

# TJG

天津市公路工程建设标准

TJG F5003-2022

## 反拉法检测评定桥梁锚下有效预应力 技术规程

Technical Specification for Detection and Evaluation of Effective Prestress under Bridge  
Anchors by Reverse Tension Method

2022-08-01 发布

2022-09-01 实施

天津市交通运输委员会发布



天津市公路工程建设标准

# 反拉法检测评定桥梁锚下有效预应力 技术规程

Technical Specification for Detection and Evaluation of Effective  
Prestress under Bridge Anchors by Reverse Tension Method

**TJG F5003-2022**

主编单位：天津市交通科学研究院  
天津交科检测科技有限公司

批准部门：天津市交通运输委员会

实施日期：2022年09月01日



## 前 言

根据天津市交通运输标准化技术委员会《关于下达 2020 年天津市公路工程建设标准制修订工作任务计划（第一批）的通知》（津交发〔2020〕162 号）的要求，由天津市交通科学研究院承担《反拉法检测评定桥梁锚下有效预应力技术规程》（2020-G01）的制定工作。

编制组经广泛调研、开展专题研究，借鉴国内外先进科研成果，参考国内现行标准，并在广泛征求意见的基础上，完成了本规程的编制。

本规程包含 5 章及 2 个附录，分别是总则、术语和符号、基本规定、现场检测、数据处理及结果评定、附录 A 反拉法基本原理、附录 B 现场记录表。

本规程由刘力博、李永强、周海成、殷明文、王伟广、王星、徐宗程、董晓明、刘秀娟、张红峰、田磊、丁翔、张建东负责起草第 1、2、3 章及附录 A，李永强、满伟、裴旺、宋少杰、张磊、李紫硕、黄明、杨春英、卞美臣、张弘博、施东、于康、王峥负责起草第 4 章及附录 B，刘力博、闫燕红、张永宾、王雪姣、张远军、吴波涛、刘爽、李思颖、杨宝霞、赵志刚、刘洋负责起草第 5 章。

本规程由天津市交通科学研究院负责具体技术内容的解释。请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规程日常管理组，联系人：刘力博（地址：天津市东丽开发区一经路 25 号；邮编：300300； E-mail: llb\_006@163.com），以便修订时参考。

主 编 单 位：天津市交通科学研究院  
天津交科检测科技有限公司

参 编 单 位：天津市公路事业发展服务中心  
天津市交通运输综合行政执法总队工程质量安全支队  
雄安新区建设工程质量安全检测服务中心  
天津海滨大道建设发展有限公司  
京台高速公路廊坊事务中心

山东恒建工程监理咨询有限公司

四川升拓检测技术股份有限公司

保定市保通公路勘测设计有限责任公司

中交一公局第六工程有限公司

主 编：刘力博 李永强

主要参编人员：闫燕红 周海成 殷明文 王伟广 王 星

张建东 徐宗程 董晓明 刘秀娟 张永宾

裴 旺 张红峰 田 磊 满 伟 黄 明

宋少杰 张 磊 李紫硕 杨春英 卞美臣

张弘博 王雪姣 丁 翔 王 峥 施 东

张远军 吴波涛 刘 洋 刘 爽 李思颖

杨宝霞 赵志刚 于 康

主 审：梁 栋

参加审查人员：訾建峰 闫卫喜 谢 斌 冯国益

## 目次

1 总则.....	- 1 -
2 术语和符号.....	- 2 -
2.1 术语.....	- 2 -
2.2 符号.....	- 2 -
3 基本规定.....	- 4 -
3.1 一般规定.....	- 4 -
3.2 检测原理.....	- 5 -
3.3 检测设备.....	- 5 -
3.4 检测频率及抽样原则.....	- 6 -
4 现场检测.....	- 8 -
4.1 检测流程.....	- 8 -
4.2 实施步骤.....	- 8 -
5 数据处理及结果评定.....	- 10 -
5.1 检测数据处理及分析.....	- 10 -
5.2 锚下有效预应力标准值.....	- 12 -
5.3 锚下有效预应力评定.....	- 13 -
5.4 检测报告.....	- 14 -
附录 A 反拉法基本原理.....	- 15 -
附录 B 现场记录表.....	- 17 -





# 1 总则

1.0.1 为规范天津市新建公路桥梁锚下有效预应力检测工作，提高其检测技术水平，确保锚下有效预应力符合设计和规范要求，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于天津市钢绞线预应力体系新建公路桥梁锚下有效预应力检测和评定，其它结构形式锚下有效预应力检测评定可参照本规程执行。

1.0.3 天津市新建公路桥梁锚下有效预应力检测除应符合本规程要求外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 锚下有效预应力 effective prestress under anchorage

预应力筋张拉锚固后，工作锚具下预应力筋留存的预应力。

#### 2.1.2 反拉法 pull -outed testing method

在梁体外对已张拉的预应力筋再次施加荷载，检测锚下有效预应力的方法。

#### 2.1.3 锚下有效预应力标准值 standard value of effective prestress under anchorage

标准工况下，预应力筋张拉锚固后，工作锚具锚口下留存的预应力。该值可通过标准试验、理论计算或数理统计的方式获得。

#### 2.1.4 设计张拉控制力 tensioning control force on designed

预应力筋锚固前张拉千斤顶所控制的张拉力，由设计文件提供。

### 2.2 符号

$A_{pk}$ —预应力筋的公称截面面积；

$E$ —预应力筋弹性模量 (MPa)；

$F_e$ —锚下有效预应力 (kN)；

$F_s$ —锚下有效预应力标准值 (kN)；

$L$ —预应力筋反拉影响长度，为预应力筋两个工作锚锚下之间的持力长度 (m)；

$l_r$ —预应力筋反拉段长度，为反拉端工具锚与工作锚锚后之间的持力长度 (m)；

$\delta$ —反拉终止时，实测预应力筋伸长量 (m)；

$\delta_0$ —反拉终止时，预应力筋反拉段理论伸长量 (m)；

$\sigma_p$ —反拉终止应力 (MPa)，反拉终止时，检测设备换算的反拉应力

值；

$\Delta\sigma_l$ —反拉补偿应力，预应力筋拉动至反拉终止时的弹性补偿应力（MPa）；

$\Delta\sigma_t$ —反拉应力损失（MPa）；

$\varepsilon$  —锚下有效预应力相对偏差。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 反拉法适用于预应力施工构件锚下有效预应力检测。

3.1.2 采用反拉法检测的构件，应满足下列要求：

1 锚头和预应力筋外露，且应满足检测设备的安装要求，预应力筋外露长度不小于 50 cm。

2 张拉施工完成 24 小时内。

3 对于有粘结预应力检测应在孔道压浆前进行。

3.1.3 锚下有效预应力检测前，应做好安全技术交底及安全防护措施，现场检测出现异常时，应立即停止检测并查明原因；在排除异常后，可重新进行检测。

条文说明：

桥梁锚下预应力检测前应做好各种危险源辨识，评估其安全应对措施，防止意外事故发生。检测区域内应设置明显的防护、警示及引导标志。进入检测区域须佩戴安全防护用品，预应力筋两端的正面严禁站人和穿越。对检测作业使用的张拉机械、仪器设备及辅助工具，应符合其安装、维护、使用等相关规定，并定期检查、检验，使其保持良好的工作状态。试验过程中，应通过观察异常反应、测试数据等进行分析判断，出现异常应停止操作，查明原因。

反拉法进行有效预应力检测时，操作不当时可能造成钢绞线断裂、夹片飞出等事故。宜在检测端设立张拉挡板（挡板宜为前面木板材料，背面钢板材料）；若张拉检测对象为边梁，应远离梁体倾覆半径 1m 以上，且辅助增加边角支撑；应尽量避免雨天进行检测工作，若雨天检测，应做好设备防水及电源防水工作，避免遇水短路。

3.1.4 测试现场应记录测试构件编号、孔道编号、大小里程编号、钢束编号等说明测试位置的信息。

3.1.5 检测设备应在检定/校准合格有效期内使用,半年以上未使用宜校准后使用,每次设备检定/校准后张拉次数不宜大于 300 次。

3.1.6 锚下有效预应力检测前应满足以下基本要求:

1 张拉施工采用的预应力筋、锚具、夹具、连接器等产品的性能及质量,应符合 JTG/T 3650 的规定;

2 张拉施工工艺与过程控制应满足设计、施工规范要求;

3 预应力现场张拉施工应记录完整,预应力筋断丝或滑丝,夹片破裂,锚具、锚垫板变形等不超过表 3.1.6 的限值。

表3.1.6 预应力筋断丝或滑丝,夹片、锚具及锚垫板等限制值要求

类别	检查项目	限制值
钢丝束 钢绞线束	每束钢丝断丝或滑丝(后张法)	1根
	每束钢绞线断丝或滑丝(后张法)	1丝
	每断面断丝之和不超过该断面钢丝总数的百分比(后张法)	1%
	同一构件内断丝数不得超过钢丝总数的百分比(先张法)	1%
夹片	横向、斜向破裂或断裂	不允许
	顶面错位	不超过 2mm
	露出锚具外高度	不超过 4mm
锚具	锚孔塑性变形、开裂	不允许
锚垫板	中心变形、出现明显挠度或破裂	不允许

条文说明:

预应力筋断丝或滑丝限制值要求来源于《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020),其它参数由大量工程实践总结获得。

### 3.2 检测原理

反拉法检测原理见附录 A。

### 3.3 检测设备

3.3.1 检测设备应包括反拉加载设备、力值与位移量测量装置。

### 3.3.2 检测设备应符合下列规定：

- 1 反拉加载设备加卸载速率应保持匀速，公称张拉力不小于最大加载力值的 1.2 倍，且不大于最大加载力值的 2 倍；
- 2 测力装置量程应为最大加载力值的 1.5~2.0 倍，测试精度不应低于 1%FS；
- 3 位移测量装置测量精度不低于 0.01mm；
- 4 检测时夹片位移量不宜超过 2mm；
- 5 反拉加载设备和测量装置宜采用一体化智能检测设备，具有自动记录和保存测力值、位移量等功能。

### 3.4 检测频率及抽样原则

3.4.1 对于预制的预应力混凝土构件，应采取随机抽取预制构件；对于现浇的预应力混凝土构件，应采取随机抽取预应力孔道。

#### 3.4.2 锚下有效预应力检测时宜按以下要求进行抽检：

- 1 预制预应力混凝土梁，反拉法按每座桥不少于同类型构件总数 3% 的比例进行抽检，且每种类型不少于 3 个构件。
- 2 现浇预应力混凝土构件，反拉法应按照不少于同类型预应力束总数 5% 的比例进行抽检，且每种类型不少于 5 束。
- 3 抽检的每个孔道均随机抽选 1 根钢绞线进行检测，当出现锚下有效预应力偏差超过本规程要求的情况时，应对全束钢绞线进行检测。
- 4 当超过 20% 的检测孔道出现锚下有效预应力偏差超过本规程要求的情况时，应增加 1 倍抽检频率。

条文说明：

抽选测试预应力孔道时不按钢束长度分类，一般以纵向预应力、横向预应力、竖向预应力、体外预应力、负弯矩预应力等类型进行抽选。对预应力连续梁桥和悬浇桥的合拢段等施工较困难位置宜增加检测数量。

考虑反拉法检测可能会对夹片等产生一定损伤，因此本规程对抽检的每个孔道均随机抽选 1 根钢绞线进行检测，仅当检测结果出现不合格情况时，

对全束进行检测。

**3.4.3** 当预应力构件出现以下情况时，应提高检测频率或全数检测：

- 1 张拉施工过程中出现张拉设备故障等异常情况；
- 2 采用新材料、新结构、新工艺施工的构件；
- 3 梁场试生产阶段的首批构件；
- 4 设计文件有相应要求的桥梁。

## 4 现场检测

### 4.1 检测流程

4.1.1 检测工作流程宜按图 4.1.1 进行。

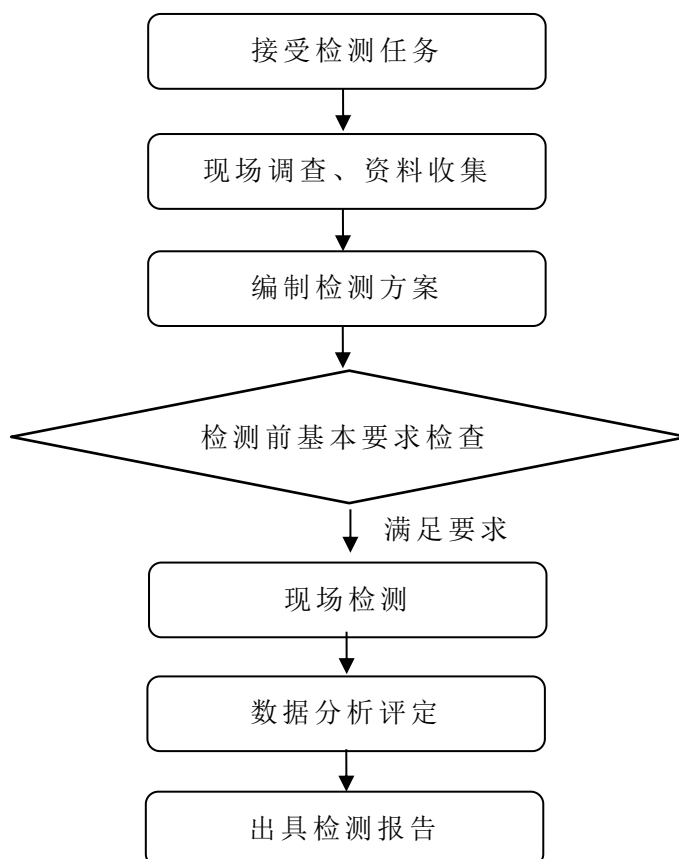


图4.1.1 反拉法检测流程图

4.1.2 检测前现场调查与资料收集宜包括设计资料、施工工艺、施工异常情况记录、现场检测实施条件等。

4.1.3 应依据检测任务和相关资料编制检测方案。检测方案宜包含工程概况、检测依据、检测内容、检测方法、检测仪器设备、所需的机械或人工配合、安全环保措施等。

### 4.2 实施步骤

- 1 准备检测设备，检查设备油压、连接是否正常。
- 2 空载状态下张拉 2~3 次，确保设备工作正常。



条文说明：

为了保证设备的正常运行和现场操作人员的安全,每次油管和千斤顶、油泵连接完成后宜进行排空气(空载运行)的步骤。

3 现场检测前应对预应力筋、锚具及夹片等部件进行清理。

4 将检测设备安装在预应力筋上,压力传感器及千斤顶轴线应与预应力筋轴线平行,并与锚具垂直。

5 反拉加载前,应确认预应力孔道两端没有人员,现场安全措施已完备。

6 反拉过程中设备采集位移及力值数据,绘制测试曲线,测试完毕后回油,将千斤顶从钢绞线上卸下。填写现场检测记录表,参见附录 B。

7 将设备复位、归零准备下一根钢绞线检测。

8 在检测过程中出现夹片断裂、锚具凹陷、锚固区结构开裂、预应力筋断丝或滑丝、预应力筋异常伸长、异常声响等异常情况时,应停止加载,查清原因并予以处理后才能继续检测。

## 5 数据处理及结果评定

### 5.1 检测数据处理及分析

5.1.1 单根锚下有效预应力按下式计算：

$$F_e = (\sigma_p - \Delta\sigma_l - \Delta\sigma_t) \times \frac{A_{pk}}{1000} \quad (5.1.1)$$

式中： $F_e$ —锚下有效预应力（kN）；

$\sigma_p$ —反拉终止应力（MPa）；

$\Delta\sigma_l$ —反拉补偿应力，预应力筋拉动至反拉终止时的弹性补偿应力（MPa），计算公式见本规程 5.1.2；

$\Delta\sigma_t$ —反拉应力损失（MPa），为预应力筋与锚圈口之间的摩擦损失，宜进行试验测定，无试验数据时可取经验摩擦损失率 2%~2.5%；

$A_{pk}$ —预应力筋的公称截面面积（mm<sup>2</sup>）。

条文说明：

从式 5.1.1 可知，准确得出锚下有效预应力值  $F_e$  与  $\Delta\sigma_l$ 、 $\Delta\sigma_t$  相关，其中  $\Delta\sigma_l$  与锚下预应力筋拉动时的弹性变形有关，反拉应力损失  $\Delta\sigma_t$  仅需考虑反拉过程中预应力筋与锚口之间的摩擦损失。

反拉检测过程中预应力筋与锚口之间的摩擦损失宜通过现场试验获得，当无可靠实测数据时，可采用锚具生产厂商提供的数据。一般情况下，预应力筋与锚口之间的摩擦损失率不宜大于 3%。

5.1.2 反拉补偿应力  $\Delta\sigma_l$  可按下式计算：

$$\text{曲线型：} \Delta\sigma_l = \frac{(\delta - \delta_0) E}{L} \left[ \frac{\kappa L + \mu \theta}{1 - e^{-(\kappa L + \mu \theta)}} \right] \quad (5.1.2-1)$$

$$\text{直线型：} \Delta\sigma_l = \frac{(\delta - \delta_0) E}{L} \quad (5.1.2-2)$$

式中： $\delta$ —反拉终止时，实测预应力筋伸长量（m）；

$\delta_0$ —反拉终止时，预应力筋反拉段理论伸长量（m）；

$L$ —预应力筋反拉影响长度，为预应力筋两个工作锚锚下之间的持

力长度 (m) ;

$E$ —预应力筋弹性模量 (MPa) ;

$\theta$ —预应力筋张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和 (rad) ;

$\kappa$ —孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数;

$\mu$ —预应力筋与孔道壁的摩擦系数。

条文说明:

反拉补偿应力  $\Delta\sigma_l$  计算公式, 参考了现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)及《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)。

**5.1.3** 预应力筋反拉段理论伸长量可按下式计算:

$$\delta_0 = \frac{\sigma_p l_r}{E} \quad (5.1.3)$$

式中:  $l_r$ —预应力筋反拉段长度, 为反拉端工具锚与工作锚之间的持力长度 (m)。

**5.1.4** 当反拉设备自动绘制的反拉力-位移曲线拐点明显时, 锚下有效预应力可由设备自动判读得到; 当反拉力-位移曲线拐点不明显设备难以自动判读时, 锚下有效预应力可采用本规程第 5.1.1~5.1.3 条的理论计算方式获得。

条文说明:

理想状态下可通过采集设备自动判断反拉力-位移曲线的拐点位置, 典型曲线见附录 A, 但实际检测中得到的反拉力-位移曲线, 由于反拉过程应力损失影响, 拐点有时并不明显, 自动判读时需要结合实际并与理论计算综合得出。

当反拉终止应力到达设计张拉控制应力, 反拉力-位移曲线若未出现拐点时, 工程实践中通常给出锚下有效应力的下限值。

## 5.2 锚下有效预应力标准值

**5.2.1** 当设计提供的为张拉控制应力时，锚下有效预应力标准值宜采用标准试验确定，当无可靠试验数据时，再采用理论计算值或经验值确定。

**5.2.2** 锚下有效预应力标准值的试验值可采用标准试验方法得到：在测试现场按设计图纸制作标准试验梁，通过在预应力筋锚下安装测力传感器进行标准张拉试验，直接测读出锚下有效预应力值。标准试验不少于3组，取锚下有效预应力的算术平均值作为标准试验的锚下预应力标准值。

**5.2.3** 锚下有效预应力标准值的计算值可采用以下公式得到：

$$F_s = [\sigma_{con} (1 - n) - \sigma_{l2}] \times \frac{A_{pk}}{1000} \quad (5.2.3-1)$$

式中： $F_s$ —锚下有效预应力标准值（kN）；

$\sigma_{con}$ —设计张拉控制应力（MPa）；

$\sigma_{l2}$ —锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩引起的应力损失(MPa)；

$n$ —锚圈口摩阻损失率（%）；

$A_{pk}$ —预应力筋的公称截面面积（mm<sup>2</sup>）。

条文说明：

预应力损失 $\sigma_{l2}$ 计算参考现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)的相关公式。

锚圈口摩阻损失率宜通过现场试验获得，当无可靠实测数据时，可采用锚具生产厂商提供的数据。一般情况下，预应力筋与锚口之间的摩擦损失率不宜大于3%。

**5.2.4** 锚下有效预应力标准值的经验值可根据本地区试验数据，通过数理统计确定。

条文说明：

江西省地方标准《公路水运工程预应力张拉有效应力检测技术规程》(DB36/T 1136-2019)，针对抗拉强度标准值为 $f_{pk}=1860\text{MPa}$ 、公称直径为

15.2mm 的钢绞线，给出了锚下有效应力控制指标经验值，见表 5.2.4。

表 5.2.4 锚下有效预应力标准值的经验值

设计张拉控制应力 $\sigma_{con}$ (MPa)	张拉方式	钢绞线长度 (m)	锚下有效预应力标准值 (kN)
0.7 $f_{pk}$	单端	$\geq 30$	170
	双端		168
	单端	25	165
	双端		163
	单端	20	155
	双端		153
0.75 $f_{pk}$	单端	$\geq 30$	183
	双端		178
	单端	25	178
	双端		173
	单端	20	168
	双端		163

注：对于 20m 以下的短梁，锚下有效预应力标准值应该以相关规范计算的理论值作为标准参考值。

### 5.3 锚下有效预应力评定

5.3.1 锚下有效预应力相对偏差  $\varepsilon$  按下式计算：

$$\varepsilon = \frac{F_e - F_s}{F_s} \times 100\% \quad (5.3.1)$$

式中： $\varepsilon$ —锚下预应力相对偏差（%）；

$F_e$ —锚下有效预应力（kN）；

$F_s$ —锚下有效预应力标准值（kN）。

5.3.2 反拉法按表 5.3.2 进行锚下有效预应力质量评定：

表 5.3.2 锚下有效预应力质量评定表

评价指标	允许偏差
锚下有效预应力相对偏差	$\pm 5\%$

5.3.3 单根钢绞线锚下有效预应力检测结果满足第 5.3.2 条时，该根钢绞线评定合格，否则对整束进行检测评定，并以整束评定结果作为最终判定。

5.3.4 当锚下预应力检测评定不合格时应采用有效措施处理，直至满足

要求。

条文说明：

当出现张拉控制应力不足造成的锚下有效预应力偏差超过-5%时，采用反拉法检测且反拉终止应力为设计张拉控制应力 $\sigma_{con}$ ，则该孔预应力筋锚下有效预应力得到了补偿，可以不再进行处治，其他不合格情况，应做退索处理，退索处理中退出的钢绞线和夹片应报废处理，严禁重复使用。

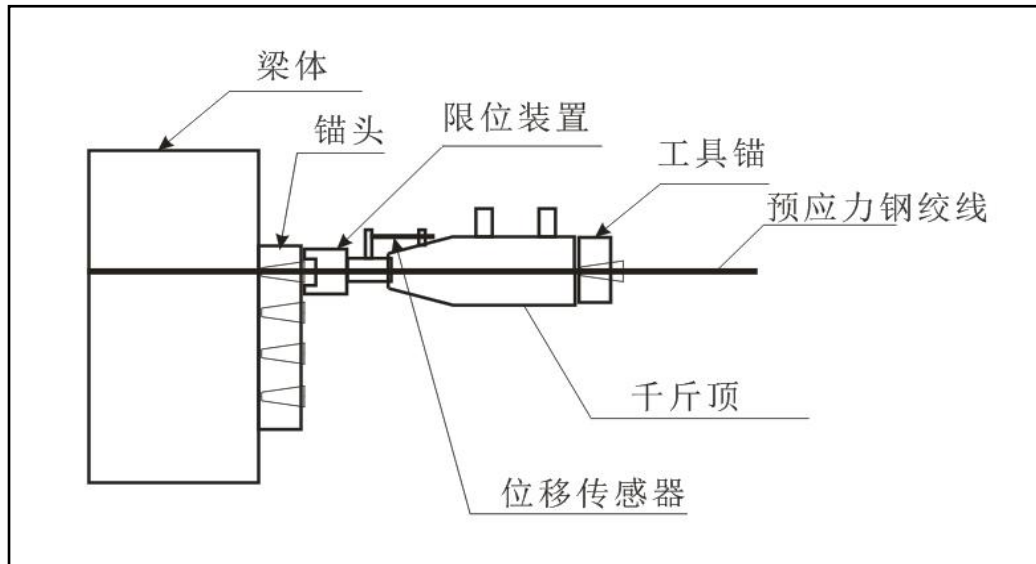
#### 5.4 检测报告

检测报告宜包括但不限于下列内容：

- 1 工程概况基本信息；
- 2 委托内容及检测目的；
- 3 检测依据、检测方法、检测设备及检测日期；
- 4 抽检数量、检测位置、检测数据分析与判定；
- 5 检测结论。

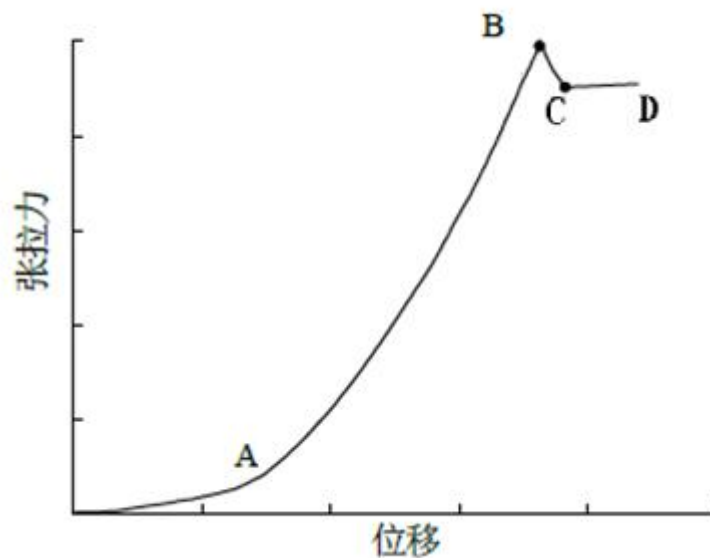
## 附录 A 反拉法基本原理

单根反拉法检测系统示意如图 A.1，在外露单根钢绞线上安装千斤顶，并在千斤顶和工作锚之间设置智能限位装置、力传感器。位移传感器记录检测中的位移情况，力传感器量测张拉过程钢绞线受力状况。



图A.1 单根张拉法基本概念

系统绘制的典型反拉力—位移关系曲线如图 A.2 所示：



图A.2 单根张拉的反拉力—位移曲线

反拉法检测过程，分为以下几个阶段：

OA 段：反拉法检测开始时，在千斤顶刚开始施加反拉荷载时，随着

反拉荷载的增加，各个结构部件的空隙被压紧，此阶段中，反拉荷载较小，预应力筋伸长量较大，在力-位移曲线上表现为斜率很小且逐渐增大。

**AB 段：**此阶段随着反拉力增加，位移增量为反拉段钢绞线的弹性变形，曲线的斜率趋于稳定；

**BC 段：**在 AB 段中，即便反拉力增至与锚下预应力相等时，夹片不会被拉脱，还需继续施加反拉荷载，直至克服了夹片咬合力时，夹片被拉脱，预应力筋重新调整受力，如图中的 BC 段。

**CD 段：**为预应力筋拉动后自由段和反拉段预应力筋的共同变形阶段，C 点对应的值即为锚下有效预应力值。

但现场实际检测得到的反拉力-位移曲线，存在拐点并非特别明显的情况，自动判读时宜结合实际并与理论计算综合得出。



## 附录 B 现场记录表

表 B.1 反拉法检测锚下有效预应力现场记录表

记录控制编号：

工程名称				
工程地点				
检验编号		检测日期		
检测依据				
使用仪器名称、编号				
结构或构件名称		张拉日期		
孔道编号	钢绞线编号	单根钢绞线实测值 (kN)	测试数据文件编号	备注
检测部位示意图				
备注				
校核			检测	

第 页 / 共 页