

中国石油
天然气总公司

石油物探监督培训教材

物探测量 及质量监控



宋健敏 李泰然 庞祚光 单国政 编

石油工业出版社



121044

P618.130.8

032

中国石油
天然气总公司

石油物探监督培训教材

物探测量及质量监控

52106/02

宋健敏 李泰然 编
庞祚光 单国政



石油0111449



石油工业出版社

内 容 提 要

本书共分七章。主要介绍了卫星定位,地面目标天文方位角的测定,石油物探测量,石油物探测量设计,二维、三维地震勘探测量以及物探测量的质量监控。

本书是物探技术管理人员的必读课本,也可作为石油物探测量技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

物探测量及质量监控/宋健敏等编

北京:石油工业出版社,1996.3

ISBN 7-5021-1677-X

I. 石…

Ⅱ. 宋…

Ⅲ. 石油-地球物理勘探-质量控制

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 01498 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

煤炭工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开 5.375 印张 123 千字 印 1-2000

1996 年 3 月北京第 1 版 1996 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1677-X/TE · 1431

定价: 9.00 元

序 言

石油工业是国民经济的支柱产业，又是技术密集、资金密集、人才密集和风险大的行业。石油工业正处在一个新的发展时期。为增强石油企业的活力，根本出路在于深化改革，走以效益为中心的路子。在建立现代企业制度的进程中，石油天然气总公司要逐步实行油公司与服务公司的分离，形成明确的甲乙双方关系。油公司的勘探管理将实行项目经理负责制，因此由甲方单位聘任监督人员并派驻乙方单位，对项目的投资、成本、质量、工期、安全、环保等方面代表甲方权益进行监督管理，是取得勘探项目最佳效益的有力保证。

石油物探被誉为石油勘探的“先行官”，物探工作的效益好坏直接关系到每个勘探项目的整体效益。甲方的各级管理人员，特别是聘任的经过正规培训的各类监督人员要知道用什么标准去监督乙方；乙方的人员要懂得用什么标准去规范自己的施工作业，满足甲方的要求。

为满足油公司和物探服务公司各级管理人员及专业技术人员学习和加强各物探工种监督人员培训的需要，经物探监督资格考评委员会第二次会议决定，对现用物探监督培训教材做了进一步修改和补充，可供甲、乙方单位根据不同层次培训的需要，各有所侧重选用。这四册内容是：物探监督基础，地震勘探实用技术及质量监控，物探测量及质量监控，重、磁、电勘探实用技术及质量监控。每册内容都是广大专业技术干部根据目前国内外先进技术结合我国石油物探的实际编写的。编写时突出了以应用为主，对基本概念和理论只作简要阐述。因此，这套培训教材较好地体现出了科学性、系统性、先进性和可操作性。为保证培训教材的质量，在作者对教材重新修改的基础上，又分送有关专家审阅。我们相信，采用这套教材在近期内可以培训一批懂技术、会管理的高素质的物探监督队伍，并提高包括甲、乙方在内的物探技术管理、生产管理、经营管理人员的素质和水平。同时对从事物探专业的工程技术人员和大专院校的师生也是一套有价值的参考资料。

这套《石油物探监督培训教材》经总公司勘探局、人教局审定，由石油工业出版社出版。在教材编写过程中，得到了石油物探局领导的大力支持，科技处做了大量组织工作，编写人员付出了辛勤的劳动。在此一并表示感谢。

《石油物探监督培训教材》编委会

1995年10月

前 言

石油物探测量是利用国家大地测量资料和地形图,按照一定的测量程序和精度要求,把物探设计测线布设在实地,并精确地测定测线上各物理点(炮点、检波点)的坐标和高程,作为物探成果的基础数据和绘制各种勘探成果图件的基础。

物探测量是测量学科的一个分支。它包括地震测量、重(力)、磁(力)、电法测量。物探测量是测量科学在地质勘探中的具体应用。

物探测量是石油物探的先行,高质量的物探成果离不开高质量的测量资料。随着物探技术的发展,对测量提出了更高的要求,物探测量在石油勘探中的作用越来越重要。

近几年来,石油物探测量技术的发展很快,过去一台经纬仪、一根测绳、两根花杆的原始手工模式,已经被全球定位(GPS)、红外测距等一系列新技术、新方法所代替。而且新技术还在不断涌现。在国外,GIS(地理信息系统)和AUTOCAD(计算机辅助设计)等新技术已开始物探测量中得到了应用。

本书的作者具有丰富的实践经验,因此其内容能紧密地结合野外生产实际,深入浅出、通俗易懂。使读者通过本书的学习,对石油物探测量有一个全面的了解,并能掌握如何对野外测量质量进行有效的监督。

为了适应物探工作要全面进入市场的需要,中国石油天然气总公司从1993年底开始分期举办全系统的石油物探质量监督员培训班,本书是作者为培训班改编而成的教材。本书的阅读对象是从事技术管理工作的物探人员,对他们来说,不是通过本书的学习成为一名测量员,而是掌握如何对测量工作进行质量监督。本书对内容的安排上突出两个重点:一是石油物探测量质量监督的内容和要点,二是进行质量监督必须掌握的测量基本知识。

物探测量的质量监控是以“石油物探测量规范”为依据,以提高成果精度为目的,把监控贯穿到野外生产的全过程中。

武汉测绘科技大学

地球科学与测量工程学院院长 陶本藻教授

1994年12月

目 录

第一章 卫星定位	(1)
第一节 GPS 卫星定位的特点	(1)
第二节 全球定位系统的构成.....	(2)
一、空间部分.....	(2)
二、控制部分.....	(2)
三、用户部分.....	(3)
第三节 GPS 静态定位原理简介	(3)
一、伪距法定位原理.....	(3)
二、载波相位测量定位原理.....	(4)
第四节 GPS 的定位方法	(15)
第五节 GPS 定位的野外观测和数据处理	(16)
一、测前的准备工作	(16)
二、GPS 的野外观测	(16)
三、资料处理工作	(17)
第六节 坐标系统的转换	(18)
第七节 GPS 高程的归算	(19)
第八节 利用 GPS 卫星定位的限制与相应措施	(20)
第九节 GPS 在我国使用的前景	(21)
第十节 GPS 定位的质量监控	(21)
一、石油物探测量对 GPS 定位测量的要求	(22)
二、中心站式布网方法的特点	(22)
三、石油物探 GPS 定位测量的质量监控	(22)
四、石油物探 GPS 定位测量质量监控的要点	(22)
五、检查验收与上交资料	(23)
第二章 地面目标天文方位角的测定	(24)
第一节 概论	(24)
第二节 天球和天球上的坐标系统	(24)
一、天球上的基本圈和点	(25)
二、地理坐标系	(26)
三、定位三角形	(28)
第三节 时间系统	(29)
一、概念	(29)
二、恒星日、恒星时系统	(29)
三、太阳日、太阳时系统	(30)
第四节 地面目标天文方位角的测定	(31)

一、测定天文方位角的方法	(31)
二、太阳高度法测定地面目标方位角	(32)
三、太阳上中天附近时角法测定方位角	(40)
四、北极星任意时角法测定方位角	(41)
第三章 石油物探测量	(43)
第一节 石油物探测量的任务	(43)
一、物探测线的布署方法	(43)
二、测线和观测点的编号	(44)
三、地形图的分幅编号	(44)
第二节 高斯平面直角坐标系	(47)
一、高斯投影的特点	(47)
二、高斯投影分带	(47)
三、高斯平面直角坐标系	(48)
四、地面点位的确定	(48)
五、方位角	(49)
六、子午线收敛角	(49)
七、坐标的正、反算问题	(49)
第四章 石油物探测量设计	(52)
第一节 图上设计	(52)
一、方格网式测网	(52)
二、任意测线的设计	(53)
三、特殊地形条件下测线的设计	(53)
四、三维测网的设计	(53)
第二节 跨带测线及相邻带坐标换算	(54)
一、跨带测线	(54)
二、相邻带坐标换算	(54)
第三节 编写施工设计	(56)
一、任务及工作量	(56)
二、测量工作方法及质量要求	(56)
三、人员编制和仪器装备	(56)
第五章 二维地震勘探测量	(57)
第一节 经纬仪高程导线布设形式	(57)
第二节 物探测线的布设形式	(57)
第三节 物探测量的外业工作	(57)
一、测线的引出	(57)
二、外业观测	(60)
第四节 内业计算	(61)
一、单一导线计算	(62)

二、单一结点导线计算	(63)
三、二维测量数据处理系统	(64)
第六章 三维地震勘探测量	(66)
第一节 三维地震勘探网的布设	(66)
一、三维地震测量	(66)
二、绘制观测系统	(66)
三、控制点的布设	(66)
四、测线及桩号的编写	(67)
第二节 三维地震勘探测量的施测	(68)
一、三维地震勘探测量的施测方法	(68)
二、三维地震勘探测线的长度改正	(69)
第三节 三维测网的数据处理	(69)
一、附合导线或单一结点导线	(70)
二、结点导线网	(70)
三、三维测量数据处理系统	(71)
第七章 物探测量的质量监控	(73)
第一节 物探对测量工作的要求	(73)
第二节 质量监控的内容	(74)
一、物探测线布设	(74)
二、物探测线施工过程中的质量监控	(74)
三、物探测量的质量检查	(74)
四、物探测量的质量评定	(75)
五、质量监控报告	(75)
主要参考文献	(77)

第一章 卫星定位

布设物探测线首先必须由国家大地点作为控制点。但在我国西部的部分地区是大地点布设的空白区，其他广大地区虽然布设了大地点，但损坏严重，可利用的也很少。因此，开展石油勘探工作离不开卫星定位。

GPS (Global Positioning System) 是全球定位系统的英文缩写。这是一项最新的空间应用技术，近年来得到了飞速的发展，在国民经济的各个领域中得到广泛的应用。

全球定位系统，实际上是一个空间站无线电定位、导航和授时系统，不限用户。由于它具有其他导航定位系统所没有的优点，具有极高的应用价值，受到美国政府的高度重视，被列为美国三大重点空间计划之一，总投资达 150 亿美元。是继阿波罗登月计划和航天飞机计划之后的又一庞大空间计划，24 颗 GPS 卫星已发射完成，可提供全球 24h、全天候的导航和定位服务。

全球定位系统的出现，不仅使导航技术获得了根本性的进展，而且对大地测量的发展也产生了深远的影响，将导致测量行业的一场技术革命。

第一节 GPS 卫星定位的特点

GPS 全球定位和常规大地测量比较具有下列优点：

- 1) 无须考虑地面测站之间的通视，使控制点的布设和施测变得容易得多。无须为了点间的通视将点布设在山顶上，大大减轻了野外的工作难度和测量人员的劳动强度。
- 2) 可以在任何时候（白天、黑夜）、任何气候条件下进行工作，即可进行全天候工作。

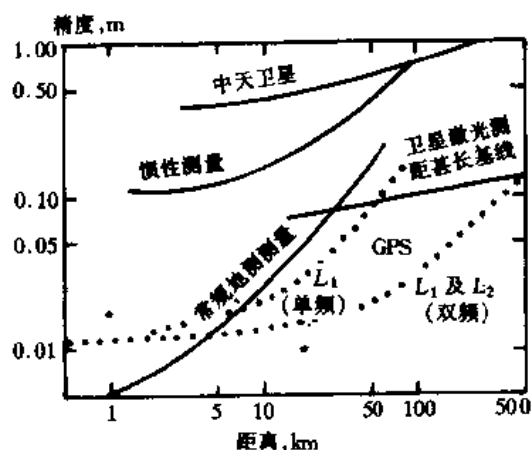


图 1-1 GPS 与其他大地定位精度的比较

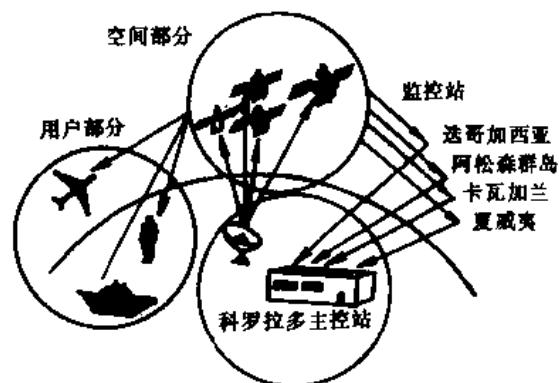


图 1-2 全球定位系统的构成

3) 可提供连续测量值, 特别适合于用来监测结构的形变和地面的移动, 如大坝形变的监测和地面沉降的监测等。

4) 工作效率高, 经济效益好。GPS 作业效率比常规大地测量方法提高 20 倍。用 GPS 测定一个大地点, 比保存一个大地点的费用还便宜。传统的大地测量方法选点、造标、埋石、观测和计算不但费用高, 而且提供成果周期长, 一般需 2~3 年, 而用 GPS 仅需几天甚至当天即可提供。

5) 和其他测量方法的精度比较, 定位精度高 (后面将详细叙述)。见图 1-1。

全球定位系统由三部分组成: 即空间部分、控制部分和用户部分。如图 1-2。

第二节 全球定位系统的构成

一、空间部分

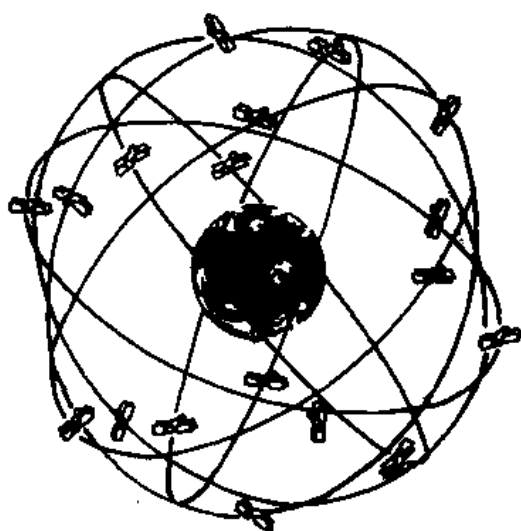


图 1-3 空间部分

空间部分 (图 1-3) 指卫星部分。全部 GPS 卫星发射完成后, 全系统将包括 21 颗工作卫星和 3 颗备用卫星。这些卫星排列在 6 个不同的圆形轨道上, 高度为 20183km, 每个轨道与赤道的倾角为 55° , 卫星周期为 12h (恒星时), 每颗卫星出现时刻每天大约提前 4min。3 颗备用卫星在工作卫星发生故障时, 随时予以替换。这种布设卫星的方案, 可确保在地球上任何时间、任何地点都能至少看到 4 颗卫星。

为了消除卫星信号传播时的电离层延迟误差, 提高定位精度, 每颗卫星以两个 L 波段频率发射信号, L_1 为 1575.42MHz (波长 19cm); L_2 为 1227.60MHz (波长 24cm)。这些信号有两个码调制, 即精码 (又称 P 码) 和标准码 (又称 C/A 码)。精码只有美国及其盟国才能得到, 大多数国家仅能得到广播星历。由于广播星历是根据前一段时间的观测资料外推而得到的一种预报星历, 其精度较低, 因此使用广播星历将使定位精度大大降低。在实际作业中, 我们采用相对定位及其他技术措施, 仍可用广播星历得到很高的定位精度。

卫星发射的导航电文是卫星向用户提供的有关卫星星历系统、卫星星历性能、发射机状态以及如何从 C/A 码交接为 P 码的数据和信息, 使用户能利用全球定位系统进行成功的定位。

二、控制部分

控制部分是由分布在世界上的五个监控站 (MS) 组成, 这五个监控站分别位于: 科罗拉多、夏威夷、卡瓦加兰、阿松森群岛和迭哥加西亚。每个监控站都跟踪它视场内的所有卫星, 收集卫星数据并将数据送到设在美国本土科罗拉多的主控站 (MCS), 在那里

完成全部数据处理，计算出每颗卫星的星历、时钟漂移和卫星的传播延迟等有关数据，再由主控站通过三个地面天线（GA），将每颗卫星的导航电文发射到卫星。这三个地面天线分别设在卡瓦加兰、阿松森群岛和迭哥加西亚。它们也用来发射和接收卫星控制信息。

三、用户部分

用户部分即 GPS 接收机本身。它由天线、接收机、微机和输入输出设备四部分构成。

目前世界上有近 100 个厂家生产多达 150 种 GPS 接收机。大致分为两类：一类是导航型接收机，分为高、中、低动态三种。如导弹上装的接收机是属于高动态的，船舶上装的接收机属于低动态接收机；另一类是大地型接收机，目前用于定位接收机大部分属于大地型接收机。我们引进的接收机主要属于下面三个系列，其主要性能列于表 1-1 中。

表 1-1 几种 GPS 接收机的性能比较

项 目 \ 机 型	WILD2000	TRIMBLE 4000SSE	ASHTECH-MXII
观测值	伪距、载波相位		
用码	C/A	C/A	C/A
载波频率	L_1, L_2	L_1, L_2	L_1, L_2
通道数	18	9	12
定位精度	5mm+1ppm	5mm+1ppm	5mm+1ppm
主机重量	2.2kg	2.5kg	3.7kg
电池	3.0kg	2.7kg	2.7kg
电源	12V, 12W	12V, 6W	12V, 16W
存储方式	固态存储器		

第三节 GPS 静态定位原理简介

利用 GPS 进行静态定位主要采用伪距法和载波相位法，下面分别简述其定位原理。

一、伪距法定位原理

伪距定位是 GPS 导航的基本方法。其优点是速度快、无多值性，同时也是载波相位测量中极其有用的辅助资料。

1. 伪距的测定

GPS 卫星按照星载时钟发射某一结构为“伪随机噪声码”（称为“测距码”）的信号，该测距码经过时间 Δt 后到达 GPS 接收机，接收机在本机时钟控制下也产生一组结构完全相同的“复制码”，复制码通过机内可调延时器的延迟时间 t ，使复制码与接收到的测距码“对齐”后，便可根据 t 求得测距码的传播时间 Δt ，进而求及卫星至接收机的距离 ρ ($\rho = c\Delta t$)， c 为电磁波在其真空中的速度。由于 ρ 中包含卫星时钟与接收机时钟不同步

的误差和测距码在大气中传播的延迟误差, 故称为“伪距”。

2. 伪距法定位的原理

为了实现定位, 首先需将观测得到的伪距 ρ 改正为实际距离 ρ_0 , 如图 1-4 所示。

由图 1-4 中可知:

$$\rho = \rho_0 + \delta\rho \quad (1-1)$$

式中 $\delta\rho$ 为由于对流层折射和电离层折射以及接收机时钟误差引起的改正数, 用公式表示为:

$$\delta\rho = \delta\rho_{\text{ion}} + \delta\rho_{\text{trop}} + c \cdot V_t \quad (1-2)$$

式中 $\delta\rho_{\text{ion}}$, $\delta\rho_{\text{trop}}$ ——分别为对流层折射和电离层折射引起的改正数;

c ——真空中的光速;

V_t ——接收机钟差改正数。

ρ_0 与卫星坐标 (X_s, Y_s, Z_s) 和接收机天线相位中心坐标 (X, Y, Z) 之间有如下关系式:

$$\rho_0 = [(X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2]^{1/2}$$

将式 (1-1), (1-2) 代入上式得:

$$\begin{aligned} \rho - \delta\rho_{\text{ion}} - \delta\rho_{\text{trop}} - c \cdot V_t \\ = [(X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (1-3)$$

图 1-4 伪距法解释图

其中, 卫星坐标 (X_s, Y_s, Z_s) 可根据接收到的卫星导航电文求得, ρ 是接收机测得的伪距, $\delta\rho_{\text{ion}}$ 和 $\delta\rho_{\text{trop}}$ 依据数学模型可计算出来, 故在 (1-3) 式中有四个未知数 (X, Y, Z, V_t) , 这样接收机同时观测四颗卫星便可确定出接收机的坐标。

二、载波相位测量定位原理

有了伪距法定位, 为何还要进行载波相位测量?

这是因为伪距法中使用的测距码的码元较长 (C/A 码为 293m, P 码为 29.3m), 测量的伪距精度不高, 而 GPS 卫星发射的载波波长比测距码要短得多 ($\lambda_{L_1} = 19\text{cm}$, $\lambda_{L_2} = 24\text{cm}$), 若将载波作为测距信号, 对载波进行相位测量则可达到很高的精度。

1. 载波相位测量的原理

假定接收机在时刻 t_0 跟踪卫星信号并开始进行载波相位测量, 又假设接收机本机振荡器能够产生一个频率和初相位与卫星载波信号完全一致的基准信号, 那么, 若 t_0 时刻接收机基准信号的相位为 $\Phi^{\circ}(R)$ 它接收到的卫星载波信号的相位为 $\Phi^{\circ}(S)$, 并假设这两个相位之间相差 N_0 个整周信号 (称为整周模糊度) 和不足一周的相位 $\delta\Phi(t_0)$ (可由接收机测定出来), 则 t_0 时刻相位差 $\Delta\Phi(t_0)$ 为:

$$\Delta\Phi(t_0) = \Phi^{\circ}(R) - \Phi^{\circ}(S) = N_0 + \delta\Phi(t_0) \quad (1-4)$$

当卫星在历元 t_0 被接收机跟踪 (锁定) 后, 载波相位变化的整周数便被自动记数, 所以对其后任一观测历元 t 的总相位差可写出:

$$\Delta\Phi(t) = \delta\Phi(t) + N(t - t_0) + N_0 \quad (1-5)$$

其中, $N(t-t_0)$ 表示从某一起始观测历元 t_0 至历元 t 之间载波相位的整周数, 可由接收机自动连续的计数来确定, 为已知量, $\delta\Phi(t)$ (不足一周的量) 也可由接收机测定出来, 因此载波相位测量值可表示为:

$$\Delta\Phi(t) = N_0 + \Delta\Phi(t) \quad (1-6)$$

$$\Delta\Phi(t) = N(t-t_0) + \delta\Phi(t)$$

只要对某卫星是连续观测的, 则所有的载波相位测量值中都含有相同的 N_0 。

2. 载波相位测量观测方程

设在标准时刻 T_a 卫星钟读数 t^a 瞬间, 卫星发射的载波相位为 $\Phi(t^a)$, 该信号在标准时刻 T_b 到达接收机。由波动方程可知信号到达接收机的相位保持不变, 即在 T_b 时刻接收机接收到的卫星信号的相位为 $\Phi(s) = \Phi(t^a)$, 对应于标准时刻 T_b 接收机钟读数为 t^b , 此时, 接收机产生的基准信号的相位为 $\Phi(R) = \Phi(t^b)$, 故载波相位测量值为:

$$\Delta\Phi = \Phi(t^b) - \Phi(t^a) \quad (1-7)$$

式中 t^b, t^a ——分别为卫星钟和接收机钟相对应时刻的钟差。

$$t^a = T_a - V_t^a$$

$$t^b = T_b - V_t^b = T_a + (T_b - T_a) - V_t^b \quad (1-8)$$

对于稳定性较好的振荡器, 当时间有微小的增量 Δt 时, 该振荡器所产生的信号之相位应满足下列关系式:

$$\Phi(t + \Delta t) = \Phi(t) + f\Delta t \quad (1-9)$$

式中 f ——信号的频率。

将 (1-8)、(1-9) 两式代入 (1-7) 式可得:

$$\Delta\Phi = \Phi(T_b) + f_R(T_b - T_a) - f_R \cdot V_t^b - \Phi(T_a) + f_s \cdot V_t^a \quad (1-10)$$

设 T_a 时刻接收机至卫星的几何距离为 ρ 。

$$\text{则} \quad T_b - T_a = \frac{\rho + \delta\rho_{\text{ion}} + \delta\rho_{\text{trop}}}{c} \quad (1-11)$$

式中 $\delta\rho_{\text{ion}}, \delta\rho_{\text{trop}}$ ——分别为对流层、电离层的影响;
 c ——真空中光速。

将 (1-11) 式代入 (1-10) 式并考虑 (1-6) 式整理后可得载波相位测量的基本观测方程:

$$\Phi(T_b) = \frac{f_R \cdot (\rho + \delta\rho_{\text{ion}} + \delta\rho_{\text{trop}})}{c} + \Phi(t^b) - \Phi(t^a) - N_0 \quad (1-12)$$

$$\Phi(t^b) = \Phi(T_a) - f_R V_t^b$$

$$\Phi(t^a) = \Phi(T_a) - f_s \cdot V_t^a$$

式中 $\Phi(T_b)$ ——为载波相位测量的实际观测值;

N_0 ——为整周未知数。

将 (1-12) 式两边同乘以 $\lambda = \frac{c}{f_R}$, 则有:

$$\tilde{\rho} = \rho + \delta\rho_{\text{ion}} + \delta\rho_{\text{trop}} + \lambda \cdot \Phi(t^b) - \lambda\Phi(t^a) - \lambda N_0 \quad (1-13)$$

式中 $\tilde{\rho} = \Phi(T_b) \cdot \lambda$

将几何距离 ρ 写成卫星坐标 (X_s, Y_s, Z_s) 和测站坐标 (X, Y, Z) 的关系式, 即:

$$\rho = [(X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2]^{1/2}$$

并设 $X = X_0 + dX$

$$Y = Y_0 + dY$$

$$Z = Z_0 + dZ$$

以及 $\rho_0 = [(X_s - X_0)^2 + (Y_s - Y_0)^2 + (Z_s - Z_0)^2]^{1/2}$

在测站近似值 (X_0, Y_0, Z_0) 处, 将 ρ 用泰勒级数展开可得线性化形式:

$$\rho = \rho_0 + \frac{(X_s - X_0)}{\rho_0} \cdot dX + \frac{(Y_s - Y_0)}{\rho_0} \cdot dY + \frac{(Z_s - Z_0)}{\rho_0} \cdot dZ \quad (1-14)$$

将 (1-14) 式代入 (1-13) 式, 便可得到线性化的载波相位测量基本观测方程。用此基本观测方程可以进行单点定位, 原则上也可进行相对定位, 但由于卫星星历 (X_s, Y_s, Z_s) 的误差远比相位观测值误差大, 而在定位中将它当作已知量, 另外, 大气延迟改正的精度也难以与相位观测的精度相匹配, 因此相对定位将采用“差分法”。

3. 载波相位测量差分法 (线性组合)

载波相位测量的基本方程 (1-13) 包含两类未知数: 一类是我们感兴趣的未知参数——接收机的坐标, 该类参数称为必要参数; 另一类是为了精化数学模型而引入的未知参数, 如卫星钟和接收机钟的改正数, 这类参数称为多余参数。虽然在静态定位中, 观测期间的必要参数只有三个, 即接收机的坐标 X, Y, Z , 而多余参数 (如钟改正数) 则随时间而改变, 它们对应于每一次相位观测都要引进两个新的未知数, 数量相当大, 这给平差计算带来麻烦。通常有两种解决的办法, 一种是找出多余参数与时空关系的数学模型, 给载波相位测量方程一个约束条件, 使多余参数大幅度减少; 另一种更有效、精度也更高的办法是遵循一定的规律, 对载波相位测量值进行线性组合 (即求差), 以达到消除共同的多余参数的目的。

考虑到 GPS 定位时的误差来源, 常用的差分法有如下三种: 在接收机之间求一次差 (单差); 在接收机和卫星间求二次差 (双差); 在接收机、卫星和观测历元之间求三次差 (三差)。若用 Φ_k^p 表示某时刻测站 k 对卫星 p 的载波相位测量值, 则这三种求差法的数学定义如下:

在接收机间求单差: $\Delta\Phi_{ij}^p = \Phi_i^p - \Phi_j^p$

在接收机和卫星间求双差: $\Delta\Phi_{ij}^{pq} = \Delta\Phi_{ij}^p - \Delta\Phi_{ij}^q$

在接收机、卫星和观测历元之间求三差:

$$\Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_k, t_{k+1}) = \Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_{k+1}) - \Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_k)$$

单差、双差和三差可用图 1-5 形象表示。

(1) 在接收机之间求单差

如图 1-5 (a) 所示, 在时刻 t , 测站 i 和 j 同时对卫星 p 进行载波相位测量。参见 (1-12) 式可得基本观测方程分别为:

$$\Phi_i^p = \frac{f_l}{c} \cdot [\rho_i^p + (\delta\rho_{ion})_i^p + (\delta\rho_{trop})_i^p + \Phi(t_i^p) - \Phi(t_i^p) - (N_0)_i^p]$$

$$\Phi_j^p = \frac{f_l}{c} \cdot [\rho_j^p + (\delta\rho_{ion})_j^p + (\delta\rho_{trop})_j^p + \Phi(t_j^p) - \Phi(t_j^p) - (N_0)_j^p]$$

上两式相减, 并令:

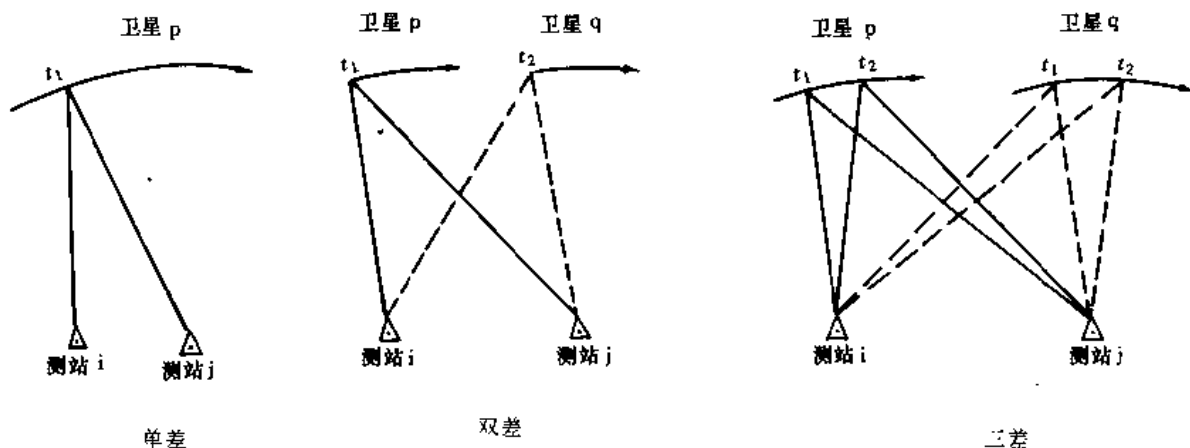


图 1-5 求差法说明图

$$\Delta\Phi_{ij}^p = \Phi_i^p - \Phi_j^p$$

上式为测站 i, j 之间载波相位测量的单差虚拟观测值；

$$\frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{ion}})_i^p = \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{ion}})_j^p - \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{ion}})_i^p$$

上式为两测站至卫星 p 的电离层折射改正之差。

由于大气折射改正本身数值很小，故可令 $f_i = f_j = f$

$$\frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{trop}})_i^p = \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{trop}})_j^p - \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{trop}})_i^p$$

上式为两测站至卫星 p 的对流层层折射改正之差。

$$\Delta\Phi_{ij} = \Phi(t_i^b) - \Phi(t_j^b) = f(V_i^b - V_j^b) + [\Phi(T_s)_i - \Phi(T_s)_j]$$

上式为两台接收机时钟的相对钟差改正数。

$$(N_o)_{ij}^p = (N_o)_i^p - (N_o)_j^p$$

上式为两测站至卫星 p 的整周未知数之差。

于是可得在接收机间求一次差后的虚拟观测方程：

$$\Delta\Phi_{ij}^p = \frac{f}{c} \cdot \rho_j^p - \frac{f}{c} \cdot \rho_i^p + \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{ion}})_i^p + \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{trop}})_i^p + \Delta\Phi_{ij} - (N_o)_{ij}^p \quad (1-15)$$

将上式中的 $\frac{f}{c} \cdot \rho_j^p - \frac{f}{c} \cdot \rho_i^p$ 按 (1-14) 式展开成线性形式，代入后便可进行平差，解算出测站的近似坐标改正数 dX, dY, dZ 。

由方程 (1-15) 式可知，在测站间求单差，卫星钟的误差被消除了。另外，对于较短的基线，由于基线长度与卫星高度（约 2 万千米）相比是个微小量，因而两测站的电离层折射影响、对流层折射影响和卫星星历误差的影响都有较好的相关性。这样，在两接收机间求单差时，也削弱了它们的影响。由此可见，在接收机间求单差可以提高测站间的相对位置精度。

(2) 在接收机和卫星间求双差

如图 1-5 (b) 所示，在时刻 t ，测站 i 和 j 同时观测卫星 p 和 q，这样对于卫星 q 也可组成与 (1-15) 式相同形式的单差虚拟观测方程式：

$$\Delta\Phi_{ij}^q = \frac{f}{c} \cdot \rho_j^q - \frac{f}{c} \cdot \rho_i^q + \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{ion}})_i^q + \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{\text{trop}})_i^q + \Delta\Phi_{ij} - (N_o)_{ij}^q \quad (1-16)$$

(1-16) 式减去 (1-15) 式, 并令:

$$\Delta\Phi_{ij}^{pq} = \Delta\Phi_{ij}^q - \Delta\Phi_{ij}^p$$

为测站 i, j 和卫星 p, q 之间的载波相位测量的二次差虚拟观测值。

$$(\delta\rho_{ion})_{ij}^{pq} = (\delta\rho_{ion})_{ij}^q - (\delta\rho_{ion})_{ij}^p$$

$$(\delta\rho_{trop})_{ij}^{pq} = (\delta\rho_{trop})_{ij}^q - (\delta\rho_{trop})_{ij}^p$$

$$(N_0)_{ij}^{pq} = (N_0)_{ij}^q - (N_0)_{ij}^p$$

$$\Delta\rho_i^{pq} = \rho_i^q - \rho_i^p$$

$$\rho_i^{pq} = \rho_i^q - \rho_i^p$$

可得, 在接收机和卫星间求双差后的虚拟观测方程式:

$$\Delta\Phi_{ij}^{pq} = \frac{f_j}{c} \cdot \Delta\rho_i^{pq} - \frac{f_i}{c} \cdot \Delta\rho_j^{pq} + \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{ion})_{ij}^{pq} + \frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{trop})_{ij}^{pq} - (N_0)_{ij}^{pq} \quad (1-17)$$

由上式可见, 求双差后 i, j 测站接收机的相对钟差改正 $\Delta\Phi_{ij}$ 被消除了。该方程由于消除了难以建立误差模型的接收机时钟 (石英钟) 的误差, 又使未知参数的个数大为减少, 因此在 GPS 定位中被广泛采用。很多接收机厂家提供的处理软件都采用了双差模型。

(3) 在接收机、卫星和历元之间求三次差

既然二次差已能高精度地解算载波相位测量的相对定位问题, 为何还要求三次差? 从以上讨论可知, 无论是单差还是双差, 都存在整周未知数 N_0 不能准确求得的问题。因此, 双差的“高精度”便无从谈起。引入三差的目的, 就在于协助解决整周未知数和整周跳变的问题。因而它通常用来作为初次解。参照方程 (1-17), 可写出相对于观测历元 t_{k+1} 和 t_k 的二次差方程:

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_{k+1}) = & \left(\frac{f_j}{c} \cdot \Delta\rho_i^{pq} \right)_{t_{k+1}} - \left(\frac{f_i}{c} \cdot \Delta\rho_j^{pq} \right)_{t_{k+1}} + \left[\frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{ion})_{ij}^{pq} \right]_{t_{k+1}} \\ & + \left[\frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{trop})_{ij}^{pq} \right]_{t_{k+1}} - [(N_0)_{ij}^{pq}]_{t_{k+1}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_k) = & \left(\frac{f_j}{c} \cdot \Delta\rho_i^{pq} \right)_{t_k} - \left(\frac{f_i}{c} \cdot \Delta\rho_j^{pq} \right)_{t_k} + \left[\frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{ion})_{ij}^{pq} \right]_{t_k} \\ & + \left[\frac{f}{c} \cdot (\delta\rho_{trop})_{ij}^{pq} \right]_{t_k} - [(N_0)_{ij}^{pq}]_{t_k} \end{aligned}$$

只要观测是连续的, 或虽有中断, 但已经过整周丢失修复, 则有:

$$[(N_0)_{ij}^{pq}]_{t_{k+1}} = [(N_0)_{ij}^{pq}]_{t_k}$$

将上述二式相减, 并令:

$$\Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_k, t_{k+1}) = \Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_{k+1}) - \Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_k)$$

$$(\delta\rho_{ion})_{ij}^{pq}(t_k, t_{k+1}) = [(\Delta\rho_{ion})_{ij}^{pq}]_{t_{k+1}} - [(\delta\rho_{ion})_{ij}^{pq}]_{t_k}$$

$$(\delta\rho_{trop})_{ij}^{pq}(t_k, t_{k+1}) = [(\Delta\rho_{trop})_{ij}^{pq}]_{t_{k+1}} - [(\delta\rho_{trop})_{ij}^{pq}]_{t_k}$$

便可得到如下三差的虚拟观测方程:

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_{ij}^{pq}(t_k, t_{k+1}) = & \left[\left(\frac{f_j}{c} \cdot \Delta\rho_i^{pq} \right)_{t_{k+1}} - \left(\frac{f_i}{c} \cdot \Delta\rho_j^{pq} \right)_{t_k} \right] - \left[\left(\frac{f_j}{c} \cdot \Delta\rho_i^{pq} \right)_{t_{k+1}} \right. \\ & \left. - \left(\frac{f_i}{c} \cdot \Delta\rho_j^{pq} \right)_{t_k} \right] + \frac{f}{c} (\delta\rho_{ion})_{ij}^{pq}(t_k, t_{k+1}) + \frac{f}{c} (\delta\rho_{trop})_{ij}^{pq}(t_k, t_{k+1}) \end{aligned} \quad (1-18)$$

由 (1-18) 式可看出, 三差消除了整周未知数的影响。

综上对差分法的讨论可知,采用差分技术的优点是:单差(一次差)可消除卫星钟的误差。对于短基线,可削弱电离层和对流层折射的影响以及卫星星历误差;双差(二次差)可消除接收机钟的误差;三差(三次差)可消除整周不确定性的影响。

4. 整周跳变与整周未知数 N_0 的确定

前已述及,载波相位测量值由三部分组成,即 N_0 , $N(t-t_0)$ 和 $\delta(t)$ (见 1-6 式)。其中 $\delta(t)$ 为不足一周的小数部分可以精确测定, $N(t-t_0)$ 由多普勒频移计数器求得, N_0 是待定的整周未知数。由于种种干扰因素(如卫星信号被遮挡、接收机附近的电磁干扰、接收机本身的瞬时故障等)的影响,使得整周计数 $N(t-t_0)$ 不正确,即产生“整周跳变”(或称“周跳”)。因此,必须寻找载波相位测量中整周丢失的地方,并对其进行修复,以便恢复正确的相位测量值,确保相位测量的高精度。

发现和修复整周跳变和确定整周未知数 N_0 是载波相位测量中特有的两个问题,它们是观测数据处理中经常遇到且较难处理的问题。

在载波相位测量中,同一观测时段延续时间越长,产生周跳的可能性便越大。

(1) 周跳的发现与修复

对相位观测值周跳现象的检查和修复已有多种方法,这里仅介绍利用载波相位观测值的高次差发现周跳的基本思路。

在观测期间,某颗卫星到接收机之间的距离是连续变化的,这种变化是平稳的、有规律的,周跳将破坏这种规律性。依此,可找出大的周跳,但由于 $N(t-t_0)$ 每秒可变化几千周,若 15s 输出一个观测值,则相邻观测值相差可达几万周,这不便发现几十周以下的周跳。为此,一般对不同历元的相位观测值取 4~5 次差,这样距离变化对整周数的影响已可忽略,这时的差值主要是由于振荡器的随机误差引起的,因而应具有随机的特性。

表 1-2 列出了不同历元由测站 T 对同一卫星的相位观测量与差值,供参考。

如果在观测过程中产生了周跳现象,那么便破坏了上述相位观测量的正常变化规律,从而使其高次差的随机特性也受到破坏。我们利用这一特性便可发现周跳现象。现以表 1-2 的观测量为例,说明如下。如果在历元 34 的观测值中含有 100 周的周跳,则观测量的各阶差值将如表 1-3 所示。

可见,4 次差的异常与历元 34 观测值的周跳是相应的。某一历元的周跳发现后,便可根据该历元前或后的正确观测值,利用高次插值公式外推该历元的正确整周计数;为了便于计算机计算,常用线性拟合的方法拟合一个 4~5 阶多项式,根据发生周跳前的 4~5 个观测值来估计下一个观测值,从而发现并修复整周跳变。由于接收机振荡器的随机误差可能造成载波相位 2 周左右的误差,所以这一方法通常只能发现较大的周跳(如大于 5 周)。

对于小的周跳,考虑到卫星钟(原子钟)的稳定度比接收机高 2~3 个数量级,我们便可以对同时观测的不同卫星的观测值的高阶次差求差,来消除接收机钟的不稳定影响,从而发现小的周跳。如表 1-4 所示,该表中,由于 SV_6 卫星的第 106 个观测值丢失 1 周,结果使得与 SV_6 有关的求差(如 SV_6-SV_8 及 SV_6-SV_{11})对应于第 106 个观测的差均少了 3 周,而对应于第 104、105 和 107 个观测值的差均多了 1 周,而与 SV_6 无关的求差

(如 $SV_8 - SV_{11}$) 各次观测均无周跳。

表 1-2 载波相位观测量及其差值

历元号	$N(t-t_0) + \delta(t_0)$	1 次差	2 次差	3 次差	4 次差
30	475 833.2251	11 608.7531	399.8140	2.5072	-0.5795
31	487 441.9784				
32	499 450.5455	12 008.5671	402.3212	1.9277	0.9639
33	511 861.4338	12 410.8883	404.2489	2.8916	-0.2721
34	524 676.5710	12 815.1372	407.1405	2.6195	-0.4219
35	537 898.8487	13 222.2777	409.7600	2.1976	
36	551 530.8864	13 632.0377	411.9576		
37	565 574.8817	14 043.9953			

表 1-3 含有周跳影响的观测量及其差值

历元号	$N(t-t_0) + \delta(t_0)$	1 次差	2 次差	3 次差	4 次差
30	475 833.2251	11 608.7531	399.8140	2.5072	100.5795*
31	487 441.9784				
32	499 450.5455	12 008.5671	402.3212	-98.0723*	300.9639*
33	511 861.4338	12 410.8883	304.2489*	202.8916*	300.2721*
34	524 576.5710*	12 715.1372*	507.1405*	-97.3805*	99.5781*
35	537 798.8487*	13 222.2777	409.7600	2.1976	
36	551 430.8864*	13 632.0377	411.9576		
37	565 474.8817*	14 043.9953			

* 为产生周跳的差值。

表 1-4 同一瞬间卫星的四次差之差

历元号 四次差	SV_6	SV_8	SV_{11}	$SV_6 - SV_8$	$SV_6 - SV_{11}$	$SV_8 - SV_{11}$
100	-2.65	-2.87	-2.54	0.22	-0.11	-0.33
101	-0.12	0.08	0.02	-0.20	-0.14	0.06
102	1.13	1.24	1.01	-0.09	0.12	0.23
103	-1.00	-1.25	-0.92	0.25	-0.08	-0.33
104	2.05*	1.20	0.79	0.85*	1.26*	0.41
105	-1.24*	-2.31	-2.63	1.07*	1.37*	0.32
106	0.63*	3.71	3.56	-3.08*	-2.93*	0.15
107	-0.62*	-1.46	-1.71	0.84*	1.09*	0.25
108	2.14	1.85	2.08	0.29	0.06	-0.23
109	0.14	0.01	-0.05	0.13	0.12	0.06

* 为产生周跳的差值。

如果小的周跳是由接收机故障产生的,则它对所有观测的卫星的影响是相同的,这就无法在卫星间求差来发现,而必须在卫星和接收机之间求双差相位观测值的高阶差分才能发现。在此情况下,凡是与发生接收机故障有关的双差相位观测值的高阶差分均可发现周跳,确定周跳数值的计算方法仍可采用高次插值公式外推或用线性拟合法。用上述在卫星间求差(单差)和在卫星与接收机间求差(双差)的办法发现和修复小周跳后,还可能在与卫星和接收机无关的小周跳(主要是由于外界突然瞬时干扰引起的),这些小周跳可以根据平差后诸残差的大小和符号来发现并修复,在此不再细述。

(2) 整周未知数 N_0 的确定

当以载波相位观测量为根据进行精密相对定位时,整周未知数的确定是一个关键问题。准确和快速地解算整周未知数,无论对于保障相对定位的精度,或对于缩短观测时间以提高作业效率来说,都是极其重要的。目前,解算整周未知数的方法有多种,若按解算所需时间的长短来区分,则可分为经典静态相对定位法和快速解算法。经典静态相对定位法,即是将整周未知数 N_0 作为待定量与其他未知参数在平差计算中一并求解。这时为了提高解的可靠性,所需观测时间较长。整周未知数的快速解算法,主要包括交换天线法、P码双频技术、滤波法和模糊函数法等。快速解算法所需时间很短,一般仅为数分钟。下面分别简述其做法。

1) 确定整周未知数的经典静态相对定位法。将整周未知数作为待定参数在平差计算中与其他参数一并求解的方法,在静态相对定位中,尤其是在长距离静态相对定位中是一种常用的方法。仅就解算法而言,也可采用观测量的三差模型,从观测方程中消去整周未知数 N_0 ,在观测站坐标确定后,再根据单差或双差模型求解相应的整周未知数。

在平差计算中,根据整周未知数解算结果的取值,一般又分为下面两种情况:

a. 整数解(或固定解)。整数解是利用 N_0 应具有整数的特性,将解得的 N_0 取为最相接近的整数,然后将凑整后的 N_0 作为已知量代入原观测方程重新解算其他的待定参数。当观测误差和外界误差对观测值的影响较小时,应用此法较为有效,可以提高成果的精度。整数解主要用于短基线的相对定位中。

b. 实数解(浮动解)。实数解不考虑 N_0 是整数这一特性,通过平差计算求得的整周未知数不再进行凑整和重新解算其他待定参数。当外界误差影响较大、解算的 N_0 精度较低(例如其误差影响大于半个波长)时,常采用此法。这种方法主要用于基线较长的相对定位中,上述关于整周未知数的取值原则,也适用于以下将要介绍的其他解算法。

2) 交换天线法。在观测工作开始之前,先在固定参考站(基准站)附近(如 5~10m 内),选择一个天线交换点,将两台接收机的天线分别安置在该基线两端,同步观测若干历元(如 2~8 个历元)后,将两天线相互交换,并继续同步观测若干历元,最后再把两天线恢复到原来的位置,这时把固定站和天线交换点之间的基线向量视为起始基线向量,并利用天线交换前后的同步观测量求解起始基线向量,进而确定整周未知数。这一方法称为交换天线法。此方法主要用于准动态相对定位。

3) P 码双频技术:所谓 P 码双频技术,即通过 P 码与载波相位观测量的综合处理来确定整周未知数的方法,也可称为扩频技术。

因为码相位观测不受整周未知数的影响,所以通过码相位与载波相位观测量的综合

处理,在理论上便提供了一种确定载波相位整周未知数的可能性。但实际上,由于码相位观测量精度较低,同时电离层对码信号与载波信号传播的影响也不同,所以即使采用P码相位观测量,若将其与载波相位观测量直接比较也难以满足测定整周未知数的精度要求。为此,一些大地测量学者提出了确定整周未知数的扩波技术。即是通过 L_1 和 L_2 载波相位测量的线性组合而产生一种波长较长的组合波,这种波称为宽波(WideLand)。通过相应宽波相位观测量与P码相位观测量的综合处理,便可解算到整周未知数。但是,由于P码的保密性,使这一方法的普遍应用受到了限制。

4) 马吉尔配适滤波法。包含若干具有不同初始条件的并行卡尔曼滤波,它是从这些并行的滤波中用递归的方法搜寻能够最佳描述观测过程的参数,所以这种方法也称为并行滤波。不同的初始条件决定于选择的整周未知数的整数近似值,并行滤波即是寻找那些能够使卡尔曼滤波的推估误差平方和为最小的整周未知数。

采用这一方法解算整周未知数的时间,主要取决于所取整周未知数近似值的偏差,即决定于寻找最佳整周未知数的搜寻范围。当所求的整周未知数很多,或所取整周未知数的偏差较大时,所需的解算时间将显著增加。

另外,弗赖和博伊特莱(E. Freind G. Beutler)于1990年曾推荐了一种与上述方法相类似的快速解算整周未知数的方法(Fast Ambiguity Resolution Approach—FARA)。其基本思路是基于数理统计的参数估计和假设检验的观点,利用初次平差的解向量(坐标及实数整周未知数)及其精度信息(方差与协方差阵和单位权中误差),亦采用搜索策略来确定最佳的整周未知数。实验结果表明,当基线较短(如大于20km)时,根据5min左右的双频观测结果,便可精确地解算整周未知数,使相对定位精度达到厘米级或更好的水平。

5. 观测量的误差及其影响

(1) 误差的分类

在GPS测量中,影响观测量精度的主要误差来源可分为三类:

GPS卫星有关的误差;

信号传播有关的误差;

接收设备有关的误差。

这些误差的细节及其影响见表1-5。为了便于理解,通常把各种误差的影响投影到测站至卫星的距离上以相应的距离误差表示,并称为等效距离偏差。表1-5中所列对观测距离的影响,即为与相应误差等效距离偏差。

若根据误差的性质,上述误差可分为系统误差与偶然误差两类。

1) 系统误差。主要包括卫星的轨道误差、卫星钟差、接收机钟差以及大气折射误差等。

2) 偶然误差。主要包括信号的多路径效应引起的误差和观测误差等。

(2) 与卫星有关的误差

与GPS卫星有关的误差,主要包括卫星的轨道误差和卫星钟的误差。

在GPS测量中,无论是码相位观测还是载波相位观测,均要求卫星钟与接收机钟保持严格的同步。实际上,尽管GPS卫星均设有高精度的原子钟(铷钟和铯钟),但它们与

理想的 GPS 时之间仍存在着难以避免的偏差或漂移，这种偏差称为钟差。卫星的钟差在相对定位中可以通过观测量求差（或差分）的方法消除。

表 1-5 GPS 测量的主要误差表

误差来源	对距离测量的影响 m
卫星 轨道误差 钟误差	1.5~15
信号传播 对流层 电离层 多路径效应	1.5~15
接收机 观测误差 相位中心变化	1.5~5

轨道误差产生的主要原因是卫星在运行中受到多种摄动力的复杂影响而引起的。目前，用户通过导航电文所得到的卫星轨道信息，其相应的位置误差约为 20~50m。卫星轨道误差是当前利用 GPS 定位的重要误差来源之一。削弱这种误差的措施之一是采用短弧法或半短弧法将轨道参数作为待估量与其他未知数一并求解；另一措施是对同步观测值求差，即利用在两个或多个观测站上，对同一卫星的同步观测值求差，以减弱卫星轨道误差的影响，由于同一卫星的位置误差对不同观测站的同步观测量的影响具有系统性质，所以通过上述求差方法，可以明显削弱轨道误差的影响，尤其是当基线较短时，其有效性更为明显。这种方法对于精密相对定位具有极其重要的意义。

(3) 卫星信号的传播误差

与卫星传播有关的误差主要包括大气折射误差和多路径效应，而大气折射误差又分为电离层折射误差和对流层折射误差。

前一节所导出的各类公式中，采用的电磁波传播速度是真空中速度 c ， c 是一常数且传播路径是一直线，但实际上，电磁波是穿过大气层到达地面接收机的，其传播速度不是常数 c ，其传播路径也会被弯曲而使光程加长，这就是大气折射的影响。

影响电磁波传播的大气层主要位于海拔高度 1000m 以下，其中 40km 以下为对流层，40~1000km 为电离层，这两部分的折射影响不同。

1) 电离层折射的影响。电离层影响随太阳黑子的活动性、时间、纬度、经度变化而变化。就观测时间来说，夜间比白天影响小。为了减弱电离层的影响，一是采用双频机进行观测。由于电离层影响是信号频率的函数，所以利用不同频率的电磁波信号进行观测，便可能确定其影响的大小，以便对观测量进行修正；二是利用电离层模型加以修正。对于具有单频机的用户可采用这种方法；三是利用同步观测值求差。当相对定位距离较近时，这种方法可取得显著的效果，对于具有单频机的用户，意义尤为明显。另外，如果有可能的话，尽量在夜间进行观测，因为夜间电离层比较稳定，且折射影响只有白天

的 1/10 左右。

2) 对流层折射的影响。对流层对电磁波的折射要复杂得多。因为, 对流层接近地面, 地面的大气密度更大, 大气密度因气候变化而随时间变化的幅度也大。关于对流层折射的影响, 一是采用对流层模型加以改正, 对流层的影响随卫星高度的减小而增大, 当卫星高度角小于 10° 时, 不能计算对流层折射影响, 因此规定不观测高度角小于 10° (或 15°) 的卫星; 二是对观测量进行求差削弱其影响; 三是引入描述对流层影响的附加待估参数, 在数据处理中一并求解。

3) 多路径效应影响。指接收机天线除直接收到卫星的信号外, 沿可能收到经天线周围地物反射的卫星信号。两种信号叠加将会引起测量参考点 (相位中心) 位置的变化, 而且这种变化随天线周围反射面的性质而异, 难以控制。多路径效应具有周期性的特征, 其变化幅度可达数厘米。在同一地点, 当观测卫星的分布相似时, 多路径效应将会重复出现。减弱多路径效应影响的主要办法有:

选择造型适宜且屏蔽良好的天线;

安置接收机天线的环境应避开较强的反射面, 如水面、平坦光滑的地面和平整的建筑物表面等;

用较长观测时间的数据取平均值。

(4) 与接收设备有关的误差

与用户接收设备有关的误差主要包括: 观测误差、接收机钟差、相位中心误差和载波相位观测整周不定性误差。

1) 观测误差。除包括接收机的分辨误差之外, 还包括天线相对测站点的安置误差。一般认为观测的分辨误差约为信号波长的 1%。观测误差属于偶然性误差, 适当增加观测量会明显地减弱其影响。接收机天线相对测站点的安置误差, 主要有天线置平与对中误差和量取天线高度的误差。

2) 接收机钟差。GPS 接收机一般设有高精度的石英钟, 其稳定度约为 $10 \sim 11$, 如果接收机钟与卫星钟之间的同步差为 $1\mu s$, 则由此引起的等效距离误差约为 300m。处理接收机钟差比较有效的方法, 是在每个观测站上引入一个如 (1-3) 式所示的钟差参数作为未知数, 在数据处理中与观测站的位置参数一并求解。在精密相对定位中, 还可利用观测值求差的方法有效地消除接收机钟差的影响。

3) 相位中心误差。在 GPS 测量中, 无论是测码伪距或测相伪距, 观测值都是以接收机天线的相位中心位置为准的, 而天线的相位中心与其几何中心, 在理论上应保持一致。可是实际上天线的相位中心随着信号输入的强度和方向不同而有所变化, 即观测时相位中心的瞬时位置与理论上的相位中心将有所不同。天线相位中心的偏差对相对定位结果的影响, 根据天线性能的好坏可达数毫米至数厘米, 对精密相对定位来说, 这种影响是不容忽视的。

实际工作中, 若使用同一类型的天线, 在相距不远的两个或多个观测站上同步观测了同一组卫星, 那么, 便可通过观测值的求差来削弱相位中心偏移的影响。不过, 这时各观测站的天线均应按天线附有的方位标进行定向, 使之根据罗盘指向同一方向。定向偏差一般应保持在 10° 以内。

4) 载波相位观测的整周未知数。由于接收机只能测定载波相位差非整周的小数部分和从某一起始历元至观测历元间载波相位变化的整周数, 而无法直接测定载波相位相应此起始历元在传播路径上变化的整周数, 因而, 在测相伪距观测值中, 存在整周未知数的影响, 这是载波相位观测层的主要缺点。

此外, 除了存在整周未知数外, 在观测过程中还可能发生整周跳变问题, 周跳现象在载波相位测量中是经常发生的, 它对距离观测的影响和整周未知数的影响相似, 在精密定位数据处理中, 都是非常重要的问题。

由于采用差分技术消除和削弱了许多误差的影响, 加之观测量的精度较高 (由于观测是波长很短的载波相位), 因此相对定位得到精度很高的基线向量解。

第四节 GPS 的定位方法

1. 参考点的不同位置

利用 GPS 进行定位的方法有多种。若按参考点的不同位置则可分为:

1) 绝对定位 (或单点定位)。即在地球协议坐标系统中, 确定测站相对于地球质心的位置, 此时参考点可认为是地球质心;

2) 相对定位。即在地球协议坐标系统中, 确定观测站与某一地面参考点之间的相对位置。

2. 接收机所处的状态

若按用户接收机在测量中所处的状态, 则定位方法又可分为:

1) 静态定位。即在定位过程中, 接收机天线的位置是处于相对静止状态的;

2) 动态定位。即在定位过程中, 接收机天线处于运动状态。

3. 相对定位方法分类

在绝对定位和相对定位中, 又都可能包含静态与动态两种方式。一般说来, 目前的相对定位方法主要有以下几种:

1) 静态相对定位 (Static)。两台 (或两台以上) 接收机同步采集同一组卫星的载波相位观测值、观测时间为一小时或更长, 事后利用差分处理技术求得接收机之间的基线向量。这种方法对基线的长度不限, 是最常用的定位方法, 所达到的精度对单频机来说是 $10\text{mm} + (2 \sim 4) \text{ppm}$, 对双频机为: $5\text{mm} + (1 \sim 2) \text{ppm}$ 。

2) 快速静态定位 (Faststatic)。快速静态定位同静态相对定位方法基本上相同, 只是观测时间较短, 一般需 $5 \sim 20\text{min}$, 观测时间依据基线的长度和观测的卫星星座而定。另外, 基线的长度一般不得超过 20km 。

3) 准动态定位。准动态定位至少要有两台接收机, 其中一台接收机安置在已知参考点上静态观测; 另一台接收机顺序在各流动站上进行观测 2min 或更短的时间, 通过事后处理, 可确定参考点至各流动站之间的基线向量, 定位精度略低于前两种, 这种方法虽然效率最高, 但在观测期间需要连续锁定至少四颗卫星, 观测路线上遇到的障碍物将导致这种方法的失败, 各流动站与参考站之间的距离应控制在 15km 以内。

4) 伪静态定位 (Pseudo static or Pseudo kinematic)。伪静态定位方法在仪器迁站时

勿需锁定卫星，但需两次对测站进行观测，每次至少观测 10min，两次观测间隔的时间需在 1~4h 之间，在观测路线有障碍物时可采用这种方法以提高工作效率，但精度稍低。

此外，近一年多来又发展了实时（或事后）伪距差分定位方法和动态定位方法等。

第五节 GPS 定位的野外观测和数据处理

GPS 定位工作包括测前准备工作，野外观测和内业资料的处理，下面分别简述其过程。

一、测前的准备工作

测前的准备工作主要有两项：一是野外踏勘、选点；二是观测计划的拟定。

由于 GPS 测量观测站之间不需要相互通视，因而选点工作较为简单，通常应遵守的原则是：

1) 观测站（即接收机天线安置点）应远离大功率的无线电发射台和高压输电线，以避免其周围磁场对 GPS 卫星信号的干扰。接收机与其距离一般不得小于 200m；

2) 观测站附近不应有大面积的水域或对电磁波反射（或吸收）强烈的物体，以减弱多路径效应的影响；

3) 观测站应设在易于安置接收设备的地方，且视场开阔。在视场内周围障碍物的高度角一般应根据情况大于 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ，以减弱对流层折射的影响；

4) 观测站应选在交通方便的地方，以便于车辆的到达和测点的使用。

观测计划的拟定主要是选择最佳的观测时段，观测时段可以根据卫星的预报数据确定。卫星的预报数据可以利用 GPS 随机软件，根据观测站的概略坐标和观测日期以及卫星的星历数据得到。卫星的星历数据一般不应超过 90 天，超过时应重新观测一组新的星历数据。卫星的预报数据主要包括：卫星的可见性，卫星的星座分布，高度角、方位角随时间的变化情况以及 PDOP，GDOP 随时间的变化情况等。

GPS 定位中，观测的卫星与观测站所组成的几何图形对 GPS 定位的精度具有重要的影响，其强度因子可以空间位置精度因子（PDOP）为代表，无论是绝对定位还是相对定位，其值均不应超过一定的要求。一般来说，其值应小于 7。

二、GPS 的野外观测

野外观测工作主要包括：天线安置、观测作业和观测记录等。

1. 天线安置

天线的妥善安置是实现精密定位的重要条件之一。其安置工作一般应满足以下要求：

1) 静态相对定位时，天线应尽可能利用三脚架，并安置在标志中心的上方直接对中观测；

2) 天线底板上的圆水准器气泡必须居中；

3) 天线的定向标志线应指向正北，以减弱相位中心偏差的影响。定向的误差依定位的精度不同而异，一般应不超过 10° ；

- 4) 雷雨天气安置天线时, 应注意将其底盘接地, 以防止雷击;
- 5) 天线安置后, 应在观测的前后各量测天线高一次。两次量测结果之差不应超过 5mm, 并取其平均值采用;
- 6) 所谓天线高, 系指天线的相位中心至观测点标志中心顶端的垂直距离。一般分为上、下两段: 上段是从相位中心至天线底面的距离, 这一段的数值由厂家给出, 并作为常数; 下段是从天线底面至观测点标志中心顶端的距离, 这一段由用户临时测定。天线高的量测值应为上、下两段距离之和。

2. 观测作业

观测作业的主要任务是捕获 GPS 卫星信号, 并对其进行跟踪、处理和量测, 以获取所需要的定位信息和观测数据。

关于利用接收机作业的具体操作步骤和方法, 随接收机的类型和作业模式不同而异。而且, 随着接收设备软件和硬件的不断发展, 接收设备的操作方法也将有所变化, 自动化的水平将不断提高。用户可按随机的操作手册执行。

一般来说, 在外业观测工作中, 操作人员应注意以下事项:

- 1) 当确认外接电源电缆及天线等各项连结完全无误后, 方可接通电源, 启动接收机;
- 2) 接收机在开始记录数据后, 用户应注意查看接收机的工作状态;
- 3) 在观测过程中, 接收机不得关闭并重新启动, 不准改变卫星高度角的限值;
- 4) 观测站的全部预定作业项目, 经检查均已按规定完成, 且记录与资料均完整无误后方可迁站。

3. 观测记录

在外业观测过程中, 所有的观测数据和资料均须妥善记录。记录的形式主要有以下两种:

(1) 观测记录

观测记录由接收设备自动形成, 均记录在存储介质 (如内存储器、记忆卡等) 上, 其内容包括:

载波相位观测值及卫星钟差参数;
GPS 卫星星历及卫星钟差参数;
实时绝对定位结果;
测站控制信息及接收机工作状态信息。

(2) 测量手簿

测量手簿是在接收机启动前及观测过程中, 由用户随时填写的。其记录格式和内容一般如表 1-6 所示。

为了保证记录的准确性, 测量手簿必须在作业过程中随时填写, 不得事后补记。上述观测记录和测量手簿都是 GPS 精密定位的依据, 必须妥善保管。

三、资料处理工作

首先要将接收机观测的数据 (贮存于接收机内存或记忆卡中), 通过数据传输器或读卡机传输至微机中, 然后利用相应的随机软件 (如 Trimble 系列接收机采用 TRIMVEC

表 1-6 测量手簿的记录格式

施工地区	第	组	天气	操作员	
点 号		点 名		用点单位	
时段号		所在图幅		观测日期	
仪器号		天线号		采样率, s	
近似纬度		近似经度		近似高度	
天线高, m	测前		平均		
	测后				
观测时间	世 界 时: 时 分至 时 分				
	北 京 时: 时 分至 时 分				
点 位 略 图				备 注	

—PLUS; Leica 接收机采用 SKI 软件) 对基线进行处理, 若生产的目的是建立 GPS 控制网, 则还需应用相应的网平差软件 (如 Trimble 公司推出的 TRIMNET、武汉测绘科技大学推出的 GPSADJ 等) 对全网进行最小二乘平差。目前, 在物探测量中, 一般用单基线处理即可, 对于 Trimble 接收机来讲, 观测 1.5h 的数据在 286 微机上处理一条基线约需 20min 左右, 对处理后的结果还要进行质量分析、坐标转换等工作, 数据处理工作需由专业技术人员进行。

第六节 坐标系统的转换

GPS 基线数据处理都是在 1984 年世界大地坐标系 (简称 WGS—84) 中进行的, 计算出的坐标是 WGS—84 坐标系统内的坐标, 而我们国家目前广泛采用的是 1954 年北京坐标系 (BJZ—54) (对应的椭球体, 为克拉索夫斯基参考椭球体) 因此, 这就存在 WGS—84 坐标系统与 BJZ—54 坐标系统相互转换的问题。

由于目前还没有 WGS—84 与 BJZ—54 坐标系统之间的转换参数 (实际上, 由于无法精确求定 WGS—84 系统内的坐标, 因此, 即使求出其间的转换参数也是没有多大意义的), 因此若要将 WGS—84 坐标系内的坐标转换至 BJZ—54 坐标系内需先将 WGS—84 坐标系内的坐标转换至 1972 年世界大地坐标系 (WGS—72) 中, 然后再由 WGS—72 坐标系内的坐标转换至 BJZ—54 系内, 即 WGS—84 与 BJZ—54 坐标的相互转换需通过 WGS—72 坐标系统作为过渡。

设有如图 1-6 所示的地心 (O_2) 和参心 (O_1) 空间直角坐标系, 其间的转换模型 (布尔莎模型) 可表示为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_2 = (1+m) \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 + \begin{bmatrix} 0 & \epsilon_z & -\epsilon_y \\ -\epsilon_z & 0 & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

式中 m ——尺度比因子；

ϵ_x 、 ϵ_y 、 ϵ_z ——三个坐标轴旋转参数，称为欧拉角；

X_0 、 Y_0 、 Z_0 ——三个平移参数。

WGS—72 至 WGS—84 坐标系的转换参数是已知的，各参数值为： $m=0.227\text{ppm}$ ， $\epsilon_z=0.554''$ ， $\epsilon_x=\epsilon_y=0$ ， $X_0=Y_0=0$ ， $Z_0=+4.5\text{m}$ ，WGS 72 至 BJZ—54 坐标系统的转换参数目前广泛采用的是 DX-1 三参数模型，即只采用三个平移参数，原因是三个欧拉角和尺度比参数数值很小，即使求定出来精度也不高；这主要是对于相对定位中的坐标转换来说影响不大。

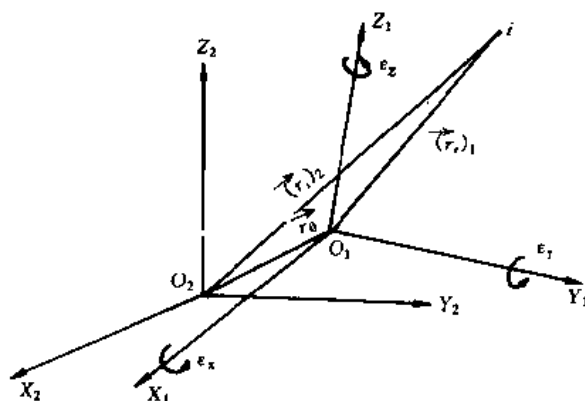


图 1-6 坐标转换说明图

在实际应用中，还要用到空间直角坐标 X 、 Y 、 Z 和大地坐标 B 、 L 、 H 之间的相互转换模型：

$$\begin{cases} X = (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L \\ Y = (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L \\ Z = [N(1 - e^2) + H] \cdot \sin B \end{cases}$$

式中 N ——要转换点的卯西圈曲率半径；

e ——椭球体第一扁心率。

计算出待定点的大地坐标后，还要将经纬度通过高斯投影转换至高斯投影平面上，求出高斯—克吕格平面直角坐标，将大地高 h 转换至海拔高 H 。由 WGS—84 系统内的坐标转换至 BJZ—54 系统，用坐标转换说明图 1-6 表示。

第七节 GPS 高程的归算

在第一部分介绍了坐标转换的方法，转换后的三维坐标中，平面坐标可以使用，但高程还不能使用，因为它是大地高，而我们需要的是海拔高（又称正高）。所以，必须进一步换算，由大地高计算出海拔高。坐标转换与高程归算如图 1-7 所示。

某点的海拔高，是指该点沿铅垂线到大地水准面的距离，而大地高是指该点沿参考椭球面的法线到椭球面的距离（见图 1-8），大地高 h 与海拔高（正高） H 之间有差值 N ，称之为大地水准面差距（又称高程异常），它们之间的关系式：

$$H = h - N$$

因为椭球面是一个数学面，它的形状可准确描述出来，而大地水准面是物理面（等

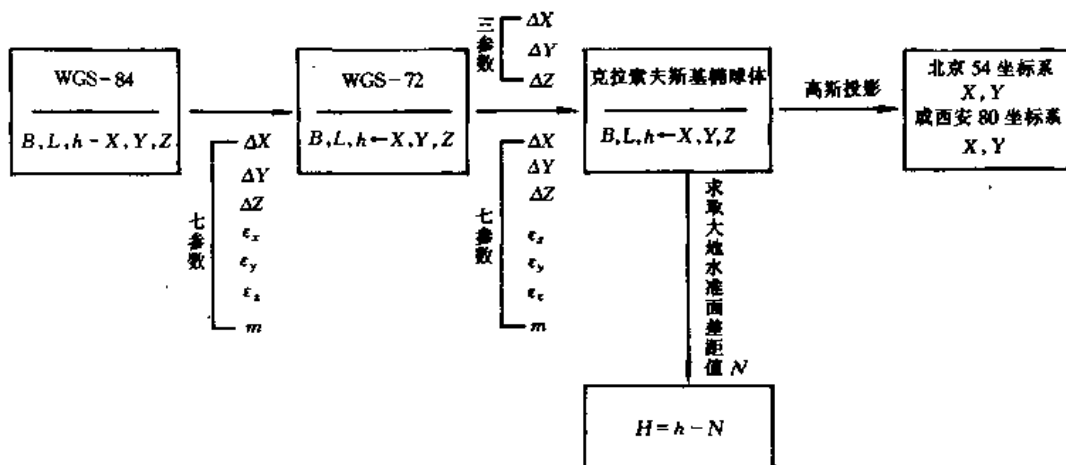


图 1-7 坐标转换与高程归算框图

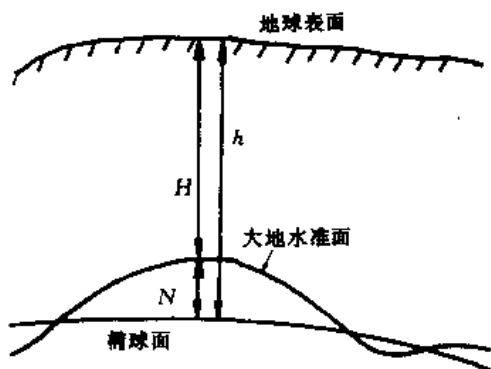


图 1-8 计算海拔高示意图

位面), 它的内部密度变化不均匀, 呈不规则形状, 所以两个面不重合, 起伏可达 $\pm 100\text{m}$ 。由上式已知大地水准面差距值 N , 即可计算出海拔高 H 。目前, 在我国 N 值一般是从 1:250 万的全国大地水准面差距图上查得该图等高距 1m, 一般地区的 N 值精度约在 $\pm 1\sim 3\text{m}$, 东部地区精度较高约 $\pm 1\text{m}$, 西部地区精度较差, 新疆塔里木盆地个别地区可达 6~8m。因此欲进一步提高 GPS 高程的精度, 最主要的是求准大地水准面差距 N 。求 N 值的方法一般有天文水准和天文重力水准。

GPS 联测定位中, 根据点 1 和点 2 的椭球面高差 (Δh), 推算其正高差 (ΔH), 如大地水准面的差距 (ΔN) 已知 (可从图上内插出两点的 N 相减), 则可由下式得出:

的 N 相减), 则可由下式得出:

$$(H_2 - H_1) = (h_2 - h_1) - (N_2 - N_1)$$

$$\Delta H = \Delta h - \Delta N$$

$$H_2 = H_1 + \Delta h - \Delta N$$

由于 N_2, N_1 中含有相同、相近的误差, 二者相减可抵消其中大部分的误差, 所以用相对定位方法求得的海拔高程精度可大大提高。

第八节 利用 GPS 卫星定位的限制与相应措施

由于 GPS 与美国的国防现代化发展密切相关, 所以该系统除在设计方面采取了许多

保密性措施外,在其投入运行后,还实行了所谓选择可用性 (Selective Availability 简称 SA) 政策,即人为地降低卫星星历和 GPS 卫星钟的精度,以限制广大民间用户利用 GPS 卫星定位的精度。

GPS 卫星发射的无线电信号含有两种精度不同的测距码,即所谓 P 码(也称精码)和 C/A 码(也称粗码)相应两种测距码。GPS 提供两种定位服务方式,即精密定位服务 (Precise Positioning Service 简称 PPS) 和标准定位服务 (Standard Positioning Service 简称 SPS)。

精密定位服务的主要对象是美国军事部门和其他特许的部门,这类用户可利用 P 码获得精度较高的观测量,且能通过卫星发射的两种频率信号量测距离以消除电离层折射的影响。利用 PPS 也不会受到上述精度限制 (SA) 政策的影响,单点实时定位的精度可优于 10m。

P 码是不公开的保密码,广大民间用户难以利用。不过,由于近年 P 码的结构已被解译,所以美国将采用新的保密码 Y 码来代替 P 码,Y 码的结构将更为严格保密,这样,非美国军方特许的一般用户将无法解译 Y 码以进行高精度的导航和定位。

标准定位服务的主要对象是广大的民间用户,利用 SPS 所得到的观测量精度较低,且只能采用调制在一种频率上的 C/A 码测量距离,无法利用双频技术消除电离层折射的影响,其单点实时定位的精度约为 20~30m,但在 SA 政策的限制下,利用 SPS 的定位精度将进一步降低至约 100m。

为了摆脱 SA 政策的限制,当前采取的措施主要有两条:一是建立独立的 GPS 卫星测轨系统,利用 GPS 卫星建立独立的跟踪系统,以精密地测定卫星轨道为用户提供服务,这是一项经济有效的措施,它对开发 GPS 的应用具有重大意义;二是建立独立的卫星导航与定位系统,该方法尽管可以完全摆脱对美国 GPS 的依赖,但这是一项技术复杂且耗资巨大的工程,对于发展中国家来说是困难的。

第九节 GPS 在我国使用的前景

从 1988 年至今我国已引进各种型号的大地型接收机 500 多台,并仍在增加,目前国内需求量仍很大,而且仪器价格大幅度下降,现在单频机的价格仅为 1988 年时的 1/6 左右,和一台全站型经纬仪价格接近,一般单位都能买得起。另外,仪器更新换代快、体积越来越小、性能越来越完善、用户使用越来越方便。导航型接收机发展迅速,预计将会有更多的单位和部门引进。在我国 GPS 定位技术的使用前景是十分广阔的。

第十节 GPS 定位的质量监控

石油物探测量中的 GPS 卫星定位质量监控,应以“石油物探全球定位系统 (GPS) 测量规范”和“GPS 接收机的维护与使用”,这二个标准为依据,进行质量监控。

一、石油物探测量对 GPS 定位测量的要求

GPS 定位技术应用于石油物探测量和应用于大地测量、工程测量有显著的不同特点。后者要求精度高而对 GPS 的布网设计、观测、数据处理,提出各种严格的要求和限制条件。而前者的精度要求比后者稍低,但要求提交成果要快,往往要求几天内甚至当天提交定位成果。鉴于这种显著的特点,GPS 技术应用于石油物探测量中的方法、手段、数据处理流程及坐标转换问题解决的方法与措施和大地测量、工程测量中的 GPS 技术应用有明显的不同,不能照搬。

二、中心站式布网方法的特点

石油物探测量中,现在基本上全部采用中心站式的布网方法,而不是采用国家 GPS 定位测量规范中,规定的分别布设 A、B、C、D、E、级网的布网方法。所谓中心站式的布网方法,是在作业的工区内,先设一个(或多个)中心站,所有待定点的其他定位点都相对于这个中心站进行定位测量,该方法具有下列特点:

- 1) 在中心站的观测量大大多于其他点的观测量;
- 2) 这种作业方法对于作业调度比较方便;
- 3) 由于待定点离中心站越远定位精度越低,所以点的定位精度很不均匀;
- 4) 难以形成对所有独立基线的控制和考核。

三、石油物探 GPS 定位测量的质量监控

现行的石油物探 GPS 定位测量的作业方法的最大缺陷是它的检查不严格,因为没有严格按国家规范中 GPS 定位测量的要求,布设成各种等级的 GPS 定位网,因此无法确定各条基线的相对中误差和各点的点位中误差。如果野外作业施工不严格,或某一环节的疏忽,或数据处理方法不当,都会影响点的定位精度,甚至造成定位出现粗差。为了防止上述现象的发生,我们在制定作业规范时已采取了相应的措施,如有关选点的规定,就规定了较长的作业时间等。如果作业中能严格按照规范和有关技术法规办事,用现行的这种作业方法是可以达到精度要求,也可以满足石油物探测量需要的。

四、石油物探 GPS 定位测量质量监控的要点

1) 注意点位的选定,应按规范要求选在视野开阔、周围没有成片障碍物、没有电辐射源以及大范围水面的地方。

2) 野外观测期间的质量监控。主要检查整个观测过程是否符合规范要求,尤其观测时间是否足够(达到规范规定时间),如果观测时间太短,由于“周跳”可能出现粗差。

3) 基线处理结果的检校和精化技术。评定基线处理结果是否合格有两种方法:一是单条基线的自评;一是非同步图形坐标闭合差检查,在确认某条基线自动处理结果不合格后,应进行精化处理。

单基线处理结果由下列三项指标进行自评:

- a. 质量因子;

- b. 单位权中误差 (RMS);
- c. 双差分固定解与双差分浮动解之间差值。

石油物探全球定位系统 (GPS) 测量规范中, 对定位点的精度, 提出了下列三项指标:

- a. 不同时段所得的重复边互差, 应小于接收机标称精度的 $2\sqrt{2}$ 倍;
- b. 不同中心站计算的重合点平面位置互差:

$$\Delta S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \leq 0.6 \text{ (m)}$$

- c. 异步环闭合差

$$w = \sqrt{dX^2 + dY^2 + dZ^2} \leq 0.2\sqrt{n} \text{ (m)}$$

式中 dX 、 dY 、 dZ ——为点的坐标分量闭合差;

n ——为计算边数。

五、检查验收与上交资料

上级主管部门应对 GPS 测量工作进行定期和不定期的检查, 年终对成果资料进行验收。验收的主要内容包括:

- a. 任务完成情况;
- b. 工作方法、计算方法是否正确合理;
- c. 工作质量、成果精度是否达到要求;
- d. 仪器和微机使用情况。

需上交的资料有: 记录手簿、定点成果、成果软盘、工作总结。

第二章 地面目标天文方位角的测定

第一节 概 论

在物探测量中,采用测定地面目标的天文方位角代替用两个已知点反算方位角的方法来确定导线已知点方位,这种方法既方便实用又经济,近 10 多年来在全国地勘测绘行业中得到了广泛的应用。

在改革开放以前,国家大地点、军控点遭到了严重破坏。目前,我国在一定时间内还无法全面恢复那些被破坏的控制点,特别在一些边远地区,更是鞭长莫及。有的沙漠、半沙漠地区,还是大地点空白地带。大地点不足,严重地影响了石油物探工作的顺利进行。近几年来采用了 GPS 定位技术,为物探和其他地勘测量提供很大的方便。但是,若按照常规的导线连接方法,每条导线的每个端点得用两个已知点来反算方位,一条导线得有四个定位点才能满足需要,这在时间上、人力、物力上都是划不来的。如果我们只在每个端点作一个定位点,其方位采用测定地面目标的天文方位来解决,就可以极大地提高勘探工作的效率。10 多年来的实践证明,这种方法取得了良好的经济效益。

地面目标天文方位角(简称方位角),就是测站子午圈面与通过地面目标的垂直圈面间的夹角。因此测定某地面目标的天文方位角可以理解为:测定某一天体(对物探测量工作而言,通常是指太阳和北极星)在某一瞬间与观测者所在子午面间的夹角(天体方位角)以及它在同一瞬间与地面目标间的水平夹角(以便归化为地面目标的方位角)。

为了便于理解,这里引入有关天文测量的一些基本概念。

第二节 天球和天球上的坐标系统

由于地球绕着地轴自转,使我们在观看天空时,觉得太阳、星星等天体都是东升西落的,很显然,这是一种假象,我们把这种假象运动叫做天体的视运动。为了研究这种运动,必须知道天体在某一瞬间的确切位置,为此,在球面天文学内引入了“天球”这一概念,把所有天体都投影到这个理想的天球的球面上,给它赋予适当的坐标系统,这样天体在天球上的位置就可以确定了。

所谓天球,就是以测站(或地球中心)作为球心,以任意长(或无穷大)为半径的一个理想的球体。因为,天球的半径很长很长,在地球上的一切有限长度与这个半径相比,都可以忽略不计,也就是说,相对于天球,地球只不过是区区一个小点而已。因此,不难理解这样一个现实问题,即以地球中心作为天球球心和以测站作为天球球心实际上是一回事。

一、天球上的基本圈和点

1. 天顶和天底

将测站点的铅垂线向上向下延长与天球相交，头顶上的一点叫做天顶，用 Z 表示，脚底下的一点叫做天底，用 Z' 表示。

2. 天球地平面和天球地平圈

通过测站点（在此把它作为天球中心）作和天球、天顶、天底连线 ZZ' 相垂直的平面，称为天球的地平面。这个地平面与天球相交的大圆 $ESWN$ 称为天球的地平圈。

3. 天轴和天极

通过天球的中心作一直线与地球的自转轴 PP' 平行，这条线叫做天轴。天球与天轴的两个交点 P 、 P' 称为天极，与地球北极相应的点 P ，叫天北极（或称北极），与地球南极相应的点 P' 叫做天南极（或称为南极）。

4. 天球赤道面与天球赤道

通过图 2-1 天球中心作一平面与天轴垂直，这个平面叫做天球赤道面，它与地球赤道相互平行。天球赤道面与天球相交的大圆称为天球赤道。天球赤道与地平圈的两个交点称为东点 E 和西点 W ，与测站子午圈相交的两点，其中位于上子午圈的 Q 叫上赤道点，位于下子午圈的 Q' 叫下赤道点。

5. 天球子午面与天球子午圈

通过天轴和天顶所决定的平面叫做天球子午面，它与天球相交的大圆称天球子午圈。

6. 子午线

天球子午圈面与天球地平面相交的直线叫做子午线，其中靠近北极的点 N 叫北点，靠近南极的点 S 叫南点。

7. 黄道平面

太阳做周年运动的轨迹平面称为黄道平面，太阳中心和地球中心都在这个平面上。地球在做周年运动过程中，其自转轴对于公转轨道平面是倾斜的，交角总是 $66^{\circ}33'$ ，也就是说黄道平面与赤道平面始终保持 $23^{\circ}27'$ 的交角，这个交角称为黄赤交角，以 ϵ 表示。天球上的基本圈和点如图 2-1 所示。

黄道平面与天球相交的大圆称为黄道（即太阳在天球上作周年视运动的轨道），黄道与天球赤道在天球上相交于两点，叫做二分点。太阳沿黄道向天球赤道由南向北通过赤道的一点称为春分点，另一个叫秋分点。黄道上与二分点相距 90° 的两点称为二至点，位于赤道以北的一点叫夏至点，另一点叫做冬至点，黄道的两个几何极称为黄极。从北黄极向黄道看去，按逆时针方向分别为春分、夏至、秋分和冬至。

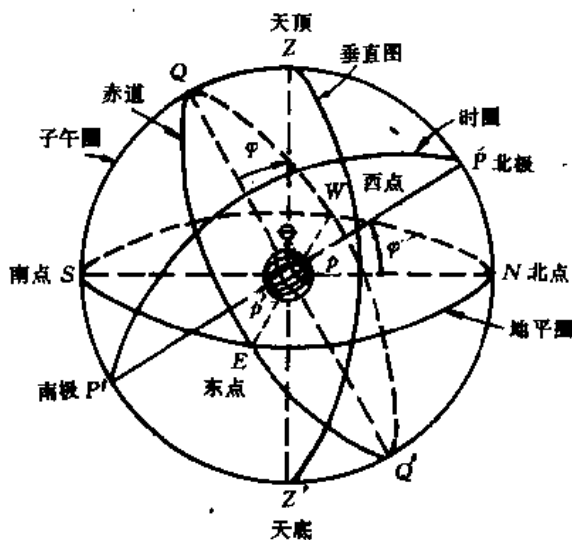


图 2-1 天球上的基本圈和点

二、地理坐标系

地面点在地球上的位置，一般都采用球面坐标来表示，球面坐标分为天文坐标系和大地坐标系。

天文坐标系与地球的形状和大小完全无关，是由天文垂线定义的。

大地坐标系的基本参考基础是一个任意约定采用近似于地球自然表面的数学曲面——旋转椭球面。

天文坐标系与大地坐标系通称为地理坐标系，用这两个坐标系来表示的地面上一点位置，叫做地理位置。

1. 地理坐标

地理坐标以地球赤道作为基圈，以通过格林威治天文台的子午圈作主圈，以它们的交点作为主点。

图 2-2 中 $PPE'P'$ 为 E 点的子午圈， O 为地球的中心， EO 为 E 点的铅垂线方向， $EO'G''$ 为通过 E 点平行于赤道的平面， EG'' 称为过 E 点的纬圈， λ 是 E 点的经度， φ 是 E 点的纬度。

λ 从 G 点（格林威治天文台）所在子午圈起算，往东 180° 称为东经，往西 180° 称为西经。

φ 以赤道为 0° ，向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬，数值为正；向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬，数值为负。

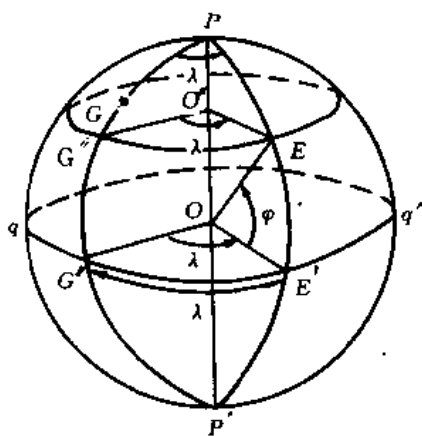


图 2-2 地理坐标系

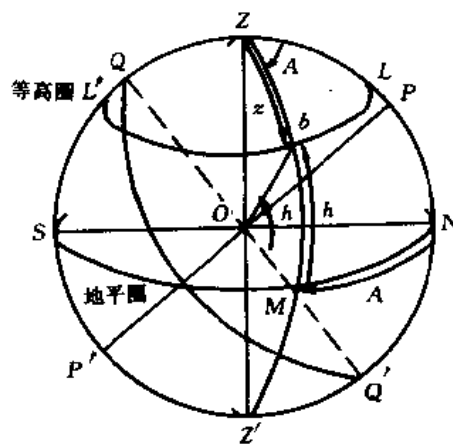


图 2-3 地平坐标系

2. 地平坐标

地平坐标以天球地平圈作为基圈，测站子午圈为主圈，北点作为主点，以方位角 A （地平经度）及高度角 h （地平纬度）来定天体在天球上的位置。

如图 2-3，设通过天体 b 的垂直圈 ZbZ' 交地平圈于 M 点，则自北点 N 沿地平圈顺时针转到 M 点的大圆弧 NM 为天体 b 的方位角 A 。方位角由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 变化。若从 N 沿地平圈逆时针方向算，则方位角由 $0^\circ \sim -360^\circ$ 变化。方位角也可以用球心角 NOM 和球面角 LZb 来表示。

从地平圈起算的大圆弧 bM 或球心角 bOM 为天体的高度角 h 。在天文测量中，往往

不用高度角 h ，而是用从天顶起算的 Zb 或球心角 ZOb 来表示天体 b 在地平坐标系中另一个坐标，即图 2-3 的天顶距，用 z 表示。

高度角 h 从地平圈 M 点起算，沿 b 的垂直圈向天顶方向为正，向天底方向为负，其数值从 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ ，天顶距则从天顶 Z 起算，沿 b 的垂直圈向下由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。高度角与天顶距有如下的关系：

$$h + z = 90^\circ$$

$$h = 90^\circ - z$$

$$z = 90^\circ - h$$

通过天体 b 作一平行地平圈的平面，这个圈与天球相交的小圆 LbL' 称为等高圈，在同一等高圈上的天体，其高度角或天顶距相等。

地平坐标系有一个特点，就是与测站位置有关。因为，它的两个坐标参考圈（基圈和主圈）——地平圈和子午圈，主点 N 和天顶距 z 等都因测站的不同而不同。不同的测站即使在同一时间观测同一天体，所得的坐标是不同的。由此可见，地平坐标不仅具有时间性而且具有地方性。

3. 赤道坐标系

(1) 第一赤道坐标系

第一赤道坐标系以天球赤道圈为基圈，测站子午圈为主圈，上赤道点 Q 为主点。它是以赤纬 δ 和时角 t 来表示天体位置的，因此称为赤道坐标系。

如图 2-4 所示，过天体 b 作时圈 PbP' 交赤道于 R ，则它与测站子午圈之间的两面角 QPR 称为天体 b 的时角 t ，时角 t 也可以用球心角 QOR 表示，或由上赤道点 Q 顺时针方向沿赤道到 R 点的赤道弧距 QR 度量。 t 从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

天体的赤纬以大圆弧 bR 度量，从赤道起算，往北为正，向南为负，数值从 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 。大圆弧 pb 称为极距 p ，由北极起算从 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，它与赤纬有以下关系：

$$\delta + p = 90^\circ$$

$$p = 90^\circ - \delta$$

$$\delta = 90^\circ - p$$

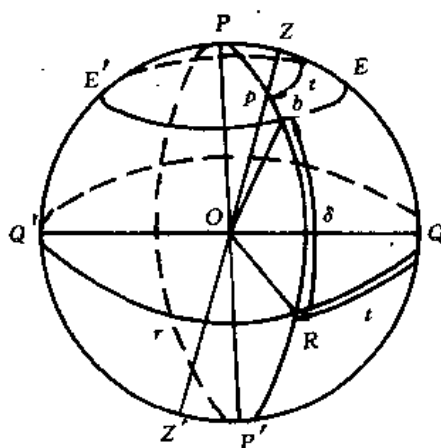


图 2-4 第一赤道坐标系

通过天体 b 作平行于赤道的平面与天球相交的小圆 EbE' 称为周日平行圈，在这个圈上的一切点都具有相同的图 2-4 赤纬。

天体赤道不因天体的周日视运动而变化，也不因测站的变化而不同。但时角 t 则随天体的周日视运动而不断变化，由上中天开始，从 $0^\circ \rightarrow 360^\circ$ ，而且不同经度的两个测站，虽然在同一时刻观测同一天体，但所得的时角是不同的，由此可见，时角 t 因测站不同而不同。

(2) 第二赤道坐标系

第二赤道坐标系以赤道为基圈, 过春分点的时圈为主圈, 春分点为主点。以赤经 α 和赤纬 δ 作为坐标元素, 赤道同第一赤道坐标系中的 δ 具有同样的含义。

如图 2-5 所示, 过天体 b 所作的时圈 PbP' 与赤道相交于 R , 过春分点 r 的时圈为 PrP' 。

赤经 α 为自春分点 r 起逆时针方向沿赤道到 R 的大圆弧 rR , 或者以球心角 rOR 、球面角 rPR 来度量。

赤经的数值从 $0^{\circ} \rightarrow 360^{\circ}$ ，它通常以时间来表示：由 $0h \rightarrow 24h$ 。

因为天体、春分点是同天球一起做周日视运动的，所以天体的赤经和它的赤纬一样，不因天球的周日视运动而变化，它们也不与测站的地平圈和子午圈发生关系，不受测站位置影响。天体的赤经和赤纬，由专门的天文工作者求得并编成星表《天文年历》，天文测量时可以直接从表中查得 α 和 δ 。

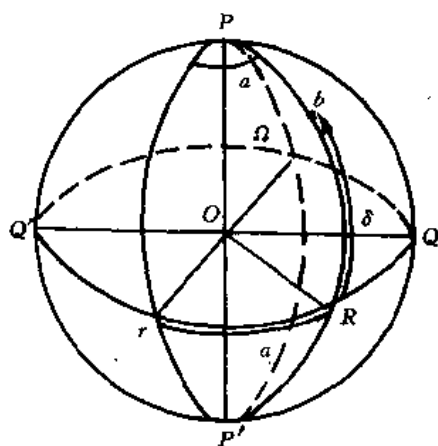


图 2-5 第二赤道坐标系

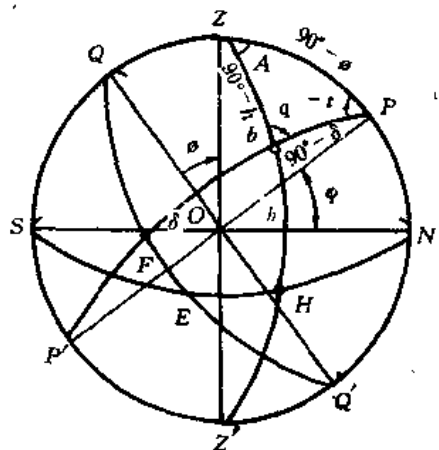


图 2-6 定位三角形

三、定位三角形

图 2-6 中 O 为天球球心，通过球心和球面上特定点位的平面与天球面相交形成许多有特殊意义的大圆（圈），这些大圆相交构成一个个球面三角形。其中在天文测量中有很大的用途的一个球面三角形就是“定位三角形”。如图 2-6 中的阴影部分。

图 2-6 中 b 为天体，过 b 的垂直圈面 $ZbHZ'$ 和过天体的赤经圈面 $PbFP'$ 以及测站的子午圈面 $Q'NPZQSP'Z'$ 三个平面在天球上相交的三个大圆弧 Pb 、 PZ 、 Zb 构成的球面三角形 PbZ 叫定位三角形。

它的三个顶点：

P 为北天极；

b 是天体；

Z 是测站的天顶。

它的三边:

$PZ = PQ - ZQ$, ZQ 是测站纬度 φ , 因此 $PZ = 90^\circ - \varphi$;

$Zb = ZH - bH$, bH 是天体的高度 h , 因此 $Zb = 90^\circ - h$;

$Pb = PF - bF$, bF 是天体的赤纬 δ , 因此 $Pb = 90^\circ - \delta$ 。

它的三个角:

$\angle ZPb$ 是赤道坐标系统中的时角 t , 它表示天体行离子午面的角度, 可以时间表示;

$\angle PZb$ 是地平坐标系统中的方位角 A 的补角, 即 $\angle PZb = 180^\circ - A$;

$\angle PbZ$ 叫星位角, 一般以 q 表示。

由以上的意义可知, 定位三角形中的六个元素包括地平坐标系统 (高度 h 、方位角 A) 和两种赤道坐标 (时角 t 、赤经 α 、赤纬 δ) 以及测站地理纬度 φ 。

我们测定天文方位角, 就是充分利用定位三角形这些特殊边角的意义。

第三节 时间系统

一、概念

什么是时间? 时间是物质存在和运动的客观形式, 是度量事物发展过程久暂的标准。这是一个哲学概念。

在天文学中, 不去考虑定义时间这样一个难以捉摸的概念。而只去考虑计量时间这样一个物理问题。

时间具有时刻和时间间隔 (或称时段) 两种不同含义。时刻指某一瞬间, 时间间隔则表示事物运动开始瞬间到结束瞬间的整个过程所经历的一个时段。

地球是连续自转的, 为了测定自转的周期, 必须在地球外空间选择一个天体或某一个特殊点 (如太阳或春分点), 作为度量时间的参考点。由于选择的参考点不同, 度量出来的时间单位的长短也不一样, 因此就产生不同的时间系统。

时间的单位有: 年、日、时、分、秒。

1 年 = 365. 2422 日

1 日 = 24 时 1 时 = 60 分 1 分 = 60 秒

在天文学中, 时、分、秒分别用 h (hour), min (minute), s (second) 表示。

二、恒星日、恒星时系统

春分点是天球上的一个特殊点, 它和各天体一样有周日视运动, 我们可以利用春分点的周日视运动的周期来测定地球自转周期, 从而建立起以恒星日为时间单位的恒星时系统。

1. 恒星日

以春分点作为度量地球自转周期的参考点, 春分点连续两次经过测站上子午圈所经历的时间间隔, 称为一个恒星日。

2. 恒星时

将一个恒星日等分为 24 个恒星时, 一个恒星时等分为 60 个恒星分, 一个恒星分等分为 60 个恒星秒。恒星时一般用 S 表示。

春分点时角在数值上等于恒星时。

时角是从测站子午圈起算的，不同的测站所在子午圈不同，春分点的时角（恒星时）也不同。恒星时具有地方性，因此我们将恒星时称为地方恒星时。

由于春分点是黄道与赤道的交点，不是一个实在的天体，我们不能直接测定它的时角以定恒星时。但前面讲过，春分点的时角等于任何天体的赤经和它的时角之和。即：

$$t_r = \alpha + t$$

因为 $t_r = S$

所以 $S = \alpha + t$

因此，若要求某一瞬间的地方恒星时，只要测定一颗天体的时角，再加上该天体的赤经 α （可在《天文年历》中查取）即可。这是观测天体测定地方恒星时的基本方法。如果天体在上子午圈时，时角 $t=0$ ，则测站恒星时 $S=\alpha$ ；当天体在下子午圈时，测站恒星时 $t=12h$ ， $S=\alpha+12h$ 。

反之，如果我们知道地方恒星时 S 和天体的赤经 α ，就可以求得天体的瞬间时角 t 。

三、太阳日、太阳时系统

日常生活中，人们习惯了“日出而做，日落而归。”因此，太阳日对我们来说，并不感到陌生。利用太阳作为参考点来测量地球自转周期的时间系统，称为太阳时系统。

太阳时系统有两种“日”的时间单位：一种是以真实见到的太阳（视太阳）为参考点所确定的“真太阳日”；另一种是假想的在赤道上做匀速运动的假太阳（平太阳）作为参考点所确定的“平太阳日”。

1. 真太阳日、真太阳时

真太阳视面中心连续两次通过地面某地上子午圈的时间间隔，称为一个真太阳日（或称视太阳日）。一个真太阳日分为 24h（分、秒的分法同其他时间单位一样，下面的平太阳时也一样）。

当真太阳上中天时，时角 $t=0$ ，真太阳时为 0h，此时叫真正午，是一个真太阳日的开始；当真太阳时 = 12h，时角 $t=12h$ ，此时叫真子夜。

在一个真太阳日内，真太阳的时角 t 从 0h → 24h 真太阳时也一样。也就是说，真太阳时在数值上等于真太阳时角。若以 m 表示真太阳时，则：

$$m = t$$

因地球绕太阳公转的速度不均匀，当地球在近日点时，速度最快；在远日点时，速度最慢，因而太阳周年视运动的速度也是不断变化的。在夏季，真太阳在黄道上移动速度慢，即每天向东移动的距离短些，一个真太阳日也相对短些，反之，真太阳日的长度就长。结论是：在不同的日期，真太阳日的长度不等。同时，因黄道对于赤道的倾斜，太阳在黄道上走的弧长投影到赤道上，在不同的时期也不一样，真太阳时以真太阳时角来表示的，其大小以赤道的弧度来量度，这就说明真太阳时角的变化是不均匀的，真太阳时也有长有短。

由于真太阳日存在不均匀的缺点，不符合时间度量的要求，因此天文学家们提出了一个平太阳时间系统。

2. 平太阳日、平太阳时

为了获得一个均匀的时间系统，天文学家们引进了一个假想的太阳，称为“平太阳”。它有以下两个特点：

1) 周年视运动的轨道是赤道，它的周年视运动的周期等于真太阳的周年视运动的周期；

2) 在赤道上做周年视运动的速度是均匀的，它的速度等于真太阳周年视运动的平均速度。

平太阳上中天时，时角为 0，此时为平正午；下中天时，时角为 12h，此时为平子夜。

自古以来，人们都把平子夜作为一天的开始，为使平太阳日与人们的生活习惯统一起来，故把平太阳连续两次通过下子午圈的时间间隔称为一个平太阳日（过去称为民用日），平太阳日以平太阳下中天瞬间作为一日的开始。

一个平太阳日分为 24h，1h=60min，1min=60s。

平太阳时用 m 表示。在数值上等于平太阳时角加上 12h。即：

$$m = t + 12h$$

由于平太阳沿赤道以均匀的速度向东运行，它的周年视运动周期等于真太阳的周年视运动周期（即一回归年=365.2422 平太阳日），所以平太阳赤经 α 每日的变化量为：

$$\Delta\alpha = \frac{360^\circ}{365.2422} = 59'8.3304'' = 3\text{min}56.5554\text{s}$$

3. 真太阳时与平太阳时的关系

平太阳时作为时间单位是理想的，但平太阳是在赤道上的一个假想点，我们不能直接观测它，而真太阳时虽然不均匀，但我们可以直接测定真太阳的时角而求得，若找出这两者变化的关系，即可将观测得到的真太阳时求取瞬时的平太阳时。

由于同一瞬间，真太阳时角与平太阳时角是不同的，它们之间有一差数，我们称之为“时差”，天文学上习惯用 η 表示。

$$\eta = t_{\text{真}} - t_{\text{平}}$$

$$\eta = m_{\text{真}} - m_{\text{平}} + 12h$$

$$\text{令 } T = m_{\text{真}} + 12h$$

$$\text{则 } \eta = T - m_{\text{平}}$$

时差是由于真太阳在黄道上以不同速度运动引起时角变化不均匀造成的，真太阳的时角变化有时比平太阳快，有时比平太阳慢。因此，时差 η 本身具有正负号，其数值变化在 $-14\text{m} \sim +14\text{m}$ 之间。 η 可以根据理论天文学导出的公式求得。也可以在当年的《天文年历》表中查得。

有了以上基础知识，就可以讨论下面的实际问题了。

第四节 地面目标天文方位角的测定

一、测定天文方位角的方法

测定天文方位角的方法很多，就观测方法分，可分为：天体东西大距法、天体时角

在物探测量中通常采用的方法是:

- 1) 太阳上中天附近时角法;
- 2) 太阳高度法 (或称天顶距法);
- 3) 北极星任意时角法;
- 4) 北极星东西大距法。

二、太阳高度法测定地面目标方位角

太阳高度法就是在地面测站测定太阳瞬时的视高度和它与地面目标的水平夹角，并且记下观测瞬时时刻。根据测站纬度和所观测数据，利用球面三角的边角关系理论，求得方位角的方法。如图 2-7 所示。

$$\begin{aligned}\sigma P &= 90^\circ - \delta \\ PZ &= 90^\circ - \varphi \\ Z\sigma &= 90^\circ - h\end{aligned}$$

根据球面三角形的余弦公式:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad (2-1)$$

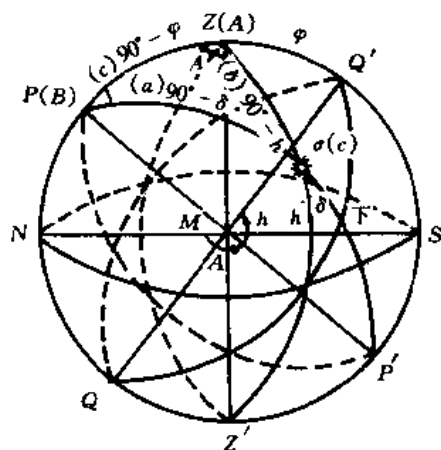
由图 2-7 上看出 $a = \sigma P$, $b = Z\sigma$, $c = PZ$, 将

这些关系代入 (2-1) 式得:

$$\begin{aligned} \cos (90^{\circ}-\delta) &= \cos (90^{\circ}-h) \cos (90^{\circ}-\varphi) \\ &- \sin (90^{\circ}-h) \sin (90^{\circ}-\varphi) \cos A \\ \sin \delta &= \sin h \sin \varphi - \cos h \cos \varphi \sin A \\ \cos A &= \frac{\sin \delta - \sin h \sin \varphi}{\cos h \cos \varphi} \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cosh \cos \varphi} - \operatorname{tgh} \operatorname{tg} \varphi \quad (2-3)$$

32



直角坐标 X 、 Y 求得：

$$\varphi = \varphi_1 - \frac{Y^2}{2N_1^2} t_1 \rho (1 + \eta_1^2)$$

式中 $\varphi_1 = \frac{X}{A} + 0.1442974 \sin \frac{2X}{a}$

$$A = 111134.8611$$

$$N_1 = \frac{C}{\sqrt{1 + \eta_1^2}}$$

$$C = 6399698.9$$

$$\eta_1 = e' \cos \varphi_1$$

$$e' = 0.082088522$$

$$t_1 = \operatorname{tg} \varphi_1$$

δ 可通过观测时刻 T ，根据下式求得：

儒略日 T

$$T = \frac{367Y - \frac{7 \cdot (Y + \frac{m+9}{12})}{4} + \frac{275m}{9} + d - 694006.5}{365.25} \quad (2-4)$$

式中 Y ——公元年；

m ——月；

d ——日；

□ ——是取整符号。

$$\sin \delta = \sin \lambda \sin \epsilon$$

式中 $\epsilon = 23.45229 + 0.00256 \cos \Omega$

$$\lambda = 279.69019 + 36000.76892T + (1.91945 - 0.00479T) \sin m \left. \begin{array}{l} \text{中心差} \\ +0.02 \sin 2m + 0.00029 \sin 3m \end{array} \right\}$$

$$+0.00179 \cos (261 + 445267T) \quad \text{月亮摄动}$$

$$\left. \begin{array}{l} -0.00134 \sin V \\ -0.00154 \sin 2V \\ +0.00069 \cos (258 + 2V - m) \\ +0.00043 \cos (78 + 3V - m) \\ +0.00028 \cos (51 + 3V - m) \end{array} \right\} \text{金星}$$

$$\left. \begin{array}{l} -0.00057 \sin \theta \\ +0.00049 \cos (306 + \theta - m) \end{array} \right\} \text{火星}$$

$$\left. \begin{array}{l} +0.02 \cos (91 + J) \\ +0.00076 \sin 2J \\ +0.00072 \cos (175 + J - m) \\ +0.00045 \cos (293 + 2J - m) \end{array} \right\} \text{水星}$$

$$\left. \begin{array}{l} +0.00479 \sin \Omega \\ +0.00035 \cos (293 + 2m) \end{array} \right\} \text{赤经章动}$$

λ 和 ϵ 式中的轨道参数:

$$m = 358.475 + 35999.05T$$

$$V = 63 + 22518T$$

$$\theta = 332 + 33718T$$

$$J = 222 + 32964T$$

$$\Omega = 101 + 1934T$$

因此，我们只在测站测得太阳的高度 H 同时记下时刻 T ，就可以求得太阳瞬时的方位角 A 。

现在假设观测时间在上午(即当太阳在测站子午圈东面),再将定位三角形投影到测站地平面上(如图 2-8),图中测站子午圈的投影线是 SMN ,测站 M 到太阳 σ 视线的投影线是 MB , $\angle BMN$ 就是方位角 A 的投影。但因为太阳每刻都在移动,所求得太阳的方位角 A 无法固定,是毫无价值的,因此必须在观测太阳的同时,观测太阳瞬时与地面目标 D 的水平角 Q (如图 2-9),才能将所测的太阳方位角 A 变为地面目标方位角 a ,如果再考虑投影带子午线收敛角 γ 的改正,就可以得到地面目标的坐标方位角 α 。

由图 2-9 中可以很直观地看出:

$$a = A + Q$$

$$\alpha = a + \gamma$$

式中 Q = 照准地面目标的水平读数 - 照准太阳的水平读数
子午线收敛角 γ 的计算:

$$\gamma = \frac{Y}{N_1} t_1 \rho \left\{ 1 - \frac{Y^2}{3N_1^2} (1 + t_1^2 - \eta_1^2) \right\}$$

此公式符号意义同计算测站纬度 φ 公式意义相同。

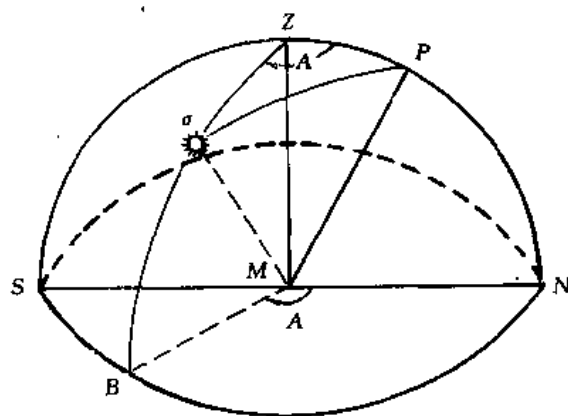


图 2-8 定位三角形投影图

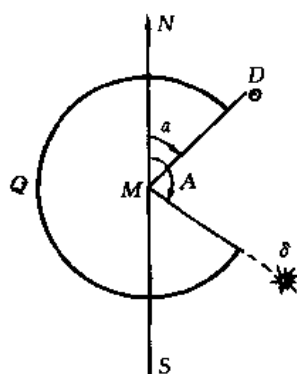


图 2-9 地面目标方位角

太阳高度 h ，应该是太阳的真高，而我们所测的只是视高度 h' ，还应该进行蒙气差和温度改正：

$$h = h' + p + r \quad r = (1 + A + B) \quad p = 8.8'' \cos h'$$

$$A = \frac{-0.00383t}{1 + 0.00367t}$$

$$r = \frac{1}{7} \cdot \left(\cos^{-1} \frac{\cosh'}{1.0020429} - h' \right)$$

$$B = \frac{H}{760} - 1 \quad H = \frac{760}{10 \left(\frac{H'}{18400} \right)}$$

式中 h' —— 太阳视高度；

H' —— 海拔高程；

r —— 蒙气差；

p —— 温度改正值；

H —— 气压汞柱高；

t —— 温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

2. 观测方法

观测太阳应观测其中心位置，但由于太阳的视半径太大，不易测准。在实际工作中常采用正倒镜十字丝切太阳边缘的方法达到归心的目的，考虑到太阳运行方向，上午观测太阳时可将太阳的影象置于望远镜中十字丝的第 I、II 象限，下午则置于 I、IV 象限。如图 2-10 所示。

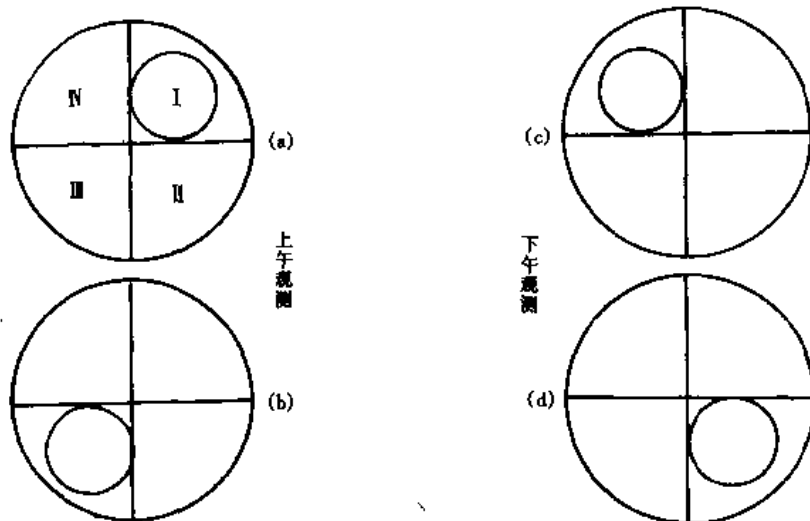


图 2-10 观测太阳示意图

为了在观测时不被太阳灼伤眼睛，应在望远镜的目镜上加上遮光透镜，或采用承影版。其观测步骤如下：

1) 将仪器严格整平、对中后，把水平度盘置于 $0^{\circ}0'0''$ 的位置（也可以任意角度作为 0 位置），正镜瞄准地面目标，读取水平角读数。

2) 顺时针转动望远镜对准太阳(如果采用承影版,先将望远镜大致对准太阳,待目镜有辉光闪耀,说明太阳已进入视场),关上制动扳手,用水平度盘和竖盘两个微动螺旋跟踪太阳影象。等影象即将靠近某一象限十字丝时,可发出“预备”口令,这时测时员应密切注视计时表,当太阳与十字丝相切,观测员马上发出“好!”的口令,测时员即按秒、分、时的先后顺序读取观测瞬时时刻,观测员调平竖盘水准气泡,读取竖角和水平角读数。至此完成半个测回。

3) 望远镜置成倒镜,以同样的方法读取太阳的竖角和水平角读数,并记下观测时刻。

4) 反时针方向转动望远镜瞄准地面目标,读取水平角读数。

一个测回观测完毕按道理观测应该结束了,但为了保证测量精度,应该采用多次观测的方法。至少要观测三个测回以上。每测回应按照: $\sigma = \frac{180^\circ}{n}$ 置换度盘, n 为观测的测回数。每测回观测太阳的正倒镜时间间隔不能超过 10min,测回间的时间间隔可以不限。

下面是记录格式:

方位点: 8 号方位点

温度 10℃

记录者: 牛文周

观测日期 1989 年 3 月 20 日

表差 0

检查者: 伊国平

测回	位置	目标	观测时刻			立角读数			平角读数			水平角		
			h	min	s	°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	盘左								0	00	00	359	59	50
		+	16	47	59	58	23	30	341	30	30	341	58	00
	盘右	-	16	49	12	301	58	40	162	25	30			
									179	59	40			
	中数	中数	16	48	36	31	47	35				18	01	50
2	盘左								45	00	00	44	59	55
		+	16	51	20	58	53	10	27	18	00	27	41	55
	盘右	+	16	52	04	301	33	00	208	05	50			
									224	59	50			
	中数	中数	16	51	42	31	19	55				17	18	00

上面的观测方法都将引入系统的人差,并容易弄混观测象限,难以对准太阳边缘,观测结果难得精确。要克服上面的缺点,最好采用太阳棱镜附件(附于物镜的前端),这种棱镜经过光线的折射,在视场内产生四个排列成正方形的太阳盘影,棱镜的折射角制成 $23'10''$,其目的在于使四个太阳盘影互相成对地重叠,当目标对准中心时,重叠部分组成明亮的绿色十字形。如图 2-11。这样可以很精确地读取竖角和水平角读数。这种方法没有系统性的切合人差,十字丝可以清楚地看到,不会发生象限弄错的现象。建议有棱镜附件的仪器采用此法。

3. 计算

可以根据公式 (2-2, 2-3) 结合查《天文年历》用函数计算器计算,也可以编成程序

在计算机上进行计算。

这里主要介绍《太阳高度法测定方位角计算程序》(SA. BAS)。

本程序具有自动计算各待查表元素,不用查《天文年历》直接计算天文方位角、子午线收敛角和观测中误差,处理观测记录以及打印输出计算表格、硬拷贝野外略图等功能,使用方便。

(1) 工作流程

工作流程如图 2-12 所示。

(2) 主要技术指标

输入精度: 经、纬度 $0.001''$

X, Y 0.01 m

高程 H 1 m

输出精度: 经、纬度 $0.001''$

X, Y 0.01 m

太阳方位角 $1''$

(3) 实例操作过程

本程序文件名定为 SA, 即太阳 (Sun) 和方位角 (Azimuth) 两个英语单词的头一个字母的合写。

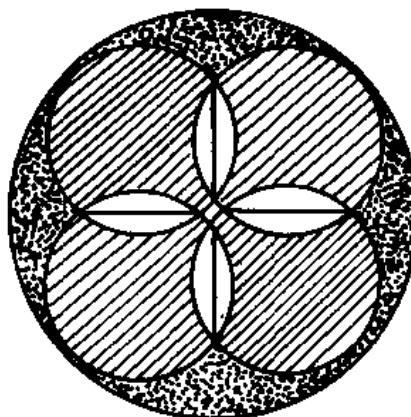


图 2-11 太阳棱镜中的太阳影象

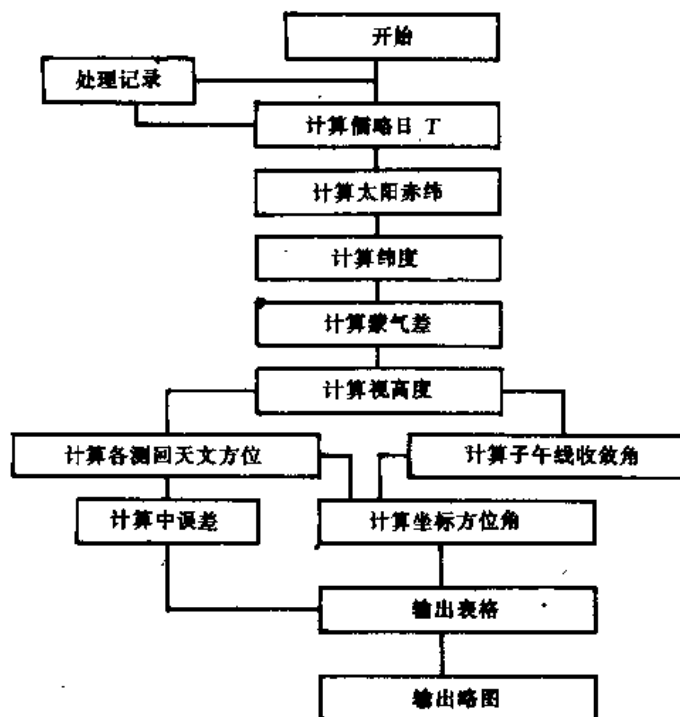


图 2-12 太阳高度法测定方位角计算程序图

1) 数据输入

数据输入采用 DATA 程序行输入和 INPUT 键盘问答输入两种方式,但后一种输入方法不能输入读数,只能输入记录的计算结果。

键盘问答输入将在实例操作步骤过程中说明,这里先介绍 DATA 程序行输入方式:

当输入的是记录计算结果时,读入原程序以后,在 2800 行键入北京时、视高度、水平角.....(按各测回计算结果依次键入)

2810 行 键入 X, Y, H , 温度、测站点名、方位点名、观测日期(具体格式见下面样式):

2800 DATA 15.4856,39.1510,327.1155,16.0235,37.4035,323.2115,16.1025,36.4255,321.1045,16.1312,36.2140,320.2610,16.1619,35.5800,319.3600

2810 DATA 4783146,16484259,1172.5,10,“中沙枣泉”、“七号方位”,1989.0318
如果输入的是未经计算的记录读数,则在:

3000 行 键入各测回时间读数:正镜时间读数、倒镜时间读数....

3010 行 键入各测回高度读数:正镜高度读数、倒镜高度读数....

3020 行 键入各测回水平角读数:正镜方位点方向读数、正镜太阳方向读数、倒镜太阳方向读数、倒镜方位点方向读数.....

以上三行均按此顺序,依测回重复键入。

3030 行 同 2810 行键入方式相同。具体样本见下:

3000 DATA 15.4810,15.4942,15.5720,16.0751,16.1002,16.1048,16.1048,16.1249,16.1315,16.1553,16.1645

3010 DATA 50.5620,309.2640,51.5730,307.1840,53.3050,306.5640,53.5322,306.3520,54.1510,306.1110

3020 DATA 0,32.1400,213.2200,179.5950,45.0000,79.5000,263.2730,225.0000,90.0000,128.2300,309.1530,270.0000,135.0000,174.0800,354.5940,315.0000,180.0000,219.5720,40.5030,359.5950

3030 DATA 4783146,16484259,1172.5,10,“中沙枣泉”、“七号方位”,1989.0318

2) 实例操作

数据键完后,便可按 F2 启动,启动后屏幕显示:

输入计算者姓名:

计 算 日 期:19××,××,××

队 号:

输入测回数:5

是否键盘输入 (Y/N)?

如果回答 Y,则提示:

北京时: 视高度: 水平角:

要求分别输入,回车,各测回输完后分别提示:

X, Y, H , 温度、测站点名、方位点名、观测日期

要求逐一输入。观测日期的输入格式为:(YYYY, MMDD)

输入完后,显示所有数据供检查,并问是否修改。若改,键入 Y 显示:

要改哪一测回 (Y/N)?

如果输入各测回的北京时、视高度、水平角都不需要改,则回车跳过,要改就输入测回号。这时依次显示:

北京时:

视高度:

水平角:

要求逐个输入正确数据。这里应该注意:上面三个数据正确与否都要重新输入。此项修改完后提问是否修改后面的数据。若不改,回车通过;若改,键入 Y。这时后面的数据逐一提示,并要求依次重新输入,中间不可用回车通过。

改好后,还要显示数据供检查。并问是否还要修改。如果不改了,键入 N 进入运算。

如果是 DATA 程序行输入,则在问是否键盘输入提示中输入 N。此时显示:

如果您输入的是记录读数,请按 Y 键,否则按回车键。

当您是按记录读数键,就键入 Y,就直接回车。此时屏幕先显示所有输入数据接受检查,并问是否退出修改。如果没错,键入 N,程序开始运行。在计算过程中,如果发现中误差正超限,即 $M > 30$,则提示:

观测中误差超限,是否退出检查。

如果命令它继续运行,即键入 N,则程序计算出各测回的结果,继面询问是否要消去不合格测回,测回是否合格是根据测回间差来判断的,按规范要求,其较差用于经纬仪导线不得大于 $1.5'$,用于剖面导线不得大于 $2'$,如果超出以上规定,则要消去离散程度较大的那些测回。

假如要消去第三测回,先键入 Y,则显示:

要消去的测回号 1:

要消去的测回号 2:

如果不用消去其他测回,在第二个显示后面键入一个回车键,则微机重新开始计算,并显示剩下测回的结果,此时如果不需要再消去不合格测回,就在提示下键入 N。显示:

各测回平均值 $A =$

子午线收敛角 $\gamma =$

坐标方位角 $\alpha =$

观测中误差 $M =$

是否要打印表格 (Y/N)?

键入 Y 以后,开始打印。打印完后屏幕显示图象并自动进行硬拷贝。

此项工作完后主机等待你打入一个回车键后显示:

是否重打表格 (Y/N)?

如果需要重新打印,则键入 Y,重复上一步;如果不想再打印就键入 N,回车计算结束,返回 BASICA 控制状态。

4. 注意事项

1) 在上中天附近(即在地方时 $10 \sim 14h$)不能观测。因为,这个时候方位变化很快而高度几乎没有变化。用变化很慢的因素去决定变化很快的结果是不会精确的。如果正

好在中天, 则 $A=180^\circ$, 采用半角正切公式计算时 $\frac{A}{2}=90^\circ$, 90° 的正切无解。

同时, 在上中天附近太阳的仰角很大, 在中纬度地区一般经纬仪很难测到。

2) 在太阳高度小于 8° 时不能测。因为, 这时太阳靠近地面, 蒙气差的计算误差很大, 当高度为 0° 时, 蒙气差无穷大, 无解。

三、太阳上中天附近时角法测定方位角

太阳上中天附近时角法 (简称时角法) 作为高度法的一个补充方法提出来, 由于它的精度直接受时间的影响, 如果观测时计时不准, 或读数时精度得不到保证, 都会对方位角的精度造成很大的影响。我们知道地球自转一周约用 24h, 它在地球上任意一点转动的线速度 V_φ 为:

$$V_\varphi = \frac{2\pi R \cos \varphi}{T} = 465 \cos \varphi \text{ (m/s)}$$

式中 R ——为地球半径;

φ ——为某一点的纬度;

T ——为地球自转周期=86164s。

如在北纬 40° 地区其自转线速度约为 356.2m/s, 因此要求时间读数精确到 0.01s, 才能满足测量精度要求, 这是我们普通的计时工具很难达到的。此法的特点是越靠近上中天越精确, 而上中天附近往往又不能测。由于这些原因, 在物探测量中很少使用也控制使用, 这里只作简单介绍。

1. 观测方法

观测步骤同太阳高度法, 但观测太阳的时候, 不读高度角, 只用竖丝相切太阳的左右两侧即可。

记录格式可以采用高度法记录手簿, 中间立角栏一律不记。

2. 计算

计算公式是由球面三角余切定理四元素公式和定位三角形的边角各元素意义推导出来的。

余切定理四元素公式为:

$$\operatorname{ctg} a \sin c = \cos c \cos B + \sin B \operatorname{ctg} A$$

其中 $a = 90^\circ - \delta$

$c = 90^\circ - \varphi$

$B = 360^\circ - t$ (时角)

A 为所求方位角

把关系代入上式, 可以演变为:

$$\operatorname{tg} A = - \frac{\sin t \operatorname{ctg} \delta \sec \varphi}{1 - \operatorname{ctg} \varphi \operatorname{tg} \delta \cos t} \quad (2-5)$$

(2-5) 式为计算方位角 A 的公式, 式中的 δ 和 φ 的求法同高度法, 下面只介绍太阳时角 t 的求法。

太阳时角 t 在数值上等于真太阳时, 它的计算公式是:

$$t = M_s + 12h + E$$

其中 E 为时差, M_s 为地方平太阳时。

我们所称的北京时 T_b 叫地方平时, 每天从子夜即太阳下中天时开始 0h。平太阳时 T 则从每天正午开始 0h, 即 $T = T_b + 12h$ 。由于太阳的中心沿着黄道做视运动的不等速和赤道倾斜等因素的影响, 太阳实际上一年内每天的长短是不均匀的, 它与实际上的太阳时 (即真太阳时) 每天都有一个差数, 这个差数称为时差 E , 即:

$$t_0 = T_b + 12h + E$$

上面的 T_b 是北京时, 它与测站的地方平时 M_s 不同, 北京时指的是东经 120° 的区时, 而测站地方平时则以测站经度为准, 即测站地方平太阳时:

$$M_s = T_b - \lambda_s$$

λ_s 为测站子午线经度与 120° 经度之经差化为时间的量。因此, 真太阳时角:

$$t_0 = (T_b - \lambda_s) + 12h + E$$

E 可以由《天文年历》查得。

四、北极星任意时角法测定方位角

观测北极星 (UMI- α) 的瞬时位置确定方位角, 其精度比测太阳的任何一种方法都高得多, 观测过程也简单。由于限于晚间观测, 并要求测量仪器配有照明设备, 故不常用。这里只作简单介绍。

1. 观测方法

正镜照准地面目标, 读取水平角读数, 顺时针方向转动望远镜照准北极星。北极星的位置如图 2-13 所示, 它是小熊星座 (Ursaminoris) 的 α 星, 星等 (星本身亮度的等级) 为 2.12 等。在大熊星座 (Ursamajor) —— 通常所说的北斗星的 β 、 α 星的延长方向线上约距 α 星 5 倍 $\beta\alpha$ 距离的位置上。当北极星快要接近十字丝的纵丝时, 关好度盘制动扳手, 如图 2-14 (a) 令记录员“注意!”, 当北极星正好与纵丝重合时, 如图 2-14 (b) 说“好!”, 这时记录员以 s、min、h 顺序读出观测时刻, 观测员读取水平角读数。倒转望远镜后, 以同样方法测出倒镜北极星水平角和观测时刻, 最后照准地面目标进行水平角归零。

这时一测回完毕。以同样方法观测三个测回以上, 每测回将度盘变换 σ 的位置。

$$\sigma = \frac{180^\circ}{n}$$

式中 n 为测回数。

记录格式同太阳时角法。

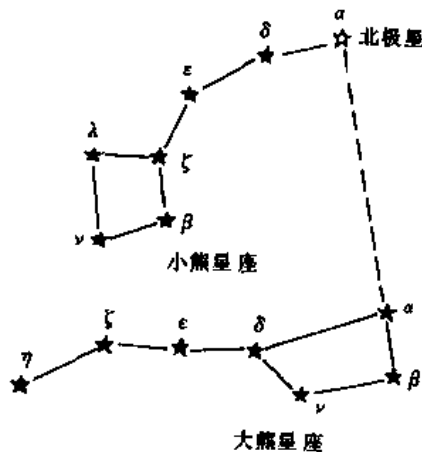


图 2-13 北极星位置图

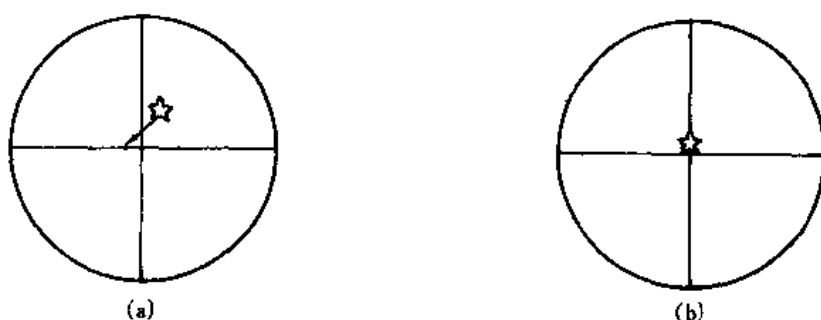


图 2-14 观测北极星示意图

2. 计算

北极星任意时角法的主要计算公式同太阳时角法一样，可由球面三角形余切四元素公式推导出来。然后得：

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin t \operatorname{ctg} \delta \sec \varphi}{1 - \operatorname{ctg} \delta \operatorname{tg} \varphi \cos t}$$

式中 A ——为所求方位角；

t ——北极星时角；

δ ——为北极星赤纬；

φ ——为测站纬度。

计算步骤（查天文年历计算方法）：

第一步 计算经纬度 λ 、 φ （可以在图上量取），也可以通过直角坐标进行计算；

第二步 计算地方真恒星时 S_0 。

a. 以观测日期为引数查取世界时 0h 的恒星时 S_0 ；

b. 将观测时刻 T_0 化为地方平时 m_c ：

$$m_c = T_0 - \Delta\lambda$$

$\Delta\lambda$ 为测站与时区中央子午线（北京时区为 120° ）的经度差；

c. 以 m_c 为引数查取平时化恒星时改正值 ΔS

则恒星时 $S = S_0 + m_c + \Delta S$

第三步 以观测日期和测站纬度为引数，在拱星位置表中查取 UMI- α 星的视赤经 a 和视赤纬 δ 。

第四步 按 $t = S - a$ 计算北极星时角。并将它化为 t° （以角度表示时间）：

$$t^\circ = t \times 15^\circ$$

第五步 按公式 (2-5) 计算方位角 A 。

第六步 计算子午线收敛角 γ （同太阳高度法）。

第七步 计算坐标方位角 $\alpha = A + \gamma$

第三章 石油物探测量

第一节 石油物探测量的任务

石油物探测量是将物探设计的测线，利用大地测量资料和地形图，按照物探对测量工作的精度要求，应用测量方法如实地投放到实地，并精确地测定出测线上各物理观测点〔检波点、震源（炮）点〕的平面位置和高程，作为物探的野外施工、物探资料的处理及解释提供符合要求的测量成果及基础图件。

一、物探测线的布署方法

物探测线是地质工作者根据勘探任务、探区内的地质构造和地震地质条件而设计的，一般为直伸导线。如图 3-1 所示。沿直线方向布设一系列等间距的物探观测点，物探工作称之为检波点，炮（震源）点，测量上叫做测点。这些点的连线称做物探测线。

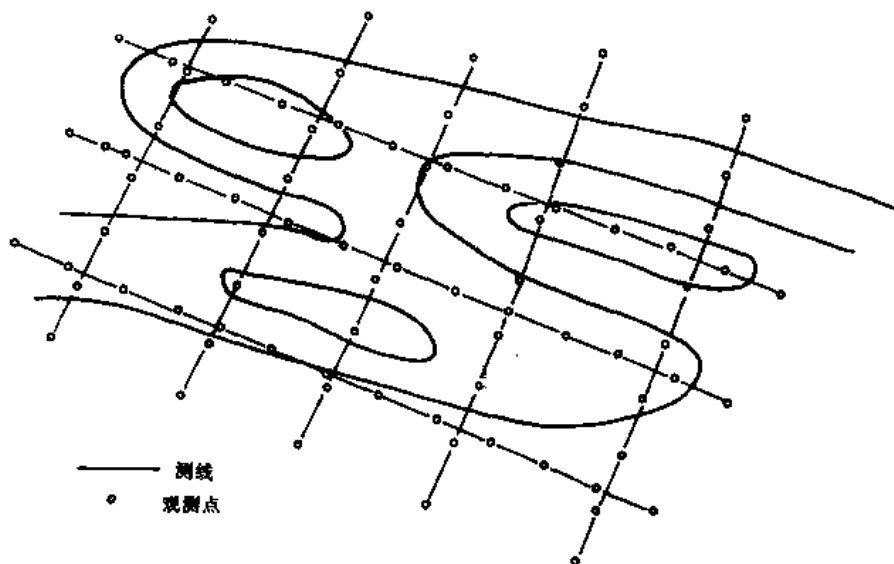


图 3-1 物探测线的布署

石油物探根据勘探程度和阶段的不同，物探测线设计和布署亦不同。新的探区以普查为主，物探测线间距稀疏，采用二维地震勘探方法布设成单一勘探测线。重点探区多为详查或细测阶段，现都采用三维地震勘探方法，按测线束（网）组织施工，测线密集间距较小。见图 3 2。

二维物探测线的主测线垂直于地质构造走向，联络测线与主测线互为正交，依一定的间距排列。炮点按一定的道间距与检波点同时布设在测线上。

三维物探测网，按正规测线束施工，排列线与炮点线相互正交，各自设计成独立的测线号，检、炮点成矩阵状排列。

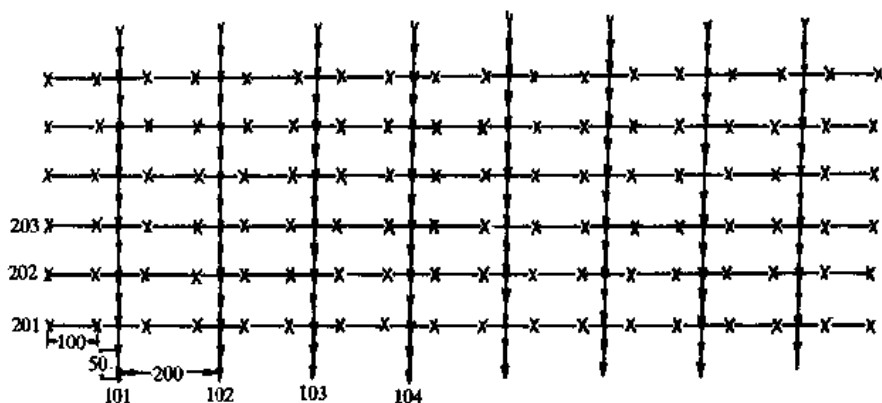


图 3-2 测线束（网）

二维地震勘探测线遇到特殊地表条件，也可设计成折线或弯曲测线。三维地震勘探在河网及特殊地区，也可按蛛网状布设测网。

二、测线和观测点的编号

平原地区，依由西向东和由南向北递增的顺序编排。测线方位角在 $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 之间为东西方向， $135^{\circ} \sim 225^{\circ}$ 之间为南北方向。

山区、沿山沟布设测线时，依下游向上游递增的次序编写，由主沟分支的测线号，在主沟向上游方向的左侧编单号，右侧编双号。均不得出现负编号。

为了便于物探测线的测设，取得国家的统一坐标，必须将物探测线与国家控制点进行连接。国家控制点（三角点、水准点、军控点）、卫星定位点是测定物探测线的主要依据。

三、地形图的分幅编号

为了便于测绘、保管和使用地形图方便起见，测量上对各种比例尺地形图进行了统一的分幅和编号。分幅编号方法如下：

1. 国际分幅法

国际统一规定，按经线、纬线的差将地球表面分成许多小块，每一小块称为图幅，给每一个图幅取个代号，称为图号。1:100 万分之一的图幅作为统一分幅编号的基础。

(1) 百万分之一地图的分幅编号

图幅的大小是以纬差 4° 及经差 6° 形成的梯形图幅。

编号方法是以横列的字母与纵行的号数所组成。自赤道向北（向南）每隔纬度 4° 为一横列，以大写的拉丁字母 A、B、C……V 标明。由经度 180° 处向东，每经差 6° 为一纵行，用阿拉伯数字 1, 2, 3, ……60 表示。如北京所在图幅编号为 J-50。

(2) 1:50 万、1:20 万、1:10 万比例尺的地图分幅编号：

1:50 万的图幅是将百万分之一的一幅图分为四幅，每一幅图的经差为 3° ，纬差为

2°, 其编号是在百万分之一图号后面附加俄文大写字母 A、B、B、Г。北京所在图幅编号为 J-50-A。

1:20 万的图幅编号, 是将一幅百万分之一的图幅分成 36 幅 20 万分之一的地图, 图幅经差 1°, 纬差 40', 其编号是在百万分之一图号后面附加罗马数字 I, - X X X VI。例如北京所在的图幅编号为 J-50-Ⅲ。

10 万分之一的图幅编号, 是将 1:100 万的一幅图分为 144 幅 10 万分之一的图幅, 经差为 30', 纬差为 20', 它的编号是在百万分之一的图号后面附加 1~144 数字表示, 北京所在图幅编号为 J-50-5.6。

(3) 1:5 万、1:2.5 万、1:1 万地图的分幅编号。

1:5 万至 1:1 万比例尺地图的分幅有一个共同的规律, 是按“四四”编制。即把一幅 1:10 万的图幅分为四幅, 就是 1:5 万分之一的图幅, 一幅 1:5 万的图幅分为四幅, 便是 1:2.5 万分之一的图幅; 一幅 1:2.5 万比例尺的图幅分为四幅, 即是 1:1 万的图幅。其编号的写法是在 10 万分之一的图幅号后面逐级写上本图幅的代号。图幅的大小依 10 万分之一图幅的经差、纬差按上述分幅方法划分。图幅编号改革说明见表 3-1。

表 3-1 图幅编号改革说明

1:100 万	原 为	A	B	C	D	E	F	G
	改 为	1	2	3	4	5	6	7
	原 为	H	I	J	K	L	M	N
	改 为	8	9	10	11	12	13	14
	原 为	例如 H-48						
	改 为	8-48						
1:50 万	原 为	A	B	B	Г	例如 H-48-B		
	改 为	甲	乙	丙	丁	8-48-乙		
1:20 万	原 为	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ	Ⅶ
	改 为	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	原 为	Ⅷ	Ⅸ	X	XI	XII	XIII	XIV
	改 为	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
	原 为	XV	XVI	XVII	XIII	XIX	XX	XXI
	改 为	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
	原 为	XXII	XXIII	XXIV	XXV	XXVI	XXVII	XXVIII
	改 为	(22)	(23)	(24)	25)	(26)	(27)	(28)
	原 为	XXIX	XXX	XXVI	XXVII	XXXIII	XXXIV	XXXV
	改 为	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)
	原 为	XXXVI	例如 H-48-XV					
	改 为	(36)	8-48- (15)					

续表

1:10万	原 为	A	B	N	例 H-48-35
	改 为	1	2	14	8-48-85
1:5万	原 为	A	B	B	P	例 H-50-61-A
	改 为	甲	乙	丙	丁	8-50-61-甲
1:2.5万	原 为	a	b	b	r	例 H-49-37-B-r
	改 为	1	2	3	4	8-40-37-丙-4

2. 地形图的编号新规定

1990年6月国家技术监督局发布了《国家基本比例尺地形图分幅和编号》的国家标准,从1990年12月1日起实行。这一新的分幅编号标准与国际统一分幅编号有如下的不同特点:

1) 新的标准将1:5千比例尺地形图列入了国家基本比例尺地形图系列,扩大了国际分幅编号范围。

2) 分幅仍按经纬度梯形分幅法,经纬度差没有变化,只是改过去的逐级编号为一级编号;由过去的横列、纵行改成了现在的横行、纵列。

3) 编号仍以百万分之一图幅为基础,在百万分之一图号的后面接相应比例尺的行、列代码,同时增加了比例尺代码。所有1:5千至1:50万地图的图号由五个元素10位码组成。如北京所在的10万分之一的地图编号为H 51 D 005 001。

H——1:100万图行号

51——1:100万图列号

D——1:10万图的比例尺代码,排列时与前后数字相隔一个字符。

005——1:10万比例尺图的行号

001——1:10万比例尺图的列号

由此可见,新的地形图编码系列统一为一个根部,且编码长度相同。各种比例尺图幅与1:100万图幅的关系见表3-2。

表 3-2 1:100万图与各比例尺图的关系

比例尺		1:100万	1:50万	1:25万	1:20万	1:10万	1:5万	1:2.5万	1:1万	1:5千
比例尺代码			B	C		D	E	F	G	H
图幅 经纬差	经差	6°	3°	1°30'	1°	30'	15'	7'30"	3'45"	1'52.5"
	纬差	4°	2°	1°	40'	20'	10'	5'	2'30"	1'16"
行列数 量关系	行数	1	2	4	6	12	24	48	96	192
	列数	1	2	4	6	12	24	48	96	192
图幅数量关系		1	4	16	36	144	576	2304	9216	36864

如果知道了某探区的地理坐标,则可根据该探区的经、纬度首先算出包括该探区的

百万分之一地形图的图幅编号，然后根据所需地形图的比例尺与经、纬度的行、列求出该区地形图的图号。具体情况见北京所在地 1:100 万至 1:10 万的地形图图号。

第二节 高斯平面直角坐标系

一、高斯投影的特点

高斯投影又名横圆柱正形投影（如图 3-3），它有如下几个特点：

1) 由于是正形（等角）投影，所以椭球体面上的角度投影后其值不变。

2) 中央子午线的投影是一条直线，且长度不变。它将作为投影平面上平面直角坐标系统的纵轴（X 轴）。其余子午线的投影均为凹向中央子午线的曲线，并以中央子午线为对称轴。离中央子午线愈远，其长度变形愈大。

3) 赤道投影后为一条与中央子午线垂直的直线，它的长度发生的改变，而且愈远离中央子午线，改变愈大。这条直线将作为投影平面上平面直角坐标系统的横轴（Y 轴）。其余平行赤道的小圈（称纬圈或平行圈），其投影为凸向赤道的曲线，并以赤道为对称轴。

4) 经线与纬圈在投影以后，仍保持互相正交。其长度变形公式为：

$$m = \frac{\text{投影长}(d)}{\text{实地长}(S)} = 1 + \frac{Y^2}{2R^2} \quad (3-1)$$

式中 m ——长度比；

Y ——横坐标值；

R ——参考椭球体平均曲率半径。

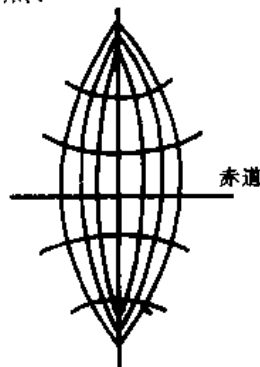


图 3-3 高斯投影

二、高斯投影分带

高斯投影的分带是中央子午线以经度为 6° 或 3° 宽的大小将全球划分为 60 个或 120 个带。前者称为 6° 带投影，后者称为 3° 带投影。国际分带是由 180° 处由西向东计算划分。我国采用的是由英国格林威治零子午线向东起算。

带的编号：

1) 六度投影带

自经度 0° 起到东经 6° 为第一投影带，其中央子午线的经度为 $L_0 = 3^\circ$ ； $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第二投影带， $L_0 = 9^\circ$ ；以此类推。带号与中央子午线经度有如下关系式：

$$L_0 = n \cdot 6^\circ - 3^\circ \quad (3-2)$$

式中 L_0 ——中央子午线的经度；

n ——投影带编号。

我国境内最西部属于第 13 投影带，最东部为第 23 投影带，全国共 11 个 6° 带。

2) 三度投影带

它规定自东经 $1^{\circ}30'$ ~ $4^{\circ}30'$ 为第一投影带, 其中央子午线经度 L'_0 保持整数为 3° ; $4^{\circ}30'$ ~ $7^{\circ}30'$ 为第二投影带, $L'_0 = 6^{\circ}$ 。以此类推。用 n' 表示三度投影带编号, 则关系式:

$$L'_0 = n' \cdot 3^{\circ} \quad (3-3)$$

石油地震勘探测量最常用的是 6° 投影带。如物探设计要求按 1:1 万比例尺成图, 则须采用 3° 投影带。

高斯投影按六度带划分投影带。每个投影带的分界子午线, 与 1:100 万地形图的左右图廓相符合, 而 3° 带的投影带分界子午线, 与 1:50 万地形图的左右图廓相符合, 所以它们各自的中央子午线与相应图幅的中央子午线相重合。在两相邻带的拼结处, 应设主要重迭部分。按规定东西两带互相重迭 $37.5'$ 的经差。西带重迭东带 $30'$ (相当于十万分之一地形图的图廓经差), 东带重迭西带 $7.5'$ (相当于 2.5 万分之一地形图的图廓经差)。

三、高斯平面直角坐标系

高斯投影中, 投影带的中央子午线作为纵坐标轴 (X 轴), 赤道所形成的直线作为横坐标轴 (Y 轴), 如图 3-4 所示。投影后互相垂直, 其交点即为坐标原点, 构成了统一的平面直角坐标系, 也称高斯平面直角坐标系。纵坐标 (X) 自赤道向北为正, 向南为负; 横坐标 (Y) 自中央子午线向东为正, 向西为负。为了使横坐标不出现负值, 统一规定中央子午线上各点的横坐标为 500km, 即在中央子午线上加 500km。这样, 位于中央子午线以东的各点横坐标值都大于 500km; 位于中央子午线以西的各点横坐标值都小于 500km。

每个投影带 (6° 带或 3° 带) 都有一个高斯坐标系, 为了区别点的坐标所属投影带号, 而在横坐标 Y 值前面冠以投影带号。例如, 某点的横坐标 $Y = 20354178.6\text{m}$, 说明该点位于第 20 带, 在中央子午线以西 145821.4m 处。

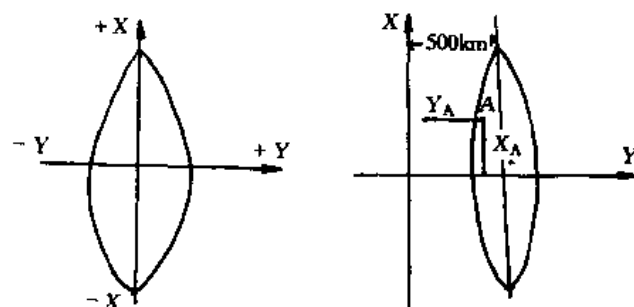


图 3-4 高斯平面直角坐标系

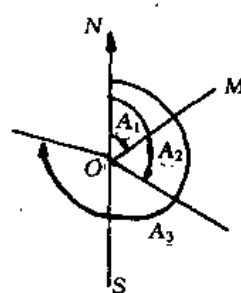


图 3-5 方位角

四、地面点位的确定

决定地面点的空间位置, 首先要确定该点是在球面或是平面上的位置, 再确定该点沿铅垂线方向至大地水准面的距离——高程。

地面点的平面位置, 在球面上用经度 λ 、纬度 φ 表示出的为绝对位置, 称地理坐标。

在局部区域内，在平面上用纵（X）、横（Y）坐标表示出的为相对位置，叫平面直角坐标。

地面点的高程，该点沿垂线方向至大地水准面的距离，称为绝对高程或海拔高程。相对某参考水准面的高度叫相对高程。两点间高程差称为高差。

五、方位角

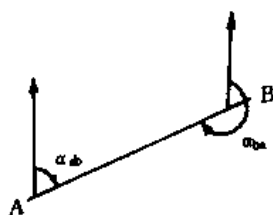


图 3-6 正、反方位角

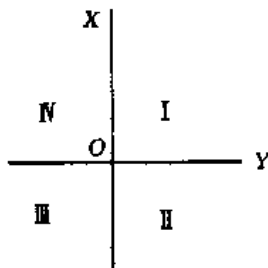


图 3-7 象限顺序

子午线的北端顺时针方向量至该直线的角度，称为该直线的方位角。如图 3-5 所示。

若 SN 为真子午线， A_1 、 A_2 、 A_3 为真方位角；如果 SN 为坐标纵线，则 A_1 、 A_2 、 A_3 为坐标方位角；如为磁子午线，就表示为磁方位角。

方位角的角值由 $0^\circ \sim 360^\circ$ ，如图 3-5 所示。SN 为基本方向线，N 为北，S 为南。

正、反方位角：一直线有正、反两个方向，我们把直线前进方向的方位角叫正方位角，如图 3-6 中 α_{AB} ；其相反方向称为反方位角 α_{BA} 。由此可见，正、反方位角相差 180° ，即

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} - 180^\circ。$$

测量上规定的象限顺序如图（3-7），按顺时针方向排列成 I、II、III、IV 个象限。

六、子午线收敛角

由高斯投影可知，球面上各点的真子午线均汇集于南北两极，投影后各点的坐标纵线（X 轴）则相互平行，故坐标纵线与真子午线不平行，两者间的夹角叫子午线收敛角。

见图 3-8，坐标纵线偏离真子午线以东，子午线收敛角 γ 的符号为正；以西时，符号为负。

子午线收敛角的计算公式（近似）：

1) 利用点所在经纬度计算：

$$\gamma = \Delta\lambda \cdot \sin\varphi \quad (3-4)$$

2) 利用点的平面直角坐标（X、Y）计算：

$$\gamma = K \cdot Y \quad (3-5)$$

$$K = \frac{\rho''}{R} \tan\varphi \quad (3-6)$$

式中 $\Delta\lambda$ ——该点经度与中央子午线的经度之差；

φ ——该点纬度；

Y ——该点的横坐标值；

R ——地球平均半径。

七、坐标的正、反算问题

1. 坐标的正算问题

如图 3-9 所示，有直线 AB 已知 A 点坐标为 X_A, Y_A ， A, B 线的坐标方位角 α_{AB} 及其边长 S ，则可推算出 B 点坐标 X_B, Y_B ，这一计算工作称为坐标正算问题。

依图 3-9 按三角形边角的函数关系式，可得：

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{AB} &= S \cdot \cos \alpha_{AB} \\ \Delta Y_{AB} &= S \cdot \sin \alpha_{AB} \end{aligned} \right\} \quad (3-7)$$

式中 $\Delta X_{AB}, \Delta Y_{AB}$ 叫做坐标增量。

根据已知点 A 的坐标 X_A, Y_A 和计算所得坐标增量 $\Delta X_{AB}, \Delta Y_{AB}$ 则 B 点坐标为：

$$X_B = X_A + \Delta X_{AB}$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB} \quad (3-8)$$

由图 (3-9) 可见，直线所处的象限不同，坐标增量的符号亦不同，具体情况详见表 3-3。

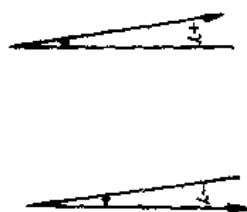


图 3-8 子午线收敛角

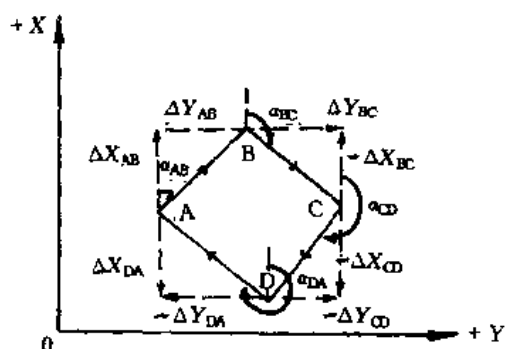


图 3-9 坐标的正、反算

表 3-3 坐标增量符号

方位角	ΔX 符号	ΔY 符号
$0^\circ \sim 90^\circ$	+	+
$90^\circ \sim 180^\circ$	-	+
$180^\circ \sim 270^\circ$	-	-
$270^\circ \sim 360^\circ$	+	-

2. 反算问题

如果已知 A, B 两点的坐标 X_A, Y_A 和 X_B, Y_B ，则可推算出两点间的边长 S_{AB} 和坐标方位角 α_{AB} ，这一计算工作称为坐标反算问题。

由 (3-7) 式可知，边长 S_{AB} 和方位角 α_{AB} 的反算公式为：

$$S_{AB} = \frac{\Delta X_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} \quad (3-9)$$

或

$$S_{AB} = \sqrt{(\Delta X_{AB})^2 + (\Delta Y_{AB})^2} \quad (3-10)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}} \quad (3-11)$$

上列各式中的坐标增量计算公式为：

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{AB} &= X_B - X_A \\ \Delta Y_{AB} &= Y_B - Y_A \end{aligned} \right\} \quad (3-12)$$

第四章 石油物探测量设计

根据石油物探任务及勘探部署的要求,石油物探测量要做好以下的设计工作。

向有关单位收集测区内及其周围地区的地形图、控制点成果、大地水准面差距图和有关专业图件,测区内已做过的各种比例尺的测线成果及其他资料。

第一节 图上设计

一、方格网式测网

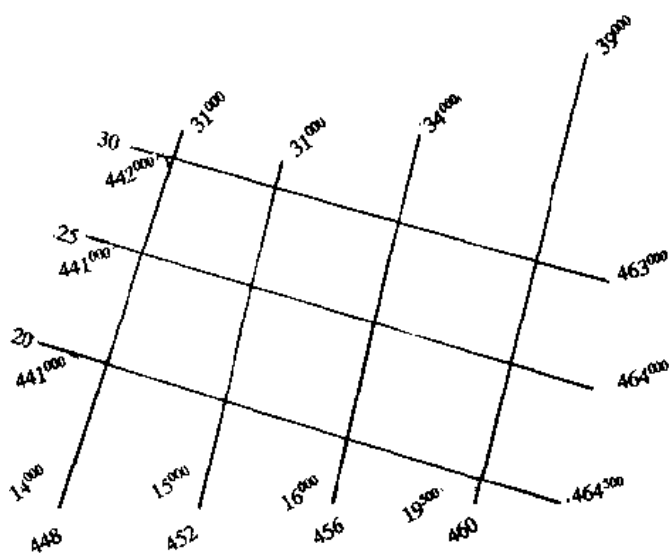


图 4-1 图上设计

根据测区起算原点坐标,按设计测线(束)的方位、点、线之间距离,推算各测线(束)的设计坐标值。

物探测线的布署原则,一般是主测线垂直于地质构造走向,联络测线与主测线正交构成网状,各自按一定的公里数排列成方格网式,见图(4-1)。各测线端点的设计坐标值可按工区给定的起点坐标推算。起点桩号代表两条正交的测线号。若给定起点坐标值(X_0 、 Y_0),主测线方位角 α_0 ,桩号xx/xxx,就可按设计测线的间距及两端点桩号计算出各测线端点的设计坐标值(X_1 、 Y_1)。

例 某工区的起点(15/436)桩号的坐标:

$$X_0 = 4 \quad 821 \quad 329.4$$

$$Y_0 = 19 \quad 524 \quad 613.5$$

主测线方位角 $\alpha = 30^\circ$,求各测线端点的设计理论坐标。

如图 4-1 根据 15/436 点的坐标,按坐标正算问题推求各测线端点设计坐标值。

1) 依(3-7)和(3-8)两式先算出 436 测线的 20000 桩号的坐标(X_1 、 Y_1)。

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= X_0 + \Delta X = X_0 + S_{0,1} \cdot \cos \alpha_0 \\ Y_1 &= Y_0 + \Delta Y = Y_0 + S_{0,1} \cdot \sin \alpha_0 \end{aligned} \right\}$$

即

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= 4 \quad 821 \quad 329.4 + (20 - 15) \cdot \cos 30^\circ = 4 \quad 825 \quad 659.6 \\ Y_1 &= 19 \quad 524 \quad 613.5 + (20 - 15) \cdot \sin 30^\circ = 19 \quad 527 \quad 113.5 \end{aligned} \right\}$$

2) 有了 436 测线的 20⁰⁰⁰ 桩号坐标 (X_1 、 Y_1) 再推 20 测线上的 448⁰⁰⁰ 桩号的坐标 (X_2 、 Y_2)。

由 (3-7) 和 (3-8) 两式可得 X_2 、 Y_2 算式:

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_1 + S_{1,2} \cdot \cos \alpha_{1,2} \\ Y_2 &= Y_1 + S_{1,2} \cdot \sin \alpha_{1,2} \end{aligned} \right\}$$

注意: 主测线与联络测线正交, 所以 20 测线的方位角为 $\alpha_{1,2} = 90^\circ - 30^\circ = 120^\circ$

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= 4 \quad 825 \quad 659.6 + (436 - 448) \cdot \cos 120^\circ = 4 \quad 819 \quad 659.6 \\ Y_2 &= 19 \quad 527 \quad 113.5 + (436 - 448) \cdot \sin 120^\circ = 19 \quad 537 \quad 505.8 \end{aligned} \right\}$$

3) 推 448 测线端点 14⁰⁰⁰ 桩号坐标 (X_3 、 Y_3)。

同上述方法:

$$\left. \begin{aligned} X_3 &= 4 \quad 819 \quad 659.6 + (20 - 14) \cdot \cos(30^\circ + 180^\circ) = 4 \quad 814 \quad 463.5 \\ Y_3 &= 19 \quad 537 \quad 505.8 + (20 - 14) \cdot \sin(30^\circ + 180^\circ) = 19 \quad 534 \quad 505.8 \end{aligned} \right\}$$

4) 再推算 448 测线北端点 31⁰⁰⁰ 桩号坐标 (X_4 、 Y_4) 同理:

$$\left. \begin{aligned} X_4 &= 4 \quad 814 \quad 463.5 + (31 - 14) \cdot \cos 30^\circ = 4 \quad 829 \quad 185.9 \\ Y_4 &= 19 \quad 534 \quad 505.8 + (31 - 14) \cdot \sin 30^\circ = 19 \quad 543 \quad 005.8 \end{aligned} \right\}$$

至此 448 测线两端点设计坐标值 (X_3 、 Y_3) 和 (X_4 、 Y_4) 均已算出。

其余测线的各端点坐标 (X_i 、 Y_i) 依上述方法均可推出。

二、任意测线的设计

所谓任意测线是物探人员根据地质地震的需要而设计的测线, 不构成网状, 没有固定的方位, 也没有起算点坐标。这种测线的拐点、端点的设计坐标 (X 、 Y), 只能从布署图上依坐标格网线量取。方法是量取所求点位至最近纵、横坐标线的间隔, 按线段成比例的关系, 在比例尺上读出线段比, 推算出各点的设计坐标值。

布署图内都绘有坐标格网线, 四角注记有坐标值, 图中的南北线为纵轴 X , 东西方向线为横轴 Y 。欲求测线某一端点 A 的坐标, 首先查出 A 点所在方格网的坐标, 用比例尺沿坐标纵线读出线段比, 计算出纵坐标增量值, 加 (减) 下 (上) 边格网线的坐标, 即得该点纵坐标 X 。同理, 用比例尺沿坐标横线截取线段比, 计算出该点的横坐标 Y 。

用相同的方法, 在地形图上也可量得所求点的经纬度值 (λ 、 φ)。

三、特殊地形条件下测线的设计

特殊地形如山川、河谷等, 测线的设计不可能很正规地成一直线, 测线的拐点、端点的设计坐标不可能按原点计算, 也不可能在布署图上量取, 只能按照地势测设检、炮点测量施工时, 尽量做到测线少拐弯。一直施测到地震生产无法施工为止。

四、三维测网的设计

规则三维测网均按一定的线距布设接收线和炮线, 各自相互平行。接收线和炮线正交。依一定的道间距设置检、炮点。所有检波点、震源 (炮) 点均应设计出理论坐标值。

测量员按物探人员给定的起点坐标及排列线的方位。根据测线间距计算出各测线端点坐标；按道间距推算各检波点的设计坐标值。同理也可推算出各炮线端点、炮点的设计坐标值。

具体算法同方格网式测网的计算方法。

特殊测线（网），如蛛网状三维设计测线，仍可按起点坐标及设计测线方位，按图上的点位分布，用坐标正算公式推出各物理点的设计坐标值。

第二节 跨带测线及相邻带坐标换算

一、跨带测线

测线横跨两个投影带，在总体设计时，应提供两个投影带的设计坐标值。无论是从布署图上量取的坐标还是通过测区起算点推算的坐标，都应通过坐标换带计算，把一带的设计坐标值换算成相邻带的坐标值。

二、相邻带坐标换算

1. 相邻带坐标换算公式

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_0 + \frac{t}{6} \left(\frac{l \cdot \cos B}{\rho} \right) \cdot N \left[3 + \frac{1}{4} \left(\frac{l \cdot \cos B}{\rho} \right)^2 \cdot (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4t^4) \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{l \cdot \cos B}{\rho} \right)^4 \cdot \frac{1}{120} (5 + t^4 - 58t^2 + 56) \right] \\ Y_2 &= \frac{l \cdot \cos B}{\rho} \cdot N \left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{l \cdot \cos B}{\rho} \right)^2 \cdot (5 - 4 - t^2 + \eta^2) \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{l \cdot \cos B}{\rho} \right)^4 \cdot \frac{1}{120} \cdot (5 + t^4 - 58t^2\eta^2 - 18t^2 + 14\eta^2) \right] \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

及

$$\left. \begin{aligned} B &= B_1 - (1 + \eta^2) t_1 \cdot \frac{90}{\pi} \cdot \frac{Y_1^2}{N_1^2} \cdot \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \frac{Y_1^2}{N_1^2} \cdot (3t_1^2 + \eta_1^2 + 5 - 9t_1^2\eta_1^2) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{120} \left(\frac{Y_1^2}{N_1^2} \right)^2 \cdot \left[\frac{1}{3} + 20 + 5t_1^2 \cdot (3t_1^2 + 6) \right] \right) \\ l &= \frac{2}{\cos B_1} \cdot \frac{Y_1}{N_1} \cdot \frac{90}{\pi} \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \frac{Y_1^2}{N_1^2} \cdot (3t_1^2 + \eta_1^2 + 5 + t_1^2 + \eta_1^2 - 3) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{120} \left(\frac{Y_1^2}{N_1^2} \right)^2 \cdot \left[5 + 6\eta_1^2 - \frac{Y_1^2}{N_1^2} \cdot b_1^2 + 4t_1^2 \cdot (7 + 6t_1^2 + 2\eta_1^2) \right] \right) \end{aligned} \right\} \quad (4-2)$$

$$b_1^2 = \frac{1}{42} (61 + 662t_1^2 + 1320t_1^4 + 720t_1^6) \quad (4-3)$$

式中 X_1 、 Y_1 和 X_2 、 Y_2 ——换算前、后点的坐标；

B 、 l ——换算点的大地纬度和距离中央子午线的经差；

D_1 ——底点纬度；

X_0 ——由赤道起算的子午弧长；

$$C = \frac{a^2}{b} \quad (a \text{ 或 } b \text{ 为参考椭球的长、短半径})$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \text{ 是第二偏心率}$$

$$t = \operatorname{tg} B \quad \eta = (e' \cdot \cos B)^2$$

$$N = \frac{C}{\sqrt{1 + \eta^2}} \quad M = \frac{N}{1 + \eta^2}$$

对于克拉索夫斯基参考椭球体，则有：

$$C = 6399698.902m$$

$$e'^2 = 6.738525415 \times 10^3$$

$$\frac{a}{\rho} = 111134.861084$$

$$\beta = -16036.4803$$

$$\gamma = 16.8281$$

$$\delta = -0.022$$

2. 利用坐标换带简表进行换带计算公式

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_1 + m\Delta Y_1 + \epsilon_x \\ \mp Y_2 &= Y_0 + n\Delta Y_1 + \epsilon_y \end{aligned} \right\} \quad (4-4)$$

式中 $\Delta Y_1 = |Y_1| - Y_0$ ， Y_0 永为正， Y_1 采用所在坐标系中应有的符号。

$\mp Y_2$ ——由西带换至东带采用的符号。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= m_1 \cdot \Delta Y_1^2 \\ \epsilon_y &= n_1 \cdot \Delta Y_1^2 \end{aligned} \right\} \quad (4-5)$$

m_1 、 n_1 与 ΔY_1 同号，故 ϵ_x 、 ϵ_y 永远为正；

Y_0 、 δ_y 、 m 、 δ_m 、 n 、 δ_n 为换带常数，以 X_0 为引数，在换带表中查取；

X_0 表示接近 X_1 的整数；

ϵ_x 、 ϵ_y 以 X_0 、 ΔY_1 为引数在换带简表中查取。

坐标换带计算见表 4-1。

表 4-1 坐标换带计算表

计算次序	计算项目	换带点	(反算校核)
1	X_1		
10	$m\Delta Y_1$		
7	ϵ_x		
11	X_2		
6	$\Delta Y_1 = \pm Y_1 - Y_0$		
2	Y_1		
3	Y_0		
9	$n\Delta Y_1$		
8	ϵ_y		
12	Y_2		
4	m		
5	n		

第三节 编写施工设计

在地形图上展绘出测线和控制点位，根据任务要求，编写施工设计。其内容为：

一、任务及工作量

- 1) 物探方法、测区的地理位置和测网面积、布设测网方法；
- 2) 测线（束、网）数量、公里数、测线条数及总的长度，点、线间距离及成图精度；
- 3) 计划连测点及总的连点数，估计基、测线网和加密控制等总工作量。

二、测量工作及质量要求

- 1) 根据物探任务及成图比例尺，说明测线（束、网）应达到的各项技术指标；
- 2) 提出测量方法及技术保证措施等；
- 3) 根据控制点的分布，拟定连测方案，提出加密控制点的位置。
- 4) 采用的测量方法是：常规导线测量、测距、量距、GPS 实时差分等应达到的精度。

三、人员编制和仪器装备

根据物探方法，计算所需投入的作业台组数，每台组的作业人数，主要仪器装备、车辆及附属工具的数量。估算计划投入生产及完成任务的日期。

第五章 二维地震勘探测量

地震勘探线的测设，常规的测量方法采用经纬仪高程导线进行施测。有条件的情况下，可采用 GPS 实时差分方法 (DGPS) 逐点放样于实地。国家三角点、GPS 卫星定位点、加密控制点均可作为物探测线的起闭点。

第一节 经纬仪高程导线布设形式

所谓导线，就是将若干个连接起来组成多边形。相邻两点的连线叫导线边，两边之间的水平夹角叫转折角，用经纬仪测定各角及边长，通常叫经纬仪导线测量。

在导线测量过程中，加测每条边的直、返视高差，组成多角高程路线；两者合称经纬仪高程导线。施测过程中，同时量取仪器高及觇称高。

经纬仪高程导线的布设形式有以下四种：

1) 附和导线，导线起始于一个已知点 A ，最终闭合于另一个已知点 B 上。如图 5-1 所示。

2) 闭合导线，一导线由已知点 A 出发，最后又回到 A 点上形成闭合形状。如图 5-2 所示。

3) 结点导线，几条导线相互连接汇合于一个交点，叫结点导线。如图 5-3 所示。

4) 支导线，从某一已知点出发，既不附和也不闭合的导线，叫支导线。如图 5-4 所示。支导线无检核条件，一般限制使用。SY/T 5171—93 石油物探测量规范规定了支导线允许的长度和限制措施等。

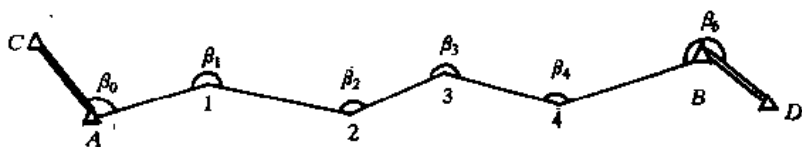


图 5-1 附和导线

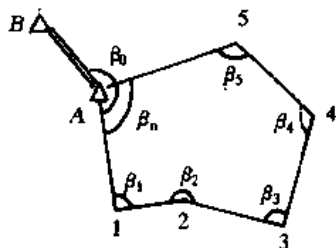


图 5-2 闭合导线

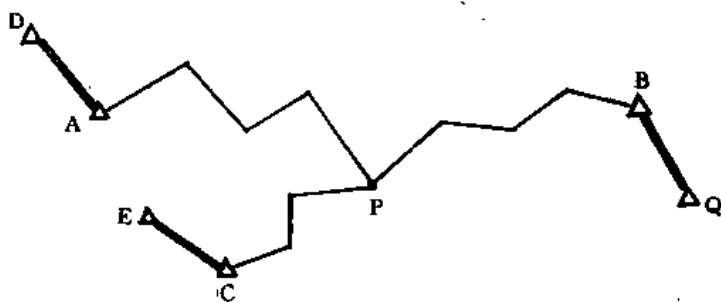


图 5-3 结点导线

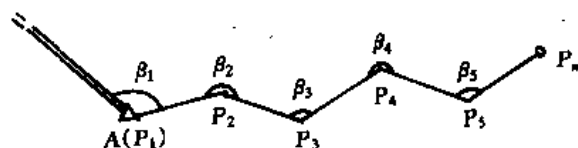


图 5-4 支导线

第二节 物探测线的布设形式

二维地震勘探测线如图 5-5 所示，无论是直伸导线，还是设计成折线或弯曲测线，一般布设为测线两端由已知点和方向控制的附和导线形式。施测时，1km 左右设置一个导线点，尽量与物理点相重合。测线上各物理点沿测线方向按物探设计的道间距，用直线定向的方法逐点测定其点位，以确定检波点、炮点的实地位置，并做出明显标记，埋设土堆和桩号。

根据测量工作的需要，二维勘探测线亦可布设成结点导线系（网），或闭合导线，但都应保证测线的设计方位和直伸形式。

支导线必须是本测线的直线延伸。

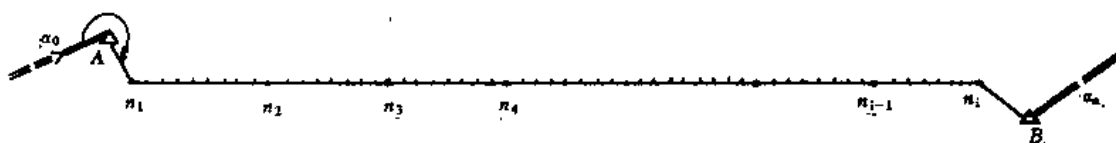


图 5-5 二维地震勘探测线

第三节 物探测量的外业工作

在野外施测过程中，物探测线无论布设成哪一种形式，都要将测线的起始点和已知点相连接，都要进行角度测量，边长丈量，仪器高、标高的量取，地面标志的设置，测线位置草图和观测系统图的绘制等工作。

一、测线的引出

根据已知点的分布情况，就近选择测线的起始观测点，按坐标反算公式：

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{\Delta Y}{\Delta X} \\ S &= \frac{\Delta Y}{\sin \alpha} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha} \end{aligned} \quad (5-1)$$

计算出测线起始点至已知点间的方位角及距离 S ，再算出已知点和测线起始点上应观测的水平角 β 。然后赴实地进行角度测量和边长丈量，引出测线。

测线起始点坐标的索取：

a. 根据地形图上展绘出的测线，选定距已知点较近的一点，依坐标格网线量取线段比，通过计算求得。

b. 按照设计测线方位和端点设计坐标值及量得的测线长，按坐标正算公式：

$$\left. \begin{aligned} X_{起} &= X_{端} + S_{量} \cdot \cos \alpha \\ Y_{起} &= Y_{端} + S_{量} \cdot \sin \alpha \end{aligned} \right\}$$

算得

测线第一点的测定：如图（5-6）所示。

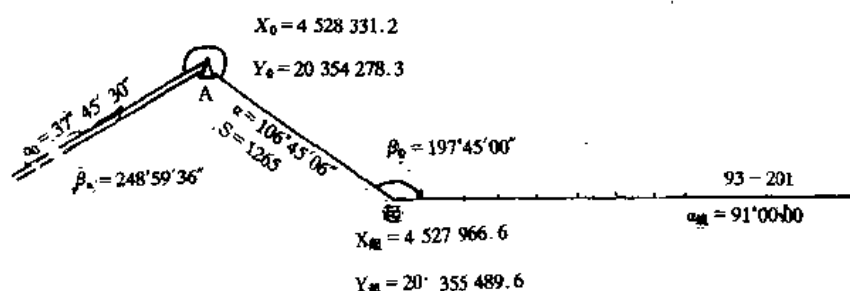


图 5-6 测线的连点

1) 从 93-201 测线上量取起点坐标：

$$X_{起} = 4 \quad 527 \quad 966.6$$

$$Y_{起} = 20 \quad 355 \quad 489.6$$

2) 已知控制点坐标：

$$X_0 = 4 \quad 528 \quad 331.2$$

$$Y_0 = 20 \quad 354 \quad 278.3$$

3) 利用坐标反算公式：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_{起} - Y_0}{X_{起} - X_0} = \frac{1211.3}{-364.6} = -3.32227098$$

$$\alpha = 106^\circ 45' 06''$$

$$S = \frac{1211.3}{\sin 106^\circ 45' 06''} = 1264.98$$

4) 已知过 A 点的起始方位角 $\alpha = 37^\circ 45' 30''$ 通过计算所得已知点 A 至测线起点的方位角 $\alpha = 106^\circ 45' 06''$ ；A 点至测线起点距离 $S = 1264.98$ ，则可算得已知点 A 上的观测角 β ：

$$\beta = \alpha_1 - \alpha_0 = (106^\circ 45' 06'' + 360^\circ) - (37^\circ 45' 30'' + 180^\circ) = 248^\circ 59' 36''$$

5) 在 A 点设站，测出 $248^\circ 59' 36''$ 的水平角，再测出 1264.98m 的距离，即可定出测线起点。

6) 在测线起点上，用设计测线方位角 α 减去坐标反算出的方位角 α_1 ，即可得测线起点上的水平角 β_0 。在测线起点上安置经纬仪，用 β_0 角配置度盘，即可将测线引出。

二、外业观测

1. 角度观测

角度测量就是在测线的连接点和转折点上观测水平角和垂直角。施测过程中，依次在每个测站上，先对中、整平经纬仪，再瞄准相邻点后、前两根反射棱镜杆或花杆，读记角度的读数。水平角、垂直角观测一测回，两倍照准差、指标差之差不得超过 $1'$ 。导线边较短时，应仔细对中并尽量瞄准标志的底部。

2. 边长测量

导线边长用测距仪单视测读两次，两次读数之差不大于 5cm ，然后取其平均值。地震测线的边长以 1000m 左右为宜，最长不超过 1500m ；大沙漠地区测线边长以 500m 左右为宜，最长不超过 1000m 。如果地形平坦，就把该斜距平均值作平距，否则，须把斜距换算成平距。两测站间测绳量得的距离与测距的不符值，最大不超过 3m ，并从末端向始端进行超过距离平均分配到各条短边（点间距）上。

解析法求边长，要用双三角形，要求所求边长不得大于基线的 5 倍，两个三角形算得同一边长较差小于 $1/1000$ 。

测站到前视点之间，各检波点、炮点地形起伏较大时，其边长也要用测距仪单视读一次，并在现场利用测距仪把斜距换算成平距，该平距与理论边长之差大于 3m （道距 50m ）时，必须把小旗和桩号移到规定值之间，才能继续测量。

3. 高程观测

在地形起伏不大的平原地区，炮点、检波点的高程，可由测站高程内插求得。

在地形起伏较大的丘陵、山地和沙漠地区，必须实测全部炮、检点的高程。其方法可采用中丝一测回，也可用中丝半测回，施测二个不同标高位置的办法，但两次标高之差要大于 0.5m ，并分别计算高差，当较差小于 0.2m 时取平均值。指标差及地球曲率和大气折光差的改正数应加在直、反视高差计算中，以便现场检查直、反视高差符合情况。

对于地震不能施工的位于独立沙丘上的炮点，要把该点平移到沙丘底部，并实测底部炮点高差在记录表格上备注清楚。

用几何图形绕过障碍物后，如果测线上的空白点达 500m 时，要加密一到几个高程点。

凡是野外能实测交点高程时，均要实测。一般地区测线交点高程互差不得大于 2m ，高分辨率队测线交点高程互差不大于 1m 。

大沙漠队炮点偏移后的高程，要用经纬仪和测距仪实测斜距和倾角，然后由计算机算出其平距和高程。

4. 标志的设置

炮点、检波点位置设置不同颜色的小旗插在土堆上，土堆下埋有写明队号、测线号和桩号的纸片（或塑料片）。测线穿过居民地等障碍物时，也应设置标志，无法设置标志的炮、检点在图上标注清楚，标志力求明显牢固。

5. 测线通过障碍的观测方法

测线虽要求布设成直线，但在遇到障碍物或极不利的地表时，可做不同形式的转折。各转折段的方位角与设计方位角之差不得大于 8° ，转折点偏离设计测线的距离不大于 100m，并要尽快返回原设计测线的位置和方位上来，转折点必须是整观测点。三维线采用矩形绕过，矩形各边最好通过接收线和炮线。

6. 测线的连点

为了取得国家统一坐标，地震测线必须与国家控制点连接起来。测线起点如前所述，直接与已知点相连接。测线施测到一定距离（按规范规定）采用自由导线法、交会定点法或按测线引出的方法把测线与已知点连结起来进行闭合，如图 5-1。除上述方法外，还可用解析法求边长。双三角形交会，所求边长不得大于基线边长的 5 倍，二组算得的公共边长较差应小于 $1/1500$ ，取平均值。如图 5-7 所示为间接闭点法。

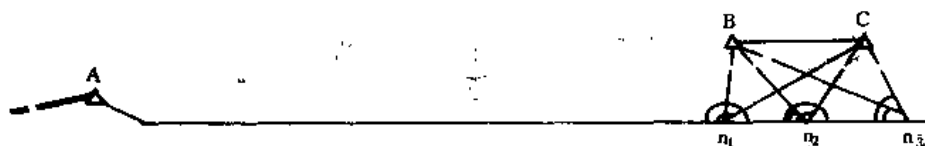


图 5-7 间接闭点法

同一地区、不同时期、不同队别、不同的地震仪器和施工方法做同一测线时，测线连结点的桩号应一致，在衔接处要重复一定数量的 CDP 点。为此：

同期施工测线，后施工者找到前施工所埋标志的点按统一桩号和测线方位进行连测，计算可按各自测得的路线进行，算得的公共坐标值高程较差按 SY/T 5171—93 石油物探测量规范要求。

非同期施工的测线衔接方法按地震勘探设计要求去做。

7. 测线位置草图的绘制

测线位置草图是供地震勘探实地施工时使用，必须要绘制清楚。测线穿越的障碍物及近距离的易损地物，如沟、堤坝、村庄、高压线、水井及地下设施等，要详尽标出。

8. 观测记录

野外观测记录是物探观测点的原始资料，必须做到记录真实，注记明确，字迹清楚、整洁，录制格式统一。

一切原始观测值和记事项目，必须现场用铅笔记录在观测手簿中，不准转抄，严禁凭记忆补记。

记录中读、记错误和被淘汰的数据用单斜线划去，在其上方写出正确的数据，不准就字改字，涂改、擦改。同一测站不得有两个相关的数字连环划改。划去的数字，必须注明原因和重测结果所在的页次。仪器高、标高、距离的米以下部分（厘米、毫米）和角度的分秒数值不准划改。

第四节 内业计算

根据已知点的坐标和已知的坐标方位角，利用观测所得的水平角和边长，按坐标正

算公式，推算各条边的坐标方位角，计算各导线点的坐标。

一、单一导线计算

导线计算如图 (5-8) 所示。

计算步骤和公式如下：

1) 角度闭合差及其配赋值 f_{β}

$$\text{附和导线} \quad f_{\beta} = \sum \beta - (\alpha_{cd} - \alpha_{ba}) - n \cdot 180^{\circ} \quad (5-2)$$

$$\text{闭合导线} \quad f_{\beta} = \sum \beta - (n-2) \cdot 180^{\circ} \quad (5-3)$$

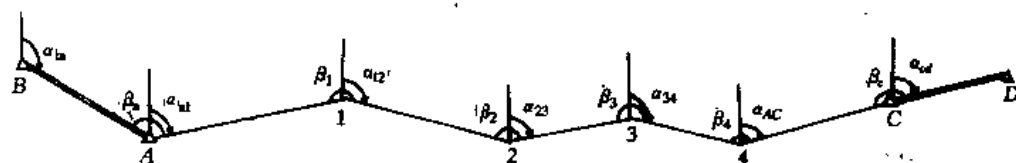


图 5-8 导线计算图

式中 $\sum \beta$ —— 转折角之和；

α_{ba} —— 起始边方位角；

α_{cd} —— 闭合边方位角；

n —— 导线边条数或测站数。

角度闭合差 f_{β} 按站平均配赋

$$V_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n+1} \quad (5-4)$$

2) 推算导线边坐标方位角

$$\alpha_{a1} = \alpha_{ba} - 180^{\circ} + \beta_a + V_{\beta} \quad (5-5)$$

3) 坐标增量闭合差 (f_x 、 f_y) 及其分配值 (V_x 、 V_y)

附和导线

$$\left. \begin{aligned} f_x &= X'_c - X_c \\ f_y &= Y'_c - Y_c \end{aligned} \right\} \quad (5-6)$$

闭合导线

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta X \\ f_y &= \sum \Delta Y \end{aligned} \right\} \quad (5-7)$$

按导线边长成比例分配：

$$\left. \begin{aligned} V_x &= -\frac{f_x}{\sum S} \cdot S_i \\ V_y &= -\frac{f_y}{\sum S} \cdot S_i \end{aligned} \right\} \quad (5-8)$$

式中 X'_c 、 Y'_c —— 计算值；

X_c 、 Y_c —— 已知值；

ΣS ——导线边长总合；

S_i ——导线边长。

4) 导线点的坐标计算

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_{i-1} + \Delta X + V_x = X_{i-1} + S_{i-1} \cdot \cos \alpha_{i-1} + \frac{-f_x}{\Sigma S} \cdot S_i \\ Y_i &= Y_{i-1} + \Delta Y + V_y = Y_{i-1} + S_{i-1} \cdot \sin \alpha_{i-1} + \frac{-f_y}{\Sigma S} \cdot S_i \end{aligned} \right\} \quad (5-9)$$

5) 高程闭合差 f_h 及其分配值 V_h

公式：

$$f_h = \Sigma h - (H_c - H_a) = \Sigma h + (H_a - H_c) \quad (5-10)$$

分配值

$$V_h = -\frac{f_h}{\Sigma S} \cdot S_i = -\frac{f_h}{n-1} \quad (5-11)$$

式中 Σh ——高差总合；

H_a ——起点高程；

H_c ——闭点高程；

n ——测站数。

二、单一结点导线计算

若干条导线交于一点，该点称为结点，如图 5-9 所示。

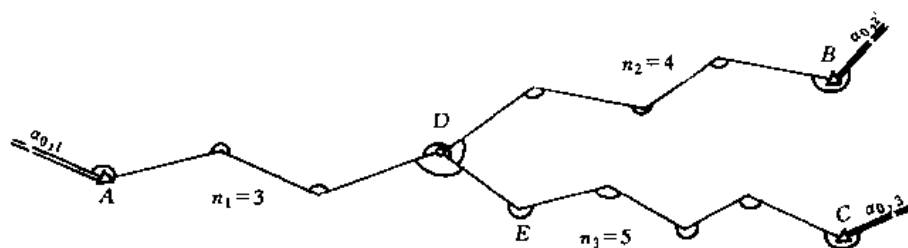


图 5-9 单一结点导线

1. 角度平差

结点为 D ，结边为 S_{de} ，沿三条路线推算出结边的坐标方位角为 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 。各线路的转折角数为 n_1+1, n_2+1, n_3+1 ，则结边的坐标方位角的权为 $P_1 = \frac{C}{n_1+1}, P_2 = \frac{C}{n_2+1}, P_3 = \frac{C}{n_3+1}$ ， C 为任意数。以权平均数确定 α_{de} 为：

$$\alpha_{de} = \frac{P_1 \alpha_1 + P_2 \alpha_2 + P_3 \alpha_3}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (5-12)$$

或

$$\alpha_{de} = \alpha_c + \frac{P_1 V_{\alpha_1} + P_2 V_{\alpha_2} + P_3 V_{\alpha_3}}{P_1 + P_2 + P_3} = \alpha_0 + V_a \quad (5-13)$$

式中

$$V_a = \alpha_i - \alpha_0$$

则

$$v_a = \frac{P_1 V_{a_1} + P_2 V_{a_2} + P_3 V_{a_3}}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (5-14)$$

2. 结点坐标计算

依据各计算路线，推求结点 D 的坐标，可得 X_1Y_1, X_2Y_2, X_3Y_3 。各线路的总长 $\Sigma S_1, \Sigma S_2, \Sigma S_3$ ，结点坐标的权分别为 $P_1 = \frac{C}{\Sigma S_1}, P_2 = \frac{C}{\Sigma S_2}, P_3 = \frac{C}{\Sigma S_3}$ ，C 为任意数。同上述，结点 D 的坐标计算公式为：

$$\begin{aligned} X_D &= \frac{P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3}{P_1 + P_2 + P_3} \\ Y_D &= \frac{P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + P_3 Y_3}{P_1 + P_2 + P_3} \end{aligned} \quad (5-15)$$

有

$$\begin{aligned} X_D &= X_0 + \frac{P_1 V_{X_1} + P_2 V_{X_2} + P_3 V_{X_3}}{P_1 + P_2 + P_3} = X_0 + V_x \\ Y_D &= Y_0 + \frac{P_1 V_{Y_1} + P_2 V_{Y_2} + P_3 V_{Y_3}}{P_1 + P_2 + P_3} = Y_0 + V_y \end{aligned}$$

以

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{P_1 V_{X_1} + P_2 V_{X_2} + P_3 V_{X_3}}{P_1 + P_2 + P_3} \\ V_y &= \frac{P_1 V_{Y_1} + P_2 V_{Y_2} + P_3 V_{Y_3}}{P_1 + P_2 + P_3} \end{aligned} \quad (5-16)$$

3. 结点高程计算

同上，有

$$H_D = \frac{P_1 H_1 + P_2 H_2 + P_3 H_3}{P_1 + P_2 + P_3} = H_0 + \frac{P_1 V_{H_1} + P_2 V_{H_2} + P_3 V_{H_3}}{P_1 + P_2 + P_3} = H_0 + V_H \quad (5-17)$$

$$V_H = \frac{P_1 V_{H_1} + P_2 V_{H_2} + P_3 V_{H_3}}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (5-18)$$

三、二维测量数据处理系统

测线的内业计算采用二维测量数据处理系统进行处理。该系统主要由导线计算，坐标、高程数据的处理及数据文件格式转换三部分组成。如图 5-10。

1) 计算程序

本程序主要包括导线计算和炮、检点高程的计算。导线计算用于计算导线各测站点的坐标和高程，并给出各项限差。炮、检点高程计算用于计算所有整桩号点的高程并存盘，同时检查有无错误。

2) 处理程序

本程序主要包括测线各段的坐标和高程的连接、排序、检查及绘图，坐标与高程的合并及编辑。

3) 文件格式转换程序

把带高程或不带高程的随机文件 * · XYHA 或 * · XY 转换数据接口文件 * · TXT。

4) 每条测线内业计算完毕，并经检查无误后，填写《测线闭合通知书》，连同测线草图交生产队长以便地震施工。

5) 地震施工结束后三日内上交测线成果，按要求标明实际施工起、止检波点，炮点和满覆盖点号；跨带测线提供两带的坐标；大沙漠队还须交一份测线高程剖面图（可用微机打印）。

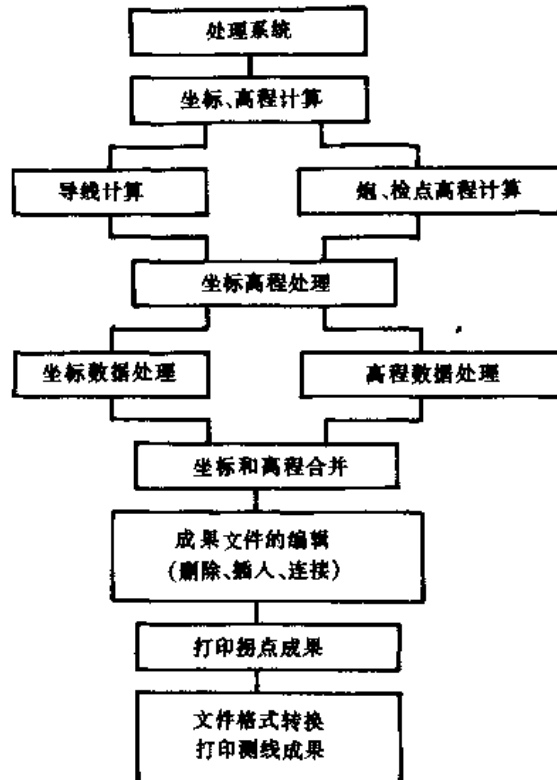


图 5-10 二维测量数据处理系统

第六章 三维地震勘探测量

三维地震勘探是面积勘探，其目的是为了提高勘探精度，解决二维勘探不能解决的疑难问题，一般是用在构造的复杂区。三维地震勘探测量改变了二维地震勘探测量方法，变一直线测量为正交排列的面积测量。

三维地震勘探的测线分接收线和激发线，且各自平行、相互正交，每点的位置必须准确，事先要计算出各点的理论坐标值，每点的编号由线号和顺序号组成。这样每个点有二个索引的标志，即它所在的线名以及该点的顺序号。三维地震勘探分束线进行施工，测量必须完成一束线的接收点、炮点实测任务后，才能开始地震野外采集。

第一节 三维地震勘探网的布设

一、三维地震测量

“三维”的概念此处仅对地震勘探而言，根据地质条件的要求，提供完全三维偏移地下覆盖面积的四个角或转折角的坐标，再由覆盖次数设计观测系统，确定地面施工面积的各边转折点的坐标，然后根据接收线和激发线间距，分别平行、相互正交的原则布设测线。

二、绘制观测系统

根据勘探设计地震采集的方法，包括观测系统来绘制全区观测点分布图，根据接收线、炮线端点设计的坐标及方位，计算全工区各点的理论坐标值。

在测网布设中，根据地质任务需求，尽可能让测线避开较大障碍物，在测线较密、且地形平坦的情况下，不需条条测线用仪器实测，可采用三杆定向、用内插方法完成，内插测线不得超过测线总数的 $1/3$ 。

如图(6-1)所示 101~104 为第一束接收线，炮线为 001, 002; 005, 006; 009, 010, 设为施工测线号，将原炮线号 501, 502, 503……改为施测炮点线的桩号则为图(6-1)形式。因炮井位置遇障碍物，炮井点位沿接收线方向按道间距的整数倍前后移动，移动后的炮点与正常炮点重合时，正常炮点按顺序逐次移动。图 6-1 中 002 线的 504 桩号后移一个道间距，图上注“-1”，006 线的 504 桩号前移二个道间距，与正常炮点 006 线的 505 桩号相重合，故图上注明 006 线的 504 桩号为“+2”，006 线的 505 桩号为“+1”，其余类推。

三、控制点的布设

当探区大地点稀少，无法满足施工需要，可采用 GPS 定位方法加密控制点，其布设

方法一般在工区中间和两端每 2~3km 加密一个点，通视较差地区可适当加密。

四、测线及桩号的编写

接收线号：LG101，LG102，……

激发线号：LS501，LS502，……

检波点号：101001，101002，……

激发点号：501001，501002，……

激发线与接收线的交叉点编号：101X501，101X502，……

编号顺序由西向东、由南向北逐渐增大，一般方位角在 $45^{\circ}\sim 135^{\circ}$ ， $225^{\circ}\sim 315^{\circ}$ 之间为东西向，其他为南北向。

根据地质构造及地表情况，可分别采用四线六炮、六线六炮、六线八炮、六线十二炮等观测系统。野外施工都是以每束线为单位进行接收，以六线束为例每束线之间都要重叠三条线，第一条线的 4，5，6 线在第二束线中是 1，2，3 线。

1) 六线六炮的观测系统（图 6-2）

接收线距 200m，点距 100m，炮线距 200m，炮点距 100m，图中“。”为接收点，“·”为激发点。

2) 六线八炮的观测系统（图 6-3）

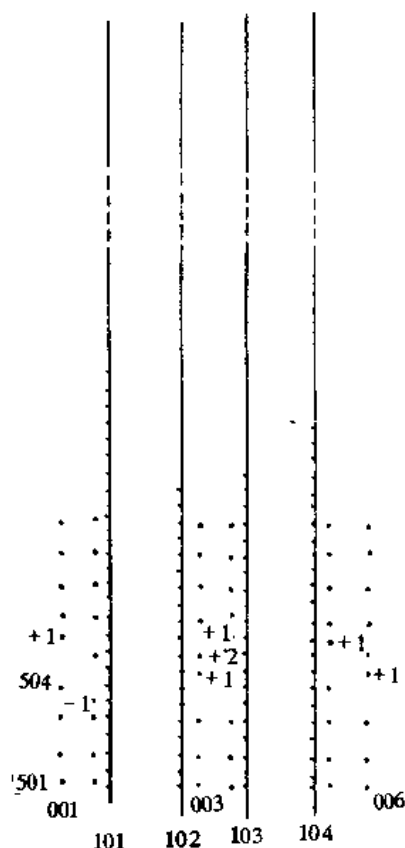


图 6-1 观测系统示意图

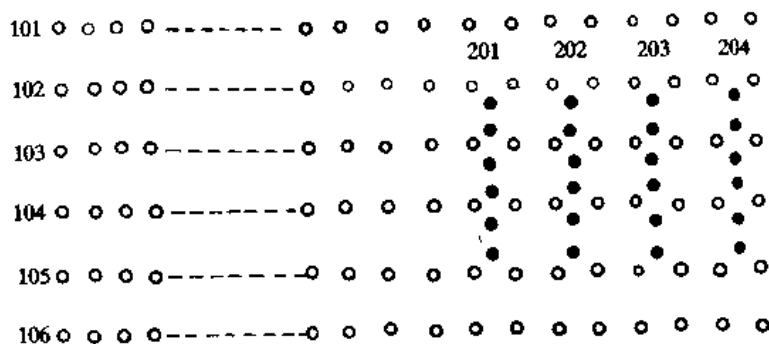


图 6-2 六线六炮观测系统图

接收线距 400m，点距 100m，炮线距 200m，炮点距为 100m。

3) 六线十二炮的观测系统（图 6-4）

接收线距 100m，点距 100m，炮线距 300m，炮点距 100m。

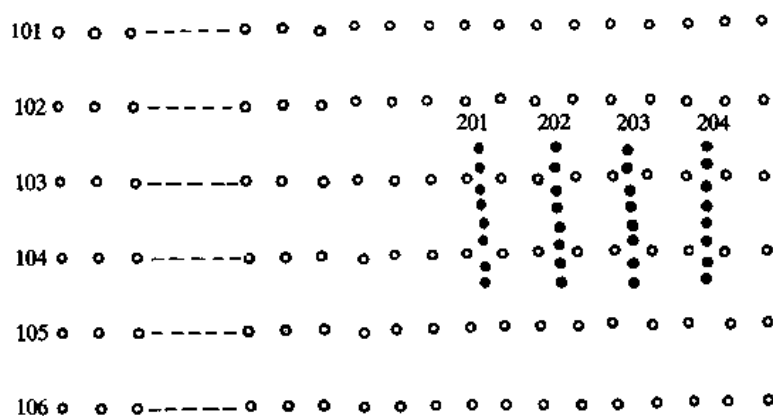


图 6-3 六线八炮观测系统图

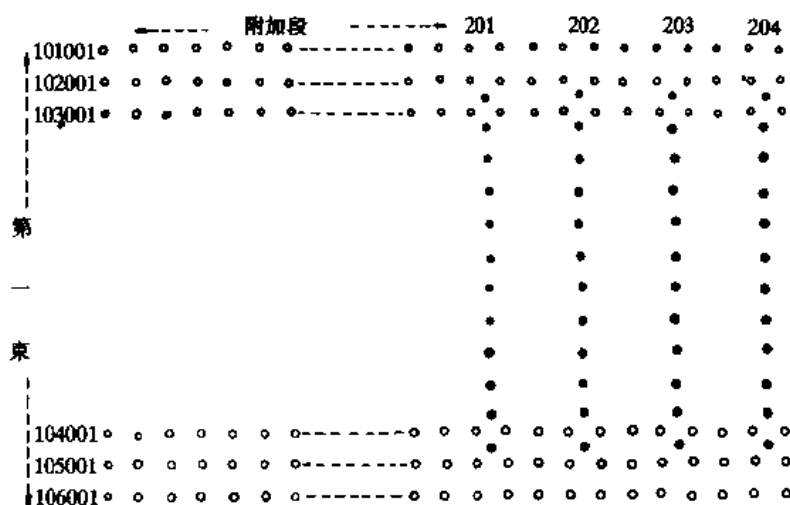


图 6-4 六线十二炮观测系统图

第二节 三维地震勘探测量的施测

一、三维地震勘探测量的施测方法

地形起伏较大的地区，接收线及物理点必须全部实测，保证点位及高程的准确性。

施测方法一般采用附和导线，与二维地震勘探导线测量相同，不再重复。

值得注意的是，三维地震勘探导线不易过长，即使 20km 长的导线也应从中间加密控制线，分段实测。正是因其本身高精度要求所至，衡量精度的标准其一是相对精度，二是绝对精度。各项精度限差都按 1:25000 比例尺精度要求，尽管成果采用变形较小的高斯投影，但在分度带的边缘仍难克服距离有较大变形的缺点，出现相对精度高，而实测点位坐标值与点位的理论值相差较大的问题。所以，一般采用缩短附和导线的长度、加密控制点、严格控制导线的发展次数的方法，加以控制。

在实测接收线的同时测定交叉点(接收线与炮线的交点)，该点作为测定炮点的依据，并推算各炮点的位置和高程。在实测炮线时，必须起闭交叉点，距离及方向的偏离不能

超过点距的 5%，高程闭合差不能大于 1m。为方便查找，接收点、炮点、交叉点用不同颜色的标志旗来区分。

在分束段测炮线时，如遇到较大障碍物可按支导线通过。为保证检波点和炮点位置的准确性，当该工区施工结束后，应做三条垂直于接收线的检查线，并与炮线重叠。

接收线与炮线都必须实测，如六线十二炮的观测系统，第三条与第四条接收线距离过大，要求超过 400m 时，在中间加一条与接收线平行的炮点线来加密控制。三维地震接收线必须直线施工，遇到障碍物允许用各种几何图形绕过，回到原测线位置后，尽量向障碍物方向拉点观测。当村庄长度超过 500m 时，须在村庄中间测线通过的位置测定一个点，推算桩号、坐标和高程，便于地震野外施工。

每束线都要绘制详细草图，不但内容齐全而且各点位与地物、地貌的相对位置必须正确。

二、三维地震勘探线的长度改正

1) 计算长度归至大地水准面的改正

计算公式：

$$-\Delta S = \frac{H}{R} S \quad (6-1)$$

式中 H ——基线高出椭圆体面(或大地水准面)的高程，米为单位；

R ——地球平均曲率半径；

S ——计算线长；

ΔS ——改正数。

注意：计算 ΔS 时，基线高出大地水准面 ΔS 为负，低于大地水准面 ΔS 为正；当 H 值为正时，由线长减去改正数， H 为负时，则加上改正数。

2) 水平距离归算到任意高程面上的长度计算

公式：

$$D_s = D_0 \left(1 - \frac{H_m}{R} \right) \quad (6-2)$$

$$H_m = \frac{1}{2} (H_1 + H_2)$$

式中 D_s ——任意高程面上的长度；

D_0 ——水平距离；

H_m ——测线两端点高程平均值；

R ——地球平均曲率半径。

第三节 三维测网的数据处理

三维测网的数据处理，根据测网的布设形式不同，数据处理的方法也不尽相同。最重要的是保证成果的合理性，提高测点成果精度。

一、附和导线或单一结点导线

附和导线或单一结点导线的数据处理同第五章第四节所述，按单一测线和结点导线处理系统进行测点成果的解算。

二、结点导线网

三维结点导线网选择等权代替法进行整体平差较好，它不仅能及时提供测线束的点位成果，而且可算得点的最或是值，保证点位的分布均匀，提高点位精度。

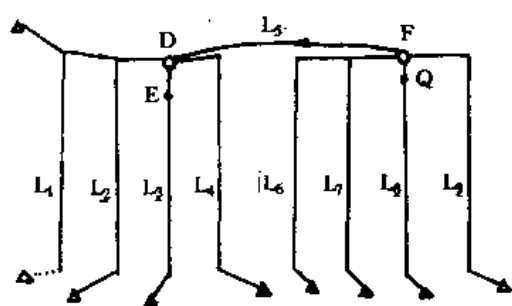


图 6-5 结点导线网计算

所谓等权代替平差法，就是把含有两个（或更多个）结点的导线网，逐次等权地代替为一个（或单一路线）导线网，然后按单一结点（或单一计算路线）平差法进行整体平差计算。具体步骤如图（6-5）所示。

按单一结点导线计算中的公式，进行 L_1, L_2, L_3, L_4 四条线结点计算到 D 点，计算出第一个单一结点导线。然后将该结点导线作为一条虚拟路线参加第二个结点导线进行平差计算，依次序逐次代替，直到整区平差结束。正如一个导线网平差一样，将角度、坐标和高程

分别用等权代替法的原理逐一进行平差。

1. 单一结点平差

公式见（5-13）、（5-14）、（5-15）、（5-16）、（5-17）、（5-18）式。

2. 等权代替法

利用单一结点平差原理，先计算等权代替路线 L_1 和路线 L_5 相加的权，即可按下下一个结点导线网计算。

1) 角度平差的权

$$\left. \begin{aligned} P_{1,2,3,4,5} &= \frac{1}{n_{1,2,3,4} + n_5} = P_1 \\ P_6 &= \frac{1}{n_6} \\ P_7 &= \frac{1}{n_7} \\ P_8 &= \frac{1}{n_8} \end{aligned} \right\} \quad (6-3)$$

2) 纵横坐标及高程平差的权

$$\left. \begin{aligned} P_{1,2,3,4,5} &= \frac{1}{\sum S_{1,2,3,4} + \sum S_5} = P_1 \\ P_6 &= \frac{1}{\sum S_6} \\ P_7 &= \frac{1}{\sum S_7} \\ P_8 &= \frac{1}{\sum S_8} \end{aligned} \right\} \quad (6-4)$$

3) 平差计算

将上述计算所得的权，代替公式中各相应的权，仍按单一结点导线逐次代替进行平差，即可得到整区平差成果。数据处理系统见三维测量数据处理系统框图。

三、三维测量数据处理系统

数据处理采用专业软件：三维测量数据处理系统。本系统共有 34 个功能块，各个功能块都能完成一项完整的处理，系统与各功能块之间相互调用和返回关系见图 6-6。

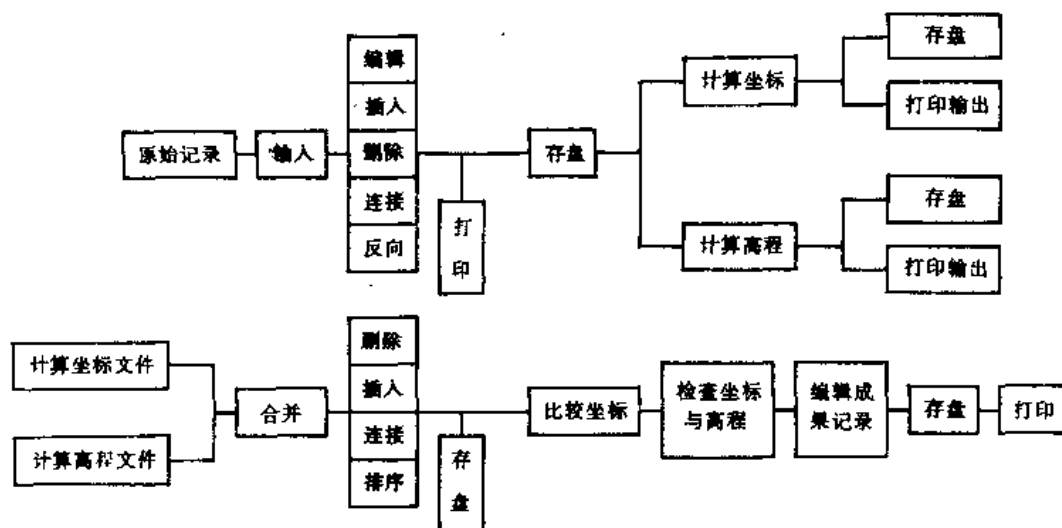
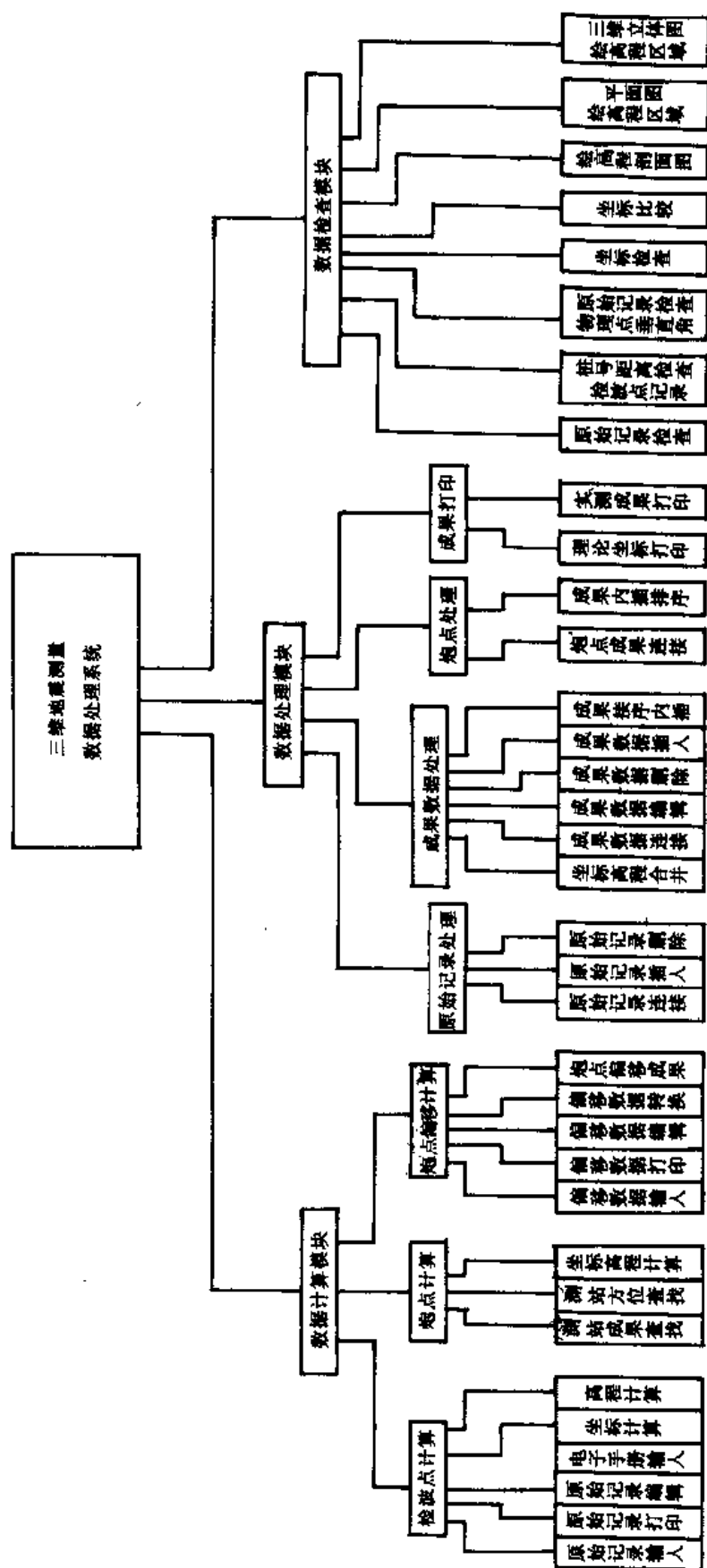


图 6-6 三维测量数据处理系统框图

输入的所有原始数据以随机方式存入磁盘，文件作为原始记录文件，在处理过程中传递数据，输出数据是坐标和高程计算后合并生成的成果文件。在处理过程中不断有中间结果、检查结果和成果数据在打印机和屏幕上输出。

最终资料上交内容：原始导线记录、太阳高度法测定方位记录、导线计算手簿、炮点、检波点理论坐标值、检波点成果表、炮点成果表和各种数据软盘。

三维测量数据处理操作步骤如图 6-7 所示。



第七章 物探测量的质量监控

物探测量的质量监控,以《SY/T 5171—93 石油物探测量规范》和《SY/T 5828—93 石油物探测量质量检验细则》为依据、以各项限差规定为基准、以提高成果精度为目的,把测量质量监控贯穿生产全过程,做到野外实地检测、原始数据详查、内业计算抽查、各物理点成果核对。

石油物探测量是物探工作的先行,物探测点成果质量直接影响着地震地质任务完成的好坏,物探测线的进度又直接影响物探任务的速度。物探测量的质量监控,是保证物探测量工作有标准可依,使地震勘探能顺利进行。

第一节 物探对测量工作的要求

1. 成图精度

二维地震勘探的成图精度为 1:5 万;

三维地震勘探的成图精度为 1:2.5 万;

特殊情况按物探设计的成图精度要求。

2. 限差

二维物探测量要求物探观测点对于最近控制点的最大平面误差,在成果图上不得大于 0.8mm,高程中误差不得超过 1.7m。

三维物探测量要求所有检波点、炮点的平面坐标,实测值与理论值之差不得超过 10m,高程中误差不得大于 1m,物探测线为一直线。测线各项限差的规定见表 7-1。

表 7-1 测线各项限差的规定

线 长 与 限 差 工 作 方 法	各类项目	测线长, km			角度闭合差	相对误差	高程闭合差, m
		1:2.5 万	1:5 万	1:10 万			
视 距			20	35	$1.5' \sqrt{n}$	1/600	$0.6 \sqrt{L}$
量 距		10	40	50	$1.5' \sqrt{n}$	1/1000	$0.45 \sqrt{L}$
红外测距		15	50	60	$1.5' \sqrt{n}$	1/1500	$0.40 \sqrt{L}$
支 导 线		1	3	5			

注 表中 n 为测站数, L 为测线长,以公里为单位,计算结果以米为单位。

3. 观测限差

1) 角度观测。水平角、垂直角各为一测回或复测两次。两倍照准差之差、复测两次较差和指标差之差均不得大于 $45''$ 。

2) 距离测量。

- a. 红外测距单站测读两次，两次读数之差不得大于 0.05m；
- b. 测绳量距，一次丈量，记至分米。所用测绳，必须每天检查校正；
- c. 视距测距，直、反各测读一次，精度必须满足表 7-1 之规定。

3) 高差测定。

直反视高差之差，边长小于 500m 时，不得大于 20cm；大于 500m 时，每 100m 增加 4cm。

测线端点与控制点连结，用解析法求边长时（双三角形），所得边长不得大于基线边的 5 倍，两组图形算得同一边长较差应小于 1/1000。

4) 测站间边长。

- a. 量距边长最大不超过 1000m；
- b. 红外测距最大边长不大于 1500m；

三维测线束相邻点、线间的距离误差均不得大于 5%。

第二节 质量监控的内容

一、物探测线布设

- 1) 物探测线设计合理，测线的引出和连接方法正确。测线的发展次数符合规范要求。
- 2) 各物理点间距离准确，标志明显并成一直线。三维工区边界及拐弯点，要设立永久性的标志。
- 3) 测线位置草图、观测系统图绘制无误。
- 4) 测线闭合通知书。

二、物探测线施工过程中的质量监控

物探测线施工过程中的质量监控要符合下列条件：

- 1) 物探观测点的记载、记录要规范化；
- 2) 测量数据要取全、取准；
- 3) 记录字体要清晰、整洁，录制的数字不能有误；
- 4) 测站上计算要及时、准确，所有观测值的限差要符合规范规定。

三、物探测量的质量检查

1) 生产质量的检测。利用经纬仪交会、卫星定位、经纬仪高程导线等方法中的一种方法测定，点位误差、高差之差不得超过限差要求。抽查点数在 5% 以上。

三维测网的点，线距用测距和量距方法测定，点、线距误差应在规定的限差以内。点位差不超过点距的 5%。同名点号的标志用直线定向法标定，要求为一直线。

2) 观测记录详查。原始记录检查 5%，电子记录调阅 10%；所有观测和程序，如正倒镜、双标高等是否合理；测站计算是否准确，如两倍照准差、垂直角指标差之差、直

返视高差之差有否超限；测站边长及测线总长是否超过规定的长度。

记录手簿中，不应存在就字改字、连环划改、涂改、漏记、漏测现象。

3) 测量资料处理。室内资料计算检查 10% 以上。计算方法是否合理；测线的起闭点坐标、高程及方位角应核对准确，各项配赋要合理。成果取位及精度是否符合标准，提交物理点的成果抄录不得有误，测线交点误差要满足物探要求。录制的成果软盘无误，上交资料要齐全。

4) 测点成果审核。根据提交的测点成果，在原勘探部署图上展点、对比、校核测线的放样精度。同时，在地形图上展点审核高程的测量精度。

5) 仪器计量检验符合各项限差规定。

四、物探测量的质量评定

在各项检查的基础上，根据测线的施工质量、数据采集及测线成果的精度，运用数学精度和统计方法，对测线进行 I、II、III 等评级，对成果按优、良、合格标准评定。

具体评定要求见《SY/T5171—93 石油物探测量》规范和《SY/T5828—93 石油物探测量成果质量检验细则》的述及部分。

五、质量监控报告

- a. 质量监控工作情况；
- b. 质量监控中发现的问题及处理意见；
- c. 成果质量的统计；
- d. 质量结论；
- e. 意见及建议。

测线精度统计见表 7-2，地震测线质量鉴定情况见表 7-3。

表 7-2 测线精度统计表

测线 (条)	测线 长度 km	角度 误差 V_{β}	坐标误差		高程误差 m		质量等级
			f_s, m	$1/m$	f_h	m_h	

表 7-3 地震测线质量鉴定表

队号： 测区： 时间：

工作量				质 量									
太阳方位	结点	条数	公里数	优			良			合格			月（年）度 总评
				条数	公里	%	条数	公里	%	条数	公里	%	
测线号		起讫点 名号	发展 次数	工作 方法	测线长度 km	支导线长 km	角度误差 f_{β}	坐标误差		最弱点 误差	高程误差 f_h, m	记录 面貌	质量 等级
								f_s	$f_s/\Sigma S$				

主要参考文献

- 〔1〕 夏坚白等著. 实用天文学. 上海: 商务印书局, 1954
- 〔2〕 〔美〕 E. W. 伍拉德等. 球面天文学. 北京: 测绘出版社, 1984
- 〔3〕 武测天文与重力测量教研组. 大地天文学. 北京: 中国工业出版社, 1961
- 〔4〕 姚坤一、王国海. 实用天文测量学. 北京: 测绘出版社, 1985
- 〔5〕 熊介. 椭圆大地测量学. 北京: 解放军出版社, 1988
- 〔6〕 董德. 测绘公式集. 北京: 解放军出版社, 1990
- 〔7〕 刘基余等编著. 全球定位系统原理及其应用. 北京: 测绘出版社, 1993
- 〔8〕 周忠谟、易杰军等编著. GPS 卫星测量原理与应用. 北京: 测绘出版社, 1992
- 〔9〕 日本测地学会编著, 顾国华等译. GPS 人造卫星精密定位系统. 北京: 地震出版社, 1989
- 〔10〕 管泽霖、宁津生编. 地球形状及外部重力场. 北京: 测绘出版社, 1981
- 〔11〕 武测天文学教研组编. 卫星大地测量学. 北京: 测绘出版社, 1990

