



T/CECS ×××—2024

中国工程建设标准化协会标准

预应力混凝土结构监测标准

Standard for prestressed concrete structural monitoring

（征求意见稿）

出版社

中国工程建设标准化协会标准

预应力混凝土结构监测标准

Standard for prestressed concrete structural monitoring

（征求意见稿）

T/CECS ×××—202X

主编单位：北京市建筑工程研究院有限责任公司

亚太建设科技信息研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年××月××日

出版社

2024 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协函〔2022〕第 13 号)的要求,标准编制组经深入调查研究,认真总结工程实践经验,参考国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制订本标准。

本标准共分 10 章,主要技术内容包括:总则、术语与符号、基本规定、监测内容与测点布置、传感器选型与技术要求、数据采集与传输、数据管理与分析、预警与评估、监测系统施工与安装以及监测系统验收与维护。

本标准由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会归口管理,由北京市建筑工程研究院有限责任公司、亚太建设科技信息研究院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,请反馈给北京市建筑工程研究院有限责任公司(地址:北京市海淀区复兴路 34 号,邮编:100039,邮箱:573151136@qq.com),以便今后修订时参考。

主编单位:北京市建筑工程研究院有限责任公司

亚太建设科技信息研究院有限公司

参编单位:

主要起草人:

主要审查人:

目次

1	总则	1
2	术语与符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	5
3.1	监测系统组成	5
3.2	监测系统实施	7
3.3	监测等级	10
4	监测内容与测点布置	14
4.1	一般规定	14
4.2	监测项目	15
4.3	测点布置	16
5	传感器选型与技术要求	18
5.1	一般规定	18
5.2	预应力筋应力监测传感器	20
5.3	结构响应监测传感器	22
5.4	荷载与环境监测传感器	24
6	数据采集与传输	26
6.1	一般规定	26
6.2	数据采集	27

6.3 数据传输	28
7 数据管理与分析	32
7.1 一般规定	32
7.2 数据管理	34
7.3 数据分析	36
8 预警与评估	39
8.1 一般规定	39
8.2 预警	40
8.3 评估	43
9 监测系统施工与安装	46
9.1 一般规定	46
9.2 施工制图	46
9.3 系统施工	47
9.4 系统安装	48
10 监测系统验收与维护	52
10.1 一般规定	52
10.2 硬件验收	53
10.3 系统维护	53
本规程用词说明	55
引用标准名录	56
附：条文说明	57

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	4
3	Basic Requirements.....	5
3.1	Monitoring System.....	5
3.2	General Requirements	7
3.3	Monitoring Level	10
4	Monitoring Content and Layout of Measuring Points	14
4.1	General Requirements	14
4.2	Monitoring items	15
4.3	The layout of measuring point	16
5	Sensor Selection and Technical Requirements.....	18
5.1	General Requirements	18
5.2	Effective Prestress Monitoring Sensor.....	20
5.3	Structural Response Monitoring Sensor	22
5.4	Load and Environmental Monitoring Sensors	24
6	Data Acquisition and Transmission	26
6.1	General Requirements	26
6.2	Data Acquisition.....	27

6.3	Data Transmission.....	28
7	Data Management and Analysis	32
7.1	General Requirements	32
7.2	Data Management	34
7.3	Data Analysis	36
8	Early Warning and Assessment.....	39
8.1	General Requirements	39
8.2	Warning	40
8.3	Assessment	43
9	Construction and Installation	46
9.1	General Requirements	46
9.2	Construction Drawing	46
9.3	System Construction	47
9.4	System Installation	48
10	Acceptance and Maintenance of Monitoring System	52
10.1	General Requirements	52
10.2	System Acceptance	53
10.3	System Maintenance	53
	Explanation of Wording in This Specification	55
	List of Quoted Standards.....	56
	Addition: Explanation of Provisions	57

1 总则

1.0.1 为保障预应力混凝土结构在工程建设与服役过程中的安全性，实现功能可靠、技术先进、经济合理，依据有关法律、法规，制定本规程。

[条文说明] 1.0.1 监测系统的设计、实施和使用原则的优先级顺序是功能可靠、技术先进和经济合理。

1.0.2 本规范适用于新建、改建和扩建的预应力混凝土结构施工和运营过程的监测系统设计、建设和服役期管理。对于监测系统升级工程可参照执行。

[条文说明] 1.0.2 本规程选择的技术一般是伴随着结构施工进行传感器布设，因此，预应力混凝土改建和扩建工程主要指采用预应力方式进行加固改造的工程；而对于已有监测系统的升级可能存在无法实现的情况，为了保证监测系统的完整性，已有监测系统升级可参考本规程的部分内容实行。

1.0.3 预应力混凝土结构工程的监测除应符合本规程外，尚应遵循国家现行有关规范的规定。

[条文说明] 1.0.3 本规程归纳总结了一些国内及国际上成熟的新型监测技术，监测时，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 结构健康监测 structural health monitoring

连续、长期的对结构进行监测。

2.1.2 施工监测 construction monitoring

施工期间进行的结构监测。

2.1.3 运营监测 post construction monitoring

服役运营期间进行的结构监测。

2.1.4 监测系统 monitoring system

为实现一定的结构健康监测功能，对监测硬件、软件、网络的系统集成。

2.1.5 监测等级 monitoring level

根据监测对象的重要性与复杂性，对监测工作进行划分的等级。

2.1.6 监测频率 monitoring frequency

单位时间内对监测对象进行数据采集的次数。

2.1.7 预警阈值 early warning threshold

为保证结构安全、周边环境安全或满足规定要求，对表征监测对象可能发生危险或存在安全隐患的监测量所设定的警戒值。

2.1.8 监测设备 monitoring equipment

监测系统中，传感器、采集仪等硬件的统称。

2.1.9 智能钢绞线 smart prestressed steel strand

采用增强纤维复合传感筋代替普通钢绞线中丝重新组装后的兼具受力与传感功能的钢绞线。

2.2 符号

L——预应力混凝土梁板跨度

H——预应力混凝土柱和墩高度

D——预应力混凝土筒仓或核安全壳直径

μ ——近期监测数据的分布均值，

σ ——结构近期监测数据的分布标准差，

β ——重要性调整系数

3 基本规定

3.1 监测系统组成

3.1.1 监测系统设计应包括传感器模块、数据采集与传输模块、数据存储与管理模块、数据分析与状态参数识别模块、结构安全预警与性能评估模块等模块设计，并通过系统集成技术将各模块集成为统一协调的整体。

[条文说明] 3.1.1 监测系统的建立应遵循“技术可靠、方案可行、经济合理、便于维护”的基本原则。

3.1.2 传感器模块由荷载与环境监测、结构整体响应监测和结构局部响应监测传感器构成，实现预应力混凝土结构环境参数、荷载参数及结构响应参数的长期连续获取。

[条文说明] 3.1.2 传感器模块是监测系统的基础，重点关注传感器的实用性和长期稳定性。

3.1.3 数据采集与传输模块由数据采集设备、数据传输设备与缆线、数据采集与传输软件构成，实现传感器信号的同步采集与传输，采样频率应满足监测要求。

[条文说明] 3.1.3 采样频率根据项目需求由有关单位单位提出。

3.1.4 数据存储与管理模块由数据存储硬件及设备、数据查询与管理软硬件构成，实现预应力混凝土结构监测数据的处理、存储、查询与管理等功能。

3.1.5 数据分析与状态参数识别模块由数据挖掘分析及结构分析模型、结构参数识别软件等构成，应实现数据实时在线显示、数据分析、结构状态参数识别等功能。

[条文说明] 3.1.5 状态参数可包括位移、应力、模态等相关参数。具体参数确定根据项目的评估需求确定。

3.1.6 结构安全预警与性能评估模块：根据数据分析与状态参数识别模块的输出结果，对结构进行性能评估与预测。

[条文说明] 3.1.6 安全预警与性能评估模块可包括单点超限预警、结构整体性能评估、长期模型劣化修正、结构寿命预测等，具体评估内容由项目需求确定。

3.2 监测系统实施

3.2.1 预应力混凝土结构监测应分为施工监测和运营监测。当预应力混凝土结构需要同时进行施工监测和运营监测时，应统筹考虑。

[条文说明] 3.2.1 施工监测与运营监测的监测要求一般不同，施工监测应以施工安全或工程质量控制为基准，运营监测应以结构正常使用极限状态或结构适用性为基准。同时进行施工监测和运营监测的项目，施工监测的仪器设备可根据实际情况选择性用于运营监测，运营监测系统应充分利用施工监测获取的数据进行校核。

3.2.2 施工监测宜与量测、观测、检测及工程控制相结合，运营监测应采用具备数据自动采集功能的监测系统进行。

[条文说明] 3.2.2 现阶段随着信息技术和传感技术的进步，已经可以满足部分参数的全自动采集，但是，考虑施工过程环境恶劣、干扰因素多，很难满足全参数类型的自动化监测，因此，采用量测、观测、检测和工程控制等传统方式与自动化监测相结合的方式，而运营期间具备相关条件，应进行自动化连续监测。

3.2.3 对需要监测的预应力混凝土结构，监测前应制定监测方案。

根据工程结构特点、现场及周边环境条件、重要性程度等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。

[条文说明] 3.2.3 本规程根据预应力混凝土结构建筑结构安全等级、结构体系以及跨度等指标综合判定其是否需要监测。对需要监测的预应力混凝土结构，施工监测需求由设计单位和施工单位提出监测需求；运营监测由建设单位和设计单位提出监测需求。

3.2.4 预应力混凝土监测方案的制定应依据监测要求与设计文件，结合现场及周边环境条件等因素综合确定。

[条文说明] 3.2.4 监测方案应由监测单位根据业主、设计、施工与监理方等具体要求制定。按结构工程的特点，明确监测的目的与要求；按设计文件及监测

要求确定监测周期；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；并根据监测周期、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。

3.2.5 监测方案宜包括工程概况、监测目的、易损性分析、监测项目、测点布置、监测设备优选、监测软件功能设计、监测周期、预警方法、监测系统施工保障措施等内容。

[条文说明] 3.1.5 监测方案中的易损性分析可由监测单位进行，也可由有关单位的设计文件提供。

3.2.6 监测周期应符合下列规定：

1 施工监测周期宜从预应力施加开始至项目的某一节点事件；

2 运营监测宜为长期监测，监测周期应根据监测要求与工程特点等因素确定，且不宜少于 3 年。

[条文说明] 3.2.6 项目施工某一节点事件可以为：预应力施工结束、预应力专项施工验收结束、施工完成后 1 年内，项目整体竣工、其他特殊项目节点等。

3.2.7 对于结构形体特殊或结构形式复杂的预应力混凝土结构、曾发生严重事故的预应力混凝土结构，应对监测方案进行专家论证。

[条文说明] 3.2.7 结构形式特殊或者复杂的预应力混凝土结构、曾发生严重事故的预应力混凝土结构的不确定性更大，需要专业经验指导监测方案编制。

3.2.8 应对监测项目部分参数设定监测预警阈值，预警阈值应满足工程设计与规范限定的要求。

[条文说明] 3.2.8 预警阈值是监测工作的实施前提，是监测期间对结构状态进行判断的重要依据，可根据设计值、规范限定值、监测数据值、专家论证等分级制定。需要确定预警阈值的参数包括但不限于预应力有效应力、内力、位移等。

3.2.9 监测周期内，运营单位应对监测系统进行定期检查和维护。

[条文说明] 3.2.9 运营单位指对监测系统进行维护保养的单位，可由业主单位指定。本条中“定期”指按照监测要求对监测系统进行检查、维护的周期，若无要求，宜为 6 个月。本条件的检查和围护包括系统的硬件和软件。

3.3 监测等级

3.3.1 根据建筑结构安全等级、结构体系与构件以及相关参数综合确定被监测对象的监测等级。施工阶段和运营阶段的监测等级应按表 3.3.1 确定，并根据各分类方法进行监测并编制和评审监测方案。A 类应进行监测，监测方案应进行专家论证；B 类应进行监测；C 类宜进行监测；D 类可进行监测。

熊老师补充短筋等的分类。板的问题比较大。重要构件增加相应的分析。

表 3.3.1 预应力混凝土结构监测等级划分

结构体系与构件	安全等级	跨度 $L(m)$			
		$L \leq 18$	$18 < L \leq 24$	$24 < L \leq 32$	$L > 32$
预应力混凝土梁	一级	D	C	B	A
	二级	D	C(D)	B (C)	B
	三级	D	D	C	B (C)
结构体系与构件	安全等级	跨度 $L(m)$			
		$L \leq 9$	$9 < L \leq 15$	$15 < L \leq 21$	$L > 21$
预应力混凝土板	一级	D	C	B	A
	二级	D	C(D)	B (C)	B
	三级	D	D	C	B (C)
结构体系与构件	安全等级	高度 $H(m)$			
		$H \leq 6$	$6 < H \leq 9$	$H > 12$	-
预应力混凝土柱	一级	C	B (C)	B	-
	二级	C	B (C)	B	-
	三级	C	C	B (C)	-
结构体系	安全等级	跨度 $L(m)$			
		$L \leq 18$	$18 < L \leq 24$	$24 < L \leq 32$	$L > 32$
体外预应力加固技术	一级	C	C	B	A
	二级	C (D)	C	B	A
	三级	C (D)	C (D)	C	B (C)
结构体系	安全等级	直径 $D(m)$			

		$D \leq 18$	$18 < D \leq 36$	$D > 36$	-
预应力混凝土筒仓	一级	C	C	A	-
	二级	D	C	A	-
	三级	D	C	B	-
结构体系与构件	安全等级	直径 $D(m)$			
		$D \leq 18$	$18 < D \leq 36$	$D > 36$	-
特种结构（核安全壳等结构）	一级	C	C	A	-
	二级	D	C	A	-
	三级	D	C	B	-
结构体系	安全等级	跨度 $L(m)$			
		$L < 3$	$3 < L \leq 6$	$6 < L \leq 9$	$L > 9$
悬挑梁	一级	C	C	B	A
	二级	D	C	B	A
	三级	D	C	C	B
结构体系	安全等级	跨度 $L(m)$			
		$L < 3$	$3 < L \leq 6$	$6 < L \leq 9$	$L > 9$
悬挑板	一级	C	C	B	A
	二级	D	C	B	A
	三级	D	C	C	B
结构体系	安全等级	高度 $H(m)$			
		$H < 60$	$H > 60$	-	-
风塔类（混凝土）	一级	B	A	-	-
	二级	B	A	-	-
	三级	C	B	-	-

注：表中“B (C)”表示施工阶段的监测等级为 B，运营阶段的监测等级为 C。

[条文说明] 3.3.1 表 3.3.1 中未提及的结构体系和构件可结合专家意见、参考跨度区间确定其监测等级。监测等级一般由设计单位确定，也可由建设单位、监测单位根据其监测要求进行确定。

本条安全等级根据《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 第 3.2.1 条，建筑结构的安全等级可分为一级（很严重：对人的生命、经济、社会或环境影响很大）、二级（严重：对人的生命、经济、社会或环境影响较大）及三级（不严重：对人的生命、经济、社会或环境影响较小），其中，建筑结构抗震设计中的甲类

建筑和乙类建筑，其安全等级宜规定为一级，丙类建筑，其安全等级宜规定为二级，丁类建筑，其安全等级宜规定为三级。

3.3.2 应根据监测等级选定重要构件监测，构件按重要性应分为 I 类构件、II 类构件和 III 类构件。

1 I 类构件：结构中的重要受力构件，当该类构件发生损伤时，对结构的最大位移、最大应力等安全评价指标产生严重影响的构件，或者对环境荷载最为敏感的构件。

2 II 类构件：结构中的主要受力构件，当该类构件发生损伤时，对结构的最大位移、最大应力等安全评价指标产生较大影响的构件，或者对环境荷载较为敏感的构件。

3 III 类构件：结构中的一般受力构件或联系构件。

[条文说明] 3.3.2 对环境荷载敏感的构件定义为在某类环境荷载单独作用下，随着该类环境荷载变化，应力产生明显改变的构件。

3.3.3 除设计文件要求、监测要求和本规程第 3.3.1 条规定应进行施工监测的预应力结构外，受施工方法或顺序影响，施工期间结构受力状态与整体结构设计状态存在显著差异的预应力结构应进行施工监测。

[条文说明] 3.3.3 本条文中“施工期间结构受力状态与整体结构设计状态存在显著差异”一般由设计单位提供说明。

3.3.4 除设计文件要求、监测要求和本规程第 3.3.1 条规定应进行运营监测的预应力结构外，尚应符合下列规定：

1 接近或达到设计工作年限，仍需继续使用的预应力结构应进行运营监测。

2 改建、扩建、移位以及建筑用途或使用环境改变后的预应力结构应进行运营监测。

3 运营期间曾遭受灾害或事故的预应力结构在修复加固后应进行运营监测。

[条文说明] 3.3.4 接近或达到设计工作年限的建筑、改变用途或使用环境的建筑，以及遭受灾害或施工的结构本身风险性明显提高，再叠加预应力的复杂影响，需对其进行运营期监测，以保障建筑运营安全。

4 监测内容与测点布置

4.1 一般规定

4.1.1 监测项目应根据监测要求、结构体系以及结构计算分析综合确定。

4.1.2 测点选择应满足安全预警和评估要求，遵循“代表性、重要性、经济性”的选择原则

4.1.3 监测项目宜包括预应力筋应力监测、位移监测、内力监测、振动监测、荷载作用与环境监测，且应符合下列规定：

1 预应力筋应力监测，包括预应力筋在施工和运营期的应力演化规律监测

2 位移监测，包括结构竖向变形、结构水平变形与支座位移监测。

3 内力监测，包括混凝土应变和非预应力钢筋应变监测。

4 振动监测，包括加速度、速度与动位移监测。

5 荷载作用与环境监测包括下列内容：

- 1) 温度监测，包括空气温度与结构温度监测；
- 2) 湿度监测，包括空气湿度与结构湿度监测；
- 3) 地震作用监测，包括地震动与地震响应加速度监测；
- 4) 气象监测，包括风环境、雨量、雪量等。

[条文说明] **4.1.3** 预应力筋应力是预应力混凝土结构最重要的参数，考虑现阶段已经有诸如智能钢绞线等新技术的出现，具备了直接监测的条件；同时也有监测混凝土应变、构件位移反算的间接手段，将其单独提出。

4.2 监测项目

4.2.1 预应力混凝土结构健康监测内容应根据工程特点按表 4.2.1 进行选择。

表 4.2.1 预应力混凝土结构监测项目

结构与构件	有效 预应力 监测	位移监测			内力监测		振动 监测	环境监测				
		结 构 变 形		支 座 位 移				温度	湿度	地震 动	风 压	风速 风向 雨量
		竖 向	水 平									
预应力混凝土梁	■	■	○	■	■	▲	○	■	○	○	○	○
预应力混凝土板	■	■	○	■	■	▲	○	■	○	○	○	○
预应力混凝土柱	■	▲	■	—	■	▲	○	■	○	○	○	○
预应力混凝土墩	■	▲	■	—	■	▲	○	■	○	○	○	○
体外应力加固技术	■	■	▲	■	■	▲	○	■	○	○	○	○
预应力混凝土筒仓	■	▲	■	—	■	▲	○	■	○	○	○	○
预应力核安全壳等结构	■	▲	■	—	■	▲	○	■	○	○	○	○
混凝土风塔	■	▲	■	—	■	▲	○	■	○	○	○	○
悬挑梁	■	▲	■	—	■	▲	○	■	○	○	▲	
悬挑板	■	▲	■	—	■	▲	○	■	○	○	○	○

注：■应监测，▲宜监测，○可监测，—不涉及该监测项。
[条文说明] 4.2.1 非预应力钢筋和混凝土同时承担预应力钢筋的有效应力，作用近似但并不完全一致，建议优选受力更敏感的混凝土材料进行监测。

4.2.2 预应力混凝土结构为室外悬挑结构，并且结构跨度大于 6m 时宜进行风速风向、风压监测。

4.3 测点布置

4.3.1 测点布置应符合下列规定：

1 测点布置应反映被监测对象的实际状态及变化趋势，且宜布置在监测参数值绝对量或变化量最大的位置。

2 测点的位置、数量应根据结构类型、监测等级、构件重要性、设计要求、易损性分析以及经济指标综合确定。

3 测点位置的选择宜便于设备的安装、维护与更换。并要根据构件的重要性来安装。

[条文说明] 4.3.1 施工阶段的测点布置应结合实际施工荷载工况确定，施工过程中出现明显内力重分布或短期超过结构安全预警阈值的部位应布置相应测点。

4.3.2 预应力筋应力监测点布置应具有代表性，且宜均匀分布。单根预应力筋的不同位置宜有对比性测点，可监测同一根钢绞线不同位置的有效应力变化。

[条文说明] 4.3.2 对需要监测的同一根钢绞线，宜选择张拉端、跨中等不同位置的有效应力变化情况。进而获取摩阻实验结果；被测钢绞线可根据其数量选取一定比例进行监测，且宜间隔选取。

4.3.3 位移监测点宜布置在变形最大或极值点处，测点数量应满足表征结构构件变形形态和结构计算分析的需要。

[条文说明] 4.3.3 位移测点布置在结构变形曲线特征点，是基于根据特征点值和变形曲线线性可确定结构变形曲线方程，并通过几何与微分分析计算获得所需要的结构变形值（如挠度、截面转角、任意点应变等）。

4.3.4 应变监测点的布置应选择施工过程和运营期间易损性分析中混凝土和非预应力钢筋应力大的位置，构件局部应力状态监测点宜沿主应力方向或构件几何坐标方向布置应变传感器。

4.3.5 振动监测点布置应根据需要截取的模态阶数确定，宜布置在需识别的振型关键点上，测点数量应满足所截取的最高阶模态特征曲线拟合要求。

4.3.6 环境监测点布置应符合下列规定：

1 温度监测点应根据结构体系、跨度、使用环境等因素综合确定，布置在温度梯度较大位置，应反映结构竖向与水平向温度场变化规律，测点布置宜与应变监测点协同。

2 湿度监测点宜布置在结构内湿度变化大、对结构耐久性影响大的部位。

[条文说明] 4.3.6 对于温度监测，相对独立空间应设 1~3 个点；当结构面积、跨度较大时，宜增加测点；对于构件应力、变形受温度影响大的区域，宜增加测点；当监测整个结构的温度场分布或不同部位结构温度与大气温度对应关系时，测点宜覆盖整个结构区域。

4.3.7 施工阶段的监测点布置应根据施工步骤分析结果确定，测点选取宜缩短系统路由长度提高系统稳定性。

5 传感器选型与技术要求

5.1 一般规定

5.1.1 传感器的选择应结合监测目的和结构自身特征，应满足对结构状态进行监控、评估及预警的要求，并具有稳定性、耐久性、兼容性和可扩展性。

5.1.2 传感器的性能参数应符合下列要求：

1 拟监测指标设计值宜为满量程的 80%-90%，且最大工作状态点不应超过满量程。

2 应根据监测参数和传感器类型选择适当的采样频率。当在对结构加速度等动态反应进行监测时，传感器采样频率应为需监测到的结构最大频率的 2 倍以上，采样频率宜为需监测到的结构最大频率的（5~10）倍。

5.1.3 传感器的稳定性、使用寿命应和监测周期相匹配；传感器使用前宜对照使用场景进行针对性校准，确保设备的有效性；传感器应满足结构实际使用环境的要求

5.1.4 传感器选型应便于现场安装和系统集成。

[条文说明] 5.1.4 在传感器选型阶段要根据监测项目现场的实际情况选取合适的安全方式和系统集成方式。

5.1.5 传感器安装前应进行标定或校准。

[条文说明] 5.1.5 传感器种类较多，根据传感器的原理和特点选择是在传感器出厂前还是安装前进行。

5.1.6 监测传感器可根据工程特点参考表 5.1.6 进行选择，传感器的量程、精度、采样频率宜根据结构计算分析结果确定，并应满足数据分析评估的要求。

表 5.1.6 传感器类型或测量手段

监测项目	传感器类型或测量手段
有效应力	智能钢绞线、油压压力表（放在控制应力）、压力传感器、应变传感器
位移	百分表、千分表、倾斜传感器、静力水准仪、全站仪、激光测距仪、三维激光扫描仪、DIC、GNSS、雷达法
应变	电阻式、振弦式、光纤式、磁感应式应变传感器
裂缝	加传感器种类
振动	加速度传感器
温度、湿度	温度、湿度传感器
风速、风向	机械式、超声式风速风向传感器
风压	表压式、差压式或绝压式风压传感器
地震作用	强震仪
雨量	雨量传感器
雪荷载	表压测量传感器、厚度测量传感器

5.2 预应力筋应力监测传感器

5.2.1 预应力筋应力监测可采用智能钢绞线监测法、压力传感器测量法、表面应变测定法。

[条文说明]5.2.1 智能钢绞线监测法是采用兼具受力和传感的智能化钢绞线原位代替普通钢绞线，进而实现有效应力全寿命监测的方法；压力表测量法根据千斤顶张拉油缸中的液压推算千斤顶的张拉力，将千斤顶的张拉力等同于预应力。压力传感器测定法通过在张拉过程中对预应力筋锚固端或张拉端安装压力传感器测量锚头的压力，根据预应力与锚头压力之间的关系推算有效应力。表面应变测定法将应变传感器固定（粘贴或焊接）在钢绞线的表面，根据钢绞线表面应变与整体应变之间的关系推算有效应力。

5.2.2 预应力筋应力监测方法宜选择直接监测法进行。

[条文说明]5.2.2 现有的预应力监测技术包括直接监测法和间接监测法，其中直接监测法是在钢绞线上（内）布设传感元件实现对钢绞线有效应力的获取，间接监测法是在预应力混凝土构件的混凝土内布设应变传感器，并通过结构仿真计算方法反推钢绞线的有效应力。考虑间接监测法的精度有限，以及直接监测法所用的传感器逐渐成熟，现有预应力监测方法应以直接法进行。

5.2.3 预应力筋应力监测宜选择智能钢绞线进行监测。

[条文说明]5.2.3 考虑预应力技术的独有特点，为了减少对预应力技术设计与施工的扰动，建议采用兼顾受力与传感功能的智能钢绞线，实现传感器与普通受力构件的原位代替。

5.2.4 预应力监测元件宜根据监测目的和工程要求，选择施工过程中和运营期间的有效应力变动较大位置；

5.2.5 智能钢绞线应符合下列基本规定：

1 量程应与量测范围相适应；应力量测的精度不宜低于 0.5% F.S.。

2 智能钢绞线的力学性能应大于被代替钢绞线的 90%；

3 智能钢绞线的几何性能应满足现有预应力张拉设备和锚固设施对几何尺寸的要求。

5.2.6 采用压力传感器测定法监测时，应确保传感器的安装呈同心状态，压力传感器精度不宜低于 0.5%F.S.。

5.2.7 采用表面应变测定法监测时，钢绞线的表面应变和整体应变间的相关系数需进行标定。表面应变测试法传感器引线方式应不会导致结构受力。

[条文说明]5.2.7 考虑钢绞线表面具有扭角，表面应变传感器与钢绞线存在角度不确定性，因此，在传感器使用前应进行标定；考虑预应力混凝土结构的特殊性，传感器引线引出时应不影响结构本身受力。

5.3 结构响应监测传感器

5.3.1 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。

[条文说明]5.3.1 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、裂缝、瞬时变形及日照变形等。

5.3.2 位移监测的监测仪器主要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，根据需求来选择合适的合适方法。

[条文说明]5.3.2 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。

三维位移可根据现场条件和精度要求选择 GNSS、数字图像相关测量法、三维激光扫描技术及全站仪进行监测。当各测点位移值有较高的同步性要求时,宜选用三维激光扫描技术、数字图像相关测量法。

GNSS (Global Navigation Satellite System) 指全球导航卫星系统,包括如美国的 GPS (Global Positioning System)、俄罗斯的格洛纳斯 (Glonass)、欧洲的伽利略卫星导航系统 (Galileo Satellite Navigation System)、中国的北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System) 等

5.3.3 变形监测的结果应结合环境及效应监测的结果进行修正。

[条文说明]5.3.3 修正就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,施工过程变形监测应根据监测期及现场条件确定。

5.3.4 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。

5.3.5 裂缝监测传感器应符合下列规定：

- 1 裂缝监测传感器可采用振弦式测缝计、应变式裂缝计等；
- 2 传感器的分辨率不应低于 0.01mm；
- 3 传感器量程不应小于 1000 微米。

5.3.6 应变传感器选型应符合下列基本规定：

- 1 量程应与量测范围相适应，应变量测的精度不应低于 0.5%F.S，监测值宜控制为 30%-80%F.S；
- 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。

5.3.10 应变监测应与变形监测等其他相关监测项目频次同步且宜采用实时监测

5.3.11 振动测量设备应具有良好的低频特性，量程不应低于被监测结构振动幅值的 1.2 倍，采样频率不应低于被监测结构所关注的最高频率的 3 倍。

[条文说明]5.3.12 被测结构的振动幅值及所需关注的最高振动频率值宜通过数值建模估算。

5.3.12 现场条件允许情况下，振动监测设备安装固定前，宜进行结构动力特性测试。

5.3.13 同类振动参数的传感器间的采集频率和时长应相同，并确保采集的同步性，各传感器的采集起始时间差不应大于 200ms。

5.4 荷载与环境监测传感器

I 地震动及地震响应监测

5.4.1 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。

5.4.2 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、结构类型和地形地址条件进行布置。

5.4.3 地震作用的监测设备应满足下列要求：

1 地震监测可选用强震仪或三向加速度传感器，传感器应符合地震监测相关标准的要求；

2 强震仪应能抑制大气压力、温度变化对仪器的影响；

3 强震仪应具有密封、高精度恒温功能的环境保护装置。

II 温湿度监测

5.4.4 温湿度监测可包括环境及构件温度监测和环境湿度监测；

5.4.5 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》GB50496 有关规定执行；

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

5.4.7 构件温度监测宜与应力监测选择同一位置，监测频率宜与应力监测和变形监测保持一致。

III 其他监测

5.4.9 当监测工程处于雷雨频发地区，风速、风向监测设备宜同时设置机械式和超声波式风速风向传感器。

5.4.10 风速、风向传感器应符合下列规定：

- 1 风速传感器的量程应大于设计风速，精度宜优于 0.1m/s。
- 2 风向传感器的精度宜优于 3°。
- 3 机械式风速传感器的响应频率不应小于 1Hz，超声波式风速风向传感器的响应频率不应小于 10Hz。
- 4 风速、风向传感器数据采集应保持同步，对于同类监测设备，各测点的测量时间差宜控制在 200ms 以内；对于不同类监测设备，测量起始时间差宜控制在 500ms 以内。

[条文说明] 5.4.10 结构风致响应的采集可根据风速测量值控制。

6 数据采集与传输

6.1 一般规定

6.1.1 数据采集与传输应确保获得不失真数据。

[条文说明] 6.1.1 数据采集制度应根据监测变量类型、感知方法、传感器数量和分布确定，包括数据采集方式、触发机制和采样频率的确定等；数据采集和传输的目的是将真实数据高效有序的传递到分析数据库内。

6.1.2 数据采集与传输的软硬件研发与选型应满足传感器监测要求。

[条文说明] 6.1.2 监测期间数据采集与传输的软硬件应根据传感器输出信号类型、范围、兼容性、精度和分辨力等要求进行研发与选型。传感器输出信号特征直接决定数据采集设备的选择，传感器输出信号分为模拟信号和数字信号。模拟信号需经过调理器的放大、滤波、A/D 转换。数字信号输出传感器通常内置 A/D 转换模块，其信号输出方式通常为遵循标准传输协议的数字信号，如串口协议 RS232/RS485 等。

6.1.3 数据采集与传输模块设计应包括与传感器接口的匹配性设计、信号调理与数据采集方案、数据传输方案与路由设计、软件功能设计与集成方案等内容。

1 数据采集与传输的软硬件研发与选型应与所选传感器相匹配。

2 数据采集和传输软件应自动采集与传输数据，并可进行人工干预采集与采集参数调整。

3 数据采集方案应包括数据采集方式、触发阈值和采样频率的确定。

6.1.4 数据管理应具有标准化读写接口，应考虑数据的结构化、安全性、共享性以及使用便携性。

[条文说明] 6.1.4 数据管理应遵循独立性、模块化、一致性、可扩展性、标准化和可移植性原则，应提供对各类信息的访问接口，并支持异构数据库间互操作，实现在不同系统或模块之间传递信息，实现网络环境下信息的交互和共享。数据共享是指系统所有用户可访问数据库中的数据，多用户共建共用，共享数据服务，有利于维护数据的一致性。

6.2 数据采集

6.2.1 数据采集设备与传感器之间应有明确的拓扑关系。根据预应力结构的尺寸、测点数量和布置以及传感器类型等进行设计，可选择集中式、分布式或混合式等数据采集方法。

[条文说明] 6.2.1 数据采集方式的选择与预应力混凝土结构规模、测点位置、监测设备类型、传感器数量和分布息息相关，监测设备空间分布较分散时，应考虑分布式的数据采集方式，同时保证设备间的连接可靠、稳定。

6.2.2 数据采集设备应根据传感器输出信号类型、匹配性、兼容性、采样频率、精度和分辨率等要求进行选型。数据采集设备所收集的信号，可进行信号调理和信噪分离，提高数据采集的质量。

6.2.3 数据采集方案应根据荷载、环境、结构响应特点和监测要求的不同，可选择定时采样、触发采样和两者相结合的混合采样三种方法。

[条文说明] 6.2.3 采集方式可采用以下方式进行：

1 应变、预应力筋应力、位移、振动等结构响应以及环境温度宜采用定时采集模式，采集时间应根据施工情况和运营使用情况确定。

2 地震作用宜采用触发采集模式。

3 风速、风压宜采用定时采集结合触发采集的混合采集模式。

6.2.4 采样频率根据监测要求和功能要求设定，应能反映被监测结构的行为和状态，并满足结构健康监测数据的应用条件。

6.2.5 当同类型或不同类型数据需要做相关分析时，所有相关数据应同步采集。不同监测数据采集同步性，应满足同类型变量监测数据的时间同步误差小于 0.1ms；不同类型变量监测数据的时间同步误差小于 1ms。当采集对象为静态应变数据，且结构在采集期间未经历地震、台风等动态荷载时，时间同步误差可放宽至 1s。

[条文说明] 6.2.5 相关分析是研究两个或两个以上处于同等地位的随机变量间的相关关系的统计分析方法。结构振动数据（如加速度、动应变等）采集的同步性还应满足结构模态分析的要求。环境作用和结构响应监测数据应同步采集，特别是需要做相关分析时，宜采用北斗卫星导航时钟同步技术。

6.2.6 关键施工步骤以及结构出现异常预警后，应增加数据采集频次。

6.3 数据传输

6.3.1 数据传输应确保系统各模块之间无缝连接，以成为一个有机协调的整体；应确保监测数据和指令在各模块之间高效可靠传输，并确保实时、连续、不间断传输。

[条文说明] 6.3.1 数据传输系统的设计应坚持因地制宜的原则，并综合考虑数据传输距离、工程各阶段特征和工程现场地形条件、网络覆盖状况、已有的通信设施等因素，灵活选取合适的数据传输方式。

6.3.2 数据传输可采用下列方式：

- 1 基于信号的同步技术。
- 2 基于时间的同步技术。
- 3 有线传输。
- 4 无线传输。
- 5 以上方式的组合。

[条文说明] 6.3.2 常用的数据传输方式包括以下几类：

1 基于信号的同步技术采用基于时钟同步模块的时钟频率共享技术，每个采集设备中装有时钟同步模块，再用有线介质将各个设备相连，以其中之一作为主模块，其余的作为从模块。主模块内部的时钟信号通过电缆同步从模块内部的时钟信号。采集设备的时间戳同步应采用同一网络时间服务器。

2 基于时间的同步技术是系统各部分具有一个公共的时间基准参考，可以基于该基准时间生成事件、触发和时钟。对于长距离传输，可以利用包括 GPS、NTP、IEEE 1588 和 IRIG-B 等各种时间参考，借助绝对定时实现测量结果的关联与同步。

3 有线传输是指两个通信设备之间使用物理连接，将信号从一方传到另一方。常用的介质有双绞线、同轴电缆和光缆等，常用的接口有 RS232、RS422、RS485 和 RJ45 等。

4 无线传输是指两个通信设备之间不使用任何物理连接，将信号通过空间传输的一种技术。通常可分为无线广域通信网（无线公网）和无线局域通信网两种方式。无线广域通信网络可采用 GPRS 和 CDMA 等方式；无线局域通信网可采用 TCP/IP 协议和 4G/5G 等方式。

5 以上方式的组合是指在同个项目中的不同部位或者不同参数的传感器采用不同的传输方式

6.3.3 当数据传输系统选择同步传输时，应结合现场实际情况，综合考虑传感器间距离、工程各阶段特征及工程现场地形条件等因素，选择合适的同步技术。

1 对于小范围的监测系统，宜采用基于信号的同步技术。当采用基于信号的同步技术时，在设计时尚应考虑路线最优化，并注意外部的突发事件对信号可能造成的干扰。

2 对于大范围的监测系统，宜采用基于时间的同步技术。

3 根据工程实际需要，可选取一种或两种同步技术组合使用。

[条文说明] 6.3.3 数据传输系统按照传输速度不同，可设计为同步传输和异步传输两种方式。同步传输要求较高，需进行一定的技术要求。

1 外部的突发事件包括土方开挖振动，电磁场干扰、焊接脉冲等可能影响数据传输的施工事件，设计时要采取一定的保护措施。

2 大范围的监测系统是指占地面积较大或施工范围较广的工程建筑。

6.3.4 数据传输系统的设计应坚持因地制宜的原则，并综合考虑数据传输距离、工程各阶段特征和工程现场地形条件、网络覆盖状况、已有的通信设施等因素，灵活选取合适的数据传输方式。

1 当工程现场存在无线发射设备或在有强电磁场的环境下，应采取有效的电磁屏蔽措施，当无法实施电磁屏蔽时，应采用有线传输方式。

2 对于交通不便的深山峡谷、复杂地形、物理线路布设和维护困难的环境下，宜采用无线传输方式。

3 需要构建临时传输网络的工程现场，宜采用无线传输方式。

4 根据工程实际需要，可选择一种或多种传输方式进行组合使用。

[条文说明] 6.3.4 坚持因地制宜的原则，即要了解工程场地现场的各种条件，充分考虑到工程过程中可能遇到的各种问题，灵活选取合适的方式。根据工程各阶段施工特点和需要组建临时通信网络的，尽量选择无线传输方式，便于布设和维护。

6.3.5 数据传输系统中应设计数据备份机制，以保证在传输线路故障时数据的完整性和可靠性。

[条文说明] 6.3.5 为保证数据传输线路故障时监测数据的完整性和可靠性，应设计数据备份机制。

1 数据发送端应保存一定时长的监测数据作为备份。具体时长应大于故障发生后维护人员现场处理的时间。（将两句话合并：数据发送端应监测数据故障发生后维护人员现场处理的时间）

2 鉴于核安全壳结构健康监测关系到生命财产的安全和工程施工的正常开展，因此作为联系监测现场和远程控制中心的数据通道要确保高效率无差错的传送。但任何一种通信线路上都不可避免受到一定程度的干扰，尤其在恶劣的施工环境下。信道噪声所造成的后果是接收端接收的数据与发送端不一致，即造成传输差错。为避免传输差错，应采取质量控制机制。

6.3.6 当数据通道发生故障而中断，在故障排除后，数据传输系统应具有补发功能，将中断时间段内所有数据发送到接收端。

6.3.7 对于数据传输系统的应答、重发和补发模块应设置时限，避免因应答等待、重发及补发影响正常数据发送，宜利用数据通道空闲时段完成补发数据传输。

7 数据管理与分析

7.1 一般规定

7.1.1 数据管理与分析模块应包括下列主要功能：

- 1 数据预处理、数据存储；
- 2 建立数据库，进行数据查询和管理；
- 3 备份数据、自动导入和导出数据及手工导入和导出数据；
- 4 统一的数据标准格式和接口，并编入系统说明文档；
- 5 数据安全性，可采取设定不同用户级别权限和密码，以及网络

防护等技术措施。

[条文说明] 7.1.1 数据安全性要包括数据完整性、数据加密、数据访问权限控制和数据可审计性。

7.1.2 数据存储与管理模块应根据不同的数据类型设计数据库以及数据维护和备份机制。数据的管理和存储宜选用成熟的商业数据库软件系统或业内应用较广的开源数据库软件系统。

[条文说明] 7.1.2 商业数据库软件和开源数据库软件的选择，没有孰优孰劣，阿里、华为等大企业大都选用了开源的 Mysql。在进行模态分析等过程中，通过数据库把所有信息都保存是不现实的，中间数据宜采用自有的文件格式保存数据，但结果数据建议采用规范化数据保存在数据库中，以便于使用。

7.1.3 数据存储与管理模块设计应包括架构设计、功能设计、性能设计、安全设计，软件开发应考虑安全性、可靠性、实用性、交互性、先进性、开放性、可扩展性。

[条文说明] 7.1.3 结构健康监测的基础是数据和数据应用，它是指利用现有的数据库管理系统，构造最优的数据模式，建立可用的数据库和应用系统，以便能够更有效地存储、管理和利用数据，满足用户的应用需求。

1 可靠性是指数据库软件产品成熟，具有可靠的技术支持，确保系统稳定运行。

2 先进性是指数据库软件产品采用最新、最成熟和有生命力的技术，以保证一定时期内不被淘汰。

3 开放性是指数据库软件产品容易与其它数据库协作。由于各种软硬件平台日趋多样化，为了满足各种不同平台系统的要求，应用软件的设计应遵循开放系统的原则，与平台无关。

4 可扩展性是指数据库软件产品能满足监测系统扩容的要求，便于必要时进行数据库升级并能够根据需要扩展新的功能。

5 标准性是指数据库软件产品遵循公共的国际技术标准，以方便今后的升级维护。

6 经济性是指数据库软件产品有良好的性价比。

7 安全性是指数据库具有足够的安全手段保障数据的存储安全和使用安全。

7.1.4 数据存储和管理可在本地计算机上进行，优先选择云存储和云管理技术。云存储与管理应符合 GB/T 31167 和 GB/T 31168 的相关规定。

[条文说明] 7.1.4 数据库后期维护很重要，其实还涉及不同类数据库之间数据共享或导入导出问题，备份和容错机制更加重要，采用云存储和云管理技术可有效提高数据可扩展性。

7.1.5 数据分析前应进行数据预处理，最大限度保证数据的客观性和完整性。

[条文说明] 7.1.5 根据数据采集设备的传感原理，易出现因为电激励等非结构原因产生的数据异常，在数据分析前应该对数据进行预处理，以期去掉非结构原因导致的数据异常，从而提高数据的客观性和根据数据分析的准确性。

7.1.6 数据分析报告应全面、客观、真实并提供明确的工程建议，为后续决策提供支持。

7.2 数据管理

7.2.1 数据存储系统在使用时应支持在线实时处理分析、离线分析以及两种工作方式的混合模式。

7.2.2 数据管理系统的原始监测数据应定期存储、备份存档，后处理数据保持足够的在线存储，以便随时在线查询和分析；经统计分析的数据应专项存储，每季度或年度分析后宜存储某一段或几段典型数据。

[条文说明] 7.2.2 考虑监测系统数据量庞大，为了提高处理数据的效率，解决数据存储带来的资源占用问题，数据库管理时分阶段对数据进行分析后，将分析结果存入数据库内。

7.2.3 数据库的工作环境应满足下列要求：

- 1 数据库管理系统应处于安全的物理环境。对数据库管理系统资源的处理应限定在一些可控制的访问设备内，防止未授权的访问。系统硬件和软件应受到保护以免未经授权用户的物理修改。

- 2 应有一个或多个能胜任的授权用户来管理数据库管理系统和它所包含信息的安全。管理员应经过培训，以便能正确有效地建立和维护安全策略。被授权的管理员应严格遵从系统管理员文档的要求进行操作，不应蓄意破坏数据库管理系统，不应蓄意违反操作规程。授权用户应具备必要的授权来访问由数据库管理系统管理权限规定的对应的少量信息。

3 数据库管理系统应在系统管理员的配置下正常运行，用户可通过网络远程访问和使用数据库管理系统。授权用户可获得他们希望得到的适当服务。

7.2.4 在应用程序调试完成后，应对数据库进行试运行操作，包括功能测试和性能测试。试运行操作期间，应做好数据库的备份和恢复工作。

[条文说明] 7.2.4 功能测试包括：实际运行应用程序，执行各类数据库操作，检验各种功能是否正确无误，是否满足设计要求。性能测试包括：测量系统的性能指标，检验是否符合设计指标。在数据库试运行阶段，由于系统还不稳定，软硬件故障随时都可能发生，因此应做好数据库的备份和恢复工作。

7.2.5 监测信息管理应包括自动导入图形或文件，实时数据和历史监测信息的查询，并具备监测可视化功能。

7.2.6 用户管理应支持权限的定义和分配功能，并根据用户的权限来操作不同模块，提供基于角色的用户组管理、授权注册账号和认证等。

7.2.7 系统安全管理应提供运行环境的网络和保护、数据库容灾备份机制、敏感信息标记以及用户使日志审计等功能。

7.2.8 数据库的维护应符合下列规定：

1 数据库管理员应针对不同的应用要求制定不同的数据备份计划，定期对数据库和日志文件进行备份，以保证一旦发生故障，能利用数据库备份和日志文件备份，尽快将数据库恢复到某种一致状态，并尽可能减少数据库的丢失。

2 数据库管理员应根据用户的实际需要授予其不同的操作权限。在数据库运行过程中，宜根据环境的变化适当调整原有的安全性和完整性控制，以满足用户要求。

3 数据库管理员应借助数据库管理系统的系统性能监测工具，来监督系统运行状态，判断当前系统是否处于最佳运行状态；否则，需要通过调整某些参数来进一步改进数据库性能。

4 数据库管理员在必要时应借助数据库管理系统提供的实用程序对数据库进行重组织和重新构造。

[条文说明] 7.2.8 在数据库运行一段时间后，由于数据记录的不断增、删、改，会使数据库的物理存储变坏，从而降低数据库存储空间的利用率和数据的存取效率，使数据库性能下降；这时数据库管理员应借助数据库管理系统提供的实用程序对数据库进行重组织或部分重组织。同样，随着数据库的应用环境的变化，可能会导致实体或对象发生变化，从而不得不适当调整数据库的模式，这时数据库管理员需要对数据库进行重新构造。

7.2.9 加入软件功能说明，具有软件的指导。

7.3 数据分析

7.3.1 应对监测数据进行异常值剔除、缺省补齐数据平滑处理、趋势突变校正等预处理工作。

[条文说明] 7.3.1 监测期间数据处理，应正确处理粗差、系统误差、偶然误差等，应正确判断异常数据是由结构状态变化引起还是监测系统自身异常引起，剔除由监测系统自身引起的异常数据，对结构振动数据，还可采用数字滤波、去噪、截取等方法提高数据质量。

7.3.2 数据分析应对荷载与环境数据、结构整体响应和结构局部响应数据进行全面数据分析，为安全预警、安全评估和专项评估提供基础数据。

7.3.3 数据分析包括图表分析、统计分析、对比分析和其他特殊分析。图表分析包括各监测参数时程曲线图、加速度频谱图等；统计分析包括最大值、最小值、平均值、均方根值、累计值等统计值；特殊分析包括风参数分析、模态分析、疲劳分析等。

7.3.4 预应力筋应力时程数据分析，可根据雨流计数法和 Miner 线性损伤理论计算结构疲劳损伤指数。

[条文说明] 7.3.4 钢绞线是在高应力状态下工作，出现疲劳损伤的可能性更大，需重点关注。

①雨流计数法：将应变—时间历程数据记录转过 90°，时间坐标轴竖直向下，数据记录犹如一系列屋面，雨水顺着屋面往下流，故称为雨流计数法。其计数规则为：i) 雨流在试验记录的起点和依此在每一个峰值的内边开始，亦即从 1,2,3,……等尖点开始；ii) 雨流在流到峰值处（即屋檐）竖直下滴，一直流到对面有一个比开始时最大值（或最小值）更正的最大值（或更负的最小值）为止；iii) 当雨流遇到来自上面屋顶流下的雨时即停止流动，记一个全循环；iv) 根据雨滴流动的起点和终点，取出所有全循环。

②Miner 线性损伤理论：

$$I_f = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i}$$

其中：

I_f ——疲劳损伤值，破坏准则： $I_f = 1$ ；

k ——载荷的应力水平级数；

n_i ——第*i*级应力水平下的循环数；

N_i ——第*i*级应力水平下的寿命。

7.3.5 应变数据采用多测点同步监测时，可根据需要进行主成分分析，以获取结构应力随外荷载的变化模式，用于环境作用分离、缺失数据插补、异常数据识别等。

7.3.6 针对施工阶段监测数据的分析，应根据实际的施工进度或者荷载变化情况，将结构的几何、有效预应力、应变监测数据分析结果与施工过程结构计算分析结果对比分析，实现对施工过程的有效控制。

[条文说明] 7.3.6 对预应力混凝土结构施工过程监测数据的分析关系到生命财产的安全和工程施工的正常开展，要确保高效率可靠的运转。

7.3.7 数据分析报告应包含以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 数据分析方法与原理；
- 3 监测点布置与设备；
- 4 监测周期与时长；
- 5 现状数据分析；
- 6 监测数据预警情况；
- 7 环境影响与风险分析；
- 8 结构状态评价；
- 9 处置工程建议。

8 预警与评估

8.1 一般规定

8.1.1 当监测的病害出现不稳定或监测的结构响应超过规定的预警指标时，应进行监测预警。

[条文说明] 8.1.1 结构在施工和运营期间会受到多种不确定性因素的影响，因此，监测结果超过预警指标是施工违规操作、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，应进行监测预警，提请项目参建各方的重视。

8.1.2 运营期要充分利用结构的监测数据，并结合结构日常、定期检测情况和历史数据综合分析，实现对结构状态的综合评估。在性能水平下降至一定程度时，需及时实施预警或报警。

8.1.3 结构预警与评估系统应对结构各类监测参数建立明确的预警指标，并通过对监测数据进行处理分析，实现对结构状态的监测和分级预警。

8.1.4 定期利用监测数据，对比设计及规范的相关规定，进行结构安全常规评估；在遭受台风、地震作用、雪灾、洪水等特殊事件后应进行结构安全特殊评估。

[条文说明] 8.1.4 评估模块应充分利用结构的监测数据，并结合结构日常、定期巡视情况和历史数据综合分析，实现对结构状态的定期常规评估。结构评估应准确反映结构的当前性能水平，及时提出相应的结构养护和管理建议。特殊事件后应进行的结构安全特殊评估，宜包括突发事件对结构的损伤程度评估、后期正常使用荷载作用下的安全性与适用性等评估，必要时组织专家研判

8.2 预警

8.2.1 预警阈值的设置可根据设计容许值、理论计算值、数值分析值、工程经验给出，并定期对其进行检验、补充、修正和优化。

1 当监测到的结构响应为绝对值时，预警阈值可设定为容许值乘以折减系数，折减系数可根据测点所在构件的重要性等级、结构所处的阶段、以及预警等级进行设定；

2 当监测到的结构响应为相对值时，可设定预警阈值为 $\mu \pm \beta \sigma$ ，其中， μ 为近期监测数据的分布均值， σ 为结构近期监测数据的分布标准差，指标 β 可根据测点所在构件的重要性等级、结构所处的阶段、以及预警等级进行设定。

[条文说明] 8.2.1 规范规定的设计容许值优先选择规范限值，当规范未规定设计容许值时，应根据理论计算、数值分析、工程经验等设定相应的预警阈值；

采用有限元数值分析时，应明确区分三种模型：①设计模型，指在设计寿命期内结构预定（理想）状态的模型；②竣工模型，指根据结构竣工时的检测结果，更新得到反映结构竣工时状态的模型；③动态模型，指结构服役的某一个时间点反映结构安全状态的模型。

1 传感器在结构开始建造前就预先布置于构件上并开始采集数据，或采用能够测得结构响应绝对值的监测设备时获取的为结构响应绝对值；传感器在结构建造过程中或建成后进行布置并开始采集数据的为结构响应相对值；所有监测值在开始采集前应先归零。

2 监测数据的分布均值和标准差可采用移动窗的策略选取监测数据进行直接统计，也可通过贝叶斯推断方法进行实时估计。当监测数据中环境作用引起的趋势项较明显时，应以去除趋势项后的数据为对象设定相应的预警阈值和进行预警判断。

8.2.2 为合理反映指标的不同程度，安全预警可设黄色、橙色和红色三级。黄色预警提醒管养单位应对结构响应、环境及环境作用加强关注，并进行跟踪观察；橙色预警警示管养单位应对结构响应、环境及环境作用连续密切关注，查明报警原因，采取适当检查、应急管理措施以确保结构安全运营，并应及时进行结构安全评估；红色预警要求管养单位立即采取行动，采取减少荷载、停止使用或其他使用措施，并应在结构安全评估后对结构进行有效的加固处理。

[条文说明] 8.2.2 结构预警与评估系统应根据结构特点、材料、设计理论最大值以及外界环境影响等因素建立明确、简洁、易懂的分级预警指标，本规程设黄色、橙色、红色三级，采用结构分析结果的 60%、80%和 95%进行预警。管养单位为建设单位、使用单位或监测单位。

8.2.3 施工阶段结构监测预警阈值符合下列规定：

1 当位移或变形大于 0.6 倍设计允许值或规范限定值时，进行黄色预警；当位移或变形大于 0.8 倍设计允许值或规范限定值时，进行橙色预警；当位移或变形大于 0.95 倍设计允许值或规范限定值时，进行红色预警；

2 当应力监测值大于 0.6 倍设计允许值或规范限定值时，进行黄色预警；当应力监测值大于 0.8 倍设计允许值时，进行橙色预警；当应力监测值大于 0.95 倍设计允许值时，进行红色预警；

3 当施工预警阈值按施工过程结构计算分析的结果设定时，实测值大于 1.0 倍理论分析结果时，进行黄色预警；实测值大于 1.2 倍理论分析结果时，进行橙色预警；实测值大于 1.4 倍理论分析结果时，进行红色预警。

8.2.4 运营期间结构监测预警阈值宜符合下列规定：

1 当位移或变形大于 0.6 倍设计允许值或规范限定值时，进行黄色预警；当位移或变形大于 0.8 倍设计允许值或规范限定值时，进行橙色预警；当位移或变形大于设计允许值或规范限定值时，进行红色预警；当相对位移或变形超出 $\mu \pm 3.5\sigma$ 范围时，进行黄色预警；当相对位移或变形超出 $\mu \pm 4.5\sigma$ 范围外时，进行红色预警；

2 当应力监测值大于 0.6 倍设计允许值或规范限定值时，进行黄色预警；当应力监测值大于 0.8 倍设计允许值或规范限定值时，进行橙色预警；当应力监测值大于设计允许值或规范限定值时，进行红色预警；

3 当预应力筋应力监测值与设计值正负偏差大于 15%时，进行黄色预警；当预应力筋应力监测值与设计值正负偏差大于 25%时，进行橙色预警；当预应力筋应力监测值与设计值正负偏差大于 40%时，进行红色预警；

4 当沿预应力钢筋纵向裂缝宽度大于 0.1mm 时，进行黄色预警；当沿预应力钢筋纵向裂缝宽度大于 0.2mm 时，进行橙色预警；

5 当 30 天内发现 10 次及以上黄色预警时，进行橙色预警。

[条文说明] 8.2.4 相对位移或变形超出 $\mu \pm 3.5\sigma$ 范围的概率约为 0.0465%，相对位移或变形超出 $\mu \pm 4.5\sigma$ 范围的概率约为 $6.79 \times 10^{-4}\%$ 。

8.2.5 应根据监测数据和数据分析结果，监测系统进行自动实时预警，并根据需要将各种预警信息以电子邮件或短信等形式通知相关人员。

[条文说明] 8.2.5 预警系统应服务于业主单位或日常管理与运营维护部门，实现安全状态的实时预警，自动处理预警信息，并根据需要将各种预警信息及

时通知相关人员和相关单位采取措施，并向上级部门和有关单位及时报送。当预警涉及的安全隐患已经消除或突发事件不满足相应级别预警启动标准时，应及时降级转化或撤销安全预警。预警通知方式应明显且多样化，可包括指示灯、喇叭、网络、可变情报板、短信、路侧广播等。

8.3 评估

8.3.1 当结构出现如下情景之一，需对结构性能进行评估：

- 1 发现结构存在异常；
- 2 结构检测、监测过程中发现明显病害，或者已有病害呈加速发展趋势；
- 3 结构经历极端气候；
- 4 结构遭遇突发事件。

8.3.2 基于结构健康监测数据的结构性能评估，应通过相应的评价基准来进行判断，其具体实施方法根据评价基准的不同分为以下四大类，在结构性能评估中，可以使用其中一类或几类利用监测数据对结构进行性能评估：

- 1 基于阈值评估。当监测指标存在阈值时，可根据监测数据/指标是否超过阈值来判别结构是否正常；同时，可通过基于监测数据的结构参数及损伤指标与阈值之差能反映结构在此性能上的冗余度。
- 2 基于合理值或合理范围评估。通过基于监测数据的结构参数及损伤指标同该结构相应的合理值或者合理范围进行比较，进行评估。
- 3 基于某基准时点（如建成初期）数据的评估。通过当前结构参数及损伤指标与基准时点的相应结构参数及损伤指标（或是相应计算

值)进行比较和评估。通常基准时点选用结构建设完成时,或者监测系统搭设完成时的时间点。

4 基于不同时期状态对比的评估。针对结构劣化,或是维修、加固的改善等的判断,可采用不同时期结构参数及损伤指标对比而进行评估。其时间点可取为间隔一定时间的时间点,或是在维修、加固活动的开始前与结束后的时间点。

[条文说明] 8.3.2 对于结构状态评估的方法有多种,既有对于单一指标的评估,也有对于结构整体的评估,既有基于确定性分析上的评估,也有基于考虑不确定性的评估。在结构性能评估的实际应用中,需根据工程机构实际需要选用合适的评价方法。一般来说,单一指标的评估比较单纯,同时又很片面。由于结构的拥有多种类型多个具体的性能指标,除了一些关键性的指标,很难说某个具体指标一旦超标结构整体就性能不满足了,在实际操作中,往往会针对各指标进行综合评估,一个常用的方法就是建立一个分级评估体系,对每个指标进行打分,最后通过公式算出最终性能得分,并据此对结构性能进行分级,这是一种可操作性极强的方法,目前已被广泛使用。本条文则是针对结构的安全等级评定作了一些相关的说明。

8.3.3 结合各项指标,宜采用层次分析法和极限分析法等确定性方法对结构进行综合评估分析,也可采用可靠度分析法、体系可靠度分析法、蒙特卡洛法、神经网络法、界限估算方法、分支界限法、模糊理论等其他综合评估方法。

[条文说明] 8.3.3 层次分析法是系统分析的工具之一,是一种定性分析与定量分析相结合的方法。层次分析法的基本思想,是将结构安全性指标按由粗到细、由整体到局部的原则分解为不同层次的详细指标,然后用求解判断矩阵特征向量的办法,求得每一层次各元素对上一层次某元素的优先权重,最后再利用加权求和的方法递归并各详细指标的贡献而最终求得结构安全性指标;

结构承载能力即第二类稳定问题的计算方法与非线性有限元是密不可分的。运用非线性有限元计算结构承载能力的关键，是在单元分析中引入几何非线性、材料非线性、极限荷载的求解方法。

可靠度分析方法包括构件可靠度分析法、体系可靠度分析法。构件可靠度又包括 FORM、JC、SORM、Monte Carlo.体系可靠度分析法又包括界限估算法、串联及并联和混联体系法、概率网络估算技术法、分枝界限法。

蒙特卡罗方法（Monte Carlo Method，简称 MC 法）是一种采用统计抽样理论近似地求解数学问题或物理问题的方法。

界限估算法是一阶方法，取两种极限状态作为体系可靠度的上下限，利用基本事件的失效概率来研究多重模式的失效概率。

分枝界限法是通过分枝界限的途径，从众多的失效模式中，找出主要失效模式，计算结构体系可靠度的方法。分枝界限法包括分枝和界限两个步骤。

8.3.4 评估分析报告应包括结构健康监测系统的基本信息、评估项目、评估方法、评估结果和建议等。

[条文说明] 8.3.4 预应力建立的过程只有在施工中可以调整，所以该过程的监测要与施工紧密结合，针对预应力混凝土结构的特殊性，施工阶段的监测更有必要，重要性更为突出，要求更严格，对于数据的及时性更敏感。若监测数据正常，则施工顺利进行。若有异常发生，通常需要即时反应，并通知到施工各单位，确保在施工进入下一工况前进行处理。各单位应马上展开对异常产生原因的调查，寻找原因。如果是有限元计算出问题，如边界条件或者施工路径设置与实际不符，需要马上调整阈值；如果是施工出问题，如张拉不到位或者超张拉，混凝土强度不达标等原因造成，则需要调整施工过程。在评估建议中应给出施工注意事项，对于有要求的项目需专家论证，必要时调整施工方案，甚至进行加固。

9 监测系统施工与安装

9.1 一般规定

9.1.1 监测工作应由具有相应资质或能力的专业机构承担。

[条文说明] 9.1.1 考虑现阶段国家无对应的监测资质，可参考检测资质或者由业绩证明企业能力。后续如果发布相关资质由对应资质确定。

9.1.2 监测系统的安装调试和监测人员应由专业机构（承担监测的机构）培训合格后上岗。

9.1.3 安装工作应按照安装部位处理、传感器定位、传感器固定、保护装置安装、安装部位恢复的顺序依次进行。

9.1.4 安装方式应根据设计文件、传感器说明书、现场条件和施工可行性合理选定。

9.1.5 监测设备的安装应安全可靠，警示标志应稳固、醒目。

9.1.6 安装就位后的监测设备不应影响行人和检修人员等正常通行。

9.2 施工制图

9.2.1 监测施工制图应包括测点位置和路由设计。

9.2.2 监测施工制图由监测专业单位进行，并经设计单位认可后使用。

9.2.3 监测施工制图应满足《建筑电气制图标准》GB/T50786 相关要求

9.2.4 监测测点图样和标注宜采用表 9.2.4 的常用图形符号，图样和标注应符合如下规定：

- 1 图形符号可根据图纸比例放大或缩小；

2 图纸中应包括测点图样和带编号的文字标注，编号宜根据现场测点数量采用图 9.2.4 中监测测点标注加阿拉伯数字进行。

使用结构方面的图例

表 9.2.4 监测测点类型的常用图形符号

序号	监测项目	监测测点图例	监测测点标注
1	位移		D
2	应变		S
3	预应力筋应力		R
4	振动		A
5	温度		T
6	风速、风向		WS
7	风压		WP
8	地震作用		E
9	雪荷载		SP
10	雨量		RF
11	湿度		H

注：当现有符号和标注不满足设计要求时，可按图形符号生产原则产生新的图形符号。

9.3 系统施工

9.3.1 监测系统的施工包括前期准备、现场实施和检查验收三个阶段。

9.3.2 监测系统的施工前期准备应符合下列规定：

- 1 应组织技术人员进行现场调查，并作好准备工作。
- 2 应组织技术人员对设计资料进行检查，若发现问题应及时按相关规定办理设计变更手续。
- 3 应组织设计人员对建设、施工和监理单位相关人员进行设计交底。

4 应根据国家有关法律法规、现行标准制定各专项施工方案。

9.3.3 监测系统的现场施工实施应符合下列规定：

1 应建立技术和安全交底制度，作业前应对施工人员进行交底。

2 使用的传感器、原材料、安全防护用品、机械设备和生产工具等应为合格产品，且在使用有效期内。

3 实施过程中的安全技术、劳动保护、防火措施及环境保护应符合国家现行有关法律法规和有关标准的规定。

4 自主研发的软件应经安全性、可靠性、可恢复性和兼容性等测试合格后方可部署。

5 在结构上实施健康监测系统时，现场实施不宜影响结构的正常施工和使用。

9.3.4 测点的安装宜和施工进度同步，测量参数增量的测点宜在结构受外力作用前安装，测点安装完成后应测定初始值。

9.4 系统安装

9.4.1 监测系统的安装包括传感器系统、数据传输系统、采集子站和监控中心三个分项安装工程。

9.4.2 传感器系统的安装应符合下列规定：

1 安装前应进行施工现场勘查，应根据设计文件、监测需求、传感器要求和现场条件选择合适的传感器安装方式，宜采用内部预埋式、钻孔埋置式或外部固定式对传感器进行安装；

2 传感器和引出线缆应满足设计技术指标要求，安装前应核查产品的说明书、合格证，并测试传感器的工作性能；

3 现场施工不应降低结构的安全性、适用性和耐久性，且不得对传感器的外观和使用性能造成影响；

4 安装传感器使用的预埋件、基座、支架、夹具和保护装置应具有足够的强度、刚度和耐久性；

5 传感器安装应牢固，不应出现滑动和旋转。

9.4.3 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。

9.4.4 预应力筋应力监测传感器的安装应符合下列规定：

1 安装前逐个确认传感器的有效性，确保能正常工作；

2 传感器安装宜伴随张拉过程进行，不宜增加工艺流程；

3 传感器安装宜使用普通钢绞线的锚固系统；

4 安装后及时对传感器工作状态进行检查，发现问题及时处理。

9.4.5 安装传感器保护装置应符合下列规定：

1 保护装置应可靠有效，且不应影响传感器的正常工作；

- 2 宜采用方便拆卸的螺栓、夹具或抱箍固定保护装置；
- 3 保护装置内壁不宜接触传感器；
- 4 保护装置开口处宜有防止生物侵害的措施。

加入防雷、电器长期使用的需求

9.4.6 安装引出线缆应符合下列规定：

1 对于内部预埋式和钻孔埋置式安装的传感器，当线缆端部有可插接接头时，引出线缆露出结构表面的长度应大于 0.5m；当线缆端部没有可插接接头时，引出线缆露出结构表面的长度应大于 1m；

2 对于外部固定式安装的传感器，当线缆端部有可插接接头时，引出线缆露出保护装置的长度应大于 0.5m；当线缆端部没有可插接接头时，引出线缆露出保护装置的长度应大于 1m；

3 引出线缆端部应设置清晰、牢固的编号牌；

4 引出线缆应采用有效的措施固定在结构或支架上，固定点之间的距离应小于 0.8m；

5 引出线缆不得缠绕和扭绞，硬质线缆最小弯曲半径应大于线缆外径的 20 倍，软质线缆最小弯曲半径应大于线缆外径的 10 倍；

6 线缆端部插接接头应有防止破坏和粉尘进入的措施。

9.4.7 采集子站和监控中心的安装应符合下列规定：

1 采集子站安装和监控中心配置前应进行施工现场勘查，根据设计要求和现场情况选择适宜的施工工艺和安装方法；

2 采集子站和监控中心的设备及缆线应满足设计技术指标要求，安装前应检查产品的说明书、合格证和工作性能；

3 采集子站和监控中心自身结构的强度、稳固性以及质量应满足要求，且内部设备安装牢固且接头连接可靠；

4 采集子站和监控中心的施工和调试过程应有详细记录，验收后应建立施工和调试文档。

10 监测系统验收与维护

10.1 一般规定

10.1.1 监测系统验收包括系统硬件验收和系统软件验收。

[条文说明] 10.1.1 结构健康监测系统验收是一项系统工作，应以监测设计方案为基础，根据监测设计方案中的监测目的、监测内容、监测频率，做到目的明确、内容合理和便于维护，实现结构健康监测的目的和功能。

10.1.2 系统硬件验收包括：传感器模块验收、数据采集与传输模块验收，通过现场设备查验和资料验收两部分完成。

10.1.3 系统软件验收包括：数据存储与管理模块验收、数据分析模块验收、安全预警及评估模块验收，通过现场软件功能演示和软件说明等资料验收两部分完成。

[条文说明] 10.1.2~10.1.3 监测系统验收的具体条目根据具体监测项目的情况确定

10.1.4 监测系统验收宜由业主单位组织，并邀请相关设计单位、施工单位、监测实施单位、接收管理单位等相关部门参加。

[条文说明] 10.1.4 各单位应由项目负责人或委托代表参加，组织专业人员进行验收，形成完善的交付手续。以防止非专业单位蒙混过关，影响系统可用性进而带来结构损伤无法发现的风险。

10.1.5 使用单位应建立监测系统维护制度，由使用单位（或指定监测单位）对监测系统进行日常巡查和定期维护管理。

10.1.6 专职人员应熟练掌握监测系统的硬件性能及软件操作，能有效处理系统出现的一般常见故障。

[条文说明] 10.1.7 考虑监测系统的专业性和其可远程进行有效维护的特点，本条的专职人员可为使用单位人员，也可为监测系统技术服务人员。

10.2 硬件验收

10.2.1 传感器模块验收：

- 1 传感器模块验收应分现场检查和室内资料查验两部分；
- 2 健康监测承担单位应提供传感器清单，验收人员按照清单现场确认传感器型号、规格及数量；
- 3 传感器应有生产厂家的合格认证标识，型号、规格、数量和技术指标符合设计要求，还应查验各类传感器的标定记录和施工安装记录；
- 4 应检验传感器的安装状况和布线方式，传感器之间的接头应放置在传感器保护罩内或穿管保护，保证传输线路的长期稳定。

[条文说明] 10.2.1 抽检和确认各传感器的传感性能，每个传感器都应有标定系数，抽取不低于 5% 的传感器进行传感性能校核，如果抽检不合格则在同批次的产品中双倍加抽检验，如果双倍加抽检验仍不合格则做退货处理。传感器验收后各个传感器的资料（建议添加）进行归档，方便查询和替换。

相关验收人员应对现场传感器连接线路进行检查，发现问题及时处理。

10.2.2 硬件安装质量验收的抽检数量应符合下列规定：

- 1 应对所有电源设备和数据传输设备的安装质量进行验收；
- 2 每类传感器的抽检率不应小于 5%，且不少于 3 个；
- 3 每类数据采集设备的抽检率不应小于 10%，且不少于 3 台；
- 4 少于 3 台时应全数检验。

10.3 系统维护

10.3.1 硬件维护

- 1 监测系统应严格按照正确的程序和步骤进行开、关机操作。禁止频繁开、关机和带电插、拔零部件。
- 2 对易损零部件应进行备份，零部件损坏时应及时维修或更换。
- 3 专业性较强的设备或零部件的维修应在说明书或厂家专业技术人员指导下按步骤操作。
- 4 对于硬件设备故障的排查和处理应由专业人员进行操作，从外到内依次进行故障排查。解决方案遵循快速、高效、经济、实用的原则。详细记录故障现象、排查过程、处理方法。

[条文说明] 10.3.1 对易损零部件应进行备份，当预埋传感器损坏后，应在相应位置处进行更换，更换后应进行数据修正。

10.3.2 软件维护

- 1 使用单位应对监测系统软件进行定期维护。
- 2 定期对系统数据进行备份，防止软件系统由于错误和缺陷导致数据丢失。
- 3 对软件运行过程中出现的错误和缺陷，应及时由专业人员进行处理。
- 4 对软件维护应进行登记，并填写软件维护报告，详细描述出错环境，记录维护内容。

[条文说明] 10.3.2 软件维护主要是指根据需求变化或硬件环境的变化对应用程序进行部分或全部的修改。软件系统的高效和稳定运行是影响整个监测系统正常工作的关键，软件维护的作用是保证监测系统的正常工作。软件维护类型总起来大概有四种：纠错性维护（校正性维护）、适应性维护、完善性维护、预防性维护。软件维护的专业性较强，这里以使用单位牵头，维护可以是使用单位自行完成或者结构健康监测技术服务单位完成。

本规程用词说明

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：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：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 《建筑与桥梁结构监测技术规范》 GB 50982-2014
- 2 《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》 JT/T 1037-2022
- 3 《结构健康监测系统施工及验收标准》 T/CECS 765-2020
- 4 《结构健康监测系统设计标准》（CECS333-2012）、
- 5 《铁路客站结构健康监测技术标准》 TB/T 10184-2021）
- 6 《混凝土结构设计规范》（GB50010-2010）
- 7 《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T5224-2014）
- 8 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB/T14370-2015）
- 9 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》（JGJ92-2016）
- 10 《缓粘结预应力混凝土结构技术规程》（JGJ 387-2017）
- 11 《预应力混凝土结构设计规范》（JGJ369）

附：条文说明（为方便审查，目前附在相应正文后）