

大跨径预应力混凝土连续梁和连续刚构桥 梁施工监控技术规程

2025 - 04 - 11 发布

2025 - 07 - 10 实施

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 3

5 结构验算 3

6 预拱度设置 5

7 监控量测 7

8 数据分析及结构状态识别 13

9 监控反馈、控制与成果 14

附 录 A （资料性附录） 16

附 录 B （资料性附录） 17

附 录 C （资料性附录） 18

附 录 D （资料性附录） 19

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 DB 14/T 679-2012《大跨径预应力混凝土连续梁和连续刚构桥梁施工监控技术规程》，与 DB 14/T 1034-2014 相比，主要技术内容变化如下：

- 更新了“规范性引用文件”（见第2章，2014年版第2章）；
- 修改了跨中最大成桥预拱度值（见6.2.7）；
- 修改了悬臂施工主梁变形测点位置（见7.3.1.6）；
- 修改了主梁箱体温度测点数量（见7.3.3.1）。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查提出。

山西省市场监督管理局对本文件的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西省交通建设工程质量检测中心（有限公司）、山西交通科学研究院集团有限公司。

本文件主要起草人：魏鑫、李向男、孙龙华、赵芳、王琪、刘建勋、赵辉、田立、宋茂林、王浩。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2014年12月31日首次发布；
- 本次为第一次修订。

大跨径预应力混凝土连续梁和连续刚构桥梁施工监控技术规程

1 范围

本文件规定了大跨径预应力混凝土连续梁和连续刚构桥梁施工监控技术的术语和定义、基本规定、结构检算、预拱度设置、监控量测、数据分析及状态识别、监控反馈控制与成果等内容。

本文件适用于山西省公路采用挂篮进行悬浇施工的预应力混凝土连续梁和连续刚构桥梁的施工监控，其他采用类似工法施工的桥梁可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

- JTG D60 公路桥涵设计通用规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG/T 3650-01 公路桥梁施工监控技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

施工监控

以桥梁设计成桥状态为目标，通过施工过程模拟分析、现场监测以及误差识别与预测，对桥梁施工过程中的结构进行反馈控制，为实现设计要求的成桥结构受力与线形状态提供技术支撑的全部工作总称。

3.2

监控量测

在桥梁施工过程中，对结构应力、线形、温度等进行的现场跟踪量测。

3.3

成桥预拱度

为抵消桥梁结构成桥后在长期运营过程中由于混凝土收缩徐变、预应力损失及活载等原因产生的

挠度，而在施工时所预留的与位移方向相反的几何量，其数值等于桥梁合理成桥线形与目标线形之差。

3.4

施工预拱度

为消除施工过程中各种荷载对线形的影响，在施工时所预留的与位移方向相反的几何量，其数值主要通过桥梁仿真分析对施工过程模拟，逐段迭加计算而得。

3.5

目标线形

桥梁施工图设计线形，指考虑了混凝土结构长期收缩徐变、预应力损失等因素后的桥梁最终线形。

3.6

合理成桥线形

桥梁成桥时主要构件线形，该线形为设计线形与成桥预拱度叠加后的线形。

3.7

合理施工线形

为了使桥梁成桥后线形达到合理成桥线形，按照一定的计算方法和控制手段得到的每一施工阶段桥梁主梁线形。

3.8

桥梁结构验算

在桥梁施工监控实施前期，根据桥梁施工图对其主体结构施工过程及成桥状态强度、刚度和稳定性计算，并与设计文件进行比较分析。目的是实现设计与控制分析中对相关参数的取值与施工技术要求的一致性，并验证设计方案的正确性与合理性。

3.9

施调参数

在桥梁施工监控过程中，能够对其数值进行人工干预的物理参数，通过调整该物理参数使得桥梁结构成桥线形与内力能够达到预期目标。

3.10

线形控制

在桥梁施工过程中，通过测量已施工节段结构位置信息、预测未施工节段位置信息、误差分析和调整施调参数等一系列控制手段，使桥梁线形在成桥时与合理成桥线形基本吻合。

3.11

应力控制

在桥梁施工过程中，读取已施工结构对关键截面应力的影响数据、预测未施工结构对关键截面应力的影响、通过误差分析和调整施调参数等一系列控制手段，使桥梁结构应力在成桥时与预期结果基本吻合。

3.12

预控数据

桥梁施工监控实施前，根据设计文件合理确定结构最终线形和理想内力状态，通过数值模拟结构施工过程，得到每一施工阶段结构线形、内力，并且确定允许偏差，以此数据对结构进行施工控制。

3.13

反馈数据

在桥梁施工监控过程中，获取已施工结构的变形和内力测量数据，预测未施工结构变形和内力，将结构信息与预控数据进行比较，通过误差分析和调整施调参数等一系列控制手段，使桥梁结构达到预期目标。

4 基本规定

4.1 采用挂篮悬臂施工的预应力混凝土连续梁、连续刚构及其他采用类似工法施工的桥梁应对其进行施工监控。

4.2 桥梁施工监控应积极推广使用可靠的新技术、新设备，施工监控宜与结构监测统筹考虑。

4.3 桥梁施工监控应由具有相关资质的专业单位实施，其工作内容应包括监控计算、监控方案制定、施工监控量测、数据分析与反馈控制。

4.4 预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥在施工图设计阶段和施工组织设计阶段应明确施工顺序，不宜在施工期间做临时调整，施工监控单位据此制定施工监控方案，在施工过程中严格依照施工监控方案执行。

4.5 桥梁施工监控作为大跨径预应力混凝土连续梁桥、连续刚构桥施工阶段的重大技术保障和基本安全保障措施，应在工程概预算中计列相关费用。

4.6 桥梁施工监控现场实施工作应制定安全保障方案，加强安全生产教育，建立健全安全生产管理制度，严格遵守安全操作规程。

5 结构验算

5.1 桥梁结构验算

5.1.1 桥梁结构计算包括设计符合性计算、事前仿真计算和实时仿真计算。

5.1.2 桥梁结构计算应至少采用两种有限元软件同时进行，相互校核验证。

5.1.3 设计符合性计算应按设计图纸提供的结构尺寸、结构体系和施工工序，依据设计图纸和 JTG D60、JTG 3362 等设计规范给出的材料参数值进行桥梁考虑施工过程的总体计算，并与设计单位核对参数取值、边界条件与计算结果。桥梁结构符合性计算主要内容有：

- a) 施工阶段结构应力及变形计算；
- b) 成桥状态应力计算；
- c) 正常使用极限状态验算；
- d) 承载能力极限状态验算；
- e) 结构稳定性验算。

5.1.4 事前仿真计算应按批准的施工组织设计确定的施工工序，根据设计图纸、规范、相关试验结果，选取合理的结构参数，进行考虑施工过程的总体计算，以确定合理施工状态，并得到各施工阶段及成桥状态的结构受力和变形等控制计算目标数据。

5.1.5 实时仿真计算应根据实测数据、数据分析、反馈控制等得到的参数值和施工流程，进行考虑施工过程的总体计算，以确定后续的合理施工状态，并得到后续各施工阶段及成桥状态的结构受力和变形等控制计算目标数据。各阶段的控制计算工作流程宜按图 1 进行。

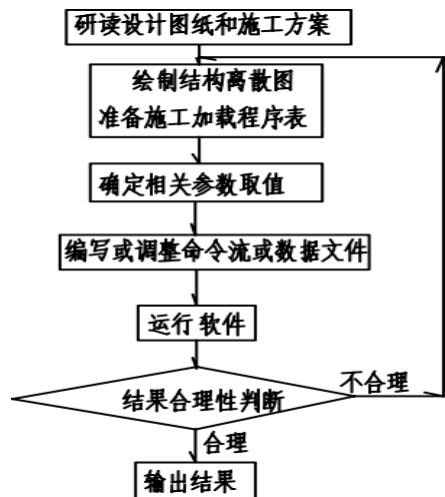


图1 施工控制计算的工作流程

5.2 支架、托架及挂篮复核性计算

5.2.1 施工单位应事先对其采用的支架方案进行设计，复杂支架、托架及挂篮应委托有资质的单位进行专门设计，并出具计算书及设计图纸，施工监控单位依据图纸及相关规范进行复核算。

5.2.2 支架、托架及挂篮计算考虑的荷载及荷载组合应满足 JTG/T 3650 的要求。

5.2.3 支架、托架及挂篮符合性计算应考虑施工阶段中出现的各种不利工况，计算主要内容有：

- a) 各构件强度计算；
- b) 主要受力构件变形计算；
- c) 主要受力构件稳定性计算；
- d) 在浇筑混凝土各级荷载作用下的变形规律。

5.2.4 计算完成后应提供计算报告，主要内容应包括：

- a) 设计技术指标及要点
- b) 计算依据及参数取值；
- c) 计算结果及分析；
- d) 意见及建议。

6 预拱度设置

6.1 施工预拱度设置

6.1.1 监控单位应依据设计及施工组织确定的施工工序进行桥梁仿真计算，并同设计单位的计算结果相互校核，初步确定施工预拱度值。

6.1.2 施工单位应及时向监控单位提供托架、挂篮、支架设计图纸及预压数据结果，提供桥梁计算参数的试验数据，做好桥面施工荷载调查与控制工作，监控单位据此优化桥梁计算模型，为施工预拱度和立模标高的确定提供依据。

6.1.3 一期恒载、预应力、二期恒载、前期收缩徐变及结构体系转换对施工预拱度的影响可通过结构仿真计算确定，计算时采用的计算参数应根据现场施工实际确定。

6.1.4 托架及支架变形值通过托架及支架计算结合预压试验结果综合考虑确定。

6.1.5 挂篮变形值由现场挂篮预压试验、考虑梁段自重及已施工梁段观测挂篮变形数据等综合确定，在施工中进行动态调整。

6.1.6 日照温差对悬臂端挠度的影响可以通过各施工阶段的温度敏感性分析得到结构随温度改变的变形曲线，根据实际温度变化进行插值计算，对结构变形进行修正。

6.1.7 均匀温度作用对挠度的影响主要取决于桥墩封顶时温度、合拢时梁体温度与设计合拢温度是否符合，为避免这一影响，桥墩封顶时温度、合拢时梁体温度与设计合拢温度偏差应控制在设计要求的范围内，否则应在设置施工预拱度时予以考虑。

6.1.8 桥梁墩高超过 40m 或各墩墩高差异较大时应考虑墩身压缩及收缩徐变对桥梁结构的影响，设置施工预拱度时应加以考虑。

注 1：大跨连续刚构桥悬臂长，悬臂梁体、施工荷载等重量很大，如果墩高较高，墩身会产生较大的压缩量，如果各墩墩高差异较大引起各墩压缩量不均衡，桥梁结构会因此产生加大的附加应力和变形。

6.2 成桥预拱度设置方法

6.2.1 预应力混凝土连续梁及连续刚构桥梁在主梁悬臂施工前应确定成桥预拱度的设置方法与数值，不应在悬臂施工期间临时调整。

6.2.2 桥梁成桥预拱度宜按照设计要求设置，如设计未做要求时可参照本标准设置，但应对桥面铺装层及排水系统进行相应调整。

6.2.3 成桥预拱度设置依据经验曲线分配法，通过在立模标高中预留实现。

6.2.4 跨径小于 80m 的桥梁成桥预拱度宜采用二次抛物线方法分配，跨径在 80m 及以上的应采用余弦

曲线分配。

6.2.5 如图 2 所示，二次抛物线方法分配可依据式 1 分配计算

$$y = f \left(1 - 4x^2 / L^2 \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- y ——任意一点的预拱度；
- x ——横坐标，坐标原点在成桥预拱度设置最大处；
- L ——跨径：对于曲线 A, $L \uparrow L_2$ ；对于曲线 B, $L \uparrow 2(L_1 - l_1)$ ；对于曲线 C, $L \uparrow 2l_1$ 。

6.2.6 如图 3 所示，余弦曲线分配可依据式 (2)、(3)、(4) 分配计算，各曲线函数表达如下：

A 曲线：
$$y = \frac{f_a}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi x}{L_2} \right) \right] \quad (0 \leq x \leq L_2) \dots\dots\dots (2)$$

B 曲线：
$$y = \frac{f_c}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi x}{L_1 - l_1} \right) \right] \quad (0 \leq x \leq L_1 - l_1) \dots\dots\dots (3)$$

C 曲线：
$$y = \frac{f_c}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi x}{l_1} \right) \right] \quad (0 \leq x \leq l_1) \dots\dots\dots (4)$$

注2：式 (2)、(3)、(4) 中x 为横坐标，起点在预拱度最小处。

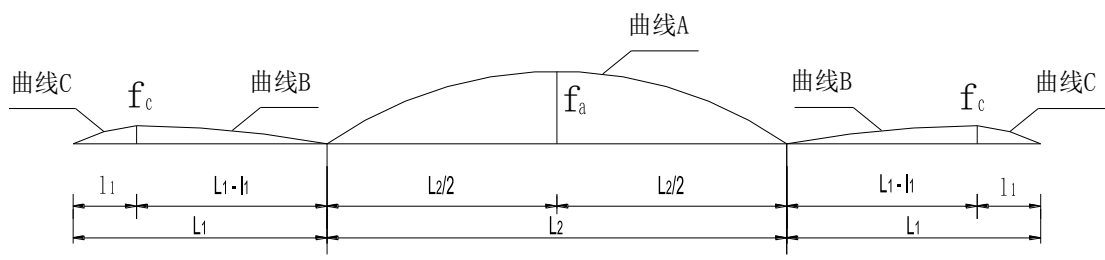


图 2 抛物线法成桥预拱度示意图

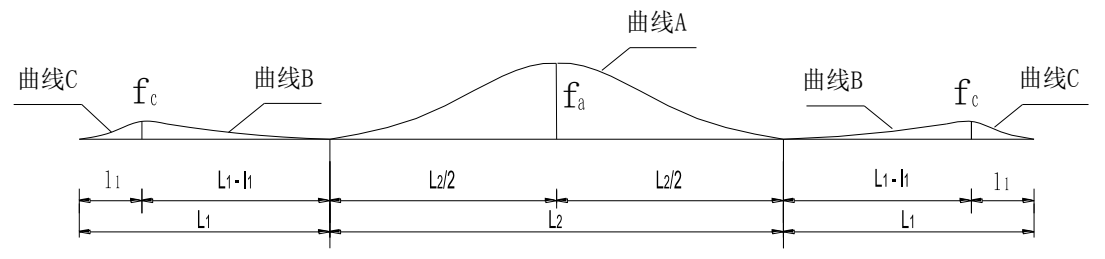


图 3 余弦曲线法成桥预拱度示意图

6.2.7 中跨跨中最大成桥预拱度宜设置在 6L/10000~12L/10000 之间，其中跨径小于 80m 的桥梁确定为 6L/10000~10L/10000，跨径 80m 及以上的桥梁确定为 10L/10000~12L/10000。最大预拱度的确定应根据桥梁跨径大小、桥梁主梁设计刚度、预应力度等因素综合确定，一般情况下应同跨径大小成正比。

6.2.8 边跨最大预拱度设置在边跨 L/4~3L/8 之间，具体位置根据设计确定，边中跨比在 0.52~0.6 之间时，边跨最大预拱度宜设置为中跨最大预拱度的 1/4，边中跨比大于 0.6 时应加大边跨最大预拱度的

设置。

6.3 立模标高

6.3.1 主梁立模标高应按式 5 计算：

(5)

$$H_i = H_{i0} + f_{ia} + f_{ib} + f_{ic} + f_{id} \dots\dots\dots$$

式中：

H_i ——待浇筑箱梁底板前端模板标高；

H_{i0} ——该点设计标高；

f_{ia} ——施工预拱度；

f_{ib} ——成桥预拱度；

f_{ic} ——支架或挂篮变形预测值；

f_{id} ——预拱度调整值；

6.3.2 主梁施工完成后在调平层浇筑前应对桥面线形进行联测，根据测量结果及合理成桥线形综合确定调平层及铺装层标高，确保二期恒载均衡及桥面线形平顺。

6.3.3 施工时由于施工荷载、桥梁结构自身构造尺寸、施工偏差等均会导致不平衡荷载，墩顶出现转角位移引起主梁挠度，在后续施工时应通过调整立模标高予以考虑。

6.3.4 主梁立模标高应以通知单形式提供，样式参见附录 A。

7 监控量测

7.1 指标及参数

7.1.1 大跨径预应力混凝土连续梁及连续刚构桥施工监测的指标主要有：主梁标高、桥墩偏位、主梁应力、桥墩应力等。

7.1.2 对环境温度变化比较敏感的监测指标的监测，宜选择环境温度比较稳定的时间段进行。

7.1.3 应监测的参数或指标如下：

- a) 基础沉降；
- b) 墩柱应力，高墩的空间偏位；

- c) 主梁标高、应力、环境温度；
- d) 主梁合拢前环境温度与合拢端标高变化的对应关系。

7.2 参数收集与试验

7.2.1 预应力体系的相关参数宜采用现场试验检测结果。

7.2.2 混凝土的参数在仿真计算和符合性计算时采用设计参数，在施工监控过程中宜采用工地试验参数。

7.2.3 混凝土各相关参数的试验方法如下：

- a) 混凝土弹性模量的测试采用现场取样然后通过万能试验机试压的方法分别测定混凝土在 3 天、7 天、14 天、28 天、60 天、3 个月、6 个月和 1 年龄期的 E 值以得到完整的 $E-t$ 曲线；
- b) 混凝土容重测试在现场取样，采用实验室常规方法进行测定；
- c) 混凝土的收缩、徐变参数按照规范取值，配合现场试验复核。

7.2.4 在主梁悬臂施工中宜对每个节段的截面尺寸进行测量，以了解超欠方情况，评价其对主梁挠度的影响。具体做法是每浇筑一节段梁，在前、中、后三个断面进行截面尺寸测量，包括截面高度、顶板、底板和腹板的厚度等，测量精度应控制在 1mm。

7.2.5 在悬臂施工过程中应对施工荷载及临时荷载进行统计分析，并计入其影响。

7.3 测点布置

7.3.1 几何变形测点布置

7.3.1.1 施工监控单位应及时根据现场情况及施工监测的需要设置测量控制点，建立施工监测测量控制网，施工监测测量控制网应满足 JTG/T 3650 的要求。

7.3.1.2 基础沉降测点布置在承台四角，测点应在浇筑承台时预埋在其顶面，测点应露出承台顶面 1.0cm~2.0cm 之间以便于观测并避免被破坏。

7.3.1.3 高度超过 40m 的墩柱应布设空间偏位测点，宜布置在墩高四分点断面处，每断面在墩轴线上安装 4 个，在墩身节段拆模后安装棱镜或粘贴测量专用反光贴片。

7.3.1.4 每一主墩箱梁 0 号块顶面应至少布置 2 个高程基准点，基准点应采用专用测钉预埋，并应加强保护避免破坏。

7.3.1.5 为观测挂篮在浇筑混凝土过程中的变形情况，为修正立模标高提供依据，在浇筑混凝土过程中应对挂篮的变形进行观测，测点设置在挂篮底模前端下横梁与吊带连接处，每个挂篮设置测点数应不少于 3 个。

7.3.1.6 悬臂施工主梁变形观测点设置在每一节段悬臂端（距前端约 10cm 处）顶板上，每节段布设 3 个，分别在桥梁中心线和边腹板附近，见图 4 所示。测点宜采用 $\Phi 20$ 短钢筋预埋，高出混凝土面 1.0cm~2.0cm，并进行标记。

7.3.1.7 边跨现浇段主梁变形观测点设置根据现浇段长度考虑布设，每个现浇段测试断面不宜少 3 个，且断面间距不应超过 6m，各断面测点布设方法同本标准 7.3.1.6。

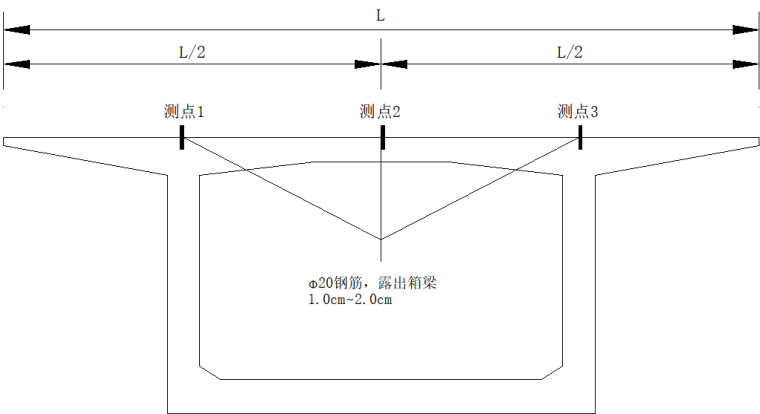


图 4 箱梁变形测点布置示意图

7.3.1.8 桥梁成桥后应布设永久观测点，测点应布置在每跨八分点截面上，桥梁跨径大于 200m 时应加密测试断面，同一测试断面桥面左、右两侧边缘各布置 1 个测点，为避免桥面维修时破坏，测点宜布置于防撞护栏侧面距桥面 20cm 高度处，测点应采用测量专用测钉。

7.3.2 应力测点布置

7.3.2.1 墩柱应力测点布置在高墩墩底根据受力分析应力最大截面，每断面应布置不少于 4 个测点，分别在大小里程侧布置。

7.3.2.2 主梁应力测点设置在受力最不利断面处，每断面布置不少于 6 个测点，布置位置见图 5 所示。受力最不利断面一般有：

- a) 悬臂梁根部距离 0#块端横隔板 0.5 倍梁高位置断面；
- b) 每跨四分点断面；
- c) 中跨跨中断面；
- d) 边跨最大弯矩断面。

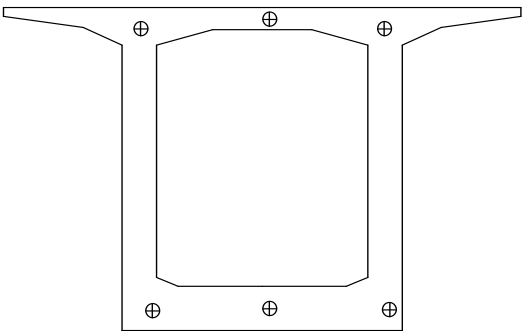


图 5 箱梁应力测点布置示意图

7.3.2.3 桥梁施工监控的传感器设置宜与桥梁长期健康监测统筹考虑。

7.3.3 环境测点

7.3.3.1 全桥选 1 个“T”构的 1 个悬臂作为主梁箱体温度测试对象，观测截面宜布置在典型断面，共设 2 个观测截面，测点应布置在箱梁的顶板、底板及腹板。根据温度梯度测试的需要，有针对性地布置温度测点。

7.3.3.2 环境温度及湿度测点可安排在桥面上一个或几个固定位置，测点应能代表桥位处的实际环境温湿度情况。

7.3.3.3 桥址处风速测点应根据现场地形情况及桥梁在现场的布置综合确定；桥上风速测点应在最高墩处安装，测点应高出 0#块顶面不小于 5m。

7.4 仪器设备

7.4.1 监控量测仪器选择配备应根据桥址处气候环境条件、桥梁结构特点、规模及经济性等要求综合选定，仪器的配备数量应满足现场使用要求，损耗性仪器如传感器应配备备件。

7.4.2 测试仪器的配备及精度应满足表 1 的要求，测试仪器的量程应满足设计要求，并具有良好的防震、防水、防腐、高寿命、耐高低温性能。

表1 测量项目仪器配备及精度要求

序号	监测项目	量测仪器	精度要求
1	基础沉降、挂篮变形、主梁变形	精密水准仪	每公里往返平均高差中误差不大于 1mm
2	桥墩空间偏位、桥梁平面线形	全站仪	测距：1mm 测角：1″
3	应力	弦振式传感器、光纤式传感器和电阻应变式传感器 配合专用数据采集仪	0.5% F·S
4	主梁温度	铂式热电阻温度传感器、热电偶点温计 配合专用采集仪	0.1℃
5	环境温度及湿度	干湿温度计或自动化气象数据采集系统	1℃
6	风速	风速风向仪实时采集系统或自动化气象数据采集系统	±0.3 m/s

7.5 量测方法及频率

7.5.1 变形监测

7.5.1.1 基础沉降应在承台浇筑完成后测取高程初读数作为测试基准，而后在主墩及主梁施工过程中根据施工进度进行测量，量测频率不低于每月 1 次且不少于每 3 个块段 1 次。

7.5.1.2 墩顶基准点的测量利用两岸大地控制网点，可用全站仪测出主墩顶箱梁 0#块基准点的三维坐标；将主墩箱梁 0#块顶面高程值作为箱梁标高的水准基点，监理单位、监控单位和施工单位按每月至少 1 次联测。

7.5.1.3 桥墩空间偏位监测应采用全站仪进行。各测点量测数据为三维坐标，宜采用大地坐标系，条件所限时可建立局部坐标系，基准点设置在桥墩影响范围之外且地形稳定的地段。

7.5.1.4 桥墩空间偏位量测频率应根据桥墩及主梁施工速度综合确定，且每月不低于 1 次；观测温度对桥墩偏位的影响时应选取日照最强、气温变化剧烈的时段进行连续 3 天的观测。

7.5.1.5 挂篮变形监测频率应符合以下规定：

- a) 在挂篮就位固定后进行高程初读数作为测试基准；
- b) 主梁混凝土浇筑前进行 1 次；
- c) 主梁底板浇筑后进行 1 次；
- d) 主梁腹板浇筑后进行 1 次；
- e) 顶板浇筑后进行 1 次。

7.5.1.6 悬臂段主梁标高的量测应在气温相对稳定的时段进行，监测频率应符合以下规定：

- a) 主梁标高监测应在主梁节段混凝土浇筑施工前、后各进行 1 次；
- b) 纵桥向预应力张拉前、后各进行 1 次；
- c) 挂篮移动后进行 1 次；
- d) 停工期间每半月进行 1 次。

7.5.1.7 支架现浇段主梁标高测量应在气温相对稳定的时段进行，监测频率应符合以下规定：

- a) 主梁浇筑前后各进行一次标高测量，至合拢段预应力张拉完成前应进行定期测量，监测频率不应低于 1 次/3 天；
- b) 预应力张拉前、后各进行 1 次

7.5.1.8 桥梁合拢期间应根据相应工况进行量测，主要包括合拢、体系转换、二期恒载等工况。

7.5.1.9 高程现场测量数据应填入专用记录表格，记录表样式参见附录 B。

7.5.2 应力监测

7.5.2.1 墩柱应力测点应在预埋阶段混凝土浇筑后测取初读数作为测试基准，而后在每一主墩和主梁节段混凝土浇筑后及结构体系转换后量测 1 次，且每月量测不低于 1 次。

7.5.2.2 悬臂段主梁应力监测频率应符合以下规定：

- a) 主梁节段浇筑前、后各进行 1 次；
- b) 纵桥向预应力张拉前、后进行 1 次；
- c) 停工期间每半个月进行 1 次；
- d) 桥面护栏浇筑前、后各进行 1 次；
- e) 桥面铺装前、后各进行 1 次。

7.5.2.3 现浇段应力监测频率应符合以下规定：

- a) 主梁浇筑后进行 1 次应力测量，作为测试基准，而后在预应力张拉前、后各进行 1 次；
- b) 桥面护栏浇筑前、后各进行 1 次；
- c) 桥面铺装前、后各进行 1 次。

7.5.2.4 应力现场监测数据应填入专用记录表格，记录表样式参见附录 C。

7.5.3 环境监测

7.5.3.1 混凝土水化热温度及梁体温度监测应在浇筑后进行，持续 7 天，前 3 天 1 次/2 小时，后 4 天 1 次/6 小时。

7.5.3.2 环境温度及湿度、风速及风向监测宜采用自动化气象采集系统不间断进行数据采集。

7.5.3.3 环境现场监测数据应填入专用记录表格，记录表样式参见附录 D。

7.5.3.4 主梁施工体系转换前后应对基础沉降、墩底应力、主墩偏位、主梁线形及应力分别进行 1 次量测，分析体系转换对结构应力及变形的影响。

7.6 施工阶段监测要点

7.6.1 基础及墩柱施工阶段应及时布设基础沉降、墩底应力及桥墩偏位测点，并根据本标准测量方法及频率要求进行数据采集及分析。

7.6.2 0#块施工阶段应及时收集施工单位的托架预压试验数据并结合模型仿真分析结果，分析托架变形规律，综合确定提供 0#块段的立模标高。

7.6.3 挂篮安装及预压阶段应提前收集挂篮设计图纸并进行建模仿真计算，参与并配合施工单位进行挂篮预压及数据采集工作，绘制挂篮变形的弹性变形及非弹性变形曲线；在主梁块段悬臂施工期间，重点对 1#~5#块施工时的挂篮变形值进行实测，绘制挂篮变形与块件重量的变形曲线并回归分析，以此来指导后期主梁预拱度的调整。

7.6.4 主梁悬臂施工阶段应及时进行应力、高程测点的布设与量测，当主梁悬臂施工至剩余 5 个块段接近合拢时，应联合施工、监理单位进行各“T”构主梁联测，并根据测量结果对剩余未施工主梁块段立模标高适当调整，以确保主梁顺利合拢，线形平顺。

7.6.5 边跨支架现浇段施工阶段应收集施工单位支架预压数据，分析整理支架变形规律，为现浇段立模标高确定提供依据；复杂支架应进行结构建模仿真分析，参与并配合施工单位完成支架预压试验；在此阶段应及时进行应力、挠度测点的预埋与量测。

7.6.6 主梁合拢前应对主梁线形温度影响进行观测，选取高墩或典型墩，在光照剧烈和温差较大的时段对主梁变形情况进行不间断观测，每小时 1 次，连续观测 3 天以上，据此选定合拢时间。

7.6.7 桥面铺装及防撞墙施工期间应及时将应力测点测试线缆引至防撞墙外侧，及时布设挠度观测点，保证挠度观测的连续性。

7.7 停工期的监测要点

7.7.1 停工前应加强对桥梁的监控量测，要点如下：

- a) 对桥墩沉降、桥墩偏位、主梁及墩底应力和主梁高程等监测指标进行全面的量测；
- b) 全面预估停工对桥梁应力、线形等指标的影响程度并提出应急预案。

7.7.2 停工期间应对桥墩沉降、桥墩偏位、主梁及墩底应力和主梁高程等监测指标进行全面的跟踪监测，监测频率宜不低于 1 次/半月，当出现特殊情况（大风、暴雪、地震等）时应实时监测。

7.7.3 复工前对各监测指标进行全面复测，对数据进行分析对比，评估停工对桥梁线形、应力的影响

程度，重新进行桥梁结构计算分析，并对监控方案作相应调整。

7.8 成桥后监测及长期监测

7.8.1 桥梁成桥后宜设置长期监测测点对桥梁进行长期跟踪监测，掌握结构受力及变形规律。

7.8.2 桥梁成桥后宜对桥梁应力测点进行中短期的跟踪监测，量测频率宜为 1 次/6 个月，持续时间不低于 3 年。

7.8.3 桥梁成桥后应对桥梁挠度长期跟踪监测，量测频率竣工后 2 年内宜为 1 次/6 个月；2 年后 1 次/12 个月。

8 数据分析及结构状态识别

8.1 数据分析

8.1.1 桥梁施工监测数据分析与反馈控制应具备下列基本数据：

- a) 结构材料（容重、弹性模量、徐变系数）；
- b) 荷载（机具、临时荷载、雪载等）；
- c) 受力（应力、预应力等）；
- d) 几何（标高、位移、变形等）；
- e) 环境（温度、湿度、风力等）。

8.1.2 结构荷载监测数据分析中应计入：

- a) 机具、临时荷载等位置、量值变化的影响；
- b) 混凝土结构尺寸变化的影响；
- c) 混凝土结构预应力管道位置偏差的影响。

8.1.3 结构受力监测数据分析中应计入下列因素的影响：

- a) 混凝土水化热对应变监测值的影响；
- b) 混凝土弹性模量变化的影响；
- c) 结构体系温差的影响；
- d) 混凝土收缩与徐变的影响。

8.1.4 结构标高、位移（变形）监测数据分析中应计入：

- a) 体系温度变化的影响；
- b) 桥墩压缩变形的影响；
- c) 风荷载的影响；
- d) 日照方向的影响。

8.1.5 监测数据在用于数据分析和反馈控制前应对其数据相关性进行分析与识别，剔除异常值。

8.2 结构状态识别

8.2.1 桥梁各施工阶段的数据分析和反馈控制包括以下工作：

- a) 当前桥梁施工受力、几何状态识别；

- b) 桥梁施工状态是否处于预控状态的判别;
- c) 超出预控状态的桥梁施工误差对后续施工过程结构受力安全与几何状态的影响预测分析;
- d) 是否需要施工发出预警的判定;
- e) 对施工过程预控数据或施工工艺实施调整或变更的决策。

8.2.2 桥梁施工过程中的受力状态、几何状态可直接根据仿真计算得到的预控数据与现场监测数据之间的差值进行误差量值及方向的识别。

8.2.3 桥梁施工过程误差宜控制在以下允许范围内:

- a) 混凝土结构应力: $\pm 10\%$;
- b) 几何参数:
 - 1) 桥梁墩顶标高: $\pm 5\text{ mm}$ 。
 - 2) 悬臂施工节段立模标高: $\pm 5\text{ mm}$;
 - 悬臂施工箱梁节段顶面横坡: $\pm 0.15\%$;
 - 主梁合拢端标高相对误差: $\pm 15\text{ mm}$ 。

8.2.4 桥梁施工过程中,应采用下列方法进行误差影响及状态预测分析,当结构监测数据与仿真计算数据之间的误差超过 8.2.3 中的允许范围时,宜采用以下方法进行调整反馈控制:

- a) 最小二乘法;
- b) 卡尔曼滤波法;
- c) 灰色系统理论法;
- d) 人工神经网络法。

8.2.5 桥梁成桥后应力及线形控制标准如下:

- a) 混凝土结构应力: $\pm 10\%$;
- b) 高程允许偏差: $\pm 20\text{ mm}$ 。

9 监控反馈、控制与成果

9.1 监控信息反馈

9.1.1 现场监控应定期通报桥梁施工监控相关信息。

9.1.2 当施工过程中出现监测数据超出允许范围时,应立即将信息向施工现场反馈,并同步进行原因与影响预测分析。

9.2 过程反馈控制

9.2.1 桥梁反馈控制应以指令形式实施,并应符合下列要求:

- a) 反馈控制指令应包含桥梁施工过程的信息;
- b) 当桥梁施工超出预控状态但可控时,反馈控制指令应包括已成结构状态调整指令和下阶段施工指令两部分;
- c) 当需要变更施工工艺或方案时,应及时提出变更指令,并由施工单位制定并按程序审批后实施;
- d) 反馈控制指令由监理复核并监督现场执行。

9.2.2 桥梁施工过程中成桥状态几何监测值与理论值间误差超过第 8.2.3 条限值时,可采取对悬臂施工过程中立模标高进行调整反馈控制。

9.2.3 桥梁施工过程中结构受力状态监测值与理论值误差超过第 8.2.3 条限制值时,应在保证结构安全的前提下,采取下列针对性的反馈控制措施:

- a) 对于悬臂施工过程中结构应力,可通过减少或调整临时荷载位置改善受力;
- b) 当因桥梁结构设计与施工方案匹配性不够、施工工序、工艺不当等导致结构受力不利时,应通过调整施工工序、工艺,调整施工过程中结构受力状态;

9.2.4 当结构应力超过安全控制容许值时或当预测到的极端气温、雪载、风载等超过设计和规范限值时,应及时预警,并根据风险程度发出整改或暂停施工的指令,同时采取应急监测与防范措施。

9.3 监控成果

9.3.1 桥梁施工监控成果应包含施工监控大纲、设计符合性计算报告、施工监控阶段报告以及施工监控总结报告。

注3:施工监控大纲(或实施方案)主要是指在施工过程中对桥梁施工监控的工作思路和监控方法进行的总体陈述。

注4:设计符合性计算报告主要是为了实现设计意图而必须进行的一个计算过程,并采取与设计单位相同的计算参数和设计图纸进行模拟计算。并对桥梁结构的应力和线形等进行对比分析。

注5:施工监控阶段报告主要是指在规定的时间内将其监测数据和控制结果进行分析,并对当前结构的应力和线形进行阶段分析和总结,并为后续施工提出建议及解决办法等。

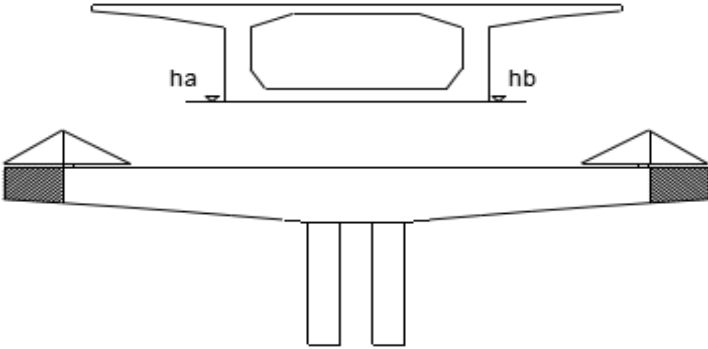
注6:监控总结报告是在成桥后对桥梁在整个施工过程中对桥梁的线形和应力等进行分析 and 总结。

9.3.2 监控成果及桥梁施工监控工作期内的指令文件、桥梁结构检算报告、立模标高通知单、现场记录表格等重要资料应及时归档,作为桥梁竣工验收资料的必要组成部分。

附 录 A
(资料性)
立模标高通知单

表A. 1给出了主梁悬臂施工节段立模标高通知单的格式。

表 A. 1 主梁悬臂施工节段立模标高通知单

桥名		墩梁 编号	
里程桩号			
设计底模标高 h_a (m)			
设计底模标高 h_b (m)			
监控预拱度 (m)			
挂篮变形值 (m)			
立模标高 H_a (m)			
立模标高 H_b (m)			
计算		复核	审核
备注	1. 立模标高为待浇筑梁段前端断面底模标高，立模标高=设计底模标高+监控预拱度+挂篮变形值。顶板高程根据立模标高按照梁高及设计横坡值进行推算而得。 2. 监控预拱度=施工预拱度+成桥预拱度+预拱度调整值。 3. 设计底模标高为设计单位提供的对应断面底模标高。 4. 挂篮变形值由挂篮预压试验及已施工梁段挂篮变形值综合确定。		
			
监控单位	(签字)	年 月 日	
监理单位	(签字)	年 月 日	
施工单位	(签字)	年 月 日	

附 录 B
(资料性)
高程测量现场记录表

表B. 1给出了高程测量现场记录表的格式。

表 B. 1 高程测量现场记录表格

编号		墩号		施工梁段		工况	
测量仪器		日期		天气		气温	
测点编号		读数（m）		测点编号		读数（m）	

附 录 C
(资料性)
应力(应变)测量现场记录表

表C. 1给出了应力测量现场记录表的格式。

表 C. 1 应力(应变)测量现场记录表格

编号		墩号		施工梁段		工况	
测量仪器		日期		天气		气温	
测试断面	测点编号	应变 (με)	应力 (MPa)	测试断面	测点编号	应变 (με)	应力 (MPa)

测量：

记录：

校核：

附 录 D
(资料性)
温度测量现场记录表

表D. 1给出了温度测量现场记录表的格式。

表 D. 1 温度测量现场记录表格

编号		墩号		施工梁段		工况	
测量仪器		日期		天气		气温	
测试断面	测点编号	测试电阻 (Ω)	温度 (℃)	测试断面	测点编号	测试电阻 (Ω)	温度 (℃)

测量：

记录：

校核：