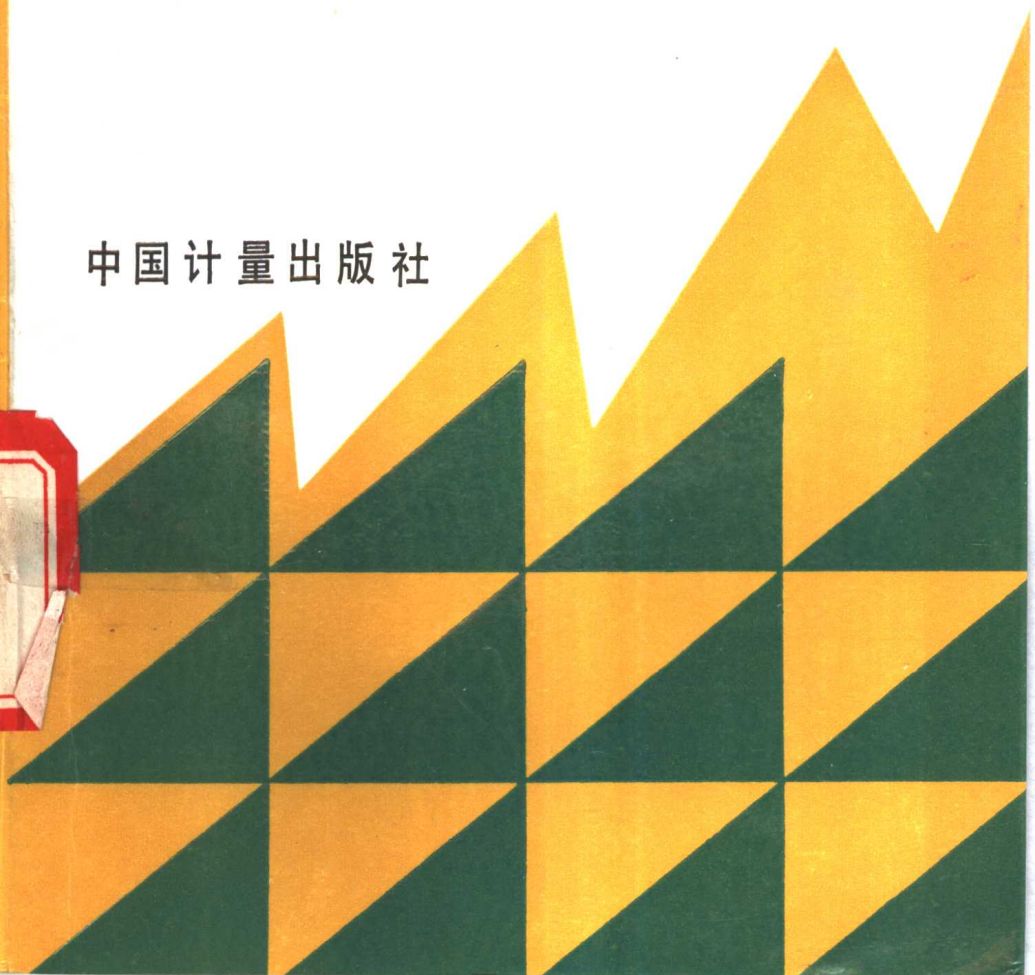


经纬仪原理、使用与检定

赵贤森 编著

中国计量出版社



经纬仪原理、使用与检定

赵贤森 编著

中国计量出版社

新登(京)字024号

内 容 提 要

本书系统、深入地介绍了经纬仪的结构原理、使用、维修与检定。内容包括有关的角度计量单位和换算,以及几何光学基本知识,经纬仪的详细结构原理,经纬仪的使用、维修和检定中的具体操作方法、程序和注意事项,检定的误差分析,检定结果的数据处理及其计算机程序;国内常用的经纬仪的主要技术指标和特点;经纬仪检定装置的检定等。

本书可供气象、铁路、公路、桥梁、水利、矿山、建筑、大型机械等测量人员、经纬仪的制造、使用、维修和检定人员,以及有关的科技人员和大、中专院校师生阅读和参考。

经纬仪原理、使用与检定

赵贤森 编著

责任编辑 陈小林

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*—

开本 787×1092/32

印张 9.875 字数 218 千字

1993年7月第1版

1993年7月第1次印刷

印数 1—5000

ISBN 7-5026-0596-7/TH·10

定价 8.00 元

前 言

经纬仪是在天文、大地、工程测量中广泛应用的精密仪器。近几年，国产经纬仪在国内的年销售量约几千台，目前国内正在使用中的各种经纬仪近 100 万台。经纬仪主要应用于三角测量和精密导线测量，可用于气象、铁路、公路、桥梁、水利、矿山、建筑、大型机械的制造安装等和计量工作中。作为计量仪器，它可以是精密的测角仪器，又可以测量大的空间尺寸。随着生产和科技的不断发展，经纬仪显示出越来越重要的作用。并且，与其他光学仪器一样，经纬仪近年来向光电化、数字化、自动化方向迅速发展。

由于经纬仪的结构较复杂，不少人对其缺乏正确、全面和透彻的了解，这对于日益广泛和普及的经纬仪应用状况是很不适应的。提高有关人员对经纬仪的结构原理、使用、维修与检定的知识水平显得越来越重要。

本书是作者在连年来多次举办的全国或部门的经纬仪规程宣贯会、学习班教材的基础上，进行补充修改，加工整理而成的。书中对经纬仪的结构原理、使用、维修与检定作了比较系统和深入的介绍。在详细介绍结构原理之前，扼要地介绍了有关的角度计量单位和换算，以及几何光学基本知识；在介绍经纬仪的使用、维修和检定时，立足于实用，详细介绍具体的操作方法、程序和注意事项，给出了检定的误差分析、检定结果的数据处理及其计算机程序，给出了国内常用的经纬仪的主要技术指标，介绍了仪器检定装置的检定；

鉴于近年来经纬仪迅速发展的形势，写了现代经纬仪一章，介绍现代光电化、数字化、自动化经纬仪的原理、结构、应用、技术指标、特点等。

本书可供经纬仪的制造、使用、维修和检定人员，以及有关的科技人员和大、中专院校师生阅读和参考。

在本书的编写过程中，得到了很多同行专家的指导和帮助。在第七章第十四节中，用多齿分度台比较法检定度盘直径误差的问题，得到了张锡臣工程师指导帮助；第八章中的光学经纬仪检定方法误差分析，吸取了李良鸿高工、王成沛高工、郑绪圣主任、杨东来主任等提出的宝贵意见，并得到沈禹昌高工、陆德基研究员、李璠年研究员、肖明耀高工、陈奇清高工的热情指导；第九章第三节的计算机程序，引用乐可文高工于1984年~1988年为经纬仪检定规程编制的程序；第十一章中经纬仪标准检定装置的检定，参考了刘长德高工、李连玉工程师、王化明工程师于1987年编写的资料。

本书经北京市测绘院孟庆遇高工、金善焜高工审阅。在此，一并致以衷心的感谢。

由于水平所限，书中缺点和错误在所难免，热忱欢迎读者批评指正。

作 者

1992年9月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 角度计量单位	(1)
一、弧度	(1)
二、角度	(1)
三、梯度	(1)
四、密位	(2)
第二节 角度计量单位的换算	(2)
一、弧度与角度的换算	(2)
二、弧度与梯度的换算	(3)
三、角度与梯度的换算	(3)
第三节 经纬仪各部件	(4)
一、望远镜	(4)
二、照准部	(4)
三、度盘	(4)
四、测微器系统	(5)
五、轴系	(6)
六、水准器	(6)
七、基座及脚螺旋	(6)
八、光学对点器	(7)
第二章 几何光学基本知识	(8)
第一节 概述	(8)
第二节 几何光学的基本定律	(8)
一、光的直线传播定律	(8)

二、光的独立传播定律.....	(8)
三、光的反射定律.....	(8)
四、光的折射定律.....	(11)
第三节 棱镜	(14)
一、全反射直角棱镜.....	(14)
二、折射反射式直角棱镜.....	(15)
三、全反射菱形棱镜.....	(15)
四、五棱镜.....	(16)
五、角隅棱镜.....	(17)
六、色散棱镜及光楔.....	(18)
七、平板玻璃.....	(20)
第四节 透镜	(21)
一、透镜的主轴、光心、焦点和焦距.....	(23)
二、薄透镜成像.....	(24)
三、厚透镜成像.....	(32)
四、透镜组的成像.....	(35)
第五节 透镜的象差	(39)
一、球差.....	(39)
二、彗差.....	(40)
三、象散.....	(40)
四、场曲.....	(41)
五、畸变.....	(42)
六、色差.....	(43)
第三章 经纬仪的主要结构.....	(45)
第一节 望远镜系统	(45)
一、望远镜成像原理.....	(45)
二、望远镜的放大倍数与视场角.....	(46)
三、望远镜的种类.....	(47)
四、望远镜物镜.....	(50)
五、望远镜目镜.....	(51)

六、调焦镜	(53)
七、光学测微器	(56)
八、望远镜的成像质量	(56)
九、检定望远镜鉴别率的检定方法误差	(59)
第二节 测微器系统	(63)
一、读数机构	(63)
二、测微器系统的作用及相关部件	(64)
三、测微器系统	(71)
第三节 水平度盘系统	(83)
一、经纬仪度盘的特点	(83)
二、度盘的分类	(83)
三、度盘的刻划	(84)
四、水平度盘的安装	(89)
第四节 竖直度盘系统	(90)
一、竖直度盘刻度的注记方法	(90)
二、竖直度盘的安装与指标差	(90)
第五节 竖轴系	(91)
第六节 水准器及竖盘指标自动补偿器	(95)
一、水准器的用途	(95)
二、水准器的结构原理	(96)
三、水准器的种类	(96)
四、竖盘指标自动补偿器工作原理	(100)
五、自动补偿器的主要结构型式	(101)
第七节 脚螺旋	(106)
第八节 光学对点器	(108)
第四章 经纬仪的使用	(110)
第一节 经纬仪的操作常识及操作注意事项	(110)
第二节 仪器的安置	(112)
一、两种自然基准	(112)

二、仪器对中	(113)
三、仪器安平	(113)
第三节 仪器的照准与读数	(114)
一、照准目标	(114)
二、读数	(115)
第四节 水平角测量	(115)
一、测回法	(115)
二、复测法	(116)
三、方向观测法	(118)
四、全组合测角法	(119)
第五节 竖直角测量	(121)
一、竖直角的表示方法	(121)
二、竖直角的测量	(122)
第六节 光学测距	(122)
一、外调焦望远镜视距丝测距原理	(123)
二、内调焦望远镜视距丝测距原理	(124)
第七节 经纬仪在工程测量中的应用	(126)
一、大型机件尺寸和位置的测量	(126)
二、分度误差的测量	(127)
三、经纬仪的其他应用	(128)

第五章 国内常用光学经纬仪的主要技术指标

及光路系统	(129)
第一节 DJ 07 型光学经纬仪	(129)
一、仪器主要技术指标	(129)
二、仪器主要结构及特点	(130)
第二节 DJ 1 型光学经纬仪	(133)
一、仪器主要技术指标	(133)
二、仪器主要结构及特点	(134)
第三节 DJ 2 型光学经纬仪	(136)
一、J2型光学经纬仪	(136)

二、J2-1型光学经纬仪	(138)
三、TDJ2型光学经纬仪	(140)
第四节 DJ6型光学经纬仪	(145)
一、仪器主要技术指标	(145)
二、仪器主要结构特点	(147)
三、仪器光路系统图	(147)
第五节 瑞士 WILD T16 型光学经纬仪	(151)
一、仪器主要技术指标	(151)
二、仪器主要结构及特点	(152)
第六节 瑞士 WILD T2 型光学经纬仪	(152)
一、仪器主要技术指标	(153)
二、仪器主要结构及特点	(153)
三、仪器光路系统图	(154)
第七节 瑞士 WILD T3 型光学经纬仪	(156)
一、仪器主要技术指标	(156)
二、仪器主要结构及特点	(157)
三、仪器光路系统图	(159)
第八节 德国蔡司 Theo 010 型光学经纬仪	(159)
一、仪器主要技术指标	(159)
二、仪器主要结构特点	(161)
第九节 德国蔡司 Theo 030 型光学经纬仪	(163)
一、仪器主要技术指标	(163)
二、仪器主要结构及特点	(164)
第六章 现代经纬仪	(166)
第一节 概述	(166)
第二节 光栅盘和光学码盘在经纬仪中的 应用	(167)
一、光栅测量基本原理	(168)
二、编码度盘测量原理	(170)

第三节 光电经纬仪 (电子经纬仪) 的特点	(172)
第四节 瑞士 WILD 厂 T 2002 电子经纬仪	(174)
第五节 瑞士 Kern 厂 E2 电子经纬仪	(176)
一、主要技术指标	(176)
二、仪器主要结构特点	(176)
第六节 光电经纬仪 (电子经纬仪) 及有关的参数	(177)
一、望远镜	(177)
二、轴系误差	(178)
三、偏心差	(178)
四、竖盘指标自动补偿器的补偿准确度	(178)
五、码盘或光栅盘的准确度和测微光栅的分划误差	(178)
六、仪器基座的稳定性	(178)
七、电器元件的可靠性	(178)
八、相位的正交性	(178)
第七节 工具经纬仪 (坐标经纬仪)	(181)
一、工具经纬仪的结构	(181)
二、仪器的主要用途	(182)
第八节 激光定向经纬仪	(182)
一、激光定向经纬仪结构原理	(182)
二、J2-JD 型激光经纬仪主要技术指标	(183)
三、DJD-1 型激光定向经纬仪主要技术指标	(184)
第七章 光学经纬仪检定操作要点	(185)
第一节 检定次序	(185)
第二节 外观及一般性能的检定	(186)
第三节 水准器轴与竖轴的垂直度	(186)

第四节	测微器行差	(187)
第五节	光学测微器分划误差	(189)
第六节	光学测微器隙动差	(190)
第七节	照准部旋转正确性	(191)
第八节	望远镜竖丝对横轴的垂直度	(192)
第九节	横轴与竖轴的垂直度	(193)
第十节	照准差和指标差	(199)
	一、照准差	(199)
	二、指标差	(202)
第十一节	照准部偏心差和水平度盘偏心差	(204)
	一、检定目的	(204)
	二、偏心差的检定方法	(205)
	三、偏心差的计算	(205)
	四、水平度盘偏心差	(212)
	五、水平度盘偏心差对照准部偏心差的影响	(214)
第十二节	望远镜调焦时视轴变动误差	(214)
	一、定义	(214)
	二、望远镜调焦时对视轴的影响	(215)
	三、检定工具	(216)
第十三节	竖盘指标自动补偿器补偿误差	(218)
	一、补偿器的工作可靠性	(218)
	二、补偿器的检定	(218)
第十四节	水平度盘直径全误差	(220)
	一、度盘直径全误差的概念	(220)
	二、水平度盘直径全误差的检定	(221)
第十五节	一测回水平方向标准偏差	(235)
	一、概述	(235)
	二、检定方法	(238)

三、检定结果的计算	(238)
第十六节 一测回水平角测角标准偏差	(239)
一、检定工具及检定方法	(239)
二、检定结果的计算	(240)
第十七节 光电经纬仪的检定探讨	(241)
第八章 光学经纬仪检定方法误差分析	(243)
第一节 概述	(243)
第二节 单项误差分析	(243)
一、光学测微器行差	(243)
二、光学测微器隙动差的检定方法误差	(245)
第三节 多项误差分析	(246)
一、望远镜十字丝照准一次的标准偏差	(246)
二、检定光学测微器分划误差时的检定方法 误差	(248)
三、偏心差的检定方法误差	(251)
四、比较法检定度盘直径误差的检定方法误差	(255)
五、一测回水平方向标准偏差的检定方法误差	(259)
第九章 经纬仪检定结果的数据处理	(261)
第一节 检定结果的数据处理方法	(261)
第二节 计算机程序简介	(261)
第十章 经纬仪的一般调修与维护	(286)
第一节 仪器调修注意事项	(286)
第二节 水准器轴与竖轴的垂直度的调整	(287)
第三节 行差和视差的调整	(288)
一、单面读数经纬仪、水平度盘和竖直度盘 光路分别走向的仪器	(288)
二、单面读数经纬仪、水平度盘和竖直度盘 光路同时行进的仪器	(289)
三、双面读数(对径符合读数)经纬仪	(290)

第四节	望远镜成象不清晰故障及排除·····	(290)
第五节	读数系统故障及排除·····	(291)
第六节	望远镜竖丝铅垂度的调整·····	(293)
第七节	横轴与竖轴垂直度的调整·····	(293)
第八节	指标差的调整·····	(294)
一、带指标水准器的仪器·····		(294)
二、带竖盘指标自动补偿器的仪器·····		(294)
三、当指标差超差很小时·····		(294)
第九节	照准差的调整·····	(295)
第十节	偏心差的调整·····	(295)
第十一节	仪器的维护·····	(296)
第十一章	经纬仪标准检定装置的检定·····	(297)
第一节	概述·····	(297)
第二节	检定条件·····	(297)
第三节	检定方法·····	(298)
参考文献	·····	(299)

第一章 概 论

第一节 角度计量单位^[1]

一、弧度

弧度是圆内两条半径之间的平面角，这两条半径在圆周上所截取的弧长与半径相等。任一平面角 α 的弧度值等于该平面角所对应的弧长 S 与半径 R 之比：

$$\alpha(\text{rad}) = S/R \quad (1-1)$$

对于一个整圆，圆周长与直径之比为一常量，称为圆周率，以 π 表示。圆周的周长与半径之比为 2π ，故一个整圆的弧度值为 $2\pi = 6.283185 \text{ rad}$ 。

二、角度——六十进制

角度是 $\pi/180$ 弧度的平面角，是六十进制的角度单位。将一圆周角分成360等分，每一等分叫做度，以 ($^{\circ}$) 表示；每1度分成60等分，每一等分叫做角分，以 ($'$) 表示；每一角分分成60等分，每一等分叫做角秒，以 ($''$) 表示。即

$$1 \text{ 圆周角} = 360^{\circ}$$

$$1^{\circ} = 60'$$

$$1' = 60''$$

三、梯度——百进制

梯度是百进制的角度单位，它是将圆周角分成400等分，每一等分叫做“哥恩” (gon)，以 (g) 表示；每一哥恩分

成100等分，每一等分叫做厘哥恩，以 (c) 表示，每一厘哥恩分成100等分，每一等分以 (cc) 表示。即

$$1 \text{ 圆周角} = 400^{\circ}$$

$$1^{\circ} = 100^{\circ}$$

$$1^{\circ} = 100^{\circ\circ}$$

四、密位

密位是将 1 圆周角分成 6 400 等分，每一等分为 1 密位。

即

$$1 \text{ 圆周角} = 6\,400 \text{ 密位}$$

第二节 角度计量单位的换算

一、弧度与角度的换算

1. 角度换算成弧度

$$360^{\circ} = 2\pi$$

$$= 6.283\,18 \text{ rad}$$

$$180^{\circ} = \pi$$

$$= 3.141\,59 \text{ rad}$$

$$1^{\circ} = \pi/180$$

$$= 0.017\,453 \text{ rad}$$

$$1' = \pi/(180 \times 60)$$

$$= 0.000\,290\,88 \text{ rad}$$

$$1'' = \pi/(180 \times 60 \times 60)$$

$$= 0.000\,004\,848 \text{ rad}$$

2. 弧度换算成角度

$$1 \text{ rad} = 360^{\circ}/2\pi$$

$$= 57.295\,78^{\circ}$$

$$= \rho^{\circ}$$

式中 ρ° ——弧度换算成角度单位“度”的换算常数。

$$1 \text{ rad} = 3\,437.746\,77'$$

$$= \rho'$$

式中 ρ' ——弧度换算成角度单位“角分”的换算常数。

$$1 \text{ rad} = 206\,264.806\,2''$$

$$= \rho''$$

式中 ρ'' ——弧度换算成角度单位“角秒”的换算常数。

二、弧度与梯度的换算

1. 梯度换算成弧度

$$400^g = 2\pi$$

$$= 6.283\,18 \text{ rad}$$

$$1^g = 0.015\,707\,96 \text{ rad}$$

$$1^\circ = 0.000\,157\,07 \text{ rad}$$

$$1'' = 0.000\,001\,57 \text{ rad}$$

2. 弧度换算成梯度

$$1 \text{ rad} = 63.661\,977^g = \rho^g$$

$$1 \text{ rad} = 6\,366.197\,7^\circ = \rho^\circ$$

$$1 \text{ rad} = 636\,619.77'' = \rho''$$

式中 ρ^g 、 ρ° 、 ρ'' ——分别为弧度换算成梯度的换算常数。

三、角度与梯度的换算

1. 角度换算成梯度

$$360^\circ = 400^g$$

$$1^\circ = 400^g / 360 = 1.1^g$$

$$1' = (400 \times 100)^\circ / (360 \times 60)$$

$$= 1.851\,851^g$$

$$1'' = (400 \times 100 \times 100)^\circ / (360 \times 60 \times 60)$$

$$= 3.086\,4^g$$

2. 梯度换算成角度

$$1^g = 54'$$