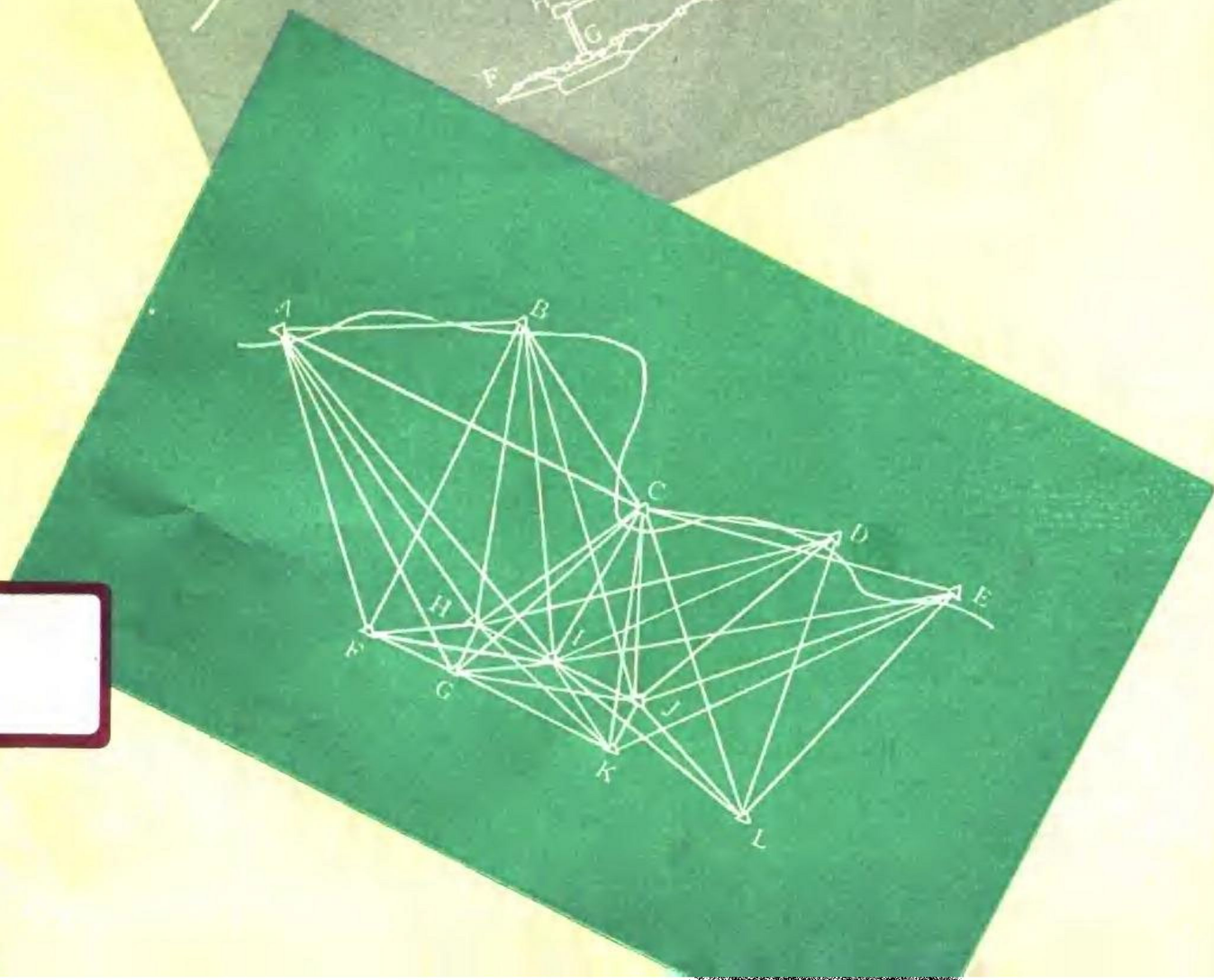


工程测量

陈龙飞 金其坤 编著

同济大学出版社



内 容 提 要

作者根据30多年的教学、科研实践,结合工程实例介绍工程测量的基本方法和基本理论,帮助学生提高分析问题、解决问题的能力;本书既反映了国内外工程测量的先进成就,又密切结合我国实际情况,有助于开阔学生的思路。全书内容丰富,具有一定的深度和广度,可作为测绘、地质、矿业、冶金、土建、交通、海洋、农业和水利电力等院校的工程测量和矿山测量专业教材,也可供其他测绘专业教学人员和工程技术人员参考。

责任编辑 何云峰

封面设计 陈益平

工 程 测 量

陈龙飞 金其坤 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

常熟市印刷二厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 17.00 字数: 435千字

1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷

印数 1—3000 定价: 3.40元

ISBN 7-5608-0619-8/TU·75

前 言

本书是作者根据30年工程测量教学和生产经验编写而成。

工程测量内容繁多,涉及测绘科学的各个分支学科,服务于土建、交通、水利电力……等等众多部门。作者打破了平铺直叙、面面俱到的做法,从众多工程测量作业中提炼出共性的内容,以理论为指导加以归纳。然后将归纳出来的要点、结合工程实例,介绍工程测量的基本方法和基本理论,从而使学生得到工程测量工程师的基本训练。书中介绍了对于工程测量方法和方案分析的思路,也有作者对常规工程测量方法的改进及对精密和特殊工程测量的创新,因此本书有助于开阔学生思路,提高他们制定工程测量方案的能力。本书既反映了国内外的先进技术成就,又密切结合我国的实际。全书内容丰富,具有一定的深度和广度。

本书的前身为陈龙飞所编的《工程测量》讲义。它曾在同济大学等高校作为教材使用多年。本书是在该讲义基础上增补修改而成。陈龙飞负责绪论、第一、二、七、八、九章全部及第三、六章部分修改工作,金其坤负责第三、四、五、六章的修改工作。最后由陈龙飞负责全书的定稿工作。

在修改过程中,西安地质学院田青文提供了§3-6三维控制网的资料;交通部第一航务工程勘察设计院李金亮提供了§1-6水下地形图测绘的资料;高庆华清绘了大部分插图;并得到同济大学测量系和西安地质学院测量系领导和老师们的支持和帮助。沈镜祥教授、顾孝烈教授在审阅书稿时提了许多宝贵意见。作者在此一并表示深切的谢意。

本书作为工程测量课程教材,可供测绘、地质、矿业、冶金、土建、交通、海洋、农林和水利电力等院校的工程测量、矿山测量专业使用。也可作为大地测量、摄影测量与遥感、土地管理、土建等专业的选修教材。本书还可供从事工程测量的教学、生产和科技人员参考。

编 者

绪 论

测量学是一门历史悠久的学科，它是地学的一个重要分支。促进测量学发展的因素很多，各种工程建设的需要无疑是测量学发展的重要因素。人们在修建城堡、整治土地、兴修水利、开采矿藏……等工程建设中早就用上了各种测量方法。至今测量学已成为有着很多分支学科的一门学科。在我国称之为“测绘学”。在相当长时期中，测绘学的其他分支如大地测量学、摄影测量学等发展迅速，近几十年来随着科学技术的进步和生产力的发展，各国兴建了许多规模大、内容复杂、精度要求高的工程。例如拦河大坝、大型联合企业、跨越大江河的桥梁、长达几十公里的隧道；城市地下铁道网、数百米高的电视塔、精度要求特别高的自动化工业设备和科学实验装置如高速导轨、粒子加速器、射电望远镜、通讯卫星地面接收天线等。在这些工程的促进下，工程测量学也得到了迅速的发展。

一般将“工程测量”定义为：在工程建设勘察设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作。按工作顺序和性质分为：勘察设计阶段的控制测量和地形测量；施工阶段的施工测量和设备安装测量；管理阶段的变形观测和维修养护测量。按工程建设的对象分为：建筑、水利、铁路、公路、桥梁、矿山、城市和国防等工程测量。按这个定义，工程测量只是土木工程建设中的测量工作。

如果我们把土木工程建设中的测量工作称为常规工程测量，则除此之外，工程测量所研究的内容还有：

精密工程测量技术

随着测量技术在大型、精密的工业设备安装和建筑物变形观测中的广泛应用，高精度测量技术，如高精度准直、高精度测距、高精度仪器对中等都有了很大的发展。

高精度工程测量工作不只局限于使用经纬仪、水准仪、测距仪等，还吸收其它学科的成就，如应用激光技术和传感器技术，不仅使测量精度得到提高，还促进了测量工作的自动化。

工程控制网的优化设计与平差

电子计算机应用的普及以及测量仪器的发展，使工程测量控制网形式多样化。边角网已成为普遍应用的布网方式。在工程测量中三维网也获得了应用。现在在设计网形时已不必考虑平差计算是否容易。精度也不再是评价网形质量的唯一指标，网的可靠性和经济性也成为设计时衡量网质量的重要指标。优化技术获得了应用；人机对话式的优化方法已能实用；一些特殊形式的工程控制网，如直伸形三角网、环形控制网、带陀螺方位角的导线等也已得到了充分的研究。

工程控制网的平差也有了发展。网中不同类观测元素之间的权比问题的研究获得了进展；利用电子计算机可以对网中众多元素作全面的精度评定，能够绘出误差椭圆或算出误差椭圆，使人们对网的质量有更清楚直观的了解；自由网平差已成为研究控制网中基准点稳定性

的有力工具。

用数理统计方法对大量工程测量观测数据进行处理也是一个很多人正在研究的课题。

工程摄影测量

随着摄影测量应用领域的扩展，它与工程测量的关系愈来愈密切。

摄影测量与工程测量手段相结合，大大地扩大了测量技术的服务领域。利用高速摄影机(带时标的)拍摄的资料可以进行动态测量，例如可用于研究运动员的姿态、轨迹、速度、加速度等。

摄影测量的资料可以用模拟仪器加工处理，目前更多地利用电子计算机进行解析处理。这又进一步扩大了工程摄影测量的应用领域。

土地信息学

数据并不一定是信息，只有经过加工、分析作出了解释的数据才是信息。而社会需要的是信息。因此，我们应该既要数据的采集者，也要数据的解释者，即我们要做信息的采集和管理者

把以往的地图与某种专题信息结合可以组成专题图。当今存在计算机中的数字化地图是建立现代化信息库的基础。土地信息库的建立和应用，构成了土地信息学。这是广大测绘工作者当前十分关注的问题。“地籍信息系统”、“城市规划信息系统”、“地下管网信息系统”、“矿山巷道信息系统”等都是工程测量工作者当前正在研究的某种专题土地信息系统。

由此可见工程测量的含义是很广的。

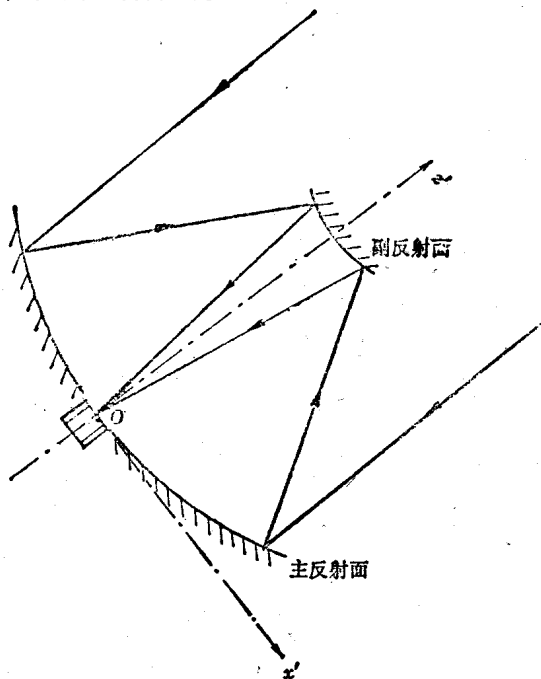
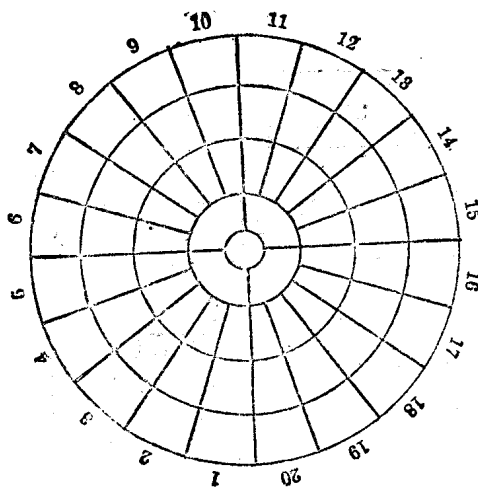
工程测量学与测绘学的其它分支关系密切。一方面，工程测量是测绘科学在解决工程建设和国民经济各部门中一系列物体的形状、大小、位置等几何量测定和放样时的应用，另一方面，工程测量实践经验经总结提高上升为理论后又反过来促进其它分支学科的发展。

如果学生或测绘科技工作也已经掌握了测量学、数理统计、最小二乘法与测量平差、大地测量学、摄影测量学、测绘仪器学等知识并能加以灵活应用，那么学习工程测量学是不难的。水平高的工程测量工作者善于从工程的具体条件出发，充分利用手中的仪器，以最小的代价，最简便可靠的方法，获得最佳的结果。因此在本课程中虽然要学习一些工程测量专用的仪器和方法，但更重要的是要在学习中注意提高自己分析问题、解决问题的能力。下面通过实例谈谈这个问题。

通讯卫星地面接收天线由两个旋转曲面——主反射面和副反射面——组成。主、副反射面把来自卫星微弱的电磁波汇集于接收器，从而成千倍地增强信号。副反射面的形状由机械加工保证，而主反射面为一个直径20米的旋转曲面，分64块制作，然后拼装成形。在64块面板下有1800只调节螺丝。如果面板偏离设计形状或副反射面位置不正确，则部分电磁波将进不了接收器，天线性能就差了。因此要求测量人员配合安装，测算面板上1800个点偏离设计位置的数值。知道这些值后，安装人员就能调节好面板。测量面板上点的空间坐标的精度要求为 ± 1 毫米。

一开始提出了很多方案，归纳起来可分两类，一类是基于摄影测量技术，另一类基于精

密工程测量技术。为了决定究竟采用哪个方案，需要进行分析。



下面着重分析摄影测量方案。

摄影测量方法适用于测量大批点子的空间位置。现有1800个点的空间坐标待测定，与精密工程测量方法相比，摄影测量方法将具有外业时间短的重大优点。

但摄影测量方法能否满足所要求的精度？

摄影测量的理论和实践告诉我们，它测定点位的误差 M 与摄影距离 S 成正比。按当时国内的技术条件(摄影仪器、摄影材料、量测仪器等)预计有

$$M = \left(\frac{1}{2000} \sim \frac{1}{5000} \right) S$$

当要求 $M=1$ 毫米，则 $S=2\sim 5$ 米。

当时国内具有的摄影经纬仪适宜于拍摄20米以外的目标，它们不能用来拍摄2~5米近的目标。为此需要另外进口合适的摄影机，或者利用一般相机代替精度高的专用摄影机。后者又会引起精度降低的问题。

此外，由于摄影距离短，像片能覆盖的面积就小。顾及必须的纵横向重叠度以后，预计需拍摄200~250片。从而会产生相当多的布设标志点、测算外控点坐标、量测像点坐标及解算空中三角网等工作。又为了确保预定的纵横向重叠度，还得妥善解决在空中一系列预定位置上架设摄影机这个具体问题，估计为此要花很多钱。

经过仔细分析后，否定了开始呼声较高的摄影测量方案。

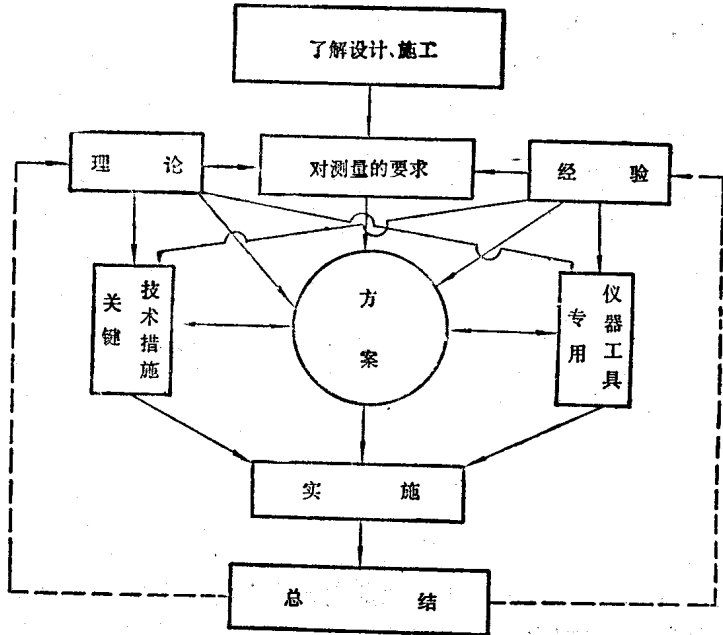
分析精密工程测量方案时发现，精度容易达到，只是工作量很大，而且为了避免日照对结构物的影响，整个观测要在夜间进行。

此外，为了把位于倾斜状态下天线面上点的坐标(设为 $X、Y、Z、$)，换算到天线的设计坐标系中去($X'、Y'、Z'$)，必须测量天线主轴 Z' 在大地坐标系中的倾斜角和方向角。用常规测量方法无法以足够的精度求得这两个角值。这成了是否采纳本方案的一个关键技术问题。后来找到了解决的办法(见本书§8-2-2)，方案才告成立。在实施方案过程中还为此设计并加工了专用仪器。

这个例子告诉我们，工程测量科技人员的能力反映在能否制定科学合理的测量方案并能解决实施方案过程中产生的技术问题。

而一个方案从其形成到实施的过程大致如图0-2所示

制定方案前，首先要了解设计、了解施工。为此，工程测量科技人员应具备一些工程知识。但是工程的种类很多，我们不可能也不必对什么工程都懂，只能是在遇到具体工程时边干边学。但具备工程力学和工程制图知识是十分必要的。了解设计和施工的方法首先是阅读设计图纸和文件。其次是与设计



及施工方法时，测量方案的构思就在进行。对于一位既有理论基础又有实践经验的测量工程师，当他对工程了解清楚时，测量方案大体上也定下来了。理论基础主要指误差分析知识，既包括对测量控制网和测量方法的误差分析，也包括测量仪器和外界条件的误差分析。构思方案时并不要求精确地计算精度，往往只要做粗略的估算，因此一些简化的精度估算公式和概略计算技巧是十分有用的。实践经验对制定方案也十分重要。在其它工程中取得的经验虽不能照搬，但常可借鉴。经验越丰富，思路越广泛，越能提出解决问题的办法。

工程条件各不相同，往往单靠常规的测量仪器和方法不能处理，因此方案中常要包括解决某些关键性技术问题的措施。有时还需设计并加工一些专用的仪器和工具，制定一些新的工程测量方法。由于某个技术问题无法解决而迫使大幅度修改方案，甚至被迫放弃原方案的情况是常有的。解决关键性技术问题和设计专用仪器也和理论基础及实践经验分不开。此外工程测量科技人员还应善于应用相邻学科成熟的技术来解决工程测量问题。例如激光、传感器和电子技术已成功地用于变形监测工作中。

一个方案很少百分之百地付诸实施。只要方案的基本思想没有大的改动，即使实施中有些具体的修改补充，仍算是个好方案。事实上方案实施的过程也是方案逐步完善的过程。

最后，常会被人遗忘的一点就是总结提高。具体工程中的具体方案总带有一定的特殊性。只有通过总结才可从特殊经验中提炼出有普遍意义的规律。总结要在理论指导下进行，是一个提高的过程。如果不重视总结，或者因为缺乏理论修养而做不好总结，那么即使经历了许多实践，处理问题的水平仍可能不高。

这样环绕着方案的制定到实施诸环节组成一个循环，每接一个新任务就进入一个新的循环。一个循环完成就提高一步。工程测量科技人员的能力就是在这样的循环中得到锻炼，逐步提高。

目 录

绪论	(1)
第一章 工程建设中地形图的应用和地形测绘	(1)
§1-1 勘察设计阶段中地形图的作用	(1)
§1-2 设计用地形图的特点	(2)
§1-2-1 地形图的特点	(2)
§1-2-2 中小比例尺地形图的特点	(3)
§1-2-3 大比例尺地形图的特点	(4)
§1-3 关于设计用地形图比例尺选择的讨论	(5)
§1-4 工厂区的地形图测绘	(6)
§1-5 地籍图的编(测)绘	(13)
§1-6 水下地形图测绘	(16)
§1-6-1 水位观测及水位改正	(17)
§1-6-2 简单工具法水深测量	(18)
§1-6-3 回声测深仪	(19)
§1-6-4 测深点平面位置的测定	(21)
§1-6-5 成果处理	(23)
第二章 工程测量控制网	(26)
§2-1 概述	(26)
§2-2 工程控制网优化设计概念	(29)
§2-2-1 常用的优化方法	(30)
§2-2-2 控制网优化方法简介	(33)
§2-3 几种常用的施工控制网	(36)
§2-3-1 桥梁施工控制网	(37)
§2-3-2 水利枢纽施工控制网	(37)
§2-3-3 隧道施工控制网	(37)
§2-3-4 工业场地上的施工控制网	(38)
§2-4 几种特殊工程测量控制网	(38)
§2-4-1 直伸形三角网	(38)
§2-4-2 环形控制网	(41)
§2-5 三维控制网	(45)
§2-5-1 竖直角观测值归化至标石中心	(46)
§2-5-2 空间距离归化至标石中心	(46)
§2-5-3 空间角的计算	(47)
§2-5-4 空间距离的误差方程式	(47)

§2-5-5 空间角的误差方程式	(48)
§2-5-6 三维网平差时权的处理	(49)
第三章 施工放样	(52)
§3-1 综述	(52)
§3-1-1 施工放样的精度要求	(52)
§3-2 一般放样方法	(54)
§3-2-1 放样高程	(54)
§3-2-2 放样角度	(56)
§3-2-3 放样铅垂线、投点	(56)
§3-2-4 放样直线	(57)
§3-2-5 放样点位	(65)
§3-3 归化法放样	(69)
§3-3-1 归化法放样距离	(70)
§3-3-2 归化法放样角度	(70)
§3-3-3 归化法放样直线(归化法准直)	(71)
§3-3-4 归化法放样点位	(79)
§3-3-5 用归化法放样一大批点位——建筑方格网的放样	(84)
§3-3-6 关于工业场地上工程控制网形式的讨论	(90)
§3-4 放样经验	(91)
§3-4-1 成组锚栓螺杆安装的经验	(92)
§3-4-2 刚体定位	(94)
§3-4-3 施工放样时笨重部件的微动及限位	(95)
§3-4-4 放样规定坡度的直线	(97)
§3-4-5 放样缓倾斜平面	(98)
§3-5 无多余观测时误差椭圆的画法	(98)
第四章 线路测量	(104)
§4-1 概述	(104)
§4-2 初测中的几个技术问题	(106)
§4-3 定线	(107)
§4-4 定测	(110)
§4-4-1 放线	(110)
§4-4-2 中线测量	(113)
§4-4-3 纵断面高程测量	(113)
§4-4-4 横断面测量	(113)
§4-5 路基设计	(115)
§4-5-1 求面积的方法	(117)
§4-5-2 体积计算	(118)
§4-6 数字地面模型在线路辅助设计中的应用	(118)
§4-6-1 DTM 中几种常用的插值算法	(119)

§4-6-2 DTM 数据的采集	(123)
§4-6-3 DTM在路线CAD 中应用简介	(125)
第五章 曲线放样	(127)
§5-1 概述	(127)
§5-2 圆曲线主点的放样	(127)
§5-3 圆曲线的详细放样	(129)
§5-3-1 切线支距法	(129)
§5-3-2 弦线支距法	(130)
§5-3-3 偏角法	(131)
§5-3-4 辅助切线法	(132)
§5-3-5 距离交会法(弦线偏距法)	(133)
§5-4 复曲线	(134)
§5-5 缓和曲线的放样	(135)
§5-6 放样曲线遇障碍时的处理方法	(140)
§5-6-1 两直线的交点 J 上不能设站	(140)
§5-6-2 用偏角法放样圆曲线细部点时视线受阻	(141)
§5-6-3 用偏角法放样缓和曲线细部点时视线受阻	(142)
§5-6-4 在缓和曲线起点上不能设站	(142)
§5-7 回头曲线	(143)
§5-8 竖曲线	(144)
第六章 贯通测量	(147)
§6-1 概述	(147)
§6-1-1 地下工程测量综述	(147)
§6-1-2 横向贯通误差的配赋	(143)
§6-2 地下导线测量	(149)
§6-3 竖井联系测量	(150)
§6-3-1 竖井高程传递	(151)
§6-3-2 一井定向	(153)
§6-3-3 两井定向	(159)
§6-4 地面控制网误差对贯通的影响	(162)
§6-4-1 地面控制网误差对贯通的影响	(162)
§6-4-2 一种特殊形式的地面控制网	(164)
§6-5 贯通误差的测定与调整	(164)
§6-5-1 贯通误差的测定	(164)
§6-5-2 贯通误差的调整	(165)
§6-6 陀螺经纬仪定向	(166)
§6-6-1 陀螺仪的基本特性	(166)
§6-6-2 陀螺经纬仪的工作原理	(138)
§6-6-3 陀螺经纬仪及其应用	(170)

§6-7 有多个陀螺方位角支导线的平差及精度估算	(177)
第七章 高精度工程测量技术	(182)
§7-1 工程测量标志	(182)
§7-1-1 高程标志	(182)
§7-1-2 平面标志	(187)
§7-2 工程测量测角方法	(192)
§7-2-1 望远镜对光问题	(192)
§7-2-2 照准目标	(195)
§7-2-3 其他注意事项	(197)
§7-3 高精度测距技术	(197)
§7-3-1 读数显微镜	(197)
§7-3-2 因瓦测长仪	(198)
§7-3-3 高精度电磁波测距仪	(199)
§7-3-4 双频激光干涉测长仪	(200)
§7-4 高精度测量高差的技术	(200)
§7-4-1 几何水准测量	(203)
§7-4-2 微距水准仪	(205)
§7-4-3 流体静力水准测量	(209)
第八章 特种工程测量技术	(209)
§8-1 激光技术在工程测量中的应用	(209)
§8-1-1 氦氖激光器简介	(210)
§8-1-2 施工测量的激光仪器	(211)
§8-1-3 激光准直	(215)
§8-2 平行光管技术	(215)
§8-2-1 平行光管原理	(215)
§8-2-2 平行光管在工测中应用举例	(216)
§8-2-3 测量望远镜按平行光管原理工作的注意事项	(218)
§8-2-4 自准直平行光管	(218)
§8-2-5 自准直平行光管应用举例	(219)
§8-3 垂线和引张线	(221)
§8-3-1 垂线	(221)
§8-3-2 引张线	(224)
§8-4 自动化技术在工程测量中应用简介	(226)
§8-4-1 传感器	(226)
§8-4-2 传感器在工程测量中的应用	(229)
§8-5 电子速测仪在工程测量中的应用	(230)
§8-5-1 电子速测仪简介	(230)
§8-5-2 自由测站定位法	(231)
§8-5-3 电子速测仪在工程测量中应用举例	(232)

第九章 变形观测.....	(235)
§9-1 概述.....	(235)
§9-2 变形观测的精度与复测周期.....	(236)
§9-3 变形观测方案.....	(238)
§9-3-1 若干例子.....	(238)
§9-3-2 变形观测方案的制定.....	(242)
§9-4 变形观测控制网.....	(244)
§9-4-1 变形观测控制点的稳定性分析.....	(244)
§9-5 变形观测成果的整理与分析.....	(247)
参考文献.....	(256)

第一章 工程建设中地形图的应用和地形测绘

§ 1-1 勘察设计阶段中地形图的作用

设计是为完成预定的工程建设任务所拟定的施工步骤和措施的决定。任何决定的作出，其主观条件是必须具备本行业的理论知识和实践经验，客观条件是能确切而及时地了解有关信息。一个好的工程师，首先要尽可能准确地顾及各种经济因素和社会因素，除此以外，还必须对工程建设所在地的地形条件、地质条件和水文地质条件等有充分的了解。如果不掌握当地的地形、地质和水文地质信息，就没法作具体设计。我国各种设计院中都设有勘察部门也正是这个道理。

设计通常分几个阶段进行，如果把选址也算作设计的一个阶段，则设计可分三个阶段，即选址、初步设计与施工图设计。各阶段设计的目的及任务各不同，内容也有所不同，而就与测绘工作的关系来说，其不同性在于各阶段涉及地域的大小不同，对地形信息详细程度的要求不同，从而导致各阶段所需地形图比例尺的大小不同。

我国绝大部分地区有1:50000和1:100000比例尺地形图，选址时通常利用这些地形图。初步设计时随着工程性质及地域大小不同可采用1:2000~1:5000比例尺地形图。施工图设计时要详细设计各建筑物(包括房屋、道路、管道、桥、隧等等)的细部，所以要求地形图比例尺更大些。多数情况下1:1000比例尺地形图已能满足需要，但有时要用1:500比例尺地形图。当从地形图上图解求得有关地物位置、大小、尺寸的精度满足不了设计的要求时(例如改建或扩建)，常须另外测量一些点的坐标和高程，例如主要厂房角点的坐标，已有道路中心线上一些点的高程等，并编制细部坐标成果表与地形图一起供设计人员使用。

设计的内容很多，如从建筑功能出发的工艺安排、设备配置，从美学考虑的建筑设计，从牢固安全又经济出发的结构设计等等。但首先要决定待建建筑物的位置、形状、大小以及它们之间的相互关系等几何量，没有这些几何量是无法进行其他各种设计的。决定这些几何量又必然要顾及地面已有地物、地形的位置、形状、大小等情况。即使可以把待建区内原有旧建筑物都拆除，也还必须顾及地形条件。具有可量性、综合性和易读性的地形图是了解已有地形、地物情况及决定待建建筑物诸几何量，包括待建物与原有地形地物之间关系的必需的资料。

下面举一些例子来说明地形图的作用。

在城市规划工作中首先要利用地形图作功能分区规划。当然做规划设计要顾及工、农、商各业，考虑人口及由此引起的种种因素，考虑资源和地理气候条件、考虑内部和外部交通条件等。很多因素与地理分布有关，在处理这类问题时必须使用地形图。例如规划的一个重要内容是在地形图上设计市内的运输系统及该市与邻近地区或其它城乡联系的运输系统。城市土地按功能分区在于合理地布置工业区、商业区、居民住宅区、文化娱乐及绿化区等。通常为了改善居住区的环境条件把住宅区安排在上风处以及河流的上游，而工业区布置在下风处

以及河流的下游。在这两个区之间尽可能布置绿化隔离带。从地形上来说,那些坡度过大,地形破碎的地段可规划为绿化地带,而工业区宜布置在平坦地区、居民住宅区可布置在平坦或略有起伏的地段。显然做这些规划工作都需要利用地形图。在做宏观的规划时利用较小比例尺的地形图,通常为1:10000。做市内某个小区的详细规划时要用较大比例尺的地形图,通常为1:1000~1:2000。

在河上修建水坝时,利用地形图可以选择建坝地点,估算蓄水高度与库容以及淹没面积之间的关系,可以在地形图上标出淹没区范围;从而可以估计搬迁居民点、工厂、交通线改道,未来库底清理等措施所需的工作量及费用,做工程结构物具体设计时要利用大比例尺地形图。

任何工程在施工前需做施工组织设计。例如:水利工程多数在山区进行,那里平坦的地块较少,因此施工组织设计尤其显得重要。为此必需利用地形图,在图上安排施工用的机修车间、混凝土捣拌楼、水泥仓库、材料仓库、堆场、办公用房、宿舍、以及道路系统等等。在土地十分珍贵的城市中进行建设时,更要处理施工用地与待建建筑物之间的关系,这些只有利用地形图才可做到。

工业场地设计时首先要安排好各个建筑物之间的相互关系,同时顾及地形条件的最佳利用,这工作称为总平面图设计。通常,先按照工程使用时产生工艺的要求,将有相互联系的主要建筑物画在透明纸上。再将该透明纸覆盖在地形图上,考察设计建筑物与原有地形地物的关系,反复移动比较后选出较佳方案。如果工艺并不要求建筑物之间具备一定的联系,则可以将待建的主要建筑物按比例剪成硬纸片,然后在地形图上安排这些硬纸片,从而获得设计方案,确定各建筑物的位置、走向及坡度等等。当然这是一种非常简化了的说法。实际上总图设计时要综合考虑很多因素。

§ 1-2 设计用地形图的特点

为了能很好地配合设计做好测量工作,工程测量工作者首先应该对自己所提供资料的优良性能有充分了解。

§ 1-2-1 地形图的特点

地形图是地图的一种,中国大百科全书(测绘学 卷,第119页)定义地图为按照一定数学法则,运用符号系统和地图制图综合原则,表示地面上各种自然现象和社会经济现象的图。

绘制地形图的数学法则是按一定比例进行正形投影。由此决定了地形图的一个突出优点——可量性、可定向性。地形图与其他工程图纸不同,其他工程图纸上图形本身没有可量性或只有粗略的可量性,其精确的尺寸是靠注记来确定的。地形图却是严格按比例绘制地形地物的形象。设计人员可以在地形图上对地形地物作定量分析。例如可以确定图上某点的平面坐标及其高程,可以测算面积、体积,可以利用地形图了解某地的坡度、坡向,可以利用地形图绘制某方向线上的断面图等等。

地形图的另一个特点是综合性和易读性。

地形图上表现的内容很丰富,如居民地、交通网、境界线等各种社会经济要素以及水系、地貌、土壤和植被等自然地理要素,还有控制点、坐标格网、比例尺等数学要

素，此外还有注记等。

但是实地上这些社会经济要素、自然地理要素极其丰富。它们决不可能全部、详尽地表示在缩小千百倍的图纸上。加上实物是三维的，而图纸是二维的，因此必须采用某种综合归纳的手法才可制作不仅科学性强，同时又美观实用的地形图。所谓综合手段就是从大量制图对象中选择出较大较重要的地物和现象，舍去次要或非本质的地物和现象的一种方法。有些地物虽然小，如通讯线、电力线等，但因其重要，仍要把它们突出地表明在图上；对于大多数地物往往要去掉其轮廓细部而代之以总的形体特征；另外把类似的地物或现象归纳在一起以减小分类数目，并设计了一系列地形符号用来生动地、科学地反映制图对象的特征；用等高线、地貌符号及高程注记等综合方法表示地面起伏状况。在小比例尺图中还利用色彩来丰富地形图的表现手段，增加它的易读性。

综合的结果使地形图提供的信息不仅内容丰富，而且重点突出，清晰易读。这一特点是它赢得广大用户的重要原因。

70年代初，测量人员开始利用航空摄影像片制成影像地图。这种图的形象丰富，又具有居高临下的直观性。但是长时期以来，它在我国设计人员中并未得到推广。因为与常规地形图相比，影像图的信息缺乏综合取舍处理，加上色彩单调，有时地物的轮廓不太清晰，这就使得重点不突出，用图者感到使用不便。当然习惯也是一个因素。为了改善影像图的性能，现在常在影像图上加绘一些线划符号及注记等。

为了保持易读性，图面负荷就要加以限制。当然，一定面积图幅上可容纳多少信息还与图的制印技术有关，但总有一个限度。随着比例尺的改变，一幅图(为了使用方便，通常图幅的大小约为 $50 \times 50 \text{cm}^2$)所表示的地面大小不同。比例尺愈小，涉及地面愈大，因此信息的概括程度愈高。反之，比例尺愈大，细部信息愈多，但一幅图涉及的范围也愈小。也就是说，设计人员在小比例尺图上可以获得大范围内宏观的信息，而在大比例尺图上可以获得小范围内的微观信息。

§ 1-2-2 中小比例尺地形图的特点

工程测量工作者习惯于把 $1:500 \sim 1:2000$ 地形图称为大比例尺地形图，而称 $1:10000 \sim 1:50000$ 为中小比例尺地形图。

当我们说地形图是客观地反映了实际地形地物时，这个“客观性”是在某个取舍标准下的客观，而不是绝对的客观。而取舍标准首先取决于图的用途。国家规定，中小比例尺地形图是多用途的地形图。它首先可用于军事活动，因此各国政府不惜拨出巨款测绘并印刷全国地形图。所以在中、小比例尺图中反映较多与军事活动有关的地形和地物就不奇怪了。例如，在这些地形图中房屋按耐火性能——它有较大的战术意义——分等级，并用醒目的符号突出那些特别坚固的耐火建筑物、桥梁荷重、道路等级、沼泽地的通行性，涉水处河床的底质、陡坎的比高等内容，对部队(包括坦克等机械化部队)行军有重要意义，因此都要在图上标明。独立、明显的地物对行军定向定位有重要意义，即便它只是一个突出醒目的孤石，虽然没有什么经济价值，也必须测绘在小比例尺地形图上。这里只是一些例子，若仔细研究中、小比例尺地形图的测量规范(或细则)还可以发现更多的例子。

中小比例尺地形图占地面积大，例如一幅 $1:5$ 万比例尺地形图反映实地400多平方公里面积上的地形地物。测绘它要花费相当可观的人力、财力和物力，经历相当长时间，如果考虑

印刷,又要很大花费。一测多用就可减少重复浪费,因此制定取舍标准时要使地形图能有相当大的综合性,从而使这些图能在地质、水利、农业、交通等等众多国民经济部门及很多管理和科研部门中获得广泛的应用。所以国家测绘局把“一测多用”定为测绘管理的原则。

为了实现一测多用,就一定要对测绘成果制定统一的规格:统一的精度,统一的内容,统一的坐标系统,统一的分幅方法,统一的图式,甚至统一的整饰规格等等。

§ 1-2-3 大比例尺地形图的特点

大比例尺地形图主要用于经济建设。但在相当长一段时间里,一些规范条文不恰当地把小比例尺地形图的测绘要求套用于大比例尺地形图上。在1979年6月7日颁发的TJ 26-78工程测量规范^[1]对此作了较大的修改。随后国家测绘局公布的大比例尺地形图图式^[2]也相应作了大幅度修改。1985年城乡建设环境保护部公布的标准“城市测量规范”(GJJ8-85)^[3]在大比例尺地形图的作用、内容取舍等条文中,更充分体现了大比例尺地形图主要是经济建设用图这一思想。

例如《工程测量规范》规定:“1:5000比例尺地形图,一般适用于规划设计;1:2000比例尺地形图,一般适用于初步设计;1:1000和1:500比例尺地形图,一般适用于施工图设计”。

《城市测量规范》在規定大比例尺地形图测绘内容时突出强调了与城市规划、建设有关的各项要素。《工程测量规范》第85条指出:“植被的测绘应按其经济价值和面积大小适当取舍。”如果仔细阅读这两本规范中有关测绘内容和取舍的条文,并把它们与1:50000比例尺地形图测绘规范的有关条文比较分析的话,可以看到不仅仅是植被的取舍,几乎可以说大比例尺地形图绝大部分测绘内容的取舍都是按经济价值、经济建设的需要来决定的。

因此,用于设计的大比例尺地形图主要是经济用图,这是第一个特点。

设计用大比例尺地形图的第二个特点是专用性强。

当前在我们国家,大量大比例尺地形图是由各工业部门为具体设计单位专门测绘的,即大多是为某具体工程服务的。这些图的目的性明确,专用性强。一旦施工开始,地形地物就大大改变。此外它又往往局限在一个相当小的范围内。几十年的经验证明这些图只是为某一家设计院使用,而不是一测多用。既然不是一测多用,就不必过于“统一”。不论是精度、内容,还是表现形式等都应该以用图单位的要求为标准来确定。也就是说应允许各部门测绘的大比例尺地形图之间存在一定差异,即使有较大的差异,只要它能满足用图者的需要,也应该是允许的。例如有的工程只要求测绘地物的平面位置,有的则要求加测地形,有的主要重视地形而地物可以大大简化,例如居民地只需测绘外廓线。有的图要求严格按规范规定的精度测绘,有的则嫌图的精度太低,还要求详细测算一些特征点的坐标和高程,而有的却可以允许以较低的精度测绘,例如1979年试行的《工程测量规范》中专门规定了:“对于精度要求较低的专用地形图,可以按小一级比例尺地形图的规定进行测绘或利用小一级比例尺地形图放大。”对于大比例尺地形图是否一定要按照规范所定的统一规格进行测绘这个问题,相当长时期中一直存在争议,一些长期从事大比例尺地形图测绘的科技人员最近发表意见,认为在一定条件下可以改变大比例尺地形图的图例、内容取舍标准及精度要求等。

综上所述,我们可以得出结论:专为某一用户使用的大比例尺地形图可以有自己的标准。用户满意应是判定图的质量的主要标准。那种不管不同用户需要的特点而硬性规定某种“统一”的标准要各测绘单位执行,其效果是不好的。比较妥当的办法是对一些共性的问题作

一些原则性的规定,同时允许各部门根据本部门的情况作出补充规定。规定也不宜订得过分“细”、“具体”。一方面要允许作业人员发挥主观能动性,为达到规范所定的基本要求而采取不同的措施;另一方面也可以为采用新仪器、新技术创造条件。过分强调“统一”、“细”、“具体”会导致低效率,造成浪费。

上面讨论的是大比例尺地形图的第二个特点。不过值得一提的是城市大比例尺地形图,它与为具体工程项目服务的图不同,它是城市的基本地形图,为市内各部门服务,所以应该一测多用。一个城市内部应该按照统一的规范去测绘。但也不排斥各城市测绘大比例尺地形图的规定之间有些差别。社会、经济以及自然地形上的差异应该反映在大比例尺地形图图式、取舍内容、精度要求等问题上。

关于设计用地形图有待研究的问题尚很多,等待着我们去探讨。

§ 1-3 关于设计用地形图比例尺选择的讨论

在我国广大土地上,通过几十年建设实践,我们已经积累了丰富的经验。例如,对不同的工程,不同的设计阶段要用何种比例尺的地形图已有了较成熟的经验,一般说来规划设计阶段,如城市或大型联合企业的总体规划,方案比较等用1:5000或更小比例尺地形图;1:2000比例尺地形图用于初步设计;施工设计用地形图比例尺为1:1000或1:500。

长期在测绘界讨论的所谓“设计用地形图比例尺的选择”问题,实质上就是想搞清楚施工设计用地形图的比例尺究竟应该是1:500还是1:1000。对此,测绘人员很关心,因为按照规范去测图,随着比例尺的扩大,相应的测绘工作量,从图根控制,碎部测绘以致整饰、清绘等要成倍地增加。国家规定的收费标准也表明,同类的同样面积的地形图的测绘经费,1:500比例尺的是1:1000的2倍多。也确实有一些设计人员对测绘工作不甚了解,往往提出了不恰当的要求。

很长时间来,很多工程测量人员为了解决比例尺确当选择的问题进行了下面两方面的研究。一方面研究大比例尺中地物的平面位置和等高线的高程具有怎样的精度。搞清了一些问题,其结果对修订规范具有参考价值。但研究过程中发现,对地形图精度作定量分析是一件十分困难的事,因为影响因素太多,如作业方法、使用仪器、作业员的技术、操作时仔细程度、以及取舍上的主观判断等。总的说来,大比例尺人工实测地形图有大量人工作业,而对作业员的技术水平、仔细程度、取舍断定等因素难以作确切的定量估计。统计数据表明有关量的离散度很大,且常有超过三倍中误差的量出现。从实用上看来可以认为只要图合格,它就具有相应规范要求的平面位置和高程的精度。另一方面他们研究设计对地形图的要求。在此又分为两种基本方法。一种是对设计过程进行剖析,想比较理论地推导出某种工程建设的设计对地形图的要求。曾有过这样的一些具体分析,当然从少数特例出发尚不能归纳出共性的规律来,但这些分析也表明了地形图的精度并不是决定设计参数的重要因素,更不是决定性因素。另一种方法是统计的方法,即向设计人员作调查询问的方法。大量统计资料表明:(1)设计人员对精度的要求是不甚明确的;(2)他们提供了较多定性的回答;(3)他们比较重视本单位的习惯,不希望改用另一种比例尺。

归纳起来,选择比例尺的因素有测区大小建筑密度、地形复杂程度等几种(见表1-3-1)。

在改建或扩建工程中,设计人员常需要知道已有地物特征点的坐标、高程以及它们间的