

公路桥梁锚下有效预应力检测技术规程

2025 - 04 - 11 发布

2025 - 07 - 10 实施

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 基本规定	2
5 应变法	3
6 反拉法	5
7 质量评定	6
附 录 A （资料性） 检测报告样表	7
附 录 B （资料性） 公路桥梁锚下有效预应力应变法检测现场记录表	9
附 录 C （资料性） 公路桥梁锚下有效预应力反拉法检测现场记录表	10
附 录 D （资料性） 公路桥梁锚下有效预应力反拉法检测原理	11

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。

本文件代替DB 14/T 1717—2018《公路桥梁锚口有效预应力检测技术规程》，与DB 14/T 1717—2018相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

——修改了范围（见第1章，2018年版第1章）。

——修改了规范性引用文件（见第2章，2018年版第2章）。

——增加了应变法的术语和定义（见第3章，2018年版第3章）。

——修改了基本规定中适用条件、检测要求及数量，增加了检测工作程序、检测报告内容，删除了原检测方法、检测原理（见第4章，2018年版第4、5章）。

——增加了应变法检测内容（见第5章）。

——修改了反拉法检测内容（见第6章，2018年版第4、5章）。

——修改了质量评定（见第7章，2018年版第6章）。

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。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对本文件的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西省交通建设工程质量检测中心（有限公司）、山西省交通科技研发有限公司、山西交通科学研究院集团有限公司。

本文件主要起草人：赵文溥、牛彦峰、吕立宁、毛敏、郝海刚、王望春、史文秀、屈勇、傅莉、陈梦、朱焯、刘澍晴、侯伟、芦永杰、周廷友、王林娟、孙德文、郝岳华、申雁鹏、汪贤安。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——本文件2018年10月01日首次发布，本次为第一次修订。

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术语和定义、基本规定、应变法和反拉法质量评定等内容。

本文件适用于公路桥梁锚下有效预应力检测，其他预应力混凝土结构锚下有效预应力检测可参照使用。

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 15406 岩土工程仪器基本参数及通用技术条件

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

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

预应力筋张拉锚固后，扣除锚具变形、预应力筋回缩和混凝土弹性压缩等预应力损失后，锚下留存的应力。

3.2

应变法

通过对未注浆的预应力筋布置应变传感器测量锚下有效应力的检测方法。

3.3

反拉法

通过对未注浆的预应力筋进行反向张拉测量锚下有效应力的检测方法。

3.4

同束不均匀度

同一束中实测各单根预应力筋锚下有效预应力最大值与最小值之差与同束平均值的百分比。

3.5

同断面不均匀度

同一断面中每束预应力筋平均锚下有效预应力最大值与最小值之差与各束平均值的百分比。

4 基本规定

4.1 适用条件

- 4.1.1 应变法检测应从预应力筋张拉施工开始，直至整个张拉锚固过程结束。
- 4.1.2 反拉法检测应在预应力筋张拉施工完成后，孔道未注浆，未封锚、预应力筋未切割且工作长度不小于 50cm 的情况下进行。

4.2 检测仪器设备

- 4.2.1 检测仪器设备在使用前应进行检查、调试，确认状态正常。
- 4.2.2 检测仪器设备的计量器具应定期进行检定或校准，且处于有效期内。
- 4.2.3 同一批构件宜选用同种规格的检测设备。

4.3 检测要求

- 4.3.1 预制预应力混凝土构件应采用随机方式抽取预制构件；现浇预应力混凝土构件应采用随机方式抽取预应力孔道。
- 4.3.2 张拉施工过程中有下列情况之一，应进行检测：
 - 张拉机出现故障或仪表数据异常；
 - 发生异常现象或认为需要检测的其他现象。
- 4.3.3 检测数量不应低于以下要求：
 - 预制梁场的首 3 榀预应力混凝土构件应进行检测；
 - 预制预应力混凝土构件，抽检数量不应少于预制构件总数量的 10%，且单项工程不应少于 3 榀；
 - 现浇预应力混凝土结构按断面或节段抽检，抽检数量不少于 20%；
 - 当出现锚下有效预应力偏差超过要求时，应增加检测频率。

4.4 检测工作程序

- 4.4.1 收集相关的设计文件及施工记录等资料。
- 4.4.2 了解检测项目现场情况，选择合理的检测方法并编制检测方案。
- 4.4.3 现场检测工作应依据检测方案实施，安全与环境保护按相关规范执行。
- 4.4.4 对检测数据进行分析 and 结果评定，出具检测报告。
- 4.4.5 检测工作应按图 1 的流程进行。

4.5 检测报告内容

- 4.5.1 检测报告应结论明确，用词规范，报告样表参见附录 A。
- 4.5.2 检测报告应包括下列内容：
 - 项目概况及受检对象的基本信息，工程名称、地点，建设、设计、监理及施工单位，设计相关要求及张拉完成日期。
 - 检测目的、依据、人员及仪器设备、数量、方法、日期、环境条件、过程描述。
 - 被检梁的检测数据，现场检测影像资料，表格和汇总结果。
 - 检测结论与建议。

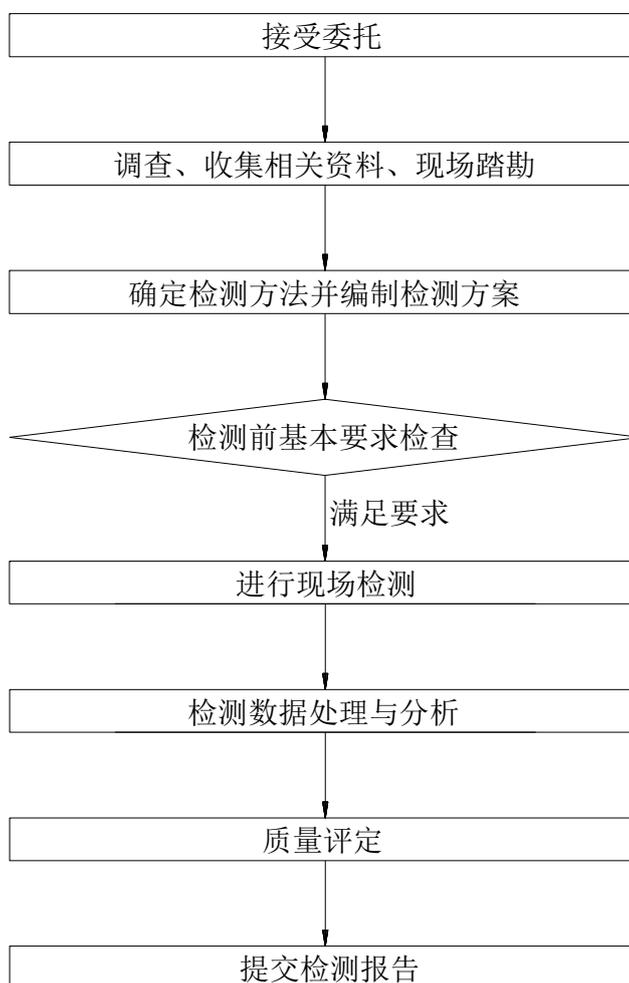


图1 检测工作流程图

5 应变法

5.1 一般规定

5.1.1 应变法适用于后张法施工预应力桥梁结构、体外预应力桥梁结构的锚下有效预应力检测。

5.1.2 检测环境应符合下列要求：

- 温度 5℃-35℃ 范围内，气象条件较平稳时段，大风、雨雾雪等恶劣天气下不得开展检测工作。
- 无冲击、振动、强磁场、强电场等干扰。

5.2 检测仪器与设备

5.2.1 检测仪器设备应包括应变传感器、放大调理仪、数据采集与输出设备及连接线缆等。

5.2.2 检测仪器符合下列规定：

- 应变传感器的量程应满足要求，分辨率不低于 $1\mu\epsilon$ 。

5.3 现场检测

5.3.1 检测前准备工作符合下列规定：

- 预应力筋布设应变传感器位置应清理干净，确保应变传感器布设牢靠。
- 检测设备安装完成后应进行系统调试和不少于 15min 的稳定观测，确认正常后应及时开展检测工作。

5.3.2 应变测点布置符合下列规定：

- 应变测点布设应反映预应力筋锚下预应力分布特点。
- 应变测点布设位置与工作锚间距宜为预应力筋最大计算伸长量增加 10-20cm。
- 每束预应力筋应逐根布设测点，单根预应力筋沿轴向布设不少于 3 个测点，测点间距宜为 5cm-10cm。
- 采用粘贴应变片测试时，每个测点应沿预应力筋环向布设不少于 3 个应变片。

5.3.3 数据采集与记录符合下列规定：

- 应记录张拉过程中每一级荷载值、测点应变值、环境温度等。
- 加、卸载期间应变采样频率宜为 1 次/0.05 σ_{con} ；持荷期间采样频率应不小于 1 次/min，且不少于 3 次。
- 宜采用自动采集系统记录，采用人工记录时应及时、准确，现场检测记录表，参见附录 B。

5.3.4 检测过程发生下列情况时，应停止加载，查明原因，做好记录，采取措施后再确定是否继续：

- 实测应变值超过理论计算值。
- 实测应变值变化规律异常。
- 出现夹片破裂、锚具凹陷、预应力筋断丝或滑移、混凝土开裂、异常响声等异常现象。

5.4 检测数据处理与分析

5.4.1 检测数据温度修正可按式（1）进行计算：

$$\varepsilon_t = \Delta t K_t \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- ε_t ——测点检测过程应变温度修正值；
- Δt ——检测时段内的温度变化量(°C)；
- K_t ——空载时温度变化 1°C 测点应变变化值(1/°C)。

5.4.2 预应力筋有效应变可按式（2）进行计算：

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_0 - \varepsilon_p - \varepsilon_t - \varepsilon_R \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $\Delta \varepsilon$ ——预应力筋有效应变值；
- ε ——荷载作用下测量的预应力筋总应变值；
- ε_0 ——应变初始值；
- ε_p ——荷载作用下预应力筋非线性应变修正值；
- ε_t ——应变温度修正值；
- ε_R ——导线电阻修正值(若检测仪器设备自带导线电阻修正，可不计)。

5.4.3 单根锚下有效预应力计算可按式（3）、（4）进行计算：

$$\Delta \bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \Delta \varepsilon_i \dots\dots\dots (3)$$

$$F_e = E \cdot \Delta \bar{\varepsilon} \cdot \frac{A}{1000} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

F_e ——单根预应力筋锚下有效预应力（kN）；

A ——钢绞线公称面积（mm²）；

E ——预应力筋材料弹性模量（MPa）；

$\Delta\varepsilon_i$ ——第 i 测点的有效应变；

$\Delta\bar{\varepsilon}$ ——平均有效应变；

N ——应变测点数量。

6 反拉法

6.1 一般规定

检测方式宜采用逐根反拉检测，现场条件不允许时可抽取检测。

6.2 检测仪器与设备

6.2.1 检测仪器设备应包括压力传感器、油泵、千斤顶等。

6.2.2 检测仪器符合下列规定：

——压力传感器应符合 GB/T 15406 的规定，测量精度不得低于 1%FS。

——张拉设备量程应满足最大加持荷载要求，具备稳压能力，进油速率均匀等性能。

——检测时夹片位移量不宜超过 1mm。

6.3 现场检测

6.3.1 检测前准备工作符合下列规定：

——已张拉预应力筋、锚具、夹片等部件应清理干净。

——反拉法检测应有足够操作空间。

——检测设备安装完成后应进行系统调试，确认正常后应及时开展检测工作。

6.3.2 检测工作符合下列规定：

——将检测设备依次安装于预应力筋上，且压力传感器及千斤顶轴线应与预应力钢束走向平行，并与锚具垂直。

——在确定现场人员未站在预应力筋正前方的情况下开始实施张拉，每次采集数据前，应对检测系统进行归零设定，同时按附录 C 填写现场检测记录表。

6.3.3 检测过程发生下列情况时，应停止加载，查明原因，做好记录，采取措施后再确定是否继续：

——实测力值超过理论计算值。

——实测力值变化规律异常。

——出现夹片破裂、锚垫板凹陷、预应力筋断丝或滑移、混凝土开裂、异常响声等异常现象。

6.4 检测数据处理与分析

反拉法基于“位移-力”曲线的检测时或基于夹片位移控制的检测时，由设备自动判读或由人工判读并记录现场实测值，具体检测结果依据检测原理见附录D。

7 质量评定

7.1 评价指标

公路桥梁锚下有效预应力采用相对偏差、不均匀度两项指标综合判定。
其中，相对偏差 τ 按公式（5）、（6）计算：

$$\tau = \frac{F_e - F_d}{F_d} \dots\dots\dots (5)$$

$$F_d = k \cdot F \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- τ ——单根锚下预应力相对偏差，用百分数表示；
- F_d ——单根锚下有效预应力预应力设计值（KN）；
- F ——锚下有效预应力张拉控制值（KN）；
- k ——锚下有效预应力张拉控制值修正系数（%）。

锚下有效预应力张拉控制值修正系数可参照公式（7）、（8）进行计算。

$$k = 1 - m - n \dots\dots\dots (7)$$

$$m = \frac{\Delta \cdot E \cdot A}{L \cdot F} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- m ——预应力束回缩损失比（%）；
- Δ ——夹片回缩长度（一般取10mm~12mm）；
- L ——两端锚固点之间梁长度；
- n ——锚下摩擦损失比（%），取值可采用经验值（2.0%~2.5%）或试验测定数据。

7.2 质量评定要求

桥梁锚下有效预应力质量评定见表1规定。

表1 公路桥梁锚下有效预应力质量评定表

评定指标	允许值
单根相对偏差	±5%
整束相对偏差	±5%
同束不均匀度	5%
同断面不均匀度	2%

注1：超出以上允许值均不合格，整束相对偏差为同一束中全部单根锚下有效预应力相对偏差的平均值。

附录 A
(资料性)
检测报告样表

报告封面:

XXX 桥
锚下有效预应力

试验检测报告

单位名称:
XX 年 XX 月

报告正文结构如下：

第一章 概述

1. 工程概况
2. 试验检测目的
3. 试验检测依据
4. 试验检测主要项目
5. 试验检测主要仪器设备

第二章 锚下有效预应力检测

1. 试验检测准备情况
2. 试验检测方法及相关使用的主要仪器设备
 - 2.1 检测原理
 - 2.2 检测设备
 - 2.3 检测步骤
3. 试验检测结果
 - 3.1 锚固端钢束编号
 - 3.2 检测结果分析

第三章 结论与建议

1. 检测结果
2. 建议

附录 B

(资料性)

公路桥梁锚下有效预应力应变法检测现场记录表

公路桥梁锚下有效预应力应变法检测现场记录表参照表B.1。

表B.1 公路桥梁锚下有效预应力应变法检测现场记录表

试验记录编号: XXX

第 页 共 页

工程名称		结构型式					
委托单位		施工单位					
检测单位		检测日期					
设备名称 (编号)		检测依据					
构件编号		张拉日期					
构件长度		张拉工艺					
孔道编号	预应力筋 规格	单根预应力筋锚下有效应变实测值 ($\mu\varepsilon$)					备注
		1#	2#	3#	4#	5#	
检测部位 示意图							
备注							

检测:

复核:

附录 C
(资料性)

公路桥梁锚下有效预应力反拉法检测现场记录表

公路桥梁锚下有效预应力反拉法检测现场记录表参照表C.1。

表C.1 公路桥梁锚下有效预应力反拉法检测现场记录表

试验记录编号：XXX

第 页 共 页

工程名称		结构型式					
委托单位		施工单位					
检测单位		检测日期					
设备名称 (编号)		检测依据					
构件编号		张拉日期					
构件长度		张拉工艺					
孔道编号	预应力筋 规格	单根预应力筋锚下有效预应力实测值 (kN)					备注
		1#	2#	3#	4#	5#	
检测部位 示意图							
备注							

检测：

复核：

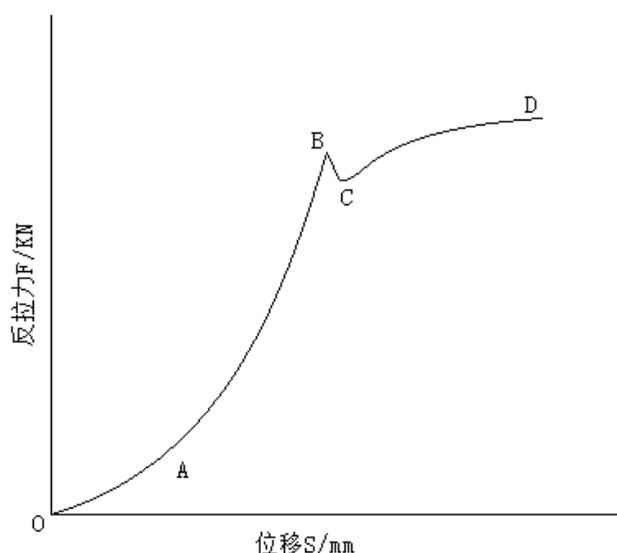
附录 D

(资料性)

公路桥梁锚下有效预应力反拉法检测原理

D.1 基于“位移-力”曲线的检测原理

基于“位移-力”曲线的检测原理，对未注浆的预应力筋进行反向张拉，同时测量张拉力与预应力筋伸长量。当反拉力小于原有有效预应力时，夹片对预应力筋有紧固作用，当反拉力超过原有有效预应力时，锚头与夹片脱开，能够自由伸长的预应力筋除了露出的自由长度以外，一部分位于锚内的预应力筋也参与张拉。此时，自由伸长的预应力筋长度就会有明显的增加。另一方面，夹片本身也会随着预应力筋的伸长而产生向外的微小位移。因此，通过量测反拉力-预应力筋或者夹片的位移，即可推算锚下有效预应力值。反拉法检测“位移-力”关系曲线如图D.1:

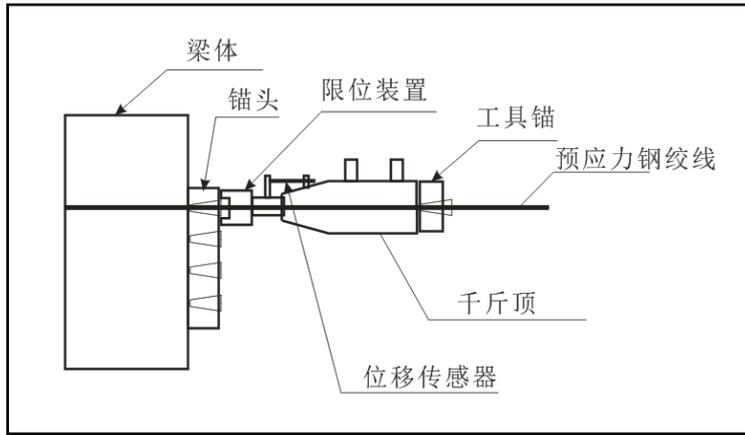


图D.1 反拉法检测“位移-力”关系曲线

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 $F\sim S$ 预应力曲线上斜率较小，如图D.1中的OA段；OA段结束，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D.1中的AB段；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D.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；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 $F\sim S$ 曲线上斜率减小，如图D.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阻，因此，可将C点作为锚下有效应力的判据。

D.2 基于夹片位移控制的检测原理

基于夹片位移控制的检测原理，在外露单根预应力筋上安装智能限位装置，并在智能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，智能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D.2 预应力筋反拉法检测示意图