

FOUNDATION SOILS AND
FOUNDATION ENGINEERING
CONSTRUCTION

地基与基础 工程施工

○朱星彬 主编



地基与基础 工程施工

○朱星彬 主编



宁波出版社
Ningbo Publishing House

图书在版编目(CIP)数据

地基与基础工程施工 / 朱星彬主编. — 宁波 : 宁波出版社, 2012. 5

ISBN 978 - 7 - 5526 - 0184 - 8

I. ①地… II. ①朱… III. ①地基—工程施工—
高等职业教育—教材②基础(工程)—工程施工—高等
职业教育—教材 IV. ①TU47②TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 093776 号

本书为宁波市高校特色教材建设项目成果

地基与基础工程施工

- 主 编 朱星彬
责任编辑 王晓君 吴 波
封面设计 吉祥文化
出版发行 宁波出版社
地址邮编 宁波市甬江大道 1 号宁波书城 8 号楼 6 楼 315040
网 址 <http://www.nbcbs.com>
印 刷 宁波报业印刷发展有限公司
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张 18.5
字 数 360 千
版 次 2012 年 5 月第 1 版
印 次 2012 年 5 月第 1 次印刷
标准书号 ISBN 978 - 7 - 5526 - 0184 - 8
定 价 30.00 元
-

如发现缺页或倒装,影响阅读,请与承印厂联系调换 电话:0574 - 87685521

前 言

本书为宁波市特色教材,是在高等职业院校建筑工程技术专业领域高技能人才培养方案的指导下,紧密结合宁波软土地区的特点而编写的。本书共包括“岩土工程勘察”、“土方工程施工”、“基坑工程施工”、“软弱地基处理”、“浅基础设计与施工”及“桩基础设计与施工”六个学习情境,书中的案例以宁波地区为主,重在培养施工技能,并根据技能需求及工作岗位的需要安排专业理论知识。

本书由朱星彬任主编,王统社、倪永曹、胡德强任副主编。参编的人员有:刘丽芳、王学蕾、劳动、邓建强、王利安。

本书编写的主要依据是《地基与基础工程施工课程标准》,同时参考了《建筑施工手册》(第四版),建筑工程相关规范、标准以及其他大量文献与资料,在此谨表衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

目 录

情境 1 岩土工程勘察	01
1.1 室内土工试验	01
1.1.1 土的基本物理性质指标	01
1.1.2 土的力学性质指标	04
1.1.3 土的分类	08
1.1.4 土的工程性质	11
1.1.5 室内常规土工试验	12
1.1.6 土的现场鉴别	15
1.2 阅读岩土工程勘察报告书	17
1.2.1 岩土工程勘察分级	17
1.2.2 岩土工程勘察目的	20
1.2.3 岩土工程勘察任务	20
1.2.4 岩土工程勘察方法	21
1.2.5 岩土工程勘察报告内容与阅读	23
情境 2 土方工程施工	37
2.1 工程场地平整	37
2.1.1 场地平整程序	37
2.1.2 场地平整的土方量计算	38
2.2 土方开挖与回填压实	53
2.2.1 土方开挖施工准备	53
2.2.2 土方开挖的一般要求	55
2.2.3 基坑(槽)、管沟支撑方法	57
2.2.4 土方回填压实要求	58
2.2.5 选择压实机具	60
2.2.6 土方压实施工工艺	61
2.2.7 土方开挖施工工艺	62

2.2.8 土方回填施工工艺	68
2.3 土方机械化施工	74
2.3.1 土方机械选择	74
2.3.2 土方机械施工	76
情境3 基坑工程施工	85
3.1 基坑支护结构施工	85
3.1.1 基坑支护结构基本知识	85
3.1.2 钢板桩(板桩式)施工	96
3.1.3 钻孔灌注桩(排桩墙)施工	106
3.1.4 深层搅拌水泥土桩墙施工	109
3.2 地下水控制	119
3.2.1 地下水控制方法选择	120
3.2.2 集水明排法	120
3.2.3 井点降水法	121
3.3 深基坑土方开挖	129
3.3.1 深基坑挖土	129
3.3.2 深基坑挖土案例	131
情境4 软弱地基处理	139
4.1 换填地基处理	139
4.1.1 换填地基垫层构造要求	139
4.1.2 灰土地基处理	142
4.1.3 砂和砂石地基处理	148
4.2 挤密桩地基处理	154
4.2.1 挤密桩地基处理的基本知识	154
4.2.2 灰土桩地基处理技术	158
4.2.3 砂石桩地基处理技术	163
4.2.4 水泥粉煤灰碎石桩地基处理技术	168
4.2.5 夯实水泥土复合地基处理	175
4.3 水泥土搅拌桩地基处理	179
4.3.1 水泥土搅拌桩地基施工的基本知识	179

4.3.2 水泥土搅拌桩的设计	181
4.3.3 水泥土搅拌桩地基处理技术	183
情境 5 浅基础设计与施工	184
5.1 天然地基上的浅基础设计	184
5.1.1 浅基础设计基本知识	184
5.1.2 地基土中应力与变形计算	190
5.1.3 地基计算	194
5.1.4 基础构造	198
5.1.5 减轻地基不均匀沉降的措施	202
5.2 浅基础施工	204
5.2.1 无筋扩展(砖)基础施工	204
5.2.2 柱下钢筋混凝土独立基础施工	211
情境 6 桩基础设计与施工	227
6.1 桩基础设计	227
6.1.1 桩基础的功能	227
6.1.2 桩基础设计原则	228
6.1.3 选择桩的类型,确定桩长	228
6.1.4 确定单桩竖向极限承载力	230
6.1.5 确定单桩竖向承载力特征值	232
6.1.6 确定桩的竖向承载力	235
6.1.7 群桩竖向承载力	236
6.1.8 确定桩的数量与桩的布置	236
6.1.9 桩基础最终沉降量计算	239
6.1.10 桩基础构造	240
6.2 桩基础施工	243
6.2.1 打(沉)入式钢筋混凝土预制桩施工	243
6.2.2 静力压桩施工	254
6.2.3 泥浆护壁回转钻孔灌注桩施工	262
参考文献	286

情境1 岩土工程勘察

通过情境学习、训练,要求能够做常规的土工试验,掌握基本物理指标及力学指标,进而掌握土的主要物理力学性质。在此基础上,能够阅读并使用岩土工程勘察报告。

1.1 室内土工试验

土工试验是研究土的性质的基本方法,其试验参数是岩土工程勘察报告的重要内容之一。通过土工试验测定土的物理力学指标,对施工现场地基土进行分析,一方面,能够了解不同土主要的物理力学性质及地下水成分,进而可以了解土的其他性质及土的分类情况;另一方面,可以培养动手操作技能和严谨的工作作风。

1. 能力目标

能做常规的土工试验,熟练测定砂性土的重度和密度等物理指标及力学指标,从而掌握土的物理及力学性质;会编写试验报告。

2. 知识目标

熟练掌握土的基本物理性质指标、力学性质指标及其换算方法;能够描述土的工程分类、工程性质,能够说出相关试验的仪器设备名称及操作方法。

1.1.1 土的基本物理性质指标

土是指矿物或岩石碎屑构成的松散物。它是由固体颗粒、土中水和土中气体组成的三相系。土的物理性质主要取决于土的结构、物理状态及其三相指标比例,其对土的力学性质也有一定的影响。

不同土的基本性质差别很大。由于土的性质对地基基础设计和施工有很大影响,而这些性质取决于土的物理力学性质指标,所以必须熟练掌握其相关知识。反映土的物理性质的指标很多,其中最基本的指标有三个,分别是土的密度、土粒相对密度及含水量,它们只能通过土工试验测定。

1. 土的三相图

土的三相组成可简化成示意图(图1-1),表示各部分之间的数量关系。

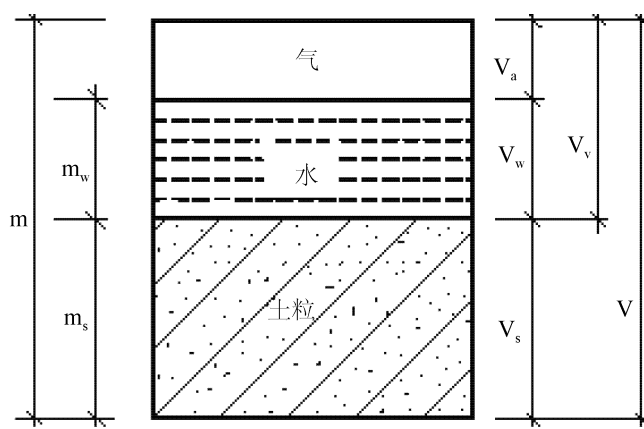


图 1-1 土的三相组成

注: V —土的总体积; V_s —土粒的体积; V_w —土中水的体积; V_a —土中气的体积;

V_v —土中孔隙的体积; m —土的总质量; m_s —土粒质量; m_w —土中水的质量。

2. 土的基本物理指标

(1) 土的密度 ρ 和重度 γ

土的密度是指单位体积土的质量,用 ρ 表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 m 为土的总质量,其单位为 g 或 kg ; V 为土的总体积,其单位 cm^3 或 m^3 ; 密度的单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。

土的重度是指单位体积土的重量,用 γ 表示。

$$\gamma = \rho g \quad (1-2)$$

式中 g 为重力加速度,近似取 $10m/s^2$; 重度的单位为 kN/m^3 。

(2) 土粒相对密度 d_s

土粒质量与同体积的 $4^\circ C$ 时纯水(蒸馏水)的质量之比,称为土粒相对密度(无量纲),即:

$$d_s = m_s / V_s \rho_w = \rho_s / \rho_w \quad (1-3)$$

式中: ρ_s ——土粒的密度(kg/m^3);

ρ_w —— $4^\circ C$ 时纯水的密度(kg/m^3),一般 $\rho_w = 1kg/m^3$ 。

(3) 土的含水量 ω

土的含水量是指土中水的质量与土粒质量之比(以百分数表示)。即:

$$\omega = (m_w / m_s) \times 100\% \quad (1-4)$$

含水量是标志土的湿度的一个重要物理指标。天然土层的含水量变化范围很大,它与土的种类、埋藏条件及所处的自然地理环境有关。

3. 换算指标

除上述通过试验测定的基本指标外,反映土的物理性质指标还有很多,可以经过换算确定,因此称之为换算指标。其物理意义及其计算表达式详见表 1-1。

表 1-1 土的物理性质指标

指标名称	符号	单位	物理意义	表达式	附 注
密度	ρ	kg/m^3	单位体积土的质量,又称质量密度	$\rho = m/V$	由试验(一般用环刀法)直接测定
重度	γ	kN/m^3	单位体积土所受的重力,又称重力密度	$\gamma = W/V$ 或 $\gamma = \rho g$	由试验方法测定后计算求得
相对密度	d_s		土粒单位体积的质量与 4℃ 时蒸馏水的密度之比	$d_s = m_s / V_s \rho_w$	由试验方法(用比重瓶法)测定
干密度	ρ_d	t/m^3	土的单位体积内颗粒的质量	$\rho_d = m_s / V$	由试验方法测定后计算求得
干重度	γ_d	kN/m^3	土的单位体积内颗粒的质力	$\gamma_d = W_s / V$	由试验方法直接测定
含水量	ω	%	土中水的质量与颗粒质量之比	$\omega = (m_w / m_s) \times 100$	由试验方法(烘干法)测定
饱和密度	ρ_{sat}	kg/m^3	土中孔隙完全被水充满时土的密度	$\rho_{sat} = (m_s + V_v \cdot \rho_w) / V$	由计算求得
饱和重度	γ_{sat}	kN/m^3	土中孔隙完全被水充满时土的重度	$\gamma_{sat} = \rho_{sat} \cdot g$	由计算求得
有效重度	γ'	kN/m^3	在地下水位以下,土体受到水浮力作用时土的重度,又称浮重度	$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$	由计算求得
孔隙比	e		土中孔隙体积与土粒体积之比	$e = V_v / V_s$	由计算求得
孔隙率	n	%	土中孔隙体积与土粒体积之比	$n = (V_v / V) \times 100$	由计算求得
饱和度	s_r	%	土中孔隙体积与土粒体积之比	$s_r = (V_w / V_v) \times 100$	由计算求得

注: W —土的总重力; W_s —土的固体颗粒的重力; ρ_w —蒸馏水的密度,一般取 $\rho_w = 1\text{kg/m}^3$; γ_w —水的重度,近似取 $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$; g —重力加速度,取 $g = 10\text{m/s}^2$ 。

对于粘性土、砂土,一般还要了解状态指标(见表 1-2,表 1-3),以判断其所处状态,对施工有何影响。

表 1-2 粘性土的可塑性指标

指标名称	符号	单位	物理意义	表达式	附 注
塑 限	ω_p	%	土由液态变到塑性状态时的分界含水量		由试验直接测定(通常用“搓条法”测定)
液 限	ω_L	%	土由塑性状态变到流动状态时的分界含水量		由试验直接测定(常用锥式液限仪测定)
塑性指标	I_p		液限与塑限之差	$I_p = \omega_L - \omega_p$	由计算求得。是进行粘土分类的重要指标
液性指标	I_L		土的天然含水量与塑限之差对塑性指数之比	$I_L = (\omega - \omega_p) / I_p$	由计算求得。是判别粘性土软硬程度的指标
含水量	α		土的天然含水量与液限的比值	$\alpha = \omega / \omega_L$	由计算求得

注:塑限现场简单测定方法:在土中逐渐加水,至能用手在毛玻璃上搓成土条,当土条搓到直径 3mm 时,恰好断裂,此时土条的含水量,即为塑限。

表 1-3 砂土的密实指标

指标名称	符号	单位	物理意义	试验方法	取土要求
最大干密度	ρ_{dmax}	kg/m ³	土在最紧密状态下的干质量	击实法	扰动土
最小干密度	ρ_{dmin}	kg/m ³	土在最紧密状态下的干质量	注入法	扰动土

1.1.2 土的力学性质指标

1. 压缩系数

土的压缩性通常用压缩系数(或压缩模量)来表示,其值由原状土的压缩试验确定。

压缩系数按下式计算:

$$a = 1000 \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} \quad (1-5)$$

式中:1000——单位换算系数;

a ——土的压缩系数(MPa⁻¹);

P_1 、 P_2 ——固结压力(MPa);

e_1 、 e_2 ——相对应于 P_1 、 P_2 时的孔隙比。

评价地基压缩性时,按 P_1 为 100kPa, P_2 为 200kPa,相应的压缩系数值以 a_{1-2} 划分

为低、中、高压缩性,并应按以下规定进行评价:

当 $a_{1-2} < 0.1 \text{ MPa}^{-1}$ 时,为低压缩性土;

当 $0.1 \leq a_{1-2} < 0.5 \text{ MPa}^{-1}$ 时,为中压缩性土;

当 $a_{1-2} \geq 0.5 \text{ MPa}^{-1}$ 时,为高压缩性土。

2. 压缩模量

工程上也常用室内试验求压缩模量 E_s 作为土的压缩性指标。压缩模量按下式计算:

$$E_s = \frac{1+e_0}{a} \quad (1-6)$$

式中: E_s ——土的压缩模量(MPa);

e_0 ——土的天然(自重压力下)孔隙比;

a ——从土的自重应力至土的自重加附加应力段的压缩系数(MPa^{-1})。

用压缩模量划分压缩性等级和评价土的压缩性可按表 1-4 规定。

表 1-4 地基土按 E_s 值划分压缩性等级的规定

室内压缩模量 E_s (MPa)	压缩等级	室内压缩模量 E_s (MPa)	压缩等级
<2	特高压缩性	7.6~11	中压缩性
2~4	高压缩性	11.1~15	中低压缩性
4.1~7.5	中高压缩性	>15	低压缩性

3. 抗剪强度

土在外力作用下抵抗剪切滑动的极限强度,一般用室内直剪、原位直剪、三轴剪切试验、十字板剪切试验、野外标准贯入、动力触探、静力触探等试验方法进行测定。它是评价地基承载力、边坡稳定性、计算土压力的重要指标。

(1) 抗剪强度计算

土的抗剪强度一般按下式计算:

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \tan \Phi \quad (1-7)$$

式中: τ_f ——土的抗剪强度(kPa);

σ ——作用于剪切面上的法向应力(kPa);

Φ ——土的内摩擦角,剪切试验法向应力与剪应力曲线的切线倾斜角;

c ——土的粘聚力(kPa),剪切试验中土的法向应力为零时的抗剪强度,砂类土

$c=0$ 。

(2)土的内摩擦角 Φ 和粘聚力 c 的求法

同一土样切取不少于环刀进行不同垂直压力作用下的剪力试验后,用相同的比例尺在坐标纸上绘制抗剪强度 τ 与法向应力 σ 的相关直线,直线交 τ 值的截距即为土的粘聚力 c ,砂土的 $c=0$ 。直线的倾斜角即为土的内摩擦角 Φ (见图 1-2)。

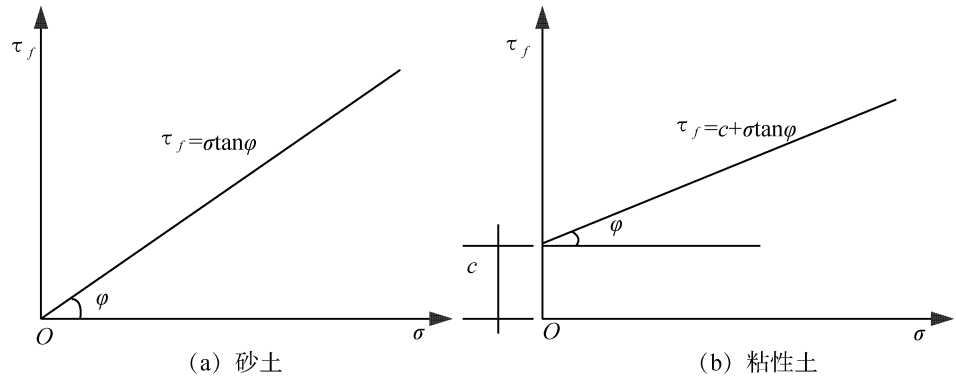


图 1-2 抗剪强度与法向应力的关系曲线

4. 土的力学性质指标的经验参考数据 (表 1-5, 表 1-6)

表 1-5 粘性土力学性质指标的经验数据

土 类		孔隙比 e	液性指数 I_L	含水量 $w(\%)$	液限 $w_L(\%)$	塑性指数 I_P	承载力 $f(\text{MPa})$	压缩模量 $E_s(\text{MPa})$	粘聚力 $c(\text{kPa})$	内摩擦角 $\Phi(^{\circ})$
一般粘性土		0.55~1.0	0~1.0	15~30	25~45	5~20	100~450	4~15	10~50	15~22
新近代粘性土		0.7~1.2	0.25~1.2	24~36	30~45	6~18	80~140	2~7.5	10~20	7~15
淤泥	沿海	1~2.0	>1.0	36~70	36~65	10~25	4~10	10~50	5~15	4~10
淤泥	内陆						5~11	20~50		
质土	山区						3~8	10~60		
红粘土		1.0~1.9	0~0.4	30~50	50~90	>17	10~32	50~160	30~80	5~10

表 1-6 土的力学指标经验数据范围参考值

土 类		孔隙比 e	天然含水量 $\omega(\%)$	塑限含水量 $\omega_p(\%)$	重度 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	粘聚力 $c(\text{kPa})$	内摩擦角 Φ	变形模量 $E_0(\text{MPa})$
砂土	粗砂	0.4~0.5	15~18		20.5	0	42	46
		0.5~0.6	19~22		19.5	0	40	40
		0.6~0.7	23~25		19.0	0	38	33

续表

土 类		孔隙比 e	天然含水量 $\omega(\%)$	塑限含水量 $\omega_p(\%)$	重度 γ (kN/m^3)	粘聚力 c (kPa)	内摩擦角 Φ	变形模量 E_0 (MPa)
砂 土	中砂	0.4~0.5	15~18		20.5	0	40	46
		0.5~0.6	19~22		19.5	0	38	40
		0.6~0.7	23~25		19.0	0	35	33
	细砂	0.4~0.5	15~18		20.5	0	38	37
		0.5~0.6	19~22		19.5	0	36	28
		0.6~0.7	23~25		19.0	0	32	24
	粉砂	0.4~0.5	15~18		20.5	5	36	14
		0.5~0.6	19~22		19.5	3	34	12
		0.6~0.7	23~25		19.0	2	28	10
粘性土	粉土	0.4~0.5	15~18	<9.4	21.0	6	30	18
		0.5~0.6	19~22		20.0	5	28	14
		0.6~0.7	23~26		19.5	2	27	11
		0.4~0.5	15~18	9.5~12.4	21.0	7	25	23
		0.5~0.6	19~22		20.0	5	24	16
		0.6~0.7	23~25		19.5	3	23	13
	粘质粘土	0.4~0.5	15~18	12.5~15.4	21.0	25	24	45
		0.5~0.6	19~22		19.0	15	23	21
		0.6~0.7	26~29		18.0	5	21	12
		0.5~0.6	19~22	15.5~18.4	19.5	35	22	39
		0.7~0.8	26~29		19.0	10	20	15
		0.9~1.0	35~40		18.0	5	18	8
		0.6~0.7	23~25	18.5~22.4	19.0 17.5	40	20	33
		0.7~0.8	26~29			25	19	19
		0.9~1.0	35~40			10	17	9
	粘土	0.7~0.8	26~29	22.5~26.4	18.5	60	18	28
		0.9~1.1	35~40		17.5	25	16	11
		0.8~0.9	30~34	26.5~30.4		65	16	24
		0.9~1.1	35~40			35	16	14

1.1.3 土的分类

1. 土的基本分类

《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)把建筑物地基的岩土分为:岩石、碎石土、砂土、粉土、粘性土和人工填土六类。

(1) 岩石

岩石按坚硬程度分为:坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩、极软岩。

岩石按完整程度分为:完整、较完整、较破碎、破碎、极破碎。

(2) 碎石土

碎石土的分类见表 1—7;碎石土的密实度分为松散、稍密、中密、密实(见表 1—8)。

表 1—7 碎石土分类

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石 块石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 200mm 的颗粒超过全重 50%
卵石 碎石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 20mm 的颗粒超过全重 50%
圆砾 角砾	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 2mm 的颗粒超过全重 50%

注:分类时应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

表 1—8 碎石土的密实度

重型圆锥动力触探锤击数 $N_{63.5}$	密实度	重型圆锥动力触探锤击数 $N_{63.5}$	密实度
$N_{63.5} \leq 5$ $5 < N_{63.5} \leq 10$	松散 稍密	$10 < N_{63.5} \leq 20$ $N_{63.5} > 20$	中密 密实

注:1. 本表适用于平均粒径小于等于 50mm 且最大粒径不超过 100mm 的卵石、碎石、圆砾、角砾。对于平均粒径大于 50mm 或最大粒径大于 100mm 的碎石土,可按表 1—19 鉴别其密实度。

2. 表内 $N_{63.5}$ 为经综合修正后的平均值。

(3) 砂土

砂土的分类见表 1—9;砂土的密实度分为松散、稍密、中密、密实(见表 1—10)。

表 1—9 砂土分类表

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 的颗粒不超过全重 50%

注:分类时应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

表 1—10 砂土分类表

松 散	稍 密	中 密	密 实
$N \leq 10$	$10 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	$N > 30$

注: N 为标准贯入试验锤击数。

(4) 粉土

粉土为塑性指数 $I_p \leq 10$ 、粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过全重 50% 的土。

(5) 粘性土

粘性土按塑性指数分类见表 1—11;按液性指数分类见表 1—12。

表 1—11 粘性土按塑性指数 I_p 分类

粘性土的分类名称	粘 土	粉质粘土
塑性指数 I_p	$I_p > 17$	$10 < I_p \leq 17$

注:1. 塑性指数由相应 76g 圆锥体沉入土样中深度为 10mm 时测定的液限计算而得;

2. $I_p < 10$ 的土,称粉土(少粘性土);粉土又分粘质粉土(粉粒 $> 0.05\text{mm}$ 不到 50%, $I_p < 10$)、砂质粘土(粉粒 $> 0.05\text{mm}$ 占 50% 以上, $I_p < 10$)。

表 1—12 粘性土的状态按液性指数 I_L 分类

塑性状态	坚 硬	硬 塑	可 塑	软 塑	流 塑
液性指数 I_L	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

(6) 人工填土

人工填土可分为素填土、压实填土、杂填土及冲填土,是由人类活动形成的堆积物。

2. 土的工程分类 (表 1-13)

表 1-13 土的工程分类

土的分类	土的级别	土的名称	坚实系数 (f)	密度 (t/m^3)	开挖方法及工具
一类土(松软土)	I	砂土、粉土、冲积石砂土层、疏松的种植土、淤泥(泥炭)	0.5~0.6	0.6~1.5	用锹、锄头挖掘,少许用脚蹬
二类土(普通土)	II	粉质粘土;潮湿的黄土;夹有碎石、卵石的砂;粉土混卵(碎)石;种植土、填土	0.5~0.8	1.1~1.6	用锹、锄头挖掘,少许用镐翻松
三类土(坚土)	III	软及中等密实的粘土;重粉质粘土、砾石土、干黄土、含有碎石卵石的黄土、粉质粘土;压实的填土	0.8~1.0	1.75~1.9	主要用镐,少许用锹、锄头挖掘,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;天然级配砂石;软泥灰岩	1.0~1.5	1.9	整个先用镐、撬棍、后用锹挖掘,部分用楔子及大锤
五类土(软石)	V~VI	坚质粘土;中密的页岩、泥灰岩、白垩土;胶结不紧的砾岩;软石灰及贝壳石灰石	1.5~4.0	1.1~2.7	用镐或撬棍、大锤挖掘,部分使用爆破方法
六类土(次坚石)	VII~IX	泥岩、砂岩、砾岩;坚硬的页岩、泥灰岩,密实的石灰岩;风化花岗岩、片麻岩及正长岩	4.0~10.0	2.2~2.9	用爆破方法开挖,部分用风镐
七类土(坚石)	X~XIII	大理石;辉绿岩;玢岩;粗、中粒花岗岩;坚硬的石灰岩;砂岩、砾岩、片麻岩、石灰岩;微风化安山岩;玄武岩	10.0~18.0	2.5~3.1	用爆破方法开挖
八类土(特坚石)	XIV~XVI	安山岩;玄武岩;花岗片麻岩;坚硬的细粒花岗岩、闪长岩、石英岩、辉长岩、辉绿岩、玢岩、角闪岩	18.0~25.0以上	2.7~3.3	用爆破方法开挖

注:1. 土的级别为相当于一般 16 级土石分类级别;

2. 坚实系数 f 为相当于普氏岩石强度系数。