

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 翥 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

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

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 裂缝检测宜符合下列规定：

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圬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 $3\text{m}^2 \sim 5\text{m}^2$ 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、圬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；

α_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	经常受侵蚀性水的影响	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 圬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。当对圬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《公路圬工桥涵设计规范》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_t ——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）；

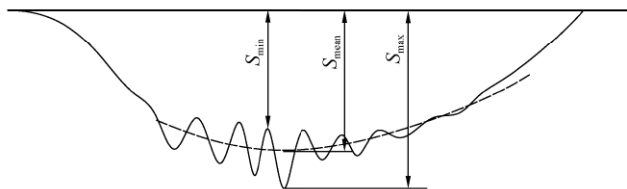


图 7.4.1 动应变或动变位曲线

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 and 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