T/CECS G XXXX：2022

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路桥梁结构监测数据管理和应用技术规程

Technical specification for monitoring data management and application of highway bridge structure

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 协 会 标 准

公路桥梁结构监测数据管理和应用技术规程

Technical specification for monitoring data management and application of highway bridge structure

T/CECS G：XX-XX-2022

征求意见稿

主编单位：北京公科固桥技术有限公司

批准部门：中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会

实施日期：2022 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发‹2020 年第一批协会标准制订、修订计划›的通知》（建标协字[2020]14 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管理和应用技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

编写组在总结公路桥梁结构监测十余年来工程经验和相关科研成果的基础上，以完善和提升监测数据管理和应用技术为核心，完成了本规程的编写工作。

本规程分为 7 章，主要内容包括总则、术语、基本规定、系统存储、数据预处理、数据分析、数据应用。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

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

本规程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，请函告本规程日常管理组，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）或王润建（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： 北京工业大学

大连理工大学

中交路建交通科技有限公司

路安交科（北京）监测科技有限公司

北京中交弘建路桥技术有限公司

中铁大桥局集团第六工程有限公司

中车新型基础设施投资开发有限公司

无锡市市政设施建设工程有限公司

嘉兴市交通投资集团有限责任公司

河北省交通规划设计研究院有限公司

征求意见稿

主　　编：王润建

主要参编人员：

主　　审：任红伟

参与审查人员：徐　岳　　韩　冰　刘天成　赵栋琪　薛忠军　逯彦秋

王迎军　　李连友

参 加 人 员：

征求意见稿

目　次

1 总则 1

2 术语及定义 2

3 基本规定 4

4 数据存储 5

5 数据预处理 7

5.1 一般规定 7

5.2 数据预处理内容 8

5.3 数据预处理模式与措施 9

5.4 数据预处理方法 10

6 数据分析 12

6.1 一般规定 12

6.2 数据分析内容 12

6.3 数据分析方法 13

7 数据应用 16

7.1 一般规定 16

7.2 构件力学性能状态评价 16

7.3 结构整体力学性能状态评估 16

本规程用词用语说明 17

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范和指导公路桥梁结构监测数据存储、预处理、分析和应用等工作，提升监测数据的管理和应用水平，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路桥梁结构监测数据的管理和应用。

1.0.3 公路桥梁结构监测数据管理和应用应与桥梁的经常检查、定期检查与特殊检查相互补充、相互验证。

1.0.4 公路桥梁结构监测数据管理和应用除应执行本规程外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语及定义

2.0.1 结构化数据 structured data

能够用简短的数字、文字或统一的结构加以表示的数据， 或者说能用平面（二维） 行列表结构进行逻辑表达的数据。

2.0.2 半结构化数据 semi -structured data

具有结构性，但结构变化大，且难以用结构化数据的处理方法将其放进平面行列表格里的数据。

2.0.3 非结构化数据 unstructured data

数据结构不规则或不完整，没有预定义的数据模型，不能用数据库二维逻辑表来表现的数据。

2.0.4 差分备份 differential Backup

指每次备份的数据是相对于上一次全备份之后新增加的和修改过的数据。

2.0.5 静态数据 static effect data

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，也可采用从动态监测数据中提取的长期响应部分获取，如梁体长期挠度、温度响应引起的变形、墩台长期沉降、拱座或锚碇变位、静态应变等。

2.0.6 动态数据 dynamic data

包括动态激励与桥梁结构振动特性相关联的数据，如地震动、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。

2.0.7 准静态数据 quasi static data

动态数据中长期响应和振动响应以外的组分，主要指由车辆自重引起的作用响应成分、平均风作用响应成分等。

2.0.8 数据预处理 data preprocessing

指在进行数据分析前对监测的原始数据加工整理提取出有价值信息的过程。主要包括监测数据调理，缺失数据补齐，异常数据判断、剔除或纠正，动态数据滤波降噪，去趋势项，数据截取，基线校正，动态数据中可能包含的组分的分离提取等。

征求意见稿

2.0.9 自适应数据处理 adaptive data processing

根据处理数据特征自动调整处理方法、处理顺序、处理参数、边界条件或约束条件,使其与所处理数据的统计分布特征、结构特征相适应,以取得最佳的处理效果。

2.0.10 数据分析 data analysis

是指使用适当的统计分析方法对预处理后的监测数据进行分析、从中提取用于报警或结构状态评价的有用信息，并加以详细研究和概括总结的过程，包括基本统计分析和专项分析两个部分。

征求意见稿

3 基本规定

3.0.1 监测数据管理和应用应包括监测数据分类及编码规则、数据存储、数据预处理、数据分析与应用。

3.0.2 监测数据分类及编码规则，数据传输协议，数据共享模式等应符合现行《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037）的有关规定。

3.0.3 数据预处理和实时报警数据分析方法及参数应具有实时性、自适应性。

3.0.4 监测数据分析应针对预处理后的数据，挖掘其特征值、变化规律、不同类别数据特性等，以实现客观评价结构实际状态为目标。

3.0.5 监测数据应用应根据监测数据分析结果，可结合养护管理等系统的数据开展。

3.0.6 数据管理应贯穿监测系统全生命周期，坚持真实、准确、及时、可追溯的数据管理原则， 确保数据连续、可靠。

征求意见稿

4 数据存储

4.1 一般规定

1 应为单体桥梁监测数据提供独立逻辑存储空间。

2 应具备可弹性伸缩、高可用的分布式对象存储服务的能力。

3 应满足监测数据不同类型的服务使用需求，能为不同监测类型数据提供不同级别的存放策略。

4 应创建不同类型的字段，根据用途和需求变化对字段进行增加、删除和修改操作，并提供数据导入、导出和数据迁移功能。

4.2 存储方式

1 结构化数据统一存入数据库中，实时采集数据宜采用时序数据库或实时数据库。

2 半结构化数据转换成结构化数据统一存入数据库中。

3 非结构化数据采用文件形式存储至对象存储中，并将文件基本属性、存储路径等描述信息以结构化数据存入数据库中。

4.3 存储格式

1 原始数据文件存储宜采用二进制格式或文本格式，历史数据可转换为 csv 、txt、excel 等多种文件格式存入历史数据库。

2 应支持多种格式的内容数据存储。

3 同一条记录可容纳一个或多个内容数据。

4.4 存储周期

1 监测数据在线存储应满足原始数据存储不小于 12 个月，特征数据永久存储。

2 超过时限的数据可转存至离线存储介质上，如本地计算机、云磁盘、高效磁盘、对象存储等，并可在不同存储介质间转移。

4.5 存储备份

4.5.1 备份内容应符合下列规定：

1 应对数据库数据、数据库结构、数据库配置定义文件等进行备份。

2 应对数据采集、入库等过程的配置策略进行备份。

4.5.2 备份方式应符合下列规定：

应支持全量备份、增量备份和差分备份等。

征求意见稿

4.5.3 备份管理应符合下列规定：

1 对备份对象、备份介质、备份时间、备份数据保存时间和备份方式等策略进行管理。

2 支持对备份策略进行添加、删除、修改等操作。

3 支持对备份作业状态和备份设备状态的监控。

4.6 存储安全

1 数据存储介质的安全应符合现行《网络安全等级保护基本要求》（GB/T 22239）的有关规定。

2 保障存储数据不被非授权主体访问。

3 保障存储数据不被非法篡改或破坏。

4 保障存储数据使用时稳定可靠。

5 保障存储数据的安全访问，确认合法身份及访问授权。

征求意见稿

5 数据预处理

5.1 一般规定

5.1.1 数据预处理对象应包括静态数据和动态数据。

条文说明

静态数据包括环境温湿度、静态位移、静态应力、静态倾角等。动态数据分为动态响应和振动响应，动态响应包括动挠度、动应力、动态倾角等；振动响应包括振动加速度、振动速度、振动位移等。

5.1.2 数据预处理方式应根据监测数据的特性、数据分析需求和数据采集与传输模式等论证确定。

5.1.3 数据预处理功能应包括监测数据调理，异常数据判断、剔除或校正，数字滤波消噪，去趋势项等。

条文说明

数据调理包括动态时间规整、缺失时间段的数据补充、重复时间段数据辨识处理；缺失数据补齐需以一定时间段的监测数据为依据进行合理补齐，合理是指根据相邻时间段的数据特征确定缺失部分的最大可能值；异常数据主要是指阶跃信号、离群点，需进行判断、剔除或纠正处理；数字滤波降噪主要针对弱高频噪声的消除，在线可采用低通滤波方式进行消除，强噪声或其它干扰噪声需要离线采用小波滤波、VMD、EMD 进行消噪，必要时对干扰源分析消除，如果问题由硬件引起，必要时更换硬件；去趋势项可根据趋势特征分析，可采用数据拟合或基于稀疏矩阵算法的零相位差滤波方式去除长周期趋势项。

5.1.4 对影响监测系统报警的异常数据，应可在线自动判别，并可对数据异常发出警示。

条文说明

单指标峰值报警主要基于时域峰值、频域特征值等进行，异常数据（离群点、基线阶跃等）会影响峰值确定的准确性，因而应具有对关联数据进行在线异常判别和处理的功能。

5.1.5 预处理时间尺度的选择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。

条文说明

时间尺度是指数据处理的时间间隔，包括分析时间间隔、分析时段长度、分析数据重叠需求等，根据系统试运营期间采集的数据特征、分析需求，并兼顾系统稳定性确定。

征求意见稿

5.1.6 对无法在线自适应识别和消除，且不影响实时报警的异常数据，宜进行离线数据处理结果的接口设计。

5.2 数据预处理内容

5.2.1 静态数据预处理宜包括以下内容：

1 数据调理：缺失数据补齐、重复数据规整等。

2 数据阶跃处理：跳跃点自动判别、消除和规整。

3 离群点的自动判别和修复。

条文说明

静态数据常见异常主要包括数据阶跃、存在离群点等。数据阶跃处理，应区分仪器设备和结构实际突发损伤引起的数据阶跃，如有关联测点，应采用相关性分析进行确认；如无关联测点，可结合阶跃前后时间段数据进行识别处理。

5.2.2 动态响应数据预处理宜包括以下内容：

1 数据调理：缺失数据补齐、重复数据规整等。

2 消噪：消除信噪比较大的弱噪声干扰。

3 响应分离：分离提取车辆荷载响应、温度响应及长期响应。

4 非一致异点：异常值、离散群点、跳点等判别和修复。

条文说明

3 监测得到的桥梁结构响应是车辆荷载、温度荷载以及混凝土的收缩徐变等因素共同作用下的综合响应。将车辆荷载响应分离后，能实现车辆荷载超限报警；温度、长期响应按静态数据处理、分析和存储。

5.2.3 振动响应数据预处理宜包括以下内容：

1 数据调理：缺失数据补齐、重复数据规整等。

2 消噪：消除信噪比较大的弱噪声干扰。

3 低频（长周期）或脉冲干扰：消除趋势项。

条文说明

3 振动响应测试存在低频（长周期）或脉冲干扰、趋势项变化，需对该类数据进行预处理将其

征求意见稿

消除。

5.3 数据预处理模式与措施

5.3.1 数据预处理类别应包括数据缺失或重叠、数据阶跃、离群点、弱噪声干扰、无法消除强噪声、响应分离、低频（长周期）或脉冲干扰和其它难以识别与消除的数据缺陷等。

5.3.2 数据预处理模式和处理措施宜按表 5.3.2 进行。

表 5.3.2 数据预处理模式和措施

序号	类别	主要原因	处理模式	处理措施
1	数据缺失或重叠	系统断电、系统重启、通讯（网络）中断、端口拥塞、仪器设备失效等导致数据缺失及时间序列不连续，在进行数据打包上传过程中还可能出现重复数据包等问题	在线自动识别、纠正	予以标记，在分析时将其补齐或剔除
2	数据阶跃	监测系统或传感器受到干扰或故障所致	在线自动识别、判断及纠正	判断是否是故障还是结构发生突然损伤，如为故障、则进行数据平移
3	离群点	传感器或采集设备损坏；其它因素干扰，如雨天雨点打到风速仪上，引起的数据异常	在线自动识别、判断及纠正	消点、补点
4	弱噪声干扰	无法测得的弱环境激励的影响以及数据传输过程中不可避免的信号异常，例如由于系统电压不稳引起的测试数据的变化异常，环境电磁辐射源对系统的影响等	在线自动识别、纠正	滤波、降噪
5	无法消除强噪声	系统短路、传感器或采集通道损坏、强电磁干扰等。	在线自动识别	标记（在分析时将其剔除）
6	响应分离	监测得到的桥梁结构响应是车辆荷载、温度荷载以及混凝土的收缩徐变等因素共同作用下的综合响应	在线自动识别	定时自动分离
7	低频（长周期）或脉冲干扰	动态数据采集设备基本电平影响，其它因素引起的趋势性变化	在线自动识别、纠正	零相位差低通滤波、趋势项目、模式识别消除脉冲，必要时更换采集设备
8	其它难以识别与消除的数据缺陷	-	后期数据处理	综合利用多传感器信号，采用多种数据异常诊断方法进行剔除。

条文说明

缺失重叠异常数据仅适用于数据采集或传输控制设备自带时间标记的情形；对于仅依靠服务器时间标记的情况，无法对数据包时间标记的缺失进行识别。数据阶跃可能是传感器状态异常导致，影响监测系统实施预警准确度，是一种严重的数据异常。离群点的异常去除需根据数据类别采用不同的方式处理，静态监测数据可采用经典的数据异常判定方法，动态数据可采用离散群(outlier)理论进行处理。低频（长周期）或脉冲干扰的强噪声干扰一般无法采用数字滤波等方式消除，需要进行硬件的更换；其它难以识别与消除的数据缺陷的后期处理，可采用的方法包括：基于系统数学模型的诊断方法、基于系统输入输出信号处理的诊断方法、基于人工智能的诊断方法、模式识别诊断方法、定性模型诊断方法、基于灰色系统理论诊断方法、基于专家经验的诊断方法等。

征求意见稿

5.4 数据预处理方法

5.4.1 监测数据时间序列调理应符合下列规定：

1 监测数据存在时间序列不连续时，为形成恒定时间步长的数据序列，宜采用插值（线性、非线性）、补零、前值、后值等进行补齐，具体方法应根据监测数据特点、缺失特征以及数据分析需求等确定。

2 监测数据存在时间重复时，宜根据数据特征分类处理；时间出现多次，对应数据相同时，数据只保留一次；具有相同时间，数据不同时，视为缺失。

5.4.2 数据阶跃检测及消除应符合下列规定：

1 数据阶跃检测，对静态监测数据直接进行处理，对动态监测数据则需要在提取的基线数据基础上进行处理。

2 数据阶跃判别时间尺度，宜根据采样频率及数据特点确定，不少于 10 个点位。

3 数据阶跃点位宜采用基于幅值能量准则、詹克斯自然中断算法等进行判定。

4 根据阶跃点位对监测数据进行分割，采用基于形态识别方法提取基线，确定阶跃差值，后续数据减去差值实现阶跃消除。

5.4.3 离群点的判定和处理应符合下列规定：

1 监测数据根据统计值的合理区间范围进行判定。

2 监测数据近似服从正态分布时，宜采用拉伊特准则、Z 分数法进行判定。

3 监测数据不服从正态分布时，宜采用箱型图法、单变量控制图法等进行判定。

4 连续采样数据的离群点，宜采用 Hampel 滤波进行判定。

5 当监测数据相关时，宜采用相关性分析进行判定。

6 长时间监测数据，宜采用机器学习技术进行判定。

7 直接删除离群点时，宜采用整条删除和成对删除的方法，并对直接删除造成的数据特征影响进行评价。

8 当把离群点视为缺失值时，利用现有数据，填补异常值。

条文说明

6 机器学习算法包括基于长短记忆网络、基于卷积神经网络等，但应选择合理的数据长度，样

征求意见稿

本点的选取应可反映监测数据变化的长期特征。

8 当数据的样本量很小，可用前后两个观测值的平均值来修正该异常值；当两个变量相关时，可用与其相关的完整数据的函数来平滑，进行回归插补。

5.4.4 噪声数据的去除应符合下列规定：

1 噪声数据去除宜采用频域变换降噪。

2 噪声数据呈强非平稳，用频域变换难以将信号高频部分与噪声引起的高频干扰区分时，宜采用小波变换降噪。

条文说明

1 频域变换降噪方法包括傅里叶变换、高频滤波器、滑动平均等。

5.4.5 车辆荷载响应及其基线提取应符合下列规定：

1 车辆荷载响应及其基线在线提取方法应具有自适应性、实时性和高效性。

2 车辆荷载响应的提取宜采用定向中值滤波确定分解参数，基线提取宜采用形态自识别进行。

条文说明

2 车辆荷载作用下桥梁结构响应是一种非线性非平稳的信号。用经典的滤波分解方法无法进行车辆荷载响应和基线成分提取，小波分解虽可进行提取，但需要对小波变换尺度、分解阈值进行设定，无法实时调整分解尺度和阈值，需采用形态识别理论进行自动提取。

5.4.6 低频干扰、脉冲干扰及趋势项处理应符合下列规定：

1 对非硬件引起的低频干扰、脉冲干扰等，宜采用高通滤波的方法进行处理，滤波器的选取应避免相位偏移。

2 监测数据特征分析时，判定为硬件性能引起的趋势，宜采用最小二乘法进行线性、多项式等趋势项的消除。

3 离线分析时，宜采用平滑先验、小波分解、经验模式分解、变分模式分解等方法进行趋势项的消除。

征求意见稿

6 数据分析

6.1 一般规定

6.1.1 数据分析应包括基本统计分析和专项分析。

6.1.2 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。

6.1.3 数据分析应支撑监测应用，宜采用在线实时分析和离线分析的策略。

6.2 数据分析内容

6.2.1 基本统计分析应包括以下内容：

1 时域统计分析：平均值、峰值、极值、标准差、峰峰值、有效值等。

2 频域统计分析：幅值谱、平均功率谱、时频谱、短时能量谱等。

3 时间序列特征统计分析：均值、众数、中位数、方差、标准差、极差或变异系数等。

6.2.2 专项分析应包括以下内容：

1 环境温度：最高温度、最低温度、平均温度、最大温差等。

2 环境湿度：最大值、平均值和超限持续时间等。

3 构件温度：温度最大值、最小值、最大梯度和年极值等。

4 风荷载：平均风速、风向和风玫瑰图、平均分压和均方根值。

5 车辆荷载：车流量、轴重、车重，标准车当量数的统计分布，超载车数量、车重、轴重和时间，车辆疲劳荷载谱和荷载校验系数等。

6 地震：桥址处加速度的时域统计、反应谱等。

7 车辆荷载作用响应分离：车辆自重的准静态响应、车辆过桥振动响应等。

8 温度响应提取：提取日温差、年温差响应等。

9 相关性分析：作用与作用响应、作用响应之间互相关分析，作用响应自相关分析等。

10 趋势分析：构件变形趋势、构件性能退化、基础变位趋势、预应力有效应力变化趋势等。

11 疲劳分析：钢箱梁、拉索疲劳累计损伤。

6.2.3 整体分析应包括以下内容：

1 模态分析：结构的频率、振型和阻尼比等。

2 协同工作性能分析：主要承重构件共同承受荷载的性能。

条文说明

征求意见稿

2 协同工作性能分析的对象一般是指装配式梁（板）桥的各主梁、拱式桥的各拱片、索支撑结构的各拉吊索；共同承受荷载的性能主要是指受力和协调变形与理论分析的一致性。

6.3 数据分析方法

6.3.1 监测数据的基本统计分析应符合下列规定：

1 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，按小时、日、季度、年为单位进行分析。

2 动态监测数据的时域统计分析区间和分析频率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。

3 监测数据频域分析区间需满足频率分辨率不小于 0.01Hz，区间重叠率不小于 1/2；宜按照长期平均功率谱的模式进行分析。

4 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。

条文说明

2 分析区间和分析频率主要由桥梁结构形式、荷载持续区间引起的响应特征等因素确定。如：监测桥梁跨径 40m 的简支梁桥的动态挠度，假定重车车速为 60km/h，动态挠度的最大响应区间长度为 2.39s，分析区间宜取 3 倍的响应区间长度；分析频率综合考虑测点数量、计算处理能力，采用可实现的最小值确定。

6.3.2 监测数据的专项分析应符合下列规定：

1 温度场和湿度场宜选取代表性区域和点位，确定等温线和湿度等值线，将监测数据通过图谱形式展示；进行温度分析时借助非线性最小二乘估计、假设检验等数学方法，分析结构不同测点的温度随时间的变化规律，建立各测点之间温差的概率分布模型，得到结构横向和竖向正温差和负温差的标准值，并进一步确定结构的温差模式。

2 风荷载分析时长一般取 10min，建立桥址静力参数和脉动风特性参数的概率分布模型，建立桥梁全寿命期风场模型。

3 车辆荷载宜按小时、日、周、季度（月）、年为单位进行分析，建立标准车当量数、车重、车间距、车重车速联合分布分析的概率分布模型。

4 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行波特征分析。

5 车辆荷载作用响应分离宜基于稀疏表示准静态成分的估计，采用零相位差数值滤波方法进行。

征求意见稿

6 温度响应提取宜根据温度作用响应的缓变特征，采用机器学习算法进行分析，如：最小二乘-支持向量机进行分段线性逼近，提取温度作用响应；对分段数据采用样条曲线拟合，得到给定置信度下的温度作用响应分析结果。

7 相关性分析宜包含自相关分析和互相关分析，自相关分析根据应用需求，可采用一阶和二阶进行；两个单变量监测数据的互相关性应采用皮尔森相关系数进行度量；两个多变量监测数据的互相关性应采用典型相关分析等方法进行度量。

8 趋势分析应根据监测数据特征采用线性回归、多项式回归和指数函数回归等进行分析；对趋势特征不明显的监测数据可采用神经网络等方法进行分析。

9 疲劳分析应采用 S-N 曲线、名义应力法、热点应力法、缺口应力法等进行分析，应力响应循环次数宜采用雨流计数法计算。

条文说明

2 结构工程中阵风持续时间一般取 3s，由此在工程实践中风速、风向、脉动风速、脉动风速谱分析时长多按 10min 计算。

6.3.3 监测数据的整体分析应符合下列规定：

1 模态分析宜采用时域识别，也可采用频域识别或时频域结合识别。时域识别主要方法有时序分析法、Ibrahim 时域法、随机子空间、特征系统实现法等；频域识别主要方法有峰值拾取法、频域分解法等；时频域识别主要方法有小波变换、希尔伯特－黄变换(HHT)、变分模态分解(VMD)等。

2 协同工作性能分析宜采用构件间关键截面相对变形、构件内力的分布特征进行度量，相对变形的计算采用构件间变形差与变形之和比值的绝对值来表征；构件内力分布可采用考虑结构实际状态的有限元分析结果进行比对分析。

条文说明

1 时域参数法的主要优点是可以只使用实测响应信号，无需傅里叶变换，因而可以利用时域方法对连续工作的结构进行“在线”参数识别，这种在运营状态下识别的参数真正反映了结构的实际动态特性。由于时域法参数识别技术只需要响应的时域信号，从而减少了激励设备，大大节省了测试时间与费用，这些都是频域法所不具有的优点。但同时由于不使用平均技术，因而分析信号中包含噪声干扰，所识别的模态中除系统模态外，还包含噪声模态。如何区分和剔除噪声模态，一直是时域法中的重要课题。时域识别方法可以克服频域法的一些缺陷，特别是对大型复杂结构受到风、浪及大地脉动的作用，它们在工作中承受的荷载很难测量，但响应信号很容易测得，直接利用响应的时域信号进行参数识别无疑是很有意义的。时域法是将振动信号直接进行识别，最基本、最常用的有 Ibrahim 时域法、最小二乘复指数法(LSCE 法)、多参考点复指数法(PRCE 法)、特征系统实现法(ERA 法)、ARMA 时序分析法、随机子空间识别法(SSI)。

征求意见稿

频域识别方法。可分为单模态识别法、多模态识别法、分区模态识别法和频域总体识别法。对小阻尼且各阶模态耦合较小的系统，用单模态识别法可达到满意的识别精度。而对模态耦合较大的系统，应用多模态识别法。频域法的最大优点是利用频域平均技术，最大限度地抑制了噪声影响，使模态定阶问题容易解决，但也存在若干不足。

时频域识别方法。实际工程中的很多环境激励是非平稳的随机过程，处理这种非平稳的时变信号需要能同时在时频域进行局部分析的方法和技术。联合时频域方法既有频域法的优点又有时域法的优点，既利用了直观的频率分布信息，又利用了包含丰富结构信息的时程响应数据。联合时频域方法将结构响应在时频两域展开，有利于识别非线性响应结构的特征，是一种很有前途的动力学系统辨识方法。

征求意见稿

7 数据应用

7.1 一般规定

7.1.1 监测数据应用除应符合现行《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037）的有关规定，尚应包括对桥梁构件和整体力学性能状态的评价。

7.1.2 构件力学性能状态评价宜包括抗弯构件截面抗弯刚度、拉吊索结构索力、梁端纵向位移及影响、钢结构疲劳寿命预测等。

7.1.3 桥梁整体力学性能状态评价宜包括多梁（肋）结构协同工作性能、结构整体刚度、独柱墩桥梁倾覆风险、基于结构实际影响线识别的结构承载能力评价。

7.2 构件力学性能状态评价

7.2.1 抗弯构件中性轴高度应根据监测数据准静态数据同时刻峰值点沿截面高度应变值线性回归确定，并结合理论分析进行截面抗弯刚度的评价。

7.2.2 索力评价应包括索力安全系数和区段索力分布规律的评价。

7.2.3 宜根据梁端纵向位移绝对最大值，并结合理论计算结果分析其对关联构件内力分布的影响。

7.2.4 构件疲劳寿命预测应以应力数据，采用雨流计数法确定应力疲劳普，并根据 S-N 曲线预测疲劳寿命进行评价。

7.3 结构整体力学性能状态评估

7.3.1 多梁（肋）结构协同工作性能评价宜包括横向分布规律和相邻梁结构响应的相关系数评价。

7.3.2 结构整体刚度宜将动态称重数据和响应数据输入有限元模型，经过反演计算进行刚度修正及评价。

7.3.3 独柱墩桥梁宜根据上部结构控制截面变形差与理论值比，并结合支座脱压监测数据对进行开展倾覆风险性评价。

7.3.4 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评价结构的承载能力。

征求意见稿

本规程用词用语说明

1　本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

1)　表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2)　表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3)　表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4)　表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2　引用标准的用语采用下列写法：

1)　在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

2）　在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。

3）　当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。

征求意见稿