

公路桥梁施工期有效预应力检测技术规程

Technical specification for effective prestress during construction of highway Bridges

地方标准信息服务平台

2022-06-24 发布

2022-07-24 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 基本要求	2
5 检测频率	2
6 检测环境	2
7 检测设备与技术要求	3
7.1 加载设备技术要求	3
7.2 测试设备技术要求	3
8 检测方法	3
8.1 一般规定	3
8.2 应变法检测	3
8.3 穿心压力法检测	4
8.4 反拉限位法检测	5
8.5 数据采集与记录	6
8.6 数据处理与分析	6
8.7 安全措施	7
9 结果评定与报告编制	7
9.1 评定标准	7
9.2 报告编制	9
附录 A（规范性） 后张法预应力孔道摩阻损失的测试	10
附录 B（规范性） 锚圈口摩阻损失的测试	12
附录 C（规范性） 测试设备技术要求	13
附录 D（规范性） 锚下有效预应力检测记录表	14
附录 E（规范性） 预应力筋平均张拉力的计算	15

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。

本文件由内蒙古大学公路工程试验检测中心提出。

本文件由内蒙古自治区交通运输厅归口。

本文件主要起草单位：内蒙古大学公路工程试验检测中心、内蒙古自治区交通运输科学发发展研究院、内蒙古大学、呼和浩特市四方工程质量检测试验中心、上海同禾土木工程科技有限公司。

本文件主要起草人：李国栋、于晓光、王智远、穆卓辉、付永刚、王向平、张永泉、乔华、郭全生、乔文庭、张建宏、姚亚东、李志军、刘虹、王勇华、李卓英、乌兰托娅、李飞、崔永刚、姚鸿梁、宋爽。

地方标准信息服务平台

公路桥梁施工期有效预应力检测技术规程

1 范围

本文件规定了公路桥梁预应力施工期有效预应力检测的测试设备、检测方法与评定标准等内容。本文件适用于各级公路桥梁预应力张拉工艺和施工质量评定，其他工程参照使用。

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 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 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB/T 20065 预应力混凝土用螺纹钢筋
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
JTG/T J21-01 公路桥梁荷载试验规程
DB15/T 441 公路工程质量控制标准 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

有效预应力 effective prestress

预应力筋张拉锚固后，设计张拉控制应力扣除相应损失后留存的应力。

3.2

应变法 strain testing method

通过应变传感器测量预应力筋实际预应力值的方法。

3.3

穿心压力法 hollow stress testing method

通过穿心式压力传感器测量预应力筋实际预应力值的方法。

3.4

反拉限位法 reverse and limitation method

在锚头外露预应力筋处施加与预应力方向相反的拉力，利用夹片滑动位移为控制参数，测试实际预应力值的方法。

3.5

同截面有效预应力不均匀度 unevenness of effective prestress in the same section
同一截面上各预应力束有效预应力最大值和最小值的偏离程度。

3.6

同束有效预应力不均匀度 unevenness of effective prestress in the same bunch
同一束中各单根预应力筋锚下有效预应力最大值和最小值的偏离程度。

4 基本要求

4.1 公路桥梁施工期有效预应力检测包括实际有效预应力、同截面有效预应力不均匀度和同束有效预应力不均匀度等内容。根据工程实际需求，可以增加预应力摩阻力损失和锚口损失检测项目，测试方法按照规范性附录 A 和附录 B。

4.2 有效预应力检测包含应变法、穿心压力法和反拉限位法三种检测方法，检测方法的适用条件应符合表 1 规定。

表1 有效预应力检测方法的适用条件

序号	检测方法	适应条件	
		先张法	后张法
1	应变法	应在临时锚固释放时进行	应在预应力筋张拉过程中进行
2	穿心压力法	不适合	应在预应力筋张拉过程中进行测试
3	反拉限位法	不适合	在预应力筋张拉锚固后 24 h 之内、未注浆状态下进行检测，且检测前不准许截断外露预应力筋

4.3 测试设备与预应力筋张拉设备不应使用同一台设备。

5 检测频率

5.1 预应力混凝土桥梁预制构件（包括预制梁、预制板）按照每个预制场的每种构件类型（同材料、同制作工艺、混凝土结构类型、同跨径）首批构件前 2 片必检。

5.2 现场浇筑预应力混凝土结构或构件按照每座桥梁的每种预应力孔道类型首批张拉的前 2 个孔道必检。

5.3 施工过程中，预应力混凝土桥梁预制构件根据实际情况按每种类型构件总数的 1%~5%进行抽检且不应少于 4 片。

5.4 施工过程中，现场浇筑预应力混凝土结构或构件按照每种类型预应力孔道总数的 1%~5%进行抽检且不应少于 5 个孔道。

5.5 对特别重要构件、安全等级高的桥梁预应力结构，可适当加大检测数量。

6 检测环境

6.1 应在风力等级 6 级及以下实施。

6.2 气温低于 5 °C 或高于 35 °C 时，不宜进行相关检测。当气温较低或较高时，应根据仪器设备正常工作的温度范围，确定是否进行检测。

- 6.3 大、中雨及大雾天气不应进行检测。小雨天气进行检测时，应做好仪器设备的防雨措施。
- 6.4 在冲击、振动、强磁场等干扰测试效果的环境不应进行检测。
- 6.5 检测过程应避免强光、高湿度等环境。

7 检测设备与技术要求

7.1 加载设备技术要求

- 7.1.1 检测前应对加载设备进行核查。
- 7.1.2 加载设备标定精度应不低于 1.0 级。
- 7.1.3 加载设备的额定张拉力宜为所需张拉力的 1.5 倍，且不应小于 1.2 倍。
- 7.1.4 同一次检测宜选用同种类型或规格的加载设备。

7.2 测试设备技术要求

- 7.2.1 有效预应力测试的参数包括预应力筋的锚下应变（应力）、伸长量、夹片滑移量、张拉控制力等。试验过程中，应观察结构或构件的受力反应。
- 7.2.2 应变（应力）测试设备应满足附录 C 表 C.1 的技术要求。
- 7.2.3 变形测试设备应满足附录 C 表 C.2 的技术要求。

8 检测方法

8.1 一般规定

- 8.1.1 检测前应收集下列资料：
 - a) 设计图纸和施工记录；
 - b) 材料性能试验报告、预应力张拉用的机具设备和仪表检验报告等；
 - c) 已批准施工作业指导书。
- 8.1.2 应结合设计图纸和现场条件，选择合适的检测方法并编制检测方案。
- 8.1.3 检测前应对预应力结构或构件、预应力筋以及锚具进行外观、尺寸检查。
- 8.1.4 检测设备安装完毕后，应进行系统调试。
- 8.1.5 应采取必要的措施对现场检测设备进行安全保护。
- 8.1.6 检测过程中应对测试数据进行实时分析，发现异常现象应查明原因并采取措施。
- 8.1.7 检测结果宜采用信息化自动采集系统记录，并对控制点的测值进行监控。
- 8.1.8 检测时应在检测场地周围设置安全警示设施。

8.2 应变法检测

8.2.1 准备工作

8.2.1.1 粘结应变片

先张法中，应变测点应布置在锚固过渡区以外的预应力筋上；后张法中，应变测点应布置在距锚口向跨中方向伸长量加 30 mm 处的未张拉预应力筋上，预应力筋测点位置处表面去污处理后，粘贴应变片并做好密封处理，每根预应力筋相同位置不少于 2 个测点。

8.2.1.2 导线布置

对于每束预应力筋不大于7根时，导线可以从注浆孔引出；大于7根时，可以预埋PVC管道引出导线。

8.2.1.3 检查

利用万能表测量应变片在粘贴过程中是否损坏以及导线连接是否正确。

8.2.2 现场检测

8.2.2.1 预测试

在正式实施测试前，应先进行预加载试验，预加荷载不得大于张拉控制力的75%，检验整个试验测试系统工作状态，并进行调试。

8.2.2.2 正式测试

工作锚和工作夹片安装后，两端千斤顶施加初始预应力，一般为4 MPa，稳压3 min，应变数据清零，然后根据预应力设计条件分级加载，加载速度不大于0.5 MPa/s，直到加载到张拉控制力设计值时，读取应变数据。

8.2.2.3 过程监控

监测最大预加力实测值和预应力钢筋伸长量，并与相应的理论计算值进行分析比较，并关注锚具变位和预应力筋发展变化情况，判断预应力筋和锚具受力是否正常，确定可否继续进行试验。

8.2.3 试验结果分析

8.2.3.1 理论计算

按照实际实施加载情况对预应力筋伸长量和应力进行理论计算。

8.2.3.2 数据分析

张拉控制力设计值对应的平均应变值加上4 MPa对应的应变值乘以预应力筋弹性模量就是预应力束的锚下有效预应力。同截面所有预应力束测试完成后，利用本规程9.1.5条可计算出同断面有效预应力不均匀度和同束有效预应力不均匀度。

8.2.3.3 报告编制

根据理论计算、设计控制数据和测试数据对比分析，对检测试验结果做出判断与评定，编制检测报告。

8.3 穿心压力法检测

8.3.1 准备工作

8.3.1.1 穿心压力传感器布置

穿心压力传感器布置在锚垫板和工作锚之间。

8.3.1.2 检查

利用万能表检查穿心压力传感器是否正常。

8.3.2 现场检测

8.3.2.1 预测试

在正式实施测试前，应先进行预加载试验，预加荷载不得大于张拉控制力的75%，检验整个试验测试系统工作状态，并进行调试。

8.3.2.2 正式测试

工作锚和工具夹片安装后，两端千斤顶施加初始预应力，一般为4MPa，稳压3 min，然后根据预应力设计条件分级加载，加载速度不大于0.5 MPa/s，直到加载到张拉控制力设计值时，读取应变数据。

8.3.2.3 过程监控

监测最大预加力实测值和预应力钢筋伸长量，并与相应的理论计算值进行分析比较，并关注锚具变位和预应力筋发展变化情况，判断预应力筋和锚具受力是否正常，确定可否继续进行试验。

8.3.3 试验结果分析

8.3.3.1 理论计算

按照实际实施加载情况对预应力筋伸长量和应力进行理论计算。

8.3.3.2 数据分析

压力传感器测出的压力值就是相应预应力束的锚下有效预加力。同截面所有预应力束测试完成后，利用本规程9.1.5条可计算出同断面有效预应力不均匀度。

8.3.3.3 报告编制

根据理论计算、设计控制数据和测试数据对比分析，对检测试验结果做出判断与评定，编制检测报告。

8.4 反拉限位法检测

8.4.1 准备工作

8.4.1.1 反拉限位法设备布置

反拉限位法设备应安装在外露预应力筋处。

8.4.1.2 检查

检查加载设备和测试设备是否正常工作。

8.4.2 现场检测

8.4.2.1 预测试

在正式实施测试前，应先进行预加载试验，预加荷载不得大于张拉控制力的75%，检验整个试验测试系统工作状态，并进行调试。

8.4.2.2 正式测试

设备安装后，反向施加初始张拉力，一般为4 MPa，检测设备或仪器，然后根据预应力设计条件分级反向张拉加载，加载速度不大于0.5 MPa/s，直到加载到锚固端工作夹片与工作锚出现1 mm滑动时停止加载。

8.4.2.3 过程监控

监测最大预加力实测值和预应力钢筋伸长量，并与相应的理论计算值进行分析比较，并关注锚具变位和预应力筋发展变化情况，判断预应力筋和锚具受力是否正常，确定可否继续进行试验。

8.4.3 试验结果分析

8.4.3.1 理论计算

按照实际实施加载情况对预应力筋伸长量和应力进行理论计算。

8.4.3.2 数据分析

夹片滑移1 mm时对应的压力值并考虑温度影响修正后就是相应预应力束的锚下有效预加力。同截面所有预应力束测试完成后，利用本规程9.1.5条可计算出同断面有效预应力不均匀度和同束有效预应力不均匀度。

8.4.3.3 报告编制

根据理论计算、设计控制数据和测试数据对比分析，对检测试验结果做出判断与评定，编制检测报告。

8.5 数据采集与记录

8.5.1 应记录张拉过程中每一级加载值、伸长量、测点应变值、环境温度等。

8.5.2 宜采用自动采集系统记录，记录表格见附录D。

8.5.3 测试过程中发生下列情况时，应立即停止加载，查明原因后确定是否继续：

- a) 实测应变值超过理论计算值；
- b) 实测应变值变化规律异常；
- c) 出现夹片破裂、锚具凹陷、预应力筋断丝或滑移、异常响声、梁体开裂等异常现象。

8.6 数据处理与分析

8.6.1 试验数据分析时，应根据温度变化、仪表标定结果的影响对测试数据进行修正。当影响小于1%时，可不修正。

8.6.2 一束预应力筋锚下实测有效平均预应力可按式（1）进行计算：

$$\sigma_{pe} = E_p \varepsilon_{pe} = E_p \frac{\sum (\bar{\varepsilon}_i - \bar{\varepsilon}_{0_i})}{n} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

E_p —— 预应力钢筋弹性模量；

ε_{pe} —— 一束预应力筋锚下有效平均预应变值；

$\bar{\varepsilon}_i$ —— 一根预应力筋锚固后的平均应变值；

$\bar{\varepsilon}_{0_i}$ —— 一根预应力筋初始平均应变值；

n —— 一束中预应力筋的个数。

8.6.3 温度影响修正可按式（2）进行计算：

$$\Delta S_t = \Delta S - \Delta t K_t \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔS_t ——温度修正后的测值变化量；

ΔS ——温度修正前的测值变化量；

Δt ——相应于 ΔS 观测时间段内的温度变化量（℃）；对应变或应力宜采用构件或预应力筋的表面温度；

K_t ——自由状态下温度上升1℃时测值变化量；如测值变化与温度变化关系较明显时，可采用多次观测的平均值，

按式（3）进行计算。

$$K_t = \Delta S_t / \Delta t_1 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

式中：

ΔS_1 ——自由状态下某一时刻区段内测值变化量；

Δt_1 ——自由状态下某一时刻区段内温度变化量。

8.7 安全措施

- 8.7.1 桥梁锚下预应力检测前应做好各种危险源辨识、评估及其安全应对措施，防止意外事故的发生。
- 8.7.2 检测区域内应设置明显的防护、警示及引导标志，预应力筋两端的正面严禁站人和穿越。
- 8.7.3 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。
- 8.7.4 高空、水上检测作业应对相关人员进行安全技术交底，并设置必要的安全防护措施；在强风、浓雾、暴雨、雷电和雪等恶劣天气情况下，不应开展现场检测作业。
- 8.7.5 应核实验算结构和支架的安全性；在分级加、卸载试验过程中，应通过观察异常反应、测试数据等进行分析判断。
- 8.7.6 检测设备应轻拿放、安置稳固；运输过程中按要求包装防护。

9 结果评定与报告编制

9.1 评定标准

- 9.1.1 有效预应力检测各项判定指标同时满足表 2 中 1~3 项检测指标要求时，评定合格，否则评定不合格。
- 9.1.2 锚下有效预应力偏差和同截面有效预应力不均匀度不满足表 2 中 1~3 项任一项要求时，应进行张拉工艺和控制参数的调整，并进行双倍复检，且增加同束有效预应力不均匀度的检测，复检结果偏差仍不满足表 2 要求，则应更换其他张拉工艺。
- 9.1.3 首批构件检测出现有效应力实测值不符合本规程要求时，应对检测过程和数据进行分析，并进行二次复检。
- 9.1.4 首批构件二次复检结果不合格，该束预应力筋应全部进行退索处理，分析原因后调整张拉机具与张拉工艺，更换预应力筋及锚具后重新进行检测。经退索的预应力筋及锚具应进行报废处理，不得再次使用。

表2 有效预应力检测评定的合格指标

序号	检测指标	允许偏差	备注
1	张拉控制应力 σ_{con}	±1.5%	评定项目
2	锚下有效预应力偏差 τ	±5%	
3	同断面有效预应力不均匀度 θ	±2%	
4	同束有效预应力不均匀度 γ	±5%	复检增加项目

9.1.5 各检测指标计算如下：

锚下有效预应力偏差 τ 按式（4）计算：

$$\tau = \frac{\sigma_{pet} - \sigma_{ped}}{\sigma_{ped}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

τ ——有效预应力偏差；

σ_{pet} ——一束预应力筋锚下有效平均预应力实测值；

σ_{ped} ——一束预应力筋锚下有效预应力设计值，可按照本规程附录E计算。

同断面有效预应力不均匀度 θ 按式（5）或式（6）计算：

$$\theta = \frac{\sigma_{pe\max} - \sigma_{pe\min}}{\bar{\sigma}_{pe}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

θ ——有效预应力不均匀度；

$\sigma_{pe\max}$ ——同断面预应力筋束最大锚下有效预应力实测值；

$\sigma_{pe\min}$ ——同断面预应力筋束最小锚下有效预应力实测值；

$\bar{\sigma}_{pe}$ ——同断面预应力筋束锚下有效预应力实测平均值；

$$\theta = \frac{\varepsilon_{pe\max} - \varepsilon_{pe\min}}{\bar{\varepsilon}_{pe}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

θ ——有效预应力不均匀度；

$\varepsilon_{pe\max}$ ——同断面预应力筋束最大锚下有效预应力实测值；

$\varepsilon_{pe\min}$ ——同断面预应力筋束最小锚下有效预应力实测值；

$\bar{\varepsilon}_{pe}$ ——同断面预应力筋束平均锚下有效预应力实测平均值。

同束有效预应力不均匀度 γ 按式（7）计算：

$$\gamma = \frac{\varepsilon_{i\max} - \varepsilon_{i\min}}{\bar{\varepsilon}_i} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$\varepsilon_{i\max}$ ——同束预应力筋中最大锚下有效预应变实测值；

$\varepsilon_{i\min}$ ——同束预应力筋中最小锚下有效预应变实测值；

$\bar{\varepsilon}_i$ ——同束预应力筋中锚下有效预应变实测值。

9.2 报告编制

检测报告应包含工程概况、检测目的及依据、试验方法与内容、试验仪器设备、检测结论、建议、附件等内容。

地方标准信息服务平台

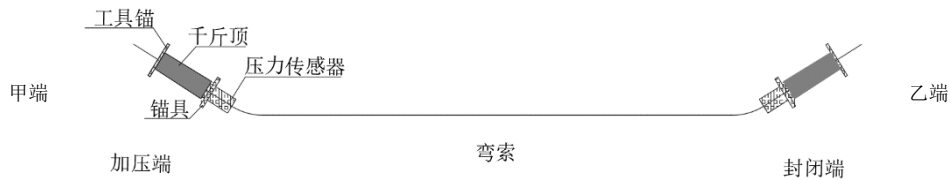
附录 A

(规范性)

后张法预应力孔道摩阻损失的测试

A.1 测试步骤应符合下列规定：

- a) 孔道摩阻损失测试应在现场结构物孔道上进行，测试采用单端张拉的方式，分为加压端、封闭端进行测试，测试模型如图 A.1 所示；
- b) 梁两端千斤顶同时充油，油表数值均保持 4MPa；
- c) 甲端封闭，乙端张拉。张拉时分级升压，直至张拉控制应力。如此反复进行 3 次，取两端压力差的平均值；
- d) 仍按上述方法，但乙端封闭，甲端张拉，取两端压力差的平均值；
- e) 将上述两次压力差平均值再次平均，即为孔道摩阻力的测定值。



图A.1 孔道摩阻测试图

A.2 分级测试预应力束张拉过程中主动端与被动端的荷载，利用公式 (A.1) 确定预应力管道的 μ 、 k 值。

$$\left. \begin{aligned} \mu \sum_{i=1}^n \theta_i^2 + \sum_{i=1}^n \theta_i l_i &= \sum_{i=1}^n \xi_i \theta_i \\ \mu \sum_{i=1}^n \theta_i l_i + k \sum_{i=1}^n l_i^2 &= \sum_{i=1}^n \xi_i l_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- θ_i ——第 i 个管道对应预应力筋的空间曲线包角 (rad)；
- l_i ——第 i 个管道对应的预应力钢绞线水平投影长度；
- n ——测试管道的数量；
- ξ_i ——第 i 个管道对应的 $\ln(F_z/F_b)$ 值， F_z 、 F_b 分别为主动端与被动端传感器的压力。

A.3 预应力损失值 σ_{11} 按下式 (A.2) 进行计算：

$$\sigma_{11} = \sigma_{con} [1 - e^{-(kx + \mu\theta)}] \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- σ_{11} ——预应力损失值；
- σ_{con} ——张拉端钢绞线锚下控制应力；
- K ——孔道每米长度局部偏差的影响系数；

X ——从张拉端至计算截面的孔道长度；

μ ——预应力筋与孔道壁之间的摩阻系数。

θ ——张拉端至计算截面曲线孔道各部分切线的夹角之和 (rad)；

地方标准信息服务平台

附录 B

(规范性)

锚圈口摩阻损失的测试

B.1 测试步骤应符合下列规定:

- a) 锚圈口摩阻损失测定采用张拉千斤顶为加压装置, 可用静载锚固试验机在小型试件上用一根直孔道钢筋混凝土柱进行试验, 试验可采用单端张拉的方式, 测试分为加压端、封闭端进行, 被测锚夹具应安装于主动端。测试方式如图 B.1 所示;

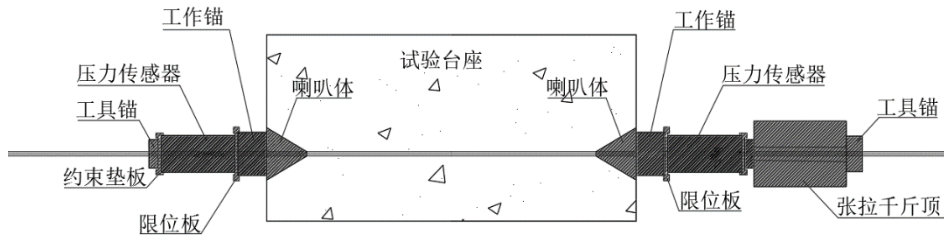


图 B.1 锚圈口摩阻损失测试图

- d) 两端同时充油, 油表数值均保持 4MPa, 然后将甲端封闭作为被动端, 乙端作为主动端, 张拉至控制吨位。测试反复进行 3 次, 取得的平均值即为测定值;
- e) 乙端封闭, 甲端张拉, 同样按上述方法进行 3 次, 取平均值。

B.2 锚圈口摩阻力

设加压端测试应力为 N_a 时, 封闭端测试应力为 N_b , 锚圈口摩阻力 N_0 按式 (B.1) 计算, 取两次测试的锚圈口摩阻力 N_0 作为锚圈口摩阻力测定值。

$$N_0 = N_a - N_b \quad (B.1)$$

式中:

- N_0 ——锚圈口摩阻力, kN;
- N_a ——加压端测试压力, kN;
- N_b ——封闭端测试压力, kN。

B.3 超张拉系数

克服锚圈口摩阻力的超张拉系数 n_0 按式 (B.2) 计算, 取两次测试的超张拉系数 n_0 作为超张拉系数测定值

$$n_0 = \sqrt{\frac{N_a}{N_b}} \dots\dots\dots (0.2)$$

式中:

- n_0 ——超张拉系数;
- N_a ——加压端测试压力, kN;
- N_b ——封闭端测试压力, kN。

附 录 C
(规范性)
测试设备技术要求

C.1 应变测试设备应满足表C.1的技术要求。

表 C.1 应变测试设备技术要求

量测内容	仪表名称	最小分划值 ($\mu\epsilon$)	常用量测范围 ($\mu\epsilon$)	数据采集分析系统		备注
				仪器名称	技术参数	
应变	千分表	2	$\pm(5\sim 2000)$	-	-	配附件
	电阻应变计	1	± 20000	应变测试分 析系统	测量应变范围 \pm 20000 $\mu\epsilon$ ；分辨 率：1 $\mu\epsilon$	粘贴应变片，且标 距不大于6 mm
注：或采用符合技术要求的其他设备。						

C.2 变形测试设备应满足表C.2的技术要求。

表 C.2 变形测试设备技术要求

单位为毫米

量测内容	仪表名称	最小分划值 及精度	常用量测范围	备注
变形	千分表	0.001 mm	0~10 mm	配置安装附件
	百分表	0.01 mm	1~50 mm	
	位移计	0.01 mm ~0.03 mm	20~100 mm	配置安装附件
注：或采用符合技术要求的其他设备。				

附 录 D
(规范性)
锚下有效预应力检测记录表

锚下有效预应力检测记录表见表D.1。

表 D.1 锚下有效预应力检测记录表

建设单位						报告编号					
项目名称/标段						结构名称/梁号					
主要仪器设备及编						检测日期					
检测依据						检测人					
束号	实测值 (KN)	理论值 (KN)	实际偏差 (%)	同断面不均匀度 (%)	评定结果	束号	实测值 (KN)	理论值 (KN)	实际偏差 (%)	同断面不均匀度 (%)	评定结果
1											
2											
3											
4											
5											
检测结论:											

地方标准信息服务平台

附 录 E
(规范性)
预应力筋平均张拉力的计算

预应力筋平均张拉力应按下式计算：

$$P_p = \frac{P(1 - e^{-(kx + \mu\theta)})}{kx + \mu\theta} \dots\dots\dots (E. 1)$$

式中：

- P_p ——预应力筋平均张拉力 (N) ；
- P ——预应力筋张拉端的张拉力 (N) ；
- x ——从张拉端至计算截面的孔道长度 (m) ；
- θ ——从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角之和 (rad) ；
- k ——孔道每米局部偏差对摩擦的影响系数，见表F. 1；
- μ ——预应力筋与孔道壁的摩擦系数，见表F. 1。

注：当预应力筋为直线时， $P_p = P$ 。

表E.1 系数 μ 和 k 值

预应力筋类型	孔道成型方式	k	μ	
			钢束、钢绞线	螺纹钢
体外预应力筋	预埋铁皮管	0.0030	0.35	0.40
	预埋钢管	0.0010	0.25	—
	抽芯成型孔道	0.0015	0.55	0.60
	预埋金属波纹管	0.0015	0.20~0.25	0.50
	预埋塑料波纹管	0.0015	0.15~0.20	0.45
体外预应力筋	钢管	0	0.20~0.30 (0.08~0.10)	—
	高密度聚乙烯管	0	0.12~0.15 (0.08~0.10)	—

注：体外预应力钢绞线与管道壁之间引起的预应力损失仅计转向装置和锚固管道段，系数 μ 和 k 宜根据实测数据确定；当缺少可靠实测数据时，系数 μ 和 k 可按本表取值。对系数 μ ，无粘结钢绞线取括号内数值，光面钢绞线取括号外数值。