

ICS XXX

XXX

备案号：

DBXX

广东省地方标准

DBXX/XXXXX—XXXX

大节段钢箱梁施工监控技术规范

(送审稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

广东省市场监督管理局 发布

目 次

| | |
|-------------------------|-----|
| 目 次..... | I |
| 前 言..... | II |
| 引 言..... | III |
| 1 范围..... | 1 |
| 2 术语和符号..... | 1 |
| 3 基本规定..... | 2 |
| 4 施工监控工作程序..... | 3 |
| 5 施工监控计算..... | 4 |
| 6 施工监控测试..... | 5 |
| 7 误差分析与控制..... | 9 |
| 8 工厂制造阶段控制..... | 10 |
| 9 运输阶段控制..... | 12 |
| 10 现场安装阶段控制..... | 12 |
| 11 温度效应控制..... | 14 |
| 12 施工监控信息化..... | 15 |
| 附录（资料性）施工监控常用文件、表格..... | 16 |
| 本规范用词用语说明：..... | 24 |

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》的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由广东省交通运输厅提出。

本文件由广东省交通运输（公路水路）标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：港珠澳大桥管理局、浙江大学。

引 言

大节段钢箱梁具有高强轻质、施工效率高、施工质量好、可适应复杂建设环境、降低建设风险等优点，适合装配化桥梁建设，开展大节段钢箱梁施工过程监控对于确保整个施工过程的顺利开展具有重要意义。目前大节段钢箱梁施工监控技术已臻成熟，有必要制定相关技术规范，指导大节段钢箱梁施工监控工作。

本标准在借鉴已有相关规范的基础上，吸收港珠澳大桥大节段钢箱梁施工监控的成功经验编制而成，为今后我省建造类似桥梁工程提供指导。

大节段钢箱梁施工监控技术规范

1 范围

- 1.0.1 为指导大节段钢箱梁施工监控工作，做到安全可靠、技术先进、线形平顺、符合设计要求，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于逐孔施工或整孔施工的大节段钢箱连续梁桥施工监控，也可供其它钢桥施工监控参考。
- 1.0.3 大节段钢箱梁施工监控工作应贯穿工厂制造阶段、运输阶段和现场安装阶段等桥梁施工的全过程。
- 1.0.4 大节段钢箱梁施工监控除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1

施工监控计算 calculation for construction monitoring and control

为获得桥梁结构理论变形与内力（应力）以指导施工监控工作而开展的桥梁设计符合性计算、施工过程模拟计算、参数敏感性分析等一系列计算工作的总称。

2.1.2

施工监测 construction monitoring

桥梁施工监控中开展的结构几何状态测试、结构内力（应力）测试、梁体温度测试和环境参数测试等一系列测试工作的总称。

2.1.3

温度效应控制 temperature effect control

对由于环境温度和日照温差等作用导致的钢梁几何状态与内力状态与设计基准温度下的相应状态不一致的情况进行控制。

2.1.4

设计成桥状态 completion state of design

设计文件给出的建成后的桥梁结构状态，包括桥梁的线形状态和内力状态。

2.1.5

施工初始状态 initial state of construction

梁段制造时的加工状态，包括梁段的顶底板下料长度、节段预拼角。

2.1.6

施工监控联系单 contact documents of construction monitoring

施工监控工作开展过程中,由监控单位提出的、与其它参建单位进行关于施工监控业务联系的文件。

2.1.7

施工监控指令 construction monitoring instruction

施工监控单位编制、提交并经设计复核,由监理或业主单位会签的关于大节段钢箱梁制造、安装定位等参数的指令性文件。

2.1.8

设计线形 design alignment

施工图设计提供的钢箱梁几何状态参数,包括钢箱梁几何尺寸、平曲线、竖曲线和桥面横坡等数据。

2.1.9

制造线形 manufacturing alignment

钢梁无应力状态制造时所采用加工数据,包括钢箱梁长度、宽度、高度、竖向线形和横向线形。

2.1.10

支座预偏量 pre-offsetting of support

为保证设计成桥基准状态下支座处于正位状态,而在支座安装时刻设置的支座上下板间的偏移值。

2.1.11

主梁就位 girder in position

大节段钢箱梁调至指定位置后由临时支座转换至设计永久支座的过程。

2.2 符号

Δ —— 支座预偏量;

Δ_t —— 单个支座考虑温度影响设置的预偏量;

α —— 材料的热膨胀系数;

Δt —— 设计支座安装时梁体温度与设计基准温度的差值;

l_i —— 安装支座距固定支座的距离;

Δf —— 抵消后续施工引起支座位移而设置的支座预偏量;

σ_1 、 σ_2 —— 测点主应力;

τ_{\max} —— 测点剪应力;

φ_0 —— 主应力方向角;

E —— 结构材料弹性模量;

ν —— 材料的泊松比;

ε_0 —— 0°角方向测点实测应变值;

ε_{45} —— 45°角方向测点实测应变值;

ε_{90} —— 90°角方向测点实测应变值。

3 基本规定

- 3.0.1 施工监控应依据现行的技术规范、实际施工采用的设计文件和施工方案开展相关工作，宜在钢箱梁制造安装方案制定阶段介入。
- 3.0.2 施工监控应编制施工监控工作大纲、施工监控实施方案或施工监控工作细则。
- 3.0.3 大节段钢箱梁施工监控工作包括施工监控计算、结构力学行为预测、施工监控测试、施工监控误差分析与控制等环节，确定合理的施工参数。
- 3.0.4 大节段钢箱梁施工监控测试应根据施工监控计算成果，对桥梁结构施工过程中关键性变形及受力状态进行跟踪监测，并对几何状态、整体受力和局部受力进行反馈、控制。
- 3.0.5 大节段钢箱梁施工监控计算应分别开展整体效应模拟计算和局部效应模拟计算，并事先评估结构受力的非线性效应及空间效应。
- 3.0.6 大节段钢箱梁监控计算关键性成果应与设计单位进行核对，经设计单位确认后方可用于编写监控指令。
- 3.0.7 施工过程中应采取有效措施消减温度梯度作用下的大节段钢箱梁的变形与内力。
- 3.0.8 大节段钢箱梁施工监控中应对施工临时荷载进行控制。
- 3.0.9 施工监测设备选择应遵循“技术先进、性能稳定并兼顾经济性”的原则。
- 3.0.10 施工监控过程中应以周期性监控报告和监控总报告的形式及时进行监控成果反馈。
- 3.0.11 施工监控工作应遵循明确固定的工作流程，保证监控信息的传递顺畅，确保监控工作成效。
- 3.0.12 施工监控应采用监控辅助信息化系统，实现监控信息的及时传递和数据收集。

4 施工监控工作程序

4.1 一般规定

- 4.1.1 施工监控工作中应对施工监控信息的流转、施工监控指令签发、施工监控的文件和监控成果提交等环节制定专门的工作流程。
- 4.1.2 施工监控工作中应建立监控单位与业主、设计、监理和施工单位的联络机制，确保监控信息的及时传递。
- 4.1.3 桥梁施工监控工作程序应符合整个工程有关健康、安全和环保方面的管理流程。

4.2 施工监控信息流转程序

- 4.2.1 根据设计文件和施工方案，监控单位应编制相应的施工监控方案或细则，开展针对施工过程的监控计算，并与设计单位就施工监控计算进行校核。
- 4.2.2 设计单位应配合施工监控单位完成施工监控计算核对和施工监控指令复核。
- 4.2.3 监理单位应协助监控单位完成施工信息收集，将施工监控指令签发至施工单位，并督导施工单位严格执行监控指令。
- 4.2.4 施工监控前期，施工单位应通过监理单位或业主单位向施工监控单位提供用于工程实施的施工方案及相关施工信息，这些信息主要包括：施工进度安排、施工临时荷载堆放位置及大小、施工临时支撑设置、大节段钢箱梁环缝焊接时机以及施工环境条件等；施工监控中，施工单位应将施工监控指令的执行情况反馈给监理单位，监理单位将施工结果提供给监控单位。

4.2.5 业主单位对整个施工监控过程中的信息流转进行总体协调，确保各单位高效有序地实现施工监控信息传递。

4.3 施工监控指令签发流程

4.3.1 施工监控指令应经设计单位复核后，通过监理单位签发至施工单位。

4.4 施工监控文件与成果

4.4.1 施工监控文件包括三类：指导性文件、执行性文件和总结性文件。

4.4.2 施工监控指导性文件有：施工监控大纲、施工监控方案或施工监控工作细则。

4.4.3 施工监控执行性文件有：施工监控联系单和施工监控指令。

4.4.4 施工监控总结性文件有：施工监控计算报告、施工监控阶段性报告和施工监控总报告。

4.4.5 施工监控大纲、施工监控方案、施工监控工作细则和施工监控计算报告应在现场具体监控工作实施前提供；施工监控指令，应在具体施工作业开始前提供；施工监控阶段性报告应在阶段施工监控工作结束后提供；施工监控总报告应在工程结束后提供。

5 施工监控计算

5.1 一般规定

5.1.1 大节段钢箱梁施工监控计算方法应能满足工程控制精度要求，计算参数取值应以钢箱梁结构实测数据为主或采用国家免检产品出厂标识参数。

5.1.2 施工监控计算应根据桥梁施工过程开展大节段钢箱梁结构的整体效应计算、局部效应计算以及参数敏感性评估。

5.1.3 大节段钢箱梁施工监控计算内容应包括结构力学计算和结构几何计算，前者主要是对结构的变形、应力和稳定性进行计算；后者则是计算给出钢箱梁的加工参数和安装参数。

5.1.4 对于曲梁、设大挑臂的钢箱梁或宽幅箱型结构的钢箱梁，计算时应考虑结构的空间效应。

5.1.5 施工监控计算还应考虑施工过程中温度、风荷载、施工临时荷载及临时支撑设置等对大节段钢箱梁结构受力与变形的影响。

5.2 计算方法

5.2.1 大节段钢箱梁整体受力与变形分析可采用杆系有限元模型，并考虑空间效应和非线性效应，同时考虑截面剪切系数影响。

5.2.2 钢箱梁局部效应分析和空间效应分析应采用能准确反映结构局部力学行为和空间力学行为的精细化有限元模型。

5.2.3 大节段钢箱梁施工过程计算应评估结构几何非线性效应，应考虑截面剪切系数和结构体系改变与边界条件变化等因素，宜采用增量法计算。

5.3 施工初始状态计算

- 5.3.1 施工监控计算宜采用逐步正装法求解施工初始状态，对于存在几何非线性的情况宜采用迭代法求解。
- 5.3.2 合理的迭代初始值可通过无应力状态法或倒拆法进行确定，以提高迭代计算的收敛速度为准。
- 5.3.3 施工初始状态计算可采用杆系有限元模型，应考虑结构的非线性效应。
- 5.3.4 应采用不同分析软件或模型对施工初始状态参数进行计算，并应相互校核。

5.4 参数敏感性评估

- 5.4.1 应对大节段钢箱梁开展参数敏感性评估，以确定影响结构线形和应力状态的主要因素，明确施工过程控制的重点。
- 5.4.2 根据钢箱梁的结构特点，应选择材料弹模、节段重量、板材厚度、施工临时荷载及墩顶支点的相对高差等设计参数进行结构响应的敏感性评估。
- 5.4.3 应对风荷载、整体温度变化和截面温度梯度条件下钢箱梁结构的支反力、变形和应力等响应进行敏感性评估。
- 5.4.4 根据结构设计参数和环境作用的敏感性分析结果，确定施工过程影响结构线形和应力的关键参数，在施工过程应对这些参数进行识别和控制。

6 施工监测

6.1 一般规定

- 6.1.1 施工过程中设计参数、结构位移、应力状态、环境温度、钢箱梁温度场及温度效应和桥址风速风向应进行测试。
- 6.1.2 应根据监测响应随时间的变化规律,按照以静态测试为主、动态测试为辅原则，确定监测频率，选择监测设备。
- 6.1.3 测点位置既要满足桥梁结构状态评估的要求又要便于安装和保护，应结合结构计算和现场情况综合确定。
- 6.1.4 施工监测还应考虑各监测项目的协调性和同步性，以实现耦合效应的分析。
- 6.1.5 各施工单位应协助施工监控单位采取可靠措施完成监测测点和监测传感器的保护。

6.2 几何形状及位移测试

6.2.1 工厂制造阶段测试

6.2.1.1 测试内容

- a) 应测试小节段钢箱梁的顶底板长度、宽度和梁高；
- b) 应测试大节段钢箱梁的顶底板总长、端面倾角和控制点几何状态；
- c) 应监测大节段钢箱梁存梁过程的临时支墩沉降。

6.2.1.2 测试方法

- a) 钢箱梁竖向线形测试宜采用精密水准仪进行测量；
- b) 钢箱梁中线测试宜采用经纬仪或全站仪进行测量；
- c) 大节段钢箱梁梁长测试宜采用全站仪进行测量；
- d) 钢箱梁截面高度、宽度宜采用全站仪或钢卷尺等满足测量精度要求的仪器进行测量；

e) 梁段端面倾角宜采用全站仪进行间接测量。

6.2.1.3 测点布置

线形测试截面位置应至少选择组成大节段钢箱梁的每个小节段钢箱梁的两个端面，截面顶底板测点数各不应小于 3 个，测点布置应能反映整个梁段的空间几何形态。

6.2.1.4 测试工况

小节段钢箱梁制造完成、大节段钢箱梁组拼后下胎前应进行线形测试；大节段钢箱梁存放过程应监测支墩沉降。

6.2.1.5 测试结果记录及数据分析

- a) 针对钢箱梁工厂制造线形测试数据应制定记录表格或采用与自动化仪器测试数据相对应的电子化表格，表头上应至少填写测试时间和温度、测试人员、测试条件、测试对象属性等信息；
- b) 线形测试数据首先应进行规律性分析排除因测试导致的数据错误，然后进一步开展施工误差分析，误差分析应符合本规范第 7 章的要求。

6.2.2 运输阶段测试

宜采用倾角仪对大节段钢箱梁装船完成后至桥位吊装前的过程进行钢箱梁的空间倾斜状态测试，倾角仪量程应介于测点倾角估计值的 2 倍~3 倍。

6.2.3 现场安装阶段测试

6.2.3.1 测试内容

- a) 现场安装阶段应测试梁段的竖向位移、轴向偏位、横向扭转以及梁段安装控制点坐标；现场安装状态还应测试梁段的竖向位移和水平偏位随温度的变化情况；
- b) 大节段钢箱梁安装前应测试墩顶支座表面高程；
- c) 现场安装完成后应测试桥墩沉降。

6.2.3.2 测试方法

- a) 钢箱梁竖向线形（高程）测试宜采用水准仪进行测量；
- b) 中线测试宜采用经纬仪或全站仪进行测量；
- c) 梁段端面倾角宜采用全站仪进行间接测量；
- d) 桥墩沉降宜采用全站仪进行测量。

6.2.3.3 测点布置

- a) 现场安装阶段变形测试截面宜与工厂制造阶段一致，对于工厂制造阶段每个小节段有两个测试截面的，在现场安装阶段可减少至一个截面，截面测点数不应小于 3 个；
- b) 现场安装时控制点坐标宜选择在墩顶对应的梁段顶板或底板上；
- c) 桥墩沉降观测点可布置于承台或墩顶等视线良好的位置。

6.2.3.4 测试工况

- a) 每个大节段钢箱梁架设后、现场环缝焊接前后、主梁就位完成后或其他体系转换后、桥面铺装后，应进行线形测试；
- b) 气候变化显著条件下应按 6.4 节的要求做钢箱梁线形随温度的连续变化监测。

6.2.3.5 测试结果记录及数据分析

- a) 针对大节段钢箱梁安装线形测试数据应制定记录表格或采用与自动化仪器测试数据相对应的电子化表格，表头上应填写测试时间和温度、测试人员、测试条件、测试对象属性等信息；

- b) 线形测试数据首先应进行规律性分析排除因测试导致的数据错误，然后进一步开展施工误差分析，误差分析应符合本规范第 7 章的要求。

6.3 应力状态测试

6.3.1 工厂制造阶段测试

6.3.1.1 测试内容

- a) 应测试大节段钢箱梁无应力状态下的应力计或其它类型应变传感器的初值；
- b) 大节段钢箱梁工厂转运过程的不利工况应实施应力监测；
- c) 工厂大型施工临时设施使用过程中不利工况应实施应力监测；
- d) 大节段钢箱梁存梁过程中的典型支墩反力应实施监测。

6.3.1.2 测试方法

- a) 应力测试可采用应力计或其它应变传感器；
- b) 存梁过程的支墩反力监测可采用应力计或压力传感器。

6.3.1.3 测点布置

- a) 大节段钢箱梁沿纵桥向应力测试截面的选择应根据施工监控计算结果，选择受力较大的截面；
- b) 截面测点布置应遵循对称性，以起到对称点相互校核的作用；
- c) 每个截面测点宜不少于 2 个；
- d) 对于受力复杂的局部区域宜布设应变花。

6.3.1.4 测试工况

- a) 钢箱梁下胎前初始状态应力测试；
- b) 工厂转运过程应力测试；
- c) 工厂吊运或滚装过程应力测试；
- d) 大节段钢箱梁存梁过程的支墩反力测试。

6.3.1.5 测试数据分析

应力测试数据应现场进行分析，及时对比实测数据与预警值，确保结构安全。

6.3.2 运输阶段测试

6.3.2.1 测试内容

大节段钢箱梁运输过程应实施实时应力监测。

6.3.2.2 测试方法

应力测试可采用应变计或其它应变传感器。

6.3.2.3 测点布置

根据计算结果，应在大节段钢箱梁运输过程的最不利受力截面布置应力测点，每个截面测点宜不少于 2 个，对于受力复杂的局部区域宜布设应变花。

6.3.2.4 测试数据分析

应力测试数据应现场进行分析，及时对比实测数据与预警值，确保结构安全。

6.3.3 现场安装阶段测试

6.3.3.1 测试内容

- a) 大节段钢箱梁吊装过程和成桥状态下受力不利的截面应进行应力监测；
- b) 大节段钢箱梁吊装过程应开展实时应力监测；吊装就位后直至成桥状态应继续开展应力测试，此时可采用准静态测试；

- c) 大节段钢箱梁吊装过程应对吊具进行实时应力监测；
- d) 桥梁结构应力测试的同时应同步开展温度测试以实现温度补偿。

6.3.3.2 测试方法

应力测试宜采用抗干扰能力强、精度高、方便使用的应力计或其他应变式传感器、光栅光纤传感器，应采用无线传输方式。

6.3.3.3 测点布置

- a) 截面测点布置应按对称布置；
- b) 每个截面测点宜不少于 4 个；
- c) 对于受力复杂的局部区域宜布设应变花。

6.3.3.4 测试工况

- a) 钢箱梁吊装过程应进行应力测试；
- b) 每个大节段钢箱梁架设前后应对已架设的大节段钢箱梁进行应力测试；
- c) 气候变化显著条件下应按 6.4 节的要求进行应力随温度的连续变化监测。

6.3.3.5 测试结果记录及数据分析

- a) 对于采用人工进行应力测试的，应制定记录表格，表格上应填写测试时间和温度、测试人员、测试条件、测试对象属性等信息；
- b) 应力测试数据应进行规律性分析排除因测试导致的数据错误；
- c) 对于吊装过程的应力监测应及时对比实测数据与预警值。

6.4 温度场及温度效应测试

6.4.1 测试内容

在现场安装阶段须对钢箱梁进行截面温度场测试和气候变化显著条件下的温度效应测试，即结构应力和变形随温度的变化情况。

6.4.2 测试方法

温度传感器宜选择测试范围大、精度高、线性化及稳定性好的传感器。

6.4.3 测点布置

- a) 温度场测点应能反映截面温度沿梁高和梁宽方向的变化情况，测点宜覆盖整个结构区域，即截面的上下左右位置均需布置温度测点；
- b) 截面温度测点宜布置在温度梯度变化较大的位置，测点宜对称、均匀布置，对于桥梁结构来说，靠近顶板区域温度梯度变化较大，测点宜加密布置；
- c) 温度测点也可根据温度场模拟结果确定。

6.4.4 测试工况

夏季极高温和冬季极低温条件下，应连续 24~72 小时测试截面温度场分布，采集时间间隔宜不大于 1 次/30 分钟；温度测试的同时，观测关键点应力和变形。

6.5 基本物理参数测试

6.5.1 施工监控过程中监控单位应对材料弹模、钢箱梁节段重量、板材厚度及施工临时荷载等设计参数进行测试或搜集。

6.6 环境条件测试

6.6.1 施工监控前期进行资料搜集时应向相关单位搜集桥址处的风速风向、温湿度等环境状态参数；现场安装阶段宜对这些环境状态参数进行测试，同时观测海浪情况。

6.6.2 风速仪量程应大于桥址处百年一遇大风的风速。

6.6.3 风速仪应安装在桥梁结构绕流影响区域之外，风速仪采样频率宜不低于 10Hz。

6.6.4 环境温度监测采集时间间隔宜不大于 1 次/30 分钟。

6.7 测试仪器

6.7.1 大节段钢箱梁结构几何状态、应力状态、温度场和桥址气象监测所采用的测试仪器指标宜不低于表1的要求。

表 1 大节段钢箱梁施工监测所采用的测试仪器指标

| 测试项目 | 仪器名称 | 仪器最低指标要求 |
|-----------|-------|---|
| 几何状态及位移监测 | 水准仪 | 测试精度 $\leq 1\text{mm/km}$ |
| | 全站仪 | 侧角精度 $\leq 1''$ ，测距精度 $\leq 2\text{mm}+2\text{ppm}$ |
| | 倾角仪 | 测试精度 $\leq 0.1 \times (\text{侧角估计值})$ ，量程为 2~3 倍监测估计值 |
| 应力状态监测 | 应力传感器 | 分辨率 $\leq 1\ \mu\epsilon$ |
| 温度监测 | 温度传感器 | 测试精度 $\leq 0.5^\circ\text{C}$ |
| 气象监测 | 风速风向仪 | 风速 $\leq 0.1\text{m/s}$ ，风向 $\leq 3^\circ$ |
| | 湿度传感器 | 测试精度 $\leq 2\%\text{RH}$ ，测试范围为 12%RH~99%RH |

7 误差分析与控制

7.1 一般规定

7.1.1 应根据设计文件要求及相关技术规范确定误差控制标准，即误差的控制指标和指标的取值。

7.1.2 施工监控应及时对每个施工阶段和施工工况进行误差分析、评估结构状态，并提供分析结果和报告。

7.1.3 钢箱梁线形和应力误差宜按自适应控制方法进行控制，应在明确误差原因的基础上进行误差控制。

7.1.4 对于钢箱梁几何线形误差应按照“整体线形流畅平顺、逐步过渡”的原则进行控制。

7.1.5 对于钢箱梁应力误差应按照“保障结构安全、不降低成桥状态的应力储备”的原则进行控制。

7.2 误差分析

7.2.1 钢箱梁施工监控中应针对：设计参数误差、计算方法误差和测试误差等主要误差类型进行分析。

7.2.2 误差分析宜首先进行计算方法误差分析，综合评估各种效应后确保计算方法准确；其次进行测试误差分析，排除因测试问题导致出现的偏差；再者进行施工工况调查，评估可能出现的施工偏差带来的影响；最后进行设计参数误差分析。

7.2.3 对于设计参数误差，在施工监控中宜采用现场直接量测，如钢箱梁尺寸通过测量识别、节段重量通过称重识别；若现场不具备量测条件，可根据结构响应的预测误差，采用参数识别的方法。

7.2.4 对于计算方法误差分析，应采用多种计算方法、综合考虑各种效应影响，进行评估。

7.2.5 对于测试误差分析，应通过不同测试人员和仪器设备独立测试、多次取平均值来校核。

7.3 误差控制

7.3.1 施工监控误差控制首先应评估误差影响，判断误差是影响结构安全还是影响结构的线形状态或是均有影响。误差处理原则应符合本规范 7.1.4 和 7.1.5 节的要求。

7.3.2 对结构安全有影响的误差，需进行安全富余度评估，对于仅是增大了结构受力但仍满足受力要求的可通过优化施工工序确保成桥状态应力储备；对于是结构受力已不能满足要求，则需要增加安全防护措施。

7.3.3 对钢箱梁线形有影响的误差，需进一步区分影响范围，对于影响小节段环缝连接，在满足焊缝宽度要求的前提下考虑采用焊缝宽度调节；对于影响整个大节段，考虑对制造线形参数进行修正。

8 工厂制造阶段控制

8.1 一般规定

8.1.1 工厂制造时，大节段钢箱梁从下料到大节段发运的过程应进行控制。

8.1.2 工厂制造阶段应按施工监控误差标准，通过施工监控计算和制造过程的线形测控，实现对桥梁纵断面、横断面和平面线形的控制。

8.1.3 工厂制造阶段小节段钢箱梁和大节段钢箱梁安放时最不利受力的支撑部位和转运吊装时最不利受力的吊点等局部应力应进行控制。

8.1.4 工厂制造阶段应对梁段重量进行测量。

8.1.5 工厂制造阶段应进行大节段钢箱梁和小节段钢箱梁组拼长度的温度控制，温度效应控制应符合本规范第 11.2 节关于工厂制造温度效应控制的要求。

8.1.6 钢箱梁工厂制造时采用的胎架应符合强度、刚度和稳定性要求，并满足钢箱梁无应力状态制造时的线形和应力控制要求。

8.2 桥梁线形控制

8.2.1 大节段钢箱梁工厂制造时无应力状态下的纵断面线形应考虑为：设计成桥线形-安装过程结构累计变形+成桥预拱度。

8.2.2 大节段钢箱梁纵断面线形控制

- a) 大节段钢箱梁纵断面内的预拱度计算可采用杆系模型，计算应符合本规范第 4 章的要求；

- b) 根据预拱度计算结果，结合具体的施工工艺，对于采用以折代曲施工工艺，通过设置小节段间的夹角来实现纵断面线形，并给出制造温度与设计基准温度差别状况下的温度补偿量，温度补偿量计算参见本规范 11.2 节；
- c) 小节段钢箱梁节段间夹角计算完成后应进行预拼装复核，复核纵断面线形；
- d) 梁段制造中的底板竖向线形、顶板竖向线形测试数据应进行搜集，并及时进行数据分析；
- e) 小节段钢箱梁的端面倾角测试数据应进行搜集，并评估相邻小节段钢箱梁端面的匹配情况；
- f) 大节段钢箱梁的端面倾角测试数据应进行搜集，并预测大节段钢箱梁安装时相邻端面的匹配情况。

8.2.3 大节段钢箱梁横断面线形控制

- a) 大节段钢箱梁制造线形应考虑设计横坡和横向预拱度，横向预拱度设置应进行空间分析；
- b) 大节段钢箱梁横向变形计算应采用精细化计算模型，计算应符合本规范第 5 章的要求；
- c) 梁段制造中的顶底板横坡测试数据应进行搜集，并及时进行数据分析。

8.2.4 大节段钢箱梁平面线形控制

- a) 平面内应控制大节段钢箱梁中线偏差，节段制造长度应预留一定的焊缝宽度，并给出制造温度与设计基准温度差别状况下的温度补偿量，温度补偿量计算参见本规范 11.2 节；
- b) 位于平曲线上的大节段钢箱梁，应进一步考虑内弧侧和外弧侧长度，通过平面内节段间的夹角实现平面线形；
- c) 大节段钢箱梁中线和平面内节段长度数据应进行搜集，并及时进行数据分析。

8.3 预留连接件位置控制

8.3.1 大节段钢箱梁设置的与其它构件相连接的预留预埋部件，如设计支座垫板，应综合考虑制造精度和相应构件安装精度，并按要求高的标准执行。

8.3.2 对于上部结构（钢结构）连接件加工或安装晚于下部构造（桥墩或垫石）预留连接件施工的，在钢箱梁预埋件安装时应根据下部结构的施工误差做适当调整。

8.3.3 需考虑各种作用下结构受力引起的大节段钢箱梁变形对预埋件安装位置的影响。

8.4 制造误差控制

8.4.1 工厂制造阶段线形制造误差和节段重量误差的大小应进行评估。

8.4.2 对于制造线形误差应评估是由于下料、组拼施工或是其它原因导致，进而采取控制措施。

8.4.3 工厂制造阶段线形误差控制宜按以下原则进行：

- a) 板单元下料误差应在小节段拼装前通过矫正或切割予以消除；
- b) 小节段钢箱梁拼装过程中出现的误差应在大节段钢箱梁组拼过程中予以消除；大节段钢箱梁组拼过程中应逐节段组拼控制，在大节段钢箱梁环缝焊接前消除累计误差；
- c) 对于无法通过焊缝宽度调整的误差，需进行板材切割，具体的切割量应考虑对预留件位置的影响；

- d) 对于制造场地地基条件差引起的钢箱梁线形误差，应通过改善制造场地基础条件，如对地基采用地面硬化、扩大基础、桩基等加固措施处理；对于施工工艺等引起的误差，应通过优化施工工艺、调整焊接参数来解决。

8.4.4 小节段钢箱梁制造完成应及时进行称重，根据称重数据评估是否需要制造线形进行调整。

8.5 工厂加工制造局部受力控制

8.5.1 工厂制造阶段，小节段和大节段钢箱梁可能出现的局部受力工况包括：组拼、转运、存放等过程设置临时支撑或吊点时，应进行局部应力与稳定控制。

8.5.2 局部应力状态验算按本规范第 5.2 节要求进行，同时按本规范第 6.3.1 节要求进行局部应力状态测试。

8.5.3 大节段钢箱梁工厂转运及工厂起吊或滚装过程宜对不利工况进行实时应力监测，测试方法应符合本规范第 6.3.1 节的要求。

8.5.4 工厂制造阶段对影响大节段钢箱梁线形和内力的大型临时结构应进行受力验算，并对大型临时结构使用过程的最大受力区域进行应力状态监测，计算方法应符合本规范第 5 章的要求，测试方法应符合本规范第 6.3.1 节的要求。

8.5.5 工厂制造阶段大节段钢箱梁存梁的临时支墩沉降宜进行监测，测试方法应符合本规范第 6.2.1 节的要求。

8.5.6 工厂制造阶段大节段钢箱梁存梁过程应进行临时支墩的支反力监测，测试方法应符合本规范第 6.3.1 节的要求。

9 运输阶段控制

9.1 一般规定

9.1.1 大节段钢箱梁从工厂运输至桥梁位置，直至安装前的这一过程应进行控制。

9.1.2 大节段钢箱梁应根据运输方式进行受力验算。

9.1.3 大节段钢箱梁运输过程宜进行梁体空间倾斜状态监测与控制。

9.1.4 大节段钢箱梁运输过程以结构应力监测为主、结构变形监测为辅、控制结构的整体稳定为基本原则。

9.2 桥梁结构状态控制

9.2.1 运输过程钢箱梁局部受力应进行验算，计算方法应符合本规范第 4 章的要求。

9.2.2 运输过程钢箱梁局部最不利受力区域宜进行应力监测，监测方法应符合本规范第 6.3.2 章的要求。

9.2.3 运输过程宜采用倾角仪对大节段钢箱梁的空间摇摆角度进行测试，并控制其摆动幅值。

9.2.4 钢箱梁运输过程测试的应力数据和倾角数据应实时分析，并与预警阈值进行对比，出现超预警值时应暂缓货物运输车（船）移动，查明原因。

10 现场安装阶段控制

10.1 一般规定

- 10.1.1 现场安装时大节段钢箱梁从起吊直至安放到设计成桥位置的过程应进行控制。
- 10.1.2 现场安装时大节段钢箱梁应力和变形、吊装系统应力及合龙段安装应进行全面控制。
- 10.1.3 现场安装应进行安装实施条件控制。
- 10.1.4 现场安装应进行温度效应评估与控制，温度效应控制符合本规范第 11.3 节的要求。

10.2 安装实施条件控制

- 10.2.1 钢箱梁现场吊装应避开雨（雪）天、在 6 级风以下、无雾天气且浪高不超过浮吊安全作业水位要求。
- 10.2.2 钢箱梁调梁及环缝连接应在无日照环境条件下进行。
- 10.2.3 现场安装应对桥位处的风速风向和环境温湿度进行测试，测试方法应符合本规范第 6.5 节的要求。
- 10.2.4 对于存在合龙段的大节段钢箱梁，应结合计算和监测结果给出合龙段安装作业窗口和合龙段端口匹配参数。

10.3 吊装系统安全控制

- 10.3.1 需评估吊装设备的起吊能力、变幅范围和起升高度等指标，确保各指标满足大节段钢箱梁吊装要求。
- 10.3.2 大节段钢箱梁吊装采用的吊具应进行整体受力和局部受力分析，分析应给出吊具最不利受力截面位置及典型截面吊装过程的应力包络值，同时给出应力预警阈值，计算方法应符合本规范第 5 章的要求。
- 10.3.3 大节段钢箱梁吊装过程中应对吊具最不利受力位置进行实时应力监测和数据分析，测试方法应符合本规范第 6.3.3 节的要求，对于出现超预警阈值的情况应立即预警，暂停吊装、查明原因。

10.4 大节段钢箱梁吊装安全控制

- 10.4.1 应对大节段钢箱梁吊装过程进行整体和局部受力分析，整体分析应给出整个吊装过程大节段钢箱梁的最不利受力截面位置及典型截面安装过程的应力包络值；局部分析应给出吊点区域和临时支撑区域的应力状态。通过分析还应给出应力监测的预警阈值。计算方法应符合本规范第 5 章的要求。
- 10.4.2 大节段钢箱梁吊装过程应对梁段最不利受力位置，如吊耳区域、临时支撑区域以及跨中截面等位置进行实时应力监测和数据分析，实时应力监测频率在起吊及卸载期间宜每分钟测读一次；在起吊平稳阶段可每 10 分钟测读一次，测试方法应符合本规范第 6.3.3 节的要求。应力监测数据应实时与预警值作对比，对于出现超预警阈值的情况应及时暂停吊装并进行原因分析，必要时需对大节段钢箱梁进行检查。

10.5 安装评估

- 10.5.1 每个大节段钢箱梁安装完成后，应对大节段钢箱梁的安装定位进行误差分析，具体需对墩顶位置对应梁段的里程和高程进行分析。

10.5.2 每个大节段钢箱梁安装完成后应对已安装梁段的变形进行误差分析；整联安装完成后应对其进行线形状态评估。

10.5.3 大节段钢箱梁安装后应进行钢箱梁截面温度场与整个结构的温度效应监测，并对温度引起的结构应力与变形进行评估，应力监测方法应满足本规范 6.3.3 节的要求，温度场与温度效应监测应满足本规范 6.4 节的要求。

10.5.4 整联施工完成后应结合应力测试数据对钢箱梁进行应力状态评估，并给出成桥状态结构的应力储备情况。

10.5.5 大节段钢箱梁就位过程应对支座定位进行状态评估，给出支座在垫石上的定位误差和基准温度下的支座偏位情况。

11 温度效应控制

11.1 一般规定

11.1.1 钢箱梁从工厂制造到现场安装过程应进行温度效应控制。

11.1.2 钢箱梁温度效应控制应综合温度效应理论分析、温度场及温度效应的测试结果，确定温度效应控制的策略和对策。在工厂制造阶段主要是根据温度条件修正下料参数和控制存梁时的局部支反力；在现场安装阶段主要是选择合适的施工时间。

11.2 工厂制造温度效应控制

11.2.1 钢箱梁工厂下料时应考虑构件温度与设计基准温度的差异，对构件下料参数进行修正。

11.2.2 钢箱梁工厂制造中应避免直接日晒，以防止制造过程中出现梁体温度场不均匀导致的结构变形和附加内力。

11.2.3 对于存放于露天场地的钢箱梁，应充分考虑温度作用导致的存梁支墩反力变化。

11.3 现场安装温度效应控制

11.3.1 应控制大节段钢箱梁吊装后调梁时的温度作业窗口，选择在环境温度稳定以及钢箱梁顶底板温差在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内实施。

11.3.2 对于桥址现场设置环缝连接的钢箱梁，环缝焊接应在环境温度稳定以及钢箱梁顶底板温差在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内实施。

11.3.3 大节段钢箱梁落梁宜选择在设计基准温度条件下进行，对于落梁时环境温度和梁体温度与设计基准温度状态存在差别的情况，应根据落梁时的环境温度和梁体温度，计算设置相应的支座预偏量。单个支座预偏量可按下式计算。

$$\Delta = \Delta_t + \Delta_f \quad (1)$$

$$\Delta_t = \alpha \cdot \Delta t \cdot l_i \quad (2)$$

式中：

Δ ——支座预偏量（单位：m）；

Δ_t ——单个支座考虑温度影响设置的预偏量（单位：m）；

α ——材料的热膨胀系数（ $\times 10^{-5}$ ）；

Δt ——梁体温度与设计基准温度的差值（单位：℃）；

l_i ——安装支座距固定支座的距离（单位：m）；

Δ_f ——抵消后续施工引起支座位移而设置的支座预偏量（单位：m）。

11.3.4 对于设置合龙段钢箱梁的，应在合龙段架设前连续 24h~72h 监测合龙段两端线形随温度的变化情况，根据监测结果确定合适的施工时间。

12 施工监控信息化

12.1 施工监控过程中，监控单位应使用专门的施工监控辅助系统，以提高信息传递速度、降低数据出错概率、积累桥梁信息大数据。

12.2 施工监控辅助系统应具备这些基本功能：文档管理、数据采集、误差分析、自动预警、结果展示、施工监控指令计算、信息流转控制、专项数据库、系统及用户权限管理等功能。

12.3 施工监控辅助系统应基于互联网，并有专人负责维护。

附录
(资料性附录)
施工监控常用文件、表格

附 1 施工监控指令

_____项目施工监控

监控单位：

设计单位：

监理单位：

施工单位：

桥梁施工监控指令

编号：JK_____

| | | |
|--|---|--|
| 监控指令 | 指令内容： | |
| 监控负责人： 监控单位（章） 年 月 日 | 设计负责人： 设计单位（章） 年 月 日 | |
| 监理负责人： 总监办（章） 年 月 日 | 施工单位负责人： 项目部（章） 年 月 日 | |

说明：本表一式 5 份，监控单位 1 份，设计单位 1 份，施工单位 1 份，监理 1 份，业主 1 份（报备）。

附 2 应变及温度测试记录表

_____项目施工监控
应变及温度测试记录表

| 工况： | 天气： | 气温： | 日期： | 时间： | |
|------|------|-------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|
| 测点编号 | 所在截面 | 频率值 (Hz) | 电阻 R (Ω) | 温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 应变 ($\mu\varepsilon$) |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

测试： 记录：

DBXX/ xxx-xxxx

附 6 施工监控工作联系单

_____项目施工监控
工作业务联系单

编号：JK***

| | |
|--|---|
| 致： 事由： | |
| 内容： | |
| 项目负责人： 监控单位（章）： 年 月 日 | |
| 抄送： | |
| 负责人： 建设单位（章） 年 月 日 | 负责人： 总监办（章） 年 月 日 |
| 负责人： 设计单位（章） 年 月 日 | 负责人： 项目部（章） 年 月 日 |

说明：①本表一式 5 份，业主 1 份，监控人 1 份，监理人 1 份，设计人 1 份，承包人 1 份；
②本表适用于工程监控过程中监控人提出的需承包人、监理人、设计人、业主确认的相关工程事宜。

表 7 施工监控文件签收单

文件名称（编号：_____）

签收单

| 序号 | 单位名称 | 签收 | 日期 | 备注 |
|----|------|----|----|----|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |

本规范用词用语说明：

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：正面词采用“必须”或“须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：正面词采用“宜”；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 标准中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应按……执行”或“应符合……的要求(或规定)”。