只对面授学生

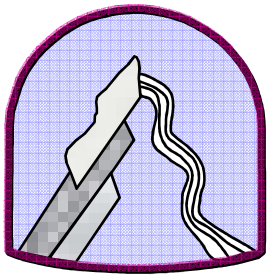
钉钉群

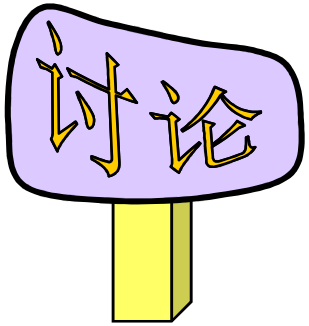
只对面授学生

QQ 群
733621606

《高等土力学》之一

土工试验及测试





目前对土工建筑物（例如土石坝）进行变形预测，可能达到的预测精度是多少？

典型土石料取样 | 实验室试验 | 本构模型及参数 | 计算方法及程序 | 施工条件、质量及模拟

计算结果

典型土石料取样

实验室试验

本构模型及参数

计算方法及程序

施工条件、质量及模拟

- 土工建筑场地范围大，变化多
- 土工建筑物填方量大，多种土性
- 土工建筑物施工时间长，土性变化多
- ……

糯扎渡心墙堆石坝心墙土料场之一

典型土石料取样

实验室试验

本构模型及参数

计算方法及程序

施工条件、质量及模拟

- 现场土性的模拟 – 级配、含水量等
- 实验仪器及精度
- 试样的可重复性

现场碾压探坑，最大粒径可超过80cm~120cm

堆石料室内试样直径30cm，最大粒径6cm

典型土石料取样

实验室试验

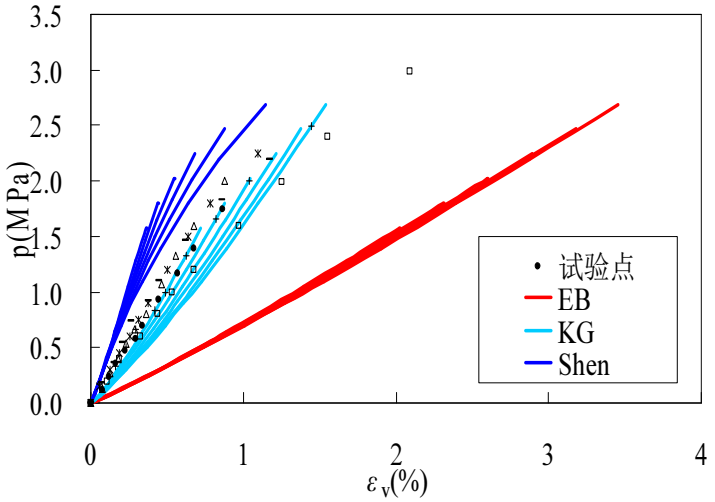
本构模型及参数

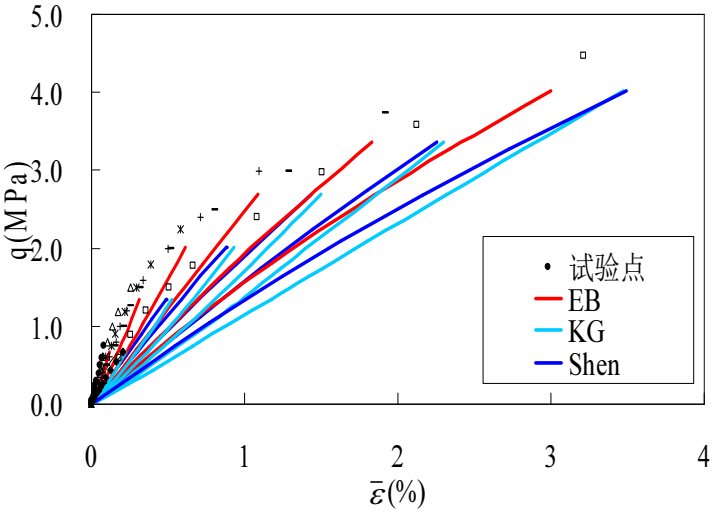
计算方法及程序

施工条件、质量及模拟

- 参数的确定
- 试验结果拟合误差
- 不同应力路径的适用性

对等应力比试验结果的预测





- 揭示土体一般的力学性质和规律—理论的建立
- 了解特定土的物理力学性质
- 设计参数与理论模型参数的确定
- 验证理论与数值计算
- 模型试验、足尺试验用以解决实际工程问题：设计与方案确定
- 原位测试、现场监测为数值计算的反演分析和信息化施工服务

土力学中试验与测试的作用

第一章 土工试验及测试

1.1 室内试验

1.2 模型试验

1.3 原位测试与现场观测

1.4 试验的检验与验证

- 强度测定仪器 — 直剪仪、单剪仪、环剪仪
- 变形参数测定试验 — 侧限压缩仪
- 三轴试验
- 真三轴试验
- 空心圆柱扭剪试验和方向剪切仪
- 共振柱试验
- 接触面试验

室内土工试验

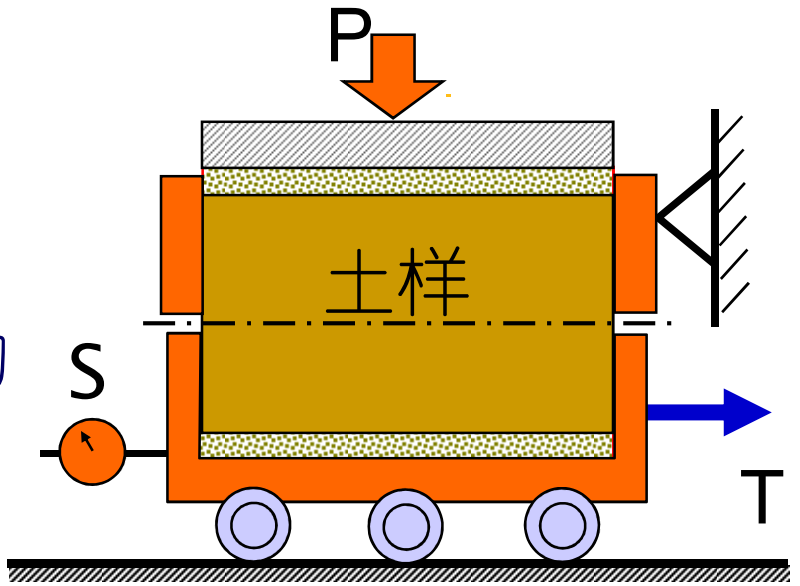
- 直剪仪 – Direct shear apparatus
- 单剪仪 – Simple shear apparatus
- 环剪仪 – Torsional (Ring) shear apparatus

剪切强度测定仪器

库仑
（C. A. Coulomb）
(1736-1806)

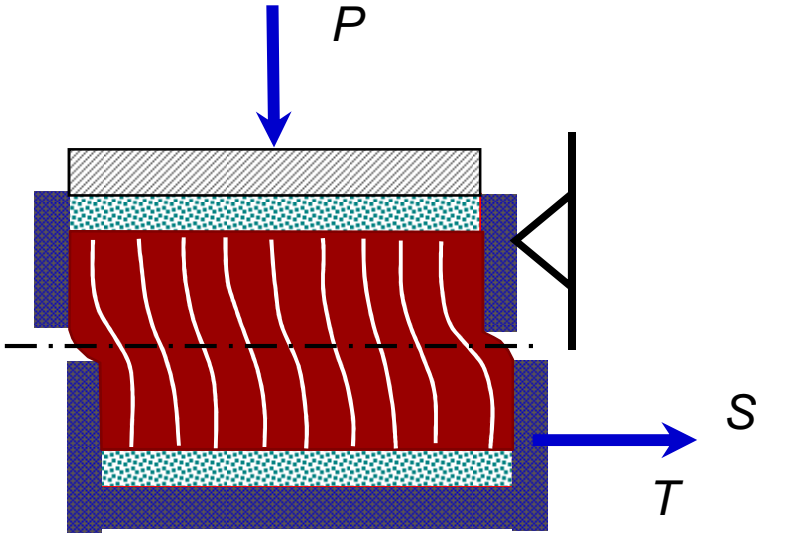
法国军事工程师，在摩擦、电磁方面做出了奠基性的贡献。1773年发表了关于土压力方面论文，成为土压力的经典理论

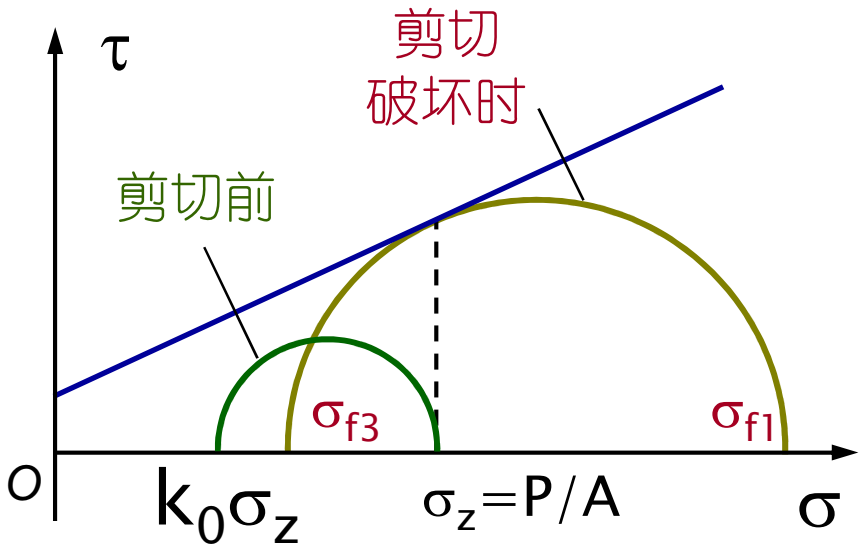
- 古老：1776年 Coulomb
- 直观、简便、经济
- 应力应变条件复杂、不均匀
- 排水条件不明确

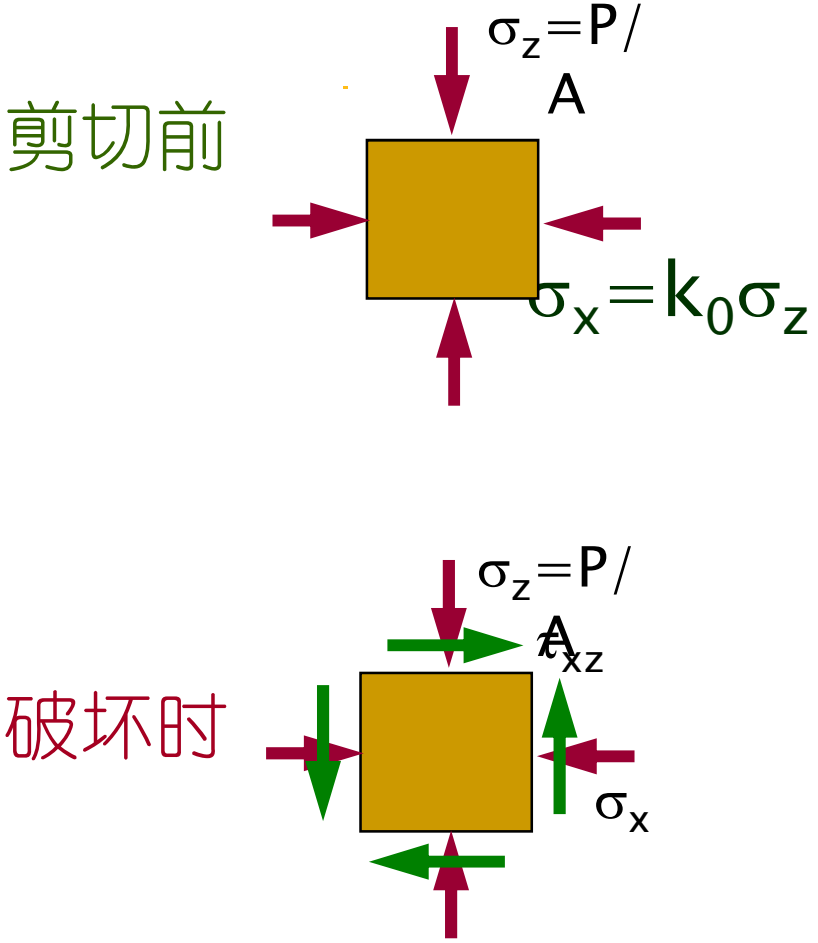


直剪试验

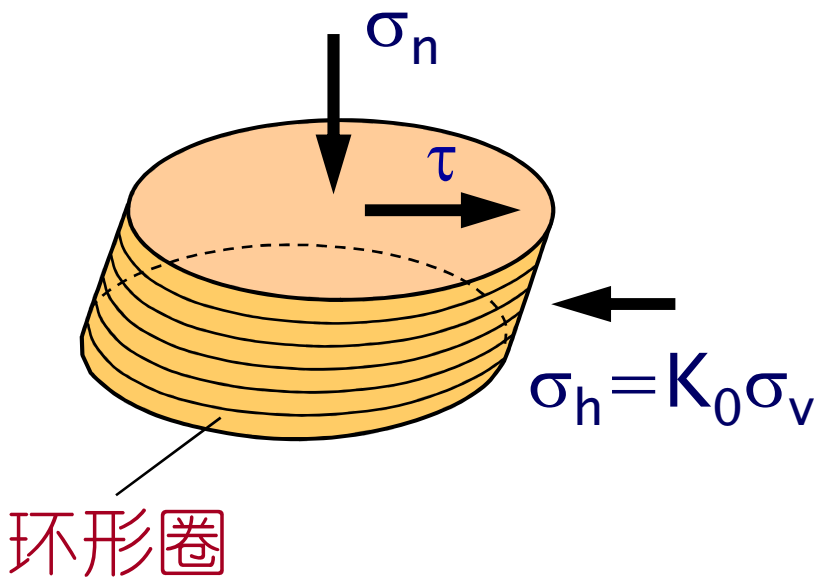
试样内的变形分布







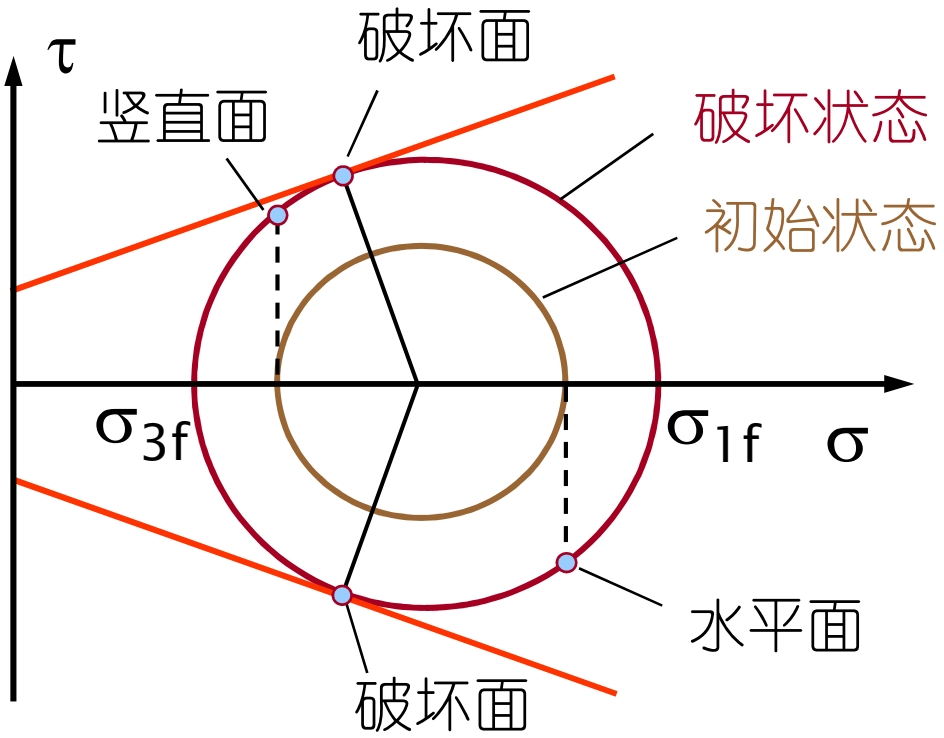
直剪试验剪切面处的应力状态

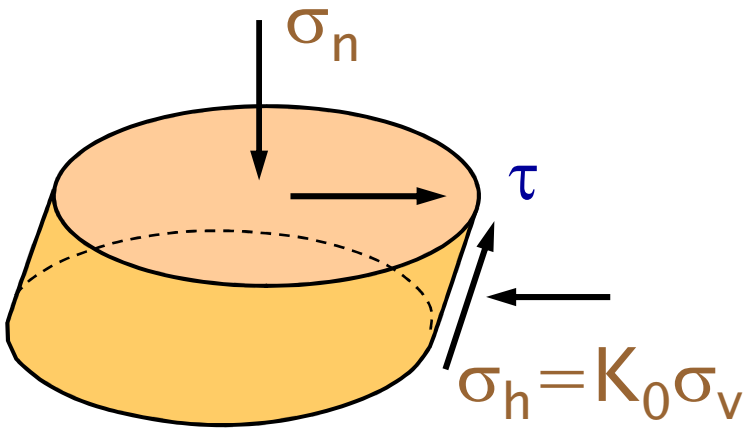


- 应力状态均匀
- 断面积不变
- 破坏面位置不确定
- 循环加载与动力试验

单剪仪
Simple shear apparatus

P2

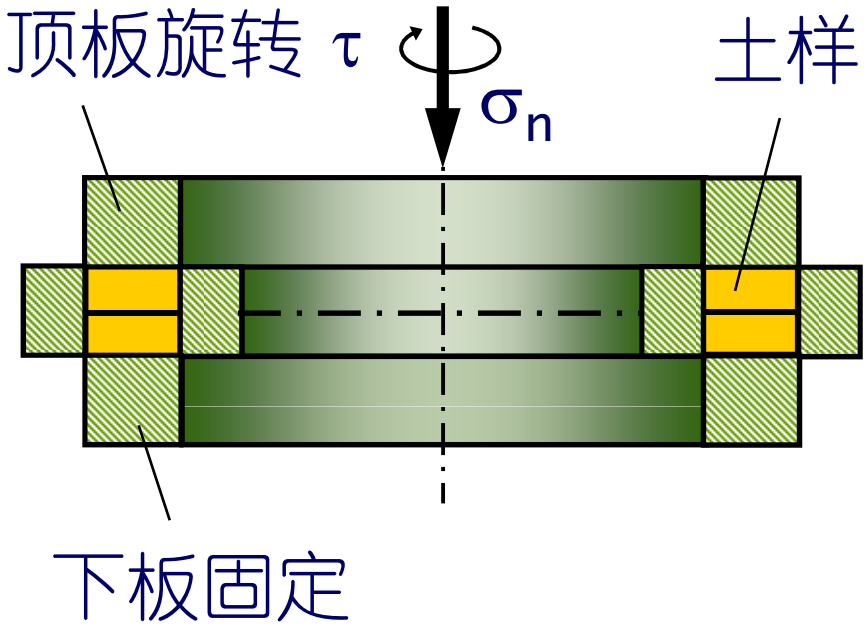




- 加载过程中，σ_n和σ_h保持为常数，τ不断增加
- 水平面和竖直面都不一定是破坏面

单剪试验的应力状态

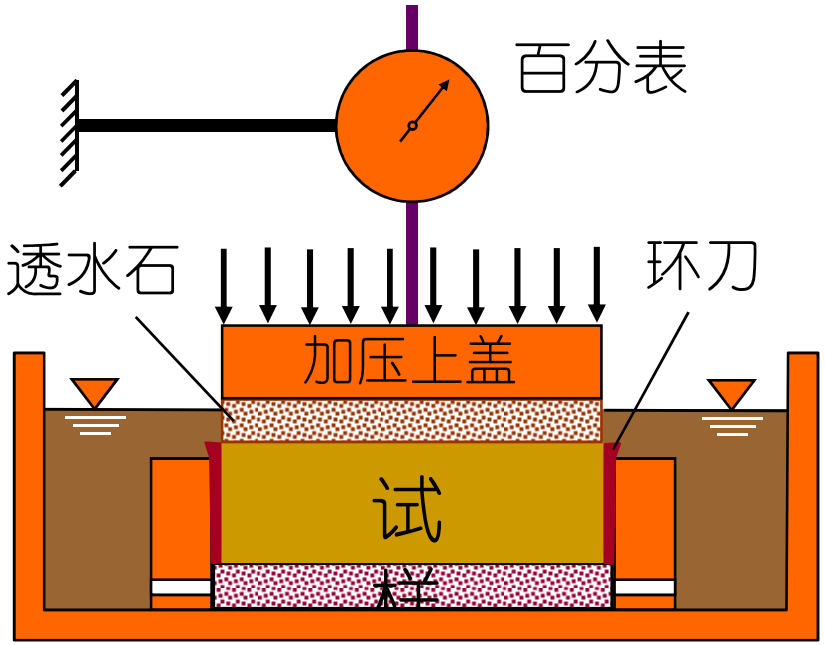
P2



- 剪切面面积不变
- 适于测试残余强度，可用同一试样连续作几个正压力的试验

环 剪 仪
Torsional (Ring) shear apparatus

P3



- 侧限应力状态
- 压缩与固结试验
- e–p曲线与e–lg$p$ 曲线
- 侧限压缩模量：E_s
  压缩系数：a
  体积压缩系数：m_v
  压缩（回弹）指数C_c　C_e

Oedometer
Consolidation test apparatus

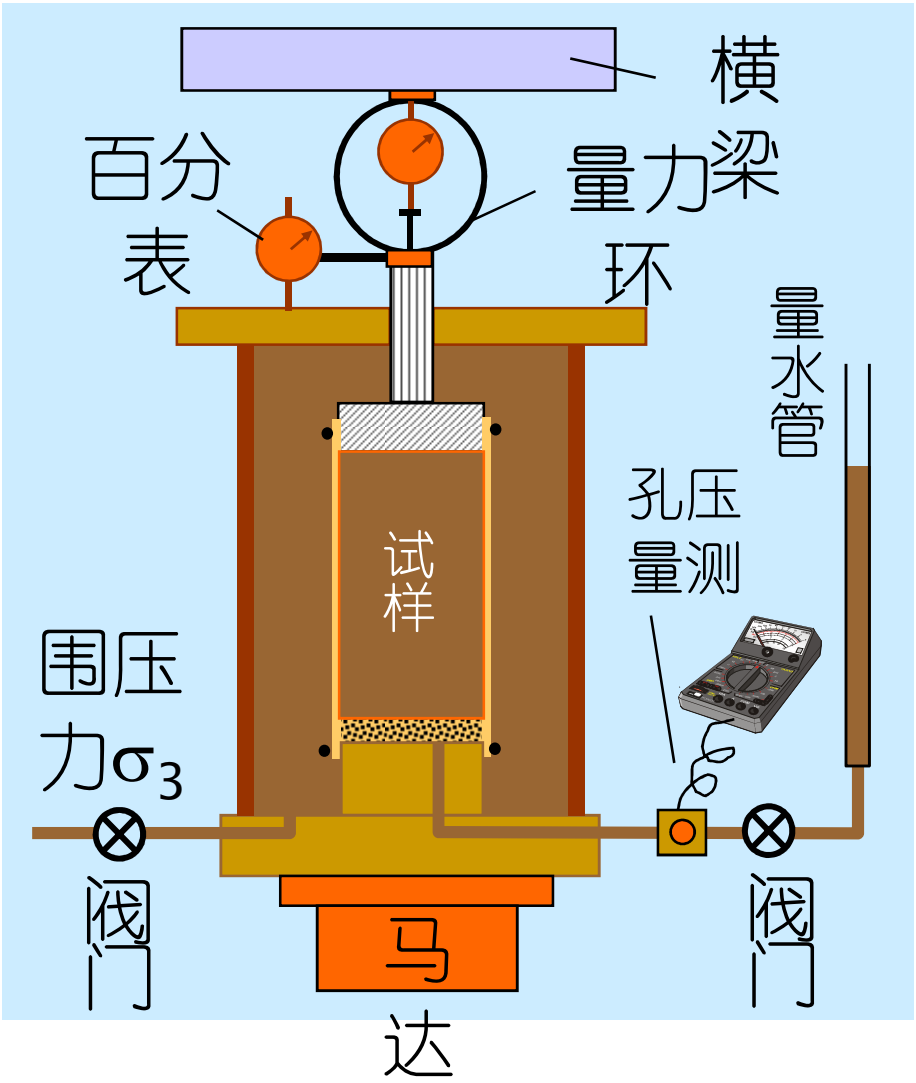
变形参数测定试验—侧限压缩仪

P3

- 1930 Casagrande 提出圆柱试样
- 1933 Seffert 用三轴仪研究固结
- 1934 Rendulic 用其测定土的强度参数
- 1959 黄文熙，汪闻韶研制动三轴试验
- 三轴仪的进展：动三轴、大尺寸三轴仪、高压三轴、非饱和土三轴仪、应变路径控制三轴仪....

三轴仪的发展

P3

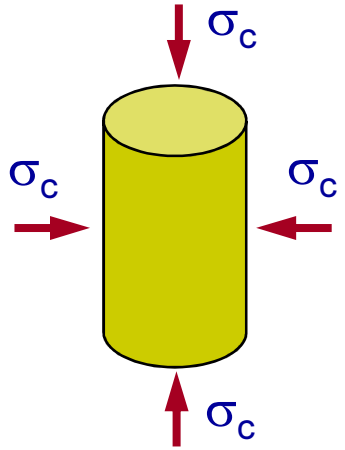


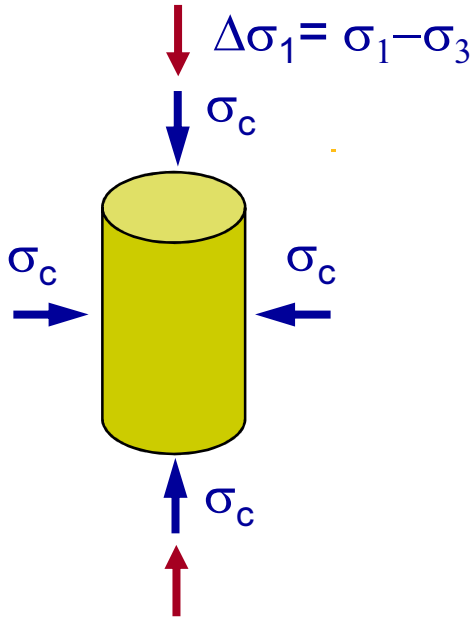
- 变形与强度试验
- 可控制排水条件
- 完整的描述试样受力、变形和破坏的全过程
- 进行不同应力路径试验
- 应力状态明确
- 变形量测简单

→ 最常用、最基本的土工试验

三轴仪与试验

P4





施加固结压力σ_c

➡固结，不固结

$\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3=\sigma_c$

施加轴向应力$\Delta\sigma_1$

➡排水，不排水

$\sigma_1=\sigma_c+(\sigma_1-\sigma_3)$

常规压缩试验的应力状态

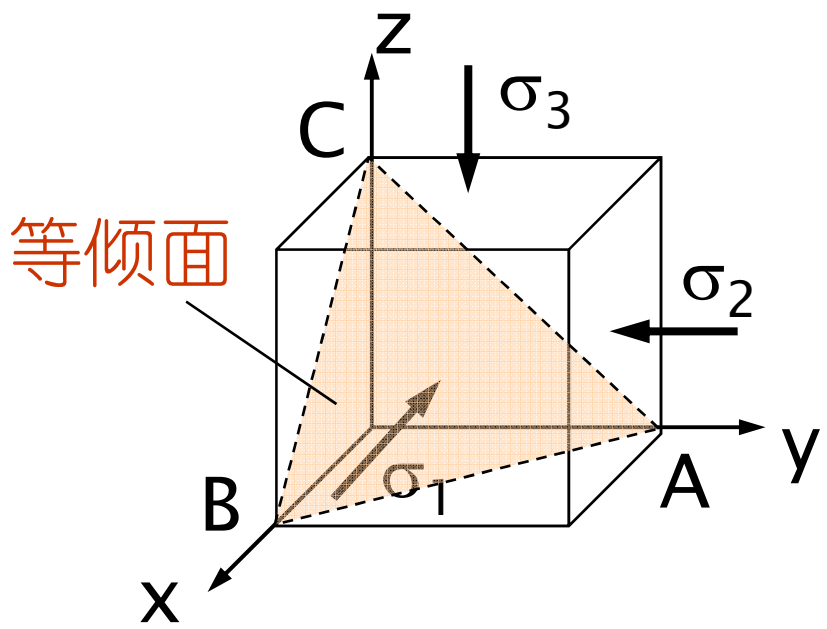
常规三轴试验：其中两个主应力通过围压施加（σ_c），并且总是相等，另一主应力通过轴压施加（σ_a）

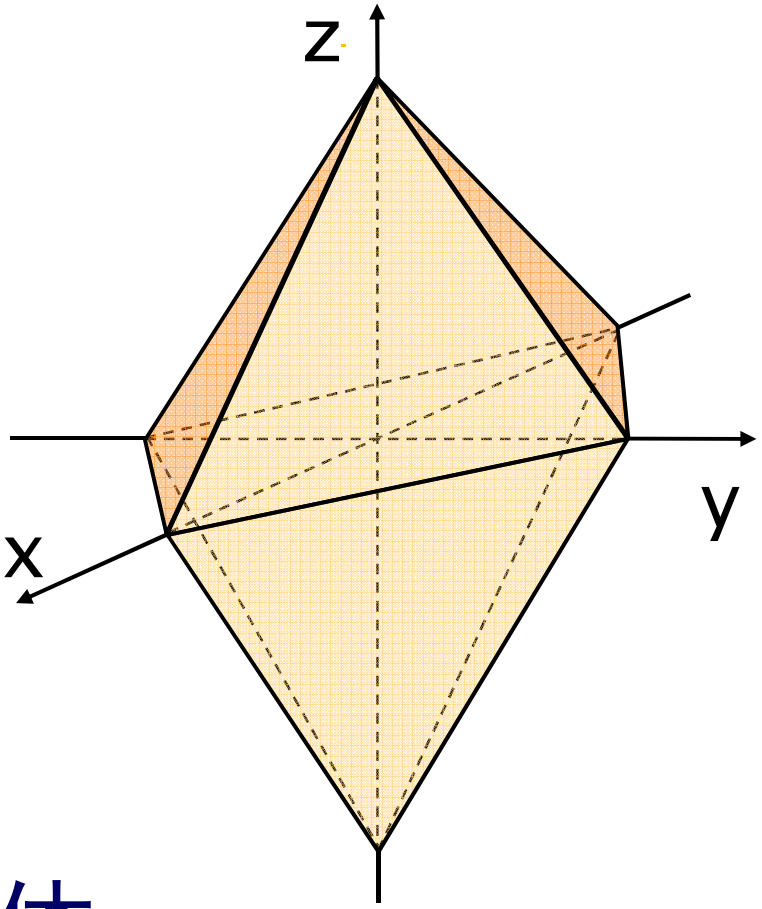
- 试样可是圆柱形、也可是长方形
- 剪切过程中围压可变化
- 围压可是大主应力，也可是小主应力

应力状态变化过程的表示方法：应力路径

注意：高等土力学与土力学的表示方法不同

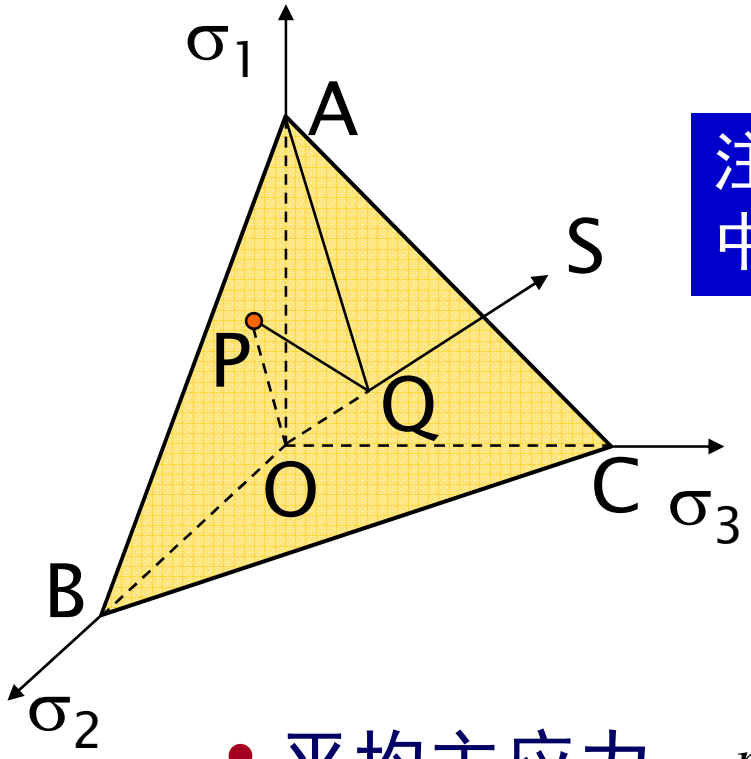
常规压缩试验的应力状态



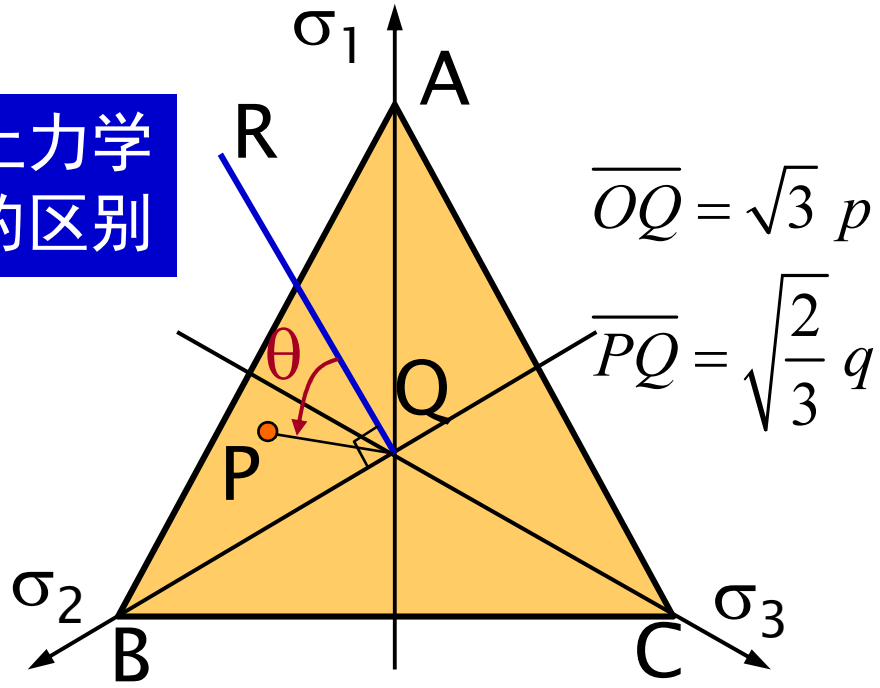


应力主轴坐标系

八面体



注意与土力学中定义的区别



$\overline{OQ} = \sqrt{3}\,p$

$\overline{PQ} = \sqrt{\frac{2}{3}}\,q$

- 平均主应力 $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$
- 广义剪应力 $q = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$
  - 毕肖甫常数b $b = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$

或应力洛德角θ $\tan\theta = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sqrt{3}(\sigma_1 - \sigma_3)} = \frac{2b-1}{\sqrt{3}}$

P4

- 对于三轴应力状态：两个方向的主应力等于σ_c
  - 平均主应力　$p=\frac{1}{3}(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)=\frac{1}{3}(\sigma_a+2\sigma_c)$
  - 广义剪应力　$q=\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}$

    $=\sigma_a-\sigma_c$　或 $\sigma_c-\sigma_a$
  - 毕肖甫常数b　$b=\frac{\sigma_2-\sigma_3}{\sigma_1-\sigma_3}=0\text{ or }1$

    或应力洛德角θ　$\tan\theta=\frac{2\sigma_2-\sigma_1-\sigma_3}{\sqrt{3}(\sigma_1-\sigma_3)}=\frac{2b-1}{\sqrt{3}}=\pm\frac{1}{\sqrt{3}}$

三轴应力状态变量

P4

HC ：静水压缩（各向等压）试验 $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$

PL ：比例加载试验： $\sigma_1/\ \sigma_3$为常数

CTC ：常规三轴压缩试验：σ_3（围压）为常数

CTE ：常规三轴伸长试验：σ_3（轴压）为常数

TC ：p为常数三轴压缩试验（轴增－围减）

TE ：p为常数三轴伸长试验（轴减－围增）

RTC ：减压三轴压缩试验：σ_1（轴压）为常数

RTE ：减压三轴伸长试验：σ_1（围压）为常数

三轴试验的应力路径

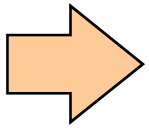
P5

- 常规三轴压缩试验CTC：$\sigma_2=\sigma_3=\sigma_c$为常数，$d\sigma_c=0$）

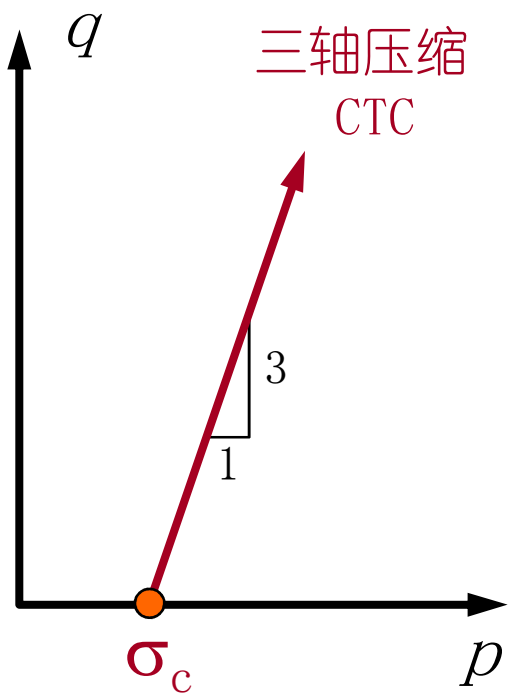
$$dp=\frac{1}{3}(d\sigma_1+2d\sigma_3)=\frac{1}{3}d\sigma_1$$

$$dq=d\sigma_1-d\sigma_3=d\sigma_1$$

$$dq/dp=3/1$$



p–*q*图上是斜率为3/1的直线



典型三轴试验的应力路径

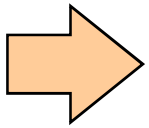
■ 常规三轴伸(挤)长试验CTE：

($\sigma_1=\sigma_2=\sigma_c$, $d\sigma_c>0$)，$\sigma_3=\sigma_a$为常数

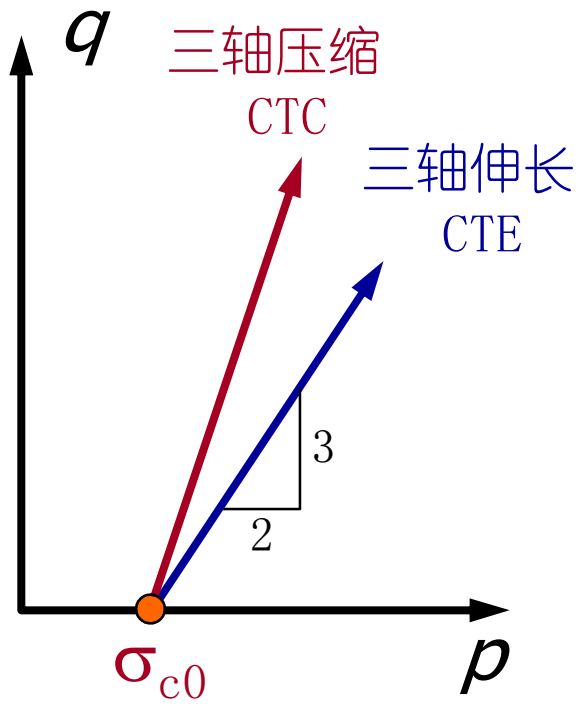
$$dp=\frac{1}{3}(2d\sigma_c+d\sigma_a)=\frac{2}{3}d\sigma_c$$

$$dq=d\sigma_c-d\sigma_a=d\sigma_c$$

$$dq/dp=3/2$$



p–*q*图上是斜率为3/2的直线



典型三轴试验的应力路径

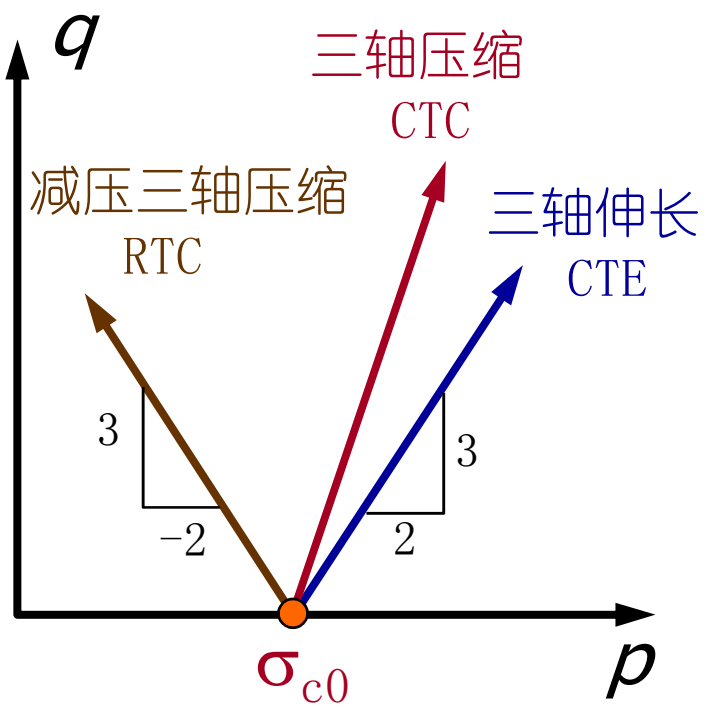
■ 减压三轴压缩试验RTC：

($\sigma_1=\sigma_a$为常数，$\sigma_2=\sigma_3=\sigma_c$，$d\sigma_c<0$)

$$dp=\frac{1}{3}(2d\sigma_c+d\sigma_a)=\frac{2}{3}d\sigma_c$$

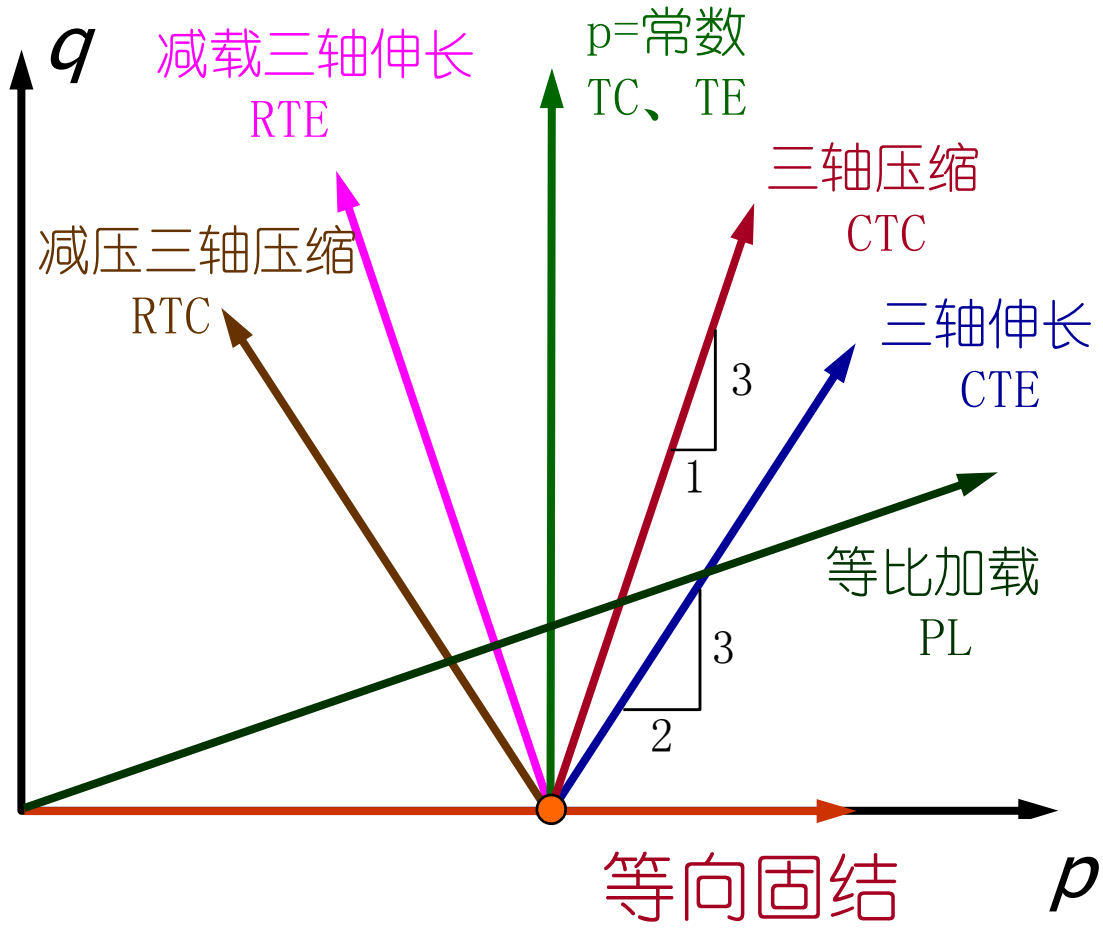
$$dq=d\sigma_a-d\sigma_c=-d\sigma_c$$

$$dq/dp=-3/2$$



⇨ *p-q*图上是斜率为-3/2的直线

典型三轴试验的应力路径



各路径上的
应力特点

P6页表1-1

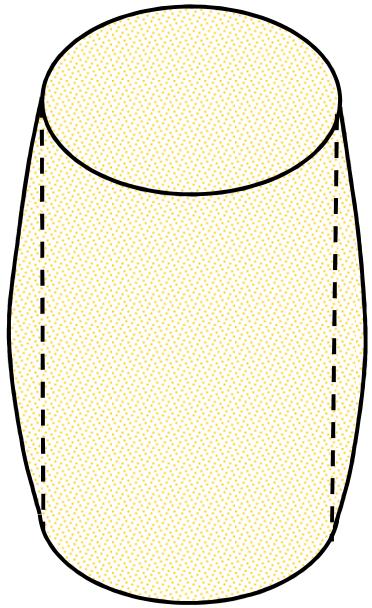
三轴试验的应力路径

P6

■ 边界条件影响

☞ 上下边界的摩擦：

相当于增加了局部的围压，使应力变形不均匀，压缩—鼓胀，拉伸—颈缩



☞ 小围压试验：

顶帽活塞杆自重、压力室静水压、活塞摩擦和橡皮膜约束

三轴试验的一些问题

P8

■ 极小围压的三轴试验

误差来源

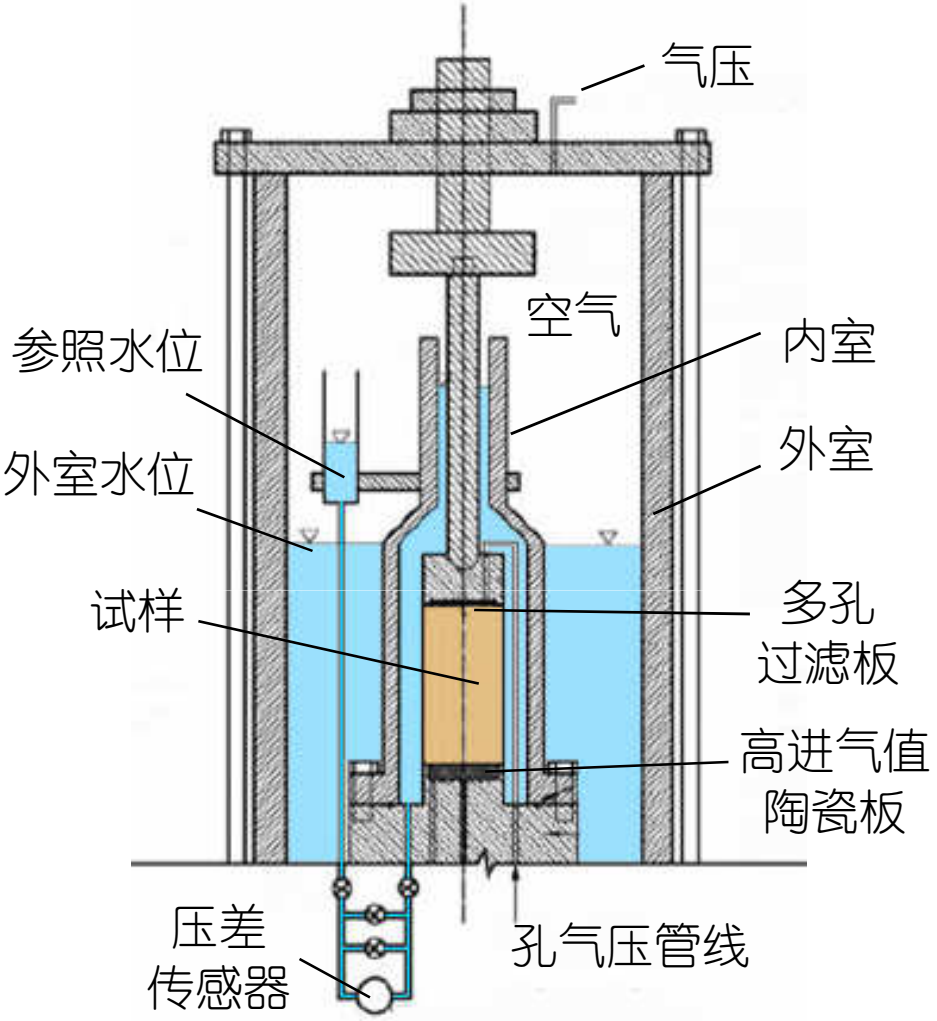
- 试样自重
- 膜的约束（含径向和轴向）
- 端部约束
- 静水压力
- 负压制样
- 加压杆自重和活塞摩擦

三轴试验的一些问题

P9

■ 试样体积变化的量测

- ☞ 饱和土：量水管
- ☞ 非饱和土：压力室的体积变化（双压力室等）
- ☞ 其它的量测方法，如量测侧向变形

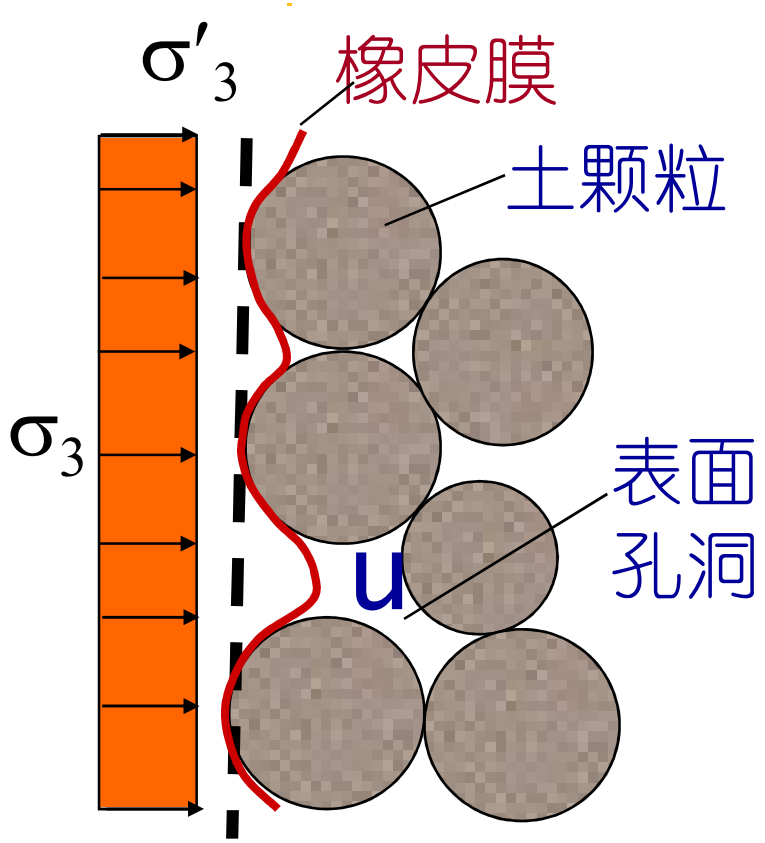


三轴试验的一些问题

P8

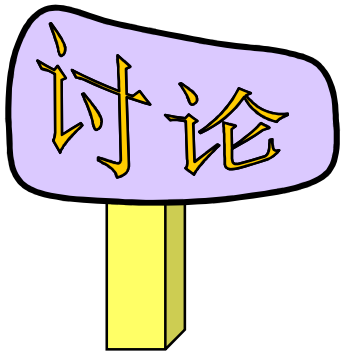
■ 膜嵌入的影响（membrane penetration）

- ☞ 粗粒土颗粒在试样侧面会形成麻面，橡皮膜在侧压力σ_3作用下会产生膜嵌入，从而影响试验的结果
- ☞ 影响因素：试样(密度、颗粒形状和尺寸、级配等)；膜(厚度和模量)；围压和孔压
- ☞ 对同一种土样，膜嵌入大小主要取决于有效围压力σ'_3



三轴试验的一些问题

P8



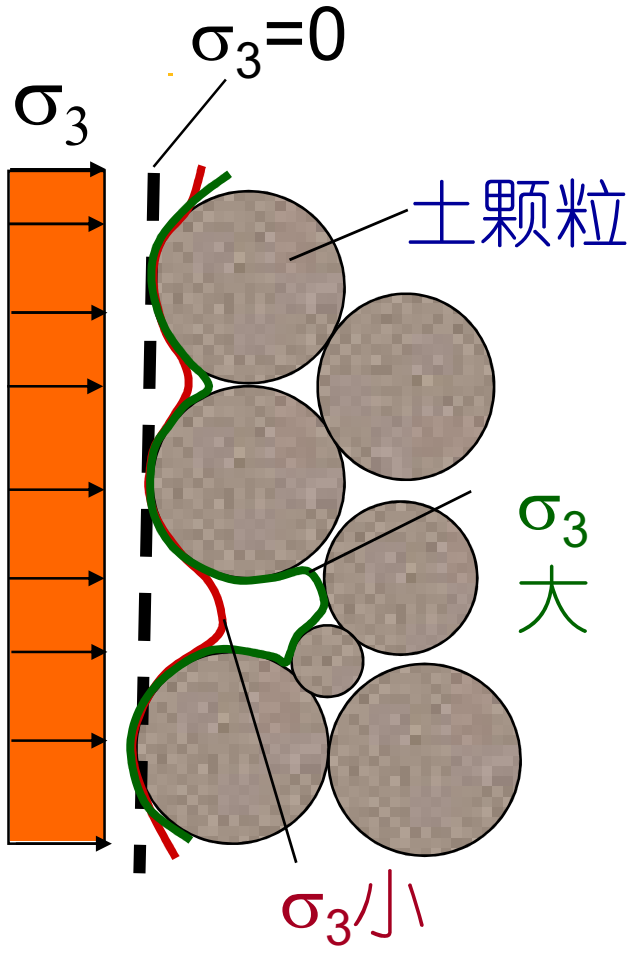
☞ 对粗粒土进行三轴试验时，在排水试验和固结不排水试验中，膜嵌入（membrane penetration）有什么影响？

三轴试验的一些问题

■ 膜嵌入的影响 – 排水试验

对体变的影响取决于侧压力的变化

- ☞ σ_3保持不变，膜嵌入不变，对体变影响不大
- ☞ σ_3增大的试验，膜嵌入逐步增大，测得体变偏大
- ☞ σ_3减小的试验（体胀），膜嵌入逐步回弹，测得体变偏小



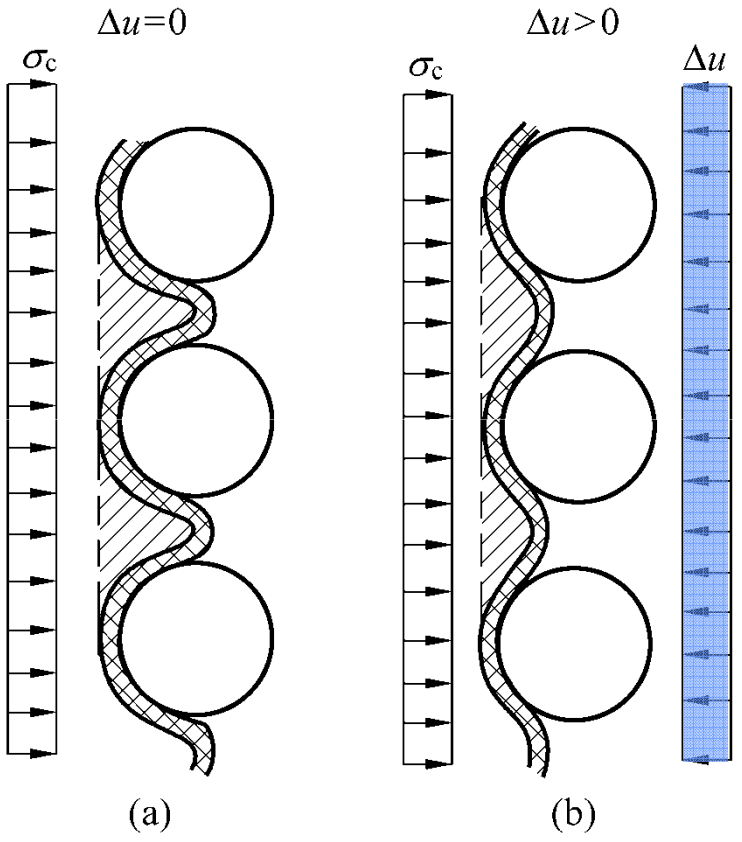
三轴试验的一些问题

P8

■ 膜嵌入的影响 – 固结不排水试验

对孔压的影响取决于有效侧压力的变化

- ☞试样内产生正孔压时，作用在膜上的有效围压减小，膜嵌入深度减少，从而使量测的孔压变小
- ☞试样内产生负孔压时，作用在膜上的有效围压增大，膜嵌入深度加大，使负压的绝对值变小



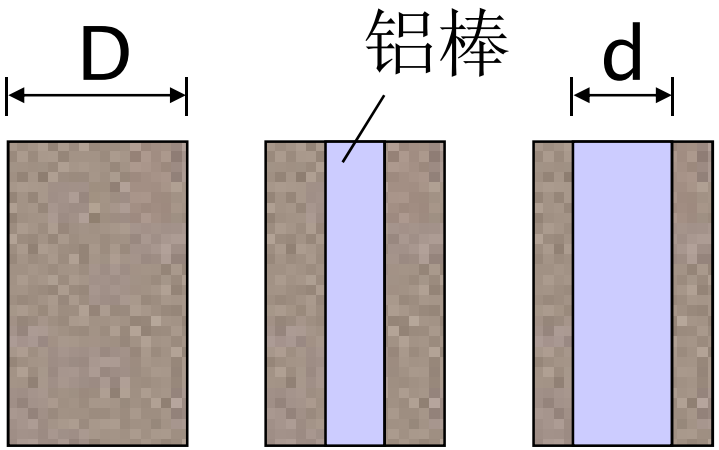
三轴试验的一些问题

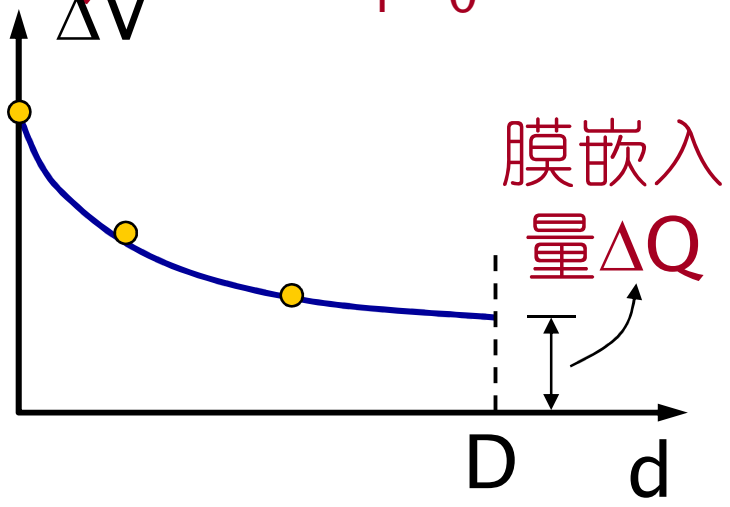
P8

■ 膜嵌入的影响 – 校正方法

☞ 等向固结试验法：量测总排水量ΔV和轴向应变ε_1，

☞ 铝棒法：　则膜嵌入量 $\Delta Q=\Delta V-3\varepsilon_1 V_0$



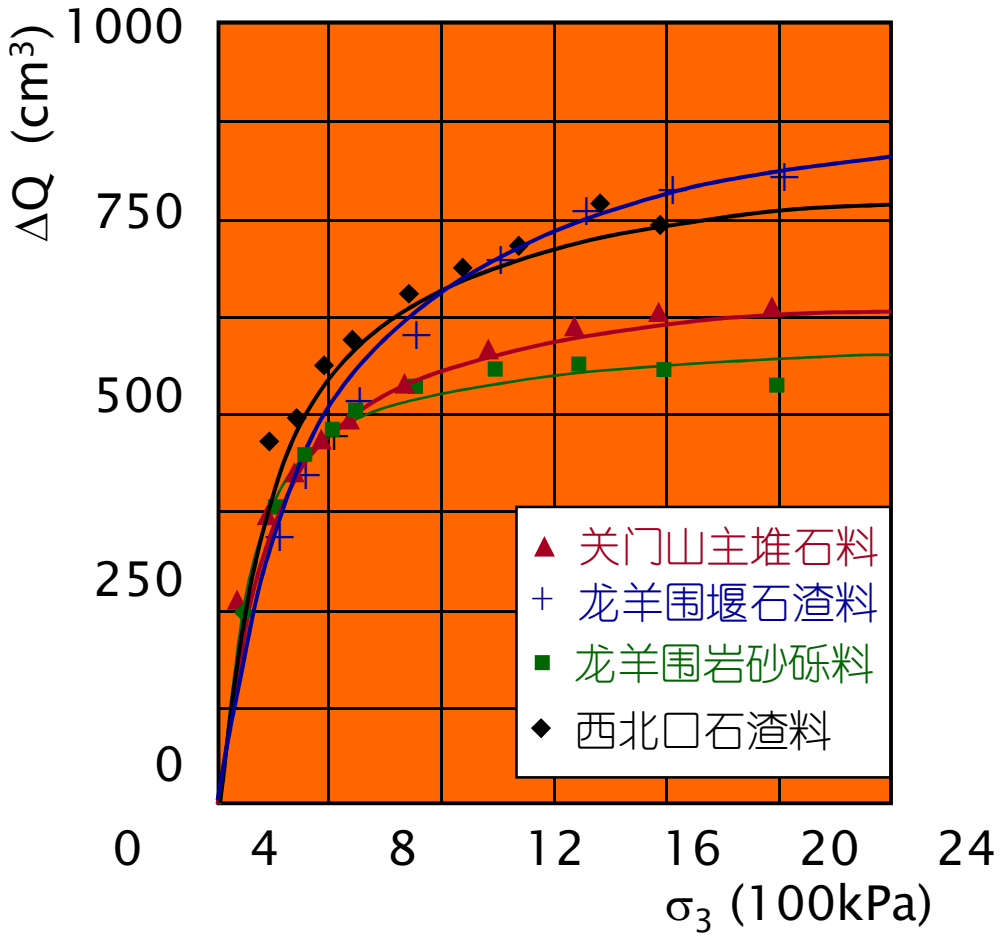


☞ 各种方法的适用条件？

三轴试验的一些问题

DEL

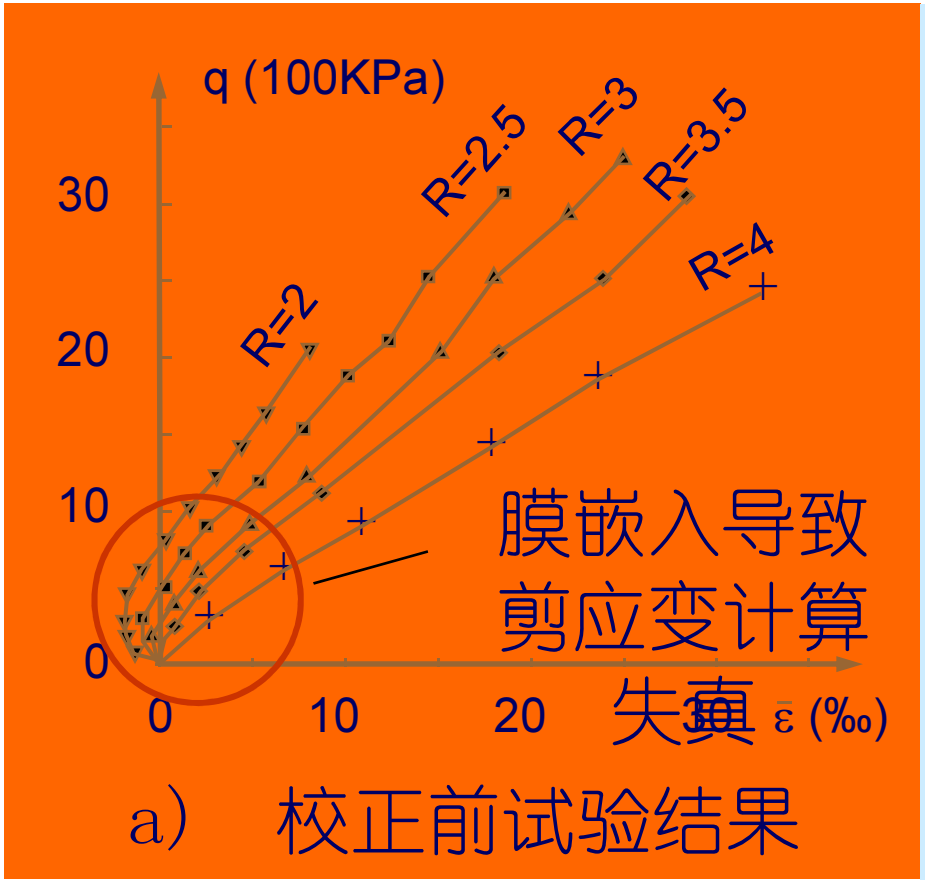
膜嵌入的影响

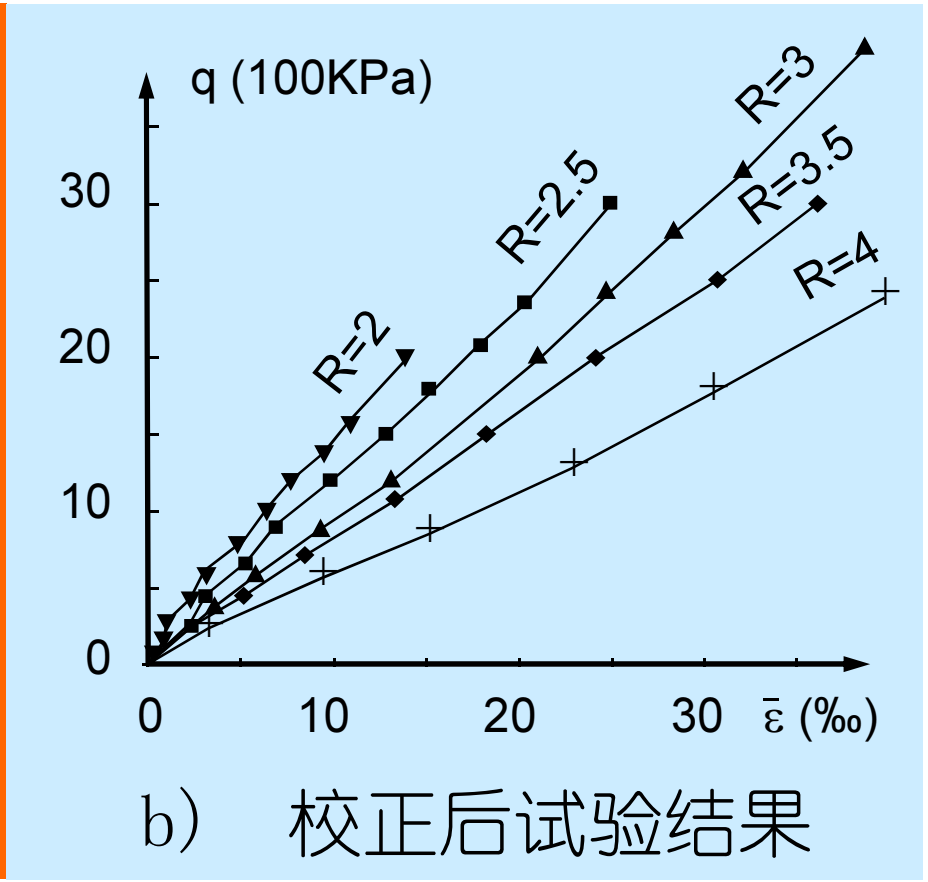


三轴试验的一些问题

DEL

关门山主堆石料等应力比大型三轴试验结果



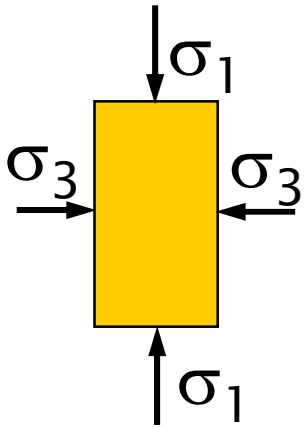


三轴试验的一些问题

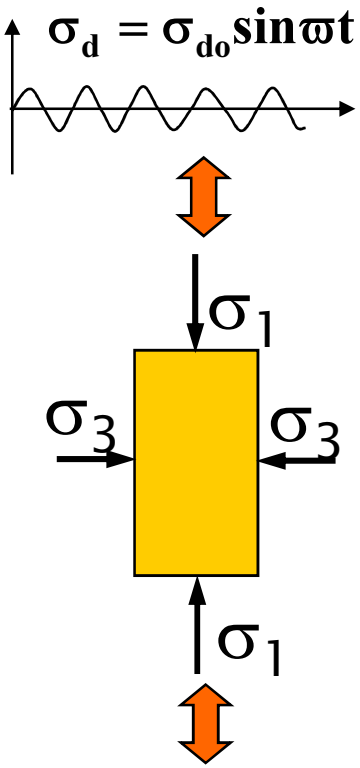
P10

动三轴试验（强度）

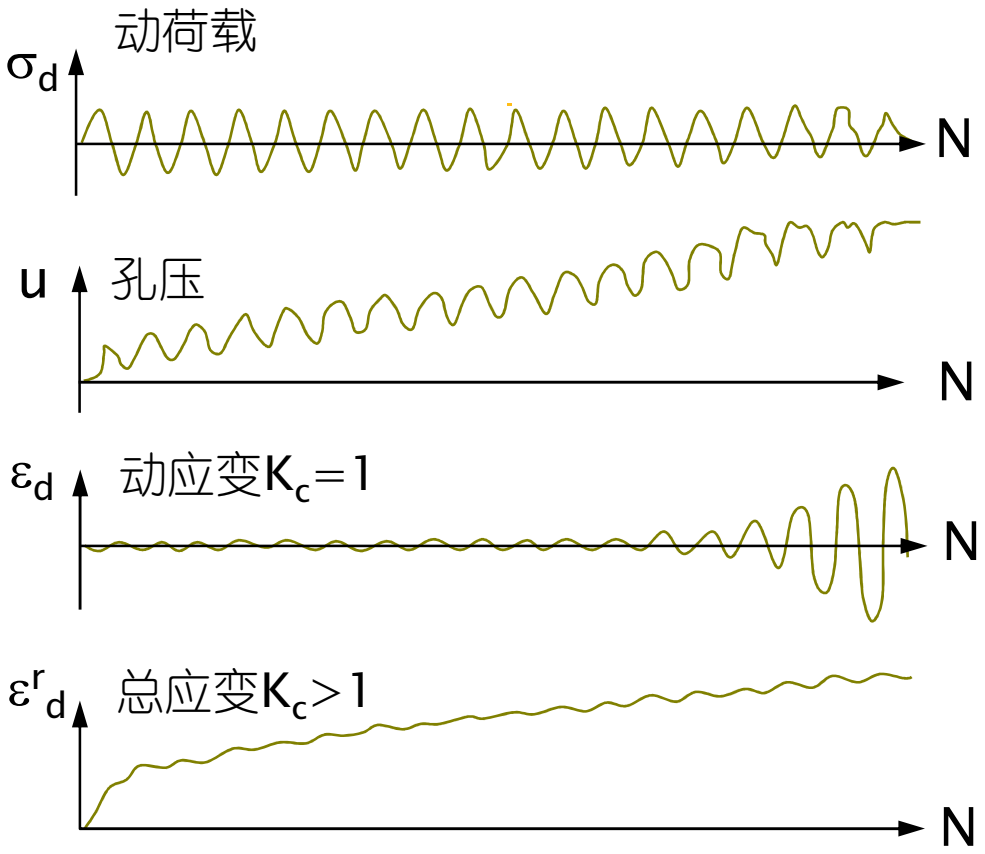
固结比
$K_c=\sigma_1/\sigma_3$



静力固结



动载试验

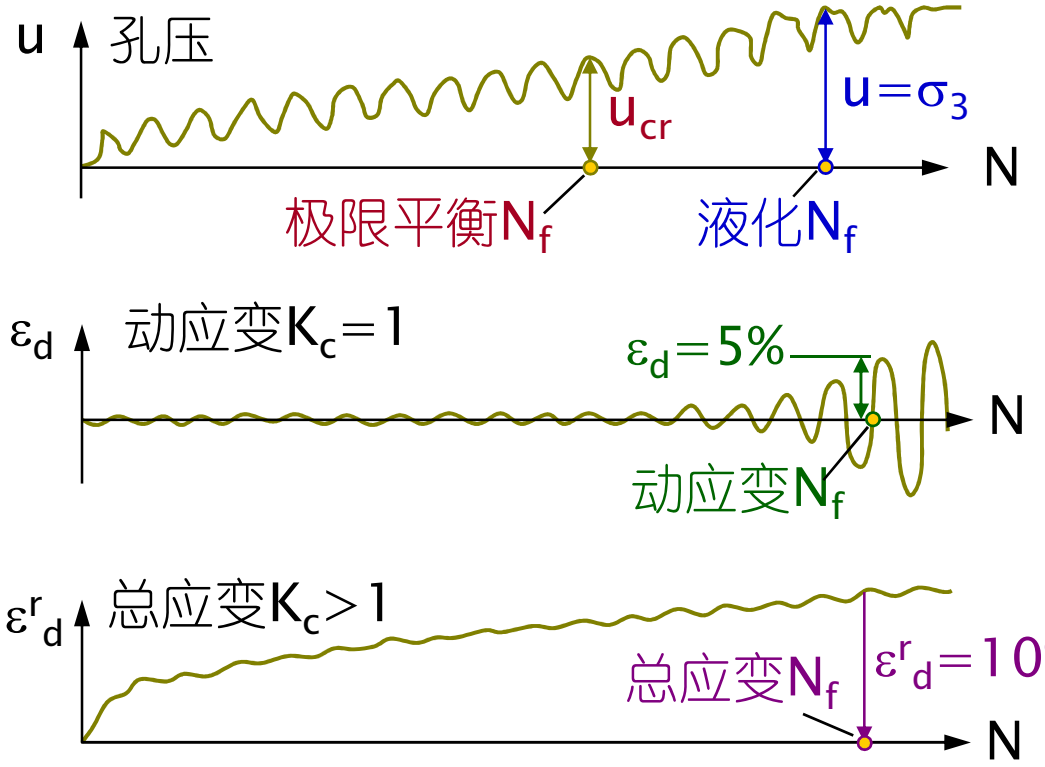


典型试验结果

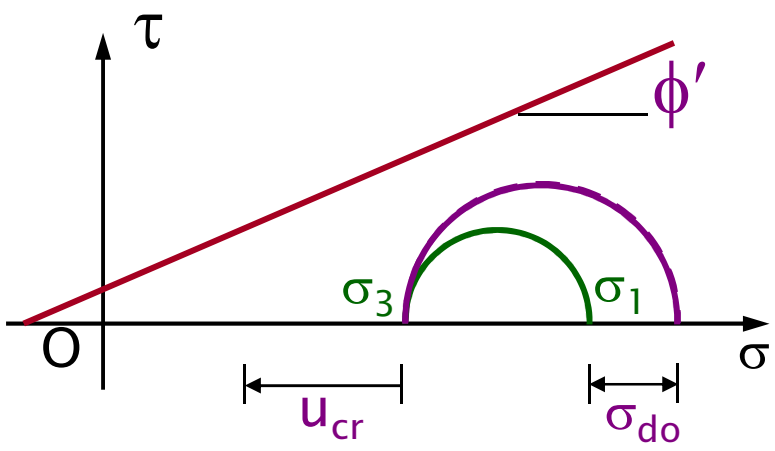
几种特殊的三轴试验

P10

■ 动三轴试验 – 破坏标准：破坏振次N_f



临界孔隙水压力u_{cr}

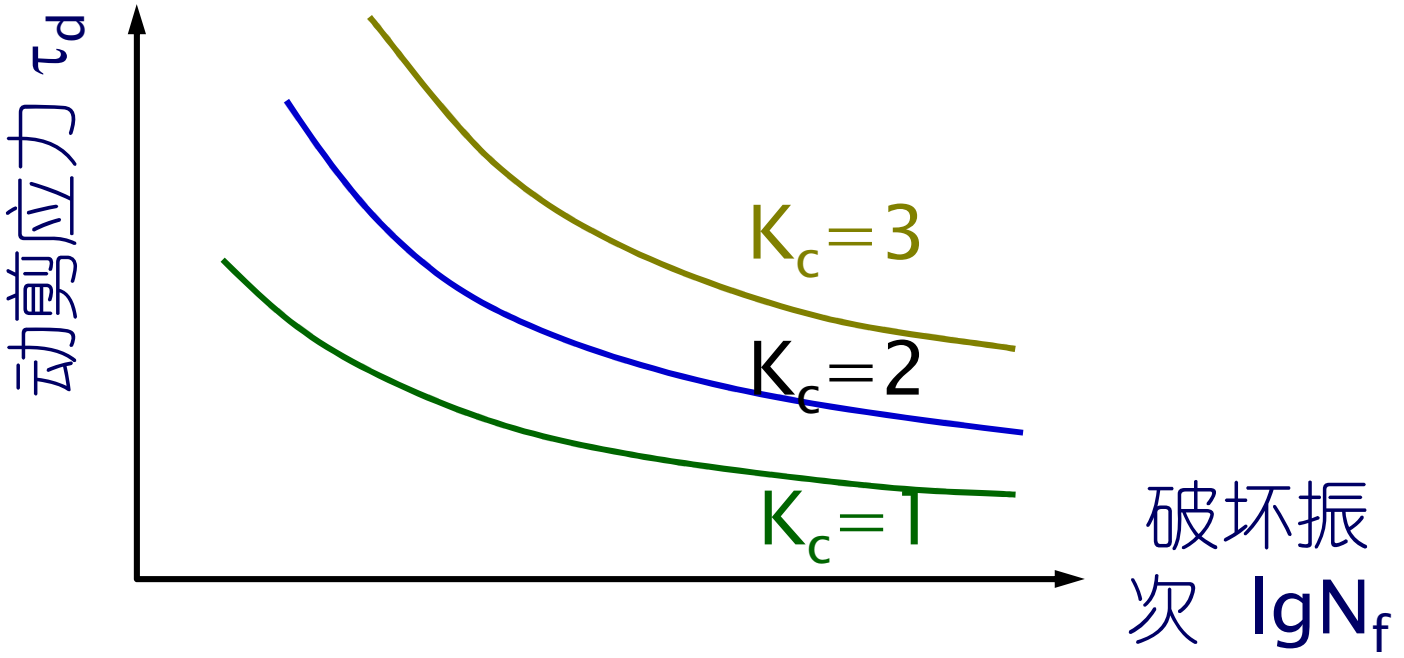


几种特殊的三轴试验

P10

■ 动三轴试验 - 土的动强度曲线

试件45°面上的动剪应力τ_d（即动应力幅σ_{do}的一半）或动应力比$\sigma_{do}/2\sigma_3$与破坏振次N_f间的曲线



几种特殊的三轴试验

P10

大型三轴试验

- 堆石坝材料
- 路渣与垫层
- 建筑垃圾与生活垃圾
- 矿渣与矿山材料

试样直径ϕ=15cm,30cm, 50cm,70cm, 100cm….

几种特殊的三轴试验

P10

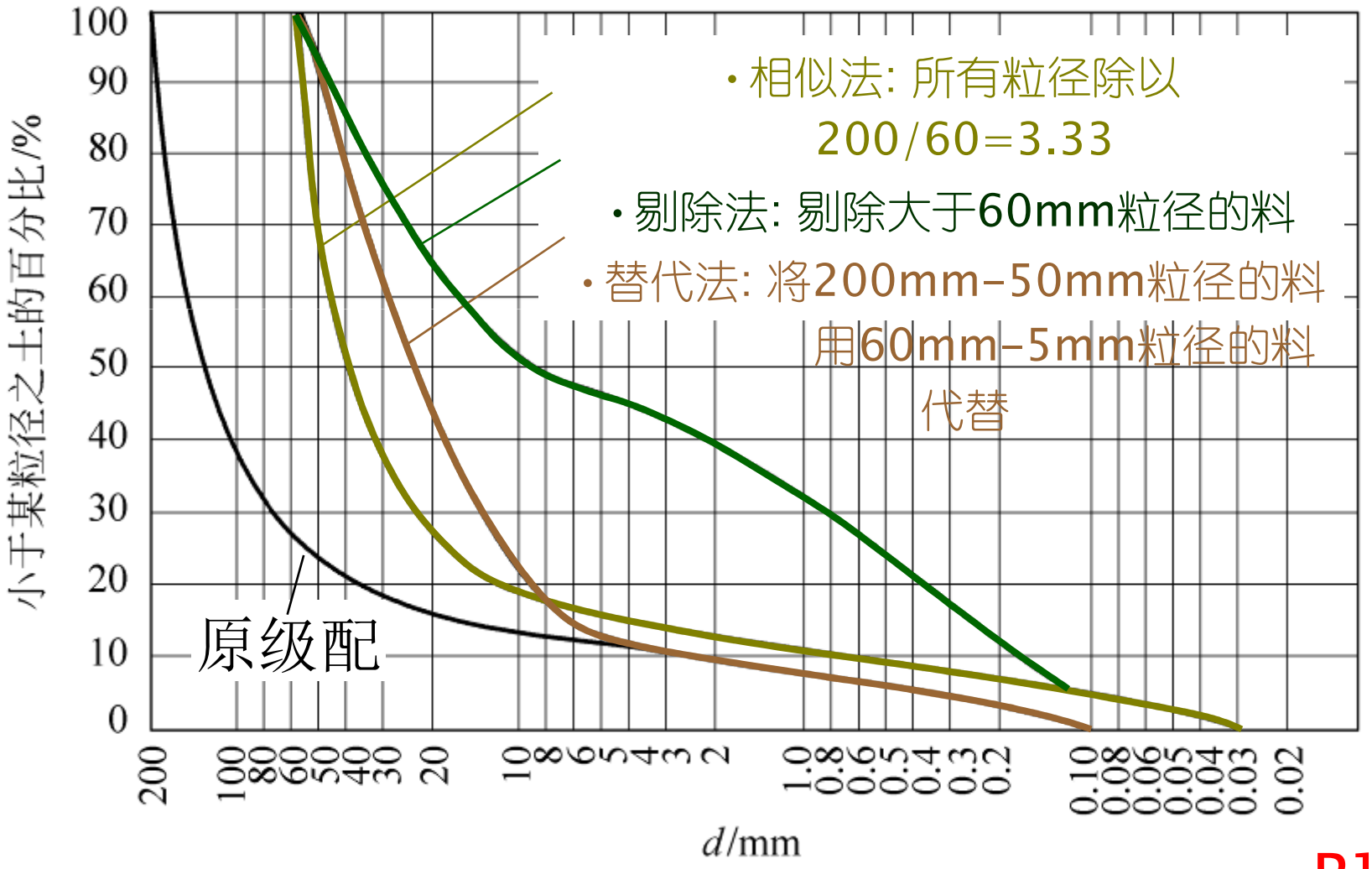
大型三轴试验：土石料的尺寸模拟

- 基本要求： $d_{max} \leq D/5$
  - 相似法：各粒径缩小相同的倍数
  - 剔除法：简单剔出大粒径部分
  - 替代法：将大粒径料用另一粒径范围的料替代
  - 综合法：综合使用上述方法
- 基本原则：形成骨架的料的特性不变，和原型料的力学性质相同

几种特殊的三轴试验

P10

- 举例：原型料最大粒径200mm，三轴试样直径300mm试验用料最大粒径$d_{max}=30/5=60mm$



P11

■ 高压三轴试验仪：

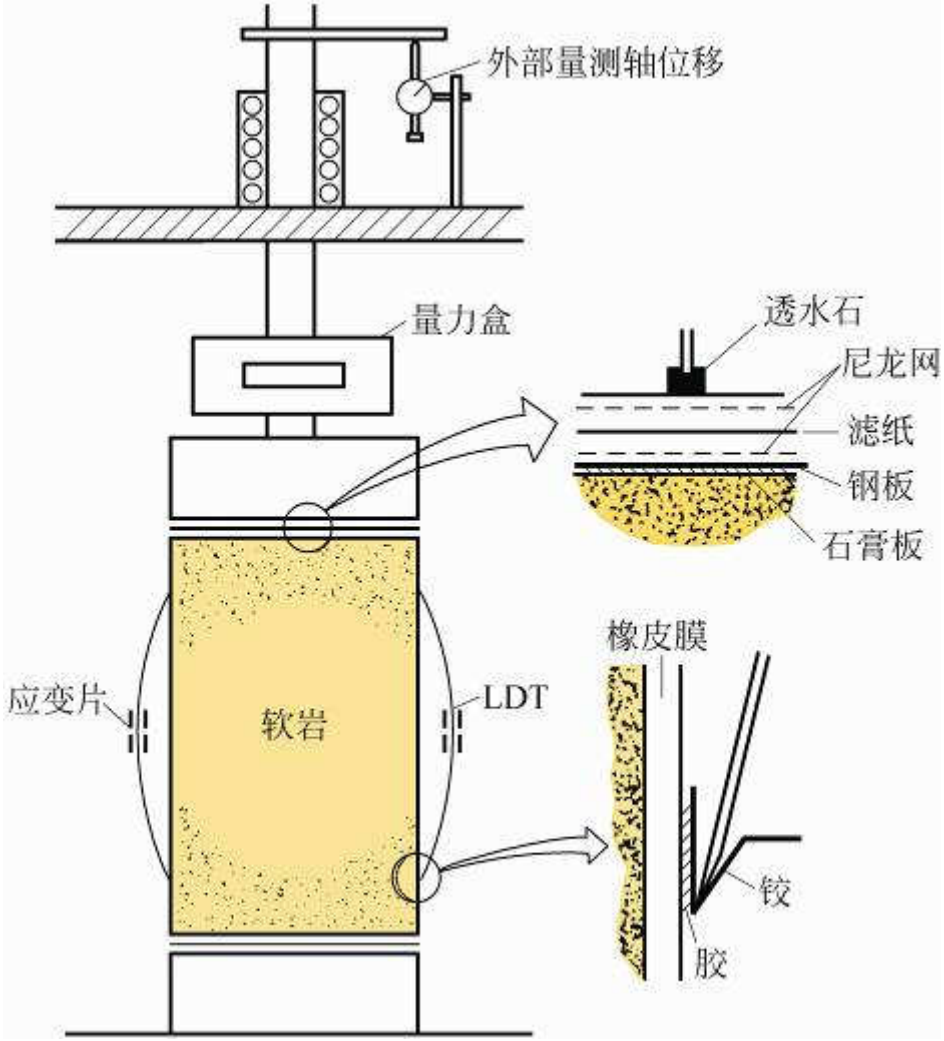
- ☞ 一般的三轴试验围压达到600kPa-1MPa，高压三轴围压可达到10MPa以上
- ☞ 模拟高坝深覆盖层等情况
- ☞ 在高压下，土的应力－变形－强度有很大不同

几种特殊的三轴试验

P10

■ 量测小应变三轴试验：

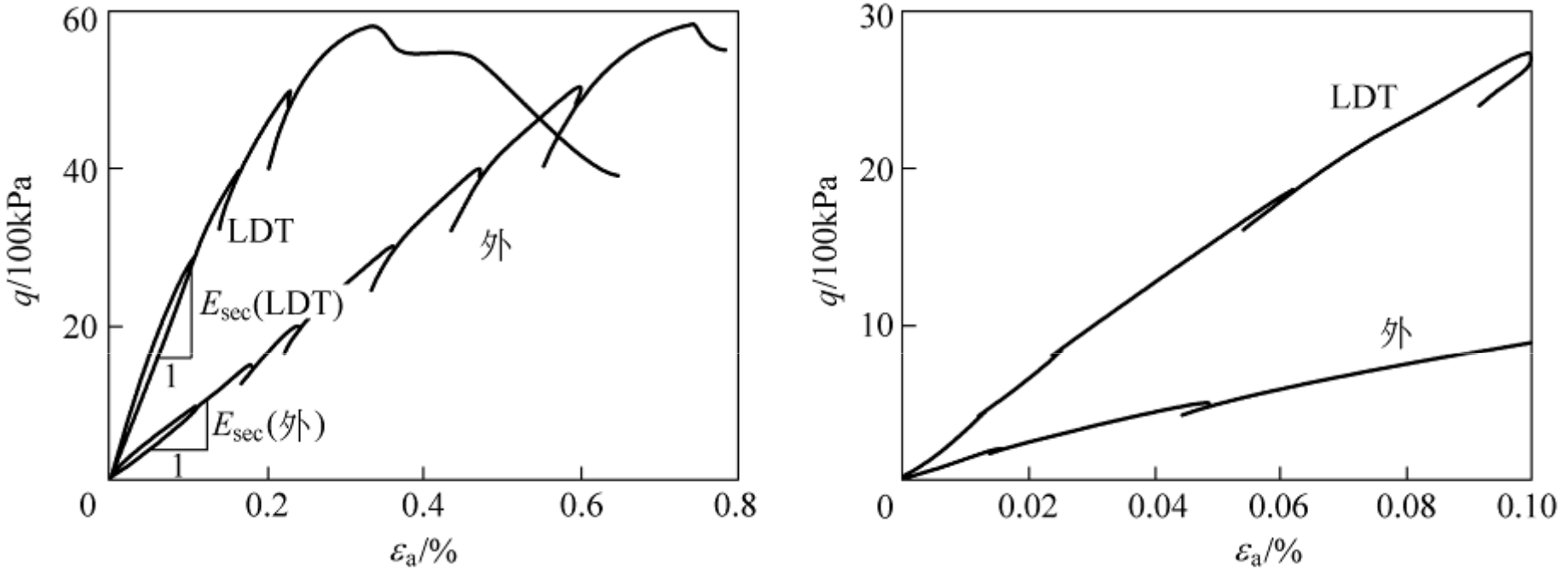
- 轴应变0.00005
- 压力室内量测局部变形
- 硬土、软岩与原状土试验
- 与一般三轴试验比较，应力应变关系有很大区别



几种特殊的三轴试验

P11

- 量测小应变三轴试验：



软岩固结不排水三轴试验不同量测方法的应力应变关系

几种特殊的三轴试验

P12

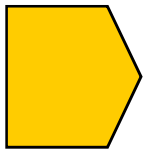
- 非饱和土三轴试验仪：

费用高，控制吸力，耗时长，……

几种特殊的三轴试验

DEL

- $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$
- 中主应力对于强度的影响
- 复杂应力路径上土的应力应变关系
- 本构关系的验证



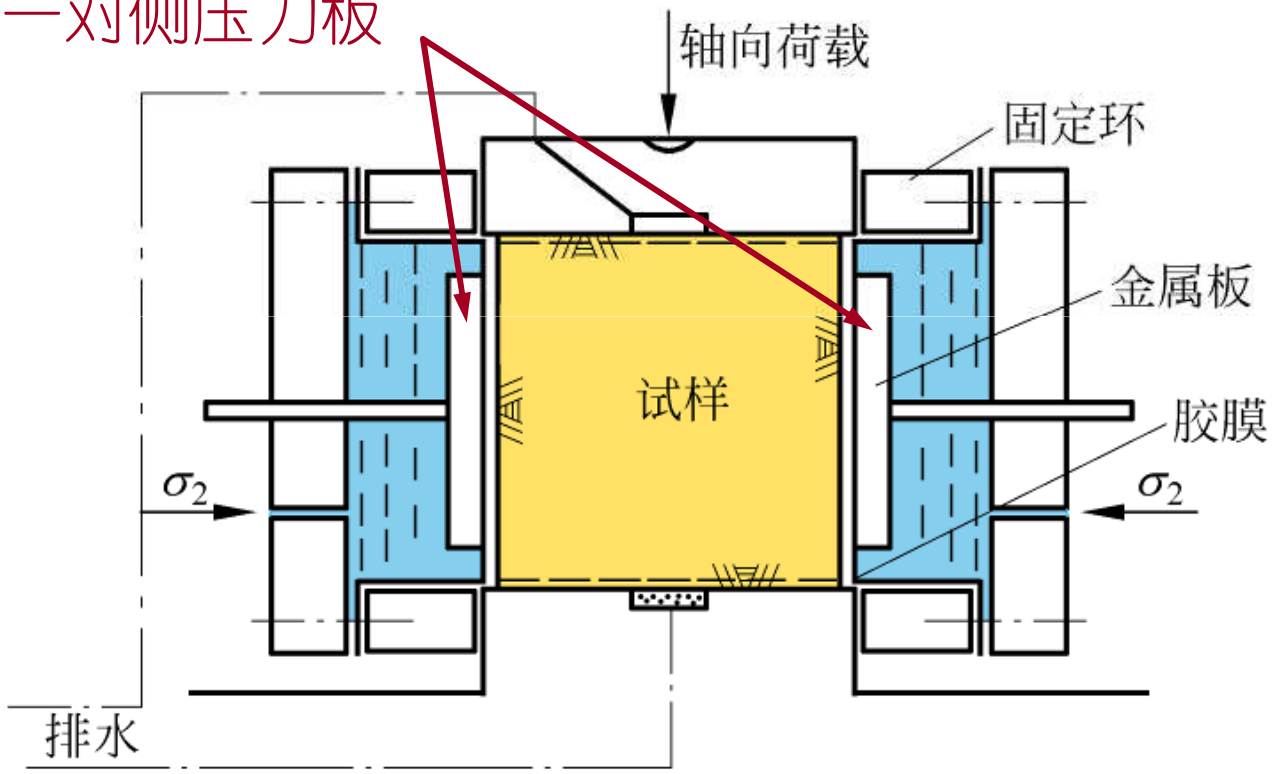
- 改造的真三轴仪
- 盒式的真三轴仪

真三轴仪和试验

P12

■ 改装型 - 新南威尔士大学的劳（Lo）

在压力室中加
一对侧压力板



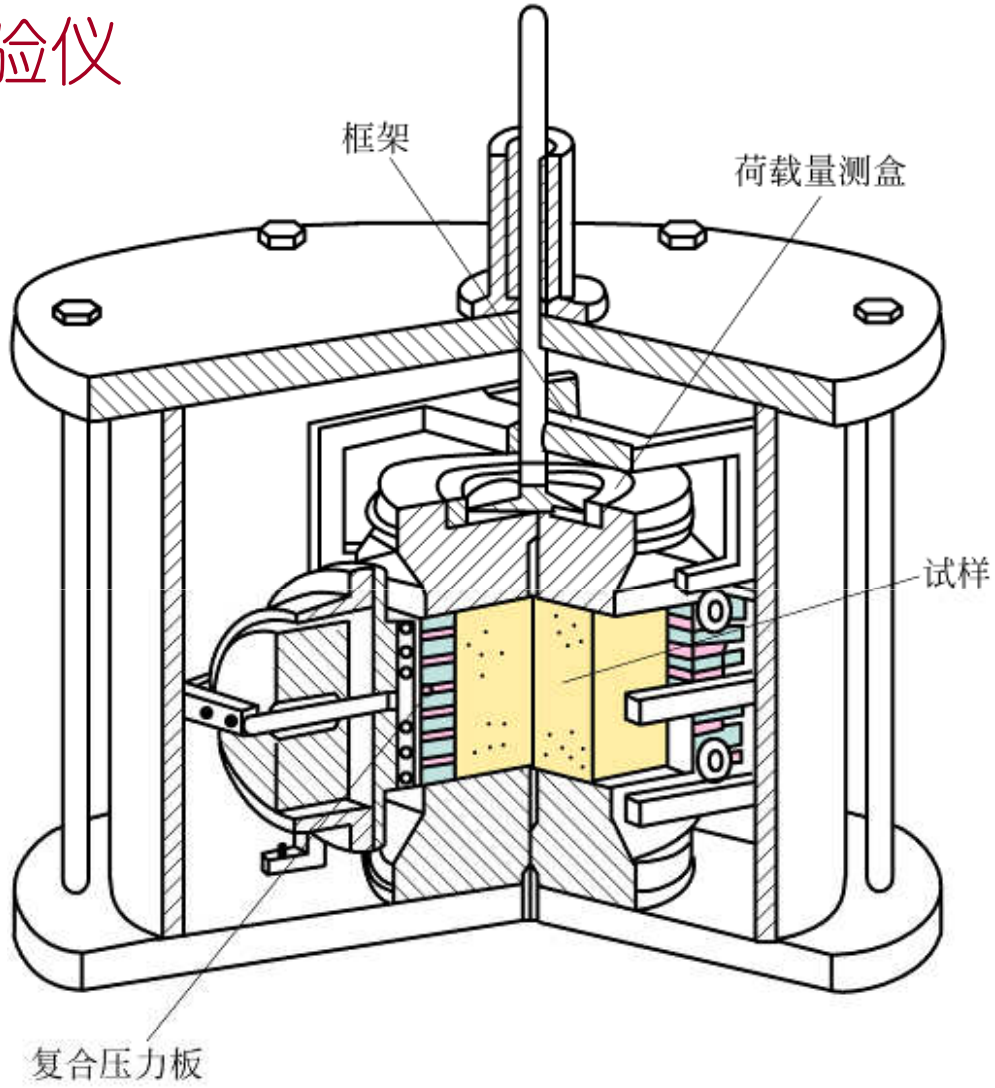
真三轴仪和试验

P14

■ 改装型真三轴试验仪

加州理工伯克利分校

（Lade和Duncan）

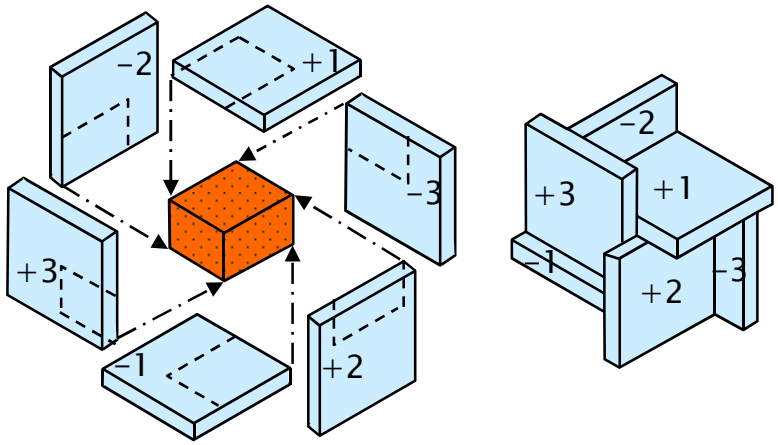


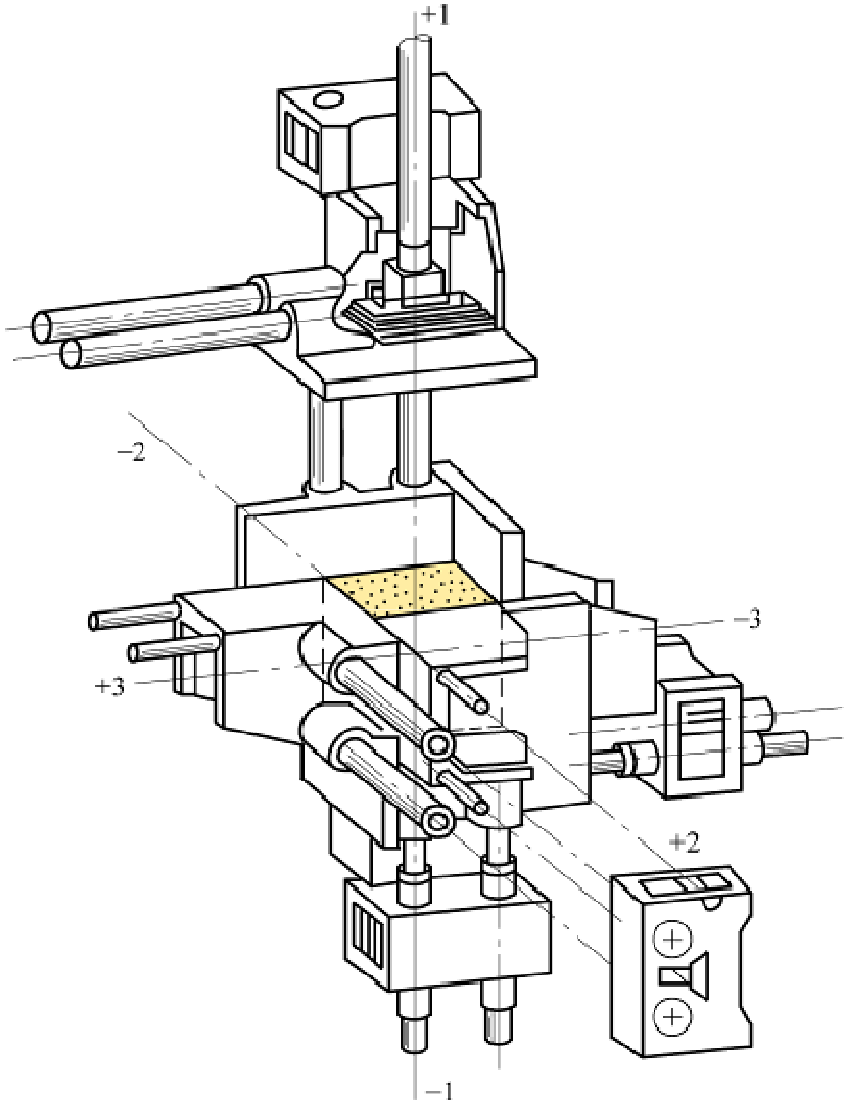
真三轴仪和试验

P14

■ 盒式真三轴试验仪

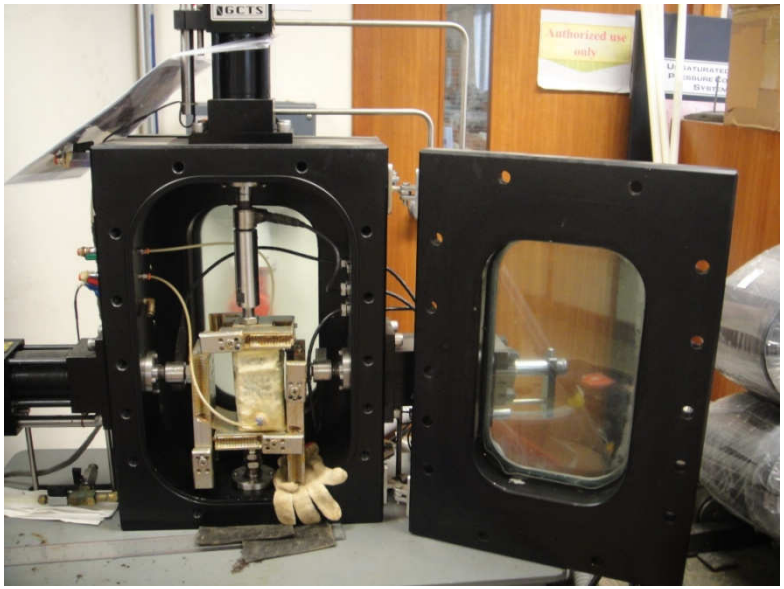
剑桥大学的盒式真三轴仪
(Hambly和Pearce)

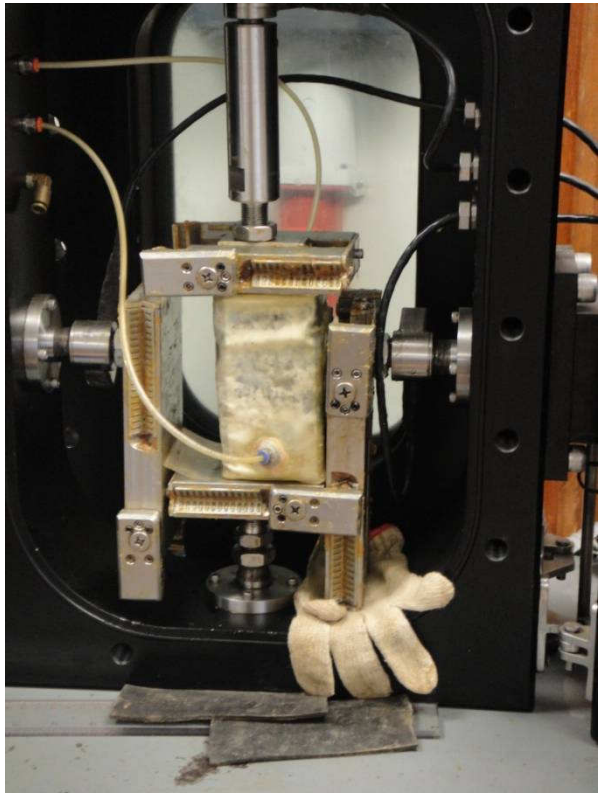


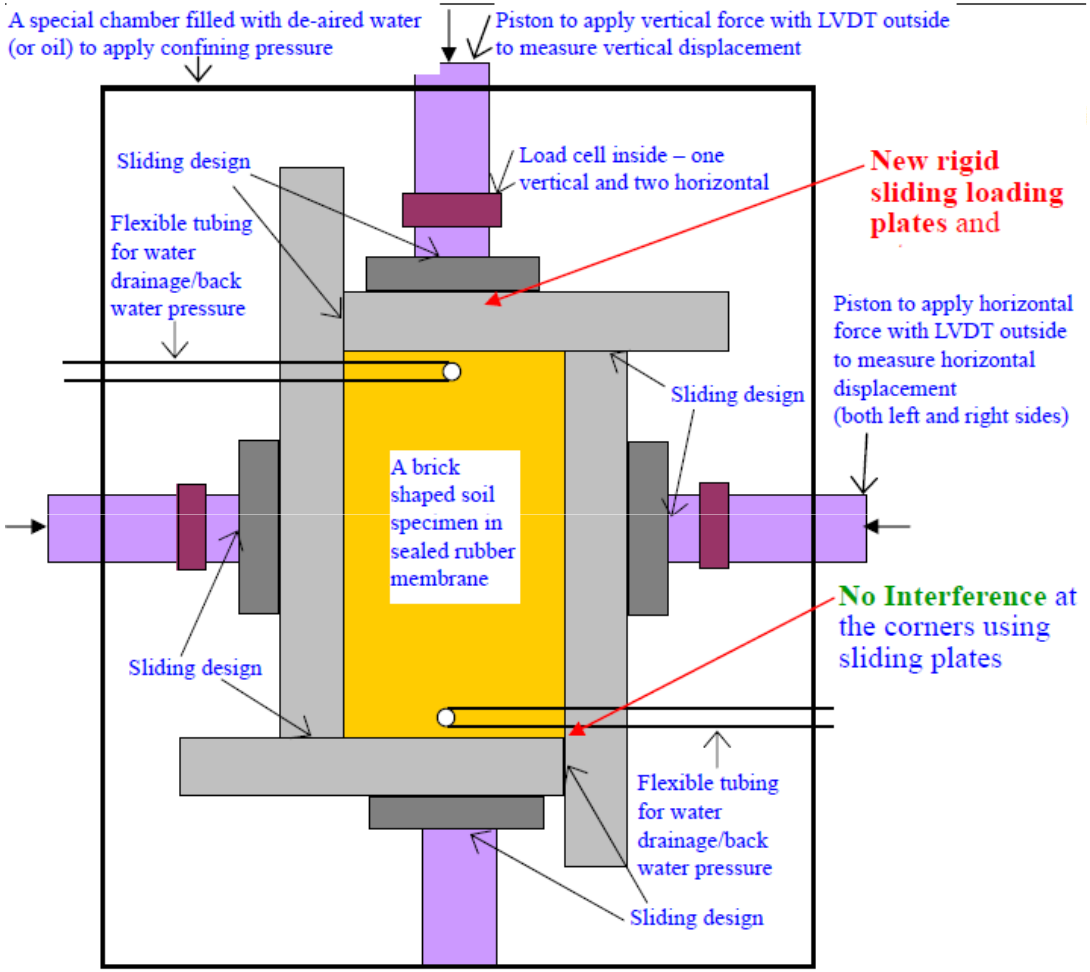


真三轴仪和试验

P15







真三轴试验仪

香港理工大学殷建华教授

大型岩土静动真三轴试验机
清华大学

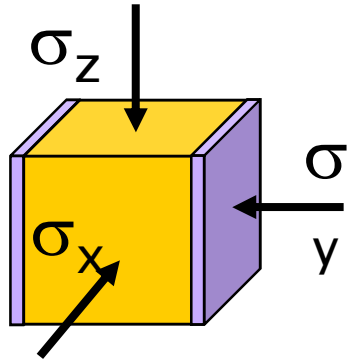
主要规格与技术参数－常规三轴试验功能

项 目		指 标		备 注
竖向载荷	最大	静态	2000kN	
		动态	1000kN	静态标定
	量程	20 ~ 2000 kN		连续
	精度	≤±1%		
	频率	0 ~ 3Hz		
	振幅	3Hz：±2mm		可与围压双向振动
		1Hz：±10mm		
		0.1Hz：±70mm		
围压	静态	20 MPa		可与轴压双向振动
	动态	5 MPa、振幅±250ml		
位移	最大	0 ~ 150mm		连续
	精度	≤±1%		
体变	量程	300、1000、10000 ml		
	精度	1 ml		
加载框架竖向刚度		≥5GN/m		
试样尺寸		Φ300×700mm、Φ150×300mm、Φ100×200mm		

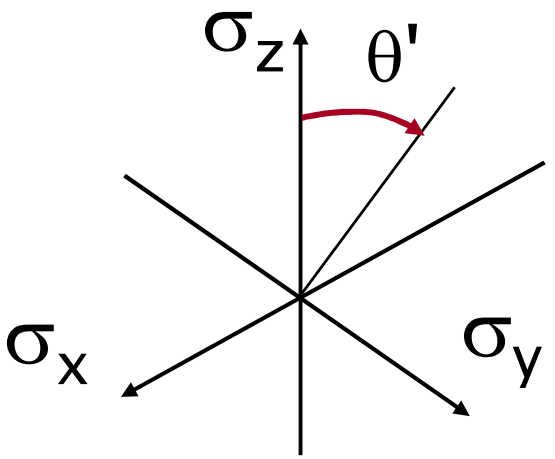
主要规格与技术参数－真三轴功能

项 目		指 标		备 注
侧向载荷	最大	静态	1000kN	
		动态	500kN	在静态条件下标定
	量程	10 ~ 1000 kN		连续
	精度	≤±1%		
小主应力		静态20 MPa，动态5 MPa		采用围压施加
频率振幅	频率	0 ~ 3Hz		
	振幅	3Hz：±2mm		单向振动
		1Hz：±6mm		三向振动
		0.1Hz：±20mm		三向振动
变形	变形	竖向	0 ~ 60mm	
		侧向	0 ~ 30mm	
	精度	≤±1%		
体变	量程	100、800 ml		
	精度	1 ml		
加载框架侧向刚度		≥4GN/m		
试样尺寸		200×200×400mm、100×100×200mm		

- 改装型和盒式真三轴仪的主要区别在于 x, y, z 三个方向是否独立施加大、中、小主应力



改装型真三轴仪，自由面σ_x一般只为小主应力； 板方向σ_y不能单独为小主应力，故无张拉时θ在0°－120°之间

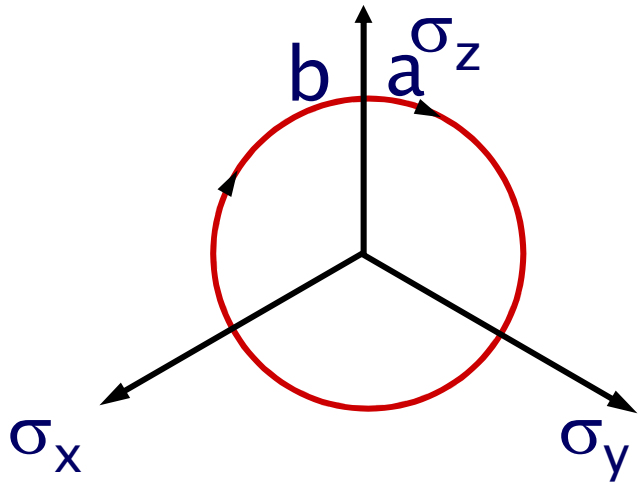


$$tg\theta' = \frac{\sqrt{3}(\sigma_y - \sigma_x)}{2\sigma_z - \sigma_y - \sigma_x}$$

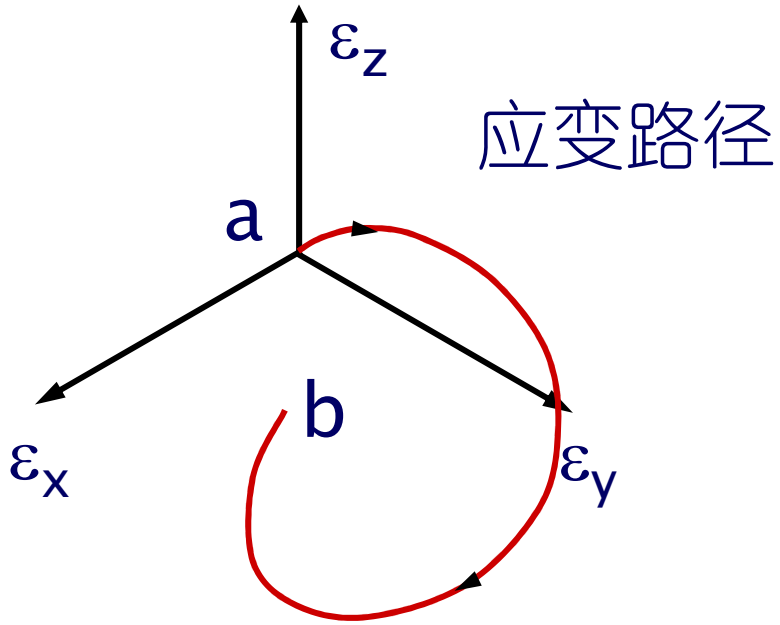
真三轴仪和试验

■ 盒式真三轴仪试验结果

正常固结粘土的真三轴试验



应力路径



应变路径

真三轴仪和试验

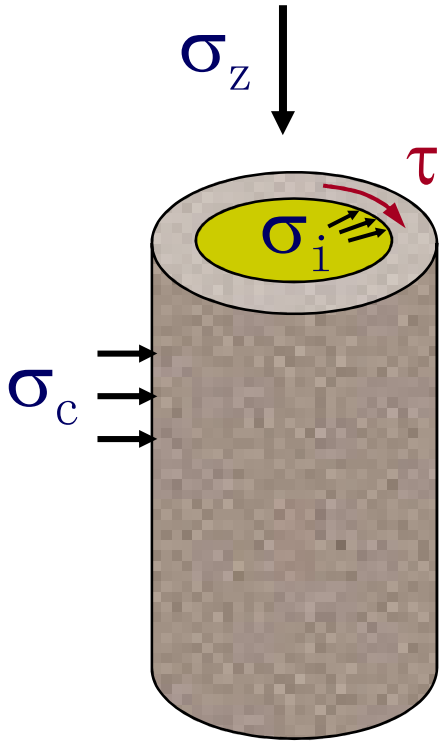
P16

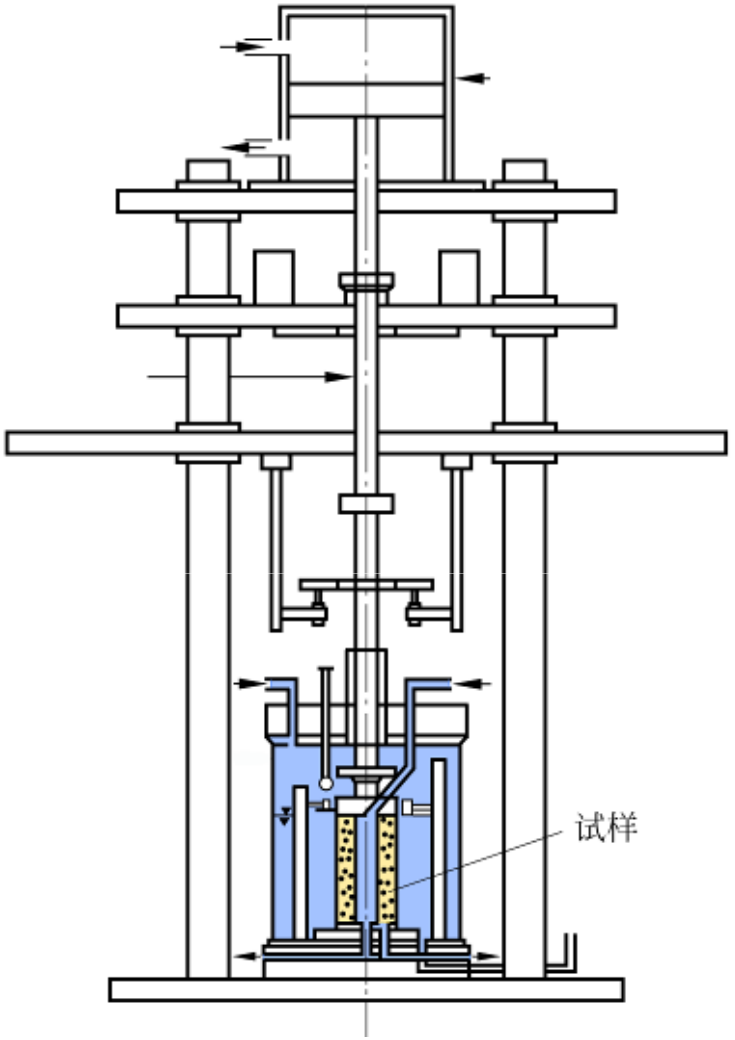
- 一般的应力应变关系：$\varepsilon_{nm}=f(\sigma_{ij})$
- 变化六个应力变量（σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy},τ_{zy}, τ_{zx}）
- 或者变化三个主应力＋三个方向角
- 目前还没有这样的仪器

主应力方向旋转试验

P16

■ 空心圆柱扭剪仪

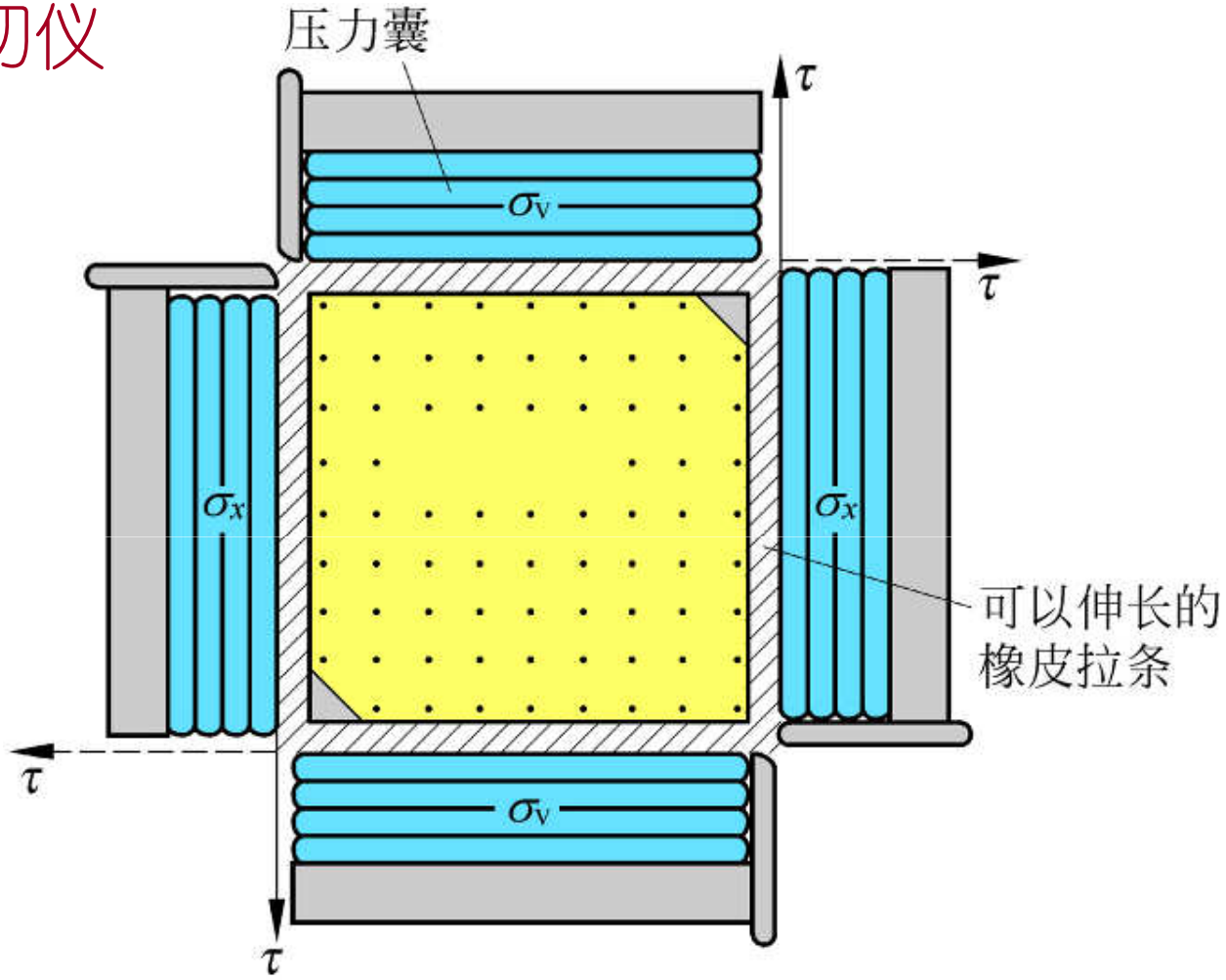




主应力方向旋转试验

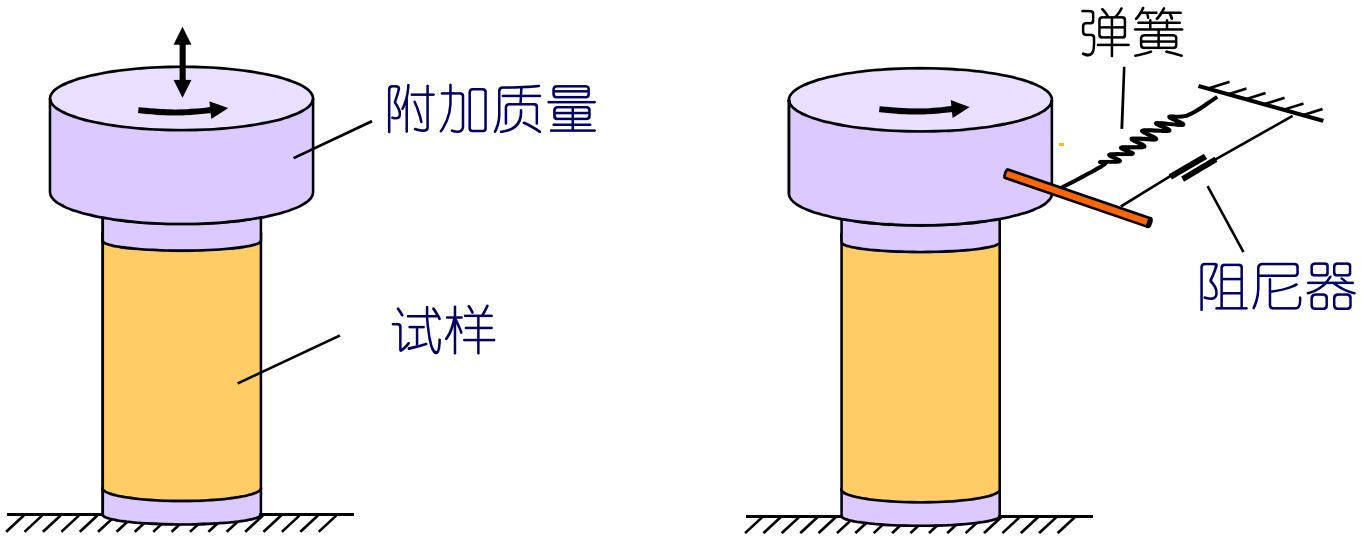
P17

- 方向剪切仪



主应力方向旋转试验

P18 DEL



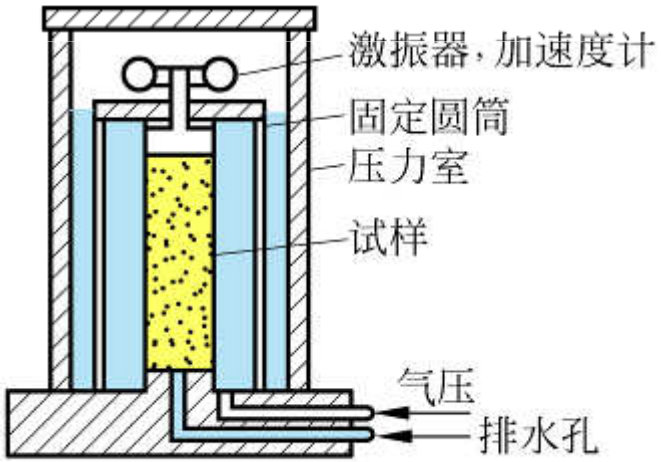
- 激振 ➡共振 ➡弹性模量，剪切模量，阻尼比
- 圆柱形、空心圆柱形；
- 一端固定一端自由；一端固定另一端弹簧或阻尼器

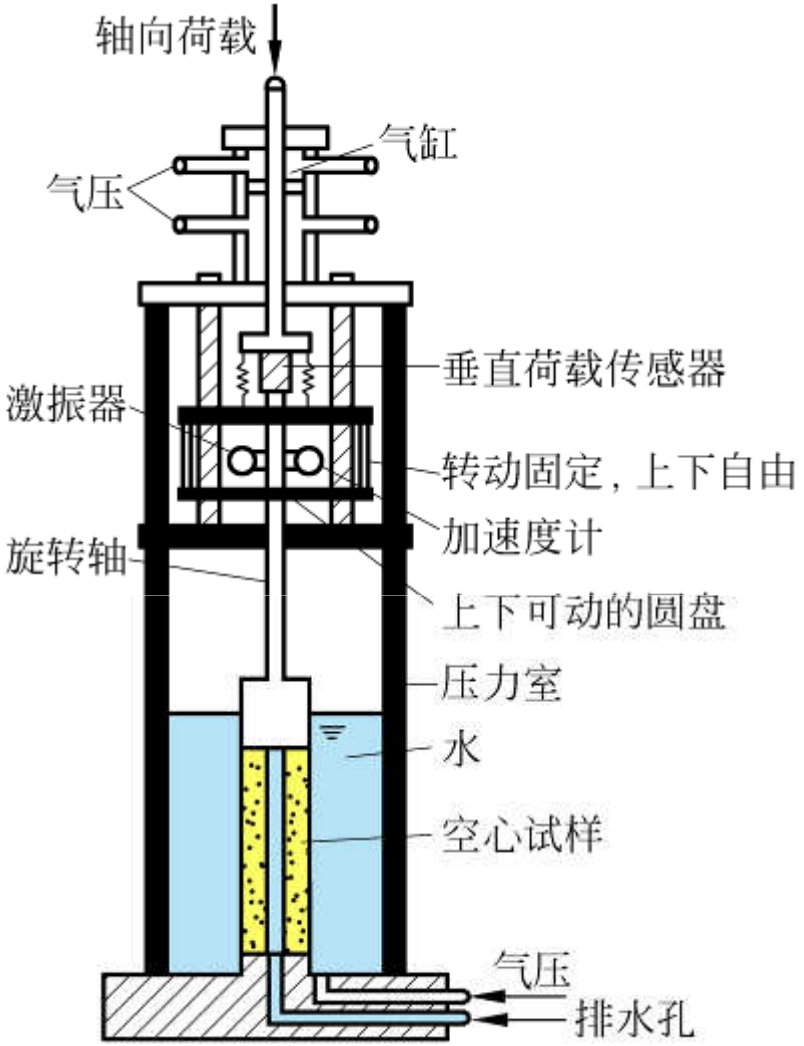
共振柱试验仪

P18

轴向与侧向不等压共振柱

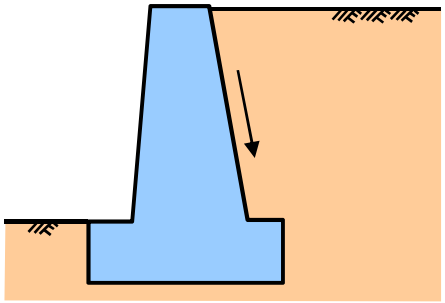
各向等压共振柱



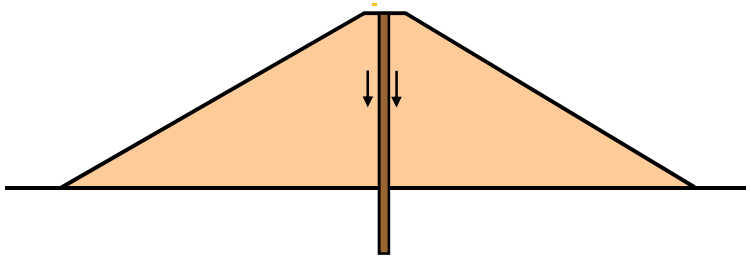


共振柱试验仪

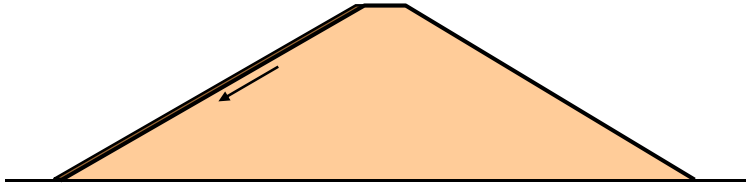
P18



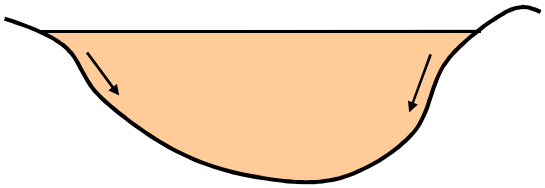
a）挡土墙与土体



b）刚性心墙与坝壳



c）混凝土面板与堆石体



d）坝体与岩石坝肩

接触面试验

接触面试验

❖ 直剪型

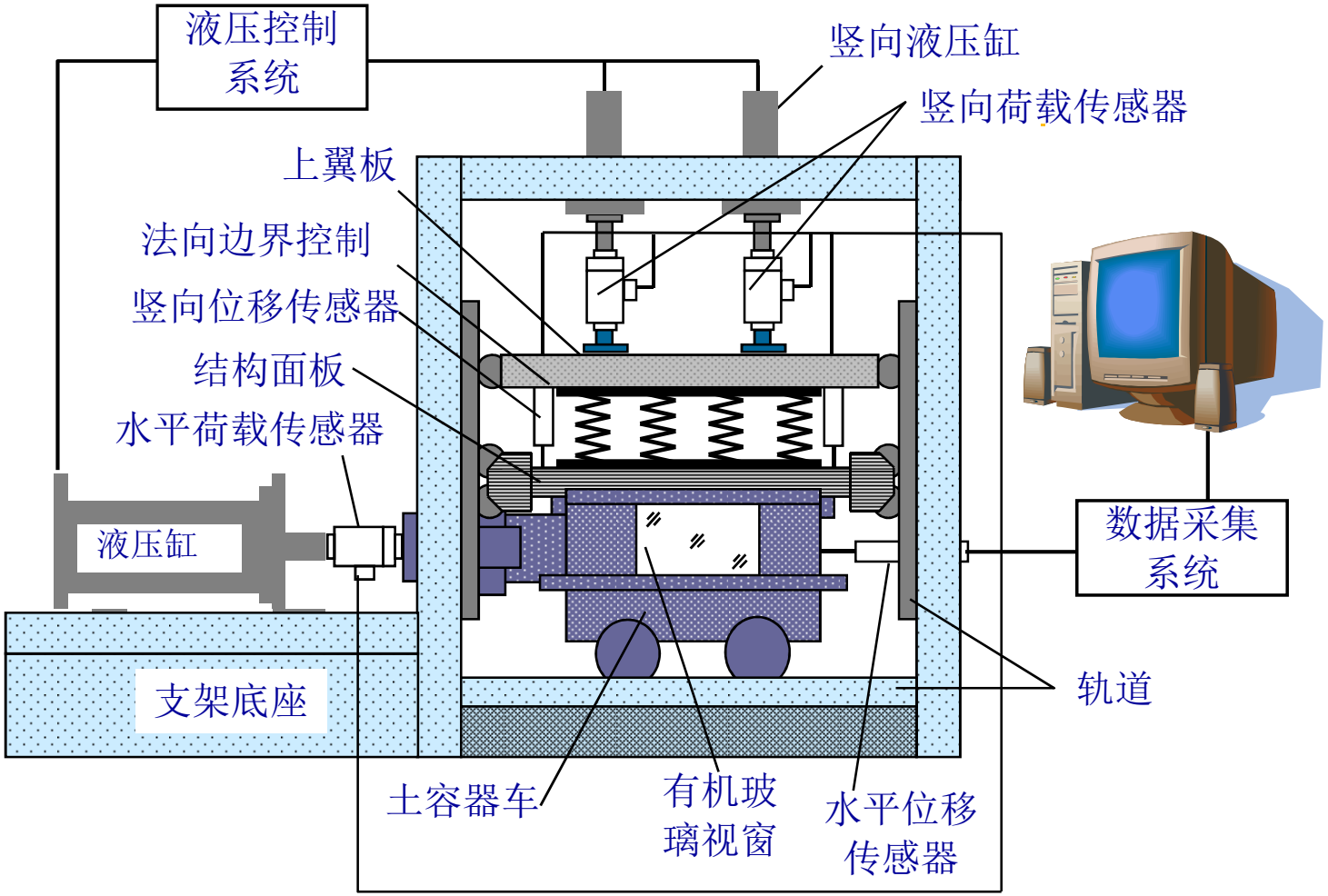
- 应用最为广泛的接触面特性试验仪器
- 最初常由直剪仪改装而成
- 主要缺点之一是限定了固定单一的剪切面

❖ 单剪型

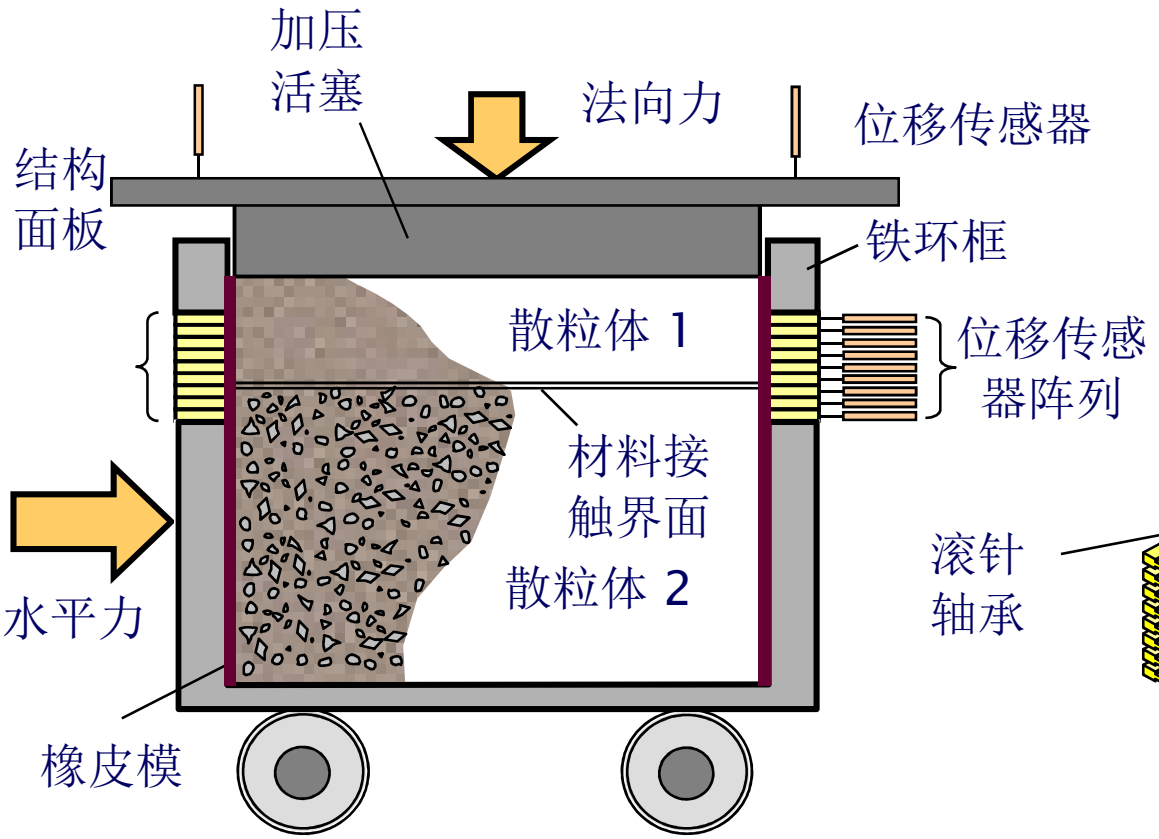
- 具有多个可能的剪切面
- 常采用叠环式

❖ 其它型式

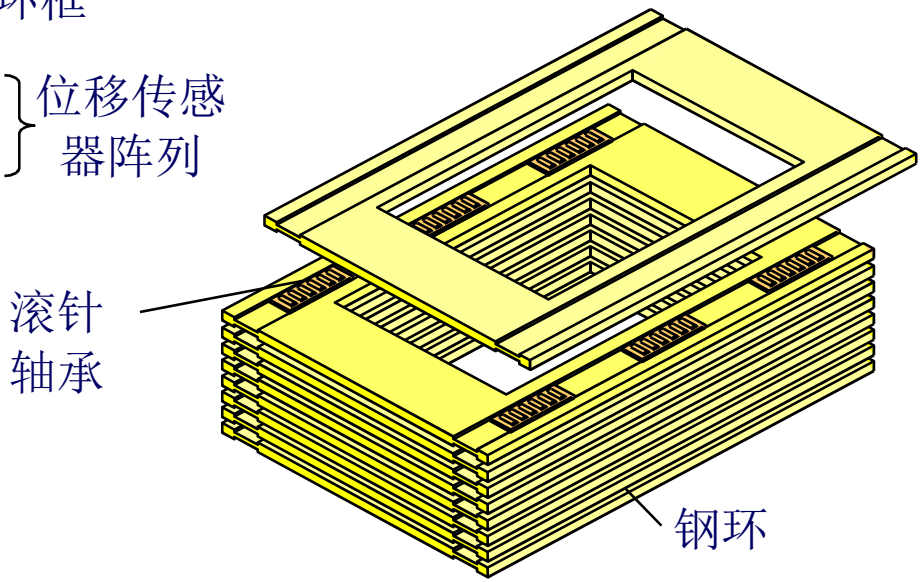
- 环剪仪、扭剪仪、动三轴仪和共振柱仪等也曾被用于接触面力学特性的试验研究



清华大学土与结构接触面循环加载剪切试验机



叠环滚针系统



清华大学单剪接触面试验系统

第一章 土工试验及测试

1.1 室内试验 √

1.2 模型试验

1.3 原位测试与现场观测

1.4 试验的检验与验证

P19

☞ 1g的试验：

- 小比尺模型试验
- 足尺试验（n=1）

☞ ng的模型试验：

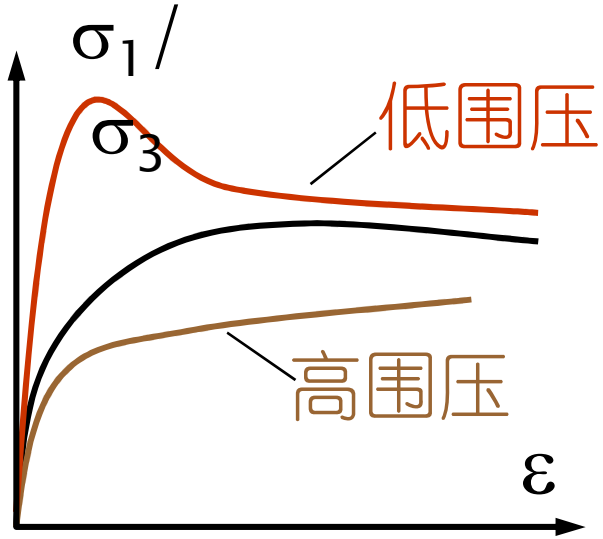
- 离心机模型试验
- 渗水力模型试验

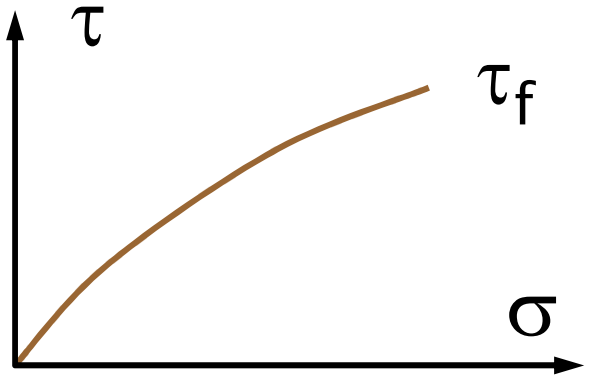
土工模型试验

1g的小比尺试验

- 容易，经济
- 不能定量

- 应力应变关系非线性
- 强度非线性
- 低围压下的剪胀性
- 粘聚力无法模拟
- 低围压下确定参数困难





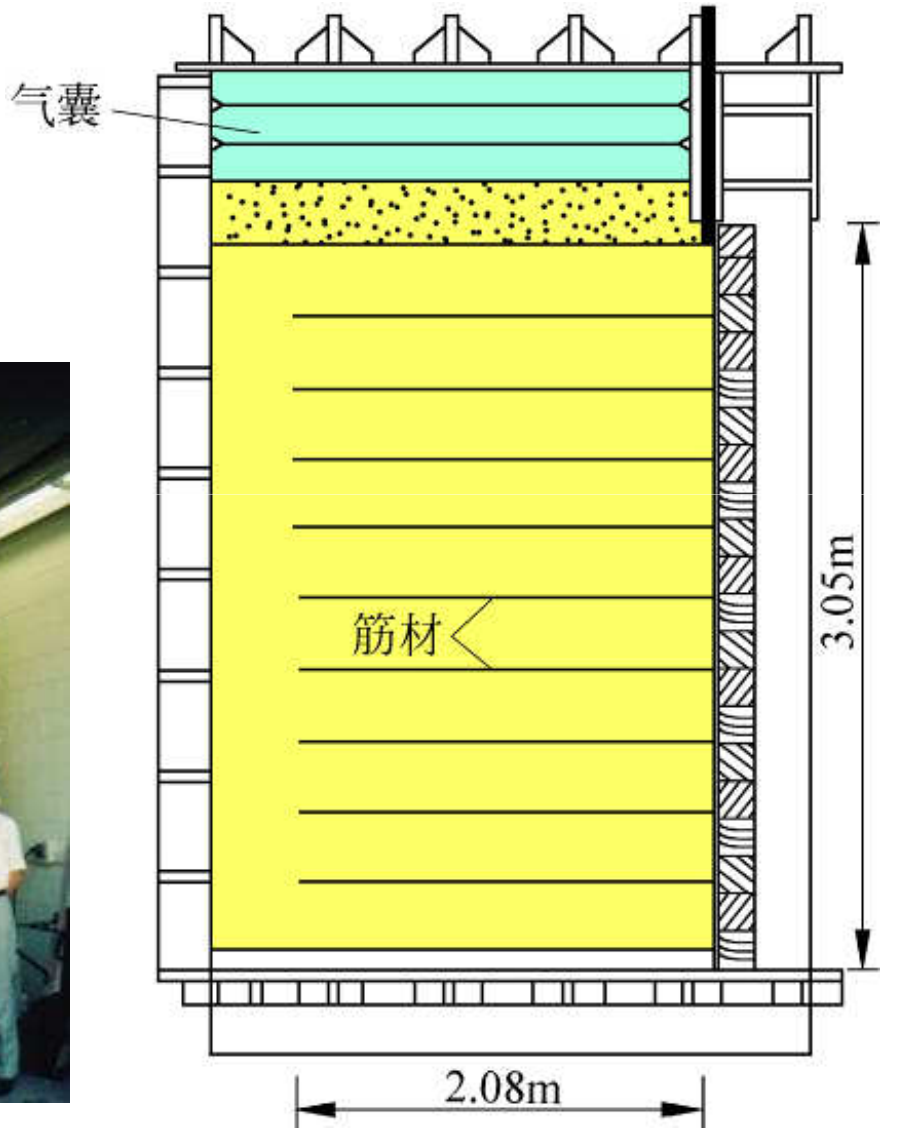
1g土工模型试验

P19

1g足尺试验

- 结果有说服力，
- 资料宝贵
- 造价昂贵：5亿美元振动台

“丹佛墙”



■土工离心机模型试验（Centrifuge）

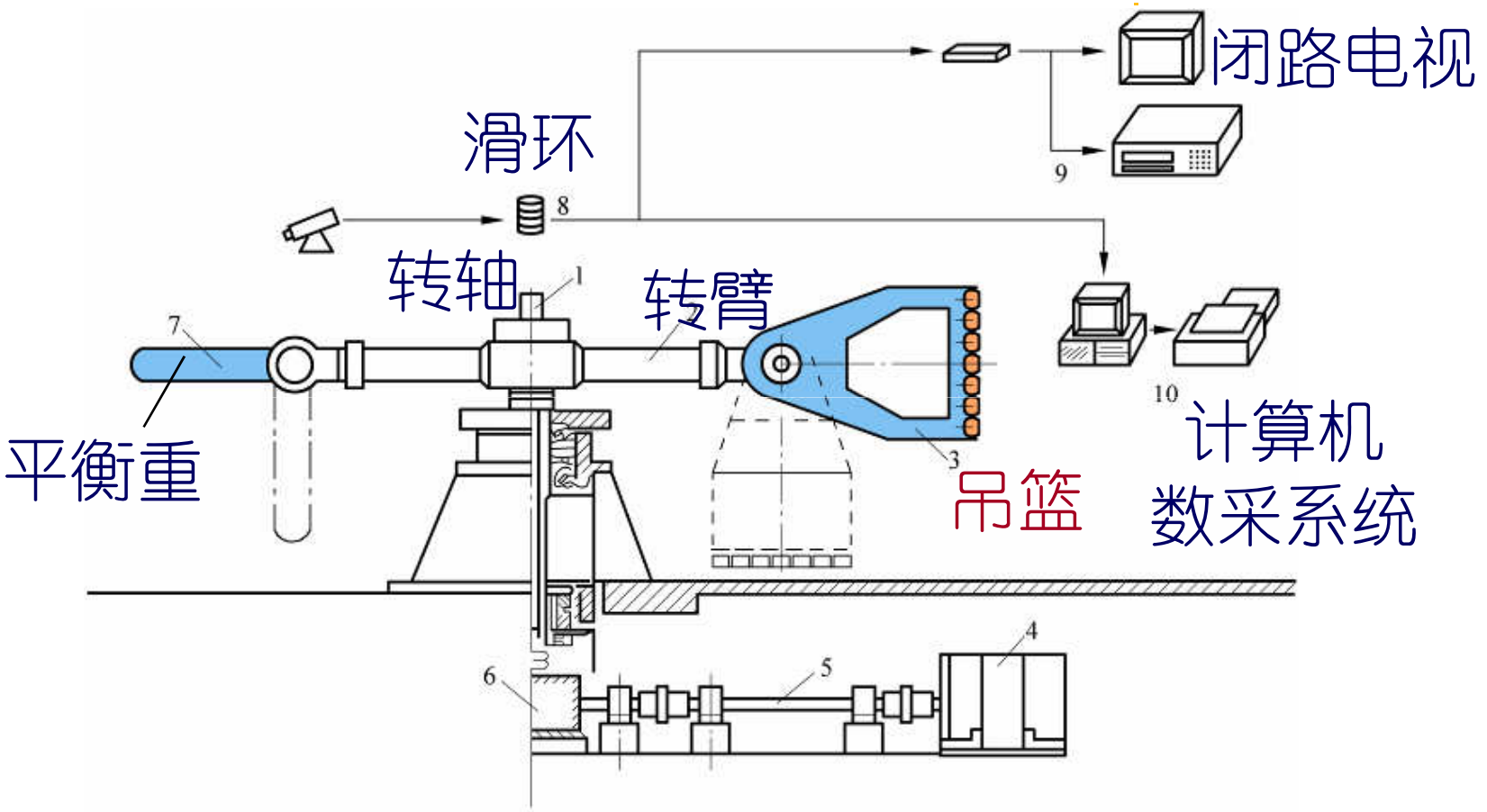
离心力模拟重力，使模型内的应力和应变条件同现场一致

- ☞ 优点：应力应变相等；变形相似；破坏机理及现象相同
- ☞ 缺点：应力场不均匀；材料模拟：土颗粒、薄板片；比尺的不一致；有时边界条件难以模拟
- ☞ 发展：固结、入桩、冻土、基坑开挖、坝体填筑、地震、降雨、喷锚....

ng土工模型试验

P20

■土工离心机模型试验（Centrifuge）



ng土工模型试验

P21

- 清华大学50gT土工离心机和振动台

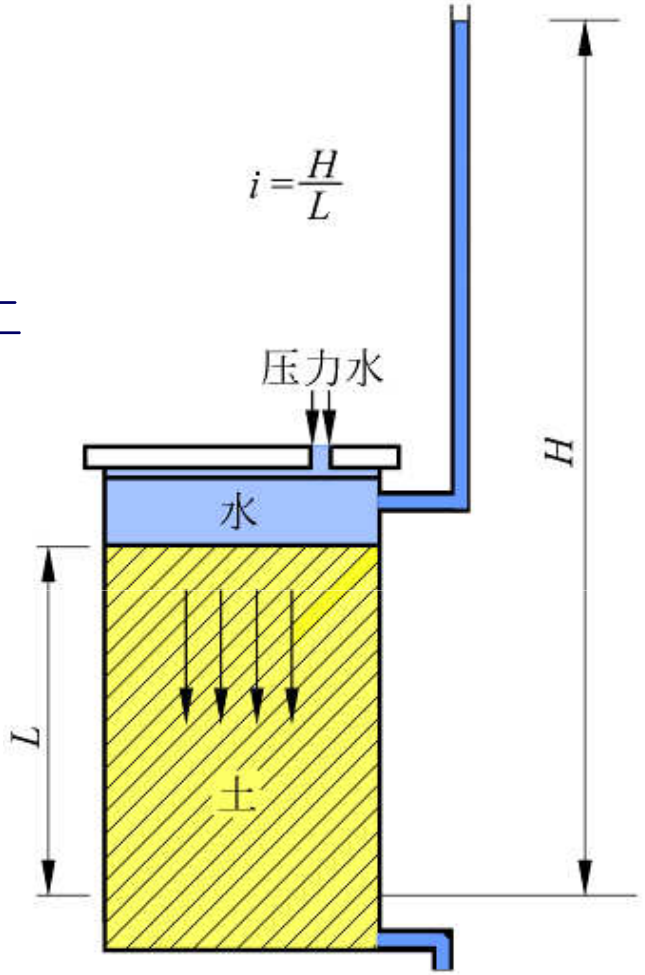
ng土工模型试验

土离心机试验中的比尺因素

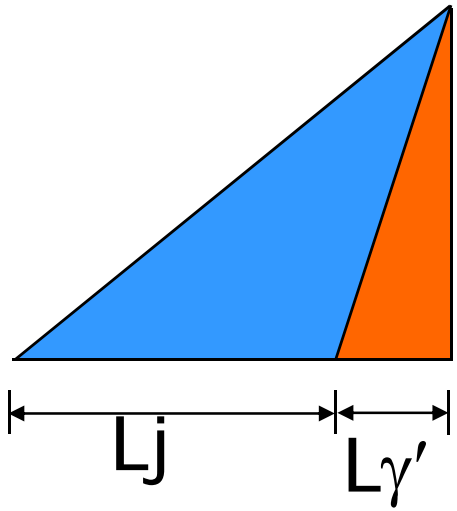
序号	变量	符号	无量纲数	模型率	比尺因素
1	加速度	a		$N_a=$	n
2	模型长度	l		$N_l=$	1/n
3	土密度	ρ		$N_\rho=$	1
4	颗粒尺寸	d	d/l	$N_d=$	1
5	孔隙比	e	e	$N_e=$	1
6	饱和度	S_r	S_r	$N_s=$	1
7	液体密度	ρ_l	ρ_l/ρ	$N_{\rho l}=N_\rho=$	1
8a	表面张力	σ_t	$\sigma_t/(\rho adl)$	$N_{\sigma t}=N_\rho N_a N_d N_l=$	1
8b	毛细管高度	h_c	$h_c\rho_l ad/\sigma_t$	$N_c=N_\sigma N_\rho^{-1} N_a^{-1} N_d^{-1}=$	1/n
9a	粘滞性	η	$\eta/(\rho_l d\sqrt{\bar{d}l})$	$N_\eta=N_\rho N_d N_a^{1/2} N_l^{1/2}=$	1
9b	渗透性	k	$k\eta/(d^2\rho a)$	$N_k=N_d^2 N_\rho N_a N_\eta^{-1}=$	n
10	颗粒摩擦力	ϕ	ϕ	$N_\phi=$	1
11	颗粒强度	σ_c	$\sigma_c/(\rho al)$	$N_\sigma=N_\rho N_a N_l=$	1
12	粘聚力	c	$c/(\rho al)$	$N_c=N_\rho N_a N_l=$	1
13	压缩性	E	$E/(\rho al)$	$N_E=N_\rho N_a N_l=$	1
14	时间：惯性	t_1	$t\sqrt{a/l}$	$N_t=N_a^{-1/2}N_l^{1/2}=$	1/n
15	时间：层流	t_2	$t\sqrt{k/l}$	$N_t=N_l N_k^{-1}=$	$1/n^2$
16	时间：蠕变	t_3		$N_t=$	1

■ 渗水力模型试验

- ☞ 优点：方便，经济，简单
- ☞ 缺点：土的限制，地面齐平，饱和土
- ☞ 应用：浅基础，单桩，动力实验



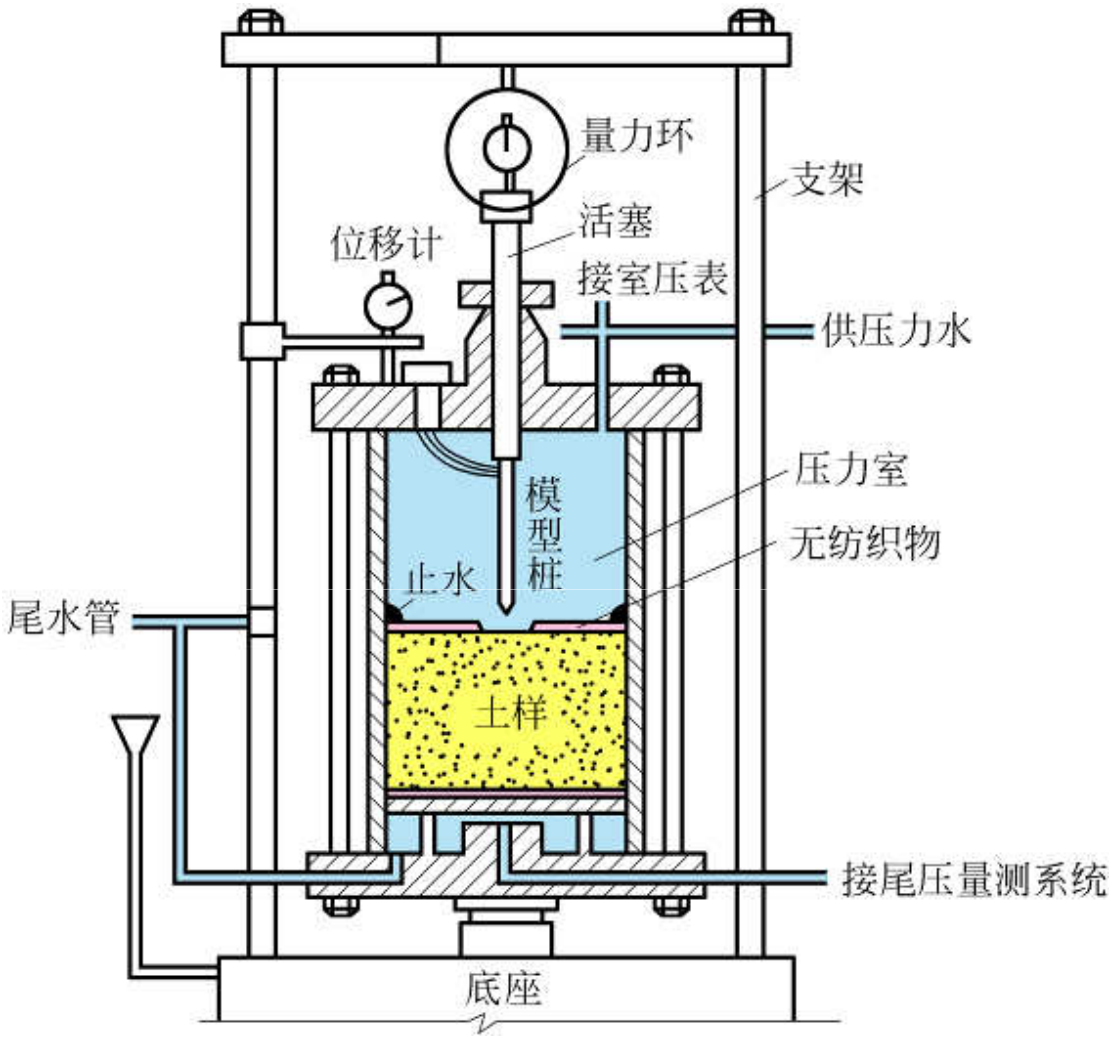
$$n=\frac{ng}{g}=\frac{j+\gamma'}{\gamma'}$$
$$=\frac{i\gamma_w}{\gamma'}+1\approx i+1$$



ng土工模型试验

P23

渗水力模型试验



ng土工模型试验

P23

第一章 土工试验及测试

1.1 室内试验 √

1.2 模型试验 √

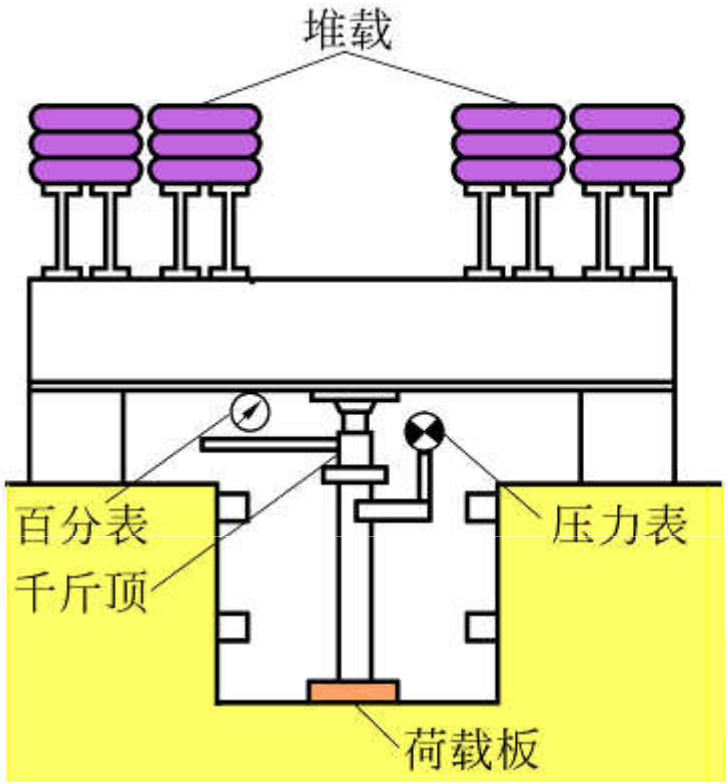
1.3 原位测试与现场观测

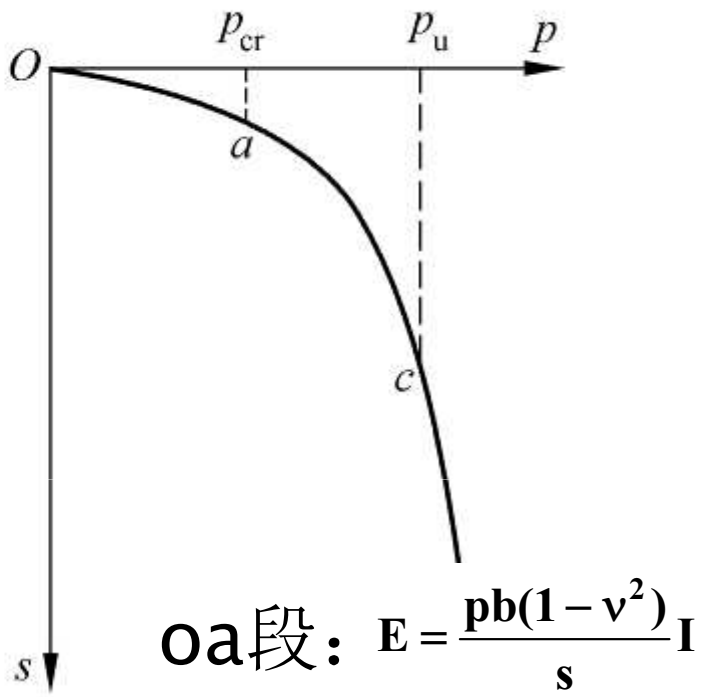
1.4 试验的检验与验证

P24

- 平板载荷试验
- 静力触探
- 动力触探
- 十字板剪切试验
- 旁压试验
- 螺旋载荷板（SPC）与钻孔剪切仪（BST）
- 物探试验
- 原型观测

原位测试与现场观测





oa段：$E = \frac{pb(1-\nu^2)}{s} I$

Plate Loading Test

平板载荷试验

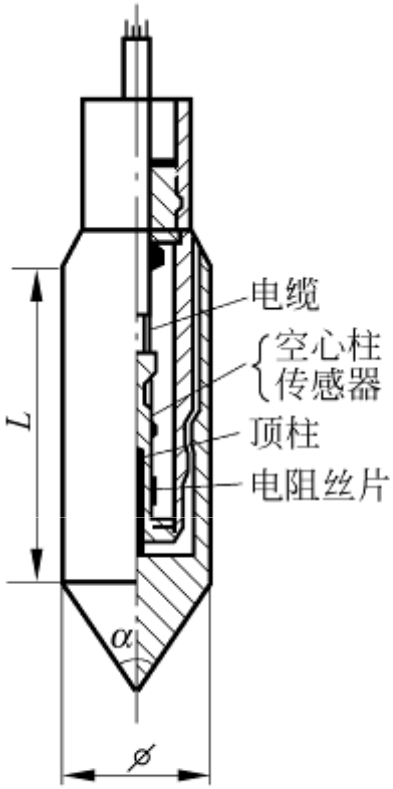
P24

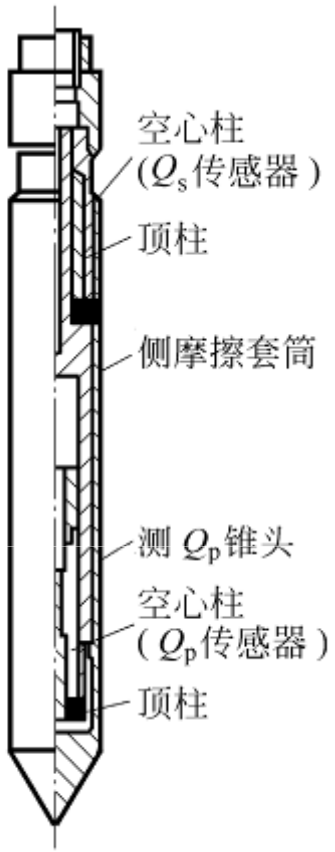
糯扎渡现场碾压
平板载荷试验

平板载荷试验

P24

- 将金属探头用静力压入土中，通过测定探头所受阻力，分析确定土的某些定量指标。如砂土的密实度、粘土的不排水强度等
- 单桥探头：测定总阻力
  双桥探头：分别测定锥底和侧壁阻力





Static Sounding（Static Cone Penetration Test）

静力触探

P25

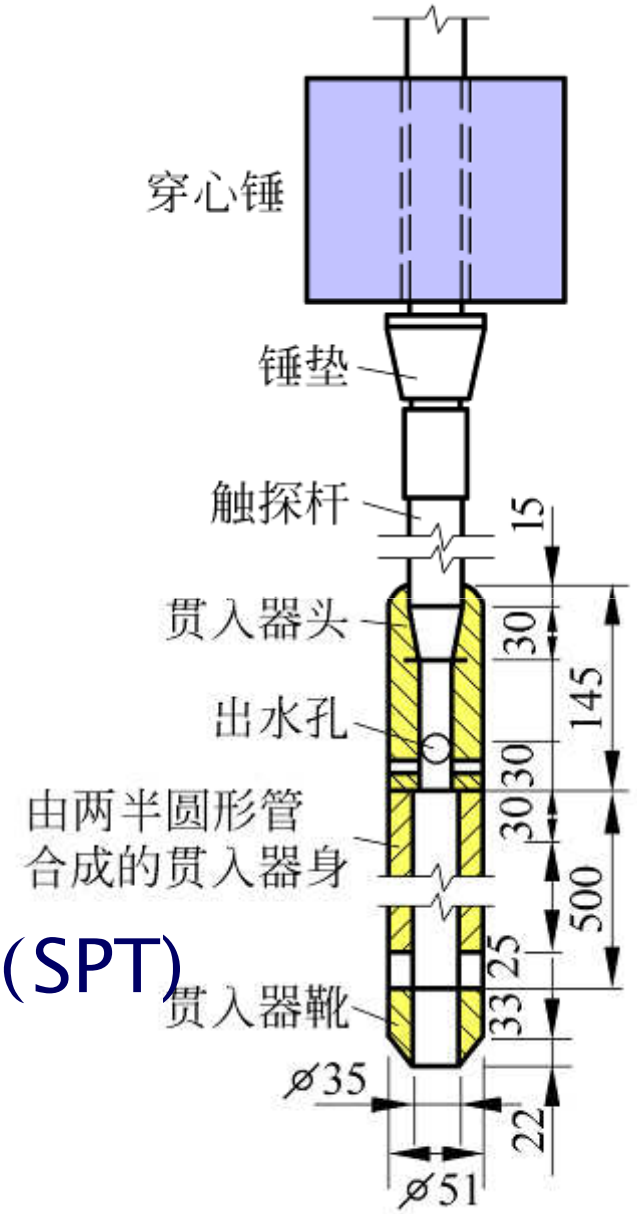
- 动力触探是用一定重量的击锤，从规定高度自由落下，击打插入土中的探头，测定使探头贯入土中一定深度所需要的击数。以此确定被测土的物理力学性质。按使用土层不同可分为：
  - ☞ 标准贯入试验
  - ☞ 轻型触探试验
  - ☞ 重型触探试验

Dynamic Penetration Test

动力触探

P26

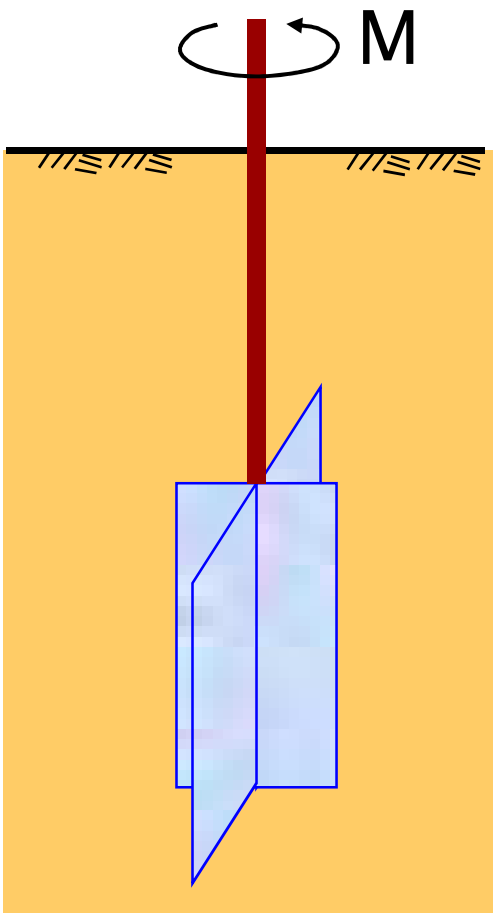
- 适用于一般粘性土和砂土地基
- 击锤质量为63.5kg，落距76cm
- 以探头贯入30cm的击数N为贯入指标
- 用以判断砂土的密实度、饱和砂土的液化可能性和地基的承载力等

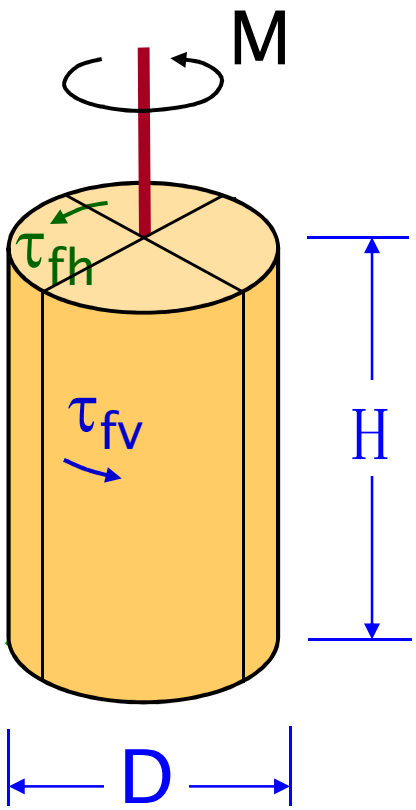


Standard Penetration Test（SPT）

标准贯入试验

P26





假定土体为各向同性，$\tau_{fh}=\tau_{fv}=\tau_f$：

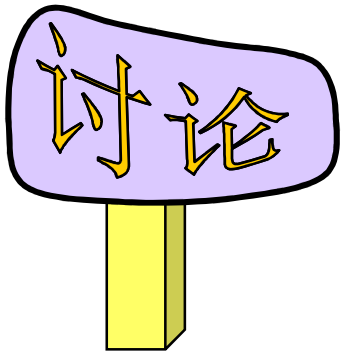
$$\tau_f=\frac{M_{max}}{\frac{\pi D^2}{2}\left(\frac{D}{3}+H\right)}$$

对饱和软粘土，τ_f相当于不排水强度c_u

Vane Shear Test （VST）

十字板剪切试验

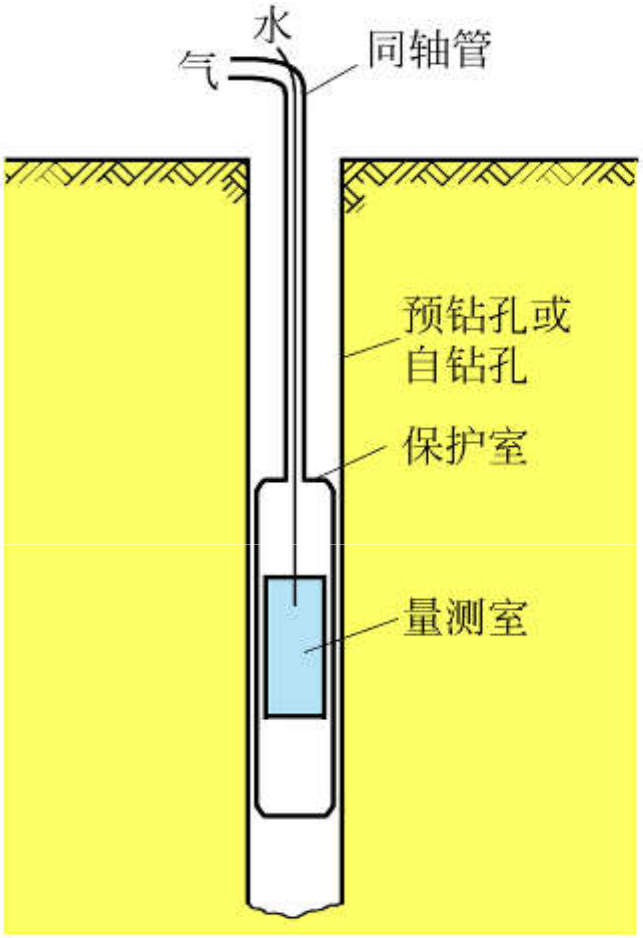
P27



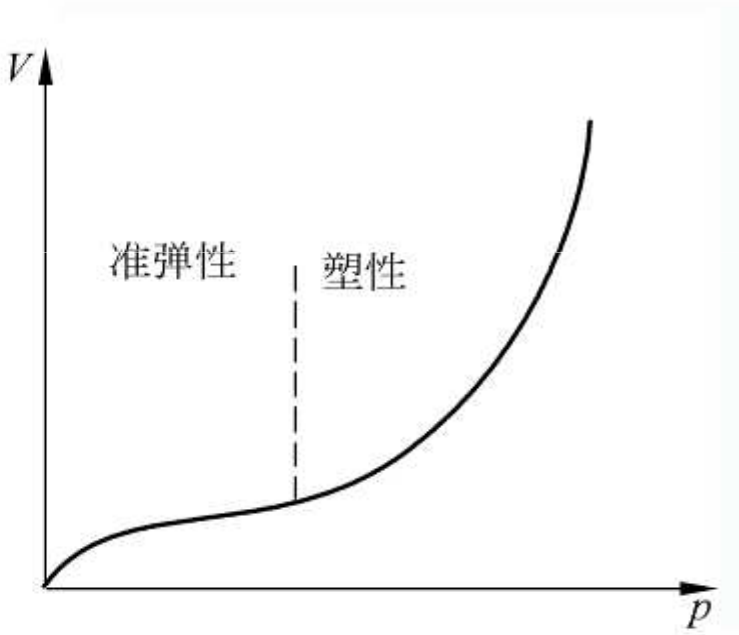
☞ 在软粘土地基中，十字板剪切试验是测定现场土体强度指标的常用方法。经勘查，某工程的地基为饱和正常固结粘土层，为了测定该土层的现场强度指标，进行了现场十字板剪切试验，由于该土层已经在其自重应力下固结，所以试验得到的应是固结不排水强度指标。

十字板剪切试验

P27

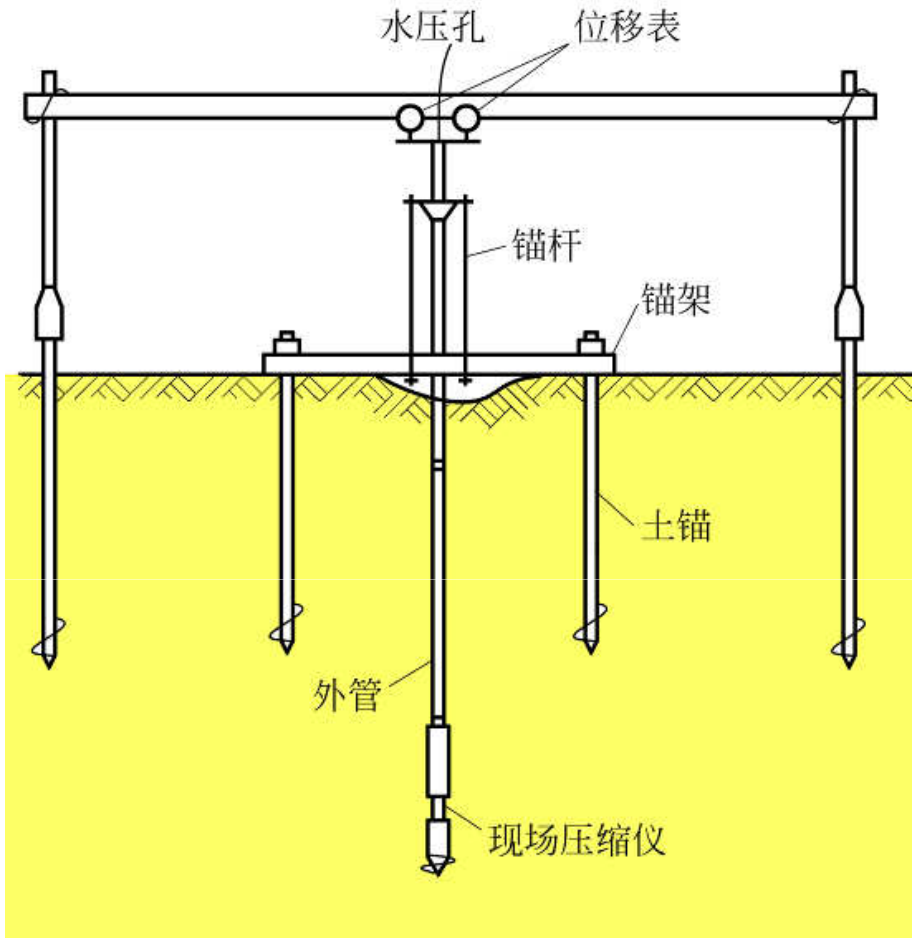


将圆柱形探头插入地基土中，在探头的空腔中加压力水，量测施加压力p与探头体积v间的关系



旁压试验 Pressuremeter

P28

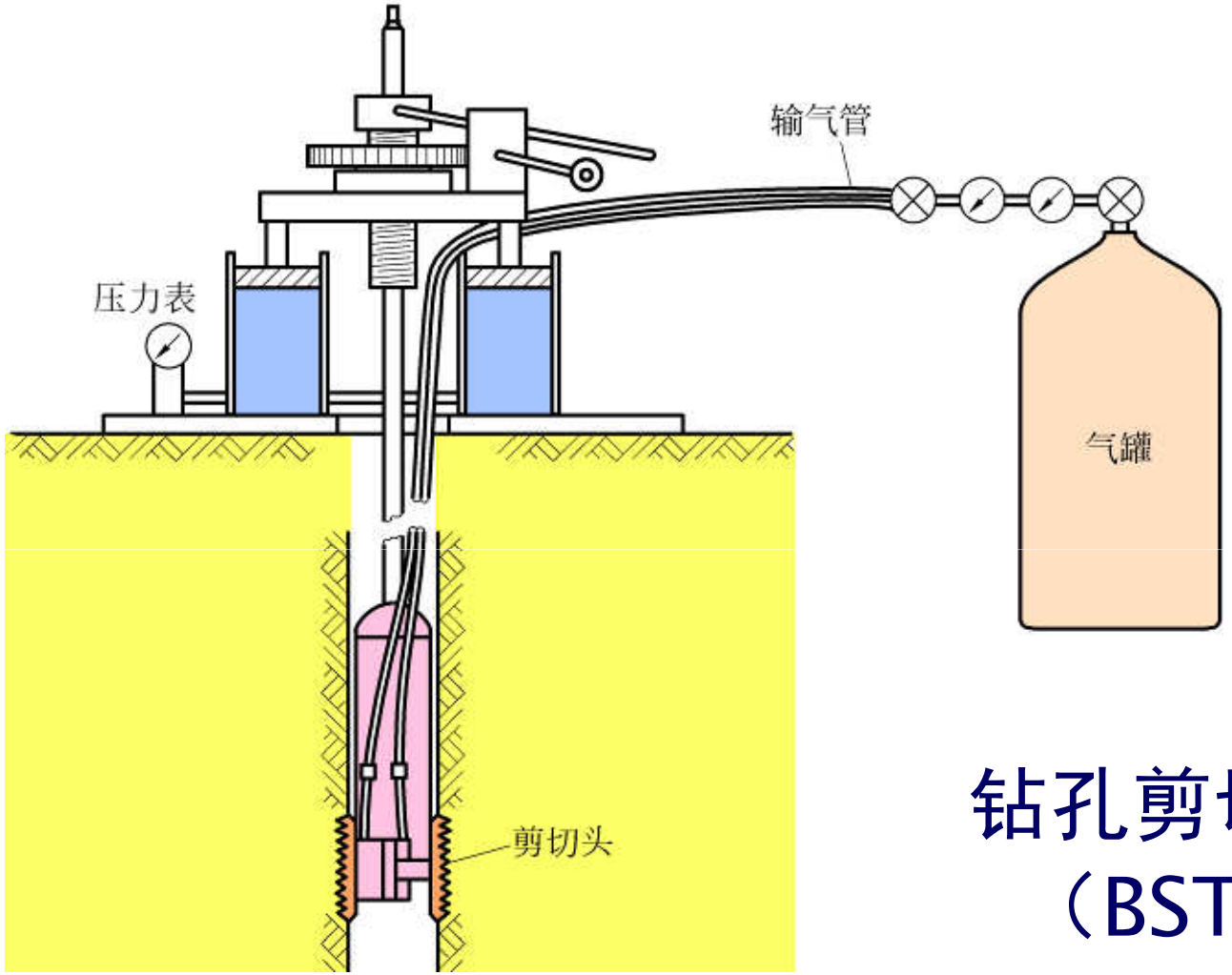


螺旋载荷板

Screw Plate Compressometer

螺旋板压缩试验（SPC）

P29



钻孔剪切仪（BST）

Iowa Borehole Shear Test

P29

- 弹性波
- 声波
- 探地雷达
- 电磁法
- 放射性勘测

主要用于土层勘察，地质缺陷的探察和土层性质的检测

物探试验

项目

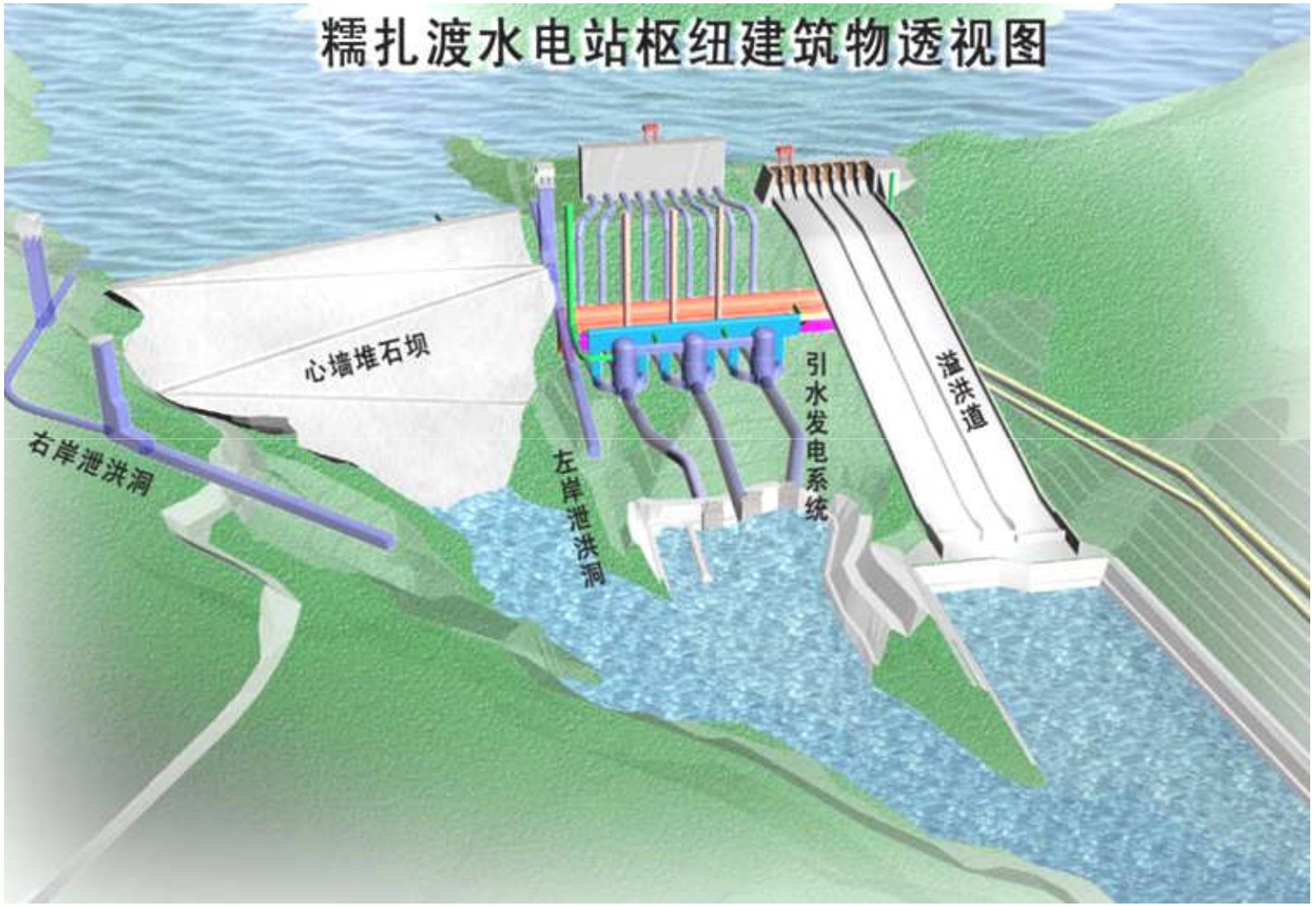
- 变形、位移观测
- 孔隙水压力监测
- 土压力
- 结构上的应变和应力等

手段

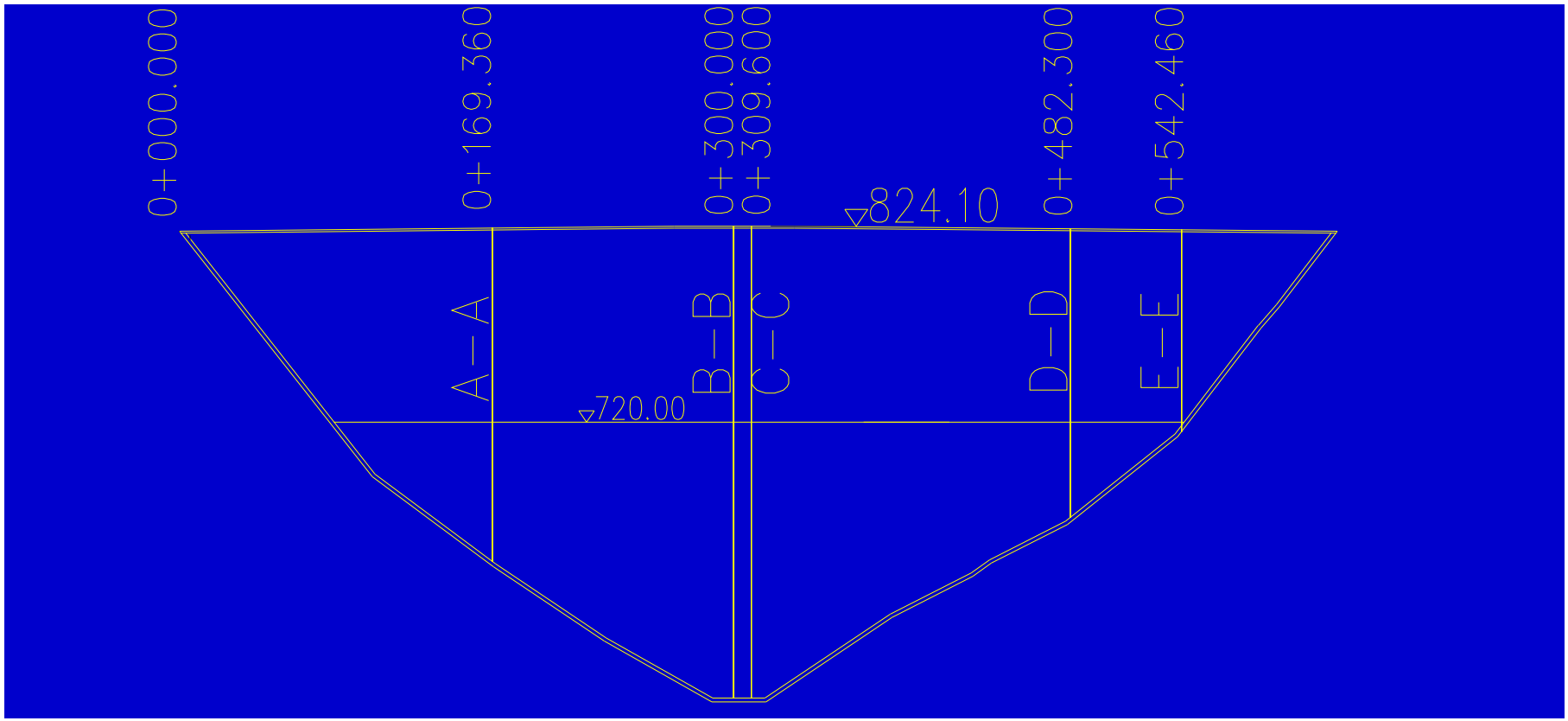
- 地面观测仪器
- 孔压传感器
- 分层沉降仪和测斜仪
- 土压力盒
- 物理勘探手段
- 全球卫星定位系统（GPS）
- 地理信息系统（GIS）等

现场及原型观测

P30


糯扎渡水电站枢纽建筑物透视图
心墙堆石坝
右岸泄洪洞
左岸泄洪洞
引水发电系统
溢洪道

糯扎渡高心墙堆石坝监测仪器布置



糯扎渡高心墙堆石坝监测仪器布置

断面	断面桩号	断面特性	内部变形监测仪器					
			测斜仪	横梁式沉降仪	电磁沉降仪	水管式沉降仪	弦式沉降仪	引张线式水平位移计
			心墙	心墙	心墙	下游堆石	上游堆石	下游堆石
A-A	0+169.360	左岸代表断面	√		√	√		√
B-B	0+300.000	最大坝高断面	√	√				
C-C	0+309.600	最大坝高断面	√		√	√	√	√
D-D	0+482.300	右岸代表断面	√		√	√		√

第一章 土工试验及测试

1.1 室内试验 √

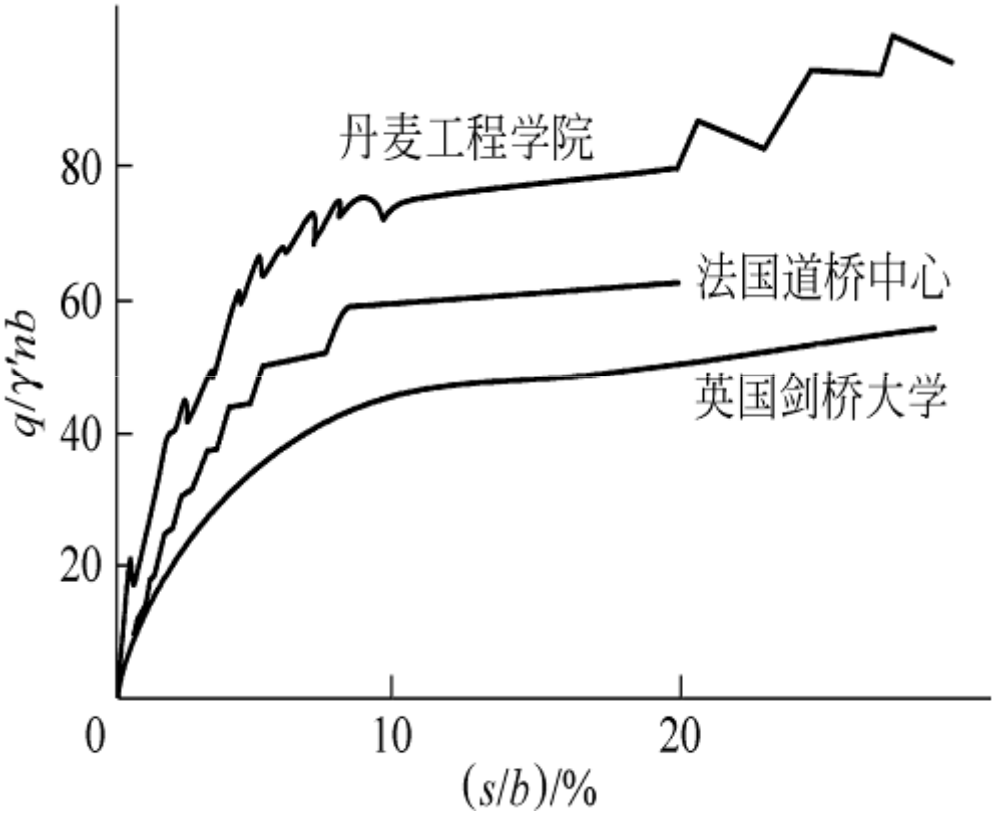
1.2 模型试验 √

1.3 原位测试与现场观测 √

1.4 试验的检验与验证

- 欧共同体“土工离心机的联合试验”（1986年）

模拟饱和砂土地基上的圆形浅基础的承载力和荷载－沉降关系



试验的检验与验证

P30

验证本构模型的试验

- 求取参数以外的复杂条件试验
- 离心模型试验
- 现场试验
- ……

试验的检验与验证

教学环节 ：讲课+习题课（34学时）

课程的安排和要求

考核及成绩：

95% (平时作业)

5% (平时表现)

课程要求：

- 必须出席
- 积极参加课堂讨论
- 独立按时完成作业。抄袭、迟交或不认真完成者在平时成绩中扣分。为鼓励个人独立完成，作业允许出错。

答疑安排：

1. 课前课后教室答疑
2. 根据要求，安排集中答疑

QQ :2231020028

Ref: 李广信 高等土力学 第二版 清华大学出版社
2016

该PPT基本源于网络 请尊重原著者的版权!

The end

文件名格式：班级 学号 姓名 简略实验名称
邮件标题同文件名
Any questions please 发送至
xingzhengwu@163.com