

[英] M·A·R·库珀著

MTL

现代经纬仪与 水准仪

测绘出版社

内 容 简 介

本书比较系统地讲述了经纬仪与水准仪的结构原理；分析了仪器结构的误差来源和仪器的精度；给出了消除或减弱仪器误差的方法；以典型的仪器实例，介绍了现代经纬仪与水准仪的特点；本书还详细阐述了编码度盘的自动扫描和数据自动记录的原理及其应用。本书收集了不少新资料，内容丰富，很有参考价值。本书文句简练易懂，论理明确，适合于不同程度的读者阅读。

本书绪论、第一章、第六章至第十章由宋肇疆同志翻译，第二章由朱龙森同志翻译，第三章由戚金城同志翻译，第四章和第五章由李建明同志翻译。全书由宋肇疆同志统校。

本书适用于从事光学测绘仪器设计、制造、检修和使用的工程技术人员，同时可供高等院校测绘专业的师生参考。

现代经纬仪与水准仪

[英] M. A. R. 库珀 著

宋肇疆 戚金城 译
朱龙森 李建明

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张 9.75·字数 213 千字

1985年 9 月第一版·1985 年 9 月第一次印刷

印数 0,001—5,000 册·定价 2.30 元

统一书号：15039·新 377

再版序言

自本书初版以来的十年当中，电子技术在测量仪器中得到了广泛的应用，因此本书有必要重新修订。在这新版本中，我们详细地讲述了编码度盘的自动光电扫描和数据自动记录的原理及应用。

本书借修订的机会，在初版的基础上充实了当前的最新资料，并重新写过。读者将会发现，这本书既有新资料又有初版内容的修订和扩展，原文完全重写，事实上，它已是一本新书了。但是，没有改变初版的基本宗旨和表达形式。本书的宗旨是讲述经纬仪和水准仪的原理，着重介绍仪器结构的原则，误差的来源和仪器的精度。着重介绍这些内容的理由是，作者认为使一项测量作业的设计满足一定的规范的要求是很重要的，特别是在大规模的测量作业中，以及在减小限差就要增加费用的放样工作中尤为重要。选择良好的仪器与方法的第一步就是要了解经纬仪与水准仪的误差，并且了解如何消除或减少仪器误差的方法。希望本书对此有所帮助。题材的表达方式在绪论中说明。

本书主要是一本供测量与土木工程专业学生攻读初级学位的读物。土地测量与土木工程的技术人员也会发现，在他们完成正规的学习以后，本书所讲述的各种机械与电子元件的原理与应用，对他们了解这方面的发展情况是很有用的。可以希望通过这样的了解，以便更有效地使用新仪器。同时还希望本书对于在车间或实验室里工作的机械工程师们

也是一本讲述角度测量和高差测量仪器适宜的课本。对于从事地理、建筑、考古和城市规划等学科的学生和技术人员，他们时常要使用经纬仪和水准仪，也会发现本书是讲述新仪器的有用的参考书。本书还为缺乏测量知识的读者提示了一些观测与记录方法的知识，但是没有打算把本书当作讲述测量方法的材料。

M.A.R.库珀

目 录

绪 论	(1)
第一章 经纬仪的基本结构特点	
§1.1 水平角测量	(9)
§1.2 仪器安置	(12)
§1.3 垂直角测量	(13)
§1.4 经纬仪的三轴	(15)
§1.5 运动控制机构	(15)
§1.6 度盘分划与读数系统	(16)
§1.7 实例	(20)
第二章 经纬仪结构原理	
§2.1 望远镜	(22)
§2.2 轴系和运动设计	(49)
§2.3 方位运动控制装置	(54)
§2.4 度盘读数系统	(55)
§2.5 水准器	(74)
§2.6 对中系统	(80)
§2.7 竖盘指标自动归零与倾斜传感器	(85)
§2.8 度盘定位	(93)
第三章 现代经纬仪的特点	
§3.1 望远镜	(95)
§3.2 轴 系	(101)
§3.3 运动控制机构	(104)
§3.4 度盘读数系统	(107)
§3.5 照准部水准器	(148)

§3.6	对中系统	(149)
------	------------	-------

§3.7	竖盘指标自动归零与倾斜传感器	(153)
------	----------------------	-------

第四章 经纬仪的校正

§4.1	竖轴和照准部水准器的校正	(158)
------	--------------------	-------

§4.2	视准轴的校正	(161)
------	--------------	-------

§4.3	十字丝的定向	(164)
------	--------------	-------

§4.4	竖盘指标的校正	(165)
------	---------------	-------

§4.5	调焦与消除视差	(167)
------	---------------	-------

§4.6	光学对中器的校正	(169)
------	----------------	-------

§4.7	校正误差对观察结果的影响	(170)
------	--------------------	-------

§4.8	对中误差的影响	(179)
------	---------------	-------

§4.9	小结	(180)
------	----------	-------

第五章 经纬仪的结构精度

§5.1	横轴与竖轴不正交	(181)
------	----------------	-------

§5.2	两度盘平面与它们各自的轴不正交	(184)
------	-----------------------	-------

§5.3	度盘偏心	(185)
------	------------	-------

§5.4	度盘分划误差	(191)
------	--------------	-------

§5.5	轴变形	(192)
------	-----------	-------

§5.6	对中误差	(193)
------	------------	-------

§5.7	光学测微器误差	(199)
------	---------------	-------

§5.8	竖盘指标自动归零的精度	(202)
------	-------------------	-------

§5.9	小结与观测员须知	(203)
------	----------------	-------

第六章 水准仪的基本结构特点

§6.1	定镜水准仪	(213)
------	-------------	-------

§6.2	微倾水准仪	(214)
------	-------------	-------

§6.3	自动安平水准仪	(215)
------	---------------	-------

§6.4	电子水准仪	(216)
------	-------------	-------

第七章 水准仪结构原理

§7.1	望远镜	(217)
------	-----------	-------

§7.2	竖轴系	(217)
§7.3	运动控制机构	(218)
§7.4	水平度盘	(218)
§7.5	水准管	(219)
§7.6	对中	(219)
§7.7	活镜水准仪	(220)
§7.8	快速置平头	(221)
§7.9	平行玻璃板测微器	(221)
§7.10	自动安平水准仪	(224)

第八章 现代水准仪的特点

§8.1	自动安平水准仪的补偿器	(234)
§8.2	测微器在水准仪中的应用	(242)
§8.3	快速置平头	(248)
§8.4	定镜水准仪	(249)
§8.5	旋转激光水准仪	(250)

第九章 非自动安平水准仪的调整和精度

§9.1	微倾水准仪的调整 (平行性校正)	(256)
§9.2	定镜水准仪的调整	(258)
§9.3	活镜水准仪的调整	(260)
§9.4	仪器精度	(260)
§9.5	大地测量水准仪	(262)
§9.6	用野外方法减少误差	(268)

第十章 自动安平水准仪的误差和精度

§10.1	过补偿与欠补偿	(276)
§10.2	圆水准器误差影响	(283)
§10.3	横向倾斜的影响	(286)
§10.4	机械滞后影响 (补偿器阻滞)	(286)
§10.5	温度影响	(288)
§10.6	圆水准器的精度	(288)

§10.7 平行玻璃板测微器倾斜的影响	(288)
§10.8 由外部磁场引起的误差	(290)
§10.9 旋转激光水准仪的误差	(290)
§10.10 小结	(296)

参考文献

绪 论

当电子学引进一古老技术中，经常被忽视和很少认真考虑的主要问题之一是随着技术改进而来的专门术语的混淆。这种混淆当然不能归咎于电子工程师，他们对所论及的技术概念有着极为透彻的理解，否则就不可能做得那么好。不幸的是，引用电子学的某一学科的专业工作者很少有机会得到与电子工程师相同的深刻的理解。专业工作者最初所得到的新技术的介绍是通过以宣传和销售一项新仪器设备为主要目的的材料。当然这一点也无可指责，但是，广告宣传材料所选用的词句往往不是某一专门技术改进特点的严格定义。其实，如果真是那样，那么这种广告可以说是糟糕得很。

人们从一份仪器设备说明书上读到的第一句话常常是记忆很深。他们把这种认识用于问题的讨论和论文的写作中，不仅用于首先接触到的与此特定问题有关的问题中，而且还用于一些相似的但根本不同的问题中。当术语的含意变得更扩展和词句更难懂的时候，终于存在一种理解完全错误的危险。想通过出版一本教科书来纠正这种情况可能是十分冒昧的。然而，不再增加这方面的混淆则是可能的，而且或许有助于澄清近年来在经纬仪和水准仪方面所积累的一些迷雾和疑团。通过本书中对某些术语的意义所做的一般性注解，可以达到这一点。

施行有限运算并将数据从一个装置传送至另一个装置的自动计算机称为微处理机。用户在正常情况下不能为微处理

机编制程序。一组用户不能改变的指令存储于微处理机的存储器中。微处理机用于经纬仪和电磁波测距仪中，控制电子部件，收集其产生的信号并使之相关。于是把这种微处理机称为控制(微处理)机。作业员用开关或键盘或用两者所产生的信号操纵控制机。

装有电子扫描度盘的经纬仪称为电子经纬仪。如果电磁波测距装置与电子经纬仪组合在一起，并且受控制度盘扫描的同一个控制机控制或与之连接，那么这种仪器就称为电子速测仪。

用经纬仪或速测仪进行数据自动读取与数据自动记录是有区别的。自动读数是由控制机获取电子器件（一般是光电二极管）上的电信号，然后由微处理机将这些电信号转换为代表观测值的数据（二进制，二进制编码的十进制或十进制）。自动读数可能得到微处理机存储器中数据的暂时存储，或得到十进制数字的可见显示，或者既存储又显示。经纬仪发展的新目标是用新读数据自动删除或置换原有数据。而自动记录是将读取的数据或其他数据存储于日后能自动提取的装置中（通常与用于观测的经纬仪或速测仪无关），然后用于自动计算。从记录器中提取记录的数据，通常是通过计算机接口在微处理机或小型计算机的控制下完成。没有预先的自动读数，自动记录是不可能的。当电子经纬仪或电子速测仪能自动记录数据时，就称为电子记录经纬仪或电子记录速测仪。

“全站”一词只保留在由厂家命名的具体仪器中。在某些私人的讨论、出版物和会议上也常把其他各种电子经纬仪或电子速测仪称为全站型仪器，但是，在任何意义上，很难看出这些仪器为什么叫做全站型仪器。至于“半全站”的说法（一种确实没有厂家声称要生产的或没有任何测量工作者

要买的仪器), 本书极力避免。但是使作者感到惊奇的是这种用法大有增长之势。

电磁波测距是 C.D.Burnside 所著一书的主题, 该书是“现代土地测量方向”丛书中的一种。因此, 除了与光学经纬仪或电子经纬仪组合的有关测距部分, 其余本书均不介绍。即使介绍也只是在理解速测仪测量中角度测量组件工作方式所必需的范围内。

本书初版于 1971 年。在这以前的几年中, 开始把电子组件引入经纬仪中有芬奈的编码经纬仪和克恩的自动记录速测仪。这两种仪器都用 35mm 的胶片读取与记录度盘读数。胶片的主要缺点是必须进行处理, 而从自动记录的胶片上回收数据的方法是昂贵的和麻烦的。电子经纬仪早期的情况, 本书不拟介绍。

自 1971 年以来, 几乎所有的测量仪器制造厂都研制和生产至少一种电子经纬仪或电子速测仪。软片记录的缺点由自动电子数据读取所克服, 最初是应用纸带作为自动记录数据的手段。蔡司(奥本克亨)公司生产的 Reg Elta 和 AGA 公司生产的 Geodimeter700, 都是用纸带穿孔机作数据的自动记录。

1977 年在斯德哥尔摩举行的第十五届国际测量工作者大会上展出了下述将投产的四种电子仪器: 惠普公司的 HP 3820A 全站型电子速测仪, 克恩公司的 E1 电子经纬仪, 开易公司的 Vectron 电子速测仪和威特公司的 Tachymnt TC1 电子速测仪。最近, 已经生产了克恩 E2, 蔡司 Elta4 和 Elta2。这种仪器的发展趋势是朝着小型化和同时采用固体存储器件的方向发展。

目前, 很明显, 电子组件将继续用于经纬仪中, 因而再

版中有必要讨论这些电子组件。在本书余下的篇幅中对这方面的讨论不得不在内容和形式上做出某种抉择。这种抉择的基础都是认为电子学引入经纬仪中不会造成仪器构造原理的重要改变。自动读取编码度盘位置是改进与精化经纬仪的新步骤。仪器的改进主要包含望远镜、玻璃度盘、光学测微器和竖盘指标光机自动归零。鉴于这种观点，本书对电子组件的原理与应用的细节做了介绍。

因此，本书的形式保持不变，没有增加有关电子仪器的章节。第一章（经纬仪的基本结构特点）已扩充，包括了一些历史的和语源学的背景以及角度测量单位的讨论。介绍了水平角与垂直角测量的基本组件，并定义了它们之间的关系。这些结构特点均以一种现代经纬仪为例加以描述。

第二章（经纬仪结构原理）大为扩充。阐述了望远镜的光学原理，介绍了棱镜、透镜和平面镜对于形成良好影象的应用。增加了运动设计一节。介绍了轴系和运动控制。给出了度盘读数方法，现有的读数方法包括度盘的光电扫描以及光学方法。我认为在这一节中介绍固体二极管及其变化的基本物理原理是适当的。论述的水平与本章中有关成象的节次中所论述的水平大致相同。可以期望，这样的论述水平能满足大多数经纬仪使用者的要求。这会使有经验的测量工作者基本理解经纬仪中电子组件及其他部件的工作方式，以便有效地使用新仪器。学生们会发现在别处不易找到的有关设计原理的极为有用的讨论。专家们会发现根据所引用的参考文献能找到光学成象原理的更详尽的描述，尽管有关这一主题的教科书目前是很少的。另外还介绍了水准器，对中系统，竖盘指标自动归零的方法，竖轴倾斜传感器以及竖盘定位的方法。本章对上述每种情况只着重介绍其原理。

在第三章（现代经纬仪的特点）中，介绍了现代经纬仪特殊部件的实例，说明前一章所述的结构原理如何付诸实施。没有详细描述具体的仪器，但是采用各种仪器上的不同的部件做为例证。由于已经生产了更新的光机仪器，利用此机会对某些实例作了修订。此外，本章由于增加了电子学应用的具体例子而使图幅大为增加。还详细讨论了度盘扫描方法，控制机和倾斜传感器。

第四章（经纬仪的校正）包括经纬仪使用者应经常进行的检验与校正。讨论了调整不佳对观测的影响，给出了为削弱或消除这些影响的适当的观测方法。介绍了竖轴，照准部水准器，视准轴，十字丝，竖盘指标，望远镜和光学对中器的调整。最后用表格形式作了小结。

第五章（经纬仪的结构精度）讨论使用者一般不能通过调整而消除的，但可通过适当的观测程序，或通过计算改正数而减少的误差来源。所讨论的误差来源是：横轴不水平；度盘倾斜；度盘偏心；度盘分划误差；轴的应变；对中误差；测微器误差；以及竖盘指标自动归零误差。这些误差的影响以表格形式列出，还介绍了水平角与垂直角观测和记录的方法，给无经验的使用者某些提示。

对水准仪部分按上述类似的方式处理，第六章（水准仪的基本结构特点）是导论，介绍了三种获得视线水平的基本方法：使用定镜水准仪；使用微倾水准仪以及使用有补偿器的自动安平水准仪。介绍了激光水准仪的原理。

第七章（水准仪结构原理）讨论的主题是：望远镜，竖轴，运动控制机构，水平度盘，水准器，对中，活镜水准仪，快速置平头，平行玻璃板测微器以及自动安平水准仪，包括残余倾斜补偿的原理。

第八章（现代水准仪特点）与第三章类似，没有完整地讨论具体的仪器，而详细地讨论了各种现代水准仪中的具体部件，以说明水准仪结构原理如何付诸实施。用补偿器、平行玻璃板测微器、快速置平头、定镜水准仪和激光水准仪作为实例。

第九章（非自动安平水准仪的调整和精度）中讨论了作业员应经常进行的水准仪的检验与调整，其中包括定镜水准仪、微倾水准仪和活镜水准仪的调整。介绍了精密水准仪的双桩检验法和三桩检验法，同时给出了数字实例。还给出了减弱误差影响的方法。此外还提出了削弱标尺误差和大气影响的建议。用具体例子说明观测记录的推荐方法。

第十章（自动安平水准仪的误差和精度）着重介绍减弱光机补偿器固有误差影响的方法。对补偿器的固有误差进行了分类讨论。误差的大小是从几位实际工作者的试验结果和出版物中引用的。介绍了确定激光水准仪误差的试验。讨论了摩托化水准测量的新发展及一些试验结果。对自动安平水准仪的误差的小结以表格形式给出。

第一章 经纬仪的基本结构特点

角度测量是许多测量工作的基本方法。为了用角度测量结果计算点位，测量的方法必须与定义那些点位的坐标系统相联系。最常用的定义点位的一种方法是利用 X, Y, Z 直角坐标表示，其中 XY 平面是水平面，而 Z 轴是垂直的。

在地球表面的任一点，垂直方向是该点的重力方向，用垂球可以确定这个方向，垂球线指示的方向就是垂直方向。过地球表面上一点的水平线，是在该点上垂直于垂线的任一条直线。在此点上所有的水平线都位于同一个水平面上。

因此，地球表面上两点间的角度测量应该以此水平的和垂直的坐标系为准。设 A, B, C （图 1.1）是地球表面上的三点， π 是过 A 点的水平面。如果 A, B, C 的位置相对于 OX, OY 和 OZ 轴而言，那么，在 A 点上测量 B 和 C 之间的夹角应该为 $B'AC'$ ， BAB' 和 CAC' ，其中 B' 和 C'

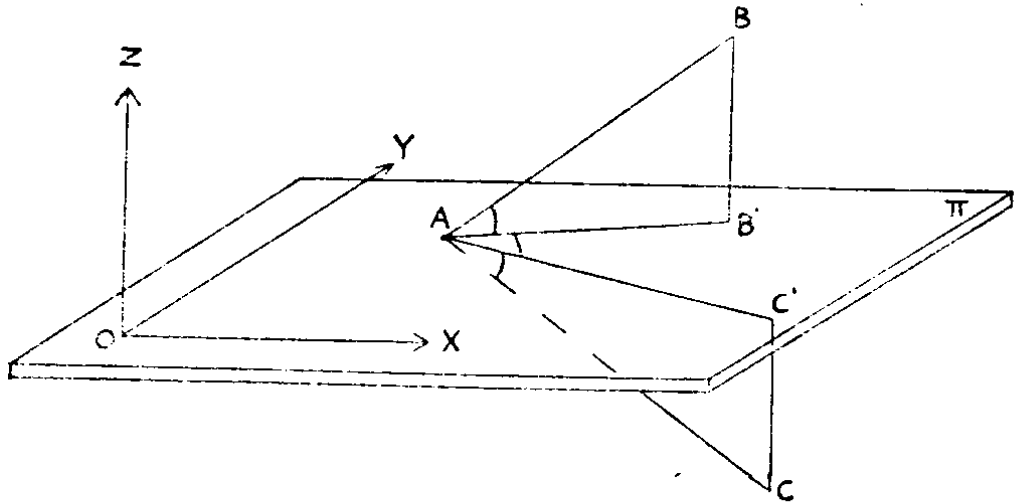


图 1.1

是 B 点和 C 点分别在水平面 π 上的投影。角 $B'AC'$ 位于过 A 点的水平面上，因而是水平角。角 $B'AB$ 和角 $C'AC$ 位于过 A 点垂直于 π 平面的平面内（即垂直面），因而，这两个角是垂直角。经纬仪是设计得可测水平角和垂直角的仪器。

实际上不可能在 A 点（地球表面上一点）测水平角。经纬仪安置在三脚架上，垂直离开 A 点大约一米左右，这样实测的水平角与角 $B'AC'$ 相同。然而，从三脚架上测得的垂直角与角 $B'AB$ 和角 $C'AC$ 却不相等，因此，以后在计算经纬仪高出 A 点的高度时，应该规定一个限差。

在格里哥里乌斯·雷施（1471—1528）的《Margareta philosophica》百科全书中介绍了最早的测量水平角和垂直角的仪器，并被沃尔兹米勒（1470—1518）称为测角仪（polimetrum）。

theodolite（当时写作 theodolitus，经纬仪）一词的第一次应用是出现在列昂纳德·狄格斯（1510—1550）所著的《万用测角仪的几何应用》一书中。此书由其子托马斯（1546—1595）于 1571 年在英国编辑出版。该书中 theodolitus 一词是指一种只能测量水平角的仪器，而将既可测水平角又能测垂直角的仪器叫做地形测量仪。在狄格斯的著作出版不久，用 theodolite 一词描述既可测水平角又可测垂直角的仪器愈来愈普遍。此字的语源学不肯定。按照《牛津英语词典》（1933），很可能是由希腊字 θεάσμαι（我观察）或 θεῶ（注视）和 δηλός（可见的，清晰的）以及无意义的词尾的没有学问的组合。

在最现代化的经纬仪中仍然保留有沃尔兹米勒的测角仪和狄格斯的地形测量仪中某些基本部件。当然，制造零件的

材料已经改变，工艺水平已经提高，因而大大提高了仪器的精度和稳定性，并且可将仪器做得更小、更轻和更便于使用。这些变化只是在结构细节上的改变，并非在结构原理上的改变。本章介绍经纬仪的一些基本组件。

§1.1 水平角测量

要求测量水平角 $B'AC'$ (图 1.1)，所以沿圆周刻有角度单位分划的度盘必须安置得与水平面 π 重合。这个度盘就是水平度盘，或称为下盘。测量水平角时，下盘一般是不动的。度盘分划中心必须位于过 A 点的垂线上。将水平度盘平面安置得与水平面重合，通常叫做经纬仪安平，将度盘分划中心垂直安置于地面标志 A 点的上方，叫做经纬仪对中。

经纬仪必须有装有指标线的照准装置(望远镜)，而且此照准装置能绕通过度盘分划中心，垂直于度盘平面的轴旋转。望远镜与指标线构成照准部，其旋转轴叫做竖轴(主轴或旋转轴)。为了瞄准不同高度的目标，望远镜必须能绕垂直于竖轴的第二个轴转动。此轴叫做横轴(次轴，纵转轴或水平轴)。这些特征如图 1.2 所示。

望远镜支架支撑着横轴，支架应有足够的高度，使望远镜能够纵转，即绕横轴在两个方向上旋转 180° 。支架中间是空的，里面装有读取度盘读数的光学的、机械的，有时是电子的部件。

为了测量水平角 $B'AC'$ (图 1.1)，望远镜先指向 B，读取指标线对着度盘上的注记(读数 R_1)，然后指向 C，读取第二个读数(R_2)，那么，在 A 点上，B，C 间的水平角应为 $(R_2 - R_1)$ 。