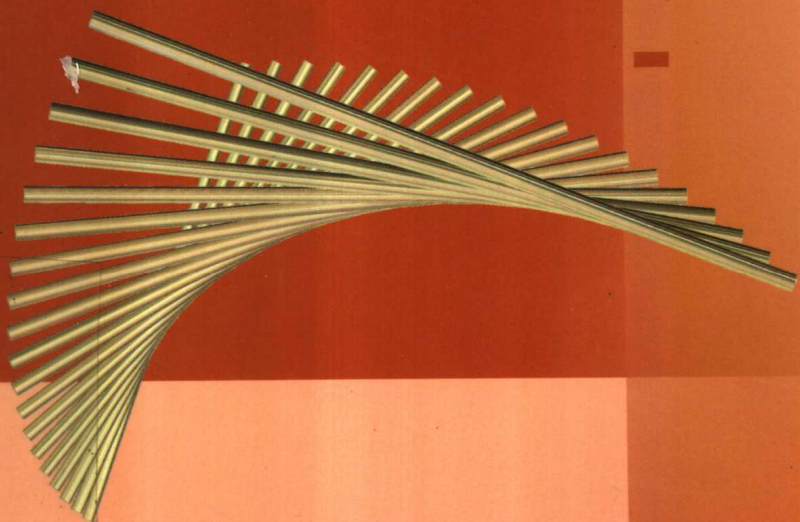


测量器具使用与检定

# 经纬仪

赵贤森 编著

J I N G W E I Y I



中国计量出版社

测量器具使用与检定

# 经纬仪

赵贤森 编著

中国计量出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

经纬仪:测量器具使用与检定/赵贤森编著. —北京:中国计量出版社, 2001.9

ISBN 7-5026-1529-6

I. 经… II. 赵… III. ①经纬仪—使用 ②经纬仪—检定  
IV. TH761

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 063058 号

### 内 容 提 要

本书系统地介绍了光学经纬仪、电子经纬仪及电子全站仪的结构原理及使用与检定。内容包括:光学经纬仪、电子全站仪的结构原理;经纬仪使用和检定中的具体操作方法等;标准检定装置不确定度分析;检定结果的数据处理及计算机程序。书中还对国内外常用的光学经纬仪、电子全站仪的主要技术指标和特点作了系统介绍。

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,经纬仪的使用、检定人员以及有关的科技人员和大专院校师生阅读与参考。

中国计量出版社出版  
北京和平里西街甲5号  
邮政编码 100029  
电话(010)64375360  
电子信箱 jlfxb@263.net  
北京迪鑫印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行  
版权所有 不得翻印



850mm×1168mm 32 开本 印张 10 字数 238 千字  
2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—3000 定价:20.00 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。它主要用于大地测量、气象、铁路、公路、桥梁、水利、矿山、建筑、大型机械的制造安装和计量工作中。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,并且向光电化、数字化、自动化方向迅速发展。

近年来,经纬仪得到迅速发展,光电化、数字化、自动化的电子经纬仪、电子全站仪技术开拓突飞猛进,日新月异,各个厂家对其生产的仪器,无论是技术指标还是各种性能随时都在不断改进。为了适应经纬仪发展的形势及广大读者的需要,作者在培训教材基础上重新加工、整理并补充了大量最新资料,编写了本书。本书对电子经纬仪、电子全站仪进行了重新改写,对其原理、结构、应用、技术指标、特点等做了更深入的介绍。书中还着重介绍了全自动电子全站仪的各种功能及国内外一些厂家的最新产品,同时介绍了电子经纬仪与计算机双向联机的数据通讯基本知识。

作者过去对经纬仪检定方法不确定度分析遵从关于不确定度建议书 INC—1(1980)和 IC—1981,并参考《测量不确定度评定与表示指南》(中国计量出版社 2000 年 4 月出版)和国家计量技术规范 JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》,着重分析了经纬

仪标准检定装置和一测回水平方向标准偏差的不确定度。

本书可供经纬仪的制造、使用和检定人员以及有关的科技人员阅读和参考。

本书在编写过程中,得到了很多同行专家的指导和帮助。在第七章中偏心差的谐波分析引用了宋俊峰的文章;编写第八章经纬仪检定方法不确定度分析时,曾与周自力、牛力新讨论。第九章中的计算机程序,是引用了乐可文高工编写的程序。本书还得到了李荃高工、李新超高工、郑木基高工和有关厂家提供的资料,特在此致以衷心的感谢。

由于水平有限,书中缺点错误在所难免,热忱欢迎读者批评指正。

作者

2001年2月

# 目 录

## 第一章 概 论

---

|     |                 |       |
|-----|-----------------|-------|
| 第一节 | 角度计量单位 .....    | ( 1 ) |
| 第二节 | 角度计量单位的换算 ..... | ( 2 ) |
| 第三节 | 经纬仪的基本结构 .....  | ( 3 ) |

## 第二章 几何光学基本知识

---

|             |                 |        |
|-------------|-----------------|--------|
| 第一节         | 几何光学的基本定律 ..... | ( 7 )  |
| 第二节         | 反射镜 .....       | ( 9 )  |
| 一、平面反射镜     | .....           | ( 9 )  |
| 二、球面反射镜     | .....           | ( 11 ) |
| 第三节         | 棱 镜 .....       | ( 12 ) |
| 一、全反射直角棱镜   | .....           | ( 12 ) |
| 二、折射反射式直角棱镜 | .....           | ( 14 ) |
| 三、全反射菱形棱镜   | .....           | ( 14 ) |
| 四、五棱镜       | .....           | ( 15 ) |
| 五、角隅棱镜      | .....           | ( 16 ) |
| 六、光楔        | .....           | ( 16 ) |

---

|                        |      |
|------------------------|------|
| 七、平板玻璃 .....           | (17) |
| 第四节 透 镜 .....          | (18) |
| 一、透镜的主轴、光心、焦点和焦距 ..... | (20) |
| 二、薄透镜成像 .....          | (20) |
| 三、厚透镜成像 .....          | (28) |
| 四、透镜组的成像 .....         | (31) |

### 第三章 经纬仪的主要结构

---

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 第一节 望远镜系统 .....             | (35) |
| 一、望远镜成像原理 .....             | (35) |
| 二、望远镜的放大倍数与视场角 .....        | (35) |
| 三、望远镜的种类 .....              | (37) |
| 四、望远镜的物镜 .....              | (40) |
| 五、望远镜目镜 .....               | (41) |
| 六、调焦镜 .....                 | (43) |
| 七、光学测微器 .....               | (45) |
| 八、望远镜的成像质量 .....            | (46) |
| 九、检定望远镜鉴别率的检定方法不确定度因素 ..... | (48) |
| 第二节 测微器系统 .....             | (53) |
| 一、读数机构 .....                | (53) |
| 二、测微器系统的作用及相关部件 .....       | (53) |
| 三、测微器系统 .....               | (60) |
| 第三节 水平度盘系统 .....            | (71) |
| 一、经纬仪度盘的特点 .....            | (71) |
| 二、度盘的分类 .....               | (71) |
| 三、度盘的刻划 .....               | (72) |
| 四、水平度盘的安装 .....             | (77) |
| 第四节 竖直度盘系统 .....            | (78) |

---

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 一、竖直度盘刻度的注记方法 .....        | (78) |
| 二、竖直度盘的安装与指标差 .....        | (79) |
| 第五节 竖轴系 .....              | (79) |
| 第六节 水准器及竖盘指标自动补偿器 .....    | (82) |
| 一、水准器的结构原理及种类 .....        | (82) |
| 二、竖盘指标自动补偿器工作原理及结构型式 ..... | (87) |
| 第七节 脚螺旋 .....              | (93) |
| 第八节 光学对点器 .....            | (94) |

#### 第四章 经纬仪的使用

---

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 第一节 经纬仪的操作常识及注意事项 ..... | (96)  |
| 第二节 仪器的安置 .....         | (98)  |
| 一、两种自然基准 .....          | (98)  |
| 二、仪器对中 .....            | (99)  |
| 三、仪器安平 .....            | (99)  |
| 第三节 仪器的照准与读数 .....      | (100) |
| 第四节 水平角测量 .....         | (101) |
| 一、测回法 .....             | (101) |
| 二、复测法 .....             | (102) |
| 三、方向观测法 .....           | (104) |
| 四、全组合测角法 .....          | (105) |
| 第五节 竖直角测量 .....         | (107) |
| 一、竖直角的表示方法 .....        | (107) |
| 二、竖直角的测量 .....          | (108) |
| 第六节 光学测距 .....          | (108) |
| 一、外调焦望远镜视距丝测距原理 .....   | (109) |
| 二、内调焦望远镜视距丝测距原理 .....   | (110) |
| 第七节 经纬仪在工程测量中的应用 .....  | (112) |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 一、大型机件尺寸和位置的测量 ..... | (112) |
| 二、分度误差的测量 .....      | (113) |
| 三、经纬仪的其他应用 .....     | (114) |

## 第五章 常用光学经纬仪的主要技术指标及特点

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 第一节 DJ07 型光学经纬仪 .....          | (115) |
| 第二节 DJ1 型光学经纬仪 .....           | (119) |
| 第三节 DJ2 型光学经纬仪 .....           | (121) |
| 一、J2 型光学经纬仪 .....              | (122) |
| 二、J2-1 型光学经纬仪 .....            | (124) |
| 三、TDJ2 型光学经纬仪 .....            | (126) |
| 第四节 DJ6 型光学经纬仪 .....           | (130) |
| 一、DJ6-1 型光学经纬仪 .....           | (131) |
| 二、TDJ6 型光学经纬仪 .....            | (134) |
| 第五节 瑞士 WILD T16 型光学经纬仪 .....   | (137) |
| 第六节 瑞士 WILD T2 型光学经纬仪 .....    | (139) |
| 第七节 瑞士 WILD T3 型光学经纬仪 .....    | (140) |
| 第八节 德国蔡司 Theo 010 型光学经纬仪 ..... | (142) |
| 第九节 德国蔡司 Theo 030 型光学经纬仪 ..... | (146) |

## 第六章 现代经纬仪

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第一节 概述 .....               | (149) |
| 第二节 光栅盘和光学码盘在经纬仪中的应用 ..... | (151) |
| 一、光栅测量基本原理 .....           | (151) |
| 二、编码度盘测量原理 .....           | (153) |
| 第三节 电子经纬仪的特点 .....         | (155) |
| 一、仪器结构特点 .....             | (155) |

|                                                 |       |
|-------------------------------------------------|-------|
| 二、多功能 .....                                     | (157) |
| 三、自动化 .....                                     | (163) |
| 四、数字化 .....                                     | (166) |
| 五、内、外业一体化 .....                                 | (168) |
| 第四节 全站型电子速测仪(全站仪) .....                         | (168) |
| 第五节 电子经纬仪有关参数 .....                             | (170) |
| 第六节 我国电子经纬仪、电子全站仪的发展 .....                      | (172) |
| 一、DJD2 型电子经纬仪 .....                             | (172) |
| 二、ET-02、ET-05 型电子经纬仪及 NTS-<br>202、205 全站仪 ..... | (174) |
| 三、DJD 电子经纬仪系列 .....                             | (177) |
| 四、DE2、DE5 电子经纬仪系列 .....                         | (178) |
| 第七节 国外电子经纬仪、电子全站仪简介 .....                       | (179) |
| 一、WILD 厂(现为徕卡公司一部分) .....                       | (180) |
| 二、德国蔡司厂(ZEISS) .....                            | (181) |
| 三、日本拓普康(TOPCON)公司 .....                         | (184) |
| 四、瑞典光谱精仪(捷创力)公司(Geotronics)<br>(原 AGA 厂) .....  | (189) |
| 五、日本索佳公司 .....                                  | (190) |
| 第八节 电子经纬仪、电子全站仪数据通讯基本知识 ..                      | (192) |
| 一、通讯方式 .....                                    | (193) |
| 二、通讯参数 .....                                    | (193) |
| 三、数据通讯接口 .....                                  | (195) |
| 四、键盘模拟功能 .....                                  | (196) |
| 五、数据采集程序 .....                                  | (196) |
| 第九节 工具经纬仪(坐标经纬仪) .....                          | (198) |
| 第十节 激光定向经纬仪 .....                               | (200) |
| 一、激光定向经纬仪结构原理 .....                             | (200) |
| 二、J2-JD 型激光经纬仪主要技术指标 .....                      | (201) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 三、DJD-1 型激光定向经纬仪主要技术指标 ..... | (201) |
|------------------------------|-------|

## 第七章 经纬仪检定操作要点

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 第一节 检定次序 .....            | (203) |
| 第二节 外观及一般性能的检定 .....      | (204) |
| 第三节 水准器轴与竖轴的垂直度 .....     | (204) |
| 第四节 测微器行差 .....           | (205) |
| 第五节 光学测微器分划误差 .....       | (207) |
| 第六节 光学测微器隙动差 .....        | (208) |
| 第七节 照准部旋转正确性 .....        | (209) |
| 第八节 望远镜竖丝对横轴的垂直度 .....    | (210) |
| 第九节 横轴与竖轴的垂直度 .....       | (211) |
| 第十节 照准差和指标差 .....         | (216) |
| 一、照准差 .....               | (216) |
| 二、指标差 .....               | (219) |
| 第十一节 照准部偏心差和水平度盘偏心差 ..... | (221) |
| 一、检定目的 .....              | (221) |
| 二、偏心差的检定方法 .....          | (221) |
| 三、照准部偏心差的计算 .....         | (222) |
| 四、水平度盘偏心差 .....           | (229) |
| 五、水平度盘偏心差对照准部偏心差的影响 ..... | (229) |
| 第十二节 望远镜调焦时视轴变动误差 .....   | (230) |
| 一、望远镜调焦时对视轴的影响 .....      | (230) |
| 二、检定工具 .....              | (231) |
| 第十三节 竖盘指标自动补偿器补偿误差 .....  | (233) |
| 第十四节 水平度盘直径全误差及其检定 .....  | (236) |
| 一、常角法 .....               | (237) |
| 二、常角对称联系法 .....           | (241) |

|                                           |       |
|-------------------------------------------|-------|
| 三、嵌入法 .....                               | (243) |
| 四、全组合法 .....                              | (245) |
| 五、比较法 .....                               | (248) |
| 六、自动检验 .....                              | (250) |
| 第十五节 一测回水平方向标准偏差 .....                    | (251) |
| 一、概述 .....                                | (251) |
| 二、经纬仪标准检定装置(多平行光管)检定<br>一测回水平方向标准偏差 ..... | (252) |
| 三、多齿分度台检定一测回水平方向标准偏差 .....                | (255) |
| 第十六节 一测回水平角测角标准偏差 .....                   | (256) |
| 第十七节 一测回竖直角方向标准偏差与测角标准<br>偏差 .....        | (257) |
| 第十八节 电子经纬仪的检定探讨 .....                     | (258) |
| 一、不同检定方法的比较 .....                         | (258) |
| 二、一测回水平方向标准偏差的检定问题 .....                  | (259) |

## 第八章 经纬仪检定不确定度分析

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 第一节 概 述 .....                         | (261) |
| 第二节 经纬仪标准检定装置不确定度分析 .....             | (261) |
| 一、经纬仪标准检定装置(多平行光管)不确定<br>度分析 .....    | (262) |
| 二、经纬仪标准检定装置(多齿分度台)不确定<br>度分析 .....    | (268) |
| 第三节 经纬仪一测回水平方向标准偏差检定结果<br>的不确定度 ..... | (272) |
| 一、光学经纬仪一测回水平方向标准偏差检定<br>结果不确定度 .....  | (272) |
| 二、电子经纬仪一测回水平方向标准偏差检定                  |       |

---

|              |       |
|--------------|-------|
| 结果不确定度 ..... | (278) |
|--------------|-------|

## 第九章 经纬仪检定结果的数据处理

---

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 第一节 检定结果的数据处理方法 ..... | (280) |
|-----------------------|-------|

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 第二节 计算机程序简介 ..... | (281) |
|-------------------|-------|

|            |       |
|------------|-------|
| 参考文献 ..... | (304) |
|------------|-------|

## 第一章

## 概 论

### 第一节 角度计量单位

#### 1. 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  $\alpha$  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  $\pi$  表示。圆周的周长与半径之比为  $2\pi$ ,故一个整圆的弧度值为  $2\pi = 6.283\ 185\ \text{rad}$ 。

#### 2. 角度

角度是  $\pi/180$  弧度的平面角,是六十进制的角度单位。将一周周角分成 360 等分,每一等分叫做度,以  $^{\circ}$  表示;每 1 度分成 60 等分,每一等分叫做分,以  $'$  表示;每一分分成 60 等分,每一等分叫做秒,以  $''$  表示,即

$$1\ \text{圆周角} = 360^{\circ}$$

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

$$1' = 60''$$

### 3. 梯度

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“冈”以 gon 表示。

冈是非法定计量单位,它与法定计量单位弧度的关系是

$$1 \text{ gon} = \frac{\pi}{200} \text{ rad} = 0.01570796 \text{ rad}$$

## 第二节 角度计量单位的换算

### 1. 弧度与角度的换算

#### (1) 角度换算成弧度

$$\begin{aligned} 360^\circ &= 2\pi \\ &= 6.28318 \text{ rad} \\ 180^\circ &= \pi \\ &= 3.14159 \text{ rad} \\ 1^\circ &= \pi/180 \\ &= 0.0174533 \text{ rad} \\ 1' &= \pi/(180 \times 60) \\ &= 0.00029088 \text{ rad} \\ 1'' &= \pi/(180 \times 60 \times 60) \\ &= 0.000004848 \text{ rad} \end{aligned}$$

#### (2) 弧度换算成角度

$$\begin{aligned} 1 \text{ rad} &= 360^\circ/2\pi \\ &= 57.29578^\circ \\ &= \rho^\circ \end{aligned}$$

式中,  $\rho^\circ$  为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,  $\rho'$  为弧度换算成角度单位分的换算常数。

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

式中,  $\rho''$  为弧度换算成角度单位秒的换算常数。

## 2. 弧度与梯度的换算

### (1) 梯度换算成弧度

$$1 \text{ gon} = \frac{\pi}{200} \text{ rad} = 0.015\,707\,96 \text{ rad}$$

### (2) 弧度换算成梯度

$$1 \text{ rad} = 63.661\,977 \text{ gon}$$

## 3. 角度与梯度的换算

### (1) 角度换算成梯度

$$360^\circ = 400 \text{ gon}$$

$$1^\circ = 400 \text{ gon} / 360 = 1.1 \text{ gon}$$

### (2) 梯度换算成角度

$$1 \text{ gon} = \frac{180^\circ}{200} = 54'$$

## 第三节 经纬仪的基本结构

我国经纬仪的生产已形成自己的系列, 系列标准代号为 DJ。D 代表大地测量仪器, 是“大”字的汉语拼音的第一个字母; J 代表经纬仪, 是“经”字的汉语拼音的第一个字母。目前系列标准中包括的仪器型号有 DJ07, DJ1, DJ2, DJ6 及 DJ30。标准代号后面的数字, 代表该仪器的准确度等级, 以水平度盘的一测回水平方向标准偏差表示。例如, DJ07 后面的“07”表示该仪器一测回水平方向标准偏差不应超过 0.7”; 同样, DJ1 后面的“1”表示该仪器一测回

水平方向标准偏差不应超过  $1''$ 。

普通光学经纬仪的外形示于图 1-1, 仪器各部件简述如下。

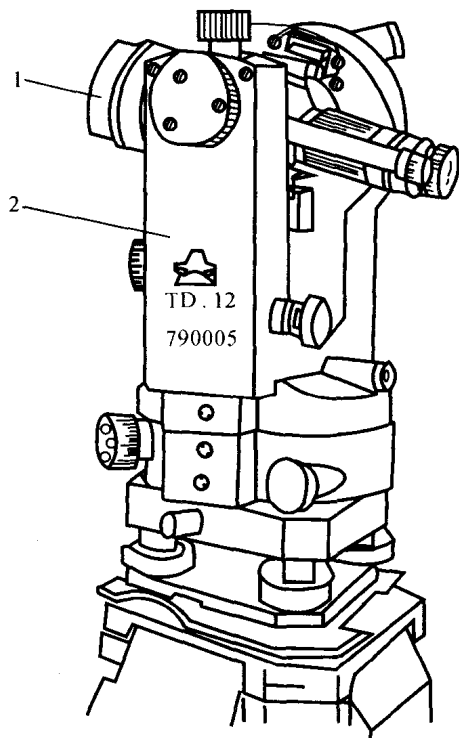


图 1-1 经纬仪外形图

1—望远镜；2—照准部

### 1. 望远镜

望远镜是仪器的主要部件之一, 用以瞄准被测零件或目标。

### 2. 照准部

照准部是指绕经纬仪竖轴旋转的整个壳体及内部零件。照准