



T/CECS G P51-01—202X

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路桥梁结构监测数据质量评估标准

Standard for Quality Assessment of Highway Bridge Structural Monitoring Data

征求意见稿

中国工程建设标准化协会发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路桥梁结构监测数据质量评估标准

Standard for Quality Assessment of Highway Bridge Structural Monitoring Data

T/CECS G: P51-01—202X

主编单位：北京公科固桥技术有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：2026年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2024 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2024]15 号）的要求，由北京公科固桥技术有限公司承担《公路桥梁结构监测数据质量评估标准》（以下简称“本标准”）的制定工作。

编制组系统总结我国公路桥梁结构监测数据采集、分析应用、质量控制与评估验证的工程实践经验，整合相关科研成果，结合行业政策导向与技术发展趋势，广泛征求行业主管部门、科研院所、设计单位、检测机构、运营管理单位及专家意见，经反复研究论证与修改完善，编制完成本标准。

本标准包括 7 章和 2 个附录，主要内容包括：1 总则，2 术语，3 基本规定，4 评估指标，5 评估方法，6 评估流程，7 评估结果及应用，附录 A 监测数据“批处理”模式下处理时段长度确定方法，附录 B 桥梁监测参数应用场景分类。

本标准基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由北京公科固桥技术有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn）或北京公科固桥技术有限公司（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；传真：010-62052785；电子邮箱：runj.wang@rioh.cn），以便修订时研用。

主编单位：北京公科固桥技术有限公司

参编单位：河北锐驰交通工程咨询有限公司

无锡公正试验检测有限公司

湖北交投智能检测股份有限公司

山东省公路桥梁检测中心

交通运输部公路科学研究所

路安交科（北京）监测科技有限公司

嘉兴市交通投资集团有限责任公司

主编：王润建

主要参编人员：XXXXXX

主审：吴涤

参与审查人员：

征求意见稿

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	3
4 评估指标	4
4.1 一般规定	4
4.2 指标框架	4
4.3 指标划分、分级及释义	5
4.4 指标编码	7
5 评估方法	9
5.1 一般规定	9
5.2 规范性	9
5.3 完整性	10
5.4 一致性	11
5.5 准确性	13
5.6 时效性	16
5.7 可用性	17
6 评估流程	18
6.1 一般规定	18
6.2 评估准备	18
6.3 评估实施	18
6.4 综合评估	20
7 评估结果及应用	21
7.1 一般规定	21
7.2 结果分级与使用要求	21
7.3 评估工作改进	21
7.4 源头质量提升	21
附录 A（规范性）监测数据批处理模式下处理时段长度确定方法	23
A.0.1 静态参数监测数据处理时段长度确定	23
A.0.2 动态参数监测数据处理时段长度确定	23
附录 B（规范性）桥梁监测参数应用场景分类	25

1 总则

1.0.1 为规范公路桥梁结构监测数据质量评估的指标体系、评估方法与工作流程，指导评估结果应用，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于公路桥梁结构监测由传感器自动采集、单桥系统归集的结构化监测数据质量评估；不适用于视频、图像、非结构化数据、人工录入数据及第三方非原始接入数据。

1.0.3 数据质量评估应以工程实际应用为牵引，遵循指标科学、方法可行、流程规范、持续改进的原则。

1.0.4 公路桥梁结构监测数据质量评估除应符合本标准外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语

2.0.1 数据质量 data quality

规定条件下，公路桥梁结构监测数据满足明确与合理隐含需求的固有特性程度，需求包括超限报警、应急响应、养护评估、基础研究等。

2.0.2 数据质量指标 data quality indicators

定量或定性表征公路桥梁监测数据质量特性的度量参数与判定标准。

2.0.3 关键指标 key indicator

直接决定数据可用性、预警有效性及决策可靠性，不达标时数据不得用于结构安全评估与预警的核心质量指标。

2.0.4 一般指标 general indicator

不直接决定监测数据可用性与核心评估结论、不构成可用性底线约束，可经修正补偿优化，仅影响数据处理效率或局部表现的辅助质量指标。

2.0.5 数据质量评估 data quality assessment

以原始监测数据为基础，从相关性、匹配性、逻辑性出发，对数据质量特性进行检查、分析、判定，并对质量问题追溯、核实、确认的全过程。

2.0.6 监测项 monitoring item

按监测变量类型划分的基础评估单元，为表征桥梁结构状态与性能的同类参数集合，同一监测变量的全部测点划为一个监测项，如温度、位移、加速度、风速风向、车辆荷载等。

2.0.7 静态参数监测数据 static parameter monitoring data

公路桥梁结构监测中，表征结构长期缓变状态、无瞬时振动响应的监测数据。可由静态设备直接采集，或从动态监测数据提取长期效应，含梁体长期挠度、结构温度变形等。

2.0.8 动态参数监测数据 dynamic parameter monitoring data

公路桥梁结构监测中，反映结构受车辆、风、地震等动态激励产生瞬时振动响应的监测数据。须由动态采集设备直接采集，含结构振动响应、动态挠度、风致响应、车辆激励响应等。

2.0.9 批处理 overlapped segmented batch processing

对连续时序监测数据采用固定重叠比例、固定滚动步长分段窗口批量分析的处理方式。

3 基本规定

3.0.1 公路桥梁结构监测数据质量评估，应以单座桥梁为基本评估单元实施全覆盖评估，兼顾桥梁自身特性及现行行业规范要求。

3.0.2 数据质量评估应覆盖数据采集、预处理、存储、共享交互及分析应用全生命周期。

3.0.3 评估维度应按规范性、完整性、一致性、准确性、时效性、可用性顺序逐级开展；人工评估应遵循前序维度评定不合格时，不得开展后续维度评估。自动化评估系统可并行校验各维度，关键指标须逐项独立判定。

3.0.4 评估应遵循关键指标优先原则。关键指标评定不合格时，应立即标记异常、停用问题数据、发布告警并溯源整改；同步隔离问题数据，严禁接入预警及决策系统，全过程纳入质量闭环管理。

3.0.5 评估基础数据采用数据库原始记录、预先完成重复数据剔除；衍生数据应采用合规预处理后的分析数据。

3.0.6 评估指标应结合数据特征、设备性能及应用场景科学构建完整评估体系，明确各项指标判定标准与计算方法。单项评估指标采用合格、不合格两级判定模式；测点、监测项及单桥综合评估采用合格、基本合格、不合格三级评级模式。

3.0.7 评估指标合格阈值应结合行业调研及实桥工程验证综合确定，确定后宜保持相对稳定。经充分技术论证，可根据桥梁类型、区域环境、监测系统特性及实际运营工况，对指标合格阈值进行动态调整。

3.0.8 单桥监测系统应建立自动化数据质量评估机制，以日为最小统计单元；按季度开展常规评估并形成评估报告，每年至少开展一次年度综合评估。遇台风、地震、船撞、超限荷载等特殊事件，应 2h 内启动应急响应，24h 内完成专项评估。评估周期可结合监测数据特征与桥梁运营管理需求合理调整。

3.0.9 评估发现的数据质量问题，应建立标识—预警—处置—反馈—复核闭环管理机制。问题处置相关资料自复核确认合格之日起，留存期限不应少于 3 年，确保全过程可追溯、可核查。

4 评估指标

4.1 一般规定

4.1.1 为统一评估方法、明确指标重要性等级，评估指标应分为关键指标和一般指标两类。

4.1.2 符合下列条件之一的监测指标，应定为关键指标：

- 1 作为数据可用的基础前提，不满足要求时，数据不得用于结构状态分析与安全评估。
- 2 直接影响多测点协同、多源数据融合、事件反演及结构诊断等核心应用，指标超限易造成误判、漏判。
- 3 关联时间基准、信号保真、趋势真实等底层基础要素，指标异常将引发系统性数据失真。
- 4 直接影响监测预警、养护决策、应急处置实施效果，指标不达标将导致应用失效、决策失准。

4.1.3 满足下列条件之一的指标，应确定为一般指标：

- 1 仅影响数据处理效率、局部表现或单测点时序逻辑，不决定数据集整体可用性。
- 2 不满足要求时可通过修正、补偿等方式改善，不导致数据整体失效。
- 3 对结构安全评估、事件定位、长期趋势分析不产生决定性影响。

4.1.4 关键指标应严格管控、逐项核查、量化评定；不满足要求的数据不得用于结构状态分析与安全评估，并应立即标记异常、启动溯源排查与处置措施。

4.1.5 公路桥梁结构必选监测项应依据《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）第6章监测内容确定，作为数据质量评估的核心对象。

4.2 指标框架

4.2.1 监测数据质量评估指标框架应包含三类：

- 1 内容质量：应包含规范性、完整性。
- 2 过程质量：应包含时效性、一致性、准确性。
- 3 效用质量：应包含可用性。

监测数据质量评估指标框架如图 4.2.1 所示。

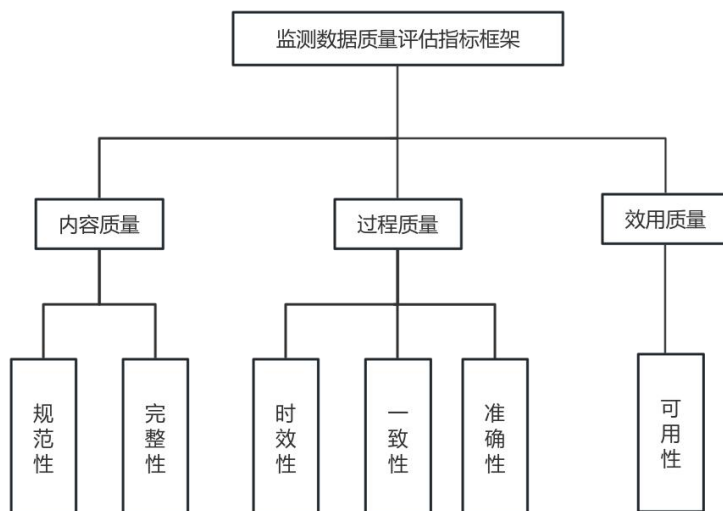


图 4.2.1 数据质量评估指标框架图

4.3 指标划分、分级及释义

4.3.1 评估指标体系宜在 4.2.1 所列二级指标下，按照不同监测数据信号特征和应用需求，进一步细化为若干三级指标。

4.3.2 指标分级、确定原则及释义按表 4.3.2 确定，可根据特定需求增加三级指标。表中带“*”的指标为关键指标。

表 4.3.2 监测数据质量评估指标分级、确定原则及释义

一级指标	二级指标	三级指标	指标级别	确定原则和理由	指标释义
内容质量	规范性	*采样频率合规率	关键指标	采样频率是保障信号无失真、时域幅值准确的基础；动态监测需满足奈奎斯特-香农采样定理，规避频率混叠，是数据真实有效的核心技术底线。	采样频率合规性表征实际采样频率与覆盖最高有效频率分量、规避频率混叠所需理论频率的符合程度。基准取值依据：静态按《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）执行；动态按《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01-2015）执行；工程中结构动态与振动响应信号也可按不低于结构基频 20 倍确定。
		*统一授时源有效性	关键指标	授时源为全系统时间同步提供基础支撑，无有效授时将导致时序同步失效，影响多测点协同与数据融合应用。	单座桥梁各监测截面前端设备接入同一基准授时源的一致性程度。
		时间戳规范性（单测点）	一般指标	仅保障测点自身时序正确，对多测点协同分析、事件定位的整体影响有限。	指单一测点监测数据时间戳格式合法、时序连续、无跳变与倒置，保障测点自身时序正确。
		*多测点	关键	同步偏差过大会造成多测	指多测点间时间基准偏差最大值，用

一级指标	二级指标	三级指标	指标级别	确定原则和理由	指标释义	
		相对同步偏差	指标	点数据时序错位,无法准确判定事件时序与传播关系,核心应用失效。	于判定时序协同分析可用性。	
		*时间同步达标率	关键指标	反映整体时间同步质量,是时间维度数据可用性的核心量化指标。	指统计周期(日/批次)内,时间同步满足阈值要求的测点数量占总有效测点数量的比例。	
	完整性	*数据元素完整率	关键指标	数据元素字段完备是单条记录可解析、可运算的基本前提,字段缺失直接造成记录失效。	指预设聚合统计时间范围内,单条记录中监测点编码、时间戳、监测值、设备状态等必需数据元素的完备比例。	
		*数据记录完整率	关键指标	数据记录完整率是构建有效时序数据的基础底线,缺失超限会造成时序断裂、趋势失真、响应过程残缺,无法支撑结构分析、预警及养护决策,且难以事后修复。	指设定处理时段内,单测点/单监测项实际有效采集记录数与理论应采集数的比值,反映数据在时间维度的整体覆盖程度。	
		*最大缺失长度	关键指标	决定数据可修复与可恢复性,缺失过长将导致分析时段失效,限制长期趋势与事件分析。	指单测点/单监测项在统计时段内连续无有效数据的最长时长。	
	过程质量	时效性	数据处理时效达标率	一般指标	仅影响数据产出速度,对数据质量与分析结果无本质影响。	指数据自采集完成至校验、清洗、转换、入库全流程耗时满足预设阈值的比例。
		一致性	*单一测点时序一致性	关键指标	单测点为基础单元,时序错误会直接误导分析判断,属底线指标。	指同一测点时序数据在采样间隔、变化趋势上的合理契合程度,无时序倒置与逻辑冲突。
*同类监测数据一致性			关键指标	同类监测数据不一致表明测点或采集异常,将误导结构状态判断与安全评估。	指相同参数、相同工况下不同测点/传感器数据在数值、趋势上的吻合程度,符合结构力学规律。	
*多参数监测数据逻辑一致性			关键指标	不同监测项数据需符合结构受力机理、荷载-效应因果关系与时空变化规律,是多源数据融合、结构状态诊断、超限报警可靠的核心保障;逻辑冲突将直接导致状态误判、报警失真、决策失准,构成数据可用性底线约束,无法通过后处理修正。	指同一时空工况下,环境、荷载、结构响应等不同类型的监测参数之间的变化趋势协同、因果关系匹配、力学逻辑自洽,无矛盾冲突的程度。	
准确性	*异常数据处理可靠性	关键指标	异常处理不可靠将保留干扰或剔除有效信号,导致特征失真,影响状态识别可信	指系统对噪声、突变、缺失、漂移等异常的识别、剔除、补全的可信程度,不改变真实物理意义。		

一级指标	二级指标	三级指标	指标级别	确定原则和理由	指标释义
				度。	
		*组分分离正确性	关键指标	组分分离为动态响应分析核心环节,分离错误直接影响报警准确性与结构安全判定。	指对温度、荷载、环境扰动、结构响应等物理分量的分离精准度,符合结构受力机理。
		*动态干扰消除正确性	关键指标	干扰消除失败将掩盖真实信号、引发误判,影响动态监测与事件有效捕捉。	指对风致、车辆脉动、设备噪声等干扰的滤除效果,完整保留真实动态响应。
		*低频漂移校正正确性	关键指标	低频漂移校正正确性是核心质量指标。漂移校正一旦出现偏差,会引发监测数据长期趋势失真、基准点位偏移,严重影响沉降、结构变形等慢变参量监测成果的准确性与工程应用可靠性。	指对传感器零漂、环境慢扰动等低频漂移的校正准确度,保障长期趋势真实。
效用质量	可用性	*超限报警误报率	关键指标	误报率过高将降低报警可信度,影响安全管控与应急决策效率。	指统计周期内,系统发出的虚假超限报警次数占总报警次数的比例,用于衡量预警准确性。
		*特殊事件感知率	关键指标	事件感知率不足将造成关键事件漏报,丧失监测系统核心功能与应用价值。	指系统正确识别突发应急事件次数占实际发生次数的比例。
		*数据应用率	关键指标	直接反映数据对监测应用的支撑效果,是衡量数据从“可用”到“管用”的最终标准。	指监测数据有效支撑超限报警、应急响应、养护决策及基础研究的应用比例,反映数据实用价值。

4.4 指标编码

4.4.1 指标编码为评估指标唯一身份标识,宜用于评估系统、数据台账、评估报告的统一识别与调用。

4.4.2 指标编码采用层次编码规则,共7位,由一级指标、二级指标、三级指标、指标类型组成;示例:内容质量-规范性-采样频率合规率(关键):010101K。第1~2位:一级指标代码;第3~4位:二级指标代码;第5~6位:三级指标代码;第7位:指标类型代码(K为关键指标、G为一般指标)。

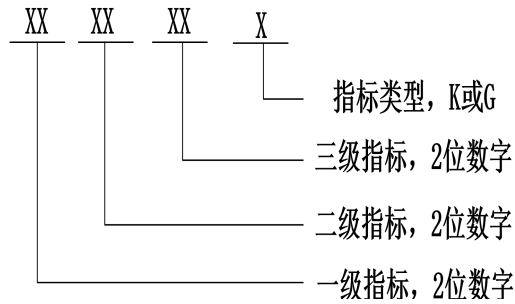


图 4.4.2 指标编码规则

4.4.3 第 1 位和第 2 位一级指标代码，宜由 2 位阿拉伯数字组成。一级指标代码及含义见表 4.4.3。

表 4.4.3 一级指标代码及含义

代码	含义
01	内容质量
02	过程质量
03	效用质量

4.4.4 第 3~4 位为二级指标代码，采用 2 位阿拉伯数字，编码区间 01~99；其中 91~99 预留作为其他专项类指标。

4.4.5 第 5~6 位为三级指标代码，采用 2 位阿拉伯数字，编码区间 00~99；00 可代表沿用二级指标整体，91~99 预留增补专项指标。

4.4.6 第 7 位为指标类型代码，采用 1 位字母：K 为关键指标，G 为一般指标。

5 评估方法

5.1 一般规定

5.1.1 评估所用监测数据应从数据库原始记录直接提取，评估前应统一完成预处理与重复数据剔除。重复数据判定标准：同一时间戳、同一测点、同一监测参数的多条重复记录，仅保留 1 条有效数据。

5.1.2 数据质量评估应遵循逐级评定流程：单测点三级指标→单测点二级指标→单测点一级指标→监测项→单座桥梁，各级评定结果应可追溯、可逐级溯源。

5.1.3 本标准所有统计类指标合格判定统一采用 P95 分位值；抽样评估单次有效样本量不少于 1000 条，设备抽检比例不宜低于 30%。

5.1.4 由桥梁结构性能突变、真实损伤、极端荷载、环境突变等引发的数据异常、趋势偏离、频率偏移及相关性降低，经结构分析与现场核查专项确认后，不判定为数据质量不合格。

5.2 规范性

5.2.1 规范性评估指标对应本标准第 4 章三级指标，包含：采样频率设置规范性、统一授时源有效性、时间同步性。评估应依据完整系统配置文件、设备运行日志及原始监测数据开展，数据来源真实有效，评估全过程形成完整可追溯存档记录。

5.2.2 采样频率设置应确保时域信号无失真、无频率混叠，完整覆盖有效信号频段，并与监测目标及桥梁结构特性相适配。静态监测参数采样频率应符合《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022）相关规定；动态监测参数采样频率应遵循《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01-2015）要求，亦可按不低于桥梁结构基频 20 倍取值。

5.2.3 统一授时源有效性评估应采用多维度联合核查法，并应符合下列规定：

1 系统应优先采用北斗授时，不具备条件时可采用 GPS+NTP 网络授时；不得使用未定期校准的本地时钟、无校准机制的公共 NTP 服务。

2 动态监测变量的数据采集时钟同步误差小于 0.1ms；准静态监测变量的数据采集时钟同步误差小于 1ms；静态监测变量的数据采集时钟同步误差小于 10ms。

3 分布式时钟应具备定期自动校准功能，授时精度、校准周期及设备接入状态应满足现行规范要求。

4 应核查授时相关技术文件与运行日志，抽检不少于 30%采集设备，实现闭环管理且记录资料齐全，方可判定授时源有效。

5.2.4 时间同步性评估应采用标准比对法、多测点时间戳比对法及数据特征比对法，同步相关记录应完整齐全，并应符合下列规定：

1 单测点时间戳应严格递增，无倒序、重复现象；相邻采样间隔与设计采样周期偏差不应超过

±5%，不得出现连续 3 点及以上时间戳缺失或跳变。

2 多测点相对同步偏差以 P95 分位值为核心判定依据，分级限值按本标准 5.2.3 授时精度分级执行；静态及环境监测类型相对同步偏差控制在≤1s。

3 时间同步达标率以统计周期内达标数据占比为核心判定依据：动态监测场景不低于 98.0%，准静态监测场景不低于 97.0%，静态监测场景不低于 95.0%。

4 应抽取覆盖不同监测类别、多台采集机箱的数据样本，单次抽样样本量不少于 1000 条，按日/批次统计并涵盖高同步要求监测参数；样本按同一采样序号进行时间序列对齐，剔除缺失及无效数据后逐点计算相对同步偏差，并按统计周期汇总评价。

5.2.5 规范性评估合格判定应符合下列规定：

1 采样频率设置、统一授时源有效性、时间同步性三项指标均满足本标准要求，且评估程序合规、相关记录完整规范的，判定为规范性评估合格。

2 任一核心指标不满足要求，或评估记录不规范、审批程序缺失、配置及同步记录不齐全的，判定为不合格，应限期整改并重新组织评估。

5.3 完整性

5.3.1 完整性评估应按处理时段长度开展，处理时段长度的具体确定方法应符合本标准附录A的规定；评估前需对数据库提取的数据进行梳理与去重，剔除重复时间戳数据点，每一时刻仅保留一个有效数据。

5.3.2 处理时段数据完整率、数据最大缺失长度及最大缺失点数应按相应规则计算，并应符合下列要求：

1 完整率为去重后有效数据点数与理论采集数据点数之比，以百分数表示，结果保留一位小数；其中理论采集数据点数=处理时段长度×采样频率。

2 处理时段数据最大缺失长度为以时间计量的连续数据缺失最大长度。

3 处理时段数据最大缺失点数为以数据点数量计量的连续数据缺失最大数量。

5.3.3 处理时段数据完整率应符合下列合格要求：

1 静态参数监测数据时段完整率不应低于 90%，最大缺失时长不应大于处理时段长度的 5%。

2 动态参数监测数据（包括动态激励数据）处理时段数据完整率不应小于 95%，最大缺失时间长度不应大于聚合时间区间长度的 5%。

3 振动响应数据处理时段数据完整率不应小于 95%，连续缺失数据点数不应大于 3 个。

条文说明

1 静态参数监测数据设置完整性要求，其本质是为保证趋势项提取的有效性与可靠性。在趋势项提取过程中，数据连续缺失长度不大于 5%时，趋势提取基本不受影响；非连续缺失占比不大于 10%时，趋势提取结果通常可接受；当连续缺失长度大于 10%时，可能导致趋势提取出现严重失真。

为保障时间序列分布的基本均匀性与时间戳的规则性，限定数据最大缺失时间长度不超过 5%。

2 动态参数监测数据为保证处理时段趋势提取的有效性、并兼顾动态响应时段动态响应频域特征在保证，要求处理时段完整率用 95%作为标准；为控制缺失的数据不应集中于单独的聚合区间，最大缺失长度不应大于对应聚合时间区间长度的 5%。

3 振动响应监测数据主要用于 FFT 频谱分析、结构频率识别、模态参数识别等，对采样连续性要求极高。相关试验与工程应用表明，连续缺失 3 个及以上采样点即可能引发频谱泄漏、主频偏移、伪峰等问题；连续缺失点数超过 3 个时，频域特征会严重失真，无法用于结构模态分析。因此单独设置振动响应数据的完整性要求，明确完整率不低于 95%、连续缺失数据点数不超过 3 个，可有效保障后续频域分析与模态识别的准确性。

5.3.4 完整性合格判定应符合下列合格要求：

1 处理时段内监测数据同时满足完整率、最大缺失长度及最大缺失点数要求时，判定该时段监测数据完整性合格。

2 处理时段内监测数据不满足完整率、最大缺失长度或最大缺失点数任一指标要求时，判定该时段监测数据完整性不合格。

3 完整性不合格的时段数据，不得直接用于结构状态评估、趋势项提取、频域分析及模态参数识别等后续计算与分析；确需使用时，应按规定进行数据补全或重构，并经验证合格后方可采用。

5.4 一致性

5.4.1 一致性评估应包括单一测点时序一致性、同类监测数据一致性、多参数监测数据逻辑一致性；对于不同类关联监测数据中涉及作用与效应关系的，应结合滞后互相关分析判定其协同性。

5.4.2 单一测点时序一致性应符合下列规定：

- 1 数据变化趋势应与结构受力特性、环境变化规律相符，不应出现无明确诱因的突变。
- 2 有效数据中异常数据占比不应大于 2%，单次连续异常时长不宜大于 1h。
- 3 所有异常数据均应完成诱因排查，并形成可追溯记录。
- 4 因桥梁结构工作性能突变、结构损伤、极端荷载等真实结构响应引发的趋势不一致，经专项核查确认后，不判定为数据不合格。

5.4.3 同类监测数据一致性应符合下列规定：

- 1 应按同截面、同类型、同工况配对测点，宜采用皮尔逊相关系数进行判定。
- 2 静态监测数据相关系数不应小于 0.8，动态监测数据相关系数不应小于 0.7。
- 3 相关系数阈值可根据桥梁类型、结构体系及监测项目在评估方案中调整并备案。
- 4 同期数据差值应处于合理容许误差范围内。
- 5 因结构性能突变、局部损伤、非对称荷载等导致相关性降低，经结构分析与现场核查确认后，不判定为数据不合格。

5.4.4 多参数监测数据逻辑一致性应符合下列规定：

1 不同类关联监测数据变化趋势应协同一致，符合结构受力机理与力学平衡关系；对于作用（如荷载、温度等）与效应（如位移、应力等）类关联数据，应采用滞后互相关分析方法，明确作用与效应的时间滞后特性，验证两者变化的协同关联性；滞后互相关系数的绝对值不应小于0.7。

2 因结构性能突变、作用机制改变引发的趋势不协调，经结构分析、现场核查判定为合理结构响应的，不判定为数据不合格。

3 当出现趋势不协调或滞后互相关分析结果不符合结构受力机理时，应通过结构分析、现场核查等方式判定其合理性，并留存相应依据。

条文说明

在相关测点不同类关联监测数据一致性评估中，作用与效应数据往往存在时间滞后特性（如荷载作用后，结构位移、应力等效应参数不会即时达到稳定值），仅通过趋势一致性判断难以全面反映两者的关联合理性。滞后互相关可通过计算不同时间滞后下作用与效应数据的相关系数，确定两者的最优滞后时长，验证作用与效应的因果关联及协同性，避免因忽略时间滞后导致的一致性误判，进一步提升不同类关联监测数据一致性评估的科学性和准确性。其系数确定方法如下：

1. 前提准备：明确分析对象为作用（如荷载、温度等）与效应（如位移、应力等）类关联数据，提前梳理两类时间序列数据，确保数据符合本标准 5.3 条完整性要求，剔除异常值、填补合理缺失值并按时间戳排序，必要时进行数据平稳性检验。

2. 参数设定：根据监测数据采样频率、结构受力特性设定最大滞后期，一般建议为 6~12 个采样周期，可结合工程经验调整；针对处理时段内有效数据，按滞后步数 τ （从-最大滞后期到+最大滞后期）截取对应数据片段，确保片段长度一致。

3. 系数计算：采用规范通用公式计算，对于离散时间序列 $X(t)$ （作用）和 $Y(t)$ （效应），滞后 τ 步的互相关系数 $R_{XY}(\tau)$ 计算公式为：

$$R_{XY}(\tau) = \frac{\sum_{t=1}^{N-\tau} (X(t+\tau) - \bar{X})(Y(t) - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N-\tau} (X(t+\tau) - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^{N-\tau} (Y(t) - \bar{Y})^2}}$$

其中 \bar{X} 、 \bar{Y} 分别为作用、效应序列均值， N 为数据总点数， $\tau > 0$ 表示作用领先效应。

4. 结果判定：在设定的最大滞后期范围内，选取绝对值最大的滞后互相关系数作为核心判定依据，其对应的 τ 为最优滞后时长；参考经验阈值（结合本标准同类相关系数要求，建议绝对值不小于 0.7），结合结构受力机理验证滞后关系合理性，不符合要求时按 5.4.4 条规定排查并留存依据。

5. 工具实现：可通过 SPSS、Python 等专业工具快速计算，留存计算过程与结果记录，确保可追溯。

5.4.5 当各分项评估均合格、评估程序合规、记录完整时，应判定为合格；任一分项不合格、评估记录不规范或异常诱因未完成排查的，均应判定为不合格。

5.5 准确性

5.5.1 准确性评估应按附录A确定的处理时段长度开展，评估应在数据处理完成后进行。通用数据预处理按本标准5.1.1执行；专项数据处理应包括：静态参数监测数据趋势项提取、动态参数监测数据组分分离与趋势提取等。

条文说明

受电磁干扰、线路接触不良、采集系统噪声、供电波动、数据传输误差及瞬时环境或人为扰动等因素影响，实际静态监测数据常出现非真实物理变化的尖峰、毛刺，动态数据易出现基线漂移、跳变等现象，部分数据还存在设备分辨率不足等缺陷；同时，监测数据中可能包含多种物理响应耦合信号。未经规范处理的原始数据噪声大、缺失多、偏差明显，无法开展有效评估。

对于长期在线监测的动态响应参数，其响应分量一般包含长期效应、温度效应、活载效应等，直接开展准确性评价较为困难，需经信号组分分解后方可对各分量分别进行准确性评估。因此，规范的数据处理是准确性评估的必要前置条件，无规范数据处理则准确性评估失去可靠基础。

5.5.2 准确性评估宜采用同步测试数据比对法；当无真值可采用时，可采用物理合理性判断、信号时频特征分析与一致性分析相结合的交叉验证方法。

条文说明

当具备同步可比真值数据时，采用直接比对法开展准确性评价最为可靠有效。但工程实际中，可获取真值的场景较少，此时宜采用物理合理性判断、信号时频特征分析与一致性分析相结合的交叉验证方法，通过数据自身逻辑、变化趋势与数值范围，判断其是否符合客观规律；无不合理异常时，可视为数据准确可用。

物理合理性判断主要包括：数据变化趋势是否符合结构行为特征、荷载-响应关系是否合理、无荷载作用时数据是否回归稳定、幅值是否处于工程合理范围、优势频率是否符合结构动力特性等。

5.5.3 数据异常识别宜采用以下统计方法，阈值设定原则如下：

- 1 3σ 准则：数据偏离均值超过3倍标准差判定为异常，标准差按处理时段内有效数据计算。
- 2 变异系数法：数据相对离散度显著超标判定为异常，变异系数阈值宜结合监测参数类型在评估方案中明确。
- 3 一阶差分法：相邻数据差值超过阈值判定为异常，差值阈值根据监测参数量程、采样频率合理设定。
- 4 经核查确认为结构性能突变、荷载突变、损伤发展等真实物理变化引发的数据异常，不判定为数据准确性不合格。

5.5.4 关键指标平均绝对误差、均方根误差、相对误差不应大于5%；一般监测参数不应大于10%。真值应来自检定设备，同步比对时长不应小于30min。

5.5.5 采用物理合理性判断、信号时频特征分析与一致性分析相结合的交叉验证方法时，检验方法及合格判定应符合下列规定：

1 原始数据经聚合与时间序列规整后，数据序列与其趋势项的残差应满足平稳性检验，宜符合均值接近于0的正态分布，且残差超出2倍标准残差的比例不应大于0.05（残差合格率不小于0.95）。评估宜按日进行，当日内所有合规处理时段占比不小于80%时，应判定为合格。

2 应对数据趋势项的突变进行合理性核查，宜按日对各时段监测数据突变情况进行检查。无突变发生时判定为合格；出现突变时应判定为不合格，并应明确突变原因。

3 对具有周期性变化规律的静态参数监测数据或动态参数趋势项数据，应进行周期性评价。周期偏差不大于5%时应判定为合格，否则为不合格。

4 对动态参数（含振动响应）监测数据，应进行频域峰值频率物理符合性评估。其一阶峰值频率偏差不大于5%时应判定为合格，否则为不合格。

5 对具有相关关系的监测内容，应进行趋势相关性分析，评价指标包括相关系数与一致性误差，合格判定应符合下列规定：（1）两组监测数据的相关系数不应小于0.95；（2）两组数据的一致性误差不应大于±10%。

6 对具有可参照数据的监测项目，代表值偏差不大于10%时应判定为合格。

7 布设车辆称重系统的监测系统，应评估车辆荷载与车致响应的关联性，具有合理关联性时应判定为合格。

8 连续10个采样点数据幅值恒定，或数据在合理区间内持续单调上升/下降，应判定为数据异常不合格。

连续10个采样点数据幅值恒定，或数据在合理区间内持续单调上升/下降，应判定为数据异常不合格

9 准确性评估尚应开展系统长期数据分析与稳定性评估。

10 因结构真实状态变化、特殊环境与荷载作用导致的残差异常、周期偏差、频率偏移、相关性变化，经专项分析确认后，不判定为准确性不合格。

条文说明

1 无真值可对比时，分析数据序列与其趋势项的残差特征是准确性评价的常用方法，其核心逻辑为：残差越接近白噪声（无规律、无趋势、无异常），原始数据越正常，准确性越高；反之，若残差具有规律性、趋势性或明显异常，则表明数据存在失真、错误，可信度不足。评价内容一般包括残差正态性检验与残差异常点比例（超出 $\pm 2\sigma$ 或 $\pm 3\sigma$ 残差点占比）。桥梁结构监测数据宜按日开展评估。

2 正常工作条件下（采集设备正常、监测指标无异常），监测数据趋势线应连续平缓变化。受

电子元件性能、模拟信号转换等影响，趋势提取过程中可能出现突变；若非结构损伤引发的突变，则表明数据采集存在失真。实际评估时，可选取一定时长的历史数据，统计确定趋势项自然突变阈值（取突变概率超过 0.90 对应的幅值，按突变幅值分布的 0.95 分位数取值），并据此判断趋势突变是否在正常范围。若突变超出正常范围，且可排除结构损伤诱因，则数据准确性不满足要求。监测系统应按处理时段实时识别异常突变，评估宜按日汇总。

3 典型周期性规律如温度 24h 变化规律、温度效应引起的周期性变化趋势等，均应符合 24h 周期特征。

由于无需聚合的静态监测数据、聚合后静态数据及动态响应数据可能因数据缺失导致时间序列非均匀，宜采用适用于非均匀时间序列的 Lomb-Scargle 谱（隆布谱）开展周期分析。

4 应重点核查优势频率是否符合结构自振特性，如振动响应应符合结构自振频率特征、拉索振动应符合谐振特征等，频域峰值频率不应显著偏离其物理规律，振动响应测点、动态挠度测点的高频分量应包含结构自振频率特征。

动态测试需滤波时，应根据分析需求合理设置低通、高通或带通滤波截止频率，保证原始记录波形真实可靠；开展谱分析时，应选用合理的时间窗函数以减小频谱泄漏，可采用汉宁窗（Hanning）、哈密窗（Hamming）、凯塞-贝塞尔窗（Kaiser-Bessel）等。动态参数监测数据宜采用 Welch 法进行谱分析。

5 相关系数与一致性误差可反映监测数据的稳定性与协同性。需注意存在两类相关关系：一是作用与效应间可能存在滞后相关；二是不同效应间可能存在同步相关。

6 代表值可采用处理时段内的峰值；以环境温度为例，可采用桥梁所在地气象观测数据作为参照数据。

7 称重系统通常布设于桥梁结构外侧，车辆荷载监测数据与车致响应间存在随机滞后性，难以实现严格一一对应。可采用最大车辆荷载对应的时段识别结果，开展荷载与响应的关联性评估。

9 长期稳定性评估宜按月度、季度、年度开展，评价指标包括漂移量、漂移率、标准差等。

实际应用中，长期漂移识别需区分传感器漂移与结构真实变形，可采用以下原则综合判别：1) 同一断面各测点同步、同向、同规律变化，宜判定为结构真实变形；2) 仅单个或少数测点发生漂移，其他测点保持稳定，宜判定为传感器漂移；3) Theil-Sen 斜率长期恒定，宜判定为漂移；4) 变化速率逐步减小，宜判定为结构变形。

采集系统无显著长期漂移应同时满足下列条件：1) 同一断面各测点变化同步，具有空间相关性；2) 响应趋势符合结构受力机理；3) 趋势变化速率逐步收敛，非匀速恒定漂移；4) 与温度、荷载等影响因素具有显著相关性；5) 数据噪声水平稳定，趋势规律符合结构预期响应特征。

5.6 时效性

5.6.1 时效性评估应在数据完整性、准确性评估合格后组织开展，其核心评估指标为发布延迟和发布达标率。

5.6.2 发布延迟评估应采用服务器数据抽样测试法进行，指标计算公式与合格要求如下：

1 发布延迟 (T_{delay})：指从传感器采集时刻 (T_{acq}) 至服务器对外发布时刻 (T_{pub}) 的时间差，单位为秒 (s)。计算公式：

$$T_{delay} = T_{pub} - T_{acq} \quad (5.6.2-1)$$

2 服务器数据抽样测试方法：

1) 从数据库或数据仓库中抽取超限报警相关监测数据样本，样本应覆盖不同监测类别（振动、位移、索力、环境等）超限报警数据。

2) 提取每条记录中的传感器采集时刻 (T_{acq}) 与服务器发布时刻 (T_{pub})。

3) 计算单条有效数据的发布延迟，按统计周期（日/周/月）汇总统计，重点计算各周期发布延迟的P95分位值、最大值及平均值。

4) 抽样样本量、统计P95分位判定口径按本标准5.1.3通用规则执行，样本应覆盖不同监测类别及高优先级参数。

3 发布延迟合格判定：以各统计周期发布延迟的P95分位值作为核心判定依据，各场景应满足：超限报警场景 $P95 \leq 5s$ 、特殊事件应急响应场景 $P95 \leq 10s$ ；单周期P95分位值不满足要求时，应重新抽样测试，验证数据时效性。

条文说明

评估口径说明：本标准明确采用“采集端—发布端”全链路口径计算发布延迟，相较于仅考核服务器内部数据处理环节的单一口径，该全链路口径能够真实反映数据从产生（传感器采集）到最终可用（服务器发布）的整体时效水平，更贴合桥梁超限报警、应急响应等对实时性要求极高的核心场景需求，确保时效评估与工程实际应用场景高度匹配。

抽样评估合理性说明：本次规范明确采用从服务器数据库抽取历史监测数据的方式开展发布延迟计算，该方法无需对监测系统进行在线压测，操作简便、可通过系统自动化实现，降低评估对系统正常运行的影响；同时，采用 P95 分位值作为发布延迟的核心判定依据，可有效规避极端异常值对评估结果的干扰，确保评估结果的稳健性、代表性，符合工程规范评估的科学性原则。

5.6.3 发布达标率 ($R_{timeliness}$)：指统计周期内，发布延迟满足对应场景阈值的数据占比。计算公式：

$$R_{timeliness} = \frac{N_{达标}}{N_{总}} \times 100\% \quad (5.6.3-1)$$

合格要求：超限报警场景： $\geq 99.0\%$ ；特殊事件应急响应场景： $\geq 98.0\%$ 。

5.6.4 时效性评估中，发布延迟、发布达标率两项核心指标均满足本标准要求、评估程序符合本标

准及相关规范规定且评估记录完整规范的，应判定为时效性合格；任一项核心指标不满足要求、评估记录不规范或未按要求完成整改的，应判定为时效性不合格，需限期整改后重新评估。

5.7 可用性

5.7.1 可用性评估应在一致性、准确性评估合格的基础上开展，核心指标应包括超限报警误报率、特殊事件感知率、监测数据养护应用率。评估应结合桥梁结构类型、监测参数预设应用目标及养护决策需求，按本标准附录B应用场景按桥梁类型、监测参数类别、应用优先级划分。

5.7.2 监测数据应用目标应按实施优先级划分为应做应用、宜做应用、可做应用三级，并结合监测报告开展质量检验，符合下列规定：

1 应做应用：依据本标准附录B对应桥梁类型、实际布设监测参数确定，需在监测报告中完整呈现分析结果、图表、结论，作为可用性评估强制性判定依据。

2 宜做应用：依据附录B确定，监测报告宜提供专项分析内容，未提供不判定不合格。

3 可做应用：依据附录B确定，监测报告可按需提供研究性分析。

5.7.3 各分项指标应符合下列规定：

1 系统整体误报率不应大于8%，关键指标误报率不应大于5%。

2 特殊事件综合感知率不应小于98%；事件发生后10分钟内未识别、未报警判定为漏报，感知率=正确识别事件数/实际发生事件数×100%。

3 监测数据养护应用率应以应做应用满足率+监测报告核验结果为核心判定依据，应做应用满足率应为100%；养护应用率=实际实现且在监测报告中完整呈现的应做应用项数/应做应用总项数×100%；需同时满足：

1) 按附录B完成全部应做应用分析；

2) 监测报告包含附录B对应应做应用的分析内容、数据支撑、判定结论，该项指标即为合格；宜做应用、可做应用的实施及报告呈现情况作为加分项，不计入合格判定。

条文说明

2 特殊事件应包括涡振、台风、悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆异常振动、地震、车辆超载、船舶撞击及其他可能引发结构安全风险的突发异常事件。

5.7.4 可用性评估合格判定应符合下列规定：

1 三项分项指标均合格、按附录B完成应用场景核验、监测报告内容完整合规、评估程序合规、记录完整可追溯的，判定为合格。

2 任一分项指标不合格，或附录B应做应用未完成、监测报告缺失关键分析内容，或程序/记录不规范、问题未整改的，判定为不合格，限期整改后重新评估。

6 评估流程

6.1 一般规定

6.1.1 据质量评估应按评估准备、评估实施、综合评估流程开展，宜按图 6.1.1 实施。

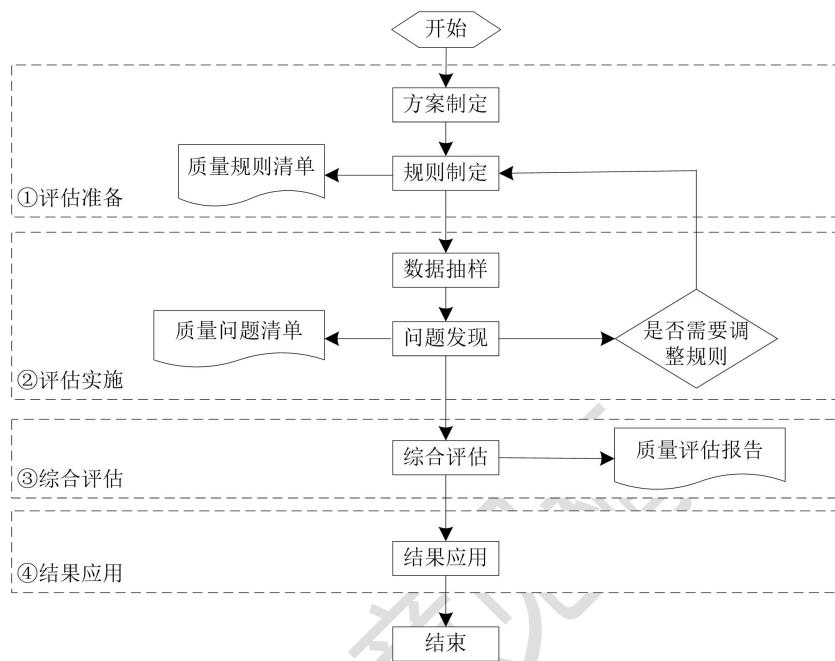


图 6.1.1 数据质量评估流程图

6.1.2 单桥监测系统应按本标准规定完成各阶段评估，并依据评估结论持续优化评估指标与评估方法。

6.2 评估准备

6.2.1 应结合业务需求与常见数据质量隐患，编制评估方案，明确评估对象、范围、评估重点、实施细则及责任分工。

6.2.2 应依据本标准第 5 章规定制定数据质量评估规则，明确各评估指标阈值与判定要求；宜搭建自动化评估体系，提升评估工作效率。

6.2.3 应统一评估基准，准备参照数据与校验设备，核查监测设备运行工况，完成原始数据初步整理。

6.3 评估实施

6.3.1 数据抽样应符合下列规定：

1 数据抽样遵循随机性、代表性原则，覆盖原始数据及衍生数据；超限报警数据应全额抽样。抽样样本量、设备抽检比例及统计判定 P95 分位口径按本标准 5.1.3 执行，抽样比例按数据总量及评

估精度合理确定，确保样本可真实反映整体数据质量水平。

2 抽样数据按本标准 3.0.7、5.1.1 规定剔除重复数据，核查采样频率、授时源等是否符合本标准第 5.2 节规定；抽样不合格数据应及时补充替换，保证样本有效可用。

6.3.2 各维度评估流程应符合下列规定：

1 规范性评估：按“基准确定—比对判定—稳定管控”流程开展，采用标准比对法、多维度联合核查法，重点核查采样频率设置、统一授时源两项内容，按本标准第 5.2.2 条判定标准形成评估结论。

2 完整性评估：按“预处理—指标计算—分项判定—整体判定”流程开展。按本标准附录 A 确定统计时段长度，计算数据完整率、最大缺失长度或缺失点数，按第 5.3.3 条静态、动态数据合格要求分项及整体判定。

3 一致性评估：按“评估基准确立—分项校验—异常排查—整体判定”流程开展。遵循单测点溯源、多测点联动原则，依次校验单测点时序一致性、同类监测数据一致性、多参数逻辑一致性，按本标准第 5.4 节排查数据突变、相关系数不达标等问题并完成等级判定。

4 准确性评估：按“评估基准确立—分项校验—异常排查—整体判定”流程开展。按第 5.5.1 条完成趋势项提取、组分分离等预处理，采用同步测试比对法或交叉验证法，重点核查残差合规率、峰值频率偏差等指标，按第 5.5 节标准完成判定。

5 时效性评估：按“评估基准确立—分项校验—异常排查—整体判定”流程开展，采用仪器校验、现场测试等方式，校验发布延迟、发布达标率指标，按第 5.6 节排查异常时延、漏报等问题并完成判定。

6 可用性评估：按“评估基准确立—分项校验—异常排查—整体判定”流程开展，结合养护决策需求场景化核验误报率、特殊事件感知率、数据养护应用率，按第 5.7.2 条要求完成判定。

6.3.3 问题发现与分析应符合下列规定：

1 评估实施单位应依据评估方案、质量规则及本标准第 5 章要求，识别采样频率不达标、数据缺失超标、相关系数不满足等质量问题。

2 结合工程运营实际及初评结果，验证并优化数据质量评估规则，保证规则适配评估方法、评估结论满足应用预期。

3 按验证后的评估规则开展全维度数据质量排查，形成正式质量问题清单，明确问题所属维度、具体表现及对应规范条款。

4 溯源识别质量问题成因，可从信息、流程、技术、人员四类因素分析；经结构分析、现场核查确认为桥梁结构真实性能变化、损伤及极端荷载引发的数据异常，不判定为数据质量不合格，按正常结构响应留存记录。

5 评估数据质量问题影响程度，结合各维度重要性，分析其对数据分析、结构状态评价及养护决策的影响，形成影响分析报告。

6 按评估维度对质量问题分类汇总，划分整改优先级，形成最终质量问题清单。

6.3.4 整改与复核应符合下列规定：

1 各维度评定不合格项，应依据本标准第 5 章对应条款明确整改内容、要求及完成时限，制定专项整改措施。

2 整改完成后，应对对应维度及关联维度同步复核评估，直至评定合格。

3 严格执行闭环管理要求，复核合格后及时销项、归档留存。

6.4 综合评估

6.4.1 单一测点按关键指标、一般指标评定等级，并应符合下列规定：

1 合格：关键指标全部合格，且一般指标均合格。

2 基本合格：关键指标全部合格，一般指标存在不合格。

3 不合格：任一关键指标评定不合格。

6.4.2 监测项评定应符合下列规定：

1 监测项合格率按式（6.4.2-1）计算：

$$\text{监测项合格率} = \frac{\text{监测项合格点数量}}{\text{监测项总测点数量}} \times 100\% \quad (6.4.2-1)$$

注：基本合格测点、不合格测点不计入合格测点数量。

2 监测项等级划分：合格率 \geq 80.0%为合格；60.0% \leq 合格率 $<$ 80.0%为基本合格；合格率 $<$ 60.0%为不合格。

3 必选监测项评定结果应为合格，不得为基本合格或不合格。

6.4.3 单桥评定应符合下列规定：

1 合格：全桥必选监测项均合格，可选监测项均为合格或基本合格。

2 基本合格：全桥必选监测项均合格，可选监测项存在基本合格且无任何监测项评定不合格。

3 不合格：必选监测项评定不合格，或任一监测项评定不合格。

6.4.4 综合评估结果直接作为第 7 章数据使用权限与管控的依据。

7 评估结果及应用

7.1 一般规定

7.1.1 监测数据质量评估应按本标准相关规定执行，评估结果作为数据合规使用、系统运维管理和桥梁养护决策的核心依据；评估全过程相关资料应完整归档、全程可追溯、可复现。

7.1.2 评估结果应用应遵循先合格后使用、分维度分场景管控的原则，依据单一测点、监测项、单桥三级评定结论分级分类管控监测数据应用，严禁使用未通过评估的数据。

7.1.3 评估中发现的数据质量问题应按规定制定整改措施并完成复核，重新评估合格后方可投入使用；未完成整改或重新评估仍不合格的，应暂停对应数据使用，建立问题台账并跟踪整改进度，落实闭环管理。

7.2 结果分级与使用要求

7.2.1 数据使用权限以单一测点为最小判定与管控单元，分级使用应符合下列规定：

- 1 合格测点：可全面用于结构状态评估、安全预警、养护决策及应急处置分析。
- 2 基本合格测点：仅可用于数据归档存储与长期宏观趋势分析，不得用于安全预警、结构状态评估、养护决策及应急处置。
- 3 不合格测点：数据禁止业务使用，应立即停用隔离、溯源整改，经复核重新评估合格后方可恢复使用。

7.2.2 监测项、单桥整体评定结果，仅用于监测系统整体质量评价、运维管理及优化决策参考，不约束单测点合格数据的独立使用权限。

7.2.3 评估结果、评定过程、整改复核及相关佐证资料应统一归档留存，归档内容完整、版本可追溯，满足评估过程复现、后续规则改进及问题责任追溯要求。

7.3 评估工作改进

7.3.1 评估实施单位应根据数据质量各级评估结果，梳理各维度指标完成情况与运行薄弱环节，优化评估实施方案、指标合格阈值与综合判定规则。

7.3.2 评估实施单位应结合评估实操运行经验，完善实施细则、简化工作流程，优化自动化评估校验逻辑，提升评估工作效率与评定结果准确性。

7.3.3 评估实施单位应收集整理数据质量典型案例与常见共性问题，建立并完善监测数据质量知识库；通过专业培训、技术交流等方式推广成熟管控经验与问题治理技术。

7.4 源头质量提升

7.4.1 数据责任单位应依据评估报告及问题溯源分析结果，从信息、流程、技术、人员四个维度全

面排查数据质量根源，建立问题识别、整改处置、复核销项、长效预防的闭环机制。

7.4.2 优化监测系统点位布设与采集参数配置；监测设备应按周期检定或校准并留存溯源记录，保障数据传输稳定、高保真、低时延、无丢包。

7.4.3 数据责任单位应完善监测数据全流程管理工作制度，明确各环节责任分工，强化全生命周期质量管控，建立常态化数据质量监测与巡检机制，实现监测数据质量持续改进提升。

征求意见稿

附录 A（规范性）监测数据批处理模式下处理时段长度确定方法

连续监测数据批处理采用固定滚动窗口划分处理时段，处理时段长度需结合监测参数类型、采样频率及分析需求合理确定，具体方法如下。

A.0.1 静态参数监测数据处理时段长度确定

静态参数监测数据处理时段长度及样本点应按下列要求确定：

- 1 若采样时间间隔 $\geq 10\text{min}$ ，直接以当前采样频率对应的采样点作为处理时段的基础样本点；
- 2 若采样时间间隔 $< 10\text{min}$ ，需先对原始监测数据进行时间聚合处理，统一聚合为 10min 时间间隔的样本数据，以此作为处理时段的基础样本点；
- 3 处理时段长度应包含不少于 50 个基础样本点，且总时长不应小于 24h ，样本量应满足时间序列趋势提取要求。

A.0.2 动态参数监测数据处理时段长度确定

结合工程结构监测实际需求，聚合区间长度（以下简称“DAGGL 值”）的设计需兼顾数据汇总效率、分析精度、实时性及计算开销，避免因区间过长导致实时性不足、数据连续性破坏，或因区间过短导致计算开销激增、数据冗余。依据 T/CECS 导则要求，建议采用以下步骤确定 DAGGL 值：

- 1 数据选取：选取不少于 5 个代表性时间段的监测数据，所选时间段需满足以下条件：①时段长度不小于监测参数一个低频周期的影响时长；若无明确周期影响，可选取监测数据出现明显非线性变化规律且无突变异常（如传感器故障、外界突发干扰导致的数据跳变）的时间区段；②数据完整性满足分析要求，缺失率不超过 T/CECS 导则规定的限值。

- 2 趋势项与基准序列提取：采用非平稳信号分解技术（如小波变换、经验模态分解（EMD）等，符合 T/CECS 导则推荐方法）对原始监测数据进行分解，提取趋势项并分离出随机变化组分；若监测数据的趋势仅由温度效应引起，可采用样条平滑技术进行趋势拟合，平滑窗口大小可选用 30min 、 60min 等合理区间，基于原始时间序列进行滑动平均处理，得到平滑后的基准时间序列。

- 3 聚合窗口遍历：设定聚合窗口大小的取值范围 $[\text{wmin}, \text{wmax}]$ （ wmin 为最小合理窗口， wmax 为最大合理窗口，需结合采样频率及工程分析需求设定），遍历该范围内所有可能的窗口大小 wi ，对原始监测数据按每个 wi 进行时间聚合处理，计算每个窗口下的聚合数据（采用平均值或中值，优先遵循 T/CECS 导则推荐的聚合方法）。

- 4 偏差计算：以步骤 2 得到的平滑基准序列为参考，计算每个遍历窗口 wi 对应的聚合数据与

基准序列之间的平均偏差，平均偏差计算方法需符合 T/CECS 导则相关规定，确保偏差评估的合理性。

5 优化窗口确定：以聚合窗口大小 w_i 为横坐标，对应的平均偏差为纵坐标绘制关系曲线，对曲线进行双折线优化拟合，拟合过程需遵循 T/CECS 导则对数据拟合的精度要求；拟合曲线的拐点即为优化后的 DAGGL 值，该拐点可实现趋势提取准确性与计算效率的平衡，既保证聚合数据能真实反映原始数据趋势，又能控制计算开销在合理范围内。

6 验证调整：将确定的 DAGGL 值应用于代表性时间段数据的批处理验证，若处理结果不符合 T/CECS 导则对数据处理精度、实时性的要求，需重新调整 $[w_{min}, w_{max}]$ 范围及拟合参数，重复上述步骤直至满足要求。

7 动态参数聚合区间长度（DAGGL）推荐工程取值：动态监测：1min~5min；准静态监测：10min~30min；静态监测：1h~2h。

征求意见稿

附录 B（规范性）桥梁监测参数应用场景分类

表 B.0.1 桥梁监测参数应用场景分类

监测类别		监测内容	数据分析内容	应用场景类别			
				超限报警	应急响应	养护评估	基础研究
环境	温度	桥址区环境温度	最高温度、最低温度、最大温差	●	—	—	—
	湿度	构件封闭空间内相对湿度	最大值、平均值和超限持续时间	●	—	◎	◎
			时空分布	—	—	○	—
	结冰	桥面、构件结冰	结冰位置、范围和程度	●	○	○	—
雨量	降雨量	10min 平均降雨量	—	○	○	—	
作用	车辆荷载	所有车道车重、轴重、轴数、车速、车流量	车辆总重或轴重,超载车数量、车重、轴重和时间	●	—	○	◎
			车辆疲劳荷载谱	—	—	○	◎
			校验系数	—	—	○	◎
	风速风向	桥面、塔顶的风速、风向	10min 平均风速、风向和风玫瑰图	●	◎	●	—
	结构温度	构件温度	最大值、最小值	●	—	—	◎
			梯度	●	—	—	◎
	船舶撞击	铺装层温度	最大值、最小值	○	—	◎	—
		撞击及过程中的结构静动力响应	是否发生船撞事件	●	—	—	—
撞击过程中结构的静动力响应,撞击前后结构的模态参数等结构变化情况			●	●	●	—	
地震	地震及过程中的结构静动力响应	桥岸地表场地地震动加速度	●	—	—	—	

监测类别		监测内容	数据分析内容	应用场景类别			
				超限报警	应急响应	养护评估	基础研究
	台风	台风及过程中的结构静动力响应	地震过程中结构的静动力响应,地震前后结构的模态参数等结构变化情况	●	○	○	—
			台风过程中结构的静动力响应,台风前后结构的模态参数等结构变化情况	○	○	○	—
			湍流度、阵风因子等风场参数分析	○	○	—	○
结构响应	位移	主梁关键截面动挠度	动挠度及准静态挠度绝对最大值、梁肋间挠度差、横向分布系数、协同工作系数、横向刚度衰减、铰缝损伤识别	●	○	●	◎
		主梁竖向和横向位移、塔顶和主缆偏位、高墩墩顶位移和拱顶位移	平均值、绝对最大值、均方根值及其随时间变化规律	●	—	●	—
			主梁下挠、塔顶和主缆及主拱偏位、桥墩沉降等趋势	●	—	●	—
		支座位移和梁端纵向位移	平均值、绝对最大值、均方根值和绝对值累积量	●	—	○	—
	结合滑动支座位移监测数据和其他检测数据进行分析		—	—	●	—	
	转角	塔顶截面倾角、梁端水平和竖向转角	平均值、绝对最大值、均方根值及其随时间变化规律	—	—	—	—
	应变	主梁关键截面应变	平均值、绝对最大值	●	—	—	—
			疲劳累积损伤指数	—	—	●	—
		索塔、主拱关键截面应变	平均值、绝对最大值	○	—	—	—
	索力	悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)等索力	平均值、最大值、最小值、均方根值及其随时间变化趋势	●	—	—	—
			疲劳损伤指数及其随时间变化趋势	—	—	◎	—
			与成桥索力、设计值、破断索力以及定期检测索力进行对比分析	○	—	◎	—
悬索桥锚跨索股力、拱桥系杆索力		最大值、最小值和变化趋势	●	—	—	—	
	与成桥索力、设计值、破断索力以及定期检测索力	○	—	◎	—		

监测类别	监测内容	数据分析内容	应用场景类别				
			超限报警	应急响应	养护评估	基础研究	
		进行对比分析					
	支座反力	支座反力	平均值、最大值、最小值及其随时间变化规律	●	—	◎	—
	振动	主梁三向、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)振动加速度	绝对最大值、均方根值、频谱	●	○	—	—
		主梁涡振	桥梁自振频率、振型等模态参数分析	○	—	○	—
		主梁振动加速度均方根值和振动能量比因子	●	○	○	○	
结构变化	基础冲刷	基础冲刷	冲刷深度最大值、冲刷范围及其变化规律	○	—	◎	—
	结构位移	悬索桥锚碇、拱桥拱脚位移	位移值变化	●	—	—	—
	裂缝	混凝土结构和钢结构裂缝	结构性裂缝长度、宽度、数量、位置及其随时间变化规律	○	—	○	—
			裂缝与环境、作用和结构构造的相关性	—	—	◎	◎
	腐蚀	混凝土墩身、承台腐蚀	氯离子浓度,侵蚀深度最大值、最小值、梯度及其变化趋势	○	—	○	◎
	断丝	悬索桥主缆和吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊杆(索)和系杆断丝	断丝位置和程度	○	—	○	—
	螺栓状态	索夹螺杆预紧力、高强螺栓紧固力和螺栓滑脱	数量、位置、程度和变化趋势	○	—	○	—
	索夹滑移	索夹滑移	数量、程度和变化趋势	○	—	○	—
预应力	体外预应力	预应力变化程度和趋势	○	—	○	—	

注：1. ●为强制应做，○为推荐宜做，◎为可选可做。

2.表中"数据分析内容"应基于监测系统实际监测项开展，未监测的可不做分析，指标与本表有差异的可按实际情况开展分析。

3.宜对上述不同监测内容开展数据相关性分析，支撑超限报警、应急响应、养护评估和基础研究等。