

UDC

中华人民共和国行业标准



P

CJJ/T 233 – 2015

备案号 J 2091 – 2015

城市桥梁检测与评定技术规范

Technical code for test and evaluation
of city bridges

2015 – 09 – 22 发布

2016 – 05 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

城市桥梁检测与评定技术规范

Technical code for test and evaluation
of city bridges

CJJ/T 233 – 2015

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 6 年 5 月 1 日

中国建筑工业出版社

2015 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 918 号

住房城乡建设部关于发布行业标准 《城市桥梁检测与评定技术规范》的公告

现批准《城市桥梁检测与评定技术规范》为行业标准，编号为 CJJ/T 233 - 2015，自 2016 年 5 月 1 日起实施。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部
2015 年 9 月 22 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2010〕43 号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规范。

本规范的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 桥梁结构检测；5. 桥梁结构检算；6. 静力荷载试验；7. 动力荷载试验。

本规范由住房和城乡建设部负责管理，由中国建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国建筑科学研究院（地址：北京市北三环东路 30 号，邮编：100013）。

本规范主编单位：中国建筑科学研究院

广东省建筑科学研究院

本规范参编单位：北京市市政工程设计研究总院有限公司

北京市市政工程研究院

同济大学

重庆交通大学

长安大学

江苏省建筑科学研究院有限公司

中铁第五勘察设计院集团有限公司

重庆市公路工程质量检测中心

重庆市市政设施管理局

广东省建设工程质量安全监督检测总站

北京市道路工程质量监督站

正太集团有限公司

本规范主要起草人：陈 凡 徐天平 邸小坛 钟 铭
徐 骋 张彬彬 王海城 翟传明
杨国龙 李 健 吴太成 秦大航
张 恺 范 良 刘 勇 肖汝诚
向中富 贺拴海 顾瑞南 陈 卓
陈伯奎 沈小俊 杨 宏 李素华
张 涛 钱艺柏 夏马喜
本规范主要审查人：马 龑 韩振勇 陈祖勋 丁建平
安关峰 史家钧 陈宝春 王 健
杨铁荣 张革军 杨 昀

目 次

1 总则 1

2 术语和符号 2

2.1 术语 2

2.2 符号 3

3 基本规定 5

4 桥梁结构检测 8

4.1 一般规定 8

4.2 结构几何参数检测 8

4.3 结构线形与变位检测 9

4.4 构件材料强度检测 10

4.5 构件裂缝检测 11

4.6 结构或构件缺损状况及耐久性参数检测 13

4.7 支座和伸缩装置状况检测 22

4.8 索力检测 29

4.9 结构自振频率检测 29

4.10 人行天桥检测 30

4.11 检测报告 30

5 桥梁结构检算 32

5.1 一般规定 32

5.2 结构上的作用 33

5.3 结构检算 34

5.4 桥梁结构承载能力评定 37

5.5 检算报告 41

6 静力荷载试验 42

6.1 一般规定 42

6.2 试验准备 42

6.3 现场试验 46

6.4 试验资料整理与结果评定 47

6.5 人行天桥 49

6.6 试验报告 50

7 动力荷载试验..... 51

7.1 一般规定 51

7.2 试验准备 51

7.3 现场测试 52

7.4 数据分析与评定 53

附录 A 桥梁检测方案 55

附录 B 桥梁自振特性测试要求 56

本规范用词说明 57

引用标准名录 58

附：条文说明 59

Contents

1 General Provisions 1

2 Terms and Symbols 2

2.1 Terms 2

2.2 Symbols 3

3 Basic Requirements 5

4 Test and Measurement of Bridge Structure 8

4.1 General Requirements 8

4.2 Bridge Structural Geometric Parameter Measurement 8

4.3 Structural Deformation and Displacement Measurement 9

4.4 Material Strength Test of Structural Member 10

4.5 Structural Crack Measurement 11

4.6 Testing on Structural Defect, Damage and the
Durability Parameter 13

4.7 Inspection of Bridge Bearing, Expansion and
Contraction Installation 22

4.8 Cable Force Measurement 29

4.9 Structure Natural Frequency Test 29

4.10 Testing on Pedestrian Bridge 30

4.11 Test Report 30

5 Checking of Bridge Structure 32

5.1 General Requirements 32

5.2 Actions on Structure 33

5.3 Checking of Structure 34

5.4 Load-bearing Capacity Evaluation of Bridge Structure 37

5.5 Checking Report 41

6 Static Load Test 42

6.1 General Requirements 42

6.2 Test Preparation 42

6.3 Field Testing 46

6.4 Test Data Collection and Result Evaluation 47

6.5 Pedestrian Bridge 49

6.6 Test Report 50

7 Dynamic Load Test 51

7.1 General Requirements 51

7.2 Test Preparation 51

7.3 Field Testing 52

7.4 Test Data Analysis and Evaluation 53

Appendix A Test Plan of Bridge 55

Appendix B Testing Requirements for Bridge Natural
Vibration Characteristic 56

Explanation of Wording in This Code 57

List of Quoted Standards 58

Addition: Explanation of Provisions 59

1 总 则

- 1.0.1 为使城市桥梁检测与评定做到安全适用、技术先进、数据可靠、评定准确，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于城市桥梁结构的安全性、适用性、耐久性的检测与评定。
- 1.0.3 城市桥梁结构的承载能力，应根据桥梁结构实体的检测或试验结果，以及桥梁的设计、施工、运营状况进行评定。
- 1.0.4 城市桥梁的检测与评定除应执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 桥梁结构检测 test and measurement of bridge structure

对桥梁结构进行的现场测试、试验、观测、检查与记录描述。当结构检测活动在桥梁建造或运营过程中的某时段持续进行时，该活动又称为监测。

2.1.2 桥梁结构检算 checking of bridge structure

依据桥梁的结构检测结果、使用荷载与环境变化，以及设计、施工、维修、改造和加固文件要求进行的结构性能计算。

2.1.3 桥梁荷载试验 load test of bridge

通过测试桥梁结构在外部荷载作用下的静动力响应，对桥梁结构的承载能力及力学特性分别进行评定和分析判断的活动。

2.1.4 桥梁结构承载能力评定 load-bearing capacity evaluation of bridge structure

通过结构检算或荷载试验，获得桥梁结构承载能力的量化指标并确认其是否满足标准或设计要求所进行的活动。

2.1.5 缺损 defect and damage

桥梁结构构件出现缺陷和损伤等病害的统称。缺陷是因施工不符合要求所引起，损伤是因除施工外的其他外部作用所造成。

2.1.6 荷载效率 load ratio

采用试验荷载与设计控制荷载，计算出两者在结构或构件控制截面产生的效应的比值。

2.1.7 校验系数 verification coefficient

试验荷载作用下实测应力（应变）或变形值与计算值之比。

2.1.8 结构变位 deformation and displacement of structure

结构出现变形、位移，以及结构组成构件出现转动、相对错位的统称。变形指结构或构件形状的改变，位移指结构位置的变化，结构组成构件的转动、相对错位由构件间的不均匀变形或位移所引起。

2.1.9 桥梁运营监测 operation monitoring of bridge

对使用中桥梁的外部作用源和结构响应进行监测，适时评估桥梁的运行状况或病害危害程度的活动。

2.1.10 永久性变位观测点 permanent monitoring point of deformation and displacement

桥梁施工或运营期内为观测桥梁变位而设置的永久性观测点。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

K_t ——空载时温度上升 1°C 时测点测值变化量；

S_{ds} ——车辆停驶时，静态车辆荷载作用下测点的最大变位或应变值；

S_{dyn} 、 S_{stat} ——在动力试验、静力试验的实际工况荷载作用下，控制截面的最大内力或变位计算值；

$S_{e,c}$ 、 $S_{e,m}$ ——试验荷载作用下控制测点的弹性变位或应变计算值、实测值；

S_k ——控制荷载作用下，控制截面的最不利内力或变位计算值；

S_{max} ——车辆行驶时，动态车辆荷载作用下测点的最大变位或应变值（波峰值）；

S_{mean} ——车辆行驶时，动态车辆荷载作用下测点的变位或应变算术平均值；

S_{min} ——车辆行驶时，动态车辆荷载作用下测点的最小变位或应变值（同周期的波谷值）；

S_p ——试验荷载作用下控制测点的残余变位或残余应变

实测值；

S_t ——试验荷载作用下控制测点的总变位或总应变实测值；

S'_p ——测点的相对残余变位或相对残余应变；

T_c ——采用作用的基本组合与偶然组合分别计算的索力值；

T_d ——成桥索力值；

T_m ——实测索力值；

ΔS ——温度修正后的测点加载测值变化；

$\Delta S'$ ——温度修正前的测点加载测值变化；

Δt ——观测时间段内的温度变化；

ϵ 、 ϵ' ——修正后、修正前的应变值。

2.2.2 抗力及材料性能

f_m ——材料性能的实测值；

f_d ——拉索、吊索、系索的抗拉强度设计值。

2.2.3 几何参数

a_m ——结构或结构构件几何参数的实测值；

A_j ——计入损伤影响后索的实际面积。

2.2.4 计算系数及其他

f_{ad} ——损伤、钢筋锈蚀、约束条件变异等对结构或构件所产生的不利影响附加值；

K_s ——索力偏差率；

r ——导线电阻；

R ——应变计电阻；

η_d 、 η_s ——动力、静力荷载试验效率；

ζ ——结构变位或应变校验系数；

μ ——设计冲击系数；

μ_{dyn} ——动力放大系数。

3 基本规定

3.0.1 桥梁结构的检测与承载能力评定应包括下列内容：

- 1 结构检测；
- 2 结构检算；
- 3 当需确认结构的实际承载能力时，应进行鉴定性荷载试验；
- 4 当需验证结构承载能力符合设计或相关标准要求时，应进行验收性荷载试验。

3.0.2 新建、扩建、改建桥梁结构的验收检测内容，应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的规定。

3.0.3 符合下列条件之一的既有桥梁应进行结构检测和结构检算：

- 1 符合现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 有关开展结构定期检测和特殊检测的规定；
- 2 拟提高荷载等级；
- 3 需通过特殊、重型车辆；
- 4 遭受重大自然灾害或意外事件，可能对桥梁安全产生影响；
- 5 在墩台基础的应力影响范围内将进行穿越施工、基坑开挖或出现大面积超载；
- 6 结构安全受其他因素影响。

3.0.4 既有桥梁结构承载能力评定时，应根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求，结合委托方的特殊要求及桥梁结构状况，选择下列内容进行结构检算：

- 1 结构或构件的极限承载力、稳定性和不适于继续承载的

变形；

- 2 结构或构件的正常使用变形、混凝土构件开裂状况；
- 3 地基与基础的承载力、变形和稳定性；
- 4 结构抵抗偶然作用的抗倒塌能力。

3.0.5 既有桥梁结构承载能力检算评定时，构件的几何尺寸、变位、材料强度、缺损程度宜以结构实体检测结果为依据。

3.0.6 桥梁结构耐久性状况应根据下列结构实体检测结果进行评定：

- 1 对混凝土结构，应包括钢筋保护层厚度、混凝土碳化深度、混凝土中的氯离子含量、混凝土电阻率、表征钢筋锈蚀状况的半电池电位和混凝土裂缝宽度的检测；

- 2 对钢结构，应包括钢材表面锈蚀状况、涂层厚度及老化和构件疲劳损伤的检测；

- 3 对圬工结构，应包括冻融损伤、风化损伤和化学侵蚀的检测。

3.0.7 实施鉴定性荷载试验前，应分别对桥梁结构的实体进行检测，对结构的承载能力进行检算。

3.0.8 桥梁荷载试验内容应包括静力荷载试验和动力荷载试验。符合下列条件之一的桥梁应进行荷载试验：

- 1 结构检算的承载能力不满足要求，需结合荷载试验实测结构响应，综合评定结构的实际承载能力；

- 2 结构检算难以判定承载能力；

- 3 竣工验收要求进行荷载试验；

- 4 设计认为结构体系复杂应进行荷载试验。

3.0.9 对结构承载能力、行人及交通安全有影响的桥梁附属结构与设施，宜按现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 的规定进行检查评估。车行桥人行道栏杆的检测与评定，可按本规范有关人行天桥栏杆检测与评定的规定执行。

3.0.10 桥梁检测应制定检测方案，并应符合本规范附录 A 的规定。

3.0.11 桥梁现场检测应符合国家有关安全生产的规定。

3.0.12 桥梁检测仪器设备应满足测量准确度、分辨力、量程及动态响应的性能要求，以及气候环境、机械环境和电磁环境的适应性要求。

3.0.13 检测仪器设备应在检定或校准有效期内。检测仪器设备检定或校准时，宜按检测仪器的实际布设情况，将传感器、导线、信号适配仪组成的模拟测量系统进行整体检定或校准。检测前应对仪器设备检查调试；当检测辅助用仪器设备对现场检测的质量、安全有影响时，应对其功能进行检查。

4 桥梁结构检测

4.1 一般规定

4.1.1 下列桥梁结构检测内容宜结合桥梁实地调查情况以及现场检测实施的可行性综合确定：

- 1 结构几何参数；
- 2 结构线形与变位；
- 3 构件材料强度；
- 4 构件裂缝；
- 5 构件缺损及耐久性状况；
- 6 支座与伸缩装置状态；
- 7 索力；
- 8 结构自振频率；
- 9 其他应检测的内容。

4.1.2 既有桥梁的检测宜选择在桥梁的交通流量和周围环境影响较小的时段实施，受交通影响的参数检测应在封闭交通的情况下进行。

4.1.3 桥梁结构构件缺损程度应按完好、轻微、中等、严重和危险五个等级评定。

4.2 结构几何参数检测

4.2.1 桥梁结构几何参数检测应包括下列内容：

- 1 桥梁的跨径、宽度、净空、拱矢高；
- 2 构件的长度与截面尺寸；
- 3 桥面铺装厚度；
- 4 结构检算需采用的其他几何参数。

4.2.2 桥梁结构断面测量应符合下列规定：

1 中小跨径桥梁单跨测量断面不得少于 3 个，大跨径桥梁单跨测量断面不得少于 5 个；

2 桥梁墩柱、桥塔的测量断面不宜少于 3 个，截面突变处应布设测量断面。

4.2.3 桥面铺装层厚度可采用雷达结合钻芯修正的方法测定，检测断面宜布设在跨径 4 等分点位置。

4.3 结构线形与变位检测

4.3.1 桥梁结构线形与变位检测应符合下列规定：

1 梁式结构应测量主梁的纵向线形和墩台顶的变位，主梁的纵向线形可通过测量桥面结构纵向线形的方式测定；拱结构应测定拱轴线、桥面结构纵向线形和墩台顶的变位；斜拉桥和悬索桥应测定塔顶变位、桥面结构纵向线形，悬索桥尚应测定主缆线形。

2 桥梁结构纵向线形测量时，测点应沿桥纵向在桥轴线和车行道上、下游边缘线 3 条线上分别布设，且宜布设在桥跨结构的特征点截面上，对等截面桥跨结构，可布设在桥跨或桥面结构的跨径等分点截面上；对中小跨径桥梁，单跨测量截面不宜少于 5 个；对大跨径桥梁，单跨测量截面不宜少于 9 个。

3 结构纵向线形应按现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 规定的水准测量等级进行闭合水准测量。

4 墩台顶和塔顶的水平变位可采用悬挂垂球方法测量或采用极坐标法进行平面坐标测量。

5 拱轴线宜按桥跨的 8 等分点或其整数倍分别在拱背和拱腹布设测点；悬索桥主缆线形宜在索夹位置处的主缆顶面布设测点，测量时应记录现场温度、风向和风速。

6 结构变位对桥梁结构安全的影响可按现行行业标准《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 进行评定；当结构变位对结构的安全或正常使用功能有影响时，应对结构的承载能力进行检算评定。

4.3.2 墩台基础变位检测应包括基础的沉降、位移和转角，测点不得少于4个。受冲刷或淤积影响的墩台基础，应检测冲刷深度或淤积高度。

4.3.3 对设有永久性变位观测点的墩台基础，宜通过测量永久性变位观测点平面坐标与高程的变化分析其变位。对无永久性变位观测点的墩台基础，可采用几何测量、垂线测量、光学测距等间接测量的方法，或通过测量桥跨结构形态参数的变化推定其变位。

4.3.4 对未设置永久性变位观测点且变位尚未稳定的墩台基础，应设置永久性变位观测点，定期跟踪观测，直至基础变位稳定；此间还应对桥梁上部结构的响应进行监测。

4.3.5 当简支梁桥的墩台基础变位大于现行行业标准《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21规定的容许限值，且墩台基础沉降尚未稳定时，应提出对地基进行加固处理的建议。

4.3.6 对墩台基础差异沉降敏感连续梁、连续刚构等超静定结构桥梁，当差异沉降大于设计规定的限值时，应采取下列措施：

1 墩台基础沉降已稳定，应检算差异沉降引起的结构附加内力对承载能力的影响；

2 墩台基础沉降尚未稳定，应提出对地基进行加固处理的建议。

4.3.7 对拟增加自重或拟进行地基加固的桥梁，当缺乏岩土工程勘察资料或已有的岩土工程勘察资料不够详尽时，应在贴近墩台基础处对地基岩土进行勘探和原位测试，查明岩土层的类型、分布和工程特性，评定地基承载能力。

4.4 构件材料强度检测

4.4.1 桥梁结构主要承重构件的材料强度宜采用无损检测方法检测。

4.4.2 钢材强度代表值应按下列方式确定：

1 应根据桥梁施工或验收资料档案中的钢材出厂质量证明、进场检验合格报告，取钢材强度的标准值。

2 当无资料可查时，可在结构有代表性的次要构件上截取试件进行试验，并取试验强度的最小值；当主要构件截面的厚度与截取试样构件的厚度不同且大于 16mm 时，应按现行国家标准《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 规定的钢材强度设计值折减比例，对钢材强度代表值进行折减。

4.4.3 结构构件混凝土抗压强度检测可采用回弹法、超声回弹综合法等无损检测方法，检测抽样数量宜符合现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定，且应选择重要构件进行重点部位检测，单个构件专门检测时的测区数量不宜少于 10 个。

4.4.4 结构构件混凝土强度的推定应按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定执行。

4.4.5 当对无损检测方法推定的混凝土强度有怀疑或进行混凝土强度鉴定时，可采用钻芯法对混凝土推定强度进行修正或验证。芯样应在有代表性构件的次要部位钻取，钻取芯样的数量应符合下列规定：

- 1 强度修正时不得少于 6 个；
- 2 强度验证时不得少于 3 个。

4.5 构件裂缝检测

4.5.1 裂缝检测宜包括受检桥跨内全部结构受力构件。当不具备全数检测条件时，应对下列构件的裂缝进行检测：

- 1 重要的构件；
- 2 裂缝较多或裂缝宽度较大的构件；
- 3 存在明显变形的构件。

4.5.2 裂缝检测应符合下列规定：

1 裂缝的最大宽度宜采用裂缝专用测量仪器量测，裂缝长度可采用钢尺或卷尺量测；

- 2 对构件上存在的裂缝宜进行全数检查，记录每条裂缝的长度、走向和位置，并绘制裂缝分布图；
- 3 裂缝深度可按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 规定的方法检测，或通过钻取芯样验证；
- 4 处于变化发展中的裂缝宜进行监测。

4.5.3 检测结论应明确裂缝的性质。桥梁墩台、钢筋混凝土桥梁、B类预应力混凝土桥梁和圯工桥梁的结构或构件裂缝缺损程度应按表 4.5.3 评定。

表 4.5.3 与裂缝相应的缺损程度评定

缺损程度评定	性状描述
完好	无裂缝
轻微	构件出现的裂缝较少，未出现受力裂缝或沿主筋纵向裂缝，且裂缝宽度不超过限值
中等	构件出现的裂缝较多，或出现受力裂缝，或沿主筋纵向裂缝，但裂缝宽度不超过限值
严重	出现受力裂缝，或沿主筋纵向裂缝，且裂缝宽度超过限值
危险	出现较多受力裂缝，且裂缝宽度超过限值，其中多数裂缝已贯通

注：表中限值为恒载作用下的裂缝宽度限值，按本规范表 5.4.1-2 取值。

- 4.5.4 当全预应力和 A 类预应力混凝土桥梁的结构构件出现受力裂缝时，其缺损程度应评定为严重；当受力裂缝数量较多，且存在贯通性受力裂缝时，其缺损程度宜评定为危险。
- 4.5.5 钢构件裂缝缺损程度应按表 4.5.5 评定。

表 4.5.5 钢构件与裂缝相应的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无裂缝	—
轻微	次要构件出现少量细小裂缝， 主要构件未出现裂缝	

续表 4.5.5

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
中等	次要构件出现较多细小裂缝，主要构件有少量细小裂缝，但不影响正常使用	主梁、纵横梁受拉翼缘边裂缝长度小于或等于 3mm，或受拉翼缘焊接盖板端部裂缝长度小于或等于 10mm，或桁梁端横梁与纵梁连接下端以及腹杆接头处裂缝长度小于或等于 20mm
严重	主要构件出现较多裂缝，造成截面削弱和永久变形	主梁、纵横梁受拉翼缘边裂缝长度大于 3mm 且小于或等于 5mm，或受拉翼缘焊接盖板端部裂缝长度大于 10mm 且小于或等于 20mm，或桁梁端横梁与纵梁连接下端以及腹杆接头处裂缝长度大于 20mm 且小于或等于 50mm
危险	主要构件的裂缝严重削弱截面，造成明显的永久变形	主梁、纵横梁受拉翼缘边裂缝长度大于 5mm，或受拉翼缘焊接盖板端部裂缝长度大于 20mm，或桁梁端横梁与纵梁连接下端以及腹杆接头处裂缝长度大于 50mm

4.6 结构或构件缺损状况及耐久性参数检测

4.6.1 钢筋混凝土桥梁构件的缺损检测，宜按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定执行；缺损程度宜按表 4.6.1-1～表 4.6.1-4 评定。

表 4.6.1-1 蜂窝、麻面状况的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无蜂窝麻面	—

续表 4.6.1-1

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
轻微	较小面积蜂窝麻面	累计面积小于或等于构件面积的 20%
中等	较大面积蜂窝麻面	累计面积大于构件面积的 20% 且小于或等于构件面积的 50%
严重	大面积蜂窝麻面	累计面积大于构件面积的 50%

注：1 表中构件面积是指检查覆盖的构件表面区域的面积，以下各表相同；
2 本表不适用于混凝土构件表面孔洞、坑凹的深度大于 20mm 或与该处截面最小尺寸之比大于 0.04 的情况。

表 4.6.1-2 剥落、掉角状况的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无剥落、掉角	—
轻微	局部混凝土剥落或掉角	累计面积小于或等于构件面积的 5%，或单处面积小于或等于 0.5m ²
中等	较大范围混凝土剥落或掉角	累计面积大于构件面积的 5% 且小于构件面积的 10%，或单处面积大于 0.5m ² 且小于 1.0m ²
严重	大范围混凝土剥落或掉角	累计面积大于或等于构件面积的 10% 且小于构件面积的 15%，或单处面积大于或等于 1.0m ² 且小于 1.5m ²
危险	很大范围混凝土剥落或掉角	累计面积大于或等于构件面积的 15%，或单处面积大于或等于 1.5m ²

表 4.6.1-3 空洞、孔洞状况的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无空洞、孔洞	

续表 4. 6. 1-3

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
轻微	局部混凝土空洞、孔洞	累计面积小于或等于构件面积的 5%，或单处面积小于或等于 0.5m ²
中等	较大范围混凝土空洞、孔洞	累计面积大于构件面积的 5%且小于构件面积的 10%，或单处面积大于 0.5m ² 且小于 1.0m ²
严重	大范围混凝土空洞、孔洞	累计面积大于或等于构件面积的 10%且小于构件面积的 15%，或单处面积大于或等于 1.0m ² 且小于 1.5m ²
危险	很大范围混凝土空洞、孔洞	累计面积大于或等于构件面积的 15%，或单处面积大于或等于 1.5m ²

表 4. 6. 1-4 预应力钢绞线及锚固系统缺损程度评定

缺损程度 评定	性状描述
完好	锚头、钢绞线等无缺陷
轻微	锚头、钢绞线等无明显缺陷
中等	钢绞线出现极个别断丝，或个别锚头出现开裂现象，或个别齿板位置处出现少量裂缝；构件无明显变形
严重	部分钢绞线断裂或失效，或部分锚头开裂较严重但未完全失效，或部分齿板位置处裂缝严重；构件明显变形
危险	钢绞线大量断裂，或锚头损坏失效；构件严重变形

4. 6. 2 当剥落、掉角、空洞、孔洞等现象不易区分时，混凝土结构或构件的缺损程度可按表 4. 6. 2 评定。

表 4. 6. 2 混凝土、圬工结构或构件的缺损程度评定

缺损程度评定	性状描述
完好	结构或构件表面较好，局部表面有轻微剥落

续表 4.6.2

缺损程度评定	性状描述
轻微	结构或构件表面剥落面积小于或等于 5%，或损伤最大深度与截面损伤发生部位的结构或构件最小尺寸之比小于 0.02
中等	结构或构件表面剥落面积大于 5%且小于或等于 10%，或损伤最大深度与截面损伤发生部位的结构或构件最小尺寸之比大于或等于 0.02 且小于或等于 0.04
严重	结构或构件表面剥落面积大于 10%且小于或等于 15%，或损伤最大深度与截面损伤发生部位的结构或构件最小尺寸之比大于 0.04 且小于或等于 0.10
危险	结构或构件表面剥落面积大于 15%，或损伤最大深度与截面损伤发生部位的结构或构件最小尺寸之比大于 0.10

4.6.3 圯工桥梁结构缺损程度可按本规范表 4.6.2 评定。

4.6.4 钢筋混凝土钢筋截面缺损检测应按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定执行；缺损程度宜按表 4.6.4 评定。

表 4.6.4 钢筋混凝土的钢筋截面缺损程度评定

缺损程度评定	性状描述
完好	混凝土表面无锈迹，沿钢筋无裂缝出现
轻微	混凝土表面无锈迹，沿钢筋出现的裂缝宽度小于限值
中等	沿钢筋出现的裂缝宽度大于限值，或钢筋锈蚀引起混凝土发生层离；钢筋表面局部有膨胀薄锈层或坑蚀
严重	钢筋锈蚀引起混凝土剥落，钢筋外露、表面膨胀性锈层显著；钢筋截面损失小于或等于 10%
危险	钢筋锈蚀引起混凝土剥落，钢筋外露、出现锈蚀剥落；钢筋截面损失大于 10%

注：表中限值为现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 规定的允许最大裂缝宽度值。

4.6.5 钢结构构件防腐、防火涂层厚度检测应按现行国家标准《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621 的规定执行，抽检的构件数量及同一构件的测点数量不得低于现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定；钢结构构件缺损检测应按现行国家标准《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621 的规定执行；缺损程度宜按表 4.6.5-1～表 4.6.5-4 评定。

表 4.6.5-1 与涂层劣化相应的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无劣化	—
轻微	涂层个别位置出现裂缝、起泡、白化、漆膜发黏、针孔、起皱或皱纹、表面粉化、变色起皮、脱落	累计面积小于或等于构件面积的 10%
中等	涂层出现较严重的裂缝、起泡、白化、漆膜发黏、针孔、起皱或皱纹、表面粉化、变色起皮、脱落	累计面积大于构件面积的 10%且小于或等于构件面积的 50%
严重	涂层出现严重的裂缝、起泡、白化、漆膜发黏、针孔、起皱或皱纹、表面粉化、变色起皮、脱落	累计面积大于构件面积的 50%

表 4.6.5-2 与锈蚀相应的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无锈蚀	—
轻微	构件表面发生轻微锈蚀，氧化皮或油漆层少量剥落	累计锈蚀面积小于或等于构件面积的 5%
中等	构件表面发生点蚀现象，氧化皮或油漆层因锈蚀部分剥落	累计锈蚀面积大于构件面积的 5%且小于或等于构件面积的 10%

续表 4.6.5-2

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
严重	构件表面发生较多点蚀现象，氧化皮或油漆层因锈蚀剥落或能刮除；出现锈蚀成洞现象	累计锈蚀面积大于构件面积的 10%且小于或等于构件面积的 15%，或锈蚀成洞小于 3 个；工字梁孔洞直径小于 30mm，板梁小于 50mm，且边缘完好；桁梁孔洞直径小于 30mm 且小于杆件宽度的 15%
危险	构件表面有大量点蚀现象，氧化皮或油漆层因锈蚀全面剥落；较多部位出现锈蚀成洞现象	累计锈蚀面积大于构件面积的 15%，或锈蚀成洞大于 3 个；工字梁孔洞直径大于 30mm，板梁大于 50mm；桁梁孔洞直径大于 30mm 且大于杆件宽度的 15%

表 4.6.5-3 与焊缝开裂相应的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无开裂	—
轻微	焊缝部位涂层有少量裂纹，结构焊缝无开裂	—
中等	焊缝部位涂层有大量裂纹，受拉翼缘边焊缝存在裂缝，其他部位焊缝无开裂	受拉翼缘边焊缝开裂长度小于或等于 5mm
严重	主要受力构件焊缝出现较多裂缝；构件出现变形	受拉翼缘边焊缝开裂长度大于 5mm 且小于或等于 10mm，其他位置焊缝开裂长度小于或等于 5mm
危险	主要受力构件焊缝出现大量裂缝甚至完全开裂；主要构件存在明显变形，挠度大于现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 规定的限值	受拉翼缘边焊缝开裂长度大于 10mm，其他位置焊缝开裂长度大于 5mm

表 4.6.5-4 与铆钉（螺栓）损失相应的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无损失、无失效	—
轻微	铆钉或螺栓少量损坏、松动或丢失，造成连接部位铆钉或螺栓失效	损坏、失效数量小于或等于总量的 1%
中等	铆钉或螺栓有较多损坏、松动或丢失，造成连接部位铆钉或螺栓失效	损坏、失效数量大于总量的 1% 且小于或等于总量的 10%
严重	主要受力构件铆钉或螺栓有较多损坏、松动或丢失，造成连接部位铆钉或螺栓失效；构件出现变形	损坏、失效数量大于总量的 10% 且小于或等于总量的 30%
危险	主要受力构件铆钉或螺栓大量损坏、松动或丢失，造成连接部位铆钉或螺栓失效；主要构件存在明显变形，挠度大于现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 规定的限值	损坏、失效数量大于总量的 30%

注：表中铆钉损坏程度按现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 的规定判断。

4.6.6 拉索、吊索、系索的缺损检测及缺损程度评定，应符合下列规定：

- 1 缺损检测应包括下列内容：
- 1) 索、锚头、连接件的锈蚀或腐蚀；

2) 锚头松动、开裂、破损；

3) 锚固部位、护套（套管）、减震器等渗水；

4) 护套（套管）材料老化、破损。
- 2 缺损程度宜按表 4.6.6 评定。

表 4.6.6 拉索、吊索、系索的缺损程度评定

缺损程度评定	性状描述
完好	表面防护完好，锚头无锈蚀，锚固区无裂缝
轻微	表面防护基本完好，有细微裂缝；锚头无锈蚀，锚固区无裂缝
中等	表面防护有少量裂缝，伴有少量锈迹，且钢丝少量锈蚀、无断裂；或锚头有轻微锈蚀，锚固区有细小裂缝
严重	锚头锈蚀，锚固区有受力裂缝出现，裂缝宽度小于 0.2mm；或表面防护普遍开裂或部分脱落，部分钢丝锈蚀，但钢丝锈蚀造成单索钢丝总面积损失小于或等于 10%；或个别钢丝断裂，但断裂面积小于或等于该索钢丝总面积的 2%
危险	锚头锈蚀严重，锚固区有明显的受力裂缝，裂缝宽度大于 0.2mm；或表面防护有大量脱落，且钢丝锈蚀严重，钢丝锈蚀造成单索钢丝总面积损失大于 10%；或钢丝断裂面积大于该索钢丝总面积的 2%

4.6.7 钢梁杆件缺损容许限度应符合现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 的规定。

4.6.8 钢筋混凝土碳化深度的检测及碳化深度对钢筋锈蚀影响的评价，应符合下列规定：

- 1 被测构件或部位的测区数量不应少于 3 个，或不应少于混凝土强度测区数量的 30%；
- 2 碳化深度检测应按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定执行；
- 3 碳化深度对钢筋锈蚀的影响，应根据测区混凝土碳化深度平均值与实测保护层厚度平均值之比，按表 4.6.8 进行评价。

表 4.6.8 混凝土碳化深度对钢筋锈蚀的影响评价

碳化深度与保护层厚度的比值 K_c	$K_c < 0.5$	$0.5 \leq K_c < 1.0$	$1.0 \leq K_c < 1.5$	$1.5 \leq K_c < 2.0$	$K_c \geq 2.0$
影响程度	无影响	较小	有影响	较大	保护层失效

4.6.9 钢筋混凝土中钢筋半电池电位的检测及钢筋半电池电位对钢筋锈蚀影响的评价，应符合下列规定：

- 1 检测方法宜采用半电池电位法，参考电极应采用铜-硫酸铜半电池。
- 2 当主要构件或主要受力部位有锈迹时，应在有锈迹区域检测钢筋半电池电位；测区数量应根据锈迹面积确定，每 3m²～5m²可设一测区，一个测区的测点数不宜少于 20 个。
- 3 钢筋半电池电位对钢筋锈蚀的影响可按表 4.6.9 评价。

表 4.6.9 钢筋半电池电位对钢筋锈蚀的影响评价

钢筋半电池电位 V_r (mV)	钢筋锈蚀状况的可能性
$V_r > -200$	无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定，锈蚀概率小于 10%
$-350 < V_r \leq -200$	钢筋锈蚀性状不确定，可能存在坑蚀现象
$V_r \leq -350$	钢筋发生锈蚀的概率大于 90%

4.6.10 钢筋混凝土中氯离子含量的检测以及氯离子含量对钢筋锈蚀影响的评价，应符合下列规定：

- 1 应根据构件的工作环境、质量状况以及钢筋半电池电位的检测结果，选定构件进行氯离子含量检测，每一被测构件测区数量不宜少于 3 个。
- 2 用于氯离子含量测定的试样制备及试样化学分析，应按现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定执行；化学分析用混凝土试样可在测区不同深度部位取样。
- 3 氯离子含量对钢筋锈蚀的影响，可按表 4.6.10 评价。

表 4.6.10 氯离子含量对钢筋锈蚀的影响评价

氯离子含量 C_{cl} (占水泥含量的百分比)	$C_{cl} < 0.15$	$0.15 \leq C_{cl} < 0.40$	$0.40 \leq C_{cl} < 0.70$	$0.70 \leq C_{cl} < 1.00$	$C_{cl} \geq 1.00$
诱发钢筋锈蚀的可能性	很小	不确定	可能诱发	诱发	钢筋锈蚀活化

4.6.11 混凝土电阻率的检测以及混凝土电阻率对钢筋锈蚀影响的评价，应符合下列规定：

- 1 每一被测构件测区数量不宜少于 30 个；
- 2 混凝土电阻率检测宜采用四电极法；
- 3 测区混凝土的电阻率应采用最小值；混凝土电阻率对钢筋锈蚀速率的影响，可按表 4.6.11 评价。

表 4.6.11 混凝土电阻率对钢筋锈蚀影响的评价

混凝土电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	$\rho \geq 20000$	$15000 \leq \rho < 20000$	$10000 \leq \rho < 15000$	$5000 \leq \rho < 10000$	$\rho < 5000$
可能的钢筋 锈蚀速率	很慢	慢	一般	快	很快

4.6.12 钢筋混凝土桥梁钢筋保护层厚度的检测及其结果的评定，应符合下列规定：

1 钢筋保护层厚度检测应包括钢筋位置和混凝土保护层厚度的检测，并应选择下列部位：

- 1) 主要构件或主要受力部位；
- 2) 钢筋锈蚀电位测试结果表明钢筋可能锈蚀活化的部位；
- 3) 发生钢筋锈蚀胀裂的部位；
- 4) 布置混凝土碳化深度测区的部位。

2 钢筋位置和钢筋保护层厚度的检测，应按国家现行标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 和《混凝土中钢筋检测技术规程》JGJ/T 152 的规定执行。

3 钢筋保护层最小厚度应符合设计要求及现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定；钢筋保护层厚度对结构钢筋耐久性的影响，可按现行行业标准《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21 进行评定。

4.7 支座和伸缩装置状况检测

4.7.1 桥梁支座检测可采用外观检查方式，支座的型号和工作

状态应符合设计的规定。

4.7.2 板式橡胶支座的缺损检测及缺损程度评定，应符合下列规定：

- 1 缺损检测应包括下列内容：
 - 1) 老化变质引起的龟裂、破裂；
 - 2) 外鼓；
 - 3) 位置串动、脱空、剪切变形。
- 2 检测时应记录现场温度。
- 3 缺损程度宜按表 4.7.2-1～表 4.7.2-3 评定。

表 4.7.2-1 板式支座与老化变质、龟裂、破裂相应的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无损伤	—
轻微	出现少量裂缝，轻微老化龟裂，无破裂	裂缝宽度小于或等于 1.0mm，裂缝长度小于或等于相应边长的 10%
中等	裂缝较严重，出现老化变形，无破裂	裂缝宽度大于 1.0mm 且小于 2.0mm，裂缝长度大于相应边长的 10%且小于或等于相应边长的 25%
严重	裂缝严重，出现老化破裂，且造成其他构件产生严重病害	裂缝宽度大于 2.0mm，裂缝长度大于相应边长的 25%且小于或等于相应边长的 50%
危险	裂缝、老化破裂非常严重；已经失去正常支承功能，且使相关联的上下部结构受到异常约束，并造成严重损坏或主梁出现严重变形	裂缝宽度大于 2.0mm，裂缝长度大于相应边长的 50%

表 4.7.2-2 板式支座与外鼓相应的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无损伤	—
轻微	有外鼓现象	沿支座一侧外鼓长度小于或等于相应边长的 10%
中等	外鼓明显，或钢板局部外露	沿支座一侧外鼓长度大于相应边长的 10%且小于或等于相应边长的 25%，或钢板局部外露的长度小于或等于 100mm
严重	外鼓现象严重，或钢板大部分外露	沿支座一侧外鼓长度大于相应边长的 25%，或钢板外露长度大于或等于 100mm

表 4.7.2-3 板式支座与串动、脱空、剪切变形相应的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无串动和脱空，剪切变形未超限	—
轻微	位置略有串动，剪切变形未超限	—
中等	位置有较大串动，剪切变形未超限	剪切角度小于或等于 30°，或串动距离小于或等于相应边长的 10%
严重	串动较严重，或出现脱空，或剪切变形超限	剪切角度大于 30°且小于或等于 45°，或串动距离大于相应边长的 10%且小于或等于相应边长的 25%
危险	串动严重，或剪切变形超限，或脱空造成偏压，已经失去正常支承功能，且造成相关联的上下部结构严重损坏或主梁出现严重变形	剪切角度大于 45°，或串动距离大于相应边长的 25%

注：1 位置串动指由于支承垫石不平，造成支座局部承压，引起支座位移；
2 剪切变形超限指剪切角度大于 30°。

4.7.3 盆式橡胶支座的缺损检测及缺损程度评定，应符合下列规定：

- 1 缺损检测应包括下列内容：
- 1) 部件损坏；

2) 位移、转角。
- 2 缺损程度宜按表 4.7.3-1、表 4.7.3-2 评定。

表 4.7.3-1 盆式支座部件损坏时的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无损坏	—
轻微	聚四氟乙烯板磨损轻微，或盆底四角翘起，或钢盆表面锈蚀，或支座垫石局部裂纹、掉角	聚四氟乙烯板外露高度大于或等于 1.0mm
中等	聚四氟乙烯板磨损较多，或钢部件非主要受力部位出现脱焊，或钢盆较多锈蚀并伴有剥落，或除钢盆外其他部件开裂，或支座垫石产生变形、酥裂、露筋、掉角，未出现锚栓剪断现象	聚四氟乙烯板外露高度大于或等于 0.5mm 且小于 1.0mm
严重	部分锚栓剪断，或聚四氟乙烯板磨损较严重，或支座垫石明显变形，或垫石大部分压碎、剥离，造成相关联的上下部结构受到异常约束且损坏较严重	锚栓剪断率小于或等于 50%；或聚四氟乙烯板外露高度大于或等于 0.2mm 且小于 0.5mm
危险	大量锚栓剪断或盆环开裂、脱焊，或聚四氟乙烯板磨损严重，支座破损严重，造成相关联的上下部结构严重损坏或主梁出现严重变形；已失去正常承载功能	锚栓剪断率大于 50%；或聚四氟乙烯板外露高度小于 0.2mm

表 4.7.3-2 盆式支座位移、转角超过允许值时的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	位移和转角较小	—
轻微	位移和转角较大但未超过允 许值	位移和转角小于或等于允许值
中等	位移略超过允许值，或有较 大转角且转角超过允许值	位移大于允许值但小于或等于 10mm，或转角大于允许值但小于或 等于允许值的 1.2 倍
严重	位移明显超过允许值，或转 角超过设计值较多	位移大于允许值且大于 10mm， 或转角大于允许值的 1.2 倍

注：表中允许值按支座产品标志或说明书上载明的标称值采用，当无法查证时，按现行行业标准《公路桥梁盆式支座》JT/T 391 的规定取值。

4.7.4 钢支座的缺损检测及缺损程度评定，应符合下列规定：

- 1 缺损检测应包括下列内容：
- 1) 部件损坏情况；

2) 部件磨损、开裂；

3) 位移。

- 2 缺损程度宜按表 4.7.4-1～表 4.7.4-3 评定。

表 4.7.4-1 钢支座部件损坏时的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无损坏	—
轻微	有锈蚀现象，或牙板咬死， 或个别锚栓剪断，或底板与垫 石不密贴，出现较大缝隙	锚栓剪断率小于或等于 5%；或 底板与垫石间的缝隙宽度小于或等 于 2.0mm 且缝隙深度大于 50mm 但 小于相应支座边长的 25%

续表 4.7.4-1

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
中等	锈蚀较严重，并有剥落，或非主要受力部件脱焊，或牙板折断，或锚栓剪断数量较多，或底板与垫石间出现很大缝隙，出现翻浆、积水	锚栓剪断率大于 5% 且小于或等于 30%；或底板与垫石间的缝隙宽度大于 2.0mm，或底板与垫石缝隙深度大于或等于相应支座边长的 25%
严重	主要受力部件脱焊，或活动支座不能活动，或大量锚栓剪断，或垫石出现严重裂损	锚栓剪断率大于 30%

表 4.7.4-2 钢支座部件磨损、开裂时的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	无损坏	—
轻微	钢部件磨损出现凹陷，或出现微裂缝	磨损凹陷小于或等于 1.0mm，或缝隙深度小于或等于 5.0mm
中等	钢部件磨损凹陷较严重，或出现较大裂缝	磨损凹陷大于 1.0 且小于或等于 3.0mm，或缝隙深度大于 5.0mm 且小于或等于 10.0mm
严重	钢部件磨损凹陷严重，或出现严重裂缝	磨损凹陷大于 3.0mm，或缝隙深度大于 10.0mm

表 4.7.4-3 钢支座位移、转角超过允许值时的缺损程度评定

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
完好	位移较小	—
轻微	位移较大但未超过允许值	位移小于或等于允许值

续表 4.7.4-3

缺损程度 评定	缺损状况描述	
	定性描述	定量描述
中等	位移略超过允许值，但转角未超过允许值	纵向位移大于允许值但小于或等于 5.0mm，或横向位移大于允许值但小于或等于 2.0mm
严重	位移明显超过允许值，或转角超过允许值	纵向位移大于允许值且大于 5.0mm，或横向位移大于允许值且大于 2.0mm

注：表中允许值按支座产品标志或说明书上载明的标称值采用，当无法查证时，按现行行业标准《铁路桥梁钢支座》TB/T 1853 的规定取值。

4.7.5 除本规范第 4.7.2 条～第 4.7.4 条规定的三种类型支座缺损检测外，其他类型支座的缺损状况可按现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 和《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 的规定进行检测。

4.7.6 伸缩缝装置的缺损情况、工作状态检查以及工作状态评定，应符合下列规定：

- 1 伸缩缝装置的平整程度、部件及锚固区破损和失效情况可按现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 和《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 的规定进行检查；
- 2 检查时应记录现场温度；
- 3 伸缩缝装置的工作状态宜按表 4.7.6 评定。

表 4.7.6 伸缩缝装置工作状态评定

工作状态评定	伸缩缝装置工作状态描述
良好	装置平整、直顺，伸缩自如
轻微不良	上层槽口堵塞，伸缩缝伸缩异常，车辆行驶时出现冲击和噪声
明显不良	上层槽口卡死，伸缩缝出现明显损坏，伸缩缝伸缩不能自由变形或伸缩明显异常
严重不良	伸缩严重异常或失效

4.8 索力检测

4.8.1 当拉索、吊索、系索的锚下或索上安装有测力传感器时，索力可直接利用测力传感器测量。

4.8.2 拉索、吊索、系索的索力测量可采用振动法。索力振动法测量应符合下列规定：

1 索的振动可采用测振传感器测量，给出的振动特征频率不宜低于五阶；

2 索力分析时应计入索的抗弯刚度、边界约束条件和垂度的影响；

3 当拉索、吊索、系索的索力调整时，宜实测索的振动频率，并应建立索力与振动频率的数值对应关系。

4.8.3 索力偏差率应按下式计算：

$$K_s = \frac{T_m - T_d}{T_d} \times 100\% \quad (4.8.3)$$

式中： K_s ——索力偏差率（%）；

T_m ——实测索力值（kN）；

T_d ——成桥索力值（kN），当无成桥索力值时，可采用设计索力值。

4.8.4 当索力偏差率超过设计值时，应分析原因，并应按本规范第 5.4.6 条检算其承载力。

4.9 结构自振频率检测

4.9.1 桥梁结构自振频率检测宜按本规范附录 B 执行。

4.9.2 采用实测自振频率评价桥梁结构的刚度变化，应符合下列规定：

1 在桥梁结构体系和恒载不变的情况下，宜采用既往实测自振频率的初次值作为基准频率值；当实测自振频率小于基准频率值的 90% 时，应分析结构刚度退化的原因。

2 在桥梁结构体系或恒载发生改变的情况下，可通过实测

自振频率与基准频率值的比较，分析目前结构的刚度与结构体系或恒载改变的关联程度；基准频率值应采用改变前的最近一次实测自振频率值。

3 当无既往实测自振频率值时，基准频率值可采用计算频率值。

4.10 人行天桥检测

4.10.1 人行天桥结构检测评定除应按本规范第 4.1 节～第 4.9 节的规定执行外，还应对下列天桥附属结构及设施进行检测：

- 1 栏杆、顶棚与结构的连接；
- 2 当梯道与主桥采用牛腿搭接方式时，牛腿的裂缝与损伤；
- 3 其他对结构、行人和交通安全产生影响的附属结构及设施。

4.10.2 人行天桥栏杆的高度、最大净空以及与结构连接的检测结果评定应符合现行行业标准《城市人行天桥与人行地道技术规范》CJJ 69 的规定。

4.10.3 牛腿裂缝与缺损的检测及其结果的评定，应按本规范第 4.5 节、第 4.6 节的规定执行。

4.10.4 当人行天桥设有自动扶梯或自动升降梯时，应对自动扶梯或自动升降梯与天桥连接部位进行检测。自动扶梯或自动升降梯的检验应符合国家关于特种设备检验的规定。

4.11 检测报告

4.11.1 桥梁结构的检测报告应包括下列基本内容：

- 1 委托单位名称；
- 2 桥梁的概况，包括工程的名称、地点和建造年代，桥梁的类型、结构形式、跨径布置、横向布置、荷载等级和设计车速；
- 3 检测目的、依据、项目内容及检测方法；
- 4 检测的日期及时间；

- 5 仪器设备及其测量准确度，变形观测系统及其观测级别；
- 6 结构检测的结果及其评定；
- 7 结构耐久性状况评价；
- 8 计算资料、试验数据图表、检测现场及结构检查照片；
- 9 处理意见、建议和说明。

4.11.2 检测报告中的处理意见、建议和说明，宜包括下列内容：

- 1 当构件缺损程度为严重或危险且明显影响结构安全时，提出限制或停止使用的意见；
- 2 存在缺损构件的维修或加固意见；
- 3 对结构承载能力进一步检算的建议；
- 4 为查明结构隐患需要补充检测的内容或增大抽检数量的建议；
- 5 缺损或病害可能对结构安全性、适用性和耐久性影响的说明。

5 桥梁结构检算

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁结构承载能力检算采用的可变作用中的汽车荷载与人群荷载，应按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 的规定取值；人行天桥结构承载能力检算采用的可变作用及作用组合，应按现行行业标准《城市人行天桥与人行地道技术规范》CJJ 69 的规定取值。

5.1.2 桥梁结构检算模型的建立，除采用原设计结构模型外，还应根据结构及构件缺损检测评定结果进行检算模型修正，结构的整体响应应与检测结果吻合。对既有桥梁，当按检算荷载计算的结构承载能力不满足要求时，应检算结构所能承受的荷载水平。

5.1.3 桥梁墩台基础变位的最终值，应根据墩台与基础变位情况的调查以及桥梁线形与变位的观测结果，综合确定。

5.1.4 资料缺失的桥梁应根据结构实体检测结果进行检算评定。

5.1.5 桥梁结构检算应包括结构的整体稳定性、控制截面和薄弱部位的检算。空间受力特征较为明显的桥梁，检算时宜考虑空间效应；分阶段施工的桥梁结构，检算时应计入施工过程中的不利影响。

5.1.6 当钢筋混凝土、圯工桥梁的结构或构件按承载能力极限状态评定时，应符合下式要求：

$$\gamma_0 S \leq R(f_m, a_m, f_{ad}) \quad (5.1.6)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，对新建桥梁应根据城市桥梁的设计安全等级确定，其他情况可取 1.0；

S ——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值，应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG

D60 的规定；

$R(\cdot)$ ——结构或构件的抗力函数；

f_m ——材料性能的实测值，抗力计算时，应除以相应的材料性能分项系数后采用；

a_m ——结构或结构构件几何参数的实测值；

f_{ad} ——损伤、钢筋锈蚀、约束条件变异等对结构或构件所产生的不利影响附加值。

5.1.7 对已发生钢筋锈蚀的钢筋混凝土构件承载能力评定时，应计入钢筋锈蚀导致的钢筋截面减少和粘结力退化的综合影响，对钢筋截面进行折减。宜根据本规范第 4.6.4 条进行钢筋缺损程度评定，并应按表 5.1.7 确定锈蚀钢筋的截面折减系数。

表 5.1.7 钢筋混凝土的钢筋截面折减系数

缺损程度评定	截面折减系数 ξ_s
完好	$0.98 < \xi_s \leq 1.00$
轻微	$0.95 < \xi_s \leq 0.98$
中等	$0.90 < \xi_s \leq 0.95$
严重	$0.80 < \xi_s \leq 0.90$
危险	$\xi_s \leq 0.80$

5.2 结构上的作用

5.2.1 结构自重荷载可根据实际调查的结构重力变异情况，对原设计结构自重荷载进行调整与修正。

5.2.2 当桥梁需临时通过特殊或重型车辆，且车辆产生的荷载效应大于该桥的设计荷载效应时，应取特殊或重型车辆的实际载重作为检算荷载。

5.2.3 温度作用宜按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定采用，对大跨径桥梁或受力复杂的结构，可根据实测的结构温度场进行检算。

5.2.4 人行天桥栏杆水平承载力检算时，栏杆上的荷载可按现

行行业标准《城市人行天桥与人行地道技术规范》CJJ 69 的规定取用。

5.2.5 人行天桥桥墩受汽车撞击时的整体稳定性和截面应力检算，应采用撞击力与永久作用的组合。

5.3 结构检算

5.3.1 混凝土梁式桥检算应符合下列规定：

1 简支梁桥检算应包括下列内容：

- 1) 跨中截面的受弯承载力和支点截面的受剪承载力；
- 2) 1/4 截面和横截面尺寸变化处截面在弯剪组合作用下的承载力；
- 3) 对外观缺损较严重的构件，根据缺损处截面的受力特性，检算该截面的受弯或受剪承载力，或在弯剪组合作用下的承载力；
- 4) 结构或构件的变形。

2 对连续梁桥和连续刚构桥，除应按对简支梁桥的规定进行检算外，还应检算连续支点截面的受弯承载力。

3 独柱墩连续直线梁桥，弯桥、坡桥、斜桥及异形结构桥，应检算结构整体的稳定性、抗倾覆和抗滑移能力。

5.3.2 钢结构桥梁检算应符合下列规定：

1 钢板梁结构检算应包括下列内容：

- 1) 桥梁跨中截面和连续梁支点截面的受弯承载力，以及腹板接头处、盖板叠接处、翼板接头处的连接承载力；
- 2) 支点截面的受剪承载力，包括支点上下翼板连接的螺栓、铆钉或焊缝的受剪承载力；
- 3) 受压翼板、支点加筋立柱及腹板的稳定性；
- 4) 桥面系梁尚应进行纵梁与横梁、横梁与主梁的连接检算，以及纵梁与主梁间横梁区段的受剪承载力检算；
- 5) 结构或构件的变形。

2 钢桁梁结构检算应包括下列内容：

- 1) 杆件的承载力与稳定性;
- 2) 节点和拼接的连接承载力;
- 3) 承受反复应力的杆件、构件连接部位的疲劳性能;
- 4) 联结系的承载力与稳定性;
- 5) 主桁或构件的变形。

3 钢材强度设计值宜按本规范第 4.4.2 条确定的代表值除以材料性能分项系数后采用,材料性能分项系数应按现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的规定取用。

4 钢构件的承载力、疲劳、稳定性检算应按现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的规定执行。

5.3.3 钢筋混凝土拱桥、圬工拱桥、钢管混凝土拱桥、系杆拱桥和吊杆拱桥检算,应符合下列规定:

1 应根据实际情况和设计计算资料,对拱顶截面、拱脚截面、四分点截面及薄弱部位进行承载力及稳定性检算,对拱顶截面、四分点截面进行变形检算。

2 对结构形式、尺寸及跨径相同的多孔拱桥桥跨,应选择受力最不利与损伤较严重的桥跨进行检算;当多孔拱桥的桥墩与主拱圈的抗推刚度比值小于或等于 37 时,应按连拱结构检算。

3 系杆拱桥和吊杆拱桥应对系杆、吊杆的承载力进行检算。

4 中、下承拱桥悬吊桥面系应对横梁两端吊杆失效后的不落梁能力进行检算。

5.3.4 斜拉桥、悬索桥结构检算,应符合下列规定:

1 应以索力、桥面及主缆线形的实测数据作为结构检算的基本状态。

2 桥塔应检算受弯承载力、稳定性和塔顶位移。

3 加劲梁应检算受弯和受扭承载力,以及最大正、负弯矩与相应的扭矩组合作用下的承载力,并应进行挠度检算,当受纵向力较大时,还应检算结构整体稳定性和构件局部稳定性。

4 悬索桥应检算主缆的承载力。

5 斜拉桥、悬索桥结构分析宜采用空间模型。

5.3.5 钢-混凝土组合梁的受弯及受剪承载力、抗剪连接件承载力、整体稳定性、疲劳、局部稳定性、应力、挠度检算，应按现行国家标准《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 的规定执行。

5.3.6 桥面结构检算应符合下列规定：

1 混凝土梁式桥的桥面板应进行控制截面的承载力检算。

2 采用钢箱梁结构形式的斜拉桥、悬索桥桥面结构，应检算在车轮轴荷载作用下桥面结构的局部承载力及变形。

5.3.7 桥梁墩台、墩台基础与地基检算，应符合下列规定：

1 对外观缺损状况严重或超重车辆过桥有异常的桥梁墩台，应对墩台及墩台基础的承载力进行检算。

2 桥梁墩台基础的差异沉降、倾斜和滑移的检算，宜按现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 的规定执行。

3 当桥梁墩台基础已发生不均匀沉降、倾斜或滑移时，除应对地基承载力进行检算外，尚应检算不均匀沉降对超静定桥梁上部结构内力的影响。

4 当检算墩台身截面应力、基底应力及偏心距、倾覆稳定时，对已出现倾斜或墩台顶出现水平位移的墩台，应按实际出现的斜度或偏心进行检算。

5 墩台身及基础由于施工原因或某种病害产生环形裂缝时，应对裂缝截面进行应力、倾覆和滑动稳定检算，当检算滑动稳定时，圬工间的摩擦系数可取 0.6，当裂缝截面中渗入泥沙时，摩擦系数取值宜根据实际情况降低。

6 对经多年压实且未受扰动的墩台基础下的地基土，地基承载力可按现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 进行修正。

7 当桥台填土经多年压实时，填土的内摩擦角可按现行行业标准《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21 进行修正。

5.3.8 对相关国家现行标准未规定结构承载能力计算分析方法的既有桥梁，除应根据桥梁结构设计要点和本规范第3章的相关规定进行结构检测、检算外，还应利用桥梁运营监测、荷载试验以及施工监控的数据进行结构检算结果的复核。

5.3.9 对遭受车船撞击、洪水、泥石流、地震作用的桥梁结构，除应根据桥梁下部结构可见部分和上部结构的缺损检测结果进行检算外，还应根据下列评估结果进行检算：

1 桥梁下部结构隐蔽部分的缺损检测评估；

2 对遭受洪水、泥石流或地震作用的桥梁，通过实地调查和探查给出的地基条件评估。

5.4 桥梁结构承载能力评定

5.4.1 钢筋混凝土桥梁承载能力极限状态评定应符合本规范第5.1.6条的规定；正常使用极限状态承载能力评定，应符合下列规定：

1 预应力混凝土构件抗裂性能应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定。

2 采用作用频遇组合并考虑长期作用影响计算的挠度值，不得大于表5.4.1-1规定的限值；长期作用影响应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定取值。

3 桥梁正常使用阶段的结构刚度变化，可通过计算挠度值与设计挠度值的比较进行评价。

4 采用现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 规定的作用组合计算的裂缝宽度，不得超过表5.4.1-2规定的限值。

表 5.4.1-1 挠度限值

桥梁类型	挠 度 限 值
圬工拱桥	一个桥跨范围内正负挠度的最大绝对值之和不大于 $L/1000$

续表 5.4.1-1

桥梁类型	挠 度 限 值	
钢筋混凝土与 预应力混凝土桥	梁桥主梁跨中	$L/600$
	梁桥主梁悬臂端	$L_1/300$
	桁架、拱	$L/800$
	斜拉桥预应力混凝土主梁	$L/500$
	悬索桥预应力混凝土加劲梁	$L/500$
钢桥	简支或连续桁架	$L/500$
	简支或连续板梁	$L/500$
	斜拉桥钢主梁	$L/400$
	悬索桥钢加劲梁	$L/250$

注：1 L 为简支梁、桁架、拱、斜拉桥或悬索桥的计算跨径；

2 L_1 为悬臂长度。

表 5.4.1-2 裂缝宽度限值

结构类别	裂缝部位	限值 (mm)	附加要求
钢筋混 凝土梁	主筋附近竖向裂缝	0.25	—
	腹板斜向裂缝	0.30	—
	组合梁结合面	0.50	不得贯通结合面
	横隔板与梁体端部	0.30	—
	支座垫石	0.50	—
全预应力 混凝土梁	梁体竖向裂缝	不允许	—
	梁体横向裂缝	不允许	—
	梁体纵向裂缝	不允许	—
A类预应力 混凝土梁	梁体竖向裂缝	不允许	—
	梁体横向裂缝	不允许	—
	梁体纵向裂缝	不允许	—
B类预应力 混凝土梁	梁体竖向裂缝	0.15	—
	梁体横向裂缝	0.15	—
	梁体纵向裂缝	0.20	—

续表 5.4.1-2

结构类别	裂缝部位			限值 (mm)	附加要求
砖、石、 混凝土拱	拱圈横向			0.30	裂缝在垂直方向的投影高度应小于截面高的50%
	拱圈纵向			0.50	裂缝长度应小于1/8跨径
	拱波与拱肋结合处			0.20	—
墩台	墩台帽			0.30	不得贯通墩台身截面的50%
	墩台身	经常受浸蚀性水的影响	有筋	0.20	
			无筋	0.30	
		常年有水， 但无侵蚀性影响	有筋	0.25	
			无筋	0.35	
	干沟或季节性有水河流			0.40	—
	有冻结作用部分			0.20	

注：表中所列限值除特指外适用于结构所处环境为一般环境或严寒、滨海环境时的情况。当结构所处环境为海水环境或侵蚀环境时，表中裂缝宽度限值的取值不超过现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 规定的限值。

5.4.2 圯工桥梁承载能力极限状态评定应符合本规范第 5.1.6 条的规定。当对圯工桥梁正常使用极限状态进行评定时，结构的变形和构造评定应符合现行行业标准《公路圯工桥涵设计规范》JTG D61 的规定，裂缝宽度不得超过本规范表 5.4.1-2 规定的限值。

5.4.3 钢结构桥梁承载能力评定，应符合下列规定：

1 承载能力极限状态下，钢结构或构件的承载力、稳定性和疲劳性能评定，应符合现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的规定；

2 正常使用极限状态下，按现行行业标准《公路钢结构桥

梁设计规范》JTG D64 规定的作用组合计算的挠度值,不得超过本规范表 5.4.1-1 规定的限值。

5.4.4 钢-混组合桥梁承载能力评定,应符合下列规定:

1 承载能力极限状态下,钢-混组合梁的截面及连接件承载力、稳定性和疲劳性能评定,应符合现行国家标准《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 的规定。

2 正常使用极限状态下,钢-混组合梁的应力、挠度和局部稳定性检算,应符合现行国家标准《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 的规定;按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 规定的作用组合计算的钢-混组合梁中混凝土结构的裂缝宽度,不得超过本规范表 5.4.1-2 规定的限值。

5.4.5 钢管混凝土拱桥承载能力评定,应符合下列规定:

1 承载能力极限状态下,拱肋的承载力和稳定性评定,应符合现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的规定;

2 正常使用极限状态下,拱肋的挠度和钢管应力评定,应符合现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的规定。

5.4.6 拉索、吊索、系索的抗拉承载力应符合下式要求:

$$\frac{T_c}{A_j} \leq f_d \quad (5.4.6)$$

式中: T_c ——采用作用的基本组合与偶然组合分别计算的索力值 (N),偶然作用应计入索的更换、断裂、裹冰等偶然工况影响,当恒载作用下计算的索力值小于实测索力值时,恒载作用下的计算索力值应取实测索力值;

A_j ——计入损伤影响后索的实际面积 (mm^2);

f_d ——拉索、吊索、系索的抗拉强度设计值 (N/mm^2)。

5.4.7 拉索、吊索、系索的疲劳性能评定,宜按现行行业标准

《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的规定执行。

5.5 检 算 报 告

5.5.1 桥梁结构的检算报告应包括下列基本内容：

- 1 委托单位名称；
- 2 桥梁的概况，包括工程的名称、地点和建造年代，桥梁的类型、结构形式、跨径布置、横向布置、荷载等级和设计车速；
- 3 检算目的、依据和内容；
- 4 结构检测方法及其结果；
- 5 结构检算荷载、计算模型及相关参数取值；
- 6 结构承载能力检算结果评价；
- 7 计算资料、数据图表及结构缺损或病害图片；
- 8 处理意见和建议。

5.5.2 检算报告中的意见和建议，宜包括下列内容：

- 1 对承载能力不足的构件进行维修或加固的意见；
- 2 当结构检算的承载能力不满足要求时，根据结构所能够承受的荷载水平提出限制或停止使用的意见；
- 3 结构检算仍不能判定承载能力时，提出实施荷载试验的建议。

6 静力荷载试验

6.1 一般规定

6.1.1 桥梁静力荷载试验的测试内容和控制荷载，应根据下列试验类型确定：

- 1 验收性荷载试验；
- 2 鉴定性荷载试验。

6.1.2 试验桥跨应选择受力不利、缺陷较多或病害较严重的桥跨，结构独立的一联应作为一座桥进行荷载试验。

6.2 试验准备

6.2.1 试验方案除应包括本规范附录 A 规定的基本内容外，尚应包括下列内容：

- 1 测试内容：试验桥跨、控制截面及控制测点的布置；
- 2 试验荷载：加载设备、荷载工况；
- 3 仪器设备：符合本规范第 3.0.12 条、第 3.0.13 条要求的仪器设备性能指标和量值溯源途径；
- 4 试验程序：加载、卸载程序与测试程序，试验终止条件；
- 5 组织与分工：试验组织框架，人员分工职责，具体协调要求；
- 6 安全措施：按获批的桥梁交通安全保障方案，明确试验期间人员、设施、仪器设备等安全保障措施；
- 7 试验资料整理的要求；
- 8 当试验桥跨、控制截面或测试截面、控制测点或测点由委托方或设计单位指定时，宜在试验方案中注明。

6.2.2 验收性荷载试验的控制截面及其控制测点的选定，应符合下列规定：

1 控制截面和测试内容宜根据桥梁的结构形式按表 6.2.2 选定；

2 不同试验加载工况下产生内力或变位最不利效应值的点，应选定为该控制截面的控制测点。

表 6.2.2 不同结构形式桥梁的控制截面和测试内容

结构形式	控制截面和测试内容		
	应力测试	位移测试	附加测试
简支梁桥	跨中最大正弯矩截面，支点最大剪力截面	跨中	支点沉降，四分点正弯矩截面应力和挠度
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	支点沉降和最大剪应力，四分点正弯矩截面应力和挠度
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	支点最大剪应力，悬臂端支点截面最大剪应力，挂梁跨中最大正弯矩截面应力和挠度
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	墩顶最大剪应力，悬臂端支点截面最大剪应力，挂梁跨中最大正弯矩截面应力
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	墩顶最大剪应力，固结墩墩身最大弯矩截面的应力，墩顶纵向桥向水平位移，中跨和边跨四分点挠度
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	固结节点挠度，柱脚最大弯矩截面的应力

续表 6.2.2

结构形式	控制截面和测试内容		
	应力测试	位移测试	附加测试
无铰拱桥	拱顶最大正弯矩截面, 拱脚最大正、负弯矩截面	拱顶	四分点最大正、负弯矩截面应力, 四分点正、负挠度绝对值之和, 拱脚水平推力
斜拉桥	中跨和边跨最大正、负弯矩截面, 塔身最大弯矩截面, 斜拉索索力	中跨跨中, 边跨最大正弯矩截面, 主塔塔顶水平纵向桥向	中跨和边跨四分点挠度, 主梁纵向漂移
悬索桥	中跨和边跨最大正弯矩截面, 塔身最大弯矩截面, 主缆索力	中跨跨中, 边跨最大正弯矩截面, 主塔塔顶水平纵向桥向	中跨和边跨四分点挠度, 主梁纵向漂移, 吊索索力

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试验测点的杆件。

6.2.3 鉴定性荷载试验的控制截面及其控制测点的选定, 除应符合本规范第 6.2.2 条的规定外, 控制截面的选定还应符合下列规定:

1 结构或构件检算不满足要求或存在疑问的截面应选定为控制截面;

2 结构或构件缺损程度严重的截面应选定为控制截面。

6.2.4 静力荷载试验的控制荷载选用, 应符合下列规定:

1 鉴定性荷载试验的控制荷载应按原设计荷载或目标荷载选用; 对结构检测和检算后认定承载能力不足的桥梁, 可降低控制荷载等级。

2 常规桥梁验收性荷载试验的控制荷载应采用现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 规定的汽车和人群荷载标准值;

当设计另有规定时，应从其规定。

3 特大桥或结构体系复杂桥梁的验收性荷载试验，其控制荷载宜通过内力或变位计算值与设计值核验后确定。

6.2.5 实际试验的工况荷载和加载位置可采用荷载试验效率进行控制。静力荷载试验效率应按下式计算：

$$\eta_s = \frac{S_{\text{stat}}}{S_k \cdot (1 + \mu)} \quad (6.2.5)$$

式中： η_s ——静力荷载试验效率，对验收性荷载试验，其值应大于或等于 0.85，且不得大于 1.05，对鉴定性荷载试验，其值应大于或等于 0.95，且不得大于 1.05；

S_{stat} ——在静力试验的实际工况荷载作用下，控制截面的最大内力或变位计算值；

S_k ——控制荷载作用下，控制截面的最不利内力或变位计算值；

μ ——设计冲击系数。

6.2.6 试验测点的布设应符合下列规定：

1 控制测点应布设为试验测点。

2 挠度观测点布置应考虑加载位置及荷载横向分布的影响；对宽桥，在测试截面横桥向布置不得少于 3 个测点；对多梁式桥，每片梁测点布置不宜少于 1 个。

3 应变测点应设置在测试截面横桥向荷载分布较大的构件或部位，横桥向测点布置不得少于 3 点；构件上的应变测点应设置在构件横截面局部应力较大的部位。

4 对允许开裂的钢筋混凝土结构中的钢筋应变测试，宜凿开混凝土保护层直接在钢筋上设置拉应力测点。

5 测点布置应便于仪器安装和观测读数，并应保障观测人员、仪器设备的安全；当观测数据的测点或部位存在危险时，应采取妥善的安全措施。

6.2.7 车行桥梁静载试验宜采用装载重物的车辆加载，人行天桥宜采用重物或水箱加载。

6.2.8 测试平台应满足试验要求并安全可靠。

6.2.9 试验前应根据结构内力或位移影响线确定加载位置和卸载位置。当进行桥跨加载和卸载时，应确保相邻桥跨结构的受力安全；当加载工况较多时，应进行标识区别。

6.2.10 试验加载中的安全措施、人员协调方式的确定，以及现场供电照明、通信联络、交通管制等工作，应根据试验加载方案和桥址处的交通状况在试验前确定。

6.2.11 由多台或多套地线非悬浮式仪器设备、传感器组成的测量系统应共地；导线连接应牢固。

6.3 现场试验

6.3.1 现场荷载试验应根据测量方法和仪器使用条件，采取下列措施：

1 宜选择昼夜温差小的阴天或温差小的时段进行试验。

2 宜布置适量的温度测点，空载时量测结构温度场的变化，同时观测结构温度变化对测点应变及变位的影响。

3 对不具有温度补偿能力的传感器测点，应在同一温度场中设置无应力补偿测点；在加载过程中观测受力测点测值变化的同时，扣除无应力补偿测点的测值变化。

6.3.2 静力荷载试验应分级加载，逐级增加到最大试验荷载，然后逐级或一次性卸载至零。分级加载可分为3级~5级。

6.3.3 正式加载试验前，宜对试验结构预加载，预加载的荷载宜取1级~2级分级荷载。

6.3.4 静力荷载的持续时间应根据结构变位达到相对稳定所需的时间确定。对钢筋混凝土结构宜取15min~30min，钢结构不宜少于10min。

6.3.5 试验加载应按设计的加载程序进行。加载过程中应对测点的实测数据与计算值进行比较分析。当出现下列情况之一时，应暂停加载并查找原因，在确认结构及人员安全后方可继续试验：

1 实测的应力（应变）或变位值已达到或超过控制荷载作用下的应力（应变）或变位计算值；

2 加载过程中结构出现新裂缝，或少量结构既有裂缝的开展宽度大于允许裂缝宽度；

3 实测结构变位的规律与计算结果相差较大；

4 桥体发出异常响声或发生其他异常情况。

6.3.6 试验过程中发生下列情况应终止加载：

1 加载过程中结构既有裂缝的长度、宽度急剧开展，超过裂缝宽度限值的结构裂缝大量增多，或新的结构裂缝大量出现，对结构使用寿命造成较大的影响；

2 发生其他结构损坏，影响桥梁结构安全或正常使用。

6.4 试验资料整理与结果评定

6.4.1 测试数据应根据仪器设备的检定或校准结果进行修正。当出现下列情况之一时，应对测试数据进行补偿修正：

1 当采取本规范第 6.3.1 条第 2 款措施，且温度变化对测试数据的预估影响大于或等于最大测量绝对值的 1% 时，应按下式进行温度补偿修正：

$$\Delta S = \Delta S' - \Delta t \cdot K_t \quad (6.4.1-1)$$

式中： ΔS ——温度修正后的测点加载测值变化；

$\Delta S'$ ——温度修正前的测点加载测值变化；

Δt ——观测时间段内的温度变化；

K_t ——空载时温度上升 1℃ 时测点测值变化量。

2 当采用电阻应变式传感器测量，但未采用六线制长线补偿时，应按下列公式对实测应变值进行导线电阻修正：

$$\text{半桥测量时} \quad \epsilon = \epsilon' \cdot \left(1 + \frac{r}{R}\right) \quad (6.4.1-2)$$

$$\text{全桥测量时} \quad \epsilon = \epsilon' \cdot \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \quad (6.4.1-3)$$

式中： ϵ ——修正后的应变值；

ϵ' ——修正前的应变值；

r ——导线电阻 (Ω)；

R ——应变计电阻 (Ω)。

3 当支点沉降较大时，应根据各支点沉降差对挠度测量值进行插值修正。

6.4.2 试验数据处理时，宜根据测试内容绘制下列加载工况下的试验图表：

1 荷载与控制测点的实测变位或应变的关系曲线；

2 实测变位或应变沿桥纵向和横向的变化曲线；

3 测点实测变位或应变与相应计算值的对照表及其关系曲线；

4 结构出现裂缝后典型裂缝的形态随试验荷载增加的变化开展图。

6.4.3 当结构变位或应变校验系数大于 1 时，应查明原因；当结果无误时，桥梁结构的承载能力应评定为不满足要求。结构变位或应变校验系数应按下式计算：

$$\zeta = \frac{S_{e,m}}{S_{e,c}} \quad (6.4.3)$$

式中： ζ ——结构变位或应变校验系数；

$S_{e,m}$ ——试验荷载作用下控制测点的弹性变位或应变实测值；

$S_{e,c}$ ——试验荷载作用下控制测点的弹性变位或应变计算值。

6.4.4 当测点的相对残余变位或相对残余应变大于 20% 时，应查明原因；当结果无误时，桥梁结构的承载能力应评定为不满足要求。测点的相对残余变位或相对残余应变应按下式计算：

$$S'_p = \frac{S_p}{S_t} \times 100\% \quad (6.4.4)$$

式中： S'_p ——测点的相对残余变位或相对残余应变 (%)；

S_p ——试验荷载作用下控制测点的残余变位或残余应变实测值；

S_i ——试验荷载作用下控制测点的总变位或总应变实测值。

6.4.5 桥梁地基与基础的评定应符合下列规定：

1 试验荷载作用下，墩台的沉降、水平位移及倾斜满足上部结构检算要求，卸载后变位基本恢复，可评定地基与基础在试验荷载作用下能正常工作；

2 试验荷载作用下，墩台的沉降、水平位移或倾斜较大，卸载后变位不能大部分恢复，应进一步对地基及基础进行探查、检算。

6.5 人行天桥

6.5.1 人行天桥静力荷载试验加载应按人群荷载设计值沿桥跨均匀布置；加载条件受限时，可按静力等效均布力或多点集中力布置，但应确保结构局部受力安全。

6.5.2 人行天桥试验荷载应按控制截面的最不利内力或变位分成3级~5级施加，对控制测点，应逐级绘制测点变位或应变随荷载变化的关系曲线。

6.5.3 人行天桥静力荷载试验的结果评定，应符合本规范第6.4节的有关规定。

6.5.4 人行天桥栏杆扶手的水平推力试验应符合下列规定：

1 等效水平集中荷载应在栏杆扶手位置施加，加载时可利用对面一侧栏杆扶手或立柱提供反力；

2 试验等效集中荷载的取值应符合现行行业标准《城市人行天桥与人行地道技术规范》CJJ 69的规定，并应等分不少于5级逐级施加；

3 试验过程中，应采取保障行人和交通安全的防护措施。

6.5.5 在试验水平推力作用下，与栏杆扶手同高度部位的水平位移的最大值，不得超过栏杆扶手高度的 $1/120$ 。

6.6 试验报告

6.6.1 试验报告应包括下列基本内容：

- 1 委托单位名称；
- 2 桥梁的概况，包括工程的名称、地点和建造年代，桥梁的类型、结构形式、跨径布置、横向布置、荷载等级和设计车速；
- 3 试验目的、依据、内容及方法；
- 4 试验的日期及时间；
- 5 仪器设备及其测量准确度，变形观测系统及其观测级别；
- 6 结构承载能力评定。

6.6.2 试验报告应包括下列试验情况的描述：

- 1 试验桥跨的加载工况照片；
- 2 加载前结构外观状态、病害现状的描述；
- 3 控制荷载的选用，不同试验加载工况时的等效荷载、荷载布置及对应的荷载效率；
- 4 试验中出现的异常情况描述。

6.6.3 试验报告宜包括下列测试结果：

- 1 控制截面各测点的变位或应变校验系数、相对残余变位或相对残余应变；
- 2 结构典型裂缝的形态随试验荷载增加的变化开展情况；
- 3 各试验加载工况下控制测点的变位或应变随试验荷载的变化曲线。

7 动力荷载试验

7.1 一般规定

7.1.1 动力荷载试验应根据试验目的和测试内容,选择跑车、跳车、刹车或移动人群作为动力荷载,测试和分析动力荷载作用下桥梁结构的动态响应。试验桥跨的选择应符合本规范第 6.1.2 条的规定。

7.1.2 符合下列条件之一的桥梁,除应测试结构的动态响应外,还宜测试结构的自振特性。自振特性测试可采用环境激励法。

- 1 单跨跨径大于或等于 40m 的桥梁;
- 2 存在异常振动的桥梁;
- 3 需系统评价结构动力性能的桥梁;
- 4 其他有特殊要求的桥梁。

7.2 试验准备

7.2.1 桥梁动载试验方案的编制内容应符合本规范第 6.2.1 条的相关规定。

7.2.2 测试仪器除应符合本规范第 3.0.12 条、第 3.0.13 条的规定外,还应符合下列规定:

- 1 当仅用于频域分析时,仪器采样频率不得低于欲测信号最高频率分量所对应的频率值的 2 倍。
- 2 当仅用于时域分析时,仪器采样频率不宜低于欲测信号最高频率分量所对应的频率值的 10 倍。
- 3 当同时用于时域和频域分析时,仪器采样频率不得低于欲测信号最高频率分量所对应的频率值的 5 倍,也不宜大于欲测信号最高频率分量所对应的频率值的 10 倍;当仪器采样频率大于或等于欲测信号最高频率分量所对应的频率值的 10 倍时,宜

增加时间采样点数。

7.2.3 桥梁动力荷载试验的控制截面应根据桥梁结构振型特征和行车动力响应最大的原则确定。

7.2.4 动力试验工况荷载和加载位置可采用动力荷载试验效率进行控制。动力荷载试验效率应按下式计算：

$$\eta_d = \frac{S_{dyn}}{S_k} \quad (7.2.4)$$

式中： η_d ——动力荷载试验效率，其值宜取高值，但不得大于1；

S_{dyn} ——在动力试验的实际工况荷载作用下，控制截面的最大内力或变位计算值；

S_k ——控制荷载作用下，控制截面的最不利内力或变位计算值。

7.3 现场测试

7.3.1 跑车试验宜采用接近运营条件的重载车以不同车速过桥，跑车速度宜按下列方式选取：

1 当车速不大于10km/h时，宜按5km/h间隔递增选取；

2 当车速大于10km/h时，宜按10km/h间隔递增选取并直至设计车速。

7.3.2 刹车试验的车速宜取30km/h~50km/h，刹车部位应为结构动态响应较大的位置。

7.3.3 跳车试验可在预定激振位置设置10cm~15cm高垫木或三角块，斜边朝向汽车。一辆满载重车以后轮越过垫木或三角块落下。

7.3.4 跑车、刹车、跳车试验应全面记录车桥耦合振动和桥梁自由衰减振动的动态响应，记录时间宜以衰减振动波形的振幅衰减至零为止。

7.3.5 当采用环境激励方式测试桥梁结构的自振特性时，试验宜按本规范附录B执行。

7.3.6 人行天桥可采用跳梁法、跑梁法试验，并应符合下列规定：

1 人群跳动激振天桥试验时，跳动位置可按所测结构的振型确定；

2 人群跑步或步行激振天桥试验时，应以不同的步速匀速通过桥梁。

7.4 数据分析与评定

7.4.1 动力放大系数应根据跑车试验中不同速度下记录的动应变或动变位曲线（图 7.4.1）进行分析，并按下列公式计算：

$$\mu_{\text{dyn}} = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ds}}} - 1 \quad (7.4.1-1)$$

或

$$\mu_{\text{dyn}} = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{mean}}} - 1 \quad (7.4.1-2)$$

$$S_{\text{mean}} = \frac{S_{\text{max}} + S_{\text{min}}}{2} \quad (7.4.1-3)$$

式中： μ_{dyn} ——动力放大系数；

S_{ds} ——车辆停驶时，静态车辆荷载作用下测点的最大变位或应变值；

S_{max} ——车辆行驶时，动态车辆荷载作用下测点的最大变位或应变值（波峰值）；

S_{min} ——车辆行驶时，动态车辆荷载作用下测点的最小变位或应变值（同周期的波谷值）；

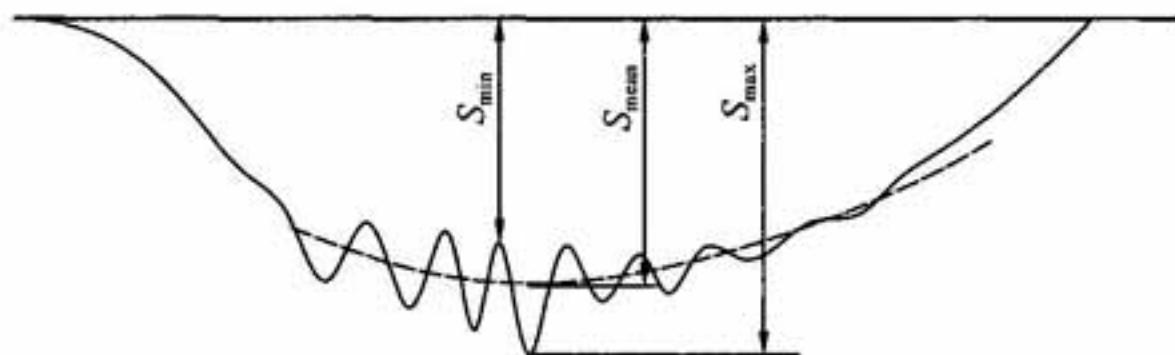


图 7.4.1 动应变或动变位曲线

S_{mean} ——车辆行驶时，动态车辆荷载作用下测点的变位或应变算术平均值。

7.4.2 结构刚度变化情况应根据实测自振频率值与基准频率值的比较进行评价，并应符合本规范第 4.9.2 条的规定。

7.4.3 梁式、刚构、刚架和拱结构人行天桥的行人舒适性评定，应满足下列规定：

- 1 结构竖向最低自振频率不应小于 3Hz；
- 2 横向最低自振频率不宜小于 1.2Hz。

附录 A 桥梁检测方案

A.0.1 桥梁检测方案制订前应进行资料收集和现场情况调查，确定检测桥跨、检测内容和工作重点。

A.0.2 资料收集应包括下列内容：

1 勘察设计资料：桥位地质钻探资料及水文勘测资料、设计计算书及有关图纸、设计变更文件及有关图纸；

2 施工、监理、监控与竣工技术资料：材料试验资料、施工纪录、施工监控资料、地基基础试验资料、竣工图纸及其说明、交工验收资料、交工验收荷载试验报告、竣工验收有关资料；

3 养护、试验资料及其维修与加固资料：桥梁检查与检测、荷载试验资料，历次桥梁维修、加固资料，历次特别事件记载资料；

4 桥梁运营荷载资料：交通量、交通组成、车重、轴重等情况。

A.0.3 桥梁检测方案应包括下列基本内容：

1 工程概况：工程地点和建造年代，结构形式、跨径布置和横向布置，材料类型和强度，荷载等级和设计车速，设计、施工及监理单位；

2 检测目的；

3 检测所依据的标准及有关的技术资料；

4 检测项目、检测方法和测点布置；

5 检测实施步骤和工作进度计划；

6 仪器设备的配备及规格型号；

7 检测中的人员配备及所需的配合工作；

8 交通疏导、安全措施、应急预案和环保要求。

附录 B 桥梁自振特性测试要求

B.0.1 桥梁自振特性测试应包括桥梁结构的自振频率、阻尼比和振型的测试。测试方法可采用环境（脉动或风荷载）激励法、车辆余振法、跳梁法、力锤敲击法及跳车激振法。

B.0.2 桥梁结构自振特性检测测点应布置在桥梁上部和下部结构振型的峰、谷点，并进行多点、多方向的测量。

B.0.3 大跨径桥梁的自振特性测试宜采用环境激励法。

B.0.4 较柔的中等跨度或中高墩梁桥的自振特性测试宜采用车辆余振法，可根据车辆出桥后结构的跨中或墩顶的余波衰减信号计算自振频率与阻尼比。

B.0.5 轻小结构或刚度较小的梁桥自振特性测试宜采用跳梁法或力锤敲击法。

B.0.6 刚度较大的桥梁自振特性测试宜采用跳车激振法。

B.0.7 桥梁结构自振特性测试应符合下列规定：

- 1 测试前应对结构振型进行预分析；
- 2 测试时应在预分析的结构振型曲线的波峰、波谷处布置传感器；
- 3 测振仪器设备应符合本规范第 3.0.12 条、第 3.0.13 条的规定；
- 4 测试结构振型的最少阶数应根据桥型特点和分析需求选择。

B.0.8 桥梁结构的振型可根据记录的振动波形分析确定。当采用环境激励法测得桥梁上各振动测点处的振动时域波形后，宜采用专门的模态分析软件分析振型、频率和阻尼比。

B.0.9 桥梁结构的阻尼比可采用波形分析法、半功率带宽法或模态分析法得到。结构的阻尼比宜取用多次试验、不同分析方法所得结果的算术平均值。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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：

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：

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：

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 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 2 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 3 《钢结构现场检测技术标准》 GB/T 50621
- 4 《混凝土结构现场检测技术标准》 GB/T 50784
- 5 《钢-混凝土组合桥梁设计规范》 GB 50917
- 6 《钢管混凝土拱桥技术规范》 GB 50923
- 7 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》 CJJ 2
- 8 《城市桥梁设计规范》 CJJ 11
- 9 《城市人行天桥与人行地道技术规范》 CJJ 69
- 10 《城市桥梁养护技术规范》 CJJ 99
- 11 《混凝土中钢筋检测技术规程》 JGJ/T 152
- 12 《公路桥涵设计通用规范》 JTG D60
- 13 《公路圬工桥涵设计规范》 JTG D61
- 14 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 JTG D62
- 15 《公路桥涵地基与基础设计规范》 JTG D63
- 16 《公路钢结构桥梁设计规范》 JTG D64
- 17 《公路桥梁技术状况评定标准》 JTG/T H21
- 18 《公路桥梁承载能力检测评定规程》 JTG/T J21
- 19 《公路桥梁盆式支座》 JT/T 391
- 20 《铁路桥梁钢支座》 TB/T 1853

中华人民共和国行业标准

城市桥梁检测与评定技术规范

CJJ/T 233 - 2015

条文说明

制 订 说 明

《城市桥梁检测与评定技术规范》CJJ/T 233-2015，经住房和城乡建设部 2015 年 9 月 22 日以第 918 号公告批准、发布。

本规范制订过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我国工程建设中城市桥梁检测与评定工作的实践经验，同时参考了国外先进技术标准，与国内相关标准协调，通过试验、工程验证及征求意见取得了本规范制订技术内容的有关重要技术参数。

为便于广大检测、设计、施工、科研、学校等单位的有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《城市桥梁检测与评定技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明。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。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总则	63
3	基本规定	65
4	桥梁结构检测	73
4.1	一般规定	73
4.2	结构几何参数检测	74
4.3	结构线形与变位检测	74
4.4	构件材料强度检测	76
4.5	构件裂缝检测	76
4.6	结构或构件缺损状况及耐久性参数检测	77
4.7	支座和伸缩装置状况检测	79
4.8	索力检测	79
4.9	结构自振频率检测	80
4.10	人行天桥检测	81
4.11	检测报告	82
5	桥梁结构检算	83
5.1	一般规定	83
5.2	结构上的作用	86
5.3	结构检算	86
5.4	桥梁结构承载能力评定	87
6	静力荷载试验	90
6.1	一般规定	90
6.2	试验准备	91
6.3	现场试验	96
6.4	试验资料整理与结果评定	97
6.5	人行天桥	98

7 动力荷载试验	100
7.1 一般规定	100
7.2 试验准备	101
7.3 现场测试	101
7.4 数据分析与评定	102
附录 B 桥梁自振特性测试要求	104

1 总 则

1.0.1 制订本规范的目的在于：为新建、改建、扩建以及已有的城市桥梁检测与评定工作提供统一的程序、准则和方法，保证检测与评定工作质量。

1.0.2 桥梁结构的检测与评定工作围绕着结构的安全性、适用性和耐久性三项要求开展，并分为检测与评定两大部分。桥梁结构的安全性、适用性评定常笼统地称为结构承载能力评定，它采用两种方式实现：一是根据桥梁实体检测判定值以及设计、施工、运营、管养等资料，通过结构计算分析（检算）给出评定结论，二是通过结构实体载荷试验进行评定；耐久性评定一般无须进行结构检算，而根据实体检测结果即能评定；另外，当只要求对结构构件的某项或某几项性能参数检测时，一般只需给出包括原始检测数据在内的检测判定值。

下面对本规范具体的适用范围和实施性要求说明如下：

1 本规范适用的具体范围与对象：

- 1) 对既有城市桥梁结构进行检测、检算和荷载试验分析，正确评定既有城市桥梁的承载能力，为确定既有城市桥梁的使用条件或为桥梁的改建、扩建、加固等技术方案的制订提供可靠根据；
- 2) 对新建、改建、扩建或加固的城市桥梁进行检算和荷载试验分析，正确评定新建、改建、扩建或加固的城市桥梁是否达到了设计的预期；
- 3) 城市公铁两用桥、城市轻轨和地下通道的检测与评定未包含在本规范中。

2 本规范规定的桥梁结构检测与评定内容，是现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 关于结构检测工作的延伸，

对此具体解释如下：现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 除详细规定了既有桥梁经常性检查和常规定期检测的方法和评定标准外，该规范还对定期检测的后续工作——特殊检测的启动条件、实施的基本内容进行了规定：

- 1) 常规定期检测后，Ⅰ类养护的城市桥梁评定为不合格级，应立即安排修复；(Ⅱ~Ⅴ)类养护的城市桥梁判定为D级及以下，应对桥梁进行结构检测或特殊检测。
- 2) 结构定期检测和特殊检测与评定应由相应检测资质的专业机构、人员承担。
- 3) 特殊检测与评定应包括：实体检测评定结构缺损状况、利用结构计算分析评估整体性能和功能状况以及计算分析评估仍不能判明承载能力时应实施荷载试验评定等三方面内容。

本款第1)~3)项只规定了特殊检测应何时启动、特殊检测的基本内容和执行主体，没有针对检测评定所采用的方法和标准做出具体规定，本规范主要解决的就是这个问题。

另外，城市桥梁在竣工验收时应有一套完整的验收检测与评定资料，以检验验证桥梁是否达到预期的质量要求，并建立技术档案。现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 详细规定了桥梁施工和质量验收的检验标准，对改建、扩建和大修维护的城市桥梁检测与评定，当涉及工程质量检测的有关要求时，仍按施工验收规范执行。本规范中的桥梁检测与评定是在日常工程质量检验评定的基础上，应建设或管理方要求，由专业的检测鉴定机构，通过结构检算或验收性荷载试验，验证结构承载能力是否符合设计要求。

1.0.3 本条规定明确了城市桥梁结构评定的内容和基本原则。结构评定时，除应依据设计文件和施工竣工资料，更要依据结构实体的检测、试验以及施工建造、运营阶段所能提供的监测结果，这是桥梁结构评定所应遵循的基本原则，简言之，就是评定的依据应充分。

3 基本规定

3.0.1 桥梁结构检测包括结构的缺损、变位、几何状态参数、材料力学与物理性能等测试工作，以及对测试数据进行符合性评价的内容；对结构的安全性、适用性、耐久性有明显不利影响或存在隐患尚未查明的构件，稳妥起见尚应进行详细检测。结构检测结果的真实、准确、完整显然与下列因素有关，同时也决定了后继工作——结构承载能力检算评定的可靠性。

- 1) 检测技术水平；
- 2) 是否充分掌握桥梁的设计、竣工验收运营以及管养等情况，使结构检测内容有的放矢，更具代表性；
- 3) 检测构件或部位的数量。

3.0.2 因为新建、改建和扩建桥梁的竣工验收应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的要求，因此结构检测工作的内容也应符合该标准的要求。

3.0.3 本条是同时启动既有桥梁结构检测和结构检算的最低规定条件。在本条各款规定之外的情况也很常见，即根据委托方的要求进行独立的检测或检算，也可以是一个构件的一项内容的检测或检算。

本条第 5 款针对墩台附近发生穿越施工、基坑开挖和大面积超载等情况进行了规定，关注点是地基条件改变对墩台地基基础承载力的影响。除岩土工程条件不同外，即使出现上述情况的其他条件不变，地基承载力受影响程度也各异。国内已有部分省市，结合本地的实际情况和经验，制订了管理办法和地方技术标准。例如：

- 1) 2005 年《北京市城市道路管理办法》规定在城市桥梁外侧 50m 内，从事河道疏浚、挖沙、爆破和其他可能

影响桥梁安全的作业单位，应当制定城市桥梁安全保护和监测措施；2008年北京市路政局下发的《地下工程穿越交通设施安全监管暂行办法》中要求：对穿越前的交通设施现状进行检测评估并评价穿越对交通设施的影响，对穿越后的交通设施状况进行检测评估并确定穿越对交通设施的影响程度；北京市地方标准《穿越既有交通基础设施工程技术要求》DB11/T 716-2010将穿越工程影响范围划分为：既有交通设施30m范围为严格监控区，30m~50m为一般监控区。

- 2) 2007年《上海市城市道路管理条例》规定的桥梁安全保护区域为桥梁垂直投影面两侧各10m至60m范围的水域或陆域；上海市地方标准《基坑工程施工监测规程》DG/TJ 08-2001-2006中规定：监控区宜大于3倍基坑开挖深度。
- 3) 1997年《广州市市政设施管理条例》规定桥梁安全保护区域为桥梁上下游或周围各50m范围水域和规划红线内的陆域。

3.0.4 偶然作用包括泥石流、车船和漂浮物撞击等。按现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153，结构承载能力极限状态设计按不同设计状况采用三种作用组合：基本组合、偶然组合和地震组合，而在《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2004和《城市桥梁设计规范》CJJ 11-2011中，没有规定地震组合，地震作用包含在偶然组合中。不过，这种情况已在2015新版公路桥梁系列设计标准中发生了改变。

3.0.5 既有桥梁的评定主要关心其当前的基本性能如何，也希望知道未来一段时间的安全性。与新建桥梁的设计相比，既有桥梁结构的承载能力评定有以下三个明显特点：

第一，桥梁已使用至今，与新建时候的状态相比，在以下几方面可能发生了明显变化，如：结构的几何形态、材料的强度性能随着时间的推移而发生变化；结构表面和内部出现损伤，比如

环境腐蚀或疲劳造成的损伤、车辆撞击或其他外力造成的损伤以及桥梁整体或者局部进行过加固。

第二，既有桥梁是一个被验证过的结构，它已经历了部分或者全部初始设计时的预计荷载，并证明了结构具备了相当的承载能力。

第三，既有桥梁是一个具体化了的结构，除了桥梁本身已经具体出现在人们面前之外，其车辆荷载也是可测的。但也要注意，由于结构损伤、边界条件的改变使得结构体系变得更加复杂和难以模拟，这就使得既有桥梁评定的不确定性主要来自于检测方法和分析手段，而非新桥设计时的服役期内的车辆荷载。

通常对桥梁结构承载能力评定的方法主要有：基于外观调查的方法、基于设计规范的方法、荷载试验、基于专家经验的方法和基于结构可靠度理论的方法。近年来，在世界范围内结构设计以及安全评定方面所取得的进步都是以结构可靠度理论为基础。

美、英、加拿大等国家已先后颁布了基于结构可靠度理论和设计规范的桥梁评定标准或手册。我国也于 1988 年颁布了基于设计规范的桥梁承载能力鉴定方法，即《公路旧桥承载能力鉴定方法（试行）》；在对 1988 年版本试行方法修订的基础上，2011 年颁布了《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21。下面对本规范与我国交通行业标准以及美国标准各自之间的异同点做以下说明：

1 我国交通行业标准《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21 中的承载能力评定以新桥设计规范为基础。检算评定时，材料强度设计值及分项安全系数按现行标准规范取用。抗力中引入截面折减系数和承载力恶化系数分别表示结构劣化造成的截面折减和考虑结构在未来一段时间内继续劣化的可能，以此描述结构劣化造成的抗力损失；而抗力整体修正系数——承载能力检算系数 Z_1 ，则用来体现既有结构计算模型复杂引起的分析结果不确定性的影响。

2 美国国家公路运输协会（AASHTO）推荐规范采用计算

评定系数对既有桥梁承载力进行评定。评定系数表示为结构活荷载承受能力与活荷载效应的比值，评定系数大于 1，则表示结构承载力满足要求。评定系数的具体数值与结构评定的安全等级密切相关，评定系数等于 1 对应结构可靠指标 β 等于 3.5 的情况。

与我国公路桥梁评定规范相比，美国的规范较为详细，主要体现在：

- 1) 在表达形式上，我国公路标准通过比较荷载效应与承载力的大小来判定结构是否满足要求，而美国规范则采用计算评定系数。与我国公路标准相比，评定系数包含了更多的信息，对具有不同评定系数的桥梁，可以有针对性地制定合理的后续维护策略。
- 2) 在恒载效应上，美国规范考虑得较为细致，将恒载划分为结构构件、铺装层和其他恒载（比如预应力）。不同恒载的概率分布情况不同，因而采用了不同的分项系数。
- 3) 在结构承载力的评定上，美国规范尽量保持了与设计规范的一致，又有所差别。构件承载能力根据实际检测的钢筋混凝土强度和截面尺寸确定。在结构评定时，结构重要性系数不再考虑，对结构延性和冗余度的考虑体现在体系系数上，状态系数则体现了结构构件劣化的影响。在我国的公路桥梁评定标准中，分别用承载能力检算系数 Z_1 和承载力恶化系数体现对不确定性增加和加速劣化的考虑，但其具体数值有待于在结构可靠性理论框架下系统的研究。

3 本规范制定时，需重点关注如下问题——不少城市桥梁作为城市中的生命线工程，交通繁忙，城市桥梁出现安全问题通常损失或影响很大。因此，对城市桥梁的检测方法和分析手段均提出了较高的要求。

对既有城市桥梁承载能力的评定，要求以设计规范为基础，并根据结构实体检测结果进行检算。结构检测涉及如下内容：

- 1) 桥梁净跨径、计算跨径，结构各部分截面主要尺寸，桥面净宽，人行道宽，交通荷载调查；
- 2) 钢筋混凝土的主筋布置、面积、含筋量；
- 3) 结构材料，主要是钢筋和混凝土的力学性能；
- 4) 结构或构件（部件）缺损状况及程度。

在既有桥梁承载能力评定时，采用的作用（荷载）组合不低于现行设计标准，计算模型的建立考虑实际损伤状况、约束条件，对桥梁能够达到的承载水平进行评定。

4 本规范与我国公路桥梁标准的承载能力评定方法相比，有以下异同点：

- 1) 在荷载效应方面二者都保持了与设计规范的一致；
- 2) 在抗力的计算方面均强调了结构检测的重要，本规范是将实际检测的结果直接代入计算模型中，公路桥梁标准则引入了承载能力检算系数和截面折减系数；
- 3) 本规范承载能力评定针对的是桥梁当前的现状，未考虑劣化发展一段时间后的性能。

依据本规范，承载能力评定时建模计算显然要复杂一些，尤其是当桥梁损伤较严重时。在桥梁损伤较轻或中等（相当于公路桥梁缺损状况评定标度小于或等于 3）以下时，二者的计算难度相差不大；但是当结构损伤较严重或约束条件发生变化时，例如：混凝土桥梁存在大量裂缝或支座、伸缩缝等约束条件发生变化，将上述问题体现在结构分析模型中就较为复杂，但随着桥梁结构分析方法、计算技术的发展以及相关实践的不断充实，这些问题可以在一定程度上得到解决，而且考虑桥梁损伤并建模分析的方法是现在桥梁承载能力评定的发展方向。当然，这要求使用本规范的技术人员对具体桥梁结构有更明晰的了解，具有更高的结构分析能力及处理相关问题的实践经验。当结构构件缺损确实不易建模模拟或需对原设计模型修正时，可结合进一步的实体结构构件测试识别损伤，找出结构的危险截面，分别检算危险截面的抗力和荷载效应，确定结构的承载能力。

3.0.6 混凝土裂缝有受力裂缝和非受力裂缝之分，另外大气侵蚀、生物侵蚀和溶蚀等也会引起混凝土损伤。

3.0.7 结构检算和荷载试验属于桥梁结构承载能力评定的范畴。荷载试验根据承载能力评定目标的不同，又分为鉴定性荷载试验和验收性荷载试验两类。当对桥梁结构承载能力有疑问或需确认结构实际能够达到的承载水平时，采用的是鉴定性荷载试验。值得注意的是：是否开展鉴定性荷载试验，终归还要在结构实体检测的基础上，通过结构检算并根据其结果来确定。当需要验证结构承载能力是否符合设计或相关标准要求时，采用的是验收性荷载试验，此类试验通常是根据建设管理方或设计方的要求，在桥梁交（竣）工阶段实施。

采用荷载试验评定桥梁结构承载能力比结构检算更为可靠，但即便是验收性荷载试验，也离不开“检算”，如荷载试验方案阶段确定控制截面的最不利效应。

3.0.8 结构检算是既有桥梁结构承载能力评定的手段之一，最终目的是回答结构的适用性和安全性是否符合要求。本条第1、2款规定了结构检算后还要继续开展荷载试验所应符合的条件，分三种情况解释如下：

第一，结构检算能明确判定承载能力，可不启动荷载试验：在计算模型合理、依据充分、方法成熟可靠的条件下，若计算的作用效应小于或等于抗力效应，且满足变形、裂缝等设计或正常使用限值的要求，结构承载能力评定工作可告一段落；反之，可直接根据不符合要求的程度高低，提出维修加固、限载甚至停止运营的建议。

第二，具备结构建模正常分析计算条件，但结构检算的承载能力不满足要求，需借助荷载试验确定结构的实际承载能力。这一要求已为惯例，在《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 和《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21 中均得到了体现，因为实际结构毕竟与计算模型存在差异，荷载试验的实测结构响应将成为综合评定桥梁承载能力的重要佐证。应该注意，承载能

力极限状态时，结构安全与失效的界限明确，荷载试验不可能达到或逼近此状态；正常使用极限状态时，结构能否正常使用的界限较为模糊，一般按工程经验确定。荷载试验的目的是鉴定当前结构的实际承载能力以及被核定的承载能力对应的试验荷载，如无特别说明，应为正常使用阶段的工作（标准）荷载。当此工作荷载大于原设计荷载时，抛开结构计算方法、模型等的不确定性不谈，单从材料的角度分析抗力提高的原因，有两种可能性：一是结构实体的材料强度大于原设计值；二是材料强度与原设计一致，相当于材料的安全储备被荷载试验挖潜了。显然，后者降低了结构可靠度，在设计荷载试验时应予避免，换言之，应尽量使结构实体检测的结果真实可靠，并具代表性。

第三，结构检算难以判定承载能力，也需借助荷载试验确定结构的实际承载能力，这里包括两种情形：一是由于结构退化或损伤严重，缺损程度或边界条件存在很大不确定性，导致建模分析困难甚至无法建模；二是不具备检算条件的桥梁，例如缺失设计、施工图纸资料且设计荷载等级不明的桥梁。但应注意：这两类桥梁往往仅凭荷载试验仍不足以判定其承载能力，还需结合结构检测和结构检算进行综合评定。

本条第4款中结构体系复杂的桥梁也包括习惯称谓的“特殊结构桥梁”。但特殊结构桥梁的真实含义应体现在它的结构体系方面，即有别于传统的桥梁结构形式（梁、拱、索结构体系及由这三种结构形成的常见组合体系），是力学规律与美学形式结合创造出的形式别样的桥梁结构。例如：V腿单肋系杆拱、多边形组合箱梁、变截面拱形桥塔等结构。

3.0.11 桥梁现场检测不仅技术含量高，而且安全风险也非常高。因此，健全的检测安全管理制度规章的建立，特别是这些制度规章的严格贯彻执行尤为重要。桥梁检测中，通常会涉及以下安全注意事项：

1 检测项目的负责人根据工程检测安全保障的要求，结合具体检测项目的实施特点和环境条件，对参与检测活动的人员进

行安全交底，落实安全保证措施。

2 在进行检测时，检测区域需设置明显的标识和采取必要的隔离措施。与检测无关的人员未经许可，不得进入检测区域内。

3 需占用行车道进行检测时，要提前征得公安机关交通管理部门的许可，同时需设置安全的交通封闭标志。需占用行船航道进行检测时，要提前征得有关航道管理部门的许可，同时需设置安全的封航标志。

4 对在施桥梁的现场检测，需同时遵守施工工地的安全规定，并注意检测环境对人员和仪器设备的影响。

5 夜间作业，需要配备足够的照明和警示设备。

6 检测所用的电器、电缆要具有良好的绝缘效果，电动工具要有漏电保护开关，并严格按照安全用电规程作业。

7 高空作业需符合有关高空作业的安全规定。

8 大型检测设备在进行安装调试或检测时，需具有可靠的安全措施和保护装置，设备在进行检测时，检测区域应有明显的标识和隔离措施，确保仪器设备和检测人员的安全。

9 检测中重复加载使用的钢架、钢梁等设施在使用前需定期进行检查。

10 除遵守上述安全注意事项外，还要符合国家和行业有关现场施工安全管理的规定。

3.0.12 桥梁检测用仪器设备在野外环境下使用，特别在进行荷载试验时，测量时段相对较长，各类仪器（传感器）组成的测量系统相对复杂、庞大，合理选择仪器设备的气候、机械和电磁环境适应性指标对保证仪器设备的长时段稳定工作尤为重要，这就是大家熟知的仪器设备的防水（腐）密封、使用温度范围、抗振动冲击、防雷击、抗电磁干扰等性能要求。例如电阻应变式传感器受潮后会产生信号的严重漂移；某些无线发射传感器距手机很近时，其输出的信号会被严重干扰。

4 桥梁结构检测

4.1 一般规定

4.1.1 本条所列桥梁结构检测内容基本能涵盖目前常见桥型的检测，表1推荐的与各类桥型相适应的检测项目基本为桥梁检测界所认同。桥梁实地调查对合理选择检测项目乃至方法也很重要。通过实地调查，可直接观察桥梁外观缺损状况，判断病害成因，掌握管养或加固及当前运行情况，同时也为检测工作的现场实施方案制定提供依据。

表1 既有桥梁结构检测项目

项目 桥型		结构 几何 参数	构件材 料强度	结构线 形与 变位	构件缺损 及耐久 性状况	构件 裂缝	支座与 伸缩缝 状态	索力	结构 自振 频率
梁桥	混凝土梁桥	●	●	●	●	●	●	—	△
	钢梁桥	●	△	●	●	△	●	—	●
	钢混组合梁桥	●	△	●	●	△	●	—	△
拱桥	圬工及混凝土拱桥	●	●	●	●	●	—	—	—
	钢筋混凝土拱桥	●	●	●	●	●	—	●	△
	钢管混凝土拱桥	●	△	●	●	△	—	●	△
	钢拱桥	●	△	●	●	△	△	●	△
斜拉桥	混凝土斜拉桥	●	●	●	●	●	●	●	●
	钢斜拉桥	●	△	●	●	△	●	●	●
悬索桥		●	△	●	●	△	●	●	●

注：●表示必选项目，△表示可选项目，—表示不选项目。

4.1.3 《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 规定的桥梁技术状况评定等级为：Ⅰ类养护的城市桥梁分为合格级、不合格级；（Ⅱ～

V) 类养护的城市桥梁通过对桥面系、上部结构、下部结构和全桥进行综合评估打分,将桥梁的完好状态分为 A 级(完好)、B 级(良好)、C 级(合格)、D 级(不合格)、E 级(危险)共五级。《公路桥涵养护规范》JTG H11 也类似,将桥梁总体技术状况评定等级分为 5 个标度。这两本规范的桥梁技术状况评定的分类方法在原则上是一致的,能实现对桥梁总体技术状况的评定,但对构件的具体缺损程度评定较为粗略。

《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 对构件技术状况的评定按标度 1~5 进行了细化,且该标准按标度的评定方式也为《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21 中承载能力检算系数 Z_1 的确定提供了支持,但城市桥梁相关标准尚未明确规定。为了实现构件缺损的细化评定,本规范借鉴公路标准的成熟做法,将构件缺损程度评定对应分为五个级别,即完好、轻微、中等、严重和危险。

由于本规范承载能力评定采用了直接计入构件缺陷或损伤实测值的检算方法,显然缺损程度评定仅针对构件,并不针对结构整体。

4.2 结构几何参数检测

4.2.1 桥梁结构或构件几何尺寸的实测数据,可以评定施工造成的结构或构件尺寸偏差是否满足设计要求,也可作为结构或构件实际自重的计算依据。

4.3 结构线形与变位检测

4.3.1 结构变位是指结构变形、位移等现象的统称,包括结构变形(挠度)、位移(移位、沉降)、转动和结构组成构件的相对错位等。结构变形指结构(或其一部分)形状的改变。挠度是指弯曲变形时横截面形心沿与轴线垂直方向的线位移,对于梁、桁架等受弯构件,在荷载作用下的最大变形通常指竖向方向的,就是构件的竖向变形。位移(公路行业标准中常用变位)表示结构

的位置变化,对上部结构而言,下部结构或基础的变形、不均匀沉降将导致上部结构的移位、变形或转动。结构组成构件间不均匀变形或移位造成构件的相对错位。

变位实测数据可用于确定桥梁上部结构持久荷载状态的变化,也可推求结构基础变位情况。结构变位造成超静定桥梁结构的次内力影响往往不可忽略,对于连续梁桥、拱桥、刚构桥,可依据实测的结构变位数据,进行模拟计算分析,对桥梁结构在持久荷载作用下的内力和变位情况作出评价,并为分析结构形态变化的原因提供可靠依据。

《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 除用变位代表结构及构件的位移或位置改变外,也采用挠度、构件变形、连接系松动或错位等描述,即本规范的宽泛称谓“变位”。该标准对与“变位”相关的技术状况评定标度为1~5,并在定性描述中给出了是否影响结构安全的评价,可分别对应本规范缺损程度的5个等级。注意:本规范表5.4.1-1给出了桥跨结构检算时的挠度限值,其中部分挠度限值在数值上虽与《公路桥梁技术状况评定标准》结构变位技术状况定量描述指标相同(如混凝土梁式桥最大挠度),但参照这些定量描述指标(包括本规范)评定时,结构挠度是在桥梁接近永久作用(荷载)条件下测得的,这与以本规范表5.4.1-1中的挠度为限值进行检算所采用的作用组合不同——要考虑可变作用(如汽车、人群荷载)。

本条第2款规定的桥跨结构特征点可理解为:

- 1) 上承式拱桥拱上结构立柱、立墙、空实腹交汇点;
- 2) 斜拉桥的拉索锚固点;
- 3) 悬索桥、下承式拱桥吊杆的吊点等。

本条第6款所指“变位对桥梁结构安全的影响”在《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21-2011中体现为:

- 1) “变位”可能用拱脚位移、钢结构构件变形、混凝土梁式桥跨中挠度等称谓;
- 2) “对桥梁结构安全的影响”采用严重影响安全、影响结

构安全、严重影响承载力等叙述。

4.3.2 结合桥梁的结构形式，桥梁所处的地质、气候环境，桥梁墩台基础变位的检测数据通常用于下列情况分析：

- 1 相邻基础的沉降差；
- 2 基础自身的不均匀沉降和倾斜；
- 3 基础的滑移、冻拔。

4.3.6 超静定结构受墩台基础差异沉降的影响说明见第 4.3.1 条的条文说明。本条基于差异沉降超过设计规定值可能引起桥梁结构的安全或正常使用的不良后果，提出了采取处理措施的建议。

4.4 构件材料强度检测

4.4.2 本条第 2 款的规定基于如下考虑：因截取钢材试件进行平行试验的数量通常很有限，故取试验结果中的最小值作为钢材强度的代表值或特征值。由于钢材屈服强度随钢材厚度增加而降低，若截取试件的次要构件厚度小于或等于 16mm，而主要构件的截面厚度大于 16mm，则应对薄构件试样的代表值进行折减。

4.4.3 为减少对桥梁结构构件的损坏，宜尽量采用无损检测的方法测试材料强度。目前美国、英国、加拿大及我国桥梁现行检测标准或手册中均未明确规定桥梁检测的抽样数量，故建议混凝土抗压强度检测的抽样数量按《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定执行。重要构件是指结构主要承重构件，重点部位是指承重构件的受力控制截面区域和结构损伤严重的部位。

4.4.5 采用钻芯试样修正或验证混凝土推定强度时，钻芯取样的位置选择和数量不能影响结构的安全。

4.5 构件裂缝检测

4.5.3、4.5.4 钢筋混凝土构件的裂缝分为受力裂缝和非受力裂

缝两类，受力裂缝的危险性高于非受力裂缝。这两类裂缝要依靠结构及结构施工常识予以区别，例如温度、混凝土收缩、钢筋锈胀、龟裂等非受力裂缝。表 4.5.3 中的裂缝宽度限值与构件在正常使用极限状态下的要求相适应，受力裂缝宽度超过限值后的构件缺损程度（严重或危险）评定属于承载能力极限状态的范畴。对于预应力构件也类似，例如预应力梁的预应力设计主要解决梁在正常使用阶段的变形和裂缝问题，当梁上的受力裂缝宽度超限后，其承载能力极限状态的设计原则实际与普通钢筋混凝土梁无异。

4.6 结构或构件缺损状况及耐久性参数检测

4.6.1 混凝土构件的材料风化、蜂窝、麻面、剥落、掉角、空洞、孔洞等缺损可能因物理与化学作用或施工质量不佳等多种原因造成。对于预应力构件，钢绞线及锚固系统的技术状况是评判预应力效应是否良好的关键。本条所列的四类钢筋混凝土构件常见缺损程度评定表中的性状描述和分级指标与《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 大致相同。

4.6.2、4.6.3 对既有圯工及混凝土桥梁，其缺损状况往往是多种缺损并存，造成缺损的原因复杂、较难区分（如风化、麻面、孔洞的外观表象可划归为剥落），此时可根据缺损发生面积及深度直接评定，表 4.6.2 中的性状描述与《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21 基本一致。

4.6.5、4.6.6 钢构件或拉（吊、系）索缺损主要包括钢材或拉（吊、系）索锈蚀和连接钢构件的缺失、锈蚀等，表 4.6.5、4.6.6 的情况描述及量化指标参考了《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21，但考虑到“锈蚀成洞”可能为非常严重的构件损伤，于是在表 4.6.5-2 中增加了“危险”程度一栏。

作为组合结构的钢-混组合构件，可分别对组合构件中的混凝土构件缺损和钢构件缺损进行检测与评定。

钢-混凝土组合拱桥中的吊索或系索，有时也习惯地称之为

吊杆或系杆，其承力部件多采用钢丝束或钢绞线，故可归类为拉（吊、系）索。

4.6.7 本规范定义的“缺损”术语为缺陷、损伤的统称。“损伤”在其他标准中可能采用“伤损、破坏、破损、损坏”等不同称谓，如在《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 - 2008 中采用了“伤损”。

4.6.8 钢筋混凝土构件中的钢筋通常由于碱性混凝土环境的保护而处于钝化状态，混凝土碳化将造成钢筋失去碱性混凝土环境的保护，当外界条件成熟，钢筋就会发生锈蚀。因此，检测混凝土碳化深度可间接的评判钢筋的可能锈蚀状态。

4.6.9 钢筋锈蚀是一个电化学过程，因此可采用测量电化学参数的方法来判断：将钢筋-混凝土看成一个半电池，将由铜-硫酸铜组成的另一个半电池作为参考电极，通过测量混凝土中钢筋电极与参考电极之间的电位差，来反映了钢筋锈蚀的状态和活性，从而对钢筋的锈蚀可能性做出判断。

4.6.10 混凝土中的氯离子可诱发并加速钢筋锈蚀，测量混凝土中氯离子含量可间接评判钢筋锈蚀活化的可能性。

4.6.11 混凝土电阻率反映了混凝土的导电性能，可间接评判钢筋的可能锈蚀速率。通常混凝土电阻率越小，混凝土的导电能力越强，钢筋锈蚀的发展速度越快。

4.6.12 混凝土对钢筋的保护作用包括两个方面：一是混凝土的高碱性使钢筋表面形成钝化膜；二是保护层对外界腐蚀介质、氧气及水分等渗入的阻止作用。后一种作用主要取决于混凝土的密实度及保护层厚度。因此，混凝土保护层厚度、密实性及其分布均匀性是影响结构钢筋耐久性的一个重要因素。

《公路桥梁承载能力检测评定规程》JTG/T J21 采用检测部位的钢筋保护层厚度特征值与设计值的比值来评定结构钢筋耐久性，并根据该比值评定对结构钢筋耐久性的影响程度，本规范直接引用此方法评定钢筋保护层厚度对结构钢筋耐久性的影响。

4.7 支座和伸缩装置状况检测

4.7.1 未按设计要求的规格型号选用支座或支座变形方向不正确,这两种情况在桥梁在用的支座检查中时有发生。

4.7.2~4.7.4 本规范表 4.7.2~表 4.7.4 中的情况描述或量化指标在《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 的基础上进行了局部修改。

4.7.6 桥梁伸缩缝应能保证主梁和桥面结构在荷载或温度作用下,按照设计要求产生变形,尤其大跨径桥梁和采用连续桥面的桥梁,温度作用非常明显。当伸缩缝损坏、堵塞、甚至失效时,将会对主梁和桥面结构产生约束,从而改变了桥梁的受力方式,可能造成相关主梁和桥面结构的损坏。伸缩缝的检测时机显然以气温最高和最低时为佳。伸缩缝装置的工作状态好坏与其缺损程度相关,因本规范更关注装置功能失效后对结构受力的影响,因此未将缺损检查与评定的内容展开,相应内容在《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 和《公路桥梁技术状况评定标准》JTG/T H21 两本标准中有较详尽的规定。

4.8 索力检测

4.8.1 索力直接反映索结构桥梁持久状态下的内力状态,是评价桥梁安全性和承载能力的重要指标,在承载能力鉴定时,需对其进行检测评定。

既有桥梁拉吊索的索力现场检测时通常采用振动法,所用测振传感器的频响范围应覆盖被测拉索第 5 阶特征频率的 2 倍以上,测试时应解除减震装置和其他附属装置。

影响索力测量精度的主要因素有:抗弯刚度、边界约束条件、斜度、垂度、索的初应力以及拉索类型等。研究表明:

1 不计抗弯刚度时求得的索力比计入抗弯刚度时偏大,但对细长拉索一般不会超过 3%,对于长度小于 40m 的斜拉索和拱桥吊杆,有可能超过 5%,此时应计入抗弯刚度的影响;

2 斜拉索两端处理为铰接或固定时，对索力的影响相差不超过 5%，随着索长增加和抗弯刚度减小，两种边界条件的分析结果更接近；

3 当拉索初应力或拉伸变形相对较小时应计入垂度的影响，且宜采用较高阶的特征频率计算索力，或用高阶频差代替基频计算索力；

4 拉索自重和斜度对索力计算结果的影响非常小。

采用理论公式计算索力时，对于索长相对短、抗弯刚度相对大的拉吊索（如拱桥吊杆），即使考虑本条第 2 款影响因素，也难免产生较大误差。因此，当拉吊索采用了预埋传感器进行施工监控或监测索力时，建议同步测量索的振动频率，在考虑上述索力计算影响因素的同时，建立索的特征频率与实际索力之间的对应关系，提高实测索力的准确性，积累实测验证资料。

4.8.4 索桥施工时为达到某种状态（如桥面平整度），在成桥时已经对索力进行调整，索力值与当初的设计目标值已有较大的出入。作为成桥后的既有索桥检测，以施工时的索力为基准可能更为恰当，但此“基准值”应该已被包括设计方在内的有关方再次确认才能作为比较的基准。当实测索力值较大并引起与设计索力值偏差较大时，应检算其承载力。

过去的公路桥梁设计标准中，关于缆索（悬索桥、斜拉桥）的承载力计算方法采用容许应力法，要求运营状态索的安全系数不小于 2.5，而现在已采用极限状态法。《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 对吊索的承载力计算采用极限状态法，对缆索的不同连接形式采用不同的抗拉强度分项系数。

4.9 结构自振频率检测

4.9.1 对于桥梁上部结构，本条中的自振频率通常为结构一阶弯曲振动振型所对应的频率，如梁式桥的弯曲振动频率，但对索桥、人行天桥等，可能还包括横向和扭转振型；而对于下部结构，通常为横向振动自振频率。

4.9.2 桥梁自振频率的变化不仅能定性反映结构损伤情况，还能定性反映恒载变化、结构整体性能和受力体系的改变（包括出现结构构件损伤）。

4.10 人行天桥检测

4.10.1 越来越多的人行天桥安装顶棚，在顶棚给行人带来舒适的同时，又可能带来结构以及行人和交通安全的问题；因此首先要保证顶棚安装牢固，其次要关注顶棚的附加荷载特别是其带来的风荷载和雪荷载增加。

栏杆、顶棚与结构的连接常常是薄弱部位，需要特别关注其安全性。

本条第3款所指的其他附属结构及设施涉及人行天桥的外挂物，如广告牌、防护网、无轨电车馈电线等，这些外挂物的设置可能影响结构安全，尤其是大型户外广告牌。对于无轨电车馈电线，虽不属于结构检测范畴，但若与天桥间无双重绝缘设施，金属质天桥没有接地设施等，也应视为存在安全隐患。

4.10.2 《城市人行天桥与人行地道技术规范》CJJ 69 规定栏杆高度不应小于 1.05m 和天桥栏杆间的最大净距不得大于 14cm。在天桥营运期间，栏杆易出现破损、缺失以及维修安装不到位等缺陷，为保证行人（特别是儿童）的安全，应检测栏杆的高度和最小间隙是否符合规范要求。

4.10.3 牛腿处受力情况比较复杂，是天桥的一个薄弱部位，当牛腿出现问题时，易造成梯道落梁。

4.10.4 随着经济的发展，部分城市人行天桥安装自动扶梯（或自动升降梯），以方便人们出行。为了保证自动扶梯（或自动升降梯）的安全运营，需对自动扶梯（或自动升降梯）搭设的主桥的部位进行检测。此外，由于自动扶梯（或自动升降梯）属于特种设备，需要行政主管部门认可授权的机构定期对其进行检验。

4.11 检 测 报 告

4.11.1 检测报告用词规范、结论准确，以及必要的概况、方法和步骤过程详尽描述等要求，是检测界对检测报告的通用性要求，其目的是力求桥梁检测报告能做到内容完整，并具有较强的可读性。本条原则性规定了检测报告应包含的基本内容，在一些大型复杂的检测项目中，实际发生的工作内容可能会超出本条的规定内容，而在一些小型简单项目中则相反。此外，对于检测项目多、工作量大的项目，报告所附的资料、数据、图表、照片等可能在附件或附录中出现。

5 桥梁结构检算

5.1 一般规定

5.1.1 对于早期建造的桥梁，设计荷载不符合现行标准的规定，检算时应采用现行标准规定的荷载组合，以确保桥梁符合当前的使用条件。《城市桥梁设计规范》CJJ 11 实际上只规定了可变作用中的汽车荷载和人群荷载，而其他作用（荷载）以及作用效应的组合均按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 采用。此外，对于增加顶棚的天桥，应充分考虑由此增加的荷载，如风荷载或雪荷载及其组合。

5.1.4 对某些资料缺失的在用桥梁，可能存在如下特殊情况：由于空间受限，某些构件或结构部位不易或无法实施实体检测并取得实测数据，其几何尺寸、材料强度只能参考同年代类似桥梁的设计资料或标准图取用。如此操作，因缺损程度无法明确，使结构检算评定结果具有较大的不确定性，为了降低风险，对检算输入的相关参数进行适当折减，例如所用折减系数的数值不大于同类已检结构或构件的折减系数最小值。这种做法，在一定程度上可以降低风险，但也存在可能低估承载能力造成浪费的弊端，且不可能完全规避高估承载能力的风险。因此，对于资料缺失的桥梁，一是强调结构检算评定时所用计算模型的构件几何尺寸、变位、材料强度、缺损程度应尽量采用桥梁结构实体检测值，二是尽量做到实体检测内容、构件检测的数量和部位能如实反映桥梁现状。

5.1.6 桥梁上部结构或构件的承载能力极限状态包括破坏或过度变形、倾覆失稳和疲劳破坏三种极限状态。在相关现行标准中，钢筋混凝土梁式桥（独柱墩连续梁桥、弯、坡、斜及异形桥除外）和圯工桥的承载能力极限状态一般不含后两种承载能力极

限状态，故可用（5.1.6）一个表达式代表钢筋混凝土和圬工桥梁的承载能力极限状态。

《城市桥梁设计规范》CJJ 11 - 2011 所规定的作用与作用效应组合与《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 - 2004 相同，只是可变作用中的汽车和人群两项作用规定不同。“作用组合”和“作用效应组合”的差异体现在前者指的是作用（荷载）的合理搭配，后者强调了不同作用（荷载）经合理搭配后，将各自产生的效应进行叠加，当作用与作用效应之间的关系为非线性时，效应就不能简单线性叠加。因此，在对现行公路桥梁、城市桥梁相关标准的用词理解不出现歧义的前提下，不同的标准、包括本规范，可能对“作用组合”或“作用效应组合”未加以严格区别。

式（5.1.6）与桥涵设计标准中的承载能力极限状态设计表达式虽在形式上相同，但在新桥设计时，为了实现桥梁不同设计安全等级时的目标可靠指标，结构重要性系数 γ_0 将根据三个设计安全等级分别取 1.1、1.0 和 0.9；对既有桥梁承载能力检算评定，由于式（5.1.6）未考虑今后一定时期内恶化继续发展对承载能力的影响，按该式评定的结果只代表检测评定时桥梁承载能力，与时效无关，因此既有桥梁承载力检算评定时，如无明确要求可不采用 γ_0 （即 γ_0 取 1.0）。目前美国国家公路运输协会推荐规范在评定时也不采用 γ_0 。

式（5.1.6）抗力函数括号中的参数意义表明，桥梁承载能力评定时，宜根据桥梁实体检测结果，建立考虑实际损伤状况、约束条件等的计算模型或对原设计模型进行修正，对桥梁能够达到的承载水平进行评定。

由于抽检或取样的数量及代表性（如以验证的方式抽样检测）、测试结果统计方式、测试方法标准要求以及习惯等的不同，本规范所指的“材料强度实测值”可能有标准值、代表值、特征值、推定值等不同的称谓。

对于以验收为目的的桥梁结构检算，当材料性能（例如强度）实测值大于设计文件规定的设计值时，材料强度可采用原强

度设计值。

不利影响附加值考虑了除实测材料性能、几何参数之外对结构性能有不利影响的因素。例如，损伤造成的有效截面损失；钢筋锈蚀引起的有效面积减小；钢筋混凝土梁开裂较大或变形较大时，纵筋与混凝土间出现滑移，受压区混凝土部分进入塑性状态；桥梁支座失效使结构约束条件改变。这些不利影响因素对承载力检算结果有不同程度的影响，因此在检算中应予恰当考虑。

从可操作性上考虑，有些不利影响附加值可以根据缺损检测结果和专业人员的经验适当考虑，如通过钢筋缺损、锈蚀程度及锈蚀可能性的检测，对钢筋截面积进行折减；又如钢筋混凝土构件出现了风化、蜂窝、麻面、剥落等缺陷，可根据构件受力的形式，按外观缺损程度直接对截面积或截面模量进行折减。但有些不利附加影响可能因人员技术能力及对损伤危害性的理解不同，在检算建模时出现不同程度的差异或困难，如受弯构件受拉区混凝土开裂，支座、伸缩缝的约束条件改变。

5.1.7 钢筋截面折减系数主要考虑钢筋锈蚀对结构的危害，通常钢筋锈蚀在导致钢筋截面减少的同时，还伴有体积膨胀引起的混凝土沿钢筋爆裂，钢筋与混凝土之间的粘结力破坏，结构构件承载力降低，变形和裂缝增大等一系列不良后果，并随时间的推移，锈蚀逐渐发展，最终可导致钢筋混凝土构件的破坏。有关钢筋混凝土梁的试验研究表明，钢筋锈蚀主要使梁的以下力学性能发生变化：

- 1 梁的承载力降低；
- 2 梁的延性性能退化；
- 3 钢筋与混凝土之间的粘结性能破坏；

4 梁的破坏形态发生变化。随着锈蚀量的增加，梁的垂直裂缝间距变大，接近支座处斜裂缝逐渐与受拉主筋方向的纵向裂缝连接，其破坏形态由适筋延性破坏转为钢筋粘结撕裂的脆性破坏。

本规范表 4.6.4 给出了钢筋已发生锈蚀后的实测钢筋截面减小，而表 5.1.7 中的钢筋截面折减系数在实测已锈蚀钢筋截面的

基础上又有进一步折减，此乃为了兼顾锈蚀速率、一定时期内锈蚀继续发展以及粘结力退化的影响。

5.2 结构上的作用

5.2.3 对于大跨径桥梁或复杂受力结构，温度作用将产生较大的结构附加内力。我国地域辽阔，温度作用的地区差异较大，对设有结构温度场长期观测点且观测数据足以建立温度作用模型的桥梁，可按实际情况进行检算。

5.2.5 根据《城市人行天桥与人行地道技术规范》CJJ 69 的规定，天桥桥墩按汽车撞击力核算桥墩的整体强度和局部应力时，撞击力只与永久荷载进行组合。

5.3 结构检算

5.3.1 本条规定的检算内容主要是梁的受弯承载力、受剪承载力和挠度变形，正截面和斜截面应力水平的检算还涉及钢筋混凝土特别是预应力混凝土梁的抗裂性问题。

5.3.2 本条第 1 款第 1) 项中的盖板叠接处是指叠接盖板第一行铆钉或螺栓截面处。

对本条第 3 款解释如下：在《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 中，钢材性能（抗力）分项系数随钢材板厚的增加而增大（大约由 1.2 增至 1.4，如 Q235 钢板：厚度从小于等于 16mm 增至 100mm，分项系数由 1.23 增至 1.38）。因此，应由钢材强度代表值除此规范规定的钢材性能（抗力）分项系数，从而能得到强度设计值。

5.3.4 悬索桥建成通车后，由于车辆荷载、温度及其他环境因素的作用、材料的某些随时间变化特性等影响，结构的几何线形和内力状态将会发生变化，故应先通过测试以便较准确地了解结构的受力、变形状态，作为进一步检算的基础。

斜拉桥的主梁在外荷载作用下处于压弯状态，随着外荷载增大，梁压力增大到一定值时，可能产生不正常的面内压弯变形或

面外的弯、扭变形。主梁不正常的变形首先开始于构件局部失稳，也往往是构件局部失稳的延续，因此构件的局部稳定检算和构造处理也很重要。

5.3.7 有倾斜或断裂等现象出现的墩台，是对承载力有影响的病害墩台，在检算中要考虑这些病害的影响。其他需要确定承载能力的墩台，如原来截面就比较小，后因线路抬高又进行加高的墩台，或原来架设钢梁改换架设钢筋混凝土梁的墩台，都需要根据实际情况进行必要的检算。

5.3.8 由于特殊结构及某些复杂结构体系桥梁的结构设计计算方法尚未成熟到能列入相关国家现行标准的程度，且设计计算方法也会随着时间的推移而改变或发展；建造时的成桥状态、运营时的结构响应可能与原设计目标有不同程度的差异。因此仅凭检测、设计和竣工验收资料进行结构检算的依据还不充分，仅要求当前所用的结构检算方法能够适用也还不全面，应详细了解当时设计的结构建模和计算分析软件与当前的差异，应充分利用荷载试验、施工监控和运营监测的数据调整有关计算参数，使结构检算结果更符合实际。

5.3.9 目前，在对城市桥梁的抗灾影响研究工作中，多数还集中在桥梁的设计方面。对灾后城市桥梁结构检测和性能评价的研究较少。由于缺乏足够的理论与实践支撑，在实际灾后工程中也主要采用常规的检测评价方法。常规检测往往侧重于桥梁下部结构可见部分及上部结构的损伤检测评价，而对下部结构的隐蔽部分（包括基础）的损伤检测，以及对地基条件改变（如洪水泥石流引起的冲刷、淤积，地震引起的地基土液化、震陷）的探查与评估，因受检测、探查手段及其现场实施条件等的限制，时常没有给予必要的关注。因此，规定结构检算的依据应充分并切合实际，是制定本条的目的所在。

5.4 桥梁结构承载能力评定

5.4.1 按《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153，正常使

用极限状态验算可根据不同情况分别采用作用的标准组合、频遇组合或准永久组合。过去我国公路行业的设计类标准,如《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2004 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62-2004,它们所规定的作用短期效应组合(永久作用标准值效应与可变作用频遇值效应相组合)和作用长期效应组合(永久作用标准值效应与可变作用准永久值效应相组合),在含义上分别与现在的称谓频遇组合和准永久组合相对应。

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 规定:对钢筋混凝土和 B 类预应力混凝土构件裂缝宽度和受弯构件挠度验算时,应采用荷载频遇组合并考虑长期效应的影响。

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62-2004 将桥梁结构所处环境类别分为 I~IV 类,大体与《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99-2003 中的 A 类(一般环境)、B 类(严寒、海滨环境)、C 类(海水环境)和 D 类(侵蚀环境)相对应。

5.4.3 对结构构件与连接的疲劳承载能力极限状态验算,《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 规定按疲劳细节类别进行,这与该规范的前身《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》JTJ 025-86(按疲劳强度)以及《钢结构设计规范》GB 50017(按容许应力幅)所规定的验算方法不同。

本条第 2 款所采用的作用效应组合按《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 规定,即采用不计冲击力的汽车车道荷载频遇值,但频遇值系数取 1.0,这相当于采用汽车荷载标准值。但应注意:本规范中凡涉及具体的汽车荷载取值(而非荷载组合),应该按《城市桥梁设计规范》CJJ 11 的规定取值,如城-A 级、城-B 级。

5.4.4 在《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 中,钢-混组合梁疲劳检算采用容许应力幅法,与《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 不同。

5.4.6 按现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60, 地震作用未出现在偶然作用组合中。针对缆索结构特点, 计算索力 T_c 时尚需考虑索构件的更换、断裂以及裹冰等偶然工况的影响。

计算索力值为恒载和可变作用(包括偶然作用)分别作用产生的索力值之和, 而实测索力值通常仅在结构恒载作用下得到, 因为此时尚未确定或尚未进行桥梁荷载试验。另外, 不论恒载索力值是否采用索力实测值, 检算时都应乘以恒载分项系数。

《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 采用以概率理论为基础的极限状态设计方法对索的承载力进行设计, 对不同的吊索连接形式采用不同的分项系数。

与《公路钢结构桥梁设计规范》不同, 《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 对吊索和系杆索的设计参照了《公路斜拉桥设计细则》JTG/T D65 - 01 - 2007 对斜拉索的设计方法, 即容许应力法, 并对吊索和系杆索分别采用 3.0 和 2.0 的安全系数。

由于式(5.4.6)是承载能力极限状态的计算表达式, 当用于缆索检算时, 虽原则上可利用《公路斜拉桥设计细则》和《钢管混凝土拱桥技术规范》两本标准规定的缆索安全系数来校核材料性能分项系数, 但严格地讲, 只有获知按容许应力法制订标准时的材料强度变异系数, 才能确定按极限状态法检算的可靠指标。出于可操作性考虑, 可以认为按承载能力极限状态检算索构件承载力原则上能追溯到容许应力法, 因此本规范统一采用式(5.4.6)的极限状态表达式。

5.4.7 在《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 中, 缆索构件的疲劳承载力按承载能力极限状态验算。

6 静力荷载试验

6.1 一般规定

6.1.1 验收性荷载试验是指试验控制荷载按设计标准或设计值确定，通过加载或等效加载评定结构承载能力是否满足设计要求的静力荷载试验。

鉴定性荷载试验是指结构检测和检算后认定承载力不足的桥梁或实施试验研究的桥梁，通过逐级加载以评估其实际承载水平，并鉴定其结构承载能力的静力荷载试验。

验收性荷载试验的主要测试内容有：结构控制截面的最大变位（变形、挠度）以及变位的纵、横向分布规律，结构最大拉、压应力及截面应力分布（中性轴位置），支点变位及支座的工作性能，支点附近截面的主拉应力，既有裂缝的特征以及新增裂缝的出现和扩展情况等等。针对某些桥型，还需进行主体承重结构线形，斜拉索、主缆和吊杆索力等的检测。鉴定性荷载试验的测试内容除包括上述测试内容外，还应依据结构损伤的程度、部位、特征，结合鉴定目的适当增加测试内容。

静载试验当为鉴定性试验时，控制荷载采用原设计荷载（通常情况下为当前的使用荷载）或拟改变通行能力（例如限载、提高荷载等级、特殊车辆通过等）所期望的荷载（目标荷载）；当为验收性试验时，采用设计荷载。使用荷载、目标荷载或设计荷载作为试验荷载标准时，称为控制荷载。

6.1.2 对于结构形式、跨径相同的多跨桥梁，可选择具有代表性的一跨或几跨进行试验；对结构形式不同的多跨桥梁，应按不同结构形式分别选择具有代表性的一跨或几跨进行试验；对于结构形式相同但跨径不同的多跨桥梁，则应根据计算结果，综合分析选定其中受力最不利的一跨或几跨进行试验。试验桥跨尚应结

合桥梁实地调查和检算情况进行选择，建议考虑以下因素：

- 1 保证一定的抽样代表性；
- 2 该跨（墩）计算受力最不利；
- 3 结构受力不明确，或受技术条件的限制，在理论上难以进行准确计算的部位；
- 4 该跨（墩）缺陷较多或病害较严重；
- 5 该跨（墩）具备试验实施条件，如便于搭设脚手架、设置测点或试验时便于加载；
- 6 该跨（墩）现场交通组织的难易情况。

6.2 试验准备

6.2.1 试验方案是荷载试验中非常重要并且带有全局性的一项工作，它的主要作用是对所要进行的桥梁试验进行全面的设计和规划，是指导整个试验项目实施的技术性文件。

通过分析收集到的有关资料，在充分了解试验对象、进行现场考察和完成必要的结构分析计算后，可着手进行试验方案的制订。试验方案的制订要仔细考虑试验的全过程，预计可能出现的问题及处理方法。

编写试验方案时，应明确本次试验要达到的目的和各项具体要求，分清各项目的主次，然后根据相关标准、试验要求、现场条件、设备资源等制订切实可行的试验方案。

6.2.2、6.2.3 静力荷载试验前需确定结构变位和内力测试的具体部位和点位，也就是测试截面及该截面上的测点。因测试截面或测点的布设量有限，故应按最不利原则选定测试截面及测点，即本条所称谓的控制截面及其控制测点。对于简单或常规结构，已能根据成熟经验确定控制截面（表 6.2.2）；对于复杂结构，则需应用桥梁专业知识进行结构分析，结合测试的可行性等因素确定。控制截面选择要根据试验桥梁的受力特点，以能反映桥梁最不利受力状态为原则：

- 1) 应力控制截面要优先考虑活载内力较大的截面，同时

也应选择恒载与活载组合内力较大的截面；

- 2) 变位控制截面可根据经验或理论计算结果确定，选择活载变形较大的部位进行控制；
- 3) 裂缝控制部位主要选在初始裂缝宽度较宽、计算拉应力较大的部位。

通过桥梁调查和检算工作的深化，综合结构特点和桥梁目前状况，可考虑适当增加下列测试内容：

- 1) 挠度沿桥长或沿控制截面桥宽方向分布；
- 2) 应变沿控制截面桥宽方向分布；
- 3) 控制截面的横向应力增大系数，横向分布系数；
- 4) 应变沿截面高度分布；
- 5) 组合构件结合面的上、下缘应变；
- 6) 墩台的沉降、水平位移与转角，连拱桥多个墩台的水平位移；
- 7) 剪切应变；
- 8) 其他结构薄弱部位的应变；
- 9) 裂缝的观测。

静力荷载试验通常包含若干个主要试验加载工况和附加试验加载工况。本规范表 6.2.2 中既体现了主要试验工况的测试内容，也体现了附加工况下的测试内容。主要工况与出现最不利内力和变位的部位（点）相对应，与桥梁的结构形式（结构体系）有关，而与桥梁承重结构所用的材料无关，故钢桁架桥、钢板梁桥、钢管混凝土拱桥等未在该表中列出。为了方便不同试验加载工况及其对应的测试内容选择，表 2 给出了表 6.2.2 的对照。对于结构存在明显薄弱、损伤或缺损修补后的截面，宜设计专门的试验工况进行检验。

表 2 不同试验加载工况时的内力和位移测试内容

结构形式	不同试验加载工况时的内力和位移测试内容	
	主要工况	附加工况
简支梁桥	跨中最大正弯矩和挠度； 支点最大剪力	$L/4$ 最大正弯矩和挠度； 墩台沉降

续表 2

结构形式	不同试验加载工况时的内力和位移测试内容	
	主要工况	附加工况
连续梁桥	中跨最大正弯矩和跨中挠度; 边跨最大正弯矩和挠度; 支点最大负弯矩	支点最大剪力和沉降; $L/4$ 最大弯矩和挠度
悬臂梁桥	支点最大负弯矩; 悬臂端最大挠度; 锚固跨最大正弯矩和挠度	支点最大剪力; 悬臂端支点最大剪力; 挂梁跨中最大正弯矩和挠度
T形刚构	墩顶最大负弯矩; 悬臂端最大挠度; 锚固跨最大正弯矩和挠度	墩顶最大剪力; 挂梁跨中最大正弯矩和挠度; 桥墩最大竖向反力
连续刚构	中跨的最大正弯矩和跨中挠度; 墩顶最大负弯矩; 边跨最大正弯矩和挠度	墩顶最大剪力; 墩顶纵桥向水平位移; 固结墩墩身最大弯矩; 中跨和边跨 $L/4$ 挠度
刚架桥	跨中截面最大正弯矩和挠度; 固结节点截面最大负弯矩	柱脚最大弯矩; 固结节点挠度
无铰拱桥	拱顶最大正弯矩和挠度; 拱脚最大正、负弯矩	$L/4$ 最大正弯矩和最大负弯矩, 需要时可增加 $L/8$ 、 $3L/8$ 最大正弯矩和最大负弯矩测试; $L/4$ 最大正、负挠度绝对值之和; 拱脚最大水平推力
斜拉桥	中跨和边跨最大正、负弯矩; 中跨跨中和边跨最大正弯矩截面的挠度; 主塔塔顶最大纵桥向水平位移; 主塔塔身最大弯矩; 斜拉索最大拉力	中跨和边跨 $L/4$ 挠度; 主梁最大纵向漂移
悬索桥	中跨和边跨最大正弯矩; 中跨跨中和边跨最大正弯矩截面的挠度; 主塔塔顶最大纵桥向水平位移; 主塔塔身最大弯矩; 主缆最大拉力	中跨和边跨 $L/4$ 挠度; 主梁最大纵向漂移; 吊索(杆)拉力

6.2.4 常规桥梁的控制荷载一般按设计标准确定，分别计算各种荷载对结构控制截面所产生的最不利效应值，取其中最不利效应值作为控制值。控制荷载的确定，应保证当作用于结构某一控制截面的效应值达到荷载试验效率要求时，其他控制截面的效应值不超过设计的最不利效应值。桥梁荷载试验往往以设计采用的标准活载（汽车+人群）为控制（不考虑荷载分项系数和冲击系数），模拟设计所考虑的最不利受力状态进行布载，测试活载作用引起的结构效应。显然，控制荷载与可变作用中的汽车与人群荷载标准值等效时，检验的是结构是否满足正常使用状态，但对桥梁承载能力极限状态的检验，试验荷载的取值值得注意。

为了既能对桥梁的承载能力极限状态进行有效的检验，又不至于因荷载太大而造成桥梁的损伤。一种折中办法是：试验荷载一般取汽车荷载的标准值（含冲击力、离心力）和人群荷载标准值。在这级荷载的作用下，如果测试结果的各主要效应的校验系数（试验荷载作用下效应的实测值与计算值之比） ξ 小于或等于1，表明结构的抗力与设计相符或优于设计值，就认为结构满足承载能力极限状态的要求。在这级荷载作用下，如果出现 ξ 大于1的情况，则应依据桥梁的实际情况进行检算，根据检算结果再来判断结构是否满足承载能力极限状态的要求。

特大桥或者特殊结构桥梁的控制荷载选定应慎重，最好通过周密的计算比较、复核后确定。资料缺失或存在严重缺损的桥梁，当结构检测和检算后认定承载力不足时，控制荷载等级可适当降低，通过试验评估承载水平或鉴定其实际承载能力。

6.2.5 实际试验工况荷载宜采用与控制荷载相同的荷载，但由于客观条件的限制，实际工况荷载（包括荷载布置）与控制荷载会有所不同，可能采用所谓等效荷载。为保证试验效果，在选择实际工况荷载大小和加载位置时可采用荷载试验效率进行控制。

6.2.6 合理的试验测点布设，应能反应结构或构件受力的最不利特征，且应保证分析和推断的结构工作状况具有代表性。为实现此目标，本条各款就如何保证观测数据的可靠性、针对性和代

表性，提出了具体要求，同时也体现了测点布置应遵循的原则——必要、适量、观测方便且安全。

为保证测试数据的可靠性，可在控制截面布设适当数量的校核测点，如在控制测点附近布设。

测点布置的针对性，就是要以满足试验要求为目的，避免盲目布置及片面追求测点数量，以便突出试验工作重点，提高效率，保证质量，但计算指明的控制测点应布设为测点。

测点布置的代表性，就是要使测点的数量和其体现的被测量，能满足结构分析和判断的需要，同时要便于计算；如利用桥梁结构的最大挠度与应变数据，可以较为宏观地了解结构的工作性能及承载力储备。

6.2.7 根据试验现场能够组织的车源（加载车辆的数量、规格、轴距、轴重、轴重允许误差等参数），进行等效布载。另外，需同时要落实重物装载、过磅等事项，并如实记录过磅单反映的信息。过磅单是说明试验有效性的一个重要证据，检测单位应派人员在过磅现场进行见证。

人行桥采用水箱加载或者重物加载时，可采用体积法或者堆放重物的体积与容重换算加载物的重力。无论采用哪种方法确定加载重量，均应该做到准确、可溯源，且误差不得超过5%。

重物直接加载准备工作量大，加卸载所需周期一般较长，交通中断时间亦较长，且试验时温度变化对测点的影响较大，因此宜安排在温度稳定的时段进行试验。应避免加载设备与桥梁共同承载而形成“卸载”现象。

6.2.8 测试平台通常由脚手架或挂篮搭设。测试平台主要用于测试器件布设、结构检查、位移传感器安装等。测试平台的搭设要以安全可靠、满足试验要求为基本目的，同时要定位准确、便于操作。测试平台的搭设通常是影响试验进度的主要因素，因此在方案中要认真进行设计，明确要求，并加强与实施方的沟通和技术指导。

观测平台设施要有足够的强度、刚度和稳定性，并保证测试

人员的安全，同时还能够承受试验时可能产生的其他外界干扰，如人员的走动等。

6.2.10 为控制温度变化对测试结果可能产生的影响，荷载试验通常应安排在夜间或温度相对稳定的时段进行，而夜间试验需要解决测站、桥面、水准测量标尺等部位的照明。

试验期间，需要对桥梁进行交通管制，对过往车辆及人员进行控制。交通管制通常需要得到当地交通、航道管理部门的支持与配合，必要时，应提前进行公告。

加载试验前需对桥面、桥梁引道进行必要清理，以保证加载、车辆调度等的正常进行。

6.2.11 有些测量仪器、传感器的外壳对地（包括传感器外壳绝缘层磨损或因受潮绝缘电阻降低），因此应使由它们连接的测量系统一点良好接地，避免对模拟测试信号产生地回路干扰。

6.3 现场试验

6.3.2 车辆荷载的分级加载可采用逐渐增加加载车数量或改变加载车位置的方法。

当桥梁的调查和检算工作不充分或桥况较差时，为安全起见，应增多加载分级。如限于条件，加载分级较少时，应注意每级加载时，车辆应逐辆驶入预定加载位置，必要时可在加载车辆未到达预定加载位置前分次对控制测点进行读数监控。

6.3.3 通过预加载，一方面可以使结构进入正常工作状态，另一方面对可检查试验装置的可靠性以及检查全部观测仪表工作是否正常。

6.3.4 静力分级加载只有在前一级荷载作用时的结构变位相对稳定后，才能施加下一级荷载。某级荷载作用下，结构最大变位测点在最后 5 分钟的变位增量小于前一个 5 分钟变位增量的 15%，或小于量测仪器的最小分辨率，即可认为结构变位达到相对稳定。对钢筋混凝土结构宜取 15min~30min，钢结构不宜少于 10min。

6.3.5 试验前,应按加载分级计算确定各荷载工况下控制截面测点的应力(应变)或变位计算值,计算结果是现场加载控制的主要依据之一。应对静载试验数据进行实时处理,例如将本级荷载作用下的内力或变位增量与上一级荷载作用下的增量进行实时比较,使试验人员能够及时了解和判断结构的工作状态。

出于安全考虑,本条列出了应暂停试验加载的四款情况。当分析原因后能确认结构已达到正常使用极限状态,且进一步加载会造成结构损伤时,应终止试验加载。

6.4 试验资料整理与结果评定

6.4.1 测值修正主要是考虑机械式仪表的校正系数,电测仪器的率定系数或灵敏系数,电阻应变式传感器导线电阻的影响等。

由于温度影响修正比较困难,一般不进行这项工作,而采取缩短加载时间,选择温度相对稳定的时段进行试验等办法,尽量减少温度对测试精度的影响。

电阻应变测量通常采用四线制,导线长度超过 5m~10m 就需对导线电阻引起的桥压下降进行修正。采用六线制长线补偿是指通过增加 2 根导线作为补偿取样端,从而形成闭合回路,消除长导线电阻及温度变化带来的误差。

6.4.3 校验系数 ζ 是评定结构工作状况、确定桥梁整体刚度和承载能力的一个重要指标。

ζ 等于 1 时,说明实测值与计算值完全相符;

ζ 小于 1 时,说明结构工作性能较好,承载力有一定富裕,有安全储备;

ζ 大于 1 时,说明结构工作性能不理想,应判定为承载能力或整体刚度不足。

影响校验系数取值大小的因素是多方面的,如结构体系、所用材料及模型参数、计算假定、测试误差等,因此在合理地取用参数、保证测试精度的同时,还应客观地分析实际结构与计算模型的差异,有时还需结合实测绝对量值的大小和规范限值,进行

综合分析评价。

表 3 为常规桥梁在结构工作状态良好时的校验系数 ζ 正常取值范围，供参考。对一些非常规的桥梁，校验系数可能不在此表范围。

表 3 校验系数 ζ 的正常取值范围

结构类型	应变（或应力）效验系数	变位（或挠度）效验系数
钢桥	0.75~0.95	0.75~0.95
钢筋混凝土板桥	0.30~0.70	0.40~0.80
钢筋混凝土梁桥	0.40~0.80	0.50~0.90
预应力混凝土桥	0.50~0.90	0.60~1.00
圬工拱桥	0.60~1.00	0.60~1.00

6.4.4 主要控制测点的相对残余变位或应变 S_p/S_t 越小，说明结构越接近弹性工作状态，一般要求 S_p/S_t 值不大于 20%。当 S_p/S_t 值大于 20% 时，应查明原因，如确系强度原因，应降低桥梁的承载能力。

6.5 人行天桥

6.5.1 人行天桥荷载试验采用的荷载是人群荷载设计值，而非其他桥梁试验采用的活载标准值。根据《城市人行天桥与人行地道技术规范》CJJ 69 的规定，天桥设计采用的人群活载为均布力荷载，不考虑冲击系数。除了按照荷载设计值进行布载外，还可以根据静力等效的原则，采用等效均布力和多点集中力的方式布载。采用多点集中力的方式布载时，集中力不应少于 3 点，而且应对加载部位的结构进行检算，确保结构局部受力不会超过结构设计强度，以免造成结构的局部破坏（比如桥面板），或是因为局部受力不满足要求造成天桥的垮塌；同时，集中力也不应布置在结构的薄弱位置（比如集中力不应布置在箱梁或 T 梁的翼缘板或顶板上，而应布置在肋板宽度之内）。

6.5.2 由于天桥无法布置可行式车辆，一般采用重物直接加载。

重物加载准备工作量大、加卸载所需周期一般较长，交通中断时间亦较长，如条件许可，尽量分成 4 级或 5 级加载，如受到条件限制，可分为 3 级加载。

6.5.5 天桥栏杆的侧向变形包括立柱的水平位移和扶手的相对弯曲变形。对于天桥栏杆结构侧向变形的限制，目前未找到我国标准和国外标准的具体规定。栏杆侧向位移过大时，一方面会引起人们心理不适，另一方面也会导致作为悬臂构件的栏杆立柱的水平 and 轴向承载力降低。本规范规定扶手或与扶手同高的栏杆部件的水平位移限值为扶手高度的 $1/120$ ，主要考虑了以下两种情况：一是对于正常配筋的钢筋混凝土构件，将栏杆立柱作为悬臂构件考虑，若极端情况下（扶手为绝对刚性）的侧向位移达到 $1/120$ 限值，受拉区钢筋可能较接近屈服状态；而对于金属构件，虽然受弯承载力还有富余，但也要顾及行人对变形的心理承受能力。

7 动力荷载试验

7.1 一般规定

7.1.1 通过动力荷载所引起的桥梁结构响应的测试与分析，主要解决两个问题：一是桥梁结构的自身动力性能，可用于结构动力特性评价及桥梁抗风、抗震评估；二是汽车荷载作用下结构的动态响应规律。例如：根据跳车试验引起的竖向振动信号，可得到受车辆附加质量影响的结构固有频率；根据车辆在行驶和停驶时分别引起的结构响应的比值，确定结构的动力放大系数（冲击系数）。

动力荷载试验的测试结果可用于修正桥梁结构检算的模型，亦可作为管养单位对结构建档的对比资料。

依据现行的《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 对冲击系数的定义，冲击系数是一个与结构基频有关的参数，已知结构的基频后就可以用计算的方法得到冲击系数，而用测试的方法则较难得到冲击系数，理由如下：

规范定义的冲击系数与汽车荷载的标准值有关，而在动力荷载试验中，一般只采用一辆或几辆试验车辆进行测试，得到的所谓“冲击系数”是一辆或几辆车辆引起的冲击效应与相应车辆静力效应的比值。即使动力试验的荷载效率等于 1，也存在这样的问题——如何用真实的车列荷载，来等效采用以均布荷载加集中力表示的汽车荷载标准值？既然不同的等效车列，将产生不同的实测冲击系数值，为了与设计采用的“冲击系数”相区别，本规范采用动力放大系数的称谓。

7.1.2 结构自振特性包括结构自振频率、阻尼比和振型。

由于按自振频率评价结构刚度的是否退化时，需要与原桥跨结构的基准自振频率相比较，该频率当然以实测值为妥。又因为

结构自振频率可采用环境激励法获得，比采用车辆荷载激励简便，因此本条第1款建议对单孔跨径大于或等于40m的大桥或特大桥进行自振频率测试。

7.2 试验准备

7.2.2 采样频率不得低于欲测信号最高频率分量所对应的频率值的2倍是采样定理的最低要求，以避免高频段出现混淆。

在时间域采样点数固定的条件下，随着仪器采样频率的提高，时间域的分辨率提高，但频率域的分辨率随之下降。如果要使时间域和频率域均能达到较高的分辨能力，通常在提高采样频率的同时，还要延长测试时间，即增加采样点数。

7.2.4 动力试验荷载效率可作为试验方案设计的依据。实际跑车、刹车测试中，单车的荷载效率低，但单车试验的“冲击系数”（动力放大系数）比汽车车列试验的“冲击系数”大，因此，希望常规桥梁动力试验所采用的实际工况荷载，能与标准车列荷载（即控制荷载）相当。

对于大型桥梁，因单台车辆的荷载效率可能偏低，此时可采用多台车辆横向并列一排，同步行驶进行行车试验。为保证试验的安全，在纵桥向一般不宜安排车队。实际操作时，荷载效率可酌情降低。对于小跨径桥梁应使荷载效率尽量接近1。

7.3 现场测试

7.3.4 跑车试验中，车在桥上时为车桥耦合振动，车辆驶出桥面后桥梁的振动为自由衰减振动。

刹车可以为顺桥向或横桥向。一般横桥向由于桥面较窄，难以加速到预定车速，低速可控制5km/h以内。刹车试验数据需要进行附加质量影响的修正。由刹车的位移振动衰减曲线可读取结构的自振频率和阻尼。不过此时是有车的质量参与的衰减振动，阻尼也非单纯桥跨结构的阻尼。刹车记录项目与跑车相同，对记录的信号（包括振幅、应变或挠度等）进行频谱分析可以得

到相应的强迫振动频率等一系列参数。

跳车试验时，桥跨结构的振动是带有一辆满载的载货汽车附加质量的衰减振动。数据处理时，附加质量的影响应予以修正。跳车的动力效应与车速和三角块放置的位置有关。随着车速的增加，桥跨结构的动位移、动应力会增加，从而动力放大系数也会增大。跳车记录结束时刻与跑车相同。

7.3.6 人群以不同的步速进行跑动，可以检验天桥结构在动力荷载作用下的受迫振动特性，例如根据振幅确定的有附加质量影响的结构固有频率。

人群跳动试验是通过人群下落所产生的脉冲激发结构的振动，在指定位置拾取结构的振动响应，对结构的模态特征参数进行识别。为了保证行人跳动能有效地激起天桥结构的振动，需要足够的人群重量。人群跳动的位置可按所测结构的振型来确定。

7.4 数据分析与评定

7.4.1 根据动力放大系数与车速的关系曲线，确定动力放大系数达到最大值时的临界车速。实际测试中，单车试验的动力放大系数比汽车车列试验的动力放大系数大，且单车的荷载试验效率低。因此，应尽量采用与设计车列荷载相当的试验荷载所引起的动力放大系数，并以此作为与设计冲击系数比较的数据才更有意义。

图 7.4.1 标注中，对某一波峰值 $S_{\max}$ 而言，在其左右两侧实际上各有一个波谷值 $S_{\min}$ ，建议取两个波谷的均值后，再与最大值计算算术平均值。

7.4.2 实测自振频率与基准频率（既往的实测频率或计算频率）比较可用于如下情况分析：当大于基准频率时，应调查该桥的受力体系是否发生更改或加固过，或计算频率是否有误；两者接近时，说明结构实际刚度没有降低或改变很少；当小于基准频率且相差较显著时，应分析结构刚度退化的原因。

7.4.3 由于天桥的振动、晃动会引起行人的恐慌、不安全感，

为了保证行人的舒适性，对天桥的竖向振动、横向振动的基频规定了最低限值。本条对人行天桥舒适性评定采用了回避敏感频率的做法。目前振动舒适性评价方面的研究尚不充分，评价指标很难统一。世界各国对敏感频率（或频率范围）的规定不尽相同，通常人行天桥的竖向和横向基频超过限制值时，即认为满足振动舒适性要求，否则应考虑如何限制振动响应幅值的问题。

附录 B 桥梁自振特性测试要求

B. 0. 1 测量桥梁自振特性比较切实可行的方法应该是环境随机激励法。根据目前国产仪器的性能指标及模态分析软件的能力，一般桥梁测出前几阶振动频率与振型应当无实质性的困难。但该方法也有局限，测得的阻尼比不是很理想。至于其他像车辆余振法等要想测量多阶振型是很难的。

桥梁自振特性的测试应使用高灵敏度的传感器和高信噪比的放大器，同时应具备功能较强的信号分析设备及其相应软件。环境激励法记录时间通常不少于 30min。

为了尽可能测出高阶频率，应当预先估算结构振型，以便在结构的敏感点布置测振传感器（拾振器）。桥梁结构振型的测定可采用下述两种方法中的一种：

1 在所测定桥梁结构振型的峰、谷点上布设传感器，用放大特性相同的多路放大器和记录特性相同的多路记录仪，同时测记各测点的振动响应信号；

2 将结构分成若干段，选择某一分界点作为参考点，在参考点和各分界点分别布设传感器，按上款的方式测记各测点的振动响应信号。

B. 0. 2 对于简单结构（如简支梁），结构振型根据结构动力学的常识就能确定；但对于复杂结构，结构不同阶数、性质（各方向的弯曲、扭转等）的振型一般需采用专门的结构分析软件确定。

B. 0. 3 环境激励是指地脉动或风荷载，在输入未知的条件下，利用结构的响应频谱近似确定传递函数，进而采用模态识别技术得到桥梁自振特性。

B. 0. 4 汽车在桥上时，记录分析所得振动频率可能包含有桥梁自振和汽车强迫振动频率，不易识别；汽车出桥后，记录分析衰

减信号的频率即为桥梁自振频率。

B. 0. 5 跳梁法是指人群在桥梁上突然跳起，落地后根据拾振器记录的竖向振动衰减波形得出自振频率与阻尼比。力锤敲击法现场测试时，宜通过单点敲击、多点拾振获取振动曲线。

根据具体桥型和测试要求，还可采用重物冲击等人工激励方法。

B. 0. 6 此方法适用于其他方法不易激振的、刚度较大的桥梁，如石拱桥、小跨径梁式桥等。

B. 0. 7 合理布置测点：事先需了解理论振型，测点尽可能布设在控制断面上且测点数量应满足能完整地画出振型曲线的需要。由于每次试验用的拾振器数量总是有限的，所以要在桥上选择合适的参考点（将一个拾振器放在参考点上始终不动），分批移动其他拾振器到所有测点。

因为振型是考虑同一频率时的波形幅值和相位得到的，因此，除应按惯例对测振仪器系统进行定期检定或校准外，还应进行现场标定，即将仪器系统的全部传感器在同一参考点上标定：一是检查各通道灵敏度的设置（若传感器未经定期检定或校准，则按相对灵敏度设置），使经傅立叶变换后的波形在同频率时的幅值归一化，以便得到最大幅值为1的振型曲线；二是确认当前接线方式下各传感器的输出相位。注意现场标定后的仪器系统（从拾振器、导线，一直到记录通道）在使用时不宜进行变更。

所需测试的振型阶数与桥型和分析需求都有关，简支梁如果只关心竖向振动可能只需要测试一、二阶振型即可，而连续梁可能三阶也不够，复杂结构桥梁的振型更为复杂。桥梁结构振型的最少测试阶数应由桥型特点和动力分析需要的精度确定。建议结构振型测试的最少阶数为：

1 悬索桥、斜拉桥不少于5阶；

2 连续梁、刚构、拱桥和简支梁不少于3阶。

B. 0. 8 当桥梁结构在其某一共振频率上产生共振时，总对应着一个主振型，此时只要在桥上布置足够的测点，利用仪器同时记

录它们在振动过程中的时域波形，并通过傅立叶变换得到幅值和相位随频率的变化，就可分析得到所要求的振型曲线。这里通过图 1 的简支梁例子简单介绍分析方法。该简支梁布设了 3 个测点，所测 3 个时域波形经傅立叶变换后可得到相应的幅频和相频曲线，找出各共振峰对应频率处的幅值及相位，利用归一化的幅值以及以某一测点为基准判断其他 2 个测点与它的相位差，可得到某阶振型频率时各测点的分解谐波 [图 1 (a)、图 1 (b)]，据此绘制出简支梁的前二阶振型曲线。

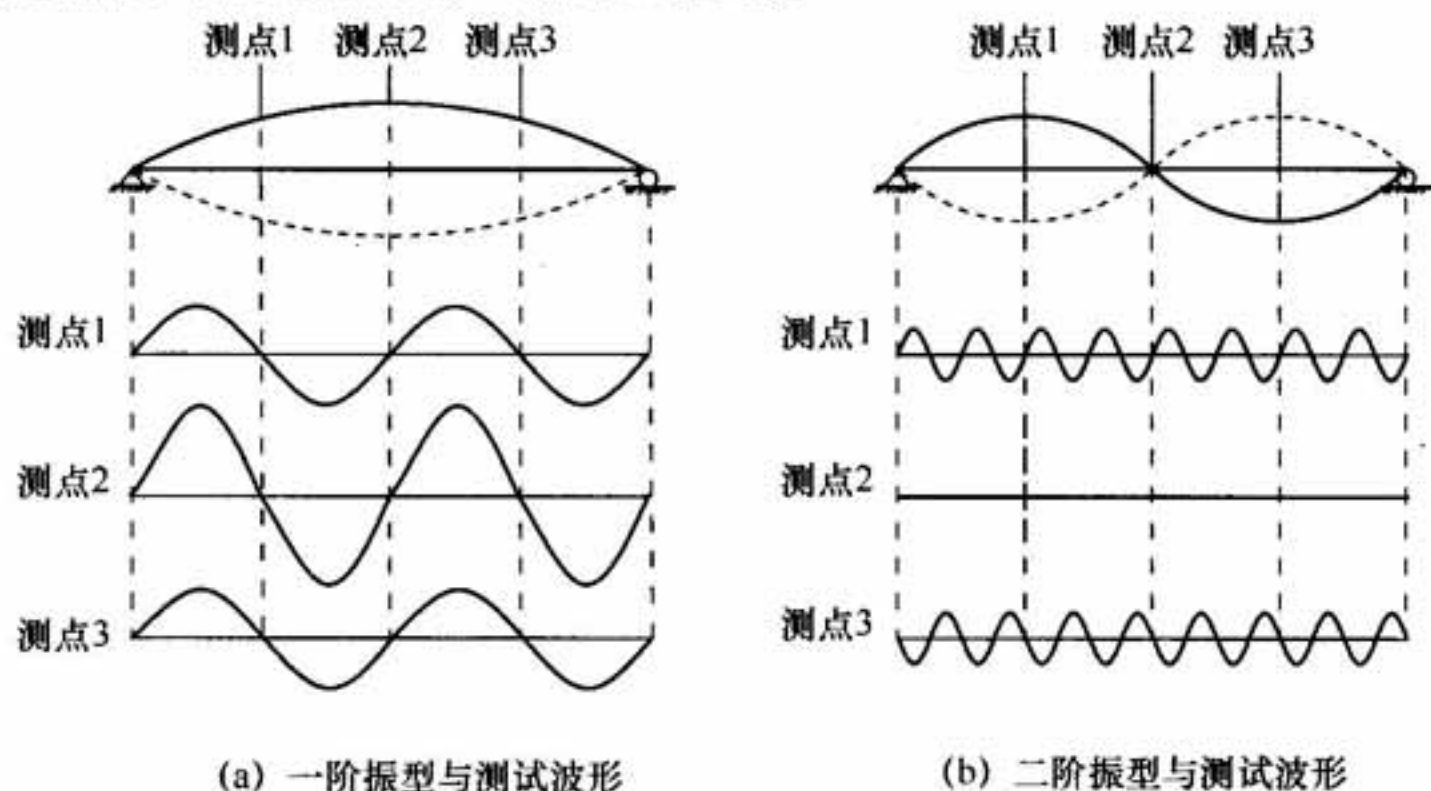


图 1 确定简支梁振型的方法示意图

B. 0. 9 利用波形分析法求取阻尼比时，可按示意图 2 并利用式

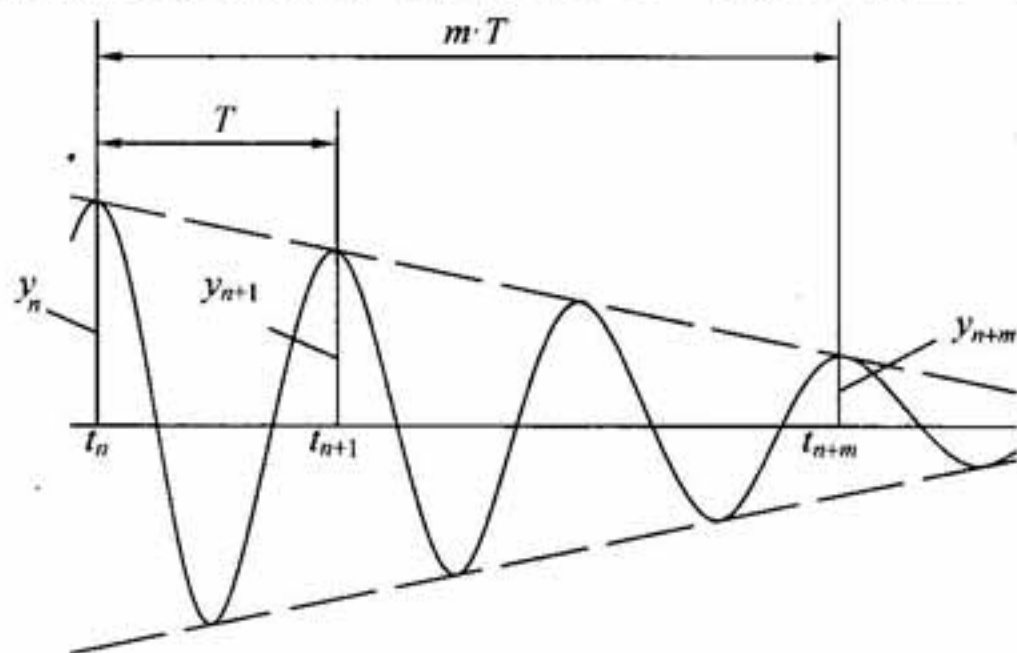


图 2 有阻尼自由衰减的振动波形曲线

(1)、式 (2) 计算:

$$v = \frac{1}{mT} \ln \frac{y_n}{y_{n+m}} \quad (1)$$

$$D = \frac{v}{\omega} = \frac{1}{2m\pi} \ln \frac{y_n}{y_{n+m}} \quad (2)$$

式中: v ——对数衰减率;

D ——阻尼比;

y_n, y_{n+m} ——第 n 个、第 $n+m$ 个波的振幅;

m —— $y_n \sim y_{n+m}$ 之间的波形数;

T ——周期;

ω ——衰减振动圆频率。

半功率带宽法是在共振曲线 (频谱图) 一阶共振峰处通过确定半功率带宽来推定阻尼比的方法。如图 3, 在 $f=f_n$ 共振曲线峰值的 0.707 倍处, 作一平行于频率轴的直线与曲线交两点, 这两点对应的横坐标上的频率差 $\Delta f = f_2 - f_1$, 即半功率带宽, 由此按式 (3) 可求出阻尼比:

$$D = \frac{1}{2f_n} (f_2 - f_1) = \frac{\Delta f}{2f_n} \quad (3)$$

采用环境激励等方法进行模态参数识别时, 可采用专用软件计算各阶模态阻尼比。

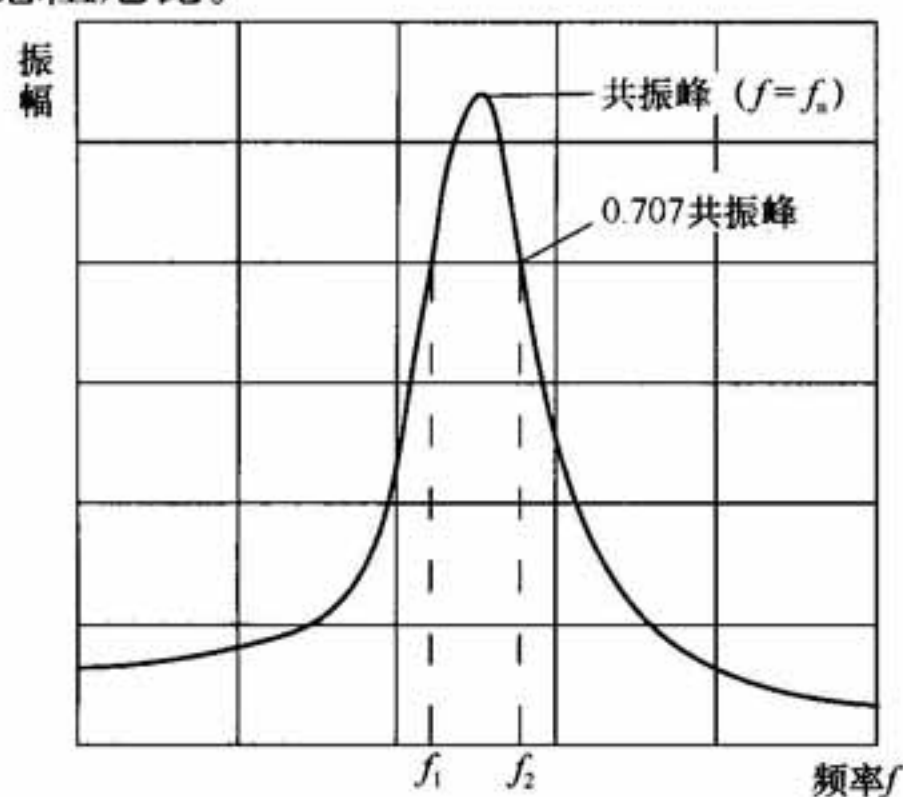


图 3 共振曲线