|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 93.040 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png XJBX |   P 28 |

西安市计量标准检测认证协会团体标准

T/XJBX 0052—2025

公路桥梁智能预警与应急响应管理准则

Principles for intelligent early warning and emergency response management of highway and bridge infrastructure

2025 - XX - XX发布

2025 - XX - XX实施

西安市计量标准检测认证协会  发布

目次

[前言 III](#_Toc205564992)

[引言 V](#_Toc205564993)

[1 范围 1](#_Toc205564994)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc205564995)

[3 术语和定义 1](#_Toc205564996)

[4 总则 2](#_Toc205564997)

[5 系统构成与功能要求 3](#_Toc205564998)

[6 风险分级与预警管理 3](#_Toc205564999)

[7 应急响应与处置流程 4](#_Toc205565000)

[8 系统运行维护与持续改进 5](#_Toc205565001)

[9 资料与档案管理 6](#_Toc205565002)

[10 附则 7](#_Toc205565003)

1. 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。

本文件由西安市计量标准检测认证协会提出并归口。

本文件起草单位：常州工学院。

本文件主要起草人：邓江桦。

1. 引言

随着我国公路桥梁规模的不断扩大和服役年限的增加，结构老化、病害发生频率上升以及极端天气事件的增多，使得桥梁安全运行面临更大挑战。传统的人工巡检与定期检测模式在发现隐患的及时性、响应速度和数据连续性方面存在局限，难以满足现代化交通基础设施安全管理的需求。

智能预警与应急响应技术通过部署传感器网络、物联网终端、视频监测系统以及智能数据分析平台，实现对桥梁结构状态和运行环境的实时感知、动态分析与风险预测。该技术不仅能够提前识别潜在安全风险，还能在突发事件发生时快速触发应急响应机制，提升事故处置效率和桥梁运行保障能力。

本文件旨在规范公路桥梁智能预警与应急响应系统的建设、运行、维护及管理工作，明确技术架构、数据采集、信息处理、风险预警、应急处置等环节的基本要求，为桥梁管理单位、运营公司、应急管理部门及相关技术服务机构提供统一的技术依据。

本文件结合我国公路桥梁管理的实际需求，参考国内外先进经验，提出了全生命周期管理理念下的智能预警与应急响应体系构建方法，强调信息化、自动化与科学决策的融合应用，旨在提高桥梁运行安全水平，延长服役寿命，降低突发事件造成的人员伤亡和财产损失。

公路桥梁智能预警与应急响应管理准则

* 1. 范围

本文件规定了公路桥梁智能预警与应急响应系统的总则、系统构成与功能要求、风险分级与预警管理、应急响应与处置流程、系统运行维护与持续改进及资料与档案管理等内容，涵盖系统建设、运行管理和持续改进等全过程。

本文件适用于各类公路桥梁（含跨海桥梁、高架桥、特大桥及隧道式桥梁）的智能预警与应急响应管理工作，包括新建桥梁的系统建设和在役桥梁的系统改造、升级。

其他类型的道路交通基础设施在进行安全监测与应急管理时，可参照本文件执行。

* 1. 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 5768.2—2022 道路交通标志和标线 第2部分：道路交通标志

GB/T 1.1 标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则

GB/T 28426 桥梁结构健康监测系统技术规范

GB/T 31590 物联网总体技术架构

GB/T 37228 应急管理 安全与韧性 应急管理 突发事件管理指南

JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范

JT/T 1037—2022 公路桥梁结构监测技术规范

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

公路桥梁 highway bridge

为保障公路交通通行需求而修建的跨越江河、湖泊、峡谷、道路、铁路等障碍物的结构工程，包括桥面、上部结构、下部结构及附属设施。

智能预警 intelligent early warning

利用传感器、物联网、数据分析、人工智能等技术，对桥梁结构状态及环境条件进行实时监测、分析和预测，并在风险达到设定阈值时自动发出警报的技术和管理过程。

应急响应 emergency response

在桥梁发生或可能发生安全事故、结构损伤、交通中断等紧急情况时，按照预定的应急预案，快速采取措施进行处置和救援的全过程。

结构健康监测 structural health monitoring

通过布设多种传感器和监测设备，对桥梁结构的受力、变形、振动、温度等状态参数进行实时或定期采集、传输、分析与评估，以判断其健康状况和运行安全水平的技术体系。

风险阈值 risk threshold

用于判定桥梁运行状态是否处于安全范围的关键参数值，超过该值即触发风险预警或应急响应措施。

应急预案 emergency plan

针对可能发生的突发事件，预先制定的处置方案，包括应急组织架构、职责分工、处置流程、资源调配和信息通报等内容。

* 1. 总则

公路桥梁智能预警与应急响应管理应坚持“预防为主、智能感知、快速处置、协同联动”的原则，将技术手段与管理机制有机结合，实现桥梁安全运行的全过程动态管理。

应建立覆盖桥梁全寿命周期的智能监测、预警和应急响应体系，确保从设计、建设、运营到养护各阶段的安全信息互通和管理闭环。

智能预警系统应与桥梁结构类型、规模、重要性等级及所在环境条件相适应，做到技术先进、运行稳定、维护简便、扩展性强。

应急响应体系应与地方政府应急管理部门、公路管理机构、交通执法、公安交警、医疗救援等形成有效联动，明确信息通报和资源调配机制。

参与桥梁智能预警与应急响应工作的单位和人员，应具备相应的专业能力和资质，熟悉桥梁结构安全评估、监测技术、应急管理流程及相关标准规范。

在运行管理过程中，应建立信息共享与公众通报机制，确保重大风险和突发事件信息的透明公开，同时保护涉及公共安全和国家安全的敏感数据。

* 1. 系统构成与功能要求
     1. 总体要求

公路桥梁智能预警与应急响应系统应由前端感知层、数据传输层、数据处理与分析层、决策与控制层及应急处置层构成。各部分应实现数据互联、信息共享、协同运行，并具备冗余设计和安全防护能力。

* + 1. 系统模块及功能

系统的主要模块、核心功能及技术要求见表1。

1. 公路桥梁智能预警与应急响应系统模块及功能要求

| 模块名称 | 核心功能 | 技术要求 |
| --- | --- | --- |
| 前端感知层 | 采集桥梁结构状态参数（应变、位移、振动、裂缝、倾角等）及环境参数（温度、湿度、风速、流速等） | 传感器布设合理、量程和精度满足监测要求，具备防护等级不低于IP65 |
| 数据传输层 | 实时传输监测数据至数据中心 | 支持有线/无线多种通信方式，具备加密传输与链路冗余 |
| 数据处理与分析层 | 数据清洗、存储、分析与建模；识别结构异常与趋势 | 采用容错与自恢复机制，具备大数据分析和AI建模能力 |
| 决策与控制层 | 风险识别与分级预警；生成处置建议 | 预警触发时间小于1分钟，具备自动与人工干预双模式 |
| 应急处置层 | 启动应急预案，调度救援资源，控制交通 | 与地方应急平台无缝对接，支持跨部门联动 |

* + 1. 功能要求细化

实时监测：系统应实现关键结构与环境参数的连续采集与实时传输。

智能预警：基于设定的风险阈值和预测模型，自动生成预警信息并推送至管理人员。

应急联动：在触发应急事件后，自动向相关部门发送指令，启动预案并跟踪处置进度。

数据追溯：系统应保留不少于5年的监测数据，并可按时间、位置、事件进行检索。

安全防护：应具备数据加密、权限管理、防入侵和防篡改等措施，确保系统安全。

* 1. 风险分级与预警管理
     1. 总体要求

风险分级与预警管理应基于桥梁结构健康监测数据、运行环境参数及历史事件记录，结合预测模型进行动态评估，确保风险识别的及时性和准确性。

* + 1. 风险等级划分

公路桥梁风险等级一般分为四级，从低到高依次为Ⅳ级（低风险）、Ⅲ级（一般风险）、Ⅱ级（较大风险）和Ⅰ级（重大风险）。各等级的典型特征、触发条件及响应措施见表2。

1. 公路桥梁风险等级划分及响应要求

| 风险等级 | 典型特征 | 触发条件（示例） | 响应措施 |
| --- | --- | --- | --- |
| Ⅰ级（重大风险） | 结构承载力严重不足，存在失稳或坍塌危险；对人身安全构成直接威胁 | 应变值超过设计极限的90%以上；主梁或支座发生严重损伤；重大自然灾害影响 | 立即封闭交通，启动Ⅰ级应急响应，调动跨部门救援力量 |
| Ⅱ级（较大风险） | 结构出现明显损伤或变形，短期内可能发展为重大风险 | 应变值达到设计极限的70%~90%；出现主梁裂缝扩展趋势；重要构件防护失效 | 限制交通通行，启动Ⅱ级应急响应，组织抢险与修复 |
| Ⅲ级（一般风险） | 结构轻微损伤，需持续监测和养护 | 应变值达到设计极限的50%~70%；构件出现轻微裂缝或锈蚀 | 加密监测频率，实施养护与加固措施 |
| Ⅳ级（低风险） | 结构状态正常，无明显安全隐患 | 各监测参数处于正常范围 | 按常规周期进行监测与养护 |

* + 1. 预警分级与发布

预警级别应与风险等级对应，Ⅰ级风险对应红色预警，Ⅱ级风险对应橙色预警，Ⅲ级风险对应黄色预警，Ⅳ级风险对应蓝色预警。

预警发布应通过管理平台、移动终端、短信、邮件等多渠道通知相关责任人和单位。

预警信息应包括风险等级、触发原因、涉及桥梁、建议措施及联系人信息。

* + 1. 动态调整与升级

系统应根据监测数据变化、气象信息和外部事件实时调整风险等级。

在突发灾害或重大事件期间，应提前提升风险等级并预置应急措施。

风险解除后，应进行技术复核并恢复到常规监测状态。

* 1. 应急响应与处置流程
     1. 总体要求

应急响应与处置应与风险分级和预警等级紧密衔接，按照“分级响应、快速决策、协同处置、信息畅通”的原则开展，确保在突发事件发生后能够第一时间控制事态、减少损失。

* + 1. 响应级别与启动条件

不同级别的应急响应对应不同的启动条件、处置步骤和责任分工，具体要求见表3。

1. 应急响应级别、启动条件与处置步骤

| 响应级别 | 启动条件 | 主要处置步骤 | 责任单位 |
| --- | --- | --- | --- |
| Ⅰ级（重大应急响应） | 发生Ⅰ级重大风险事件，如结构失稳、坍塌、重大交通事故 | 立即封闭桥梁交通；启动跨部门联合指挥；组织人员疏散与救援；实施应急加固或拆除 | 公路管理机构、应急管理部门、公安交警、施工救援单位 |
| Ⅱ级（较大应急响应） | 发生Ⅱ级较大风险事件，如关键构件严重损伤、灾害影响结构稳定 | 限制交通通行；组织应急抢修；加强监测频率；协调物资和人员支援 | 公路管理机构、应急管理部门、施工救援单位 |

表3 应急响应级别、启动条件与处置步骤（续）

| 响应级别 | 启动条件 | 主要处置步骤 | 责任单位 |
| --- | --- | --- | --- |
| Ⅲ级（一般应急响应） | 发生Ⅲ级一般风险事件，如轻微结构损伤、交通安全隐患 | 现场临时处置；安排计划性维修；加强日常巡查 | 公路管理机构、养护单位 |
| Ⅳ级（低级应急响应） | 发生Ⅳ级低风险事件，如监测数据轻微波动 | 按常规养护计划处置；记录并跟踪 | 公路管理机构、养护单 |

* + 1. 处置流程

应急处置的标准流程包括：

1. 事件发现与报告：系统自动报警或人员发现异常后立即上报至桥梁管理平台；
2. 初步研判：管理人员根据监测数据和现场情况，判断风险等级与响应级别；
3. 启动响应：按照相应响应级别启动应急预案，并通知相关单位到场；
4. 现场处置：采取封闭、限行、抢修、救援等措施；
5. 信息通报：向上级主管部门和应急管理部门报告事件进展；
6. 事后评估与总结：事件结束后开展技术评估，总结经验教训，修订应急预案。
   1. 系统运行维护与持续改进
      1. 总体要求

公路桥梁智能预警与应急响应系统应建立长期运行维护机制，确保监测数据的准确性、系统功能的稳定性和应急处置能力的持续有效。运行维护应涵盖硬件设备、软件平台、通信链路、数据存储及安全防护等方面。

* + 1. 维护计划与内容

系统运行维护工作应制定年度和季度计划，明确维护项目、频率和责任主体。常规维护内容见表4。

1. 系统运行维护项目、频率及责任主体

| 维护项目 | 主要内容 | 维护频率 | 责任主体 |
| --- | --- | --- | --- |
| 传感器与前端设备 | 检查安装牢固性、清洁传感器表面、校准精度、检测供电状态 | 每季度1次或遇恶劣天气后 | 设备维护单位 |
| 数据传输链路 | 检测通信质量、修复故障链路、更新通信模块固件 | 每季度1次 | 系统运维单位 |
| 数据处理与分析平台 | 检查服务器运行状态、更新软件版本、优化算法模型 | 每半年1次 | 系统运维单位 |
| 应急响应模块 | 测试预案启动功能、核对应急联系人信息、检查联动通道 | 每季度1次 | 桥梁管理机构 |
| 数据安全与备份 | 备份监测数据、检测防火墙和入侵防护系统、核查权限管理 | 每月1次 | 系统运维单位 |

* + 1. 性能评估与改进

每年至少进行一次系统性能评估，包括监测准确率、预警及时率、应急响应效率等指标。

根据评估结果和技术发展趋势，对系统硬件、软件及管理流程进行优化升级。

在系统运行中出现重大缺陷或故障时，应立即组织专项改进，防止问题再次发生。

* + 1. 人员培训与能力建设

定期开展系统操作、故障排查、应急处置等方面的培训。鼓励运维人员参与新技术应用研究和行业交流，不断提升技术能力。

* 1. 资料与档案管理
     1. 总体要求

公路桥梁智能预警与应急响应相关资料与档案应遵循完整性、规范性、可追溯性和安全性的原则，确保运行全过程形成的技术文件、监测数据、维护记录、应急处置记录等真实、准确、齐全，并按规定归档和保存。

* + 1. 档案分类

档案应按类别进行整理和归档，包括系统建设文件、运行维护记录、监测与预警数据、应急处置资料、培训与演练记录等。各类档案的主要内容、归档时间、保存年限及责任单位见表5。

1. 公路桥梁智能预警与应急响应档案分类及管理要求

| 档案类别 | 主要内容 | 归档时间 | 保存年限 | 责任单位 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 系统建设文件 | 设计方案、施工记录、设备清单、验收报告 | 系统建成后即时归档 | ≥10年 | 建设单位、运维单位 |
| 运行维护记录 | 设备巡检表、维修记录、校准报告 | 每次维护后 | ≥10年 | 运维单位 |
| 监测与预警数据 | 原始监测数据、分析报告、预警记录 | 每季度汇总归档 | ≥10年 | 运维单位、管理机构 |
| 应急处置资料 | 应急启动记录、处置过程资料、事后评估报告 | 事件结束后 | ≥10年 | 管理机构、应急部门 |
| 培训与演练记录 | 培训计划、签到表、演练总结报告 | 每次培训或演练后 | ≥5年 | 管理机构 |

* + 1. 档案移交与共享

桥梁交接或系统升级改造时，相关档案应随同移交，移交清单由双方签字确认。

重要档案可在安全可控前提下与相关部门、科研机构共享，用于安全评估与技术研究。

* + 1. 档案保密与安全

涉及国家安全、公共安全或商业秘密的档案应严格保密，限制访问权限。

建立档案数字化备份，防止因灾害、设备故障等造成档案损坏或丢失。

* 1. 附则

本文件由发布单位负责解释。

本文件的实施过程中，如国家、行业或地方相关法律法规、标准规范进行修订，应及时对本文件进行评估并适时修订，以保持与最新要求一致。

本文件所引用的标准和技术文件，如被修订或替代，除非另有说明，应采用最新版本。

本文件自发布之日起实施，适用于公路桥梁智能预警与应急响应管理工作，其他交通基础设施的类似系统可参照执行。

