

★ 密级：

地震行业科研专项项目

业务验收申请报告

项目名称：数字水准仪系统测量误差的测试与研究

项目编号：201108012

项目负责人（签字）：_____

承担单位（公章）：_____

项目起止时间：2011年1月~2012年11月

填报时间：2013年4月1日

中国地震局科学技术司

承 诺 书

本项目业务验收申请报告，是项目负责人会同项目承担单位

科研部门，在认真了解项目执行情况，统计成果产出，总结组织管理经验的基础上完成的。本单位法定代表人、科研部门负责人、本项目负责人保证自查报告各项内容真实、客观，并承担由此引起的相关责任。

法定代表人（签字）：

年 月 日

科研部门负责人（签字）：_____

年 月 日

项目负责人（签字）：_____

年 月 日

目 录

一、业务验收信息表.....	1
二、业务验收自评报告.....	2
（一）、研究目标、研究任务与考核目标.....	2
（二）、项目执行情况评价.....	4
（三） 成果产出期转化.....	8
（四） 人才培养情况.....	8
（五）、组织管理经验.....	8
（六）存在的问题及改进工作建议.....	9
三、研究报告.....	10
（一） 项目总体情况概述.....	10
（二） 研究内容.....	11
（三） 取得的主要成果.....	20
（四） 项目完成人及人才培养情况.....	21

一、业务验收信息表

项目名称		数字水准仪系统测量误差的测试与研究						
项目编号		201108012						
承担单位		中国地震局第二监测中心						
项目负责人	姓名	罗官德	学历	大学	职称	高工	联系电话	029855065 19
	工作单位	中国地震局第二监测中心				E-mail	Luogd1956 @163.com	
	通讯地址	西安市西影路 316 号				邮 编	710054	
结题形式		√1. 验收 2. 总结 3. 终止 4. 撤销						
完成情况		√1. 达到预期指标 2. 超过预期指标 3. 未达到预期指标						
实际参加研究 人员	总计	8 人						
	其中	高级职称	3 人	中级职称	5 人	初级职称	人	
		博士	人	硕士	1 人			
主要 成果	新产品： 项	新技术、新工艺： 项		新材料： 种				
	获专利 项	其中：国外发明专利 项		国内发明专利 项				
	研究报告、论文 篇	其中：国内发表 篇		在国际上发表 篇				
	示范点 个	中试线 条		生产线 种				
人才 培养	培养博士后 名	培养博士 名		培养硕士 名				
	获奖 项	其中：部级 项		国家级 项				
应用 情况	成果转让合同数	项						
	成果转让合同额	万元						
	已商品化成果数	项						
	实际应用成果数	项						
	已获综合经济效益	万元						
直接 经济 效益	新增产值	万元						
	新增利税	万元						
	出口创汇	万美元						
经费 情况	总经费	86 万元			国家拨款	86 万元		

二、业务验收自评报告

(一)、研究目标、研究任务与考核目标

1、研究目标

本项目完成后，应达到以下总体目标：

(1) 准确测出各种型号数字水准仪是否存在一个系统测量误差？

(2) 验证目前国内计量检测的条形码标尺米长改正数 f 值对实际水准测量结果是否需要进行修正？

(3) 对目前市场上广泛应用于一、二等水准测量的天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、拓普康 DL101C、索佳 SDL1X 四种数字水准仪各项性能和实际测量精度作出客观的评价，选择哪些型号数字水准仪可以作为地震垂直形变监测仪器。

2、研究任务

本项目计划两年内完成，即 2011 年 1 月到 2012 年 11 月。

2.1 第一年度（2011 年 1 月~2011 年 12 月）

(1) 目标

a、完成水准标准实验场地的建设；

b、完成 5 种型号水准仪、9 副水准标尺室内计量检测工作；

c、完成水准标准实验场地高差标准值的观测工作。

(2) 任务

a、2011 年 1 月到 2011 年 7 月，完成水准标准实验场地的建设工作。

说明：建立一个高差 300 m~500 m、测线长度约 3 km~5 km 的水准标准实验场地。沿测线埋设 3 个~5 个稳固水准点（按规范要求埋设），点与点之间埋设每站标尺传递高差的水泥墩（尺寸：13 cm×13 cm×35 cm）或者直径 14 mm×15 cm 的螺纹钢，标尺水泥墩上设有尺桩点，以防测量过程中标尺上升和下沉所带来的测量误差。

b、2011 年 8 月到 2011 年 10 月，采用本中心一台光学水准仪 Ni002A，租赁天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、拓普康 DL101C 三种型号数字水准仪，购置索佳 SDL1X 数字水准仪一套（新产品价格昂贵，很难租赁到），并完成五种型号数字水准仪，九副水准标尺室内计量检测工作。

说明：选择一套性能可靠的 Ni002 A 光学水准仪，并租赁、购置天宝 DiNi03、徕卡

DNA03、拓普康 DL101C、索佳 SDL1X 四种数字水准仪各一套（原装）。为了验证条形码标尺米长改正数 f 值对实际水准测量结果是否需要修正，本项目要求各种型号数字水准仪配套米长改正数 f 值较小（原装标尺）和较大（国产标尺）两副条形码标尺。因此，另外需要购置 4 副国产珠峰厂定制的 4 种型号条形码标尺。按照国家计量检定规程要求，对上述 5 种型号水准仪、9 副水准标尺进行室内计量检定，其各项性能指标必须符合国家规程限差要求（除国产定制的标尺 f 值、分划刻划误差两项以外）。

c、2011 年 11 月到 2011 年 12 月，完成水准标准实验场地高差标准值的观测工作。

说明：水准标准实验场地建成后，稳定一段时间，选择一套高精度光学水准仪 Ni002 A 对场地进行实测，严格执行国家一、二等水准测量规范要求，连续观测三个往返，准确测出场地各个水准点之间的高差值，作为水准标准实验场地的标准值。

2.2 第二年度（2012 年 1 月到 2012 年 11 月）

（1）目标

a、完成两期 Ni002A 光学水准仪和天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、拓普康 DL101C、索佳 SDL1X 四种数字水准仪所配备的 f 值较小、 f 值较大的条形码标尺进行同桩比对观测工作。

b、完成比对观测数据的处理工作，并对实验观测成果进行分析与研究，达到本项目预期的目标。

（2）任务

a、2012 年 1 月~2012 年 9 月，完成两期 Ni002A 光学水准仪和天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、拓普康 DL101C、索佳 SDL1X 四种数字水准仪进行同桩比对观测工作。

说明：精心组织三个外业观测技术精湛、经验丰富的实验小组，分两期进行观测。第一期：三个实验小组分别采用 Ni002A 光学水准仪和天宝 DiNi03、徕卡 DNA03 数字水准仪进行同桩比对观测；第二期：三个实验小组分别采用 Ni002A 光学水准仪和普康 DL101C、索佳 SDL1X 数字水准仪进行同桩比对观测。每种型号数字水准仪分别配备 f 值较小、 f 值较大条形码标尺进行测试，在同等观测条件下，严格执行国家一、二等水准测量规范要求，每副条形码标尺连续观测六个往返侧回。

b、2012 年 10 月~2012 年 11 月，完成比对观测数据的处理工作，并对实验测试结果进行分析与研究，以达到本项目预期的目标。

说明：对上述获得的实验比对观测数据，按国家一、二等水准测量技术规范要求进行数据处理，计算每种型号水准仪比对观测的高差值并求出各自六个测回的标准差。以

Ni002A 光学水准仪观测的高差值作为标准值，验证前面 Ni002A 仪器所测的标准值是否准确，每种型号数字水准仪所配备的条形码标尺观测的高差值与这一标准值进行比对，由此准确测出各种型号数字水准仪所存在的系统测量误差，进一步研究分析它与条形码标尺米长改正数 f 值之间的关系，得到条形码标尺 f 值对实际水准测量结果是否需要修正的定性结论。另外，通过大量的实验测试数据，验证各种型号数字水准仪的实际测量精度，选择哪些型号数字水准仪作为一等水准测量地震形变监测仪器。

3、考核目标

(1) 定性结论：数字水准仪在实际水准测量中是否存在系统测量误差？条形码标尺米长改正数 f 值对水准测量结果是否需要修正？

(2) 定性结论：在目前市场上广泛应用于一、二等水准测量的天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、拓普康 DL101C、索佳 SDL1X 四种数字水准仪中，选择哪些型号数字水准仪可以作为大面积一等水准测量的地震形变监测仪器。

(二)、项目执行情况评价

1、目标、任务、考核指标完成情况

经过两年时间的场地建设、实验比对观测、观测结果的分析与研究，圆满完成了项目任务书所提出的目标、任务和考核指标。项目具体执行情况评价如下：

1.1 2011 年度所完成的工作

(1) 完成了本项目水准标准实验场地的选勘工作。为了考虑水准标准实验场地的稳定性、适用性和永久性，项目组人员曾经多次对场地进行踏勘，最后选择到西安市南山子午镇抱龙峪（秦岭山）找到一个高差约 380 m、测线长度约 5.3 km 的水准标准实验场地。

(2) 完成了场地水准点埋石工作。考虑实验场地的永久性，埋设六个基本点和六个参考点；考虑到场地的稳定性，将这 12 个水准点埋设在基岩和坚固的岩石上。

(3) 完成水准标准实验场地每站前、后视标尺桩埋石工作。为了真实测出各种型号数字水准仪的外符合测量精度，消除标尺桩上升和下沉所带来的水准测量误差，在该场地上埋设了 254 个标尺桩，遇到水泥路面时直接打下 14mm×15 cm 螺纹钢标尺桩，遇到土路时，埋设了 35 cm×13 cm×13 cm 标尺水泥桩，水泥桩上设有不锈钢水准标志

(4) 完成了采购一套索佳 ±0.2 mm/km SDL1X 数字水准仪（原装 0.2mm 条形码标尺），四副国产珠峰厂定制的四种型号条形码标尺及一台笔记本电脑（外业下载数据用）。同

时完成了 5 台仪器、9 副标尺的计量检定工作。仪器、标尺的各项性能指标均符合国家规程、规范限差要求（除国产定制的条形码标尺以外）。

（5）完成水准标准场地各个水准点高差标准值的测试工作。为了准确测出水准标准场地各个水准点之间的高差的标准值，选用一套性能较稳定的 Ni002 仪器，对场地各个水准点进行了三个往返水准测量，按照国家一等水准测量技术规范要求，得到了场地上各个水准点之间的高差的标准值，为 2012 年两期实验比对观测工作提供了标准值。

本年度的目标、任务、考核指标已完成。

1.2 2012 年度所完成的工作

（1）2012 年 3 月 16 日，组织评审专家对该项目去年所建设的水准标准实验场地进行现场验收与评审。根据评审专家所提出的要求，对该场地又作了进一步完善：

a、考虑山上泥石流对观测人员带来安全上的隐患，对场地上一号点和一号参考点进行重新埋设，即将原来的点位往前移动了约 80 米。

b、为了加强对水准点的保护，对场地上六个基本点和首、末两个参考点周围进行开槽，采用钢筋水泥加固水准点护盖。

c、在场地上一号点的岩壁上刻上“水准标准场地”六个大字，并标注单位名称与日期。

（2）2011 年度所建设的水准标准实验场地，其中一半是水泥路，另一半是土路。2012 年 4 月份，当地对这段土路进行了重新铺路，将原来所埋设的 100 个水泥墩标尺桩和场地六号水准点全部遭到破坏。五月份路铺好以后，我们又重新加工螺纹钢标志，重新测量每站前、后视距与视高，从新埋设 100 多个螺纹钢标尺桩和六号水准点，则相当于重新建设了半个水准标准场地。

（3）由于水准场地一号、六号水准点重新选埋与完善，2012 年 5 月底，对场地上各个水准点之间高差标准值又重新进行测试。

（4）六月初至八月底，精心组织三个外业实验小组，完成了四期实验比对观测工作（四期相对任务书二期）。第一期：三个实验小组分别采用 Ni002A 光学水准仪和天宝 DiNi03、徕卡 DNA03 数字水准仪配备 f 值较小的进口原装条形码标尺进行同桩比对观测；第二期：三个实验小组分别采用 Ni002A 光学水准仪和天宝 DiNi03、徕卡 DNA03 数字水准仪配备 f 值较大的国产条形码标尺进行同桩比对观测；第三期：三个实验小组分别采用 Ni002A 和拓普康 DL101C、索佳 SDL1X 数字水准仪配备 f 值较小的进口原装条形码标尺进行同桩比对观测；第四期：三个实验小组分别采用 Ni002A 和拓普康 DL101C、索佳

SDL1X 数字水准仪配备 f 值较大的国产定制条形码标尺进行同桩比对观测。在同等观测条件下，严格执行国家一、二等水准测量技术规范要求，每副条形码标尺连续观测六个往返。

(5) 完成实验比对观测数据处理工作。对上述获得的四期实验比对观测数据，按国家一、二等水准测量技术规范要求进行数据处理。以 Ni002A 光学水准仪观测的高差平均值为标准值，每种型号数字水准仪所配备的条形码标尺观测的高差平均值与这一标准值进行比对。比对结果：采用进口原装米长改正数 f 值较小的条形码标尺配套数字水准仪所测得高差值与 Ni002A 光学水准仪所测的结果基本一致；采用国产 f 值较大的条形码标尺配套同一台相应的数字水准仪所测的结果与 Ni002A 仪器所测的结果似乎有一个差值，但条形码标尺 f 值对水准测量结果进行修正，修正后的测量结果与 Ni002A 光学水准仪所测的结果相一致。由此得出以下三点定性结论：

a、从项目的实验比测数据来看，数字水准仪在实际水准测量中相对于光学水准仪 Ni002A 没有明显的系统测量偏差；

b、实验证明了数字水准仪配套条形码标尺米长改正数 f 值必须对实际水准测量结果进行修正；

c、通过本项目的实验比测，从仪器观测精度、速度、测量结果标准差以及受光线、温度、视线高度等外界环境条件的影响程度等方面来看，四种型号数字水准仪的实际使用情况见表 1 所示。其中索佳 SDL1X、天宝 DiNi03、徕卡 DNA03 三种数字水准仪可以应用于一等大地形变水准测量，拓普康 DL01C 数字水准仪只能用于二等水准测量。

表 1 四种型号数字水准仪性能的实际使用情况

	观测中误差	最大测量标准差	正常观测速度	受环境影响的程度
索佳 SDL1X	± 0.30	0.36	(3~4) s/次	较小
天宝 DiNi03	± 0.32	0.55	(2~3) s/次	较小
徕卡 DNA03	± 0.28	0.24	(3~4) s/次	较大
拓普康 DL01C	± 0.79	0.46	(5~8) s/次	较大

本年度的目标、任务、考核指标已经完成。

2、解决的关键技术问题，取得的主要进展

本项目的关键技术问题是水准标准实验场地的稳定性和三个实验组的比对观测技术水平，能否准确测出每种型号数字水准仪的实际系统测量误差。

2.1 建立了一个稳定的水准标准实验场地

2011 年度，在西安市南山子午镇抱龙峪（秦岭山）找到一个高差约 380 m、测线长

度约 5.3 km 的水准标准实验场地。考虑场地的永久性，埋设了六个基本点和六个参考点；考虑到场地的稳定性，将这 12 个水准点埋设在基岩和坚固的岩石上。为了真实测出各种型号数字水准仪的系统测量误差，沿场地测线埋设了 254 个螺纹钢尺桩标志，消除了标尺上升或下降所带来的水准测量误差。

2011 年度取得的主要进展是建立了一个稳定的水准标准实验场地。

2.2 圆满完成四期实验比对观测工作

2012 年度在实验比对观测技术方面做到了以下几点：

(1) 严格执行国家规程、规范要求

在实验比对观测前，对仪器、标尺进行全面计量检定，仪器、标尺的各项性能指标符合 JJG423-2003《水准仪计量检定规程》、JJG8-1991《水准标尺检定规程》的限差要求（除国产定制的条形码标尺以外），在实验比对观测过程中，实验组的观测时间、仪器 i 角的检验、往返闭合差严格执行 GB/T12897-2006《国家一、二等水准测量规范》的要求。

(2) 精心组织三个外业实验组

水准测量虽然是我中心外业队伍的强项，但是过去一直用的是 Ni002A 光学水准仪，对数字水准仪的使用与操作还是很生疏，对此，我们预先对观测人员进行技术培训。经过培训和强化，他们对数字水准仪的各项性能特点和使用方法有了很深的了解与掌握，同时，明确了本项目实验小组观测的目的性和重要性，为实验比对观测技术工作打下了坚实基础。

(3) 精细化管理

实验比对观测工作安排于 2012 年 6 月份至 8 月份，是西安天气最热的时候，三个外业组又是在同桩观测条件下进行。若管理不当，三个实验小组所测的结果可能出现时好时坏，其观测成果对本项目无法分析与研究。为此，对每个实验小组配备一个监督员，对扶尺、观测人员随时进行质量监督，监督仪器、标尺上气泡是否居中，消除人为因素所带来的误差。

2012 年度所取得的主要进展是准确测出了每种型号数字水准仪的系统测量误差。

3、实现项目总体目标的情况

两年来，项目组做了大量的实质性工作，尤其是后期圆满完成了四期实验比对观测工作，由大量实验比对观测数据为依据，得出三个定性结论，实现了本项目预期的总体目标。

（三） 成果产出期转化

本项目实验比对观测工作、数据处理等工作刚刚完成，目前暂未发表论文、成果产出、转化与推广。后期成果推广应用计划及应用前景评价：本项目的研究成果将以论文形式向全国测绘界进行推广与应用，主要解决了目前国内测量界专家们担心数字水准仪是否满足一等地形变水准测量精度的要求，条形码标尺 f 值对实际水准测量结果是否需要修正等实际问题，为制定/修订国家、地震《关于水准标尺计量检定规程》提供了科学依据，更为重要的是为地震系统、测绘系统及国家重要工程水准测量领域面临地形变监测仪器选型问题提供了可靠的技术保障。

（四） 人才培养情况

1、通过项目的实施，培养了数字水准仪观测人员三人。为了使项目实验比对观测工作顺利完成，对三个实验小组的观测人员进行了技术培训，讲解有关数字水准仪的结构原理、测量原理、操作方法及国家规程、规范等内容。经过技术培训与强化，使他们对数字水准仪的各项性能特点、使用方法以及规程规范的要求有了很深的理解与掌握。然后经过项目的实际使用，他们的观测技术和业务水平有了很大提高，为明年中心地震监测任务启用数字水准仪打下了坚实的基础。

2、通过项目的实施，积极培养了年轻地震监测队伍。水准测量虽是我中心外业队伍的假象，但过去一直用的是 Ni002A 光学水准仪，对数字水准仪的应用从未接触，三个实验组人员对数字水准仪的使用与操作很生疏。为此，对三个实验组全体人员进行了短期强化培训，讲解数字水准仪与传统光学水准仪在使用上有哪些不同、观测时扶尺人员与观测人员如何配合、以及如何提高外业观测精度等等。然后，通过实验比对观测的实践，三个实验组人员的观测技术、业务能力和业务管理水平均得到了很大的提高，尤其是年轻知识分子在自主创新能力和吃苦耐劳精神方面也得到了提高和锻炼。

（五）、组织管理经验（侧重评价科技工作方面的防震减灾事业发展，成果转化的经验）

当前地震系统、测绘系统以及国家大型工程测量系统都面临着地形变监测仪器的选型问题，因过去用于一等水准测量的蔡司 Ni004、Ni007、Ni002、Ni002A 等光学水准仪相继早已停产。而目前测量界普遍反映数字水准仪在实际水准测量中似乎有一个系统误差存在，其测量结果与光学水准仪不相一致，有的专家对目前国内计量检测条形码标尺

的检测方法、计算方法持质疑态度，甚至提出条形码标尺米长改正数 f 值对水准测量成果不需要进行修正。但从未做过这方面的测试与实验，缺乏必要的科学依据，造成学术界持不同的观点。

那么数字水准仪在实际精密水准测量中是否存在一个系统测量误差？如果确实存在，它与条形码标尺米长改正数 f 值有什么关系？而条形码标尺 f 值对实际水准测量成果是否需要修正？目前市场上广泛应用于一、二等水准测量的天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、拓普康 DL101C、索佳 SDL1X 四种数字水准仪性能和实际测量精度究竟如何？选择哪些型号数字水准仪可以满足大面积一等水准测量精度要求？这是目前测量界、学术界所关注的焦点。

通过本项目的实施与组织管理，上述提出的一系列实际问题可以从本项目中的结论一一得到解决。本项目的研究成果将以论文形式向全国测量界进行推广，与地震系统、测绘系统以及国家大型工程测量等相关部门共享。

（六）存在的问题及改进工作建议

本项目对当前市场上广泛应用于一、二等水准测量的天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、拓普康 DL101C、索佳 SDL1X 四种数字水准仪系统测量误差、外符合测量精度、条形码标尺 f 值进行了实验比对与研究，解决了目前测量界专家们担心的数字水准仪能否满足一等水准测量精度要求， f 值对实际水准测量结果是否需要修正等实际问题，为制定/修订《因瓦水准标尺检定规程》等国家、地震行业标准提供了科学依据，更为重要的是为地震系统、测绘系统以及国家重要工程测量单位面临着地形变监测仪器的选型问题提供了技术保障。

但是，由于项目经费、设备条件以及时间上的限制，参加本项目实验比对观测的仪器量太少，如果每种型号数字水准仪选用两台以上对本项目的结论更有说服力；另外，本项目实验比对观测工作是在夏天天气最热条件下进行，如果在冬天天气最冷条件下进行观测，其观测结果是否一样？即温度对观测结果有多大影响？还有条形码标尺刻划误差的限差究竟多大合适，它的大小对观测结果究竟有多大的影响等等，这些都是本项目之外存在的实际问题。因此，建议中国地震局专家们重视地形变监测仪器的性能研究等基础性应用问题，并给予重点支持，以确保地震形变第一手监测数据的准确性和可靠性。

三、研究报告

(一) 项目总体情况概述

1、总体目标

自从上世纪九十年代来,数字水准仪已在我国一、二等水准测量中得到了广泛应用。近十年来,国家已投入了大量资金,向国外引进了大量的天宝 DiNi 系列、徕卡 DNA 系列、托普康 DL 系列、索佳 SDL 系列等数字水准仪,并在地震、测绘及国家大型工程测量领域布置了各种水准网,以进行定期的大地形变监测。但是,自从应用数字水准仪以来,国内测量界普遍反映数字水准仪在实际水准测量中似乎有一个系统测量偏差存在,其观测结果与传统光学水准仪不相一致,在测量精度上也不稳定,造成测量界专家们担心数字水准仪能否满足一等水准测量精度要求,而过去用于大地水准测量的蔡司 Ni004、Ni007、Ni002/Ni002A 等光学水准仪相继早已停产。除此之外,国内各个计量检定机构对条形码标尺分划刻划误差、米长改正数的检定方法、计算方法以及它们对实际测量成果多大影响却没有深入研究,由此引起学术界学者对条形码标尺的检定方法提出质疑,甚至有的专家认为条形码标尺米长改正数 f 值对测量结果不需修正。但从未做过这方面的测试与实验,缺乏必要的实验依据,造成了学术界不同观点。

针对上述一系列实际的问题,通过项目建立一个稳定的水准标准实验场地,采用高精度 Ni002A 光学水准仪与上述四种型号数字水准仪进行同桩比对观测,经过大量实验数据的分析和研究,以实现本项目的总体目标:

(1) 准确测出各种型号数字水准仪是否存在一个系统测量误差?如果确实存在,它与条形码标尺 f 值之间又是什么关系。

(2) 验证目前国内计量检测的条形码标尺 f 值对实际水准测量成结果是否需要修正。

(3) 对目前市场上广泛应用于一、二等水准测量的天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、托普康 DL101C、索佳 SDL1X 数字水准仪各项性能和实际测量精度做出客观评价。选择哪些型号数字水准仪可以作为地形变监测仪器。

2、主要研究内容

目前,测量界普遍反映反映数字水准仪在精密水准测量中似乎有一系统测量偏差存在,其测量结果与光学水准仪不相一致;有的专家提出条形码标尺米长改正数 f 值对水

准测量结果不加修正。对此，通过本项目，建立一个高差约 300 米~500 米、测线长度约为 3 公里~5 公里水准标准场地。然后，在同等环境条件下，采用高精度光学水准仪 Ni002A 和天宝 DiNi03、徕卡 DNA03、托普康 DL-101C、索佳 SDL1X 四种数字水准仪进行同桩比对观测，准确测出各种型号数字水准仪系统测量偏差有多大，进一步研究它与条形码标尺米长改正数 f 值之间的关系，得到条形码标尺 f 值对实际水准测量结果是否需要修正的结论。同时对目前市场上广泛应用与一、二等水准测量的上述四种型号数字水准仪性能和实际测量精度做出客观评价，选择哪些型号数字水准仪可以作为地震形变监测仪器，以确保地震形变监测数据的准确，为地震分析预报提供可靠的依据。

3、成果及创新

(1) 数字水准仪在国内应用将近二十年，测量界专家很少研究它是否存在一个系统测量偏差，之前从未得出这方面的结论，也没有做过这方面的实验。通过本项目的测试与研究，准确测出各种型号数字水准仪系统测量偏差，如果确实存在，研究它与条形码标尺 f 值之间有什么关系。

(2) 国内外测量专家对传统光学水准仪相配套的线条式标尺米长改正数 f 值已做了很深研究，并做了大量的测试与实验，验证线条式标尺 f 值对水准观测结果必须进行修正。而对条形码标尺 f 值的研究却很少，有的专家提出条形码标尺 f 值对水准测量结果不需要修正，但从未做过这方面的实验。通过本项目的测试、分析与研究，准确得出条形码标尺 f 值对水准观测结果是否需要修正的定性结论。

本项目的研究成果将以论文形式向全国测量界进行推广，为地震系统、测绘系统以及国家重要工程测量领域当前面临着地形变监测仪器选型问题提供重要的技术保障，以确保地形变监测数据的准确性和可靠性。

(二) 研究内容

1、研究方法

采用实验比对观测。

2、研究技术路线

(1) 建立一个稳定的水准标准实验场地。

(2) 选择一套性能可靠的高精度光学水准仪对实验场地进行实测，测出场地各个水准点之间的高差值作为水准标准场地的标准值。

(3) 采用 Ni002A 光学水准仪与目前市场上广泛应用于一、二等水准测量的天宝

DiNi03、徕卡 DNA03、托普康 DL-101C、索佳 SDL1X 数字水准仪进行同桩比对观测。

(4) 对比对观测数据进行处理、分析与研究，以达到本项目的总体目标。

3、项目实施情况

3.1 仪器、标尺性能的测试

水准的测量精度主要取决于仪器、标尺的各项性能，为了验证条形码标尺 f 值对实际水准测量结果是否需要修正，实验要求每种型号数字水准仪配套相应条形码标尺 f 值较小（原装）、f 值较大（定制）2 副标尺。为了真实测出各种型号数字水准仪系统测量偏差，在实验比对观测前，严格按照 JJG425-2003《水准仪》、JJG9-1991《水准标尺》要求对 5 种型号水准仪、水准标尺进行室内计量检定，其中 9 副标尺做测前、测后两次检定。其检定结果见表 1、表 2 所示：

表 1 仪器主要性能的检定结果

型号	检定项目	补偿误差	安平误差	调焦运行误差	i 角
蔡司 Ni002A-530289		-0.10"、+0.08"、-0.05"、+0.07"	0.10"	/	+2.0"
天宝 DiNi03-733887		+0.05"、-0.06"、-0.02"、+0.01"	0.25"	0.1mm	电子-2.0"，光学+1.0"
徕卡 DNA03-337509		+0.14"、-0.15"、+0.02"、-0.01"	0.24"	0.1mm	电子-2.6"，光学+2.0"
托普康 DL101C-T50055		-0.03"、+0.12"、-0.04"、+0.01"	0.30"	0.1mm	电子+0.4"，光学+2.0"
索佳 SDL1X-D11807		-0.20"、+0.16"、-0.18"、+0.16"	0.19"	0.1mm	电子-0.5"，光学+1.5"

注：(1) Ni002A 光学水准仪无调焦运行误差，此项不检；
 (2) 5 种型号数字水准仪的补偿误差、安平误差、调焦运行误差、i 角均符合国家规程 DSZ05 级限差要求，满足一等水准测量要求。

表 2 标尺主要性能的检定结果 单位：mm

尺号	检定项目	标尺底面垂直性误差		一副标尺零点差之差		分划刻划误差		一副标尺米长改正数 f 值		
		测前	测后	测前	测后	测前	测后	测前 f ₁	测后 f ₂	(f ₁ +f ₂)/2=f
Ni002A	24867	0.08	0.03	0.04	0.02	0.005、0.005	0.006、0.005	+0.001	0.000	0.000
	24868	0.06	0.05			0.005、0.005	0.005、0.006			
DiNi03 (进口)	37771	0.06	0.08	0.04	0.07	0.004	0.003	0.000	+0.008	+0.004
	37694	0.06	0.08			0.005	0.004			
DiNi03 (定制)	41571	0.07	0.05	0.03	0.07	0.013	0.011	-0.044	-0.030	-0.037
	41572	0.06	0.06			0.013	0.012			
DNA03 (进口)	34364	0.05	0.06	0.01	0.01	0.004	0.005	+0.006	+0.004	+0.005
	34368	0.05	0.06			0.003	0.004			
DNA03 (定制)	41875	0.05	0.06	0.04	0.04	0.014	0.014	-0.056	-0.050	-0.053
	41876	0.06	0.08			0.014	0.015			
SDL1X (进口)	55363	0.06	0.08	0.06	0.00	0.004	0.002	0.000	-0.002	-0.001
	55362	0.08	0.06			0.006	0.002			
SDL1X (定制)	41485	0.06	0.06	0.04	0.06	0.012	0.014	-0.044	-0.032	-0.038
	41486	0.06	0.08			0.010	0.013			
DL101C (进口)	16484	0.06	0.05	0.05	0.05	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000
	16485	0.06	0.06			0.003	0.003			
DL101C (定制)	41495	0.05	0.05	0.03	0.02	0.016	0.013	-0.044	-0.040	-0.042
	41496	0.08	0.08			0.012	0.012			

说明：(1) 进口原装标尺的各项性能指标均符合 JJG8-1991《水准标尺》限差要求；
 (2) 定制条形码标尺的分划误差、f 值超限差，是项目做实验用的，有意放大误差以验证 f 值对观测成果是否需要修正。

3.2 建立水准标准场地

3.2.1 场地的堪选

能否准确测出每种型号数字水准仪的系统测量偏差，关键技术问题是水准标准场地的稳定性和实验组的比对观测技术水平。为此，2011年度在西安市长安区子午镇抱龙峪（秦岭山）堪选了一个高差约380米、测线长度约5.3公里的水准标准场地，其地理位置如图1所示。考虑水准标准场地的永久性，沿秦岭山上埋设了6个基本点和6个参考点；考虑实验场地的稳定性，将12个水准点选埋在基岩或坚固的岩石上。为了真实测出各种型号数字水准仪的系统测量偏差，预先测量每站仪器前、后视距和视高，每站的视距和视高均满足GB/T12897-2006《国家一、二等水准测量规范》要求。然后，沿场地水泥路面上埋设了254站标尺桩，采用Φ14mm×长度15cm螺纹钢直接埋入水泥路面底下，消除仪器观测过程中由于标尺桩的上升或下沉所带来的水准测量误差。



图1 水准标准场地的地理位置

3.2.2 场地标准值的测试

水准标准场地建成后，稳定了一段时间，选用一套性能稳定的Ni002A-530289光学水准仪，对实验场地各个水准基本点进行了3个往返的水准测量，严格按照国家一等水准规范要求得到场地上各个水准点之间高差标准值，观测结果见表3。

表3 水准标准场地高差的标准值的测试结果

测段	距离(km)	高差(mm)
1-1~2-1	1.5	+91959.97
2-1~3-1	1.6	+104682.80
3-1~4-1	0.7	+48900.70
4-1~5-1	0.8	+64932.51
5-1~6-1	0.7	+68924.50
Σ	5.3	+379400.48

3.3 实验比对观测

精心组织三个外业观测技术精湛、经验丰富的实验小组，分四期（对应设计任务书上两期）进行实验比对观测。第一期：三个实验组分别采用 Ni002A 光学水准仪和天宝 DiNi03、徕卡 DNA03 数字水准仪配备 f 值较小的原装条形码标尺进行同桩比对观测；第二期：三个实验组分别采用 Ni002A 光学水准仪和天宝 DiNi03、徕卡 DNA03 数字水准仪配备 f 值较大的定制条形码标尺进行同桩比对观测；第三期：三个实验组分别采用 Ni002A 光学水准仪和托普康 DL101C、索佳 SDL1X 数字水准仪配备 f 值较小的原装条形码标尺进行同桩比对观测；第四期：三个实验组分别采用 Ni002A 光学水准仪和托普康 DL101C、索佳 SDL1X 数字水准仪配备 f 值较大的定制条形码标尺进行同桩比对观测。每期比测均在同等观测条件下进行，严格执行国家一等水准测量技术规范规定的要求，每副标尺均观测 6 个往返。（比测原始数据量过大，详细资料见档案）。

3.4 实验比对数据的处理、分析与研究

对上述四期获得实验比测数据，按照国家一、二等水准测量技术规范要求进行数据处理，计算出每种型号水准仪比对观测的高差值，并求出各自 6 个往返测的标准差。以 Ni002A 光学水准仪 24 个往返测高差值的平均值作为水准标准场地各个水准点之间高差的标准值，每种型号数字水准仪所配备的每副条形码标尺 6 个往返测高差的平均值与这一标准值进行比对，由此准确测出每种型号数字水准仪相对于 Ni002A 光学水准仪的系统测量偏差。

3.4.1 Ni002A 光学水准仪比测的标准值

自从上世纪 70 年代以来，德国蔡司 Ni002(Ni002A)光学自动安平水准仪配套线条式钢瓦水准标尺是当今水准测量精度最高又稳定的地形变监测仪器，其出厂精度：每公里往返测高差中数的偶然中误差 $\pm 0.2\text{mm/km}$ ，补偿器的补偿误差 $\pm 0.05''$ ，在设计原理上自动消除望远镜调焦运行误差、测微器行差、视准线准高误差等等，并采用摆 I、摆 II 的中数使仪器 i 角保持最小而稳定。因此，国内外测量专家对 Ni002(Ni002A)光学水准仪的应用非常认同，无可非议。此外，对 Ni002 仪器相配套的线条式水准标尺分划刻划误差、米长改正数 f 值，国内外测量前辈和计量研究人员曾做了大量的测试与研究，其相应的检测方法和计算方法较为成熟，并认同水准标尺米长改正数 f 值对实际水准测量成果进行修正。本次实验的比测，采用同一台 Ni002A-530289 光学水准仪和四种型号数字水准仪在同一场地进行了 24 个往返同桩比对观测，获得场地上各个水准点之间高差值的平均数为标准值，其标准值和标准差见表 4。

表 4 Ni002A 光学水准仪实测的标准值和标准差

测 段	24 测回高差中数 (mm)	24 测回高差测量标准差 (mm)
1-1~2-1	+91959.39	0.40
2-1~3-1	+104683.17	0.44
3-1~4-1	+48900.40	0.16
4-1~5-1	+64932.50	0.27
5-1~6-1	+68924.22	0.26
注：表 4 与表 3 相比，高差最大互差为 0.58mm。同桩比对测试资料中，场地各测段高差标准值采用表 4 的结果。		

3.4.2 四种型号数字水准仪与 Ni002A 光学水准仪同桩比测结果

为了确认条形码标尺米长改正数 f 值对实际水准观测结果是否需要修正，实验中每种型号数字水准仪配备了 f 值较小、 f 值较大的 2 副条形码标尺，分别与 Ni002A 仪器进行 6 个往返同桩比测，其比测结果见表 5~表 8 所示：

表 5 天宝 DiNi03 与 Ni002A 同桩比对观测结果及标准差

测段	距离 km	Ni002A 仪器	天宝仪器原装标尺					
		24 测回加 f 值改正后高差中数 mm	6 测回观测高差中数 mm	f 值改正 (0.004mm/m) mm	加 f 值改正后高差中数 mm	f 值改正前与标准高差差值 mm	f 值改正后与标准高差差值 mm	6 测回高差测量标准差 mm
1-1~2-1	1.5	91959.39	91958.98	0.37	91959.35	-0.41	-0.04	0.30
2-1~3-1	1.6	104683.17	104682.34	0.42	104682.76	-0.83	-0.41	0.34
3-1~4-1	0.7	48900.40	48900.08	0.20	48900.28	-0.32	-0.12	0.28
4-1~5-1	0.8	+64932.50	64931.90	0.26	64932.16	-0.60	-0.34	0.36
5-1~6-1	0.7	+68924.22	68923.96	0.28	68924.24	-0.26	0.02	0.19
测段	距离 km	Ni002A 仪器	天宝仪器定制标尺					
		24 测回加 f 值改正后高差中数 mm	6 测回观测高差中数 mm	f 值改正 (-0.037mm/m) mm	加 f 值改正后高差中数 mm	f 值改正前与标准高差差值 mm	f 值改正后与标准高差差值 mm	6 测回高差测量标准差 mm
1-1~2-1	1.5	91959.39	91963.37	-3.40	91959.96	3.98	0.57	0.55
2-1~3-1	1.6	104683.17	104687.01	-3.87	104683.14	3.84	-0.03	0.39
3-1~4-1	0.7	48900.40	48902.51	-1.81	48900.70	2.11	0.30	0.22
4-1~5-1	0.8	+64932.50	64935.01	-2.40	64932.61	2.51	0.11	0.17
5-1~6-1	0.7	+68924.22	68926.92	-2.55	68924.37	2.70	0.15	0.17

表 6 徕卡 DNA03 与 Ni002A 同桩比对观测结果及标准差

测段	距离 km	Ni002A 仪器	徕卡仪器原装标尺					
		24 测回加 f 值改正后高差中数 mm	6 测回观测高差中数 mm	f 值改正 (0.005mm/m) mm	加 f 值改正后高差中数 mm	f 值改正前与标准高差差值 mm	f 值改正后与标准高差差值 mm	6 测回高差测量标准差 mm
1-1~2-1	1.5	91959.39	91959.13	0.46	91959.58	-0.26	0.19	0.35
2-1~3-1	1.6	104683.17	104682.74	0.52	104683.26	-0.43	0.09	0.67
3-1~4-1	0.7	48900.40	48900.13	0.24	48900.37	-0.27	-0.03	0.41
4-1~5-1	0.8	+64932.50	64932.15	0.32	64932.47	-0.35	-0.03	0.25
5-1~6-1	0.7	+68924.22	68924.03	0.34	68924.37	-0.20	0.15	0.20
测段	距离 km	Ni002A 仪器	徕卡仪器定制标尺					
		24 测回加 f 值改正后高差中数 mm	6 测回观测高差中数 mm	f 值改正 (-0.053mm/m) mm	加 f 值改正后高差中数 mm	f 值改正前与标准高差差值 mm	f 值改正后与标准高差差值 mm	6 测回高差测量标准差 mm
1-1~2-1	1.5	91959.39	91963.41	-4.87	91958.54	4.02	-0.85	0.24
2-1~3-1	1.6	104683.17	104687.99	-5.55	104682.44	4.82	-0.73	0.16
3-1~4-1	0.7	48900.40	48902.73	-2.59	48900.14	2.33	-0.26	0.11

4-1~5-1	0.8	+64932.50	64935.38	-3.44	64931.94	2.88	-0.56	0.07
5-1~6-1	0.7	+68924.22	68927.45	-3.65	68923.80	3.23	-0.42	0.10

表 7 索佳 SDL1X 与 Ni002A 同桩比对观测结果及标准差

测段	距离 km	Ni002A 仪器	索佳仪器原装标尺					
		24 测回加 f 值改正后高差中数 mm	6 测回观测高差中数 mm	f 值改正 (-0.001mm/m) mm	加 f 值改正后高差中数 mm	f 值改正前与标准高差差值 mm	f 值改正后与标准高差差值 mm	6 测回高差测量标准差 mm
1-1~2-1	1.5	91959.39	91959.88	-0.09	91959.79	0.49	0.40	0.46
2-1~3-1	1.6	104683.17	104683.67	-0.10	104683.56	0.49	0.39	0.23
3-1~4-1	0.7	48900.40	48900.55	-0.05	48900.50	0.15	0.10	0.18
4-1~5-1	0.8	+64932.50	64932.64	-0.06	64932.57	0.14	0.07	0.24
5-1~6-1	0.7	+68924.22	68924.47	-0.07	68924.40	0.25	0.18	0.24
测段	距离 km	Ni002A 仪器	索佳仪器定制标尺					
		24 测回加 f 值改正后高差中数 mm	6 测回观测高差中数 mm	f 值改正 (-0.038mm/m) mm	加 f 值改正后高差中数 mm	f 值改正前与标准高差差值 mm	f 值改正后与标准高差差值 mm	6 测回高差测量标准差 mm
1-1~2-1	1.5	91959.39	91962.98	-3.49	91959.48	3.58	0.09	0.11
2-1~3-1	1.6	104683.17	104687.03	-3.98	104683.06	3.86	-0.11	0.36
3-1~4-1	0.7	48900.40	48902.51	-1.86	48900.65	2.11	0.25	0.31
4-1~5-1	0.8	+64932.50	64935.02	-2.47	64932.55	2.52	0.05	0.21
5-1~6-1	0.7	+68924.22	68927.02	-2.62	68924.40	2.80	0.18	0.22

表 8 托普康 DL-101C 与 Ni002A 同桩比对观测结果及标准差

测段	距离 km	Ni002A 仪器	拓普康仪器原装标尺					
		24 测回加 f 值改正后高差中数 mm	6 测回观测高差中数 mm	f 值改正 (0.000mm/m) mm	加 f 值改正后高差中数 mm	f 值改正前与标准高差差值 mm	f 值改正后与标准高差差值 mm	6 测回高差测量标准差 mm
1-1~2-1	1.5	91959.39	91960.71	0.00	91960.71	1.32	1.32	0.25
2-1~3-1	1.6	104683.17	104684.25	0.00	104684.25	1.08	1.08	0.49
3-1~4-1	0.7	48900.40	48901.32	0.00	48901.32	0.92	0.92	0.33
4-1~5-1	0.8	+64932.50	64933.19	0.00	64933.19	0.69	0.69	0.51
5-1~6-1	0.7	+68924.22	68924.36	0.00	68924.36	0.14	0.14	0.57
测段	距离 km	Ni002A 仪器	拓普康仪器定制标尺					
		24 测回加 f 值改正后高差中数 mm	6 测回观测高差中数 mm	f 值改正 (-0.042mm/m) mm	加 f 值改正后高差中数 mm	f 值改正前与标准高差差值 mm	f 值改正后与标准高差差值 mm	6 测回高差测量标准差 mm
1-1~2-1	1.5	91959.39	91963.53	-3.86	91959.67	4.14	0.28	0.38
2-1~3-1	1.6	104683.17	104688.17	-4.40	104683.77	5.00	0.60	0.45
3-1~4-1	0.7	48900.40	48902.86	-2.05	48900.81	2.46	0.41	0.25
4-1~5-1	0.8	+64932.50	64935.32	-2.73	64932.59	2.82	0.09	0.29
5-1~6-1	0.7	+68924.22	68926.82	-2.89	68923.93	2.60	-0.29	0.46

3.4.3 五种型号水准仪比对观测每公里往返测偶然中误差

本次实验比测中，光学水准仪 Ni002A 共观测了 24 个往、返测，其它四种型号数字水准仪各配备了进口原装 f 值较小、定制 f 值较大的 2 副条形码标尺，每副条形码标尺均观测了 6 个往返测。五种水准仪往返测高差不符值、偶然中误差结果见表 9~表 14 所示：

表9 Ni002A 往返测高差不符值、偶然中误差结果

场地名称		抱龙峪水准标准场地			
编号	距离(km)	闭合差(mm)	编号	距离(km)	闭合差(mm)
1	1.48	+0.98	61	1.49	-1.53
2	1.60	+0.58	62	1.61	-0.75
3	0.71	+0.50	63	0.71	-0.40
4	0.79	-0.53	64	0.79	-0.15
5	0.70	+0.12	65	0.71	-0.77
6	1.49	+0.45	66	1.49	-0.60
7	1.60	-0.55	67	1.61	+0.45
8	0.71	+0.04	68	0.71	-0.20
9	0.79	-0.40	69	0.79	+0.14
10	0.70	+0.30	70	0.71	+0.65
11	1.48	+0.13	71	1.48	-0.10
12	1.60	+0.28	72	1.60	+1.40
13	0.71	+0.30	73	0.71	-0.25
14	0.79	-0.13	74	0.79	-0.27
15	0.70	-0.70	75	0.71	-0.77
16	1.48	+0.33	76	1.49	-0.60
17	1.60	+0.42	77	1.61	-0.52
18	0.71	+0.47	78	0.71	-0.37
19	0.79	-0.33	79	0.79	-0.04
20	0.70	-0.10	80	0.72	-0.23
21	1.49	0.00	81	1.48	-0.27
22	1.61	-0.95	82	1.60	-0.40
23	0.71	-0.05	83	0.71	-0.52
24	0.79	+0.27	84	0.79	-0.23
25	0.71	+0.37	85	0.71	-1.18
26	1.49	+0.55	86	1.48	0.00
27	1.61	-0.57	87	1.60	+0.42
28	0.71	+0.40	88	0.71	+0.04
29	0.79	+1.07	89	0.79	-0.33
30	0.7	-0.24	90	0.71	-0.78
31	1.49	-0.13	91	1.49	-0.90
32	1.61	-0.35	92	1.61	-1.30
33	0.71	0.00	93	0.71	-0.20
34	0.79	-0.53	94	0.79	-0.65
35	0.71	-0.80	95	0.71	-0.94
36	1.49	-1.10	96	1.49	-0.50
37	1.61	+0.86	97	1.61	+0.07
38	0.71	-0.13	98	0.71	+0.10
39	0.79	+0.27	99	0.79	+0.20
40	0.71	-0.02	100	0.71	-0.30
41	1.49	+0.32	101	1.49	-0.87
42	1.61	-0.15	102	1.61	-0.70
43	0.71	-0.13	103	0.71	-0.46
44	0.79	-0.20	104	0.79	+0.07
45	0.72	+1.13	105	0.71	-0.07
46	1.49	-0.40	106	1.49	-0.45
47	1.61	+0.43	107	1.61	+0.28
48	0.71	+0.27	108	0.71	-0.12
49	0.79	+0.10	109	0.79	-0.05
50	0.71	+0.38	110	0.71	+0.42
51	1.49	+0.22	111	1.49	-0.03
52	1.61	+0.60	112	1.61	+0.50
53	0.71	-0.13	113	0.71	-0.06
54	0.79	+0.27	114	0.79	-0.35
55	0.71	+0.55	115	0.71	-0.10
56	1.49	-0.50	116	1.49	-0.50
57	1.61	-0.20	117	1.60	-0.20
58	0.71	+0.30	118	0.71	-0.16
59	0.79	-0.26	119	0.79	-0.16
60	0.71	0.63	120	0.71	0.68

结果统计 Σ	距离(km)	127.27
	闭合差(mm)	-20.36
备注	仪器类型: NI002A 仪器编号: 530289 N= 120 R= 127.27km $\sum \left[\frac{\Delta^2}{R} \right] = 31.0358$ $M_{\Delta} = \pm 0.25mm$	

表 10 天宝 DiNi03 仪器往返测高差不符值、偶然中误差结果

编号	测段 距离 km	天宝原厂标尺		天宝定制标尺		编号	测段 距离 km	天宝原厂标尺		天宝定制标尺	
		不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R	不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R			不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R	不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R
1	1.5	0.61	0.2481	0.61	0.2481	16	1.5	0.95	0.6017	0.95	0.6017
2	1.6	1.49	1.3876	1.49	1.3876	17	1.6	1.05	0.6891	1.05	0.6891
3	0.7	-0.66	0.6223	-0.66	0.6223	18	0.7	0.09	0.0116	0.09	0.0116
4	0.8	-0.70	0.6125	-0.70	0.6125	19	0.8	-0.73	0.6661	-0.73	0.6661
5	0.7	0.17	0.0413	0.17	0.0413	20	0.7	-0.41	0.2401	-0.41	0.2401
6	1.5	0.52	0.1803	0.52	0.1803	21	1.5	0.27	0.0486	0.27	0.0486
7	1.6	1.57	1.5406	1.57	1.5406	22	1.6	0.71	0.3151	0.71	0.3151
8	0.7	-1.01	1.4573	-1.01	1.4573	23	0.7	0.74	0.7823	0.74	0.7823
9	0.8	-0.12	0.0180	-0.12	0.0180	24	0.8	0.40	0.2000	0.40	0.2000
10	0.7	-0.44	0.2766	-0.44	0.2766	25	0.7	0.61	0.5316	0.61	0.5316
11	1.5	1.09	0.7921	1.09	0.7921	26	1.5	0.24	0.0384	0.24	0.0384
12	1.6	0.73	0.3331	0.73	0.3331	27	1.6	0.51	0.1626	0.51	0.1626
13	0.7	-0.77	0.8470	-0.77	0.8470	28	0.7	0.41	0.2401	0.41	0.2401
14	0.8	0.14	0.0245	0.14	0.0245	29	0.8	0.88	0.9680	0.88	0.9680
15	0.7	-0.14	0.0280	-0.14	0.0280	30	0.7	0.53	0.4013	0.53	0.4013
每公里偶然中误差 (mm)								±0.35mm		±0.32mm	

表 11 徕卡 DNA03 仪器往返测高差不符值、偶然中误差结果

编号	测段 距离 km	徕卡原厂标尺		徕卡定制标尺		编号	测段 距离 km	徕卡原厂标尺		徕卡定制标尺	
		不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R	不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R			不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R	不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R
1	1.5	-0.16	0.0171	0.24	0.0384	16	1.5	0.99	0.6534	-0.17	0.0193
2	1.6	1.51	0.8266	-0.14	0.0123	17	1.6	1.77	1.9581	0.27	0.0456
3	0.7	-0.97	1.3441	0.21	0.0630	18	0.7	-0.43	0.2641	0.21	0.0630
4	0.8	-0.01	0.0001	0.03	0.0011	19	0.8	-0.46	0.2645	0.27	0.0911
5	0.7	-0.43	0.2641	0.18	0.0463	20	0.7	-0.21	0.0630	0.44	0.2766
6	1.5	0.35	0.0817	-0.94	0.5891	21	1.5	-0.10	0.0067	1.02	0.6936
7	1.6	1.56	1.5210	-0.44	0.1210	22	1.6	0.25	0.0391	1.18	0.8703
8	0.7	-0.27	0.1041	0.38	0.2063	23	0.7	0.30	0.1286	0.01	0.0001
9	0.8	0.02	0.0005	0.61	0.4651	24	0.8	0.12	0.0180	-0.07	0.0061
10	0.7	0.31	0.1373	0.31	0.1373	25	0.7	0.04	0.0023	0.29	0.1201
11	1.5	-0.25	0.0417	0.84	0.4704	26	1.5	-0.45	0.1350	0.43	0.1233
12	1.6	0.93	0.5406	-0.16	0.0160	27	1.6	0.26	0.0423	0.89	0.4951
13	0.7	-0.78	0.8691	0.19	0.0516	28	0.7	0.13	0.0241	0.57	0.4641
14	0.8	-0.51	0.3251	0.32	0.1280	29	0.8	0.81	0.8201	0.74	0.6845
15	0.7	-0.41	0.2401	0.02	0.0006	30	0.7	-0.02	0.0006	0.39	0.2173
每公里偶然中误差 (mm)								±0.30mm		±0.23mm	

表 12 索佳 SDL1X 仪器往返测高差不符值、偶然中误差结果

编号	测段 距离 km	索佳原厂标尺		索佳定制标尺		编号	测段 距离 km	索佳原厂标尺		索佳定制标尺	
		不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R	不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R			不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R	不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R
1	1.5	0.14	0.0131	0.45	0.1350	16	1.5	0.91	0.5521	-0.15	0.0150
2	1.6	0.32	0.0640	1.26	0.9923	17	1.6	0.46	0.1323	0.85	0.4516
3	0.7	0.25	0.0893	0.53	0.4013	18	0.7	-0.32	0.1463	0.10	0.0143
4	0.8	0.08	0.0080	0.03	0.0011	19	0.8	-0.22	0.0605	-0.01	0.0001
5	0.7	1.10	1.7286	0.91	1.1830	20	0.7	0.43	0.2641	0.75	0.8036
6	1.5	0.51	0.1734	1.10	0.8067	21	1.5	0.43	0.1233	0.48	0.1536
7	1.6	0.26	0.0423	1.72	1.8490	22	1.6	-0.24	0.0360	1.13	0.7981

8	0.7	-0.14	0.0280	0.30	0.1286	23	0.7	0.60	0.5143	0.36	0.1851
9	0.8	-0.10	0.0125	0.44	0.2420	24	0.8	0.72	0.6480	0.05	0.0031
10	0.7	0.13	0.0241	0.20	0.0571	25	0.7	-0.15	0.0321	0.03	0.0013
11	1.5	0.51	0.1734	0.86	0.4931	26	1.5	0.48	0.1536	-0.22	0.0323
12	1.6	0.57	0.2031	0.72	0.3240	27	1.6	-0.09	0.0051	0.25	0.0391
13	0.7	-0.34	0.1651	0.05	0.0036	28	0.7	0.71	0.7201	1.49	3.1716
14	0.8	-0.24	0.0720	0.50	0.3125	29	0.8	1.08	1.4580	0.19	0.0451
15	0.7	0.15	0.0321	0.55	0.4321	30	0.7	-0.08	0.0091	-0.34	0.1651
每公里偶然中误差 (mm)								±0.25mm		±0.33mm	

表 13 拓普康 DL-101C 仪器往返测高差不符值、偶然中误差结果

编号	测段距离 km	拓普康原厂标尺		拓普康定制标尺		编号	测段距离 km	拓普康原厂标尺		拓普康定制标尺	
		不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R	不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R			不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R	不符值 mm	($\Delta\Delta$)/R
1	1.5	1.10	0.8067	-0.03	0.0006	16	1.5	2.21	3.2561	0.42	0.1176
2	1.6	-0.94	0.5522	1.06	0.7023	17	1.6	1.98	2.4503	0.07	0.0031
3	0.7	0.99	1.4001	-0.24	0.0823	18	0.7	0.97	1.3441	1.75	4.3750
4	0.8	0.28	0.0980	-0.42	0.2205	19	0.8	1.17	1.7111	1.59	3.1601
5	0.7	0.18	0.0463	0.08	0.0091	20	0.7	0.67	0.6413	0.59	0.4973
6	1.5	0.85	0.4817	-0.68	0.3083	21	1.5	2.76	5.0784	1.70	1.9267
7	1.6	1.06	0.7022	1.41	1.2426	22	1.6	2.06	2.6523	1.03	0.6631
8	0.7	0.80	0.9143	1.34	2.5651	23	0.7	1.18	1.9891	1.78	4.5263
9	0.8	1.57	3.0811	1.31	2.1451	24	0.8	2.40	7.2000	0.80	0.8000
10	0.7	0.80	0.9143	0.36	0.1851	25	0.7	0.72	0.7406	0.20	0.0571
11	1.5	1.57	1.6433	4.61	14.1681	26	1.5	3.06	6.2424	3.47	8.0273
12	1.6	2.77	4.7956	4.67	13.6306	27	1.6	2.77	4.7956	1.72	1.8490
13	0.7	0.94	1.2623	1.90	5.1571	28	0.7	0.58	0.4806	3.09	13.6401
14	0.8	0.86	0.9245	1.21	1.8301	29	0.8	1.15	1.6531	2.46	7.5645
15	0.7	-0.02	0.0006	0.60	0.5143	30	0.7	0.73	0.7613	0.93	1.2356
每公里偶然中误差 (mm)								±0.70mm		±0.87mm	

表 14 五种水准仪比对观测每公里往返测偶然中误差结果

仪器型号	观测测段总数	观测公里数 km	每公里偶然中误差 mm
蔡司 Ni002A-530289	135	431.1	±0.26
天宝 DiNi03-733887	60	63.6	±0.32
徕卡 DNA03-337509	60	63.6	±0.28
索佳 SDL1X-D11807	60	63.6	±0.30
拓普康 DL101C-T50055	60	63.6	±0.79
注：(1) 拓普康 DL-101C 仪器每公里偶然中误差 > 0.45mm，只能用于二等水准测量； (2) 其它四种仪器每公里偶然中误差 < 0.45mm，可以用于一等水准测量。			

3.5 结论

(1) 从项目的实验比测数据来看，数字水准仪在实际水准测量中相对于光学水准仪 Ni002A 没有明显的系统测量偏差。从表 6 定制标尺比测结果中得知：f 值=-0.053mm/m，场地各测段的系统测量偏差为：-0.85mm、-0.73mm、-0.26mm、-0.56mm、-0.42mm；如果 f 值=-0.046mm/m 时，各测段相应的系统测量偏差则为：-0.21mm、-0.00mm、+0.08mm、-0.11mm、+0.06mm。前者均为负值，仪器似乎存在着系统偏差；后者有正值和负值，其值很小，似乎不存在系统测量偏差，实际上是 f 值对观测成果的影响。另外从表 5~表 8 中看出：除拓普康 DL101C 仪器本身达不到一等水准测量精度（每公里偶然中误差 $M_{\Delta}=\pm 0.79\text{mm}$ ），其系统测量偏差 $\Delta_{\max}=1.32\text{mm}$ 之外，其它型号仪器的系统测量偏差最

大值为-0.85mm，对一等水准测量高差的准确性不会有显著影响。

(2) **实验证明了数字水准仪相配套的条形码标尺 f 值与传统光学水准仪配套的线条式标尺 f 值一样，对实际水准观测结果必须进行 f 值修正。**从表 5~表 8 中得知：4 种型号数字水准仪配备定制条形码标尺，其观测结果与光学水准仪 Ni002A 相比较，f 值改正前的差值均大；f 值改正后的差值均小。如表 6 徕卡 DNA03 仪器配备定制标尺，f 值=0.053mm/m，改正前的最大差值为+4.82mm，改正后的最大差值只有-0.73mm。

(3) 通过本项目的实验比测，从仪器观测精度、速度、测量结果标准差以及受光线、温度、视线高度等外界环境条件的影响程度等方面来看，四种型号数字水准仪的实际使用情况见表 15 所示。其中索佳 SDL1X、天宝 DiNi03、徕卡 DNA03 三种数字水准仪可以应用于一等大地形变水准测量，拓普康 DL01C 数字水准仪只能用于二等水准测量。

表 15 四种型号数字水准仪性能的实际使用情况

	观测中误差	最大测量标准差	正常观测速度	受环境影响的程度
索佳 SDL1X	±0.30	0.36	(3~4) s/次	较小
天宝 DiNi03	±0.32	0.55	(2~3) s/次	较小
徕卡 DNA03	±0.28	0.24	(3~4) s/次	较大
拓普康 DL01C	±0.79	0.46	(5~8) s/次	较大

(4) 以大量实验数据为依据，验证了我单位计量检定机构以往检定的水准标尺米长改正数 f 值是准确可靠的。

(三) 取得的主要成果

2 年来，项目组人员做了大量的实质性工作，2011 年度建立了一个稳定的水准标准实验场地；2012 年度主要完成了四期比对观测工作，准确测出各种型号数字水准仪系统测量偏差。由大量的实验比对观测数据为依据，得出了三个定性的结论，实现了本项目预期的总体目标。

本项目的实验比对观测工作、数据处理、论文编写等工作刚刚完成，目前暂未论文发表、成果产出、转化与推广。后续成果推广应用计划及应用前景评价：本项目的研究成果将以论文形式向全国测量界进行推广与应用，主要解决了目前国内测量界专家们担心数字水准仪能否满足一等地形变水准测量精度要求、条形码标尺 f 值对实际水准观测结果是否需要修正等实际问题，为制定、修订《一、二等水准因瓦水准标尺检定规程》国家、地震行业等标准提供科学依据，更为重要的是为地震系统、测绘系统以及国家重要工程测量领域当前面临地形变监测仪器选型问题提供可靠的技术保障。

(四) 项目完成人及人才培养情况

1、项目主要完成人情况

具体见表 16。

表 16 项目主要完成人情况

姓名	年龄	职称	学历	单位	承担项目任务
罗官德	57	高级工程师	大学	中国地震局第二监测中心	项目负责人：负责编写项目建议书、实施方案、任务书，项目运行与实施，起草年度执行报告，项目验收各种报告、研究报告、论文等工作。
闵学鹏	41	工程师	大专	中国地震局第二监测中心	项目骨干：负责完成 3 个实验组观测员的技术培训、外业比对观测、观测资料处理、数据分析与研究等工作。
陶茂盛	38	高级工程师	本科	中国地震局第二监测中心	研究人员：负责完成项目实验场地建设、外业比对观测的组织与管理、资料分析与研究等工作。
黄智	34	工程师	本科	中国地震局第二监测中心	档案管理员：负责完成项目各种文件的收集、合同报告的打印与整理、资料归档及参加外业比测、资料分析与研究等工作。
种宇	53	工程师	大专	中国地震局第二监测中心	研究人员：负责完成本项目 9 副条形码标尺的检测工作、f 值分析与研究，参加外业场地建设、实验比测等工作。

2、人才培养情况

(1) 通过项目的实施，培养了数字水准仪观测人员 3 人。为了使项目实验比对观测工作顺利地完成，对三个实验组观测人员进行了技术培训，讲解有关数字水准仪的结构原理、测量原理、操作方法及国家规程、规范等内容。经过技术培训与强化，使他们对数字水准仪的各项性能特点、使用方法以及规程、规范的要求有了很深的理解与掌握。然后经过本项目的实际使用，他们的观测技术和业务水平有了很大提高，为 2013 年中心地震监测任务启用数字水准仪打下了坚实基础。

(2) 通过项目的实施，积极培养了年轻地震监测队伍。水准测量虽是我中心外业队伍的强项，但过去一直用的是 Ni002 光学水准仪，对数字水准仪的应用从未接触，三个实验组人员对数字水准仪的使用与操作很生疏。为此，对三个试验组全体人员进行短期强化培训，讲解数字水准仪与传统光学水准仪在使用上有哪些不同、观测中扶尺人员与观测人员如何配合以及如何提高外业观测精度等内容。然后，通过实验比对观测的实践，三个试验组人员的观测技术、业务能力和外业管理水平得到了很大提高，尤其是年

轻知识分子在自主创新能力和吃苦耐劳精神方面也得到了提高和磨练。

附件：论文复印件（暂未发表）