

主编 / 谢尊渊

副主编 / 郭正兴 叶作楷

建筑施工

(第三版)

上册

中国建筑工业出版社

建 筑 施 工

(第三版)

上 册

主编 谢尊渊

副主编 郭正兴 叶作楷

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑施工/谢尊渊主编. -3 版. -北京: 中国建筑工业出版社, 1998

ISBN 7-112-03483-3

I. 建… II. 谢… III. 建筑工程-工程施工 IV. TU7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 00637 号

本书为华南理工大学、东南大学、华东交通大学、湖南大学和武汉城市建设学院等五院校教师编写的《建筑施工》修订第三版。本次修订着重补充了近十年来我国建筑施工技术和组织管理方面的新成果、新经验, 全书结合新颁发的国家规范、标准的有关内容, 加强了基本理论的阐述, 增加了基坑放坡与边坡稳定分析、基坑支护工程、土层锚杆技术、钢管桩施工、脚手架工程、钢结构工程施工、建筑地面工程、吊顶工程、隔墙与隔断工程、门窗工程、玻璃工程、砌砖工程、砌石工程等新的章节, 对于其他章节也作了大量的更新和扩充, 使本书内容更为充实。

本书主要内容有: 土方工程、桩基础工程、模板工程、钢筋工程、混凝土工程、预应力混凝土工程、滑动模板施工、大模板与爬升模板工程、砌体工程、建筑装饰工程等。重面与地下防水工程、脚手架工程、建筑起重机械、单层工业厂房结构吊装、多层装配式混凝土框架结构施工、装配式混凝土墙板建筑施工、钢结构工程施工、升板工程、空间结构屋盖施工、建筑施工流水作业基本原理、网络计划技术、施工组织总设计、单位工程施工组织设计等。

本书可供建筑施工及结构技术人员参考, 也可供高等院校土木工程专业作教材使用。

建 筑 施 工

(第 三 版)

上 册

主 编 谢尊渊

副主编 郭正兴 叶作楷

*

中国建筑工业出版社 出版、发行 (北京西郊百万庄)

新 华 书 店 经 销

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/16 印张: 77 $\frac{3}{4}$ 插页: 2 字数: 1892 千字

1998 年 8 月第三版 1998 年 8 月第九次印刷

印数: 338 681—340 980 册 定价: 128.00 元 (上、下册)

ISBN 7-112-03483-3

TU·2703 (8707)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第三版 前 言

《建筑施工》初版于1979年出版,1988年对初版进行修订,出版了第二版。18年来,共发行了30余万册,受到建筑业广大读者的欢迎。其中第二版曾于1990年被建设部评为首届全国优秀建筑科技图书部级奖二等奖。

《建筑施工》(上、下册)第二版出版至今已届十年了。十年来,我国国民经济持续增长,社会主义现代化建设事业突飞猛进,建筑业蓬勃发展,新材料、新工艺、新技术不断涌现。同时,在此期间,国家还颁发了一些新的设计、施工规范和标准。为了反映我国近十年来在建筑施工科学领域的新成就和新经验,适应新形势下建筑业广大读者更新知识、提高技术素质的需要,特对本书进行第三次修订。

本次修订着重补充近十年来我国建筑施工技术和组织管理方面的新成果和经验,结合新颁发的国家规范、标准的有关内容,加强基本理论的阐述。书中增加了基坑放坡与边坡稳定分析、基坑支护工程、土层锚杆技术、钢管桩施工、脚手架工程、钢结构工程施工、建筑地面工程、吊顶工程、隔墙与隔断工程、门窗工程、玻璃工程、砌砖工程、砌石工程等新章节。对饰面板(砖)工程、裱糊工程、涂料工程、屋面与地下防水工程、地下连续墙施工、模板体系、钢筋连接、泵送混凝土、大体积混凝土浇筑、混凝土冬期施工、建筑起重机械、网络计划技术等章节。对于其他章节也都做了增删和改写。期望第三版的出版对建筑业广大读者提高建筑技术和管理水平能有所裨益。

本书第三版的主编为谢尊渊(华南理工大学),副主编为郭正兴(东南大学)、叶作楷(华南理工大学)。

各章节编写分工如下:

陈新(华东交通大学)——第一章第一、二、九节。

谢尊渊——第一章第三~八节;第五章;第七章。

周树发(华东交通大学)——第二章;第十三章。

叶作楷——第三章;第十章;

邓铁军(湖南大学)——第四章;第二十二章。

顾敏煜(武汉城市建设学院)——第六章。

杜训(东南大学)——第八章;第九章;第十八章。

辛鸿雁(华南理工大学)——第十一章。

郭正兴——第十二章;第十五章;第十六章;第十七章。

姜营琦(华南理工大学)——第十四章。

肖炽(东南大学)——第十九章。

张星(东南大学)——第二十章;第二十三章。

钱昆润(东南大学)——第二十一章。

参加本书第二版编写工作并担任副主编的方先和教授对此次修订工作给予了热情的支持与帮助,谨此致谢。对于参加本书初版和第二版编写工作的贝效良、凌崇光、强益寿、杨宗放、方承训、谭应国、詹锡奇等同志表示敬意。

由于本书编者学识水平有限,书中不妥之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者 1997年10月

目 录

上 册

第一章 土方工程	1
第一节 土的性质与分类	1
一、土的物理力学性质	1
二、土的分类	6
第二节 土方工程量计算与土方调配	9
一、土方工程量计算	19
二、场地平整中的土方调配	19
第三节 施工排水	25
一、地面水的排除	26
二、地下水的处理	26
三、流砂及其防治	44
第四节 基坑放坡与边坡稳定分析	46
一、基坑开挖方式	46
二、基坑放坡规定	46
三、边坡稳定分析	47
四、边坡的加固	53
第五节 基坑支护工程	54
一、支护结构的构造	54
二、支护结构的计算	60
三、支护结构的施工	75
四、基坑支护工程的现场监测	86
第六节 地下连续墙施工	89
一、导墙修筑	90
二、泥浆护壁技术	92
三、成槽作业	99
四、清底	104
五、钢筋笼的制作与吊放	104
六、混凝土的浇筑	105
七、槽段接头施工	106
八、逆作法施工	109
九、装配式地下连续墙施工	111
第七节 土层锚杆技术	113
一、土层锚杆的构造与类型	113
二、土层锚杆的抗拔力	114
三、土层锚杆的设计	115
四、土层锚杆的施工	119
五、土层锚杆的试验	121

第八节 土方开挖与填筑	125
一、土方开挖	125
二、土方填筑	136
第九节 土方工程爆破施工	142
一、爆破概念与药包量计算	142
二、炸药、起爆器材与电爆网络	145
三、爆破方法	152
四、钻孔方法	158
五、爆破安全技术	158
第二章 桩基础工程	161
第一节 钢筋混凝土预制桩施工	161
一、桩的预制、起吊、运输与堆放	161
二、多节桩的连接	163
三、沉桩前的准备工作	165
四、沉桩方法	166
第二节 钢管桩施工	176
一、钢管桩的制作、堆存及运输	176
二、钢管桩的沉桩工艺	177
第三节 灌注桩施工	179
一、钻孔灌注桩施工	180
二、冲孔灌注桩施工	189
三、人工挖孔灌注桩施工	192
四、沉管灌注桩施工	194
第三章 模板工程	
第一节 模板结构的组成、要求与分类	199
一、模板结构的组成与基本要求	199
二、模板结构的分类	199
第二节 模板结构的构造与安装	200
一、散装木模板	200
二、组合钢模板	205
三、人造板模板	211
四、台模	214
五、早拆工艺楼板模板	218
六、永久性模板	220
七、模板安装质量要求	223
第三节 模板的拆除	223
一、拆除模板时的混凝土强度	223

二、模板的拆除顺序与注意事项	224	五、水下混凝土的浇筑	338
第四节 模板工程施工设计	224	第四节 混凝土的自然养护	341
一、模板放线图	224	一、湿养护法	342
二、模板配板设计	225	二、保湿养护法	342
第五节 模板结构设计	228	第五节 混凝土质量的检查	343
一、模板荷载	228	一、结构构件轴线位置、标高等偏差	
二、计算模板及其支架时的荷载效应组合		的检查	343
和荷载分项系数	230	二、混凝土强度的检验评定	345
三、模板结构设计中有技术规定	230	三、混凝土外观质量的检查与缺陷的修整	347
四、模板结构设计计算示例	231	第六节 喷射混凝土施工	348
五、钢管支柱的设计计算示例	245	一、施工的机具设备	348
第四章 钢筋工程	247	二、喷射混凝土对原材料的要求和配合比	350
第一节 钢筋的加工	247	三、喷射混凝土施工工艺	353
一、钢筋的冷拉	247	第七节 混凝土的冬期施工	355
二、钢筋的冷拔	251	一、混凝土冬期施工的一般原理	356
三、钢筋的调直、除锈、切断与弯曲	252	二、混凝土搅拌、运输、浇筑中应注意	
第二节 钢筋的连接	253	事项	359
一、钢筋绑扎连接	253	三、混凝土的养护	360
二、钢筋焊接连接	254	四、负温混凝土与硫铝酸盐水泥	
三、钢筋机械连接	270	混凝土的施工	370
第三节 钢筋的配料与代换	278	五、冬期施工混凝土质量的检查	373
一、钢筋的配料	278	第六章 预应力混凝土工程	375
二、钢筋的代换	281	第一节 先张法	375
第四节 钢筋的安装与验收	282	一、台座	376
一、钢筋的安装	282	二、张拉机具和夹具	382
二、钢筋工程验收及隐蔽工程记录	283	三、先张法施工工艺	387
第五章 混凝土工程	285	第二节 后张法	391
第一节 混凝土的拌制	285	一、锚具和预应力筋的制作	392
一、原材料的称量	285	二、张拉机具设备	406
二、混凝土的搅拌	286	三、后张法施工工艺	410
三、现场混凝土搅拌站	292	第三节 电热法	421
第二节 混凝土的运输	293	一、电热法基本原理及其适用范围	421
一、手推车及机械式翻斗车运输	294	二、钢筋电热伸长值的计算	422
二、混凝土搅拌输送车运输	294	三、电热设备的选择	424
三、井架式升降机运输	294	四、电热张拉工艺	425
四、塔式起重机运输	296	第四节 无粘结预应力混凝土施工	426
五、混凝土泵运输	296	一、无粘结预应力筋的制作	427
(四) 混凝土泵的泵送能力和输送管路		二、无粘结预应力筋的张拉设备	430
的设计	308	三、无粘结预应力混凝土施工工艺	431
(五) 混凝土泵送时应注意事项	311	第五节 整体预应力装配式板柱结构施工	432
第三节 混凝土的浇筑	312	一、结构特点	432
一、浇筑工作的一般要求	312	二、主体结构的安装	430
二、混凝土的捣实	314	三、预应力筋的张拉	434
三、框架结构混凝土的浇筑与施工方案的			
编制	322		
四、厚大体积基础的混凝土浇筑	324		

四、孔道灌浆及浇筑明槽混凝土	437	一、有架爬升模板的构造与工程施工	520
第六节 现浇预应力框架结构施工	437	二、无架爬升模板的构造与工程施工	523
一、曲线孔道的留设	437	第三节 大模板的设计计算	525
二、曲线预应力筋的张拉及应力控制	438	一、大模板的设计原则	525
三、曲线预应力筋张拉伸长值的计算	441	二、大模板的结构计算示例	525
第七章 滑动模板施工	443	第九章 砌体工程	537
第一节 滑动模板装置的构造	444	第一节 砌砖工程	537
一、模板系统各部件的构造	444	一、砖砌体的构造与组砌形式	537
二、操作平台系统各部件的构造	445	二、砖砌体施工	539
三、提升机具系统各部件的构造	447	第二节 砌石工程	542
第二节 滑动模板施工工艺	451	一、石砌体的构造与组砌形式	542
一、滑动模板装置的组装	451	二、石砌体施工	544
二、滑模施工的施工过程	453	第三节 砌块工程	545
三、施工中易出现的问题及其处理	461	一、砌块的种类和规格	546
四、滑框倒模施工工艺	464	二、砌块建筑的墙体构造	549
五、滑模施工质量检查	465	三、砌块建筑的施工	551
第三节 滑动模板装置的设计	467	第十章 屋面与地下防水工程	558
一、设计荷载和设计前应确定的问题	467	第一节 屋面防水工程	558
二、滑动模板装置总体设计的步骤和方法	478	一、卷材防水屋面施工	558
三、采用滑动模板施工对工程设计的要求	478	二、涂膜防水屋面施工	576
第四节 滑动模板在工程中的应用	481	三、刚性防水屋面施工	581
一、烟囱	481	四、屋面接缝密封防水	583
二、框架结构	492	五、屋面防水等级和设防要求	586
三、墙板结构	500	第二节 地下防水工程	587
第八章 大模板与爬升模板工程	504	一、地下工程防水等级及防水方案	587
第一节 大模板的构造与工程施工	504	二、防水混凝土自防水结构施工	589
一、大模板的构造	504	三、附加防水层施工	600
二、大模板工程施工	515	四、盲沟排水与渗排水	612
第二节 爬升模板的构造与工程施工	520	五、地下防水工程渗漏水的治理	613

第一章 土方工程

土方工程是建筑工程施工中的主要工种工程之一。常见的土方工程有：场地平整；地下室、基坑（槽）及管沟开挖与回填；地坪填土与碾（夯）压；路基填筑等。在大、中型建设项目中，由于土方工程的工程量大、工期长，往往对整个建设项目的顺利进行和经济效果，有着较大的影响。

土方工程施工，具有以下特点：

（1）面大量广、劳动繁重 建筑工地的场地平整，面积往往很大，某些大型工矿企业工地，土方施工面积可达数平方公里，甚至数十平方公里。而土方工程量可达几十万、几百万甚至上千万立方米。

（2）施工条件复杂 土方工程施工多为露天作业，土又是一种天然物质，成分较为复杂，因此，在土方工程施工中，直接受到地区、气候、水文和地质等条件的影响。

鉴于上述特点，组织土方工程施工，首先要进行现场勘察，做好施工前的准备工作，如地面清理，地下障碍物清除以及必要时修筑运土道路等。有条件时，尽可能采用机械化施工，在条件不允许或机械设备不足时，则应创造条件，采用半机械化和革新工具相结合的方法，以代替或减轻繁重的体力劳动。另一方面，要合理安排施工计划，尽可能避开雨季施工，否则应作好防洪排水等准备。此外，为了降低土方工程施工费用，贯彻不占或少占农田和可耕地并有利于改地造田的原则，要作出土方的合理调配方案，统筹安排。总的说来，在土方工程施工之前，应编制出符合实际的技术上先进、经济上合理的施工组织设计。

随着我国社会主义建设事业的迅速发展，土方工程施工的机械化程度和技术水平不断得到发展和提高。对于大型土方工程，基本上实现了机械化。各种新的液压挖土机、装载机和大吨位运土车辆，不断涌现。此外，各种改良工具，各地都有所创造，从而大大改善了土方工程的施工条件，提高了劳动生产率，加快了我国社会主义现代化建设的速度。

第一节 土的性质与分类

一般工业与民用建筑或其他土木工程结构物都建造在土层或岩石上。土是岩石经风化、搬运、沉积之后，所形成的粗细颗粒堆积在一起的散粒体。即粗至粒径大于 200mm 的块石，细至粒径小于 0.005mm 的粘土颗粒，统称为土。

土是由矿物颗粒（固相）、水（液相）和气体（气相）三部分组成，在固体颗粒之间有大量的孔隙，孔隙由气体和水填充。土的三相组成决定了土的物理、力学性质不同于岩石。岩石的矿物颗粒之间有很强的联结，是坚硬的连续整体，而土颗粒之间的联结强度远比颗粒本身的强度小，因而土的抗剪强度要比岩石低得多，而压缩性和透水性则比岩石大得多。

一、土的物理力学性质

（一）土的三相比例指标

土的三相质量与体积之间的比例关系，可以用作评价土的工程性质的定量指标。为了能够直观地说明各指标的含义，可将本来为相互分散的土的三相组成，理想化地集中起来，表示为三相示意图如图 1-1 所示。

土的三相比例指标通常有 9 个, 其中 3 个指标由土工实验直接测定, 另 6 个指标由换算得出。

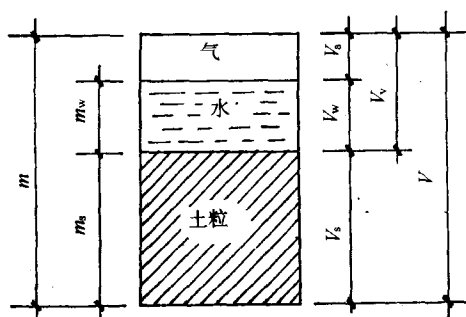


图 1-1 土的三相示意图

m_w —土中水的质量; m_s —土粒质量; m —土的总质量; V_g —土中气体的体积; V_w —土中水的体积; V_v —土中孔隙体积; V_s —土粒体积; V —土的总体积

1. 由实验测定的 3 个指标

(1) 土的密度 (ρ) 土的单位体积的质量, 称为土的质量密度, 简称土的密度。即:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{t/m}^3) \quad (1-1)$$

自然状态下, 一般粘性土, $\rho = 1.8 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$; 砂土, $\rho = 1.6 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$; 腐植土, $\rho = 1.5 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ 。一般说来, 密度较大的土, 其承载力也较高。

(2) 土的含水量 (w) 土中所含水的质量与土粒质量的比值, 称为土的含水量。用百分数表示:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-2)$$

含水量是反映土的湿度的一个重要物理指标。天然土层的土, 其含水量差别较大, 一般干的粗砂, w 值接近于零, 而饱和的砂土, w 值可达 40%, 坚硬粘性土的 w 值小于 30%, 而饱和的软粘性土 (如淤泥), 则可达 60% 甚至 100% 以上。同一类土, 当他的含水量增大时, 其强度就会降低。

(3) 土粒相对密度 (d_s) 也称土粒比重。土颗粒质量与同体积的水 (4℃) 的质量之比值, 称为土粒相对密度 (无量纲)。即:

$$d_s = \frac{m_s}{V_s} \cdot \frac{1}{\rho_w} \quad (1-3)$$

式中 ρ_w —4℃时的水的密度, 等于 1 g/cm^3 或 1 t/m^3 。

土粒相对密度的大小随土的矿物成分而异。砂土的相对密度为 2.65~2.69, 粉土为 2.70~2.71, 粘性土为 2.72~2.76, 有机质土为 2.4~2.5。

2. 土的 6 个换算指标

根据上述 3 个实测指标, 可用公式计算出土的 6 个三相比例指标。

(1) 土的干密度 (ρ_d) 单位体积中土粒的质量, 称为土的干密度。即:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-4a)$$

土的干密度反映土粒排列的紧密程度, 工程施工中, 常用它作为控制人工填土的密实度标准。例如房心回填土、基坑回填土和路基填土的干密度, 要求达到最大干密度的 0.93~0.95。

土的干密度可按下列公式计算:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+w} \quad (1-4b)$$

(2) 土的孔隙比 (e) 土中孔隙体积与土粒体积的比值, 称为土的孔隙比 (用小数表示)。即:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-5a)$$

孔隙比是一个重要的物理指标, 通常用他来评价天然土层的密实程度, $e < 0.6$ 的土是密实的低压缩性土, $e > 1.0$ 的是疏松的高压缩性土。

已知土的 ρ 、 w 和 d_s , 可用下式计算出土的孔隙比:

$$e = \frac{d_s (1+w) \cdot \rho_w}{\rho} - 1 \quad (1-5b)$$

(3) 土的孔隙率 (n) 土中孔隙体积与土的总体积的比值, 称为土的孔隙率 (用百分数表

示)。即:

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-6a)$$

孔隙率可用下式计算:

$$n = \frac{e}{1+e} \times 100\% \quad (1-6b)$$

(4) 土的饱和密度 (ρ_{sat}) 土孔隙中充满水时的单位体积质量, 称为土的饱和密度。即:

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \cdot \rho_w}{V} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{t/m}^3) \quad (1-7a)$$

土的饱和密度可用下式计算:

$$\rho_{sat} = \frac{(d_s + e) \cdot \rho_w}{1 + e} \quad (1-7b)$$

(5) 土的有效密度 (ρ') 位于地下水位以下的土的单位体积质量, 称为土的有效密度, 又称浮密度。即:

$$\rho' = \frac{m_s - V_v \cdot \rho_w}{V} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{t/m}^3) \quad (1-8a)$$

土的有效密度可用下式计算:

$$\rho' = \rho_{sat} - \rho_w \quad (1-8b)$$

计算中常要用到土的重力密度, 简称土的重度, 是指单位体积土所受的重力, 单位为 kN/m^3 。土的重度 γ 、干重度 γ_d 、饱和重度 γ_{sat} 、有效重度 γ' 可分别按以下公式计算: $\gamma = \rho \cdot g$, $\gamma_d = \rho_d \cdot g$, $\gamma_{sat} = \rho_{sat} \cdot g$, $\gamma' = \rho' \cdot g$ 。式中 g 为重力加速度。

(6) 土的饱和度 (S_r) 土中水的体积与孔隙体积的比值, 称为土的饱和度 (用百分数表示)。即:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-9a)$$

砂土按饱和度 S_r 指标值分为稍湿、很湿与饱和三种状态, 其划分标准见表 1-1。

砂土湿度状态的划分

表 1-1

砂土湿度状态	稍湿	很湿	饱和
S_r (%)	≤ 50	$50 < S_r \leq 80$	> 80

土的饱和度可按式计算:

$$S_r = \frac{w d_s}{e} \quad (1-9b)$$

(二) 土的物理状态指标

1. 砂土的密实度

砂土的密实状态对工程质量有很大影响。密实的砂土具有较高的强度, 是良好的地基; 疏松的砂, 特别是饱和的细砂、粉砂层, 常处于不稳定状态, 会对工程带来不利影响。砂土的密实度 (D_r) 可用下式计算:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (1-10)$$

式中 e_{max} 、 e_{min} 分别为最大、最小孔隙比, 均可由实验测定。

根据 D_r 值, 可把砂土的密实度状态划分为下列三种:

$$0 < D_r \leq 0.33 \quad \text{松散的}$$

$$0.33 < D_r \leq 0.67 \quad \text{中密的}$$

$$0.67 < D_r \leq 1 \quad \text{密实的}$$

以标准贯入试验、静力触探等原位测试方法来评价砂土的密实度，在实际工程中得到广泛的采用。砂土按标准贯入试验的锤击数 N 值分为松散、稍密、中密和密实四种密实度，其划分标准见表 1-2。

砂土密实度的划分				表 1-2
砂土密实度	松散	稍密	中密	密实
N 值	≤ 10	$10 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	> 30

2. 粘性土的界限含水量与状态指标

(1) 粘性土的界限含水量

粘性土由于其含水量的不同，而分别处于固态、半固态、可塑状态及流动状态，由一种状态转入另一种状态时的分界含水量，称为土的界限含水量。如图 1-2 所示：土由流动状态变成可塑状态的界限含水量称液限 (w_L)；由可塑状态变成半固态的界限含水量称塑限 (w_p)；由半固转变为固态的界限含水量称缩限。

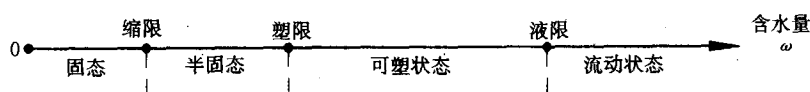


图 1-2 粘性土的物理状态与含水量关系

(2) 粘性土的状态指标

塑性指数 (I_p)：液限与塑限的差值称为塑性指数（用百分数的绝对值表示），即 $I_p = w_L - w_p$ 。塑性指数越大，说明土处于可塑状态的含水量范围也越大。工程中常根据塑性指数对粘性土进行分类，即：粉土， $I_p \leq 10$ ；粉质粘土， $10 < I_p \leq 17$ ；粘土， $I_p > 17$ 。

液性指数 (I_L)：液性指数又称稠度，它是判别粘性土软硬程度的指标。用下式表示：

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w - w_p}{I_p} \quad (1-11)$$

式中 w ——粘性土的自然含水量。

粘性土的状态，根据液性指数分为：坚硬 ($I_L \leq 0$)；硬塑 ($0 < I_L \leq 0.25$)；可塑 ($0.25 < I_L \leq 0.75$)；软塑 ($0.75 < I_L \leq 1$)；流塑 ($I_L > 1$)。

(三) 土的力学性质指标

1. 土的压缩性指标

土在外界压力作用下，体积会缩小。由于土体中的土粒和水几乎是不可以被压缩的，因此，土的压缩主要是土中孔隙体积的减小。

根据压缩试验结果，可以绘出压力和孔隙比变化的曲线（图 1-3）。从压缩曲线得知，孔隙比 e 随压力 p 的增大而减小。当压力变化不大时，曲线 M_1M_2 可近似地用直线表示。直线 M_1M_2 的斜率 a 称为土的压缩系数。

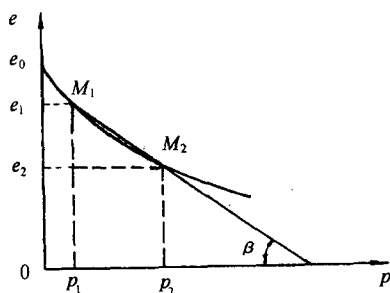


图 1-3 压缩曲线

$$a = \operatorname{tg} \beta = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} \quad (\text{MPa}^{-1}) \quad (1-12)$$

a 的物理意义是：单位压力增量所引起孔隙比减小量。

地基土的压缩性高低一般以 $p_1=100\text{kPa}$ 和 $p_2=200\text{kPa}$ 时求出的压缩系数以 a_{1-2} 来评价, 其评价标准是:

$a_{1-2} < 0.1$	低压缩性土
$0.1 \leq a_{1-2} < 0.5$	中压缩性土
$a_{1-2} \geq 0.5$	高压缩性土

地基沉降量的大小, 取决于工程结构物荷载的大小和地基土的压缩性的高低。低压缩性土作为地基, 变形不大; 高压缩性土作为地基, 往往变形较大, 需要处理。

2. 土的抗剪强度 (τ_f)

土的抗剪强度是指土抵抗剪切破坏的极限能力。试验证明, 在法向压力变化范围不大时, 土的抗剪强度与法向压力的关系近似为一直线 (图 1-4)。

$$\text{对于砂土: } \tau_f = \sigma \tan \varphi \quad (1-13)$$

$$\text{对于粘性土: } \tau_f = \sigma \tan \varphi + c \quad (1-14) \quad \text{图 1-4 抗剪强度与法向应力的关系}$$

式中 τ_f ——土的抗剪强度 (kPa);
 σ ——剪切面上的法向应力 (kPa);
 φ ——土的内摩擦角 (度);
 c ——土的粘聚力 (kPa)。

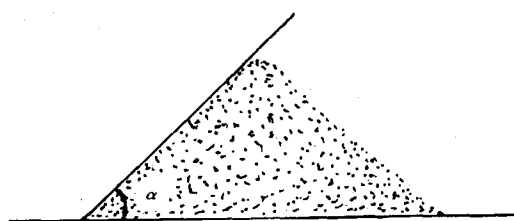
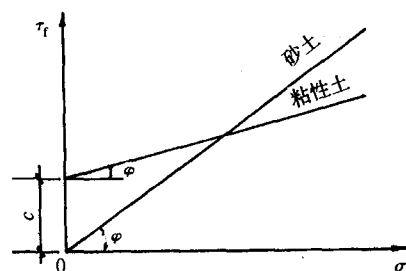


图 1-5 土的自然休止角

φ 和 c 是反映土的抗剪强度大小的两个重要指标。砂土的内摩擦角一般是随土的粒度变细而变小。砾砂、粗砂、中砂的 φ 值约为 $32^\circ \sim 40^\circ$; 细砂、粉砂的 φ 值约为 $28^\circ \sim 36^\circ$ 。砂土的粘聚力很小, 其平均值在 $0 \sim 0.05\text{kPa}$ 之间, 可忽略不计。

粘性土的 φ 的变化范围大致为 $0^\circ \sim 36^\circ$, 而粘聚力一般为 $10 \sim 100\text{kPa}$, 坚硬粘土, 其值更高。

土的 φ 和 c 还决定着土的自然休止角 α (图 1-5) 的大小。土的自然休止角, 即土堆自然形成的坡度角。松散砂的 φ 与 α 相近, 密实砂的 φ 和 α 大。各种土的自然休止角见表 1-3。

土的自然休止角 α 值

表 1-3

土的名称	α 值 (度)		
	干的	湿润的	潮湿的
砾石	40	40	35
卵石	35	45	25
粗砂	30	35	27
中砂	28	35	25
细砂	25	30	20
粘土	45	35	15
粉质粘土	45	40	30
粉土	40	30	20
腐植土	40	35	25
素填土	35	45	27

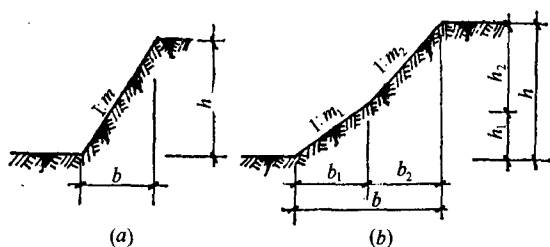


图 1-6 土方边坡

(a) 直线形边坡; (b) 折线形边坡

此外,土的 φ 和 c 也影响着基坑(槽)开挖和路堤填筑的土方边坡坡度。为了保持土体的稳固和施工安全,挖方和填方的边沿,都应作成一定坡度的边坡。边坡坡度工程上一般以 $1:m$ 来表示,如图 1-6 所示。 m 称为坡度系数,其含义为:当边坡的高度 h 为已知时,边坡的宽度 b 则等于 mh 。土方边坡高度 h 较大时,可根据不同的土层及所受的压力,在满足土体稳定的条件下,作成折线形的边坡

(图 1-6b),以减少土方工程量,降低工程造价。

3. 土的渗透系数 (K)

水历经土体难易程度的性质,称为土的渗透性。试验证明,地下水在土体中的渗流速度,与水头差成正比,与渗透路径长度成反比。即:

$$v = K \frac{h}{L} = Ki \quad (1-15)$$

式中 v ——地下水渗流速度 (cm/s 或 m/d);

h ——渗流路径两端的水头差;

L ——渗流路径长度;

i ——水力梯度 (单位渗流路径长度的水头损失), 又称水力坡降、水头梯度;

K ——渗透系数 (cm/s 或 m/d)。

渗透系数 K 是表示土的透水性的主要参数,它用于地下水涌水量及地基沉降量等的计算中。

表 1-4 为各种土的渗透系数参考值。

土的渗透系数 (K) 参考值 (m/d)				表 1-4
土的名称	K	土的名称	K	
粘土	<0.005	均匀中砂	35~50	
粉质粘土	0.005~0.1	粗砂	20~50	
粉土	0.1~0.5	圆砾	50~100	
粉砂	0.5~1.0	卵石	100~500	
细砂	1.0~5.0	稍有裂隙的岩石	20~60	
中砂	5.0~20.0	裂隙多的岩石	>60	

二、土的分类

(一) 地基土的分类

工程结构物的全部荷载,都要由它下面的土层来承受。通常把承受结构物荷载的、具有一定厚度的那一部分土层叫做地基。对于地基土的合理分类,具有很大的实际意义,这是因为根据分类名称就可以大致判别土的工程特性(强度与变形等),评价该类土作为结构物地基的适宜性,确定地基的承载力等。

现行《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89),将地基土划分为岩石、碎石土、砂土、粘性土和特殊土。

1. 岩石

颗粒间牢固联结,呈整体或具有节理裂隙的岩体为岩石。按坚固性分为硬质岩石和软质岩石;

按风化程度分为微风化岩石、中等风化岩石和强风化岩石。

2. 碎石土

粒径大于 2mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土称为碎石土。根据粒组含量和颗粒形状又分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾，详见表 1-5。

碎石土分类

表 1-5

土 的 名 称	颗 粒 形 状	颗 粒 级 配
漂 石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 200mm 的颗粒超过全重 50%
块 石	棱角形为主	
卵 石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 20mm 的颗粒超过全重 50%
碎 石	棱角形为主	
圆 砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于 2mm 的颗粒超过全重 50%
角 砾	棱角形为主	

注：定名时应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

3. 砂土

粒径大于 2mm 的颗粒含量 $\leq 50\%$ 、粒径大于 0.075mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土称为砂土。根据粒组含量的不同又可分为五类，即砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。详见表 1-6。

砂土分类

表 1-6

土 的 名 称	颗 粒 级 配
砾 砂	粒径大于 2mm 的颗粒占全重 25%~50%
粗 砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒超过全重 50%
中 砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒超过全重 50%
细 砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 85%
粉 砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50%

注：定名时应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

4. 粉土

塑性指数 $I_p \leq 10$ 的土称为粉土，其性质介于砂土与粘性土之间，曾称为轻亚粘土。

5. 粘性土

塑性指数 $I_p > 10$ 的土称为粘性土。当 $I_p > 17$ 时为粘土； $10 < I_p \leq 17$ 时为粉质粘土（曾称为亚粘土）。

淤泥和淤泥质土：是在静水或缓慢的流水环境中沉积、经过生物化学作用而形成的一种粘性土。其天然含水量大于液限。当天然孔隙比 $e \geq 1.5$ 时，称为淤泥；当 $1.0 \leq e < 1.5$ 时，称为淤泥质土。

6. 特殊土

特殊土是指在特定地理环境或人为条件形成的特殊性质的土。它的分布一般具有明显的地域性。特殊土的种类较多，这里仅介绍主要的几种。

(1) 人工填土 人工填土是指由于人类活动而堆填的土或杂物。其物质成分较杂乱，均匀性较差。人工填土根据其组成的物质和堆填方式的不同分为三类，即素填土、杂填土和冲填土。

1) 素填土 是由碎石、砂、粉土、粘性土等一种或几种土料组成的填土。经分层压（夯）实者称压实填土。

2) 杂填土 是由建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物组成的填土，多见于古老城市和工矿区。

3) 冲填土 是由水力冲填泥砂而形成的填土, 常见于江河两侧及沿海一带。

(2) 膨胀土 膨胀土是指其粘粒成分主要由亲水性矿物(蒙脱石和伊利石为主)所组成的一种非饱和的、结构不稳定的粘性土。当环境的温度和湿度变化时, 会产生强烈的胀缩变形, 具有吸水膨胀、失水收缩的特性。已有的工程实践经验证明: 当土中水分聚集时, 土体膨胀, 产生强烈的上抬力而导致结构物的破坏; 土中水分减少时, 土体收缩而产生不同的裂隙, 使得土自身的强度大大降低。

(3) 多年冻土 是指土的温度等于或低于 0°C 、含有固态水且这种状态在自然界连续保持三年或三年以上的土。当自然条件改变时, 这种土的物理力学性质也会随之改变, 以致产生冻胀、融陷、热融滑塌等不良地质现象。

(二) 土的工程分类

按照土的开挖难易程度分类, 称为土的工程分类。我国《建筑安装工程统一劳动定额》表明, 根据土的坚硬程度和开挖方法及使用工具将土分为八类。现将八类的工程分类方法与 16 级地质分类方法综合如表 1-7。

土 的 工 程 分 类

表 1-7

土 的 类 别	土 的 级 别	土 的 名 称	坚 实 系 数 (f)	密 度 (kg/m^3)	开 挖 方 法 及 使 用 工 具
一类土 (松软土)	I	砂土; 粉土; 疏松的种植土; 淤泥 (泥炭)	0.5~0.6	600~1500	用锄头、用锹(少数用脚蹬)开挖
二类土 (普通土)	II	粉质粘土; 潮湿的黄土; 含有草根 的种植土; 含有碎石、卵石的砂; 填 土	0.6~0.8	1100~1600	用锄头、锹开挖、少 许用镐
三类土 (坚土)	III	中等密实的粘土或黄土, 重粉质粘 土; 含有碎石、卵石或建筑材料碎屑 的粘土或黄土; 压实的填土	0.8~1.0	1750~1900	主要用镐, 少许用锄 头、锹开挖, 部分用 撬棍
四类土 (砂砾坚土)	IV	坚硬密实的粘性土或黄土; 含碎石、 卵石的中等密实的粘性土或黄土; 粗 卵石、天然级配的砂石; 软泥灰岩	1.0~1.5	1900	整个用镐、撬棍开 挖, 部分用楔子和大 锤
五类土 (软石)	V~VI	硬质粘土; 中密的页岩、泥炭石; 坚 实的白垩土; 胶结不紧的砾岩; 软石 灰岩及贝壳石灰岩	1.5~4.0	1100~2700	用镐、撬棍或大锤 开挖, 部分使用爆破 方法
六类土 (次坚石)	VII~IX	泥岩; 砂岩; 砾岩; 坚实的页岩、泥 灰岩; 密实的石灰岩; 风化的花岗岩、 片麻岩及正长岩; 滑石质的蛇纹岩	4~10.0	2200~2900	用爆破方法开挖, 部 分用风镐
七类土 (坚石)	X~XIII	白云石; 大理石; 辉绿岩; 玢岩; 坚 实的石灰岩; 砂质页岩; 蛇纹岩; 片 麻岩; 中粗花岗岩; 微风化的安山岩、 玄武岩	10~18	2500~3100	用爆破方法开挖
八类土 (特坚石)	XIV~XVI	闪长岩; 安山岩、玄武岩; 坚实的 细粒花岗岩; 花岗片麻岩、坚实的玢 岩、角闪岩、辉长岩、石英岩;	18~25 及以上	2700~3300	用爆破方法开挖

注: 1. 土的级别系指按 16 级土石分类级别;

2. 坚实系数 f 相当于普氏岩石强度系数。

土具有可松性, 自然状态下的土, 经过开挖后, 其体积因松散而增大, 以后虽经回填压(夯)实, 仍不能恢复为原来的体积。土的这种经开挖而体积增大的性质, 称为土的可松性。

由于土方工程量是以自然状态的体积来计算的, 因此, 在计算土方机械生产率和运输工具数量、进行土方挖填调配、计算填方时所需挖方体积, 以及规划弃土场地面积等时, 必须考虑土的可松性。土的可松性用土的可松性系数表示。即:

$$K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-16)$$

$$K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-17)$$

式中 K_s ——最初可松性系数;

K'_s ——最后可松性系数;

V_1 ——土在自然状态下的体积;

V_2 ——土经开挖后的松散体积;

V_3 ——土经回填压(夯)实后的体积。

普通土的可松性系数参考值见表 1-8。

普通土的可松性系数参考值

表 1-8

土 的 类 别	最初可松性系数 (K_s)	最后可松性系数 (K'_s)
一类土 (种植土除外)	1.08~1.17	1.01~1.03
一类土 (种植土, 泥炭)	1.20~1.30	1.03~1.04
二类土	1.14~1.28	1.02~1.05
三类土	1.24~1.30	1.04~1.07
四类土 (泥灰岩、蛋白石除外)	1.26~1.32	1.06~1.09
四类土 (泥灰岩、蛋白石)	1.33~1.37	1.11~1.15
五~七类土	1.30~1.45	1.10~1.20
八类土	1.45~1.50	1.20~1.30

第二节 土方工程量计算与土方调配

土方工程的施工, 首先必须计算土方工程量。对于场地平整施工, 挖填土方量计算出来后, 需进行土方平衡调配, 然后选择土方施工机械, 拟定施工方案, 组织土方工程施工。

一、土方工程量计算

土方工程的外形往往比较复杂, 土方工程量要想得到完全准确的计算结果, 是件很困难的事情。因此, 通常都是将其划分为若干几何形体, 并采用具有一定精度的方法进行计算。

(一) 基坑、基槽和路堤土方量计算

基坑土方量可按立体几何中的拟柱体 (由两个平行平面做上下底的一种多面体) 体积 (图 1-7) 公式计算。即

$$V = \frac{h}{6} (F_1 + 4F_0 + F_2) \quad (1-18a)$$

$$\text{或 } V = (L_1 + mh)(L_2 + mh)h + \frac{m^2 h^3}{3} \quad (1-18b)$$

式中 F_1 、 F_2 ——基坑上下底面积 (m^2);

F_0 ——基坑中部面积 (m^2);

h ——基坑开挖深度 (m);

L_1 、 L_2 ——基坑上、下口的长边尺寸 (m);

m ——基坑边坡坡度系数。

基槽（图 1-8）和路堤土方量，可以沿着其长度方向分段，用下式逐段计算。即

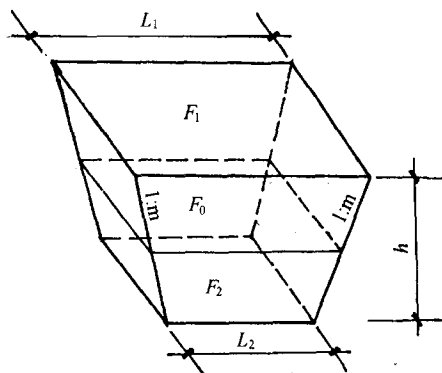


图 1-7 基坑土方量计算图

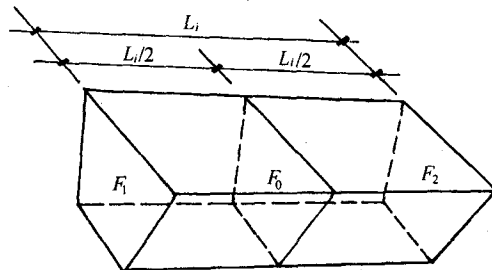


图 1-8 基槽土方量计算图

$$V_i = \frac{L_i}{6} (F_1 + 4F_0 + F_2) \quad (1-19)$$

式中 V_i ——第 i 段土方量 (m^3)；

F_1 、 F_2 ——第 i 段两端的面积 (m^2)；

F_0 ——第 i 段中部面积 (m^2)；

L_i ——第 i 段长度 (m)。

将各段土方量相加，即可得总土方量。即：

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

(二) 场地土方量计算

场地平整施工，一般应安排在基坑（槽）、管沟开挖以前进行。这样，能使大型土方机械有较大的工作面，以充分发挥其工作效能，也可以减少与其他工作的相互干扰。

在场地平整之前，应首先确定场地平整设计标高，然后计算挖方和填方的土方工程量。

1. 场地设计标高的确定

对于较大面积的场地平整（如工业厂房和住宅区场地、车站、机场、运动场等），正确地选择设计标高是十分重要的。选择场地设计标高时，应尽可能满足下列要求：

- 1) 场地以内的挖方和填方应达到相互平衡，以降低土方运输费用；
- 2) 尽量利用地形（不考虑泄水坡度时），以减少挖方数量；
- 3) 符合生产工艺和运输的要求；
- 4) 考虑最高洪水水位的影响。

确定场地设计标高的方法，有“挖填土方量平衡法”和“最佳设计平面法”。后者系采用最小二乘法原理，计算出最佳设计平面。所谓最佳设计平面，是指场地各方格角点的挖、填高度的平方和为最小，按照这样的设计平面，既能满足土方工程量为最小，也能保证挖填土方量相等。然而此法的计算较为繁琐。

挖填土方量平衡法，概念直观，计算简便，精度能满足工程要求。

采用挖填土方量平衡法确定场地设计标高，可参照下述步骤和方法进行。

(1) 初步计算场地设计标高

如图 1-9a 所示，将地形图上场地的范围划分为若干方格。每个方格的角点标高，可根据地形图上该角点相邻两等高线的标高，用插入法求得。在无地形图的情况下，可在地面用木桩打好方