

公路桥梁锚下有效预应力检测技术规程

Code of practice for effective prestress detection under anchorage
in highway bridge

2024 - 12 - 31 发布

2025 - 03 - 31 实施

目 次

前言..... III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 检测工作程序 2

 4.3 检测抽样及频率 4

5 反拉法 4

 5.1 适用范围 4

 5.2 检测设备 4

 5.3 现场检测 4

6 等效质量法 5

 6.1 适用范围 5

 6.2 检测设备 5

 6.3 现场检测 5

7 质量评定 5

 7.1 锚下有效预应力标准值 5

 7.2 锚下有效预应力质量评定 6

附录A（资料性） 锚下有效预应力检测记录表 8

附录B（资料性） 锚下有效预应力检测原理（反拉法） 10

附录C（规范性） 锚下有效预应力检测方法（反拉法） 12

参考文献..... 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。

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专利的责任。

本文件由湖南省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：湖南省交通科学研究院有限公司、湖南省交通建设质量安全监督管理局、湖南省交通建设质量监督检测有限公司、湖南省平益高速公路建设开发有限公司、湖南省交通规划勘察设计院有限公司、四川升拓检测技术股份有限公司、湖南工程学院、湖南省交通建设工程监理有限公司。

本文件主要起草人：虢曙安、刘国坤、赵一林、谢振文、魏维、杜勇立、易武、吴佳晔、陈时通、钟文、庄宝利、雷顺成、陈亮、李献、黄魏平、徐朔、董戈、吴海彬、邓立。

公路桥梁锚下有效预应力检测技术规程

1 范围

本文件规定了公路桥梁锚下有效预应力检测的基本规定、反拉法、等效质量法、质量评定等内容。

本文件适用于新建、改扩建公路桥梁锚下有效预应力检测，其他行业锚下有效预应力检测参考使用。

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/T 5223 预应力混凝土用钢丝
- GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
- GB/T 20065 预应力混凝土用螺纹钢筋
- JT/T 329 公路桥梁预应力钢绞线用锚具、夹具和连接器
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锚下有效预应力 effective prestress under anchorage

预应力筋张拉锚固后，锚具锚口下预应力筋实际留存的预应力。

3.2

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

预应力筋张拉锚固后，锚具锚口下预应力筋应留存的预应力。

3.3

张拉控制应力 control stress for tensioning

现场预应力筋张拉施工时，由千斤顶实际张拉控制的梁体内锚下预应力筋应力。

3.4

反拉终止应力 termination stress on pull-outed testing

反拉法检测中，当千斤顶反向张拉终止时，检测设备读出的反拉力值与预应力筋截面面积之比。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 混凝土桥梁预应力张拉施工应做好质量控制工作。

4.1.2 现场检测应做好记录，记录见附录A。

4.1.3 锚下有效预应力现场检测宜采用反拉法，反拉法检测原理见附录B，不具备反拉法检测条件时，可采用等效质量法。

4.1.4 开展桥梁锚下有效预应力检测前后，应进行基本要求的检查，内容包括：

- a) 检测设备应配套齐全、功能完整，并通过计量部门检定、校准，检测前应对设备进行功能检查；
- b) 张拉施工采用的钢丝、钢绞线、螺纹钢筋、锚具、夹具、连接器等材料的性能和质量应符合现行国家和行业标准的规定。钢丝应符合GB/T 5223的规定，钢绞线应符合GB/T 5224的规定，螺纹钢筋应符合GB/T 20065的规定，锚具、夹具、连接器应符合JT/T 329的规定；
- c) 张拉施工工艺与过程控制满足设计、施工技术规范要求；
- d) 预应力现场张拉施工记录应完整，预应力筋滑丝或断丝，夹片破裂，锚具和锚垫板变形等预应力体系技术参数应不超过表1的限制值。

表 1 预应力体系技术参数限制值要求

类别	检测项目	限制值
钢丝束/钢绞线束	每束钢丝断丝或滑丝	1 丝
	每束钢绞线断丝或滑丝	1 根
	每个断面断丝之和不超过该断面的钢丝总数的百分比	1 %
螺纹钢筋	断筋或滑移	不允许
夹片	横向、斜向破裂或断裂	不允许
	顶面错位	不超过 2 mm
	露出锚具外长度	不超过 4 mm
锚具	锚孔塑性变形	不允许
锚垫板	中心变形、出现明显挠度或破裂	不允许

4.2 检测工作程序

4.2.1 锚下有效预应力检测应按图1所示工作程序进行。

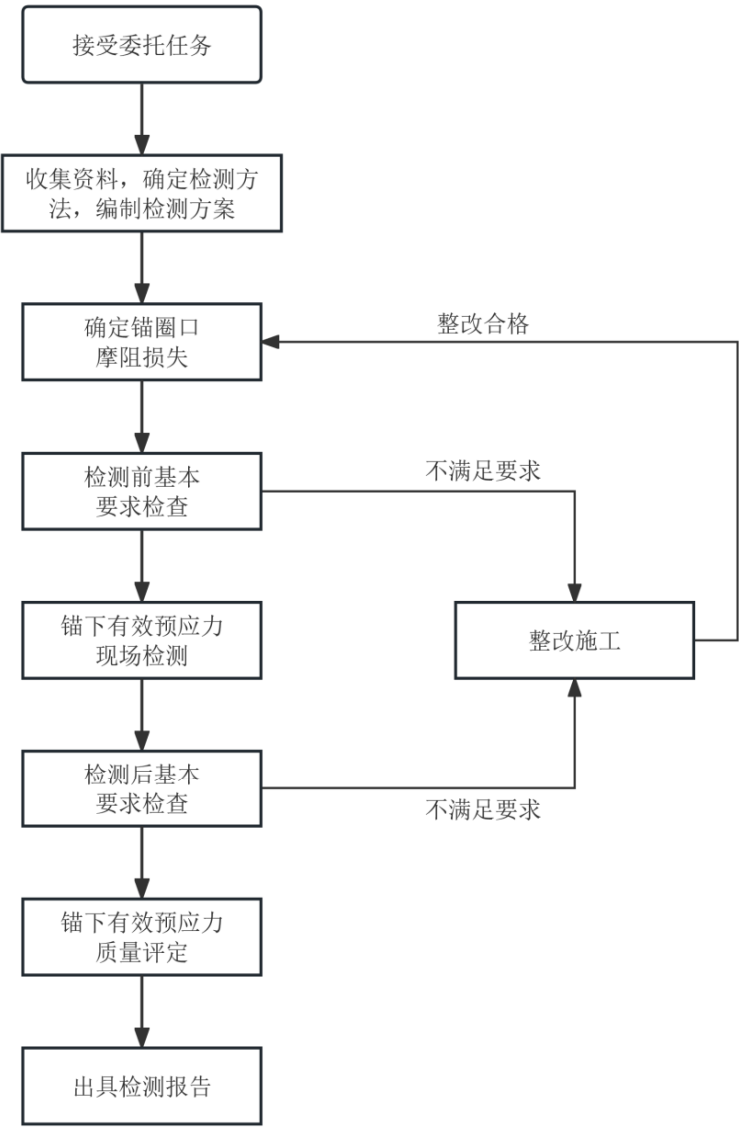


图1 锚下有效预应力检测工作程序

- 4.2.2 检测前资料收集和现场调查应包括：
- a) 设计资料，包括预应力筋张拉控制应力、伸长量和超张拉情况；
 - b) 施工工艺和现场施工异常情况；
 - c) 现场张拉时间记录；
 - d) 现场检测条件。
- 4.2.3 检测单位应根据检测任务和相关资料编制检测方案，检测方案应包括工程概况、检测依据、检测内容、检测设备、检测方法、机械设备、人员配置及安全防护措施等。
- 4.2.4 现场检测开始前应进行锚圈口摩阻损失的确认，锚圈口摩阻损失参照JT/T 329中相关试验方法确定，当不具备试验条件时，可采用锚具生产厂家提供值或经验值。
- 4.2.5 现场检测条件满足以下要求：
- a) 反拉法检测时预应力构件应未压浆，检测端预应力筋外露长度应满足检测设备的安装条件，宜在施工张拉完成后24 h内进行检测；

- b) 等效质量法检测时锚具应具备加速度传感器布设条件；
- c) 应满足国家安全生产规定，具备有效的安全措施。

4.2.6 当现场检测出现异常情况时，应立即停止检测并查明原因，排除异常后重新检测。

4.3 检测抽样及频率

4.3.1 预制预应力混凝土梁板，应随机抽样预制梁板；节段预制或现浇预应力混凝土结构，应随机抽样预应力孔道。

4.3.2 锚下有效预应力检测以抽检为主，检测频率符合下列规定：

- a) 每个预制场的前3片预制梁板应全部进行预应力检测；预制梁板抽样数量应不少于每座桥梁板数量的3%，且抽查不少于3片预制梁板；抽检的梁板所有孔道应全检；
- b) 每个节段预制或现浇预应力混凝土结构前3束预应力束应全部进行预应力检测；节段预制或现浇预应力混凝土桥梁应按每座桥梁孔道数量的3%抽检，当预应力桥梁有横向、竖向、纵向预应力时，各向预应力应均按3%抽检，且各向预应力抽检孔道数量不少于5束；
- c) 先简支后连续的桥梁，应按每座桥梁负弯矩孔道数量的3%抽检，且不少于5束。
- d) 锚下有效预应力偏差超过本文件要求，应加倍增加抽检频率。

4.3.3 张拉施工过程中出现异常情况，应全数检测。

5 反拉法

5.1 适用范围

本方法适用于锚头外露，预应力筋外露长度应不小于60cm，未注浆的预应力混凝土构件。

5.2 检测设备

5.2.1 检测设备应包括反拉加载设备和测量设备，宜采用一体化智能检测设备，具有测力值与位移量的自动记录和保存功能。

5.2.2 反拉加载设备应具备均匀加卸载、自动停止和数据保存功能。

5.2.3 反拉测量设备应包括力值测量装置和位移测量装置，且符合下列规定：

- a) 力值测量装置测量精度应不低于仪器满量程的1%，且具备至少1个应力传感器；
- b) 位移测量装置测量精度应不低于0.01 mm，且具备至少3个位移传感器；
- c) 位移测量装置应具有侦测夹片位移功能；
- d) 反拉测量设备应具有控制钢绞线位移量不超过2 mm的功能。

5.3 现场检测

5.3.1 现场检测前应提前将待测预应力筋、工作锚具、夹片等上的异物清理干净。

5.3.2 检测设备安装符合下列规定：

- a) 安装反拉加载设备应使力作用线与预应力筋的轴线重合；
- b) 检测设备安装完成后应进行检查和调试，确认正常后方可开展检测工作。

5.3.3 反拉法检测方法应符合附录C的要求。

5.3.4 反拉法检测时，应做好安全防护措施，千斤顶正后方不应站人。

6 等效质量法

6.1 适用范围

等效质量法检测适用于预应力张拉效果普查。

6.2 检测设备

6.2.1 检测设备主要包括激振装置、传感器、放大器、采集系统、数据分析系统等，应具有冲击振动信号采集与分析功能。

6.2.2 测试设备符合下列规定：

- a) 检测设备系统标定幅值相对误差应为 $\pm 5\%$ ，电信号测量相对误差应为 $\pm 1.0\%$ ；
- b) 传感器宜采用压电式加速度传感器，频响范围宜介于 $0.1\text{ kHz}\sim 20\text{ kHz}$ ；
- c) 放大器宜采用电荷放大器，最大增益倍率宜不小于 40 dB ，且增益倍率可调
- d) 采集系统中模数转换（A/D）卡通道数应不少于2个，采样分辨率应不低于 16 bit ，最大采样频率应不小于 500 kHz ；
- e) 数据分析系统应具有滤波降噪、频响补偿、高速傅立叶变换（FFT）和最大熵法（MEM）频谱分析等功能。

6.3 现场检测

6.3.1 应提前将封锚后的锚具表面清理干净，露出完整锚具，且钢绞线外露长度不大于 5 cm 。

6.3.2 现场检测应具备激振锤摆动空间及传感器安装空间，且符合下列规定：

- a) 安装及敲击部位应正对且居中；
- b) 传感器安装位置与激振位置应处于同一竖直方向。

7 质量评定

7.1 锚下有效预应力标准值

7.1.1 锚下有效预应力标准值宜采用标准试验确定。

7.1.2 锚下有效预应力标准值的试验值符合以下规定：

- a) 应在测试现场按设计图纸制作标准试验梁；
- b) 锚下有效预应力值应通过在预应力筋锚下安装测力传感器，通过标准张拉试验读取；
- c) 应通过不少于3组标准试验，求得锚下有效预应力的算术平均值作为标准试验的锚下有效预应力标准值；
- d) 标准试验得出的最大试验值、最小试验值与算术平均值的偏差应不大于 1% ，若超过 1% ，应去掉最大值和最小值后，剩下的数据重新完成偏差计算，直至满足偏差要求；
- e) 锚下有效预应力标准值应取标准试验的锚下有效预应力算术平均值。

7.1.3 不具备试验条件时，设计文件中对锚下有效预应力标准值有明确规定的以设计文件为准；设计文件中未明确锚下有效预应力标准值，标准值的理论计算可通过下列方法计算：

- a) 先张法预应力筋，按式（1）计算。

$$F_s = \left(\sigma_{con} - \sigma_{l2} - \sigma_{l3} - \sigma_{l4} - \frac{\sigma_{l5}}{2} \right) \times \frac{A_{pk}}{1000} - \Delta F \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- F_s ——锚下有效预应力标准值，单位为千牛（kN）；
 σ_{con} ——张拉控制应力，单位为兆帕（MPa）；
 σ_{l2} ——锚具变形、预应力筋回缩和接缝压缩引起的应力损失，单位为兆帕（MPa）；
 σ_{l3} ——预应力筋与台座之间的温差引起的应力损失，单位为兆帕（MPa）；
 σ_{l4} ——混凝土的弹性压缩引起的应力损失，单位为兆帕（MPa）；
 σ_{l5} ——预应力筋的应力松弛引起的应力损失，单位为兆帕（MPa）；
 A_{pk} ——预应力筋公称截面面积，单位为平方毫米（mm²）；
 ΔF ——锚圈口摩阻损失，单位为千牛（kN）。

b) 后张法预应力筋，按式（2）计算。

$$F_s = (\sigma_{con} - \sigma_{l1} - \sigma_{l2} - \sigma_{l4}) \times \frac{A_{pk}}{1000} - \Delta F \dots \dots \dots (2)$$

式中：

- σ_{l1} ——预应力钢筋与管道壁之间的摩擦引起的应力损失，单位为兆帕（MPa）；
 其他符号同式（1）。

c) 各项应力损失计算参照JTG 3362中相关公式；锚圈口摩阻损失参照JT/T 329中相关试验方法确定，当不具备试验条件时，可采用锚具生产厂家提供值或经验值。预应力钢筋与台座之间的温差、混凝土的弹性压缩、预应力钢筋的应力松弛引起的应力损失可忽略不计。

7.1.4 符合下列条件时，单根钢绞线有效预应力标准值可按表2参考使用：

- a) 20 m~40 m的预应力梁板；
 b) 钢绞线抗拉强度标准值（ f_{pk} ）为1860 MPa，公称直径为15.2 mm；
 c) 采用反拉法检测，以“力与位移”（F-S）曲线拐点对应的张拉力作为有效预应力值。

表2 单根钢绞线锚下有效预应力标准值

张拉控制应力 MPa	梁板长度 m	单根钢绞线有效预应力标准值 kN
0.7 f_{pk}	40	170
	30	168
	20	163
0.75 f_{pk}	40	182
	30	180
	20	175

非标准长度预应力梁板有效预应力标准值可采用线性插值法进行计算。

7.2 锚下有效预应力质量评定

7.2.1 锚下有效预应力评定指标应通过下列方法计算：

- a) 整束预应力筋锚下有效预应力相对偏差，按式（3）计算。

$$\Delta = \frac{F'_e - F'_s}{F'_s} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

式中：

- Δ ——整束预应力筋锚下有效预应力相对偏差（%）；
 - F'_e ——整束预应力筋锚下有效预应力，单位为千牛（kN）；
 - F'_s ——整束预应力筋锚下有效预应力标准值，单位为千牛（kN）。
- b) 锚下有效预应力同断面不均匀度，按式（4）计算。

$$\omega = \frac{F_{e_{max}} - F_{e_{min}}}{F_d} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- ω ——锚下有效预应力同断面不均匀度（%）；
- $F_{e_{max}}$ ——同断面中各束预应力筋锚下有效预应力最大值，单位为千牛（kN）；
- $F_{e_{min}}$ ——同断面中各束预应力筋锚下有效预应力最小值，单位为千牛（kN）；
- F_d ——同断面中各束预应力筋锚下有效预应力平均值，单位为千牛（kN）。

7.2.2 反拉法应按表3进行锚下有效预应力质量评定。

表3 锚下有效预应力质量评定表（反拉法）

评价指标	允许值	评定结果
整束预应力筋锚下有效预应力相对偏差 Δ	$-5\% \leq \Delta \leq 7\%$	在允许值范围内判定为合格，反之判定为不合格
锚下预应力同断面不均匀度 ω	$\omega \leq 2\%$	在允许值范围内判定为合格，反之判定为不合格

7.2.3 等效质量法检测结果用于锚下有效预应力的初步判定，相对偏差大于15%时，宜辅助其他手段进一步评定。

附 录 A
(资料性)
锚下有效预应力检测记录表

A.1 表A.1给出了锚下有效预应力检测记录表（反拉法）。

表 A.1 锚下有效预应力检测记录表（反拉法）

检测单位名称：记录编号：

工程名称			
桥梁名称		梁体编号	
梁体类型 (预制/现浇)		检测部位 (大/小里程)	
梁长		检测日期	
张拉控制应力 (单根)		锚下有效预应力标准值 (单根)	
主要仪器设备名称 及编号			
预应力束编号	钢绞线编号	实测值 (kN)	备注
附加声明：			

检测：记录：复核：日期：年 月 日

A.2 表A.2给出了锚下有效预应力检测记录表（等效质量法）。

表 A.2 锚下有效预应力检测记录表（等效质量法）

检测单位名称：

记录编号：

工程名称			
桥梁名称		梁体编号	
梁体类型 (预制/现浇)		检测部位 (大/小里程)	
梁长		检测日期	
张拉控制应力 (单根)		锚下有效预应力标准值 (单根)	
主要仪器设备名称 及编号			
预应力束编号	钢绞线数量	实测值 (kN)	备注
附加声明：			

检测：记录：复核：日期： 年 月 日

附录 B

(资料性)

锚下有效预应力检测原理（反拉法）

B.1 基于“力与位移”曲线的检测原理

B.1.1 典型的反拉法检测“力与位移”(F-S)曲线如图B.1所示。反拉法检测开始时,反拉力慢慢增大,各个部件设备间空隙进一步被排除,此阶段反拉力增加较小,而位移迅速增加,在F-S曲线上斜率较小,如图B.1中的OA段。

B.1.2 待OA段结束后,各个部件间空隙全部被压紧,此阶段随着反拉力增加,位移增量为工作段预应力筋的弹性变形,曲线的斜率趋于稳定,如图B.1中的AB段。

B.1.3 在AB段末端,反拉力达到平衡锚下有效预应力与静摩擦力之和,反拉力持续作用,完成克服摩擦力,此时,预应力体系将进行一个调整,如图B.1中的BC段,此阶段夹片与锚具之间的摩擦消失,夹片将随着预应力筋向外移动,直至被限位板(筒)限制住。

B.1.4 当夹片松动后,反拉力继续增大,此时位移增量为工作段预应力筋和外预应力筋弹性变形之和,显然此时单位反拉力带来的位移量大得多,在F-S曲线上斜率减小,如图B.1中的CD段。因此,C点以后的张拉可以认为已经克服了夹片摩擦阻,因此,可将C点作为锚下有效预应力的判据。

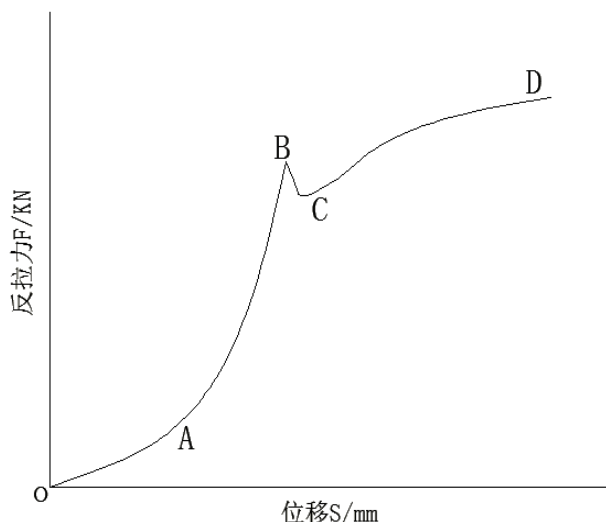


图 B.1 反拉法检测“力与位移”(F-S)关系曲线

B.2 基于夹片位移控制的检测原理

如图B.2所示,在外露单根预应力筋上安装限位装置,并在限位装置与千斤顶之间设置压力传感器,千斤顶启动后预应力筋被张拉,当反拉力小于锚下有效预应力时,由于夹片对预应力筋的紧固力效应,内部预应力筋不会发生位移。当反拉力略大于锚下有效预应力时,夹片松动并与内部预应力筋一道发生向外的微小位移,限位装置通过识别该平衡点并控制油泵停止工作,这时压力传感器显示值就是锚下有效预应力值。

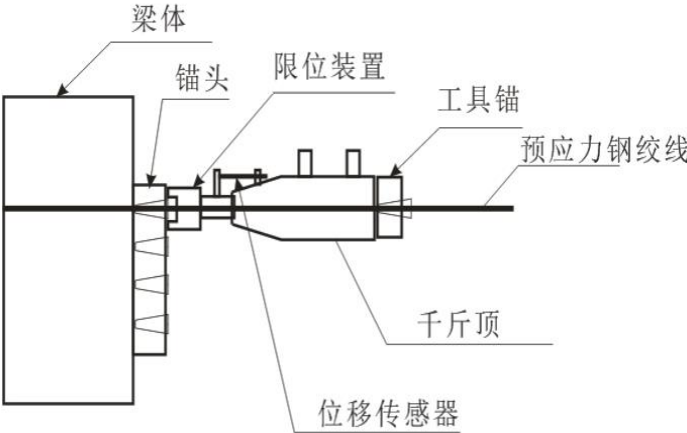


图 B.2 基于夹片位移控制的检测原理示意图

附录 C

(规范性)

锚下有效预应力检测方法（反拉法）

C.1 检测步骤

检测步骤如下：

- a) 检查检测现场是否满足作业和人员安全的要求；
- b) 检查设备主要参数的设置是否正确；
- c) 按顺序安装限位装置、位移传感器、千斤顶等，连接网络，启动设备；
- d) 实施检测，采集数据；
- e) 根据所采集的数据进行分析处理与质量评定。

C.2 加、卸载及数据采集要求

C.2.1 加、卸载程序应为0→初应力→反拉终止应力→0，初应力为0.1~0.2，且反拉终止应力不大于控制张拉应力；控制张拉应力由设计文件提供，反拉终止应力可通过夹片退出工作、“力与位移”关系曲线出现拐点突变确定；

C.2.2 加载速率宜不大于0.2/min，卸载速率宜不大于0.5/min；

C.2.3 初应力稳定时间应不少于1 min；稳定时段内的位移变化量不大于1 mm时，应测量并记录初始应力值及初始位移量，否则应停止加载，找出原因并重新加载；

C.2.4 当张拉达到反拉终止应力，且小于时，应测量并记录反拉终止应力值及位移量；

C.2.5 当张拉达到反拉终止应力，且等于时，应稳压不少于1 min；稳定时段内位移变化量不大于1 mm时，应测量并记录反拉终止应力值及位移量，否则应继续稳压至位移变化率小于0.1 mm/min；

C.2.6 稳压期内记录位移量应不少于3次。

参考文献

- [1] JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范[S]
 - [2] JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程[S]
-