

21世纪高等学校土木建筑类
创新型应用人才培养规划教材

岩土力学

主 编 李元松

副主编 张小敏 周春梅 蔡路军 王亚军



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

21世纪高等学校土木建筑类
创新型应用人才培养规划教材

岩土力学

主 编 李元松

副主编 张小敏 周春梅 蔡路军 王亚军



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩土力学/李元松主编;张小敏,周春梅,蔡路军,王亚军副主编. —武汉:
武汉大学出版社,2013.12

21 世纪高等学校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

ISBN 978-7-307-12107-2

I. 岩… II. ①李… ②张… ③周… ④蔡… ⑤王… III. 岩土力学—高等学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 264491 号

责任编辑:胡 艳

责任校对:汪欣怡

版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉理工大印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:22.75 字数:548 千字 插页:1

版次:2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-12107-2 定价:38.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

岩石力学是研究岩石(体)在外力作用下的应力、变形及其破坏规律等力学特性的学科,它是解决岩石工程相关技术问题的理论基础。岩石属于固体,岩石力学应属于固体力学的范畴。一般从宏观意义上讲,把固体视为连续介质。但是,岩体不但有微观裂隙,而且有层理、片理、节理以至于断层等不连续面。岩体不是连续介质,而且常表现为各向异性或非均质性。岩石中若含水,则它又表现为两相体。从这些方面来看,岩石力学又是固体力学与地质科学的边缘学科,其应用范围涉及土木建筑、水利水电、铁道、公路、地质、采矿、地震、石油、地下工程、海洋工程等与岩石工程相关的众多工程领域。该学科经历了从 19 世纪末至 20 世纪初的初期发展阶段,20 世纪初至 30 年代的经验发展阶段,20 世纪 30 年代至 60 年代的经典理论阶段以及 20 世纪 60 年代至今的现代发展阶段。

土力学是研究土体的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性的学科。广义的土力学又包括土的生成、组成、物理化学性质及分类在内的土质学。土力学也是一门实用的学科,它是土木工程的一个分支,主要研究土的工程性质,解决与土体相关的工程问题。土力学是为建筑工程、水利工程、交通工程、地下工程、地质灾害防治工程等许多专业领域服务的技术基础学科。它诞生于 1925 年,并从 20 世纪 60 年代起进入现代发展阶段。该学科发展至今,其内容已相当广泛,但仍未形成成熟而完整的理论体系。

随着各类建筑物日益向更高、更大、更重、更深方向的发展,岩土工程问题已不能仅由土力学或岩石力学的基本知识所解决,必须发展一种带有很强综合性和很强实践性的学科阐明解决岩土工程问题的基本原则、理论支撑、配套技术和运作规律,从而把建立现代岩土工程学的迫切任务和把岩土力学引入土木工程专业课程提上了议事日程。以往,土力学与岩石力学作为独立的课程开设,各相关专业根据行业特点有所侧重,有的开设土力学,有的开设岩石力学,有的则两门课程均开设。随着大土木概念逐渐深入人心及工程建设规模的日益扩大,对岩土工程技术人员的要求逐渐提高,单纯掌握土力学或岩石力学的知识,已不能适应现代工程建设的需求。然而增加学时,分别开设两门课程又与现阶段理论课程精简的指导原则相悖。武汉工程大学于 1998 年率先开设“岩土力学”课程,但一直没有完整的配套教材,给备课与课堂教学带来诸多不便,武汉科技大学等其他高校也存在这样的问题。

有鉴于此,作者总结近 20 年的教学经验,尝试将土力学与岩石力学的主要内容融合为一体,组编成《岩土力学》。其基本思路是:将岩石力学与土力学中基本概念、基础理论、基本方法与基本知识相同的部分归并在一起,比如:将岩土的物理性质、变形特性、强度特性、渗流特性等基本相同的内容归并在一起阐述;将岩体、土体具有鲜明特点的内容单独列出,如将地基的沉降固结理论、岩体结构面特征、岩石地下工程等内容分别阐释。使《岩土力学》成为既融合了土力学与岩石力学基本概念、基本理论,同时又能保留

岩土各自特点的一门综合性教程，以适应现代工程建设的需求。

岩土力学是为建筑工程、水利工程、交通工程、地下工程、地质灾害防治工程等专业领域服务的技术基础学科。众所周知，在不同的领域中，岩土力学理论的应用可能有明显的差别，而且与岩土力学有关的专业技术标准很多，我国技术标准的稳定性又较差，将理论与应用兼顾起来是有困难的。《岩土力学》作为教程，应具有相对的稳定性和通用性，并反映带有共性的基本原理和方法。本书重点阐述基本概念、理论和方法，同时传递研究与设计中的重要信息；反映国内外最新学术成就，并指出仍需进一步深入研究的问题与方法。

教材建设目标：在“重基础，淡专业，宽口径，大土木”原则的指导下，将岩石力学与土力学的基本概念、基础理论、基本原理和研究方法统一于一体，达到既具有相对稳定的理论框架体系，又能包容本学科最新取得的研究成果；既具有一定的理论水平，又具有较强实用价值；适用于土木工程本科阶段通用的基础性教材。

推广言之，土力学与岩石力学的基础理论框架体系完全相同，研究方法手段也相近，但在我国，因长期以来部门割据，行业保护，各自领域按行业特点制定标准、规范，编写教材，造成人为障碍，使得专业人员知识面狭窄、适应性差。本书致力于打破传统领域界限，将岩石力学与土力学的基本概念、基本原理、基础理论以及基本符号统一整合，通过一段时间的应用、推广与修改完善，形成完整通用的岩土力学基础理论体系，进而推动我国现行岩土工程规范、标准的统一，从而大大节约工程建设成本。事实上，欧洲规范的统一制订，早已体现了这一发展思路。

本书作为武汉工程大学的湖北省品牌专业“土木工程”与省级精品课程“岩土力学”的重点建设教材，由武汉工程大学土木工程教研室组织编写，武汉科技大学参与编写，李元松教授任主编，张小敏、周春梅、蔡路军任副主编。绪论、第7章、第9章、第11章和第12章由李元松编写；第1章、第2章、第3章、第4章和第5章由张小敏编写；第6章、第8章和第10章由周春梅编写。全书由李元松、蔡路军统稿。

在本书的编写过程中，研究生段鑫和夏进完成了部分文字的输入和图表编辑与校对工作，同时得到我校土木工程学科和矿业工程学科师生的大力支持，在此一并表示感谢。

鉴于编者水平的局限和编写时间仓促，书中错误与不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。联系方式：li_yuan_song@126.com。

编 者

2013年10月

主要符号表

A	基础底面面积, m^2
a	压缩系数, kPa^{-1}
a_{1-2}	土样上的压力在 100kPa 至 200kPa 区间土的压缩系数, kPa^{-1}
b	条形基础宽度, 矩形基础短边, 分条法分条的宽度, m
b_c 、 b_q 、 b_γ	基底倾斜修正系数
C_c	土的曲率系数, 土的压缩指数
C_u	土的不均匀系数
C_v	土的固结系数, cm^2/a
c	黏聚力, kPa
c'	有效黏聚力, kPa
c_{cu}	固结不排水抗剪强度, kPa
c_d	排水抗剪强度, kPa
c_u	不排水抗剪强度, kPa
d	天然地面下基础埋深, m; 土粒粒径, mm
d_{10}	累计百分含量为 10%对应的粒径, mm
d_{60}	累计百分含量为 60%对应的粒径, mm
d_c 、 d_q 、 d_γ	基础埋深修正系数
d_w	地下水位深度, m
d_u	上覆非液化土层厚度, m
d_0	液化特征深度, m
d_s	土粒相对密度
D_r	无黏性土的相对密度
e	孔隙比
e_0	初始孔隙比
E	变形模量, kPa
E_a	主动侧压力, kN
E_d	岩土的动力弹性模量, GPa
E_i	初始模量, kPa
E_t	切线模量, kPa
E_s	割线模量, kPa; 压缩模量, kPa
E_0	静止侧压力, kN
E_p	被动侧压力, kN

f	岩石的坚固性系数
f_u	地基承载力特征值, kPa
f_k	地基承载力标准值, kPa
F_s	稳定系数
G	剪切模量, kPa
G_d	岩土的动力剪切模量, kPa
h_q	荷载等效高度, m
I_L	液性指数
I_p	塑性指数
I_s	岩块的点荷载强度, MPa
i	水力坡降;
J	渗流力, kN
JCS	壁岩强度, MPa
JRC	粗糙度
J_v	岩体单位体积内结构面条数
J_n	节理组数
J_r	节理粗糙度系数
J_a	节理蚀变影响系数
J_w	节理水折减系数
K	基床系数, kN/m^3 ; 弹性抗力系数, kN/m
K_a	主动侧压力系数
K_0	静止侧压力系数
K_h	水平地震系数
K_p	被动侧压力系数
K_v	岩体完整性系数; 体积模量
k	渗透系数, cm/s , m/d
M	作用于基础底面的力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$
M_x	荷载合力对矩形基底 x 轴的力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$
M_y	荷载合力对矩形基底 y 轴的力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$
M_r	抗滑力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$
M_c 、 M_d 、 M_b	承载力系数
m_v	体积压缩系数, MPa^{-1}
N_c 、 N_q 、 N_γ	粗糙基底的承载力系数
N_0	液化判别标准贯入锤击数基准值
N_{10}	锤重 10kg 的轻便触探试验锤击数
$N_{63.5}$	锤重 63.5kg 的标准贯入试验锤击数
N_{cr}	液化判别标准贯入锤击数临界值
n	土的孔隙率, %
p_c	自重压力, kPa

p_{cr}	地基的临塑荷载, kPa
p_0	基础底面平均附加压力, kPa
p_s	静力触探比贯入阻力, kPa
p_u	地基极限荷载, kPa
q	单位渗流量 cm^3/s
q_u	无侧限抗压强度, kPa
R_a	单桩竖向承载力特征值, kN
R_c	单轴抗压强度, MPa
R_k	单桩竖向承载力标准值, kN
RQD	岩石质量指标
s	地基最终沉降量, mm
s'	计算的地基变形值, mm
s_c	地基的固结沉降量, mm
s_d	地基的瞬时沉降量, mm
S_r	土的饱和度
s_s	地基的次固结沉降量, mm
s_t	经历时间 t 时的地基沉降量, mm
s_{ct}	地基固结过程中任一时刻 t 的固结沉降量, mm
s_∞	地基最终沉降量, mm
S_c 、 S_q 、 S_γ	基础形状修正系数
SRF	应力折减系数
T_v	固结时间因数(无量纲)
U_t	固结度, %
U_z	任一时刻 t 的平均固结度, %
u	孔隙水压力, kPa
V_a	气体所占的体积, cm^3
V_s	土粒体积, cm^3
V_v	岩土中孔隙体积, cm^3
V_0	压缩前孔隙体积, cm^3
$\dot{V}$	剪胀率
v	渗透速度, cm/s
v_{mp}	岩体纵波速度, km/s
v_{ms}	岩体横波速度, km/s
W	截面抵抗矩, m^3
W_x	基础底面对 x 轴的抵抗矩, m^3
W_y	基础底面对 y 轴的抵抗矩, m^3
w	含水率, %
w_{sa}	岩石的饱和吸水率, %

w_L	液限, %
w_p	塑限, %
w_s	缩限, %
z_n	地基压缩层沉降计算深度, m
z_d	设计冻深, m
α_d	剪胀角, °
γ_d	干重度, kN/m^3
γ_m	基底水平面以上土的加权平均重度, kN/m^3
γ_{sat}	饱和重度, kN/m^3
γ_w	水的重度, kN/m^3
γ'	有效重度, 或称浮重度, kN/m^3
δ	土对挡土墙墙背的外摩擦角, °
δ_x	力 P 作用下沿 P 作用方向产生的位移, mm
δ_s	湿陷系数
δ_{ep}	膨胀率, %
ε	应变
ε_d	横向应变
ε_L	轴向应变
ε_e	弹性变形
ε_p	塑性变形
ζ	阻尼比
θ	地基的附加压力扩散角, °
λ	拉梅常数; 侧压力系数
λ_c	压实系数
μ	泊松比; 侧膨胀系数
μ_d	动泊松比
ρ_{sat}	饱和密度, g/cm^3
ρ_c	黏粒含量百分率, %
σ_c	抗压强度, kPa
σ_t	抗拉强度, kPa
σ'_v	竖向有效应力, kPa
σ_h	水平应力, kPa
$\sigma_{h\text{max}}$	最大水平主应力, kPa
$\sigma_{h\text{min}}$	最小水平主应力, kPa
σ'	土中有效应力, kPa
τ_f	抗剪强度, kPa
τ_w	有效黏结应力
φ	内摩擦角, °

φ'	有效摩擦角, °
φ_d	排水内摩擦角, °
φ_g	计算摩擦角, °
φ_{cu}	固结不排水内摩擦角, °
φ_u	不排水内摩擦角, °
ω_a	岩石吸水率
ω	沉降系数
ω_r	刚性基础的沉降影响系数
η	黏性系数
η_b	基础宽度的承载力修正系数
η_d	基础埋深的承载力修正系数
ψ_s	沉降计算经验系数
ψ_t	采暖对冻深的影响系数
ψ_γ	折减系数
ξ	黏粒含量修正系数
Δ_z	地表冻胀量, mm

目 录

绪 论	1
0.1 岩土力学的概念、内容及研究方法	1
0.2 岩土力学的发展与展望	4
0.3 岩土力学的特点、学习目的与基本要求	11
第1章 岩土的物理性质	15
1.1 岩土的形成	15
1.2 土的三相组成	17
1.3 岩土的结构及构造	24
1.4 岩土的物理性质指标	26
1.5 土的三相比例指标	29
1.6 土的物理状态	32
1.7 土的压实性	38
1.8 岩土的其他物理性质	42
习题	45
第2章 岩土의 渗透性	47
2.1 概述	47
2.2 岩土의 渗透性和渗透规律	47
2.3 渗透力与渗透变形	57
习题	60
第3章 岩土中的应力	62
3.1 原岩应力	62
3.2 原岩应力场的分布规律	64
3.3 土中自重应力	67
3.4 基底应力分布与计算	70
3.5 地基附加应力	76
3.6 土中有效应力原理	87
习题	90

第4章 岩土变形	92
4.1 概述	92
4.2 岩石的变形	92
4.3 土的变形	98
4.4 地基最终沉降量计算	106
4.5 土的渗透固结理论	117
习题	124
第5章 岩土强度	127
5.1 概述	127
5.2 岩石的强度	128
5.3 土的抗剪强度试验	135
5.4 三轴压缩试验中的孔隙压力系数	141
5.5 岩土强度准则	145
5.6 饱和黏性土的抗剪强度	150
习题	155
第6章 岩体的力学性质	157
6.1 概述	157
6.2 结构面的力学性质	157
6.3 岩体的力学性质	170
习题	184
第7章 岩土的工程分类	186
7.1 土的工程分类	186
7.2 工程岩体分类	199
习题	206
第8章 岩土压力	207
8.1 概述	207
8.2 挡土墙侧的土压力	208
8.3 朗肯土压力理论	210
8.4 库仑土压力理论	219
8.5 朗肯理论与库仑理论比较	226
8.6 岩体侧压力计算	227
习题	229
第9章 岩土地基工程	231
9.1 概述	231

9.2	浅基础的地基破坏模式	231
9.3	地基界限荷载	233
9.4	地基极限承载力	238
9.5	地基容许承载力和地基承载力特征值	248
9.6	岩石地基的承载力	251
9.7	岩石地基抗滑稳定性计算	256
	习题	261
第 10 章	岩土边坡工程	262
10.1	概述	262
10.2	无黏性土坡的稳定性	263
10.3	黏性土坡的稳定性	264
10.4	岩质边坡稳定性	280
	习题	286
第 11 章	岩土地下工程	288
11.1	概述	288
11.2	地下工程的分类	289
11.3	地下工程围岩应力	290
11.4	地下工程支护设计	298
	习题	311
第 12 章	岩土的动力特性	312
12.1	岩土中的弹性波理论	312
12.2	岩土的动力特性	319
12.3	土的振动液化	327
	习题	337
附 录		339
参考文献		348

绪 论

0.1 岩土力学的概念、内容及研究方法

0.1.1 基本概念

岩石力学(Rock Mechanics)是研究岩石或岩体在外力作用下的应力、变形及其破坏规律等力学特性的学科,它是解决岩石工程相关技术问题的理论基础。岩石属于固体,岩石力学应属于固体力学的范畴。一般从宏观意义上讲,把固体看做连续介质。但是,岩体不但有微观的裂隙,而且有层理、片理、节理以至于断层等不连续面。岩体不是连续介质,而且常表现为各向异性或非均质。岩石中若含水,则它又表现为两相体。从这些角度看,岩石力学又是固体力学与地质科学的边缘科学,其应用范围涉及采矿、土木建筑、水利水电、铁道、公路、地质、地震、石油、地下工程、海洋工程等众多的与岩石工程相关的工程领域。

土力学(Soil Mechanics)是研究土体的应力、变形、强度、渗流及长期稳定性的学科。广义的土力学又包括土的生成、组成、物理化学性质及分类在内的土质学。土力学也是一门实用的学科,它是土木工程的一个分支,主要研究土的工程性质,解决与土体相关的工程问题。

由上述两门学科的定义可以看出,其内容与方法以及研究目标与应用范围完全平行,或相互交融,其主要差异仅体现在“岩石”与“土体”的材料特性,如果忽略这种差异,则两者基本相同,因而可合并成为一门统一的学科——岩土力学。

岩土力学(Rock and Soil Mechanics)是研究岩土体力学性质及其应用的一门学科,是研究岩土体在外力作用下的应力、变形及其破坏规律等力学特性的学科,其目的是解决岩土工程相关的技术问题。

岩石(Rock)是组成地壳的基本物质,它是由矿物或岩屑在地质作用下按一定规律凝聚而成的自然地质体。按成因分类,岩石可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

岩体(Rock Mass)是指一定工程范围内的自然地质体,它经历了漫长的自然历史过程,经受了各种地质作用,并在地应力的长期作用下,其内部保留了各种永久变形和各种各样的地质构造形迹,例如不整合、褶皱、断层、层理、节理、劈理等不连续面。岩石与岩体的重要区别就是岩体包含若干不连续面。

岩体结构(Rock Mass Structure)包括两个基本要素:结构面和结构体。结构面即岩体内具有一定方向、延展较大、厚度较小的面状地质界面,包括物质的分界面和不连续面,它是在地质发展历史中,尤其是地质构造变形过程中形成的。被结构面分割而形成的岩

块,四周均被结构面所包围,这种由不同产状的结构面组合切割而形成的单元体称为结构体。

土中固体颗粒(Grain)是岩石风化后的碎屑物质,简称土粒。土粒集合体构成土的骨架,土骨架的孔隙中存在液态水和气体。因此,土是由土粒(固相)、土中水(液相)和土中气(气相)所组成的三相物质;当土中孔隙被水充满时,则是由土粒和土中水组成的二相体。土体具有与一般连续固体材料(如钢、木、混凝土及砌体等建筑材料)不同的孔隙特性,它不是刚性的多孔介质,而是大变形的孔隙性物质。在孔隙中水的流动显示土的透水性(渗透性),土孔隙体积的变化显示土的压缩性、胀缩性,在孔隙中土粒的错位显示土内摩擦和黏聚的抗剪强度特性。土的密度、孔隙率、含水量是影响土的力学性质的重要因素。土粒大小悬殊甚大,有大于 60mm 粒径的巨粒粒组,有小于 0.075mm 粒径的细粒粒组,介于 0.075~60mm 的粒径为粗粒粒组。

工程用土总的分为一般土(Common Soil)和特殊土(Special Soil)。广泛分布的一般土又可分为无机土(Inorganic Soil)和有机土(Organic Soil)。原始沉积的无机土大致可分为碎石类土(Breakstone)、砂类土(Sand)、粉性土(Silt)和黏性土(Clay)四大类。当土中巨粒、粗粒粒组的含量超过全重 50%时,属于碎石类土或砂类土;反之,属于粉性土或黏性土。碎石类土和砂类土总称为无黏性土,其一般特征是透水性大,无黏性;黏性土的透水性小;而粉性土的性质介于砂类土和黏性土之间。特殊土有遇水沉陷的湿陷性土(如常见的湿陷性黄土)、湿胀干缩的胀缩性土(习称膨胀土)、冻胀性土(习称冻土)、红黏土、软土、填土、混合土、盐渍土、污染土、风化岩与残积土等。

0.1.2 研究内容

岩土力学研究的主要内容包括:

(1)岩土的工程地质特征研究。岩土体工程地质特征研究的基本任务是岩土体的成因、应力历史及赋存环境的研究,其主要内容有岩石、岩体、土的概念,矿物成分及结构构造,岩土体的工程分类,岩体结构特征,土体颗粒级配,赋存环境对岩土体力学性质的影响以及地应力等的研究。

(2)岩土基本力学性质研究。岩土基本力学性质研究的基本任务是研究材料的力学性质,主要内容有岩土变形特性及其表征参数,强度特性及其表征参数,破坏特征、岩土本构关系及破坏准则、变形及强度的时效特性、岩土力学性质的测量理论与方法。

(3)岩土地下工程的稳定性研究。岩土地下工程稳定性研究的基本任务是岩土力学理论在地下工程中的应用问题,主要内容有地下开挖引起的应力重分布、围岩(土)的变形和破坏、支护结构上的围岩(土)压力、围岩(土)的支护设计理论与计算方法。

(4)岩土边坡工程的稳定性研究。岩土体边坡工程稳定性研究的基本任务是岩土力学理论在边坡工程中的应用问题,主要内容有边坡破坏机制、边坡稳定性分析和评价方法与加固技术、滑坡预测与防治理论与方法。

(5)岩土地基工程的稳定性研究。岩土地基工程稳定性研究的基本任务是岩土力学理论在地基工程中的应用问题,主要内容有地基中的应力分布、地基的变形沉降、地基承载力、地基稳定性的分析理论与计算方法。

0.1.3 研究方法

由于岩土力学是一门边缘交叉科学,研究的内容广泛,对象复杂,这就决定了岩土力学研究方法的多样性。根据所采用的研究手段或所依据的基础理论所属学科领域的不同,岩土力学的研究方法可大概归纳为以下四种,在进行研究方法论述的时候也涉及一些研究内容,也可作为上述研究内容的补充。

(1)工程地质研究方法。着重于研究与岩土体的力学性质有关的岩土体地质特征,如用岩矿鉴定方法,了解岩土体的类型、矿物组成及结构构造特征;用地层学方法、构造地质学方法及工程勘察方法等,了解岩土体的成因、空间分布及岩体中各种结构面的发育情况等;用水文地质学方法了解赋存于岩土体中地下水的形成与运移规律等。

(2)科学实验方法。科学实验是岩土力学发展的基础,包括室内实验岩土力学参数的测定,模型试验,现场原位试验及监测技术,地应力的测定和岩体构造的测定等。实验结果可为岩土变形和稳定性分析计算提供必要的物理力学参数。同时,还可以用某些实验结果(如模拟实验及原位应力、位移、声发射监测结果等)直接评价岩土体的变形和稳定性,以及探讨某些岩土力学理论问题。另一方面,室内岩土体的微观测定也是岩土力学研究的重要手段。近代发展起来的新的实验技术都已不断地应用于岩土力学领域,如遥感技术、激光散斑和切层扫描技术、三维地震勘测成像和三维地震 CT 成像技术、微震技术等,都已逐渐为岩土工程服务。

(3)数学力学分析方法。数学力学分析是岩土力学研究中的一个重要环节。它是通过建立工程岩土结构的力学模型和利用适当的分析方法,预测工程岩土体在各种力场作用下的变形与稳定性,为岩土工程设计和施工提供定量依据,其中,建立符合实际的力学模型和选择适当的分析方法是数学力学分析中的关键。目前常用的力学模型有:刚体力学模型、弹性及弹塑性力学模型、流变模型、断裂力学模型、损伤力学模型、渗透网络模型、拓扑模型,等等。常用的分析方法有:①数值分析方法,包括有限差分法、有限元法、边界元法、离散元法、无界元法、流形元法、不连续变形分析法、块体力学和反演分析法等;②模糊聚类 and 概率分析,包括随机分析、可靠度分析、灵敏度分析、趋势分析、时间序列分析和灰色系统理论等;③模拟分析,包括光弹应力分析、相似材料模型试验、离心模型试验等。在边坡研究中,还普遍采用极限平衡的分析方法。

(4)整体综合分析方法。这种方法是对整个工程,以系统工程为基础,进行多种方法的综合分析。这是岩土力学与岩土工程研究中极其重要的一套工作方法。由于岩土力学与工程研究中每一环节都是多因素的,且信息量大,因此必须采用多种方法并考虑多种因素(包括工程的、地质的及施工的等)进行综合分析和综合评价。应特别注重理论和经验相结合,才能得出符合实际情况的正确结论。就岩土工程而言,整体综合分析方法又必须以不确定性分析方法为指导。因为在岩土工程问题中,存在着工程的、地质的及施工的多方面不确定性因素,只有采用不确定性研究方法,才能彻底摆脱传统的固体力学、结构力学的确定性分析方法的影响,使研究和分析的结果更符合实际,更可靠和实用。现代非线性科学理论、信息科学理论、系统科学理论、模糊数学、人工智能、灰色理论和计算机科学技术的发展等为不确定性分析方法奠定了必要的技术基础。

0.2 岩土力学的发展与展望

0.2.1 土力学发展

土力学的发展可划分为三个阶段：1920年以前的萌芽阶段，1920年至1960年左右的古典土力学阶段和1960年左右至今的现代土力学阶段，各阶段代表人物和其主要研究成果如下：

1. 萌芽阶段

18世纪，欧美国家在产业革命推动下，社会生产力有了快速发展。大型建筑、桥梁、铁路、公路的兴建，促使人们开始对地基土和路基土的一系列技术问题进行研究。1773年，法国科学家 C. A. Coulomb 发表了《极大极小准则在若干静力问题中的应用》，介绍了刚滑楔理论计算挡土墙背粒料土压力的计算方法；法国学者 H. Darcy 在 1855 年创立了土的层流渗透定律；英国学者 W. T. M. Rankine 在 1857 年发表了土压力塑性平衡理论；法国学者 J. Boussinesq 在 1885 年推导了弹性半空间半无限体表面竖向集中力作用时土中应力、变形的理论解。

2. 经典土力学阶段

20世纪20年代开始，土力学的研究有了迅速的发展。瑞典 K. E. Petterson 在 1915 年首先提出，后由瑞典 W. Fellenius 及美国的 D. W. Taylor 进一步发展的土坡稳定分析整体圆弧滑动面法；法国学者 L. Prandtl 在 1920 年发表了“地基剪切破坏时滑动面形状和极限承载力公式”；1925 年美籍奥地利人 K. Terzaghi 写出第一本《土力学》专著，他是第一个重视土的工程性质和土工试验的人，他所创导的饱和土的有效应力原理将土的主要力学性质，如应力-变形-强度-时间各因素相互联系起来，并有效地用于解决一系列土工问题，从此土力学成为一门独立的学科；L. Rendulic 在 1936 年发现土的剪胀性、土的应力-应变非线性关系、土体具有加工硬化与软化性质。有关土力学论著和土力学教材像雨后春笋般地蓬勃发展。

3. 现代土力学阶段

1963 年，Roscoe 发表了著名的剑桥模型，提供了一个可以全面考虑土的压硬性和剪胀性的数学模型，宣告了现代土力学的开端。伴随着工程建设事业的蓬勃发展，土力学围绕从宏观到微观结构、本构关系与强度理论、物理模拟与数值模拟、测试与监测技术、土质改良等方面取得了长足进展。同时，计算机技术的应用又为这门学科注入了新的活力，实现了测试技术的自动化，提高了理论分析的准确性，标志着本学科进入一个新的时期。至此，土力学已派生出理论土力学、试验土力学、计算土力学和应用土力学四大分支。

早在 20 世纪 50 年代，我国学者的研究成果主要有：陈宗基教授对土的流变学和黏土结构的研究；黄文熙院士对土的液化的探讨以及提出考虑土侧向变形的地基沉降计算方法，他在 1983 年主编的土力学专著《土的工程性质》系统地介绍了国内外有关各种土的应力-应变本构模型理论和研究成果；钱家欢、殷宗泽教授主编的《土工原理与计算》较全面地总结了土力学的最新发展，作为很多高等院校研究生“高等土力学”课程的教材，在国内有较大的影响；沈珠江院士在土体本构模型、土体静、动力数值分析、非饱和土理论等