

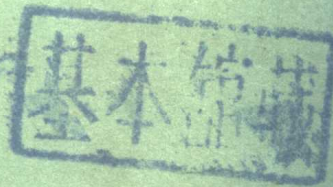
937090

控制测量学

孔祥元 梅是义 主编

高等学校专科教材

KONG
ZHI
CE
LIANG
XUE



测绘出版社

高等学校专科教材

控制测量学

孔祥元 梅是义 主编

测绘出版社

(京)新登字 065 号

内 容 提 要

本书主要介绍国家及工程水平控制网和高程控制网建立的基本原理、方法,基本计算及平差等。不仅详细阐述了基本理论和常规测量方法,又适度地介绍了本学科的最新发展成就。内容丰富,深入浅出,便于自学。

本书可作为高等学校工程测量专业(大专)控制测量学教材,也可供有关专业和工程技术人员参考。

控 制 测 量 学

孔祥元 梅是义 主编

*

测绘出版社出版

北京市大兴五中印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

*

开本 787×1092 1/16·印张 31.75·插页 1·字数 722 千字

1991 年 11 月第一版·1991 年 11 月第一次印刷

印数 0 001—3 500 册·定价 8.30 元

ISBN 7-5030-0444-4/P·154

前 言

本书是根据工程测量专业（大专）现行教学大纲写成的，可作为高等学校工程测量专业（大专）控制测量学教材，也可供有关专业和工程技术人员参考。

本书主要内容是介绍国家及工程水平控制网和高程控制网建立的基本原理、方法，基本计算及平差等。编写时，力求理论联系实际，并注意对学生实际能力的培养，同时适当兼顾本学科的发展。经过武汉测绘科技大学和许多兄弟院校日校和函授多年教学实践，本书全部内容可望在140~160学时内教完。当然，各院校亦可根据各自不同的需要，教学内容作酌情选用。

本教材由孔祥元和梅是义同志主编。共十一章。第一、二、十一章由刘志德同志编写；第三、五章由梅是义同志编写；第四章由周泽远同志编写；第六、七、八章由孔祥元同志编写；第九、十章由魏克让同志编写。本书承清华大学郑国忠副教授、中国矿业大学邢永昌副教授及中南工业大学熊发元副教授初审和复审，他们提出许多宝贵意见和建议，谨致衷心感谢，作者也向为本书的编写做过有益工作的其他同志表示衷心感谢。

本书有关内容主要选材于武汉测绘学院控制测量教研组和同济大学大地测量教研室合编的《控制测量学》（1986年6月第一版）。

由于我们的水平有限，书中难免有不妥和错漏之处，敬望读者予以批评和指正。

编 者

1989年12月

EAC41/09

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 控制测量的任务.....	(1)
1.2 测量工作的基准面.....	(2)
1.3 平面控制网的布设形式.....	(3)
1.4 国家控制网的布设原则和方案.....	(6)
1.5 工程控制网的布设原则和方案.....	(12)
1.6 控制测量的现代发展概况.....	(14)
第二章 水平控制网的布设	(23)
2.1 水平控制网精度估算的目的和方法.....	(23)
2.2 三角网的精度估算.....	(25)
2.3 导线网的精度估算.....	(38)
2.4 任意边角网的点位误差的概念.....	(51)
2.5 控制网优化设计的概念.....	(54)
2.6 水平控制网的技术设计.....	(56)
2.7 水平控制网的选点、选标、埋石.....	(60)
第三章 精密测角仪器和水平角观测	(69)
3.1 经纬仪的基本构造.....	(69)
3.2 精密光学经纬仪威特 T ₂ 的构造特点.....	(70)
3.3 威特 T ₂ 光学经纬仪的读数光学系统.....	(75)
3.4 威特 T ₂ 光学经纬仪的检验.....	(79)
3.5 威特 T ₂ 光学经纬仪垂直度盘和垂直角计算公式.....	(84)
3.6 垂直度盘指标自动归零的补偿原理.....	(85)
3.7 几种常用的 J ₂ 型光学经纬仪.....	(87)
3.8 电子经纬仪和电子测角原理.....	(90)
3.9 经纬仪的视准轴误差和水平轴倾斜误差.....	(94)
3.10 经纬仪的垂直轴倾斜误差.....	(99)
3.11 精密测角的误差来源及其影响.....	(102)
3.12 方向观测法及其测站平差.....	(108)
3.13 分组方向观测及其测站平差.....	(116)
3.14 偏心观测与归心改正.....	(119)
3.15 观测工作的实施.....	(125)

第四章 电磁波测距	(127)
4.1 概述	(127)
4.2 载波及电光调制、光电转换	(138)
4.3 相位法测距的基本原理和基本公式	(144)
4.4 自动数字测相	(149)
4.5 脉冲法测距的基本原理	(153)
4.6 电磁波测距仪的合作目标——全反射棱镜	(156)
4.7 电磁波测距仪的使用	(157)
4.8 电磁波测距仪的检验	(172)
4.9 测距成果的改正计算	(191)
4.10 光电测距的误差来源及精度估计	(195)
4.11 微波测距概要	(198)
第五章 高程控制测量	(204)
5.1 高程控制网的布设及国家高程基准	(204)
5.2 精密水准仪和水准尺	(207)
5.3 精密水准仪的检验	(213)
5.4 精密水准标尺的检验	(223)
5.5 补偿式精密自动安平水准仪	(226)
5.6 补偿式精密自动安平水准仪的误差及其检验	(233)
5.7 精密水准测量的主要误差来源及其影响	(237)
5.8 精密水准测量的实施	(244)
5.9 正常水准面不平行性及其改正数计算	(249)
5.10 水准测量的概算	(252)
5.11 流体静力水准测量	(256)
5.12 三角高程测量	(257)
第六章 地面观测元素归算至椭球面	(266)
6.1 地球椭球的基本元素及其相互关系	(266)
6.2 椭球面上的常用坐标系及其相互关系	(268)
6.3 椭球面上的几种曲率半径	(271)
6.4 椭球面上的弧长计算	(277)
6.5 大地线	(280)
6.6 将地面观测的方向值归算至椭球面	(282)
6.7 将地面测量的长度归算至椭球面	(287)
6.8 关于大地主题解算的基本概念	(290)
第七章 椭球面元素归算至高斯平面——高斯投影	(294)
7.1 高斯投影概述	(294)
7.2 正形投影的一般条件	(299)

7.3	高斯投影坐标正、反算公式	(302)
7.4	高斯投影坐标计算的实用公式及算例	(309)
7.5	平面子午线收敛角公式	(317)
7.6	方向改化公式	(321)
7.7	距离改化公式	(326)
7.8	高斯投影的邻带换算	(333)
7.9	不同坐标系间平面直角坐标换算的概念	(343)
7.10	工程测量投影面与投影带选择的概念	(349)
第八章	控制测量概算	(354)
8.1	概算的准备工作	(354)
8.2	观测成果化至标石中心的计算	(357)
8.3	观测值归化至椭球面上的计算	(361)
8.4	椭球面上的观测值化至高斯平面上的计算	(370)
8.5	依控制网几何条件检查观测质量	(373)
8.6	资用坐标计算	(378)
第九章	控制网条件平差	(381)
9.1	控制网平差的数学模型	(381)
9.2	三角网的条件及条件方程式	(383)
9.3	测边网的条件及条件方程式	(391)
9.4	边角网的条件及条件方程式	(398)
9.5	带有未知数的条件方程式	(403)
9.6	非独立三角网按方向条件平差算例	(408)
9.7	非独立测边网按条件平差算例	(417)
9.8	边角网按条件平差算例	(422)
第十章	控制网间接平差	(429)
10.1	三角网误差方程式	(429)
10.2	史赖伯法则	(432)
10.3	测边网与边角网误差方程式	(434)
10.4	边角网平差中权的确定	(438)
10.5	带有条件的间接平差	(441)
10.6	三角网按方向坐标平差算例	(443)
10.7	测边网坐标平差算例	(452)
10.8	边角网按方向坐标平差算例	(458)
第十一章	用微型电子计算机进行控制网的计算与平差	(467)
11.1	程序设计中使用的平差方法	(467)
11.2	整型数的压缩存贮	(467)
11.3	关于网形数字化的概念	(468)

11.4 关于平面控制网概算中近似坐标的算法.....	(470)
11.5 平差程序中误差方程式和法方程式的存贮.....	(472)
11.6 关于未知数协因数阵的存贮.....	(473)
11.7 平面控制网平差程序举例.....	(473)

第一章 绪 论

1.1 控制测量的任务

控制测量是为工程建设服务的，因而是同工程建设的进程密切相关的。一项工程的建设过程大体上可分为三个阶段：设计阶段、施工阶段和运营阶段。现就这三个阶段中控制测量的具体任务分述如下：

1. 在设计阶段建立供测绘各种大比例尺地形图使用的工测控制网。

由于在这一阶段，设计人员需要各种比例尺的地形图，以便在图上确定建筑物的位置，并进行量算，以求得设计所依据的各项数据。因此，控制测量的任务是建立具有适当规模和足够精度的控制网，以保证地形图的精度和分别测绘的各幅地形图之间的准确拼接。这种控制网属于工测控制网。

2. 在施工阶段，建立具有必要精度的施工控制网。

在这一阶段，需要将图纸上设计的建筑物放样到实地上去，以便指导施工的进行，这就是施工测量的主要内容。施工测量的具体任务因不同工程的需要而异。例如，隧道施工测量的主要任务，是保证对向开挖的隧道能够按照规定的精度正确地贯通，并使各项建筑物按照设计的位置修建。在施工放样过程中，利用仪器所安置的方向、距离都是依据逐级布设的控制网计算出来的。因而在施工放样之前，需建立具有必要精度的施工控制网。

3. 在工程竣工后的运营阶段，建立以监视建筑物变形为目的的变形观测专用控制网。

由于在工程施工阶段改变了地面的原有状态，建筑物本身的重量对于地基施加了一定的作用力，因而会引起地基及其周围地层的变形。此外，建筑物本身及其基础，也由于地基的变形及外部荷载与内部应力的作用而产生变形。这种变形，如果超过了某一限度，就会影响建筑物的正常使用，严重的还会危及建筑物的安全。因此，在运营阶段，需对某些有怀疑的建筑物的变形进行监视，如果采用控制测量的方法，则需在建筑物本身或其周围适当的地点，埋设一些测量标志，定期进行观测。为此需要布设专用的变形观测控制网。由于建筑物的变形量一般都很小，为了能够测出这些微小的变形，要求这种控制网本身应有较高的精度。

上述2、3阶段布设的两种控制网均属于专用控制网。

根据以上所述，可见控制测量对于工程建设是必不可少的。控制测量学的主要内容就是研究在局部地区建立工程控制网的原理和方法。

1.2 测量工作的基准面

1.2.1 大地水准面

1. 铅垂线、水准面

地球上的任一点，都同时受到两个作用力：其一，是地球自转产生的离心力；其二，是地心引力；它们的合力即为重力(图 1-1)。重力的作用方向即为铅垂线方向。

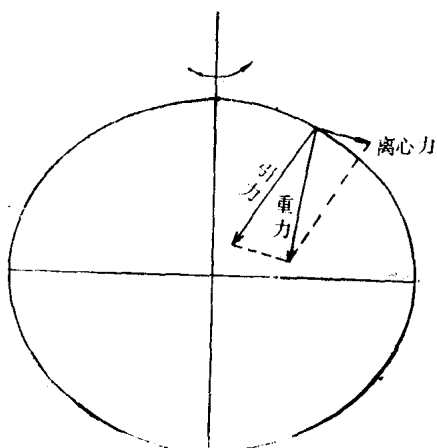


图 1-1

处于静止状态的水面称为水准面。例如，平静的湖泊中的水面就是一个水准面。水准面必然处处与重力方向（即铅垂线）垂直，否则水就要流动从而水面将发生变化。在地球表面上重力作用的范围内，通过任何高度的点上都有一个水准面。

观测水平角时，置平经纬仪之后，仪器的纵轴位于铅垂线方向，水平度盘所在的平面，就是水准面的切平面。因此，所测的水平角实际上就是观测方向线在水准面上投影线之间的夹角。此外，用水准测量方法观测所得两点间的高差，也就是过这两

点的水准面间的垂直距离。以上这些，都说明铅垂线和水准面是测量外业所依据的基准线和基准面。

2. 大地水准面

根据以上所述，人们自然会想到，对于同一个观测对象（角度、边长或点的高程）而言，如果选用不同的水准面作为基准面，所得出的观测结果是否相同的问题？经研究证明，对于两个方向之间的夹角，在不同高度的水准面上，其大小可以认为是不变的，但对于长边和点的高程而言，其结果将随选取基准面的不同而发生变化。尤其是后者，显然根据不同的水准面观测所得同一点的高程是不一样的。于是，为了使不同测量部门所得出的外业成果能够互相比较，互相统一，互相利用，有必要选择一个最有代表性的水准面作为外业成果的共同基准面。

我们知道海洋面积占地球总面积的 71%，所以静止的海水面是地球上最广大的天然的水准面。我们设想把这个海水面扩展，延伸到大陆下面，形成一个包围整个地球的曲面。我们称这个水准面为大地水准面。它所包围的形体称为大地体。由于大地水准面的形状和大地体的大小均接近地球自然表面的形状和大小，并且它的位置是比较稳定的，因此，我们就选取大地水准面作为测量工作的基准面。

1.2.2 参考椭球面

虽然大地水准面最适合于作为测量外业的基准面，但是控制测量的最终目的是要精确地决定控制点在地球表面上的位置，而要计算点的位置必须知道所依据的基准面的形状。

也就是，基准面的形状要能用数学式子准确地表达出来。然而大地水准面是否能满足这一要求呢？研究表明，大地水准面是略有起伏的不规则的表面，无法用数学公式把它精确地表达出来，因而也就不确知其形状。

这是由于地表起伏以及地层内部密度的变化造成质量分布不均匀的缘故。

例如图 1-2 中，高山的右侧是一片谷地，且山体的下部有重金属铀矿，造成左、右两侧局部质量分布的较大差异，因而左侧引力增加，铅垂线向左偏斜则大地水准面稍微隆起（如虚线所示），呈现出不规则的变化。

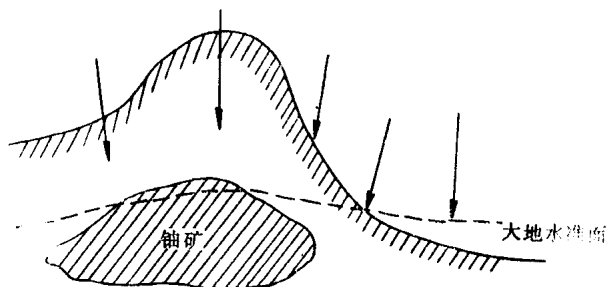


图 1-2

随着科学技术的发展，人类逐渐认识到地球的形状极近于一个两极略扁的旋转椭球（一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体），而对于旋转椭球面，可以用较简单的数学式子将它准确地表达出来。因而世界各国通常均采用旋转椭球代表地球的形状，并称其为“地球椭球”（图 1-3）。它的大小和形状可用长半径 a 和短半径 b 或扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来表示。与大地体最接近的地球椭球，称为总地球椭球，简称总椭球。所谓最接近是指地球椭球的大小、形状及其相对于大地体的位置应满足以下条件：

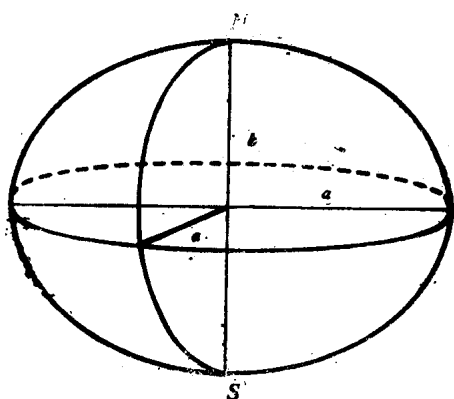


图 1-3

1. 总椭球的中心与地球质心重合；

2. 总椭球旋转轴与地球自转轴重合，赤道与地球赤道重合；

3. 总椭球的体积与大地体的体积相等，大地水准面与椭球面之间的高差平方和为最小。

总椭球的确定，必须以全球范围的大地测量和重力测量资料为根据才有可能。然而由于地球上海洋的面积约占71%，因而过去许多国家只能根据占少数的陆地之上的测量成果推算出与本国大地水准面密切配谷的椭球面，作为测量计算的基准面。这种椭球称为参考椭球。由此可见，参考椭球有许多个，而总椭球只有一个。近年来，随着科学技术的迅速发展，尤其是人卫大地测量技术的不断进步，人们已趋向使用总地球椭球，并且已根据人造卫星和陆地大地测量的成果求出一些总地球椭球的数据供使用。我国从 1949 年以来一直采用苏联的克拉索夫斯基椭球。

1.3 平面控制网的布设形式

平面控制网的布设形式主要有以下几种：

1.3.1 三角网

1. 网形

在地面上选定一系列点位 1, 2, 3 …… 使每一点通视。把它们按三角形的形式联接起来即构成三角网。如果测区范围较小, 可以把测区所在的一部分椭球面近似看作平面, 则该

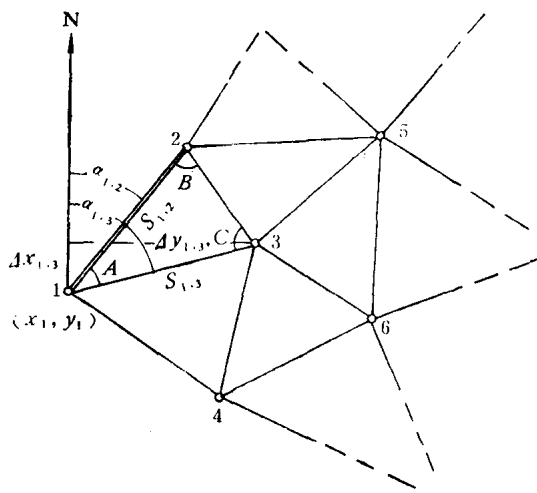


图 1-4

三角网即为平面上的三角网(图 1-4)。三角网中的观测是网中的全部(或大部分)方向值(有关方向值的观测方法见第三章), 图 1-4 中每条实线表示两个方向。根据方向值即可算出任意两个方向的夹角。

若已知点 1 的平面坐标 (x_1, y_1) , 点 1 至点 2 的平面边长 $S_{1,2}$, 坐标方位角 $\alpha_{1,2}$, 便可用正弦定理依次推算出所有三角网的边长、各边的坐标方位角、各点的平面坐标。这就是三角测量的基本原理和方法。

以图 1-4 为例, 待定点 3 的坐标可按下式计算

$$S_{1,3} = S_{1,2} \frac{\sin B}{\sin C}$$

$$\alpha_{1,3} = \alpha_{1,2} + A$$

$$\Delta x_{1,3} = S_{1,3} \cos \alpha_{1,3}$$

$$\Delta y_{1,3} = S_{1,3} \sin \alpha_{1,3}$$

$$x_3 = x_1 + \Delta x_{1,3}$$

$$y_3 = y_1 + \Delta y_{1,3}$$

即由已知的 $S_{1,2}$, $\alpha_{1,2}$, x_1 , y_1 , 和各角观测值的平差值 A , B , C 可推算求得 x_3 , y_3 。同理可依次求得三角网中其它各点的坐标。

2. 起算数据和推算元素

为了得到所有三角点的坐标, 必须已知三角网中某一点的起算坐标 x_1, y_1 , 某一起算边长 $S_{1,2}$, 和某一边的坐标方位角 $\alpha_{1,2}$ 。我们把这三个起算数据统称为三角测量的起算数据。在三角点上所观测的水平角(或方向)是三角测量的观测元素。由起算数据和观测元素的平差值所推算出来的三角网边长、坐标方位角和三角点的坐标统称为三角测量的推算元素。

3. 工程测量中三角网起算数据的获得

工程测量中, 三角网起算数据可由下列方法求得:

1) 起算边长

当测区内已有国家三角网（或其它单位施测的三角网）时，若其精度满足工程测量的要求，则可利用国家三角网边长作为起算边长。若已有网边长精度不能满足工程测量的要求（或无已有的边长可利用时），则可采用电磁波测距仪直接测量三角网某一边或某些边的边长，作为起算边长。

2) 起算坐标

当测区内有国家三角网（或其它单位施测的三角网）时，则由已有的三角网传递坐标。若测区附近无三角网成果可供利用，则可在一个三角点上用天文测量方法测定其经纬度，再换算成高斯平面直角坐标，作为起算坐标（关于换算方法、原理将在第七章介绍）。保密工程或小测区也可采用假设坐标系统。

3) 起算方位角

当测区附近已有控制网时，则可由已有网传递方位角。若无已有网成果可供利用时，可用天文测量方法测定三角网某一边的天文方位角作起算方位角。或用陀螺经纬仪测定起算方位角。

4. 独立网与非独立网

当三角网中只有必要的一套起算数据（一条起算边，一个起算方位角和一个起算点的

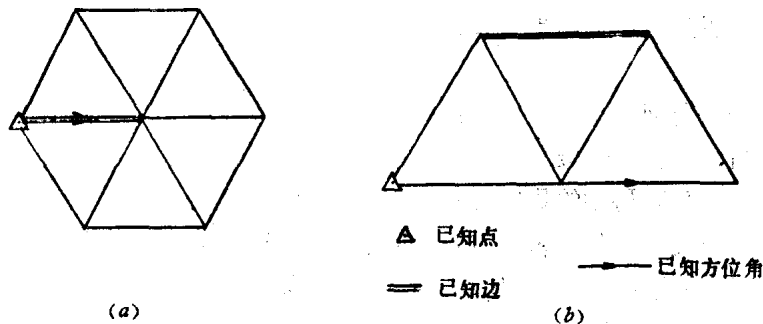


图 1-5

坐标)时，这种网称为独立网。例如图 1-5 中各网都是独立网，其中(a)称为中点多边形，是常用的一种典型图形。

如果三角网中具有多于必要的一套起算数据时，则这种网称为非独立网，例如图 1-6 为相邻两三角形中插入两点的典型图形。A、B、C和D都是一级的已知三角点，其坐标、边长和坐标方位角都是已知的，因此这种三角网的起算数据多于一套，所以称为非独立网（又称为附合网）。P与Q为待定的低一级的三角点。

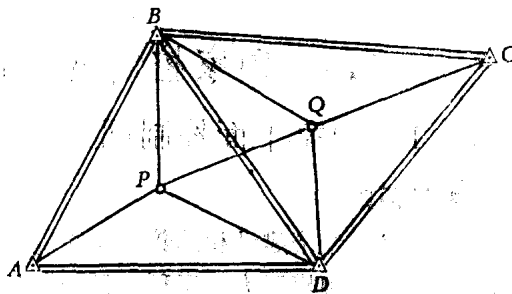


图 1-6

1.3.2 导线网

导线网是目前工测控制网较常用的一种布设形式，它包括单一导线和具有一个或多个

结点的导线网。网中的观测值是角度（或方向）和边长。独立网的起算数据是一个起算点的 x 、 y 坐标和一个方向的方位角。

导线网与三角网相比，主要优点在于：

1) 网中各点上的方向数较少，除节点外只有两个方向，因而受通视要求的限制较小，易于选点和降低觇标高度，甚至无须造标。

2) 导线网的图形非常灵活，选点时可根据具体情况随时改变。

3) 网中的边长都是直接测定的，因此边长的精度较均匀。

导线网的缺点主要是：导线网中的多余观测数较同样规模的三角网要少，难于发现观测值中的粗差，因而可靠性不高。

由上述可见，导线网特别适合于障碍物较多的平坦地区或隐蔽地区。

1.3.3 边角网和测边网

边角网是指既测角又测边的网。如果只测边而不测角即为测边网。网中的基本图形可以是三角形或多边形。实际上导线网也可以看作是边角网的特殊情况。

上述三种布设形式中，三角网早在 17 世纪时即被采用。随后经过前人不断研究、改进，无论从理论上还是实践上逐步形成一套较完善的控制测量方法，这就是“三角测量”。由于这种方法主要使用经纬仪完成大量的野外观测工作，所以在电磁波测距仪尚未广泛采用的年代，三角网是布设各级控制网的主要形式。三角网的主要优点是：图形简单，网的精度较高，有较多的检核条件，易于发现观测中的粗差，便于计算。缺点是在平原地区或隐蔽地区易受障碍物的影响，布网困难较大，有时不得不建造较高的觇标。

随着电磁波测距仪的不断完善和普及，导线网和边角网逐渐得到广泛的应用。尤其是前者，目前在平原或隐蔽地区已基本上代替了三角网作为工测等级控制网。由于完成一个测站上的边长观测通常要比方向观测容易，因而当要求控制网的点位精度比导线网的点位精度高而且仪器设备和测区通视条件都允许的情况下，也可布设完全的测边网；或者在精度要求更高的情况下（例如精密的变形监视测量），可布设边角全测的控制网。

1.4 国家控制网的布设原则和方案

1.4.1 国家平面控制网

1. 布设原则

为了满足我国经济建设和国防建设的需要，而在 960 万平方公里的领土上，建立的国家控制网，是一项规模巨大的工程，是一项基本建设。布设前需要全面规划，统筹安排。因此建立国家网时，首先应根据我国具体情况，制定适当的布设原则和布设方案，用以指导建网工作。

我国的国家网布设原则是：1) 分级布网，逐级控制；2) 应有足够的精度；3) 应有足够的密度；4) 应有统一的规格。现进一步论述如下。

1) 分级布网、逐级控制

我国领土辽阔，地形复杂，不可能用最高精度和较大密度的控制网一次布满全国。为了适时地保障国家经济建设和国防建设用图的需要，根据主次缓急而采用分级布网、逐级控制的原则是十分必要的。即先以高精度而稀疏的一等三角锁，尽可能沿经纬线方向纵横交叉地迅速布满全国，形成统一的骨干大地控制网，然后在一等锁环内逐级（或同时）布设二、三、四等控制网。

2) 应有足够的精度

控制网的精度应根据需要和可能来确定。作为国家大地控制网骨干的一等控制网，应力求精度更高些，有利于为科学研究提供可靠的资料。

为了保证国家控制网的精度，必须对起算数据和观测元素的精度、网中图形角度的大小等等，提出适当的要求和规定。这些要求和规定均列于《国家三角测量和精密导线测量规范》（以下简称国家规范）中。

3) 应有足够的密度

控制点的密度，主要根据测图方法及测图比例尺的大小而定。比如，用航测方法成图时，密度要求的经验数值见表 1-1。表中的数据主要是根据经验得出的。

由于控制网的边长与点的密度有关，所以在布设控制网时，对点的密度要求是通过规定控制网的边长而体现出来的。对于三角网而言边长 S 与点的密度（每个点的控制面积）

各种比例尺航测成图时对平面控制点的密度要求

表 1-1

测图比例尺	每幅图要求点数	每个三角点控制面积	三角网平均边长	等级
1:50000	3	约150km ²	13km	二等
1:25000	2~3	约50km ²	8km	三等
1:10000	1	约20km ²	2-6km	四等

Q 之间的近似关系为 $S \approx 1.07\sqrt{Q}$ 。将表 1-1 中的数据代入此式得出

$$S = 1.07\sqrt{150} \approx 13 \text{ km}$$

$$S = 1.07\sqrt{50} \approx 8 \text{ km}$$

$$S = 1.07\sqrt{20} \approx 5 \text{ km}$$

因此国家规范中规定，国家二、三等三角网的平均边长分别为 13km 和 8 km。

4) 应有统一的规格

由于我国三角锁网的规模巨大，必须有大量的测量单位和作业人员分区同时进行作业，为此，必须由国家制定统一的大地测量法式和作业规范，作为建立全国统一技术规格的控制网的依据（见本目 2，4）。

2. 布设方案

我国国家平面控制网的施测开始于 50 年代中期，根据当时的测绘技术水平，我国决定采取传统的三角网作为水平控制网的基本形式，只是在青藏高原特殊困难的地区布设了

一等电磁波测距导线。现将国家三角网的布设方案和精度要求概略介绍如下。

1) 一等三角锁布设方案

一等三角锁是国家大地控制网的骨干，其主要作用是控制二等以下各级三角测量，并为研究地球形状和大小提供资料。

一等三角锁尽可能沿经纬线方向布设成纵横交叉的网状图形，如图 1-7 所示。在一等锁交叉处设置起算边，以获得精确的起算边长，并可控制锁中边长误差的积累，起算边长度测定的相对中误差 $\frac{m_b}{b} < 1:350000$ 。多数起算边的长度是采用基线测量的方法求得的。

随着电磁波测距技术的发展，后来少数起算边的测定已为电磁波测距法所代替。

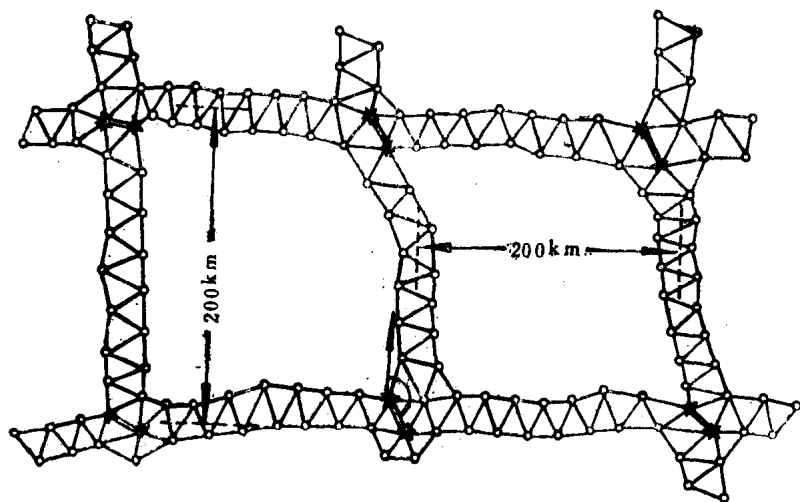


图 1-7

一等锁在起算边两端点上精密测定了天文经纬度和天文方位角，作为起算方位角，用来控制锁、网中方位角误差的积累。一等天文点测定的精度是：纬度测定中误差 $m_\delta \leq \pm 0.3''$ ，经度测定中的误差 $m_\lambda < \pm 0.02 s$ ，天文方位角测定的中误差 $m_\alpha < \pm 0.05''$ 。

一等锁两起算边之间的锁段长度一般为 200 km 左右，锁段内的三角形个数一般为 16 ~ 17 个。角度观测的精度，按一锁段三角形闭合差计算所得的测角中误差应小于 $\pm 0.7''$ 。

一等锁一般采用单三角锁。根据地形条件，也可组成大地四边形或中点多边形，但对于不能显著提高精度的长对角线应尽量避免。一等锁的平均边长，山区一般约为 25 km，平原区一般约为 20 km。

2) 二等三角锁、网布设方案

二等三角网是在一等锁控制下布设的，它是国家三角网的全面基础，同时又是地形测图的基本控制。因此，必须兼顾精度和密度两个方面的要求。

60 年代以前，我国二等三角网曾采用二等基本锁和二等补充网的布置方案。即在一等锁环内，先布设沿经纬线纵横交叉的二等基本锁(图 1-8)，将一等锁环分为大致相等的四个区域。二等基本锁交叉处测量基线。按三角形闭合差计算所得的测角中误差小于 $\pm 1.2''$ 。

在一等三角锁和二等基本锁控制下，布设平均边长约为 13 km 的二等补充网。按三角

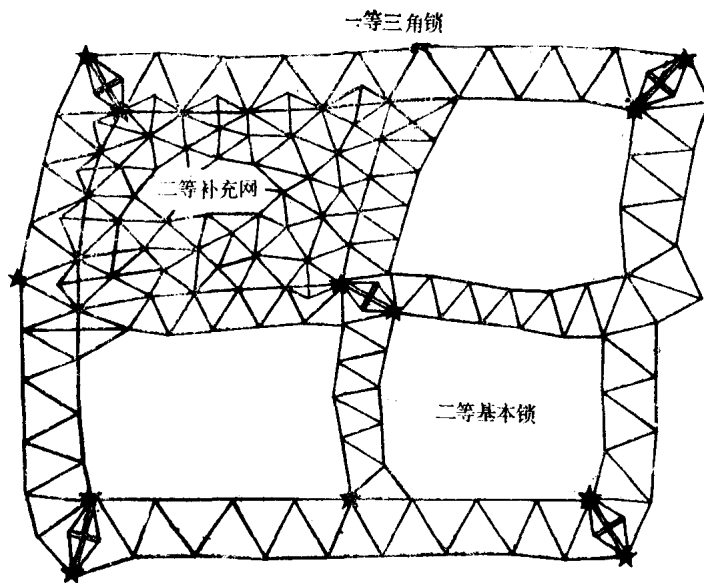


图 1-8

形闭合差计算所得的测角中误差小于 $\pm 2.5''$ 。

60年代以来，二等网以全面三角网的形式布设在一等锁环内，四周与一等锁衔接，如图 1-9 所示。

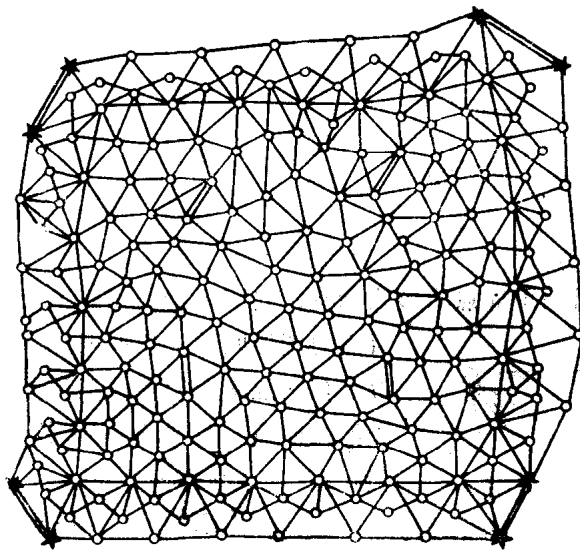


图 1-9

为了控制边长和角度误差的积累，以保证二等网的精度，在二等网中央处测定了起算边及其两端点的天文经纬度和方位角，测定的精度与一等点相同。当一等锁环过大时，还在二等网的适当位置，酌情加测了起算边。

二等网的平均边长为 13 km，由三角形闭合差计算所得的测角中误差小于 $\pm 1.0''$ 。