

数字水准仪与光学水准仪 对比观测研究

郭宝震¹⁾ 董亮¹⁾ 刘伟²⁾ 孙启凯¹⁾

1) 中国地震局第一监测中心, 天津 300180

2) 天津市津勘科技有限公司, 天津 300131

摘要 近年来, 在高精度水准测量领域数字水准仪逐渐呈现出取代光学水准仪的趋势。本文通过实际观测实验, 对比分析了两类水准仪的优势与不足。结果表明, 光学水准仪相对较重, 但性能稳定, 而数字水准仪轻巧、操作方便, 能很好地避免人为读数误差。在实际工作效率上光学水准仪占优, 测量精度的稳定性好于数字水准仪。

关键词: 光学水准仪 数字水准仪 水准观测 精度

引言

高精度水准测量是大地测量领域最为悠久的方法, 在地壳垂直形变研究、城市地面沉降监测、高精度水准控制网的确定建立等方面发挥了不可替代的作用。比如, 跨断层的短水准测量被广泛应用于全国各个地震台站, 利用这些资料能够分析和发现地震前跨断层异常形变的特征(张跃刚等, 2002); 利用二等水准测量方法进行地面沉降监测, 划定地表下沉危险区, 并结合地质条件分析, 对掌握沉降规律、预测沉降趋势具有积极的现实意义(邹超, 2011); 国家一等水准网主要担负国家高程系统维护和高程基准的传递, 是国家高程骨干控制框架, 尽管现在大地测量技术出现革新性的变化, 但在精密正高测定和传递上, 尚没有其他技术能够取代国家一等水准网(张全德, 2008)。

传统水准测量一般采用光学水准仪(比如蔡司 Ni002A), 实践表明其具有精度高、观测结果稳定等优点, 但其观测效率较低, 并且由于仪器的停产目前已经无法满足实际需要。近年来数字水准仪(比如蔡司 DINI12)作为传统光学水准仪的替代品逐渐在高精度水准测量中发挥作用, 两类仪器具有不同的标称精度。

为了对比两类仪器在实际观测中的性能, 本文基于 2003 年和 2004 年两期同线路一等水准观测资料(马各庄-紫荆关全线长约 66.5km), 从观测时间、工作强度、测量精度和高差对比分析等方面, 对光学水准仪和数字水准仪观测模式进行了研究。

[收稿日期] 2015-05-26

[作者简介] 郭宝震, 男, 生于 1976 年。工程师。主要从事大地形变测量与工程变形监测技术应用。E-mail: 13302117792@163.com

[通讯作者] 董亮, 男, 生于 1979 年。工程师。主要从事大地形变测量与工程变形监测技术应用。E-mail: dl9536@126.com

1 仪器性能指标

实验中采用的仪器为德国蔡司仪器公司出产的 Ni002A 和 DINI12, 其中前者为光学水准仪, 后者为数字水准仪。实验中所用的数字水准仪和光学水准仪以及标尺, 已通过了计量检定部门的各项检查(见表 1), 其结果均符合《地震地形变数字水准测量技术规范》(中国地震局, 1996; 任道胜等, 2004)和《国家一、二等水准测量规范》要求(肖学年等, 2006)。

表 1 光学水准仪和数字水准仪及标尺检查项目

Table 1 List of check-ups for optical and digital leveling instruments

	Ni002A 检验项目	DINI12 检验项目
水准仪	水准仪检视	通电检视
	水准仪上概略水准器检校	圆水准器
	光学测微器隙动差和分划值的测定	调焦透镜运行误差
	气泡式水准仪交叉误差的检校	视线观测标准差(安平精度)
	i 角检校	视准线误差(i 角)
	双摆位自动安平水准仪摆差 $2C$ 角的测定	补偿误差
水准标尺	标尺的检视	标尺检视
	标尺上的圆水准的检校	圆水准器
	标尺分划面弯曲差的测定	标尺条码面的弯曲
	标尺名义米长及分划偶然中误差的测定	标尺条码名义米长及其条码偶然标准差
	一对水准标尺零点不等差及基辅分划读数差的测定	一副标尺零点差之差 标尺中轴线与标尺底面垂直性

2 实验概况

2003 年和 2004 年所开展的水准观测是鄂尔多斯地块周缘地区区域精密水准测量观测任务的一部分, 本文选取这两年同一实验测量路线。该测线被命名为“马紫线”, 均起始于河北省涞水县马各庄村, 终止于河北省易县紫荆关镇, 全线共 3 个区段, 22 个测段, 施测 66.7km, 其中数字水准仪共计 1891 个测站, 光学水准仪共计 1612 个测站。

整体而言, 水准测量周边环境较好。测线方向为南北向, 测线道路为柏油实土路面, 两侧有少量树木。测线穿越山区, 车流量不大。观测时间在 7、8 月份, 气温较高, 雨水较多, 坡度较陡。最高温度达到 35℃, 在山区主要是早晚温差比较大, 最高温差达到 20℃。图 1 为 2003 年和 2004 年实验区测线分布图, 其中红色区域为本文中使用的测线数据。

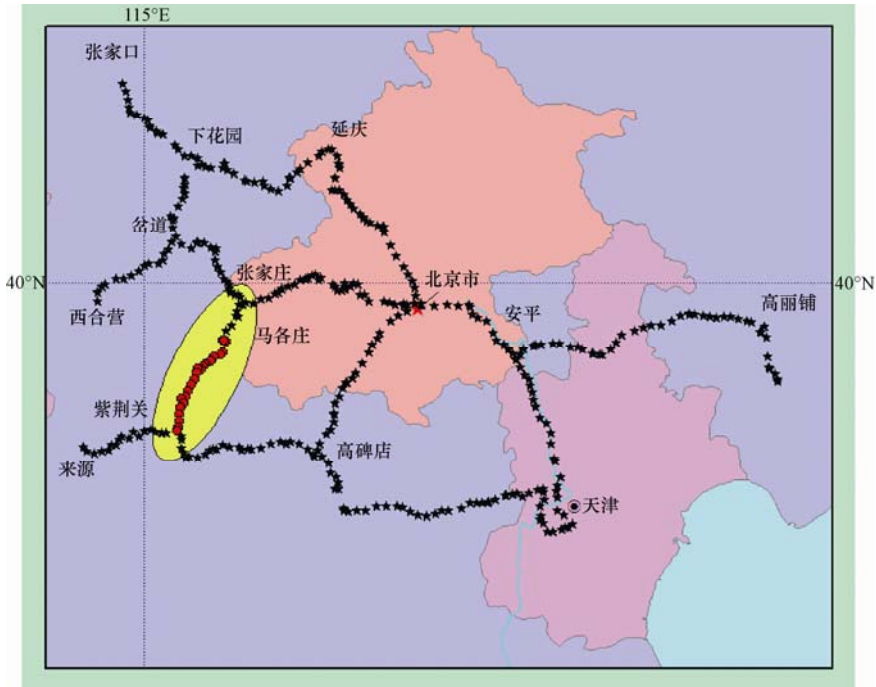


图1 2003年和2004年实验区测线分布图

Fig.1 Leveling survey lines of the study region in 2003 and 2004

3 实验与分析

3.1 仪器操作对比分析

数字水准仪与光学水准仪工作原理上的不同，决定了其操作的差异性。DINI12 数字水准仪基本结构分为光学部分和电子部分，其中 DINI12 的光学部分与 Ni002A 水准仪一样，但电子部分实现了自动读数和自动控制。数字水准仪读取与视准轴对称的 15cm 条码标尺影像，通过光电二极管列阵转换成数字信号，然后经过相关分析法得到的信息与机内存储的标尺标准信号不停地进行比较，直到找到最佳重合位置时，输出标尺读数和水平距离（孔祥元等，1991）。根据两类仪器的说明书，表 2 给出了其主要技术参数。

表 2 光学水准仪与数字水准仪的主要技术指标

Table 2 Technical configurations of optical and digital leveling instruments

具体指标	Ni002A	DINI12
重量	6.05kg	3.39kg
精度	$\pm 0.2\text{mm}$	高程测量每公里精度 $\pm 0.3\text{mm}$ (使用条码式钢瓦标尺)
视距	1.5—100m	1.5—100m
分辨率	0.05mm	0.01mm
一次读数时间	<1s	3.5—4s

续表

具体指标	Ni002A	DINI12
园水准器	8'/2mm 范围±10'	8'/2mm
望远镜放大倍率	40X	32X
补偿器补偿范围	±10'	±15'
PC 卡存储器	无	存储数据 1 万行
电源电压	无	D6V
工作温度	无	-20—50℃

从以上两种仪器的主要技术指标可以看出, 数字水准仪比较轻便、操作步骤相对简洁、分辨率高、数据的读取和记录等实现了电子化, 在一定程度上减少了观测者的工作量。另外, 利用数字水准仪进行精密水准观测, 能很好地避免人为误差的影响, 保证了成果质量的可靠程度。

3.2 精度对比分析

对实验区数据处理后, 得到了如表 3 所示的计算结果。表中给出了两类观测实验统计情况, 限差依据见《地震地形变数字水准测量技术规范》(中国地震局, 1996; 任道胜等, 2004) 和《国家一、二等水准测量规范》(肖学年等, 2006)。

表 3 光学水准仪与数字水准仪观测结果统计

Table 3 Statistical analysis of measured data from optical and digital leveling instruments

具体指标	限差	Ni002A	DINI12
每公里偶然中误差	±0.45mm	±0.31mm	±0.39mm
往返测高差不符值	±14.70mm	+1.21mm	+5.08mm
成果评价	—	优级品 42.8km, 良级品 21.0km, 合格品 2.9km	优级品 41.6km, 良级品 13.8km, 合格品 11.1km
返工情况	—	无	单程返工 3.2km, 双程返工 24.2km

注: 优级品, 测段不符值<限差的 1/3; 良级品, 限差的 1/3 <测段不符值<限差的 2/3; 合格品, 限差的 2/3<测段不符值≤限差。

表 3 的结果表明, 实验中光学水准仪每公里偶然中误差、往返测高差不符值分别为 ±0.31mm、+1.21mm, 测量精度优于数字水准仪。从成果的优良率来看, 两类仪器测得的优级品公里数相近, 但在数字水准仪测量过程中出现了某些测段不合规、返工重测的现象。

3.3 结果对比分析

根据 2003 年和 2004 年两类仪器的观测结果, 笔者分析了两类水准仪的优劣。图 2 (a) 为计算得到的两类仪器观测高差的平均值; 图 2 (b) 为数字水准仪与光学水准仪观测高差之差, 其中横轴表示该测线上各个测点距起算点的距离。通过对以上数据的分析, 从图中可以看出, 最显著的特征是两类仪器的观测高差与高差之差存在正相关现象, 相关系数的计算结果达 0.85, 而且高差变化越剧烈, 二者相关性越明显, 比如 0—30km 和 45—70km 范围内二者的相关系数达 0.92 和 0.95, 属于高度相关。另外, 虽然 30—45km 范围内二者的相关性稍

差，其相关系数也达到了 0.60。上述结果显示，在高差变化剧烈的地区，光学水准仪与数字水准仪观测结果之间的差异也更加明显，而在高差变化平缓地区二者的差异较小。还有，66.7km 的测线二者累计高差之差为 5.5mm，每公里差异约为 0.08mm，故光学水准仪和数字水准仪观测高差值之间差异的系统性不强。

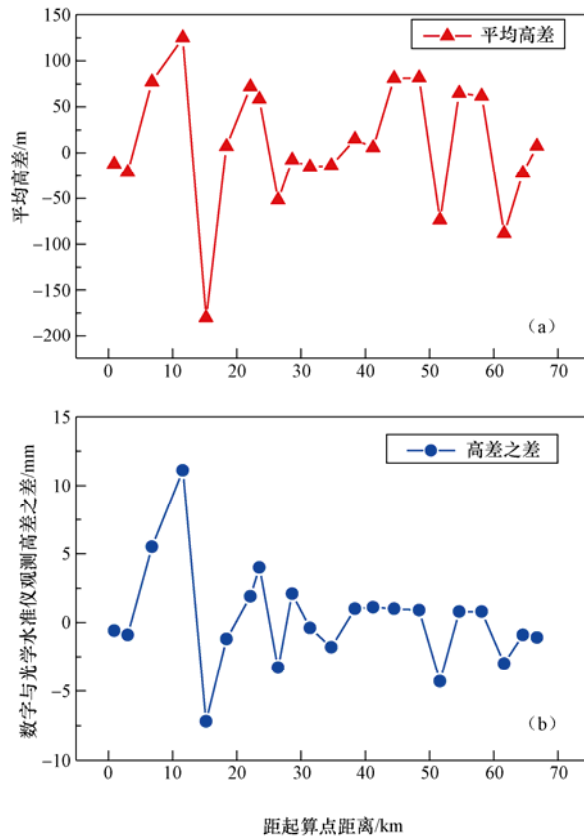


图2 数字水准仪与光学水准仪观测高差对比结果

Fig.2 Comparison of measured data between from optical leveling instrument and digital one

4 结论与讨论

针对光学水准仪与数字水准仪的技术指标、实际观测效率、观测结果的对比分析，笔者得出了以下几点认识。

(1) 在仪器操作方面，光学水准仪在测量过程中操作相对较复杂，每站需要观测员用肉眼读取 8 个数据，且要求具有丰富的外业观测经验，能够处理随时出现的各种问题。数字水准仪在操作上比较简单、易上手，按照整平、照准、自动读取三步骤，并且在数据的传输与后期处理方面，数字水准仪存在很大的优势，是未来应用发展的一个方向。

(2) 在工作效率方面，数字水准仪的优势是实现了自动化，减轻了观测员的负担，与光学水准仪相比，测量速度也较快。但是受各种复杂环境条件的影响，数字水准仪受外界环境

影响较大,其稳定性略显不足,故出现返工的几率也较光学水准仪大。

(3) 数字水准仪与光学水准仪的测量结果显示,其每公里偶然中误差和往返测高差不符值,均符合规范中的限差要求,总体观测成果较好。

(4) 从数据分析得到的结果可以看出,同一测线两类仪器测量所得的高差存在差异,表现为高差变化剧烈地区二者的差异相对较大,且与高差变化呈强相关特性;在高差变化平缓地区二者的差异较小,与高差变化呈弱相关特性。两次实验计算高差之差约为 5.5mm(测线距离为 66.7km),考虑到实验间隔时间较长,因此该差异不能排除区域地壳运动的影响。

本文得出的结论,主要是基于一条 66.7km 的水准观测路线,数据采集使用的仪器分别为光学水准仪与数字水准仪各 1 台,故在此基础上得出的认识尚不完备。为了下一步研究分析得到更具普遍意义的成果,尚需开展更为广泛的实验。

致谢: 在本文成文过程中,中国地震局第一监测中心武艳强副研究员给出了宝贵的建设性意见,在此表示感谢!

参考文献

- 孔祥元,梅是义,1991. 控制测量学. 北京:测绘出版社.
- 任道胜,陈如丽等,2004. 《地震地形变数字水准测量技术规范》. 北京:地震出版社.
- 肖学年,姬恒炼等,2006. 《国家一、二等水准测量规范》. 北京:中国标准出版社.
- 邹超,2011. 浅谈城市地面沉降监测实践中的体会. 安徽建筑, 18(2): 168—169.
- 张全德,2008. 国家第三期一等水准网设计. 测绘通报, (5): 21—24.
- 张跃刚,孙佩卿,陈立强等,2002. 短水准震前异常的演化特征. 华北地震科学, 20(3): 14—21.
- 中国地震局,1996. 《区域精密水准测量技术文件汇编》. 北京:国家地震局科技监测司.

Comparative Study of Observation from Optical Leveling and Digital Leveling Instruments

Guo Baozhen¹⁾, Dong Liang¹⁾, Liu Wei²⁾ and Sun Qikai¹⁾

1) First Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, Tianjin 300180, China

2) Tianjin Jinkan Technology Co. Ltd, Tianjin 300131, China

Abstract In recent years, it has a tendency to use digital leveling instrument to replace the optical leveling one in the field for high-precision digital leveling survey. In this paper we conducted a comparative analysis of the two types of leveling in both advantages and disadvantages. The results show that the optical leveling instrument is relatively heavy, but stable, while the digital one is light in weight, easy to operate, and can avoid human error well in surveying. In practice, the optical leveling is dominant due to high efficiency of work and more stable measurement.

Key words: Optical level; Digital level; Leveling observation; Accuracy