

数字水准仪*i*角检定方法的研究

叶正真^{1,2,3}, 杨维芳^{1,2,3*}, 郭龙文⁴, 陈积佳⁴, 段磊⁴

(1. 兰州交通大学 测绘与地理信息学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 地理国情监测技术应用国家地方联合工程研究中心;
3. 甘肃省地理国情监测工程实验室; 4. 甘肃省测绘产品质量监督检验站)

摘要:对数字水准仪*i*角检定方法的研究包括光学*i*角和电子*i*角两部分。现有各类检定规程中对于数字水准仪电子*i*角的检定要求,实际上指的是剩余电子*i*角。因此,研究数字水准仪剩余电子*i*角的检定方法对于检定工作具有十分重要的意义。首先,通过对数字水准仪的测量原理和*i*角具体含义的探究及试验分析,明确数字水准仪电子*i*角设置与剩余电子*i*角检定的异同,分析探讨了光学*i*角与电子*i*角之间的相互影响;其次,介绍数字水准仪光学*i*角的检定方法、剩余电子*i*角检定的室内法与室外法;最后,通过4种剩余电子*i*角室外检定法的分析比较,当采用费氏法测量时,仪器移动距离小、调焦距离影响小,在只考虑距离因素的条件下,此方法为数字水准仪室外检定的最优方法。

关键词:数字水准仪;电子*i*角设置;光学*i*角检定;剩余电子*i*角检定;室内法;室外法

随着测绘科学技术与仪器制造技术的迅速发展,水准仪作为测定地面两点之间高差的测绘仪器,也不断地更新换代。20世纪90年代瑞士徕卡公司推出世界上第一台数字水准仪NA2000,随后各个国家也相继研制并推出了拥有自主知识产权的数字水准仪及相关产品。进入21世纪以后,中国的一些测绘公司如:南方测绘、北京博飞、苏州一光等也相继推出了自己的数字水准仪产品。得益于其测量速度快、精度高,测量结果可实时数字化处理等特点,未来数字水准仪将会具有更多的发展空间,让水准测量工作更加高效、便捷,以便更好地服务于社会生产建设。

近年来,随着不断的推广更新,数字水准仪的使用也越来越广泛。一些相关文献对于数字水准仪*i*角的检定方法进行了讨论和总结,但大多数都只是介绍了几种常用室外检定方法,对于室内检定法提及的相对较少。对于数字水准仪光学*i*角与电子*i*角的相互关系及两者之间的相互影响没有探究。除此之外,也没有明确“电子*i*角的设置”与“剩余电子*i*角的检定”是两个不同的概念。如果对于二者概念混淆不清,甚至认为是同一过程,这将不利于数字水准仪的检定工作。

为明确数字水准仪*i*角的相关概念,首先介绍数字水准仪测量原理。

[9] JTG D70/2—2014 公路隧道设计规范(第二册) 交通工程与附属设施[S].

[10] JTG/T D70/2—01—2014 公路隧道照明设计细则[S].

[11] 贾致荣, 郭忠印. “555”原则及其在公路景观设计中的作用[J]. 公路, 2007(10).

[12] 白国权, 李志厚, 张涛. 改扩建公路增幅新建隧道救援横通道设置探析[J]. 现代隧道技术, 2019(S2).

[13] 卢先荣, 杜引光, 王航. 高速公路隧道车行横通门改进研究[J]. 公路, 2016(11).

[14] 王道良. 高海拔公路隧道土建工程设计关键技术[J]. 地下空间与工程学报, 2020(S1).

[15] 王志杰, 王如磊, 舒永熙, 等. 高速公路特长隧道及隧道群运营安全风险评估研究[J]. 现代隧道技术, 2019(S2).

[16] 唐协, 林国进, 李玉文, 等. 米仓山隧道总体设计[J]. 西南公路, 2016(4).

[17] 范仁玉. 攀枝花至大理高速公路宝鼎二号隧道施工关键技术[D]. 西南交通大学硕士学位论文, 2019.

[18] 丁光明. 高速公路隧道环境对驾驶人生理及心理影响研究[D]. 长安大学博士学位论文, 2011.

收稿日期:2020-11-15(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:41364001);兰州交通大学优秀平台支持项目(编号:201806)

作者简介:叶正真,男,硕士研究生. E-mail:838841226@qq.com

* 通信作者:杨维芳,女,博士,教授. E-mail:99903217@qq.com

1 数字水准仪测量原理

数字水准仪是在传统光学自动安平水准仪的基础上加入了光电系统而形成的一种高精度测绘仪器。由望远镜、补偿器、分光镜、CCD 传感器、微处理器、图像和数据处理软件等构件组成其测量系统(图 1)。

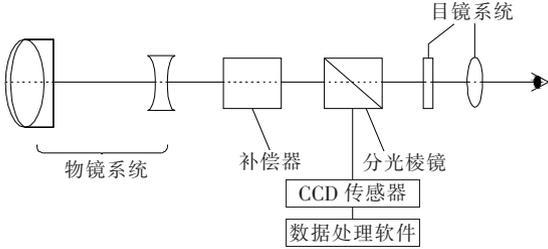


图 1 数字水准仪测量原理图

数字水准仪的工作原理:条码尺经过光反射形成光束,光束通过分光棱镜后分为两部分,一部分直接成像于目镜系统十字丝分划板上供目镜观测读数;另一部分通过分光棱镜后成像在线阵 CCD 传感器上供电子读数。电子读数是以条码尺的影像作为测量的目标,通过 CCD 传感器将光学信号转换为模拟信号,再将模拟信号转换为数字信号,从而形成测量信号与 CCD 内存的标准参考信号进行对比分析,实现全自动化的测量读数。

2 数字水准仪 i 角的含义

由图 1 可知:条码尺的影像光路在望远镜内分为互不相同的两部分。因此,数字水准仪存在两个不同的 i 角,即目镜观测读数时的光学 i 角与电子读数时的电子 i 角。

2.1 光学 i 角与电子 i 角的关系

光学 i 角是指数字水准仪光学视准轴与水平面之间的夹角,与传统的光学自动安平水准仪 i 角含义相一致。光学视准轴是条码尺反射光线穿过物镜中心,再依次经过补偿器、分光棱镜的传递后与目标分划板十字丝中心的连线。电子 i 角是指数字水准仪电子视准轴与水平面之间的夹角,是在电子测量读数过程中产生的 i 角。电子视准轴是条码尺反射光线穿过物镜中心,再经过补偿器、分光棱镜传递后与图像传感器之间的连线。

光学 i 角与电子 i 角是通过两种不同的路径产生的,对于两者之间的相互影响关系通过试验数据分析

说明。利用天宝 Dini03 和徕卡 DNA03 进行实测,在室内通过检校装置将其光学 i 角分别调整为 $0''$ 、 $15''$ 、 $30''$,再通过室外检定费氏法分别测量其电子 i 角,每次观测 5 组数据取平均值,结果如表 1 所示。

表 1 不同型号仪器调整光学 i 角后电子 i 角的变化

仪器型号	光学 i 角/ $''$	视距/m	电子 i 角/ $''$
天宝 Dini03	0	29.89	1.40
	15	29.91	3.30
	30	29.91	3.44
徕卡 DNA03	0	29.81	2.95
	15	29.84	2.89
	30	29.84	10.83

从表 1 可以得出:两种不同型号的仪器随着光学 i 角的变化,电子 i 角也随着发生变化,但变化是不同步的。天宝 Dini03 电子 i 角变化较小,考虑可能是人为因素带来影响导致,可认为此系列的仪器电子 i 角不会随光学 i 角的改变而改变。对于徕卡 DNA03,光学 i 角在一定范围内改变时,电子 i 角不会随其改变发生变化,当超出一定范围时则会发生变化。所以徕卡 DNA 系列仪器电子 i 角会随着光学 i 角的改变而变化。综合各方面因素考虑,这种变化为不同仪器生产厂家对仪器内部结构设置不同所带来。

2.2 设置电子 i 角与剩余电子 i 角

每台新生产的数字水准仪在出厂之前,生产厂家都会通过专用设备对电子 i 角设置并存储。但在使用过程中会因各种原因造成其发生变化,为了减小这种变化带来的影响,仪器在进行每次测量任务之前都需要重新设置并存储电子 i 角,这一过程称为设置电子 i 角。设置电子 i 角是根据仪器内置程序引导进行的操作,相当于传统光学水准仪分划板的校正工作。在使用过程中,数字水准仪显示出来的值是经过设置的电子 i 角改正之后的值,称为剩余电子 i 角。所以,通常所说的电子 i 角即为剩余电子 i 角。

因为设置电子 i 角的方法与剩余电子 i 角的检定方法相一致,所以导致了人们对这两个概念的认识模糊不清,甚至混为一谈。实际上,这是通过两个不同方式进行的有顺序的不同步骤,先利用仪器内置程序进行设置并存储电子 i 角,再单独地进行剩余电子 i 角检定工作。除此之外,两者的限差要求也不相同。在进行电子 i 角的设置时,测出来的电子 i 角只要仪器能够存储即可(不同厂家、不同型号的仪器能够存储值

也不相同),但在剩余电子*i*角检定时需要满足JJG(测绘)2101—2013《数字水准仪检定规程》中的要求,即剩余电子*i*角值必须小于15″。

3 数字水准仪*i*角的检定方法及对比分析

3.1 光学*i*角的检定

3.1.1 建立水平基准

(1)按图2所示安置被检仪器。

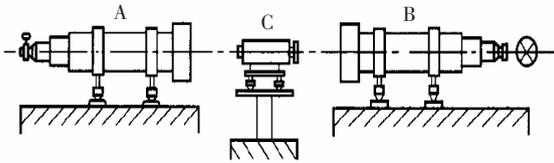


图2 建立水平基准示意图

(2)将A、B两平行光管物镜相对安置,其中A光管带测微器。调整A、B光管十字丝,使其大致重合。将一台精密水准仪被检仪器C整齐对径光管光路中,并分别照准两光管的十字丝分划板,使两光管的十字丝横丝与被检仪器C十字丝横丝吻合。并用A光管测微器照准被检仪器C的十字丝横丝,读数2次并取其平均值。

(3)取出被检仪器C,用A光管测微器照准B光管十字丝读数2次并取其平均值。按式(1)计算A、B光管的光轴平行度:

$$F = \frac{\bar{d}_1 + \bar{d}_2}{2} \quad (1)$$

式中: F 为A、B两光管的光轴平行度; \bar{d}_1 为A光管照准水准仪2次读数的平均值; \bar{d}_2 为A光管照准B光管2次读数的平均值。

(4)将A光管测微器调整到 F 位置,并将B光管的十字丝校正至A光管已调整的十字丝位置,如此反复调校,使 $F < 1''$ 即可。

3.1.2 光管法

将被检仪器安置于A、B光管光路中,精确整平被检仪器,用A光管测微器照准被检仪器的十字丝横丝并读数为 d_1 ,取下被检仪器,用A光管测微器照准B光管十字丝读数为 d_2 ,按式(2)计算光学*i*角:

$$i = d_1 - d_2 \quad (2)$$

观测3个测回,取平均值作为检定结果。

3.1.3 检定仪法

将被检仪器安置于水准仪检定仪上,将数字水准

仪检定仪的分划板调至无穷远位置,精确整平被检仪器,用被检仪器望远镜瞄准水准仪检定仪上的目标,检查被检仪器的十字丝是否与目标线重合,若不重合,打开被检仪器的调整护盖,使用专用工具进行调整使其重合。

3.2 剩余电子*i*角的检定

国内外数字水准仪剩余电子*i*角检定方法有室内法和室外法。目前,常用的数字水准仪检定方法是4种室外检定方法。

3.2.1 室外检定法

国内、外常用的数字水准仪室外检定方法有费氏法、李氏法、库氏法和日本法4种。各种方法操作流程基本一致,但对于测站位置和条码尺之间的距离要求各不相同。

(1) 费氏法

在一段距离长约45 m地点两端分别安置与被检仪器配套的条码尺A和B,然后分别在约15 m(1/3处)设置测站1、测站2。再依次对条码尺A、B进行读数,计算两条条码尺的高差和距离差得出剩余电子*i*角。如图3所示。

(2) 李氏法

在一段距离长约为15 m的地点两端分别安置与被检仪器配套的条码尺A和B,被检仪器则分别安置在两条条码尺的外边距离条码尺约为15 m处为测站1和测站2,然后进行测量读数,通过计算得出剩余电子*i*角。如图4所示。

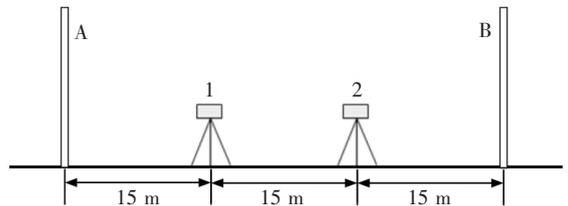


图3 费氏法

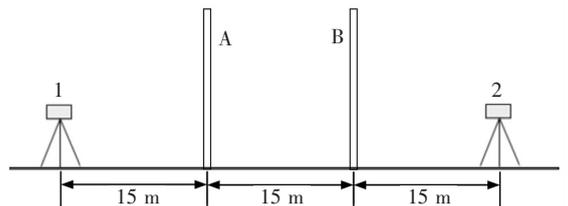


图4 李氏法

(3) 库氏法

在一段距离长约为20 m的地点两端分别安置与

被检仪器配套的条码尺 A 和 B。先将仪器安置在两条条码尺中间 10 m(约 1/2)处为测站 1, 分别对 A、B 条码尺进行测量读数; 再将仪器移动到两条条码尺延长线外约 20 m 处为测站 2, 分别观测条码尺 A、B, 然后计算高差和距离得出剩余电子 i 角。如图 5 所示。

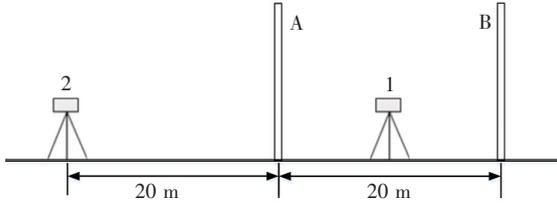


图 5 库氏法

(4) 日本法

在一段距离长约 30 m 地点两端分别安置与被检仪器配套的条码尺 A 和 B。先将被检仪器放置于两条条码尺 A、B 的中间 15 m 处(约 1/2)为测站 1, 进行观测读数; 再将仪器移动到条码尺 A 延长线外大约 3 m 处为测站 2, 进行测量读数, 然后通过计算得出剩余电子 i 角。如图 6 所示。

剩余电子 i 角计算公式为:

$$i = \arctan \left[\frac{(r_{1A} - r_{1B}) - (r_{2A} - r_{2B})}{(D_{1A} - D_{1B}) - (D_{2A} - D_{2B})} \right] \approx \frac{(r_{1A} - r_{1B}) - (r_{2A} - r_{2B})}{30} \times \rho \quad (3)$$

式中: r_{1A} 、 r_{1B} 、 r_{2A} 、 r_{2B} 为仪器测站 1、2 时对 A、B 条码尺的读数; $\rho = 206\ 265$; D_{1A} 、 D_{1B} 、 D_{2A} 、 D_{2B} 为仪器在测站 1、2 到条码尺 A、B 的距离。

但在采用室外的方法检定时, 存在许多缺陷与不足, 如: 需要宽阔的检定场地; 受环境气候条件、周围环境影响较大; 工作时需要多人配合, 工作量大; 人为因素引起的误差较大等, 所以室内检定法将是数字水准仪剩余电子 i 角检定工作研究的主要方向之一。

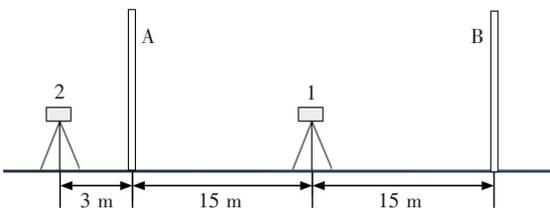


图 6 日本法

3.2.2 剩余电子 i 角常用室外检定方法分析比较

通过上述几种常用剩余电子 i 角室外检定方法的分析比较, 得出如下结论:

(1) 4 种检定方法测量原理相同。通过不同测站测得条码尺的视距和视线高, 然后计算得到高差, 进而求得电子 i 角。

(2) 测站之间的距离不同。两测站之间的距离越短, 换站时需要搬动仪器的距离越短, 则调焦距离变动较小, 对于测量结果影响也越小。

(3) 4 种方法都需 A、B 两条条码尺配合, 两条条码尺之间的距离不同; 除此之外, 也未曾考虑尺垫下沉对测量结果的影响。考虑到精密水准测量的相关规定及测量距离的限制等影响因素, 建议采用“后—前—前—后”的交替观测法以减小因条码尺下沉引起的误差。

4 种室外检定方法对比如表 2 所示。

表 2 4 种室外剩余电子 i 角检定方法对比

检定方法	参数	A、B 条码尺 距离/m	仪器移动 距离/m
费氏法	高差、视距	45	15
李氏法	高差、视距	15	45
库氏法	高差、视距	20	30
日本法	高差、视距	30	18

综合各方面影响因素和表 2 可知: 当采用费氏法测量时, 移动测站过程中被检仪器需要移动的距离最小; 换站时被检仪器在两条条码尺间移动; 调焦距离变动较小, 对测量结果的影响较小, 也最符合精密水准测量要求。

3.3 室内检定法

室内检定法采用室内专用检定装置来完成, 如图 7 所示。室内检定装置是利用两个平行光管对径安置, 将其目标分划板作为各类常用数字水准仪条码尺微缩影像的承载体, 配合二维微倾工作台, 构成一套室内检定系统来模拟室外作业, 检定操作流程与室外法相一致。

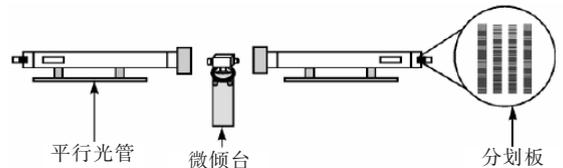


图 7 室内检定装置

相对于室外检定法, 室内检定法具有以下优势: ① 场地要求相对较低; ② 一个人即可独立完成检定工作, 减少了检定人员工作量; ③ 检定过程不需要移动被检仪器及条码尺, 检定工作不受时间限制; ④ 条码

尺固定不动,不存在人为因素影响,而且光照相对比较均匀,不存在折光差;⑤调焦成像质量相对比较理想;⑥地面震动可大大降低等。

但是因其设备结构复杂、装调难度大、加工生产成本高等因素,目前只有为数不多的检定机构采用这种方法进行检定工作,对于绝大多数检定机构,只能采用室内、室外相结合的分项检定模式进行检定工作。

4 结论与展望

通过对数字水准仪测量原理与仪器结构的论述,明确电子*i*角的设置与剩余电子*i*角的检定是通过不同通道进行的不同工作,并论述二者异同。利用试验数据分析得出,不同型号数字水准仪电子*i*角是否会随着光*i*角的变化而变化是由于不同生产厂家对仪器内部结构设置的不同引起的,对于有变化的仪器来说这种变化也是不同步的。在数字水准仪的检定过程中,建议采用“后—前—前—后”交替观测以减小因条码尺下沉引起的测量误差。对于4种室外法分析比较,费氏法最利于剩余电子*i*角的检定。

对比分析数字水准仪剩余电子*i*角检定方法,室内法相对于室外法来说有诸多优势,所以对于室内检定设备的研制和检定方法的改进将是数字水准仪检定工作未来的发展方向。

参考文献:

[1] 朱慧,李桢.数字水准仪检校方法及其存在问题研究[J].测绘技术装备,2013(4).

[2] 杨俊志,李恩宝,温殿忠,等.数字水准测量[M].北京:测绘出版社,2009.

[3] 李亚娟.数字水准仪*i*角的检校及问题探讨[J].计量技术,2018(1).

[4] 庞尚益,吴学文,杨坤,等.数字水准仪室内检定装置[J].测绘通报,2012(S1).

[5] 陆优.数字水准仪原理及检测方法的研究[D].武汉大学硕士学位论文,2004.

[6] 刘经南,叶晓明,杨蜀江,等.数字电子水准仪原理综述[J].电子测量与仪器学报,2009(7).

[7] 薛志宏.数字水准仪的原理、检定及应用研究[D].中国人民解放军信息工程大学硕士学位论文,2002.

[8] 刘群,张恒.数字水准仪测量系统及其精度评定[J].四川建筑,2009(2).

[9] 罗官德,任道胜,陈如丽,等.数字水准仪*i*角检校方法探

讨[J].测绘技术装备,2003(4).

[10] 江木春,卢中,袁锐.卫星遥感网络数据在公路地形测量中的应用[J].中外公路,2020(5).

[11] 阎锡臣.数字水准仪电子*i*角检定方法的研究[J].现代测绘,2013(1).

[12] Trimble Inc. Trimble Dini Level [EB/OL]. [2017-03-26]. <http://www.trimble.com/survey/Digital-Level.aspx>.

[13] Leica Geosystem AG. 徕卡 DNA03/DNA10 用户手册 [EB/OL]. [2017-03-26]. <http://www.leica-geosystems.com>.

[14] 岳龙.数字水准仪的基本测量原理与使用[J].测绘与空间地理信息,2014(4).

[15] JJG 425—2003 水准仪计量检定规程[S].

[16] 周波阳,李锦城,黎家州,等.采用平行光管检验校正台校正光学水准仪的*i*角[J].广东工业大学学报,2016(2).

[17] 杨俊志,张锐.数字水准仪测量系统及其检定方法和设备[J].中国计量,2009(3).

[18] 杨俊志.数字水准仪常规检测项目检定方法探讨[J].测绘通报,2000(11).

[19] CH/T 8019—2009 数字水准仪检定规程[S].

[20] 杨俊志,刘宗泉.数字水准仪的测量原理及其检定[M].北京:测绘出版社,2005.

[21] 杨鲜妮.电子水准仪*i*角误差野外校正方法[J].电子测量与仪器学报,2012(S1).

[22] 梁琦,贾真,吴媚,等.数字水准仪室内外检定方法的分析与比较[J].中国计量,2019(6).

[23] 王美婷.数字水准仪*i*角检定方法比较分析[J].计量与测试技术,2017(9).

[24] 易圣文,鄢丹,夏菁菁,等.从数字水准仪仪器构造探讨电子*i*角检定[J].江西测绘,2013(4).

[25] 陈海林.数字水准仪电子*i*角检定方法研究[J].中国计量,2018(5).

[26] 曾征.电子水准仪室内检定方法的研究[D].华南理工大学硕士学位论文,2012.

[27] 刘文军.电子水准仪综合检定方法的研究[D].解放军信息工程大学硕士学位论文,2004.

[28] ZHANG ZH Y. Principle and Characteristics of Digital Level and its Measurement Algorithm[J]. Dam&Safety, 2004(z1).

[29] 刘海波,李冀.数字水准仪室外检定及检定场建立[J].大地测量与地球动力学,2016(1).

[30] 路杰,付辉清,欧同庚,等.一种新型数字水准仪室内检定装置[J].大地测量与地球动力学,2007(6).