



T/CECS ***:20**

中国工程建设标准化协会标准

建筑工程施工控制技术标准

Technical standard for construction control of building engineering

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会标准

建筑工程施工控制技术标准

Technical standard for construction control of building engineering

T/CECS ***:20**

主编单位：上海建工集团股份有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：xxxx 年 xxxx 月 xxxx 日

xxxx 出版社

xxxx 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2018]30 号）的要求，标准编制组经过深入调查研究，结合工程实践，认真总结经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 12 章和 2 个附录，主要技术内容包括：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 施工控制目标与实施；5 施工过程结构分析；6 施工监测；7 数据分析与施工过程控制；8 高层与高耸结构施工控制；9 大跨度及空间结构施工控制；10 既有建筑改造施工控制；11 专项施工控制；12 控制成果报告。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会施工安全专业委员会负责归口管理，由上海建工集团股份有限公司负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中，如有需要意见或建议，请寄送至上海建工集团股份有限公司（地址：上海市虹口区东大名路 666 号；邮政编码：200080；E-mail：scgbzgfs@163.com），以供修订时参考。

主编单位：上海建工集团股份有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总 则.....	1
2 术 语.....	2
3 基本规定.....	4
4 施工控制目标与实施.....	5
5 施工过程结构分析.....	7
5.1 一般规定	7
5.2 分析内容和方法	7
5.3 荷载与作用	8
5.4 计算模型及参数	9
5.5 分析结果及评价	10
6 施工监测.....	11
6.1 一般规定	11
6.2 监测参数、测点布置及监测设备.....	12
6.3 监测方法	12
6.4 监测预警值	15
6.5 监测记录与报告	16
7 数据分析与施工过程控制.....	17
7.1 一般规定	17
7.2 监测数据分析	17
7.3 模 型 修 正.....	18
7.4 施工过程控制	18
8 高层与高耸结构施工控制.....	19
8.1 一般规定	19
8.2 施工过程分析与监测	19
8.3 施 工 控 制.....	20
9 大跨度及空间结构施工控制.....	22
9.1 一般规定	22
9.2 施工过程分析和监测	22
9.3 施 工 控 制.....	23
10 既有建筑改造施工控制.....	26

10.1 一般规定	26
10.2 施工过程分析和监测	26
10.3 施 工 控 制.....	27
11 专项施工控制.....	28
11.1 一般规定.....	28
11.2 转换层结构.....	28
11.3 悬挂结构.....	29
11.4 连体结构.....	29
12 控制成果报告.....	31
附录 A 施工控制指令文件	32
附录 B 监测记录文件	33
本标准用词说明.....	39
引用标准名录.....	40
条文说明.....	41

Contents

1	General provisions	1
2	Terms.....	2
3	Basic requirement	4
4	Construction control objectives and implementation	5
5	Structural analysis of construction process.....	7
5.1	General requirement.....	7
5.2	The content and methods of analysis	7
5.3	Load and effect.....	8
5.4	Calculation model and parameters	9
5.5	Analysis results and evaluation	10
6	Construction monitoring	11
6.1	General requirement.....	11
6.2	Monitoring parameters, measuring point layout and monitoring equipment	12
6.3	Monitoring method	12
6.4	Monitoring and warning value	15
6.5	Monitoring records and reports	16
7	Data analysis and construction process control	17
7.1	General requirement.....	17
7.2	Monitoring data analysis.....	17
7.3	Numerical model correction.....	18
7.4	Construction control.....	18
8	High-rise and towering structure construction control	19
8.1	General requirement.....	19
8.2	Construction process analysis and monitoring.....	19
8.3	Construction control.....	20
9	Large span and space structure construction control	22
9.1	General requirement.....	22
9.2	Construction process analysis and monitoring.....	22
9.3	Construction control.....	23
10	Existing building renovation construction control.....	26
10.1	General requirement.....	26
10.2	Construction process analysis and monitoring.....	26
10.3	Construction control.....	27
11	Special construction control.....	28

11.1	General requirement.....	28
11.2	Conversion layer structure	28
11.3	Suspension structure.....	29
11.4	Siamese structure	29
12	Control results report	31
Appendix A Instruction document for construction control		32
Appendix B Document for monitoring records		33
Explanation of Wwording in this standard		39
List of quoted standards		40
Explanation of provisions		41

1 总 则

1.0.1 为规范建筑工程结构施工过程监测与监控的实施，确保工程质量和安全，做到技术先进、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于超过一定规模的新建建筑或改扩建建筑主体结构的施工监测与监控。

1.0.3 建筑工程的施工监测与监控除应执行本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 施工控制 construction control

在结构施工过程中,为保证施工过程安全、使结构竣工状态符合设计理想状态且满足施工质量验收规范要求所采取的方法和措施,通常包括结构施工过程模拟计算与仿真分析、施工状态与环境监测、数据分析、状态预警、施工过程修正调整与管理等措施。

2.0.2 参数敏感性分析 parametric sensitivity analysis

材料特性、荷载作用等参数的时变性特征对结构受力性能影响的分析。

2.0.3 时变效应 time-dependent effect

随时间变化的材料特性、结构体系和结构上的作用导致的随时间变化的结构响应。

2.0.4 标高补偿 elevation compensation

在超高层建筑中,竖向荷载、温度效应、基础不均匀沉降及水平荷载作用等都会引起竖向构件的竖向变形,产生标高误差。为控制楼层标高在竣工验收时正好达到设计标高,需在施工过程中对竖向构件进行长度补偿或预调整,称之为标高补偿。

2.0.5 柔性结构 flexible spatial structure

在施加预应力状态下才具有刚度并可承载的结构。

2.0.6 延迟构件 delay component

在施工阶段不参与或部分参与整体结构受力、而在使用阶段参与整体结构受力的结构构件。

2.0.7 补偿周期 compensation period

对考虑混凝土收缩和徐变的高层和高耸结构进行施工标高补偿分析时,需界定时间节点,使结构楼层标高在此时间节点达到设计标高值,此时间节点称为补偿周期。

2.0.8 施工全过程结构分析 structure analysis of construction process

在结构施工过程中,根据施工技术方案和施工步骤建立计算模型,分施工步进行的结构分析,后一个施工步是在前一施工步结构分析的基础上进行的结构分析。

2.0.9 模型修正 model modification

工程施工前的施工全过程结构分析是在假定的无缺陷结构模型上进行的分析,但实际施工过程中,材料性能参数、边界条件、荷载情况可能与原假定不符,在一定的条件下,需要对初始有限元模型进行修正,并重新进行施工全过程结构分析。

2.0.10 预变形 pre-deformation

为使施工完成后的结构或构件达到设计几何定位的控制目标,预先进行的初始变形设置。

3 基本规定

3.0.1 下列结构在施工过程中应进行施工控制：

- 1 高度不小于 300m 高层与高耸结构；
- 2 自重作用下建筑倾斜度超过 $H/10000$ 的高层与高耸结构；
- 3 柔性空间结构、跨度不小于 60m 的大跨度结构或单向长度不小于 100m 的空间结构；
- 4 单跨跨度不小于 30m 的大跨度钢-混组合结构和预应力混凝土结构；
- 5 悬挑长度不小于 15m 的结构；
- 6 改扩建工程中受力性能、受力状态及结构形式改变的主体结构；
- 7 材料特性及施工过程对结构内力有显著影响的结构；
- 8 高空连体结构、大跨度转换结构；
- 9 悬挂结构；
- 10 环境因素和建筑形体对结构变形有特殊效应的结构；
- 11 设计文件有要求的结构。

3.0.2 施工控制应保证施工过程中在建结构、临时支承结构与安全措施的安全，并应保证在建结构的施工质量满足设计和施工质量验收规范的要求，并宜兼顾施工的经济性和绿色施工要求。

3.0.3 施工控制的内容应包括施工过程结构分析、施工监测、监测数据分析与施工过程控制。

4 施工控制目标与实施

- 4.0.1** 施工控制应有确定的总体目标和根据施工工艺流程确定的分阶段目标。
- 4.0.2** 施工控制要求应形成专项方案,专项方案内容宜包括工程概况、施工方案、施工控制目标、施工过程结构分析报告、施工监测方案、施工控制要点及措施。
- 4.0.3** 施工控制专项方案编制完成后,应经相关单位审批后方可实施。
- 4.0.4** 施工控制方案实施应有明确的组织保障体系。
- 4.0.5** 施工控制应以指令形式实施。
- 4.0.6** 施工控制实施前,应根据分阶段目标确定各分阶段监测参数的临界值、预警值。
- 4.0.7** 施工控制可按图 4.0.7 所示流程实施。

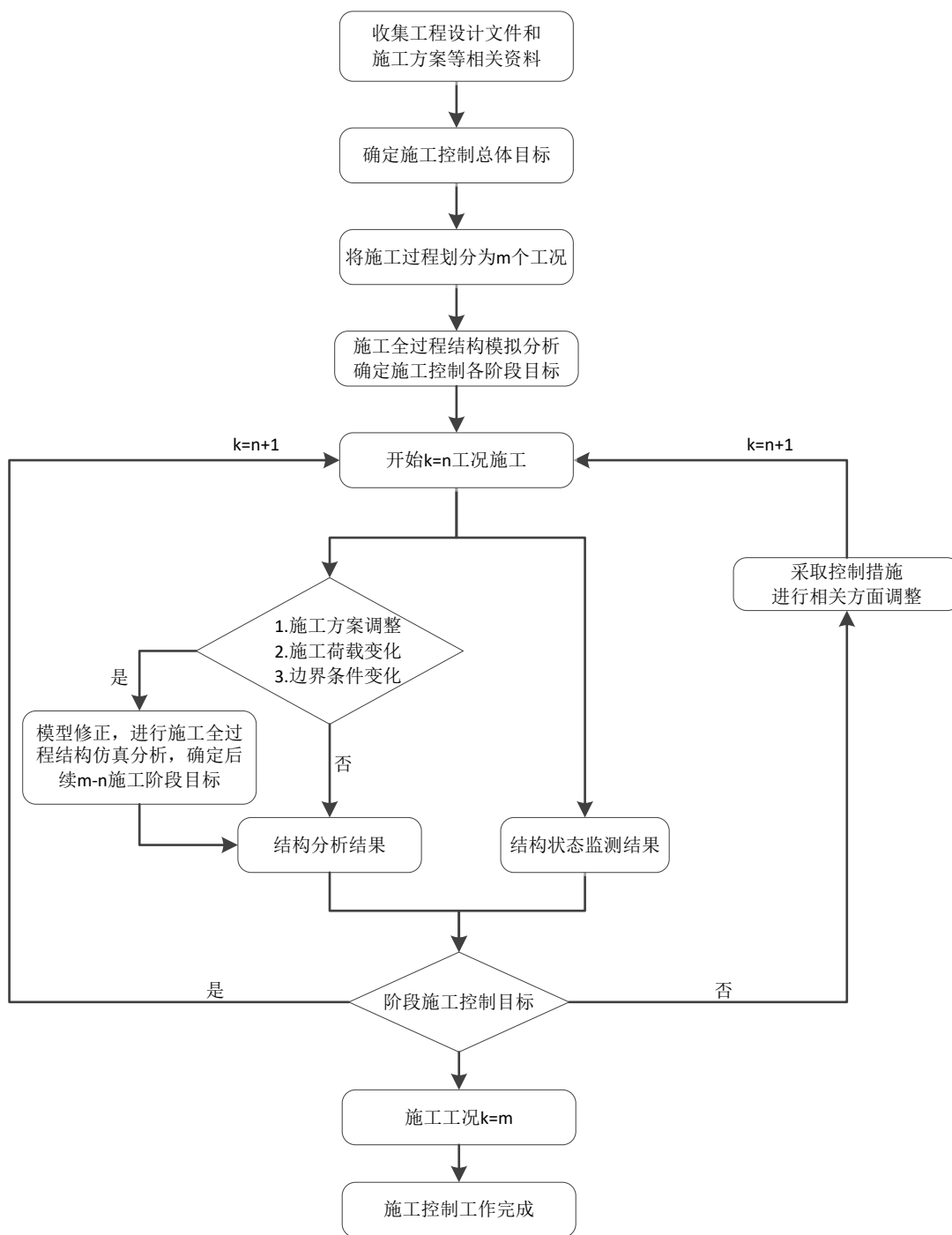


图 4.0.7 施工控制流程

5 施工过程结构分析

5.1 一般规定

5.1.1 施工过程结构分析应以勘察设计文件、施工组织设计及监测与监控方案等为依据建立合理的分析模型，模型应能反映施工过程中结构状态及刚度变化等过程，并根据现场施工记录对分析模型进行动态修正，施加与施工工况相一致的荷载与作用，获得施工过程中结构及临时支撑等体系的内力与变形的变化过程，为监测与监控提供基础数据。

5.1.2 结构在施工过程中的安全等级宜按二级考虑，结构的重要性系数 γ_0 不宜小于1.0。

5.1.3 施工过程分析与监测数据的对比应采用荷载与作用的标准组合；当进行施工状态结构安全性控制验算时，其荷载与作用组合应符合现行国家相关标准的规定。

5.1.4 现场施工记录内容宜包括施工进度、荷载与作用、临时支承体系及其状态变化、结构构件和节点状态及其变化、建筑物所处环境变化、地基与基础的沉降与变形等。

5.1.5 施工过程结构分析结果为施工及监测方案提供指导，并应根据实际施工方案预测施工过程中结构的阶段变形和内力，包括累计变形和内力，保证竣工后结构的位形和内力状态满足设计要求。

5.1.6 施工过程结构分析与施工监测宜同步进行，实时将二者结果进行对比分析；分析模型应及时反馈施工记录数据，保证分析模型与实际施工阶段的状态保持一致，为施工状态安全与质量控制提供依据。

5.1.7 施工过程分析结果与设计文件结果有较大差异时，应与设计单位共同查明原因，确定处理方案。

5.2 分析内容和方法

5.2.1 施工过程结构分析的对象应包括建造中的结构体系、施工临时支撑体系及施工安全措施等，必要时还应同步对关键节点或构件建立精细化分析模型。

5.2.2 施工过程结构分析的内容应根据实际施工方案和监测控制要求确定，宜包含下列施工工况：

- 1 整体结构施工全过程分析；
- 2 局部结构施工过程分析；
- 3 临时支承结构分析；

4 施工过程广义荷载（温度、差异沉降、滑移、预应力张拉等）影响分析。

5.2.3 施工过程结构分析可采用有限元数值方法进行分析，宜根据施工顺序与进度建立动态分析模型，并能反映分析对象的实际几何位形及变化，其单元类型、节点刚度及连接方式、材料特性、约束条件、荷载与作用等均应与结构体系的实际状态一致。分析方法宜采用线性分析法，必要时考虑几何非线性的影响。

5.2.4 施工过程结构分析应对施工阶段的结构、构件和关键节点进行承载力和变形验算，对施工阶段的结构体系应进行整体稳定性验算。承载力及稳定性验算宜采用荷载效应的基本组合，可不考虑偶然效应组合；变形验算应采用荷载效应的标准组合。

5.2.5 用于支承临时结构的下部结构或地基基础，应验算其承载力和变形。

5.2.6 施工全过程结构分析应考虑材料、结构体系、荷载与作用的时变性影响，宜进行关键受力构件及节点的参数敏感性分析。

5.2.7 施工全过程结构分析应考虑竖向荷载、混凝土收缩徐变及地基不均匀沉降作用的时间累积效应，可不考虑风荷载、温度作用的时间累积效应。

5.3 荷载与作用

5.3.1 施工过程结构分析的荷载应包括永久荷载和可变荷载，并宜根据工程实际情况计入混凝土材料的收缩徐变及地基不均匀沉降等作用的影响。

5.3.2 永久荷载包括结构构件、维护构件、面层及装饰、固定设备等自重及预应力，自重标准值应按实际计算。

5.3.3 可变荷载包括施工活荷载（施工人员、模板及支撑、临时堆载、施工机械等）、设备荷载、风荷载、雪荷载、裹冰荷载及温度作用等。其中风荷载、雪荷载、裹冰荷载及温度作用的取值和计算按国家相应标准规范的有关规定执行；设备荷载宜参考设备产品使用说明取值；施工活荷载标准值宜按本标准第5.3.4条规定计算。

5.3.4 施工活荷载应根据现场实际情况并结合施工进度确定，当无法获得施工现场活荷载准确数据时，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5.3.4确定。

表5.3.4 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

注：表中荷载不包括恒荷载、施工恒荷载、固定材料负载。

5.3.5 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；当有特殊需要时，还宜计入日照引起的结构不均匀温度作用。

5.3.6 施工过程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，应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。

5.3.7 施工过程结构分析除应按施工方案分阶段计算外，尚应考虑可能出现的中间工况。

5.4 计算模型及参数

5.4.1 施工过程结构分析模型和基本假定应与结构施工状况相符合，并应以实际施工方案为准，施工过程中方案调整时，施工全过程结构分析模型应进行相应修正。

5.4.2 施工过程分析模型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及校正计算结果，并应在下一阶段施工期间监测中应用。

5.4.3 施工过程结构分析模型施工阶段划分段数应结合工程设计文件、施工方案、监测方案要求、分析精度需要、分析效率等综合确定。

5.4.4 材料物理力学性能及设计指标应按设计文件及国家现行有关标准的规定采用。其中混凝土的物理与力学性能应考虑龄期的影响，宜采用实时检测推定值，同时宜考虑混凝土实测强度与设计要求偏差的影响。既有建筑改造的结构材料性能设计指标应根据强度的实测值来确定。

5.4.5 施工过程分析时，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；不考虑楼板对梁刚度增大的影响。

5.4.6 对于超高层/高耸建筑混凝土结构应考虑混凝土收缩与徐变的影响。

5.4.7 施工阶段结构分析模型应与施工图设计结构模型进行校核。

5.5 分析结果及评价

5.5.1 对施工过程结构分析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，并可作为现场监测结果对比的依据。

5.5.2 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对构件进行加强。

5.5.3 当施工过程数值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、施工单位宜共同商定解决方案。当采用预变形方案时，施工过程结构验算应采用荷载效应的标准组合。

5.5.4 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、监测点位做适当调整。

6 施工监测

6.1 一般规定

6.1.1 施工监测应为保障施工过程在建结构和临时结构的安全以及为结构施工全过程分析结果比对提供依据和数据。

6.1.2 施工监测可包括结构状态监测及环境监测。结构状态监测宜包括结构应变监测、变形监测、索力监测；环境监测可包括风及风致响应监测、温度监测。

6.1.3 施工监测前应根据设计文件要求、施工全过程分析结果、工程结构特点、施工工况及周边环境条件等因素编制监测专项方案，专项方案内容宜包括工程概况、监测目的和依据、内容、方法及精度要求、测点布置、仪器设备、环境与安装条件、数据采集、分析与反馈机制等。

6.1.4 监测开始前，应进行现场踏勘、资料收集。监测应考虑现场实际作业条件影响，并应对监测设备、仪器和监测点进行防护。

6.1.5 施工监测工况应与施工工况相对应。

6.1.6 施工监测可采用如图6.1.6所示流程。

6.1.7 施工监测宜与健康监测统筹考虑。

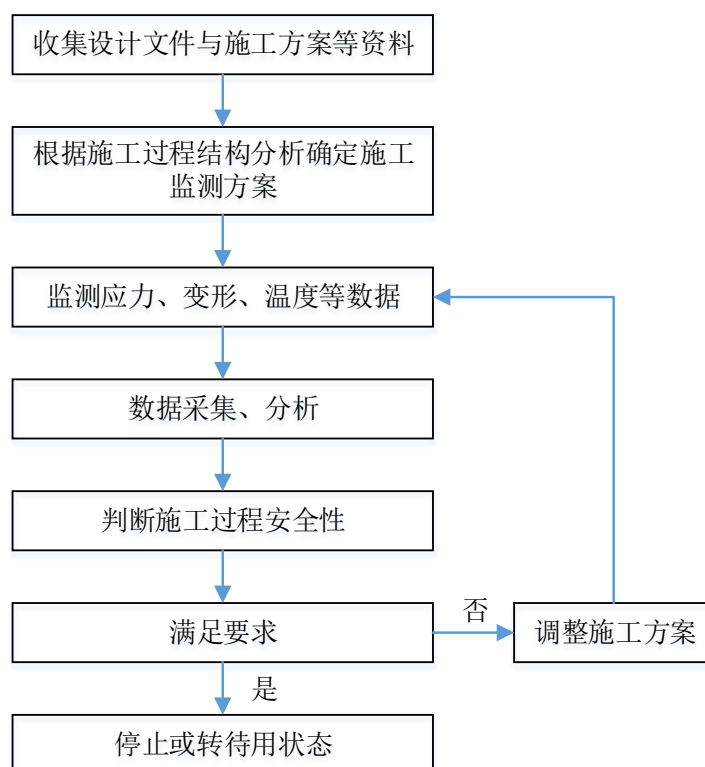


图6.1.6 施工监测流程

6.2 监测参数、测点布置及监测设备

6.2.1 施工监测参数的选择应满足可实时反映结构状态、对结构状态可进行实时评估与预警的要求。

6.2.2 测点应根据结构分析结果和设计要求确定，测点位置宜包括下列结构部位：

- 1 应力大及应力变化幅度大的构件或节点；
- 2 变形大及变形变化幅度大的构件或节点；
- 3 承受较大施工荷载或受施工影响较大的构件或节点；
- 4 控制结构几何位形的关键节点；
- 5 受混凝土收缩及徐变、温度变化、日照等因素影响大的结构构件；
- 6 能影响结构内力及变形关键特征的受力构件或节点；
- 7 受结构体系转换影响的构件或节点；
- 8 关键临时结构的主要构件和节点。

6.2.3 测点布置宜遵循下列原则：

- 1 合理利用结构对称性原则；
- 2 测点的布置便于安装和更换；
- 3 测点的数量和布置范围应有冗余度；
- 4 不应妨碍结构的施工和正常使用；
- 5 测得的参数应能够与理论分析结果建立对应关系。

6.2.4 结构内力和变形变化显著的部位，应适当加密测点布置。

6.2.5 施工周期超过一年的结构、昼夜温差较大地区的结构、对温度变化较为敏感的结构，应同时进行温度监测，并应与其它监测参数统一分析。

6.2.6 监测传感器和设备应满足监测周期的要求，并应具有稳定性、可靠性。

6.2.7 监测设备的量程、精度和频率响应特性应满足相关监测的技术要求，动态信号宜采用自动数据采集系统进行连续监测。

6.3 监测方法

6.3.1 施工监测的频次应根据工程结构形式、施工工况、施工进度、参数变化特征、监测目的要求等综合确定，并应根据监测数据进行动态调整。

6.3.2 施工监测的频次除应满足本标准第 6.3.1 条外，尚应符合下列规定：

- 1 每一个施工工况应至少进行一次施工监测；

2 根据施工过程结构应力和变形变化情况，实时调整监测频次；

3 当停工和复工时，应分别进行一次监测。

6.3.3 同一施工工况下的监测环境应一致。

I 变形监测

6.3.4 结构变形监测应设置基准点，所采用的平面坐标和高程系统宜与施工采用的系统一致，并应与国家或地方坐标高程系统联测。

6.3.5 变形监测应减少温度等环境因素的影响，监测结果应结合环境及效应监测的结果进行修正。

6.3.6 结构开工、停工、复工以及关键施工时间节点应进行监测，当监测数据达到预警值或发生异常变形时，应及时预警并增加监测频率。

6.3.7 倾斜及挠度监测应符合下列规定：

1 重要构件的倾斜监测宜采用倾斜传感器，可根据监测要求选用固定式或便携式；

2 倾斜和挠度的监测频次应根据其变化速度确定，宜与水平位移监测及垂直位移监测频次相协调；

3 当构件倾斜和挠度增大时，应及时增加监测次数或进行持续监测。

6.3.8 变形监测方法应符合国家现行标准《工程测量规范》GB 50026和《建筑变形测量规范》JGJ 8的规定。

II 应变监测

6.3.9 应变监测的监测方法和仪器设备，应根据工程结构特点、结合监测目的、监测周期、监测部位、环境条件、监测频率等因素确定。

6.3.10 应变传感器及数据采集分析系统应满足下列要求：

1 传感器的量程应与测量范围相适应，应变测量精度不应小于满量程的 0.5%，宜选用量程为设计值 1.5~3 倍的传感器；

2 应变梯度较大的区域，宜选用标距较小的应变计或增加应变计的数量；

3 应变传感器应进行温度补偿；

4 应变传感器的长期稳定性应满足监测周期的要求。

6.3.11 应变监测测点的设置宜与变形监测项目统筹考虑。对于后装延迟构件和设置临时支撑的构件，应变监测应能反映施工过程中构件受力状况的实际变化，且应与施工过程中结构分析结果相对应。

6.3.12 应变监测应与变形监测频次同步且宜采用实时监测。

6.3.13 应变监测频率宜满足下列要求:

- 1 结构施工期间每个月应至少监测 1 次, 结构停工期间每 3 个月至少监测 1 次;
- 2 结构施工过程中重要的阶段性时间节点宜进行 1 次监测;
- 3 结构上的荷载发生明显变化或进行特殊工序施工时, 宜增加监测次数。

6.3.14 出现下列情况之一时, 应及时通报监测结果:

- 1 监测数值接近或达到预警值;
- 2 结构应变测试值出现异常;
- 3 出现其他影响结构安全的异常情况。

III 索 力 监 测

6.3.15 索力监测应符合下列规定:

- 1 监测方法可包括频率法、磁通量法、三点弯曲法或锚下测力传感器法;
- 2 测力传感器精度应能达到预计索力最大值的 1%, 量程不应小于预计索力最大值的 120%;
- 3 磁通量传感器应与索体一同标定后使用, 不同材料的索、不同截面尺寸的索应分别进行标定;
- 4 采用频率法监测时, 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。

6.3.16 测量索力时, 应在相对稳定的环境条件下进行, 并应记录测试的时间、温度、天气状况、施工干扰等环境条件。

IV 温 度 监 测

6.3.17 温度监测宜包括环境温度监测和结构温度监测。

6.3.18 大体积混凝土施工过程温度监测应符合现行国家标准《大体积混凝土温度测控技术规范》GB/T 51028 的规定。

6.3.19 后浇带和结构合拢等与温度密切相关的工艺施工前, 宜每天定时进行施工作业面的温度监测并总结温度变化规律。

6.3.20 结构及环境温度监测应符合下列规定:

- 1 测点应布置在温度梯度变化较大位置, 宜对称、均匀, 应能反映结构竖向及水平向温度场变化规律;
- 2 监测频次宜与结构应力监测和变形监测保持一致;
- 3 监测结构温度的传感器可布设于构件内部或表面;

- 4 当日照引起的结构温差变化较大时,宜在结构迎光面和背光面分别设置传感器;
- 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。

6.3.21 温度监测成果应包括分时温度、阶段平均温度、阶段最高温度和阶段最低温度等信息,并应附温度-时间曲线;对结构温度分布监测时,应绘制温度分布图等。

V 风及风致响应监测

6.3.22 对风敏感的结构宜进行风及风致响应监测。

6.3.23 风及风致响应监测参数宜包括风速、风向、结构表面风压以及风致振动响应。

6.3.24 环境风监测宜采用自动数据采集系统进行连续监测。

6.3.25 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,可在结构表面设风压盒进行监测。

6.3.26 风致振动可采用位移传感器、加速度传感器、GPS 动态实时差分测量等方法监测。

6.3.27 风及风致响应监测成果宜包括风速、风向、风压、位移和振幅等数据,并宜绘制相应曲线图。

VI 其他项目监测

6.3.28 动力特性监测包括结构自振频率、振型和阻尼比等动力特性的测试以及结构受振动源激励后的位移、速度、加速度以及动应变等动力响应的测试,测试时应根据需要进行不同的测量参数。

6.3.29 当结构出现裂缝时,应先分析裂缝成因,并选择影响结构安全和耐久性的裂缝进行监测,监测内容应包括裂缝发生的位置、分布、裂缝形态、长度、宽度及其变化情况。监测裂缝时,应绘制裂缝形态图,同时应记录施工工况、环境温度等信息。

6.4 监测预警值

6.4.1 施工监测应设置监测预警值,预警值应根据结构施工模拟分析结果、安全控制和质量控制目标综合确定,并应满足现行施工质量验收标准及施工控制的要求。

6.4.2 预警值宜依据相关规范、设计要求、施工全过程结构分析结果确定,当没有预定预警值时,可按下列规定确定:

- 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的50%、70%和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%和90%；

3 预警值按施工全过程结构分析结果设定时，可取理论分析结果的130%。

6.4.3 施工过程中出现以下情况时应进行预警：

- 1 变形、应力监测值接近或达到预警值时；
- 2 当施工期间结构出现异常荷载或作用时。

6.5 监测记录与报告

6.5.1 对施工监测数据应进行即时、准确、清晰、完整地记录，同时应记录监测时的施工工况、环境作用。监测成果数据应及时整理分析，并应建立数据反馈机制及异常数据处理机制。

6.5.2 监测成果宜以实时报表、阶段报告、总报告等方式按期提交。实时报表应在监测完后及时提交；阶段报告应在监测期间定期提交，总结报告应在监测结束后提交。

6.5.3 实时报表可采用快报或速报的形式，应包括下列内容：

- 1 施工工况说明；
- 2 施工环境；
- 3 监测值；
- 4 是否超预警值。

6.5.4 阶段报告应包括下列内容：

- 1 项目及施工阶段概况；
- 2 监测所采用的方法、设备等基本信息；
- 3 基准点及监测点的布置图，可能影响监测结果的周边环境示意图；
- 4 监测时的环境、工况等信息；
- 5 反映主要测点监测结果变化过程的曲线、表格；
- 6 监测结果与施工过程结构分析结果的对比、评价；
- 7 监测参数的分析评价及对后续施工或使用的指导建议。

6.5.5 总结报告应反映整个施工监测期间的监测情况，报告内容应包括各阶段报告的主要内容。

7 数据分析与施工过程控制

7.1 一般规定

7.1.1 数据分析宜具备材料特性、荷载与作用、构件受力状态、几何特性、环境参数等数据，数据应包括下列内容：

- 1 材料特性应包括容重、弹性模量、收缩徐变系数等；
- 2 荷载与作用应包括施工荷载、结构上的其他外部荷载与作用；
- 3 构件受力状态应包括应力应变、索力、预应力等；
- 4 几何特性应包括标高、变形等；
- 5 环境参数应包括温度、湿度、风力等。

7.1.2 监测数据用于分析前应对其真伪进行分析与判别，并应保证监测数据的完整性。

7.1.3 数据分析与施工过程控制应包括下列内容：

- 1 施工阶段永久结构及临时支撑结构安全性评定；
- 2 永久结构施工质量的评定；
- 3 结构施工状态判别；
- 4 下一施工阶段结构状态预测。

7.2 监测数据分析

7.2.1 监测数据分析应计入下列因素的影响：

- 1 混凝土构件应力应计入混凝土收缩徐变、混凝土弹性模量变化、温度变化的影响；
- 2 钢构件应力应计入系统温差、局部温差的影响；
- 3 索力应计入索垂度、边界约束条件、温差等因素的影响；
- 4 预应力应计入混凝土收缩徐变的影响；
- 5 结构标高和变形应计入不均匀沉降、温度作用及风荷载等条件的影响。

7.2.2 监测数据分析前，应对监测数据进行识别与修正。

7.2.3 当无法确定监测数据的初始值时，应对监测参数相对增量值进行对比，采用理论计算方法推算出其绝对值。

7.2.4 结构对称位置在对称工况下的监测数据出现差异时，应对差值进行分析，并应说明发展趋势。

7.3 模型修正

7.3.1 施工全过程结构分析模型修正程序应符合下列规定：

1 施工控制实施过程中，应首先将施工监测结果与施工全过程结构分析确立的阶段控制目标进行比较；

2 当施工监测结果与阶段控制目标偏差较大且超过设定限值时，应查找产生偏差的原因并应及时优化施工控制措施；

3 当偏差是由于分析模型偏离现场施工情况所致时，应结合现场实际施工状态修正分析模型，并重新进行施工全过程结构分析。

7.3.2 当理论分析的参数值与实测值相差超过 10%时，应对初始有限元模型参数进行修正，并应重新进行施工全过程结构分析。

7.3.3 当结构的永久荷载（包括自重）与实测结果相差超过 5%时，应对初始有限元模型进行修正，并应重新进行施工全过程结构分析。

7.3.4 当结构的实际边界条件、体系转换等约束条件与初始模型不符时，应对初始有限元模型进行修正，并应重新进行施工全过程结构分析。

7.3.5 当施工临时荷载与设计荷载相差较大时，可不对全过程模型进行修正，但应对当前阶段结构状态进行安全验算。

7.4 施工过程控制

7.4.1 施工过程控制内容宜包括构件安装顺序与时间、构件位置、构件形状及尺寸、索力大小、施工工艺和方案、结构移动状态等的分析、调整与控制。

7.4.2 对需进行监测的构件或节点，应提供与监测周期、监测内容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。

7.4.3 当施工全过程结构分析得到的结构位形或施工过程中结构的实际位形与设计目标位形相差较大时，应采取调整控制措施，调整控制方案应由施工控制单位和设计单位、施工单位共同商议制定，方案经审批后方可实施。

7.4.4 施工过程中应及时将监测数据与施工过程结构分析理论数据进行动态比较，发现监测结果或量值与结构分析不符或偏离较大时应进行预警。

7.4.5 施工过程中，应对监测数据结果进行及时分析并反馈，且应及时更新实时分析模型的相关参数，并应调整相应的施工工艺与方法。

8 高层与高耸结构施工控制

8.1 一般规定

8.1.1 高层与高耸结构施工控制内容应包括：基础沉降、结构标高、水平变形、关键构件应力、关键施工工序和工艺。

8.1.2 结构合拢、伸臂桁架固定、施工平台支撑顶升系统等关键工艺的控制宜考虑温度效应，并宜确定合适的施工温度。

8.2 施工过程分析与监测

8.2.1 高层与高耸结构施工全过程分析内容应按本标准第5.2.1条确定，并应符合下列规定：

1 空中连体结构、悬挂结构、悬挑结构、转换结构等受力复杂的结构应进行施工过程结构分析，计算模型应与实际施工的顺序、节点和支座的连接方式相符，并应满足设计文件要求；

2 施工全过程分析时构件的刚度应按其实际刚度计算，不宜按照设计规范要求要求进行折减；

3 施工全过程分析宜考虑结构沉降变形的影响；

4 考虑混凝土收缩徐变的施工全过程分析的标高补偿周期，宜取主体结构封顶后1年。

8.2.2 高层与高耸结构施工全过程结构分析应给出变形与标高控制数值以及应力控制数值。

8.2.3 建筑高度超过300m的高层与高耸结构，施工全过程结构分析应给出楼层标高补偿方法和数值，对伸臂桁架、平台顶升系统支点等关键构件应给出应力控制数值。

8.2.4 在重力作用下水平变形超过 $H/10000$ 的高层与高耸结构，施工全过程结构分析应给出楼层空间变形预调整方法和数值以及巨型斜撑等关键构件的应力控制数值。

8.2.5 高层与高耸结构中延迟构件的安装，施工全过程结构分析应给出其施工顺序和施工过程应力控制标准。

8.2.6 需要借助临时支撑来完成结构施工的转换结构、悬挂结构、悬挑结构，应通过施工全过程结构分析给出临时支撑的设置和卸载方法、关键构件的应力、控制节点的变形。并应复核临时支撑的刚度和强度以及支承部位的安全性。

8.2.7 高层与高耸结构施工监测项目应根据工程特点按表8.2.7选择。

表 8.2.7 施工监测项目

	基础沉降 监测	结构变形 监测		结构应变 监测	环境及效应监测			
		竖向	水平		风	温度	湿度	振动
施工监测项目	★	★	★	★	▲	▲	▲	●

注： ★为应监测项， ▲为宜监测项， ●为可监测项

8.2.8 需要进行施工控制的高层和高耸结构，应按照本标准第8.2.3~8.2.6条中的规定，对变形和应力控制的构件和节点进行施工过程监测。

8.2.9 施工过程变形监测的内容宜包括：轴线监测、标高监测、建筑体型之间联系构件的相对位移监测、结构关键节点的空间位移监测，监测频次和监测方法应符合现行国家标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的规定。

8.2.10 应变监测测点应布置在特征位置构件、受力复杂构件、施工过程中内力变化较大构件、刚度分配和转换的重要构件、荷载及边界条件变化影响较大的构件，且应与施工全过程结构分析结果相对应。

8.3 施 工 控 制

8.3.1 结构施工工序和工艺应与原设定的施工全过程结构分析模型一致，当施工工况需要进行调整时，应修正结构分析模型并重新进行相应的施工全过程分析。

8.3.2 结构体系为“框架-核心筒-伸臂桁架”的高层与高耸结构，除应按照本标准第8.2.9条和8.2.10条进行变形和应力监测控制以外，尚应包括核心筒领先施工层数、伸臂桁架固结方案确定等内容的施工控制。

8.3.3 高层与高耸结构标高的施工控制，应计入地基基础差异沉降的影响。

8.3.4 高层与高耸结构的楼层标高补偿宜采用“逐段补偿”的施工控制方法。

8.3.5 设有空中连体结构的高层与高耸结构，除应对每幢塔楼进行施工控制外，尚应对空中连体结构的施工时间、施工方法、关键构件的应力和控制节点的变形进行施工控制，并应考虑塔楼之间的差异变形影响。

8.3.6 施工过程中高层与高耸结构施工全过程结构分析理论值与实测值的误差应符合表8.3.6的规定。

表 8.3.6 高层与高耸结构施工控制指标

项目				允许偏差
变形允许偏差（mm）	标高	$H\leq 300$	每层	± 10
			区高	± 20
			全高	± 30
		$300<H<500$	每层	± 10
			区高	插值
			全高	插值
		$H\geq 500$	每层	± 10
			区高	± 30
			全高	± 100
	垂直度	$H\leq 300$	每层	10
			区高	20
			全高	$H/30000+20$
		$H>300$	每层	10
			区高	20
			全高	$H/10000$ 且 ≤ 80
应力允许偏差（%）		钢结构		± 10
		混凝土		± 20

注：表中 H 表示结构的高度，单位：m。

9 大跨度及空间结构施工控制

9.1 一般规定

9.1.1 大跨度及空间结构施工前应将结构初始边界条件与设计或理论模型进行比较,当有偏差时,应修正施工计算模型并重新进行结构受力分析。

9.1.2 大跨度及空间结构施工控制对象应包括主体结构和临时支承结构。

9.1.3 大跨度及空间结构临时支承设置和卸载应考虑地基承载力和地基变形的影响。

9.1.4 大跨度及空间结构施工控制内容应包括:基础沉降、结构标高、结构变形、关键构件应力、温度及其效应。

9.2 施工过程分析和监测

9.2.1 对索膜结构、预应力结构等需要依靠张拉成型的结构以及施工过程中受力复杂的结构应进行参数敏感性分析,并应确定各主要参数对结构受力和变形的影响程度。

9.2.2 索的计算模型可根据其长度(刚度)选择两节点杆(索)单元、多节点索单元或者多段两节点杆(索)单元等。

9.2.3 对张拉成型的结构进行施工全过程结构分析时应对初始预应力状态中的预拉力进行模拟分析。

9.2.4 大跨度及空间结构施工模拟分析应考虑边界条件以及支承结构对结构体系刚度和索力的影响,同时应考虑临时支承结构变形与主体结构变形的协调。

9.2.5 大跨度及空间结构采用滑移、顶升、提升方法施工时,施工前应验算提升、顶进或牵引不同步对结构内力和变形的影响。

9.2.6 大跨度及空间结构施工阶段结构监测内容应按表 9.2.6 确定。

表 9.2.6 施工阶段结构监测内容

	基础沉降	变形监测		应力应变监测	环境及效应监测			支座位移
		竖向	水平		风	温度	振动	
网架结构	▲	▲	●	▲	●	▲	●	●
网壳结构	▲	▲	●	▲	●	▲	●	★
桁架及其他刚性空间结构	▲	▲	●	▲	●	▲	●	▲
弦支及预应力结构	▲	▲	▲	★	●	▲	●	★
索结构	▲	▲	●	★	●	▲	●	▲
膜结构	▲	▲	●	★	●	▲	●	-
悬挑结构	▲	★	●	▲	●	▲	●	-

临时支撑	▲	★	●	★	●	●	●	-
------	---	---	---	---	---	---	---	---

注：1 ★应监测项 ▲宜监测项 ●可监测项 - 不涉及该监测项

9.2.7 变形监测应符合下列规定：

- 1 大跨度及空间结构变形测点宜选取在结构节点和支座位置，索膜结构宜选取在节点、索夹等位置，必要时，也可增加膜面监测控制点；
- 2 变形监测应包括构件变形、结构挠度、支座竖向和水平向位移、结构节点位移；
- 3 在吊装及卸载过程中宜对每个工况进行监测；
- 4 竖向位移监测时，大跨度及空间结构的支座、跨中、跨间测点间距不宜大于30m，且不宜少于5个点；
- 5 长悬臂结构的支座及悬挑端点应布置测点，监测点间距不宜大于10m；
- 6 悬挂结构每层悬挂点及悬挂结构边缘应布置位移测点，其中悬挂结构边缘每边至少应布置一个测点；
- 7 采用悬臂外延拼装施工的大跨度悬挑结构应对主梁的竖向和水平向变形进行监测。

9.2.8 应力及张力监测应符合下列规定：

- 1 卸载施工过程应对构件应力设定预警值，当监测值超出预警值时应及时预警；
- 2 卸载施工过程中，每步卸载到位后应静止 5min~10min 后采集数据；
- 3 应变监测频率除应符合本标准第 6.3 节的规定外，在吊装及卸载过程中尚应加强监测频次；
- 4 监测膜结构膜面预张力时，应根据施工工序确定监测阶段，膜单元均应有代表性测点，且测点应均匀分布；
- 5 索力监测时，测点应具有代表性，且应均匀分布；单根钢索和钢拉杆的不同位置宜有对比性测点；主动索与被动索均应布设测点；
- 6 索力测量可采用振动频率法、三点弯曲法、磁通量法或压力传感器法等。

9.2.9 结构滑移、顶升、提升施工过程中，应对位移同步性、反力均匀性进行监测。

9.3 施 工 控 制

9.3.1 安装过程中设置临时支撑体系的大跨度及空间结构，应通过计算确定拆除临时支撑的顺序和步骤。

9.3.2 当临时支承基础承载力受限时，临时支承结构与主结构连接处可设置恒力支托。

9.3.3 大跨度及空间结构施工控制内容应包括：

- 1 索缆体系初始索长、索长变化、索力变化分析评定；
- 2 当前及预期主体结构受力、变形分析评定；
- 3 当前及预期临时结构受力、变形分析评定；
- 4 结构施工状态判别；
- 5 超出预控状态的误差后，对后续施工过程中主体结构、临时支承受力安全与几何状态的影响分析评定；
- 6 施工控制措施实施对主体结构、临时支承结构受力安全与几何状态的影响分析评定；
- 7 对网架、网壳和张弦结构，合拢温度应在设计规定范围内，不能在规定温度合拢的应进行计算复核；
- 8 张弦结构和索结构的张拉控制力应根据现场温度进行调节；
- 9 张拉控制力宜根据拉索长度误差进行调整。

9.3.4 单向柔性大跨度空间结构施工控制可采用索力控制，也可采用无应力索长控制。拉索的初张拉应采用索力控制，拉索的调整宜采用无应力索长控制。

9.3.5 大跨度及空间结构施工过程中计算理论值与实测值的误差应符合表 9.3.5 的规定。

表 9.3.5 大跨度及空间结构控制指标

控制项目	控制内容	控制标准	备注
应力	混凝土结构实测应力与理论应力偏差	$\pm 20\%$	无设计值时由施工控制单位提供理论计算值
	钢结构实测应力与理论应力偏差	$\pm 10\%$	无设计值时由施工控制单位提供理论计算值
	钢绞线实测拉力、伸长量与理论值偏差	$\pm 6\%$	应力与伸长量双控
索力	拉索、吊杆等索力实测值与理论值	$\pm 10\%$	
几何参数	主索线形与理论值偏差	-5mm~+10mm	
	索夹空间相对位置与设计值偏差	$\pm 10\text{mm}$	
标高	悬挂、悬臂结构标高与设计值偏差	$\pm 5\text{mm}$	
	钢结构实测标高与理论标高偏差	1/5000 且不	分阶段成型方案时理论值

		大于 10mm	由施工控制单位提供；一次成型方案时理论值为设计值
	混凝土结构实测标高与理论标高偏差	1/5000 且不大于 10mm	分阶段成型方案时理论值由施工控制单位提供；一次成型方案时理论值为设计值

9.3.6 大跨度及空间结构施工模拟计算误差超过本标准第 9.3.5 条规定的限值时，可采取下列控制措施：

1 对于张拉施工成形的索膜结构的几何形态，可根据参数敏感性分析结果以及施工模拟计算结果确定现阶段误差对最终成型状态的影响。误差在本标准限值范围内，可继续下阶段施工；对于超过本标准限值的，应重新计算张拉力和几何形态控制值。

2 对于非一次成型的混凝土结构和大跨度及空间钢结构，可通过采用调整预拱度、施加外荷载、优化临时支承、优化施工工艺、调整施工顺序等方法调整结构变形。

9.3.7 当大跨度及空间结构应力或索力理论计算值与实测值误差超过本标准限值时，可采取下列控制措施：

- 1 调整临时辅助设施数量和位置；
- 2 改变施工工艺、调整施工顺序；
- 3 对索膜结构，设置索长调节装置；
- 4 临时加固局部构件；
- 5 设置预拱度、施加外部荷载。

10 既有建筑改造施工控制

10.1 一般规定

10.1.1 当既有建筑改造改变主体结构时，应进行施工控制。

10.1.2 既有建筑改造前，应对建筑结构进行检测鉴定，检测及工作内容宜包括：

- 1** 了解建筑结构改动历史、建筑使用现状、损伤状况、沉降变形；
- 2** 确定主要结构材料力学性能；
- 3** 查看抗震验算、结构安全性评定报告；
- 4** 了解周边可能带来结构安全相互影响的环境因素（如临近建筑、地下管线、地下空间、轨道交通等）；
- 5** 特殊结构应进行专项试验。

10.1.3 既有建筑改造前应预先进行施工过程模拟分析，并应评判、优化施工方案和确定结构监测、控制的对象。

10.1.4 既有建筑改造施工控制方案，应根据建筑结构检测鉴定报告、原结构设计图纸和改扩建图纸、设计工况、施工组织设计、试验测试结果等并结合施工过程模拟分析结果编制，其中对关键的施工工况应有针对性的施工控制措施。

10.2 施工过程分析和监测

10.2.1 施工过程结构分析应根据既有建筑原结构图纸和改建图纸建立分析模型。

10.2.2 施工过程结构分析的材料性能参数、边界条件和构件连接方式应根据建筑结构检测鉴定报告、相关试验和现场实际情况确定。

10.2.3 施工过程结构分析的荷载大小和分布情况应根据实际情况确定，恒载应包括主体结构、围护结构、装饰面层等的自重，活荷载应包括施工荷载、风荷载、常规使用荷载。

10.2.4 施工过程分析应根据施工过程监测结果修正施工过程分析模型、计算参数和边界条件。

10.2.5 建筑改造施工监测除常规监测项目外，宜增加结构损伤变化监测、重要临时支承结构受力状态监测。对于重要测点，可增设校核测点。

10.3 施 工 控 制

10.3.1 既有建筑改造施工控制的内容应包括内力控制和变形控制。

10.3.2 主体结构拆除或扩建改造工程的施工控制，应符合下列规定：

- 1 施工前应通过施工过程分析评估拆除工艺、拆除流程的合理性和安全性；
- 2 拆除过程中，应重点监测相邻、相关结构的稳定性和已有损伤的重要构件的安全性；
- 3 在拆建或与增层交替施工的过程中，应对拆建前、拆建中、拆建后、增层施工中等关键工况进行整体和局部的应力、变形预分析、监测和控制；
- 4 应监测基础沉降及围护结构的裂缝及其变化。

10.3.3 主体结构改造且保留外围护结构的工程，应重点监测外围护结构的侧向变形和裂缝，同时尚应监测侧向支撑结构的稳定性。

10.3.4 既有建筑改造在拆除或扩建过程中应监测、控制基础的整体隆起或沉降。

10.3.5 改变结构传力途径的既有建筑改造施工，应监测和控制下列内容：

- 1 改造部位主要构件的变形；
- 2 临时支承结构的变形和内力；
- 3 整个卸载过程结构的变形和应力。

10.3.6 增加地下空间的既有建筑改造施工，应监测和控制建筑的整体沉降或隆起、侧向变形和裂缝变化。

10.3.7 既有建筑改造施工出现下列状况时，应立即停止施工，并应在查清原因且明确下一步方案后方可重新开始施工：

- 1 现场出现原建筑结构检测鉴定报告中未涉及的影响结构安全的情况；
- 2 现场条件与设计假设工况不符；
- 3 现场条件与施工过程分析假设工况不符；
- 4 在无重大施工状态和荷载变化情况下，监测结果突变；
- 5 主要项目的监测数据超过预警值。

11 专项施工控制

11.1 一般规定

11.1.1 专项施工工艺技术可分为转换层结构施工工艺、悬挂结构施工工艺、连体结构施工工艺以及其他特殊施工工艺技术。当施工过程中采用新型施工工艺技术时，也可归类为专项施工工艺技术。

11.1.2 专项施工应编制专门的、具有针对性的专项施工方案，且应符合下列规定：

- 1 专项施工方案应详细说明该施工对应的结构概况、施工工艺特点及所采用的施工措施；
- 2 专项施工方案应包含针对相应专项施工工艺的临时措施设计、施工过程模拟计算及施工监测方案；
- 3 专项施工方案的内容、要求和程序应符合国家和地方相关结构施工规范的规定；
- 4 专项施工方案应经专家评审且相关单位审批后方可实施。

11.1.3 专项施工控制的内容应根据整体建筑结构类型的施工控制要求确定，尚应符合下列规定：

- 1 专项施工部位主体结构的变形应满足结构整体变形和构件变形的要求；
- 2 专项施工部位主体结构构件和节点的应力应符合总体施工控制的要求；
- 3 专项施工部位临时支承的变形应符合总体施工控制的要求；
- 4 专项施工部位临时支承的拆除应根据总体施工控制确定。

11.1.4 专项施工控制的成果宜单独成章撰写。

11.2 转换层结构

11.2.1 转换层结构施工工艺根据空间结构形式分为框支转换和托柱转换两种类型，应分别采用不同的结构施工全过程分析模型。

11.2.2 转换部位结构构件采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱型结构、斜撑、厚板等不同类型构件的，应根据其受力特点编制临时支承变形专项控制方案。

11.2.3 转换结构应对称、同标高同步施工，转换层平面内的结构整体变形在可控范围内。

11.2.4 当转换层的位置设置在五层及五层以上时，应对施工控制方案进行专项研究和专家评审。

11.3 悬挂结构

11.3.1 悬挂结构施工可采用顺向施工或逆向施工方法，应进行全过程施工阶段结构模拟分析。

11.3.2 悬挂结构施工过程应考虑吊柱受力变化对结构的影响，并应进行卸载敏感性分析。

11.3.3 顺向施工应主动控制结构变形，应保证施工过程中结构按设计的要求实现竖向荷载向上的分配与传递。

11.3.4 逆向施工应保证各悬挂楼层的垂直运输，并应做好施工安全防护。

11.3.5 采用预应力索作为临时吊挂时，应随着悬挂楼层的施工及时调整索预拉力调节结构的竖向变形。

11.3.6 施工过程中非悬挂结构存在较大偏心时，应进行预变形控制。

11.3.7 悬挂结构悬挑部分安装应进行预变形控制。

11.3.8 悬挂结构施工应力监测点选取应符合下列规定：

- 1 主要传力构件；
- 2 便于传感器安装；
- 3 便于数据传输和采集。

11.3.9 悬挂结构施工应变监测点选取应符合下列规定：

- 1 控制施工过程中结构的整体变形；
- 2 反映施工全过程中结构变形的响应规律；
- 3 位移变化敏感区域；
- 4 便于安装和观测。

11.3.10 悬挂结构应在形成整体空间结构体系后方能拆除临时支承或吊挂索，应逐步完成结构受力转换。

11.3.11 悬挂结构卸载过程应进行实时监测，并应及时与分析数据进行对比和调整。

11.4 连体结构

11.4.1 连体结构根据与主体结构的连接方式可分为三种：两端刚接、两端固定铰、一端固定铰和一端滑动铰，施工过程分析可采用不同的结构施工全过程分析模型。

11.4.2 当连接体包含多个楼层时，应将连接体最下面的楼层和顶层均纳入结构应力和变形的监测范围。

11.4.3 连体结构应对称、同标高同步施工。当采用后期整体顶升式安装时，应做好场地平整和顶升系统的竖向标高分级分时控制；当采用其他超大型液压系统吊装、分段吊装、吊车吊装等方式时均应进行施工模拟分析。

11.4.4 连体结构施工过程中所有连接件、支座预埋件等约束构件部位均应进行实时应力监测和变形控制。

12 控制成果报告

12.0.1 施工控制资料宜包括施工控制方案、施工过程结构分析报告、监测方案、监测数据与影像资料、施工控制指令、计算与监测数据对比分析结果、监测与控制结论等。施工控制报告应包括分阶段报告与总体报告。

12.0.2 施工控制指令应符合下列规定：

- 1 施工控制指令应包含施工过程的相关信息、当前结构状态以及下一阶段工作指令；
- 2 施工控制指令应明确下一阶段实施的外部环境和约束条件；
- 3 施工控制指令应根据施工方案与工艺的变化进行实时调整，并按相关流程审批后方能实施。

12.0.3 监测成果报告，应符合下列规定：

- 1 应记录天气、施工环境等外界条件，并宜辅以照片或影像资料；
- 2 原始监测数据应以双划线修改，并应由施工控制技术人员与负责人签字确认。

12.0.4 施工控制成果报告宜同时提交给建设单位、施工单位、设计单位、监理单位，应经相关技术负责人审查通过且签字盖章确认。

12.0.5 施工完成后，应在正常使用状态下进行施工控制项目的终值测量，宜提交甲方作为健康监测、后期结构维护的数据资料。

12.0.6 施工控制成果资料应由建设单位、施工单位、设计单位、监理单位及监测与监控单位分别归档。

附录 A 施工控制指令文件

表 A.0.1 施工控制指令表

工程名称:

时间：年月日编号

前一阶段施工控制实施信息反馈		
施工控制指令内容		
施工控制指令实施说明		
施工控制单位	施工单位	监理单位
项目负责人：	项目工程师：	监理工程师：

附录 B 监测记录文件

表 B.0.1 变形测量记录表

工程名称：						记录编号：	
施工工况：				测量时间：		天气状况：	
全站仪坐标控制点：							
测点 编号	实测坐 标 X	实测坐 标 Y	实测坐 标 Z	本次变化值 $\Delta X(\text{mm})$	本次变化值 $\Delta Y(\text{mm})$	本次变化值 $\Delta Z(\text{mm})$	备注
测点布置示意图：							
结论：							
测量单位：							
测量人员：			记录人员：			复核人员：	

表 B.0.2 沉降变形测量记录表

工程名称：			记录编号：		
施工工况：		测量时间：		天气状况：	
水准仪基准点：					
测点 编号	观测点部位	前次测量值 (m)	本次测量值 (m)	本次变化值 (mm)	备注
测点布置示意图：					
结论：					
测量单位：					
测量人员：		记录人员：		复核人员：	

表 B.0.3 应变测试记录表

工程名称：			记录编号：	
施工工况：		测试时间：		天气状况：
测试部位	测点编号	传感器编号	测试应变 ($\mu\varepsilon$)	备注
测点布置示意图：				
结论：				
测试单位：				
测试人员：		记录人员：		复核人员：

表 B.0.4 索力测试记录表

工程名称:				记录编号:	
施工工况:			测试时间:		天气状况:
索编号	索长 (m)	拉索规格 (截面积 mm ²)	线质量 (kg/m)	测试基频 (Hz)	索力
测点布置示意图:					
结论:					
测试单位:					
测试人员:		记录人员:		复核人员:	

表 B.0.5 温度测试记录表

工程名称：		记录编号：	
施工工况：		测量时间：	天气状况：
序号	位置	环境温度：℃	备注
		温度	
测点布置示意图：			
结论：			
测试单位：			
测试人员：	记录人员：	复核人员：	

表 B.0.6 环境风监测记录表

工程名称：								记录编号：			
施工工况：					测试时间：			天气状况：			
测点 编号	高 度	风压 值	风 速	风攻 角	风作用下几何位置			无风作用下几何位置			备注
					Xw	Yw	Zw	X	Y	Z	
测点布置示意图：											
结论：											
监测单位：											
监测人员：					记录人员：				复核人员：		

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,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:

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:

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,在条件允许时首先应这样做的:

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 《建筑与桥梁结构监测技术规范》 GB 50982
- 3 《大体积混凝土温度测控技术规范》 GB/T 51028
- 4 《建筑变形测量规范》 JGJ 8

中国工程建设标准化协会标准

建筑工程施工控制技术标准

T/CECS ***:20**

条文说明

目 次

1 总 则	44
3 基本规定	45
4 施工控制目标与实施	47
5 施工过程结构分析	48
5.1 一般规定	48
5.2 分析内容和方法	49
5.3 荷载与作用	52
5.4 计算模型及参数	53
5.5 分析结果及评价	54
6 施工监测	56
6.1 一般规定	56
6.2 监测参数、布置及设备	56
6.3 监测方法	56
6.4 监测预警值	57
6.5 监测记录与报告	58
7 数据分析与施工过程控制	59
7.1 一般规定	59
7.2 监测数据分析	59
7.3 模 型 修 正	59
7.4 施工过程控制	60
8 高层与高耸结构施工控制	61
8.1 一般规定	61
8.2 施工过程分析与监测	61
8.3 施 工 控 制	63
9 大跨度及空间结构施工控制	68
9.1 一般规定	68
9.2 施工过程分析和监测	68
9.3 施 工 控 制	69
10 既有建筑改造施工控制	70
10.1 一般规定	70

10.2	施工过程分析和监测	70
10.3	施 工 控 制	71
11	专项施工控制	72
11.2	转换层结构	72
11.4	连体结构	72
12	控制成果报告	74

1 总 则

1.0.1 施工控制技术国内最早出现于 20 世纪 80 年代的大跨度桥梁施工。21 世纪以来，由于现代建筑工程结构体系日趋复杂，为确保建筑工程在施工过程中结构的内力和变形始终处于结构容许的安全范围内，需要通过采用施工控制技术，对施工过程中结构的受力、变形及稳定状态进行分析和监测，以保证施工过程结构的安全和施工完成后的形体及结构内力状态符合设计要求。然而，目前工程实践中缺乏关于建筑工程施工控制的技术标准，相关工程实施只能参考桥梁等其他领域的技术标准，但建筑工程结构体系与桥梁结构不同，其施工控制技术有其自身特点，因而不能照搬桥梁施工控制技术标准。为规范建筑工程施工控制的实施，特制定本标准。

1.0.2 本标准的适用范围包括：新建的高层与高耸结构、大跨度及空间结构，改扩建的既有建筑改造的主体结构等。异形结构、悬挂结构等，列在本标准第 11 章，作为专项施工控制。地下结构的控制标准可参考地下工程相关规范要求。

1.0.3 在采用本标准进行施工控制时，还应符合国家现行有关标准的规定，包括：设计标准、施工标准、监测标准、验收标准等。

3 基本规定

3.0.1 本条参照现行国家标准《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982 和现行行业标准《建筑工程施工过程结构分析与监测技术规范》JGJ/T 302 有关规定，具体规定了需要进行施工控制的建筑工程。本条 1~5 款所列的工程都必须进行施工过程结构分析和施工监测，施工控制的两个支撑内容就是施工过程结构分析和施工监测，为提高重大工程的安全和质量，从严上升到必须进行施工控制。

对于本条第 6 款，由于改扩建工程的施工比新建工程更复杂、风险更大，因此进行施工控制能保证施工安全 and 质量。

对于本条第 7~9 款，宜由设计人员和施工技术人员根据建筑工程的结构复杂性和施工复杂性来确定是否需要施工控制。

近年来，高度 300m 及以上的高层与高耸结构拔地而起，经调查天津津塔（336m）、上海金茂大厦（420.5m）、广州西塔（432m）、深圳金基 100 大厦（441.8m）、上海环球国际金融中心（492m）、广州东塔（530m）、广州新电视塔（597m）、上海中心大厦（632m）等均进行了施工监测，所以从结构施工控制的必要性和经验出发，将施工控制的高度限值定为 300m 较为合适。

也有一些高层与高耸结构尽管不超过 300m，但结构偏心、或者造型奇特，例如倾斜结构、扭转结构、竖向布置不规则结构等，在自重作用下水平变形显著。根据大量工程经验，当在自重作用下建筑倾斜度超过 $H/10000$ 时，在施工过程中必须考虑预变形控制，因此，也应纳入施工控制的范围。等，例如：中央电视台新台址（234m）、广州新电视塔（597m）等均在施工过程进行了空间预变形控制。

3.0.2 本条文为施工控制的目的，施工控制的首要目的是保证工程结构的安全，包括永久结构和临时结构；其次，是保证工程结构的质量，使得施工竣工状态最大限度地达到设计理想的内力和位形；其三，通过施工过程结构分析，最优化施工方案，兼顾经济性。

3.0.3 本条文为施工控制的主要内容，包括四部分：施工过程结构分析、施工监测、数据分析与施工过程控制。施工过程结构分析包括施工全过程结构分析、临时支撑安全技术、参数敏感性分析计算等；施工监测包括施工阶段永久结构和临时结构的应力、温度、变形等监测，滑移或提升时结构移动速度、位移及同步状态监测，环境温度、湿度、风压（风速）监测；数据分析包括监测数据处理、根据监测结果进行分析，并与理论分析结果进行比较；施工过程控制指通过施工过程中的一些调整方法和手段，以达到结构的

安全控制和质量控制。

4 施工控制目标与实施

4.0.1 一般而言，设计要求的竣工状态是施工追求的最终状态，施工控制的总体目标就是要求最终状态与竣工状态尽可能一致，但完全一致是无法达到。因此，首先根据设计要求的标准及相关规范的要求，确定施工最终状态与设计竣工状态的可接受的偏差值作为施工控制的总体目标。然后根据结构特征、施工工艺，通过施工全过程结构仿真分析，确定各施工阶段的理想状态，作为施工控制的分阶段目标。

4.0.2 施工控制专项方案应是相对独立的方案，因此一般包括工程概况、施工方案概述、施工控制目标、施工控制要点及措施，施工全过程结构仿真分析报告、施工监测方案可作为附件。

4.0.4 施工控制工作应有必要保障体系，必须有专人负责。由于施工控制涉及到施工、设计、业主、监理，因此，宜成立领导小组和工作小组，包括施工控制单位、设计单位、施工单位、监理单位 and 建设单位，领导小组对重大问题进行决策，现场工作小组由施工控制单位负责。

4.0.5 施工过程中，由施工控制单位发出指令，当委托单位为业主单位时，施工控制指令由监理单位确认后交施工单位实施；当委托单位为施工单位时，施工控制指令由监理单位确认后并报业主单位备案。

4.0.6 根据造成后果的程度不同确定临界值、预警值，数值大小由施工控制单位与设计单位共同确定，或由施工控制单位提出经设计单位确认。

4.0.7 施工控制一般流程为：首先收集工程设计文件和施工方案等相关资料，根据设计要求的标准和有关规范要求，确定施工控制的总目标；其次，将整个施工过程根据工艺特点划分若干个施工阶段（即施工工况），根据有关规范参数或实测参数，建立有限元分析模型，进行施工全过程结构仿真分析以确定各阶段目标；然后在施工过程中，比较每个阶段计算结果与监测结果，如果满足阶段目标，则进行下一阶段施工，如果不满足，则分析原因，采取控制措施进行调整，调整后进入下一阶段施工，直至施工结束。值得注意的是：如果一个阶段完成后，发现分析模型的参数与实际参数误差较大、永久荷载差别较大、边界条件不符等情况时（具体情况参照本规程 7.4 相关条文），需要按照实际情况修正模型，重新进行施工全过程结构仿真分析以确定后续阶段目标。

5 施工过程结构分析

5.1 一般规定

5.1.1 施工过程中结构体系、边界条件、荷载与作用、结构材料等随着施工进度不断变化，与设计阶段分析不同，施工过程结构分析具有特殊性；因此，在建模及分析时要考虑其特殊性，反映施工过程中结构体系、边界条件、荷载作用及结构材料等条件的变化。

5.1.2 施工过程与整个结构服役期相比相对较短，且使用人群数量相对较少，施工状态为临时状态，结构构件的安全等级比正常使用阶段低，故结构在施工期的安全等级可以按二级来考虑，根据《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068-2018第8.2.8条安全等级为二级的结构重要性系数 γ_0 不应小于1.0。

5.1.3 施工监控结果都是现场实际荷载作用下的效应，所以应与分析模型的荷载标准组合结果进行对比；施工状态结构安全性验算要赋予结构一定的安全储备，所以需要分析模型的荷载基本组合结果。

5.1.4 现场施工记录宜包括施工进度、荷载作用、临时支撑体系及其状态变化、结构构件及节点及其状态变化、建筑物所处环境的记录等内容，具体如下：

- 1 施工工况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、安装和拆除时间；
- 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，例如温度、湿度和环境风速等；
- 6 混凝土同条件养护试件的强度试验记录；
- 7 地基与基础的沉降与变形
- 8 室内装修与围护结构施工、设备安装记录；
- 9 其它施工过程结构分析需要的相关记录。

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安装、后浇带封闭、构件铰接与刚接之间的转换、支座的临时锁定和释放等特殊做法。

5.1.5 预测施工过程中整个建筑物的沉降变形、楼层的累积变形及关键部位的变形和内力的主要目的是为施工和监测方案的调整提供指导，保证完工后的结构水平度和标高满

足设计要求。

5.1.6 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。

分析模型修正应符合下列规定：

1 施工控制实施过程中，施工过程结构分析应首先将施工监测结果与施工过程结构分析确立的阶段控制目标进行比较；

2 当施工监测结果与阶段控制目标偏差较大且超过设定限值时，应查找产生偏差的原因并应及时优化施工控制措施；

3 查明出现较大偏差的原因后，应结合现场实际施工状态修正分析模型，并应重新进行施工模拟分析。

5.1.7 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。考虑到这种差异，在结构设计时，往往需要设计补充施工过程分析。但这个阶段施工单位尚未确定，设计单位假定的施工方法以及基于该假定的施工过程分析可能与后期实施的方法有差异。因此，施工单位进场后，宜尽早进行施工过程结构分析并与设计结果进行比对。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。结构或构件安全性不足时，应分析原因，宜进行补强处理，并根据建筑设计要求对后续工作进行整体考虑后再采取相应施工措施。

5.2 分析内容和方法

5.2.1 近年来发生在施工过程中的节点失效事故非常常见，有必要对建造中的受力关键

节点建立精细化有限元模型进行分析，并与现场监测结果进行时时对比，以保证节点安全可靠。

5.2.2 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。

5.2.3 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。

5.2.4 除了施工阶段结构、构件及关键节点的承载力验算外，还需强调结构整体稳定、构件局部稳定性、抗倾覆及抗滑移验算的重要性；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。

其次，受力性能的验算应包含动力荷载对结构的影响计算。

另外，施工阶段承载力验算时，宜明确结构构件安全等级（如比使用阶段降低一级考虑）。由于施工阶段为临时状态，结构构件安全等级可比正常使用阶段低。

5.2.5 结构施工过程分析应考虑临时支撑对下部主体结构受力影响，临时支撑需要合理转换，将荷载有效传递到下部结构上，计算时宜将与下部结构整体建模分析，如整体建模有困难时，可计算支撑反力，然后将反力施加于主体结构进行受力影响分析；对于临时支撑的基础，应验算地基土及基础的承载力和变形。

5.2.6 建筑物从开始施工到最后完成并且投入使用需要经历一段较长的时间，其间结构的几何形态、材料强度、结构刚度、荷载水平都是随时间不断变化的（称为时变结构），不同的施工工艺、工序都会对结构的内力及变形产生不同的影响，因此有必要跟踪、模拟施工过程来分析结构的真实的受力、变形，并对施工过程中的相关环节进行反馈控制。

施工过程结构分析时，参数敏感性分析主要包括材料特性、荷载作用等的时变性对结构分析结果的影响大小，通过参数敏感性分析，确定施工监测测点布置。

首先，材料时变性体现在材料强度、弹性模量、本构关系等均随时间不断变化，其中混凝土材料的时变性最为明显。同时，混凝土材料的抗压强度和弹性模量与环境条件、养护条件及施工条件等因素有关。实际工程中的材料强度、弹性模量等与设计值肯定存在差异，但这种差异对实际结构的影响到底如何，则需通过参数敏感性分析结果判断。如果影响超过一定限值时，则在实际施工过程结构分析时，该材料参数值须通过现场试验或监测数据计算得到，反之，则可以不考虑该材料参数的时变性。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。

其次，施工过程结构分析中，风荷载、温度作用等均不考虑时间累计效应，且实际的风荷载和温度作用随时间不断变化，荷载大小与设计值肯定存在差异，但这种差异对实际结构的影响到底如何，则需通过参数敏感性分析结果判断。如果影响超过一定限值时，则在实际施工过程结构分析时，该荷载参数值须通过现场试验或监测数据计算得到，反之，则可以不考虑该荷载参数的时变性。

大量工程事故发生于施工期间证明了施工模拟、跟踪的重要性。近十几年来，随着一些超高层建筑结构型式的复杂化，其成形前后的状态迥然不同，两者的内力及变形存

在很大的差异，甚至施工过程的某些状态成为了内力的控制点，它们不但决定了构件内力、截面的大小，甚至影响了结构物完成后的位形，相应的带来了施工的精度控制问题。

5.2.7 施工全过程结构分析中，竖向荷载、混凝土的收缩徐变以及地基差异沉降所产生的应力和变形在整个施工过程中不断叠加，因此，必须考虑时间累积效应。而施工某阶段的风荷载，在风荷载结束之后，其产生的应力和变形会消散，因此不能叠加。只是在需要验算某个施工阶段的安全性时，根据该阶段风荷载情况，施加荷载。温度作用比较复杂，日照温差、系统温差目前还没有比较完善的研究成果，且随着温度的变化，其产生的应力和变形会在一定程度恢复到基准温度下的状态，因此不考虑温度作用的时间累积效应。

5.3 荷载与作用

5.3.1 混凝土收缩与徐变是一个长期的过程，收缩和徐变引起结构变形和内力的变化。可变荷载中的温度作用对超高层建筑和大跨空间结构具有较大的影响，在日照温差与季节温差作用下，构件间会发生不均匀的变形，从而引起内力重分布。对于超高层建筑结构，外框架与核心筒的地基基础差异沉降需要予以考虑，其与收缩和徐变一起，对结构产生影响。

5.3.2 室内装修荷载主要指找平层、建筑面层、粉刷层、轻质隔墙等。

5.3.3 风荷载计算应按《建筑结构荷载规范》GB50009 的有关规定执行，基本风压按不小于 10 年一遇风压取值，或根据当地气象资料确定，当风压可能超过 10 年一遇风压时，应采取安全防护措施；雪荷载的取值和计算应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定执行；覆冰荷载的取值和计算应按现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 的有关规定执行；温度作用宜按当地气象资料所提供的温差变化计算，结构由日照引起向阳面和背阳面的温差，宜按现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 的有关规定确定；起重设备和其他设备荷载标准值，宜按设备产品说明书取值；本条未规定的荷载和作用，可根据工程具体情况确定。

5.3.4 工作面上施工活荷载标准值参考美国 ASCE 37-02 标准，可按表 5.3.4 执行。

5.3.5 结构温度均匀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。

根据现行国家标准《高耸结构设计规范》GB50135-2006的4.5.2条，高耸结构由日照引起向阳面和背阳面的温差，应按实测数据采用，当无实测数据时可取20℃。

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，宜计入结构均匀升温或降温作用影响的要求。对塔楼合拢阶段的温度影响分析，需要考虑合拢期间的均匀温差以及每日气温变化和日照不均匀产生的局部温差。不均匀温差应按施工现场实测数据确定，当无实测数据时，对高层结构可取20℃。

5.3.6 作用在施工过程中结构上的风荷载应考虑幕墙尚未安装，透风面积与建成后不同，风荷载体形系数宜进行调整；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进行调整。另外，正常施工的最大风通常为8级，当环境风超过8级时，施工作业就应该停止，此时，尚处于施工状态的结构就需要加固以抵抗大风作用，加固后的结构体系就不同于未加固的结构，此时的风振系数、体型系数也就不同，需要另行计算确定。

5.3.7 施工过程亦有可能出现突发工况，比如结构可能突遇火灾、台风、爆炸、撞击等特殊情况，应按国家现行有关标准的要求进行相应的补充结构分析。

5.4 计算模型及参数

5.4.1 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。

5.4.3 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。

5.4.4 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，宜采用实际的混凝土弹性模量作为输入参数。既有建筑改造的结构材料性能设计指标必须根据强度的实测值来确定。

5.4.5 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 3-2010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。不考虑现浇楼盖和装配整体式楼盖在施工过程中对梁刚度增大的影响。

5.4.6 超高层建筑重力荷载随施工逐层增加，大部分竖向构件承受的相当一部分压应力来到时，竖向构件混凝土的龄期还不到28天养护期，此时徐变变形大，而同时混凝土的收缩变形同时发生，从而加大了竖向构件后期变形。收缩徐变对于构件内力和节点变形都具影响，混合结构中的钢框架不存在收缩徐变，这样会导致混凝土筒体“卸荷”转移到钢框架“增荷”效应增大；收缩徐变对于非结构构件如填充墙、幕墙等要注意避免采用脆性材料硬性联结，尽量使用弹性韧性好的材料柔性联结；对于下部楼层层高有一定数量的减少，会影响需要严格控制层高的高标准建筑采用一井道双轿厢电梯的使用。目前精确计算混凝土的收缩徐变还存在一定困难，主要基于：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 混凝土的收缩和徐变的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。目前已有国内外分析软件支持混凝土结构收缩徐变的非线性计算，但计算结果还需要与实际监测结果相比较来使用，也可以将混凝土收缩换算为当量的降温荷载进行考虑。

5.4.7 施工过程分析模型应保证与施工图设计结构模型在几何尺度、荷载大小及材料参数等方面具备一定的关联性，这样的分析结果才具有对比和参考性。

5.5 分析结果及评价

5.5.2 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。施工过程中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。鉴于施工过程中结构分析的操作单位与设计单位经常不是同一主体，因此，要求将施工过程中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。

5.5.3 当施工过程中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。由于施工过程中预变形技术难度大，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，方可实施施工过程中预变形技术。

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。

6 施工监测

6.1 一般规定

6.1.1 施工监测的目的首先是保证施工过程中结构的安全，包括永久结构和临时结构，通过监测结构的力学状态，评估结构的安全状况；其次，结构施工全过程的分析结果是否正确，需要通过监测点位的变形、应力等来校核。

6.1.2 本条参照《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982-2014 第 3.3.3 条规定。应变监测是直观了解构件受力状态的最佳手段，是评估施工过程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监测的结构均应提出对应变进行监测的技术要求。

环境的变化，尤其是温度作用对结构的变形和超静定结构的应力影响非常显著，除对环境温度进行监测外，有时候还需对结构温度进行监测。施工期间，风荷载的影响相对较小，可适当放松要求，但涉及到结构安全评估时需监测。

6.1.5 施工监测的目的除了保证结构安全外，其数据也是作为分析结果的比较基础，因此应该与施工全过程分析工况一一对应。

6.1.7 如结构后期需进行健康监测，从经济角度，施工监测的仪器设备可根据实际情况选择性用于健康监测；同时，施工监测的最终数据可作为健康监测的初始数据。

6.2 监测参数、布置及设备

6.2.2 本条文所列位置的测点都是直接关系到结构安全或所测参数变化较大，故应布置测点。

6.2.3 合理利用对称性原则是从经济性考虑，为了用尽量少的测点来满足安全评价的要求；考虑一定的冗余度是在施工期间一些点位可能会被破坏；施工环境比较复杂，测点位置的传感器妨碍施工，有可能别损伤。

6.2.5 施工周期一般较长，原则上环境温度都应该监测。但环境温度与结构温度有一定差异，因此结构上也应该布置测温点。

6.3 监测方法

6.3.1-2 施工监测的频次应以能系统反映结构状态的重要变化过程而又不遗漏其变化

时刻为原则，才能对结构的安全评估提供基础。考虑到监测结果与分析结果对比，每一个结构分析的施工工况，都应有监测结果与之对应。

停工、复工期间，结构状态可能在环境的影响下有所变化，因此都应进行监测。

6.3.3 环境温度不一致，即使在同一施工工况下，其结构状态也不同，所测结果也不同，与分析结果比较也失去意义。

6.3.5 结构变形监测时间一般应选在温度场相对稳定的时刻，如夜间或日出前。监测结果修正就是为了消除温度、收缩、徐变等对结构变形的影响。

6.3.11、6.3.12 结构变形反映结构在空间位形上的变化，应力是监测点的局部受力反应，二者可以相互补充和验证。

6.3.28 动力特性监测可作为结构安全、质量、刚度分布的初步判断的补充项目。将获取的自振频率与结构分析的结果进行比较，以整体判断已建部分结构的刚度、质量分布是否与理想状态相符，特别是约束条件。

6.4 监测预警值

6.4.1 预警值的设定因工程实际情况而异，一般应由施工控制人员会同相关各方根据工程结构特点及施工全过程结构分析结果确定。本节所规定的预警值主要从施工安全角度考虑，同时可考虑如果监测值与结构分析结果差异较大时，也应预警，及时分析施工控制数据，找出原因，避免误差的累积，影响竣工成型时的状态（接近设计理想状态）。

6.4.2 为实际操作方便，本规程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30%作为预警值以引起相关人员注意，考虑到在施工期间分析结果值较小，处于弹性阶段，且理论分析是基于理想状态，监测结果也有一定的误差，从安全角度，取达到分析结果的130%作为预警值一般不会出现安全问题。

6.4.3 本条文根据第6.4.2的预警值结果，当监测值达到预警值时，进行报警。另外增加一款，当施工期间出现较大的荷载或作用，如台风、强震、极端气温变化等，预警。

6.5 监测记录与报告

6.5.2-5 本节主要规定了施工监测成果的表现形式。实时报表主要为施工安全服务，如监测值超过预警值，应及时反馈给相关各方，分析原因，避免出现安全事故；阶段报告主要研究结构状态变化规律，重点为监测结果与分析结果的对比与评估，如累计偏差较大，要分析原因，以确保结构最终竣工成型状态满足设计要求；总结报告作为施工控制总结报告的一部分，对整个施工监测工作进行总结。

7 数据分析与施工过程控制

7.1 一般规定

7.1.2 错误的数据往往会对施工控制产生误导，因此，数据的准确性是施工控制的基础。由于监测数据受测试环境、精度等多种因素的影响，数据的准确性需结合理论分析与现场实际情况进行分析、修正与识别。如由于施工过程较长，而大气温度往往对标高、变形影响较大，即使工况没有发生任何变化不同季节测得的标高也会不同。

7.2 监测数据分析

7.2.1 系统温差和局部温差对应力和变形存在一定影响，施工监测过程中不可避免的存在系统或局部温差，进行精确分析时应充分考虑上述外界条件改变对监测结果的影响，运用理论计算或其他有效方式将监测数据换算到同一基准温度进行比较分析。

7.2.2 施工过程监测受测试仪器本身及测试环境等多种因素的影响，监测数据存在失真的可能性，为提高监测数据的可靠性及准确性，需结合理论分析及现场实际情况对监测数据进行识别、分析、修正。

7.2.3 结构初始状态往往不易确定，而结构绝对值尤其是应力绝对值直接关系到结构的安全，通过实测增量与理论计增量的对比，推算监测数据绝对测量值。

7.2.4 对称位置、对称工况下结构具有相同的受力反应，通过监测数据偏差及发展趋势的重点分析，能够更好的确定监测数据的可靠性。

7.3 模型修正

7.3.1 影响现场施工控制结果的因素较多，其中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、结构因日照产生的不均匀温度作用、传感器数据的飘移、混凝土的收缩徐变特性等。因此，当监测结果与施工全过程结构仿真分析结果之间出现不一致时，应进行分析，查明原因。

施工监测结果与施工控制阶段目标出现较大偏差时，首先看分析模型中的理论参数取值、永久荷载取值、边界条件的变化等是否与实际施工一致，如一致，应先及时优化施工控制措施，以减少偏差，确保施工控制总体目标实现；如不一致，根据本规程条文判断，修正分析模型并重新进行施工全过程结构仿真计算。

7.3.2~7.3.5 本节规定了施工全过程结构分析模型修正的条件。一般而言，涉及到与时间累积效应有关的，如：材料参数、永久荷载，或边界条件原分析模型与实际有很大出

入的,都应对模型进行修正,并重新进行施工全过程结构分析。与时间累积效应无关的,如风荷载、施工临时荷载,在某个施工阶段差异较大,则无需修正模型,只需对该施工阶段按照实际荷载进行安全验算即可。

理论分析所采用的参数在施工之前都是假定的,与实际施工所用的参数不可避免的存在一定偏差,通过大量的工程案例分析,当理论参数取值与参数实测值相差超过10%时,对后续分析结果会有较大影响,从而影响阶段目标直至总体目标。如果在施工前,进行过参数敏感性分析,可根据分析结果选取对最终结构状态影响较大的参数重点实测。

7.4 施工过程控制

7.4.1 施工控制的实施不能影响和改变建筑原有形状和使用功能。

7.4.2 预警值的设定因工程实际情况而异,一般应由施工控制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相差较大,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。

7.4.3 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,本规程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。

7.4.6 监测是施工控制的手段,因此应对监测结果及时整理、分析,评判施工过程是否受控,同时应将监测结果反馈到分析模型和施工工艺中,指导实际施工,切实发挥施工控制的重要作用。

8 高层与高耸结构施工控制

8.1 一般规定

8.1.1 超高层与高耸建筑的底板在上部结构巨大荷载下，可能产生不均匀沉降，从而引起上部结构的高差，因此需进行施工控制；由于承受荷载的不同、构件材料不同、施工顺序不同（如混凝土核心筒与钢混外框柱之间），造成了结构设计同一平面的标高偏差，是高层与高耸结构施工控制的主要内容；倾斜构件和重力作用下水平变形超过 $H/10000$ 或30mm的高层和高耸结构，应对水平变形进行施工控制；对受施工影响较大的关键构件，如伸臂桁架、巨型支撑、转换层构件、悬挂结构构件、悬挑结构构件、空中连体结构构件等，应对应力进行施工控制；对施工过程中结构的安全性和结构成型影响较大的关键施工工序和工艺，如延迟构件施工、核心筒领先外框楼层施工、临时支撑辅助施工、空中连体结构整体提升施工等，应进行施工控制。

8.1.2 结构合拢、伸臂桁架固接等与温度影响有着密切关联的关键工艺宜选择施工时的温度，从而使得施工成型后结构的内力和变形得到合理的控制。

8.2 施工过程分析与监测

8.2.1 施工过程结构分析用来预测施工过程中整个结构的沉降变形、楼层的累积变形及关键部位的变形和内力，主要目的是为施工方案的调整提供理论依据，并通过施工控制将结构分析成果转化为施工成果，确保结构施工完成后的内力和变形均达到设计要求。施工过程分析时，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。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 3-2010 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。

对于考虑混凝土收缩和徐变的高层和高耸结构进行施工标高补偿分析时，需界定时间节点，使结构楼层标高在此时间节点达到设计标高值，此时间节点称为补偿周期。补

偿周期建议设定为封顶后 1 年，上海中心大厦标高补偿周期为结构封顶后 1 年。

8.2.2 通过施工过程结构分析可为施工方案的比选和确定提供理论支撑，但是对于最终确定的施工方案，施工过程结构分析应明确遵循方案中的施工顺序和方法；并提供施工过程中整个结构的沉降变形、楼层的累积变形及关键部位的变形和内力控制数值，为施工监测和控制提供理论依据。

8.2.3 建筑高度超过300m的高层与高耸结构，一般以竖向变形为主，所以其施工过程结构分析应给出楼层标高补偿方法（分层或分段做相应调整）和具体数值，如果结构型式为框筒结构，则应分别给出外框和核心筒的标高补偿方法和数值。另外，对于此类结构，伸臂桁架等对竖向构件荷载分配有着密切关系的关键构件，其施工引起的残余应力对结构在使用阶段的安全冗余度影响巨大，所以也应通过分析给出施工过程中的应力控制数值。

8.2.4 在重力作用下结构最大水平变形超过 $H/10000$ 的高层与高耸结构，一般以空间变形（竖向和水平）为主，所以其施工过程结构分析应给出楼层控制点位的空间预调整方法（分层或分段做相应调整）和具体数值（水平和竖向），如果结构型式为框筒结构，则应分别给出外框和核心筒的坐标预调整方法和数值。另外，对于此类结构，为有效控制结构的水平变形，往往设置巨型斜撑等关键构件，其施工引起的残余应力对结构在使用阶段的安全冗余度影响巨大，所以也应通过分析给出施工过程中的应力控制数值。

8.2.5 高层与高耸结构中，往往存在大量的延迟安装构件，包括伸臂桁架、耗能屈曲支撑、二次受力构件等，在施工过程中参与整体结构的受力或允许部分参与整体结构的受力，所以应通过施工过程结构分析明确给出此类构件的施工顺序以及应力控制标准（数值或限值）。

8.2.6 高层与高耸结构中，往往涉及转换结构、悬挂结构、悬挑结构等复杂结构，不仅体量较大，而且无法达到一次施工成型，需要借助临时支撑进行辅助分段施工，所以应通过施工过程结构分析给出最合理的支撑设置方法、支撑卸载顺序及工艺，并给出关键构件的应力和变形控制数值，为施工监测和控制提供理论依据。

8.2.10 特征位置构件包括首层、高度中部楼层、错层或连体结构的连接楼层、加强桁架层上下两层、刚度突变的楼层；施工过程中内力变化较大构件包括悬臂构件、延迟构件周围重要构件、连体结构、重要斜撑等；刚度分配和转换重要的构件包括环带桁架、伸臂桁架、转换结构等。

对主体结构产生较大临时荷载的设施，在高层与高耸结构中主要包括塔吊与支承架、

施工电梯、爬升模架、临时支撑等临时结构，在施工过程中应进行设施本身（与主体结构连接件、重要受力构件）、主体结构受力部位的重要构件进行应变监测，确保施工过程中临时设施和主体结构的安全。

8.3 施工控制

8.3.1 若施工工况发生重大调整时，诸如核心筒领先层数与施工过程分析发生较大变化、施工工期发生重大变化等，应及时调整施工过程分析模型，并重新校核施工过程中结构的安全性，必要时进行结构局部加固；同时重新对楼层标高补偿方法和数值、关键施工工序和工艺等进行施工过程分析，必要时对相关方案进行动态调整，并按照调整后的方案进行施工控制。

8.3.2 结构体系为“框架-核心筒-伸臂桁架”的高层和高耸结构施工控制主要包含以下几个方面：一是标高控制，即对因结构竖向变形产生的误差进行补偿，保证建筑结构的标高精度要求；二是核心筒领先施工层数确定，即在保证结构安全性与稳定性的前提下控制核心筒超前于外框架的层数；三是伸臂固结方案确定，即控制优化施工阶段伸臂桁架的终固顺序，在保证结构安全的情况下释放水平构件的次内力。

高层与高耸混合结构的一般施工流程是核心筒墙体、外框架、压型钢板或桁架模板、楼板及巨柱混凝土。所谓核心筒超前施工，也就是混合结构中核心筒结构先于外框结构施工若干层数，其能保证流水节拍的正常搭接，同时附着在核心筒上的塔吊以满足吊装作业。但是，核心筒领先外框层数越多，在施工过程中，风荷载作用下整体结构的安全性也将面临考验。所以，应综合考虑施工工况和结构的安全性，对核心筒领先层数进行施工控制，确定合理的领先层数。确定核心筒领先施工层数的分析方法有经验估计法、简单估算法、整体分析法三种，建议采用整体分析法较为准确可靠。

伸臂桁架系统设置是否合理将直接影响到结构的稳定性和安全性。在结构施工阶段由于结构并不是最终完整状态，伸臂桁架对整体结构能提供较大的侧向刚度，以保证结构的变形及稳定性要求，故设置多道伸臂桁架并在施工过程中越早固结对施工阶段结构的安全性越有利。然而，超高层建筑结构的温度、混凝土收缩徐变、地基差异沉降作用等时变作用及其产生的耦合效应会引起伸臂桁架产生次内力变化，伸臂桁架过早固结会引起伸臂内较大的次内力，故伸臂桁架越晚固结结构次内力越小。所以，应综合考虑结构的安全性和结构成型状态的设计要求，对伸臂桁架固结进行施工控制，确定合理的施工终固时机。在确定伸臂桁架固结时间方案时，首先假设伸臂桁架全不固结，验算当伸

臂全部不固结时结构性能状态是否满足要求，若不满足，则按照划分的关键施工状态，在结构最危险的状态伸臂桁架固结，验算此时施工状态下的结构性能目标，依次类推，直至找到不满足性能控制目标的临界点。到此可确定在何种结构状态下伸臂桁架需要固结。其次需要确定在该结构状态下需要连接伸臂桁架的道数，同样，可首先在结构底部设置一道伸臂桁架，验算此时结构的性能状态是否满足要求，若不满足，则从下往上增设一道伸臂桁架，直至找到满足性能控制目标的临界点，由此可确定伸臂桁架固结时间的施工方案。

8.3.3 地基基础沉降变形可以分为整体沉降和差异沉降，其中整体沉降导致塔楼整体下沉，并不会引起上部结构内力变化，而差异沉降会使塔楼发生整体弯曲。虽然由于塔楼抗弯刚度较大，影响常局限于筏板及底部区域，但差异沉降作用引起的结构内力、变形变化应当引起重视。

地基基础整体沉降与差异沉降的区分如图 2 所示，图中定义整体沉降为核心筒位置处的绝对沉降值，以 h 表示；而差异沉降为巨柱与核心筒之间的相对沉降值，以 Δh 表示。

上海中心大厦标高控制基准点位于核心筒内，距离 ± 0.000 顶板向上约 50cm，如图 2 所示。在进行各楼层、各区及结构全高标高验收时，均以此点作为标高控制基准点，即结构设计标高测量均以此点作为起始位置，如图 1 中 H 所示。显然，若按照该控制标准，核心筒位置处的绝对沉降值 h （整体沉降）并不会影响最终的各楼层标高补偿值及长度预调整量，但核心筒与巨柱之间的相对沉降值 Δh （差异沉降）会影响最终的各楼层标高补偿值及长度预调整量。

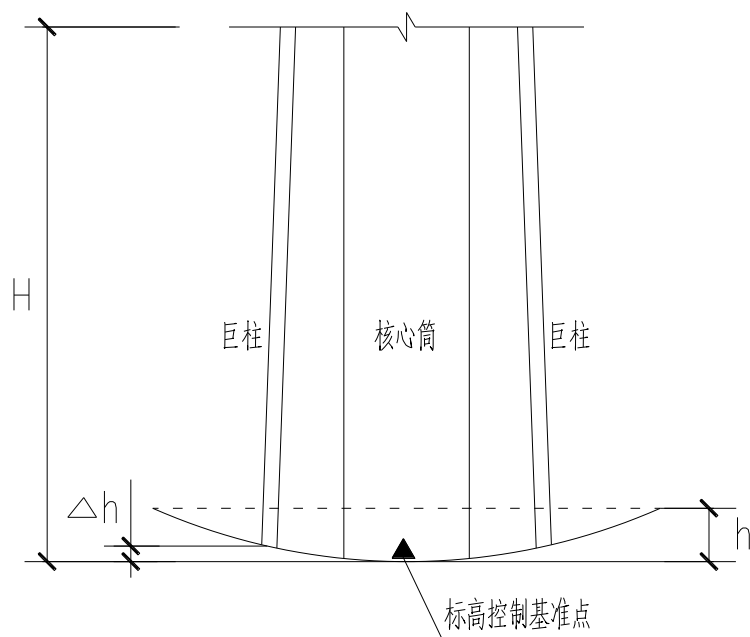


图 1 上海中心大厦标高控制基准点位置及标高控制示意图

另外，地基差异沉降对各楼层标高补偿值及长度预调整量的影响可分为直接影响和间接影响。所谓直接影响，即不考虑结构内力的重分布影响。从图 2 可见，地基差异沉降对核心筒的标高补偿值及长度预调整量不产生直接影响，但会对巨柱的标高补偿值及长度预调整量产生直接影响。同时，从图 1 可见，考虑地基差异沉降的巨柱标高补偿值及长度预调整量比不考虑时小。而所谓间接影响，即考虑结构内力的重分布影响。考虑地基差异沉降作用的情况与不考虑地基差异沉降作用的情况相比，由于地基沉降呈“锅”形分布，中间沉降大而边缘沉降小，导致出现核心筒相对卸载、巨柱相对加载的现象，从而影响核心筒与巨柱的竖向变形、标高补偿值及长度预调整量。因此实际上，差异沉降对核心筒和巨柱的标高补偿值及长度预调整量均会产生影响。不过，由于差异沉降作用引起的结构内力重分布影响常局限于筏板及底部区域，影响范围较小，因此差异沉降对核心筒标高补偿值及长度预调整量的影响仍然小于对巨柱的影响。

8.3.4 高层建筑竖向变形差异常用的补偿方案主要有逐层补偿法、各施工段内均值补偿法、累计补偿法、各施工段顶部一次补偿法、结构全部楼层均值补偿法、楼层组优化补偿法等。由于超高层建筑受竖向变形差异影响较大，虽然逐层补偿法是最准确、最理想的补偿方法，但是考虑到高层和高耸结构中钢结构竖向构件的分段和加工制作质量的影响，本标准建议按照钢结构分段进行楼层标高的补偿，即采用逐段补偿的施工控制方法。

8.3.5 空中连体结构，一般设置在群塔楼之间，施工过程对结构最终成型的影响较大。如果连体结构高度不高，可采用临时支撑辅助安装的施工方法，如果连体结构高度较高，

可采用整体提升或“悬臂施工、空中合拢”的施工方法。无论采用哪种施工方法，施工连体结构时塔楼自身的安全性需要进行重点控制，另外，塔楼竖向差异变形（尤其是连体结构施工完成后，塔楼继续发生的差异变形）对连体结构成型后的应力和变形影响极大，需要对其施工时机的选择以及方法进行重点控制。

合拢施工应合理选择合适的天气，大风天气下不宜进行合拢施工，否则应考虑风荷载作用下的瞬时变形不协调的影响。

8.3.6 根据国家现行规范规程关于高层混凝土结构、高层钢结构和高层混合结构验收标准及规定，楼面标高控制的方法有如下 3 种：相对标高控制、设计标高控制和绝对标高控制。

1 相对标高控制：控制每层的层高施工及安装误差。不考虑焊缝的收缩变形和荷载引起的压缩变形对层高的影响。建筑物总高度误差不超过各层允许偏差和压缩变形累积总和即可。

2 设计标高控制：控制建筑楼面设计标高（不是绝对标高，不考虑建筑物沉降）。按土建施工单位提供的基础标高施工，各层层高的总和应符合设计要求的总高度。每层因焊缝收缩变形和荷载引起的压缩变形（包括弹性压缩变形和非弹性压缩变形）应进行高度补偿。结构施工完成后，结构总高度应符合设计要求的总高度。

3 绝对标高控制：控制建筑楼面绝对标高（考虑建筑物沉降）。考虑基础沉降和每层因焊缝收缩变形和荷载引起的压缩变形（包括弹性压缩变形和非弹性压缩变形）进行标高补偿。结构施工完成后，结构关键楼层及屋面的绝对标高应符合设计要求的绝对标高值。

目前国家现行的规范规程关于结构楼面标高的控制主要采用相对标高控制或设计标高控制。对于 500m 以上的超高层建筑，由于建筑高度超高，建议采取多种标高控制相结合的方法。考虑到基础沉降的时变性和不确定性较为显著，可根据相邻超高层建筑沉降观测值对基础绝对标高进行适当的修正，而对上部楼层可不采用绝对标高控制方法。具体而言，控制每层的相对标高，同时每一区相对标高也进行控制，最后对整个结构的设计标高进行控制，从而形成超高层建筑多级标高控制方法。

以上海中心大厦为例，结构标高控制就采用的是多级标高控制标准，如表 1 所示。

表 1 上海中心大厦多级标高控制标准

结构高度类别	结构标高控制方法	误差允许值
层高	相对标高控制	$\pm 10\text{mm}$
区高	相对标高控制	$\pm 30\text{mm}$
结构全高	设计标高控制	$\pm 100\text{mm}$

9 大跨度及空间结构施工控制

9.1 一般规定

9.1.1 对空间桁架、网架等刚性大跨空间结构施工前主要核对支座位置及标高与设计值的偏差，对索缆结构等柔性结构除核对上述内容外，还需核对初始长度，节点定位等偏差值，将偏差值代入到整体模型进行计算，根据调整后的模型确定控制目标。

9.1.2 临时支承结构等是大跨空间结构施工过程中必不可少的部分，是确保主体结构稳定和安全的關鍵，其受力和变形也是大跨空间结构控制的重要组成部分。

9.2 施工过程分析和监测

9.2.1 确定施工控制方案时应进行参数敏感性分析，通过参数敏感性分析明确对结构受力和变形影响大的参数，即主要参数，制定施工控制方案时重点关注敏感性参数的调整。

9.2.3 多数结构分析软件对初拉力的施加实际上是采用了温度法。由于拉索两端结构的变形，实际拉索的张力小于定义的初拉力。少数有限元软件中初拉力的施加过程暗含迭代计算，会随拉索两端结构变形的调整而调整，保证了拉索的张力与预设相同，也与实际工况较为接近。

9.2.4 悬索结构应考虑边缘构件及支承结构刚度与索力间的相互影响；斜拉结构应考虑立柱、钢架和拱架等支承结构与被吊挂结构的变形协调以及结构变形对索力的影响。

9.2.7-1 变形测点宜选在便于测量和保护的位置，并应做明显标志，在施工过程中应能准确辨识。

9.2.7-3 主要工况包括结构边界条件、刚度、荷载发生变化。

9.2.7-6 悬挂结构测点宜布置在竖向受力构件附近，以及悬挂悬臂端。

9.2.7-7 悬臂拼装施工大跨空间结构应对外伸构件的竖向、水平变形和扭转进行控制。

9.2.8-3 结构吊装起吊以及卸载过程中受力变化较大时，宜在起吊过程中及卸载过程中进行应力监测。

9.2.8-4 测点布设应考虑结构体系及外界条件对索力测量的影响，测点布置宜考虑在结构对称位置设置测点，通过对称原则校核索力。

9.2.8-5 采用上述方法进行索力测量时，宜通过多次标定确定参数。

9.2.9 位移同步性是指顶推或牵拉受力点在受力方向上位移的一致性。由于变形或位移不一致，造成各受力点反力不同，反力过大容易造成受力点附近构件破坏，甚至造成整

体结构的倾覆或失稳。

9.3 施 工 控 制

9.3.1 确定拆撑顺序和步骤的目的是为了使主体结构变形协调，荷载平稳转移。临时支撑卸载顺序不同结构成型过程中的内力和变形也不同，特别是某一根临时支撑卸载后，主体结构荷载转移值相邻支撑，主体结构与临时支撑之间作用力增大，此时需要严格控制临时支撑和主体结构局部稳定性和承载力。

9.3.2 钢管支撑竖向压缩变形小，接近于刚性支撑；在钢管支撑上安装机械式恒力支座可以对主体结构提供恒定支撑力，对主体结构是一种被动的调节。

9.3.3 施工控制主要内容是通过识别当前及预判后续受力及几何形态是否与分析计算的理论形态相符，或结构实际状态与理论状态是否存在偏差。根据偏差确定结构是否处于安全可控状态，如超出可控状态则需要对施工工艺或预控参数进行调整。

9.3.4 单向柔性大跨度空间结构是指类似斜拉桥和悬索桥的平面索支结构体系。若采用索力控制，施工分析需考虑施工过程中实际结构状态和荷载状态，张拉顺序需与施工分析步骤一致。若采用无应力索长控制，就是所谓“无应力状态法”，结构施工过程中，如拉索张拉顺序与结构成形无关，这样可以大大简化现场施工。

9.3.5 本条所列偏差控制值根据已有规范、结构特点、实际经验等综合分析所提出的，未列举偏差控制要求请参照相关设计、施工及验收规范。

9.3.7 调整施工顺序包括改变构件的安装顺序，也包括对受力较大杆件采取后装或锁定方法。

10 既有建筑改造施工控制

10.1 一般规定

10.1.1 在改造中若主体结构变动，如向上增层、内部插层、新开中庭或边庭、地下空间开发、基础隔震以及移位（包括平移、顶升）、结构纠偏等对结构安全性、耐久性有影响，可能导致重大结构安全问题，因此应予以特别重视，所以要求进行施工控制。

10.1.2 既有建筑改扩建项目与新建项目不同，既有建筑的结构或构件已经存在或正在使用，结构或构件本身或存有隐患，在改造设计施工前，需对既有建筑质量进行检测，为既有建筑的改造提供科学依据。

通常，房屋质量综合检测主要针对既有建筑的特点、保护要求、现场实际情况等。检测内容主要包括：建筑与结构概况；房屋历年装修、改造情况；建筑与结构的复核与测绘；房屋使用荷载的调查分析；房屋损伤状况的检测及其原因分析；房屋主要结构材料力学性能的检测；房屋沉降变形检测；对房屋的结构安全性总体评估。历史保护建筑还应指明建筑的保护类别和保护范围、内容和要求。

对结构局部进行针对性的研究和试验分析，可以直观真实地了解结构荷载响应，验证原有结构安全性，且作为结构施工方案和结构安全分析的依据，为改造工程的顺利实施提供足够的技术支撑。

10.1.3 通过施工过程分析的结果可以预知改造过程中结构受力和变形较大的部位和施工工况，这些部位和工况作为施工监测、控制的主要关注点。

10.1.4 既有建筑改造施工控制方案和结构安全分析应以建筑质量检测报告为依据，着重考虑结构的使用荷载、主要结构材料力学性能、沉降变形、结构完损状况、施工组织设计中施工流程、进度及相关施工技术等。

10.2 施工过程分析和监测

10.2.1 建立施工过程分析模型时主要参照原有结构图纸和改造图纸，若无原结构图纸，根据现场实测，最大程度上将原结构反映到模型当中。

10.2.2 施工过程结构分析模型中的材料强度、构件损伤状况应参照房屋质量检测报告；整体和局部的刚度可以通过现场试验和监测结果反演确定。

10.2.3 既有建筑改造施工全过程分析着重考虑结构承载能力极限状态，以结构的内力是否超过其承载力为依据。辅以正常使用极限状态，以结构的变形和裂缝超过允许的限

值为依据。通常仅考虑自重和施工荷载，对受风荷载影响较大的高耸结构等，还应考虑风荷载，对改造过程中的仍在使用的结构，要考虑结构的常规使用荷载。

10.2.4 既有建筑改造的施工过程分析和控制是一个极端复杂的过程，需要根据监测数据反复修正计算模型，以求更真实地反映现场实际；由于是既有建筑，已经内力重分布且经过使用而受到一定程度的损伤，难以在计算模型中全面真实的模拟，而监测结果又是非全应力数据，只能依靠增量和变化关系判断，因此计算结果和监测结果的对比分析是一个反复的过程。

10.2.5 常规监测主要包括应力、变形、沉降等，由于改造过程势必会影响已有结构，因此宜增加对结构损伤如裂缝的监测；临时支撑结构的安全直接关系到既有建筑的安全，在改造过程中宜进行监测。

10.3 施 工 控 制

10.3.1 内力控制主要指主体结构、临时结构和重要构件的应力状态和稳定性；变形控制包括结构整体变形、局部变形、沉降以及裂缝控制等。内力控制以稳定性控制为主，变形控制以整体沉降、侧向变形、局部变形和裂缝控制为主。

10.3.2 本条明确在主体结构改造过程的重点控制方向，特别是注意稳定性控制。主体结构拆除如墙柱梁板拆除、古建筑构件拆除时，防止结构在拆除过程中由静定结构转化为机动体系，或防止因相关的已损伤某一重要构件突然破坏导致整体结构破坏。

10.3.3 对保留外围护结构的主体结构改造项目，应对外围护结构如幕墙、结构外墙、有保护价值的外墙装饰等进行施工控制，重点是监测其变形和裂缝。

10.3.4 因在拆除和扩建过程中，原有基础的荷载将会发生较大变化，可能会产生基础沉降或隆起，这对基础的防水和安全不利，因此应予以重点控制。

10.3.5 由于改变结构传力途径的改造工况，安全风险很大，因此应先采取加固措施，对结构本体和临时支撑结构均应采取监测和控制措施。

10.3.6 增加地下空间开发过程中容易因挖土卸载引起基础隆起；或因基础和土体的作用减小导致整体侧向刚度变小，易发生侧向变形和裂缝。

10.3.7 本条文主要是明确了既有建筑改造过程中涉及安全风险的停工条件及处理方法。

11 专项施工控制

11.2 转换层结构

11.2.1 为了建筑物底部的大空间需求，结构上一般呈现两种处理办法：对框支剪力墙结构，上部为剪力墙，下部为框支柱，由框支柱、框支梁和上部剪力墙共同承受竖向和水平荷载，这就是框支转换；对框架结构，在相应的楼层抽掉部分柱子形成大空间，通过加大托柱梁及下层柱（转换柱）构成托柱框架来共同承受竖向和水平荷载，上部框架柱不直接落地，需要进行结构转换，这就是托柱转换。

11.2.2 转换构件传力不直接，应力复杂。竖向荷载作用下不同的结构构件传递内力的路径不一样，作用机理也不一样；水平荷载作用下结构的侧向刚度与构件的截面特性、边界条件相关，所有转换构件受力性能根据材料特点也很不一样，所以要根据其受力特点编制转换构件临时支承变形专项控制方案。

11.2.3 转换层传力不直接，整体转换时转换层上、下部楼层结构竖向刚度突变，也因此对于转换层楼板及邻层楼板的面内刚度和整体性有较高要求，所以强调整体同步施工可以最大程度上达到设计需求，减小施工冗余度。

11.2.4 结构的转换位置越高，转换层以下各层的受力构件越不合理，延性不易控制，对下部加强层的施工质量控制要求就越高，参考《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010 中部分框支剪力墙 7 度抗震设计不超过 5 层的规定，对转换层施工方案做此项规定。

11.4 连体结构

11.4.1 高层连体结构一般跨度大，位置高，连接体与两侧主体结构相连的连接部位既要承受很大的竖向重力荷载，又要协调两侧结构变形，对连接件的承载力要求很高，不同的连接方式节点变形不同，释放应力的类型也不同，所以分为三类，其中两端刚接是最常见的形式。

11.4.2 多层连体结构破坏时，往往发生支座破坏、坠落、撞击等，破坏集中发生在顶层和底层中对扭转效应敏感的节点，因此做此规定。

11.4.3、11.4.4 高层连体结构采用的吊具、吊装方式、拼装顺序，控制时间、天气、场地状况等都会对最终的就位质量产生影响，吊装过程中就位卸荷也会带来冲击和回弹等

意外状况，为避免偏差和干扰，需要提前进行施工仿真模拟，并进行实时监测。

12 控制成果报告

12.0.1 每次监测完成后应提交监测报表，报表应包含当前监测数据变化量，累计监测数据以及相应数据与理论值得对比情况，并作初步判断是否超预警值。

每月应提交阶段监测报告（如总监测时间少于 2 个月，可不提供阶段监测报告），阶段监测报告内容主要包括：本阶段监测数据分析，施工控制实施结果的阶段评价，以及下阶段施工建议。

当施工方案变更涉及到施工过程中结构受力及状态变化的，应重新进行施工控制方案评价，需要更改施工控制方案的应及时完成施工控制方案修改，并按原审批流程审批。

施工控制结束后提交施工控制总结报告，总结报告包括：施工监测方案、计算分析结果、理论分析与监测数据对比分析结果、施工控制实施内容、施工控制实施结果。

12.0.6 施工控制实施单位负责施工控制资料整理，施工控制委托单位负责资料归档。上述成果资料如不能归入城建档案时，成果资料由施工控制委托单位妥善处理。