

ICS XXXX

备案号 XXXX

中国钢结构协会标准

T/CSCS XXX - 202X

建筑结构智慧运维技术标准

Technical standard for intelligent operation and maintenance of building structures

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国钢结构协会 发布

中国钢结构协会标准

建筑结构智慧运维技术标准

Technical standard for intelligent operation and maintenance of building structures

T/CSCS XXX - 202X

主编单位：哈尔滨工业大学

批准单位：中国钢结构协会

施行日期：202X年X月X日

中国建筑工业出版社

202X年 北 京

前 言

根据中国钢结构协会《关于发布中国钢结构协会2024年第一批团体标准编制计划的通知》（中钢构协〔2024〕第13号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分8章，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、数据感知子系统、数据全流程管理子系统、结构健康管理子系统、智慧运维平台、智慧运维平台维护。

本标准的某些内容涉及专利，涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本标准主编单位协商处理，本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由中国钢结构协会归口管理，由哈尔滨工业大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈至哈尔滨工业大学（二校区）（黑龙江省哈尔滨市南岗区黄河路73号，邮编：150096；邮箱：zhengchaorong@hit.edu.cn）。

本标准主编单位：哈尔滨工业大学

本标准参编单位：XX

本标准主要起草人员：XX

本标准主要审查人员：XX

目 录

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	3
3.1 一般规定	3
3.2 建筑结构智慧运维系统总体架构设计	3
3.3 运维性态指标体系	4
4 数据感知子系统	6
4.1 一般规定	6
4.2 智能检测流程与技术	6
4.3 智能检测内容与抽样机制	7
4.4 智能监测设备布设	8
4.5 智能监测数据处理与应用	8
4.6 数据归档与平台接口	9
5 数据全流程管理子系统	10
5.1 一般规定	10
5.2 数据传输	10
5.3 数据存储	11
5.4 数据处理与管理	12
6 结构健康管理子系统	14
6.1 一般规定	14
6.2 结构性态综合评估	14

6.3 应急场景预警	15
6.4 智慧运维决策	16
7 智慧运维平台	17
7.1 一般规定	17
7.2 平台架构	17
7.3 平台功能	20
8 智慧运维平台维护	22
8.1 一般规定	22
8.2 硬件设施维护	22
8.3 软件设施维护	23
本标准用词说明	24
引用标准名录	25

1 总则

1.0.1 为规范建筑结构的智慧运维工作流程，确保数据可靠、预警准确、评估高效，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于高层建筑和大跨空间结构等工程结构智慧运维系统的规划、设计、实施与管理。

1.0.3 本标准鼓励采用智能传感、人工智能、数字孪生等先进技术，提升建筑结构运维的数字化与智能化水平。

1.0.4 建筑结构的智慧运维除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 智慧运维 intelligent operation and maintenance

综合利用物联网、机器人、无人机巡检、三维激光扫描、图像识别、BIM 集成、大数据、人工智能等新一代信息智能技术与装备,对建筑结构的服役状态进行全面感知、深度融合分析、智能交互、科学决策的管理方式,其核心在于通过实时监测和分析建筑结构的各类运维数据,并融合定期检测、日常巡检等信息,及时发现异常状态、故障风险和性能衰减等问题,并及时给出安全预警,提供维护决策支持。

2.0.2 检测 detection

对既有建筑结构的状况或性能所进行的现场检查、测量和检验等工作。

2.0.3 监测 monitoring

对既有建筑结构的状况或作用所进行的经常性或连续性的长期观察或测量。

2.0.4 结构化数据 structured data

一种数据表示形式,按此种形式,由数据元素汇集而成的每个记录的结构都是一致的并且可以使用关系模型予以有效描述。

2.0.5 非结构化数据 unstructured data

不具有预定义模型或未以预定义方式组织的数据。

2.0.6 评估 assess

对既有建筑结构在目标工作年限内的安全性、使用性所进行的调查、检测、监测、分析、验算和评定等技术活动。安全性包括承载能力和整体稳定性等,使用性包括适用性和耐久性。

2.0.7 预警 early warning

通过实时或周期性检、监测与分析,识别结构与环境状态的异常变化,提前发布风险警示信息。

2.0.8 智慧运维决策 smart management and decision-making

是在建筑结构运维过程中引入 AI 技术,用来部分或完全取代人工在维护决策中的作用,消除主观不确定性,同时提升决策的标准化、规范化。

2.0.9 智慧运维平台 intelligent operation and maintenance platform

为辅助智慧运维系统高效运行而建立的基于智能化技术的建筑结构管理系统,具备感知、诊断、决策、执行等核心功能,通过数据感知层、网络传输层、数据融合层和智慧应用层的架构实现。集成 BIM、AI 等技术,采用模块化设计,确保结果可靠性、扩展性和安全性。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑结构智慧运维的目标应包括保障结构全生命周期安全、提升运维效率与管理水平、延长结构使用寿命和降低运维资源消耗。

3.1.2 建筑结构智慧运维系统的设计应以结构全生命周期安全为核心，依托数字化与智能化技术，构建基于数据或物理模型驱动的结构性态评估、风险预警与预防性维护机制，实现系统的智能感知、自主诊断与闭环决策能力。

3.1.3 建筑结构智慧运维系统的设计应遵循三项基本原则：

1 系统应优先保障建筑结构主体及其关键构件的安全性，构建多层级的风险识别、状态预警与应急响应机制，确保结构在全生命周期内的安全运行。

2 系统应具备完善的感知、传输、处理与反馈功能，保障数据采集全面、分析高效、响应及时，并支持智能化管理与协同决策，提升运维效率。

3 系统应具备长期稳定运行能力，并支持结构性能的状态评估、趋势预测与维护策略优化，延长结构使用寿命，降低系统运维成本。

3.1.4 建筑结构智慧运维系统在架构设计上应满足以下功能性与实施性要求：

1 可靠性与容错性：系统应具备在设备故障、通信中断、供电异常等情况下的运行冗余和数据保护能力，支持数据识别、错误检测与自动恢复机制。

2 关键构件优先性：系统应优先覆盖重要承载构件、关键节点和易损部位的检测，确保结构安全关键环节的全面感知与精准评估。

3 系统数据多样性：系统应集成定期现场检测与实时在线监测，构建多尺度、多频次、多类型的数据采集机制，提升系统感知完整性。

4 可扩展性：系统应采用模块化设计，预留外部接口，支持后期功能扩展和跨平台互联，满足未来系统演化与集成需求。

5 易操作性与易维护性：系统界面应简洁友好，具备直观操作流程，便于运维人员使用与培训，同时支持硬件快速替换和软件维护更新。

3.1.5 建筑结构智慧运维系统设计单位应根据运维目标、服务对象、项目特征、精度要求与现场条件综合确定设计方案。系统应结构简洁、功能实用、性能可靠、经济合理、维护便利。

3.2 建筑结构智慧运维系统总体架构设计

3.2.1 建筑结构智慧运维系统应由数据感知子系统、数据全流程管理子系统、结构健康智能管理子系统等组成，各子系统应紧密配合。

3.2.2 建筑结构智慧运维系统的数据来源应是在线监测和日常检测的有机结合，二者不存在替代关系，系统建设时应统筹考虑二者的融合。

3.2.3 系统应集成实时监测数据与定期检测数据作为主要数据来源。设计应统一两类数据的结构标准、采集频率、时间戳精度和异常处理逻辑，保障数据互补性与一致性。

3.2.4 建筑结构智慧运维系统应通过智慧运维平台对各个子系统进行智能管理与控制。智慧运维平台应包括信息感知层、网络传输层、数据融合层和智慧应用层，各层之间应具备清晰的数据接口与耦合关系，平台应统一部署安全防护体系，确保系统数据与网络安全。

3.3 运维性态指标体系

3.3.1 建筑结构智慧运维系统应规定建筑结构全生命周期的运维性态指标体系，用于支撑结构安全可控、运维效能可验、资源消耗可溯的核心目标。

3.3.2 建筑结构智慧运维系统应考虑建筑结构类型、运维需求、服务功能的差异，建立多维度、多目标、多层级的结构性态指标体系。

3.3.3 结构性态指标体系的构建应紧密围绕建筑结构的运维场景，如日常监控、极端事件后评估、定期全面评估、特定问题诊断、维修加固效果验证等。

3.3.4 高层建筑与大跨屋盖结构的运维性态指标体系的构建应包含安全、适用、耐久等三个核心维度，及其相应的二级指标和三级指标，并宜按照表 3.3.4 中的规定进行分类。

表 3.3.4 高层建筑与大跨屋盖结构的运维性态指标体系

序号	一级指标	二级指标	三级指标	数据来源
1	安全性	承载力	应力	在线监测
2			应变	在线监测
3		疲劳	应力幅	在线监测
4			应变幅	在线监测
5			裂缝尺寸	巡检
6	适用性	变形	部件变形	巡检，在线监测
7			水平位移	在线监测
8			竖向挠度	在线监测
9		振动	动位移	在线监测

10			自振频率	在线监测
11			加速度	在线监测
12		裂缝	裂缝类型	巡检
13			裂缝分布	巡检
14			裂缝宽度	巡检
15		沉降	沉降变形	在线监测
16			沉降速率	在线监测
17			沉降差	在线监测
18		室内环境	温度	在线监测
19			湿度	在线监测
20			噪声	在线监测
21		耐久性	性能老化	混凝土碳化深度
22	混凝土强度等级			巡检
23	混凝土保护层厚度			巡检
24	腐蚀		腐蚀速率	巡检、在线监测
25			氯离子含量	巡检、在线监测
26	裂缝		裂缝宽度	巡检
27			裂缝深度	巡检

3.3.5 结构性态指标量化应基于检监测数据的多源异构特征，进行数据标准化处理；应依据结构重要性分配指标权重，宜建立多源数据协同映射的量化模型。

3.3.6 性态指标分级应能评估局部损伤对结构整体安全性能的影响程度，应建立局部损伤程度与结构整体安全状态等级之间的量化关系模型。

3.3.7 智慧运维系统应基于结构性态指标建立动态演化模型，揭示结构状态与运维效能的演变规律。

3.3.8 结构性态指标应基于结构性能演化规律建立分级量化标准，按风险等级划分阈值区间。

3.3.9 当结构性态指标突破分级阈值时，系统应自动触发预警并生成决策指令，形成“监测→预警→处置→验证”闭环。

4 数据感知子系统

4.1 一般规定

4.1.1 建筑结构智慧运维系统的数据感知子系统应集成结构检测与监测功能,采集表 3.3.5 中结构运维性态指标体系的数据,为结构性态的评估、应急场景的预警、使用策略的优化及维护计划的制定提供数据支持。

4.1.2 应根据建筑结构服役的不同阶段及环境,动态设定需采集的结构状态信息与采集频率,优先采用智能化、自动化方式获取结构状态信息。

4.1.3 宜采用如无人机巡检、三维激光扫描、图像识别与 BIM 集成等先进技术,建立结构高精度的数字模型,用于结构受力和形变检测、损伤识别等场景。

4.1.4 数据感知子系统应具备自动运行状态检测与故障识别能力、自我检测与平台指令响应能力,能够在运行过程中根据环境变化或平台需求实时优化参数,并在突发事件下快速启动临时采样与数据上传流程。

4.1.5 数据感知设备宜支持远程操作和运行状态自检,具备故障报警与维护提示功能,并允许通过多种终端设备便捷访问和控制系统功能。

4.1.6 应对检测与监测任务涉及的数据全过程进行记录和管理,包含原始数据、处理过程、设备配置及操作人员信息,确保数据完整、真实且可验证。

4.1.7 感知数据应按统一标准进行规范化存储,并应接入智慧运维平台;感知数据可按时间序列或结构位置等维度进行检索与可视化展示。

4.1.8 数据感知子系统应具备现场初步处理与远程协同分析能力,在设备端对原始数据进行预筛选与压缩处理,并上传至平台统一分析处理。

4.1.9 应将感知数据与结构的使用状况、设计要求及维护历史等信息进行联动分析,用于构建完整的结构状态识别体系。

4.1.10 检测数据应与智慧运维平台的预警机制联动。当识别到异常状态时,系统应自动生成包含问题位置、事件描述及处理建议的响应任务,并及时推送至相关责任人。

4.2 智能检测流程与技术

4.2.1 智能检测应包括任务下达与识别、方案制定与平台同步、现场部署与数据采集、自动分析与异常识别、成果生成与系统归档五个阶段。

4.2.2 检测任务应纳入平台统一管理,可由系统依据结构状态或风险级别自动生成,也可由

管理人员手动创建。

4.2.3 检测方案应结合结构 BIM 模型、构件重要性与运维记录自动生成。

4.2.4 检测技术宜优先采用非接触、高精度、快速部署的智能检测手段,如无人机图像识别、三维激光扫描、红外热成像等。

4.2.5 常规检测手段可作为智能检测的补充,但应接入平台的数据采集接口,实现统一存储与结果调用。

4.2.6 检测设备应支持检测数据与检测任务的关联管理,能够标记采集位置,并具备数据的实时上传功能。

4.2.7 检测过程中宜采用自动识别技术,结合图像识别、数据比对等手段辅助识别结构异常或数据异常。

4.2.8 检测成果应以图表、模型等形式展示,报告应采用统一格式,用于归档、对比和平台调用。

4.2.9 检测模块宜与数字孪生平台实时联动。检测结果宜进行可视化展示,并应用于建筑结构的三维模型构建及修正。

4.3 智能检测内容与抽样机制

4.3.1 检测内容应根据结构类型、重要程度和功能要求等因素确定,明确检测目标和关键构件。

4.3.2 对于高风险区域、重要承载构件或关键节点,应提高检测频率,必要时实施定期专项检测。

4.3.3 对于服役时间较长或安全等级较高的结构,宜建立周期性检测机制,并结合历次检测结果动态优化检测频率和检测范围。

4.3.4 检测结果宜通过图形方式在平台中展示,并应标注构件位置、风险等级和检测时间等信息,形成结构状态的可视化图谱。

4.3.5 检测抽样布设应结合构件使用年限、工作状态、运行环境、风险等级等因素合理确定,提升检测覆盖代表性。

4.3.6 抽样布设宜结合摄影测量、激光扫描或监测成果等辅助技术,利用空间定位手段优化布点。

4.3.7 检测工作应结合后续数据应用需求,明确结果的服务方向,如提供给平台用于状态判断、风险评估、历史回溯等用途。

4.3.8 平台宜具备抽样推荐功能,结合检测目的和风险分析,自动推荐合理的检测抽样方案。

4.3.9 抽样方案和检测结果应统一归档，记录布点依据、检测范围、设备信息和数据来源，保障检测全过程可追溯、可验证。

4.4 智能监测设备布设

4.4.1 监测系统的设备布设应依据结构体系特征、传力路径及风险等级分层设计，构建覆盖全面、响应快速的感知网络。

4.4.2 传感器布设宜覆盖应变、位移、加速度、温湿度等物理量，用于全面感知结构的性态。

4.4.3 针对长期使用的复杂建筑结构，监测设备宜选用具备无线通信、自主供电和低功耗运行能力的智能传感器。

4.4.4 监测设备应支持动态调整采样频率和工作模式，应根据任务需求优化能耗配置、延长系统使用寿命。

4.4.5 对于重要构件和关键连接部位，宜采取冗余布设方式，宜配置两套或以上设备，降低单点故障风险。

4.4.6 各类传感器间宜通过无线通信方式建立连接，宜进行数据共享与任务联动，提升系统集成度与布设灵活性。

4.4.7 监测系统应支持远程管理，包括传感器参数调整、状态检测和故障报警等功能，可通过电脑或移动终端操作。

4.5 智能监测数据处理与应用

4.5.1 监测系统应具备高频率、连续采集的能力，并应根据实时数据自动识别异常和判断故障，以确保数据实时、完整、连续可用。

4.5.2 监测系统应能在本地对原始数据进行初步筛选与压缩，并将处理后的结果与必要原始数据同步上传至云端智慧运维平台，用于协同分析、数据备份和集中管理。

4.5.3 应基于监测数据构建数字化结构模型，使监测信息在三维结构模型中实时呈现，实现结构性态的可视化感知。

4.5.4 监测系统应支持按监测时间、构件类型或监测方法对数据进行分类别管理，便于用户快速查找和筛选所需信息。

4.5.5 应实现对不同来源、不同格式监测数据的统一管理，包括数据格式转换、时间对齐与标准化处理，提升综合分析能力。

4.5.6 监测系统应具备自动识别异常数据的能力，能够发现测量值突然变化、长期缓慢偏离真实情况等问题。

4.5.7 监测系统应设定多级响应阈值，根据监测数据变化自动推送任务通知和维护建议，确保异常情况能够被及时处理和闭环管理。

4.6 数据归档与平台接口

4.6.1 检测和监测过程中产生的数据应及时进行分类整理和归档，归档内容应包括项目名称、构件编号、检测监测方法、采集时间等，确保数据记录清晰、格式统一。

4.6.2 数据归档应附带必要的数据采集过程信息，包括设备编号、采样频率、数据单位、采集人员及采集环境说明等，用于数据来源追溯和内容验证。

4.6.3 归档数据应根据使用场景分类管理，可设置如“定期检测”“专项排查”“预警记录”等标签，提高数据筛选效率和使用便捷性。

4.6.4 检测监测数据平台应支持数据的版本管理、历史记录查看与数据压缩备份功能，并应定期清理无效或重复数据，保障数据安全和系统运行稳定。

4.6.5 所有归档数据应与建筑信息模型（BIM）中的构件编号和空间位置建立对应关系，用于数据的三维可视化管理与快速定位。

4.6.6 检测监测数据平台应具备数据阶段管理功能，可根据数据采集频率、应用场景或用途分组存储，如将高频监测数据与周期性检测数据分类别管理，提高查询和调用效率。

4.6.7 应搭建统一的结构数据平台，将检测监测数据按构件类型集中存储，逐步形成贯穿建筑使用全周期的结构数据档案。

4.6.8 检测监测数据平台应提供标准的数据接口，支持与智慧运维系统、科研平台、数据分析工具等外部系统进行数据互通和共享。

4.6.9 应建立数据访问权限控制与操作记录机制，设置不同用户的数据查看与编辑权限，记录所有关键操作，确保数据的安全性与可追溯性。

4.6.10 平台宜支持基于时间段、构件位置、检测方法等条件的快速查询与导出，方便使用单位进行数据分析或与其它系统对接。

5 数据全流程管理子系统

5.1 一般规定

5.1.1 数据全流程管理子系统一般由数据传输单元、数据存储单元、数据处理与管理单元构成,可实现性态指标的结构化和非结构化数据的全流程管理。数据全流程管理子系统的整体架构如图 5.1.1 所示。

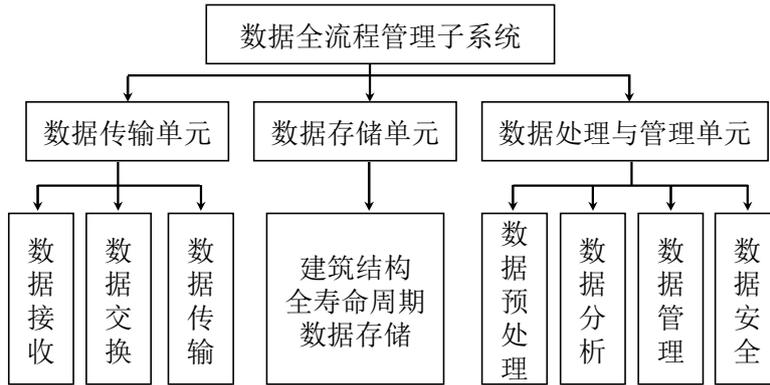


图 5.1.1 数据全流程管理子系统架构

5.1.2 数据传输单元应具备对各种性态指标数据接收、交换和传输的能力,并保证可靠性、实时性及高效性。

5.1.3 数据存储单元应具有全寿命周期结构各类性态指标数据的接入存储功能。

5.1.4 数据处理与管理单元应具备下列功能:

- 1 控制数据采集系统进行数据采集;
- 2 对采集的原始数据进行预处理和二次预处理;
- 3 显示各类运维数据、图表和信息;
- 4 管理用于存储原始数据及其预处理结果的动态数据库;
- 5 定期存档、备份数据;
- 6 作为数据服务器为授权用户通过服务器访问动态数据库提供服务;
- 7 访问各数据采集站,查询其运行日志,管理运行状态。

5.2 数据传输

5.2.1 数据传输软硬件设计与选型应满足监测量程、分辨力、精度、灵敏度、动态频响特性、长期稳定性、环境适应性等要求。

5.2.2 数据传输单元设计应明确传输硬件设备的使用寿命,其中不可更换类硬件设备的寿命应不低于 20 年,可更换类硬件设备的寿命应不低于 5 年。

5.2.3 数据传输单元应能保证数据感知子系统各部分之间的物理连接，并提供足够的传输带宽与冗余。

5.2.4 数据传输单元应能保证运维数据在各单元和相应的通信协议之间的无障碍传输。

5.2.5 数据传输单元应满足在无人值守情况下连续运行，并达到长期稳定工作的要求。

5.2.6 当传输距离较远时，宜采用数字信号或光纤传输技术进行传输，同时考虑传输线路的可靠性、安全性及可更换性。

5.2.7 无线传输方式宜选用电磁波传输技术，信号发射装置和接收装置应远离强干扰源。

5.2.8 数据传输单元应具有备份机制和良好的鲁棒性，确保在某个传输线路发生故障时，仍能保证数据的完整性和可靠性。

5.2.9 数据传输单元应具备数据一致性、完整性、开放性、可扩充性，能实现实时数据无障碍传输、分包处理以及基于 TCP/IP 和 ISO/CCITT 指南的设计开发，且须遵循标准 ISO 8000 《数据质量》的规定。

5.2.10 数据传输方案设计与布设宜符合下列要求：

1 传感器输出为模拟信号且传输距离较短时，宜直接进行模拟信号传输；较长距离传输数字信号时，宜采用 RS-485 传输协议；若要求通信双方均可发送数据，宜采用 RS-422 传输协议；传感器和数据采集设备支持时，宜采用工业以太网。

2 无线传输方式宜从普通无线电波、微波、红外线和激光中选择，并应满足通信带宽大于 2 MHz；无线覆盖范围应满足内场大于 10 m、外场大于 500 m、远程通信大于 10000 m；无线传输设备应安装于地形开阔处，信号发送设备（传感器终端设备）和接收设备（存储设备）之间应无影响信号传输的障碍。

5.3 数据存储

5.3.1 针对检监测设备的多源异构数据，其存储应建立标准化描述规则及数据计算模型。

5.3.2 多源异构数据应具备兼容性与可追溯性，应明确建筑结构性态指标体系的数据类型，并统一跨系统数据接口格式和存储协议。

5.3.3 大容量多源异构数据的存储管理，可采用基于分级存储策略的可配置大规模分布式存储框架。

5.3.4 数据存储应基于数据融合模型与方法，形成面向不同运维业务场景的多层级关联融合数据库。

5.3.5 数据库设计应遵循可靠性、先进性、可扩展性原则，并应考虑数据结构的整体性、数据库系统与应用系统的统一性，宜具备向数据仓库系统迁移的能力。

5.3.6 数据库设计应具备大容量、易扩展、自由灵活的特点。

5.3.7 数据库设计应与大数据管理和治理框架紧密结合，应符合现行国家标准《信息技术服务治理 第5部分：数据治理规范》GB/T 34960.5和《信息安全技术 大数据安全管理指南》GB/T 37973中的规定。

5.3.8 在线存储应满足原始数据存储不小于12个月，特征数据应永久存储；超过时限的数据可转存至本地计算机、云磁盘、高效磁盘、对象存储等离线存储介质上，并支持在不同存储介质间转移。

5.4 数据处理与管理

5.4.1 数据处理应能实现下列功能：

1 数据预处理：数据预处理应包括滤波、去噪、去趋势项、截取和异常点处理、消除信噪比较大的弱噪声干扰、异常值、离散群点、跳点等的判别和修复。

2 二次预处理：统计运算应支持设定时段内的最大值、最小值、均值、方差、标准差、峭度、偏度等，结果应作为初级预警的依据。同时，应支持时域统计分析（平均值、峰值、极值、标准差、峰峰值、有效值等）和频域统计分析（幅值谱、平均功率谱、时频谱、短时能量谱等），以及时间序列特征统计分析（均值、众数、中位数、方差、标准差、极差或变异系数等）。

3 后处理：根据数据类型进行专项分析，应支持性态指标监测数据的高级分析，如模态分析、建筑结构特征量与环境因素之间的相关性分析、非线性回归分析等。应能支持与人工智能（AI）算法的深度集成、边缘计算与云边协同、模型验证与可解释。

4 频谱分析处理：对于需要进行频谱分析的数据，在信号截断处理时应考虑被分析信号的性质与处理要求，选择合适的窗函数，以减少信号截断对谱分析精度的影响。

5.4.2 针对采集的航拍视频、定点监控视频和高维信号等大容量动态数据，应考虑多端采集、边缘计算和动态调度的耦合效应，并从时空关联特性、对象识别和模式匹配算法等多个维度，建立一套完善的多源异构数据的融合机制与方法。

5.4.3 对于图像、文本、点云等非结构化异构数据，宜通过特征提取和语义提取等方法将其转化为半结构化数据，并宜进一步通过特征融合和语义扩充，最终转换成同构数据模型。

5.4.4 数据管理应保证监测数据的安全、结构化、共享性，并支持应用程序的便捷友好访问。

5.4.5 数据管理应能实现数据归档、报告生成、快速显示和高效存储等管理功能。

5.4.6 数据管理应能对所有项目、指定项目或指定传感器的监测数据在限定时间段内进行

回放追溯。

5.4.7 各类数据的安全控制关键要求及须遵循的相关标准应按照表 5.4.7 执行。

表 5.4.7 数据安全控制要求

安全控制类别	关键要求	相关标准
数据分类	实施数据分类分级规则，根据敏感性应用相应控制	GB/T 43697
数据机密性	对传输中和静态数据进行加密	GB/T 39786
数据完整性	实施强大的校验和与数字签名机制	GB/T 39786
数据可用性	确保高可用性架构和完善的备份恢复机制	GB/T 37988
访问控制	实施基于角色的访问控制，最小权限原则	ISO/IEC 27001
审计与日志	记录所有数据操作的全面日志，并定期审计	GB/T 44109
个人信息保护	敏感个人信息加密传输和存储；生物识别信息与身份信息分离；不存储原始生物识别信息，仅存储摘要或终端处理后删除	GB/T 35273
隐私保护	遵循隐私原则，对个人数据进行去标识化/匿名化处理	ISO 29100, GB/T 39787
云数据安全	确保云存储和处理符合云安全能力要求	GB/T 31168

5.4.8 系统应能自动生成季报和年报,报告报表应支持导出为 Office 办公系统通用数据格式。

6 结构健康管理子系统

6.1 一般规定

- 6.1.1 结构健康管理子系统应能够实现结构性态综合评估、应急场景预警、智慧运维决策等功能。
- 6.1.2 结构性态综合评估宜构建检监测数据、结构性态指标与结构性能评价方法三者的关联映射关系。
- 6.1.3 结构性态综合评估宜考虑检监测数据的实时性，采取定期、实时或二者结合的评估方式。
- 6.1.4 应急场景预警内容应包括预警指标选取、预警级别划分及预警级别调整，根据严重程度划分为黄、橙、红三级。
- 6.1.5 智慧运维决策应综合分析检监测结果，宜开展基于人工智能和大数据的智能运维决策。

6.2 结构性态综合评估

- 6.2.1 结构性态综合评估应按安全性、适用性和耐久性分别进行评估。
- 6.2.2 结构性态综合评估宜划分为构件及节点、子结构和整体结构三个层次。
- 6.2.3 子结构性态评估宜包括地基基础、上部承重结构和围护结构三个方面。
- 6.2.4 高层建筑与大跨屋盖结构的性态综合评估，宜进行基于表 3.3.4 中指标体系的可靠性评估，以及针对结构特定性能或需求的专项评估。
- 6.2.5 专项评估宜包括结构异常振动、火灾后结构性能、钢结构锈蚀、混凝土老化与疲劳性能等方面的评估。
- 6.2.6 结构性态评估宜采用智能评估技术，针对多源检、监测数据建立性能等级动态评估方法。智能评估过程宜包括结构损伤识别、评估方式选取与模型迭代更新三部分。
- 6.2.7 结构损伤识别宜采用多源数据融合技术，根据数据获取难度以及评估所需的性态指标程度要求，从数据层、特征层或决策层对多元数据进行融合处理。
- 6.2.8 结构损伤识别宜采用分层技术路径，优先进行异常检测，定位疑似区域，再利用精细识别算法并结合人工复核，确定损伤类型、位置与程度。
- 6.2.9 结构性态评估宜选取基于物理模型驱动的评估方法、基于数据驱动的评估方法、基于数据与物理模型双驱的评估方法、或基于成熟理论。
- 6.2.10 结构性态评估宜建立动态更新机制，基于检、监测数据及时修正评估模型与方法。

6.2.11 高层建筑与大跨屋盖结构的性能等级评价宜基于表 3.3.4 中的性态指标体系的分级量化标准。性能等级评价宜依据结构整体安全和正常使用情况分为 A、B、C、D 四个等级，如表 6.2.11 所示。

表 6.2.11 结构性能分级及其对应的分级标准

级别	分级标准
A 级	符合国家现行标准要求，不影响整体安全，可正常使用
B 级	略低于国家现行标准要求，尚不明显影响整体安全，不影响正常使用
C 级	不符合国家现行标准要求，或影响整体安全，或影响正常使用
D 级	极不符合国家现行标准要求，已严重影响整体安全，不能正常使用

6.2.12 结构性态经综合评估后宜自动形成评估报告，并将评估结果以数字化信息表达，存入数据处理与管理单元。

6.3 应急场景预警

6.3.1 应急场景预警内容宜包括预警时间、预警级别与预警位置。

6.3.2 应急场景预警指标的设定宜包括环境激励与结构响应两方面因素。各指标宜根据表 3.3.4 选取，同时宜根据具体需求由业主、项目设计单位、检监测单位共同协商确定。

6.3.3 预警级别宜根据结构所处的状态分为黄色、橙色和红色三级，并应符合下列规定：

1 黄色预警：异于日常数据的正常水平，对建筑结构的正常使用功能有轻度影响；

2 橙色预警：超出设计最不利工况组合，或可能造成结构非主要受力件的破坏，或影响结构主要受力构件的耐久性。对建筑结构的正常使用功能有中度影响，若不及时处置会显著增加结构安全风险；

3 红色预警：已超出设计允许或规范规定，建筑已出现危及结构安全的严重缺陷，或荷载与环境风险显著加剧。建筑结构无法正常使用，随时可能造成建筑结构安全事故。

6.3.4 预警阈值的选取宜根据现行国家和行业标准所规定的设计允许值，并结合理论计算值、数值分析值、监测数据值、使用需求与成熟经验等综合考虑，可由业主与项目设计单位共同协商确定。

6.3.5 考虑到结构性态指标的时变演化特性，以及在结构服役期间采取的维护措施，性态指标报警阈值宜根据结构状况与特殊应急事件管理进行动态调整。

6.3.6 因设备故障或受到人为及其他形式的扰动所致的预警发布，可经运维人员调试设备完成后消除预警。

6.3.7 预警建筑结构经加固或其他形式的处理后，相应指标的检监测数据连续一周处于安全范围内，可消除预警。

6.4 智慧运维决策

6.4.1 针对结构动态数据，宜开发智慧运维决策模块，提升结构运维决策的科学化水平，降低主观影响。智慧运维决策模块宜包括决策制定、执行/协同、反馈优化三部分。

6.4.2 结构智慧运维决策应根据性能评估等级确定，具体如下：

1 当结构性能等级为表 6.2.11 中的 A 级时，不必采取措施或有个别次要构件宜采取适当措施；

2 当结构性能等级为 B 级时，可不采取措施或有极少数构件应采取措施；

3 当结构性能等级为 C 级时，应采取措施或有极少数构件应立即采取措施；

4 当结构性能等级为 D 级时，应立即采取措施。

6.4.3 宜构建案例知识图谱，整合结构设计规范、专家经验、历史案例知识，构建结构工程知识库，辅助推理与决策。

6.4.4 结构智慧运维决策宜采用自然语言处理技术，以提高决策者与计算机间的交互效率。

6.4.5 结构智慧运维决策宜采用多目标优化方法，维护方案的制定宜根据结构重要性、结构安全、维护成本、维护难易程度、维护时间等指标共同确定。

6.4.6 当运维决策复杂或采用新技术、新工艺、新设备、新材料时，宜应用 BIM 技术进行施工模拟。

6.4.7 宜对维护后结构进行二次评估，并形成储备知识。

7 智慧运维平台

7.1 一般规定

7.1.1 建筑结构智慧运维应建立支撑其核心功能的智慧运维平台，应根据使用需求和设计要求对数据库连接、设备通讯参数、用户权限等平台软件基础参数(含软件配置、网络连接、安全策略等)进行配置，并满足业务连续性、数据共享、事件快速响应处置和系统运行安全可控等要求。

7.1.2 智慧运维平台应具备能感知、会描述、自学习、可进化、会诊断、可决策、自执行、自适应等智能特征。

7.1.3 开发智慧运维平台应采用开发式体系和模块化设计，并应具备可用性、实用性、可靠性、韧性、伸缩性、扩展性、管理及维护的简便性与先进性。

7.1.4 智慧运维平台宜利用既有管理平台中可利用的硬件、软件和数据资源，满足智慧运维平台的体系架构和技术要求；智慧平台软件核心组件应包括操作系统、可视化展示系统、数据采集与传输软件、数据存储管理软件、数据分析处理软件等。

7.1.5 智慧运维平台应能够通过自动采集数据和人工录入信息两种方式，实现管理对象的实时运行监测。

7.1.6 智慧运维平台应具有完备的安全管理机制。平台安全管理机制宜满足国家信息安全等级保护三级或以上要求，包括双因素认证、操作留痕审计、数据加密传输。

7.1.7 智慧运维平台应具备灾难恢复机制，确保业务系统允许的最长停机恢复时间 RTO 不应超过 4 小时、灾难恢复时允许的最大数据丢失时间 RPO 不应超过 1 小时。灾难恢复机制应明确写入运维手册，并应定期进行测试与容灾演练，演练报告应存档。

7.1.8 智慧运维平台应具备二次开发的数据共享接口。

7.1.9 智慧运维平台自试运行起，应有不少于 6 个月的试运行期，确保系统的可靠性和耐久性。试运行期间应记录系统运行日志、故障情况及处理过程。试运行期间出现的问题，实施单位应负责进行处理，处理结果应以书面的形式存档。

7.2 平台架构

7.2.1 智慧运维平台架构应包括数据感知层、网络传输层、数据融合层和智慧应用层，各层之间应通过定义清晰的接口协议进行解耦，架构图如图 7.2.1 所示。

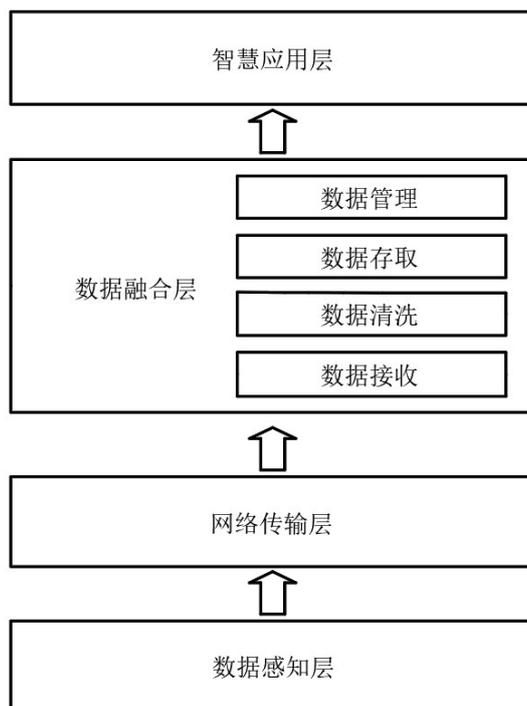


图 7.2.1 平台架构图

7.2.2 数据感知层应由感知终端（传感器系统、日常巡检设备、智能巡检设备等）及其保护装置、前端通信链路和智能网关组成，并应符合下列规定：

- 1 感知终端的性能参数（测量范围、精度、分辨率、采样频率、响应时间）应满足检测、监测及巡检的需求；
- 2 感知终端布点应基于结构分析、风险和运维需求，覆盖关键构件和代表性位置；感知终端安装应牢固可靠，确保与检测对象有效耦合，安装方式应符合要求并便于维护；
- 3 感知终端应具备状态自检或故障指示功能；关键设备宜考虑冗余配置或诊断功能；供电应稳定可靠，关键设备宜采用不间断电源或后备电池；应进行定期维护、校准和性能验证；
- 4 前端通信链路应满足感知数据传输的基本性能需求（带宽、时延、丢包率）和基本安全要求，无线通信链路应启用认证和加密机制；
- 5 智能网关应具备支持数字化接口的建筑设备、传感器等数据接入、传输和控制，智能网关宜通过现行国际标准 IEC 62443-4-2 或等效的工业控制系统安全认证，宜禁用默认密码、支持固件签名验证；
- 6 智能网关外壳防护等级宜不低于 IP54，并应满足工业级温湿度环境和电磁兼容性要求，并提供相应的测试报告。在盐雾环境下，智能网关应有耐盐雾腐蚀的功能。

7.2.3 网络传输层应包括智能网关到数据融合层的宽带信息传输网络，并应符合下列规定：

- 1 可通过互联网、局域网等多种组网模式进行网络传输；

2 宜采用专网，数据传输速率不宜小于 80Mbps，平均丢包率应低于 1%；采用云平台部署时，服务商应通过国家或行业认可的云计算服务安全评估；

3 有线网络不能覆盖时，应采用 WIFI/4G/5G 等无线网络进行数据传输。

7.2.4 数据融合层应包括数据接收、数据清洗、数据存取、数据管理四个模块，并应符合下列规定：

1 数据接收模块应提供统一的数据接口协议并接收来自智能网关发送的数据，应支持 MQTT 等主流物联网协议的兼容性，并宜提供数据订阅服务；

2 数据清洗模块应具备检查数据一致性、处理无效值和缺失值等功能；数据清洗应遵循业界公认的数据质量管理框架（如 DAMA DMBOK），重点关注数据的完整性、准确性、时效性；异常数据应自动标记置信度标签；

3 数据存取模块应具备存取所有运维管理对象的静态和动态数据的功能；

4 数据存取模块应保存运维过程数据，保存时长不得低于 5 年；

5 数据存取模块应具备支持多种标准化数据共享接口和协议；

6 数据管理模块应提供应用开发所需要的公共软件模块、统一的数据目录和元数据管理服务。

7.2.5 智慧应用层应基于数据融合层提供的标准化数据和服务接口，实现运维场景的智能化决策与执行，并应满足下列要求：

1 功能模块化设计应提供设备监控、应急指挥、知识库应用等独立可配置的功能模块；

2 模块间应通过标准化接口（如 RESTful API）实现数据互通，并应按需组合部署；

3 智慧应用层应内置预测性维护算法库（如设备故障预测、寿命评估），支持基于机器学习模型的实时诊断，在特定训练数据集和定义的故障模式下，诊断准确率不应小于 90%；

4 智慧应用层应具备多源数据（如 BIM+IoT+业务系统数据）融合分析能力，实现设备运行状态的可视化推演；

5 关键报警信号应提供分级提醒机制（如声光+弹窗+短信/APP 推送），并可根据报警级别和接收人角色进行差异化配置；

6 智慧应用层应基于预设规则库（如 ISO 55000 资产决策框架）自动生成维修策略建议；

7 对于预设的重大故障场景，平台应支持触发应急预案仿真推演机制，并应输出处置方案的有效性评估报告；

8 所有操作应留痕并关联操作人员 ID，应包含基本的日志内容如操作类型、操作时间、客体信息、操作内容、操作结果、来源等，审计日志应保存，时间应符合相关安全审计法规要求，且不得少于 3 年以上；

9 涉及关键控制或敏感数据操作的功能（如应急指令下发、核心参数修改、系统配置变更、高权限操作等）应启用双因子认证结合电子签名或数字证书等增强认证机制。

7.3 平台功能

7.3.1 智慧运维平台功能设置应符合下列规定：

- 1 实时监测运维对象的静态属性（如设备型号、安装位置）和动态数据（如温度、风速、应力应变、位移等）；
- 2 支持设定多维度告警规则，包括阈值区间（上下限）、时序偏差（如短时跃迁）、环境因素（季节、气候）、设备联动状态等，自动触发告警并通知复核；
- 3 对传感器及通信链路状态进行自检，异常时生成告警日志；
- 4 支持全流程工单管理，覆盖在线报修、维修派单、资源调度、进度跟踪、闭环验证；
- 5 自动生成年度运维计划，通过消息推送、邮件、短信提醒执行定期巡检与保养任务，并记录操作日志；
- 6 内置应急处置预案库，支持一键启动预案并动态调度资源（如人员、设备）；
- 7 提供多维度数据统计与分析（如结构性态指标趋势、设备故障频率等），支持自定义报表；
- 8 对现场感知的数据进行清洗、校正，当出现数据存在长时不变、短时跃迁变化等异常情况时，应能及时产生告警并通知运维人员复核确认；
- 9 基于历史数据生成运维优化建议（如设备更换周期预测、结构性态指标调优策略）；
- 10 基于角色（RBAC）分配权限，支持运维方案模板化配置（如巡检清单、保养周期），自动适配业务规则；
- 11 提供 OpenAPI 3.0 标准接口，支持与第三方系统集成；预留 AI 模型插槽，支持导入符合 ONNX 格式的算法模型。
- 12 采用优化算法动态规划巡检路径，缩短人员移动距离。

7.3.2 智慧运维平台应具备针对管理对象进行基础信息管理、传感器设备运行监控、数字化运维流程管理、知识库管理等核心功能，实现管理对象的自动定位、信息自动统计查询、关联信息相互共享等操作。

7.3.3 智慧运维平台的核心功能模块应符合下列规定：

- 1 应支持设备故障根因分析(RCA)，在特定训练数据集和定义的故障模式下，根因定位准确率不应小于 90%，误报率不应大于 5%；
- 2 应基于设备运行数据预测运维对象的剩余寿命(RUL)，误差不应大于 15%，并宜提前

7 天生成维护建议;

3 应在报警事件 10 秒内自动触发预案, 同步推送处置流程至责任人移动端;

4 核心功能模块应将运维经验自动沉淀为知识图谱, 支持语义检索, 召回率不小于 85%。

7.3.4 智慧运维平台的交互与可视化应符合下列规定:

1 智慧运维平台应集成 BIM 轻量化模型, 支持设备三维定位与信息穿透查询;

2 交互与可视化应支持多端协同, 支持 Web 大屏、移动 App、AR 眼镜多端交互, 移动端界面加载时间不宜超过 2 秒;

3 可视化宜通过 AR 眼镜叠加设备实时参数(温度/振动值)、维修指导视频, 在特定环境下(如良好标记点覆盖、无强电磁干扰), AR 叠加定位精度不应大于 5 cm。

8 智慧运维平台维护

8.1 一般规定

8.1.1 承建单位应向智慧运维平台维护部门移交系统设计文件、设备配置清单、操作与维护手册、运行参数及历史数据、软件安装包及接口说明、授权信息等资料，并提供必要的技术支持。技术支持可包括答疑渠道、远程协助、系统更新与优化等服务。

8.1.2 承建单位移交的技术资料应包含全生命周期运维知识库，涵盖设备故障树、典型处置案例、备件参数库，并应支持在线更新。

8.1.3 承建单位应对智慧运维平台维护部门指派的管理人员进行培训，培训应包括平台操作培训和技术维护培训，确保管理人员能够独立完成平台运行和故障处理。

8.1.4 智慧运维平台维护部门应建立平台运行维护管理制度和维护设备清单，应制定平台维护的年度计划和方案，并应在年度预算中列出平台维护费用。

8.1.5 智慧运维平台维护部门应配备具备相应专业知识和技能的专业技术人员。关键岗位运维人员应具备履行职责所需的专业技术能力。所有运维人员应定期接受专业技术培训，掌握系统原理、操作及维护方法，确保具备处理运维问题的能力。

8.1.6 运维人员宜通过现行国际标准《设施管理体系认证》ISO 41001 中的设施管理体系培训，并宜具备平台智能化工具操作资质。

8.1.7 智慧运维平台维护部门应对传感器及其配套设备进行管理，包括硬件设施、软件设施及数据采集终端等。管理内容应包括运行状态检查、数据采集质量核验和运行安全管理。

8.1.8 智慧运维平台维护部门应定期检查平台及数据库的运行环境和存储状况，并及时对运行环境进行优化、清理和必要的服务重启或重置，确保平台安全稳定运行。

8.1.9 智慧运维平台维护部门应每季度对维护效果进行量化评估，评估指标应包括故障修复率、平均响应时间和用户满意度。

8.2 硬件设施维护

8.2.1 硬件设施维护应分为日常检查维护、定期检查维护和特殊检查维护三类。检查维护内容应包括前端传感器及其安装环境、数据传输设备与通信链路、计算与存储设备、机房基础设施等，并应建立检查台账。

8.2.2 日常检查维护应对检监测设备的表观状况和结构完整性进行检查，应对破损的设备进行记录，并应及时通知专业人员维护。

8.2.3 定期检查维护宜对监控中心机房的硬件设施进行检查，如计算机、服务器系统等的工作状况，检查频率宜每月开展一次。

8.2.4 传感器设备的定期检查维护应委托专业机构开展。定期检查的频率宜不大于1年。

8.2.5 传感器设备及数据传输系统宜开展定期检查校准工作。检查校准过程应注意保护检测数据的连续性，对检查存在问题的硬件设备应委托第三方专业单位进行更换维护。

8.2.6 智慧运维平台在经历台风、地震、火灾、极端天气等突发事件或系统崩溃后，应立即开展硬件设施的特殊检查维护。特殊检查对象应至少覆盖 8.2.1 所列范围，并应重点核查设备物理完好性、数据连续性与完整性、供配电与环境控制稳定性、备份与灾难恢复能力。特殊检查维护后应在三天内形成维护措施、改进建议清单和下一步工作计划，并应在一周内完成维护建议报告，上报上一级管理部门。

8.3 软件设施维护

8.3.1 软件设施维护应分为日常检查维护、定期检查维护和特殊检查维护三类。检查范围应包括应用系统及功能模块、数据库、平台层（操作系统等）、访问与安全控制、备份与灾难恢复、监控与日志管理等，并应建立检查台账。

8.3.2 软件设施的日常检查维护宜每个月进行一次，并应建立检查台账。检查维护内容宜包括但不限于采集传输系统工作状态、系统通讯工作状态、系统平台各功能模块的工作状态、系统数据存储备份情况、系统访问情况以及异常数据状况、系统安全等。

8.3.3 软件设施定期维护宜每年开展一次。检查维护内容应包括但不限于系统功能测试、系统安全、数据备份与存储系统优化清理等。

8.3.4 软件设施的定期维护原则上应由第三方专业单位完成，日常检查维护原则上应由运维中心软件工程师完成。

8.3.5 软件设施宜支持运维服务的配置与编排，宜提供设备维护模块的在线订阅和信息推送服务。

8.3.6 智慧运维平台在经历台风、地震、火灾、极端天气等突发事件或系统崩溃后，应立即开展软件设施的特殊检查维护。特殊检查对象应至少覆盖 8.3.1 所列范围，并应重点核查系统可用性、访问控制有效性、日志审计可追溯性、主备/灾备切换与恢复能力等。特殊检查应在三天内形成维护措施、改进建议清单和下一步工作计划，并在一周内完成维护建议报告，上报上一级管理部门。

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 《数据质量》 ISO 8000
- 2 《机器状态诊断标准》 ISO 13374
- 3 《建筑信息模型交付标准》 ISO 19650
- 4 《业务连续性管理体系》 ISO 22301
- 5 《信息安全控制规范》 ISO 27001
- 6 《物联网参考架构》 ISO/IEC 30141
- 7 《设施管理体系认证》 ISO 41001
- 8 《资产管理》 ISO 55000
- 9 《信息系统灾难恢复规范》 GB/T 20988
- 10 《信息安全等级保护基本要求》 GB/T 22239
- 11 《云计算服务安全能力要求》 GB/T 31168
- 12 《工业自动化系统实时性要求》 GB/T 32271
- 13 《信息技术服务治理 第5部分：数据治理规范》 GB/T 34960.5
- 14 《信息安全技术 个人信息安全规范》 GB/T 35273
- 15 《数据管理能力要求》 GB/T 36073
- 16 《信息系统安全运维管理指南》 GB/T 36626
- 17 《信息安全技术 大数据安全管理指南》 GB/T 37973
- 18 《信息技术服务 智能运维》 GB/T 43208.1
- 19 《工业建筑可靠性鉴定标准》 GB 50144
- 20 《民用建筑可靠性鉴定标准》 GB 50292
- 21 《智能建筑工程质量验收规范》 GB/T 50314
- 22 《建筑与桥梁结构监测技术规范》 GB 50982
- 23 《高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准》 GB 51008
- 24 《建筑智能化系统设计标准》 GB/T 51314
- 25 《建筑结构检测技术标准》 GB/T 50344

团 体 标 准

建筑结构智慧运维技术标准

T/CSCS XXX - 202X

条 文 说 明

目 次

1 总则	29
3 基本规定	30
3.3 运维性态指标体系	30
4 数据感知子系统	31
4.1 一般规定	31
4.2 智能检测流程与技术	31
4.3 智能检测内容与抽样机制	32
4.4 智能监测设备布设	33
4.5 智能监测数据处理与应用	34
4.6 数据归档与平台接口	34
5 数据全流程管理子系统	36
5.1 一般规定	36
5.2 数据传输	36
5.3 数据存储	37
5.4 数据处理与管理	38
6 结构健康管理子系统	40
6.2 结构性态综合评估	40
6.4 智慧运维决策	40
7 智慧运维平台	41
7.1 一般规定	41
7.2 平台架构	42

7.3 平台功能	43
-----------------------	----

1 总则

1.0.1 本条规定了制定本标准的背景与目的。近年来，我国建筑结构发展逐步由集中建造向服役运维转型，城市发展转向内涵品质提升与存量为主的营造管理主题，建筑结构服役运维成为行业的潜力方向。智慧运维通过整合先进的传感器技术、数据分析、人工智能等，实现对建筑结构的实时监测、状态评估和风险预警，能够有效提升运维工作的科学性和效率，确保建筑结构在全生命周期内的安全使用。制定本标准旨在为建筑结构的智慧运维工作提供一套系统的、可操作的指南。

1.0.2 本条明确了本标准的适用范围。高层建筑和大跨空间结构可能因结构形式特殊导致受力复杂和对环境因素敏感等特点，在服役期间容易出现性能退化和潜在风险，一旦发生事故后果严重。对这类建筑实施智慧运维系统能够及时发现结构损伤、评估承载能力变化，从而为维护、加固提供科学依据。本标准从规划、设计和实施的全过程进行规范，旨在为这些特定类型的工程结构提供全面的智慧运维技术支持。

1.0.3 本条鼓励在智慧运维中采用先进的技术手段。智能传感技术能够实时、高精度地采集结构性能的重要数据；人工智能技术可对海量数据进行深度学习和模式识别；数字孪生技术则能构建建筑结构的虚拟模型，实现对结构状态的实时可视化和未来性能的模拟预测。这些技术的应用将大幅提升建筑结构运维的数字化与智能化水平，实现从被动响应式维护到主动预测式维护的转变，进而提高运维效率、降低成本，并延长结构的使用寿命。

1.0.4 本条强调了本标准与国家及行业现行有关标准的关联性。建筑结构的智慧运维在实施过程中，不仅要符合本标准提出的技术要求和 workflows，还必须严格遵守国家和行业现行有关标准的规定。本标准的规定是对现行标准的补充和深化，两者共同构成了建筑结构智慧运维工作的完整技术和管理体系。

3 基本规定

3.3 运维性态指标体系

3.3.4 三级指标是对二级指标的具体描述和分类、且可通过检测或监测量化的物理量。

3.3.6 局部损伤包括混凝土老化和开裂、钢筋锈蚀、钢结构腐蚀与裂缝等，其测量可依据现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344、《既有混凝土结构耐久性评定标准》GB/T 51355、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 中的规定。结构整体安全状态等级可依据现行国家标准《高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准》GB 51008 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 来确定，也可以依据项目自定义的风险等级来确定。

4 数据感知子系统

4.1 一般规定

4.1.2 在采集数据时，应先根据建筑结构所处的服役阶段和环境条件，确定需要重点监测的内容和关键指标；然后通过传感器、采集终端等智能化设备按设定频率自动采集数据，以保证信息实时、准确，并减少人工采集带来的遗漏或误差。

4.1.3 采用三维激光扫描、摄影测量等先进技术建立数字化模型，可在非接触条件下高精度、高效率获取全尺寸数据。这样能够在使用、维护等不同情境下准确进行变形监测与损伤识别，并便于与数字化管理系统对接，提高长期监测和管理的效率与准确性。

4.1.5 感知设备常分布在建筑的各部位，位置分散且不便维护，人工巡检成本高。“远程操作”是指可在管理平台上调整参数、获取数据；“日常自检”是指自动检测设备运行状态；“故障预警”是指在传感器失效、断电等异常时主动提示。与管理平台联动能减少现场维护、提高运维效率并确保数据连续性。

4.1.6 “原始数据”是指传感器或设备直接采集到的未加工信息；“处理过程”指数据清理、分析、转换等操作步骤；“设备配置”包括使用的仪器型号、参数设置等信息；操作人员信息记录参与人员及其职责。这种记录便于追溯数据来源和处理环节，确保监测成果的完整性和真实性。

4.1.8 在通信条件受限或数据量较大的应用场景中，数据感知子系统应具备本地处理数据的能力，包括剔除无效数据、筛选关键内容并压缩文件体积，再将处理后的数据上传至管理平台，由平台统一进行深入分析与结果整合，这样既能减少传输量、提高效率，又能保证数据分析的完整性与一致性。

4.2 智能检测流程与技术

4.2.1 在任务下达与识别阶段，由管理人员在平台生成检测任务，明确检测目标、范围、时间和责任人；在方案制定与平台同步阶段，制定检测方法、所需设备和时间计划，并将方案同步到管理平台；在现场部署与数据采集阶段，根据方案布置设备并采集原始数据；在自动分析与异常识别阶段，将数据输入系统进行自动处理并标记可能的异常；在成果生成与系统归档阶段，形成检测报告，并将所有数据和过程记录存入平台。按照这一顺序执行，可以确保检测过程规范、各环节衔接顺畅，并便于全过程管理与追溯。

4.2.2 根据需要在平台设置好结构状态监测结果的触发条件或风险阈值，系统即可在监测值

超过设定范围时自动生成检测任务,实现自动化调度;当需要开展日常巡检或针对某类问题进行专项排查时,可在平台中手动创建任务,填写检测目标、范围、时间等信息。这样既利用系统自动派发任务应对突发情况,又能保留人工下达任务的灵活性,确保不同检测场景都能高效执行。

4.2.3 制定检测方案时,先在平台调用结构的 BIM 模型,明确各构件的空间位置和几何信息;再根据构件的重要性确定优先检测对象;同时调取运维记录,了解这些部位的历史检测结果和维修情况;最后由系统依据以上信息自动生成检测任务清单、方法步骤和时间安排,使方案既覆盖关键部位,又符合实际维护需求。

4.2.4 智能检测优先采用具备非接触、高精度、快速部署特性的先进检测技术,例如无人机图像识别、三维激光扫描和红外热成像等。这类技术可降低对现场的干扰,提高检测效率,尤其适用于空间复杂或人工操作困难的场景。

4.2.5 传统检测方法在某些工况下仍具有实际价值,可以作为智能检测的辅助手段使用。但无论采用何种方式,其获取的数据都应接入统一的平台数据接口,实现集中存储和统一调用,避免信息孤立,提高数据的整体可用性和后续分析的便利性。

4.2.6 为保障检测数据的来源清晰、管理有序,检测设备应具备任务绑定功能,能够将采集的数据与具体任务或检测区域进行关联。同时建议具备位置信息记录功能和实时上传能力,使现场采集数据能够及时同步至平台,提高检测管理效率。

4.2.7 检测过程中宜结合自动识别技术,对结构异常特征或数据异常值进行初步筛查与识别。图像识别、数据比对等智能分析手段的引入,有助于提升检测过程的自动化程度,减轻人工判断压力,并减少因误判或遗漏带来的风险。

4.2.8 检测成果不仅应满足专业技术分析的需求,还应具备良好的可视化效果。通过图表展示、模型关联等方式表达检测结果,同时使用统一格式的报告模板,有利于成果归档、平台识别和管理人员理解。

4.3 智能检测内容与抽样机制

4.3.1 明确检测内容是开展智能检测的前提,应根据结构类型、重要性和功能定位等因素,合理确定检测范围与重点对象。

4.3.3 当结构使用年限较长、存在老化风险,或属于失效会造成重大损失的高安全等级结构时,应通过计划性的周期检测,对比历次检测数据变化,灵活调整检测的时间间隔和覆盖范围,从而在保证安全的同时提高检测效率。

4.3.4 “图形方式”是指利用图表、示意图或三维模型等形式直观呈现检测结果;“标注构

件位置、风险等级和检测时间”旨在使查看者能够快速定位检测对象、了解其风险程度及检测时点；“结构状态的可视化图谱”是将这些信息整合成整体视图，便于全面掌握结构健康状况并支持后续分析与决策。

4.3.5 “检测抽样布设”是指在结构上选择具有代表性的部位进行检测，需综合考虑构件已使用的时间长短、当前运行状态、所处环境条件以及可能带来的风险等级等因素，以保证抽样结果能够反映整体结构的真实状况。

4.3.6 摄影测量、激光扫描等技术可快速获取结构的三维形态和尺寸信息，监测成果则提供了结构运行过程中的状态数据，这些信息结合空间定位手段，可以准确确定检测点在结构中的具体位置，避免布点随意或遗漏关键部位，从而使抽样更符合结构特征并提高检测结果的代表性。

4.3.7 检测工作需要在实施阶段就考虑数据在后续运维中的用途。这里的“数据应用需求”是指平台在结构状态判断、风险评估、历史回溯等环节对数据的精度、格式、时间跨度及内容完整性等方面的要求。通过在检测前明确服务方向，可以使采集的数据与平台功能匹配，避免出现数据无法直接用于分析或支持决策的情况。

4.3.8 “抽样推荐功能”是指平台能够根据既定的检测目标和风险分析结果，综合结构特性、历史数据及环境条件等信息，自动生成符合要求的检测抽样方案，从而减少人工判断的不确定性，提高检测布设的科学性和针对性。

4.3.9 抽样方案与检测结果需要采用统一格式进行归档，并在记录中包含布点的理由、检测覆盖的区域、所用设备及其信息、以及数据的获取途径，这样可以保证检测工作的全过程在事后能够被准确追溯和验证。

4.4 智能监测设备布设

4.4.1 布设监测设备时，先分析结构体系的受力特点和传力路径，识别风险较高或关键受力的构件位置；在这些位置优先安装核心传感器，然后逐层延展形成覆盖全面的感知网络，确保结构状态变化能被及时捕捉。

4.4.4 监测设备具备根据任务需求调整采样频率和工作模式的功能，例如在关键监测阶段提高采样频率获取更密集的数据，在长期稳定阶段降低采样频率以减少能耗，从而优化电源使用情况并延长设备的整体使用寿命。

4.4.5 在重要构件和关键连接部位的监测位置增加数量，配置两套或以上同一类型、功能相同的设备，使其同时工作，这样即使一套设备出现故障，其他设备仍可持续采集数据，从而降低单点故障风险并确保关键部位监测数据的连续性与可靠性。

4.4.6 鼓励各类传感器间构建无线通信机制，实现协同运行。例如，应变传感器检测到异常时，可自动触发相邻的加速度传感器或温度传感器同步采集，从而形成任务联动。这样既能减少有线布设带来的施工和维护工作量，又能根据现场情况灵活调整布设位置，提高系统的集成度和协同监测能力。该条文体现对智能化、模块化感知网络的支持方向。

4.5 智能监测数据处理与应用

4.5.1 监测系统以高频率、不中断的方式持续采集各类传感器数据，并通过内置算法实时比对预警阈值，从而自动识别数据异常并判断设备故障。

4.5.2 初步筛选与压缩包括：剔除无效或重复数据，再进行压缩以减小文件体积，这样既能减少传输量、降低存储压力，又能保证数据的安全性与可长期追溯性。

4.5.3 将监测系统采集到的各类数据导入数字化结构模型（如 BIM 或三维可视化平台），并将应变、位移、加速度、温度等信息与模型对应构件实时关联，在三维界面中动态显示运行状态和变化趋势，从而实现结构性态的可视化感知，便于快速判断结构健康状况和定位异常部位。

4.5.5 监测系统往往涉及多种类型的传感器设备，其数据来源和格式存在差异。为实现有效整合，平台应具备统一管理能力。“格式转换”是指将各类设备生成的数据文件统一为平台可识别的格式；“时间对齐”是为解决不同设备采样频率不一致或起止时间不同的问题，使数据在时间维度上具备可比性；“标准化处理”则包括单位统一、字段规范、数值格式一致等，便于后续分析、建模与展示。

4.5.6 在监测过程中，可能会出现由于设备故障、外部干扰或结构异常引起的数据异常现象。为了保障数据的有效性和及时发现潜在风险，监测系统应具备自动识别异常数据的能力。该能力包括对突变值的快速检测，以及对趋势性偏移的持续跟踪和分析。

4.5.7 建议对各类监测数据设定分级响应阈值。当监测数据超过相应阈值时，系统应自动生成任务通知和维护建议，并将处理过程记录在案，确保每一项异常都能被及时响应和有效闭环处理。

4.6 数据归档与平台接口

4.6.1 将检测和监测获得的数据按类别整理，例如按构件（梁、柱、节点等）、监测内容（应变、位移、加速度等）、采集时间（精确到日期或小时）建立分层文件夹，并在归档表或数据库中逐条录入项目名称、构件编号、检测监测方法、采集时间等字段。所有文件命名和字段填写必须符合统一的命名规则和格式模板，确保不同人员在任何时间都能准确定位数据、避

免重复录入，并方便后续的数据统计、分析与溯源。

4.6.4 检监测数据平台具备的版本管理功能，能够在数据被修改或更新时自动保存旧版本并记录变更时间和操作者信息，方便随时恢复或比对；能够提供历史记录查看功能，支持按时间或关键字检索过去的的数据状态；具备数据压缩与备份功能，定期将数据打包存储到安全介质或云端；并建立自动或人工清理机制，定期删除无效、重复或损坏的数据文件，以保障数据安全、节省存储空间，并维持系统的稳定运行。

4.6.8 检监测数据平台提供的标准数据接口，保证外部系统能够按统一格式访问和读取平台数据。接口支持与智慧运维系统、科研平台、数据分析工具等进行双向数据交换，实现自动化的数据获取、上传和共享，使不同系统之间的数据能够直接对接、顺畅流转，并方便后续综合分析与应用。

5 数据全流程管理子系统

5.1 一般规定

5.1.1 本条文说明了数据全流程管理子系统的核心组成及其功能。该子系统是智慧运维系统的中枢，负责对建筑结构在全寿命周期内产生的各类性能指标数据进行全流程的管理。数据传输单元保障数据的实时、高效、可靠的数据接收、交换、传输；数据存储单元提供长期、稳定的数据存储服务；数据处理与管理单元则负责数据的预处理、分析、管理及安全。通过将这些功能集成到统一的架构中，实现了对结构化和非结构化数据的全流程管理，为后续的智能评估和决策提供坚实的数据基础。

5.1.2 本条文强调了数据传输单元的关键性能要求。在智慧运维系统中，从传感器到数据中心的传输是保障系统有效性的第一步。因此，传输单元不仅要具备对不同类型性能指标数据的接收、交换和传输能力，并确保传输的可靠性、实时性及高效性。可靠性保障数据不丢失、不失真；实时性确保系统能及时响应结构状态变化；高效性则保证海量数据的快速流转。

5.1.3 本条文阐述了数据存储单元的核心功能。建筑结构在全寿命周期内会产生海量的监测、检测、模型和资源数据。数据存储单元应能够兼容并接入这些多源异构数据，并为其提供安全、稳定的存储空间。存储功能的完整性是实现数据追溯、历史趋势分析和机器学习训练的基础。

5.1.4 本条文详细列举了数据处理与管理单元的各项功能。该单元是智慧运维系统实现“智慧”的核心。其功能涵盖了从数据采集控制到数据预处理（如滤波、去噪）、再到数据展示和数据库管理的整个流程。通过这些功能，系统不仅能将原始数据转化为有意义的信息，还能为授权用户提供便捷的数据访问服务，实现运维数据的集中管理、定期备份，并为后续的分析 and 评估奠定基础。

5.2 数据传输

5.2.1 本条文强调了数据传输软硬件设计与选型的基本原则。为了确保获取高质量的运维数据，所有与数据传输相关的软硬件设备必须满足一系列严格的技术要求，如量程、分辨力、精度、灵敏度等。这些指标直接影响到数据的准确性和可用性，是保障整个智慧运维系统可靠性的前提。

5.2.2 本条文对数据传输单元中硬件设备的使用寿命提出了明确要求。智慧运维系统通常需

要长期稳定运行，因此对硬件设备的耐久性有较高要求。不可更换类硬件（如布设在结构内部的线路）的寿命应不低于 20 年，以尽量匹配建筑结构的设计寿命；而可更换类硬件（如服务器、交换机）的寿命不低于 5 年，以便于技术的迭代和设备的更新。

5.2.3 本条文要求数据传输单元在物理连接上必须可靠。数据感知子系统包含大量传感器、采集器等设备，数据传输单元应能够提供足够的传输带宽，以应对多点并发数据采集的需求。同时，冗余设计是保障系统在部分设备或线路故障时仍能正常运行的关键。

5.2.4 本条文强调了数据传输单元在兼容性上的要求。智慧运维系统可能采用多种设备和通信协议，数据传输单元须能实现这些不同单元和协议之间的无障碍传输，确保数据流的顺畅。

5.2.5 本条文要求数据传输单元具备长期稳定运行的能力。智慧运维系统通常在无人值守的环境下工作，以减少人工干预和维护成本。

5.2.6 本条文针对远距离传输提出了技术建议。当传输距离较远时，为避免信号衰减和干扰，推荐采用数字信号或光纤传输技术。同时，仍需考虑线路的可靠性、安全性及可更换性，以便于未来的传输单元维护和升级。

5.2.7 本条文针对无线传输方式提出了技术要求。电磁波传输技术是常用的无线方式，但其易受干扰。因此，要求信号发射和接收装置应远离强干扰源（如高压电线、大型电机等），以保障信号的稳定性和数据质量。

5.2.8 本条文强调了数据传输单元的备份机制和鲁棒性。为应对传输故障，系统应设计冗余传输线路或备份传输通道，确保在主线路失效时，数据仍能完整、可靠地传输，防止数据丢失。

5.2.9 本条文提出了数据传输单元在数据质量和标准方面的要求。数据一致性、完整性、开放性、可扩充性是保障数据价值的关键。同时，要求遵循国际标准 ISO 8000《数据质量》，以确保数据的规范化。

5.2.10 本条文对数据传输方案的具体设计和布设提供了指导。针对不同信号类型和传输距离，提出了具体的传输协议和技术建议。例如，短距离模拟信号直接传输，长距离数字信号推荐 RS-485 等协议。对于无线传输，则给出了带宽、覆盖范围和设备安装位置等具体要求

5.3 数据存储

5.3.1 本条文强调了数据存储的标准化。智慧运维系统的多源异构数据的存储必须建立标准化描述规则和数据计算模型，以方便数据的统一管理、查询和分析。

5.3.2 本条文要求多源异构数据具备兼容性与可追溯性。为实现数据的有效利用，应明确建筑结构性能指标体系的数据类型，并统一跨系统数据接口格式和存储协议，确保不同来源的

数据能够无缝集成，并可追溯其原始来源和生成过程。

5.3.3 本条文针对大容量数据存储提出了技术方案。对于海量的多源异构数据，可采用分级存储策略和大规模分布式存储框架，以实现存储空间的动态扩展、成本优化和性能提升。

5.3.4 本条文阐述了数据存储的融合性。通过数据融合模型与方法，将不同来源的数据进行关联整合，形成面向不同运维业务场景的多层级关联融合数据库，为高级分析和智能决策提供更全面的信息。

5.3.5 本条文提出了数据库设计的基本原则。数据库设计应确保系统稳定、技术领先且易于扩展，同时还应对未来更复杂的分析需求。

5.3.7 本条文对数据库设计提出了合规性要求，确保数据的规范管理和安全。

5.3.8 本条文规定了在线和离线存储的时限要求。超过在线时限的数据可转存至离线存储介质，以平衡存储成本和数据可访问性。

5.4 数据处理与管理

5.4.1 本条文详细描述了数据处理的各项功能。

1 数据预处理是数据分析的基础，通过滤波、去噪、去趋势项、异常点处理等方法，消除原始数据中的干扰和错误，提高数据质量。

2 二次预处理是对预处理后的数据进行统计运算和时域/频域统计分析，提取关键特征，为初级预警提供依据。

3 后处理是高级分析环节，应支持模态分析、相关性分析、非线性回归分析等。

5.4.2 本条文针对大容量动态数据（如视频、高维信号）提出了处理要求，以高效处理和析这些复杂数据。

5.4.3 本条文阐述了非结构化异构数据的转化方法，以实现数据的统一分析和利用。

5.4.4 本条文提出了数据管理的基本要求，确保数据能够被高效利用。

5.4.5 本条文规定了数据管理的具体功能，以保障运维工作流程的顺畅和数据的有效利用。

5.4.6 本条文要求数据管理系统具备回放追溯功能，以便于对历史事件进行分析和追溯。

5.4.7 本条文详细列出了数据安全控制的关键要求和相关标准。数据安全是智慧运维系统的生命线，本条文从数据分类、机密性、完整性、可用性、访问控制、审计与日志、个人信息保护、隐私保护和云数据安全等多个维度，明确了需要遵循的国际和国家标准，确保数据在采集、传输、存储、处理和利用全过程中的安全性。

5.4.8 本条文要求系统具备自动生成报告的功能，以提高运维管理工作的效率和便捷性。

季报是基于一个季度内（通常为 3 个月）收集的性态指标数据自动生成的总结性报告。

它主要整合数据处理单元中的二次预处理结果（如统计运算数据），包括时段内的最大值、最小值、均值、方差、标准差等统计指标。这些数据用于监测建筑结构的短期变化趋势，并作为初级预警的依据（例如，识别季度内异常波动）。年报是年度性综合评估报告，汇总全年（12个月）的性态指标数据，并整合后处理分析（如模态分析、相关性分析等）。它提供建筑结构的长期性能评估，识别潜在风险（如结构老化或环境因素影响），并基于数据存储单元的永久存储特征数据。

6 结构健康管理子系统

6.2 结构性态综合评估

6.2.7 数据层融合是指在数据进入任何特征提取或高级处理之前，将来自不同传感器的原始观测值结合起来。特征层融合是指在特征提取之后、最终分类或决策之前，整合来自不同传感器的信息线索（特征）。决策层融合即每个传感器（或信息源）完全独立地处理自己的数据，形成本地的决策结果，再按照一定的规则进行综合，产生最终的全局决策。

6.2.8 精细识别算法包括估计方法、推理方法、人工智能算法三类。其中，估计方法可分为最小二乘法、加权平均数法、卡尔曼滤波法、最大似然估计等；推理方法可分为贝叶斯推理、经典推理、D-S 证据理论、支持向量机理论等；人工智能算法可分为神经网络算法、遗传算法、逻辑模糊法、知识系统分析方法等。

6.2.9 物理模型驱动是指基于结构系统内在物理规律，对结构损伤模型进行仿真，预测结构在极端荷载或未来状态下的响应。数据驱动是指直接从结构长期使用过程中采集的大量数据中，学习其模式和规律。常见的数据驱动方法包括机器学习和深度学习等。

6.2.11 性态指标体系的分级量化标准应满足实际工程的客观规律，同时也应符合现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 和《高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准》GB 51008、以及现行团体标准《空间钢结构检测与鉴定技术标准》T/CSCS 045 的相关规定。

6.4 智慧运维决策

6.4.2 根据结构损伤程度采取相应措施：

- 1 预防性手段（结构性能等级为 A、B 级时）：涂层处理、打磨除锈等；
- 2 修复/修补（结构性能等级为 B、C 级时）：裂缝处理、变形矫正等；
- 3 加固/补强（结构性能等级为 C 级时）：增大截面、预应力加固、改变结构传力途径等；
- 4 更换损坏的构件或子结构（结构性能等级为 C、D 级时）；
- 5 限制使用、停用拆除（结构性能等级为 D 级时）。

7 智慧运维平台

7.1 一般规定

7.1.1 本条文明确了智慧运维平台成功部署与稳定运行的基础保障要求。其核心在于强调：构建平台仅是起点，科学、精细、安全的基础配置是激活平台核心功能并使之持续有效服务于建筑结构智慧运维目标的关键前提。该过程必须紧密结合实际业务需求与技术设计规范，确保平台从“可用”走向“好用、可靠、安全”。平台参数化配置需依据现行国际标准《建筑信息模型交付标准》ISO 19650 和现行国家标准《建筑智能化系统设计标准》GB/T 51314，实现系统集成与数据互通。安全策略需满足《网络安全法》及现行国家标准《信息安全等级保护基本要求》GB/T 22239，确保业务连续性，如现行国际标准《业务连续性管理体系》ISO 22301。

7.1.2 本条文是关于建筑结构智慧运维平台智能特征定义的原则规定。

能感知是指能够灵敏、准确、自动地识别和反映人、活动和对象的状态，并通过标准化接口提供感知数据；会描述是指能够直观友好地编排、展现和表达运维场景中的各类信息；自学习是指能够挖掘数据、完善模型、总结规律，主动沉淀知识，同时需支持机器学习框架（如 TensorFlow/PyTorch），符合《知识图谱标准》IEEE P2807 的数据建模；可进化是无需大规模人工重构，指通过数据驱动和反馈闭环实现能力升级；会诊断是指能够对人、活动和对象进行分析定位并初步判断原因；可决策是指能够通过信息搜集、加工和综合分析，给出后续决策建议依据或潜在解决方案；自执行是指能够对预设规则范围内的运维场景自动进行分析、判断、决策和处理；决策与执行需基于《资产管理》ISO 55000 的决策框架，结合《人工智能伦理指南》DIN SPEC 92001，确保决策可追溯；自适应是指能够自动识别环境变化，动态调配应对措施，并优化处理策略。

7.1.3 本条文是关于建筑结构智慧运维平台开发的原则规定。

可用性与实用性是指平台设计应聚焦业务需求，确保功能使用、用户友好，具有良好的投入产出比与应用推广效益，并优先采用成熟技术和集成现有软件产品；可靠性与韧性是指要充分考虑到数据的、传输的可靠性（需遵循《工控安全》IEC 62443 的冗余设计）及对关键数据的备份（数据备份需满足《个人信息安全规范》GB/T 35273）等措施，并具备高可用架构（如集群、负载均衡）和故障快速切换能力；伸缩性与扩展性是指智慧运维平台应具有完备的扩展功能，为系统今后功能扩展、升级留有接口，并有利于系统的推广应用，除了可以适应目前的监测内容外，还应充分考虑以后监测内容的扩充与数据分析手段的完善，可采用

微服务架构（参考 ISO/IEC 18384），接口兼容 OASIS OpenAPI 标准；管理及维护的简便性是指庞大的信息系统需要有效的管理和维护手段，并充分考虑对传感器设备的远程设置、控制机制；先进性是指软件平台、技术实现手段的选型应符合主流的发展方向，在技术上采用当今较为成熟的技术，技术需符合《人工智能系统评估框架》IEEE 2668，同时保持相对的先进性，将先进和成熟的技术与现实相结合。

7.1.4 平台需兼容现有 BIM（参考现行国际标准 ISO 19650）、SCADA 系统。平台核心组件需支持 OPC UA（参考现行国际标准 IEC 62541）等工业通讯协议。

7.1.5 自动采集需符合现行国际标准 IEEE 1451 的传感器接口标准要求；人工录入需遵循现行国家标准《信息安全技术 个人信息安全规范》GB/T 35273 中的数据检验规则，确保数据完整。

7.1.6 等保三级是参考现行国家标准《网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239 的要求，双因素认证参照现行国际标准 NIST SP 800-63B 的要求，操作审计需满足现行国际标准《信息安全控制规范》ISO 27001 的规定。

7.1.7 RTO/RPO 指标依据现行国家标准《信息系统灾难恢复规范》GB/T 20988，容灾演练频率参照现行国际标准 ISO 22301《业务连续性管理》的要求。

7.1.9 试运行周期参照现行国家标准《智能建筑工程质量验收规范》GB/T 50314。

7.1.10 本条是关于建筑结构智慧运维平台智能开发运行环境维护的相关规定。

7.1.11 ISO 41001 认证为国际通用设施管理标准，国内等同采用现行国家标准《信息系统安全运维管理指南》GB/T 36626，要求运维人员持证上岗。

7.2 平台架构

7.2.1 本条文明确了智慧运维平台的技术架构设计原则，构建一套分层解耦、职责清晰、可扩展性强的支撑体系，确保平台的稳定性、灵活性及未来可持续演进能力。架构分层的核心在于“低耦合、高内聚”，各层专司其职，通过标准化接口实现协同，规避单一平台易导致的“烟囱式”结构问题，为智慧应用平台的敏捷开发和高效运维奠定基础。

7.2.2 传感器性能精度要求参照现行国际标准《结构监测传感器标准》ASTM E2840 的要求；关键设备冗余应符合现行国际标准《功能安全标准》IEC 61508 的规定；现行国际标准 IEC 62443-4-2 认证为工业控制安全黄金标准；IP54 防护等级参照现行国际标准 IEC 60529。

7.2.3 带宽要求依据现行国际标准《综合布线标准》EN 50173；云安全需通过现行国家标准《云计算服务安全能力要求》GB/T 31168 的评估。

7.2.4 数据存取参考现行国家标准《数据管理能力要求》GB/T 36073 的规定。

7.2.5 算法库预测性维护模型需符合现行国际标准《机器状态诊断标准》ISO 13374 的规定, 90%准确率参考现行国际标准《故障诊断指南》ISO 13379-1; 日志保存 3 年依据《网络安全法》第 21 条; 双因子认证采用 FIDO Alliance UAF 标准。

7.3 平台功能

7.3.1 静态属性是运维对象的基础信息, 需与 BIM 联动, 确保数据一致性。动态数据通过物联网传感器实时采集, 需支持高频采样 (如 5 分钟/次) 并长期存储, 为趋势分析提供依据。OpenAPI 3.0 应符合现行国际标准 OASIS 标准(RFC 8600), 确保第三方系统互操作。ONNX(Open Neural Network Exchange)为现行国际标准 IEEE 2941 支持的开放模型格式, 确保框架无关性。第三方系统指 BIM、ERP 等, 平台与第三方系统集成可方便运维数据调取, 实现数据互通。

7.3.2 本条文明确了智慧运维平台作为一个集成化中枢所必备的基础性功能和智能化应用水平的基本要求。通过这些功能的协同运作和智能化操作的实现, 实现设施全流程的可知、可管、可控、可视和智能决策, 提升运维效率、保障设施安全可靠运行并优化运维成本。

7.3.3 设备故障通常由多重因素叠加导致 (如传感器漂移、机械磨损、控制逻辑冲突等), 90% 的定位准确率可确保系统在复杂工况下有效识别核心故障源, 避免因误判导致维护资源浪费或故障升级。误报过高将引发运维人员对系统的信任危机, 并造成非计划性停机, 5% 的阈值参考现行国际标准 ISO 1337 等对诊断系统可靠性的规定, 平衡了敏感性与特异性需求。

10 秒响应阈值针对需紧急干预的故障 (如过压停机、燃气泄漏), 符合现行国家标准《工业自动化系统实时性要求》GB/T 32271-2015 对 I 类事件的限值规定, 避免事故扩大。技术实现需通过内存计算+轻量级预案引擎 (如 Drools 规则库) 达成时效目标, 禁用传统数据库查询等延迟操作。85%召回率确保操作人员使用自然语言能有效检索历史处置方案, 减少经验依赖导致的处置延迟。

7.3.4 轻量化模型可采用 Khronos Group glTF 2.0 开放格式。多端协同响应时间需符合 WCAG 2.1。AR 叠加的 5 cm 定位精度依据现行国际标准《增强现实工业应用指南》IEEE P1589。