



新世纪土木工程系列教材

土力学

赵树德 主编

赵树德 廖红建 王秀丽 编



高等教育出版社

新世纪土木工程系列教材

土 力 学

赵树德 主编

赵树德 廖红建 王秀丽 编

高等教育出版社

内容简介

本教材是新世纪土木工程系列教材之一,是根据教育部关于拓宽专业面、教材要面向 21 世纪的要求编写的,适用于土建类土木工程专业。本教材内容既重视学科基础理论和知识的阐述,又注意介绍学科的新进展,引进新概念、新方法,并力求把知识的传授与能力的培养结合起来。

本书除绪论外共九章,包括土的物理性质和工程分类、土的渗透性和渗流、地基中的应力、土的压缩性和地基的沉降计算、土的抗剪强度、地基承载力、土坡稳定分析、土压力和挡土墙、土力学专题等。各章后附有相应的思考题和习题,书后附有土工实验指导书。

本书既可作为土木工程专业以及相近专业的土力学课程教材,也可供土木工程研究人员和工程技术人员参考,此外,考虑到本课程的理论性较强但又需要联系工程实际的特点,本教材将配套相应的多媒体教学课件。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/赵树德主编. —北京:高等教育出版社,
2001.12

本科土木工程、交通、水利、力学教材

ISBN 7-04-010178-5

I. 土... II. ①赵...②廖...③王... III. 土力学
—高等学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 066180 号

土力学

赵树德 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 中国科学院印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2001 年 12 月第 1 版

印 张 22.5

印 次 2001 年 12 月第 1 次印刷

字 数 540 000

定 价 19.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

主任委员:沈蒲生(湖南大学)

副主任委员:白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

强士中(西南交通大学)

委	员:王 健	叶志明	江见鲸
	关宝树	刘 明	张印阁
	张家良	朱彦鹏	吴胜兴
	杨和礼	尚守平	黄醒春
	梁兴文	焦兆平	廖红建

(以上排名先后按姓氏笔画)

出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编辑委员会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实，更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合结合，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审定教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系

统的专业系列教材,以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材的编写大纲和初稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

2001年3月

前 言

在土木工程专业及水利水电专业本科教学中,土力学是一门必修的专业基础课。该课程的前导课程及相关课程为工程地质与水文地质、材料力学、弹性力学等。土是岩石风化后产生破碎、崩解、变质,又经过各种自然力的搬运,在新的环境下堆积或沉积下来的颗粒状松散物质。土力学研究土和土体在自重及外荷载作用下的强度及变形变化规律,并为工程安全提出科学的对策,它属于应用学科,又属于工程技术。

本书由西安建筑科技大学赵树德教授主编,西安交通大学廖红建教授,甘肃工业大学王秀丽教授参加编写。绪论、第1,5,6章及附录由赵树德编写;第2,7章由廖红建编写;第9章由赵树德、廖红建编写;第3,4,8章由王秀丽编写;赵汉崑绘了一部分图。

天津大学陈环教授审阅了全部书稿,提出了修改建议,西安建筑科技大学韩晓雷副教授,博士后王铁行审阅了部分书稿,提出了宝贵意见,研究生王进、刘恩龙热心做了大量的工作,衷心致谢。

土力学在本科教学中约有50~60学时,第9章可以不讲。各学校可根据学时多少再作取舍。

限于水平,本书不当之处,恳请批评指正。

编者

2001年8月

目 录

绪论	1
----------	---

第1章 土的物理性质和工程分类

§ 1.1 土的生成	3
§ 1.2 土的三相组成	7
§ 1.3 土的结构、构造	15
§ 1.4 土的三相物理性质指标的测定 及计算	17
§ 1.5 无粘性土的特性	22
§ 1.6 粘性土及粉土的特性	24
§ 1.7 粘性土水-土系统的工程(物理- 化学)特性	29
§ 1.8 土的工程分类	32
思考题与习题	35
参考文献	36

第2章 土的渗透性及渗流

§ 2.1 土的渗透性及举例	37
§ 2.2 土的水理性质	38
§ 2.3 地下水的运动方式和判别	42
§ 2.4 达西定律及其适用范围	44
§ 2.5 渗透系数的测定	46
§ 2.6 二维渗流及流网应用	50
§ 2.7 渗流力、潜蚀和流沙的危害及防治	52
§ 2.8 渗流情况下的有效应力和孔隙 水压力	57
思考题与习题	62
参考文献	63

第3章 地基中的应力

§ 3.1 概述	64
§ 3.2 土的自重应力	65
§ 3.3 自重应力系 有效应力原理	69
§ 3.4 基底接触应力分布及简化计算	73

§ 3.5 地基中的附加应力——空间问题 的解及其应用	77
§ 3.6 地基中的附加应力——平面问题 的解及其应用	92
§ 3.7 非均质和各向异性地基中的 附加应力	99
§ 3.8 其他条件下地基中的应力计算	102
思考题与习题	107
参考文献	110

第4章 土的压缩性和地基沉降计算

§ 4.1 概述	111
§ 4.2 土的压缩性及压缩性指标	112
§ 4.3 地基的沉降量计算	124
§ 4.4 应力历史对地基沉降的影响	141
§ 4.5 地基沉降与时间的关系	146
§ 4.6 地基沉降计算的其他情况	156
§ 4.7 二维、三维渗流固结课题	159
§ 4.8 地基允许变形值及防止地基有害 变形的措施	166
思考题与习题	168
参考文献	169

第5章 土的抗剪强度

§ 5.1 抗剪强度概述	171
§ 5.2 土的抗剪强度试验	173
§ 5.3 土的抗剪强度及破坏理论	176
§ 5.4 砂类土的抗剪强度特征	180
§ 5.5 粘性土的抗剪强度特征	182
§ 5.6 特殊粘性土的抗剪强度特征	191
§ 5.7 粘性土的流变特性	193
§ 5.8 土的动力强度特性	195
思考题与习题	195
参考文献	197

第6章 地基承载力 198

- § 6.1 地基的变形与稳定 198
- § 6.2 地基临塑荷载和有限塑性区深度承载力 199
- § 6.3 普朗特地基极限承载力 202
- § 6.4 对普朗特地基极限承载力的修正补充 205
- § 6.5 太沙基地基极限承载力 208
- § 6.6 按建筑地基基础规范确定地基承载力 211
- § 6.7 按现场试验确定地基的承载力 217
- § 6.8 水平荷载作用下地基的承载力 220
- 思考题与习题 222
- 参考文献 223

第7章 土坡稳定分析 224

- § 7.1 土坡稳定及其影响因素 224
- § 7.2 平面滑动面的土坡稳定分析 225
- § 7.3 瑞典条分法 226
- § 7.4 稳定数法 230
- § 7.5 圆弧滑动面的毕肖普法 232
- § 7.6 非圆弧滑动面的分析法 235
- § 7.7 土坡稳定分析中的孔隙水压力 239
- § 7.8 深基坑开挖中的竖直边坡稳定分析 243
- 思考题与习题 244
- 参考文献 245

第8章 土压力和挡土墙 246

- § 8.1 挡土墙上的土压力及工程应用 246
- § 8.2 静止土压力计算 249

- § 8.3 兰金土压力理论 251
- § 8.4 库仑土压力理论 258
- § 8.5 常见情况的土压力计算 272
- § 8.6 其他情况土压力计算简介 277
- § 8.7 挡土墙设计 293
- § 8.8 埋管土压力 302
- 思考题与习题 304
- 参考文献 305

第9章 土力学专题 306

- § 9.1 土的本构关系和模型介绍 306
- § 9.2 软粘土力学 322
- § 9.3 黄土力学 324
- § 9.4 冻土力学 328
- § 9.5 土动力学 331
- § 9.6 其他土力学 332
- 参考文献 332

附录 土工试验指导书 334

- 附 A 土的液、塑限试验 334
 - A.1 土的含水量测试 334
 - A.2 用锥式液限仪测定土的液限 334
 - A.3 用碟式液限仪测定土的液限 335
 - A.4 用滚搓条法测定塑限 335
 - A.5 液、塑限试验报告 336
- 附 B 土的压缩性试验 336
- 附 C 土的抗剪强度试验(直剪仪快剪) 339
- 附 D 土的渗透试验及流砂现象 341
 - D.1 用常水头法测定渗透系数 K 342
 - D.2 用变水头法测定渗透系数 K 342
 - D.3 流砂现象观察 343
- 附 E 土的击实试验 343

绪 论

土力学是力学的一个分支,是以土为研究对象的学科。土是岩石风化后,产生崩解、破碎、变质,又经过各种自然力搬运,在新的环境下堆积或沉积下来的颗粒状松散物质。土力学的研究内容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。为各类土木工程的安全和稳定提供科学的对策,包括土体加固和地基处理等。因为土的结构、构造特征与刚体、弹性固体、流体等都有所不同,所以研究土力学必须通过专门的土工试验技术进行探讨。

土力学的先导及相关课程是工程地质和水文地质、材料力学、弹性力学等。

远在古代人们就懂得利用土进行工程建设,如我国东汉时的郑玄在注释战国时的《考工记》时,就认识到了作用力和变形之间的弹性定律,这比胡克(Hooke)定律要早 1500 多年,但直到 18 世纪,基本上还处于感性认识阶段。欧洲产业革命时期,随着大型建筑物的兴建和科学的发展,1773 年库仑(C. A. Coulomb)发表了土的抗剪强度和土压力理论,1857 年兰金(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. Boussinesq)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了理论探讨,土力学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。

随着生产的发展和科学的进步,更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、变形理论、土体稳定问题、动力特性、土流变学等在土力学中应用的进一步完善,是这一阶段研究的中心问题。1954 年索科洛夫斯基(В. В. 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)、简布(Janbu)在边坡理论方面都做出了贡献。我国学者黄文熙在土的强度和变形及本构关系方面,陈宗基在粘土微观结构和土流变方面,钱家欢在土流变学土工抗震方面,沈珠江在软土本构关系方面,都做出了贡献,2000 年,沈珠江出版《理论土力学》专著。

土力学未来的发展趋势可归结为一个模型,三个理论,四个分支。一个模型即本构关系模型;三个理论即非饱和土固结理论、土的液化破坏理论、土的渐进破坏理论;四个分支即理论土力学、计算土力学、实验土力学、应用土力学。

“从实践中来,到实践中去”,这是任何学科发展的必由之路,也是实用性很强的土力学发展的必由之路。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

的核心应是本构模型。一个优秀的岩土工作者必须对本构模型有基本的了解,了解本构模型的适用性和局限性,又能把它应用于实际工程中去。

第1章

土的物理性质和工程分类

§ 1.1 土的生成	§ 1.5 无粘性土的特性
§ 1.2 土的三相组成	§ 1.6 粘性土及粉土的特性
§ 1.3 土的结构、构造	§ 1.7 粘性土水-土系统的工程(物理-化学)特性
§ 1.4 土的三相物理性质指标的测定及计算	§ 1.8 土的工程分类

§ 1.1 土的生成

1.1.1 岩石风化的产物及成土作用

自然界的岩石每时每刻都在经历着风化作用,其风化作用包括物理风化、化学风化和生物风化作用。岩石风化后变成碎块、碎屑、颗粒状态(即崩解、破碎),同时还发生质变,即矿物成分发生变化。风化作用总是由表及里进行,即由出露面、临空面、裂隙面开始向内部进行达到一定的深度。岩质、环境、深度不同,风化速度、风化程度就不同。岩石产生风化的厚度(深度)范围称为风化壳。由于影响风化的因素很多,不同环境下岩石风化的速度、程度、风化壳(层)的形态及厚度不同。气候条件和生态环境不同,岩石矿物化学成分中的元素在淋溶作用下被迁移(带走)的难易程度不同,风化壳的物质成分和物理、化学性质也不同。

在冻土地区、岩石基本上经受物理风化,形(生)成碎屑型风化壳。

在沙漠、半沙漠、干旱、半干旱地区,气温高、空气干燥、降雨量少、蒸发量大、温差大,物理风化作用强烈,化学及生物风化作用微弱。很容易迁移的离子 Cl^{-1} 、 SO_4^{-2} 等向上迁移,容易形成 Na, Ca, Mg 的氯化物和硫酸盐富集的风化壳。

在一般温带环境中,如我国的北方,以物理风化为主,化学风化和生物风化作用较弱,有一定的淋溶作用,土壤溶液呈弱碱性。易迁移的元素淋失,形成了 Ca, Mg 碳酸盐富集的风化壳。

在多雨、湿热的气候环境中,如我国的南方,有物理风化,但化学风化和生物风化作用强烈,淋溶作用强,土壤溶液多呈弱酸性, Ca, Na, Mg, K 等元素基本上都淋失了,形成 SiO_2 的水化物胶体, Al_2O_3 , Fe_2O_3 的富集。在酸性环境中形成高岭石型风化壳,如遇碱性环境,则形成蒙脱石型或伊利石型的风化壳。

在热带、亚热带的气候环境中,包括我国南方的部分地区,化学风化进行很彻底,生物风化、淋溶作用很强烈,土壤溶液呈弱酸性至弱碱性。可迁移的元素都淋失了,连 SiO_2 的水化物胶体

也大量淋失了,形成了 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 大量富集,石英相对富集的红土型风化壳,如中国南方、印度和巴西的红色土壤。

岩石风化的产物再经过各种自然力的搬运,在新的环境中形成沉积或堆积,由于时间经历短,固结压密和胶结作用还不够,故未固结,不具备成岩条件而呈松散的颗粒状态,其中含有水和气体,这时就形成了土。土是生活中常接触到的物质,又是一个学科术语。上述形成土的地质作用称为成土作用。

依据第四纪沉积的大环境,可将土分为陆相沉积和海相沉积两大类。这里的“相”就是沉积环境,即当年沉积物形成时的自然地理环境。又依据对岩石风化的产物及对第四纪沉积物起搬运作用的自然力和沉积小环境将土分为若干类型。沉积环境对土的工程性质影响很大。

1.1.2 陆相沉积

1. 残积层

岩石风化后的产物未经自然力的搬运,残留在原地并具有一定的厚度叫残积层(土)。基岩和母岩一致,是其一大特点,它分布在平顶山区、大型分水岭区、缓山坡、山麓地带、低丘陵地带等。残积层颗粒粗细不匀,厚度不均,作为地基时承载力比较高,但不均匀,若处在边坡上也不稳定。古代的残积层在地壳下沉或海平面上升时,可能处在现今海滨淤泥层之下,如深圳、厦门、泉州等地,此时常可用作桩端持力层,但应注意其稳定性。

2. 坡积层

岩石风化后的产物,由于受到雨水、融雪水的冲刷或重力作用,经短途搬运,在缓山坡地带或在山脚下堆积下来,叫坡积层。在季节性降雨明显,植被又不发育的半干旱地区,坡积层很发育。坡积层还包括由于崩塌、滑坡等岩土运动在缓山坡带或在山脚下形成的岩土堆积,坡积层的基岩和母岩不一定一致。坡积层在形成过程中有一定的分选层理,自山坡的上部到下部,颗粒由粗到细,厚度由薄变厚。坡积层作为地基时,地基承载力、沉降不均匀。如基岩面较陡或有渗水现象时,坡积层会沿基岩面滑动或破坏,一些城市面临这些地质灾害。

3. 洪积层、泥石流、冰川堆积物

(1) 洪积层

洪积层主要是在干旱、半干旱气候特征区,由夏秋暴雨洪流携带大量泥砂、砾石、杂物等在山地区运行,洪流冲出山口后在山麓地带迅速扩展并继续向前延伸形成的洪水沉积物。在平面上呈扇形,扇顶就是出山口处。山洪暴发时,有极大的破坏作用,不但可以把残积层、坡积层带走,而且对汇水面积范围内的山体坡面产生极大的侵蚀、剥蚀、冲刷作用,水土流失极为严重。洪水对村庄、房屋、庄稼等破坏作用很大,常引起山体崩塌、滑坡、塌方,大量的土石被洪水带走,这是洪水的地质作用,也是人们常遇到的地质灾害之一。

洪积层根据面积大小可分为洪积扇、洪积扇群、洪积平原。洪积层是靠水力搬运形成的,有颗粒的分选作用,形成不规则的层理,由出山口向远处,厚度由厚变薄呈扇形展开,其中常有夹层、尖灭体和透镜体(细粒土中包裹着砂或砂砾,形状如透镜或蚕豆)。洪积层中地下水丰富,在粗细颗粒的交界带上,由于透水性差异明显,容易出现泉水或沼泽地,在干旱、半干旱地区会出现绿洲,在洪积扇的边缘地带,可能出现沼泽地或盐碱地。

洪积层的工程评价可分为三种类型,扇顶部、扇中部、扇的边缘及前缘。扇顶部即出山口附

近,这里形成深厚的粗大砾石和砂砾沉(堆)积,通常称为戈壁,戈壁一词是蒙古语,意为难生草木的地方。这一带能形成中小城市。扇中部面积开阔、水源丰富、交通发达,常有粗细颗粒的互层构造,农业经济发展早,人口密度大,城市密度大,适宜大中城市发展。扇的边缘及前缘,作为农业土壤还可以,因土层厚度不大,地下水位浅,常形成不良土质,作为地基差些。

(2) 泥石流堆积

泥石流是泥流、泥石流、水石流的总称,由山洪暴发形成,常伴随大规模山崩及滑坡,是人们遇到的地质灾害之一,是一种含有大量固体物质的特殊洪流。它具有突发性,速度很大,破坏力极强,能冲出沟谷很远等特点,并形成特殊的堆积物。泥石流的速度变化范围很大,高速泥石流速度可达 $v = 40 \sim 80 \text{ m/s}$,泥石流洪峰可达十几米至几十米高,可在很短时间内毁灭村庄、城镇,掩埋农田、破坏交通、堵塞河流,显著地改变地貌形态及地区生态环境。我国共有 25 个省(市、区)受泥石流之害。泥石流停止后留下泥石流堆积,常呈巨大垅岗地貌,土夹石、石夹土很明显。水石流则留下石海、石川,如华山北麓、太行山东麓、北京西山、辽西山地等。

(3) 冰川堆积物

在我国的青藏高原、云贵高原、新疆天山、昆仑山、河西走廊南部的祁连山等高原、高山地区,海拔 3 500~4 000 m 以上分布着面积巨大的现代冰川。这些冰川沿着沟谷缓慢地向下滑动,对其滑床有很大的刨蚀、磨蚀作用,其中还裹夹着残积层、坡积层、崩塌、滑坡等堆积物、待冰川下滑到一定的高度,气温变暖、冰川融化后留下的岩土混杂堆积物称为冰川堆积物或冰碛物。

冰川堆积物的地貌形态呈垅岗堤丘,常成为泥石流的源头。冰川融化时从冰川堆积物中流出冰水河,再经沉积形成冰水沉积物。

4. 河流冲积层

河流的地质作用是改变地表状况、地形地貌的最主要的地质作用之一。河水有很大的能量,对地层产生侵蚀、搬运作用,被搬运的碎屑、颗粒物质在新的地方又沉积、堆积下来,称为河流冲积层。在陆相沉积物中,河流冲积层占很大的比例,世界上所有大中型平原都是河流冲积层或洪积冲积层,因而也是基本建设的普遍场地,这些地方经济、文化发达,交通发达,人口密度大,城市化发展快。

河流的侵蚀作用是破坏作用,包括流域地表侵蚀和河床侵蚀(河床加深和加宽)。由于地壳的升降运动和河流的侵蚀作用,在漫长的地质年代中在河床两岸形成了多级阶地,阶地高出河漫滩,在河流上游易形成峡谷,阶地级数较多。

河流的搬运作用。河水有很大的动能,是一种载体,可以搬运砂砾、泥沙,依其在水流中的运动方式不同可分为推移质和悬移质泥沙。由水力学原理得知,河水搬运土石颗粒的粒径和水流速度的平方成正比,由此推得,河水搬运土石的重量和水流速度的六次方成正比,因此,水流速度稍有变化,其搬运能力就会发生显著变化。当水流速度场和河床形态使推移质和悬移质泥沙都不能继续移动时,就开始沉积下来。

河流的沉积作用。沉积是建造,侵蚀是改造,上游河段侵蚀多于沉积,下游河段沉积多于侵蚀。在河曲地段形成凸、凹岸,凹岸侵蚀严重,凸岸沉积明显。在凹岸一侧的水域一旦脱离河道、相对封闭后便形成牛轭湖,形成含有机质的淤泥类土。湖干涸时易成为沼泽地。

河流自上游到下游,在不同的区段形成山区河谷冲积层、山前平原冲积层、平原河谷冲积层和入海口三角洲冲积层,越往下游越是大规模基本建设的场地。入海口附近的三角洲流速减小,

水流分叉扩散,沉积作用加强,形成细粒土沉积,并有许多砂洲、砂堤、尖灭体、透镜体、夹层、小湖沼。这个地带是陆地和海洋之间的过渡地带,有深厚的淤泥沉积,油、气资源丰富,相应地工业、交通发达,也带动了海洋工程地质和海洋土力学的发展。

河流入海三角洲造陆功能明显,每年使陆地向海洋延伸几公里,经济意义很大。世界上各大中型河流的入海口三角洲都是经济很发达的地区,也是著名大城市所在地。

5. 湖积层

湖泊是陆地上广泛分布的水域,因成因不同而形成了各种各样的湖。如断陷盆地湖、堰塞湖、火山口湖、冰川湖、牛轭湖、海湾泻湖、河流改道后留下的旧河道形成的湖、人工湖、特大陨石坑湖、低洼积水湖、岩溶塌陷湖等。湖相沉积物的物质来源主要是流入湖中的河流携带的泥沙和湖水对岸边的侵蚀,还有一些生物遗体。在湖中的静水沉积环境下,泥沙和生物遗体一起沉积,形成湖泥(淤泥)、泥炭和生物化学沉积。

湖积层又可分为淡水湖沉积、沼泽沉积、咸水及盐湖沉积。淡水湖沉积在我国分布很广,主要是第三纪末及第四纪初早更新世的沉积,后来湖水消亡,有的成了河谷,有的成了内陆盆地。沼泽地带,是死水环境,由于生物长期繁衍,所以沉积物中有机质含量高,如淤泥及泥炭,其中气体含量也多。在长期干旱地区,降雨量远小于蒸发量,湖水中盐度提高,按1978年提出,1982年开始在国际上采用的新盐度定义和标准,盐度在1.0~24.7之间时为微咸水湖,盐度大于24.7时称为盐湖(咸水湖)。经过强烈的蒸发,矿物成分开始依次沉淀下来,形成蒸发岩(盐岩)。蒸发岩是重要的化工原料。深厚完整的盐岩地层有特殊的强度自补偿功能,是储存核工业废料的场所。

6. 风积层

风是一种自然力,在一定的环境、植被、气候、地层、风力等条件下,风力也有侵蚀、剥蚀、搬运、沉积等地质作用。风力可以使沙漠移动,可以形成大范围的沙暴、尘暴。风力形成的地貌特征可分为风蚀地貌和风积地貌。典型的风蚀地貌如新疆的雅丹地貌。风积地貌包括沙漠和黄土堆积。这些地方缺水、植被稀少、生态环境脆弱,甚至人烟稀少,经济很不发达。

1.1.3 海相沉积

在海洋环境中形成的沉积称海相沉积。海相沉积可分为:滨海及泻湖沉积、浅海沉积、深海沉积。根据不同水动力条件形成的沉积物结构、构造、岩性(如海绿石是海相沉积的标志)、颜色等特征,以及矿化成分,尤其根据生物遗体及化石来区别海相沉积和陆相沉积是行之有效的方法。

滨海地带自陆地延至水下缓坡地带,这一带常是海陆相交带,有深厚的淤泥沉积,近岸处常形成纯净的砂海滩及海滨砂丘。滨海地带常有矿物富集,也是油、气资源的聚集地,近海工业在此发展起来,海洋地质和海洋土力学也发展起来。滨海的海湾受淤积阻挡和大海分离后逐步形成泻湖,若有淡水流入泻湖,也会变成淡水湖如我国杭州的西湖、江苏的太湖等。

浅海沉积指自低潮带至水下深度小于200 m的水域,这一带称为大陆架。该区域都是细粒土沉积,如果水温、水深、矿物质、含氧量及基底状况合适,这里会是珊瑚礁岛及礁灰岩发育的地方,如中国的南海海域。

大陆架以远就是深海沉积了。海底的地形地貌也像陆地的地形地貌一样复杂。深海沉积主

要是粘土、淤泥质土、海洋生物遗骸和粘土混杂生成的生物软泥,还有宇宙尘埃、锰铁结核等。总的来说,目前对深海沉积研究不够。

§ 1.2 土的三相组成

土的三相组成包括固体、液体、气体。在特殊情况下可成为两相物质,没有气体时就是饱和土,没有液体时就是干土。这里的相指土生成后物质的存在状态,包括微观的结构、构造。

1.2.1 土中的固体颗粒

1. 粒度、粒径和粒组划分

土颗粒的大小称为粒度。土颗粒的形状、大小各异,但都可以将土颗粒的体积化作一个当量的小球体,据此可算得当量小球体的直径,称为当量粒径,简称粒径,并可根据粒径大小对颗粒进行分类定名。工程经验表明:颗粒粒径相近时,其工程性质也相近,所以工程上把土颗粒按粒径大小划分为若干组,称为粒组,表 1.2.1 是土木工程界粒组划分的常用方法。粒组划分的原则是:应考虑粒组在工程中起作用的程度,这里行业的需要和经验显然起到了重要作用。粒组划分应和颗粒分析的测定技术相适应,以便于实现,最好遵循一定的数学规律,如 $200, 20, 2, \frac{1}{2}, \frac{1}{20}, \frac{1}{200}$, 以便于记忆。各种粒组划分中有一个普遍现象即颗粒越粗,粒组划分范围越大,颗粒越细,粒组划分范围越小,这说明了粒径变化对土的工程性质影响的大小。

表 1.2.1 颗粒名称及粒组划分

分类	颗粒名称	粒组及粒径/mm
漂石或块石颗粒		>200
卵石或碎石颗粒		$200 \sim 60$
圆砾或角砾颗粒	粗粒	$60 \sim 20$
	中粒	$20 \sim 5$
	细粒	$5 \sim 2$
砂粒	粗砂粒	$2 \sim 0.5$
	中砂粒	$0.5 \sim 0.25$
	细砂粒	$0.25 \sim 0.1$
	粉砂粒	$0.1 \sim 0.05$
粉粒	粗粉粒	$0.05 \sim 0.01$
	细粉粒	$0.01 \sim 0.005$
粘粒	粘粒	< 0.005
	胶粒	< 0.002

2. 颗粒分析和粒径级配曲线

颗粒分析就是确定颗粒粒组和粒径。根据工程经验,粒径大于 0.1 mm(或 0.074 mm, 0.075 mm)的颗粒称为粗颗粒,粒径小于 0.1 mm(或 0.074 mm, 0.075 mm)的颗粒称为细颗粒。粗颗粒用筛分法进行颗粒分析,细颗粒(包括粉砂粒、粉粒和粘粒、胶粒)不能用筛分法,应根据土粒在水中均匀下沉时的速度与粒径关系的斯托克斯(Stokes)定律,应用密度计法(旧称比重计法)或移液管法进行颗粒分析(其方法原理和操作过程见我国《土工试验方法标准》GB/T 50123-1999)。

表达颗粒分析结果的曲线称为粒径级配曲线。图 1.2.1 是三组土试样的粒径级配曲线。它是粗、细粒土颗粒分析结果的平滑组合曲线。曲线的竖轴表示小于某粒径的土重含量的百分比、曲线的横轴表示粒径的常用对数值,这种特征曲线称为半对数曲线。采用半对数坐标系是因为土颗粒粒径通常较小或很小,可以化作 $m \cdot 10^{-n}$ 表示,用半对数坐标系作图比较方便。在半对数坐标系中作出的图能够把粒径级配曲线所具有的细部特征清楚地表达出来,而用普通坐标系就做不到。在半对数坐标系中作图,当粒径 $d=1$ 时, $\lg d=0$,是坐标原点。

根据试验所得到的粒径级配曲线如图 1.2.1,在曲线上找出 d_{10} , d_{30} , d_{50} , d_{60} ,它们分别表示小于某粒径的土重占土试样总重的 10%, 30%, 50%, 60%,其中 d_{10} 也称为有效粒径,即这部分颗粒就可以对土的性质产生有效的影响,土力学权威人士曾建议用 d_{20} 取代 d_{10} , d_{60} 也称为控制粒径,即这部分颗粒对土的性质起着控制作用。为了定量表示粒径级配曲线的特征及其工程意义,工程上使用两个系数。

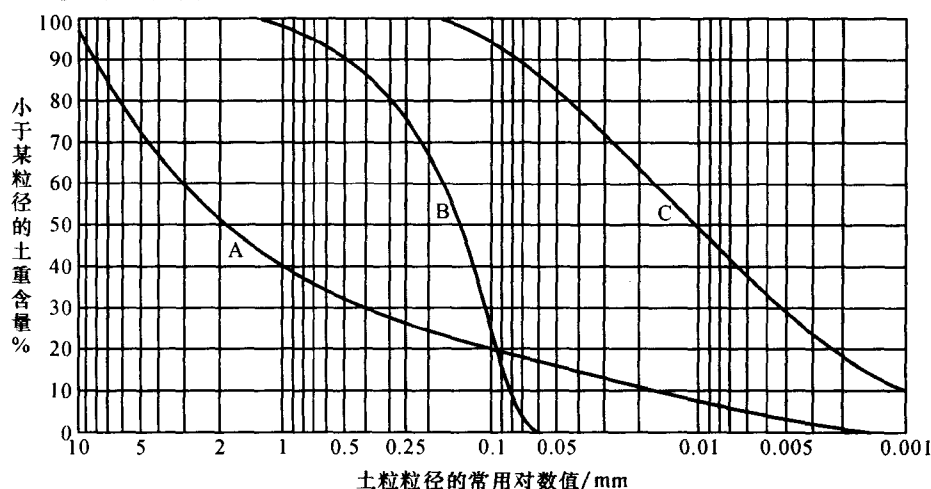


图 1.2.1 土的粒径级配曲线

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1.2.1)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} d_{10}} \quad (1.2.2)$$

C_u 称为粒径级配不均匀系数,表示曲线的斜率即曲线陡与缓情况,曲线很缓时表示颗粒分布范