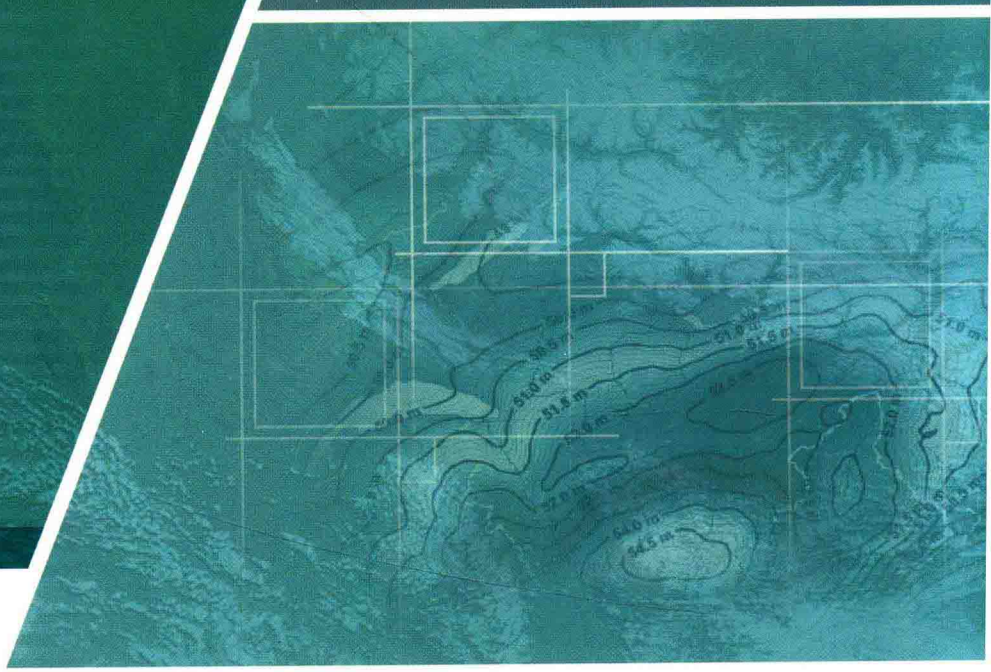
全国高等职业教育“十三五”规划教材

控制测量

冯新顶　任建设　主编

Kongzhi Celiang



中国矿业大学出版社
国家一级出版社　全国百佳图书出版单位

育“十三五”规划教材

控制测量

主　编　冯新顶　任建设
副主编　许江涛　付　帅



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了国家控制网的布设原则和方案、工程控制网技术设计、精密测角仪器和水平角观测、精密导线测量、精密水准测量与三角高程测量、GNSS控制测量、参考椭球和高斯投影计算等。本书紧密结合目前测绘行业新仪器、新技术的应用，具有较强的实用性。

本书是高等职业技术学院、高等专科院校工程测量技术专业的教学用书，也可作为中等专业学校、成人教育学院和技工学校测绘类各相关专业的教材，亦可作为测绘工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

控制测量/冯新顶，任建设主编. —徐州：中国矿业大学出版社，2018.1

ISBN 978-7-5646-3886-3

Ⅰ. ①控… Ⅱ. ①冯… ②任… Ⅲ. ①控制测量—高等职业教育—教材 Ⅳ. ①P221

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第015121号

书　　名 控制测量
主　　编 冯新顶　任建设
责任编辑 何晓明　孙建波
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
（江苏省徐州市解放南路　邮编221008）
营销热线 (0516)83885307　83884995
出版服务 (0516)83885767　83884920
网　　址 http://www.cumtp.com　**E-mail**:cumtpvip@cumtp.com
印　　刷 江苏淮阴新华印刷厂
开　　本 787×1092　1/16　**印张** 12　**字数** 300千字
版次印次 2018年1月第1版　2018年1月第1次印刷
定　　价 28.00元

（图书出现印装质量问题，本社负责调换）

前　言

本书是按照高等职业院校工程测量专业人才培养方案及控制测量教材编写大纲所编写的，是全国煤炭高等职业教育“十三五”规划教材之一。近年来，自动化精密测量仪器以及空间大地测量技术的迅速发展，使控制测量的内容发生了很大变化。特别是以GNSS卫星定位技术为代表的空间大地测量技术的发展和运用，极大地促进了控制测量的发展，并大大丰富了课程内容。

本教材紧密结合高职高专教育教学和测绘行业生产实际，为充分体现高职高专教育的特色，在编写过程中力求概念清晰、深入浅出、联系实际、突出实用，本着基础知识“够用”的原则，着重介绍了现代测绘学中新技术、新方法的应用，如全站仪、数字水准仪、GNSS等内客。

本书由冯新顶、任建设任主编，许江涛、付帅任副主编。教材具体编写任务分工如下：项目一、项目二、项目三由河南工业和信息化职业学院冯新顶编写；项目四中的任务一至任务五由甘肃能源化工职业学院付帅编写；项目五由河南工业和信息化职业学院许江涛编写；项目四中的任务六至任务八、项目六由河南省中纬测绘规划信息工程有限公司任建设编写。冯新顶负责全书的统编定稿。

在本书编写过程中，得到了河南工业和信息化职业学院、甘肃能源化工职业学院、河南省中纬测绘规划信息工程有限公司和郑州华祥测绘公司的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编写人员水平有限，加之时间仓促，书中疏漏和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正，以便本书在今后修订中更加完善。

编　者

2017年8月

目 录

项目一 控制测量概述和水平控制网的布设 …… 1
任务一 控制测量的作用及任务 …… 1
任务二 控制网的布设方法 …… 3
任务三 水平控制网的布设原则和方案 …… 6
任务四 高程控制网的布设原则和方案 …… 11
任务五 工程控制网技术设计 …… 13
思考与练习 …… 21

项目二 精密测角仪器和水平角观测 …… 22
任务一 全站仪的认识和使用 …… 22
任务二 精密光学经纬仪的认识和使用 …… 29
任务三 经纬仪的三轴误差及 J_2 经纬仪的检验 …… 38
任务四 精密测角的误差影响 …… 42
任务五 方向观测法及测站平差 …… 46
任务六 偏心观测与归心改正 …… 55
思考与练习 …… 61

项目三 精密导线测量 …… 63
任务一 导线测量及其布设原则与方案 …… 63
任务二 精密导线测量外业 …… 69
任务三 精密导线测量内业 …… 74
思考与练习 …… 79

项目四 精密水准测量与三角高程测量 …… 81
任务一 国家高程基准和水准原点 …… 81
任务二 精密水准尺和水准仪 …… 83
任务三 精密水准尺和水准仪的检验与校正 …… 93
任务四 精密水准测量的主要误差来源及其影响 …… 101
任务五 精密水准测量的实施 …… 106

任务六　正常水准面不平行性及其高程系统…… 112
任务七　水准测量概算…… 116
任务八　三角高程测量…… 123
思考与练习…… 131

项目五　GNSS 控制测量…… 132
任务一　GNSS 定位基本原理…… 132
任务二　GNSS 控制测量技术设计…… 140
任务三　GNSS 静态控制测量…… 144
任务四　GNSS 动态控制测量…… 157
思考与练习…… 166

项目六　参考椭球和高斯投影计算…… 167
任务一　地球的形体和测量工作的基准线与基准面…… 167
任务二　常用坐标系和参考椭球定位…… 170
任务三　高斯投影直角坐标系…… 175
任务四　高斯投影正反算和高斯坐标换带计算…… 178
思考与练习…… 182

参考文献…… 184

项目一　控制测量概述和水平控制网的布设

任务一　控制测量的作用及任务

【知识要点】　控制测量的概念；控制测量的作用；控制测量的任务。

【技能目标】　能够理解控制测量的概念、作用和基本任务。



任务导入

根据测量工作“从整体到局部，先控制后碎步”的原则，无论做哪项工作，都需要进行控制测量，本任务主要了解控制测量的概念、作用和基本任务。



任务分析

了解控制测量的概念从了解控制点的概念开始，控制测量有广义和狭义之分，最终目的都是确定地面点的空间位置，但其基本任务有所不同。



相关知识

一、控制测量的概念

测量工作中，在地面上布置的具有控制意义的点称为控制点。控制点所构成的几何图形称为控制网。精确测定控制点点位的工作称为控制测量。

控制测量分为平面控制测量和高程控制测量，前者是测定控制点的平面坐标，后者是测定控制点的高程。

广义的控制测量包括大地控制测量和工程控制测量。

在全国广大的区域内，按照国家统一颁发的法式、规范进行的控制测量称为大地控制测量，简称大地测量，建立的控制网叫国家大地控制网。网中的控制点称为大地控制点，简称大地点。

在一定的范围内，按照测量任务所要求的精度，在国家大地控制网的基础上测定一系列地面点的水平位置和高程，这种控制测量称为工程控制测量。由这些点位构成的网形称为工程控制网，简称控制网。

狭义的控制测量指的是工程控制测量。目前，国家大地控制网已经完成，再进行控制测量，一般是为某项工程服务，因此，日常工作中所说的控制测量即指工程控制测量。

二、控制测量的作用及任务

（一）控制测量的作用

地形测图时，为了确保测区内地物、地貌在图面上的精度均匀一致，便于分工测量，使分片施测的碎部能准确地连接成一个整体，需要以控制测量为基础进行碎步测量。控制网是从高级到低级进行布设的，布设低等级控制网是以高等级控制网为基础进行的。国家高等级的控制网，比如国家一等三角网（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，起着控制全局的作用，并为地球科学研究提供资料。某测区的等级控制，对于本测区来说，也起着控制全局的作用。在控制网由近到远的施测过程中，控制点的精度逐渐降低，经过多余观测并平差计算后，可以使同等级控制点精度相同，从而减少测量误差的传递和积累。

因此，控制测量的主要作用在于：在测量工作中起基础作用，控制全局的作用，限制测量误差传递和积累的作用。

（二）控制测量的任务

1. 大地控制测量的任务

大地控制测量是通过在广大区域内建立大地控制网，精确测定大地控制点的坐标，用于对地球形状和大小以及地球重力场的研究与测定。

国家大地控制网由国家水平控制网和国家高程控制网两部分组成，前者是测定网中各大地点的大地坐标（大地经度 L 和大地纬度 B）或高斯平面直角坐标（x，y），后者是测定网中各大地点的高程。

大地控制测量的任务：

（1）为地形测图和大型工程测量提供基础控制。

（2）为空间科学技术和军事用途提供有关数据。

（3）为研究地球形状大小和其他地球物理科学问题提供重要资料。

2. 工程控制测量的任务

工程控制测量是在一定的范围内建立工程控制网，精确测定控制点的坐标，用于地球表面较小区域内地形测绘、工程施工放样及建筑物变形观测等测绘工作。

在工程建设过程中，大体上可分为设计、施工和运营三个阶段。各阶段工程控制测量的任务是：

（1）在设计阶段建立测图控制网，作为测绘各种大比例尺地形图的依据。

（2）在施工阶段建立施工控制网，作为施工放样、工程测量的依据。

（3）在运营阶段建立变形观测控制网，作为建筑物变形观测的依据。

在工程施工过程中以及工程竣工后，建筑物本身及附带设备的重量会引起地基及其周围地层不均匀变化，建筑物有可能产生变形，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，需要布设变形观测控制网，对建筑物进行变形观测，确保建筑物的安全使用。

上述的施工控制网和变形观测控制网统称为专用控制网。

控制测量中的各种数据，按其来源和作用可以分成三类：起始数据、观测数据和推算数据。一般来说，控制测量的起始数据（已知数据）是大地测量成果提供的；控制测量的观测数据是通过外业观测获取的；控制测量的推算数据是根据起始数据和观测数据推算出来的。

控制测量的推算数据也就是普通测量所需要的起始数据。

任务实施

本任务中基本概念和专业术语较多，结合现实工作情况对概念进行理解性记忆和掌握。

任务二　控制网的布设方法

【知识要点】　水平控制网的布设方法；高程控制网的布设方法。

【技能目标】　能够了解水平控制网和高程控制网的基本布设方法。

任务导入

控制网是测量控制点所构成的几何图形，它包括水平（平面）控制网和高程控制网。控制网的布设形式多种多样，不同的历史时期，伴随着仪器的发展，控制网的布设方法也各有不同，本任务主要了解水平控制网和高程控制网的布设方法。

任务分析

中华人民共和国成立初期，我国的测量控制网及相关测量资料一片空白，为了尽快满足国防、科研及国民经济建设对测量控制网的需求，从苏联远东地区联测一等三角锁（网），并遵循由高级到低级、从整体到局部的布网原则，在全国范围内布设天文网和三角网。随着电磁波测距仪和全站仪的普及和应用，精密导线测量已成为布设水平控制网的主要方法。伴随着卫星定位技术的出现与应用，GNSS 控制网成为目前控制网的主要形式。高程控制网的布设方法主要是几何水准测量和三角高程测量，目前 GNSS 高程控制网也经常使用。

相关知识

一、水平控制网的布设方法

（一）天文测量

天文测量是根据天体的运动规律，在测站点上用天文测量仪器通过观测太阳或其他恒星的高度和方位，并记录观测的时刻，从而确定测站点的天文经度、天文纬度和测站点至某一个相邻大地控制点方向的天文方位角。测定了天文经纬度的地面测站点，称为天文点。

皮埃尔-西蒙·拉普拉斯（1749—1827 年），是法国著名的天文学家和数学家，天体力学的集大成者。拉普拉斯对于天体运动的研究做出了巨大贡献，为了纪念他，把测定了天文经纬度和天文方位角的大地点，称为拉普拉斯点；用拉普拉斯方程算得的起始大地方位角，称为拉普拉斯方位角。

天文测量方法的优点：各点均独立测定，组织工作简单，受地形条件影响小。缺点：测定点位精度不高。该方法不能用来建立国家水平控制网，但是，它在建立国家水平控制网中有着重要的作用，因为确定大地原点（又称大地基准点）的起始数据、将地面上观测的水平角和边长归化至参考椭球面上以及研究地球的形状大小等，都必须有天文测量资料。此外，将天

文方位角换算成起始大地方位角，可以控制水平角观测误差的积累，提高布设国家水平控制网的精度。

（二）三角测量

在地面上按一定要求选定一系列点，以三角形的形式把它们连接起来，构成三角形的网或锁，这样的控制网称为三角网，所进行的控制测量称为三角测量，三角网里的控制点又称为三角点。如图 1-1 所示。

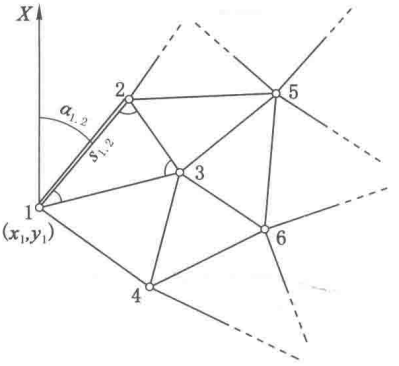


图 1-1　三角测量

三角网分为测角网、测边网和边角同测网。若三角网内的观测元素只是水平角，则该网称为测角网；若三角网内的观测元素只是边长，则该网称为测边网；若三角网内既测角度又测边长，则该网称为边角同测网。根据观测元素算出每条边的水平距离和方位角，由坐标计算公式求出每一个三角点的坐标。

我国早期的等级平面控制网的主要形式是测角网，使用经纬仪完成大量的野外测角工作。随着电磁波测距仪的问世，可以布设测边网，因测边网检核条件较少，所以纯测边网在实践中应用不多。边角同测网既测角度又测边长，网的精度比较高，但工作量较大，在实践中应用也不多，一般应用于高精度专用控制网，如高精度变形监测网。其实导线网也可以看作是边角网的特殊情况。

三角测量的优点：布设图形呈网状，控制面积大；只测角度或边长，边角同测较少，测量元素单一；测角精度高，多余检核条件多，相邻点的相对点位误差小。

三角测量的缺点：除起始边和起始方位角外，其余各边边长都是用水平角推算出来的，边长精度较低；由于测角误差的传播，各边及方位角的精度不匀，距起始边越远精度越低。但只要在网的适当位置加测起始边和起始方位角，就可以较好地控制误差积累，保证三角点平面坐标有足够的精度。

（三）精密导线测量

测量工作中，在地面上选择一系列点首尾相连所构成的折线，称为导线，导线内的控制点又称为导线点。导线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和边长。若已知导线中一个点的坐标和一条边的方位角，则可以依次推算出其他各导线点的坐标，确定其平面位置。

导线测量的优点：导线布设呈折线分布，只需要前后相邻点通视即可，布设图形非常灵活，容易越过地形障碍；导线中的边长都是直接测定的，精度高且均匀，导线纵向误差较小。

缺点：控制面积狭小；导线中的多余观测数少，不易发现观测值中的粗差，方位角误差积累大，横向误差较大。

由上述可见，导线测量特别适合于障碍物较多的平坦地区或隐蔽地区。随着电磁波测距仪和全站仪的普及和应用，精密导线测量已成为布设水平控制网的主要方法。我国传统的水平控制网是采取以三角测量为主、以精密导线测量为辅的方法建立的。

（四）GNSS 定位测量

GNSS 的全称是全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System），它泛指所有的卫星导航系统，包括全球的、区域的和增强的，如美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的 GALILEO、中国的北斗卫星导航系统，以及相关的增强系统，如美国的 WAAS（广域增强系统）、欧洲的 EGNOS（欧洲静地导航重叠系统）和日本的 MSAS（多功能运输卫星增强系统）等，还涵盖在建和以后要建设的其他卫星导航系统。国际 GNSS 系统是个多系统、多层面、多模式的复杂组合系统。

GNSS 定位系统的基本原理是以高速运动的卫星瞬间位置作为已知的起算数据，采用空间距离后方交会的方法来确定待测点的位置。观测时刻的卫星位置可通过导航信息获得，从而求得卫星的三维坐标。

应用 GNSS 定位测量建立水平控制网，具有精度高、速度快、费用低等优点。目前，GNSS 定位测量已取代传统的三角测量，成为建立水平控制网的重要方法。

二、高程控制网的布设方法

（一）几何水准测量

几何水准测量的基本原理是利用水准仪测定设有标志的两高程控制点间的高差，进而逐点推算出地面点高程，这些高程控制点称为水准点。水准测量的优点是精度高。

几何水准测量是国家高程控制网的主要布设方法。

（二）三角高程测量

三角高程测量的基本原理是：测定地面两点的距离和垂直角，依据三角高程计算公式算出两点间的高差，进而求出地面点高程。它适用几何水准测量不易达到的三角点和导线点的高程传递。三角高程测量的优点：作业简单，布设灵活，不受地形条件的限制。缺点：由于大气垂直折光的影响，垂直角观测值含有较大的误差，使得三角高程测量的精度较低。

许多研究和实践表明，利用电磁波测距进行三角高程测量，在垂直角观测中采取一定的措施，并对观测成果进行折光差改正，其结果可以满足三、四等水准测量的精度要求。

（三）GNSS 高程测量

GNSS 高程测量是利用 GNSS 测量技术直接测定地面点的大地高，或间接确定地面点的正常高的方法。

间接确定地面点的正常高时，先直接测得测区内所有 GNSS 点的大地高，再在测区内选择数量和位置均能满足高程拟合需要的若干 GNSS 点，用水准测量方法测取其正常高，并计算所有 GNSS 点的大地高与正常高之差（高程异常），以此为基础利用平面或曲面拟合的方法进行高程拟合，即可获得测区内其他 GNSS 点的正常高。

GNSS 高程测量，在小区域范围精度已达到厘米级，已能达到国家三等水准测量的精度要求，应用越来越广。



任务实施

学习水平控制网、高程控制网的布设方法后，进一步了解我国控制网的发展历程，加深对各种控制网的理解和应用。

任务三　水平控制网的布设原则和方案

【知识要点】　国家水平控制网的布设原则和方案；工程水平控制网的布设原则和方案。

【技能目标】　能够设计工程水平控制网布设方案。



任务导入

水平控制网包括国家水平控制网和工程水平控制网，国家水平控制网已经布网结束，日常工作主要是布设工程水平控制网。中华人民共和国成立初期，国家水平控制网的建立是一项规模巨大的工程，事先必须全面规划、统筹安排，制订一些基本原则和布设方案，确保控制网的精度。工程水平控制网的建立，虽然在某一区域内进行，没有国家水平控制网规模庞大，但是为了保证控制点的精度和密度，也应该事先按照布设原则制订布设方案，以满足工程任务的需要。



任务分析

水平控制网的布设首先要根据布网区域和对控制点的精度、密度以及测量技术规范的要求制订布网基本原则，然后依据布网原则和地形特点制订布网基本方案。



相关知识

一、国家水平控制网的布设原则和方案

（一）国家水平控制网的布设原则

我国地域辽阔，从1951年开始，到1971年完成了国家天文大地网的建网工作。建网时遵守了以下原则：

1. 分级布网，逐级控制

由于我国疆域辽阔，地形复杂，不可能用高精度、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，采用了由高级到低级、从整体到局部的分级布网、逐级控制的原则。我国三角网按精度分为一、二、三、四4个等级，首先以边长最长、精度最高的一等三角锁，尽可能沿经纬线方向纵横交叉迅速布满全国，形成国家控制网的骨干，然后按不同地区的实际需要，逐级布设二、三、四等三角网。其中一等锁的两端和二等网的中间，都测定起算边长、天文经纬度和方位角。所以国家一、二等网合称为天文大地网。

2. 有足够的精度

国家控制网是测图和一切工程测量的基础，其精度必须满足测图和各项工程的需要。

作为国家大地控制网骨干的一等控制网，力求高精度，以利于为科学研究提供可靠的资料。对于测图控制网，其精度必须保证各种比例尺测图的实际需要。

3. 有足够的密度

为了满足控制测图需要，国家控制点必须有足够的密度。控制点的密度主要取决于测图比例尺的大小和测图方法。测图比例尺越大，控制点的密度越大；航测法成图的控制点密度比全站仪数字化测图小。控制点的密度用每个控制点控制的面积或三角网中三角形的平均边长表示。各种比例尺地图对平面控制点的密度要求见表 1-1。

表 1-1　　各种比例尺地图时对平面控制点的密度要求

测图比例尺	每幅图要求点数	每个三角点控制面积/km^2	三角网平均边长/km	等级
1∶50 000	3	约 150	13	二等
1∶25 000	2～3	约 50	8	三等
1∶10 000	1	约 20	2～6	四等

为保证测图精度所需要的控制点，一部分可以是国家点，一部分可以是解析点和进一步加密的图根点。因为建立国家控制点的作业过程严密，费用较大，所以在保证测图精度的前提下，可以加密图根点，而国家控制点只要达到必要的精度即可。

4. 有统一的规范

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，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控制网的依据。

国家测绘局颁发的《国家三角测量和精密导线测量规范》(以下简称《国家规范》)，对各级控制网的起始数据、观测数据的精度和网中的图形结构等，均提出了明确的要求。国家三角锁、网布设规格及其精度见表 1-2。

表 1-2　　国家三角锁、网布设规格及其精度

等级	边长/km		图形强度限制				测角中误差	起算元素精度			最弱边相对中误差 $\frac{m_s}{s}$
	边长范围	平均边长	单三角形任意角	中点多边形任意角	大地四边形任意角	个别最小角		三角形最大闭合差	起算边长相对中误差 $\frac{m_b}{b}$	天文观测	
一	15～45	平原 20 山区 25	40°	30°	30°		±0.7″	±2.5″	1∶350 000	m_α <±0.5″ m_λ <±0.02″ m_φ <±0.3″	1∶150 000
二	10～18	13	30°	30°		25°	±1.0″	±3.5″	1∶350 000	同一等锁	1∶150 000
三		8	30°	30°		25°	±1.8″	±7.0″			1∶80 000
四	2～6	4	30°	30°		25°	±2.5″	±9.0″			1∶40 000

（二）国家水平控制网的布设方案

国家水平控制网布设时，根据当时的测绘技术水平，我国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，并为地球科学研究提供资料。

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 1-2 所示。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。起算边长一般用基线测量方法求得，随着电磁波测距仪的出现，可用电磁波测距仪测定。

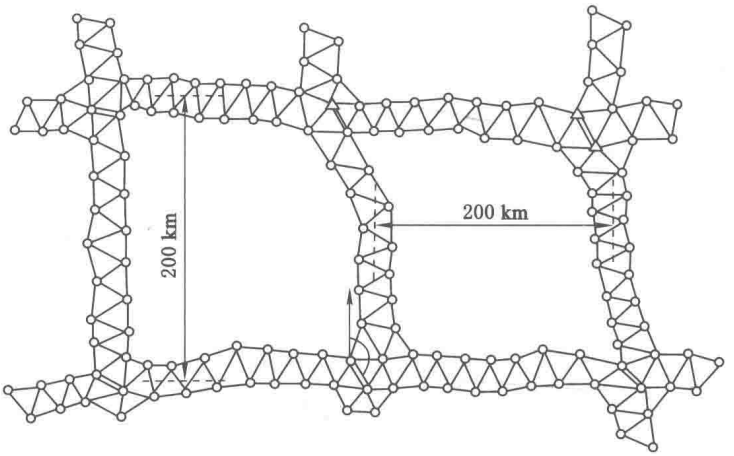


图 1-2 国家一等三角锁

三角锁交叉点间的部分称为锁段，长度一般为 200 km 左右，锁段内三角形的个数一般为 16～17 个。其他布设要求见表 1-2。

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，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：纬度测定中误差 $m_\varphi < \pm 0.3''$，经度测定的中误差 $m_\lambda < \pm 0.02''$，天文方位角测定的中误差 $m_\alpha < \pm 0.5''$。所以，国家一等三角锁也称国家天文大地网。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。

一等锁着重考虑的是精度问题而不是密度问题。

2. 二等三角网布设方案

国家二等三角锁、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。

二等三角网（图 1-3）以连续三角网的形式布设在一等锁环围成的区域内，它是加密三、四等三角点的基础，与一等锁同属于国家高级网。

二等网的平均边长为 13 km，根据地形条件，可在 10～18 km 范围内变通。这样的边长所对应的点位密度基本能满足 1∶50 000 比例尺地形图的要求。其他布设要求见表 1-2。

为了控制边长和角度误差的积累，以保证二等网精度，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。当二等锁环过大时，还在二等

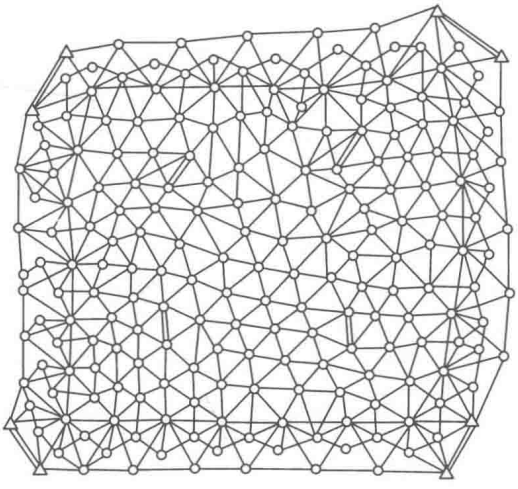


图 1-3　国家二等三角网

网的适当位置，酌情加测了起算边。所以，国家二等三角网和一等三角锁一样，也称国家天文大地网。

二等网中测角中误差小于±1.0″。

3. 三、四等三角网布设方案

国家三、四等三角网是在一、二等网控制的基础上进一步加密控制，以满足测图和工程建设的需要。

三等网的平均边长为 8 km，四等网的边长在 2～6 km 范围内变通。三、四等三角点每点都要设站观测。由三角形闭合差计算所得的测角中误差，三等为±1.8″，四等为±2.5″。三、四等三角点可采用插网法或插点法布设。在此不再一一介绍，其他布设要求见表 1-2。

二、工程水平控制网的布设原则和方案

（一）工程水平控制网的布设原则

工程测量控制网可分为两种：一种是在各项工程建设的规划设计阶段，为测绘大比例尺地形图和房地产管理测量而建立的控制网，称作测图控制网；另一种为工程建筑物的施工放样或变形观测等专门用途而建立的控制网，称为专用控制网。建立这两种控制网时亦应遵守下列布网原则。

1. 分级布网，逐级控制

对于工程测量控制网，通常先布设精度要求最高的首级控制网，随后根据测图需要，测区面积的大小再加密若干级较低精度的控制网。用于工程建筑物放样的专用控制网，往往分二级布设。第一级作总体控制，第二级直接为建筑物放样而布设。用于变形观测或其他专门用途的控制网，通常无须分级。

2. 要有足够的精度

以工程测量控制网为例，一般要求最低一级控制网（四等网）的点位中误差能满足大比例尺 1∶500 的测图要求。按图上 0.1 mm 的绘制精度计算，这相当于地面上的点位精度为 0.1×500=5（cm）。对于国家控制网而言，尽管观测精度很高，但由于边长比工程测量控制网长得多，待定点与起始点相距较远，因而点位中误差远大于工程测量控制网。

3. 要有足够的密度

不论是测图控制网或专用控制网，都要求在测区内有足够多的控制点。控制点的密度通常是用边长来表示的。《城市测量规范》(CJJ/T 8—2011)中对于城市三角网平均边长的规定列于表 1-3 中。

表 1-3　　三角网的主要技术要求

等级	平均边长/km	测角中误差/″	起算边相对中误差	最弱边相对中误差
二等	9	±1.0	1/300 000	1/120 000
三等	5	±1.8	1/200 000(首级) 1/120 000(加密)	1/80 000
四等	2	±2.5	1/120 000(首级) 1/80 000(加密)	1/45 000
一级小三角	1	±5	1/40 000	1/20 000
二级小三角	0.5	±10	1/20 000	1/10 000

4. 要有统一的规格

为了使不同的工程测量部门施测的控制网能够互相利用、互相协调，也应制定统一的规范，如现行的《城市测量规范》(CJJ/T 8—2011)和《工程测量规范》(GB 50026—2007)。

(二) 工程水平控制网的布设方案

现以《城市测量规范》(CJJ/T 8—2011)为例，三角网的主要技术要求见表 1-3。从表中可以看出，工程测量三角网具有如下特点：

(1) 各等级三角网平均边长较相应等级的国家网边长显著地缩短。

(2) 三角网的等级较多。

(3) 各等级控制网均可作为测区的首级控制。这是因为工程测量服务对象非常广泛，测区面积大的可达几千平方千米(例如大城市的控制网)，小的只有几公顷(如工厂的建厂测量)，根据测区面积的大小，各个等级控制网均可作为测区的首级控制。

(4) 三、四等三角网起算边相对中误差，按首级网和加密网分别对待。对独立的首级三角网而言，起算边由电磁波测距求得，因此起算边的精度以电磁波测距所能达到的精度来考虑。对加密网而言，则要求上一级网最弱边的精度应能作为下一级网的起算边，这样有利于分级布网、逐级控制，而且也有利于采用测区内已有的国家网或其他单位已建成的控制网作为起算数据。

以上这些特点主要是考虑到工程测量控制网应满足最大比例尺 1∶500 测图的要求而提出的。

此外，在我国目前测距仪或全站仪使用较普遍的情况下，电磁波测距导线已成为一种重要的平面控制测量布设形式。

(三) 专用控制网的布设特点

专用控制网是为工程建筑物的施工放样或变形观测等专门用途而建立的。由于专用控制网的用途非常明确，因此建网时应根据特定的要求进行控制网的技术设计。例如，桥梁控制网对于桥轴线方向的精度要求应高于其他方向的精度，以利于提高桥墩放样的

精度；隧道控制网则对垂直于隧道轴线方向的横向精度要求高于其他方向的精度，以利于提高隧道的贯通精度；用于建设环形粒子加速器的专用控制网，其径向精度应高于其他方向的精度，以利于精确安装位于环行轨道上的磁块。以上这些问题将在工程测量课程中进一步介绍。

任务实施

学习了解国家水平控制网的布设原则和方案，了解工程水平控制网的布设原则和方案及专用控制网的布设特点。

任务四　高程控制网的布设原则和方案

【知识要点】 国家高程控制网的布设原则和方案；工程测量高程控制网的布设原则和方案。
【技能目标】 能够设计工程测量高程控制网布设方案。

任务导入

全国范围内施测各种比例尺地形图、对地球进行科学研究所需要的精确高程资料以及进行城市各种大比例尺测图和各种工程建筑物放样都离不开高程控制网，高程控制网为它们提供高程控制基础和精确高程资料。

任务分析

建立高程控制网的常用方法有水准测量和三角高程测量。国家高程水准网是按国家水准测量规范的技术要求建立的，工程测量高程水准网是以国家高程水准网为高程控制基础，按照《工程测量规范》的技术要求建立的，它们的建立都必须遵循高程控制网的布设原则和方案。

相关知识

一、国家高程控制网的布设原则和方案

（一）国家水准网的布设原则

国家高程控制网是用水准测量的方法布设的，其布设原则是：由高级到低级、从整体到局部，逐级控制、依次加密，要有足够的密度、足够的精度、统一的规格。按控制等级和施测精度分为一、二、三、四等。目前提供使用的“1985 国家高程基准”共有水准点成果 114 041 个，水准路线长度为 416 619.1 km。

（二）国家水准网的布设方案

国家一、二等水准由国家测绘总局统一规划。一等水准测量是国家高程控制的骨干，是研究地壳变化以及有关科学研究的主要依据，每隔 15～20 年沿相同的路线重复观测一次。全国一等水准网布设略图如图 1-4 所示。

二等水准网是国家高程控制的全面基础，它布设在一等环内。