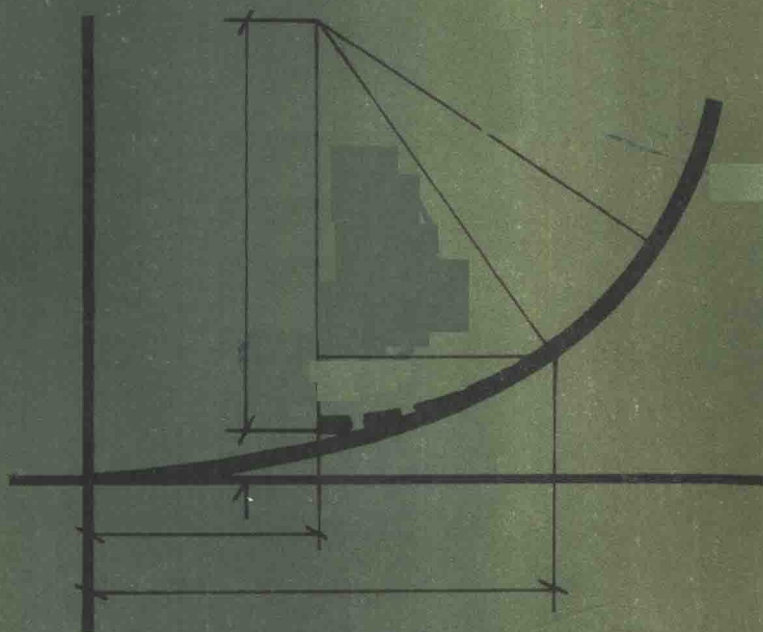


高等学校试用教材

工程测量学

李青岳 主编



测绘出版社

高等学校试用教材

工 程 测 量 学

李青岳 主编

测 绘 出 版 社

本书主要根据工程建设中的规划设计、建筑施工、经营管理三个阶段的不同要求，结合我国的实践经验，系统地叙述进行测量工作的理论和方法；着重共性部分，而对于如工业建设、桥梁建筑等具体工程中的测量工作则作为一些例子介绍。

本书为高等学校工程测量专业本科的教材，同时也适合广大工程测量工作者参考。

高等学校试用教材
工 程 测 量 学
李青岳主编

*

测绘出版社出版
测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 26.25·字数 606 千字

1984年6月 第一版·1986年6月 第二次印刷

印数 16,001—22,000 册·定价 4.30 元

统一书号：15039·新 329

前 言

按照工程测量专业的教学计划，“工程测量学”是一门专业课程。它是在学习了“测量学”、“控制测量学”以及“摄影测量学”等课程以后，在四年级学习的课程。因而其内容主要是在实用方面。也就是说，主要是根据工程建设各个阶段的不同要求，叙述进行测量工作的理论与方法，而对基本理论与基本操作则叙述较少。对于工程测量中的一些专用仪器以及为处理某些实际问题所涉及的理论，则作比较详细的叙述。

在编写过程中，我们曾到过一些生产单位进行参观学习，并收集和整理了一些资料，使这份教材能比较多地结合我国的生产实践。此外，还参考了有关院校的一些教材。在此，向这些单位的同志们表示深切的感谢。

本教材由李青岳同志主编。参加编写的还有李裕忠、吴子安、虞定麒、吴栋材、李宝桂、李水清等同志。孙桂方、徐方等同志参加了绘图与誊写工作。

由于我们的水平所限和收集的资料不够多，教材中一定会有许多缺点，希望同志们给予批评和指正。

编 者

1982年2月

目 录

绪论

第一篇 工程建设中地形图的应用与测绘

第一章 工程建设中地形图的应用与测图比例尺的选择

- §1-1 在工程建设规划设计各阶段中地形图所起的作用····· (4)
- §1-2 水电站工程设计对库区地形图的要求····· (6)
- §1-3 工业企业设计对地形图的要求····· (9)
- §1-4 大比例尺地形图平面位置的精度分析····· (14)
- §1-5 大比例尺地形图高程精度的分析····· (17)
- §1-6 在工业企业设计中测图比例尺的选择····· (21)

第二章 工程建设中地形图的测绘

- §2-1 概述····· (23)
- §2-2 控制网的布设····· (24)
- §2-3 三角网观测质量的统计检验····· (25)
- §2-4 三角测量的最优化····· (28)
- §2-5 在水利工程设计中沿河流进行水准测量的精度分析····· (34)
- §2-6 大比例尺地形图的测绘····· (36)
- §2-7 工业场地现状图的测绘····· (39)

第三章 线路勘测

- §3-1 线路勘测的任务与内容····· (40)
- §3-2 新建铁路初测中的测量工作····· (41)
- §3-3 铁路定测阶段的测量工作····· (45)
- §3-4 线路纵横断面的测绘····· (49)
- §3-5 航测方法在铁路初测中的应用····· (53)
- §3-6 多倍仪立体模型选线与测图····· (55)
- §3-7 铁路、公路勘测设计中采用数字地面模型简介····· (57)

第四章 水下地形和河道纵横断面图的测绘

- §4-1 概述····· (60)
- §4-2 测深断面、测深点的布设和测深工具····· (60)
- §4-3 水位观测····· (64)
- §4-4 测深点的定位····· (65)
- §4-5 水下地形测量内业····· (70)

§4-6	横断面测量	(72)
§4-7	纵断面图的编绘	(74)

第二篇 工程建设中的定线放样工作

第五章 施工控制网的建立

§5-1	工程建筑物放样的程序和要求	(79)
§5-2	施工控制网的布设	(80)
§5-3	施工控制网精度的确定方法	(83)
§5-4	误差椭圆和相对误差椭圆的理论及应用	(84)
§5-5	桥梁施工控制网的建立	(91)
§5-6	桥梁三角网必要精度的确定	(95)
§5-7	水利枢纽施工控制网的布设	(98)
§5-8	水利枢纽施工控制网精度的确定	(102)
§5-9	工业企业场地上施工控制网的布设方法	(105)
§5-10	厂房控制网的建立	(108)

第六章 施工放样的方法和放样数据的准备

§6-1	概述	(121)
§6-2	直角坐标法和极坐标法	(122)
§6-3	方向线交会法	(123)
§6-4	正倒镜投点法	(126)
§6-5	轴线交会法	(128)
§6-6	用前方交会法进行桥墩放样	(129)
§6-7	前方交会的角差图解法	(134)
§6-8	高程放样的方法	(136)
§6-9	激光铅直仪和水平扫描仪	(137)
§6-10	细部放样图表实例	(140)

第七章 放样工作的精度分析

§7-1	测设误差对于放样点位的影响	(145)
§7-2	用极坐标法及直角坐标法放样的精度分析	(146)
§7-3	方向线交会法的精度分析	(148)
§7-4	正倒镜投点法的精度分析	(151)
§7-5	轴线交会法的精度分析	(153)
§7-6	前方交会法的精度分析	(155)

第八章 曲线测设

§8-1	概述	(162)
§8-2	圆曲线的测设	(163)
§8-3	有缓和曲线的圆曲线的应用公式	(169)

§8-4	有缓和曲线的圆曲线要素计算及主要点的测设	(174)
§8-5	用偏角法测设曲线细部	(176)
§8-6	用切线支距法测设曲线细部	(179)
§8-7	困难地段的曲线测设	(180)
§8-8	回头曲线的测设	(185)
§8-9	竖曲线	(186)

第九章 地下建筑物的施工测量

§9-1	地下建筑物施工测量的内容及其作用	(189)
§9-2	隧道贯通测量的要求	(191)
§9-3	隧道贯通误差的统计分析	(193)
§9-4	地面控制测量的误差对于隧道贯通误差的影响	(198)
§9-5	地面控制网的布设方案	(212)
§9-6	进洞关系数据的推算	(215)
§9-7	地下导线测量	(220)
§9-8	地下导线的精度计算	(222)
§9-9	地下水准测量	(224)
§9-10	隧道开挖中的测量工作	(225)
§9-11	激光技术在隧道施工中的应用	(227)
§9-12	隧道贯通误差的测定与调整	(229)

第十章 竖井联系测量与陀螺经纬仪的应用

§10-1	竖井联系测量的任务和内容	(232)
§10-2	一井定向	(233)
§10-3	联系三角形最有利的形状	(237)
§10-4	一井定向的精度	(239)
§10-5	两井定向	(242)
§10-6	通过竖井传递高程的方法	(243)
§10-7	陀螺仪指北的原理	(245)
§10-8	陀螺的运动方程	(250)
§10-9	陀螺经纬仪	(256)
§10-10	悬带零位测定, 零位校正与零位改正	(261)
§10-11	观测方法	(265)
§10-12	仪器常数测定	(271)
§10-13	用陀螺经纬仪进行地面地下联系测量的观测与计算实例	(272)

第三篇 工程建筑物的变形观测

第十一章 工程建筑物变形观测的内容与布置方案

§11-1	工程建筑物变形观测的意义、内容和目的	(276)
-------	--------------------	-------

§11-2	建筑物变形观测的精度和频率	(278)
§11-3	工业与民用建筑物变形观测的布置	(280)
§11-4	大坝变形观测点的布置方案	(283)
§11-5	基准点的选择与控制网的布设	(286)
第十二章 垂直位移观测		
§12-1	水准基点、工作基点及观测点的标志构造与埋设	(293)
§12-2	沉陷观测	(298)
§12-3	倾斜观测	(301)
§12-4	液体静力水准测量	(304)
§12-5	水准点稳定性的检验与分析	(310)
第十三章 水平位移观测		
§13-1	基准线法测定水平位移	(319)
§13-2	视准线法观测的精度估算	(321)
§13-3	激光准直	(324)
§13-4	分段基准线观测	(327)
§13-5	引张线法测定水平位移	(331)
§13-6	导线法测定建筑物的位移	(334)
§13-7	前方交会法测定建筑物的位移	(337)
§13-8	工作基点稳定性的检查与其位移的测定	(339)
§13-9	基准点稳定性的统计检验	(341)
§13-10	工作基点位移对变形值的影响	(343)
§13-11	挠度观测	(345)
§13-12	裂缝观测	(347)
第十四章 应用地面摄影测量方法进行变形观测		
§14-1	地面摄影测量在变形观测中的应用	(349)
§14-2	正直摄影测量的基本理论与精度分析	(349)
§14-3	变形观测中检核点的应用	(353)
§14-4	非正直摄影测量概述	(357)
§14-5	变形观测中的外业工作	(358)
第十五章 变形观测的成果整理		
§15-1	观测资料整理分析的目的、意义、内容和方法	(360)
§15-2	观测资料的整编	(360)
§15-3	观测值的统计规律及其成因分析	(368)
§15-4	一元线性回归分析	(370)
§15-5	多元线性回归分析	(373)
§15-6	逐步回归计算原理	(376)

第四篇 高精度工程测量

第十六章 高精度工程测量

§16-1	概述	(381)
§16-2	高精度工程测量控制网的布设	(382)
§16-3	高精度工程测量中所采用的标志	(386)
§16-4	高精度基准线测量	(389)
§16-5	高精度量距的仪器和方法	(396)
§16-6	高精度水准测量	(400)
§16-7	高精度投影的仪器和方法	(403)
§16-8	设备的高精度定位	(405)
§16-9	计量仪器在高精度测量中的应用	(407)
附录：六分仪		

绪 论

测量学是从人类生产实践中发展起来的一门历史悠久的科学，是人类与大自然作斗争的一种手段。翻开人类历史，在文化最先发达的地区，都有测量工作的史实记载。例如早在公元前 27 世纪，埃及大金字塔的建设，其形状与方向都很准确，这说明当时已有放样的工具和方法。公元前 14 世纪，在幼发拉底河与尼罗河流域，曾进行过土地边界的测定。我国，在汉代司马迁的《史记》中，对夏禹治水，有：“陆行乘车，水行乘船，泥行乘橇，山行乘橇，左准绳，右规矩，载四时，以开九州，通九道，陂九泽，度九山”等勘测情况的记录。这些，实际上都是工程测量的内容。以后随着历史文化的发展，随着科学技术的进步，工程建设的项目愈来愈多，规模愈来愈大，内容愈来愈复杂，其对测量工作的要求也愈来愈高，这就在测绘科学这个领域内渐渐地形成了“工程测量学”这门学科。目前有些国家已把它列入有关专业的教学计划，以培养这方面的人材；有些科研单位把它列为研究的内容，以促进它的发展；国际测量工作者联合会（FIG）中设有工程测量专业委员会（第六委员会），以便在世界范围内交流这门学科的成就，探讨它的发展方向。

工程测量学的内容，如果按照其服务的对象来讲，它包括工业建设测量、铁路公路测量、桥梁测量、隧道及地下工程的测量、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等。为各项工程建设服务的测量工作，各有其特点与要求，但从其基本原理与基本方法来看，又有很多共同之处。因此，也可以不分工程的种类，而按照工程建设中测量工作进行的次序以及所用的测量理论与作业方法的性质，综合地讲述工程测量学的内容。本教材就是采用这种方式编写的。一般的工程建设，基本上可以分为三个阶段，即规划设计阶段、建筑施工阶段与经营管理阶段。现将各个阶段的测量工作概述如下：

一、工程建设规划设计阶段的测量工作。每项工程建设都必须根据党的方针政策、按照自然条件和预期目的，进行规划设计。在这个阶段中的测量工作，主要是提供各种比例尺的地形图与地形数字资料，另外还要为工程地质勘探、水文地质勘探以及水文测验等进行测量。对于重要的工程（例如某些科学实验的工程建设）或在地质条件不良的地区（例如膨胀土地区）进行建设，则还要对地层的稳定性进行观测。

二、工程建设施工阶段的测量工作。每项工程建设的设计，经过讨论、审查和批准之后，即进入施工阶段。这时，首先要将所设计的工程建筑物，按照施工的要求在现场标定出来（即所谓定线放样），作为实地修建的依据。为此，要根据工地的地形、工程的性质以及施工的组织与计划等，建立不同形式的施工控制网，作为定线放样的基础。然后再按照施工的需要，采用各种不同的放样方法，将图纸上所设计的内容转移到实地。所以这一部分就包括了施工控制网的建立和定线放样工作两大部分。此外，有时还要进行一些竣工测量与变形观测。

三、工程建设经营管理阶段的测量工作。在工程建筑物运营期间，为了监视其安全和

稳定的情况，了解其设计是否合理，验证设计理论是否正确，需要定期地对其位移、沉降、倾斜以及摆动等进行观测。这些工作，就是通常所说的工程建筑物的变形观测。

由此可见，所谓“工程测量学”，就是研究各项工程建设在勘测设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。它与其他测量学科的关系非常密切。例如，在工程测量专业的教学计划中所设置的“测量学”和“控制测量学”课程，其主要任务就是解决为工程建设的规划设计提供各种比例尺的地形图这个问题的。而在施工放样和变形观测方法的研究中，有很多方面也是建立在“测量学”和“控制测量学”的基础上的。此外，用摄影测量方法测绘地形图，现在已广泛地应用于工程建设的规划设计阶段中。目前用航空摄影测量方法除了制作常规的线划地形图以外，还制作影像地图供设计应用。用近景摄影测量的方法，还可以观测水流的形态及工程建筑物的变形（其中包括对于某些建筑物由于动荷载而发生的瞬间变形）。应用航空摄影测量进行铁路勘测选线，是行之有效的方法，我国正在采用。航空摄影的资料还可以用来进行森林、土壤、地质等的判读，从而解决工程建设与资源勘察中的问题。

因为工程测量是直接为工程建设服务的，所以工程测量工作者还必须具有一定的有关工程建设方面的知识。例如，在为工程建设的规划设计进行勘测时，应该了解该项工程的作用、总体布置的特点以及它与周围环境的关系等等。当为工程的施工进行定线放样时，必须了解工程的结构，掌握其各部分的关系，了解工程施工的步骤和方法与施工场地的布置情况，以便确定在现场应该放样的点和线，找出它们之间的关系，算出它们的平面与高程位置。因为设计图样是工程师的语言，一般的工程结构都是通过各种图纸来表示的，所以工程测量工作者必须善于识图和读图，才能正确执行定线放样任务。当进行变形观测时，为了合理地进行观测点和控制点的布置，确定观测的精度，选择观测的方法，以及适时地进行成果整理，都需要具有该项工程的构造及其使用情况的知识。所以，在工程建设的三个阶段中进行测量工作时，都需要有关的工程知识。这样，才能使测量工作有针对性，避免盲目性，从而合理地解决工程建设中的测量问题。

近年来，激光和电子学等科学技术的迅速发展，大大地促进了工程测量的发展。比较显著的有以下几个方面：

一、短程电磁波测距技术的应用。各种类型的电磁波测距仪近年来发展很快。有的是只测距离，精度很高。例如瑞士 Kern 厂生产的 Mekometer ME 3000，其测程为 2.5 km，标称精度为 $\pm(0.2\text{mm} + 1\text{ppm})$ 。可以代替因瓦基线尺作高精度的测距。有的是测距设备与测角设备配合，一次安置仪器就可以测得角度与距离，其测距精度一般为厘米级。例如瑞士 Wild 厂近年生产的测距头 DI4，就可以与该厂生产的新型与老式的 T2 经纬仪配合使用，其测程为 2 km，标称精度为 $\pm(5\text{mm} + 5\text{ppm})$ 。这种仪器主要适用于导线测量。另外它还设有跟踪装置，可用于放样工作。还有的是测距、测角与计算相结合的仪器。例如美国的 Hewlett Packard 厂生产的 HP 3820 A 型全站式电子速测仪，它可以自动测距、测角与归算，给出测点的坐标。这些测距仪器的应用，给控制网布设方案的选择带来很大的自由，给细部点坐标的测定带来很大的方便。

二、激光技术的应用。六十年代初期出现激光技术以后，由于它具有有一些适用于测量

工作的特点,很快就引用到工程测量领域中来。例如激光经纬仪和激光平面仪在施工场地上的应用,已经显示了它的优越性;激光准直仪已用于工业设备的安装测量与变形观测;激光导向仪在隧道的开挖、矿坑的掘进以及市政工程中大型地下管道的施工中也在使用。这些激光仪器的使用,不但节约了时间,提高了工效,给定线放样工作带来很大的方便,而且也为施工测量的自动化创造了条件。

三、电子计算技术的应用。过去的工程测量工作,由于受计算技术的限制,有些合理的方法不能采用。例如控制网的全面布设,减少其扩展的等级;对于某一特定的工程测量的目的而言,选择控制网最优化的布设方案;观测成果的平差计算与统计分析等等,现在应用电子计算机,可以高效率地对复杂的问题进行重复计算,从而可以用比较严密的方法处理工程测量中的一些问题。电子计算机除了用于工程测量中的数字计算以外,近年来国外还研制了机助制图系统。例如瑞士 Wild 厂生产的 Geomap 系统,其主要软件包括测量计算与机助图解两部分。由 Wild TCI 型电子速测仪所获得的外业观测资料,可以自动地输入计算机,先由测量计算的软件进行处理,即算出各点的三个坐标值,然后由机助图解软件将所得的数据自动绘制成图。

除上述三个方面外,随着力学、机械制造和电子技术的发展,陀螺经纬仪定向的精度愈来愈高,它可以满足许多工程测量工作的需要。例如为地下工程施工而敷设的地下导线,可用它测定起始方向以及控制测角误差的累积,提高坑道贯通精度。又如长距离线路勘测,也可以用它来测定方位角,以代替天文观测。

其他科学技术的发展促进了工程测量的发展,同时又在精度方面和速度方面对工程测量不断地提出新的和更高的要求,促使工程测量本身不得不研究解决许多新的课题。例如某些科学实验工程与国防工程的建设以及工业自动化生产设备的安装,它们对测量工作的精度要求很高,有的提出相邻两点相对位置的误差不应超过 0.1 mm。这时,一般的作业方法就无法满足要求,必须将计量技术引用到工程测量领域中来,研究新的测量仪器与方法。这一部分通常称为高精度工程测量(或精密工程测量)。有些变形观测工作,对于精度与速度也提出了很高的要求,需要工程测量工作者加以解决。此外,近年来随着环境污染与自然生态平衡等问题的提出,工程测量这门学科还需要为环境保护服务,提供必要的资料。例如烟尘在大气中的扩散情况,地面上森林、植被的分布情况等。

工程测量学与其他科学技术的关系,就是这样互相补充、互相促进,不断地向前发展的。

新中国成立以来,全国人民在党的领导下,为了迅速改变我国经济落后面貌,进行了大量的工程建设,例如大型的水利枢纽工程、大型的冶金工业、动力工业、机器制造业、山区的铁路与公路建设以及大型的桥梁与隧道等。在这些工程的规划设计、建筑施工与经营管理中,都进行了大量的工程测量工作,取得了不少的经验。现在,全国上下,正在为加快实现我国的工业、农业、国防与科学技术的现代化而努力奋斗。工程建设的项目与日俱增,对测量工作的要求也日益提高。工程测量这门学科随时随地都在为社会主义祖国的经济建设发挥它的作用。我们应该以辩证唯物主义的观点和方法,及时地学习有关的新知识,总结生产实践中的经验,研究和解决新的问题,不断地丰富它的内容,把这门学科推向前进。

第一篇 工程建设中地形图的应用与测绘

第一章 工程建设中地形图的应用 与测图比例尺的选择

§ 1-1 在工程建设规划设计各阶段中地形图所起的作用

为了改造自然,必须首先了解自然。各项工程建设在规划设计之前,都要进行勘察测量工作,了解与设计有关的自然现象,而测量工作的成果,在一般情况下,都是以地形图的形式提供使用的。

在我国广阔的大地上,遍布着江河湖泊,蕴藏着极为丰富的水利资源,海岸线曲折蜿蜒,逶迤数千里,有很多的良好港湾和海洋资源。为着开发与利用水利资源,必须兴建水工建筑物,例如拦河坝、船闸、水闸、渠道、运河、港口、码头等。对于一条河流或者一个水系而言,首先应该有一个综合开发利用的全面规划,进行梯级开发,合理地选择水利枢纽的位置和分布,以使其在发电、航运、防洪及灌溉等方面都能发挥最大的效益。这时应该有全流域的比例尺为 1:50000 或 1:100000 的地形图,以及水面与河底的纵断面图,以便研究河谷地貌的特点,探讨各个梯级中水利枢纽水头的高低、发电量的大小、回水的分布情况以及流域与水库的面积等。并确定各主要水利枢纽的型式和建造的先后次序。

对于某一个河川枢纽工程而言,拦河坝是一项主要工程,坝址的选择,主要决定于地形与地质条件,河谷最窄而岩层良好的河段,是最可能建坝的地方。

建坝以后,即在河流的上游形成水库。水库的库容与淹没面积的大小,决定于地形与壅水高度。为了进行水库的设计,要采用比例尺为 1:10000 至 1:50000 的地形图,以解决下述的一些重要问题:确定回水的淹没范围;量测淹没面积;计算总库容与有效库容;设计库岸的防护工程;确定沿库岸落入临时淹没或永久浸没地区的城镇、工矿企业以及重要耕地,并拟定相应的防护工程措施;设计航道及码头的位置;制定库底清理、居民迁移以及交通线改建等的规划。在研究上述各项问题时,对地形图的要求并不完全一致。有些项目(例如计算库容)需要在整个库区范围内施测同一精度的地形图,而另一些项目(例如防护工程的设计)则需要局部地区有较高精度的地形资料。因此,为了满足各种用图项目的需要,测图工作应该有计划有区别地进行。

在初步设计阶段,除了库区的地形图以外,在可能布设枢纽工程的全部地区,也应有比例尺为 1:10000 或 1:25000 的地形图,以便正确地选择坝轴线的位置。坝轴线选定以后,即应在这个划定的枢纽布设地区,提供 1:2000 或 1:5000 比例尺地形图,以研究下列各类建筑物的布置方案。

一、主要的永久性建筑物。例如溢流坝段及非溢流坝段、发电厂、船闸以及引水渠的渠首建筑物等。

二、临时性的辅助建筑物，例如施工围堰、施工导流的渠道等。

三、永久性的及临时性的交通运输线路，例如铁路、公路、架空索道等。

四、施工期间的临时工厂。

五、永久性的或临时性的工人住宅区以及其他的辅助建筑物。

在施工设计阶段，对于坝区、厂房地区、船闸闸室、引水渠渠首以及引水隧洞的进口等处，可测绘 1:1000(有时需 1:500)比例尺地形图，以便详细地设计该工程各部分的位置与尺寸。

对于港口码头的设计，一般也是分两个阶段。相对来说，这项工程所占的地区较小。在初步设计阶段，需要比例尺为 1:1000 或 1:2000 的陆上地形图与水下地形图，以便布置铁路枢纽、仓库、码头、船坞、防波堤以及其他的一些附属建筑物，并且进行方案比较。在施工设计阶段应采用 1:500 或 1:1000 比例尺地形图，以便进一步精确地确定建筑物的位置和尺寸。

除了水路交通以外，陆上的交通建设在我国占着极为重要的地位。关于铁路线的勘测方法，将在第三章中详细叙述。伴随着铁路工程而来的就是桥梁与隧道工程。大的桥梁与隧道一般是铁路线上造价很高的关键性工程，要结合考虑地形、地质及水文等条件来确定它们的位置，然后再决定与它连接路线的走向与位置。对于中、小型的桥隧工程，因为它们的造价不高，往往先决定路线的方向及位置，再考虑地形与地质条件以及桥头(或隧道口)土石方的多少，线路的坡度与曲线半径等等因素，然后确定桥梁与隧道的位置。

对于大型桥梁而言，首先是在现有的 1:25000 或 1:50000 比例尺地形图上研究，再到实地进行踏勘，了解地形、地质及水文情况，提出桥址的几个可能的比较方案，进行讨论研究。此为踏勘阶段。经过研究和审批之后，确定少数几个方案，进一步进行比较选择，这称为初步设计阶段。这时除了要施测河流的水下地形、流速及流向以外，还需范围较大、比例尺为 1:1000~1:10000 的桥渡总平面图和范围较小(一般来说，在河流的宽度方面，应测至两岸最高洪水水位高程 2 m 以上，在上游大约测到河流平水位时期宽度的 1.5~2 倍，下游大约为 1 倍)、比例尺为 1:500~1:5000 的桥址地形图。前者用以选择桥位和桥头引线，确定导流建筑物的位置以及施工场地的布置。图内应绘出各方案的线路的导线、中线、水文断面、水位点、最高洪水位的泛滥线，洪水时的流向、船筏走行线等等。后者用以设计主体工程及其附属工程(例如导流建筑物等)，并估算工程数量与费用。图上应绘出详细地形和地物、线路的导线、中线，以及最高洪水位的泛滥线等。

对于交通建设中的山岭隧道，因为它是整个工程中的一部分，所以它的位置是在线路勘测中选定的。对于城市中的地下铁道网，在初步设计阶段，系应用比例尺为 1:2000 或 1:5000 的城市地形图，以选定线路的布置。为了设计车站、进口大厅、竖井以及用明挖法施工的地区，还需要该地区的 1:500 比例尺地形图。为了施工设计，要沿着设计的线路施测 1:500 比例尺带状地形图，带的宽度决定于隧道的深度与地质条件。

工矿企业的建设是我国发展国民经济的主要组成部分，要实现把我国建设成为现代化

的社会主义强国的宏伟目标，工业现代化是一个很重要的方面。在工业企业的建筑设计中，测绘资料(主要是各种大比例尺的地形图)是必不可少的的基础资料之一。在改建、扩建现有的工业企业时，还需要提供具有一定精度的解析坐标和高程。设计人员要在这种地形图上找位置、放样设施、量距离、取高程。它是设计定点、定位、定向、定坡以及计算工程量的主要依据。设计人员只有全面掌握了正确可靠的自然地理、资源以及经济条件等基础资料后，才有可能根据工艺流程和投资限额，正确合理地进行设计。因此，基础资料是否正确和适用，将直接影响到工矿企业的设计质量，同时关系到能否为国家节约财富，加快建设速度，能否为工矿企业创造良好的经营管理条件和生产环境等。所以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”。

测绘资料要满足工程建设规划设计的需要，其主要质量标准是：地形图的精度，比例尺的合理选择，测绘内容的取舍适度等。要合理解决这些问题，使得既能充分地满足设计的要求，又能使测绘工作经济合理，这就要根据设计工作使用地形资料的具体情况进行分析。我们将在 §1-2 中说明水电站工程设计对库区地形图的要求，在 §1-3 中对工业企业的设计用图进行一些分析。应该指出的是：这种分析方法尚在讨论之中，还没有得到统一。而且随着设计工作的发展，设计方法的不断改进，对于设计用图的分析，还需要继续进行调查和研究，以便使所提供的测绘资料尽量满足设计的需要。

§ 1-2 水电站工程设计对库区地形图的要求

为了说明在水电站工程设计中对库区地形图的要求，我们从计算发电能力的精度方面来分析一下各种因素的影响。

水电站的发电能力，一方面取决于水头 H (以 m 计)与通过水轮机的流量 Q (以 m^3/s 计)，同时也受流量系数与水轮机有效系数的影响。其关系式为

$$N = 9.8 \eta Q H \quad (1-1)$$

式中 N 为水电站的功率，以瓩计；

η 为水轮机与发电机总的利用系数，对于初步计算，一般取 0.75。

流经水轮机的流量 Q ，系由河流的径流流量 $Q_{\text{河}}$ 与由水库取得的流量 $Q_{\text{库}}$ 组成。即

$$Q = Q_{\text{河}} + Q_{\text{库}} \quad (1-2)$$

式中 $Q_{\text{河}}$ 由水文观测的资料推算而得，与地形图无关。而 $Q_{\text{库}}$ 则来自水库，这时库容的体积系由地形图算得。其精度取决于地形图的质量和计算方法。

设 V 为有效库容(正常高水位时的库容减去垫底库容)； W 为流空有效库容所需的时间 T 内河流的来水体积。可得

$$TQ = TQ_{\text{河}} + TQ_{\text{库}} = W + V$$

$$Q = \frac{W + V}{T} \quad (1-3)$$

将(1-3)式代入(1-1)式，并令 $9.8 \eta = K$ ，于是得

$$N = \frac{W+V}{T} \cdot H \cdot K \quad (1-4)$$

对上式取对数, 得 $\ln N = \ln(W+V) + \ln H + \ln K - \ln T$, 由于 K 、 T 为常数, 求微分得

$$\frac{dN}{N} = \frac{dW}{W+V} + \frac{dV}{W+V} + \frac{dH}{H}$$

令 $\frac{V}{W} = \rho$

得
$$\frac{dN}{N} = \frac{dH}{H} + \frac{dW}{W(1+\rho)} + \frac{dV}{V} \cdot \frac{\rho}{(1+\rho)}$$

转为中误差, 得

$$\left(\frac{m_N}{N}\right)^2 = \left(\frac{m_H}{H}\right)^2 + \left(\frac{m_W}{W}\right)^2 \left(\frac{1}{1+\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_V}{V}\right)^2 \left(\frac{\rho}{1+\rho}\right)^2 \quad (1-5)$$

(1-5) 式中, $\frac{m_H}{H}$ 为水头的相对误差。显然, H 愈大, 此比值愈小。在水利枢纽工程的设计中, 对于编制河流开发方案, 正常高水位的误差应在 ± 1 m 以内, 对于技术设计, 其误差应不超过 ± 0.5 m。这样, 对于高水头与中等水头的电站, $\frac{m_H}{H}$ 的数值是不大的。

现在来看 $\frac{m_W}{W}$ 与 $\frac{m_V}{V}$ 对于计算 $\frac{m_N}{N}$ 的影响。

相对误差 $\frac{m_W}{W}$ 不是用水文测验的误差来说明, 它取决长期水文观测资料及河流流量变化的程度和其他一些因素。在实际的水文计算中, 有的认为根据 n 年观测所求得的流量均值, 如果其中误差小于 6%, 就认为是可靠的。所以为了确定水电站功率的相对中误差, 可以取 $\frac{m_W}{W} = 6\%$ 。

相对误差 $\frac{m_V}{V}$ 决定于: 1. 地形资料的完整性与其质量; 2. 计算垫底库容与计算库容损失的不精确性。第一种误差取决于库区地形图的比例尺、地形表示的完整与详细程度以及体积计算方法的误差。第二种误差来源于蒸发、渗漏、流失等估计的不精确。根据一般情况, 计算有效库容的相对误差 $\frac{m_V}{V}$ 约为计算天然径流的相对误差 $\frac{m_W}{W}$ 的 50%~100%。

由公式 (1-5) 可以看出, 地形图的质量与水利计算的误差对于水电站功率计算的精度影响是不同的。它们都与 ρ 值有关。例如: 当 $\frac{m_H}{H} = 2\%$, $\frac{m_V}{V} = \frac{m_W}{W} = 6\%$, 而 $\rho =$

$\frac{V}{W} = 4$ 时, 计算水电站功率的相对误差为

$$\frac{m_N}{N} = \sqrt{(0.02)^2 + \left(0.06 \times \frac{1}{5}\right)^2 + \left(0.06 \times \frac{4}{5}\right)^2} = 5.3\%$$

这时, $\frac{m_N}{N}$ 的数值主要取决于有效库容 V 的计算精度, 对于地形图就提出了较高的要求。

反之, 如果 $\rho = \frac{1}{4}$, 则

$$\frac{m_N}{N} = \sqrt{(0.02)^2 + \left(0.06 \times \frac{4}{5}\right)^2 + \left(0.06 \times \frac{1}{5}\right)^2} = 5.3\%$$

则这时 $\frac{m_N}{N}$ 的数值主要取决于水流 W 的计算精度 $\frac{m_W}{W}$, 对于水流计算就要求较高, 而对于地形图的要求就可以低些。由此可见, 对于库区测图质量的要求, 应根据水电站运营的情况来决定。

当 $\frac{m_N}{N}$ 的数值主要取决于库容 V 计算的精度时, 这时库区地形图的质量就有很大的影响。这是由于库容一般都是根据地形图求得的。按照地形图上的等高线计算库容的常用方法有二种: 第一种方法, 也是最简单的方法是将两相邻的等高线间所夹的一块体积用平均面积法进行计算, 即将用求积仪所求得的两等高线所围成的面积 F_1 与 F_2 代入下列公式计算:

$$\Delta V = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot h \quad (1-6)$$

式中 h 为等高距。

第二种方法是认为两等高线间所夹的一块体积近似于截头锥体, 而用下式计算:

$$\Delta V = \frac{F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 F_2}}{3} \cdot h \quad (1-7)$$

由上面两式可以看出, F_1 与 F_2 的差别愈小, 则其所得的 ΔV 愈接近, 当 $F_1 = F_2$ 时, 其所得的结果一样。

用不同的计算方法, 所得结果的精度是不同的。

由此看来, 按库区地形图计算库容的精度, 受到多种因素的影响。所以它对测图的要求, 是一个比较复杂的问题。目前尚不能从理论上作完整的说明。一般来说, 水库的面积和库容愈大, 地形图的比例尺可以小些, 等高距可以大些。为了进行库容的计算, 等高距的大小必须能反映出河谷地形的变化特征。如等高距太大(例如 10 m), 可能使库容的误差达 25~40%。因此, 对于平原河流与山区河流, 必须区别对待。前者地形起伏变化小, 可应用小的等高距, 而后者则往往形成狭而深的水库, 两岸的坡度很大, 可采用较大的等高距。至于测图的比例尺, 一般在 1:10000 至 1:50000 之间为宜。