面转变处；主要墙角、间隔 2 根~3 根柱基以及沉降缝的顶部和底部、工程结构裂缝的两边、结构突变处、主要构件斜率变化较大处；

2 结构体型之间的联系构件及不同结构分界处的两侧；

3 结构外立面中间部位的墙或柱上，且一侧墙体的测点不宜少于 3 个。

5.3.2 可选定特征明显的塔尖、避雷针、圆柱（球）体边缘作为高耸结构的变形监测测点。

5.3.3 对季节效应和不均匀日照作用下的温度效应敏感的高层与高耸结构，应进行日照变形监测。

5.3.4 高层与高耸结构的沉降及变形，在施工完成后第一年内宜至少每 3 个月监测一次，第二年内宜至少监测 2 次~3 次，第三年以后宜每年至少监测 1 次。

II 应变监测

5.3.5 应变监测的测点应选择应力较大的构件和受力不利构件。测点不宜过于分散，宜服从分区集中准则。

5.3.6 下列重要部位或构件宜进行应变监测：

1 转换部位及相邻上下楼层；

2 伸臂桁架受力较大的杆件及相邻部位；

3 巨型柱、巨型斜撑、竖向构件平面外收进以及竖向刚度分布不连续区域等结构不规则位置及相邻部位；

4 其他重要部位和构件。

5.3.7 施工或使用期间发生过重大质量事故并已采取措施补救

确认为安全的结构，对补救部位的应变情况宜进行监测。

III 风及风致响应监测

5.3.8 已进行风洞试验的高层与高耸结构，宜根据风洞试验结果布置测点；对于未进行风洞试验的高层与高耸结构，宜选择自由场及对风致响应敏感的构件及节点位置，并宜与地震动及地震响应监测的测点布置相协调。

5.3.9 测点应设置在工程结构的顶层、地上一层、结构刚度突变和质量突变处以及对安全性要求较高的重点楼层的刚度中心或几何中心。进行动力特性分析时，振动测点应沿结构不同高度布置，宜设置在结构各段的质量中心处，并应避免振型的节点。

5.3.10 高层、高耸结构顶部风速仪宜高于顶部 1m，并处于避雷针的覆盖范围之内。环境风速监测宜安装在距结构约 100m~200m 外相对开阔场地，高出地面 10m 处。

5.3.11 对风敏感的建（构）筑物有验证要求时，可监测建（构）筑物表面的风压分布情况。

5.3.12 舒适度控制区域宜布置测点，对相应控制参数进行监测。

IV 地震动及地震响应监测

5.3.13 地震动及地震响应监测测点应布置在结构地下室的底面、结构顶层的顶面及不少于 2 个中间层位置。尚应结合结构振动测点，选择测点布置部位。

5.3.14 平移振动监测测点宜布置在建筑物的刚度中心。

5.3.15 扭转振动监测测点宜布置在结构的四周边缘转动最大的点。

5.3.16 已进行振动台模型试验的高层与高耸结构，可根据振动台模型试验结果布置测点。

V 温湿度监测

5.3.17 结构温湿度监测，测点可单独布置于指定的结构内部或

结合应变测点布置。

5.3.18 监测结构梯度温度时，宜在结构的受阳光直射面和相对的结构背面以及结构内部沿结构高度布置测点，结构同一水平面上测点不应少于 3 个。

5.3.19 环境温湿度监测，宜将温度或湿度传感器布置在离地面或楼面 1.5m 高度空气流通的百叶箱内。

5.3.20 结构内温度监测，测点可布置在结构内壁便于维修维护的部位。宜按对角线或梅花式均匀布点，应避开门窗通风口。

6 大跨空间结构

6.1 一般规定

6.1.1 除设计文件要求或其他规定应进行施工期间监测的大跨空间结构外，满足下列条件之一时，大跨空间结构应进行施工期间监测：

- 1 跨度大于 100m 的网架及多层网壳钢结构或索膜结构；
- 2 跨度大于 50m 的单层网壳结构；
- 3 单跨跨度大于 30m 的大跨组合结构；
- 4 结构悬挑长度大于 30m 的钢结构；
- 5 受施工方法或顺序影响，施工期间结构受力状态或部分杆件内力或位形与一次成型整体结构的成型加载分析结果存在显著差异的大跨空间结构。

6.1.2 高度超过 8m 或跨度超过 18m、施工总荷载大于 $10\text{kN}/\text{m}^2$ 以及集中线荷载大于 $15\text{kN}/\text{m}$ 的超高、超重、大跨度模板支撑系统应进行监测。

6.1.3 除设计文件要求或其他规定应进行使用期间监测的大跨空间结构外，满足下列条件之一时，大跨空间结构宜进行使用期间监测：

- 1 跨度大于 120m 的网架及多层网壳钢结构；
 - 2 跨度大于 60m 的单层网壳结构；
 - 3 结构悬挑长度大于 40m 的钢结构。
- 6.1.4** 大跨空间结构施工期间监测项目应根据工程特点按表 6.1.4 进行选择。对影响结构施工安全的重要支撑或胎架，可按结构体系的监测要求进行监测。
- 6.1.5** 大跨空间结构使用期间监测项目应根据结构特点按表 6.1.5 进行选择。

表 6.1.4 施工期间监测项目

| | 基础沉降 监测 | 变形监测 | | 应变 监测 | 环境及效应监测 | | | 支座位移 监测 |
|------|------------|------|----|----------|---------|----|----|------------|
| | | 竖向 | 水平 | | 风 | 温度 | 振动 | |
| 网架结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ○ |
| 网壳结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ★ |
| 悬索结构 | ▲ | ★ | ○ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ |
| 膜结构 | ▲ | ★ | ○ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ○ |
| 悬挑结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ○ |
| 临时支撑 | ○ | ★ | ○ | ★ | ○ | — | ○ | — |
| 特殊结构 | ▲ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ○ |

注：1 ★应监测项，▲宜监测项，○可监测项，—不涉及该监测项；

2 特殊结构指上述结构以外的结构类型。

表 6.1.5 使用期间监测项目

| | 基础沉降 监测 | 变形监测 | | 应变 监测 | 环境及效应监测 | | | 支座位 移监测 | 动力 特性 |
|------|------------|------|----|----------|---------|----|----|------------|----------|
| | | 竖向 | 水平 | | 风 | 温度 | 地震 | | |
| 网架结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ○ | ○ |
| 网壳结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ▲ |
| 悬索结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ▲ |
| 膜结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ○ | ○ |
| 悬挑结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ○ | ○ |
| 特殊结构 | ▲ | ★ | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ○ | ○ | ○ |

注：1 ★应监测项，▲宜监测项，○可监测项；

2 特殊结构指上述结构以外的结构类型。

6.2 施工期间监测

I 基础沉降监测

6.2.1 超静定结构卸载过程中，应对基础沉降进行监测；大跨空间结构基础沉降监测可按本规范第 5.2.1 条规定执行。

II 变形监测

6.2.2 施工期间变形监测可包括构件挠度、支座中心轴线偏移、

最高与最低支座高差、相邻支座高差、杆件轴线、构件垂直度及倾斜变形监测。

6.2.3 空间结构安装完成后，当监测主跨挠度值时，测点位置可由设计单位确定。当设计无要求时，对跨度为 24m 及 24m 以下的情况，应监测跨中挠度；对跨度大于 24m 的情况，应监测跨中及跨度方向四等分点的挠度。

6.2.4 膜结构监测中，应跟踪监测膜面控制点空间坐标，控制点高度偏差不应大于该点膜结构矢高的 $1/600$ ，且不应大于 20mm；水平向偏差不应大于该点膜结构矢高的 $1/300$ ，且不应大于 40mm。

6.2.5 拔杆吊装中，应监测空间结构四角高差，提升高差值不应大于吊点间距离的 $1/400$ ，且不宜大于 100mm，或通过验算确定。

6.2.6 大跨空间结构临时支撑拆除过程中，应对结构关键点的变形及应力进行监测。

6.2.7 结构滑移施工过程中，应对结构关键点的变形、应力及滑移的同步性进行监测。

6.2.8 竖向位移监测时，大跨空间结构的支座、跨中、跨间测点间距不宜大于 30m，且不宜少于 5 个点。

6.2.9 变形监测的监测频次除应符合本规范第 4.3.11 条规定外，尚应在吊装及卸载过程中重量变化 50% 和 100% 时各监测不少于一次。

III 应变监测

6.2.10 施工安装过程中，应力监测应选择关键受力部位，连续采集监测信号，及时将实测结果与计算结果作对比。发现监测结果或量值与结构分析不符时应进行预警。

6.2.11 结构卸载施工过程监测除应符合本规范第 6.2.6 条规定外，每步卸载到位后先静止 5min~10min，再采集数据；当监测值超出预警值时应及时报警。

6.2.12 监测膜结构膜面预张力时,应根据施工工序确定监测阶段,各膜面部分均应有代表性测点,且应均匀分布。

6.2.13 索力监测的测点应具有代表性,且均匀分布;单根拉索或钢拉杆的不同位置宜有对比性测点,可监测同一根钢索不同位置的索力变化;横索、竖索、张拉索与辅助索均应布设测点。

6.2.14 应变监测的监测频次应符合本规范第4.2.6条规定,吊装及卸载监测时,应增加监测频次。

6.3 使用期间监测

I 变形监测

6.3.1 使用期间变形监测的测点布置应按表6.3.1进行选择。

表 6.3.1 使用期间变形监测测点布置位置

| | | |
|----|------------------------|-------|
| | 网架结构、网壳结构、索结构、膜结构、特殊结构 | 悬挑结构 |
| 竖向 | 跨中 | 悬挑端外檐 |
| 水平 | 支座、端部 | — |

II 应变监测

6.3.2 使用期间关键支座及受力主要构件宜进行应变监测;超大悬挑结构悬挑端根部或受力较大部位宜进行应变监测。

6.3.3 索结构使用期间应定期监测索力,索力与设计值正负偏差大于10%时,应及时预警并调整或补偿索力。

III 风及风致响应监测

6.3.4 膜结构主要膜面进行风及风致响应监测时,监测区域宜分为风压、风振主监测区和风压副监测区,监测项目为膜面振动以及上下表面风压。

7 桥梁结构

7.1 一般规定

7.1.1 除设计文件要求或其他规定应进行施工期间监测的桥梁结构外，满足下列条件之一时，桥梁结构应进行施工期间监测：

- 1 单孔跨径大于 150m 的大跨桥梁；
- 2 施工过程增设大型临时结构的桥梁；
- 3 施工过程中整体或局部结构受力复杂桥梁；
- 4 大体积混凝土结构、大型预制构件及特殊截面受温度变化、混凝土收缩、徐变、日照等环境因素影响显著的桥梁结构；
- 5 施工过程存在体系转换的重要桥梁结构；
- 6 对沉降和变形要求严格的桥梁结构。

7.1.2 对特别重要的特大桥，应进行使用期间监测。

7.1.3 除本规范第 7.1.2 条规定，设计文件要求或其他规定应进行使用期间监测的桥梁结构外，满足下列条件之一时，桥梁结构宜进行使用期间监测：

- 1 主跨跨径大于 150m 的梁桥；
- 2 主跨跨径大于 300m 的斜拉桥；
- 3 主跨跨径大于 500m 的悬索桥；
- 4 主跨跨径大于 200m 的拱桥；
- 5 处于复杂环境或结构特殊的其他桥梁结构。

7.1.4 桥梁结构施工期间应对重要大型临时设施进行监测，其他监测项目应根据工程特点按表 7.1.4 进行选择。

7.1.5 桥梁结构使用期间监测项目应根据结构特点按表 7.1.5 进行选择。

7.1.6 不同类型桥梁使用期间监测要求应符合本规范附录 B 的规定。

表 7.1.4 施工期间监测项目

| | 基础沉降监测 | 变形监测 | | 应变监测 | 环境及效应监测 | | |
|-----|--------|------|----|------|---------|----|----|
| | | 竖向 | 水平 | | 风 | 温度 | 振动 |
| 梁桥 | ★ | ★ | ○ | ★ | ○ | ★ | ○ |
| 拱桥 | ★ | ★ | ▲ | ★ | ○ | ★ | ○ |
| 斜拉桥 | ★ | ★ | ▲ | ★ | ★ | ★ | ○ |
| 悬索桥 | ★ | ★ | ▲ | ★ | ★ | ★ | ○ |

注：1 ★应监测项，▲宜监测项，○可监测项；

2 有推力拱桥的拱脚水平位移应设置为“应监测项”。

表 7.1.5 使用期间监测项目

| | 基础沉降监测 | 变形监测 | | 应变监测 | 环境及效应监测 | | | 车辆荷载 | 动力响应 | 支座反力和位移 |
|-----|--------|------|----|------|---------|-----|----|------|------|---------|
| | | 竖向 | 水平 | | 风 | 温湿度 | 地震 | | | |
| 梁桥 | ▲ | ★ | ○ | ★ | ○ | ★ | ▲ | ★ | ▲ | ▲ |
| 拱桥 | ▲ | ★ | ▲ | ★ | ○ | ★ | ▲ | ★ | ▲ | ▲ |
| 斜拉桥 | ▲ | ★ | ▲ | ★ | ★ | ★ | ▲ | ★ | ▲ | ▲ |
| 悬索桥 | ▲ | ★ | ▲ | ★ | ★ | ★ | ▲ | ★ | ▲ | ▲ |

注：1 ★应监测项，▲宜监测项，○可监测项；

2 车辆荷载指交通监测。

7.2 施工期间监测

I 基础沉降监测

7.2.1 连续梁桥的墩台、拱桥的拱脚、斜拉桥或悬索桥的桥墩和索塔、所有类型的高速铁路桥梁的墩台均应进行施工期间的沉降监测。

7.2.2 沉降监测应反映荷载及荷载作用变化、结构体系转化等情况。

II 变形监测

7.2.3 施工期间的变形监测可包括轴线监测、挠度监测、倾斜变形监测。

7.2.4 高度大于30m的索塔、大于15m的墩台施工时，应进行水平度和垂直度监测。

7.2.5 应对悬臂施工主梁的水平向和竖向变形进行监测。

7.2.6 变形监测时应停止可能对监测结果造成影响的桥上机械作业。对于缆索安装、悬臂施工对日照比较敏感的施工过程，变形监测应考虑日照影响，并进行修正。

7.2.7 变形监测的监测频次除应符合本规范第4.3.11条规定外，尚应符合下列规定：

1 桥梁体系转换施工过程、节段施工新增节段过程中，应连续进行变形监测；

2 整体浇筑或吊装的桥梁应至少在增加荷载的50%和100%时各监测一次。

III 应变监测

7.2.8 监测的关键构件及其关键部位宜包括特征位置构件、吊杆或吊索、斜拉索、主缆，施工过程中内力变化较大构件，反映构件受力特性的关键位置，受力复杂的局部位置。

7.2.9 复杂支架、扣塔及吊塔施工过程中的主要临时设施应进行应变监测。

7.2.10 应变监测的频率除应符合本规范第4.2.6条规定外，尚应符合下列规定：

1 节段施工的桥梁在新增节段过程中，应进行应变监测；

2 体系转换过程中，应进行应变监测；

3 整体浇筑或吊装的桥梁应至少在增加荷载的50%和

100%时各监测一次。

IV 环境及效应监测

7.2.11 环境及效应监测可包括温度、风及风致响应监测。温度监测结果应与变形、应变监测结果进行对比分析。风及风致响应监测应结合结构特点设置相应的预警值。

V 其他施工过程的监测

7.2.12 转体施工期间监测应符合下列规定：

1 转体施工时应将转体临时索、塔结构纳入主体结构监测体系，监测应包括搭设、加载、承载及落架全过程；

2 应对主体结构及转体临时结构的力学参数、几何参数及转体速度进行监测。

7.2.13 顶推施工期间监测应将临时结构纳入主体结构监测体系，顶推过程中应对主体结构及顶推临时结构的力学参数、几何参数及顶推速度进行监测。

7.2.14 顶升施工期间监测应符合下列规定：

1 顶升过程中应对顶升速度、同步性和被顶升结构的稳定性进行监测；

2 应根据顶升过程结构的受力特性，确定变形和应变测点。

7.3 使用期间监测

I 变形监测

7.3.1 使用期间的变形监测项目应包括竖向位移、水平位移及倾角。

7.3.2 变形监测的测点应反映结构整体性能变化，下列部位及项目应进行变形监测：

1 跨中竖向位移；

2 拱脚竖向位移、水平位移及倾角，拱顶及拱肋关键位置

的竖向位移；

3 斜拉桥主塔塔顶水平位移，各跨主梁关键位置竖向位移；

4 悬索桥主缆关键位置的空间位移，锚碇或主缆锚固点的水平位移，索塔塔顶水平位移，各跨主梁竖向位移；

5 伸缩缝的位移。

7.3.3 使用期间变形监测的频率应结合桥梁结构的特点以及使用时间确定，不应少于定期检查的频率，特大桥宜进行实时监测。

II 应变监测

7.3.4 应变监测测点应结合桥梁结构的受力特点布置。

7.3.5 应变监测应根据使用期间结构应变变化幅值设置预警值。

7.3.6 吊杆或吊索、斜拉索或主缆索力监测应符合下列规定：

1 应在每种规格型号的索中选取代表性的索均匀布置测点；

2 应选取索力最大的索、应力幅最大的索及安全系数最小的索进行监测；

3 测点布置宜包括上游、下游及中跨、边跨。

7.3.7 钢结构桥梁应进行疲劳监测；监测参数可包括疲劳应力及钢结构温度。

III 动力响应监测

7.3.8 动力响应监测应兼顾动力特性测试，监测项目可包括结构自振频率、振型及阻尼比。

IV 基础沉降监测

7.3.9 基础沉降监测应按本规范第 7.2.1 条执行。

V 支座反力与位移监测

7.3.10 支座反力和位移监测应符合下列规定：

1 对于易发生倾覆破坏的独柱桥梁、弯桥、斜桥、基础易

发生沉降的桥梁及存在负反力的大跨径桥梁可布置支座反力或偏载监测设备；监测项目应包括支座位移、支座反力或桥梁横向倾斜度；

2 支座反力的监测宜选用测力支座；测力支座在使用前，应重新设置零点，并在支座上加载标准重物，修正支座参数；

3 支座位移的监测应能判定支座脱空情况。采用位移监测设备监测支座位移时，传感器量测方向应平行于支座反力方向。

VI 环境及效应监测

7.3.11 环境及效应监测应在本规范第 7.1.5 条的基础上，结合桥梁结构的重要程度及桥址桥位特点，可选择增加腐蚀、雨量及冲刷等监测项目。

7.3.12 风及风致响应监测的测点应布置在主跨桥面和索塔顶处，各个方向无遮挡。

7.3.13 温湿度监测的测点应布置在桥面、钢箱梁、索塔及锚室内部温湿度变化大或对结构影响大的位置。监测参数应包括环境温度、相对湿度及结构内相对湿度。

7.3.14 地震动及船撞响应监测的测点应布置在相对固定不动、接近大地的位置，安装于大桥承台顶部、索塔根部及锚碇的锚室内。

7.3.15 缆索结构体系桥梁可进行雨量监测。进行风雨振动相关分析或有设计要求时，雨量计可布置在桥面及索塔顶位置。同时宜与风速仪等环境监测设备布置在同一位置。监测参数宜包括降雨量及降雨强度。

7.3.16 下列情况宜进行桥梁基础的冲刷监测：

1 依据结构分析或冲刷模型试验，判定冲刷速率或冲刷深度较大的区域；

2 使用过程中，实测冲刷速率大于结构分析结果的区域；

3 冲刷深度已达设计值或超过设计值的区域；

4 后期工程建设对河床造成改变，影响结构原冲刷规律的；

5 不易进行常规冲刷监测或结构冲刷变动剧烈，有必要进行高频量测的区域。

7.3.17 冲刷监测宜选择测深仪、流速仪及具有连续输出功能的水位计进行监测，应依据桥址处最大冲刷深度确定测深仪、流速仪及水位计的量程和精度。

7.3.18 冲刷监测的监测参数可包括冲刷深度、流速及水位。监测测点应根据专项研究报告，桩基类型，选择冲刷最大区域及桩基薄弱区域进行布置。

Ⅶ 车辆荷载

7.3.19 对车流量大、重车多或需要进行荷载静动力响应对比分析的桥梁结构，宜进行动态交通荷载的监测。

7.3.20 交通荷载监测项目可包括交通流量、车型及分布、车速及车头间距。

7.3.21 动态称重系统量程应根据桥梁的限行车辆载重及实际预估车辆载重确定，同时其尺寸选型应考虑车道宽度和车辆轴距。动态称重监测系统应具备数据自动记录功能，并应与其他监测系统的软硬件接口兼容。

7.3.22 测点宜布设在主桥上桥方向振动较小的断面。车轴车速仪与摄像头应相配套，摄像头的监视方向为来车方向。

8 其他结构

8.1 隔震结构

8.1.1 除设计文件要求或其他规定应进行监测的隔震结构以外，满足下列条件之一时，隔震结构应进行施工及使用期间监测：

- 1 桥梁隔震结构；
- 2 结构高度大于 60m 或高宽比大于 4 的高层隔震建筑；
- 3 结构跨度大于 60m 的大跨空间隔震结构；
- 4 单体面积大于 80000m² 的隔震结构。

8.1.2 隔震层测点应设置在隔震层关键部位，施工期间应监测隔震层水平和竖向位移；使用期间尚应监测隔震层及结构顶层的加速度。

8.1.3 隔震支座变形监测可分为隔震支座水平剪切变形监测和竖向压缩变形监测，监测应符合下列规定：

- 1 施工期间，应对隔震支座的竖向压缩变形进行监测；
- 2 使用期间，宜对隔震支座的水平剪切变形和竖向压缩变形进行监测；
- 3 隔震支座正常使用状态下，隔震主体结构施工完毕，应以此时的状态作为初始状态，最大水平剪切变形不应大于 50mm，最大竖向压缩变形不应大于 5mm；
- 4 对于设置后浇带的建筑，每一后浇带分区应在中心点和至少一个角点设置测点；
- 5 施工和使用期间巡视检查中，应确保隔震缝的完整隔离；
- 6 监测设备可选择全站仪、位移计或单点沉降仪；仪器参数规定可按本规范附录 A 相关规定执行。

8.2 穿越施工

8.2.1 地下工程穿越既有结构分正穿和侧穿，下列情况应进行穿越施工监测：

1 地下工程正穿既有结构；

2 地铁区间结构、管线侧穿既有结构的监测范围一般为地铁结构及管线外沿两侧各 30m 范围内。在地铁车站施工地段，监测范围应视车站周围环境和既有结构情况适当加大。

8.2.2 监测项目可分为应监测项目和选监测项目两类。应监测项目包括沉降监测和巡视检查，选监测项目包括应变监测与倾斜监测。

8.2.3 地下工程穿越既有工程结构时，对穿越施工引起周边结构沉降的监测应符合下列规定：

1 城市桥梁，沉降测点应布置在桥墩上，每个桥墩上对称布点数不应少于 2 个；当不便在桥墩上布点时，可在盖梁或支座上方的梁、板上布点；

2 大型立交桥，每个匝道桥应至少布置一个工作基点，工作基点可布置在影响区以外的相邻墩台上；无相邻墩台时，可将距离最远的测点作为工作基点；

3 建（构）筑物变形监测布置应按现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 要求执行；

4 监测期间，每天应进行巡视检查。

8.2.4 应对所穿越的重要结构进行穿越施工期间的实时监测。

附录 A 监测设备主要技术指标

A.0.1 加速度传感器的主要技术指标应符合表 A.0.1 规定。

表 A.0.1 加速度传感器的主要技术指标

| 项目 | 力平衡加速度计 | 电动式加速度计 | ICP 压电加速度计 |
|--------------------------------|---------|---------|------------|
| 灵敏度 (V/(m/s ²)) | ±0.125 | ±0.3 | ±0.1 |
| 满量程输出 (V) | ±2.5 | ±6 | ±5 |
| 频率响应 (Hz) | 0~80 | 0.25~80 | 0.3~1000 |
| 动态范围 (dB) | ≥120 | ≥120 | ≥110 |
| 线性度误差 (%) | ≤1 | ≤1 | ≤1 |
| 运行环境温度 (°C) | -10~+50 | -20~+50 | -10~+50 |
| 信号调理 | 线性放大、积分 | 线性放大、积分 | ICP 调理放大 |

A.0.2 速度传感器的主要技术指标应符合表 A.0.2 规定。

表 A.0.2 速度传感器主要技术指标

| 项目 | 技术指标 | 备注 |
|---------------|------------|----|
| 灵敏度 (V/(m/s)) | ±1~25 | 可调 |
| 满量程输出 (V) | ±5 | |
| 频率响应 (Hz) | 0.1~100 | 可调 |
| 动态范围 (dB) | ≥120 | |
| 线性度误差 (%) | ≤1 | |
| 运行环境温度 (°C) | -20~+50 | |
| 信号调理 | 线性放大、积分、滤波 | |

A.0.3 地震动及地震动响应监测仪器主要由力平衡加速度计和记录器两部分组成。力平衡加速度计主要技术指标应符合表 A.0.1 的规定，记录器的主要技术指标应符合表 A.0.3 规定。

表 A.0.3 记录器主要技术指标

| 项目 | 技术指标 | 项目 | 技术指标 |
|------------|-------------------------|------|--|
| 通道数 | ≥ 3 | 采样率 | 程控，至少 2 档，最高采样率不低于 200SPS |
| 满量程输入 (V) | $\geq \pm 5$ | 时间服务 | 标准 UTC，内部时钟稳定度优于 10^{-6} ，同步精度优于 1ms |
| 动态范围 (dB) | ≥ 120 | 数据通信 | RS-232 时实数据流串口，通信速率 9600，19200 可选 |
| 转换精度 (bit) | ≥ 20 | 数据存储 | CF 卡闪存， $\geq 4\text{Gb}$ |
| 触发模式 | 带通阈值触发、STA/LTA 比值触发、外触发 | 道间延迟 | 0 |
| 环境温度 (°C) | -20~+70 | 软件 | 包括通信程序，图形显示程序，其他实用程序与监控、诊断命令 |
| 环境湿度 | <80% | — | — |

A.0.4 信号采集分析仪由采集卡和分析软件组成，信号采集分析仪的采集卡技术应符合表 A.0.4 的规定。

表 A.0.4 信号采集分析仪采集卡技术指标

| 项 目 | 技术指标 |
|--------------|-------------------------|
| 每通道采样率 (sps) | 50~1000 |
| A/D 位数 | 不低于 16 位 (有效位数不低于 14 位) |
| 采样方式 | 采集通道同步，每通道使用单独 A/D |
| 动态范围 (dB) | ≥ 80 |
| 输入量程 (V) | ± 10 |
| 接口 | USB 接口、LAN 接口 |
| 数据存储长度 | 不低于 5 个小时的采样数据 |

A.0.5 隔震支座水平位移监测传感器技术指标宜符合表 A.0.5 的规定。

表 A.0.5 位移传感器技术指标

| 项 目 | 技术指标 |
|---------------|-------------------|
| 最大可测位移 (cm) | ±50 |
| 频率范围 (Hz) | 0~5 (当拉线长度为 5m 时) |
| 灵敏度 (mV/cm/V) | 10 |
| 线性度 | ≤0.2% |
| 分辨率 (mm) | 0.2 |

附录 B 不同类型桥梁使用期间监测要求

B.0.1 梁式桥使用期间监测应符合下列规定：

1 荷载监测项目可包括温湿度、地震动及船撞响应、动态交通荷载；结构响应监测项目可包括主梁挠度、主梁水平位移、结构动力响应及关键截面应力。

2 梁式桥挠度可利用连通管原理采用静力水准仪或液压传感器进行监测，双向 6 车道及以上的梁桥应进行主梁扭转监测；梁端部纵向位移宜采用拉绳式位移计进行监测。

3 体外预应力宜采用压力式传感器或磁通量传感器进行监测。

B.0.2 拱桥使用期间监测应符合下列规定：

1 荷载监测项目可包括风荷载、温湿度、地震动及船撞响应、动态交通荷载；结构响应监测项目可包括拱肋变形、桥面系水平位移、结构动力响应、关键截面应力、吊索力及吊杆力。

2 结构空间变形监测应选用合适的监测设备，跨度大于 300m 的钢拱桥宜在拱顶采用 GPS 法监测空间变位，桥面挠度宜利用连通管原理采用静力水准仪或液压传感器进行监测；梁端部纵向位移宜采用拉绳式位移计进行监测。

3 系杆拱桥的系杆拉力可采用压力传感器或磁通量传感器进行监测。传感器应在安装前进行校准，并在施工期间完成安装。

4 代表性吊杆力可采用振动传感器或磁通量传感器进行监测。

B.0.3 斜拉桥使用期间监测应符合下列规定：

1 荷载监测项目可包括风荷载、温湿度、地震动及船撞响应、动态交通荷载；结构响应监测项目可包括主梁挠度、主梁水

平位移、结构动力特性、索塔变形、关键截面应力、疲劳应力及斜拉索索力。

2 结构空间变形监测应选用合适的监测设备，索塔塔顶变形监测宜采用倾斜仪或 GPS 法；跨度大于 600m 的钢主梁斜拉桥或跨度大于 400m 的混凝土主梁斜拉桥宜在主梁跨中采用 GPS 法监测整个截面竖向、横向、纵向及扭转位移，挠度可利用连通管原理采用静力水准仪或液压传感器进行监测，双向 6 车道及以上的斜拉桥应进行主梁扭转监测；主梁端部纵向位移宜采用拉绳式位移计进行监测。

3 斜拉索索力宜采用压力传感器或振动传感器进行监测。压力传感器应在安装前进行校准，压力传感器应在斜拉索张拉前进行安装。

B.0.4 悬索桥使用期间监测应符合下列规定：

1 荷载监测项目可包括风荷载、温湿度、地震动及船撞响应、动态交通荷载；结构响应监测项目可包括主缆变形、主梁水平位移、结构动力特性、关键截面应力、疲劳应力、缆索索力及吊索索力。

2 结构空间变形监测应选用合适的监测设备，主缆变形监测宜采用 GPS 法，索塔塔顶变形监测宜采用倾斜仪监测或 GPS 法；跨度大于 600m 的悬索桥宜在主梁跨中采用 GPS 法监测整个截面竖向、横向、纵向及扭转位移，挠度可利用连通管原理采用静力水准仪或液压传感器进行监测，双向 6 车道及以上的悬索桥应进行主梁扭转监测；主梁端部纵向位移可采用拉绳式位移计进行监测。

3 主缆索力可采用压力传感器或磁通量传感器进行监测。传感器应在安装前进行校准，并在施工期间完成安装。

4 代表性吊索、吊杆力可采用振动传感器或磁通量传感器进行监测。

B.0.5 铁路桥使用期间监测系统应具备自动触发功能，能完整记录并存储整列车从上桥到出桥全过程的各项数据。铁路桥使用

期间监测可根据实际情况选择下列监测项目：

- 1 主梁关键构件或部位的应力、变形，支座横向和纵向位移，支座反力；
- 2 主梁横向和竖向振幅及振动加速度，动挠度，动应力；
- 3 桥墩横向和纵向振幅；
- 4 索力；
- 5 轮轨力，包括脱轨系数、减载率；
- 6 列车动轴重、速度。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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用词：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”。

引用标准名录

- 1 《工程测量规范》GB 50026
- 2 《综合布线系统工程设计规范》GB 50311
- 3 《大体积混凝土施工规范》GB 50496
- 4 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497

中华人民共和国国家标准

建筑与桥梁结构监测技术规范

GB 50982 - 2014

条文说明

修 订 说 明

《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982 - 2014，经住房和城乡建设部 2014 年 10 月 9 日以第 583 号公告批准、发布。

在本规范编制过程中，编制组开展了专题研究，进行了广泛的调查分析，总结了我国在建筑与桥梁结构监测领域的科研成果，与相关标准进行了协调，与国际相关标准进行了比较和借鉴，充分考虑了我国的经济条件和工程实践，并以多种形式征求了全国有关单位的意见，在此基础上经规范组讨论、整理、汇编而成。

为便于广大监测、设计、施工、检测、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《建筑与桥梁结构监测技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是条文说明不具备与规范正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

| | | |
|-----|--------------|----|
| 1 | 总则 | 55 |
| 2 | 术语和符号 | 56 |
| 2.1 | 术语 | 56 |
| 3 | 基本规定 | 57 |
| 3.1 | 一般规定 | 57 |
| 3.2 | 监测系统、测点及设备规定 | 58 |
| 3.3 | 施工期间监测 | 61 |
| 3.4 | 使用期间监测 | 63 |
| 4 | 监测方法 | 65 |
| 4.1 | 一般规定 | 65 |
| 4.2 | 应变监测 | 65 |
| 4.3 | 变形与裂缝监测 | 67 |
| 4.4 | 温湿度监测 | 68 |
| 4.5 | 振动监测 | 69 |
| 4.6 | 地震动及地震响应监测 | 70 |
| 4.7 | 风及风致响应监测 | 71 |
| 4.8 | 其他项目监测 | 71 |
| 4.9 | 巡视检查与系统维护 | 74 |
| 5 | 高层与高耸结构 | 75 |
| 5.1 | 一般规定 | 75 |
| 5.2 | 施工期间监测 | 76 |
| 5.3 | 使用期间监测 | 78 |
| 6 | 大跨空间结构 | 80 |
| 6.1 | 一般规定 | 80 |
| 6.2 | 施工期间监测 | 81 |

| | | |
|------|----------------|----|
| 6.3 | 使用期间监测 | 82 |
| 7 | 桥梁结构 | 83 |
| 7.1 | 一般规定 | 83 |
| 7.2 | 施工期间监测 | 83 |
| 7.3 | 使用期间监测 | 84 |
| 8 | 其他结构 | 86 |
| 8.1 | 隔震结构 | 86 |
| 8.2 | 穿越施工 | 86 |
| 附录 A | 监测设备主要技术指标 | 88 |
| 附录 B | 不同类型桥梁使用期间监测要求 | 89 |

1 总 则

1.0.1 我国对建筑与桥梁结构有相应的建设法律法规和系列的规范标准，但缺少相应的施工和使用期间的监测技术规范。近年来随着高层与高耸、大跨空间、桥梁、隔震及穿越施工等工程结构在我国不断发展，工程结构监测技术也取得了长足的进步，但缺少统一的监测技术规范。为达到有效监测的目的，满足当前工程结构监测科学研究和工程应用的需要，编制本规范。

1.0.2 本条规定了本规范的适用范围。其中，桥梁包含城市桥梁、公路桥梁和铁路桥梁；穿越施工的工程结构监测是指受穿越施工影响的既有结构的监测，非穿越工程本身的监测。重要的城市地下工程施工期间也需要进行监测，鉴于地下工程的施工监测已有国家和地方的技术规范提及，本规范不再赘述，可参照相应技术规范执行。

1.0.3 本规范归纳总结了一些国内及国际上成熟的监测技术，监测时，除应符合本规范的规定外，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

2.1.10 监测设备的耐久性，特别是传感器，指的是经过长期使用以后其工作特性保持正常的性能。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 施工期间监测应以施工安全或工程质量控制为基准，使用期间监测应以结构正常使用极限状态或结构适用性为基准。

3.1.2 量测指采用仪器设备对被测对象进行测量的过程，观测指采用人工或仪器设备对被测对象进行观察、量测的过程，检测相对量测与观测，增加了比对与评定的内容，监测侧重于频繁或连续不断的量测或观测。监测前宜进行相关项目的检测，检测数据可为施工过程结构分析和监测提供依据。监测中宜配合进行量测与观测。使用期间监测的周期较长，宜采用自动采集数据的仪器监测方式。

3.1.3 监测过程中应进行巡视检查，仪器监测与巡视检查两者互为补充、相互验证。仪器监测可以取得定量的数据，进行定量分析；以目测为主的巡视检查更加及时，可以起到定性和补充的作用，从而避免片面地分析和处理问题。系统维护可确保监测系统能按监测方案反应结构的状况。

3.1.4 施工期间监测的仪器设备可根据实际情况选择性用于使用期间监测，使用期间的监测系统应充分利用施工期间监测的数据进行校核。

3.1.5 监测前应根据业主、设计、施工与监理方的要求，按结构工程的特点，明确监测的目的与要求；监测方案的制定应考虑监测目的、结构特点（新建或既有，结构形式等），设计文件及监测要求确定监测期，结合现场及周边环境条件选择监测项目及合适的监测方法，并根据监测期、监测项目及方法选取合适的监测设备；方案中应针对不同监测项目提出具体实施措施及相应预警值。

3.1.6 对于需要监测的结构，应在设计阶段提出监测要求；监测测点的布置、监测设备的安装、走线方式、预埋管、保护装置及相应标志标识的设立等宜在结构设计阶段结合结构施工图的设计统筹考虑。

3.1.7 特大及复杂结构桥梁是指多孔跨径总长大于 1000m，单孔跨径大于 150m，且计算与施工复杂的桥梁。已发生严重事故的工程等级确定应按照国家及地方部门规定具体执行。

3.1.8 此条是强制性条文，监测预警是建筑与桥梁结构实施监测的主要目的之一，是预防工程事故发生、确保结构及周边环境安全的重要措施。监测预警值是监测工作的实施前提，是监测期间对结构正常、异常和危险不同状态进行判断的重要依据，应分级制定，因此建筑与桥梁结构监测必须确定监测预警值。

3.1.9 保护措施指根据现场情况采取的相应防风、防雨雪、防水、防雷、防尘、防晒等措施，应力传感器应避免阳光的直接照射，并宜根据现场情况在信号线外增加电气屏蔽、采取措施将导线中产生的感应电压互相抵消（条件允许可采用无线传输装置）以提高抗干扰能力。维护措施指定期对监测设备及保护措施进行检查，对监测系统进行维护，以确保监测系统的正常运行及耐久性。

3.1.10 建筑与桥梁结构监测自立项开始即有明确的目的和功能，监测预警是监测的主要功能之一，而监测测点及传感器、电缆、采集仪、棱镜等监测设备是保证监测预警的最基本条件，因此监测期间改变或损坏监测测点、监测设备均会影响监测预警功能和他安全，因此任何对监测测点、设备的改变（包括施工期间监测与使用期间监测）均须经监测技术单位许可，以保证监测的功能和安全。

3.2 监测系统、测点及设备规定

3.2.1 施工期间监测，工程现场情况复杂，可根据现场实际条件对整体或局部结构建立监测系统；使用期间监测可根据监测目

的、项目及监测期等对整体或局部结构建立监测系统。为了更好地保证监测工作的实施，宜设置专用监控室，并制定监控室相关工作制度。

3.2.2 监测系统的采集功能一般由各种特定功能的传感器等监测设备完成，传输功能一般由有线或无线装置将采集的数据发送至接收端，控制功能包括查询监测数据或设置数据采集分析仪、查询监测系统工作状态，生成数据记录文件。预警功能指当监测值超出预警值时，系统能按照设定的程序进行预警。

3.2.3 干扰信号来源检查时应首先排除仪器内部等因素造成的干扰，然后检查导线仪器是否有输出信号。检查干扰信号时，可在现场进行信号测试，对存在的干扰信号进行时频分析，确定其特征参数，并根据干扰信号的特征参数对可能存在的干扰信号源进行检查。信号处理时可根据具体情况对受干扰信号选择数字滤波器进行滤波处理。

3.2.4 实时监测时，如结构卸载、滑移、顶推或顶升时的实时监测，监测数据需及时快速反映结构的状态，监测系统的采样频率应能满足使用要求，且监测系统中传感器的动态范围及监测系统对传感器数据的读取方式（串联或并联）应满足要求。

3.2.5 对监测对象的结构分析可采用理论计算与数值分析等多种方式。现场监测结果经常会受到多种不确定性因素的影响，如施工过程中的活荷载、地基沉降、日照对结构产生的不均匀温度作用、混凝土的收缩徐变、传感器量测值的漂移等，因此，监测过程中，当监测结果与理论分析结果之间存在不一致时，应首先分析并查明原因，再确定处理方案。必要时，应及时和设计单位沟通，共同商定解决方法。

3.2.6 监测测点的布置是捕捉监测对象有效信息的关键环节，测点要能反映监测对象的实际状态及变化趋势。在结合结构分析结果布置测点时，宜对结构的内力分布、变形和动力特性等作全面的分析，选择结构静动力反应及变形较大的部位，并结合现场实际情况确定测点位置；测点的数量既要考虑到监测系统的可靠

性，又要考虑经济性。

3.2.7 监测设备的稳定性和耐久性应与监测期相适应，施工期间监测的设备选择宜兼顾使用期间监测的需求，监测设备的耐久性、稳定性以及造价宜与使用期间的监测统筹考虑。当监测设备使用寿命短于结构寿命，应及时更换。监测设备的稳定性不仅要求监测设备经过长期使用以后其工作特性保持正常，还要求其对工作环境具有较强的适应能力和抗干扰能力。兼容性一般要求监测系统中所有设备的接口使用标准接口。

监测设备的安装方式应避免预埋传感器及导线损伤，同时应避免结构出现不可恢复的永久性损伤；安装方式应牢固，其耐久性应能满足监测期内的使用要求。

3.2.8 不同的监测对象，如高层、高耸、大跨、桥梁等，不同的监测项目，如应变监测、变形监测等，不同的监测方法，如安装位置、采样频率、保护措施等，对传感器的要求也不同，因此监测传感器的选型需考虑监测对象、监测项目和监测方法等因素。选型中可参考下列指标：

灵敏度：传感器应具有良好而稳定的灵敏度和信噪比。

通频带：系统输出信号从最大值衰减 3dB 的信号频率为截止频率，上下截止频率之间的频带称为通频带。通频带应有足够宽的频率范围，足以覆盖被监测对象的振动频率。

动态范围：指灵敏度随幅值的变化量不超出给定误差限的输入机械量的范围。幅值范围指在此范围内，输出电压和机械输入量成正比，所以也称为线性范围。动态范围一般不用绝对量数值表示，而用分贝做单位，这是因为被测量值变化幅度过大的缘故，以分贝级表示使用更方便一些。监测仪器设备应有足够大的动态范围，以满足最大和最小监测幅值的需要。

量程：传感器的量程宜使被测量参数处在整个量程的 80%~90%之内，且最大工作状态点不应超过满量程。

线性度：传感器应具有良好而稳定的线性度，在对结构位移及应变等反应进行监测时宜满足较高的线性度要求。

稳定性：传感器应具有良好的稳定性，具有较强的环境适应能力。

供电方式：应根据实际情况和监测要求确定不同类型的传感器供电形式。

寿命：应根据结构监测期选择满足使用年限的传感器，并充分考虑置换方案和时间。

采样频率也是重要指标之一，通常情况下应根据监测参数和传感器类型选择适当的采样频率。对于静态信号，采样频率可设置低于1Hz；对于动态信号，采样频率宜为动态信号频率上限的5倍~10倍；此外，为进行数据间的相关性分析，一个监测系统应采用同类型传感器，各通道采样频率宜相同，或采用一定的倍频进行采集。监测系统的各组成部分应合理匹配，同时还应考虑传感器的动态特性，如传感器的传递函数和瞬态反应。

3.3 施工期间监测

3.3.2 本条文中所述的构件与节点不仅包含原设计结构中的构件与节点，还包含施工过程的临时结构与支撑中的构件及节点。

3.3.3 应变监测在常规情况下是指通过应变测试反算应力的情况，也是直观了解构件受力状态的最佳手段，是保证施工期间结构安全性的一个最重要的方法。

3.3.4 结构分析包含内力验算与变形分析。内力验算包含结构承载力验算和构件内力验算。与整个结构的服役期相比，施工过程相对较短，且使用人群数量相对较少，偶然荷载出现的概率更低，因此在承载力验算时未提及偶然荷载作用，变形验算时也未提及频遇组合及准永久组合。

重力荷载包括结构自重、附加恒荷载（室内装修荷载、设备荷载）、幕墙荷载、施工活荷载（模板及支撑、施工人员、施工机械或临时堆载等）等。除结构自重外，上述荷载应根据现场实际情况，并结合施工进度具体确定。当无准确数据时，施工人员、模板及支撑以及临时少量堆载引起的楼面施工活荷载可按表

1 执行。

表 1 工作面上施工活荷载标准值

| 序号 | 工作状态描述 | 均布荷载 (kN/m ²) |
|----|-----------------|---------------------------|
| 1 | 少量人工用工具进行轻质材料施工 | 0.5~1.0 |
| 2 | 大量人工和机具进行施工 | 2.0~2.5 |
| 3 | 密集人工用机械设备进行施工 | 3.0~3.5 |

其中室内装修荷载主要指：找平层、建筑面层、粉刷层、隔墙等；工作面上施工活荷载标准值参考 ASCE 37-02（美国结构施工荷载规范），经简化和调整。

3.3.5 分区：是指依据结构的不同形式，采用不同的控制指标；**分级：**根据结构危险程度将结构统一划分为不同的保护等级；**分阶段：**是指将施工过程划分为几个主要的施工阶段，对于每个阶段，提出阶段控制指标。对分区、分级、分阶段的详细说明应根据结构特点、环境条件等进行综合分析。施工期间监测预警值应根据施工过程结构分析结果设定，根据预警等级不同，可采用结构分析结果的 50%、70%和 90%进行预警；但监测值应满足相应施工质量验收规范的要求。

3.3.6 应按要求的监测频次实施监测，监测数据采集方式可为自动采集或人工测读。每个阶段指的是施工期间可根据施工工序进行划分，如悬臂钢结构施工工序可为拼装阶段、拆除支撑阶段及安装幕墙等增加荷载阶段。

3.3.7 本条所描述的情况均属于施工违规操作、外部环境变化趋向恶劣、结构临近或超过预警标准、有可能导致或出现工程安全事故的征兆或现象，应引起各方的足够重视，因此，应加强监测，提高监测频次，监测频次宜由工程各相关方根据具体情况协商确定。

3.3.8 监测数据的分析方法应按照本规范第 4 章所列方法执行。关键性数据是指影响结构工程质量以及安全的主要监测参数，异常数据是指个别数据偏离预期或大量统计数据结果的情况。如果

把这些数据和正常监测数据放在一起进行统计分析，可能会影响监测结果的正确性；如果把这些数据简单地剔除，又可能忽略了重要的监测信息。所以需要判断异常数据，及时核查确认，是否是结构自身或监测系统本身及环境等因素引起，是否影响工程质量及安全，判断是否将其剔除。

3.3.9 施工期间的巡视检查非常重要，不仅可以直观检验监测结果的真实性，还可以及时发现施工现场的问题与结构异常情况。

3.3.10 在本条流程图中，施工期间监测系统不是一次建立的，应随着工程施工建立监测系统；当施工工序或方案有调整时，监测系统应及时进行相应调整。

3.3.13 项目及施工阶段概况包括建设、设计及施工等单位、工程概况、监测目的和要求，项目完成的起始时间，实际完成的工作量，施工进度等。预警报告为监测期间监测预警时监测单位发出的监测预警记录。

3.3.14 总监测报告是对整个监测阶段的总结，应对整个监测阶段的结构及监测系统的运行情况进行汇总，内容涵盖阶段性监测报告的全部主要内容，且有归纳和总结。

3.3.16 归档应符合国家和地方相关主管部门制定的归档文件要求。

3.4 使用期间监测

3.4.1 结构使用期间监测的目的和功能包括但不限于下列内容：

1 验证结构设计结果及分析、试验时的假定；

2 提高使用过程中的安全性，当意外或灾害发生时可及时预警，当意外或灾害发生后，可为结构状态评估和处理提供实际数据；

3 为结构的日常维护和管理提供依据；

4 为新方法新技术的应用及发展提供验证数据和参考建议。

3.4.2 特殊情况下，可根据实际情况考虑波浪等荷载。

3.4.3 使用期间监测一般为长期监测，重要结构宜进行全寿命周期内的监测。

3.4.4 本规范中的重要结构指安全等级为一级的结构和部分安全等级为二级的结构，具体划分应根据工程结构的破坏后果，即危及人的生命、造成经济损失、对社会或环境产生影响等的严重程度确定。

结构分析模型修正时可首先与设计基准结构模型进行核对，然后考虑结构日常使用（温度、设备、风及振动等）、加固改造及突发事件（如地震、船撞、台风、雪灾、爆炸、交通事故）对模型参数的影响，可利用监测、检测的结果对结构模型进行修正。修正后的模型可在后续监测期间进行验证。

3.4.6 使用期间的监测系统应能不间断工作，在日常维护中能保持正常运行，支持热备份和手动故障恢复功能。具备形成监测报表功能的目的是在监测系统由监测单位交付业主自行管理后，可根据报表结果进行预警与分析。

3.4.8 使用期间监测一般为长期监测，甚至全寿命周期内的监测，因此定期对监测系统进行巡视检查和系统维护非常必要。监测期间，当发生强雷电、暴雨、地震等异常情况应进行巡视检查。

3.4.10 监测报表可通过监测系统设置，自动生成。

3.4.12 监测系统报告一般包括项目概况、监测方法和依据、监测项目及系统操作指南。监测方法中应包括监测期、监测频次、测点分布，数据处理方法等，监测项目包括监测参数、采用的监测设备及其检校情况。系统操作指南为监测系统移交后供使用方掌握监测系统的使用方法说明。

3.4.14 原始记录应包括对监测系统的定期巡视检查情况、对异常情况的处理记录及结果；归档应符合国家和地方相关主管部门制定的归档文件要求。

4 监测方法

4.1 一般规定

4.1.1 本章针对不同监测项目的监测方法进行了规定。

4.1.2 静态参数包括：静力荷载（作用）及所产生的应变、变形与裂缝，温湿度及腐蚀类等环境参数。动态参数包括：动力荷载（作用）及其引起的加速度、速度、动位移、动应变等参数，以及获取结构频率、振型及阻尼比等动力特性参数。

4.2 应变监测

4.2.1 本节应变监测指的是除动应变及索力以外的应变监测。当结构表面或内部无法安装应变监测传感器时，可采用间接监测的方法，间接监测应变时可用位移传感器等位移计构成的装置进行；动应变监测相关规定应按本规范第 4.5 节规定执行，索力监测相关规定应按本规范第 4.8 节规定执行。

4.2.2 应变计传感器的选择应根据实际工程的要求以及经济等因素选择确定，一般情况下应变计特性对比如表 2 所示。

表 2 应变计技术特点

| 类型 特性 | 振弦式应变计 | 电阻应变计 | 光纤类应变计 |
|----------|----------|----------------|--------------|
| 时漂 | 小，适宜长期量测 | 较高，可通过特殊定制适当减小 | 小，适宜长期量测 |
| 灵敏度 | 较低 | 高 | 较高（与解调仪精度有关） |
| 对温度的敏感性 | 需要修正 | 通过电桥实现温度补偿 | 需要修正 |

续表 2

| 类型 特性 | 振弦式应变计 | 电阻应变计 | 光纤类应变计 |
|----------|-----------|--------------|------------|
| 信号线长度影响 | 几乎不影响量测结果 | 需进行导线电阻影响的修正 | 不影响量测结果 |
| 信号传输距离 | 较长 | 短 | 很长, 可达几十公里 |
| 抗电磁干扰能力 | 较强 | 差 | 很好 |
| 对绝缘的要求 | 不高 | 高 | 光信号, 无需考虑 |
| 动态响应 | 差 | 很好 | 好 |
| 精度 | 较高 | 高 | 较高 |

4.2.3 混凝土等非匀质材料制作的构件所选用应变计标距应大于混凝土骨料最大粒径的 3 倍~4 倍, 一般采用的标距为 40mm~150mm; 钢结构等均匀材料制作的构件选用的应变片标距在进行动态应力量测时可选较小的, 一般为 5mm~10mm; 进行静态应力量测时, 可选用符合要求的长标距应变计。在温度变化较大的环境中进行应力监测时, 应优先选用具有温度补偿措施或温度敏感性低的应变计, 或采取有效措施消除温差引起的热输出。

4.2.4 电阻应变计的使用及技术规定按照《金属粘贴式电阻应变计》GB/T 13992 执行; 光纤类应变计按照光纤类应变计说明书的技术要求严格执行; 位移传感器的标距误差及最小分度值等技术规定按照《混凝土结构试验方法标准》GB/T 50152 执行。

4.2.5 传感器安装应牢固, 当采用胶体等粘结材料时应考虑其耐久性。

4.2.6 应变监测应与变形监测基本同步, 确保应力和变形监测数据可以对应。

4.2.7 由于电阻应变计(又称应变片)一般是通过胶粘结在结构上, 胶结层具有一定的厚度, 同时由于应变片粘结的长度有限, 导致应变片实际量测到的应变小于结构的真实应变。应变片量测数值与结构真实应变的差值随着粘结厚度的增加而增加, 与粘结长度成反比。一般情况下, 该误差为 10%。如果粘结层较厚,

则需要进一步的修正才能得到结构的真实应变。

4.3 变形与裂缝监测

4.3.1 本节中变形包括倾斜、沉降、标高、挠度及收缩徐变等。条文中其他位移指相对滑移、转角、倾斜、挠度、瞬时变形及日照变形等。

4.3.2 水平位移监测可选用机械式测试仪器法、电测仪器法、光学仪器法、卫星定位系统法等，也可同时采用多种方法；电测仪器法应选用电子百分表、电子倾斜仪、位移传感器等测量法；光学仪器法应选用激光准直法、基准线法（正倒垂线法、视准线法、引张线法）、边角法（三角形网、极坐标法、交会法）等。监测前，应分析预估测点的位移方向，无法估计时，可选择相互垂直的两个方向进行监测。

垂直位移监测可选用机械式测试仪器法、电测仪器法、光学仪器法、卫星定位系统法。机械式测试仪器法应选用百分表、张线式位移计、收敛计等测量方法；电测仪器法应选用电子百分表、位移传感器、连通液位式挠度仪、静力水准仪等测量方法；光学仪器法应选用水准测量方法、三角高程测量方法等。

4.3.4 局部相对变形测量在下列情况下采用光学仪器法时，通常可不布置监测基准网：

- 1 监测结构局部或构件的相对垂直位移；
- 2 桥梁支座顶升、托换，构件吊装等短期监测。

4.3.5 基准值的量测时间应选在结构体内温度场相对稳定的时刻，如日出前 2h。

4.3.6 修正是为了消除温度对结构变形特性的影响。使用期间变形监测应考虑此项修正，施工期间变形监测应根据监测期及现场条件确定。

4.3.9 基坑工程中的水平位移、竖向位移、倾斜、裂缝等监测的具体规定可按现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 执行；激光准直法、基准线法（正倒垂线法、视准线

型、频率、阻尼比等)及初始状态。动力特性测试数据的分析处理可采用频域分析法或时域分析法。对环境激励下的非平稳随机过程,也可同时在时、频两域进行联合分析。

4.5.6 传感器布置是指如何将传感器布置在结构的适当位置,使量测信息最丰富而满足某一特定目标的过程。在振动监测中,由于应变传感器可以通过有限元分析确定极值处和关键控制位置,其他如风速仪等特殊类型的传感器也可依其量测特点进行布置。所以,传感器布置一般指加速度传感器的优化布置。测点的布置应能使其实测值的连线勾画出其空间(沿横剖面和纵剖面)的反应规律。测点数量多于5个时,可考虑优化布置。

4.5.7 采样频率选择,当只作频域分析时,采样频率不宜低于被监测结构关注最高频率的4倍;只作时域分析时,采样频率不宜低于被监测结构关注最高频率的2.56倍;作频域分析又作时域分析时,采样频率不宜低于被监测结构关注最高频率的8倍~10倍;作失真度测试时,采样频率不宜小于被监测结构关注最高频率的28倍。

窗函数选择应考虑被分析信号的性质与处理要求,如果采样包含了非整数周期,分析时宜发生泄漏。

4.6 地震动及地震响应监测

4.6.1 建筑与桥梁结构地震动及地震响应监测应形成地震动及地震响应监测系统,符合监测系统功能要求。本条第1款参考《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010第3.11条。

特别重要的特大桥指安全等级为一级的特大桥和有特殊要求的桥涵结构,具体划分应根据工程结构的破坏后果,即危及人的生命、造成经济损失、对社会或环境产生影响等的严重程度确定。

4.6.3 地震动监测系统一般有两类:一类为无传输装置的监测系统,包含传感器和记录仪两部分,地震来临时该系统会自动记录,地震后可到现场将数据导出;另一类增加了数据发射与接收

装置，可为有线或无线，地震后监测系统可自动将监测数据传输至设定的接受装置，无需到现场即可获得监测数据。

4.7 风及风致响应监测

4.7.1 高层与高耸、大跨等柔性结构对风荷载较敏感，如高度超过 200m 的高层与高耸结构，大跨屋盖结构及容易产生风致振动的桥梁结构等。

4.7.2 风致振动响应指由风引起的结构振动响应，一般含风致加速度和风致位移。

4.7.3 风压传感器当没有合适的产品，可订制。建议选用压阻式压力传感器。光纤类传感器监测系统具有可靠性好、抗干扰能力强、监测精度高、可进行多点分布式监测的优点，但目前对微压的敏感度还需进一步研究。由于其后端（信号解调系统）费用较高，对于测点少的工况体现不出明显优势。

每个区域上布置测点以便识别作用在构件上的脉动风荷载，绘制结构风作用表面分区和风压力传感器分布图。

4.7.5 风速需记录三秒钟极值风速、十分钟平均风速、每小时平均风速、风玫瑰图、风谱图等。采样频率对极值风速监测结果有较大影响，采样频率高的仪器监测结果更为精确，应尽可能提高采样频率。

4.7.6 风致响应监测包括顺风向响应、横风向响应和扭转响应，风致响应有位移、加速度、内力等，一个测点既可以布置一种传感器，也可以布置监测不同物理量的多种传感器。

4.8 其他项目监测

4.8.1 索力监测的方法较多，还有三点弯曲法、激光测振法、光纤传感器测试法、磁通量法等。比如直径不大于 36mm 拉索索力可采用三点弯曲法量测。激光测振法与光纤传感器测试法均通过测定索的位移来测索力。采用磁通量法监测时，磁通量传感器穿过拉索安装完成后，应与拉索可靠连接，防止在吊装或施工

4.9 巡视检查与系统维护

4.9.1 巡视检查是预防工程事故简便、经济而有效的方法之一。巡视检查虽然简单，但应给予足够重视：一是要经常进行，可以以每周、每月计；二是要由有经验的人员参加。做到这两点才能及时发现问题和准确分析问题。巡视检查期间的记录可方便对监测数据的综合分析。

4.9.2 施工期间监测以巡视检查为主，使用期间监测以系统维护为主。使用期间监测一般为长期监测，监测期间应确保监测系统的正常运行和必要的软件升级，并应根据阶段性的检测结果对监测系统进行参数更新，确保监测系统能更真实地反映结构的状态。

5 高层与高耸结构

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于高层与高耸结构施工及使用期间的监测。高层结构形式包括框架结构、剪力墙结构、框剪结构、筒体结构、混合结构、巨型组合结构及其他新型高层结构；高耸结构形式包括塔楼、电视塔、烟囱、水塔及纪念碑等。

施工期间监测高度限值为 250m，经调查国内多数 200m 以上的高层与高耸结构已进行了施工期间监测，如厦门建设银行大厦（172.6m）、中央电视塔新台址（234m）、深圳证券交易所营运中心（245.8m）、天津津塔（336.9m）、上海金茂大厦（420.5m）、广州西塔（432m）、广州电视塔（600m）等。

使用期间监测的高度限值为 350m，此高度在欧美国家已是绝对重要的建筑物，日本至今尚只有一栋超过 300m 的建筑，在我国，350m 以上的建筑也是各地的地标性建筑物；且高层建筑高度 300m 以上已体现出明显的高柔特性，其监测数据对提升整体设计水平、监控结构运行状态、科学研究等具有重要意义。下列结构均已进行了使用期间监测：深圳证券交易所营运中心（245.8m）、广州利通大厦（302.9m），香港国际金融中心大厦（IFC）（420m）、上海金茂大厦（420.5m）、广州西塔（432m）、广州电视塔（600m）等。

5.1.5 应监测：一般情况下均应监测，除非有明确证据证明可以忽略该因素的影响。**宜监测：**视结构的具体特点允许稍有选择，条件许可时应监测。**可监测：**有选择，一定条件下可监测。

5.1.7 预测施工过程中整个建筑的沉降变形、楼层的累积变形以及关键部位的变形和内力的主要目的是为施工及监测方案的调整提供指导，保证完工的结构水平度和标高满足设计要求。结构

分析时，现浇钢筋混凝土框架梁端负弯矩调幅系数宜取 1.0。

5.2 施工期间监测

5.2.1 沉降监测的测点应设在沿周边与基础轴线相交的对称位置上，点数不小于 4 个。沉降测点应尽量和水平位移测点一致。测点应设立在能反映结构变形特征的位置，当无法确定，可参考下列位置：

1 基础埋深相差悬殊或基础形式改变以及地质条件变化处的两侧；

2 重型设备基础四周及有邻近堆置重物处、受振动有显著影响的部位及基础下的暗浜（沟）处；

3 片筏基础、箱形基础底板、结构基础四角、中部及内部（工程结构承重墙、柱）；

4 结构周长每隔 10m~15m 设置一个测点；

5 结构大转角、沿外墙 10m~20m 或间隔 2 根~3 根柱；

6 沉降缝、后浇带、新旧结构、不同荷载分布等交接处两侧；

7 框架、框剪、框筒结构体系的电梯井和核心筒处；

8 高低层建筑、新旧建筑、纵横墙等交接处的两侧；

9 大悬臂和大平台的合龙楼层的楼面处。

对于宽度大于等于 15m 或小于 15m 而地质复杂以及膨胀土地区的结构，应在承重内隔墙中部设内墙点，并在室内地面中心及四周设地面点。

5.2.2 轴线监测是监测在施工结构轴线位置相对于设计轴线位置的偏差。标高监测是监测结构高度是否达到设计标高。建筑体型之间的联系构件相对变形指不同结构形式之间的变形，如内外框筒之间相对竖向变形、框架-核心筒相对竖向变形等。结构关键点位的三维空间变形指结构变形较大、反应敏感的部位，如转换桁架挠度、支座变形和转角位移、关键位置柱的偏移及梁的中心线的偏差等。

5.2.3 昼夜温差较大地区指昼夜温差月平均值大于 20°C 的地区。

5.2.4 变形较大、反应敏感的区域包括建筑外形的各特征角点，结构体系最大总位移楼层（如外框架竖向最大总位移楼层、核心筒竖向最大总位移楼层、核心筒与外框架竖向最大相对变形楼层）、结构中部及顶部、转换桁架上下弦、腹杆、端部及相邻受力影响较大的关键部位。

5.2.5 滑模施工过程中，由于千斤顶不同步，数值累积会使模板系统产生很大应力差，如不加以控制，不仅建筑物垂直度难以保证，也会使模板结构产生变形，影响工程质量。

5.2.6 悬臂合龙前，应对合龙杆件两端点空间相对位置关系（包括长度、两端点相对错动）进行连续跟踪监测；悬臂合龙后，应对悬臂的施工位形监测控制，与悬臂区域内的竖向相对沉降监测一并指导施工。

5.2.7 高耸结构的高度一般可以按节进行分段，施工期间监测可根据施工进度按不同的节进行监测；由于高耸结构节间高度变化较大，监测的高度间隔也可参照本条高层结构的高度间隔取值。

5.2.9 特征位置构件包括首层、交接楼层、高度中部楼层、错层或连体结构的连接楼层、伸臂桁架加强层上下两层、柱斜率变化较大处楼层；施工过程中内力变化较大构件包括悬臂构件、伸臂桁架、后装延迟构件周围部分构件、有临时支撑的结构构件、连体结构、重要斜撑及焊接残余应力较大的构件等。

5.2.10 本条针对构件受力应区分轴力、受弯、压弯/拉弯或受扭等情况相应选择测试截面和布置测点。另一方面在施工过程可能发生受力状况的改变，如受弯变成压弯，不受力变成有受力等。

测试截面位置选择时：主要承受轴力的构件，宜在每根测试构件至少设一个测试截面，柱间支撑构件测试截面宜位于支撑跨越非刚性楼层楼面以上 500mm 处；桁架斜腹杆测试截面位于构

件下端节点区外 500mm 处；楼面内斜撑测试截面宜位于构件跨中。柱的测试截面宜位于柱下端节点区上方 1000mm 处；梁的测试截面，宜位于梁端节点区外 500mm 处；部分剪力墙的竖向和主拉力方向应力。

5.2.11 较大临时荷载的设施是指对结构产生较大荷载的运输设备、脚手架及模板支架、堆土等。如 2009 年上海闵行区某小区楼房由于在短期内堆土过高，另一侧基坑开挖，大楼两侧的压力差导致房屋整体倾倒。因此，有必要对相应受力部位及设施本身进行应变监测，以防此类事故的发生。

5.3 使用期间监测

5.3.1 如外框架-核心筒体系位移监测，应选择外框架竖向最大总位移楼层、核心筒竖向最大总位移楼层、核心筒与外框架竖向最大相对变形楼层。结构突变处指结构刚度突变或质量突变处。

5.3.3 日照变形监测应在高层与高耸结构受强阳光照射或辐射的过程中进行，应测定结构上部由于向阳面与背阳面温差引起的偏移量及其变化规律。日照变形监测点的选择应符合下列规定：

1 当利用建筑内部竖向通道监测时，应以通道底部中心位置作为测点，以通道顶部正垂直对应于测站点的位置作为测点；

2 当从建（构）筑物外部监测时，测点应选在受热面的顶部或受热面上部的不同高度处与底部（视监测方法需要布置）适中位置，并设置照准标志，若为单柱即可直接照准顶部与底部中心线位置；测站点应选在与测点连线呈正交或近于正交的两条方向线上，其中一条宜与受热面垂直。测站点宜设在距测点距离为照准目标高度 1.5 倍以外的固定位置处，并埋设标石；

3 日照变形的监测时间，宜选在夏季的高温天进行。监测可在白天时间段进行，从日出前开始，日落后停止，宜每隔 1h 监测一次。在每次监测的同时，应测出建（构）筑物向阳面与背阳面的温度，并测定风速与风向。记录建（构）筑物顶部风速、沿高度变化的风压、监测时刻和向阳面背阳面的温度。

5.3.5 分区集中准则是指将结构分为不同的应变区域，对各区域选择性集中监测。

5.3.6 转换部位主要指转换梁、转换柱、转换桁架等。其他重要部位和构件应包括不同结构区域的交界处，应力集中程度非常高的部位及构件、几何突变处、特征位置构件、重要支撑构件等。

5.3.9 若刚度中心不宜确定，平面位置的几何中心较明显，可设置在几何中心。

5.3.11 记录的环境风速情况，主要用来与建筑物顶部风速比较，从而了解风力沿高度的变化情况。

5.3.13 地震动监测，当条件具备时，也可在自由场上增加布置测点，用于记录结构的输入地震动。

5.3.14 振动测点布置的楼层一般包括底层、标准层、加强层、截面变化层以及顶层等关键楼层。布置结构地震反应监测系统时，自由场测定点安装三分向仪器用于记录结构的地震动输入；在选定楼层的几何中心上安装三分向测点。进行动力特性分析时如要保证高阶振型的精度，测点分布宜下部较稀疏，上部较密集。

5.3.16 除振动加速度测点布置外，宜根据实际状况选择性布置振动速度及振动位移测点。

6.3 使用期间监测

6.3.2 支座与悬挑构件的根部均为常规情况下的受力较大部位，测点选取时应着重考虑。

7 桥梁结构

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于公路、铁路、市政桥梁结构施工及使用期间监测。桥梁结构形式包括梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥等，建桥材料包括圬工、钢筋混凝土、钢材等。大型临时结构指大跨支架、大型吊塔、扣塔、移动模架等。对沉降和变形要求严格的桥梁结构，如高速铁路桥梁。

7.1.2 特大桥、结构特殊的桥梁和单孔跨径 60m 及以上大桥的检测评定工作应符合下列规定：

1 在桥梁上下部结构的必要部位埋设永久性位移观测点，并定期进行观测，一、二类桥每三年至少一次，三类桥每年至少一次，四、五类桥每季度至少一次，特殊情况时应加大观测频次。

2 应安排专项经费委托有资质的单位进行定期的特殊检查。一、二类桥每五年至少一次，三类桥每三年至少一次，四、五类桥应立即安排进行特殊检测。

3 对特别重要的特大桥，应建立符合自身特点的养护管理系统和健康监测系统。

7.1.4 施工期间，桥梁结构的重要大型临时设施的力学或几何参数将影响永久结构的内力及几何状态，如拱桥施工的临时缆索、顶推施工过程中的导梁等，应对其进行监测。

7.2 施工期间监测

7.2.10 体系转换过程中监测包含体系转换前与体系转换后的监测，以方便进行对比。

7.2.13 顶推前宜进行顶推机构摩阻力与摩擦系数的测试试验，

力学及几何参数应包括顶推荷载及支墩的应力变形等。

7.2.14 顶升前应对顶升系统的同步性进行测试验证。

7.3 使用期间监测

7.3.7 部分混凝土桥也应考虑疲劳监测，如桥塔的拉索锚固区。疲劳监测时宜符合下列规定：

1 疲劳测点应布置在容易发生疲劳破坏及附近部位，根据结构易损性分析结果而定，由结构分析得到的应力变化为布置疲劳监测部位的主要依据。

2 应变传感器应与被测结构（构件）紧密结合。对新建钢筋混凝土构件，宜采用埋入式应变传感器；对既有桥梁结构，可在结构表面埋设膨胀螺栓，将应变传感器焊接于膨胀螺栓；对钢结构桥梁，宜采用焊接，尽可能避免采用胶粘剂粘贴方式安装应变传感器。

3 疲劳监测传感器应具有较高的疲劳寿命，主要包括振弦式应变传感器和光纤类应变传感器等，应变传感器的选型主要考虑分辨率、量测精度、动态响应、线性度、温度、稳定性、最大量程、抗电磁干扰、耐久性等要求；在均满足精度和量程的要求下，宜优先考虑长期稳定性和抗电磁干扰能力。

4 通过应变传感元件监测结构高应力区的应变时程，然后对记录的应变时程采用一定的方法（如雨流法）进行分析来评估结构的疲劳状况。实测应变时程中不同应变幅应区别对待处理。

7.3.10 负反力指由于采取压重措施而产生的力。

7.3.12 桥梁结构风速仪应安装在专门支架（桁架）上，支架伸出桥体长度或高度一般不少于 3m，支架应具有足够的刚度，并与桥体连接牢固；若没有条件满足上述规定，桥面风速仪可安装于人行道或中间分隔带，安装立柱高度大于 4m（高于货车的高度）；塔顶风速仪高于塔顶 1m，并处于避雷针的覆盖范围之内。其他工程结构宜布置于结构周边。环境风速监测宜将风速仪安装在距工程结构约 100m~200m 外相对开阔场地，距地面 10m 的

高度处。

7.3.13 桥梁结构湿度仪应选择布置在桥面、钢箱梁内、索塔钢锚箱内。

7.3.15 设备选型：依据桥址处历史记录的最大降雨量确定雨量传感器的量程和精度。对于安装空间较小的桥梁结构，宜选用体积较小的电容雨量传感器或红外散射式雨量传感器；对于台风频发地区的大跨度桥梁结构，可选用不易损坏的传统单翻斗雨量传感器。安装方法：室外雨量计可与风速仪一起安装在桁架或立柱上，雨量计的安装方向尽量与桥面垂直。

7.3.20 车型及分布包含车的轴数、轴距、单轴重、总重及偏载。

7.3.22 桥面铺装完成后，可在桥面进行切槽，埋设传感器。前期应在护栏及中间分隔带预埋传感器至机柜安装位置的通信管道，方便后期传感器走线。

8 其他结构

8.1 隔震结构

8.1.1 国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2010 第 12 章规定隔震建筑的高宽比宜小于 4，房屋的高度约在 50m~60m，大于 60m 超过了当初规范编制的高度限制。

8.1.2 监测测点可为建筑物角部，不同地基或基础的分界处，建筑物不同结构的分界处，变形缝或抗震缝的两侧，新、旧建筑物或高、低建筑物交接处的两侧。

为了监测地面输入，需要在地面布置传感器；在隔震层布置传感器，通过与地面传感器的对比，可以验证隔震层的隔震效果；在顶层布置传感器可以通过与地面以及隔震层的对比，确定隔震结构的放大倍数。

加速度传感器安装位置应远离工程结构内的振源，如运行的机械设备、使用频繁的通道，安装表面的平整度应优于 3mm。

8.1.3 混凝土收缩、徐变和温度变化会引起隔震支座产生水平剪切变形，支座处在长期偏压状态下，如果剪切变形过大，将会对支座产生影响，因此，需要对隔震支座的水平剪切变形进行监测。隔震支座的竖向压缩变形量是反映隔震支座质量的重要指标之一，因此，在隔震建筑施工期间和使用期间要监测隔震支座的竖向压缩变形。参照日本《隔震建筑维护管理标准》(2010)，允许支座剪切变形最大值不超过 50mm，支座竖向压缩变形最大值不超过 5mm。

8.2 穿越施工

8.2.1 穿越施工是指地下工程穿越既有结构的施工过程，穿越施工监测是指受穿越施工影响的既有结构的监测。本节所称的既

有结构是指已建成受穿越施工影响的地下结构及地面高层与高耸、大跨空间及桥梁结构。

随着城市建设的发展，地下出现了越来越多的各类建（构）筑物。其中较典型的有：地铁、站台、铁路隧道、地下管线、涵洞等。地下工程建设难免会与之相近或相交，包括上穿、下穿和侧穿以上各类建（构）筑物。表3以地下工程施工穿越既有隧道为例说明了正穿和侧穿两种基本情况。

表3 地下工程穿越方式分类（以穿越既有隧道为例）

| 地下工程与既有隧道相互位置关系 | 几何关系 | 预计的既有隧道动态 | 穿越方式 |
|-----------------|-----------------|---|------|
| 与既有隧道并列 | 与隧道平行新建地下工程的情况 | 既有隧道向接近的新建地下工程方向发生位移；因并列隧道的施工，既有隧道周边围岩松弛，而使作用在衬砌上的荷载增加 | 侧穿 |
| 与既有隧道交叉 | 从既有隧道上部或下部穿过的情况 | 新建地下工程在既有隧道上部通过，当深埋时，既有隧道向上方变形，围岩的拱作用受到破坏，而使衬砌上的荷载增加；当浅埋时，上部穿过有明显卸载作用，衬砌荷载减小，有可能上浮；新建地下工程在既有隧道下部通过时，既有隧道会发生下沉 | 正穿 |

8.2.4 鉴于目前全国各大城市均在进行地铁建设，地铁穿越施工期间所穿越工程进行不间断监测是预防事故发生、确保地铁穿越工程及周边环境安全的重要措施，部分地区已将此条列为地方强制性标准。通过在部分地区地铁穿越工程的监测实践证明，进行本项监测无论对于地铁工程本身的安全，还是对于城市环境安全来说都是十分重要的工作。

附录 A 监测设备主要技术指标

A.0.1 给出地震动及地震响应监测时加速度传感器的主要技术指标，一般振动监测可参考此表。

A.0.5 隔震支座水平位移监测传感器即相对位移计；表中灵敏度的单位为 $\text{mV}/\text{cm}/\text{V}$ ，表示对于最大测量量程为 $\pm 50\text{cm}$ 的位移传感器的灵敏度为每伏 $10\text{mV}/\text{cm}$ 。

附录 B 不同类型桥梁使用期间监测要求

B.0.1 梁式桥包括刚构桥。双向 6 车道及以上的桥梁，考虑到桥梁横向较宽，易出现扭转变形，因此增加扭转监测。

B.0.2 跨度大于 300m 的钢拱桥，拱顶变形较大，考虑采用 GPS 监测平面位移。

B.0.3 跨度大于 600m 的钢主梁斜拉桥或跨度大于 400m 的混凝土主梁斜拉桥，跨中截面变形较大，考虑采用 GPS 监测平面位移。