



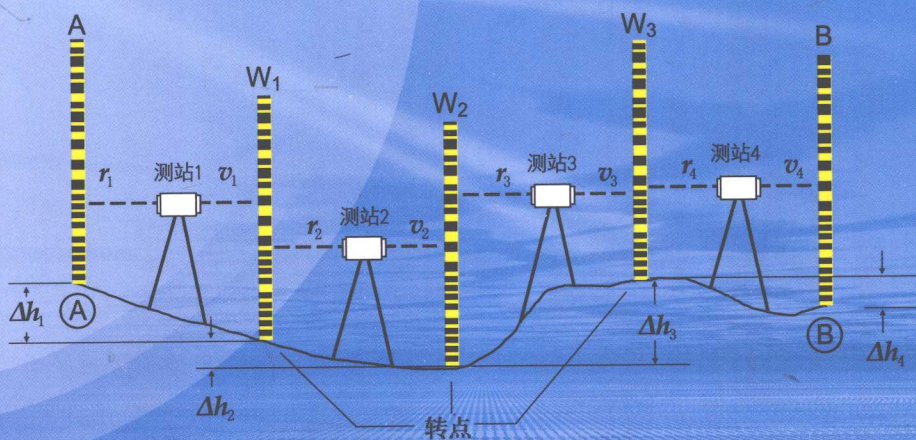
测绘科技专著出版基金资助

CEHUI KEJI ZHUANZHU CHUBAN JIJIN ZIZHU

DIGITAL LEVELING

# 数字水准测量

杨俊志 李恩宝 温殿忠 编著



测绘出版社

测绘科技专著出版基金资助

# 数字水准测量

DIGITAL LEVELING

杨俊志 李恩宝 温殿忠 编著

测绘出版社

· 北京 ·

## 内容简介

本书全面系统地介绍了近年来有关数字水准仪测量原理及其应用研究的最新进展,论述了数字水准仪特有的误差源及数字水准仪用于水准测量的注意事项。本书内容丰富、资料新颖,可以作为测绘人员进行数字水准测量的培训教材,也可以作为相关院校学生的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字水准测量/杨俊志,李恩宝,温殿忠编著. —北京:  
测绘出版社, 2009. 6  
ISBN 978-7-5030-1922-7

I. 数… II. ①杨…②李…③温… III. 数字式测量仪器:  
水准仪 IV. TH761

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 102056 号

责任编辑:杨蓬莲 责任校对:董玉珍 李 艳 封面设计:李 伟

出版发行 **测绘出版社**

社 址	北京西城区复外三里河路 50 号	邮政编码	100045
电 话	010-68531160 68512386	网 址	www.sinomaps.com
印 刷	北京建筑工业印刷厂	经 销	新华书店
成品规格	169mm×239mm	印 张	6.75
字 数	130 千字		
版 次	2009 年 6 月第 1 版	印 次	2009 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000	定 价	22.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1922-7/P·431

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

## 前 言

近年来,进口数字水准仪已经广泛地应用到生产实践中,国产数字水准仪也已经面市,数字水准仪必然会替代光学水准仪。数字水准仪是集光机电、图像处理及计算机技术为一体的高科技产品,普及数字水准仪知识是一项十分迫切的工作。

本书是作者在进一步研究数字水准仪测量原理并参阅国内外大量相关文献的基础上编写而成的。全书共分6章,第1章主要介绍数字水准仪及条码尺的发展现状,着重介绍涉及数字水准仪及水准尺检定的国外标准。第2章进一步研究了数字水准仪的测量原理并用国外条码尺的实际编码数据进行了验证,更正了现有文献中的谬误。第3章首先引述数字水准仪测量系统的各种误差源,然后介绍奥地利格拉茨大学 Woschitz 博士有关数字水准仪周期误差、条码尺图像缺陷引起的测量误差及条码尺检定等内容。第4章主要介绍数字水准测量过程中的各项误差源,包括仪器及水准尺的垂直运动、大气折光、地球曲率及仪器温度效应等误差源。第5章主要介绍数字水准测量前的准备工作以及实施要点。第6章介绍数字水准测量成果质量的评定方法。

本书第2章、第3章由杨俊志编写,第4章、第5章由李恩宝编写,第1章、第6章由温殿忠编写。作者共同探讨了全书的内容并相互审阅了对方所编写的内容。此外,杨俊志负责全书的统稿工作。

在编写过程中,我们特别参阅了德国《测绘通报》(《Allgemeine Vermessungs-Nachrichten》)2005年第6期“数字水准仪及水准尺检定”专刊、奥地利格拉茨大学 Woschitz 博士的博士论文《数字水准仪系统检定的设备、过程及结果》,这些文献为本书提供了编写素材,Woschitz 博士还为作者提供了清晰的缺陷条码图。在此,我们特地向本书所列参考文献的作者致以最诚挚的感谢。

限于作者的知识水平,本书没有涉及数字图像识别与处理技术,这也是数字水准仪研制中的技术难点之一,所幸的是有许多关于数字图像处理方面的图书,有兴趣的读者可以参阅相关书籍。

本书可供测绘仪器生产和使用等领域中的科技人员,相关院校的大、中专学生及本科生、研究生阅读和参考,也可作为科技人员进行数字水准测量培训的教材。

# 目 录

<b>第 1 章 绪 论</b> .....	(1)
§ 1.1 高程基准面 .....	(1)
§ 1.2 水准原点 .....	(2)
§ 1.3 水准测量方法与设备 .....	(3)
§ 1.4 数字水准仪的基本测量原理与发展现状 .....	(7)
§ 1.5 因瓦水准尺制造方法及发展现状 .....	(9)
§ 1.6 涉及水准仪测量系统的国外标准与规范.....	(11)
§ 1.7 常用高精度数字水准仪.....	(14)
<b>第 2 章 数字水准仪条码尺的编码原理与解码方法</b> .....	(16)
§ 2.1 数字水准仪条码尺的通用编码规则及解码方法.....	(16)
§ 2.2 徕卡 NA/DNA 系列数字水准仪条码尺的编码特点及解码方法 .....	(19)
§ 2.3 徕卡 SPRINTER 系列数字水准仪条码尺的编码特点及解码方法 .....	(26)
§ 2.4 蔡司(天宝)DiNi 系列数字水准仪条码尺的编码特点及解码方法 .....	(30)
§ 2.5 拓普康 DL 系列数字水准仪条码尺的编码特点 .....	(34)
§ 2.6 索佳 SDL 系列数字水准仪条码尺的编码特点及解码方法 .....	(37)
§ 2.7 国产数字水准仪的发展现状.....	(40)
<b>第 3 章 数字水准测量设备的检定</b> .....	(44)
§ 3.1 数字水准仪的误差源及检定项目.....	(44)
§ 3.2 数字水准仪测量系统的周期误差.....	(49)
§ 3.3 条码尺图像缺陷对测量成果的影响.....	(55)
§ 3.4 因瓦条码尺检定的若干问题.....	(60)
§ 3.5 因瓦条码尺比对检验结果的评价.....	(67)
<b>第 4 章 数字水准测量的误差源及消除方法</b> .....	(71)
§ 4.1 数字水准测量中的仪器误差.....	(71)

---

§ 4.2	水准尺的误差源·····	(73)
§ 4.3	测量过程中外界因素引起的误差源·····	(75)
§ 4.4	外界对数字水准测量的影响·····	(77)
§ 4.5	观测人员引起的误差·····	(79)
<b>第 5 章</b>	<b>数字水准测量计划与实施</b> ·····	<b>(81)</b>
§ 5.1	项目设计与技术方案的制定·····	(81)
§ 5.2	仪器法定检校与测量过程中的检测·····	(83)
§ 5.3	测量实施要点·····	(85)
§ 5.4	测量数据的自动记录与处理·····	(87)
§ 5.5	用数字水准仪进行跨河水准测量·····	(89)
<b>第 6 章</b>	<b>数字水准测量成果的精度评定及概算</b> ·····	<b>(93)</b>
§ 6.1	测站精度的评定方法及指标·····	(93)
§ 6.2	水准测量精度的评定方法与限差·····	(93)
§ 6.3	水准测量外业测量的记录、改正与概算 ·····	(95)
<b>参考文献</b>	·····	<b>(98)</b>

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	(1)
§ 1.1 National height datum .....	(1)
§ 1.2 Leveling origin .....	(2)
§ 1.3 Measurement methods and equipment for leveling .....	(3)
§ 1.4 Measuring principles and development status of digital level .....	(7)
§ 1.5 Manufacturing methods and development status of invar rod .....	(9)
§ 1.6 International standards and norms for leveling system .....	(11)
§ 1.7 Common precise digital levels .....	(14)
 <b>Chapter 2 Encoding and decoding methods for digital levels barcode staffs</b> .....	(16)
§ 2.1 General encoding rules and decoding methods for digital levels barcode staffs .....	(16)
§ 2.2 Encoding characteristics and decoding methods for Leica digital levels NA/DNA .....	(19)
§ 2.3 Encoding characteristics and decoding methods for Leica digital levels SPRINTER .....	(26)
§ 2.4 Encoding characteristics and decoding methods for digital levels Zeiss (Trimble).....	(30)
§ 2.5 Encoding characteristics for TOPCON DL series barcode staffs .....	(34)
§ 2.6 Encoding characteristics and decoding methods for digital levels SOKKIA SDL .....	(37)
§ 2.7 Development status of domestic digital levels .....	(40)
 <b>Chapter 3 Calibrations for digital leveling equipment</b> .....	(44)
§ 3.1 Error sources and calibration items for digital levels .....	(44)
§ 3.2 Cyclical errors in digital levels .....	(49)
§ 3.3 Influence of barcode staff graph defect to measurement results .....	(55)
§ 3.4 Calibration issues of invar barcode staffs .....	(60)
§ 3.5 Evaluation of results comparison of invar barcode staffs .....	(67)

---

<b>Chapter 4</b>	<b>Error sources in leveling and methods for error elimination</b>	(71)
§ 4.1	Instrument errors	(71)
§ 4.2	Errors related to the invar staff	(73)
§ 4.3	Errors due external factors in measurement process	(75)
§ 4.4	Effect of external cause to digital leveling	(77)
§ 4.5	Measuring errors caused by the observer	(79)
<b>Chapter 5</b>	<b>Planning and implementation of digital leveling</b>	(81)
§ 5.1	Project design and technical preparation	(81)
§ 5.2	Calibration prior to the measuring campaign and field tests	(83)
§ 5.3	Key points for digital leveling	(85)
§ 5.4	Automatic recording and processing of measuring data	(87)
§ 5.5	River-crossing digital leveling	(89)
<b>Chapter 6</b>	<b>Accuracy evaluation and preliminary calculation for digital leveling</b>	(93)
§ 6.1	Evaluation method and specifications for station accuracy	(93)
§ 6.2	Evaluation methods and tolerances for leveling accuracy	(93)
§ 6.3	Records, corrections and preliminary calculation for field data in digital leveling	(95)
<b>References</b>		(98)



# 第1章 绪论

为统一全国的高程,必须建立一个统一的高程基准面。这个基准面是以某地海平面的平均值为起算面,向内陆其他地方延伸构成的国家高程起算面,该高程面称为大地水准面。用精密水准测量的方法将这个起算面联测到陆地上预先设置好的一个固定点,定出这个点的高程作为全国水准测量的起算高程,这个固定点称为水准原点。

## § 1.1 高程基准面

高程基准面作为地面点高程的统一起算面,通常是指大地水准面所形成的体形,它是与整个地球最为接近的体形。

在一般情况下,大地水准面是假想海洋处于完全静止的平衡状态时的海水面延伸到大陆地面以下所形成的闭合曲面。事实上,海洋受着潮汐、风力的影响,永远不会处于完全静止的平衡状态,总是存在着不断的升降运动。通过在海洋近岸的一点处竖立水位标尺,长期地观测海水面的水位升降,根据这些连续的观测结果可以求出该点处海水面的平均位置,人们假定大地水准面就是通过这点处实测的平均海水面。图 1.1 为大地水准面的示意图。

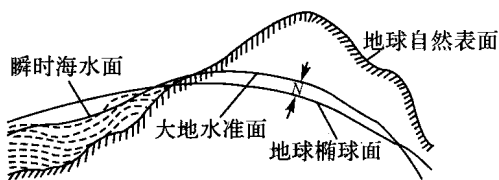


图 1.1 大地水准面示意图(国家测绘局国土司, 2007)

长期观测海水面水位升降的工作称为验潮,进行这项工作的场所称为验潮站。图 1.2 为验潮站与高程系统图。

各地的验潮结果表明,不同地点平均海水面之间还存在着差异。因此,对于一个国家来说,只能根据一个验潮站所求得平均海水面作为全国高程的统一起算面——高程基准面。

1956年,根据我国当时基本验潮站所具备的条件,选定我国海岸线中部的青岛验潮站作为我国基本验潮站,验潮井建在地质结构稳定的花岗石基岩上,以该站1950年至1956年7年间的潮汐资料推求的平均海水面作为我国的高程基准面。

以此高程基准面作为我国统一起算面的高程系统,名谓“1956年黄海高程系统”。

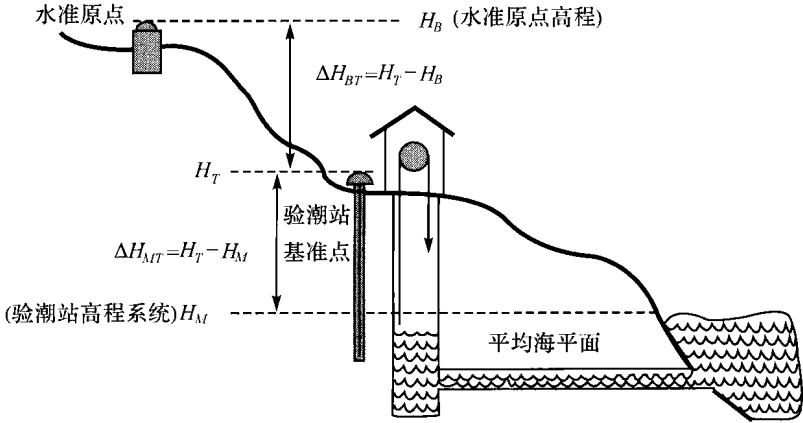


图 1.2 验潮站与高程系统图(王奕婷,2002)

“1956年黄海高程系统”的高程基准面的确立,对统一全国高程有其重要的历史意义,对国防和经济建设、科学研究等方面都起了重要的作用。但从潮汐变化周期来看,确立“1956年黄海高程系统”的平均海水面所采用的验潮资料时间较短,还不到潮汐变化的1个周期(1个周期一般为18.61年);同时,又发现验潮资料中含有粗差,因此有必要重新确定新的国家高程基准。

新的国家高程基准面是根据青岛验潮站1952年至1979年19年间的验潮资料计算确定的,以这个高程基准面作为全国高程的统一起算面,称为“1985国家高程基准”(孔祥元等,2003)。

## § 1.2 水准原点

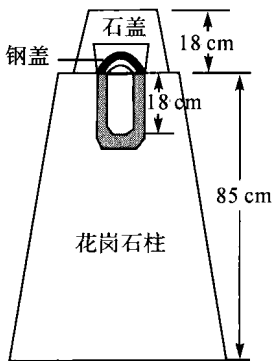


图 1.3 水准原点(孔祥元等,2003)

为了长期、牢固地表示出高程基准面的位置,作为传递高程的起算点,必须建立稳固的水准原点,用精密水准测量方法将它与验潮站的水准标尺进行联测,以高程基准面为“零”推求水准原点的高程,再以此高程作为全国各地推算高程的依据。在“1985国家高程基准”系统中,我国水准原点的高程为72.260 m。

我国的水准原点网建于青岛附近,水准原点的标石构造如图1.3所示。“1985国家高程基准”已经国家批准,并从1988年1月1日开始启用,以后凡涉及高程基准时,一律由原来的“1956年黄海高

程系统”改用“1985 国家高程基准”。由于新布测的国家一等水准网点是以“1985 国家高程基准”起算的,因此,以后凡进行各等级水准测量、三角高程测量以及各种工程测量,尽可能与新布测的国家一等水准网点联测,即使用国家一等水准测量成果作为传算高程的起算值。如不便于联测时,可在“1956 年黄海高程系统”的高程值上改正一固定数值,得到以“1985 国家高程基准”为准的高程值。

必须指出,我国在 1949 年以前曾采用过以不同地点的平均海面作为高程基准面。由于高程基准面的不统一,使高程比较混乱,因此在使用过去旧有的高程资料时,应弄清楚当时采用的是以什么地点的平均海面作为高程基准面(孔祥元等, 2003)。

## § 1.3 水准测量方法与设备

### 1.3.1 高程传递方法

在测绘生产实践中,可以采用三角高程测量、几何水准测量、GPS 高程测量、流体静力水准测量及气压测量等来确定目标点的高程,其中几何水准测量精度最高,可以满足国家高程控制网和工程测量高程控制网的精度要求。几何水准测量是目前进行高精度水准测量的唯一方法。

几何水准测量的原理如图 1.4 所示。由水准仪提供一条水平视线,采用一定的技术手段读出水平视线与前后两水准尺相交处的读数,则 A 标志点至 B 标志点之间的高差  $\Delta h_A^B$  可由后视水准尺的读数  $r$  和前视水准尺的读数  $v$  求得

$$\Delta h_A^B = r - v \quad (1-1)$$

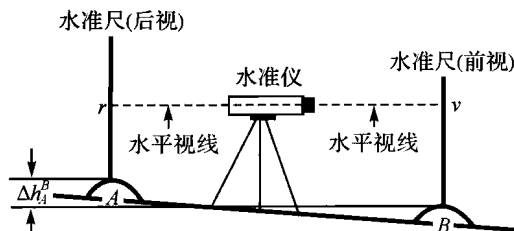


图 1.4 单站几何水准测量原理

如图 1.5 所示,如果 A, B 两标志点之间经过  $N$  个测站,则 A, B 两标志点之间的高差为

$$\Delta h_A^B = \sum_{i=1}^N \Delta h_i = \sum_{i=1}^N (r_i - v_i) \quad (1-2)$$

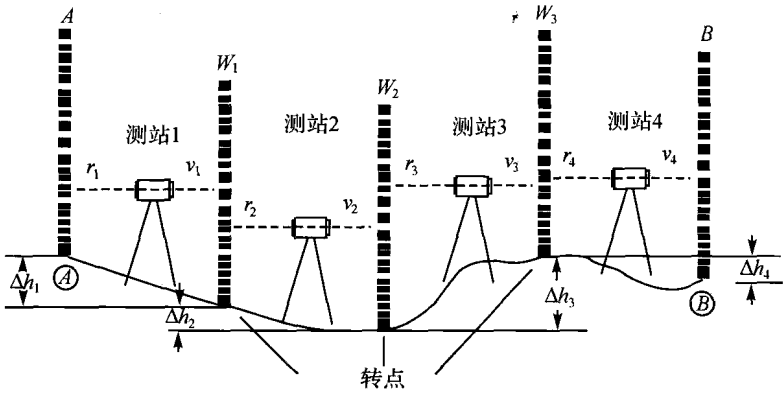


图 1.5 线路几何水准测量原理

### 1.3.2 精密几何水准测量的设备

#### 1. 水准仪

水准仪主要由测量望远镜、圆水准器、长水准器(或补偿器)及脚螺旋组成。利用水准器(或补偿器)可以将测量望远镜的视准轴安置到水平位置,按望远镜视准轴的置平方式,可以将水准仪分为气泡式水准仪和自动安平(或补偿式)水准仪;按读取水准尺的方式,可以将水准仪分为模拟水准仪(包括气泡式水准仪和自动安平水准仪)和数字水准仪。

##### (1) 气泡式水准仪

气泡式水准仪是借助圆水准器将仪器粗置平后,用水准器将望远镜视准轴置平。气泡式水准仪的原理如图 1.6 所示。

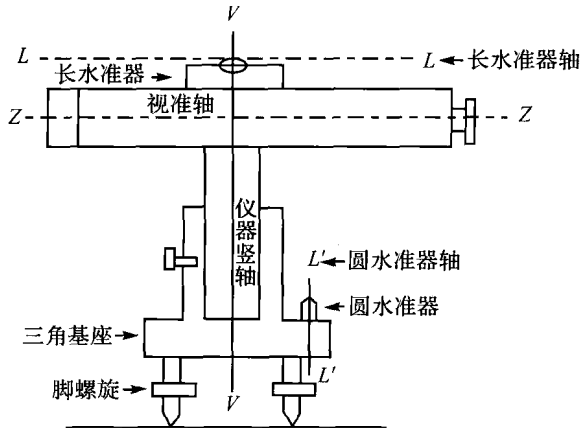


图 1.6 气泡式水准仪原理

气泡式水准仪需要满足 3 个条件:① 圆水准器轴  $L'L'$  平行于仪器竖轴  $VV$ ; ② 长水准器处于水平位置时,十字丝的水平丝处于水平位置;③ 垂直于水准器轴  $LL$  的铅垂面与垂直于望远镜视准轴  $ZZ$  的铅垂面平行,即长水准器轴  $LL$  与望远镜视准轴  $ZZ$  不仅在垂直面内的投影平行以消除  $i$  角误差,而且在水平面内的投影也平行以消除交叉误差。

在上述 3 个条件中,长水准器轴  $LL$  与望远镜视准轴  $ZZ$  平行这个条件最重要,是进行正确水准测量的前提。

### (2) 自动安平水准仪

在水准仪望远镜的光学系统中加入具有自动补偿功能的光机装置,替代水准器直接获得水平视线,其原理如图 1.7 所示。

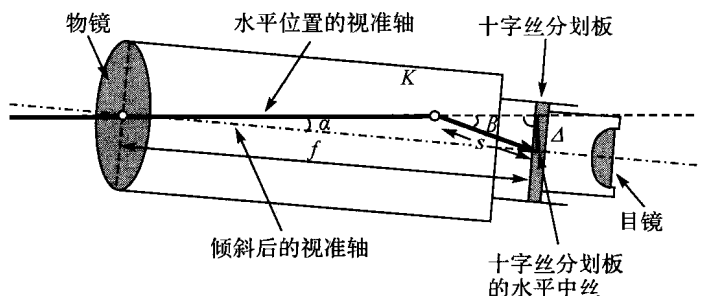


图 1.7 自动安平水准仪原理

与气泡式水准仪相比,自动安平水准仪具有 3 个优点:① 提高工作效率 30% 至 40%;② 提高测量精度;③ 减小测量误差。

在自动安平水准仪中,补偿器为水准仪的核心部件,通常由安装在望远镜上的固定件(棱镜、反射镜)、在重力作用下的摆动件(棱镜、反射镜)、使摆动件快速静止的阻尼器(空气阻尼器、磁阻尼器)组成。自动安平水准仪的精度主要与补偿器的性能(即补偿器的安平精度)和望远镜的放大倍率有关。

### (3) 数字水准仪

数字水准仪是在自动安平水准仪中增加分光棱镜、图像传感器、计算机及数据处理软件。利用图像传感器获取的条码尺的一段图像,经过计算机处理后,获取视线高及视距。

数字水准仪测量原理见后续章节。

## 2. 补偿器

补偿器的原理为:当水准仪的望远镜倾斜时,补偿器的摆动部分进行了相应的摆动,经过补偿器的视准轴发生偏折到达十字丝中心,使得在十字丝中心的读数就是水平视线上水准尺的读数,从而达到自动安平水准仪视准轴的目的(见图 1.7)。

假定光线屈折点  $K$  与十字丝中心点之间的距离(称为屈折距离)为  $s$ ;  $\alpha$  为仪

器相对于水平线的倾角; $\beta$ 为水平光线在  $K$  点的屈折角; $\Delta$ 为在十字丝分划板上需要补偿的线性量,则有

$$\Delta = s \cdot \sin \beta = f \cdot \sin \alpha \quad (1-3)$$

由于  $\alpha$  及  $\beta$  均为微小量,则有  $\alpha \approx \sin \alpha, \beta \approx \sin \beta$ ,由式(1-3)可以计算出补偿系数  $n$ (大部分情况下  $n$  为 2~10)

$$n = \frac{f}{s} = \frac{\beta}{\alpha} \quad (1-4)$$

对于某种仪器而言, $n$ 为常数,这样才能保证对于不同的  $\alpha$  角都能够进行补偿。虽然在不同型号的自动安平水准仪上补偿器的结构形式不一样,但其效果是一样的。自动安平水准仪也需要满足以下条件:

- (1) 圆水准器轴  $L'L'$  平行于仪器竖轴  $VV$ ;
- (2) 圆水准器居中时,十字丝的水平丝处于水平位置;
- (3) 在补偿器的补偿范围内,仪器视准轴  $ZZ$  始终处于水平位置。

在上述 3 个条件中,望远镜视准轴  $ZZ$  始终处于水平位置最为重要,是进行正确水准测量的前提。

### 3. 水准尺

水准尺是国家长度标准的载体,它是将一系列的标志线刻划(或喷涂)到一载体上。按载体的材质,可以将水准尺分为木质尺、铝合金尺及因瓦尺;按分划线的形式,水准尺可以分为  $E$  分划、行列式分划、双排等间隔分划、条形码分划,如图 1.8 所示。

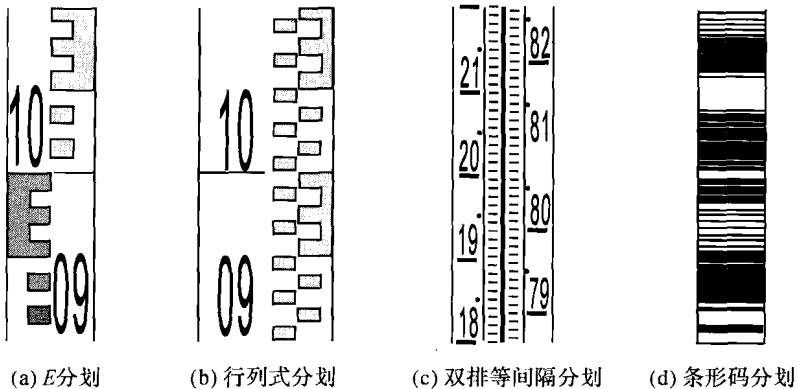


图 1.8 不同分划线的水准尺

不同等级的水准测量要求使用不同的水准尺。精密水准测量需使用因瓦尺等特殊水准尺,数字水准仪则需要使用与数据处理软件相匹配的条码尺。

### 4. 三脚架

三脚架用来安置水准仪,要求在水准测量过程中稳定。高等级水准测量必须

采用固定腿长式三脚架。

#### 5. 尺垫

用来支撑转点上的水准尺。一般情况下, I, II 等水准测量必须使用 5 kg 以上的尺垫。

#### 6. 支架

用来支撑水准尺。一方面使水准尺在测量过程中保持圆水准器居中;另一方面使水准尺保持不动。

#### 7. 测尺

用来测量水准仪至水准尺间的距离。主要为 I, II 等水准测量提供仪器站点和立尺点的位置,以保持水准测量中的前后视距差之和满足规范要求。

### § 1.4 数字水准仪的基本测量原理与发展现状

市场上常见的数字水准仪基本都是国外测绘仪器主要生产厂提供的,在仪器构造和数据处理等方面存在一定的差异,但就其测量原理和基本构造而言是具有共性的。

数字水准仪测量系统均由主机、条码尺及数据处理软件 3 大部分组成,如图 1.9 所示。其中条码尺由宽度相等或不等的黑白(黄)条码按某种编码规则进行有序排列而成;主机则是在自动安平水准仪的基础上发展起来的,它由望远镜物镜系统、补偿器、分光棱镜、目镜系统、图像传感器、计算机、键盘等组成;数据处理软件对图像传感器获取的图像进行处理,获得视距及视线高。数据处理软件及与数字水准仪相配套的条码尺的编码方法构成了国外几种数字水准仪技术的核心,其中条码尺的编码方法被列入仪器生产厂家的专利保护条款。

从图 1.9 可以看出:数字水准仪条码尺的一段图像经过望远镜后传输到图像传感器,计算机对该图像段图像进行处理后,得到仪器视准轴在条码尺上的位置及条码尺距仪器的视距。只有条码段具有唯一性,才能获得唯一的视线高,因此条码段具有唯一性是数字水准仪进行正确测量的最基本条件。

要达到视线高具有唯一性的目标,仪器在测量范围(视距一般为 1.5~100 m,视线高为 3 m 或 5 m)上获取的任意一段图像与其他相同长度的图像段互不相同。由于在 1.5~100 m 的视距范围内,图像传感器接收到的条码图像变化达几十倍,这就要求在对条码尺编码时做到:① 条码要足够宽,使得仪器在远视距测量时,仪器能够区分不同的条码;② 条码的种类要多,仪器在短视距测量时,最小条码段图像变化足够多,使得仪器能够区分出条码尺的不同位置。实际上这是一对相互矛盾的条件:在仪器视场一定的条件下,条码宽度越宽,条码的种类越少,就越难解决近视距时测量值的多值性问题;条码宽度越窄,远视距时则越难区分不同的条码。

在对数字水准仪条码尺进行编码时,除了要综合考虑这些条件外,还需要考虑标尺正置和倒置的问题并与其他厂家相区别。

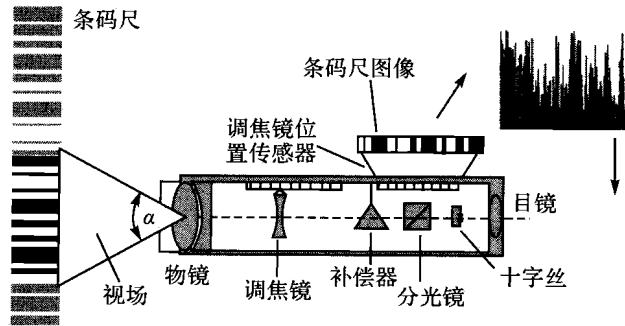


图 1.9 数字水准仪测量系统的测量原理

从数字水准仪的测量原理可以看出:图像传感器在获取条码尺的一段图像后,依据厂家设定的数据处理方法对测量信号进行处理。在进行信号处理时,仪器必须能够自动识别出其配套的条码尺,识别的依据是将图像传感器获取的条码的特征值与仪器内部存储的参考信号的特征值进行比较,只有二者达到一致时,仪器才能够显示正确的测量结果,否则显示“不能够进行测量”等错误信息。

一种条码尺区别于它种条码尺的根本点在于各种条码尺具有不同的特征值,条码尺的特征值包括相邻黑条码中心的间隔、相邻白(黄)条码中心的间隔、相邻黑条码与白(黄)条码宽度之比、多个相邻条码的组合等特征值。由于条码尺的条码在图像传感器上的影像的大小随视距而变,因此条码尺上单个条码本身的宽度对于数据处理的意义不大。在不考虑望远镜镜头畸变等引起条码变形因素的情况下,图像传感器所接收到的条码的图像所形成的特征值与条码尺本身条码的特征值相同,因此对条码尺条码的图像的处理等价于对条码尺本身条码的处理。

在已面市的几种数字水准仪中,由于每种型号的仪器仅存储了与该种型号仪器相对应的条码尺的特征值作为参考信号,因此每种仪器仅能够识别与其配套的条码尺。如果某种图像处理软件包含了所有条码尺的特征值,则该软件就可以对所有的条码尺的图像进行处理。奥地利格拉茨大学的 Woschitz 博士 2003 年研发的数字水准仪模拟机,就可以读取不同类型的条码尺。

20 世纪 90 年代初,人们对数字水准仪的测量原理认识不足,致使需要在第一代水准仪上增加调焦镜位置传感器。必须用调焦镜位置传感器确定视距的大小,才能够快速计算出测量结果,否则需要在整个视距范围和整个标尺范围内进行相关运算,这将会消耗大量的计算时间。随着人们对数字水准仪测量原理的进一步认识,即采用条码尺的条码本身及其在图像传感器上影像之间的相互关系确定视距,取消了调焦镜位置传感器。



国外的仪器生产厂家一方面继续改进仪器的光机结构,使仪器的光机性能更加稳定。另一方面优化图像数据处理软件,消除原软件的不足,使仪器的抗干扰能力更强,更适合在恶劣环境下使用。采取这些综合措施后,数字水准仪的性能更加稳定。目前瑞士徕卡公司、美国天宝公司(德国蔡司公司)、日本托普康公司和日本索佳公司也通过优化图像处理软件,分别推出了第二代产品 DNA 系列和 SPRINTER 系列、DNi12、DL101C/DL102C 和 SDL30。

虽然徕卡公司 DNA 系列属于第二代数字水准仪,但它仍然采用徕卡公司最初的条码尺,在主机上仍然设置有调焦镜位置传感器。徕卡公司的 SPRINTER 系列数字水准仪采用了新的编码方法,不需要调焦镜位置传感器确定调焦镜的位置来进行视距计算。

最初应用到仪器上的图像传感器均是线阵 CCD 传感器,随着图像传感器技术的进步,SPRINTER 系列数字水准仪已经采用了 CMOS 传感器,CMOS 对图像的感应速度远高于 CCD 且价格低廉,但过去 CMOS 的分辨率低于 CCD,因而限制了 CMOS 传感器件的应用,如今 CMOS 的分辨率也大为改观,已不逊于 CCD 器件,应用领域得到很大拓展,相信会有更多的数字水准仪厂家把目光投向 CMOS 器件。

为发展国产数字水准仪,我国许多科技人员自 1990 年起就开始对数字水准仪测量系统的相关问题进行过研究。特别是近年来,国内有关单位不仅在条码尺的编码原理研究方面取得了进展,而且在产品的制造方面也取得了长足的进展。目前已有西安三科数码有限责任公司、北京博飞仪器股份有限公司、苏州一光仪器有限公司、南方测绘仪器有限公司等生产出了数字水准仪。同时还有浙江宁波舜宇集团、西安利达光电仪器有限公司等单位也正在研发数字水准仪。可以预计在不久的将来,国产数字水准仪必将取代光学水准仪并占领市场。

## § 1.5 因瓦水准尺制造方法及发展现状

因瓦水准尺是传递高精度长度标准的标准尺,其量值必须准确并能够溯源到国家基准。为使因瓦水准尺的分划线精确,人们发明过多种制造方法。

### 1.5.1 模板喷涂法

首先加工一高精度的模板,该模板长度有 0.5 m,1.0 m 和 3.0 m 三种。将模板与涂有白色底漆的因瓦带叠合,二者均以一定的拉力引张,然后喷涂黑漆,这样就制成带有分划的因瓦带。当采用 0.5 m 或 1.0 m 模板时,在拼接处出现不连续现象,且分划线中存在周期性变化的分划误差(张君等,1999)。