



# 黑龙江省地方标准

DB —

## 寒区桥梁服役性能评估技术规范

联系单位：哈尔滨工业大学  
联系人：李顺龙  
联系电话：13796632245  
联系邮箱：lishunlong@hit.edu.cn

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025年4月1日）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

— — 发布

— — 实施

发布

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 总则 .....	4
5 数据预处理 .....	4
5.1 一般规定 .....	4
5.2 数字型数据 .....	5
5.3 图像型数据 .....	6
6 数据分析 .....	6
6.1 一般规定 .....	6
6.2 分析内容 .....	7
6.3 分析方法 .....	7
7 数据应用 .....	8
7.1 一般规定 .....	8
7.2 材料损伤状态分析 .....	8
7.3 构件性能状态分析 .....	9
7.4 结构性能状态分析 .....	9

## 前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由黑龙江省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：哈尔滨工业大学、黑龙江省龙建路桥第五工程有限公司、黑龙江省工程质量道桥检测中心有限公司、宁波市交通建设工程试验检测中心有限公司、黑龙江省鼎捷路桥工程有限公司、中交路建交通科技有限公司、中交路桥南方工程有限公司、北京市基础设施投资有限公司、东北林业大学。

本文件主要起草人员：李顺龙、郭亚朋、徐庆龙、吴恩泽、王立峰、马锐、顾俊刚、崔洪涛、高庆飞、李玉生、徐茂林、王栋、李斌、吕佳、李忠龙、刘洋、肖子旺、史梁、李欣澄、葛思佳。

# 寒区桥梁服役性能评估技术规范

## 1 范围

本文件规定了寒区桥梁服役性能评估技术规范的术语和定义、总则、数据预处理、数据分析和服役性能评估。

本文件适用于寒区各类桥梁的服役性能评估，主要包括：

- a) 新建和现役的各类公路桥梁；
- b) 采用特殊结构、特殊材料、特殊施工工艺或具有特殊要求的桥梁。

## 2 规范性引用文件

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

- GB/T 31167 信息安全技术 云计算服务安全指南
- GB/T 31168 信息安全技术 云计算服务安全能力要求
- GB/T 36344 信息技术 数据质量评价指标
- GB/T 38637.2 物联网 感知控制设备接入 第二部分：数据管理要求
- GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
- JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范
- JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准
- JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- JTG 5120 公路桥涵养护规范
- JTG/T 5122 公路缆索结构体系桥梁养护技术规范
- DB23/T 3471 寒区桥梁结构监测技术标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 数据预处理

数据预处理是指在主要的处理前对数据进行的一些处理，包括数据滤波去噪、异常值检验及修复和缺失数据补全等。

### 3.2

#### 静态数字型数据

静态数字型数据是指具有长期缓变特征的数据，可采用静态数据采集设备进行直接测量，也可从动态监测数据中提取的长期响应部分获取，包括梁体长期挠度、温度响应引起的变形、墩台长期沉降和拱座/锚碇变位等。

### 3.3

#### 动态数字型数据

动态数字型数据是指动态激励和与桥梁结构振动特性相关联的数据,包括地震动、波浪力、风荷载、车辆荷载等激励以及由其引起的动态响应数据等。

### 3.4

#### 图像型数据

图像型数据是指用数值表示的各像素的灰度值和颜色信息的集合,包括图片和视频。

### 3.5

#### 感知数据

感知数据是指通过数据采集获取的原始数据或在此基础上进行加工处理的用于表征特征信息的数据的统称。

### 3.6

#### 控制数据

控制数据是指用于执行控制操作的数据。

### 3.7

#### 模态参数

模态参数是指基于桥梁结构实测振动数据,通过时域、频域或时频域分析方法提取的结构的模态频率、模态刚度、模态质量和模态阻尼比等参数。

### 3.8

#### 数据挖掘

数据挖掘是指利用统计、在线分析处理、情报检索、机器学习、专家系统(依靠过去的经验法则)和模式识别等方法从大量的数据中搜索隐藏于信息中特征的过程。

### 3.9

#### 数据分析

数据分析是指对预处理后的数据进行分析,并从中提取有用信息或特征的过程,内容包括基本统计分析和专项分析两个部分。

## 4 总则

4.1 寒区桥梁服役性能评估技术与桥梁结构健康监测系统相匹配,与桥梁管理系统等外部系统相兼容。

4.2 寒区桥梁服役性能评估技术具有先进性和适用性,与人工智能、深度学习与大数据等新技术和新方法有机结合。

4.3 寒区桥梁服役性能评估结果具有稳定性和可靠性,便于共享互通和实时展示。

4.4 利用桥梁结构健康监测数据集及监测数据处理与分析结果,为寒区桥梁服役性能评估技术的升级改进提供基础资料和参考基准。

## 5 数据预处理

### 5.1 一般规定

5.1.1 数据预处理应将原始数据换算为反映寒区多场耦合作用下桥梁环境、作用、结构响应、结构变化的特征数据,并宜符合 GB/T 38637.2 的相关规定。

5.1.2 数据预处理功能应与传感器分辨率、精度、抗电磁干扰等性能相匹配。应包括重复时间段数据辨识、缺失时间段数据补全、趋势突变判定、异常值判定、数据滤波去噪等,并应支持对数据不一致性进行监测。

- 5.1.3 数据预处理应正确地处理监测系统自身引起的异常数据，保留由结构状态变化引起的数据特征变化。
- 5.1.4 数据预处理对象宜包括数字型数据和图像型数据。
- 5.1.5 数据异构转换应支持感知控制设备或系统通信协议，支持解析指定的感知数据包和控制数据包，支持通过协议转换模块进行数据结构转换，实现感知控制设备与网关或系统之间数据互通。
- 5.1.6 从数据源中提取数据应支持全量抽取、增量抽取、基于日志抽取等抽取模式，可支持地理空间信息数据的抽取，应支持数据抽取格式和流程的自定义配置。
- 5.1.7 对文本、图像、音频、视频等数据特征抽取应符合 GB/T32630 的相关规定。
- 5.1.8 数据预处理时间尺度选取应根据结构作用响应特点和报警需求，结合采样模式、数据传输方式、系统硬件性能确定。
- 5.1.9 数据预处理过程中，数据单位宜采用国际单位制。

## 5.2 数字型数据

- 5.2.1 数字型数据根据其特征及是否与桥梁振动特性相关，应包括静态数字型数据及动态数字型数据。
- 5.2.2 静态数字型数据来源包括：
- a) 以桥址区、主梁内其他关键构件内部（如主拱、主缆、锚室等）温湿度、桥面系水体氯离子浓度为代表的环境监测数据；
  - b) 以混凝土或钢结构构件温度、桥面铺装温度为代表的作用监测数据；
  - c) 以各截面或部位静应变及静倾角、关键部位（如拱脚、索塔、锚碇等）变位为代表的结构响应监测数据；
  - d) 以结构裂缝宽度、下部结构（如墩身、承台等）混凝土氯离子侵蚀深度为代表的结构变化监测数据。
- 5.2.3 静态数字型数据预处理内容包括：
- a) 重复数据规整；
  - b) 趋势突变判定及处理；
  - c) 异常值检验及修复；
  - d) 缺失数据补全。
- 5.2.4 动态数字型数据来源包括：
- a) 以车辆荷载、冰排撞击为代表的作用监测数据；
  - b) 以各截面或部位动应变及动倾角、关键构件（如主梁、吊杆、拉索等）振动加速度为代表的结构响应监测数据。
- 5.2.5 动态数字型数据预处理内容包括：
- a) 重复数据规整；
  - b) 环境效应（以温度为主）引起的趋势项与车辆荷载引起车致项解耦；
  - c) 数据滤波去噪；
  - d) 异常值检验及修复；
  - e) 缺失数据补全。
- 5.2.6 重复数据规整宜符合如下规定：
- a) 时间重复多次且每个时间数据完全相同时，宜视为该时刻监测数据，仅保留单个数据；
  - b) 时间重复多次但数据不完全相同时，宜视为缺失，按缺失数据补全方法进行数据预处理。
- 5.2.7 趋势突变判定及修复宜符合如下规定：
- a) 宜采用 Pettitt 突变检验进行趋势突变判定；
  - b) 对于判定为趋势突变引起的异常段，宜采用平移实现修复。

### 5.2.8 响应解耦宜符合如下规定：

- a) 当具有对应时刻的温度监测数据时，宜采用小波包分解法、线性回归法等方法解离温度效应；
- b) 当不具有对应时刻温度监测数据时，宜采用滑动平均法、高斯核密度估计法等方法解离温度效应；
- c) 在具有温度数据的基础上，也可通过分析有限元模型温度场作用解离温度效应。

### 5.2.9 数据滤波去噪宜通过平滑、回归、滤波等方法实现。

### 5.2.10 异常值检验及修复宜符合如下规定：

- a) 在正式进行异常值检验前，宜通过描述统计方法（Q-Q 图、P-P 图等）或统计检验方法（K-S 检验）对数据正态性检验；
- b) 监测数据服从正态分布时，宜采用 Laida 准则或 Grubbs 准则等进行异常值识别；
- c) 监测数据不服从正态分布时，宜采用箱型图法或单变量控制图法等进行异常值识别；
- d) 对连续采样数据的离群点，宜采用 Hampel 滤波进行异常值识别；
- e) 当直接删除离群点时，宜采用整条删除和成对删除的方法，并对直接删除的数据特征影响进行评价；
- f) 对识别为异常值的点，宜将其视为缺失值，根据缺失数据补全相关方法进行修复。

### 5.2.11 缺失数据补全宜符合下列规定：

- a) 对采集率较高的数据，宜采用拉格朗日插值法进行缺失数据补全；
- b) 对缺失段长度较少的数据，可采用时间序列分析方法中 AR、MA、ARMA、ARIMA 等模型进行缺失数据补全；
- c) 对存在关联性且关联程度较高的若干传感器，可采用机器学习或深度学习方法，利用数据采集完好的单个或多个传感器数据进行缺失数据补全。

## 5.3 图像型数据

### 5.3.1 图像型数据来源如下：

- a) 以关键部位，如桥面、吊杆、斜拉索等构件覆冰图像、风吹雪视频为代表的环境监测数据；
- b) 以冰排撞击桥墩视频为代表的作用监测数据；
- c) 以混凝土结构或钢结构裂缝图像为代表的结构变化监测数据。

### 5.3.2 图像型数据预处理内容如下：

- a) 图像灰度化；
- b) 图像降噪；
- c) 形态学处理；
- d) 边缘检测。

### 5.3.3 图像灰度化宜采用最大值法、平均值法或加权平均值法。

### 5.3.4 图像降噪宜采用均值滤波法、中值滤波法、直方图滤波法。

### 5.3.5 形态学处理宜采用以腐蚀、膨胀为代表的若干形态学函数相结合的方式开运算、闭运算、梯度运算处理。

### 5.3.6 边缘检测宜采用基于一阶或二阶导数的边缘检测算子进行处理，包括 Roberts 算子、Sobel 算子、Canny 算子、Laplacian 算子等。

## 6 数据分析

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 数据分析应分析环境、作用、结构响应和结构变化监测数据，并宜结合桥梁养护的经常检查、定期检查与特殊检查数据进行分析。
- 6.1.2 数据分析应支持多种形式的分析结果输出。
- 6.1.3 数据分析应支持数据挖掘所需要的算法库，可提供多种数据挖掘算法。
- 6.1.4 数据分析内容应包括基本统计分析和专项分析。其中专项分析应针对作用及作用响应相应的关键监测指标进行。
- 6.1.5 数据分析应定期形成分析报告，宜采用季报、年报和特殊事件专项报告。

## 6.2 分析内容

- 6.2.1 基本统计分析应包括以下内容：
  - a) 时域统计分析：最大值、最小值、平均值、累计值、分位数、标准差、变异系数等；
  - b) 频域统计分析：平均功率谱、时频谱、幅值谱等；
  - c) 图像统计分析：信息熵、灰度平均值、灰度直方图、协方差、相关系数等。
- 6.2.2 数字型数据专项分析应包括以下内容：
  - a) 环境温度数据：最大温差；
  - b) 环境湿度数据：超限持续时间；
  - c) 除冰盐数据：氯离子浓度、侵蚀深度；
  - d) 风速、风向数据：风玫瑰图；
  - e) 车辆荷载数据：车流量、超载车数量及出现时间、车辆疲劳荷载谱、荷载校验系数；
  - f) 结构温度数据：最大梯度、年极值；
  - g) 地震数据：持续时间、反应谱分析；
  - h) 振动数据：加速度均方根值及绝对最大值、模态参数分析；
  - i) 关键部位及构件：疲劳分析；
  - j) 同类监测数据及异类监测数据：相关性分析。
- 6.2.3 图像型数据专项分析应包括以下内容：
  - a) 覆冰图像：覆冰持续时间、覆冰三维尺度等；
  - b) 冰排撞击桥墩视频：冰排体积、撞击接触面积、撞击时刻、撞击程度等；
  - c) 裂缝图像：裂缝数量，各裂缝位置、长度、宽度、深度及其演化规律等；
  - d) 结构内部图像：基于断层扫描设备获取的图像等。

## 6.3 分析方法

- 6.3.1 监测数据基本统计分析应符合下列规定：
  - a) 静态监测数据的时域统计分析宜根据监测参数的特征，结合分析需求，给出以日、月、年为统计间隔的统计值；
  - b) 动态监测数据的时域统计分析区间宜根据监测参数数据特征、分析时长、采样频率和预警需求确定；
  - c) 时间序列的集中趋势宜采用均值、众数或中位数反映；离散程度宜采用方差、标准差、极差或变异系数反映。
- 6.3.2 监测数据专项分析应符合下列规定：
  - a) 氯离子宜测得水体氯离子浓度及混凝土碳化深度，基于 Fick 定律建立扩散模型；
  - b) 风荷载一般取 10min 时间窗口为分析时长，采用矢量法求解平均风速、风向；
  - c) 车辆疲劳荷载谱可基于等效疲劳损伤累积和 Miner 准则统计，荷载校验系数可参照《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01—2015)中的方法进行计算；



- d) 地震监测数据分析应首先对加速度波形数据进行零基线和仪器频率校正，对校正的加速度记录波形数据进行一次、二次积分计算处理，形成速度时程和位移时程，并用校正加速度记录计算 5 个阻尼比值（0, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2）的反应谱和傅里叶谱；对长大桥梁结构需进行波特征值分析；
- e) 模态分析模态参数应采用回归分析方法剔除环境因素影响，可采用频域分解法、随机子空间法、机器学习方法进行模态参数识别，应识别结构自振频率、振型、模态阻尼比、模态质量等参数，获取的参数可作为结构有限元模型修正及损伤识别的参考数据；
- f) 疲劳分析宜采用 S-N 曲线、结构应力法进行分析，通过雨流计数法计算疲劳累积损伤指数；
- g) 趋势分析应结合监测数据自身趋势特征，宜通过线性回归法、多项式回归法、神经网络法进行分析；
- h) 相关性分析宜包含环境-响应、响应-响应之间的相关性分析，可采用 Pearson 相关系数法、Spearman 相关系数法、Kendall 相关系数法、机器学习方法进行分析；
- i) 对图像数据，宜通过机器学习与深度学习相结合的方式进行分析。机器学习通过事先设计特征，将其送入模型（如支持向量机、KNN 等）进行分析，特征选取宜从角点、纹理特征入手，获取图像高级特征，角点检测可使用 Harris 算法、Shi-Tomasi 算法和 FAST 算法；纹理分析可使用 HOG 特征提取算法、LBP 算法等；深度学习可进行图像数据的语义分割（将原始图像输入，转换为具有突出显示的感兴趣区域的掩模），语义分割模型可采用 U-Net、SegNet、DeepLab V3、DANet、CANet 等；
- j) 对视频数据应进行目标检测及跟踪分析。其中目标检测宜采用帧间差分法、背景差分法。帧间差分法利用前后帧图像差分后灰度插值判断是否有物体经过，背景差分法通过先对视频图像序列进行分析，生成背景参考图像，随后利用当前图像与背景图像进行差分，通过与所设定阈值进行判定实现运动物体检测；目标跟踪宜采用基于特征的目标跟踪方法和基于模型的目标跟踪方法。基于特征的目标跟踪方法应选取物体三维空间特征，基于模型的目标跟踪方法应根据先验知识建立待跟踪物体模型。

## 7 数据应用

### 7.1 一般规定

7.1.1 数据应用内容应包括但不限于：材料损伤状态分析、构件性能状态分析和结构性能状态分析。

7.1.2 宜通过数据预处理和分析结果，进行桥梁服役状态分析，分析内容包括：

- a) 材料损伤状态分析：混凝土材料结构裂缝、混凝土结构内部离子侵蚀、拉吊索断丝、钢筋及钢绞线腐蚀疲劳损伤；
- b) 构件性能状态分析：抗弯构件截面抗弯刚度、预应力损失、拉吊索索力、梁端纵向位移及影响、梁端转角及影响和钢结构疲劳寿命预测；
- c) 结构性能状态分析：多梁（肋）结构协同工作性能、结构整体刚度、横向连接构件性能、基于结构实际影响线识别的结构承载能力和寒区真实服役环境下桥梁结构性能。

7.1.3 数据应用应以监测数据预处理和分析的结果为基础，结合实际工程情况进行分析。

### 7.2 材料损伤状态分析

7.2.1 混凝土材料结构裂缝应根据 JTG/T 3310 中关于混凝土材料裂缝的规定，结合监测数据的预处理和分析的裂缝位置、裂缝宽度、裂缝数量和裂缝真实图像进行分析。

7.2.2 混凝土结构内部离子侵蚀宜利用 X-ray CT 断层扫描设备，获得混凝土内部微细观结构及分布规

律，结合监测数据的预处理和分析得到的混凝土氯离子侵蚀深度进行分析。

7.2.3 拉吊索断丝应根据 JTG/T H21 中关于拉吊索断丝的规定，结合监测数据的预处理和分析得到的拉吊索断丝真实图像进行分析。

7.2.4 钢筋及钢绞线腐蚀疲劳损伤应基于钢筋及钢绞线表面损伤形貌，结合腐蚀表面的形态学处理方法，根据实际情况进行分析。

### 7.3 构件性能状态分析

7.3.1 抗弯构件截面抗弯强度的分析中的中性轴高度应根据静态监测数据同时刻峰值点沿截面高度应变值线性回归确定。

7.3.2 预应力损失宜采用经验公式法或数值模拟法，基于不同服役年限的预应力混凝土梁构件有效预应力测试结果，根据实际情况进行分析。

7.3.3 拉吊索索力分析应根据 JTG/T H21 中关于拉吊索索力的规定，结合监测数据的预处理和分析结果进行分析，宜包括索力偏差率、拉吊索强度、拉吊索承载能力检算系数和区段索力分布规律。

7.3.4 梁端纵向位移和转角对关联构件内力分布的影响，宜结合监测数据的预处理和分析得到的梁端纵向位移和转角的绝对最大值，根据理论计算结果进行分析。

7.3.5 钢构件疲劳寿命预测应根据应力数据，采用雨流计数法确定应力疲劳谱，利用 S-N 曲线预测疲劳寿命进行分析。

### 7.4 结构性能状态分析

7.4.1 多梁（肋）结构协同工作性能分析宜包括横向分布规律和相邻梁结构响应的相关系数。

7.4.2 结构整体刚度宜利用数值模型，输入动态称重数据和响应数据，经过反演计算进行刚度修正及状态分析。

7.4.3 横向连接构件性能应考虑横向连接构件损伤对荷载横向分布的影响，根据桥梁监测数据预处理与分析结果进行分析。

7.4.4 结构实际影响线的识别应根据车辆载位、轴重和响应数据，通过全局优化识别确定，并采用模拟加载方式计算设计荷载下响应分析结构的承载能力。

7.4.5 寒区真实服役环境下桥梁结构性能应结合预应力混凝土梁构件退化数值模拟及桥梁监测数据预处理与分析结果，宜采用结构可靠度指标进行分析。