第 36 卷 第 4 期
2014 年 12 月

地 震 工 程 学 报
CHINA EARTHQUAKE ENGINEERING JOURNAL

Vol. 36 No.4
Dec., 2014

电子水准仪与自动安平水准仪的对比研究
——以 DINI11 和 NI002 为例①

景 琦，薄万举
（中国地震局第一监测中心 计量检定站，天津 300180）

摘要：对目前常规大地测量和工程施工测量中较为常用的电子水准仪和自动安平水准仪进行了对比研究。以 DINI11 和 NI002 两种不同水准仪为例，以实际观测结果对其发展现状、仪器结构、观测原理、影响因素及抗干扰能力等分别进行了对比分析。结果表明，DINI11 水准仪较 NI002 水准仪有性能先进、抗干扰能力强的特点，但其测量精度较 NI002 水准仪偏低，这可能与仪器的放大倍数有关。此外还对精密水准测量中用电子仪器替换光学仪器的合理性进行了探讨，并给出了初步结论与使用建议。

关键词：电子水准仪；自动安平水准仪；对比研究
中图分类号：P204 **文献标志码**：A **文章编号**：1000－0844(2014)04－1102－05
DOI:10.3969/j.issn.1000－0844.2014.04.1102

Comparative Study on Electronic and Automatic Compensated Levels Using DINI11 and NI002 as Examples

JING Qi, BO Wan-ju
(*Metrology Station of Verification, First Crust Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin* 300180, *China*)

Abstract: Leveling is the most common method for determining elevation in conventional geodesy and engineering construction surveys. A level is an instrument that provides a level sight and gives level readings for leveling. In this study, we compare electronic and automatic compensated levels, levels that are commonly used currently. Using DINI11 and NI002 as examples, we analyzed the development status, instrument structure, operating principle, influence factors, and anti-jamming capabilities with the observation results, which indicate that the electronic level (DINI11) shows relatively advanced performance and strong anti-jamming capability compared to the automatic compensated level (NI002); however, its measurement precision is lower than that of the NI002 level, and is possibly associated with the magnification of the instrument. In addition, we also discuss the rationality behind replacing an optical instrument with an electronic instrument for precise leveling. Evidence indicates that the DINI11 electronic level can replace the Ni002 automatic compensated level in most seismic stations, especially within stadia of 50 m. The DINI11 electronic level can reach one or second-order leveling accuracy, and we believe it can replace the NI002 automatic compensated level for regional leveling.

Key words: electronic level; automatic compensated level; comparative study

0 引言

电子式数字水准仪诞生于 20 世纪 90 年代初期，它的出现解决了水准仪数字化读数的难题，标志着大地测量仪器完成了从精密光机仪器到光机电测一体化的高科技产品的过渡。数字水准仪克服了传统水准测量的诸多弊端，具有读数客观、精度高、速度快、能够减轻作业强度、测量结果便于输入计算机和容易实现水准测量内外业一体化的特点[1]。其确性和高效性已经得到了人们的认可，并将作为光学水准仪的替代产品被广泛应用于各项测绘生产作业中，如工程测量、等级水准测量等，取得了理想的使用效果。

由于一等水准仪测高程精度高，操作较为方便，而仍旧普遍应用于地震断裂带的特定点（水准标石）高程测定中[2]。中国地震局在“九五”规划期间为形变台站等有关单

① **收稿日期**：2014-01-26
作者简介：景 琦（1983－），女（满族），辽宁铁岭人，硕士，主要研究方向为测绘仪器的计量检定.
通讯作者：薄万举（1957－），男，天津人，博士，研究员，主要研究方向为测绘仪器的计量检定.

位的水准测量配备了一批 DINIll 数字水准仪。经过多年的使用观测，对 DINIll 数字水准仪的性能和适合台站定点水准测量的工作方法、操作规程进行了分析讨论，研究探讨了该仪器用于定点短水准测量的观测精度及测量误差，取得了预期效果[3-4]。近年来，中国地震局系统区域水准测量仪器仍使用德国蔡司 Ni002 和 Ni002A 型自动安平水准仪，仪器大都是上世纪八、九十年代投入使用，年久失修老化严重，已不能满足地震监测中水准测量的需要。在此背景下，本文对传统的自动安平水准仪与目前的电子水准仪做对比性研究，从根本上分析两者的差别及优劣性。

1　仪器结构原理及特点

1.1　NI002 自动安平水准仪的原理及特点

NI002 自动安平水准仪的主要特点是：采用旋转补偿摆，十字丝分划板黏贴于物镜光心上，利用双摆获取准绝对水平线，使仪器 i 角保持最小；测微器按阿贝原理设计的物镜测微器，使仪器测微器差保持最小；调焦镜利用平面镜补偿摆，消除调焦镜运行不正确误差[5]。其主要技术参数见表 1。

表 1　NI002 主要技术参数

Table 1　The main technical parameters of NI002

技术指标项目	仪器参数
每公里往返高差中误差	±0.2 mm
望远镜放大倍率	40 倍
物镜有效孔径	56 mm
视场	1°16′
短视视距	1.5 M
视距乘常数	100
视距加常数	0.4 M
补偿器补偿精度	±0.05″
补偿器工作范围	±10′
安平时间	<1″
园水准器角值	8′/12 mm
测微器量测范围	5 mm
仪器净重	6.5 kg

NI002 自动安平水准仪的结构不同于其它水准仪，其目镜系统在水平方向可以作 200°旋转，因此观测员在仪器的一侧可以看到前后标尺的影像。目标的粗略照准是由位于仪器两侧、物镜端上方的符合型照准装置来实现。用于整平仪器的圆水准器是透明型的，整平仪器时可以通过气泡反光镜观察到，也可以在仪器目镜视场内看到气泡的影象，使仪器的整平更为准确[5]。NI002 仪器无制动钮，微动系统采用蜗轮螺杆装置，因而微动是无止境的，这给观测者提供了很大方便；仪器的两侧均备有调焦手轮、微动手轮和测微器手轮，不会使观测者因位于仪器一侧而感到操作不便。此外，目前经自主研发的基于 PDA 掌上电脑的水准观测记簿软件为野外水准测量提供了便利条件，已完全代替了手工水准记簿[6]。

1.2　DINI11 电子水准仪的原理及特点

电子水准仪是在精密自动安平水准仪的基础上发展起来的。它是通过感光器分析标尺影像对一维数字影像处理的应用（一维数字影像处理原理：影像—数字化—译码数据处理—结果），利用二极管检测器阵列来代替测量作业人员的眼睛，相当于在水准仪里架设了具有稳定视线的一部 CCD 照相机。水准条码标尺上的不同条码在通过望远镜成像到像平面上的 CCD 光电传感器上，CCD 光电传感器再将黑白相间的条码图像转换成模拟视频信号，经过仪器内部的数字图像处理即可获得望远镜中丝条形码标尺上的读数[7]。此数据一方面显示在屏幕上，另一方面存储在仪器内部的存储器中，供计算、查核和保留之用。图 1 为电子水准仪测量原理流程图。

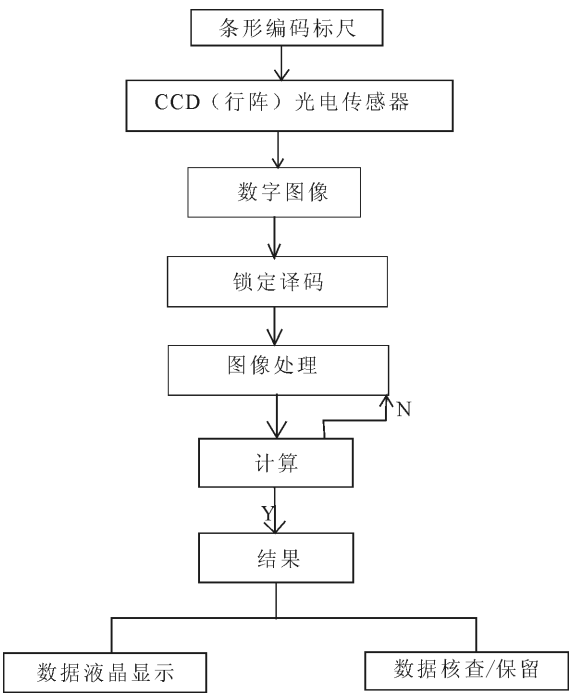

图 1　电子水准仪的测量原理流程

Fig.1　Flow chart of the measurement principle of Electronic level

电子水准仪的主要特点在于它是受感光读数，能自动识别匹配有编码规律的黑白两种条形块从而进行测量作业。消除人为的估读误差是电子水准仪的另一大优点。DINI11 水准仪的技术参数及特点分别见表 2 和表 3。

表 2　DINI11 的主要技术参数

Table 2　The main technical parameyers of DINI11

项目	仪器参数
1 km 往返测中差	±0.33 mm
测量范围	1.5～100 m
补偿器补偿范围	±15′
补偿器安平精度	±0.2″
望远镜倍率	32 倍
最短视距	1.5 m
电子测量视场角	5′

电子数字式水准仪主要用于高等级（即：国家级一、二等）水准测量和高精度的工程测量，如：线路测量、公路铁路

测量、建筑施工测量、矿区及水利变形测量和大型精密设备安装等各个领域的使用。

表 3 DINI11 水准仪的特点

Table 3 The characteristics of DINI11 Level

项目	特点
自动测量	1.键盘输入测量模式,菜单对话操作 2.测量无读数误差 3.感光读数系统,可见条形码标尺 25～30 cm 左右的范围即可测量
数据记录	1.测量无记录误差 2.导线水准测量自动平差
数据计算	1.直接计算,显示高差 2.测量中可根据显示情况进行键盘操作 3.自动计算出合格成果
软件系统	1.多种测量方式 2.平差时可输入假定坐标(也可平差闭合环)
仪器设计	1.宽大的字符图形化液晶显示屏,观察方便 2.键盘操作输入字符、数字简单 3.测量快捷设置合理(在微动螺旋旁,瞄准标尺后即可测量 4.配置多种型号的条形码(钢瓦)标尺(2 m、3 m 等)

2 误差分析

2.1 自动安平水准仪的误差来源

自动安平水准仪的测量误差主要有两个来源:一个是通过望远镜在水准尺上读数时的读数误差,这项误差基本上与水准管水准仪一样,即误差的大小主要决定于望远镜的放大倍率和水准标尺离开仪器的距离;另一个是来自水平视线的整置及其变化,对自动安平水准仪来说,此项误差主要来自自动安平补偿器。

(1) 在水准标尺上的照准读数误差

对于带有光学测微器的精密水准仪来说,由于光学测微器本身的读数误差非常小,可以忽略不计,因此在水准标尺上的照准读数误差主要是利用十字丝(楔形丝)照准标尺分划线的照准误差。

对于不带光学测微器的中、低精度的水准仪来说,此项误差仅包括十字丝横丝在水准尺上估读的读数误差。

一般情况下,照准读数误差在水准测量误差中的影响是偶然性的。

(2) 水平视线整置误差

自动安平水准仪的水平视线整置误差主要包括可重复性误差、视线不水平误差和准高误差。其中可重复性误差是由补偿器摆体的灵敏度决定的;视线不水平误差系由视准线零位误差、视准线补偿误差和补偿器交叉误差组成;而准高误差则是由于仪器照准方向的不同而造成的视线高程变动的系统误差。

在水准测量特别是在精密水准测量中,系统误差的积累对测量成果的精度和可靠性影响极大。由于自动安平水准仪存在多种系统误差来源,应引起注意,并采取各种有效措施来减弱其影响。

2.2 电子水准仪的误差来源

电子水准仪的测量误差主要由以下几种因素造成:

(1) 瞄准误差

望远镜瞄准的调焦成像很重要,若望远瞄准镜焦距未调好,致使成像不清楚,观测精度会降低,读数显示时间延长。因而要求将望远镜焦距调焦清晰,并用竖丝切准条码的左边缘,使用起来为最佳。

(2) 系统分辨率影响

系统分辨率也叫系统精度,是指仪器与标尺配套使用时在高度方向上实际能识别的最小高度变化量。由于电子数字式水准仪没有光学测微器,因而此项相当于是电子数字式水准仪的测微能力,即是电子数字式水准仪图象处理的能力。一般是归算到每 10 m 视距时的标准偏差。如仪器显示屏上的最小增量为 0.01 mm,则一般认为 0.02 mm～10 m 是正常的。如需检查该项时应在室内进行,视距不应太长(在小于 30 m 为宜)。

(3) 标尺倾斜影响

标尺倾斜的结果是使得电子数字式水准仪电子传感器 CCD 线阵上的像也歪斜。轻则造成读数误差,重则使得仪器无法识别读数。一般标尺倾角在 2°以内时,对读数影响较小,超过 3°读数误差会成倍增长。检验仪器是否具有提示标尺倾斜功能以及标尺倾斜范围是仪器指标参数的目的所在(即仪器质量的好坏)。当测量时应使标尺上的圆水准泡居中于水准器,标尺不晃动(固定竖直标尺),方可进行作业。

此外,电子水准仪在测量过程中还有遮挡、温度、光照、距离等因素的影响,同时还有仪器的稳定性、自动安平精度、恒磁场在水准仪中磁阻尼的影响造成的误差。

3 实测对比分析

中国地震局辽宁金州地震台曾对 DINI11 水准仪进行了野外试验,并与 NI002 自动安平水准仪的观测结果进行了对比分析[8],得出了有关仪器的一些基本情况。

3.1 观测基本情况

在一年的水准测量中,选用仪器里的点测量模式,每天上下午分别进行往、返观测,采用 PC－1500 计算机记簿,并用它打印出符合水准规范要求的资料来。仪器的重复观测读数次数设定为 10 次,读数标准差设置为 0.05 mm。对观测结果统计发现(表 4),对于 $M_{站}$ 和 $M_{公里}$ 的观测精度,DINI11 电子水准仪没有 NI002A 仪器观测资料精度高,但都超出评比规定的指标($M_{站} \leqslant \pm 0.005$ mm,$M_{公里} \leqslant \pm 0.20$ mm)。将电子水准仪一年的观测资料同 Ni002A 仪器观测的往年同期资料相比较,变化规律基本相似,幅度的大小仍与水位变化的幅度有关(图 2)。

3.2 仪器抗干扰能力

干扰的情况主要表现在以下几个方面:

(1) 震动的影响:在震动发生较强的测段,其观测精度明显比震动较弱的测段经度低。在实测中发现车辆经过时引起地面和仪器的震动不仅使仪器读数时间延长和测量次数明显增多,有时甚至出现标准差超限。实测过程中震动越强对测量资料产生的影响越大,震动源距仪器或标尺越近产生的影响越大[9]。当风力过大或有重型车辆通过时,使用原

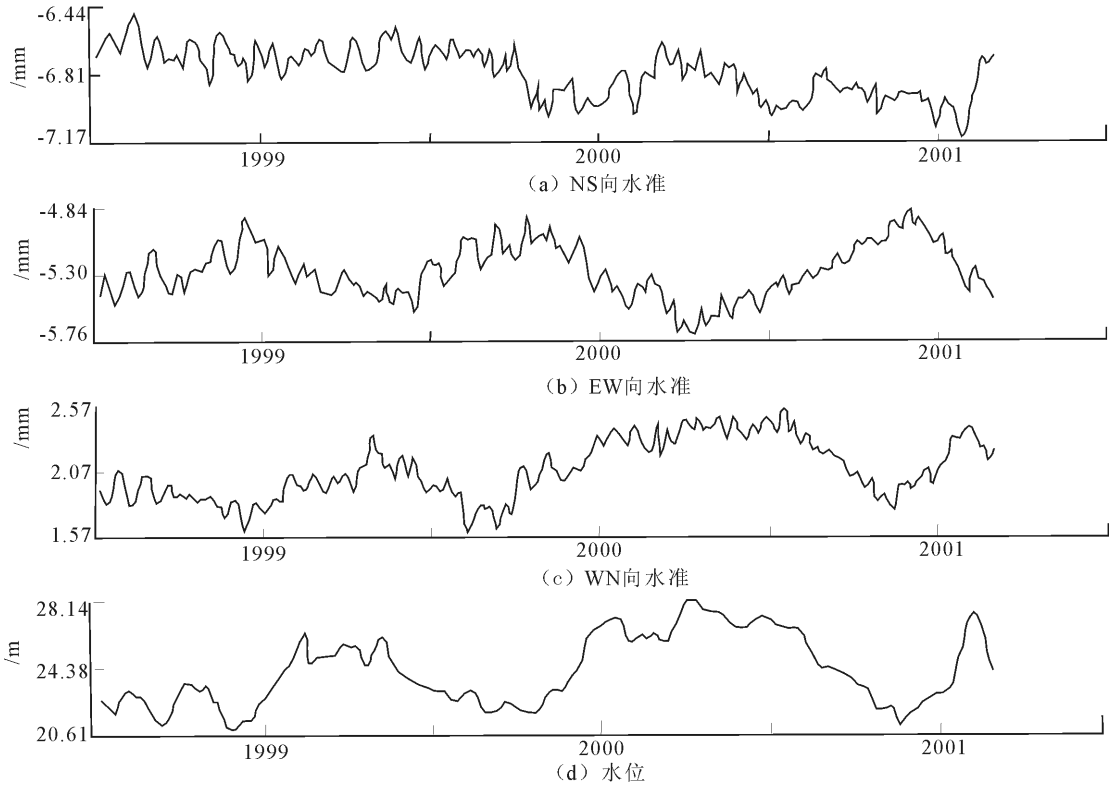

图 2　金州台水准、水位五日均值图

Fig.2　Daily mean values of level and water level of Jinzhou seismic station

表 4　精度统计表

Table 4　The statistic table of accuracy

月份	精度/mm							
	WN 向		NS 向		EW 向		平均	
	$M_{站}$	$M_{公里}$	$M_{站}$	$M_{公里}$	$M_{站}$	$M_{公里}$	$M_{站}$	$M_{公里}$
2000 年 9 月	−0.059	0.260	0.059	0.270	0.075	0.230	0.064	0.250
2000 年 10 月	0.048	0.170	0.043	0.160	0.060	0.180	0.050	0.170
2000 年 11 月	0.040	0.210	0.048	0.200	0.058	0.150	0.049	0.190
2000 年 12 月	0.051	0.160	0.042	0.170	0.051	0.240	0.048	0.190
2001 年 1 月	0.045	0.160	0.049	0.240	0.044	0.250	0.046	0.220
2001 年 2 月	0.038	0.150	0.054	0.170	0.048	0.240	0.047	0.190
2001 年 3 月	0.053	0.250	0.066	0.210	0.071	0.190	0.063	0.220
2001 年 4 月	0.048	0.210	0.048	0.270	0.063	0.260	0.053	0.250
2001 年 5 月	0.063	0.240	0.051	0.180	0.058	0.240	0.057	0.220
2001 年 6 月	0.066	0.160	0.050	0.220	0.072	0.180	0.063	0.190
2001 年 7 月	0.053	0.210	0.036	0.190	0.056	0.310	0.048	0.240
2001 年 8 月	0.060	0.240	0.061	0.230	0.056	0.240	0.059	0.240
平均	0.052	0.200	0.051	0.210	0.059	0.230	0.054	0.210

配备的脚架(拉杆式脚架)的仪器读数不稳定，而换了直杆式脚架后，观测结果有了较明显的好转。

(2) 测线方向的影响：近似东西方向的测线观测精度偏低，$M_{站}$ 尤其明显。

(3) 光线强弱的影响：当光线很强(天气特别晴朗)时，如果条形码标尺正对阳光，仪器显示光线太强，并停止观测。此时稍等一会或将标尺略转动一个小角度，便可重新观测读数。当光线很弱(阴天且云层很厚)时，仪器读数就比较慢。若标尺在水准标志房内，则仪器显示找不到标尺的警示，待浓云渐去或采取照明后，方可进行观测。

(4) 观测视线遮挡的影响：行人和行驶的车辆瞬间遮挡观测视线，仪器仍可观测读数，但集装箱车辆通过时，有时需要重测。

(5) 气象条件的影响：在−19.2～35.4℃范围内，仪器仍可进行观测；在雨、雪天，只要不断地清除观测尺段上的雨水和积雪都可以观测；当风力大于 3 级时，通过放低脚架和利

用风力暂缓瞬间，仍可进行观测。

(6) 观测读数时间的长短：DINI11 电子水准仪完成一次读数约需 3～4 s。且一次读数的成功率较低。在一般情况下，观测的平均时间约 1 分半钟，较 NI002A 水准仪慢约半分钟。

3.3 观测结果对比分析

通过现场观测和后期的数据处理分析(表 5)，DINI11 水准仪与 NI002 水准仪相比有以下特点：

(1) 性能先进：自动读取的数据真实可靠，并克服了因观测人员轮换而引起的人为误差。若采用水准线路测量模式进行测量还可以省略记簿员和记录仪器；若采取数据后处理程序，可以保证测量的资料符合现行水准测量规范的要求。

表 5 观测结果

Table 5 The result of measurement

仪器型号	高差/mm	$M_{站}$/mm	$M_{公里}$/mm
NI002	−3 465.02	±0.061	±0.18
DINI11	−3 465.05	±0.080	±0.37

(2) 抗干扰能力强：通过更换直杆式脚架和放低仪器，仪器的稳定性有了较明显地提高，在一般气象条件下都可以观测。

(3) 减轻劳动强度：仪器重量轻，减轻观测员的负重，特别是由于自动读数大大减轻了观测员眼睛的疲劳。

(4) 仪器测量精度较 Ni002 仪器偏低，这可能与仪器的放大倍数有关(DINI11 电子水准仪是 32 倍，NI002 是 40 倍)。

4 结论与建议

电子数字水准仪是对自动水准测量的一个成功尝试。通过试验已表明这种新型的仪器的精度等同于光学精密水准仪。同时这种新型仪器防止了绝对读数数据记读的错误，可使操作人员集中精力于照准、调焦和启动每次测量的工作，为水准测量提高了 50%～60%的野外工作效率。通过对实际观测结果的对比分析及理论研究，我们有充分的理由认为，DIN11 电子水准仪可以替代目前大多数台站使用的 NI002 类型的自动安平水准仪。尤其是在视距 50 m 范围内，DINI11 型水准仪能达到一、二等水准测量精度要求，可以代替 NI002 自动安平光学水准仪用于区域水准测量。

参考文献(References)

[1] 张莉，齐维君，方爱平，等.数字水准仪误差源及检定方法初探[J].测绘通报，2009(9)：56-58.
ZHANG Li，QI Wei-jun，FANG Ai-ping，et al. A Preliminary Study of Error Source of Digital Level and Its Test Method[J]. Bulletin of Surveying and Mapping，2009(9)：56-58.(in Chinese)

[2] 张占阳，高艳龙.一等水准点之记标准化与规范化研究[J].测绘与空间地理信息，2013，36(4)：34-36.
ZHANG Zhan-yang，GAO Yan-long. Research on Standardization and Specification of the First Level Point Record[J]. Geomatics and Spatial Information Techology，2013，36(4)：34-36.(in Chinese)

[3] 周必才，顾乃根，李治华，等.DiNill 数字水准仪在断层形变台站测量中的应用[J].地震地磁观测与研究，2011，23(1)：315.
ZHOU Bi-cai，GU Nai-gen，LI Zhi-hua，et al. The Application and Resarch of DiNi11 Digital Level in Mesurerment at Fault Crustal Deformation Observatory[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Reasearch，2011，23(1)：315.(in Chinese)

[4] 孟宪纲，高艳龙，占伟，等.DiNil2 型数字水准仪在区域水准测量中的应用[J].华北地震科学，2011，29(3)：44-47.
MENG Xian-gang，GAO Yan-long，ZHANG Wei，et al. Application of DINI12 Digital Level in Region Leveling[J]. North China Earthquake Sciences，2011，29(3)：44-47.(in Chinese)

[5] 罗官德.Ni002、Ni002A 精密自动安平水准仪故障的分析与检修(上)[J].测绘技术装备，2010，3(2)：26-28.
LUO Guan-de. The Analysis and Maintenance of NI002 and NI002A Automatic Compensated Level's Fault[J]. Geomatics Technology and Equipment，2010，3(2)：26-28.(in Chinese)

[6] 林淑冰，王志鹏，王海清，等.基于 PDA 的水准电子手簿系统的设计与实现[J].西北地震学报，2009，31(3)：308-310.
LIN Shu-bing，WANG Zhi-peng，WANG Qing-hai，et al. Design and Realization of the Recording System for Leveling Based on PDA[J]. Northwestern Seismological Journal，2009，31(3)：308-310.(in Chinese)

[7] 周祖渊.电子数字式水准仪的性能及测量原理[J].重庆交通学院学报，2005，(1)：27.
ZHOU Zu-yuan. Function Quality and Surveying Principle of electronic digital Level[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University，2005，(1)：27.(in Chinese)

[8] 葛彦增，刘锡纯，尚贵佳，等.DlNI－11 电子水准仪的使用及评价[J].东北地震研究，2011，28(3)：14-19.
GE Yan-zeng，Liu Xi-chun，SHANG Gui-jia，et al. Application and Evaluation on Electronic Leveller DINI－11[J]. Seismological Research of Northeast China. 2011，28(3)：14-19.(in Chinese)

[9] 葛计划，熊瑛，孙军，等.数字水准仪 DiNi11/12 原理及应用中应注意的问题[J].防灾科技学院学报，2009，11(3)：72-76.
GE Ji-hua，XIOANG Ying，SUN Jun，et al. The Principles of Digital Levels DiNi11/12 and Noteworthy Problems in Application[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention Science and Technology，2009，11(3)：72-76.(in Chinese)