



新世纪现代交通类专业系列教材

# 土力学

TULIXUE

(第2版)

◆ 主 编 尤晓暉 钱大心



清华大学出版社  
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社  
<http://www.bjtu.com.cn>

新世纪现代交通类专业

# 土 力 学

(第2版)

主编 尤晓暉 钱大心

清华大学出版社

北京交通大学出版社

·北京·

## 内 容 简 介

土力学是高等学校土木工程专业的重要专业基础课。本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会对土木工程专业教学的基本要求和培养目标编写的。本书系统介绍了土力学的基本原理和分析计算方法。在编写过程中注重理论联系实际,在工程应用上侧重于土木专业的实际需要,具有一定的针对性。全书共分9章,主要内容包括土的物理性质及工程分类、土中应力计算、土中水的运动规律、地基变形分析、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力和土的动力特性等。每章首均有内容提要和学习要求,章末配有复习思考题。

本书可作为高等学校土木工程专业的教学用书,也可供其他相关专业师生和工程技术人员学习使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

### 图书在版编目(CIP)数据

土力学/尤晓暉,钱大心主编.—2版.—北京:北京交通大学出版社:清华大学出版社,2017.5

ISBN 978-7-5121-3068-5

I. ①土… II. ①尤… ②钱… III. ①土力学-高等学校-教材 ②铁路路基-高等学校-教材 IV. ①TU43 ②U213.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第286971号

## 土力学

TULIXUE

责任编辑:韩乐

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969 <http://www.tup.com.cn>  
北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414 <http://www.bjttup.com.cn>

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185 mm×260 mm 印张:19.75 字数:493千字

版 次:2017年5月第2版 2017年5月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-3068-5/U·259

印 数:1~3000册 定价:39.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043,51686008;传真:010-62225406;E-mail:press@bjtu.edu.cn。

# 前 言

土力学是高等学校土木工程专业的重要专业基础课。其先导课程及相关课程有工程地质与水文地质、材料力学、弹性力学等。本书是根据高等学校土木工程专业教学的基本要求,并结合目前教学改革发展的需要及在实际工程中专业的最新动态编写。土力学是一门理论性和实践性都很强的课程,本书编写中尽可能反映一些既经过工程实践考验又符合教学要求的内容,以更好地满足土木工程专业的教学实际需要,同时通过对一些具体工程问题的分析,培养学生适应工程实践和分析解决实际问题的能力。

本书共分9章,系统介绍土力学的基本原理、基本理论和基本方法。主要内容包括土的物理性质及工程分类、土中应力计算、土中水的运动规律、地基变形分析、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力、土的动力特性等知识。在编写过程中注重理论联系实际,在工程应用上侧重于路桥专业的实际需要,具有一定的针对性。本书采用了新修订的工程规范、规程和标准,突出了应用性。

本书由尤晓暉、钱大心担任主编,其中绪论、第1~4章由尤晓暉编写,第5~9章由钱大心编写。编写中,周文举、邵江、李建普、卫康、王丽娟、贾文翠、张建光等提供了宝贵的资料,并参与了部分章节的编写,在此表示感谢。

本书在编写中,吸收和借鉴了国内同类优秀教材的诸多内容和优点,在此向教材作者表示衷心感谢。由于编者的理论水平和实践经验有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2017年3月于北京

# 目 录

绪论	1
第 1 章 土的物理性质及工程分类	4
1.1 土的生成	4
1.1.1 地质作用与风化作用	4
1.1.2 主要造岩矿物	5
1.1.3 岩土的类型及其特征	6
1.1.4 地质年代的概念	8
1.1.5 第四纪沉积物	8
1.2 土的三相组成	12
1.2.1 土的固体颗粒	13
1.2.2 土中水	17
1.2.3 土中气体	18
1.2.4 土的结构与构造	19
1.3 土的三相比例指标	19
1.3.1 试验指标	20
1.3.2 换算指标	21
1.3.3 三相比例指标的换算关系	22
1.4 黏性土的界限含水率	25
1.4.1 黏性土的状态与界限含水率	25
1.4.2 塑性指数	26
1.4.3 液性指数	26
1.5 土的压实性	28
1.5.1 含水率的影响	28
1.5.2 压实能量的影响	28
1.5.3 压实机具和压实方法的影响	29
1.5.4 土质的影响	29
1.6 无黏性土的密实度	30
1.6.1 砂土相对密度	30
1.6.2 无黏性土密实度分类	31
1.7 土的工程分类	32
1.7.1 碎石土分类	33
1.7.2 砂土分类	33
1.7.3 细粒土分类	34

1.7.4 塑性图分类 .....	34
复习思考题 .....	36
<b>第2章 土中应力计算</b> .....	<b>38</b>
2.1 概述 .....	38
2.1.1 土中应力计算的目的是方法 .....	38
2.1.2 土中的应力状态 .....	39
2.2 土中自重应力 .....	40
2.2.1 竖向自重应力 .....	40
2.2.2 水平自重应力 .....	43
2.3 基底压力与基底附加压力 .....	44
2.3.1 基底压力分布的分析 .....	44
2.3.2 基底压力的简化计算 .....	45
2.3.3 基底附加压力 .....	47
2.4 竖向集中力作用下土中应力计算 .....	48
2.4.1 采用直角坐标系时 .....	48
2.4.2 采用极坐标表示时 .....	49
2.5 竖直分布荷载作用下土中应力计算 .....	51
2.5.1 空间问题 .....	52
2.5.2 平面问题 .....	60
2.5.3 非均质和各向异性土体中附加应力问题 .....	65
2.6 应力计算中的其他一些问题 .....	66
2.6.1 建筑物基础下地基应力计算 .....	66
2.6.2 应力扩散角概念 .....	68
2.6.3 水平向集中力作用下土中应力计算 .....	68
2.6.4 竖向集中力作用于半无限体内部时的应力分布 .....	70
2.7 饱和土有效应力原理 .....	70
复习思考题 .....	72
<b>第3章 土中水的运动规律</b> .....	<b>74</b>
3.1 概述 .....	74
3.2 土的水理性质 .....	75
3.2.1 土的毛细水性质 .....	75
3.2.2 土的冻胀 .....	78
3.3 土的渗透性 .....	79
3.3.1 渗流模型 .....	79
3.3.2 土的层流渗透定律 .....	80
3.3.3 土的渗透系数 .....	82
3.3.4 影响土的渗透性的因素 .....	86
3.3.5 动水力及渗流破坏 .....	87
3.4 流网及其应用 .....	89

3.4.1 平面渗流基本微分方程 .....	90
3.4.2 平面稳定渗流问题的流网解法 .....	91
3.5 渗流力及渗透变形 .....	94
3.5.1 渗流力的概念 .....	94
3.5.2 渗透变形 .....	97
3.6 土体冻结过程中水分的迁移和积聚 .....	102
3.6.1 冻土现象及其对工程的危害 .....	102
3.6.2 冻胀的机理与影响因素 .....	102
3.6.3 冻结深度 .....	104
复习思考题 .....	104
<b>第4章 地基变形分析</b> .....	<b>106</b>
4.1 概述 .....	106
4.2 土的压缩性及压缩性指标 .....	107
4.2.1 土的压缩性 .....	107
4.2.2 压缩试验及压缩性指标 .....	107
4.3 地基沉降计算 .....	116
4.3.1 弹性理论法计算最终沉降 .....	117
4.3.2 分层总和法计算最终沉降 .....	119
4.3.3 规范法计算最终沉降 .....	122
4.3.4 用原位压缩曲线计算最终沉降 .....	126
4.4 饱和黏性土地基沉降与时间的关系 .....	128
4.4.1 饱和土的渗流固结 .....	128
4.4.2 太沙基一维渗流固结理论 .....	129
4.4.3 利用沉降观测资料推算后期沉降与时间关系 .....	136
4.4.4 饱和黏性土地基沉降的三个阶段 .....	137
4.5 地基允许变形值及防止地基有害变形的措施 .....	139
4.5.1 地基变形特征 .....	139
4.5.2 建筑物的地基变形允许值 .....	139
4.5.3 防止地基有害变形的措施 .....	140
复习思考题 .....	141
<b>第5章 土的抗剪强度</b> .....	<b>144</b>
5.1 概述 .....	144
5.2 土的抗剪强度理论 .....	145
5.2.1 抗剪强度的库仑定律 .....	145
5.2.2 极限平衡理论 .....	146
5.2.3 总应力法和有效应力法 .....	150
5.3 土的抗剪强度指标测定方法 .....	152
5.3.1 直接剪切试验 .....	152
5.3.2 三轴压缩试验 .....	153

5.3.3	无侧限抗压强度试验	157
5.3.4	十字板剪切试验	158
5.3.5	孔隙压力系数 $A$ 和 $B$	161
5.3.6	应力路径概念	164
5.3.7	试验方法与指标的选用	166
5.4	饱和黏性土的抗剪强度	167
5.4.1	不固结不排水抗剪强度	168
5.4.2	固结不排水抗剪强度	169
5.4.3	固结排水抗剪强度	171
5.4.4	抗剪强度指标的选择	177
5.5	无黏性土的抗剪强度	178
5.6	应力路径	179
5.7	抗剪强度的影响因素	182
	复习思考题	185
<b>第6章</b>	<b>土压力计算</b>	<b>187</b>
6.1	概述	187
6.1.1	土压力类型	188
6.1.2	影响土压力的因素	189
6.1.3	挡土墙对土压力分布的影响	189
6.2	静止土压力计算	191
6.3	朗金土压力理论	193
6.3.1	基本原理	193
6.3.2	朗金主动土压力计算	194
6.3.3	朗金被动土压力计算	198
6.4	库仑土压力理论	200
6.4.1	基本原理	200
6.4.2	主动土压力计算	200
6.4.3	库尔曼图解法确定主动土压力	205
6.4.4	被动土压力计算	207
6.4.5	朗金与库仑土压力理论的讨论	208
6.5	几种特殊情况下的库仑土压力计算	209
6.5.1	地面荷载作用下的库仑土压力	209
6.5.2	成层土体中的库仑主动土压力	210
6.5.3	黏性土中的库仑土压力	210
6.5.4	车辆荷载作用下的土压力计算	211
6.5.5	支撑结构物上的土压力计算	214
6.5.6	地震时土压力计算方法简介	218
6.6	埋管土压力	220
6.6.1	沟埋式管顶的垂直土压力计算	221



6.6.2 上埋式管的垂直土压力计算 .....	221
6.6.3 埋管侧向土压力计算 .....	221
复习思考题 .....	222
<b>第7章 土坡稳定分析</b> .....	<b>224</b>
7.1 概述 .....	224
7.2 无黏性土土坡稳定分析 .....	225
7.2.1 一般情况下的无黏性土土坡 .....	225
7.2.2 有水渗流时的无黏性土土坡 .....	225
7.3 黏性土的土坡稳定分析 .....	226
7.3.1 土坡圆弧滑动体的整体稳定分析 .....	228
7.3.2 条分法分析土坡稳定 .....	232
7.3.3 常用条分法的简化假设 .....	235
7.4 瑞典条分法 .....	236
7.4.1 基本假设和基本公式 .....	236
7.4.2 成层土和坡顶有超载时安全系数计算 .....	237
7.4.3 有地下水和稳定渗流时安全系数计算 .....	237
7.4.4 考虑地震作用时安全系数计算 .....	239
7.5 毕肖普条分法 .....	241
7.6 非圆弧滑动面土坡稳定分析 .....	244
7.6.1 杨布条分法 .....	244
7.6.2 不平衡推力传递法 .....	249
7.7 关于土坡稳定性分析的几个问题 .....	251
7.7.1 土的抗剪强度指标及安全系数的选用 .....	251
7.7.2 坡顶开裂时的稳定计算 .....	252
7.7.3 按有效应力法分析土坡稳定 .....	252
7.7.4 挖方和填方边坡的特点 .....	253
7.7.5 边坡稳定的计算机分析方法 .....	254
复习思考题 .....	256
<b>第8章 地基承载力</b> .....	<b>259</b>
8.1 概述 .....	259
8.1.1 地基破坏的性状 .....	259
8.1.2 确定地基承载力的方法 .....	262
8.2 临塑荷载和临界荷载的确定 .....	263
8.2.1 塑性区边界方程的推导 .....	263
8.2.2 临塑荷载及临界荷载计算 .....	264
8.3 极限承载力计算 .....	266
8.3.1 普朗特地基极限承载力公式 .....	266
8.3.2 斯肯普顿地基极限承载力公式 .....	268
8.3.3 太沙基地基极限承载力公式 .....	269

8.3.4	考虑其他因素影响时的地基极限荷载计算公式 .....	272
8.4	按规范方法确定地基承载力 .....	277
8.4.1	《公路桥涵地基与基础设计规范》地基承载力确定方法 .....	277
8.4.2	《建筑地基基础设计规范》地基承载力确定方法 .....	281
8.5	关于地基承载力的讨论 .....	283
8.5.1	关于载荷板试验确定地基承载力 .....	283
8.5.2	关于临塑荷载和临界荷载 .....	284
8.5.3	关于极限承载力计算公式 .....	284
8.5.4	关于按规范法确定地基承载力 .....	285
	复习思考题 .....	286
<b>第9章</b>	<b>土的动力特性</b> .....	<b>288</b>
9.1	土在动荷载作用下的变形和强度性质 .....	288
9.1.1	作用于土体的动荷载和土中波 .....	288
9.1.2	土的动力变形特性 .....	289
9.1.3	土的动强度 .....	291
9.1.4	土动力性质试验 .....	292
9.2	砂土和粉土的振动液化 .....	294
9.2.1	土体液化现象及其工程危害 .....	294
9.2.2	液化机理及影响因素 .....	294
9.2.3	土体液化可能性的判别 .....	297
9.2.4	场地液化危害性防治措施简介 .....	299
9.3	土的击实试验与压实特性 .....	299
9.3.1	土的击实试验 .....	299
9.3.2	土的压实特性 .....	301
	复习思考题 .....	304
	参考文献 .....	305

# 绪 论

## 1. 土力学的学科性质

土力学是力学的一个重要分支,是以土为研究对象的学科,是将土作为建筑物地基、建筑材料或建筑物周围介质来进行研究。主要研究土的工程性质以及土在荷载作用下的应力、变形和强度的问题,为工程设计与施工提供土的工程性质指标与评价方法以及土的工程问题的分析计算原理,是土木工程专业的技术基础课。土力学是把土作为物理力学系统,根据土的应力-应变-强度关系提出力学计算模型,用数学力学方法求解土在各种条件下的应力分布、变形以及土压力、地基承载力与土坡稳定等课题,同时根据土的实际情况评价各种力学计算方法的可靠性与适用条件。土是岩石经过物理、化学、生物等风化作用的产物,是矿物颗粒组成的松散集合体。因此,土是由固体颗粒、水和空气组成的三相体。

土的生成机制在根本上决定了土的基本物理力学性质,也决定了土力学的特点。土力学是通过研究土的物理、力学、物理化学性质及微观结构,进一步认识土和土体在荷载、水、温度等外界因素作用下的反应特性,即土的压缩性、剪切性、渗透性及动力特性等。土力学为各类土木工程的稳定和安全提供科学的对策,包括土体加固和地基处理等。由于土的结构、构造特征与刚体、弹性固体、流体等都不同,所以土力学的研究必须在运用力学知识的基础上,通过专门的土工试验技术进行。

土力学的先导及相关课程主要有工程地质和水文地质、材料力学、弹性力学等。

## 2. 学习本课程的目的

建造各类建筑物几乎都涉及土力学问题,以保证建筑物施工期的安全、竣工后的安全和正常使用。土力学学科需研究和解决工程中两大类问题:一是土体稳定问题,这就要研究土体中的应力和强度,如地基的稳定、土坝的稳定等。当土体的强度不足时,将导致建筑物的失稳或破坏。二是土体变形问题,土体应具有足够的强度保证自身稳定,土体的变形尤其是沉降(竖向变形)和不均匀沉降不应超过建筑物的允许值,否则,轻者导致建筑物的倾斜、开裂,降低或失去使用价值,重者将会酿成毁坏事故。此外,需要指出的是,对于土工建筑物(如土坝、土堤、岸坡等)、水工建筑物地基或其他挡土挡水结构,除了在荷载作用下土体要满足前述的稳定和变形要求外,还要研究渗流对土体变形和稳定的影响。为了解决上述工程问题,就要研究土的物理性质及应力变形性质、强度性质和渗透性质等力学行为,找到它们的内在规律,作为解决土体稳定和变形问题的基本依据。

土力学是岩土工程学科的基础,是土木工程、水利水电工程、地质工程、环境工程、路桥及渡河工程等专业的基础力学课程之一,属于专业基础课程。土力学是解决许多工程问题的重要工具。

## 3. 土力学的学科发展历史

土力学是一门既古老又年轻的应用学科。远在古代人们就学会利用土进行工程建设,如

我国的长城、大运河、桥梁及宫殿庙宇等，世界上知名的建筑物如比萨斜塔、埃及金字塔等的修建，都需要有丰富的有关土的知识以及在其上面建造建筑物的经验。但是由于当时社会生产力和技术条件的限制，这一阶段经过了很长时间。直到 18 世纪中叶，对土的力学性质的认识还停留在经验积累的感性认识阶段。

对于土力学的研究始于 18 世纪欧洲产业革命时期。随着大型建筑物的兴建和自然科学的发展，1773 年库仑 (C. A. Coulomb) 发表了土的抗剪强度和土压力理论，1857 年朗金 (W. J. M. Rankine) 也发表了土压力理论，这两种土压力理论至今仍被广泛应用。1869 年卡尔洛维奇 (Карлович) 发表了世界上第一本地基与基础著作。1885 年布森涅斯克 (J. Botussinesg) 根据弹性理论求出了在集中力作用下地基中的三维应力解析解。1900 年莫尔 (Mohr) 提出了土的强度理论。20 世纪初，人们在工程实践中积累了大量的经验和资料，对土的强度、变形和渗透性质进行理论探讨，土力学才逐渐形成了一门独立学科。20 世纪 20 年代，普朗特 (Prandtl) 发表了地基承载力理论，这一时期在边坡理论方面也有很大发展，费伦纽斯 (W. Fellenius) 完善了边坡圆弧滑动法。1925 年太沙基 (K. Terzaghi) 出版了第一本土力学专著。在这本书中，太沙基比较系统地论述了若干重要的土力学问题，提出了土力学理论中最著名和重要的理论——饱和土的有效应力原理。他阐明了土工试验和力学计算之间的关系，其中用于计算沉降的方法一直沿用，至今仍被认为是一种有效的方法。这本比较系统、完整的科学著作的出现，带动了各国学者对土力学学科各个方面的探索。从此，土力学作为独立的学科取得不断的进展。因此，太沙基被认为是土力学的奠基人。

随着生产的发展和科学技术的进步，为土力学开辟了新的研究途径。土的基本特性、有效应力原理、固结理论、土体稳定问题、动力特性、土流变学等在土力学中的应用进一步完善，是这一阶段研究的中心问题。1954 年索科洛夫斯基 (B. B. Соколовский) 发表了专著《松散介质静力学》，斯肯普顿 (A. W. Skempton) 在有效应力原理方面，毕肖普 (A. W. Bishop) 及杨布 (Janbu) 在边坡理论方面都做出了重要贡献。我国学者黄文熙在土的强度和变形及本构关系方面、陈宗基在黏土微观结构和土流变方面也有很好的研究成果。总的看来，上述这些工作基本上是对以古典弹塑性理论为基础的古典土力学的发展和完善，也就是假设土符合理想弹性体和理想塑性体的应力 - 应变条件。

1963 年，罗斯科 (Roscoe) 等人创建发表了著名的剑桥弹塑性模型，标志着人们对土性质的认识和研究进入了一个崭新的阶段。这期间比较著名的还包括 J. M. Duncan 与 C. Y. Chang 提出的 Duncan - Chang 模型及我国南京水利科学研究院模型、清华模型等。这些模型都是对土的非线性应力 - 应变规律提出的数学描述。这些模型也称为土的本构关系模型。古典土力学只能称为弹性土力学，有效应力原理是古典土力学的核心，现代土力学的核心则是本构模型。

#### 4. 土力学的基本内容与学习方法

土力学基本内容主要包括土的物理性质及工程分类、土中应力计算、土中水的运动规律、地基变形分析、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力等。全书可分为两种类型的内容：一是关于土的基本性质的试验、分析以及基本规律性；二是关于土的应力、变形和强度的分析计算。

土力学首先是一门工程力学，同时，土作为自然历史的产物，它的许多性质人们是无法

预先控制的，如土的受荷历史、沉积时的自然地理环境和条件，无法像一般建筑材料（如混凝土、钢材等）那样可根据生产条件对其性质作出规定。因此，土力学还不是一门纯理论的力学，要很准确地模拟土这样一种松散的介质的受力条件、施工过程及环境的影响等，还存在很多困难。目前，土力学对许多问题的认识还依赖于土工测试技术，要通过试验观测，并经过合理简化来实现。因而在应用土力学理论去解决实际问题时，应注意运用以下几种方法。

（1）注意土力学所引用的其他学科理论，如一般连续力学基本原理本身的基本假定和适用范围。分析土力学在利用这些理论解决土的力学问题时又新增了什么假定，以及这些新的假定与实际问题相符合的程度如何，从而能够应用这些基本概念和原理，搞清楚土力学中的原理、定理和方法的来龙去脉，弄清研究问题的思路。

（2）注意在土力学中对土所具有的区别于其他材料的特性。应该了解土力学是通过什么方法发现及用什么物理概念或公式去描述土区别于其他材料特性的。

（3）注意综合利用土性知识和土力学理论解决地基实际问题，在解答思路上要善于用多种方法求解一个问题，养成综合评判的思维方式。

（4）土力学问题除试验部分外，多是根据土的基本力学性质、应用数学及力学计算得出最后使用结果。学习这一部分时应避免陷于单纯的理论推导，而忽略了推导中引用的条件和假设，只有这样才能正确地将理论应用于工程实践。

# 第1章 土的物理性质及工程分类

## [本章提要和学习要求]

本章分为三部分：第一部分从土的形成入手，定性地讨论土的物理性状，从机理上阐明了土的属性及土中三相物质之间的内在联系，是研究土的物理和力学性状的理论基础；第二部分进一步从定量的关系上，讨论土的性状，如土的颗粒特征、土的粒度成分及其分析方法、土的结构特性、黏性土的界限含水率和砂土的相对密度等概念及意义，介绍土的级配的定量表达方法；第三部分主要介绍土工试验规程中关于土的工程分类方法，并介绍几个典型的工程分类及相应的规范分类方法。

通过本章的学习，要求掌握土的各种物理性质指标的定义及相互换算的方法，判断其物理状态的各种指标、土的常用分类方法。这些内容是学习本课程所必需的基本要求，也是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题的重要基础。

## 1.1 土的生成

### 1.1.1 地质作用与风化作用

岩石与土构成地球外表的地壳。地球内部则是高温高压的熔融岩浆。在漫长的地质历史中，地壳的成分、形态和构造都在不断发生变化，导致这种变化的原因称为地质作用。按其能量来源的不同，地质作用可分为内力地质作用和外力地质作用。

内力地质作用是指由于地球自重、旋转动能和放射性元素蜕变产生的热能引起地壳升降、海陆变迁、岩石断裂等内部构造、外表形态乃至物质成分发生变化，如岩浆活动和变质作用、岩浆和变质岩的生成、火山爆发、地震等。

外力地质作用是指由于气温变化、雨雪、山洪、风、空气、生物活动等引起的地质作用，如气温的变化导致岩层不断地热胀冷缩产生破裂（物理风化），雨、雪、山洪等水的存在可使岩石的矿物成分不断溶解水化、氧化、碳酸盐化（化学风化），动物的穴居、植物的生长（生物风化）都会使岩石发生机械破碎和风化作用。

风化作用与外力地质作用紧密相关，一般分为物理风化、化学风化和生物风化。物理风化使岩石产生量变，由大块到小块；化学风化使岩石产生质变，岩石的矿物成分发生改变；生物风化同时具有物理风化和化学风化的双重作用。岩石经物理风化形成的土颗粒较大，称为原生矿物；而经过化学风化形成的土颗粒较细小，称为次生矿物。

岩石在这些相互交替的地质作用下风化、破碎成散碎体（或残积土），又在冰川、风、水和重力的作用下，被搬运到一个新位置沉积下来，形成“沉积土”。

## 1.1.2 主要造岩矿物

目前地球上已被发现的矿物有3000多种,但最主要的造岩矿物只有30余种,如石英、长石、辉石、角闪石、云母、方解石、高岭石、绿泥石、石膏、赤铁矿、黄铁矿等,其主要特征见表1-1。

表1-1 最主要造岩矿物特征

编号	矿物名称	形状	颜色	光泽	硬度	节理	相对密度	其他特征
1	石英	块状、六方柱状	无色、乳白色	玻璃、油脂	7	无	2.6~2.7	晶面有平行条纹,贝壳状断口
2	正长石	柱状、板状	玫瑰色、肉红色	玻璃	6	完全	2.3~2.6	两组晶面正交
3	斜长石	柱状、板状	灰白色	玻璃	6	完全	2.6~2.8	两组晶面斜交、晶面上有条纹
4	辉石	短柱状	深褐色、黑色	玻璃	5~6	完全	2.9~3.6	
5	角闪石	针状、长柱状	深绿色、黑色	玻璃	5.5~6	完全	2.8~3.6	
6	方解石	菱形六面体	乳白色	玻璃	3	三组完全	2.6~2.8	滴稀盐酸起泡
7	云母	薄片状	银白色、黑色	珍珠、玻璃	2~3	极完全	2.7~3.2	透明至半透明,薄片具有弹性
8	绿泥石	鳞片状	草绿色	珍珠、玻璃	2~2.5	完全	2.6~2.9	半透明,鳞片无弹性
9	高岭石	鳞片状	白色、淡黄色	暗淡	1	无	2.5~2.6	土状断口,吸水膨胀滑黏
10	石膏	纤维状、板状	白色	玻璃、丝绸	2	完全	2.2~2.4	易溶于水,产生大量 $\text{SO}_4^{2-}$

注:节理是指矿物受外力作用后沿一定方向裂开成光滑平面(节理面)的性能;断口是指矿物受外力作用后不沿一定方向破裂时断开面的形状。

按生成条件,矿物可分为原生矿物和次生矿物两类。原生矿物一般由岩浆冷凝生成,如石英、长石、辉石、角闪石、云母等;次生矿物一般由原生矿物经风化作用间接生成,如由长石风化而成的高岭石、由辉石或角闪石风化而成的绿泥石等,或在水溶液中析出生成,如水溶液中析出的方解石( $\text{CaCO}_3$ )和石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )等。

矿物的外表形态有结晶体和非结晶体两种,前者大多呈规则的几何形状(图1-1),后者呈不规则形状。

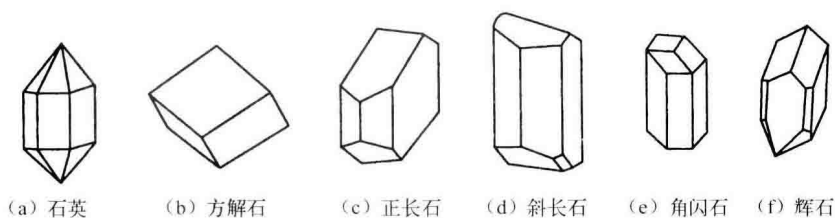


图1-1 几种主要造岩矿物单个晶体的形态

### 1.1.3 岩土的类型及其特征

岩石按其成因可分为以下三大类。

- (1) 岩浆岩。岩浆在地下受压上浮或喷出地表后冷凝而成的岩石，岩浆岩又称火成岩。
- (2) 沉积岩。在陆地或水域中，成层沉积的沉积物固结而成的岩石。
- (3) 变质岩。原岩石经变质作用而形成的新岩石。

#### 1. 岩浆岩

##### 1) 岩浆岩的形成

地壳深部的物质部分熔融，形成炽热、黏稠的以硅酸盐为主的熔融体称为岩浆。岩浆沿地壳上的薄弱部位上升到地壳上部或地表过程中，不断改变自己的成分和物理化学状态，最后凝固成岩浆岩，这个过程称为岩浆作用。岩浆侵入地壳内冷凝而成的岩石称为侵入岩；岩浆喷出地表冷凝而成的岩石称为喷出岩。

##### 2) 岩浆岩的特征

岩浆岩的特征包括岩石的颜色、结构、构造、主要造岩矿物与化学成分等，见表1-2。

表1-2 岩浆岩分类与特征

颜色			浅色（浅灰、浅红、肉红色）→深色（深灰、深绿、黑色）				
化学成分（SiO <sub>2</sub> 含量）			酸性（>62%）	中性（65%~52%）	基性（52%~40%）	超基性（<40%）	
成因	结构	构造	含正长石		含斜长石		不含长石
			石英 云母 角闪石	角闪石 黑云母 辉石	角闪石 辉石 黑云母	辉石 角闪石 橄榄石	辉石 橄榄石
侵入岩	等粒	块状	花岗岩	正长岩	闪长岩	辉长岩	橄榄岩、辉岩
	斑粒	块状	花岗斑岩	正长斑岩	粉岩	辉绿岩	
喷出岩	斑状、隐晶质 或玻璃质	流纹、气孔状 或杏仁状	流纹岩	粗面岩	安山岩	玄武岩	

#### 2. 沉积岩

沉积岩是地表分布最广的岩类，约占陆地表面面积的75%，是地基中经常遇到的岩石，也是天然建筑材料的重要来源。

##### 1) 沉积岩的形成

原岩风化后变成碎屑物质，溶液中的离子或胶体的质点，经流水、风等搬运到陆地低凹的地方或在海洋里沉淀，堆积下来形成松散沉积物，工程上称为土。松散沉积物如经压密、脱水、胶结等成岩作用就形成沉积岩。从原岩风化、物质搬运到沉积成岩整个过程中的各种地质作用统称为沉积作用。生物遗体和火山碎屑物经堆积硬结也能形成沉积岩，如生物碎屑岩、火山碎屑岩。

沉积物或岩石沉积时的自然地理环境称为沉积相。沉积相一般分为陆相、海相、海陆过



渡相三大类。如再进一步划分,海相可分为滨海相、浅海相、次深海相和深海相;过渡相可分为三角洲相和泻湖相;陆相可分为残积相、坡积相、洪积相、河流相(包括河床相、河浸滩相及牛轭湖相)、湖泊相、沼泽相、沙漠相和冰川相。一般说来,海相沉积的物质成分、岩性和岩层厚度都比较稳定,陆相沉积的物质成分复杂、岩性和岩层厚度变化也比较大。

## 2) 沉积岩的特征

沉积岩的特征包括岩石的物质来源、沉积环境和沉积作用、造岩矿物、结构特征及构造特征等,见表1-3。

表 1-3 沉积岩分类与特征

分类名称	物质来源	沉积作用	结构特征	构造特征	
碎屑岩	砾岩、角砾岩、砂岩	物理风化作用形成的碎屑	机械沉积作用为主	碎屑结构	层理构造、多孔构造
	火山角砾岩、凝灰岩	火山喷发的碎屑			
黏土岩	泥岩、页岩	化学风化作用形成的黏土矿物	机械沉积和胶体沉积作用	泥质结构	层理构造
化学岩和生物化学岩	石灰岩、泥灰岩	母岩经化学分解生成的溶液和胶体溶液;生物化学作用形成的矿物和生物遗体	化学沉积、胶体沉积和生物沉积作用	化学结构和生物结构	层理构造、致密构造

注: 1. 火山角砾岩是由角砾状的火山岩屑(粒径2~100 mm)堆积而成的碎屑岩;

2. 凝灰岩是由火山灰(粒径0.5~2 mm的火山岩屑)沉积而成的碎屑岩;

3. 泥岩呈厚层状,页岩则呈薄层状,泥岩和页岩具有典型的泥质结构,抵抗风化能力低,吸水性很强;

4. 泥灰岩是由25%~60%的黏土矿物和40%~75%的隐晶质方解石(少量白云石)组成,它是泥岩和石灰岩之间的过渡性岩石。

## 3. 变质岩

### 1) 变质岩的形成

由于地壳运动和岩浆活动,形成较高温度和高压环境,使地壳中的先成岩在固态下发生矿物成分或结构构造的变化,而形成的新岩石称为变质岩。这种地质作用称为变质作用。根据岩石变质的主要原因,变质作用分为以下几类:

(1) 区域变质作用。在地壳运动中,岩石下沉到地壳深处,由于高温、高压的影响而发生大区域的变质,这种变质作用称为区域变质作用。如泰山、五台山、秦岭、祁连山等都是区域变质的示例。绝大多数变质岩都是由这种变质作用形成的,如片麻岩、片岩、千枚岩、板岩等。

(2) 接触变质(热力变质)作用。当岩浆侵入时,岩浆周围的岩石由于岩浆的高温及挥发性物质的影响而发生变质,这种变质作用称为接触变质作用。接触变质仅在岩浆周围的岩石中发生,随着离侵入体距离的增大,围岩的变质就变浅,最后趋于消失。大部分大理岩和石英岩都是受这种变质作用而形成的。

(3) 动力变质作用。构造运动使原岩在各种应力作用下发生破碎、变形或重结晶的地质