



煤矿技术丛书

小矿区控制测量

陶华学 编



煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了小区域控制网的布网方案、建网过程以及作业方法；较详尽地介绍了小区域控制网中常用的典型图形的简便平差计算，并附有算例。可供小型矿区测量人员参考。

责任编辑：吴志莲

小煤矿技术丛书

小矿区控制测量

陶华学 编

煤炭工业出版社 出版

（北京史家胡同甲5号邮编100705）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $850 \times 1168^{1/8}$ 印张 $20^{1/8}$ 插页4
字数534千字 印数1—4,100
1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷
书号16035·2660 定价4.50元



前 言

本书是根据小型矿区控制测量工作的需要而编写的，也可用于其它各部门小面积测区的工程控制测量。本书结合小区域的实际和特点系统地介绍了小区域控制网的布网方案、建网过程以及具体作业方法。尤其较详尽地介绍了小区域控制网中常用典型图形的简捷平差计算，既导出了计算公式又附有大量算例。本书可供测绘人员进行小面积测区工程控制测量时参考。

承长江流域规划办公室、冶金部武汉勘察公司、湖北综合勘察院等单位的有关同志为本书提供了资料，在此表示衷心感谢。

本书肯定存在不少缺点，甚至错误，恳请读者批评指正。

作 者

1983年12月

目 录

总 论

第一节	小矿区控制测量的任务和作用	1
第二节	小矿区控制网的分类与建立方法	1
第三节	国家控制网的基本概念	6
第四节	小型矿区控制网的布设	11
第五节	测量误差知识	12

第一篇 小型矿区首级平面控制网的建立

第一章 小型矿区首级平面控制网的布设形式和规格34

第一节	矿区三角网的布设形式	34
第二节	三角网(锁)的布网规格	38

第二章 小型矿区三角测量的外业工作38

第一节	三角点位的选定	38
第二节	造标与埋石	44
第三节	光学经纬仪	51
第四节	三角点上的观测工作	63
第五节	基线测量	81

第三章 小矿区三角测量的内业平差计算95

第一节	三角测量概略计算	95
第二节	测量平差的目的和基本方法	111
第三节	中点多边形三角网平差计算	144
第四节	单三角锁的平差计算	193
第五节	线形三角锁的平差计算	210
第六节	插点平差法	231

第二篇 小型矿区基本高程控制网的建立

第四章 小矿区四等水准测量358

第一节	小型矿区四等水准网的布设方案	358
第二节	小型矿区水准路线的选线和埋石	359
第三节	水准仪和水准尺	363
第四节	四等水准观测	371
第五节	外业计算	378
第五章	四等水准网平差计算	380
第一节	概述	380
第二节	单一水准路线的平差	382
第三节	单一结点的水准网平差	388
第四节	逐渐趋近平差	392
第五节	等权代替法平差	398
第六节	多边形水准网平差	407
第六章	三角高程测量	412
第一节	三角高程控制网的布设	412
第二节	垂直角观测	413
第三节	三角高程测量的基本公式	416
第四节	三角高程网平差计算	420
第三篇 小矿区控制网的加密		
第七章	加密小三角锁(网)	430
第一节	测角图根锁(网)的布设形式	430
第二节	加密小三角锁(网)的外业工作	431
第三节	加密小三角锁(网)的内业计算	433
第八章	加密线形三角锁	464
第一节	线形三角锁的布设形式	464
第二节	线形三角锁测量的外业工作	467
第三节	加密线形三角锁的内业计算工作	468
第九章	测角交会定点	505
第一节	前方交会	506
第二节	侧方交会	527
第三节	单点后方交会	531
第四节	双点后方交会	557

第五节	多点后方交会	566
第十章	导线测量	571
第一节	经纬仪导线布设形式	571
第二节	导线测量的外业工作	573
第三节	经纬仪导线的内业计算	578
第四节	导线测量错误的检查	591
第十一章	矿区高程控制点的加密	594
第一节	等外水准测量	594
第二节	多角高程导线	597
第三节	独立交会高程点	601
第四节	高程导线测量	603

第四篇 小矿区控制网的扩展和换算

第十二章	小矿区控制网的扩展和恢复	606
第一节	概述	606
第二节	扩展和恢复小矿区控制点的方法	608
第三节	利用储备精度扩展和恢复控制点的可能性 及其限度	620
第十三章	高斯平面坐标换带计算和坐标换算	622
第一节	概述	622
第二节	高斯平面坐标换带计算	624
第三节	平面直角坐标的换算	630

总 论

第一节 小矿区控制测量的任务和作用

大家知道，每一个小矿山的开发都要经过地质勘探、矿山设计和施工、生产几个阶段。开展各个阶段的工作，都需要用一定比例尺的地形图，而地形图则是依据图根控制点来测绘的。图根控制点又是以更精密的控制点为基础建立起来的。同样，每一个矿井的地面与地下的工程测量也必须以控制点作依据。由此可见，建立矿区控制点是进行全部矿山测绘工作的第一道工序。小矿区控制测量的主要任务就是在地方小型煤矿（或小区域）范围内的地面上，建立矿区控制网。测定控制网的精确位置，包括平面位置和高程位置，以控制矿区各种比例尺测绘和各项工程施工测量。所以，矿区控制测量是矿山一切测量工作的基础；矿区控制网是矿区一项重要的基本建设。矿区控制测量工作的好坏将直接影响矿区其他工程质量和工作的正常开展。

第二节 小矿区控制网的分类与建立方法

一、控制网的分类

在矿区范围内布设一些有整体联系的，具有一定精度和密度的控制点，这些点按一定几何关系图形联结起来构成矿区（或小区域）控制网。控制网按其性质分为水平控制网和高程控制网两种，前者是要测定控制点的水平位置（平面坐标 x 、 y ），后者要测定控制点的高程位置（高程或标高 H ）。

二、建立控制网的方法

（一）建立水平控制网的方法

1. 三角测量法

三角测量法的原理是在地面上选定一系列互相通视的点，把它们用连续的三角形连接起来组成网状或锁状，称为三角网（锁）。

如图1, 若已知其中1点坐标, 再测出网中一条边的长度和方位角 (若已知二点坐标, 则不测), 并且测出三角网中所有三角形各内角 (在小矿区控制测量中, 因为面积小, 边长短, 可把地面上布设的三角网, 直接在平面上计算), 就可应用正弦公式解算三角网中各三角形边长并可推各边方位角, 从而计算出三角网中各点坐标。由图得: $D_{1,3} = D_{1,2} \frac{\sin B}{\sin C}$, $\alpha_{1,3} = \alpha_{1,2} + A$, $\Delta x_{1,3} = D_{1,3} \cos \alpha_{1,3}$, $\Delta y_{1,3} = D_{1,3} \sin \alpha_{1,3}$, $x_3 = x_1 + \Delta x_{1,3}$, $y_3 = y_1 + \Delta y_{1,3}$ 。同理可推算网中其他各点坐标。

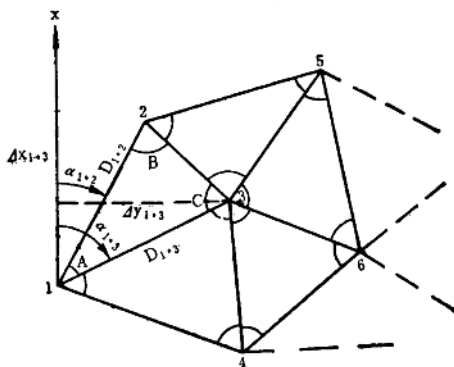


图 1

三角测量外业工作的特点是: 测角工作量大, 量边工作量很少 (甚至没有)。当前使用的测角仪器, 使水平角观测精度较高, 所以三角测量仍是当前建立小矿区平面控制网的主要方法。

三角测量法的主要优点是: 采取网状布设控制面积较大, 几条件多, 网的结构强, 也便于检核; 主要工作是测角, 受地形限制小, 便于迅速扩展; 用高精度的测角仪器观测的角度所推算的边长和方位角可以保持必要的精度。由于这些优点, 三角测量法就成为目前建立小矿区水平网的主要方法。当然三角测量法也

是有缺点的，主要是：在交通困难或隐蔽地区，布设三角网比导线网困难得多，推算的边长精度也不均匀，距起始边愈远精度就愈低。为了减少推算误差的积累，可在锁网中每隔若干个三角形加测一条边长。

2. 精密导线测量法

导线测量的原理是在地面上选定一系列点1、2、……，将相邻两点(相互通视)连结而构成的折线形或多边形，这就是导线，如图2所示。导线测量是测定导线各折角和导线边边长。如已知导线点1的坐标和一条边的坐标方位角，即可推算其余各点的坐标。

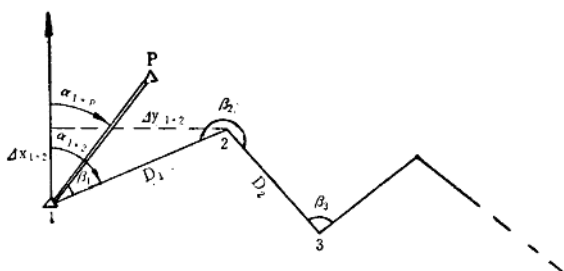


图 2

导线测量法是最古老的布网方法，一直延续使用了一千多年。这种方法的主要优点是：单线推进，布设灵活；在隐蔽地区容易克服地形障碍；边长直接测定，精度均匀。主要缺点是：在结构上几何条件少，强度低；量距工作量大，长期以来用钢尺量距，还受地形条件限制，故未能广泛应用。但随着电磁波测距技术的发展，用电磁波测距导线可克服直接丈量的不便，在测边的精度、速度等问题上都相继得到了较好的解决。因此，在城市山林区布设导线网是比较有利的。在小矿区控制测量中，电磁波导线测量不久将成为一种主要方法。

3. 三边测量法

三边测量法的结构和三角测量法是一样的，不同的只是在三角网中不测各三角形的内角，而是用电磁波测距仪直接测定各三角形的边长，利用三角形的余弦定律推算各三角形的内角，最后推得各边的方位角和各点坐标。但是三边测量法的几何条件少。例如在单三角形中观测三条边长不能构成几何条件进行检查；在大地四边形中三边测量只产生一个条件。另外，三边测量法根据边长所确定的内角精度不均，例如根据观测边长误差 m_s 所得的三角形角度 $A = 90^\circ$ ， $B = 60^\circ$ ， $C = 30^\circ$ 的角度误差为

$$m_A = 2.9 \frac{m_s}{S} \rho'' \quad m_B = 2.4 \frac{m_s}{S} \rho'' \quad m_C = 0.8 \frac{m_s}{S} \rho''$$

可见根据边长算得角度C比角度A精确三倍半。因此这种方法推算的网中各边方位角精度不均匀，也比较低。这种方法还没被广泛采用。

4. 边、角组合测量法

对布设的三角网，可采用观测全部内角和全部边长，也可采用组合观测的方法测一部分内角和一部分边长。然后，可直接根据观测角推算各边坐标方位角，以及实测边长计算各点的坐标。这种方法综合了测角网和测边网的优点，锁网结构有明显改善，从而使求得控制点的点位精度有明显提高。因此，网中图形形状不受那么严格的要求，使选点灵活，是一种比较适宜的布网方法，也是今后改进三角网测设的方向。

(二) 建立高程控制网的方法

1. 几何水准测量

几何水准测量，就是用水准仪的水平视线（借助水准器使之水平）照准竖立在两点上的标尺，读取标尺分划数直接求出两点间的高差。如图3所示，A、B两点间的高差 $h_{A,B}$ 为后视点标尺（1号）读数 a 减去前视点标尺（2号）读数 b 。即

$$h_{AB} = a - b$$

如果已知A点的高程为 H_A ，就可以算出B点的高程 H_B 。

即

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

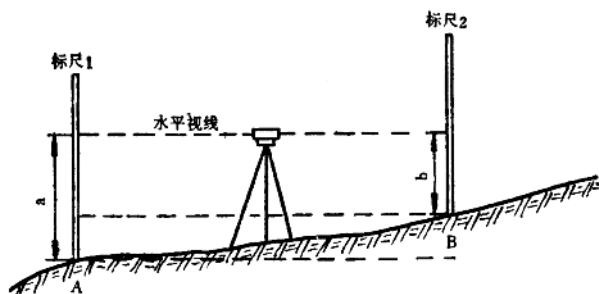


图 3

如要测定任意点 P 对 A 点的高差，如图 4 所示，即在测定 A、B 两点高差之后把仪器迁到 B 点前方，A 点上的标尺 1 移到 C 点，B 点标尺 2 转向仪器，同样可测得 B、C 两点间的高差。A、B 与 B、C 两点间高差的代数和即为 C 点对 A 点的高差。依此类推，AF 之间各站高差之和，即为 P 点对于 A 点的高差。

即

$$h_{AP} = h_{AB} + h_{BC} + h_{CD} + \dots$$

又知 A 点高程为 H_A ，则 P 点高程为：

$$H_P = H_A + h_{AP}$$

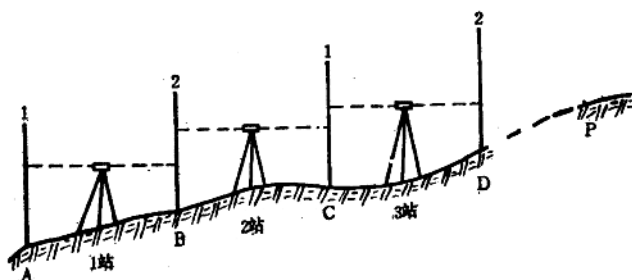


图 4

这就是几何水准测量的基本方法。用这种方法测定高程可以达到很高的精度，所以它是目前建立矿区高程控制网的主要方法。

2. 三角高程测量

三角高程测量的实质，就是利用经纬仪测定一点对另一点的

垂直角和两点间的水平距离，用三角公式计算两点间的高差，然后由已知点高程推算出各三角点的高程。如图 5 所示，由 1 点观测 2 点垂直角 $\delta_{1.2}$ ，1 点的仪器高 i_1 ，2 点的觇标高 v_2 ，1、2 两点间的水平距离 $D_{1.2}$ ，则 1、2 两点间的高差，可由下式算得

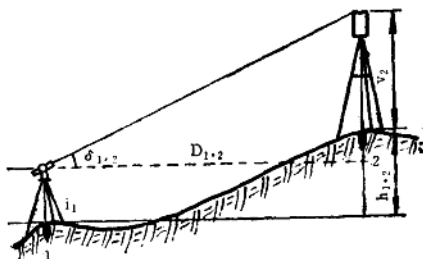


图 5

$$h_{1.2} = D_{1.2} \tan \delta_{1.2} + i_1 - v_2$$

如已知 1 点的高程为 H_1 ，则 2 点的高程为

$$H_2 = H_1 + h_{1.2}$$

这种方法受大气垂直折光影响较大，不宜作建立矿区基本高程控制的主要方法。但在一定密度的直接高程点控制下，却是测定各等级三角点高程的一种主要方法，亦可作为建立小矿区高程控制网的一种方法。

第三节 国家控制网的基本概念

小矿区的控制网一般都是在国家控制网的基础上设立的。这里简略地介绍国家控制网的基本概念。国家控制网分国家水平控制网和国家高程控制网。

一、国家水平控制网的基本概念

(一) 国家水平控制网的布设原则

当前，我国主要用三角测量法建立国家水平控制网，这称为国家三角网。国家三角网布设，需要全面规划，保证精度。我国三角网的布设原则是：

1. 分级布网、逐级控制

建立国家三角网的目的，是要在全国范围建立一个统一的坐标系统。由于我国领土辽阔，地形复杂，不可能用最高精度和较大密度的三角网一次布满全国，而是根据主、次、缓、急而采用分级布网、逐级控制的原则。即先以高精度的稀疏的一等三角锁，纵横交叉地迅速布满全国，形成统一的骨干控制网，然后在一等锁环内逐级布设二、三、四等三角网。

2. 具有足够的精度和密度

锁、网的精度，应根据需要和可能来确定。为了保证国家三角网（锁）的精度，必须对起算元素、观测元素的精度和网中三角形的角度大小，推算元素距起算元素的距离（相隔三角形的个数），作适当的要求和规定。其要求和规定见表 1。

三角点的密度，要根据测图的方法及比例尺的大小而定，各级三角锁网平均边长见表 1。

表 1

等 级	平均边长	测角中误差	三角形最大 闭合差	起始边相对 中误差	最弱边相对 中误差
	公里				
一	20~25	$\pm 0''.7$	$\pm 2''.5$	1:350000	1:150000
二	13	$\pm 1''.0$	$\pm 3''.5$	1:350000	1:150000
三	8	$\pm 1''.8$	$\pm 7''.5$		1:80000
四	2~6	$\pm 2''.5$	$\pm 9''.0$		1:40000

3. 要有统一的规格

由于我国三角网（锁）的规模巨大，必须有大量的测量单位和作业人员划分地区进行作业。为此，必须由国家制定统一的布网方案和作业《规范》，作为测量和建立全国统一的三角网（锁）的依据。

（二）国家三角网（锁）的布设方案

一等三角锁布设方案

一等三角网是国家三角网的骨干，由纵横三角锁交叉构成网

状。三角锁应尽可能沿经纬线方向布设，交叉处设置起始边和测定天文方位角，以控制距离和方位角的误差。两起始边间锁长度一般在200公里，三角边长一般在20公里左右，构成近于等边三角形，大地四边形或中心多边形（如图6）。

二等三角网是扩展三、四等三角测量的基础，布设于一等三角锁环内，用十三公里左右的边长构成全面的三角形网，并用良好图形联接于一等边上。

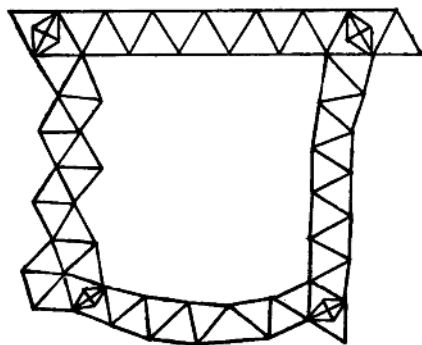


图 6

三、四等三角测量为二等三角网的进一步加密，直接作为测绘地形图和工程测量的控制基础，可以根据具体需要和测区特点采用插网和插点的灵活布设方法。

二、国家高程控制网的基本概念

国家高程控制网是国家的一项基本建设，其任务是测定一系列统一而精确的地面点的高程位置，为测制各种比例尺地图提供高程控制，为矿山、水利及其他工程建设提供高程资料，为科学研究提供资料。

（一）国家高程基准面和水准原点

建立统一的国家高程控制网必须首先解决两个问题，即选择

高程基准面和水准原点。高程基准面的作用是为统一表示地面点高低的基础；水准原点的作用则是能更明显、稳固地代表基准面的具体位置，同时也是国家高程控制网高程传算的统一起始点。

高程基准面的选择，通常采用平均海水面（大地水准面）。平均海水面位置的确定，是在海洋近岸的一点上设立验潮站，利用水位标尺，长期观测水位的升降，根据长期观测的水位高低记录，求出海水面在这点上的位置。我们所指的高程基准面就是通过该点的海水面。

我国的高程基准面，是1956年由青岛验潮站求出的黄海平均海水面。珠穆朗玛峰有8800多米高，就是它比黄海平均海水面高出8800多米。太平洋平均深度4000多米，就是指它比黄海平均海水面低4000多米。以黄海平均海水面起算的高程称为绝对高程或海拔高程（图7）。

把黄海平均海水面的零点高程在岸上固定下来，并把它引到一个埋设极为稳固的水准点上，用精密水准测量求出它高出黄海平均海水面高程为72.289米，并定名为青岛原点。全国各地测量高程时，就同青岛原点作比较，即全国高程控制网都是从这个原点推算的。

（二）国家高程控制网的布设原则

国家高程控制网测量均采用精密水准测量。国家水准网除要求有同一的高程基准面和水准原点外，还必须具有足够的精度和密度。国家水准网同平面控制网一样，采用分级布设、逐级控制的原则。水准测量分为一、二、三、四等四个等级。

从精度方面来说，现行《国家水准测量规范》对各级水准测量的基本精度指标作的规定，如表2。

从密度方面说，国家水准网的密度，主要取决于测图比例尺的大小不同而异。

（三）国家水准网的布设方案

国家水准网的布设方案是根据任务和布设原则来确定的。为了控制水准测量系统误差的积累，同时也为了便于加密，各级水

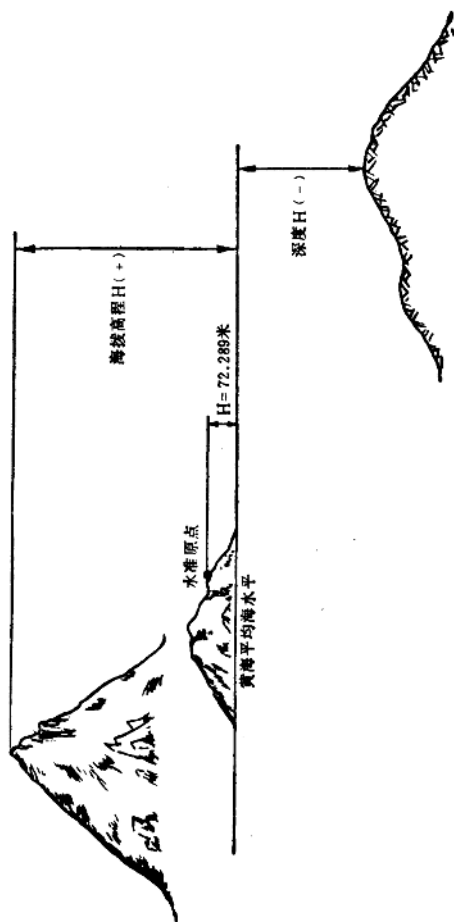


图 7

表 2

等 级	每公里高差中数的偶然中误差 M_{Δ}	每公里高差中数的全中误差 M_{Σ}
一	≤ 0.5 毫米	≤ 1.0 毫米
二	≤ 1.0 毫米	≤ 2.0 毫米
三	≤ 3.0 毫米	≤ 6.0 毫米
四	≤ 5.0 毫米	≤ 10.0 毫米

准路线都应布设成闭合环形或附合于高等水准路线之间。

一等水准路线是国家高程控制的骨干，同时也是研究地面地壳垂直移动及有关科学研究的主要依据。因此，一等水准路线应沿地质构造稳定、交通不太繁密、路面坡度平缓的交通路线布设，并使之逐渐构成环形。

二等水准路线是国家高程控制的基础。因此，二等水准路线应尽可能沿公路、铁路及河流布设，以保证较好的观测条件。其形状亦应形成闭合环。

三、四等水准路线是直接为地形测图和各种工程建设提供必要的高程控制点，是矿区高程控制的基础。

第四节 小型矿区控制网的布设

前面介绍的国家控制网的布设原则和方法，一般都适用于小矿区的控制网布设。但是，小矿区有它自己的特点，在布设小矿区控制网时必须考虑这些特点。

一、小型矿区控制网的布设特点

矿区控制网是为开发整个矿区各个阶段的大比例尺测图和工程施工测量服务的。因而在每一个矿区内都要建立统一的坐标系统和高程系统，以便建立井上、下统一的几何联系。因此，矿区范围内要统一布网。为了了解相邻地区或邻近矿区的几何联系，应采用与邻近测区统一的坐标系统和高程系统，并使之联结起来。

小型矿区控制网的布设尚应注意以下特点：

1. 小型矿区井田范围较小，因而矿区控制面积一般较小，其