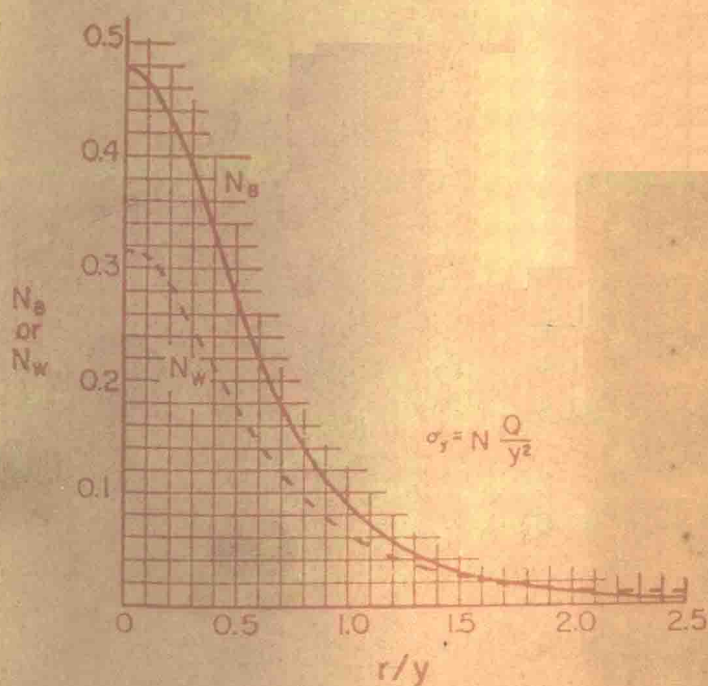


高等学校教学参考书

土工分析基础

〔美〕邓恩 安德森 凯弗



地质出版社

35621 高等学校教学参考书
7/176

参 56181 土工分析基础

[美] 邓 恩, I. S.
安德森, L.R. 著
凯 弗, F.W.
孔德坊 等译

地质出版社

内容简介

全书共十一章,其中前五章论述了土的地质特征和性质以及土中的水和应力;第六至八章论述了传统土力学中的三大问题——挡土结构物、边坡和地基的稳定性分析;第九至十一章包括三个独立部分,介绍了土质改良、现代计算方法和建筑场地的工程地质勘察方法。每章均附有思考问题和习题。正文后并附有附录、参考文献、著者姓名的英-汉对照和专题词的汉-英索引。

本书可作为大专院校工程地质、土建、水利、道路等专业的教材或参考书,也可供大专院校有关专业的教学人员参考。

Fundamentals of geotechnical analysis

I. S. Dunn

L. R. Anderson

F. W. Kiefer

U. S. A. 1980

*

土工分析基础

〔美〕 邓 恩, I. S.

安德森, L. R.

凯 弗, F. W.

孔德坊 等译

地质矿产部教材编辑室编辑

责任编辑 于纯仁

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张: $15^{3/4}$ · 字数: 357,000

1984年2月北京第一版·1984年2月北京第一次印刷

印数 1—4,460 册·定价 2.20元

统一书号: 15038·教168

译者序

本书系美国犹他州立大学教师邓恩(Dunn, I. S.)、安德森(Anderson, L. R.)和凯弗(Kiefer, F. W.)为该大学土木工程系本科大学生编著的教科书。作者根据自己多年的教学经验写成初稿,由奥尔森(Olsen, J.)、里克(Riker, R. E.)以及作者本人先后分别将其用于教学实践,经修改然后定稿。

本书共分十一章,大致可以归纳为三个部分:第1~5章论述土的地质特征、性质以及土中的水和应力,实际上是土工学的基础部分;第6~8章是土工学的核心部分,论述挡土墙、边坡和地基土体的稳定性分析;第9~11章实际上是三个独立的部分,介绍了土质改良、电子计算机在土工学中的应用和土的工程地质勘察。最后附有国际单位制和计算机程序两个附录。本书具有鲜明的教科书性质,这表现在主要论述的是关于土工分析的久经实践检验过的基本理论和基本分析方法;系统性较强,逻辑严谨;文中例题较多,且主要各章正文的后面均附有思考问题和习题。显然,这对于使学生深入理解基本理论,掌握分析方法,培养独立思考和研究问题的能力,都是十分有益的。更值得指出的是,在当前我国地质院校各专业教科书内容的广度和深度日益膨胀的情况下,本书的突出基本内容和教学要求、简明扼要的特色,是有助于我们思考的。

原书中将图、表、例题和对某些公式的推导都称为“Fig”,且一概按页码编号。这与我国通用的处理方式不同。为了符合我国习惯,译者在编译过程中进行了改变,将图、表、例题分开,分别按章编号;将对某些公式的推导,分别插入正文的相应段落中。此外,也将按页码编号的公式,改为分章编号。

本书的前言、第二至九章由孔德坊译,第一、十章和附录由张惠英译,第十一章由赵泽三译。初稿由张倬元、王士天校对。最后由孔德坊进行统一整理,并编制了著者姓名英汉对照和专题词汉英索引。

由于译者水平和时间所限,译文中不妥甚至错误之处在所难免,尚希读者不吝指正。

译者

1982.12.

前 言

土工学是由土力学发展而来的，而后者则主要是通过泰沙基 (Terzaghi, K.) 及其同事们在二十世纪初期的研究工作而成长起来。土工学在理论和技术两个方面都在迅速地变化着，在最近十年中有许多重要的发展。

本书试图为学习工程的大学生们提供分析的基本方法。为了获得成功，一个从事实践的土工工程师必须将完整的分析知识与经验常识结合起来。

一般说来，土力学书籍中包含有大量的参考资料和适合于对研究生水平讲授的许多课题。但是，本书力图只涉及为了较好地了解土工分析所必需的基本概念，并以一种最适宜于大学生了解的方式探讨这些课题，而对那些高深课题则最好留待其它教科书中去讨论。因此，教学是本书的主要目的，并没有为实践工程师提供大量参考资料的意图。

本教科书的前九章在内容和顺序上对于学习工程学的三或四年级大学生都是适宜的，讲授两个学期*，每学期*三学分。在犹他州立大学的大学生课程中，我们讲授了前九章所包括的全部课题。后两章是辅助材料，虽然实质上它们仍属于基本内容，而且是某些教师所要讲授的，但对于土工分析的初步介绍来说，并不是必不可少的。

在本教科书中，除了在极个别的情况下为了对比起见列出了英制单位的数值以外，只采用国际单位制。在单位制方面，我们不倾向于逐渐从英制改变为国际制，而相信彻底地、突然地采用国际制单位比逐步改变将会使学生更清楚和更迅速地具有按国际单位思考问题的能力。

我们谨向在编写本教科书的过程中帮助过我们的以下诸君表示我们的谢意。犹他州立大学教具部的迪布鲁伊斯 (De Bloois, M. L.) 博士和索利尔 (Soulier, S. J.) 博士在编写本教科书的最初阶段给我们提供了支持和咨询。阿伦 (Allen, T. J.) 先生为了编出题解手册，解答和计算了各章末的全部习题；纳贝 (Naby, D. W.) 先生协助编制了计算程序。奥尔森 (Olsen, J.) 博士和里克 (Riker, R. E.) 先生在他们讲课中采用了这本教科书的初稿，并提出了有益的评论。米奇尔 (Mitchell, J. K.) 博士、施罗德 (Schroeder, W. L.) 博士、科奈 (Koerner, R. M.) 博士和汤普逊 (Thompson, L. J.) 博士评审了手稿，提出了宝贵的意见。在过去四年中，我们曾利用这个手稿作为我们讲授土力学课程的教材，从学生们的意见中和借此实地检验成果的机会中，得到许多改进。手稿的打印是由福奈斯贝克 (Fonnesbeck, G.)、威尔逊 (Wilson, S.) 和基夫 (Kiefer, J.) 完成的。

I. S. Dunn

L. R. Anderson

F. W. Kiefer

1980.1. 于犹他州，洛根

* 原文为 quarter，指每学年分四个学期的一学期。——译者

符 号 说 明 表

A = 面积 (L^2) 或常数	G = 比重
A_n = 孔隙的面积 (L^2)	H = 高度或深度 (L)
a = 面积 (L^2) 或长度 (L)	H_0 = 试样的初始高度
a_c = 接触面积与总面积之比	H_s = 土的固体部分的高度
B = 基础的宽度 (L)	h = 水头 (L) 或铅直距离 (L)
b = 距离	h_e = 高度水头 (L)
C, C_1, C_2 = 常数	h_l = 水头损失 (L)
C_c = 压缩指数	h_p = 压力水头
C_u = 均匀系数	h_T = 总水头 (L)
C_r = 内聚力 (F)	h_v = 速度水头 (L)
C_r = 形状系数	Δh = 水头变化 (L)
c_v = 固结系数	l_b = 布西涅斯克压力影响系数, 面积荷载
C_w = 墙的粘着力 (F) 或水面修正系数	l_w = 韦斯特加德压力影响系数, 面积荷载
C_a = 曲率系数	i = 水力梯度或角度
c = 内聚力	i_c = 临界水力梯度
c_1, c_2, c_3 = 常数	i_q = 承载能力的倾斜系数
D = 深度或颗粒直径 (L)	K_a = 主动土压力系数
D_m = 有代表性的颗粒直径 (L)	K_f = 破坏时的主应力比
D_f = 基础的深度 (L)	K_o = 侧向土压力系数
D_{10} = 颗粒直径, 小于此粒径颗粒的百分含量为10%。	K_p = 被动土压力系数
D_r = 相对密度 (粒状土)	k = 渗透系数 (L/T) (导水性)
d = 距离	k' = 被转换断面的渗透系数 (L/T)
d_s, d_q = 承载能力的深度系数	L = 长度 (L)
E = 弹性模量 (F/L^2) 或能量 (FL)	LI = 液性指数
E = 土的水平力 (F)	LL = 液限 (%)
e = 孔隙比	M = 整数或常数
e_o = 原始孔隙比	M_b = 布西涅斯克压力系数 (面积荷载)
e_{max}, e_{min} = 最大或最小孔隙比	M_i = 被挡的土的质量 (M)
F = 安全系数或通过0.075mm筛的百分含量	M_s = 干土的质量 (M)
F = 力	M_w = 水的质量 (M)
F_g, F_s, F_T = 重力或颗粒的表面力或表面张力 (F)	M_w = 韦斯特加德压力系数 (面积荷载)
f_r = 土-探头贯入仪空心管的摩擦力 (F/L^2)	m = 整数或毕肖普简化条分法的抗剪强度 (F)
	m_v = 体积变化系数 (L^2/F)
	N = 比值、整数或标准贯入试验的击数
	N = 法向力 (F)

N_B = 布西涅斯克压力系数 (集中荷载)

N_w = 韦斯特加德压力系数 (集中荷载)

N_q 、 N_r 、 N_c = 承载能力系数

n = 整数或孔隙度

P = 桩贯入阻力 (F)

P_a = 主动压力 (F)

P_n = 法向力 (F)

P_p = 被动压力 (F)

PI = 塑性指数

PL = 塑限

$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} (F/L^2)$$

Q = 水流体积 (L^3)

Q = 力或荷载 (F)

q = 体积水流速率 (L^3/T)

q = 单位面积上的荷载 (F/L^2)

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} (F/L^2)$$

q_a = 容许承载能力 (F/L^2)

q_L = 探头承载能力 (F/L^2)

q_u = 无侧限抗压强度 (F/L^2)

R = 半径 (L) 或力 (F)

R_f = 摩擦比 f_i/q_c %

r = 半径 (L)

r_u = 孔隙水压力系数

S = 抗剪强度 (F/L^2)

S = 距离或沉陷量 (L)

S_r = 饱和度

S_u = 不排水抗剪强度 (F/L^2)

SL = 缩限 (%)

S = 桩尖运动量、距离 (L) 或抗剪阻力 (F/L^2)

S_q = 承载板的形状系数

T = 时间因子或时间

T = 扭矩 (FL)、力 (F) 或时间 (T)

T_s = 表面张力 (F/L)

t = 时间 (T)

U = 水的力 (F) 或固结度

u = 水压力或孔隙水压力 (F/L^2)

u_s = 超孔隙水压力 (F/L^2)

V = 总体积 (L^3)

V_a = 空气的体积 (L^3)

V_s = 固体的体积 (L^3)

V_v = 孔隙的体积 (L^3)

V_w = 水的体积 (L^3)

v = 速度 (L/T)

v_n = 水的实际速度或孔隙速度 (L/T)

W = 总重量 (F)

W_s = 干土的重量 (F)

W_w = 水的重量 (F)

WCR = 加权潜移比

WCD = 加权潜移距离 (L)

w = 含水率 (%)

x 、 y 、 z = 坐标距 (L)

α = 角度

β = 常数或角度

γ = 容重 (F/L^3)

γ_b = 浮容重 (F/L^3)

γ_d = 干容重 (F/L^3)

γ_{sat} = 饱水容重 (F/L^3)

γ_w = 水的容重 (F/L^3) (9.81 kN/m^3)

γ_{dmax} 、 γ_{dmin} = 最大和最小干容重 (F/L^2)

γ_i = 原始容重 (F/L^2)

Δ = 位移 (L)

δ = 墙的摩擦角

ϵ = 应变

τ = 结构粘滞性 (FT/L^2)

θ = 角度

θ_p = 被动挡土墙的滑线角

λ = 水占据断面积的小数部分

μ = 粘滞系数 (FT/L^2)

ν = 泊松比

ρ = 密度 (M/L^3) 或曲率半径 (L)

Σ = 总和

σ = 总法向应力 (F/L^2)

$\bar{\sigma}$ = 有效法向应力 (F/L^2)

$\bar{\sigma}_0$ = 初始有效应力 (F/L^2)

σ_v = 总铅直法向应力 (F/L^2)

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_\theta = x, y$ 或 θ 面上的法向应力
(F/L^2)

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = 主应力 (F/L^2)

τ = 剪应力 (F/L^2)

τ_{xy} = 与 $x-y$ 面有关的剪应力 (F/L^2)

τ_θ = θ 面上的剪应力 (F/L^2)

ϕ = 摩擦角或速度势

$\bar{\phi}$ = 有效摩擦角

目 录

译者序	I
前言	II
符号说明表	IX
 第一章 土的性质	 1
1.1 土的形成过程和历史	5
1.2 某些类型土的一般工程特征	5
1.3 颗粒大小	6
1.4 颗粒力和性状	6
1.4.1 细粒组的特征	7
1.4.2 粗粒土的特征	9
1.5 重量-体积的关系	9
1.6 机械分析方法	13
1.7 颗粒大小级配	16
1.8 细粒土的稠度和可塑性	16
1.8.1 重塑土	16
1.8.2 原状土	18
1.9 土的分类体系	19
1.9.1 以颗粒大小为依据的土的分类	19
1.9.2 美国国家公路和运输公务员协会 (AASHTO) 的分类体系	20
1.9.3 土的统一分类体系	23
问题	
 第二章 土中的水	 27
2.1 水中的静压力	27
2.2 毛管水	28
2.3 饱和土体中液体的流动	29
2.3.1 达西定律	29
2.3.2 水力梯度	30
2.3.3 渗透性的测定	31
2.3.4 土的渗透性	34
2.3.5 非均质土的渗透性	35
2.3.6 一维水流	35
2.3.7 二维水流一流网	36

IV

2.3.8 二维水流—各向异性土	40
2.3.9 土坝中的水流	42
2.3.10 不透水坝基上土坝的流网	44
2.4 渗流力	45
2.5 管涌和涌出	46
2.6 反滤层设计	48
问题	48
第三章 土中的应力	52
3.1 有效应力的概念	52
3.1.1 干土	52
3.1.2 饱水土	53
3.1.3 局部饱水的土	54
3.2 由地表荷载引起的应力	54
3.2.1 近似解	55
3.2.2 弹性解—集中荷载	56
3.2.3 弹性解—均布荷载	56
3.2.4 影响图	58
3.3 任一点上的应力(摩尔圆)	61
3.3.1 平面的原点	62
3.4 正常固结土中的侧压力	65
3.5 应力历程	65
问题	66
第四章 可压缩性、固结作用、沉陷	68
4.1 砂土的可压缩性	68
4.2 粘土的固结	68
4.2.1 沉陷的时间滞后	69
4.2.2 流变固结模型	69
4.2.3 固结试验	70
4.2.4 粘土的可压缩性	70
4.2.5 正常固结的粘土	71
4.2.6 对正常固结粘土沉陷的预测	73
4.2.7 超固结的粘土	73
4.3 固结速率	75
4.3.1 微分方程的推导	75
4.3.2 微分方程的解	76
4.3.3 对 C_v 的估算	79
4.3.4 沉陷速率的预测	80
4.3.5 施工期间的修正	81
4.3.6 例题4.1及对例题4.1的讨论	81
问题	86

第五章 抗剪强度	89
5.1 抗剪强度的测定	89
5.1.1 直剪试验	90
5.1.2 三轴剪切试验	90
5.1.3 十字板剪切试验	91
5.1.4 试样的排水	92
5.2 粒状材料的抗剪强度	92
5.3 粘土的抗剪强度	94
5.3.1 正常固结的粘土—CD 试验	95
5.3.2 正常固结的粘土—CU 试验	96
5.3.3 正常固结的粘土—UU 试验	97
5.3.4 超固结粘土	99
5.3.5 被压密的粘土	101
5.4 摩尔-库伦强度包络线	102
5.4.1 p - q 图和应力历程	104
问题	106
第六章 侧向压力和挡土结构物	110
6.1 平衡状态	110
6.1.1 静止状态	110
6.1.2 主动状态	111
6.1.3 被动状态	112
6.1.4 屈服条件	113
6.2 应用于挡土结构物的兰金方法	113
6.2.1 主动压力—无粘性土	114
6.2.2 主动压力—粘性土	115
6.2.3 被动压力	116
6.3 对粗糙壁的侧压力	117
6.3.1 主动状态—无粘性土	117
6.3.2 附加荷载和水下回填料	119
6.3.3 卡尔曼的图解法	119
6.3.4 被动压力—粗糙壁	122
6.3.5 临界破坏弧	123
6.3.6 用 ϕ -圆法求被动壁力	124
6.4 设计研究	126
6.4.1 屈服条件	126
6.4.2 设计回填体系的研究	127
问题	128
第七章 斜坡稳定性的分析	130
7.1 历史背景	130
7.2 有效应力法和总应力法	131

7.3 无限斜坡	131
7.3.1 干砂土中的无限斜坡	132
7.3.2 砂土中的水下无限斜坡	132
7.3.3 渗流平行于斜坡时, $C-\phi$ 土中的无限斜坡	132
7.4 有限高度的斜坡	134
7.4.1 平直破坏面	134
7.4.2 摩擦圆法	136
7.4.3 斜坡稳定性图表	138
7.4.4 条分法	139
7.4.5 原始条分法	140
7.4.6 毕肖普的简化条分法	140
7.5 设计研究	142
7.5.1 临界设计状态	142
7.5.2 最小安全系数	143
问题	143
第八章 承载能力和地基	145
8.1 浅地基的极限承载能力	145
8.1.1 基础形状的影响	148
8.1.2 基础深度和荷载倾斜的修正	149
8.1.3 净承载压力	149
8.1.4 潜水面的影响	150
8.1.5 偏心荷载	150
8.2 沉陷的研究	151
8.2.1 砂土上基础的沉陷	151
8.2.2 用平板载荷试验求沉陷量 (粒状土)	152
8.2.3 用探头贯入仪试验求沉陷量	153
8.2.4 用标准贯入试验求沉陷量	156
8.2.5 饱水粘土上基础的沉陷量	157
8.3 容许承载力	160
8.3.1 砂土上的基础	160
8.3.2 粘土上的基础	161
8.3.3 粉土上的基础	161
8.3.4 容许沉陷量	161
8.3.5 预定的承载能力	162
8.4 深基础	162
8.4.1 单桩承载力的计算	162
8.4.2 静态公式	162
8.4.3 动态公式	165
8.4.4 波动方程	165
8.4.5 桩载荷试验	166
8.4.6 桩群的承载能力	166

8.4.7 桩群的沉陷量	167
问题	170
第九章 改善土的状态和性质	172
9.1 压密作用	172
9.1.1 压密理论	172
9.1.2 被压密的粒状土的性质	173
9.1.3 被压密的粉土和粘土的性质	173
9.1.4 压密的现场设备	173
9.1.5 实验室压密方法与现场压密方法的比较	179
9.2 利用掺合料加固	179
9.2.1 石灰加固	179
9.2.2 水泥加固	179
9.2.3 沥青加固	180
9.3 灌注和灌浆	180
9.4 动力加固	181
9.4.1 振浮法	181
9.4.2 土探头	182
9.4.3 爆炸	182
9.4.4 压密桩	182
9.4.5 重型夯实	183
9.5 预压	183
9.6 排水	184
9.7 加筋土	184
9.8 综述	185
第十章 数值法和计算机的应用	186
10.1 偏微分方程的数值解	186
10.1.1 有限差分近似	186
10.1.2 偏微分方程的形式	188
10.1.3 稳态渗流	188
10.1.4 粘土的固结	192
10.1.5 波动方程	194
10.2 有限单元法	194
10.2.1 矩阵符号	195
10.2.2 线弹性体系的应力分析	195
10.2.3 单元的刚度	195
10.2.4 整个集合体的刚度矩阵	199
10.2.5 边界条件的应用	200
10.2.6 求单元应力	201
10.2.7 土工学中的应力分析	201

10.3 计算机的应用	201
第十一章 地下勘探	203
11.1 场地踏勘	203
11.2 勘探规划	203
11.3 地下勘察	204
11.3.1 土样的采取	205
11.3.2 原位测试	206
11.3.3 现场资料的编录	210
11.3.4 土的现场分类	212
11.3.5 实验室试验	213
11.4 报告的准备	214
附录A 单位的国际体制	215
附录B 计算机程序	216
参考文献	222
著者姓名 (英汉对照)	230
专题词索引 (汉英对照)	232

第一章 土 的 性 质

地下工程是一种技艺，土力学是一门工程科学……。我们应当很好地回想和分析为使地下工程成功地付诸实施必不可少的先决条件。至少有三点：通晓先例，精通土力学，以及具有地质学的工作知识……〔佩克 (Peck, R. B.), 1962〕

本教科书的目的是要使读者熟习土力学的基本原理。这些原理包括将土的物理性质的知识应用到以下方面：

- 分析和设计诸如堤坝之类的土结构物。
- 评价人工和自然边坡的稳定性。
- 评价土质沉积物对各种建筑物的支承能力。
- 评价作用于各种结构物的土压力的大小和分布。
- 预测水在土中的运动。
- 用化学或机械方法改善土的性质。

工程师在熟习了土力学的原理之后，对于理论上预测土在各种条件下的性状就有了必要的分析手段。熟习土力学原理将给青年工程师提供解释和评价经验的构架并从而开始去发展先例知识。

将包含有土力学原理运用的若干典型工程的实例表示在图 1—1、1—2、1—3 和 1—4 中。图 1—1 表示采用圆形钢板桩室以支承码头结构物。为了抵抗每个桩室内土压力造成的破坏，同样也为了抵抗由桩室后面侧压力引起的倾倒和滑动，必须对板桩室进行设计。图 1—2 说明了在设计扩展式基础中两种破坏准则（剪切破坏、过度沉陷）的作用。设计如图 1—3 和 1—4 所示的非均质土坝，必须考虑坝的总体稳定以及通过坝身和地基可能出现的渗

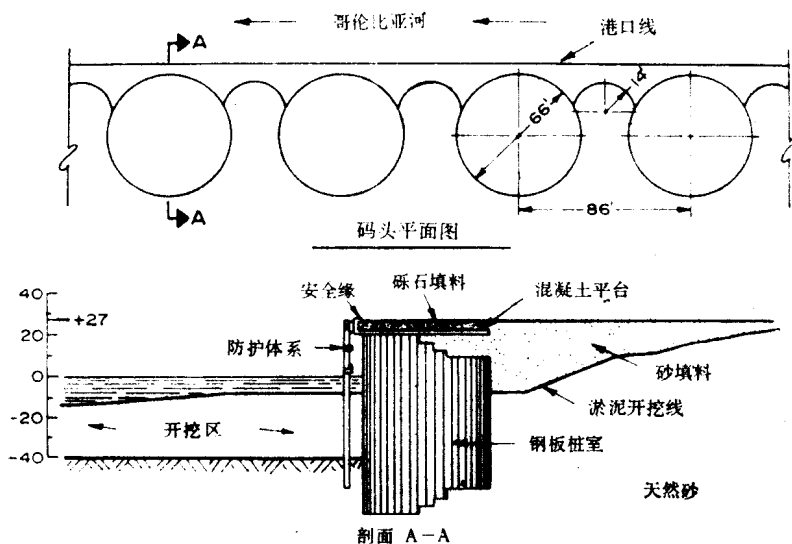
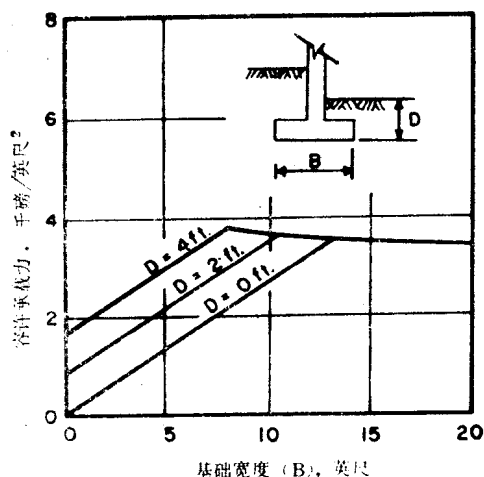


图 1—1 圆形钢板桩室码头结构物。由砂充填的桩室支承码头盖板和用作挡土结构物。



说明：容许承载力由安全系数控制（以剪切破坏为准）或由总沉降量为1英寸控制
容许承载力
扩展式基础

图 1-2 用于扩展式基础的典型设计图。
此图是根据对特定场地的地下勘察成果和用土力学原理制成的。

流总量两个方面。图1—5表示出为确定桩基的设计荷载所用的试验设备。

与许多工程学科不同，在岩土工程方面，工程师必须与一种物理性质非常多变而且非常难以评价的材料（土）交往。这样，物理性质的测定就成为解决问题过程中的一个部分，而这一部分与此过程的其它部分同样困难，也同样重要。

在包括土结构物的、需要土或岩石地基的，或者是修建在地面以下的每种工程中，土工工程师都有任务。虽然每种工程多少有点不同，但是有一个通常适用于对大多数工程进行土工和基础作业的一般程序。在这里讨论这个程序，以便使初学土工工程的大学生对包括土力学应用在内的过程有一个一般的感性认识。当大学生对土力学原理的了解得到提高时，应当时时回顾这个程序。可将这个程序划分成如下主要部分〔沃斯(Worth, E. G.), 1972〕：

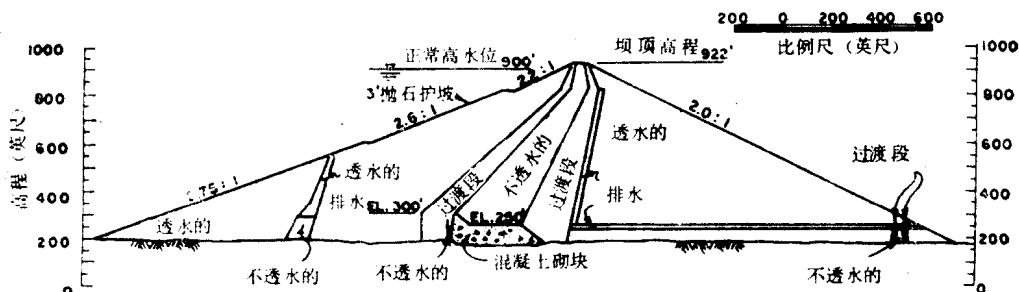


图 1-3 奥罗维尔水坝的最大断面图。

1. **明确工程概念。**这包括确定设计目的；设计和施工一览表；拟建结构物的数量、类型和位置；工程未来的扩建计划；设备未来的潜在用途；以及专门的或独特的运行要求，如振动地基。

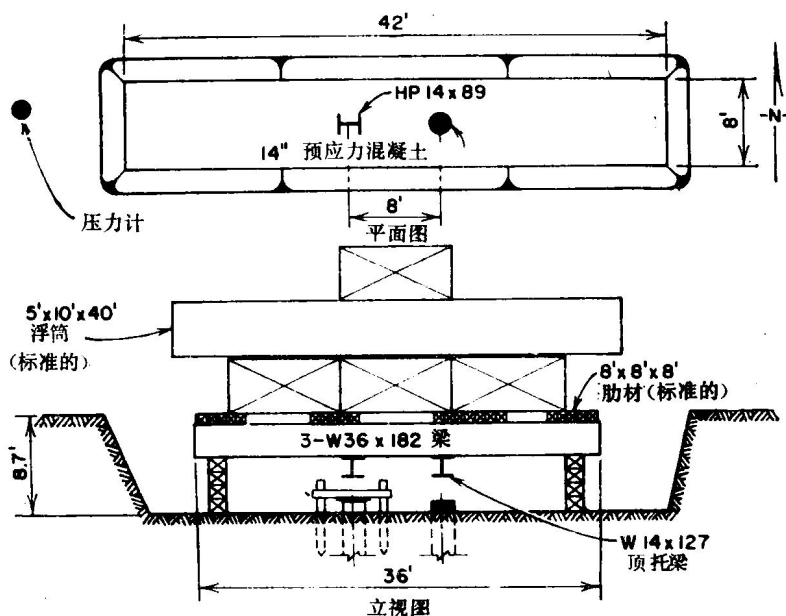
2. **工程场地踏勘。**这包括地质文献的评论，现有的地下资料的评论，以及工程场地的调查。

3. **提出一个对地下情况的“工作设想”。**从工程概念的确定中以及根据踏勘研究得到的资料提出“工作设想”（所预料的地下情况）。

4. **提出一个检验“工作设想”的现场勘察计划。**为了正确地设计出地下勘察的各种细节，如试验钻孔的数量和深度、应取得的土样的数量和类型、以及拟进行的现场试验的类型，有一个对地下情况的工作设想是很必要的。随着由现场作业得到的资料增多，一般有必要修改地下勘察的某些细节。



图 1—4 加利福尼亚州的奥罗维尔水坝
(承加利福尼亚州水资源部提供)。



位置A-HP14×89桩荷载试验

图 1—5 为确定桥基的容许桩荷载而进行的桩荷载试验
(承CH₂M HILL提供)。