

宁夏回族自治区地方标准
预应力混凝土梁张拉施工质量控制及检测标准

（征求意见稿）

二〇一八年七月

前言

随着我国桥梁工程的大规模建设，预应力在桥梁工程中的应用越来越广泛。鉴于预应力施工具有施工工序步骤多、技术含量高、操作难度大等特点，相当部分的工程质量隐患来源于预应力张拉施工的质量控制不力。为此，结合现代先进技术，开展预应力施工深入研究，并在此基础上形成质量控制规范，对保证桥梁工程预应力施工质量符合设计和使用要求，具有重大现实意义。

目录

1 总则	1
2 术语	2
3 张拉施工	4
3.1 预应力筋制作	4
3.2 预应力筋安装	4
3.3 锚具安装	5
3.4 张拉施工	6
3.5 智能张拉工艺	7
4 张拉施工质量检测	9
4.1 一般规定	9
4.2 检测控制指标	9
5 张拉施工质量验收	11
5.1 一般规定	11
5.2 验收	11
附录 A 梳编穿束	13
附录 B 张拉施工质量检测方法	16
条文说明	19
1 总则	20
2 术语	22
3 张拉施工	23
3.1 预应力筋制作	23
3.2 预应力钢筋安装	24
3.3 锚具安装	24
3.4 张拉施工	25
4 张拉施工质量检测	27
4.1 一般规定	27
4.2 检测控制指标	29
5 张拉施工质量验收	33
5.1 一般规定	33
5.2 验收	33

1 总则

1.0.1 为规范施工期桥梁预应力张拉施工质量的检测与验收，确保施工质量符合设计和使用要求，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于施工期桥梁预应力张拉施工质量的检测和验收。

1.0.3 必须采用可靠的工艺手段并实施张拉施工质量跟踪检测和分批验收，严格控制有效预应力大小及其离散度。

1.0.4 桥梁预应力张拉施工质量检测验收除应符合本规程要求外，还应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50-2011）等现行行业标准、规范的规定。

2 术语

2.0.1 锚具综合试验 comprehensive anchorage testing

指包括静载锚固试验、内缩量试验、摩阻损失试验和张拉锚固工艺试验的一整套试验。

2.0.2 张拉控制应力 tensioning control stress

张拉预应力筋时所控制的最大应力值，其值为张拉设备所控制的总张拉力除以预应力筋截面面积得到的应力值（对后张构件为梁体内锚下应力）。

2.0.3 张拉应力 tensioning stress

张拉预应力筋时在张拉端体外所施加的应力，其值为张拉设备显示的总张拉力除以预应力筋截面面积得到的应力值。

2.0.4 超张拉系数 super tension coefficient

为消除各种因素引起的预应力损失而设定的张拉控制应力提高系数。

2.0.5 锚下有效预应力 effective prestress under anchorage

预应力张拉锚固后，实际张拉控制应力扣除锚固损失和弹性压缩损失，预应力筋锚下留存的应力。

2.0.6 有效预应力检测 effective prestress check

预应力筋张拉锚固后，对锚下有效预应力进行的检测。

2.0.7 有效预应力同束离散度 unevenness of effective prestresses in a tendon

同一束中所有单根钢绞线锚下有效预应力值的统计值。

2.0.8 有效预应力同断面离散度 unevenness of effective prestresses on a crosssection

同一断面上所有预应力筋有效预应力值的统计值。

2.0.9 螺母与锚垫板的夹角 angle between top surface of anchor plates and bottom surface of

anchoring nuts

精轧螺纹钢筋的螺母与锚垫板空间位置的最大夹角。

2.0.10 关键项目 dominant item

分项工程中对安全、卫生、环境保护和公众利益起决定性作用的实测项目。

2.0.11 一般项目 general item

分项工程中除关键项目以外的实测项目。

3 张拉施工

3.1 预应力筋制作

3.1.1 顶应力筋的制作应在专业预应力筋加工车间或工作台上进行。

- 1 钢绞线、钢丝束中的每根钢丝不得有接头或死弯。
- 2 无粘结预应力筋制作时，涂料层的涂敷和护套的制作应一次完成。
- 3 涂料层油脂应充足饱满，沿预应力筋全长连续，护套厚薄均匀。

3.1.2 预应力筋的下料长度应满足预应力筋设计尺寸及张拉需要，且满足：

1 钢丝束两端采用镦头锚具时，若钢丝束长度小于或等于 20m，同一束中各根钢丝下料长度的相对差值不应大于其长度的 1/3000；若钢丝束长度大于 20m，同一束中各根钢丝下料长度的相对差值不应大于其长度的 1/5000，且不大于 5mm。

2 长度不大于 6m 的先张构件，当钢丝成组张拉时，同组钢丝下料长度的相对差值不得大于 2mm。

3.1.3 制作预应力筋时应对整束和束中各单根钢绞线进行编号，每根钢绞线两端编号应相同，且对编号进行严格保护。

3.2 预应力筋安装

3.2.1 为保证安装质量，应事先按设计图纸中预应力筋的曲线坐标在相应的结构钢筋上定出曲线位置及线形并用钢筋托架固定，间距要符合设计要求。安装就位后，必须用铁丝将管道与钢筋托架固定，以防预应力管道偏离设计位置。该位置直接影响预应力筋的束界、摩阻等，因此给出了允许偏差加以限制，并纳入张拉施工质量验收的检控项目。

3.2.2 预应力筋下料完成后，应用梳板或相应锚具梳束、编束，逐根理顺，并绑扎成束，绑扎间距宜控制在 1.5m，严禁相互缠绕。对用连接器接长的预应力束以及贯穿长束，绑扎间距宜控制在 1.0m，严禁用电弧将预应力筋焊接成束。

3.2.3 制作预应力筋时应对整束和束中各单根钢绞线进行编号，每根钢绞线两端编号应相同，并与梳束板（锚具）各孔编号对应，最后对编号进行严格保护。穿束应整束穿入，可前后拖动，不得扭转。对于长度大于 100m，钢绞线根数大于 12 的预应力筋，宜采用能确保整束穿束的辅助工装。具体工艺参见附录 A。

3.2.4 合格的预应力筋应按编号整齐平顺地存放在距地面 20cm 以上的支架或垫板上，不得叠压存放。支架间距宜控制在 1.0~1.5m 之间，并应进行临时防护。筋束存放处应干燥、通风，不得接触有腐蚀性的物质。

3.2.5 无粘结预应力筋在专业化工厂加工后，在包装、运输、保管环节中应采取措施，严防无粘结预应力筋的任何损伤。

3.2.6 预应力筋安装完毕后应调整两端长度，使之满足张拉操作需要，对外露部分需进行临时防护。将预应力筋安装在管道中后，管道端部开口应密封以防止湿气进入。采用蒸汽养护时，在养护完成之前不应安装预应力筋。在任何情况下，当在安装有预应力筋的构件附近进行电焊时，对全部预应力筋和金属件均应进行保护，防止溅上焊渣或造成其他损坏。

3.2.7 钢丝、钢绞线及精轧螺纹钢筋应采用切割机或砂轮锯切断。

3.3 锚具安装

3.3.1 锚具、夹具和连接器在安装前应擦拭干净。

3.3.2 锚具安装时必须位置准确，固定牢靠，锚垫板与预应力筋在锚固区及其附近应相互垂直，锚垫板轴线应与连接孔道管轴线重合，夹片安装平齐。

3.3.3 对于精轧螺纹钢筋而言，锚垫板和螺母安装位置应准确，固定牢靠，锚垫板与预应力筋在锚固区应相互垂直，螺母与锚垫板的夹角 θ 不宜超过 3° ，该项指标进行抽检，随机抽检比例为 10%。

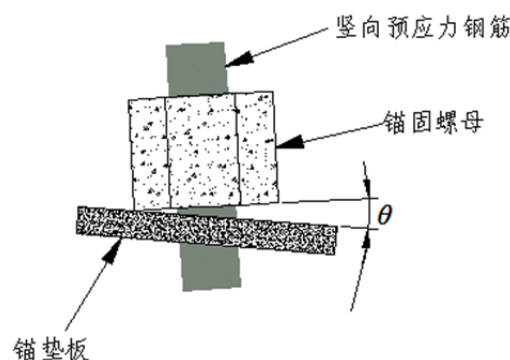


图 3.1 螺母与锚垫板的夹角

3.3.4 精轧螺纹钢筋张拉时，应提前把张拉槽的杂物清理干净，保证螺母与锚垫板的密贴；进行张拉时技术员要在现场进行监督，防止出现没拧紧螺母甚至漏拧的情况。螺旋钢筋应与锚垫板焊接在一起，以减少张拉槽周围混凝土的弹塑性，防止其在安装后掉落，造成因混凝土承载力不足的压碎现象，导致预应力损失过大。宜把下端的锚垫板与螺母点焊成整体，下端螺母植入混凝土的钢筋长度宜大于 8cm，否则可能因锚固力不够，下端混凝土被逐步压碎，造成张拉力不足但延伸量超标的假象，甚至被拉出。在安放张拉槽盒时，要设置定位线，严格控制槽盒的高度，既不能过高致使浇筑混凝土后，锚具暴露在混凝土外面，也不能过低影响拧紧扳手的转动，而导致螺母不能拧紧到位。在浇筑混凝土时将张拉槽附近的混凝土振捣

密实，保证其有足够的承载能力。并最后将顶面抹平。

3.3.5 使用螺母锚固的支撑式锚具张拉前，应逐个检查螺纹的配合情况；大直径螺纹的表面应涂润滑油脂，以使张拉和锚固时能顺利旋合和拧紧。

3.3.6 锚具、夹具和连接器在安装前，应擦拭干净，需要在锚固构件上涂抹介质以改善锚固性能时，应在锚具安装时涂抹。

3.4 张拉施工

3.4.1 张拉前混凝土强度、龄期、外观和尺寸应符合设计要求，锚下混凝土须密实。

3.4.2 张拉以应力控制为主，伸长值控制为辅。伸长值允许偏差应控制在±6%内。

3.4.3 千斤顶必须有合格证书及相应名牌。张拉机具设备应与锚具配套使用，并应在进场时进行检查和校验。对长期不使用的张拉机具设备，应在使用前进行全面校验。校验应在经主管部门授权的法定计量技术机构定期进行。

3.4.4 施加预应力所用的机具设备及仪表应由专人使用和管理，并应定期维护和校验。标定时，施工方负责张拉的专人应参与标定读数。

3.4.5 千斤顶不得有明显内泄漏现象。千斤顶、压力表和油泵应结合施工现场整体静态标定（油泵、千斤顶和油压表一起标定）。千斤顶系统标定期：不超过半年或张拉不超过 200 次或仪器出现反常或千斤顶检修后。

3.4.6 采用油压传感器和压力传感器作为测力计的，油压传感器必须和泵站系统配套整体标定，压力传感器可单独标定。油压传感器和压力传感器标定时间应按国标对测力元件标定期的规定进行。

3.4.7 预应力构件张拉时，同一断面上宜采用多台千斤顶，按照设计要求分批、对称、分级张拉到位。

3.4.8 预应力张拉程序应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50-2011）和设计要求，当设计无规定时，应按表 3.1、表 3.2 进行。

表 3.1 先张法预应力筋张拉程序

预应力筋种类	张拉程序
钢筋	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05\sigma_{\text{con}} \text{（持续 5min）} \rightarrow 0.9\sigma_{\text{con}} \rightarrow \sigma_{\text{con}} \text{（锚固）}$
钢丝、钢绞线	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05\sigma_{\text{con}} \text{（持续 5min）} \rightarrow 0 \rightarrow \sigma_{\text{con}} \text{（锚固）}$

注：1.超张拉数值不允许超过 1.05。

2.张拉钢筋时为保证施工安全，应在超张拉放张至 $0.9\sigma_{\text{con}}$ 时安装模板、普通钢筋及预埋件等。

3.对夹片式锚具，有条件时应采用实测的锚圈口摩阻损失系数。

表 3.2 后张法预应力筋张拉程序

预应力筋种类		张拉程序
钢筋、钢筋束		$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05\sigma_{\text{con}} (\text{持续 } 5\text{min}) \rightarrow \sigma_{\text{con}} (\text{锚固})$
对于夹片等具有自锚性能的锚具	钢绞线	低松弛力筋 $0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.03\sigma_{\text{con}} (\text{持续 } 5\text{min} \text{ 锚固})$
	钢丝束	
其他锚具	钢绞线束	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05\sigma_{\text{con}} (\text{持续 } 5\text{min}) \rightarrow \sigma_{\text{con}} (\text{锚固})$
	钢丝束	$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05\sigma_{\text{con}} (\text{持续 } 5\text{min}) \rightarrow 0 \rightarrow \sigma_{\text{con}} (\text{锚固})$
精轧螺纹钢		$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow \sigma_{\text{con}} (\text{持续 } 5\text{min} \text{ 锚固})$

注：1.两端同时张拉时，两端千斤顶升降压应同步，其伸长值应基本一致。

2.梁的竖向预应力筋可反复张拉到控制应力，以尽可能消除构件间的非弹性变形，然后按正常张拉程序张拉测伸长值和锚固；也可采用先张拉、锚固，在压浆前再次重新张拉、锚固的方法张拉。

3.对夹片式锚具，超张拉系数取 0.05，有条件时应采用实测的锚固口摩擦损失系数。

3.4.9 后张预应力筋断丝、滑移限制见表 3.3。

表 3.3 后张预应力筋断丝、滑移限制

类别	检测项目	控制数
钢丝束和钢绞线束	每束钢丝断丝或滑丝	1 根
	每束钢绞线断丝或滑丝	1 丝
	每个断面断丝之和不超过该断面钢丝总数的百分比	1%
单根钢筋	断筋或滑移	不容许

3.4.10 预应力张拉锚固后，锚具夹片顶面应平齐，其错位不得大于 2mm，且全部夹片高差不得大于 3 mm。

3.4.11 预应力张拉锚固后，应及时进行有效预应力、有效拉力检测，确认合格后方可切割预应力筋多余部分，切割后预应力筋的外露长度不应小于 30mm。精轧螺纹钢张拉后的外露长度不宜超过 300mm，不允许小于 50mm。严禁使用电弧焊切割。

3.4.12 对于夹片式、锥塞式等锚具，在张拉锚固过程中或锚固完成以后，不得大力敲击或震动。

3.4.13 张拉锚固后需要放松预应力时，应符合以下规定：

- 1 对于承压式锚具，可用张拉设备松开锚具，将预应力缓慢地卸除。
- 2 对于夹片式、锥塞式锚具，可采用专用放松装置将锚具松开。
- 3 严禁在预应力筋存在拉力的状态下直接将锚具卸去。
- 4 对于需再次锚固的预应力筋严禁有夹痕的部分进入受力段。
- 5 应有可靠的放张方案和详尽的放张记录。

3.4.14 封锚混凝土应密实并与周围混凝土粘结牢固，锚固区预应力筋端头的混凝土保护层厚度不得小于 20mm，当处于易受腐蚀的环境中时，保护层应适当加厚。

3.5 智能张拉工艺

3.5.1 应使用能够准确和同步控制张拉力的预应力智能张拉系统，同步控制精度达到 $\pm 2\%$ 。

设备能够精准的实现程序设定的命令，通过无线通讯接口确保数据通讯的可靠交互。智能张拉系统应经过国家法定计量机构标定校准。智能张拉系统应由智能泵站、智能操控平台、专用千斤顶、智能张拉软件 4 部分组成。

3.5.2 智能张拉软件界面应有桥梁信息、浇筑时间、试块强度，不满足养护时间以及强度要求软件不能启动。理论张拉力和伸长值等张拉参数应在张拉前录入软件，张拉力考虑锚圈摩擦损失和孔道摩擦损失，但在任何情况下均不得超过设计规定最大张拉控制应力。张拉力偏差应控制在 3%以内，伸长量值偏差控制在 6%，超过偏差系统报警提示。张拉过程中应能实时显示张拉力、伸长量值以及其和时间关系曲线，张拉系统应能分级显示压力值、伸长量及保压时间，保压时间严格满足。锚固阶段内缩量应不大于 6mm，大于 6mm 系统自动报警提示。

3.5.3 张拉过程控制应满足以下要求：

1 系统应能进行初张拉，软件界面显示的位移线和压力线应水平顺直移动，否则需停止张拉、查找原因。

2 工作过程中采用任务导入模式。该系统任务的生成和审核完全由专项管理人员负责完成。经过校验并经审核通过后的任务文件中包含了张拉、持荷、卸荷及回油全工艺流程指令，现场操作人员操作过程中仅负责常规的机具安装等准备工作，准备工作就绪后，仅通过“启动”按键即可一键完成张拉，避免人工操作对张拉质量产生的影响。

3 系统在双端同步张拉过程中，双端应能实时通信，自动测量力值、伸长值，严格保持升降压及测伸长等工作的一致性。

4 系统在数据处理和报告出制环节应采用数据加密技术。系统报告文档格式严格依照业主要求生成，报告内容涵盖锚固回缩量等关键数据，报告应不能随意编辑修改，确保数据和报告客观、真实、有效，报告可直接上传云端，管理人员可对报告实时查看。

4 张拉施工质量检测

4.1 一般规定

4.1.1 检测目的

对预应力张拉施工质量进行跟踪检测与控制，以便及时调整施工工艺。

4.1.2 预应力检测频率

检测频率应满足下列要求：

- 1 检测以抽检为主，预应力筋不宜少于 10%。
- 2 体外筋、环形筋、无粘结筋、竖向筋、负弯矩段预应力筋不得少于 15%。
- 3 连续梁、连续刚构桥等边、中跨合龙段顶预应力筋不得少于 20%。

4.1.3 检测内容

- 1 摩阻测试（包括锚圈口、锚垫板和管道摩阻）；
- 2 对称张拉、两端张拉的张拉同步性；

3 检测整束预应力筋、单根钢绞线的有效预应力。抽检的方法须采用拉脱法测试技术，具体检测方法参见附录 B。拉脱检测的基本原理为：对于已张拉施工的预应力混凝土梁，在预留工作长度不截断的情况下作用单孔张拉的前卡式千斤顶，反拉工作长度。高频（不得低于 100Hz）采集反向张拉力和位移值。当夹片脱开的瞬间，张拉力延伸量曲线的斜率会发生明显变化，其斜率拐点即为张拉力测试值。典型的张拉力-延伸量曲线见图 4.1。

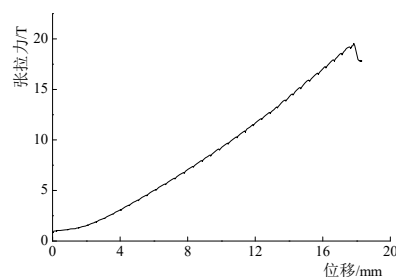


图 4.1 张拉力-位移延伸量曲线

4.1.4 检测时间

预应力筋张拉锚固后，应在 48h 内进行有效预应力检测。

4.2 检测控制指标

4.2.1 一般项目

- 1 张拉施工前，应对不同孔道进行两孔以上的摩阻测试。
- 2 摩阻测试确定的管道摩擦系数 μ 和孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数 k 在征得设计单位的意见后用于修正张拉控制应力。

4.2.2 关键项目

1 有效预应力检测控制

对 $f_{pk}=1860\text{MPa}$ 、公称直径为 15.2mm 的单根钢绞线，张拉锚固后锚下有效预应力大小应满足以下要求：

- 1) 考虑锚圈口摩阻损失影响；
- 2) 考虑钢筋回缩量的影响；
- 3) 考虑 48h 内的钢筋松弛影响。

2 有效预应力离散度的控制应满足表 4.1 的要求。

表 4.1 有效预应力离散度的控制要求

项目	允许偏差 (%)
有效预应力同束离散度	4.5
各束有效预应力同断面离散度	4

5 张拉施工质量验收

5.1 一般规定

5.1.1 预应力张拉施工完毕，对施工过程中发生的质量问题。经处理并达到设计要求的，方可进行验收。张拉施工质量验收除应符合本规程规定外，还应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/TF50-2011）等相关规范的要求。

5.1.2 张拉施工分项工程验收

1 根据材料类别可划分为预应力筋、波纹管 and 锚具等检验批，其质量标准和检验方法均应符合国家现行有关产品标准和本规程的规定。

2 根据施工工艺流程可划分为制作及安装、张拉、封锚三个检验批。每个检验批的质量验收都必须通过项目质检人员和监理工程师的书面确认。

5.1.3 张拉施工质量要求

后张法管道安装位置偏差、摩阻大小及张拉控制精度等合格率不得低于 85%；有效预应力、有效拉力大小和离散度合格率不得低于 90%。

5.2 验收

5.2.1 质量标准

预应力张拉施工质量检测各项目的控制要求和允许偏差列于表 5.1~表 5.3。

1 一般项目

表 5.1 后张预应力筋制作安装允许偏差

项目		允许偏差（mm）	检查方法和频率
管道坐标	梁长方向	30	抽查 30%，每根检查 10 个点
	梁高方向	10	
管道间距	同排	10	抽查 30%，每根检查 5 个点
	上下层	10	

2 关键项目

表 5.2 预应力检测频率

类别	检测频率
一般预应力筋	≥10%
体外筋、环形筋、无粘结筋、竖向筋、负弯矩段筋	≥15%
边、中跨合龙段预应力筋	≥20%

表 5.3 预应力筋有效预应力检测质量汇总

项目		允许偏差
离散度	有效预应力同束离散度	4.5%
	有效预应力同断面离散度	4%
大小	单根钢绞线有效预应力大小	±5%
	整束平均有效预应力大小	±5%

5.2.2 对连续梁桥、连续刚构桥和斜拉桥等重要桥梁，宜将张拉施工质量检测的结果当日形成报告，对预应力张拉施工质量进行综合分析。

附录 A 梳编穿束

A.0.1 短束穿束

对于预制梁等预应力筋束长度较短的构件,可充分利用施工现场器具材料做成整束穿束系统进行穿束施工,具体步骤如下:

1 机具准备: 扎钩、扎丝、梳编板(可用锚具代替)、透明胶带、刀片、油性笔、号码纸、卷扬机、钢丝绳(宜为 8mm)等。

2 下料: 每束绞线下料时应有一根绞线长出 10~20cm 作为中间绞线,其余各根绞线下料长度应基本一致。

3 编号: 把每根钢绞线的两端编上同样的号码,用透明胶带把写好的号码绑在钢绞线的两端,同时对锚具进行编号,两端的锚具同时编号,一块在绞线入口端编号,另一块在绞线出口端编号,两者均按相同位置与顺序对应编号。编号写在锚具的外露面(上夹片的一面)。

如下图:

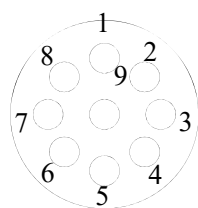


图 A1 (a) 锚具入口端

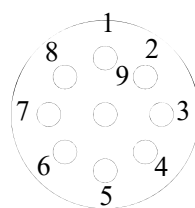


图 A1 (b) 锚具出口端

4 端头绑扎: 端头绑扎宜分层进行,逐层绑扎再全部绑扎。如图 A1 锚具 1、2、8 号绞线作为一层,7、9、3 号绞线作为一层,4、5、6 号绞线作为一层,先逐层绑扎再整体绑扎成一个整体。绑扎好后的绞线根据每束绞线根数的不同呈正方形、矩形、梯形等形状。

5 梳束: 利用梳束板或锚具对钢绞线进行梳理,每梳理钢绞线长度约 1m 时,用扎丝把钢绞线扎紧,绑扎时扎丝端头朝上。逐段绑扎直到把钢绞线梳理完毕。

6 穿束: 钢丝绳一端连接卷扬机,另外一端做成绳套与绞线穿入端绑牢,穿入端端头可用塑料瓶套住并用胶带缠紧。启动卷扬机缓慢匀速拉动绞线。

7 对中调整: 穿束完毕后将穿入端钢丝绳、塑料瓶、胶带去除,使绞线编号外露,先将中间绞线套入锚具孔内中间位置,上夹片,稍微顶紧,再将其它绞线分别套入对应的锚具孔内。旋动锚具使两端锚具各孔位对中。如图 A1 (a)、(b) 所示 1 号绞线均在上方。

A.0.2 长束穿束

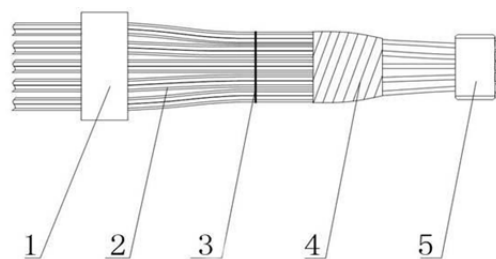
1 在下料时,每束钢绞线应多下料 40~50cm,并对多下料的部分,使用大力钳或螺丝

刀反向旋转钢绞线，使其散开，将散开的周边丝剥除，只保留中心丝。在剥除时，切忌伤害中心丝；在剥除后，周边丝长度基本保持长度一致，并将中心丝的端部，使用角磨机倒楞磨边，避免穿束时伤及波纹管。

2对钢绞线和锚具进行编号。把每根钢绞线的两端编上同样的号码，用透明胶带把写好的号码绑在钢绞线的两端，同时对锚具进行编号，两端的锚具同时编号，一个是在绞线入口端（锥孔大端）编号，一个是在绞线出口端（锥孔小端）编号，两端均按相同位置与顺序对应编号，编号写在锚具的外露面。

3将钢绞线按锚具编号对应穿孔，并将中心丝穿入具有与锚具相似位置孔的牵引螺塞，牵引螺塞上各孔距略大于钢绞线直径。然后将每根中心丝墩头，墩头必须饱满，其直径应大于牵引螺塞孔的直径，以满足整束穿束时拖动绞线平动的要求。墩头后的整束钢绞线通过牵引螺塞和螺旋套连接，牵引螺塞外径和螺旋套内径相同，均带有丝口，拧紧即可，螺旋套另一端由卷扬机上的钢丝绳牵引。

4利用梳束板或锚具对钢绞线进行梳理，每梳理钢绞线长度约1m时，用扎丝把钢绞线扎紧，绑扎时扎丝端头朝上，逐段绑扎直到把钢绞线梳理完毕。。梳束完毕后，钢绞线端头（包括周边丝切割部分）须用胶带缠绕保护，注意端头，头缠胶带以前，应先用卷扬机牵引，使各绞线在墩头处长短一致，将纤维布（类编织带）从整束绞线的中心丝之间插入，然后沿绞线纵向方向紧密缠绕，外面再用透明胶带反复来回缠绕，中心丝部分应绑扎20~25cm，未切割部分应绑扎30~40cm，绑扎时一定要做到紧、平、顺，防止穿束过程中钢绞线端头散索以及周边丝端头伤害波纹管。此项步骤结束后，完成穿束前的梳编束工作，其钢绞线示意图如图A2。



1.梳束板（或锚具） 2.钢绞线 3.扎丝 4.绑扎胶带 5.牵引螺塞

图 A2 梳编束示意图

5穿束时，将牵引螺塞与螺旋套连接，螺旋套另一端由主卷扬机上的钢丝绳牵引，另需一辅助卷扬机吊起钢绞线以克服其重力。穿束时由主卷扬机缓慢牵引整束绞线平动完成整束穿束，牵入端（牵出端）应保证整束进入（牵出）方向与波纹管轴线方向的一

致，若受场地限制可利用转向滑轮，也可增加卷扬机。

6穿束完毕后将穿入端钢丝绳、纤维布和胶带等去除，使绞线编号外露，将中间绞线套入锚具孔内中间位置，上夹片，稍微顶紧，再将其它绞线分别套入对应的锚具孔内。旋动锚具使两端锚具各孔位对中，完成梳编穿束工序。

附录 B 张拉施工质量检测方法

B.0.1 检测设备

张拉施工质量检测应使用桥梁预应力钢绞线锚下有效预应力测试系统，如图 B1 所示。该系统由加载测试装置和采集分析装置两部分集成，测试系统技术指标如表 B1 所示。

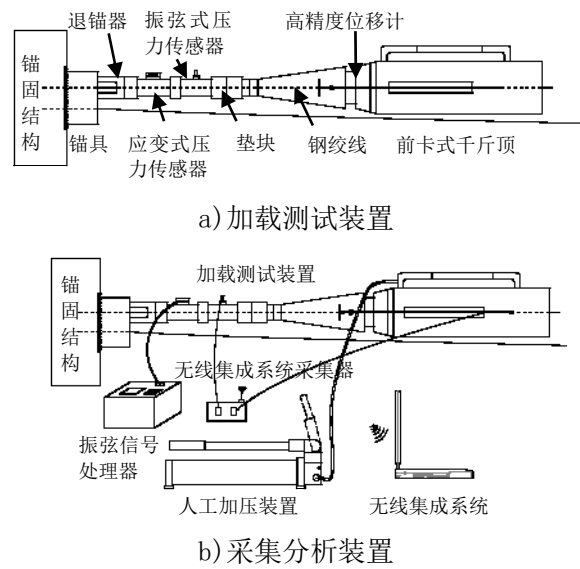


图 B1 桥梁预应力钢绞线锚下有效预应力测试系统

表 B1 测试系统技术指标

编号	名称	技术指标
1	无线集成系统	采样频率 10HZ，实现对张拉力和延伸量的高频采集
2	应变式压力传感器	灵敏度 1N，量程 250KN
3	高精度位移传感器	灵敏度 0.01mm，量程 100mm
4	振弦信号处理器	振弦频率 600Hz-3000Hz
5	振弦式压力传感器	灵敏度 0.1KN，量测 300KN

B.0.2 检测流程

检测流程如下：

- 1 按照抽检比例选定待检钢绞线；
- 2 依次安装退锚器、压力传感器、反拉千斤顶、高精度位移传感器；
- 3 安装预应力钢绞线张拉力智能检测设备，调试；
- 4 启动反拉千斤顶、同步采集；
- 5 识别锚下张拉力；
- 6 若张拉力在允许范围内可进行后续施工操作，若不在允许范围内，需对整束钢绞线张拉力进行评估，评估合格可进行后续施工操作，评估不合格需进行退锚、补张拉、复检。

B.0.3 识别锚下张拉力

测试绞线张力-延伸量关系曲线（图 B2）呈现典型的三折线特征，用字母 O、A、B、C 标示特征点。B 点斜率发生突变，表明钢绞线外露段张力达到和锚固段相同，结构由仅外露段延伸转变为外露段和锚固段共同伸长。判别认定 B 点对应张力值即为锚下预应力值。

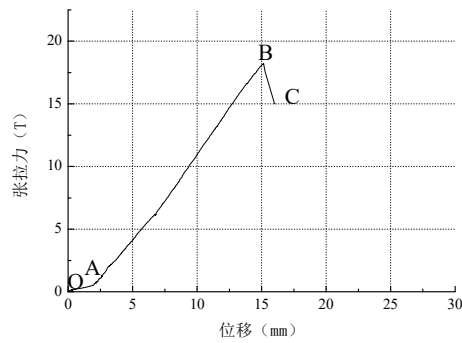


图 B2 测试测试绞线张力-延伸量关系

本规程用词说明

1 为便于执行本规程条文时区别对待，对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：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

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：

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：

正面词采用“可”；

反面词采用“不可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时写法为：“应按……执行”或“应符合……的要求”。非必须按所制定的标准执行时，写法为“可参照……执行”。

附件

宁夏回族自治区地方标准
预应力混凝土梁张拉施工质量控制及检测标准
(征求意见稿)

条文说明

1 总则

1.0.1 预应力张拉不足，会导致梁体发生开裂和下挠，病害进一步发展会导致的严重的工程事故。因此，预应力技术在桥梁施工中占有重要地位，已成为当今桥梁建设中的关键课题。预应力离散度会影响梁体的线形。本规程的制定，可使预应力的张拉施工和检测控制有一个统一的标准，确保工程质量，消除施工隐患，更好地推动预应力技术在工程建设中的应用。

1.0.2 本规程根据新的检测控制手段和技术，制定了对现场施工的单根钢绞线、整束、整片梁、全桥的预应力施工质量进行验收评估的标准，适用于简支梁桥、连续梁桥、连续刚构桥等的新建、改建工程施工。

本规程规定的检测控制方法可检测后张法构件压浆前锚下有效预应力，对于先张法构件，只适合检测混凝土浇筑前各受力筋受力的离散度；对预应力筋，张拉锚固后 48h 内进行检测，发现施工问题，当场处理，确保张拉质量。

1.0.3 预应力张拉过程中可能出现以下问题：

1 滑丝

引起滑丝的主要原因有：① 张拉时锚具锥孔与夹片之间有杂物；② 钢绞线有油污；③ 锚固效率系数小于规范要求值；④ 钢束中钢绞线受力不均匀；⑤ 切割锚头钢绞线留得太短；⑥ 夹片、锚具的强度不够。

2 断丝

引起断丝的主要原因有：① 预应力同束离散度过大，导致单根绞线（钢丝）应力大于其极限强度；② 钢绞线（钢丝）本身质量有问题；③ 千斤顶多次重复使用，导致张拉力不准确；④ 锚具存在质量问题。

3 夹片破裂

其主要原因一般是夹片存在质量缺陷，表现特征是张拉中可听到破裂声，甚至出现夹片飞出。

4 千斤顶漏油严重

其主要原因一般是千斤顶内密封圈老化破损或千斤顶缸壁划伤，表现特征是正常加压时，压力表工作不正常或活塞不移动。

5 压力表不回零

其主要原因是压力表内弹簧失效或油路有问题。

如遇上述任一异常情况，应立即停止张拉，查明原因。无论是原材料、张拉机具还是张

拉工艺的问题，都要采取相应措施，消除隐患后，方可继续施工。

2 术语

2.01 本规程提出采用样本标准差与平均值的比值来表示离散度的计算方法。

单根钢绞线反拉检测时，设定 1 束钢绞线有 n 根钢绞线，第 i 根钢绞线有效预应力为 F_i ($i=1, \dots, n$)，1 束钢绞线总有效预应力为 F ，1 束钢绞线平均有效预应力为 \bar{F} 为

$$\bar{F} = \frac{F}{n}$$

1 束钢绞线有效预应力标准差为 S ，即

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n}}$$

定义 1 束钢绞线预应力的离散度 ξ 为该束钢绞线有效预应力标准差 S 与该束钢绞线有效预应力平均值 \bar{F} 之比，即

$$\xi = \frac{S}{\bar{F}} \times 100\%$$

2.0.2 设定 1 个断面有 m 根钢绞线，第 i 根钢绞线有效预应力为 D_i ($i=1, \dots, m$)，一个断面总的有效预应力为 D ，则该断面钢绞线平均有效预应力为 \bar{D} 为

$$\bar{D} = \frac{D}{m}$$

该断面的有效预应力标准差为 S ，即

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (D_i - \bar{D})^2}{m}}$$

定义有效预应力同断面离散度 η 为该断面钢绞线有效预应力标准差 S 与该断面钢绞线有效预应力平均值 \bar{D} 之比，即

$$\eta = \frac{S}{\bar{D}} \times 100\%$$

3 张拉施工

3.1 预应力筋制作

3.1.1 预应力筋的制作在预应力工程施工中较为关键，应加强控制，严格按照规范及设计要求进行。大型工程中均应设置具有良好防雨、防尘、防污染设施的专用预应力筋加工车间。若预应力工程量较小或无合适的场地时，也应设置有防雨、防污染的预应力筋制作工作台。不得在没有任何防护设施的场地上进行预应力筋制作。

3.1.2 预应力筋下料长度应准确。计算时应考虑结构的孔道或台座长度、锚夹具的厚度、千斤顶长度、墩头预留量、冷拉伸长值、弹性回缩值、张拉伸长值和外露长度等因素。对于墩头锚用钢丝，下料长度十分重要，直接影响单根钢丝受力均匀度，必须严格按照规程要求下料；对于钢绞线，下料要求虽没有钢丝那么严格，但仍应加以控制，可按下列公式计算：

1 两端张拉

$$L=l+2(l_1+l_2+100\text{mm})$$

2 一端张拉

$$L=l+2(l_1+100\text{mm})+l_2$$

式中： l ——构件的孔道长度（mm）；

l_1 ——夹片式工作锚厚度（mm）；

l_2 ——张拉用千斤顶长度（含工具锚）（mm）。

3.1.3 钢丝、钢绞线及精轧螺纹钢的切断，应采用切割机或砂轮锯，不得采用电弧切割。用电弧或乙炔—氧气切割，会使切割部位受高温加热而改变物理力学性能，难以保证预应力筋的质量。

3.1.4 下料完毕后，进行预应力筋的梳束、编束时，用锚具梳顺，钢绞线由锚具锥孔大端穿入。锚具各孔事前需一一做好编号。注意：编号时锚具各孔与绞线编号一致。每隔 1.0~1.5m 绑扎一次，以使绞线顺直、等长，绑扎成束顺直不扭转，便于穿束。严禁在钢绞线不顺直的情况下绑扎成束。

用连接器接长，分段张拉锚固的预应力束，各孔内绞线极易缠绕，对预应力束的梳、编、穿束工艺提出了更高的要求。带挤压套的绞线在完成 P 型锚具（连接器周边槽）安装后必须逐根编号，套入锚具（最好用梳束板）进行梳理，锚具各孔位也应做好对应编号，其位置应与锚具安装孔位保持一致。P 型锚具与梳理锚具之间各绞线线形平顺。不得相互缠绕，同时应采用扎丝对已梳理顺直的绞线逐段绑扎，绑扎间距不宜大于 1m。

本条规定的目的是确保预应力筋平顺不扭结，绑扎牢固，使其在安装过程中不散索，以保证张拉时各根预应力筋受力均匀。

3.1.5 为便于穿束过程中调整筋束，使其不发生扭转，在束两端安装工作锚、工作锚时，不得使预应力筋交叉错位而相互缠绕；制束时应对每一根预应力筋进行编号，每根预应力筋两端编号应相同。

3.1.6 合格的预应力筋束应按编号整齐排放并进行临时防护，使验收合格的筋束得到妥善的保护，防止其在安装存放期间受损或被污染、腐蚀。

3.1.7 对成品预应力筋进行验收，签发合格证，挂标志牌，是预应力筋质量控制的重要措施，目的是防止不合格预应力筋进入安装工序或将筋束装错孔号，一旦预应力筋发生质量问题，便于迅速查出原因。

3.2 预应力钢筋安装

3.2.1 无论是直线还是曲线预应力筋，安装完毕后均应调整两端长度，以满足张拉工艺的操作需要。对外露部分进行临时防护，防止其在施工中被雨水、尘土、混凝土、水泥浆及其他有害物质污染、腐蚀。

3.3 锚具安装

3.3.1 锚具安装时应位置准确，锚垫板轴线应与连接孔道管轴线重合，否则在安装千斤顶时容易造成位置偏差和轴线夹角偏差。张拉时，不仅预应力损失较大，还会出现预应力筋在张拉端的锚垫板下被拉断，这是由于锚垫板平面与预应力筋轴线不垂直，造成预应力筋截面偏心受拉导致绞线折弯受力严重不均，受力大的因损伤而屈服。因此特别要求锚具（锚垫板）及千斤顶的安装轴线应与预应力筋保持在一条直线上。

3.3.2 凡是利用螺母锚固的锚具，一般是张拉至规定应力时，在带负荷状态下拧紧螺母。如果螺纹不配合过紧或有碰伤会出现安装困难，故要求在安装锚具之前逐个检查螺纹的配合情况，保证在锚固时能顺利拧紧。

3.3.3 锚垫板如果安装存在较大误差的话，则螺母和锚垫板之间的夹角会导致竖向预应力折减。研究表明：初始夹角 θ 超过 8° 后，竖向预应力将完全失效。日本规范《铁道综合技术研究所.铁道构造物等设计标准及解说[M].日本:丸善株式会社, 1997》规定夹角不宜超过 3° 。因此实际施工过程中建议初始夹角 θ 不能超过 3° 。

1 设置定位钢筋保证预应力筋轴线铅直，要求定位后管道轴线偏差不大于 5mm。

2 锚垫板空间定位:实际施工过程中，可在锚垫板下方设置定位钢筋，尽量避免施工过程中混凝土振捣及其它施工步骤导致锚垫板和螺母的初始夹角过大。定位钢筋可焊接在箍筋及

锚垫板下方，每个锚垫板至少保证 3 根定位钢筋。

3.3.4 张拉槽的施工质量的好坏也是影响竖向预应力精轧螺纹钢张拉质量的主要原因之一。

主要表现在：

- 1 张拉槽埋置过深导致拧紧扳手转动空间不足而无法拧紧螺母。
- 2 张拉槽附近的混凝土密实性差、承载力不足，被反力凳压碎，导致预应力损失过大。
- 3 张拉槽周围的混凝土凹凸不平同样也会引起千斤顶倾斜而导致张拉力不足。

3.4 张拉施工

3.4.1 混凝土强度不足的情况下，张拉预应力会导致预应力损失过大，同时也易导致混凝土出现病害。

张拉时，锚垫板周围混凝土受力复杂，如果该部位混凝土不密实，易导致预应力张拉后，锚具陷入混凝土内部的情况，增大预应力损失。

3.4.2 预应力筋的张拉，宜采取多顶同步分级张拉工艺，使梁在施加预应力的过程中受力均匀、对称且同步。施加预应力后，各束受力均匀度好。

张拉施工时，各张拉机具应在保压持荷均达到稳定后同步放张。为排除混凝土的弹性压缩不均、预应力筋回缩及锚具变形不均等对张拉后有效预应力的影响而产生同断面有效预应力不均匀，采用设计规定的分级张拉程序，尽量消除各束预应力损失不均带来的有效预应力偏差。必要时可测出全断面的锚下有效预应力，求出张拉顺序影响系数，校正张拉应力，以消除先后张拉影响。

3.4.3 张拉应力为张拉控制应力与锚圈口摩阻损失之和，其值必须小于预应力筋的屈服极限，此时预应力筋处于弹性状态，经多次张拉后能够恢复到初始状态。

钢丝、钢绞线无屈服台阶的预应力筋在张拉时，应考虑对预应力筋进行超张拉。对于竖向束等短束，主要根据由锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩造成的预应力损失情况来调整张拉应力，必要时采用低回缩值锚具；对于长束、环形束，主要根据摩阻损失情况来调整张拉应力。确定张拉应力时必须考虑预应力筋束有效预应力的离散度，最大张拉应力不允许超过其屈服强度的 0.8 倍。

对于端部设有锚圈（有锚圈口摩阻损失的锚具）的锚具，张拉控制应力小于张拉应力；对于端部不设锚圈（无锚圈口摩阻损失的锚具）的锚具，张拉控制应力等于张拉应力。端部设有锚圈的锚具，张拉时，张拉应力最大值不得超过 $0.8f_{pk}$ ；端部不设锚圈的锚具，张拉应力一般不得超过 $0.75f_{pk}$ 。也就是说，梁的张拉应力一般不应超过 $0.8f_{pk}$ 的张拉控制力一般不得超过 $0.75f_{pk}$ 。

3.4.4 预应力钢绞线施工过程中，由于操作失误或千斤顶压力不准确或锚具安装误差、预应力钢绞线夹片质量差等原因，有时会发生断丝和滑丝的情况，当断丝或滑丝数不超过规范值时，可采用超张拉方式补足应力，若超过规范值必须卸锚，更换钢束。

补足应力处理：根据断丝数确定应力损失值，通过提高其它钢丝应力补足断丝造成的应力损失，但都不得使预应力钢绞线达到 $0.85f_{pk}$ ，否则必须更换钢束。

3.4.5 预应力筋张拉锁定后夹片应平整，一般不允许有错位，特别在无粘结筋中更不允许。因为错位影响夹片对预应力筋的咬合面积，如果错位，将使咬合力减小，从而影响筋束的锚固效果，甚至发生滑丝的危险。

3.4.6 切断后，要求预应力筋外露长度不小于 30mm，是为了确保不滑丝，且便于封锚。精轧螺纹钢张拉后的外露长度不允许小于 50mm，是为了精轧螺纹钢不张拉时连接套筒安装的尺寸需要。

3.4.7 大力敲击或震动过大，会导致锚具松退失效，十分危险。

3.4.8 后张法或先张法的预应力筋锚固后、如需要放松，都必须使用专门的放松设备，在确保安全的情况下缓慢地放松。禁止在预应力筋存在应力的状态下将其切断。张拉锚固后需要放松预应力的，应有可靠的放张方案和详尽的放张记录。

先张法预应力筋的放张顺序应符合设计要求。当设计无具体要求时，可按下列规定放张：对承受轴心预压力的构件，所有预应力筋应同时放张；对承受偏心预应力的构件，应先同时放张预压力较小区域的预应力筋，再同时放张预压力较大区域的预应力筋；当不能按上述规定放张时，应分批、分级、对称放张。

后张法预应力筋张拉锚固后，如遇特殊情况需要放张，宜在工作锚上安装拆锚器，采用小型千斤顶逐根放张。

4 张拉施工质量检测

4.1 一般规定

4.1.1 本规程强调检测的目的是控制预应力张拉施工的过程，即通过检测张拉锚固后锚下有效预应力与有效拉力的大小，分析施工中存在的问题，完善施工工艺和方法，以严格梳编穿束控制有效预应力同束离散度，以全程跟踪并控制张拉，使有效预应力与有效拉力的大小和同断面离散度符合精度要求。

4.1.2 抽检频率参考《重庆市公路工程行业标准-桥梁预应力及索力施工质量检测验收规程》。检测以抽检为主，检测频率一般不小于 10%，但对重要部位，还应加大检测频率。预应力张拉施工前进行规程学习，张拉开始时要加大检测力度，取检测总量的 40%，边检测边指导，待质量稳定后，以总量的 50%进行长期抽检，最后 10%在张拉结束前检测。这样，通过检测保证工艺的全面贯彻，达到全面控制的目的。同时，检测也是控制施工结果的有力手段。

对连续梁桥，由于按节段挂篮施工，采用连接器，每一节段短，连接器由周边 P 型锚进入中心锚具，绞线易打绞，必须严格梳编穿束，否则离散度偏差将十分严重，故应加大检测频率（不得小于 20%）。

对连续刚构桥的跨中节段，合龙前后必须实行全面的检测。合龙段筋束长、贯穿节段多，加之每束绞线根数多，易发生相互缠绕而导致有效预应力不均。为确保合龙段预应力施工质量，必须加大对边、中跨合龙段的检测控制力度，其检测频率不得小于 20%。

对体外筋、环形筋、无粘结筋、竖向筋和负弯矩段筋，由于有效预应力建立困难，影响大，其检测频率不得小于 15%。

4.1.3 检测内容

预应力锚固技术的关键在于锚下有效预应力的大小，预应力施工工艺、管道摩阻、预应力筋应力松弛、锚具变形等多种因素会影响永存预应力的储备。预应力损失是导致锚下工作应力变化的重要因素。

虽然目前预应力混凝土结构基本采用智能张拉设备开展预应力张拉施工，其施工质量较以往人工张拉的工艺具有明显的先进性。主要表现为：系统能根据预设的桥梁张拉工艺，完成张拉力和钢绞线伸长量的理论计算。按照张拉工艺的要求顺序完成张拉，并记录下所有张拉记录，在张拉工作完成后，方便地将张拉记录输出成 Word 文档。当把千斤顶安装完毕后，只用点击“开始”按键即可完成本孔钢绞线的张拉，不需要任何人工干预。系统采用变频器控制油泵电机，可以无级调整千斤顶两端的供油量，以随时保证千斤顶的张拉力一致。系统的电脑控制柜和液压站电控柜之间采用有线或无线远程通信控制。系统的使用能彻底改变钢绞线张拉人工加载、人工读数、人工整理资料的现状。

但是值得注意的是：目前的智能张拉设备品种多样，其张拉设备的质量参差不齐。如果某个智能张拉设备出现张拉故障导致张拉工艺出错，则会出现同一批张拉的预应力钢绞线张拉质量不达标。预应力张拉施工质量不合格后，会出现梁体开裂下挠的典型病害，严重影响桥梁的服役性能。

1 预应力检测内容

1) 后张法预应力施工中，预应力的实际损失值直接影响到有效预应力的多少，为使预应力张拉时有比较准确的张拉控制应力，应进行现场摩阻测试。

2) 通过现场检测控制，避免因张拉不当引起的梁体不利变形，确保有效预应力充分传递，使其达到设计要求。

3) 对于拉脱法的检测技术描述如下：

对于空悬的钢索、拉杆，其张力有较好的测试方法（基于自振频率）。而对于拉杆，特别是填充拉杆，由于其内部钢绞线与外套之间存在脱空现象，使得钢绞线与拉杆壳体间的振动不一致以及难以确定振动质量及抗弯刚度，使得张力测试非常困难。此外，埋入结构内部的钢绞线体系，基于自振频率的测试方法则有很大的局限。

表4.1为工程常用方法对比。

表 4.1常用工程方法对比			
测试方法	方便、快捷	精度	工程应用
延伸量测试	是	低	常用，精度低
油压表读数	是	低	常用，精度低
压力传感器	否	高	不常用，精度高，费用高

从表4.1对比可以看出，延伸量和油压表读数测试方法为目前工程建设单位最常用方法，但是精度不高。压力传感器的费用高，仅能进行非常少量的抽检，达不到提高预应力施工质量的目的。

以下介绍目前还处在科研阶段的方法：超声波检测法和局部破损检测法。

超声波检测法：根据超声波通过预应力钢绞线张拉后频率变化来推断其应力大小，但是已有研究表明张拉力与超声波波速并不敏感，在土木工程中应用时其精度有待提高。动力检测法：该方法基于梁振动方程中频率与刚度的相关性，通过实测频率来计算梁的刚度，从而推算梁的有效预应力。该方法本质上属于间接测试精度，其精度受到众多因数影响。锚端预应力检测技术：该方法通过在锚固段安装传感器测量锚具受压状态，从而获得预应力变化值，该方法测试费用高。

局部破损检测法主要有预应力筋直接检测技术和应力释放法。局部破损检测方法需要在现场进行取样，试验工作比较繁琐。在取样过程中，要避免产生局部高温，然而，在钻孔、

切割取样时，局部高温是很难避免的。

目前仅有拉脱法能用于预应力钢绞线的锚下有效张拉力测试，其测试技术简便易行，在国内外均有应用。Mary 等使用拉脱法对加固挡土墙的预应力钢绞线的工作应力进行检测。日本及中国香港的混凝土锚固规程均规定使用拉脱法检测预应力钢绞线的工作荷载。国内研究人员在进行钢绞线施工质量检测的拉拔试验过程中，也指出了荷载-位移曲线拐点处对应的荷载即为预应力钢绞线的工作荷载。如贵阳-毕节公路某段，在滑坡治理工程中的预应力钢绞线的工程质量跟踪检测过程中，提出检测得到的荷载-位移曲线拐点对应于预应力钢绞线的工作应力。同时基于拉脱法的锚下有效张拉力测试技术在宁夏叶盛黄河特大桥、浙江台州沿海高速沿线标段、陕西汉坪高速沿线标段、汉川高速厢房里连续刚构桥等工程均有工程应用。

4.1.4 检测时间

预应力筋张拉后，48h 内进行检测，以便准确掌握张拉质量，同时满足规范对灌浆封锚的时间要求。

4.2 检测控制指标

4.2.1 一般项目

预应力张拉过程控制：

1 预应力张拉前应进行摩阻测试

在后张法预应力施工中，预应力损失既影响实际有效预应力的建立，又影响有效预应力在同断面上的分布，所以在张拉前，应进行摩阻测试（保证不同类型孔道都有两孔以上的测试）。由于管道定位误差等原因，现场测得的摩阻系数可能比理论值偏大。

本规程规定对锚圈口、锚垫板和管道进行摩阻测试，以确定张拉应力和超张拉系数。摩阻测试可用空心式压力传感器或压力表进行（若采用空心式压力传感器进行测试，为保证测试精度，一定要满足垂直度和同轴度要求）。

通过摩阻测试，准确获得有效预应力，在征得设计单位的意见后用于修正张拉控制应力。

2 预应力张拉跟踪控制

张拉直接影响有效预应力大小和同断面的离散度，其控制频率应与预应力检测频率一致：一般桥梁不宜小于 10%；对于连续梁桥、连续刚构桥等重要桥梁应加大控制频率（20%），确保张拉操作人员的工作和张拉器材的使用达到良好的效果。

张拉控制精度也是按有效预应力精度提出的。考虑锚下有效预应力影响因素多，控制难度大，因此对张拉控制精度作了必要调整。

梁体中有效预应力同一断面大小和离散度,对其预应力度、受力、变形、反拱度等均有很大影响。一般要求,梁体同一断面中有效预应力偏差控制在 $\pm 20\%$ 的范围内。由于各束预应力筋的钢绞线根数未必一样,可采用同一断面中各束绞线锚下有效预应力平均值的离散度来反映张拉施工的控制水平。实践证明,现场施工条件既可以达到上述要求,又能保证张拉应力的稳定性与精确性。

张拉跟踪控制需保持张拉过程中两端的同步性。传统方法是,在张拉时,梁体两端操作人员通过步话机联系,相互报告张拉值、伸长值的数据。由于两端张拉同步性要求高,在张拉过程中,应增加停顿次数。加载到张拉控制应力,应保证其精度和足够的持荷时间,再缓缓同步放张锚固。但数据记录、表报处理费时费事。

另外,也可在张拉各千斤顶上分别安装压力传感器、位移传感器和专用显示仪,自动检测张拉力和伸长值,显示其数据(本千斤顶)并利用无线传输自动发射,还可实时显示其他各千斤顶的张拉数据,并根据对方当前的张拉力值,及时调整,以确保两端的张拉精度(同步性、张拉控制应力和持荷时间)。仪器能自动记录所有张拉数据、可根据需要打印出来。控制精度相对较高,操作较为方便。

4.2.2 关键项目

1 有效预应力检测控制

公称直径为 15.2mm 的钢绞线,抗拉强度为 1860MPa,是日前预应力工程中应用最广泛、效果最佳的预应力筋。

大量实测资料显示,对 $f_{pk} = 1860\text{MPa}$, 公称直径为 15.2mm 的单根钢绞线,当设计张拉控制应力为 $0.7f_{pk}$ 时,对应的有效预应力应 168kN;当设计张拉控制应力为 $0.75f_{pk}$ 时,对应有效预应力为 178kN。对于其他型号的钢绞线,其有效预应力根据设计的张拉控制应力,通过试验、计算确定。

对于大小允许偏差,《公路桥涵施技术规范》(修订稿)规定,无粘结筋张拉锚固后有效预应力大小偏差为 $\pm 5\%$ 。对于离散度允许偏差,按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)的规定,张拉应力最大值为 $0.8f_{pk}$,其对应屈服强度为 $0.85f_{pk}$ 最多留有 5%考虑各单根绞线受力离散度。

对检测过程中有效预应力偏小的预应力筋,可以对其进行补张。对有效预应力偏大的预应力筋,严禁进行放张,因为如果放张后使带有夹痕的预应力筋进入应力区,将导致钢绞线绞线过早疲劳,甚至断裂。

需要说明的是,同束有效应力的检测是预应力检测控制中最重要的部分。有效预应力

大小和同断面离散度的现场统计结果如表 4.2。

表 4.2 同桥有效预应力同束离散度统计表

30m 预应力混凝土梁	孔道	同束离散度/%	同断面离散度/%
1	N1	1.2	2
	N2	1.1	
	N3	3	
2	N1	1.7	2.1
	N2	2	
	N3	2.4	
3	N1	1.2	2.3
	N2	2.3	
	N3	2	
4	N1	2.2	2.2
	N2	1.6	
	N3	2.6	
5	N1	1.4	3.5
	N2	3.3	
	N3	4.2	
6	N1	3	2.7
	N2	2.5	
	N3	2.4	
7	N1	1.2	3.1
	N2	1.7	
	N3	3	
8	N1	2.2	3
	N2	3.1	
	N3	2	
9	N1	1.3	3.4
	N2	2.8	
	N3	2.4	
10	N1	2.4	2.6
	N2	2.4	
	N3	3.4	
11	N1	2.4	2.6
	N2	2.4	
	N3	1.4	
12	N1	1.7	2.2
	N2	2.1	
	N3	1.5	

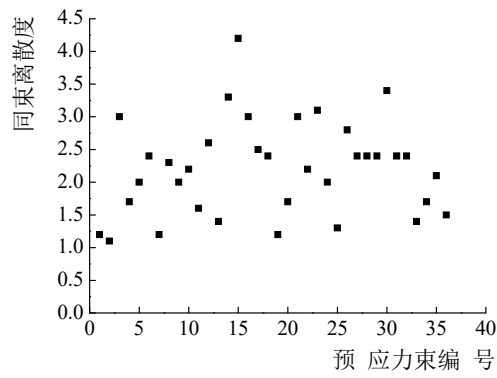


图 4.1 同束离散度分布

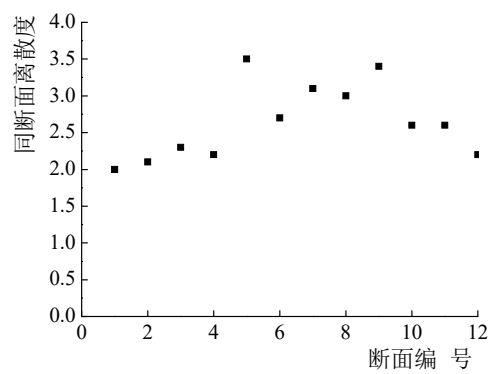


图 4.2 同断面离散度分布

分析表 4.2 和图 4.1 及 4.2 可以看出：同束离散度可控制在 4.5%以内，同断面离散度可控制在 4%以内。

5 张拉施工质量验收

5.1 一般规定

5.1.1 在规范的施工工艺下，按照预应力筋检测控制要求，判断有效预应力的 σ_{pe} 大小和离散度是否满足要求，以防止预应力筋出现断丝、疲劳，确保预应力工程的施工质量

5.1.2 由于张拉施工质量验收是本规程第一次提出，为便于全面实施，在确保质量的前提下，参照相关标准，将检验评定合格率规定如下：后张法管道安装位置偏差、摩阻大小及张拉控制精度等合格率不得低于 85 %；有效预应力、有效拉力大小和离散度合格率不得低于 90%。

5.2 验收

5.2.1 强调施工跟踪控制，过程分批验收，最后汇总验收。同断面有效预应力与设计相符，各单根钢绞线应力均匀，则证明预应力施工质量符合要求。同断面中根数不相同的整束预应力筋，对其有效预应力平均值进行评价，以判断在整个梁体中同断面有效预应力大小和离散度是否满足要求；若符合要求，则整个梁体的预应力大小及布局符合要求，梁体不利变形小，梁的预应力施工符合标准。

通过整桥顶应力施工质量评估，整个过程的验收有了比较客观和科学的评价依据。通过对同束有效预应力、同梁同断面有效预应力大小和离散度的检测控制，保证筋束使用寿命和桥梁线形符合设计要求，防止因预应力施工不当而造成的梁体下挠和腹板裂纹。通过对检测数据的统计分析，得出整座桥的预应力张拉施工质量，建立全面的桥梁预应力施工验收评估体系。

5.2.2 连续梁桥、连续刚构桥，其预应力要求高影响大，施工技术性很强，因此需当日提供检测报告，及时分析其张拉施工质量，便于迅速采取调控措施，确保质量，其综合分析报告要针对预应力大小和离散度、张拉同步控制等，可人工编写，亦可采用计算机系统编写。