

国家计量技术规范

《激光式高速弯沉测定仪校准规范》

试验验证报告

规范编制组

2023年10月

目 录

一、 试验目的	1
二、 试验方法	1
三、 数据分析	1
1. 通用技术要求	1
2. 计量性能	1
3. 实验数据分析	2
四、 试验结论	14

一、试验目的

通过选取国内三个不同厂商（武汉光谷卓越科技股份有限公司、北京市路兴公路新技术有限公司、中路高科交通检测检验认证有限公司）的三种不同型号的激光式高速弯沉测定仪（以下简称高速弯沉仪）进行试验，验证制定的《激光式高速弯沉测定仪校准规范》的科学性、合理性和可行性。

二、试验方法

在校准规范制定过程中，项目组完成大量的试验工作，为规范的制定积累了充足的试验数据，使规范得以顺利制定完成。现在，规程已基本修订完毕，为验证其科学性、合理性和可行性，选取国内主要三家生产研制高速弯沉仪的三款典型设备，实验人员荆根强、李孝兵、罗营超等在交通部公路交通试验场内以及武汉梁子湖大道等地依据制定的校准方法逐条进行试验，并依据校准规范附录所提供的校准记录格式出具校准记录（见附录）。

三、数据分析

项目组依据高速弯沉仪校准规范对通用计量要求和计量性能要求进行了试验验证，验证内容和试验数据分析如下：

1. 通用技术要求

对规范中第7条的通用技术要求进行了逐条检查，被检高速弯沉仪完全符合要求。通过检查认为，规范所规定的通用技术要求能够涵盖高速弯沉仪的技术要求，包含了非预期使用的要求，同时还包含了完整的计量法制标志和计量器具标识要求。通用技术要求完整、充分，操作简单易行。

2. 计量性能

按照规范要求对计量性能进行了逐项校准，被检高速弯沉仪完全符合要求。通过计量性能检定认为，校准规范所规定的计量性能要求完整、充分，能够保证对高速弯沉仪的准确度等各项计量性能的考核，通过检定后，能够保证高速弯沉仪的计量性能的准确可靠。规范中第7条规定的检定方法严谨可靠，且充分考虑了被检高速弯沉仪的特性，具有较强的可操作性。

3. 实验数据分析

按照《激光式高速弯沉测定仪校准规范》（征求意见稿）规定的试验步骤，项目组选取了国内三个厂商生产研发的三种典型高速弯沉仪设备，分别对温度测量误差、纵向测距传感器误差、弯沉测值准确性、弯沉测值重复性以及弯沉测值速度变异性等指标进行试验，试验结果均能满足本规范对技术指标的要求，试验现场如图 1 所示。



图 1 各种型号的高速弯沉仪现场试验图

3.1 温度测量误差

按照本规范的试验步骤，选取了 4 台具有代表性的高速弯沉仪开展试验，分别对本规范中制定的温度测量的合理性进行验证，记录试验数据见下表 1 所示。

表 1 高速弯沉仪温度测量记录表

序号	设备编号	温度范围	测试结果					示值误差/示值相对误差
			测量方式	第 1 次 ℃	第 2 次 ℃	第 3 次 ℃	平均值 ℃	
1	1 号设备	-10℃~ 20℃	设备测值	9.5	9.6	9.5	9.53	-1.30 ℃
			温度模拟器	10.8	10.8	10.9	10.83	
		20℃~ 80℃	设备测值	36.1	36.2	36.3	36.20	-1.63 ℃
			温度模拟器	37.8	37.9	37.8	37.83	
2	2 号设备	-10℃~ 20℃	设备测值	12.3	12.5	12.6	12.47	-1.37 ℃
			温度模拟器	13.8	13.9	13.8	13.83	
		20℃~ 80℃	设备测值	43.3	43.1	43.1	43.17	1.40 ℃
			温度模拟器	41.8	41.7	41.8	41.77	
3	3 号设备	-10℃~ 20℃	设备测值	15.3	15.2	15.3	15.27	-1.53 ℃
			温度模拟器	16.8	16.9	16.7	16.80	
		20℃~ 80℃	设备测值	45.6	45.2	45.5	45.43	1.16 ℃
			温度模拟器	44.2	44.3	44.3	44.27	
4	4 号设备	-10℃~ 20℃	设备测值	13.5	13.8	13.9	13.73	-1.43 ℃
			温度模拟器	15.2	15.1	15.2	15.17	
		20℃~ 80℃	设备测值	52.4	52.4	52.3	52.37	0.63 ℃
			温度模拟器	51.8	51.7	51.7	51.73	

校准人：罗营超

核验人：李孝兵

校准时间：2022.4.11~4.12, 2023.4.4

通过对4台高速弯沉仪温度测试数据的试验、整理，计算出的温度示值误差均未超过校准规范中提出的±2℃的要求，测试结果表明本规范提出的温度参数基本能满足工程应用要求和此类设备的相关性能要求。

3.2 距离测量相对误差

由于高速弯沉仪对车速测量要求比较高，一般都有一个专门用于安装光电编码器的测试轮（也称第五轮），因此此类设备距离测试精度较高，根据本规范中制定的测试方法对测力测量误差进行实验，相关试验图片见图2所示。



图2 高速弯沉仪距离测试现场试验图

相关的测试结果如下表2所示。

表2 高速弯沉仪距离测量记录表

序号	设备编号	测试结果					
		标准值 (m)	第1次 测量值(m)	第2次 测量值(m)	第3次 测量值(m)	3次平均值 (m)	示值相对 误差 %
1	1号设备	500	500.067	500.063	500.069	500.0663	0.013%
2	2号设备	500	500.203	500.207	500.206	500.2053	0.041%
3	3号设备	500	500.132	500.146	500.143	500.1403	0.028%
4	4号设备	500	499.882	499.757	499.842	499.827	-0.035%

校准人：罗营超

核验人：李孝兵

校准时间：2022.4.11~4.12, 2023.4.4

通过对4台高速弯沉仪距离测试数据的试验、整理，计算出的距离示值相对误差均未超过校准规范中提出的 $\pm 0.1\%$ 的要求，测试结果表明本规范提出的距离测量参数能满足工程应用要求和此类设备的相关性能要求。

3.3 弯沉示值相对误差

由于高速弯沉仪是一种通过采用多个激光多普勒测量路面在标准轴载作用下不同位置路面的变形测度来反演路面弯沉值的新型检测设备，其检测原理与传统的自动弯沉仪和落锤式弯沉仪的检测原理不同，该类设备弯沉示值相对误差的测试需要采用专门校准装置来完成。

高速弯沉仪校准装置包括控制系统、支撑底座、导轨1、导轨2、剪叉机构和旋转盘系统。旋转盘系统的数量与高速弯沉仪配备的激光多普勒传感器相同。校准使用时，通过剪叉机构和双向导轨调整各旋转盘系统的位置，使各激光多普勒传感器发射的激光束在旋转盘上预设的测点处。旋转盘由驱动电机驱动，可持续稳定工作运转，是校准装置的核心。测试时通过调整不同位置旋转盘的转速，即可模拟弯沉盆内不同位置路面变形速度的差异。

校准装置结构示意图见下图3所示。

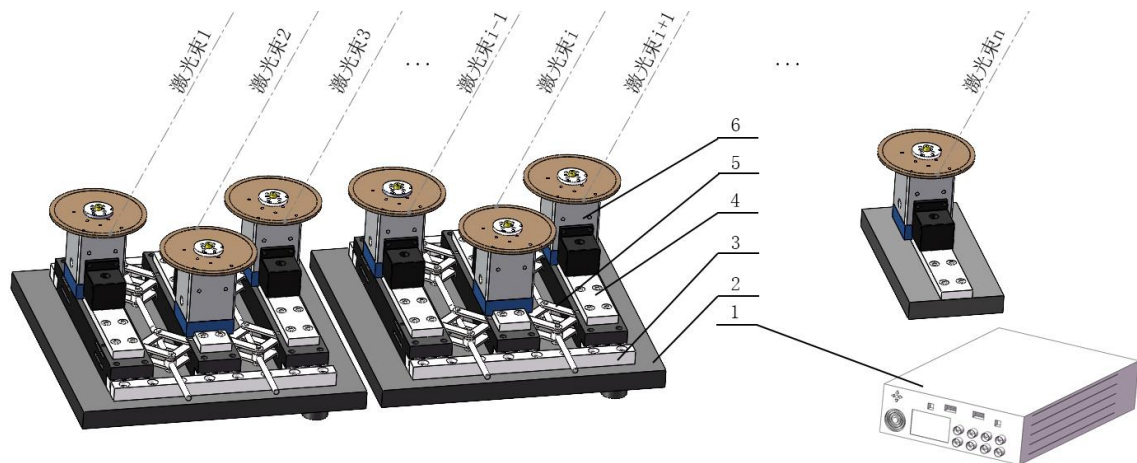


图3 高速弯沉仪校准装置

1-校准装置控制系统；2-底座；3-导轨1；4-导轨2；5-剪叉机构；6-旋转盘系统

按照本规范的试验步骤，选取了2台具有代表性的高速弯沉仪开展试验，分别对本规范中制定的弯沉值测量的合理性进行验证，相关试验图片如下图4所示。相关记录试验数据见下表3所示。



图 4 高速弯沉仪校准装置试验图

表 3 高速弯沉仪弯沉测量记录表

序号	设备编号	弯沉值 (0.01mm)	测试结果				
			第 1 次 (0.01mm)	第 2 次 (0.01mm)	第 3 次 (0.01mm)	第 4 次 (0.01mm)	最大示 值相对 误差
1	1 号设备	测试值	36.21	50.42	77.55	105.62	-4.3%
		校准值	37.74	52.70	80.75	108.01	
2	2 号设备	测量值	39.34	51.15	84.42	110.76	4.5%
		校准值	37.74	52.70	80.75	108.01	

校准人：罗营超，郭鸿博

核验人：李孝兵

校准时间：2023.9.18-9.21

通过对 2 台高速弯沉仪弯沉测试数据的试验、整理，计算出的弯沉示值最大相对误差均未超过校准规范中提出的±5%的要求，测试结果表明本规范提出的距离测量参数能满足工程应用要求和此类设备的相关性能要求。

3.4 弯沉测值重复性

弯沉测值重复性是反映高速弯沉仪设备测值稳定性的一项指标。测量仪器的重复性是指在重复性测条件下，对同一或相类似被测对象重复测量，测量仪器提供相近示值的能力。它反映了测量仪器示值的随机误差分量的大小，可以用示值的分散性定量地表示，是衡量测量仪器计量性能的指标之一。

根据本规范中制定的测试方法对测力测量误差进行实验，选取 4 台设备开展弯沉值重复性试验，相关试验图片见图 5 所示。



图 5 高速弯沉仪重复性试验图

所试激光式高速弯沉仪在 50 km/h 速度下进行 10 组重复性测试，测试数据及其代表弯沉和其标准偏差的相关记录试验数据见下表 4~表 7 所示。

表 4 1 号设备所选路段的重复性数据

弯沉单位：0.01mm

位置	V50-1	V50-2	V50-3	V50-4	V50-5	V50-6	V50-7	V50-8	V50-9	V50-10
000	72.17	75.86	67.90	72.87	71.70	71.86	72.27	72.63	71.97	69.76
010	52.33	54.22	47.43	54.26	51.11	53.86	53.57	53.65	54.42	49.46
020	53.80	58.29	51.63	56.87	52.30	54.43	54.97	51.96	54.39	53.73
030	72.66	75.79	70.53	76.00	71.77	74.91	74.38	73.21	75.06	71.52
040	39.79	39.03	36.56	42.84	40.42	42.03	40.63	39.99	41.53	39.62
050	45.96	47.09	43.96	46.64	46.40	45.01	47.07	45.42	47.54	44.85
060	35.94	37.51	34.43	37.17	38.28	37.19	39.36	36.66	38.34	37.18
070	39.14	41.45	39.02	41.08	41.97	40.33	41.83	40.23	42.75	40.19
080	49.68	50.99	49.32	51.09	52.15	50.89	51.59	51.12	53.51	50.07
090	46.89	48.83	47.06	48.61	46.71	47.63	47.26	46.48	48.88	47.19
100	42.05	43.88	43.65	47.35	47.45	46.91	48.90	47.62	49.10	46.71
110	59.29	58.34	58.22	58.97	58.57	58.99	56.62	55.07	58.22	55.62
120	36.29	36.55	37.29	37.42	35.89	37.75	36.24	38.21	37.85	35.03
130	52.08	54.15	52.63	51.85	50.95	52.28	51.70	50.11	51.83	51.47
140	31.99	32.53	33.53	31.15	33.09	31.17	32.48	29.66	34.06	29.81
150	31.43	31.21	33.68	34.48	34.27	33.45	33.51	31.66	34.59	32.96
160	27.01	26.39	29.34	29.14	27.43	26.80	28.79	27.15	29.92	27.90
170	58.86	58.36	60.74	61.54	59.75	60.22	62.70	59.66	62.75	61.82

位置	V50-1	V50-2	V50-3	V50-4	V50-5	V50-6	V50-7	V50-8	V50-9	V50-10
180	46.97	48.15	49.44	48.70	47.85	49.11	47.06	48.86	50.05	46.56
190	74.73	75.37	73.89	72.79	70.11	69.77	69.41	71.18	71.94	73.64
200	68.84	69.94	72.32	72.23	69.23	70.17	70.86	71.90	75.46	73.04
210	75.52	74.93	78.04	73.72	71.56	72.10	70.99	71.49	74.03	69.15
220	36.58	37.58	41.79	36.96	36.68	36.89	36.71	37.26	38.96	35.17
230	40.91	37.98	43.58	42.81	42.36	42.36	42.38	41.35	45.06	42.52
240	34.09	31.50	35.88	36.57	34.49	35.08	32.61	33.61	35.69	33.11
250	35.42	35.07	43.53	37.47	37.50	38.04	36.39	37.07	37.00	35.74
260	32.32	31.70	36.93	33.15	32.75	33.38	32.86	32.42	33.57	33.50
270	47.97	46.09	52.94	50.71	48.97	49.19	49.56	49.44	50.30	50.25
280	62.57	62.07	69.12	61.11	64.20	64.42	63.43	61.44	62.79	62.33
290	41.00	38.06	46.13	37.36	39.96	39.76	41.36	39.39	40.42	39.10
300	45.36	43.24	50.74	44.59	46.52	46.98	47.25	46.11	46.36	44.55
310	69.89	67.60	75.64	72.05	74.25	73.66	72.18	69.54	73.45	71.00
320	84.25	79.24	89.30	84.56	84.68	86.59	83.61	82.07	84.35	82.17
330	62.42	59.99	64.85	59.31	61.08	59.41	59.86	58.14	59.01	57.71
340	48.48	47.74	52.31	47.03	50.92	49.05	49.59	48.85	47.51	49.58
350	56.23	54.16	58.44	54.78	56.68	57.05	56.71	58.96	57.32	58.22
360	55.00	52.16	58.09	53.67	55.58	56.33	54.93	54.45	54.01	55.76
370	69.33	67.48	70.79	67.23	70.46	70.11	69.95	67.93	66.77	69.84
380	77.23	72.39	75.70	69.60	74.39	74.67	75.82	71.11	73.66	77.06
390	73.88	69.07	71.02	69.48	70.73	70.01	70.21	69.79	68.49	70.79
400	61.99	56.07	60.31	60.17	62.15	61.18	63.64	59.40	58.99	61.90
代表弯沉	72.92	71.91	74.11	72.31	72.32	72.82	72.53	71.36	72.73	72.05
标准偏差	0.69 (0.01mm)									

校准人：罗营超

核验人：李孝兵

校准时间：2022.4.11~4.12

表 5 2 号设备所选路段的重复性数据

弯沉单位：0.01mm

位置	V50-1	V50-2	V50-3	V50-4	V50-5	V50-6	V50-7	V50-8	V50-9	V50-10
000	71.53	71.61	72.46	72.00	69.37	71.12	71.39	72.07	71.42	71.57
010	51.18	51.10	50.68	51.90	48.84	51.42	51.74	51.66	51.96	51.50
020	55.70	55.92	53.98	54.86	54.36	54.22	55.32	55.36	54.84	55.86
030	73.35	72.55	71.16	74.23	72.42	71.92	71.86	72.21	71.20	72.68
040	39.72	37.79	39.31	40.36	38.72	40.21	40.36	38.23	38.46	40.36
050	46.36	46.10	46.79	47.15	44.77	45.73	45.64	45.42	46.05	46.87
060	35.95	34.93	36.82	37.72	35.49	35.46	37.01	35.69	37.05	37.43
070	39.62	38.72	38.80	39.80	39.79	39.47	40.55	40.90	39.93	40.32
080	49.03	46.94	48.99	50.26	48.44	50.42	49.38	49.09	49.86	48.72

位置	V50-1	V50-2	V50-3	V50-4	V50-5	V50-6	V50-7	V50-8	V50-9	V50-10
090	49.11	48.07	46.66	48.64	46.66	46.04	46.21	47.56	47.80	46.77
100	42.07	40.66	42.49	42.58	42.03	42.40	41.13	42.77	44.55	44.04
110	58.78	59.62	58.36	59.52	57.76	57.64	59.19	58.29	58.53	58.77
120	35.71	36.40	35.17	36.20	34.74	34.46	37.16	36.22	35.52	36.02
130	53.75	54.59	51.69	51.95	54.10	51.08	54.31	54.58	52.26	52.76
140	31.97	32.64	31.53	32.32	30.59	30.21	31.18	32.08	30.81	30.73
150	30.11	30.04	31.38	31.83	32.26	31.20	29.38	31.17	31.40	32.17
160	24.03	24.41	24.41	23.83	25.61	24.43	25.35	26.10	25.18	24.50
170	57.79	58.98	58.88	60.64	60.99	61.24	60.21	60.39	60.66	62.05
180	49.33	49.67	48.30	49.44	48.11	49.08	48.98	48.55	48.14	49.14
190	73.06	72.92	71.60	72.49	73.05	73.25	74.16	72.29	74.46	72.54
200	69.04	69.55	70.08	70.84	69.44	71.31	71.50	69.40	72.57	70.20
210	79.80	80.20	77.14	78.35	76.65	76.36	78.21	77.54	77.44	76.02
220	36.47	35.67	35.79	34.84	36.33	34.92	37.45	36.11	36.59	36.06
230	37.42	38.18	37.89	37.66	37.15	36.42	35.90	36.24	38.56	37.27
240	34.17	32.81	32.79	34.76	32.52	31.28	32.16	30.88	31.26	31.42
250	35.60	35.09	35.40	34.68	35.86	35.33	35.18	35.55	33.29	35.35
260	33.22	33.08	31.80	32.66	33.06	30.81	31.11	32.09	31.91	32.18
270	43.66	45.71	44.51	44.76	46.86	45.12	47.52	47.07	46.54	46.28
280	62.83	64.88	62.83	63.11	62.44	62.14	64.02	63.56	63.80	62.92
290	40.90	41.27	41.47	41.07	41.06	39.98	40.49	40.68	40.69	40.49
300	42.35	44.01	42.79	43.73	45.43	42.99	44.80	44.65	44.31	43.94
310	67.44	68.57	69.90	70.66	72.14	69.57	70.50	71.45	71.76	70.81
320	79.97	83.77	83.68	83.96	84.92	82.06	83.25	83.88	84.54	84.07
330	66.23	65.74	65.18	64.50	62.75	62.64	63.69	62.53	63.06	62.59
340	48.22	49.00	48.52	50.30	48.18	47.92	49.13	49.30	49.30	48.08
350	55.46	55.99	55.55	56.06	56.22	55.61	56.28	56.52	55.65	55.52
360	56.14	56.22	56.57	54.99	55.10	54.88	55.42	55.98	55.19	55.48
370	70.65	70.63	69.76	69.98	70.65	69.70	69.46	70.44	70.04	71.15
380	75.44	76.08	76.58	78.04	76.33	78.30	79.28	77.55	77.91	77.80
390	73.27	74.30	73.10	73.94	73.55	73.87	73.90	73.57	72.71	72.95
400	62.47	63.01	61.88	62.75	62.69	62.14	62.96	62.79	62.52	61.90
代表弯沉	72.83	73.55	72.81	73.66	72.99	72.87	73.65	73.34	73.56	73.22
标准偏差	0.33 (0.01mm)									

校准人：罗营超

核验人：李孝兵

校准时间：2022.4.11~4.12

表 6 3 号设备所选路段的重复性数据

弯沉单位: 0.01mm

位置	V50-1	V50-2	V50-3	V50-4	V50-5	V50-6	V50-7	V50-8	V50-9	V50-10
000	72.10	73.58	71.18	71.29	70.17	68.69	70.78	68.22	70.97	72.33
010	54.58	52.38	49.50	51.57	53.28	49.54	49.93	48.82	52.80	52.66
020	56.59	56.37	55.87	57.85	57.14	54.30	55.32	54.81	56.75	57.47
030	70.63	75.33	73.74	74.61	75.57	72.92	69.75	74.77	73.18	72.87
040	41.58	43.28	40.01	43.08	43.13	39.43	40.01	41.62	43.35	39.88
050	46.92	49.86	48.21	48.01	49.82	45.55	46.10	45.10	47.93	44.61
060	38.08	39.90	38.18	37.83	39.95	34.81	32.79	36.37	37.23	36.94
070	41.41	42.20	43.39	45.24	43.53	39.85	40.88	39.43	41.64	41.00
080	47.28	50.85	46.14	49.18	50.43	48.15	49.31	49.86	47.58	49.06
090	48.97	49.23	52.50	53.12	48.03	51.71	47.40	48.96	50.84	49.41
100	43.19	44.83	45.20	47.13	43.54	45.15	39.27	41.10	44.37	43.73
110	61.71	66.20	67.98	61.89	59.98	60.08	59.94	61.40	57.70	61.08
120	39.70	38.27	40.98	38.22	37.70	36.04	35.74	38.84	36.99	37.77
130	51.49	54.22	60.50	54.95	54.77	52.98	54.97	54.37	53.24	52.99
140	33.16	33.32	36.71	35.32	33.89	33.10	32.91	33.50	34.74	34.80
150	32.16	33.41	34.97	36.64	33.40	34.56	35.71	34.23	31.77	34.27
160	27.10	29.44	27.37	32.54	28.38	26.10	29.17	26.58	30.04	28.78
170	53.19	54.30	53.11	57.48	57.25	52.73	56.20	55.87	56.17	56.76
180	47.62	46.55	46.79	47.21	48.54	48.68	46.51	47.23	48.77	48.93
190	73.10	72.08	72.49	69.29	69.44	75.17	72.57	66.27	71.60	72.08
200	64.74	64.00	61.29	71.98	56.61	64.44	62.68	61.41	62.38	62.33
210	76.67	82.15	74.79	73.09	76.88	71.69	78.72	77.22	74.45	78.35
220	40.05	39.45	35.68	35.27	37.90	40.48	40.70	43.10	38.58	39.18
230	35.94	33.00	50.53	35.17	29.66	37.79	35.00	34.60	35.22	33.24
240	32.10	30.55	32.71	30.17	27.23	29.49	29.42	34.18	33.13	33.98
250	31.18	36.29	35.36	35.10	35.88	37.18	34.43	31.39	36.64	33.88
260	32.81	33.62	32.20	31.66	33.39	34.53	31.30	31.49	34.48	33.11
270	43.45	43.34	43.35	44.03	42.33	43.56	43.69	44.71	43.18	46.38
280	61.74	61.91	63.46	61.76	62.24	64.87	60.27	60.60	59.94	61.99
290	41.27	42.87	42.60	42.56	40.38	42.54	42.38	40.83	42.57	40.42
300	43.74	42.36	44.52	43.57	41.86	43.43	41.90	43.49	41.97	43.74
310	64.78	66.08	66.25	65.02	67.36	65.79	67.87	65.84	64.97	68.45
320	74.40	78.11	79.80	76.00	79.00	79.49	75.18	78.42	76.86	78.76
330	66.61	65.23	66.75	64.98	62.90	64.64	62.13	63.43	59.83	62.84
340	47.55	46.78	48.86	47.03	46.85	49.08	48.18	49.96	48.66	46.99
350	54.64	55.05	55.42	53.87	51.77	55.89	57.18	57.83	52.61	54.50
360	57.77	54.75	58.04	54.91	54.49	58.53	54.40	56.62	54.62	56.65
370	64.21	68.66	67.41	65.79	67.94	69.84	66.98	70.01	68.17	67.50
380	71.95	69.31	70.32	74.27	72.65	73.51	73.12	75.58	71.62	70.80

位置	V50-1	V50-2	V50-3	V50-4	V50-5	V50-6	V50-7	V50-8	V50-9	V50-10
390	69.50	69.47	68.62	67.44	71.08	70.14	71.36	70.36	70.48	66.50
400	59.48	58.32	57.97	57.28	60.35	62.11	61.50	60.89	59.31	60.30
代表弯沉	70.57	71.89	71.51	70.93	71.03	71.29	70.73	71.00	70.03	71.02
标准偏差	0.49 (0.01mm)									

校准人：罗营超

核验人：李孝兵

校准时间：2022. 4. 11~4. 12

表 7 4 号设备所选路段的重复性数据

弯沉单位：0.01mm

位置	V50-1	V50-2	V50-3	V50-4	V50-5	V50-6	V50-7	V50-8	V50-9	V50-10
910	13.02	13.43	13.49	12.52	12.58	13.12	12.94	13.74	12.64	12.91
920	12.50	12.48	12.39	12.53	12.05	12.31	12.53	12.48	12.85	12.66
930	10.91	11.02	10.95	10.73	11.19	10.87	10.72	11.30	11.15	11.07
940	11.30	11.85	11.13	11.78	11.93	11.15	11.58	11.81	12.14	11.12
950	14.01	13.42	14.06	13.59	13.21	13.32	13.41	13.31	13.19	12.54
960	13.17	13.19	12.79	12.05	12.22	12.42	12.71	12.94	12.99	13.31
970	15.84	14.65	15.62	15.18	14.65	14.84	14.84	15.03	15.12	15.09
980	22.25	21.35	21.85	21.91	21.46	21.41	21.57	21.84	21.65	21.87
990	23.07	23.31	23.32	23.73	22.91	22.90	23.20	23.61	23.07	23.69
1000	23.02	23.45	23.28	23.35	23.08	23.33	22.80	23.88	23.80	24.04
1010	24.37	23.76	23.51	24.28	22.90	22.66	22.68	23.53	24.15	23.55
1020	24.43	24.54	24.49	25.19	25.06	24.07	23.99	24.74	24.44	24.28
1030	23.58	25.12	24.11	24.84	24.89	23.47	23.94	24.10	25.28	24.42
1040	25.24	24.96	25.05	24.40	24.42	24.56	24.28	24.92	25.31	26.00
1050	26.46	26.20	25.44	25.60	25.27	26.24	25.55	26.07	25.34	25.19
1060	24.84	25.49	25.97	24.61	24.35	26.14	26.62	25.56	25.82	25.00
1070	25.43	24.86	24.79	24.90	25.36	24.58	24.63	24.81	24.57	25.16
1080	25.00	24.97	24.63	25.07	24.87	25.37	24.02	24.96	24.44	23.80
1090	22.33	22.94	23.68	22.94	23.53	23.05	23.34	22.56	23.29	23.31
1100	22.17	22.18	22.31	22.10	22.18	21.80	22.24	21.84	22.72	22.66
1110	23.39	22.16	22.70	22.84	23.11	22.56	22.21	23.72	22.53	22.82
1120	24.13	23.95	23.25	23.92	24.76	24.17	24.97	23.61	24.24	23.85
1130	23.63	22.82	23.96	23.53	24.20	23.00	22.65	22.99	22.95	23.51
1140	22.55	22.48	22.49	23.18	22.34	22.59	22.59	22.86	22.52	21.89
1150	22.99	22.30	22.55	22.04	22.67	22.10	21.66	21.78	21.94	22.11
1160	22.69	22.16	22.55	21.87	22.27	21.66	22.36	21.76	22.44	22.00
1170	24.73	24.92	25.77	23.64	23.82	23.87	23.77	24.59	25.09	24.21
1180	27.73	27.30	27.72	27.06	26.68	25.90	25.97	27.08	27.30	26.55
1190	29.20	29.61	29.89	30.18	28.33	29.31	28.93	30.14	28.30	29.34
1200	28.01	28.26	27.16	27.80	26.96	28.14	27.73	28.71	26.94	28.46

位置	V50-1	V50-2	V50-3	V50-4	V50-5	V50-6	V50-7	V50-8	V50-9	V50-10
1210	25.73	25.85	25.65	25.87	25.65	26.45	26.73	25.50	26.04	26.23
1220	24.73	23.78	24.35	24.36	25.34	24.70	25.01	24.10	23.68	25.02
1230	22.87	24.06	22.62	23.15	23.92	22.98	22.66	23.50	22.59	22.60
1240	21.81	21.97	22.05	22.20	22.80	21.16	21.34	20.89	20.76	20.65
1250	18.31	18.78	18.82	18.65	18.77	19.26	19.28	18.50	18.23	18.99
1260	18.91	18.83	18.57	18.85	18.71	18.48	18.72	18.98	18.94	18.60
1270	16.95	16.37	16.07	16.17	17.00	17.60	17.28	16.31	16.05	16.65
1280	15.75	15.82	15.76	14.87	14.95	15.50	16.01	14.83	15.61	14.89
1290	15.17	15.30	15.84	14.72	15.33	14.98	14.81	15.49	15.38	14.71
1300	17.39	17.24	16.88	17.17	15.78	16.42	16.02	16.78	17.26	16.35
1310	19.07	18.80	19.08	19.15	18.88	18.88	18.25	19.51	18.75	18.85
1320	18.15	18.24	18.86	19.46	18.58	19.42	19.33	19.13	19.28	18.50
1330	18.32	17.83	18.66	17.83	17.78	18.51	18.47	18.94	18.56	18.30
1340	18.65	17.86	18.59	17.96	18.37	18.27	17.72	18.16	18.01	18.20
1350	16.29	15.93	16.02	15.61	16.39	16.41	15.81	16.29	16.33	15.59
1360	13.66	14.24	14.10	13.57	13.51	13.30	14.51	14.02	14.76	14.46
1370	15.10	15.16	14.98	15.29	15.02	14.53	15.04	14.96	15.19	15.23
1380	16.25	16.21	16.90	15.50	16.30	15.87	16.06	15.99	15.97	15.63
1390	16.95	17.36	16.73	17.28	16.76	17.14	16.69	16.53	17.09	16.46
1400	17.33	16.59	16.25	15.89	16.36	16.15	16.78	15.96	17.09	16.57
代表弯沉	27.59	27.53	27.54	27.61	27.43	27.37	27.24	27.55	27.31	27.48
标准偏差	0.12 (0.01mm)									

校准人：罗营超

核验人：李孝兵

校准时间：2023.4.4

从上表我们可以看出，所测重复性的相关数据的标准偏差最大值为 0.0069mm (0.69 (0.01mm))，都能控制在 0.03mm 以内，测试结果表明本规范提出的距离测量参数能满足工程应用要求和此类设备的相关性能要求。

3.5 弯沉测值速度变异性

速度变异性主要体现了设备在不同的速度下对同一段测试路面测值的一致性。这也是体现设备在复杂条件道路上测值稳定性的一项指标。所试设备分别以 30 km/h、50 km/h 和 70 km/h 的速度对所选道路进行若干次独立测量，以 10m 间距输出弯沉值。对每种测试速度，均选取 3 次测量结果，按对应位置求平均，形成 3 种速度下的弯沉测量值序列，比较结果如下图 6 所示。

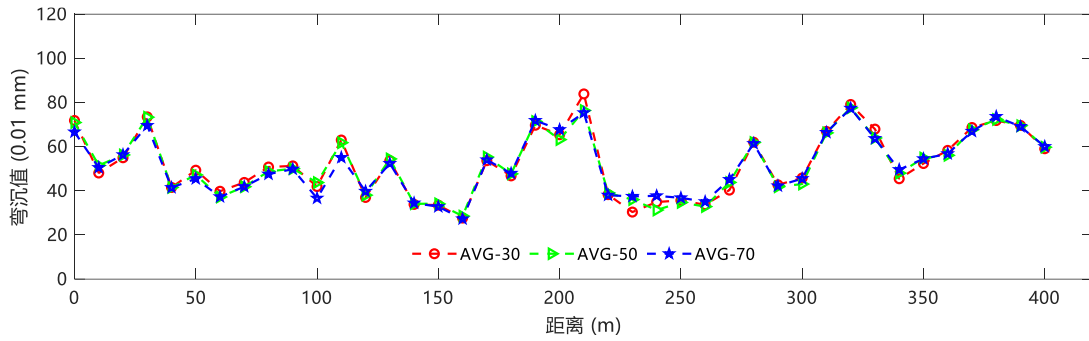


图 6 三种不同速度下高速弯沉仪的测量结果

选取 4 台设备近几年开展高速弯沉仪测值速度变异性的测试数据，分别选取 30km/h 和 70km/h 时被测路段的代表值（3 次平均值）计算所试设备的速度变异系数，相关结果如下表 8 所示。

表 8 不同速度变异性结果数据

弯沉单位：0.01mm

序号	设备编号	测试速度	第 1 次测值	第 2 次测值	第 3 次测值	3 次平均值	速度变异系数
1	1 号设备	L_{30}	77.24	75.94	75.55	76.24	3.02%
		L_{70}	73.77	74.86	73.39	74.01	
2	2 号设备	L_{30}	76.12	77.27	74.97	76.12	3.40%
		L_{70}	73.50	72.82	74.53	73.62	
3	3 号设备	L_{30}	73.62	74.53	74.99	74.38	3.12%
		L_{70}	72.03	72.18	72.19	72.13	
4	4 号设备	L_{30}	23.89	24.79	23.82	24.17	3.93%
		L_{70}	25.15	24.73	25.58	25.15	

校准人：罗营超

核验人：李孝兵

校准时间：2022.4.11~4.12, 2023.4.4

从上表可知，设备速度变异性试验的相关数据的表明，速度变异系数最大值为 3.93%，基本都能控制在 5% 以内，测试结果表明本规范提出的距离测量参数能满足工程应用要求和此类设备的相关性能要求。

3.6 实验数据分析小结

项目组按照校准规范要求对计量性能进行了逐项校准，被校准的设备完全符合要求。通过计量性能校准认为，校准规范规定的计量性能要求完成、充分、能

够保证对所校设备的计量性能的准确可靠。本规范中提出的校准方法严谨可靠，且充分考虑了被校准设备的计量特性，具有较强的可操作性。

四、试验结论

经验证，本规范所规定的计量性能要求、通用技术要求及校准方法能够符合高速弯沉仪的校准要求，各项要求充分、合理，校准方法严谨、可行，规范具备了科学性、合理性和可行性。依据本规范对高速弯沉仪进行校准能够保证高速弯沉仪的计量性能的准确可靠。

附录 A

激光式高速弯沉测定仪校准记录表

样品名称	1号高速激光弯沉仪		样品编号	/				
型号规格	/		出厂编号	/				
生产厂家	/		校准依据	《激光式高速弯沉测定仪校准规范》				
校准时间	2022.04.11~04.12		校准地点	武汉				
校准环境	温度: <u>28.4℃~32.8℃</u> 湿度: <u>40%~42%</u> RH							
所用测量标准或主要设备	名称	测量范围	不确定度/准确度/最大允许误差		证书编号	证书有效期至		
	钢卷尺	0m~50m	I级		CDjx2021-12441	2022-7-26		
	玻璃液体温度计	0℃~100℃	MPE = ±0.4℃		RA21S-AD100967	2022-7-27		
校准项目								
序号	校准项目	校准结果						
1	温度测量误差(℃)	温度值	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	3次平均值	示值误差/示值相对误差	
		设备测值	9.5	9.6	9.5	9.53	-1.30℃	
		辐射计测值	10.8	10.8	10.9	10.83		
		设备测值	36.1	36.2	36.3	36.20	-4.32%	
		辐射计测值	37.8	37.9	37.8	37.83		
2	距离测量相对误差(m)	标准值	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	3次平均值	示值相对误差	
		500	500.067	500.063	500.069	500.066	0.013%	
3	弯沉测值准确性(0.01mm)	弯沉值	第1组	第2组	第3组	第4组	最大示值相对误差	
		测量值	/	/	/	/	/	
		校准值	/	/	/	/		
4	弯沉测值重复性(0.01mm)	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	第4次测量值	第5次测量值	第6次测量值	
		72.92	71.91	74.11	72.31	72.32	72.82	
		第7次测量值	第8次测量值	第9次测量值	第10次测量值	10次平均值	重复性标准差	
		72.53	71.36	72.73	72.05	72.51	0.69	
5	弯沉测值速度变异性(0.01mm)	L_{30}			L_{70}			速度变异系数
		76.12	77.27	74.97	73.50	72.82	74.53	3.40%

校准人: 罗营超

核验人: 李孝兵

校准时间: 2022.04.11~04.12

激光式高速弯沉测定仪校准记录表

样品名称	2号高速激光弯沉仪		样品编号	/				
型号规格	/		出厂编号	/				
生产厂家	/		校准依据	《激光式高速弯沉测定仪校准规范》				
校准时间	2022.04.11~04.12		校准地点	武汉				
校准环境	温度: 28.4℃~32.8℃ 湿度: 40%~42% RH							
所用测量标准或主要设备	名称	测量范围	不确定度/准确度/最大允许误差		证书编号	证书有效期至		
	钢卷尺	0m~50m	I级		CDjx2021-12441	2022-7-26		
	玻璃液体温度计	0℃~100℃	MPE = ±0.4℃		RA21S-AD100967	2022-7-27		
校准项目								
序号	校准项目	校准结果						
1	温度测量误差(℃)	温度值	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	3次平均值	示值误差/示值相对误差	
		设备测值	12.3	12.5	12.6	12.47		
		辐射计测值	13.8	13.9	13.8	13.83		
		设备测值	43.3	43.1	43.1	43.17	3.35%	
		辐射计测值	41.8	41.7	41.8	41.77		
2	距离测量相对误差(m)	标准值	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	3次平均值	示值相对误差	
		500	500.203	500.207	500.206	500.205	0.041%	
3	弯沉测值准确性(0.01mm)	弯沉值	第1组	第2组	第3组	第4组	最大示值相对误差	
		测量值	/	/	/	/		
		校准值	/	/	/	/	/	
4	弯沉测值重复性(0.01mm)	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	第4次测量值	第5次测量值	第6次测量值	
		72.83	73.55	72.81	73.66	72.99	72.87	
		第7次测量值	第8次测量值	第9次测量值	第10次测量值	10次平均值	重复性标准差	
		73.65	73.34	73.56	73.22	73.25	0.33	
5	弯沉测值速度变异性(0.01mm)	L_{30}			L_{70}			速度变异系数
		77.24	75.94	75.55	73.77	74.86	73.39	3.02%

校准人: 罗营超

核验人: 李孝兵

校准时间: 2022.04.11~04.12

激光式高速弯沉测定仪校准记录表

样品名称	3号高速激光弯沉仪			样品编号	/			
型号规格	/			出厂编号	/			
生产厂家	/			校准依据	《激光式高速弯沉测定仪校准规范》			
校准时间	2022.04.11~04.12			校准地点	武汉			
校准环境	温度: <u>28.4℃~32.8℃</u> 湿度: <u>40%~42%</u> RH							
所用测量标准或主要设备	名称	测量范围	不确定度/准确度/最大允许误差		证书编号	证书有效期至		
	钢卷尺	0m~50m	I级		CDjx2021-12441	2022-7-26		
	玻璃液体温度计	0℃~100℃	MPE =±0.4℃		RA21S-AD100967	2022-7-27		
校准项目								
序号	校准项目	校准结果						
1	温度测量误差(℃)	温度值	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	3次平均值	示值误差/示值相对误差	
		设备测值	15.3	15.2	15.3	15.27		
		辐射计测值	16.8	16.9	16.7	16.80		
		设备测值	45.6	45.2	45.5	45.43	-9.62%	
		辐射计测值	50.2	50.3	50.3	50.27		
2	距离测量相对误差(m)	标准值	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	3次平均值	示值相对误差	
		500	500.132	500.146	500.143	500.140	0.028%	
3	弯沉测值准确性(0.01mm)	弯沉值	第1组	第2组	第3组	第4组	最大示值相对误差	
		测量值	/	/	/	/		
		校准值	/	/	/	/	/	
4	弯沉测值重复性(0.01mm)	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	第4次测量值	第5次测量值	第6次测量值	
		70.57	71.89	71.51	70.93	71.03	71.29	
		第7次测量值	第8次测量值	第9次测量值	第10次测量值	10次平均值	重复性标准差	
		70.73	71	70.03	71.02	71.00	0.49	
5	弯沉测值速度变异性(0.01mm)	L_{30}			L_{70}			速度变异系数
		73.62	74.53	74.99	72.03	72.18	72.19	3.12%

校准人: 罗营超

核验人: 李孝兵

校准时间: 2022.04.11~04.12

激光式高速弯沉测定仪校准记录表

样品名称	4号高速激光弯沉仪			样品编号	/			
型号规格	/			出厂编号	/			
生产厂家	/			校准依据	《激光式高速弯沉测定仪校准规范》			
校准时间	2023.04.04			校准地点	交通部公路交通试验场			
校准环境	温度: 11.7℃~12.8℃ 湿度: 91.6%~93.3% RH							
所用测量标准或主要设备	名称	测量范围	不确定度/准确度/最大允许误差		证书编号	证书有效期至		
	钢卷尺	0m~50m	I级		CDjx2022-02353	2023-7-24		
	辐射温度计	-32℃~400℃	$U = 1^\circ\text{C}, k=2$		RGfs2022-00449	2023-7-17		
校准项目								
序号	校准项目	校准结果						
1	温度测量误差(℃)	温度值	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	3次平均值	示值误差/示值相对误差	
		设备测值	13.5	13.8	13.9	13.73		1.43℃
		辐射计测值	15.2	15.1	15.2	15.17		
		设备测值	52.4	52.4	52.3	52.37	1.22%	
		辐射计测值	51.8	51.7	51.7	51.73		
2	距离测量相对误差(m)	标准值	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	3次平均值	示值相对误差	
		500	499.882	499.757	499.842	499.827	-0.035%	
3	弯沉测值准确性(0.01mm)	弯沉值	第1组	第2组	第3组	第4组	最大示值相对误差	
		测量值	/	/	/	/		/
		校准值	/	/	/	/		
4	弯沉测值重复性(0.01mm)	第1次测量值	第2次测量值	第3次测量值	第4次测量值	第5次测量值	第6次测量值	
		27.59	27.53	27.54	27.61	27.43	27.37	
		第7次测量值	第8次测量值	第9次测量值	第10次测量值	10次平均值	重复性标准差	
		27.24	27.55	27.31	27.48	27.47	0.12	
5	弯沉测值速度变异性(0.01mm)	L_{30}			L_{70}			速度变异系数
		23.89	24.79	23.82	25.15	24.73	25.58	3.93%

校准人：罗营超

核验人：李孝兵

校准时间：2023.4.4