



T/CECS G XXXX: 202X

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路装配式梁桥预应力工程质量
控制技术规范

Technical Specification for Prestress Engineering Quality Control
of Highway Precast Concrete Beam Bridges

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路装配式梁桥预应力工程质量 控制技术规程

Technical Specification for Prestress Engineering Quality Control of
Highway Precast Concrete Beam Bridges

T/CECS G: XXX-XX-20XX

主编单位：交通运输部公路科学研究院

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：20XX年XX月XX日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2024 年第二批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2024]279 号）的要求，由交通运输部公路科学研究院承担《公路装配式梁桥预应力工程质量控制技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

编制组经调查研究，总结实践经验，在广泛征求意见的基础上，完成了本规程的编写工作。

本规程分为 8 章，主要内容包括：1 总则、2 术语、3 材料及设备、4 预应力系统安装、5 预应力张拉、6 孔道压浆、7 质量检验、8 信息化管理。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由交通运输部公路科学研究院负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或丁罕（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；传真：010-62079581；电子邮箱：1143094892@qq.com），以便修订时研用。

主编单位：交通运输部公路科学研究院

参编单位：中交二航局第四工程有限公司

中路高科交通检测检验认证有限公司

北方工业大学

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 材料及设备	3
3.1 一般规定	3
3.2 预应力筋	3
3.3 锚具、夹具和连接器	3
3.4 管道	4
3.5 压浆材料	5
3.6 智能张拉系统	5
3.7 智能压浆系统	6
4 预应力系统安装	9
4.1 一般规定	9
4.2 预应力孔道制作	9
4.3 预应力筋安装	10
4.4 锚垫板安装	10
5 预应力张拉	11
5.1 一般规定	11
5.2 准备工作	11
5.3 张拉作业	11
5.4 张拉质量控制	12
5.5 异常情况处理	12
6 孔道压浆	14
6.1 一般规定	14
6.2 配合比设计	14
6.3 准备工作	14
6.4 压浆作业	15
6.5 压浆质量控制	15
6.6 封锚	16
7 质量检验	17
7.1 一般规定	17
7.2 锚下有效预应力检测	17
7.3 孔道压浆密实度检验	18
8 信息化管理	20
8.1 一般规定	20
8.2 系统数据存储	20
8.4 原材料数据管理	20
8.5 施工过程数据管理	21

1 总则

1.0.1 为加强公路装配式梁桥预应力工程质量控制，规范预应力施工制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路装配式混凝土梁桥后张法的预应力施工和质量检验。

1.0.3 公路装配式梁桥预应力工程质量控制除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语

2.0.1 智能张拉系统 intelligent tensioning system

指基于自动化控制技术，对预应力筋张拉过程中的张拉力、引伸量等关键参数进行自动控制与实时监测，并实现数据实时监测、存储与传输的专业设备系统。该系统由动力、传感、控制及辅助四大子系统构成。

2.0.2 智能压浆系统 intelligent grouting system

指基于自动化控制技术，对预应力管道压浆全过程的原材料重量、流量、流动度、搅拌时间等关键参数进行自动化控制与实时监测，并实现数据实时监测、存储、传输，同时具备废料收集功能的专业设备系统。该系统主要由制浆储浆、抽真空及压浆、传感、控制和辅助五大子系统构成。

2.0.3 张拉压浆信息化管理系统 tensioning and grouting information management system

指基于信息技术的集成化管理工具，对张拉压浆施工全过程（含原材料检测、工前准备、张拉、压浆、质量检验等关键环节）核心技术参数实时采集、存储、处理及分析，通过数据驱动实现施工高效管控与质量科学决策。

3 材料及设备

3.1 一般规定

3.1.1 预应力混凝土工程中的钢筋张拉和后张孔道压浆应采用智能张拉系统和智能压浆系统，应采用信息化施工管理。

3.1.2 智能张拉系统、智能压浆系统宜完成设备与监管单位、建设单位认可的信息化管理平台间的数据接口测试。

3.2 预应力筋

3.2.1 预应力筋材料性能要求应符合下列规定：

1 预应力混凝土结构所采用的钢绞线应符合现行《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224）的规定；螺纹钢筋应符合现行《预应力混凝土用螺纹钢筋》（GB/T 20065）的规定。

2 预应力筋进场时的分批验收、检验，应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的相关要求。

3 同批钢绞线弹性模量的偏差应控制在 $\pm 5\text{GPa}$ 以内，各批钢绞线弹性模量的偏差应控制在 $\pm 10\text{GPa}$ 以内。

3.2.2 预应力筋储存应符合下列规定：

1 预应力筋应统一规划存放和加工场地，减少转运。

2 预应力筋应保持清洁，存放和搬运过程中应避免机械损伤和有害的锈蚀。

3 预应力筋进场后应存放在仓库内，仓库的环境条件应符合产品说明书的要求，存放时间不宜超过6个月（从生产日期起算），超过6个月的应重新检验合格后方可使用。

3.2.3 预应力筋制作应符合下列规定：

1 预应力筋的下料应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定，宜借助信息化（BIM）技术复核下料长度的准确性。

2 预应力筋由多根钢绞线组成时，宜采用整体穿束机进行穿束，编束时应逐根理顺，每隔1~1.5m捆绑牢固。

3.3 锚具、夹具和连接器

3.3.1 锚具、夹具和连接器应按设计规定采用，其性能和质量应符合现行《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB/T 14370）、《公路桥梁预应力钢绞线用锚具、夹具和连接器》（JT/T 329）的规定。

3.3.2 锚具、夹具和连接器进场检验应符合下列规定：

- 1 锚具、夹具和连接器应按现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）进场检验。
- 2 在全面使用前，应进行片式锚具的锚口摩阻损失测试和预应力筋内缩值测试，结果应符合设计参数。
- 3 应对不同类型的孔道进行至少 2 个孔道的摩阻测试和锚圈口摩阻测试；梁板数量超过 500 片时，每 500 片进行一次孔道和锚圈口摩阻测试；对于长度大于 60m 的孔道应适当增加摩阻测试的数量。

3.3.3 锚具、夹具和连接器储存应符合下列规定：

- 1 锚具、夹具和连接器在存放、搬运时应妥善保管，不应侵蚀、沾污、遭受机械损伤、混淆和散失，宜按不同厂家、类型分区域存放。
- 2 锚具、夹具和连接器的存储时间不应超过 12 个月。

3.4 管道

3.4.1 内径不小于 10cm 的连接用金属波纹管的钢带厚度（壁厚）不应小于 0.5mm。

3.4.2 管道的进场检验应符合下列规定：

- 1 管道进场应按现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）规定的检验项目、组批规则进行分批检验。
- 2 金属波纹管和塑料波纹管的制作材料、性能、质量及检验试验方法应分别符合现行《预应力混凝土用金属波纹管》（JG 225）、《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》（JT/T 529）的规定。

3.4.3 管道的储存应符合下列规定：

- 1 塑料波纹管应防止暴晒并远离热源及油污和化学品污染源，并进行支垫，堆放高度不应超过 2m。
- 2 金属波纹管应注意防潮、通风，并进行支垫，堆放高度不应超过 3m。

3.5 压浆材料

3.5.1 压浆材料的的质量和性能应符合现行《公路工程预应力孔道压浆材料》(JT/T 946)的规定,应按下列规定进行进场检验:

1 一次进场的压浆料按每 50t 为一个检验批,不足 50t 的按一批计;压浆剂按每 5t 为一个检验批,不足 5t 的按一批计。

2 在每个检验批中随机从不少于 10 袋压浆料或压浆剂中抽取样品,压浆料取样量不少于 15.0kg,压浆剂取样量不少于 20.0kg 水泥对应所需的数量。

3 压浆材料的检测项目应符合现行《公路工程预应力孔道压浆材料》(JT/T 946)的规定。

3.5.2 压浆材料的储存应符合下列规定:

1 压浆材料存放时应采取安全防护措施,宜存放在仓库内,做到通风、干燥,防止结块,有结块时,不应使用。

2 袋装产品堆高不应大于 1.5m,不宜超过 10 袋,堆放离墙不应少于 20cm,离地面高度不应低于 20cm。

3 压浆材料的存储时间不宜超过 3 个月。

3.6 智能张拉系统

3.6.1 智能张拉系统的进场检验应符合下列规定:

1 智能张拉系统的整机性能,主要零部件和性能参数应符合《建筑施工机械与设备 预应力用智能张拉机》(JB/T 13462)和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)的规定。

2 智能张拉系统进场前其系统中的千斤顶、测力传感器、油压传感器、位移传感器、工业可编程控制器(PLC)、工业平板电脑等主要部件应具备出厂质量检验合格证书,各类传感器应具备经有资质的检定机构配套检定合格后的检定证书,并符合《建筑施工机械与设备 预应力用智能张拉机》(JB/T 13462)的规定。

3.6.2 智能张拉设备的校准应符合下列规定:

1 预应力用液压千斤顶与数控电动压浆泵机控制系统应在国家授权的法定计量技术机构进行整体配套标定、校准,标定、校准周期不应超过 3 个月。

2 智能张拉系统的压力传感器和位移传感器处于下列情况之一时,应进行校

准:

- 1) 首次使用前;
 - 2) 设备距上次校准时间达到 6 个月时;
 - 3) 设备距上次校准使用次数达到 3000 次时;
 - 4) 张拉设备异常、检修或更换配件后。
- 3 液压千斤顶应与智能泵站、控制子系统配套校准,校准周期不超过 3 个月。

3.6.3 智能张拉系统应满足下列要求:

- 1 张拉力值的精度不应低于 0.5%,张拉力控制偏差度应控制在 $\pm 1.0\%$ 以内,持荷时间内张拉力的波动误差不应大于 0.5%。
- 2 应能对各千斤顶之间的力值同步控制,同步误差应控制在 $\pm 2\%$ 以内。
- 3 位移传感器误差应控制在 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内,测量误差应控制在 $\pm 1\%$ 以内,示值精度不应大于 0.5%。
- 4 温度传感器示值误差应控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。
- 5 时间的精度应达到 $\pm 0.1\text{s}$ 。

3.6.4 智能张拉系统的关键信息上传应满足下列要求:

- 1 上传信息应确保数据安全与保密,且防篡改。
- 2 张拉力、伸长量和时间等数据应同步采集、记录和实时上传。
- 3 上传数据应涵盖从张拉准备到锚固完成的全过程数据,做到数据可追溯。

3.6.5 智能张拉系统远程监控功能应具备对张拉应力、伸长量、加载速率、停顿点、持荷时间的监控,并根据设定的阈值进行预警。

3.7 智能压浆系统

3.7.1 智能压浆系统的进场检验应符合下列规定:

- 1 制浆设备的整机性能,主要零部件和性能参数应符合《建筑施工机械与设备 预应力用自动压浆机》(GB/T 35014)、《预应力孔道压浆料用制浆设备》(JT/T 1466)和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)的规定。
- 2 压浆设备的整机性能,主要零部件和性能参数应符合《建筑施工机械与设备 预应力用自动压浆机》(GB/T 35014)和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)的规定。
- 3 智能压浆系统进场前其系统中的计量器皿、仪表、真空泵、压浆泵、电机

等关键部件均应具备出厂质量检验合格证书，各类仪表及传感器应具备经国家授权的法定计量技术机构配套检定合格后的检定证书，并符合《建筑施工机械与设备 预应力用自动压浆机》（GB/T 35014）和《预应力孔道压浆料用制浆设备》（JT/T 1466）的规定。

3.7.2 智能压浆系统使用的称重传感器、压力传感器应满足《称重传感器》（GB/T 7551）、《压力传感器（静态）》（JJG 860）的要求，压力仪表应满足《抗震压力表》（JB/T 6804）的规定。

3.7.3 高低速搅拌桶的称重装置和放浆称量装置具备以下条件之一者，应重新校准：

- 1 距上次校准时间达到 6 个月时；
- 2 距上次校准使用次数达到 5000 个管道；
- 3 设备异常、检修或更换配件后。

3.7.3 智能压浆设备的压力测量装置和流量监测装置具备以下条件之一者，应重新校准：

- 1 距上次校准时间达到 12 个月时；
- 2 设备异常、检修或更换配件后。

3.7.4 智能压浆系统应满足下列要求：

- 1 压力传感器的精度不应低于 0.5 级，压力控制精度应控制在 $\pm 0.05\text{MPa}$ 以内，持压过程中波动值不应超过 0.1MPa 。
- 2 流量传感器的精度不应低于 0.5 级。
- 3 称量精度不应低于 0.5%，上料控制精度不应低于 1%。
- 4 水胶比测量仪测量精度不应超过 $\pm 2\%$ 。
- 5 时间的精度应达到 $\pm 0.1\text{s}$ 。
- 6 浆液温度的精度应达到 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

3.7.5 智能压浆系统的关键信息上传应满足下列要求：

- 1 上传信息应确保数据安全与保密，且防篡改。
- 2 压浆量、浆液密度、真空度和时间等数据应同步采集、记录和实时上传。
- 3 上传数据应涵盖从浆液准备到压浆完成的全过程数据，做到数据可追溯。

3.7.6 智能压浆系统远程监控功能应具备对压浆压力、流量、温度、稳压时间

等的监控，并根据设定的阈值进行预警。

征求意见稿

4 预应力系统安装

4.1 一般规定

4.1.1 预应力管道定位宜采用 BIM 技术、三维激光扫描技术等进行三维坐标的检查核对。

4.1.2 钢筋骨架（含预应力管道）应采用胎架定位安装，定位焊接时应采用二氧化碳保护焊，且不得损伤钢筋和波纹管。

4.1.3 钢筋骨架移运时，应按设计吊点起吊，轻吊就位，避免管道移位。

4.1.4 混凝土浇筑前，应对管道定位和密封性进行复查。

4.2 预应力管道安装

4.2.1 宜在胎架上预设定位卡具，控制管道平面位置和高程；管道分段安装时，宜采用胎架限位保持接头顺直，不得出现折角。

4.2.2 固定各种管道用的定位钢筋间距，应符合以下规定：

- 1 对钢管不应大于 1.0m，波纹管不应大于 0.8m。
- 2 位于曲线上的管道和扁平波纹管不宜大于 0.4m。
- 3 对于盖梁横向、纵向波纹管的交叉位置，定位钢筋间距不宜大于 0.3m。

4.2.3 管道接头处的连接管宜采用大一级直径的同类管道，其长度宜为被连接管道内径的 5~7 倍且不小于 300mm，接头内两端的旋入长度宜相等。

4.2.4 管道安装允许偏差应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 管道安装允许偏差

项目		允许偏差	
墩柱	管道坐标	孔道中心水平/竖向位置 (mm)	5
	相邻孔道间距 (mm)		3
	管道顺直度		$\leq 3\text{mm}/2\text{m}$ 且全长累计偏差 $\leq L/1000$ (L 为管道长度)
盖梁	管道坐标	孔道中心水平/竖向位置 (mm)	5
	相邻孔道间距 (mm)		3
梁板	管道坐标	梁长方向 (mm)	30
		梁宽方向 (mm)	10

		梁高方向 (mm)	5
	管道间距	同排 (mm)	10
		上下层 (mm)	10

4.3 预应力筋安装

4.3.1 墩柱预应力筋安装应符合下列规定：

- 1 墩柱拼装时，应对孔道口做好防护，严禁环氧黏结剂进入预应力孔道内部。
- 2 穿束前，应检查对接处是否存在错台或毛刺。

4.3.2 盖梁预应力筋安装应符合下列规定：

- 1 分段式盖梁拼装后应采用有效的固定措施，避免吊装震动导致孔道错位。
- 2 拼装时，应对孔道口做好防护，严禁环氧黏结剂进入预应力孔道内部。
- 3 穿束前，应检查对接处是否存在错台或毛刺。

4.3.3 梁板预应力筋安装应符合下列规定：

- 1 采用蒸汽养护时，养护完成前不应安装预应力筋。
- 2 应采用压力水冲出波纹管孔道中杂物，并采用过滤的压缩空气将孔道中的积水吹干。
- 3 应采用编束后整体穿入的方式进行穿束，宜视场地条件使用整体穿束机。

4.4 锚垫板安装

4.4.1 锚垫板的安装精度应符合表 4.4.1 的规定。

表 4.4-1 锚垫板安装允许偏差

项目	允许偏差
位置精度 (中心与预应力孔道中心的偏差)	±3mm
角度精度 (安装垂直度)	±1°
止口断面平面度	±0.5mm

5 预应力张拉

5.1 一般规定

5.1.1 智能张拉设备应进行“张拉力-伸长量双参量实时闭环控制”，应实施偏差超限自动报警与停机机制。

5.1.2 智能张拉施工队伍应由专业化人员组建，管理和作业人员相对固定，施工前应进行技术和安全交底，并完成岗前培训，经考核通过后方可上岗。

5.1.3 施工现场应符合安全生产规定，具备有效的安全防护措施。

5.2 准备工作

5.2.1 张拉前，应按本规程 3.3.2 条的要求进行摩阻测试。

5.2.2 张拉前应进行张拉力和伸长量的复核，预应力筋的弹性模量、孔道摩阻及锚圈口摩阻应选用实测数值，并向设计方反馈确认，相关计算应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

5.2.3 张拉前应结合结构力学参数与施工工况开展仿真分析，模拟分级张拉过程，对比不同张拉顺序下结构的受力与变形，确定安全高效的张拉顺序及分级加载方案，经设计确认后执行。

5.2.4 使用智能张拉系统时应安排专人对系统各项参数的设置进行复核。

5.2.5 张拉前应检查核对混凝土强度、龄期及弹性模量的检测报告，确认其符合设计要求及现行规范规定；同时应对梁体外观质量进行检查验收，并重点核查锚下混凝土的密实性、无裂缝等质量状况，若存在缺陷应及时修复，修复合格后方可进行张拉作业。

5.3 张拉作业

5.3.1 墩柱张拉应符合下列规定：

1 多节段拼装时，应遵循“由下至上、对称同步”原则，使用智能张拉系统时相邻节段张拉力差应 $\leq 3\%$ 。

2 采用精轧螺纹钢筋时应进行二次张拉，并做好相应的记录。

5.3.2 盖梁张拉应符合下列规定：

1 盖梁采用节段安装时，临时预应力钢筋和永久预应力钢筋的布置、预应力钢

筋类型、张拉顺序、张拉力应严格按照设计执行。

2 临时预应力应满足反复多次张拉的作业要求，并在永久预应力张拉完成且波纹管内灌浆料强度达到设计要求后，方可拆除。

5.3.3 梁板张拉应符合下列规定：

1 张拉应先长束后短束并遵循对称张拉原则，横向多束预应力筋按照“先下后上、由中向边”的顺序张拉。

2 采用智能张拉设备时，应对停顿点的两侧张拉力和引伸量进行监控。

5.4 张拉质量控制

5.4.1 应进行混凝土强度、弹性模量试验，结合工程首件确定张拉时间。

5.4.2 预应力张拉速率宜按照张拉控制力的（10~25%）/min 控制，钢束长度超过 45m 的曲线束或直线长束宜按照张拉控制力的 10%/min 控制。

5.4.3 锚固阶段张拉段锚具变形、预应力筋的回缩量 and 接缝压缩值，应不大于设计规定或不大于现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）中表 7.6.3 所列的容许值。

5.4.4 张拉设备应与信息化管理系统后台联动，张拉作业时应对张拉力和伸长量，出现问题应采取措施予以处理。

5.4.5 应采用随机抽检方式，对智能张拉设备的自动测量数值与人工测量结果进行比对，抽检频率每月不应少于 1 次。

5.5 异常情况处理

5.5.1 预应力筋断裂或滑脱时，应立即停止张拉；经核查确认结构安全无误后，更换受损预应力筋，正确安装锚具，重新张拉时严格控制张拉力。

5.5.2 预应力筋出现伸长值异常时，应采取下列措施：

- 1
- 2 对预应力筋的弹性模量进行重新检测。
- 3 张拉千斤顶、压力表是否配套、校准；。
- 4 检查孔道，清理障碍物，必要时对孔道进行摩阻测试并采取措施减小摩阻。
- 5 梳理预应力筋，确保其在孔道内顺直。

5.5.3 预应力筋出现滑丝或断丝时，应采取下列措施：

- 1 更换质量合格的锚具。
- 2 对预应力筋表面进行清理和打磨，增加其与夹片的摩擦力。
- 3 调整张拉设备和锚具的安装位置。

5.5.4 混凝土构件出现裂缝时，应立即停止张拉并排查原因，确认结构安全且构件缺陷修复处理合格后，方可重新进行张拉作业。

5.5.5 预应力筋张拉出现张拉力不稳定时，应立即停止张拉，检查油压系统和压力表工作状态；仍未解决问题时，应重新进行标定。

征求意见稿

6 孔道压浆

6.1 一般规定

6.1.1 预应力孔道压浆所需的水、电应供应可靠，必要时应配置水源和电源。

6.1.2 智能压浆施工队伍应由专业化人员组建，管理和作业人员相对固定，施工前应编制压浆实施方案、进行技术和安全交底，并完成岗前培训，经考核通过后方可上岗。

6.1.3 施工现场应符合安全生产规定，具备有效的安全防护措施。

6.1.4 制备浆液和压浆过程中，应减少扬尘，废弃浆液应集中处理，避免造成环境污染及沾污结构或构件。

6.2 配合比设计

6.2.1 应按照现行《公路工程预应力孔道灌浆料（剂）》（JT/T 946）的相关规定制备浆液。

6.2.2 浆液性能指标应符合现行《桥梁后张预应力孔道压浆技术规程》（T/CECS G: J51-02）的相关规定。

6.2.3 应使用现场制浆、压浆等施工设备，对通过验证的配合比进行工艺试验。

6.3 准备工作

6.3.1 应清除孔道内影响压浆密实性和浆液性能的物质，检查确认孔道内无积水、碎屑或阻碍压浆的阻塞物。当清除、冲洗后，孔道内不应留有积水。

6.3.2 检查孔道是否存在破损，存在破损的应进行修复处理。

6.3.3 应安排专人对智能压浆系统各项参数的设置进行复核和设备调试，确认压浆设备处于正常工作状态。

6.3.4 现场制浆、压浆设备及连接管路使用前，应清理影响浆体性能的灰尘、残渣和积水等杂质。

6.3.5 应对检查管、排气管、进浆口、出浆口进行检查，设有排水管的应排除孔道中的水分。

6.3.6 待预应力筋锚固稳定后，宜采用封锚材料封闭锚具、锚垫板、钢绞线及夹具间的空隙，保留每个工作锚最上端一根钢绞线端头距离封锚端部 1cm，使用

PVC 管道包裹单根钢绞线，深入封锚端部约 2cm。

6.4 压浆作业

6.4.1 墩柱压浆的起始压力宜为 0.4~0.6MPa，升压速率宜为 0.1MPa/s，终止压力宜为 0.5~0.7MPa，在压浆过程中应保持压力稳定，终止压力应稳定维持 ≥ 3 min。

6.4.2 梁板、盖梁压浆应缓慢均匀的进行，压浆速率宜为 20L/min~30L/min，不得中断，回到存储罐的浆液流动度与规定值相同时，关闭阀门，压力不小于 0.5MPa，稳压 3~5min。

6.4.3 盖梁、梁板压浆采用循环压浆工艺时，循环压浆开始后应排出部分不合格浆液，然后按照从上到下的顺序两两压浆，浆液从压浆泵的出浆口进入孔道里，从另一条孔道流回存储罐。

6.5 压浆质量控制

6.5.1 应配备专门的质量检测工程师按照材料进场、制浆、压浆等阶段进行质量检查，并填写相关记录表。

6.5.2 应结合工程首件，开展循环压浆工艺和真空辅助压浆工艺的比选测试工作，固化施工工艺，优化改进智能压浆系统的各项控制参数。

6.5.3 应按选定的配合比、分批投料比例和顺序制备浆液，按质量准确计量原材料，搅拌时间不应少于工艺试验确定的时间，严禁通过增加用水量提高浆液的流动性。

6.5.4 压浆系统应与信息化管理系统后台联动，压浆结束时应立即核对实际压浆量，计算孔道浆液饱满度，出现问题应采取补压浆等措施予以处理，补压浆应符合现行《桥梁后张预应力孔道压浆技术规程》（T/CECS G: J51-02）的相关规定。

6.5.5 制备的浆液应搅拌均匀，浆液自加入拌和用水至压入孔道的时间不宜超过 40min，储浆装置中的浆液在压浆前应持续搅拌。

6.5.6 压浆作业时，试件的制作、检测及评定应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的有关规定。

6.5.7 应采用随机抽检方式，对智能压浆设备的自动测量数值与人工测量结果进行比对，抽检频率每月不应少于 1 次。

6.6 封锚

6.6.1 应按设计文件对封锚钢筋进行下料、成型，保证尺寸准确。

6.6.2 在压浆封锚前应使用与锚板尺寸匹配的模具，可使用经验证的专用标准封锚罩。

6.6.3 预封端混凝土拆模后，应采取喷淋水、喷养护剂或粘贴养护膜等方式进行养护，养护时间不应少于 7d。

6.6.4 预应力锚头的防护应符合设计要求。

征求意见稿

7 质量检验

7.1 一般规定

7.1.1 应委托具有资质的检测单位进行锚下有效预应力和压浆密实度检测。

7.1.2 应根据锚下有效预应力和压浆密实度检测结果，动态优化并持续改进施工工艺，确保预应力施工质量稳定受控。

7.2 锚下有效预应力检测

7.2.1 锚下有效预应力检测宜采用反拉法，且应在完成预应力张拉后的 24h 内进行，检测完成后应及时进行灌浆封锚。

7.2.2 锚下有效预应力检测的检测项目应包括锚下有效预应力、同束不均匀度和同断面不均匀度。

7.2.3 应对同一类型的前 2 片预制梁板和盖梁进行检测，后续生产的预制梁板和盖梁宜按 3% 的比例抽检且不应少于 3 片，抽查的构件应对所有预应力筋的有效预应力进行检测。当改变施工工艺、更换材料、张拉设备时，应视为新一类型预制梁。

7.2.4 墩柱采用精轧螺纹钢时，每种型号的锚具与预应力筋均应进行 1 次动力特征系数与预应力筋张拉关系曲线标定试验，后续生产的墩柱宜按 5% 的比例抽检且不应少于 3 个，抽查的构件应对所有预应力筋的有效预应力进行检测。当改变施工工艺、更换材料、张拉设备时，应视为新一类型墩柱。

7.2.5 张拉后的锚下有效预应力应符合表 7.2.5 的规定。

表 7.2.5 锚下有效预应力的控制要求

构件类型	有效预应力允许偏差 (%)			不均匀度 (%)		单点极值偏差 (%)
	单根	整束	断面	同束	断面	
预制梁	±6	±5	±4	±5	±2	±7
盖梁	±8	±5	±4	±5	±2	±9
墩柱	/	±5	±4	/	2	±10

7.2.6 抽检的锚下有效预应力不合格时，应对检验批内的其他未检预应力钢束加倍抽样检测，若全部合格，该检验批应判定为合格，否则应判定为不合格。

7.2.7 对锚下有效预应力检测结果判定为不合格的钢束（筋），应及时进行处理并复检。否则应分析和评价其对所在结构或构件的承载能力、安全及耐久性影响，必要时应进行跟踪观察。

7.2.8 检测过程中发生夹片破裂、锚具凹陷、预应力筋断丝或滑丝、混凝土开裂、异常声响等异常现象时，应停止加载，查明原因，确定安全后再进行检测，否则终止检测。

7.3 孔道压浆密实度检验

7.3.1 孔道压浆密实度检测宜采用冲击回波法，压浆材料的强度应达到设计强度的 70%以上方可进行压浆密实度检测，且不宜小于 7d。

7.3.2 应采取随机方式对孔道压浆密实度进行检测。检测类别分为定性检测和定位检测两类，定性检测适用于快速定性检查构件整体压浆质量，定位检测适用于管道压浆缺陷的位置、类型等判定。检测项目应包括压浆指数和压浆密实度指数。

7.3.3 定性检测时应确保梁体两端预应力钢束锚头外露。定位检测时宜重点检测锚固端、曲线孔道的最高点、浆液向下流动的倾斜段上端附近等易出现压浆不密实的区段。

7.3.4 首件预应力梁板、盖梁应对压浆孔道进行全数检测；改变施工工艺、更换压浆设备时，第 1 件预应力梁板、盖梁应全数检测；正常施工时，对不同类型预制梁板、盖梁的正弯矩区的抽检频率不应低于 3%，负弯矩区的抽检频率不应低于 10%，且不应少于 3 个构件。

7.3.5 首件预应力墩柱应对压浆孔道进行全数检测；改变施工工艺、更换压浆设备时，第 1 件预应力墩柱应全数检测；正常施工时，对不同类型预制墩柱的抽检频率不应低于 5%，且不应少于 3 个构件。

7.3.5 压浆材料的强度应达到设计强度的 70%以上方可进行压浆密实度检测，且不宜小于 7d。

7.3.6 压浆密实度的评价标准宜参照表 7.3.6 的规定。

表 7.3.6 孔道压浆密实度评价标准

评价指标	技术要求	最大连续缺陷长度 L_{max}	压浆密实度等级	检测方法	备注
------	------	--------------------	---------	------	----

压浆指数 I_f	≥ 0.95	—	I类（密实）	冲击回波法	—
	$0.80 \sim < 0.95$	—	II类（基本密实）		重点部位宜定位复检
	< 0.80	—	III类（存在缺陷）		应定位复检，且评价指标选择 D_e
压浆密实度指数 D_e	≥ 0.95	$\leq 0.4m$	I类（密实）		—
	$0.90 \sim < 0.95$	$> 0.4 \sim 2.0m$	II类（基本密实）		—
	< 0.90	$> 2.0m$	III类（不合格）		—

注：压浆指数 I_f 和压浆密实度指数 D_e 的指标计算参见附录 A。

7.3.7 对压浆密实度有怀疑的孔道，应逐一进行检测。

7.3.8 抽检的孔道存在密实度不合格时，应对检验批内的其他未检孔道加倍抽样检测，若全部合格，该检验批应判定为合格，否则应判定为不合格。

7.3.9 对压浆密实度检测结果判定为不合格的孔道，应及时进行补压浆处理并检验。否则应分析和评价其对所在结构或构件的安全、耐久性影响，必要时应进行跟踪观察。

8 信息化管理

8.1 一般规定

8.1.1 电子档案的内容数据、元数据均应符合相关标准要求，各组成要素齐全、完整、规范、可读。

8.1.2 应健全数据安全管理体系，采取措施保证数据在安全可信环境下管理，确保数据管理安全、过程可溯、长期可用、风险可控。

8.1.3 应提供可解析的试验数据文件，如不能提供试验数据文件，应具备数据输出串口、网口，并应提供数据传输协议。

8.1.4 管理系统应开放数据接口，支持远程调阅原始数据，具备数据文件在线归档、防篡改审计日志功能。

8.1.5 应定期开展数据采集设备的校准、数据校验工作，建立异常数据处理机制。

8.2 系统数据存储

8.2.1 视频数据本地存储不应少于 15 天，异常事件预警视频数据存储时间不应少于 3 个月。

8.2.2 原材料管理数据、质量管理数据等历史数据应保存至工程建设交工结束，宜移交至养护管理系统并长期存储。

8.2.3 系统数据的存储应与行业主管部门的监控平台实现对接，其数据表达和存储格式标准应符合项目所在地交通运输主管部门制定的标准。

8.3 系统数据备份

8.3.1 宜具有数据自动化备份功能和异地备份功能。

8.3.2 系统数据宜进行集中备份，应由专职系统管理员根据授权进行数据的管理、监控、配置备份系统。

8.3.3 使用备份数据进行恢复处理时应记录备份恢复过程信息，并在恢复前后校验数据一致性。

8.4 原材料数据管理

8.4.1 原材料基础数据应包含预应力工程使用的预应力筋、锚具、夹片、连接器、预应力管道、压浆材料等的数据库。

8.4.2 原材料检测数据应包含现行规范规定的全部必检项目；每批原材料应对应唯一检测报告，同步记录生产商、供应商、生产日期、出厂日期、规格型号、数量、批次编号、进场时间及工程使用部位，并按规定归档留存。

8.5 施工过程数据管理

8.5.1 施工数据管理宜进行下列工作：

1 宜借助 AI、大数据技术对施工过程的关键控制数据进行分析，利用分析结果优化施工工艺、提高施工效率和质量。

2 宜通过符合《电子签名法》、行业 CA 认证标准的安全认证、电子签名等方式，形成可用于项目竣工验收所需的电子档案。

8.5.2 预应力张拉数据管理应符合下列规定：

1 应对预应力管道摩阻试验、锚圈口摩阻试验的数据进行存储。

2 应对预应力张拉过程中的张拉应力、伸长量、加载速率、分级停顿点、持荷时间进行实时上传、自动比对、异常报警。

3 应对锚下有效预应力的检测结果进行存储。

8.5.3 预应力压浆数据管理应符合下列规定：

1 应对预应力压浆的压浆压力、流量、水胶比、持压时间、压浆开始时间和压浆结束时间进行实时上传、自动比对、异常报警。

2 应对预应力管道压浆密实度检测结果进行存储。

附录 A 孔道压浆密实度冲击回波法检测数据处理

A.1 定性检测数据处理

A.1.1 采用压浆指数 I_f 作为定性检测的评价指数。当 $I_f=1$ 时，则压浆饱满；当 $I_f=0$ 时，则未压浆。

A.1.2 根据标定的基准值或按表 A.1 取基准值，分别计算波速分项压浆指数 I_{PV} 、振幅分项压浆指数 I_{EA} 、频率分项压浆指数 I_{TF} ，由设备系统计算得出。

表 A.1 孔道压浆密实度检测基准值

检测方法	标定因子	压浆饱满时基准值	未压浆时基准值
全长波速法	波速/(km/s)	混凝土实测波速	5.01
全长衰减法	能量比（接收端/激振端）	0.02	0.20
传递函数法	频率比（接收端/激振端）	1.00	3.00
	激振频率/(kHz)	2.0	4.0

A.1.3 预应力孔道大于 70 m 时，宜采用波速分项压浆指数 I_{PV} 按公式（1）计算评价指数：

$$I_f = I_{PV} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

I_{PV} ——根据 FLPV 法（全波速法）得到的波速分项压浆指数。

A.1.4 预应力孔道不大于 70 m 时，测试条件不满足激振要求，或测试频率异常时，宜采用 I_{PV} 、 I_{EA} 两个分项按公式（2）计算评价指数：

$$I_f = (I_{EA} \cdot I_{PV})^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

I_{EA} ——根据 FLEA 法（全长衰减法）得到的振幅分项压浆指数。

A.1.5 预应力孔道不大于 70 m、测试条件和测试频率正常时，宜采用 I_{PV} 、 I_{EA} 、 I_{TF} 三个分项按公式（3）计算评价指数：

$$I_f = (I_{EA} \cdot I_{PV} \cdot I_{TF})^{1/3} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

I_{TF} ——根据 PFTF 法（传递函数法）得到的频率分项压浆指数。

A.2 定位检测数据处理

A.2.1 采用频谱等值线图分析线性标定数据得到的时域频谱主峰，并以此作为评价孔道压浆密实度的基准。

A.2.2 根据检测方向、冲击回波等效波速以及压浆缺陷长度等，按 A.2 对压浆缺陷进行分级。

表 A.2 压浆缺陷分级表

检测方向	等效波速变化	连续缺陷长度 L	缺陷分级
水平	降低小于 5%	—	无缺陷
	降低 5%~10%	$\leq 0.4\text{m}$	小规模
	降低 10%以上	$> 0.4\text{m}$	大规模
竖直	降低小于 10%	—	无缺陷
	降低 10%~15%	$\leq 0.4\text{m}$	小规模
	降低 15%以上	$> 0.4\text{m}$	大规模

A.2.3 采用压浆密实度指数 D_e 作为评价定位检测的评价指数，压浆密实度指数 D_e 按公式（4）计算：

$$D_e = \frac{N_J \times 1 + N_X \times 0.5 + N_D \times 0}{N} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

N ——检测点数；

N_J ——无缺陷测点数；

N_X ——小规模缺陷测点数；

N_D ——大规模缺陷测点数。