

安 装 测 量

阮定刚 主编



电子科技大学出版社



★ 国家中等职业教育改革发展示范学校建设项目成果

★ 西南安装高级技工学校

安 装 测 量

阮定刚 主编

袁志强 副主编

杜文举 主编

电子科技大学出版社

图书在版编目（C I P）数据

安装测量 / 阮定刚主编. -- 成都：电子科技大学出版社, 2014.6

ISBN 978-7-5647-1661-5

I. ①安… II. ①阮… III. ①机械设备—设备安装—测量技术—中等专业学校—教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 115896 号

安装测量

阮定刚 主编 袁志强 副主编 杜文举 主编

出版：电子科技大学出版社（成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编：610051）

策划编辑：吴艳玲

责任编辑：张 鹏

主 页：www.uestcp.com.cn

电子邮箱：uestcp@uestcp.com.cn

发 行：全国新华书店经销

印 刷：四川嘉华印业有限公司

成品尺寸：185mm×260mm 印张 10.5 字数 310 千字

版 次：2014 年 6 月第一版

印 次：2014 年 6 月第一次印刷

书 号：ISBN 978-7-5647-1661-5

定 价：28.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话：（028）83202323，83256027。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误，请寄回印刷厂调换。

前 言

本书按照中等职业学校机械设备装配与自动控制专业“安装测量”课程标准编写而成。安装测量是机械设备装配与自动控制专业的一门实践性很强的核心课程。

全书共分 10 章，第一章至第四章介绍安装测量的基本知识，基本原理及常用测量仪器的构造和使用方法；第五章介绍现代测量的新仪器和新技术及使用方法；第六章至第八章介绍测量误差、控制测量的基本知识和地形图的应用；第九章和第十章主要介绍建设工程的施工测量方法和安装工程测量的施工方法。

全书将测量基础理论和应用技术实践相结合，重点突出安装测量在安装工程施中的应用和操作技能的训练，在介绍传统测量仪器、测量技术的同时，也适当介绍现代测量的新仪器和新技术及其在安装工程施中的应用。

本书主要由西南安装高级技工学校阮定刚主编，西南安装高级技工学校袁志强参遍，由四川建筑职业技术学院杜文举审核。阮定刚（第一章至第九章）、袁志强（第十章）。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免存在缺点和错误，恳切希望广大读者和同行提出宝贵意见。

本书为西南安装高级技工学校机械设备与自动控制专业安装测量教学教材，也可供建筑、机电等工程的测量施工技术人员学习参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 测量学的任务及作用	1
第二节 地面上点位的确定	3
第三节 用水平面代替水准面的限度	6
第四节 测量工作概述	8
第二章 水准测量	10
第一节 水准测量原理	10
第二节 水准测量的仪器和工具	12
第三节 水准测量的方法	19
第四节 水准测量的成果计算	22
第五节 DS ₃ 型微倾式水准仪的检验与校正	25
第六节 水准测量误差分析	30
第七节 自动安平水准仪、电子水准仪	32
第三章 角度测量	35
第一节 角度测量原理	35
第二节 光学经纬仪的构造与使用	36
第三节 光学经纬仪的使用	38
第四节 水平角测量	40
第五节 竖直角测量	44
第六节 经纬仪的检验与校正	48
第七节 角度测量的误差分析	51
第四章 距离测量与直线定向	53
第一节 钢尺量距	53

第二节	视距测量.....	58
第三节	直线定向.....	60
第五章	全站仪及 GPS 测量简介	64
第一节	全站仪简介.....	64
第二节	南方测绘 NTS350 全站仪简介.....	66
第三节	全站仪操作和使用	71
第四节	全站仪使用的注意事项.....	72
第五节	GPS 概述.....	74
第六节	GPS 的组成.....	75
第七节	GPS 定位方法	77
第八节	GPS 卫星定位原理	79
第六章	测量误差的基本知识	82
第一节	测量误差概述	82
第二节	评定精度的指标	86
第三节	误差传播定律.....	88
第七章	小区域控制测量	91
第一节	控制测量概述	91
第二节	导线测量.....	95
第三节	交会定点.....	103
第四节	小三角测量.....	106
第八章	地形图的应用	108
第一节	地形图的基本知识	108
第二节	地形图的识读	114
第三节	地形图的应用	116
第九章	施工测量的基本知识	120
第一节	水平距离测设	120
第二节	水平角测设.....	123

第三节	高程测设.....	124
第四节	点位测设.....	126
第五节	坡度的测设.....	130
第十章	设备安装施工测量的基本知识	131
第一节	设备基础与安装基准.....	131
第二节	坐标位置控制	133
第三节	标高控制.....	135
第四节	沉降观测.....	137
第五节	常用的测量检查方法.....	142

第一章 绪 论

第一节 测量学的任务及作用

一、测量学的概念

测量学是研究地球形状和大小，确定地球表面各种自然和人工物体的形态及其变化，对各种地物和地貌的空间位置与属性等信息进行采集，处理和管理的一门应用性学科。它主要以建筑工程、机器和设备为研究对象，其主要内容包括测定和测设两部分。

1. 测定

测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算得到一系列测量数据，或将地球表面的地物和地貌缩绘成地形图，供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究使用。

2. 测设

测设是指用一定的测量仪器、工具和方法，将设计图样上规划设计好的建（构）筑物位置在实地处标定出来，作为施工的依据。

二、测量学的任务

测量学的主要任务有三个方面：一是研究确定地球的形状和大小，为地球科学提供必要的数据和资料；二是将地球表面的地物地貌测绘成图；三是将图纸上的设计成果测设至现场。此外，为各种工程建设进行安全监测也是测量学的重要任务之一。

三、测量在工程建设中的作用

测量在工程建设中的应用十分广泛，无论是民用建筑、工业厂房，还是道路桥梁水利工程，不管是地铁建设还是城市规划，在勘察、规划、设计、施工、安装各个阶段都离不开测量提供的各种比例尺的地形图；施工阶段则需通过测量放样来作为施工的依据；施工完毕，还需测绘竣工图，为工程提供完整的竣工资料；无论是施工阶段还是工程建成后的营运管理阶段，监视工程安全状况的变形观测与维修养护都起到了不可缺少的作用。由此可见，测量工程始终贯穿于工程建设的全过程，对工程建设的各阶段起到重要的保障作用。

按工程测量所服务的工程种类，也可分为建筑工程测量、线路测量、桥梁与隧道测量、矿山测量、城市测量和水利工程测量等。此外，还将用于大型设备的高精度定位和变形观

测称为高精度工程测量，将测量技术应用于安装工程建设称为安装测量，而将以电子全站仪或地面摄影仪为传感器在电子计算机支持下的测量系统称为三维工业测量。

四、工程测量仪器的发展

工程测量仪器可分通用仪器和专用仪器。通用仪器中常规的光学经纬仪、光学水准仪和电磁波测距仪将逐渐被电子全站仪、电子水准仪所替代。带电动马达驱动和程序控制的全站仪结合激光、通讯及 CCD 技术，可实现测量的全自动化，被称作测量机器人。测量机器人可广泛用于变形监测和施工测量。GPS 接收机已逐渐成为一种通用的定位仪器在工程测量中得到广泛应用。将 GPS 接收机与电子全站仪或测量机器人连接在一起，称超全站仪或超测量机器人。它将 GPS 的实时动态定位技术与全站仪灵活的三维极坐标测量技术完美结合，可实现无控制网的各种工程测量。

专用仪器是工程测量学仪器发展最活跃的，主要应用在精密工程测量领域。包括机械式、光电式及光机电（子）结合式的仪器或测量系统。主要特点是：高精度、自动化、遥测和持续观测。

用于建立水平的或竖直的基准线或基准面，测量目标点相对于基准线（或基准面）的偏距（垂距），称为基准线测量或准直测量。这方面的仪器有正倒锤与垂线观测仪，各种激光准直仪、铅直仪、自准直仪以及尼龙丝或金属丝准直测量系统等。

第二节 地面上点位的确定

一、地球的形状和大小

（一）水准面和水平面

测绘工作大多是在地球的自然表面上进行的，测量基准的确定，测量成果的计算及处理都与地球的形状和大小有关。

地球的自然表面是很不规则的，其上有高山、深谷、丘陵、平原、江湖、海洋等，最高的山峰——珠穆朗玛峰高 8844.43m，最深的海峡——马里亚纳海沟低至 11022m，虽然它们高低起伏悬殊，但与地球的平均半径 6371km 相比，还是微不足道的。另外就整个地球表面而言，陆地面积仅占 29%，而海洋面积约占 71%。因此，我们可以设想地球的整体形状是被海水所包围的球体，即设想将一静止的海洋面扩展延伸，使其穿过大陆和岛屿，形成一个封闭的曲面，如图 1-1 所示。静止的海水面称作水准面。水准面的特点是水准面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。

与水准面相切的平面，称为水平面。

（二）大地水准面

事实上，海水面受潮汐风浪等影响而时高时低，故水准面有无穷多个，其中与平均海水面相吻合的水准面称作大地水准面。它是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的形体称为大地体。通常用大地体来代表地球的真实形状和大小。

（三）铅垂线

由于地球的自转，地球上任一点都同时受到离心力和地球引力的作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线，它是测量工作的基准线。在测量工作中，取得铅垂线的方法是用细绳悬挂一个锤球，细绳在重力作用下形成的下垂线即为铅垂线。

（四）地球椭球体

科学家们研究发现，尽管地球内部质量分布不均匀，地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化，但可用一个形状相似的旋转椭球体来代表地球的形状。如图 1-2 所示，它是由椭圆 NESW 绕短轴 NS 旋转而成。旋转椭球体的形状和大小由以下三个基本元素确定，即：

长半轴 a ，短半轴 b ，

$$\text{扁率 } \alpha = \frac{a-b}{a}。$$

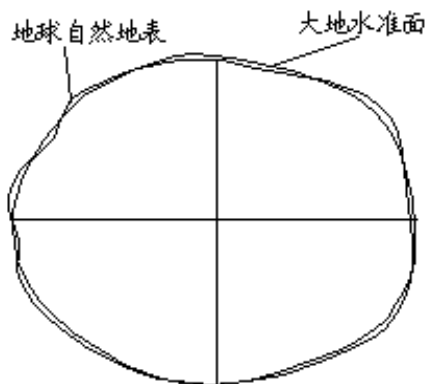


图 1-1 地球自然表面

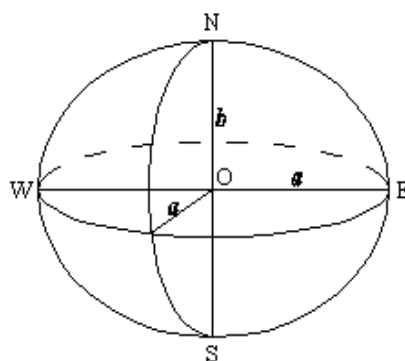


图 1-2 旋转椭球体

某一国家或地区为处理测量成果而采用的与大地体的形状大小最接近，又适合本国或本地区要求的旋转椭球，称为参考椭球体。确定参考椭球体与大地体之间的相对位置关系，称为椭球体定位。参考椭球体面只具有几何意义而无物理意义，它是严格意义上的测量计算基准面。

我国的 1980 国家大地坐标系采用的是 1975 国际椭球，而全球定位系统（GPS）采用的是 WGS-84 椭球。由于参考椭球的扁率很小，在小区域的普通测量中可将地球看做圆球，其半径为 6371km。

二、确定地面点位的方法

无论是地物地貌，还是设计图纸上的建筑物、构筑物，都有各种几何形状。几何形状有点、线、面之分，但都可归结为点。因此，无论是测绘地形图还是施工放样，其实质都是测定（或测设）地面上一系列点的空间位置。确定地面点的空间位置须由三个参数来确定，即该点的平面位置（ x, y ）和该点的高程位置（ H ）。

（一）地面点的平面位置

当测区的范围较小，可以用地面点所在的水平面代替大地水准面，可在此平面上建立独立的直角坐标系。一般选定子午线方向为纵轴，即 x 轴，原点设在测区的西南角，以避免坐标出现负值。测区内任一地面点用坐标（ x, y ）来表示。

在实际测量工作中所用的平面直角坐标与数学上的直角坐标基本相同，只是测量工作以 x 轴为纵轴，一般表示南北方向， x 轴向北为正，向南为负；以 y 轴为横轴一般表示东西方向， y 轴向东为正，向西为负；坐标原点 O 点一般选在测区的西南角，使测区内各点的 x, y 坐标均为正值；象限为顺时针编号，直线的方向都是从纵轴北端按顺时针方向度量的，如图 1-3 所示。这样的规定，使数学中的三角公式在测量坐标系中完全适用。

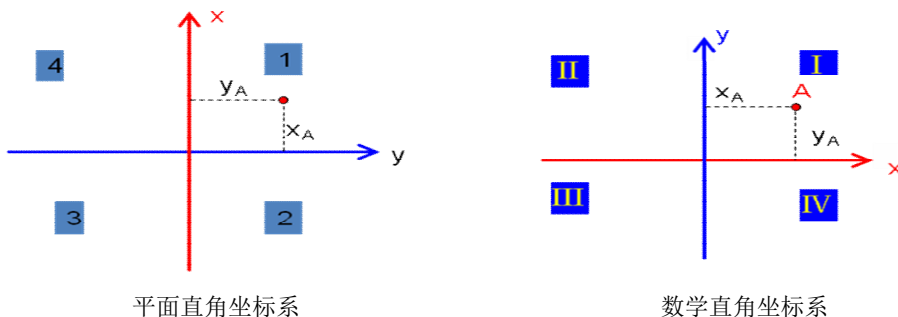


图 1-3 测量平面直角坐标系

(二) 地面点的高程位置

在一般的测量工作中都以大地水准面作为高程起算的基准面。因此，地面任一点沿铅垂线方向到大地水准面的铅垂距离就称为该点的绝对高程或海拔，简称高程，用 H 表示。如图 1-4 所示，图中的 H_A 、 H_B 分别表示地面上 A、B 两点的绝对高程。我国规定以 1953~1979 年间青岛验潮站多年记录的黄海平均海水面作为我国的大地水准面，依此基准面建立的高程系统称为“1985 国家高程基准”。并在青岛的观象山建立了国家水准原点，其高程为 72.260m。

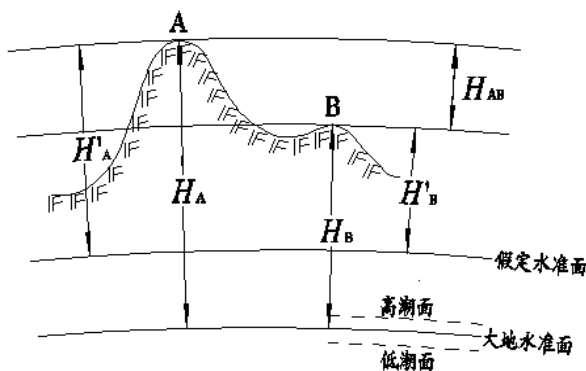


图 1-4 地面点的高程

当测区附近暂没有国家高程点可联测时，也可临时假定一个水准面作为该区的高程起算面。地面点沿铅垂线至假定水准面的距离，称为该点的相对高程或假定高程。如图 1-4 中的 H'_A 、 H'_B 分别为地面上 A、B 两点的相对高程。

地面上两点之间的高程之差称为高差，用 h 表示，例如，A 点至 B 点的高差可写为：

$$h = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

由式 (1-1) 可知，高差有正、有负，并用下标注明其方向。在安装工程中，又将相对高程统称为标高。

综上所述，我们只要知道地面点的三个参数 x 、 y 、 H ，那么地面点的空间位置就可以确定了。

第三节 用水平面代替水准面的限度

当测量的面积较小时，可将测区范围内的水准面用水平面来代替，这将使测量的计算和绘图工作简化，但用水平面代替水准面，测量距离和高程必然会产生差异，从而影响测量的精度。因此有必要对水平面代替水准面给予一个限度，从而将测量误差限制在容许的范围内。

一、距离测量时用水平面代替水准面的限度

如图 1-5 所示，将地球以正球体看待。设 AB' 为球面上的长度 D ，所对圆心角为 θ ，地球半径为 R ，另至 A 点作切线 AB ，设长为 t 。若以切于 A 点的水平面代替球面，则在距离上产生误差 ΔD ：

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-2)$$

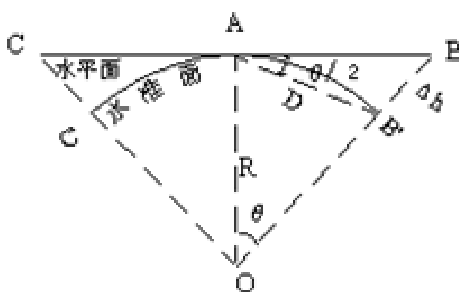


图 1-5 水平面代替水准面示意

以不同的 D 值代入式 (1-2)，求出距离的相对误差列于表 1-1。

表 1-1 地球曲率对水平距离的影响

距离 D (km)	10	25	50	100
距离误差 ΔD (cm)	0.8	12.8	102.7	821.2
距离相对误差 $\Delta D/D$	1:1200000	1:200000	1:50000	1:12000

由表 1-1 可以看出，当地面距离为 10km 时，用水平面代替球面所引起的距离误差只有 0.8cm，相对误差约为 1/1200000，这样小的误差，就是对精密量距来说也是可以允许的。因此在以 10km 为半径的圆面之内进行距离测量时，可以用水平面代替水准面，而不必考虑地球曲率对距离测量的影响。

二、高程测量时用水平面代替水准面的限度

海拔高程的起算点是大地水准面，由于水平面与水准面是不重合的，所以用水平面代替水准面进行高程测量，地球曲率必定对所测高程值有影响，这种用水平面代替水准面而产生的高程误差称为球差。

如图 1-5 所示，设 AB 为过 A 点的水准面，显然，A 与 B 点同高。如果用过 A 点的水平面 P 代替水准面，则这时 A 与 B 之间产生了高差 Δh 。由图 1-5 可知：

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-3)$$

用不同距离 D 代入式 (1-3)，可得表 1-2 所列的结果。

表 1-2 水平面代替水准面的高程误差

距离 D (km)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
Δh (cm)	0.08	0.3	0.7	1.3	2	8	31	196	785

由表 1-2 可知，用水平面代替水准面作为高程的起算面，对高程的影响是很大的，距离为 100m 时，在高程测量方面产生的误差就达 0.8mm，其影响不可忽视。因此可以认为在一般高程测量中，以距离 100m 为用水平面代替水准面的限度，否则必须采取相应的技术措施，来削弱或改正地球曲率给高程测量带来的影响。

第四节 测量工作概述

测量工作的基本任务是要确定地面点的几何位置。确定地面点的几何位置需要进行一些测量的基本工作，为了保证测量成果的精度及质量需遵循一定的测量原则。

一、测量的基本工作

如图 1-6 所示，A、B、C、D、E 为地面上高低不同的一系列点，构成空间多边形 ABCDE，图下方为水平面。从 A、B、C、D、E 分别向水平面作铅垂线，这些垂线的垂足在水平面上构成多边形 ABCD，水平面上各点就是空间相应各点的正射投影；水平面上多边形的各边就是各空间斜边的正射投影；水平面上的角就是包含空间两斜边的二面角在水平面上的投影。地形图就是将地面点正射投影到水平面上后再按一定的比例尺缩绘至图纸上而成的。由此看出，地形图上各点之间的相对位置是由水平距离、相邻点之间的高差和相邻边之间的水平角决定的。若已知其中一点的坐标 (x, y) 和过该点的标准方向及该点高程 H ，则可借助水平距离、高差和水平角将其他点的坐标和高程算出。因此，水平距离、高差和水平角是确定地面点相关位置的三个基本几何要素，而测定两点之间高差的高程测量及距离测量和角度测量就是测量的三个基本工作。

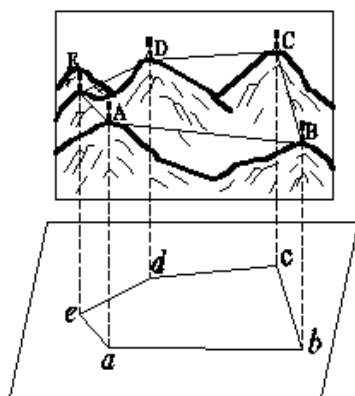


图 1-6 测量的基本工作

二、测量工作的原则

测量工作必须遵循的基本原则是“从整体到局部”，“先控制后碎部”。

测量工作的目的之一是测绘地形图，地形图是通过测量一系列碎部点（地物点和地貌点）的平面位置和高程，然后按一定的比例，应用地形图符号和注记缩绘而成。测量工作不能一开始就测量碎部点，而是先在测区内统一选择一些起控制作用的点，将它们的平面位置和高程精确地测量计算出来，这些点被称作控制点，由控制点构成的几何图形称作控

制网，然后再根据这些控制点分别测量各自周围的碎部点，进而绘制成图，如图 1-7 所示的多边形 ABCDEF 就是该测区的控制网。

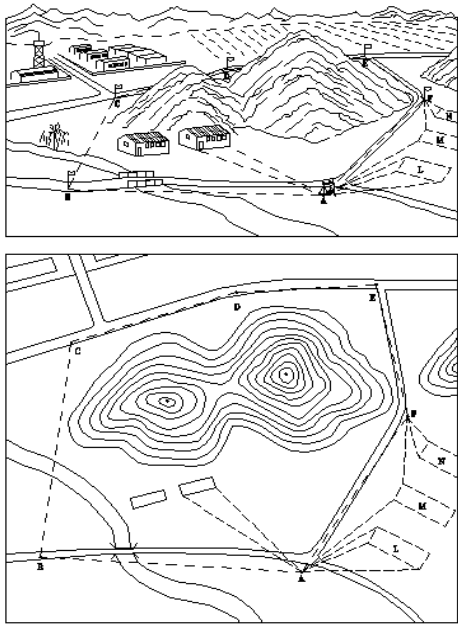


图 1-7 控制测量与碎部测量

当测定控制点的相对位置有错误时，以其为基础所测定的碎部点测设的放样点也必然有错。为了避免错误的结果对测量工作的影响，测量工作必须重视检验，因此，“边工作边校核”也是测量工作的原则之一。

第二章 水准测量

高程是确定地面点位置的基本要素之一，所以高程测量是基本测量工作之一。高程测量的目的是要获得点的高程，但一般高程测量只能直接测得两点间的高差，然后根据其中一点的已知高程推算出另一点的高程。

根据测量所有的仪器和测量方法的不同，高程测量方法分为水准测量、三角高程测量和 GPS 高程测量。

第一节 水准测量原理

水准测量是利用水准仪提供的水平视线来测定地面两点之间的高差，进而推算出未知点高程的方法，称为高差法。例如图 2-1 中，为了求出 A 、 B 两点的高差 h_{AB} ，在 A 、 B 两个点上竖立带有分划的标尺——水准尺，在 A 、 B 两点之间安置可提供水平视线的仪器——水准仪。当视线水平时，在 A 、 B 两个点的标尺上分别读得读数 a 和 b ，则 A 、 B 两点的高差等于两个标尺读数之差。即：

$$h_{AB} = a - b \quad (2-1)$$

如果 A 为已知高程的点， B 为待求高程的点，则 B 点的高程为：

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

读数 a 是在已知高程点上的水准尺读数，称为“后视读数”； b 是在待求高程点上的水准尺读数，称为“前视读数”。高差必须是后视读数减去前视读数。高差 h_{AB} 的值可能是正，也可能是负，正值表示待求点 B 高于已知点 A ，负值表示待求点 B 低于已知点 A 。此外，高差的正负号又与测量进行的方向有关，例如图 2-1 中测量由 A 向 B 进行，高差用 h_{AB} 表示，其值为正；反之由 B 向 A 进行，则高差用 h_{BA} 表示，其值为负。所以说明高差时必须标明高差的正负号，同时要说明测量进行的方向。

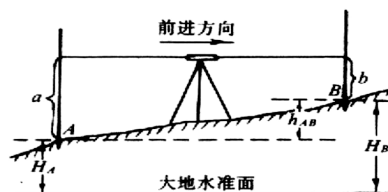


图 2-1

当两点相距较远或高差太大时，则可分段连续进行，从图 2-2 中可得：