



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12.5" GUIHUA JIAOCAI

土力学 与地基基础

TU LI XUE YU DI JI JI CHU

主编◎陈劲飙



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

土力学与地基基础

主 编 陈劲飙

副主编 胡 强 周圆兀

北 京

冶金工业出版社

2013

内容简介

土力学与地基基础是建筑工程专业的一门主要课程。本书主要阐述了三个方面的内容:土力学的基本原理和概念,地基勘察及地基基础设计与分析的基本方法。三部分内容相辅相成,可以说是土力学、工程地质和基础工程三门课程的综合。

该书可作高等院校工程地质、土力学、桥梁基础工程类专业的教材,也可供建筑工程设计以及相关专业技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/陈劲飙主编. —北京:冶金工业出版社. 2013. 6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6322-9

I. ①土… II. ①陈… III. ①土力学 - 高等学校 - 教材②地基 - 基础(工程) - 高等学校 - 教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 110829 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

ISBN 978-7-5024-6322-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京明兴印务有限公司印刷

2013 年 6 月第 1 版,2013 年 6 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm; 1/16; 15 印张; 353 千字; 240 页

29.80 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是按照建筑工程技术专业教育标准、培养方案及课程教学基本要求,并依据国家颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2011)等有关新规范和标准编写的。

土力学与地基基础是建筑工程专业的一门主要的专业课程,主要阐述三个方面的内容:土力学的基本原理和概念、地基勘察及地基基础设计与分析的基本方法。三部分内容相辅相成,可以说是土力学、工程地质和基础工程三门课程的综合。本书结合高等教育的教学培养目标以及编者多年从事本学科的教学经验,在理论部分编写力求精简,强调基本概念和基本原理,注重针对性和实用性,并力求做到理论和实际相结合。

本书由广西科技大学土木建筑工程学院陈劲飙主编,胡强、周圆兀任副主编,参与了编写工作。

限于编者的理论水平和实践经验,加之编写时间仓促,书中若有不妥之处,恳请读者及同行们批评指正。同时本书参考了一些资料,在此向资料作者表示诚挚的谢意。

编者

2013 年 4 月



目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 土力学发展历史	(1)
1.2 土力学重要性	(2)
1.3 学习内容	(4)
1.4 学习方法	(5)
第 2 章 土的物理性质及工程分类	(6)
2.1 土的形成	(6)
2.2 土的组成	(9)
2.3 土的物理性质指标	(13)
2.4 土的工程分类	(24)
第 3 章 地基中的应力和变形	(28)
3.1 概述	(28)
3.2 土中自重应力	(29)
3.3 基底压力	(30)
3.4 基底附加压力	(33)
3.5 地基附加应力	(34)
3.6 土的压缩性	(44)
3.7 地基变形	(51)
3.8 地基变形与时间的关系	(60)
第 4 章 土的强度问题	(67)
4.1 概述	(67)
4.2 土的抗剪强度理论	(67)
4.3 土坡稳定分析	(76)
第 5 章 土压力与挡土墙设计	(80)
5.1 土压力种类	(80)
5.2 朗肯土压力理论	(81)
5.3 库伦土压力理论	(89)
5.4 挡土墙设计	(92)



第 6 章 地基勘察	(100)
6.1 地基勘察的任务和内容	(100)
6.2 勘探方法	(106)
6.3 原位测试	(107)
6.4 室内试验	(115)
6.5 地基勘察报告	(126)
第 7 章 浅基础常规设计	(140)
7.1 地基基础设计原则	(140)
7.2 浅基础类型	(145)
7.3 基础埋深的确定	(148)
7.4 地基承载力确定	(153)
7.5 地基承载力验算	(159)
7.6 无筋扩展基础设计	(164)
7.7 扩展基础设计	(167)
7.8 连续基础简介	(178)
7.9 减少不均匀沉降的措施	(183)
第 8 章 桩基础	(186)
8.1 桩基础的组成及适用范围	(186)
8.2 桩基础的类型	(187)
8.3 桩的承载力	(188)
8.4 桩基础设计步骤	(193)
第 9 章 地基处理	(205)
9.1 概述	(205)
9.2 地基处理对象	(205)
9.3 地基处理方案选择	(208)
9.4 换土垫层法	(210)
9.5 排水固结法	(215)
9.6 强夯法和强夯置换法	(218)
9.7 砂石桩法和振冲法	(224)
9.8 水泥土搅拌法	(229)



第1章 绪论

万丈高楼平地起。任何建筑物都建立在一定的地层上,通常将承担建筑物全部荷载。受到建筑物影响的那部分地层称为地基,建筑物向地基传递荷载的下部结构称为基础。建筑物、基础和地基是一个统一的整体,一起协调工作。而地基基础是保证建筑物的安全和正常使用的关键。

建筑物地基大多数情况下是由土体组成。土是地壳岩石经风化破碎及搬运沉积而成的各种矿物颗粒组成的松散集合体,是由固体颗粒、水和空气组成的三相体系。由于地质环境及形成原因的复杂性,土体也呈现出区别于其他连续介质的特有性质。土力学就是研究土体的工程地质特性及其在工程活动影响下的应力、变形、强度和稳定性规律的一门学科。它属于土木工程的一门基础学科。随着人口不断密集,人类活动的范围日益狭小,现代工程建设不得不向高(高层建筑)、深(地下工程)、远(高速公路)的方向发展。同时通过对不良场地土体的改善进行工程建设,可以充分地利用日益紧缺的土地资源。因此土力学在现代土木工程建设事业中发挥着举足轻重的作用。

与其他经验科学一样,土力学是人类在工程实践的成功与失败中,不断总结与积累经验而逐步发展起来的一门学科,目前已形成了比较系统的理论体系。但由于土体的复杂性,仅仅靠具备系统理论和严密公式的力学知识,还难以描述土体在受力后所表现的性状及由此引起的工程问题,而必须借助经验、室内试验及现场测试等手段,因此土力学也是一门依赖于实践的学科。太沙基曾指出:土力学是一门实用科学,离开了具体工程来研究土力学没有一点意义。

1.1 土力学发展历史

土力学和基础工程是一门既古老又新鲜的学科。我国劳动人民从远古时代就能利用土石作为地基和建筑材料修筑房屋了。如西安新石器时代的半坡村遗址,就发现有土台和石础,这就是古代的“堂高三尺、茅茨土阶”的建筑。我国举世闻名的万里长城逾千百年而留存至今,充分体现了我国古代劳动人民的高超建筑水平。在近代工业化过程中,在建厂房、开矿山、修铁路、兴水利等土木工程实践中,都涉及许多与岩土有关的问题,如地基的承载能力、边坡的稳定、地下水的控制、岩土材料的利用等。

而作为本学科理论基础的土力学的发展,始于18世纪兴起了工业革命的欧洲。随着资本主义工业化的发展,为了满足向国内外扩张市场的需要,陆上交通进入了所谓“铁路时代”,因此,最初有关土力学的个别理论多与解决铁路路基问题有关。

1773年,法国的C. A. 库伦(Coulomb)根据试验创立了著名的抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论。



1869 年英国的 W. G. M. 朗肯(Rankine)又从不同角度,提出了挡土墙土压力理论。

1885 年法国 J. 布辛奈斯克(Boussinesq)求得了弹性半无限空间在竖向集中力作用下的应力和变形的弹性解。

1922 年瑞典 W. 费兰纽斯(Fellenius)为解决铁路塌方问题提出了土坡稳定分析法。以上这些方法至今仍广泛应用。

1925 年美国 K. 太沙基(Terzaghi)归纳发展了以往的理论,发表了《土力学》一书,他被认为是土力学的奠基人。从 1936 年在美国召开的第一届国际土力学与基础工程会议起,土力学方面的国际学术交流日益活跃。世界各地包括中国在内的许多国家也都交流和总结了本学科新的研究成果和实践经验,促进了该学科的发展。

时至今日,伴随着工程建设事业突飞猛进的发展,土力学围绕从宏观到微观结构、本构关系与强度理论、物理模拟与数值模拟、测试与监测技术、土质改良等方面取得了长足进展。电子技术的应用为这门学科注入了新的活力,实现了测试技术的自动化和理论分析的准确性,标志着本学科进入一个新的时期。

1.2 土力学重要性

人类的工程活动都是在一定的地质环境中进行的,地质环境和建筑物之间存在着一定的相互关联和制约关系,地质环境对建筑物的制约影响其安全稳定和正常使用,建筑物又改变了地质环境的平衡,使其发生各种变化甚至恶化。如何满足建筑物对地质环境提出的要求以及解决由于工程活动引起的地质问题,同时将人类工程活动对环境的破坏降到最低,保证工程活动和环境建设和谐可持续发展就是本学科要解决的问题。

地基和基础是建筑物的根本,又属于地下隐蔽工程。它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危。实践表明,建筑物事故的发生,很多与地基基础问题有关,而且,地基基础事故一旦发生,补救并非容易。此外,基础工程费用与建筑物总造价的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,有很大的出入。因此,地基及基础在建筑工程中的重要性是显而易见的。

工程实践中,不论在勘察、设计及施工方面,如果对地质条件和地质问题认识不够,都可能酿成事故。如加拿大特朗斯康谷仓(图 1-1)的地基事故:该谷仓平面呈矩形,南北向长 59.44m,东西向宽 23.47m,高 31.00m,容积 36368m³,容仓为圆筒仓,每排 13 个圆仓,5 排共计 65 个圆筒仓。谷仓基础为钢筋混凝土筏板基础,厚度 61cm,埋深 3.66m。谷仓于 1911 年动工,1913 年完工,空仓自重 20000t,相当于装满谷物后满载总重量的 42.5%。1913 年 9 月装谷物,10 月 17 日当谷仓已装了 31822m³ 谷物时,发现 1 小时内竖向沉降达 30.5cm,结构物向西倾斜,并在 24 小时内谷仓倾斜,倾斜度离垂线达 26°53',谷仓西端下沉 7.32m,东端上抬 1.52m,上部钢筋混凝土筒仓坚如磐石。谷仓地基土事先未进行调查研究,据邻近结构物基槽开挖试验结果,计算地基承载力为 352kPa,应用到此谷仓。1952 年经勘察试验与计算,谷仓地基实际承载力为 193.8~276.6kPa,远小于谷仓破坏时发生的压力 329.4kPa,因此,谷仓地基因超载发生强度破坏而滑动。事后在下面做了 70 多个支撑于基岩上的混凝土墩,使用 388 个 50t 千斤顶以及支



撑系统,才把仓体逐渐纠正过来,但其位置比原来降低了4m。

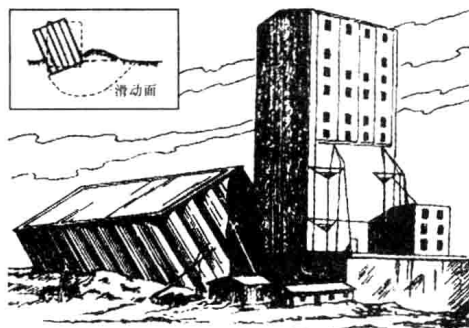


图 1-1 加拿大特朗斯康谷仓

墨西哥国家首都墨西哥市艺术宫,是一座巨型的具有纪念性的早期建筑。此艺术宫于1904年落成,至今已有100余年的历史。该市处于四面环山的盆地中,古代原是一个大湖泊。因周围火山喷发的火山灰沉积和湖水蒸发,经漫长年代,湖水干涸形成目前的盆地。当地表层为人工填土与砂夹卵石硬壳层,厚度5m,其下为超高压缩性淤泥,天然孔隙比高达7~12,天然含水量高达150%~600%,为世界罕见的软弱土,层厚达25m。因此,这座艺术宫严重下沉,沉降量高达4m,临近的公路下沉2m,公路路面至艺术宫门前高差达2m。参观者需步下9级台阶,才能从公路进入艺术宫。

意大利比萨斜塔是举世闻名的建筑物倾斜的典型实例。该塔自1173年9月8日动工,至1178年在建至第4层中部,高度约29m时,因塔明显倾斜而停工。94年后,于1272年复工,经6年时间,建完第7层,高48m,再次停工中断82年。于1360年再复工,至1370年竣工,全塔共8层,高度为55m。塔身呈圆筒形,1~6层由优质大理石砌成,顶部7~8层采用砖和轻石料。塔身每层都有精美的圆柱与花纹图案,是一座宏伟而精致的艺术品。1590年伽利略在此塔做落体实验,创建了物理学上著名的落体定律。斜塔成为世界上最珍贵的历史文物,吸引无数世界各地游客。全塔总重约145MN,基础底面平均压力约50kPa。地基持力层为粉砂,下面为粉土和黏土层。目前塔向南倾斜,南北两端沉降差1.80m,塔顶离中心线已达5.27m,倾斜5.5°,成为危险建筑。1990年1月4日被封闭。除加固塔身外,用压重法和取土法进行地基处理。目前已向游人开放。

1963年10月9日发生的意大利瓦依昂(Vaiont)水库大滑坡更是举世震惊。瓦依昂双曲拱坝坝高261.6m,是当时世界最高的大坝之一。当水库壅水至225.4m时,左岸山体突然下滑,体积达 $(2\sim3)\times 10^8\text{m}^3$ 的巨大山体滑入水库中,滑速达28m/s,激起250m高的巨大涌浪,高150m的洪坡溢过坝顶冲向下游,造成3000多人死亡。该水库开始蓄水时,就发现左岸山体蠕滑变形,但未引起工程师的注意,随着水库水位抬高,山体中孔隙水压力增大,有效应力下降,抗剪强度降低,从而导致整个山体下滑。

南京分析仪器厂职工住宅位于南京市西部秦淮河以南太平南路西一新村,住宅楼东西向长37.64m,南北向宽8.94m,5层,建筑面积1721m²,建筑场地地表为杂填土,较厚,设计采用无埋式筏板基础。1977年12月开工,次年5月住宅楼主体工程施工至第5层时,于5月13日发现



东起第五开间中部钢筋混凝土筏板基础南北向断裂。5月15日工程停工。经重新勘察和调查,当地原为一个大水塘,南北长70m,东西宽40m~50m。附近的饭店、茶炉、浴室用稻壳作燃料,烧尽的稻壳灰倾倒入此塘,经几十年填平。1972年曾作烧砖场,1977年初整平,同年年底动工修建住宅楼。

第一次勘察,误将稻壳灰鉴别为一般杂填土。由于住宅楼西半部置于古水塘内,东半部座落岸上,土质突变,造成钢筋混凝土筏板基础拦腰断裂的严重事故。经有关方面多次研究讨论,最终采用卸荷处理方案,即拆去一层,后又拆去一层,将原5层住宅改为3层住宅。

1998年8月7日13:10,长江九江大堤发生管涌险情,20分钟后,在堤外迎水面找到两处进水口,再过20分钟,防水墙后的土堤突然塌陷出一个洞,5m宽的堤顶随即全部塌陷,并很快形成宽约62m的溃口。究其原因是工程质量太差。

由此可见,详细准确地了解建筑场地的工程地质条件,运用土力学的基本知识,理解岩土体强度、变形及稳定的具体的特征及发展规律,严谨设计和施工,是保证工程安全和正常使用的根本。土力学与地基基础学科起着至关重要的作用。

1.3 学习内容

土力学研究的对象是土体,研究目的是为各类土木工程建筑提供土性参数,以保证设计合理、工程造价经济、工程运营可靠。这就要求不仅要了解土体的固有特性,而且要掌握在工程环境下土体物理力学状态的改变,如建筑荷载导致附加应力,洞室或边坡开挖产生的应力释放与集中等,这属于土力学的研究内容。基础工程主要研究地基基础的设计原理和具体计算方法;不良地基土特性以及处理理论和具体措施。

根据本学科的研究对象和目的,本课程的学习内容包括以下几个方面:

(1)土的成因、组成及其与工程地质性质之间的相互关系。

一般来说,地质成因相同,处于相似条件下的土体,其工程地质特征具有很大的 consistency。由于土体的形成与演变过程决定了土的物质成分与结构组成,成分与结构则是决定其工程地质性质的内在因素,因此根据土的成因、成分进行工程分类,分析其工程地质性质的变化规律是土力学研究的重要内容。

(2)土的工程地质性质,包括土的物理性质、水理性质和力学性质。

土的物理性质是指土所处的物理状态,如密度、含水量、孔隙比等。水理性质是指土与水相互作用所表现出来的特性,如可塑性、吸水性、湿陷性、液化性等。力学性质是指土在外力作用下或土的受力环境发生改变时表现出的变形和强度特性,包括土体中的应力分布、变形特征和抗剪强度等。

(3)地基土强度和变形特性。

建筑物的建造使地基中原有的应力状态发生变化。这就必须运用力学方法来研究荷载作用下地基土的变形和强度问题,以便地基设计满足两个基本条件:

1)控制基础沉降使之不超过地基的允许沉降量。



2) 作用于地基的荷载不超过地基的承载能力。因此需要学习附加应力和地基沉降量的计算方法,了解地基允许变形量的概念和影响因素等。掌握土的抗剪强度测定的各种方法和工程应用;确定地基承载力理论和经验方法。

(4) 土压力和土坡稳定性。

掌握三种土压力产生条件、计算方法和原理;土坡稳定性的分析原理和计算方法与技巧;土压力和土坡稳定分析理论在支挡结构设计中的应用。

(5) 地基基础设计的基本要求,地基基础的设计原理和具体计算方法;不良地基土特性以及处理理论和具体措施。

1.4 学习方法

地基及基础课程涉及工程地质学、土力学、结构设计和施工几个学科领域,所以内容广泛、综合性强,学习时应该突出重点,兼顾全面。从本专业的要求出发,学习本课程时,应该重视工程地质的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力,同时必须牢固地掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,从而能够应用这些基本概念和原理,结合有关建筑理论知识和施工知识,分析和解决地基基础问题。

地基基础总体说来主要包括三个大的方面:工程勘察、土力学原理、基础设计及地基处理。学习的时候,要抓住土体材料的基本特点,通过与其他材料的对比分析,熟悉理解土力学的基本概念、原理。土是岩石风化产物或再经各种地质作用搬运、沉积而成的。土粒之间的孔隙为水和气体所填充,所以,土是一种由固态、液态和气态物质组成的三相体系。与各种连续体(弹性体、塑性体、流体等)比较,天然土体具有一系列复杂的物理力学性质,而且容易受环境条件(温度、湿度、地下水等)变动的影响。现有的土力学理论还难于模拟、概括天然土层在建筑物作用下所表现的各种力学性状的全貌。因此,土力学虽是指导从事地基基础工程实践的重要理论基础,但还应通过实验、实测并紧密结合实践经验进行合理分析,才能实现对实际问题的妥善解决。而且,也只有在反复联系工程实践的基础上,才能逐步提高、丰富对理论的认识,不断增强处理地基基础问题的能力。

天然地层的性质和分布,不但因地而异,而且在较小范围内也可能有很大的变化,在进行地基基础设计和土力学计算之前,必须通过勘察和测试取得有关土层分布以及土的物理力学性质指标的可靠资料。因此,了解地基勘察和原位测试技术以及室内土工试验方法也是学好本学科的关键。

我国地域辽阔,由于自然地理环境的不同,分布着多种多样的土类。某些土类(如湿陷性黄土、软土、膨胀土、红黏土和多年冻土等)还具有不同于一般土类的特殊性质。作为地基,必须针对其特性采取适当的工程措施。此外,建国以来,由于大量建设工程进入山区,还出现了许多山区常见的地基问题。因此,地基基础问题的发生和解决带有明显的区域性特征。因此在学习时,要多注意学习当地地基基础设计的经验,将书本上的设计理论和实际工程相比较分析,有利于对本学科的理解。



第2章 土的物理性质及工程分类

2.1 土的形成

地球最外层的坚硬固体物质称为地壳,地壳厚度一般为 30~60km,人类生存与活动范围仅限于地壳表层。地壳表层的岩石圈是由基岩和覆盖土所组成,所谓基岩是指水平和竖直两个方向延伸很广的各类原位岩石;而覆盖土是指覆盖于基岩之上各类土的总称。基岩岩石按成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。在漫长的地质年代中,由于内力地质作用和外力地质作用,地壳表层的岩石经历风化、剥蚀、搬运、沉积生成大小悬殊的颗粒,称之为土,在不同的自然环境中,由各种营力的地质作用生成了不同类型的土;而土历经压密固结、胶结硬化也可再生成岩石。而现在所见到的土是近期地质历史第四纪以来生成的尚未固结的松散物质。

地质年代是指从最老的地层到最新的地层所代表的时代。分为相对地质年代和绝对地质年代。整个历史时期地质作用在不停息地进行着。各个地质历史阶段,既有岩石、矿物和生物的形成与发展,也有它们的破坏和消亡。把各个地质历史时期形成的岩石,结合埋藏在岩石中能反映生物演化程序的化石和地质构造,按先后顺序确定下来,展示岩石的新老关系,这就是相对年代。国际上又将地质年代划分为大小不同等级的单位,如宙、代、纪、世等。与此相对应的是地层单位宇、界、系、统等。

相对年代只能说明各种岩石、地层的相对新老关系,而不能说明某种岩石或岩层形成距今多少年。自然界中某些物质的蜕变现象被发现以后,地质学家们就利用放射性同位素的蜕变规律来计算矿物和岩石的年龄,称为同位素年龄或绝对年龄。将相对地质年代与绝对地质年代以及相应时段的典型生物和地质事件结合在一起,就形成了地质年代表。

人类工程活动涉及的土体大都是在第四纪形成的,第四纪是指约 250 万年至今这段地质时期。

内力地质作用一般认为是由于地球自转产生的旋转能和放射性元素蜕变产生的热能等,引起地壳物质成分、内部结构以及地表形态发生变化的作用和过程,如岩浆侵入与火山喷发,地壳运动导致的褶皱、断裂、地震等。地壳运动包括垂直升降运动和水平运动,这种动力是巨大的。如六千五百万年前,整个青藏高原包括喜马拉雅山在内都是一片汪洋大海,由于从这时起该地区地壳开始逐渐抬升,现在这里成为世界的屋脊。在同一个地区不同时期内,上升运动和下降运动常常是间歇性的,河流就是在这种运动中形成的。当地壳上升,水流下切原有的岩土体,冲刷出一条较窄而深的河床,一般呈 V 形,长江、黄河上游地壳现在就处于上升阶段,故而形成绵延千里的峡谷地貌;当地壳下降,河水的下切能力就减弱,如果没有人工治理,河水泛滥,河床变的宽阔,接受沉积,形成所谓的冲积平原,如现在黄河下游的华北平原,长江中下游平原。内力



地质作用是形成地壳表面高低起伏形状的基本原因。

外动力地质作用是指地壳的表层在气温变化、雨雪、山洪、河流、冰川、风、生物、人类活动等的作用下,不断地被风化、剥蚀,将高处物质搬运到低洼处沉积下来的过程。外力地质作用来源于地球外部的力量,如太阳的辐射,大气层的运动,月亮绕地球的转动等所引起的。外力地质作用对地球表面的基本形状起到一个修饰的作用,两者是相互交织共同作用的,从而形成地球表面千奇百态,丰富多彩的地形地貌。

土的历史多数在一百万年内,属第四纪沉积。不同成因类型的第四纪沉积物,各具有一定的分布规律和工程地质特征。下面分别介绍主要的几种类型。

2.1.1 残积土

残积土是由岩石风化后,未经搬运而残留于原地的土。它处于岩石风化壳的上部,是风化壳中的剧风化带,向下则逐渐变为半风化、微风化的岩石。其主要特征是颗粒大小不均、多棱角、没有层理构造、孔隙比较大。残积物中残留碎屑的矿物成分与其下卧基岩基本一致,它的分布主要受地形的控制,在雨水产生地表径流速度小,风化产物易于保留的地方,残积物就比较厚。在不同的气候条件下、不同的原岩,将产生不同矿物成分、不同物理力学性质的残积土。残积土作为建筑物天然地基要慎重,往往由于物理力学性质不均匀而引起建筑物地基不均匀沉降。

2.1.2 坡积土

由于水和融雪将山坡高处的岩石风化产物洗刷、剥蚀,顺坡向下搬运的堆积物。一般分布在坡腰上或坡脚下,其上部与残积物相接。随斜坡自上而下呈现由粗而细的分选现象和局部层理现象,其矿物成分与坡上的残积土基本一致,与下卧基岩没直接关系。由于地形的不同,坡积土其厚度变化较大,特别是新近堆积的坡积土,土质疏松,压缩性较高。

2.1.3 洪积土

洪积土是山洪带来的碎屑物质,在山沟的出口处堆积而成的土。山洪流出沟谷后,由于流速骤减,被搬运的粗碎屑物质首先大量堆积下来,离山渐远,洪积物的颗粒随之变细,其分布范围也逐渐扩大。其地貌特征,靠山近处窄而陡,离山较远宽而缓,形如锥体,故称为洪积扇。山洪是周期性发生的,每次的大小不尽相同,堆积下来的物质也不一样,因此,洪积土常呈现不规则交错的层理。由于靠近山地的洪积土的颗粒较粗,地下水位埋藏较深,土的承载力一般较高,常为良好天然建筑物地基;离山较远地段较细的洪积土,土质软弱而承载力较低。

2.1.4 冲积土

冲积土是由于河流的流水作用,将碎屑物质搬运堆积在它流经的区域内,随着从上游到下游水动力的不断减弱,搬运物质从粗到细逐渐沉积下来,一般在河流的上游以及出山口,沉积有粗粒的碎石土或沙土,在中游丘陵地带沉积有中粗粒的砂土和粉土,而在下游平原三角洲地带,



沉积了最细的黏土。这类土由于经过了长距离的搬运,颗粒具有较好的分选性和磨圆度,常具有层理。冲积土分布广泛,特别是冲积平原往往是城市发达、人口集中的地带。对于粗粒的碎石土、砂土,是良好的天然地基,但如果作为水工建筑物的地基,由于其透水性好会引起严重的坝下渗漏;而对于压缩性高的黏土,一般都需要进行地基处理。

2.1.5 风积土

风积土是由风作为搬运动力,将碎屑物由风力强的地方搬运到风力弱的地方沉积下来的土。风积土生成不受地形的控制,颗粒磨圆度好,分选性好。我国的黄土就是典型的风积土。主要分布在沙漠边缘的干旱与半干旱气候带。风积黄土的结构疏松,含水量小,浸水后具有湿陷性。

2.1.6 湖积土

湖积土指在湖泊及沼泽等极为缓慢水流或静水条件下沉积下来的土,或称淤积土,这类土除了含大量细微颗粒外,常伴有生物化学作用所形成的有机物,成为具有特殊性质的淤泥或淤泥质土。沉积物可分为湖边沉积物和湖心沉积物。湖泊如逐渐淤塞,则可演变成沼泽,形成沼泽沉积物。湖边沉积物主要由湖浪冲蚀湖岸、破坏岸壁形成的碎屑物质组成的。在近岸带沉积的多数是粗颗粒的卵石、圆砾和砂土,远岸带沉积的则是细颗粒的砂土和黏性土。湖边沉积物具有明显的斜层理构造。作为地基时,近岸带有较高的承载力,远岸带则差些。

湖心沉积物是由河流和湖流挟带的细小悬浮颗粒到达湖心后沉积形成的,主要是黏土和淤泥,常夹有细砂,粉砂薄层,称为带状黏土。这种黏土压缩性高,强度低。

沼泽沉积物又称沼泽土,主要是由含有半腐烂的植物残余体—泥炭组成的。含水量极高(可达百分之百),透水性很低,压缩性很高且不均匀,承载能力很低。

2.1.7 海积土

由河流流水搬运到海洋环境下沉积下来的土,称为海积土。按海水深度及海底地形划分为滨海带(指海水高潮位时淹没,而低潮位时露出的地带)、浅海区(指大陆架,水深约0~200m,宽度约100~200km)、陆坡区(指大陆陡坡,即浅海区与深海区之间过渡的陡坡地带,水深约200~1000m,宽度约100~200km)及深海区(海洋底盘,水深超过1000m),与上述海洋分区,相应的四种海相沉积物如下:滨海沉积物主要由卵石,圆砾和砂等粗碎屑物质组成(可能有黏性土夹层),具有基本水平或缓倾斜的层理构造,在砂层中常有波浪作用留下的痕迹。作为地基,其强度尚高,但透水性较大。黏性土夹层干时强度较高,但遇水软化后,强度很低。由于海水大量含盐,因而使形成的黏土具有较大的膨胀性。浅海沉积物主要有细颗粒砂土、黏性土、淤泥和生物化学沉积物(硅质和石灰质等)。离海岸愈远,沉积物的颗粒愈细小。浅海沉积物具有层理构造,其中砂土较滨海带更为疏松,因而压缩性高且不均匀,一般近代黏土质沉积物的密度小,含水量高,因而其压缩性大,强度低。陆坡和深海沉积物主要是有机质软泥,成分均一。

2.1.8 冰积土

是由冰川或冰水挟带搬运形成的沉积物,其颗粒粗细变化大,土质不均匀。



土的形成过程决定了它具有特殊的物理力学性质。与一般的建筑材料相比,土具有下列一些重要的特性:(1)散体性:土颗粒之间无黏结或一定的黏结,存在大量的空隙,可以透水透气。(2)多相性:土往往是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系,三相系之间质和量的变化直接影响其工程性质。(3)区域性和时变性:土是由自然界漫长的地质历史时期演化形成的多矿物组合体,性质复杂,不均匀,不同地域,不同场地,即使是同一种土,其性质也可能有很大的差异,同时随时间还在不断变化。深刻理解这些特点,有利于掌握土力学性质的本质。

2.2 土的组成

如前所述,土是一种多相的松散物质的集合体,这种松散物质主要是矿物,在矿物颗粒之间有许多孔隙,通常孔隙中有液体(一般是水),也有气体(一般是空气)。所以,在一般情况下,土是由固体颗粒(也称土粒)、水和气体三部分(也称三相)组成。土粒的大小和形状、矿物成分及其组成情况是决定土的物理力学性质的重要因素。同时三部分之间的比例关系对土的性质也有很大的影响。

2.2.1 土粒

土的固体颗粒是由大小不等、形状不同的矿物颗粒或岩石碎屑按照各种不同的排列方式组合在一起,构成土的骨架。这些固体相的物质称为“土粒”,是土中最稳定、变化最小的成分。土中的固体颗粒的大小和形状,矿物成分及其组成情况是决定土的物理力学性质的重要因素。土中不同大小颗粒的组合,也就是各种不同粒径的颗粒在土中的相对含量,称土的颗粒组成或颗粒级配;组成土中各种土粒的矿物种类及其相对含量称土的矿物组成。土的颗粒组成与矿物组成是决定土的物理力学性质的物质基础。

2.2.1.1 土的颗粒组成

自然界中的土粒,大小悬殊、性质各异,直径变化幅度很大,从数米的漂石到万分之几毫米的胶粒,随着土的粒径由粗到细的逐渐变化,土的性质也相应地发生变化。事实上,颗粒越粗,说明土粒内部的胶结作用较强,颗粒的性质较稳定,相应的比表面积较小,与周围其他颗粒或介质的作用削弱,更接近于理想的散粒体;颗粒越细,相应的比表面积越大,土颗粒之间的吸引力越大,与周围介质的作用越强烈。为了研究土中各种大小土粒的相对含量及其与土的工程地质性质的关系,就有必要将工程地质性质相似的介于一定粒径范围内的土粒归并成组,按其粒径的大小分为若干组别,这种组别称粒组。各个粒组随着分界尺寸的不同,而呈现出一定质的变化。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。同时工程上常以土中各个粒组的相对含量即各粒组占土粒总重的百分数表示土中颗粒的组成情况,这种相对含量称为颗粒级配。

目前土的粒组划分方案并不完全一致,表 2-1 是岩土工程中常用的划分方法,表中根据界限粒径为 200mm、60mm、2mm、0.075mm 和 0.005mm 把土粒分为六大粒组:漂石或块石颗粒、卵石或碎石颗粒、圆砾或角砾颗粒、砂粒、粉粒及黏粒。



表 2-1 土粒粒组的划分(土的分类标准(GB/T 50145—2007))

粒组统称	粒组名称		粒径范围/mm	一般特征
巨粒	漂石或块石颗粒		>200	透水性很大,无黏性,无毛细水
	卵石或碎石颗粒		$200\sim60$	
粗粒	圆砾或角砾颗粒	粗	$60\sim20$	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	$20\sim5$	
		细	$5\sim2$	
	砂粒	粗	$2\sim0.5$	易透水,混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
		中	$0.5\sim0.25$	
		细	$0.25\sim0.075$	
细粒	粉粒		$0.075\sim0.005$	透水性小,湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时稍有收缩;毛细水上升高度较大较快,易出现冻胀现象
	黏粒		≤ 0.005	透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩明显;毛细水上升高度大,但速度较慢

2.2.1.2 土粒的矿物组成

矿物是地质作用形成的单质或化合物,各种矿物具有特定的晶体结构,是组成地壳的基本物质。岩石经物理风化后,破碎成土粒,风化破碎前母岩中的矿物成分仍然保留着,这种矿物称为原生矿物,如石英、长石、云母等。原生矿物的抗风化能力强,性质比较稳定,粗土粒一般都是原生矿物或矿物组合。

原生矿物在一定的气候条件下,经化学风化作用后,使其颗粒变小,呈胶粒或准胶粒,同时矿物的晶体结构被破坏,化学成分也发生迁移或重新组合,形成新的矿物,这种矿物称为次生矿物。黏粒组的矿物成分主要有黏土矿物、氧化物、氢氧化物和各种难溶岩类,它们都是次生矿物。

黏土矿物如蒙脱石、伊利石、高岭石等,是一组复合的层状硅酸盐矿物,主要由原生硅酸盐矿物经化学风化而形成。它们具有高分散性、高亲水性、较强的吸附性及离子置换性能。组成黏土矿物的颗粒极细,多呈片状,比表面积很大,与水作用具有活跃的物理和化学特性。当土中含有黏土矿物时,其工程地质性质对水的敏感性明显增强,如亲水性、透水性、可塑性、膨胀性等都有较大变化。因此,矿物组成,尤其是黏土矿物,对土的工程地质性质有很大的影响。

2.2.1.3 颗粒级配

土的粒度成分或颗粒级配是通过土的颗粒分析试验确定的,常用的分析方法有筛分法和沉降分析法。对于粒径大于 0.075mm 的巨粒组和粗粒组可用筛分法测定。粒径小于 0.075mm 的粉粒和黏粒难以筛分,一般可以根据土粒在水中匀速下沉时的速度与粒径的理论关系,用比重计或移液管法测得颗粒级配。当土粒兼含大于和小于 0.075mm 的土粒时,两类分析方法可以联合使用。

根据粒度成分分析试验结果,常采用粒径累计曲线表示土的颗粒级配。该法是比较全面和通用的一种图解法,其特点是可以简单获得定量指标,特别适用于几种土级配好与差的相对比较。粒径累计曲线法的横坐标为粒径,由于土粒粒径的值域很宽,故采用对数坐标表示;纵坐标



为小于(或大于)某粒径的土粒质量(累计百分)含量,见图 2-1。由粒径累计曲线的坡度可以大致判断土粒均匀程度或级配是否良好。如曲线较陡,表示粒径相差不多,土粒较均匀,级配不良;反之,曲线平缓,则表示粒径大小相差悬殊,土粒不均匀,级配良好。

根据描述级配的粒径累计曲线,可以简单地确定颗粒级配的两个定量指标,即不均匀系数和曲率系数,两者定义的表达式如下:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2-1)$$

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

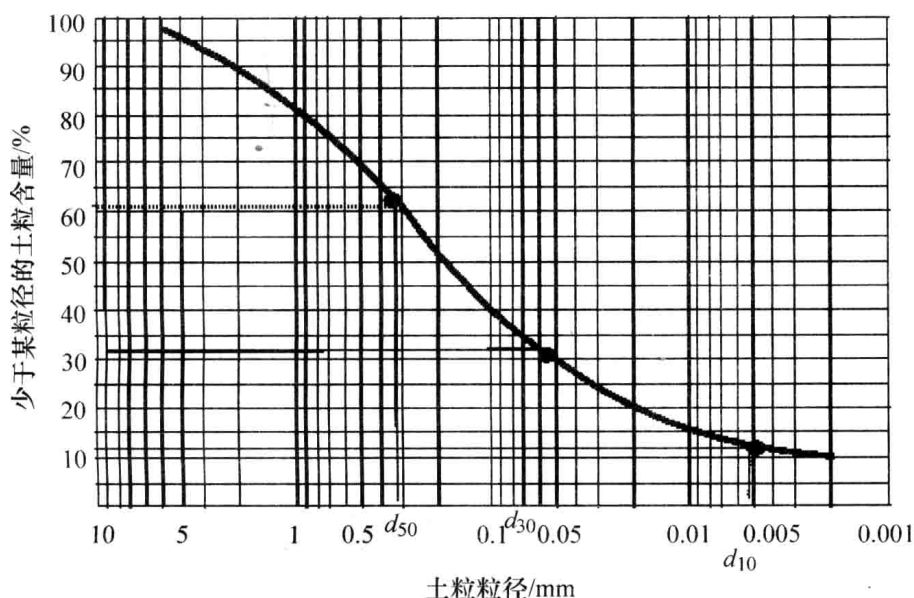


图 2-1 粒径累计曲线

式中, d_{60} 、 d_{30} 及 d_{10} 分别相当于小于某粒径土重累计百分含量为60%、30%及10%对应的粒径,分别称为限制粒径、中值粒径和有效粒径。不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况,即土粒大小或粒度的均匀程度。 C_u 越大,表示粒度的分布范围越大,土粒越不均匀,其级配愈良好。曲率系数 C_c 描述的是累计曲线分布的整体形态。

一般情况下,工程上把 $C_u < 5$ 的土看做是均粒土,属级配不良; $C_u > 10$ 的土,属级配良好。对于级配连续的土,采用单一指标 C_u ,即可达到比较满意的判别结果。但缺乏中间粒径的土,即级配不连续,在累计曲线上呈现台阶状。此时,仅仅采用单一指标 C_u ,则难以有效判断土的级配好与差。事实上,某些土虽然 $C_u > 10$,说明粒度的分布范围较大,但如果在级配曲线上出现台阶形,说明土中缺失某种粒径范围的土粒,所以也不能称为级配良好土。

综上所述,粒径级配累积曲线及指标有如下用途:

- (1) 粒组含量用于土的分类定名;
- (2) 不均匀系数 C_u 用于判定土的不均匀程度:
 $C_u \geq 5$,为不均匀土; $C_u < 5$,为均匀土;
- (3) 曲率系数 C_c 用于判定土的连续程度: