

桥梁数据质量管理的问题与应对策略

孙俊超

上海城建城市运营(集团)有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i3.13653

[摘要] 桥梁数据的海量、多维、复杂和随机特性导致数据质量问题频发,严重影响桥梁设施的运维管理效率与安全评估准确性。为优化桥梁数据管理流程,降低数据质量问题带来的风险,本文剖析了当前桥梁数据质量管理中存在的主要问题,包括管理机制与协同能力的不足、数据生产与处理的规范性薄弱以及监控与维护手段的缺乏。针对这些问题,本文提出了一系列切实可行的应对策略,即构建跨部门协同管理体系、统一数据生产标准与处理规范以及强化全链路监控与主动维护能力,从多个层面提升桥梁数据管理的效率与可靠性。

[关键词] 数据质量管理; 数据质量; 桥梁工程

中图分类号: TU997 **文献标识码:** A

The Problems and Countermeasures of Bridge Data Quality Management

Junchao Sun

Shanghai Urban Construction Urban Operation (Group) Co., Ltd.

[Abstract] The massive, multi-dimensional, complex and random characteristics of bridge data lead to frequent data quality problems, seriously affecting the efficiency of operation and maintenance management and the accuracy of safety assessment of bridge facilities. In order to optimize the bridge data management process and reduce the risks brought by data quality issues, this paper analyzes the main problems in the current bridge data quality management, including the insufficiency of management mechanisms and collaborative capabilities, the weak standardization of data production and processing, and the lack of monitoring and maintenance means. In response to these problems, this paper proposes a series of practical and feasible coping strategies, namely, constructing a cross-departmental collaborative management system, unifying data production standards and processing norms, and strengthening the full-chain monitoring and proactive maintenance capabilities, to enhance the efficiency and reliability of bridge data management at multiple levels.

[Key words] Data quality management; Data quality; Bridge engineering

引言

在数字化转型的浪潮中,数据成为了企业智能化升级的关键驱动力,桥梁工程领域也不例外^[1]。为监测桥梁复杂的服役状态,大量桥梁安装了复杂的传感器设备进行数据收集与监测。然而桥梁数据具有海量^[2]、多维^[3]、复杂^[4]和随机^[5]等特性,采集、传输、存储、解析、监测等各个环节的差错都可能导致数据质量不佳、数据不准确、不完整、不一致、不及时甚至不可用的情况出现。这些问题如果得不到有效解决,将对桥梁数据的有效性和运维决策的科学性产生直接影响。针对这一现状,本文将从数据质量的六个维度出发,系统分析当前桥梁数据管理中的痛点问题,并针对性地提出切实可行的应对策略。希望能为行业从业者提供系统性的思路,优化数据管理流程,降低因数据质量问题引发的运维风险。

1 桥梁数据质量管理的问题

数据质量问题经常由多种因素交织引发。数据统计流程的不完善^[6]以及规章制度的不健全^[7]等都可能成为数据问题的诱因。本文梳理现有桥梁的质量管理方式、技术和手段后,发现当前桥梁数据质量管理存在的主要问题如下:

1.1 管理机制缺陷与协同能力不足

1.1.1 跨部门协同机制缺失

桥梁数据质量管理涉及多个职能单元,但当前组织架构中各部门之间存在数据孤岛,负责桥梁数据采集的现场团队、进行数据分析的技术部门和制定管养策略的管理层彼此间缺乏合理高效的沟通,数据质量管理流程呈现碎片化。该问题主要体现在下面二个维度:

(1) 跨部门协作存在系统性缺陷。数据质量管理缺乏进行统

一协调的主体部门,部门间权责边界模糊^[8]。在数据传递的全链路中,跨部门传递大多依赖人工对接,由于缺乏明确的数据“管家”,不同部门间既没有明确的责任划分制度,也没有专门负责数据协调的部门,出现问题时各部门间容易互相撇清责任,出现“踢皮球”现象。大量数据因为得不到专人及时处理而丧失时效性,对桥梁的日常巡检工作造成损害。

(2)质量追溯过程复杂低效。现有模式下,各部门仅对自身涉及到的环节负责。这种分散的管理模式导致在出现数据异常问题时,管理主体对各方业务均不了解,维护方、技术方、管理方往往陷入互相指责的僵局,降低数据质量追溯的效率^[9]。工程人员需要逐一排查不同部门的问题,难以快速定位问题的根源,无法保障数据的准确性和完整性,削弱了数据质量管理的问责效力

1.1.2跨部门协作流程冗余

繁琐的跨部门协作流程正在吞噬桥梁数据管理的效率。异常数据处理链条过长以及人工介入环节过多是跨部门协作主要存在的两大问题^[10]。

一方面,流程审核需多部门逐级进行,导致异常数据处理时间被明显拉长,最终表现为问题数据响应迟缓,且数据时效性大打折扣。当系统检测到数据质量问题时,需要经过多个部门的审核,通过人工传递处理审批流程漫长,容易导致安全隐患加剧,并影响交通通行效率,无法满足桥梁安全监测的时效需求。

另一方面,关键数据字段(如传感器编号、时间戳、异常类型)在跨部门传递时,容易受到人为因素干扰,信息丢失或失真风险高。目前企业多采用纸质工单或非结构化电子表格进行桥梁数据的流转,流转次数过多可能会在中间环节出现数据丢失、误录或者篡改的情况,为数据准确性带来极大的负面影响,在层层审批中加大桥梁的安全隐患。

1.2数据生产与处理的规范性薄弱

1.2.1数据命名及格式不规范

由于不同设备和系统的数据来源不一致,各数据的结构和格式均存在不统一的表现^[11]。在数据生产与处理周期中,相同数据存在不同命名形式与输出格式的现象为后续进行桥梁数据整合、共享和分析都造成了诸多挑战。

(1)命名规则碎片化。不同厂商或子系统的数据命名体系没有统一标准,例如有些基于设备序列号,而有些则采取功能类型的非结构化编码。这种不一致的命名体系让数据进行跨部门流转或使用存在无法理解等问题,容易引发语义歧义,使得数据检索和关联效率大打折扣。同时,这种混乱的命名方式也增加了后续数据清洗的工作量,可能导致关键参数的遗漏或错误匹配,最终影响数据分析的可靠性和有效性。

(2)格式异构性加剧技术壁垒。不同监测设备输出的数据也存在格式差异。数据格式繁多且不一,包括文本、数值、二进制等不同类型,使得数据集成时需要频繁进行格式转换和适配。而在转换过程中,解析规则的不统一很容易造成数据精度损失或结构失真。例如,量纲单位的非标准化定义(如毫米与英寸并存)

大大增加了数据融合的难度,使得跨系统数据整合高度依赖人工干预和经验修正,这又会导致人为误差这一新风险产生。

1.2.2业务生产数据间不一致

桥梁数据融合的本质是让桥梁的各个子系统“说同一种语言”。但现实情况是,桥梁业务数据在时序性、来源可信度及逻辑层面存在系统性矛盾^[12],无法保证子系统间的数据一致性。各系统数据更新频率差异,部分数据更新不及时导致跨系统数据融合时面临“时间窗口错配”难题,降低数据的横向可比性和一致性,难以及时发现桥梁性能退化现象。此外,数据筛选规则混乱,各部门在调用多源数据时往往基于自身需求自定义筛选规则^[13]。不同部门可能依据各自需求,分别使用峰值、均值数据等进行数据分析,造成分析结果的差异性。从全局视角看,这种处理方式容易引发同类分析结论冲突,干扰桥梁安全状况的精准评估,破坏数据一致性,进而影响决策的可靠性。

1.3监控与维护手段缺乏

1.3.1数据监控与预警机制不完善

现代桥梁监测系统本应是永不闭合的“电子眼”,但当前桥梁数据管理体系存在明显的的数据监控与预警机制缺陷,导致异常数据的识别与响应严重滞后。具体来说,系统目前无法自行识别、监控、度量并完成预警方面的管理工作^[14]。对于桥梁常见质量问题,目前主要依赖人工定期巡检才能发现,然而人工核查周期通常以天或周为单位。一旦出现紧急情况,这种低频次的核查方式就无法保障桥梁安全运营所需的数据时效性。

此外,数据质量监控功能和分析工具的缺失,让异常数据难以被精准定位与归因。目前平台对大部分数据质量的监测仅仅停留在“有无信号”层面,却无法识别“错误信号”。在实际运用中,这种有限的监控分析功能只能对基础的桥梁数据质量问题进行初步判断,进一步的分析和处理离不开大量的人力物力,无法提高处理数据质量问题的效率。较低的数据质量监管智能化水平难以满足高强度的桥梁数据管理需求,对人工巡检的依赖会使故障排查周期大幅增长。数据质量无法得到及时验证,难以准确反映桥梁的真实状态,由此造成决策延误。

1.3.2数据维护管理质量低下

现有的桥梁数据质量维护周期大多基于固定的时间间隔,未能根据设备的实际使用强度或环境变化进行动态调整^[15]。这种“一刀切”的维护方式无法完全兼顾所有仪器设备的实际使用效率,存在明显弊端。一方面,这种固定的时间周期针对高频使用设备来说校准不够及时,可能因为维护过慢导致元件老化或环境干扰问题,引发数据偏差。另一方面,低负荷设备不需要进行频繁的维护,过度维护会造成人力物力的浪费。

在数据存储与后续维护方面,目前的数据归档维护流程缺乏规范性,企业没有对数据归档建立有效的分类标准和元数据标注。大量的历史数据被无序堆积,当需要使用历史数据时,工作人员往往需要花费大量时间对历史数据进行查找以筛选有用信息,不仅增加了数据检索与清洗的成本,在查找过程中数据质量的准确性和有效性也会降低,历史数据的价值将大量流失。

2 提升桥梁数据质量的应对策略

2.1 构建跨部门协同管理体系

建立数据质量管理、应用分析小组和运维支撑团队。数据质量管理小组负责组织和开展整体数据质量管理工作,应用分析小组负责提供数据分析技术与相关的技术支持,运维支撑团队负责反馈数据采集异常。

建立数据质量管理制度以及数据质量管理小组的日常管理、讲评、检查考核制度,完善修订数据管理规范,推进制度落地执行。清晰定义各业务数据维护职责,通过认责制进行归口管理。归口管理部门作为数据的责任主体,是数据生产的唯一渠道,其他数据使用单位不可对数据进行重复维护,确保数据的完整性和一致性。对于模糊地带或交叉数据项,相关方须共同约定好各自责任数据字段及数据口径,在关键数据流转节点设置双责任人,共同维护一套完整的满足双方业务需求的业务数据,保证数据一致性。

2.2 统一数据生产标准与处理规范

桥梁监测数据常因命名规则混乱、量纲标准不统一等问题影响使用效率。建立元数据标准及数据质量标准,包括索力监测数据质量标准,并建立标准更新机制。各数据生产部门作为专业指导,要配合完成本专业数据标准的建立,采用强制结构化格式输出的方式进行规范化生产,保证质量标准的广泛性、专业性、准确性。

面对不同监测子系统数据异构的问题,可在数据接入层嵌入量纲转换模块,让不同设备输出的数据都能在基准上实现统一。同时,开发基于规则的冲突检测算法,一旦多子系统对同一监测项的输出值超出了预设的合理偏差范围,系统会自动暂停数据流转并提示人工复核,以此来保障数据处理的规范性与准确性,让数据处理过程更加可靠、可信。

2.3 强化全链路监控与主动维护能力

要系统性解决监测设备维护不到位、数据归档混乱等问题,需要建立“监测-预警-归档”的主动管控机制,把技术手段和管理机制整合起来,提前发现数据质量问题并进行系统治理。

加强桥梁数据质量监督检查平台支撑性功能的建设,首先使各专业能自纠自查,其次满足数据质量管理小组和数据质量管理部门的监控要求,对数据采集传输各环节能清晰监控,便于比较数据质量问题的查找重现,并在数据质量出现问题时能做到及时提醒,全面梳理业务系统质量规则,自动生成全部专业或系统的数据质量报告,以支撑考核。

再者,建立结构化数据归档框架,设计多维度分类编码体系、构建树状存储结构,并结合数据备份机制和元数据管理,让历史数据存储有序,便于数据维护管理。

3 结语

本文从桥梁数据质量管理的现状出发,剖析了当前桥梁数据质量管理中存在的部门协同不畅、数据处理不规范以及监控维护不足等突出问题。基于此,本文针对性提出优化跨部门协作、规范数据生产与处理以及增强监控与维护能力三方面的解决策略。

本文在桥梁数据质量管理等领域取得了一定成果,为相关研究和实践提供了有价值的参考。然而,本文仍存在一定的局限性,主要体现在没有横向研究不同桥梁类型的适用性。未来研究可以进一步探索不同类型桥梁在数据质量管理难点上的差异性。

[课题或基金项目]

上海城建城市运营(集团)有限公司,城市交通基础设施数据管理标准研究及应用,2022-YYKY-009。

[参考文献]

[1]Huang Q,Tang Y.Enterprise Digital Transformation Strategy:The Impact of Digital Platforms.Entropy.2025;27(3):295.

[2]孙利民,尚志强,夏焯.大数据背景下的桥梁结构健康检测研究现状与展望[J].中国公路学报,2019,32(11):1-20.

[3]Sun Z, Liang B, Liu S, Liu Z. Data and Knowledge-Driven Bridge Digital Twin Modeling for Smart Operation and Maintenance.Applied Sciences.2025;15(1):231.

[4]《中国公路学报》编辑部.中国桥梁工程学术研究综述·2024[J].中国公路学报,2024,37(12):1-160.

[5]宋帅,钱永久,钱聪.桥梁地震需求中随机参数的重要性分析方法研究[J].工程力学,2018,35(03):106-114.

[6]Heitjan DF. Incomplete data: what you don't know might hurt you.Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.2011;20(8):1567-1570.

[7]余芳东.外国统计数据质量的涵义、管理以及对我国的启示[J].统计研究,2002,(02):26-29.

[8]Fassnacht, M., Leimstoll, J., Benz, C. et al. Data sharing practices: The interplay of data, organizational structures, and network dynamics. Electron Markets34,47(2024).

[9]樊泓,丁锐,秦贝贝.市政基础设施管理体系协同机制研究[J].工程管理学报,2023,37(02):37-42.

[10]Hong,M. J. (2024). Research on Management Mechanisms of Cross-Departmental Collaboration in Solving Complex Public Problems.Open Journal of Social Sciences,12,483-493.

[11]王健伟,高超,董是,等.道路基础设施数字化研究进展与展望[J].中国公路学报,2020,33(11):101-124.

[12]杨恩斌.桥梁监测的多源异构信息分析与数据融合研究[D].云南大学,2021.

[13]刘聪.基于多源数据融合的市级公路桥梁管养平台设计与应用[J].黑龙江交通科技,2024,47(11):136-141.

[14]张玮,仇东配,张学志,等.数据中台中的全链路监控技术分析[J].电子技术,2024,53(03):351-353.

[15]Mousavi V,Rashidi M, Mohammadi M, Samali B. Evolution of Digital Twin Frameworks in Bridge Management: Review and Future Directions.Remote Sensing.2024;16(11):1887.

作者简介:

孙俊超(1997--),女,汉族,四川内江人,管理学硕士,助理工程师,研究方向:数据挖掘、隧道管片上浮预测,不确定性决策。