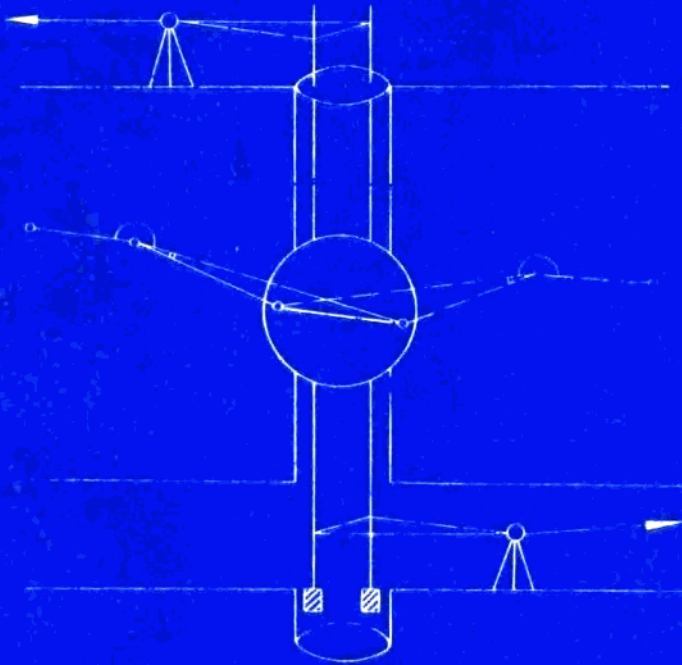


中等专业学校教材

# 工程测量学

江宝波 黄德芳 编



地质出版社

## 内 容 提 要

本书共分八章，主要包括三个方面的内容：一、工程测量的基本理论和方法；二、地质工程测量；三、建筑工程施工测量、线路测量、水深测量及建筑物的变形观测等。

本书除可作为中等专业学校工程测量专业和地形测量专业的教材外，也适合从事工程测量的技术人员参考。

\* \* \*

本教材由金光照主审，经地质矿产部中专测绘类课程指导委员会1989年10月南京审稿会议审定，同意作为中等专业学校教材出版。

\* \* \*

中等专业学校教材

工程测量学

江宝波 黄德芳 编

责任编辑：袁方

地质出版社出版

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092<sup>1/16</sup> 印张：18 字数：429000  
1990年10月北京第一版·1990年10月北京第一次印刷

印数：1—1005册 定价：3.55元

ISBN 7-116-00680-X/P·578



# 前 言

本教材是按照地矿部中等专业学校工程测量专业和地形测量专业（四年制）的教学大纲要求编写的。

由于工程测量的内容极其广泛，本教材首先就“地形图在工程建设中的应用与精度分析”、“施工放样的基本方法及其精度分析”等工程测量中的共性问题作了阐述。在此基础上，分别介绍了地质勘探工程测量、物化探测量、建筑工程施工测量、线路测量、水深测量及建筑物的变形观测等内容。其中对地质工程测量部分作了较为详尽的叙述，对其他各项内容的特点要求及具体作业方法也作了系统地介绍。目的在于增强学生在实际工作中的适应能力，以满足工程建设发展的需要。

这门课程是工程测量专业和地形测量专业在学完“地形测量学”、“控制测量学”、“航空摄影测量学”等专业课程后开设的，所以书中有关这些课程的内容不再叙述，而是强调了如何运用所学过的这些内容去解决实际问题。

在编写这本教材的过程中，我们曾到一些生产单位去参观学习，收集了有关资料。此外，还参考了兄弟院校的有关教材。初稿形成后，又在几次试用的基础上作了反复修改。力求使书中内容紧密联系实际，适当介绍了测量新技术，文字通俗易懂，便于自学。

本教材由江宝波主编。其中第一、二、五章由黄德芳编写，绪论和第三、四、六、七、八章由江宝波编写。在初稿修改的过程中，金光照、章学信、邵诚、范国雄、朱大猷等同志以及昆明地质学校、长春地质学校和福建地质学校的有关老师提了很多宝贵意见和建议。王仁礼和陆修富同志参加了绘图工作。在此，谨向他们表示衷心的感谢。

书中不足之处，恳切希望读者给予批评指正。

编 者

1989年11月于南京地质学校

# 目 录

绪论	1
第一章 地形图在工程建设中的应用与精度分析	4
第一节 地形图在工程规划设计阶段的作用	4
第二节 工业企业设计对地形图的要求	5
第三节 大比例尺地形图的精度分析	10
第四节 工程专用地形图的测绘及地形图的修测	17
第二章 施工放样的基本方法及其精度分析	24
第一节 概述	24
第二节 距离及直线的放样	25
第三节 角度、高程的放样	29
第四节 直接法放样点位	31
第五节 归化法放样点位	35
第六节 距离放样的精度分析	38
第七节 角度放样的精度分析	43
第八节 极坐标法、直角坐标法放样点位的精度分析	47
第九节 方向线交会法放样点位的精度分析	50
第十节 前方交会法放样点位的精度分析	52
第十一节 误差椭圆及其在工测中的应用	56
第三章 地质勘探工程测量	68
第一节 概述	68
第二节 勘探网及其联系测量	70
第三节 地质点测量	72
第四节 地质勘探工程的布设和定位测量	74
第五节 勘探线剖面测量	76
第六节 勘探剖面图的绘制	81
第七节 坑道测量的一般概念	87
第八节 坑道定线	90
第九节 坑道内经纬仪导线测量	95
第十节 坑道内高程测量	98
第十一节 竖井平面联系测量	101
第十二节 陀螺经纬仪定向的基本原理	112
第十三节 陀螺经纬仪的结构及其定向方法	120
第十四节 贯通测量及其误差预计	129
第四章 物化探测量	141

第一节	概述	141
第二节	物化探测网的布设	145
第三节	物化探测量的技术设计	151
第四节	测点高程的测定	158
第五节	气压高程测量	167
第六节	连测、野外质量检查及精度评定	175
<b>第五章</b>	<b>建筑工程施工测量</b>	179
第一节	概述	179
第二节	建筑工程施工控制网的精度及其布设形式	180
第三节	建筑方格网的建立	183
第四节	厂房(矩形)控制网	190
第五节	建筑场地平整测量	192
第六节	民用建筑施工中的测量工作	198
第七节	工业厂房施工中的测量工作	203
<b>第六章</b>	<b>线路测量</b>	209
第一节	概述	209
第二节	圆曲线测设	210
第三节	有缓和曲线的圆曲线测设	219
第四节	回头曲线与复曲线的测设	227
第五节	线路的初测	231
第六节	线路的定测	233
第七节	道路施工测量	242
<b>第七章</b>	<b>水深测量和 underwater 地形图测绘</b>	248
第一节	概述	248
第二节	测量水深的仪器和方法	249
第三节	测深点的定位	253
第四节	水下地形测量内业	260
<b>第八章</b>	<b>工程建筑物的变形观测</b>	261
第一节	概述	261
第二节	沉降观测	266
第三节	倾斜观测	271
第四节	水平位移观测	274
第五节	变形观测数据的整理和分析	278

# 绪 论

随着科学技术的进步与建设事业的发展，工程建设项目愈来愈多，规模愈来愈大，内容愈来愈复杂，从而对测量工作的要求也越来越高，这就促使测绘科学领域内逐步形成了“工程测量学”这门学科，以研究和解决工程建设中的各种测量问题，为各类工程建设提供测绘保障。

工程测量是为工程建设服务的，由于服务对象众多，所以它所包括的内容非常广泛。如果按照工程测量的服务对象来区分，其内容大致可分为工业与民用建筑测量、铁路公路测量、桥梁测量、矿山测量、地质勘探工程测量、隧道及地下工程测量、水利工程建设测量、输电线路与输油管道测量以及城市建设测量等。上述为各种不同工程服务的测量工作，虽然各有其特点与要求，但是从基本工作方法和基本原理来说，又有很多相似之处。因此，习惯上也可按照工程建设的顺序和相应测量作业的性质，将工程测量内容划归为下面三个阶段的工作，即：

一、勘测设计阶段的测量工作。在这个阶段里，主要是为工程的勘测设计提供各种比例尺的地形图，有时也要为配合工程勘测进行一些有关的测量工作。

二、施工阶段的测量工作。每项工程经设计审批后，即进入施工阶段。在施工阶段，主要是把设计的工程位置标定在现场，作为实地施工的依据，这就是通常所说的放样工作。当工程竣工时，还要测绘工程竣工图或进行工程最终位置的测定，作为工程验收和移交的依据。

三、工程竣工后经营管理阶段的测量工作。在一些大型或重要工程建成后，为了监视建筑物的安全与稳定情况，了解工程设计是否合理，需要定期对建筑物或大型设备基础的位移、沉降、倾斜等进行观测，这就是一般所说的工程建筑物的变形观测。

可见，工程测量学就是围绕着各项工程建设对测量的需求所进行的一系列有关测量理论、方法和仪器研究的一门学科，它在国民经济建设和国防建设中起着极其重要的作用，并与很多工程建设有着密切的联系。例如：在交通运输方面，修建每一条公路和铁路都要进行线路测量、曲线放样、桥梁测量和隧道贯通等工程测量工作；在一些大型联合企业的兴建过程中，从基础工程建设到各种机器设备的安装，需要建立多种形式的施工控制网，进行大量的施工放样和精密设备安装等测量工作；对于大江、大河上具有蓄水、发电、改善航道等多种功能的大型水电、水利枢纽工程，不仅在清理坝址、浇灌基础、建设厂房时要进行多种测量工作，而且在建成后还要进行长期的变形观测，以监视大坝及厂房设施的安全；在地质找矿工作中，从矿区普查到勘探的各个阶段，除需要测绘各种比例尺的矿区地形图外，还要布设各种勘探工程、进行工程最终位置的测量，以及为物化探找矿方法敷设测网等。近年来开展的海上地质资源调查工作中，也提出了海上定位等新的课题。此外，在城市建设、军事工程（如远程导弹发射架）建设、科学研究装置（如粒子加速器、射电望远镜等）的安装等等，也都相应需要有精密的工程测量工作相配合。

总之，随着我国国民经济建设的迅速发展，工程测量的内容必将会越来越丰富，任务

也必将愈来愈繁重。

工程测量学与其他测量学科的关系非常密切。例如，在勘测设计阶段要测绘各种比例尺的地形图，除顾及相应工程的一些特殊要求外，所用仪器和方法则完全与“地形测量学”中的有关内容相同。而在施工放样和变形观测方法的研究中，又是建立在“地形测量学”和“控制测量学”的基础之上的。又如，“摄影测量学”的理论和方法也早已被广泛用于解决工程测量中的一些问题，其中有利用航摄像片进行铁路勘测选线、布设物化探测网，以及采用近景摄影测量的方法来观测建筑物的变形等。可以说工程测量学中的大部分内容是“地形测量学”、“控制测量学”、“测量平差”、“摄影测量学”和“测量仪器学”等学科中的有关理论、方法和技术在工程建设中的具体运用。当然，工程测量也并非简单地重复上述学科的内容，而是要根据不同工程的具体情况，着重研究相应测量工作的特点和方法。所以，工程测量学又是一门测量与各种工程建设相结合的学科。它必然要求工程测量人员应有一些有关工程的知识，具备广泛的测量基础理论、熟练的测量技能和测量精度分析的能力。只有这样，才能根据不同情况提出合适的测量方案，采用有效的测量方法完成各种工程测量工作，以确保工程建设项目能够顺利进行。

近年来，随着一些新颖的仪器和先进技术逐步地被引用到了工程测量领域中，使得工程测量学又有了较大幅度的发展，其中较为突出的有这样几个方面：

一、电磁波测距技术的应用。目前各种类型的测距仪发展很快，使用也极为普遍。测距仪不仅可用来测量导线，使得施工控制网布设方案的选择有了较大的灵活性，而且还可用它来放样，对给定距离、测设定位带来很大的方便。将测距仪和电子经纬仪结合在一起，并配有微处理机和数据终端机等设备的全站型电子速测仪，具有自动记录测量数据、提供数据存贮和程序控制、进行数据的转换和处理等多种功能，能够直接完成距离改化和高差、坐标的计算工作，这些都给测量过程的自动化创造了条件。

二、激光技术的应用。六十年代初应用激光技术后，由于它具有一些适用于测量工作的特点，很快就被引进到工程测量领域中来。利用激光经纬仪、激光平面仪放样，以及用激光导向仪在隧道开挖中进行定线，不但节省了时间、提高了工效，也给测设工作带来很大方便，并相应提高了精度。又如，激光准直仪被用于工业设备的安装和变形观测中，可提供高精度的直线定位。

三、电子计算技术的应用。利用电子计算机计算，可以使得复杂的算题很快得到结果，从而能用比较严密的理论来处理工程测量中的一些问题，如控制网布设方案的优化、观测成果的平差与统计分析等。同时，还可对直接输入计算机的野外观测数据进行处理，再由机助图解软件将处理后的数据自动绘制成图。

除了上述三个方面外，空间技术的发展也为工程测量提供了新的手段和方法，例如在我国西部开展的石油地质勘探和海洋地质调查工作中，就是利用卫星多普勒测量技术建立了测量控制点及解决了海上定位问题。此外，陀螺经纬仪的定向精度也愈来愈高，新一代的陀螺经纬仪是用微处理器控制的，其一次定向精度可达到 $\pm 3''$ 。高精度的陀螺经纬仪定向不仅可以代替传统的竖井几何定向，还可用它直接测定控制网的起始方向，检测各边的方位，以控制测角误差的累积。

随着其他科学技术的迅速发展，又促使工程测量学本身要研究和解决许多新的课题。如某些科学实验、尖端国防建设项目及自动化生产设备的安装等，它们对测量工作的精度

都提出了极高的要求，如果仍然采用一般作业方法是无法满足这些要求的，必须进一步研究新的测量仪器与方法，有关这一方面的测量工作则属于高精度工程测量的范畴。

本课程的第一、二章是讨论地形图精度、放样方法及其精度分析等工程测量中的基本问题，第三、四章中详细地叙述地质工程测量的内容和方法，后面四章则是介绍了几种常见的工程测量内容和方法。通过本课程的学习可以掌握工程测量中的基本理论和方法，既能从事地质找矿中的各种测量工作，又能掌握建筑测量、道路测量、水深测量以及建筑物变形观测等项目的基本内容、基本方法与技能，可以解决实际工作中可能遇到的一些有关问题。



# 第一章 地形图在工程建设中的应用与精度分析

## 第一节 地形图在工程规划设计阶段的作用

工程建设一般分成规划设计（勘测）、施工、运营管理三个阶段。在规划设计时，必须要有地形、地质及经济调查等基础资料，其中地形资料主要是地形图。

工程规划设计的过程，是体现一系列设计思想和意图的过程，也是将各种方案进行比较的过程。设计思想和最终方案常常通过一系列设计图件加以表达。具有大量地形信息且有较好量测性的地形图，不仅可使设计人员从图中获取必要的地形资料，有些设计还可以直接在地形图上进行。下面举例说明地形图在某些工程规划设计中的应用情况。

对于一个河川水利枢纽工程的设计来说，确定建造拦河坝的地址是十分重要的，其位置选择得适当与否直接关系到枢纽工程的效益。选择坝址首先要考虑地形及地质条件，一般先从比例尺为 1:10 000~1:50 000 的地形图和以地形图为基础图的地质图件上选择河谷最窄及地质条件较好的河段作为可能建坝的地方。然后再结合其他因素，并经实地勘测等一系列工作，才能最后确定坝址。例如，由于建坝后上游将要形成水库，在选择坝址时，不仅要考虑库区是否有断层、喀斯特溶洞等导致严重漏水的因素，还要确定水库形成后的回水淹没范围、计算淹没面积及总库容、确定库岸临时淹没及永久淹没地区中有哪些城镇和重要耕地，并要拟定相应的防护工程措施等等。这些问题的解决也都有赖于库区地形图（比例尺 1:10 000~1:50 000）。当从若干个方案中选取最佳方案后，在枢纽区地形图上标定出坝轴线的位置，在此基础上再考虑枢纽中的各类建筑物（如坝体、发电站厂房、船闸、引水渠、引水隧洞等）的具体位置以及各类建筑物的详细尺寸。此时需要测制 1:2 000~1:5 000 比例尺的枢纽区地形图以及各建筑物所在位置的更大比例（1:1 000 或 1:500）的地形图。这是因为，确定各类建筑物具体位置以及建筑物个体尺寸和高低位置时，必须有较大比例尺地形图所提供的数据，经过计算和比较后才能得到合理可靠的结果。

对于港口码头工程的设计，同样需要首先选择合适的位置，然后再进行道路、仓库、码头、船坞、防波堤以及一些附属建筑物的布置。当各建筑物相对位置确定以后，再进行各建筑物个体位置、尺寸的设计，其间也包括了选址、摆布、计算、比较等具体内容。由于这类工程位于江、河、湖、海的岸边，因此除提供大于工程范围的陆上地形图外，还需要提供相应地段的水下地形图。在这一类工程的设计中，需要比例尺为 1:10 000 的大区域地形图用于选址，1:2 000~1:5 000 比例尺的河段水下及岸边地形图用于初步设计，1:1 000 或 1:500 比例尺的小范围陆上地形图供施工设计用。

交通是国民经济的命脉，陆上交通在我国占着极为重要的地位，所以铁路、公路的建设十分重要。在铁路、公路的勘测中，测量工作担负着为设计提供一切地形资料的任务，

在整个勘测设计中起着很重要的作用。例如，线路位置选择得是否合理，关系到线路能否发挥最大效益及工程投资费用的多少。而在选线中首先要有较大范围的1:5 000~1:10 000比例尺地形图，结合考虑其他因素后，在地形图上确定几条线路的大概位置；然后还要沿拟定的线路测绘1:1 000~1:2 000比例尺的带状地形图和纵、横断面图，供设计人员在图上进行各种方案的比较，从而定出最佳线路位置。接着，在线路的初步设计和施工设计中，同样需要有地形图及纵、横断面图作为纵坡设计、路基设计及工程费用概算的依据。另外，桥梁和隧道往往是线路上的关键性工程。一些大型桥梁和隧道应当首先结合地形、地质及水文等条件来确定它们的位置，然后才能决定与之连接的线路方向和位置。当然，要使桥梁和隧道位置选择得合适，也离不开地形图。同时，在桥梁或隧道工程的设计中，还需要提供各种专用地形图。例如在设计一些大型桥梁时，需要有1:500~1:5 000比例尺的桥位地形图，以便确定导流建筑物的位置及进行施工场地的布置。由于桥梁设计与河流水文要素的关系极大，故在桥位地形图上除表示出一般地形要素外，还应给出线路的中线位置、水文断面、水位点及最高洪水位的泛滥线等。

在地质矿产勘查工作中，也随时离不开各种比例尺的地形图。例如，一个矿区的勘探必须以填绘有各种地质要素的地形地质图为基础，矿区中各种勘探工程要依据地形图来确定其位置，最后的地质成果也要填绘在更大比例尺的地形图上。

工矿企业的建设是我国国民经济建设不可缺少的组成部分，在它们的设计过程中，如果没有地形图，设计人员就无法确定各项工程及相应建筑物的具体位置。因此，需要有1:2 000~1:500比例尺的地形图，以提供选址的依据和作为进行总图运输设计的底图。设计人员在地形图上寻找合适的位置、放样设施、量距离、取高程，并进行工程的定位、定向、定坡等工作。同时，根据量得的数据进而计算工程量和工程费用等。设计人员只有掌握了正确可靠的自然地理、资源及经济情况等基础资料后，才有可能根据工艺流程和投资限额，正确合理地进行设计。基础资料的正确与否，将直接影响到工矿企业的设计质量，同时也关系到工程建设的投资、速度和效益。

总之，地形图是工程建设规划设计阶段必不可少的重要基础资料，没有确实可靠的地形资料，是无法进行设计的。地形资料的质量将直接影响到设计的质量和工程的使用效果。为此，在有关的设计规程上明确规定：“没有确实可靠的设计基础资料，不能进行设计”。这是对地形图在工程建设规划设计阶段重要性的确切概括。

## 第二节 工业企业设计对地形图的要求

工程建设项目繁多、性质各异，各类工程所建地点、范围及周围的地理环境等也各不相同。所以，不同的工程项目，在设计时对地形图的要求也就不可能完全一致。这里仅就工业企业设计对地形图的要求作一些讨论。其他工程建设在设计中对地形图的要求，可借鉴本节讨论的思路和方法，结合工程的具体特点和设计方法来分析。

工业企业设计对地形图的要求主要体现在三个方面：一是地形图的精度必须满足设计要求；二是地形图的比例尺应选择恰当；三是测图范围合适，出图时间要比较快。现分别叙述如下。

## 一、设计对地形图的精度要求

对于工业企业设计，地形图主要用于总图运输设计，即根据地形图等各种基础资料和工业企业生产的特点，综合解决主要生产车间、辅助车间、动力设备、运输设施、仓库及行政福利设施、工程管线等在厂内的平面与竖向布置。

在新建区，总平面图的设计方法一般是这样的：首先根据城市规划、卫生、防火等有关要求，按照生产工艺流程的需要，将主要建筑物的轮廓位置按设计图所需比例绘在透明纸上，再将透明纸覆盖在相同比例尺地形图上，或按与设计图相同的比例将主要厂房剪成纸片模型，在地形图上进行摆布，看建筑物的位置适于安置在哪里。其中除考虑生产工艺等要求外，主要是受现场地形和原有地物的限制，例如范围大小的限制以及考虑与周围地物的衔接等。为此，一般要求地形图上场地边界的地物点位置误差不大于图上1 mm，否则将使新建厂区超出边界范围，或留下不必要的空隙。

建筑物的位置确定以后，可将其绘制到地形图上。然后在主要建筑物轴线方向上确定两点（如图1-1中A、B），图解它们的坐标，并反算出坐标方位角（ $\alpha'_{AB}$ ），定此为施工坐标系的X轴（或Y轴）方向。再在适当位置取一点（一般选场地西南某建筑物角点，例如图中A点）作为施工坐标系原点，从而可确立施工坐标系与测量坐标系间的坐标互换关系式（在图1-1中，XOY为施工坐标系，X'O'Y'为测量坐标系）。建立了施工坐标系后，根据建筑物的设计尺寸及间距，推出各建筑物的施工坐标，并按施工坐标系将一些重要的设计内容展绘到地形图上，通过量测其与原有地物的相对位置进行检核。检核结果如果均能在规定的建筑界限范围内，则认为设计位置可行，此图即为总平面图。由于设计对于确定施工坐标系坐标原点位置的允许误差一般为图上1~2 mm，所以我们可以认为，这项检核的允许误差亦为图上1~2 mm，若顾及量测的误差，则可以得出设计对地形图上地物的平面位置允许误差不应大于图上1 mm。

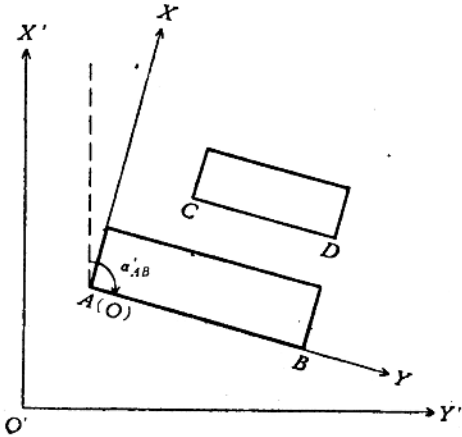


图 1-1

另外，在进行建筑物总平面位置设计时，除考虑生产工艺流程的要求外，还必须考虑合理布设运输道路、地下管线等，以及考虑防火、防震、防水侵蚀等方面的要求。例如在防火方面，为保证消防道路的畅通和建筑物间互不影响，规定建筑物之间的最小间距为10m。为了节约用地，一般要求设计时又尽可能接近设计规程上所规定的这些允许最小距离。对于新建区来说，设计时都能考虑且满足这些规定；而当设计建筑物与原有的地形地物发生关系时，就要用图解的方法来量取它们的间距，以使其既达到节约用地等要求，又能

满足有关建筑界限的规定。考虑到图解求取数据时，存在着地形图的误差和量度的误差，设计规程上都考虑了安全系数，通常留有1~2m的余地，若量测时的误差很小，这1~2m的限差可认为是地形图测绘精度的要求。因此，根据设计中这一项用图时的要求，对于

地形图平面位置的精度要求一般也认为是为图上 $\pm 1\text{ mm}$ 。

当用地紧张,或进行较为复杂的工程设计,或是要对原有工程进行改(扩)建时,用地大小常常需计算到 $\text{dm}$ (分米)。此时用图解方法量取建筑物位置和间距的精度就不能满足设计要求,因为图解结果中所含的地形图测图误差要大于上述设计中所允许的建筑界限。例如,在工业企业建筑场地上,地下管道之间的距离以及它们离建筑物的允许间距都比较小(一般电力管道离建筑物只需要大于 $0.6\text{ m}$ ,下水管道离建筑物也只需要大于 $2\text{ m}$ ),用地紧张时均只能按允许的最小间距来布置管道,如果原有建筑物位置不准确,则有可能使新建管道与原建筑物的实际间距小于上述规定,或是由于原有管道位置不准确,出现设计的建筑物建到原有管道上的情况。所以,此时要求用于总平面设计的地形图,除了在图上表示出地物的位置外,还需实测部分地物点的坐标和高程,其测定点的位置误差不应超过 $10\text{ cm}$ ,设计时以这些解析数据作为确定这一类建、构筑物位置时的依据。

以上讨论的是工业企业设计中对地形图的平面位置精度要求,对于地形图高程的精度要求,则应根据满足竖向布置设计中的要求去分析。

工业场地的竖向布置,就是将厂区的自然地形加以整平改造,以保证生产运输有良好的联系,合理地组织排水,并要使土方量最小且填挖方量平衡。根据设计过程,我们可以从地面连接方式设计、建筑物高程设计以及土方量计算等方面来分析设计中对地形图高程的精度要求。

工业场地的地面连接方式一般有平坡式或台阶式两种。采用哪种方式应根据企业性质、总平面布置、厂址的地质构造及自然地形等因素综合考虑后决定,其中地形因素有决定性的影响。地形图可供量取自然地面的坡度,确定地面起伏,即在图上用分规(或直尺)量取两根等高线之间的平距 $L$ ,根据这两根等高线的高程 $H_1$ 、 $H_2$ ,则可求得相应的地面坡度为

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (1-1)$$

在进行地面连接方式的设计时,若场地采用平坡式连接,因关系到场地中的排水问题,所以规定场地的最小排水坡度为 $0.5\%$ 。一般要求图解坡度的误差不大于场地最小排水坡度的一半,当采用平坡式连接时,对于地形图高程的精度要求最高。设允许图解坡度误差的限差为 $d$ ,则图解坡度的中误差 $m_i$ 为

$$m_i = \frac{d}{2}$$

再由(1-1)式中的关系,即可得到等高线高程中误差为

$$m_H = d \cdot L / 2\sqrt{2} \quad (1-2)$$

设计规范上规定,设计地面整平的宽度不应小于 $100\text{ m}$ ,否则应采用台阶式设计。现取 $L = 200\text{ m}$ ,并以 $d$ 为最小排水坡度的一半( $0.25\%$ )代入(1-2)式,即可求得等高线高程中误差允许值为 $\pm 0.18\text{ m}$ 。若采用其它地面连接方式,对其精度要求可降低些。

在进行建筑物地坪高程、铁路轨顶高程、道路中心线高程以及工程管网高程设计时,也要求其尽量与自然地形相适应,考虑到排水的需要,设计规范规定室内地坪应高出室外地面 $0.15 \sim 0.5\text{ m}$ ,地下管道埋深最浅为 $0.6\text{ m}$ 。由此可推出平坦地区的地形图高程中误差只要不超过 $\pm 0.15\text{ m}$ ,即可满足上述设计时的要求。

各项竖向布置的高程设计完毕后,即可计算土方量,作为进行投资预算、施工准备以及论证设计方案可行性的资料。土方量计算的允许误差为10~20%,要受确定整平的坡度大小、计算土方量的方法、施工验收方法、土的松散系数以及等高线的高程误差等因素的影响。一般认为,等高线高程误差对于土方量计算的影响应小于5%。

土方量常采用正方形方格法计算,由计算每个方格的体积求得总体积。设方格边长为 $l$ (一般取20m),各方格点的设计高程与地面高程之差(即填挖高度)为 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ ,每个方格为一棱柱体,其体积为

$$v = l^2 \cdot \frac{a + b + c + d}{4} \quad (1-3)$$

如果设地形图上各点的高程中误差相等,则 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 的中误差也相等且为等高线高程中误差 $m_h$ ,当视方格边长为理论值时,那么棱柱体体积的中误差即为

$$m_v = \frac{l^2}{2} \cdot m_h \quad (1-4)$$

从而得

$$m_h = \frac{2}{l^2} \cdot m_v \quad (1-5)$$

设总体积 $V$ 是各棱柱体体积 $v$ 之和,故可得

$$m_v^2 = \sum_{i=1}^n m_v^2$$

而各棱柱体体积的中误差因 $m_h$ 相等而可视为相等,设均为 $m_v$ ,则

$$m_v = \sqrt{n} \cdot m_v$$

所以

$$m_v = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot m_v \quad (1-6)$$

将(1-6)式代入(1-5)式得

$$m_h = \frac{2}{l^2} \cdot \frac{m_v}{\sqrt{n}} \quad (1-7)$$

若设场地整平的总面积为 $A$ ,总土方量为 $V$ ,则方格数为 $n = A/l^2$ 。另设场地所填(或挖)的平均高度为 $h_m$ ,则 $V = A \cdot h_m$ ,将 $n = \frac{A}{l^2}$ 代入(1-7)式,并顾及到 $A = V/h_m$ ,则经化简后可得

$$m_h = \frac{m_v}{V} \cdot \frac{2}{l} \cdot \sqrt{A} \cdot h_m \quad (1-8)$$

设地形图高程误差对土方量计算的影响不应超过5%,此为极限误差,则中误差 $\frac{m_h}{V}$ 即为2.5%,以及 $l = 20\text{m}$ ,一起代入(1-8)式后,可得土方量计算对地形图的高程精度要求,见表1-1\*。

一般工业场地的用地面积均大于 $50\,000\text{m}^2$ 。由表中可以看出:为了满足土方计算的要求,对地形图所表示的高程精度要求并不是很高的。当地地为 $50\,000\text{m}^2$ 时,平地(指坡度小于 $0.1$ 或地面倾角 $6^\circ$ 以下)为 $0.17 \sim 0.28\text{m}$ ;坡地(指坡度在 $0.1 \sim 0.2$ 或地面倾角 $6^\circ \sim$

\* 表中每1万平方米用地上土方量资料来源于《建筑设计资料手册》(陕西省建筑设计院1976年版)。

表 1 1 土方量计算对地形图的高程精度要求

地面坡度	0.05以下	0.05~0.10	0.10~0.15	0.15~0.20
每1万平方米用地上方量 (m <sup>3</sup> )	2000~4000	4000~6000	6000~8000	8000~10000
$k_{01}$ (m)	0.3	0.5	0.7	0.9
5万平方米用地的 $m_h$ (m)	0.17	0.28	0.39	0.50

12°) 为0.39~0.50m。如果整平的总面积增加,对高程精度要求还可降低。

但是,对于改建或扩建的工业场地,为了保证现有的建、构筑物与设计建、构筑物在高程上能相互衔接,因而对于地坪高程、铁路轨顶和道路中心的高程以及各种管线连接点的高程等,都要求用水准测量的方法直接测定后注记到图上,这些点的高程中误差不应超过 $\pm 2\sim 3\text{cm}$ 。

从上面可以看出,设计中对于地形图的精度要求,常取决于设计的方法。随着科学技术的发展与设计方法的不断改进,对于地形图的精度,必将提出更新的要求。

## 二、测图比例尺的选择

因为总平面图的设计是在地形图上进行的,所以地形图上除按一定的要求表示出地面的现状外,同时还要使设计人员能在图上进行未来工程的设计。也就是说,既要求图中能表示出设计所要考虑的最小地形、地物,又要求在图上能绘出设计的最小建、构筑物,并且能保持图面清晰、负荷不致于过大。这就是设计人员对图面内容的精确程度、详细程度和明晰程度方面的要求,而这些要求都与测图比例尺有关。另一方面,对于测绘工作者来说,测图比例尺选大选小,又直接关系到测量工作量。所以,在工程测量中选择测图比例尺的原则是,在满足设计人员对用图要求的前提下,应使测量工作最为经济合理。

下面就选择测图比例尺的有关问题加以说明。

设计人员通常要求地形图的比例尺与设计图纸的比例尺相一致。而总图运输设计时,其设计图纸比例尺的选定,基本上取决于设计内容的详细程度和建筑密度。设计内容的详细程度又随设计阶段的不同而不同,通常是初步设计阶段的内容不如施工设计阶段的内容详细。建筑密度则按工业建筑的性质来划分,例如冶金、化工、电力等企业要比建材、纺织、机械加工等企业的建筑密度大。因此,就一般情况而言,初步设计阶段及建筑密度小的建材、纺织等企业采用的地形图比例尺要小些,施工设计阶段及建筑密度大的工业企业,则需选择较大的比例尺。

当然,在选择测图比例尺时,还需注意该比例尺图件的精度能否满足设计要求。例如,选定1:1 000比例尺地形图,基本上可以满足一般工业企业设计对地形图的精度要求。另外,由于1:1 000比例尺图的图面负荷也不大,便于设计人员在上面进行设计,所以一般工业企业的设计,多数系使用这种比例尺的地形图(很多设计单位称其为“设计通用地形图”)。但在化工企业的设计中,由于各种管线多似蛛网,为使管线和建筑物的位置在图上易于表示,要求放大比例尺。有的小型轻工业工厂面积很小,用1:1 000比例尺的图不方便,也要求施测较大比例尺的地形图。但这些需要用较大比例尺图的只是为了有较大的图面,而

对地形图的精度要求并未提高，因而可按1:1 000比例尺图的精度要求来施测1:500比例尺地形图。

地形现状情况的不同，对所测成的地形图精度影响较大（见本章第三节），特别是对高程精度的影响。场地现状条件大致可分为两类：一类是平坦地区新建的工业场地；另一类是山地或丘陵地区的工业场地（改、扩建场地也可列入此类）。对于第一类场地采用1:1 000比例尺地形图可满足精度要求；而第二类场地因其地形复杂或坡度较大，采用常规方法测制1:1 000比例尺的地形图就不能满足设计要求，因此，需要施测1:500比例尺地形图，以提高地形图在高程及平面位置方面的精度。

对于改、扩建的工业场地，在地形图上除了用符号表示出内容外，还要测注出主要地物点的解析坐标和高程，这就增加了图的负荷。如果图的比例尺较小，在使用时，设计的线条会掩盖住地形图上所表示的要素和注记，给设计工作带来不便。在这种情况下，往往也需要施测1:500比例尺地形图。

总的来说，由于工业企业性质不同、规模大小不一、设计阶段不同及现状条件的差异，使得设计中所需测图比例尺不可能完全一致。实际工作中可根据上面所分析的各种情况，结合现场实际及设计人员的要求，决定测图的比例尺。当然，最后所用的比例尺，一般是经与有关工程设计人员共同协商后确定的。

### 三、成图时间和测区范围的要求

由于工业场地的测区面积小，相对于其它测量工作来说，其工作量就比较小。同时，当厂址选定以后，总希望尽快有图来供设计使用。所以，要求出图的时间比较快。

另外，工业企业的测区范围需确定适当。一般来说，初步设计阶段，范围可大些，施工设计阶段可以缩小一些，但总是要大于企业占地面积（一般为厂区占地面积的2~3倍，若有比较方案，则更要大得多）。

总之，为工业企业设计所进行的测图工作，在图的精度、测图比例尺的选择、测图范围及供图时间等方面，都应充分地满足设计的要求。在进行测图工作时，应该遵循准确（在精度要求范围内）、逼真、清晰的原则，确保质量，按期或超前提供设计所需的地形图。

## 第三节 大比例尺地形图的精度分析

由前述内容可知，工程规划或方案设计需要较小比例尺地形图（一般为1:5 000~1:10 000），初步设计和施工设计阶段，则需要大比例尺地形图（1:500~1:2 000）。到目前为止，我国大部分地区已有1:10 000比例尺的国家基本地形图，少数地区还有1:5 000比例尺的基本图。因此，用于工程规划和方案设计的较小比例尺地形图大多是利用现有资料，而供初步设计或施工设计的大比例尺地形图，由于是为工程设计服务的专用地形图，有一些特殊的要求，所以这类图通常都由勘测单位实测。为此，这里我们将重点讨论大比例尺地形图的测绘精度问题，以期通过分析，了解影响地形图精度的各种因素，便于确定合适的测图方法和措施，更好地为设计服务。

由于影响地形图精度的因素很多，例如工作人员的责任心和技术水平，所使用的仪

器、工具的质量,测区自然地理条件等等,而其中有些因素的影响又很难准确地用数字来表示。因此,这里仅就分析精度的一般原则和方法作一些介绍,并给出一些经验数据。

研究地形图精度的方法大体有两种:一是在已成图的地区,精确地测定相当数量的点的平面坐标和高程,然后与地形图作比较,从而得到地形图的精度。二是对成图过程的各个工序进行误差分析,然后综合各个工序的误差影响,最后得出地形图的精度。本节则采用第二种方法来分析地形图的精度。

### 一、地形图平面位置的精度

地形图平面位置的精度,是用地物点相对于邻近图根点的点位中误差来衡量的。以平板仪测图为例,从分析测图过程可知,图上地物点平面误差主要来源于解析图根点误差、图解图根点测定误差、测定地物点的视距误差、测定地物点的方向误差以及地形图上地物点的刺点误差等影响。

#### (一) 解析图根点的误差 $m_{\text{解}}$

解析图根点图上位置的误差,包括测定误差和展绘误差。测定误差因小于图上0.1 mm,可略去不计;展绘误差来源于方格网绘制误差及展点误差,根据经验,方格网绘制误差影响可按0.1 mm计算,展点误差按0.15 mm估计,则解析图根点的误差 $m_{\text{解}}$ 为

$$m_{\text{解}} = \pm \sqrt{(0.1)^2 + (0.15)^2} = \pm 0.18 \text{ mm}$$

#### (二) 图解图根点测定误差 $m_{\text{解}}$

当解析图根点不足时,可用图解方法增设测站点,增设测站点常用一个(或两个)点的图解支导线(简称支站)和图解交会的方法。

若采用支站的方法,则图解支站点的误差是由描划方向线的误差、视距测量误差及取点误差等综合影响的结果。

平板仪描划方向线的误差,其大小约为 $5' \sim 9'$ ,取方向误差的最大值来计算,由此而引起对测站点位置的影响为

$$\{\Delta_1\}_{\text{mm}} = \frac{9}{3438} \cdot \{S\}_{\text{mm}}$$

取 $S$ 为相应比例尺测图时最大视距长度的 $3/4$ (一般为图上长70 mm)计算,可得 $\Delta_1 = \pm 0.18 \text{ mm}$ 。

视距测量的精度,根据分析及实验表明,其相对精度一般为 $1/200 \sim 1/300$ (当然在坡度较大时必须十分注意标尺的倾斜误差影响)。支站时,视距是用视距直反视取中数而得,故视距测量误差对支站点位的影响为

$$\Delta_2 = \frac{m_{\text{解}}}{S} \cdot S \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

若 $S$ 仍取图上70 mm,视距测量精度取 $1/250$ ,则 $\Delta_2 = \pm 0.20 \text{ mm}$ 。

在图上取点的误差包括所用斜线比例尺(或直尺)的分划误差、取距离时的估读误差以及刺点误差等,其综合影响设为

• 本书所列公式中的数值方程,均采用国家标准GB3101—82规定的标准写法。 $\{\Delta_1\}$ 、 $\{S\}$ 表示 $\Delta_1$ 、 $S$ 的数值,花括号( )右下角指明该数值是以何单位计量的。



$$\Delta_3 = \pm 0.1\sqrt{2} = \pm 0.14 \text{ mm}$$

综合三者的影响，图解支站点的误差为

$$m_m = \pm \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2} = \pm \sqrt{(0.18)^2 + (0.20)^2 + (0.14)^2} \\ = \pm 0.30 \text{ mm}$$

用类似方法对图解交会点进行分析，也可得到近似结果。

有实验表明，图解图根点的点位中误差约为图上的0.25~0.30 mm。由此可见，对于大比例尺地形测图，可取图解图根点的测定误差 $m_m = \pm 0.3 \text{ mm}$ 。

### (三) 测定地物点的方向误差的影响 $m_f$

用平板仪施测地物点的方向误差来源于图板的对中、整平、定向、照准及划线误差等影响。

通常对中误差规定为图上的0.05 mm为限，故由此引起的方向误差最大为

$$\{e_1\}_{C'} = \pm \frac{0.05}{\{S\}_{\text{mm}}} \cdot \{\rho\}_{C'}$$

式中 $S$ 为测站点至目标的图上距离； $\{\rho\}_{C'} = 3438$ ，它是弧度与角度（以“分”为单位）的换算系数，即 $1 \text{ rad} = 57.3^\circ = 3438' = 206265''$ 。

各种不同比例尺测图时，测定地物点的最大视距一般为图上10cm，故上式中若取 $S = 100 \text{ mm}$ ，则 $e_1 = \pm 1.7'$ 。

图板倾斜时，方向线不是投影在水平面上，而投影在倾斜面上，当图板倾斜 $\epsilon$ 角时，其对方向的影响可用下式表示

$$\{e_2\}_{C'} = \frac{\{\epsilon\}_{C'}^2}{4\{\rho\}_{C'}}$$

若取 $\epsilon = 120'$ ，则此项影响约为 $e_2 = \pm 1'$ 。

如果照准仪没有调节水平轴水平的调节装置，那么图板倾斜将使水平轴随之倾斜，产生的方向误差 $e'_2$ 相当于经纬仪水平轴误差对方向值的影响，即

$$\{e'_2\}_{C'} = \pm \{i\}_{C'} \cdot \text{tg} \alpha$$

式中 $i$ 为水平轴倾斜误差， $\alpha$ 为视线倾斜角。当 $i = 10'$ ， $\alpha = 5^\circ$ 时， $e'_2 = \pm 1'$ 。

图板定向误差使同一测站上所有方向线都偏转与定向误差同样大小的一个角。也就是说，图板定向误差对方向的影响即为定向误差的大小。定向误差主要是由直尺未通过两定向点中心及对中与整平误差所产生，若设定向点直径为0.1mm，则由于未通过中心而产生的影响为

$$\{e'_3\}_{C'} = \pm \frac{0.1}{\{S\}_{\text{mm}}} \cdot \{\rho\}_{C'}$$

$S$ 为定向边的图上长度，一般定向边应不小于图上10 cm，取 $S = 100 \text{ mm}$ ，则 $e'_3 = \pm 3.4'$ 。再取前面讨论的对中误差和整平误差对方向的影响（分别为 $\pm 1.7'$ 和 $\pm 1'$ ），则可得到图板定向误差对测定地物点方向的影响为

$$e_3 = \pm \sqrt{(3.4)^2 + (1.7)^2 + (1.0)^2} = \pm 3.9'$$

目标照准误差包括标尺（标杆）未立在地面点上，或标尺竖得不直以致照准部位与地面点铅垂线不在同一竖面内，以及照准时十字丝竖丝未通过标尺中心等。设地面点偏在照准面的左（或右）侧的偏离距为 $d$ ，则由此而产生的方向误差为