

高等职业教育土建专业系列教材

丛书主编 徐占发
本册主编 王旭鹏

土力学 与地基基础

TULIXUE YU DIJI JICHU

中国建材工业出版社

高等职业教育土建专业系列教材

土力学与地基基础

主 编 王旭鹏

副主编 董晓丽 刘永红

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学与地基基础/王旭鹏主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2004.8

(高等职业教育土建专业系列教材)

ISBN 7-80159-666-8

I. 土... II. 王... III. ①土力学—高等学校: 技术学校—教材②地基—基础(工程)—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 060364 号

内 容 简 介

本教材根据教育部高等职业教育土力学与地基基础课程教学要求编写, 并结合最新规范、技术规程及国内外研究成果。本书主要介绍了土的物理性质及工程分类、土中应力计算、土的压缩性及地基沉降计算、土的抗剪强度和地基承载力、土压力和土坡稳定、工程地质勘察、天然地基上浅基础设计、桩基础与其他深基础、软弱地基处理、土力学实验技术等内容。

土力学与地基基础

主编 王旭鹏

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街1

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 19.5

字 数: 329 千字

版 次: 2004 年 8 月第 1 版

印 次: 2004 年 8 月第 1 次

印 数: 1~3000 册

书 号: ISBN 7-80159-666-8/TU·349

定 价: 29.00 元

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 68345931

《高等职业教育土建专业系列教材》编委会

主 任: 成运花 北京城市学院教务长、研究员
副主任: 徐占发 北京城市学院教授、土建专业主任
杨文锋 长安大学应用技术学院副教授、副院长
秘书长: 李文利 北京城市学院副教授
委 员: (按汉语拼音先后顺序)

包世华 清华大学教授
陈乃佑 北京城市学院副教授
陈学平 北京林业大学教授
成荣妹 长安大学副教授
崔玉玺 清华大学教授
董和平 北京城市学院讲师
董晓丽 北京城市学院讲师
龚 伟 长安大学副教授
龚小兰 深圳职业技术学院副教授
姜海燕 北京城市学院讲师
靳玉芳 北京城市学院教授 (兼职)
刘宝生 北京交通大学副教授
刘晓勇 河北建材学院副教授
李国华 长安大学副教授
李文利 北京城市学院副教授
栗守余 长安大学副教授
马怀忠 长安大学副教授
田培源 北京城市学院副教授
王 茹 北京城市学院副教授
王旭鹏 北京城市学院副教授
杨秀芸 北京城市学院副教授
张保兴 长安大学副教授
张玉萍 河北建材学院副教授

顾 问: (按汉语拼音先后顺序)

江见鲸 清华大学教授
罗福午 清华大学教授

序

大力发展高等职业教育,培养一大批具有必备的专业理论知识和较强的实践能力,适应生产、建设、管理、服务岗位等第一线急需的高等职业应用型专门人才,是实施科教兴国战略的重大决策。高等职业院校的专业设置、教学内容体系、课程设置和教学计划安排均应突出社会职业岗位的需要、实践能力的培养和应用型的教学特色。其中,教材建设是基础和关键。

高等职业教育土木建筑专业系列教材是根据最新颁布的国家和行业标准、规范,按照高等职业教育人才培养目标及教材建设的总体要求、课程的教学要求和大纲,由北京城市学院(原海淀走读大学)和中国建材工业出版社组织全国部分有多年高等职业教育教学体会与工程实践经验的教师编写而成。

本套教材是按照3年制(总学时1600~1800)、兼顾2年制(总学时1100~1200)的高职高专教学计划和经反复修订的各门课程大纲编写的。基础理论课程以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点;专业课以最新颁布的国家和行业标准、规范为依据,反映国内外先进的工程技术和教学经验,加强实用性、针对性和可操作性,注意形象教学、实验教学和现代教学手段的应用,并加强典型工程实例分析。

本套教材适用范围广泛,努力做到一书多用,在内容的取舍上既可作为高职高专教材,又可作为电大、职大、业大和函大的教学用书,同时,也便于自学。本套教材在内容安排和体系上,各教材相互之间既是有机联系和相互关联的,又具有其独立性和完整性。因此,各地区、各院校可根据自身的教学特点选用。

北京城市学院是办学较早、发展很快、高职高专办学经验丰富并受到社会好评的一所民办公助高等院校。其中,土建专业是最早设置且有较大社会影响的专业之一,有10多名教学和工程实践经验丰富的双师型教师,出版了一批受欢迎的专业教材。可以相信,由北京城市学院组编、中国建材工业出版社出版发行的这套高等职业教育土建专业系列教材一定能成为受欢迎的、有特色的、高质量的系列教材。

本教材编委会
2003年2月

前 言

本书是根据教育部高等职业教育土力学与地基基础课程教学基本要求编写的。高等职业教育的目标是培养应用型和技能型人才。根据这一特点,本书在内容的取舍上力求做到以土力学与地基基础的基本内容为主,必须够用为度。同时,结合我国新的施工验收规范、技术规程,汲取了近年来国内外比较成熟的研究成果编写而成。在编写方法上,注意到内容的先进性及理论联系实际,深入浅出;在文字叙述上,力求表达清晰,便于学生自学。同时精选了较为丰富的例题和练习题。在编写时,既汲取了近代学科国内外发展的新知识,又按照学科的科学体系,有重点地阐明其基本概念、基本原理和基本方法及其在工程上的应用,以便提高学生的理论水平和解决工程问题的能力。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校学生的教材或参考用书,亦适合一般工程技术人员学习参考。

本书由北京城市学院王旭鹏(副教授,高级工程师)主编,北京城市学院董晓丽(讲师)、内蒙古工业大学刘永红(副教授)为副主编,清华大学吕禾参编。全书由王旭鹏统稿。编写分工如下:王旭鹏编写绪论、第1章、第2章、第3章、第9章;董晓丽编写第7章、第8章;刘永红编写第4章、第5章、第6章;吕禾编写第10章。

由于编写时间仓促,加之作者水平有限,书中难免有不足之处,欢迎读者批评指正。本书引用了部分现有教材的例题或习题,在此向原作者表示诚挚的谢意!在本书编写过程中,王景升老师对此书提出了许多宝贵的意见和建议,他的关心与支持对于提高本书的编写质量,完善本书内容起着重要的作用,在此亦致以衷心的感谢。

编 者
2004年6月

目 录

绪论	1
0.1 土力学、地基与基础的概念	1
0.2 土力学的发展概况	1
0.3 本课程的内容	2
第1章 土的物理性质与工程分类	3
1.1 岩石和土的成因类型	3
1.1.1 岩石的成因类型	3
1.1.2 土的成因类型	4
1.2 土的组成	7
1.2.1 土的组成	7
1.2.2 土的物理性质指标	13
1.2.3 土的物理状态指标	20
1.3 地基土的工程分类	25
思考题	30
习题	31
第2章 土中应力计算	32
2.1 概述	32
2.2 地基中的自重应力计算	32
2.2.1 均质土的自重应力	32
2.2.2 成层土体的自重应力	33
2.2.3 土层中有地下水时的自重应力	33
2.3 基础底面压力分布和计算	37
2.3.1 基底压力分布规律	37
2.3.2 地基反力的简化计算	38
2.3.3 基底附加压力的计算	39
2.4 土中应力计算	41
2.4.1 集中力作用在地表时的应力计算	41
2.4.2 矩形面积受竖向均布荷载作用下的应力计算	44

2.4.3 矩形面积受三角形分布的竖向荷载作用下的应力计算	48
2.4.4 圆形面积受均布荷载作用下的应力计算	52
2.4.5 条形面积受荷载作用下的土中应力计算	53
2.4.6 应力泡	57
思考题	58
习题	58
第3章 土的压缩性与地基沉降计算	60
3.1 概述	60
3.2 土的压缩性试验及指标	60
3.2.1 侧限压缩试验	60
3.2.2 侧限压缩性指标	61
3.2.3 土的压缩性原位测试和土的变形模量	64
3.3 地基的最终沉降量计算	67
3.3.1 分层总和法计算地基最终沉降量	67
3.3.2 《地基规范》推荐法计算地基最终沉降量	70
3.4 应力历史对地基沉降的影响	73
3.5 地基变形与时间的关系	74
3.6 建筑物地基变形允许值	79
思考题	80
习题	81
第4章 土的抗剪强度和地基承载力	82
4.1 土的抗剪强度	82
4.1.1 土体强度的基本概念	82
4.1.2 抗剪强度的库伦公式	83
4.2 土的极限平衡条件	84
4.2.1 土中一点的应力状态	84
4.2.2 土的极限平衡条件	86
4.2.3 极限平衡关系式的应用	88
4.3 抗剪强度指标的测定及其影响因素	90
4.3.1 直接剪切试验	90
4.3.2 三轴压缩试验	92
4.3.3 无侧限抗压强度试验	94
4.3.4 十字板剪切试验	96
4.3.5 抗剪强度指标的选择	97

4.3.6 影响抗剪强度指标的因素	98
4.4 地基的临塑荷载和临界荷载	100
4.4.1 地基的变形阶段及破坏形式	100
4.4.2 地基的临塑荷载	101
4.4.3 地基临界荷载	104
4.5 浅基础的地基极限承载力	106
4.5.1 太沙基公式	106
4.5.2 斯肯普顿公式	108
4.5.3 安全系数的选择	109
思考题	111
习题	111
第5章 土压力和土坡稳定	113
5.1 概述	113
5.2 土压力的类型与影响因素	114
5.2.1 影响土压力的因素	114
5.2.2 土压力的类型	114
5.3 静止土压力的计算	116
5.4 朗肯土压力理论	116
5.4.1 主动土压力	118
5.4.2 被动土压力	120
5.5 库伦土压力理论	122
5.5.1 主动土压力	122
5.5.2 被动土压力	126
5.5.3 黏性土的土压力	128
5.6 几种常见情况的土压力计算	129
5.6.1 填土面上有均布荷载(超载)	129
5.6.2 成层填土	129
5.6.3 墙后填土有地下水	130
5.7 挡土墙设计	133
5.7.1 挡土墙的类型	133
5.7.2 重力式挡土墙的体型选择和构造措施	134
5.7.3 挡土墙的稳定验算	136
5.7.4 挡土墙的基底压力验算	138
5.7.5 挡土墙的墙身强度验算	138

5.8 土坡的稳定分析	141
5.8.1 无黏性土坡的稳定分析	141
5.8.2 黏性土坡的稳定分析	142
思考题	149
习题	149
第6章 工程地质勘察	151
6.1 工程地质勘察的目的和任务	151
6.1.1 工程地质勘察的目的	151
6.1.2 工程地质勘察的任务	151
6.1.3 工程地质勘察与岩土工程等级的关系	152
6.1.4 工程地质勘察工作的基本程序	153
6.2 工程地质勘察的内容和要求	153
6.2.1 可行性研究勘察及要求	153
6.2.2 初步勘察及要求	154
6.2.3 详细勘察	154
6.2.4 勘察任务书	155
6.3 岩土工程勘察方法	155
6.3.1 测绘与调查	155
6.3.2 勘探方法	155
6.4 地下水	160
6.4.1 地下水的埋藏条件	161
6.4.2 地下水的腐蚀性	162
6.4.3 土的渗透性	162
6.4.4 动水力和渗流破坏现象	164
6.5 不良地质条件	166
6.5.1 滑坡	166
6.5.2 崩塌	170
6.5.3 泥石流	172
6.5.4 岩溶与土洞	173
6.5.5 地震	177
6.6 岩土工程勘察成果报告	182
6.6.1 勘察报告书的编制	182
6.6.2 勘察报告的阅读和使用	184
6.6.3 勘察报告实例	186

思考题	192
习题	192
第7章 天然地基上浅基础设计	194
7.1 浅基础的类型	194
7.1.1 按材料分类	194
7.1.2 按结构形式分类	196
7.2 基础埋置深度	199
7.2.1 上部结构情况	200
7.2.2 基础上荷载大小及性质	200
7.2.3 工程地质和水文地质条件	200
7.2.4 季节性冻土的影响	201
7.2.5 相邻基础的影响	201
7.3 地基承载力的确定	201
7.3.1 根据《地基规范》表格确定承载力	202
7.3.2 按静荷载试验方法确定地基承载力	208
7.3.3 按地基土体强度理论计算	209
7.3.4 按当地建筑经验确定地基承载力	209
7.4 基础底面尺寸	210
7.4.1 中心荷载作用下的基础	210
7.4.2 偏心荷载作用下的基础	211
7.4.3 验算地基软弱下卧层强度	212
7.4.4 地基变形验算	213
7.5 刚性基础设计	213
7.6 扩展基础设计	217
7.6.1 扩展基础的构造要求	217
7.6.2 扩展基础的计算	218
7.7 减轻不均匀沉降的措施	225
7.7.1 建筑措施	225
7.7.2 结构措施	226
7.7.3 施工措施	227
思考题	228
习题	228
第8章 桩基础与其他深基础	229
8.1 概述	229

8.2 桩基础的类型	229
8.2.1 按承载性状分类	229
8.2.2 按桩身材料分类	230
8.2.3 按成桩方法分类	231
8.2.4 按桩径大小分类	231
8.3 单桩竖向极限承载力标准值 Q_{uk}	231
8.3.1 静载试验法	232
8.3.2 静力触探法	234
8.3.3 经验参数法	235
8.3.4 动力测试法	236
8.4 单桩竖向承载力设计值 R	239
8.5 单桩水平承载力	242
8.6 桩侧负摩阻力	243
8.7 桩基础设计	245
8.7.1 选择桩的类型及规格	245
8.7.2 确定单桩竖向承载力设计值 R	245
8.7.3 确定桩数及桩的平面布置	245
8.7.4 桩基础的承台设计	247
8.7.5 桩基础中各桩承载力验算	247
8.7.6 桩基沉降验算	249
8.8 其他深基础简介	252
8.8.1 沉井基础	252
8.8.2 地下连续墙	253
思考题	254
习题	254
第9章 软弱地基处理	256
9.1 概述	256
9.1.1 地基处理的目的和意义	256
9.1.2 地基的处理对象	256
9.1.3 地基处理施工注意事项	258
9.2 换填法	258
9.2.1 概述	258
9.2.2 换土垫层的设计	259
9.2.3 换土垫层的施工	261

9.2.4 垫层质量检验	262
9.3 挤密法	262
9.3.1 砂石桩法	262
9.3.2 土桩挤密法	263
9.3.3 灰土桩挤密法	265
9.4 振冲法	265
9.4.1 振冲置换法	265
9.4.2 振冲密实法	266
9.5 化学加固法	268
9.5.1 概述	268
9.5.2 灌浆法	268
9.5.3 高压喷射注浆法	269
9.5.4 深层搅拌法	270
9.5.5 电渗硅化法	272
9.6 托换技术	272
9.6.1 托换技术原理	272
9.6.2 托换前的准备工作	273
9.6.3 基础加固托换	273
9.6.4 桩式托换	274
思考题	275
第 10 章 土力学实验技术	277
10.1 物理性实验	277
10.1.1 环刀法密度实验	277
10.1.2 烘箱烘干法含水率实验	277
10.1.3 液限试验	279
10.1.4 塑限试验	280
10.2 固结实验	282
10.3 直剪实验	288
思考题	292
参考文献	293

绪 论

0.1 土力学、地基与基础的概念

俗话说：“万丈高楼凭地起”。这说明人们早已意识到“建筑物”与“地”之间的密切关系。任何建筑物都建造在地球的表层，它构成了一切工程建筑的环境和物质基础。我们把支承建筑物荷载的那部分地层称之为地基（foundation soils）。如果地基未经过人工处理，称为天然地基；如果地基软弱，其承载力及变形不能满足设计要求时，则要对地基进行加固处理，这种地基称为人工地基。建筑物向地基中传递荷载的下部结构称为基础（foundation）。当建筑场地土质均匀、密实、性质良好，地基承载力高时，对一般的高层建筑可将基础直接做在浅层天然土层上，称为天然地基浅基础。但是，我国幅员辽阔，自然地理环境不同，土质各异，地基条件区域性强，如果遇到建筑地基上土质软弱，压缩性高，强度低，无法承受上部结构，且人工加固处理地基不经济时，需采用桩基础或深基础。由此可见，地基与基础是整个建筑工程中的一个重要组成部分。据统计，我国一般多层建筑中，基础工程造价约占总造价的 1/4，工期约占总工期的 25% ~ 30%，如需人工处理或采用深基础，其造价和工期所占的比例更大。如果盲目地提高建筑物地基与基础的安全度，有时多花费建设资金却不能收到良好的效果。因此，工程技术人员必须十分重视并做好地基与基础的勘察、设计与施工阶段的各项工作。

利用力学的一般原理，研究土的应力、应变、强度、稳定性和渗透性及其随时间变化规律的科学称为土力学（soil mechanics）。工程技术人员必须掌握土力学基础工程的理论知识和实际技能，才能正确地解决建筑工程中的地基基础技术问题。

0.2 土力学的发展概况

据文献记载，17 世纪以后，随着欧洲产业革命的发展，城市建设、水利工程和道路桥梁的兴建，推动了土力学的发展，世界各国学者发表了许多著名的土力学理论，当时的法国最有代表性。比如，法国学者库伦（Coulomb）于 1773 年创建了著名的砂土抗剪强度和土压力理论，著名的库伦定律至今还被

各国学者引用；英国学者朗肯（Rankine）在 1856 年提出了挡土墙土压力理论，本书第 5 章做了介绍，这是古典的土力学理论，但仍被今人引用；同年，法国学者达西（Darcy）研究了土的透水性，创立了达西定律；法国学者布辛奈斯克（Boussinesq）在 1885 年针对弹性半空间表面作用集中力的情况，对半空间内的应力和位移进行了解答，为土中应力计算奠定了基础。

进入 20 世纪，世界各国铁道工程增多，由于铁路穿越各种土质地基，遭遇了坍塌和滑坡事故，促使瑞典、德国及美国等国家的学者在控制斜面稳定的研究上不断深入，发表了许多论著。瑞典学者费伦纽斯（Fellenius）在 1922 年为解决铁路滑坡，完善了土坡稳定分析圆弧法；1925 年，美国学者太沙基（Terzaghi）发表了《土力学》专著，使土力学作为一门独立的学科在世界各地不断发展。从 1936 年起，每隔 4 年召开一次国际土力学和基础工程会议，提出了大量的论文和研究报告。清华大学黄文熙教授在 20 世纪 60 年代的国际会议上发表了砂土液化理论。

20 世纪 50 年代以后，随着电子计算机的出现，使应用非线性理论研究土的应力-应变关系成为可能；多种多样的新设备，为土力学理论研究和地基加固提供了良好的条件，土力学的研究进入了崭新的阶段。

0.3 本课程的内容

本课程的任务是使同学们牢固地掌握土力学的基本知识，研究地基与基础工程设计和施工中常用的技术问题。全书共 10 章，包括：土的物理性质与工程分类、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度和地基承载力、土压力和土坡稳定、工程地质勘察、天然地基上浅基础设计、桩基础与其他深基础、软弱地基处理及土力学实验技术。在掌握基本理论的同时，还要掌握主要的土工实验原理和操作技术。

本课程的学习要求：

- (1) 注意搞清概念，掌握原理，扎实地学好基础理论知识。
- (2) 努力参与各种科学实践、工程实践和社会实践活动。
- (3) 在学习知识和实践训练中发展智力、培养能力、掌握技能，重在工程应用。
- (4) 培养良好的情操，严谨的学风，科学的工程意识。

第1章 土的物理性质与工程分类

地球表层是人类赖以生存的活动场所，它构成了一切工程的物质基础。随着地球的演变，地壳的内部结构、物质成分和表面形态不断发生变化。一些变化速度快的，易被人们觉察到，如地震和火山喷发等；另一些变化慢的，则不易被人们发现，如地壳的缓慢上升、下降以及某些板块的水平移动等。这些变化导致各种类型的地质构造以及复杂多样的岩石和土的形成。

1.1 岩石和土的成因类型

1.1.1 岩石的成因类型

在地质作用下产生的，由一种或多种矿物以一定的规律组成的自然集合体称为岩石。岩石形成的年代较长，颗粒间牢固联结，呈整体或具有节理裂隙的岩体常可见到。地壳和地球内部的化学元素，除极少数呈单质存在外，绝大多数都是以化合物的形态存在。这些具有一定化学成分和物理性质的自然元素和化合物称为矿物。岩石是一种或多种矿物的集合体，其中构成岩石的矿物称为造岩矿物。最主要的造岩矿物只有三十多种，如常见的石英(SiO_2)、正长石(KAlSi_3O_8)、石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、方解石(CaCO_3)、高岭石 $[\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8]$ 等。自然界中岩石种类繁多，但按其成因可分为：岩浆岩(magmatic rock)、沉积岩(sedimentary rock)和变质岩(metamorphic rock)三大类。沉积岩主要分布在地壳表层，在地壳深处，主要是岩浆岩和变质岩。

1. 岩浆岩(火成岩)

岩浆岩是由岩浆侵入地壳或喷出地表后，岩浆冷凝形成的岩石。岩浆存在于地壳的深处，是处于高温、高压下的硅酸盐熔融体，其主要成分是硅酸盐，还有其他元素、化合物以及溶解的气体(H_2O 、 CO_2)等。岩浆在地壳深处结晶形成的岩石称为深层岩，在地面以下较浅处形成的岩石称为浅层岩，两者统称为侵入岩；岩浆喷出地表后冷凝形成的岩石称为喷出岩。

组成岩浆岩的矿物，根据其颜色，可分为浅色矿物和深色矿物。如：石英、正长石、斜长石及白云母等，其密度小，颜色浅，属浅色矿物；黑云母、角闪石、辉石、橄榄石等；其密度较大，颜色较深，属深色矿物。岩浆岩的矿物成分是岩浆化学成分的反映。岩浆的化学成分十分复杂，但含量高，对岩石

的矿物成分影响最大的是 SiO_2 。根据 SiO_2 的含量，岩浆岩可分为酸性盐类（ SiO_2 含量 $> 65\%$ ）、中性盐类（ SiO_2 含量 $52\% \sim 65\%$ ）、基性盐类（ SiO_2 含量 $45\% \sim 52\%$ ）和超基性盐类（ SiO_2 含量 $< 45\%$ ）。常见的岩浆岩如：花岗岩、花岗斑岩、流纹岩等属酸性盐类；正长岩、正长斑岩、粗面岩、安山岩、闪长玢岩等属中性岩石；辉长岩、辉绿岩、玄武岩等属基性岩类；深色的橄榄岩和辉岩属超基性盐类。

2. 沉积岩（水成岩）

沉积岩是岩石经风化、剥蚀成碎屑，经流水、风或冰川搬运至低洼处沉积，再经成岩作用而形成的。沉积岩是地壳表面分布最广的一种岩石，沉积岩的物质组成主要有四种：

- (1) 碎屑物质；
- (2) 黏土矿物；
- (3) 化学沉积矿物；
- (4) 有机质及生物残骸。

此外，还有把碎屑颗粒胶结起来的胶结物。这些胶结物或是通过矿化水的运动带到沉积物中，或是来自原始沉积物矿物组分的溶解和再沉淀。胶结物的性质对沉积岩的力学强度、抗水性及抗风化能力有重要影响。常见的胶结物有硅质（ SiO_2 ）、铁质（ FeO 或 Fe_2O_3 ）、钙质（ CaCO_3 ）、泥质（黏土）。

常见的沉积岩如：火山集块岩、火山角砾岩、凝灰岩、砂岩、粉砂岩等属碎屑岩类；页岩、泥岩等属黏土岩类；石灰岩、白云岩等属于化学或生物化学岩类。

3. 变质岩

地壳中已存在的岩石，由于地壳运动和岩浆活动等造成物理化学环境的改变，在高温、高压及其化学因素作用下，原来岩石的成分、结构和构造发生一系列变化，这些情况下所形成的新的岩石称为变质岩。

(1) 矿物成分：除了石英、长石、云母和方解石等常见的矿物外，还具有特异的矿物，如滑石、绿泥石、蛇纹石和石榴石等。

(2) 结构：变余结构、变晶结构和碎裂结构。

(3) 构造：板状构造、千枚状构造、片状构造、片麻状构造和块状构造。

(4) 常见的变质岩：片麻岩、千枚岩、板岩、石英岩、大理岩、碎裂岩和糜棱岩等。其中常见的硬质岩石有花岗岩、石灰岩、石英岩、闪长石、玄武岩等；常见的软质岩石有页岩、泥岩、绿泥石片岩和云母片岩等。

1.1.2 土的成因类型

土是在第四纪中由原岩风化产物经剥蚀、搬运、沉积等各种地质作用