

工程实用土力学

# 工程实用土力学

美國 卡 尔·塔 薩 奇 合著  
雷 尔 夫·皮·潑 克

美国 卡尔·塔薩奇等著

水利

86.I

I2

001438

水利电力出版社

社

# 工程实用土力学

美国 卡尔·塔萨奇 合著  
雷尔夫·皮·潑克  
蒋 彭 年 译

0001438  
水利电力出版社

Karl Terzaghi and Ralph B. Peck  
**Soil Mechanics in Engineering Practice**  
NEW YORK U.S.A 1948

247/36

工程实用土力学  
根据美国1948年纽约第3版翻译  
蒋 彭 年 译

1160S296

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里内）  
北京市书刊出版业营业许可证出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

787×1092 $\frac{1}{16}$ 开本 \* 19 $\frac{1}{2}$ 印张 \* 453千字 \* 定价（第10类）2.70元  
1960年3月北京第1版  
1960年3月北京第1次印刷（0001—5,900册）

## 譯者的話

本書主要闡述了建築物地基、堤壩、擋土牆、斜坡和挖方等實際工程技術問題，還扼要地敘述了土的特性以及土力學理論。

本書內容共分三篇：第一篇是土的特性及其鑑別；第二篇是土力學理論，它闡明了土體的極限平衡、外力引起的變形以及土和水之間的相互作用等基本理論；第三篇是本書的主要部分，它詳述了建築物地基、堤壩、擋土牆、斜坡和挖方等工程的設計原理和施工經驗，也闡述了土的勘探測驗方法。書末附有公路和飛機場的地基、板樁岸牆、圍堰、隧道、涵洞等工程的設計和施工問題的參考要目。

本書的特點是，在闡述上述各項工程技術問題時，廣泛地運用了土力學理論以及土的特性，使土力學的近代知識與實際工程技術問題密切聯繫起來。

遇有本書中一些機械論的傾向之處，希讀者棄用和批判。

為了便於讀者參考起見，除對參考文獻按原文刊印外，本書譯文按原著作一一譯出。譯文對原著作的意見，難免不能很好地表達出來，尚希讀者批評和指正。本書承麥喬威同志校閱，深表感謝。

## 序 言

在迫切需要的情况下，数十年前創始了土力学。由于实际土壤問題的范围辽闊，解决这些問題的科学方法显然更加不足。歐美各国几乎在同时开始了补救这种情况的努力，而且短期内这些努力就产生了一門惊人的有用科学。

这种应用科学的最初成就鼓舞了結構分析的一个新的学科开始发展。因此理論研究的范围和深度迅速增长，試驗方法也发展到很高的精度。如果没有这些劳动的研究結果，是不可能求得土壤工程問題的合理解决的。

可是，土力学的研究活动曾有着一种不好的心理学上的作用。許多研究人員和教育工作人員的注意力，使这些研究活动轉向于在土壤工程問題的数学应用上自然地利用各种限制条件。因此，曾更多地強調取样和試驗方法的精細操作和用精确的方法解决那些极少数的問題。但是，祇有土层在水平方向上是均匀一致的、連續的，才能够求得精确的解答。而且，为了求得精确解答，研究工作必須包括极为特殊的取样和試驗操作方法，而这些又祇有在例外情况下才能認為是恰当的。絕大部分工程祇需要近似的預估方法，如果不能用簡單方法来进行这种預估，那么它也就是不能做到的。如果不可能进行近似的預估，則在施工时必须对土壤的性質进行現場观测，然后依据这些观测結果把設計修正。这些事实並不违背土力学的目的，也不能加以忽視。本書內的題目就是依据这些情况来考虑的。

本書第一篇是叙述土壤的物理性質，第二篇是土力学的理論。这两編很短，但是它已包括了目前念工程的学生和一般工程师所必須瞭解的土力学的内容。本書的主要部分是第三篇。

第三篇是叙述在天然土层求結構复杂和土壤情况資料短缺的情形下，以合理的費用求得土方地基工程的滿意結果的技术。要达到这种目的，工程师們必須善于利用一切方法和所有材料——包括經驗总结、理論知識和土壤試驗。但是，除非这些材料加以細心地有区别地应用，否則所有这些材料都是无益的，因为几乎每一个有关土力学的实际問題都是至少有某些特点是沒有先例的。

第三篇內各項实际問題的討論，都是首先有批判地回溯一下常用的方法，然后逐步地說明利用土力学研究結果的目前已經實現的改进方法。所以，經驗丰富的工程师最好从本書的第三篇开始閱讀。他祇須將第一、二兩篇作为参考之用，以便求得他尚未熟悉的有关概念性的知識。否則他在認識到他所感到兴趣的某些材料的功用之前，他就不得不瞭解大量的材料。

第三篇中所包括的实际問題解決方法的細节，在經驗积累的过程中，可予增刪，而且由于其中某些方法祇是暫時的得策方法，它們在几年后也可能棄而不用。但是該篇中的半經驗方法的价值，我們相信是隨時可用的。該篇每节之末，附有参考文献。在参考文献中，凡是能培养細心的和得策的現場观测能力和迫切需要的都已优先选择。必須強調指出，这些文献中的某些討論和总结的内容，可能較之該节本身为重要。

由于土工范围的辽闊，不能在一本書中适当地包括所有的材料，所以，像公路、飞

机场和隧道工程的各种重要内容均未列入。关于这方面的参考文献简目，已列入附录中。

在最初阶段，本书的原稿曾由西·波·撒斯教授慎重地研究过，他的评注对我们帮助很大。本书著者并感谢几位有实际经验的工程师在看了本书各部分后所提出的建议。我们特别感谢爱·依·寇明、渥·扣·泼克和欧夫·依·史启米特各位先生对于第三篇的批评，阿尔·依·甘利姆博士对于第4节的校阅，以及路斯·地·塔萨基博士协助第63节的准备工作。

对于本书内从其它方面搜集了的全部的或局部的图表，也表示感谢。爱尔曼·欧夫·海探教授担任了绘图工作。对于他的合作热忱和精细工作，本书著者深致谢忱。

卡尔·塔萨基

雷尔夫·皮·泼克

## 目 錄

|           |    |
|-----------|----|
| 符 号 ..... | 6  |
| 緒 論 ..... | 10 |

### 第一篇 土壤的物理性質

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 土壤的指示性質 .....           | 11 |
| 第1节 指示性質在实用上的重要性 .....      | 11 |
| 第2节 土壤的主要类型 .....           | 11 |
| 第3节 土粒的大小和形状 .....          | 14 |
| 第4节 极細土粒部分的性質 .....         | 15 |
| 第5节 土壤的机械分析 .....           | 19 |
| 第6节 基于粒径特性的土壤分类 .....       | 20 |
| 第7节 土团 .....                | 23 |
| 第8节 黏土的稠度和灵敏度 .....         | 27 |
| 第9节 土壤說明的最低要求 .....         | 30 |
| 第二章 土壤的水力性質和力学性質 .....      | 32 |
| 第10节 土壤的水力性質和力学性質的意义 .....  | 32 |
| 第11节 土壤的滲透性 .....           | 32 |
| 第12节 有效应力、中性应力和临界水力坡降 ..... | 38 |
| 第13节 受側限土层的压缩性 .....        | 41 |
| 第14节 黏土层的固結作用 .....         | 51 |
| 第15节 土壤的抗剪强度 .....          | 53 |
| 第16节 三軸压力試驗 .....           | 61 |
| 第17节 流砂和軟黏土的剪力特性 .....      | 65 |
| 第18节 土壤的应力和应变 .....         | 68 |
| 第19节 振动对于土壤的作用 .....        | 71 |
| 第三章 土壤的排水 .....             | 72 |
| 第20节 地下水水面、土壤水分和毛細管現象 ..... | 72 |
| 第21节 排水过程 .....             | 75 |

### 第二篇 理論土力学

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第四章 土壤內的塑性平衡 .....         | 84  |
| 第22节 基本假定 .....            | 84  |
| 第23节 塑性平衡状态 .....          | 85  |
| 第24节 郎肯土压力理論 .....         | 88  |
| 第25节 墙壁摩擦力对于滑动面形状的影响 ..... | 92  |
| 第26节 擋土墙上主动土压力的庫倫理論 .....  | 93  |
| 第27节 土压力的作用点 .....         | 96  |
| 第28节 粗糙接触面上的被动土压力 .....    | 97  |
| 第29节 浅基脚的載重能力 .....        | 101 |
| 第30节 墩台和承台的載重能力 .....      | 106 |

|                     |                  |     |
|---------------------|------------------|-----|
| 第31节                | 斜坡的稳定性           | 109 |
| 第32节                | 挖坑内支撑上的土压力       | 115 |
| 第33节                | 土壤内的弯拱作用         | 119 |
| 第五章                 | 沉陷和接触压力          | 119 |
| 第34节                | 緒論               | 119 |
| 第35节                | 荷重面积下土壤的垂直压力     | 120 |
| 第36节                | 基础的沉陷            | 124 |
| 第37节                | 接触压力和地基土壤反作用力的理論 | 126 |
| 第六章                 | 土壤的水力学           | 129 |
| 第38节                | 水力学问题的范围         | 129 |
| 第39节                | 渗流計算             | 130 |
| 第40节                | 管湧力学             | 136 |
| 第41节                | 固結理論             | 138 |
| 第42节                | 土堤的稳定性           | 143 |
| <b>第三篇 設計和施工的問題</b> |                  |     |
| 第七章                 | 土壤探驗             | 149 |
| 第43节                | 土壤探驗的目的和范围       | 149 |
| 第44节                | 土壤探驗方法           | 151 |
| 第45节                | 地基土壤的探驗計劃        | 167 |
| 第八章                 | 土压力和斜坡的稳定性       | 181 |
| 第46节                | 擋土牆              | 181 |
| 第47节                | 开挖前的排水           | 191 |
| 第48节                | 敞口挖方中的側支撐        | 198 |
| 第49节                | 山坡和敞口挖方斜坡的稳定性    | 204 |
| 第50节                | 土壤的压实            | 215 |
| 第51节                | 填土、土堤和土堤的設計      | 220 |
| 第52节                | 填土地基的稳定性         | 227 |
| 第九章                 | 基础               | 234 |
| 第53节                | 建筑物的基础           | 234 |
| 第54节                | 基脚基础             | 237 |
| 第55节                | 筏基               | 253 |
| 第56节                | 樁基               | 260 |
| 第57节                | 墩基               | 276 |
| 第58节                | 坝基               | 281 |
| 第59节                | 管涌的防护措施          | 286 |
| 第十章                 | 特殊原因所引起的沉陷       | 292 |
| 第60节                | 施工操作所引起的沉陷       | 292 |
| 第61节                | 地下水水位降低所引起的沉陷    | 298 |
| 第62节                | 振动所引起的沉陷         | 300 |
| 第63节                | 基础内混凝土崩解所引起的沉陷   | 301 |
| 附录                  | 設計和施工的其他問題       | 305 |
|                     | 人名、地名中英文对照表      | 308 |

## 符 号

本書所用符号一般是依据1941年美国土木工程师学会所建議的土力学符号，但是为了避免混淆起見，另酌訂了其它符号。

目前美国各試驗室的試驗結果，慣常以公制表示；但在工地上和設計中都采用英制。为了适应这种情况，第一編土壤性質的指标和試驗結果都采用公制。第二編和第三編土力学的理論和实用則祇采用英制。但是土力学中各种計算中最常見的所依据数值可以很方便地按下列近似关系从一种单位換算为另一种单位：

1 公斤/公分<sup>2</sup>  $\approx$  1 噸/呎<sup>2</sup>  $\approx$  1 大气压力 = 34 呎水柱高 = 15 磅/吋<sup>2</sup>。上述关系中，噸是指短噸，每噸等于 2,000 磅。其它換算关系如下：

$$1 \text{ 磅} = 454 \text{ 克}$$

$$1 \text{ 公斤} = 2.2 \text{ 磅}$$

$$1 \text{ 呎} = 30.5 \text{ 公分}$$

下表內各数量的单位都用公制(公分-克-秒)。如果一数量的值用英制(呎-磅-秒)，依据上述关系，很容易地換算成公制。例如在下值中，

$$E = 120,000 \text{ 克/公分}^2$$

則在英制中应用上式，得

$$1 \text{ 克} = \frac{1}{454} \text{ 磅} \text{ 和 } 1 \text{ 公分} = \frac{1}{30.5} \text{ 呎}$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad E &= 120,000 \times \frac{1}{454} \text{ 磅} \times \frac{30.5^2}{\text{呎}^2} = 120,000 \times 2.05 \text{ 磅/呎}^2 \\ &= 245,000 \text{ 磅/呎}^2 \end{aligned}$$

如果符号之后沒有单位，那么这符号就是一个无单位的純数值。

|                            |                |                           |                                 |
|----------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------------|
| $A$ (公分 <sup>2</sup> )     | =面积；           | $D$ (公分)                  | =粒径；深度；直径；两樁之間的中心距；             |
| $A_r$                      | =取土器的面积比；      | $D_{10}$ (公分)             | =有效粒径；                          |
| $B$ (公分)                   | =宽度；           | $D_f$ (公分)                | =基础深度；                          |
| $a_v$ (公分 <sup>2</sup> /克) | =压缩性系数；        | $D_r$                     | =无凝聚性土壤的相对密度；                   |
| $c$ (任何单位)                 | =常数；           | $d$ (公分)                  | =承樁的直径；距离；                      |
| $c$ (克)                    | =总凝聚力；         | $E$ (克/公分 <sup>2</sup> )  | =弹性模数(如果E是指一定应力的状态或范围，則使用註脚符号)； |
| $c_a$ (克)                  | =总附着力；         | $E$ (伏特)                  | =电位差；                           |
| $C_c$                      | =現場土壤的压缩指数；爬比； | $e$                       | =孔隙比；                           |
| $C'_c$                     | =重塑土壤的压缩指数；    | $e$ (庫倫/公分 <sup>2</sup> ) | =单位面积內的电荷；                      |
| $C_s$                      | =膨胀指数；         | $e_o$                     | =最疏松状态时的孔隙比；                    |
| $C_r$                      | =相对稠度；         | $e_{min}$                 | =最紧密状态时的孔隙比；                    |
| $C_w$                      | =加權爬比(管湧損毀)；   | $e_w$                     | =单位固体体积中水分所佔的体                  |
| $c$ (克/公分 <sup>2</sup> )   | =凝聚力；          |                           |                                 |
| $c$ (吋)                    | =“工程新聞”公式內的常数； |                           |                                 |
| $C_u$ (公分 <sup>2</sup> /秒) | =固結系数；         |                           |                                 |

|                            |                                                   |                                  |                                                                                  |
|----------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                            | 积(饱和土壤 $e_w=c$ );                                 | $k_1$ (公分/秒)                     | =平行于土层方向的渗透系数;                                                                   |
| $e_c$                      | =临界孔隙比;                                           | $k_{11}$ (公分/秒)                  | =垂直于土层方向的渗透系数;                                                                   |
| $F$ (克)                    | =反作用力; 合力;                                        | $k_r$ (公分/秒)                     | =重塑粘土的渗透系数;                                                                      |
| $f_s$ (克/公分 <sup>2</sup> ) | =土壤和承樁或墩台之間摩擦力和附着力的和;                             | $k_h, k_v$ (克/公分 <sup>3</sup> )  | =擋土牆后填土压力計算的系数;                                                                  |
| $f$                        | =土壤和建築物底面之間的摩擦系数;                                 | $L$ (公分)                         | =爬径长度; 长度;                                                                       |
| $f_0$ (1/秒)                | =自然頻率(振动);                                        | $L_w$                            | =液限;                                                                             |
| $f_1$ (1/秒)                | =冲量的頻率(振动);                                       | $l$ (公分)                         | =长度;                                                                             |
| $G_a$                      | =气隙比(排水);                                         | $M_c$ (克-公分)                     | =凝聚力的力矩;                                                                         |
| $G_s$                      | =安全因数;                                            | $m_v$ (公分 <sup>2</sup> /克)       | =体积压缩性系数;                                                                        |
| $H$ (公分)                   | =土层厚度。如果用于进行固結的土层, 則 $H$ = 一面排水土层的厚度或两面排水土层厚度的一半; | $N$                              | =无尺度因数( $N_c, N_r$ 和 $N_g$ = 載重能力因数; $N_s$ = 斜坡穩定理論中的穩定因数); 标准貫入試驗时取土管的击数;       |
| $H$ (公分)                   | =錘的落高(打樁);                                        | $N_\phi$                         | =流值 $=\tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})$ ;                                       |
| $H_c$ (公分)                 | =斜坡的临界高度;                                         | $N_d$                            | =等位差的数目(流网);                                                                     |
| $\Delta H$ (公分)            | =位置水头(水力学);                                       | $N_f$                            | =流槽的数目(流网);                                                                      |
| $h$ (公分)                   | =水力水头;                                            | $n$                              | =孔隙率; 樁羣內樁的根数;                                                                   |
| $h_1$ (公分)                 | =总水力水头;                                           | $n_a$                            | =側支撐的底至土压力作用点之間的距离与側支撐总高度之比;                                                     |
| $h_w$ (公分)                 | =压力水头;                                            | $n_d$                            | =深度因数(斜坡的稳定性);                                                                   |
| $\Delta h$ (公分)            | =等位差(水力学);                                        | $n_g$                            | =地震强度;                                                                           |
| $h_c$ (公分)                 | =毛细管水上升高度; 管湧損毀时的临界水头;                            | $P$                              | =小于某粒径的土重百分数;                                                                    |
| $h_{cc}$ (公分)              | =已排水的土壤內完全飽和的高度;                                  | $P$ (克/公分)                       | =总压力;                                                                            |
| $h_{cr}$ (公分)              | =管湧損毀时, 依据爬径法計算的临界高度;                             | $P_A$ (克/公分)                     | =无弯拱作用时的主动土压力(擋土牆; 主动郎肯状态);                                                      |
| $h_r$                      | =相对蒸气压力;                                          | $P_a$ (克/公分)                     | =有弯拱作用时的主动土压力(敞口挖方內的支撐);                                                         |
| $h_{ra}$                   | =相对湿度;                                            | $P_P$ (克/公分)                     | =被动土压力。这种土压力可分为取决于土壤么重的 $P_P'$ 和取决于凝聚力 and 表面荷重的 $P_P''$ 。后者可再分为 $P_c$ 和 $P_q$ ; |
| $I_w$                      | =塑性指数;                                            | $\Delta P_A$ (克/公分)              | =由于綫荷重 $q'$ 所产生的部分主动土压力;                                                         |
| $i$                        | =水力坡降;                                            | $P_w$ (克/公分)                     | =总水压力;                                                                           |
| $i_c$                      | =临界水力坡降;                                          | $P_w$                            | =塑限;                                                                             |
| $i_p$ (克/公分 <sup>3</sup> ) | =水力坡降;                                            | $p$ (克/公分 <sup>2</sup> )         | =压力或正向应力; 地基土壤的反作用力;                                                             |
| $K$                        | =土体内某一点的水平压力与垂直压力之比;                              | $p_{1,2,3}$ (克/公分 <sup>2</sup> ) | =大主应力、中主应力和小主应力;                                                                 |
| $K_0$                      | =静止土压力系数(即在弹性平衡的最初状态时的 $K$ 值);                    | $p_h$ (克/公分 <sup>2</sup> )       | =垂直面上的水平压力;                                                                      |
| $K_A$                      | =主动土压力系数;                                         |                                  |                                                                                  |
| $K_P$                      | =被动土压力系数;                                         |                                  |                                                                                  |
| $K$ (公分 <sup>2</sup> )     | =渗透性                                              |                                  |                                                                                  |
| $K_s$ (克/公分 <sup>3</sup> ) | =地基土壤反作用力系数;                                      |                                  |                                                                                  |
| $k$ (公分/秒)                 | =渗透系数;                                            |                                  |                                                                                  |

- $p_v$ (克/公分<sup>2</sup>) = 水平面上的垂直压力;  
 $p_c$ (克/公分<sup>2</sup>) = 側限压力; 四周压力;  
 $p_A$ (克/公分<sup>2</sup>) = 主动土压力强度;  
 $\bar{p}$ (克/公分<sup>2</sup>) = 有效压力( $p$ 上一短划也可以省掉);  
 $p_0$ (克/公分<sup>2</sup>) = 开始压力; 现有积土压力;  
 $p_{o'}$ (克/公分<sup>2</sup>) = 現場土壤的最大固結压力;  
 $\Delta p_0$ (克/公分<sup>2</sup>) = 暂时增加的积土压力;  
 $\Delta p$ (克/公分<sup>2</sup>) = 压力变化; 固結应力;  
 $p'$ (克/公分<sup>2</sup>) = 剪力試样上的最大固結压力;  
 $p_q$ (克/公分<sup>2</sup>) = 由于单位面积內表面荷重  $q$  所增加的擋土牆上土压力;  
 $p'_q$ (克/公分) = 由于单位长度(平行于擋土牆牆頂)內表面荷重  $q'$  所增加的擋土牆上土压力;  
 $p_a$ (克/公分<sup>2</sup>) = 剪力試样上的开始固結压力; 大气压力;  
 $p_{cr}$ (克/公分<sup>2</sup>) = 慢剪試驗和固結快剪試驗中土壤的抗剪强度彼此相等时的压力;  
 $p_k$ (克/公分<sup>2</sup>) = 毛细管水压力;  
 $p_s$ (克/公分<sup>2</sup>) = 渗透压力;  
 $p_u$ (克/公分<sup>2</sup>) = 第22a图上b点的压力;  
 $Q$ (公分<sup>3</sup>/秒或公分<sup>2</sup>/秒) = 流量; 单位长度內流量;  
 $Q$ (克) = 集中荷重;  
 $Q_a$ (克) = 承樁的許可荷重;  
 $Q_c$ (克) = 樁羣的最后載重能力;  
 $Q_d$ (克) = 承樁的最后靜阻力;  
 $Q_d$ (克或克/公分) = 基脚或墩台下紧密土壤或坚硬土壤的临界荷重。这种荷重可分为: 由于土壤重量所产生的  $Q'$  和由于凝聚力及表面荷重所产生的  $Q''$ 。 $Q_{dr}$  是圓形基脚的載重能力,  $Q_{ds}$  是正方形基脚的載重能力;  
 $Q'_d$ (克或克/公分) = 基脚或墩台下疏松土壤或軟土壤的临界荷重;  
 $Q_{dy}$ (克) = 打樁时承樁的动阻力;  
 $Q_f$ (克) = 表皮摩擦力(总);  
 $Q_P$ (克) = 承樁的頂尖阻力;  
 $Q_{Pr}$ (克) = 墩台底面上的临界荷重;  
 $Q_t$ (克) = 基脚或筏基上的超荷重, 它是淨死荷重  $Q_{dn}$  和活荷重  $Q_l$  之和; 承樁上的荷重是房屋所加的荷重  $Q$  和由于負值表皮摩擦力的  $Q' + Q''$  之和;  
 $q$ (克/公分<sup>2</sup>) = 均匀分布荷重, 每单位面积內的表面荷重; 外加的軸向压力(三軸試驗);  
 $q'$ (克/公分) = 均匀分布綫荷重;  
 $q_a$ (克/公分<sup>2</sup>) = 許可載重能力;  
 $q_c$ (克/公分<sup>2</sup>) = 側限抗压强度;  
 $q_d$ (克/公分<sup>2</sup>) = 紧密土壤或坚硬土壤的最后載重能力。 $q'_d$  是疏松土壤或軟土壤的最后載重能力。 $q_{dr}$ 、 $q_{ds}$  和  $q_{do}$  分別是圓形基脚、正方形基脚和連續基脚的最后載重能力;  
 $q_u$ (克/公分<sup>2</sup>) = 无側限的抗压强度;  
 $r$ (公分) = 半径;  
 $r_f$ (公分) = 摩擦圓的半径(斜坡的稳定性);  
 $S$ (克/公分) = 填底和填基土壤之間的总抗滑力;  
 $S$ (公分) = 沉陷量; 落錘夯击下樁的貫入深度;  
 $S_e$ (公分) = 落錘夯击下樁的暂时弹性压缩量;  
 $S_r$  = 飽和度;  
 $S_t$  = 灵敏度;  
 $S_w$  = 縮限;  
 $s$ (克/公分<sup>2</sup>) = 抗剪强度;  
 $T$ (度, 攝氏) = 溫度;  
 $T_s$ (克/公分) = 液体的表面张力;  
 $T_v$  = 時間因数(固結理論);  
 $T_w$  = 粘限;  
 $t$ (秒) = 時間;  
 $\tau$ (克/公分<sup>2</sup>) = 剪应力;  
 $U$ (克/公分) = 填底上的总中性压力;  
 $U$  = 固結百分数; 均匀系数 =  $D_{60}/D_{10}$ ;  
 $u$ (克/公分<sup>2</sup>) = 超靜水压力;  
 $u_w$ (克/公分<sup>2</sup>) = 中性应力; 孔隙水压力;  
 $V$ (公分<sup>3</sup>) = 总体积;

|                                    |                            |                              |                            |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| $V_v$ (公分 <sup>3</sup> )           | =孔隙总体积;                    | $\delta$ (度)                 | =牆壁摩擦角; 平面上合力和該平面上法綫之間的角度; |
| $v$ (公分/秒)                         | =流速;                       | $e$                          | =自然对数之底; 应变;               |
| $V_s$ (公分/秒)                       | =渗速;                       | $\eta$ (克/公分 <sup>2</sup> 秒) | =粘滯系数 (即动力粘滯系数——譯注);       |
| $W$ (克或克/公分)                       | =重量;                       | $\theta$ (度)                 | =角度; 中心角;                  |
| $W_H$ (克)                          | =打樁机的落錘重量;                 | $\mu$                        | =波松比; 公微 (即千分之一公厘——譯注);    |
| $W_P$ (克)                          | =承樁的重量;                    | $\Phi$                       | =流速势(流网);                  |
| $W_S$ (克)                          | =被基脚或地下室所代替的土壤有效重量;        | $\phi$ (度)                   | =內摩擦角; 庫倫方程式中的抗剪阻力角;       |
| $u$                                | =含水量, 以乾土重的百分数計算;          | $\phi_a$ (度)                 | =部分飽和粘土的抗剪阻力角;             |
| $z$ (公分)                           | =深度;                       | $\phi_{cq}$ (度)              | =在固結快剪試驗情况中的抗剪阻力角;         |
| $z_s$ (公分)                         | =张力縫的深度;                   | $\phi_s$ (度)                 | =在慢剪試驗情况中的抗剪阻力角;           |
| $\alpha$                           | =角度;                       | $\log a$                     | = $a$ 的自然对数;               |
| $\beta$ (度)                        | =坡角;                       | $\log_{10} a$                | =以10为底的 $a$ 的对数;           |
| $\gamma$ (克/公分 <sup>3</sup> )      | =公重(土、水和空气);               | $\overline{ab}$              | =沿直綫量度的 $ab$ 距离;           |
| $\gamma'$ (克/公分 <sup>3</sup> )     | =浮公重 (即飽和土壤在水中的公重——譯注);    | $\widehat{ab}$               | =沿弧綫量度的 $ab$ 距离;           |
| $\gamma_d$ (克/公分 <sup>3</sup> )    | =土壤的乾公重 (土壤內水分体积完全为空气所代替); | $\approx$                    | 表示近似相等;                    |
| $\gamma_{dr}$ (克/公分 <sup>3</sup> ) | =重塑土样的乾公重;                 | 15.3                         | 表示第15节內方程式3。每頁頂部注有各节节数。    |
| $\gamma_{di}$ (克/公分 <sup>3</sup> ) | =不扰动土样的乾公重;                |                              |                            |
| $\gamma_w$ (克/公分 <sup>3</sup> )    | =水的公重;                     |                              |                            |
| $\gamma_s$ (克/公分 <sup>3</sup> )    | =土粒公重;                     |                              |                            |
| $\Delta$                           | =增量;                       |                              |                            |

## 緒 論

工程实用土力学可分为下列三篇：

第一篇 土壤的物理性質；

第二篇 理論土力学；

第三篇 設計和施工的問題。

第一篇是叙述均匀一致的不扰动土壤和重塑土壤的物理性質和力学性質。它討論用以鑑別各种土壤实用标准和土壤說明的土壤性質，並論及施工期間及施工后对土体性能有直接关系的各种土壤性質。

第二篇的論述是提供讀者在解决土壤的稳定性或載重能力或土壤和水之間的相互作用的問題时有一基本的認識。所有这些理論，是以土壤的力学性質和水力性質的根本簡單假定为依据的。但是，如果它們适当地应用，那么，对于大部分的實際問題，这些近似方法所得結果是足够精确的。

第三篇是論及土壤性能和土力学理論的近代知識在基础工程和土方工程設計和施工的应用。至于公路和飞机場的路面設計，因其本身是一独特的土方工程，故仅在附录中附有参考資料。

土壤的各种物理性質一般可依研究工程材料性質的方法加以研究，土力学的理論也是普通理論力学的一部分。惟基础工程和土方工程的設計和施工，因其本身包括了与其它結構工程不同的推理方法和工作步驟，故自成为一門独立的課題，它是本書的最重要部分——第三篇。在其它場合中，工程师仅关心于工厂产品如鋼材、混凝土、以及經過审慎选择的天然材料如木材或石料所造成的建筑物在受力后的影响。由于这些材料的性能都能可靠地測定，故有关各种設計問題，常几可以直接应用理論或模型試驗的結果来解决。

另一方面，野外土壤的各种記載和結論都包含着許多未定的因素。在极端的情况中，設計所依据的概念仅为一般粗淺的实用假說，可能与实际出入很大。在这样情况中，仅能采用所謂“觀測方法”来消除部分或全部失敗的危險。这种方法就是在施工期間作适当的現場觀測，以檢查設計人員所拟的假定和实际情况之間有无失真象征，並依据这些发现来修改設計或施工方法。

这些理由决定了第三篇的內容和編著方法。第三篇首先論及在所選建筑場地上用鉆探、触探、取样和試驗等技术方法来求得有关地基土壤的資料，而不是一开始就論述应用理論上的原理来設計。这种探驗工作所付出的時間和勞动虽大，但其結果通常具有更多的实用价值。

第三篇以后数章是論述挡土牆、土坝和地基基础等建筑物的一般設計原理。这些建筑物的性能大都由土壤的物理性質和地基土壤的情况来决定。由于我們对地基土壤情况常不能完全瞭解，所以在設計的基本假定內必然有許多未定因素。这些因素需要在本書繼續研討。至于其它結構設計方面的書本中，則並不需要这样的討論，因为有关其它一般建筑材料的工程性質的基本假定，一般說是可靠的。

# 第一篇 土壤的物理性質

第一篇的內容分成三章：第一章敘述鑑別各種土壤或同一土壤在不同狀態時所通常採用的方法；第二章敘述土壤的水力性質和力學性質，以及測定這些性質的代表數值所用的試驗方法；第三章敘述土壤排水的物理過程。

## 第一章 土壤的指示性質

### 第1節 指示性質在實用上的重要性

地基工程和土方工程的成功，較之土木工程中的其它工程，更有賴於實際經驗。一般支承土壤或被土壤支承的建築物設計必須依據簡單的經驗法則。不過這些法則只有經驗豐富的工程師才能安全應用。大型工程的特殊建築物，可能需要廣泛應用科學方法來設計，但是除非負責設計的工程師具有豐富的經驗，那麼他就不能周密地釐訂研究計劃，也不能靈活地推求它們的結果。

由於個人的經驗是有限的，因此工程師必須在某種程度上借重他人的經驗記載。如果這些記載足夠包括對土壤情況的說明，那麼它們確是一座寶貴的資料倉庫。否則這些資料便會造成錯誤。在結構工程方面，如果桁樑損毀記載中，除了一些主要資料而外，並沒有桁樑是由鋼或鑄鐵制成的說明，那麼這種記載是價值不大的。過去地基經驗的所有資料中，土壤的性質僅是用一般的名詞來表示，例如“細砂”或“軟粘土”。但是，兩種細砂取自不同地點，它們力學性質的不同，遠較鑄鐵和鋼之間為大。因此，目前為了設法消除疑難的土壤問題，首先在於決定各種土壤的分類和鑑別方法。鑑別土壤所依據的性質叫做土壤的指示性質，測定指示性質的試驗叫做分類試驗。

任何土壤的性質都能用適當的人工方法加以改變。例如振動能使松砂變成緊砂。故野外土壤的性能不僅取決於土體內各種成分的性質，而且也取決於這塊土體內顆粒排列的性質。因此，指示性質可分為兩種：土粒性質和土團性質。土粒性質主要是土粒的大小，形狀和在粘性土壤中最小土粒的礦物性質。無凝聚性土壤的最重要的土團性質是相對密度，而凝聚性土壤則為稠度。

在討論土粒性質和土團性質之前，首先要敘述土壤的主要類型，其次結合現場的觀察記錄扼要地敘述對土壤作適當描述所需的最低要求。

### 第2節 土壤的主要類型

土木工程師是粗略地將地殼的組成物質分為土壤和岩石兩大類。土壤是一種由礦物顆粒組成的自然團，它能以緩和的機械方法使之分離，例如在水中攪動。而岩石則是一種由極大強度和永久性的凝聚力結合的礦物所組成的自然團。所謂“極大強度”和“永久性”的兩個形容詞可以有不同的解釋，故土壤和岩石的界限並不是很絕對的。事實上有許多礦物顆粒組成的自然團，就很難於鑑別它為土壤抑為岩石。但本書中所用土壤名

詞，仅指毫無疑問地合乎上述定義的物質。

雖然土木工程师常通曉上述述語，但並不普遍採用。例如，地質家認為：岩石一詞系指組成地殼的一切物質，並不計及各礦物顆粒彼此間的結合程度，而土壤一詞則仅是那些能生長植物的那一部分地殼物質。因此，如果土木工程师應用其它工作者所得的資料，他必須瞭解所採用土壤和岩石兩種名詞的涵義。

依據土壤的成分來源，它可以分成兩大類：一類是主要由於岩石經過化學和物理的風化作用後所產生的土壤；一類是主要由於含有有機物組成的土壤。如果岩石風化後的產物仍留於它的原來位置，這些產物是屬於殘積土壤。否則，不論搬運的動因是什麼，它都是叫做運積土壤。

殘積土壤的深度主要視氣候情況和暴露在空氣中的時間而定。某些地區內這一深度可達數百呎。溫帶地區的殘積土壤通常是堅實的和穩定的。這一規律的例外情形很少。另一方面，許多運積土壤的沉積土，既松且軟，深達數百呎。故基礎和其它工程施工中所遇到的困難幾乎全係和運積土壤有關。

有機質組成的土壤主要是在原來地點形成，它們或由於像泥炭苔蘚等類植物的生長及其腐化，或由於有機體的無機骨骼或貝殼碎塊的堆積。故有機質組成土壤可以是有機的或是無機的。有機土壤一詞通常是指運積土壤中風化岩石內含有較顯著的腐化植物的混合物。

建築物地基的土壤情形，常用鉆孔法或試井法來探驗。鉆探工作人員取得土樣時應加以檢驗。他們應按照當地常用土壤分類方法予以鑑別，並制成鉆探記錄，這種記錄應載明每種土壤的名稱和標高。土壤的名稱是用軟硬、顏色和其它屬性的形容詞加以說明。此後，這種記錄可按照試驗室內土壤試驗的結果，加以補充說明。

下列土壤種類是有經驗的鉆探工作人員和施工工程師在野外土壤分類時所常用的名詞。

砂和礫是圓滑的次稜角形或稜角形的碎粒所組成的無凝聚性團聚體，這些碎粒大抵是未經風化的岩石或礦物。小於1/8吋的顆粒是砂粒，自1/8吋至6吋或8吋的顆粒是礫。大於8吋的碎塊是漂石。

硬盤泥是鉆探工具貫入時具有極大阻力的土壤。硬盤泥一般是極緊密的、級配優良的而帶有凝聚性的由礦物顆粒組成的團聚體。

無機粉沙是一種幾無塑性或無塑性的細粒土壤。塑性最低的土壤一般是由大小大致相等的石英粒組成，它有時叫做石粉，塑性最高的土壤含有較大百分數的片狀顆粒，這就是塑性粉沙。由於無機粉沙的結構光滑，它常易誤認為粘土，但它是無須用試驗方法就可以和粘土區別出來。如果把一塊含水飽和的無機粉沙放在手掌里搖動，則有足夠水分被擠出，而使其表面呈現光澤。如果用手指屈擠這土塊，則它的表面又再變為無光澤。這種試驗叫做搖動試驗。這土塊乾後是易碎的，如以手指撫摩，即會粘上粉末。粉沙比較不透水，但是如果它是在疏松狀態，它便能像濃粘滯液體一樣昇入鉆孔中或探孔中。這種最不穩定的土壤，在各地均有各種不同的名稱，例如牛肝土和流沙<sup>①</sup>。

① 流沙這名詞，通常也應用於細砂或極細砂，這些砂在受到向上的滲流作用時能變成半流體狀態。故這個名詞可表示一種物質，或表示一種狀態。

有机粉沙是一种掺有細粒有机物的带有塑性的細粒土壤。在这种土壤中也可能有貝殼和部分腐化植物的可見碎屑存在。它的顏色自淡灰色至深灰色，它含有大量的硫化二氢( $H_2S$ )、二氧化碳( $CO_2$ )和有机物腐化后所产生的其它气体，因此它有特殊的气味。有机粉沙的滲透性极低，但是它的压缩性极高。

粘土是岩石經化学分解而成的微粒团聚体。它的顆粒要用普通显微镜或高倍显微镜才能看到。它能在广泛的含水量范围内具有塑性。它的乾土样极硬，以手指撫摩乾土样的表面不会粘上粉末。它的滲透性极低。美国西部的强粘性粘土是另一种粘土，这种粘土在塑性状态时像肥皂或蜡，有极大韌性。含水量較大时，它的胶粘性极高。

有机粘土是含有微細有机物因而具有某些特殊物理性質的粘土。当含水飽和时有机粘土极易压缩，但乾时的强度极高。它常是深灰色或黑色，並可能有一种特殊的气味。

泥炭是一种略帶纖維狀的腐化植物細屑的团聚体，这种細屑用肉眼和普通显微镜可以看到。它的顏色是在淡棕色和黑色之間。由于它易于压缩，故絕不宜作为地基或堤坝。

如果一种土壤是由两种不同土壤类型所組成，那么，成分較多的一种土壤用作名詞，成分較小的一种土壤用作形容詞。例如：粉質沙土是表示土壤內砂佔多数，而粉沙則佔少数。砂質粘土是指具有粘土性質的土壤，但含有一定分量的砂。

砂和礫的土团性質可以定性地用疏松、中等和紧密等詞句来形容，但粘土的土团性質則用坚硬、中等和軟等詞句来形容。这些詞句通常是鉆探工作人員依据鉆探工具和取土器进入土层的难易以及土样的稠度等因素而估定的。但是，由于这种估定方法可能使人对土壤的一般性質产生极端錯誤的概念，所以，当土壤的力学性質对于設計有重要影响时，这些定性的說明必須輔以定量的資料。定量的資料通常是由第8节的不扰动土样試驗和第44节的适当的野外試驗得来。

记录邻近鑽孔各不同土层的顏色，則在連系各鉆孔記錄时可減少发生錯誤的危險。土壤顏色也表示土壤性質的不同。例如，如果水下粘土层的頂层是淡黄色或棕色，而且較之在它下面的粘土为硬，那么这頂层可能是曾在空气中暴露，以致暂时乾燥和風化。若同一土层产生不同顏色，則常用杂斑点、斑紋、斑点或小斑点等詞句來說明。有机土壤的顏色常是深暗色或灰黄色。

在某些地質条件下所形成的土壤，它是有一些特点的，例如：有根孔狀結構或有明显的有規則的层理。由于有这些特点，所以它很容易在野外識別，並各有通曉的特殊名称。下面將論述这些土壤的定义和說明。

冰川粘土或漂礫粘土是一种不成层理的粘土、粉沙、砂、礫和漂石的冰河沉积土。在冰川期曾为冰川复盖的地区，它的部分岩石表面就盖着这一层漂礫粘土。

凝灰土是火山爆发时噴出极細的矿物或碎石，經過水或风的搬运沉积而形成的細粒团聚体。

黃土是一种均匀而有凝聚性的风成沉积土。它的顆粒大小，大部分是在0.01和0.05公厘的窄狹范围内，凝聚力是由于存在一些石灰結合料。它的最普通顏色是淡棕色。黃土的特性是有垂直根孔，並能几成垂直直立。真正黃土层是从来不含水飽和的。在含水飽和以后，各顆粒間的結合料便会溶解，土层表面便会下陷。

次生黃土是黃土的一种，它經過地質的次生作用(包括暫时的淹沒、冲刷、並隨之

沉积), 化学变化(包括土粒間結合力的消失)或土壤間較易消失的成分(例如长石)发生化学分解, 因而失去了它的典型特性。在完全化学分解后, 它便成为黃土質壤土。黃土質壤土的塑性較其它次生黃土为大。

矽藻土是由微細矽粉集积而成, 通常是白色, 它的主要部分或全部是藻类遺骸。藻类一詞是应用于一群由显微镜可見的单細胞海藻或淡水藻, 它的特性是有矽質細胞壁。

湖成泥灰土或沼灰土是一种白色細粒粉狀的石灰質沉积土, 它是由湖沼中的植物沉积而成。有泥炭湖床的地方, 常同时有湖成泥灰土。

泥灰土一詞的使用范围是很广泛的, 凡是各种比較硬或极硬的海成石灰質而帶有青綠色的粘土都叫做泥灰土。

石灰砂質粘土是用于美国西南部和其他乾旱地区的一种土壤名称, 它是种类繁多的淡色土壤, 可以是砂質粉沙以至于塑性极大的粘土。

鈣积土层是指由碳酸盐(例如石灰)将土粒結合的土层。这些土层常在地面下数呎深度处发现, 厚度自数吋至数呎。它的形成似和半乾旱气候有关。

冰成粘土是由灰色无机粉沙和深暗色粉沙質粘土两种土壤层次交錯而成。这种土层厚度很少超过半吋, 但有时也极厚。冰川末期, 溶解的水将冰成粘土的成分运入淡水湖。这种土壤易于兼有粉沙和軟粘土的不良性質。

斑脫粘土是含有大量蒙脫土的一种粘土, 見第4节。大部斑脫粘土是由火山灰的化学变化所形成。乾的斑脫粘土和水接触后, 它的膨胀較其它乾的粘土为大, 含水飽和的斑脫粘土变乾时, 收縮也較大。美国密西西比河以西各州, 事实上均有斑脫粘土沉积土, 如田納西州、堪薩斯州和亚拉巴馬州; 其它数州也有少量存在。墨西哥国内的斑脫粘土也很普遍。

野外土壤分类中所用每一土名, 它所包括的各种物質的变化范围是比較大的。而且, 有关軟硬和密度等名詞的选用, 几全視从事土壤探險人員而定。因此, 野外的土壤分类常是比較不肯定和不精确的。祇有土壤的物理性質試驗, 測定这些性質的代表数值才能获得更为肯定的認識。

土壤探險方法包括鉆探、取样和測定土壤性質平均数值的步驟, 它是工程設計和施工的一部分。本書第三編第七章內將予以討論。

### 第3节 土粒的大小和形狀

构成土壤的顆粒大小, 可以自漂石至大的分子。

大于0.06公厘的土粒, 可借肉眼或手放大鏡檢察出来。它們組成了土壤的极粗土粒部分和粗土粒部分。

介于0.06公厘至 $2\mu$ ( $1\mu=1$ 公微 $=0.001$ 公厘)的土粒, 仅能以显微镜檢察出来。它們代表了土壤的細土粒部分。

小于 $2\mu$ 的土粒組成了土壤的极細土粒部分。介于 $2\mu$ 和約 $0.1\mu$ 的土粒, 可以在显微镜下观察到, 但不能辨別它們的形狀。大約小于 $1\mu$ 的土粒, 可以用电子显微镜来决定它的形狀。它們的分子結構可以用X光分析法来研究。

把土团分成不同顆粒大小范围所組成的粗細土粒部分的方法叫做机械分析, 从机械分析知道, 大部分天然土壤所包含的土粒, 是由两种以上土粒部分所組成。各种顆粒混合