



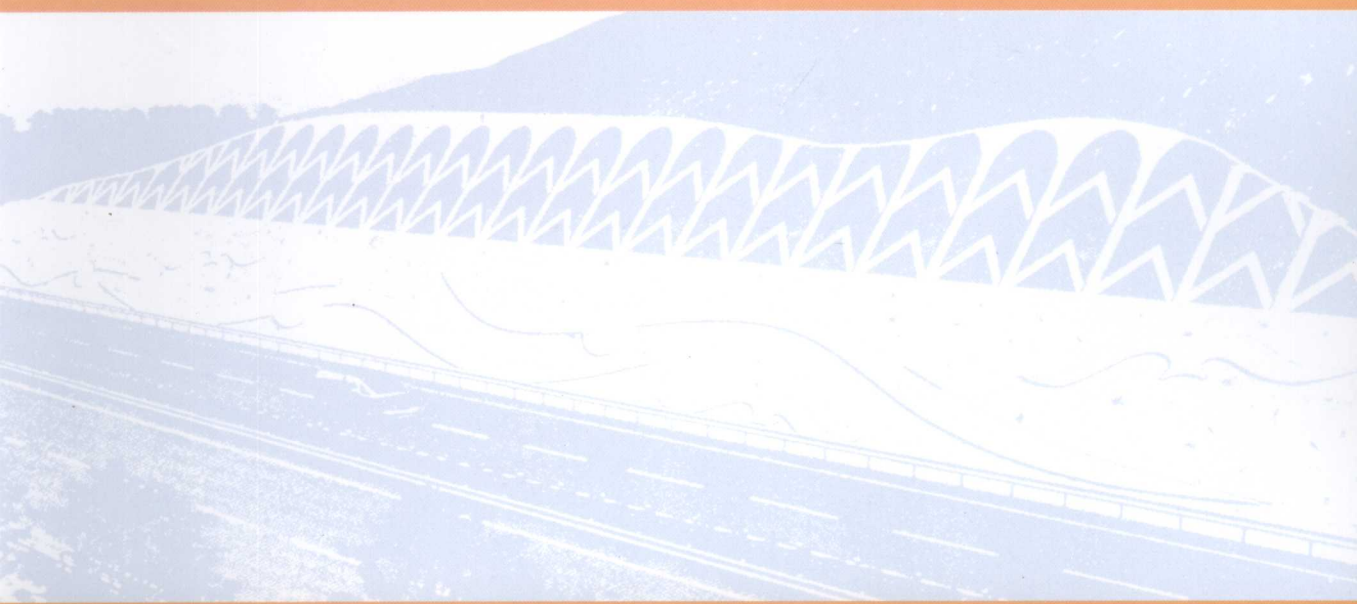
21世纪交通版高等学校教材

土质学与土力学

Soil Properties and Soil Mechanics

(第四版)

袁聚云 钱建固 张宏鸣 梁发云 编 著
高大钊 主 审



人民交通出版社
China Communications Press

要 要 容 内

21 世纪交通版高等学校教材

Tuzhixue yu Tulixue 土质学与土力学

(第四版)

袁聚云 钱建固 张宏鸣 梁发云 编著
高大钊 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系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的培养要求和目标而编写。

本书系统地介绍了土质学与土力学的基本原理和分析计算方法,其内容包括土的物理性质及工程分类、黏性土的物理化学性质、土中水的运动规律、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力、土的动力性质和压实性以及土工试验与原位测试结果的分析与利用等共十一章,每章均附有较全面、详细的例题以及习题和思考题。

本书可作为高等学校土木工程专业的教学用书,亦可供其他相关专业师生及技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土质学与土力学 / 袁聚云等编著. —4 版. —北京: 人民交通出版社, 2009.2

ISBN 978-7-114-07535-3

I. 土… II. 袁… III. ①土质学②土力学③ IV. P642.1
TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 213560 号

21世纪交通版高等学校教材

书 名: 土质学与土力学 (第四版)

著 作 者: 袁聚云 钱建固 张宏鸣 梁发云

责任编辑: 曲 乐

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16.75

字 数: 405千

版 次: 1979年12月 第1版 1986年3月 第2版

2001年5月 第3版 2009年2月 第4版

印 次: 2009年2月 第4版 第1次印刷 总第35次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07535-3

定 价: 30.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版
高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委 员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铤砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘 书 长:沈鸿雁 (人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能力的

培养,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

21 世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001 年 12 月

前 言

本书系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的培养要求和目标,在2001年出版的《土质学与土力学》(第三版)基础上编写而成。本书由多年从事土力学教学的教师编写,在编写过程中,充分吸取前几版教材的优点和近几年来本学科工程技术的新进展,采用了国家及有关行业的最新规范与规程,同时还采纳了有关院校应用该教材的经验和要求。

《土质学与土力学》最初曾于1961年由同济大学俞调梅教授主编出版,1979年由人民交通出版社出版了《土质学与土力学》试用教材第一版,1986年作为高等学校教材由洪毓康教授主编出版了第二版,2001年由高大钊教授和袁聚云教授主编出版了第三版。由俞调梅教授开创的这门课程,经过五十多年的教学实践和发展,已经积累了丰富和宝贵的教学经验,第四版的编写是在保持第三版基本框架和教材体系的前提下,根据土木工程专业的培养要求进行修订和补充,以满足学生综合能力培养的需要。

本书系统地介绍了土质学与土力学的基本原理和分析计算方法,其内容包括土的物理性质及工程分类、黏性土的物理化学性质、土中水的运动规律、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力、土的动力性质和压实性以及土工试验与原位测试结果的分析与利用等共十一章。本书每章都给出了必要的例题、习题和思考题,以利于学生复习和自学。书后还给出了必要的参考书与文献,便于教师备课时参考,也可为希望深入学习的学生提供方便。

本书由袁聚云、钱建固、张宏鸣、梁发云编著,其中绪论、第一、二、六、十、十一章由袁聚云教授和梁发云副教授编写,第四、五、七章由钱建固副教授编写,第三、八、九章由张宏鸣副教授编写。

全书由同济大学高大钊教授主审。

土力学是一门理论性和实践性都很强的课程,本书充分强调理论联系实际,尽可能地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需要,同时通过对一些具体工程问题的分析,希望有助于培养学生适应工程实践和分析实际问题的能力。

本书第四版继承了前几版的编写原则和基本格局,并是在前几版作者俞调梅、洪毓康、高大钊、胡中雄、王天龙、沈锡英等教授多年积累的教学经验和科研资料的基础上形成的,在此深表感谢。

恳请读者提出批评和建议。

编 者

2008年10月于同济大学

目 录

绪论	1
第一章 土的物理性质及工程分类	5
第一节 土的三相组成	5
第二节 土的颗粒特征	6
第三节 土的三相比例指标	11
第四节 黏性土的界限含水率	15
第五节 无黏性土的密实度	18
第六节 土的工程分类	20
习题	23
思考题	24
第二章 黏性土的物理化学性质	25
第一节 键力的基本概念	25
第二节 黏土矿物颗粒的结晶结构	26
第三节 黏土颗粒的胶体化学性质	28
第四节 黏性土工程性质的利用和改良	31
思考题	36
第三章 土中水的运动规律	37
第一节 土的毛细性	37
第二节 土的渗透性	40
第三节 流网及其应用	50
第四节 土在冻结过程中水分的迁移和积聚	54
习题	56
思考题	57
第四章 土中应力计算	58
第一节 概述	58
第二节 土中自重应力计算	59
第三节 基础底面的压力分布与计算	61
第四节 竖向集中力作用下土中应力计算	63
第五节 竖向分布荷载作用下土中应力计算	67
第六节 应力计算中的其他一些问题	81
第七节 饱和土有效应力原理	85
习题	86
思考题	88
第五章 土的压缩性与地基沉降计算	89
第一节 概述	89

第二节	土的压缩性试验及指标	89
第三节	地基沉降实用计算方法	97
第四节	饱和黏性土地基沉降与时间的关系	110
习题	.....	120
思考题	.....	121
第六章	土的抗剪强度	123
第一节	概述	123
第二节	土的抗剪强度理论与强度指标	123
第三节	土的抗剪强度指标试验方法及其应用	127
第四节	软土在荷载作用下的强度增长规律	140
第五节	关于土的抗剪强度影响因素的讨论	141
习题	.....	143
思考题	.....	144
第七章	土压力计算	145
第一节	概述	145
第二节	静止土压力计算	146
第三节	朗金土压力理论	147
第四节	库仑土压力理论	153
第五节	几种特殊情况下的库仑土压力计算	158
第六节	关于土压力的讨论	163
习题	.....	164
思考题	.....	165
第八章	土坡稳定分析	166
第一节	概述	166
第二节	无黏性土的土坡稳定分析	167
第三节	黏性土的土坡稳定分析	167
第四节	土坡稳定分析的几个问题	183
习题	.....	188
思考题	.....	189
第九章	地基承载力	190
第一节	概述	190
第二节	临塑荷载和临界荷载的确定	193
第三节	极限承载力计算	196
第四节	按规范方法确定地基承载力	207
第五节	关于地基承载力的讨论	213
习题	.....	216
思考题	.....	217
第十章	土的动力性质和压实性	218
第一节	土在动荷载作用下的变形和强度性质	218
第二节	砂土和粉土的振动液化	223

第三节 土的压实性..... 228

习题与思考题..... 233

第十一章 土工试验与原位测试结果的分析与利用..... 234

第一节 土的目力鉴别..... 234

第二节 勘察、取土方法对土的试验指标的影响 235

第三节 用原位测试方法测定土的工程性质..... 237

第四节 原位测试与室内试验指标之间的关系..... 239

第五节 工程实例分析..... 241

思考题..... 252

参考文献..... 253

绪 论

一、土质学与土力学的研究对象及发展简史

土质学与土力学是将土作为建筑物地基、建筑材料或建筑物周围介质来研究的一门学科,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,是土木工程专业的基础课。

土质学是从工程地质学范畴里发展起来的,它从土的成因与成分出发,研究土的工程性质的本质与机理,对土在荷载、温度及湿度等因素作用下发生的变化作出数量上的评价,并根据土的强度、变形机理提出改良土质的有效途径。

土力学是从工程力学范畴里发展起来的,它把土作为物理—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。

土质学和土力学是两门关系非常密切的学科,在发展过程中互相渗透、互相结合。在工程学科范围内把土的微观与亚微观结构的研究和土的应力—应变—强度关系的研究结合起来,把土的变形、强度机理和土的工程性质指标结合起来,进一步说明土的力学现象的本质,为近代计算技术在土力学中的应用提供比较符合实际的计算模型,以解决比较复杂的工程问题。从工程的要求出发,将土质学和土力学结合起来学习,这有利于将土的定性研究与定量研究紧密结合起来,从而更全面地理解土的工程特点。

对土力学的研究始于18世纪,有关土力学的第一个理论是1773年由库仑(Coulomb)建立并由摩尔(Mohr)发展了的土的库仑—摩尔强度理论,为土压力、地基承载力和土坡稳定分析奠定了基础。1776年库仑发表了建立在滑动土楔平衡条件分析基础上的土压力理论;1857年朗金(Rankine)提出了建立在土体极限平衡条件分析基础上的土压力理论;1856年达西(Darcy)通过室内试验建立了有孔介质中水的渗透理论;1885年布西奈斯克(Boussinesq)和1892年弗拉曼(Flamant)分别提出了均匀的、各向同性的半无限体表面在竖向集中力和线荷载作用下的位移和应力分布理论。这些早期的著名理论奠定了土力学的基础。20世纪初,土力学继续取得进展,普朗特(Prandtl)根据塑性平衡原理,研究了坚硬物体压入较软的、均匀的、各向同性材料的过程,导出了著名的地基极限承载力公式;在此基础上,太沙基(Terzaghi)、梅耶霍夫(Meyerhof)、魏锡克(Vesic)和汉森(Hansen)等分别对普朗特理论进行了修正、补充和发展,提出了各种地基极限承载力公式;费伦纽斯(Fellenius)提出了分析土坡稳定性的瑞典圆弧法;特别是太沙基建立了饱和土的有效应力原理和一维固结理论,比奥(Biot)建立了土骨架压缩和渗透耦合理论,为近代土力学的发展提供了理论依据。太沙基在1925年发表的《土力学》是最早系统地论述土力学体系的著作,也是土力学形成一门独立学科的标志。20世纪中叶,太沙基的《理论土力学》以及太沙基和派克(Peck)合著的《工程实用土力学》是对土力学的全面总结,该书1996年由派克和梅斯里(Mesri)修订为第三版,进一步概括了19世

纪和 20 世纪土力学的主要成果。

早期土质学的著作,如普里克隆斯基(Приклонский)的《土质学》和杰尼索夫(Денисов)的《黏性土的工程性质》,系统地论述了土质学的基本原理,对我国土的工程性质研究有很大的影响;近代著作,如黄文熙的《土的工程性质》和米切尔(Mitchell)的《土的基本性质》,代表了国内和国外在土的工程性质方面研究所达到的水平。

将土质学和土力学结合在一起的教材,有 20 世纪 50 年代巴布可夫(Бабков)的《土学及土力学》与 60 年代俞调梅的《土质学及土力学》。在这些土力学教材中,特别强调了应当重视对土的基本性质的认识和土工试验,并将黏性土的物理化学性质内容列入教材,从而形成了土力学与土的工程性质紧密结合的教材体系。

二、土质学与土力学的学习内容

为满足培养宽口径复合型人才的需要,在目前的专业目录中,原来的工民建、桥梁工程、道路工程、地下建筑工程、岩土工程等专业均已合并为统一的土木工程专业,这要求学生必须有更宽的知识面,毕业后能适应土木工程中各个行业技术工作的需要,因此,本书在编写时也相应地扩大了其内容的涵盖面。本书根据土木工程专业的教学要求编写,主要是向读者系统地介绍土质学与土力学的基本原理和分析计算方法,内容包括土的物理性质及工程分类、黏性土的物理化学性质、土中水的运动规律、土中应力计算、土的压缩性与沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力、土的动力性质和压实性以及土工试验与原位测试结果的分析与利用等,共十一章。全书可分为两种类型的内容:第一类是关于土的基本性质的试验、分析以及基本规律性;第二类是关于土的应力、变形和强度的分析计算。在每一章中都有关于工程应用的内容,同时在最后的第十一章特别侧重介绍土质学与土力学在工程实践中的应用,包括土的鉴别、对试验指标可靠程度的分析以及若干代表性的工程实例分析。

第一章土的物理性质及工程分类 主要介绍描述土的物质组成和干湿、疏密状态的指标试验与计算,以及利用土工指标进行土的工程分类的方法。

第二章黏性土的物理化学性质 主要讨论土颗粒表面与水的相互作用所引起的一系列物理化学现象及其工程意义。

第三章土中水的运动规律 主要研究土的渗透特性和冻结时土中水分的积聚机理。土中水的存在是土区别于其他材料的重要因素,土中水的渗流、土的渗透破坏、水的浮力以及土的冻胀和翻浆是工程设计与施工必须考虑的问题,也是许多工程事故的主要原因。

第四章土中应力计算 主要研究在外荷载作用下,土中应力状态的变化及其计算方法。土中应力的变化通常是造成土体变形或强度破坏的内在原因,在沉降计算时则需要计算土中附加应力沿深度的变化,这一章为后面几章的学习提供关于土中应力分布与计算的方法。

第五章土的压缩性与地基沉降计算 主要介绍土的压缩性指标的试验方法和建筑物沉降计算方法。沉降的计算与控制是地基基础设计的重要内容,过大的沉降与不均匀沉降常常是影响工程安全与正常使用的主要原因,这一章还介绍了分析沉降与时间关系的饱和土固结理论。

第六章土的抗剪强度 主要讨论土的极限平衡理论、土的抗剪强度指标的试验方法以及指标的工程应用。土的抗剪强度是土力学的重要课题之一,包括地基承载力、土压力和边坡稳定在内的土体稳定性验算都需要正确地测定与应用土的抗剪强度指标。

第七章土压力计算 主要讨论静止土压力、主动土压力及被动土压力的基本概念,介绍朗

金土压力理论和库仑土压力理论的基本原理及实用计算方法,特别在各种特殊条件下土压力的计算方法。

第八章土坡稳定分析 主要介绍均质土和层状土的土坡稳定分析的几种实用方法,讨论在各种工程条件下土坡稳定计算需要考虑的一些特殊问题。

第九章地基承载力 主要讨论地基破坏的三种模式,介绍地基临塑荷载、临界荷载和极限荷载理论公式的基本概念和实用计算表达式,同时还介绍了有关规范给出的确定地基承载力的实用经验方法。

第十章土的动力性质和压实性 讨论了土的动强度、动模量的基本概念与试验方法,介绍饱和和粉细砂和粉土的液化机理与液化判别方法,还讨论了填土击实控制的原理与击实性指标的工程应用。

第十一章土工试验与原位测试结果的分析与利用 主要讨论了影响试验指标可靠性的因素及其解决方法,土工指标之间的依存关系,在实际工程中对土工指标的判别、利用和分析计算;并通过工程事故实例和大型原型试验实例将试验指标、计算结果与实测数据之间作定性或定量的对比分析,希望能将本书各章的内容尽可能地联系起来加以分析,以获得比较完整的知识。正确地理解土力学的基本概念以及了解土力学理论与工程实际之间的联系,这对于土木工程师是非常重要的。

三、土质学及土力学与专业的关系

土质学与土力学是研究与土的工程问题有关的学科,它既是工程力学的一个分支学科,又是土木工程学科的一部分。土是一种自然地质的历史产物,是一种特殊的变形体材料,它既服从连续介质力学的一般规律,又有其特殊的应力—应变关系和特殊的强度、变形规律,因此,土质学与土力学形成了不同于一般固体力学的分析方法和计算方法,所以在学习本课程以前必须具备工程地质学、材料力学等预备知识。而土质学与土力学的理论与分析计算方法又是学习土木工程专业课程以及从事土木工程技术工作必需的基础知识,是一门介于基础课与专业课之间的技术基础课。

所有的工程建设项目,包括高层建筑、高速公路、机场、铁路、桥梁、隧道等,都与它们赖以存在的土体有着密切的关系,在很大程度上取决于土体能否提供足够的承载力,取决于工程结构是否遭受超过允许的沉降和差异变形等,所以从事土木工程的技术人员在工程实践中必然会遇到大量与土有关的工程技术问题。

在建筑工程中,土被作为建筑物的地基,上部结构的荷载通过基础传递给土层,如果基础下的地基土体失稳或变形过大,都会造成建筑物的破坏或影响其正常使用,因此需要对地基承载力加以验算,并对地基变形进行控制,这就要涉及土中应力计算、土的压缩性、土的抗剪强度以及地基极限承载力等土力学基本理论。

在路基工程中,土既是修筑路堤的基本材料,又是支承路堤的地基。路堤的临界高度和边坡的取值都与土的抗剪强度指标及土体的稳定性有关;为了获得具有一定强度和良好水稳定性的路基,需要采用碾压的施工方法压实填土,而碾压的质量控制方法正是基于对土的击实特性的研究成果;挡土墙设计的侧向荷载——土压力的取用需借助于土压力理论计算;近年来,我国高速公路大量修建,对路基的沉降与控制提出了很高的要求,而解决沉降问题需要对土的压缩特性进行深入地研究。

在路面工程中,土基的冻胀与翻浆在我国北方地区是非常突出的问题,防治冻害的有效措

施是以土质学的原理为基础的;稳定土是比较经济的基层材料,它就是根据土的物理化学性质提出的一种土质改良措施,目前深层搅拌水泥土桩在公路的软基处理中得到了广泛应用;道路在车辆的重复荷载作用下工作,因此需要研究土在重复荷载作用下的变形特性;抗震设计更需要研究土的动力特性。

在桥梁工程中,基础常常是建桥成败的关键,基础工程的造价占桥梁总造价的比重很大,经济、合理的桥梁基础设计需要依靠土力学基本理论的支持;对于超静定的大跨度桥梁结构,基础的沉降、倾斜或水平位移是引起结构过大次生应力的重要因素;在软土地区高速公路建设中的“桥头跳车”是影响工程质量的技术难题,解决这一难题的技术关键在于如何处理好桥墩与高路堤之间沉降差,这涉及桩基和高路堤的沉降计算与控制、填土的碾压质量控制以及软基的加固处理等问题。

由此可见,土质学与土力学这门课程与土木工程专业课的学习和今后的土木工程技术工作有着非常密切的关系。土质学与土力学还十分重视实践经验,因此,在学习本课程时,应尽可能地与工程实践结合起来,从而能更好地解决有关土的工程问题。

第一章 土的物理性质及工程分类

土是由岩石经过物理风化和化学风化作用后的产物,是由各种大小不同的土粒按各种比例组成的集合体,土粒之间的孔隙中包含着水和气体,因此,土是一种三相体系。本章主要讨论土的物质组成以及定性、定量描述其物质组成的方法,包括土的三相组成、土的颗粒特征、土的三相比例指标、黏性土的界限含水率、砂土的密实度和土的工程分类。这些内容是学习土质学与土力学所必需的基本知识,也是评价土的工程性质以及分析与解决土的工程技术问题的基础。

第一节 土的三相组成

土是由固体颗粒(固相)、水(液相)和气体(气相)三部分组成的,通常称之为土的三相组成,随着三相物质的质量和体积比例的不同,土的性质也随之不同。因此,要了解土的性质,首先要对土的三相组成物质有一个了解。

1. 土的固相

土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质,是构成土的骨架最基本的物质。土中的无机矿物成分又可以分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是岩浆在冷凝过程中形成的矿物,如石英、长石、云母等。

次生矿物是由原生矿物经过化学风化作用后所形成的新矿物,如三氧化二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅、黏土矿物以及碳酸盐等。次生矿物按其与水的作用程度可分为易溶的、难溶的和不可溶的,次生矿物的水溶性对土的性质有着重要的影响。黏土矿物的主要代表性矿物为高岭石、伊利石和蒙脱石,由于其亲水性不同,当其含量不同时,土的工程性质也随之不同。

在以物理风化为主的过程中,岩石破碎而并不改变其成分,岩石中的原生矿物得以保存下来;但在化学风化的过程中,有些矿物分解成为次生的黏土矿物。黏土矿物是很细小的扁平颗粒,表面具有极强的与水相互作用的能力,颗粒愈细,表面积愈大,亲水的能力就愈强,对土的工程性质的影响也就愈大。

在风化过程中,由于微生物作用,土中会产生复杂的腐殖质矿物,此外还会有动植物残体等有机物,如泥炭等。有机颗粒紧紧地吸附在无机矿物颗粒的表面形成了颗粒间的联结,但是这种联结的稳定性较差。

2. 土的液相

土的液相是指存在于土孔隙中的水。通常认为水是中性的,在零度时结冻,但土中的水实际上是一种成分非常复杂的电解质水溶液,它与亲水性的矿物颗粒表面有着复杂的物理化学作用。按照水与土相互作用程度的强弱,可将土中水分为结合水和自由水两大类。

结合水是指处于土颗粒表面水膜中的水,受到表面引力的控制而不服从静水力学规律,其冰点低于零度。结合水又可分为强结合水和弱结合水。强结合水存在于最靠近土颗粒表面处,水分子和水化离子排列得非常紧密,以致其密度大于1,并有过冷现象(即温度降到零度以下而不发生冻结的现象)。在距土粒表面较远地方的结合水则称为弱结合水,由于引力降低,弱结合水的水分子排列不如强结合水紧密,弱结合水可能从较厚水膜或浓度较低处缓慢地迁

移到较薄的水膜或浓度较高处,亦即弱结合水可能从一个土粒周围迁移到另一个土粒的周围,这种运动与重力无关。这层不能传递静水压力的水定义为弱结合水。

自由水包括毛细水和重力水。毛细水不仅受到重力的作用,还受到表面张力的支配,能沿着土的毛细孔隙从潜水面上升到一定的高度。毛细水上升对于公路路基土的干湿状态及建筑物的防潮有重要影响。重力水在重力或压力差作用下能在土中渗流,对于土颗粒和结构物都有浮力作用,在土力学计算中应当考虑这种渗流及浮力的作用力。在第三章中将进一步讨论毛细水和重力水的作用与计算问题。

3. 土的气相

土的气相是指充填在土孔隙中的气体,包括与大气连通和不连通两类气体。与大气连通的气体的成分与空气相似,对土的工程性质没有多大影响,当土受到外力作用时,这种气体很快从土孔隙中挤出;但是密闭的气体对土的工程性质有很大影响,在压力作用下这种气体可被压缩或溶解于水中,而当压力减小时,气泡则会恢复原状或重新游离出来。土孔隙中充满水而不含气体的土称为饱和土,而含气体的土称为非饱和土,非饱和土的工程性质研究已成为土力学的一个新分支。

第二节 土的颗粒特征

一、土粒粒组的划分

天然土是由大小不同的颗粒所组成的,土粒的大小通常以其平均直径表示,称为粒径,又称为粒度。土颗粒的大小相差悬殊,从大于几十厘米的漂石到小于几微米的胶粒,同时由于土粒的形状往往是不规则的,因此很难直接测量土粒的大小,故只能用间接的方法来定量地描述土粒的大小及各种颗粒的相对含量。常用的方法有两种,对粒径大于 0.075mm 的土粒常用筛分析的方法,而对小于 0.075mm 的土粒则用沉降分析的方法。

天然土的粒径一般是连续变化的,为了描述的方便,工程上常把大小相近的土粒合并为组,称为粒组。粒组之间的分界线是人为划定的,划分时应使粒组界限与粒组性质的变化相适应,并按一定的比例递减关系划分粒组的界限值。

对粒组的划分,各个国家,甚至一个国家的各个部门都有不同的规定,我国规范采用的粒组划分标准见表 1-1。《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)在砂粒粒组与粉粒粒组的界限上取与《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)和《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)相同的标准,但将卵石粒组与砾粒砾组的分界粒径改为 60mm;《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)的粒组划分标准与《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)基本相同,但是前者取 0.002mm 作为黏粒与粉粒的分界粒径,而后的黏粒与粉粒分界粒径则为 0.005mm。

我国规范规定的粒组划分标准 表 1-1

粒组	《岩土工程勘察规范》 (GB 50021—2001) 《建筑地基基础设计规范》 (GB 50007—2002)		《土的工程分类标准》 (GB/T 50145—2007)		《公路土工试验规程》 (JTG E40—2007)	
	颗粒名称	粒径范围(mm)	颗粒名称	粒径范围(mm)	颗粒名称	粒径范围(mm)
巨粒	漂石(块石)	>200	漂石(块石)	>200	漂石(块石)	>200
	卵石(碎石)	20~200	卵石(碎石)	60~200	卵石(小块石)	60~200

续上表

粒组	《岩土工程勘察规范》 (GB 50021—2001) 《建筑地基基础设计规范》 (GB 50007—2002)		《土的工程分类标准》 (GB/T 50145—2007)		《公路土工试验规程》 (JTG E40—2007)	
	颗粒名称	粒径范围(mm)	颗粒名称	粒径范围(mm)	颗粒名称	粒径范围(mm)
粗粒	圆砾(角砾)	2~20	粗砾	20~60	粗砾	20~60
			砾粒 中砾	5~20	砾(角砾) 中砾	5~20
			细砾	2~5	细砾	2~5
	粗砂	0.5~2	粗砂	0.5~2	粗砂	0.5~2
	砂粒 中砂	0.25~0.5	砂粒 中砂	0.25~0.5	砂粒 中砂	0.25~0.5
细粒	细砂	0.075~0.25	细砂	0.075~0.25	细砂	0.075~0.25
	粉粒	0.005 ~0.075	粉粒	0.005 ~0.075	粉粒	0.002~0.075
	黏粒	≤0.005	黏粒	≤0.005	黏粒	≤0.002

二、土粒组成的表示方法

土的颗粒大小及其组成情况,通常用土中各个不同粒组的相对含量(各粒组干土质量的百分比)来表示,称为土的颗粒级配,它可用以描述土中不同粒径土粒的分布特征。

常用的土的颗粒级配的表示方法有表格法、累计曲线法和三角坐标法。

1. 表格法

是以列表形式直接表达各粒组的相对含量,它用于土的颗粒分析是十分方便的。表格法有两种不同的表示方法,一种是以累计含量百分比表示的,如表 1-2 所示;另一种是以粒组表示的,如表 1-3 所示。累计百分含量是直接由试验求得的结果,而以粒组表示的土粒分析结果则是由相邻两个粒径的累计百分含量之差求得的。

颗粒分析的累计百分含量表示法 表 1-2

粒径 d_i (mm)	粒径小于等于 d_i 的累计百分含量 p_i (%)		
	土样 A	土样 B	土样 C
10	—	100.0	—
5	100.0	75.0	—
2	98.9	55.0	—
1	92.9	42.7	—
0.50	76.5	34.7	—
0.25	35.0	28.5	100.0
0.10	9.0	23.6	92.0
0.075	—	19.0	77.6
0.010	—	10.9	40.0
0.005	—	6.7	28.9
0.001	—	1.5	10.0