

港珠澳大桥（珠海连接线部分）动态 挠度测试实例

武汉中科智创岩土技术有限公司

2017.7.10

目 录

一、总述.....	2
二、设计原则.....	2
三、 挠度测试法对比.....	3
3.1 传统的人工测量方法.....	3
3.2 桥梁挠度自动测试方法.....	3
四、规范标准.....	4
五、现场数据采集.....	4
5.1 测量原理.....	4
5.2 设备参数.....	5
5.3 设备安装布设.....	8
5.4 数据处理结果.....	9
六、 挠度测量结果对比.....	11
七、售后服务.....	12

一、总述

港珠澳大桥是中国的一座跨海大桥，连接香港大屿山、澳门半岛和广东省珠海市，全长为 49.968 公里，主体工程“海中桥隧”长 35.578 公里，其中海底隧道长约 6.75 公里，桥梁长约 29 公里。

港珠澳大桥珠海连接线工程前山河特大桥位于广东省珠海市香港区前山河水闸北，小桩号岸紧靠跨境工业园区，大桩号岸以南琴互通为枢纽与现有南湾大道相接，桥梁全长 1777m。本次荷载试验对象为主桥（90+160+90）m 波箱钢腹板连续箱梁。

在广东交通监督总站的邀请下，我公司于 3 月 28、3 月 29 晚对港珠澳大桥珠海连线工程前山河特大桥进行桥梁挠度测试。



横琴北互通效果图

二、设计原则

根据现场勘查结果，结合我公司对桥梁挠度测试经验，充分考虑现场情况和设备的安装要求，挠度采集系统提供清晰、简洁、友好的中文操作界面。操控简便、灵活，便于管理和维护。

合法性：方案设计符合国家、行业的有关规定、技术防范要求。

实用性：采用经济实用的技术和设备，综合考虑系统的建设、升级和维护费用，不盲目投入；方案设计满足系统要求，充分考虑到各单位客户的使用要求，使设备的功能尽可能的完善并充分加以利用，确保设备稳定、高效、长期运行；确保优质及时的售后服务。

可靠性：系统设计、设备选型、调试、安装等环节都将严格贯彻质量条例，完全符合标书和国家、行业的有关标准及有关部门安全技术防范要求。系统具有一致性，升级能力和技术支持，能够保证全天候长期稳定运行。

先进性：在系统设计中，我们充分考虑桥梁检测领域技术的发展，参考目前挠度监测设备的发展水平，在设备上选用合格稳定产品，确保我公司监测技术在国内处于领先地位。

三、挠度测试法对比

随着工程领域自动化进程的提升以及计算机等级的提高、数据采样技术的进步，自动化挠度监测将逐步得到广泛的应用，为了更好的说明我公司的挠度采集设备，下面就几种常用的挠度测试方法进行介绍。

3.1 传统的人工测量方法

3.1.1 精密水准仪测量法

水准测量又名“几何水准测量”，是用水准仪和水准尺测定地面上两点间高差的方法。在地面两点间安置水准仪，观测竖立在两点上的水准标尺，按尺上读数推算两点间的高差。通常由水准原点或任一已知高程点出发，沿选定的水准路线逐站测定各点的高程。

特点：1) 具有速度较快和能够比较直观得得到结果的特点；2) 主要适用于测点附近能够提供测站条件、范围不大的桥梁挠度变化、观测点数不多的精密水准测量。

3.1.2 百分表测量法

百分表测量法是较传统的挠度测量方法。百分表的工作原理，就是利用齿轮转动机构所检测位置的位移值放大，并将检测的直线往返运动转换成指针的回转转动，以指示其位移数值。

特点：1) 优点是设备简单，可以进行多点测量，直接得到各测点的挠度值测量结果稳定可靠；2) 缺点比较繁琐，耗时较长，工作效率较低，现场应用有很大局限性；3) 适用于桥下可搭设支架的桥梁工程。

3.1.3 全站仪测量法

全站仪挠度测量基本原理是三角高程测量。三角高程测量通过测量两点间的水平距离和竖直角求定两点间高差的方法。

特点：1) 这种测量方法简单，不受地形条件限制，是测量桥梁挠度的一个基本方法；2) 在桥梁加、卸载过程中，由于全站仪和棱镜固定不动，这就完全消除了仪器高和棱镜高的量测所带来的误差；3) 采用高精度全站仪可以更加有效地提高桥梁荷载试验挠度测量精度。

3.2 桥梁挠度自动测试方法

3.2.1 倾角仪法

使用倾角法测量桥梁的挠度，并不同于传统的方法如百分表法、水准仪法直接测得桥梁某一点的挠度值，而是首先使用倾角仪测得桥梁变形时几个截面的倾角，根据倾角拟合出倾角曲线，进而得到挠度曲线。倾角法实际上是一种间接地利用倾角仪测量得到桥梁挠度的方法。

特点：桥梁不需要静止的参考点，适用于测量跨河桥、跨线桥、大型的跨海、跨峡谷桥梁和高桥；其缺点主要能测出各测点的角度变化进而拟合出桥梁的挠度曲线，但是要换算各测点挠度比较麻烦，体现的数据并不直接。

3.2.2 GPS 挠度测量

利用一台接收机(基准站)安在参考点(岸基)上固定不动，另一台接收机(移动站)设在桥梁变形较大的点，2台接收机同步观测4颗或更多卫星，以确定变形点相对岸基的位置。实时获取变形点相对参考点的位置，可直接反映出被测点的空间位置变化从而得到桥梁结构的挠度值。

特点：具有全球性、全天候、连续的精密三维导航与定位能力，具有良好的抗干扰性和保密性，但是成本相对较高，我公司挠度采集仪可和 GPS 设备配合使用，以得到桥梁挠度的三维信息。

3.3 基于连通管的挠度采集法

利用连通管原理，根据安装在桥梁各处连通管内液面高度的变化灵敏得获得液压力差的变化，从而获得桥梁挠度的变化。当桥梁梁体发生变形时，固定在梁体上的水管也将随之移动，此时，各竖直水管内的液面将与基准点处的液面保持在同一水平面，但各测点处的竖直水管液面却发生了大小不等的相对移动，测点与基准点液面高差变化换算得到位移量的变化，测得的相对位移量即是该被测点的挠度值。

特点：基于连通管的挠度采集法测量桥梁挠度的优点是可靠、易行，测量范围大，灵敏度高，可执行高频率采集，运行稳定，并且具有良好的防水、防尘功能。

现在和未来，人们对桥梁，尤其是大型桥梁的安全评估不仅要求在施工过程中进行严格的检测，而且，更加注重成桥后在正常载荷下的长期在线自动监测。成熟的网络技术使人们不再局限于对一座桥梁进行集中监控，而逐步要求实现区域内多座大型桥梁的集群式监控。人工测量的方法正逐步暴露出其弊端，基于连通管的挠度采集解决方案体现出原理简单、安装便捷、采集灵敏、精确度高、采集范围广等优点，我公司的桥梁挠度解决方案成本较低、市场运用技术成熟，具有很好的稳定性和精确度，在桥梁挠度监测领域将被广泛的推广使用。

四、规范标准

《建筑与桥梁结构监测技术规范》（GB50982-2014）

《公路钢筋混凝土和预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62-2004）

《建筑地基基础设计规范》（GB 50007-2011）

《公路桥涵地基基础设计规范》（JTG63-2007）

《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2004）

《公路工程技术标准》（JTG B01-2003）

《公路工程抗震设计规范》（JTJ 004-89）

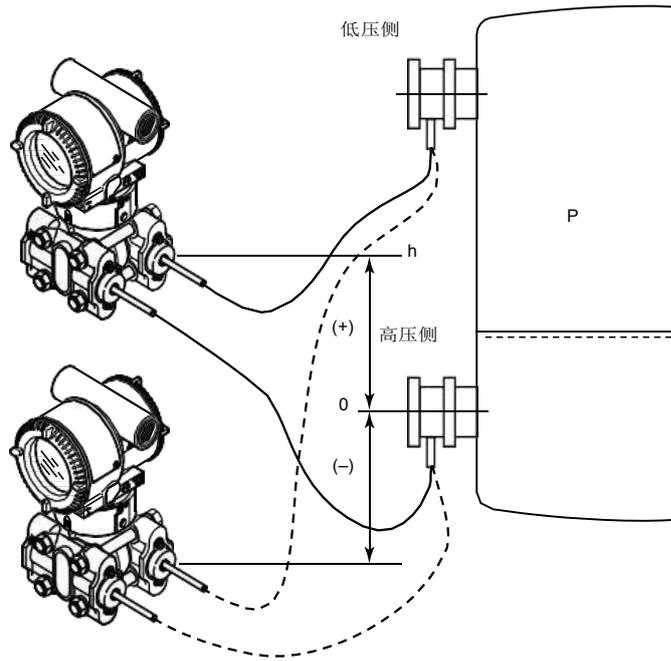
《公路工程结构可靠度设计统一标准》（GB/T 50283-1999）

五、现场数据采集

5.1 测量原理

当压力直接作用在测量膜片的表面，使膜片产生微小的形变，测量膜片上的高精度电路将这个微小的形变变换成为与压力成正比的高度线性、与激励电压也成正比的电压信号，然后采用专用芯片将这个电压信号转换为工业标准的 4-20mA 电流信号或者 1-5V 电压信号。

由于测量膜片采用标准话集成电路，内部包含线性及温度补偿电路，所以可以做到高精度和高稳定性，变送电路采用专用的两线制芯片，可以保证输出两线制 4-20mA 电流信号。



5.2 设备参数

RSM-DDS 动扰度采集器



技术特点：

- 1.外形小巧美观，重量轻
- 2.量程迁移功能，量程迁移比 100:1
- 3.阻尼：0 ~ 32 秒可调，步进 0.1 秒
- 4.零点、满度补偿修正功能

- 5.输出电流多点校正
- 6.显示多个监测变量，压力单位可选
- 7.输出电流开方功能
- 8.具有自诊断及故障报警输出功能
- 9.带有 EEPROM 非易失性存储器，不怕掉电丢失数据并具有原始标定数据恢复功能
- 10.通过 HART 通讯手操器和就地按钮实现远程、就地参数设定与功能组态

设备参数表：

型号	RSM-DDS
过程介质：	液体、气体、蒸汽
输出信号：	两线制 4 ~ 20mA，符合 NAMUR NE43 规范，叠加数字信号（HART 协议）
电源：	最小电源电压 15VDC，最大电源电压 45VDC
防爆性能：	防爆、防水密封外壳；本质安全（符合 FM、CSA、NEPSI 和 KEMA）
零点与量程调整：	通过数字通讯或本地按键调整，互不影响
环境温度：	-40 ~ 85℃
数显温度：	-20 ~ 70℃
过程温度：	-40 ~ 100℃（硅油），-40 ~ 85℃（氟油），-29 ~ 149℃（远传装置充普通硅油），15 ~ 300℃（远传装置充高温硅油）
故障警告：	如果传感器或电路出现故障，自动诊断功能将自动输出 3.6 或 21.0mA（用户可预设）
阻尼调整：	0-32 秒通过数字通讯或就地按键调整。
组态：	数字通讯（HART 协议）或本地按键调整。
测量范围：	差压 0-0.1kPa ~ 3MPa，压力 0-0.6kPa 至 0 ~ 40MPa
精度：	±0.075 %FS，±0.1%
稳定性：	0.1 %/3 年
量程比：	100:1

RSM-BAS1016 桥梁动挠度多通道采集仪



设备参数表:

型号	RSM-BAS1016
采样方式	16 通道同步连续采集
操作方式	有线或无线连接笔记本操作；或远程平台操作
储存模式	内置 sd 卡，或外置 u 盘
通讯方式	内置有线通讯，433 无线通讯、GPRS 无线传输，GPS 定位
工作电压	外接 12v 直流或 220v 交流适配
可测传感器类型	压差式传感器，输出电流或电压信号的传感器
测量范围	4~20mA 或者 0~10V。
最大采样频率	有线 200HZ，无线 10HZ
测量误差	电流 0.01%，电压 0.005%。
分辨率	24 位高精度 AD，可测的 0.1 μ v
通道数	16 通道或可扩展
数据存储模式	本地：内置 SD 卡或外接 U 盘；扩展：电脑保存或平台保存
工作温度	-20℃ ~ +70℃
供电模式	内置锂电池 \geq 48 小时，或外接电长期工作
外壳	工程塑料，配套防水箱可以长期野外使用
体积	24×12×6cm
重量	1.0kg（含锂电池）

技术特点:

- 1.通道数: 16 通道, 并可以真正实现同步采集。
- 2.采集方式: 独立工作采集数据: 有线采集频率可达 200HZ, 无线采集频率可达 10HZ; 配合系统进行自动无线采集。
- 3.量程范围: 4~20mA 或者 0~10V。
- 4.精度: 电流 0.01%, 电压 0.005%。
- 5.分辨率: 采用高精度 24 位 AD。
- 6.多种供电方式: 内置锂电池可以支持连续采集 48 小时; 支持长期带电使用; 对于条件恶劣的地区支持太阳能板电池供电。
- 7.数据容量: 内置 8G 内存卡, 可支持 100 万组数据。支持数据直接采集保存外接 U 盘。
- 8.接口: RS485、USB2.0
- 9.无线采集: 433 无线通讯、GPRS 无线传输、GPS 定位。
- 10.采集功能: 有断电续传功能, 供电自动切换功能

5.3 设备安装布设

我公司挠度采集器安装简单, 携带方便。本次测试分两天, 总共测量 D5-D13 这 9 个测试点, 每个点间隔 20m, 液位罐和基准点设置在不进行挠度测试的大里程左幅上。现场设备安装及挠度采集图如下:



挠度采集器测点安装



液位罐及基准点布设



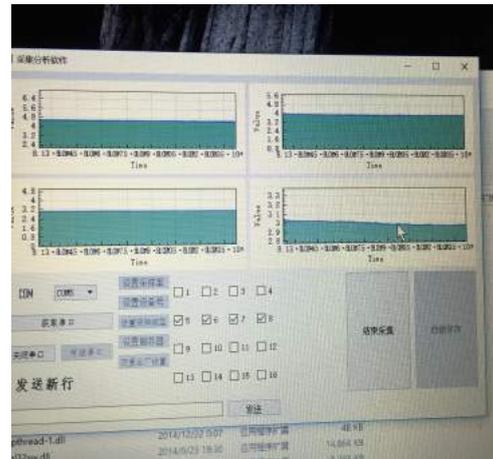
动挠度多通道采集仪



整体效果图



测点位置



现场数据采集

5.4 数据处理结果

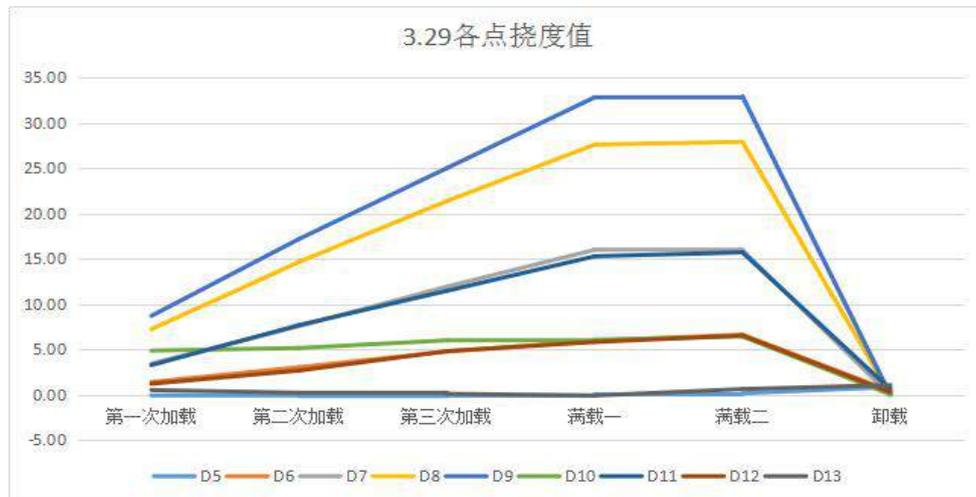
现场采集仪采集到的数据导入电脑，经过简单处理即可得到最终结果，本次测试现场伴有广东交通监督总站、珠海交通集团等单位进行的人工水准仪挠度测试。经过数据分析最终得出结论，我公司进行的本次港珠澳大桥（珠海连接线部分）挠度测试结果准确、精确度高、趋势正确，并通过人工水准仪挠度测量进一步验证了我公司的数据结果，数据结果图表如下：

表 5.1 挠度处理结果

	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
第一次加载	-0.06	1.43	3.47	7.26	8.73	6.47	3.29	1.23	0.53
第二次加载	-0.13	3.06	7.59	14.69	17.23	14.17	7.71	2.69	0.24
第三次加载	-0.07	4.79	11.96	21.41	25.05	21.48	11.50	4.84	0.13
满载一	0.07	5.98	16.03	27.64	32.86	30.10	15.31	5.84	-0.07
满载二	0.18	6.65	16.00	27.95	32.97	30.02	15.74	6.56	0.64
卸载	0.86	0.44	-0.04	0.09	0.04	0.97	0.62	0.31	1.08

2	时间	基准点	D5测值	D6测值	D7测值	D8测值	D9测值	D10测值	D11测值	D12测值	D13测值
3	19:42:22	5861584	7194651	6143787	4750526	4656072	5684592	7790372	5700769	4570164	3363833
4	19:42:22	5861379	7200088	6139383	4750735	4653737	5684845	7789377	5700189	4569992	3363849
5	19:42:22	5861637	7198587	6139617	4757506	4654923	5685486	7789849	5699914	4570041	3365994
6	19:42:22	5861334	7204235	6139131	4756800	4651536	5684260	7789357	5700229	4570014	3365746
7	19:42:23	5860976	7201401	6144561	4758073	4654755	5681926	7789926	5700094	4570060	3365979
8	19:42:23	5861502	7200213	6136294	4756994	4651235	5682246	7790462	5699990	4569876	3365979
9	19:42:23	5861525	7203777	6139132	4757568	4653685	5682393	7789431	5700067	4569990	3366008
10	19:42:23	5861112	7204304	6143398	4757505	4651687	5682372	7789631	5700258	4570539	3366135
11	19:42:23	5861497	7202982	6136658	4758074	4654636	5681882	7789695	5700175	4572034	3365904
12	19:42:23	5861136	7199332	6130960	4755805	4651823	5682178	7791332	5703164	4572579	3371334
13	19:42:23	5862510	7202736	6141716	4757756	4653753	5681970	7790387	5703065	4572875	3371529
14	19:42:23	5861489	7197599	6140929	4756701	4654251	5682306	7792270	5703221	4573049	3371658
15	19:42:23	5861092	7203092	6137674	4759753	4651325	5681761	7791823	5702868	4572846	3371588
16	19:42:23	5861366	7203577	6138130	4758111	4654620	5682275	7793278	5703144	4573001	3371711
17	19:42:24	5861676	7199827	6134936	4754653	4654367	5681856	7793997	5703206	4572741	3372298
18	19:42:24	5861480	7204372	6136307	4758163	4654398	5682015	7792530	5703188	4575626	3371733
19	19:42:24	5860889	7201669	6139558	4758357	4654338	5682109	7791954	5707090	4575840	3371680
20	19:42:24	5861580	7203691	6139427	4757503	4654157	5682521	7792715	5706409	4575849	3371654
21	19:42:24	5861221	7207745	6138143	4759440	4655336	5667739	7789821	5706314	4575915	3371708
22	19:42:24	5856997	7204798	6137264	4758657	4652543	5667339	7788899	5706532	4575847	3371666
23	19:42:24	5857690	7207670	6134073	4757520	4654174	5667139	7790254	5706628	4575771	3371714
24	19:42:24	5857256	7200899	6138793	4757636	4654441	5667282	7789016	5706610	4575767	3371569
25	19:42:24	5857255	7203690	6136989	4757805	4653722	5667480	7790054	5706686	4575907	3371677
26	19:42:24	5857381	7203388	6136942	4756969	4650705	5667149	7788755	5702983	4576290	3371852
27	19:42:25	5857414	7207192	6138474	4757723	4653644	5665547	7789893	5702956	4575851	3371603
28	19:42:25	5857060	7204747	6139677	4754894	4657704	5673219	7799919	5702851	4575753	3371868
29	19:42:25	5862119	7209178	6138724	4759865	4658645	5673598	7798518	5702828	4575823	3371541
30	19:42:25	5861433	7210826	6143264	4756805	4659466	5673367	7798491	5702961	4575954	3371571
31	19:42:25	5860735	7207374	6137133	4754630	4659896	5673238	7799280	5702664	4575803	3371363
32	19:42:25	5861078	7204475	6142125	4757900	4658885	5673220	7799598	5702885	4572829	3371645
33	19:42:25	5860711	7211493	6136091	4752350	4659671	5673213	7798967	5702940	4572767	3368935
34	19:42:25	5861533	7210758	6141513	4753468	4658007	5673543	7799818	5702868	4572681	3366461
35	19:42:25	5860685	7205192	6141792	4752314	4660236	5673057	7798942	5703276	4572862	3366466
36	19:42:25	5858025	7210574	6142650	4752860	4658563	5672966	7800510	5702836	4572779	3366485

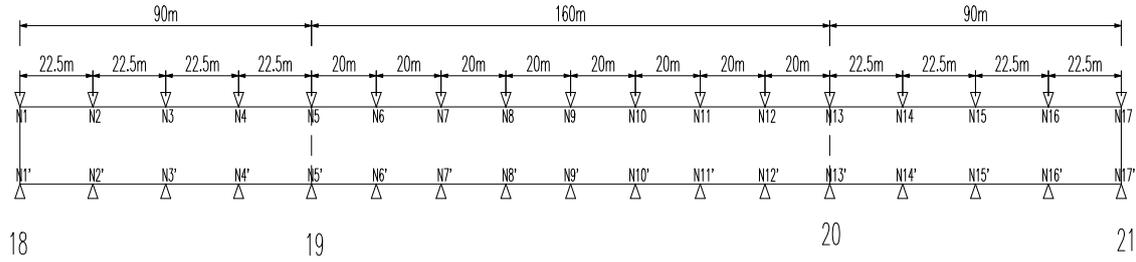
图 5.1 部分原始数据截图



挠度结果曲线图

六、挠度测量结果对比

现场测点布置图如下：



测点布置图

在本次对比试验中，我公司采集得到的数据和省站提供的观测数据较为一致，跨中（D9）弹性挠度为 33.93mm，广东省交通运输建设工程质量检测中心跨中（D9）弹性挠度为 32.75mm，数据较为接近，本次试验数据真实有效。

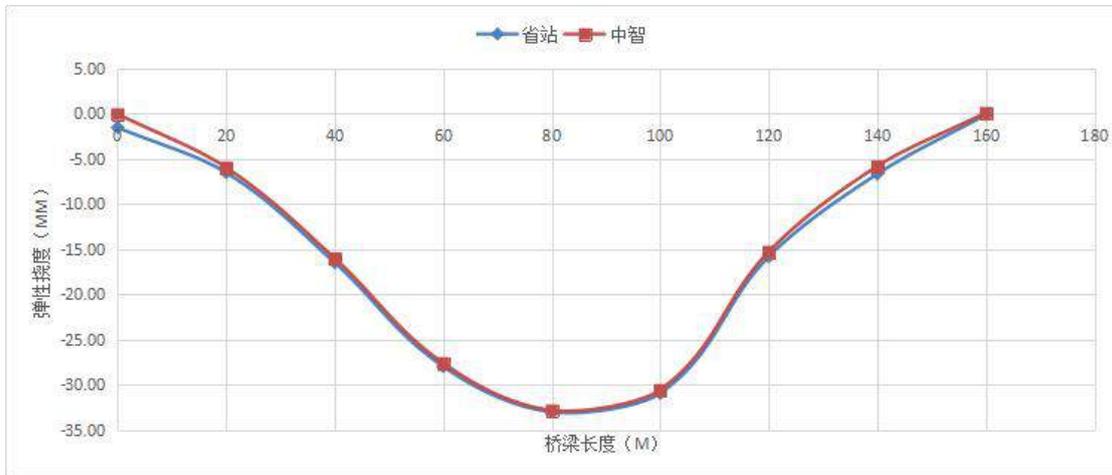


图 6.1 数据修复后弹性挠度对比结果

由上图可以看出，此次对比试验采用我公司的动挠度采集系统得到的挠度数据和广东省交通运输建设工程质量检测中心数据几乎一致。跨中（D9）对比数据详情如下表所示：

表 6.1 各载位跨中（D9）挠度表

测点		载位 1	载位 2	载位 3	载位 4	载位 5	卸载
D9	省站	-8.88	-17.65	-25.32	-33.05	-32.98	-33.75
	中科	-8.73	-17.23	-25.05	-32.86	-32.97	-32.93
	精度	98.3%	97.6%	98.9%	99.4%	99.9%	97.6%

通过上述对比结果可以看出：

- 1、我公司参与此次对比试验是成功的。
- 2、相对于人工水准测量，我公司的动挠度采集系统有频率高、精准度高并可长期稳定检测等优势。
- 3、采用我公司的动挠度采集系统可以测得准确、稳定的动挠度值。

注：详细对比数据见广东省交通运输建设工程质量检测中心出具的挠度测量对比结果。

七、售后服务

我们提供完善的设备售后机制，我们承诺：

3 个月质量问题可更换

12 个月免费维修

设备终身质保

售后维修流程

