ICS 点击此处添加ICS号

点击此处添加中国标准文献分类号

|  |
| --- |
|  |

DB45

广西壮族自治区地方标准

DB 45/ T —2019

|  |
| --- |
|  |

公路桥梁施工监控技术规程

Monitoring and Measurement Specifications for Construction of

Highway Bridge

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

|  |
| --- |
|  |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

广西壮族自治区市场监督管理局   发布

目  次

[前言 III](#_Toc5785929)

[引言 IV](#_Toc5785930)

[1　范围 1](#_Toc5785931)

[2　规范性引用文件 1](#_Toc5785932)

[3　术语和定义 1](#_Toc5785933)

[3.1　施工监控　Construction　monitoring　and　control 1](#_Toc5785934)

[3.2　控制计算　calculation　for　controlling 1](#_Toc5785935)

[3.3　施工监测construction　measurement 2](#_Toc5785936)

[3.4　设计符合性计算　　checking　calculation　of　design 2](#_Toc5785937)

[3.5　施工过程仿真计算　　Construction　process　simulation 2](#_Toc5785938)

[3.6　制造线形　Manufacture　shape　of　structure 2](#_Toc5785939)

[3.7　几何状态　geometry　state 2](#_Toc5785940)

[3.8　内力状态　internal　force　state 2](#_Toc5785941)

[3.9　成桥状态　accomplishment　state　of　bridge 2](#_Toc5785942)

[3.10　预拱度　predetermined　camber 2](#_Toc5785943)

[3.11　反馈控制　feedback　Control 2](#_Toc5785944)

[4　总则 2](#_Toc5785945)

[5　监控参数 3](#_Toc5785953)

[5.1　一般规定 3](#_Toc5785954)

[5.2　监控所需参数 3](#_Toc5785955)

[5.3　监控参数收集方法 3](#_Toc5785956)

[6　监控计算 3](#_Toc5785957)

[6.1　一般规定 3](#_Toc5785958)

[6.2　设计符合性计算 4](#_Toc5785959)

[6.3　监控敏感性分析与计算 5](#_Toc5785960)

[6.4　施工仿真分析与跟踪计算 5](#_Toc5785961)

[6.5　成桥运营状态验算 6](#_Toc5785962)

[6.6　其它监控计算内容 6](#_Toc5785963)

[7　施工监测 7](#_Toc5785964)

[7.1　一般规定 7](#_Toc5785965)

[7.2　施工监测内容 7](#_Toc5785966)

[7.3　应力监测 8](#_Toc5785967)

[7.4　温度监测 11](#_Toc5785968)

[7.5　线形监测 12](#_Toc5785969)

[7.6　索力监测 16](#_Toc5785970)

[7.7　连续性观测 17](#_Toc5785971)

[7.8　风速、风向监测 18](#_Toc5785972)

[8　数据分析与反馈控制 18](#_Toc5785973)

[8.1　一般规定 18](#_Toc5785974)

[8.2　监测数据分析 19](#_Toc5785975)

[8.3　控制容许偏差 19](#_Toc5785976)

[8.4　反馈控制 22](#_Toc5785977)

前  言

本标准按照GB/T 1.1－2009给出的规则起草。

本标准由广西壮族自治区交通运输厅提出。

本标准起草单位：广西交通科学研究院有限公司、广西路桥工程集团有限公司、广西大学。

本标准主要起草人：郝天之、罗吉智、韩玉、邓年春、王龙林、邱波、刘世建、谢开仲、王建军、杨涛、于孟生、杨雨厚、张磊、谢军、黄远、桂涛峰等。

本标准为首次发布。

引  言

基于公路行业标准对桥梁施工的基本规定，结合广西地区的工程经验和科研成果，制定广西壮族自治区《公路桥梁施工监控技术规程》（以下简称“本规程”），本规程给出桥梁施工监控管理、计算、测量(测试)、数据反馈及反馈控制等，以供桥梁施工监控应用。

各单位和个人在执行本规范过程中有何意见或建议，请与广西交通科学研究院有限公司联系，以便下次修订时参考。

公路桥梁施工监控技术规程

1. 范围

本标准规定了公路桥梁施工监控技术的术语和定义、总则、监控参数、监控计算、施工监测、数据分析与反馈控制等。

本标准适用于广西区内新建、改扩建公路桥梁及既有桥梁维修加固施工监控管理、计算、测量(测试)、数据反馈及反馈控制等。其他市政、铁路桥梁施工及建设管理可参照使用。

1. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50923 钢管混凝土拱桥技术规范

GB50017 钢结构设计标准

JTG B01 公路工程技术标准

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准（第一册 土建工程）

JTG/T F50 公路桥涵施工技术规范

CJJ/T 233 城市桥梁检测与评定技术规范

CJJ2 城市桥梁工程施工与质量验收规范

CJJ 11 城市桥梁设计规范

JTG/T D65-01 公路斜拉桥设计细则

JTG/T D65-05 公路悬索桥设计规范

JTG/T D65-06 公路钢管混凝土拱桥设计规范

DB45/T 1097 钢管混凝土拱桥施工技术规程

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件

* 1. 施工监控 Construction monitoring and control

为控制桥梁结构施工过程的结构状态，实现成桥结构内力状态与几何状态目标而进行的控制计算、施工监测、数据分析与反馈控制等工作的总称。

* 1. 控制计算 calculation for controlling

为获得桥梁施工过程结构内力状态和几何状态，对桥梁结构进行的设计符合性计算、事前模拟计算和过程跟踪计算、成桥运营计算。

* 1. 施工监测construction measurement

在桥梁施工过程中，对结构受力状态、几何状态或环境参数等进行的现场测测。

* 1. 设计符合性计算 checking calculation of design

在桥梁施工实施前，根据设计文件，对桥梁主体结构施工过程及成桥状态进行的内力与线形计算分析，将计算结果与设计文件进行比较，校核设计参数与施工阶段关键控制参数的正确性。

* 1. 施工过程仿真计算 Construction process simulation

为获得桥梁施工过程结构内力状态和几何状态，对桥梁结构进行的事前模拟计算和过程仿真跟踪计算。

* 1. 几何状态 geometry state

桥梁结构或构件的高程、位置、线形、构形、几何尺寸等。

* 1. 内力状态 internal force state

桥梁结构或构件的应力状态。

* 1. 成桥状态 accomplishment state of bridge

二期恒载施加完成后的桥梁结构内力状态和几何状态。

* 1. 预拱度 predetermined camber

为抵消桥梁主要受力构件在施工过程中荷载、体系转换及运营阶段活载、二期恒载、及收缩、徐变作用下产生的挠度，而在施工或制造时所预留的与位移方向相反的几何量。

* 1. 反馈控制 feedback Control

分析已成桥梁结构状态信息，与预控数据进行比较，找出偏差并分析原因，提出后续施工阶段反馈控制参数，使桥梁结构达到预期目标的工作总称。

1. 总则
   1. 桥梁施工监控应根据桥梁结构的特点和施工方法，采用可靠的理论、方法、仪器设备对结构施工过程中的内力状态和几何状态进行监测及控制。
   2. 桥梁的施工监控技术资料应作为桥梁的交工资料，归入桥梁的交（竣）工及养护技术档案。
   3. 公路桥梁施工监控除应符合本规程涉及的控制计算、施工监测、数据分析与反馈控制等规定外，尚应符合国家现行有关行业标准、合法有效的设计文件的规定。
   4. 桥梁施工监控实施前，应依据设计文件和施工组织设计编制施工监控方案。
   5. 桥梁施工控制应对构件的内力状态和几何状态进行计算、监测与控制，确保施工过程中的结构内力和变形处于容许的安全范围内，成桥状态符合设计要求。
   6. 桥梁施工监控需以施工监控指令文件、技术联系单和施工监控报告的形式实施。
   7. 桥梁施工监控内容宜包含大体积混凝土施工温控及涉及桥梁主体结构安全的大型临时设施的几何状态与内力状态。
2. 监控参数
   1. 一般规定

桥梁施工监控所需参数应根据参数对结构计算与监测结果的影响确定。

* 1. 监控所需参数

**1** 桥梁的设计参数，包括结构的线形与断面特征、预应力信息、容重、弹性模量、设计荷载等；

**2** 桥梁的施工工艺参数，包括施工方法、节段划分，施工荷载、节段施工周期、临时约束等；

**3**  桥梁的施工几何参数，包括结构的施工坐标、构件尺寸等；

**4**  桥梁的材料实测参数，包括弹性模量、容重、强度、预应力信息、混凝土龄期、收缩徐变等；

**5**  桥址与结构的环境参数，含风荷载、温度、日照等。

* 1. 监控参数收集方法

**1** 施工监控参数应以收集的设计文件参数为基准，并考虑施工阶段部分参数可能的偏差影响；

**2**  涉及结构实际坐标、沉降和变形、几何尺寸、温度等方面的参数，应采用现场实测的方法获取；

**3**  涉及混凝土、钢材料的弹性模量、强度、容重等材料参数，应采用试验室测量的方式获取；

**4**  现场测量、试验室无法直接获取监控参数，应通过测试、试验和计算分析等手段，通过参数识别的方法进行获取。

1. 监控计算
   1. 一般规定

**1** 桥梁施工监控计算应校核设计参数、提供施工阶段理论状态线形及内力数据、识别与调整结构偏差、预测成桥状态、提供用于指导施工的控制数据等；

**2** 桥梁施工监控计算应包括设计符合性计算、参数敏感性分析、施工过程仿真与跟踪计算、成桥运营状态验算；

**3** 桥梁施工监控计算须采用计算精度较高的可靠理论方法和软件，必要时需采用不同的软件进行校核；

**4** 桥梁施工监控计算模型一般采用杆系计算模型，根据实际施工方案与结构特殊性，必要时增加局部模型计算分析；

**5** 大跨度桥梁施工监控计算模型应考虑非线性效应进行施工阶段分析，必要时应对构件进行局部模型计算分析。

* 1. 设计符合性计算
     1. 设计符合性计算要点

设计符合性计算应依据设计文件及选取的合理的计算参数，进行施工过程主体结构强度和刚度计算，其结果应与设计值进行比对，完成施工阶段关键控制参数的校核，确认计算模型及参数的正确性，以确保控制的目标满足设计要求。

* + 1. 连续梁及刚构桥设计符合性计算复核内容应包含：

**1** 各构件的理论重量、几何特性；

**2**  收缩徐变影响结束时的主梁线形；

**3** 成桥时的主梁线形与墩顶偏位；

**4**  主梁施工过程各阶段线形；

**5**  收缩徐变影响结束时，主梁、桥墩控制截面应力；

**6**  成桥时，主梁、桥墩控制截面应力；

**7**  施工阶段主梁、桥墩控制截面应力；

**8** 主梁预拱度设置参数；

**9**  主墩预抬高量参数；

**10**  支座预偏量设置参数；

**11**  合龙时，结构配重参数；

**12** 成桥运营阶段主梁与主墩内力；

**13**  横向效应明显的宽幅桥梁应采用空间模型计算，必要时需增加局部建模型计算分析；

**14** 偏载对结构安全性的计算分析。

* + 1. 斜拉桥设计符合性计算复核内容应包含：

**1** 各构件的理论重量、索塔、主梁、斜拉索、支座等几何特性；

**2**  施工过程、施工步骤，包括混凝土构件龄期、收缩徐变等参数；

**3**  主梁的成桥线形；

**4** 索塔、主梁的成桥内力；

**5** 斜拉索初张拉力和成桥索力；

**6**  成桥运营阶段的计算；

**7** 偏载对结构安全性的计算分析。

* + 1. 悬索桥设计符合性计算复核内容应包含：

**1** 理论成桥状态复核内容应包括：各构件的理论重量、几何特性计算；

**2** 理论吊索及索股张力计算；主缆、加劲梁及桥塔成桥线形及内力计算；成桥状态各索鞍空间几何相对位置计算；

**3**  理论空缆线形复核内容应包括：理论空缆线形计算；理论预偏量计算；理论锚跨张力计算；

**4**  理论无应力尺寸复核内容应包括：吊索理论无应力长度计算；主缆理论无应力长度计算；钢梁无应力制造长度计算；桥塔预高量计算；

**5**  主缆锚固调节量检算；

* + 1. 拱桥桥梁设计符合性计算复核内容应包含：

**1** 各构件的理论重量、几何特性；

**2** 施工过程各阶段拱圈、主梁等主要构件的线形、内力；

**3** 拱圈、主梁等主要构件的成桥线形、内力；

**4** 理论吊、系杆索张力；

**5** 重要临时荷载；

**6**  收缩徐变影响结束时拱圈、主梁等主要构件的线形、内力；

**7**  拱圈、主梁等主要构件的预拱度或预抬高量设置参数；

**8**  支座预偏量设置参数；

**9**  吊、系杆及钢构件的无应力制造参数；

**10**  合龙时，结构配重参数；

**11**  成桥运营阶段拱圈、主梁等主要构件的线形、内力；

**12**  横向效应明显的宽幅桥梁应采用空间模型计算，必要时需增加局部建模型计算分析。

* 1. 监控敏感性分析与计算

**1** 参数敏感性分析宜在设计符合性计算的模型上进行，参数敏感性分析方法宜采用单因素分析法进行，分析参数变化对计算结果的影响程度；

**2** 桥梁需进行敏感性分析的参数宜包含材料弹性模量及容重、预应力孔道偏差系数及摩阻系数、收缩徐变及截面尺寸偏差、环境及荷载等。

* 1. 施工仿真分析与跟踪计算
     1. 连续梁及刚构桥施工仿真与跟踪计算应至少提供以下结果：

**1**  施工阶段主梁、桥墩控制截面变形及应力；

**2**  主梁预拱度设置、主墩预抬高量及支座预偏量设置；

**3** 合龙时，结构配重参数；

**4**  运营阶段计算成果。

* + 1. 斜拉桥施工仿真与跟踪计算应至少提供以下结果：

**1** 斜拉桥几何状态控制计算结果主要包括：收缩徐变影响结束时的主梁线形、塔顶变位；成桥时主梁线形、塔顶变位；主梁施工过程各阶段线形、塔顶变位；预制主梁节段和预制桥塔节段的制造构形、斜拉索无应力长度；

**2** 斜拉桥内力状态的控制计算结果主要包括：收缩徐变影响结束时，主梁、索塔控制截面应力与斜拉索索力；成桥时主梁、索塔控制截面应力与斜拉索索力；各施工阶段主梁、索塔控制截面应力与斜拉索索力；各施工阶段的支座反力；

**3** 斜拉桥采用支架拼装（现浇）主梁时，监控计算除了前述对主桥结构的内力和变形计算以外，还需要针对支架的强度、刚度、稳定性及温度影响进行相关计算；

**4** 斜拉桥采用顶推法施工时，监控计算除了前述对主桥结构的内力和变形计算以外，还需要针对顶推过程进行相关计算，一般至少包括：临时墩布置形式及受力计算；单点或多点最大顶推力计算；导梁受力计算；顶推过程主梁受力计算；临时预应力束张拉顺序及张拉控制力计算；

**5** 斜拉桥采用转体法施工时，监控计算除了前述对主桥结构的内力和变形计算以外，还需要针对转体过程进行相关计算，一般至少包括：不平衡配重的计算及位置；转体施工摩擦力计算；转体施工拽拉力计算。

* + 1. 悬索桥施工仿真与跟踪计算应至少提供以下结果：上部结构理想施工全过程的仿真计算应包括：

**1** 加劲梁理论制造线形、吊装全过程及合龙计算；

**2** 桥塔预高量、抗推刚度与抗扭刚度及其相应的允许变形、鞍座顶推方案的制定，架梁过程中主索鞍顶推力计算；

**3** 主缆影响参数及误差分析、主缆索股无应力长度、索鞍预偏量和主缆中心线形、索股架设合理层距的确定、基准索股架设线形、一般索股架设线形、锚跨索股锚固张力、主缆索股架设期间的抗滑验算、最不利条件下所需索鞍最大水平支承反力、散索鞍支承拆除的合理阶段的确定；

**4**  猫道系统验算、改挂计算；

**5** 索夹安装位置计算、吊索下料长度计算；

**6** 二期恒载与成桥线形计算；

**7** 其它与施工方案相关的特殊检算。

* + 1. 拱桥施工仿真与跟踪计算应至少提供以下结果：

**1** 各施工阶段的拱圈、主梁等主要构件的控制断面变形及应力；

**2** 各施工阶段拱桥结构的稳定性，拱圈、主梁等主要构件的预拱度或预抬高量；

**3** 吊、系杆及钢构件无应力制造长度及张拉值；

**4** 合龙时，结构配重；

**5** 斜拉扣挂阶段的扣、锚索张拉力的计算和优化；

**6** 跟踪计算模型的运营阶段计算成果。

* 1. 成桥运营状态验算

**1** 成桥运营状态验算应在实际的成桥状态下，必要时利用非线性有限元程序，计算桥梁结构内力、线形，并与设计目标比较，做出施工控制成果评价；

**2** 成桥运营状态验算计算结果须纳入施工监控总结报告。

* 1. 其它监控计算内容

**1** 连续梁及刚构桥在合龙顶推施工时，根据桥跨对称程度，需对合龙顶推施工的顶推、配重参数进行计算确定，一般至少包括：合龙配重位置及重量计算；合龙顶推力与顶推量计；合龙温度影响性分析计算；

**2** 转体施工的连续梁及刚构桥施工监控中，需针对转体过程进行相关计算，至少增加计算：转动体系重心计算；转体中临时配重的计算；转体墩的局部分析；转动牵引力的计算；转动体系的稳定计算；

**3** 拱桥转体施工的桥梁施工监控中应针对涉及施工主体安全的大型临时设施进行相关计算，一般至少包括： 扣索索力计算；锚索索力计算；扣塔主要构件内力和变形计算；转动体上、下盘的局部分析；转动体系稳定性计算；

**4** 缆索吊装法施工的桥梁，应针对涉及施工主体安全的大型临时设施进行相关计算，一般至少包括：扣索索力计算；锚索索力计算；扣挂体系索塔主要构件内力和变形计算；缆索吊系统索塔主要构件内力和变形计算；悬拼系统抗风稳定性计算；

**5** 斜拉扣挂悬浇法施工的桥梁，应针对涉及施工主体安全的大型临时设施进行相关计算，一般至少包括：扣索索力计算；锚索索力计算；扣挂体系索塔主要构件内力和变形计算；挂篮系统主要构件内力和变形计算；挂篮系统前、后支点反力计算；挂篮系统突然坠落情况下，整体结构安全性验算；悬浇系统抗风稳定性计算；

**6** 对于落地支架现浇或者拼装梁式桥、拱桥、斜拉桥及悬索桥，宜增加针对落地支架稳定性、变形及构件应力进行验算。

1. 施工监测
   1. 施工监测内容
      1. 连续梁及刚构桥

**1** 连续梁及刚构桥施工监测内容应包括应力监测、线形监测、温度监测，必要时需对风速、风向监测；

**2** 连续梁及刚构桥应力、线形、温度监测内容应包括主梁及主墩的监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型。

* + 1. 斜拉桥

**1** 斜拉桥施工监测内容应包括应力监测、线形监测、索力监测、温度监测，必要时需对风速、风向监测；

**2** 斜拉桥应力监测内容应包括主梁及索塔的监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型与分辨率；

**3** 斜拉桥线形监测内容应包括主梁、索塔、承台的监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型与分辨率；

**4** 斜拉桥索力监测内容应包括斜拉索索力监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型与分辨率；

**5** 斜拉桥温度监测内容应包括主梁、索塔、承台、斜拉索的监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型与分辨率。

* + 1. 悬索桥

**1** 悬索桥施工监测应包括应力监测、线形监测、索力监测、温度监测及风环境监测；

**2** 悬索桥应力监测内容应包括主塔与加劲梁的监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型与分辨率；

**3** 悬索桥线形监测内容应包括主缆、塔顶偏位、索塔与锚碇基础沉降、主索鞍与散索鞍(套)预偏量与顶推量、索夹空间位置、加劲梁的监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型与分辨率。

**4** 悬索桥索力监测内容应包括主缆锚跨索股张力与吊索索力的监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型与分辨率；

**5** 悬索桥温度监测内容应包括主缆与加劲梁的监测控制断面布置、监测测点布置、监测工况与频率、监测设备选型与分辨率；

* + 1. 拱桥

**1** 拱桥施工监测内容应包括应力监测，线形监测，温度监测及风速、风向监测；

**2** 拱桥应力监测内容应包括拱座、拱圈、主梁及拱上建筑、涉及施工主体安全的大型临时设施的监测控制断面布置，监测测点布置，监测工况与频率，监测设备选型与分辨率；

**3** 拱桥线形监测内容应包括拱座、拱圈、主梁及拱上建筑、涉及施工主体安全的大型临时设施的监测控制断面布置，监测测点布置，监测工况与频率，监测设备选型与分辨率；

**4** 拱桥温度监测内容应包括拱座、拱圈、主梁及拱上建筑、涉及施工主体安全的大型临时设施的监测控制断面布置，监测测点布置，监测工况与频率，监测设备选型与分辨率。

* 1. 应力监测
     1. 应力监测元件

分辨率应不低于1，其耐久性应满足整个桥梁监控期的要求，用于运营期监测的元件耐久性应满足桥梁运营2年内仍可有效工作的需求，且宜选用集温度、应力测试一体的应力传感器。

* + 1. 连续梁及刚构桥

连续梁及刚构桥的应力监测断面与测点布置应考虑结构最不利受力断面与结构典型断面，监测断面与测点布置应满足但不限于以下要求：

**1**  涉及箱梁顶推施工的墩应力监测断面与测点布置：主墩应力监测截面应包含墩身底部附近的应力控制截面；监测点布置于顺桥向的墩壁两侧，每个截面的测点不应少于4个；

**2** 主墩应力监测工况与频率应不低于下列要求：桥墩应力应在主墩每完成3个施工阶段测试1次，测试范围为主墩全部测试断面；主梁施工完成1/4、1/2、 3/4完成后应各进行1次测试，测试范围为主墩全部测试断面；主梁合龙前、后及桥面铺装应各进行1次测试，测试范围为主墩全部测试断面；

**3** 主梁应力监测断面与测点布置：主梁应力监测截面应包含主梁1号梁段、合拢段或L/2的附近应力控制断面，多跨桥梁应力监测跨数不应少于2跨；对于跨径超过150m的主梁，应力监测控制断面宜在L/8或3L/8处进行加密布置；监测点布置于控制截面上、下缘，1号梁段、L/2断面的测点不应少于6个，其它断面的测点不应少于4个；

**4** 主梁应力监测工况与频率应不低于下列要求：每施工一个节段测试4次，分别在混凝土浇筑后、纵向预应力张拉后进行，测试区域为全桥主梁应力监测断面，主梁每次合龙前、后各进行1次测试，测试范围为全桥主梁测试断面；桥面铺装完成后测试1次，测试范围为全桥主梁测试断面。

* + 1. 斜拉桥

斜拉桥的应力监测断面与测点布置应考虑结构最不利受力断面与结构典型断面，监测断面与测点布置应满足但不限于以下要求：

**1** 主墩应力监测断面与测点布置：索塔应力监测截面应包含下塔柱墩身底部附近的应力控制截面和中塔柱(桥面附近的中塔柱)；根据计算结果，其他应力较大的截面；监测点布置于沿着塔柱轴线方向，每个截面的测点不应少于4个；

**2** 索塔应力监测工况与频率：在索塔每完成3个施工节段测试1次，测试范围为索塔全部测试断面；主梁施工完成1/4、1/2、3/4完成后应各进行1次测试，测试范围为索塔全部测试断面；主梁合龙前、后及桥面铺装应各进行1次测试，测试范围为索塔全部测试断面；主动横撑的顶推力前后、中塔柱合龙后、上塔柱封顶后的应力测试截面的应力；其他异常或者重要工况；

**3** 主梁应力监测断面与测点布置：应根据计算确定，主梁应力监测截面应包含主梁的塔区横梁两侧、L/4、L/2的附近应力控制断面；对于受力复杂的斜拉桥应力监测控制断面宜在L/8或3L/8处进行加密布置；应用于运营期应力监测断面全桥至少包括主梁的塔区横梁两侧和1个跨中应力监测断面；监测点布置于控制截面上、下缘附近，断面的测点不应少于4个；对于钢混组合梁，监测断面测点钢结构不少于4个，混凝土不少于3个；

**4** 主梁应力监测工况与频率：主梁施工完成1/4、1/2、3/4完成后应各进行1次测试，测试范围为主梁全部测试断面；主梁每次合龙前、后各进行1次测试，测试范围为全桥主梁测试断面；桥面铺装完成后测试1次，测试范围为全桥主梁测试断面；其他异常或者重要工况。

* + 1. 悬索桥

悬索桥的应力监测断面与测点布置应考虑结构最不利受力断面与结构典型断面，监测断面与测点布置应满足但不限于以下要求：

**1** 主塔应力测试截面宜选靠塔底的控制截面和下横梁以上控制截面：对于钢筋混凝土桥塔，在每个测试断面，宜沿周边布置不少于4个传感器；对于钢塔，在每个测试断面，除了沿周边布置不少于6个测点外，在腹板或隔板上应增设一定数量测点，具体布置情况宜根据构造尺寸和计算结果来确定；

**2** 主塔应力测试监测工况与频率应符合下列要求：除在桥塔施工完成后、猫道架设完成后、成缆后、鞍座顶推前(后)、加劲梁施工完成后、桥面铺装完成后等重要工况须进行1次测试，还应进行每月不小于2次的施工期定期监测；梁段吊装过程中根据计算结果宜增加测试次数；

**3** 加劲梁应力监测截面布置，应选择主梁施工过程中的应力控制性截面，一般为桥塔下横梁处附近截面、L/4截面、跨中截面、3/4截面等；根据主梁截面形式和截面宽度来布置测点，且每个应力测试截面不应少于8个测点；对于钢桁梁加劲梁，应根据计算结果增设杆件监测截面和测点数；对于叠合梁加劲梁，宜在湿接缝处增设混凝土应力测点；

**4** 加劲梁应力测试监测工况与频率应符合下列要求：对于钢箱梁加劲梁采用顶推方式，根据计算结果须增加监测次数；对于钢箱梁或叠合梁加劲梁采用吊装方式，对吊装梁段处关键截面应力测试1次；对于钢桁梁加劲梁，需根据计算结果须增加监测次数；加劲梁施工完成后、桥面铺装完成后各进行1次所有关键断面应力测试；加劲梁施工过程中应进行每月不小于2次的施工期定期监测。

* + 1. 拱桥

**1** 拱桥的应力监测断面布置应考虑结构最不利受力断面与结构典型断面，监测断面布置应满足但不限于以下要求：

**⑴** 拱座应力监测断面布置：拱座下有墩柱的桥梁，需对拱座下墩柱进行应力监测，监测断面应位于墩柱底、顶部附近；

**⑵**  拱圈应力监测断面布置：拱圈应力监测断面应位于拱脚、L/4、跨中附近；对于计算中显示拱圈应力较大的其他部位，宜加密布置应力测试断面；连拱拱桥应对每跨主拱圈均布置应力监测控制断面； 对于跨径超过200m的特大桥梁，拱圈应力监测控制断面应在L/8、3L/8处加密布置；

**⑶**  主梁及拱上建筑应力监测断面布置：有拱上立柱的上承式拱桥，可根据监控计算情况，选择较高的拱上立柱进行应力监测，监测断面应位于墩柱底部附近；中承式拱桥，应对“v”构进行应力监测，监测断面应位于斜腿的根部、L/2及端部附近；有吊点横梁的下承式拱桥，可根据监控计算情况，选择不少于1个横梁进行应力监测，监测断面应位于横梁的吊点、跨中附近；

**⑷**  涉及施工主体安全的大型临时设施应力监测断面布置：利用交界墩作为扣挂体系索塔的桥梁，应在拱圈施工过程中对交界墩进行应力监测；监测断面应位于墩柱底、顶部附近；利用万能杆件拼装扣挂体系索塔的拱桥，应在拱圈施工过程中对索塔进行应力监测；监测断面应位于索塔底部附近以及监控计算显示应力较大的构件；利用万能杆件拼装缆索吊装体系索塔的拱桥，宜在拱圈及主梁施工过程中对索塔进行应力监测；监测断面应位于索塔底部附近以及监控计算显示应力较大的构件；拱圈为转体施工的桥梁，应在拱圈转体施工过程中对转动体的上、下盘进行局部应力监测；局部应力的监测断面根据具体监控计算结果确定。

**2** 拱桥的应力测点应布置在控制断面的上、下缘位置；一个测试断面应力测点应不少于4个。

**3** 拱桥应力监测工况与频率应不低于下列要求：

**⑴** 拱座应力监测工况，拱座下墩柱在可能承受较大弯矩的施工节点应测试控制断面应力；

**⑵** 拱圈应力监测工况与频率：

① 斜拉扣挂体系施工：每个节段施工完成后，应测试已布设控制断面应力；扣、锚索张拉后，应测试已布设控制断面应力；合龙前后，应测试全部控制断面应力；扣、锚索解除前后，应测试全部控制断面应力；

② 转体施工：转体体系试转，应测试全部控制断面应力；转体施工过程中，应对拱脚应力实时跟踪测试；合龙前后，应测试全部控制断面应力；

③ 支架施工：支架拆除前后，应测试全部控制断面应力；

拱上建筑施工过程中，宜在拱上立柱施工完成后、主梁(板)施工完成后，测试拱圈全部控制断面应力；

④ 吊、系杆施工过程中，应在吊、系杆每批安装及张拉、调整前后，测试拱圈全部控制断面应力；

⑤ 拱圈承受的重大临时荷载变化前后，应测试全部控制断面应力；

⑥ 二期恒载加载前后，应测试全部控制断面应力；

**⑶** 主梁及拱上建筑应力监测工况与频率：

① 拱上立柱在相应跨主梁架设前后、二期恒载加载前后，应测试控制断面应力；

② 中承式拱桥 “v”构在支架拆除前后，吊、系杆每批安装及张拉、调整前后，应测试控制断面应力；

③ 下承式拱桥吊点横梁在相应跨主梁架设前后、二期恒载加载前后，应测试控制断面应力；

④ 主梁应在以下几种情况全面测试控制断面应力：体系转换前后；合龙前后；支架拆除前后；吊、系杆每批安装及张拉、调整前后；二期恒载加载前后；

**⑷** 涉及施工主体安全的大型临时设施应力监测工况与频率：

① 扣挂体系索塔在拱圈施工过程中每次临时扣、锚索张拉后，应测试控制断面应力；

② 缆索吊装体系索塔，宜在拱圈及主梁施工过程中，选择吊装最大重量时，对控制断面应力测试；

③ 转动体的上、下盘局部应力应在转体施工过程中实时监测。

* 1. 线形监测
     1. 线形监测设备应符合表7.4.1-1的要求。

1. 表7.4.1-1 线形监测设备及精度

| 序号 | 桥型 | 构件及监测内容 | 仪器名称 | 精度或分辨率 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 连续梁及刚构桥 | 主梁轴线、主墩偏位、承台沉降 | 全站仪 | 分辨率宜不低于1mm，测角分辨率宜不低于2″ |
| 主梁高程 | 水准仪 | 不低于DS2 |
| 截面尺寸 | 激光测距仪或钢卷尺 | 精度应小于1mm |
| 2 | 斜拉桥 | 主梁轴线、索塔偏位、承台沉降 | 全站仪 | 分辨率宜不低于1mm，测角分辨率宜不低于1″ |
| 主梁高程 | 水准仪 | 不低于DS2 |
| 截面尺寸 | 激光测距仪或钢卷尺 | 精度应小于1mm |
| 3 | 悬索桥 | 主缆线形、塔顶偏位、加劲梁轴线偏位、索夹空间位置 | 全站仪 | 分辨率宜不低于1mm，测角分辨率宜不低于1″ |
| 索塔与锚碇基础沉降、加劲梁标高 | 水准仪 | 不低于DS2 |
| 索股架设相对基准索股垂度与主索鞍与散索鞍(套)预偏量与顶推量 | 直尺进行测试 | 精度应小于1mm |
| 截面尺寸 | 激光测距仪或钢卷尺 | 精度应小于1mm |
| 4 | 拱桥 | 拱座位移，拱圈、主梁及拱上建筑线形，涉及施工主体安全的大型临时设施 | 全站仪 | 分辨率宜不低于1mm，测角分辨率宜不低于1″ |
| 主梁高程 | 水准仪 | 不低于DS2 |
| 截面尺寸 | 激光测距仪或钢卷尺 | 精度应小于1mm |

* + 1. 连续梁及刚构桥线形监测断面与测点布置应符合下列要求：

**1** 承台线形监测断面宜布置于承台顶面，不少于4个监测点；

**2** 桥墩偏位监测截面应设置在桥墩顶面，1个截面的测点数不宜少于2个；

**3**  主梁节段施工监测宜设置模板高程监测断面，顶、底模板高程测试断面应设置在各梁段前端附近的顶模、底模顶面，每个断面不少于5个监测点，其中顶板3个、底板2个；

**4**  悬臂施工的主梁线形监测点测试截面应设置在各梁段前端顶面附近，每个监测断面不少于3个监测点，支架现浇施工的主梁，测试截面应设置在支点、跨中、四分点，每个监测断面不少于3个监测点。

**5** 对于具有临时墩的连续梁桥，位移监测截面应设置在临时墩顶面，每个截面测点数不宜少于2个。

* + 1. 连续梁及刚构桥线形监测工况与频率应符合下列要求：

**1** 承台沉降与纵向位移每月监测1次；

**2** 主墩偏位在裸墩、合龙前、桥面铺装完成后及主梁施工完成1/4、1/2、3/4应各监测1次；

**3** 主梁轴线监测在主梁节段施工完成后监测1次；

**4** 主梁模板高程应在主梁每节段混凝土浇筑前监测1次，测试区域为待施工梁段；

**5**  主梁线形监测点高程应在主梁每节段施工过程监测3次，分别在混凝土浇筑前、混凝土浇筑后、张拉预应力后进行，测试区域为当前梁段及相邻至少2个梁段；每次合龙前、前、后各进行1次测试，测试区域为全桥主梁测试断面；

**6** 主梁混凝土面高程应在主梁每节段施工完成后、全桥合龙后监测1次，测试区域为当前施工完成梁段；

**7** 主梁成桥高程应在桥面铺装完成后测试1次，测试区域为全桥主梁测试断面。

* + 1. 连续梁及刚构桥线形基准点复核与联测应符合下列要求：

**1** 各主墩的主梁0号梁段施工完成后，应对各主墩线形基准点进行联合测量；

**2** 主梁节段施工完成1/4、1/2、3/4时，应对主墩顶面基准点进行复核测量；

**3** 主梁每次合龙前2～3个梁段，应对合龙口两侧的主墩基准点及主梁悬臂梁段前端标高进行联合测量。

* + 1. 斜拉桥线形监测断面与测点布置应符合下列要求：

**1**  承台线形监测断面宜布置于承台顶面，不少于4个监测点；

**2** 索塔偏位监测截面应设置在索塔顶面，一个塔柱测点数不宜少于1个；

**3** 节段施工的主梁线形监测，每个节段梁应设置1个高程监测断面，每个断面不少于2个监测点。

* + 1. 斜拉桥线形监测工况与频率应符合下列要求：

**1** 承台沉降宜每月相对固定时间监测1次；

**2** 索塔偏位在索塔封顶、合龙前、桥面铺装完成后及主梁施工完成1/4、1/2、3/4应各监测1次；

**3** 主梁轴线监测在主梁节段施工完成后监测1次；合龙前、后进行1次测试，测试区域为全桥主梁测试断面；

**4** 主梁线形监测点高程在主梁每节段施工过程监测不低于2次，分别在第一次张拉斜拉索、第二次张拉斜拉索后进行，测试区域为当前梁段及相邻至少2个梁段；合龙前、后进行1次测试，测试区域为全桥主梁测试断面；

**5** 主梁成桥高程应在桥面铺装完成后测试1次，测试区域为全桥主梁测试断面。

* + 1. 斜拉桥线形基准点复核与联测应符合下列要求：

**1** 上部主梁结构开始施工前，应对线形基准点进行联合测量；

**2**  主梁节段施工完成1/4、1/2、3/4时，应对基准点进行复核测量；

**3** 合龙前2～3个梁段，应对基准点及主梁悬臂梁段前端高程进行联合测量。

* + 1. 悬索桥线形监测断面与测点布置应符合下列要求：

**1** 主缆线形监测截面应设置在两边跨跨中、索鞍附近、中跨四分点，每个截面测点不应小于1个；主跨跨径大于800米时，应增设中跨八分点；

**2** 主塔偏位监测截面应设置在索塔顶面上，每个截面测点数不宜小于2个；

**3** 锚锭和索塔基础沉降监测基准点的位置和数量要求是：

⑴ 稳定，作为变形监测的基准点，一定要远离建筑物荷载的影响区域，并有一定的埋设深度和不易遭受破坏；

⑵ 联测方便；

**4** 在数量上至少有3个，以便通过基准点的联测，监测和检验基准点的稳定性；对锚锭和索塔基础沉降监测监测点的位置和数量要求是：

⑴ 监测点布设在被观测建筑物最能反映变形特征的位置上，为此在建筑物基础设计的后浇带或沉降缝两侧应布点，在建筑物不同层高的分界处两侧应布设，在建筑物荷载比较集中的地方应布点，在建筑物的轴线及其四周应布点；

⑵ 点位应布设在便于观测、点位稳定和施工干扰小的地方；

⑶ 点的数量应能反映整个建筑物基础的变形情况，并满足变形分析的需要；

**5** 主索鞍与散索鞍(套)预偏量与顶推量监测截面应设置在鞍座格栅(或下平板)和索鞍偏移面，每个截面测点数不宜小于2个；

**6** 索夹空间位置监测截面应设置在各个索夹高端、低端截面处，每个截面测点数不宜小于2个；

**7** 加劲梁线形监测截面应设置在支点与各吊索吊点处，每个截面测点不应小于2个。

* + 1. 悬索桥线形监测工况与频率应符合下列要求：

**1** 主缆线形监测：基准索股架设期间、基准索股稳定性观测期间、一般索股架设期间进行实时监测；成缆后、鞍座顶推前(后)、加劲梁施工完成后、桥面铺装完成后各进行1次监测；在基准索股架设、基准索股稳定性观测、一般索股架设期间、成缆后、索夹放样等重要工况下进行联测；加劲梁吊装期间应进行实时监测；

**2** 主塔塔顶偏位监测：桥塔施工完成后、猫道施工完成后、成缆后、鞍座顶推前(后)、加劲梁施工完成后、桥面铺装完成后各进行1次监测；基准索股架设期间、基准索股稳定性观测期间、一般索股架设期间、索夹放样期间进行实时监测；加劲梁吊装期间应进行实时监测；

**3** 索塔与锚碇基础沉降观测：第一次观测应在上部构造施工前进行，第一次观测应连续独立地观测两次，以作为沉降量计算的相对基准；之后应每一个月观测一次或在猫道施工的前后、主缆施工的前后和主梁施工的前后进行观测；基准点也应每四个月复测一次，以监视基准点的稳定性；重大工况或特定工况下进行1次监测；

**4** 主索鞍与散索鞍预偏量与顶推量监测：主索鞍与散索鞍安装后、鞍座顶推前(后)、成桥后各监测1次；

**5** 索夹空间位置监测：索夹放样过程应进行实时监测；紧缆完成后、每约 25%总梁段吊装完成后、桥面铺装完成后各进行1次监测；

**6** 加劲梁线形监测：加劲梁各个梁段吊装完成后进行1次监测；加劲梁吊装期间进行每月不小于1次定期监测；加劲梁合龙前后进行实时监测。

* + 1. 拱桥线形监测断面布置应满足但不限于以下要求：

**1** 拱座线形监测断面布置：拱座沉降、纵向位移、转角监测断面应布置在拱座顶面；

**2**  拱圈线形监测断面布置：拱圈浇筑或者拼装阶段，线形监测断面应位于施工节段前端附近；拱圈合拢后，线形监测断面应位于拱脚、跨中、L/4附近；对于跨径超过200m的超桥梁，拱圈线形监测断面应在L/8、3L/8处加密布置；

**3** 主梁及拱上建筑线形监测断面布置：中承式拱桥 “v”构线形监测断面应位于斜腿的L/2附近；下承式拱桥的吊点横梁线形监测断面应位于横梁两端吊点处；对于跨径超过60m的主梁，应对主梁线形进行监测；主梁监测断面应位于L/4、L/2、3L/4附近；对于跨径超过150m的主梁，监测断面宜在L/8、3L/8处加密布置；主梁成桥高程监测断面宜按纵向间距10m布置，且应包含支点、跨中、四分点断面；

**4** 涉及施工主体安全的大型临时设施线形监测断面布置：扣挂体系索塔线形监测断面应位于索塔顶端；缆索吊装体系索塔线形监测断面应位于索塔顶端。

* + 1. 拱桥的线形监测断面测点布置应满足但不限于以下要求：

**1** 布置原则：线形控制断面在节段或者构件顶端，线形测点应布置在断面四个角区；线形控制断面在节段或者构件前端，线形测点应布置在断面上缘；每个断面线形测点的数量，应能满足测试断面控制参数的要求；

**2** 线形测点布置形式：墩柱、拱上立柱、拱座线形测点应布置在构件顶端的四个角区；箱形断面拱圈或主梁，线形测点的布置应能反应轴线和扭转效应的情况；线形测点应布置在断面顶端的上、下游及中轴线；钢管(箱)混凝土主拱圈需对每根钢管(箱)拱安装过程进行线形监测，线形测点应布置在钢管(箱)的顶缘；多管连接成整体后，再在断面顶缘重新布置线形测点；前后线形测点应保证部分点位重合。

* + 1. 拱桥线形监测工况与频率应满足但不限于以下要求：

**1** 拱座线形监测工况与频率：一般情况，拱座沉降、纵向位移应每月或者结构有重大荷载变化的工况进行测试，对于系杆拱桥监测频率应加密；

**2** 拱圈线形监测工况与频率：

⑴ 斜拉扣挂体系施工：每个节段安装、扣、锚索张拉完成后，应至少测试前三节控制断面线形；合龙前后，应测试全部控制断面线形；扣、锚索解除前后，应测试全部控制断面线形；

⑵ 转体施工：转体体系试转前后，应测试全部控制断面线形；转体施工过程中，宜对拱圈前端线形实时跟踪测试；合龙前后，应测试全部控制断面线形；

⑶ 支架施工：支架拆除前后，应测试全部控制断面线形；

⑷ 拱上建筑施工过程中，宜在拱上立柱施工完成后、主梁(板)施工完成后，测试拱圈全部控制断面线形；

⑸ 吊、系杆施工过程中，应在吊、系杆每批安装及张拉、调整前后，测试拱圈全部控制断面线形；

⑹ 拱圈承受的重大临时荷载变化前后，应测试全部控制断面线形；

⑺ 二期恒载加载前后，应测试全部控制断面线形；

**3** 主梁及拱上建筑线形监测工况与频率：

⑴ 中承式拱桥 “v”构，应在支架拆除前后，吊、系杆每批安装及张拉、调整前后，测试全部控制断面线形；下承式拱桥的吊点横梁，应在相应跨主梁架设前后、二期恒载加载前后，测试全部控制断面线形；

⑵ 主梁应在以下几种情况测试全部控制断面线形：体系转换前后；合龙前后；架拆除前后；吊、系杆每批安装及张拉、调整前后；二期恒载加载前后；

**4** 涉及施工主体安全的大型临时设施线形监测工况与频率：扣挂体系索塔，应在拱圈施工过程中每次临时扣、锚索张拉后，测试全部控制断面线形；缆索吊装体系索塔，宜在拱圈及主梁施工过程中，选择吊装最大重量时，测试全部控制断面线形。

* + 1. 拱桥线形基准点复核与联测应满足但不限于以下要求：

**1**  每三个月应对桥梁测量控制网进行一次复测；

**2**  拱圈、主梁合龙前，应对高程、轴线两岸联测和水准点闭合测量。

* 1. 索力监测
     1. 索力监测方法

**1**  吊、系杆索力监测可采用频谱法、压力传感器法、磁通量法：吊杆一般用频谱法索力仪进行测试；对于长细比较小的短吊杆及系杆，宜用压力传感器测试；索力监测设备在测试使用前须进行严格标定；

**2**  主缆索股张拉时应采用张拉设备控制张拉力，锚固后的测量宜采用振弦式索力仪与力传感器相结合的方法测试；

**3**  吊索力测试宜采用振弦式索力仪的方法，有条件时可配合采用力传感器。

* + 1. 斜拉索索力监测工况与频率应符合下列要求：

**1** 悬臂拼装或(浇筑)的施工过程中，每节段施工完成后，均需对最前端的2对斜拉索力进行复测；

**2**  成桥调索阶段，需对调整斜拉索的前后对根斜拉索索力进行复测；

**3**  有重要工序调整或者异常情况出现时，需检测所有已施工的斜拉索。

* + 1. 悬索桥索力监测断面与测点布置应符合下列要求：

**1**  在每个锚室内选取 5%且不少于 5 根的索股作为长期测试索股；

**2**  主缆索股张力(吊索索力)测试截面均设置在索股锚固端(吊索下锚固端)附近，具体测试位置应根据测试方法确定，每根索测点不应少于1个。

* + 1. 悬索桥索力监测工况与频率应符合下列要求：

**1**  主缆锚跨索股张力：宜对每个锚室内受力具有代表性索股进行每月不小于2次定期监测；在索股架设期间应对已架设索股张力进行1次测试；散索鞍(套)约束解除后对已架设索股张力进行1次测试，并进行锚跨张力调整；成缆后应对所有索股进行通测1次，根据测试结果与计算结果比对，确定是否进行锚跨张力统一调整；在重大工况或者特殊工况宜对所有的索股进行通测1次；成桥后应对所有索股进行通测1次；

**2** 吊索索力测试频率不低于下列要求：对于加劲梁采用吊装方式的悬索桥，对在安装梁段附近测试已安装的五对吊索进行测试1次，远离安装梁段的吊索则进行已安装索数量的 40%的抽测；对于加劲梁采用顶推方式施工的悬索桥，则需根据计算结果增加测试次数；在加劲梁施工完成后、桥面铺装完成后各进行1次所有吊索索力测试。

* + 1. 拱桥索力监测工况与频率应符合下列要求：

**1**  斜拉扣挂体系扣、锚索：悬拼或悬浇拱圈的施工过程中，每节段施工完成后，均需对最前端的三对扣、锚索索力进行复测；拱圈转体或合拢的施工过程中，需对拱圈姿态进行调整时，应在调整前后对扣、锚索索力进行复测；

**2**  吊、系杆：

⑴ 主梁悬拼施工：主梁悬拼过程中，每节段施工完成后，均需对最前端的三对吊杆索力进行复测；每次系杆力调整或者重大体系转换时，均需对吊、系杆索力进行测试；铺装后成桥吊、系杆索力测试；

⑵ 主梁一次落架：每次吊、系杆力调整或者重大体系转换时，均需对吊、系杆索力进行测试：铺装后成桥吊、系杆索力测试。

* 1. 温度监测
     1. 温度监测元件分辨率应不小于0.1℃，大体积混凝土温度监测宜采用自动化采集设备测试。
     2. 连续梁及刚构桥温度监测断面与测点布置应符合下列要求：

**1** 主梁温度场监测断面宜选择在1号梁段附近截面，不少于12个测点，箱梁顶板、腹板、底板各不少于3个测点；

**2** 主梁其它温度监测断面与测点宜同于应力监测等，宜选用集温度、应力测试一体的应力传感器。

* + 1. 连续梁及刚构桥温度监测工况与频率应符合下列要求：

**1** 主梁温度场断面：每季度宜进行1次12小时全断面温度场测试，测试结果可反映不同季节、日照下主梁截面的温度场；合龙前进行1次24小时全断面温度场测试；

**2** 主梁其它温度监测断面测试宜与应力监测同步进行。

* + 1. 斜拉桥温度监测断面与测点布置应符合下列要求：

**1** 主梁温度场监测断面宜选择在主梁的塔区横梁两侧断面，竖向不少于5个测点；

**2** 主梁其它温度监测断面与测点宜同于应力监测等，宜选用集温度、应力测试一体的应力传感器。

* + 1. 斜拉桥温度监测工况与频率应符合下列要求：

主梁和拉索的温度场：每季度宜进行1次12小时全断面温度场测试，测试结果可反映不同季节、日照下主梁截面的温度场；合龙前进行1次24小时全断面温度场测试；主梁其它温度监测断面测试宜与应力监测同步进行。

* + 1. 悬索桥温度监测断面与测点布置应符合下列要求：

**1** 主缆索股温度测试断面的布置需要充分考虑到索股在高程方向和里程方向可能存在的温差：对于跨度800m以下基准索股，两边跨跨中共布置不少于2个温度测试断面，中跨共布置不少于3个温度测试断面，桥塔附近各布置不少于1个温度测试断面，每个测试断面测点应不少于4个；跨度在800m以上，应根据跨度适当增加2～4测试断面；

**2** 边跨与中跨跨中应各布置一个主缆温度测试断面；

**3** 选择桥塔的两个立柱断面测试主塔温度场的变化，其测试断面及测点布置与应力测点一致；

**4** 加劲梁温度测点布置情况与应力测点布置情况相同，测试元件应选用可同时测量应变与温度的传感器。

* + 1. 悬索桥温度监测工况与频率应符合下列要求：

**1** 主缆索股温度监测：基准索股架设期间、基准索股稳定性观测期间、一般索股架设期间、索夹放样期间进行实时监测；加劲梁施工完成后、桥面铺装完成后各进行监测1次；主缆温度测点测试频率应宜主缆线形测试频率保持一致；

**2** 主塔与加劲梁温度监测频率宜与其应力测试频率保持一致。

* + 1. 拱桥的温度监测断面布置应满足但不限于以下要求：

**1** 拱座温度监测断面布置：拱座下墩柱为空心薄壁高墩的拱桥，需对拱座下墩柱进行温度监测，监测断面应位于墩柱底、顶部实心-空心过渡段顶端附近；

**2** 拱圈温度监测断面布置：拱圈温度监测断面应布置在拱脚、跨中附近；连拱拱桥应选择一个边拱，一个中拱布置温度监测断面；跨径超过200m的超桥梁，温度监测断面应在L/4处加密布置；

**3** 主梁及拱上建筑温度监测断面布置：需要进行应力监测的拱上立柱应进行温度监测，监测断面应位于墩柱底部附近；中承式拱桥 “v”构温度监测断面应位于斜腿的根部、L/2及端部附近；

**4** 涉及施工主体安全的大型临时设施温度监测断面布置：利用交界墩作为扣挂体系索塔的拱桥，应在拱圈施工过程中对交界墩进行温度监测；监测断面应位于墩柱底、顶部附近；利用万能杆件拼装扣挂体系索塔的拱桥，应在拱圈施工过程中对索塔进行温度监测；监测断面应位于索塔底、顶部附近；利用万能杆件拼装缆索吊装体系索塔的拱桥，应在拱圈及主梁施工过程中对索塔进行温度监测，监测断面应位于索塔底、顶部附近。

* + 1. 拱桥的温度监测断面测点布置应满足但不限于以下要求：

**1** 布置原则：温度测点应与应力测点布置在相同位置，宜选用集温度、应力测试一体的应力传感器；温度测点应布置在控制断面的上、下缘位置；对于混凝土结构，每个位置应沿混凝土壁厚方向的外、中、内布置不少于3个温度测点；对于钢结构，温度测点应较均匀地布置构件外表面的上、下位置，一个断面的测点不宜少于4个；

**2** 温度测点布置形式：墩柱、拱上立柱温度测点应布置在断面的四个角区；箱形断面拱圈或主梁温度测点应布置在腹板的上、下缘及中间箱室顶、底板；钢管(箱)混凝土拱圈需对每根钢管(箱)拱进行温度测试，温度测点应布置在钢管(箱)的顶、底缘；对于外包或内部填充的混凝土，可根据监控计算情况进行温度监测；桁架式结构温度测点应布置在应力较大的弦杆和腹杆上，H型断面杆件应布置在上、下板，箱型断面杆件应布置在顶、底板。

* + 1. 拱桥温度监测工况与频率应不低于下列要求：

**1** 在应力监测断面测试的同时，应测试相应范围的温度监测断面；

**2** 线形、索力测量时，当温度影响可能较大，应测试相应范围的温度监测断面。

* 1. 连续性观测
     1. 连续梁及刚构桥连续性观测应不低于以下基本要求：

**1** 主梁完成1/2节段施工时，宜选择温差较大的1天，对悬臂梁段高程、温度、控制断面应力进行1次12小时连续观测，观测时间间隔2～3小时，分析温度对结构线形与应力的影响程度；

**2** 主梁合龙施工前，宜选择温差较大的1天，对合龙口相对高差、温度、控制断面应力进行24小时连续观测，观测时间间隔一般2~3小时，确定适宜的合龙时机；

**3** 成桥后，应选择温差较大的1天，对主梁控制断面的应力、线形、温度进行24小时连续观测，观测时间间隔一般2~3小时，测试结果须纳入到施工监控总结报告中，作为桥梁交工资料。

* + 1. 斜拉桥连续性观测应不低于以下基本要求：

**1** 主梁完成1/2阶段施工时，选择温差较大的1天，对悬臂梁段高程、温度、控制断面应力进行1次12小时连续观测，观测时间间隔2～3小时，分析温度对结构线形与应力的影响程度；

**2** 主梁合龙施工前，需选择温差较大的1天，对合龙口相对高差、温度、控制断面应力进行24小时连续观测，观测时间间隔一般2~3小时，确定适宜的合龙时机；

**3** 成桥后，需选择温差较大的1天，对主梁控制断面的应力、线形、温度进行24小时连续观测，观测时间间隔一般2~3小时，测试结果须纳入到施工监控总结报告中，作为桥梁交工资料。

* + 1. 悬索桥连续性观测应不低于以下基本要求：

**1** 桥塔施工完成后宜对主塔进行24小时温度与塔顶偏位测试，记录时间－气温－位移曲线，结合在实测温度场的作用下对桥塔三维几何状态的计算分析结果，为桥塔的实际施工位置、荷载影响的实际偏位提供识别参数；

**2** 基准索股架设完成后应对基准索股进行连续3天观测，了解在不同温度、不同跨度下基准索股线形，判定其稳定性；

**3** 主缆成桥状态下宜进行24小时主缆温度、主缆与加劲梁线形、塔顶偏位等连续测试，观测时间间隔一般2~3小时，测试结果须纳入到施工监控总结报告中，作为桥梁交工资料。

* + 1. 拱桥连续性观测应不低于以下基本要求：

**1** 拱圈合龙施工前，应选择温差较大的2天，对合拢口相对高差，温度，拱圈关键应力测点进行24小时连续观测；观测时间间隔2~3小时；

**2** 主梁合龙施工前，应选择温差较大的2天，对合拢口相对高差，温度，合拢口附近吊杆索力，主拱圈及主梁关键应力测点进行24小时连续观测；观测时间间隔2~3小时；

**3** 桥梁成桥后，应选择温差较大的2天，对拱圈及主梁关键应力、线形、温度测点及关键吊杆索力进行24小时连续观测；观测时间间隔2~3小时。

* 1. 风速、风向监测
     1. 风速、风向监测设备应满足施工监控监测所需要求。
     2. 最大单悬臂大于75m的高墩大跨度梁式桥、最大单悬臂大于100m的斜拉桥、单跨大于300m的斜拉桥及单跨大于400m的悬索去，宜在桥址高处布置风速、风向监测设备，全桥布置1个风速、风向仪。
     3. 风速、风向监测频率宜在施工监控期间保持全天候工作，与线形测量同步采集。

1. 数据分析与反馈控制
   1. 一般规定
      1. 数据分析和反馈控制应包括以下工作：

**1** 识别当前桥梁结构受力状态、几何状态；

**2** 判别桥梁施工状态是否处于预控状态；

**3** 当桥梁施工状态偏离预控状态时，预测桥梁施工误差对后续施工过程结构受力状态与几何状态的影响；

**4** 确定是否发出安全预警；

**5** 决定是否对施工过程预控数据或施工工艺实施调整或变更。

* + 1. 数据分析与反馈控制应具备下列监测数据：

**1** 材料密度、弹性模量等参数；

**2** 结构上的临时荷载及其位置；

**3** 施工过程已完成结构的应力；

**4** 结构线形、变形；

**5** 温度、风等环境参数；

**6** 其他对施工过程结构状态有影响的参数。

* 1. 监测数据分析
     1. 监测数据在用于数据分析前应考虑下列因素的影响：

**1** 荷载监测数据应考虑的因素：机具、材料等临时荷载；风荷载；结构尺寸变化；

**2** 混凝土结构应力监测数据应考虑的因素：混凝土水化热；环境温度变化；结构局部温差；日照影响；混凝土弹性模量变化；临时施工荷载；混凝土收缩与徐变；

**3** 钢结构应力监测数据应考虑的因素：环境温度变化；结构局部温差；日照影响；

**4** 索力监测数据应考虑的因素：截面抗弯刚度；吊、系杆约束条件；计算张力时吊、系杆所用长度；结构荷载分布；结构体系温差；

**5** 高程、偏位、位移监测数据应考虑的因素：环境温度变化；结构局部温差；日照影响；结构弹性压缩；混凝土弹模；材料容重；混凝土收缩徐变；临时荷载变化；预应力损失；涉及施工主体安全的大型临时设施的变形。

* + 1. 监测数据的真实性可考虑第8.2.1条中所列因素，通过桥梁施工过程模拟计算分析、现场试验等方式进行分析与识别。
  1. 控制容许偏差
     1. 连续梁及刚构桥施工过程中，结构受力状态和几何状态的施工监测值与施工过程模拟计算值之间的误差不宜超过下列限值：

**1** 桥梁应力误差限值：

⑴ 混凝土结构应力：计算值不大于10MPa时：±2.0MPa；计算值大于10MPa时：±20%，且不超过±4.0MPa；

⑵ 钢结构应力：计算值不大于100MPa时：±10.0MPa；计算值大于100MPa时：±10%，且不超过±15.0MPa；

⑶ 预应力筋锚下应力：不超过设计的±5%；

**2** 几何状态容许偏差限值：

⑴ 主墩偏位：墩高的1/3000，且不大于30mm；

⑵ 主梁几何容许偏差限差：悬臂施工混凝土主梁节段完成时的高程为±20mm；

⑶ 主梁轴线偏位为10mm；

⑷ 悬臂施工主梁合龙口相对高差为20mm；

⑸ 截面尺寸偏差见《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）的相关规定；

**3** 连续梁及刚构桥施工过程中，当施工监测数据与模拟计算结果之间的误差超过本规程8.3.1条1的限值时，应采取可靠方法进行误差分析与状态识别；

**4** 连续梁及刚构桥施工监测数据与模拟计算结果之间的误差超过本规程8.3.1条1和条2的限值时，应借助施工过程模拟计算模型，对桥梁结构受力安全和线形变化、以及误差对施工监控目标实现的影响进行分析，并采取反馈控制措施。

* + 1. 斜拉桥施工过程中，结构受力状态和几何状态的施工监测值与施工过程模拟计算值之间的误差不宜超过表8.3.2-1~表8.3.2-8列限值。

1. 表8.3.2-1 钢弦式传感器应力控制允许偏差/限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 应力 | 允许偏差/限值 | 备注 |
| 混凝土结构应力 | ±2.0MPa | 计算值不大于10MPa时 |
| ±20%，且不超过±4.0MPa； | 计算值大于10MPa时 |
| 钢结构应力 | ±10.0MPa | 计算值不大于100MPa时 |
| ±10%，且不超过±15.0MPa | 计算值大于100MPa时 |

1. 表8.3.2-2 斜拉索索力控制允许偏差/限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 索力 | 允许偏差/限值 | 备注 |
| 平行钢丝或钢绞线斜拉索 | ±5% | 成桥状态 |
| 符合监控及设计要求 | 施工过程中 |

1. 表8.3.2-3 混凝土索塔几何状态控制允许偏差/限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差/限值mm | 备注 |
| 塔座底轴线偏位 | 10 |  |
| 倾斜度 | 塔高1/3000，且不大于30或满足设计要求 |  |
| 塔顶高程 | 10 |  |
| 塔柱断面尺寸 | 20 |  |
| 锚点高程 | ±10 | 包括理论锚点和出塔点 |
| 横梁高程 | ±10 |  |
| 索导管孔道位置 | 10 | 两端同向 |

1. 表8.3.2-4 钢索塔几何状态控制允许偏差/限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差/限值mm | 备注 |
| 顶面高程 | ±2×n，且≤20 |  |
| 总体垂直度 | H/4000 | 桥轴向 |
| H/4000 | 垂直于桥轴向 |
| 对接口板错边量 | ≤2 |  |
| 塔柱中心距（接头部位） | ±4 |  |
| 节段轴线相对塔柱轴线偏差 | 2h/1000 | 桥轴向 |
| 垂直于桥轴向 |
| 两塔柱横梁中心线处相对高差 | 4 |  |
| 锚点高程 | 10 | 包括理论锚点和出塔点 |

注：n-节段总数；H-索塔总高度；h-节段高度；

1. 表8.3.2-5 混凝土梁悬臂浇筑几何状态控制允许偏差/限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差/限值mm | 备注 |
| 轴线偏位 | 10 | L≤100m |
| L/10000，且≤30 | L＞100m |
| 梁端锚固点高程 | ±20 | L≤100m |
| ±L/5000 | L＞100m |

注：L-桥梁跨径。

1. 表8.3.2-6 混凝土梁悬臂拼装几何状态控制允许偏差/限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差/限值mm | 备注 |
| 轴线偏位 | 10 | L≤100m |
| L/10000，且≤30 | L＞100m |
| 梁端锚固点高程 | ±20 | L≤100m |
| ±L/5000 | L＞100m |
| 锚具轴线与孔道轴线偏位 | 5 |  |

注：L-桥梁跨径。

1. 表8.3.2-7 钢梁几何状态控制允许偏差/限值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检查项目 | 允许偏差/限值mm | | |
| 0号梁 | 悬臂拼装梁 | 合拢段 |
| 轴线偏位 | 2 | 10 | 10 |
| 线形标高 | ±3 | ＋20，-10 | ±10 |
| 桥面四角水平高差 | 6 | 6 | 6 |
| 梁段上3点相对里程 | ±3 |  |  |
| 梁段顶面上下游高差 | 2 |  |  |
| 索力差 |  | ±2.5% | ±2.5% |

1. 表8.3.2-8 钢混凝土组合梁几何状态控制允许偏差/限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差/限值mm | 备注 |
| 轴线偏位 | 10 | L≤200m |
| L/20000，且≤20 | L＞200m |
| 梁锚固点顶面高程 | 20 | L≤200m |
| L/10000 | L＞200m |

注：L-桥梁跨径。

* + 1. 悬索桥施工过程中，结构受力状态和几何状态的施工监测值与施工过程模拟计算值之间的误差不宜超过下列限值：

**1** 桥梁应力误差限值：

⑴ 混凝土结构应力：计算值不大于10MPa时：±2.0MPa；计算值大于10MPa时：±20%，且不超过±4.0MPa；

⑵ 钢结构应力：计算值不大于100MPa时：±10.0MPa；计算值大于100MPa时：±10%，且不超过±15.0MPa；

**2** 索力误差限值：吊索索索力：±10%；主缆锚跨索股张力：±10%；

**3** 悬索桥几何状态误差限值：

⑴ 索塔倾斜度：塔高的1/3000，且不大于30mm；

⑵ 主缆基准索架设后线形（标高）：索股中跨跨中为跨径的±1/20000，边跨跨中为中跨跨中的2倍；上下游基准索股高差为10mm；

⑶ 主缆形成过程中基准索和其他观测索股线形（标高）：-5mm，±10mm；

⑷ 截面尺寸偏差见《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）的相关规定；

**4** 桥梁施工过程中，当施工监测数据与模拟计算结果之间的误差超过本规程8.3.3条1~条3限值中之一时，应采取可靠方法进行误差分析与状态识别；

**5** 桥梁施工监测数据与模拟计算结果之间的误差超过本规程8.3.3条1、条2和条3的限值时，应借助施工过程模拟计算模型，对桥梁结构受力安全和线形变化、以及误差对施工监控目标实现的影响进行分析，并采取反馈控制措施。

* + 1. 拱桥梁施工过程中，结构受力状态和几何状态的施工监测值与施工过程模拟计算值之间的容许偏差不宜超过下列限值：

**1** 应力容许偏差限值：

⑴ 混凝土结构应力：计算值不大于10MPa时： ±30%，且不超过±2.0MPa；计算值大于10MPa时：±20%，且不超过±3.0MPa；

⑵ 钢结构应力：计算值不大于60MPa时：±20%，且不超过±6.0MPa；计算值大于60MPa时：±10%，且不超过±10.0MPa；

**2** 桥梁索力容许偏差限值：吊杆索力：±10%；系杆索力：±5%；

**3** 几何状态容许偏差限值：

⑴ 缆索吊装主拱圈高程：跨径不大于60m时：±20mm；跨径大于60m时：±L/3000，且不大于50mm；

⑵ 劲性骨架施工主拱圈高程：±L/3000，且不大于50mm；

⑶ 悬臂浇筑主拱圈节高程：跨径不大于60m时：±20mm；跨径大于60m时：±L/3000，且不大于30mm；

⑷ 悬臂浇筑主拱圈合龙相对高差：20mm；

**4** 桥梁施工过程中，当施工监测数据与模拟计算结果之间的误差超过本规程8.3.4条1、条2和条3的限值时，应采取可靠方法进行误差分析与状态识别；

**5** 桥梁施工监测数据与模拟计算结果之间的误差超过本规程8.3.4条1、条2和条3的限值时，应在本规程8.3.4条4工作的基础上，借助施工过程模拟计算模型，对桥梁结构受力安全和线形变化、以及误差对施工监控目标实现的影响进行分析，并采取反馈控制措施。

* 1. 反馈控制
     1. 桥梁施工监控反馈控制应符合下列要求:

**1**  结构的几何状态误差超出本规程限值时，可根据本规程8.4.2~8.4.8章节中相应的调控措施提出结构几何状态调整要求和下阶段施工的调控参数；

**2** 结构的内力状态误差超出本规程限值时，可根据本规程8.4.2~8.4.8章节中相应的调控措施提出结构内力状态调整改进办法、下阶段施工的调控参数、补救措施；

**3**  当结构的误差超出本规程限值且无法按本条1，2款调整时，应专门研究处理。

* + 1. 连续梁及刚构桥施工过程的几何状态与内力状态误差超过本规程第8.3.1节的限值时，可采取下列调控措施：

**1**  几何状态偏差可在后续施工阶段调整施工过程立模或安装标高；

**2** 对于主梁悬臂施工过程中的结构应力，可调整临时荷载大小、位置；

**3** 当因施工方案导致结构受力不利时，可采取调整方案、局部加固或增设辅助设施等措施；

**4** 当因施工工序、工艺不当导致结构受力不利时，可通过调整施工工序、工艺，调整结构受力状态。

**5** 对于预应力钢绞线张拉异常时，应检查张拉设备、方案、原始资料等，进行原因分析，必要时重新张拉和实时监测。

* + 1. 斜拉桥施工过程的几何状态误差超过本规程8.3.2节的限值时，可采取下列调控措施：

**1** 对于几何状态可调整的，需在当前施工状态直接调整，也可以采取渐进调整的方式；

**2**  对于几何状态不可调整的，需以当前施工状态为基础对后续施工状态数据进行反馈控制。

* + 1. 斜拉桥施工过程的内力状态监测值与计算值之间的误差超过本规程8.3.2节限制值时，在保证斜拉桥结构安全的前提下，可采取下列调控措施：

**1**  通过减少临时荷载或调整临时荷载位置改善受力；

**2**  采用临时配重，调整临时配重位置、大小改善受力；

**3**  通过调整施工工序、工艺，调整结构受力状态；

**4**  采取局部加固或增设临时辅助设施等措施改善后续施工中结构受力状态。

**5** 通过合理调整斜拉索索力来调整结构受力状态。

* + 1. 悬索桥施工过程的几何状态误差超过本规程第8.3.3节的限值时，可采取下列调控措施：

**1**  几何状态处于可调状态下，应在其当前施工状态直接调整；

**2**  几何状态处于不可调状态下，应以当前施工状态为基础，根据第8.3.3条误差影响分析结果，对后续的下列施工状态数据进行反馈控制。

* + 1. 悬索桥施工过程的内力状态监测值与计算值之间的误差超过本规程第8.3.3节限制值时，在保证悬索桥结构安全的前提下，可采取下列调控措施：

**1**  当因施工工序、工艺不当导致结构受力不利时，可通过调整施工工序、工艺，调整结构受力状态；

**2**  当因桥梁结构设计与施工方案匹配性不好导致结构受力不利时，可采取局部加固或增设临时辅助设施等措施改善后续施工中结构受力状态。

* + 1. 拱桥施工过程的几何状态误差超过本规范第8.3.4节的限值时，可采取下列调控措施：

**1**  几何状态处于可调状态下，应在当前施工状态直接调整；

**2** 几何状态处于不可调状态下，应以当前施工状态为基础，根据第8.3.4条误差影响分析结果，对后续的施工状态数据进行反馈控制。

* + 1. 拱桥施工过程的内力状态误差超过本规程第8.3.4节限制值时，在保证主体结构安全的前提下，可采取下列调控措施：

**1**  通过减少临时荷载或调整临时荷载位置改善受力；

**2**  采用临时配重，调整临时配重位置、大小改善受力；

**3**  通过调整施工工序、工艺，调整结构受力状态；

**4**  采取局部加固或增设临时辅助设施等措施改善后续施工中结构受力状态。

* + 1. 当预测到的气温、 雪载、洪水、风载等超过设计和规范限值时，应及时发布暂停施工或其他应对措施指令。