



建筑工程施工计算系列丛书

# 地基与基础工程施工计算

(含PKPM计算软件演示)

席永慧 徐伟 主编

中国建筑工业出版社

TU47  
C54

建筑工程施工计算系列丛书

# 地基与基础工程施工计算

(含 PKPM 计算软件演示)

席永慧 徐 伟 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地基与基础工程施工计算/席永慧, 徐伟主编. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2008  
(建筑工程施工计算系列丛书)  
ISBN 978-7-112-09787-6

I. 地… II. ①席…②徐… III. ①地基-工程施工-工  
程施工-工程计算②基础(工程)-工程施工-工程施  
工-工程计算 IV. TU47 TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 195620 号

本书从实用角度出发, 介绍了地基与基础工程施工中的设计原理和计算方法。  
全书共分为六章, 包括: 土方工程、爆破工程、支护工程、排降水工程、地基处理、  
桩基础和深基础工程。在各章节中还编写了大量的工程计算例题, 便于工程技术人员  
应用。

本书不仅适合基础施工的工程技术人员阅读, 也可作为相关专业本科生、研究  
生的参考教材。

\* \* \*

责任编辑: 郇锁林 张伯熙  
责任设计: 董建平  
责任校对: 王 爽 张 虹

建筑工程施工计算系列丛书  
地基与基础工程施工计算  
(含 PKPM 计算软件演示)  
席永慧 徐 伟 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)  
各地新华书店、建筑书店经销  
北京华艺制版公司制版  
北京云浩印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 23¼ 字数: 579 千字  
2008 年 9 月第一版 2008 年 9 月第一次印刷  
印数: 1—3500 册 定价: 58.00 元 (含光盘)

ISBN 978-7-112-09787-6  
(16451)

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)

# 前 言

本书是《建筑工程施工计算系列丛书》之一，为广大工程技术人员编写。在编写中强调实用性。对从事基础施工的工程技术人员，本书提供了他们所需要的计算方法。在编写中参照了我国土木工程、地基基础、基坑工程的最新设计与施工规范、规程与标准等。全书内容全面，文字表达通俗易懂，精选了大量工程例题，便于工程技术人员应用。

本书主要参考的国家现行规范有：《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002）、《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001）、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB 50202—2002）、《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120—99）、《基坑土钉支护技术规程》（CECS 96:97）。

本书由席永慧、徐伟主编。其中第一章由席永慧、项宝编写；第二章由徐伟、项宝编写；第三章由席永慧、项宝、周光华编写；第四章由徐伟、杨洋编写；第五章由席永慧、杨洋、余志贵编写；第六章由席永慧、杨洋编写；第七章由朱伟、董智力、曾臻、张逊、王旭峰编写。

在本书的编写中得到了中国建筑科学研究院建筑工程软件研究所 PKPMCAD 工程部上海分部等有关单位的大力支持，特此表示感谢！

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中如有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

# 目 录

<b>第 1 章 土方工程</b> .....	1
1.1 土的物理性质指标计算.....	1
1.2 土的力学性质指标计算.....	9
1.3 土的工程性质.....	13
1.4 场地平整.....	14
1.5 土坡稳定计算.....	29
1.6 直立壁开挖高度计算.....	35
1.7 基坑开挖最小深度的验算.....	36
1.8 滑坡分析与计算.....	37
1.9 填土施工.....	38
1.10 土方机械生产效率及需用数量计算.....	40
<b>第 2 章 爆破工程</b> .....	47
2.1 爆破作用指数计算.....	47
2.2 药包量计算.....	48
2.3 常用爆破方法工艺参数及药量计算.....	53
2.4 特种爆破药量计算.....	60
2.5 建筑物拆除控制爆破工艺参数及装药量计算.....	63
2.6 烟囱和水塔控制爆破计算.....	70
2.7 定向控制爆破计算.....	72
2.8 分集药包量计算.....	74
2.9 爆破基底和边坡保护层厚度计算.....	74
2.10 微差爆破计算.....	76
2.11 水压控制爆破计算.....	78
2.12 爆扩桩用药量计算.....	81
2.13 燃烧剂爆破工艺参数及用药量计算.....	83
2.14 静态破碎剂爆破工艺参数及用药量计算.....	85
2.15 静态爆破破碎时间计算.....	91
2.16 爆破振动影响计算.....	92
2.17 爆破作业安全距离计算.....	94

<b>第3章 支护工程</b> .....	99
3.1 土压力计算 .....	99
3.2 基槽和管沟支撑的计算 .....	121
3.3 挡土板桩支护计算.....	128
3.4 挡土灌注桩支护计算.....	144
3.5 双排桩支护计算.....	153
3.6 组合式挡土桩支护计算 .....	159
3.7 地下连续墙支护计算.....	160
3.8 排桩、地下连续墙稳定性分析与验算 .....	165
3.9 土层锚杆施工计算.....	176
3.10 水泥土墙支护计算 .....	183
3.11 土钉墙支护计算 .....	184
3.12 人工挖孔桩护壁厚度计算 .....	187
3.13 井壁混凝土支护计算 .....	189
3.14 重力式挡土墙计算 .....	195
<b>第4章 排降水工程</b> .....	199
4.1 土的渗透系数计算.....	199
4.2 场地排水明沟流量计算 .....	200
4.3 场地防洪沟流量和截面计算 .....	203
4.4 基坑明沟排水计算.....	207
4.5 基坑涌水量计算.....	210
4.6 基坑流砂现象的防治.....	211
4.7 轻型井点降水计算.....	213
4.8 喷射井点降水计算.....	219
4.9 电渗井点降水计算.....	222
4.10 深井(管井)井点降水计算 .....	224
<b>第5章 地基处理</b> .....	227
5.1 地基土承载力计算.....	227
5.2 地基最终沉降量计算.....	233
5.3 换土垫层厚度和宽度计算 .....	245
5.4 重锤夯实施工计算.....	247
5.5 强夯法加固地基影响深度的计算 .....	249
5.6 土或灰土挤密桩施工计算 .....	250
5.7 砂石桩施工计算.....	252
5.8 振冲法加固地基施工计算 .....	256

5.9	深层搅拌法加固地基施工计算	259
5.10	高压喷射注浆法加固地基施工计算	263
5.11	粉体喷射搅拌法施工计算	266
5.12	硅化加固地基施工计算	269
5.13	砂井堆载预压加固地基施工计算	273
<b>第6章</b>	<b>桩基础和深基础工程</b>	<b>280</b>
6.1	混凝土预制桩打(沉)桩施工控制计算	280
6.2	桩与桩基承载力计算	284
6.3	多分支承力盘灌注桩承载力计算	301
6.4	桩基负摩阻(擦)力计算	302
6.5	岩溶地基验算	304
6.6	岩石锚杆(桩)承载力计算	307
6.7	爆扩桩扩大头直径及承载力计算	308
6.8	灌注桩(地下连续墙)导管法水中灌注混凝土计算	311
6.9	沉井施工计算	314
6.10	地下连续墙施工计算	327
<b>第7章</b>	<b>PKPM 施工基础计算系列软件</b>	<b>333</b>
7.1	塔吊基础工程软件	333
7.2	地基处理软件介绍	343
7.3	基坑设计软件	351
<b>参考文献</b>		<b>364</b>

# 第 1 章

## 土方工程

### ◆ 1.1 土的物理性质指标计算

#### 1.1.1 土的基本物理性质指标计算

土是由固体颗粒、水和气体三部分所组成的三相体系。三相组成的性质，特别是固体颗粒的性质，直接影响土的工程特性。但是，同样一种土，密实时强度高，松散时强度低。对于细粒土，水含量少时则硬，水含量多时则软。这说明土的性质不仅决定于三相组成的性质，而且三相之间量的比例关系也是一个很重要的影响因素。

土的三相物质是混合分布的，为研究阐述和计算方便，一般用图 1-1 所示的三相图表示，把土的固体颗粒、水、空气各自划分开来。气体的质量比其他两部分小很多，一般忽略不计。

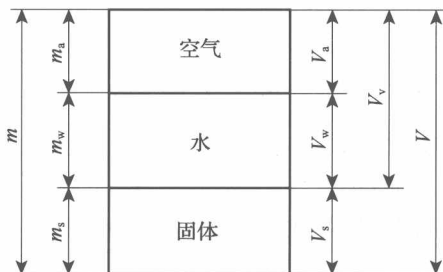


图 1-1 土的三相组成示意图

- 注  $V_a$ ——土中空气的体积；  
 $V_w$ ——土中水的体积；  
 $V_s$ ——土粒的体积  $V_s$ ；  
 $V_v$ ——土中孔隙体积， $V_v = V_w + V_a$ ；  
 $V$ ——土样的总体积； $V = V_s + V_w + V_a$ ；
- $m_a$ ——土中空气的质量；  
 $m_w$ ——土中水的质量；  
 $m_s$ ——土粒的质量；  
 $m$ ——土样的总质量

#### 1. 土的质量密度与重力密度

##### 1) 土的质量密度

单位体积土的质量称为土的质量密度，简称土的密度，用符号  $\rho$  表示，其基本表达式为：



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

式中  $V$ ——土的总体积；

$m$ ——土的总质量。

土的密度一般由试验方法（环刀法）直接测定，即根据特制环刀所取的土重除以环刀的容积所得。土的密度随土的矿物成分、孔隙大小和水的含量而不同，天然状态下的土的密度一般为  $1.6 \sim 2.1 \text{ t/m}^3$ 。

## 2) 土的重力密度

单位体积土所受的重力称为土的重力密度，简称土的重度，用符号  $\gamma$  表示，其基本表达式为：

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (1-2)$$

或

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1-3)$$

式中  $W$ ——土的重力（质量）（kN）；

$V$ ——土的体积（ $\text{m}^3$ ）；

$\rho$ ——土的密度（ $\text{kN/m}^3$ ）；

$g$ ——重力加速度，取  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

土的重度由试验方法测定后计算求得。一般土的重度为  $16 \sim 20 \text{ kN/m}^3$ 。

## 2. 土粒相对密度

土粒单位体积的质量与  $4^\circ\text{C}$  时蒸馏水的密度  $\rho_w$  之比称为土粒相对密度，用符号  $d_s$  表示，其基本表达式为：

$$d_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (1-4)$$

式中  $V_s$ ——土中固体颗粒的体积；

$m_s$ ——土中固体颗粒的质量。

土粒的相对密度一般由试验方法测定。它是没有单位的，一般性黏土为  $2.70 \sim 2.80$ ；砂土为  $2.65 \sim 2.69$ 。

## 3. 土的含水量

土中水的质量与颗粒质量之比（用%表示），称为土的含水量，用符号  $w$  表示，其基本表达式为：

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中  $m_s$ ——土中固体颗粒的质量；

$m_w$ ——土中水的质量。

土的含水量由试验方法（烘干法）测定，根据烘干前后的质量差与烘干后土重之比，即可求得。土的含水量砂土大致在  $0 \sim 40\%$  间变化，黏性土在  $20\% \sim 100\%$  间变化。

## 4. 土的干密度与干重度

### 1) 土的干密度

土的单位体积内颗粒的质量,称为土的干密度,用符号 $\rho_d$ 表示,其基本表达式为:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-6)$$

式中  $V$ ——土的总体积;

$m_s$ ——土的固体颗粒的质量。

一般土的干密度为 $1.3 \sim 1.8 \text{t/m}^3$ 。

## 2) 土的干重度

土的单位体积内颗粒的重力称为土的干重度,用符号 $\gamma_d$ 表示,其基本表达式为:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (1-7)$$

或

$$\gamma_d = \frac{d_s}{1+e} \quad (1-8)$$

$w$ 、 $e$ 、 $d_s$ 符号意义同前。

土的干重度由试验方法直接测定。一般土的干重度为 $13 \sim 18 \text{kN/m}^3$ 。

## 5. 土的饱和密度和饱和重度

### 1) 土的饱和密度

土的孔隙完全被水充满时土的密度称为土的饱和密度,用符号 $\rho_{\text{sat}}$ 表示,其基本表达式为:

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \cdot \rho_w}{V} \quad (1-9)$$

式中  $V_v$ ——土中孔隙的体积;

$V$ 、 $m_s$ 、 $\rho_w$ 符号意义同前。

土的饱和密度,可由计算求得。一般土的饱和密度为 $1.8 \sim 2.3 \text{t/m}^3$ 。

### 2) 土的饱和重度

土中孔隙完全被水充满时土的重度称为土的饱和重度,用符号 $\gamma_{\text{sat}}$ 表示,其基本表达式为:

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_s + V_v \cdot \gamma_w}{V} \quad (1-10)$$

式中  $\gamma_w$ ——水的重度,为 $9.81 \text{kN/m}^3$ ,近似取 $\gamma_w = 10 \text{kN/m}^3$ ;

$W_s$ ——土粒的重量;

$V$ 、 $V_v$ 符号意义同前。

土的饱和重度可由计算求得,一般土的饱和重度为 $18 \sim 28 \text{kN/m}^3$ 。

## 6. 土的有效重度

在地下水位以下的土体,受到水的浮力作用时,土的重度称为土的有效重度,简称浮重度,用符号 $\gamma'$ 表示,其基本表达式为:

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad (1-11)$$

式中  $\gamma_{\text{sat}}$ ——土的饱和重度；

$\gamma_w$ ——水的重度，近似取  $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$ 。

土的有效重度由计算求得，一般土的有效重度为  $8 \sim 13\text{kN/m}^3$ 。

### 7. 土的孔隙比

土中孔隙体积与土粒体积之比称为孔隙比，用符号  $e$  表示，其基本表达式为：

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-12)$$

式中  $V_v$ ——土中固体颗粒的体积；

$V_s$ ——土中孔隙的体积。

土的孔隙比可由计算求得。一般黏性土为  $0.5 \sim 1.2$ ；砂土为  $0.3 \sim 0.9$ 。

### 8. 孔隙率

土中孔隙体积与土的体积之比（用%表示），称为孔隙率，又称孔隙度，用符号  $n$  表示，其基本表达式为：

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中  $V$ ——土的总体积；

$V_v$ ——土中孔隙的体积。

土的孔隙率可由计算求得。一般黏性土为  $30\% \sim 60\%$ ；砂土为  $25\% \sim 45\%$ 。

### 9. 饱和度

土中水的体积与孔隙体积之比称为饱和度，用符号  $S_r$  表示，其基本表达式为：

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-14)$$

式中  $V_v$ ——土中孔隙的体积；

$V_w$ ——土中水所占的体积。

土的饱和度可由计算求得，一般土为  $0 \sim 1.0$ ；孔隙全部为水所充填（ $S_r = 1$ ）的土称为饱和土；如土中不含水，即  $V_w = 0$ ，则  $S_r = 0$ ，土为干土。

上述物理性质指标中， $\rho$ 、 $w$  和  $d_s$  三个指标须通过试验测定，通常称为实验指标；其他指标可由这三个指标换算得来，称为计算指标。

各种换算公式见表 1-1。

土的三相比例指标换算公式表

表 1-1

指标名称	符 号	三相比例表达式	单 位	常用换算公式	备 注
重度	$\gamma$	$\gamma = \frac{W}{V}$	$\text{kN/m}^3$	$\gamma = \gamma_d(1+w)$ $\gamma = \frac{d_s(1+w)}{1+e}\gamma_w$	试验测定
土粒相对密度	$d_s$	$d_s = \frac{W_s}{V_s} \cdot \frac{1}{\gamma_w}$		$d_s = \frac{S_r e}{w}$	试验测定

续表

指标名称	符号	三相比例表达式	单位	常用换算公式	备注
含水量	$w$	$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$		$w = \frac{S_r e}{d_s}$ $w = \frac{\gamma}{\gamma_d} - 1$	试验测定
干重度	$\gamma_d$	$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$	$\text{kN/m}^3$	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$	
饱和重度	$\gamma_{\text{sat}}$	$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_s + V_v \gamma_w}{V}$	$\text{kN/m}^3$	$\gamma_{\text{sat}} = \gamma' + \gamma_w$ $\gamma_{\text{sat}} = \frac{d_s + e}{1+e} \gamma_w$	
有效重度	$\gamma'$	$\gamma' = \frac{W_s - V_v \gamma_w}{V}$	$\text{kN/m}^3$	$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$	
孔隙比	$e$	$e = \frac{V_v}{V_s}$		$e = \frac{d_s(1+w)\gamma_w}{\gamma} - 1$	
孔隙率	$n$	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$		$n = \frac{e}{1+e}$	
饱和度	$S_r$	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$		$S_r = \frac{w d_s}{e}$ $S_r = \frac{w \gamma_d}{n \gamma_w}$	

【例 1-1】某地基土样数据如下：环刀体积  $60\text{cm}^3$ ，湿土质量  $0.1204\text{kg}$ ，干土质量  $0.0992\text{kg}$ ，土粒相对密度为  $2.71$ 。试计算天然含水量，天然重度  $\gamma$ ，孔隙比  $e$ 。

【解】

干土质量  $m_s = 0.0992\text{kg}$ ，湿土质量  $m = 0.1204\text{kg}$

水的质量  $m_w = 0.1204 - 0.0992 = 0.0212\text{kg}$

含水量  $w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{0.0212}{0.0992} \times 100\% = 21.4\%$

天然重度  $\gamma = \frac{W}{V} = \frac{0.1204 \times 10^{-3} \times 10}{60 \times 10^{-6}} = 20.07\text{kN/m}^3$

孔隙比  $e = \frac{d_s(1+w)\gamma_w}{\gamma} - 1 = \frac{2.71 \times (1+0.214) \times 10}{20.07} - 1 = 0.639$

【例 1-2】已知某住宅楼回填土夯实后的密度  $\rho = 1.85\text{t/m}^3$ ，含水量  $w = 14.5\%$ ，设计要求夯实后的干密度为  $1.55\text{t/m}^3$ ，试问此回填土是否符合设计质量要求。

【解】按式 (1-7) 得：

干密度  $\rho_d = \gamma_d g = \frac{\rho}{1+w} = \frac{1.85}{1+0.145} = 1.62\text{t/m}^3$

因夯实后的  $\rho_d$  大于要求的干密度  $1.55\text{t/m}^3$ ，故符合设计质量要求。

**【例 1-3】** 写字楼基坑钻探取得原状土样，经实测得土的天然密度  $\rho = 1.70\text{t/m}^3$ ，含水量  $w = 13.0\%$ ，土颗粒的相对密度  $d_s = 2.68$ 。试求土的孔隙比  $e$  和饱和度  $S_r$ 。

**【解】** 由换算公式得：

$$\text{孔隙比 } e = \frac{d_s \cdot \rho_w (1 + w)}{\rho} - 1 = \frac{2.68 \times 1 \times (1 + 0.13)}{1.70} - 1 = 0.781$$

$$\text{饱和度 } S_r = \frac{w \cdot d_s}{e} = \frac{0.13 \times 2.68}{0.781} = 44.6\%$$

**【例 1-4】** 地下室基坑原状土样由室内试验得土的天然重度  $\gamma = 18.65\text{kN/m}^3$ ，土粒相对密度  $d_s = 2.7$ ，天然含水量  $w = 28\%$ ，试求土的孔隙比、孔隙率、饱和度、饱和土重度、干土重度和有效重度。

**【解】** 由换算公式得：

$$\text{孔隙比 } e = \frac{d_s \gamma_w (1 + w)}{\gamma} - 1 = \frac{2.7 \times 10 \times (1 + 0.28)}{18.65} - 1 = 0.853$$

$$\begin{aligned} \text{孔隙率 } n &= \left[ 1 - \frac{\gamma}{d_s \gamma_w (1 + w)} \right] \times 100\% \\ &= \left[ 1 - \frac{18.65}{2.7 \times 10 \times (1 + 0.28)} \right] \times 46\% \end{aligned}$$

$$\text{或 } n = \frac{e}{1 + e} \times 100\% = \frac{0.853}{1 + 0.853} \times 100\% = 46.0\%$$

$$\text{饱和度 } S_r = \frac{w \cdot d_s}{e} \times 100\% = \frac{0.28 \times 2.7}{0.853} \times 100\% = 88.6\%$$

$$\text{饱和土重度 } \gamma_{\text{sat}} = \frac{d_s + e}{1 + e} \gamma_w = \frac{(2.7 + 0.853) \times 10}{1 + 0.853} = 19.17 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{干土重度 } \gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} = \frac{18.65}{1 + 0.28} = 14.57 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{有效重度 } \gamma' = \frac{(d_s - 1) \gamma_w}{1 + e} = \frac{(2.70 - 1) \times 10}{1 + 0.853} = 9.17 \text{ kN/m}^3$$

### 1.1.2 黏性土可塑性指标计算

黏性土颗粒很细，含黏土矿物成分较多，含水量对其所处的状态影响很大，随着含水量的增加，黏性土可从固体状态经过塑性状态而变成流动状态。土所处状态不同，它的强度（承载力）也就不同。为了确定黏性土种类和所处的状态，应先通过试验和计算确定黏性土的界限含水量及其可塑性指标。

#### 1. 塑限

土由固体状态变到塑性状态时的分界含水量称为塑限，用符号  $w_p$  表示。

塑限通常用搓柔法通过试验测定。

#### 2. 液限

土由塑性状态变到流动状态时的分界含水量称为液限，用符号  $w_L$  表示。

液限一般用锥式液限仪通过试验测定。

### 3. 塑性指数

液限与塑限之差称为塑性指数，以下式表示：

$$I_p = w_L - w_p \quad (1-15)$$

式中  $I_p$ ——土的塑性指数，一般以百分数的绝对值表示，不带%符号；

$w_L$ ——土的液限（%）；

$w_p$ ——土的塑限（%）。

塑性指数由计算求得，塑性指数的大小与土内所含黏土粒组多少有关。塑性指数愈大，表示处于塑性状态的含水量范围愈大。工程上常以塑性指数来划分很细的砂土、粉土和黏性土的界限，以及用来确定黏性土的名称（表1-2），是进行黏性土分类的重要指标。

黏性土按塑性指数  $I_p$  分类

表 1-2

黏性土的分类名称	黏土	粉质黏土
塑性指数 $I_p$	$I_p > 17$	$10 < I_p < 17$

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

### 4. 液性指数

土的天然含水量与塑限之差对塑性指数之比称为液性指数，以下式表示：

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} \quad (1-16)$$

式中  $w$ ——土的天然含水量（%）；

$I_p$ 、 $w_p$  符号意义同前。

液性指数由计算求得，是判别黏性土状态（坚硬程度）的重要物理指标（表1-3）；如  $w < w_p$ ，即  $I_L \leq 0$ ，表示土处于硬塑状态；若  $w > w_L$ ，即  $I_L > 1$ ，则表示土处于流塑状态。当  $w$  在  $w_p$  与  $w_L$  之间，即  $I_L$  在 0 与 1 之间时，土为可塑状态。

黏性土的状态（坚硬程度）按液性指数  $I_L$  分类

表 1-3

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

注：当用静力触探探头阻力或标准贯入试验锤击数判定黏性土的状态时，可根据当地经验确定。

### 5. 含水比

土的天然含水量  $w$  与液限  $w_L$  的比值称含水比，用符号  $a$  表示，即

$$a = \frac{w}{w_L} \quad (1-17)$$

含水比由计算求得，亦是表示黏性土坚硬状态的一个物理指标，如红黏土的软硬状态按含水比划分，如表1-4。

红黏土的状态按含水比  $a$  划分

表 1-4

塑性状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
含水比 $a$	$a \leq 0.55$	$0.55 < a \leq 0.70$	$0.7 < a \leq 0.85$	$0.85 < a \leq 1.00$	$a > 1.00$

【例 1-5】住宅楼基坑取土样经试验测定天然含水量  $w = 20.5\%$ ；塑限  $w_p = 18.5\%$ ，液限  $w_L = 28.7\%$ ，试确定土样的名称及所处的物理状态。

【解】由式 (1-15) 土样的塑性指数为：

$$I_p = w_L - w_p = 28.7 - 18.5 = 10.2$$

由表 1-2 可知， $10 < I_p < 17$ ，故知土样为粉质黏土。

又由式 (1-16) 土样的液性指数为：

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} = \frac{20.5 - 18.5}{10.2} = 0.196$$

由表 1-3 可知， $0 < I_L < 0.25$ ，故知土样为硬塑状态。

### 1.1.3 砂土物理状态指标计算

砂土为粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重 50%、粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50% 的土。砂土可按表 1-5 分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。在地基基础设计与施工中，除知道土的种类外，还需了解地基土所处的物理状态，以便确定地基的承载力。

对于砂土的密实度，《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 建议由标准贯入试验锤击数  $N$  确定砂土的密实度，见表 1-6。

砂土的含水饱和程度，对其工程性质影响较大。饱和度是衡量砂土潮湿程度的一个指标。砂土根据饱和度  $S_r$  的数值可分为稍湿、很湿、饱和三种湿度状态，见表 1-7。

砂土的分类

表 1-5

项次	土的名称	粒组含量
1	砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒占全重 25% ~ 50%
2	粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒超过全重 50%
3	中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒超过全重 50%
4	细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 85%
5	粉砂	粒径大于 0.075mm 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。

砂土的密实度

表 1-6

标准贯入试验锤击数 $N$	$N \leq 10$	$10 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	$N > 30$
密实度	松散	稍密	中密	密实

注：当用静力触探探头阻力判定砂土的密实度时，可根据当地经验确定。

砂土的湿度

表 1-7

湿度	稍湿	很湿	饱和
饱和度 $S_r$	$S_r \leq 50\%$	$50\% < S_r \leq 80\%$	$S_r > 80\%$

**【例 1-6】** 基坑地基土为砂土，设取烘干后的土样重 500g，筛分试验结果如表 1-8 所示。已知经物理指标试验测得土的天然密度  $\rho = 1.73\text{t/m}^3$ ，土粒相对密度  $d_s = 2.69$ ，天然含水量  $w = 14.3\%$ 。试确定此砂土的名称及其物理状态。

地基土筛分试验结果

表 1-8

筛孔直径 (mm)	20	2	0.5	0.25	0.075	<0.075 (底盘)	总计
留在每层筛上的土重 (g)	0	45	65	150	190	50	500
大于某粒径的颗粒占全部土重的%	0	9	22	52	90	100	—

**【解】** (1) 确定土的名称

从表 1-8 中知，粒径大于 0.25mm 的颗粒占全部土重的百分率为 52%，即大于 50%。按表 1-5 排列的名称顺序确定此砂土为中砂。

(2) 确定土的物理状态

计算土的天然孔隙比  $e$ ：

$$\begin{aligned} e &= \frac{d_s \rho_w (1 + w)}{\rho} - 1 \\ &= \frac{2.69 \times 1 \times (1 + 0.143)}{1.73} - 1 \\ &= 0.777 \end{aligned}$$

由于  $e = 0.777$  是在孔隙比 0.75 ~ 0.85 之间，故此中砂为稍密状态。

计算土的饱和度  $S_r$ ：

$$\begin{aligned} S_r &= \frac{w d_s}{e} = \frac{0.143 \times 2.69}{0.777} = 0.495 \\ &= 49.5\% \end{aligned}$$

由表 1-7 可知，此中砂为稍湿的。

## ◆ 1.2 土的力学性质指标计算

### 1.2.1 土的压缩系数和压缩模量计算

#### 1. 土的压缩系数计算

压缩系数  $a$  表示土在单位压应力变化下孔隙比的变化。通常用压缩系数来表示土的压缩性，其值由原状土的压缩性试验确定。土的压缩系数可按下式计算：



$$a = -\frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} \quad (1-18)$$

式中  $a$ ——土的压缩系数 ( $\text{MPa}^{-1}$ );

$p_1$ 、 $p_2$ ——固结压力 ( $\text{MPa}$ );

$e_1$ 、 $e_2$ ——相对于  $p_1$ 、 $p_2$  时的孔隙比。

由式 (1-18) 知, 压缩系数愈大, 土的压缩性亦愈大。但土的压缩系数并不是常数, 而是随压力  $p_1$ 、 $p_2$  的数值的变化而变化。在评价地基压缩性时, 一般取  $p_1 = 100\text{kPa}$ 、 $p_2 = 200\text{kPa}$ , 并将相应的压缩系数记作  $a_{1-2}$ 。在《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 中按  $a_{1-2}$  的大小将地基的压缩性划分为低、中、高压压缩性三类:

- (1) 当  $a_{1-2} < 0.1\text{MPa}^{-1}$  时, 为低压缩性土;
- (2) 当  $0.1 \leq a_{1-2} < 0.5\text{MPa}^{-1}$  时, 为中压缩性土;
- (3) 当  $a_{1-2} \geq 0.5$  时, 为高压压缩性土。

**【例 1-7】** 工程地基土由室内压缩性试验知, 当固结压力  $p_1 = 100\text{kPa}$  时, 孔隙比  $e_1 = 0.623$ ;  $p_2 = 200\text{kPa}$  时,  $e_2 = 0.548$ , 试求土的压缩系数, 并评价该土层的压缩性高低。

**【解】** 根据已知试验数据由式 (1-18) 可求得土的压缩系数为:

$$a_{1-2} = 1000 \times \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} = 1000 \times \frac{0.623 - 0.548}{200 - 100} = 0.75\text{MPa}^{-1}$$

因  $a_{1-2} = 0.75 > 0.5\text{MPa}^{-1}$ , 故知该土层为高压压缩性土。

## 2. 土的压缩模量计算

工程上还常用室内试验求压缩模量  $E_s$ , 作为土的压缩性指标。土的压缩模量可按下式计算:

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a} \quad (1-19)$$

式中  $E_s$ ——土的压缩模量 ( $\text{MPa}$ );

$e_0$ ——地基土的天然 (自重压力下) 孔隙比;

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

由式 (1-19) 知, 压缩模量与压缩系数相反, 压缩模量愈大, 土的压缩性愈小; 反之, 压缩模量愈小, 土的压缩性愈大。为了对比土的压缩性, 工程中常采用  $p_1 = 100\text{kPa}$  和  $p_2 = 200\text{kPa}$  压力段所确定的压缩模量, 作为评定土的压缩性指标。则式 (1-19) 可写成:

$$E_{s(1-2)} = \frac{1 + e_0}{a_{1-2}} \quad (1-20)$$

式中  $E_{s(1-2)}$ ——相应于  $p_1 = 100\text{kPa}$ ,  $p_2 = 200\text{kPa}$  时土的压缩模量 ( $\text{MPa}$ );

$a_{1-2}$ —— $p_1 = 100\text{kPa}$ 、 $p_2 = 200\text{kPa}$  时土的压缩系数。

用压缩模量划分压缩性等级和评价土的压缩性可按表 1-9 规定。