ICS 35.240.99
CCS L 70

T/CUPC

团　　体　　标　　准

T/CUPC XXX-XXXX

基于大数据与人工智能的钢结构建筑运维管理指南

Guide for operation and maintenance management of steel- structure buildings based on big data and artificial intelligence

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布　　20XX-XX-XX 实施

中国城镇化促进会　发布

目　　次

前言 II
1 范围 3
2 规范性引用文件 3
3 术语和定义 3
4 总体要求 4
5 运维数据体系建设 5
6 智能感知与智能化巡检 6
7 大数据与人工智能分析应用 7
8 智能运维平台技术要求 8
9 现场运维实施管理 9
10 安全要求 10
11 运维评价与改进 10
附录 A　（资料性）　钢结构建筑智能运维全量数据清单 12
附录 B　（资料性）　AI 表观损伤识别缺陷类型、识别约束条件 13
附录 C　（资料性）　钢结构风险等级划分、判定要素及处置要求 14

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由浙江钜实桥梁钢构有限公司提出。

本文件由中国城镇化促进会归口。

本文件起草单位：浙江钜实桥梁钢构有限公司。

本文件主要起草人：×××

基于大数据与人工智能的钢结构建筑运维管理指南

1 范围

本文件规定了基于大数据与人工智能的钢结构建筑运维管理的总体要求、运维数据体系建设、智能感知与智能化巡检、大数据与人工智能分析应用、智能运维平台技术要求、现场运维实施管理、安全要求、运维评价与改进。

本文件适用于新建和既有钢结构建筑运营使用阶段智能运维的策划、实施、系统验收、运维评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 51269 建筑信息模型分类和编码标准

GB/T 51447 建筑信息模型存储标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钢结构建筑智能运维 intelligent operation- maintenance for steel- structure building

综合运用物联网感知、自动化巡检、大数据、人工智能、建筑信息模型、数字孪生等数字化技术，归集多源异构运维数据，通过数据分析与算法模型实现钢结构表观缺陷识别、结构状态分析、风险预警、维护决策辅助，开展预测性运维、缺陷闭环处置、构件全生命周期状态管理的运维工作模式。

3.2

多源运维数据 multi- source operation- maintenance data

钢结构建筑全生命周期内产生的静态档案数据、在线监测时序数据、巡检图像与点云数据、运维业务台账数据、外部环境数据的集合，包含结构化数据与非结构化数据。

3.3

预测性维护 predictive maintenance

以结构实际服役状态为基础，利用监测、巡检与大数据- AI 分析结果，在构件发生功能性失效前预判风险，主动组织检修维护作业，区别于定期计划维护和故障后维修。

3.4

数字孪生 digital twin

建立与实体钢结构建筑几何、属性、空间关系保持映射关系的数字化模型，接入实时监测、巡检业务数据，实现实体状态可视化、工况仿真推演，为运维决策提供支撑。

4 总体要求

4.1 基本原则

4.1.1 智能化运维不得降低结构安全管控底线；大数据与人工智能输出结果宜仅作为运维决策辅助依据，不宜直接替代具备相应资质机构开展的检测、鉴定工作；当人工智能分析结论与现场实体检测鉴定结果不一致时，宜采用现场实体检测鉴定结果。

4.1.2 宜依据建筑安全等级、结构形式、构件重要度、服役环境腐蚀等级、历史病害情况，合理配置监测测点、巡检方案、人工智能算法，不宜盲目过度配置；技术方案宜优先覆盖主要承重构件、关键连接节点、疲劳敏感部位、高腐蚀部位。

4.1.3 宜构建“数据采集- 智能分析- 风险预警- 工单派发- 现场核验处置- 结果回传- 记录归档- 模型迭代”完整业务闭环，预警和缺陷不应只报警不处置。

4.1.4 智能运维体系应与既有运维管理制度兼容；智能监测、智能巡检宜和传统人工巡检、定期检测、可靠性鉴定协同开展；数字化底座宜兼容竣工 BIM 模型及建筑既有信息化业务系统。

4.1.5 宜明确各类数字化技术适用范围、输入条件、局限性；人工智能模型宜明确使用边界，不宜超场景使用；系统建设宜同步落实网络安全、数据安全管控要求。

4.2 运维对象与工作边界

4.2.1 本文件运维对象包含钢柱、钢梁、钢支撑、空间钢结构杆件、连接节点（高强螺栓连接、焊缝节点）、支座系统、屋面及围护钢结构构件；包含构件防腐涂层、防火涂层。建筑附属机电设备不属于本文件主要运维对象。

4.2.2 智能运维可完成日常风险筛查、状态跟踪、辅助维护决策；涉及结构安全性、可靠性评定，宜委托具备相应资质的检测鉴定机构按照现行标准开展工作并出具正式报告。

4.2.3 本文件仅覆盖运营使用阶段，设计阶段、施工建造阶段不在本文件范围内，但运维工作宜充分利用设计与竣工阶段交付资料。

4.3 参与方职责

4.3.1 业主或建筑使用单位

宜明确智能运维总体目标、工作范围，保障经费投入；组织编制运维专项策划方案；对运维全过程实施监督管理；对识别出的安全隐患组织落实整改闭环；组织开展年度运维效果评价。

4.3.2 运维服务单位

按照策划方案执行日常智能运维作业；负责平台日常运维、数据归集；落实预警响应流程；完整留存运维记录；配合检测鉴定机构开展现场复核工作；提交年度运维工作总结。

4.3.3 检测鉴定机构

承担实体检测、结构可靠性鉴定工作；对智能系统识别得到的疑似重大缺陷开展现场复核验证；为预警阈值设置、风险判定提供技术支撑。

4.3.4 系统集成服务商

完成感知硬件布设、智能运维平台开发部署；提交完整技术文档；完成系统测试、验收交付；对使用方开展操作培训；配合完成模型迭代优化。

5 运维数据体系建设

5.1 一般规定

宜建立统一运维数据底座，归集静态基础档案数据、动态在线监测数据、巡检图像点云数据、业务运维台账数据、外部环境数据；各类数据应建立关联关系；主要承重构件应赋予构件唯一编码；数据完整清单参见附录 A。

5.2 数据分类与采集内容

5.2.1 静态基础档案数据宜包含建筑基础信息、结构设计文件、竣工图纸、材料质量证明文件、竣工 BIM 模型、历次加固改造资料、历史检测鉴定报告、构件台账与构件唯一编码清单。

5.2.2 动态在线监测数据宜包含应力应变、构件挠度位移、支座位移沉降、结构振动加速度、环境温度、环境湿度、腐蚀环境参数，每条数据宜包含测点编号、采集时间戳。

5.2.3 巡检图像与点云数据宜包含无人机航拍影像、巡检机器人图像、现场手持拍摄图像、三维激光扫描点云；每条影像、点云数据宜记录采集位置、采集时间。

5.2.4 业务运维台账数据宜包含巡检任务记录、缺陷台账、报警记录、运维工单、维修处置记录、缺陷复查销项记录。

5.2.5 外部环境数据宜包含气象数据、周边振动干扰数据、场地腐蚀环境条件数据，可对接公共气象服务接口获取。

5.3 数据采集方法

5.3.1 静态档案以数字化归档导入为主；竣工 BIM 模型宜符合 GB/T 51447 的要求，面向运维场景做轻量化处理；构件编码宜符合 GB/T 51269 编码规则。

5.3.2 在线监测数据采用物联网传感器自动采集；静态变形监测宜采用分钟级采样；振动模态监测采样频率不应低于 50 Hz；关键测点宜设置时间同步机制。

5.3.3 表观巡检可采用无人机、钢结构爬行机器人、轨道巡检机器人、三维激光扫描仪、人工现场拍照多种方式组合；对于人员无法到达的高空部位，宜优先采用自动化巡检手段。

5.3.4 业务台账数据可由平台自动生成或人工填报；人工填报内容应留存填报人、填报时间。

5.4 数据质量控制要求

5.4.1 宜建立数据清洗规则，对跳变异常值、噪声数据、缺失数据进行识别标记，不宜直接无依据删除原始数据。

5.4.2 核心监测测点有效数据占比不应低于 90%；当连续 72 h 核心测点有效数据低于 80%时，宜开展设备故障排查。

5.4.3 图像数据宜保证目标构件完整成像，缺陷区域成像清晰；用于 AI 识别的图像不宜存在严重过曝、严重逆光、大面积遮挡；关键构件点云不宜存在大面积数据空洞。

5.4.4 所有采集数据宜附带时间戳、位置标识；时间同步误差不应大于 1 s。

5.5 数据治理、存储与访问共享

5.5.1 宜编制项目数据字典，统一数据字段、数据格式、编码规则；构件唯一编码应贯穿档案、测点、缺陷台账、维修记录。

5.5.2 原始在线监测数据保存期限不应少于 5 年；重大公共建筑原始监测数据宜长期归档；业务运维台账、检测鉴定报告记录应永久保存。

5.5.3 数据存储宜执行定期备份策略，宜配置异地备份；备份周期不应大于 7 d。

5.5.4　系统宜设置分级访问权限；内部业务共享按照岗位职责分配权限；对外提供工程敏感数据宜履行内部审批流程，严禁无审批对外泄露工程资料。

6　智能感知与智能化巡检

6.1　一般规定

感知测点布设、巡检方案编制宜结合结构计算结果确定；测点、巡检范围宜优先覆盖主要承重钢柱、主梁、拼接节点、支座、疲劳敏感区域、高腐蚀部位；测点布置宜兼顾代表性、安全性、经济性，不宜片面追求测点数量最大化。

6.2　结构在线监测感知

6.2.1　传感器量程、测量精度宜满足工程评估需求；传感器安装宜牢固可靠，做好防腐、防水、防雷防护，便于校准、检修、更换。

6.2.2　监测系统宜具备设备自检功能，能够识别传感器断线、通信中断、信号漂移故障；高风险部位关键监测链路宜配置供电与通信冗余。

6.2.3　监测项目可包含应力- 应变、构件挠度位移、支座位移沉降、振动加速度、环境温湿度、环境腐蚀参数。

6.2.4　监测初始阈值不宜直接照搬理论设计值，宜在建筑完成初始基准标定后进行阈值修正；基准标定应结合首次现场检测结果开展。

6.2.5　传感器宜按照设备技术文件开展定期校验；校验周期不宜大于 12 个月。

6.3　自动化智能化巡检作业

6.3.1　无人机巡检适用于屋面钢结构、高空杆件、人员难以抵达区域；宜预先规划巡检航线，重点部位设置图像重叠度；大风、雷雨、大雾等不利气象条件不宜开展无人机巡检作业；无人机巡检图像仅用于表观缺陷初筛。

6.3.2　爬行机器人、轨道巡检机器人适用于高频次重复巡检梁柱节点、焊缝区域；巡检现场光照条件宜满足图像识别最低照度要求，光照不足宜配置辅助照明。

6.3.3　三维激光扫描用于获取钢结构整体点云模型，通过与 BIM 基准模型比对识别构件整体变形、局部偏移；常规服役条件下两次完整扫描间隔宜为 1 年 ～ 3 年；腐蚀严重、振动频繁建筑宜缩短扫描周期。

6.3.4　机器视觉表观损伤识别仅针对图像可见外观缺陷；AI 识别输出结果为疑似缺陷，不宜直接认定为实际病害；所有 AI 检出疑似缺陷应执行人工复核流程；缺陷识别范围与约束条件见附录 B。

6.3.5　自动化巡检不宜完全替代人工现场巡检；人工巡检周期宜符合现行标准对钢结构建筑巡检的要求。

6.4　BIM 数字化底座构建要求

6.4.1　宜采用竣工 BIM 模型作为运维数字化底座；宜对模型做轻量化处理，删除对运维无意义精细几何细节，保障平台访问性能。

6.4.2　构件唯一编码应与 BIM 构件编码保持一致；实现构件关联图纸资料、材料信息、监测测点、缺陷记录、维修历史，支持构件信息一键溯源。

6.4.3　BIM 模型坐标系、监测测点坐标、三维激光点云坐标应统一空间坐标系。

6.4.4　模型宜随加固改造、构件更换及时更新，不宜继续使用过期模型开展运维分析。

7 大数据与人工智能分析应用

7.1 一般规定

7.1.1 使用的人工智能算法宜明确适用场景、输入条件、性能水平、技术局限性，不宜夸大算法能力；宜定期利用现场复核样本校验模型效果。

7.1.2 AI 自动输出的疑似缺陷、状态分析结果宜设置强制人工复核环节；判定存在重大风险时，宜结合实体检测开展确认。

7.1.3 人工智能算法不宜输出正式的结构安全等级鉴定结论；算法输出内容仅作为检测鉴定机构开展工作的参考素材。

7.2 钢结构表观损伤智能识别

7.2.1 输入数据源为巡检图像、三维点云数据；输出内容宜包含缺陷位置、缺陷类别、缺陷几何参数估算值。

7.2.2 系统宜对“AI 疑似缺陷”与“人工复核确认缺陷”做明确标识区分，不宜将 AI 疑似缺陷直接存入已确认病害台账。

7.2.3 AI 识别检出的高风险疑似缺陷，宜优先安排现场复核。

7.2.4 AI 图像识别不能识别钢材内部裂纹、焊缝内部缺陷、钢材材质损伤，该类缺陷宜采用无损检测手段完成。

7.3 多源数据融合结构状态分析

7.3.1 融合数据源包含在线监测时序数据、历史检测鉴定报告、巡检缺陷台账、环境监测数据。

7.3.2 大数据- AI 分析可完成构件响应统计分析、缺陷分布统计、病害发展趋势统计；分析结果用于辅助运维人员掌握整体结构服役状态。

7.3.3 状态分析不能替代规范规定的结构可靠性鉴定流程。

7.4 性能衰减与服役趋势预测

7.4.1 可基于腐蚀速率统计、疲劳损伤累积模型，结合历史大数据拟合，开展防腐涂层寿命、构件腐蚀发展趋势、疲劳损伤演化趋势预测。

7.4.2 预测结果属于概率性参考结果，输出内容宜明确标注预测假设条件、不确定性，不宜作为确定性剩余寿命结论直接使用。

7.5 风险分级与预警

7.5.1 宜综合构件重要度、缺陷严重程度、结构响应水平、服役环境条件开展风险分级；分为Ⅰ级（一般风险）、Ⅱ级（关注风险）、Ⅲ级（重要风险）、Ⅳ级（重大风险）；判定要素和处置要求见附录 C。

7.5.2 预警分为固定阈值报警和趋势异常报警；每一条报警信息应附带位置信息、原始监测或巡检数据、简要异常说明。

7.5.3 Ⅳ级重大风险报警应支持多渠道推送，包括平台消息、移动端提示；报警产生后宜完整记录报警接收、处置、复核全流程台账，严禁随意删除报警记录。

7.5.4 预警阈值宜结合建筑实际服役状态定期校核，不宜长期沿用初始阈值不做修正。

7.6 预测性维护决策输出

7.6.1 系统宜依据风险分析结果输出构件维护优先级排序、建议检修部位、建议检修周期。

7.6.2 系统可自动生成初步运维工单，工单宜经过运维人员人工确认后方可下发执行；系统不宜自动下发强制维修指令。

7.7 数字孪生运维应用

7.7.1 数字孪生模型宜接入实时监测数据，实现构件状态、病害分布、风险点位三维可视化展示。
7.7.2 可开展工况模拟推演，模拟极端温度、大风工况下结构响应，对比模拟维修加固方案效果。
7.7.3 数字孪生可视化展示不宜替代规范要求的结构力学计算分析。

8 智能运维平台技术要求

8.1 总体架构

平台采用分层模块化架构，分为感知采集层、网络传输层、数据中台层、业务应用层；各层之间接口解耦，支持模块独立升级。

a) 感知采集层：传感器、无人机、巡检机器人、三维激光扫描设备；
b) 网络传输层：有线局域网、工业物联网无线通信链路；
c) 数据中台层：数据接入模块、数据清洗模块、存储模块、算法引擎、数据字典管理模块；
d) 业务应用层：档案台账管理、监测监控、智能巡检管理、AI 分析模块、预警管理、工单运维、统计报表、BIM/数字孪生可视化。

8.2 功能要求

8.2.1 档案台账管理

实现建筑基础档案、图纸报告、构件台账管理；支持构件唯一编码检索，实现构件全生命周期档案查询。

8.2.2 监测监控功能

实时数据展示、历史曲线查询、异常标记、测点状态诊断。

8.2.3 智能巡检管理

巡检任务编制下发、巡检数据上传、AI 缺陷识别、缺陷台账管理。

8.2.4 预警管理

报警接收、报警分派、处置跟踪、报警归档，完整留存报警全流程记录。

8.2.5 运维工单管理

工单创建、派发、现场填报、处置结果上传、复查销项确认。

8.2.6 统计报表功能

缺陷统计、风险分布统计、运维工作量统计，报表支持导出。

8.2.7 BIM 与数字孪生可视化

三维场景浏览、构件信息穿透查询、风险点位标注展示。

8.2.8 系统日志管理

记录用户登录、操作、模型变更、参数修改，日志不可篡改。

8.3 性能要求

8.3.1 常规工况核心监测数据传输时延不宜大于 10 s；重大报警推送时延不宜大于 30 s。
8.3.2 Web 端普通业务页面加载时间不宜大于 3 s；轻量化 BIM 常规场景加载时间不宜大于 5 s。
8.3.3 平台全年系统可用率不宜低于 95%。
8.3.4 系统操作日志留存周期不应少于 6 个月。
8.3.5 平台应具备异常容错机制，单测点故障不应造成整体平台瘫痪。

8.4 接口、数据交互要求

8.4.1 平台对外应提供标准化 API 接口，数据交换优先采用 JSON 格式；宜提供完整接口文档，支持第三方业务系统对接。
8.4.2 宜支持静态档案、历史检测记录批量导入功能；导入完成宜有导入校验提示。

8.5 系统部署、测试、验收与交付

8.5.1 交付文档宜至少包含：系统需求规格说明、硬件设备清单、部署手册、用户操作手册、接口文档、数据备份恢复方案。
8.5.2 系统验收宜开展硬件功能核验、平台功能测试、性能测试、模拟报警测试、业务闭环全流程测试。
8.5.3 系统交付后，宜对运维管理人员开展完整操作培训，并留存培训记录。
8.5.4 系统硬件设备应建立台账，定期维护检修。

9 现场运维实施管理

9.1 运维专项策划

开展智能运维实施之前，宜编制运维专项策划方案。策划方案宜包含运维目标、运维范围、感知巡检方案、数据清单、风险分级规则、岗位职责、业务流程、经费计划、系统维护计划。策划方案宜经业主单位确认后实施。

9.2 日常运维作业管控

9.2.1 智能监测、自动化巡检宜和人工现场巡检组合使用，智能化手段用于提升运维效率，不宜完全取消人工现场巡检。
9.2.2 宜按照校验周期对传感器开展检查校准；高腐蚀、高振动服役环境宜提高硬件检查频次。
9.2.3 宜定期对 AI 模型实际识别效果进行评估，记录误报、漏报情况。

9.3 监测- 巡检- 检测鉴定协同工作机制

当平台多次输出高风险预警，AI 识别检出疑似重大缺陷，宜及时委托具备资质检测鉴定机构开展现场实体复核，评估结构安全状态；检测鉴定结果宜录入运维平台归档。

9.4 缺陷与风险闭环处置

9.4.1 所有确认缺陷、有效报警均宜建立台账，执行“发现- 复核- 评估- 处置- 复查- 销项”闭环流程。

9.4.2　未完成复查销项的风险项不应随意关闭台账；确需暂时搁置的风险宜履行审批手续，持续跟踪缺陷发展。

9.5　灾害后应急运维

建筑经历台风、地震、火灾等灾害作用之后，宜优先利用智能感知、自动化巡检开展快速筛查，初步识别大范围构件损伤风险；快速筛查完成后应组织人工复核，必要时委托检测鉴定机构开展灾后可靠性评估；重大险情应按照建筑应急预案开展处置。

10　安全要求

10.1　一般安全要求

智能运维平台网络安全等级保护按照 GB/T 22239 执行，依据建筑重要等级落实对应等级保护相关要求。

10.2　网络安全

10.2.1　网络边界部署防火墙，落实访问控制策略；感知设备不宜直接对公网暴露。
10.2.2　用户账号实行分级授权管理，禁止共享账号；关键操作执行身份鉴别。
10.2.3　所有系统操作日志完整留存，日志不宜随意修改删除。

10.3　数据安全

10.3.1　落实数据备份策略，定期执行备份，防止原始监测数据丢失。
10.3.2　工程图纸、检测鉴定报告属于工程敏感数据，严格控制访问权限；涉及个人信息处理宜符合 GB/T 35273 要求。
10.3.3　重要数据删除、销毁应履行内部审批流程。

10.4　AI 模型安全管理

10.4.1　AI 算法模型应进行版本管理，每一次模型更新留存版本记录。
10.4.2　现场正在使用的业务模型不应随意替换；模型更新后宜完成验证测试，确认满足工程使用条件后方可上线。
10.4.3　不宜直接使用未经过工程场景验证的开源模型直接用于现场业务。

11　运维评价与改进

11.1　评价对象与评价内容

评价对象为整套钢结构建筑智能运维体系；评价内容包含感知硬件可靠性、数据质量、AI 识别效果、预警有效性、缺陷风险闭环处置水平、运维业务记录完整度。宜每自然年度开展一次完整评价。

11.2　评价指标

评价指标包含：

a)　核心测点有效数据率；
b)　AI 表观损伤识别召回率；
c)　AI 表观损伤识别误报率；

d) 报警闭环处置及时率；
e) 隐患销项完成率；
f) 运维业务记录完整率。

11.3 持续改进

11.3.1 根据年度运维评价结果，结合现场复核样本，优化测点布设方案、传感器校验周期、预警阈值参数。

11.3.2 利用现场复核得到真实缺陷样本迭代优化 AI 模型，降低漏报、误报水平。

11.3.3 对运维业务流程存在问题进行修订更新；修订内容宜同步更新至运维策划文件。

A

附 录 A
（资料性）
钢结构建筑智能运维全量数据清单

钢结构建筑智能运维全量数据清单见表 A.1 所示。

表 A.1 运维数据清单

数据大类	细分数据项	备注说明
静态基础档案数据	建筑概况、结构形式、设计说明、竣工图纸、材料质量证明文件、竣工 BIM 模型、历次加固改造资料、历史检测鉴定报告、构件台账、构件唯一编码清单	构件编码满足 GB/T 51269
在线监测数据	应力应变、构件挠度位移、支座位移沉降、振动加速度、环境温度、环境湿度、腐蚀环境参数	每条数据包含测点编号、时间戳
巡检图像与点云数据	无人机巡检图像、机器人巡检图像、现场手持拍摄图像、三维激光扫描点云成果	记录采集位置、采集时间
业务运维台账数据	巡检任务记录、缺陷台账、报警全流程记录、运维工单记录、维修处置记录、缺陷复查销项记录	完整业务闭环记录
外部环境数据	气象数据、周边振动数据、场地腐蚀环境数据	可对接外部公共接口

附 录 B
（资料性）
AI 表观损伤识别缺陷类型、识别约束条件

B.1 AI可识别表观缺陷类型

AI 可识别表观缺陷类型如下：

a） 涂层类缺陷：涂层起皮、涂层剥落、涂层粉化；
b） 腐蚀缺陷：构件表面锈蚀、局部锈坑；
c） 连接表观缺陷：螺栓缺失、螺栓明显外露缺失；
d） 构件表观变形：局部鼓曲、明显弯折；
e） 焊缝表观缺陷：焊缝表面开裂、焊瘤、表面大面积缺焊。

B.2 识别约束条件

B.2.1 AI仅识别图像可见表观缺陷；钢材内部裂纹、焊缝内部缺陷、材质损伤无法通过图像识别，应执行无损检测。

B.2.2 遮挡、逆光、严重过曝、雨雪污渍覆盖构件表面，会造成漏报、误报。

B.2.3 AI输出全部属于疑似缺陷，必须人工复核确认，不得直接作为病害事实。

附 录 C
（资料性）
钢结构风险等级划分、判定要素及处置要求

钢结构风险等级划分、判定要素及处置要求见表 C.1 所示。

表 C.1 钢结构风险等级划分、判定要素及处置要求

风险等级	说明	主要判定要素	处置建议
Ⅰ级（一般风险）	轻微表面涂层老化，对结构承载无不利影响	轻微涂层粉化，无锈蚀，构件变形在允许范围	纳入常规巡检周期，持续观察，结合计划性维修统一处理
Ⅱ级（关注风险）	局部轻度表观缺陷，当前不影响结构安全，存在发展可能性	局部轻微锈蚀、小范围涂层脱落；构件响应处于正常区间	提高巡检频次，跟踪缺陷发展趋势；记录缺陷变化台账
Ⅲ级（重要风险）	中等程度缺陷，缺陷进一步发展可影响构件服役性能	中度锈蚀、局部涂层大面积脱落；监测数据接近预警阈值	尽快组织现场检测复核，评估构件实际状态，编制维修方案
Ⅳ级（重大风险）	疑似严重损伤，威胁结构安全性能	疑似严重变形、严重锈蚀、关键节点表观开裂、关键测点持续超限报警	立即开展现场检测鉴定；必要时采取临时管控措施，限期完成整改闭环