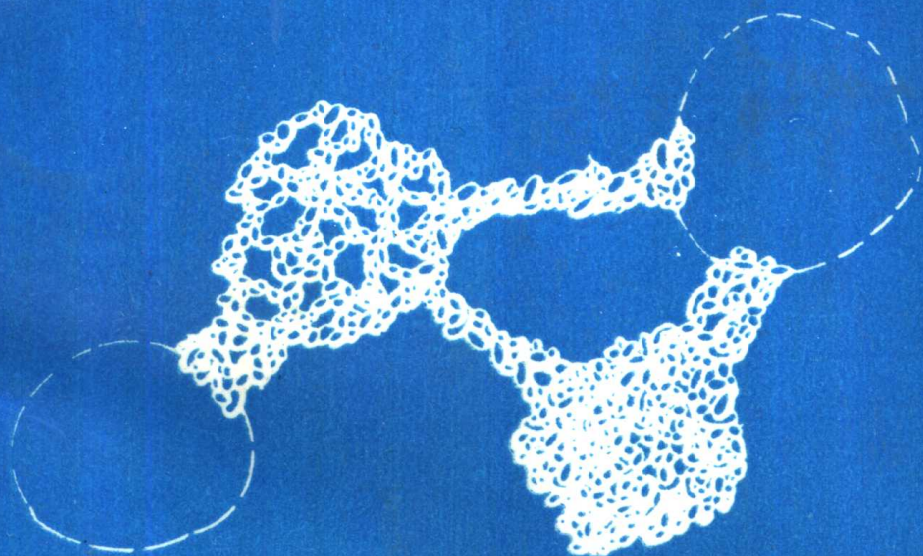


84-041

近代土质学

南京建筑工程学院

高国瑞 著



东南大学出版社

近代土质学

南京建筑工程学院 高国瑞著



东南大学出版社

内 容 简 介

《近代土质学》是当前岩土工程和工程地质专业学科的重要组成部分,是把土质学理论和土力学性状有机地结合起来,并在土结构理论和测试技术上有所发展的新著。用土的成分和结构观点分析土的工程性状是本书的基本内容。本书的重点是以物理化学理论分析土中存在的相互作用,用现代测试技术测定土的成分和结构,按空间结构力学原理解释变形和强度机制。本书附有大量珍贵的扫描电镜照片。

本书除可供大学本科高年级学生和研究生作教材用之外,还可供建筑、水利、交通、铁路以及其它工业部门从事岩土工程、工程地质、土力学地基基础,土工实验的科研、设计、施工、勘察人员参考。

近代土质学

南京建筑工程学院 高国瑞著

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省江宁县丹阳印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 10.5 字数: 262,600

1990年2月第一版, 1990年2月第一次印刷

印数 1—1000册

ISBN: 7—81023—302—2

TU·19

定价: 6.20元

出版说明

随着科学技术的进步和社会经济的发展，近年来国内外有关土质学理论和方法进展迅速，不断涌现出许多新的成果，为我国土质学注入新鲜内容，为岩土工程技术的发展丰富了理论基础。本书作者高国瑞教授数十年来孜孜不倦潜心从事土成分、结构和工程性质的研究，取得了一系列可喜成果，并吸收了国内外最新科学成就，熔东西方学术精华于一炉，辛勤写作了《近代土质学》这本著作，这是我国岩土工程地质学术界值得庆贺的事。

本书作者于70年代率先应用扫描电镜研究了黄土的微结构，对我国土的微结构研究起了推动作用。随后又对膨胀土、海相粘土和红土等的微结构作了研究，总结了天然土结构的特征、结构要素及有关名词和分类等，为土结构研究作出了突出贡献。作者在研究工作中广泛采用了扫描电镜、透射电镜、X射线能谱、X射线衍射和热分析等现代测试技术，获得并积累了大量我国各类土矿物成分和微观结构方面的资料和图象，在国内外学术会议上及学术刊物上发表了多篇有重要价值的论著，在一些国际学术会议上获得与会国际学术界友人的好评。

《近代土质学》是作者执教于南京建筑工程学院并受聘兼职教授于成都地质学院以来，得以专心从事教学科研和著述工作后的第一部专著。本书总结了多年来作者从事土微结构研究的成果，并且从理论上和方法上进行了系统化。作者运用成分和结构的观点，系统地研究土特性的形成，强调土颗粒内外相互作用的物理化学过程，论述了土—水—电解质系统中土与水的相互作用和粘粒表面净势能对水理性质的机制，从而从根本上理解土的结

构和性质的由来。所以“本书的确是一本内容新颖，论述精微，广收博采，吸收了东西方学术精髓的优秀著作，在不少方面对我国现有土质学，工程岩土学等教材有所更新和提高，值得推崇和借鉴。

本书特色之一是通过土的成分和微观结构分析来阐明土的行为这一个贯穿全书的总纲，即土的工程性质诸参数直接受控于土的成分及微观结构特征。作者以空间结构力学的观点，从土结构的变形和结构连结的力学分析这一途径来解释土的强度本质和土的变形机制。本书除利用新的测试技术对微观层次做了深入广泛的研究外，更着力于亚微观领域的研究，经土粒连结结构类型的界定及其力学模型的建立来说明宏观的物理力学行为，探索确立土的强度、变形机制和土结构连结与变形力学分析之间相互关系，这正是这部著作在理论上的主要特色。作者对于土在受到工程建筑荷重后，发生的力学强度变化和变形机制，从土的内部结构特点和变化的角度进行了深入的探讨，解决了长期以来土结构研究不能很好地与土特性结合起来的缺欠，这是一个重大进步。

本书特色之二是紧密地与我国实际情况相结合，具有中国特色。本书将成分和微结构分析和土力学行为的理论与我国的各类主要区域性土相结合，论述了这些区域性土（黄土、软土、胀缩土及红土）的微结构特征、形成、演变、分布规律以及这些土的某些特殊工程性质的形成机制，无疑对广阔国土上蓬勃发展的工程建设有重要实践意义。所以它是任何外国著作所不能代替的。

本书特色之三是对土结构的论述最为全面细致，在同类书中堪称独到。作者应用现代测试技术从微观上阐明土结构的本质，运用物质系统论的观点，论述了土结构不同层次的意义，分析了结构的基本单元、结构连结和孔隙与排列三个结构要素的作用，提出了结构单元的模式和命名原则。书中土微结构的名词和术语的内涵、结构层次和要素以及分类体系都是作者从大量微结构研

究获得的实际资料中概括出来的。尽管作者所建议的土结构分类与力学模型未必最完善的，探索的途径也不一定就是唯一的，但是相信必定能吸引更多的人把智慧的眼光投向这一极待开拓的研究领域，加速完成从经验到理性的过渡。

本书的出版将对土力学的发展提供了新的内容和新的研究领域。对工程地质和岩土工程人才的培养和教学质量提高、对工程地质学的发展，起到积极推动作用。也希望能对我国的工程勘察工作起到一定的指导作用，成为广大读者的良师益友。当然，这并不是说这本书是完美无缺的，但相信作者会欢迎读者提出的修改、讨论或补充意见，以使这本带有开创性的著作在大家帮助下得到完善。

最后，出版社对下列专家为本书所作的高度评价表示感谢：

中国地质大学著名工程地质学教授 张咸恭

中国科学院地学部委员、著名工程地质学家 张宗枯

成都地质学院前院长、著名工程地质学教授 张俤元

东南大学著名岩土工程教授 唐念慈

南京建筑工程学院付院长、岩土工程付教授 辜金珉

东南大学出版社

一九八九年十二月

作 者 的 话

在所有的物质中**土**是最常见的。人类与大自然的斗争中，最先遇到的物质之一是**土**。人的衣、食、住、行无一不和**土**有关系。然而人们对**土**的认识却远远落后于其它物质。事实上，各个学科对**土**的认识水平也是不平衡的。当利用**土**生产衣食所需的粮棉作物的农业科学工作者们运用现代科学技术成就研究**土**的基本性质的时候，为了解决住、行而利用**土**作为房基、路基的岩土工程师们却大多还在凭借经验或使用传统的测试方法来确定**土**的工程性状。显然，这种差距亟待缩小。

当前高等工科院校中开设的以工程**土**为研究对象的课程——《土质学》和《土力学》，应该是相互结合、相辅相成的，然而由于这两门学科的起源和历史背景不同，却是自成体系，互不结合，即使后来改编的《地基与基础》、《土质学与土力学》和《工程岩土学》等教材，也只是初步的结合，还没有达到融合一体、互为补充的程度。这种情况也需要逐步改变。

随着现代科学技术的迅速发展，很多高新技术不断向各门学科渗透促进这些学科的发展。X射线衍射技术和扫描电子技术的应用，使工程地质和岩土工程的分析和评价获得新的活力，预示着岩土工程将发生一次极为深刻的飞跃，以摆脱目前进展不快状况。为了迎接这一技术改革的到来，就应当使从事岩土工程设计、勘察、科研的科技工作者和高等学院的师生们具备这一学科的新的理论和掌握应用这些理论解决实践问题的能力。

以上这些就是我想写这本书的动机和目的。

本书的内容主要取材于70年代以来国内外发表的最新科研成果。由于本书所涉及的领域很广、技术很新，而本人确是才疏学

浅，因此错误疏漏之处一定不少，文责应由自负，诚恳希望读者指出来，以便修正。

本书中很多观点和意见：如第四章的“净势能”理论的应用，第五章的搬运过程中的“分散和集聚”作用，第六章的结构的概念、层次、要素和命名方案以及分类鉴别方法，第八章的变形和强度机制以及第九章和第十章关于中国区域性土（黄土、红土、膨胀土、海洋土）的成分、结构和工程性质的关系，以及它们的分布规律、形成与发展等都是以个人见解为基础的；还有第七章的某些测试技术，如运用 X 射线能谱分析和激光显微光波分析测定土微区成分从而确定胶结连结性质的方法也都是作者初次提出来的。所有这些都不很成熟，然而却又非常重要，作者抛出来是向广大读者请教和讨论的。

作者撰写这本书的过程中得到南京建筑工程学院院系领导的支持和成都地质学院领导的支持，另外还得到中国地质大学张咸恭教授、东南大学唐念慈教授、河海大学钱家欢教授、清华大学陈仲颐教授、成都地质学院张倬元教授、中国科学院学部委员刘东生教授、张宗祜教授、中国科学院地质所王思敬教授、中国科学院力学所钱寿易教授的鼓励，作者向他们表示真诚的感谢。在从事与本书有关科研、教学、写作、出版和发行工作中，自始至终得到我妻子周肇敏和有关同志的帮助，借此向他们表示我的感激之情。

本书中关于某些区域性土（如黄土湿陷发展机制等）的研究成果，得到国家自然科学基金的资助，特此加以说明。

高国瑞

（一九八九年十一月卅日）



作者近影

目 录

出版说明

作者的话

第一章 绪论	1
1.1 近代土质学的产生和任务.....	1
1.2 近代土质学的内容.....	2
1.3 近代土质学与其它专业学科的关系.....	3
第二章 土的晶体化学	5
2.1 概述.....	5
2.2 原子结构.....	5
2.3 原子间的结合(主键).....	6
2.4 分子间的结合(次键).....	9
2.5 晶体.....	12
2.6 类质同象.....	14
2.7 硅酸盐晶体.....	15
2.8 表面现象.....	15
2.9 小结.....	18
第三章 土的物质成分	19
3.1 原生碎屑矿物.....	19
3.2 次生粘土矿物.....	20
3.3 非晶质粘土矿物.....	46
3.4 可溶性盐类.....	54
3.5 有机质.....	55
第四章 土—水—电解质系统	56
4.1 土中水.....	56

4.2 扩散双电层理论	63
4.3 离子交换	69
4.4 土—水—离子系统中粒间相互作用能	73
4.5 土—水—离子系统的性状	76
第五章 土的形成过程	82
5.1 地质循环	82
5.2 地壳	83
5.3 岩石矿物的稳定性	84
5.4 风化	85
5.5 搬运和沉积	92
5.6 沉积后的成土作用	98
5.7 各种成因类型的土	103
5.8 小结	113
第六章 土的结构和分类	114
6.1 土结构研究发展历史	115
6.2 土结构的概念、层次、要素和命名原则	123
6.3 基本单元体	127
6.4 结构连结	134
6.5 孔隙和排列	137
6.6 土结构的分类和命名	139
6.7 结构分类命名举例	141
6.8 小结	146
第七章 确定土成分和结构的技术和方法	149
7.1 热分析技术	149
7.2 X射线衍射技术	153
7.3 红外光谱分析	157
7.4 透射电子显微镜	161
7.5 扫描电子显微镜	164

7.6 X 射线能谱分析法	171
7.7 激光显微光谱分析	173
7.8 粘性土成分的确定	174
7.9 土组构的测定	194
第八章 土结构变形和强度机制	202
8.1 土结构的形成	202
8.2 土结构中力的分析	203
8.3 土结构的变形分析	207
8.4 土结构的重塑变形	212
8.5 土的固结与压缩变形	212
8.6 土结构的强度机制	222
8.7 土的流变性质	229
第九章 中国各类区域性土的成分、结构和工程性质	235
9.1 湿陷性黄土	235
9.2 膨胀性粘土	253
9.3 红土	268
9.4 沿海软土和海洋土	279
第十章 中国区域性土的分布和形成	289
10.1 区域性土的微观性质	291
10.2 地理气候环境和区域性土的地理分布	295
10.3 区域性土的形成和发展	299
10.4 小结	302
结束语	303
参考文献	305
附照片	

第一章 绪 论

1.1 《近代土质学》的产生和任务

《土质学》是研究土的基本性质和工程性状的学科，《近代土质学》就是在土质学基础上吸收最新科学研究成就和运用近代测试技术並密切地和土的力学性质相结合而发展起来的一门新的学科。是岩土工程专业的重要组成部分，是土工问题和地基处理的理论基础。

苏联的《土质学》一开始就是以地质学方法（普里克朗斯基，1949）来解决土质学任务。苏联学者把土看作是地质体，把土质学作为地质科学的一门独立的分支学科，是工程地质学的重要组成部分。他们认为“土的力学性质只是土物理性质的一种表现，土力学则是以说明土的力学性质资料为依据而推导出的土性状的规律性”（谢尔盖耶夫，1952）。

欧美的《土性学》则在《土力学》基础上发展起来的一门新的学科，是当代岩土工程学科的重要组成部分。欧美学者把土看作是一种比较独特的材料（太沙基，1948），所以他们总是习惯用工程材料力学的分析方法来研究和处理土这种材料。只是在“应用连续介质力学不能圆满地回答问题时，才借助于新近发展起来的物理化学—力学理论和近代测试技术方法进行分析”（米切尔，1976）。他们把地质学的知识只是作为理解土应力历史形成的原因。

随着科学技术的发展，人们对客观世界的认识逐步深入，各门学科在广度和深度上在不断深化和扩展，在认识和研究土的领域内两种学术观点，也正在逐步接近。本书中所提出来的建立的这

门《近代土质学》就是在这个基础上、在开放改革的形势下产生的。它的任务就是吸取东西方学科的精髓，结合我国自己发展岩土工程的特点，总结国内外大量最新研究成果，建设一门具有我国特色的《近代土质学》。

1.2 《近代土质学》的内容

目前，在研究土在荷重作用下的性状时，主要利用连续介质力学中一些现成的公式和答案，很少考虑土的成分和结构特征，虽然在教科书的第一章或开头的几章中也要讲土的成分和结构的内容，但在分析土的力学性质时并没有密切地与成分、结构相结合。在很多情况下正是这些成分、结构在控制着土的应力和应变的非线性关系，许多最新研究成果表明这些土的工程力学性质主要由于土的成分和结构所决定。土的成分和结构本身又不是一成不变的(这是和其它材料最大的区别)，而是在土的形成过程中产生、土的发展过程中演变的。因此，全面系统地研究土的成分和结构特性的形成以及用成分和结构的观点来分析土的工程问题，是这门学科的基本内容。

研究土的成分，首先研究粘土矿物和游离氧化物的成分，它们是土中最活跃的成分，是和土的力学性质关系十分密切的组分；所以必须学一些矿物学的理论(第三章)；要了解土的力学强度，必需搞清土颗粒内外相互作用的各种物理化学作用，故而土的晶体化学(第二章)和现代物理化学知识(第四章)是不可缺少的；土是一种自然物质，只有对形成土的地球物理化学过程有了比较系统的认识，才能对土的成分和结构的演变有深刻的理解(第五章)；只有对土的结构有一个明确的定义和确切的概念以及统一名词术语分类命名方案，才能使成分和结构理论在分析土工程性质中得到应用(第六章)。以上几部分(第二~六章)是研究土基本性质的基本理论，是构成本书前半部分的主要内

容。

要使上述这些理论成为分析和解决工程问题的有力工具，必须在常规的土的物理、化学实验的基础上深入了解和学会现代测试技术确定土的结构和成分的方法（第七章）。

按照空间结构力学的观点，土结构的强度、变形和稳定性取决于土骨架的刚度和强度、取决于单位体积内结构连结点的数目和结构连结的强度。所以土在受荷后的力学强度和变形机制可以从土结构的变形和结构连结的力学分析中得到解释。通过土的结构分析来说明土的力学行为正是本书的主要任务（第八章）。

我国是一个世界上少有的“地大土博”的国家，除了常见的一般粘性土之外，还有很多具有区域特点的土类，可以毫不夸张地说，所有地球上存在的各种类型的土，在我国境内几乎绝大部分都有，而且有些类型的土（黄土等）只有我国最具代表性，所以要使本书真正具有中国特色，必须把书中所介绍的成分和结构的理论密切地和中国各类主要的区域性土相结合，分析和认识这些区域性土中产生的某些特殊的工程性质形成的机制（第九章），为改良土质和地基处理提供理论基础。最后在以上理论和实践相结合的基础上，总结我国各类区域土的工程性质和成分结构的关系，分析它们的形成过程和分布规律（第十章），进一步提高这门学科的理论 and 实践水平。

以上就是本书的全部内容。

1.3 《近代土质学》与其它专业学科的关系

近代土质学与土力学

土力学是用工程力学的方法来研究土的工程性状，而近代土质学只是用物理化学—力学的方法来分析土的强度和变形的机制，只有从土的微观机制方面认识土的工程力学现象的本质，才有可能进一步建立符合土性状实际情况的计算模式，从而使土力学

的发展获得新的动力。

近代土质学与普通土质学、工程岩土学或土体工程地质学

普通土质学是从宏观成因角度分析土体的工程性质，而近代土质学则侧重于从微观成分和结构的观点研究土的工程性状。只有从宏观着眼、微观着手，宏观微观密切结合才能全面地认识土的基本性质和工程性状的形成原因和规律，指导工程实际问题的解决。

近代土质学本身的特点

如果说土力学和工程地质学是岩土工程的理论基础，那么近代土质学就是这些基础的基础。所以凡是土力学和土质学课程中已涉及的内容，一般不再复述。如果部分有重复，必定在深度和广度有所更新和发展。本书的最大特点是详细介绍了研究土成分和结构的最先进的现代测试技术和紧密结合中国各类粘性土的工程性质与成分结构的关系，这是同类书籍中较少的。

第二章 土的晶体化学

2.1 概 述

土是由固体颗粒、液体和气体三种物相构成的，它的种类十分广泛，所表现的工程性质的差异十分巨大。因此要深入了解土的工程性质，除对固体颗粒进行研究外，还必须了解三相界面上存在的相互作用和土与所处的环境（应力、水头、电势水温差）的相互作用。

同相物质之所以能够维系在一起，是因为原子间和分子间存在着相互结合力。三相物质能组成具有一定工程性质的土，是因为相界面上存在着不平衡力和相互结合的力。只有对这些力的性质和数值进行分析，才能了解影响土工程性质的物理—化学现象。

2.2 原子结构

原子是一个异常复杂的电磁体系，由原子核和核外电子组成，原子核带正电（由质子数决定），核外电子带负电（由电子数决定），绝对值相等，呈中性。

原子结构可用简单图式表示（图2.1）即一个原子核和核外电子所包围，核外电子的运动像分布弥漫在原子核周围空间内的云，具微粒和波动双重性，並以高速运动着。就某一个电子而言，並不和原子核保持固定不变的距离，也不遵循严格的轨道，在瞬间

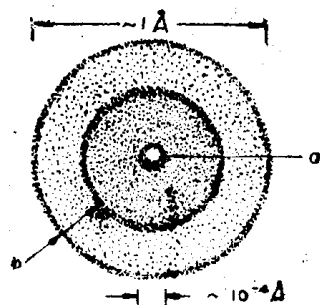


图2.1 简化的原子结构图

a. 原子核（含有质子、中子和其它粒子）带正电荷，其质量为原子的99.95%，原子序数等于质子数，也等于电子数。

b. 电子扩散层，一个电子的电荷为 -1.6×10^{-20} 库仑。