

960138

GAODENG
ZHUANKE
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

P22
4436



高等专科学校教学用书

控制 测量

冶金工业出版社

高等专科学校教学用书

控 制 测 量

哈尔滨冶金测量专科学校 杜永昌 主编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

高等专科学校教学用书

控制测量

哈尔滨冶金测量专科学校 杜永昌 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街属院北巷29号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 28 字数 666 千字

1992年5月第一版 1992年5月第一次印刷

印数00,001~4,000册

ISBN 7-5024-0974-2

TB·10 (课) 定价7.05元

前 言

本书是根据1991~1995年冶金工业部专科学校教材出版选题规划和专科学校工程测量专业《控制测量》教学大纲的要求，结合教学和生产实践经验并吸收近代控制测量中被实践检验可行的新技术编写而成的。

本书的主要内容包括水平控制网和高程控制网的基本理论和方法，精密测量仪器的结构、性能和使用方法，数据处理的理论和方法，同时为适应近代科学技术的发展还介绍了控制测量的新方法。

本书共分四篇十六章，第一、七、八、十、十一、十二章由杜永昌同志执笔；第二、三、四章由蒋宝成同志执笔；第五、六、九、十六章由王晏民同志执笔；第十三章由李岚发同志执笔；第十四、十五章由雷国华同志执笔。杜永昌同志担任主编。

本书由中国矿业大学邢永昌同志、清华大学郑国忠同志审稿，并提供了宝贵意见，在此表示衷心的感谢！

本书除作为专科学校工程测量、矿山测量专业教材外，也可供测量生产技术人员参考。由于编者水平有限，难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

编者

1991年5月

目 录

第一篇 基础篇	1
第一章 绪论	1
第一节 控制测量学的研究内容	1
第二节 控制网的基本结构	1
第三节 控制测量作业流程	3
第二章 精密经纬仪	5
第一节 精密光学经纬仪	5
第二节 经纬仪的三轴误差	31
第三节 精密光学经纬仪的检验	38
第三章 光电测距仪	50
第一节 电磁波测距基本原理	50
第二节 相位式光电测距仪的工作原理	57
第三节 中、短程相位式光电测距仪	66
第四节 中、短程光电测距仪的检验	94
第五节 电子速测仪	110
第四章 精密水准仪	126
第一节 精密水准仪和水准尺	126
第二节 精密水准仪和水准尺的检验	137
第五章 地球椭球与测量坐标系统	149
第一节 地球椭球的概念	149
第二节 常用测量坐标系及其关系	153
第三节 几种主要椭球公式	159
第六章 地图投影与高斯投影	166
第一节 地图投影与高斯投影	166
第二节 正形投影的一般条件	169
第三节 高斯平面直角坐标系与大地坐标系	173
第四节 椭球面上观测结果归化到高斯平面上的计算	178
第二篇 外业篇	183
第七章 控制网的布设	183
第一节 布设的一般原则和方案	183
第二节 精度估算	184
第三节 技术设计	195
第四节 优化设计的概念	197
第五节 控制网的选点、造标和埋石	204
第八章 三角网的施测	214

第一节	测角误差来源及其影响	214
第二节	施测方法与要求	219
第三节	归心元素的测定和归心改正数的计算	225
第四节	观测成果的验算	230
第九章	三边网与边角(导线)网的施测	235
第一节	测距误差来源及其影响	235
第二节	三边网与边角(导线)网的施测	239
第三节	观测结果的化算	242
第十章	高程控制测量	247
第一节	高程控制网的布设	247
第二节	精密水准测量的误差来源及其影响	248
第三节	精密水准测量的实施	250
第四节	水准测量的精度评定	253
第五节	水准面不平行性和高程系统	256
第六节	水准测量外业计算	259
第七节	跨越障碍物的水准测量	260
第八节	三角高程测量	264
第九节	高程控制网的平差计算	271
第三篇	内业篇	279
第十一章	控制测量概算	279
第一节	外业成果的整理与图表的绘制	280
第二节	成果的归算和改化	281
第十二章	平面控制网条件平差	289
第一节	三角网条件平差	289
第二节	条件平差的基本公式	301
第三节	条件分组平差	305
第四节	附有未知数的三角网条件平差	309
第五节	三边网条件平差	315
第六节	导线网条件平差	324
第七节	边角网条件平差	328
第十三章	控制网参数平差(间接平差)	333
第一节	参数平差原理	333
第二节	各类误差方程式的建立	334
第三节	附有条件的参数平差	354
第四节	参数平差电算方案	364
第十四章	相关平差	367
第一节	相关平差	367
第二节	平面控制网逐次相关间接平差	387
第三节	秩亏自由网平差	392
第四篇	发展篇	399
第十五章	数据处理方法的发展	399
第一节	三维工程控制网的平差方法	399

第二节 控制网可靠性分析	404
第三节 粗差定位的方法	412
第十六章 GPS与控制测量	417
第一节 GPS简介	417
第二节 GPS的观测量及其数学处理	421
第三节 GPS控制测量的实施	429
附表	435
主要参考书目	437

第一篇 基础篇

第一章 绪 论

第一节 控制测量学的研究内容

控制测量学是研究建立各种不同用途的水平控制网与高程控制网的基本方法和基本原理的科学。“测量学”中曾论述了为施测各种大比例尺地形图而建立的图根控制网，它们是测图的依据，其精度的优劣决定着成图的质量，而图根控制网的起算数据则是由控制测量提供的。

我们知道无论是国民经济建设还是国防建设，也无论是工厂还是矿山，所有各项工程建设在规划设计阶段都必须有各种比例尺的地形图，据此才能进行规划设计。例如厂址的选择就需要地形图。厂址选定后，厂内各主要建、构筑物的分布同样离不开地形图；矿山建设亦是如此，在地质勘探、设计、基建和开采之前，必须建立必要精度的测量控制网，作为矿区地形测量和工程测量的基础。从这个意义上说，控制测量的任务是为了施测各种比例尺的地形图而布设的具有足够精度的测量控制网。

此外，在工程建设的施工阶段仍然需要具有必要精度的施工控制网。例如，在施工放样的时候，或者机器安装的时候，都是按照设计的位置精确地标定到地面上来。又如隧道的贯通、井巷掘进和地下设施的安装等都要求有足够精度的施工控制网，以保证施工的质量。所以从这个意义上说，控制测量的又一任务是为施工阶段提供必要精度的控制网。

在工程建设竣工以后为了对工程建、构筑物进行变形观测，和矿山由于多年开采，地下采空区扩大，可能发生岩石移动，都必须建立更高精度的专用控制网。

综上所述，在工程建设的各个阶段，都需要建立满足各种需要的控制网。诚然，评价一个控制网的好坏除了质量这个因素以外，还要考虑它的经济效益。那就是工作周期、消耗和质量必须综合考虑，以获得最佳效果。

如前所述，控制测量学就是研究建立各种用途的控制网的原理和方法的一门科学。它与大地测量学有所不同。大地测量学是研究在广大地面上建立国家大地控制网，而本书所指的控制网一般是指工程建设测量控制网，它是在国家大地控制网的基础上建立的，同时这种控制网应尽量与国家控制网联测并纳入国家网中，做为国家网的一部分。由此可看出两者之间既有联系又有区别。所以两者在研究内容方面有很多是一致的。

第二节 控制网的基本结构

控制网一般分平面控制网和高程控制网两大类。平面控制网又分三角网、测边网、边角网（导线网亦属于边角网）；高程控制网又分水准网和三角高程网。

用三角测量的方法建立起来的平面控制网——三角网，是生产中应用最广泛的一种方法，它的基本原理是在地面上选择并标出一系列彼此通视的点 A 、 B 、 C 、 D ……，将它

们用三角形的形式联接起来，组成椭球面上的三角网。观测网中的各个角度，并按一定方法（将在第六章阐述）把它们化为平面上的角值，即组成平面上的三角网，如图 1-1 所示。若已知点 A 的平面坐标 (X_A, Y_A) ，点 A 至 B 的平面边长 S_{AB} ，坐标方位角 α_{AB} ，便可用正弦定理依次推算出所有三角网的边长、各边的坐标方位角、各点的平面坐标。

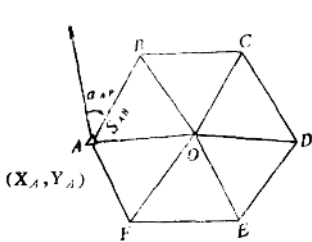


图 1-1

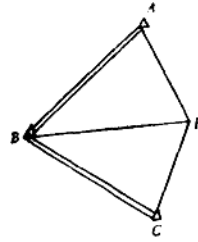


图 1-2

三角网的基本图形是三角形。这是因为三角形结构简单，图形强度高，计算方便，并有一定的几何条件检核。

在一个三角网中，为了得到所有三角点的坐标，必须已知三角网中某一点的坐标做为起算坐标 (X, Y) ，某一边的边长 S 和某一边的方位角 α 做为起算边长和起算方位角，这四个元素统称三角网的必要起算数据。三角网的必要起算数据亦可以是该网中相邻两点的坐标。如果一个三角网仅有必要的起算数据，则称此三角网为独立网（或称自由网），图 1-1 为一独立网。如果一个三角网有多余起算数据则称此三角网为非独立网（或称非自由网）。如图 1-2 所示。图中 A 、 B 、 C 为已知三角点， P 为待定点。

此外，三角网的基本图形还有大地四边形如图 1-3 所示，中点多边形如图 1-4 所示两种。

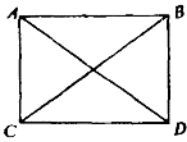


图 1-3

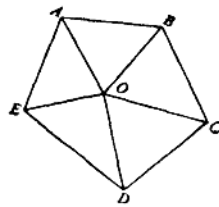


图 1-4

测边网和边角网的基本图形和三角网一样。测边网是观测网中的所有边长，不观测角度；在三角网中加测边和测边网中加测角则称此网为边角网，而导线测量则是观测全部的边和角。测边网的必要起算数据是一个点的已知坐标和一条边的方位角。如同三角网一样，测边网亦分为自由测边网和非自由测边网两种。值得提出的是当网内有两个相邻的已知点时，它仍然属于自由测边网。

测边网和三角网比较,前者观测值为网内各边,后者为网内各角,工作量较三角网并未减轻多少,从精度指标来看各有千秋,这就是测边网迄今不能普及的原因之一。

至于边角网则比较灵活,它可以以某种网为基础,在需要加强的地方加测某些元素,以提高成果的质量。在电磁波测距仪迅速普及的今天,导线网越来越显示其优于各类平面控制网。对于导线网而言,由于它通视方向少,在布网时受障碍物限制较少,又由于边角网测,其横向位移小于测边网,纵向位移又小于三角网,在生产成本上又低于测边网和三角网,尤其应用于城镇地区的导线网更具有优越性,因此,对导线网的研究是十分有意义的工作。

上述几种控制网将在第八章与第九章中分别介绍。

至于高程控制网则是用来确定点的高程位置的控制网。地面点的高程通常是指该点到大地水准面的垂直距离,称之为正高,该系统称为正高系统。而目前我国采取正常高系统,它是指地面点到似大地水准面的垂直距离,它的高程值是通过观测的高差加入某些改正与起始点的高程取代数和而获得。还有一种在日常工作中涉及很少的高程系统叫大地高系统,它是指地面点沿法线方向至参考椭球面上的距离。

高程控制网一般布设成为结点形式,其布设的原则与方案与平面控制网大同小异,也是密度逐渐加大,精度逐渐降低,它亦有统一的规格便于互相连接和利用。

值得提出的是,随着电磁波测距仪的普及,光电测距高程网可以部分地代替精密几何水准测量。以往的三角高程网(或称间接高程),精度较低不能替代国家规范规定的等级控制网,因为它是利用两点间(通常是三角点间)观测的垂直角(天顶距)和三角网中推算的两点间边长计算两点间高差。而今两点间的边长可以直接测定,其精度远远超过推算边长的精度,因而相应地提高了两点间高差的精度。因此,国家规定,四等高程控制可用电磁波测距三角高程测量,但一般起迄点应不低于三等水准的高程点。三角高程网边长和高程导线边长都不应超过1km,边数不应超过六个。在布设工程控制网时,应用上述方法确定点的高程位置是比较理想的方法。

关于高程控制网的详细内容将在第十章中讨论。

第三节 控制测量作业流程

用于工程测量的控制测量,一般作业流程是:

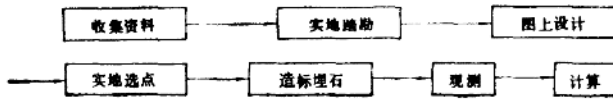
接受任务以后,先收集本测区的资料,包括小比例尺地形图和去测绘管理部门抄录已有控制点成果,然后去测区踏勘,了解测区行政隶属,气候及地物、地貌状况、交通现状、当地风俗习惯等。同时踏勘原有三角点、导线点和水准点,了解觇标、标石和标志的现状。

在收集资料和现场踏勘的基础上进行控制网的技术设计。既要考虑控制网的精度,又要考虑节约作业费用,也就是说在进行控制网图上选点时,要从多个方案中选择技术和经济指标最佳的方案,这就是控制网优化问题。

根据图上设计进行野外实地选点,就是把图上设计的点位放到实地上去,或者说通过实地选点实现图上设计的目的。当然,在实地选点时根据实地情况改变原设计亦是常见的事。

为了长期保存点位和便于观测工作的开展，还应在所选的点上造标埋石。观测就是在野外采集确定点位的数据，其中包括大量的必要的观测数据，亦含有一定的多余观测数据。计算是根据观测数据通过一定方法计算出点的最合适位置。

控制测量作业流程图



第二章 精密经纬仪

精密经纬仪是精密测角的仪器。而精密角度测量是建立高级控制网和进行精度较高的测量工作所不可缺少的工作内容之一。

由精密光学器件和精密机械器件组成的精密光学经纬仪，它是由光学目视法读数的；随着电子技术和微机的发展与应用，在经纬仪中也引入电子传感器和微处理机系统等，构成了新一代的电子经纬仪，它能自动按度盘位置数据信息以数字化显示角值，代替了光学经纬仪的光学目视读数法。

这一章主要讨论精密光学经纬仪的结构特点和使用方法，讨论仪器误差的产生以及它的检验方法，并分析仪器主要误差对观测成果的影响规律，及避免或消除这些误差影响的措施。关于电子经纬仪的测角原理和使用方法，将在第三章中介绍。

第一节 精密光学经纬仪

按国家各等级三角测量的精度等级要求，我国大地测量光学经纬仪的系列标准为DJ₀₇、DJ₁、DJ₂、DJ₆等规格。其中D为大地测量仪器总代号，J为经纬仪代号，它是经纬仪汉语拼音的第一个字母，右下标号表示仪器的精度指标，即为室内检定时水平方向观测一测回的中误差。例如DJ₀₇型光学经纬仪，表示该型号仪器水平方向观测一测回的中误差是±0.7″；DJ₂型光学经纬仪是±2″。

我国现在经纬仪的生产已成系列，有用于一、二等三角测量及精密工程测量的高精度的DJ₀₇、DJ₁型光学经纬仪，有用于三、四等三角测量和较高精度工程测量的中等精度的DJ₂型光学经纬仪。在控制测量中广泛使用DJ₁和DJ₂型光学经纬仪，现将国内外同类型常用经纬仪的主要技术指标列于表2-1中，供使用时参考。

几种常用的精密光学经纬仪主要技术参数表

表 2-1

仪器型号	望远镜		度盘直径		显微镜放大数		测微器		水准管格值		厂名
	放大倍数	通光孔径	水平	垂直	水平	垂直	结构	格值	水平	垂直	
JGJ ₂	30	45 mm	90 mm	70 mm	48	62	双光楔	1″	20″	20″	苏州第一光仪厂
DJ ₂							双平行板	1			北京光仪厂
T ₂	28	40	90	70	34	44	双平行板	1	20	30	瑞士威特厂
010	31	53	84	60	34	48	双光楔	1	20	20	东德蔡司厂
Thco2	27	40	85	75			双光楔	1	20	20	东德Freiberger厂
DKM2	30	45	75	70			单平行板	1	20	20	瑞士克恩厂
TB-1	27	40	85	75			双光楔	1	20	20	苏联
T ₁	24										瑞士威特厂
	30	60	140	95			双平行板	0.2	7	12	
	40										

一、精密光学经纬仪的基本结构

精密光学经纬仪的基本构造原理与普通经纬仪相同。但由于控制测量观测目标的距离远，测角精度要求高，因而对它的结构稳定性和精密性都比普通经纬仪要求高。所以精密光学经纬仪的各部分构造都有其特定的要求，现简要介绍主要部分的构造特点。

(一) 望远镜

望远镜的主要作用是瞄准远距离的目标，进行精确照准。现代的精密光学经纬仪都采用内调焦望远镜。它是由物镜组、调焦镜组、十字丝分划板和目镜组成。内调焦望远镜的长度是固定不变的，也就是物镜与十字丝分划板间的距离是固定不变的。它的光学系统如图2-1所示。

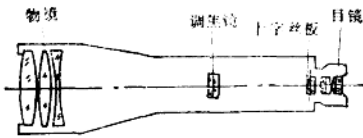


图 2-1

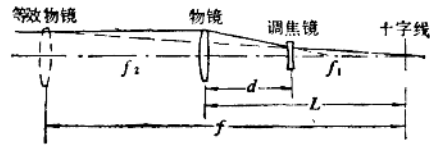


图 2-2

调焦镜的主要作用是通过改变调焦镜与物镜之间的距离 d ，可以使等效物镜的焦距 f 变化，这样把远近不同的目标的象调到十字丝焦面上。由几何光学可知，等效物镜的焦距为

$$f = \frac{f_1 \times f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (2-1)$$

式中 f_1 ——物镜的焦距；

f_2 ——调焦镜的焦距；

d ——物镜与调焦镜的距离。

内调焦望远镜的视准轴就是等效物镜光心与十字丝分划板中心的连线，如图2-2所示。它是一条瞄准目标的基准线。望远镜的焦距越长其准直性越好。在观测时，如果物镜调焦不完善，有明显的视差，可使照准误差增大 $4' \sim 5''$ ，这对精密测角是不允许的，所以在观测时必须消除视差。若调焦时，调焦镜严格沿直线运动，由此而引起视准轴有规则的变动，对测角成果无不良影响。若调焦镜在运动过程中有晃动，或不作直线运动时，将引起视准轴不规则的变动。如果调焦镜在移动过程中产生左右偏离，就将带来水平方向的误差；如果上下偏离，就将带来竖直方向的误差。为了避免由调焦引起视准轴变动而对测角带来的误差，规范中规定水平角观测时在一测回内不得重新调焦。

十字丝分划板，是观测时用以精确照准目标的标志。竖丝用来测定水平方向的位置，横丝用来测定竖直方向的位置。现代的精密测角仪器是用玻璃片制成十字丝分划板，在分划板上镀有视距丝和瞄准用的十字丝分划，为了适应各种不同形状的观测目标并提高瞄准精度，十字丝分划板有不同宽度和各种形式的十字丝分划。如照准的目标是觇标的标心或照准圆筒和发光目标时，可采用不相交的十字丝，如图2-3 (a) 所示。这种十字丝照准目标时，不会遮住目标本身的影像的轮廓以利提高照准精度。当用单丝照准目标时，应用单丝去平分目标或使单丝与目标成象连成一直线，如图2-3 (b) 所示。当用双丝照准目标

时，应将目标成象正确置于双丝中间，如图2-3 (c)所示，利用双丝与目标之间的两条空隙的宽度是否相等来判断照准是否正确。经验表明，当目标成象的宽度为双丝间距的 $1/3 \sim 1/2$ 时，用双丝照准的精度较高。细长目标宜用单丝照准，当目标象宽度接近单丝宽度，且目标又较长时，用单丝照准的精度较高。

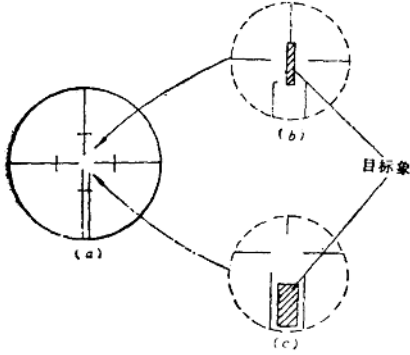


图 2-3

照准时不会带动水平度盘。半运动式柱型轴用一排滚球1与竖轴轴套上端的锥形表面接触，滚球支承照准部的重量和起良好的置中作用，使照准部转动灵活，稳定和无晃动现象。图2-4 (b) 为T₃型竖轴，其基本结构同上，不同的是水平度盘6安置在照准部轴套3的下部套外的水平度盘轴套7上。

(二) 竖轴轴系

竖轴轴系是使照准部稳定的围绕铅垂线旋转，对仪器的稳定性有着重要作用。因而，竖轴轴系是精密测角仪器的重要组成部分，都采用半运动式柱型轴，基本结构如图2-4。图2-4 (a) 为JGJ₂型竖轴，它是由照准部旋转轴(即竖轴)4插在其轴套3中，竖轴可以在轴套内作自由旋转，竖轴轴套的下半部可锁定在基座上，在竖轴轴套的上半部套上水平度盘轴套2。水平度盘5安置于水平度盘轴套2上。这种竖轴轴系结构，使水平度盘与照准部的旋转轴隔离，在转动

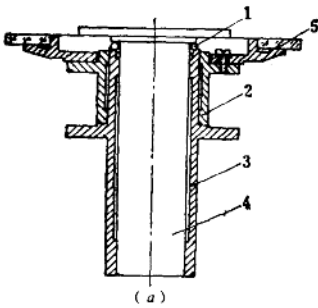


图 2-4(a)

1—钢珠；2—水平度盘轴套；3—竖轴套；
4—竖轴；5—水平度盘

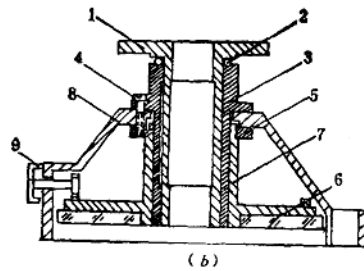


图 2-4(b)

1—照准部旋转轴；2—滚珠；3—照准部轴套；4—
联接螺丝；5—水平度盘轴套挂圈；6—水平度盘；
7—水平度盘轴套；8—仪器轴座；9—水平度盘变换螺旋

为了保证水平角的观测精度，照准部旋转轴的轴线应通过水平度盘的刻划中心，当转动照准部时，其轴线应保持铅垂位置，这是对照准部旋转置中的要求。因为置中的偏差会引起读数设备相对于水平度盘产生偏移，而在读数中带来偏心误差的影响。

(三) 水准器

照准部水准器是用以精确整平仪器，使仪器的竖轴在铅直位置上。竖盘指标水准器是用来使竖盘指标处于正确位置的标志。

精密水准器一般为管状形式，水准器的精度主要由它的格值来衡量，所谓格值，就是管面一个分格（宽度为2mm）所对水准管内壁纵向圆弧的圆心角值，一般用 τ 表示。如精密光学经纬仪DJ₆的照准部水准器的格值为4"/2mm，J₂型仪器为20"/2mm。水准器的灵敏度是指当气泡产生0.1格（0.2mm）位移时，水准器所倾斜的角值。这个倾斜角越小则灵敏度越高。水准器的灵敏度主要取决于气泡在管内移动时阻力的大小，如一般较长的水准器气泡，由于在同样倾角下可以获得较大的推力，容易克服对气泡的阻力，因而灵敏度较高。又如，水准器对温度的影响很敏感，若水准器受单方向热源影响时，气泡就会向热源方向移动。如果在烈日下作业而不撑测伞，结果会使水准器气泡缩短，灵敏度降低，气泡还会向热的一端移动。因此，在使用精密测角仪器时，应注意和防止热源对仪器的影响。

（四）水平度盘

精密光学经纬仪的度盘是用玻璃制成，在度盘平面的圆边缘上刻有等间距的分划线。两相邻分划线间距所对的圆心角称为度盘的最小分格值。一般精密经纬仪的水平度盘的格值较小。如DJ₆型、T₃型的水平度盘格值均为4'，DJ₂型及T₂型的水平度盘格值均为20'。水平度盘上的注记按顺时针方向增大。

水平度盘是量测水平方向角度的计量器，它的质量好坏直接影响测角的精度。水平度盘的分划线是用圆刻度机刻制的。在刻制过程中，由于圆刻度机本身的误差，待刻度盘固定位置不正确和外界温度等因素的影响，会引起系统性和偶然性的刻划误差。其系统性误差表现在两个方面：一是以度盘全周为周期的有规律变化的分划误差，称为长周期系统误差；另一是以一段弧长为周期有规律变化的分划线误差，称为短周期误差。现代精密光学经纬仪（如DJ₁、DJ₂型）度盘的长周期系统误差约为 $\pm 1.5'' \sim \pm 2.0''$ ，短周期系统误差约为 $\pm 1.0'' \sim \pm 1.2''$ ，偶然误差约为 $\pm 0.2'' \sim \pm 0.25''$ 。这样大的误差在精密测角中是不能忽略的，必须在观测过程中采用在度盘上取均匀对称位置读数的办法削弱其影响。因此规范规定，测回之间必须均匀地变换度盘位置，使每一方向的读数都平均分配在度盘的不同位置上读取。

《三角测量规范》中规定：方向观测法，每测回间水平度盘变换一个角度 σ 为

$$\sigma = \frac{180^\circ}{m} + i'$$

式中 m ——测回数；

i' ——水平度盘最小间隔分划值。

二、重合读数法及测微原理

精密光学经纬仪各个部分的结构精密是相互配合的，观测结果的综合成果是通过读数设备反映出来。与之相应的读数设备通常采用有1'~2'刻度的光学测微装置。这里主要讨论精密光学经纬仪的读数设备的基本结构，测微原理和重合读数法。

（一）重合读数原理

在进行角度观测时，照准部带着度盘读数指标线相对于水平度盘而转动，由于照准部的旋转中心O'（指标线的中心）与水平度盘中心O不在同一铅垂线上，当望远镜照准某一

方向, 用一个指标线 A' 为准读得的观测值中, 含有照准部偏心影响而引起的误差, 如图 2-5 所示。当照准部偏心距为 e 时, 所引起最大偏心误差值为

$$\varepsilon'' = \frac{OO'}{A'O} \times \rho'' = \frac{e}{r} \rho''$$

式中 e —— 照准部偏心距;
 r —— 度盘分划半径。

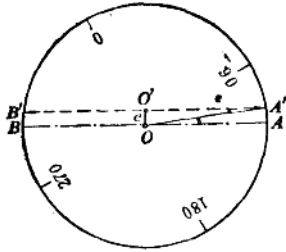


图 2-5

当取 $e=0.002\text{mm}$ $r=45\text{mm}$ 时, $\varepsilon=8''$, 这样大的偏心差影响, 对精度高的光学经纬仪是不允许的。如何消除照准部偏心差对水平方向观测值的影响, 最简单的办法是在照准部旋转中心 O' 的对径 180° 方向上装置两个指标, 如图 2-5 中 A' 、 B' 表示的两个指标, 而取两个指标读数的平均数作为某一方向的读数, 即可获得消除了照准部偏心差的正确读数, 其正确读数各为

$$\begin{aligned} A &= A' + \varepsilon, \\ B &= B' - \varepsilon, \end{aligned}$$

上两式相加取其平均值得

$$A = \frac{A + B - 180^\circ}{2} = \frac{A' + B' - 180^\circ}{2} \quad (2-2)$$

上式说明即使照准部偏心, 只要能两个指标线读出照准部旋转中心对径 180° 的两个读数, 然后取平均值, 即可得到某一方向不受照准部偏心差影响的正确读数。

在光学测微器中是利用度盘对径 180° 两条分划影象的符合, 来确定某一方向的正确读数, 即一次读数取度盘对径 180° 方向的平均值, 这种读数法称为重合读数法或符合读数法。

用两个指标来读取某一方向 M_A 读数时, 由 (2-2) 式得正确值。实际上在指标 B' 处读数只需读出不满度盘格值部分如 $\widehat{B'P'} = \Delta_2$ (设 P 与 P' 为度盘上互为对径相差 180° 的整分划注记, 且最靠近指标 A' 和 B') 和 $\widehat{A'P} = \Delta_1$ 图 2-6 (a), 这时

$$M_A = P + \frac{\widehat{PA'} + \widehat{P'B'}}{2} = P + \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \quad (2-3)$$

因为存在照准部偏心差

则 $\Delta_1 \neq \Delta_2$

取 $\Delta_{\text{中}} = (\Delta_1 + \Delta_2)/2$, 得

$$M_A = P + \Delta_{\text{中}} \quad (2-4)$$

这说明, 要获得某方向 M_A 的正确读数, 其关键是要能一次读取 $\Delta_{\text{中}}$, 为此可应用一光学系统将度盘任一分划成象在它的对径 180° 分划线附近。图 2-6 (b), 将 $B'BP'$ 部分平移至 $B_1B_1P_1$ 位置, 不放大也不缩小, 方向也不改变, 并使其在 AB 位置相切。此时, 读数视场中有两排度盘分划, 只要能求出 $\frac{1}{2}(\widehat{P'B'} + \widehat{PA'}) = \Delta_{\text{中}}$ 即可。

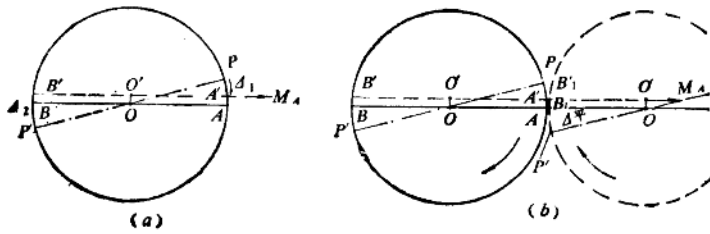


图 2-6

精确确定 Δ_{\mp} 的方法是用两块能作等速反向运动的相同的光学零件，使其分别各自通过它们的度盘分划线影象 P 和 P' 能作等速反向运动，而后在相切的 AB_1 位置符合，对径分划线的移动量 $\frac{1}{2}(\widehat{P'B'} + \widehat{A'P}) = \frac{1}{2}\widehat{P'P} = \Delta_{\mp}$ ，用测微器把不满度盘格值的量 Δ_{\mp} 测出来。如图2-7 (a) 中 $P = 1^{\circ}20'$ ， $P' = 181^{\circ}20'$ ，箭头所示方向转动照准部，在视场中可见到两排度盘分划反向等量地相对移动。图2-7(b)为对径分划线影象没符合的情况，图2-7 (c) 为转动测微器后对径分划线影象符合的情况。由测微器量得 $\Delta_{\mp} = 7'22.5''$ ，则 M_A 方向的正确读数为

$$M_A = P + \Delta_{\mp} = 1^{\circ}20' + 7'22.5'' = 1^{\circ}27'22.5''$$

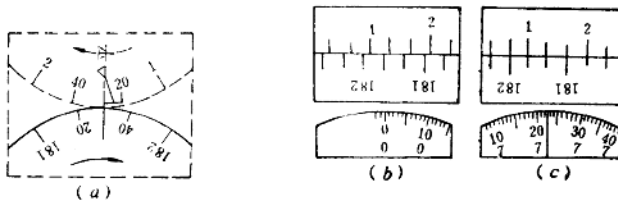


图 2-7

(二) 度盘对径分划线的符合方法

光学经纬仪采用符合读数方法可以消除度盘的偏心差影响。为了读数方便，把仪器度盘对径分划线影象通过光学系统的作用引入同一显微镜视场，而且要求具有一致的放大倍率。为了获得度盘对径分划线的符合影象，必须采用双光路合象系统，这个系统是由合象光组与符合棱镜两个主要部分组成。

1. 合象光组

合象光组是把两条光路的各自的影象合到同一个视场内。它一般采用以下两种结构：

(1) 1:1 的转象光组：它是由屋脊棱镜 3 (1:1 成象透镜组) 和直角棱镜 4 组成，如图2-8所示。光线经过保护玻璃 1 照明度盘 2 的 0° 附近的分划线，此分划线经由屋脊棱镜 3 (1:1 成象透镜组) 和直角棱镜 4 成象在对径 180° 分划线附近，成象示意情况如图右上方，即成象系统将左侧分划平移至对径右侧分划旁边，度盘注记情况如下部俯视图所