

数字式 i 角检测仪的研究

周绍光 熊仁生 吴圣雄

(中国科学院西安光机所, 西安 710068)

戈兆祥

(华东工业大学, 上海 200093)

摘要 首先对已有的不同 i 角检测方案进行了分析, 然后描述了数字式 i 角检测仪的原理, 同时说明了该仪器的调校和使用方法。最后, 对仪器的总体精度进行评估。

关键词: 角误差; 大地水准测量; 光学仪器

1 引言

i 角是指水准仪置平的情况下, 其望远镜视准轴与水准器轴线之间在铅垂面内的夹角。此误差的存在影响着水准测量的正确性; 而且, 校正好的水准仪使用一段时间后, i 角误差还可能会变化, 因而有必要定期检测水准仪的 i 角误差。

已提出的 i 角检测方案有好多种, 可以分成室内检验法和室外检验法两大类。

2 已有方案

室外检验法就是利用两根标尺及被检仪器在室外实测两点间的高差, 然后通过计算得出被检仪器的 i 角值。

室外检验法又可分为两类^[1]。第一类的原理是: 仪器距两标尺距离相等时, 所得高差不受 i 角误差影响, 而两距离不等时, 则所得高差受 i 角及两标尺距离之差的影响。这样, 只要将两次所得高差相减, 再除以不等距测量时到两标尺的距离差即可得 i 角的正切值。

第二类方法原理是: 仪器置于一标尺附近测得二点间高差, 如果 i 角误差使这一高差增大(减小), 则当仪器置于另一标尺附近时测得的高差肯定会因为 i 角的存在而减小(增大)。因此, 两次所得高差相减便得到两倍 i 角所造成的高差, 再除以两标尺间距离也可得到 $2i$ 的正切值。

室外法在测量工作者中使用较多,具有接近使用条件且无需专门设备的优点,但是,检测工作量大,效率低,而且受天气影响,结果精度不高。

室内检验法是在室内,得用一定的设备装置对水准仪进行检测。被检测仪器的 i 角值可直接读出,不用计算。已有的室内检验法中,有的为专业书里所描述,有的则纯属于检测者的经验,以下给以简介。

连通管法以连通管内的液面作为水平基准,将水准仪视准轴调至水平,从水准器上读出 i 角值。

自动安平水准仪法将 Wild 的 N2 水准仪目镜照明得到一条无穷远的水平基准,以此基准检测被检水准仪。

用高精度水准仪将水平光管校水平^[2],再用平行光管检定水准仪的 i 角是上述方法的变形。

垂线法在一根带有重锤的线上设置若干目标点,目标点与重锤之间装有一反射镜,镜面与垂线之间的夹角为 45° 。目标点通过反射镜所成的像形成一条水平基准,以此检验水准仪的 i 角。

吊镜法及铅垂镜法都试图将一镜面放置铅垂^[2],然后用自准目镜代替水准仪目镜进行检测。

前苏联的专业书籍中也曾介绍过两种方法^[3]。

第一种方法的关键在于一个转像棱镜的使用。包括转像棱镜在内的检测系统在使用时也必须放置水平。由被检仪器目镜照明发出的光束经反射镜后分成两部分:一部分经过转像棱镜,另一部分则不经过。假如被检仪器存在 i 角误差,那么,经过部分的水平丝主光线将向与 i 角相反的方向偏转同样角度。这样,水准仪的分划板刻线在系统视场中的像成为分开的两部分,两部分在垂直方向的偏差为 i 角的两倍。

前苏联的第二种方法是以水银面作为基准水平面兼作反射镜,将一准直仪放置水平,然而以此鉴定目镜照明的水准仪的 i 角。

以上所述各种室内检验方法都曾在实际中或试验性检测中被用过。由于都存在着一些缺点和不足,因而对 i 角检测一直没有找到一种方便又较精确的手段。

连通管法由于液体表面张力的作用,不会存在一个清晰可见的端面。对准精度较差。

自动安平类检测法都以高精度自动安平水准仪为基准,事实上,自动安平水准仪本身也存在 i 角误差。

吊镜法和铅垂镜法都存在着调校困难、操作麻烦的问题。

垂线法要求将平面反射镜吊成 45° ,这一点很难做到;再者,目标物设置粗糙,无法精确对准。

苏联方法一,仪器结构复杂,精度不是很高,难以推广使用。

方法二由于使用水银作为基准面及反射面,因此对仪使用环境要求特别高。

研制数字式 i 角检测仪^[4]的目的就是为了在保留室内检验优点的基础上,克服现有方法的缺点,提供一种操作简单、有足够精度的 i 角检测设备。在数字式 i 角检测仪的研制过程中,需要检校其自身的 i 角误差,因现有方法精度不高,且在此处应用不方便,为此,我们提出了一种既适用于数字式 i 角检测仪校正,又适用于水准仪 i 角检测的高精度双光管法。

3 双光管法^[4]

图 1 所示, 双光管法检测 i 角的步骤为:

(1) 水准仪置平后, 以光源进行目镜照明, 调整自准直光管 I, 使其分划线刻线与水准仪分划线刻线重合。

(2) 将水准仪转过 180° , 以同样的顺序将自准直平行光管 II 的视准线调整与水准仪视准线一致。

(3) 取下水准仪, 由光管 I 观测光管 II (或相反), 测出二者视准线在铅垂方向的夹角, 此角值为 $2i$ 。

这种方法原理简单, 设备通用性强, 最大的优点是稳定性好、精度

高。因为光管的无限远校准甚为方便, 而且分划线位置的上下、左右移动对检测结果都没什么影响, 对本方法影响最大的误差是目视瞄准误差。

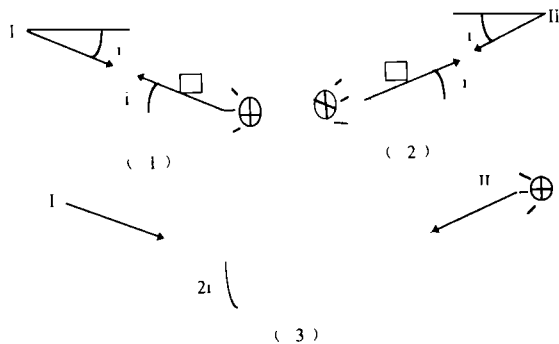


Fig. 1 The principle of the "double collimator" method

4 数字式 i 角检测仪的组成及工作原理

如图 2 所示, 数字式 i 角检测仪基本组成为: 电子水泡 (2) 固定于光管壁 (1) 上; 分划线 (4) 固定于内管 (6) 中; 内管 (6) 由两只穿越光管壁的螺钉 (3) 支撑前端, 后端则支承在作用于 O 位置的一对水平方向顶尖上。调节螺钉 (3), 可以使内管绕着 O 位置的顶尖轴小范围转动; 调节螺钉 (9) 通过套环 (10) 作用于光管一端, 调节 (9) 可使光管做俯仰运动; 光管的另一端通过弹簧片 (5) 连接着底座 (7); 底座 (7) 上有三只底脚螺钉 (8), 调整 (8) 可使整个装置粗置平。

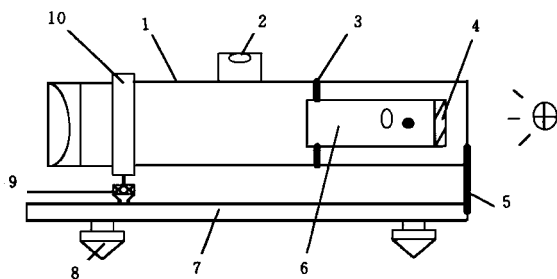


Fig. 2 The basic composition of the digital i -angle gauge

数字式 i 角检测仪的关键部件是电子水泡, 电子水泡可以精确地将物体偏离水平面的角度以电信号输出。当检测仪自身的 i 角误差消除时, 水泡示值即表示光管视准线与基准水平面之间的夹角。水准仪置平后, 通过目镜观察光管分划线像, 并调整螺钉 (9), 使得分划线刻线与水准仪刻线重合, 此时, 水准仪的 i 角同光管视准线偏离水平面的角度, 大小相等, 方向相反, 水泡读数值的相反数就是被检仪器的 i 角。调整显示电路则可直接读出 i 角值。

5 数字式 i 角检测仪的设计

由于制造、使用及平时的检校中,需要与具有不同分划板的仪器设备相匹配,它们的分划板刻线像宽各不相同,所以将检测仪的分划板设计成如图 3 所示的线纹。

中间的一根单线用以检测水准仪,刻制成虚线是为了提高对准精度(水准仪分划板通常如图 4 所示)。三对双线均关于单线对称,供不同的检校仪器使用,最窄的一对还可用以辅助水准仪目视瞄准。双线关于单线的对称关系保证了用任何一对双线检校好检测仪后,单线都可以作为检测的基准。在视场较小的情况下,单线和双线在水平方向的位置差不会造成测量结果的明显误差。

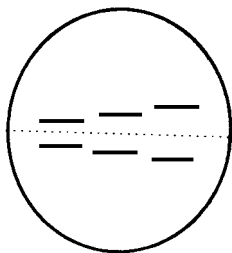


Fig. 3 The parallel line graticule of the digital i -angle gauge

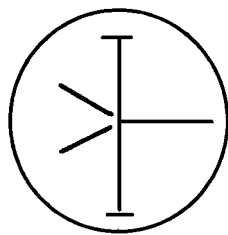


Fig. 4 The reticle of a level

数字式 i 角检测仪的检校过程中,最重要的工作是检校其自身的 i 角误差。检测仪自身 i 角是指显示值为 0 时,光管视准轴偏离水准面的角度。检测这个角度用两台平直仪按照双光管法进行操作,校正这个误差则靠调节分划板的上下位置来实现。光管的焦距为 550 mm,要能控制 1 的角度变化,必须能控制分划板 $2.2 \mu\text{m}$ 的位置移动,调校时还得反复进行多次,直接用细螺纹来实现进给很困难,为此,将分划板装入内管中,得用杠杆对位移的放大作用,实现分划板运动的微调。在图 2 中,分划板越是靠近 O 轴,螺钉(3)越是远离 O 轴,位移的放大作用就越明显,通过这一机构,可以精确地校正检测仪本身的 i 角。

最宽的双线为 0.20 mm,又因为物镜焦深较大,所以,不会因分划板没有严格垂直于视准轴而造成较大误差,或是影响装校。

检测仪所用电子线路是上海冶金所专利产品。光管由普通平行改制而成。底座、底脚螺钉以及弹簧片皆没有特殊要求。

连接光管套环与底座的调节螺钉是一个关键部件,因为它既是支承件,又是检测时用以对准的调节机构。

在靠近物镜一端的光管外装有套环,其周围分布着几个压紧螺钉小孔(图中未画出),正下方的大孔内嵌着带有螺纹的铜制衬套,调节螺钉旋进衬套,调节螺钉的锥形端支撑在底座上,施力点下安置一光洁度好、硬度高且耐磨的支承块。

6 装校和使用

数字式 i 角检测仪结构简单, 装校时主要得做好以下几点:

- (1) 分划板装入内管时, 使其刻线与顶尖轴线平行;
- (2) 以放置水平的水准仪为标准, 将光管刻划线调整水平, 调整时应转动整个光管;
- (3) 通过调节底脚螺钉, 利用一水准器将光管粗调平;
- (4) 装上电子水泡, 使水泡中心对称线与光管轴线同在一铅垂面内, 同时, 尽量使得水泡居中;

(5) 利用双光管法检测 i 角的步骤测定检测仪的 i 角, 通过调节内管的俯仰加以消除。仪器装校完毕, 便可投入使用。使用起来特别简单, 这也正是研制此仪器的一个重要原因。具体步骤为:

- (1) 被检水准仪置于检测仪前, 轴线大致同高;
- (2) 接通电源, 照亮检测仪的分划板;
- (3) 将水准仪整平, 对无穷远调焦, 左右微动望无镜, 找到检测仪分划板刻线象;
- (4) 转动调节螺钉, 使光管中的虚线像与水准仪的水平线严格重合, 此时显示的数值即为被检仪器的 i 角。

7 误差分析

在线路调试好以后, 电子水泡可以在 90° 的范围内, 很精确地得出倾角数值, 这里存在着 0.5 的量化误差。

i 角检测仪装校时已尽量使电子水泡的轴线与光管轴线一致, 实验证明: 在测量范围内, 残留的交叉角不会造成示值的误差。

瞄准精度决定了数字式 i 角检测仪自身的 i 角检校极限。水准仪瞄准光管分划板像的精度对测量结果有直接影响。

通常人眼直接观察时, 瞄准双线跨单线的极限精度为 5; 单实线重合对准方式, 极限精度为 60; 单实线与单虚线对准方式, 精度 20^[5]。现在, 采取单虚线对单实线方式, 且两边在双线作为辅助瞄准手段, 精度 20, 设 SI 水准仪的望远镜放大倍率为 40 倍, 则通过仪器的瞄准精度为 0.5。

数字式 i 角检测仪调校时, 利用的是两台焦距为 800 mm 的平直仪。这一数值远大于水准仪望远镜物镜焦距, 而且, 平直仪与检测仪的对准方式是严格的双线跨单线, 因此, 检测仪自身的 i 角误差完全可控制在于 1 之内。

综上所述, 数字式 i 角检测仪的总精度优于 1。

参 考 文 献

[1] 武汉测绘学院测量教研室. 测量学. 北京: 测绘出版社, 1979: 123 ~ 127

[2] 稽钧生等. 光学工具技术. 北京: 国防工业出版社, 1976: 307 ~ 309

- [3] [苏]切列米辛 M. C. 自动安平水准仪. 北京: 测绘出版社, 1952: 78 ~ 81
- [4] 周绍光. 数字式水准仪及数字式 i 角检测仪方案探讨. 上海机械学院申请硕士学位论文, 1991: 63 ~ 72
- [5] 王因明. 光学计量仪器设计(上册). 北京: 机械工业出版社, 1982, 81

Research on the Digital i-angle Gauge

Zhou shaoguang , Xiong Rensheng , Wu Shengxiong

(*Xi'an Institute of Optics and precision Mechanics, Academia Sinica, Xi'an 710068*)

Ge Zhaoxiang

(*Huadong University of Industry, Shanghai 200093*)

Abstract

First, different means for i-angle measurement are analyzed. Then, a new i-angle gauge principle is described. The adjustment and operation methods of the i-angle gauge are given. Finally, the overall accuracy of the gauge is evaluated.

Keywords: i-angle error , Geodesic levelling, Optical instruments

周绍光 男, 1966 年 1 月出生, 1991 年在上海机械学院获硕士学位, 1994 年开始进中科院西安光机所攻读博士学位。