

科技专著出版基金资助

数字水准仪的测量 原理及其检定

THE PRINCIPLE AND CALIBRATION FOR
DIGITAL LEVEL

杨俊志 著
刘宗泉

1932

测绘出版社

TM932

14

2005

数字水准仪的测量原理及其检定

The Principle & Calibration for Digital Level

杨俊志 刘宗泉 著

测绘出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了数字水准仪的测量原理,论述了数字水准仪条码尺条码的编码原理及解码方法,介绍了数字水准仪测量系统的误差源、检定设备及检定方法。本书内容丰富、资料新颖,可以满足测绘仪器及计量仪器生产、使用和检定等领域中的科技人员,相关院校的大、中专学生及研究生的需要。

©杨俊志 刘宗泉 2005

图书在版编目(CIP)数据

数字水准仪的测量原理及其检定/杨俊志,刘宗泉著.
北京:测绘出版社,2005.4
ISBN 7-5030-1255-2

I. 数... II. ①杨...②刘... III. ①数字式测量
仪器:水准仪—测量②数字式测量仪器:水准仪—检定
IV. TH761

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 007645 号

数字水准仪的测量原理及其检定

杨俊志 刘宗泉 著

测绘出版社出版发行

地址:北京市西城区复外三里河路 50 号 邮编:100045

电话:(010)68512386 68531558 网址:www.sinomaps.com

三河市艺苑印刷厂印刷 新华书店经销

开本:890mm×1240mm 1/32 印张:3.875 字数:104 千字

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

印数:0001—2000 册

ISBN 7-5030-1255-2/P·400

定价:11.00 元

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

前 言

数字水准仪是 20 世纪 90 年代发展起来的现代测绘仪器,它集光机电、计算机和图像处理等高新技术为一体,是现代科技最新发展的结晶,代表了测绘仪器的发展方向之一。

本书是在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撰写而成的。由于数字水准仪条码尺的编码原理涉及许多专利技术,若有意实施书中涉及的内容时,应获得专利权所有人的许可。全书共分 3 章,第 1 章主要介绍数字水准仪的发展历史及检定情况。第 2 章主要介绍数字水准仪的测量原理,并给出了多种数字水准仪条码尺条码的编码原理及解码方法。第 3 章主要介绍数字水准仪的检定设备及检定方法。第 2 章的内容,除 § 2.4 和 § 2.5 参考了日本拓普康公司和日本索佳公司的专利申请说明书外,其余内容均为笔者的研究结果。第 1 章和第 3 章的内容是参考有关文献并根据本人的研究成果撰写的。第 3 章中有关数字水准仪的误差分类,直接采纳了澳大利亚新南威尔士大学 Rüeger 博士的分类方法。第 3 章中数字水准仪的系统精度检定部分介绍了两种检定方法:野外检定法以澳大利亚西澳大利亚州土地局所建数字水准仪检定场为例;室内检定法以奥地利格拉茨大学的检定设备为例。第 3 章中数字水准仪系统精度检定设备及检定结果的不确定度的评定,选用了奥地利格拉茨大学 Woschitz 博士和芬兰大地测量研究所 Takalo 博士论文中的数据。

限于笔者的知识水平,本书没有涉及数字水准仪中的其他内容,如 CCD 传感器技术、计算机技术和图像处理技术等,有兴趣的读者可以参阅相关书籍。

本书可供测绘仪器及计量仪器生产、使用和检定等领域中的科技人员;相关院校的大、中专学生及研究生阅读和参考。

本书完成之际,特别感谢本书所列参考文献的作者,是他们的研

究成果给予了笔者极大的启迪和帮助。

由于数字水准仪所涉及的知识面较宽,书中错误及不妥在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2004 年 12 月

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
§ 1.1 数字水准仪的发展简史	(1)
§ 1.2 水准尺检定的历程及现状	(3)
§ 1.3 国内外数字水准仪的检定情况	(5)
§ 1.4 关于测量仪器精度表达问题	(7)
1.4.1 测量仪器的准确度与精(密)度的定义	(7)
1.4.2 测量仪器精度的计算方法	(8)
第 2 章 数字水准仪的测量原理与特点	(11)
§ 2.1 数字水准仪的基本部件	(11)
§ 2.2 徕卡数字水准仪的编码原理及解码方法	(13)
2.2.1 编码原理	(13)
2.2.2 解码方法	(18)
§ 2.3 蔡司(天宝)数字水准仪的编码原理及解码方法	(22)
2.3.1 编码原理	(22)
2.3.2 解码方法	(26)
§ 2.4 拓普康数字水准仪的编码原理及解码方法	(28)
2.4.1 编码原理	(28)
2.4.2 解码方法	(29)
§ 2.5 索佳数字水准仪的编码原理及解码方法	(32)
2.5.1 编码原理	(32)
2.5.2 解码方法	(32)
§ 2.6 数字水准仪的通用编码原理及解码方法	(34)
2.6.1 通用编码原理	(35)
2.6.2 编码实例	(38)
2.6.3 解码方法	(43)
§ 2.7 数字/光学一体化水准仪的通用编码原理及解码方法	(44)

2.7.1	方法1——位置相位法	(45)
2.7.2	方法2——位置码	(50)
§ 2.8	数字水准仪测量系统中几个问题的讨论	(53)
2.8.1	条码的遮挡	(53)
2.8.2	标尺的倒置	(55)
2.8.3	视距的测量问题	(56)
2.8.4	调焦不清晰的问题	(57)
2.8.5	测量精度估计	(59)
2.8.6	望远镜视准轴位于标尺顶部或底部	(60)
§ 2.9	常用精密数字水准仪的指标及特点	(61)
2.9.1	常用数字水准仪的指标	(61)
2.9.2	数字水准仪的特点	(62)
2.9.3	数字水准仪与光学水准仪的主要区别	(65)
第3章	数字水准仪的误差源及检定方法	(67)
§ 3.1	数字水准仪的误差源及检定项目	(67)
3.1.1	数字水准仪的误差源	(67)
3.1.2	数字水准仪的系统精度	(73)
3.1.3	数字水准仪的检定项目	(73)
§ 3.2	数字水准仪的常规检定项目及方法	(77)
3.2.1	数字水准仪 i 角检定与校正	(78)
3.2.2	数字水准仪鉴别力的检定	(85)
3.2.3	CCD 传感器位置正确性的检定	(88)
3.2.4	条码尺调焦不清对测量结果的影响	(89)
3.2.5	条码尺亮度对测量结果的影响	(90)
3.2.6	1 千米往返测高差标准差	(91)
§ 3.3	数字水准仪系统精度检定	(95)
3.3.1	系统精度检定的定义	(95)
3.3.2	数字水准仪测量系统精度检定的重要性	(95)
3.3.3	数字水准仪测量系统精度检定的方法与设备	(96)
参考文献		(115)

于补偿调焦变化引起的标尺图像大小的变化。但由于当时缺乏合适的电子器件,这种方案没有得到进一步发展(Zetsche,1966)。

前民主德国蔡司公司采用了另外一种自动化读数方式,他们在 RENI002A 精密光学水准仪上安装线阵 CCD 传感器,用于取代原光学测微器,从而实现测微器读数的自动化。在人工读出标尺的粗读数后,可以将精、粗读数一并存入仪器的存储器。但由于这种水准仪还需要输入标尺的粗读数,没有实现真正自动化读数。

1987 年 Schmid 博士在他的硕士论文中提出了一种新的数字水准仪测量原理,但由于该方法需要复杂的光学系统,其样机的测量范围仅为 20~30m。

1990 年 3 月瑞士徕卡(Leica)公司推出了世界上第一台数字水准仪 NA 2000,它是由 Gachter,Muller 等人组成的研究组研制成功的。他们在 NA 2000 上首次采用图像处理技术来处理标尺的影像,并以行阵传感器取代测量员的肉眼进行读数。这种传感器可以识别水准标尺上的条码分划,并用相关技术处理仪器的测量信号,自动显示与记录视线高读数和视距,从而实现观测自动化,攻克了大地测量仪器中水准仪数字化读数的最后一道难关。应该说,从 1990 年起,大地测量仪器已经完成了从精密光机仪器向光机电测一体化的高新技术产品的过渡。由于数字水准仪测量速度快、读数不受人工干扰、能够大大减轻作业人员的工作强度和作业人员的数量,又具有测量精度高、可以自动测量、自动存储和处理测量数据等显著优点,因此,数字水准仪代表了水准仪的发展方向,是现代化和信息化测量最有力的助手,成为测绘仪器生产厂家竞相开发的高科技产品(薛志宏,2001)。

到 1994 年,德国蔡司公司、日本拓普康公司也相继研制成功了拥有自主知识产权的数字水准仪产品。1998 年,日本索佳公司也开发了拥有自主知识产权的数字水准仪,这样就形成了目前测绘仪器市场上 4 种数字水准仪的局面。

当然,由于早期人们对数字水准仪的测量原理认识不足,在第一

代数字水准仪测量系统中还存在许多缺陷。例如,需要借助于调焦镜位置传感器首先确定物像比,才能够确定视线高及视距;又如,有些仪器在某些视距处,视线高测量值中存在明显的周期误差。通过近 20 年的研究,人们对数字水准仪测量原理及各项误差的研究已经相当深入,仪器生产厂家依据这些研究结果不断改进了产品的质量,使数字水准仪的质量大大提高。数字水准仪现已发展到了第二代,其精度已经达到了一、二等水准测量的精度要求。

目前国产数字水准仪的研制还处于起步阶段,但随着新的编码原理的提出及国民经济发展的不断需求,相信不久我国也会研制出拥有自主知识产权的数字水准仪。

§ 1.2 水准尺检定的历程及现状

水准尺作为传递高程的标准尺,其量值必须准确,因此,各国计量和测量工作者就水准尺的检定方法进行过大量的研究。水准尺的检定方法经历了从手动检定到全自动检定的历程,其检定用的标准尺也经历了从实物基准(如钢尺、线纹尺)到自然基准(如光干涉仪、双频激光干涉仪)的历程。

20 世纪 60 年代前,水准尺的检定一般采用钢制尺子作为实物基准。如 Peschel 于 1938 年就将标准尺放置在水准尺上,直接用放大镜读取水准尺分划线与标准尺分划线间的差值。由于这种方法需要将标准尺直接放置在水准尺上,必然影响到水准尺;同时用放大镜读数时,测量者的视角不同,将会产生较大的读数误差,因此该种方法的测量精度较低。为克服这种方法的缺点,Marzahn 于 1957 年提出了一种被检尺与标准尺互不干扰的检定方法:首先将标准尺架设在检定设备上,并用两端的测微螺旋将相应的测微显微镜十字丝对准标准尺的分划线,取下标准尺并换上待检定的水准尺,用测微鼓测出与标准尺的偏差。为简化该方法,Peschel 于 1963 年通过一组棱镜系统将标准尺和待检水准尺的像成像在显微镜中,用平板测微器

将两像重合。在上述检定方法中,被检标尺必须移动,以便对多条分划线进行测量,从这些测量数据中,求得“米间隔”亦称为“米真长”的实际长度,用于修正水准测量结果(Friede, 2000)。

Hoffrogge 和 Lebowsky 于 1969 年提出了一种以光干涉仪为标准尺的测量系统:将光干涉仪和水准尺一起安装到检定导轨上,首先将待检水准尺起始分划线和光干涉条纹的影像分别置于两个光电测量显微镜 J_1 和 J_2 中,记录此时光电信号的电压值作为后续测量的参考值。在步进电机的驱动下,水准尺和光干涉仪的测量镜一起移动,直到下一分划线通过光干涉仪的光电显微镜 J_1 后,其光电信号的电压值达到参考值时,记录光电显微镜 J_2 中光电信号的电压值, J_2 中光电信号电压值的变化代表了分划误差。为将电压差值转化成分划误差,必须确定电压幅值与干涉条纹间的关系(Friede, 2000)。

1975 年,双频激光干涉仪的波长作为自然长度基准应用到了测绘仪器的检定领域。在上述光电显微镜中装入光电二极管,可以实现动态获取分划线的中间位置。当光电显微镜检测到分划线的中间位置时,发出一个电脉冲,由此脉冲触发计算机记录双频激光干涉仪的测量值。这种方法解决了传统水准尺(其特征是整个水准尺上黑、白分划线的宽度相等)的自动检定问题。

1990 年,第一台数字水准仪研制成功。由于数字水准仪采用的条码尺的条码宽度不相等,因此采用传统光电显微镜的方法不能够完成条码分划线的检定。为此,人们采用两种方法来确定条码尺分划线的边缘:一种方法是在硬件上设计出新的光电显微镜,当探测并确定条码的边缘后向计算机发出信号,计算机记录此时双频激光干涉仪的读数;另一种方法是采用 CCD 传感器,当条码尺的条码线进入 CCD 传感器视场的恰当位置时,同时记录双频激光干涉仪的读数及 CCD 传感器获取的标尺图像,通过对条码尺条码的图像进行分析处理后,可以高精度确定条码边缘的位置。例如,芬兰大地测量研究所采用面阵 CCD 传感器测量条码边缘,其测量精度达 $0.5\mu\text{m}$ 。

为保证光电显微镜或 CCD 传感器物镜系统的视准轴不发生变化,只容许水准尺和双频激光干涉仪的反射镜一起沿导轨运动。检定 3m 长的水准尺,至少需要建造 6m 长的水平检定装置(称为水平比长器)或 6m 高的竖直检定装置(称为竖直比长器)。德国慕尼黑工业大学分别采用水平比长器和竖直比长器对大量因瓦水准尺进行检定后发现:水平比长器的检定结果与竖直比长器的检定结果间存在显著性差异,大致是水平比长器确定的比例改正数较竖直比长器确定的改正数长 $0.9\mu\text{m}/\text{m}$,但其变化范围却大于 $16\mu\text{m}/\text{m}$ 。对于只能在竖直方向使用的水准尺而言,竖直比长器的检定结果更具代表性。

目前,奥地利格拉茨大学、德国慕尼黑工业大学和芬兰大地测量研究所等建有竖直比长器。德国慕尼黑联邦国防大学、中国人民解放军信息工程大学测绘学院等建有水平比长器。

§ 1.3 国内外数字水准仪的检定情况

数字水准仪是集光机电、计算机和图像处理等高新技术为一体的高科技产品,其测量结果的误差源较传统光学水准仪复杂得多,因此适用于传统光学水准仪的检定方法不再完全适用于数字水准仪的检定。同时由于数字水准仪出现的时间较短,仪器生产厂家对各自的技术采取了保密措施,因而人们对数字水准仪测量原理的认识还存在歧义,目前对数字水准仪检定方法的研究还在进行之中,还没有形成一套公认的检定方法。

国外对数字水准仪的性能分析和检定方法的研究工作开展的较早,从 1990 年数字水准仪面市后,就有多家单位对数字水准仪进行了外业测试,其方法是采用与传统精密光学水准仪的测量结果进行对比的方法,求得数字水准仪测量结果的精度。随着人们对数字水准仪测量原理认识的深入,国外许多学者比较一致的观点是将数字水准仪与其配套的条码尺作为一个测量系统,对其进行综合检定或

称为系统精度检定。早在 1993 年,奥地利格拉茨大学的 Reithofer 博士就建成了一套水平比长器,对 NA 3000 和 DiNi 10 两种数字水准仪的系统精度进行了检定(薛志宏,2001)。当利用水平比长器对数字水准仪进行系统精度检定时,条码尺必须水平放置,这与实际水准测量不相符,因此,他们在 1996 年就开始将水平比长器改建成竖直比长器。同一时期,德国慕尼黑工业大学和芬兰大地测量研究所也建成了各自的竖直比长器,用于对数字水准仪测量系统进行系统精度检定。虽然国外大部分学者认为应该对数字水准仪进行系统精度检定,但也有部分学者反对采用该方法,认为这种方法分不清是对条码尺进行检定,还是对数字水准仪主机进行检定。例如,德国波恩大学大地测量研究所的 Schauerte 博士就认为:应采用分项检定的方法对条码尺和数字水准仪分别进行检定,以便确定条码尺的分划误差。

国内对数字水准仪检定方法的研究起步较晚,与国外的研究结果相比还存在较大的差距,主要表现为:

- (1)对数字水准仪测量原理缺乏深入的研究;
- (2)缺乏统一和指导性的检定方法用于指导数字水准仪的检定;
- (3)缺乏关键的检定设备;

(4)目前国内采用的检定方法(包括水准仪国家计量检定规程 JJG 425—2003 所规定的检定方法)主要是依据原有光学水准仪所采用的检定方法,对各项误差(例如补偿器的补偿误差、测站单次高差标准差、电子 i 角等)分开进行检定。

基于这些原因,各单位对数字水准仪的检定工作是在原有的光学水准仪检定的基础上发展起来的,基本采用了原来的检定模式和内容。大多数单位对数字水准仪的检定工作采用外业检核加室内检定的模式,主要依靠外业测量数据,如往返测闭合差、高差闭合差或与已知高程点的成果进行比较来评定仪器的精度。这种方法虽然有一定的道理,但是野外工作量大,受外界环境条件的影响大,不能够有效地分出是仪器本身的误差,还是环境条件变化引起的误差。因

此,该方法不适合于计量检测部门。至于室内检定部分,还是仿照光学水准仪的检定方法,对各种误差分开进行单项检定;或者往往仅能对部分指标进行检定;而且有些单位的研究仅仅是针对某一项误差。总而言之,国内对数字水准仪检定方法的研究还不够系统,单项检定多,系统检定少,系统性研究成果不多,无法对数字水准仪的系统精度做出全面评估(薛志宏,2001)。

§ 1.4 关于测量仪器精度表达问题

1.4.1 测量仪器的准确度与精(密)度的定义

我国计量术语规范 JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》给出了如下定义:

测量仪器的准确度(Accuracy)是指测量仪器给出接近于真值的响应的能力。

测量仪器的精(密)度(Precision)是指测量仪器各观测值之间的一致程度。

很显然,按照此定义,测绘学中的许多术语均应做相应的更改。但在测绘学中,更习惯的用法是用仪器的精度来衡量仪器质量的高低,与计量学中用仪器的准确度来衡量仪器质量的高低存在着明显的不符。这一矛盾同样也出现在测绘仪器的旧检定标准 ISO 12857 和新检定标准 ISO 17123 中。ISO 12857 中规定了用于检定测量仪器准确度的各种方法,而同样的检定方法在 ISO 17123 中则用来检定测量仪器的精度,ISO 17123 特别强调,这里的精度是指测量结果的重复性(repeatability)。很显然,这两个标准在衡量仪器质量高低的概念上有了明显的变化。根据 ISO 17123—1 给出的计算方法,可将 ISO 17123 中使用的精度理解为:它不仅满足了测绘学中对“精度”一词广泛使用的习惯,而且拓展了计量术语“精度”一词的内涵。至于如何在我国的测绘科技文献中使用“精度”一词,有待国家有关

部门给出明确的界定,本书采用 ISO 17123 中的定义。

1.4.2 测量仪器精度的计算方法*

用测绘仪器测量结果的实验标准差 δ 来表示测量仪器质量的高低,而 δ 则由子样标准差 s 给出。ISO 17123 给出了 4 种计算子样标准差 s 的方法。

1. 已知真值求仪器精度

设:用某种仪器进行了 m 个序列的测量,每个测量序列共进行了 n 次观测,则有误差方程式

$$\epsilon_{i,j} = \bar{x}_i - x_{i,j} \quad (1-1)$$

式中: $\epsilon_{i,j}$ 为第 i 个测量序列中第 j 个观测值的误差;

$\bar{x}_i$ 为第 i 个测量序列的真值;

$x_{i,j}$ 为第 i 个测量序列中第 j 个观测值。

$$\sum \epsilon_i^2 = \sum_{j=1}^n \epsilon_{i,j}^2 = \epsilon_{i,1}^2 + \epsilon_{i,2}^2 + \cdots + \epsilon_{i,n}^2 \quad (1-2)$$

式中: n 为第 i 个测量序列观测值的个数;

ϵ_i^2 为第 i 个测量序列的误差平方和。

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum \epsilon_i^2}{v_i}} \quad (1-3)$$

式中: v_i 为第 i 个测量序列的自由度;

s_i 为第 i 个测量序列的标准差。

2. 真值未知求仪器精度

设:用某种仪器进行了 m 个序列的测量,每个测量序列共进行了 n 次观测,则有

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{i,j} \quad (1-4)$$

式中: n 为第 i 个测量序列观测值的个数;

* 该段内容译自 ISO 17123。

$\bar{x}_i$ 为第 i 个测量序列所有观测值的算术平均值；

$x_{i,j}$ 为第 i 个测量序列中第 j 个观测值。

$$\gamma_{i,j} = \bar{x}_i - x_{i,j} \quad (1-5)$$

式中： $\gamma_{i,j}$ 为观测值 $x_{i,j}$ 相对于 $\bar{x}_i$ 的残差。

$$\sum \gamma_i^2 = \sum_{j=1}^n \gamma_{i,j}^2 = \gamma_{i,1}^2 + \gamma_{i,2}^2 + \cdots + \gamma_{i,n}^2 \quad (1-6)$$

式中： $\sum \gamma_i^2$ 为第 i 个测量序列残差平方和。

$$v_i = n - 1 \quad (1-7)$$

式中： v_i 为第 i 个测量序列的自由度。

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum \gamma_i^2}{v_i}} \quad (1-8)$$

式中： s_i 为第 i 个测量序列的标准差。

3. 由平差结果计算仪器精度

设：用某种仪器进行了 m 个序列的测量，每个测量序列共进行了 n 次观测，则有

$$\sum \gamma_i^2 = \sum_{j=1}^n \gamma_{i,j}^2 = \gamma_{i,1}^2 + \gamma_{i,2}^2 + \cdots + \gamma_{i,n}^2 \quad (1-9)$$

式中： n 为第 i 个测量序列观测值的个数；

$\gamma_{i,j}$ 为由各种平差方法求得第 $x_{i,j}$ 个观测值的残差；

$\sum \gamma_i^2$ 为第 i 个测量序列的残差平方和。

$$v_i = n - v \quad (1-10)$$

式中： v 为未知数的个数；

v_i 为第 i 个测量序列的自由度。

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum \gamma_i^2}{v_i}} \quad (1-11)$$

式中： s_i 为第 i 个测量序列的标准差。

4. 由双观测值计算仪器精度

设：用某种仪器进行了 m 个序列的测量，每个测量序列共进行了 n 次双观测，则有

$$d_{i,j} = x_{i,j,1} - x_{i,j,2} \quad (1-12)$$

式中: $x_{i,j,1}$ 和 $x_{i,j,2}$ 为第 i 个测量序列中第 j 个观测值的双观测值;

$d_{i,j}$ 为第 i 个测量序列中第 j 个双观测值的差值。

$$\sum d_i^2 = \sum_{j=1}^n d_{i,j}^2 = d_{i,1}^2 + d_{i,2}^2 + \cdots + d_{i,n}^2 \quad (1-13)$$

式中: n 为第 i 个测量序列双观测值的个数;

$\sum d_i^2$ 为第 i 个测量序列双观测值差值平方和。

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2v_i}} \quad (1-14)$$

式中: v_i 为第 i 个测量序列的自由度;

s_i 为第 i 个测量序列的标准差。

5. m 个测量序列的总标准差

设: 用某种仪器进行了 m 个序列的测量, 且假定每个测量序列的自由度一致, 即有 $v_1 = v_2 = \cdots = v_m$, 则

$$\sum s^2 = \sum_{i=1}^m s_i^2 = s_1^2 + s_2^2 + \cdots + s_m^2 \quad (1-15)$$

式中: m 为测量序列的个数;

s_i 为第 i 个测量序列的标准差;

$\sum s^2$ 为 m 个测量序列标准差的总和。

$$s = \sqrt{\frac{\sum s^2}{v}} \quad (1-16)$$

式中: s 为 m 个测量序列的标准差。

$$v = \sum_{i=1}^m v_i = m \cdot v_i \quad (1-17)$$

式中: v 为 m 个测量序列的总自由度。

第 2 章 数字水准仪的测量原理与特点

§ 2.1 数字水准仪的基本部件

数字水准仪测量系统的测量原理如图 2-1 所示,它由条码尺和主机两部分构成。其中条码尺是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的,这些黑白条码不同的排列方法构成了目前各仪器生产厂家自主知识产权的核心;主机则是在自动安平水准仪的基础上发展起来的。数字水准仪主机结构原理如图 2-2 所示,它由望远镜物镜系统、补偿器、分光棱镜、目镜系统、CCD

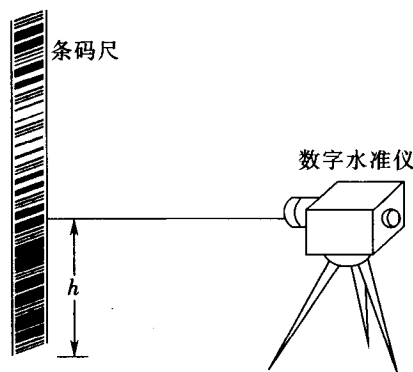


图 2-1 数字水准仪测量系统的测量原理图