

岩土工程设计参考书

岩土工程手册

(英) M. 卡特 著
罗家枢 译
李永生 校

DONGBEI SHUTLI SHUIDIAN ZHUANKE XUEXIAO

岩土工程手册

〔英〕 M·卡特 著

罗家枢 等 译

李永生 校

东北水利水电专科学校

责任编辑：常卫国

本书根据 M · Carter 《Geotechnical Engineering Handbook》 (1983) 版译出

岩 土 工 程 手 册

〔英〕 M · 卡特 著

罗 家 枢 等 译

李 永 生 校

※ ※ ※

编辑：东北水利水电专科学校

印刷：东北水利水电学校印刷厂

吉林省出版局 (86) 6333号批准

前 言

作者编写这本书的目的有二：第一，提供比较适用的场地勘察方法和土工设计技术；第二，收集大量通用的岩土工程设计图表。本书主要是为实践工程师和岩土工程专业的研究生和高年级大学生应用。作者认为读者是熟悉土力学原理的。

为了便于参考，本书的大部分内容采用分组的形式编写，每一组涉及一特定的题目。本书包含有足够的设计图表，可作为大多数简单的工程设计的设计手册及参考书。

前几章说明为取得钻孔、探坑及试样等方面的资料如何规划现场勘探，取样和试验的技术，并说明如何论述现场条件和设计工作所需要的资料等。描述了通用的现场及室内试验方法，讨论了它们的优缺点及可能产生的问题，给出了描述土和对土进行分类的标准方法。关于现场使用的仪器一章，指出了应变计、沉降计，压力盒及孔隙水压力仪等的操作原理，并讨论了各种仪器的使用和精确度。

后几章着重于土工分析和设计。关于渗流分析一章，论述了流网和电拟纸的应用。讨论了土坡破坏形式及斜坡稳定性计算原理，并给出了简单情况下的设计图。叙述了粘性土及粒状土的固结沉降计算方法，同时列出了应用弹性理论计算地基应力和变形的影响系数的图表。还给出了独立基础、桩基础，挡土墙和路面厚度的设计方法。

我编写这本书，特别感谢我的同事D.O.M. 达维伊斯 (Davies) 先生和 M.V 西蒙斯 (Symons) 博士，感谢他们对本书的许多有益的讨论和对手稿的校核工作，还要感谢 L.M. 索玛斯 (Thomas) 小姐，她用打字机为我打底稿，其技巧和耐心一直使我感到惊奇。

著 者

译 者 的 话

本书是根据M·Carter《Geotechnical Engineering Handbook》(1983)翻译的,书中详尽地论述了场地勘察方法和土工设计技术,并列出了大量的岩土工程设计图表,内容丰富,技术先进,本书无疑对从事土建、水利、地质等专业的技术人员有很大的参考价值,也可作为上述有关专业院校师生的教学参考用书。

全书由罗家枢同志主译,李永生同志审校。具体分工如下:杨伟达(第二、五章),陈雷(第十三章、第三章的第3—21、3—22节),其余各章节均由罗家枢译。

在本书的翻译出版过程中,得到学校领导和有关部门的大力支持,书中全部插图由马丽文同志描绘,在此一并致谢。

由于水平有限,不当之处请广大读者批评指正。

译 者

1986年7月

目 录

1、土的描述和分类.....	(1)
土按成因的概括分类	
土的描述	
残积土和风化岩石的描述	
土的统一分类	
土的英国标准分类	
土的AASHTO/ASTM分类	
岩石描述的一些术语	
典型的钻孔记录	
2、现场勘测.....	(16)
为桌面上的研究的资料来源	
坑探和钻探：普通方法	
明挖和活塞取样器	
标准贯入试验	
静力和动力触探	
地球物理勘探	
坑探和钻探的间距和深度	
3、室内试验.....	(29)
含水量试验	
塑性试验	
土粒比重和线缩率	
颗粒大小分配	
击实试验	
现场密度试验	
加州承载比试验	
固结试验	
三轴试验	
直剪试验	
室内渗透试验	
化学试验	
室内试验结果对设计的适用性	
4、现场试验.....	(56)
十字板剪切试验	
抗剪强度和含水量的快速现场评定	
荷载试验	
现场渗透试验	

现场渗透试验公式

吕荣 (Lugeon) 试验

5、现场观测仪器..... (69)

表面位移测量

应变计

倒摆和悬摆

沉降计

测斜仪

电阻应变片和压力盒

孔隙水压力计

6、土的性质的典型值..... (80)

典型的密度、含水量和阿太堡界限

渗透性和压缩性指标值

抗剪强度值和弹性分析常数

标准贯入试验结果解释

界面的摩擦力和粘着力

7、用弹性理论计算地基中的应力和沉降..... (86)

应力关系

应力~应变关系

集中荷载与线荷载

条形荷载

矩形荷载面下的应力

矩形荷载面下的位移

纽马克 (Newmark) 感应图

8、沉降计算..... (97)

压缩系数

固结系数

固结沉降计算

估算固结沉降的快速方法

按标准贯入试验结果估算砂土的沉降量

容许沉降差

9、独立基础..... (107)

独立基础的极限承载力

一些特殊情况的极限承载力

作用在基础上的偏心荷载

容许承压力及基础埋深

容许承压力的典型值

条形基础

在白垩上的基础

深基础举例

埋入地下的混凝土的化学侵蚀

10、桩基础..... (123)

桩的类型

粘性土中单桩的极限承载力

粒状土中单桩的极限承载力

桩的容许工作荷载

负摩擦力

桩群的承载力

桩的侧向阻力

承受偏心荷载的桩群

含有斜桩的桩群

桩和桩群的沉降

打桩公式

桩的荷载试验

11、挡土墙..... (143)

主动及被动土压力系数

主动及被动土压力计算

主动滑楔作图

被动滑楔作图

刚性挡土墙

悬臂式挡土墙

锚定挡土墙

挡土墙计算举例

地锚设计

支撑开挖设计

12、斜坡的稳定性..... (173)

斜坡破坏的类型

平面滑动分析

楔体破坏分析

旋滑分析

沿不规则面的破坏分析

斜坡稳定曲线：有效应力分析

泰勒 (Taylor) 斜坡稳定曲线

13、渗流分析..... (187)

渗透性：基本方程

流网

流网绘制

电拟法

坝身渗流水面线画法

渗流问题的标准解

反滤层设计

14、**柔性路面**..... (200)

基本的路面结构和交通量的考虑

路基强度

路基下的平衡含水量

路面厚度设计: Road Note 31法

路面厚度设计: AASHTO暂行指南法

基层材料

沥青层

表面处治

路面排水

符号及缩写 *

A 面积

a 长度, 层厚系数, 条块宽度

AASHTO 美国国家公路和运输公务员协会

ALD 平均最小尺寸

ASTM 美国材料及试验协会

B 基础宽度, 试样宽度

b 荷载面的宽度或半宽, 条块宽度

BS 英国标准

C 凝聚力

Ca 粘着力

Cr 合推力

c 凝聚力, 桩的回弹

c' 有效凝聚力

$\bar{c}$ 平均凝聚力或平均不排水抗剪强度

ca 粘着力

Cv 固结系数

C₁ 哈增 (Hazen) 公式因数

CBR 加州承载比

D 直径、深度、粒径

d 直径, 深度,

E 杨氏模量, 斜坡稳定分析中条块或楔体之间的水平侧向压力

e 孔隙比, 恢复系数, 距离, 指数常数 (2.718281)

F 形状系数, 安全系数, 力

F_M	作用在桩上的侧向推力的力矩系数
F_δ	作用在桩上的侧向推力的偏移系数
f	夯的落距, 土的模量变化系数
G	剪切模量
G_s	土粒比重
GW	地下水位
H	高度、厚度, 水头
$\bar{H}$	平均厚度
H_c	常水头渗透试验水头
h	高度, 含水层内的水深, 水头
ht	高度
hz	赫芝 (每秒的周期)
I	影响因数
I_E	出口水力坡降
i	水力坡降, 入射角
i_c	临界入射角
K	体积模量
K_a	主动土压力系数
K_h	水平土压力系数
K_o	静止土压力系数
K_p	被动土压力系数
K_s	土压力系数 (未确定状态的)
K_v	垂直土压力系数
k	渗透系数, 摩擦损失系数
kN	千牛顿
L	试样、试验断面及桩等的长度
l	荷载面的长度
LL	液限
LS	线缩率
M	力矩
m	米, 含水量, 质量或重量
m_v	压缩系数
m/c	含水量
MDD	最大干密度
MN	兆牛顿
N	法向力, 标准贯入试验 (SPT) 的锤击数, 纽马克感应图的块数, 牛顿
N_c	承载力系数, 纽马克感应图校正系数
N_1	承载力系数
N_γ	承载力系数

Nm	牛顿一米
OMC	最优含水量
P	压力, 荷载
P_a	主动侧向压力
P_h	水平侧向压力
P_p	被动侧向压力
P_v	垂直侧向压力
p	压力
p_a	容许承压力
p_c	作用在粘土中支撑开挖后面的压力
p_{nu}	净极限承压力
p_o	自重压力
p_s	作用在砂土中支撑开挖后面的压力
p_u	极限承压力
pen	贯入度、沥青针入度
pH	酸碱度
pI	塑性指数
pL	塑限
Q	荷载
Q_b	单桩极限端荷载
Q_s	单桩极限表面摩擦及粘着力
Q_u	单桩极限承载力
q	压力, 流率
R	合力, 推力, 径向距离, 距水源的有效半径, 折减系数, 地区性系数。
R_r	拉杆的拉力
r	半径, 折射角
r_u	孔隙水压力比
r_{uc}	毕肖普和莫詹斯滕 (Bishop and morgenstern) 斜坡稳定曲线的临界孔隙水压力比
RC	快凝轻制地沥青
S	基础沉降量, 桩的间距, 超载滑动力, 土支撑力
s	不排水剪强度
SC	慢凝
SN	结构数
$\overline{SN}$	加权结构数
SPT	标准贯入试验
Sub	淹没
T	基本时滞, 厚度系数, 推力
T_v	固结沉降时间因数

t	时间, 公吨 (1000公斤)
t_{50}, t_{90}	固结达50%, 90%的时间
t_{on}	英吨 (2240磅)
TRRL	运输及道路研究实验室 (英)
u	孔隙水压力
v	体积, 垂直荷载, 流量
Vol	体积
W	土的重量, 流网的宽/长比
W_s	土粒重量
X	斜坡稳定性分析中条块间的垂直剪力
Z	深度, 排水路径长度, 抽降深度
Z_c	粘土的临界深度 (此处以上的主动土压力为零)
γ	体密度, 剪应变
γ_d	干密度
γ_{sub}	水下密度
γ_w	水的密度
δ	角、界面摩擦角、偏角、系数,
ε	应变, 直剪位移率
θ	体积应力, 角度
ν	泊松比
ρ	沉降量
ρ_{sed}	由固结试验结果计算的沉降量
σ	正应力
σ_1	最大主应力
σ_3	最小主应力
τ	剪应力
φ	内摩擦角
φ'	有效内摩擦角

第一章 土的描述和分类

工程土

对于土木工程，土可以包括所有由岩石颗粒集合体形成的材料，这种岩粒集合体用轻度的机械方法即可分离，无需用爆破开挖。这样描述将包括很多在地质学上划分为岩石的材料，而地质学者则常把土层认为是风化层。由于岩石逐渐风化为土，而土则又逐渐变成岩石，所以两者的区分常常是不明确的。

土可分为两大类：运积土和残积土。气候温和的地方以运积土占优势，炎热地区则以残积土更为普遍。

在第1—1节中给出了土按地质成因的概括分类。

土的描述

土的描述是由野外观测和取自探坑、挖方及钻孔的扰动土样与原状土样来完成的。

通常，土的描述是以颗粒大小和可塑性为基础的，而且应包括下列性质的一部分或全部：

- (1) 现场强度或密实度；
- (2) 结构（层理，不连续性等）和风化状态；
- (3) 颜色；
- (4) 土粒形状和组成；
- (5) 根据颗粒大小定的土名；
- (6) 含有的物质。

以上列出应予描述的性质的大概顺序。在第1—2节中举出的例子概括了所包含的资料并说明通常采用的描述顺序和式样。在第1—3节中更全面地讨论了描述中所包含的一些性质。

以颗粒大小为基础的描述当用于残积土或风化岩石时，常使人易生错觉，第1—4节说明了这种材料是怎样描述和分类的。

土的描述格式和提出的资料数量视土的性质、场地勘测耗费的力量、工程的性质和有关机构要求的报告式样而定。目的应在于对所描述的土质作出合理地详细叙述和协调一致的描述，但描述不可太长或太格式化，以致难以遵循。

通常，在一些探坑或钻孔中将遇到相似的材料，这些材料在分布上或随深度只有轻微变化。在这种情况下，首先对所有探坑或钻孔相同的或差别不大的材料作出基本的描述，接着对个别地点的土质变化进行详述。这样可能比较清晰。使阅读报告的人会弄明白在大面积或深度范围内存在一个基本土层，它在分布上仅有轻微变化。对土提出能给人以正确印象的清

晰描述，需要细心从事并富有经验。

土的分类方法

土的大多数分类方法，目的都是应用直观的检查和简单的试验就能对土的工程性质做出估计。分类方法与经验设计方法结合起来，有条理地体现由许多人所积累的经验，从而使工程师得到的实践知识范围要比仅仅由他个人的经验所能得到的大得多。土的分类还能帮助工程师解释土的强度试验结果，有助于他识别场地的各种土类及其分布范围。

土的分类方法很多，但最通用的大概是最初由卡萨格兰德 (Casagrande) 提出的统一分类法或其变种。卡萨格兰德分类法在第 1—5 节介绍，各种土类的室内鉴定则在第 1—6 节介绍。英国采用的英国标准分类法是这个方法的一个变种，详见英国标准 5930。英国分类法的主要特点参看第 1—7 节。

另一个通用的分类方法 (用于道路设计) 是美国国家公路和运输公务员协会 (AASHTO) 和美国材料及试验协会 (ASTM) 采用的方法 (AASHTO designation M145—73)。这个方法在第 1—8 节说明，土的分类表则示于第 1—9 节中。第 1—10 节对每种土中的典型土类作了描述。

岩石描述

岩石是通过观测天然露头、采石场、挖方、坑道和岩心进行描述的。通常，为工程目的对岩石材料描述的顺序如下：

- (1) 颜色
- (2) 粒径大小
- (3) 构造和结构
- (4) 风化状态
- (5) 岩石名称
- (6) 强度
- (7) 其它特征或性质

存在不连续性和风化作用可能对岩体的工程性质具有突出的影响，因而必须加以考虑并包括到岩石描述中。岩石的正确描述，要求有地质方面的训练，这个工作通常由工程地质专家来进行。这个问题已超出本书的范围，但把在工程岩石描述中的一些通用项目列在第 1—11 节中。

钻孔和探坑记录

土及岩石的描述和分类通常是在现场勘测报告中以钻孔或探坑记录的形式提出。第 1—12 节介绍了一个钻孔记录的典型格式。

第1—1节 土按成因的分类

分 类	生 成 过 程	沉 积 物 的 性 质
残 积 的	母岩受化学风化作用而生成, 颗粒很少移动或没有移动。	完全风化的产物是粘土, 其类别主要视风化过程而定。部分风化的产物更像岩石, 其性质尤为取决于岩石的类别。随着深度的增大, 土变得更密实, 更像岩石和更少风化。
冲 积 的	由水流作用搬运并沉积的材料	从最细的粘土变化到很粗的砾石和漂石。土常常明显地具有层理。河流漂石常呈圆形。
崩 积 的	受重力作用搬运的材料	包括山麓碎石、雪崩、坍方、山坡蠕变, 向下冲刷的堆积物和泥流沉积, 细至粘土, 粗至漂石。这种土常是非均质的。颗粒大小变化范围大。常称为坡地侵蚀堆积物。
冰 积 的	由冰川的冰或冰川融化的水搬运并沉积的堆积物。	冰碛土一般具有宽广的(从粘土到漂石的范围)级配。冰川沉积物的颗粒大小随着融化水源的距离而减小。冰碛土的层理通常是不均匀的, 但在冰川湖里冰水沉积产生成层粉土和成层粘土。颗粒多呈多角状。
风成的或黄土质的	由风搬运并沉积的材料	级配很均匀。层理不清或无层理。以粉粒或细砂粒为主, 但有时表面覆盖一层小砾。黄土具有一种次结构——垂直裂缝、节理和根孔。
有机的	在植物生长和腐烂的地方形成。	泥炭为黑色, 纤维状的或非晶质的和高压缩性的。细小沉积物和有机物体的混合物形成有机粉土及粘土。
火成的	火山喷发物中火山灰和浮石沉积	粉粒与较大的火成碎片一起沉积。颗粒呈高度棱角状且常常是多孔的。风化后形成一种高塑性粘土有时是膨胀性粘土。风化的固结沉积物有时形成一种轻的平顺的料石。
蒸发岩	从含盐量高的溶液沉淀或蒸发的材料	形成粘质土或软沉积岩。包括在海水中钙沉淀的鲕状岩和在沙漠里从富含硫酸盐的干盐湖沉淀的石膏。蒸发物可在干旱区地面下形成硬壳。

第 1—2 节 土 的 描 述

(本节须结合第 1—3 节阅读)

土的描述

土的描述应包括以下标题中的一部分或全部项目。对以下各栏从左至右填写并记录土样的性质, 将得到一份有用的标准格式土的描述, 这个土的描述方法的应用在第1—3节中阐述。

举 例

疏松褐色略带棱角的细至粗砂砾石，有少量囊状软灰粘土。

软的纹层黑蓝色粉质粘土。

填土（硬的瓣状褐色粘土，夹有砖碴）。

抗剪强度/相对密度			结构/风化	颜 色	颗粒形状/组成/塑性	土 粒 类 别	杂 质
粘土	C (KN/m ²)	特性				颗粒大小 (mm)	
极 软	<20	放在指间能挤出来	未扰动的	灰 色	角形的	粘粒 <0.002	..有贝壳
软	20~40	用手指轻捏可造型	开裂的	褐 色	略带棱角的	粉粒 { 细0.002~0.006	..夹有卵石和漂石
可 塑	40~75	用手指强捏可造型	成层的	蓝~灰	略圆的	中等0.006~0.02	..有细砂层或透镜体
硬 塑	75~150	用手指能刻痕	纹层的	杂黄色	圆的	粗0.02~0.06	..有若干贝壳片。等等
硬	150~300	用指甲能刻痕	不均匀的	和杂褐色	平的	砂粒 { 细0.06~0.2	
极 硬	>300		纤维状的	黑绿色	长粒的	中等0.2~0.6	
砂 土	SPT *		风化的 *	淡黄色	不规则的	粗0.6~2.0	
极疏松	<4		等等	等等			
疏 松	4~10	能用锹挖，50mm木钉容易打入	* 见第1—4节对风化情况的较全面描述		粗糙的	砾 { 细 2~6	
中等密实	10~30				光滑的	中等 6~20	
密 实	30~50	需用镐开挖			磨光的	粗 20~60	
极密实	>50	50mm木钉难以打入			砂石	卵石60~200	
* 标准贯入击数N值详见第1—3节					石灰石	漂石>200	
					花岗石		
					高塑性		
					无塑性		
					等等		

第1—3节 关于土的描述的注释

（本节须结合第1—2节阅读）

相对密度和标准贯入试验

粒状土的相对密度是根据用这种土在实验室进行击实所达到的最紧密和最疏松状态来确定的，虽然尚无特定的通用室内试验。它是根据土的孔隙比来确定的，也能利用于密度表示：

$$D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{\gamma_{\max} (\gamma - \gamma_{\min})}{\gamma (\gamma_{\max} - \gamma_{\min})}$$

式中D是相对密度；

γ 、 $\gamma_{\max}$ 、 $\gamma_{\min}$ 分别是现场的干密度和击实最紧密状态及最疏松状态的干密度；

e 、 $e_{\min}$ 和 $e_{\max}$ 分别是与 γ 、 $\gamma_{\max}$ 及 $\gamma_{\min}$ 相对应的孔隙比。

相对密度常用标准贯入试验的N值（如第2—5节所述）进行估计。但是，标准贯入试

验结果容易引起过高地估计地下水位以下的粉土和细砂的相对密度，因而一般用一修正N值—— N_m 来估计相对密度， N_m 由下式求得：

$$N_m = 15 + \frac{1}{2}(N - 15) \quad N > 15$$

如果N小于15，则不需要校正。

相对密度描述的术语和相应的N值，列于表1—3—1中。

在土的描述中，当提出相对密度时，一定要弄清楚是按标准贯入试验成果还是用镐、锹或打入桩子估计的。

粘土的抗剪强度

列在第1—2节表中的第一栏里的粘土抗剪强度描述值，可以将粘土放在手指间挤压，并应用小型贯入器测得结果进行估计，或是直接由十字板剪切试验或三轴剪切试验进行估计。当提出抗剪强度的描述值（可塑、硬塑等等）时，一定要弄明白进行评价的根据。

混合土

表1—3—2举出了描述砂~砾石混合料和粘土~砾石混合料的颗粒大小的例子。其它颗粒大小组合应以类似方法处理。列在括弧内的描述是供比较选择的。应注意，含少量粘粒（10~15%）的土，可能表现为象一种粘土，仍应按混合土来描述。

压缩性

土的压缩性用固结试验来确定，并以压缩系数 m_v 表示，描述的术语与 m_v 值有关，见表1—3—3。

表1—3—1 相对密度的描述术语及相应的标贯击数N值

相对密度 (%)	描述术语	N 值
0~15	极疏松	0~4
15~35	疏松	4~10
35~65	中等密实	10~30
65~85	密实	30~50
85~100	极密实	>50

表1—3—3 用于压缩性的描述术语

描 述	m_v (m^2/MN)
极 低	<0.05
低	0.05~0.1
中 等	0.1~0.3
高	0.3~1.5
极 高	>1.5

表1—3—2 混合土描述

描 述	颗粒组成
轻砂砾石（含少量砂的砾石）	砂粒 < 5 %
砂砾石（含一些砂的砾石）	砂粒 5 ~ 20 %
重砂砾石	砂粒 > 20 %
砂 / 砾石	大约相等
重砾质砂	砾 > 20 %
砾质砂	砾 5 ~ 20 %
轻砾质砂（夹有少量砾石的砂）	砾 < 5 %
夹有砾石的粘土	砾 < 5 %
含一定砾石的粘土	砾 5 ~ 35 %
砾质粘土	砾 35 ~ 65 %