

UDC

中华人民共和国行业标准



P

JGJ/T 302 - 2013

备案号 J 1598 - 2013

建筑工程施工过程结构分析 与监测技术规范

Technical code for construction process analyzing
and monitoring of building engineering

2013 - 06 - 24 发布

2014 - 01 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

建筑工程施工过程结构分析
与监测技术规范

Technical code for construction process analyzing
and monitoring of building engineering

JGJ/T 302 - 2013

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 4 年 1 月 1 日

中国建筑工业出版社

2013 北 京

中华人民共和国行业标准
**建筑工程施工过程结构分析
与监测技术规范**

Technical code for construction process analyzing
and monitoring of building engineering

JGJ/T 302 - 2013

*

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
北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：2 $\frac{3}{4}$ 字数：62 千字

2013 年 9 月第一版 2013 年 9 月第一次印刷

定价：**12.00 元**

统一书号：15112·23746

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 63 号

住房城乡建设部关于发布行业标准 《建筑工程施工过程结构分析与 监测技术规范》的公告

现批准《建筑工程施工过程结构分析与监测技术规范》为行业标准，编号为 JGJ/T 302-2013，自 2014 年 1 月 1 日起实施。

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

2013 年 6 月 24 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2009 年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）〉的通知》（建标〔2009〕88 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。

本规范的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 施工过程结构分析；5 变形监测；6 应力监测；7 温度和风荷载监测；8 成果整理。

本规范由住房和城乡建设部负责管理，由中国建筑股份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，请寄送中国建筑股份有限公司（地址：北京市三里河路 15 号中建大厦；邮政编码：100037）。

本 规 范 主 编 单 位：中国建筑股份有限公司
中建八局第一建设有限公司

本 规 范 参 编 单 位：中国建筑科学研究院
华东建筑设计研究院有限公司
中建一局集团建设发展有限公司
中国新兴保信建设总公司
中建华海测绘科技有限公司
中建钢构有限公司
清华大学
武汉大学
北京银泰建预应力工程有限公司
北京拉特激光精密仪器有限公司

本规范主要起草人员：毛志兵 彭明祥 刘军进 王 建
张胜良 秦家顺 林 冰 郭际明
刘 创 赵 静 潘宠平 陈振明
戴立先 刘小刚 吴延宏 周予启
戴连双 许曙东 刘洪云 徐代胜
刘 杨

本规范主要审查人员：许溶烈 赵基达 洪立波 过静君
张其林 冯 跃 胡玉银 范 重
朱忠义 陈跃熙

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	变形监测精度要求	7
3.3	监测仪器管理	7
4	施工过程结构分析	8
4.1	一般规定	8
4.2	分析内容和方法	9
4.3	荷载与作用	9
4.4	计算模型及参数	10
4.5	分析结果及评价	10
5	变形监测	12
5.1	一般规定	12
5.2	观测仪器	13
5.3	监测控制网	14
5.4	水平变形监测	15
5.5	垂直变形监测	17
5.6	监测周期	19
5.7	数据处理及分析	19
6	应力监测	21
6.1	一般规定	21
6.2	监测仪器及方法	21

6.3	监测点布设与安装	23
6.4	量测及记录	24
6.5	应力监测结果及分析	24
7	温度和风荷载监测	25
7.1	温度监测	25
7.2	风荷载监测	25
8	成果整理	27
附录 A	建筑物垂直位移记录表	29
附录 B	建筑物水平位移记录表	30
附录 C	应力应变传感器安装记录表	31
附录 D	应力应变观测记录表	32
附录 E	环境条件记录表	33
	本规范用词说明	34
	引用标准名录	35
	附：条文说明	37

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	Precision Requirements of Deformation Monitoring	7
3.3	Management of Monitoring Instrument	7
4	Structure Analysis in Construction Process	8
4.1	General Requirements	8
4.2	Analysis Content and Method	9
4.3	Load and Action	9
4.4	Analysis Model and Parameters	10
4.5	Analyzing Results and Evaluation	10
5	Deformation Monitoring	12
5.1	General Requirements	12
5.2	Observation Instrument	13
5.3	Monitoring and Controlling Grid	14
5.4	Monitoring of Horizontal Deformation	15
5.5	Monitoring of Vertical Deformation	17
5.6	Time Interval of Monitoring	19
5.7	Data Processing and Analysis	19
6	Stress Monitoring	21
6.1	General Requirements	21
6.2	Monitoring Instrument and Monitoring	21

6.3	Layout and Installation of Monitoring Point	23
6.4	Measurement and Recording	24
6.5	Results and Analysis of Stress Monitoring	24
7	Temperature and Wind Monitoring	25
7.1	Temperature Monitoring	25
7.2	Wind Monitoring	25
8	Results Processing	27
Appendix A	Vertical Displacement Recording Table of Building	29
Appendix B	Horizontal Displacement Recording Table of Building	30
Appendix C	Installation Recording Table of Strain Sensor	31
Appendix D	Recording Table of Stress and Strain	32
Appendix E	Recording Table of Environmental Conditions	33
	Explanation of Wording in This Code	34
	List of Quoted Standards	35
	Addition; Explanation of Provisions	37

1 总 则

1.0.1 为在建筑工程施工过程结构分析与监测中做到安全适用、确保质量、技术先进、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于建筑工程施工过程结构分析与监测。

1.0.3 建筑工程施工过程结构分析与监测除应符合本规范外，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 施工过程 construction process

为完成建筑工程建造而进行的施工活动。

2.1.2 施工过程结构分析 structure analysis in construction process

对工程结构从开始施工直至竣工这一时间段内的全过程或局部过程所进行的结构分析和计算工作。

2.1.3 设计目标位形 design objective shape

在设定荷载状态下，设计期望的建成结构的实际位形。

2.1.4 预变形技术 pre-deformation technique

为使建造成型的结构实现设计目标位形所采取的结构分析技术、构件加工尺寸预调以及现场安装定位预调等施工技术。

2.1.5 施工过程监测 monitoring in construction process

为掌握施工期间建筑结构受力及位形状态、保证结构安全而开展的监测活动。

2.1.6 监测技术 monitoring technique

针对变形、应力、环境影响等内容开展的各种人工或自动化测量技术。

2.1.7 变形监测 deformation monitoring

为获得关注的结构、构件或节点的变形位移而开展的测量工作。

2.1.8 应力监测 stress monitoring

为获得关注的结构、构件或节点的应力或应变而开展的测量工作。

2.1.9 监测点 monitoring point

直接或间接设置在被监测对象上能反映其某种变化的观

测点。

2.1.10 监测频次 monitoring frequency

单位时间内的监测次数。

2.1.11 限值 limited value

施工过程中，对结构安全性和使用性相关指标设定的不应超出的界限值。

2.1.12 预警值 alarming value

依据规范规定、设计要求、工程经验或施工过程结构分析结果等，针对变形与应力监测项，设定的应引起相关单位以预警关注的参照值。

2.1.13 柔性结构 flexible structure

组成部件的弯曲刚度影响很小、主要以轴向刚度或者薄膜刚度形成的强几何非线性结构体系，如索膜结构、索网结构等。轴向力对组成部件横向变形的影响大于5%的结构体系，可看作强几何非线性结构体系。

2.1.14 刚性结构 rigid structure

组成部件的轴向刚度或者薄膜刚度影响很小、主要以弯曲刚度形成的弱几何非线性结构体系。轴向力对组成部件横向变形的影响小于5%的结构体系，可看作弱几何非线性结构体系。

2.1.15 监测周期 time interval of monitoring

前后两次监测的时间间隔。

2.2 符 号

D ——两点间的距离；

m_d ——测距中误差；

m_β ——测角中误差；

m_Δ ——水准测量每千米往返测高差中数的中误差；

m_z ——一测回垂准测量标准偏差。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 下列建筑工程应进行施工过程结构分析：

- 1 建筑高度不小于 250m 的高层建筑；
- 2 跨度不小于 60m 的柔性大跨结构或跨度不小于 120m 的刚性大跨结构；
- 3 带有不小于 18m 悬挑楼盖或 50m 悬挑屋盖结构的工程；
- 4 设计文件有要求的工程。

3.1.2 下列建筑工程应进行施工过程结构监测：

- 1 建筑高度不小于 300m 的高层建筑；
- 2 跨度不小于 60m 的柔性大跨结构或跨度不小于 120m 的刚性大跨结构；
- 3 带有不小于 25m 悬挑楼盖或 50m 悬挑屋盖结构的工程；
- 4 设计文件有要求的工程。

3.1.3 施工过程结构监测工作应按表 3.1.3 的监测内容，根据结构受力特点确定监测项目。

3.1.4 施工过程中宜对下列构件或节点进行选择性的监测：

- 1 应力变化显著或应力水平高的构件；
- 2 结构重要性突出的构件或节点；
- 3 变形显著的构件或节点；
- 4 施工过程中需准确了解或严格控制结构内力或位形的构件或节点；
- 5 设计文件要求的构件和节点。

3.1.5 施工过程结构分析和施工监测应编制专项方案，并报相关单位审批。

表 3.1.3 施工过程结构监测内容

	变形监测			应力监测	环境监测	
	基础沉降	结构竖向变形	结构平面变形		温度	风
高层建筑	★	▲	▲	★	★	▲
刚性大跨结构	▲	★	○	★	★	○
柔性大跨结构	▲	★	▲	★	★	○
长悬臂结构	▲	★	○	★	★	○
高空连体或大跨转换结构	○	★	▲	★	★	○

注：★应监测项；▲宜监测项；○可监测项。

3.1.6 监测作业人员应经过专业技术培训，行业规定的特殊工种必须持证上岗。

3.1.7 监测设备与仪器应通过计量标定，采集及传输设备性能应满足工程监测需要。

3.1.8 监测设备作业环境宜满足下列要求：

1 作业时监测电子设备、导线电缆等宜远离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；

2 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 监测接收设备宜远离强烈反射信号的大面积水域、大型建筑、金属网以及热源等。

3.1.9 监测时应考虑现场安装条件和施工交叉作业影响，并应对监测设备、仪器和监测点采取可靠的保护措施。

3.1.10 施工过程结构分析与监测工作的程序，可按以下工作流程实施（图 3.1.10）。

3.1.11 建设单位负责施工过程结构分析与监测的管理工作，并组织勘察、设计、施工、监测、监理等单位具体实施。

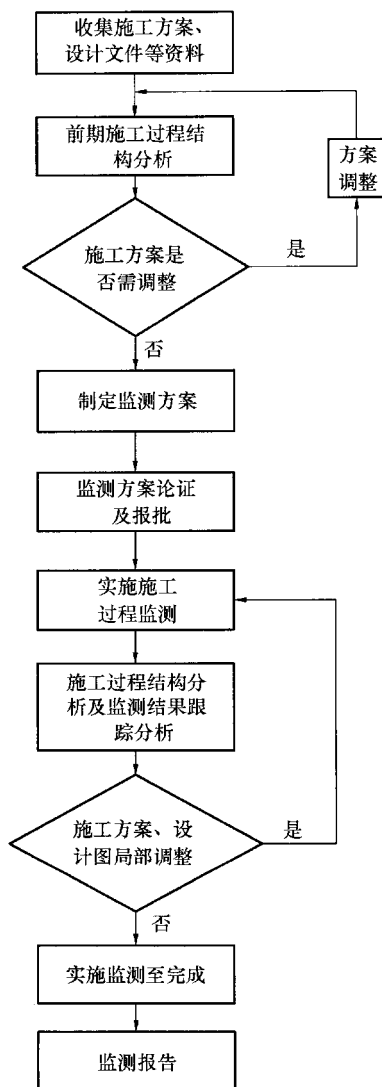


图 3.1.10 工作程序流程图

3.2 变形监测精度要求

3.2.1 建筑工程变形监测测量精度应根据地质条件、建筑规模、建筑高度、结构类型、结构跨度、结构复杂程度和设计要求等因素确定。

3.2.2 建筑工程变形监测不应低于现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 中二级变形测量等级对应的精度要求。高层建筑和大跨结构的变形观测精度宜按表 3.2.2 确定。

表 3.2.2 变形观测精度要求

监测项目		大跨结构	高层建筑		
			$H \leq 100\text{m}$	$100\text{m} < H < 250\text{m}$	$H \geq 250\text{m}$
水平位移观测点坐标中误差		$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 1.5\text{mm}$	插值处理	$\pm 3.0\text{mm}$
竖向 观测 中误 差	建筑物主体承重构件竖向变形监测	$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 1.0\text{mm}$	插值处理	$\pm 2.0\text{mm}$
	水平构件竖向相对挠度中误差	$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 0.5\text{mm}$		
	地基沉降观测中误差	$\pm 0.3\text{mm}$ (首层)、 $\pm 0.5\text{mm}$ (地下室底板)	$\pm 0.3\text{mm}$ (首层)、 $\pm 0.5\text{mm}$ (地下室底板)		

注：1 H 为建筑物的结构高度；

2 观测点中误差，指观测点相对测站点（如工作基点）的中误差。

3.3 监测仪器管理

3.3.1 监测仪器应按国家有关规定定期检定，计量合格后方可使用。

3.3.2 监测仪器使用前应进行检验校准，使用的仪器应满足测量精度和量程需求。

3.3.3 作业期间，使用监测仪器应严格遵守技术规定和操作要求。

3.3.4 监测仪器应经常保养。

4 施工过程结构分析

4.1 一般规定

4.1.1 施工过程结构分析应建立合理的分析模型，反映施工过程中结构状态、刚度变化过程，施加与施工状况相一致的荷载与作用，得出结构内力和变形。

4.1.2 施工过程结构分析应依据设计文件、施工方案或现场施工记录。现场施工记录宜包括：

1 施工期间各层的施工进度与各主要结构构件的安装过程记录；

2 施工机械、施工设备或临时堆载等分布及变化；

3 施工过程中模板和支撑的重量、支承方式、安装和拆除时机；

4 构件连接方式的变化记录；

5 建筑物所处环境的相关记录；

6 混凝土同条件养护试件的强度试验记录；

7 室内装修与围护结构施工、设备安装记录；

8 其他施工过程结构分析需要的相关记录。

4.1.3 建筑工程进行施工过程监测时，宜同步进行施工过程结构分析。施工过程结构分析中应计入对监测结果有影响的主要荷载作用及因素。施工过程分析结果宜与监测结果对比分析，当发现结构分析模型不合理时，应修正分析模型，并重新计算。

4.1.4 施工过程分析结果与设计分析结果有较大差异时，应查明原因，确定处理方案。尚应和设计单位沟通，共同商定解决方法。

4.2 分析内容和方法

4.2.1 应根据工程实际情况从下列项中选择合适的分析工况：

- 1 施工全过程结构分析；
- 2 部分施工过程结构分析；
- 3 部分施工过程局部结构分析；
- 4 施工临时加强措施结构分析。

4.2.2 施工过程结构分析宜采用有限元数值模拟分析方法进行，按工程精度需要，合理计入结构构件的安装和刚度生成、支撑的设置和拆除等对结构刚度变化影响的因素；尚应考虑几何非线性的影响。

4.3 荷载与作用

4.3.1 施工过程结构分析应考虑永久荷载和可变荷载，可根据工程实际需要计入温度作用、地基沉降、风荷载作用。

4.3.2 永久荷载和可变荷载包括结构自重、附加恒载（地面铺装荷载、固定的设备荷载）、幕墙荷载、施工活荷载（模板及支撑、施工机械）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 4.3.2 执行。

表 4.3.2 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，手动工具，零星建筑堆材，无脚手架	0.5~0.6
2	少量人工，手动操作的小型设备，为进行轻型结构施工用的脚手架	1.0~1.2
3	人员较集中，有中型设备，为进行中型结构施工用的脚手架	2.2~2.5
4	人员很集中，有较大型设备，为进行较重型结构施工用的脚手架	3.5~4.0

4.3.3 当结构内力和变形受环境温度影响较大时，宜计入结构均匀温度变化作用的影响；特殊需要时，还宜计入日照引起的结构不均匀温度作用。

4.3.4 施工过程中结构安全性受风荷载影响较明显时，宜计入风荷载的影响。确定风荷载时，宜考虑建筑物主体实际建造进度、外围护结构安装进度等因素。

4.4 计算模型及参数

4.4.1 结构分析模型和基本假定应与结构施工状况相符合。

4.4.2 分析模型施工阶段划分段数应结合工程设计文件、分析精度需要、分析效率、施工方案综合确定。

4.4.3 分析时各阶段的结构自重、面层等恒载与施工堆载、设备等施工活荷载宜根据实际情况分别考虑施加，荷载细分程度应满足分析精度。

4.4.4 材料性能设计指标应按设计文件及国家现行有关标准的规定采用。

4.4.5 施工过程中分析时，框架-剪力墙或剪力墙结构中的连梁刚度不宜折减；现浇钢筋混凝土框架梁的梁端负弯矩调幅系数宜取 1.0。

4.4.6 混凝土结构宜考虑混凝土实测强度与设计要求偏差的影响。

4.4.7 对于超高层混凝土建筑结构宜考虑混凝土收缩与徐变的影响。

4.5 分析结果及评价

4.5.1 施工阶段应对结构和构件进行承载力验算和变形验算。承载力验算宜采用荷载效应的基本组合；变形验算应采用荷载效应的标准组合。

4.5.2 对施工过程中结构分析得出的计算结果，应进行分析判断，确认其合理有效后，方可用于评判施工方案的合理性和安全性，

并作为现场监测结果的对比依据。

4.5.3 施工过程结构分析发现构件承载力不足或变形过大时，应调整施工方案或经设计单位同意后对构件作加强处理。

4.5.4 当施工过程模拟分析得到的结构位形和设计目标位形差异较大时，建设单位、设计单位、施工单位宜共同商讨解决方案。确定方案采用预变形技术分析时，应采用荷载效应的标准组合。

4.5.5 施工过程结构分析结果与监测结果对比时，宜采用荷载标准组合的效应值，当温度影响较为显著时，应计入温度作用的影响。

4.5.6 可根据施工过程结构分析结果对初定监测方案的合理性进行验证和判断，有误差可对监测内容、监测构件、监测点位作适当调整。

4.5.7 对需进行监测的构件或节点，应提供与监测周期、监测内容相一致的计算分析结果，并宜提出相应的限值要求和不同重要程度的预警值。

4.5.8 以下情况发生时宜进行预警：

- 1 变形、应力监测值接近规范限值或设计要求时；
- 2 当监测结果超过施工过程分析结果 40%以上时；
- 3 当施工期间结构可能出现较大的荷载或作用时。

4.5.9 预警值可依据设计要求、施工过程结构分析结果由各方协商确定或按下列规定执行：

1 应力预警值按构件承载能力设定时，可设三级，分别取构件承载力设计值对应监测值的 50%、70%、90%；

2 变形预警值按设计要求或规范限值要求设定时，可设三级，分别取规定限值的 50%、70%、90%；

3 预警值按施工过程结构分析结果设定时，可取理论分析结果的 130%。

5 变形监测

5.1 一般规定

5.1.1 变形监测分为水平位移监测、垂直位移监测、角位移监测。

5.1.2 监测工作开始前，监测单位应进行资料收集、现场踏勘调研，并根据设计要求和环境条件选埋监测点、建立变形监测网。

5.1.3 变形监测网的组成与要求应符合下列规定：

1 基准点，应埋设在变形区以外，点位应稳定、安全、可靠。

2 工作基点，应选在相对稳定且方便使用的位置，每期变形观测时均应将其与基准点进行联测。

3 变形监测点，应布设在能反映监测体变形特征的部位。点位布局合理、观测方便，标志设置牢固、易于保存。

5.1.4 基准点的标石、标志埋设后，应达到稳定后方可开始观测，并定期复测。复测周期应视基准点所在位置稳定情况确定，前期应 1~2 个月复测一次，稳定后 3~6 个月复测一次。

5.1.5 变形监测基准应与施工坐标和高程系统一致，宜可与国家或地方坐标和高程系统联测。

5.1.6 首次观测不应少于两次独立观测，并满足现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 限差的要求后，取平均值作为初始值。

5.1.7 监测频次的确定应以系统反映监测对象的主要变化过程为原则，宜根据变形速率、变形特征、监测精度、工程地质条件等因素综合确定。

5.1.8 处理观测数据，定期向委托方等单位提交监测报告。当变形出现异常情况时，应立即通知相关单位采取措施。

5.1.9 高层建筑地上结构的层间压缩变形观测宜采用精密几何水准测量方法，由每次测量的高程差得到压缩变形值。

5.2 观测仪器

5.2.1 采用卫星定位技术时，接收机的选用应符合表 5.2.1 规定：

表 5.2.1 卫星定位系统接收机型号分类

仪器等级	I	II
接收机类型	双频	单频、双频
标称精度	$m_d \leq (3 + D \times 10^{-6})$	$m_d \leq (5 + D \times 10^{-6})$

注： m_d ——基线长度中误差（mm）；

D ——基线长度（km）。

5.2.2 采用全站仪时，仪器选用应符合表 5.2.2 规定：

表 5.2.2 全站仪型号分类

仪器等级	I	II
标称测角精度	$m_\beta \leq 0.5$	$0.5 < m_\beta \leq 1.0$
标称测距精度	$m_d \leq (1 + D \times 10^{-6})$	$m_d \leq (2 + 2D \times 10^{-6})$

注： m_β ——测角中误差（″）；

D ——测距边长（km）；

m_d ——测距中误差（mm）。

5.2.3 采用水准仪观测时，仪器选用应符合表 5.2.3 规定：

表 5.2.3 水准仪型号分类

仪器等级	I	II
标称精度	$m_\Delta \leq 0.45$	$m_\Delta \leq 1.0$

注： m_Δ ——每公里往返测高差中数的中误差（mm）。

5.2.4 采用静力水准仪时，仪器选用应符合表 5.2.4 规定：

表 5.2.4 静力水准仪标准型号分类

仪器等级	I	II
仪器类型	封闭式	封闭式
读数方式	接触式	接触式
两次观测高差较差（mm）	± 0.1	± 0.3
环线或附合路线闭合差（mm）	$\pm 0.1\sqrt{n}$	$\pm 0.3\sqrt{n}$

注： n ——高差个数。

5.2.5 采用垂准仪时，仪器选用应符合表 5.2.5 规定：

表 5.2.5 垂准仪型号分类

仪器等级	I	II
标称精度	$m_z \leq 1/200000$	$m_z \leq 1/100000$
读数接收指示器 (mm)	0.01	0.1

注： m_z —— 一测回垂准测量标准偏差。

5.3 监测控制网

5.3.1 监测控制网包括水平位移监测控制网和垂直位移监测控制网。

5.3.2 水平位移控制网可采用卫星定位测量、边角测量、导线测量，采用基准线控制测量应设立检验校核点。

5.3.3 水平位移基准点应采用带有强制归心装置的观测墩，建造应稳固，便于观测；照准标志应有明显的几何中心。

5.3.4 水平位移监测基准网的主要技术要求，应符合表 5.3.4-1 和表 5.3.4-2 规定：

表 5.3.4-1 边角网、导线网观测的技术要求

等 级	相邻基准点的相对 点位中误差 (mm)	测角中误差 (")	测距中误差 (mm)	水平角观 测测回数	
				I	II
一级	1.0	0.7	0.5	6	9
二级	3.0	1.4	1.0	4	6

表 5.3.4-2 卫星定位测量基准网观测的技术要求

等 级	相邻基准点的相 对点位中误差 (mm)	卫星截止 高度角 (°)	有效观测 卫星数	观测时间长度 (min)	采样间隔 (s)
一级	1.0	≥ 15	≥ 6	≥ 720	15
二级	3.0	≥ 15	≥ 5	≥ 360	15

5.3.5 垂直位移监测控制网应采用几何水准测量方法建立。

5.3.6 垂直位移监测基准点应埋设在变形区外原状土层、裸露的基岩或稳固的既有建（构）筑物上。

5.3.7 垂直位移监测基准网的技术要求应符合表 5.3.7 规定：

表 5.3.7 垂直位移监测基准网的主要技术要求

等 级	相邻基准点高差中误差 (mm)	每站高差中误差 (mm)	附和或环线 闭合差 (mm)	往返较差、检测 已测高差较差 (mm)
一级	± 0.3	± 0.1	$0.2\sqrt{n}$	$0.3\sqrt{n}$
二级	± 0.5	± 0.3	$0.6\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$

注：n——测站数。

5.3.8 工作基点测量应符合下列规定：

1 需进行建筑物内部变形监测的项目，应设置内部工作基点，每期变形观测时均应与基准点进行联测，点位精度应符合监测基准网要求；

2 平面坐标工作基点的竖向投测，应结合工程特点、投测高度等因素综合考虑；

3 采用垂准仪竖向投测平面工作基点应符合表 5.3.8 规定：投测高度应控制在 100m 之内，超过 100m 时，应增设接力基点层；

表 5.3.8 垂准仪竖向投测技术要求

等 级	测 回 数	
	I 级垂准仪	II 级垂准仪
一级	2	—
二级	1	2

4 高程工作基点传递采用几何水准联系测量方法进行。

5.4 水平变形监测

5.4.1 水平变形监测仪器可选用经纬仪、全站仪、卫星定位接收机等设备。

5.4.2 水平变形监测包括建筑结构平面位置变化,结构在施工过程中的相对、绝对和扭转的位移量。

5.4.3 监测点位布设位置应符合下列规定:

- 1 设计文件要求的监测点;
- 2 施工过程中结构安全性突出的特征构件;
- 3 变形较显著的关键点、建筑物承重墙、柱等;
- 4 建筑物不同结构分界处的两侧。

5.4.4 监测点照准觇标宜采用反射棱镜、反射片等观测标志。

5.4.5 测定监测点任意方向的水平位移可采用交会法、极坐标法、激光雷达扫描等。当测定监测点在特定方向位移时,可使用基准线法。

5.4.6 水平角测量应符合下列规定:

- 1 水平角测量应在目标成像清晰稳定的有利观测时间进行;
- 2 水平角观测宜采用方向观测法;技术要求应符合表

5.4.6 的规定;

表 5.4.6 方向观测法的技术要求

仪器类型	两次重读差 (mm)	半测回归零差 (mm)	一测回 2C 较差 (mm)	同一方向各测回较差 (mm)
I	1	6	9	6
II	3	8	13	9

3 观测过程中仪器气泡中心位置偏离装置中心不应超过一格。

5.4.7 距离测量应符合下列规定:

1 光电测距仪测量时,应采用测回法,测回间应重新照准目标。技术要求应符合表 5.4.7 的规定。

表 5.4.7 光电测距观测技术要求

仪器等级	一测回读数较差 (mm)	单程测回较差 (mm)	往返或不同时段较差
I	3	5	$2(a+bD)$
II	6	10	

注: a ——固定误差 (mm); b ——比例误差 (10^{-6}); D ——距离 (km)。

2 采用钢瓦尺测量时，应进行高差、尺长、温度改正。

5.4.8 测距边的水平距离计算应符合下列规定：

1 应根据仪器检测结果进行加、乘常数的改正；

2 应进行气象改正；

3 两点间的高差值，宜采用水准测量结果；

4 用测定两点间的高差计算测距边的水平距离应按式(5.4.8)计算：

$$D = \sqrt{s^2 - h^2} \quad (5.4.8)$$

式中：D——测距边两端点仪器与棱镜平均高程面的水平距离(m)；

s——经气象、加、乘常数等改正后的斜距；

h——测距仪与反光镜的高差。

5.5 垂直变形监测

5.5.1 垂直位移监测宜采用几何水准测量法和静力水准测量法。

5.5.2 垂直位移监测点的布设应尽量和水平位移点位一致，并应符合下列规定：

1 筏形基础、箱形基础底板或其他基础角部及中部位置；

2 建筑物角部、沿承重外墙 10m~20m 或间隔 2~3 个柱距；

3 沉降缝、后浇带交接处两侧；

4 电梯井和核心筒的转角处；

5 大跨结构的支座、跨中，跨间监测点间距不宜大于 30m，且不少于 5 个点；

6 长悬臂结构的支座及悬挑端点，监测点间距不宜大于 10m。

5.5.3 垂直位移监测点设置应符合下列规定：

1 监测标志应稳固、测量方便、易于保护；

2 墙柱上的监测标志宜距结构板面 300mm；

3 监测标志裸露部位应采用耐氧化材料。

5.5.4 几何水准观测应符合下列规定：

1 仪器安置应避免有空压机、起重机、搅拌机等重型设备振动影响；

2 每次观测应记录观测时间段、天气状况、荷载累加、施工进度等；

3 应固定观测线路、观测方法、仪器设备、人员，并采用相同数据处理程序；

4 每测段往测和返测的测站数应为偶数；

5 由往测转向返测时，两标尺应互换位置，并应重新架设仪器。

5.5.5 静力水准观测应符合下列规定：

1 观测标志的埋设应根据具体使用静力水准仪的型号、样式及现场情况确定；

2 连接管任何一段的高度均应低于蓄液罐底部，但不宜低于 200mm；

3 观测前，应对观测起始零点差进行检验；

4 观测读数应在液体完全呈静态下进行。

5.5.6 技术要求应符合下列规定：

1 几何水准垂直位移监测技术要求应符合表 5.5.6-1 规定：

表 5.5.6-1 几何水准垂直位移监测技术要求

等级	观测高程 中误差 (mm)	相邻监测点的 高差中误差 (mm)	每站高差 中误差 (mm)	附和或环 线闭合差 (mm)	检测已测 高差较差 (mm)
一级	0.3	$0.1\sqrt{n}$	0.1	$0.2\sqrt{n}$	$0.3\sqrt{n}$
二级	0.5	$0.3\sqrt{n}$	0.3	$0.6\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$

注：n——测站数。

2 几何水准观测技术要求应符合表 5.5.6-2 规定：

表 5.5.6-2 水准观测的技术要求

等级	水准尺	视线长度 (m)	前后视 距差 (m)	前后视距 累积差 (m)	视线距地面 最低高度 (m)	同一测站观测 两次高差较差 (mm)
一级	钢瓦条码尺	3~15	0.3	1.0	0.8	0.2
二级	钢瓦条码尺	3~30	0.5	1.5	0.6	0.4

3 静力水准观测技术要求应符合表 5.5.6-3 的规定：

表 5.5.6-3 静力水准观测的主要技术要求

等级	仪器类型	读数方式	两次观测高差较差 (mm)	环线及符合路线闭合差 (mm)
一级	封闭式	接触式	0.15	$0.15\sqrt{n}$
二级	封闭式	接触式	0.30	$0.30\sqrt{n}$

注：n——高差个数。

5.6 监测周期

5.6.1 水平变形监测与垂直位移监测周期宜一致，监测工作宜从基础施工开始。

5.6.2 高层建筑地下结构施工阶段，楼层每增加一层观测一次；地上结构施工期间，楼层每增加 3~6 层观测一次；监测时间间隔不宜超过 1 个月。

5.6.3 大跨结构监测周期宜按结构类型、施工方案和设计文件要求确定。

5.6.4 当遇施工过程停工，在重新开工时应加测一次。

5.6.5 监测过程中，遇监测数据达到预警值、发生变形异常、极端天气状况、周围环境较大变化等情况，应增加监测次数。

5.7 数据处理及分析

5.7.1 每次观测结束后，应进行数据平差计算处理，并对主要平差结果进行统计分析，宜采用数据库方式进行结果存储。

5.7.2 变形监测的各项原始记录应齐全，包括粗差剔除的数据。

5.7.3 监测数据的分析可采用图表分析、统计分析、对比分析和建模分析等方法。

5.7.4 当变形监测值达到本规范第 4.5.8 所规定的预警值或出现影响结构安全的异常情况时，应向委托方及相关单位通报。

6 应力监测

6.1 一般规定

6.1.1 应力监测应根据工程结构特点, 结合监测部位、监测对象、监测精度、环境条件、监测频次等因素, 选用合适的监测方法。

6.1.2 构件截面处的应力可通过应力应变计直接测量, 也可通过测量力、位移、自振频率或磁通量等参量后换算。

6.1.3 应力监测点应合理布置, 宜与变形监测点统筹布置。

6.1.4 妥善保护监测仪器和设备, 做好巡查工作, 发现损坏应维修或更换。

6.1.5 当通过测量应变值推定监测点应力值时, 宜对监测对象材料的弹性模量进行测量。

6.2 监测仪器及方法

6.2.1 应力监测内容和传感器类型选用宜符合表 6.2.1 的规定, 采集设备应与其相匹配。

表 6.2.1 应力监测传感器选用及精度要求

监测对象	测量内容	监测仪器类型	精度指标
钢、混凝土、 钢筋	应变	电阻应变计、光纤光栅应变计、 振弦式应变计等	0.2%F.S, 且 $4\mu\epsilon$
预应力筋或索	索力	穿心式压力传感器、油压表、 拾振器、磁通量传感器、弓式测力仪等	1.0%F.S

注: F.S 为测量设备或元件的满量程。

6.2.2 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

除温差引起的应变影响。

6.2.3 采用光纤光栅传感器监测时,应考虑应变和温度的相互影响。光纤布设应避免过度弯折,光器件的连接应保持光接头的清洁。

6.2.4 采用油压表测力时,其精度不应低于 0.4 级,且与千斤顶配套使用。当达到张拉最大值时,油压表的读数宜为量程的 25%~75%。

6.2.5 采用振动频率法测量索力时,两端铰接的细长索索力可按式计算:

$$T = \frac{4 \times \bar{m} \times L^2 \times f_n^2}{n^2} \quad (6.2.5)$$

式中: T ——索力 (N);

$\bar{m}$ ——拉索单位长度质量 (kg/m);

L ——拉索长度 (m);

f_n ——横向振动第 n 阶频率 (Hz);

n ——索横向振动振型阶数。

6.2.6 拾振器的频率响应范围下限应低于测试索段最低主要频率分量的 1/10,上限应大于最高有用频率分量值;动态信号采集仪器的动态范围应大于 130dB。

6.2.7 磁通量传感器应与索体一起标定后使用,不同索体材料、不同索截面尺寸应分别进行标定。

6.2.8 直径不大于 36mm 索体索力可采用弓式测力仪测量,其索力可按式计算:

$$T = P \times l / (4\delta) \quad (6.2.8)$$

式中: T ——索力 (N);

P ——弓式测力仪测量时施加的横向推力 (kN);

l ——测力计支承长度 (mm);

δ ——索横向相对变形量 (mm)。

6.2.9 测量索力时,压力传感器、磁通量传感器仪器应和索配套标定后使用。

6.3 监测点布设与安装

6.3.1 传感器和监测设备安装前，应编制安装方案。内容宜包括埋设时间节点、埋设方法、电缆连接和走向、保护要求、仪器检验、测读方法等。

6.3.2 构件上监测点布设传感器的数量和方向应符合下列规定：

1 对受弯构件应在弯矩最大的截面上沿截面高度布置测点，每个截面不应少于 2 个；当需要量测沿截面高度的应变分布规律时，布置测点数不应少于 5 个；对于双向受弯构件，在构件截面边缘布置的测点不应少于 4 个；

2 对轴心受力构件，应在构件量测截面两侧或四周沿轴线方向相对布置测点，每个截面不应少于 2 个；

3 对受扭构件，宜在构件量测截面的两长边方向的侧面对应部位上布置与扭转轴线成 45° 方向的测点；

4 对复杂受力构件，可通过布设应变片量测各应变计的应变值解算出监测截面的主应力大小和方向。

6.3.3 传感器的安装应符合下列规定：

1 传感器应与构件可靠连接；

2 应变计安装位置各方向偏离监测截面位置不应大于 30mm；应变计安装角度偏差不应大于 2° ；

3 锚索计的安装应确保其与索体呈同心状态；

4 磁通量传感器穿过索体安装完成后，应与索体可靠连接，防止在吊装或施工过程中滑动移位；

5 振动频率法测量索力的加速度传感器布设位置距支座距离不应小于 0.17 倍索长。

6.3.4 传感器、仪器、导线和电缆宜采用适当的方式进行保护，发现问题应处理。

6.3.5 监测仪器安装完成后，应记录测点实际位置，绘制测点布置图。

6.4 量测及记录

6.4.1 应力监测应按照本规范第 6.4.2 条规定的频次进行，量测宜在环境温度和结构本体温度变化相对缓和的时段内进行，同时记录结构施工进度、荷载状况、环境条件等。

6.4.2 应力监测频次，应符合下列规定：

- 1 结构施工期间每个月至少监测 1 次；
- 2 高层建筑每施工完成 3~6 层楼面应监测 1 次；
- 3 结构施工过程中重要的阶段性节点应进行监测；
- 4 结构上的荷载发生明显变化或进行特殊工序施工时，应增加监测次数。

6.4.3 传感器安装完成前后应记录读数，并以安装完成后的稳定读数作为初始值。

6.4.4 自动采集监测系统应定期检查和保养，保证系统正常工作。

6.4.5 监测数据出现异常，应分析原因，并进行复测。

6.4.6 当应力监测值达到本规范第 4.5.8 条预警值或出现影响结构安全的异常情况时，应向委托方及相关单位通报。

6.5 应力监测结果及分析

6.5.1 监测数据处理应修正系统误差，剔除粗差。

6.5.2 根据监测结果计算相邻测次间的应力增量和累积值，形成图表。

6.5.3 根据实际的施工进度或结构荷载变化情况，将应力监测结果与施工过程结构分析结果对比分析，评价结构或构件的工作状态，提交分析报告。

7 温度和风荷载监测

7.1 温度监测

7.1.1 温度监测应包括环境温度和结构温度监测。

7.1.2 温度监测可采用水银温度计、接触式温度传感器、热敏电阻温度传感器或红外线测温仪进行，测量精度不应低于 0.5°C 。

7.1.3 环境温度监测宜将温度传感器置于离地 1.5m 高、空气流通的百叶箱内进行监测。

7.1.4 监测结构温度的传感器可布设于构件内部或表面。当日照引起的结构温差较大时，宜在结构迎光面和背光面分别设置传感器。

7.1.5 当需要监测日温度的变化规律时，宜采用自动监测系统连续监测；采用人工读数时，监测频次不宜少于每小时 1 次。

7.1.6 温度监测报告宜包括日平均温度、日最高气温和日最低气温等信息；对结构温度分布监测时，应包括监测点的温度，绘制温度分布图等。

7.2 风荷载监测

7.2.1 风荷载监测内容宜包括风速、风向、结构表面风压监测。

7.2.2 风速测量精度不宜小于 0.5m/s ，表面风压测量精度不宜低于 10Pa 。

7.2.3 施工过程中结构风荷载监测宜将风速仪安装在结构顶面的专设支架上，当需要监测风压在结构表面的分布时，在结构表面上设风压盒进行监测。

7.2.4 风荷载监测宜采用自动采集系统进行连续监测。

7.2.5 风荷载监测报告宜包括脉动风速、平均风速、风向和风压等数据，绘制风压分布图。

8 成果整理

8.0.1 各项监测资料、计算资料和技术结果应真实、完整，条理清晰，结论明确。

8.0.2 施工过程中结构分析，应在结构施工前提交技术报告，当施工期间需进行跟踪分析时应按分析次数提交跟踪分析报告。分析报告应包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 主要施工方法及施工阶段划分；
- 3 分析模型及分析方法；
- 4 施工过程中结构的验算结果；
- 5 分析及评价；
- 6 附图附表。

8.0.3 施工监测过程中，每期监测工作完成后应提交阶段性工作报告，工作报告应包括下列内容：

- 1 本期结构施工状态及监测实施内容；
- 2 与前一次观测间的变化量；
- 3 本期和前期观测的累计结果；
- 4 本期观测后的累计量与施工过程中分期的对比结果；
- 5 相应的说明及分析、建议等。

8.0.4 当监测工作全部完成后，应提交监测技术报告，技术报告应包括下列内容：

- 1 施工监测技术要求；
- 2 施工方案及进度说明；
- 3 监测实施情况及作业中的异常现象；
- 4 监测结果表；
- 5 施工过程、时间、监测量相关曲线图；

- 6 其他影响因素的相关曲线图；
- 7 监测结论和评价；
- 8 附图、附表等相关附件。

8.0.5 当建筑施工过程结构分析及监测工作完成后，应提交综合结果报告，综合结果报告应包括下列内容：

- 1 施工过程监测技术方案；
- 2 施工过程结构分析报告及跟踪分析报告；
- 3 施工过程监测各阶段报告及监测技术报告；
- 4 施工过程结构分析与监测对比分析报告；
- 5 项目实施结果评价报告。

8.0.6 需要提交的分析资料、监测资料、计算资料和技术结果应进行归档。

附录 A 建筑物垂直位移记录表

表 A 建筑物垂直位移记录表

建筑物垂直位移记录表				编 号		
工程名称				测量仪器		
荷载累加 情况描述				环境条件		
上期观测时间				本期观测时间		
点号	初始值 (m)	上期观测值 (m)	本期观测值 (m)	本期变形值 (mm)	累计变形值 (mm)	备注
记录人 (签字)				审核人 (签字)		

附录 B 建筑物水平位移记录表

表 B 建筑物水平位移记录表

建筑物水平位移记录表				编 号		
工程名称				测量仪器		
荷载累加 情况描述				环境条件		
上期观测时间				本期观测时间		
点号	初始值 (m)	上期观测值 (m)	本期观测值 (m)	本期变形值 (mm)	累计变形值 (mm)	备注
记录人 (签字)				审核人 (签字)		

附录 C 应力应变传感器安装记录表

表 C 应力应变传感器安装记录表

[illegible]

附录 D 应力应变观测记录表

表 D 应力应变观测记录表

[illegible]

附录 E 环境条件记录表

表 E 环境条件记录表

环境条件记录表				编 号			
工程名称				记录内容		☐ 温度 ☐ 风	
测试位置				测试仪器			
日期	时间	测点编号	测试仪器	温度	风速	风向	备注
记录人（签字）					测试人（签字）		

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的写法为“应按……执行”或“应符合……规定”。

引用标准名录

- 1 《工程测量规范》GB 50026
- 2 《建筑变形测量规范》JGJ 8

中华人民共和国行业标准

建筑工程施工过程结构分析
与监测技术规范

JGJ/T 302 - 2013

条 文 说 明

制 订 说 明

《建筑工程施工过程结构分析与监测技术规范》JGJ/T 302 - 2013 经过住房和城乡建设部 2013 年 6 月 24 日以第 63 号公告批准、发布。

本规范制订过程中，编制组总结了近年来国内重大工程项目施工过程结构分析和监测技术的实践经验和科技成果，对施工过程结构分析和监测技术作出了规定，明确了施工过程结果分析内容和方法、变形监测点的布置和变形监测周期的管理要求。

为了便于广大建设、监理、施工、科研、学校等单位有关技术人员在使用本规程时能够正确理解和执行条文规定，《建筑工程施工过程结构分析与监测技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据和执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定参考。

目 次

3	基本规定	40
3.1	一般规定	40
3.2	变形监测精度要求	45
4	施工过程结构分析	50
4.1	一般规定	50
4.2	分析内容和方法	51
4.3	荷载与作用	51
4.4	计算模型及参数	53
4.5	分析结果及评价	54
5	变形监测	58
5.1	一般规定	58
5.2	观测仪器	58
5.3	监测控制网	59
5.4	水平变形监测	59
5.5	垂直变形监测	60
5.7	数据处理及分析	60
6	应力监测	61
6.1	一般规定	61
6.2	监测仪器及方法	61
6.3	监测点布设与安装	62
6.4	量测及记录	62
7	温度和风荷载监测	64
7.1	温度监测	64
7.2	风荷载监测	64
8	成果整理	65

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑物采用非常规施工方法或存在结构转换、大悬挑、有连体结构、斜柱等复杂结构部位，或同材料主承重构件（尤其是钢筋混凝土构件）轴向平均应力水平存在较大差异时，本条规定的限值宜适当减小。

1 针对建筑高度不小于 250m 高层建筑提出应进行施工过程模拟分析的几点考虑方面如下：

- 1) 现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010第 5.1.9 条规定“复杂高层建筑及房屋高度大于 150m 的其他高层建筑结构，应考虑施工过程的影响”。进行施工过程模拟分析的技术要求比考虑施工过程影响的技术要求要高，因此进行施工过程模拟分析的结构高度限值应比 150m 高度值要大。
- 2) 施工过程模拟分析方法较为复杂、计算工作量及分析难度大，对软件以及技术人员的要求较高。国内新建的 250m 以上的高层建筑的所占比例相对较小，涉及面限定在较小范围内时，可操作性更强些。
- 3) 国内目前设计现状是，常规高层建筑高度小于 200m 时，通常不进行施工过程结构分析；当高度超过 250m 时，则有较多的建筑物进行施工过程结构分析。超过 250m 或接近 250m 进行了较精细施工过程结构分析的部分高层建筑工程案例有：①75 层 337m 高的天津津塔，结构较为规则，采用‘框架+钢板剪力墙’系统；②290m 高香港长江中心，采用了钢筋混凝土筒体结构和钢管混凝土柱与钢梁组成外框结构的混合结构体

系；③330m 高北京国贸三期，外圈型钢混凝土框架筒体与内部的型钢混凝土核心筒组成筒中筒结构；④246m 高卡塔尔多哈办公楼，采用偏置在平面北侧的钢筋混凝土和外部混凝土交叉网格筒支承。

鉴于以上几点，为尽可能与国内设计人员习惯做法基本保持一致，提高重大工程施工过程的结构安全性和建筑外形的合理控制，在涉及面相对较小的前提下，规程本条提出了对超过 250m 的超高层建筑要求进行施工过程结构分析的要求。

2 关于大跨或悬挑结构的限值规定是基于以下考虑：

- 1) 施工过程对大跨结构最终受力状态的影响，与多种因素有关，仅依靠跨度进行讨论是不全面的，为此对刚性大跨结构和柔性大跨结构进行了区分处理。
- 2) 条文中的“刚性大跨结构”是指网格结构、实腹梁（含拱）、桁架等结构形式。由于这类结构形式的刚度较大，跨度较小时非线性效应不明显，根据既有工程经验，规定当跨度大于 120m 时应进行施工过程结构分析。
- 3) 条文中的“柔性大跨结构”是指索网结构（平面索网、曲面索网）、索膜结构、部分刚度较小的张拉索杆结构等结构形式。这类结构形式不但刚度相对较小，而且其刚度与预应力水平、预应力建立过程、结构拓扑等因素有着密切关系，所以施工过程对结构的受力状态有较大影响。根据既有工程经验，规定当柔性结构跨度大于 60m 时应进行施工过程结构分析。
- 4) 悬挑结构的结构冗余度较低，安全性问题较为突出，最低要求限值应相对较低。本条中的悬挑楼盖结构不仅包含楼面悬挑梁，也包括结构高度跨越数个楼层的悬挑桁架。

3 设计文件有要求的工程，宜由设计人员根据建筑物以下所列两方面复杂性的程度来确定是否需进行施工过程模拟分析：

- 1) 建筑造型和功能引起的结构复杂性。结构复杂性包括多方面,如建筑造型复杂(如建筑外形扭转、建筑物整体向外倾斜等)、特殊施工方法(如构件延迟安装、大悬挑结构采用逐步悬臂外延施工、高空连桥整体提升等)、特殊结构体系(如悬挂结构等)、结构受力复杂(含托换多层剪力墙或柱的大跨转换结构)。由于具体指标无法精确确定,由设计人员自行确定,并提出要求。
- 2) 施工过程中结构受力和变形的复杂性。主要体现在:
 - ①施工过程中结构受力状态与一次整体结构成型加载分析结果存在较大差异;
 - ②施工过程中结构位形与设计目标位形或一次整体结构成型加载分析结果存在较大差异。

因结构造型或受力、变形复杂,高度小于 250m 进行施工过程中结构分析的高层建筑案例有:①234m 高的 CCTV 新台址主楼,具有高位连体、超大悬挑、结构双向倾斜等复杂结构特征;②148m 高陕西法门寺合十舍利塔,双手合十造型,型钢混凝土结构,先向外倾斜角度 54° 、再向内收 54° 。

3.1.2 高层建筑施工过程监测工作是确保高层建筑施工安全和质量的重要工作内容,监测的各项观测数据资料为高层施工结构分析的正确性及指导施工提供数据保障。但由于施工监测存在经济代价大、工作量大、周期长、现场操作难度大等不利情况,因此,要求监测项目的高度或跨度限值不宜小于要求施工过程结构分析的高度或跨度限值。本条第 4 款中设计文件有要求的工程可按本规程第 3.1.1 条条文说明相关解释来理解。

3.1.3 具备不同结构受力特点的结构应采用不同的监测项,本表确定原则主要基于以下几点考虑:

1 对大跨结构或大跨转换结构、长悬臂结构、高空连体,竖向变形值是施工期间结构安全性控制的一个非常重要的指标,提出了应进行监测的技术要求。

2 对于长悬臂结构, 高空连体、大跨转换结构施工期间安全性关注的重点为局部结构体, 重点关注其相对支承部位的相对竖向变形即可, 因此对基础沉降的监测要求可适当放松。高空连体采用隔震支座或滑动支座时, 高空连体通常与主体结构之间存在相对变形, 此时, 宜对连体与主体结构之间的平面相对变形进行监测。

3 应力监测是直观了解构件受力状态的最佳手段, 是实现施工期间结构安全性的一个最重要的方法, 因此, 对所有要进行施工期间安全性控制的结构均提出应进行应力监测的技术要求。需注意的是, 对于混凝土结构, 混凝土收缩和徐变对应力监测结果有较为显著的影响, 因此, 应力监测时, 宜制作无约束的混凝土试块, 安装同型号的应力传感器, 准确记录从混凝土初凝开始的应变全过程发展曲线, 为后期数据分析处理, 以及监测与施工过程结构分析结果对比提供基础数据。

4 环境的变化, 尤其是温度作用对超高、超大跨度结构的影响非常显著, 环境温度值的测量可以为后期数据分析处理, 以及监测与施工过程结构分析结果对比提供基础数据。风荷载具有瞬时性, 而在施工期间, 结构通常为弹性体, 风荷载的影响较小, 可相对放松其监测要求; 对于超高层建筑, 为了解风荷载沿高度方向的分布, 进而进一步提高我们高层建筑风荷载取值的准确合理性, 提出了高层建筑宜进行风荷载监测的技术要求, 以更好的积累基础数据。

大跨结构、转换结构、长悬臂结构、高空连体结构在竖向变形或结构平面变形监测时, 应包括其下部支承点的变形监测项目。

3.1.4 经和设计单位、建设单位协商后, 应对施工过程中结构安全性突出的重要构件和节点进行监测, 内容包括应力、变形、沉降、振动、加速度等。

3.1.7 监测仪器、采集及传输设备宜实用、经济; 鼓励选用先进可靠、高精度的监测设备。采集频次较密、同步性要求较高的

监测项目宜选用自动采集系统。

3.1.11 结构施工过程分析与监测工作是一项涉及设计、施工、监测与监理等单位的多方协同工作，基于设计文件的合理性、施工过程分析的准确性、监测数据的真实性、监理过程的严肃性、对异常情况处理的有效性，只有建设单位才能组织各相关单位协同工作，并对项目建设全过程负责，所以，结构施工过程分析与监测应由建设单位负责，并组织各相关单位具体实施，做到责任明确，过程可控，结果可靠。实施过程中各方应明确职责、密切配合，确保施工过程分析合理准确、监测数据真实可靠、施工过程安全可控、符合设计文件规定。

1 建设单位职责

- 1) 委托专业单位进行结构施工过程分析与监测工作；
- 2) 向专业单位提供设计文件、施工方案等技术资料；
- 3) 组织相关单位审核结构施工过程分析结果、监测方案和监测报告；
- 4) 组织各相关单位对监测报告的异常状况进行处理。

2 施工过程结构分析单位职责

- 1) 根据设计文件、施工方案等技术资料，进行施工过程结构分析；
- 2) 根据计算结果提交分析报告，对结构在施工过程中的安全性进行评价，并提出进行结构施工监测应关注的结构部位和相应的监测预警值。

3 勘察和设计单位职责

- 1) 根据设计计算结果，在设计文件中明确需要监测的结构部位和相应技术要求，并提出监测预警值；
- 2) 参与施工过程结构分析工作，对施工过程结构分析报告和监测方案进行审核；
- 3) 根据施工过程分析结果与监测数据，核查施工图纸，修改图纸错误；
- 4) 对监测反馈的报警数据进行核对或确认，提出处理

建议。

4 施工单位职责

- 1) 编制施工组织设计及结构施工方案，明确不同施工阶段工况及施工荷载；
- 2) 根据结构施工过程分析结果，对施工方案进行优化或调整；
- 3) 当监测发现的结构异常确认后，采取有效、可靠的措施进行处置。

5 专业监测单位职责

- 1) 根据设计文件要求和施工过程结构分析结果制定监测方案；
- 2) 根据审核通过的监测方案实施施工过程监测工作，按期提交监测结果和报告；
- 3) 对监测发现的结构反应异常情况，通报相关单位，并提交相关数据为异常情况处理提供依据。

6 监理单位职责

- 1) 审核监测人员资质，对重要环节进行旁站监理；
- 2) 监督、检查监测实施方案的执行情况，定期审核监测报告；
- 3) 监督、检查施工单位包含加固措施的施工技术方案的落实情况，及时进行核对、签认。

3.2 变形监测精度要求

3.2.2 正文表 3.2.2 中精度要求确定时，基于如下考虑：

1 竖向位移监测时主要包括三大类情况：①常规的地基沉降测量；②建筑物竖向承重构件的压缩变形引起的竖向变形；③建筑物内部的水平构件在重力荷载作用下的竖向变形。这三种情况引起竖向变形发生的原因是完全不同的，量级上面也存在差别，因此，建议在确定竖向位移观测点坐标中误差时分别提出要求。

2 竖向位移监测 1——地基沉降观测点坐标中误差的确定方法

现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8-2007 第 3.0.6 条有如下规定：“沉降量、平均沉降量等绝对沉降的测定中误差，对于特高精度要求的工程可按地基条件，结合经验具体分析确定；对于其他精度要求的工程，可按低、中、高压缩性地基土或微风化、中风化、强风化地基岩石的类别及建筑对沉降的敏感程度的大小分别选 $\pm 0.5\text{mm}$ 、 $\pm 1.0\text{mm}$ 、 $\pm 2.5\text{mm}$ ”。本规范要求进行施工监测的项目，通常规模较大，因此，确定基础底板沉降观测点坐标中误差时按 $\pm 0.5\text{mm}$ 确定；当观测点埋设在首层时，由于减少了竖向传递过程，因此中误差要求提高至 $\pm 0.30\text{mm}$ 。

3 竖向位移监测 2——水平构件竖向相对挠度中误差的确定方法

现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8-2007 第 3.0.7 条有如下规定：“高层建筑层间相对位移、竖直构件的挠度、垂直偏差等结构段变形的测定中误差，不应超过其变形允许值分量的 $1/6$ 。对于科研及特殊目的的变形量测定中误差，可根据需要将上述各项中误差乘以 $1/5 \sim 1/2$ 系数后采用”。可按表 1 执行。

表 1 变形监测偏差取值

	设计要求的 挠跨比要求	施工期间 荷载值	测量误差控制 在施工期间变 形允许的比例	进一步提高 精度要求系数
常规取值	$1/250 \sim 1/400$	$1/2 \sim 1/3$	$\leq 1/6$	$1/5 \sim 1/2$
计算观测中误 差的取用值	$1/400$	$1/3$	$1/6$	$1/5$

实际工程施工阶段，水平构件的竖向变形实际发生值通常会比设计允许最大变形值要小，主要有几方面因素：①施工阶段的主要重量为结构自重，楼面附加恒荷载（如装修荷载、建筑面层等）、活荷载可能还没施加；②对于混凝土水平构件而言，当测量堆载或卸载作用下的变形时，混凝土徐变引起的变形值增加效应会很小。估算施工期间结构自重荷载为正常使用时荷载标准值的 $1/2 \sim 1/3$ ，可按表 1 执行。

水平构件竖向变形监测中误差取值 $= L / (400 \times 3 \times 6 \times 5) = L / 36000$ (L 为结构跨度)

对于跨度 60m 结构，竖向变形监测中误差计算值要求 $= 60000 / 36000 = 1.667\text{mm}$ ；

对于跨度 30m 结构，竖向变形监测中误差计算值要求 $= 30000 / 36000 = 0.83\text{mm}$ 。

考虑到水平构件竖向相对变形测量与地基沉降测量接近，因此，对于跨度 30m 结构中误差要求可参考首层地面地基沉降监测中误差值，即 0.5mm。对于 60m 跨度结构，可按跨度等比例放松，即放大至 1mm；60m 以上跨度不再进一步放松。该限制应该是测量可以达到的，同样也能满足计算所需精度要求。

4 竖向位移监测 3——高层建筑物主体承重构件竖向压缩变形监测

竖向压缩变形监测的中误差值确定与建筑物在施工期间的累计竖向压缩变形值密切相关。可按表 2 执行。

$$\Delta = \frac{PH}{EA} = \frac{\sigma H}{E} = \frac{n f_c H}{E} \quad (1)$$

式中： Δ ——指高度为 H ，平均轴压力 P 作用下的构件的压缩变形值；

E ——竖向构件的弹性模量；

A ——构件的截面面积；

n ——轴压比（对混凝土材料而言）；

f_c ——混凝土材料的设计强度；

$$\frac{\Delta}{H} = \frac{nf_c}{E} \quad (2)$$

表 2 竖向压缩变形监测误差取值

	设计要求的 轴压比 n	混凝土设计 强度 f_c (C30~C80) 取常见 C40 左右	施工期间荷 载标准值与 设计值比值	测量误差控 制在施工期 间变形允许 的比例	进一步提 高精度 要求系数
常规取值	0.7~0.95 (混凝土柱) 0.5~0.6 (剪力墙)	14.3~35.9	1/2~1/3		1/5~1/2
计算观测中误 差的取值	0.5	按 C40 平均 考虑 19.1	1/3	1/6	1/3

$$\frac{\Delta}{H} = \frac{nf_c}{E} = \frac{0.5 \times 19.1}{3.25 \times 10^4} = \frac{1}{3403}$$

则高层建筑竖向压缩变形测量的中误差估算值 = $\frac{1}{3403} \times \frac{1}{3}$

$$\times \frac{1}{6} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{183762}$$

对于 250m 高的高层建筑，则估算中误差值 = $250000 / 183762 = 1.36\text{mm}$ 。考虑到实际测量技术因素、测试结果有效性等因素，规程中将高度超过 250m 的竖向变形观测点坐标中误差定为 $\pm 2.0\text{mm}$ 。对于 100m 高度以下的高层建筑，因为高程向上传递的次数会减少，所以中误差限值应加严。大跨建筑物的高度通常更低，压缩变形值更小，中误差限值需进一步加严。

5 水平位移监测 1——高层建筑水平位移监测中误差的确定方法

对于 250m 以上高层建筑，施工期间引起结构水平位移的主

要为风荷载。表 3 粗略估算出的水平位移监测点坐标中误差。

表 3 水平位移监测点坐标误差取值

	风荷载下的 层间位移角 设计限值	顶点位移/总 高得到的总 位移角要比 最大层间 位移角小	施工期间时 间较短，实 际可遇最大 风荷载 值要小	施工期间幕 墙未安装， 透风导致风 荷载降低	精度要求
分析取值 (仅估算用)	1/500	2/3	1/8		1/6×1/3

$$\text{水平位移监测点坐标中误差} = h/500 \times 2/3 \times 1/8 \times 1/6 \times 1/3 = 1/108000$$

250m 高度位置处，水平位移监测点坐标中误差估算值 = $250000/108000 = 2.31\text{mm}$ 。考虑到实际测量技术因素、测试结果有效性等因素，规程中将高度超过 250m 的水平位移观测点坐标中误差定为 $\pm 3.0\text{mm}$ 。

规程正文表 3.2.2 中规定的观测精度中水平位移精度对于大跨结构相当于《建筑变形测量规范》JGJ 8 的一级，对于高层相当于二级；沉降观测中地下室精度相当于现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的二级，首层略高但达不到一级。因此，提出了“建筑工程变形监测不应低于现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 中二级变形测量等级对应的精度要求”。

地基沉降观测中的首层通常指 ± 0.000 标高附近的结构楼板。

4 施工过程结构分析

4.1 一般规定

4.1.2 从实际可行性角度出发,构件安装记录不要求针对每一单独杆件进行,而是将同一时间段内的一组构件甚至若干楼层的安装情况进行记录;时间段长度的选取以满足施工过程结构分析精度需要为宜。构件安装记录中宜包括构件延迟安装、后浇带连接、构件铰接和刚接之间的转换时机等特殊做法。

4.1.3 现场监测结果受到的影响因素较多,其中有多项因素存在一定的不确定性,如施工过程中的活荷载、地基沉降情况、结构上因日照产生的不均匀温度作用、传感器的漂移、混凝土的收缩徐变特性等。因此,当监测结果与施工过程模拟计算结果之间存在不一致,应进行分析,查明原因。

4.1.4 国内目前设计习惯做法是:计算模型结构一次整体成型后,再施加竖向、水平荷载进行分析。对于复杂建筑物(超高层建筑、带转换层结构、非满堂支撑缓慢均匀整体卸载施工的大跨结构等),该种简化分析方法与考虑施工过程进行的结构分析结果可能出现较大差异。当出现差异时,可尝试下列解决途径:

- 1) 施工单位尝试调整施工方案,研究是否可能通过改进施工方案减小该种差异性;
- 2) 如仅是施工期间,结构或构件安全性不足,结构整体成型受力状态无明显变化,则可研究采用临时补强加固,完成后再拆除的方案;
- 3) 既定条件下,施工方案较为合理时,应进一步和设计单位沟通,将施工过程结构分析结果作为初始受力状态,与后续荷载作用组合后进行结构设计,宜进行补强处理。

4.2 分析内容和方法

4.2.1 将施工过程结构分析按关注对象的区域大小、涉及的施工过程长短进行了细分。实际操作时,应根据实际工程结构关注部位及涉及的施工过程时间区段合理确定分析内容。有些情况下,仅需对整体结构中的某一部分进行施工过程结构分析即可满足工程需要,此种情况下,要求进行施工全过程主体全结构分析就会带来不必要的工作量。比如,某较规则结构中仅局部设有大跨转换桁架,为了解转换桁架在施工过程中的内力变化情况,可建立转换桁架相关楼层及其上下方若干楼层的子结构计算模型。

施工临时加强措施的分析,包括大型塔吊设备及对塔楼结构的影响分析、施工临时胎架及对结构的影响分析等。目前工程中较多使用的超高层建筑附着塔吊,其重量和塔吊工作时产生的水平力需要通过塔楼外框或核心筒向下传递。大型施工胎架有些情况下支撑在主体结构(例如地下室顶板或基础底板)上,有些情况下需要与主体结构拉结。上述情况下都会对主体结构产生影响,通过结构分析验证施工中主体结构、临时措施结构及相关结构构件的安全性或采取临时加固措施。

4.2.2 施工过程中结构刚度随着构件的安装和刚度生成不断变化,如混凝土构件的浇筑和强度生成、索和预应力筋的张拉、后浇带封闭、构件铰接转刚接、延迟构件后安装。支撑的设置和拆除对构件的内力分布也会产生影响,支承的设置和拆除有时可以通过构件自重施加时机的不同进行模拟;支撑设置或拆除对整体结构受力状态和变形有较大影响时,尚应在计算模型中建模反映。柔性索结构分析,宜考虑几何非线性,从而准确反映索体刚度。

4.3 荷载与作用

4.3.2 室内装修荷载主要指:找平层、建筑面层、粉刷层、轻

质隔墙等；工作面上施工活荷载标准值参考 ASCE 37-02，可按表 4 执行。

表 4 施工活荷载参考值

类 别		均布荷载参考值 psf (kN/m ²)
微量负载	稀少的人；手动工具；少量建筑材料	20 (0.96)
轻度负载	稀少的人；手动操作的设备；轻型结构施工中的脚手架	25 (1.2)
中等负载	人员集中；中型结构施工中的脚手架	50 (2.4)
重度负载	需电动设备放置的材料；重型结构施工中的脚手架	75 (3.59)

注：表中荷载不包括恒荷载、施工恒荷载、固定材料负载。

4.3.3 结构均匀温度变化可以根据关注的时间段以及可获得的温度数据的情况，按日平均气温或月平均气温进行取值。在围护结构没有封闭情况下，对于钢结构应考虑极端气温，对于混凝土可考虑日平均气温，限于多方面原因，以往通常的分析中不考虑不均匀温度作用的影响，主要基于以下原因：

- 1 日照不均匀温升的数据难以准确获得；
- 2 日照不均匀温升时刻处于变化过程中，因此，某一个固定的安装时间段内，没有一个固定对应的日照不均匀温度场；
- 3 现有的分析手段也受到一定的限制。因此，对绝大多数结构在规程中均不提出计入不均匀温升影响的要求。

对于超高层类的建筑，其施工周期通常较长，不同施工时间段安装构件的季节温度（可取该时间段内的日平均气温）均不相同，该温度对建筑物的变形产生显著影响，从提高计算结果精度并兼顾可行性角度出发，提出了宜计入结构均匀升温或降温作用影响的要求。

4.3.4 作用在施工过程中结构上的风荷载应考虑幕墙尚未安装,透风面积与建成后建筑不同,因此,风荷载体型系数宜作调整;施工过程中结构刚度不断变化,风载下结构的振动特性也是变化的,风振系数或阵风系数也需根据施工进度作必要调整。

4.4 计算模型及参数

4.4.1 计算分析时宜计入地基沉降等边界变形的影响。有条件时,宜将施工过程关注结构体与其支承结构或基础建立统一计算模型,进行整体施工过程结构分析。

4.4.2 施工过程结构分析时,高层建筑沿高度方向分段数一般不宜小于8段,每段层数不宜超过4~6层。当精度分析要求高或需要进行施工预变形分析时,分段数宜适当增加。高层建筑采取核心筒超前施工,外围框架延后施工时,施工阶段划分应能在计算模型中真实反映。

4.4.3 实际结构特别是钢-混凝土混合结构施工过程中,混凝土楼板浇筑往往会滞后主体结构施工一段时间,此外,面层、吊顶、幕墙等附加恒载往往滞后更多。上述荷载的施加顺序应已满足分析精度为宜。

4.4.5 施工过程中,剪力墙中连梁通常都处于弹性工作状态,这与地震作用下,连梁可能受损或破坏有明显不同,所以在施工过程结构分析时,连梁刚度不进行折减。施工过程中,楼面上作用的荷载通常比结构设计时采用的荷载要小,因此,施工过程中框架梁梁端负弯矩要小于正常设计值。因此,施工过程中框架梁的梁端负弯矩调幅程度应小于正常设计时的梁端负弯矩调整幅度。《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3中规定现浇框架梁梁端负弯矩调幅系数宜取0.8~0.9,因此,施工过程结构分析时框架梁梁端负弯矩调幅系数宜取1.0。

4.4.6 实际工程施工中,混凝土强度通常会比设计要求的强度要高,为提高施工过程结构分析结果的准确度,当条件许可时,宜采用实际混凝土设计强度值对应的混凝土弹性模量作为输入

参数。

4.4.7 混凝土收缩或混凝土徐变特性对结构位形产生影响包括多种原因：

1 混凝土的收缩和徐变的发展过程目前国内外尚无十分精确的计算公式。

2 发展过程是与众多因素相关的非线性曲线。

3 现有的分析手段尚不充分，因此，准确的、定量分析的难度很大，无法要求每一实际工程施工过程结构分析时计入其影响。

4 混凝土收缩和徐变可能对结构安全性产生不利影响或对结构位形产生设计或建设单位不可接受的偏差时，本规范建议采用简化方法评估其影响。

5 简化方法举例：

1) 选取单榀模型进行混凝土收缩和徐变的影响分析，得出规律后，推算到整体结构中去；

2) 假定混凝土强度为 0 或为设计强度的 25%、50%、75%、100%等多种不同情况，分别进行验算；

3) 将混凝土收缩换算为当量的降温荷载进行考虑。

4.5 分析结果及评价

4.5.1 承载力验算除包括一般的构件承载力验算外，还包括必要的结构整体稳定、抗倾覆、抗滑移验算等；变形验算包括结构整体变形验算（例如超高层结构在水平荷载或作用下的最大层间位移角、大跨结构的挠度等）和局部构件的挠度验算等。

本条在现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 相关规定的基础上作了调整，调整主要体现在两方面：

1 与整个建筑的服役期相比，施工过程期间相对较短，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。

2 在一些特殊情况下, 施工期间局部荷载可能会很大, 但其变异系数可能较小, 且在短时间内会被移除, 对该类荷载的分项系数值可允许适当放松。规定中采用了宜按荷载效应的基本组合进行荷载组合的要求。

4.5.3 施工过程结构分析得到的构件内力仅为初始部分, 因此, 初始构件内力满足极限承载力要求, 并不能表明该构件就是安全的。施工过程结构分析的结构内力的限值通常是由主体结构设计人员掌握的。鉴于施工过程结构分析的操作单位与设计单位常常不是同一主体, 因此, 要求将施工过程考虑是否出现较大构件内力差异的情况反馈给主体结构设计人员。

4.5.4 当施工过程结构分析后得到的结构位形和设计目标位形差异较大, 提出构件加工预调值和结构施工安装预调值供实际施工时采用。由于施工过程预变形技术难度大, 需消耗一定的时间和费用, 且需要施工单位和设计单位的配合以及监理单位的现场检查, 方能顺利实施。因此, 本条规定, 确有必要, 且需相关各方同意后, 方可实施施工过程预变形技术。

1 设计目标位形

结构位形与荷载状态是相对应的, 因此, 确定施工模拟的目标位形时也需指定一个荷载状态。具体确定时, 可和主体结构设计人员沟通后确定, 通常设计要求的目标位形为结构施工图中所表述的形态, 该位形对应的荷载状态可取 (结构自重+附加恒载作用) 或 (结构自重+附加恒载作用+0.5 活载)。

2 施工安装预调值

在每个施工步的构件吊装或混凝土模板安装过程中, 实际安装点位与设计目标位形之间的差值称为施工安装预调值。

3 加工预调值

主要针对钢结构构件而言。为避免考虑施工安装预调值后, 钢构件与下部已安装结构之间出现超出常规焊缝高度的缝隙, 或钢构件长度偏大无法安装到位的情况, 需对钢构件的长度做必要的调整, 该调整值定义为加工预调值。对于混凝土结构, 由于混

凝土构件的长度仅受支模情况控制，因此，可不考虑构件加工预调值。

4.5.5 施工过程监测时，地震作用通常不会发生、而风荷载则是瞬时作用，因此，为保证可比性，与施工监测结果做对比用途的施工过程结构分析中采用荷载标准组合的效益值即可，不宜计入风荷载和地震作用影响。

4.5.7 预警值的设定因工程实际情况而异，一般应由原设计人员会同相关各方根据工程结构特点及施工模拟分析结果确定。监测人员应将监测结果通报设计及相关各方，如监测结果与分析结果较为接近，一般无需预警；如监测结果应力或变形较分析结果放大很多，应分析处理，具体超出多少因工程而异，本处规定超过 50% 为一般规定，供工程实际参考。此外，当变形或应力值较大时，例如达到限制的 50%、70% 时，可作为预警值提醒相关各方。

4.5.8 以下几种情况宜考虑预警：

- 1 变形、应力监测值接近规范限值或设计要求时；
- 2 当监测结果明显大于（一般超过 40%）施工过程分析结果时；
- 3 当施工期间结构可能出现较大的荷载或作用（例如台风、强震、极端气温变化等）时。

为实际操作方便，本文给出了设计无明确规定时预警值确定方法。第 1 款应力预警值取构件达到承载力设计值对应的监测值的一定比例，是在构件应力较大时提出预警，以免构件超过设计承载力。第 2 款变形预警值取构件达到规定限值（一般为规范限值）一定比例，是在构件变形较大时提出预警，以免构件在施工过程中出现过大大变形。第 3 款主要针对构件应力或变形较小，但与分析结果差异较大的情况，可取差别超过 40% 作为预警值以引起相关人员注意。

4.5.9 结构分析为监测方案提供理论依据，并且根据分析结果初步确定预警值形成预警方案。预警值的设定因工程实际情况而

异，一般应由原设计人员会同相关各方根据工程结构特点及施工模拟分析结果确定。监测人员应将监测结果通报设计及相关各方，如监测结果与分析结果较为接近，一般无需预警；如监测结果应力或变形较分析结果放大很多（本文规定当设计无明确要求时，可考虑取达到分析结果的 130% 作为预警值），应分析处理。

5 变形监测

5.1 一般规定

5.1.1 垂直位移监测主要分为沉降观测和压缩变形观测。沉降主要是指建筑物整体垂直位移的变化，压缩变形主要是指结构节、多节间的相对位移变化。

5.1.2 踏勘调研和资料收集是监测工作的先决条件。监测之前，监测方须与设计、施工、业主、施工过程分析单位、监理单位进行充分的沟通，了解监测目的和意图。监测技术方案应对监测目的、监测内容、监测点布设、观测方法等方面做出细致的规定。

5.1.3 基准点、工作基点是变形监测的基础设施，要确保点位稳定、可靠，同时应构成便于检校的几何图形。变形监测点标志应埋设牢固并便于识别，对易遭破坏部位的监测点应加保护装置。

5.1.4 基准点的稳定是一个相对概念，受环境、时间等因素影响。变化速率控制在一定的范围内，以对变形监测不造成影响为原则，即可以认为基准点稳定。

5.1.5 变形监测基准应保证监测和施工的统一性。

5.1.7 在变形监测过程中，监测体的变形量、变形速率等发生显著变化时，应调整监测频次。

5.1.9 高层建筑受自重及其他荷载影响，受压变形明显，宜根据建筑物高度，分成若干监测段进行监测。

5.2 观测仪器

5.2.1 卫星定位系统以其高精度、全天候、高效率、多功能、易操作特点，广泛应用于建筑施工监测领域。

5.2.2 全站仪的制造技术、标称精度都在逐步提高，在监测过

程中,为了满足监测精度的要求,宜使用测角中误差不大于 $1''$ 、测距中误差不大于 $(2+2D\times 10^{-6})$ mm 的高精度全站仪。

5.2.3 国家划分水准仪等级是按仪器所能达到的每公里往返测高差中数的中误差指标确定。

鼓励采用高精度电子水准仪,电子水准仪进行自动读数和记录,可减弱读数误差,读数客观,并能提高工作效率。

5.2.4 静力水准仪是利用连通管测定两点间高差的仪器,在进行连续不间断监测时具有相对优越性。为满足高精度监测的技术要求,表 5.2.4 对静力水准仪的型号及技术要求做了相应规定。

5.2.5 垂准仪主要用于平面坐标工作基点的竖向传递。表 5.2.5 对所投入的垂准仪的标称精度做了规定。

5.3 监测控制网

5.3.2 水平位移监测控制网一般为一次布设的独立网,导线网、边角网是常用的监测基准网的布网形式。卫星定位技术在变形监测基准网中,发挥的作用越来越重要,基准线是最简单的监测基准网,但须在基准线两端设立校核点。

5.3.3 由于水平监测基准网的观测精度和点位的稳定性要求较高,观测墩一般采用强制归心装置。照准标志应具有图像反差大、图案对称、相位差小。以确保本身不变形的特点。

5.3.8 工作基点测量应符合下列规定:

4 高程工作基点传递采用几何水准联系测量方法进行。设置在 ± 0.000 以下楼层的工作基点的高程传递,按照精密几何水准测量的方法进行。设置在 ± 0.000 以上较高楼层的工作基点的高程传递,采用精密光学水准仪配合钢钢尺按联系测量的方法进行。

5.4 水平变形监测

5.4.4 使用基准线法测定位移时,应在基准线两端向外的延长线上,埋设两个基准点,并设两个以上检核点,并根据基准点或

检核点对基准线端点进行改正。

5.4.6 测距前应预先将仪器、气压表、温度计打开，使其与外界条件相适应，经过一段时间再观测。

5.5 垂直变形监测

5.5.1 当采用静力水准测量方法时，联系测量应采用几何水准测量方法进行高程传递。

5.5.2 变形监测点，应设立在能反映监测体变形特征的位置或监测断面上。监测断面一般分为：关键断面、重要断面和一般断面。上述位置的设置基本符合变形监测点的要求。

5.5.3 为保证监测的连续性，监测标志应考虑装修阶段因地面或墙柱装饰面施工而破坏或掩盖观测点。建筑物沉降观测点位标志埋设在地下结构时，埋设时应考虑地下室积水、空气湿度大、光线暗、尺长限制等因素。

5.7 数据处理及分析

5.7.1 采用专业软件进行数据平差计算处理，变形监测专业软件一般分为观测记录软件、平差计算软件和分析软件三个层次。

1 观测记录软件是在外业测量时使用的记录软件，包括全站仪、数字水准仪内嵌程序记录软件和外接电子手簿方式记录软件；

2 平差处理软件应采用严密平差模型，具有观测数据粗差探测、基准点稳定性分析、多余观测分量计算、基于稳定点组的拟稳平差和多个已知点的约束平差等功能；

3 分析软件根据平差结果进行综合分析，计算相邻两期各坐标分量变形量和累计变形量，绘制荷载、时间、位移量相关曲线图。

5.7.3 进行数据分析的目的是充分利用监测数据，正确有效的指导设计和施工。

6 应力监测

6.1 一般规定

6.1.3 结构变形反映的结构在空间位形上的总体变化，而应力是监测截面上的局部受力反映，二者可以相互补充和验证。

6.1.5 材料弹性模量可通过轴向拉伸试验时的应力增量除以应变增量确定。

6.2 监测仪器及方法

6.2.2 直接测量是指直接将敏感元件安装于构件表面或内部，形成协同变形的整合，敏感元件测出的应变为构件测点处的应变；间接测量指构件在受力过程中出现明显扭转或防护要求不能在表面直接安装敏感元件，而采用测量间接量值来计算构件受力的测量方法。

6.2.6 固定在检测钢索上的伺服式加速度计可采集出索的振动信号，经过快速傅立叶变换（FFT）可准确得到钢索的一阶或多阶横向自振频率 f_n 。在脉动或简单扰动情况下，以检测一阶或二阶模态为主。索体前二阶横向振动模态示意如图 1 所示。

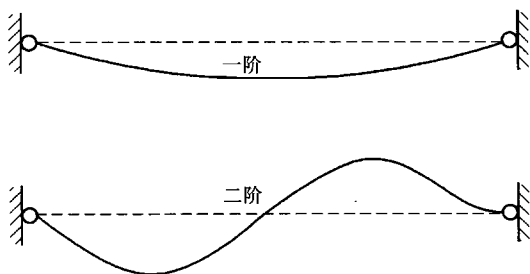


图 1 索体前二阶横向振动模态示意图

6.2.8 磁通量法的测量索力的原理是利用导磁率与应力之间的线性关系，通过测量缠绕在索体上的线圈组成电磁感应系统的磁通量变化确定索力。

6.2.9 采用弓式测力仪测量工作原理如图 2。

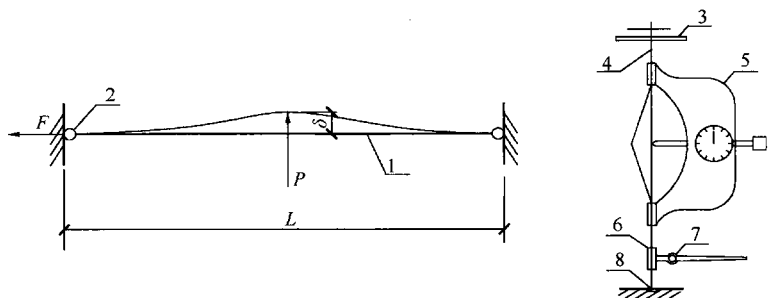


图 2 三点弯曲法测量索力工作原理图

1—拉索；2—支座；3—悬空杆；4—拉索；5—索内力测定仪；

6—调节机构；7—扭力扳手；8—支座

6.3 监测点布设与安装

6.3.1 应力监测测点的布置应具有代表性，使监测成果反映结构应力分布及最大应力的方向和大小，以便和计算结果及模型试验成果进行对比以及与其他监测资料综合分析。监测方案的制定应结合现场结构施工方案、工作条件等综合考虑。为获得构件的总应力，传感器在安装时宜在构件无应力状态下进行，尤其对于钢结构工程，焊接和螺栓连接时，在构件内已经产生安装应力，若构件安装完成后再安装传感器，则只能获得此安装态后监测构件的应力增量。

6.4 量测及记录

6.4.1 施工过程中结构上监测的应力结果与结构完成的安装进度有关，并受结构上的施工荷载分布、设施设备及环境条件的影响，比较一致的监测条件易于比较在不同施工阶段下应力的变化

情况，为将来施工过程实测结果与施工过程模拟分析结果之间进行比较分析提供依据。对于升温或降温等强烈变化过程，可以在一段时间内进行多次监测，以获得特定过程下的应力变化情况。

6.4.2 阶段性节点包括关键楼层或结构部位的施工、结构后浇带封闭、结构封顶完成等。采用整体吊装、滑移就位、临时支撑、张拉成形、预加应力、合龙拼装等工艺施工时，结构施工安装期间相关联的结构构件内力会发生较大变化，进行监测时应予以关注。

7 温度和风荷载监测

7.1 温度监测

7.1.4 为反映结构上平均气温，环境温度监测点可设在结构内部距楼面高 1.5m 的代表性空间内。对于大部分结构，仅需监测无日照下的结构体温度，而对受不均匀日照温度影响较大的重点关注构件，可提出对其不均匀温度场进行监测的要求。对于部分受不均匀温度场影响程度较大的特殊构件，则要求测量其不均匀温度的分布，从而为该构件受不均匀温度作用下的分析提供依据。

7.2 风荷载监测

7.2.1 风荷载对施工过程中建筑物的受力影响比正常使用状态更为不利，且包含风荷载的组合工况在承载力设计中起控制作用时，可提出对风荷载进行监测的要求。

7.2.3 结合现场施工条件，在施工过程中结构顶为施工面，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。进行最高点的风速和风向测量，并通过风压高度变化系数公式、估算的风荷载体型系数确定出作用在建筑物表面的风荷载值。对其他风荷载敏感的建筑，或高层建筑有验证要求时，可监测建筑物表面的风压分布情况。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。

8 成果整理

8.0.3 监测结果主要包括各阶段的结果汇总；监测期间的各测点应力变化曲线；监测结果与模拟分析对比曲线；预测方法及其效果评估；对监测期间的异常情况的处理记录及结果等。

8.0.4 监测结论与评价主要是对变形和应力监测结果进行总结，评价结构施工期间的工作状态，对监测信息反馈效果进行总结，提出开展同类工作有益的建议等。

8.0.5 施工过程结构分析与监测对比分析报告，目的了解结构分析理论值与实际值之间误差，以指导施工，确保安全。



1 5 1 1 2 2 3 7 4 6

统一书号：15112 · 23746
定 价： 12.00 元