

高校建筑环境与设备工程专业规划教材

环境工程施工

李 钢 主 编
邱冬炜 副主编

 中国建筑工业出版社

高校建筑环境与设备工程专业规划教材

环 境 工 程 施 工

李 钢 主 编

邱冬炜 副主编

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程施工/李钢主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 9

高校建筑环境与设备工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-17991-6

I. ①环… II. ①李… III. ①环境工程—工程施工—高等学校—教材 IV. ①X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 064579 号

针对环境专业学生工程施工方向的基础课程开设少的专业特点, 以培养环境工程施工第一线需要的应用型人才为宗旨, 根据环境专业的学时要求, 编写了这本教材。全书采取两段式组织编写, 主要内容为环境工程测量、土方工程、混凝土结构工程、砌筑工程、吊装工程、脚手架工程、管道的施工技术以及流水施工原理和网络计划技术。

本书可供环境工程、环境科学、市政工程等专业的大中专院校师生学习参考使用。

* * *

责任编辑: 张 磊 武晓涛

责任设计: 李志立

责任校对: 张 颖 陈晶晶

高校建筑环境与设备工程专业规划教材

环境工程施工

李 钢 主编 邱冬炜 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京千辰公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 10 1/4 字数: 245 千字

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月第一次印刷

定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-17991-6

(27201)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

《环境工程施工》是环境工程专业技术平台中的主干专业课程之一，是一门理论和实践相结合的课程，它在理论基础与工作实践之间起着重要的联系作用。

本书编写的目的是使学生在学完该课程后能对环境工程施工有所了解。根据作者近几年讲授环境工程施工课程的经验 and 体会，全书采用了两段式的编写方式，先讲授具体施工技术，后进行施工组织介绍，层次较清晰。为帮助学生提高学习效率和对工程施工有比较深入的认识，书中引入了课后思考题，使学生在学完本书之后可以进行练习。

本书讲义在河南工程学院环境类专业的本、专科生中试用多次，针对环境工程专业的教学要求，此次出版，作者进行了修改、整理和补充。本书第2章由北京建筑大学邱冬炜高级工程师编写，其余章节由河南工程学院李钢老师编写，河南工程学院王珏老师对全书进行文字编辑与校对。

感谢河南工程学院省级特色专业（No. 508206），河南工程学院博士基金项目（No. D2012003），河南省高等学校青年骨干教师资助项目（No. 2013GGJS-182），河南省科技厅科技发展计划科技攻关项目（No. 132102210462）和河南工程学院科技创新团队（No. CXTD2014005）资助了本书的编写。

本书在编写过程中参考了已出版的相关书籍、文献及部分网络资源，主要参考书目附于书后，在此编者向这些著作的作者表示衷心感谢！

感谢中国建筑工业出版社武晓涛、张磊两位编辑对本书的编写和出版所做的工作。

由于作者水平有限，书中不当之处与错误在所难免，恳请同行和读者批评指正。

2015 年元月于郑州

作者简介

李 钢

男，汉族，1978 年生人。中国矿业大学（北京）博士毕业，河南工程学院教师，副教授。

E-mail: gang_li333@126.com

邱冬炜

男，汉族，1978 年生人。北京交通大学博士毕业，北京建筑大学教师，硕士生导师，高级工程师，国家注册测绘师。

E-mail: qiudw@bucea.edu.cn

目 录

1 绪 论	1
1.1 工程施工规范体系介绍	1
1.2 课程中的几个概念	2
1.3 施工质量验收规范中的有关术语	2
课后思考题	3
2 环境工程测量	4
2.1 环境工程测量概述	4
2.2 环境工程测量基准	4
2.3 环境工程测量方法	7
课后思考题	21
3 土方工程	22
3.1 概述	22
3.2 场地标高设计	24
3.3 土方工程量的计算	28
3.4 土方工程的准备与辅助工作	31
3.5 土方开挖与填筑	35
课后思考题	42
4 混凝土结构工程	43
4.1 钢筋工程	43
4.2 模板工程	49
4.3 混凝土工程	58
课后思考题	70
5 砌筑工程	71
5.1 砌筑材料	71
5.2 砌筑施工工艺	72
5.3 砌筑工程运输	78
5.4 影响混凝土空心砌块砌体质量的因素	78
5.5 砌体工程冬期施工	79
5.6 砌筑工程的安全技术	80
课后思考题	80
6 吊装工程	81
6.1 起重设备	81
6.2 构件吊装工艺	87

课后思考题	91
7 脚手架工程	92
7.1 扣件式钢管脚手架	92
7.2 碗扣式脚手架	96
7.3 门式脚手架	97
7.4 升降式脚手架	98
7.5 里脚手架	100
7.6 脚手架工程的安全技术要求	101
课后思考题	101
8 管道的施工技术	102
8.1 概述	102
8.2 管道开槽施工工艺介绍	108
8.3 非开挖敷设技术简介	115
课后思考题	118
9 流水施工原理	119
9.1 施工组织设计	119
9.2 流水施工概念	121
9.3 节奏流水施工	128
9.4 非节奏流水施工	131
课后思考题	133
10 网络计划技术	135
10.1 双代号网络计划	136
10.2 单代号网络计划	141
课后思考题	144
附录 部分工程技术规范汇总	146
参考文献	156

1 绪 论

《环境工程施工》是一门实践性的专业学科，它需要工程技术人员掌握环境工程的理论知识，更需要掌握环境工程的施工技能。《环境工程施工》是环境工程专业工程技术平台课程中的主干课程之一，是一门重实践，而且理论和实践相结合的课程。在各类环境治理工程的建设中，如环境工程测量、土方工程施工、混凝土浇筑等，都需要执行国家统一的设计、施工及质量验收规范。因此本课程技术性较强。

本课程所学内容涉及建筑材料、工程测量、混凝土、给水排水管道、施工组织等课程的知识，以及国家现行规范、规程的规定和要求。因此，要学好本课程，首先应当掌握课程的基本知识，其次应坚持理论联系实际的学习方法，重视课堂，及时认知和学习有关规范和规程，把握施工技术发展的最新动态。

环境工程施工是环境污染治理工程实施的重要途径，提供学生在各类工程建设中需掌握的施工技术基本理论，基本方法和基本技能。通过本课程的学习旨在培养学生的工程能力，为学生从事环境工程的设计、施工、管理、工程监理、审计、工程预算、勘测等奠定基础。

1.1 工程施工规范体系介绍

建筑工程类的施工规范体系由“质量验收规范（强制）”、“施工工艺规程、指南（推荐）”和“评优标准（推荐）”共同构成。它们的功能如下：

1. 质量验收规范

质量验收规范是建设工程必须完成的最低质量要求，是施工单位必须达到的施工质量标准，也是建设单位、监理单位进行验收的依据，在整个规范体系中属于强制性的标准。

质量验收规范包括《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300—2013、建筑工程各专业工程施工质量验收规范等共计 14 项规范。建筑工程各专业工程施工质量验收规范必须与该标准配套使用。好的施工企业在统一质量标准下（验收标准只规定“合格”一个质量等级），采用先进的施工技术、施工方法能够达到节约材料、降低造价的目的，在市场竞争中处于有利地位。

2. 施工工艺规程、指南

施工工艺指南包括施工技术规范、操作规范、施工工法等，是指导企业进行施工操作的推荐性标准或企业内控标准，是企业统一“验收规范”尺度下进行竞争的基础。

施工技术类规范从 2002 年规范架构体系上已经进行了规划，但是为了对企业不加过多约束，而采用了“不求过程只求结果”的原则。近年来，根据建筑业发展需要和过程建设标准体系要求，住房和城乡建设部先后立项编制了混凝土结构、钢结构、砌体结构等方面的施工规范。目前，国家已发布实行了《混凝土结构工程施工规范》GB 50666—2011 和《钢结构工程施工规范》GB 50755—2012 两个施工技术规范。

操作规程是指行业、企业为了保证本部门生产、工作能够安全、稳定、有效地运转而制定的，相关人员在操作设备或办理业务时必须遵循的程序或步骤，如《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18—2012、《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107—2010 等。

建筑工法是以工程为对象，工艺为核心，运用系统工程原理，把先进技术和科学管理结合起来，经过工程实践形成的综合配套的施工方法。工法是企业标准的重要组成部分，是企业开发应用新技术工作的一项重要内容，是企业技术水平和施工能力的重要标志，施工工法分为国家级、省级和企业级 3 个等级。

3. 评优标准

评优标准作为行业推荐性标准，主要为企业施工水平提供评价依据，鼓励企业创造优质工程。评优标准是政府、行业协会及社会中介机构对工程评定优质工程的准绳，如鲁班奖、国家优质工程奖等。

1.2 课程中的几个概念

单位工程是指具备独立施工条件并能形成独立使用功能的建筑物及构筑物。对于建筑规模较大的单位工程，可将其能形成独立使用功能的部分作为一个子单位工程。

分部工程是单位工程的组成部分，可按专业性质、工程部位或特点、功能、工程量确定；当分部工程较大或较复杂时，可按材料种类、工艺特点、施工程序、专业系统及类别等将分部工程划分为若干子分部工程。

分项工程是分部工程的组成部分，由一个或若干个检验批组成，按主要工种、材料、施工设备类别等进行划分。

1.3 施工质量验收规范中的有关术语

1. 建筑工程质量 (quality of building engineering)

反映建筑工程满足相关规定或合同约定的要求，包括其在安全、使用功能及耐久性、环境保护等方面所有明显和隐含能力的特定总和。

2. 验收 (acceptance)

建筑工程在施工单位自行质量检查评定的基础上，参与建设活动的有关单位共同对检验批、分项、分部、单位工程的质量进行抽样复验，根据相关标准以书面形式对工程质量达到合格与否做出确认。

3. 进场验收 (site acceptance)

对进入施工现场的材料、构配件、设备等按照相关标准规定要求进行检验，对产品达到合格与否做出确认。

4. 检验批 (inspection lot)

按同一的生产条件或按规定的方式汇总起来供检验用的，由一定数量样本组成的检验体。

5. 检验 (inspection)

对检验项目的性能进行量测、检查、试验等，并将结果与标准规定要求进行比较，以

确定每项性能是否合格所进行的活动。

6. 见证取样检测 (evidential testing)

在监理单位或建设单位的监督下,由施工单位有关人员进行现场取样,并送至具备相应资质的检测单位所进行的检测。

7. 交接检验 (handing over inspection)

由施工的承接方与完成方经过双方检查并就可否继续施工做出确认的活动。

8. 主控项目 (dominant item)

建筑工程中对安全、卫生、环境保护和公众利益起决定性作用的检验项目。

9. 一般项目 (general item)

除主控项目以外的检验项目。

10. 抽样检验 (sampling inspection)

按照规定的抽样方案,随机地从进场的材料、构配件、设备或建筑工程检验项目中,按检验批抽取一定数量的样本所进行的检验。

11. 观感质量 (quality of appearance)

通过观察和必要的量测所反映的工程外在质量。

12. 强制性条文 (mandatory provisions)

强制性条文是指直接涉及人民生命财产安全、人身健康、环境保护和其他公众利益的必须严格执行的强制性规定,并考虑了保护资源、节约投资、提高经济和社会效益等政策要求。规范中的强制性条文用黑体字表示。

课后思考题

1. 本课程的性质、任务是什么?
2. 单位工程、分部工程、分项工程的概念是什么?
3. 建筑工程类的施工规范体系由哪几部分构成?它们之间有何关系?

2 环境工程测量

2.1 环境工程测量概述

环境工程测量 (Environmental engineering surveying) 是在环境工程建设的规划、设计、施工和运营阶段,用测绘技术所进行的各种测定和测设工作。测绘技术是一门应用科学,它是以数学、物理学、空间科学、电子信息技术、计算机技术、光电技术、通信技术为基础,以电子测角测距 (DADS)、全球卫星导航定位 (GNSS)、遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 为技术核心,应用测量手段实现工程建设中的空间定位、地形信息获取、施工测设和变形监测等工作。

测量工作贯穿于整个环境工程建设的全过程,它是直接为环境工程建设的勘测、规划、设计、施工、安装、竣工及运营管理等一系列工程工序提供服务的。其主要任务与工作内容有:

1. 环境工程规划、设计阶段

主要任务是工程勘测。通过提供精确的空间位置数据和各种比例尺地形图为工程规划和设计服务,并为工程地质勘探、水文地质勘探提供辅助测量。

2. 环境工程施工、运营阶段

主要任务是施工测量、监理测量和安全监测。施工测量是将环境工程设计位置标定在实地现场,作为施工的依据,主要进行施工控制网布设作为定线放样的基础,提供施工与构件安装的测设,并进行竣工测量等工作。监理测量是检查并审核环境工程施工坐标数据,以确保工程质量,主要进行控制网复测、施工放样检测、施工质量抽查等工作。安全监测是对施工结构物的变形进行监测、机理解释和预测预报等工作。

环境工程测量应遵循的基本原则是“从整体到局部、先控制后细部、由高级到低级、步步有检核”。在测量的次序上是“从整体到局部、先控制后细部”,在测量的精度上是“由高级到低级”。即先进行整体的控制测量,然后进行局部的细部测定与测设,这样可以减少测量误差的积累,保证细部测定与测设的精度。另外为保证测量成果的可靠性,防止测量工作的错误发生,实行“两级检查、一级验收”制度,对测量过程实施“步步检核”。

2.2 环境工程测量基准

2.2.1 坐标系统

测量的基础在于确定地面特征点在特定参考框架中的位置,要确定某地面点的空间位置,通常是求出该点相对于某空间参考系的坐标。任何与地理空间位置相关的测绘都必须

以国家法定的测量基准为参考系，才能获得统一、唯一、正确的空间位置关系和尺度。我国在 20 世纪 50 年代和 80 年代完成的全国天文大地网，分别建立了“1954 北京坐标系”和“1980 西安坐标系”两种坐标系统。于 2008 年 7 月 1 日，启用了“2000 国家大地坐标系”，这是一种原点位于地球质量中心的坐标系统（地心坐标系）。采用地心坐标系，有利于采用现代空间技术对坐标系进行维护和更新，快速、高精度测定控制点的三维坐标，并提高测图工作效率。下面介绍环境工程测量常用的坐标系。

1. 大地坐标系

大地坐标系采用大地经度 (L)、大地纬度 (B) 和大地高 (H) 表示空间点位相对于椭球面的位置。如图 2-1 所示， P 点的大地经度 L_P 是指过 P 点的大地子午面与起始子午面（0 度经线所在的子午面）所夹的两面角；大地纬度 B_P 是指过 P 点的椭球面法线与赤道面的交角；大地高 H_P 是指从 P 点做法线到椭球面的距离。

大地坐标系的原点位于参考椭球中心，是参心坐标系。“1954 北京坐标系”和“1980 西安坐标系”是我国法定的大地坐标系。

2. 空间直角坐标系

空间直角坐标系的原点在地心， X 轴位于起始子午面与赤道的交线上，赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴， Z 轴为地球自转轴且指向北极，从而构成右手规则坐标系。如图 2-2 所示。地面点 P 的空间位置用三维直角坐标 (x_P, y_P, z_P) 表示。

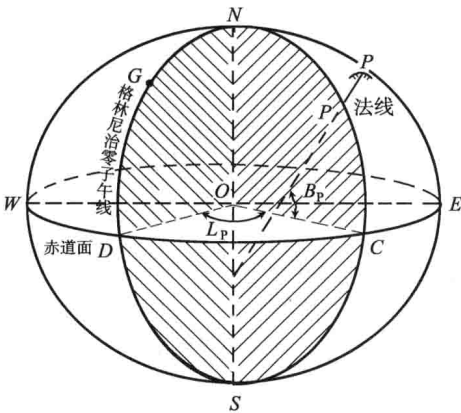


图 2-1 大地坐标系

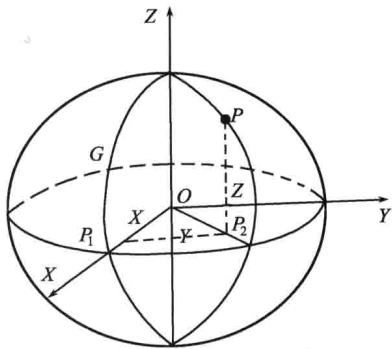


图 2-2 空间直角坐标系

20 世纪 80 年代中后期，日臻成熟的卫星大地测量技术尤其是全球卫星导航定位技术几乎取代了传统的测量手段，成为便捷和高效地获取地面点高精度地心坐标的重要手段，为国家采用地心坐标系提供了现实的技术和方法。同时，全球卫星导航定位技术的推广和应用，使各行业和部门对采用地心坐标系提出了迫切的需求。为了适应国民经济和科学技术发展的需要，世界上许多发达国家和地区逐渐采用地心坐标系，如美国、加拿大、欧洲、墨西哥、澳大利亚、新西兰、日本、韩国等。我国 2000 国家大地坐标系（CGCS2000）的定义：原点为地球的质量中心， Z 轴由原点指向历元 2000.0 的地球参考极的方向，该历元的指向由国际时间局给定的历元为 1984.0 的初始指向推算， X 轴由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面（历元 2000.0）的交点， Y 轴与 Z 轴、 X 轴构成右手正交坐标系。

3. 测量平面直角坐标系

对于环境工程测量来说,测量的测设、计算、绘图一般是在平面上进行。但是地球表面是一个不可延展的曲面,将球面上的点位化算到平面上,称为地图投影。投影会产生变形,投影变形有长度变形、角度变形和面积变形3种。对于这些变形,任何投影方法都不能全部消除,而只能使其中一种变形为零,其余变形控制在一定范围内。对于测量工作来说,保持角度不变是最重要的,这是因为角度不变就意味着在小范围内的图形是相似的。这种角度保持不变的投影又称为正形投影。目前,我国采用高斯-克吕格(Gauss-Kruger)正形投影,简称高斯投影。我国的测量平面直角坐标系采用高斯平面直角坐标系。

高斯投影的方法是将一个椭圆柱横套在地球椭球体外面,并与某一条子午线(中央子午线)相切,椭圆柱的中心轴通过地球中心,将中央子午线两侧一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上,再将此柱面展开即成为投影面。在这个平面上,中央子午线与赤道成为相互垂直的直线,分别作为高斯平面直角坐标系的纵轴(X 轴)和横轴(Y 轴), X 轴正向指北, Y 轴正向指东,两轴的交点 O 为坐标的原点,如图2-3所示。

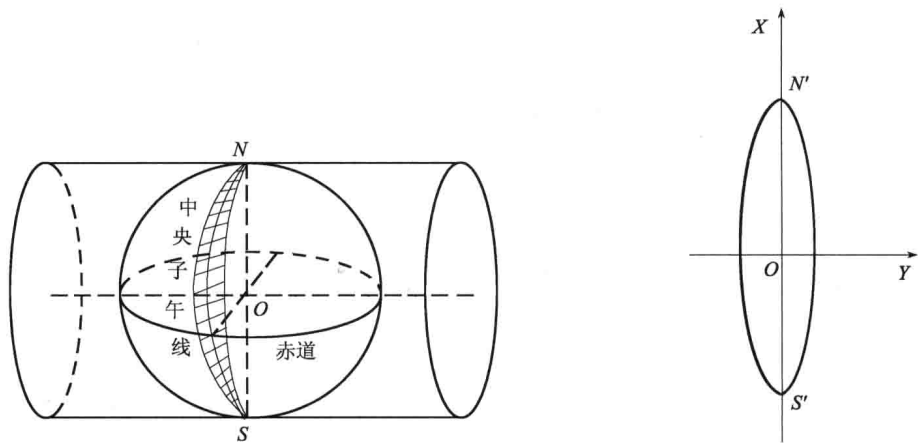


图 2-3 高斯平面直角坐标系

2.2.2 高程系统

高程基准定义了陆地高程测量的起算基准,一般用验潮站的长期平均海水面来确定,定义该平均海水面的高程为零。我国法定高程系统是采用“1985 国家高程基准”,以青岛验潮站验潮计算的黄海平均海水面作为高程基准面,并在青岛市观象山设立了国家水准原点,水准原点的高程为 72.2604m。

我国高程系统采用正常高系统,地面点到大地水准面的铅垂距离称为高程。图 2-4 中 A 、 B 两点的高程分别为 H_A 、 H_B 。

在局部地区,有时需要假定一个高程起算面(水准面),地面点到该水准面的铅垂距离称为相对高程。如图 2-4 所示, A 、 B 点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。建筑施工常以建筑物地面层的设计地坪为高程零点,其他部位的高程均相对于地坪而言,称为标高。标高属于相对高程。

地面上两点间高程之差称为高差,用 h 表示。如图 2-4 所示, A 、 B 两点间的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (2-1)$$

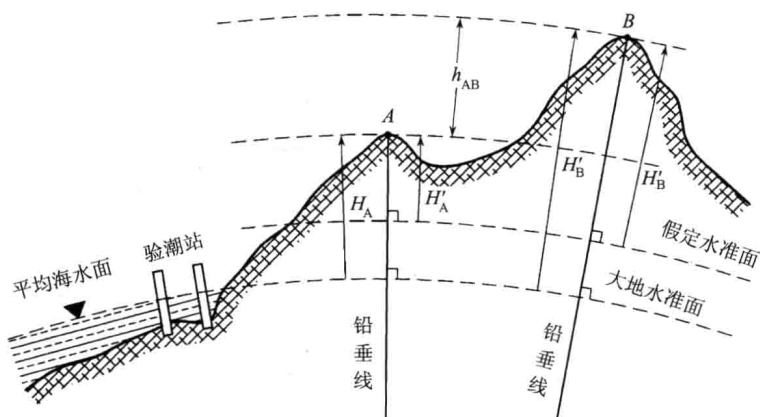


图 2-4 高程与高差

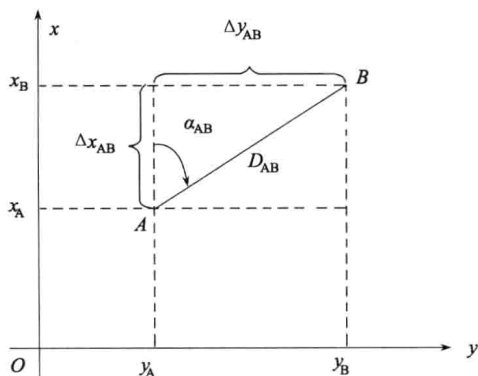
2.3 环境工程测量方法

环境工程测量的核心工作是测定和测设。测定是指使用测量方法和测量仪器，确定空间点的位置坐标数据，或者测绘成地形图。测设（又称为放样）是指把图纸上设计好的建筑物或构筑物标定于实地。测定和测设方法的基础是高程测量、角度测量和距离测量，一般将高差（ h ）、角度（ α ）、距离（ D ）称为三项定位元素。待定点（ B ）的坐标（ X_B, Y_B, H_B ）可以根据已知点（ A ）的坐标（ X_A, Y_A, H_A ），通过测量出 A 、 B 间的高差 h_{AB} 、水平距离 D_{AB} 、坐标方位角 α_{AB} 来推算得出。

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-2)$$

$$X_B = X_A + D_{AB} \times \cos \alpha_{AB} \quad (2-3)$$

$$Y_B = Y_A + D_{AB} \times \sin \alpha_{AB} \quad (2-4)$$



2.3.1 高程测量

高程测量（Height measurement），是指测定地球表面上点的高程。一般是通过测量两点之间的高差，然后根据已知点的高程，得到待求点的高程。因此，高程测量主要是高差的测量，是确定地面点位空间位置的三个基本要素之一。高程测量是测量中一个重要的环节，也是测量的基本工作之一。高程测量按照使用的仪器和作业的方法不同，可以分为几何高程测量（Geometrical leveling）、物理高程测量（Physical leveling）、全球定位系统高程测量（GPS leveling）。

几何高程测量主要有水准测量（Leveling）和三角高程测量（Trigonometric leveling）两种方法。（1）水准测量是一种精度较高、应用较广的高程测量方法。它是利用水准仪和几何原理来直接测定高差，广泛应用于国家或地区的各级高程控制测量，是精密测量点位高程的最主要的方法。（2）三角高程测量是一种快速、简便的测定高差的方法，它是利用经纬仪（或全站仪）和三角学原理来测定高差。该方法基本不受地形条件的制约，高程传

递迅速，但精度比水准测量低。主要用于山区或者不适宜开展水准测量的地区。

物理高程测量主要有气压高程测量（Barometric leveling）、声波高程测量（Sonic leveling）、雷达高程测量（Radar leveling）和液体静力水准测量（Hydrostatic leveling）。（1）气压高程测量是一种利用测量大气压力来获得高程的方法，它的高程测量精度较低。常常制作成气压高度计（Pressure altimeter, Barometric altimeter）广泛应用于徒步旅行和攀登的高程测量以及飞行器的高程测量。（2）声波高程测量是一种利用高频声波来测量高程的方法。1931 年美国空军和通用电气公司合作研制成功了第一台声波测高计（Sonic altimeter），主要应用于飞行器的高程测量，通过飞行器向地面发射和接收高频声波，来测量两者之间的距离，从而计算出高程。声波高程测量的精度和可靠性优于气压高程测量，可以在浓雾或者雨天的环境下进行高程测量。（3）雷达高程测量是一种利用电磁波来测量高程的方法，该方法的测量精度较高，且具有全天候、全天时的特点，不受雾、云和雨的影响。雷达测高计（Radar altimeter）已经广泛应用于各类飞行器的高度测量。目前星载和机载合成孔径雷达测高技术可以快速、高精度的获取地面的高程。（4）液体静力水准测量是一种利用连通器原理测量高程的方法，主要应用于测量局部地面点高程的变化。将装满液体的容器用连通管连接，通过光学方法或传感器测量每个测点容器内液面的相对变化，从而得到各测点间相对高程的变化。

全球定位系统（Global Positioning System）高程测量是利用 GPS 信号接收机和 GPS 卫星直接测定点的高程的方法。通过同时接收四颗及以上 GPS 卫星的信号，利用空间距离交会的原理，来确定接收机的高程。该方法施测简便，受地形的影响较小，可以高精度的获取地面点位的大地高，应用广泛。

环境工程测量主要应用水准测量和全站仪三角高程测量的方法。

2.3.1.1 水准测量原理

水准测量所用来测量两点之间高差的仪器，称为水准仪（Level）。水准测量的原理是利用水准仪提供的水平视线，在两根直立的带有分划的尺子（称为水准尺，Leveling staff, Leveling rod）上读数，来求得两立尺点间的高差，然后根据已知点的高程，推算出待测点的高程。

如图 2-5 所示，已知地面上 A 点的高程是 H_A ，待测点 B 的高程为 H_B 。水准测量的前进方向是从 A 到 B。在 A、B 两点上各竖立一根水准尺，水准仪安置在三脚架上被放置于两点之间。利用水准仪所提供的水平视线在后视点 A 的水准尺上读数为 a （称为后视读数），在前视点 B 的水准尺上读数为 b （称为前视读数），则从已知点 A 到待测点 B 的高差 h_{AB} 为后视读数减去前视读数：

$$h_{AB} = a - b \quad (2-5)$$

式中 h_{AB} 表示从 A 点至 B 点的高差，因此可知 $h_{AB} = -h_{BA}$ 。如果后视读数大于前视读数即 $a > b$ ，则高差为正 $h_{AB} > 0$ ，表示 B 点比 A 点高，从 A 至 B 是上坡。如果后视读数小于前视读数即 $a < b$ ，则高差为负 $h_{AB} < 0$ ，表示 B 点比 A 点低，从 A 至 B 是下坡。

已知 A 点的高程是 H_A ，在测得 A、B 两点间高差 h_{AB} 后，则待测点 B 的高程 H_B 为：

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-6)$$

将公式 (2-5) 代入公式 (2-6)，得到：

$$H_B = H_A + (a - b) \quad (2-7)$$

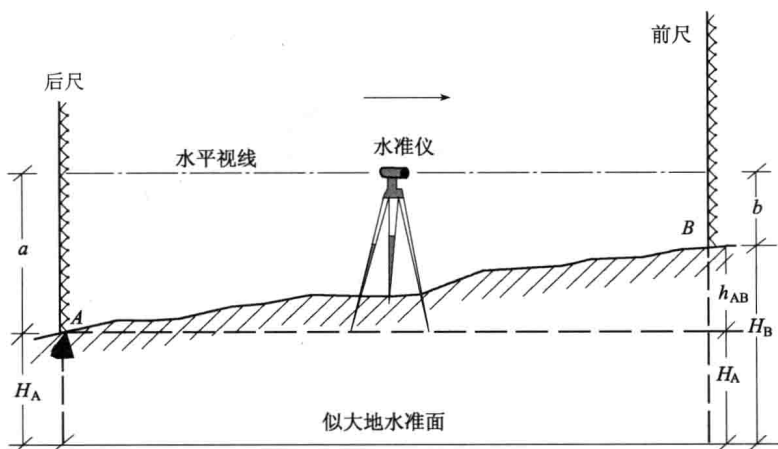


图 2-5 水准测量原理示意

如图 2-6 所示，已知地面上 A 点的高程是 H_A ，欲求得 B 点的高程 H_B 。如果 A、B 两点相距较远或者高差较大，安置一次水准仪不能测出两点高差 h_{AB} ，则在两点之间加设若干个临时的立尺点 ($TP_1, TP_2, \dots, TP_n$)，作为高程的传递点 (称为转点, Turning point)。则从 A 至 B 沿着前进方向，依次连续设站观测，测出各站的高差：

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

.....

$$h_n = a_n - b_n$$

将上式求和，则：

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i \quad (2-8)$$

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + \sum_{i=1}^n h_i \quad (2-9)$$

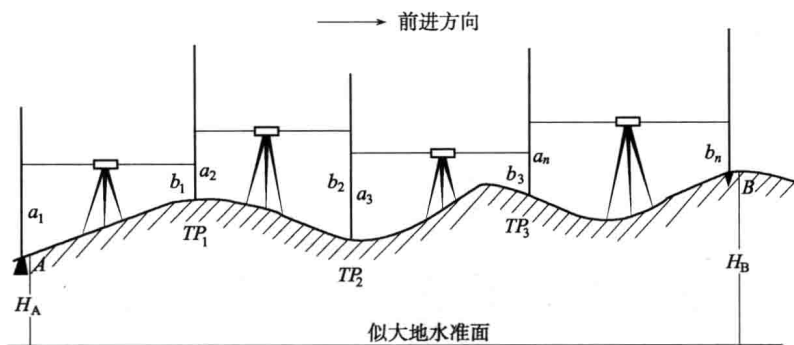


图 2-6 高差法水准测量示意

由此可见，起点 (A) 至终点 (B) 的高差等于各测站高差之和，还等于所有后视读数之和减去前视读数之和。常常用此来检核高差计算的正确性。

2.3.1.2 水准测量的仪器和工具

水准测量所用的主要仪器为水准仪 (Level)，工具有三脚架 (Tripod)、水准尺 (Leveling staff, Leveling rod) 和尺垫 (Leveling rod turning plate)。

1. 水准仪

水准仪是通过提供一条水平视线来测量两点之间高差的仪器。水准仪是在 17 世纪发明了望远镜后出现的 (见图 2-7)，在 18 世纪发明了水准器后逐渐得到完善 (见图 2-8)。20 世纪初，在研制出内调焦望远镜和符合水准器的基础上生产出微倾式水准仪 (Tilting level)。50 年代初出现了自动安平式水准仪 (Automatic level)，60 年代出现了激光水准仪 (Laser level)，90 年代出现了数字水准仪 (Digital level)。

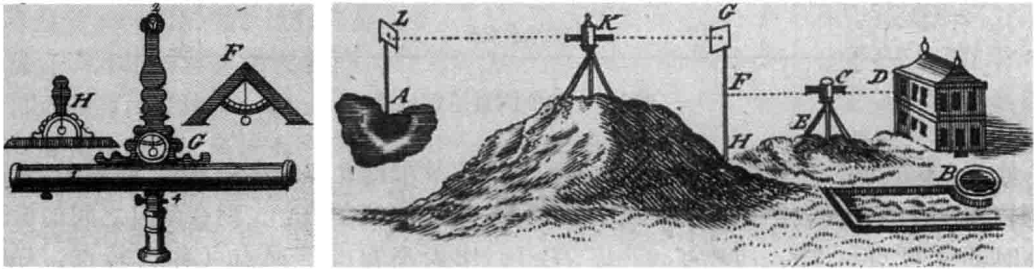


图 2-7 早期的水准测量示意图

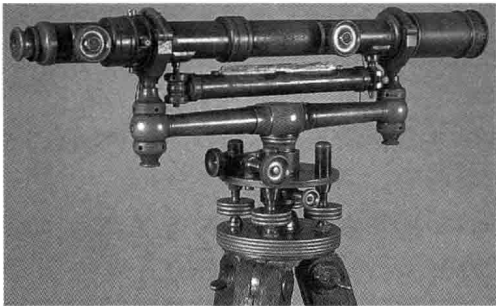


图 2-8 早期的水准仪

国产微倾式水准仪按其精度分，有 DS_{05} 、 DS_1 、 DS_3 及 DS_{10} 等几种型号。其中“D”表示大地测量，“S”表示水准仪，05、1、3 和 10 表示水准仪精度等级，分别是每千米往返测高差中数的中误差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 、 $\pm 1.0\text{mm}$ 、 $\pm 3.0\text{mm}$ 、 $\pm 10.0\text{mm}$ 。在工程建设中，使用最多的普通水准仪是 DS_3 型微倾式水准仪 (见图 2-9)。微倾式水准仪主要由望远镜、水准器、基座三部分组成，其各组成部件的名称在图 2-10 中标示。

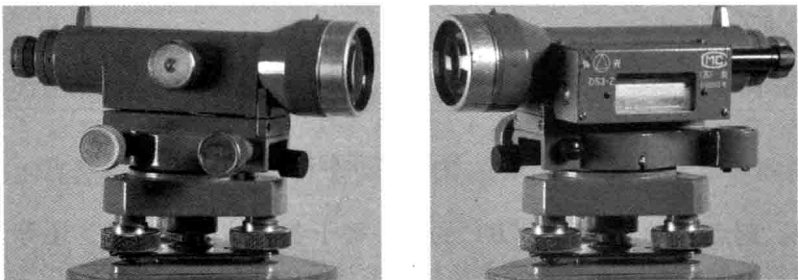


图 2-9 DS_3 型微倾式水准仪

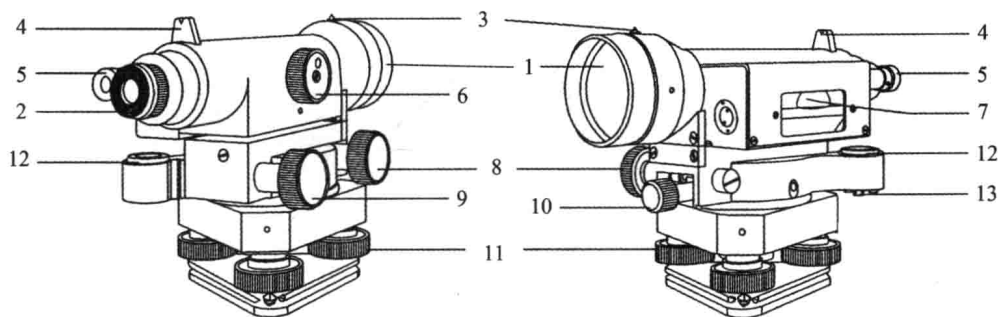


图 2-10 DS₃ 型微倾式水准仪的主要构造

1—物镜；2—目镜；3—准星；4—照门；5—符合气泡观察镜；6—物镜调焦螺旋；7—管水准器；8—水平微动螺旋；9—微倾螺旋；10—水平制动螺旋；11—脚螺旋；12—圆水准器；13—圆水准器校正螺丝

随着光、机、电技术的发展，陆续产生多种新式水准仪，例如自动安平水准仪（Automatic level）（见图 2-11）、数字水准仪（Digital level）（见图 2-13）、激光水准仪（Laser level）（见图 2-14）等。这些新式水准仪的推出和应用有效地减轻了水准测量外业工作的劳动量，提高了生产效率。

自动安平水准仪（见图 2-11）是通过补偿器（Compensator）来保证水准视线水平的。如图 2-12 所示，自动安平水准仪不需要考虑望远镜的精确水平状态，和微倾式水准仪的区别在于没有水准管和微倾螺旋。因此自动安平水准仪比微倾式水准仪的精平操作更加容易和快捷。

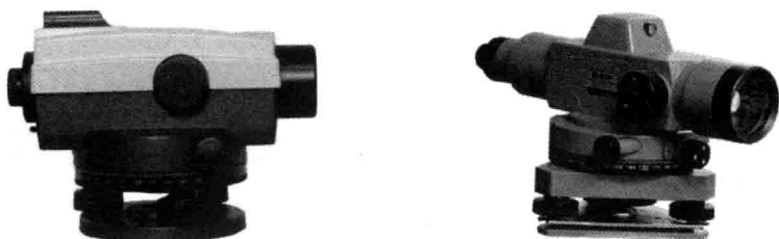


图 2-11 自动安平水准仪

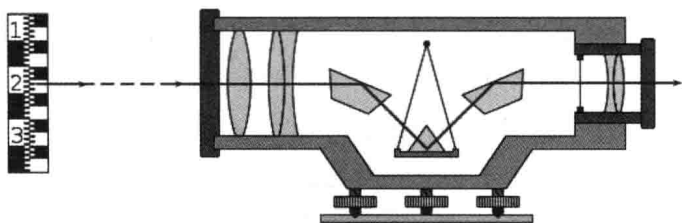


图 2-12 自动安平水准仪结构示意图

数字水准仪（Digital level），又称为电子水准仪（Electronic level），是一种通过自动读取水准尺上条码刻度来进行水准测量的仪器设备（见图 2-13）。数字水准仪是在仪器望远镜光路中增加了分光镜和光电探测器（CCD 阵列）等部件，采用图像处理系统构成光、机、电及信息存储与处理的一体化水准测量设备。