



普通高等教育“十五”国家级规划教材

天津大学 杨进良 主编

土 力 学 第三版

TU LI XUE



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育 “十五” 国家级规划教材

土 力 学

第 三 版

天津大学 杨进良 主编

 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了土的基本性质、土力学的基本理论和相关试验以及用以解决岩土工程问题的基本方法。

全书共十四章，主要内容包括：土的物理性质及工程分类；土体中的应力；土的渗透性及渗透稳定；土的压缩性及地基变形计算；土的抗剪强度；填土的力学性质；土压力；土坡的稳定性分析；地基承载力；土的动力性质；地基设计；桩基和地基处理。

书中各章大多附有例题、习题，部分章节还附有讨论，用于读者进行练习和加深对相关内容的理解；书后附有供教学试验使用的土工试验。

本书系普通高等教育水利水电工程、水文与水资源工程、港口与航道工程和海洋工程等专业的教学用书，也可供相关专业教学和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土力学/杨进良主编, —3版. —北京: 中国水利水电出版社, 2006

普通高等教育“十五”国家级规划教材. 水利类专业
ISBN 7-5084-3820-5

I. 土… II. 杨… III. 土力学—高等学校—教材
IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 054645 号

书 名	普通高等教育“十五”国家级规划教材 土力学 第三版
作 者	天津大学 杨进良 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010)63202266 (总机), 68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 板	中国水利水电出版社
印 刷	北京登峰印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 26.25 印张 652 千字
版 次	1986 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 2 版 2006 年 6 月第 3 版 2006 年 6 月第 9 次印刷
印 数	64571—69670 册
定 价	42.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第三版前言

根

据 1982 年原水利电力部土力学教材编审小组扩大会议通过的高等学校土力学教学大纲草案(四年制水利水电工程适用),由冯国栋教授主编了《土力学》一书(第一版),1984 年出版;其后,根据 1990~1995 年高等学校水利水电专业本科教材编写出版规划及专业委员会讨论的大纲,由杨进良教授主编了《土力学》(第二版),2000 年出版。两教材使用以来,岩土工程技术有了不少进展,使得教材建设远落后于快速发展的岩土工程实践。因此,为适应新的形势,充实、完善和更新原教材内容,加强教材建设迫在眉睫。在认真总结原土力学教材教学使用中的经验和问题的基础上,对《土力学》(第二版)列入普通高等教育“十五”国家级规划教材进行了修订。此次修订突出了以下特点:①四年制本科生教材的特点。依据本科生培养目标,通过本门课程学习,使学生具备基本的土力学理论知识、掌握基本的计算和试验技能并具有初步工程实践知识。因此,在教材编写上力求做到难易适度,便于教和学。②考虑到近年来,伴随着我国建设事业的发展,岩土工程有了很大进展:其基本理论研究日臻完善;地基处理技术不断更新,且积累了丰富经验;国家和行业标准进行了多次修订;新的计算技能、试验手段和试验技术都得到了迅速发展,因此,教材内容有所充实和更新。③突出了水利类专业特点。本教材在充分反映水利水电专业特点的基础上,补充了港口与海岸、海洋工程等专业的有关内容,扩大了教材的使用专业。④土力学是技术基础课,是联系基础课和专业课的桥梁。相对说来,它具有较强的实践性,因此,在本教材编写上,除重视基本理论介绍外,还适当地增添了工程实践的内容,其目的在于使理论联系实际,同时实现基础课向专业课的过渡,增强学生解决实际问题的能力。

本书由天津大学杨进良教授主编;并编写第一章、第五

章和第六章；四川大学胡定教授编写第三章、第八章、第十一章、第十二章和第十四章；四川大学屈智炯教授编写第二章、第四章、第七章和第九章；天津大学闫澍旺教授编写第十章，严驰副教授编写第十三章；天津大学耿久月高级工程师和孙红月工程师编写土工试验。

本书由天津大学陈环教授主审，要明伦教授审阅了部分章节。在本书编写中特别得到了北京工业大学王正宏教授的帮助，他对本书的编写内容提出了很多宝贵意见，在此表示感谢。在本书编写过程中得到了四川大学水利水电学院和天津大学建筑工程学院师生的大力支持，在此表示感谢。

水平所限，书中出现不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006年5月

第 二 版 前 言

本书是根据水利部 1990~1995 年高等学校水利水电类专业本科教材编写出版规划及专业教学委员会讨论的大纲编写的。为了兼顾其他有关专业的需要,对某些章节的内容,适当地作了增添。

本书由天津大学杨进良主编,并编写第一章、第五章、第六章、第十二章及土的压缩试验和剪切试验;四川大学胡定编写第三章、第八章、第十一章、第十三章;四川大学屈智炯编写第二章、第四章、第七章、第九章及颗粒大小分析试验、液限和塑限联合试验、渗透试验、击实试验;天津大学闫澍旺编写第十章。

本书由天津大学陈环主审,天津大学要明伦审阅了有关章节。此外,在本书编写过程中得到了天津大学岩土工程研究所同志们的大力支持,在此一并表示感谢。

由于水平所限,不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1999 年 8 月

第 一 版 前 言

本书是依据1982年4月水利电力部土力学教材编审小组扩大会议通过的高等学校土力学教学大纲（草案，四年制水利水电工程专业适用）编写的。

本书由武汉水利电力学院冯国栋教授主编，并编写土的击实性、地基稳定性、桩基础及地基处理；武汉水利电力学院刘祖德教授编写绪论、土的变形性质和地基沉降计算、土的抗剪强度；成都科技大学胡定教授编写土中应力、挡土墙与板桩墙的土压力计算及地基设计；成都科技大学屈智炯副教授编写土的物理性质和工程分类、土的渗透性及土坡稳定性分析。

本书由华东水利学院钱家欢教授及华北水利水电学院王正宏副教授共同审阅，他们的审阅，对提高本书的质量起了很好的作用。此外，教材编审小组的其他同志，特别是陕西机械学院的刘祖典教授也对本书提供了不少宝贵意见，谨此一并向他们表示衷心的感谢。

由于我们的水平所限，书中谬误之处，敬请读者多加指正。

编 者

1984年8月

目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

第一章	绪论	1
	第一节 土力学的研究对象与研究内容	1
	第二节 土力学发展简介	3
	第三节 土力学在工程建设中的地位	4
	第四节 土力学课程的特点及学习方法	8
第二章	土的物理性质及工程分类	10
	第一节 概述	10
	第二节 土的生成	10
	第三节 土的三相组成	11
	第四节 土的物理性质指标	20
	第五节 土的结构及物理状态指标	25
	第六节 土的工程分类	31
	习 题	36
第三章	土体中的应力	38
	第一节 概述	38
	第二节 土体的自重应力	38
	第三节 基底压力	41
	第四节 地基中的附加应力	43
	第五节 土的有效应力原理	56
	第六节 土体附加应力的一些问题讨论	61
	习 题	64
第四章	土的渗透性及渗透稳定	67
	第一节 概述	67
	第二节 土的渗透性	67
	第三节 静水和稳定渗流情况下土的应力状态	73
	第四节 土的渗透稳定	75
	第五节 二维渗流和流网的应用	81
	第六节 有关土渗透性的几个问题	84
	习 题	90
第五章	土的压缩性及地基变形计算	92

第一节	概述	92
第二节	土的压缩性	92
第三节	地基的最终变形计算	99
第四节	饱和粘土的一维固结理论	111
第五节	土的多维变形与固结	123
	习 题	132
第六章	土的抗剪强度	135
第一节	概述	135
第二节	莫尔——库伦强度理论	136
第三节	土中一点的极限平衡条件	138
第四节	土的剪切试验	142
第五节	土的应力路径	152
第六节	无粘性土的剪切特性	155
第八节	土的抗剪强度指标的选用	161
第七节	粘性土的剪切特性	158
	习 题	162
第七章	填土的力学性质	164
第一节	概述	164
第二节	细粒料的击实特性	164
第三节	细粒料的力学性质	166
第四节	粗粒料的击实特性	168
第五节	粗粒料的力学性质	170
	习 题	177
第八章	土压力	179
第一节	概述	179
第二节	库伦土压力理论	181
第三节	朗肯土压力理论	186
第四节	一些常见情况的主动土压力计算	191
第五节	影响土压力的因素及减小主动土压力的措施	198
第六节	桩式墙上的土压力计算	200
第七节	涵洞与埋管上的土压力计算	202
	习 题	208
第九章	土坡的稳定性分析	211
第一节	概述	211
第二节	无粘性土边坡的稳定性分析	212
第三节	粘性土边坡的稳定性分析	213
第四节	几种特殊情况下的土坡稳定性分析	221
第五节	土坡非圆弧滑动面的稳定性分析	228
第六节	土坡稳定分析的讨论	233

习 题	237
第十章 地基承载力	239
第一节 概述	239
第二节 按塑性变形区的深度确定地基承载力	241
第三节 浅基础地基的极限承载力	245
第四节 原位试验确定地基承载力	258
第五节 按规范查表确定地基承载力	263
第六节 有关地基承载力的问题讨论	266
习 题	269
第十一章 土的动力性质	271
第一节 土体受到的动荷载及其特征	271
第二节 地震与震害	271
第三节 饱和砂土的振动液化	274
第四节 土的动力性能指标及其测定	288
第五节 土体的动力计算方法	292
习 题	297
第十二章 地基设计	299
第一节 概述	299
第二节 地基勘察与工程地质资料收集	300
第三节 基础形式的选择及埋置深度、平面尺寸的确定	305
第四节 地基验算	307
第五节 现场观测	312
习 题	314
第十三章 桩基	316
第一节 概述	316
第二节 单桩的轴向承载力	318
第三节 单桩的水平承载力	325
第四节 桩基计算	330
第五节 复合桩基与疏桩基础	334
第六节 桩基技术几个问题简介	340
习 题	345
第十四章 地基处理	346
第一节 概述	346
第二节 软粘土地基处理	347
第三节 松散土地基处理	362
第四节 特殊土地基及处理	365
习 题	370
附录 土工试验	372
一、颗粒分析试验(密度计法)	372

二、界限含水率试验	378
三、渗透试验	381
四、固结试验	387
五、直接剪切试验	393
六、三轴压缩试验	396
七、击实试验	405
参考文献	408

绪 论

第一节 土力学的研究对象与研究内容

一、土力学的研究对象

地球的表面由岩石和土组成。未经风化的岩石，其矿物颗粒间具有较强的联结，结构致密，具有较高的强度，不易被水通过，不可压缩或压缩性甚小，一般为坚硬的块体；土是岩石风化的产物，是母岩风化后经搬运、沉积等地质作用形成的岩石碎屑和土颗粒组成的集合体。土颗粒之间的联结强度远小于颗粒本身的强度。颗粒间具有孔隙，而孔隙中通常有水和空气，故土为散体。细粒土具有较低的强度，较大的压缩性；粗粒土则具有较大的被水通过的能力。土具有复杂多变的特点。

土和岩石相比，一方面土源于岩石，其成份和性质与岩石有着密不可分的联系。正因如此，我们通常将研究岩石和土的学科称为“岩土力学”，称岩石和土的工程问题为“岩土工程”。另一方面，由于土的松散性特点，又使得两者的物理力学性质迥然不同。

土按其有机质含量不同，可分为有机土和无机土；按其颗粒间粘聚程度不同，可分为粘性土和无粘性土。不同的土其物理力学性质常存在有明显的差异。

工程建筑物和土有着极密切的关系，它们或以土为材料（如堤、坝、路基）；或以土为地基（如房屋、闸坝、码头）；或以土为环境（如隧道、涵洞、运河）。因此，土的性质对于建筑物具有直接而重大的影响。

建筑物一般由上部结构和基础两部分组成。由于建筑物的修建而引起其下土体应力状态发生改变的土层称为地基。基础是建筑物上部结构和地基的连接部分。图 1-1 为房屋建筑的独立柱、水利水电工程的溢流坝和港口工程中扶壁式码头的地基与基础示意图。从图可以看出，上部结构、基础和地基三者之间相互联系、相互影响，构成一个共同工作的整体。

基础通常被埋入土中，埋入深度 D 称为基础的埋置深度。按埋置深度或埋置深度与宽度比值的不同，基础可分为深基础和浅基础。

地基按是否经过人工处理，可分为天然地基和人工地基。天然地基省工省料，使用上较为经济，应当优先采用。当天然地基不能满足建筑物对变形和稳定要求时，必须对地基进行处理，即采用人工地基。

可见，土力学是以土和由其构成的土体为研究对象，研究土的特性及土体受力后，应力、变形、强度和稳定性的学科。它是力学的一个分支，是为解决建筑物的地基基础、土工建筑物和地下结构物的工程问题服务的。

二、土力学的任务及研究内容

土体受力多种多样，如来自土的自重、建筑物荷载、水的浮力、静水压力、动水压力、基础振动和地震等诸多方面。在这些力的作用下，土体的特性必然发生变化。揭示这些变化规律的本质，用以解决建筑物的地基基础问题就是土力学的任务。具体内容表现为以下四个方面：

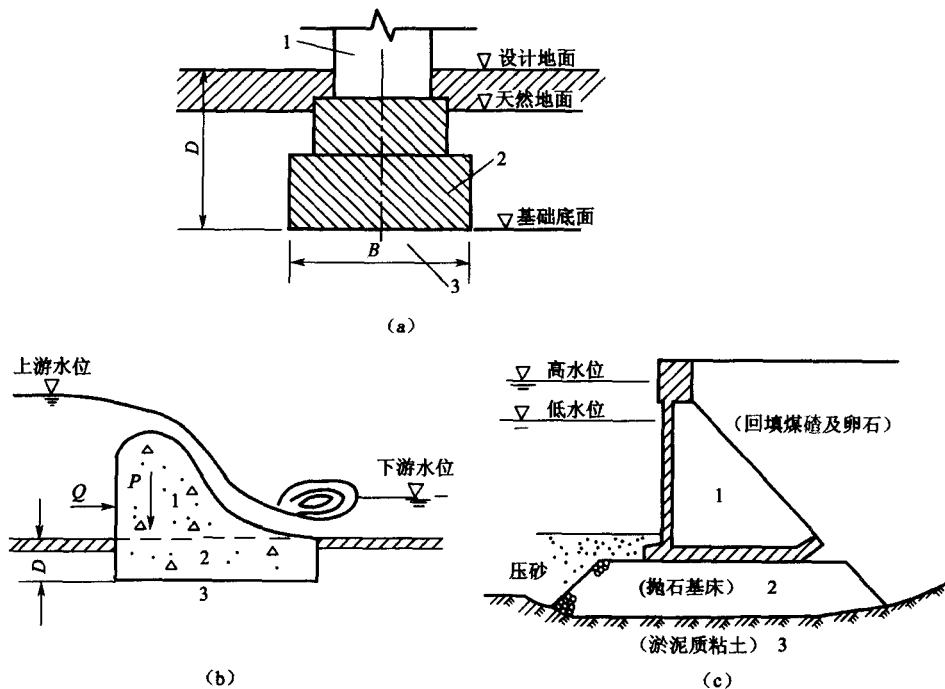


图 1-1 地基与基础示意图

(a) 独立柱; (b) 溢流坝; (c) 扶壁式码头
1—上部结构; 2—基础; 3—地基

(一) 土的基本性质研究

土的基本性质研究主要指土的物理性质和由荷载引起的力学性质的研究,它是研究地基基础问题和改善地基条件的主要依据。其研究内容包括土的物理性质指标、土的结构、状态、分类以及土和土体受力后变化的基本规律。

(二) 土体中的应力及地基变形计算

荷载作用于地基,地基产生变形。揭示在一定环境和力的作用下地基土体内部各点的应力、变形相互联系、相互制约的规律是土力学的任务,其中包括:①土体中的应力分布与计算;②某时刻地基的变形量(变形随时间的变化过程)计算;③地基的最终变形计算;④反映地基变形随时间变化过程中,孔隙水的渗流挤出、土体固结度增长的渗透与固结的关系问题等。

(三) 土体稳定性计算

稳定性计算的目的在于揭示在外力和周围综合环境作用下,土体单元的临界稳定条件和极限状态条件,以便根据这些条件,对土的渗透稳定以及土体的强度稳定性问题进行评价。其中包括:①土的渗透稳定;②土压力、土坡和地基承载力等有关的土体稳定;③动荷载作用下土体的稳定等。

(四) 土与建筑物相互作用分析

土和建筑物既相对独立,又相互影响,故研究建筑物的沉降和稳定,必须研究土与建筑物相互作用和协同工作问题,其中包括:①上部结构、基础和地基间力的传递;②建筑物和土体间的应力变化及应力应变协调性;③与土体稳定相关的土体和建筑物之间的摩擦性质;④围绕

变形和稳定问题采取的改善土和土体的特性而适应两者要求的措施,如地基设计与处理。

上述四部分内容既有理论也有试验和实践,它们之间密切联系、相互依存,其研究是土力学学科赖以发展的保证。

第二节 土力学发展简介

土力学既是一门古老的科学,同时又是一门新兴的学科。它伴随着生产实践的发展而发展。它的发展也总是与社会各历史阶段的生产和科学水平相适应。称它是古老的科学,是因为人类自古以来就广泛利用土作为建筑物的地基和建筑材料,如劳动人民很早就利用土来防治洪水,古代的堤坝、桥梁、运河以及大型建筑、宫殿、庙宇的成功建造,都积累了丰富的经验,具有重要的科学价值。说其为新兴学科,是由于它的发展曾长期停留在感性认识阶段,上升到理论上的解释则较晚,许多问题尚需进一步研究。

18 世纪中叶之前为土力学学科的感性认识阶段。之后,随着大量建筑物的兴建和科技进步,促使人们对土作进一步的研究,并开始对积累的经验作理论上的解释。

1773 年,法国库伦(Coulomb. C. A)发表了著名的滑动楔体理论。他假定挡土墙后的土体中出现一楔体,通过研究楔体上力的平衡而求主动土压力和被动土压力。接着库伦于 1776 年又发表了土的抗剪强度理论,指出无粘性土的强度取决于粒间摩擦力,粘性土的强度由粘聚力和粒间摩擦力两部分组成。以上统称为库伦理论。

进入 19 世纪 50 年代,很多学者致力于土压力和渗流方面的研究。1856 年法国达西(Darcy. H)在研究砂土透水性的基础上,提出了有名的达西定律。同时期,法国斯笃克(Stokes. G. G)研究了固体颗粒在液体中的沉降规律问题。1857 年英国朗肯(Rankine. W. J. M)假定挡土墙后土体为均匀的半无限空间体,应用塑性理论来解土压力问题。这一土压力理论与库伦土压力理论并称古典土压力理论。在土体的应力分布与计算方面,1885 年法国布辛奈斯克(Boussinesq. J)在研究半无限空间体表面作用有集中力的情况下,提出了土中应力的解析解,称为布辛奈斯克课题,它是各种竖直分布荷载下应力计算的基础。

以后,很多学者对土力学的专门课题进行了研究,如 1916 年,由瑞典彼得森(Petterson. K. E)首先提出,继而由美国泰勒(Taylor. D. W)和瑞典费伦纽斯(Fellenius. W)等进一步发展了的圆弧滑动法。该方法被广泛用于土坡稳定问题的分析。

1920 年,法国普朗特(Prandtl. L)发表了地基滑动面计算的数学公式,用于计算地基承载力。

1925 年美国太沙基(Terzaghi. K)著名的教科书“Erdbaumechanik”的出版,被公认为是近代土力学的开始。他在总结实践经验和大量试验的基础上提出了很多独特的见解,其中,著名的土的有效应力原理和固结理论,是对土力学学科的突出贡献。

20 世纪 50 至 60 年代,基本上处于土力学理论和技术的完善和发展阶段。1955 年英国毕肖普(Bishop. A. W)发展了古典的圆弧滑动法提出土坡稳定计算中考虑条间水平力的方法,并应用有效强度指标计算土坡稳定。20 世纪 50 年代后期,挪威简布(Janbu. N)与加拿大摩根斯坦(Morgenstern. N. R)等人相继提出了考虑条间力,滑动面取任意形状的土坡稳定计算方法,在强度理论、强度计算等方面进一步发展了莫尔——库伦准则。

在土压力和承载力方面,俄国索科洛夫斯基(Соколовский.В. В)将古典塑性理论引进了土力学;将散体极限平衡理论应用于地基、土坡和挡土墙的稳定分析方面,并获得了严格的数值解,发表了专著《散体静力学》。

随着电子计算机的问世和应用,土力学进入了全新的阶段。新的非线性应力应变关系和应力应变模型(如邓肯—张模型、剑桥模型)的建立;土的微观结构的研究;加拿大费累德伦德(Fredlund, D. G)以及我国众多学者对于非饱和土的研究等,将土的基本性质、有效应力原理、固结理论、土的动力特性以及流变学的研究推向了新的阶段。从1936年开始,每四年一次的国际土力学与基础工程会议一直延续至今;各大洲区域性的土力学会议2~4年召开一次;国际性的土工刊物《土工技术》(Geotechnique)已创刊多年;各种岩土工程期刊、规范和规程的相继发刊与颁布。这些会议的召开、期刊的出版和规范标准的制定有力地推动了学科的交流和发展。

我国是具有悠久建筑历史的国家。随着历史的沿革,本学科的发展也取得了长足的进展。尤其是新中国成立以后,土力学学科的发展突飞猛进。陈宗基关于土的微观结构的研究、黄文熙建立的土的硬化模型、南科院建立的土的本构关系模型等都是对岩土工程的贡献。几十年来,在岩土工程的研究和应用方面,既放眼于世界,又着眼于我国的实际,无论是关于土的基本性质的研究,还是原位测试技术、基础托换、复合地基、地基处理;无论是土力学的理论,还是地基基础工程实践,都得到了广泛的应用和发展,积累了宝贵的经验。

近年来,大型水利工程(如葛洲坝工程、黄河小浪底工程、举世瞩目的三峡工程和南水北调工程)、蓬勃发展的港口航道工程、海洋石油工程以及工业与民用建筑工程的兴建,为本学科的发展和應用提供了广阔的基地;我国每四年召开一次土力学与基础工程学术会议;国家及各行业、各地区的岩土工程相关规程、规范(如土工试验规程、土工试验方法、地基勘察规范、地基设计和处理规范等)的制定;各类土力学与基础工程教材和专著的出版;由中国水利学会、中国土木工程学会、中国力学学会、中国建筑学会、中国水力发电工程学会、中国振动工程学会主办的《岩土工程学报》等刊物的发刊,对于指导我国岩土工程的理论和实践发挥着重要作用。新的理论、新的施工工艺、新的测试技术和新的计算手段标志着岩土工程的发展进入了一个崭新的历史时期。

第三节 土力学在工程建设中的地位

水利水电、交通、能源等都是国家的基础产业,在国民经济建设中具有重要的战略意义。与上述产业相应的水工建筑物种类繁多,诸如大坝、堤防、水闸、渠道、隧洞、渡槽、电站、输电建筑物、泵站、通航建筑物、码头、防波堤、海上采油平台、输油管道和油罐等。这些水工建筑物尽管结构和特点各异,但都有一个共同点,即它们都建在大地上,都由上部结构和地基基础组成。同时,土也是一种建筑材料,但性能却远比其他建筑材料复杂。因此,必须认真进行设计和施工,方能保证建筑物的安全和正常运行。和其他建筑物一样,任何水工建筑物的设计和施工,都毫无例外地应当满足以下三个基本条件:

- 1) 建筑物任务和使用上的要求;
- 2) 建筑物应当在各种条件下保证其结构、地基变形和土体强度的可靠性;
- 3) 施工期限短,工程造价低。

不言而喻,正确认识和处理上述三者间的辩证关系,进行合理的设计和施工,必须依赖于深厚的土力学的基本知识。因此,土力学在工程建设中占有重要的地位。

众所周知,水工建筑物的沉降和不均匀沉降、地基的整体破坏和局部破坏以及坝体渗漏和渗透破坏都是工程中常见的主要危害。其造成的事故在国内外工程实际中是不胜枚举的。

根据对世界上建造的 4139 座土石坝统计,在发生的 205 件事故中,毁坏性事故共 64 件,中小事故 141 件,见表 1-1;从事故发生原因看,滑动(地基或坝体强度不足)、不均匀沉降(地基压缩变形引起)、漏水和管涌(渗透引起)的事故占事故总数的 80%;从事故发生部位来看,坝体部分占 49%,地基部分占 33%。可见,事故发生与地基条件密切相关,由地基原因引起的事故不容忽视。

表 1-1

土石坝事故统计表

统计坝的 总数 (座)	事故 总数 (件)	毁坏性事故 64 件				中小事故 141 件			
		溢流毁坏 (件)	管涌毁坏 (件)	滑动毁坏 (件)	地震及其他 (件)	强度不足、不均 匀沉降(件)	漏水浸湿 (件)	泄洪能力 (件)	其他 (件)
4139	205	18	24	14	8	62	59	14	6

一、基础的沉降和不均匀沉降

当建筑物及其所受荷载作用于地基时,如果拟建建筑物的竖向沉降太大,就会给使用带来困难。水利水电工程中,水闸由于闸的不均匀沉降常导致闸门启闭困难,拦水大坝的下沉量过大会失去拦水作用导致洪水漫坝。至于由沉降引起裂缝造成严重渗漏或建筑物破坏,在堤、坝和闸的建筑史上也是屡见不鲜的。

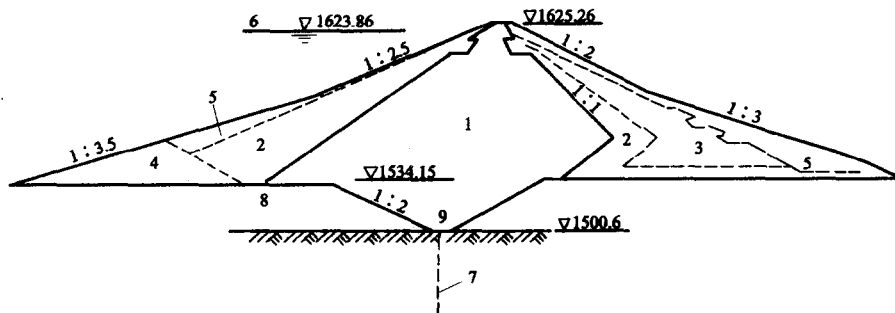
根据对我国已建成的 40 余座土坝的观测统计,凡是地基变形值小,竣工后坝顶垂直沉降小于坝高的 1%的,都没有产生裂缝,垂直沉降在 3%以上的,多数发生裂缝。位于长江中下游堤岸上的一水闸,建于淤泥地基上,最大沉降达 500mm,沉降差达 300mm,闸墩产生裂缝,闸门启闭不灵,严重地影响了建筑物的使用。SL265-2001《水闸设计规范》在总结江苏、山东等各地水闸沉降的基础上,规定了天然地基最大沉降量不能超过 150mm,最大沉降差不宜超过 50mm。交通部 JTJ290-98《重力式码头设计与施工规范》规定了重力式码头平均沉降的限值:方块码头和扶壁码头为 150~200mm;沉箱码头为 200~250mm。为了考虑沉降和不均匀沉降的影响,在一些水工建筑物设计中甚至采取了预留沉降量的措施。

二、堤、坝的渗漏和渗透破坏

1976 年采用最新土石坝技术建造起来的美国提堂(Teton)土坝,断面见图 1-2,高 90 多 m。初次蓄水就发生了溃坝事故,导致坝体土料 30%被冲走,14 人死亡,25000 人无家可归,损失巨大。事故后分析,溃坝原因主要是由于对坝基河床沉积物和基岩认识不够,基岩有张开的节理,心墙和截水槽以粘土质粉土作回填料(该土为低塑性,易发生渗透破坏),对防渗问题估计不足而发生管涌所致。

1998 年长江流域发生特大洪水,发生多处险情,据对堤身隐患、堤基渗漏及河岸崩塌三大险情统计,渗流稳定问题约占 85%以上,管涌约占一半。仅对湖北境内 34 处溃口险情统计,管涌就占 26 处。而 1998 年汛期长江中下游堤防的 7 处溃口,因堤基管涌引起的就有

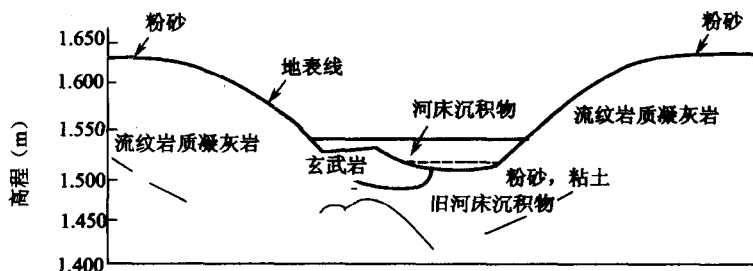
5 处。由此, 国家做出了 3~5 年内完成长江重要堤防隐蔽工程改建或补建的决定。



(a) 坝断面图

1—心墙; 2—过渡层; 3—任意料; 4—围堰; 5—堆石; 6—最高水位;

7—灌浆孔; 8—河床沉积层; 9—截水槽



(b) 坝址地质图

图 1-2 提堂坝断面及坝址地质图

三、土坡失稳

一般说来, 建筑物的失稳多见于两方面的原因。一是由于建筑物设计时对地基土的性状认识不清而形成对地基条件错误地判断。从土的形成看, 土具有成层规律, 通过对地基土勘察取样, 进行室内试验, 得出有关参数, 用于有关设计计算是有规律的。然而, 由于土层复杂或取样件数、间距选择不当, 对地基土的实际性状了解不全面, 漏钻或忽略一些软弱夹层, 从而得出不符合实际的参数, 据此得出安全度偏小的设计往往是地基出现事故的最重要原因。其次, 不规范的施工手段和方法降低了原设计的安全度, 也是导致建筑物地基基础出现问题的重要原因。

1958 年, 为解决天津市用水“咸淡分家”问题, 在海河口建防潮闸一座。闸分 8 孔, 总宽 80m, 其配套工程包括开挖长度为 1400m, 宽为 250m, 深 11m 的引河一条。工程施工过程中, 引河边坡发生 17 万 m^3 的大滑坡, 滑坡断面如图 1-3。经调查分析, 坡顶堆土太多, 施工速度过快, 而导致土中孔隙水压力增高是造成滑坡的主要原因 (在滑坡附近的地下水位观测孔中曾观测到 7.3m 的超静水压力水头)。

我国某海湾一重力式码头, 在建成并正常使用一年零九个月之后, 码头中段长约 45m 的岸壁倒入海中, 其断面形式如图 1-4。码头破坏后, 对事故原因进行了分析, 认为: ①码头前疏浚挖泥超深, 对基床坡脚造成损坏, 同时, 在原设计方案中, 抛石基床后加抛石 5m, 经勘探, 未发现抛石, 说明施工中漏抛; ②码头设计时, 误将基础底面下的淤泥混砂层 ($\varphi=5^\circ$, $c=9 \text{ kPa}$), 判为粗砂加角砾 ($\varphi=36^\circ$, $c=0$), 高估了地基的天然强度。