

# 岩土工程的一些哲学思考

李广信

清华大学



# 主要内容

1. 前言
2. 东方哲学与西方哲学
3. 对象及主体间的关联与转化
4. 感性认识与理性认识 - 理论的价值
5. 一个永恒流动与变化的体系
6. 岩土工程的科学方法
7. 人与自然的和谐 - 岩土工程的任务



# 1. 前言：岩土与人类

- ❖ 人类最早接触和最早使用的材料：旧、中、新石器时代的标志是人类使用岩土材料的水平；
- ❖ 土与文化：几大古文明中人类起源的传说：不约而同地认为人是上帝（神）用土创造的；
- ❖ 表土与人类文明：人类的几大古文明的发生与衰落；
- ❖ 土地与农业：“普天之下，莫非王土” - 权力与财富；朝代的更替；农民战争
- ❖ 农业文明 - 土与水
- ❖ 目前名川大河的中下游，土层深厚—形成农业、经济、文化、政治中心
- ❖ 海洋文化：三角洲文明（交通与信息）
- ❖ 岩土与哲学的天然联系。

# 1. 前言： 岩土材料

- 非连续性： 颗粒与裂隙， 岩石与岩体；
- 多相性： 固体、水、气体三相间的相互关联及作用；
- 变异性： 长期地质历史的产物： 原状性、区域性、不均匀性、各向异性；
- ❖ 岩土工程是充满了不确定性及风险与挑战， 充满了哲学的命题；
- ❖ 岩土工程科学与哲学 - 以哲学的高度来认识。



## 2. 东方哲学与西方哲学

- ❖ 亚里士多德已经说过：这些较早的哲学家都设想原初本质是某种物质：空气和水；后来赫拉克利特设想是火，但是没有一个人设想是土，因为它的组成太复杂。（天然辩证法）
- ❖ 一曰金，二曰木，三曰水，四曰火，五曰土；水曰润下，火曰炎上，木曰曲直，金曰从革，土爰稼穡。（尚书·洪范）

## 2. 东方哲学与西方哲学

- ❖ 西方哲学强调万物的组成及分析,
- ❖ 东方哲学强调万物间的相生相灭。
  
- ❖ 东方哲学崇尚宏观与定性, 主张感悟: 阴阳、五行、八卦, 经络;
- ❖ 西方哲学崇尚精密与定量, 强调理性:
  - ⊗ 结构→构件→分子→原子 - 电子 - 光子 - 量子, 以太。
  - ⊗ 生物→器官→细胞→基因

# 时空的无限性

- ❖ “天地玄黄，宇宙洪荒”（千字文）；
- ❖ “大哉乾元，至哉坤元，万物资生，乃顺承天”（易经）；
- ❖ “道在天地之间也，其大无外，其小无内。”（管子·心术）
- ❖ “道生一，一生二，二生三，三生万物。”（老子）
- ❖ “无限时间内宇宙的永远重复的连续更替，不过是无限空间内无数宇宙同时存在的逻辑的补充。”（自然辩证法）
- ❖ 地球 - 太阳系 - 银河系 - 星云 - 无限宇宙；

# 关于地基承载力设计理论

- ❖ 承载能力极限状态：安全系数法和可靠度法；
- ❖ 正常使用极限状态：（沉降、抗裂、耐久性）容许承载力法；
- ❖ 定值理论：容许承载力与安全系数法；
- ❖ 非定值理论：分项系数法 - 可靠度法。





# 三种承载力设计理论

- ❖ 1、容许承载力理论
- ❖ 2、极限承载力理论  
- 安全系数法
- ❖ 3、极限承载力理论  
- 分项系数法

$$p \leq f_a$$

$$p \leq f_u / K$$

分项系数

$$S = \gamma_s S_k$$

分项系数

$$R = R_k / \gamma_R$$



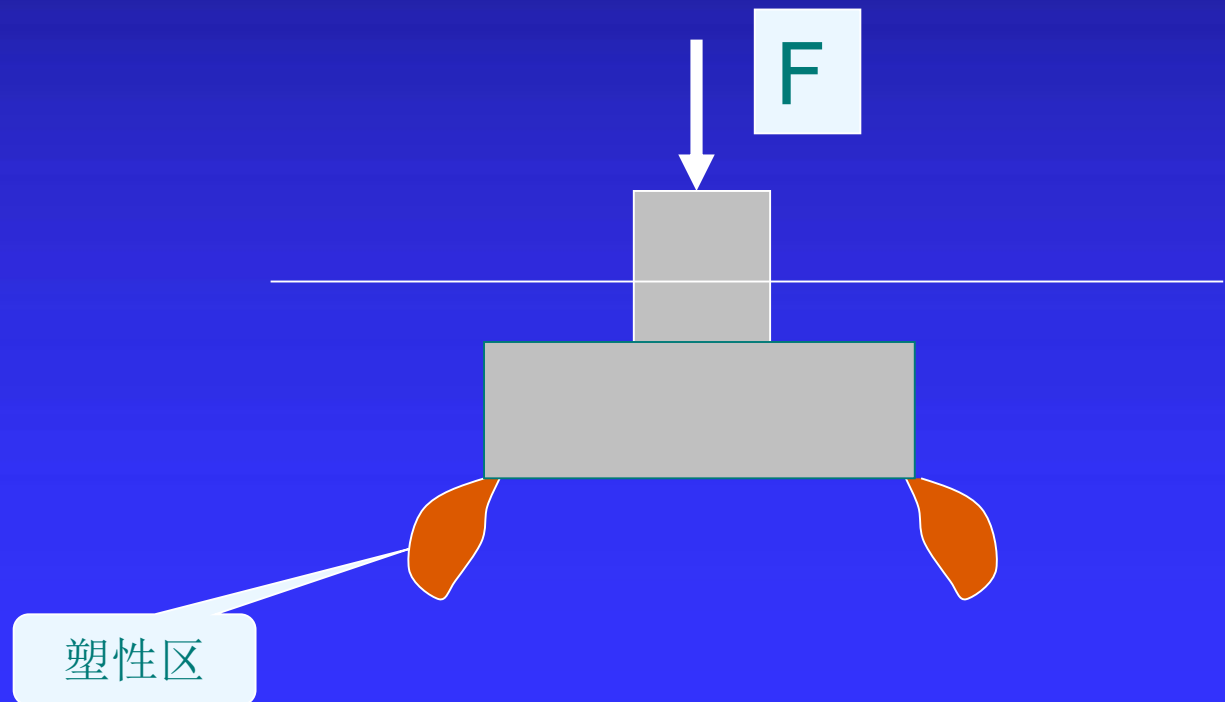
# 1. 容许承载力理论

- ❖ 在载荷试验中可以由其比例界限确定；按一定沉降比人为规定，例如 $s/b \leq 0.001 - 0.0015$
- ❖ 在理论计算中可以由塑性区发展理论中的临塑荷载 $p_{cr}$ 、 $p_{1/4}$ 、 $p_{1/3}$ 确定。
- ❖ 按容许承载力理论确定的承载力，其沉降一般也会满足要求，常常不需进行沉降验算。
- ❖ 在这种设计中，工程的安全性和可靠性是无定量的概念的。因而是一种经验的设计方法。



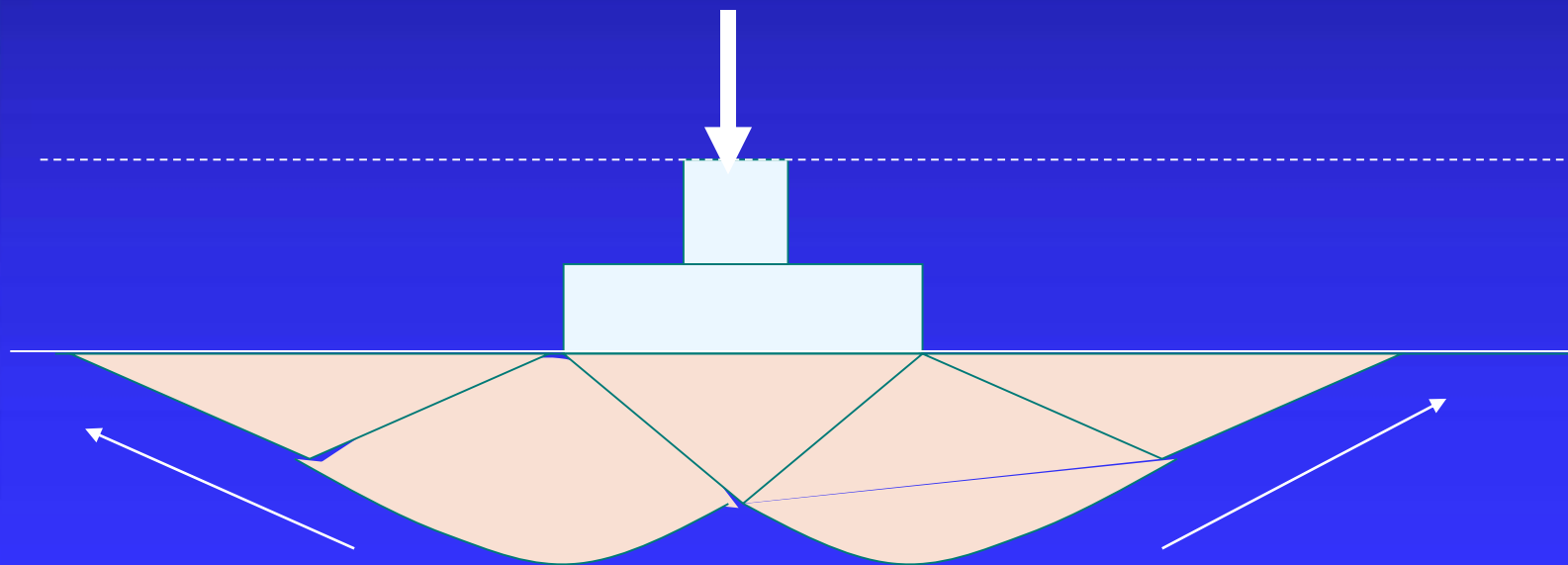
# 临界荷载 $p_{cr}$ 、 $p_{1/4}$ 、 $p_{1/3}$

$$f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k$$

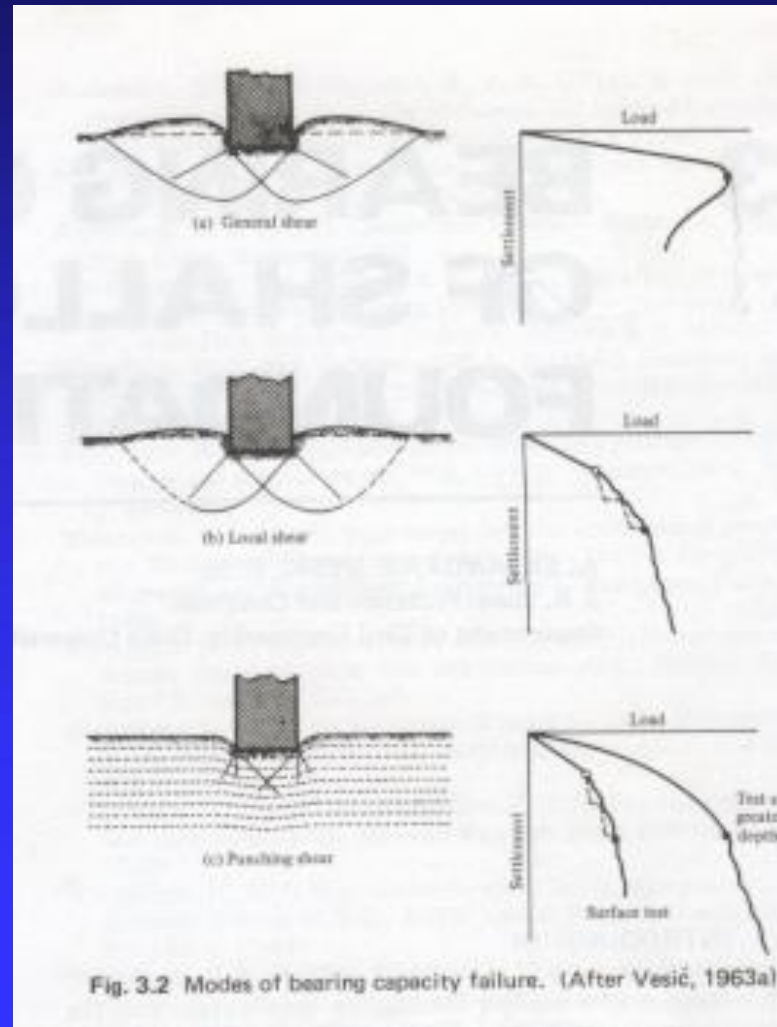


## 2. 极限承载力理论—安全系数法

- ❖ 承载力：极限承载力公式、平板载荷试验的极限值/安全系数 ( $K = 2$ )



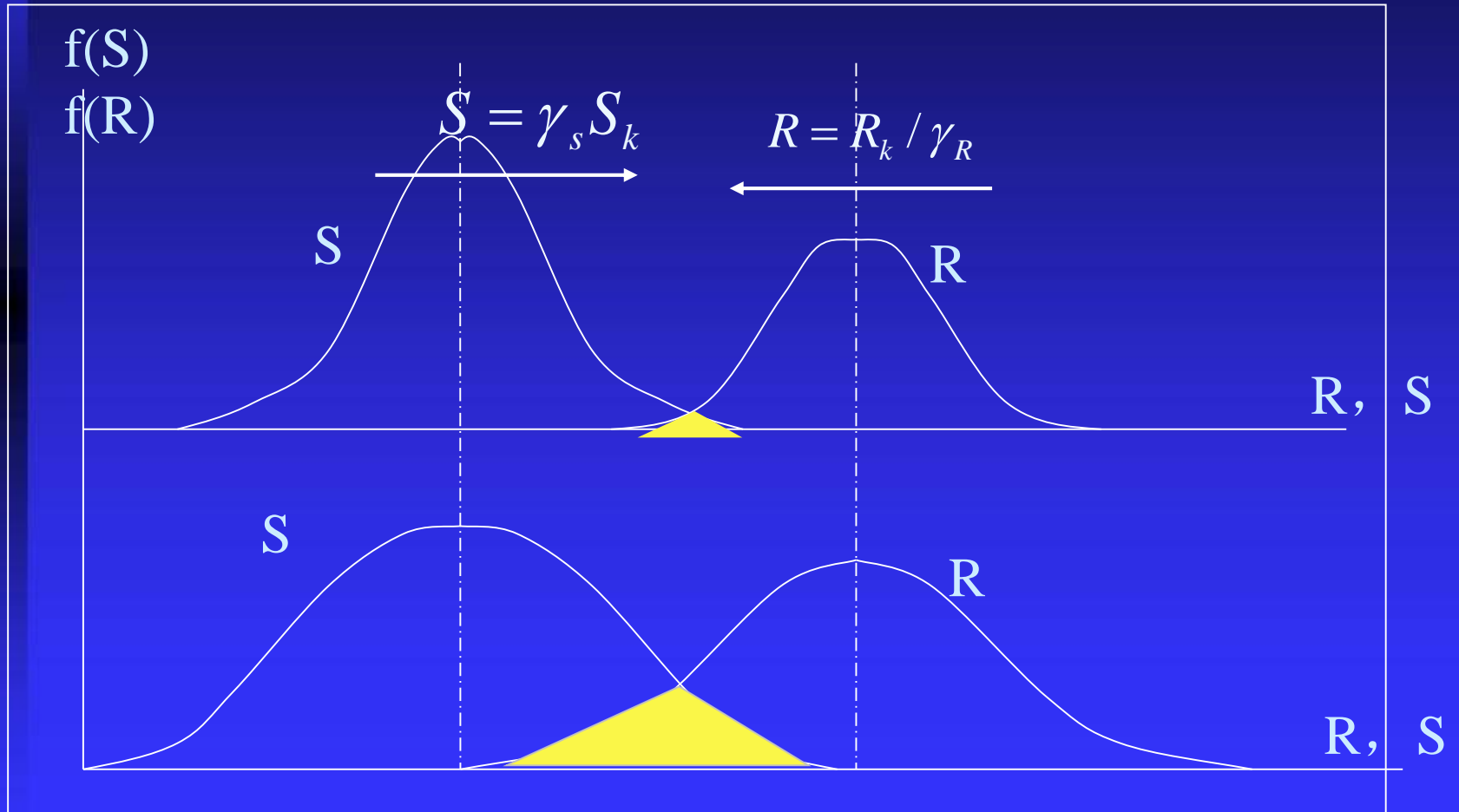
# 地基的破坏与极限承载力



### 3. 极限承载力理论—分项系数

- ❖ 基于可靠度理论的分项系数设计方法也是一种承载能力极限状态设计方法。
- ❖ 由于工程中的荷载和抗力都是随机变量，有多少可能性使荷载大于抗力而失事是一个随机事件，
- ❖ 破坏的概率（可能性）决定于两个随机变量的均值（众值，中值及某个分位值）及其分布。

# 可靠度设计示意图



# 可靠度设计

- ❖ 其失事概率可用可靠度指标表示。例如，相应的可靠度系数为 $\beta=3.0$ ，则表示失效概率为万分之9.4，
- ❖ 能够明确地给出安全与失效的概率，然后通过经济、社会、技术的风险分析，给出最合理的设计值。是一种最科学合理的设计理论与方法；
- ❖ 我国颁布的《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB50068-2001）规定，对于各种结构设计应遵循该理论方法。



# 地基基础设计中的三种荷载组合

- ❖ 1. 正常使用极限状态下荷载效应的标准组合；
$$S_k = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik}$$
- ❖ 2. 正常使用极限状态下的荷载效应的准永久组合
$$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qt} S_{Qik}$$
- ❖ 3. 承载能力极限状态下荷载效应的基本组合

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}$$



# GB50007-2002的设计理论应用

- ❖ 地基承载力 - 容许承载力：正常使用极限状态荷载效应的标准组合；
- ❖ 稳定分析 - 单一安全系数：承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，**分项系数取为1.0**；
- ❖ 沉降（开裂）计算：正常使用极限状态下的荷载效应的准永久组合
- ❖ 结构计算 - 可靠度的分项系数：承载能力极限状态下荷载效应的基本组合。



# 岩土工程的不确定性

- ❖ 土层剖面与边界的不确定性；
- ❖ 现场与实验室岩土指标的不确定性；
- ❖ 现场原位应力与孔隙水压力的不确定性；
- ❖ 外加荷载及其分布的不确定性；
- ❖ 岩土材料性质的复杂性；应力变形的机理不清楚。
- ❖ 计算理论和方法的不确定性；



# 岩土定量描述的困难

- ❖ 因果关系的缺失：源于对象的复杂性及影响因素的多样性；
  - 统计、概率、优化、可靠度：
- ❖ 互补率的破缺 - 亦此亦彼：源于多因素的相互关联与转化；
  - 灰色、模糊、混沌、分形：

# 地基承载力设计理论的哲学基础

- ❖ 1、容许承载力理论
- ❖ 2、极限承载力理论 - 安全系数法
- ❖ 3、极限承载力理论 - 分项系数法
- ❖ 可靠度设计在岩土工程中的失败：可靠度的研究；桩基技术规范；欧洲的规范。
- ❖ 东方哲学的胜利！



# 东方哲学理念下的医药—中医

- ❖ 阴阳：阴虚阳虚；
- ❖ 五行：肝木肾水；
- ❖ 经络：穴位

# 岩土工程与中医

- ❖ 望问切闻，综合判断；
- ❖ 对症下药，因地制宜；
- ❖ 经验投药，随时调整；
- ❖ 理论导向，实测定量，经验判断，检测验证。



# 太沙基的土力学艺术说

- “无论天然土层结构怎样复杂；也无论我们的知识与土的实际条件有多么大的差距，我们必须利用处理问题的**艺术 (art)**，在合理造价的前提下，为土工结构和地基基础问题寻求满意的答案。”
- 这与中医的手法是相通的。



# 概念设计与时空效应

- ❖ 抗震设计：不坏、可修、不倒（不死）；
- ❖ 桩基规范：变刚度调平、减沉疏桩；
- ❖ 新奥法：设计、检测、施工的一体化方法；
- ❖ 地下工程与基坑施工的时空效应理论；
- 总之，是基于理论，依赖于经验的工作方法。

# 一个复杂体系的认识

- ❖ L.A.Zadeh:
- ❖ “当系统的复杂性日益增加时，我们作出系统特点的精确而有意义的描述的能力将相应降低。”
- ❖ 岩土工程中精确是一种奢求。
- ❖ 土的本构关系模型的发展：“没有为任何一个模型戴上王冠。”

# 沉降计算经验系数 $\psi_s$

$\bar{E}_s$	2.5	4.0	7.0	15.0	20.0
$p > f_k$	1.4	1.3	1.0	0.4	0.2
$P < f_k$	1.1	1.0	0.7	0.4	0.2

### 3. 对象及主体间的关联与转化

- ❖ 黑格尔：量转化为质和质转化为量的规律；对立的相互渗透的规律；否定之否定的规律。
- ❖ （现代科学）它使每个人都或多或少地局限在自己的专业中，只有少数人没有被它夺去全面观察问题的能力（自然辩证法）
  - 客观世界是不分专业的。

### 3. 对象及主体间的关联与转化

- 土的三大特性：
- 碎散性：非连续介质；
- 多相性：固体颗粒、水、气体三组成；
- 变异性：长期地质历史的产物。

# 互补率的破缺一亦此亦彼

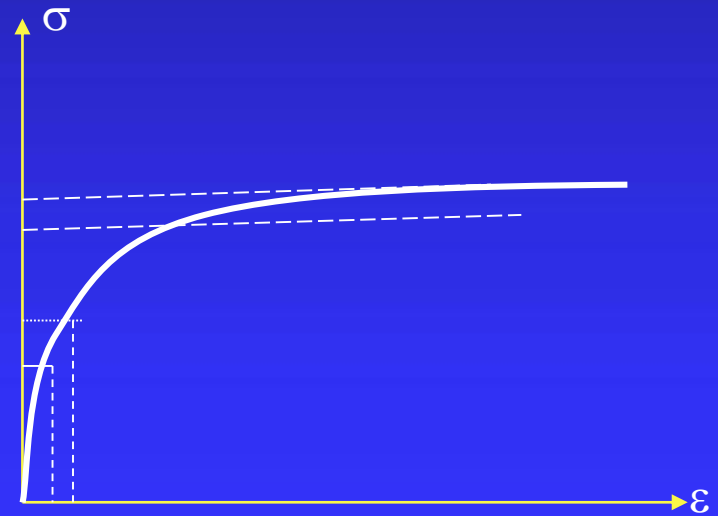
- 连续介质，非连续介质？
- 固体，流体？
- ❖ 强度与变形：古典土力学二者截然分开
- ❖ 强度问题：经典极限分析与极限平衡；
- ❖ 变形问题：基于线弹性理论的分层总和法

# 强度与变形的转化

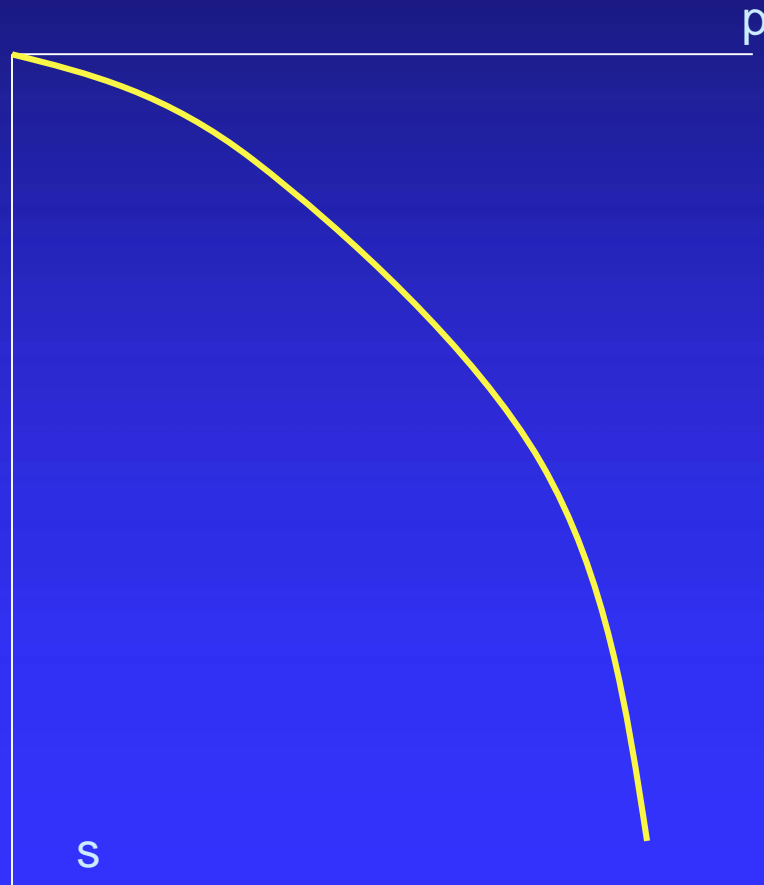
- 土的**强度**，或者**破坏**是其应力应变过程的最后阶段，即在微小的应力增量下，会产生很大（或者不可控制）的应变增量。因而破坏是应力应变关系的最后阶段。

$$d\varepsilon = \frac{d\sigma}{E_t} \quad d\varepsilon^p = d\lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma}$$

$$d\sigma \rightarrow d\varepsilon = \infty, d\varepsilon = \frac{0}{0}$$



# 变形与破坏的转化



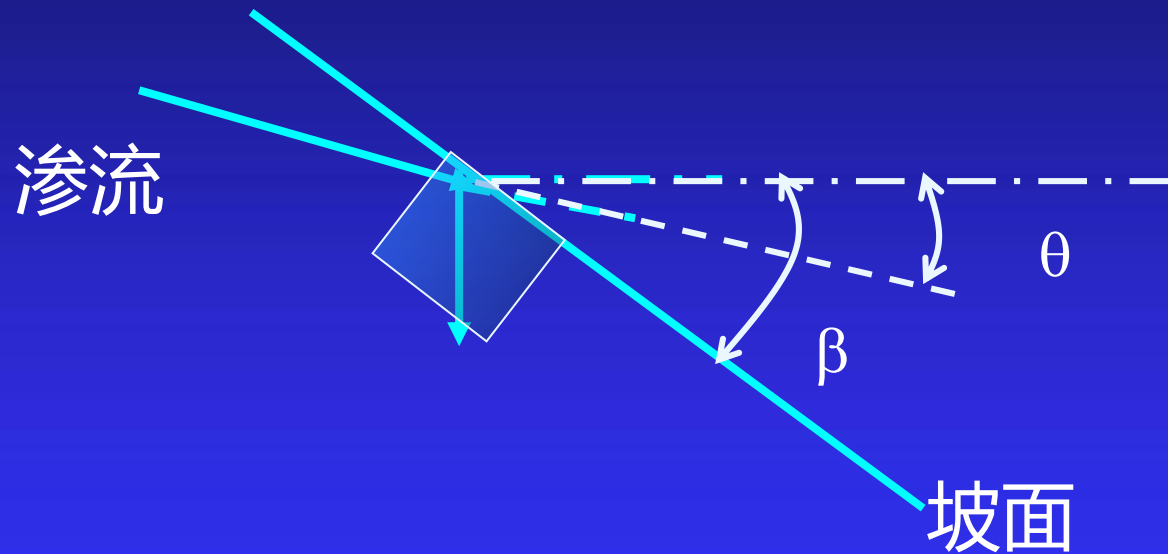


# 渗流问题与强度问题间的转化

- ❖ 二者相互影响;
- ❖ 在一定条件下随可能是相互转化的。



# 抗滑稳定分析：渗透水流以一定角度从砂土坡面逸出时



$$\gamma' \sin \beta + \gamma_w i_{cr} \cos(\beta - \theta) = [\gamma' \cos \beta - \gamma_w i_{cr} \sin(\beta - \theta)] \operatorname{tg} \varphi$$

当  $\beta = 0^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$  时,  $i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$       **流土 (砂沸) !**



# 土中水与水中土问题的转化

- ❖ 前者土作为载体，土中水在其中运动，层流时服从达西定律；
- ❖ 后者水作为载体，水中土成为悬移质被挟带裹胁运动，服从流体力学定律。
- ❖ 推移质介于二者间。

# 几个例子

- ❖ 流土（砂沸）；
- ❖ 管涌；
- ❖ 流滑；
- ❖ 液化；
- ❖ 滑坡 - 泥石流；
- ❖ 崩岸；

# 流土



# 管涌



# 流滑





# 泥石流





# 液化



## 4. 感性认识与理性认识—理论的价值

- ❖ 感觉到了的东西，我们不能立刻理解它；只理解有了的东西才能更深刻地感觉它；没有理论指导的实践是盲目的实践。（实践论）
- ❖ 岩土工程实践已经有几千年，而土力学成为一个学科才80多年，标志是什么？



# 人与动物、实践与认识

- ❖ 狭义的动物也有工具，然而这只是它们的躯体的四肢，蚂蚁、蜜蜂、海狸就是这样。只有人才给自然界打上自己的印记。……随着对自然界规律的知识迅速增加，人对自然界施加反作用的手段也增加了。
- (自然辩证法)

# 鼠獭蝼蚁与岩土工程

- ❖ 水獭用树的枝干和石块在领地的河道上建造一座水坝，并发表了论文“高坝建造技术”；
- ❖ 鼯鼠在草原下营造了复杂的地下工程系统，论文“蜀国的地下工程规划”获得最佳论文奖；
- ❖ 白蚁在林地修建了一个3米高的蚁穴，出版了专著《大型地基基础工程技术，槐阴国的地标 - 超高层建筑的岩土工程问题》。



# 土力学学科的诞生

- ❖ 太沙基认识到：鼠獭蝼蚁也能建造土工建筑物，从事岩土工程的实践。但是靠它们的本能和经验，
- ❖ 而只有对客观世界的深入理解和正确的理论描述才能够上升为科学技术。
- ❖ 于是他闭门思索和潜心试验，提出了土的有效应力原理和单向渗流固结理论，1925年出版了《土力学和地基基础》（Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage）一书。
- ❖ 人们公认这标志土力学作为一门独立学科的诞生。

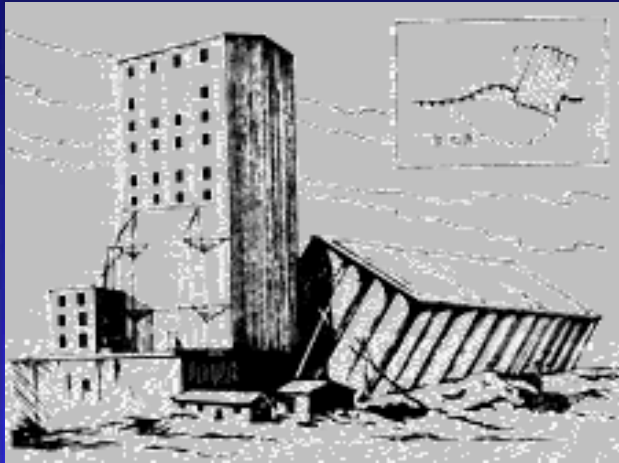


# 忽视理论受到报复

- ❖ 钻孔灌注桩施工：孔内水位为什么要高于地下水水位？
- ❖ 土坝的边蓄水边填筑；
- ❖ 弟顿坝的水力劈裂破坏；
- ❖ 挖方施工 - 快！ 填方施工 - 慢！
- ❖ 献礼工程的事故；



# 承载力理论的意义



加拿大特朗斯康谷仓：  
1913年9月装谷物，10月17日倾覆，



1173年动工  
1370年竣工



1940年在软粘土地基上的  
水泥仓的倾覆



## 5. 一个永恒流动与变化的体系

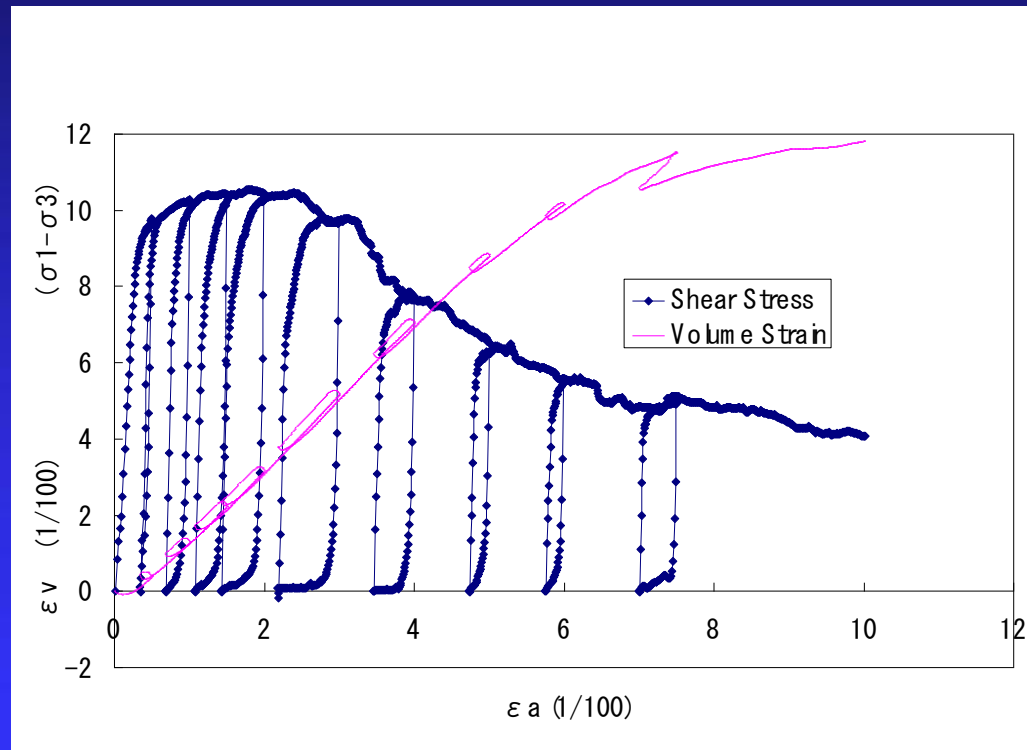
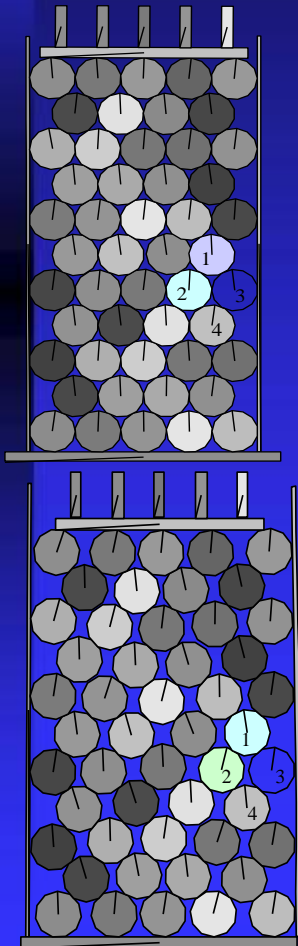
- ❖ 一切僵硬的东西融化了，一切固定的东西消散了，一切被当作永远存在的东西变成了转瞬即逝的东西。整个自然界被证明是在永恒的流动和循环中运动着。
- ❖ 阴阳：一分为二、阴阳交感、矛盾转化、发展变化。



## 5. 一个永恒流动与变化的体系

- ❖ 人不能过同一条河;
- ❖ 我们不能用同一个土样作一个完整的试验:
- ❖ 在每一瞬时, 土的内部结构、土的性质都不是前一瞬时的那个土了。
- ❖ 非线性、弹塑性、剪胀性和与应力路径有关的性质。
- ❖ 土的应力应变与组成、状态和结构的耦合!

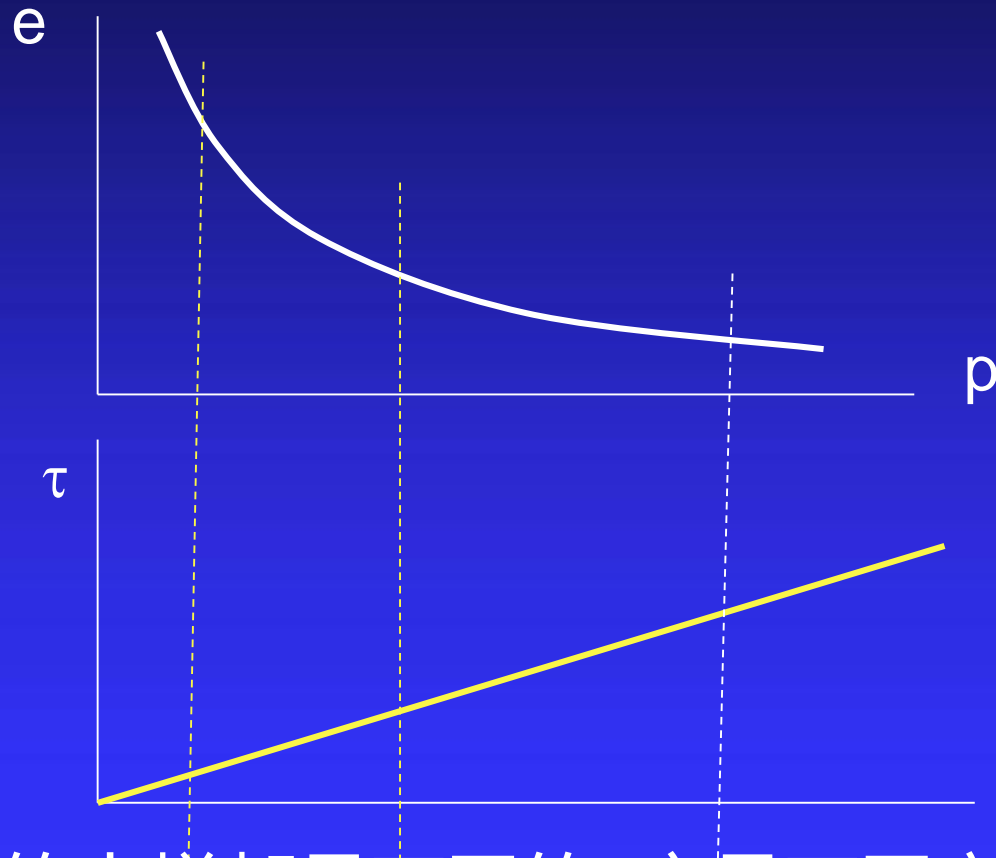
# DDA (discontinuous deformation analysis)非连续 变形分析



DDA计算三轴试验曲线



# 正常固结粘土的固结与强度



任一应力下的土样都是不同的, 它是不同密度和结构土样强度的集合。



# 各种土的本构关系的相通性

应力变形—组成、状态、结构之间的描述尺度：

- ❖ 弹塑性模型：硬化参数 $H(\varepsilon^p_{ij})$ ;
- ❖ 损伤模型：损伤变量 $w(\varepsilon_{ij})$ ;
- ❖ 内时理论模型：内部时间变量 $z(\varepsilon_{ij})$ .
- ❖ 都是表明土在受力变形工程中的结构与状态变化尺度。



## 6. 岩土工程的科学方法

- ❖ 归纳和演绎；
- ❖ 抽象和具体；
- ❖ 外推和内插；
- ❖ 分析和综合；
- ❖ 概化和细化；
- ❖ 类比与借鉴；
- ❖ 移植与引进。

# 归纳和演绎

- ❖ 归纳：经验公式
- ❖ 演绎：三段论式

普遍适用的理论 + 补充陈述 → 推论

大前提

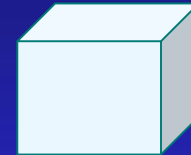
小前提

- ∞ 演绎论证：微分方程 + 边界条件 → 解答
- ∞ 演绎推测：设计理论与方法 + 设计参数 → 工作对象

# 归纳法的错误实例

## ❖ 平面应变方向的中主应力

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_z \sigma_x}$$



❧ 平面应变试验归纳的结果  
不具普遍性

❧ 违背虎克定律:

$$\sigma_y = \nu(\sigma_z + \sigma_x)$$

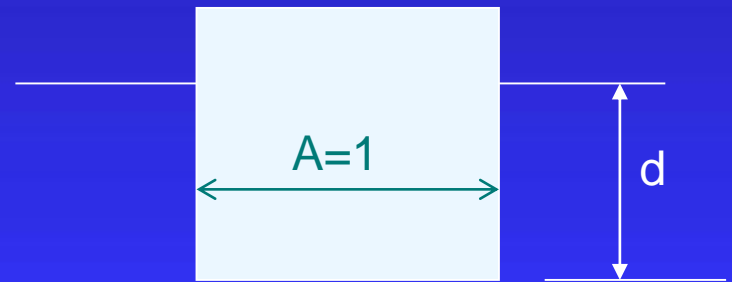
$$\sigma_z = \sigma_x$$

# 归纳法的错误实例

- ❖ 对于很软泥土，复合深度修正系数为0.8.

$$\eta_d = 0.8$$

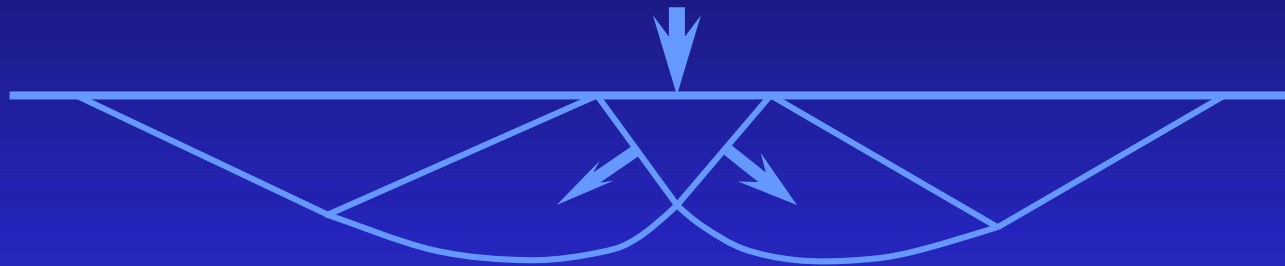
$$f_a = 0 + \eta_d d \gamma_w + 0 = 0.8 d \gamma_w$$





# 演绎法的错误实例

## ❖ 膨胀土地基的承载力



- ❧ 膨胀力是引起膨胀土膨胀的原因
- ❧ 原有的地基承载力公式没有考虑膨胀力
- ❧ 所以必须修改公式。

# 抽象和具体

## 经验→理论

### ❖ 抽象

- ❧ 性质抽象——弹性和塑性
- ❧ 关系抽象——虎克定律和达西定律

## 具体化=理论的应用

### ❖ 具体

- ❧ 误用的原因：一般是补充陈述（小前提）有错误
  - ❖ 超过理论适用范围
  - ❖ 补充条件有错误
  - ❖ 边界条件错误
  - ❖ 设计参数错误
  - ❖ 人为的任意性，实际的困难性。



# 抽象的意义

## 对土性质的认识 曾经历的四次飞跃

压硬性→摩擦定律→极限平衡理论

排水压密性→有效应力原理→固结理论

剪胀性→剑桥弹塑性模型

结构性→?



# 具体化中误用实例

## ❖ 抗剪强度理论

- ❧ 快剪 = 不排水剪
- ❧ 砂与碎石土使用固结不排水指标

## ❖ 勘测资料失误

- ❧ 残积土上多层建筑
- ❧ 基坑地基土的快剪试验强度指标与非饱和土吸力



# 外推和内插

## ❖ 外推

☞ 外推 = 拓宽理论适用范围

- ❖ 一维 → 二维、三维
- ❖ 线性 → 非线性
- ❖ 饱和土 → 非饱和土

## ❖ 内插

☞ 普遍适用的理论退回到有限范围适用的理论

伦杜列克固结理论(1936) → Barron砂井固结理论(1948)

参数与数值的内插



# 分析和综合

## ❖ 西方还原论的精华

- ❧ 结构→构件→分子→原子
- ❧ 生物→器官→细胞→基因

## ❖ 分析

- ❧ 实体分析：有限单元法，条分法，离散元法等
- ❧ 成份分析：颗粒分析，化学分析
  - ❖ 总应力 = 有效应力 + 孔隙压力

## ❖ 注意两点

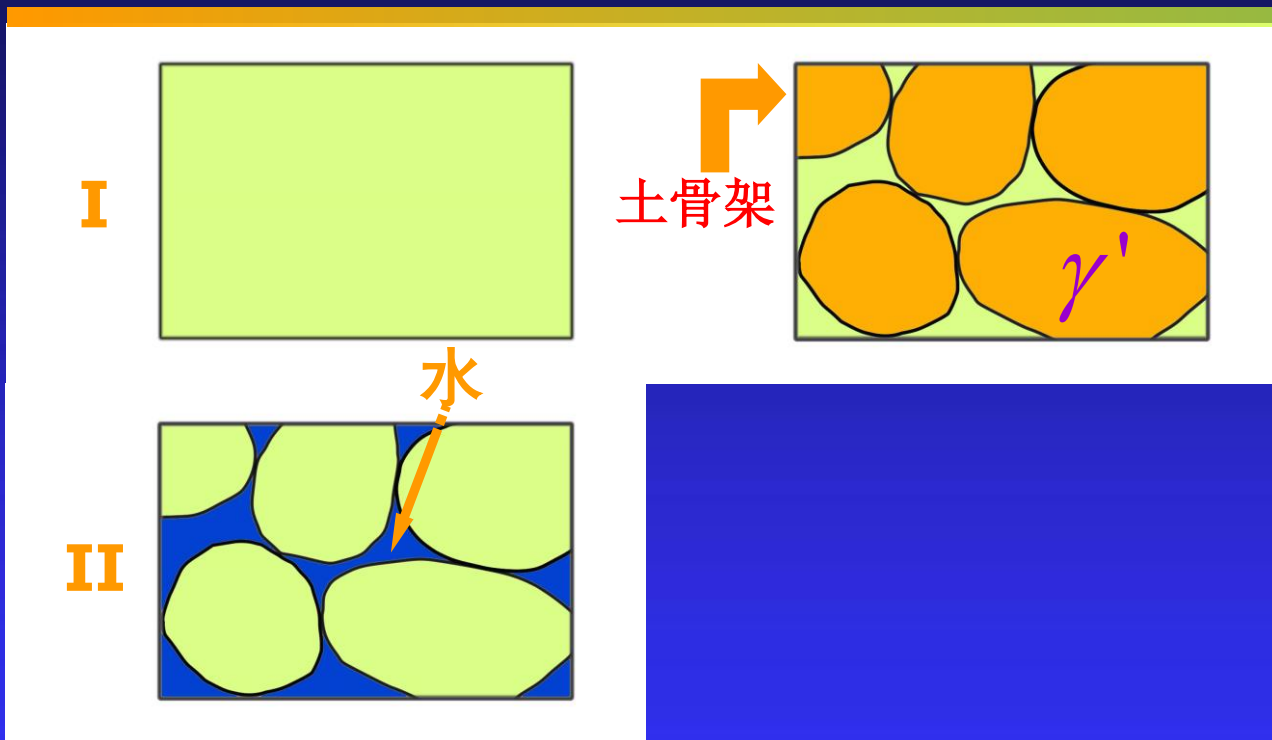
- ❧ 分析时出现而综合时消失的，如渗透力
- ❧ 综合时存在而分析时消失的，如人体筋络系统，地应力

## ❖ 虚构的概念

- ❧ 渗透流速，有效应力



# 分析的关键是如何划分



$$\text{土体总重} = \text{土骨架浮容重} + \text{孔隙水?}$$

# 概化和细化

**简化或理想化 = 略去次要因素**

## ❖ 概化

- ❧ 数学分析略高阶小量
- ❧ 桩基计算中的剪切位移法
- ❧ 地基土的渗透系数

**细化 = 增加考虑的因素**

## ❖ 细化

- ❧ 渗透系数由标量改为张量
- ❧ 单一屈服面改为双屈服面
- ❧ 总应力分为有效应力和孔隙水压力





# 类比与借鉴

## ❖ 类比

**比拟 = 从相似事物的比较中得出结果**

- ❧ 电拟试验、光弹试验, 各种物理模型试验
- ❧ 渗透达西定律 - 电流的欧姆定律

**借鉴 = 从其它事物的观测中得到启发**

## ❖ 借鉴

- ❧ 仿生学, 优化理论中的遗传算法、蚂蚁算法、树根桩
- ❧ 学科间的交叉正是为了发挥借鉴

# 移植与引进

## ❖ 移植

**移植 = 直接引用相邻学科的成果**

☞ 土壤学（吸力），混凝土（断裂）的研究成果

**引进 = 引入普遍适用的理论或方法**

## ❖ 引进

☞ 数学力学的一般理论如分形几何、拓扑数学、损伤力学

☞ 高新技术如数字技术，GPS

# 引进和借鉴的三个原则

## ❖ 以中国革命为例

对应原则

❧ 中国革命需要马克思列宁主义

需要

❧ 马克思列宁主义适合中国国情

适合

❧ 没有死搬俄国十月革命的经验

活用

# “需要”的原则

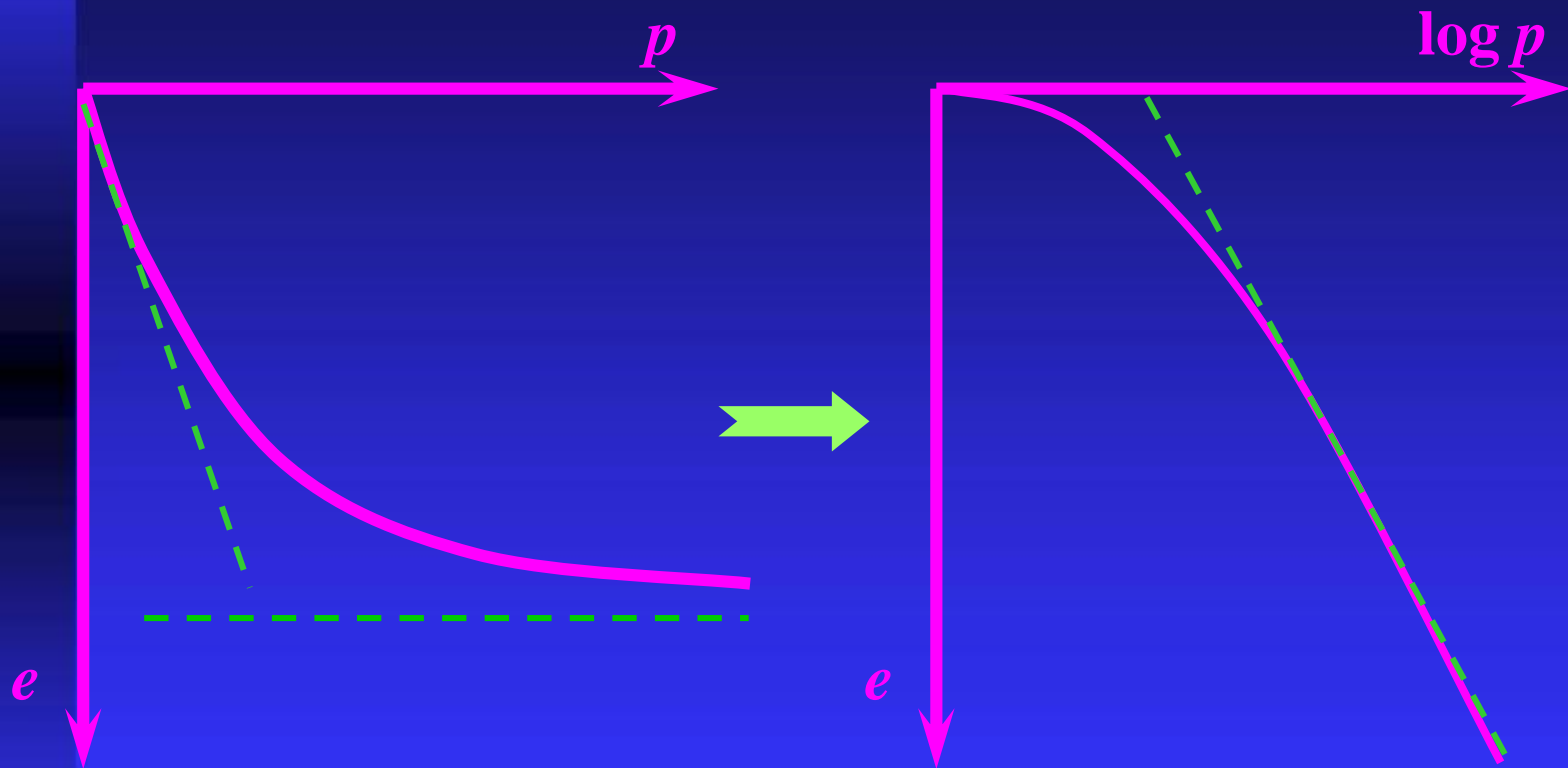
- ❖ 带着问题去取经
- ❖ 不要为引进而引进——屠龙术的笑话
- ❖ 成功实例——塑性力学、遗传算法；
- ❖ 一维压缩 - 稳定系统（系统论）

# “适合”的原则

- ❖ 杀鸡不用牛刀—性价比最高原则
- ❖ 复合载体夯扩桩
- ❖ 成功实例—遗传算法、许多半经验方法
- ❖ 部分成功实例—压缩曲线的双曲线拟合
- ❖ 有争议的实例 - 有限元强度折减法

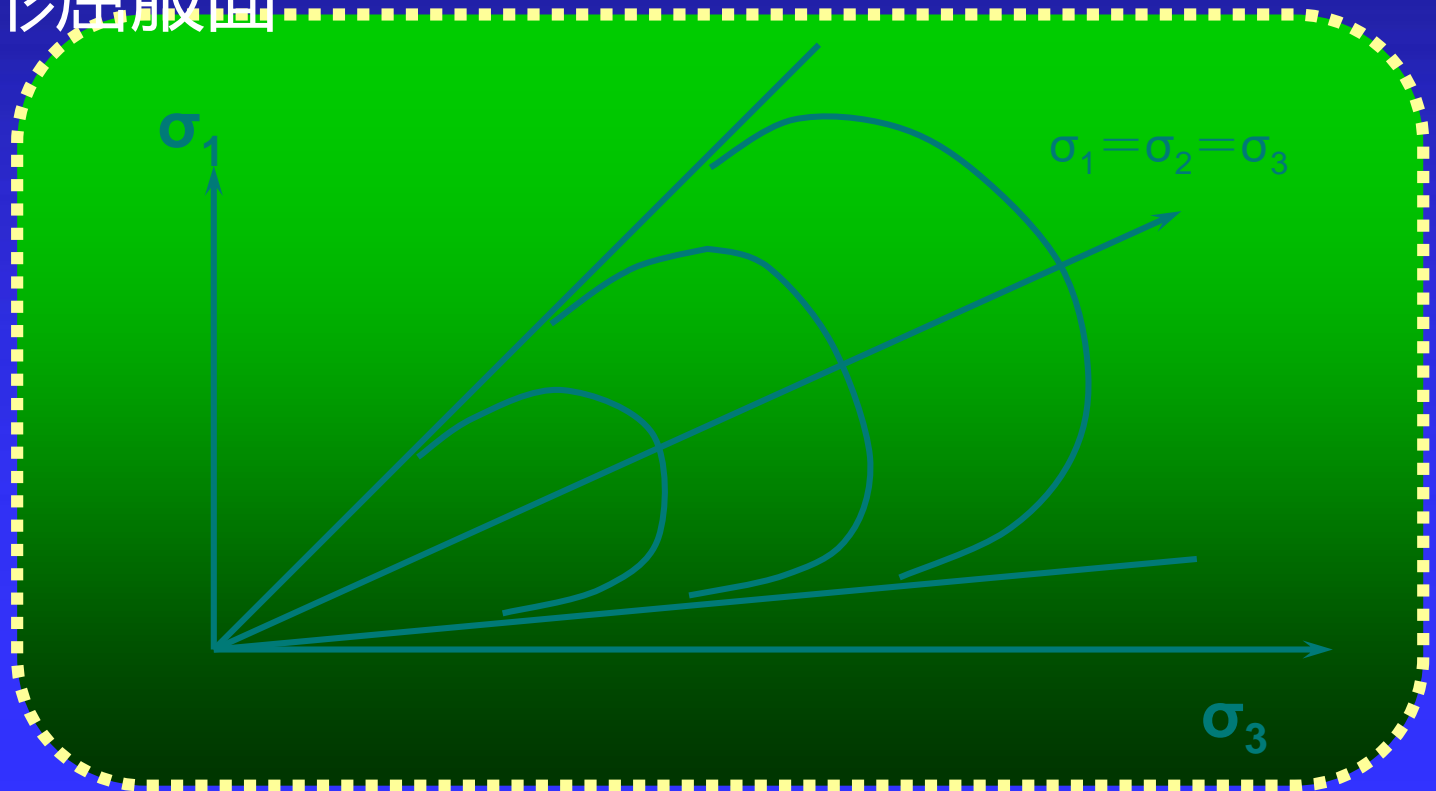


# 压缩曲线的拟合

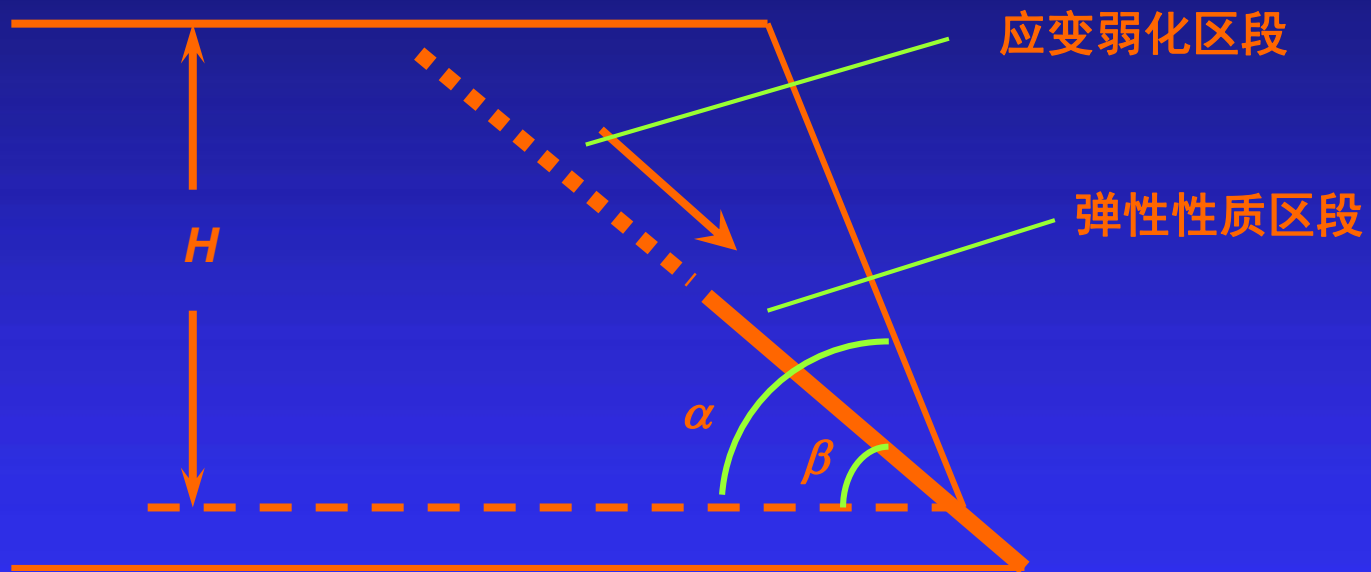


# “活用”的原则

- ❖ 引进是再创新过程
- ❖ 成功实例—经典塑性力学：圆筒屈服面、圆锥屈服面
- ❖ 帽子形屈服面



# 突变理论——应用案例





# 试错与相关分析

- ❖ 试错法：确定性方法

- ❧ 排除归纳法 - 因果关系研究

- ❖ 假定几种可能的原因

- ❖ 通过演绎法推断每一种原因将会出现的结果

- ❖ 与已经发生的事实比较

- ❧ 公安破案，医生找病因，工程事故的原因分析

- ❖ 相关分析：非确定性方法



# 实例分析

## ❖ 地震滑坡的拟静力法

### ❧ 地震滑坡原因

- ❖ 液化引起的强度降低

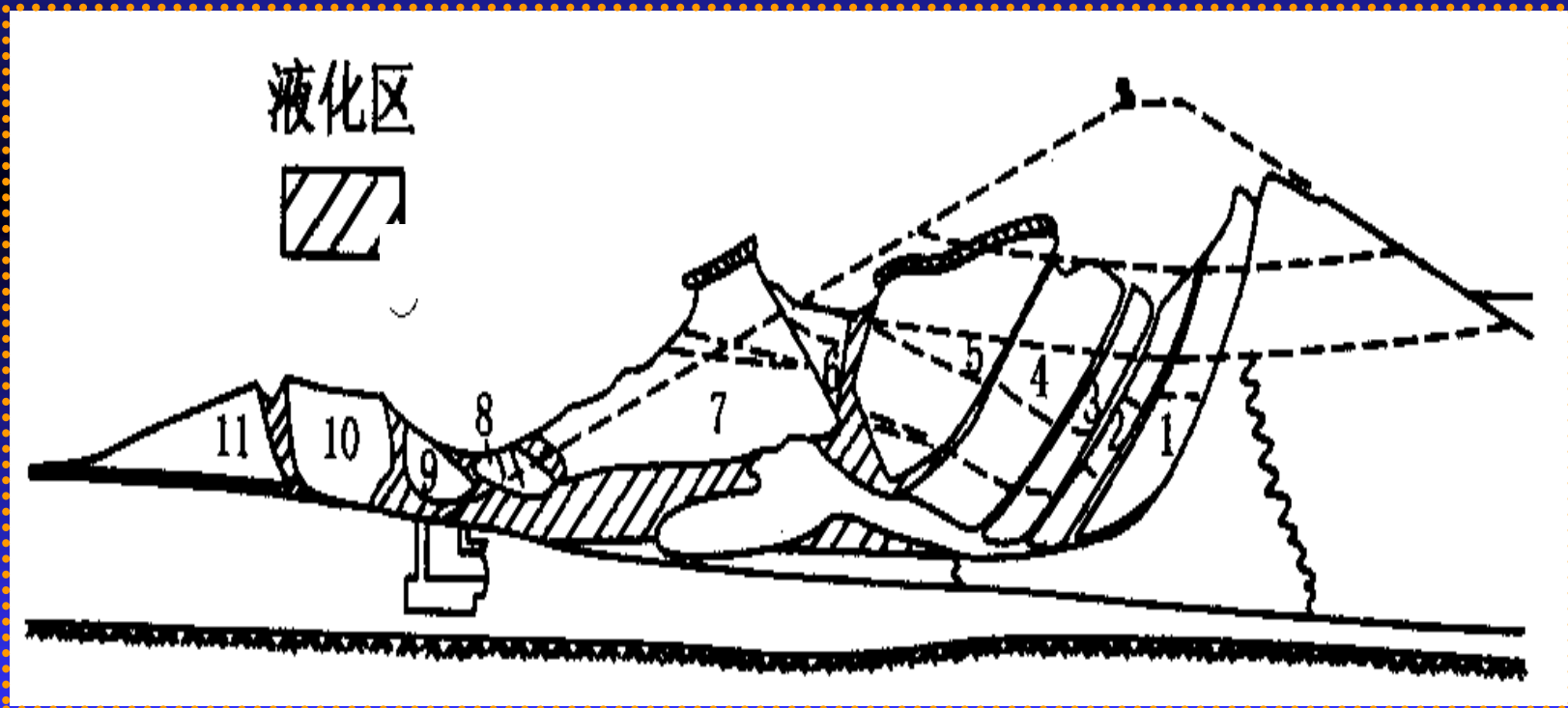
- ❖ 地震惯性力

### ❧ 拟静力法：地震惯性力理论—从结构动力学中借鉴



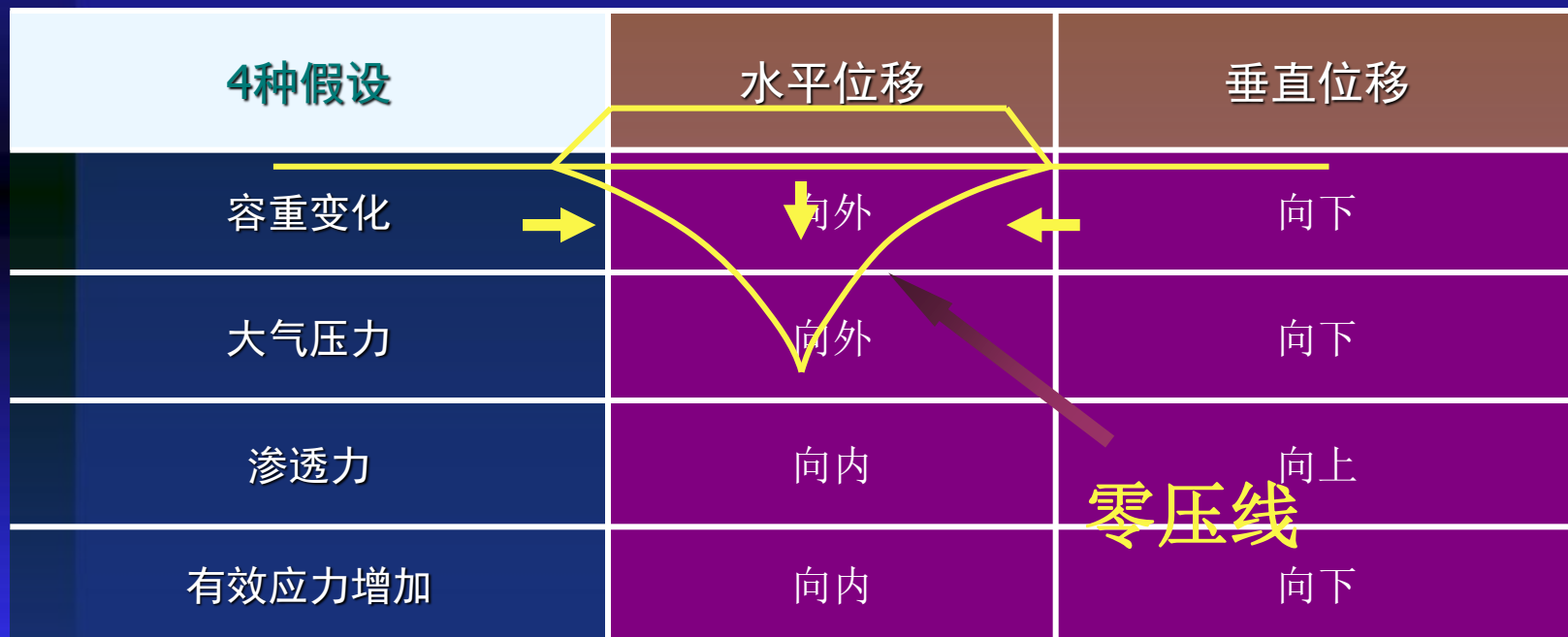
# 实例分析

## 地震滑坡的拟静力法



# 实例分析

## 真空预压机理



零压线

## 7. 人与自然的和谐—岩土工程的任务

- ❖ 天何言哉？四时行焉，万物生焉。（论语·阳货）
- ❖ 道在天地之间也。（管子·心术）



# 岩土工程对象的演变

- ❖ 美国的土木工程师协会（ASCE）下所主办的本学科期刊创办时名为“土力学及基础工程”（Soil mechanics and foundation engineering）；
- ❖ 1974年以后更名为“土力学及岩土工程”（Soil mechanics and geotechnical engineering），相应的学会也改成此名；
- ❖ 20世纪90年代以后，期刊又更名为“岩土工程与环境岩土工程”（geotechnical & environmental engineering）。

# 人与自然的和谐—岩土工程的任务

- ❖ 我国近20年来随着国民经济和各类土木工程的高速发展，岩土工程建设空前兴旺发达；
- ❖ 但是，几乎在同期，国际的岩土工程学科的范围和领域发生了明显的变化。
- ❖ 随着人们对于资源和生态环境认识的深入，岩土工程已经不限于具体“工程”的设计施工，而是扩展到环境岩土、地质灾害、以及与生态和资源相适应的岩土工程可持续发展等大的战略问题。



# 地质灾害与岩土环境问题值得重视

- ❖ 大量地开采深层地下水，使地面普遍下降，引发地裂缝，海水入侵及地下水咸化；
- ❖ 废弃物对于土地、空气与地下水的污染；
- ❖ 大规模的水利水电工程、高速公路、高速铁路，尤其是在生态环境比较脆弱的西部高寒、高海拔和高纬度地区的工程，可能引发的次生地震、崩塌、滑坡、泥石流、融陷、大面积水土流失等；
- ❖ 在膨胀土、湿陷性黄土、多年冻土、盐渍土地区的工程一方面给工程本身造成困难，另一方面也可能存在生态环境方面的不利影响。





# 城市地下工程中的岩土工程问题

- ❖ 随着现代化城市理念的变化，高楼林立，立交桥、高架路纵横交错已非现代化城市的良好形象。人们更多地强调回归自然：还城市以更开阔的空间，更多的绿色景观，更浓厚的历史与人文氛围与气息
- ❖ 这就要求城市更多的利用地下空间，城市交通、公共设施、人居空间和大量转入地下。这也是城市防护和减灾的要求。



# 人与自然—天人合一

- ❖ 降水 - 地下水控制;
- ❖ 城市地下空间成为一种资源;
- ❖ Water bank - 地下的存储;
- ❖ 水土与植被 -
- ❖ 环境岩土工程的发展与垃圾处理;
- ❖ 青藏铁路与永久冻土处理。

# 结论

- ❖ 岩土性质极其复杂性，具有高度的不确定性；应当从宏观上把握处理，适于东方哲学思想；
- ❖ 土中的对象和主体是转化与相通的；
- ❖ 土是一个流动变化的系统，其应力变形与土的组成、状态和结构是耦合的；
- ❖ 没有理论，岩土工程不能成为科学；
- ❖ 岩土工程要体现人与自然和谐共处。

