

ICS 93.040

CCS P 66

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1440—2021

公路预应力混凝土连续刚构桥施工 技术规范

Technical specification for construction of highway prestressed concrete continuous
rigid frame bridges

2021 - 02 - 02 发布

2021 - 03 - 02 实施

陕西省市场监督管理局 发布

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 符号..... 3

5 主要材料技术指标..... 3

6 施工技术..... 4

7 施工监控..... 7

8 质量检验..... 8

附录 A（规范性）反拉法锚下预应力检测技术..... 10

附录 B（规范性）纵向预应力孔道注浆密实度检测技术..... 11

附录 C（资料性）施工监控流程图..... 12

附录 D（资料性）连续刚构桥施工监控测点布置..... 13

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。

本文件由陕西省交通运输厅提出。

本文件由陕西省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：陕西省公路局、陕西通宇公路研究所有限公司、陕西省交通建设集团有限公司、长安大学。

本文件主要起草人：万振江、金宏忠、魏家乐、李春轩、涂静、舒涛、杨继承、邬晓光、屈仆、赵颖超、叶全斌、朱东方、李轩、姜海力、雷波涛。

本文件由陕西省公路局负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：陕西省公路局

电话：029-88408404

地址：西安市含光路110号

邮编：710068

公路预应力混凝土连续刚构桥施工技术规范

1 范围

本文件规定了公路预应力混凝土连续刚构桥主要材料技术指标、施工技术、施工监控及质量检验。

本文件适用于悬臂浇筑施工的公路预应力混凝土连续刚构桥。悬臂拼装的连续刚构桥以及悬臂施工连续梁桥、波形钢腹板桥等可参考本文件。

公路预应力混凝土连续刚构桥施工除应符合本规范外，尚应符合国家及行业现行相关标准的规定。

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。

GB 50496 大体积混凝土施工标准
CJJ/T 281 桥梁悬臂浇筑施工技术标准
JGJ/T 12 轻骨料混凝土应用技术标准
JGJ/T 178 补偿收缩混凝土应用技术规程
JGJ/T 221 纤维混凝土应用技术规程
JGJ/T 283 自密实混凝土应用技术规程
JT/T 946 公路工程 预应力孔道灌浆料（剂）
JT/T 1265 桥梁用预应力精轧螺纹钢张拉力检测方法
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 F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
JTG F90 公路工程施工安全技术规范
DB 61/T 1288 桥梁结构预应力监测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

悬臂浇筑法 cast-in-place cantilever method

在以桥墩为中心的顺桥向两侧，采用专用设备对称平衡地逐段向跨中浇筑混凝土梁体，并逐段施加预应力的施工方法。

[来源：JTG/T 3650—2020，2.0.11]

3.2

挂篮 movable suspended scaffolding

悬臂法浇筑混凝土梁体时,用于承受梁体自重及施工荷载,能逐段向前移动并经特殊设计的主要工艺设备。主要组成部分有承重系统、悬吊系统、锚固系统、行走系统和模板系统。

[来源: JTG/T 3650—2020, 2.0.12, 有修改]

3.3

托架 corbel

墩顶梁段施工时,利用墩身预埋件与钢构件拼制连接而成的承载支撑结构。

[来源: CJJ/T 281—2018, 2.1.7]

3.4

反拉法 pull-out testing method

预应力筋张拉施工后,在梁体外对已张拉的预应力筋再次重新分级施加荷载,测量反拉力值和位移值,通过反拉力与位移关系计算锚下有效预应力值。

[来源: DB 61/T 1288—2019, 3.1.7]

3.5

锚下有效预应力 effective prestress under anchorage

预应力张拉锚固后,预应力筋锚下实际留存的应力。

[来源: DB 61/T 1288—2019, 3.1.2]

3.6

注浆密实度 grouting density

固化注浆料所占预应力孔道体积的比例。

[来源: DB 61/T 1288—2019, 3.1.8]

3.7

施工监控 construction monitoring and control

针对桥梁设计目标,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。

3.8

施工监测 construction measurement

在桥梁施工过程中,对结构应力、索力、几何状态、温度等进行的现场量测。

3.9

反馈控制 feedback control

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,通过误差分析和参数调整等一系列控制手段,使桥梁结构达到预期目标。

3.10

主梁预拱度 *main girder camber*

为抵消主梁在设计荷载及施工荷载作用下产生的位移（挠度），在施工时所预留的与位移方向相反的校正量。

[来源：JTG/T 3650—2020，2.0.19，有修改]

4 符号

下列符号适用于本文件。

F_1 ——锚下预应力检测反拉力；

F_2 ——锚具对夹片的水平反力；

F_3 ——锚下有效预应力；

L ——次中跨或中跨计算跨径（m）；

L_0 ——预应力孔道总长度（m）；

L_{sum} ——累计注浆缺陷长度（m）；

L_{max} ——最长注浆缺陷长度（m）；

I_f ——综合定性注浆指数；

t ——冲击回波实际传播时间；

t_z ——正常混凝土区域无预应力孔道位置处冲击回波的标定传播时间；

t_w ——正常混凝土区域预应力孔道未注浆位置处冲击回波的标定传播时间；

β ——注浆不密实度

5 主要材料技术指标

5.1 常规材料

常规材料包括公路预应力混凝土连续刚构桥采用的普通混凝土、普通钢筋、预应力钢筋等，技术指标应符合JTG 3362相关要求。

5.2 轻骨料混凝土

应符合JGJ/T 12相关要求。

5.3 补偿收缩混凝土

应符合JGJ/T 178相关要求。

5.4 纤维混凝土

应符合JGJ/T 221相关要求。

5.5 自密实混凝土

应符合JGJ/T 283相关要求。

5.6 预应力孔道灌浆料

应符合JT/T 946相关要求。

5.7 封锚混凝土

应满足表1要求。

表 1 封锚混凝土性能要求

序号	项目名称	性能要求	性能要求
1	抗压强度（MPa）	1 d	≥40
		7 d	≥50
		28 d	≥60
2	抗折强度（MPa）	1 d	≥5
		7 d	≥7
		28 d	≥9
3	抗渗性能		≥P20
4	收缩率（%）		≤0.02
5	氯离子含量		不应超过胶凝材料总量的 0.06 %

6 施工技术

6.1 一般规定

- 6.1.1 连续刚构桥施工前，施工单位应结合设计图纸和现场实际情况编制专项施工方案，宜对承台施工、高墩施工、墩顶梁段和边跨现浇段施工、悬臂节段施工以及合龙段施工等关键步骤组织专家进行技术论证。
- 6.1.2 应对支架、托架、挂篮和模板的强度、刚度和稳定性进行设计计算。
- 6.1.3 连续刚构桥施工的平面和高程控制测量等级和技术要求应符合 JTG/T 3650 相关要求。
- 6.1.4 墩身和主梁混凝土浇筑前应对临时结构进行检查，并由施工方案设计人员参与验收。
- 6.1.5 墩身和主梁施工时，应对墩身与承台结合面、相邻节段施工缝位置凿毛处理，并将表面的松散层、石屑等清理干净。
- 6.1.6 垫石、梁底楔形块、预应力锚下齿块等钢筋密集且难以充分振捣的部位可采用自密实混凝土。
- 6.1.7 施工过程中应采取措施控制箱体内外温差。
- 6.1.8 公路预应力混凝土连续刚构桥宜采用新材料、新技术、新工艺、新设备等，以提高工程品质。

6.2 承台施工

- 6.2.1 承台为大体积混凝土，施工前应根据原材料、配合比、制备及运输条件、施工方案、施工工艺等因素制订专项施工技术方案，进行温控计算和温控监测设计，混凝土浇筑后按照该设计要求对混凝土内部和表面的温度实施监测和控制。
- 6.2.2 承台大体积混凝土施工技术及管理指标应按 GB 50496 执行。
- 6.2.3 承台置于软弱土层时，应采取措施，防止在浇筑承台混凝土过程中产生不均匀沉降。承台置于岩石类地基上时，宜在混凝土垫层上设置滑动层。

6.3 墩身施工

- 6.3.1 墩身混凝土分段浇筑时，应按施工缝处理。上一节段开始施工时，已浇节段的混凝土强度不应低于 2.5 MPa。各节段之间浇筑混凝土的龄期差宜控制在 7 d 以内。
- 6.3.2 墩身应在承台混凝土达到设计强度后的最短时间开始施工，间隔时间不宜超过 10 d。当不能满足相邻节段龄期差要求时，应采取措施防止墩、台身混凝土开裂。
- 6.3.3 空心墩墩身分段浇筑时，施工缝位置应避开墩底和墩顶变截面处，且距离变截面位置宜大于 1m，以减少刚度突变引起混凝土收缩开裂。
- 6.3.4 高墩施工可采用爬模、翻模和滑模法，宜优先选用液压爬模施工。
- 6.3.5 高墩施工宜设置劲性骨架。
- 6.3.6 高墩墩身宜采用自动喷淋养护。
- 6.3.7 墩身垂直度应符合 JTG/T 3650 要求。

6.4 墩顶梁段及边跨现浇段施工

- 6.4.1 墩顶梁段和边跨现浇段宜采用落地支架法或托架法施工，边跨现浇段采用托架法施工时，应确保过渡墩受力安全。
- 6.4.2 墩顶梁段梁高小于 7 m 时宜全断面一次浇筑完成；当梁段过高一次浇筑完成难以保证质量时，宜沿高度方向分两次浇筑，分层界面宜在 2/3 梁高处，两次浇筑混凝土的龄期差应控制在 7 d 以内。
- 6.4.3 墩顶梁段宜采取措施防止温度裂缝的产生，包括但不限于掺加外加剂或调整集料级配降低水灰比，掺加粉煤灰、矿渣等降低水化热，或采用纤维混凝土。
- 6.4.4 落地支架（托架）安装完成后应进行静载试验，预压荷载值宜取其需承受荷载（包括梁段自重、模板、施工人员和机具等荷载）的 1.1 倍，预压荷载的分布应模拟实际承受的结构荷载和施工荷载。
- 6.4.5 边跨现浇段混凝土宜一次浇筑完成，若条件不具备分两段浇筑时，应先浇筑靠近悬臂端部分梁段，后浇筑靠近过渡墩部分梁段。
- 6.4.6 边跨现浇段模板体系应采取措施保持与新浇筑混凝土梁纵向相对自由。
- 6.4.7 过渡墩支座应根据边跨合龙温度和后期混凝土收缩徐变效应设置预偏。

6.5 悬浇箱梁施工

- 6.5.1 悬浇箱梁施工宜优先选用菱形挂篮或三角形挂篮。
- 6.5.2 挂篮与悬浇混凝土的重量比宜控制在 0.35~0.5，且挂篮的总重应控制在设计规定的限重范围内。挂篮最大竖向变形（包括吊带）应小于 20 mm。浇筑混凝土和挂篮行走时各项安全系数均应大于 2。
- 6.5.3 挂篮前后吊挂宜采用特制钢吊带。
- 6.5.4 挂篮使用前，应对其制作及安装质量进行全面检查，并按悬臂浇筑最大节段重量的 1.2 倍进行预压试验，合格后方可使用。
- 6.5.5 桥墩两侧梁段悬浇施工应对称、均衡。当桥墩两侧荷载不完全对称时，应配载控制。
- 6.5.6 箱梁悬臂梁段应全断面一次浇筑，总体浇筑原则为从前端向后浇筑，从两侧向中间浇筑。浇筑腹板时应采取措施防止已浇底板倒角处混凝土翻浆。
- 6.5.7 箱梁内齿板钢筋应与箱梁其它钢筋绑扎为整体，齿板混凝土与箱梁混凝土应同时浇筑，以保证齿板与主梁的良好结合。
- 6.5.8 悬臂浇筑段前端顶底板标高应根据挂篮前端的竖向变形及预拱度进行设置，施工过程中应对实际高程进行监测，如发现异常，应会同监控单位、设计单位和监理单位查明原因。
- 6.5.9 主梁节段龄期差宜控制在 7 d~14 d 内，养生时间不宜少于 7 d。

6.6 合龙段施工

- 6.6.1 边、中跨合龙先后顺序应符合设计要求，设计无要求时，宜按评审通过方案实施。多跨同时合龙时，还应遵循均衡对称的原则。合龙顺序应在主梁悬臂施工前确定。
- 6.6.2 合龙宜选择在 1 d 中气温较低且相对稳定时段完成。
- 6.6.3 合龙临时锁定宜采用劲性骨架方式。
- 6.6.4 合龙施工流程为悬臂端施加配重、安装合龙段劲性骨架、水平顶推（如有）、锁定劲性骨架、浇筑合龙段混凝土（同步卸载配重）、张拉合龙束、解锁合龙段劲性骨架、补张合龙束。
- 6.6.5 合龙顶推应符合下列规定：
- a) 顶推力和位移应依据实际合龙温度、混凝土收缩徐变和桥墩抗推刚度等综合确定；
 - b) 顶推施工前，应进行全桥检查，确保合龙口两侧主梁相对自由；
 - c) 正式顶推前应进行预顶，预顶力不宜小于设计顶推力的 30 %；
 - d) 正式顶推力施加应分级进行，每一级顶推结束 10 min 后对实际施加顶推力、合龙口位移、墩顶位移、梁体温度等进行测量；
 - e) 顶推实施过程多台千斤顶应同步工作，并对顶推力及位移进行双控（以位移为主）。
- 6.6.6 合龙段宜采用补偿收缩混凝土。
- 6.6.7 合龙段混凝土浇筑完成后，宜采用覆盖保水方式养生。
- 6.6.8 桥墩横向设置系梁的连续刚构桥左右幅应同时进行边、中跨合龙。

6.7 预应力施工

- 6.7.1 预应力孔道定位钢筋、防崩钢筋施工应严格按设计文件执行。预应力孔道梁高方向偏差应控制在 ± 10 mm 以内。
- 6.7.2 梁段钢筋绑扎过程中，当预应力管道与普通钢筋发生冲突时，可调整普通钢筋位置。
- 6.7.3 预应力的张拉宜采用智能张拉设备，以张拉力控制为主，伸长量校核，实现张拉力与伸长量双控。
- 6.7.4 预应力钢束张拉时主梁混凝土的弹性模量和强度应满足设计要求，若设计无要求时，张拉钢束时混凝土强度不得小于设计值的 90 %，弹性模量不得小于设计值的 80 %，且龄期不得少于 5 d。
- 6.7.5 悬臂施工过程中应按设计要求及时张拉竖、横向预应力钢筋。
- 6.7.6 合龙段预应力张拉时，应对称张拉底板及顶板纵向预应力钢束，先张拉长束后张拉短束。
- 6.7.7 纵向预应力应实测锚下有效预应力，检测方法见附录 A，预应力钢束每座桥检测数量不少于 15 %。
- 6.7.8 纵向预应力钢束管道压浆宜采用大循环智能压浆法，压浆材料宜选用专用预应力孔道灌浆料。
- 6.7.9 纵向预应力孔道注浆密实度应进行压浆效果检测，检测方法见附录 B，抽检比例不应少于孔道总数的 5 %，且不应少于 5 束，现场兼顾预应力孔道类型随机抽检；当以综合注浆指数判定注浆密实质量等级 II、III 类占抽检总数的 50 % 及以上时，应采用冲击弹性波定性检测法双倍抽检。若仍出现上述情况时，则应全检。
- 6.7.10 齿板上的锚具压浆后应及时封锚，封锚宜采用封锚混凝土。
- 6.7.11 竖向预应力钢筋张拉后应实测锚下有效预应力，合格后及时压浆。
- 6.7.12 竖向预应力采用精轧螺纹钢时，锚下有效预应力检测方法应按 JT/T 1265 执行，检测频率应为 100 %。

6.8 冬期施工

- 6.8.1 主梁悬臂节段不应进行冬期施工。

6.8.2 室外昼夜日平均气温连续 5 d 稳定低于 5℃时, 钢筋、预应力、混凝土等工程应采取冬期施工的措施。严寒期不宜进行施工。

6.8.3 冬期施工应预先做好冬期施工组织计划及技术准备工作, 并经方案专项评审认可后方可实施。

6.8.4 冬期施工混凝土的浇筑与养护宜选用自发热保温模板体系, 冬期施工不宜进行预应力管道压浆。

6.9 其它

6.9.1 为减轻自重, 桥面混凝土调平层宜采用轻骨料混凝土。

6.9.2 加强过渡墩梁底楔形块尺寸放样, 梁底楔形块底面纵、横坡不应大于 0.5%。

6.9.3 施工过程中应加强质量控制, 当出现大面积漏筋、缺棱掉角、混凝土裂缝、蜂窝、麻面或孔洞、底板崩裂时, 应立即停止混凝土施工, 组织召开专项技术论证会研究确定处理方案。

6.9.4 安全施工和环境保护除符合 JTG/T 3650、JTG F90 外, 并应符合下列规定:

- a) 挂篮安装作业过程中应遵守相关操作规范, 并应安排专人指挥调度;
- b) 挂篮推进全过程应设专业监护人监督挂篮操作安全;
- c) 挂篮应设置防止人员坠落的栏杆和围挡, 操作平台宜采用全封闭形式, 防护栏杆外缘及挂篮底部应设置安全网;
- d) 挂篮及已浇筑桥体上放置的设备、机具应有临时固定措施, 且宜与临空边缘保持一定距离;
- e) 各工序施工前应加强对作业人员的培训, 严禁在高空向下投掷物品;
- f) 当跨越既有铁路、航道、公路等线路时, 应根据国家相关规定采取保护措施, 确保通行安全。

7 施工监控

7.1 一般规定

7.1.1 连续刚构桥应加强施工监控, 确保成桥结构受力和线形符合设计要求。

7.1.2 桥梁施工监控应包括控制计算、施工监测和数据分析与反馈控制。

7.1.3 桥梁施工监控应依据批准的设计文件和施工方案编制监控方案。

7.1.4 桥梁施工监控宜成立监控工作小组, 并贯穿施工全过程, 监控流程可参考附录 C。

7.1.5 施工监控指令宜由监控单位发出, 监理单位下达、监督, 施工单位签收、落实。

7.2 控制计算

7.2.1 施工控制计算应包括设计符合性计算、事前仿真计算、实时仿真计算。

7.2.2 控制计算宜采用杆系单元有限元前进(正装)分析方法。

7.2.3 控制计算可不考虑材料非线性和几何非线性影响, 但应计入混凝土收缩徐变的影响。

7.2.4 控制计算成果应包括施工过程中各阶段和运营 10 年的桥梁几何状态和受力状态计算结果。

7.3 施工监测

7.3.1 施工监测仪器仪表应经过检定或校准, 精度应满足桥梁施工监控的需要。

7.3.2 桥梁施工过程中, 应选择代表性的截面对基础沉降、墩柱竖直度和应力、主梁线形和应力进行监测。施工监控测点布置可参考附录 D。

7.3.3 主梁悬浇施工过程中, 施工监控单位应每月对箱室外和箱室内标高基准控制点进行校核复测, 复测偏差应满足测量精度要求。

7.3.4 主梁每一施工步骤完成前后应对控制截面应力、标高和温度进行测量; 主梁合龙前三个节段应对标高进行连续观测; 合龙段施工前应对合龙口标高进行不少于 48 h 连续观测; 桥梁合龙后, 应对全

桥梁顶标高按不大于 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 方格网控制进行测量。除合龙口需持续观测外，其余各施工步骤应力和标高宜在温度较为稳定的清晨测量。

7.3.5 墩顶梁段支架（托架）、边跨现浇段支架（托架）和挂篮预压过程应实测支架（托架）、挂篮的弹性变形、非弹性变形和承重构件应力，掌握结构受力和变形，为预拱度的设置提供依据。

7.4 数据分析与反馈控制

7.4.1 数据分析和反馈控制包括数据真伪性分析与识别、当前桥梁施工状态分析、后续施工过程及成桥状态预测、可能的监控调整或工艺调整措施等方面，反馈控制以指令的形式执行。

7.4.2 数据分析应考虑临时荷载、结构尺寸及预应力偏差、弹性模量、收缩徐变、温度荷载、风荷载、雪荷载、基础沉降等可能存在的因素。

7.4.3 施工过程中发现监测数据超过容许误差范围时，应立即向施工现场负责人反馈，必要时发出停工指令，同步查找原因并采取必要的对策。

7.4.4 悬臂施工过程中立模或安装标高误差，应以当前施工状态为基础，根据误差影响预测分析结果，对后续的悬臂施工过程中立模或安装标高进行反馈控制。

7.4.5 桥梁施工工序、工艺调整应满足以下基本原则：

- a) 预应力张拉批次与张拉时机必须保证主梁上下缘应力符合规范要求；
- b) 主梁合龙阶段顶推力必须保证桥墩纵向应力与主梁应力符合规范要求。

7.5 控制标准及监控成果

7.5.1 主梁成桥预拱度宜按如下原则设置：次中跨及中跨跨中设置为 $L/1500$ ，边跨在距边主墩 $3L/8$ 处设置为 $L/6000$ ，其余断面按余弦函数曲线进行拟合。

7.5.2 为改善行车舒适性，桥面预拱度宜通过混凝土调平层厚度进行调整，原则如下：次中跨及中跨跨中预拱度宜控制在 $L/3000 \sim L/2000$ ，边跨可不调整。

7.5.3 成桥时，护栏预拱度宜与桥面预拱度一致。

7.5.4 主梁各施工节段立模标高偏差应控制在 $\pm 5\text{ mm}$ 之内，结构应力偏差宜控制在 $-20\% \sim +10\%$ 。

7.5.5 桥梁监控成果应包含施工监控大纲（或实施方案）、施工监控计算书、施工监控阶段报告以及施工监控总报告。

8 质量检验

8.1 公路预应力混凝土连续刚构桥施工质量检验除应满足 JTG F80/1 外，还包括纵向锚下预应力值、竖向锚下预应力值和纵向预应力孔道密实度。公路预应力混凝土连续刚构桥施工质量检验指标见表 2。

表2 悬浇箱梁质量检验指标

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查办法和频率
1	混凝土强度 (MPa)		在合格标准内	按 JTG F80/1 附录 D 检查
2	轴线偏位 (mm)	$L \leq 100 \text{ m}$	≤ 10	全站仪: 每个节段测 2 处
		$L > 100 \text{ m}$	$\leq L/10000$	
3	顶面高程 (mm)	$L \leq 100 \text{ m}$	± 20	水准仪: 每个节段测 2 处
		$L > 100 \text{ m}$	$\pm L/5000$	
4	断面尺寸 (mm)	高度	$+5, -10$	尺量: 每个节段测 1 个断面
		顶宽	± 30	
		底宽	± 20	
		顶、底、腹板厚	$+10, -0$	
5	合龙后同跨对称点高程差 (mm)	$L \leq 100 \text{ m}$	≤ 20	水准仪: 每跨梁底对称点测 6 处
		$L > 100 \text{ m}$	$\leq L/5000$	
6	顶面横坡 (%)		± 0.15	水准仪: 每节段测 2 处
7	平整度 (mm)		≤ 8	2 m 直尺: 测竖直、水平两方向, 每节段每侧面测 1 处
8	相邻节段错台		≤ 5	测底面和侧面
9	纵向预应力		见附录 A.8 条	反拉法: 不少于预应力筋 15 %
10	预应力孔道密实度		见附录 B.5 条	冲击弹性波法: 不低于孔道总数 5 %, 且不少于 5 束
11	竖向预应力		不应低于设计张拉控制应力的 70 %	频率法: 100 %检测

8.2 对交工验收提出的工程质量缺陷等遗留问题, 应采取有效措施, 在规定的期限内处理完成。

附 录 A
(规范性)
反拉法锚下预应力检测技术

A.1 一般规定

- A.1.1 锚下预应力（含纵向预应力、桥面板横向预应力）检测宜采用反拉法。
- A.1.2 检测技术基本原理见图A.1所示。以钢绞线作为研究对象，根据力的平衡原理， $F_1 + F_2 = F_3$ 。反拉检测时，通过测试反拉过程中钢绞线的荷载—位移变化特征，可得实际锚下预应力值。

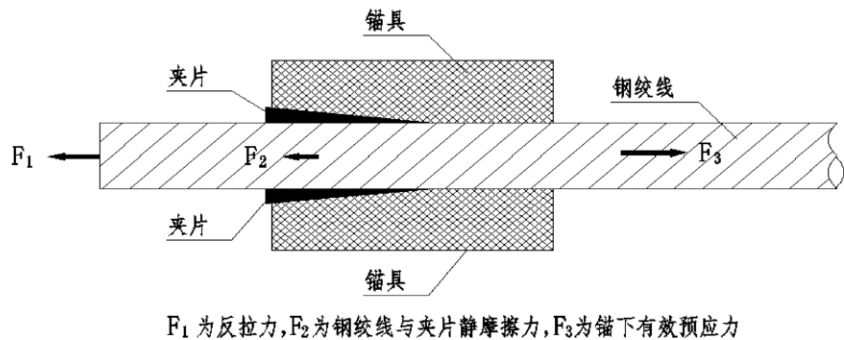


图 A.1 反拉法预应力无损检测示意图

- A.1.3 反拉加载设备和测量设备宜采用一体化智能检测设备，自动记录和保存测力值、位移量等检测数据。
- A.1.4 现场检测出现异常时，应立即停止检测并查明原因，采取有效措施排除异常并具备检测条件后，可重新进行检测。
- A.1.5 反拉法检测时间宜在张拉施工完成后24 h内、最长不超过48 h，且未切割预应力筋，孔道注浆前完成。
- A.1.6 锚下有效预应力计算时应扣除锚固损失和弹性压缩损失。
- A.1.7 检测时优先采用逐根反拉检测单根钢绞线的有效预应力。

A.2 质量评定

- A.2.1 检测结果满足表A.1的控制要求评定为合格。

表 A.1 有效预应力不均匀度的控制要求

项目	允许偏差（%）
单根/整束锚下有效预应力偏差	±5
有效预应力同束不均匀度	5
各束有效预应力同断面不均匀度	2

- A.2.2 检测不合格时，应在调整张拉后复检。

附 录 B
(规范性)
纵向预应力孔道注浆密实度检测技术

B.1 一般规定

B.1.1 连续刚构桥纵向预应力孔道密实度检测宜采用冲击回波法。冲击回波法可直接采用定位法进行检测；也可先采用定性法检测，当孔道注浆缺陷指标超出规定标准时，再采用定位法进行检测，确定缺陷位置及长度，必要时还可采用内窥镜法进一步验证。

B.1.2 宜在注浆材料强度达到设计强度80 %后检测。

B.1.3 检测前应了解施工现场，收集施工图纸、成孔工艺、注浆资料及施工记录等现场信息，确定抽检孔道。

B.2 质量评定

B.2.1 纵向预应力孔道注浆密实度质量检测方法：

- a) 综合定性注浆指数 I_f 判定法：
- 1) 当 $I_f \geq 0.95$ 时，注浆密实或基本饱满；
 - 2) 当 $0.8 \leq I_f < 0.95$ 注浆基本饱满，存在缺陷可能性小，选择性定位检测；
 - 3) 当 $I_f < 0.8$ 时；注浆存在缺陷可能性大，应定位检测。
- b) 冲击回波定位检测法（等效波速法）：
- 1) 当 $t < t_z$ ，存在较大偏差，应重新检测分析并对 t_z 进行复核；
 - 2) 当 $t_z \leq t < (3t_z + t_w)/4$ ，注浆密实或基本密实；
 - 3) 当 $(3t_z + t_w)/4 \leq t < (t_z + t_w)/2$ ，注浆存在缺陷；
 - 4) 当 $(t_z + t_w)/2 \leq t < t_w$ ，注浆存在严重缺陷；
 - 5) 当 $t \geq t_w$ ，测点处注浆存在缺陷，且此处混凝土存在浇筑不密实、空洞等内部缺陷。

B.2.2 纵向预应力孔道注浆密实度质量采用综合注浆指数 I_f 、最长注浆缺陷长度 $L_{\max}$ 、注浆不密实度 β 三项指标综合判定，按最不利状况判定质量等级，见表B.1。

表 B.1 纵向预应力孔道注浆密实度等级判定表

质量等级	综合注浆指数 I_f	最长注浆缺陷长度 $L_{\max}$	注浆不密实度 β	特征
I 类	$I_f \geq 0.95$	/	/	密实或基本密实
II 类	$0.8 \leq I_f < 0.95$	$0.3 \text{ m} \leq L_{\max} < 3 \text{ m}$	$2 \% \leq \beta < 12 \%$	存在缺陷，应局部处治
III 类	$I_f < 0.8$	$L_{\max} \geq 3 \text{ m}$	$\beta \geq 12 \%$	严重缺陷，应整体处治

其中注浆不密实度 β 按式（1）计算。

$$\beta = L_{\text{sum}} / L_0 \times 100\%$$

附录 C
(资料性)
施工监控流程图

桥梁施工监控流程图见图C.1。

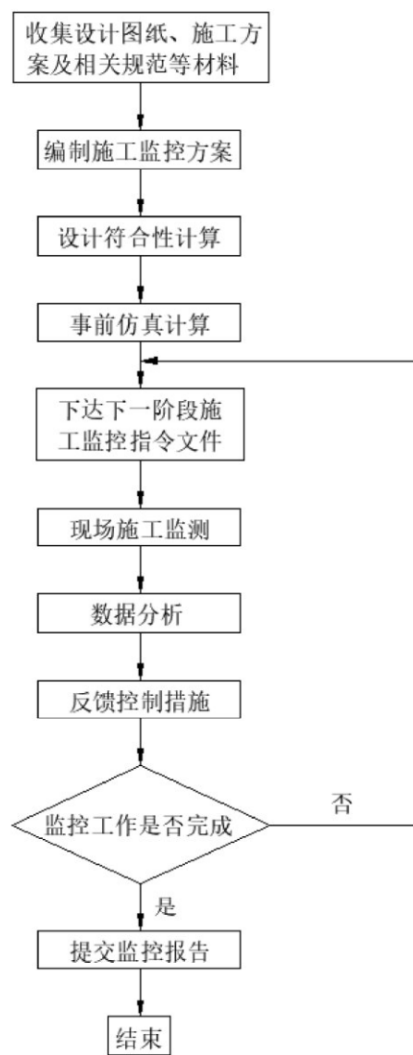


图 C.1 桥梁施工监控工作流程图

附 录 D
(资料性)
连续刚构桥施工监控测点布置

D.1 桥墩监控测点布置原则

- D.1.1 桥梁墩柱竖直度监测截面宜设在分段施工的自然面。
- D.1.2 墩身应力监测截面宜选择墩底等截面角点附近，每个截面的测点不应少于4个。

D.2 主梁监控测点布置原则

- D.2.1 主梁标高监测截面应布置在每个节段的悬臂端，测点横断面位置见图D.1，测点数量应符合以下规定：
- a) 主梁标高测点应设置在各梁段上表面的前端，每个截面的测点数量不宜少于 3 个；
 - b) 立模标高测点应设置在各梁段模板的前端，每个截面的测点数量梁顶不宜少于 3 个、梁底不宜少于 2 个。
- D.2.2 主梁应力测试截面数量应根据跨径确定，宜选择连续墩墩顶主梁根部、中跨及次中跨 1/4 和 1/2 截面、边跨 3/8 截面、边跨支点截面。其中连续墩墩顶主梁根部、中跨及次中跨 1/4 和 1/2 截面、边跨 3/8 截面应布设顶底缘正应力测点，每个断面应力测点不得少于 4 个。连续墩墩顶主梁根部和边跨支点处应布设应变花，每个腹板的两侧分别不少于一组。主梁应力测点布置见图D.2。
- D.2.3 主梁温度测点可布置在主跨 1/4 跨径截面。主梁温度测点可单独设置，也可与应力测点一并考虑。

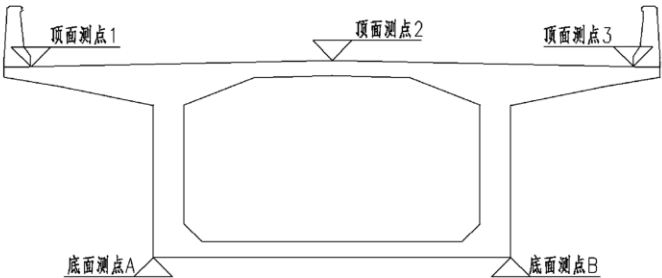


图 D.1 标高测点横断面布置

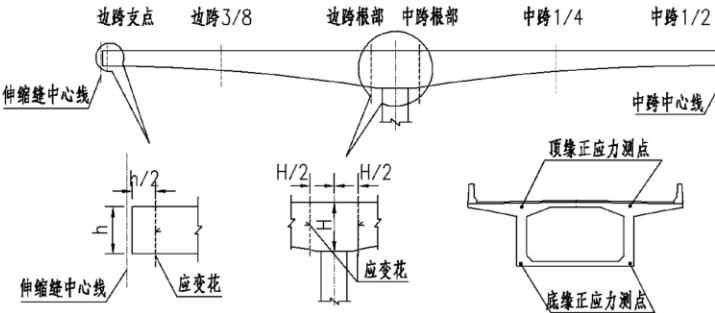


图 D.2 主梁应力测点布置示意图