



高等学校土木工程专业“十三五”系列规划教材·应用型



土木工程测量

第2版

● 主编 殷耀国 王晓明 主审 翟翊



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程  教材 · 应用型

土木工程测量(第2版)

主 编 殷耀国 王小明
副主编 韩俊强 余宏远 仇东环
主 审 翟 翊



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/殷耀国,王晓明主编.—2版.—武汉:武汉大学出版社,2017.2
高等学校土木工程专业“十三五”系列规划教材·应用型
ISBN 978-7-307-19147-1

I. 土… II. ①殷… ②王… III. 土木工程—工程测量—高等学校—教材
IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 004924 号

责任编辑:孙 丽 责任校对:李嘉琪 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉市金港彩印有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:20 字数:551千字

版次:2013年8月第1版 2017年2月第2版

2017年2月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-19147-1 定价:45.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木工程专业“十三五”系列规划教材·应用型

编审委员会

顾 问 王世庆 刘 华 杨家仕 戴运良

主任委员 康志华 张志国

副主任委员 罗特军 李平诗 张来仪 何志伟 邹 皓 杨乃忠

王君来 周家纪 袁自峰 冯治流 李景林

委 员(按姓氏笔画排名)

万胜武 王若志 王星捷 王晓明 王涯茜 白立华

刘 琛 李 然 李忠定 李章政 吴浙文 张士彩

尚晓峰 郝献华 胡益平 段 旻 韩俊强 蒲小琼

蔡 巍 魏泳涛

总责任编辑 曲生伟

秘 书 长 王 睿

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导模式转变为建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要包括:

文本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动土木传媒”微信公众号!



第 2 版前言

本书第 1 版于 2013 年 8 月出版,是按照高等学校土木工程学科专业指导委员会颁布的《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准(试行)》和《高等学校土木工程本科指导性专业规范》所要求的知识体系、核心知识领域、核心知识单元相适应的“土木工程测量”课程教学大纲的要求编写而成。

本书修订历时一年多,在保持第 1 版编写框架和特色的同时,结合测绘科学技术发展现状及其在土木工程领域应用的实际状况,进一步删减了落后技术、增加或详述了先进技术。更加清晰地体现了实际工程应用中的核心测绘技术:水准仪高程测量技术,全站仪角度、距离、坐标测量技术,GNSS 坐标测量技术和数字化地形绘图技术。

本书还配备了数字教学资源,以供读者选取与利用。数字教学资源包括课程教学大纲,实验教学大纲,实验、实习指导书,PPT 电子教案以及水准仪、全站仪、GNSS 和南方 CASS 数字化地形绘图软件操作视频,教学所需的实景照片,拓展学习资料,考试样卷等。

本书是土木工程本科专业教材,也可作为建筑工程、交通工程、水利水电工程、农业水利工程、城市规划、建筑学、道路与桥梁工程、工程管理与造价、地下工程、铁道工程、环境工程等专业方向的教学用书,还可作为相关工程技术人员的参考用书。

本书第 2 版由宁夏大学殷耀国、中国矿业大学银川学院王晓明担任主编,成都理工大学韩俊强、河西学院余宏远、宁夏理工学院仇东环担任副主编,中原工学院屈丽娜参加编写。

本书由中国测绘地理信息学会测绘教育委员会副主任委员、解放军信息工程大学翟翊教授担任主审,对书稿提出了许多宝贵意见和建议,特致谢意。

本书修订过程中参阅的文献和资料已在参考文献列出,在此也向相关作者表示由衷感谢。

本书若有不妥之处敬请读者批评指正。电子邮箱:nx_yinyg@163.com。

编 者

2016 年 12 月

第1版前言

本书为“高等学校土木工程专业‘十二五’系列规划教材·应用型”之一,按照高等学校土木工程学科专业指导委员会颁布的《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准(试行)》和《高等学校土木工程本科指导性专业规范》所要求的知识体系、核心知识领域、核心知识单元相适应的“土木工程测量”课程教学大纲的要求编写而成。

本书在编写过程中体现了以下特色:

①总体结构设计方面,继承、借鉴一些教材良好体系的同时,力求吻合学生的认知和学习规律,满足土木工程建设过程中的测绘实践需要。

②内容筛选方面,在总结教学经验的基础上,广泛征求专家、学者的意见和建议,并结合现代测绘技术的应用和发展,深化了全站仪技术、GNSS技术和数字化测图技术等内容,对传统内容进行了进一步删减,使之更新、更精、更实用。

③在基本理论和基本技术的基础上,详细介绍了测量技术在地形测绘、建筑工程施工、线路工程、桥梁工程、地下工程和工程变形测量等方面的应用,并贯穿于工程建设的规划设计、工程施工和竣工运营各个阶段,适应卓越工程师教育的需要。

④尽量做到专业术语正确,概念清晰,技术要求符合现行标准和规范。

本书既可作为土木工程专业本科教材,也可作为建筑工程、交通工程、水利水电工程、城市规划、建筑学、道路与桥梁工程、工程管理与造价、地下工程、铁道工程、环境工程等专业方向的教学用书,还可作为相关工程技术人员的参考用书。

本书由中国矿业大学银川学院王晓明和宁夏大学殷耀国担任主编;成都理工大学工程技术学院韩俊强,四川大学锦江学院王春,安阳工学院张爱玲,四川大学锦城学院李敏、王芃,宁夏理工学院仇东环担任副主编;石家庄铁道大学四方学院王芳,黑龙江东方学院徐亮亮担任参编。

具体编写分工为:

中国矿业大学银川学院,王晓明(前言,第1章、第5章);

成都理工大学工程技术学院,韩俊强(第2章);

宁夏理工学院,仇东环(第3章);

石家庄铁道大学四方学院,王芳(第4章);

宁夏大学,殷耀国(第6章、第7章、附录A~附录D);

黑龙江东方学院,徐亮亮(第8章);

安阳工学院,张爱玲(第9章、第12章);

四川大学锦城学院,王芃(第10章);

四川大学锦城学院,李敏(第11章);

四川大学锦江学院,王春(第13章、第14章)。

宁夏回族自治区国土资源调查监测院马旭担任本书主审,对本书的编写提出了许多宝贵意见,特致谢意。

在本书编写过程中,编者参阅了大量文献和资料,在此特向相关作者表示由衷的感谢。另外,还要感谢宁夏大学 2010 级硕士研究生蔺琳的帮助。

由于编者水平所限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2013 年 6 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 土木工程测量学的概念、任务与作用	(1)
1.2 地面点位的表示方法	(3)
1.3 测量工作的基本原则和基本内容	(12)
习题与思考题	(12)
参考文献	(13)
2 水准测量	(14)
2.1 水准测量原理	(14)
2.2 水准测量仪器及工具	(15)
2.3 水准测量施测	(24)
2.4 水准测量的内业计算	(31)
习题与思考题	(33)
参考文献	(36)
3 角度测量	(37)
3.1 角度测量原理	(37)
3.2 测角仪器及工具	(38)
3.3 水平角测量	(45)
3.4 竖直角测量	(49)
习题与思考题	(52)
参考文献	(53)
4 距离测量	(54)
4.1 钢尺量距	(54)
4.2 视距测量	(59)
4.3 电磁波测距	(61)
习题与思考题	(67)
参考文献	(67)
5 坐标测量	(69)
5.1 直线定向	(69)
5.2 地面定位技术	(72)
5.3 全球卫星定位技术	(77)
习题与思考题	(85)
参考文献	(86)

6 地形图基本知识	(87)
6.1 概述.....	(87)
6.2 地形图比例尺.....	(89)
6.3 地形图分幅和编号.....	(93)
6.4 地形图图外注记.....	(96)
6.5 地形图图式.....	(99)
6.6 数字地图简介.....	(109)
习题与思考题.....	(111)
参考文献.....	(111)
7 地形图测绘	(113)
7.1 概述.....	(113)
7.2 控制测量的分类、技术要求和一般步骤.....	(115)
7.3 控制测量实施.....	(121)
7.4 碎部测量.....	(131)
7.5 地形图测绘的内容与取舍.....	(150)
习题与思考题.....	(153)
参考文献.....	(154)
8 地形图的应用	(156)
8.1 地形图识读的基本方法.....	(156)
8.2 地形图应用的基本内容.....	(157)
8.3 地形图在工程建设中的应用.....	(160)
习题与思考题.....	(167)
参考文献.....	(167)
9 施工放样的基本工作	(168)
9.1 概述.....	(168)
9.2 施工放样的三项基本工作.....	(168)
9.3 点的平面位置放样.....	(170)
9.4 直线坡度的放样.....	(174)
习题与思考题.....	(174)
参考文献.....	(175)
10 建筑工程施工测量	(176)
10.1 概述.....	(176)
10.2 建筑工程施工控制测量.....	(176)
10.3 一般民用建筑工程施工测量.....	(179)
10.4 高层建筑工程施工测量.....	(185)
10.5 工业建筑工程施工测量.....	(188)
10.6 建筑竣工测量与竣工总图编绘.....	(192)
习题与思考题.....	(194)
参考文献.....	(194)

11 线路工程测量	(196)
11.1 概述.....	(196)
11.2 线路工程控制测量.....	(197)
11.3 线路工程中线测量.....	(198)
11.4 线路工程纵、横断面测量及纵、横断面图绘制.....	(205)
11.5 线路工程施工测量.....	(210)
11.6 线路工程竣工测量.....	(215)
习题与思考题.....	(215)
参考文献.....	(216)
12 桥梁工程测量	(217)
12.1 概述.....	(217)
12.2 水下地形测绘.....	(218)
12.3 桥梁工程施工控制测量.....	(223)
12.4 桥梁工程施工细部测量.....	(225)
12.5 桥梁工程竣工测量.....	(231)
习题与思考题.....	(232)
参考文献.....	(232)
13 地下工程测量	(233)
13.1 概述.....	(233)
13.2 地上、地下控制测量.....	(234)
13.3 联系测量.....	(238)
13.4 地下工程施工测量.....	(246)
13.5 地下工程竣工测量.....	(248)
习题与思考题.....	(249)
参考文献.....	(249)
14 变形监测	(250)
14.1 概述.....	(250)
14.2 沉降监测.....	(253)
14.3 水平位移监测.....	(260)
14.4 倾斜监测.....	(263)
14.5 挠度监测.....	(267)
14.6 裂缝监测.....	(269)
14.7 在线安全监测系统.....	(270)
习题与思考题.....	(274)
参考文献.....	(274)
附录 A 测量误差的基本知识	(275)
A.1 观测误差的概念.....	(275)
A.2 衡量观测值精度的标准.....	(278)
A.3 误差传播定律.....	(280)

A.4	等精度直接观测平差	(281)
A.5	不等精度直接观测平差	(282)
	参考文献	(285)
附录 B	工程测量实验与实习	(286)
B.1	工程测量实验与实习须知	(286)
B.2	工程测量实验项目	(288)
B.3	工程测量实习任务与进度安排	(289)
	参考文献	(290)
附录 C	测量仪器的检验与校正	(291)
C.1	一般规定	(291)
C.2	微倾式光学水准仪的检验与校正	(291)
C.3	测角仪器几何条件的检验与校正	(293)
C.4	电子经纬仪的检定项目与技术要求	(295)
C.5	光电测距仪的检定项目与技术要求	(296)
C.6	全站仪的检验	(297)
C.7	GNSS 接收机的检验	(300)
C.8	钢卷尺的检定项目与技术要求	(300)
	参考文献	(301)
附录 D	测量仪器技术指标	(302)
D.1	国产光学水准仪系列的基本技术指标	(302)
D.2	数字水准仪部分品牌的技术指标	(302)
D.3	国产光学经纬仪系列的基本技术指标	(303)
D.4	全站仪部分国际品牌的技术指标	(304)
D.5	全站仪部分国产品牌的技术指标	(305)
D.6	国产 GNSS 接收机部分品牌的技术指标	(305)
	参考文献	(306)

数字资源目录

1	绪论	(1)
	10 分钟看完本章	(1)
	教学大纲	(2)
	国家大地原点实景照片	(4)
	国家水准原点实景照片	(4)
	BeiDou 导航卫星系统应用视频	(9)
	习题与思考题答案	(13)
2	水准测量	(14)
	10 分钟看完本章	(14)

望远镜构造(含十字丝)视频	(16)
水准仪精确照准与读数视频	(19)
自动安平水准仪操作使用视频	(22)
习题与思考题答案	(35)
3 角度测量	(37)
10 分钟看完本章	(37)
全站仪对中、整平操作视频	(40)
全站仪基本构造视频	(44)
全站仪测量竖直角视频	(50)
习题与思考题答案	(53)
4 距离测量	(54)
10 分钟看完本章	(54)
全站仪测距操作视频	(66)
习题与思考题答案	(67)
5 坐标测量	(69)
10 分钟看完本章	(69)
全站仪坐标测量操作视频	(73)
全站仪测距后方交会操作视频	(74)
拓展学习:无定向测量问题的解决	(75)
全球卫星定位原理测量视频	(78)
GNSS RTK 原理视频	(81)
GNSS RTK 测量操作视频	(83)
习题与思考题答案	(86)
6 地形图基本知识	(87)
10 分钟看完本章	(87)
大比例尺地形图样图	(89)
《图式》节选	(99)
等高线表示综合地貌视频	(107)
习题与思考题答案	(111)
7 地形图绘测	(113)
10 分钟看完本章	(113)
车载三维激光扫描系统在带状地形测绘中的应用视频	(113)
测量型无人机数码航摄系统在地形测绘中的应用视频	(114)
GNSS RTK 技术地形测图操作视频	(141)
南方 CASS 数字化地形绘图软件绘制地形图操作视频	(142)
习题与思考题答案	(154)
8 地形图的应用	(156)
10 分钟看完本章	(156)
习题与思考题答案	(167)

9 施工放样的基本工作	(168)
10 分钟看完本章	(168)
全站仪坐标放样操作视频	(172)
习题与思考题答案	(175)
10 建筑工程施工测量	(176)
10 分钟看完本章	(176)
习题与思考题答案	(194)
11 线路工程测量	(196)
10 分钟看完本章	(196)
数字纵断面图样图	(207)
数字横断面图及“戴帽子”样图	(210)
习题与思考题答案	(216)
12 桥梁工程测量	(217)
10 分钟看完本章	(217)
杭州湾跨海大桥视频	(218)
大中型桥墩、桥台、索塔实景照片	(226)
沉井施工过程视频	(229)
习题与思考题答案	(232)
13 地下工程测量	(233)
10 分钟看完本章	(233)
拓展学习:盾构法施工视频	(248)
习题与思考题答案	(249)
14 变形监测	(250)
10 分钟看完本章	(250)
安全事故汇集视频	(250)
深基坑支护及其开挖视频	(256)
高耸建(构)筑物:墙、柱、塔倾斜实景照片	(263)
习题与思考题答案	(274)
附录 B 工程测量实验与实习	(286)
工程测量实验指导书	(288)
工程测量实习指导书	(289)

1 绪 论

【内容提要】

本章的主要内容包括土木工程测量学的概念、任务与作用,地面点位的表示方法以及测量工作的基本原则和基本内容。本章的教学重点为地面点位确定原理,教学难点为高斯-克吕格平面直角坐标系。

【能力要求】

通过本章的学习,学生应理解土木工程测量学的概念、任务与作用,理解地面点位的表示方法、我国常用的测量坐标系统和高程基准,掌握地面点位确定原理,了解测量工作的基本原则和基本内容。

1.1 土木工程测量学的概念、任务与作用

1.1.1 土木工程测量学的概念

(1) 测量学

测量学是研究地球表面局部区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科。通过一定的测绘技术确定地球近地空间(包括空中、地表、地下和海洋)物体的位置,并对这些空间位置信息进行处理、储存、管理和应用。测量学是测绘学的组成部分,而测绘学是研究与地球有关的地理空间信息的采集、处理、显示、管理、利用的科学技术。按照研究对象及采用技术的不同,测绘学可分为大地测量学、摄影测量与遥感学、海洋测绘学、工程测量学、地图制图学等多个分支学科。

(2) 工程测量学

工程测量学是研究城市与工程建设和资源开发与环境治理的规划、设计、施工、竣工和运营管理各阶段以及设备安装、检测等所需测绘工作的理论和技术的学科。按建设工程具体对象的不同,可分为土木工程测量、矿山工程测量、铁道工程测量等。

(3) 土木工程测量学

土木工程测量学是研究在土木工程建设的规划、设计、施工、竣工和运营管理各阶段中所需测绘工作的理论和技术的,是工程测量学科的重要组成部分。

(4) 定位

定位是使用一定的测量技术,对近地空间已有自然地理要素(如水系、地貌、植被等)和社会经济要素(如人工建筑物、构筑物、交通路线及界址等)进行测量,得到一系列测量数据(坐标)或将其绘制成图的技术过程。其结果可供国民经济建设、国防建设、科学研究以及人们日常生活使用。



10 分钟看完本章

(5)放样

放样是利用一定的测量技术将图纸上规划设计的建(构)筑物的位置(坐标),在近地空间中标定出来,作为工程施工的依据。放样,即指施工放样,是工程规划设计与工程施工之间的技术纽带。放样又称测设。

定位和放样的工作程序相反,但其实质相同,都是采用一定的测量技术确定地面点位置。

1.1.2 土木工程测量学的主要任务

土木工程测量学是为土木工程建设服务,主要面向建筑工程、线路工程、桥梁工程、地下工程等,主要包括以下任务:

- ① 阐述工程测量仪器设备的原理和使用方法;
- ② 研究测量地面点坐标的技术和方法;
- ③ 研究测绘地形图的理论和方法、应用地形图的基本原理和方法;
- ④ 研究不同类型土木工程施工放样、质量检验的技术和方法;
- ⑤ 研究大型建筑物的变形监测的技术和方法。

1.1.3 土木工程测量学的作用

在土木工程建设过程中,各类测量技术和测绘成果都将得到广泛应用。在工程建设的规划设计阶段,不同比例尺数字地形图或相关地理信息系统(GIS)用于城镇规划设计、道路选线以及竖向设计等,以保证规划布局的科学合理、选址得当,设计成果精确、可靠;在工程施工阶段,特别是大型、特大型工程的施工中,全球卫星定位技术(GNSS)和测量机器人技术用于高精度建(构)筑物的施工放样,并对施工、安装工作进行检验校正,以保证施工符合设计要求;在工程竣工、运营阶段,竣工测量成果是扩建、改建和管理维护必需的资料;对于大型或重要建(构)筑物,还需定期进行变形监测,以确保其安全、可靠。因此,土木工程测量学是土木工程建设的重要基础理论,测量技术是工程项目勘测、规划、设计现代化的基本技术,是土木工程项目施工顺利进行和质量检验与安全监测的重要技术保证。

1.1.4 土木工程测量学的教学内容和教学环节

为了适应现代测绘技术在土木工程建设中的应用需求,土木工程测量学的教学内容在教学改革与实践不断得到优化和充实。教学内容主要围绕水准测量技术、全站仪技术、全球卫星定位技术和数字化绘图技术展开,把教学重点集中到测绘技术原理介绍和测绘技术应用、测绘成果应用方面。主要教学环节是理论教学和实践教学,其中实践教学包括与课程内容同步进行的实验教学和课程主体内容结束后集中进行的实习教学。

土木工程技术人员应该明确土木工程测量学在工程建设中的重要地位。通过本课程的学习,学生应掌握土木工程测量学的基本理论和技术原理,熟练使用测量仪器,正确运用基本理论和技术方法,具备地形图测绘、地形图应用、施工放样和变形监测等方面的独立工作能力。理论教学与实践教学相结合,使学生学有所长、学有所用、学以致用,以适应土木工程卓越工程师的现实需求。



教学大纲

1.2 地面点位的表示方法

测量学的核心问题是确定地面点的空间位置。地面点的空间位置通常以平面坐标(X, Y)和高程(H)表示。现代几何测量的思路是:首先选定基准面和基准线,以基准面和基准线为基础建立坐标系(或高程系),然后以全站仪技术和水准测量技术测量地面点间的相对关系(角度、距离、高差等),并投影到基准面上,在坐标系(或高程系)中计算出平面坐标(或高程)。

全球卫星定位技术进行测量的思路是:在世界大地坐标系(WGS-84)下,将卫星当作已知点,测量地面点到卫星的距离,进行后方交会,可以得到地面点在 WGS-84 下的直角坐标(X, Y, Z),进一步转换为用户坐标系坐标(X, Y, H)。

1.2.1 测量的基准

1.2.1.1 地球的形状和大小

测量工作的对象主要是地球表面,选定基准面和建立坐标系直接与地球的形状、大小有关。地球的自然表面是不平坦、不规则的,有高达 8844.43m 的珠穆朗玛峰,也有深至 11034m 的马里亚纳海沟。虽然它们高低起伏悬殊,但与地球的平均半径相比,还是可以忽略不计的。地球表面海洋面积约占 70.8%,陆地面积约占 29.2%。因此,地球的形状在通常的情况下,可近似视为由海水面包围着的球体,其平均半径为 6371km。

1.2.1.2 测量工作基准线和基准面

(1) 基准线和基准面

液体在无外力作用而静止时的表面,是重力位相等的曲面,称为水准面。地球表面任一质点都同时受到两个作用力:地球自转产生的惯性离心力和整个地球质量产生的万有引力,其合力称为重力。重力的作用线就是铅垂线,如图 1-1 所示。水准面是一个重力等位面,水准面上的各点处处与铅垂线正交。水准面有无数多个。设想与静止的平均海水面密合并向整个陆地内部延伸而形成的一个封闭曲面称为大地水准面,它是一个特殊的水准面。大地水准面所包围的地球形体称为大地体,它也可以代表地球的自然形状和大小,比球体更为形象、逼真。

实际测量时,仪器的对中以铅垂线为依据,仪器的整平则以水准器气泡居中为依据。所以,铅垂线是测量工作的基准线,水准面是测量工作的基准面。大地水准面是绝对高程的基准面。

(2) 参考椭球体及其几何参数

大地体非常接近一个两极扁平、赤道隆起的椭球体。由于地球内部质量分布不均匀引起铅垂线方向变化,使大地水准面成为一个复杂而不宜用数学函数表达的曲面。为了便于测量计算、准确地表示地面点的位置,需要选用一个形状和大小接近大地体的旋转椭球体作为地球的参考形状和大小。这个旋转椭球体称为参考椭球体,它是一个规则的曲面体,可以用数学函数表达为:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad (1-1)$$

式中 a, b ——参考椭球体的几何参数, a 为椭球长半径, b 为椭球短半径。

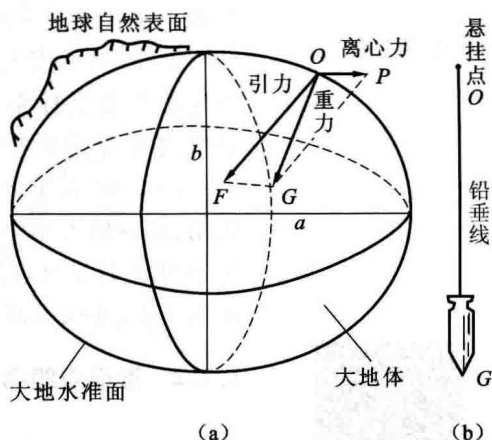


图 1-1 基准面和基准线
(a) 基准面; (b) 基准线