UDC

中国土木工程学会标准

P T/CCES \*\*－202X

桥梁承载能力快速测试与评估技术规程

Technical regulation on rapid testing and evaluation of

load-carrying capacity of highway bridges

（征求意见稿）

2023–XX–XX 发布 2023–XX–XX 实施

中国土木工程学会 发布

**中国土木工程学会标准**

**桥梁承载能力快速测试与评估技术规程**

Technical regulation on rapid testing and evaluation of

load-carrying capacity of highway bridges

**T/CCES \*\*－2023**

批准单位：中国土木工程学会

施行日期：2023年X月X日

中国建筑工业出版社

2023 北 京

前 言

本规程是根据中国土木工程学会《关于发布<2021年中国土木工程学会标准计划>的通知》（学标委〔2021〕25号）的要求，由大连理工大学会同有关单位编制完成。

在本规程编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了桥梁承载能力快速测试与评估的经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本规程的主要技术内容是：总则，术语、符号和参考标准，基本规定，测试设备与技术要求，桥梁影响线快速测试流程，桥梁影响线识别，桥梁承载能力快速评估，报告编制与资料整理。

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这些专利的责任。

本规程由中国土木工程学会学术与标准工作委员会负责管理，由大连理工大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送大连理工大学（地址：辽宁省大连市甘井子区凌工路2号，大连理工大学土木工程学院；邮政编码：116023；电子邮箱：\*\*\*）。

本规程主编单位： 大连理工大学

本规程参编单位： \*\*\*

本规程主要起草人员： \*\*\*

本规程主要审查人员： XXXX

签 发： （此处不需要编制组填写）

 目 次

[1 总 则 1](#_Toc112160111)

[2 术语、符号和参考标准 2](#_Toc112160112)

[2.1 术 语 2](#_Toc112160113)

[2.2 符 号 2](#_Toc112160114)

[2.3 参考标准 4](#_Toc112160115)

[3 基本规定 6](#_Toc112160116)

[4 测试设备与技术要求 7](#_Toc112160117)

[4.1 一般规定 7](#_Toc112160118)

[4.2 结构响应测试设备 7](#_Toc112160119)

[4.3 测试加载车及定位设备 8](#_Toc112160120)

[5 桥梁影响线快速测试流程 9](#_Toc112160121)

[5.1 一般规定 9](#_Toc112160122)

[5.2 加载方案确定 9](#_Toc112160124)

[5.3 控制截面选取与测点布设 10](#_Toc112160125)

[5.4 测试过程控制与记录 11](#_Toc112160126)

[6 桥梁影响线识别 12](#_Toc112160127)

[6.1 一般规定 12](#_Toc112160128)

[6.2 数据预处理 12](#_Toc112160129)

[6.3 影响线反演 13](#_Toc112160130)

[6.4 反演结果校准 14](#_Toc112160131)

[7 桥梁承载能力快速评估 16](#_Toc112160132)

[7.1 一般规定 16](#_Toc112160128)

[7.2 承载能力快速评估分项检算系数 16](#_Toc112160133)

[7.3 桥梁结构检算内容 18](#_Toc112160134)

[7.4 正常使用极限状态评估 18](#_Toc112160135)

[7.5 承载能力极限状态评估 19](#_Toc112160136)

[8 报告编制与资料整理 22](#_Toc112160137)

[8.1 一般规定 22](#_Toc112160138)

[8.2 测试与评估报告编制 22](#_Toc112160139)

[8.3 资料整理归档 23](#_Toc112160140)

[附录A 桥梁静力参数测试设备技术要求 24](#_Toc112160141)

[附录B 常用的桥梁影响线反演求解方法 25](#_Toc112160142)

[B.1 最小二乘法 25](#_Toc112160143)

[B.2 正则化法 25](#_Toc112160144)

[B.3 曲线拟合法 26](#_Toc112160145)

[附录C 桥梁影响线识别流程图 28](#_Toc112160146)

[附录D 报告格式 29](#_Toc112160147)

[本规程用词说明 32](#_Toc112160148)

[制 订 说 明 34](#_Toc112160149)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc435778383)

[2 Terms, Symbols and Reference Standards 2](#_Toc435778384)

[2.1 Terms 2](#_Toc435778385)

[2.2 Symbols 2](#_Toc435778386)

[2.3 Reference Standards 4](#_Toc435778386)

[3 Basic Requirements 6](#_Toc435778388)

[4 Testing Equipments and Technical Requirements 7](#_Toc435778389)

[4.1 General Requirements 7](#_Toc435778390)

[4.2 Structural Responses Testing Equipments 7](#_Toc435778391)

[4.3 Test truck and Positioning Equipments 8](#_Toc435778392)

[5 Bridge Influence Line Rapid Testing Procedure 9](#_Toc435778393)

[5.1 General Requirements 9](#_Toc435778394)

[5.2 Determination of Loading Scheme 9](#_Toc435778396)

5.3 Control Sections and Sensor Placement 10

5.4 Control and Recording of Testing Procedure 11

[6 Bridge Influence Line Identification 12](#_Toc435778397)

6.1 General Requirements 12

6.2 Data Preprocessing 12

6.3 Influence Line Extraction 13

6.4 Extraction Results Calibration 14

[7 Bridge Load Carrying-capacity Rapid Evluation 16](#_Toc435778398)

[7.1 General Requirements 16](#_Toc435778399)

[7.2 Comprehensive Modification Coefficient for Bridge Load Carrying-capacity Rapid Evaluation 16](#_Toc435778400)

[7.3 Bridge Structural Checking Contents 18](#_Toc435778401)

[7.4 Serviceablity Limit State Evaluation 18](#_Toc435778402)

7.5 Ultimate Limit State Evaluation 19

[8 Report and Data Archiving 22](#_Toc435778398)

[8.1 General Requirements 22](#_Toc435778399)

[8.2 Testing and Evaluation Report 22](#_Toc435778400)

[8.3 Data Archiving 23](#_Toc435778401)

[Appendix A Testing Equipments and Technical Requirements for Bridge Static Parameters 24](#_Toc104301582)

[Appendix B Commonly Methods for Bridge Influence Line Extraction](#_Toc104301583) 25

[B.1 Least Square Method](#_Toc104301584) 25

[B.2 Regularization Method](#_Toc104301585) 25

[B.3 Curve Fitting Method 26](#_Toc104301587)

[Appendix C Flowchart of Bridge Influence Line Identification 28](#_Toc104301588)

[Appendix D Report Format 29](#_Toc104301588)

[Explanation for Wording in This Specification 32](#_Toc435778404)

Addition: Explanation of Provisions 34

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范在用公路桥梁承载能力快速测试与评估工作，提高桥梁承载能力测试与评估效率，做到安全可靠、技术先进、操作方便和经济合理，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于除钢-混凝土组（混）合桥梁外的在用公路桥梁承载能力快速测试与评估。

**1.0.3** 在用公路桥梁应按正常使用和承载能力两类极限状态进行承载能力评估。

**1.0.4** 公路桥梁承载能力快速测试与评估时，除应执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**2 术语、符号和参考标准**

**2.1 术 语**

**2.1.1** 承载能力快速测试 rapid testing of load-carrying capacity

以单辆加载车移动加载代替重车车队静态加载，对桥梁的承载能力进行快速检测的过程。

**2.1.2** 测试加载车 test truck

配备定位系统，且经过轴载称重和轴距测量的配重卡车。

**2.1.3** 桥梁影响线 bridge influence line

当单位集中荷载沿桥梁主梁顺桥向直线移动时，表示某测点响应变化规律的曲线。

**2.1.4** 桥梁影响系数 influence coefficient

桥梁影响线上任意荷载位置对应的响应值。

**2.1.5** 桥梁影响线识别 bridge influence line identification

利用桥梁动力响应信息推算影响线的过程。

**2.1.6** 虚拟荷载 virtual load

用于确定桥梁检算系数而施加在影响线上的车辆荷载。

**2.1.7** 虚拟加载效率 virtual load efficiency

虚拟荷载产生的结构响应与相应设计控制荷载下结构响应的比值。

**2.2 符 号**

|  |  |
| --- | --- |
|  | ——结构的几何尺寸； |
|  | ——构件混凝土几何参数值； |
|  | ——构件钢筋几何参数； |
|   | ——索的计算面积； |
|  | ——测试加载车第*i*轴轴重（车辆的前轴为第1轴）； |
|  | ——测试加载车信息矩阵中各列与间零元素数量； |
|  | ——响应点间距； |
|  | ——测试加载车的前后轴距； |
|  | ——测试加载车第*i*轴与前轴轴距（车辆的前轴为第1轴，）； |
|  | ——识别影响线的整体相对误差； |
|  | ——识别影响线的峰值相对误差； |
|  | ——材料强度设计值； |
|  | ——计入活载影响修正系数的荷载变形计算值； |
|  | ——变形限值； |
|  | ——容许变形值； |
|  | ——待测试桥梁的总长度； |
| **L** | ——测试加载车信息矩阵； |
|  | ——虚拟荷载总数； |
|  | ——测试加载车信息矩阵行数； |
|  | ——虚拟荷载中的第*i*个集中荷载； |
|  | ——测试加载车信息矩阵列数； |
|  | ——桥梁有效响应时程； |
|  | ——有效时间段内传感器采集的原始响应时程； |
|  | ——残余量修正前的桥梁位移（或应变）响应； |
|  | ——残余量修正后的桥梁位移（或应变）响应； |
| **R** | ——桥梁响应向量； |
|  | ——荷载效应函数； |
|  | ——控制荷载产生的同一加载控制截面内力、应力或位移的最不利效应计算值； |
|  | ——测试加载车下桥后，无车状态下桥梁响应的稳定均值。 |
|  | ——桥梁残余位移（或应变）响应； |
|  | ——测试过程中，加载控制截面内力、应力或位移的最大计算效应值； |
|  | ——测试加载车上桥前，无车状态下桥梁响应的稳定均值； |
|  | ——计入活载影响修正系数的计算索力； |
|  | ——测试加载车前轴与桥梁基准点的纵向相对距离； |
|  | ——经过反演得到影响线的峰值或零点位置； |
|  | ——真实影响线的峰值或零点位置，宜通过有限元模型确定； |
|  | ——承载能力快速检算系数； |
|  | ——结构的重要性系数； |
|  | ——计入活载影响修正系数的短期荷载下裂缝宽度计算值； |
|  | ——裂缝宽度限值； |
|  | ——计入活载影响修正系数的截面应力计算值； |
|  | ——计入活载影响修正系数的荷载应力计算值； |
|  | ——应力限值； |
|  | ——容许应力值； |
|  | ——结构虚拟加载校验系数； |
|  | ——测试荷载效率； |
|  | ——按《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）第4.3.2条取用的冲击系数值； |
|  | ——配筋混凝土结构的截面折减系数； |
|  | ——承载能力恶化系数； |
|  | ——活载修正系数； |
|  | ——钢筋的截面折减系数； |
|  | ——校准后的影响线函数； |
|  | ——桥梁结构响应在集中荷载处的影响系数； |
|  | ——待识别影响线中影响系数向量。 |

**2.3 参考标准**

**1** 《检测和校准实验室能力的通用要求》GB/T 27025

**2** 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60

**3** 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362

**4** 《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG／T J21

**5** 《公路桥梁荷载试验规程》JTG∕T J21－01

**3 基本规定**

**3.0.1** 开展承载能力快速测试与评估的桥梁宜符合下列条件：

**1** 单跨跨径小于40 m或多孔跨径总长小于100 m的中小跨径桥梁；

**2** 技术状况等级为三类及以上的桥梁。

**3.0.2** 桥梁承载能力快速测试与评估应包括下列工作内容：

**1** 桥梁影响线快速测试；

**2** 桥梁影响线识别；

**3** 桥梁承载能力快速评估。

**3.0.3** 桥梁承载力快速评估应按照以下流程依次进行：

**1** 根据运营资料调查和桥梁表观检查，掌握桥梁的技术状况、病害分布及成因、使用状况和养护维修记录信息，确定检算所需的结构技术参数；

**2** 进行桥梁缺损状况检查评估、材质状况与状态参数检测评定和实际运营荷载调查，确定承载力恶化系数、截面折减系数和活载修正系数；

**3** 进行影响线快速测试与识别；

**4** 对识别出的影响线进行虚拟加载，评估桥梁的承载能力极限状态和正常使用极限状态。

**3.0.4** 完成桥梁承载能力快速测试和评估后，应撰写测试与评估报告。

# 4 测试设备与技术要求

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 测试设备应由结构响应测试设备、测试加载车及定位设备组成。

**4.1.2** 结构响应测试设备和定位设备的选型应满足下列要求：

**1** 同一次测试宜选用同种类型或规格的设备；

**2** 设备的精度、量程和采样频率范围应满足承载能力评估的技术需求；

**3** 设备应具备良好的稳定性、耐久性和抗干扰性；

**4** 设备应满足桥址环境、机械环境和电磁环境的适应性要求。

**4.1.3** 结构响应测试设备和定位设备的使用应符合以下规定：

**1** 结构响应测试前应由专业人员对设备进行校准；

**2** 结构响应测试时应确保设备的放置稳定可靠；

**3** 结构响应测试时应对设备采取免受环境干扰的措施；

**4** 当设备遇到超量程、输出可疑结果或超出测试限值时，应暂停使用。

**4.1.4** 测试加载车的选型应满足下列要求：

**1** 测试加载车宜选用三轴载重车辆；

**2** 当桥梁承载能力低于汽-20或其对应的荷载标准时，可采用两轴载重车辆。

**4.2 结构响应测试设备**

**4.2.1** 变位测试设备应符合下列规定：

**1** 变位测试设备宜选用光电（声）式或机械式，可选用卫星定位式传感设备；

**2** 变位测试设备的选型应满足本规程附录A中表A. 0. 1的技术要求。

**4.2.2** 应变测试设备应符合下列规定：

**1** 应变测试设备宜选用电阻式或光栅式，可选用图像式传感设备；

**2** 应变测试设备的选型应满足本规程附录A中表A. 0. 2的技术要求。

**4.2.3** 数据采集设备应符合下列规定：

**1** 设备应能保证响应采集的质量要求；

**2** 设备应具有自检功能；

**3** 设备宜采用开放的数据压缩、编码与加密协议；

**4** 设备宜具有数据备份和恢复功能；

**5** 设备宜具有防水、防尘和防冲击保护。

**4.2.4** 数据传输设备应符合下列规定：

**1** 当采用无线传输方式时，设备应具备数据断点续传功能；

**2** 当采用有线传输方式时，设备应采用电阻值相同的数据线缆。

**4.2.5** 数据解调与分析设备应符合下列规定：

**1** 设备应具有分通道数据截取、数据定位处理、数据导出和导入功能；

**2** 设备应具有在线和离线显示，以及分析多通道动态数据的功能；

**3** 设备应具有断电保护功能，宜具有时钟同步功能。

**4.3 测试加载车及定位设备**

**4.3.1** 测试加载车的选型应符合下列规定：

**1** 测试加载车应满足快速测试荷载效率的要求；

**2** 测试加载车的选型宜满足本规程附录A中表A. 0. 3的技术要求。

**4.3.2** 测试加载车定位设备的选型应符合下列规定：

**1** 定位设备宜采用机械拖轮式设备，可选用全球导航卫星系统（GNSS）；

**2** 定位设备的选型宜满足本规程附录A中表A. 0. 4的技术要求。

**5 桥梁影响线快速测试流程**

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 桥梁影响线快速测试应包括加载车和桥梁响应测试，具体应包括下列内容：

**1** 加载车测试应包括车辆信息、行驶速度和实时位置；

**2**  桥梁响应测试应包括下列内容：

**1**）位移测试应包括控制截面处各个测点的竖向变位（挠度），宜包括纵向和横向水平变位；

**2**）应变测试应包括控制截面处各个测点的拉应变和压应变；

**3**）测试期间应观测结构上既有裂缝的变化、结构残余响应和异常振动。

**5.1.2** 桥梁影响线快速测试宜按下列流程进行：

**1** 加载方案确定；

**2** 控制截面选取与测点布设；

**3** 测试过程控制与记录。

**5.1.3** 桥梁影响线快速测试应满足以下条件：

**1** 测试应在无运营车辆干扰时进行；

**2** 测试宜采用单辆测试加载车进行加载。

**5.2** **加载方案确定**

**5.2.1** 测试加载车的车辆信息应按下列步骤进行确定：

**1** 测试加载车的车重不得超过桥梁限载吨位且应符合《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）第4.3.1条的规定，轴重应符合本规程表A. 0. 3的规定；

**2** 测试前应采用称重台或便携式轮重秤对测试加载车进行称重，并应记录车辆编号、车重、轴重、轴距及轮重，各项数据测试次数的设定不宜少于2次；

**3** 测试荷载效率$η\_{q}$宜介于0.40 ~ 0.70之间，不得超过0.70，应按式（5.3.1）计算确定：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.3.1） |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | —— | 测试过程中，加载控制截面内力、应力或位移的最大计算效应值； |
|  | —— | 控制荷载产生的同一加载控制截面内力、应力或位移的最不利效应计算值； |
|  | —— | 按《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）第4.3.2条取用的冲击系数值。 |

**5.2.2** 测试加载车应采用匀速过桥方案，宜选用怠速过桥，车速设定不宜超过10 km/h。

**5.2.3** 行车路线方案应按下列顺序确定：

**1** 测试加载车的行车起点宜处于前轴距待测桥梁支点5 m外，终点宜处于后轴距待测桥梁结束支点5 m外的位置；

**2** 测试时宜采用分车道加载方式，当测试条件限制时，可只采取最不利工况车道加载方式，最不利工况的车道可通过桥梁结构形式和偏载方向计算确定；

**3** 各车道影响线测试次数的设定不宜少于2次。

**5.3 控制截面选取与测点布设**

**5.3.1** 快速测试的控制截面应按桥梁最不利受力和代表性原则综合确定，宜符合表5.3.1的规定。

**表5.3.1 不同结构形式桥梁的控制截面**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构形式 | 应变测试 | 位移测试 |
| 简支梁桥 | 跨中最大正弯矩截面，支点最大剪力截面 | 跨中 |
| 连续梁桥 | 中跨和边跨最大正弯矩截面，支点最大负弯矩截面 | 中跨跨中，边跨最大正弯矩截面 |
| 悬臂梁桥 | 支点最大负弯矩截面，锚固跨最大正弯矩截面 | 悬臂端，锚固跨跨中 |
| T形刚构 | 墩顶最大负弯矩截面，锚固跨最大正弯矩截面 | 悬臂端，锚固跨跨中，挂梁跨中 |
| 连续刚构 | 中跨和边跨最大正弯矩截面，墩顶最大负弯矩截面 | 中跨跨中，边跨最大正弯矩截面 |
| 刚架桥 | 中跨跨中最大正弯矩截面，固结节点最大负弯矩截面 | 中跨跨中 |
| 无铰拱桥 | 拱脚最大正、负弯矩截面 | 拱顶 |

 注：1. 两铰及三铰拱桥的最大正、负弯矩截面通过计算确定;

 2. 桁架桥的控制截面按表中的结构形式选定，并通过计算确定该控制截面需布设控制测点和测试

 测点的杆件。

**5.3.2**  主梁应变测点布设应符合下列规定：

**1** 测点布设应体现左右对称、上下兼顾、重点突出的原则，并应能够反映截面高度方向的应变分布特征，且测点数量不宜少于2组；

**2** 测点布设应符合《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01）第5.5.1条的规定；

**3** 当结构对称时，可只进行一半横截面的测点布设，测点数量不宜少于2个。

**5.3.3** 主梁位移测点布设应符合下列规定：

**1** 测点的横向布设应充分反映桥梁横向挠度分布特征，其中对于整体式截面不宜少于3个，对于多梁式（分离式）截面宜逐片梁布设；

**2** 测点的横向布设应符合《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01）第5.5.4条的规定；

**3** 测点的纵向布设宜选择各工况荷载作用下挠度曲线的峰值位置处。

**5.4 测试过程控制与记录**

**5.4.1** 测试过程控制与记录应符合下列要求：

**1** 测试前应对天气情况、设备编号和工作状态、测试时间、桥梁既有裂缝信息、记录人和复核人信息做好记录；

**2** 桥梁响应测试设备和加载车定位设备安装完毕后应进行调试，并进行不少于10 min的稳定性观察；

**3** 测试时应对桥梁新裂缝的长度、宽度及既有裂缝发展状况做好记录，测试采样时长应保证测试加载车从上桥到下桥整个过程桥梁响应数据的完整性；

**4** 测试后应在现场对主要的测试数据进行检查和分析，以确保测试数据的完整性与合理性。

**5.4.2** 在桥梁加载和卸载的过程中，应采取确保非控制截面内力或位移不超过控制荷载作用下的最不利值的措施。

# 6 桥梁影响线识别

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 影响线识别工作应包括数据预处理、影响线反演和反演结果校准，识别流程宜按照本规程附录C执行。

**6.1.2** 影响线识别所需数据应包括测试加载车的各轴轴重、轴距、实时位置和各个测点的桥梁响应信息。

**6.1.3** 对于多车道桥梁影响线，应利用各个车道的测试数据进行分别识别。

**6.2 数据预处理**

**6.2.1** 数据预处理工作应包括测试加载车和桥梁响应的数据预处理两部分。

**6.2.2** 测试加载车的数据预处理应符合下列规定：

**1** 测试加载车两次轴重测量结果相对误差若不超过5%，应取两次结果均值作为最终结果；若超过5%，应重新测量直至满足要求；

**2** 测试加载车相邻轴距之和与前后轴轴距的相对误差若不超过5%，应取该次测量结果作为最终结果；若超过5%，应重新测量直至满足要求；

**3** 测试加载车的位置数据应转换至桥梁的一端支点为原点，顺桥向为正方向的坐标系中。

**6.2.3** 桥梁响应的数据预处理宜包括有效数据提取、时空坐标转换和残余量修正。

**1** 有效数据提取应按照下列步骤进行：

 **1**）数据有效时间段应选取测试加载车前轴上桥与后轴下桥的之间的时间；

 **2**）用于影响线识别的桥梁有效响应时程应按式（6.2.3-1）进行提取：

  （6.2.3-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——桥梁有效响应时程； |
|  |  |  ——有效时间段内传感器*采集的*原始响应时程； |
|  |  | ——在测试加载车上桥前，无车状态下桥梁响应的稳定均值。 |

**2**  时空坐标转换应符合下列规定：

**1**）时空坐标转换应依据测试加载车位置与桥梁有效响应时程的对应关系，将有效响应时程转换为与位置相关的桥梁响应；

**2**）桥梁响应中响应点位置宜通过线性内插的方式保持均匀分布，响应点间距*d*不宜小于0.1 m。

**3** 残余量修正应按式（6.2.3-2）和式（6.2.3-3）进行处理：

  （6.2.3-2）

  （6.2.3-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——残余量修正前的桥梁位移（或应变）响应； |
|  |  |  ——残余量修正后的桥梁位移（或应变）响应； |
|  |  | ——待测试桥梁的总长度； |
|  |  | ——测试加载车前轴与桥梁基准点的纵向相对距离； |
|  |  | ——桥梁残余位移（或应变）响应； |
|  |  | ——在测试加载车上桥前，无车状态下桥梁响应的稳定均值； |
|  |  | ——在测试加载车下桥后，无车状态下桥梁响应的稳定均值。 |

**6.3 影响线反演**

**6.3.1** 影响线反演应包括桥梁响应向量构造、测试加载车信息矩阵构造和反演求解三部分。

**6.3.2** 桥梁响应向量**R**应由经过预处理的桥梁响应数据构造，向量**R**行数*p*应按照式（6.3.2）进行确定：

  （6.3.2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——待测试桥梁的总长度； |
|  |  | ——响应点间距，应按照本规程6.2.3-2条进行确定。 |

**6.3.3** 测试加载车信息矩阵应依据下列步骤构造：

**1** 建立维度为*p*×*q*的零矩阵，列数*q*应按照式（6.3.3-1）进行确定：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——测试加载车信息矩阵列数； |
|  |  | ——测试加载车信息矩阵行数； |
|  |  | ——测试加载车的前后轴距； |
|  |  | ——响应点间距，应由本规程6.2.3-2条中确定。 |

  （6.3.3-1）

**2** 依据式（6.3.3-2）和式（6.3.3-3）在零矩阵中填充非零元素：

  （6.3.3-2）

  （6.3.3-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——应在1 ~ *p*中依次取值；  |
|  |  | ——测试加载车第*i*轴轴重（车辆的前轴为第1轴）； |
|  |  | ——测试加载车信息矩阵中各列与间零元素数量； |
|  |  | ——测试加载车第*i*轴与前轴轴距（车辆的前轴为第1轴，） |

**6.3.4** 影响线反演求解可选用本规程附录B中的方法，宜分下列情况进行方法选取：

**1** 经过预处理后的桥梁响应曲线光滑时，宜选用最小二乘法；

**2** 经过预处理后的桥梁响应曲线存在明显高频波动时，宜选用正则化法。

**6.4 反演结果校准**

**6.4.1** 同一车道影响线的反演结果均值与单次反演结果的整体与峰值相对误差（与）不应超过5%；若超过5%，宜按照式（6.4.1-1）进行校准：

  （6.4.1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——校准后的影响线函数； |
|  |  | ——真实影响线的峰值或零点位置，宜通过有限元模型确定； |
|  |  | ——经过反演得到影响线的峰值或零点位置。 |

**6.4.2** 同一传感器识别得到不同车道的影响线峰值位置误差不应超过±1 m；若超过±1 m，宜依据式（6.4.1）进行校准。

# 7 桥梁承载能力快速评估

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 对于在用桥梁，应从持久状况下正常使用和承载能力极限状态两个方面进行承载能力的快速评估。

**7.1.2** 承载能力快速评估应按照下列流程进行：

**1** 计算承载能力快速评估分项检算系数；

**2** 确定结构检算要点，计算需检算截面的荷载效应和抗力效应；

**3** 根据修正后的荷载效应和抗力效应，进行正常使用和承载能力极限状态检算。

**7.1.3** 承载能力快速评估中的荷载效应和结构或构件的抗力效应，应通过加载测试确定出的检算系数、结构或构件的性能退化系数，以及活载修正系数进行修正。

**7.2 承载能力快速评估分项检算系数**

**7.2.1** 承载能力快速评估分项检算系数应包括快速评估检算系数、截面折减系数、承载能力恶化系数和活载影响修正系数，具体应按下列方式进行确定：

**1** 快速评估检算系数，应根据虚拟加载下基于影响系数获取的结构响应与理论计算结果进行确定；

**2** 截面折减系数、承载能力恶化系数和活载影响修正系数，应通过对选定的桥跨进行缺损状况检查评估、材质状况与状态参数检测评定和实际运营荷载状况调查确定。

**7.2.2** 正常使用和承载能力极限状态计算表达式，应通过引入的截面折减系数、承载能力恶化系数和结构检算系数进行修正。

**7.2.3** 虚拟荷载的布设形式宜符合《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21-01）第5.4条的规定，也可直接选用设计荷载。

**7.2.4** 虚拟荷载值宜符合《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）第8.1.2条的规定。虚拟加载效率宜介于0.95 ~ 1.05之间，其可按式（5.3.1）进行计算，其中应替换为虚拟荷载作用下加载控制截面内力、应力或变位的最大计算效应值。

**7.2.5** 结构虚拟加载校验系数应按式（7.2.5）进行计算：

  （7.2.5）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——虚拟荷载总数； |
|  |  | ——虚拟荷载中的第个集中荷载； |
|  |  | ——桥梁结构响应在集中荷载处的影响系数。 |

**7.2.6** 承载能力快速评估检算系数，应依据结构虚拟加载校验系数进行确定。当虚拟加载校验系数大于1.0时，应直接判定承载能力不满足要求；否则应取主要各测点应变校验系数或变位校验系数的较大值，按照表7.2.6确定承载能力快速评估检算系数。

**表7.2.6 承载能力快速评估检算系数取值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 0.4及以下 | 1.30 | 0.8 | 1.00 |
| 0.5 | 1.20 | 0.9 | 0.90 |
| 0.6 | 1.15 | 1.0 | 0.80 |
| 0.7 | 1.10 |  |  |

注：对主要挠度测点和主要应力测点的校验系数，两者中取较大值；值可按值线性内插。

**7.2.7** 结构或构件性能退化系数应按下列方法进行确定：

**1** 配筋混凝土桥梁承载能力恶化系数，应按照《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）第7.7.4条的规定进行确定；

**2** 圬工与配筋混凝土桥梁结构或构件的截面折减系数，应按照《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）第7.7.5条的规定进行确定；

**3** 配筋混凝土结构中发生腐蚀的钢筋截面折减系数，应按照《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）第7.7.6条的规定进行确定。

**7.3 桥梁结构检算内容**

**7.3.1** 荷载效应值应通过对快速测试获取的影响系数施加检算荷载进行确定，并应按照下列方式进行修正：

**1** 检算荷载应根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）第6.2条的规定进行修正；

**2** 汽车荷载效应应根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）第7.7.7条确定出的活载修正系数进行修正。

**7.3.2** 抗力效应值应基于承载能力快速检算系数、结构或构件的性能退化系数对承载能力极限状态方程中的抗力效应，按照下列方法进行修正确定：

**1** 圬工结构桥梁在计算承载能力极限状态的抗力效应时，应根据桥梁快速测试结果，采用引入承载能力快速检算系数和截面折减系数的方法进行修正计算；

**2** 配筋混凝土桥梁在计算承载能力极限状态的抗力效应时，应根据桥梁快速测试结果，采用引入承载能力快速检算系数、承载能力恶化系数、截面折减系数和的方法进行修正计算；

**3** 钢结构桥梁在计算承载能力极限状态的抗力效应时，应根据桥梁快速测试结果，采用引入承载能力快速检算系数的方法进行修正计算。

**7.3.3** 桥梁结构检算应重点关注结构主要控制截面、薄弱部位和出现严重缺损的部位，检算要点宜符合《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）6.3条 ~ 6.6条的规定。

**7.4 正常使用极限状态评估**

**7.4.1** 圬工桥梁正常使用极限状态，宜按现行公路桥梁设计和养护规范进行计算评定。

**7.4.2** 配筋混凝土桥梁正常使用极限状态，宜按现行公路桥涵设计和养护规范及检测结果，对以下三方面进行计算评定：

**1** 限制应力应按式（7.4.2-1）进行评定：

  （7.4.2-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——计入活载影响修正系数的截面应力计算值； |
|  |  | ——应力限值； |
|  |  | ——承载能力快速评估检算系数。 |

**2** 荷载作用下的变形应按式（7.4.2-2）进行评定：

  （7.4.2-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——计入活载影响修正系数的荷载变形计算值； |
|  |  | ——变形限值。 |

**3** 各类荷载组合作用下裂缝宽度应按式（7.4.2-3）进行评定：

  （7.4.2-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——计入活载影响修正系数的短期荷载下裂缝宽度计算值； |
|  |  | ——裂缝宽度限值。 |

**7.4.3** 桥梁结构或构件在持久状况下的裂缝宽度限值，应符合《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）第7.3.4条的规定。

**7.5 承载能力极限状态评估**

**7.5.1** 圬工桥梁承载能力极限状态，应根据桥梁检测和快速测试结果，按式（7.5.1）进行计算评定：

  （7.5.1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——结构的重要性系数； |
|  |  | ——荷载效应函数； |
|  |  | ——抗力效应函数； |
|  |  | ——材料强度设计值； |
|  |  | ——结构的几何尺寸； |
|  |  | ——配筋混凝土结构的截面折减系数。 |

**7.5.2** 配筋混凝土桥梁承载能力极限状态，应根据桥梁检测和快速测试结果，按式（7.5.3）进行计算评定：

  （7.5.3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——构件混凝土几何参数值； |
|  |  | ——构件钢筋几何参数； |
|  |  | ——承载能力恶化系数； |
|  |  | ——钢筋的截面折减系数。 |

**7.5.3** 桥梁抗力效应值应按现行设计规范进行计算，Z、、、应按本规程7.2.6和7.2.7条的规定进行取值

**7.5.4** 钢结构桥梁的构件强度、总体稳定性和疲劳强度验算，应按现行公路桥涵设计规范执行，其应力限值取值为，可按式（7.5.5）进行计算评定：

  （7.5.5）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——计入活载影响修正系数的荷载应力计算值； |
|  |  | ——容许应力值； |

**7.5.5** 钢结构荷载作用下的变形应按式（7.5.6）进行计算评定：

  （7.5.6）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——计入活载影响修正系数的荷载变形计算值； |
|  |  | ——容许变形值。 |

**7.5.6** 拉索、吊索强度应按式（7.5.7）进行计算评定：

  （7.5.7）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——计入活载影响修正系数的计算索力； |
|  |   | ——索的计算面积。 |

**7.5.7** 桥梁地基评定应符合《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）第7.6条的规定。

# 8 报告编制与资料整理

**8.1 一般规定**

**8.1.1** 测试与评估报告应包括工程概况、测试与评估目的及依据、测试设备、影响线快速测试、影响线识别、承载能力快速评估以及结论与建议。

**8.1.2** 资料整理应包括测试与评估方案、测试与评估报告、原始测试数据、典型测试照片以及测试相关记录，其中测试与评估方案、测试与评估报告应由项目负责人、编写人、审核人和审批人签字并加盖公章。

**8.1.3** 整理的各类资料应注明测试时间、委托单位与测试单位名称并存入桥梁技术档案。

**8.2 测试与评估报告编制**

**8.2.1** 测试与评估报告的格式应符合本规程附录D的要求。

**8.2.2** 工程概况应包括测试桥梁的所属工程、名称、建设或龄期、起止点或中心桩号、结构形式、跨径组合、桥跨结构横断面形式、下部结构形式、运营车道数、技术状况、病害成因、使用荷载和养护维修记录信息，并给出至少一张桥梁结构整体外貌清晰照片，以及包括主要尺寸的测试桥联（孔）结构的立面图、平面图和横断面图。

**8.2.3** 测试与评估目的及依据应包括工作目的，所依据的技术标准、数值模型、设计和竣工图纸。

**8.2.4** 测试设备应包括测试设备的名称（型号）、设备编号和主要技术参数。

**8.2.5** 影响线快速测试应包括加载方案、控制截面选取与测点布设、测试结果，并应给出测点布设图和加载路线图。

**8.2.6** 影响线识别应包括数据预处理结果、影响线反演和校准结果，并应给出校准后的桥梁影响线图。

**8.2.7** 承载能力快速评估应包括分项检算系数计算结果、检算内容、正常使用极限状态和承载能力极限状态评估结果。

**8.2.8** 结论与建议应包括承载能力评估结论和桥梁未来运维建议。

**8.3 资料整理归档**

**8.3.1** 原始测试数据应包括根据测试工况采集的桥梁动应变和动挠度数据，测试加载车的编号、车重、轴重、轴距、轮重、行驶速度和实时位置数据，并应注记相应的测试时间和测试环境条件。

**8.3.2** 典型测试照片应包括桥梁全貌照片、测试加载车照片、传感器照片、测试桥跨的加载工况照片、测试前后结构缺损和病害照片。

**8.3.3** 测试相关文书应包括测试委托合同和交通管制通告，其中交通管制通告应为加盖交通部门公章的原件。

**8.3.4** 测试与评估方案、测试与评估报告和测试相关文书宜纸质版本一式两份妥存，所有测试相关资料宜同时以电子格式妥存。

# 附录A 桥梁静力参数测试设备技术要求

**A. 0. 1** 桥梁变位测试设备应满足表A. 0. 1的技术要求。

**表A. 0. 1 变形测试设备技术要求**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 量测内容 | 仪器名称 | 最小分划值及精度 | 常用量测范围 | 备注 |
| 变位 | 激光位移计 | 0.01 mm | 0 mm ~ 200 mm | 配置安装配件 |
| 图像位移计 | 0.1 mm | 0 mm ~ 100 mm |
| 毫米波雷达 | 0.01 mm | 0 mm ~ 50 mm |
| 卫星定位设备 | 坐标测量水平：5 mm + 10-6*L*；垂直：10 mm + 2×10-6*L*； | — | 满足桥梁形变测量需求 |

注：1. 可采用符合技术要求的其他设备。

2. *L*为观测距离。

**A. 0. 2** 桥梁应变测试设备应满足表A. 0. 2的技术要求。

**表A. 0. 2 应变测试设备技术要求**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试内容 | 仪表名称 | 最小分划值（με） | 常用量测范围（με） | 数据采集分析系统 | 备注 |
| 仪器名称 | 技术参数 |
| 应变 | 电阻应变仪 | 1 | ± 20000 | 应变测试分析系统 | 1. 测量应变范围：± 20000 με；
2. 分辨率：1 με
 | 贴电阻片 |
| 光纤光栅应变计 | 2 | ± 6000 | 光纤光栅解调仪 | 1. 可接入传感单元＞ 64个；
2. 扫描频率＞ 60 Hz；
3. 波长分辨率不大于1 pm
 | 表面粘贴或埋设 |

注：1. 测钢构件（或混凝土内钢筋）应变，宜采用标距不大于6 mm的小标距应变计；测混凝土结构表面应变，宜采用标距不小于80 mm ~ 100 mm的大标距应变计。

2. 可采用符合技术要求的其他设备。

**A. 0. 3** 桥梁测试加载车宜满足表A. 0. 3的技术要求。

**表A. 0. 3 测试加载车主要技术要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 技术参数 | 数值 |
| 最大轴重 | ＜14 t/轴 |
| 称重精度 | > 90%（整车）＜ ± 5.0% |
| 轴距精度 | ＜ ± 4.0% |

注：亦可采用符合技术要求的其他设备。

**A. 0. 4** 定位设备宜满足表A. 0. 4的技术要求。

**表A. 0. 4 定位设备主要技术要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 设备参数 | 技术要求 |
| 通道数量 | 不少于4通道 |
| 定位精度 | ＜ 2 dm |
| 授时精度 | 5 ms |
| 采样频率 | > 10 Hz |

注：亦可采用符合技术要求的其他设备。

**附录B 常用的桥梁影响线反演求解方法**

**B.1 最小二乘法**

**B. 1. 1**  当选用最小二乘法时，影响线应按照式（B.1.1）进行反演：

  （B.1.1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——桥梁响应向量； |
|  |  | ——待识别影响线中影响系数向量； |
|  |  | ——测试加载车信息矩阵。 |

**B. 1. 2** 对于方程组（B.1.1）的求解，宜选用可避免因响应采样频率高而导致当矩阵维度过大时计算效率过低的迭代法。

**B.2 正则化法**

**B. 2. 1** 当选用正则化法时，影响线应按照式（B.2.1-1）进行反演：

  （B.2.1-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——桥梁响应向量； |
|  |  | ——待识别影响线中影响系数向量； |
|  |  | ——测试加载车信息矩阵。 |
|  |  | ——正则化矩阵，宜依据式（B.2.1-2）选取： |

  （B.2.1-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | ——正则化系数，用作权衡残差二范数与解的解二阶差分的二范数 所占比例，宜依据B.2.2条进行选取。 |

**B. 2. 2** 正则化系数宜按照L曲线法，确定不同正则化系数下对数尺度的残差二范数与解的解二阶差分二范数的关系，以得到一条近似“L”型的曲线（图B. 2. 2）进行确定，宜选取L曲线的角点（L角点）处对应的参数作为正则化系数。



**图B. 2. 2 L曲线**

L角点所在位置宜通过L曲线曲率最大值进行确定，若记，，则L曲线的曲率函数可按式（B. 2. 2）进行确定：

  （B.2.2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  式中： | “”  | ——对正则化系数求导。 |

在求解曲率时，宜通过三次样条插值的方法，逐步增加节点个数形成逼近L曲线的参数样条，并以最终样条上曲率最大点对应的参数作为正则化系数。

**B. 2. 3** 方程组（B.2.1-1）的求解，宜选用可避免因响应采样频率高而导致当矩阵维度过大时计算效率过低的迭代法。

**B.3 曲线拟合法**

**B. 3. 1** 当选用曲线拟合法时，梁式桥某一跨影响线的解析解可分段表示为式（B.3.1）的形式：

  （B.3.1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——影响线函数； |
|  |  | ——测试加载车前轴距梁式桥某一跨一边支点距离； |
|  | ~ | ——时影响线待拟合参数； |
|  | ~ | ——时影响线待拟合参数； |
|  |  | ——挠度或应变传感器距梁式桥某一跨一边支点距离。 |

**B. 3. 2** 为确定待拟合参数与，首先应按照式（B.1.1）对影响系数向量进行反演，然后应根据式（B.3.2-1）~（B.3.2-3）分段确定各拟合参数。

  （B.3.2-1）

  （B.3.2-2）

  （B.3.2-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——影响线中影响系数位置部分构成的向量； |
|  |  | ——影响线中影响系数位置部分构成的向量； |
|   ——或中第*n*个影响系数对应位置。 |

**附录C 桥梁影响线识别流程图**



**附录D 报告格式**

 **C. 0. 1** 封面宜按图 C. 0. 1的样式进行制作。

**图 C. 0. 1 封面样例**

**C. 0. 2** 扉页宜按图 C. 0. 2的样式进行制作。

（报告日期）

XXXX年第XX号 共X页

委托单位：

测试单位：

XXX桥承载能力快速测试与评估报告

**xxx线**

**图 C. 0. 2 扉页样例**

**C. 0. 3** 测试与评估的简表宜按表C. 0. 3的样式进行绘制。

（测试单位名称及盖章）

（报告日期）

XXXX年第XX号 共X页

项目负责人：（签字）

报告编写人：（签字）

报告审核人：（签字）

报告审批人：（签字）

**xxx线**

XXX桥承载能力快速测试与评估报告

**表C. 0. 3 测试与评估简表样例**

|  |  |
| --- | --- |
| 工程名称 |  |
| 桥梁名称 |  | 桥梁建成时间 |  |
| 桥梁桩号 |  | 桥梁结构形式、跨径组成 |  |
| 桥梁荷载等级 |  | 运营车道数 |  |
| 测试桥联（孔）结构形式 |  | 测试桥联（孔）跨径组成 |  |
| 测试加载车类型及轴重 |  |
| 测试工况数 |  |
| 虚拟加载工况 |  | 虚拟评估计算截面数 |  |
| 测试日期 |  |
| 主要结论 |  |
| 技术建议 |  |

# 本规程用词说明

  **1** 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

 **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”或“可”；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，采用“可”。

**2** 规程中指明应按其它有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**中国土木工程学会标准**

**桥梁承载能力快速测试与评估技术规程**

T/CCES \*\*－2023

条 文 说 明

**制 订 说 明**

《桥梁承载能力快速测试与评估技术规程》T/CCES XXX-2023，经中国土木工程学会XXXX年XX月XX日以XX号函文批准发布。

本规程制订过程中，编制组进行了深入的调查研究，总结了我国桥梁承载能力快速测试与评估领域的实践经验，同时参考了相关先进技术法规和技术标准。

为便于广大检测、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，本规程编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。需要注意的是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

**目 次**

[3 基本规定 36](#_Toc112160150)

[4 测试设备与技术要求 37](#_Toc112160151)

[4.1 一般规定 37](#_Toc112160152)

[4.2 结构响应测试设备 37](#_Toc112160153)

[4.3 测试加载车及定位设备 38](#_Toc112160154)

[6 桥梁影响线识别 39](#_Toc112160157)

[6.2 数据预处理 39](#_Toc112160158)

[6.3 影响线反演 39](#_Toc112160159)

[6.4 反演结果校准 39](#_Toc112160160)

[7 桥梁承载能力快速评估 41](#_Toc112160161)

[7.1 一般规定 41](#_Toc112160162)

[7.2 承载能力快速评估分项检算系数 41](#_Toc112160163)

[7.4 正常使用极限状态评估 41](#_Toc112160164)

[7.5 承载能力极限状态评估 41](#_Toc112160165)

**3 基本规定**

**3.0.1**  本规程中的承载能力快速测试是传统荷载试验的一种补充替代手段，可用于对技术状况等级三类及以上的桥梁进行承载能力评估或快速筛查。对于技术状况等级为四类和五类的桥梁，仍需要采用传统荷载试验方法进行承载能力评估。

**4 测试设备与技术要求**

**4.1 一般规定**

**4.1.2** 选择同类型或同规格测试设备是为了减少测试环节，提高测试工作的可靠性和可操作性。根据桥梁承载能力快速测试与评估的需要，结构响应测试设备应包括结构变位和应变测试设备。测试设备预计实测值宜处于测试设备量程的15% ~ 90%，采集设备采样频率应大于50 Hz，宜大于100 Hz。

设备的环境适应性要求还包括，桥梁空载时挠度、应变信号零点漂移在响应测试时长内不宜超过结构响应理论最大值的5%。大、中雨与大雾以及气温低于5℃或高于35℃时，不宜进行测试，小雨状况下进行测试，应做好设备的防雨措施。当存在冲击、振动、强磁场等干扰测试效果时，不宜进行测试。

**4.1.3** 《检测和校准实验室能力的通用要求》（GB/T 27025）第6.4.13条规定：实验室应保存对实验室活动有影响的设备记录；7.5.1条规定：实验室应确保每一项实验室活动的技术记录包含结果、报告和足够的信息，以便在可能时识别影响测量结果及其测量不确定度的因素，并确保能在尽可能接近原条件的情况下重复该实验室活动。测试设备应按规定定期进行检定、校准。测试设备检定和校准时，宜按测试设备的实际布设情况，将传感设备、传输设备和采集设备组成的模拟测试系统进行整体检定和校准。

**4.2 结构响应测试设备**

**4.2.1** 变位测试传感设备包括激光位移计、图像位移计、毫米波雷达、机电百（千）分表和电子位移计。光电（声）式测试采集设备可自动记录测值，其精度高、更新快、量程也比较大。机械式测试设备是指各种用于非电量测试的仪表、器具或设备，这类设备需机电辅助读取测值。利用卫星定位设备进行变形测试时，为了提高测试精度，通常采取以载波相位观测值为根据的实时差分技术。采用非接触型采集设备测试变位应详细记录仪器架设点与观测点的几何位置信息，包括水平距离，竖直距离，仰角等。

**4.2.2** 应变测试传感设备通常采用电阻应变计或光纤光栅式应变计。采用电阻应变计测试时，通常将电阻应变计粘贴在被测构件上，通过电阻应变测试装置，测得应变值。采用光纤光栅式应变计测试时，通常先标定光纤光栅周期或纤芯折射率与力或应变的变化关系，再通过光纤光栅周期或纤芯折射率的变化得到应变值。电阻应变片的布设一般根据现场温度、湿度等条件选择贴片及防潮工艺，通常选用与观测应变部位相同的材料设补偿片。光纤光栅式应变计需与专用底座配套使用，采用特制的紧固螺钉将底座固定在结构表面，承载能力快速测试结束后可以拆卸重复使用。

**4.3 测试加载车及定位设备**

**4.3.1**  测试加载车车重根据试验荷载效率计算选择，测试加载车轴重、轴距参数应测试两次以上。测试加载车配重应稳妥置放，以避免车辆行驶时因晃动而改变重物的位置，引起轴（轮）重的改变。

**6 桥梁影响线识别**

**6.2 数据预处理**

**6.2.3**

**1** 影响线反映单位荷载作用在不同位置时桥梁静力响应，在测试过程中传感器响应时程中仅有部分时段包含影响线信息，应截取有效数据段用于影响线识别。 在桥梁响应时程中应减去桥面无车载时传感测值的稳定均值以消除初值影响；测试加载车未上桥和移动至桥外时对桥梁响应无影响，应剔除该部分数据段。

**2** 影响线描述桥梁结构承受移动单位荷载时桥梁响应与移动荷载位置关系，而测试过程中采集的桥梁响应信号通常为时域信号，应通过时空坐标转换为空间域信号。

**3** 桥梁影响线对应桥梁在单位荷载作用下响应线的弹性成分，在从桥梁响应中识别影响线前，应对测试加载车作用下的桥梁响应残余量的进行剔除。荷载施加在桥梁支点处的时对主梁响应不会产生影响，故宜采用叠加线性函数的方式使支点处影响系数归零。

**6.3 影响线反演**

**6.3.3** 测试加载车信息矩阵**L**行数大于列数（*p*>*q*），具体结构可参考式（附6.3.3）：

（附6.3.3）

**6.4 反演结果校准**

**6.4.1** 两条影响线的整体相对误差（*E*o）和峰值相对误差（*E*p）可按式（附6.4.1-1）和（附6.4.1-2）进行确定：

  （附6.4.1-1）

  （附6.4.2-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | ——第一条影响线中影响系数向量； |
|  |  | ——第二条影响线中影响系数向量； |
|  |  | ——1范数，表示向量中所有元素的绝对值之和； |
|  |  | ——无穷范数，表示向量中所有元素的绝对值最大值。 |

**7 桥梁承载能力快速评估**

**7.1 一般规定**

**7.1.1**  结构或构件的强度和稳定性反映了桥梁的承载能力极限状态，结构或构件的刚度和抗裂性反映了桥梁的正常使用极限状态。

**7.1.3** 结构或构件的性能退化系数主要包括承载能力恶化系数、混凝土结构的截面折减系数和钢筋截面折减系数等。

**7.2 承载能力快速评估分项检算系数**

**7.2.6** 考虑到本规程规定0.4 ~ 0.7的低荷载效率与《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）中规定0.95 ~ 1.05的高荷载效率之间的可靠性差异，本条文参考美国《Manual for bridge evaluation》中荷载效率与承载能力调整系数间的关系，出于安全考虑对校验系数=0.8 ~ 1.0时对应的检算系数Z进行了折减。

**7.4 正常使用极限状态评估**

**7.4.2** 对在用配筋混凝土桥梁，采取引入承载能力快速评估检算系数修正限制应力、变形和裂缝限值的方法，进行桥梁正常使用极限状态计算评定。

**7.5 承载能力极限状态评估**

**7.5.1** 圬工桥梁承载能力极限状态评定，主要考虑采取引入桥梁承载能力快速评估检算系数、截面折减系数和活载修正系数分别对极限状态方程中的结构抗力效应和荷载效应进行修正，并通过比较判定结构或构件的承载能力状况。

**7.5.2** 配筋混凝土桥梁承载能力极限状态评定，采取引入桥梁承载能力快速评估检算系数、承载能力恶化系数、截面折减系数和活载修正系数分别对极限状态方程中的结构抗力效应和荷载效应进行修正，并通过比较判定结构或构件的承载能力状况。