

四川省公路交通基础设施结构监测指南

Guide for Structural Monitoring of Highway Infrastructure in Sichuan
Province

第 2-1 册 监测系统——桥梁结构监测

Volume 2-1 : Monitoring System——Bridge Structural Monitoring

2024-09-19 发布

2024-10-01 实施

四川省交通运输厅

四川省交通运输厅

川交公路便〔2024〕463号

四川省交通运输厅 关于印发《四川省公路交通基础设施结构 监测指南》（第1册、第2-1册）的 通知

各市（州）交通运输局，蜀道集团，厅公路局、省交通执法总队（厅高管局），各高速公路运营管理公司：

现将《四川省公路交通基础设施结构监测指南》（第1册、第2-1册）印送你们。请你们结合实际，认真贯彻执行，规范桥梁结构监测系统建设技术标准，强化部-省-桥系统数据连接与共享，提高监测系统应用水平。

- 附件：1.四川省公路交通基础设施结构监测指南
（第1册 体系架构与通用要求）
2.四川省公路交通基础设施结构监测指南
（第2-1册 监测系统—桥梁结构监测）

四川省交通运输厅

2024年9月19日

前 言

四川省位于中国大陆地势三大阶梯中第二级长江中下游平原向第一级青藏高原爬升的梯级过渡地带，特殊的地理位置带来地质构造复杂、地壳运动活跃、地形起伏巨大等特点。省内 76% 区域为强震区，52% 区域海拔超过 3000 米，加之水系库区密布及气候复杂多变的影响，给我省公路建养和路网运营带来了严峻挑战。桥梁、隧道、边坡路堤等公路交通基础设施作为区域路网的关键节点，其结构健康状况劣化和运营环境条件突变带来的安全风险尤为突出。基于物联网和云技术的自动化监测系统能实时感知交通基础设施运营环境和荷载作用的变化，不间断采集对应的结构响应和状态变化，并根据数据分析结果实现及时的运营安全预警响应和科学的养护管理决策，是现行公路养护检查制度的必要补充。推广公路交通基础设施结构监测系统建设，完善路网运行监测预警体系，是推进公路养护转型升级，加快构建现代公路养护管理体系的重要举措，同时也是强化公路安全运行动态监管，健全风险防范化解机制，防范突发重大安全事故的迫切需要。

当前我省各地已自发开展了部分公路桥梁、隧道、边坡路堤等交通基础设施结构监测的试点探索工作，但仍存在技术标准不一、数据共享困难、监测数据分析应用水平低下等问题。省厅先后印发了《关于推进普通国省干线公路长大桥隧健康监测系统建设的指导意见》（川交函〔2019〕218 号）、《四川省营运高速公路桥梁结构安全风险监测技术指南（试行版）》（川交高管建便〔2019〕148 号）、《四川省普通国省干线公路桥梁结构安全风险监测技术指南（试行版）》（川交路函〔2020〕231 号）等文件和指南，以期逐步规范系统建设技术标准，提高监测系统建设和应用水平。

2020 年 10 月，交通运输部批复了《四川省交通强国建设试点工作任务》。其中，“试点任务四：提升交通防灾减灾体系韧性”要求完善监测预警体系：“强化自然灾害隐患点、重点危险路段的地质、气象以及特殊构造物实时监测；强化监测数据自动化报警、预警与分析利用，推动建立交通设施和路域灾害监测预警体系。”2021 年 3 月，交通运输部印发了《公路长大桥梁结构健康监测系统建设实施方案》（交办公路〔2021〕21 号），规划了部级数据平台、省级监测平台和单桥（桥梁群）系统三级联网监测的总体架构，并对“十四五”期开展公路长大桥梁结构健康监测系统建设的实施范围、工作

目标、工作安排等提出了具体要求。我省有 61 座桥梁被纳入在役公路长大桥梁结构健康监测监测系统（单桥系统）2021~2023 年建设清单，位居全国第三。2021 年 10 月，交通运输部印发的《数字交通“十四五”发展规划》（交规划发〔2021〕102 号）将全国重要交通基础设施结构健康与安全风险监测网络工程列为六大重点工程之一，要求“对全国长大公路桥梁、隧道、重要港口码头、重要通航建筑物等基础设施的结构、性能、运行状态，实施动态监测、自动采集与分析评估。推进重要基础设施风险信息共享、协同管控和分级分类管理，提高工程质量安全风险防控智慧化水平。开展基础设施长期性能观测，加强基础设施运行状态、运行规律和服役性能分析”。2024 年 4 月，交通运输部印发了《进一步推进公路桥梁隧道结构监测工作实施方案（2024~2030 年）》（交办公路〔2024〕26 号），要求“到 2025 年底，完成大跨高墩、缆索承重等长大桥梁结构监测系统建设，同步开展桥梁群轻量化结构监测系统试点建设和长大隧道结构监测系统试点建设；到 2030 年底，高速公路和普通国道桥梁隧道结构监测体系全面建立，普通省道重要桥梁隧道结构监测体系基本建立”。我省又有 33 座长大桥梁、209 座常规跨径桥梁和 1 座特长隧道被纳入 2024~2025 年监测系统建设清单。

在上述背景下，为进一步规范我省公路桥梁、隧道、边坡路堤等交通基础设施结构监测的业务开展和行业监管，实现监测数据和监管信息跨层级、跨地域、跨部门的互联共享和业务协同，指导监测系统和监管平台的建设和运行，提升公路安全运行和科学养管水平，特制定本指南。

在《四川省公路交通基础设施结构监测指南》标准体系内，拟发布以下分册：

- 第 1 册：体系架构与通用要求；
- 第 2-1 册：监测系统——桥梁结构监测；
- 第 2-2 册：监测系统——隧道结构监测；
- 第 2-3 册：监测系统——路面长期性能监测；
- ……；
- 第 3-1 册：监管平台——建设与运维；
- 第 3-2 册：监管平台——业务规则与联动机制；
- ……。

本册为《四川省公路交通基础设施结构监测指南》第 2 部分的第 1 册，旨在规范和指导四川省公路桥梁结构监测系统的设计、实施和运维，统一桥梁结构监测技术标准、数据标准和接口标准，强化监测数据分析与应用，促进桥梁安全运行和科学养护的管理

水平提升。

本册由四川省交通运输厅发布，由四川省公路规划勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在使用过程中若有问题或建议，请函告本册编制单位，联系人：王万全（地址：成都市武侯祠横街1号，四川省公路规划勘察设计研究院有限公司数智工程研究院；邮编：610041；电话：13980419514；传真：028-85582845，电子邮箱：412806267@qq.com），以便修订时研用。

发 布 单 位：四川省交通运输厅

主 编 单 位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

主 编：吴 淦

主要参编人员：王万全、张二华、秦搏聪、邝 靖、陈 程、王钟文、苏俊龙、
张 翔、李 宁、汪 军、刘 昊、赵海东、黄银银、李 磊、
李龙景、唐 澈、王莹峰、朱 华、吕天德、李磊亮、余 翔、
唐于凌、尤志东、王素宽

主要审查人员：李亚东、刘 刚、邹春蓉、卢国明、寇新阳、钟映梅、翟艺阳、
李 林、孙 振

历次版本发布情况：

本文件在原已发布试行的《四川省营运高速公路桥梁结构安全风险监测技术指南（试行版）》（川交高管建便〔2019〕148号）和《四川省普通国省干线公路桥梁结构安全风险监测技术指南（试行版）》（川交路函〔2020〕231号）基础上，结合《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）、《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）、《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》（JTG/T 5122-2021）等的最新要求修订而成。自本文件施行之日起，原《四川省营运高速公路桥梁结构安全风险监测技术指南（试行版）》（川交高管建便〔2019〕148号）和《四川省普通国省干线公路桥梁结构安全风险监测技术指南（试行版）》（川交路函〔2020〕231号）同时废止。

目次

1 总则	1
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	7
4 基本规定	10
5 桥梁结构安全风险辨识	13
5.1 一般规定	13
5.2 需求分析阶段	14
5.3 系统设计阶段	17
6 系统设计	19
6.1 一般规定	19
6.2 监测指标体系设计	21
6.3 系统机电工程设计	33
7 系统部署与验收	38
7.1 系统部署	38
7.2 系统试运行与验收	39
8 系统运维	44
8.1 运行管理	44
8.2 系统维护	48
9 数据分析与应用	52
9.1 数据处理与分析	52
9.2 风险事件报警	61
9.3 风险状态预警	69
9.4 特殊事件专项评估	92
9.5 桥梁结构状态综合评定	95
附录 A 桥梁结构安全风险辨识方法	104
A.1 专家调查法	104
A.2 事故树分析法	107
附录 B 测点布设	109

B.1 环境	109
B.2 作用	109
B.3 结构响应	111
B.4 结构变化	113
B.5 桥位处地质灾害体	114
附录 C 监测方法	117
C.1 环境	117
C.2 作用	117
C.3 结构响应	119
C.4 结构变化	121
C.5 桥位处地质灾害体	122
C.6 数据采集	124
C.7 常用监测设备的主要技术指标	125
附录 D 外场设备及配套工程安装调试要求	129
D.1 外场设备	129
D.2 配套工程	136
附录 E 监测数据字典	139
附录 F 桥梁监测用工程数字模型	153
F.1 总体要求	153
F.2 桥梁结构和监测设备的 BIM 模型	154
F.3 地形与影像	163
F.4 模型交付	164
F.5 文件组织与命名	165
附录 G 系统与平台间数据交互接口及传输协议	167
G.1 业务数据交互接口	167
G.2 监测数据上报接口	204
G.3 系统间访问	212
附录 H 报警预警信息报送业务流程	213
H.1 一般规定	213
H.2 报警预警信息报送	216
H.3 报警预警处理措施信息报送	216

1 总则

1.0.1 为规范四川省公路桥梁结构监测系统的设计、实施和运维工作，统一监测技术标准、数据标准和接口标准，强化监测数据分析与应用，促进桥梁安全运行和科学养护管理水平提升，特制定本文件。

1.0.2 本文件适用于四川省内在役和新建公路桥梁的结构监测系统设计、实施、运维与监测数据分析应用，其他桥梁可参照使用。

1.0.3 桥梁结构监测是公路桥梁养护的主要内容之一，应与桥梁初始检查、日常巡查、经常检查、定期检查和特殊检查形成互补机制，定期将监测和检查数据进行比对和分析。

条文说明

《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）第 1.0.4 条规定，桥涵检查、监测和评定为公路桥涵养护的主要内容之一。《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）第 3.1.2 条规定，桥梁检查分为初始检查、日常巡查、经常检查、定期检查和特殊检查。桥梁检查是《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）、《公路桥梁养护管理工作制度》（交公路发〔2007〕336 号）、《关于进一步加强公路桥梁养护管理的若干意见》（交公路发〔2013〕321 号）等的强制性要求，开展桥梁结构监测并不能替代上述检查手段。

交通运输部《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》（交公路发〔2018〕35 号）、以及四川省交通运输厅关于桥梁养护管理的相关文件均要求监测系统应与桥梁养护检查制度形成互补机制，定期将监测结果与检查结果进行比对和分析。

桥梁结构监测、桥梁养护检查之间互补机制的具体措施规定详见本文件第 4.0.2 条。

1.0.4 四川省内公路桥梁开展结构监测的总体要求如下：

1 下列桥梁应进行监测：

1) 主跨跨径大于等于 150m 的桥梁；

- 2) 总体技术状况等级为 3 类、4 类且需要跟踪观测的在役桥梁;
 - 3) 面临重大地质灾害或洪水威胁且安全风险等级为 III 级及以上的桥梁;
 - 4) 采用特殊结构型式、工艺或材料建造的桥梁, 或设计文件中明确要求应进行运营期监测的桥梁;
 - 5) 其它经过评定需要进行结构监测的桥梁。
- 2 下列桥梁宜进行监测:
- 1) 除本条文第 1 款第 1) 项外的养护检查等级为 I 级的桥梁;
 - 2) 面临重大地质灾害或洪水威胁且安全风险等级为 II 级的桥梁。

条文说明

第 1 款第 1) 项: 包括公路在役和在建主跨跨径大于等于 150m 的桥梁。本项与《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T 1037-2022) 第 4.1 条 a) 项、交通运输部《公路长大桥梁结构健康监测系统建设实施方案》(交办公路〔2021〕21 号, 简称《2021 版部实施方案》) 和《进一步推进公路桥梁隧道结构监测工作实施方案(2024~2030 年)》(交办公路〔2024〕26 号, 简称《2024 版部实施方案》) 相适应。《2021 版部实施方案》的实施范围为“公路在役和在建单孔跨径 500 米以上的悬索桥、单孔跨径 300 米以上的斜拉桥、单孔跨径 160 米以上的梁桥和单孔跨径 200 米以上的拱桥, 原则上均纳入实施范围。新建公路桥梁符合以上条件的, 按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015) 等标准规范要求, 做到系统建设同时设计、同时施工、同时验收。鼓励各地结合实际情况, 将其他公路桥梁纳入实施范围”。《2024 版部实施方案》进一步将上述实施范围扩展到主跨跨径大于等于 150m 的桥梁和特殊桥梁, 并再次强调“在建公路桥隧系统建设相关经费纳入工程概预算, 做到同步设计、同步施工、同步投入使用”。

第 1 款第 2) 项: 本项与《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T 1037-2022) 第 4.1 条 b) 项相适应。桥梁技术状况等级评定按照《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21)、《公路桥涵养护规范》(JTG 5120-2021)、《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122-2021) 等的相关规定执行。

第 1 款第 3) 项、第 2 款第 2) 项: 桥梁安全风险等级的评定可参照本文件第 5 章的相关规定执行。“重大地质灾害威胁”特指公路桥梁由于桥址处地形地质条件复杂多变, 由地震、库岸再造、恶劣气候等因素引发的滑坡、崩塌、泥石流等次生灾害作用于桥梁结构导致的安全风险。

第1款第4)项: 本项与交通运输部《进一步推进公路桥梁隧道结构监测工作实施方案(2024~2030年)》(交办公路〔2024〕26号)中提及的特殊桥梁相适应。特殊桥梁一般指采用特殊结构型式、工艺或材料等建造的桥梁。设计文件中明确要求应进行结构监测的桥梁特指桥梁新建或加固改造设计文件中明确要求应进行桥梁结构运营期监测,且将监测系统建设费用列入预算的桥梁;该类桥梁也多为特殊桥梁。

第1款第5)项: 本项与《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T 1037-2022)第4.1条c)项相适应,评定工作一般指桥梁适应性评定。桥梁适应性评定按照《公路桥涵养护规范》(JTG 5120-2021)、《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122-2021)等的相关规定执行。

第2款第1)项: 本项与《公路桥涵养护规范》(JTG 5120-2021)第3.1.3条相适应。养护检查等级为I级的桥梁范围按照《公路桥涵养护规范》(JTG 5120-2021)第3.1.1条的规定执行,包括单孔跨径大于150m的特大桥、特别重要桥梁等。

1.0.5 开展公路桥梁结构监测除应符合本指南的要求外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

条文说明

本文件在《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T 1037-2022)等现行技术规范的基础上,主要针对四川省内公路桥梁的结构特点、自然环境、运行条件以及桥梁养管单位的专业技术水平和经济能力,结合《公路桥涵养护规范》(JTG 5120-2021)、《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122—2021)等现行公路桥梁养护技术规范及交通运输部、四川省交通运输厅相关文件要求,对相关技术规定和要求进行补充、完善,以增强其全面性、针对性和可操作性。使用者参照本套指南开展桥梁结构监测工作,并不免除其尚应符合国家及行业有关标准和规定的责任。

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。

2.0.1 工程技术类引用文件：

- 1 《内河通航标准》（GB 50139）；
- 2 《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB 50982）；
- 3 《公路数据库编目编码规则》（JT/T 132）；
- 4 《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037）；
- 5 《公路工程质量检验评定标准 第二册 机电工程》（JTG 2182）；
- 6 《公路桥梁抗震设计规范》（JTG/T 2231-01）；
- 7 《公路桥梁抗震性能评价细则》（JTG/T 2231-02-2021）；
- 8 《公路桥涵养护规范》（JTG 5120）；
- 9 《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》（JTG/T 5122）；
- 10 《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）；
- 11 《公路养护安全作业规程》（JTG H30）；
- 12 《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）；
- 13 《公路桥梁抗风设计规范》（JTG/T 3360-01-2018）；
- 14 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）；
- 15 《公路斜拉桥设计规范》（JTG/T 3365-01）；
- 16 《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05）；
- 17 《公路钢管混凝土拱桥设计规范》（JTG/T D65-06）；
- 18 《营运山区公路地质灾害及边坡工程风险评价规程》（DB51/T 3088）；
- 19 《山区公路混凝土桥梁结构安全风险监测指标体系设计与预警技术指南》（DB51/T 2794）；
- 20 《梁式桥结构安全监测系统实施指南》（DB51/T 3089）。

2.0.2 传感设备与机电工程类引用文件:

- 1 《数字强震动加速度仪》(DB/T 10);
- 2 《大坝监测仪器 应变计 第2部分:振弦式应变计》(GB/T 3408.2);
- 3 《大坝监测仪器 钢筋计 第1部分:差动电阻式钢筋计》(GB/T 3409.1);
- 4 《大坝监测仪器 钢筋计 第2部分:振弦式钢筋计》(GB/T 3409.2);
- 5 《外壳防护等级(IP代码)》(GB/T 4208-2017);
- 6 《金属粘贴式电阻应变计》(GB/T 13992);
- 7 《电子设备机柜通用技术条件》(GB/T 15395);
- 8 《动态公路车辆自动衡器 第1部分:通用技术规范》(GB/T 21296.1);
- 9 《交通信息采集 视频交通流检测器》(GB/T 24726);
- 10 《公路网图像信息管理系统 平台互联技术规范 第2部分:视频格式与编码》(GB/T 28059.2);
- 11 《公路交通气象监测设施技术要求》(GB/T 33697);
- 12 《高速公路机电系统防雷技术规范》(GB/T 37048);
- 13 《物联网 感知控制设备接入 第2部分:数据管理要求》(GB/T 38637.2);
- 14 《无损检测 电化学检测 总则》(GB/T 38894);
- 15 《低轨星载 GNSS 测量型接收机通用规范》(GB/T 39410);
- 16 《供配电系统设计规范》(GB 50052);
- 17 《低压配电设计规范》(GB 50054);
- 18 《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311);
- 19 《建筑电气工程施工质量验收规范》(GB 50303);
- 20 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343);
- 21 《土木工程用光纤光栅应变传感器》(JG/T 422);
- 22 《线位移传感器校准规范》(JJF 1305);
- 23 《电容式加速度传感器校准规范》(JJF 1918);
- 24 《压力变送器检定规程》(JJG 882);
- 25 《水运工程 钢弦式锚索测力计》(JT/T 578)。

2.0.3 信息技术类引用文件:

- 1 《信息技术 软件生存周期过程》(GB/T 8566);

- 2 《计算机软件文档编制规范》（GB/T 8567）；
- 3 《计算机软件测试文档编制规范》（GB/T 9386）；
- 4 《计算机软件测试规范》（GB/T 15532）；
- 5 《信息安全技术 云计算服务安全指南》（GB/T 31167）；
- 6 《信息安全技术 云计算服务安全能力要求》（GB/T 31168）；
- 7 《非结构化数据管理系统技术要求》（GB/T 32630）；
- 8 《信息技术 数据质量评价指标》（GB/T 36344）；
- 9 《信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求》（GB/T 37025）。

2.0.4 管理办法及其他引用文件：

- 1 《职业健康安全管理体系要求》（GB/T 28001）；
- 2 《人体承受全身振动的评价标准 第 1 部分：一般要求》（ISO 2631-1）；
- 3 交通运输部《公路养护工程管理办法》（交公路发〔2018〕33 号）；
- 4 交通运输部《公路长大桥梁隧养护管理和安全运行若干规定》（交公路发〔2018〕35 号）；
- 5 交通运输部《公路长大桥梁结构健康监测体系建设实施方案》（交办公路函〔2021〕21 号）；
- 6 交通运输部《省级公路长大桥梁结构健康监测平台建设技术指南》（交办公路函〔2024〕324 号）；
- 7 交通运输部《进一步推进公路桥梁隧道结构监测工作实施方案（2024~2030 年）》（交办公路〔2024〕26 号）；
- 8 交通运输部《公路长大桥梁结构监测时空大数据应用指引》（交办公路〔2024〕37 号）；
- 9 四川省交通运输厅《关于切实抓好普通国省干线公路新改建项目同步建设管养和服务设施（含公厕）及新建长大桥梁隧同步建立健康监测系统工作的通知》（川交路函〔2019〕14 号）；
- 10 四川省交通运输厅《关于推进普通国省干线公路长大桥梁隧健康监测系统建设的指导意见》（川交函〔2019〕218 号）。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.0.1 桥梁结构监测系统 Bridge Structural Monitoring System

一种对桥梁周边环境、荷载作用、结构响应与结构变化的设定参数进行连续监测和实时采集，通过抓取特征指标实现风险事件报警和风险状态预警，通过数据分析实现桥梁结构健康与风险状态评估的物联网系统。

3.0.2 结构安全风险辨识 Structural Security Risk Recongnization

全面考察桥梁结构受力特点及材料特性、结构既有缺损或病害、荷载作用和外部环境变化等因素及其相互作用和叠加效应，辨识结构安全风险事件，定性或定量分析其发生概率和危害程度，评定结构安全风险等级的方法和过程。

3.0.3 安全风险等级 Security Risk Level

综合评估安全事故发生概率和危害损失得到的表征桥梁结构安全风险水平的定性指标，分为Ⅰ级（低度风险）、Ⅱ级（中度风险）、Ⅲ级（高度风险）、Ⅳ级（极高风险）共四个等级。

3.0.4 安全事故 Security Accident

在事故树中又称为顶上事件，是结构安全风险辨识的最终对象事件。可以是某一特定的安全事故，也可是各类结构安全事故的总和。

3.0.5 风险源 Risk Source

在事故树中又称为基本事件或底事件，是桥梁结构本身、荷载作用或环境要素中可能引发结构安全事故的最基本原因。

3.0.6 风险致因 Risk Cause

在事故树中位于底事件与顶上事件之间，由风险源引发并可能最终导致安全事故的对象事件。

3.0.7 环境 Environmental Factors

影响桥梁结构安全风险和使用功能的桥址区自然环境因素。

3.0.8 作用 Load

桥梁所受的直接荷载或间接荷载。

3.0.9 结构响应 Structural Response

由作用引起的桥梁结构局部或整体的静力或动力响应。

3.0.10 结构变化 Structural Variation

以桥梁结构成桥状态或某一规定时刻状态为基准，桥梁结构整体或局部在使用过程中几何形态、表观状态及结构性能发生的相对变化。

3.0.11 监测指标 Monitoring Index

通过在桥址区空间坐标系中特定点位、针对特定矢量方向布设特定传感元件，长期跟踪监测得到的表征桥梁环境、作用、结构响应或结构变化的某一实测物理量。

3.0.12 测点 Measuring Point

在监测系统设计过程中表征某一特定监测指标在空间坐标系中几何位置和测量方向的逻辑单元。

3.0.13 特征指标 Characteristic Index

对单一或多项监测指标进行数据处理后得到的表征桥梁结构安全风险或健康状态的基本物理量，是风险事件报警、风险状态预警和结构状态综合评定时常用的基本指标。

3.0.14 超限阈值 Alarming Threshold

为使系统自动判识风险事件是否发生，针对某项特征指标分级设定的临界警戒值。

3.0.15 风险事件报警 Risk Event Alarm

表征桥梁结构安全程度或使用功能的某项特征指标发生异常变化并超越预设阈值时，监测系统自动触发相应级别的警报，提示用户与该项指标相关联的风险事件正在发

生。简称：报警。

3.0.16 风险状态预警 Risk Condition Warning

当桥梁结构的安全隐患或风险程度升高时，监测系统发出的相应级别的警报，警示相关责任人及时响应处置以免导致安全事故发生。简称：预警。

3.0.17 桥梁结构状态 Synthetic State of Bridge Structure

桥梁结构健康与风险状态的简称，以成桥状态或设计目标为基准，反映当前桥梁结构安全余度和使用功能所处相对水平的综合技术指标。

3.0.18 结构状态综合评定 Comprehensive Assessment of Structural State

基于结构监测数据和养护检查成果的统一数据集及其融合分析成果，对桥梁构件、部件和整体结构状态进行分层综合评定。

3.0.19 特殊事件专项评估 Disaster or Special Event Post-Assessment

当桥梁运营过程中遭遇自然灾害或特殊事件后，基于事件前后的监测数据分析，辅以必要的专项检查 and 专家研判，评估灾害或事件对桥梁结构健康与风险状态的影响程度。

3.0.20 应急响应 Emergency Response

养管单位收到报警或预警讯息后，为保障公路运营安全而采取的快速应对措施，包括但不限于：交通管制、专项检查和评估、维修加固等。

3.0.21 养管决策 Maintenance Decision

养管单位根据受托机构对桥梁结构安全程度和使用功能的评估结果制定的养护维修计划和运行管理方案。

3.0.22 监控中心 Monitoring Center

部署监测系统软件或监管平台软件、存储监测数据及其分析成果的中心机房。

4 基本规定

4.0.1 公路桥梁结构监测应实时监测和抓取桥梁结构技术状况和运行环境风险的特征指标，持续开展数据分析和状态评估，提前预警结构安全风险，跟踪评估桥梁结构状态，为桥梁安全运行管理和养护维修决策提供技术支撑。

4.0.2 桥梁结构监测应与现行公路桥梁养护管理制度相契合，并符合下列相关规定：

1 桥梁监测应与桥梁检查形成互补机制，具体要求如下：

1) 定期将监测数据及其处理结果与经常检查、定期检查（初始检查）及特殊检查结果进行比对和分析，跟踪评估桥梁结构健康与风险状态；

2) 监测系统外场监测设备的日常巡查维护应与桥梁结构日常巡查、经常检查工作一并组织实施。

2 桥梁结构监测的报警预警与响应联动机制应与桥梁养管单位制定的突发事件应急预案配套，明确信息上报、分级响应、交通管制、抢通保通、维修加固等工作的职责和程序，并定期对报警预警和响应联动机制的有效性进行检查、演练、评价和改进。

3 桥梁养管单位制定桥梁养护维修计划时，除应依据定期检查、特殊检查的评定结果外，还应参考桥梁结构状态综合评定的结论和建议。

4 桥梁结构监测应与桥梁设计、施工、养护检查、养护维修等工作的数据融合互补，共同构建桥梁全生命周期技术档案数据库。

4.0.3 桥梁结构监测可分为风险辨识、系统设计、系统部署、系统运维、数据分析应用五项工作内容。

4.0.4 桥梁结构监测应根据桥梁的结构安全风险辨识结果和养管业务需求选取监测项目和监测方法、布设监测测点、构建监测系统。

4.0.5 桥梁结构监测系统根据其设计目标和系统规模可分为以下三类：

1 结构健康监测系统：为保持桥梁结构运营安全和使用功能水平，全面监测环境、作用、结构响应和结构变化的长期监测系统；

2 结构风险监测系统：针对桥梁结构及其运营环境的重大安全风险，实施轻量化靶向监测的长期监测系统；

3 应急监测系统：按照风险处置或突发事件应急响应的任务要求，临时实施的中短期监测系统。

条文说明

结构健康监测系统多适用于结构复杂的重要大型桥梁，或服役时间较长、结构技术状态明显下降的桥梁。在全面梳理和分析桥梁结构健康状况和安全风险隐患后，对环境、作用、结构响应和结构变化进行全面监测和综合评估，为预防性养护决策提供支持。

结构风险监测系统多适用于针对明确的桥梁结构安全风险致因而进行的靶向监测。在全面梳理和分析桥梁结构安全风险隐患后，对其主要风险致因进行靶向监测，通过提前报警预警为维修加固和应急响应提供支持。后期视实际需要也可逐步扩展升级为结构健康监测系统。

应急监测系统通常为临时的应急监测任务而快速布设，如为保障桥梁交通管制和维修加固期间结构安全和施工安全的临时监测任务。其使用期限因监测任务需求的不同而变化，一般不超过3年。应急监测任务完成后，可拆除设备另做他用，也可视实际需要升级改造为结构风险监测系统或结构健康监测系统。

4.0.6 本文件 1.0.4 条规定的各类桥梁构建结构监测系统应符合下列要求：

- 1 第1款1)项规定的桥梁，应构建结构健康监测系统；
- 2 第1款4)项和第2款1)项规定的桥梁，宜构建结构健康监测系统；
- 3 第1款2)项、3)项、5)项和第2款2)项规定的桥梁，宜构建结构风险监测系统。

4.0.7 结构健康监测系统和结构风险监测系统的运维宜贯穿桥梁结构运营期，外场设备维修与更换、软件维护与升级应保障监测数据的全过程连续性。埋置在结构内部的传感元件的使用寿命不宜低于20年，附着安装在结构表面的传感元件和设备的使用寿命不应低于5年。

4.0.8 桥梁结构监测系统的外场监测设备应按下列要求接入市（州）级平台：

- 1 新建结构健康监测系统和结构风险监测系统的外场设备应直接接入市（州）级平台。
- 2 新建应急监测系统的外场设备宜直接接入市（州）级平台。
- 3 前期已建成的监测系统，宜对外场设备进行路由改造后接入市（州）级平台。路由改造有困难的，也应采用系统间数据推送的方式间接接入市（州）级平台。
- 4 各类监测系统与市（州）级平台的联网监测应符合本套指南第 1 册《体系架构与通用要求》的相关要求，数据字典、数据接口等宜符合本文件附录 E、附录 G 的相关要求。

4.0.9 新建（在建）桥梁的监测系统应与桥梁土建及机电工程同步设计、部署和验收，系统设计与部署宜兼顾桥梁施工监控和成桥荷载试验的技术要求，采取措施使施工期和运营期监测数据保持连续。

4.0.10 桥梁养管单位或受托承担系统软硬件维护的机构应制订系统运维计划，建立设备维护台账、备品备件清单，按年度编列系统运维预算，保障监测系统长期有效运行。

4.0.11 桥梁养管单位或受托承担系统运行管理的机构应明确责任分工，建立报警预警与应急响应联动机制，定期评定桥梁结构状态，支持桥梁运营管养决策。

4.0.12 桥梁结构监测系统的建设与运维除应符合本文件外，还应符合本套指南第 1 册《体系架构与通用要求》的相关要求。

条文说明

本套指南第 1 册《体系架构与通用要求》已对监测系统的组成与功能定位、建设与运行管理等提出了通用要求，桥梁结构监测系统的建设与运行管理除应符合本文件外，还应符合本套指南第 1 册《体系架构与通用要求》的相关要求。

5 桥梁结构安全风险辨识

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁结构安全风险辨识是监测系统设计的重要前期工作。桥梁结构安全风险辨识的结果既是监测系统建设需求分析的基础，也是监测指标体系设计阶段选取监测项目和布设测点的基础。

5.1.2 在监测系统建设过程中的需求分析阶段和系统设计阶段均应进行桥梁结构安全风险辨识。

5.1.3 桥梁结构安全风险辨识应全面考察桥梁结构受力特点和材料特性、结构既有缺损（或病害）、荷载作用与外部环境变化等因素及其相互作用和叠加效应，进行充分辨识和综合分析。

5.1.4 桥梁结构安全风险辨识方法包括但不限于：专家调查法、事故树分析法、概率分析法、层次分析法、模糊综合评价法等，应根据项目不同工作阶段的分析目标和深度要求，结合具体项目需求选择其中一种方法或多种方法相结合进行综合分析。

5.1.5 在需求分析阶段和系统设计阶段，宜分别采用不同的桥梁结构安全风险辨识方法：

- 1 在系统建设需求分析阶段应以评定桥梁结构安全风险等级为目的，可重点辨识主要风险源或风险致因并对安全事故的发生概率和危害损失进行定性分析；
- 2 在系统设计阶段应以科学选取监测指标、合理优化测点布设方案为目标，宜对结构安全风险进行全面系统的梳理辨识，并对安全事故的发生概率和危害损失进行定性和定量分析。

5.1.6 桥址区地质灾害的发生概率和危害损失可参照四川省地方标准《营运山区公路地质灾害及边坡工程风险评价规程》（DB51/T 3088）的相关规定进行定性或定量评

价。辨识评价结果表明桥址区地质灾害与桥梁结构安全事故相关的，应将地质灾害作为风险致因，纳入桥梁结构安全风险辨识评价体系。

5.2 需求分析阶段

5.2.1 在监测系统建设需求分析阶段，桥梁结构安全风险辨识宜采用专家调查法，具体可参照本文件附录 A.1 的方法和步骤进行。

条文说明

专家调查法又称专家评估法，是在专家个人判断和专家会议方法的基础上发展起来的，它以专家作为索取信息的对象，依靠专家的知识 and 经验，由专家通过调查研究对问题作出判断、评估和预测的一种定性分析方法。

在下列 3 种典型情况下，专家调查法特别适用，也是唯一可用的调查方法：1) 数据缺乏：数据是各种定量研究的基础，由于数据不足、或数据不能反映真实情况而无法采用定量分析方法时；2) 新技术评估：对于一些崭新的科学技术，在没有或缺乏数据的条件下，专家的判断往往是唯一的评价根据；3) 非技术因素起重要作用：当决策的问题超出了技术和经济范围而涉及到生态环境、公众舆论以致政治因素时，这些非技术因素的重要性往往超过技术本身的发展因素，因而过去的数据和技术因素就处于次要地位，在这种情况下只有依靠专家才能作出判断。

在监测系统建设需求分析阶段的桥梁结构安全风险分析过程中，以上 3 种典型情况都需要面对和克服，因此专家调查法几乎是唯一可用的定性分析方法。

5.2.2 根据桥梁结构安全风险辨识结果，公路桥梁的安全风险等级可分为 I 级（低度风险）、II 级（中度风险）、III 级（高度风险）、IV 级（极高风险）共四个等级，其监测需求应符合本文件第 1.0.4 条的要求，具体监测需求和推荐策略如表 5.2.2 所示。

表 5.2.2 桥梁安全风险等级及其对应的监测需求和策略

风险等级		风险程度	监测需求	推荐策略
I 级	低度风险	可以接受， 风险完全可控。	人工检查为主，可不进行桥梁结构监测。	定期检查
II 级	中度风险	有条件接受， 风险基本可控。	宜根据风险辨识结果对相关特征指标进行靶向监测，当桥梁状态异常时提前预警，结合人工检查成果定期进行结构健康与风险状态评定。	结构风险监测系统 + 定期检查

风险等级		风险程度	监测需求	推荐策略
Ⅲ级	高度风险	有条件接受， 风险较难控制。	应根据风险辨识结果对相关特征指标进行靶向监测，当桥梁状态异常时提前预警，结合人工检查成果定期进行结构健康与风险状态评定。	结构健康监测系统/ 结构风险监测系统 + 定期（特殊）检查
Ⅳ级	极高风险	不可接受， 风险不可控。	应根据风险辨识结果对相关特征指标进行全面监测，当桥梁状态异常时提前预警，结合人工检查成果定期进行结构健康与风险状态评定。	结构健康监测系统/ 应急监测系统 + 定期（特殊）检查

条文说明

本条采用人工检查与自动化监测互补理念，梳理了不同安全风险等级的桥梁对应的监测需求和策略，通过人工检查与自动化监测互补实现桥梁结构安全风险的全面有效防控。

5.2.3 桥梁结构安全风险等级评定宜采用风险评价矩阵方法，根据安全事故发生概率和危害损失程度的估测等级，查表 5.2.3 确定风险等级。

表 5.2.3 结构安全风险评价矩阵

事故发生概率	危害损失等级				
	1	2	3	4	5
1	I	I	II	II	III
2	I	II	II	III	III
3	II	II	III	III	IV
4	II	III	III	IV	IV
5	III	III	IV	IV	IV

表注：风险等级=安全事故发生概率×危害损失程度，“×”表示风险发生概率和危害损失程度不同级别的组合。

5.2.4 桥梁结构安全事故的发生概率可分为 1、2、3、4、5 级，宜根据发生概率估测值进行定量评价，也可在过去类似工程案例或事故记录的基础上进行定性评价，评价标准可参照表 5.2.4。

表 5.2.4 安全事故发生概率等级评价标准表

等级	定量评价标准（概率区间）	定性评价标准
1	$P_f < 0.0003$	几乎不可能发生
2	$0.0003 \leq P_f < 0.003$	极小概率发生

等级	定量评价标准（概率区间）	定性评价标准
3	$0.003 \leq P_f < 0.03$	很少发生
4	$0.03 \leq P_f < 0.3$	偶然发生
5	$P_f \geq 0.3$	很可能发生

表注：1) P_f 为概率估测值，当概率估测值难以取得时，可用年发生概率代替；

2) 安全事故发生概率等级宜优先采用定量评价标准确定。当无法进行定量计算时，可在过去类似工程案例的基础上采用定性评价标准确定。

5.2.5 桥梁结构安全事故的危害损失程度等级分为 1、2、3、4、5 级，应分别从人员伤亡、经济损失及环境影响等三方面进行评价。当多种损失同时产生时，应采用就高原则确定危害损失等级。人员伤亡、经济损失及环境影响的等价评价标准可分别参照表 5.2.5-1、表 5.2.5-2 及表 5.2.5-3。

表 5.2.5-1 人员伤亡等级评价标准表

等级	判断标准
1	重伤人数 5 人以下
2	3 人以下死亡（含失踪）或 5 人以上 10 人以下重伤
3	3 人以上 10 人以下死亡（含失踪）或 10 人以上 50 人以下重伤
4	10 人以上 30 人以下死亡（含失踪）或 50 人以上 100 人以下重伤
5	30 人以上死亡（含失踪）或 100 人以上重伤

表注：1) 参考国务院《生产安全事故报告和调查处理条例》和《企业职工伤亡事故分类标准》（GB 6441-86）。2) “以上”包含本数，“以下”不包含本数，下同。

表 5.2.5-2 经济损失等级评价标准表

等级	判断标准
1	经济损失 500 万元以下
2	经济损失 500 万元以上 1000 万元以下
3	经济损失 1000 万元以上 5000 万元以下
4	经济损失 5000 万元以上 10000 万元以下
5	经济损失 10000 万元以上

表注：1) 参考国务院《生产安全事故报告和调查处理条例》。2) 对总造价较低的工程，如石拱桥等，可采用相对经济损失进行判定。

表 5.2.5-3 环境影响等级评价标准表

等级	判断标准
1	涉及范围很小，无群体性影响，需紧急转移安置人数 50 人以下

等级	判断标准
2	涉及范围较小，一般群体性影响，需紧急转移安置人数 50 人以上 100 人以下
3	涉及范围大，区域正常经济、社会活动受影响，需紧急转移安置人数 100 人以上 500 人以下
4	涉及范围很大，区域生态功能部分丧失，需紧急转移安置人数 500 人以上 1000 人以下
5	涉及范围非常大，区域内周边生态功能严重丧失，需紧急转移安置人数 1000 人以上，正常的经济、社会活动受到严重影响

表注：参考《建设项目环境保护管理条例》和《中华人民共和国环境影响评价法》。

5.3 系统设计阶段

5.3.1 监测系统设计阶段的桥梁结构安全风险辨识宜采用事故树分析法，具体可参照本文件附录 A.2 的方法和步骤进行。

条文说明

事故树分析法起源于故障树分析法，不仅能分析出事故的直接原因，而且能深入地揭示出事故的潜在原因，用它描述事故的因果关系直观明了、思路清晰、逻辑性强，既可定性分析，又可定量分析。采用该方法进行桥梁结构安全风险辨识分析的基本原则和方法是“以安全事故为干，以风险致因为枝、以风险源为叶”进行从结果到原因的逐层逆向溯源分析。既可定性评价每一风险的结构重要度排序，也可定量测算每一层次风险的的发生概率和损失程度，并定量分析每一风险源的结构重要度系数、概率重要度系数等指标。事故树分析结果是科学选取监测指标、合理优化测点布设方案的基础。

5.3.2 底事件（风险源）的发生概率测算宜以类似工程案例或事故记录为基础优先进行定量测算，即通过类似工程的长期运行情况统计其正常工作时间、底事件（风险源）发生次数及修复时间等原始数据，近似求得风险源的发生概率。当难以定量测算时，亦可参照表 5.2.4 按定性评价结果进行粗略估算。

5.3.3 顶上事件（安全事故）的发生概率应以底事件（风险源）发生概率的测算结果为基础，根据事故树的逻辑关系分层测算得到。

5.3.4 底事件（风险源）的结构重要度系数、概率重要度系数及关键重要度系数等参数可根据事故树的逻辑关系测算得到，宜作为监测指标选取的参考因素。

条文说明

结构重要度系数：假设各底事件（风险源）的发生概率相等，仅从事故树的逻辑结构上表征某底事件对顶上事件（安全事故）影响程度的参数。

概率重要度系数：表征某个底事件（风险源）发生概率的变化引起顶上事件（安全事故）发生概率变化程度的参数。

关键重要度系数：表征某个底事件（风险源）发生概率的变化率引起顶上事件（安全事故）发生概率的变化率的参数。

5.3.5 顶上事件（安全事故）的危害损失测算应以类似工程案例或事故记录为基础，分别从人员伤亡、经济损失和环境影响三方面进行。具体评价方法和准则可参照本文件第 5.2.5 条的相关要求。

5.3.6 顶上事件（安全事故）的经济损失测算不应以桥梁工程原建设成本为基础，应全面统计测算包括：桥梁应急抢修成本、交通管制和保通成本、维修加固或恢复改建成本、修复期通行费损失、社会车辆及其它民用设施损毁等在内的所有直接成本和间接经济损失。

6 系统设计

6.1 一般规定

6.1.1 系统设计应符合下列要求：

- 1 结构健康监测系统和结构风险监测系统应进行专项设计，结构健康监测系统宜包括方案设计和施工图设计两个阶段，结构风险监测系统可直接进行施工图设计。
- 2 结构健康监测系统和结构风险监测系统的专项设计文件应经评审或审查后方可实施，原桥设计单位、维修加固设计单位（若有）宜参与评审或审查工作。
- 3 应急监测系统应针对具体监测目标进行方案设计。

条文说明

第3款：由于应急监测任务对监测系统实施的时间节点要求高，且考虑到监测现场环境复杂、情况多变，监测项目选取和测点布设方案均可能频繁调整，因此不对应急监测系统进行专项设计作硬性要求。

6.1.2 系统设计应包括监测指标体系设计和系统机电工程设计。

6.1.3 系统设计应基于桥梁主体结构设计（含维修加固设计）进行，设计成果文件应包括下列主要内容：

- 1 监测指标体系设计与系统总体功能要求；
- 2 系统各模块功能、接口及集成设计；
- 3 外场监测设备选型、设备安装工艺设计；
- 4 数据采集、传输、外场边缘计算与存储设计；
- 5 供电、通信、防雷及防护等配套工程设计；
- 6 桥梁结构数字模型和分析评估模块的功能及接口设计；
- 7 系统部署、运维及数据分析应用服务的概、预算编制；
- 8 根据系统部署和维护需要，必要时应进行系统检修通道的新建或改造设计。

6.1.4 新建（在建）桥梁的监测系统设计除符合 6.1.3 条的规定外，还应包括下列内容：

- 1 系统及其附属设施的预埋件和预留孔洞设计；
- 2 系统与主体结构工程、配套房建工程、供配电工程、通信工程等工作界面设计。

条文说明

在役桥梁的监测系统在现场的供配电、通信、防雷等方案设计时应结合现场实际条件而定，尽量利用既有的走线管道或通道（需征得走线管道的产权方、使用方的同意）。

新建桥梁的监测系统设计，通常由系统设计单位提出现场供配电、通信和防雷等需求，并与桥梁机电工程设计单位按照预定的工作界面共同设计，其中：

供配电设计界面划分一般位于现场集中供电点设备，设备及后端配电线缆（含路由、敷设等）归监测系统设计并计量，设备前端线路及路由（含电力管道、敷设等）归机电工程设计并计量。

通信传输设计界面划分一般位于现场集中传输点设备（智能网关设备或带网关功能的工控机），设备及后端传输接入线缆（含路由、敷设等）归监测系统设计并计量，设备前端线路及路由（含通信管道、敷设等）归机电工程设计并计量。若采用远程无线传输方案，则设备及路由均归监测系统设计并计量。

供配电及通信设备及线缆的防雷接地设施，一般均归机电工程设计并计量。

6.1.5 系统设计前应充分了解桥梁周边环境及运营条件，以及现场供电、通信接入条件。对于供电及通信条件差、线缆敷设困难的桥梁，在监测指标体系设计和监测设备选型时宜优先考虑低功耗的无线传感及组网方案。

6.1.6 桥梁结构监测项目的概预算编制宜统筹考虑系统部署、系统运维和数据分析应用服务费用。

- 1 系统部署费包括：设备采购及运输费、设备标定/校准费、设备安装人工费、配件耗材费、安装措施费、交通管制费、施工安全费、工程保险费等；
- 2 系统运维费包括：备品备件费、系统供电及网络通讯费、软硬件维护升级费用、外场设备财产保险费等；

3 数据分析应用服务内容包括：风险事件报警阈值管理、风险状态预警规则链管理、预警值守、定期评估、突发事件事后应急评估等。

6.2 监测指标体系设计

6.2.1 监测指标体系设计应基于结构安全风险辨识结果和养管业务需求，设计工作内容包括：1) 选取监测项目及其对应的监测方法；2) 在桥梁结构及其周边环境的空间坐标系内合理布设监测测点。

6.2.2 监测指标体系设计选取监测项目和布设测点时宜遵循“灾害—风险分析”、“目标—功能分析”、“功能—成本分析”三个基本原则。

1 宜根据桥梁结构安全风险辨识结果优先选取发生概率高、潜在危害损失大、或对顶上事件重要性系数高的风险事件进行监测。

2 宜结合桥梁结构受力特点、既有缺损或病害状况、桥位周边环境及桥梁实际运行条件等选取或布设相关性高的项目或测点，便于相互验证，综合分析。

3 当结构安全风险辨识结果表明桥位处的水文、地质、气候等各类自然灾害及人为活动对桥梁结构安全有直接影响时，宜将灾害体本身纳入到监测指标体系中。

条文说明

桥梁结构监测系统应立足于桥梁结构运行安全风险，监测项目和测点布设应具有代表性、实用性、经济性的特点，主要遵循以下基本原则：

1) “灾害—风险分析”原则

对具体监测内容的选取应建立在对桥梁结构安全风险分析结果的基础上，避免出现以下情况：(1) 危及结构安全的重要风险源或风险致因未被覆盖，安全隐患突出暴露；(2) 在不必要的监测内容上花费重金，得到对桥梁结构安全报警和结构状态评估无用或无法处理分析的海量闲置数据。

2) “目标—功能分析”原则

桥梁结构监测系统总体目标主要是降低桥梁结构的安全风险，提高运行期养护维修管理水平。服务于此目标，监测内容的选取应主要瞄准与桥梁结构垮塌等顶事件或其直接致因，宜尽量选取靠近事故树主干并与桥梁结构安全密切相关的环境、作用、结构响应与变化参数或指标。

3) “功能—成本分析”原则

监测系统的功能需求直接决定监测系统构建和运维的成本预算。对于特定的桥梁，监测系统覆盖的风险源或风险致因越多，系统就越庞大，建设和维护成本也越高。另一方面，桥梁结构安全报警预警和状态评估宜合实时监测数据和桥梁检查与评定成果进行综合分析，监测系统应与桥梁检查形成互补机制，监测系统不能准确识别的安全风险可通过桥梁检查来弥补。综上，应把握监测系统与桥梁检查互补机制的平衡点，力求达到桥梁结构全生命周期内的性价比最优，为此监测系统设计需进行“功能—成本分析”。

6.2.3 桥梁结构的监测项目按照被测对象的不同可分为环境、作用、结构响应和结构变化四大类；桥址区地灾体的监测项目可按照灾害风险类别不同分为边坡失稳、危岩崩塌、泥石流、冲刷水毁四大类。桥梁结构和地灾体的监测项目均可继续细分下级监测项目。

6.2.4 设计结构健康监测系统时，监测项目选取应符合下列要求：

- 1 悬索桥、斜拉桥、梁桥和拱桥的监测项目选取宜分别参照表 6.2.4-1、表 6.2.4-2、表 6.2.4-3 和表 6.2.4-4 的规定。
- 2 若桥址区存在地质灾害体且桥梁结构安全风险辨识结果表明地质灾害体对桥梁结构安全有直接影响的，应将地质灾害体纳入监测范围，并根据桥梁结构安全风险等级评定结果参照表 6.2.4-5 选取监测项目。

表 6.2.4-1 悬索桥监测项目备选表

一、二级监测项目		三级监测项目	监测选项	备注
环境	温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	●	
		主梁内温度、湿度	●	仅适用于封闭箱梁。
		主缆内温度、湿度	○	
		锚室内温度、湿度	●	仅适用于地锚式悬索桥。
		鞍罩内温度、湿度	●	
		索塔内温度、湿度	○	
	结冰	桥面结冰、主缆结冰	◎	
	雪量	桥面积雪	◎	
	能见度	桥面大雾能见度	◎	

一、二级监测项目		三级监测项目		监测选项	备注
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速		●	
		所有车道车流量		●	
		所有车道的车辆空间分布视频图像		◎	
	风速、风向	桥面风速、风向		●	
		塔顶风速、风向		●	
	风压	主梁风压		◎	
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度		●	
		桥面铺装层温度		○	
	船舶(车辆)撞击	桥墩(撞击区段主梁)加速度		○	航道等级 ^a 为Ⅰ级~Ⅴ级的通航孔桥、易受船舶撞击的非通航孔桥、以及跨线桥易受下穿车辆撞击的桥下空间为宜选监测项。
		视频图像		○	
	地震	桥岸地表场地加速度		◎	
		承台顶或桥墩底部加速度(抗震设防烈度 ^b 为Ⅶ度及以上)		●	
		承台顶或桥墩底部加速度(抗震设防烈度 ^b 为Ⅶ度以下)		○	
结构响应	位移	主梁竖向位移	准静态位移	●	恒载及缓变荷载作用对应的位移响应。
			动挠度	○	活载及动态荷载作用对应的位移响应。
		主梁横向位移		●	
		支座位移		●	
		梁端纵向位移		●	
		塔顶偏位		●	
		主缆偏位		○	
	转角	塔顶转角		◎	
		梁端水平转角		●	
		梁端竖向转角		●	
	应变	主梁关键截面应变	准静态应变	●	恒载及缓变荷载作用对应的应变响应。
			动应变	○	活载及动态荷载作用对应的应变响应。
		索塔关键截面应变		○	
	索力	吊索索力		●/◎	刚性吊杆时为可选监测项。

一、二级监测项目		三级监测项目	监测选项	备注
		锚跨索股力	●	
	支座反力	支座反力	○	
	振动	主梁竖向振动加速度	●	
		主梁横向振动加速度	●	
		主梁纵向振动加速度	○	
		塔顶水平双向振动加速度	●	
		吊索振动加速度	●/◎	刚性吊杆时为可选监测项。
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度	◎	
	位移	锚碇位移	●	
	裂缝	混凝土结构裂缝	○	
		钢结构裂缝	○	
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	◎	
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	◎	
	断丝	吊索、主缆断丝	○	
	螺栓状态	索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	○	
	索夹滑移	索夹滑移	○	

注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项。

^a 航道等级应根据桥梁设计通航批复文件或《内河通航标准》（GB 50139）的规定确定。

^b 抗震设防烈度应根据桥梁设计文件或《公路桥梁抗震设计规范》（JTG/T 2231-01）的规定确定。

表 6.2.4-2 斜拉桥监测项目备选表

一、二级监测项目		三级监测项目	监测选项	备注
环境	温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	●	
		主梁内温度、湿度	●	仅适用于封闭箱梁。
		索塔锚固区温度、湿度	●	仅适用于人可进入索塔锚固区内部的索塔。
	雨量	降雨量	◎	
	结冰	桥面结冰、斜拉索结冰	◎	
	雪量	桥面积雪	◎	
	能见度	桥面大雾能见度	◎	
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速	●	
		所有车道车流量	●	
		所有车道的车辆空间分布视频图像	◎	

一、二级监测项目		三级监测项目		监测选项	备注
	风速、风向	桥面风速、风向		●	
		塔顶风速、风向		●	
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度		●	
		桥面铺装层温度		○	
	船舶（车辆）撞击	桥墩（撞击区段主梁）加速度		○	航道等级 ^a 为Ⅰ级~Ⅴ级的通航孔桥、易受船舶撞击的非通航孔桥、以及跨线桥易受下穿车辆撞击的桥下空间为宜选监测项。
		视频图像		○	
	地震	桥岸地表场地加速度		◎	
		承台顶或桥墩底部加速度（抗震设防烈度 ^b 为Ⅶ度及以上）		●	
		承台顶或桥墩底部加速度（抗震设防烈度 ^b 为Ⅶ度以下）		○	
结构响应	位移	主梁竖向位移	准静态位移	●	恒载及缓变荷载作用对应的位移响应。
			动挠度	○	活载及动态荷载作用对应的位移响应。
		主梁横向位移		○	
		支座位移		●	
		梁端纵向位移		●	
		塔顶偏位		●	
	转角	塔顶转角		○	
		墩顶转角		○	交界墩或辅助墩。
		梁端水平转角		●	
		梁端竖向转角		●	
	应变	主梁关键截面应变	准静态应变	●	恒载及缓变荷载作用对应的应变响应。
			动应变	○	活载及动态荷载作用对应的应变响应。
		索塔关键截面应变		○	
	索力	斜拉索索力		●	
	支座反力	支座反力		○	
	振动	主梁竖向振动加速度		●	
		主梁横向振动加速度		●	
		主梁纵向振动加速度		○	
		塔顶水平双向振动加速度		●/◎	矮塔斜拉桥或部分斜拉桥时为可选监测项。

一、二级监测项目		三级监测项目	监测选项	备注
		斜拉索振动加速度	●	
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度	◎	
	裂缝	混凝土结构裂缝	○	
		钢结构裂缝	○	
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	◎	
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	◎	
	预应力	体外预应力	○	
	断丝	斜拉索断丝	○	
	螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	○	
注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项。				
^a 航道等级应根据桥梁设计通航批复文件或《内河通航标准》（GB 50139）的规定确定。				
^b 抗震设防烈度应根据桥梁设计文件或《公路桥梁抗震设计规范》（JTG/T 2231-01）的规定确定。				

表 6.2.4-3 梁桥监测项目备选表

一、二级监测项目		三级监测项目	监测选项	备注
环境	温度、湿度	桥址区环境温度、湿度	●	
		主梁内温度、湿度	●	仅适用于人可进入其内部的封闭箱梁。
	结冰	桥面结冰	◎	
	雪量	桥面积雪	◎	
	能见度	桥面大雾能见度	◎	
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速	○	
		所有车道车流量	○	
		所有车道的车辆空间分布视频图像	◎	
	风速、风向	桥面风速、风向	◎	
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度	●	
		桥面铺装层温度	○	
	船舶(车辆)撞击	桥墩(撞击区段主梁)加速度	○	航道等级 ^a 为Ⅰ级~Ⅴ级的通航孔桥、易受船舶撞击的非通航孔桥、以及跨线桥易受下穿车辆撞击的桥下空间为宜选监测项。
		视频图像	○	
	地震	桥岸地表场地加速度	◎	
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度 ^b 为Ⅶ度及以上)	●	
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度 ^b 为Ⅶ度以下)	○	

一、二级监测项目		三级监测项目		监测选项	备注
结构响应	位移	主梁竖向位移	准静态位移	●	恒载及缓变荷载作用对应的位移响应。
			动挠度	○	活载及动态荷载作用对应的位移响应。
		支座位移		○	
		梁端纵向位移		○	
		高墩墩顶位移		○	
	转角	墩顶转角		○	主墩或交界墩。
	应变	主梁关键截面应变	准静态应变	●	恒载及缓变荷载作用对应的应变响应。
			动应变	○	活载及动态荷载作用对应的应变响应。
	支座反力	支座反力		○	
	振动	主梁竖向振动加速度		●	
		主梁横向振动加速度		○	
		主梁纵向振动加速度		○	
		桥墩顶部纵向及横向加速度		◎	
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度		◎	
	桥墩沉降	桥墩竖向位移		○	
	裂缝	混凝土结构裂缝		○	
		钢结构裂缝		○	
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度		◎	
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度		◎	
	预应力	体外预应力		●	
	螺栓状态	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱		○	
注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项。					
^a 航道等级应根据桥梁设计通航批复文件或《内河通航标准》（GB 50139）的规定确定。					
^b 抗震设防烈度应根据桥梁设计文件或《公路桥梁抗震设计规范》（JTG/T 2231-01）的规定确定。					

表 6.2.4-4 拱桥监测项目备选表

一、二级监测项目		三级监测项目		监测选项	备注
环境	温度、湿度	桥址区环境温度、湿度		●	
		主梁内温度、湿度		●	仅适用于人可进入其内部的封闭箱梁。
		主拱内温度、湿度		●	仅适用于人可进入其内部的箱形拱。
	结冰	桥面结冰、吊杆结冰		◎	

一、二级监测项目		三级监测项目		监测选项	备注	
	雪量	桥面积雪		◎		
	能见度	桥面大雾能见度		◎		
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速		●/◎	中、下承式拱桥为应选监测项， 上承式拱桥为可选监测项。	
		所有车道车流量		●/◎		
		所有车道的车辆空间分布视频图像		◎		
	风速、风向	桥面风速、风向		●/◎	中、下承式拱桥为应选监测项， 上承式拱桥为可选监测项。	
		拱顶风速、风向		◎		
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度		●		
		桥面铺装层温度		○		
	船舶(车辆) 撞击	桥墩（撞击区段主梁）加速度		○	航道等级 ^a 为Ⅰ级~Ⅴ级的通航孔桥、易受船舶撞击的非通航孔桥、以及跨线桥易受下穿车辆撞击的桥下空间为宜选监测项。	
		视频图像		○		
	地震	桥岸地表场地加速度		◎		
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度 ^b 为Ⅶ度及以上)		●		
		承台顶或桥墩底部加速度 (抗震设防烈度 ^b 为Ⅶ度以下)		○		
	结构响应	位移	主梁竖向位移	准静态位移	●	恒载及缓变荷载作用对应的位移响应。
				动挠度	○	活载及动态荷载作用对应的位移响应。
主梁横向位移			○			
支座位移			○			
梁端纵向位移			○			
拱顶位移			●			
转角		墩顶转角		○	上承式拱桥交界墩及其邻近的拱上立柱。	
		拱座转角		○		
应变		主梁关键截面应变	准静态应变	●	恒载及缓变荷载作用对应的应变响应。	
			动应变	○	活载及动态荷载作用对应的应变响应。	
		主拱关键截面应变		○		
索力		吊杆（索）力		●		
		系杆力		●		
支座反力		支座反力		○		

一、二级监测项目		三级监测项目	监测选项	备注
	振动	主梁竖向振动加速度	●	
		主梁横向振动加速度	○	
		主梁纵向振动加速度	◎	
		主拱振动加速度	●	
		吊杆（索）振动加速度	●	
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度	◎	
	位移	拱座位移	●	
	裂缝	混凝土结构裂缝	○	
		钢结构裂缝	○	
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	◎	
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	◎	
	断丝	吊杆（索）或系杆断丝	○	
	螺栓紧固力	高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	○	
注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项。				
a 航道等级应根据桥梁设计通航批复文件或《内河通航标准》（GB 50139）的规定确定。				
b 抗震设防烈度应根据桥梁设计文件或《公路桥梁抗震设计规范》（JTG/T 2231-01）的规定确定。				

表 6.2.4-5 桥址区地质灾害体监测项目备选表

一、二级监测项目		三级监测项目	风险等级			
			中风险	较高风险	高风险	极高风险
边坡失稳	地表位移	地表绝对位移或相对位移	○	●	●	●
	地表倾斜	地表倾斜度	◎	○	○	●
	地表裂缝	地表裂缝宽度	○	●	●	●
	深部位移	地层间相对位移	◎	○	●	●
	支护结构受力	锚索（杆）力、土压力	◎	◎	○	●
	地下水	地下水位、孔隙水压力	◎	○	●	●
	降雨	降雨量、降雨强度	○	●	●	●
崩塌危岩	地表位移	地表绝对位移或相对位移	○	●	●	●
	地表倾斜	地表倾斜度	○	○	●	●
	地表裂缝	地表裂缝宽度	○	●	●	●
	地声	岩体震动	◎	◎	○	○
	降雨	降雨量、降雨强度	◎	◎	○	○
	临灾前兆	视频、图像	○	○	●	●
泥石	运动特征	水位高度	○	○	●	●

一、二级监测项目		三级监测项目	风险等级			
			中风险	较高风险	高风险	极高风险
流		流动速度	◎	◎	○	○
	地声	次声、地面震动	◎	○	○	●
	降雨	降雨量、降雨强度	●	●	●	●
	临灾前兆	视频、图像	○	○	●	●
冲刷 水毁	运动特征	水位高度	◎	◎	○	●
		流动速度	◎	◎	○	●
	降雨	降雨量、降雨强度	◎	○	●	●
	临灾前兆	视频、图像	◎	○	●	●

注：●为应选监测项，○为宜选监测项，◎为可选监测项。

条文说明

本条规定了监测项目的推荐选取方案，供“一桥一策”进行监测系统设计时参照。对各类桥型和地灾体监测项目选取的具体要求是在《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037）的基础上，结合我省地方标准《山区公路混凝土桥梁结构安全风险监测指标体系设计与预警技术指南》（DB 51/T 2794-2021）、《营运山区公路地质灾害及边坡工程风险评价规程》（DB51/T 3088-2023）的相关要求进行了增补和细化，使其更适应我省山区桥梁的风险特征和养管需求。

6.2.5 设计结构风险监测系统或应急监测系统时，监测项目选取应符合下列要求：

- 1 可根据桥梁结构安全风险辨识结果，在表 6.2.5 中选取相应的高风险场景进行轻量化靶向监测。
- 2 被监测桥梁由相同结构类型的多孔跨组成时，可仅选择技术状况较差或运营风险高的代表性桥联（跨）实施监测。
- 3 实施轻量化靶向监测的桥梁邻近区域若存在其他监测系统，其环境和作用监测数据宜共享共用。

表 6.2.5 典型桥梁结构风险靶向监测场景及监测项目

结构风险靶向监测场景	监测项目	监测选项	备注
大件运输、重载或饱和交通桥梁	车辆荷载	○	
	主梁动挠度	●	

结构风险靶向监测场景		监测项目	监测选项	备注
		裂缝宽度	○	当桥梁主承重构件已有结构受力裂缝时，应为应选监测项
		主梁动应变	○	
车辆撞击风险高的桥梁	1. 桥下净空不足，车辆撞击主梁风险高	主梁横向振动	○	
		梁端横向位移	●	
	2. 车辆撞击桥墩风险高	墩顶横向振动	○	
		墩顶转角	●	
		梁端位移	●	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
船舶撞击风险高的桥梁	1. 桥下净空不足，船舶撞击主梁风险高	主梁横向振动	○	
		梁端横向位移	●	
		桥下净空	●	
	2. 船舶撞击桥墩风险高	墩顶横向振动	○	
		墩顶转角	●	
		梁端位移	●	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
地质灾害风险高的桥梁	1. 边坡失稳风险高	桥址区环境温度	●	用于环境温度与墩（台）顶转角、梁端位移的相关性分析。
		墩（台）顶转角	●	
		梁端位移	●	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
	2. 危岩崩塌风险高	墩顶横向振动	○	
		墩顶转角	○	
		梁端位移	○	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
	3. 山洪/泥石流风险高	水位计/泥位计	●	
		墩顶转角	○	
		梁端位移	○	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
基础冲刷风险高的桥梁		桥址区环境温度	●	用于环境温度与墩顶转角、梁端位移的相关性分析。
		墩顶转角	●	
		梁端位移	●	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
		桥墩沉降	○	
高烈度地震区桥梁 ^a		梁端位移	●	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
		墩顶转角	●	
		拱脚变位	○	
采空区沉降风险高的桥梁		桥址区环境温度	●	用于环境温度与墩顶转角、梁端位移的相关性分析
		桥墩沉降	●	

结构风险靶向监测场景		监测项目	监测选项	备注
		梁端位移	○	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
		墩顶转角	○	
养护检查 中发现主 承重构件 技术状况 差的桥梁 ^b	1. 预应力度不足	裂缝宽度	●	
		主梁挠度	○	
	2. 梁体移位/墩柱 倾斜	桥址区环境温度	●	用于环境温度与墩顶转角、梁端位 移的相关性分析
		梁端位移	●	宜布设于桥跨分联的伸缩缝截面
		墩顶转角	●	
	3. 主拱圈开裂	裂缝宽度	●	
		拱脚变位	○	
		基于养护检查结果进行结构安全风险辨识后, 确定靶向监测项目		
注: ●为应选监测项, ○为宜选监测项。				
^a 抗震设防烈度大于等于 VIII 度的桥梁。				
^b 养护检查中发现主要受力构件的技术状况评定等级为 3 类及以上的桥梁。				

6.2.6 设计结构健康监测系统、风险监测系统或应急监测系统时, 均应根据结构安全风险辨识结果及养管需求增设桥上及桥下空间的视频监测设备。

6.2.7 应基于数据处理分析与应用的需求, 根据桥梁结构计算分析、结构危险性和易损性分析结果选取关键构件和部位布设测点, 总体技术要求如下:

- 1 监测测点布设应能够把握环境、作用、结构响应和结构变化的特征, 兼顾代表性、经济性、可更换性, 并考虑设备布设条件的约束性。
- 2 结构响应和结构变化测点宜布设在受力或变位较大的主要承重构件, 或影响结构承载能力的易损构件、已有明显病害或损伤的构件。对性能退化、损伤劣化严重的关键构件或节点, 应考虑适当冗余度增加测点数量。
- 3 监测测点布设宜考虑传感元件的可更换性。对不可更换传感元件的测点, 宜做冗余布设。对采用埋入式传感元件的测点, 宜同时布设与其强相关的外置式传感元件。
- 4 对关键监测项目的关键测点, 可布设校核测点。对施工过程中发生过质量安全事故、经处理后恢复施工或使用的构件或部位, 宜布设对比测点。

6.2.8 各类监测指标的测点布设宜参照本文件附录 B 的相关要求, 测点布设时还应

明确监测方法、传感元件选型、测点数量、安装位置和测量方向。

6.2.9 各类监测指标的测量方法和技术指标应符合《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB 50982）、《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037）的相关规定，上述标准中无规定的可参照本文件附录 C 的相关规定。

6.2.10 传感元件选型应综合评估测量方法要求的量程、精度、分辨率/灵敏度、动态频响特性、长期稳定性、环境适应性等技术指标，并充分考虑传感器与数据采集设备适配后性能指标的增益或衰减。

6.2.11 监测指标体系设计除应符合《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037）和本文件的相关规定外，还宜兼顾《公路桥涵养护规范》（JTG 5120）、《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》（JTG/T 5122）中规定的桥梁永久观测点设置需求，位移监测点宜与桥梁永久观测点统筹布设。

6.3 系统机电工程设计

6.3.1 系统机电工程设计可分为系统硬件设计、系统软件设计和配套工程设计三部分。

6.3.2 数据采集设备选型设计除应评估与传感元件的适配性外，还应充分考虑与通信传输设备的功能适配，满足多通道同步采集、实时传输要求，还应满足用户通过系统软件户对数据采集关键参数进行远程配置和调整的要求。具体要求可参照本文件附录 C.6 的相关规定。

6.3.3 数据采集设备选型设计时宜对其传感器接入能力留有适度冗余，以满足后续系统扩充或升级的需要。

6.3.4 通信传输设备选型设计时，网络带宽应根据测点数量、采样频率、边缘计算量、并发访问量等综合确定，并宜适当保留带宽冗余以备系统设计扩容所需。

6.3.5 数据传输路由与布线方案应根据桥梁现场环境、传感器与数据采集站布置方

案、信号传输距离上限等条件进行综合设计，宜利用桥梁主体结构工程及机电工程的预留孔洞、桥架及管道布设线缆，并远离强电等干扰源。

6.3.6 数据传输可采用有线传输方式或无线传输方式，应综合考虑数据传输距离、现场地形条件、网络覆盖状况、已有的通信设施等因素选取稳定可靠的传输方式。

6.3.7 由传感器至数据采集站再至集中传输点设备（网关或带网关功能的工控机）的外场局域组网可采用有线传输方式、无线传输方式或两者相结合的方式。有线传输可采用星型、树型、总线型及环型等组网拓扑结构，无线传输宜采用星型或分布式组网拓扑结构。局域组网设计时，宜考虑以下因素：

- 1 当桥址周边存在无线发射设备或在有强电磁场的环境下，宜采用有线传输方式，并采取有效的电磁屏蔽措施；
- 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工程环境，或需要尽快投入使用的应急监测系统，宜采用无线传输方式。

6.3.8 现场局域组网采用有线数据传输方式时，宜符合下列要求：

- 1 当传输距离相对较短且无强电磁干扰时，可采用模拟信号进行传输；
- 2 当传输距离较远或有较强电磁干扰时，宜采用 RS485、以太网等数字信号传输技术；
- 3 传输线缆宜选取安全可靠且便于维护更换的传输介质；
- 4 宜利用已有的光纤通信网等数据传输线路，并设置必要的中继器或转发器；
- 5 选取数据采集设备的通讯接口类型时，宜以增加最少的接口转换器为原则。

6.3.9 现场局域组网采用无线传输方式时宜选用 LoRa、NB-IoT、ZigBee 等低功耗电磁波传输技术，信号发射装置和接收装置应远离强电磁干扰源。

6.3.10 现场集中传输点设备（网关或带网关功能的工控机）或分布式传输设备至监控中心的远程数据传输应根据工程现场的营运商网络覆盖情况、项目运行成本预算等因素选择可靠且经济的传输方式。在桥址周边有运营商网络覆盖的条件下，宜采用光纤传输技术、移动通信技术或两者相结合的方式；在无运营商网络的偏远地区，可采用微

波通信等无线数据传输技术。

6.3.11 多个数采设备和通信传输设备可集中布置在数据采集站中，数据采集站的数量和位置应结合传感器信号的传输距离要求、现场安装条件、供电、网络设施接入等因素综合考虑布设。采集站与传感器的最远距离宜根据传感器信号传输衰减性能确定。

6.3.12 监测系统的信息采集站内应配备循环更新工作模式的本地存储设备。在外场网络中断情况下，本地存储容量应满足结构化监测数据存储时长不小于 90 天，视频图像数据存储时长不小于 30 天。网络恢复后，应支持以断点续传方式传输数据至市(州)级平台。

6.3.13 数据采集站应根据站内数采设备和传输设备的工作环境适宜性配置机柜，具体要求可参照以下规定：

- 1 机柜置于桥梁结构箱体内部时，防护级别不应低于《外壳防护等级（IP 代码）》（GB/T 4208-2017）规定的 IP55。
- 2 机柜置于桥梁结构外部时，防护等级应不低于《外壳防护等级（IP 代码）》（GB/T 4208-2017）规定的 IP65，其他参数宜符合《电子设备机柜通用技术条件》（GB/T 15395）的相关规定。
- 3 实际环境温度高于或低于机柜内设备的额定工作温度范围 10℃以上时，还应配备温控及除湿装置。
- 4 采集站机柜宜用螺栓稳固安装在基座上，在振动环境中宜采取隔振措施。
- 5 在桥面或路面附近安装时，宜加装门禁安防系统。

6.3.14 传感器、数采及传输设备、采集站机柜等硬件安装工艺设计应满足下列总体要求，不同类型传感器的具体安装工艺设计还可参照本文件附录 D 的相关要求。

- 1 硬件设备安装工艺及措施应避免损伤桥梁主体结构或影响桥梁使用功能；
- 2 硬件设备安装工艺及措施宜考虑现场安装及维护的便易性和可到达性；
- 3 硬件设备安装工艺应明确具体的“防尘、防水、防雷”技术指标及人员安防要求。

6.3.15 监测系统软件设计主要包括专项分析评估模块和工程数字模型库的功能设计及其数据交互协议和程序调用接口设计。监测系统的软件模块功能和接口设计总体上应满足本套指南第 1 册《体系架构与通用要求》的相关要求。

条文说明

本套指南第 1 册《体系架构与通用要求》中明确规定了我省公路基础设施监测监管平台的体系架构由下至上为监测系统、市（州）级平台和省平台。为统筹管理监测数据信息、规范报警预警体系和响应联动机制，单桥（桥梁群）监测系统的外场设备及其实时监测数据均应直接接入市（州）级平台，由桥梁养管单位用户（或其授权用户）登录市（州）级平台的监测业务模块完成数据在线处理、报警预警规则及参数配置、报警预警联动响应等工作。因此，监测系统的软件模块组成相应简化，仅包含基于“一桥一策”的专项分析评估模块和工程数字模型库。新建监测系统的软件部分也应直接部署于市（州）级数据中心，以利集约利用硬件和网络资源。

6.3.16 监测系统软件的数据字典编码应符合本文件附录 E 的相关要求。

6.3.17 供监测系统软件用的工程数字模型应符合本文件附录 F 的相关要求。

6.3.18 监测系统软件与市（州）级平台及省平台之间的数据交互接口和传输协议应符合本文件附录 G 的相关要求。

6.3.19 对于有移动访问需求的用户，宜开发运行在手机、平板上的微信小程序或 App 应用软件，移动端软件功能宜包含：监测数据查看、分析结果查询、风险事件报警、风险状态预警、业务电子流处理等。

6.3.20 系统配套工程包括：预留预埋装置、开孔开洞、综合布线、供配电、防雷接地保护等，系统配套工程设计应符合下列总体要求：

- 1 传感器及其它设备均宜采用附着式安装，确需开孔（洞）、焊（胶）接、打磨、切割操作的，应与桥梁设计单位确认不影响结构安全和功能。
- 2 传感器线缆、光缆、电缆等综合布线设计符合《综合布线系统工程设计规

范》（GB 50311）的相关规定。

3 系统供配电设计符合《供配电系统设计规范》（GB 50052）和《低压配电设计规范》（GB 50054）的相关规定。

4 在桥梁主体工程防雷体系的基础上，进一步明确强弱电防雷的电位连接及接地、电磁屏蔽及浪涌保护等技术要求，并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343）和《高速公路机电系统防雷技术规范》（GB/T 37048）的相关规定。

5 明确数据采集站的安装环境要求，包括：空间大小、检修通道、供配电及网络接入、环境温湿度、防静电、通风、安防等。

6 通信带宽、供电（含 UPS 电源）功率设计宜适当预留冗余，已备系统升级扩容所需。

6.3.21 新建（在建）桥梁的监测系统与桥梁土建工程的工作界面划分时，应满足以下总体要求：

1 桥梁主体结构的预留预埋件安装、开孔开洞后对耐久性防腐涂装局部损伤应进行专业修复；

2 监测系统专用的不间断供电回路、通信网络及防雷设施，宜与桥梁主体工程机电系统联合设计、统筹实施。

6.3.22 针对各类型传感元件、数采及通信传输设备，系统设计宜明确提出设备的最低使用寿命和运维要求，作为系统运维阶段储备备品备件、编制检修维护计划的依据。

7 系统部署与验收

7.1 系统部署

7.1.1 系统部署工作内容包括：1) 外场设备安装与调试；2) 工程数字模型建模与交付；3) 软件开发、测试及部署；4) 软硬件系统集成与联合调试。

7.1.2 外场设备安装与调试作业应遵守《职业健康安全管理体系要求》（GB/T 28001）、《公路养护安全作业规程》（JTG H30）等的相关要求，认真落实各项安全环保措施。

7.1.3 传感、数据采集与传输设备的安装调试应满足下列总体要求：

- 1 传感器、数据采集与传输设备的安装位置应符合设计文件要求，传感器应稳定可靠与被测结构物牢固连接，并采取匹配的防护措施予以保护。
- 2 设备安装工艺不应影响桥梁结构承载能力和正常使用功能，避免对桥梁结构防腐等防护工程造成损坏，不可避免造成局部损坏时应及时修复。
- 3 传感器、数据采集设备现场安装前应抽样检定或校准，安装后调试应进行接线正确性校验、数据完整性和有效性校验。有条件时宜结合桥梁荷载试验的试验数据，对监测数据进行比对标定。
- 4 常用外场设备安装调试工艺的具体要求宜参照本文件附录 D.1。

7.1.4 系统配套工程施工应满足下列总体要求：

- 1 综合布线桥架、管道及线缆的材质、规格尺寸、防护要求及敷设施工应满足设计要求和《建筑电气工程施工质量验收规范》（GB 50303）的相关规定。
- 2 桥架、管道和线缆的敷设宜尽可能利用桥梁主体结构或机电工程的预留孔洞、桥架、管道、及检修通道，不应影响桥梁结构承载能力和正常使用功能，也不宜妨碍对桥梁结构的养护和维修作业。
- 3 光电信号线缆敷设时应宜远离强电线电缆等干扰源，必要时应对信号电缆采取屏蔽措施。

4 当现场供电电压波动较大、供电不稳时，应在供电设备输出端加设交流稳压装置对监测设备进行稳压供电。

5 监测系统防雷与接地应满足系统设计要求和《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343）的相关规定。

6 系统配套工程施工的具体要求宜参照本文件附录 D.2。

7.1.5 与桥梁结构监测系统相关的工程数字模型包括但不限于：桥梁结构及附着安装的外场监测设备的 BIM 模型、关联地质灾害体的 GIS 模型（倾斜摄影、正射影像、周边地形的数字高程模型）、桥梁结构有限元模型、关联地质灾害体的理论分析模型、数据分析和状态评估的机器学习模型等。其中前 2 项的建模交付应符合本文件附录 F 的相关要求。

7.1.6 监测系统软件开发应包括但不限于：数据分析模块（算法库）、结构健康与风险状态评估模块、报告报表生成及发布模块、以及数据交互和程序调用接口。各模块组成和功能要求除应满足本套指南第 1 册《体系架构与通用要求》的相关要求外，还应符合下列规定：

1 宜采用国内主流的软件开发技术和框架，软件内部各模块宜功能独立，模块之间耦合性低。

2 软件编码应满足《信息技术 软件生存周期过程》（GB/T 8566）的相关要求，代码编写应简洁易读、结构清晰、注释规范、易于调试维护。

3 多方协同开发的软件模块，宜使用软件代码版本控制工具。

4 系统软件内部不应内置与业务功能无关的后门程序、加密模块。

5 编写软件开发文档和接口文档应符合《计算机软件文档编制规范》（GB/T 8567）的相关规定。

6 宜采用边缘计算、分布式处理、消息中间件、时序数据库等技术。

7 监测系统的数据字典编码应符合本文件附录 E 的相关要求。

8 系统与上级平台之间的数据交互和程序调用接口开发应符合本文件附录 G 的相关要求。

7.1.7 监测系统软件测试除应覆盖各专业分析评估软件模块外，还应对监测系统与

市（州）级平台间的数据交互和程序调用接口进行兼容性测试，并符合下列要求：

1 宜由具备 CMA 或 CNAS 资质的第三方软件测评单位进行软件测试，测试流程和内容应符合《计算机软件测试规范》（GB/T 15532）和《计算机软件测试文档编制规范》（GB/T 9386）的相关规定；

2 《软件测试报告》应描述每个测试用例的测试结果，对于重大功能偏离、缺陷和逻辑错误，需经开发单位修复完善后再次提交测试，最终测试通过率宜不低于测试用例总数的 95%。

7.1.8 软件部署工作应符合下列总体要求：

1 软件部署前宜编制操作指南或安装计划，保障部署过程规范有序。

2 软件现场部署前，应核查服务器、工作站、工控机等硬件是否安装完毕并接电稳定运行，监控中心网络、供配电、通信、照明等是否满足设计技术要求。

3 操作系统、应用组件、数据库等应用支撑软件的安装和配置应满足软件设计文件的技术要求。

4 软件安装和调试应按计划分步骤进行，各步骤完成后宜分别进行功能确认。

7.1.9 软硬件系统集成与联合调试是对监测系统的外场设备及分析软件与市（州）级平台进行系统集成，校验和调试监测系统与市（州）级平台之间的数据交互和程序调用的兼容性，应符合下列总体要求：

1 监测系统的外场设备应与市（州）级平台的数据采集传输模块进行联合调试，校验测点与通道编号、采集参数配置等是否保持一致或兼容。

2 监测系统的专业分析软件应与市（州）级平台的数据存储管理模块进行联合调试，校验监测系统分析软件与市（州）级平台数据库之间的数据交互接口是否顺畅。

3 监测系统的专业分析软件和工程数字模型，应与市（州）级平台的业务应用模块进行联合调试，校验市（州）级平台的业务应用软件调用监测系统专业分析软件或访问工程数字模型是否顺畅。

4 软硬件联合调试完成后，市（州）级平台和监测系统的各软件模块的功能正常，监测数据展示流畅准确，设备在线率、数据完好率等指标达到设计文件或相关技术标准要求。

5 软硬件联合调试完成后，系统软件操作响应时间宜小于 3s，数据查询响应

时间宜小于 5s。

7.2 系统试运行与验收

7.2.1 结构健康监测系统和结构风险监测系统应在试运行后再组织验收。其中，结构健康监测系统应分别组织交工验收和竣工验收，结构风险监测系统的交工验收和竣工验收可合并进行。应急监测系统可对关键设备的技术指标、系统主要功能和整体性能进行一次验收后即投入运行。

条文说明

应急监测系统的布设对时间节点要求高，且设备和系统往往是相关单位为完成应急任务而临时租用，因此验收时应力求程序简化，主要检验系统功能和运行有效性是否满足应急监测任务的需求。

7.2.3 系统试运行周期不应低于 3 个月，试运行期间宜开展系统功能和压力测试、监测指标基准值校正、超限报警阈值设置及调整、系统使用培训等工作。系统试运行期末，设备在线率、数据完好率等指标应达到设计文件或相关规范要求。

7.2.4 系统使用培训宜面向桥梁养管单位的桥梁养护工程师及分管桥梁养护或运管的部门管理人员，宜包括但不限于下列内容：

- 1 监测系统的监测指标和测点布设情况等系统建设资料介绍。
- 2 系统软件的基本功能操作培训，包括：用户登录和访问权限、监测数据查询浏览、报警和预警记录查询浏览、报告报表查询浏览等常用功能操作培训。
- 3 系统外场设备的日常巡检和维护内容及方法。
- 4 桥梁交通安全风险事件报警/结构风险状态预警与应急响应的联动机制及处理流程。
- 5 桥梁结构状态评定与养管决策支持机制及处理流程。

7.2.5 与新建桥梁同步建设的监测系统应与桥梁主体工程同步开展交（竣）工验收。监测系统宜在桥梁交工验收荷载试验前上线试运行，以便利用试验数据校准或标定监测系统各项监测指标的基准值。

7.2.6 系统交工验收内容应包含：系统硬件验收、系统软件验收和资料验收。

7.2.7 系统硬件验收应符合下列规定：

1 外场设备及配套工程的数量、规格型号、技术参数等应满足合同文件或设计文件的要求，设备的合格证、质保卡、说明书及出厂检验报告等应齐全。

2 传感元件的安装定位和方向应满足设计文件要求，安装牢固、端正，与被测结构物表面紧密接触。传感器与信号线缆及供电线缆连接可靠，并采取必要的防护措施。

3 数据采集设备应处于正常工作状态。数据采集站机柜内电力线、信号线、元器件等应布线平直、整齐、固定可靠，插头牢固，标识清晰；出线管与箱体连接应密封良好，机柜内应无积水、尘土、霉变；机柜接地应连接可靠，接地引出线无锈蚀。

4 光电缆线路敷设应符合《公路工程质量检验评定标准 第二册 机电工程》（JTG 2182）的相关规定。

7.2.8 系统软件验收应符合下列规定：

1 通过外场数据采集站软件与市（州）级平台数据采集传输模块接口的功能完整性和一致性检查，系统能正常采集、存储、转发监测数据，各项功能指标满足设计文件技术要求。

2 通过系统专业分析软件与市（州）级平台数据存储管理软件接口的功能完整性和一致性检查，分析软件能正常接收和处理监测数据，并存储和转发分析结果，各项功能指标满足设计文件技术要求。

3 通过市（州）级平台监测业务用户界面调用监测系统专业分析软件和工程数字模型库的功能完整性和一致性检查，各软件模块功能满足设计文件技术要求，工程信息模型、监测数据、分析评估结果等各类信息显示准确、齐全。

4 软件整体请求响应速度、数据刷新率等性能指标满足设计文件技术要求。

5 通过系统网络信息安全完备性检查，满足《信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求》（GB/T 37025）和设计文件中关于网络信息安全的要求。

7.2.9 资料验收应检查验收资料的齐全性、规范性和一致性，验收资料宜包含下列内容：

- 1 合同相关资料：招投标文件、合同文件、合同谈判纪要等。
- 2 实施过程资料：系统设计文件，设计变更资料，设备进场报验资料、监测设备安装调试记录、设备安装现场检验及监理资料（质量控制资料），有关会议纪要等。
- 3 技术成果资料：系统竣工图、实施成果报告、系统试运行报告、硬件维护手册、软件操作手册等。

7.2.10 系统竣工验收应在合同约定的系统质保期满前进行。竣工验收应在交工验收基础上，补充检查系统运行期内的以下指标或资料是否满足设计或相关规范要求：

- 1 设备在线率、数据完好率等系统运行状态；
- 2 外场设备维护记录、软件升级维护记录；
- 3 报警预警发布及响应流程记录、桥梁结构状态定期分析评估报告、特殊事件专项评估报告（如有）等。

8 系统运维

8.1 运行管理

8.1.1 系统运行管理工作宜由桥梁养管单位成立专业技术团队或委托具备技术能力的专业机构承担，具体工作内容包括但不限于：

- 1 采样管理：各项监测指标对应的数据采集工作模式和采样频率管理。
- 2 风险事件报警管理：配置和动态调整各项特征指标对应的阈值及其超限判据，使系统能够自动判识风险事件的发生，并触发相应级别的报警。
- 3 风险状态预警管理：配置和管理桥梁结构风险状态判识规则链，使系统能够自动判识桥梁结构、部件及构件的安全隐患和风险状态，并触发相应级别的预警。
- 4 报告报表管理：各类报告报表的生成、发布和归档管理。
- 5 用户管理：用户角色和权限的分权分域管理。
- 6 设备管理：在线管理设备注册（注销）、设备参数配置、设备时钟同步等功能。
- 7 任务管理：对周期计划任务、风险事件报警或风险状态预警触发的应急任务等进行分配、通知、反馈的业务电子流管理。

8.1.2 各项监测指标可分别配置为：连续实时采集、定期间隔采集或触发采集等工作模式，具体配置及触发条件宜参照下列规定：

- 1 温度、湿度、雨量、结冰、雪量、能见度等环境指标，风速、风向等作用指标，位移、转角、应变、索力、支座反力、振动等结构响应指标，以及现场视频图像宜配置为连续实时采集模式。
- 2 车辆荷载、船舶（车辆）撞击、地震动等作用指标，拉索断丝等结构变化指标宜配置为触发采集模式。车辆荷载数据采集与对应车道的视频采集应时间同步。
- 3 基础冲刷、锚碇位移、桥墩沉降、拱脚位移、裂缝、腐蚀、体外预应力、螺栓状态、索夹滑移等准静态结构变化指标可配置为定期间隔采集模式。
- 4 也可根据监测应用需求，采用定期间隔采集与连续实时采集相结合的混合采集模式。监测指标对应的特征数据未超阈值时定期间隔采样，超限报警时调整为连续

实时采集。

5 触发采集模式的条件阈值应根据桥梁结构计算分析结果或现场测试结果确定。

6 系统试运行期间、以及分析判识关键构件或部位状态异常时，相关监测指标宜调整为连续实时采集模式，或适当缩短间隔采样周期、降低触发采样阈值。

8.1.3 采样频率应根据监测应用分析要求和功能要求自行设定，应满足下列要求：

1 结构健康监测系统的采样频率设置宜参照表 8.1.3 的规定，结构风险监测系统、应急监测系统可结合具体业务需求在表 8.1.3 的基础上酌情调整。

2 结构振动、地震动、动挠度、动应变等动态数据的采样频率，还应满足采样定理和相关分析算法输入数据接口的要求。

3 当发生以下情况之一时，宜在表 8.1.3 的基础上适当提高准静态监测指标的采样频率：

- 1) 相关特征指标持续超过二级阈值；
- 2) 桥梁遭受地震、洪水、地质灾害等自然灾害，或船舶（车辆）撞击、火灾等突发事件后；
- 3) 桥梁养护检查发现桥梁结构或其地基出现明显变形或位移、严重的结构受力开裂、以及其他可能影响桥梁结构安全的异常情况。

表 8.1.3 采样频率表

监测指标分类		采样频率
环境	温度	1/600 Hz
	湿度	1/600 Hz
	雨量	1/60 Hz
	结冰	视频：25 FPS
	雪量	1/60 Hz
	能见度	1/60 Hz
作用	车辆荷载	动态称重：触发采集 视频：25 FPS
	风速、风向	超声风速仪：10 Hz 机械式风速仪：1 Hz
	风压	10 Hz
	结构温度	1/600 Hz
	船舶（车辆）撞击	结构振动：20 Hz~50Hz

监测指标分类		采样频率
		视频: 25 FPS
	地震	地表加速度: 20 Hz~50Hz
结构响应	位移	动挠度: 20 Hz~50Hz 准静态位移: 1/60 Hz
	转角	1 Hz
	应变	动应变: 20 Hz~50Hz 准静态应变: 1/60 Hz
	索力	接触压力: 1 Hz 振动加速度: 50 Hz 磁通量: 1/600 Hz
	支座反力	1/60 Hz
	结构振动	20 Hz~50Hz
结构变化	基础冲刷	声纳法: 1 MHz
	锚碇位移、拱脚位移、桥墩沉降	1/ 600 Hz
	裂缝	动态: 20Hz 准静态: 1/600 Hz
	腐蚀	1/ 600 Hz
	体外预应力	接触压力: 1 Hz 振动加速度: 50 Hz 磁通量: 1/600 Hz
	断丝	体外缆索、吊杆: 40kHz~100kHz 混凝土体内预应力钢束: 10kHz~40kHz
	螺栓状态	应力法: 1/60 Hz 视频: 25 FPS
	索夹滑移	位移法: 1/60 Hz 视频: 25 FPS

8.1.4 系统试运行期间, 运行管理人员应设定各项特征指标对应的超限报警阈值。后期运维期间还应根据桥梁周边环境、运行条件、结构状态和性能的变化, 持续优化风险事件报警的特征指标体系或调整对应的阈值, 并定期检验风险事件报警机制的运行有效性。

条文说明

桥梁结构是一个典型和复杂的时变系统, 其性能和状态具有随时间变化的显著特性。一座桥梁从开始建造、到通车服役、到技术状况劣化和维修加固的不断循环过程、直至最后拆除重建的全寿命周期, 其保持设计赋予的使用功能和承载能力是一种随时间变化的过程。结构性能的变化既包括自身的逐步劣化, 也包括其随时间的周期性波动, 因此

对各项特征指标设置的报警阈值具有一定的时效性，宜结合对桥梁结构的认知水平和实际服役状况，持续对阈值体系和报警机制进行补充、优化和调整，并定期检验其有效性。目标是在把控住结构主要安全风险的前提下，尽量减少虚警误报，降低桥梁养护管理的无效人力成本。

对桥梁结构风险事件报警机制的检验可结合对桥梁结构状态综合评估或专项评估报告的确认或评审环节开展，也可在应急演练后评估时开展。有效性检验主要考察两方面：1) 各项特征指标及其阈值设置是否覆盖桥梁结构和运营主要安全风险？2) 本年度通过该机制触发报警的误报率是否可接受？有无措施进一步降低误报率？

8.1.5 系统试运行期间，运行管理人员应对判识桥梁整体结构和主要承重构件风险状态是否异常的规则链进行初始设置。后期运维期间还应根据桥梁结构安全风险辨识结果、结构受力分析计算结果、特征指标之间的相关性分析结果、前期风险事件报警情况等，持续调整或优化风险状态预警的规则链设置。

条文说明

由于某项特征指标超限触发的报警，仅代表某一风险事件正在发生或已经发生。但风险事件发生并不等同于桥梁结构或其部件、构件的技术状况劣化或风险状态异常。当某项特征指标超阈值触发风险事件报警后，系统将根据预先设定的规则链自动判识桥梁结构或其部件、构件是否存在安全隐患或风险状态是否异常。如是，则触发风险状态预警提醒用户应急处理，如：进一步评定桥梁结构度、发布预警快讯和快报等；否则仅作事件记录。

8.1.6 系统运行管理人员应定期编制并发布监测数据分析评估报告。强震、山洪、车船撞击、大件车辆通行等突发事件后，应及时编制并发布应急评估报告，为制定桥梁运行管理策略或应急响应措施提供依据。

8.1.7 系统运行管理人员应根据桥梁运行和养护管理职责的划分，为不同单位、部门和级别的用户分配“角色”，并基于用户的角色为其分配通过用户界面访问数据资源和业务操作的权限，实现“分权分域”的用户管理。

8.1.8 系统运行管理人员应通过市（州）级平台的监测系统管理界面，在线注册或注销外场设备、维护设备与测点的映射关系、配置设备的主控参数、以及同步设备与系统时钟等。设备管理权限宜仅对系统管理员开放，其他用户仅有查阅权限。

8.1.9 系统运行管理人员应通过市（州）级平台的监测系统管理界面，制定系统运行管理和维护相关的周期计划电子流任务、风险事件报警和风险状态预警触发后的应急响应电子流任务。相关用户在收到系统按角色分配和推送的任务通知后，应及时处理任务或反馈信息。

8.2 系统维护

8.2.1 系统维护工作应包括对监测系统软硬件的日常巡检、定期维护和应急维护三类：

- 1 日常巡检：对监测系统外场设备、软件及数据库的日常检查。
- 2 定期维护：定期对监测系统外场设备、软件和数据库进行全面检查和维护，排除潜在隐患，确保系统能长期稳定运行。
- 3 应急维护：修复日常或定期维护中发现的异常状况或故障，或自然灾害和人为破坏等突发事件发生后开展的针对性排查和维护工作，包括：外场设备的修理或更换、软件或数据库的恢复升级或重新部署等。

8.2.2 外场设备的日常巡检工作宜由桥梁养管单位人员在桥梁结构日常巡检时一并实施；外场设备的定期维护和应急维护工作应由受托系统维护单位实施。外场设备维护工作清单可参照表 8.2.2。

表 8.2.2 外场设备维护工作清单

分类	目的	间隔周期	责任单位
日常巡检	对监测系统硬外场设备的日常检查。	宜结合桥梁结构日常巡查工作开展	桥梁养管单位
定期维护	定期对外场设备进行全面检查和维护，排除潜在隐患，确保系统长期稳定运行。	宜不低于每半年 1 次	受托系统维护单位
应急维护	修复日常或定期维护中发现的异常状况或故障，或自然灾害和人为破坏等突发事件发生后开展的针对性排查和维护工作。	不定期	受托系统维护单位

8.2.3 外场设备日常巡检应符合下列规定：

- 1 外场设备的日常巡检宜结合桥梁结构日常巡查工作开展。
- 2 应对外场设备的表观完好性及安装稳固性进行检查，并对巡查情况进行记录归档。
- 3 在雷电活动强烈的地区，日常巡检时应应对雷击计数器等防护装置进行目测检查。

8.2.4 外场设备定期维护应符合下列规定：

- 1 定期维护频次不宜低于每半年一次。
- 2 对外场设备及其防护罩的表观完好性、安装稳固性进行全面检查。
- 3 对供电和传输线路及其安装槽架进行全面检查，对线缆与设备的接头紧固情况进行全面检查。
- 4 对数据采集站等设备及其机柜进行除尘、除草处理。
- 5 对基于连通管原理设备的液位情况进行检查，定期补充连通管内液体至设计液位。
- 6 应按照《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343）的相关规定对雷电防护装置进行全面检查维护。

8.2.5 外场设备应急维护应符合下列规定：

- 1 应在日常巡检或系统运行管理人员发现并通报设备故障后 48h 内响应并处置。
- 2 现场不能修复的设备，应在拆除返厂同时更换同品牌的同型设备。

8.2.6 系统软件日常检查应符合下列规定：

- 1 日常检查频次不宜低于每周一次。
- 2 日常检查内容包括：各软件模块运行日志检查、实时数据和历史数据一致性校验、风险事件报警和风险状态预警日志记录检查。
- 3 对检查情况进行记录并归档。

8.2.7 系统软件定期维护应符合下列规定：

- 1 定期维护频次不宜低于每半年一次。
- 2 定期维护内容包括：软硬件时间同步检查、磁盘存储空间检查及清理、数据库异地备份、软件运行日志检查等。
- 3 定期维护若涉及系统配置参数修改、数据迁移或更正等操作的，应提前进行备份以保证系统能回退到维护前状态。
- 4 定期维护宜在不停机状态下进行。确需停机维护的，应在系统访问低谷时间段开展，并提前通知所有用户。

8.2.8 系统软件应急维护应符合下列规定：

- 1 软件应急维护内容包括：软件模块崩溃恢复、软件功能异常修复、数据库异常修复、病毒或木马程序清除等。
- 2 当发现系统软件及数据库功能异常或性能不稳定时，应联合外场设备维护人员共同排查和辨识故障原因，排除非软件或数据库本身原因造成的异常或中断。
- 3 应急维护宜在不停机状态下进行。确需停机维护的应通知所有用户。

8.2.9 系统定期维护时，应评定监测系统在上一维护周期内的测点数据完好率和当前的设备在线率。

- 1 测点数据完好率和设备在线率均不宜低于 90%。
- 2 维护期内的测点数据完好率可采用下列公式计算：

$$S = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^p t_i}{P \times T}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8.2.9-1)$$

式中：

S —测点数据完好率；
 p —故障测点数量；
 t_i —第 i 个测点的故障时长，单位为天（d）；
 P —总测点数量；
 T —维护期时长，单位为天（d）。

- 3 当前的设备在线率可采用下列公式计算：

$$L = \left(1 - \frac{f}{A}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8.2.9-2)$$

式中：

L —当前设备在线率；

f —当前处于离线或故障状态的传感器数量；

A —外场传感设备总数。

9 数据分析与应用

9.1 数据处理与分析

9.1.1 对应各监测指标采集到的原始数据，宜经过预处理后方可用于后续数据分析与应用。数据预处理应包括但不限于：

- 1 数字滤波、去噪、消除基线漂移、跳点和异常数据的剔除或修正。
- 2 异构数据之间的协议或结构转换。
- 3 对图像、视频、音频等非结构数据的特征识别和抽取。
- 4 将监测指标换算成反映桥梁环境、作用、结构响应或变化的特征指标。

9.1.2 监测数据分析方法可分为统计分析和专项分析，统计分析宜符合 9.1.3~9.1.10 条的规定，专项分析宜符合 9.1.11~9.1.20 条的规定。

条文说明

数据分析方法多种多样，按照不同维度分类可得到不同的分类结果，一般可分为：统计分析、比对分析、聚类分析、回归分析、相关性分析、趋势性分析等。针对桥梁结构监测数据，从结构动力学角度看又有：结构振动模态分析、地震动谱分析、风致振动分析、疲劳谱分析等；按机器学习算法不同又可分为：监督学习法、无监督学习法、强化学习法等。

其中，监测数据的统计分析对所有桥梁来说都是基础和通用的分析方法；而其它各种分析方法则应根据“一桥一策”原则和适用条件合理地选用。因此，本指南将数据分析分为“统计分析”和其它“专项分析”，便于阅读和理解。

9.1.3 编制定期分析评估报告和各类应急评估报告时，均应对监测时段内的数据进行各类统计分析，分析结果可包括：最大值、最小值、平均值、均方根值、累计值等。

统计分析的常用运算方法和流程可参照图 9.1.3 所示。

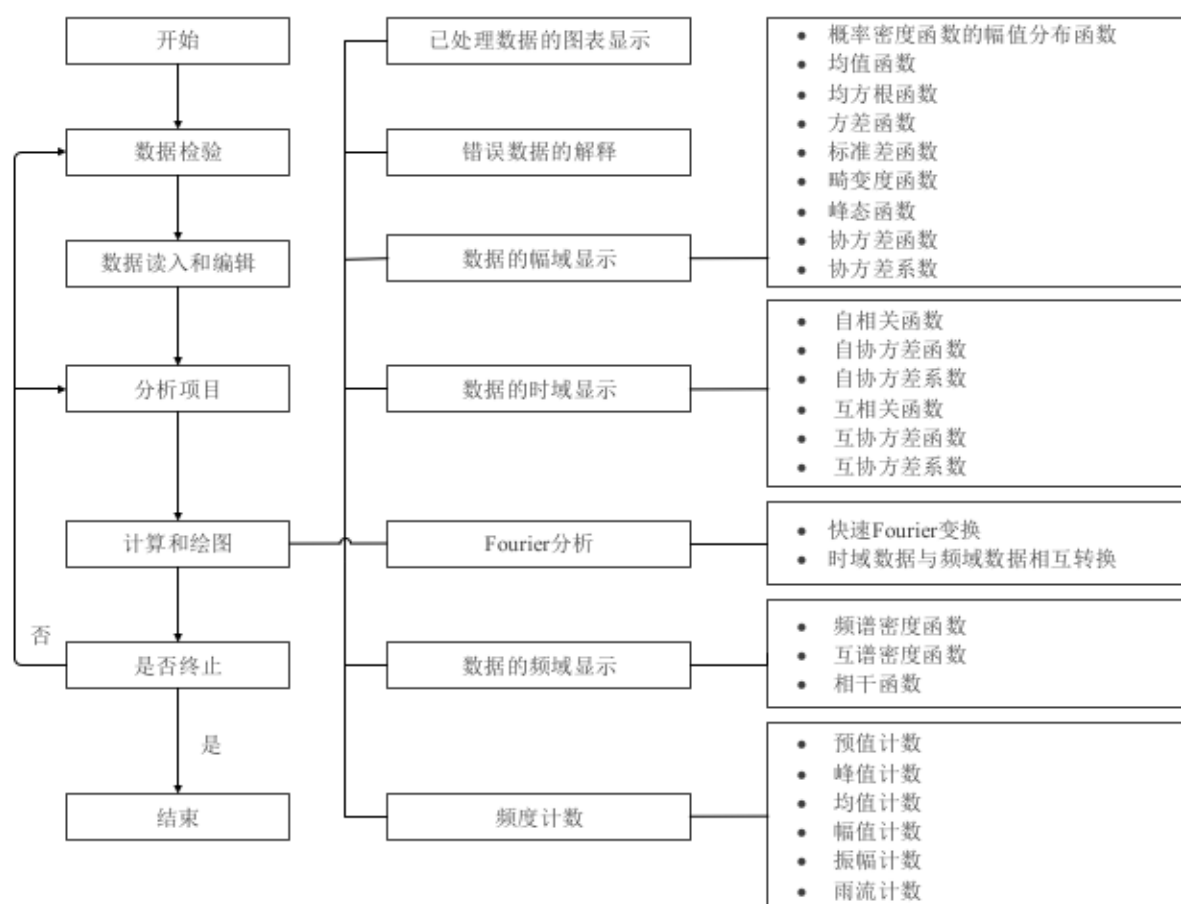


图 9.1.3 常见数据统计分析方法及流程框图

9.1.4 环境监测数据统计分析宜符合下列规定：

- 1 环境温度：宜统计分析最高温度、最低温度、平均温度、最大温差等。
- 2 环境湿度：宜统计分析最大值、平均值和超限持续时间等。
- 3 降雨：宜统计分析 10 min 平均降雨量。
- 4 桥面、缆索、吊杆（索）结冰：宜结合超声波监测数据和现场视频统计分析结冰位置、范围和程度。

9.1.5 作用监测数据统计分析宜符合下列规定：

- 1 车辆荷载：应对车流量、超载车数量及比例、轴重、车重、车型、车速等进行统计分析，宜进一步分析得到年极值、车辆疲劳荷载谱和荷载校验系数等特征指标。
- 2 风速风向：宜统计分析 10 min 平均风速、风向和风玫瑰图。

- 3 风压：宜统计分析 10 min 平均风压和均方根值。
- 4 结构温度：宜统计分析温度最大值、最小值、最大梯度和年极值。
- 5 地震动：宜统计分析加速度峰值、速度峰值、地震持时和频谱。

9.1.6 准静态结构响应监测数据统计分析应符合下列规定：

- 1 主梁挠度和横向位移、塔顶和主缆偏位、高墩墩顶和拱顶位移：应统计分析平均值、最大绝对值、均方根值、以及期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。
- 2 支座和梁端纵向位移：应统计分析平均值、双向极值、均方根值、以及期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。
- 3 塔（墩、柱）顶截面转角、梁端水平和竖向转角：应统计分析平均值、最大绝对值、均方根值、以及期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。
- 4 主梁、索塔、主拱等关键截面应变：应统计分析平均值、最大绝对值、以及期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。
- 5 悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）等索力：应统计分析平均值、最大值、最小值、均方根值、以及期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。
- 6 悬索桥锚跨索股力和拱桥系杆索力：应统计分析最大值、最小值、平均值、以及期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。
- 7 支座反力：宜统计分析平均值、最大值、最小值、以及期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

9.1.7 动态结构响应监测数据统计分析应符合下列规定：

- 1 主梁竖向横向纵向、塔顶水平双向、悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、梁桥桥墩顶部纵向和横向、拱桥主拱和吊杆（索）振动：应统计分析最大绝对值、均方根值和频谱、以及疲劳累积损伤指数。
- 2 主梁（拱）动挠度和动应变：应在消除基线漂移后统计分析最大值和最小值以及疲劳累积损伤指数。

9.1.8 结构变化监测数据统计分析应符合下列规定：

1 桥墩基础冲刷：宜统计分析冲刷深度和范围的期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

2 主缆锚碇位移、拱脚位移：应统计分析平均值、最大绝对值、期内增量、累计增量、日均增量等。

3 混凝土结构和钢结构裂缝：宜统计分析裂缝长度、宽度及数量的期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

4 墩身、承台混凝土腐蚀：宜统计分析氯离子浓度、侵蚀深度的最大值、最小值、梯度、及其期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

5 悬索桥主缆和吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）和系杆断丝：宜统计分析断丝数量的期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

6 索夹螺杆和高强螺栓紧固力：宜统计分析紧固力的平均值、最小值、最大值、及其期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

7 索夹滑移：宜统计分析滑移索夹数量的期内增量和累计增量；针对存在滑移迹象的特定索夹，应统计分析滑移距离的期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

8 体外预应力：宜统计分析预应力的平均值、最小值、最大值、及其期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

9.1.9 桥址区地质灾害监测数据统计分析应符合下列规定：

1 地表绝对位移或相对位移、地表倾斜度、地表裂缝宽度、地层间相对位移或倾斜、土体压力：应统计分析平均值、绝对最大值、均方根值、及其期内增量、累计增量、日均增量等变化趋势。

2 地下水位：应统计分析最高水位及其持续时间、平均水位等。

9.1.10 监测数据的统计分析结果可用作特征指标，为其针对性地设置触发风险事件报警的阈值。

9.1.11 特征指标之间的相关性是评估桥梁结构风险状态是否异常的重要参考因素，宜对以下特征指标进行相关性分析：

- 1 环境或作用指标与受其影响的结构响应指标之间。
- 2 不同空间坐标或方向的同类结构响应或结构变化指标之间。
- 3 邻近空间坐标或相同方向的不同类结构响应或结构变化指标之间。
- 4 其他可能存在相关性的特征指标之间。

条文说明

桥梁结构中各类监测指标之间的相关性主要有以下几类：

a) 环境相关性。外部环境对监测数据影响较大，处于同一环境中的测点指标相关程度必然较强，比如同处桥梁向阳面的测点，温度、湿度或受其影响较大的监测指标相似度会比背阴面高一些。

b) 结构相关性。在桥梁主梁、斜拉桥索塔、桥墩等同一结构部件或构件上的不同监测指标之间的相关程度往往强于不同结构体上的测点之间。

c) 位置相关性。桥梁结构因为空间尺寸较大，如果按照空间几何对称性布设了多个测点，按照结构力学分析结果，这些测点之间会呈现出位置上的强相关性。

d) 时间相关性。各测点在同一时刻测得的数据关联度会比较大，这些数据表现出在时间上的相关性，即某一时刻受到同一外部作用的时候，某些测点数据表现出在这一时刻的强相关性。

e) 类别相关性。环境、作用类指标与结构响应类指标之间可能存在相互影响的类因果相关性；另一方面，同一类别的不同测点的监测指标之间也可能存在强相关性。

特征指标之间的相关程度可用相关系数来度量，主要表现有正相关、负相关、不相关（零相关）三种，其含义如下：

a) 正相关。一种变量增加或减少，另一种变量也在增加或减少，两种变量变动的方向相同，谓之正相关。

b) 负相关。一种变量增加或减少，另一种变量也在减少或增加，两种变量变动的方向相反，谓之负相关。

c) 不相关。在两种变量之间，一种变量变动时，另一种变量毫无变动，或无一定的规律，谓之不相关或零相关。

9.1.12 相关系数 r 是衡量两个特征指标之间的线性相关程度的重要参数，宜参照

表 9.1.12 判断两个特征指标之间的相关程度。

表 9.1.12 特征指标相关程度的判断标准

相关系数	相关程度
$0 \leq r < 0.3$	不相关
$0.3 \leq r < 0.5$	弱相关
$0.5 \leq r < 0.8$	中度相关
$0.8 \leq r < 1.0$	强相关

9.1.13 对于准静态采集的桥梁结构响应和结构变化等缓变特征指标，宜采用趋势分析方法识别离散监测数据随时间变化的历史趋势，并预测未来的发展趋势。

9.1.14 对于有历史监测数据或检查成果的特征指标，宜采用对比分析方法识别当前监测数据与历史数据之间的系统性差异，揭示数据差异所代表的环境、作用或桥梁结构状态的变化情况或发展规律：

- 1 准静态采集的结构变形（位移）：宜与初始检查、定期检查或特殊检查得到的桥梁几何线形观测数据或上年度同期监测数据进行对比分析。
- 2 结构动挠度和动应变：宜与桥梁荷载试验数据或历史监测数据进行对比分析。
- 3 结构自振特性：宜与桥梁结构自振特性试验的模态分析结果或历史监测分析结果进行对比分析。
- 4 裂缝宽度：宜与近期人工检查的实测值或上年度同期监测数据进行对比分析。
- 5 索力：宜与成桥初始检查、定期检查、特殊检查的实测索力或上年度同期监测数据进行对比分析。
- 6 应注意两组或多组比对数据对应的采集环境和作用条件之间的差异。当环境和作用条件明显不同时，应进行数据修正或归一化到相同条件下进行对比分析。

9.1.15 针对直接影响桥梁结构风险状态的关键特征指标，可分别在时间和空间维度进行变化速率或分布差异性分析：

- 1 特征指标在时间维度的变化速率分析，表达式如下：

$$V_t = \frac{\Delta C_t}{\Delta t} \quad (9.1.15-1)$$

式中： V_t —特征指标随时间的变化速率；

Δt —某一特定时间段；

ΔC_t —特征指标在时间段 Δt 内的变化值。

- 2 特征指标在空间维度的分布差异性分析，表达式如下：

$$V_l = \frac{\Delta C_l}{\Delta l} \quad (9.1.15-2)$$

式中： V_l —特征指标在空间维度的分布差异；

Δl —测点间的空间距离；

ΔC_l —特征指标在空间维度内的差异值。

- 3 宜进行上述分析的特征指标包括但不限于：

- 1) 大跨连续梁桥（或连续刚构桥）的主梁挠度；
- 2) 墩台、桥塔的倾斜度；
- 3) 缆索承重体系桥梁的拉索或吊杆索力；
- 4) 易发生倾覆破坏的独柱墩桥梁、弯桥、斜桥、基础易发生沉降的桥梁及存在负反力的大跨径桥梁的支座反力（或支座位移）；
- 5) 未设纵向限位装置（或墩顶固结、固定支座等）的大纵坡桥梁伸缩缝处梁端位移；
- 6) 地质灾害体的变形和位移等。

9.1.16 基于桥梁结构振动监测数据进行模态分析，宜参照下列规定：

- 1 应在环境激励下分析得到桥梁结构的固有自振特性，包括桥梁竖向、横向及纵向的低阶振动频率、振型和阻尼比等参数。
- 2 针对平稳信号频谱，宜采用基于离散傅立叶变换的频域分析方法，如频域分解法（FDD）等。
- 3 针对非平稳信号，宜采用时域分析方法，如特征系统实现法（ERA）、随机子空间（SSI）方法等。
- 4 采用特征系统实现方法（ERA）、随机子空间（SSI）方法等时域分析法进

行模态参数识别时，应根据振型协调性、频谱能量分布及稳态图等方式识别并剔除“虚假”模态。

5 模态分析时应考虑温度对自振频率的影响、风速对阻尼比的影响、振动幅值对自振频率和阻尼比的影响。

6 模态分析的结果可用于桥梁抗震和抗风专项分析、以及桥梁结构有限元模型修正或损伤识别。

9.1.17 桥梁涡振专项分析宜参照下列规定：

1 宜采用 10 min 加速度均方根值 S_a 和振动能量比因子 R 作为涡振风险事件判定的特征指标。 S_a 和 R 可按公式 (9.1.17-1) 和公式 (9.1.17-2) 计算：

$$S_a = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2} \quad (9.1.17-1)$$

式中： S_a —加速度均方根值，单位为 m/s^2 ；

a_i —主梁振动加速度，单位为 m/s^2 ；

N —10 min 加速度采样点数。

$$R = \frac{A_1}{A_2} \quad (9.1.17-2)$$

式中： A_1 —结构振动响应功率谱密度中最大幅值，单位为 m^2/s^3 ；

A_2 —结构振动响应功率谱密度中次大幅值，单位为 m^2/s^3 。

2 涡振风险事件发生后，宜在涡振全过程密切观测桥面 10 min 平均风速、风向、风攻角、湍流度、阵风因子等作用指标，分析其对主梁和缆索振动的 10 min 加速度均方根值和模态参数、主梁竖向及横向位移、塔顶或拱顶偏位及转角、主缆偏位、索力等结构响应指标的影响程度和发展趋势。

9.1.18 采用疲劳损伤指数法分析桥梁构件疲劳损伤风险时，宜参照下列规定：

1 采用雨流计数法计算疲劳损伤指数时，宜按以下步骤进行：

1) 基于车辆荷载监测的统计分析结果获取构件的荷载谱（应力谱），并选

取合适的荷载（应力）水平。

2) 确定与构件对应的 $S-N$ 曲线。

3) 对荷载（应力）循环进行计数，并计算损伤度。

2 根据 Miner 线性累积损伤准则，假设构件在某幅值应力水平作用下的疲劳寿命为 N_i ，则经过相应应力幅值 n_i 次循环后构件的损伤度指数 D 为：

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \quad (9.1.18)$$

3 根据表 9.1.18 的判断进行疲劳状态评估。

表 9.1.18 疲劳状态分级判据

D 值	构件状态	D 值	构件状态
$0 \sim 0.05$	完好状态	$0.45 \sim 0.80$	严重损伤状态
$0.05 \sim 0.20$	较好状态	> 0.80	危险状态
$0.20 \sim 0.45$	中等损伤状态	—	—

注：表中给出的疲劳状态分级未考虑腐蚀对疲劳寿命的影响，当发生腐蚀时应考虑腐蚀对钢构件疲劳寿命的不利影响。

9.1.19 基于桥址区地震动和结构响应监测数据进行桥梁抗震专项分析，宜参照下列规定：

1 宜基于桥址区实测地震动时程进行地震作用分析，得到实测地震加速度峰值、均方根值及反应谱，并与设计 E1 和 E2 地震的对应值进行对比分析。

2 宜基于桥址区实测地震动时程进行傅里叶频谱分析，并将分析结果与桥梁结构自振模态分析结果进行对比分析。

3 宜利用桥梁结构实测模态分析结果，对用于抗震分析的桥梁结构空间动力计算模型进行修正，使其正确反映桥梁结构的刚度和质量分布、阻尼特性及边界条件。

4 基于实测地震动时程进行桥梁结构地震反应分析可采用时程分析法、反应谱法或功率谱法，分析得到的梁端位移、墩柱倾斜度等最大值和残余量应与对应监测指标的实测值进行对比分析。

5 强震后桥梁结构的震损分析和性能评价宜重点关注下列指标：

1) 梁端位移（最大值和残余量）：基于实测地震动时程的反应分析结果或实测值，不宜大于支座容许滑动位移，不应使梁端至墩（台）帽或盖梁边缘的距离小于

《公路桥梁抗震性能评价细则》(JTG/T 2231-02-2021)第 4.4.1 条规定的最小支撑长度。

2) 墩顶位移或墩柱倾斜度(最大值和残余量): 基于实测地震动时程的反应分析结果或实测值, 不应大于《公路桥梁抗震性能评价细则》(JTG/T 2231-02-2021)第 5.7 节规定的墩顶容许位移或塑性铰区最大容许转角。

6 宜对震前和震后的桥梁结构模态参数变化进行对比分析。

9.1.20 基于桥址区风场和结构响应监测数据进行桥梁抗风专项分析, 宜参照下列规定:

1 宜基于桥址区实测数据对桥址区风场特征进行分析, 分析结果宜包括: 桥址区平均风速和平均风攻角、脉动风湍流积分尺度、阵风因子的相关性分析以及不同测点实测风速的互相关分析、同一测点实测风速的傅里叶谱分析、自相关分析。

2 当风场测点数量不足以分析风场特征时, 可通过已有测点的监测数据进行风场重构。

3 当遇强风突发事件时, 宜基于结构响应实测数据对主梁竖向和横向位移、塔顶偏位、塔(墩、柱)顶转角、主缆偏位、索力的时程响应峰值及残余量等特征指标进行统计分析和相关性分析。

4 当遇强风突发事件时, 宜对大跨桥梁结构主梁、斜拉索和吊杆(索)等易损构件进行风致结构振动分析, 最大振幅宜小于根据《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01-2018)第 8.2 节和 8.4 节计算的限值。

5 当遇强风突发事件时, 宜根据风场和结构响应监测数据, 基于风车桥耦合分析理论分析桥上车辆的行车安全性及舒适性。风振舒适度控制指标不宜高于《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01-2018)第 8.5 节规定的限值。风致行车安全性宜结合桥梁抗风风险区域类别、桥面风环境特征、通行车辆类别与车速及载荷状况等因素综合评估。

9.2 风险事件报警

9.2.1 当一个或多个特征指标达到或超过预设阈值时, 监测系统应自动判识并触发风险事件报警。报警等级依据风险程度由低至高可分为: 一级超限报警、二级超限报警

和三级超限报警。

9.2.2 各特征指标的阈值设置及其超限判据宜采用以下两种形式：

- 1 容许阈值：判断特征指标是否处于正常范围的单向阈值。
- 2 区间阈值：判断特征指标是否处于正常范围的双向阈值。

以上两种阈值判据的表达式及说明见表 9.2.2。

表 9.2.2 阈值判据的两种形式

序号	类别	表达式	阈值判据
1	容许阈值	$D < [D]$ 或 $D > [D]$	单向判据，表达式不满足时即判识为超限。参考特征指标与容许阈值之间的偏差程度，还可初步判断该项指标的风险程度或安全余度
2	区间阈值	$ D - P < P_d$ 或 $P_1 < D < P_2$	双向判据，表达式不满足时即判识为超限。参考特征指标超越阈值区间的偏差程度，还可初步判断该项指标的风险程度。
表注：D—特征指标；[D]—容许阈值； P—指标预期值； P_d —区间宽度值； P_1 —区间下限值； P_2 —区间上限值。			

9.2.3 特征指标的超限阈值可分为三级，不同的超限级别表征特征指标超出正常范围的程度，超限阈值的设定宜符合下列规定：

- 1 超限阈值宜结合桥梁养护检查、特殊事件应急管理等业务需求，根据特征指标的历史统计值、材料允许值、仿真计算值、设计值或规范容许值预先设定。
- 2 超限阈值可根据桥梁结构风险状态或结构技术状况的评定结果动态调整。

9.2.4 常见特征指标的超限阈值设定可参照表 9.2.4 的规定。

表 9.2.4 超限阈值设定表

监测类别	特征指标类别	判据类型	超限判据	超限级别	桥梁类型			
					悬索桥	斜拉桥	梁桥	拱桥
环境	最高温度、最低温度、最大温差	容许	$D \geq 1.0$ 倍设计值	一级	●	●	●	●
			$D \geq 1.2$ 倍设计值	二级	●	●	●	●

监测类别	特征指标类别	判据类型	超限判据	超限级别	桥梁类型			
					悬索桥	斜拉桥	梁桥	拱桥
	构件封闭空间内相对湿度	容许	$D \geq 50\%$	一级	●	●	●	●
	结冰	容许	出现结冰	一级	●	●	●	●
	降雨 (12h 内降雨量)	容许	$D \geq 50\text{mm}$	一级	●	●	●	●
	降雪 (12h 内降雪量)	容许	$D \geq 4\text{mm}$	一级	●	●	●	●
	大雾能见度	容许	$D \leq 200\text{m}$	一级	●	●	●	●
			$D \leq 50\text{m}$	二级	●	●	●	●
	水位	容许	$D \geq$ 设计最高通航水位	二级	●	●	●	●
			$D \geq$ 设计最高洪水位	三级	●	●	●	●
	泥位	容许	$D \geq$ 设计最高洪水位	三级	●	●	●	●
作用	车辆总重或轴重	容许	$D \geq 1.5$ 倍设计车辆荷载	一级	●	●	●	●
			$D \geq 2.0$ 倍设计车辆荷载	二级	●	●	●	●
	风速 (桥面 10 min 平均风速)	容许	$D \geq 25\text{m/s}$	一级	●	●	●	●
			$D \geq 0.8$ 倍桥面设计基准风速	二级	●	●	●	●
			$D \geq$ 桥面设计基准风速	三级	●	●	●	●
	混凝土、钢结构构件温度	容许	$D \geq$ 设计值	一级	●	●	●	●
	桥面铺装层温度	区间	$P_2=60^\circ\text{C}$, $P_1=-20^\circ\text{C}$ 或根据铺装体系材料力学性能随温度变化关系确定	一级	●	●	●	●
	船舶 (车辆) 撞击	容许	发生船撞或车撞事件	二级	●	●	●	●
	桥岸地表场地地震动加速度	容许	$D \geq$ 设计 E1 地震作用加速度峰值	二级	●	●	●	●
			$D \geq$ 设计 E2 地震作用加速度峰值	三级	●	●	●	●
结构响应	主梁竖向位移	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	●	●	●	●
			$D \geq$ 设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	●	●	●

监测类别	特征指标类别	判据类型	超限判据	超限级别	桥梁类型			
					悬索桥	斜拉桥	梁桥	拱桥
	主梁横向位移	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	●	●	—	●
			$D \geq$ 设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	●	—	●
	支座位移	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	●	●	●	●
			$D \geq$ 设计值	三级	●	●	●	●
	梁端纵向位移	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	●	●	●	●
			$D \geq$ 设计值	三级	●	●	●	●
	梁端转角 (μ 为近一年均值; σ 为标准差)	区间	$P_2 = \mu + 3\sigma, P_1 = \mu - 3\sigma$	一级	●	●	●	●
			$P_2 = \mu + 5\sigma, P_1 = \mu - 5\sigma$	二级	●	●	●	●
			$P_2 = \mu + 8\sigma, P_1 = \mu - 8\sigma$	三级	●	●	●	●
	墩(塔)倾斜度 (μ 为近一年均值; σ 为标准差)	区间	$P_2 = \mu + 3\sigma, P_1 = \mu - 3\sigma$	一级	●	●	●	●
			$P_2 = \mu + 5\sigma, P_1 = \mu - 5\sigma$	二级	●	●	●	●
			$P_2 = \mu + 8\sigma, P_1 = \mu - 8\sigma$	三级	●	●	●	●
	塔顶偏位	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	●	●	—	—
			$D \geq$ 设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	●	—	—
	主缆偏位	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	●	—	—	—
			$D \geq$ 设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	—	—	—
	梁桥高墩墩顶位移	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	—	—	●	—
			$D \geq$ 设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	—	—	●	—
	拱桥主拱拱顶位移	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	—	—	—	●
			$D \geq$ 设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	—	—	—	●
	主梁、索塔、主拱关键截面静应变	容许	$D \geq$ 历史最大值	一级	●	●	●	●
			$D \geq$ 设计最不利工况计算值	二级	●	●	●	●
	悬索桥吊索、	容许	$D \geq 0.95$ 倍设计值	二级	●	●	—	●

监测类别	特征指标类别	判据类型	超限判据	超限级别	桥梁类型			
					悬索桥	斜拉桥	梁桥	拱桥
	锚跨索股力、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)、系杆等索力		$D \geq$ 设计值或一个月内出现 10 次以上二级超限	三级	●	●	—	●
	支座反力	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计值	二级	●	●	●	●
			$D \geq$ 设计值	三级	●	●	●	●
	主梁振动加速度(10 min 加速度均方根)	容许	$D \geq 31.5 \text{ cm/s}^2$ 到且持续时间超过 30min	一级	●	●	●	●
			$D \geq 50 \text{ cm/s}^2$	二级	●	●	●	●
			幅值持续增大、呈现发散特征	三级	●	●	●	●
	悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)振动加速度(10 min 加速度均方根)	容许	$D \geq 100 \text{ cm/s}^2$	一级	●	●	—	●
			$D \geq 300 \text{ cm/s}^2$ 且频繁出现	二级	●	●	—	●
	基础冲刷	容许	$D \geq 0.7$ 倍设计冲刷深度	二级	●	●	●	●
			$D \geq$ 设计冲刷深度	三级	●	●	●	●
结构变化	锚碇位移($D1$ 为水平位移; $D2$ 为竖向位移)	容许	$D1 \geq 0.00005$ 倍主跨跨径或 $D2 \geq 0.0001$ 倍主跨跨径	二级	●	—	—	—
			$D1 \geq 0.0001$ 倍主跨跨径或 $D2 \geq 0.0002$ 倍主跨跨径	三级	●	—	—	—
	拱脚位移	容许	$D \geq 0.8$ 倍设计限值	二级	—	—	—	●
			$D \geq 1.0$ 倍设计限值	三级	—	—	—	●
	裂缝	容许	出现结构性裂缝	一级	●	●	●	●
			结构性裂缝宽度超过规范限值或发展加速	二级	●	●	●	●
	腐蚀深度	容许	$D \geq$ 保护层深度	二级	●	●	●	●
	体外预应力损失(%)	容许	$D \geq 5\%$	二级	—	●	●	—
			$D \geq 10\%$	三级	—	●	●	—
	断丝	容许	出现断丝	二级	●	●	—	●

监测类别	特征指标类别	判据类型	超限判据	超限级别	桥梁类型			
					悬索桥	斜拉桥	梁桥	拱桥
	螺栓状态	容许	断丝率达到 2%	三级	●	●	—	●
			个别螺栓轻微松动	一级	●	●	●	●
			部分螺栓松动	二级	●	●	●	●
			较多螺栓发生严重松动或少量脱落	三级	●	●	●	●
	索夹滑移	容许	索夹出现滑移	二级	●	—	—	—
			索夹滑移严重或较多数索夹出现滑移	三级	●	—	—	—
监测数据分析结果	钢结构疲劳	容许	疲劳损伤指数达到 0.1	一级	●	●	●	●
			出现较多疲劳裂缝或裂缝长度和宽度较大	二级	●	●	●	●
	塔顶/主缆/主拱偏位	容许	出现永久偏位	三级	●	●	—	●
	主梁下挠	容许	持续下挠	三级	●	●	●	●
	桥墩沉降 ($D1$ 为墩台均匀总沉降; $D2$ 为相邻墩台总沉降差值; L 为相邻墩台最小跨径, 单位为 m)	容许	$D1 \geq 20\sqrt{L}$ mm 或 $D2 \geq 10\sqrt{L}$ mm	三级	—	—	●	—
	索力基准值	区间	$P = \text{成桥索力}, P_d = 10\%P$	二级	●	●	—	●
			$P = \text{成桥索力}, P_d = 15\%P$	三级	●	●	—	●
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	区间	$P = \text{桥梁初始状态下的自振频率}, P_d = 3\%P$	二级	●	●	●	●
			$P = \text{桥梁初始状态下的自振频率}, P_d = 5\%P$	三级	●	●	●	●
特殊事件	主梁涡振 ($D1$ 为 10 min 振动加速度均方根值; $D2$ 为能量比因子)	容许	$D1 \geq 31.5 \text{ cm/s}^2$ 且 $D2 \geq 10$	一级	●	●	●	—
			$D1 \geq 50 \text{ cm/s}^2$ 且 $D2 \geq 10$	二级	●	●	●	—
			$D1 \geq 80 \text{ cm/s}^2$ 且 $D2 \geq 10$	三级	●	●	●	—

监测类别	特征指标类别	判据类型	超限判据	超限级别	桥梁类型			
					悬索桥	斜拉桥	梁桥	拱桥
	悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)风致振动最大振幅	容许	$D \geq \text{斜拉索、吊杆(索)长度的 } 1/1700$	三级	●	●	—	●
	强震下梁端位移(D1为最大值, D2为震后残余量)	容许	$D1 > \text{支座容许滑动位移}$	二级	●	●	●	●
		容许	$D2 \leq \text{梁端至墩(台)帽或盖梁边缘的最小支撑长度}$	三级	●	●	●	●
	强震下桥墩墩顶位移或墩柱倾斜度最大位移和残余量	容许	$D \geq \text{墩顶容许地震位移或塑性铰区最大容许地震转角}$	三级	—	—	●	—
桥址区边坡地表位移及变形	变形速率	区间	$3\text{mm/d} \leq D < 10\text{mm/d}$	一级	●	●	●	●
			$10\text{mm/d} \leq D < 20\text{mm/d}$	二级	●	●	●	●
		容许	$20\text{mm/d} \leq D$	三级	●	●	●	●
	改进切线角	区间	$45^\circ \leq D < 80^\circ$	一级	●	●	●	●
			$80^\circ \leq D < 85^\circ$	二级	●	●	●	●
		容许	$85^\circ \leq D$	三级	●	●	●	●

注: ●代表该桥型可设超限阈值; ①代表仅适用与大跨度钢桥; —代表该桥型无须设置超限阈值。

条文说明

a) 本条在《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T1037-2022)第11.3.3条的基础上增加了超限判据类型的规定,补充了降雨、降雪、大雾能见度等环境特征指标,梁端转角、墩(塔)倾斜度等结构响应特征指标,以及边坡地表变位的变形速率、改进切线角等桥址区地质灾害特征指标的超限阈值。

b) 表中“设计值”参考了《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)、《公路悬索桥设计规范》(JTG/TD65-05)、《公路斜拉桥设计规范》(JTG/T 3365-01)、《公路钢管混凝土拱桥设计规范》(JTG/TD65-06)、《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01)的相关规定。锚碇位移阈值参考了《公路悬索桥设计规范》(JTG/TD65-05)的相关规定。裂缝阈值参考《公

路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）、《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）的相关规定。

c) 构件封闭空间为主梁内，悬索桥主缆、锚室和鞍罩内，斜拉桥索塔和索塔锚固区内，拱桥主拱内封闭空间。

d) 桥梁涡振阈值选取主梁竖向加速度均方根值和能量比因子作为特征指标，阈值取值的原则依据已有桥梁发生涡振的加速度均方根值统计规律以及《人体承受全身振动的评定标准 第 1 部分：一般要求》（ISO 2631-1）舒适性标准制定。超限一级、二级和三级阈值分别取为 31.5cm/s^2 、 50cm/s^2 和 80cm/s^2 ，分别对应《人体承受全身振动的评定标准 第 1 部分：一般要求》（ISO 2631-1）中的“稍有不舒适”、“比较不舒适”和“不舒适”的下限。

9.2.5 表 9.2.4 中监测类别为环境、作用及特殊事件的特征指标超限触发的风险事件报警与桥梁交通运行安全密切相关。监测系统触发此类交通安全风险事件报警后，桥梁经营管理单位宜协同交警部门进行交通管控。具体管控措施建议可参照下列规定：

- 1 桥面结冰、降雨量或降雪量超限报警时，宜进行车辆限速限流管制。
- 2 大雾能见度超一级阈值报警时，宜进行车辆限速管控；大雾能见度超二级阈值报警时，宜封闭桥梁。
- 3 桥面风速超一级阈值报警时，宜封闭桥梁。
- 4 主梁涡振超一级阈值报警时，宜提醒相关人员持续加强关注；主梁涡振超二级阈值报警时，宜采取车辆限速等管控；主梁涡振超三级阈值报警时，宜封闭桥梁。
- 5 地震动加速度超三级阈值报警时，宜封闭桥梁。

9.2.6 与 9.2.5 条相关的报警快讯应以监测系统即时发送的语音电话、微信、短信、及系统内部广播等方式发布，直至桥梁经营管理单位的相关责任人接到报警快讯并反馈后停止。报警快讯内容应包含：桥梁名称、报警级别、报警时间、超限的特征指标及管控措施建议等信息。

9.2.7 桥梁经营管理单位的相关责任人接到交通安全风险事件报警后的应急响应

流程宜参照图 9.2.7 执行。

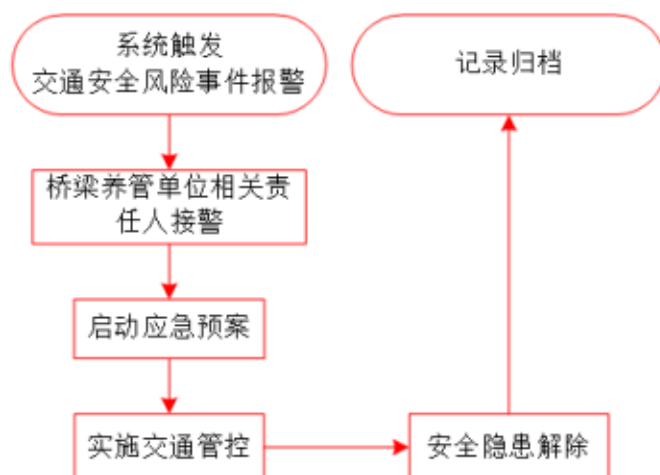


图 9.2.7 桥梁交通安全风险事件报警响应流程图

9.2.8 风险事件报警记录应由监测系统长期保存备查，记录内容宜包括：事件编号、触发时间、报警级别、桥梁名称及编号、超限的特征指标及编号、当时的报警阈值等。

9.3 风险状态预警

9.3.1 除 9.2.5 条规定的环境、作用及特殊事件之外，桥梁结构响应、结构变化、地质灾害、以及由其衍生的其它特征指标如超限触发风险事件报警，则应启动流程评定与之相关联的桥梁结构安全风险状态是否发生不可逆的劣化。

条文说明

桥梁结构风险事件和风险状态是本指南新提出的工程概念。当某项监测特征指标超越阈值时即触发一次风险事件，引发系统自动报警，但触发风险事件并不一定代表桥梁结构风险状态已经发生异变。举例说明：超载车辆过桥时，因主梁动应变或动挠度超越阈值触发风险事件，但事后如主梁既无残余变形也未产生结构性裂缝，则养管单位宜提高警惕但暂无须采取措施。当且仅当风险事件反复触发，“量变”累积并转化为“质变”，主梁技术状况状态不断劣化，结构风险水平明显提升时，才应向养管单位发布结构风险状态预警信号，采取针对性的应急响应或维修处置措施。

“结构风险事件”由特征指标超越阈值直接触发，“风险事件报警”等级与《JT/T 1037-2022》11.3 节中“超限级别”级别一一对应，相关规定详见本标准第 9.2 节。风险

事件触发后，监测系统即时启动“结构风险状态”等级的评定流程，按照预设规则链判断风险状态是否升级，并据此确定是否发布“风险状态预警”，指引桥梁运营期间的应急响应处置。

9.3.2 根据桥梁结构监测项目的物理意义及其表征的结构特性，可将其对应的特征指标分为Ⅰ类——结构微观特征指标和Ⅱ类——结构宏观特征指标。特征指标分类宜参照表 9.3.2 的规定。

表 9.3.2 特征指标分类

监测类别	监测项目/特征指标	特征指标分类
结构响应	位移（准静态、动态）	Ⅱ
	挠度或变形（准静态、动态）	Ⅱ
	转角	Ⅱ
	应变	Ⅰ
	构件内力/索力/支座反力	Ⅱ
	振动加速度/速度	Ⅱ
结构变化	（基础）冲刷深度	Ⅱ
	静态位移	Ⅱ
	结构裂缝	Ⅰ
	氯离子浓度	Ⅰ
	氯离子侵蚀深度	Ⅰ
	体外预应力	Ⅱ
	拉索断丝	Ⅰ
	（螺栓）紧固力	Ⅰ
	（螺栓）松动/滑脱/断裂	Ⅰ
	（索夹）滑移	Ⅱ
桥址区边坡 地表位移及 变形	剔除环境影响的桥梁频率变化	Ⅱ
	地表位移	Ⅱ
	地表倾斜度	Ⅱ
	地表裂缝宽度	Ⅱ
	地层间相对位移	Ⅱ
	变形速率	Ⅱ
	改进切线角	Ⅱ

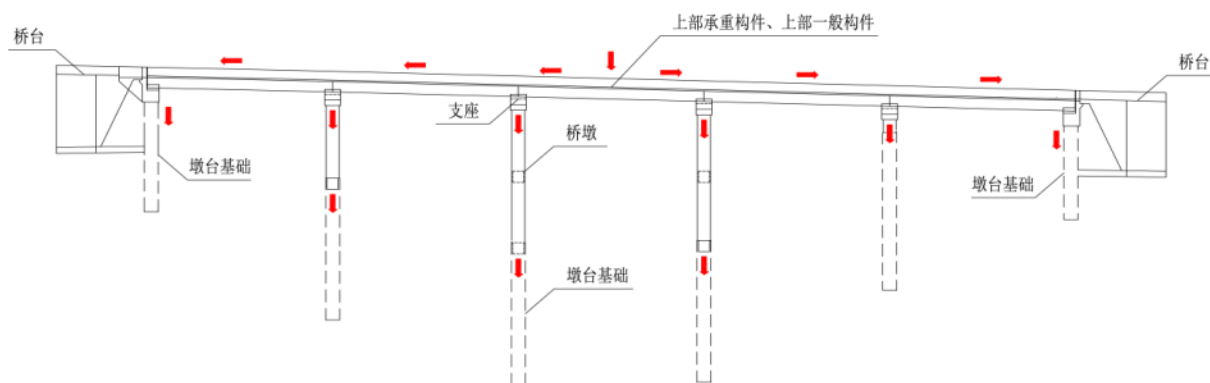
9.3.3 根据恒载及汽车活载作用下不同桥梁结构类型的承重构件在传力路径中的重要性程度由低到高, 可将桥梁构件分为 A 类构件、B 类构件、C 类构件、D 类构件。不同桥梁结构型式下的承重构件分类宜符合表 9.3.3 的规定。

表 9.3.3 不同桥梁结构类型中承重构件的分类

桥梁结构类型	构件类别	构件对象
简支梁桥、连续梁桥	A 类构件	上部承重构件、上部一般构件、支座
	B 类构件	桥墩(台)
	C 类构件	墩台基础
	D 类构件	/
连续刚构(T 构)梁桥	A 类构件	主梁节段、上部一般构件、支座
	B 类构件	交界墩
	C 类构件	主墩、交界墩基础
	D 类构件	主墩基础
板拱桥、肋拱桥、箱形拱桥、双曲拱桥	A 类构件	桥面板、支座
	B 类构件	拱上结构、桥台及其基础
	C 类构件	主拱圈
	D 类构件	拱座及其基础
刚架拱桥、桁架拱桥	A 类构件	桥面板、支座
	B 类构件	桥台及其基础
	C 类构件	刚架拱片(桁架拱片)
	D 类构件	拱座及其基础
钢-混凝土组合拱桥	A 类构件	桥面板(梁)、支座
	B 类构件	立柱或吊杆、交界墩(台)及其基础
	C 类构件	拱肋
	D 类构件	系杆、拱座及其基础
斜拉桥	A 类构件	主梁节段、支座
	B 类构件	斜拉索、辅助墩、交界墩(台)
	C 类构件	索塔、交界墩(台)基础
	D 类构件	索塔基础
悬索桥	A 类构件	加劲梁节段、支座、吊索及索夹
	B 类构件	主缆
	C 类构件	索塔
	D 类构件	索塔基础、锚碇

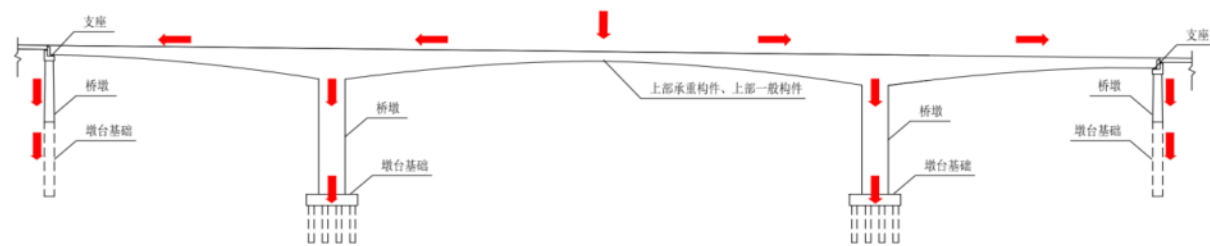
条文说明:

恒载及汽车活载作用下不同桥梁结构类型的主要传力路径图示如下图所示:



传力路径: 荷载 → 上部承重构件、上部一般构件 (A) → 支座 (A) → 桥墩或桥台 (B) → 墩台基础 (C)

图 9.3.3-1 恒载及汽车活载作用下简支梁桥、连续梁桥传力路径图示



传力路径: 荷载 → 上部承重构件、上部一般构件 (A) → 支座 (A) → 交界墩 (B) → 墩台基础 (C) → 主墩 (C) → 墩台基础 (D)

图 9.3.3-2 恒载及汽车活载作用下连续刚构(T 构)梁桥传力路径图示

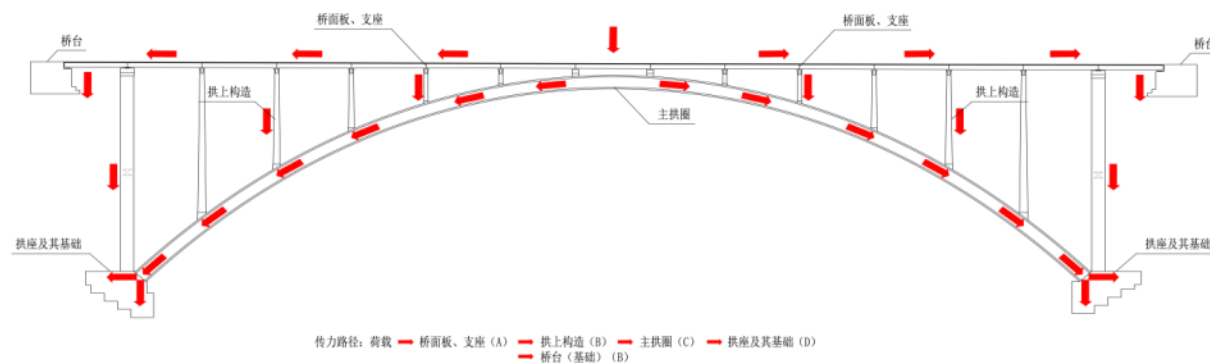


图 9.3.3-3 恒载及汽车活载作用下板拱桥、肋拱桥、箱形拱桥、双曲拱桥传力路径图示

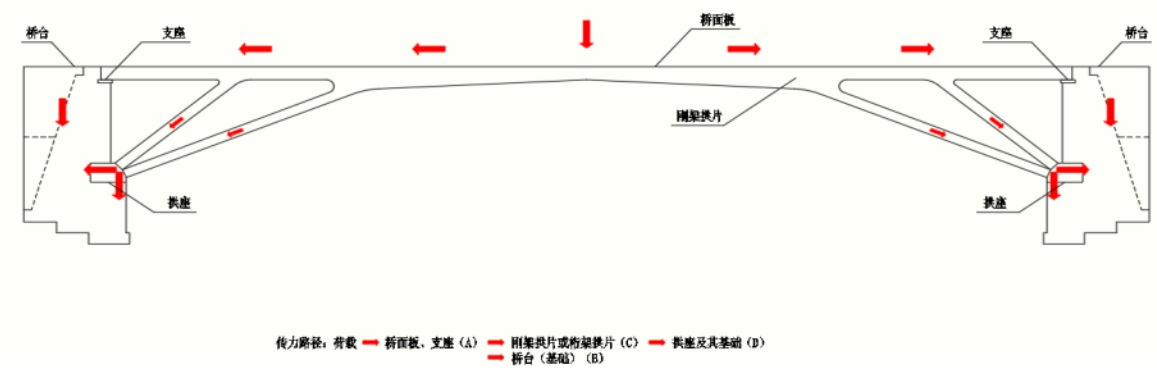


图 9.3.3-4 恒载及汽车活载作用下刚架拱桥、桁架拱桥的传力路径图示

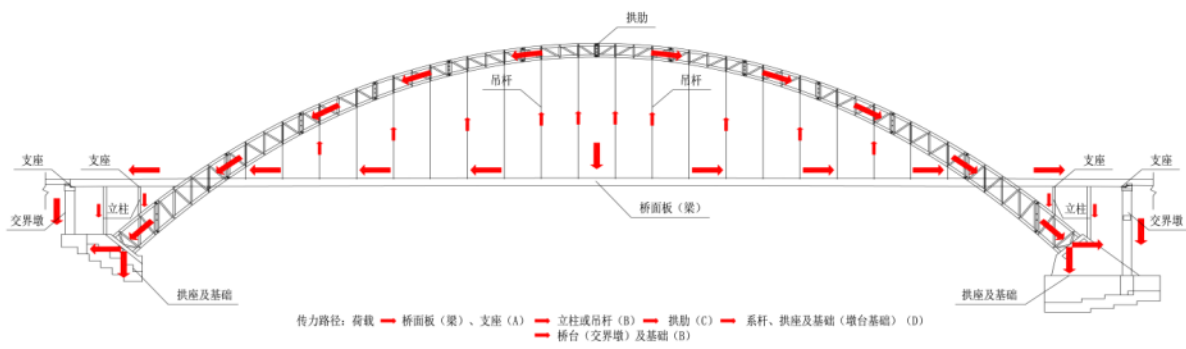


图 9.3.3-5 恒载及汽车活载作用下钢-混凝土组合拱桥的传力路径图示

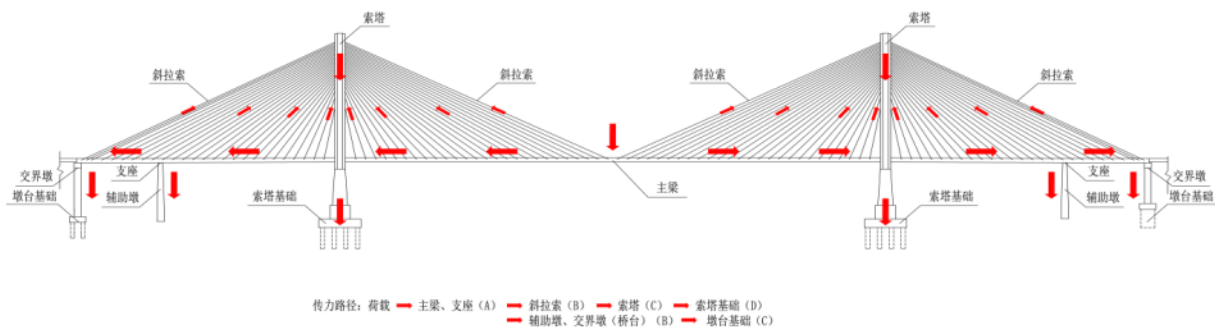


图 9.3.3-6 恒载及汽车活载作用下斜拉桥的传力路径图示

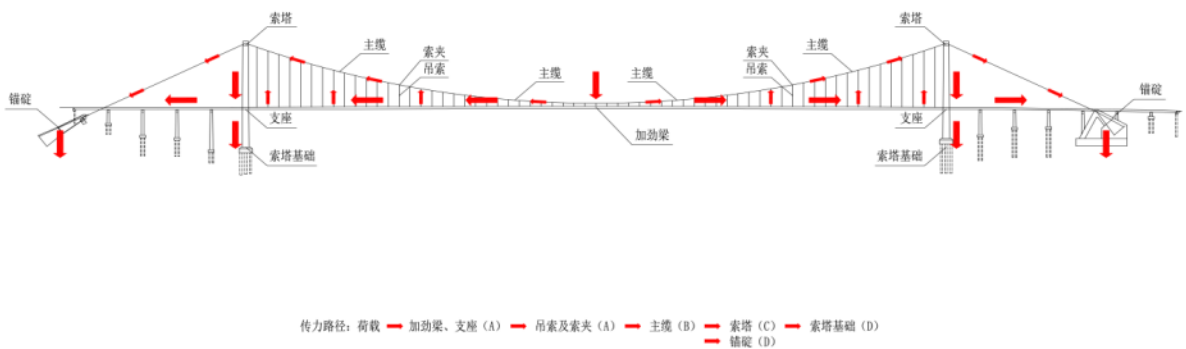


图 9.3.3-7 恒载及汽车活载作用下悬索桥的传力路径图示

9.3.4 根据桥梁结构安全耐久的参数敏感性分析和结构易损性分析结果，宜按照以下映射规则建立各特征指标与桥梁构件、部件、部位及整体结构之间的关联关系：

- 1 I 类特征指标：应就近映射至其测点所在原位构件。
- 2 测点位于 A 类构件的 II 类特征指标：宜映射至其测点所在原位构件及其临近的同类构件。
- 3 测点位于 B 类构件的 II 类特征指标：除应映射至其测点所在原位构件外，还可向上映射至由该类构件组成的部件，以表征该部件的结构状态。
- 4 测点位于 C 类构件的 II 类特征指标：除应按照第 3 款建立映射关系外，还可进一步向上映射至桥梁上部结构、下部结构和桥面系等部位，以表征该部位的结构状态。
- 5 测点位于 D 类构件的 II 类特征指标：除应按照第 4 款建立映射关系外，还可映射至桥梁整体结构以表征全桥的结构状态。
- 6 表征桥址区边坡地灾风险的特征指标、以及通过专项分析得到的其他特征指标，可根据其具体物理含义映射至工作分解结构的对应层级。

条文说明

《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T1037-2022）第 11.6.2 条将桥梁结构健康度评估参数分为两类，一类是“构件健康度表征评估参数”，另一类是“结构整体健康度表征评估参数”。本指南的“特征指标”与上述“评估参数”含义近似相同，但将其表征对象由构件和结构整体两级，进一步拓展至构件、部件、部位和整体结构四级。

另一方面，本指南中特征指标与桥梁构件、部件、部位和整体结构之间是多重映射关系。举例说明：1）布设在某构件上的应变或裂缝宽度等特征指标，为 I 类特征指标，仅与测点所在构件关联，表征该构件的局部受力或损伤状态；2）某悬索桥主梁跨中挠度、主塔偏位或锚碇位移等特征指标，在与测点所在构件关联的同时，还可分别与临近构件、部件、部位和全桥等结构整体存在多重关联关系。

9.3.5 梁式桥的特征指标与工作分解结构的映射关系宜符合表 9.3.5-1 和表 9.3.5-2 的规定。

表 9.3.5-1 简支梁桥、连续梁桥特征指标映射关系

监测类别	监测内容	特征指标	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射关系说明
					构件	部件	部位	整体	
结构响应	主梁竖向准静态位移	关键截面静挠度	II	A	√				构件：测点所在主梁构件及相邻主梁构件、横隔板和湿接缝等一般构件
	主梁动挠度	关键截面动挠度	II	A	√				构件：测点所在主梁构件及相邻主梁构件、横隔板和湿接缝等一般构件
	支座位移	支座顺桥向、横桥向位移	II	A	√				构件：测点所在支座、支座所在桥墩（台）基础
	梁端纵向位移	梁端纵向位移	II	A	√				构件：测点临近支座、伸缩缝、支座所在桥墩（台）基础；
	高墩墩顶变位	高墩墩顶位移或转角	II	B	√	√			构件：测点所在桥墩 部件：桥墩
	主梁准静态应变	主梁关键截面准静态应变	I	A	√				构件：测点所在主梁构件
	主梁动应变	主梁关键截面动应变	I	A	√				构件：测点所在主梁构件
	支座反力	支座反力	II	A	√				构件：测点所在支座、相邻主梁构件
	主梁振动	主梁竖向、横向、纵向振动加速度	II	A	√				构件：测点所在主梁构件及相邻主梁构件、横隔板和湿接缝等一般构件
	墩顶振动	桥墩顶部纵向及横向加速度	II	B	√	√			构件：测点所在桥墩 部件：桥墩
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度	II	C	√	√	√		构件：测点所在桥墩（台）基础 部件：墩台基础 部位：下部结构
	裂缝	混凝土结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		钢结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	桥台变位	桥台偏位或桥台转角	II	B	√	√			构件：测点所在桥台 部件：桥台

监测类别	监测内容	特征指标	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射关系说明
					构件	部件	部位	整体	
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	I	B	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	I	B	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
	预应力	体外预应力	II	A	√				构件：测点所在体外预应力束
	螺栓状态	高强螺栓紧固力	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		螺栓滑脱	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	桥梁竖向、横向、纵向频率变化 ^a	II	/				√	整体：结构整体
注 1：表中“Ⅰ”表示结构微观特征指标；“Ⅱ”表示结构宏观特征指标。									
注 2：“√”表示结构特征指标应同时映射至对应的桥梁分解结构层级，如“高墩墩顶位移或转角”宜分别映射至桥梁构件、部件层级。									
^a 桥梁竖向、横向、纵向频率变化通常是由上部承重构件加速度数据通过专项分析得到，其为表征桥梁结构整体刚度或质量变化的结构宏观指标，根据其物理含义应直接映射至桥梁结构整体。									

表 9.3.5-2 连续刚构（T 构）桥特征指标映射关系

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
结构响应	主梁竖向准静态位移	关键截面静挠度	II	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	主梁动挠度	关键截面动挠度	II	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	支座位移	支座纵向、横向位移	II	A	√				构件：测点所在支座、支座所在桥墩（台）基础
	梁端纵向位移	梁端纵向位移	II	A	√				构件：测点临近支座、伸缩缝、支座所在桥墩（台）基础
	高墩墩顶变位	主墩墩顶位移或转角	II	C	√	√	√		构件：测点所在主墩 部件：桥墩 部位：下部结构
		交界墩墩顶位移或转角	II	B	√	√			构件：测点所在墩 部件：桥墩

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
	主梁准静态应变	主梁关键截面静应变	I	A	√				构件：测点所在主梁节段
	主梁动应变	主梁关键截面动应变	I	A	√				构件：测点所在主梁节段
	支座反力	支座反力	II	A	√				构件：测点所在支座、相邻主梁节段
	主梁振动	主梁竖向、横向、纵向振动加速度	II	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	墩顶振动	主墩墩顶振动	II	C	√	√	√		构件：测点所在主墩 部件：桥墩 部位：下部结构
		交界墩墩顶振动	II	B	√	√			构件：测点所在桥墩 部件：桥墩
结构变化	基础冲刷	主墩基础冲刷深度	II	D	√	√	√	√	构件：测点所在主墩基础 部件：墩台基础 部位：下部结构
		交界墩（台）基础冲刷深度	II	C	√	√	√		构件：测点所在交界墩（台）基础 部件：墩台基础 部位：下部结构
	裂缝	混凝土结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		钢结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	桥台变位	桥台偏位或桥台转角	II	B	√	√			构件：测点所在桥台 部件：桥台
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	I	A	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	I	A	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
	预应力	体外预应力	II	A	√				构件：测点所在体外预应力束
	螺栓状态	高强螺栓紧固力	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		螺栓滑脱	I	A	√				构件：测点所在原位构件

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	竖向、横向、纵向频率变化 ^a	II	/				√	整体：结构整体
注 1：表中“T”表示结构微观特征指标；“II”表示结构宏观特征指标。 注 2：“√”表示结构特征指标分别映射至对应的桥梁分解结构层级，如“主墩基础冲刷深度”宜分别映射至桥梁构件、部件、部位、结构整体。 ^a 桥梁竖向、横向、纵向频率变化通常是由上部承重构件加速度数据通过专项分析得到，其为表征桥梁结构整体刚度或质量变化的结构宏观指标，但根据其物理含义应直接映射至桥梁结构整体。									

9.3.6 拱式桥的特征指标与其工作分解结构的映射关系宜符合表 9.3.6-1、表 9.3.6-2 和表 9.3.6-3 的规定。

表 9.3.6-1 板拱桥、肋拱桥、箱形拱桥、双曲拱桥特征指标映射关系

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
结构响应	主梁静挠度	梁板关键截面静挠度	II	A	√				构件：测点所在梁板及相邻梁板
	主梁横向位移（准静态位移）	梁板关键截面横向位移	II	A	√				构件：测点所在梁板及相邻梁板
	主梁竖向位移（动挠度）	梁板动挠度	II	A	√				构件：测点所在梁板及相邻梁板
	支座位移	支座纵向、横向位移	II	A	√				构件：测点所在支座、支座所在拱上立柱或桥墩（台）基础
	梁端纵向位移	梁端纵向位移	II	A	√				构件：测点临近支座、伸缩缝、支座所在拱上立柱或桥墩（台）基础
	主拱偏位	主拱位移或主拱转角	II	C	√	√	√		构件：测点所在主拱圈构件 部件：主拱圈 部位：上部结构

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
	墩顶转角	交界墩（台）墩顶转角	II	B	√	√			构件：测点所在交界墩（台） 部件：桥墩（台）
		拱上立柱墩顶转角	II	B	√	√			构件：测点所在拱上立柱 部件：拱上结构
	主梁准静态应变	主梁关键截面静应变	I	A	√				构件：测点所在梁板
	主梁动应变	主梁关键截面动应变	I	A	√				构件：测点所在梁板
	主拱关键截面应变	主拱关键截面应变	I	C	√				构件：测点所在主拱圈构件
	支座反力	支座反力	II	A	√				构件：测点所在支座、支座所在拱上立柱或桥墩（台）基础
	振动	主梁竖向、横向、纵向振动加速度	II	A	√				构件：测点所在梁板及相邻梁板
		主拱振动加速度	II	C	√	√	√		构件：测点所在主拱圈构件 部件：主拱圈 部位：上部结构
结构变化	裂缝	混凝土结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		钢结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	基础冲刷	拱座基础冲刷深度	II	D	√	√	√	√	构件：测点所在拱座基础 部件：墩台基础 部位：下部结构 整体：结构整体
		桥台（交界墩）基础冲刷深度	II	B	√	√			构件：测点所在桥台（交界墩）基础 部件：墩台基础
	桥台变位	桥台位移或桥台转角	II	B	√	√			构件：测点所在桥台 部件：桥台
	拱脚位移	拱脚竖向、横向、纵向位移	II	D	√	√	√	√	构件：测点所在拱座基础 部件：墩台基础 部位：下部结构 整体：结构整体

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	I	A	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	I	A	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
	螺栓紧固力	高强螺栓紧固力	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		螺栓滑脱	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	竖向、横向、纵向频率变化 ^a	II	/				√	整体：结构整体
注 1：表中“I”表示结构微观特征指标；“II”表示结构宏观特征指标。 注 2：“√”表示结构特征指标同时映射至对应的桥梁分解结构层级，如“拱脚竖向、横向、纵向位移”宜分别映射至桥梁构件、部件、部位、结构整体。									
^a 桥梁竖向、横向、纵向频率变化通常是由主拱圈加速度数据通过专项分析得到，其为表征桥梁结构整体刚度或质量变化的结构宏观指标，根据其物理含义应直接映射至桥梁结构整体。									

表 9.3.6-2 刚架拱桥、桁架拱桥特征指标映射关系

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
结构响应	梁端纵向位移	梁端纵向位移	II	A	√				构件：测点临近伸缩缝及桥墩（台）基础
	主拱偏位	主拱位移或主拱转角	II	C	√	√	√		构件：测点所在刚架拱片（桁架拱片） 部件：刚架拱片（桁架拱片） 部位：上部结构
	墩顶转角	交界墩（台）墩顶转角	II	B	√	√			构件：测点所在交界墩（台） 部件：桥墩（台）
	主拱关键截面应变	主拱关键截面应变	I	C	√				构件：测点所在主拱构件
	振动	刚架拱片（桁架拱片）振动加速度	II	C	√	√	√		构件：测点所在刚架拱片（桁架拱片） 部件：刚架拱片（桁架拱片） 部位：上部结构

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
结构变化	裂缝	混凝土结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		钢结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	基础冲刷	拱座基础冲刷深度	II	D	√	√	√	√	构件：测点所在拱座基础 部件：墩台基础 部位：下部结构 整体：结构整体
		桥台（交界墩）基础冲刷深度	II	B	√	√			构件：测点所在桥台（交界墩）基础 部件：墩台基础
	桥台变位	桥台位移为桥台转角	II	B	√	√			构件：测点所在桥台 部件：桥台
	拱脚位移	拱脚竖向、横向、纵向位移	II	D	√	√	√	√	构件：测点所在拱座基础 部件：墩台基础 部位：下部结构 整体：结构整体
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	I	A	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	I	A	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
	螺栓紧固力	高强螺栓紧固力	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		螺栓滑脱	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化 ^a	竖向、横向、纵向频率变化	II	/				√	整体：结构整体

注 1：表中“I”表示结构微观特征指标；“II”表示结构宏观特征指标。

注 2：“√”表示结构特征指标同时映射至对应的桥梁分解结构层级，如“拱脚竖向、横向、纵向位移”宜分别映射至桥梁构件、部件、部位、结构整体。

^a 桥梁竖向、横向、纵向频率变化通常是由刚架拱片或桁架拱片加速度数据通过专项分析得到，其为表征桥梁结构整体刚度或质量变化的结构宏观指标，但根据其物理含义应直接映射至桥梁结构整体。

表 9.3.6-3 钢-混凝土组合拱桥特征指标映射关系

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
结构响应	主梁竖向准静态位移	关键截面静挠度	II	A	√				构件：测点所在梁段及相邻梁段
	主梁横向准静态位移	梁板关键截面横向位移	II	A	√				构件：测点所在梁段及相邻梁段
	主梁动挠度	关键截面动挠度	II	A	√				构件：测点所在梁段及相邻梁段
	支座位移	支座纵向、横向位移	II	A	√				构件：测点所在支座、支座所在桥墩（台）基础
	梁端纵向位移	梁端纵向位移	II	A	√				构件：测点临近支座、伸缩缝、支座所在桥墩（台）基础
	主拱偏位	主拱位移或主拱转角	II	C	√	√	√		构件：测点所在拱肋 部件：拱肋 部位：上部结构
	墩顶转角	交界墩（台）顶转角	II	B	√	√			构件：测点所在交界墩（台） 部件：桥墩（台）
		拱上立柱墩顶转角	II	B	√	√			构件：测点所在拱上立柱 部件：立柱
	主梁准静态应变	主梁关键截面静应变	I	A	√				构件：测点所在梁段
	主梁动应变	主梁关键截面动应变	I	A	√				构件：测点所在梁段
	主拱关键截面应变	主拱关键截面应变	I	C	√				构件：测点所在主拱构件
	吊杆（索）力	吊杆（索）力	II	B	√	√			构件：测点所在吊杆 部件：吊杆
	系杆力	系杆力	II	D	√	√	√	√	构件：测点所在系杆 部件：系杆（含锚具） 部位：上部结构 整体：结构整体
	支座反力	支座反力	II	A	√				构件：测点所在支座、支座所在桥墩（台）基础
	振动	主梁竖向、横向、纵向振动加速度	II	A	√				构件：测点所在梁段及相邻梁段

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
		主拱振动加速度	II	C	√	√	√		构件: 测点所在拱肋 部件: 拱肋 部位: 上部结构
		吊杆(索)振动加速度	II	B	√	√			构件: 测点所在吊杆 部件: 吊杆
结构变化	裂缝	混凝土结构裂缝	I	A	√				构件: 测点所在原位构件
		钢结构裂缝	I	A	√				构件: 测点所在原位构件
	基础冲刷	拱座基础冲刷深度	II	D	√	√	√	√	构件: 测点所在拱座基础 部件: 墩台基础 部位: 下部结构 整体: 结构整体
		桥台(交界墩)基础冲刷深度	II	B	√	√			构件: 测点所在桥台(交界墩)基础 部件: 墩台基础
	桥台变位	桥台位移或桥台转角	II	B	√	√			构件: 测点所在桥台 部件: 桥台
	拱脚位移	拱脚竖向、横向、纵向位移	II	D	√	√	√	√	构件: 测点所在拱座基础 部件: 墩台基础 部位: 下部结构 整体: 结构整体
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	I	A	√				构件: 测点所在桥墩墩身、承台
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	I	A	√				构件: 测点所在桥墩墩身、承台
	断丝	吊杆(索)断丝	I	B	√				构件: 测点所在吊杆(索)
		系杆断丝	I	D	√				构件: 测点所在系杆
	螺栓紧固力	高强螺栓紧固力	I	A	√				构件: 测点所在原位构件
		螺栓滑脱	I	A	√				构件: 测点所在原位构件
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	竖向、横向、纵向频率变化 ^a	II	/				√	整体: 结构整体

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
注 1：表中“Ⅰ”表示结构微观特征指标；“Ⅱ”表示结构宏观特征指标。									
注 2：“√”表示结构特征指标同时映射至对应的桥梁分解结构层级，如“拱脚竖向、横向、纵向位移”宜分别映射至桥梁构件、部件、部位、结构整体。									
a 桥梁竖向、横向、纵向频率变化通常是由拱肋加速度数据通过专项分析得到，其为表征桥梁结构整体刚度或质量变化的结构宏观指标，根据其物理含义应直接映射至桥梁结构整体。									

9.3.7 斜拉桥的特征指标与其工作分解结构的映射关系应符合表 9.3.7 的规定。

表 9.3.7 斜拉桥特征指标映射关系

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
结构响应	主梁竖向准静态位移	关键截面静挠度	Ⅱ	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	主梁横向准静态位移	关键截面横向准静态位移	Ⅱ	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	主梁动挠度	关键截面动挠度	Ⅱ	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	支座位移	支座纵向、横向位移	Ⅱ	A	√				构件：测点所在支座、支座所在索塔基础、桥墩（台）基础
	梁端纵向位移	梁端纵向位移	Ⅱ	A	√				构件：测点临近支座、伸缩缝、支座所在桥墩（台）基础
	塔顶偏位	塔顶偏位或塔顶转角	Ⅱ	C	√	√	√		构件：索塔 部件：索塔 部位：上部结构
	墩顶转角	交界墩、辅助墩（台）墩顶转角	Ⅱ	B	√	√			构件：测点所在交界墩、辅助墩（台） 部件：桥墩
	梁端转角	梁端水平、竖向转角	Ⅱ	A	√				构件：测点所在节段、临近支座、伸缩缝
	主梁准静态应变	主梁关键截面静应变	I	A	√				构件：测点所在节段

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
	主梁动应变	主梁关键截面动应变	I	A	√				构件：测点所在节段
	索塔关键截面应变	索塔关键截面应变	I	C	√				构件：索塔
	索力	斜拉索索力	II	B	√	√			构件：测点所在斜拉索 部件：斜拉索系统
	支座反力	支座反力	II	A	√				构件：测点所在支座、相邻主梁节段、相邻斜拉索
	振动	主梁竖向、横向、纵向振动加速度	II	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
		塔顶水平双向振动加速度	II	C	√	√	√		构件：测点所在索塔 部件：索塔 部位：上部结构
		斜拉索振动加速度	II	B	√	√			构件：测点所在斜拉索 部件：斜拉索系统
结构变化	裂缝	混凝土结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		钢结构裂缝	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	基础冲刷	辅助墩、交界墩（台）基础冲刷深度	II	C	√	√	√		构件：测点所在辅助墩、交界墩（台）基础 部件：墩台基础 部位：下部结构
		索塔基础冲刷深度	II	D	√	√	√	√	构件：测点所在索塔基础 部件：墩台基础 部位：下部结构 整体：结构整体
	桥台变位	桥台偏位或桥台转角	II	B	√	√			构件：测点所在桥台 部件：桥台
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	I	A	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台

监测类别	监测内容	特征指标类别	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
		墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	I	A	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
	断丝	斜拉索断丝	I	B	√				构件：测点所在斜拉索
	螺栓状态	高强螺栓紧固力	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		螺栓滑脱	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	竖向、横向、纵向频率变化 ^a	II	/				√	整体：结构整体
注 1：表中“I”表示结构微观特征指标；“II”表示结构宏观特征指标。 注 2：“√”表示结构特征指标同时映射至对应的桥梁分解结构层级，如“塔顶偏位或塔顶转角”宜分别映射至桥梁构件、部件、部位。 ^a 桥梁竖向、横向、纵向频率变化通常是由主梁加速度数据通过专项分析得到，其为表征桥梁结构整体刚度或质量变化的结构宏观指标，根据其物理含义应直接映射至桥梁结构整体。									

9.3.8 悬索桥的特征指标与其工作分解结构的映射关系宜符合表 9.3.8 的规定。

表 9.3.8 悬索桥特征指标映射关系

监测类别	监测内容	特征指标	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
结构响应	主梁竖向准静态位移	关键截面静挠度	II	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	主梁横向准静态位移	关键截面横向准静态位移	II	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	主梁动挠度	关键截面动挠度	II	A	√				构件：测点所在节段及相邻节段
	支座位移	支座纵向、横向位移	II	A	√				构件：测点所在支座、支座所在桥墩（台）基础
	梁端纵向位移	梁端纵向位移	II	A	√				构件：测点临近支座、伸缩缝、支座所在桥墩（台）基础
	塔顶偏位	塔顶偏位或塔顶转角	II	C	√	√	√		构件：索塔 部件：索塔 部位：上部结构

监测类别	监测内容	特征指标	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
	主缆偏位	主缆偏位	II	B	√	√			构件: 同侧主缆 部件: 主缆
	梁端转角	梁端水平、竖向转角	II	A	√				构件: 测点所在节段、临近支座、伸缩缝
	主梁准静态应变	主梁关键截面静应变	I	A	√				构件: 测点所在节段
	主梁动应变	主梁关键截面动应变	I	A	√				构件: 测点所在节段
	索塔关键截面应变	索塔关键截面应变	I	C	√				构件: 索塔
	索力	吊索索力	II	A	√				构件: 测点所在吊索及相邻吊索
		锚跨索股力	II	B	√	√			构件: 同侧主缆 部件: 主缆
	支座反力	支座反力	II	A	√				构件: 测点所在支座、相邻加劲梁节段、相邻吊索
	振动	主梁竖向、横向、纵向振动加速度	II	A	√				构件: 测点所在节段及相邻节段
		塔顶水平双向振动加速度	II	C	√	√	√		构件: 测点所在索塔 部件: 索塔 部位: 上部结构
		吊索振动加速度	II	A	√				构件: 测点所在吊索及相邻吊索
结构变化	裂缝	混凝土结构裂缝	I	A	√				构件: 测点所在原位构件
		钢结构裂缝	I	A	√				构件: 测点所在原位构件
	基础冲刷	基础冲刷深度	II	D	√	√	√	√	构件: 测点所在索塔基础 部件: 索塔基础 部位: 下部结构 整体: 结构整体
	锚碇位移	锚碇水平、竖向位移	II	D	√	√	√	√	构件: 测点所在锚碇 部件: 锚碇 部位: 下部结构 整体: 结构整体
	腐蚀	墩身、承台混凝土氯离子浓度	I	C	√				构件: 测点所在桥墩墩身、承台

监测类别	监测内容	特征指标	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
	断丝	墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	I	C	√				构件：测点所在桥墩墩身、承台
		主缆断丝	I	B	√				构件：测点所在主缆
	螺栓状态	吊索断丝	I	A	√				构件：测点所在吊索
		索夹螺杆紧固力	I	A	√				构件：测点所在索夹
		高强螺栓紧固力	I	A	√				构件：测点所在原位构件
	索夹滑移	螺栓滑脱	I	A	√				构件：测点所在原位构件
		索夹滑移	II	A	√				构件：测点所在索夹和吊索
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化 ^a	竖向、横向、纵向频率变化	II	/				√	整体：结构整体
注 1：表中“I”表示结构微观特征指标；“II”表示结构宏观特征指标。 注 2：“√”表示结构特征指标分别映射至对应的桥梁分解结构层级，如“锚碇水平、竖向位移”宜分别映射至桥梁构件、部件、部位、结构整体。									
^a 桥梁竖向、横向、纵向频率变化通常是由加劲梁加速度数据通过专项分析得到，其为表征桥梁结构整体刚度或质量变化的结构宏观指标，根据其物理含义应直接映射至桥梁结构整体。									

9.3.9 表征桥址区边坡地灾风险的特征指标与桥梁工作分解结构的映射关系应符合表 9.3.9 的规定。

表 9.3.9 桥址区边坡地灾风险特征指标的映射关系表

监测类别	监测内容	特征指标	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
桥址区边坡	地表变位	地表位移	II	/				√	桥梁整体结构
		地表倾斜度	II	/				√	
		地表裂缝宽度	II	/				√	
	深部位移	地层间相对位移	II	/				√	
	专项分析结果	变形速率	II	/				√	
		改进切线角	II	/				√	

监测类别	监测内容	特征指标	指标分类	原位构件分类	映射层级				映射层级说明
					构件	部件	部位	整体	
注 1: 表中“T”表示结构微观特征指标; “II”表示结构宏观特征指标。									
注 2: “√”表示结构特征指标分别映射至对应的桥梁分解结构层级, 如“锚碇水平、竖向位移”宜分别映射至桥梁构件、部件、部位、结构整体。									

9.3.10 与 9.3.2 条相关的特征指标触发风险事件报警后, 监测系统应按照预设的规则链自动判识桥梁结构或相关构件的安全风险状态是否发生不可逆的劣化, 并根据判识结果调整桥梁构件或整体结构的危险状态等级。

1 桥梁构件的危险状态评定判据宜参照表 9.3.10-1 的相关规定。

表 9.3.10-1 桥梁构件危险状态等级评定判据

危险状态等级	评定判据
N 极低危险	映射至该构件的特征指标均无超限危险事件。
I 低危险	映射至该构件的某项特征指标触发一级超限危险事件。
II 中危险	1) 映射至该构件的某项特征指标触发二级超限危险事件; 2) 或多项特征指标触发一级超限危险事件。
III 高危险	1) 映射至该构件的多项特征指标触发二级超限危险事件; 2) 或该构件危险状态等级达到 II 级, 且构件技术状况评分低于 40 分。
IV 极高危险	1) 映射至该构件的某项特征指标触发三级超限危险事件; 2) 或映射至该构件的多项特征指标触发二级超限危险事件, 且构件技术状况评分低于 40 分。

2 桥梁整体结构的危险状态评定判据宜参照表 9.3.10-2 的相关规定。

表 9.3.10-2 桥梁整体结构危险状态等级评定判据

危险状态等级	评定判据
N 极低危险	映射至主要承重部件、部位和结构整体的特征指标均无超限危险事件, 且主要承重构件的危险状态等级均为 N。
I 低危险	1) 映射至桥梁整体结构的某项特征指标出现一级超限危险事件; 2) 或映射至主要承重部件或部位的某项特征指标出现一级超限危险事件; 3) 或多个主要承重构件的危险状态等级达到 I 级。
II 中危险	1) 映射至桥梁整体结构的某项特征指标出现二级超限危险事件; 2) 或映射至主要承重部件或部位的多项特征指标出现二级超限危险事件; 3) 或多个主要承重构件的危险状态等级达到 II 级。

风险状态等级	判定判据
III 高风险	1) 映射至桥梁整体结构的多项特征指标出现二级超限风险事件; 2) 或映射至主要承重部件或部位的某项特征指标出现三级超限风险事件; 3) 或多个主要承重构件的风险状态等级达到 III 级; 4) 或全桥风险状态等级达到 II 级, 且桥梁技术状况评分低于 60 分。
IV 极高风险	1) 映射至桥梁整体结构的某项特征指标出现三级超限风险事件; 2) 或映射至主要承重部件或部位的多项特征指标出现三级超限风险事件; 3) 或多个主要承重构件的风险状态等级达到 IV 级; 4) 或达到上述 III 级判据中的 1)、2)、3) 条, 且桥梁技术状况评分低于 60 分。

9.3.11 经判识发现桥梁主承重构件或整体结构风险状态升级时, 系统应即时向相关责任人发出预警快讯, 受托机构应尽快提供预警快报, 桥梁经营管理单位的相关责任人接警后应按应急预案规定的响应流程及时处置。结构风险状态与预警等级的对应关系应符合表 9.3.11 的规定:

表 9.3.11 结构风险状态与预警等级

预警等级	风险状态等级
 /	N 极低风险
 蓝色预警	I 低风险
 黄色预警	II 中风险
 橙色预警	III 高风险
 红色预警	IV 极高风险

9.3.11 桥梁构件及整体结构的危险状态除可依据 9.3.10 条由监测系统自动判识外, 也可在此基础上结合专项分析结果、以及日常巡查、经常检查、专项检查或现场复查结果进行综合分析, 研判桥梁结构存在危及安全的严重隐患后, 可手动提升预警等级。

9.3.12 桥梁结构危险状态预警宜分别以预警快讯和预警快报的形式发布:

1 预警快讯: 应以系统即时发送的语音电话、微信、短信、及系统内部广播等方式发布, 直至桥梁经营管理单位的相关责任人接到通知并反馈后停止。预警快讯内容应包含: 预警编号、预警时间、桥梁名称、桥梁结构或构件的危险状态级别(预警级别)、预警原因及响应建议等信息。

2 预警快报：应由受托专业技术机构以书面形式向桥梁养管单位提交。预警快报内容应包含：桥梁工程概况、监测系统概况、预警前桥梁监测和检查情况、预警触发过程及原因分析、当前桥梁结构风险状态评估结果、以及针对性的响应措施及养管建议等内容。

9.3.13 桥梁养管单位应会同受托机构共同制定针对结构风险状态预警的应急响应预案，接警后应立即启动应急响应流程，预防重大恶性事故发生。应急响应流程可参照图 9.3.13 编制：

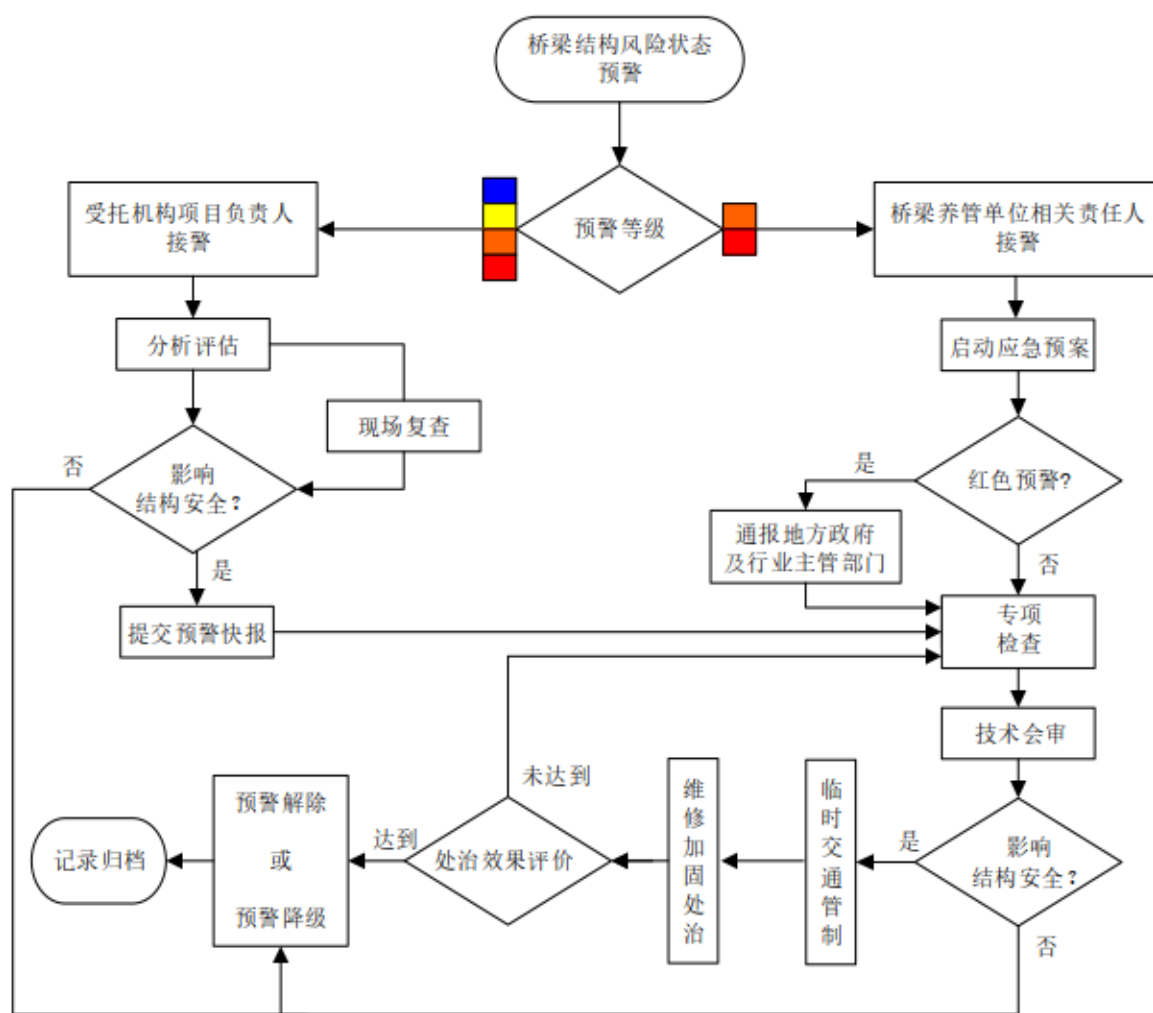


图 9.3.13 桥梁结构风险状态预警响应流程图

9.3.14 桥梁养管单位应会同受托承担监测系统运行管理的专业机构共同制定特殊事件和预警响应应急预案。当触发交通安全风险事件报警或结构风险状态预警后，应立

即启动应急预案，预防重大交通事故、桥梁坍塌等恶性事故发生。桥梁风险事件报警和风险状态预警的联动机制宜参照图 9.3.14 所示实施。

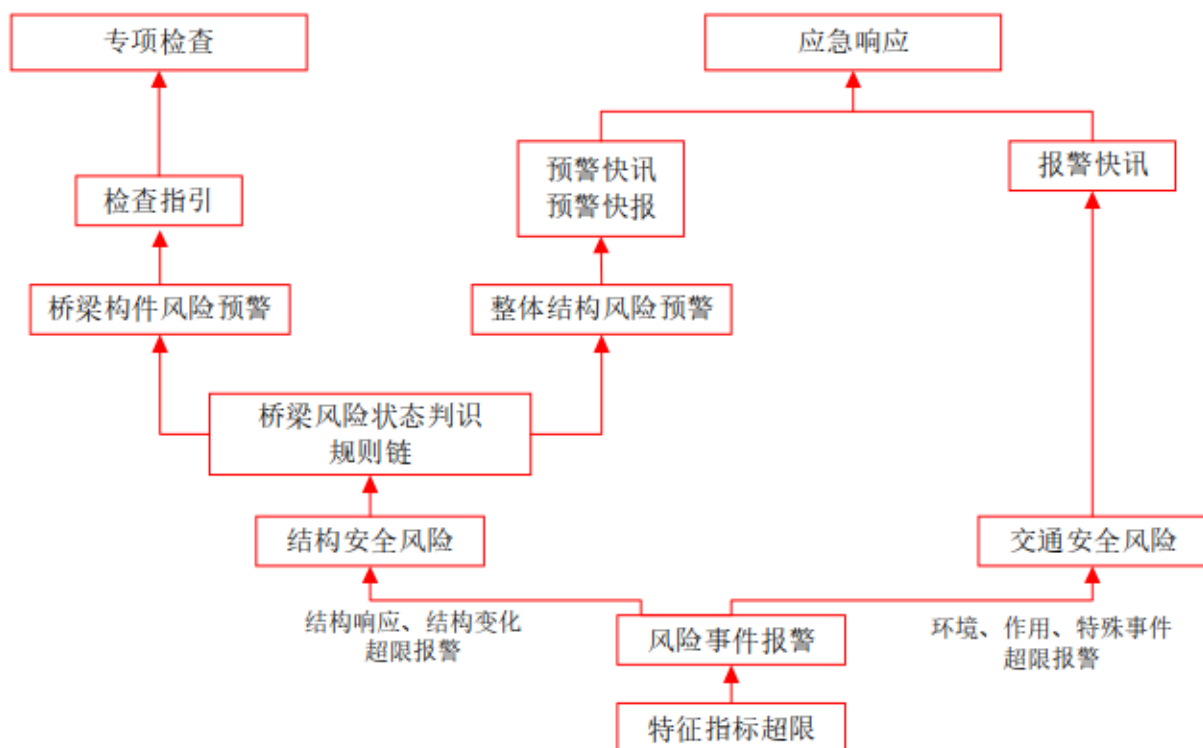


图 9.3.14 风险事件报警和风险状态预警联动机制

9.3.15 风险状态预警快讯、快报及响应过程记录应由监测系统永久保存备查。

9.4 特殊事件专项评估

9.4.1 在地震、洪水、地灾等重大自然灾害，车船撞击、超重（大件）车辆过桥、强风、涡振等特殊事件发生后，应基于事件发生前后的监测数据进行专项分析，并辅以必要的专项检查和专家研判，评估灾害或事件对桥梁结构风险状态的影响程度，为后续桥梁养管决策提供支持。

9.4.2 桥址区附近遭遇强震后，除应参照 9.1.19 条基于地震动和结构响应监测数据进行桥梁抗震专项分析，还应符合下列规定：

1 地震震级和对应桥址距离震中的直线距离同时满足下表条件时，应进行桥梁抗震专项评估。

表 9.4.2 桥梁抗震专项评估条件

地震震级 M	桥址距离震中的直线距离 L
$M \geq 8$ 级	$L < 500\text{km}$
7 级 $\leq M < 8$ 级	$L < 300\text{km}$
6 级 $\leq M < 7$ 级	$L < 200\text{km}$
5 级 $\leq M < 6$ 级	$L < 100\text{km}$

2 地震动加速度触发二级超限报警后，应对桥梁结构进行专项检查，重点检查：桥梁结构整体线形、梁端及支座位移、基础沉降及下部结构偏位、缆索索力变化、墩台塔柱等构件开裂等。

3 地震动加速度触发三级超限报警后，应对桥梁结构进行全面检查，并组织专家对桥梁震后检查报告和抗震专项分析报告进行研判和评估。

9.4.3 桥梁遭遇洪水或地质灾害后的专项分析评估可参照下列规定：

1 对灾害发生前后的桥梁结构整体线形、梁端及支座位移、基础沉降、下部结构（墩台、塔柱、拱座、锚碇）偏位等特征指标进行对比分析。

2 灾害引发桥梁结构风险状态等级升至橙色预警后，应对桥梁结构进行特殊检查，重点检查：桥梁结构整体线形、梁端及支座位移、基础沉降及下部结构偏位、缆索索力变化、墩台塔柱等构件开裂等。

3 灾害引发桥梁结构风险状态等级升至红色预警后，应对桥梁结构进行全面检查，并组织专家对桥梁灾后检查报告和监测分析报告进行研判和评估。

9.4.4 桥梁遭受船舶（车辆）撞击后的专项分析评估可参照下列规定：

1 宜收集涉事船舶或车辆的相关数据，分析撞击全过程监测视频，推算撞击速度和动量，建模分析撞击过程中被撞桥墩或主梁的受迫振动加速度峰值，梁端或墩顶位移最大值和残余量。

2 宜对上述特征指标的模拟分析结果和实际监测数据进行对比分析。

3 宜对撞击事件前后的桥梁结构模态参数变化进行对比分析。

4 撞击事件引发桥梁结构风险状态等级升至橙色或红色预警后，应对桥梁结构进行特殊检查，重点检查：桥梁结构整体线形、梁端及支座位移、下部结构偏位、缆

索索力变化、墩台塔柱等构件开裂受损情况等。

9.4.5 超重（大件）车辆荷载触发二级及以上超限报警后的专项分析评估可参照下列规定：

- 1 宜基于桥梁结构有限元模型，模拟分析在超重车辆的实测轴距和荷载作用下主梁、主拱及缆索等主要承重构件的变形、应变或索力的时程响应及峰值。
- 2 宜对上述特征指标的模拟分析结果和实际监测数据进行对比分析。
- 3 超载事件引发桥梁结构风险状态等级升至橙色或红色预警后，应对桥梁结构进行特殊检查，重点检查：主梁、主拱等承重构件是否开裂或下挠，吊杆、斜拉索等承重缆索的索力变化和锚固情况等。

9.4.6 桥面风速触发一级及以上超限报警或承重缆索构件的振动加速度触发二级及以上超限报警后，除应参照 9.1.20 条基于桥址区风场和结构响应监测数据进行桥梁抗风专项分析外，还应符合下列规定：

- 1 承重缆索构件的振动加速度超限报警后，应分析索构件异常振动全过程持续时间、风况条件、缆索振动频率，并分析索构件异常振动的原因和类型。
- 2 强风或缆索异常振动事件报警后，宜采用修正后的桥梁结构有限元模型对桥梁在风和车辆荷载等荷载组合作用下的结构强度、动静力稳定性、结构刚度等进行分析评估。
- 3 宜对强风或缆索异常振动事件前后的桥梁结构模态参数变化进行对比分析。
- 4 事件引发桥梁结构风险状态等级升至橙色或红色预警后，宜对桥梁结构进行全面检查，并组织专家对检查报告和监测分析报告进行研判和评估。

9.4.7 系统触发主梁涡振报警后的专项分析评估可参照下列规定：

- 1 宜基于实测数据对桥面 10 min 平均风速、平均风向、风攻角、湍流度，主梁振动加速度和动挠度的 10 min 均方根值、主梁振动频率、涡振全过程持续时间等特征指标进行统计分析和相关性分析。
- 2 宜对涡振事件前后的桥梁结构模态参数变化进行对比分析。

3 涡振事件引发桥梁结构风险状态等级升至橙色或红色预警后,宜对桥梁结构进行全面检查,并组织专家对检查报告和监测分析报告进行研判和评估。

9.5 桥梁结构状态综合评定

9.5.1 宜以桥梁结构安全和使用功能的成桥状态为基准,基于互补融合的结构监测和养护检查数据及分析结果,定期对桥梁结构状态进行综合评定。

9.5.2 桥梁结构状态综合评定等级可依据评分由高至低划分为1至5类,见表9.5.2。

表 9.5.2 桥梁结构状态综合评定等级

评定等级	桥梁结构状态描述	评分
1类	功能完好,结构安全风险极低。	[95, 100]
2类	主要构件有轻微缺损,对桥梁使用功能影响不大,结构安全风险低。	[80, 95)
3类	主要构件有缺损,对桥梁使用功能和结构安全有影响,但尚能维持正常运营。	[60, 80)
4类	主要构件或关键节点缺损明显,严重影响桥梁使用功能或承载能力,结构安全风险高。	[40, 60)
5类	主要构件或结构体系存在严重缺损,不能正常使用,危及桥梁结构安全。	[0, 40)

条文说明

本指南中桥梁结构状态的综合评定方法是在《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG H21-2011)分层评定方法的基础上,分层融入了桥梁结构监测的特征指标、分析结果和报警预警等数据信息。为方便理解和应用,评定等级和各等级对应的评分区间也与《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG H21-2011)保持一致。

9.5.3 桥梁结构状态综合评定应定期开展,频率不宜低于表9.5.3的规定。

表 9.5.3 桥梁结构状态综合评定频率

当前桥梁整体结构状态等级	综合评定频率
1类或2类	不低于每年1次
3类	不低于每季度1次
4类	不低于每月1次

当前桥梁整体结构状态等级	综合评定频率
5 类	不低于每周 1 次

9.5.4 桥梁结构状态综合评定应采用分层评定方法：先评定桥梁构件状态，再依次评定桥梁部件和部位状态，最后对桥梁整体结构状态进行评定。

9.5.5 桥梁构件状态的综合评分宜参照以下步骤计算：

1 依据最近一次定期检查（或初始检查、特殊检查）结果，按照《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG H21-2011）第 4.1.1 条计算构件的技术状况评分。

2 统计映射关联至该构件的各项特征指标，根据评定期内各项特征指标触发的最高报警等级，查表 9.5.5-1 确定对应的扣分值。

表 9.5.5-1 触发报警的特征指标扣分值（DP）

预设超限阈值的最高级别	特征指标在评定期内触发的最高报警级别			
	无报警	一级报警	二级报警	三级报警
一级阈值	0	15	-	-
二级阈值	0	20	45	-
三级阈值	0	25	50	80

3 按照式 9.5.5-1 计算该构件的风险状态评分：

$$PMSI_{ij}(BMSI_{ij} \text{ 或 } DMSI_{ij}) = 100 - \sum_{k=1}^K V_k \quad (9.5.5-1)$$

当 $K = 1$ 时

$$V_1 = DP_{ij1}$$

当 $K \geq 2$ 时

$$V_k = \frac{DP_{ijk}}{100 \times \sqrt{k}} \times \left(100 - \sum_{l=1}^{k-1} V_l \right)$$

式中：

$PMSI_{ij}$ ——上部结构第 i 类部件 j 构件的风险状态评分，值域为 0~100 分；

$BMSI_{ij}$ ——下部结构第 i 类部件 j 构件的风险状态评分，值域为 0~100 分；

$DMSI_{ij}$ ——桥面系第 i 类部件 j 构件的风险状态评分，值域为 0~100 分；

K ——映射关联至该构件的特征指标类别的数量；

DP_{ijk} ——第*i*类部件*j*构件关联的第*k*类特征指标的最高扣分值（查表 9.5.5-1）；

i 、 j 、 k 、 l 、 V ——引入的工作变量。

4 按照式 9.5.5-2 计算该构件状态的评分：

$$PMHI_{ij} = w \times PMSI_{ij} + (1 - w) \times PMCI_{ij} \quad (9.5.5-2)$$

$$BMHI_{ij} = w \times BMSI_{ij} + (1 - w) \times BMCI_{ij}$$

$$DMHI_{ij} = w \times DMSI_{ij} + (1 - w) \times DMCI_{ij}$$

式中：

$PMCI_{ij}$ ——上部结构第*i*类部件*j*构件的技术状况评分，值域为 0~100 分；

$BMCI_{ij}$ ——下部结构第*i*类部件*j*构件的技术状况评分，值域为 0~100 分；

$DMCI_{ij}$ ——桥面系第*i*类部件*j*构件的技术状况评分，值域为 0~100 分；

$PMHI_{ij}$ ——上部结构第*i*类部件*j*构件的状态评分，值域为 0~100 分；

$BMHI_{ij}$ ——下部结构第*i*类部件*j*构件的状态评分，值域为 0~100 分；

$DMHI_{ij}$ ——桥面系第*i*类部件*j*构件的状态评分，值域为 0~100 分；

w ——构件风险状态的相对权重系数，查表 9.5.5-2 确定。

表 9.5.5-2 构件风险状态评分权重系数表 (w)

技术状况 评分 风险 状态评分	[95,100]	[80,95)	[60,80)	[40,60)	[0,40)
[95,100] ($q=1$)	$0.3 \times p$	$0.25 \times p$	$0.15 \times p$	$0.1 \times p$	$0.05 \times p$
[80,95) ($q=2$)	$0.5 \times p$	$0.35 \times p$	$0.3 \times p$	$0.25 \times p$	$0.15 \times p$
[60,80) ($q=3$)	$0.75 \times p$	$0.7 \times p$	$0.5 \times p$	$0.4 \times p$	$0.3 \times p$
[40,60) ($q=4$)	$0.85 \times p$	$0.8 \times p$	$0.75 \times p$	$0.65 \times p$	$0.5 \times p$
[0,40) ($q=5$)	$0.95 \times p$	$0.85 \times p$	$0.8 \times p$	$0.75 \times p$	$0.7 \times p$

上表中， p 为监测指标相对于检查指标的实时性优先因子：

$$p = 1 + \arctan(m) \times 0.01 \times \frac{2}{\pi} \times q \quad (9.5.5-3)$$

式中：

m ——当前据上次定期检查（特殊检查）的时间间隔，以月为单位；

q ——随构件风险状态评分而定的系数，查表 9.5.5-2 确定。

9.5.6 桥梁部件状态的综合评分宜参照以下步骤计算：

1 按照式 9.5.6-1，由该类部件各构件状态得分的平均值和离散度计算部件评分：

$$\begin{aligned} PCHI_i^1 &= \overline{PMHI}_i - \frac{(100 - \min PMHI_i)}{t} \\ BCHI_i^1 &= \overline{BMHI}_i - \frac{(100 - \min BMHI_i)}{t} \\ DCHI_i^1 &= \overline{DMHI}_i - \frac{(100 - \min DMHI_i)}{t} \end{aligned} \quad (9.5.6-1)$$

式中：

$\overline{PMHI}_i$ ——上部结构第*i*类部件各构件状态得分的平均值，值域为 0~100 分；

$\overline{BMHI}_i$ ——下部结构第*i*类部件各构件状态得分的平均值，值域为 0~100 分；

$\overline{DMHI}_i$ ——桥面系第*i*类部件各构件状态得分的平均值，值域为 0~100 分；

$PCHI_i^1$ ——上部结构第*i*类部件的状态初评分，值域为 0~100 分；当最低构件得分低于 60 分时， $PCHI_i^1 = \min PMHI_i$ ；

$BCHI_i^1$ ——下部结构第*i*类部件的状态初评分，值域为 0~100 分；当最低构件得分低于 60 分时， $BCHI_i^1 = \min BMHI_i$ ；

$DCHI_i^1$ ——桥面系第*i*类部件的状态初评分，值域为 0~100 分；当最低构件得分低于 60 分时， $DCHI_i^1 = \min DMHI_i$ ；

t ——随第*i*类部件的构件总数而变的系数，查《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG H21-2011) 表 4.1.2 确定。

2 统计映射关联至该部件的各项特征指标，根据评定期内各项特征指标触发的最高报警等级，查表 9.5.5-1 确定对应的扣分值，按下式计算该类部件得分。

$$PCHI_i^2(BCHI_i^2 \text{ 或 } DCHI_i^2) = 100 - \max_{1 \leq k \leq K} DP_{ik} \quad (9.5.6-2)$$

式中：

$PCHI_i^2$ ——考虑最不利指标的上部结构第*i*类部件的状态初评分，值域为 0~100 分；

$BCHI_i^2$ ——考虑最不利指标的下部结构第*i*类部件的状态初评分，值域为 0~100

分;

$DCHI_i^2$ ——考虑最不利指标的桥面系第*i*类部件的状态初评分, 值域为 0~100 分;

DP_{ik} ——映射关联至第*i*类部件的第 *k* 类特征指标的最高扣分值;

K——映射关联至第*i*类部件的特征指标类别的总数;

i, k——引入的工作变量。

3 该部件状态的综合评分, 应分别按式 9.5.6-3 取二者较小值:

$$PCHI_i = \min(PCHI_i^1, PCHI_i^2) \quad (9.5.6-3)$$

$$BCHI_i = \min(BCHI_i^1, BCHI_i^2)$$

$$DCHI_i = \min(DCHI_i^1, DCHI_i^2)$$

式中:

$PCHI_i$ ——上部结构第*i*类部件状态的综合评分, 值域为 0~100 分;

$BCHI_i$ ——下部结构第*i*类部件状态的综合评分, 值域为 0~100 分;

$DCHI_i$ ——桥面系第*i*类部件状态的综合评分, 值域为 0~100 分。

9.5.7 桥梁上部结构、下部结构和桥面系等各部位状态的综合评分宜参照以下步骤计算:

1 按照式 9.5.7-1, 对各类部件状态的得分进行加权平均, 分别计算上部结构、下部结构和桥面系的得分:

$$SPHI^1(SBHI^1 \text{ 或 } BDHI^1) = \sum_{i=1}^N PCHI_i(BCHI_i \text{ 或 } DCHI_i) \times W_i \quad (9.5.7-1)$$

式中:

$SPHI^1$ ——上部结构状态的加权平均得分, 值域为 0~100 分;

$SBHI^1$ ——下部结构状态的加权平均得分, 值域为 0~100 分;

$BDHI^1$ ——桥面系状态的加权平均得分, 值域为 0~100 分;

N——上部结构(下部结构或桥面系)的部件种类数;

W_i ——第*i*类部件的权重系数, 查《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/TH21-2011)表 4.2.1、表 4.2.2-1~表 4.2.2-3、表 4.2.3、表 4.2.4 取值。对于桥梁中未设置的部

件，应根据此部件的隶属关系，将其权重值分配给既有部件，分配原则按照各既有部件权重在全部既有部件权重中所占比例进行分配。

2 分别统计映射关联至桥梁上部结构、下部结构及桥面系的各项特征指标，根据评定期内各项特征指标触发的最高报警等级，查表 9.5.5-1 确定对应的扣分值，按下式计算该类部件得分。

$$SPHI^2(SBHI^2或BDHI^2) = 100 - \max_{1 \leq k \leq K} DP_k \quad (9.5.7-2)$$

式中：

$SPHI^2$ ——考虑最不利指标的上部结构状态得分，值域为 0~100 分；

$SBHI^2$ ——考虑最不利指标的下部结构状态得分，值域为 0~100 分；

$BDHI^2$ ——考虑最不利指标的桥面系状态得分，值域为 0~100 分；

DP_k ——映射关联至各部位的第 k 类特征指标的最高扣分值；

K ——映射关联至桥梁上部结构、下部结构或桥面系的特征指标类别的总数；

k ——引入的工作变量。

3 上部结构、下部结构和桥面系的综合状态评分，应分别按照式 9.5.7-3 取二者较小值：

$$SPHI = \min(SPHI^1, SPHI^2) \quad (9.5.7-3)$$

$$SBHI = \min(SBHI^1, SBHI^2)$$

$$BDHI = \min(BDHI^1, BDHI^2)$$

式中：

$SPHI$ ——上部结构的综合状态评分，值域为 0~100 分；

$SBHI$ ——下部结构的综合状态评分，值域为 0~100 分；

$BDHI$ ——桥面系的综合状态评分，值域为 0~100 分。

9.5.8 桥梁整体结构状态的综合评分宜参照以下步骤计算：

1 按照式 9.5.8-1，对各部位状态的综合得分进行加权平均，分别计算上部结构、下部结构和桥面系的得分：

$$HSI^1 = BDCI \times W_D + SPCI \times W_{SP} + SBCI \times W_{SB} \quad (9.5.8-1)$$

式中：

HSI^1 ——桥梁整体结构状态的加权平均得分，值域为 0~100 分；

W_D 、 W_{SP} 、 W_{SB} ——桥面系、上部结构和下部结构的权重系数，查《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011）表 4.2.5 取值。

2 统计映射关联至桥梁整体结构的各项特征指标，根据评定期内各项特征指标触发的最高报警等级，查表 9.5.5-1 确定对应的扣分值，按下式计算桥梁整体结构得分。

$$HSI^2 = 100 - \max_{1 \leq k \leq K} DP_k \quad (9.5.8-2)$$

式中：

HSI^2 ——考虑最不利指标的桥梁整体结构状态得分，值域为 0~100 分；

DP_k ——映射关联至桥梁整体结构的第 k 类特征指标的最高扣分值；

K ——映射关联至桥梁整体结构的特征指标类别的总数；

k ——引入的工作变量。

3 桥梁整体结构状态的综合评分，应按照式 9.5.8-3 取二者较小值：

$$HSI = \min(HSI^1, HSI^2) \quad (9.5.8-3)$$

式中： HSI ——为桥梁整体结构状态的综合评分，值域为 0~100 分。

9.5.9 受托技术机构完成桥梁结构状态的综合评定后，应编制评估报告并提交给桥梁养管单位，报告内容宜包括但不限于：1) 桥梁工程概况；2) 监测系统概况；3) 报告期内监测系统的总体运行情况；4) 报告期内结构风险预警及响应处置过程汇总；5) 桥梁结构状态综合评定方法及主要过程；6) 评定结论及后期运行养管建议。

9.5.10 评估报告对桥梁整体结构状态的综合评级为 4 类及以上时，桥梁养管单位应组织专家对评估报告进行复核性技术审查。

9.5.11 桥梁的养护检查等级和计划应根据桥梁结构状态的综合评定结果进行调整：

1 桥梁整体结构状态综合评定等级为 3 类的大、中、小桥应将桥梁养护检查等级提高一级。

2 桥梁整体结构状态综合评定等级为 4 类的桥梁在加固维修前应按 I 级养护检查等级开展工作。

3 桥梁主要承重构件状态综合评定等级为 4 类及以上的，应尽快组织针对性的专项检查或特殊检查。

条文说明

本条第 1 款和第 2 款与《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）第 3.1.1 条保持协调一致。

9.5.12 桥梁结构监测方案应根据桥梁结构状态的综合评定结果进行调整：

1 桥梁主要承重构件状态的综合评定等级为 4 类及以上的，宜适当提高相关监测指标的采样频率，必要时动态调整相关特征指标的超限阈值。

2 桥梁主要承重构件状态的综合评定等级为 4 类及以上，而监测系统中无映射关联的特征指标时，宜增设监测测点。

3 桥梁结构状态的综合评定周期应按照本文件 9.5.3 条规定，随当前桥梁整体结构状态的综合评定结果动态调整。

9.5.13 桥梁经营养管单位宜根据桥梁结构状态的综合评定结果，参照表 9.5.13 的规定制定科学合理的桥梁养护维修计划和运营管理方案。

表 9.5.13 桥梁结构状态综合评定结果与养管策略

桥梁整体结构状态综合评定结果		养护维修措施	运营管理方案
评定等级	结构状态描述		
1 类	功能完好，结构安全风险极低。	正常保养或预防养护	正常通车
2 类	主要构件有轻微缺损，对桥梁使用功能影响不大，结构安全风险低。	修复养护（小修）、预防养护	正常通车
3 类	主要构件有缺损，对桥梁使用功能和结构安全有影响，但尚能维持正常运营。	修复养护（中修）、加固或更换有较大缺陷的构件	酌情进行交通管制
4 类	主要构件或关键节点缺损明显，严重影响桥梁使用功能或承载能力，结构安全风险高。	修复养护（大修）、加固或改造	及时进行交通管制，必要时封闭交通
5 类	主要构件或结构体系存在严重缺损，不能正常使用，危及桥梁结构安全。	改建或重建	立即封闭交通

条文说明

本条文的养护维修措施和运营管理方案与《公路桥涵养护规范》（JTG 5120-2021）、《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》（JTG/T 5122-2021）、《公路养护工程管理办法》（交公路发〔2018〕33号）基本保持一致。

9.5.14 当依据本文件综合评定的桥梁结构状态等级与依据《公路桥涵养护规范》（JTG 5120）或《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/TH21）评定得到的技术状况等级不一致时，应依据最不利的评定结果确定运管方案和养护计划。

附录 A 桥梁结构安全风险辨识方法

A.1 专家调查法

采用专家调查法进行桥梁结构安全风险分析的方法和步骤如下：

1. 组建安全风险评价小组

安全风险评价小组可由项目所涉桥梁养管单位或受托承担项目的专业技术机构组建，也可双方人员共同组建。小组成员应由具备丰富经验的桥梁、地质、风险管理等专业技术或管理人员组成，一般以 3~5 人为宜。

2. 基础资料准备

基础资料由风险评价小组搜集准备，宜包括桥梁工程设计（竣工）图纸文件、运行期内桥梁检测及维修资料、以及桥址处水文、地质、地形和气候环境等资料。必要时可组织评价小组成员和专家进行现场踏勘。

3. 编制风险调查表

风险调查表由风险评价小组编制，由风险源普查表、风险源检查表、风险等级专家调查表、风险调查说明材料。说明材料为本次专家调查的解释性内容，应包括调查目的、指导提示性语言、对调查结果的要求和相关基础资料简介等。

安全事故发生概率等级与判断标准、危害损失等级与判断标准可参见本文件第 5.2 节。风险源普查表、风险源检查表、风险等级专家调查表可参照本附录中表 A.1.1~表 A.1.3 的格式。

4. 选择专家

专家组人数应有合理的规模。专家的人数取决于项目的特点、规模、复杂程度和风险的性质而定，一般以 5~9 人为宜。

专家组宜包括：

- 1) 了解该本项目桥梁工程建设或养管情况的桥梁工程资深技术专家；
- 2) 了解该本项目桥址区地质勘察情况地质或岩土工程专家；
- 3) 具有丰富工程风险评估经验的风险管理专家；
- 4) 本项目桥梁工程新建或维修加固设计单位的技术专家；

专家组不宜包括：工程的项目法人（建设）单位、施工单位、监理单位、桥梁养管

单位的相关人员。

5. 填写风险调查表

风险源普查表应由风险评价小组成员在对基础资料进行分析后填写。评价小组通过小组讨论、专家咨询等方式对小组成员填写的风险源普查表逐一检查后，统一完成风险源检查表。风险等级专家调查表的填写可通过现场会议、邮寄等方式完成。采用专家邮寄方式填写调查表时，可从风险源检查表、风险等级专家调查表中的“典型风险”栏、“当前状态”栏、“基于正常运行的风险管理措施”栏、以及风险调查说明材料中获取相关信息；采用现场会议方式时，可由评价小组直接介绍相关信息或专家查阅相关基础资料。当专家意见比较分散时，应再次征询意见，待专家重新考虑后再次提出自己判定安全事故发生概率和危害损失等级的理由，调整等级判定结果。

6. 整理统计调查结果

在风险等级调查表集中回收完成后，应对调查表进行逐份检查，剔除不合格的调查表，然后将合格调查表统一编号，以便于调查数据的统计。对某一项风险的发生概率和相应风险损失，应统计所有合格表格对该项的判定值，按照加权平均的方式进行计算。当权值不易判定时，可按权值为 1 处理。

表 A.1.1 风险源普查表

序号	典型风险		描述	
1	安全事故1	风险源1-1		
		风险源1-2		
				
		风险源1-n		
2	安全事故2	风险源2-1		
		风险源2-2		
				
		风险源2-n		
.....				
m	安全事故m	风险源m-1		
		风险源m-2		
				
		风险源m-n		
填表人：			填表日期：	

表注：“典型风险”栏为同类桥梁工程所存在风险源的归纳总结；“描述”栏为每项风险源可能存在的方式、产生的影响及已有典型案例的教训和经验的简要说明。

表 A.1.2 风险源检查表

序号	检查项目		是否存在该风险源	存在方式	产生的影响	是否为主要风险源
1	安全事故1	风险源1-1				
		风险源1-2				
						
		风险源1-n				
2	安全事故2	风险源2-1				
		风险源2-2				
						
		风险源2-n				
.....						
m	安全事故m	风险源m-1				
		风险源m-2				
						
		风险源m-n				
填表日期:						
评价小组成员:						

表 A.1.3 风险等级专家调查表

典型风险		当前状态	基于正常运行的风险管理措施	发生概率等级	危害损失等级			评定概率和损失等级的判定标准或理由	进一步的措施建议
					人员伤亡	经济损失	环境影响		
安全事故1	风险源1-1								
	风险源1-2								
									
	风险源1-n								
安全事故2	风险源2-1								
	风险源2-2								
									
	风险源2-n								
.....									
安全事	风险源m-1								

典型风险	当前状态	基于正常运行的风险管理措施	发生概率等级	危害损失等级			评定概率和损失等级的判定标准或理由	进一步的措施建议
				人员伤亡	经济损失	环境影响		
故m	风险源 m-2							
								
	风险源 m-n							
专家:				填写日期:				

表注:

(1) 专家可根据项目的实际情况,增减主要风险源,评估小组应视情研究是否将其补入风险源列表;

(2) 风险等级调查表的编制应保证结构完整、风险源完备、信息简练准确;

(3) “典型风险”栏、“当前状态”栏和“基于正常运行的风险管理措施”栏的内容应由风险评价小组在专家填写前完成;

(4) “当前状态”栏应填写与对应风险源相关的桥梁工程技术标准、荷载等级、技术状况、主要病害或缺陷情况、以及周边环境和或运行状态等,宜尽量具体详尽;

(5) “基于正常运行的风险管理措施”栏应填写与对应风险源相关的运行管理措施,如超载治理、巡检加密、交通限流等;

(6) 专家判定并填写了“发生概率等级”和“危害损失等级”时,须一并填写“判定标准或理由”栏及“进一步的措施建议”栏。

A.2 事故树分析法

采用事故树分析法进行桥梁结构安全风险分析的方法和步骤如下:

1. 组建安全风险分析小组

安全风险分析小组宜由受托承担项目的专业技术机构组建。小组成员应由具备丰富经验的桥梁、地质、风险管理等专业技术人员及咨询专家组成,一般以 5~7 人为宜。

2. 基础资料准备

基础资料由风险分析小组搜集准备,宜包括桥梁工程设计(竣工)图纸文件、运行期内桥梁检测及维修资料、以及桥址处水文、地质、地形和气候环境勘察资料、类似工程案例及事故记录资料等。必要时可组织分析小组成员和咨询专家进行现场踏勘。

3. 枚举调查风险源

在广泛调研过去类似工程案例及事故记录的基础上,枚举调查所有可能发生的结构安全风险源。

4. 确定顶上事件

在枚举调查的结构安全风险源范围内,选取典型的安全事故作为研究分析对象,即

顶上事件。针对具体桥梁，顶上事件可以是某一特定的安全事故；也可以是桥梁结构各种潜在安全事故的总和，即结构安全总体风险。

5. 逆向调查所有原因事件及其风险源

从安全事故（顶上事件）出发，逆向溯源枚举调查所有的风险致因及其对应的风险源。调查过程中可利用表 A.1.1 和表 A.1.2 采用成员普查和小组检查的方式全面梳理所有风险致因和风险源，避免疏漏和错误。

6. 画出事故树

根据上述调查资料，从顶上事件起进行逆向演绎分析，一级一级的找出所有风险致因，直到无法再细分的风险源本身。然后按照其逻辑关系，画出事故树。

7. 发生概率分析

根据逻辑定律对事故树结构进行简化，求出最小割集和最小径集，可进行定性分析以确定各风险源的结构重要度排序。

根据所调查的基础资料定量确定所有风险源（底事件）的发生概率后，可依据逻辑定律分层计算所有风险致因的发生概率，直至得到安全事故（顶上事件）的发生概率。必要时，也可计算各风险源（底事件）的结构重要度系数、概率重要度系数及关键重要度系数等参数指标。

8. 危害损失分析

安全事故（顶上事件）的危害损失可根据类似工程案例及事故记录，从人员伤亡、经济损失和环境影响等三方面进行定性或定量分析评价。

附录 B 测点布设

B.0.1 常见桥型的测点布设可参照《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T 1037-2022)附录 A, 本附录在其基础上作进一步说明, 并补充针对桥位处地质灾害体的测点布设要求。

B.1 环境

B.1.1 桥址区环境温度和湿度测点宜布设在桥梁主跨跨中位置附近, 可根据桥梁结构类型、联长、跨径、构造、以及桥位处环境温度和湿度的空间分布特点增设测点。

B.1.2 桥梁结构封闭空间内的温度及湿度测点应布设于桥梁结构箱室内温湿度较稳定的部位, 或布设在箱室内有其它对温湿度参数变化敏感的测点附近。

B.1.3 降雨量监测测点宜布设在桥址区开阔位置。

B.1.4 桥面结冰测点、积雪测点、大雾能见度测点宜位于桥面交通视频监控视野覆盖范围内, 可协同布设。大雾能见度测点距桥面的距离宜为 3m。

B.2 作用

B.2.1 除满足本文件 6.2.5 条中针对各类桥型的车辆荷载监测要求外, 对各级普通公路超载超限车辆管控困难的路段、大件运输公路路段, 也宜选取控制性桥梁布设车辆荷载监测断面。车辆荷载监测断面及测点布设应符合下列要求:

- 1 监测断面应覆盖所有行车道, 并宜结合视频监控获得所有车道的车辆空间分布;
- 2 视频监控视野应完整覆盖车辆荷载监测断面, 且宜兼顾桥面交通状况监测;
- 3 车辆荷载传感元件宜布设在硬化路基段或有稳定墩柱支撑的混凝土桥面铺装层内。

B.2.2 风速风向测点应布设在能准确监测自由场风速和风向的位置, 风速、风向和

风压监测测点布设可参照下列具体要求：

1 主跨小于 1000m 的悬索桥宜在主梁跨中上下游两侧和塔顶各布设一个风速风向测点；跨度大于等于 1000m 的悬索桥，宜结合风场空间相关性在主跨 1/4、3/4 断面增设风速风向测点。

2 跨度小于 600m 的斜拉桥宜在主梁跨中上下游两侧和塔顶各布设一个风速风向测点；跨度大于等于 600m 的斜拉桥，宜结合风场空间相关性增加风速风向测点。

3 中、下承式拱桥宜在主梁跨中上下游两侧布设风速风向测点，风环境复杂时可在拱顶增设风速风向测点。

4 位于峡谷强风区的大跨度钢结构梁桥或上承式拱桥可在主跨跨中布设风速风向测点。

5 加劲梁构造为封闭或半封闭式箱梁的缆索结构体系桥梁，可在主跨跨中断面或 1/4、3/4 断面布设风压测点。

B.2.3 结构温度测点布设方案应根据桥梁结构温度场分布特点并结合材料类型、联长、跨径、构件尺寸、铺装体系、日照情况等因素综合确定。结构温度测点宜与应变监测的温度补偿测点协同布设。

B.2.4 桥面铺装层温度测点宜与桥面结冰测点、积雪测点协同布设。

B.2.5 船舶撞击振动测点宜布设在航道附近的桥墩或承台的设计水位以上；视频监测测点宜在桥梁上、下游两侧对称布设，视野应覆盖航道及被测桥墩。

B.2.6 车辆撞击振动测点宜布设在跨线桥下有车辆撞击风险的桥墩上；视频监测测点宜在桥梁左右两侧对称布设，视野应覆盖下穿行车道及被测桥墩。

B.2.7 地震动测点宜布设于桥梁桥墩底部或承台顶部，该位置处于设计水位线以下时，也可布设于桥台或其附近场地上。跨越大型河流或深切峡谷的特大桥，宜在桥梁两岸均布设地震动测点。

B.3 结构响应

B.3.1 结构位移测点的布设应根据桥梁结构计算分析结果, 优先选择最不利荷载组合作用下主梁、索塔、主缆、主拱等主要承重构件的位移包络曲线中最大或较大部位, 常见测点布设具体可参照下列要求:

1 主梁竖向位移的准静态测点宜布设在主跨的跨中、1/4 和 3/4 断面, 以及边跨跨中断面, 基准点可布设于主墩、交界墩或桥台处。对于中央单索面、大悬臂或其他具有扭转位移监测需求的宽幅桥面主梁, 宜在主梁左右幅车道外侧增设测线。

2 主梁动挠度测点宜布设在主跨的跨中、1/4 和 3/4 断面, 以及车道荷载作用下边跨的挠度包络曲线峰值断面, 基准点可布设于主墩、交界墩或桥台处。对于中央单索面、大悬臂或其他具有扭转位移监测需求的宽幅桥面主梁, 宜在主梁左右幅车道外侧增设测线。

3 主梁横向位移测点宜布设在主跨跨中断面。

4 支座位移、墩(台)梁间相对位移测点宜布设在主桥交界墩或引桥伸缩缝断面, 宜根据不同支座的功能和类型选择支座位移测量方向。

5 塔顶偏位和拱顶位移测点宜分别布设于索塔顶部和主拱拱顶。

6 主缆偏位测点宜布设在主跨跨中、1/4、3/4 断面对应的主缆上。

7 受地质灾害或洪水威胁的桥跨, 宜在桥梁伸缩缝断面处对桥梁上、下部结构之间的纵横向相对位移进行监测。

B.3.2 结构转角的测点布设应根据桥梁结构计算分析和风险辨识结果, 优先选择桥塔和桥墩顶部、拱座、梁端等与结构体系稳定密切相关的关键节点部位。常见测点布设具体可参照下列要求:

1 悬索桥主塔和斜拉桥索塔的塔顶位置宜分别布设纵向和横向转角测点。

2 斜拉桥交界墩和辅助墩墩顶位置宜分别布设置纵向和横向转角测点。

3 拱桥的拱座、交界墩、以及上承式拱桥拱座附近的拱上立柱顶部位位置宜分别布设置纵向和横向转角测点。

4 梁端水平和竖向转角测点宜布设在伸缩缝两端的主梁上。

B.3.3 结构应变测点应根据桥梁结构计算分析结果, 优先选择最不利荷载组合作用下主梁、墩塔、主拱等主要承重构件的位移包络曲线中最大或较大部位, 常见测点布设

具体可参照下列要求：

1 结构应变的准静态测点布置宜选择恒载等缓变作用组合下应力水平较高或安全余度较低的关键构件、截面或部位，如：墩塔底部或颈部弯矩较大截面、主梁正负弯矩最大截面、拱顶及拱脚正负弯矩较大截面、不同材料或构造交界截面等。

2 结构动应变测点布置宜选择活载等动态荷载作用下应力幅较大或安全余度较低的关键构件、截面或部位，如：主梁应力幅峰值截面、拱顶及拱脚应力幅峰值截面、不同材料或构造的交界截面或节点等。

3 正交异性钢桥面板动态应变测点宜选择在重车道或行车道车轮轮迹线对应位置，布置在顶板、U 肋和横隔板等疲劳热点。

4 受力复杂的构件截面或节点部位，宜布设双向或三向应变测点。

5 钢混接合段或构造突变的截面附近宜在应力集中部位布设应变测点。

6 如需监测恒载作用下承重构件的应变响应，应在桥梁施工或加固改造过程中构件尚未承载前预先埋设传感元件。钢筋混凝土构件埋设应变测点时，宜优先选择监测受力钢筋应变。

B.3.4 索力测点布置应根据悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）和系杆等索构件的布置形式、规格、长短、索力等综合研判，宜优先选择恒载作用下应力水平高或活载作用下应力幅较大的代表性索构件进行监测，索力测点宜上下游对称布设。

B.3.5 悬索桥主缆的锚跨索股力测点应根据主缆锚固方式和索股布置形式，优选基准索等代表性索股布设测点。

B.3.6 支座反力测点宜根据支座类型、构造、安装方式选择上部结构横向失稳倾覆风险高的独柱墩桥梁、纵坡大或平面半径小的桥梁，因地质原因墩台基础沉降风险高或采用压重设计的桥梁支座也宜布设支座反力测点。支座反力测点应在桥梁施工或加固改造过程中支座尚未承载前预先布设传感元件。

B.3.7 结构振动测点宜根据桥梁结构模态分析得到的主要模态振型布设，常见测点布设具体可参照下列要求：

1 主梁竖向和横向振动测点宜布设在主要模态的振型峰值或振动幅度较大处，

避开振型驻点。竖向振动测点宜至少包括主跨跨中、1/4、3/4 截面、及边跨跨中截面；横向振动测点宜至少包含主跨跨中和边跨跨中截面；纵向振动测点宜布设在塔梁或墩梁连接处。

2 主拱振动测点宜布设在主要模态的振型峰值或振动幅度较大处，避开振型驻点。竖向振动测点宜至少包括主拱跨中、1/4 及 3/4 截面；横向振动测点宜至少包含主拱跨中截面。

3 斜拉桥索塔和悬索桥主塔的水平振动测点宜在塔顶沿桥梁纵向和横向布设；桥墩的水平振动测点宜在墩顶沿桥梁纵向和横向布设。

4 振动幅值大的悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）等索构件宜根据拉（吊）索主要模态振型避开驻点布设。拉（吊）索振动测点可与频率法索力测点统筹布设。对索面内和索面外均存在较大振幅的情况，可双向布设测点。

B.4 结构变化

B.4.1 基础冲刷深度监测宜根据河床断面勘测成果，结合桥梁冲刷专题研究结论选取待测桥墩和测点位置。圆形桥墩宜布设在待测桥墩上下游两侧；圆端形桥墩宜布设在待测桥墩上下游以及桥墩侧面最大冲刷位置。既有冲刷较严重的桥墩宜在周边布设多点监测。

B.4.2 悬索桥锚碇位移测点宜布设于锚体和前支墩角点处；梁桥桥墩沉降测点宜布设于墩顶处；拱桥的拱脚位移测点宜布设于拱座处。

B.4.3 混凝土结构和钢结构裂缝监测应依据检查（测）、技术状况评定、养护维修结果确定测点位置和数量，宜对主要结构受力裂缝的宽度和长度变化持续跟踪观测。

B.4.4 墩台结构腐蚀测点宜布设在墩台水位变动、浪溅区的混凝土保护层内。测点位置、数量可根据氯离子浓度梯度测试要求确定。

B.4.5 依据《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）技术状况评定为“腐蚀”或“锈蚀”标度达到 3 及 3 以上的悬索桥主缆和吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆（索）和系杆宜布设断丝测点，测点可布设在锚头端部位置或易腐蚀断丝位置附近。

B.4.6 依据《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21) 技术状况评定为“错位、滑移”标度达到 3 及 3 以上的悬索桥索夹构件，宜开展索夹滑移和索夹螺栓受力状态监测。索夹滑移测点宜根据索夹类型和主缆倾角选取，螺栓受力状态测点可根据索夹螺栓群布置形式间隔布设。

B.4.7 结构体外预应力测点位置和数量，宜根据桥梁构造和预应力钢束布设形式、预应力损失敏感度分析结果综合研判确定。

B.5 桥位处地质灾害体

B.5.1 桥位处地质灾害体的测点应根据地质勘察得到的灾害体类型、规模、发育程度及地形地貌特点，并结合地质灾害作用于桥梁结构可能引发的安全事故类型、发生概率、危害程度等综合分析评估后统筹布设，并宜符合以下总体要求：

1 测点网络布设应考虑灾害体地形对通视和安装条件的影响，充分利用地质勘探剖面 and 勘探点。

2 测点应布设在能反映致灾体变化趋势的关键点或部位，并宜冗余考虑多种监测方法的测点相互对照印证。

3 测点网络由监测剖面 and 测点组成，测点宜布设于监测剖面交点处，使其形成点、线、面的立体监测体系，全面监测地灾体的变形量、变形方向及其时空动态变化和发展趋势。

4 测网覆盖范围应上至滑塌区范围以外，路堑高边坡下至坡脚，路堤高边坡下至坡脚以外不少于填方高度的范围。在测网范围内的坡口、坡体中部、坡脚、支挡结构物等均宜布设测点。

5 滑坡体测网的主剖面宜布设于坡高最大剖面处；其余测网剖面宜布设于每个分区的主滑剖面处，测网宜覆盖滑坡体前后缘以外的稳定地段。稳定地段、后缘牵引段、主滑段、前缘抗滑段、支挡结构物、道路构造物等均宜布设测点。

6 崩塌体测网剖面及测点宜布设于安全风险最大的危岩块体或块体群处，岩体顺坡裂缝、危岩体临空凸出点、危岩体下部脚点等均宜布设测点。

7 测点网络可采用“十”字型、“丰”字型、“卅”字型或“井”字型、网格型等多种方式布设，对以下重点部位宜增加测点密度：

- 1) 变形速率较大的地段或块体;
- 2) 对滑坡体、崩塌体稳定性起关键作用的地段或块体
- 3) 控制变形的软弱带和变形产生的主裂缝。

8 泥石流监测区域宜重点选取流域上游物源区、中部流通区, 并沿主沟道布设监测横断面及测点。

B.5.2 地表位移和倾斜度测点布设宜优先选择能反映致灾体整体位移特点的重要块体或滑体表面, 如桥墩、抗滑桩、挡墙、渠化水沟、民房等刚性、半刚性结构物的顶部, 基准点应布设在远离致灾体影响范围的稳定岩土体上。其中, 崩塌危岩体地表位移测点应以相对位移为主。

B.5.3 深部位移测孔宜原位利用地质勘探孔位, 测孔间距不宜大于 50m。监测孔深应穿过滑动面, 当滑动面以下还存在潜在滑动面, 如覆盖层、破碎层、倾倒变形基岩或发育软弱夹层、采空区等, 深部位移测孔深度应进入潜在滑面以下不少于 5m, 且应进入稳定的基岩内。

B.5.4 地表裂缝测点宜优先布设在能反映边坡变形趋势的控制性裂缝中段, 并避免松动岩土体局部变形影响测量精度。对于长度大于 20m 的主裂缝, 沿裂缝长度方向布设测点数量不宜少于 3 个, 其中一个测点应布设于中段裂缝最宽处, 另两个测点应分别布设于裂缝起止端。

B.5.5 降雨量测点应布设在能反映坡体变形区域及影响区域降雨量的开阔区域, 不宜距离被测地灾体太远。

B.5.6 支护结构受力监测点宜布设于支护结构设计计算弯矩最大区域。土压力测点可预先埋设在支挡结构迎土面, 测点竖向间距宜为 3~5m。锚索(杆)力测点数量不宜少于锚索(杆)总数的 5%, 且不少于 3 个。

B.5.7 地下水位测点间距宜为 20~30m, 测点数量不宜少于 3 个。

B.5.8 孔隙水压力测点宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布情况布设, 竖向

间距宜为 2~5m，测点数量不宜少于 3 个。

B.5.9 地声（岩体震动）监测点宜布设于崩塌危岩体构造相对完整处。

B.5.10 泥石流运动特征监测点应选取能客观、准确反映沟道内泥石流泥水位变化特征、监测断面规则，沟床稳定的沟段，宜布置在泥石流沟中部流通区，一般距离威胁区最小距离 1.5km。

B.5.11 地声（次声）监测点宜在泥石流沟下游附近或沟口外布设，并在泥石流沟岸 50m 范围内稳定开阔区域，测点数量不少于 1 个。

B.5.12 地声（地面震动）监测点宜在泥石流沟物源区、流通区分别布设，间距不应小于 200m，测点数量不宜少于 2 个。

B.5.13 崩塌危岩及冲刷水毁临灾前兆的视频监测点数量及布设位置应满足能充分拍摄到地质灾害点全貌特征；泥石流临灾前兆的视频监测点宜布设于上游物源区、中游流通区，若沟道内存在拦挡工程，则应在拦挡工程上游 10m 范围内增设监测点。

B.5.14 桥下流域水文特征监测点应选取能准确反映冲刷水体水位变化特征、流速变化特征的周边稳定区域。

附录 C 监测方法

C.1 环境

C.1.1 环境温度监测可采用热电偶、热电阻、光纤温度传感器等，量程上限宜高于大气温度年极大值 30°C 以上，量程下限宜低于年极小值 15°C 以下，最大允许误差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，分辨力小于等于 0.1°C 。

C.1.2 环境湿度监测可选用氯化锂湿度计、电阻电容湿度计和电解湿度计等，量程应为 $0\sim 100\%\text{RH}$ （非凝露），最大允许误差 $\pm 2\%\text{RH}$ 。

C.1.3 降雨量监测可选用电容雨量传感器、红外散射式雨量传感器、单翻斗雨量传感器等，应根据桥址处气候、气象条件选择雨量传感器类型、量程，分辨力不宜大于 0.1mm ，最大允许误差 $\pm 4\%\text{F}\cdot\text{S}$ 。

C.1.4 桥面结冰监测可采用超声波、红外线光谱、电容式传感等方法，并配合路面温度传感器使用。结冰厚度监测最大允许误差宜小于 1mm 。路面温度传感器应符合《公路交通气象监测设施技术要求》（GB/T 33697）的相关规定。

C.1.5 桥面积雪监测、能见度监测可采用激光、红外线光谱等方法，可配合路面温度传感器使用。桥面积雪深度监测最大允许误差 $\pm 5\text{mm}$ ，分辨力小于等于 0.1mm 。桥面能见度监测测量范围宜大于等于 10m ，最大允许误差 $\pm 10\%\text{F}\cdot\text{S}$ ，分辨力小于等于 1m 。桥面积雪、能见度传感器宜符合《公路交通气象监测设施技术要求》（GB/T 33697）的相关规定。

C.2 作用

C.2.1 车辆荷载监测宜采用高速动态称重方法，动态称重设备宜符合《动态公路车辆自动衡器 第 1 部分：通用技术规范》（GB/T 21296.1）中对高速 WIM 衡器的相关规定，且满足下列要求：

- 1 传感器布设尺寸应覆盖车道宽度，称重量程根据桥梁车辆限载重以及预估车辆载重综合确定，单轴监测量程不宜小于限载车辆轴重的 200%；
- 2 具备数据自动采集功能，现场单车荷载数据存储能力宜不少于 90d，视频数据存储能力宜不少于 30d；
- 3 车辆空间分布宜联合采用动态称重和视频图像监测设备，视频监测范围应覆盖全桥范围内的所有行车道，且具备图像自动抓拍功能；
- 4 视频图像监测宜采用 IP 网络摄像机，像素应大于等于 200 万，帧率应大于等于 25FPS；动态范围应大于等于 55dB，应具备自动光圈、变焦镜头、昼/夜自动转换功能、防护罩；具备水平 $0^{\circ} \sim 350^{\circ}$ ，垂直 $15^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 旋转功能，且应符合《交通信息采集 视频交通流检测器》(GB/T 24726) 的相关规定。

C.2.2 桥面风速风向监测宜采用三向超声风速仪，塔顶可采用机械式风速仪或两向超声风速仪，处于常遇强风区域的桥梁应统一安装三向超声风速仪。风速和风向指标监测应满足下列要求：

- 1 风速量程应大于其安装高度处设计风速的 1.2 倍，最大允许误差 0.3m/s；
- 2 主梁上下游两侧应采用同类型风速仪，多个索塔塔顶宜采用同类型风速仪；
- 3 测点方位和安装位置选取时，应避免主体结构绕流对风速测试数据的影响。

C.2.3 桥梁风压监测应满足下列要求：

- 1 自由场处风压监测宜选择皮托管，皮托管应安装在不受干扰的自由风场处，水平周向每隔 30° 布设一个，皮托管安装于固定支架上；
- 2 主梁风压监测宜选择陶瓷型或扩散硅型微压差传感器，量程宜大于 $-1000\text{Pa} \sim +1000\text{Pa}$ ，最大允许误差 $0.5\%F \cdot S$ ，传感器沿主梁截面周向和纵桥向布置，气嘴垂直于梁体外表面。

C.2.4 地震动监测宜采用力平衡式加速度传感器或专用强震仪等设备。监测量程不宜小于 $\pm 2.0g$ ，灵敏度宜达到或优于 $2.5V/g$ ，分辨力宜达到或优于 $1 \times 10^{-5}g$ ，动态范围宜大于等于 120dB。专用强震仪的技术指标还宜符合《数字强震动加速度仪》(DB/T 10) 的相关规定。

C.2.5 船舶（车辆）撞击桥墩的激励振动监测宜采用力平衡式加速度传感器并辅助视频取证监测。加速度传感器的技术指标宜符合本文件 C.2.4 条的规定，视频监测摄像机的技术指标除符合本文件 C.2.1 条第 4 款的规定外，还宜具备低照度、透雾功能。

C.2.6 如需布设船舶撞击主动监测预警系统，可采用具有区间入侵自动识别功能的高清视频（红外）摄像系统，主要技术指标宜满足下列要求：

- 1 识别距离：1000 吨级以上船舶大于等于 300m，300 吨级以上船舶大于等于 150m；
- 2 撞击风险预警反应时间：船舶进入预设识别区域内 1s；
- 3 风险事件识别准确率：白天大于等于 95%，夜间及大雾/逆光/强光等恶劣情况大于等于 90%。

C.3 结构响应

C.3.1 结构位移或变形监测方法宜根据被测桥梁结构、构件和附属设施的构造特点、安装环境，选择传感器类型、技术指标和安装方式，具体要求可参照下列规定：

1 主梁竖向位移的准静态监测宜选用基于连通管原理的静力水准仪，当桥梁纵坡导致测点间高差过大时，也可选用压力变送器。经温度修正后的最大允许误差不宜大于 2mm，压力变送器的其它技术指标还宜符合《压力变送器检定规程》（JJG 882）的相关规定。

2 缆索结构体系桥梁的主梁位移和塔顶偏位、悬索桥主缆偏位等准静态监测指标可采用 GNSS 系统，并将位移监测数据从大地坐标系转换到大桥独立坐标系。水平位移测量误差不宜大于 20mm，垂直方向测量误差不宜大于 50mm，其它技术指标宜符合《低轨星载 GNSS 测量型接收机通用规范》（GB/T 39410）的相关规定。

3 主梁（主拱）的动挠度监测宜选用带基准装置的位移传感器直接测量，安装条件不具备时，也可选用基于机器视觉或毫米波雷达的微变形间接测量系统。直接测量的最大允许误差不宜大于 0.1mm，间接测量的最大允许误差不宜大于 0.5mm。

4 支座位移、墩（台）梁间相对位移等可选用拉线式位移传感器、磁致伸缩位移传感器、激光位移传感器监测，最大允许误差宜不大于 0.5% F·S，其它技术指标宜符合《线位移传感器校准规范》（JJF 1305）的相关规定。

C.3.2 梁端、桥塔顶部、墩柱顶部、拱座等节点部位的转角监测宜采用微电子机械系统（MEMS）倾角传感器，量程宜为 $-5^{\circ}\sim+5^{\circ}$ ，测量误差不宜大于 0.02° 。

C.3.3 结构应变（含钢筋应力）的准静态监测可采用光纤光栅应变传感器、振弦式应变传感器，动应变监测可光光纤光栅应变传感器、振弦式应变传感器和电阻应变计。光纤应变传感器技术指标宜符合《土木工程用光纤光栅应变传感器》（JG/T 422）的相关规定，电阻应变传感器技术指标宜符合《金属粘贴式电阻应变计》（GB/T 13992）的相关规定，振弦式应变传感器技术指标宜符合《大坝监测仪器 应变计 第 2 部分：振弦式应变计》（GB/T 3408.2）的相关规定。应变传感器选型还宜满足下列要求：

- 1 应变传感器安装标距应与被测构件材料匀质性和被测参数精度要求匹配；
- 2 应变传感器量程宜不小于 $1000\mu\epsilon$ ，且准静态应变传感器量程应大于等于被测量预计变化范围的 1.2 倍，动应变传感器量程应大于等于预测被测量变化范围的 2 倍，分辨率应达到或优于 $1\mu\epsilon$ ；
- 3 应变监测应进行温度补偿，安装时应记录初始测值和对应结构温度。

C.3.4 索力监测可采用压力环锚索计等接触式测力法，也可采用频率法、磁通量法、应变模量换算法等非接触式测力法。接触式测力法的量程宜不小于被测索力设计值的 1.5 倍，非接触式测力法的量程宜不小于被测索力设计值的 2 倍。最大测量误差不宜大于被测索力设计值的 5%，其它要求可参照如下具体规定：

- 1 频率法可选用附着式加速度传感器，也可选用基于毫米波雷达或机器视觉的微变型测量系统测量拉索振动频率。
- 2 如选用电容式加速度传感器，其技术指标宜符合《电容式加速度传感器校准规范》（JJF 1918）的相关规定。
- 3 如选用锚索计测索力，其技术指标宜符合《水运工程 钢弦式锚索测力计》（JT/T 578）的相关规定。
- 4 采用应变模量换算法监测索力时，应确保附着安装在索体上的微变形测量传感器与索体变形一致，并根据传感器精度合理确定安装标距。

C.3.5 支座反力监测宜采用接触式测力的成品测力支座，测量误差应小于被测支座标称竖向承载力值的 5%。

C.3.6 结构振动监测应根据桥梁结构动力分析得到的基频、振型、阻尼比等理论参数等选取拾振器型号，使其测量档位、量程、频响范围、灵敏度、分辨率等测量技术指标与理论分析结果相匹配。具体要求可参照下列规定：

1 钢结构宜采用力平衡式加速度传感器或电容式拾振器，索结构和混凝土结构宜采用电容式或压电式拾振器。

2 主梁、塔、主拱结构的拾振器量程应大于计算分析振动响应峰值的 1.25 倍，且不宜小于 $\pm 1.0g$ ；频响范围内灵敏度宜达到或优于 $2.5V/g$ 或 $1V \cdot s/m$ ，分辨率宜达到或优于 $1 \times 10^{-6}g$ 或 $1 \times 10^{-6}m/s$ ，横轴向灵敏度比宜小于 5%。

3 缆索结构体系桥梁的索构件拾振器量程应大于计算分析振动响应峰值的 1.5 倍，且不宜小于 $\pm 2g$ ，频响范围内灵敏度宜达到或优于 $1V/g$ 或 $1V \cdot s/m$ ，分辨率宜达到或优于 $1 \times 10^{-4}g$ 或 $1 \times 10^{-4}m/s$ ，横轴向灵敏度比宜小于 5%。

C.4 结构变化

C.4.1 基础冲刷宜采用声学法监测冲刷深度，采用雷达法监测水位和水流速度。设备选型时应充分考虑桥址处水流速度、水压、含沙量等水文参数。其它要求可参照下列规定：

1 冲刷深度传感探头类型和数量应根据被测墩身基础类型、尺寸和水流特点确定，传感探头宜安装在承台底部或桩顶部位置，距离被测墩身处水底面的距离宜大于等于 10m，冲刷深度分辨率宜小于等于 5mm。

2 流速监测仪器的量程宜不小于 $\pm 5m/s$ ，最大允许误差宜为 $\pm 1\%F \cdot S$ ，分辨率宜达到或优于 $0.1cm/s$ 。

C.4.2 悬索桥锚碇位移、拱桥拱座位移监测可采用 GNSS 准静态监测方法，GNSS 测量基准站和测站设备选型应符合《低轨星载 GNSS 测量型接收机通用规范》(GB/T 39410) 的相关规定。GNSS 测量精度不满足需求时，也可采用激光测距、毫米波雷达、机器视觉等非接触式监测方法。上述方法的基准点应布设在远离变形体的稳定岩土体上。

C.4.3 裂缝监测宜采用自动实时监测和人工跟踪观测相结合的方法。裂缝宽度可采用振弦式、电阻式、磁致伸缩式、光纤光栅传感、高清图像识别等自动化监测方法，量程宜大于既有裂缝宽度的 5 倍，最大允许误差宜为 $0.02mm$ ，分辨率达到或优于 $0.01mm$ 。

裂缝长度及其分布可采用人工跟踪观测或高精度图像识别法监测，图形采集摄像机技术参数应达到或优于本文件 C.2.1 条第 4 款的要求，并应配置高精度图像自动识别模块。

C.4.4 腐蚀监测宜选用电化学方法，腐蚀监测传感器宜选用沿混凝土保护层深度安装多电极传感器，可监测腐蚀电位、腐蚀电流、混凝土温度、腐蚀速率等参数，技术指标宜符合《无损检测 电化学检测 总则》（GB/T 38894）的相关规定。

C.4.5 拉索断丝监测宜采用声发射监测方法。悬索桥吊索、主缆，斜拉桥斜拉索，拱桥吊杆（索）、系杆等裸露于空气中的钢索结构断丝可选用谐振频率较高的声发射传感器，工作温度范围宜为 $-30^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，工作频率范围宜在 40kHz~100kHz 范围；埋设于混凝土内的预应力钢索断丝可选用谐振频率稍低的声发射传感器，工作频率范围宜在 10kHz~40kHz 范围内。

C.4.6 体外预应力索力监测可采用基于磁通量原理的磁弹式索力仪，量程宜不小于拉索材料 0.9 倍屈服应力，最大允许误差不应大于设计索力的 5%。

C.4.7 螺杆/螺栓紧固力可采用直接测力或间接测力法。直接测力法可选用振弦式或电阻式压力环式传感器。间接测力法可选用超声波法或螺杆/螺栓应变电测法。螺栓滑脱可采用视频图像识别方法监测，摄像机技术指标应达到或优于本文件 C.2.1 条第 4 款的要求，并应配置高精度图像自动识别模块。

C.4.8 索夹滑移监测可选用位移监测法或视频监测法，也可联合使用。视频监测选用的摄像机技术指标应达到或优于本文件 C.2.1 条第 4 款的要求，并应配置高精度图像自动识别模块。位移监测采用的高精度线位移计技术指标宜符合《线位移传感器校准规范》（JJF 1305）的相关规定。

C.5 桥址区地质灾害体

C.5.1 地表位移监测应根据灾害体的类型、规模、发育程度、地形地貌特点和具体监测需求，选择传感器类型、精度、安装位置和方式，应满足下列要求：

- 1 宜采用 GNSS 静态监测方法监测地质灾害体的地表绝对位移。GNSS 监测

宜采用北斗卫星导航技术，可与桥梁结构位移监测共用永久观测基准站，应符合《低轨星载 GNSS 测量型接收机通用规范》（GB/T 39410）的相关规定。

2 宜选用大量程拉线式位移传感器、磁致伸缩位移传感器、激光位移传感器等监测地质灾害体的地表相对位移，最大允许误差不宜大于 $0.5\%F \cdot S$ ，技术指标宜符合《线位移传感器校准规范》（JJF 1305）的相关规定。也可选用其他类型满足量程、精度、分辨力要求的位移传感器。

3 特殊条件下也可选用视频图像法或雷达测试法。视频图像法应符合本文件 C.2.1 条第 4 款的规定，并宜符合《交通信息采集视频交通流检测器》（GB/T 24726）的相关规定。

C.5.2 地表倾斜监测宜采用微电子机械系统（MEMS）倾角传感器，量程宜为 $-15^{\circ} \sim +15^{\circ}$ ，测量误差不宜大于 $0.1\%F \cdot S$ 。

C.5.3 地表裂缝监测宜采用大量程拉线式位移传感器、磁致伸缩位移传感器、激光位移传感器等，测量误差不宜大于 $0.5\%F \cdot S$ ，技术指标宜符合《线位移传感器校准规范》（JJF 1305）的相关规定。

C.5.4 深部位移监测宜采用深孔测斜仪，量程宜为 $-15^{\circ} \sim +15^{\circ}$ ，测量误差不宜大于 $0.1\%F \cdot S$ 。

C.5.5 土压力监测宜采用埋入式或边界式土压力计，量程应大于等于预测被测量变化范围的 2 倍，测量误差不宜大于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨力不宜大于 $0.2\%F \cdot S$ 。

C.5.6 锚索（杆）力监测宜分别采用锚索测力计和钢筋计，其量程宜为对应设计值的 2 倍，测量误差不宜大于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜大于 $0.2\%F \cdot S$ 。

C.5.7 地下水位监测宜采用钻孔内设置水位计的方法进行监测，宜与深部位移协同监测，测量误差不宜大于 10mm。

C.5.8 雨量监测应符合本文件 C.1.3 条的要求。

C.5.9 泥水位监测宜采用雷达泥（水）位计，量程不宜小于 10m，测量误差不宜大于 $\pm 1\%F \cdot S$ ，技术指标宜符合《泥石流泥位雷达监测技术规程》（试行）（T/CAGHP 034）的相关规定。

C.5.10 泥石流流速监测宜采用雷达流速仪，测速范围宜为 0.1m/s~20m/s，测速误差不得大于 1%F·S。

C.5.11 岩体震动、地面震动监测宜采用加速度传感器，灵敏度不宜大于 0.5V/g，动态响应宜大于等于 95dB；次声监测宜采用次声传感器，灵敏度不宜大于 50±4mV/Pa，频率响应范围宜为（1~20）Hz±2dB；其它技术指标宜符合《地质灾害地声监测技术指南（试行）》（T/CAGHP 029）的相关规定。

C.5.12 视频图像监测宜采用高清摄像机，宜配置高精度图像自动识别模块，技术指标应达到或优于本文件 C.2.1 条第 4 款的要求。

C.6 数据采集

C.6.1 数据采集设备及其内嵌软件应与传感器输出信号类型、量程、分辨力和兼容性等技术参数相匹配，并满足下列具体要求：

- 1 数字信号可选用基于 RS485、CAN、Modbus TCP 或 UDP 等分布式数据采集设备，并兼顾传输距离、传输带宽和速率。
- 2 电荷信号应选用电荷放大器进行信号调理后采集。
- 3 模拟电信号宜选用 4mA~20mA 和 -5V~5V 等标准工业信号，可选用基于 PCI、PXI 等技术的集中式数据采集设备，并进行光电隔离，以增强抗干扰能力。
- 4 光信号数据采集应采用专用的光纤解调设备，应根据波长范围、采样通道与采样频率进行选型，光纤光栅波长分辨力小于等于 1pm，扫描频率大于等于 50Hz。
- 5 振弦式传感器信号应选用专用振弦式采集仪采集，频率信号误差不大于 0.1Hz。
- 6 电阻式应变传感器信号应选用惠斯登电桥调理信号放大。
- 7 电磁弹式索力传感器信号应选用磁弹采集仪采集，误差不大于 0.5%F·S。
- 8 数据采集模数转换（A/D 转换）应满足传感器分辨力、精度和数据分析要

求，静态信号分辨力大于等于 16 位，动态信号分辨力大于等 24 位。

9 静态模拟信号宜选用多路模拟开关、采样保持器进行多路信号采集。

10 动态信号应选用抗混滤波器进行滤波、降噪。

C.6.2 数据采集设备支持的采样模式和采样频率应满足本文件 8.1.2 条和 8.1.3 条的要求，且宜具备下列功能：

1 在无人值守条件下能够连续监听或采集数据。

2 在特殊状态下支持人工干预采集数据。

3 支持数据实时同步采集。

4 具备数据预处理边缘计算能力。

5 具备自校准功能，对无自校准功能的数据采集设备可在系统后期运维时采用标准信号发生器定期进行人工比对校准。

6 具备自诊断和自重启功能。

7 支持远程配置关键控制参数。

C.6.3 环境、作用和结构响应等监测指标的采集有时间同步要求，宜采用北斗卫星导航授时技术。动态监测指标的数据采集时钟同步误差宜小于 0.1ms，准静态监测指标的数据采集时钟同步误差宜小于 1s。

C.6.4 数据采集系统宜采用串模干扰抑制、共模干扰抑制、屏蔽技术等抗干扰措施，以提高信噪比。

C.7 常用监测设备的主要技术指标

常用监测传感元件和数据采集设备的主要技术指标宜参照表 C.7.1。

表 C.7.1 常用监测设备的主要技术指标

序号	设备名称	技术指标要求
1	环境温湿度计	1、温度量程：-30℃~+70℃ 2、★温度精度：≤±0.5℃ 3、温度分辨力：≤0.1℃ 4、★相对湿度量程：0~100%RH（非凝露） 5、相对湿度精度：≤±2%RH 6、相对湿度分辨力：≤1%RH

序号	设备名称	技术指标要求
2	路面温度传感器	0cm: 1、量程: $-50^{\circ}\text{C}\sim+80^{\circ}\text{C}$ 2、★精度: $\leq\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 3、分辨力: $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$ -10cm: 1、量程: $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 2、★精度: $\leq\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 3、分辨力: $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$
3	激光雪深计	1、★精度: $\leq\pm 5\text{mm}$ 2、分辨力: $\leq 0.1\text{mm}$
4	能见度仪	1、量程: $\geq 10\text{m}$ 2、★精度: $\leq\pm 10\%\text{F}\cdot\text{S}$ 3、★分辨力: $\leq 1\text{m}$
5	动态称重系统	1、★整车称重误差: $\leq 15\%$ 2、★单轴监测量程: $\geq 30\text{t}$ 3、车速范围: $15\sim 200\text{km/h}$ 4、★车速误差: $\leq\pm 5\text{km/h}$ 5、车流量统计准确性: $\geq 95\%$ 6、★具备数据自动采集功能, 现场单车荷载数据存储能力宜不少于 90d, 视频数据存储能力宜不少于 30d
6	高清球形摄像机	1、★像素: ≥ 400 万 2、★帧率: $\geq 25\text{FPS}$ 3、★动态范围: $\geq 55\text{dB}$ 4、水平旋转: $0^{\circ}\sim 350^{\circ}$ 5、垂直旋转: $15^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 6、★具备自动光圈、变焦镜头, 昼/夜自动转换功能、防护罩
7	结构温度计	1、量程: $-50^{\circ}\text{C}\sim+80^{\circ}\text{C}$ 2、★精度: $\leq\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 3、分辨力: $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$ 4、埋入结构内部或表贴结构表面并作隔温处理
8	三向超声风速仪	1、★测量参数: 三个正交方向的风速和风向 2、风速量程: $\geq 50\text{m/s}$ 3、★风速精度: $\leq 0.3\text{m/s}$ 4、风向水平测量范围: $0\sim 359.9^{\circ}$ 5、风向俯仰测量范围: $-60^{\circ}\sim +60^{\circ}$ 6、★风向精度: $\leq\pm 2^{\circ}$ (风速 $< 30\text{m/s}$), $\pm 5^{\circ}$ (风速 $\geq 30\text{m/s}$) 7、风向分辨力: $\leq 0.1^{\circ}$
9	机械式风速仪	1、风速量程: $\geq 50\text{m/s}$ 2、风速精度: $\leq\pm 0.3\text{m/s}$ 3、风向测量范围: $0\sim 359.9^{\circ}$ 4、风向精度: $\leq\pm 3^{\circ}$
10	强震仪/三向地震仪	1、★量程: $\geq\pm 2.0\text{g}$ 2、★灵敏度: $\geq 2.5\text{V/g}$ 3、横向灵敏度比: $\leq 1\%$ 3、★动态范围: $\geq 120\text{dB}$ 4、★分辨力: $\leq 1\times 10^{-5}\text{g}$ 5、线性度误差: $\leq 1\%$

序号	设备名称	技术指标要求
11	压力变送器/压差式静力水准仪	1、量程: $\geq 2\text{m}$ 2、★精度: $\leq 2\text{mm}$ 3、过压影响: $\leq 0.025\%\text{FSR}/16\text{MPa}$ 4、稳定性: $\leq 0.1\%\text{FSR}/60$ 个月
12	机器视觉测量仪	1、最大测量距离: $\geq 400\text{m}$ 2、采样频率: $\geq 20\text{Hz}$ 3、★精度: $\leq \pm 1/50000$ (测距) 4、测量方向: 竖向与横向 5、AI 算法自动修正转角及距离影响
13	毫米波雷达测量仪	1、测量距离: $\geq 300\text{m}$ 2、★精度: $\leq 0.1\text{mm}$ 3、波束宽度: 水平 $\geq 40^\circ$, 俯仰 $\geq 10^\circ$ 4、采样频率: $\geq 20\text{Hz}$
14	电涡流动挠度仪	1、量程: $\geq 25\text{mm}$ 2、★精度: $\leq \pm 1\%\text{F}\cdot\text{S}$ 3、分辨力: $\leq 0.001\text{mm}$
15	GNSS	1、★静态精度: 水平方向 $\leq \pm 2.5\text{mm}+0.5\text{ppm}$, 垂直方向 $\leq \pm 5\text{mm}+0.5\text{ppm}$ 2、星频: 单北斗 3、其他: 符合 GB/T 39410 要求
16	拉绳位移计/顶杆位移计	1、量程: $100\sim 1000\text{mm}$ (可定制) 2、★精度: $\leq \pm 0.5\%\text{F}\cdot\text{S}$ 3、分辨率: $\leq 0.01\text{mm}$
17	应变计	1、★量程: $\geq \pm 1000\mu\epsilon$ 2、★分辨力: $\leq 1\mu\epsilon$ 3、线性度: $\leq 1\%$
18	加速度计/拾振器	1、★量程: $\geq \pm 1.0\text{g}$ 2、灵敏度: $\geq 2.5\text{V/g}$ 3、★横向灵敏度: $\leq 5\%$ 4、分辨力: $\leq 1\times 10^{-5}\text{g}$ 5、★频率响应: $0\sim 100\text{Hz}$
19	加速度索力计	1、★量程: $\geq \pm 5\text{g}$ 2、灵敏度: $\geq 2.5\text{V/g}$ 3、★横向灵敏度: $\leq 5\%$ 4、分辨力: $\leq 1\times 10^{-5}\text{g}$ 5、★频率响应: $0.1\sim 100\text{Hz}$
20	磁通量索力计	1、量程: $0\sim 2000\text{kN}$ (可定制) 2、★精度: $\leq 3\%\text{F}\cdot\text{S}$ 3、线性度: $\leq 1\%$
21	毫米波雷达索力测量仪	1、测量距离: $\geq 100\text{m}$ (拉索直径 $\geq 150\text{mm}$) 2、测量频率范围: $0.25\sim 50\text{Hz}$ 3、★精度: $\leq 0.125\text{Hz}$ 4、波束宽度: 水平 $\geq 40^\circ$, 俯仰 $\geq 10^\circ$ 5、采样频率: $\geq 50\text{Hz}$
22	裂缝计	1、量程: $10\sim 30\text{mm}$ (可定制) 2、★精度: $\leq 0.02\text{mm}$ 3、分辨力: $\leq 0.01\text{mm}$

序号	设备名称	技术指标要求
23	双轴倾角计	1、量程：5°、15°（可选） 2、★精度：≤0.02° 3、分辨力：≤0.01°
24	深孔测斜仪	1、量程：≥±15° ★精度：≤±0.1%F.S
25	土压力计	1、量程：≥300kPa 2、★精度：≤0.5%F.S 3、分辨力：≤0.2%F.S
26	锚索计/钢筋计	1、★精度：≤0.5%F.S 2、分辨力：≤0.2%F.S
27	泥（水）位计	1、量程：≥10m 2、★精度：≤1%F.S 3、分辨力：≤0.1%F.S
28	流速仪	1、量程：5~20m/s（可定制） 2、★精度：≤±1%F.S
29	次声传感器	1、★灵敏度：50±4mV/Pa 2、★频率响应：（1~20）Hz±2dB 3、动态范围：≤100Pa
30	雨量计	1、量程：≥4mm/min 2、★精度：≤±4%F.S 3、分辨力：≤0.1mm
31	通用信号调理器 （静态采集设备）	1、数字信号：RS232/485 2、电流信号：4mA~20mA 3、电压信号：-5V~+5V 4、频率信号：支持 5、★精度（频率信号）：≤0.1Hz 6、★A/D 位数：≥16 位 7、支持远程配置
32	动态信号调理器 （动态采集设备）	1、电流信号：4mA~20mA 2、电压信号：-5V~+5V 3、应变信号：≥±3000με 4、★A/D 位数：≥24 位 5、★具备滤波、降噪功能 6、采样频率：10~50Hz 7、支持远程配置
33	光纤光栅解调仪	1、★扫描频率：≥50Hz 2、★波长分辨力：≤1pm 3、波长范围：1525~1565nm 4、动态范围：≥35dB

表注：“★”表示应满足项，其余为宜满足项。

附录 D 外场设备及配套工程安装调试要求

D.1 外场设备

D.1.1 动态称重系统的安装应符合下列规定：

- 1 称重传感器安装位置要求路面平整度良好，路面高低差不宜大于 5mm。
- 2 称重传感器安装位置应远离加速段和减速段，尽量避免弯道、道路岔口。
- 3 传感器安装位置前后 50m 路面水平弯曲半径不宜小于 1500m，纵向和横向坡度不宜超过 2%。
- 4 采用石英晶体传感器的动态称重系统宜安装于桥头路基段的硬化路面上，混凝土路面厚度不宜小于 30cm，路面刻纹深度不宜大于 3mm。
- 5 按照现场安装称重车道布置和设计图纸要求，以每个车道的中心线为基准，确定开挖位置线。
- 6 安装方式应考虑后期运维的可维护和可更换性。
- 7 系统防雷接地应满足设计要求，并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB/T 50343）的相关规定。

D.1.2 摄像机的安装应符合下列要求：

- 1 安装方式应考虑后期运维的可维护和可更换性。
- 2 安装位置应视野开阔，尽量靠近数据采集站或数据传输网络节点。
- 3 安装球机前应严格按照电气规范进行管线敷设，将强电与弱电信号线隔离穿敷，避免干扰。在室外空旷环境，应采取独立的外部防雷措施。球机本身也应保持良好的接地，防止静电累积等对球机产生影响。
- 4 接电前应检查确认电源线、通信线和视频线连接正确。
- 5 为保证球机正常工作，供电电源不宜低于球机输入电压的标称值。当标称值为 24VAC，电压波动不宜超出 $\pm 25\%$ 。
- 6 球机的接地分为外壳接地和内部电气接地；外壳接地主要防止静电积累、电气漏电等，室外球机宜加装外部防雷措施。
- 7 球机安装支架应充分考虑防水问题；为减少水汽进入支架，可将支架与立

杆结合处用橡皮泥或硅胶等进行密封处理。

8 系统防雷接地应满足设计要求，并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB/T 50343) 的相关规定。

D.1.3 环境温湿度传感器的安装应符合下列要求：

1 对于安装在索塔塔顶和桥面上的环境温湿度传感器，传感器与塔顶的竖向距离应大于 0.5m，与桥面的竖向距离应大于 1.0m。可与风速风向仪的立柱或 GNSS 的天线柱共用安装支杆。

2 对于安装在箱梁内的环境温湿度传感器，传感器应固定在箱梁结构上，并使四周空气流通。

3 接电前应检查确认区分温度、湿度接线端子，并进行线缆使用颜色区分标记。

D.1.4 结构温度传感器的安装应符合下列要求：

1 温度传感器安装就位后应充分接触被测物体。

2 光纤光栅类温度传感器安装时，禁止用手直接接触接线和光纤接头，以免影响精度；禁止直角弯折光纤光缆。

3 对于安装在混凝土构件内部的温度传感器，必须采取措施保护数据线缆。

4 安装时注意线缆的屏蔽保护。

D.1.5 风速风向仪安装应符合下列要求：

1 风速风向传感器应安装在专用支架上，支架应具有足够刚度和强度，安装立柱及其基座应牢固可靠，能承受相应动静荷载及风荷载。

2 桥面安装时，支架宜沿横桥向水平伸出主梁边缘不小于 5m；塔顶安装时，立柱高度宜不小于 3m，且安装点须在避雷针的保护范围内。

3 系统接线时，应采取措施保障屏蔽线接地良好。

4 安装及维护过程中应注意避免电路板遭到水汽的侵蚀，加强水汽隔离。

5 系统防雷接地应满足设计要求，并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB/T 50343) 的相关规定。

D.1.6 拾振器的安装应符合下列要求:

- 1 结构振动监测用拾振器的安装盒及底座应进行密封处理, 安装完成后应具有良好的防尘和防水功能。
- 2 索力监测用加速度传感器的安装施工应注意:
 - 1) 传感器应牢固固定在拉索或吊杆上。
 - 2) 传感器安装施工过程中应注意保护拉索或吊杆的防护套, 以免造成防护套的损坏; 不可避免造成防护套损坏的, 应及时进行修复, 修复后的防水防腐能力不低于原防护套。
 - 3) 施工过程中发现拉索或吊杆的防护套与其内部的钢绞线或钢丝束不密贴、影响监测效果的, 应及时联系系统设计单位进行相关变更设计。
- 3 传感器在现场搬运工程中应轻拿轻放, 以免损坏传感器。
- 4 使用传感器时, 宜先检查系统配线是否正确(电源线、信号线), 然后打开电源开关。
- 5 传感器安装过程中应确保传感器的测试方向符合设计文件要求。
- 6 传感器接线时, 应采取措施确保屏蔽线接地良好。
- 7 系统初次调试时宜记录其原始数据。
- 8 系统防雷接地应满足设计要求, 并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB/T 50343) 的相关规定。

D.1.7 GNSS 站点的安装应符合下列要求:

- 1 安装立柱高度应满足设计要求, 且安装点须在避雷针的保护范围内。
- 2 立柱安装应牢固可靠, 垂直度满足验收技术要求。
- 3 基准站场地应满足: 视野开阔, 天线对水平 15° 以上的天空通视; 靠近桥梁, 距监测点的距离最远不超过 8km; 尽量靠近数据传输网络节点。
- 4 监测站场地应满足: 天线对水平 10° 以上的天空通视。
- 5 接线时, 应采取措施确保屏蔽线接地良好。
- 6 系统初次调试时宜记录其原始数据。
- 7 系统防雷接地应满足设计要求, 并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB/T 50343) 的相关规定。

D.1.8 倾角计的安装宜符合下列要求：

- 1 传感器安装盒及底座应进行密封处理，安装完成后应具有良好的防尘和防水功能。
- 2 传感器安装过程中应确保传感器的测试方向符合设计文件要求。
- 3 系统防雷接地应满足设计要求，并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB/T 50343）的相关规定。

D.1.9 应变计及钢筋计的安装宜符合下列要求：

- 1 埋入式混凝土应变计安装应牢固可靠且避免与钢筋直接接触，应采取必要的防护措施以免混凝土浇筑振捣过程中传感器移位或损坏。
- 2 埋入式钢筋应变计安装宜采用螺纹套筒等机械连接方式与钢筋连接；若采用焊接工艺，应采取降温措施避免高温损坏传感器和线缆。
- 3 混凝土表贴式应变计安装宜采用化学螺栓稳妥地将传感器底座锚固在混凝土结构中，应变计保护盒及底座设计应方便电缆出线 and 固定。
- 4 钢结构表贴式应变计安装宜采用先焊接固定底座，待降温后再安装传感器的方式，应变计保护盒及底座设计应方便电缆出线 and 固定。
- 5 接线时，应采取措施确保屏蔽线接地良好。
- 6 传感器防尘、防水保护措施符合设计要求。
- 7 系统初次调试时宜记录其原始数据。
- 8 系统防雷接地应满足设计要求，并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB/T 50343）的相关规定。

D.1.10 数据采集站的安装宜符合下列要求：

- 1 连接件应牢固可靠，设备安装后无倾斜、晃动等。
- 2 线缆路由正确、绑扎牢固、端头连接规范，弯曲半径和预留长度符合设计要求及《工程结构设计通用符号标准》（GB/T 50132）的要求。
- 3 设备标识清楚、完整，安装完成后应汇总提交完整的信道连接关系图表。
- 4 当机柜上安装温控装置时，应考虑密封问题。
- 5 机柜必须稳固，且良好接地。
- 6 机柜内设备布局合理，走线美观，且强、弱电线缆尽可能分开。

D.1.11 深孔测斜仪安装应符合下列要求:

1 测斜管宜采用 PVC、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)工程塑料管或铝合金管,直径宜为 0mm~90mm,内壁开有双向互成 90°的导槽;测斜管内壁应平整圆滑,导槽不应有裂纹、结瘤。

2 钻孔定位偏差不宜大于 20mm,钻孔直径不小于 150mm(或 110mm),钻孔深度超过稳定地层不小于 5m,倾斜度小于 1°;应做好钻进情况记录及绘制地质柱状图,钻到预定位置后,用清水清孔,直至泥浆水变成清水为止。

3 测斜管埋设前,应对钻孔孔口高程、深度、孔内地下水位、有无塌孔以及测斜管加工质量、测斜管各段长度、接头、管帽等进行细致检查并做好记录、存档。

4 测斜管管内有 2 组相互垂直的纵向导槽,安装时应及时检查测斜管内导槽方向,确保测斜管其中一组导槽平行于边坡坡面的倾向方向,当监测对象为滑坡体时,应使测斜管其中一组导槽平行于滑坡的主滑动方向。

5 测斜管连接时,应保证上、下管段的导槽相互对准顺畅,并应保证各段测斜管垂直度偏差不大于 1°。

6 应将测斜管底封闭,每节测斜管接头处应密封,以防泥浆或流沙渗人,堵塞测斜管。

7 孔壁回填,回填料应与孔周介质相符,且满足反滤及密实要求:钻孔回填料通常采用粗砂,回填时应保证填充质量,可采用适量冲水加以密实:当地下水位较高,回填受阻时,可用水泥浆液灌注回填。

D.1.12 土压力计安装应符合下列要求:

1 土压力计(盒)埋设之前,应对土压力计(盒)装置进行密封性检验和标定。

2 土压力计(盒)埋设宜采用埋入式或边界式,埋设时应满足下列要求:

1) 受力面应与监测压力方向垂直;

2) 安装埋设采用埋入式时,填充料回填应均匀密实,且回填材料须与周围岩土体保持一致;当采用边界式时,可采用焊接固定法、挂布法、气囊法等;

3) 连接电缆宜集中于数据采集箱内,并编制安装记录。

3 土压力计埋设后应进行检验性测试,经 1 周时间观测,读数基本稳定后,取 3 次稳定值的平均值作为初始土压力值。

D.1.13 锚索计安装宜符合下列要求：

- 1 锚索计与垫板之间应光滑平整。
- 2 锚索计与锚索垫板面应与锚索孔轴线垂直。
- 3 安装时应使锚索计安装基面与钻孔方向垂直，垂直偏差不应大于 $\pm 1.5^\circ$ 。
- 4 锚索计应置于锚板与锚垫板之间，并使三者同轴：连接电缆过长时，应在一端将电缆屏蔽线接地。
- 5 锚索计安装就位后，应在加载前读取并记录初始读数。

D.1.14 钢筋计安装宜符合下列要求：

- 1 钢筋计的安装应采用焊接的方式，双面焊的搭接长度为 $10d$ (d 为主筋直径)，单面焊的搭接长度为 $20d$ 。
- 2 焊接过程中，钢筋计温度不应高于 60°C ，宜采用在钢筋计部位包棉纱浇水冷却的方法降低温度。
- 3 将钢筋计按设计深度与截取的锚杆对接，同时安装好排气管。
- 4 组装检测合格后，将组装的监测锚杆缓慢地送入钻孔内，同时应确保锚杆应力计不产生弯曲，电缆和排气管不受损坏，锚杆根部应与孔口平齐。
- 5 钢筋计入孔后应引出电缆和排气管，安装好灌浆管，用水泥砂浆封闭孔口。
- 6 安装检测合格后，进行灌浆埋设，灌浆应在设计规定的压力下进行，灌至孔内停止吸浆，持续 10min 后结束。
- 7 砂浆固化后，测其初始值。

D.1.15 泥（水）位计/流速仪安装宜符合下列要求：

- 1 安装地点选择安全（历史最高泥石流、洪水位或 20 年一遇洪水位以上）的巨砾、基岩、堤坝、拦砂坝、桥梁为宜。
- 2 基础应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）有关规定。
- 3 立柱安装应牢固可靠。
- 4 系统防雷接地应满足设计要求，并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB/T 50343）的相关规定。

D.1.16 加速度传感器安装宜符合下列要求：

- 1 岩体震动加速度传感器宜采用钻孔安装，钻孔可从坡面往下钻垂直或下斜孔，也可以利用探槽、探洞、平硐或其它已有地下硐室钻水平孔或上斜孔。
- 2 岩体震动加速度传感器安装前应确保孔内无碎石残渣，并采用水泥砂浆浇灌，砂浆强度等级不得低于 M10。应深入中风化基岩至少 1m，总体孔深不小于 3m，确保浇灌砂浆后的传感器与基岩充分耦合。孔径宜为传感器外径的 1.3~1.5 倍，且不应小于 32mm。
- 3 地面震动加速度传感器应紧密贴合基岩或混凝土平台，传感器应有防护罩及防潮隔热措施，应用混凝土将整个传感器及防护罩埋设。
- 4 地面震动加速度传感器应采用气密外壳进行封装，并采用干燥剂防潮。
- 5 应避开电磁干扰，应与信号电缆和电源线保持一定的距离。
- 6 传感器的安装应使用绝缘底座，避免对地回路引起的噪声。
- 7 系统防雷接地应满足设计要求，并符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB/T 50343) 的相关规定。

D.1.17 次声传感器安装宜符合下列要求：

- 1 次声监测仪器宜采用一体化安装，传感器、数据采集模块、蓄能电池、供电系统、通讯系统宜置于通风的建筑物内，该建筑物可距流通区数千米，应有较好的通视性。如在室外，则应置于保护箱内，保护箱应具备防雨、防风、防腐蚀的功能，应在保护箱的下部设计百叶窗式通风口，确保泥石流次声信号能进入保护箱并被次声传感器接收。
- 2 无线传输天线应置于保护箱外，确保数据传输顺畅。
- 3 保护箱应高于地面 1.8m 以上，可将保护箱绑定在金属空心立杆上，应确保立杆和保护箱安装牢固，避免仪器箱振动产生的谐振噪声信号，立杆应置于稳定基座之上，并应安装避雷装置。
- 4 如采用太阳能作为供电系统，应将太阳能电池板支架固定在立杆上，并确保太阳能板方向朝南。
- 5 应在次声监测设备周边加设防护栏，防护栏应适应户外条件，抗腐蚀、防锈能力强，受温度、冻融、雨水、大风等影响小，防护栏与设备及配件边界之间应留出至少 30cm 间隙。

D.2 配套工程

D.2.1 信号线缆和供电线缆宜采用统一、清晰、易读的编码规则进行标识，具体可参照下列规定：

- 1 标识统一朝上或朝向维护操作面；相同去向的线缆，标识部位和朝向一致。
- 2 采用不同颜色标签区分强电、弱电。
- 3 信号线缆的标识部位宜位于：1) 传感器的接出端；2) 桥架或管道的接入端和引出端；3) 数采设备的接入端或接出端；4) 传输节点设备的接入端或接出端。
- 4 供电线缆的标识部位宜位于：1) 电源的接出端；2) 桥架或管道的接入端和引出端；3) 用电设备的接入端。

D.2.2 桥架和线槽的安装施工应符合下列具体规定：

- 1 在混凝土构件上安装桥架时应避开预应力管道或钢筋进行钻孔，对废弃不用的膨胀螺栓钻孔应采用浆料填塞处理。
- 2 桥架的间距应满足设计要求。当设计无要求时，水平安装的桥架间距宜为 1.5m~3m；垂直安装的桥架间距不宜大于 2m。
- 3 当桥架垂直段间距大于 2m 时，宜在垂直段上、下端槽内增设固定电缆用的支架；当垂直段间距大于 4m 时，宜在中部增设支架。
- 4 在易受车辆、风等引发振动的结构上安装桥架时，固定桥架的螺母宜有防滑功能。
- 5 当线槽、导管的长度超过 30m 或跨越桥梁伸缩缝、护栏变形缝时，宜设置伸缩节段等变形补偿措施。
- 6 当设计无要求时，线槽和导管宜敷设在易燃易爆气体管道或热力管道下方，与各类管道的净距应满足《建筑电气工程施工质量验收规范》(GB 50303) 的相关规定。

D.2.3 光缆的敷设应符合下列规定：

- 1 光缆敷设的弯曲半径不应小于设计要求。当设计无要求时，弯曲半径不宜小于光缆外径的 20 倍。
- 2 光缆连接应采用专用设备进行熔接以减少接续损耗，每道工序完成后宜采用前向双程测试法测量接头损耗、中断段光纤的平均接头损耗不大于每个 0.05dB。

D.2.4 电源及信号线缆的敷设施工应符合下列规定：

- 1 不宜敷设在有腐蚀性物质排放，强磁场和强电场干扰的区域当无法避免时，应采取防护或屏蔽措施。
- 2 线缆接头宜采用压接，使其平直不受力；当采用焊接时应采用无腐蚀性的助焊剂；同轴电缆的连接应采用专用接头。
- 3 双绞线、同轴电缆等的弯曲半径不宜小于线缆外径的 15 倍。
- 4 线缆垂直敷设于线槽内时，距其顶部和底部 1.5m 处宜与线槽和桥架绑定；线缆水平敷设于桥架线槽内时，每隔 3~5m 处宜与线槽和桥架绑定。
- 5 线缆敷设时强电和弱电宜分别走线，否则宜对模拟信号传输线缆采取屏蔽措施，避免对监测数据产生电磁干扰。
- 6 绝缘导线应采取导管或槽盒保护，不可外露明敷，且不宜与电缆敷设在同一槽盒内。
- 7 线缆终接后应按设计要求预留长度。设计无要求时，数据采集站处线缆预留长度宜为 0.5~1.0m，工作区宜为 10~30mm。线缆布放宜盘留，预留长度宜为 3~5m。
- 8 线缆进出线槽或导管前后、以及与设备对接处，应采用软波纹管进行保护。

D.2.5 系统等电位连接和接地施工应符合下列规定：

- 1 监测系统的电气和电子设备的金属外壳、机柜、桥架、金属软管、屏蔽线缆金属外层、设备防静电接地、安全保护接地、功能性接地、浪涌保护器接地端等均宜以最短距离与接地点连接。
- 2 当桥梁主体结构有接地装置时，应将监测系统接地线与桥梁接地装置牢固焊接并采取防护措施，接地线材质和施工要求应满足《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343）的相关规定。
- 3 当桥梁结构无接地装置时，宜充分利用桥址区附近的自然接地体。应根据现场条件确定监测系统接地体的材质、埋设位置和深度，工频接地电阻不宜大于 10Ω。必要时可采取换土法、长效降阻剂法或其他新技术、新材料降低接地体的接地电阻。

D.2.6 电磁屏蔽措施应符合下列规定：

- 1 长线缆敷设时应采用金属保护管、金属桥架。

- 2 布置监测系统的线缆路由走向时，应尽量减少由线缆自身形成的电磁感应环路面积。
- 3 市电引入电缆不宜采用架空线路。
- 4 线缆接入户外数据采集机柜时，应穿金属管埋地引入，埋地长度和深度应满足《建筑物电子信息系统防雷技术规范》（GB 50343）的相关规定。

D.2.7 布置浪涌保护器时宜符合下列规定：

- 1 在传感器或数采设备的信号端口布置浪涌保护器时，应根据信号端口的电气参数合理选用浪涌保护器型号。
- 2 宜选用具有线路浪涌信息和工作状态监测的浪涌保护器，并将其记录到的信息通过网关回传至系统软件。
- 3 浪涌保护器的安装位置宜兼顾设备的安全性和维护的便宜性。

附录 E 监测数据字典

E.0.1 桥梁基本信息数据编码应符合《公路数据库编目编码规则》(JT/T 132) 的编目编码规则, 具体编码字典宜参照表 E.0.1。

表 E.0.1 桥梁基本信息编码表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	桥梁 ID
桥梁编码	字符型	公路桥梁唯一编码
桥梁名称	字符型	
桥梁简称	字符型	桥梁名称大写首字母大写组合, 如观音岩大桥表示为: GYYDQ
桥梁中心桩号	字符型	
路线编号	字符型	桥梁所在路线的编号, 如 G5
路线名称	字符型	桥梁所在路线的名称, 如京昆高速公路
路线技术等级	字符型	
桥梁全长	字符型	
跨径总长	字符型	
跨径组合	字符型	
单孔最大跨径	字符型	
桥梁全宽	字符型	
桥面净宽	字符型	
按跨径分类类型	字符型	特大桥、大桥、中桥、小桥
主桥上部结构类型	字符型	斜拉桥、悬索桥、梁桥、拱桥等
主桥上部结构子类型	字符型	简支梁、连续梁、连续刚构、悬臂梁、上承式、中承式、下承式、漂浮体系、半漂浮体系、塔梁固结、刚构体系、地锚式、自锚式等
主桥上部结构材料	字符型	钢、钢混组合、预应力混凝土、钢管混凝土、钢筋混凝土等
桥墩类型	字符型	桁架墩、混合墩、薄壁墩、单柱墩、多柱墩等
基础类型	字符型	桩基础、扩大基础等
设计荷载	字符型	公路Ⅰ级、公路Ⅱ级、汽车 20 级、汽车超 20 级等
抗震等级	字符型	
跨越地物类型	字符型	
跨越地物名称	字符型	

字段名称	数据类型	字段含义
所属水系	字符型	按四川省水系流域划分的枚举信息，如金沙江四川段、长江干流宜宾-泸州合江县段、黄河四川段、沱江、岷江、雅砻江、安宁河、大渡河、嘉陵江、涪江、渠江、青衣江、赤水河、琼江等
通航等级	字符型	
建设单位	字符型	
设计单位	字符型	
施工单位	字符型	
监理单位	字符型	
修建年度	字符型	
通车日期	字符型	
管养单位	字符型	
监管部门	字符型	
技术状况等级	整型	1 类~5 类
技术状况评分	浮点型	0~100
检测类别	整型	1-初始检查、2-定期检查、3-特殊检查
评定日期	日期时间型	技术状况评定日期
桥梁所在位置	字符型	双向、上行、下行
经度	浮点型	桥梁所在位置的经度
纬度	浮点型	桥梁所在位置的维度
所在行政区代码	长整型	桥梁所在行政区划代码
桥梁立面照	Image 型	
备注	字符型	

E.0.2 外场监测设备或监测系统基本信息数据编码应符合《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）和本文件的编码规则，具体编码字典宜参照表 E.0.2。

表 E.0.2 外场监测设备或监测系统基本信息编码表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	桥梁 ID
系统类型	字符型	监测系统类型：结构健康监测系统、轻量化监测系统、应急监测系统
监测项数	整型	监测系统总监测项数量
测点数量	整型	监测系统总测点数量
建设单位	字符型	监测系统的建设单位

字段名称	数据类型	字段含义
设计单位	字符型	监测系统的设计单位
实施单位	字符型	监测系统的实施单位
监理单位	字符型	监测系统实施的监理单位, 如有
运维单位	字符型	监测系统的运维单位
监测系统建成时间	日期时间型	监测系统试运行结束后正式投入运行日期, 格式: YYYY-MM-DD
预警级别	字符型	桥梁结构风险状态预警级别, 绿色安全、蓝色预警、黄色预警、橙色预警、红色预警
预警时间	日期时间型	桥梁结构风险状态预警时间
桥梁结构状态综合评定等级	整型	1类~5类, 桥梁结构状态综合评定等级
桥梁结构状态综合评分	浮点型	0~100, 桥梁结构状态综合评分
桥梁结构状态综合评定日期	日期时间型	桥梁结构状态综合评定日期
测点总体布置图	Image 型	
系统运行管理人员	字符型	系统运行管理人员姓名
联系方式	字符型	系统运行管理人员联系电话
备注	字符型	

E.0.3 桥梁监测类别基本信息的编目编码宜参照表 E.0.3。

表 E.0.3 监测类别基本信息编码表

监测类别	监测类别简称	监测项	数据单位	数据方向
环境	环境温度	桥址区环境温度	摄氏度 (°C)	—
		主梁内温度		
		主缆内温度		
		主拱内温度		
		锚室内温度		
		鞍罩内温度		
		索塔内温度		
		索塔锚固区温度		
	环境湿度	桥址区环境湿度	百分比 (%)	—
		主梁内湿度		
		主缆内湿度		
		主拱内湿度		

监测类别		监测类别简称	监测项	数据单位	数据方向
			锚室内湿度		
			鞍罩内湿度		
			索塔内湿度		
			索塔锚固区湿度		
	雨量	PWS	降雨量	毫米 (mm)	—
	结冰	FRZ	桥面结冰	毫米 (mm)	—
			主缆结冰		
			斜拉索结冰		
			吊杆结冰		
	降雪	SNO	降雪量	毫米 (mm)	—
	能见度	VIS	大雾能见度	米 (m)	—
作用	车辆荷载	HSD	所有车道车重、轴重、轴数、车速	车重、轴重：千克 (kg)； 车速：千米每小时 (km/h)	—
			所有车道车流量	辆	—
			所有车道的车辆空间分布	—	—
	风速、风向	UAN	桥面风速、风向	风速：米每秒 (m/s)； 风向：度 (°)	水平风向以正北向为 0°，正东向为 90°，正南向为 180°，正西向为 270°；垂直风向以水平向为 0°，垂直于水平面向下为 -90°，垂直于水平面向上为 90°
			塔顶风速、风向		
			拱顶风速、风向		
	结构温度	TMP	混凝土或钢结构构件温度	摄氏度 (°C)	—
			桥面铺装层温度		
	船舶(车辆)撞击	VID	桥墩(撞击区段主梁)加速度	米每平方秒 (m/s ²)	—
	地震	VIE	桥岸地表场地加速度	米每平方秒 (m/s ²)	—
			承台顶或桥墩底部加速度		
	水位	WTL	水面高度	厘米(cm)	
	流速	VOF	水流速度	米每秒(m/s)	
结	位移	DIS	主梁 准静态位移	毫米 (mm)	下挠为负，上拱为正

监测类别		监测类别简称	监测项		数 据 单 位	数 据 方 向
构响应			竖向位移	动挠度		
			主梁横向位移			—
			支座位移			—
			梁端纵向位移			—
			塔顶偏位			x 为顺桥向方向、 y 为横桥向方向、 z 为水平面向上法线方向
			主缆偏位			x 为顺桥向方向、 y 为横桥向方向、 z 为水平面向上法线方向
			拱顶位移			—
			梁桥高墩墩顶位移			—
	转角	INC	塔顶截面转角		度 (°)	—
			墩顶截面转角			
			柱顶截面转角			
			梁端水平转角			
			梁端竖向转角			
	应变	RSG	主梁关键截面应变	准静态应变	微应变 (με)	负值为压应变，正值为拉应变
				动应变		
			索塔关键截面应变			
			主拱关键截面应变			
	索力	VIC	吊索索力		千牛 (kN)	—
			锚跨索股力			
			斜拉索索力			
			吊杆（索）力			
			系杆力			
	支座反力	STF	支座反力		千牛 (kN)	—
	振动	VIB	主梁竖向振动加速度		米每平方秒 (m/s ²)	—
			主梁横向振动加速度			
			主梁纵向振动加速度			
			塔顶水平双向振动加速度			

监测类别		监测类别简称	监测项	数据单位	数据方向
			桥墩顶部纵向及横向振动加速度		
			主拱振动加速度		
			吊索振动加速度		
			斜拉索振动加速度		
			吊杆(索)振动加速度		
结构变化	基础冲刷	SCO	基础冲刷深度	毫米 (mm)	—
	位移	AND	锚碇位移	毫米 (mm)	—
			桥墩竖向位移		
			拱脚位移		
	裂缝	CRK	混凝土结构裂缝	毫米 (mm)	—
			钢结构裂缝		
	腐蚀	COR	墩身、承台混凝土氯离子浓度	千克每立方米 (kg/m ³)	—
			墩身、承台混凝土氯离子侵蚀深度	毫米 (mm)	—
	预应力	STR	体外预应力	千牛 (kN)	—
	断丝	BRK	吊索、主缆断丝	—	—
			斜拉索断丝		
			吊杆(索)或系杆断丝		
	螺栓状态	BTF	索夹螺杆紧固力、高强螺栓紧固力、螺栓滑脱	千牛 (kN)	—
	索夹滑移	CSP	索夹滑移	毫米 (mm)	—
桥址区地质灾害体	地表位移	DWY	地表绝对位移或相对位移	毫米 (mm)	—
	地表倾斜	DQJ	地表倾斜度	度 (°)	—
	地表裂缝	DLF	地表裂缝宽度	毫米 (mm)	—
	深部位移	SWY	地层间相对位移	毫米 (mm)	—
	支护结构受力	JGL	锚索(杆)力、土压力	千牛 (kN)	—
	地下水	DXS	地下水位、孔隙水压力	米 (m)	—
	降雨	JYL	降雨量、降雨强度	毫米 (mm)	—
	地声	DZD	岩体震动	米每平方秒 (m/s ²)	—
			次声、地面震动	帕斯卡 (Pa)	—

监测类别		监测类别简称	监测项	数据单位	数据方向
	临灾前兆	LZQ	视频、图像	—	—
	运动特征	YDT	水位高度	米 (m)	—
			流动速度	米每秒 (m/s)	—
其它	视频	VCA		—	—
				—	—

E.0.4 桥梁监测项基本信息的编目编码宜参照表 E.0.4。

表 E.0.4 监测项基本信息编码表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	监测项 ID
监测类别编码	字符型	系统监测类别的唯一标识定义, 详见 E.0.3
监测项名称	字符型	本文件中规定的监测类型全称, 详见 E.0.3
监测类别缩写	字符型	3 位大写字母, 详见表 E.0.3
所属监测类别	字符型	枚举类型: 环境、作用、结构响应、结构变化、桥址区地质灾害体、其它
监测目的	字符型	描述该监测项主要监测部位和目的
传感器类型	字符型	使用的传感器类型
备注	字符型	

E.0.5 桥梁监测测点基本信息的编目编码宜参照表 E.0.5。

表 E.0.5 监测测点基本信息编码表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	监测点唯一标识
所属桥梁 ID	长整型	
测点编码	字符型	测点在监测系统中的唯一编码, 详见 E.0.6
测点名称	字符型	
监测项 ID	长整型	
传感器 ID	长整型	挂接的传感器 ID, 为空代表还未挂接
传感器位置	字符型	传感器安装位置描述
采集设备编码	字符型	对于多通道数据, 通过采集设备编码和通道编码定位多通道数据
通道编码	整型	该监测点的通道编码, 为整型数字, 用于实时监测数据传输报文

字段名称	数据类型	字段含义
数据单位	字符型	输出数据单位
数据精度	浮点型	数据保留小数点精度
超限三级阈值上限	浮点型	超限三级阈值上限
超限三级阈值下限	浮点型	超限三级阈值下限
超限二级阈值上限	浮点型	超限二级阈值上限
超限二级阈值下限	浮点型	超限二级阈值下限
超限一级阈值上限	浮点型	超限一级阈值上限
超限一级阈值下限	浮点型	超限一级阈值下限
是否启动报警	布尔型	是否启动风险事件报警功能
备注	字符型	

E.0.6 监测测点编码应在《公路数据库编目编码规则》(JT/T 132) 桥梁编号及扩充位的基础上按固定规则编码, 宜由“桥名简称-监测类别简称-构件类型编码-截面序号-构件序号-测点编号”组成, 测点编码命名规则如图 E.0.6 所示。

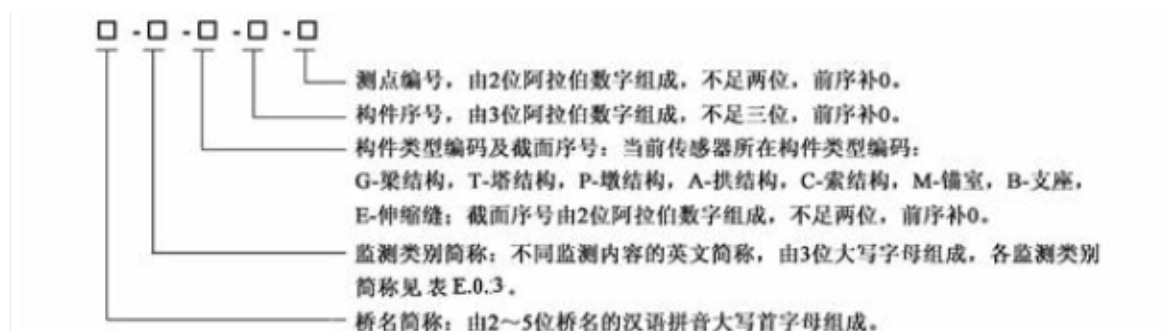


图 E.0.6 测点编码命名规则

示例: 观音岩大桥主梁振动监测项 G05 梁段第 001 构件第 01 个测点编码为: GY-VIB-G05-001-01。

E.0.7 桥梁监测用传感器基本信息的编目编码宜参照表 E.0.7。

表 E.0.7 传感器基本信息编码表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	传感器唯一标识
传感器编码	字符型	传感器在桥上安装的唯一编码
传感器类型	字符型	传感器类型
传感器品牌	字符型	传感器品牌
传感器型号	字符型	传感器型号

字段名称	数据类型	字段含义
生产厂家	字符型	传感器生产厂家
信号类型	字符型	电流、电压、电阻、光纤等
信号范围	字符型	信号输出范围，如：4mA~20mA
分辨力	双精度浮点型	传感器采集数据分辨力
精度	双精度浮点型	传感器精度
K 值	双精度浮点型	转换参数 K 值
B 值	双精度浮点型	转换参数 B 值
采样频率	浮点型	数据采样频率，单位为赫兹（Hz）
安装时间	日期时间型	设备安装或更换时间
安装位置	字符型	设备在桥梁安装位置
当前状态	整型	0-正常；1-故障；2-损坏；3-维修；4-更换

E.0.8 桥梁监测特征指标基本信息的编目编码宜参照表 E.0.8。

表 E.0.8 特征指标基本信息编码表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	
所属桥梁 ID	长整型	
特征指标名称	字符型	
测点编码	字符型	该特征指标所属测点编码，如有
传感器 ID	长整型	该特征指标所属传感器，如有
采样频率	浮点型	该特征指标的采样频率或刷新频率，单位为赫兹（Hz）
分辨力	双精度浮点型	该特征指标的分辨力
精度	双精度浮点型	该特征指标的精度
当前值	双精度浮点型	该特征指标的当前值，按实际精度要求保留小数点
报警状态	整型	0-正常；1-超限一级报警；2-超限二级报警；3-超限三级报警
数据状态	整型	0-正常；1-异常
备注	字符型	

E.0.9 桥梁风险事件报警数据应记录特征指标、超限级别、超限值、超限时间等信

息，超限级别划分应与超限管理级别一致，宜参照表 E.0.9。

表 E.0.9 桥梁风险事件报警信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	数据 ID
所属桥梁 ID	长整型	
特征指标 ID	长整型	触发报警的特征指标 ID
测点 ID	长整型	该条报警数据所属测点 ID，如有
报警级别	整型	报警级别（0-正常；1-一级报警；2-二级报警；3-三级报警）
报警类型	整型	报警类型（1-交通安全风险；2-结构安全风险）
当前超限值	双精度浮点型	按照实际精度保留小数
报警开始时间	日期时间型	开始出现报警的时间
报警结束时间	日期时间型	报警结束的时间
处理状态	整型	报警的关注状态（0-未处理；1-已处理）
处理措施	字符型	
报警确认时间	日期时间型	
报警确认人	字符型	
报警确认人电话	长整型	
备注	字符型	

E.0.10 桥梁结构风险状态预警数据应记录结构名称、结构类型、预警级别、预警原因、预警时间等信息，宜参照表 E.0.10。

表 E.0.10 桥梁结构风险状态预警信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	数据 ID
所属桥梁 ID	长整型	
结构编号	长整型	该条状态评定记录对应的桥梁结构/部件/构件 ID
结构名称	字符型	
结构类型	字符型	0-构件；1-桥梁整体结构（缺省默认）
预警级别	字符型	桥梁结构风险状态预警级别，绿色安全、蓝色预警、黄色预警、橙色预警、红色预警
预警原因	字符型	
关联风险事件报警 ID	长整型	与该条预警有关联关系的风险事件报警 ID
预警开始时间	日期时间型	开始出现预警的时间

字段名称	数据类型	字段含义
预警结束时间	日期时间型	预警结束的时间
处理状态	整型	预警的处理状态（0-未处理；1-已处理）
处理措施	字符型	
预警处理时间	日期时间型	
预警处理人	字符型	
预警处理人电话	长整型	
预警处理措施	字符型	
备注	字符型	

E.0.11 桥梁结构状态综合评定数据应记录结构（整体结构、部位、部件、构件）的编号、名称及类型，综合评定等级及评分，评定时间等信息，宜参照表 E.0.11。

表 E.0.11 桥梁结构状态综合评定信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	数据 ID
所属桥梁 ID	长整型	
结构编号	长整型	该条状态评定记录对应的桥梁结构 ID
结构名称	字符型	
结构类型	字符型	A-构件；B-部件；C-部位；D-桥梁整体（缺省默认）
结构状态综合评定等级	字符型	1 类~5 类，见本文件表 9.5.2
结构状态综合评分	浮点型	
评定依据	字符型	
评定时间	日期时间型	桥梁结构状态综合评定日期
备注	字符型	
是否最新	布尔型	

E.0.12 视频信息数据应以视频媒体文件形式压缩存储，视频文件应存储其属性信息，视频格式与编码宜符合《公路网图像信息管理系统 平台互联技术规范 第 2 部分：视频格式与编码》（GB/T 28059.2）的规定，宜参照表 E.0.12。

表 E.0.12 视频属性信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	
视频编号	字符型	对应摄像头的名称
桥梁 ID	字符型	摄像头所属桥梁 ID
IP 地址	字符型	对应摄像头的访问地址
端口	字符型	通过端口和 IP 访问摄像头
登录用户名	字符型	摄像头登录页面用户名
登录密码	字符型	用户名对应的密码
状态	整型	根据状态判断摄像头是否在工作
备注	字符型	

E.0.13 桥梁特殊事件数据应记录事件名称、事件类型、事件开始事件、事件结束时间、事件描述等信息，宜参照表 E.0.13。

表 E.0.13 特殊事件信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	
特殊事件名称	字符型	特殊事件的名称
特殊事件类型	字符型	特殊事件所属的事件类型（例如：强风；地震；洪水；车祸等）
特殊事件开始时间	日期时间型	特殊事件发生的时间
特殊事件结束时间	日期时间型	特殊事件结束的时间
事件描述	长文本型	对特殊事件进行一个简述
经度	浮点型	特殊事件所在位置的经度
纬度	浮点型	特殊事件所在位置的维度
报送/确认人	字符型	特殊事件报送/确认人姓名
报送/确认人联系方式	字符型	特殊事件报送/确认人的联系方式
报送/确认时间	日期时间型	特殊事件报送/确认的时间
处置状态	整型	（0-未处置；1-已处置）
处置措施	长文本型	
备注	字符型	

E.0.14 桥梁养护维修处治数据应记录处治时间、处治范围、处治内容、处治措施等信息，宜参照表 E.0.14。

表 E.0.14 桥梁养护维修处治信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	
所属桥梁 ID	长整型	
开始时间	日期时间型	桥梁养护维修处治的开始时间
结束时间	日期时间型	桥梁养护维修处治的结束时间
处治范围	长文本型	对处治范围进行一个简述
处治内容	长文本型	对处治内容进行一个简述
处治措施	长文本型	对处治措施进行一个简述
负责人	字符型	养护维修处治负责人姓名
联系方式	字符型	养护维修处治负责人的联系方式
备注	字符型	

E.0.15 文本以文档格式分类分级别存储，宜参照见表 E.0.15。

表 E.0.15 文件资料信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	文件 ID
桥梁 ID	字符型	资料所对应的桥梁 ID
模块类型	字符型	资料所属模块；如桥梁建设期资料（桥梁建设前期资料、施工图设计文件、验收资料、竣工图等）、桥梁运营期资料（历年检测报告、养护维修资料等）、监测系统建设资料（监测系统建设前期资料、施工图设计文件、外场设备报验资料、系统验收资料、竣工图等）、监测系统运维资料（历次评估报告、系统维护资料等）
文件类别	字符型	资料文件类别，如监测系统运维资料中的监测月报、年报
文件类型	字符型	文件类型，如 word、pdf、png
业务 ID	长整型	业务 ID，具体挂接业务信息，可为桥梁 ID，也可为平台 ID，-1 表示无业务信息
文件名	字符型	
文件大小	整型	单位字节数
文件存储路径	字符型	

字段名称	数据类型	字段含义
文件缩略图	字符型	
文件创建时间	日期时间型	
创建人	字符型	创建人 ID
是否有效	布尔型	该账号在该组织下是否有效
备注	字符型	备注或说明

E.0.16 监测系统运行情况、维护记录宜分别参照见表 E.0.16-1、表 E.0.16-2。

表 E.0.16-1 监测系统运行情况信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	数据 ID
桥梁 ID	长整型	运行情况桥梁 ID
故障类型	字符型	如数据中断、维护、故障等
开始时间	日期时间型	
结束时间	日期时间型	
故障原因	字符型	对本次故障原因进行说明
解决方案	字符型	

表 E.0.16-2 监测系统维护记录信息表

字段名称	数据类型	字段含义
ID	长整型	数据 ID
桥梁 ID	长整型	所属桥梁 ID
维护类型	字符型	枚举型：安全维护、硬件维护、软件维护、其他
维护范围	字符型	软件、硬件
维护子范围	字符型	硬件具体到硬件类别
开始时间	日期时间型	
结束时间	日期时间型	
参与人员数量	整型	
资金投入	小数型	单位：元
维护效果	字符型	
更新时间	日期时间型	

附录 F 桥梁监测用工程数字模型

F.1 总体要求

F.1.1 构建和交付公路桥梁监测用工程数字模型时，除应满足本附录规定外，还应符合现行国家、行业和四川省地方标准的相关规定。

注：常用公路工程信息模型相关现行行业、地方标准有《公路工程信息模型应用统一标准》(JTG/T 2420—2021)、《公路工程设计信息模型应用标准》(JTG/T 2421—2021)、《公路工程信息模型规程 第 1 部分：统一技术要求》(DB51/T 3092—2023)、《公路工程信息模型规程 第 2 部分：设计技术要求》(DB51/T 3093—2023)、《公路工程信息模型规程 第 4 部分：养护技术要求》(DB51/T 3095—2023)等。

F.1.2 公路桥梁监测用工程数字模型应包括：桥梁结构(含与关联对象的过渡构造，如引桥、桥台相邻路基段)、关联对象结构(如周边地形地貌的数字高程模型(DEM)、数字表面模型(DSM)、正射影像(DOM)、倾斜摄影等)、监测设备的几何表达和属性信息，宜包含中间成果文件(含模型原文件)及图档资料。

注 1：关联对象以被监测桥梁为中心，按大小桩号侧区分，包含相接桥梁、相接路基、相接隧道。当关联对象为相接桥梁，且跨数超过 10 跨时，监测项目信息模型宜仅包含该对象 10 跨结构的几何表达；当关联对象为相接路基、相接隧道，且沿路线长度超过 15m，监测项目信息模型宜包含该对象沿路线 15m 长度的几何表达。

注 2：中间成果文件指信息模型建立过程中生成的各类文件，如按 DGN、CATPRODUCT、CATPART、RVT、3DXML 等格式储存的模型原文件。

注 3：图档资料包括但不限于被测桥梁的设计图、竣工图、检测报告、既有监测数据、测点布置图、监测系统设计图、监测设备安装图、监测项目工程数量表等。

F.1.3 公路桥梁监测用工程数字模型的建模和交付应统一采用 2000 国家大地坐标系(CGCS2000)与 1985 国家高程基准(85 高程)。

F.1.4 周边地形地貌的数字高程模型、数字表面模型、正射影像、倾斜摄影及其他

涉密数据的交付和保存应根据《测绘地理信息管理工作国家秘密范围的规定》或其他相关国际秘密范围文件定密，并依照《中华人民共和国保守国家秘密法》和《中华人民共和国测绘法》相关规定执行。

F.1.5 涉密数据与资料应存储在移动储存设备交付，并同步签订保密协议，留交接双方存档。

F.2 桥梁结构和监测设备的 BIM 模型

F.2.1 桥梁结构 BIM 模型的几何表达应符合《公路工程信息模型应用统一标准》（JTG/T 2420-2021）、《公路工程设计信息模型应用标准》（JTG/T 2421-2021）、《公路工程信息模型规程 第 1 部分：统一技术要求》（DB51/T 3092-2023）、《公路工程信息模型规程 第 2 部分：设计技术要求》（DB51/T 3093-2023）的相关规定。

F.2.2 桥梁结构及其关联对象 BIM 模型的几何表达模型精细度应达到《公路工程信息模型规程 第 4 部分：养护技术要求》（DB51/T 3095-2023）表 B.4 常规几何（G2）等级要求。

F.2.3 桥梁结构 BIM 模型分类、架构、编码应满足《公路工程信息模型规程 第 1 部分：统一技术要求》（DB51/T 3092-2023）的规定，属性信息深度等级应达到《公路工程信息模型规程 第 2 部分：设计技术要求》（DB51/T 3093-2023）附录 B 基本信息（N1）的要求。

注：桥梁结构设施命名应采用路线名与桥梁名的组合，如 G227 保果金沙江大桥。

F.2.4 监测设备 BIM 模型的几何表达应展现仪器外轮廓基本造型。为便于在应用时快速识别、点选，监测设备的几何表达可酌情等比例放大。

F.2.5 监测设备 BIM 模型的几何表达应根据竣工图上的实际安装位置，在桥梁结构 BIM 模型几何表达的基础上构建。

F.2.6 监测设备 BIM 模型的属性信息深度应满足表 F.2.6 的规定。

表 F.2.6 监测设备的属性信息深度

属性信息		属性编码	属性类型	值类型	单位	要求	示例
实体 ID		41-01.04.01.00	文本型	-	-	▲	0vCJ0sDJWs C2qnPc4uBJHc
父对象实体 ID		41-01.04.01.01	文本型	-	-	△	0rOMKtD6DbPI rcD3WtBJGq
所监测对象实体 ID		41-01.04.01.60	文本型	-	-	△	0oOZKqD3DXC IqoCpCqBJGq
分类编码		41-01.04.06.00	文本型	-	-	▲	18-07.60.08.04
实体名称		41-01.05.01.01	文本型	-	-	▲	温湿度仪 HHC-HYG-A06-01
位置信息	起点桩号引用路线 ID	41-01.04.02.01	文本型	-	-	△	b170c8c0-d610-481f-b900-a92dd815eda1
	中心桩号引用路线 ID	41-01.04.02.02	文本型	-	-	△	b170c8c0-d610-481f-b900-a92dd815eda1
	终点桩号引用路线 ID	41-01.04.02.03	文本型	-	-	△	b170c8c0-d610-481f-b900-a92dd815eda1
	路幅位置	41-02.01.01.00	枚举型	46-03.03.00.00	-	▲	46-03.03.60.00
	起点桩号	41-02.01.03.02	数值浮点型	91-02.01.00.00	m	△	K118+122.000
	中心桩号	41-02.01.03.01	数值浮点型	91-02.01.00.00	m	△	K118+122.000
	终点桩号	41-02.01.03.03	数值浮点型	91-02.01.00.00	m	△	K118+122.000
	安装位置	41-07.08.11.01	文本型	-	-	▲	主拱圈拱顶
设计信息	设备编号	41-01.05.02.90	文本型	-	-	▲	HHC-HYG-A06-01

注 1：表中属性信息要求适用于所有设备类型。

注 2：ID 类属性均为所描述对象的唯一标识，如“实体 ID”、“父对象实体 ID”、“所监测对象实体 ID”、“起点桩号引用路线 ID”等。

注 3：“所监测对象实体 ID”指该设备所监测对象结构的唯一标识，“分类编码”指设备类型编码（见上表），“实体名称”指设备在同一桥梁结构内唯一的名称，“安装位置”指设备安装位置的文字描述，“设备编号”指设备在项目进行中的编号。未尽事宜，详见《公路工程信息模型规程 第 1 部分：统一技术要求》（DB51/T 3092—2023）、《公路工程信息模型规程 第 2 部分：设计技术要求》（DB51/T 3093—2023）的相关描述。“所监测对象实体 ID”、“设备编号”为在《公路工程信息模型规程 第 1 部分：统一技术要

求》(DB51/T 3092-2023) 表 A.4 属性分类和编码基础上新增的属性类型。

注 4: 表中“▲”表示“应包括的信息”, “△”表示“宜包括的信息”, “○”表示“可包括的信息”。

F.2.7 监测设备 BIM 模型的分类、编码应符合表 F.2.7 的规定, 其工程分解结构(EBS)的层次关系应符合图 F.2.7 的规定。

表 F.2.7 监测设备分类编码

编码	一级类	二级类	三级类	四级类
18-07.00.00.00	交通工程及沿线设施			
18-07.60.00.00		结构监测设备		
18-07.60.01.00			车辆荷载监测项	
18-07.60.01.01				动态称重系统
18-07.60.01.02				高清摄像机
18-07.60.02.00			船舶撞击监测项	
18-07.60.02.01				强震动记录仪
18-07.60.02.02				加速度传感器
18-07.60.02.60				毫米波雷达船撞监测仪
18-07.60.02.61				高清摄像机
18-07.60.03.00			风速、风向监测项	
18-07.60.03.01				超声风速仪
18-07.60.03.02				螺旋桨式风速仪
18-07.60.03.60				机械式风速仪
18-07.60.04.00			风压监测项	
18-07.60.04.01				微压差传感器
18-07.60.04.02				皮托管
18-07.60.05.00			地震动监测项	
18-07.60.05.01				强震动记录仪
18-07.60.05.02				加速度传感器
18-07.60.05.60				三向地震动监测仪
18-07.60.06.00			冰凌监测项	
18-07.60.06.01				冰凌传感器
18-07.60.07.00			温度监测项	

编码	一级类	二级类	三级类	四级类
18-07.60.07.01				温度计
18-07.60.07.02				热电偶温度传感器
18-07.60.07.03				热电阻温度传感器
18-07.60.07.04				光纤光栅温度传感器
18-07.60.08.00			湿度监测项	
18-07.60.08.01				氯化锂湿度计
18-07.60.08.02				电阻电容湿度计
18-07.60.08.03				电解湿度计
18-07.60.08.04				温湿度仪
18-07.60.09.00			降雨量监测项	
18-07.60.09.01				电容雨量计
18-07.60.09.02				红外散射式雨量计
18-07.60.09.03				单翻斗雨量计
18-07.60.10.00			地下水监测项	
18-07.60.10.01				水位计
18-07.60.10.02				孔隙水压力计
18-07.60.10.60				渗压计
18-07.60.11.00			振动监测项	
18-07.60.11.01				压电式加速度传感器
18-07.60.11.02				压阻式加速度传感器
18-07.60.11.03				电容式加速度传感器
18-07.60.11.04				伺服式加速度传感器
18-07.60.11.60				磁电式加速度传感器
18-07.60.12.00			变形、位移监测项	
18-07.60.12.01				GNSS
18-07.60.12.02				压力变送器
18-07.60.12.03				拉绳式位移计
18-07.60.12.04				连通管系统
18-07.60.12.05				静力水准仪
18-07.60.12.60				角反射器
18-07.60.12.61				毫米波雷达挠度监测仪
18-07.60.12.62				机器视觉靶点

编码	一级类	二级类	三级类	四级类
18-07.60.12.63				机器视觉仪
18-07.60.12.64				电涡流动挠度仪
18-07.60.12.65				顶杆式位移计
18-07.60.13.00			转角监测项	
18-07.60.13.01				倾角传感器
18-07.60.14.00			应变监测项	
18-07.60.14.01				电阻应变计
18-07.60.14.02				振弦式应变计
18-07.60.14.03				光纤类应变计
18-07.60.15.00			裂缝监测项	
18-07.60.15.01				振弦式测缝计
18-07.60.15.02				电阻式裂缝计
18-07.60.15.03				光纤类位移计
18-07.60.16.00			基础冲刷监测项	
18-07.60.16.01				声纳传感器
18-07.60.17.00			腐蚀监测项	
18-07.60.17.01				多电极传感器
18-07.60.18.00			索力、索振动监测项	
18-07.60.18.01				压力传感器
18-07.60.18.02				加速度传感器
18-07.60.18.03				磁通量传感器
18-07.60.18.04				光纤光栅应变传感器
18-07.60.18.05				索力动测仪
18-07.60.18.60				毫米波雷达索力监测仪
18-07.60.19.00			支座反力监测项	
18-07.60.19.01				支座反力计
18-07.60.20.00			断丝监测项	
18-07.60.20.01				声发射传感器
18-07.60.21.00			螺栓紧固力监测项	
18-07.60.21.01				螺栓紧固力传感器
18-07.60.22.00			锚跨张力监测项	

编码	一级类	二级类	三级类	四级类
18-07.60.22.01				锚索测力计
18-07.60.23.00			预应力监测项	
18-07.60.23.01				压力传感器
18-07.60.23.02				磁通量传感器
18-07.60.24.00			渗漏水监测项	
18-07.60.24.01				红外热成像仪
18-07.60.25.00			边坡监测项	
18-07.60.25.01				GPS
18-07.60.25.02				深部位移计
18-07.60.25.03				土压力计
18-07.60.25.04				测斜仪
18-07.60.25.60				固定式测斜仪
18-07.60.25.61				柔性测斜仪
18-07.60.25.62				钢筋计
18-07.60.25.63				锚索测力计
18-07.60.25.64				毫米波雷达
18-07.60.25.65				裂缝计
18-07.60.25.66				拉线式位移计
18-07.60.25.67				高清摄像机
18-07.60.26.00			数据管理设施	
18-07.60.26.01				数据采集站
18-07.60.26.02				大屏
18-07.60.26.03				服务器
18-07.60.26.04				软件
18-07.60.27.00			通讯设施	
18-07.60.27.01				交换机
18-07.60.27.02				光端机
18-07.60.27.03				DTU
18-07.60.27.04				光纤收发器
18-07.60.27.05				紧急电话
18-07.60.27.06				有限广播
18-07.60.27.07				光（电）缆

编码	一级类	二级类	三级类	四级类
18-07.60.28.00			供配电设施	
18-07.60.28.01				高压柜
18-07.60.28.02				低压柜
18-07.60.28.03				变压器
18-07.60.28.04				配电箱
18-07.60.28.05				电力线缆
18-07.60.28.06				柴油发电机组
18-07.60.28.07				防雷装置
18-07.60.28.08				接地装置
18-07.60.60.00			泥石流监测项	
18-07.60.60.01				地声传感器
18-07.60.60.02				次声传感器
18-07.60.60.03				断线报警器
18-07.60.60.04				泥水位计
18-07.60.60.05				雷达流速仪
18-07.60.61.00			隧道监测项	
18-07.60.61.01				分布式应变光纤
18-07.60.61.02				激光测距仪
18-07.60.61.03				固定式测斜仪
18-07.60.61.04				柔性测斜仪
18-07.60.61.05				钢筋计
18-07.60.61.06				锚索测力计
18-07.60.62.00			现场视频监测项	
18-07.60.62.01				高清摄像机
18-07.60.63.00			配套设备（其它）	

注 1：设备分类、编码及工程分解结构层次关系均基于《公路工程信息模型规程 第 1 部分：统一技术要求》（DB51/T 3092-2023）所约定内容进行扩充。若实际项目中所使用设备类型超出本文件约定，应由项目承接方联系技术支持单位进行新增后使用。

注 2：“监测设备”子设施为在《公路工程信息模型规程 第 1 部分：统一技术要求》（DB51/T 3092-2023）表 A.2 子设施分类和编码基础上新增的子设施类型。

□…… (桥梁/小桥)	设施/子设施	17-03.00.00.00/
□监测设备	子设施	17-01.04.00.00
—动态称重系统	设备	17-05.02.60.00
—高清摄像机	设备	18-07.60.01.01
—强震动记录仪	设备	18-07.60.01.02
—加速度传感器	设备	18-07.60.02.01
—毫米波雷达船撞监测仪	设备	18-07.60.02.02
—高清摄像机	设备	18-07.60.02.60
—超声风速仪	设备	18-07.60.02.61
—螺旋桨式风速仪	设备	18-07.60.03.01
—机械式风速仪	设备	18-07.60.03.02
—微压差传感器	设备	18-07.60.03.60
—皮托管	设备	18-07.60.04.01
—强震动记录仪	设备	18-07.60.04.02
—加速度传感器	设备	18-07.60.05.01
—三向地震动监测仪	设备	18-07.60.05.02
—冰凌传感器	设备	18-07.60.05.60
—温度计	设备	18-07.60.06.01
—热电偶温度传感器	设备	18-07.60.07.01
—热电阻温度传感器	设备	18-07.60.07.02
—光纤光栅温度传感器	设备	18-07.60.07.03
—氯化锂湿度计	设备	18-07.60.07.04
—电阻电容湿度计	设备	18-07.60.08.01
—电解湿度计	设备	18-07.60.08.02
—温湿度仪	设备	18-07.60.08.03
—电容雨量计	设备	18-07.60.08.04
—红外散射式雨量计	设备	18-07.60.09.01
—单翻斗雨量计	设备	18-07.60.09.02
—水位计	设备	18-07.60.09.03
—孔隙水压力计	设备	18-07.60.10.01
—渗压计	设备	18-07.60.10.02
—压电式加速度传感器	设备	18-07.60.10.60
—压阻式加速度传感器	设备	18-07.60.11.01
—电容式加速度传感器	设备	18-07.60.11.02
—伺服式加速度传感器	设备	18-07.60.11.03
—磁电式加速度传感器	设备	18-07.60.11.04
—GNSS	设备	18-07.60.11.60
—压力变送器	设备	18-07.60.12.01
—拉绳式位移计	设备	18-07.60.12.02
—连通管系统	设备	18-07.60.12.03
—静力水准仪	设备	18-07.60.12.04
—角反射器	设备	18-07.60.12.05
—毫米波雷达挠度监测仪	设备	18-07.60.12.60
—机器视觉靶点	设备	18-07.60.12.61
—机器视觉仪	设备	18-07.60.12.62
	设备	18-07.60.12.63

图 F.2.7 监测设备的工程分解结构层次关系

□.....	设施/子设施	17-03.00.00.00/
□监测设备	子设施	17-01.04.00.00
.....		17-05.02.60.00
—电涡流动挠度仪	设备	18-07.60.12.64
—顶杆式位移计	设备	18-07.60.12.65
—倾角传感器	设备	18-07.60.13.01
—电阻应变计	设备	18-07.60.14.01
—振弦式应变计	设备	18-07.60.14.02
—光纤类应变计	设备	18-07.60.14.03
—振弦式测缝计	设备	18-07.60.15.01
—电阻式裂缝计	设备	18-07.60.15.02
—光纤类位移计	设备	18-07.60.15.03
—声纳传感器	设备	18-07.60.16.01
—多电极传感器	设备	18-07.60.17.01
—压力传感器	设备	18-07.60.18.01
—加速度传感器	设备	18-07.60.18.02
—磁通量传感器	设备	18-07.60.18.03
—光纤光栅应变传感器	设备	18-07.60.18.04
—索力动测仪	设备	18-07.60.18.05
—毫米波雷达索力监测仪	设备	18-07.60.18.60
—支座反力计	设备	18-07.60.19.01
—声发射传感器	设备	18-07.60.20.01
—螺栓紧固力传感器	设备	18-07.60.21.01
—锚索测力计	设备	18-07.60.22.01
—压力传感器	设备	18-07.60.23.01
—磁通量传感器	设备	18-07.60.23.02
—红外热成像仪	设备	18-07.60.24.01
—GPS	设备	18-07.60.25.01
—深部位移计	设备	18-07.60.25.02
—土压力计	设备	18-07.60.25.03
—测斜仪	设备	18-07.60.25.04
—固定式测斜仪	设备	18-07.60.25.60
—柔性测斜仪	设备	18-07.60.25.61
—钢筋计	设备	18-07.60.25.62
—锚索测力计	设备	18-07.60.25.63
—毫米波雷达	设备	18-07.60.25.64
—裂缝计	设备	18-07.60.25.65
—拉线式位移计	设备	18-07.60.25.66
—高清摄像机	设备	18-07.60.25.67
—数据采集站	设备	18-07.60.26.01
—大屏	设备	18-07.60.26.02
—服务器	设备	18-07.60.26.03
—软件	设备	18-07.60.26.04
—交换机	设备	18-07.60.27.01
—光端机	设备	18-07.60.27.02

图 F.2.7 监测设备的工程分解结构层次关系（续）

.....	设施/子设施	17-03.00.00.00/
□ 监测设备	子设施	17-01.04.00.00
.....		17-05.02.60.00
— DTU	设备	18-07.60.27.03
— 光纤收发器	设备	18-07.60.27.04
— 紧急电话	设备	18-07.60.27.05
— 有线广播	设备	18-07.60.27.06
— 光（电）缆	设备	18-07.60.27.07
— 高压柜	设备	18-07.60.28.01
— 低压柜	设备	18-07.60.28.02
— 变压器	设备	18-07.60.28.03
— 配电箱	设备	18-07.60.28.04
— 电力线缆	设备	18-07.60.28.05
— 柴油发电机组	设备	18-07.60.28.06
— 防雷装置	设备	18-07.60.28.07
— 接地装置	设备	18-07.60.28.08
— 地声传感器	设备	18-07.60.60.01
— 次声传感器	设备	18-07.60.60.02
— 断线报警器	设备	18-07.60.60.03
— 泥水位计	设备	18-07.60.60.04
— 雷达流速仪	设备	18-07.60.60.05
— 分布式应变光纤	设备	18-07.60.61.01
— 激光测距仪	设备	18-07.60.61.02
— 固定式测斜仪	设备	18-07.60.61.03
— 柔性测斜仪	设备	18-07.60.61.04
— 钢筋计	设备	18-07.60.61.05
— 锚索测力计	设备	18-07.60.61.06
— 高清摄像机	设备	18-07.60.62.01

图 F.2.7 监测设备的工程分解结构层次关系（续）

F.3 地形与影像

F.3.1 数字高程模型应满足《基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字高程模型》（CH/T9008.2-2010）、《基础地理信息数字成果 1:5000、1:10000、1:25000、1:50000、1:100000 数字高程模型》（CH/T9009.2-2010）的相关要求。

F.3.2 影像数据根据交付形式、比例尺不同，应满足《基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字正射影像图》（CH/T9008.3-2010）、《基础地理信息数字成果 1:5000、1:10000、1:25000、1:50000、1:100000 数字正射影像图》（CH/T9009.3-2010）、《低空数字航空摄影规范》（CH/Z 3005-2010）、《低空数字航空摄影测量内业规范》（CH/Z 3003-2010）的相关要求。

F.3.3 数字高程模型、数字表面模型、正射影像、倾斜摄影宜覆盖以桥梁结构为对角线交点的矩形区域，该区域长宽宜在[3000m, 4000m]区间内，区域范围不宜小于将桥梁结构与关联对象结构全包围的矩形区域面积的 20 倍。

F.3.4 数字高程模型应采用规则格网模型（GRID）类型，可采用等高线模型（Contour）、不规则三角网模型（TIN）类型。影像数据应为彩色形式，采用数字正射影像图（DOM）类型时，可采用航空摄影类型。

F.3.5 数字高程模型、数字表面模型、正射影像、倾斜摄影比例尺应大于或等于 1:100000，且后者比例尺应不小于前者。数字高程模型精度应不小于上述参照标准规定的三级，采用规则网格模型形式交付时，网格间距应不大于 12.5m。

F.4 模型交付

F.4.1 模型交付前，交付方和接收方应设置具有可以唯一标识的项目编码，该编码应采用数字、字母组成。

F.4.2 桥梁结构、关联对象结构、监测设备的工程数字模型应合并为一个文件，以 IFC 格式交付，并满足《公路工程信息模型应用统一标准》（JTG/T 2420-2021）中对 IFC 文件的相关规定。

F.4.3 数字高程模型、数字表面模型、正射影像应以 TIF 格式交付，倾斜摄影应以 OSGB 或 OBJ 格式交付。

F.4.4 模型交付时还应提供与省平台和地市级平台的图形引擎系统兼容的缓存文件、工作空间文件、系统发布文件等。

F.4.5 模型交付时宜同步提交模型说明书，其内容包括但不限于项目概要，模型创建、更新、审核的单位、人员和时间，建模软件与版本号，交付模型版本号（形式应为“日期_编号”，如“20230724_V1.0.0”）以及版本更新或变更内容。

F.5 文件组织与命名

F.5.1 模型交付的总文件夹命名应采用项目名、批次号（若分批次）、模型版本号
的组合，如 XX 监测项目_第 2 批次_20230724_V1.0.0。

注：总文件夹应包含同一监测项目内同一批次的所有被监测桥梁的若干信息模型数
据文件。

F.5.2 同一项目内不同被监测桥梁的模型数据应按本文件要求组织在不同的文件
夹内，压缩后以 ZIP 或 RAR 格式交付。文件夹及压缩后文件命名应与被监测桥梁名称
一致。

F.5.3 用于交付的工程数字模型 IFC 文件及其缓存文件、工作空间文件、系统发布
文件等的命名应与被监测桥梁名称一致。

注 1：交付时可按照所含桥梁结构、关联对象结构、设备不同模型类型进行拆分，
拆分后交付文件命名应采用在被监测桥梁名称后添加后缀的形式，如添加“-Model”（桥
梁结构与关联对象结构）、“-JC”（监测设备）。

注 2：缓存文件、工作空间文件、系统发布文件等应根据所含数据类型，采用被监
测桥梁名称后添加后缀的形式。

F.5.4 用于交付的工程数字模型的 DGN、CATPRODUCT、CATPART、RVT、3DXML
等各类原始文件（包）命名应采用桥梁名称与软件名的组合，如 XX 大桥_Bentley。

F.5.5 用于交付的工程数字模型的图档资料文件（包）命名应采用桥梁名称与“图
纸及其他相关资料”的组合，如 XX 大桥_图纸及其他相关资料。

F.5.6 数字高程模型、影像数据、倾斜摄影的 TIF、OSGB、OBJ 等文件（包）命
名应采用被监测桥梁名称、类型名的组合，如 XX 大桥_DOM、YY 大桥_倾斜摄影、ZZ
特大桥_DEM。

F.5.7 用于交付的工程数字模型的文件储存应按图 F.5.7 组织。



图 F.5.7 公路桥梁工程监测项目用工程数字模型交付文件储存组织示意图

附录 G 系统与平台间数据交互接口及传输协议

G.1 业务数据交互接口

G.1.0 基本规定

G.1.0.1 单桥（桥梁群）监测系统与市（州）级平台、市（州）级平台与省平台之间应通过 http(s) 协议进行业务数据交互。

条文说明：本附录所述的上级平台和下级平台（系统）是就数据交互的相对上下级关系而言，如市（州）级平台为单桥（桥梁群）监测系统的上级平台，同时又是省平台的下级平台。

G.1.0.2 本附录中凡标注“*”的业务数据接口，是指平台（系统）间数据交互的必备接口；凡未标注“*”的业务数据接口，平台（系统）开发部署时可根据实际情况选择性实现。

G.1.0.3 接口的返回值，如未作特别说明，均采用通用返回值定义，见表 G.1.0-1。

G.1.0.4 接口中凡涉及中文的字段，均采用 UTF-8 编码。

表 G.1.0-1 通用返回值定义

字段名	类型	描述
code	int	返回状态码： 0：成功 400：鉴权失败 500：其他错误
msg	string	提示性消息

G.1.1 上下级平台（系统）间访问鉴权方式

本节规定上下级平台（系统）间如何通过签名来保证授权用户的访问，示意见图 G.1.1。

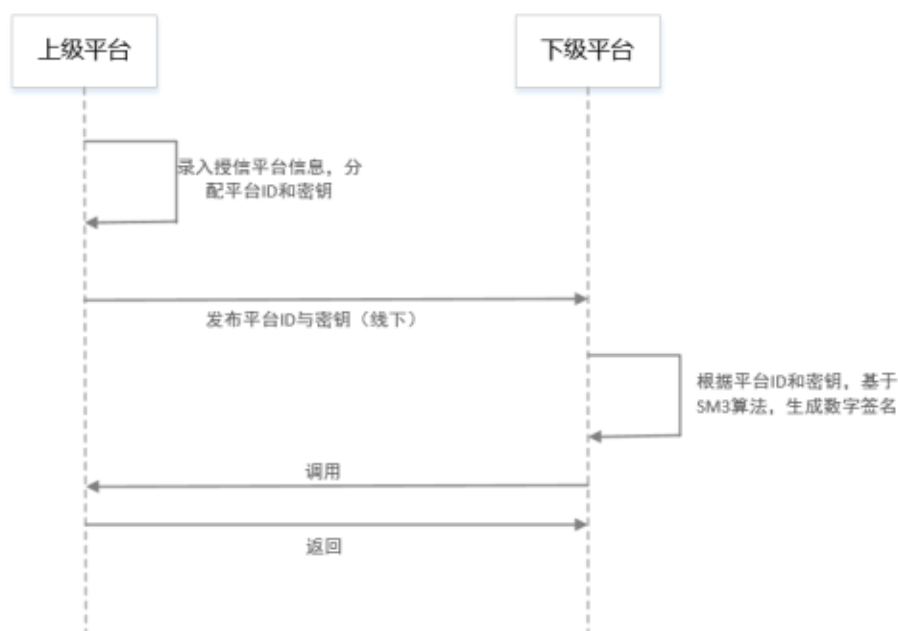


图 G.1.1 上下级平台（系统）间访问鉴权示意

签名生成规则：

步骤一：系统 ID、秘钥获取

上级平台分配下级平台（系统）的 ID 与秘钥

步骤二：构造签名字符串

计算获取签名字符串：

- 1) http(s)接口请求参数按照字典顺序排序，拼接成字符串。
- 2) 拼接当前请求时间戳（毫秒）和秘钥。

示例：

http(s)://server:port/path?b=value1&a=value1

Timestamp:1668416269909（时间戳）

key:123（秘钥）

拼接字符串：

“a=value1&b=value11668416269909123”

- 3) 对字符串信息按照 SM3 算法计算获取 16 进制签名字符串。

步骤三：设置 http(s)头

设置 http(s)请求头，通过 http(s)的 Authorization 头传递签名信息。Authorization 由认证类型和签名信息两个部分组成，形式如下：

Authorization: 认证类型 签名信息

认证类型：当前要求为 SM3

签名信息：签名值 signature，请求时间戳 timeStamp，平台 ID sourceSystemId

示例：

Authorization:SM3

signature=992b808c7c3e0668ae9a47e473809ccdb9e81fbdfa4d211f7c8b79a2b3b52b04,timeStamp=1668416269909,sourceSystemId=68157441

G.1.2 下级平台（系统）访问上级平台

本节规定上级平台需要实现的接口。下级平台（系统）为接口调用方，上级平台为被调用方。

G.1.2.1 桥梁信息接口

1 桥梁基本信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送信息，用以新增或修改桥梁基本信息。

接口地址：/intersys/sync/asset/property

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.1-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.1-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
assetName	string	桥梁名称	Y
assetType	string	设施类型，见表 G.1.2.1-2	Y
assetAttributes	LIST	桥梁属性，键值对数组，见表 G.1.2.1-3	Y
deptIds	LIST<string>	桥梁所属组织 ID 列表（通过 G.1.2.9 接口获取）	Y

表 G.1.2.1-2 assetType 参数定义

参数名	取值	描述
assetType	BRIDGE	桥梁
	TUNNEL	隧道
	SLOPE	边坡
	SUBGRADE	路基
	PAVEMENT	路面

表 G.1.2.1-3 assetAttributes 参数定义

属性名	类型	描述
longitude	float	经度
latitude	float	纬度
bridgeCode	string	桥梁编码，公路桥梁唯一编码
areaCode	int	桥梁所在行政区划代码
roadCode	string	桥梁所在路线的编号
roadName	string	桥梁所在路线的名称
openTime	string	通车日期，格式：YYYY-MM-DD
bridgeAbbreviation	string	桥梁简称
bridgeCenterStake	string	桥梁中心桩号
waterSystem	string	所属水系，按四川省水系流域划分的枚举信息，如金沙江四川段、长江干流宜宾-泸州合江县段、黄河四川段、沱江、岷江、雅砻江、安宁河、大渡河、嘉陵江、涪江、渠江、青衣江、赤水河、琼江等
bridgeTotalLength	string	桥梁全长
bridgeSpanCombination	string	跨径组合，单位为 m。举例说明：85+110*2+100
bridgeWidth	string	桥面净宽
bridgePierType	string	桥墩类型，桁架墩、混合墩、薄壁墩、单柱墩、多柱墩等
baseType	string	基础类型
superstructureType	string	上部结构类型，见表 G.1.2.1-5
superstructureSubType	string	上部结构子类型，见表 G.1.2.1-5
superstructureMaterials	string	上部结构材料，钢、钢混组合、钢管混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土、其它材质等
maintenanceUnit	string	养管单位组织机构 ID，见表 G.1.2.9-2 返回值字段说明
designerUnit	string	设计单位
constructionUnit	string	建设单位
supervisorUnit	string	监理单位
buildUnit	string	施工单位
seismicGrade	string	抗震等级
loadLevel	string	设计荷载等级，公路 I 级、公路 II 级、汽车 20 级、汽车超 20 级等
monitoringSystemType	string	监测系统类型，见表 G.1.2.1-4
monitoringSystemTime	string	监测系统建成时间，格式：YYYY-MM-DD
remarks	string	备注

表 G.1.2.1-4 monitoringSystemType 参数定义

参数名	取值	描述
monitoringSystemType	A	结构健康监测系统
	B	轻量化监测系统
	C	应急监测系统

表 G.1.2.1-5 superstructureType、superstructureSubType 参数定义

上部结构类型 (superstructureType)	上部结构子类型 (superstructureSubType)
梁式桥	简支梁
	连续梁
	连续刚构
	悬臂梁
拱式桥	上承式
	中承式
	下承式
斜拉桥	漂浮体系
	半漂浮体系
	塔梁固结
	刚构体系
悬索桥	地锚式
	自锚式

2 桥梁历年技术状况评定等级和评分上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台报送桥梁历年技术状况评定等级和评分等信息。

接口地址：/intersys/sync/asset/technicalStatus

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.1-6

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.1-6 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）监测桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
technicalStatus	LIST	历年技术状况评定等级和评分（见表 G.1.2.1-7）	Y

表 G.1.2.1-7 technicalStatus 元素参数定义

字段名称	类型	描 述
time	date	检测日期
technicalStatusLevel	int	技术状况评定等级（见表 G.1.2.1-8）
scope	float	技术状况评分
category	int	检测类别（见表 G.1.2.1-9）

表 G.1.2.1-8 technicalStatusLevel 参数定义

技术状况等级	描 述
1	1 类桥
2	2 类桥
3	3 类桥
4	4 类桥
5	5 类桥

表 G.1.2.1-9 category 参数定义

检测类别	描 述
1	初始检查
2	定期检查
3	特殊检查

G.1.2.2 外场设备信息接口

1 外场设备基本信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送信息，用以新增或修改外场设备的基本信息。

接口地址：/intersys/sync/batch/device

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.2-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.2-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）设备归属的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
devices	LIST	设备列表，见表 G.1.2.2-2	Y

表 G.1.2.2-2 devices 元素参数定义

参数名	类型	描述	是否必选
deviceId	UUID	下级平台（系统）设备 ID	Y
deviceName	string	下级平台（系统）设备名称	Y
deviceType	string	设备类型，见表 G.1.2.2-3	Y
deviceSubType	string	设备子类型，见表 G.1.2.2-3	Y
deviceCode	string	设备编码	Y
deviceAttributes	LIST	设备属性，见表 G.1.2.2-4	Y

表 G.1.2.2-3 deviceType、deviceSubType 参数定义

设备类型(deviceType)	设备子类型(deviceSubType)
车辆荷载监测项	动态称重系统
	高清摄像机
船舶撞击监测项	强震动记录仪
	加速度传感器
	毫米波雷达船撞监测仪
	高清摄像机
现场视频监测项	高清摄像机
风速、风向监测项	超声风速仪
	螺旋桨式风速仪
	机械式风速仪
风压监测项	微压差传感器
	皮托管
地震动监测项	强震动记录仪
	加速度传感器
	三向地震动监测仪
冰凌监测项	冰凌传感器
温度监测项	温度计
	热电偶温度传感器
	热电阻温度传感器
	光纤光栅温度传感器
湿度监测项	氯化锂湿度计
	电阻电容湿度计
	电解湿度计
	温湿度仪

设备类型(deviceType)	设备子类型(deviceSubType)
降雨量监测项	电容雨量计
	红外散射式雨量计
	单翻斗雨量计
地下水监测项	水位计
	孔隙水压力计
	渗压计
振动监测项	压电式加速度传感器
	压阻式加速度传感器
	电容式加速度传感器
	伺服式加速度传感器
	磁电式加速度传感器
变形、位移监测项	GNSS
	压力变送器
	拉绳式位移计
	连通管系统
	静力水准仪
	角反射器
	毫米波雷达挠度监测仪
	机器视觉靶点
	机器视觉仪
	电涡流动挠度仪
	顶杆式位移计
转角监测项	倾角传感器
应变监测项	电阻应变计
	振弦式应变计
	光纤类应变计
裂缝监测项	振弦式测缝计
	电阻式裂缝计
	光纤类位移计
基础冲刷监测项	声纳传感器
腐蚀监测项	多电极传感器
索力、索振动监测项	压力传感器
	加速度传感器

设备类型(deviceType)	设备子类型(deviceSubType)
	磁通量传感器
	光纤光栅应变传感器
	索力动测仪
	毫米波雷达索力监测仪
支座反力监测项	支座反力计
断丝监测项	声发射传感器
螺栓紧固力监测项	螺栓紧固力传感器
锚跨张力监测项	锚索测力计
预应力监测项	压力传感器
	磁通量传感器
渗漏水监测项	红外热成像仪

表 G.1.2.2-4 deviceAttributes 元素参数定义

属性名	类型	描述
manufacturer	string	设备厂商
model	string	设备型号
installTs	long	设备安装或更换时间，时间戳（单位：毫秒）
installLocation	string	设备安装位置

2 外场设备状态上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送外场设备的状态记录，每小时推送一次。

接口地址：/intersys/sync/reportedDeviceStatus

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.2-5

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.2-5 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）设备归属的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
deviceId	UUID	设备 ID	Y
deviceStatus	int	产生变化的设备状态，见表 G.1.2.2-6	Y
updateTime	long	设备状态变化时间	Y

参数名	类型	描述	是否必选
malfunctionType	string	设备故障类型	N
malfunctionReason	string	设备故障原因（设备状态为维修时必填）	N
malfunctionHandle	string	设备故障处理措施（设备状态从故障恢复为正常时必填）	N
malfunctionRemark	string	备注	N

表 G.1.2.2-6 deviceStatus 参数定义

参数名	取值	描述
deviceStatus	0	正常
	1	故障
	2	损坏
	3	维修
	4	更换

3 外场设备报验文件上报

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送外场设备安装施工的质量报验文件。

接口地址：/intersys/sync/deviceFile

请求方式：POST

请求体格式：form-data

请求参数：见表 G.1.2.2-7

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.2-7 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
deviceId	UUID	设备 ID	Y
fileType	int	文件类型，见表 G.1.2.2-8	Y
fileName	string	文件名称	Y
uploadTime	long	上传时间	N
deviceFile	FILE	设备文件	Y

表 G.1.2.2-8 fileType 参数定义

参数名	取值	描述
fileType	1	安装照片
	2	环境照片

参数名	取值	描述
	3	质量检验文件，如出厂检验合格证、第三方校准测试报告等
	4	其它相关文件

4 外场设备维护记录上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送外场设备的维护记录

接口地址：/intersys/sync/reportedDeviceMaintenance

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.2-9

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.2-9 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）设备归属的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
maintainId	UUID	设备维护记录 ID	Y
records	LIST	完成维护的设备列表，见表 G.1.2.2-10	Y

表 G.1.2.2-10 records 元素参数定义

参数名	类型	描述	是否必选
deviceId	UUID	完成维护的设备 ID	Y
maintainTime	string	设备维护时间	Y
maintainContent	string	设备维护内容	Y
maintainRemark	string	备注	N

G.1.2.3 测点信息接口

1 测点信息上报*

接口功能：新增测点或修改测点在监测树中的层级信息

接口地址：/intersys/sync/batch/sync/category/endpoint

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.3-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.3-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	测点归属的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
measureCategory	LIST	监测树列表，见表 G.1.2.3-2	Y
measureEndpoint	LIST	测点列表，见表 G.1.2.3-4	Y

表 G.1.2.3-2 measureCategory 元素参数定义

参数名	类型	描述	是否必选
categoryId	UUID	监测项目 ID	Y
categoryName	string	监测项目名称，见表 G.1.2.3-3	Y
categoryPid	UUID	上级监测项目 ID，如果无则该字段空置	N
sort	int	排序	N

表 G.1.2.3-3 categoryName 参数定义

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目
环境	环境温度	桥址区环境温度
		主梁内温度
		主缆内温度
		主拱内温度
		锚室内温度
		鞍罩内温度
		索塔内温度
		索塔锚固区温度
	环境湿度	桥址区环境湿度
		主梁内湿度
		主缆内湿度
		主拱内湿度
		锚室内湿度
		鞍罩内湿度
		索塔内湿度
		索塔锚固区湿度
	雨量	降雨量
	结冰	桥面结冰
		主缆结冰
		斜拉索结冰
		吊杆结冰

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目
作用	降雪	降雪量
	能见度	大雾能见度
	车辆荷载	所有车道、车重、轴重、轴数、车速
		所有车道车流量
		所有车道的车辆空间分布
	风速、风向	桥面风速
		塔顶风速
		拱顶风速
		桥面风向
		塔顶风向
		拱顶风向
	风压	主梁风压
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度
		砌石拱结构构件温度
		桥面铺装层温度
	船舶（车辆）撞击	桥墩（撞击区段主梁）横向加速度
		桥墩（撞击区段主梁）纵向加速度
	地震	桥岸地表场地横向加速度
		桥岸地表场地竖向加速度
		桥岸地表场地纵向加速度
		承台顶部横向加速度
		承台顶部竖向加速度
		承台顶部纵向加速度
		桥墩底部横向加速度
		桥墩底部竖向加速度
		桥墩底部纵向加速度
	水位	水面高度
	流速	水流速度
结构响应	位移	塔顶横向位移
		塔顶竖向位移
		塔顶纵向位移
		主缆横向位移
		主缆竖向位移
		主缆纵向位移
		主梁竖向位移（准静态位移）

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目
		主梁竖向位移（动挠度）
		主梁纵向位移
		主梁横向位移
		拱顶横向位移
		拱顶竖向位移
		拱顶纵向位移
		高墩墩顶横向位移
		高墩墩顶竖向位移
		高墩墩顶纵向位移
		支座位移
		梁端纵向位移
	转角	塔顶横向转角
		塔顶纵向转角
		墩顶横向转角
		墩顶纵向转角
		柱顶横向转角
		柱顶纵向转角
		拱肋横向转角
		拱肋纵向转角
		梁端水平转角
		梁端竖向转角
	应变	主梁关键截面应变（准静态应变）
		主梁关键截面应变（动应变）
		索塔关键截面应变
		主拱关键截面应变
		墩柱关键截面应变
	索力	吊索索力
		锚跨索股力
		斜拉索索力
		吊杆力
		系杆力
	支座反力	支座反力
	振动	主梁竖向振动加速度（速度）
		主梁横向振动加速度（速度）
		主梁纵向振动加速度（速度）

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目
		塔顶横向振动加速度（速度）
		塔顶纵向振动加速度（速度）
		墩顶横向振动加速度（速度）
		墩顶纵向振动加速度（速度）
		墩顶竖向振动加速度（速度）
		主拱横向振动加速度（速度）
		主拱纵向振动加速度（速度）
		主拱竖向振动加速度（速度）
		吊索振动加速度（速度）
		斜拉索振动加速度（速度）
		锚跨索振动加速度（速度）
		系杆振动加速度（速度）
		吊杆振动加速度（速度）
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度
	位移	锚碇横向位移
		锚碇纵向位移
		锚碇竖向位移
		拱脚横向位移
		拱脚纵向位移
		拱脚竖向位移
		桥墩竖向位移
	转角	锚碇横向转角
		锚碇纵向转角
		拱脚横向转角
		拱脚纵向转角
	裂缝	混凝土结构裂缝
		钢结构裂缝
		砌石拱结构裂缝
	腐蚀	墩身混凝土氯离子浓度
		承台混凝土氯离子浓度
		墩身混凝土氯离子侵蚀深度
		承台混凝土氯离子侵蚀深度
	预应力	体外预应力
	断丝	吊索断丝
		主缆断丝

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目
		斜拉索断丝
		吊杆断丝
		锚跨索股断丝
		系杆断丝
	螺栓状态	索夹螺杆紧固力
		高强螺栓紧固力
		螺栓滑脱
	索夹滑移	索夹滑移
桥址区地质灾害体	地表位移	地表绝对位移
		地表相对位移
	地表倾斜	地表倾斜度
	地表裂缝	地表裂缝宽度
	深部位移	地层间相对位移
	支护结构受力	锚索力
		土压力
	地下水	地下水位
		孔隙水压力
	降雨	降雨量
		降雨强度
	地声	岩体震动
		地面震动（次声）
	临灾前兆	视频（图像）
	运动特征	水位高度
		流动速度
其他	视频	
		

表 G.1.2.3-4 measureEndpoint 元素参数定义

参数名	类型	描述	是否必选
endpointCode	string	测点编码，需根据附录 E.0.5 编制	Y
categoryId	UUID	测点归属的监测项目 ID	Y

2 特征指标信息上报*

接口功能：新增或修改特征指标的基本信息

接口地址：/intersys/sync/batch/sync/endpoint/attribute

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.3-5

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.3-5 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）测点归属的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
measureFeature	LIST	特征指标列表，表 G.1.2.3-6	Y

表 G.1.2.3-6 measureFeature 元素参数定义

参数名	类型	描述	是否必选
featureName	string	特征指标名称，名称约束参见表 G.1.2.3-7	Y
endpointCode	string	测点编码，需根据附录 E.0.5 编制	N
featureId	UUID	特征指标 ID	Y
deviceId	UUID	特征指标对应的设备 ID	N
unit	string	单位	Y
sampleFrequency	float	采样频率或刷新频率，单位：Hz	Y
featurePrecision	int	特征指标分辨率（保留小数位数）	Y
levelOneUpLimit	float	一级超限阈值上限	N
levelOneDownLimit	float	一级超限阈值下限	N
levelTwoUpLimit	float	二级超限阈值上限	N
levelTwoDownLimit	float	二级超限阈值下限	N
levelThreeUpLimit	float	三级超限阈值上限	N
levelThreeDownLimit	float	三级超限阈值下限	N

表 G.1.2.3-7 featureName 元素参数定义

特征指标名称	描述
原始值	传感器原始值
最大值	统计分析值
最小值	统计分析值
平均值	统计分析值
绝对最大值	统计分析值
均方根值	统计分析值
绝对差值	统计分析值
超限持续时间	统计分析值
车流量	统计分析值

特征指标名称	描 述
最大车重	统计分析值
平均车重	统计分析值
最大轴重	统计分析值
超载车数量	统计分析值
绝对值累积量	统计分析值
冲刷范围	统计分析值
超限次数	统计分析值
振动能量比因子	统计分析值
疲劳累计损伤指数	专项分析值
竖向频率	专项分析值
横向频率	专项分析值
纵向频率	专项分析值

G.1.2.4 报警预警信息接口

1 报警信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送交通安全风险事件报警信息。

接口地址：/intersys/sync/alarm/record/manualSyncAlarmListRecord

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.4-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.4-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	报警桥梁的 ID，需保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
isSyncHistory	Boolean	True 历史报警，即特征指标已回落至阈值区间内； False 实时报警，即特征指标仍保持超阈值。	Y
alarms	LIST	见表 G.1.2.4-2	Y

表 G.1.2.4-2 alarms 元素参数定义

参数名	类型	描述	是否必选
featureId	UUID	触发报警的特征指标 ID	Y
alarmId	UUID	报警 ID，下级平台（系统）自动生成	Y
severity	string	报警等级，见表 G.1.2.4-3	Y

参数名	类型	描述	是否必选
monitorValue	string	超限值	Y
unit	string	单位	Y
form	string	报警类型，见表 G.1.2.4-4	Y
createTs	long	报警时间，时间戳（单位：毫秒）	Y
clearTs	long	报警消除时间，时间戳（单位：毫秒）。 历史报警（isSyncHistory 为 True）必填	N
alarmConfirmTime	long	报警确认时间	Y
alarmConfirmUser	string	报警确认人	Y
alarmConfirmTel	string	报警确认人电话	Y
details	string	报警原因	Y

表 G.1.2.4-3 severity 参数定义

参数名	取值	描述
severity	0	正常
	1	一级报警
	2	二级报警
	3	三级报警

表 G.1.2.4-4 form 参数定义

参数名	取值	描述
form	1	交通安全风险事件报警
	2	结构安全风险事件报警

2 报警处理信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送针对交通安全风险事件报警的处理措施及结果信息。

接口地址：/intersys/sync/reportedRecordHandle

请求方式：POST

请求体格式：form-data

请求参数：见表 G.1.2.4-5

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.4-5 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
alarmId	UUID	报警 ID，见表 G.1.2.4-2	Y

参数名	类型	描述	是否必选
handleTime	long	交通安全风险事件报警处理时间	Y
handleUser	string	交通安全风险事件报警处理人	Y
handleUserTel	string	交通安全风险事件报警处理人电话	Y
handleContent	string	交通安全风险事件报警处理措施	Y
handleFile	FILE	交通安全风险事件报警处理措施相关附件	N

3 预警信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送桥梁结构风险状态预警信息。

接口地址：/intersys/sync/ebs/warning/record

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.4-6

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.4-6 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	桥梁 ID，需保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
ebsWarningId	UUID	预警记录 ID，下级平台（系统）生成	Y
ebsType	string	结构类型，见表 G.1.2.4-7，空置时默认为 D—桥梁整体。	N
ebsId	UUID	结构 ID，ebsType 取值 A、B、C 时必须填	N
ebsName	string	与结构 ID 对应的构件/部件/部位/桥梁名称	N
ebsWarningLevel	string	结构风险状态预警等级（绿、蓝、黄、橙、红，取值分别对应 GREEN、BLUE、YELLOW、ORANGE、RED）	Y
ebsWarningConfirmUser	string	预警确认人	Y
ebsWarningConfirmTel	string	预警确认人电话	Y
ebsWarningConfirmTime	long	预警确认时间	Y
ebsWarningReason	string	预警原因	Y
ebsWarningTime	long	预警时间（时间戳，单位：毫秒）	Y

表 G.1.2.4-7 ebsType 参数定义

参数名	取值	描述
ebsType	0	构件
	1	桥梁整体

4 预警处理信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送针对桥梁结构风险状态预警的处理措施及结果等信息。

接口地址：/intersys/sync/ebs/warning/handle

请求方式：POST

请求体格式：form-data

请求参数：见表 G.1.2.4-8

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.4-8 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
ebsWarningId	UUID	结构预警记录 ID，见表 G.1.2.4-6	Y
handleTime	long	预警处理时间	Y
handleUser	string	预警处理人	N
handleUserTel	string	预警处理人电话	N
handleContent	string	预警处理措施	Y
handleFile	FILE	预警处理文件	N

5 上报结构风险状态预警与风险事件报警的关联关系

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送与特定结构风险状态预警相关的风险事件报警信息。

接口地址：

/intersys/sync/warning/analysis/endpoint/alarm/manualSyncAssetWarningAnalysis

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.4-9

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.4-9 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
warningRecordId	UUID	结构风险状态预警记录 ID，见表 G.1.2.4-6	Y
causeAlarmEndpointIdList	LIST<string>	与本次预警有关联关系的事件报警 ID 列表	Y

G.1.2.5 桥梁结构状态上报

1 桥梁结构状态综合评定结果上报

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送桥梁结构状态综合评定等级、评分等信息。

接口地址：/intersys/sync/ebs/health/record

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.5-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.5-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
ebsType	string	结构类型，见表 G.1.2.5-2	Y
ebsHealthId	UUID	结构状态记录 ID，下级平台（系统）生成	Y
ebsId	UUID	结构 ID，ebsType 取值 A，B，C 时必填	N
ebsHealthPoint	float	结构状态评分	Y
ebsHealthLevel	string	结构状态等级，见表 G.1.2.5-3	Y
ebsHealthReason	string	结构状态评定依据	Y
ebsHealthTime	long	结构状态评定时间（时间戳，单位：毫秒）	Y

表 G.1.2.5-2 ebsType 参数定义

参数名	取值	描述
ebsType	A	构件
	B	部件
	C	上部结构 下部结构 桥面系
	D	桥梁整体

表 G.1.2.5-3 ebsHealthLevel 参数定义

参数名	取值	描述
ebsHealthLevel	1	功能完好，结构安全风险极低。
	2	主要构件有轻微缺损，对桥梁使用功能影响不大，结构安全风险低。
	3	主要构件有缺损，对桥梁使用功能和结构安全有影响，但尚能维持正常运营。
	4	主要构件或关键节点缺损明显，严重影响桥梁使用功能或承载能力，结构安全风险高。
	5	主要构件或结构体系存在严重缺损，不能正常使用，危及桥梁结构安全。

2 桥梁养护维修处治信息上报

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送桥梁结构养护维修处治信息。

接口地址：/intersys/sync/ebs/health/handle

请求方式：POST

请求体格式：form-data

请求参数：见表 G.1.2.5-4

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.5-4 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台 ID	Y
assetId	UUID	桥梁 ID，需要保证在下级平台中的唯一性	Y
ebsHealthId	UUID	结构状态记录 ID，见表 G.1.2.5-1	Y
handleTime	long	养护维修处治时间	Y
handleUser	string	养护维修处治负责人	N
handleUserTel	string	养护维修处治负责人电话	N
handleContent	string	养护维修处治措施	Y
handleFile	FILE	养护维修处治相关文件	N

G.1.2.6 下级平台（系统）运维信息接口

1 平台（系统）运行状态上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送其运行状态。

接口地址：/intersys/sync/reportedSystemRunningStatus

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.6-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.6-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台 ID	Y
recordId	UUID	本次上报记录 ID，下级平台自动生成	Y
status	string	本次上报记录对应平台状态（正常、故障、维护）	Y
updateTime	long	本次上报记录时间戳	Y

2 平台（系统）运行故障信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送其运行故障信息。

接口地址：/intersys/sync/reportedSystemMalfunction

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.6-2

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.6-2 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台 ID	Y
malfunctionId	UUID	本次上报故障记录 ID，下级平台自动生成	Y
malfunctionType	string	故障类型	Y
malfunctionStartTime	long	故障开始时间	Y
malfunctionEndTime	long	故障结束时间	N
malfunctionReason	string	故障原因	N
malfunctionHandle	string	故障处理	N

3 平台（系统）维护信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送其维护记录信息。

接口地址：/intersys/sync/reportedSystemMaintain

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.6-3

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.6-3 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
maintainId	UUID	本次上报维护记录 ID，下级平台（系统）自动生成	Y
maintainType	string	维护类型	Y
maintainStartTime	long	维护开始时间	Y
maintainEndTime	long	维护结束时间	N
maintainUser	int	参与维护人员数量	N
maintainFund	float	维护经费，单位(万元)	N
maintainEffect	string	维护效果	N

G.1.2.7 特殊事件信息接口

1 特殊事件信息上报*

接口功能：发生特殊事件后，下级平台（系统）向上级平台推送特殊事件相关信息。

接口地址：/intersys/sync/emergency/event/save

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.2.7-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.7-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台 ID	Y
eventId	UUID	本次上报特殊事件 ID，下级平台自动生成	Y
eventType	string	特殊事件类型，见表 G.1.2.7-2	Y
eventName	string	特殊事件名称	Y
eventLocationLatitude	float	特殊事件坐标-纬度	Y
eventLocationLongitude	float	特殊事件坐标-经度	Y
eventContent	string	特殊事件内容说明	Y
eventAssets	LIST	关联桥梁编码列表	Y
eventTime	long	特殊事件发生时间，时间戳（单位：毫秒）	Y
eventSubmitUser	string	特殊事件报送人	Y
eventSubmitTel	string	特殊事件报送人电话	Y
confirmUser	string	特殊事件确认人	N
confirmTel	string	特殊事件确认人电话	N

表 G.1.2.7-2 eventType 参数定义

参数名	取值	描述
eventType	strongBreeze	强风
	earthQuake	地震
	vortexvibration	涡振
	shipHit	船撞
	overloadedVehicle	超载车
	vehicleHit	车撞
	flood	洪水
	debrisFlow	泥石流
	landslide	滑坡
	complex	综合
	other	其他

2 特殊事件处理信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送特殊事件的处理措施及结果。

接口地址：/intersys/sync/reportedEmergencyEvents

请求方式：POST

请求体格式：form-data

请求参数：见表 G.1.2.7-3

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.7-3 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
eventId	UUID	本次上报特殊事件 ID，见表 G.1.2.7-1	Y
eventHandleTime	long	特殊事件处理时间	Y
eventHandleContent	string	特殊事件处理措施	Y
eventHandleUser	string	特殊事件处理人	Y
eventHandleTel	string	特殊事件处理人电话	Y
eventHandleFiles	LIST	特殊事件相关文件附件列表	N

3 特殊事件预案信息上报*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送特殊事件的预案。

接口地址：/intersys/sync/emergency/event/planInfo

请求方式：POST

请求体格式：form-data

请求参数：见表 G.1.2.7-4

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.7-4 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
planType	string	预案类型，见表 G.1.2.7-5	Y
eventType	string	事件类型（同特殊事件类型），见表 G.1.2.7.2	N
docNum	string	预案文号	N
planName	string	预案名称	Y

参数名	类型	描述	是否必选
planContent	string	预案说明	N
planRemark	string	预案备注	N
planCreateTime	long	预案创建时间	Y
planContactsUser	string	预案联系人员	Y
planContactsUserTel	string	预案联系人员电话	Y
planReportTime	long	预案上报时间	Y
planReportUser	string	预案上报人员	Y
planReportUserTel	string	预案上报人员电话	Y

表 G.1.2.7-5 planType 参数定义

参数名	取值	描述
planType	overallPlan	总体应急预案
	specialPlan	专项应急预案
	departmentPlan	部门应急预案
	otherPlan	其它预案

G.1.2.8 技术文件接口

1 报告上传*

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送各类监测评估报告。

接口地址：/intersys/sync/report/syncReportCallback

请求方式：POST

请求体格式：form-data

请求参数：见表 G.1.2.8-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.8-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
reportType	string	报告类型，大写英文，见表 G.1.2.7-2	Y
reportName	string	报告名称	Y
eventId	UUID	特殊事件 ID	N
reportTime	long	报告时间，时间戳（单位：毫秒）	Y

参数名	类型	描述	是否必选
uploadTime	long	报告上传时间	Y
uploadUser	string	上报人	Y
uploadUserTel	string	上报人电话	Y
reportFile	FILE	报告文件	Y

表 G.1.2.8-2 reportType 参数定义

参数名	取值（大写）	描述
reportType	daily	日报
	weekly	周报
	monthly	月报
	quarterly	季报
	semiyearly	半年报
	annual	年报
	specialProject	特殊事件专项评估报告
	projectAcceptance	系统试运行报告
	warningFlow	结构风险状态预警快报
	systemRun	系统运行状态报告

2 其它文件上传

接口功能：下级平台（系统）向上级平台推送其它技术文档。

接口地址：/intersys/sync/uploadAssetFile

请求方式：POST, form-data

请求参数：见表 G.1.2.8-3

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.2.8-3 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
sourceSystemId	int	下级平台（系统）ID	Y
assetId	UUID	下级平台（系统）的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
fileType	int	文件类型，见表 G.1.2.8-4	Y
fileName	string	文件名称	Y
uploadTime	long	上传时间	N
assetFile	FILE	桥梁文件	Y

表 G.1.2.8-4 fileType 参数定义

参数名	取值	描述
fileType	1	桥梁结构施工图设计文件
	2	监测系统设计（竣工）图
	3	桥梁交工验收及成桥荷载试验报告
	4	桥梁定期检测报告
	5	桥梁特殊检测报告
	6	桥梁维修加固设计文件
	7	桥梁维修加固交（竣）工验收文件
	8	其它文件

G.1.2.9 组织机构信息接口

1 组织机构信息获取*

接口功能：下级平台（系统）从上级平台获取所需的组织机构信息

接口地址：/intersys/sync/organization/tree

请求方式：GET

请求参数：

返回值：见表 G.1.2.9-1

表 G.1.2.9-1 返回值

字段名	类型	描述
code	int	返回状态码： 0：成功 400：鉴权失败 500：其他错误
msg	string	提示性消息
data	json	[{ "name": "XX 公司", "id": "1", "parentId": null, "children": [{ "children": [], "name": "XX 部门", "id": "2", "parentId": "1", }] }]

表 G.1.2.9-2 返回值字段说明

字段名	类型	描述
id	int	组织机构 id
name	string	组织名称
parentId	string	上级组织 id
children	LIST	下级部门列表，结构参考表 G.1.2.9-2
type	string	组织类型

G.1.3 上级平台访问下级平台（系统）

本节规定下级平台（系统）需要实现的接口。上级平台为接口调用方，下级平台（系统）为被调用方。

G.1.3.1 报警预警处理措施审核接口

1 报警处理措施审核*

接口功能：当上级平台收到下级平台（系统）上报的交通安全风险事件报警处理信息后，可调用该接口确认或驳回该报警的处理措施。

接口地址：/intersys/through/alarm/verify

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.3.1-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.3.1-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
alarmId	UUID	报警记录 ID，下级平台上报时生成	Y
verifyStatus	int	审核结果，见表 G.1.3.1-2	Y
verifyUser	string	审核人	Y
verifyTel	string	审核人电话	Y
verifyTime	long	审核时间	Y

表 G.1.3.1-2 verifyStatus 参数定义

参数名	取值	描述
verifyStatus	0	审核驳回
	1	审核确认

2 预警处理措施审核

接口功能：当上级平台收到下级平台（系统）上报的桥梁结构风险状态预警处理信息后，可调用该接口确认或驳回该预警的处理措施。

接口地址：/intersys/through/warning/verify

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.3.1-3

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.3.1-3 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
alarmId	UUID	预警记录 ID，下级平台上报时生成	Y
verifyStatus	int	审核结果，见表 G.1.3.1-2	Y
verifyUser	string	审核人	Y
verifyTel	string	审核人电话	Y
verifyTime	long	审核时间	Y

G.1.3.2 特殊事件数据核查接口

1 特殊事件数据核查*

接口功能：上级平台可通过该接口对某特殊事件进行数据核查，下级平台（系统）收到调用消息后，应立即将该时间范围内所有监测原始数据上报至上级平台。

接口地址：/intersys/through/emergency/event/check

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.3.2-1

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.3.2-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
eventId	UUID	本次上报特殊事件 ID，下级平台（系统）自动生成	Y
startTs	long	数据开始时间（毫秒）	Y
endTs	long	数据结束时间（毫秒）	Y

G.1.3.3 监测数据查询

1 历史数据查询*

接口功能：上级平台通过监测指标或特征指标 ID 查询数据

接口地址: /intersys/through/data/history/query

请求方式: POST

请求参数: 见表 G.1.3.3-1

返回值: 见表 G.1.3.3-2

表 G.1.3.3-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
assetId	UUID	下级平台（系统）的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
featureId	UUID	特征指标 ID	Y
startTs	long	查询数据开始时间（毫秒）	Y
endTs	long	查询数据结束时间（毫秒）	Y

表 G.1.3.3-2 返回值

字段名	类型	描述
code	int	返回状态码： 0: 成功 400: 鉴权失败 500: 其他错误
msg	string	提示性消息
data	json	[{ “ts”: 时间戳 数据上报时间， “value”: double 数据值 }, { “ts”: 时间戳 数据上报时间， “value”: double 数据值 }]

注: data 指时序监测数据。

2 实时数据查询*

接口功能: 上级平台通过特征指标 ID 查询实时数据

接口地址: /intersys/through/data/realtime/query

请求方式: POST

请求参数: 见表 G.1.3.3-3（按监测指标请求修改参数列表）

表 G.1.3.3-3 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
assetId	UUID	下级平台（系统）的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
featureId	UUID	特征指标 ID	Y

响应消息: 见表 G.1.3.3-4

表 G.1.3.3-4 响应消息

字段名	类型	描述
errorCode	Long	错误码
errorMsg	String	错误消息
url	String	开发给上级平台订阅实时数据的 websocket 地址, 实时数据数据格式为键值对数组, 键描述特征指标, 值描述对应特征指标的数据列表, 每条数据列表第一项是数据时间戳, 第二项是数据本身。例如: <pre>{ "特征指标": [[1701913655724, "0.1"]] }</pre>

G.1.3.4 视频接口

视频编码格式应为 H264 编码, 音频编码格式宜为 ACC 编码。

1 实时视频数据查询接口*

接口功能: 上级平台通过特征指标 ID 查询实时视频播放地址接口

接口地址: /intersys/through/video/realtime/query

请求方式: POST

请求参数: 见表 G.1.3.4-1

返回值: 见表 G.1.3.4-3

表 G.1.3.4-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
assetId	UUID	下级平台(系统)的桥梁 ID, 需要保证在下级平台(系统)中的唯一性	Y
featureId	UUID	特征指标 ID	Y
protocol	string	应用层协议(见表 G.1.3.4-2), 推荐使用 hls 协议	Y
streamType	int	码流类型 0: 主码流 1: 子码流 2: 第三码流 参数不填, 默认为主码流	N

表 G.1.3.4-2 protocol 参数定义

枚举类型	应用层协议类型(protocol)
hls	hls 格式视频流
flv	flv 格式视频流

表 G.1.3.4-3 返回值

字段名	类型	描述
code	int	返回状态码： 0：成功 400：鉴权失败 500：其他错误
msg	string	提示性消息
data	json	{ "url":string 视频播放地址，播放地址必须为 https "online":1 是否在线，0：不在线、1：在线、2： 故障 }

2 历史视频数据查询接口*

接口功能：省平台通过特征指标 ID 查询历史视频播放地址接口

接口地址：/intersys/through/video/history/query

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.3.4-4

返回值：见表 G.1.3.4-6

表 G.1.3.4-4 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
assetId	UUID	下级平台（系统）的桥梁 ID，需要保证在下级平台（系统）中的唯一性	Y
featureId	UUID	特征指标 ID	Y
protocol	string	应用层协议（见表 G.1.3.4-5），推荐使用 hls 协议	Y
beginTime	string	开始时间	Y
endTime	string	结束时间	Y
streamType	int	码流类型 0：主码流 1：子码流 2：第三码流 参数不填，默认为主码流	N

表 G.1.3.4-5 protocol 参数定义

枚举类型	应用层协议类型(protocol)
hls	hls 格式视频流
flv	flv 格式视频流

表 G.1.3.4-6 返回值

字段名	类型	描述
code	int	返回状态码：

字段名	类型	描述
		0: 成功 400: 鉴权失败 500: 其他错误
msg	string	提示性消息
data	json	{ "url":string 视频播放地址, 播放地址必须为 https "online":1 是否在线, 0: 不在线、1: 在线、2: 故障 }

G.1.3.5 数据分析算法查询及调用接口

1 查询监测系统支持的数据分析算法列表

接口功能: 上级平台访问监测系统, 获取其内置的数据分析算法列表

接口地址: /intersys/through/analysis/algorithmList

请求方式: GET

请求参数: 无

返回值: 见表 G.1.3.5-1

表 G.1.3.5-1 返回值

字段名	类型	描述
code	int	返回状态码: 0: 成功 400: 鉴权失败 500: 其他错误
msg	string	提示性消息
data	json	见表 G.1.3.5-2

对于运营环境恶劣或结构形式复杂的桥梁结构, 宜采用多种算法进行数据分析, 以得到更为精准、多维度的特征指标。数据分析宜包括但不限于以下算法。

表 G.1.3.5-2 算法名称列表

数据分析类型名称	算法名称	描述
linearRegressionAnalysis	pearsonCorrelationCoefficientAtom	线性回归分析: 皮尔逊相关系数算法
	linearLeastSquareAtom	线性回归分析: 线性最小二乘算法
modalAnalysis	randomSubspaceAtom	模态分析: 随机子空间算法
	randomizedReductionAtom	模态分析: 随机减量算法
longTermTrendAnalysis	waveletDecompositionAtom	长期趋势分析: 小波分解算法
fatigueAnalysis	rainfallCountingAtom	疲劳分析: 雨流计数算法
...	...	...

2 调用监测系统的数据分析算法

接口功能：上级平台访问监测系统，调用其数据分析算法进行计算

接口地址：/intersys/through/analysis/executePackageAsyn

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.3.5-3

返回值：见表 G.1.0-1

表 G.1.3.5-3 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
assetId	UUID	桥梁 ID	Y
algorithm	String	算法（表 G.1.3.5-2）	Y
channels	list	描述算法的输入数据信息（G.1.3.5-4）	Y
params	Object	描述算法运行时需要参数	Y
requestId	long	请求 ID	Y

表 G.1.3.5-4 channel 元素描述

字段名称	类型	描述
featureID	UUID	特征指标 ID
startTs	long	数据开始时间，时间戳，单位 ms
endTs	long	数据结束时间，时间戳，单位 ms

3 查询监测系统的的分析计算结果

接口功能：上级平台查询监测系统的的分析计算结果

接口地址：/intersys/through/analysis/queryPackageAsyn

请求方式：POST

请求参数：见表 G.1.3.5-5

返回值：见表 G.1.3.5-6

表 G.1.3.5-5 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
assetId	UUID	桥梁 ID	Y
requestId	long	请求 ID	Y

表 G.1.3.5-6 返回值

字段名	类型	描述
code	int	返回状态码： 0：成功

字段名	类型	描述
		400: 鉴权失败 500: 其他错误
msg	string	提示性消息
data	json	见表 G.1.3.5-7

表 G.1.3.5-7 数据分析计算返回结果的详细说明

字段名	类型	描述	是否必选
status	string	waiting: 等待执行 running: 正在执行 finish: 执行成功 abort: 执行失败	Y
cost	int	计算耗时, 单位 s	N
data	json	计算返回的结果数据	Y
resp	list	计算返回的富文本数据, 如网页、图片等	N

G.1.3.6 语音连线接口*

接口功能: 上级平台与下级平台(系统)的语音连线接口

接口地址: /intersys/through/notification/pushNotification

请求方式: POST

请求参数: 见表 G.1.3.6-1

返回值: 见表 G.1.0-1

表 G.1.3.6-1 参数说明

参数名	类型	描述	是否必选
notificationId	UUID	通知 ID	Y
assetIds	List<UUID>	下级平台(系统)的桥梁 ID 列表	Y
notificationType	String	通知类型, 枚举类型 (Meeting: 语音连线会议、Other: 其他通知)	Y
notificationTitle	String	通知主题	Y
executionTime	long	通知执行时间, 毫秒时间戳。如是会议类型, 则是会议开始时间, 如为空, 则表示立即开始; 如是其他通知, 执行时间为通知的执行时间	N
notificationContent	String	通知内容	Y
notificationLinks	List<String>	通知链接列表	N
remark	String	备注信息	N

G.2 监测数据上报接口

G.2.1 监测数据上报

单桥监测系统应按规定的周期定时上报特征指标数据，具体要求参见表 G.2.1。

表 G.2.1 上报特征指标数据及周期要求

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目	上报特征指标及周期要求
环境	环境温度	桥址区环境温度	上报周期 1h: 最大值、最小值、平均值、绝对差值
		主梁内温度	
		主缆内温度	
		主拱内温度	
		锚室内温度	
		鞍罩内温度	
		索塔内温度	
		索塔锚固区温度	
	环境湿度	桥址区环境湿度	上报周期 1h: 最大值、最小值、平均值、超限持续时间
		主梁内湿度	
		主缆内湿度	
		主拱内湿度	
		锚室内湿度	
		鞍罩内湿度	
		索塔内湿度	
		索塔锚固区湿度	
	雨量	降雨量	上报周期 10min: 平均值
	结冰	桥面结冰	上报周期 1h: 最大值、最小值、平均值
		主缆结冰	
		斜拉索结冰	
		吊杆结冰	
	降雪	降雪量	上报周期 10min: 平均值
	能见度	大雾能见度	上报周期 10min: 最大值、最小值、平均值
作用	车辆荷载	所有车道、车重、轴重、轴数、车速	上报周期 1h: 车流量、最大车重、最大轴重、超载车数量、平均车重
		所有车道车流量	
		所有车道的车辆空间分布	

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目	上报特征指标及周期要求
	风速、风向	桥面风速	上报周期 10min: 平均值
		塔顶风速	
		拱顶风速	
		桥面风向	上报周期 10min: 平均值
		塔顶风向	
		拱顶风向	
	风压	主梁风压	上报周期 10min: 平均值、均方根值
	结构温度	混凝土或钢结构构件温度	上报周期 1h: 最大值、最小值、平均值、 绝对差值
		砌石拱结构构件温度	
		桥面铺装层温度	
	船舶（车辆）撞击	桥墩（撞击区段主梁）横向加速度	上报周期 10min: 绝对最大值、均方根值
		桥墩（撞击区段主梁）纵向加速度	
	地震	桥岸地表场地横向加速度	
		桥岸地表场地竖向加速度	
		桥岸地表场地纵向加速度	
		承台顶部横向加速度	
		承台顶部竖向加速度	
		承台顶部纵向加速度	
		桥墩底部横向加速度	
		桥墩底部竖向加速度	
		桥墩底部纵向加速度	
	水位	水面高度	上报周期 1h: 最大值、最小值、平均值
	流速	水流速度	
结构响应	位移	塔顶横向位移	上报周期 1h: 平均值、绝对最大值、均方根值
		塔顶竖向位移	
		塔顶纵向位移	
		主缆横向位移	
		主缆竖向位移	
		主缆纵向位移	
		主梁竖向位移（准静态位移）	
		主梁竖向位移（动挠度）	
		主梁纵向位移	

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目	上报特征指标及周期要求
		主梁横向位移	上报周期 1h: 平均值、绝对最大值、均方根值、绝对值累积量
		拱顶横向位移	
		拱顶竖向位移	
		拱顶纵向位移	
		高墩墩顶横向位移	
		高墩墩顶竖向位移	
		高墩墩顶纵向位移	
		支座位移	
		梁端纵向位移	
	转角	塔顶横向转角	上报周期 1h: 平均值、绝对最大值、均方根值
		塔顶纵向转角	
		墩顶横向转角	
		墩顶纵向转角	
		柱顶横向转角	
		柱顶纵向转角	
		拱肋横向转角	
		拱肋纵向转角	
		梁端水平转角	
		梁端竖向转角	
	应变	主梁关键截面应变（准静态应变）	上报周期 1h: 平均值、绝对最大值
		主梁关键截面应变（动应变）	
		索塔关键截面应变	
		主拱关键截面应变	
		墩柱关键截面应变	
	索力	吊索索力	上报周期 1h: 最大值、最小值、平均值、均方根值
		锚跨索股力	
		斜拉索索力	
		吊杆力	
		系杆力	
	支座反力	支座反力	上报周期 1h: 最大值、最小值、平均值
	振动	主梁竖向振动加速度（速度）	上报周期 10min: 绝对最大值、均方根值
		主梁横向振动加速度（速度）	

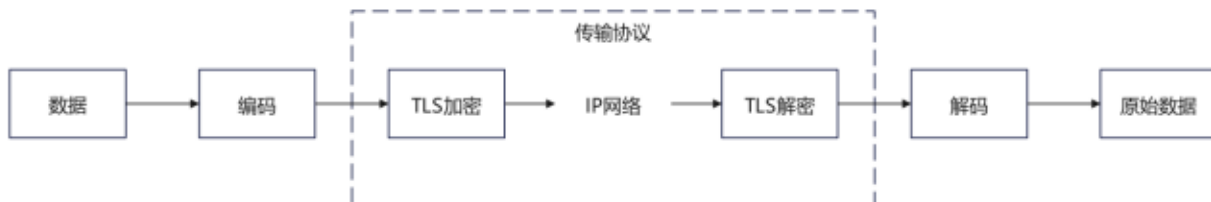
一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目	上报特征指标及周期要求
		主梁纵向振动加速度（速度）	
		塔顶横向振动加速度（速度）	
		塔顶纵向振动加速度（速度）	
		墩顶横向振动加速度（速度）	
		墩顶纵向振动加速度（速度）	
		墩顶竖向振动加速度（速度）	
		主拱横向振动加速度（速度）	
		主拱纵向振动加速度（速度）	
		主拱竖向振动加速度（速度）	
		吊索振动加速度（速度）	
		斜拉索振动加速度（速度）	
		锚跨索振动加速度（速度）	
		系杆振动加速度（速度）	
		吊杆振动加速度（速度）	
结构变化	基础冲刷	基础冲刷深度	上报周期 1h: 最大值、冲刷范围
	位移	锚碇横向位移	上报周期 24h: 平均值、绝对最大值、均方根值
		锚碇纵向位移	
		锚碇竖向位移	
		拱脚横向位移	
		拱脚纵向位移	
		拱脚竖向位移	
		桥墩竖向位移	
	转角	锚碇横向转角	上报周期 1h: 平均值、绝对最大值、均方根值
		锚碇纵向转角	
		拱脚横向转角	
		拱脚纵向转角	
	裂缝	混凝土结构裂缝	上报周期 1h（动态）、上报周期 24h（静态）: 绝对最大值、平均值、均方根值、绝对值累积量
		钢结构裂缝	
		砌石拱结构裂缝	
	腐蚀	墩身混凝土氯离子浓度	上报周期 24h: 最大值、最小值、平均值
		承台混凝土氯离子浓度	
		墩身混凝土氯离子侵蚀深度	

一级监测项目	二级监测项目	三级监测项目	上报特征指标及周期要求
		承台混凝土氯离子侵蚀深度	
	预应力	体外预应力	上报周期 24h: 最大值、最小值、平均值
	断丝	吊索断丝	
		主缆断丝	
		斜拉索断丝	
		吊杆断丝	
		锚跨索股断丝	
		系杆断丝	
	螺栓状态	索夹螺杆紧固力	上报周期 1h: 平均值、绝对最大值、均方根值
		高强螺栓紧固力	
		螺栓滑脱	
	索夹滑移	索夹滑移	上报周期 1h: 平均值、绝对最大值、均方根值
桥址区 地质灾 害体	地表位移	地表绝对位移	
		地表相对位移	
	地表倾斜	地表倾斜度	
	地表裂缝	地表裂缝宽度	
	深部位移	地层间相对位移	
	支护结构受力	锚索力	
		土压力	
	地下水	地下水位	
		孔隙水压力	
	降雨	降雨量	
		降雨强度	
	地声	岩体震动	
		地面震动（次声）	
	临灾前兆	视频（图像）	
	运动特征	水位高度	
		流动速度	
其他	视频		
			

G.2.2 数据上报传输协议

上级平台在下级平台（系统）注册完成后，提供相应的数据发布地址、端口、认证信息等，下级平台（系统）将监测数据按照数据编码规则推送到上级平台，上级平台处理并存储相应的监测数据。

TCP 连接建立后，应在 10 秒内发送有效数据，否则 TCP 连接将断开。



G.2.2.1 通用报文协议编码

下级平台（系统）通过 TCP 接口按照通用数据传输协议上报除动态称重以外的监测数据。通过指定 IP 和端口建立 TCP 连接发送数据，支持长、短链接，一个 TCP 包的长度不超过 64K byte，可以是多组数据，具体传输协议数据格式见表 G.2.2.1。

表 G.2.2.1 通用监测数据传输协议格式

名称	数据类型	长度	备注
起始标志	char	8 byte	S_Start\0
数据包长度	int	4 byte	完整采样包长度
协议版本	short	2 byte	用于适配不同版本
校验码	short	2 byte	数据部分的 crc16 校验码，从 reserve_2（不含）到结束标志（不含）
命令码	int	4 byte	0x01 表示上报通用采样数据
平台 ID	int	4 byte	上级平台统一分配
reserve_1	int	4 byte	预留
reserve_2	int	4 byte	预留
桥梁 ID	UUID	16 byte	下级平台内部唯一
数据块个数(m)	short	2 byte	数据块个数（如下蓝色部分）
数据块 0 时间戳 ts	int64	8 byte	精度可到毫秒
数据块 0 特征指标 ID	UUID	16 byte	下级平台内部唯一
数据块 0 数据个数	short	2 byte	数据个数（高于 1Hz 的设备，1 秒内的同一物理量的数据集中放在一个包中）
数据块 0 数据 0	float	4 byte	
数据块 0 数据 1	float	4 byte	
...	...	...	
数据块 0 数据 n-1	float	4 byte	

名称	数据类型	长度	备注
...	...	...	
数据块 m-1 时间戳 ts	int64	8 byte	精度可到毫秒
数据块 m-1 特征指标 ID	UUID	16 byte	下级平台内部唯一
数据块 m-1 数据个数	short	2 byte	数据个数
数据块 m-1 数据 0	float	4 byte	
数据块 m-1 数据 1	float	4 byte	
...	...	...	
数据块 m-1 数据 n-1	float	4 byte	
结束标志	char	6 byte	S_End\0

G.2.2.2 动态称重监测数据的报文协议编码

动态称重系统的监测数据中存在字符串字段，例如车辆荷载中的车牌号、车牌颜色等，因此需要专用的报文协议编码。字符串类型的数据个数为字符串长度，数据块的数据类型为 char，数据块格式如下表 G.2.2.2。

表 G.2.2.2 动态称重监测数据传输协议的字符串类型数据块格式

名称	数据类型	长度	备注
起始标志	char	8 byte	S_Start\0
数据包长度	int	4 byte	完整采样包长度
协议版本	short	2 byte	用于适配不同版本
校验码	short	2 byte	数据部分的 crc16 校验码，从 reserve_2（不含）到结束标志（不含）
命令码	int	4 byte	0x02 表示上报动态称重采样数据
平台 ID	int	4 byte	上级平台统一分配
reserve_1	int	4 byte	预留
reserve_2	int	4 byte	预留
桥梁 ID	UUID	16 byte	下级平台内部唯一
数据块个数(m)	short	2 byte	数据块个数（如下蓝色部分）
数据块 0 时间戳 ts	int64	8 byte	精度可到毫秒
数据块 0 特征指标 ID	UUID	16 byte	下级平台内部唯一
数据块 0 数据个数	short	2 byte	数据个数，如是车牌，则表示不包含结束符的字符串长度
数据块 0 数据	char	n byte	
数据块 m-1 时间戳 ts	int64	8 byte	精度可到毫秒
数据块 m-1 特征指标 ID	UUID	16 byte	下级平台内部唯一

名称	数据类型	长度	备注
数据块 m-1 数据个数	short	2 byte	数据个数
数据块 m-1 数据 0	float	4 byte	
数据块 m-1 数据 1	float	4 byte	
...	...	...	
数据块 m-1 数据 n-1	float	4 byte	
结束标志	char	6 byte	S_End\0

G.2.2.3 报文响应

上级平台收到数据报文后，应回复响应报文。下级平台（系统）收到响应后再发下一条数据报文，响应报文格式如下表 G.2.2.3。数据报文和报文响应的流程如图 G.2.2.3。

表 G.2.2.3 响应报文格式

名称	数据类型	长度	备注
起始标志	char	8 byte	S_Start\0
数据包长度	int	4 byte	完整采样包长度
协议版本	short	2 byte	用于适配不同版本
校验码	short	2 byte	填 0
命令码	Int	4 byte	0x200 表示采样数据响应
平台 ID	int	4 byte	平台统一定义
reserve_1	int	4 byte	预留
reserve_2	int	4 byte	预留
结束标志	char	6 byte	S_End\0

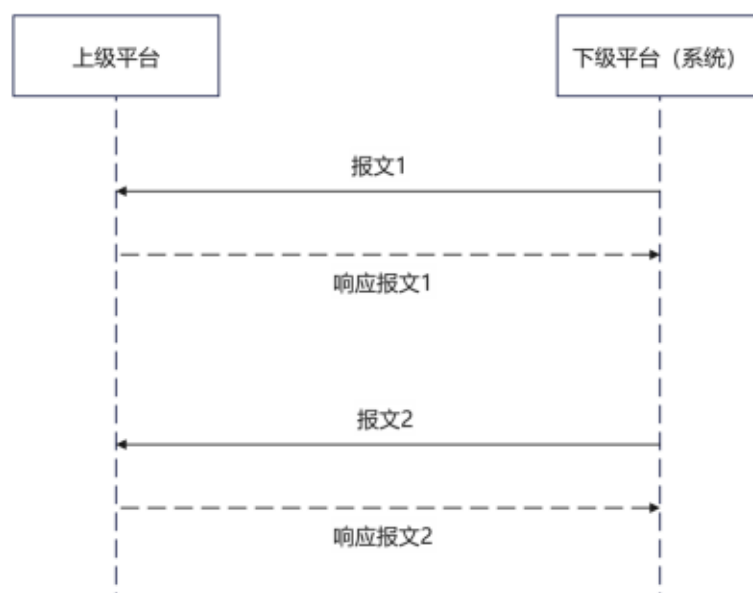


图 G.2.2.3 报文和报文响应流程示意图

G.3 系统间访问

G3.1 上级平台向下级平台（系统）单点登陆跳转

1 上级平台使用秘钥基于 SM3 算法生成 JWT token，组成为 header(头信息).payload(载荷).signature(签名)，并通过访问地址传递该 token，访问地址为 /intersys/sso?token=xxx。JWT token 组成信息如下：

头信息： {"typ":"JWT","alg":"sm3"}

载荷： iss: 签发者, schdri.com

sub: 下级系统桥梁 id

superior: 省平台用户

exp: 过期时间的时间戳

iat: 请求时间

requestSource: 发起登录请求的来源, SICHUAN_PROVINCE_PLT_WEB

签名: 用下级平台（系统）秘钥使用 sm3 算法对 token 的前两部分生产签名

- 2 下级平台（系统）使用私钥通过 SM3 进行验签
- 3 下级平台（系统）验签过后，检验 token 的时效性
- 4 时效性验证通过后使用系统内置的平台账户登陆到下级平台（系统）

附录 H 报警预警信息报送业务流程

H.1 一般规定

H.1.1 本附录在《省级公路长大桥梁结构健康监测平台建设技术指南》（交办公路函〔2024〕324号）附录 D 的基础上，结合四川省公路交通基础设施结构监测和监管体系架构，进一步细化规定了我省桥梁监测报警预警及其处理措施信息的逐级报送流程。

H.1.2 监测系统、市（州）级平台和省平台之间报送报警预警及其处理措施信息的数据交互接口应符合本文件附录 G.1.2.4 的相关规定。

H.1.3 普通公路和高速公路桥梁监测系统、市（州）级平台和省平台之间逐级报送报警预警及其响应处理措施信息的流程可参照图 H.1.3-1 和图 H.1.3-2。

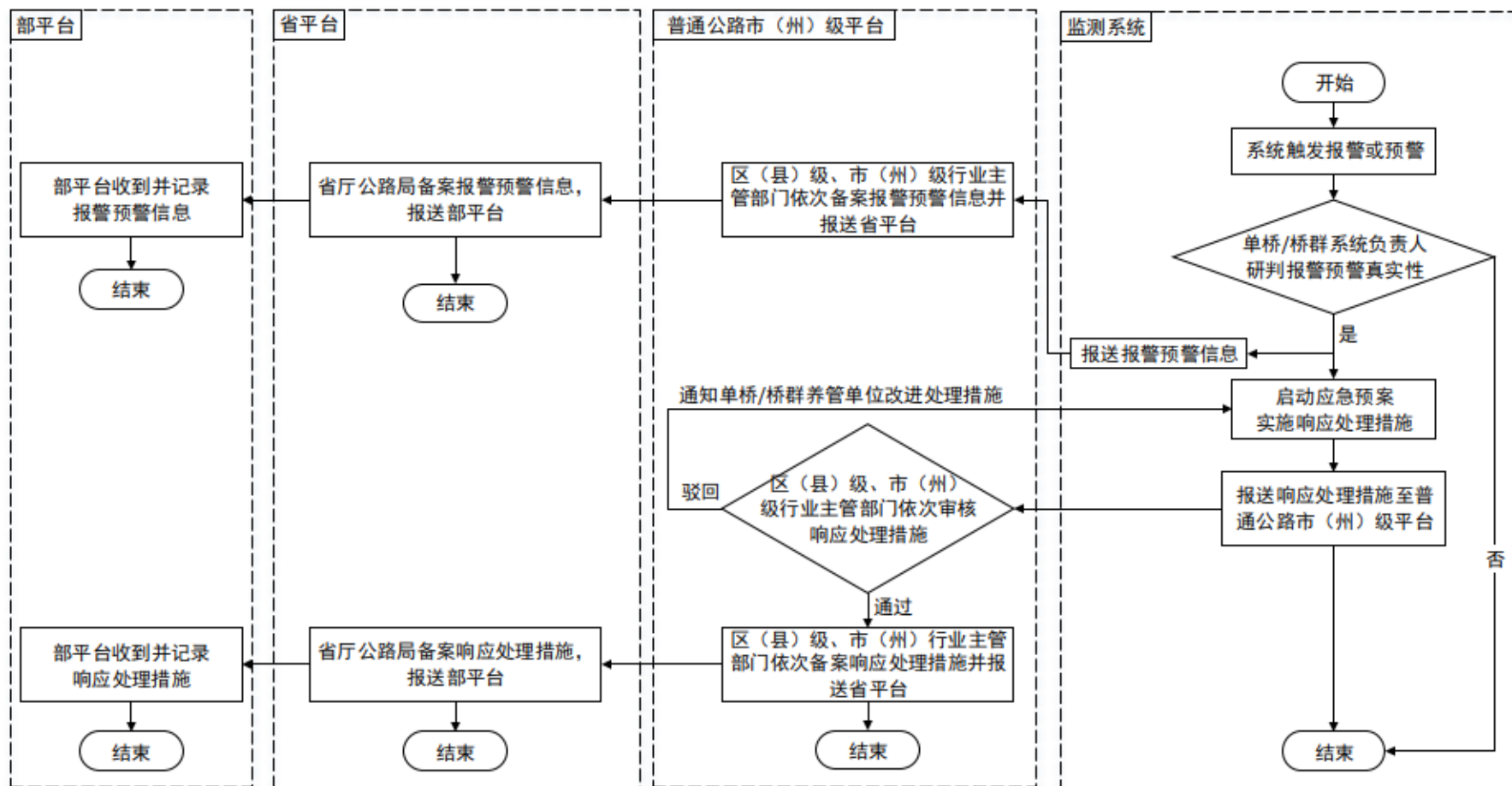


图 H.1.3-1 普通公路桥梁报警预警及其处理措施逐级报送流程图

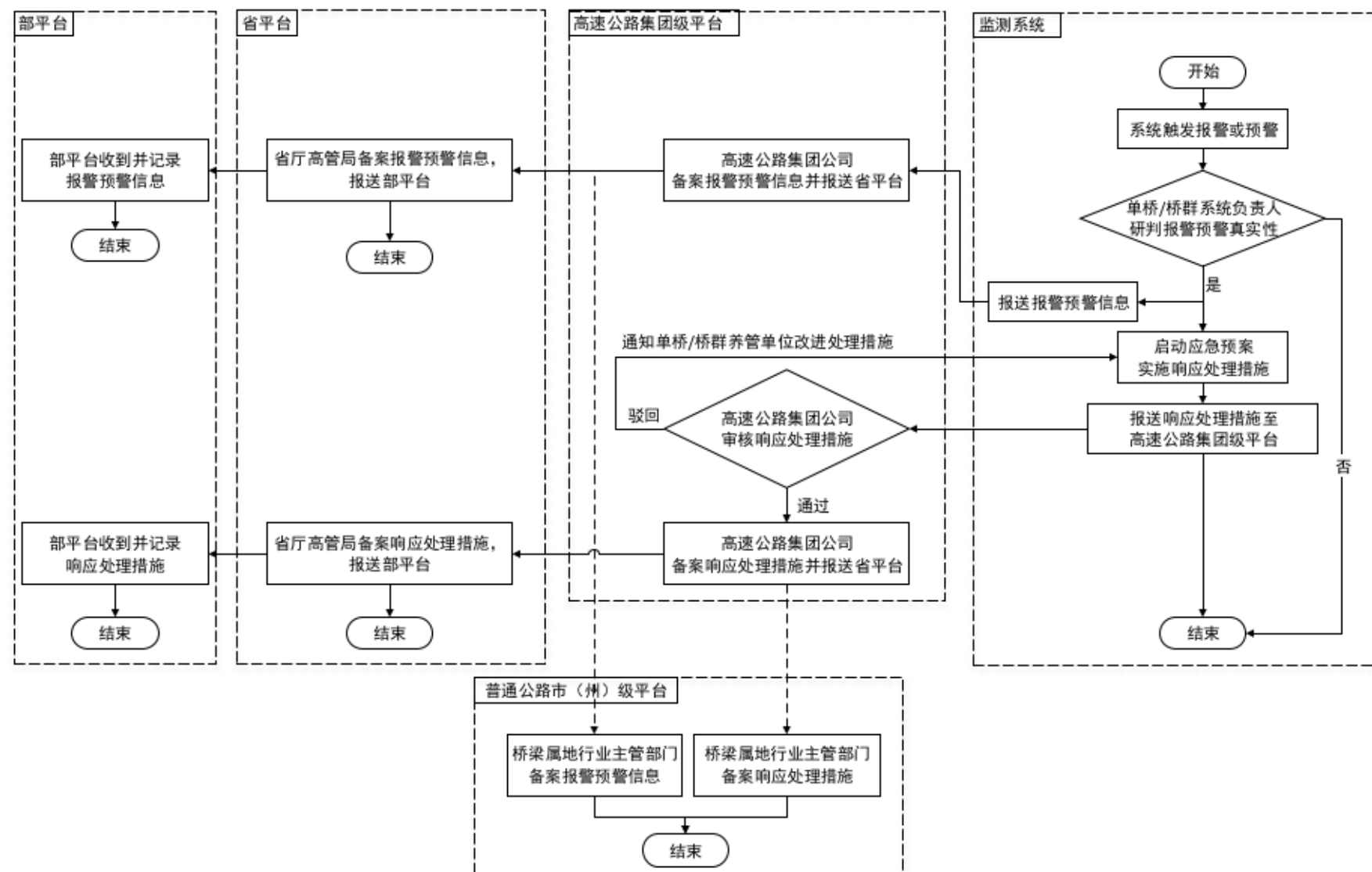


图 H.1.3-2 高速公路桥梁报警预警及其处理措施逐级报送流程图

H.2 报警预警信息报送

H.2.1 监测系统触发交通安全风险事件报警或结构风险状态预警后,桥梁养管单位除应分别按照本文件第 9.2.7 条和 9.3.13 条立即启动应急响应处理流程外,还应通过监测系统、市(州)级平台和省平台之间的数据交互接口逐级报送相关讯息。

H.2.2 桥梁养管单位报送交通安全风险事件报警或结构风险状态预警备案信息前,需对报警预警信息的真实性进行研判,确认无误后再将报警预警信息逐级报送。

H.2.3 普通公路桥梁所在属地的区(县)级行业主管部门(如有)、市(州)级行业主管部门通过普通公路市(州)级平台依次收到监测系统报送的报警预警信息后,应备案报警预警信息并即时通过市(州)级平台向省平台报送。

H.2.4 高速公路集团公司收到监测系统报送的报警预警信息后,应备案报警预警信息并逐级向省平台报送。同时,还应按照“一路四方”的相关约定向桥梁属地推送报警预警信息。

H.2.5 省厅公路局通过省平台收到普通公路桥梁的报警预警信息后,应备案相关信息并通过省平台向部平台报送。省厅高管局通过省平台收到高速公路桥梁的报警预警信息后,应备案相关信息并通过省平台向部平台报送。

H.3 报警预警处理措施信息报送

H.3.1 桥梁养管单位完成对报警预警的响应处理措施并消除安全隐患后,应通过监测系统与市(州)级平台之间的数据交互接口逐级报送相关响应处理措施。

H.3.2 普通公路桥梁所在属地的区(县)级行业主管部门(如有)、市(州)级行业主管部门通过市(州)级平台收到桥梁养管单位上报的响应处理措施后,应对处理措施进行逐级审核。如不满足要求可驳回,直至确认处理措施满足要求后通过数据交互接口报送至省平台。

H.3.3 高速公路集团公司收到上报的响应处理措施后，应对处理措施进行审核。如不满足要求可驳回，直至确认处理措施满足要求后通过数据交互接口逐级报送至省平台。同时，还应按照“一路四方”的相关约定向桥梁属地推送响应处理措施。

H.3.4 省厅公路局通过省平台收到普通公路桥梁的响应处理措施后，应备案相关信息并通过省平台向部平台报送；省厅高管局通过省平台收到高速公路桥梁的响应处理措施后，应备案相关信息并通过省平台向部平台报送。