

中华人民共和国交通运输部部门计量检定规程

桥梁挠度检测仪

（征求意见稿）

编制说明

《桥梁挠度检测仪》编写组

2017年8月21日

## 目 录

一、工作简况.....	3
二、规程编制原则和确定规程主要内容.....	4
三、主要试验分析综述报告，技术经济论证，预期的经济效果.....	12
四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况；.....	15
五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系.....	15
六、重大分歧意见的处理经过和依据.....	15
七、贯彻规程的要求和措施建议.....	15
八、其他应予说明的事项。.....	15

## 一、工作简况

### 1.1 任务来源

交通运输部部门计量检定规程 JJG(交通)XXX—XXXX 桥梁挠度仪是《交通运输部关于下达 2016 年交通运输标准化计划的通知》(交科技函〔2016〕506 号)的交通运输行业标准制修订项目,由交通运输部公路科学研究所主要负责起草。计划编号为 JJG2016-100。

### 1.2、协作单位

无

### 1.3、规程制定的必要性

随着中国经济的飞速发展,交通运输出现了重载、高速、大流量的现代运输结构的发展趋势,公路运输在整个运输体系中占有的比例越来越大。而桥梁是道路的咽喉,因此公路运输对现有桥梁(即旧桥)和新建桥梁的结构性能与使用质量提出了更高的要求。为检验新建桥梁的质量,确保在役桥梁结构的使用安全,桥梁现场的荷载试验及健康监测是必不可少的工作。

桥梁荷载试验分静载试验和动载试验两种。静载试验根据需要观测结构的反力、应变、挠度、转角、裂缝等物理量。动载试验需观测桥梁的固有动力特性及在实际动载作用下结构各控制部位的动力响应,包括振幅、频率、阻尼、动态应变或动态挠度(冲击系数)等。静载试验中的挠度观测主要指观测桥梁的挠度。动载试验中的冲击系数,是反映车辆荷载对桥梁结构动力影响的综合指标。根据其定义(动挠度与相应荷载作用下的静挠度的比值称为活荷载的冲击系数),可以通过实测的挠度进行计算。

桥梁挠度对于桥梁结构而言是一个非常重要的参数,它直接反映桥梁结构的竖向整体刚度,是桥梁结构性能的重要指标。桥梁挠度与桥梁的承载能力及抵御地震等动荷载的能力有密切关系。中华人民共和国行业推荐标准 JTG/T J21-2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》对承载能力中挠度的指标有明确的要求,把挠度作为桥梁承载能力评定的重要内容之一。因此桥梁挠度检测业务是各检测机

构是一种不可或缺的检测项目和基本能力。

因此光电式桥梁挠度检测仪器都是桥梁检测、监测过程中必不可缺的设备。目前该仪器即无生产标准，也无检定规程，迫切需要编写检定规程，以保证量值准确。

#### 1.4、主要编制过程

(1) 2016年06月~2016年08月，成立标准起草组，对光电式桥梁挠度仪主要计量技术指标进行梳理，并编写草案稿；

(2) 2016年09月~2016年12月，试验完善检定规程草案，形成征求意见稿；

(3) 2017年01月~2017年08月，征求意见稿发送检测机构、生产厂家等广泛征求意见，汇总反馈意见并修改征求意见稿，形成送审稿。

#### 1.5、主要起草人及其所做的工作

人员	所做工作
周毅姝	桥梁挠度检测仪主要计量技术指标分析及确认，检定规程方案确认
何华阳	桥梁挠度仪检定规程修订方案确定
张金凝	拟建标准适用性研究，桥梁挠度检测仪检定规程试验验证
任励硕	桥梁挠度检测仪计量标准模型研究
陈柳清	主要计量技术指标理论分析

## 二、规程编制原则和确定规程主要内容

### 2.1、规程编制原则

规程编制格式依据 JJF 1002—2010 国家计量检定规程编写规则。

编制本规程中，主要参照了交通部颁布的《JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准》中对桥梁挠度的相关要求。结合国内外桥梁检测现状，拟定在仪器检测使用中需要受控的技术指标，取值范围、质量检查方法和测量不确定度。确定规程编制内容时，遵循以下原则：

- (1) 与现行国际、国家标准、检测规范要求一致；
- (2) 所定指标要求体现目前市场上 80%设备的特征；

## 2.2、主要内容

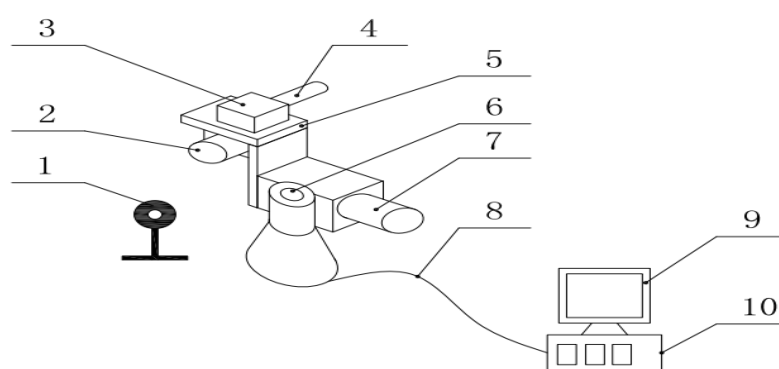
按照《国家计量检定规程编写规则（JJF 1002-2010）》的要求制定桥梁挠度检测仪检定规程。在内容与格式上保持一致，规程的具体内容有范围、引用文件、术语、概述、计量性能要求、通用技术要求、计量器具检定控制（包括检定条件、检定项目、检定方法、检定结果的处理及检定周期）。

### 1) 概述

本规程给出了“光电式桥梁挠度检测仪”的原理、结构和用途分类，按照专家意见调整表述：

光电式桥梁挠度检测仪（以下简称挠度仪）由相机、镜头、固定装置等组成（见示意图 1），通过光学解析系统把靶标的横向和纵向分量分别检出，传到电荷耦合元件（CCD）上，通过频谱分析给出桥梁的挠度值、强迫振动频率、固有频率，通过计算分析给出桥梁试验的冲击系数、横向转角等参数的桥梁挠度专用检测仪器。

根据使用功能，挠度仪分为像素级挠度仪，可在同一视野中仅可测量单一测点的挠度值变化；亚像素级挠度仪，同一视野中可实时同步测量多个测点位置的挠度值变化。



说明：

1——靶标；

2——竖向锁定微调；

3——相机；

4——镜头；

5——固定装置；

6——圆水泡；

7——水平锁定微调；

8——传输电缆；

9——显示系统；

10——控制面板；

图 1 挠度仪示意图

图 1 为示意图，其主要组成为图像采集装置和数据分析处理装置，图像采集装置主体即镜头、CCD 等，市场上很多挠度仪是仿照全站仪、水准仪外形制造的，有的就是在两类仪器上做了相应改进，如图 2、图 3 所示：

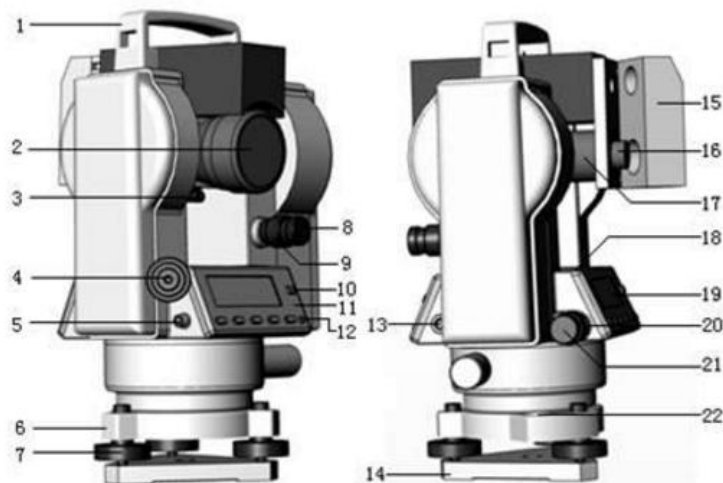


图 2 桥梁挠度仪主机示意图

1—提把；2—望远镜；3—粗瞄准器；4—对中器目镜；5—电源插座；6—基座；7—基座脚螺旋； 8—垂直微动手轮；9—垂直制动手轮；10—电源开关；11—操作键盘；12—照明开关；13—数据插座； 14—基座底板；15—光路盒；16—目镜调焦手轮；17—物镜调焦手轮；18—长水准器；19—屏幕； 20—水平微动手轮；21—水平制动手轮；22—圆水准器

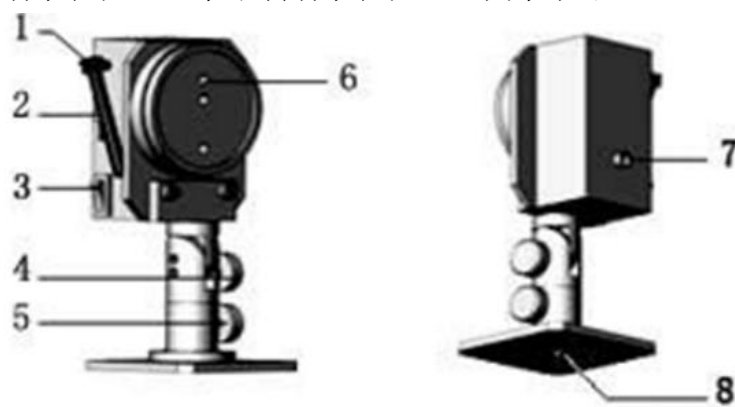


图 3 靶标示意图

1—靶标遥控器天线；2—发光标志点手动开关；3—靶标电源开关；4—靶标垂直锁紧旋钮；5—靶标水平锁紧旋钮；6—发光标志点；7—靶标电池充电插孔；8—靶标固定孔

为了通用性所以采用图 1 示意图。

并按照专家意见重新绘制结构示意图，便于理解和使用。

## 2) 计量性能要求

挠度仪其工作原理是光标靶固定在桥梁梁体的待测部位, 光学成像系统和数字摄像机则通常固定在基座上, 光标靶发出的光通过摄像机的光学成像系统(光学镜头)成像在数字摄像机的光敏面上, 当桥梁在载荷、温度和风等外界因素作用下发生位移从 A 点移动到 B 点, 发生  $\Delta y$  位移时, 光标靶因固定在桥梁上, 在摄像机的光敏面上所成像点的位置相应地从 A' 移动到 B' 点, 产生  $\Delta y'$  的变化量. 假设光学成像系统的放大倍率为  $\beta$ , 则由几何光学的原理可知, 桥梁的挠度变化量  $\Delta y$  与光标靶在摄像机像面的像点移动量  $\Delta y'$  满足式:  $\Delta y = \beta \Delta y'$ , 即可得到桥梁的挠度。

可见, 光电式桥梁挠度仪检测系统适用于桥梁挠度的静、动态检测, 也可用于桥梁横向位移的测量。光电式桥梁挠度仪检测系统测量量程大, 测量精度及采样速率较高, 测量距离较远, 最远测量距离可达 500 米, 但易受视距、气候条件等的影响, 测量精度受距离影响较大, 适合应用于大型及以下大跨度桥梁的挠度检测。图 4 给出了桥梁挠度仪工作原理图。故检定规程中应考核多个距离下的光电挠度仪的示值误差和准确度, 同时因为距离作为约定条件所以应对距离误差进行计量。

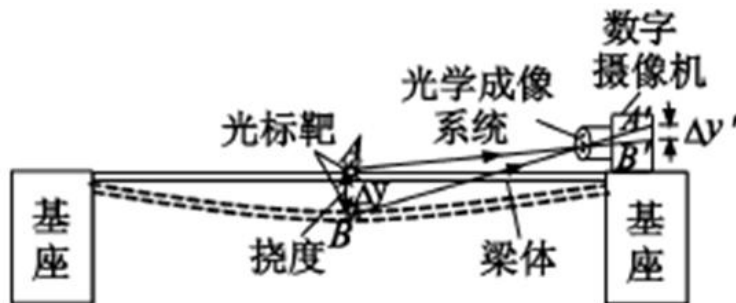


图4 桥梁挠度仪工作原理图

### 4.1 距离测量误差

距离测量误差为  $\pm 0.1\%$

项目组对市场上此类设备作了测试大部分能满足  $\pm 0.1\%$  的要求,

### 4.2 静态挠度示值误差

此项数据是根据静态挠度实验得出。要求见表 1

表 1 静态挠度示值误差

分类	距离	挠度范围 (mm)	示值误差 (mm)
像素级技术桥梁挠度检测仪	10m±5mm	1mm—13mm	±0.1mm
	100m±10mm	1mm—20mm	±1mm
	300m±3mm	1mm—50mm	±2mm
亚像素级技术桥梁挠度检测仪	10m±5mm	1mm—50mm	±0.1mm
	50m±10mm	1mm—50mm	±0.5mm
	300m±3mm	1mm—50mm	±5mm

#### 4.3 静态挠度测量偏差系数

室内 10m±5mm 距离处，静态挠度测量偏差系数不大于 0.1%

根据实验数据目前市场上大部分挠度仪均可以满足此要求。

#### 4.4) 动态挠度曲线相关系数

室内 10m±5mm 距离处，测量动态挠度曲线与标准动态挠度曲线拟合相关性不小于 0.99

#### 4.5) 单点动挠度示值误差

室内 10m±5mm 距离处，单点动挠度示值相对误差为±5%

#### 3) 通用技术要求

对光电式桥梁挠度检测仪的外观和结构提出了要求。按照专家意见进一步明确了外观和结构要求。

5.1 仪器的外表应无锈蚀、擦伤、划痕、脱漆的现象；漆面光泽，不得有显著的不均匀颜色；光学零件的表面应无霉斑、气泡、麻点、水珠；镀膜应无损伤。

5.2 仪器的连接结构应稳定可靠，各活动部位的转动应平稳。按键及插接件的接头接触良好，在工作环境下数字显示应清晰。

#### 4) 计量器具检定控制

根据计量性能要求以及通用技术要求，综合考虑了并调研了目前的试验方法，兼顾现有技术一定程度创新的基础上确定了检定环境条件、检定器具，并制定了下述检定方法：

检定条件：

(1) 检定环境条件，根据专家意见，修改了原稿中电源电压和室内环境的要求，

检定环境条件如下：

a) 环境温度：(20±3)℃；

b) 环境湿度：不大于 85%RH；



- c) 电源电压：电压应符合 GB/T12325 的要求；
- d) 检定在无振动、无腐蚀气体和无电磁干扰的室内进行。

(2) 检定器具

按照专家意见将原稿中全站仪更改为距离测量装置，并将检定器具顺序进行了调整，规范表达为：

- a) 距离测量装置：最大量程不小于为 300m，测距标准差小于 3mm；
- b) 静挠度标准装置：测量范围（0~500）mm，最大允许误差±0.01mm；
- c) 动挠度标准装置：测量范围（0~500）mm，最大允许误差±0.01mm，频率（0~300）Hz。

(3) 检定项目

检定项目见表 2

表 2 检定项目

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
通用技术要求	+	+	-
距离测量误差	+	-	-
静态挠度示值误差	+	-	-
静态挠度测量偏差系数	+	-	-
动态挠度曲线相关系数	+	+	-
单点动挠度示值误差	+	+	+
注 1：经安装及修理后的计量器具，其检定须按首次检定进行。			
注 2：“+”表示必检项目，“-”表示免检项目。			

(4) 检定方法

(1) 通用技术要求

用目测和手感检查挠度仪，其结果应满足 5.1~5.2 的要求。

(2) 距离测量误差

检定过程如下：

- a) 用距离测量装置量取标准距离 $d_0$ 等于 30m，并分别在起点，终点予以标记；
- b) 将被检挠度仪与靶标分别安置与起点、终点；
- c) 调平挠度仪并读取距离 $d_1$ ；

d) 采用公式（1）计算被检挠度仪纵向距离测量示值误差，应符合 4.1 的要求。

$$\delta_d = \frac{d_1 - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\delta_d$ ——纵向距离测量误差；

$d_0$ ——距离标准值，m；

$d_1$ ——距离测量值，m；

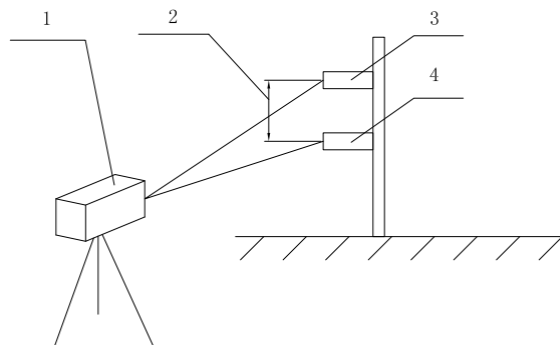
### (3) 静态挠度示值误差

根据专家意见，将实验装置示意图重新进行了绘制。

检定过程如下：

a) 安装静挠度标准装置；

b) 将被检挠度仪安置于距离静挠度标准器  $10\text{m} \pm 5\text{mm}$  的位置，如图 5 所示；



说明：

1——挠度仪；

3——位置 1；

2——挠度值；

4——位置 2；

图 5 试验装置示意图

c) 架设挠度仪三脚架并初步调平；

d) 开机测量，读取挠度值；

e) 计算静态挠度示值误差；

$$\Delta_h = h_i - h_{i0} \quad (2)$$

式中：

$\Delta_h$ ——静态挠度示值误差，mm；

$h_i$ ——被检挠度仪第  $i$  次测量静态挠度示值，mm， $i = 1, 2 \dots \dots 5$ ；

$h_{i0}$ ——第  $i$  次静态挠度标准装置静态挠度标准值，mm；

f) 测量5次, 最大 $\Delta_h$ 应满足4.2的要求;

g) 改变距离分别为  $100\text{m} \pm 10\text{mm}$  和  $300\text{m} \pm 10\text{mm}$ , 重复 b) ~f)步, 各位置静态挠度示值误差最大值均应满足 4.2 的要求。

(4) 静态挠度测量重复性

检定过程如下:

a) 按照 6.3.3 中 a) ~d) 采集  $10\text{m} \pm 5\text{mm}$  位置静挠度数值, 并重复 10 次;

b) 计算静态挠度测量偏差系数, 满足 4.3 的要求;

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - x_0)^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$C_V = \frac{S_x}{x_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$C_V$ —静态挠度测量偏差系数;

$S_x$ —静态挠度测量重复性;

$x_i$ —静态挠度测量值,  $i = 1, 2 \dots \dots 10$ ;

$x_0$ —静态挠度标准值;

$n$ —静态挠度测量次数, 此处取 10;

(5) 动态挠度曲线相关性系数

检定过程如下:

a) 用距离测量装置测量  $10\text{m} \pm 5\text{mm}$ , 并分别在起点, 终点予以标记;

b) 起点位置安装动挠度检测标准装置, 将靶标固定于标准装置上, 将标准装置归零;

c) 终点位置架设被检挠度仪, 调平稳定后开启;

d) 开启动挠度标准装置上下移动, 靶标随之共同移动;

e) 被检挠度仪读取时间大于 60s 挠度数值;

f) 随机选取 10 个时间点, 按式 (5) 计算标准系统与被检挠度仪位移值相关性, 结果满足 4.4 的要求;

$$y = ax + b \quad (5)$$

式中:

$y$ —向位移测量值, mm;

$x$ —竖向位移标准值，mm；

$a$ —相关直线斜率；

$b$ —相关直线截距；

(6) 单点动挠度示值误差

a) 按照 6.3.5 中 a) ~e) 采集数据；

b) 随机选取 10 个时间点，按式 (6) 计算各点挠度示值相对误差，结果满足 4.5 的要求。

$$\delta_f = \frac{f_i - f_0}{f_0} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$\delta_f$ —被检仪器动挠度测量示值相对误差；

$f_i$ —被检仪器动挠度测量，mm， $i = 1, 2, 3$ ；

$f_0$ —动挠度标准值，mm；

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；

### 3.1、主要试验结论

项目组制作标准位移设备，并有效溯源后对被检设备进行了静态挠度试验，数据见表 3、表 4：

表 3 像素级挠度仪静态挠度示值误差

	距离 (m)	标准值 (mm)	测量值 (mm)	示值误差 (mm)
像素级挠度仪	10	4	3.914	0.086
		4	3.799	0.201
		4	3.885	0.115
		4	3.817	0.183
		4	3.968	0.032
	30	4	3.83	0.17
		4	3.947	0.053
		4	3.802	0.198
		4	3.249	0.251
		4	3.741	0.259
	50	4	4.297	0.297
		4	4.267	0.267
		4	4.086	0.086
		4	4.146	0.146
		4	3.873	-0.127
	70	4	3.912	-0.088
		4	4.2	0.2
		4	4.206	0.206
		4	3.864	-0.136
		4	4.179	0.179
	100	4	3.088	-0.912
		4	3.02	-0.98
		4	3.094	-0.906
		4	4.936	0.936
		4	4.998	0.998
300	4	5.97	1.97	
	4	5.96	1.96	
	4	5.98	1.98	
	4	5.78	1.78	
	4	5.87	1.87	

表 4 亚像素级挠度仪静态挠度示值误差

	距离 (m)	标准值 (mm)	测量值 (mm)	示值误差 (mm)
亚像素级挠度仪	10	4.48	4	0.48
		4.49	4	0.49
		4.45	4	0.45
		4.39	4	0.39
		4.47	4	0.47
	30	4.45	4	0.45
		4.48	4	0.48
		4.42	4	0.42
		4.47	4	0.47
		4.47	4	0.47
	50	5.312	4	1.312
		5.342	4	1.342
		5.296	4	1.296
		5.363	4	1.363
		4.683	4	0.683
	70	5.534	4	1.534
		5.427	4	1.427
		5.1	4	1.1
		5.169	4	1.169
		5.067	4	1.067
	100	19	14	5
		18.98	14	4.98
		18.96	14	4.96
		18.936	14	4.936
		18.998	14	4.998
	300	18.97	14	4.97
		18.96	14	4.96
		18.98	14	4.98
18.78		14	4.78	
18.87		14	4.87	

从实验数据可看出像素级挠度仪 10 米、30 米、50 米、70 米示值误差最大值均在 $\pm 0.3\text{mm}$ 内，故规程中仅对 10 米附近的示值误差予以考核，因为 100 米、300 米存在明显差异，故分别列出两项。

从实验数据可看出亚像素级挠度仪 10 米、30 米示值误差值基本在 $\pm 0.5\text{mm}$ 内，50 米、70 米示值误差最大值均在 $\pm 1.5\text{mm}$ 内，300 米示值误差最大值在 $\pm 5.0\text{mm}$ 内，所以检定规程分段给出示值误差的要求。

### 3.2、预期的经济效果

桥梁挠度仪是桥梁结构试验中检测的主要仪器之一，由于地区经济发展不平衡，仪器生产存在厂家多、市场混乱、产品质量与可靠性等不近人意的状况。同时为了迎合市场，低价中标，大量精度误差超标、质量稳定性不高的试验检测仪器大量流入试验检测市场。这种状况与当前桥梁建设的发展需要很不适应，已经严重影响了桥梁结构的建设质量管理工作。目前该仪器无国家和行业计量检定规程。为确保桥梁结构建设工程质量，制定相关交通行业检定规程，对于规范仪器溯源、使用、检定等诸方面均具有十分重要的现实意义。

挠度仪检定规程给出了桥梁挠度仪的检定要求，明确了挠度仪的检定方法。采用统一标准进行挠度仪检定，各检测单位在后续的检测任务中，挠度仪的准确性、稳定性将得到保障，促进挠度仪检测行业的健康发展，对经济、社会和环境预期有积极的效果。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况；

无

五、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

无。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无

七、贯彻规程的要求和措施建议

无

八、其他应予说明的事项。

无。