

土木工程研究生系列教材

高等工程地质学

赵树德 廖红建 徐林荣 等编著
朱博鸿 主审



机械工业出版社

本书是土木工程研究生系列教材之一。本书把工程地质、地质力学、渗流理论、地质灾害等结合在一起，以理论联系实际的方式，解决岩土工程实际问题，注重实际技能的学习和运用。本书共分 15 章，包括构造地质学与区域稳定，地应力场与新构造运动，地震地质与环境地质，区域地质与海洋地质，地质灾害与地质测试，岩体软岩及土体的工程性质，以及细、微观土质学等方面的内容。

本书既注重基本知识、基本概念的表达，又结合学科发展和工程实际的问题，知识性，实践性强。本书可作为高等工科院校土木工程类和水利水电工程类的研究生教材，也可供上述专业的大学生，以及从事上述专业的科研、规划、设计、施工、管理、监理、监测等科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高等工程地质学/赵树德等编著. —北京: 机械工业出版社, 2005. 3

(土木工程研究生系列教材)

ISBN 7-111-15749-4

I. 高… II. 赵… III. 工程地质—研究生—教材 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 126055 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 季顺利

责任编辑: 马军平 版式设计: 冉晓华 责任校对: 申春香

封面设计: 张 静 责任印制:

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·17 印张·659 千字

定价: 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

土木工程研究生系列教材编审委员会

顾问：(以姓氏笔画为序)

刘宝琛	刘祖德	刘怀恒	王正宏	林 皋
任爱珠	朱博鸿	沈世钊	沈祖炎	欧进萍
陈英俊	周 氏	周锡元	钟善桐	赵国藩
殷宗泽	顾晓鲁	蔡美峰		

主任委员：江见鲸

副主任委员：(以姓氏笔画为序)

朱合华	李宏男	李 奇	李爱群	陈云敏
张永兴	杜修力	张素梅	尚守平	姜忻良
夏 禾	徐志胜	廖红建		

委员：(以姓氏笔画为序)

卫 军	王 钊	王清湘	卢廷浩	朱召泉
李正良	李英民	李洪泉	李鸿晶	刘晶波
吴知丰	陈国兴	杨果林	张家生	张毅刚
张耀春	郑 刚	易伟建	单 建	周朝阳
赵树德	徐礼华	袁迎曙	康清良	盛宏玉

秘书长：季顺利

土木工程研究生系列教材

序

随着我国高等教育的发展，普通本科教育已由精英式教育发展成为大众式教育。我国科学技术的高速发展，对具有高级专业知识、高级专业技能的专门人才的需求，日益迫切，这为硕士研究生教育的发展提供了广阔空间。一些高等院校，硕士研究生的招生规模，近年来正以 15%~30% 的速度发展。对一些研究型的重点高校，在“十五”期间，本科生与研究生的招生比例要大致相当。许多高校已获得工程硕士的培养授权，这为研究生培养又开辟了新途径。

硕士研究生招生规模的扩大，对传统的研究生教育模式提出了挑战。过去硕士生的培养基本套用博士生的培养模式，主要靠传帮带式的教育模式，而对数量增大的研究生教育，必须建立整建制的培养模式，即要求硕士研究生的教育培养模式向公共化、规范化方向发展。对此，硕士研究生的教材，特别是研究生教育的平台课、学位课的教材建设就显得特别重要了。

机械工业出版社根据当前土木工程研究生教育发展现状，本着“大土木工程”的教育思想，组织国内部分高校土木工程专业的教授，对土木工程研究生用教材建设进行了研讨，并组织编写了土木工程研究生系列教材。为保证教材的编写质量，组织成立了教材编审委员会，聘请了一批学术造诣深、德高望重的专家作顾问和教材主审。本套系列教材编写、出版的思路是：先基础课、平台课教材，后专业课教材。教材组织由长期给研究生授课的老师合作编写，达到“学校优势互补，质量上乘”的目标。教材体系设计，本着“重基本理论、重学科发展，结合学生现状和人才培养要求”的原则。教材编写质量，本着“出精品、主编负责、主审把关”的原则，符合国务院学位委员会设定的专业要求。

本套系列教材将于 2005 年陆续出版。我们相信，本套系列教材的出版将对我国土木工程研究生教育的发展和教学质量的提高及人才培养，产生积极作用，为我国经济建设和社会发展做出贡献。

江見鯨

前 言

高等工程地质学和读者见面了，这是一本土木工程类和水利水电工程类的研究生教材，它是一门专业基础课，尤其对岩土工程专业的研究生是必修的。

新中国成立以来半个多世纪，我国的科学事业和工程技术有了突飞猛进的发展，我国建成了一批大型、超大型的工程项目。科学事业带动了工程技术的发展，反过来，工程技术的发展在更大程度上推动了科学的发展，推动了工程地质学、岩土工程学的发展。

我们需要总结经验、教训，这些对今后更大的发展来说都是财富，需要培养年轻一代。因此，根据教育部拓宽专业面、基础厚、技能高的要求编写了本书，学时为 30~50，各校可根据学时多少和专业需要进行取舍。

本书由西安建筑科技大学赵树德教授统稿。赵树德编写绪论、第二、三章、第十一章第一节、第十三章；廖红建编写第四、六、七、十五章；徐林荣编写第十一章除第一节外的其他各节、第十四章；韩永强编写第一章；周雪峰编写第五、八章；李辉编写第十章；肖正华编写第九章；赵汉崑编写第十二章。在编写过程中，研究生蒲武川、张新善、李杰生也给予了协助，在此致谢。

本书由西安建筑科技大学朱博鸿教授主审，提出了宝贵意见，使本书减少了错误，也使本书得到润色，在此衷心致谢。

本书可作为土木工程、水利水电工程、岩土类专业的研究生教材，也可供上述专业大学高年级学生、从事上述专业的科研、规划、设计、施工、监理、管理人员参考。

书中有欠妥之处，敬请批评指正，不胜感谢。

目 录

土木工程研究生系列教材序

前 言

绪 论	1
第一章 构造地质学、区域稳定及地层学简论	3
第一节 岩层产状与地层接触关系	3
第二节 褶皱	7
第三节 节理	14
第四节 断层	18
第五节 活断层	26
第六节 地质图	32
第七节 地层学简论	37
参考文献	46
第二章 地应力场	47
第一节 地壳中的天然应力场	47
第二节 地应力场的形成	49
第三节 地壳中构造应力状态的基本特征	50
第四节 地壳中构造应力活动与区域稳定性	54
第五节 地壳中构造应力状态和工程建设	58
参考文献	62
第三章 新构造运动	63
第一节 新构造运动的基本概念和特点	63
第二节 新构造运动的主要类型和表现特征	65
第三节 我国的新构造运动举例	68
第四节 新构造运动的发现和识别	71
第五节 新构造运动对地应力的影响	75
第六节 新构造运动与地质灾害	77
参考文献	83

第四章 地震地质概论	84
第一节 地震成因及机理	84
第二节 地震带的分布	88
第三节 地震波的传播	94
第四节 地震能量、震级及烈度	98
第五节 新构造运动与地震	103
第六节 场地特征及其对地震烈度的影响	108
第七节 地震与工程建设	113
第八节 地震预报	116
参考文献	120
第五章 岩体的工程性质	121
第一节 岩石与岩体	121
第二节 风化作用与风化岩体	123
第三节 岩体的工程地质特征	125
第四节 岩体结构及其应力—应变关系	137
第五节 岩体质量评价	138
参考文献	142
第六章 软岩的工程性质	143
第一节 软岩的概念	143
第二节 软岩的物理性质	146
第三节 软岩的力学性质	151
第四节 软岩的变形控制	160
第五节 软岩与工程建设	165
参考文献	170
第七章 第四纪地质	171
第一节 第四纪的概念及研究意义	171
第二节 第四纪地层划分	177
第三节 第四纪气候	180
第四节 第四纪冰川	184
第五节 第四纪与人类	187
第六节 第四纪黄土与环境	189

第七节	第四纪地层的微量元素	194
第八节	第四纪的年代测定	200
参考文献		212
第八章	土体的工程性质	214
第一节	土和土体的概念	214
第二节	地貌形态	215
第三节	土的组成	224
第四节	土的结构与构造	229
第五节	土的工程分类	231
第六节	土体工程	233
参考文献		234
第九章	细、微观土质学	235
第一节	颗粒分析	235
第二节	粘土矿物	242
第三节	相系之间的相互作用	247
第四节	水—土系统：粘粒的双电层及离子交换	250
第五节	水—土系统的物理化学特征	255
参考文献		266
第十章	环境地质与保护	268
第一节	环境地质概论	268
第二节	气候、水系的变迁	273
第三节	水土流失与沙漠化	277
第四节	诱发地震	283
第五节	地裂与地陷	289
第六节	工程建设与环境地质	305
参考文献		314
第十一章	区域性土	315
第一节	黄土	315
第二节	软土	332
第三节	膨胀土	343
第四节	红粘土	354

第五节	盐渍土	359
第六节	冻土	366
第七节	填土	380
参考文献		384
第十二章	地质灾害	385
第一节	地质灾害的种类	385
第二节	地震和诱发地震	386
第三节	崩塌、滑波、泥石流	388
第四节	地面沉降、地面塌陷、地裂缝	391
第五节	水土流失、沙漠化、盐碱(渍)化	394
第六节	矿山地质灾害	396
第七节	其他地质灾害	397
参考文献		400
第十三章	地下水渗流	401
第一节	渗流理论基础	401
第二节	天然渗流计算	417
第三节	向集水井中的渗流	420
第四节	水利水电工程中的渗流	429
第五节	建筑工程中的渗流	432
第六节	采矿工程中的渗流	436
第七节	渗流与环境问题	437
参考文献		439
第十四章	工程地质测试	440
第一节	土的原位测试技术	440
第二节	物探方法——声波法	477
第三节	地应力及其测量	487
第四节	非饱和土量测技术	494
参考文献		501
第十五章	海洋地质初步	502
第一节	中国近海海洋环境	502
第二节	海平面变化	506

第三节	海洋工程地质	509
第四节	海洋专门工程地质	516
第五节	海洋工程地质勘测	524
参考文献		528

绪 论

工程地质是和工程建设有关的地质问题。工程建设涉及工程地质的面很广，包括工程地质、水文地质、土质学、区域工程地质、工程地质勘察、岩土工程、地质力学等。工程建设项目是在地壳表层（几米到 10km）进行的，岩和土是地壳表面、表层的自然物质，又经过了各种改造作用。所以调查研究清楚工程活动所依赖的工程地质条件即地质环境，才能正确解决工程地质问题。如果不清楚工程地质条件就像研究医学不懂生理学、解剖学一样。岩土工程类专业的研究生、大学生如果不学好工程地质，就失去了认识我们工作对象的基础，工作是盲目的，后果不堪设想。

工程地质学的研究方法主要是：观察、测绘、勘探、现场试验、室内试验、模型试验、地球物理技术、航空和遥感技术等。把数学、力学的理论和方法用于工程地质研究，使工程地质与岩（土）体力学接近，近年来有很大的发展，工程地质再也不是只是描述和反映的时代，计算机的应用和发展使复杂的、有时甚至是不可能的计算工作得以顺利实现，经验的定性分析要向量化分析发展。工程地质要把科学、技术、工程结合起来，除了定性描述和反映之外，要把宏观研究和微观机理结合起来，对工程建设中的诸多问题要能够预测和防治，这样才能提高人类在改造自然中的主动性，减少或避免地质灾害给国家和人民造成损失。

水是人们赖以生存、生活和从事生产活动不可或缺的宝贵资源。水文地质学也称地下水水文学，地下水是水资源的重要组成部分，水资源和矿产资源、能源一样，都对社会经济发展产生着重要影响。当前，世界上很多很多地区（包括中国）都严重缺水，甚至危及人们生存，所以在 20 世纪末和 21 世纪，找水的意义不亚于找矿。

解决各类工程中诸多的渗流问题和渗流引起的环境问题，必须依据渗流的理论和方法，这是工程渗流力学的主要任务。在渗流的理论和应用技术方面的许多课题将是 21 世纪科学技术的重要前沿领域。

工程地质主要是解决岩土工程方面的问题。什么是岩土工程呢？凡人们在地壳表层所进行的各种开挖活动，由于自然原因或人们的工程活动引起的岩土运动、岩土应力或小区地貌的改变，人们以岩土为对象进行的利用、整治、改造活动等，都可以称之为广义的岩土工程。岩土工程涉及的范围很广，如建筑工程，水利、水运工程，铁路、公路工程，采矿工程，机场工程，军事工程，农业工程，能源工程，管线工程、生土工程，地下工程，人防工程，近海工程，地震工

程，环境工程等。岩土工程的规划、设计、施工和工程地质的关系极为密切，因此必须认识和掌握岩、土介质和水的物理、化学、力学等各种特性，及其变化条件、变化规律，包括宏观的和微观的，这是做好工作的基础和前提。

岩土工程的理论基础就是工程地质、构造地质、水文地质、第四纪地质学、地质力学、土力学、岩（土）体力学以及由它们涉及到的环境问题。岩土工程是一门实践性很强的应用技术学科，要在坚实的综合性和边缘性学科的理论基础上处理各种各样的实际工程问题，确保工程建设的顺利实施，造福于人类。

第一章 构造地质学、区域稳定及地层学简论

构造地质学是地质学的一门分支学科，其研究对象是地壳或岩石圈的地质构造。所谓地质构造是指组成地壳的岩层和岩体在内、外动力地质作用下发生变形而形成的诸如褶皱、节理、断层、劈理以及其他各种面状和线状构造等。构造地质学主要研究由内动力地质作用所形成的各种地质构造的形态、产状、规模、形成条件、形成机制，分布和组合规律及其演化历史，并进而探讨产生地质构造的地壳运动的方式、规律和动力来源。凡构造地质复杂而多样、多变的地方，必然是风景优美的地方，可以成为地质公园。

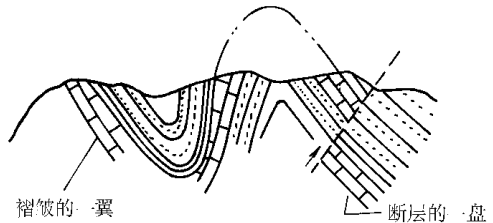
第一节 岩层产状与地层接触关系

一、构造运动与地质构造

构造运动是一种机械运动，涉及的范围包括地壳及上地幔上部即岩石圈。按运动方向可分为水平运动和垂直运动。水平方向的构造运动使岩块相互分离裂开或是相向聚汇，发生挤压、弯曲或剪切、错开。垂直方向的构造运动则使相邻块体作差异性上升或下降。

原始沉积物，多是水平或近于水平的层状堆积物，经固结成岩作用形成坚硬岩层。当它未受构造运动作用，或在大范围内受到垂直方向构造运动影响，沉积岩层基本上呈水平状态在相当范围内连续分布这种岩层称为水平岩层。经过水平方向构造运动作用后，岩层由水平状态变为倾斜状态，称倾斜岩层。倾斜岩层往往是褶皱的一翼，断层的一盘（如图 1-1 所示），是不均匀抬升或沉降所致。

构造运动使岩层发生变形和变位，形成的产物称为地质构造。常见的地质构造有褶皱、断层和节理。断层和节理又统称断裂构造。



二、岩层的产状

岩层的产状是指岩层的空间位置，它是研究地质构造的基础，产状用走向、倾向和倾角来表示，称产状要素。

走向：层面与水平面交线的延伸方向，走向线就是层面上的水平线（如图 1-2 所示）。

图 1-1 倾斜岩层

倾向：层面上与走向垂直并指向下方的直线，它的水平投影方向为倾向。

倾角：层面与水平面的交角。其中沿倾向方向测量得到的最大交角称为真倾角。岩层层面在其他方向上的夹角皆为视倾角。视倾角恒小于真倾角。

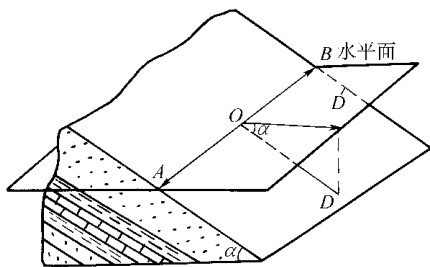


图 1-2 岩层产状要素

AOB—走向线 OD—倾斜线
OD'—倾斜线的水平投影，箭头方向为倾向
 α —倾角

三、岩层露头线特征

露头是一些暴露在地表的岩石。它们通常在山谷、河谷、陡崖以及山腰和山顶这些位置出现。未经过人工作用而自然暴露的露头称天然露头，还有一些是经人为作用暴露在路边、采石场和开挖基坑中的露头称人工露头。通过露头观察发现岩层除水平状态和倾斜状态外，还有直立状态。

露头线是指岩层层面（或断层面、节理面等）与地面的交线。它的形态取决于岩层的产状和地面起伏即地形状况。水平岩层、直立岩层和倾斜岩层露头线的分布特征是不相同的（如图 1-3 所示）。

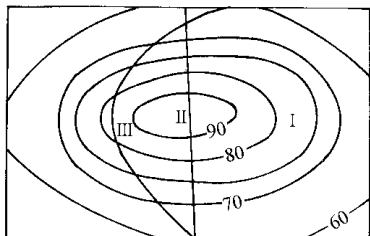
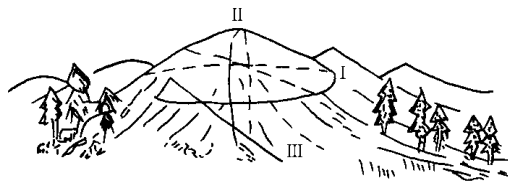


图 1-3 岩层露头线及其水平投影（右为平面图，图中数字表示等高线高度）

I—水平岩层 II—直立岩层 III—倾斜岩层

水平岩层露头线与地形等高线平行重合，但不相交（如图 1-3 I 所示）。直立岩层露头线呈直线延伸，不受地形影响，其延伸方向即为岩层走向（如图 1-3 II 所示）。倾斜岩层露头线呈“V”字形形态（如图 1-3 III 所示）。但“V”字形的弧顶朝向、两侧张开或闭合程度皆受岩层倾向与地形坡向、倾角与坡角的制约。倾斜岩层走向与山脊或沟谷延伸方向垂直时，露头线“V”字形有三种分布规律：

(1) 岩层倾向与地面坡向相反时，在沟谷处“V”字形露头线弧顶尖端指向沟谷上游（如图 1-4 所示）。

(2) 岩层倾向与地面坡向相同，但当岩层倾角大于地面坡角时，在沟谷处观察露线，“V”字形露头线尖端指向河谷下脖（如图 1-5 所示）。

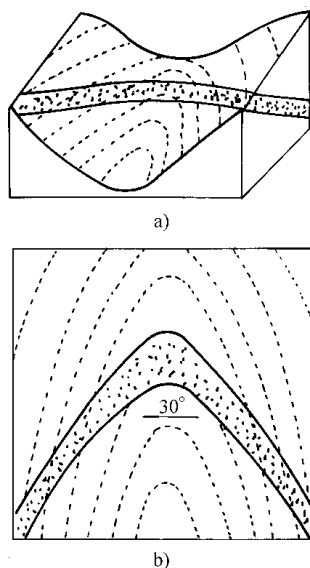


图 1-4 岩层倾向与地面坡向相反时，
在沟谷中倾斜岩层出露界线的形态
(据 D·M·拉根, 1973)
a) 立体图 b) 地质图

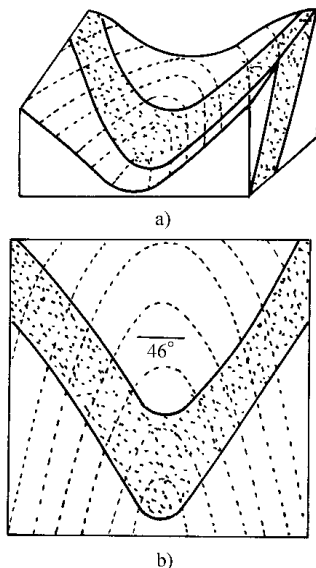


图 1-5 岩层倾向与地面坡向一致，岩层
倾角大于地面坡角时，倾斜岩层在沟谷中
出露界线的形态 (据 D·M·拉根, 1973)
a) 立体图 b) 地质图

(3) 岩层倾向与地面坡向相同，但当岩层倾角小于地面坡角时，在沟谷处观察，“V”字形露头线尖端指向沟谷上游，其弧形紧闭程度超过地形等高线的弯曲程度（如图 1-6a 所示）。而图 1-6b 所反映的是一种特殊情况，即岩层倾向与倾角分别与地面坡向与坡角相同时出现的情况。

四、地层接触关系

在地质历史发展演化的各个阶段，构造运动贯穿始终，由于构造运动的性质不同或所形成的地质构造特征不同，往往造成新老地层之间具有不同的相互接触关系。地层接触关系是构造运动最明显的综合表现。

概括起来，地层（或岩石）的接触关系有以下几种：

(1) 整合接触 表现为相邻的新、老地层产状一致，时代连续。它是在构造运动处于持续下降或持续上升的背景下发生连续沉积而形成的（如图 1-7a 所示）。

(2) 假整合接触（平行不整合接触）表现为新、老地层产状平行一致而地层时代不连续。其间缺失了某些地层，标志着这期间地壳曾一度上升。上升时遭受风化剥蚀，形成具有一定程度起伏的剥蚀面（如图 1-7b 所示）。

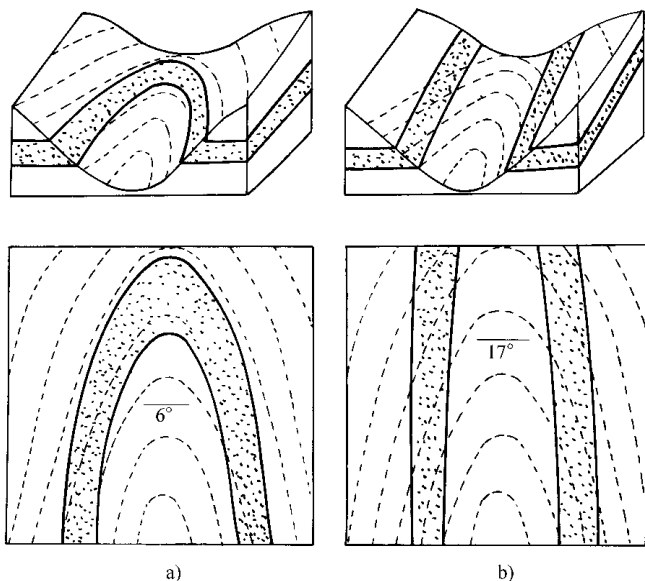


图 1-6 岩层倾向与地面坡向一致时，倾斜岩层出露界线的形态（据 D·M·拉根，1973）

- a) 岩层倾向小于地面坡角，上图为立体图，下图为地质图
- b) 岩层倾向与地面坡角相同，上图为立体图，下图为地质图

(3) 不整合接触（角度不整合接触） 表现为新、老地层产状不一致以角度相交，地层时代不连续，反映其间曾发生过剧烈的构造运动，致使老地层产生褶皱、断裂，地壳上升遭受风化剥蚀，形成剥蚀面。而后地壳下降至水面以下接受沉积，形成新地层（如图 1-7c 所示）。

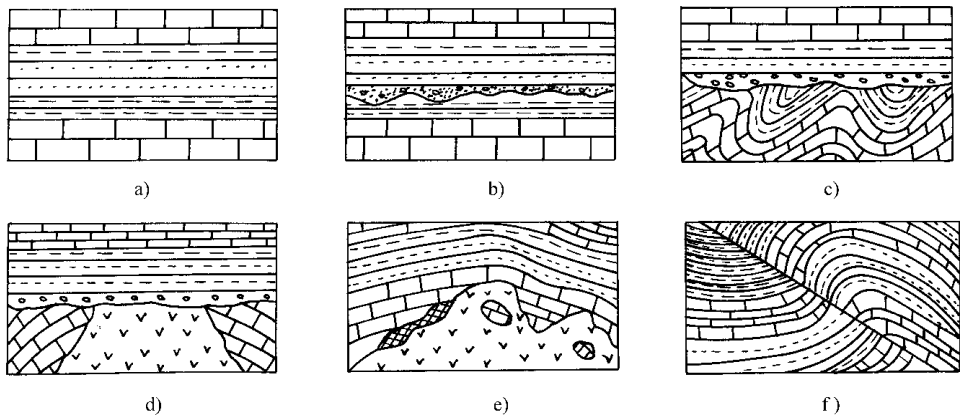


图 1-7 地层接触关系

- a) 整合接触 b) 假整合接触 c) 不整合接触 d) 沉积接触 e) 侵入接触 f) 断层接触