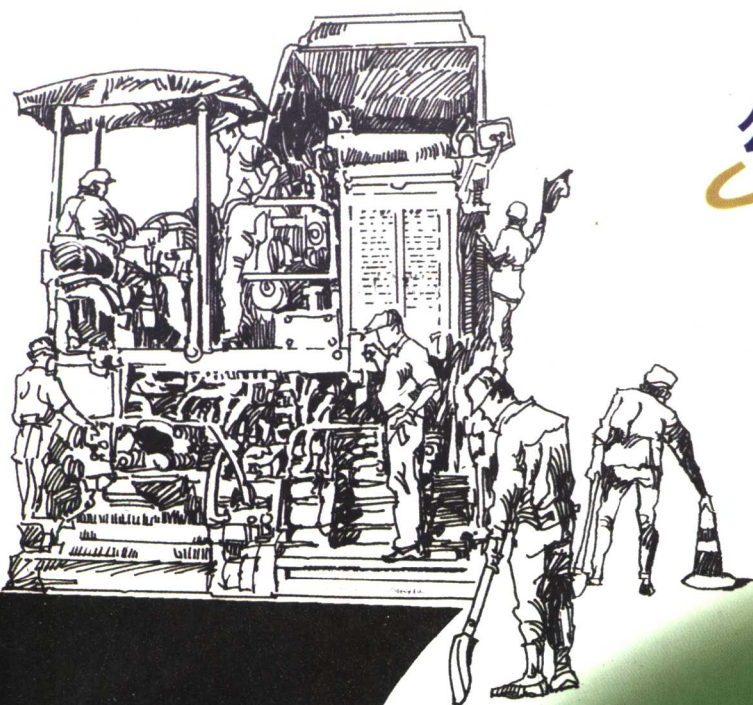


公路施工技术丛书



宋文 主编
程跃辉 主审

公路施工测量

人民交通出版社

U412.2
12

公路施工技术丛书

公路施工测量

宋文 主编
程跃辉 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分五章。第一章概要阐述公路施工测量的任务、目的及其重要性;第二章着重介绍测量仪器的原理、性能、使用方法以及常规检验与校正方法;第三章系统分析测量误差的来源及减少误差的方法;第四章详细介绍公路施工控制测量的常用方法、平差计算、精度评定;第五章结合实例介绍公路施工测量的中线放样、高程放样、横断面放样、路面放样、桥隧施工放样的方法、精度控制、问题处理等,并有重点的介绍公路放样的标准化及动态控制系统。

本书可供从事公路施工测量、勘测设计人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

公路施工测量/宋文主编. —北京:人民交通出版社,
2000.9 (公路施工技术丛书)
ISBN 7-114-03745-7

I. 公… II. 宋… III. 道路工程-工程测量
IV. U412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 69699 号

公路施工技术丛书
Gonglu shigong celiang

公路施工测量

宋文主编

程跃辉 主审

正文设计:王秋红 责任校对:尹静 责任印制:张凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京市平谷县大华山印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 15.75 字数: 400 千

2001年1月 第1版

2002年3月 第1版 第2次印刷

印数: 5001-10000册 定价: 32.00元

ISBN 7-114-03745-7

U · 02712

“公路施工技术丛书” 编委会名单

主任委员：刘效尧

副主任委员：黄伟 李正辉 吴德心

委员：(以姓氏笔画为序)

方崇旺	王丰胜	卞国炎	孙江	刘家保
李皖生	朱新实	宋文	陈会年	陈世宜
吴均枢	张征宇	俞高明	殷岳川	殷治宁
钱东升	曹光伦	谢新宇	程中则	程跃辉
谯志清	戴强民			

序 言

受人民交通出版社委托由安徽省交通厅组织编写《公路施工技术丛书》。于1999年2月成立该丛书编委会,并确定编写《公路施工测量》、《公路地基处理》、《公路路基施工》、《公路路面基层施工》、《公路沥青路面施工》、《公路水泥混凝土路面施工》、《公路沿线设施施工》、《小桥涵及构造物》、《公路排水设施》、《公路隧道施工技术》、《公路施工机械》、《公路施工组织管理与概预算编制》、《公路施工监理》、《公路施工实验与检测》等十四个分册。

本手册旨在全面系统的汇编公路施工各个环节的实用技术,尽可能反映公路施工技术的最新成果。本《丛书》涉及内容广泛、覆盖面宽。

在该丛书编写中,各分册均以施工技术作为主线,但有些施工环节很难与设计计划分开来,所以这些分册在编写时不拘泥于施工技术,力求把问题阐述清楚。限于我们的水平,缺点和错误在所难免,希广大读者提出批评和意见,以便再版时补充和修订。

《公路施工技术丛书》编委会主任 刘效尧

2000年1月1日

前 言

本书简明扼要地阐述了公路施工测量的基本理论、基本方法,以及测量仪器的性能、使用方法。在取材上力求做到精练内涵,结合生产实际。内容包括常规技术及新技术、新方法,比较全面地反映近年来公路施工测量的最新技术成就,并突出介绍公路放样的标准化及动态控制系统。

本书共分五章。第一章由安徽省公路勘测设计院陈超纲编写;第二章由安徽省交通学校郭泗勇编写;第三章由安徽省交通学校张艳编写;第四章由安徽省合肥市政设计院王坚编写;第五章由安徽省公路勘测设计院宋文编写。全书由宋文统稿,安徽省公路管理局程跃辉审定。

编 者

2000年3月

目 录

第一章 公路施工测量概述	1
第一节 施工测量的任务	1
第二节 施工测量的目的及其重要性	1
第三节 施工测量技术的发展与展望	2
第二章 测量仪器及工具	4
第一节 测角仪器	4
一、光学经纬仪	4
二、电子经纬仪	9
第二节 测距仪器和工具	12
一、钢尺	12
二、光电测距仪	12
第三节 水准仪及水准尺	15
一、光学水准仪	15
二、电子水准仪	18
三、水准尺	19
第四节 全站型电子速测仪	20
一、概述	20
二、几种常见全站仪的技术参数	20
三、全站仪的使用方法	21
第五节 全球卫星定位系统(GPS)	29
一、概述	29
二、GPS 的定位原理	30
三、GPS 接收机	32
第六节 测量仪器的检验、校正与保管	34
一、测量仪器的常规检验与校正	34
二、测量仪器的保管	39
第三章 测量误差	40
第一节 概述	40
一、误差的来源	40
二、误差的分类及分布规律	40
三、评定观测值精度的标准	42
第二节 误差传播定律及其应用	44
一、协方差	44
二、线性函数的方差和中误差	46
三、一般函数(非线性函数)的中误差	47

四、误差传播定律在测量上的应用·····	48
第三节 直接观测平差·····	49
一、同精度直接观测平差·····	49
二、不同精度直接观测平差·····	51
第四节 条件观测平差·····	57
一、概述·····	57
二、条件平差的原理·····	58
三、条件平差精度评定·····	61
四、条件平差示例·····	66
第四章 公路施工控制测量 ·····	75
第一节 古述·····	75
第二节 平面控制测量·····	75
一、导线测量·····	75
二、交会定点·····	87
三、小三角测量·····	91
第三节 高程控制测量·····	101
一、水准测量·····	102
二、三角高程测量·····	107
第四节 坐标换带和距离改正·····	108
一、坐标换带·····	108
二、距离改正·····	119
第五节 GPS 在公路施工中的应用·····	123
一、GPS 定位原理·····	123
二、GPS 定位技术在公路工程中的应用·····	124
三、公路 GPS 控制网的布设·····	124
附:坐标换带计算程序·····	125
第五章 公路施工测量 ·····	127
第一节 概述·····	127
第二节 控制点复测·····	127
一、导线控制点和路线控制桩的复测·····	127
二、导线控制点的补测与移位·····	129
第三节 路基施工测量·····	129
一、中线测量·····	170
二、高程放样测量·····	177
三、横断面放样测量·····	182
第四节 路面施工测量·····	187
一、路槽放样·····	187
二、路面放样·····	188
三、路面放样的精度要求·····	191
第五节 公路动态控制系统·····	192

一、公路三维空间体模型的概念	192
二、任一点三维坐标的计算	192
三、公路施工动态控制系统	194
第六节 桥梁、涵洞施工测量	222
一、桥梁施工测量	222
二、涵洞施工测量	231
第七节 隧道施工测量	232
一、概述	232
二、地面控制测量	232
三、竖井联系测量	234
四、地下控制测量	236
五、贯通精度分析及误差估计	237
参考文献	241

第一章 公路施工测量概述

第一节 施工测量的任务

方便、快捷、安全的交通运输,是一个国家繁荣昌盛的标志之一。公路运输在整个国民经济生活中起着重要作用。公路的新建和改建,测量工作必须先行。公路施工测量所担负的任务是什么呢?简单说来,有以下几个方面:

1. 熟悉图纸和施工现场

设计图纸主要有路线平面图、纵横断面图和附属构筑物等。在明了设计意图及对测量精度要求的基础上,应勘察施工现场,找出各交点桩、转点桩、里程桩和水准点的位置,必要时应实测校核,为施工测量做好充分准备。

2. 公路中心线复测

公路中心线定测以后,一般情况不能立即施工,在这段时间内,部分标桩可能丢失或者被移动。因此,施工前必须进行一次复测工作,以恢复公路中心线的位置。

3. 测设施工控制桩

由于中心线上的各桩位,在施工中都要被挖掉或者被掩埋,为了在施工中控制中线位置,需要在不受施工干扰,便于引用,易于保存桩位的地方测设施工控制桩。

4. 水准路线复测

水准路线是公路施工的高程控制基础,在施工前必须对水准路线进行复测。如有水准点遭破坏应进行恢复。为了施工引测高程方便,应适度加设临时水准点。加密的水准点应尽量设在桥涵和其他构筑物附近,易于保存、使用方便的地方。

5. 路基边坡桩的放样

路基放样主要是测设路基施工零点和路基横断面边坡桩(即路基的坡脚桩和路堑的坡顶桩)。

6. 路面的放样

路基施工后,为便于铺筑路面,要进行路槽的放样。在已恢复的路线中线的百米桩、十米桩上,用水准测量的方法测量各桩的路基设计高,然后放样出铺筑路面的标高。路面铺筑还应根据设计的路拱线形数据,由施工人员制成路拱样板控制施工操作。

7. 其他

涵洞、桥梁、隧道等构筑物,是公路的重要组成部分。它的放样测设,亦是公路工程施工测量的任务之一。在实际工作中,施工测量并非能一次完成任务,应随着工程的进展不断实施,有的要反复多次才能完成,这是施工测量的一大特征。

第二节 施工测量的目的及其重要性

施工测量的目的,就是要将线路设计图纸中各项元素准确无误地测设于实地,按照规定要

求指导施工,为公路的修筑、改建提供测绘保障,以期取得高效、优质、安全的经济效益和社会效益。为此必须做到以下几点:

1. 施工测量是一项精密而细致的工作,稍有不慎,就有可能产生错误。一旦产生错误而又未及时发现,就会影响下步工作,甚至影响整个测量成果,从而造成推迟工作进度或返工浪费,给国家造成损失。

2. 测量人员要牢固树立严肃认真的科学态度。为了保证测量成果的正确可靠,坚持做到测量、运算工作步步有校核,层层有检查。不符合技术规定的成果,一定要返工重测,以保证有足够的精度。

3. 测量人员要与道路施工人员紧密配合,了解工程进展对测量工作的不同要求,适时提供有关数据,做到紧张而有秩序的工作,按期完成任务。

4. 各种测量仪器和设备,是施工测量人员的不可缺少的生产工具,必须加强保养与维护,定期检校,使仪器、设备保持完好状态,随时能提供使用,保障施工测量的顺利进行。

第三节 施工测量技术的发展与展望

以往,人们修筑公路时,对施工测量主要依靠三大件:角度测量用经纬仪、高程测量用水准仪,边长测量用钢卷尺。随着现代科技的飞速发展,以及3S和4D技术对测绘产生的深远影响,测绘已进入了数字化、信息化时代,许多新技术在施工测量中得到广泛应用。

1. 电磁波测距和电子测角技术的应用

各种类型的全站仪近年来发展很快,市场上已有近百种。一般的测程都可达数公里,甚至数十公里,测距标称精度为 $3\text{mm} \pm 3\text{ppm} \cdot D$,测角精度可达 $1''$ 。全站仪除了用于一维、二维、三维控制测量外,还可以将野外测量结果自动记录于电子手簿上,通过接口设备传输给计算机,对测量结果进行自动处理,即可绘出所需图形。全站仪用于施工放样尤为方便准确。

2. 全球定位系统(GPS)测量技术的应用

GPS是利用卫星导航电文进行空间三维定位的一种新技术。它的发展为公路工程施工测量提供了新的手段和方法。目前,21颗工作卫星和3颗在轨备用卫星组成GPS卫星星座,记作(21+3)GPS星座。24颗卫星均匀分布的六个轨道平面,卫星高度20200km,运行周期为12个恒星时,保证地球上任何地方、任何时刻都能接受到至少四颗以上卫星发出的信号。这四颗卫星在观测过程中的几何位置分布对定位精度有一定影响,对于某地某时,甚至不能测得精确的点位坐标,这种时间段叫做“间隙段”。但这种时间间隙段是很短暂的,并不影响全球绝大多数地方的全天候、高精度、连续实时的导航定位。

GPS这一应用是测量技术的一项革命性变革。它具有精度高,观测时间短,测站间不需要通视和全天候作业等优点,使三维坐标测定变得简单、精密。GPS已广泛应用到公路工程测量各个方面。

3. 电子计算机技术的应用

电子计算机已成为测量工作的最优化设计的辅助工具,是测量数据处理、自动化成图以及建立各种工程数据库与信息系统的最有效和必不可少的工具。随着微型计算机在测绘施工单位的普及应用,传统的平板仪测图正逐渐被数字化测图所取代。

借助电子手簿在野外进行全要素数据采集,通过机助制图系统在内业编辑数据,生产数字化产品,经过相应的软件处理,这些数据能很容易进入GPS系统,这样我们就能很便捷地获得

带状地形图和立体透视图、纵横断面图。当设计人员输入线路参数时就可获得土石方工程量及其他有关数据和信息。

随着计算机性能的不断提高,遥感技术也开始进入公路工程测量当中,尤其是目前正推广应用的全数字摄影测量系统,给公路工程测量开辟了一个新天地。

除上述诸多方面外,随着科学技术的发展,激光技术已广泛用于施工测量中。例如,激光铅垂仪用于桥墩的滑模快速施工中,是十分有效的。另外,陀螺经纬仪定向精度也越来越高,可达 $3''$,利用它可以控制地下导线测角误差的积累,提高隧道贯通精度。

公路施工测量学与其他科学技术的关系,就是这样互相补充、互相促进,不断向前发展的。我们应该及时地学习有关新知识与新技术,研究和解决新问题,总结生产实践中的经验,不断地丰富公路施工测量学的内容,把这门学科推向前进。

第二章 测量仪器及工具

第一节 测角仪器

一、光学经纬仪

(一)光学经纬仪的基本构造

各种光学经纬仪的基本构造都是一样的,主要由照准部、度盘和基座三大部分组成。图 2-1 是北京光学仪器厂生产的 DJ6-1 经纬仪,现以 DJ6-1 为例分述如下。

1. 照准部分

照准部分也称上盘部分,主要有望远镜、读数设备、竖直度盘、水准器和竖轴。望远镜是照准远方目标用的,它和横轴固连在一起放在支架上。当横轴水平时,望远镜绕横轴旋转将使视准轴扫出一个竖直面。在支架一侧上设有一套望远镜制动和微动螺旋以控制望远镜的仰、俯,在照准部外壳上设有另一套水平制动和微动螺旋以控制水平方向的转动。

读数设备是把度盘和测微器分划,通过一系列透镜的放大和棱镜的折射,反映在读数显微镜内进行读数。DJ6-1 经纬仪读数光路系统如图 2-2 所示。

竖直度盘是为了测量竖直角而设的,固定在横轴的一端,另设有竖盘指标水准管和微动螺旋。

照准部上设有水准器,以指示水平度盘是否水平。水准管为精确定平用,另有水准盒为概略定平用。照准部下面有一竖轴,可插入筒状的轴座内,使整个照准部绕竖轴水平转动。

2. 度盘部分

度盘部分也称下盘部分,主要是一个玻璃精密刻度盘。度盘固定在套轴上并套在筒状的轴座外面。

度盘和照准部的离合关系由固定在照准部外壳上的离合器(也称复测扳手)来控制。离合器的构造如图 2-3 所示。当离合器的扳手扳下时,由于偏心机构的作用,使簧片夹紧度盘,度盘和照准部结合在一起,此时度盘和照准部一起转动;当离合器扳手扳上时,簧片松开度盘,度盘与照准部分离,此时照准部单独转动。有的经纬仪不设复测机构,度盘不能随照准部同时转

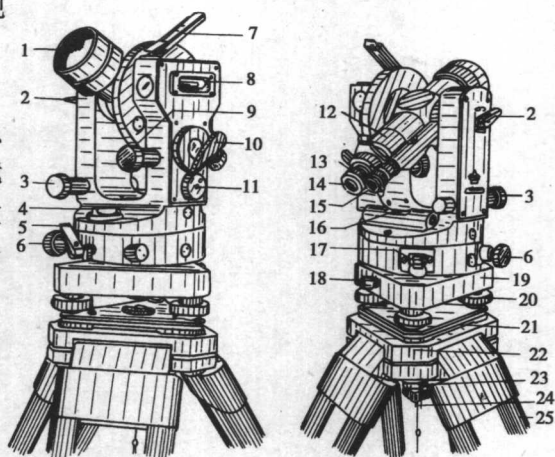


图 2-1

1-物镜;2-远镜制动螺旋;3-远镜微动螺旋;4-水准盒;5-水平制动螺旋;6-水平微动螺旋;7-竖盘游标水准管反光镜;8-竖盘游标水准管;9-竖盘游标水准管微动螺旋;10-度盘反光镜;11-测微轮;12-物镜对光螺旋;13-目镜对光螺旋;14-目镜;15-读数显微镜;16-水准管;17-度盘离合器;18-轴座固定螺旋;19-基座;20-脚螺旋;21-连接板;22-架头;23-连接螺旋;24-垂球钩;25-三脚架

动,则其位置靠另设的手轮变换。

3. 基座部分

基座主要有轴座、脚螺旋和连接板。转动脚螺旋可使照准部上的水准气泡居中,从而使竖轴铅直,度盘水平。

将三角架头上的连接螺旋旋进基座连接板,仪器与三角架就固连在一起。在连接螺旋上悬挂垂球,指示水平度盘的中心位置。因此,借助垂球可将水平度盘的中心安置在所测角顶点的铅垂线上。有的光学经纬仪还装有直角棱镜光学对中器,比垂球对中具有精度高和不受风吹摆动的优点。

(二)度盘和测微器

度盘上相邻两分画线间的弧长所对的圆心角称为度盘分画值,一般多为 30' 或 1°。度盘按顺时针方向注有角度数字,根据注字可判断度盘分画值的大小。

光学经纬仪上小于度盘分画值的读数是用测微器读出的。测微器有单玻璃板测微轮式和测微尺式两种,现分述如下。

1. 测微轮式

DJ6-1 光学经纬仪属这类。图 2-4 是读数显示窗内直观影像。上部是测微分画尺,下部是水平度盘。度盘分画值是 30', 全圆 360°。测微轮分画尺从 0' ~ 30', 每分又分三格, 每格 20"。不足 20" 部分可估读。

测微轮基本构造如图 2-4a)。测微轮分画尺与一个平行玻璃板相固连, 同时与测微轮固连; 转动测微轮, 度盘影像受平行玻璃板折射作用发生位移, 其位移量恰好反映在分画尺的变化上。从构造上看, 0' ~ 30' 间隔等于度盘上的一个分画值 30'。读数时转动测微轮, 使一条度盘分画线精确地居于双线中央, 则度盘的读数为读数的整数部分, 测微尺上的读数即为不足 30' 的小数部分。图 2-4b) 是水平度盘读数: $49^{\circ}30' + 22'30'' = 49^{\circ}52'30''$, 图 2-4c) 是竖直度盘读数: $107^{\circ} + 01'40'' = 107^{\circ}01'40''$ 。

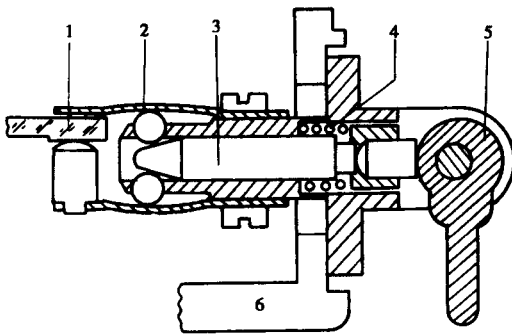


图 2-3

1-度盘;2-弹簧片;3-顶棍;4-弹簧;5-偏心扳手;6-仪器外壳

2. 测微尺式

西安光学测量仪器厂生产的 JG6-X3 型光学经纬仪属这种类型, 其外形如图 2-5a)。图 2-5b) 是从读数显示镜内直接看到的影像。度盘分画值为 1°, 度盘上 1° 间隔经透镜组放大后在测微尺上恰等于 0' ~ 60' 长度, 测微尺每格为 1', 不足 1' 的小数可估读。估读时, “度” 从压在度盘测微尺上的度盘分画线上的注字读出, “分” 以下的数以该分画线为指标读出。图 2-5b) 中, H 为水平度盘, 读数为 $49^{\circ}52'30''$, V 为竖直度盘, 读数为 $287^{\circ}01'48''$ (按 1/10 格为 6" 估读)。

(三)水平角测量方法

1. 经纬仪的安置

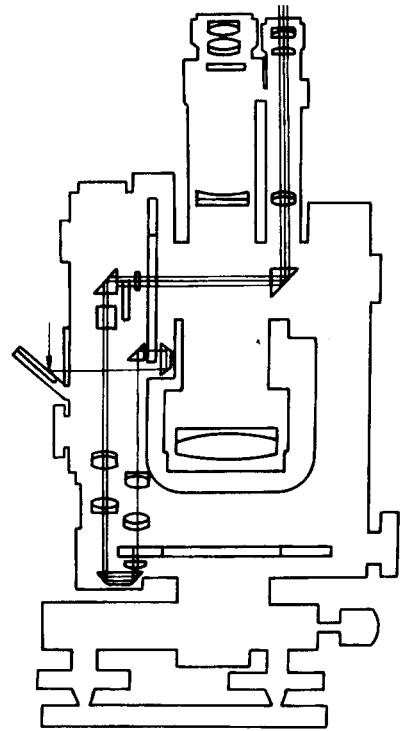


图 2-2

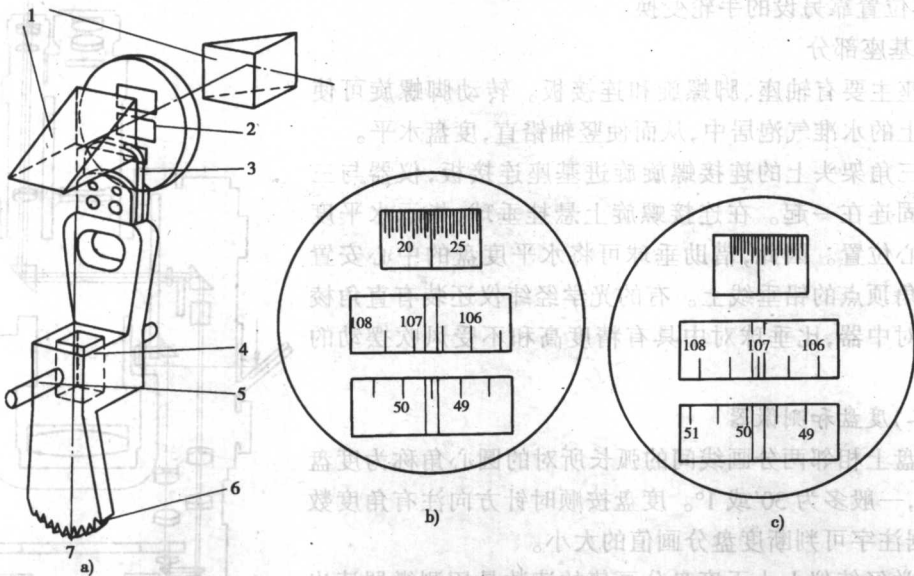


图 2-4

1-转向棱镜;2-读数窗;3-测微盘;4-平板玻璃;5-测微器转动轴;6-由测微轮带动的齿轮;7-度盘光线

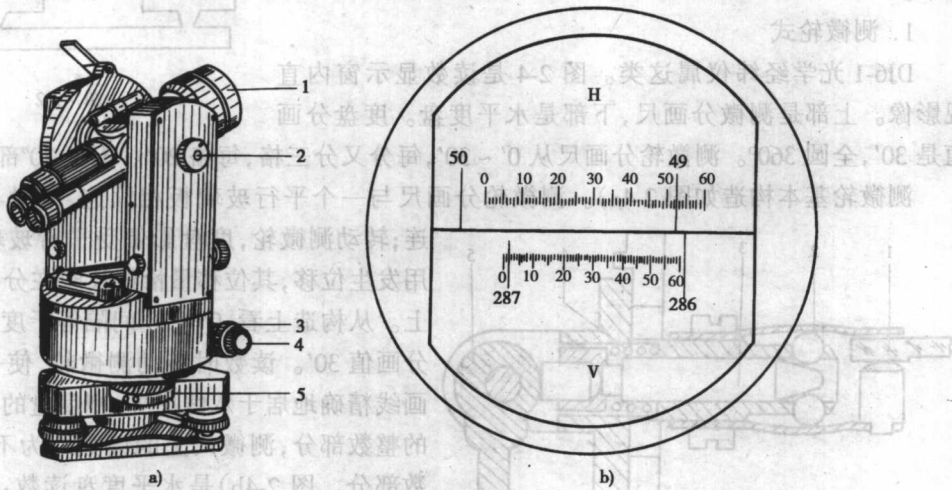


图 2-5

1-望远镜;2-望远镜制动螺旋;3-微动螺旋;4-制动螺旋;5-度盘变换手轮

经纬仪的安置包括对中和整平两项内容。

(1) 对中

对中是把经纬仪水平度盘的中心安置在所测角的顶点上。方法是先将三角架安置在测站点上,架头大致水平,用垂球概略对中后,踏牢三角架;然后用连接螺旋将仪器固定在三角架上,此时,若垂球尖偏离测站点较大,则需将三角架平行移动,若偏离较小,可将连接螺旋放松,移动仪器基座使垂球尖精确地对准测站点,然后再旋紧连接螺旋。

如果使用带有光学对中器的仪器,对中时可通过光学对中器观察。但须注意这样对中与下一步仪器整平是互相影响的。

(2) 整平

整平是使水平度盘处于水平位置。整平的方法是：首先使水准管与任意两个脚螺旋平行，如图 2-6a)，两手以相反方向旋①、②两脚螺旋，使水准管气泡居中，然后将上盘平转 90°，如图 2-6b)，再以另一个脚螺旋③使水准管气泡居中。以上操作要反复进行，直到气泡在任何位置都居中为止。

2. 水平角测量的方法

在一般工程测量中，都按顺时针方向测角，就是以欲测角的左方向为始边，左目标称为后视点，如图 2-7 中的 A 点；以右方向为终边，右目标为前视点，如图 2-7 中的 B 点。水平角测量的方法是根据测量工作的精度要求及所用的仪器而定，公路施工测量中常用的方法是测回法。

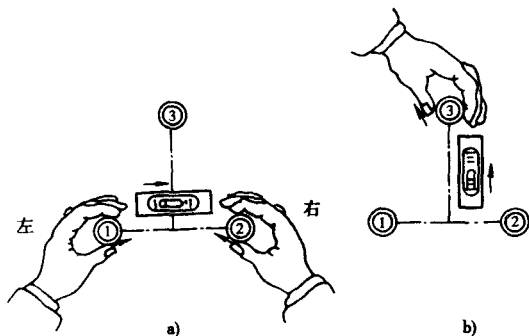


图 2-6

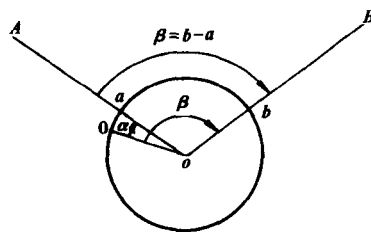


图 2-7

测回法是测角的基本方法，先用盘左位置对水平角的两个边进行一次观测，再用盘右位置进行一次观测，取两次测得角值的平均值作为观测成果。所谓盘左位置即竖直度盘在望远镜的左边（又称正镜）。盘右位置即竖直度盘在望远镜的右边（又称倒镜）。

测回法的测角步骤如下：

- (1) 安置仪器于测站 O 上，将离合器扳手扳上；
- (2) 以盘左位置照准后视点 A，准确读出度盘及测微读数，记入记录表；
- (3) 转动望远镜照准前视点 B，再读读数记入记录表。前后视读数之差，即为 $\angle AOB$ 的角值。

以上是用盘左位置观测的，称为前半测回。为了校核有无错误并消除仪器误差影响，还要用盘右位置观测后半测回。两半测回角值的差值小于 40" 时，认为观测精度合格，则取其平均值作为观测成果，称为一测回值。记录格式见表 2-1。

测回法测角记录表

表 2-1

工程名称：x—x		日期：1978.7.14		观测：x x x		
仪器型号：DJ6-1-742214		天气：晴		记录：x x x		
测 站	盘 位	目 标	水平度盘读数	水 平 角		备 注
				半测回值	测回值	
O	左	A	0°01'20"	49°48'50"	49°48'38"	
		B	49°50'10"			
	右	A	180°01'50"	49°48'25"		
		B	229°50'15"			

(四) 竖直角测量方法

1. 竖直度盘构造

竖直度盘垂直固定在望远镜横轴的一端，随望远镜的转动而转动，配合竖盘指标就可以测出竖直角。

竖盘的刻划与水平度盘基本相同,一般是全圆刻划。其注字随仪器构造的不同分为顺时针和反时针两种,如图 2-8。竖盘反映在读数显微镜内的影像如图 2-4 和图 2-5。它与水平度盘读数方法不同的是:读数前必须把竖盘指标安置在正确位置,因为竖直角是以水平线为基准的,故所设的竖盘指标实际是用来反映水平线位置的。在光学经纬仪上竖盘指标是一个棱镜或一组棱镜,构造略图如图 2-9。控制竖盘处于正确位置的方法有两种:一种是在读竖盘读数前先利用竖盘指标微动螺旋使固连的水准管水平;一种是依靠一套自动补偿安平机构,直接读取竖盘读数。

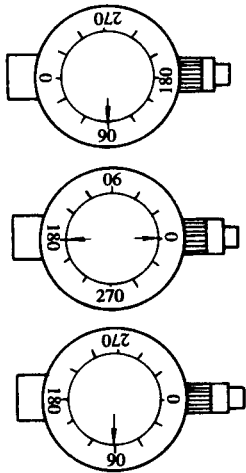


图 2-8

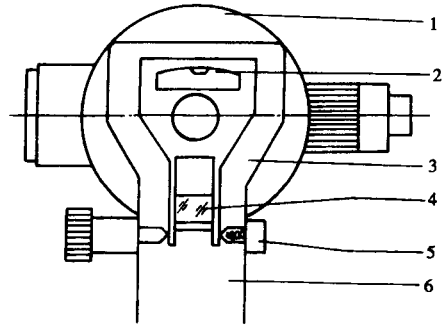


图 2-9

1-竖直度盘;2-水准管;3-微动架;4-指标棱镜;
5-竖盘指标水准管微动螺旋;6-仪器外壳

竖盘与指标的相互关系应满足下列条件:当竖盘指标水准管气泡居中,视准轴也水平时,竖盘读数应为 0° 、 90° 或 90° 的整倍数。如不满足这个条件,则仪器存在指标差,当只用盘左或盘右一个盘位观测时,得到的竖直角应加指标差改正。

2. 竖直角测量方法

安置仪器于测站上,以盘左位置照准目标,制动后,使指标水准管气泡居中,读出竖盘读数。为了校核观测成果的正确性和消除指标差,再以盘右位置重新测定一次,最后取盘左盘右测得竖直角的平均值作为观测结果。但直接读到的竖盘读数并不是竖直角值,还要依据竖盘的构造特点计算。在测定竖直角之前,应先大致置望远镜于数盘位置,看数盘读数是 0° 还是 90° ,然后抬高望远镜,如果读数是增加的,则瞄准目标的读数减去水平视线的 0° 或 90° ,即得竖直角值。如果是减小的,则应反过来减。盘右时的判断方法和上述一样。

图 2-10、图 2-11 是 DJ6-1 型经纬仪竖直角计算方法。

图 2-10 是盘左时的情况,竖盘读数为 Z ,则

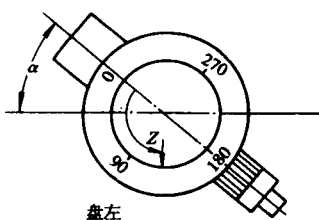


图 2-10

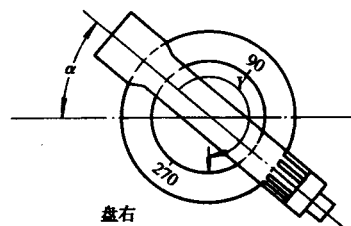


图 2-11