



《高等基础工程》

主讲人：翟钱

東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

联系方式：zhaiqian@seu.edu.cn

目录



- 01 | 绪论
- 02 | 地基模型
- 03 | 地质勘察
- 04 | 浅基础承载机理与设计
- 05 | 桩基础承载机理与设计
- 06 | 沉井、沉箱与地下连续墙基础
- 07 | 新型基础形式
- 08 | 基础检测与检测技术



地质勘察

小节



01 | **地质勘察的目的**

02 | **地质勘察的手段**

03 | **基于地勘的经验模型**

04 | **本章小结**



地质勘察的目的

- 详细查明拟建场地范围内地基土的类别、地层特征及分布规律，查明各图层的物理力学性能指标，提供各层土的地基承载力特征值及压缩模量；
- 查明地下水的类型、埋藏条件及其变化幅度，评价地下水对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋以及钢结构的腐蚀性；
- 划分场地土类别和场地类别，提供与抗震设计有关的地震参数，判别场区内饱和粉土及砂土的地震液化情况。



地质勘察的目的

- 分析、论证地基基础方案的可行性，提供合理的地基处理方案，推荐可能采用的桩基计算参数，并估算单桩承载力；
- 查明埋藏的河道、沟浜、墓穴等对工程不利的埋藏物。查明在工程施工过程中可能出现的不良地质作用的类型、成因、分布范围、发展趋势和危害程度，提出整治方案的建议；
- 对该地质勘察区域提出岩土工程的分析及建议。



地质勘察报告主要内容

- 工程概况；
- 场地地形、地貌；
- 勘察技术要求及依据；
- 地基土的组成及特征；
- 地下水概况；
- 场地及地震效应；
- 岩土工程分析及建议。



地质勘察报告图表：

- 勘探点平面布置图；
- 工程地质剖面图；
- 土工试验成果总表；
- 各土层物理力学性质指标；
- 静探试验成果表；
- 标贯成果统计表；
- 饱和砂（粉）土液化判别表；
- 固结试验 $e-p$ 分层曲线；



地质勘察报告图表：

- 固结试验 e - p 分层曲线；
- 钻孔柱状图；
- 波速测试报告；
- 水质分析报告；
- 化学分析报告。

小节



01 | **地质勘察的目的**

02 | **地质勘察的手段**

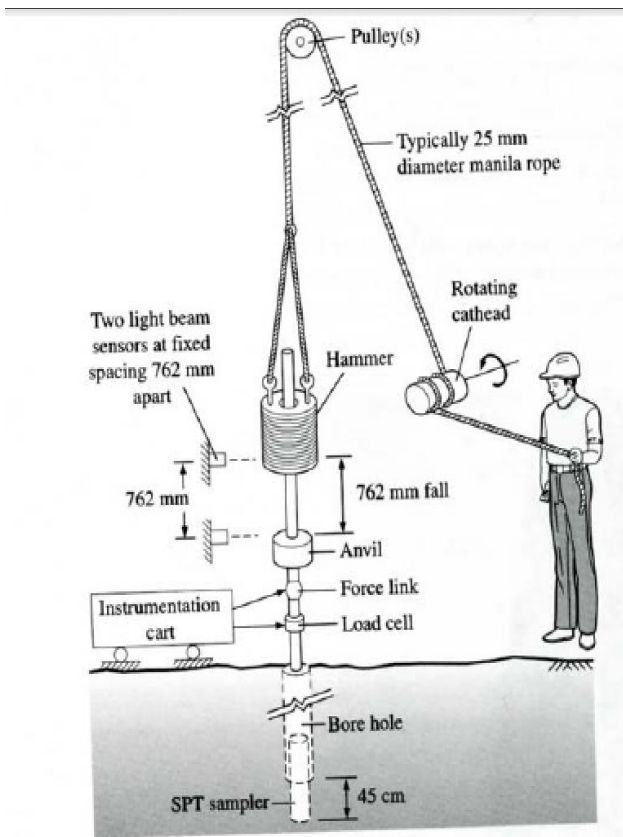
03 | **基于地勘的经验模型**

04 | **本章小结**

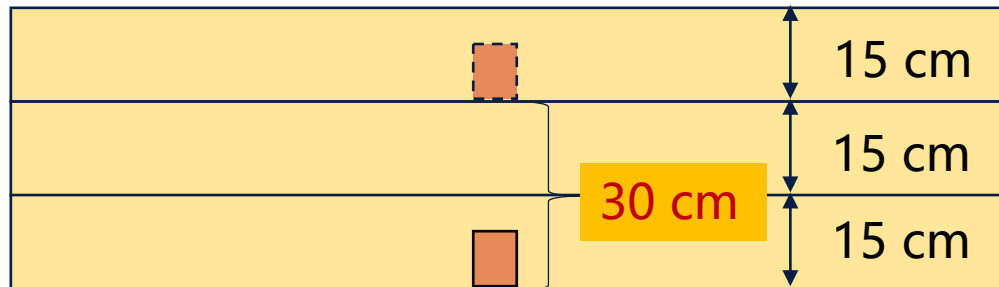


标准贯入试验

Standard Penetration Test, SPT



标准贯入试验是一种在现场用**63.5 kg**的穿心锤，以**76 cm**的落距自由落下，将一定规格的带有小型取土筒的标准贯入器打入土中，记录打入**30 cm**的捶击数（即标准贯入击数N），并以此评价土的工程性质的原位试验。





标准贯入试验优点及适用性

- **适用土层：** 砂性土、粘性土，不适用碎石类土及岩层。
- **缺点：** 试验数据离散型较大，精度较低，对于饱和软粘土远不及十字板剪切试验及静力触探等方法精度高。



标准贯入试验工程应用

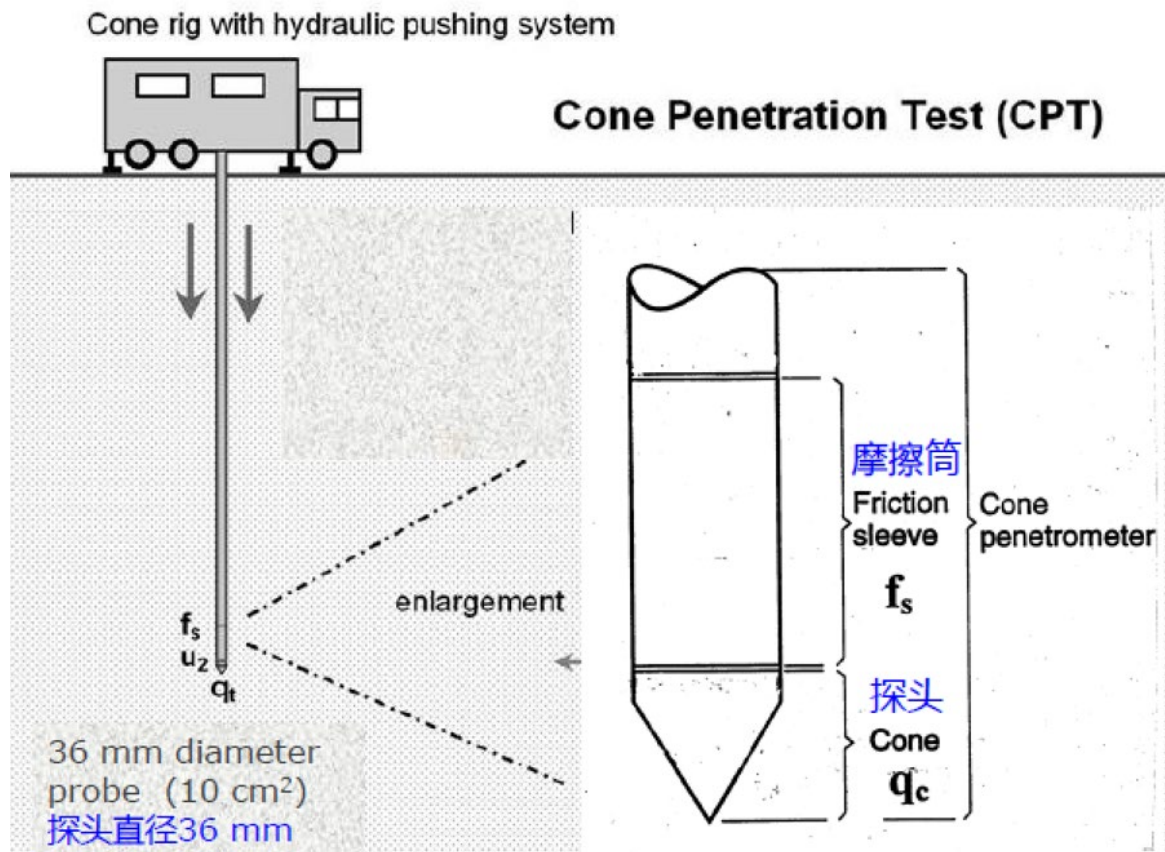
- 评价地基土的物理状态（如底层剖面及软弱夹层）；
- 评价地基土的力学性能参数（如变形模量、物理力学性能指标）；
- 计算天然地基的承载力；
- 计算单桩的极限承载力及选择桩端持力层；
- 评价场地砂土和粉土的液化可能性及等级。

在实际操作过程中，不同地区会根据杆长、上覆压力和地下水位，对标贯N值进行必要修正。



静力触探:

Cone Penetration Test, CPT



静力触探测试简称**静探**，是把具有一定规格的圆锥形探头借助机械匀速压入土中，以测定探头阻力等参数的一种原位测试方法，以此来判断、分析、确定地基土的物理力学性质。

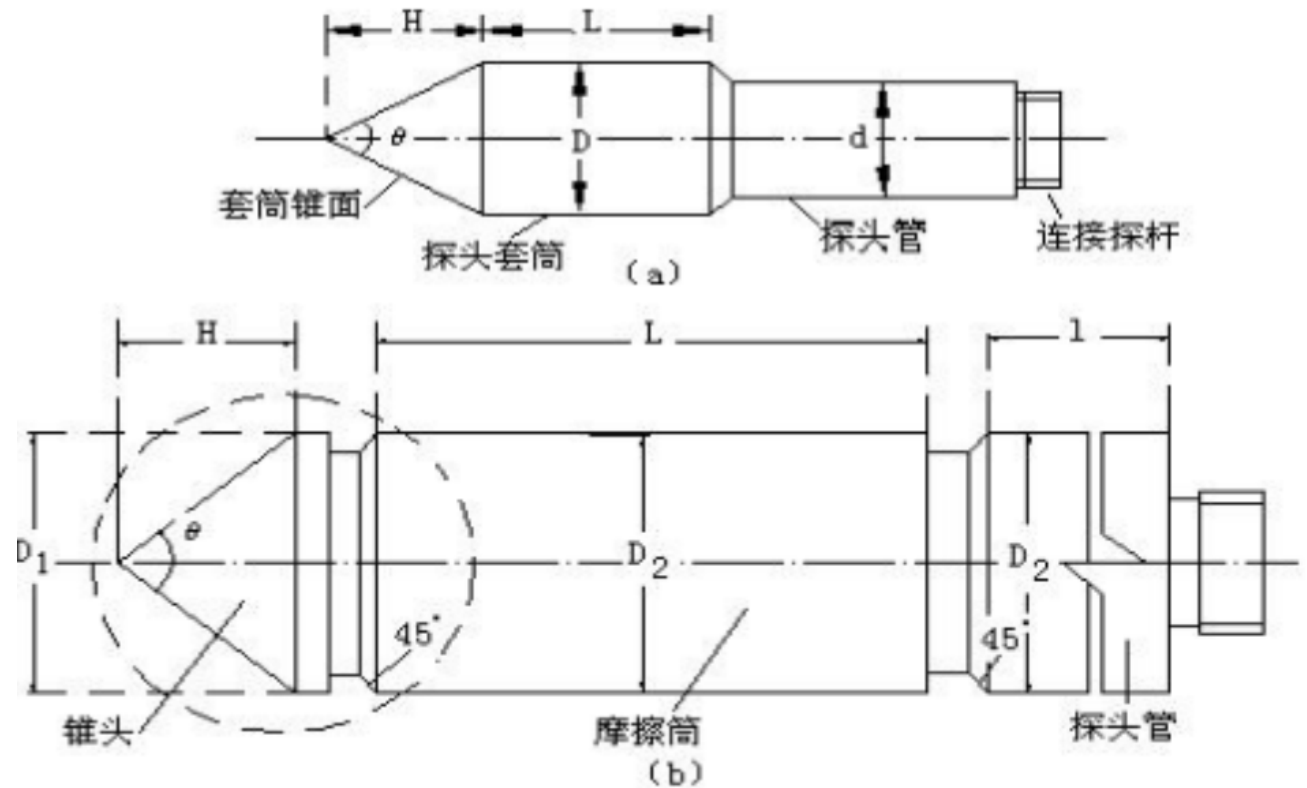


静力触探优点：连续、快速、精确；可以在现场直接测得各土层的贯入阻力指标；掌握各土层原始状态（相对于土层被扰动和应力状态改变而言）下有关物理力学的性质，这对于地基在竖向变化比较复杂，而用其他常规勘探手段不可能大密度取土或测试来查明土的变化；对于饱和砂土、砂质粉土以及高灵敏软粘土层中钻探取样往往不易达到技术要求，或者无法取样的情况；用静力触探连续压入测试，则显出其独特的优越性。

静力触探缺点：不能对土层进行直接的观测、鉴别；由于稳固的反力问题没有解决，测试深度的不能超过80m；对于含碎石、砾石的土层和很密实的沙层一般不适合应用。



常用的静力触探探头分为：
单桥探头和**双桥探头**及**孔压探头**。





单桥探头只能测定一个触探指标—比贯入阻力 p_s ,
$$p_s = \frac{P}{A}$$

双桥探头能同时测出锥尖阻力和侧壁摩阻力。故可用于单桩的模型试验，分别测得单桩桩端承载力和侧壁摩阻力。

锥尖阻力 q_c 和**侧壁摩阻力** f_s 分别定义如下：

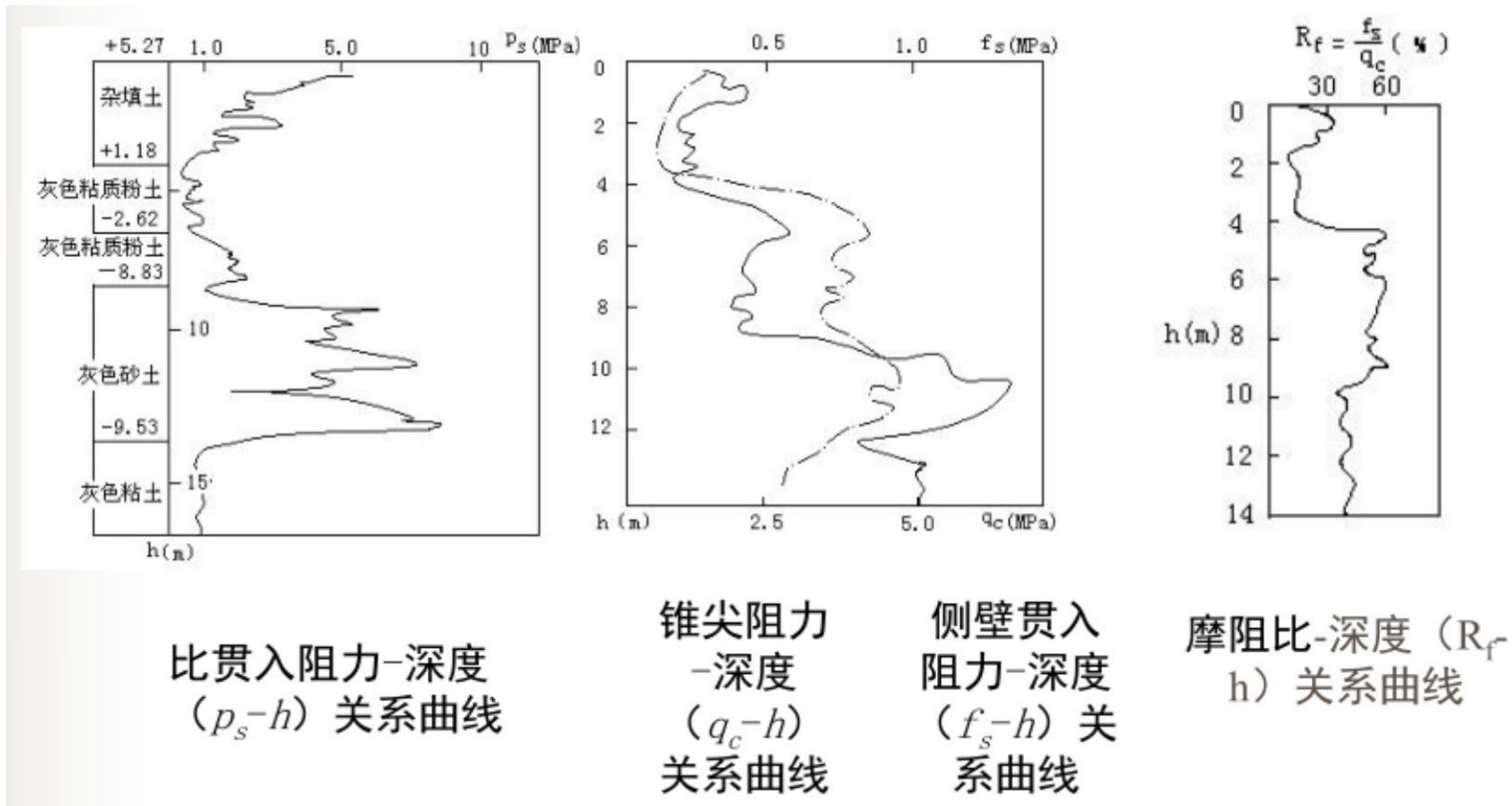
$$q_c = \frac{Q_c}{A}$$

$$f_s = \frac{P_f}{F}$$

在静力触探的整个过程中，探头应均匀、垂直压入土层中，贯入速率一般控制在 **(1.2 ± 0.3) m/min**。静力触探深度记录误差范围一般为 **$\pm 1\%$** 。当贯入深度 **≥ 50 m**时，需校验触探孔的偏斜度，校正土的分层界线。



静力触探主要成果：





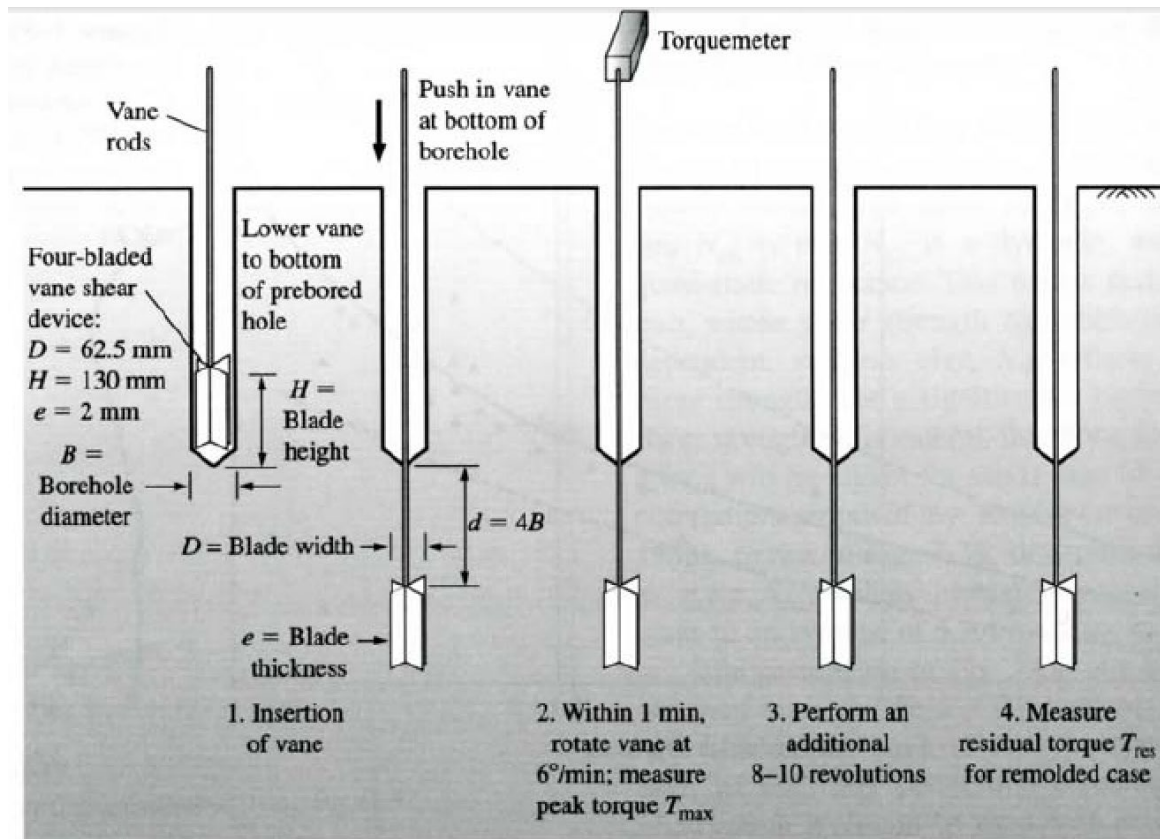
静力触探试验工程应用

- 划分土层界线；
- 评定地基土的强度参数；
- 评定地基土的变形参数；
- 评定地基土的承载力；
- 预估单桩承载力；
- 评价场地砂土和粉土的液化可能性及等级。



十字板剪切试验

Vane Shear Test (VST)

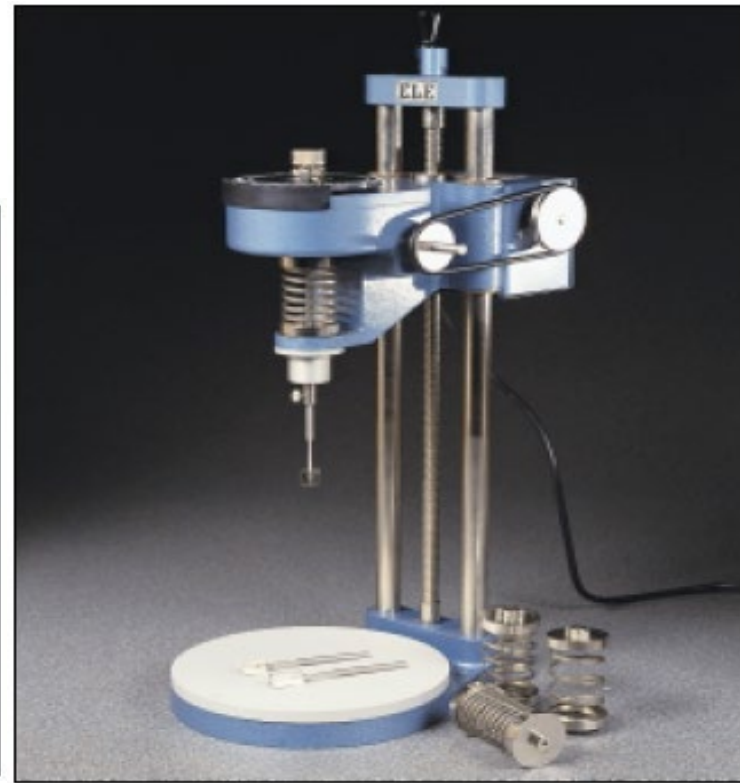
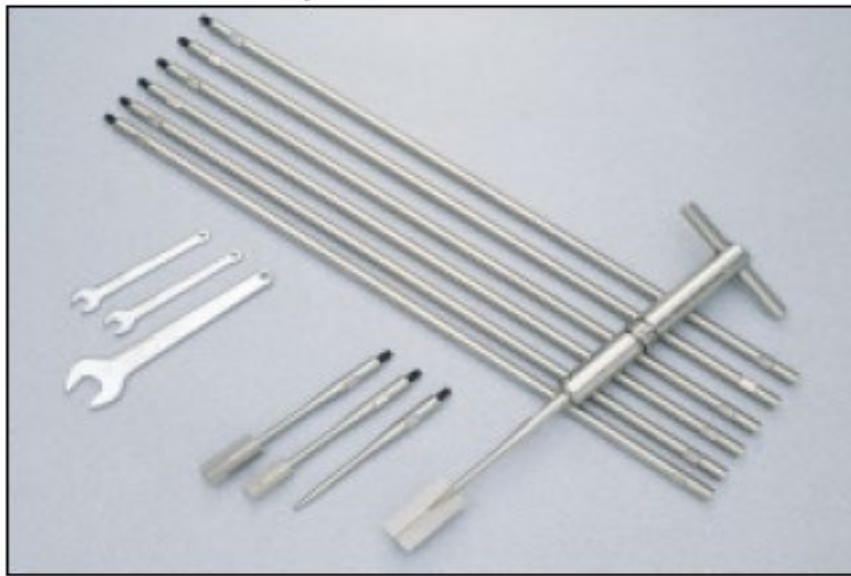


十字板剪切试验是一种通过对插入地中的规定形状和尺寸的十字板头施加扭矩，使十字板头在土体中等速扭转形成圆柱状破坏面，通过换算、评定地基土不排水抗剪强度的现场试验。



十字板剪切试验

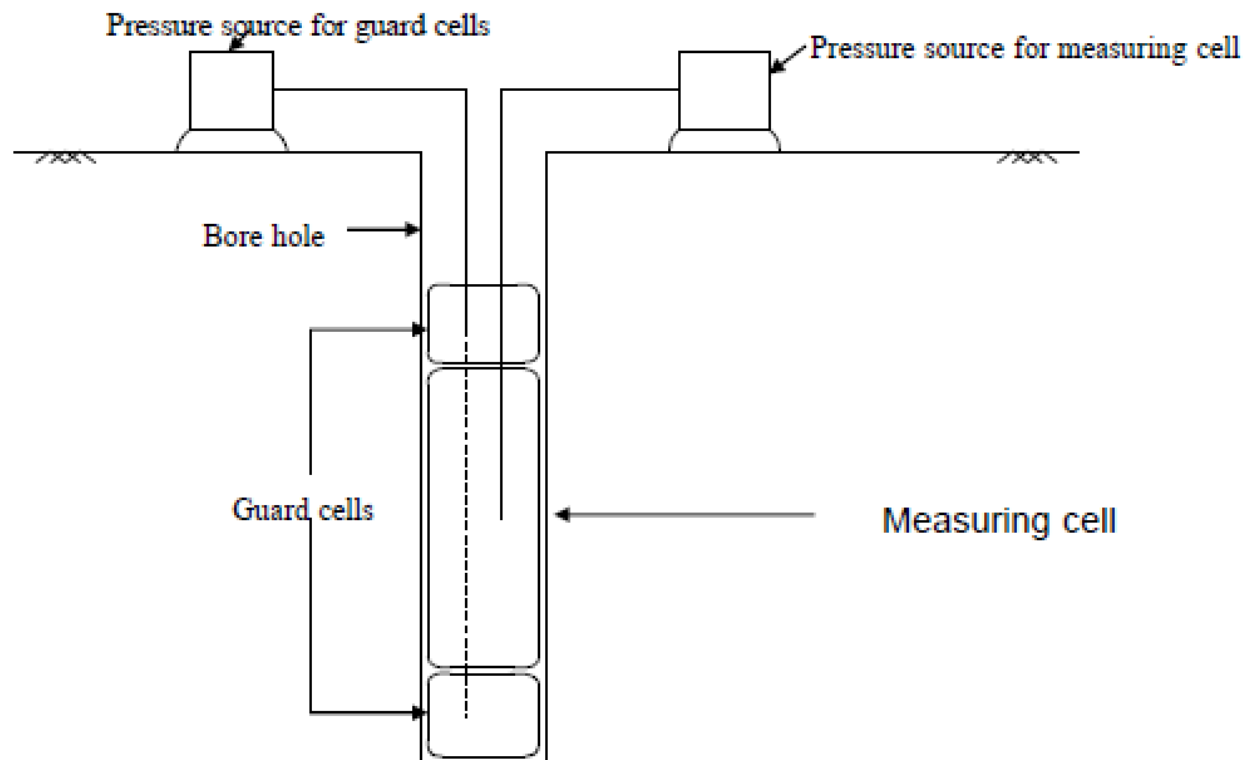
Vane Shear Test (VST)





旁压试验

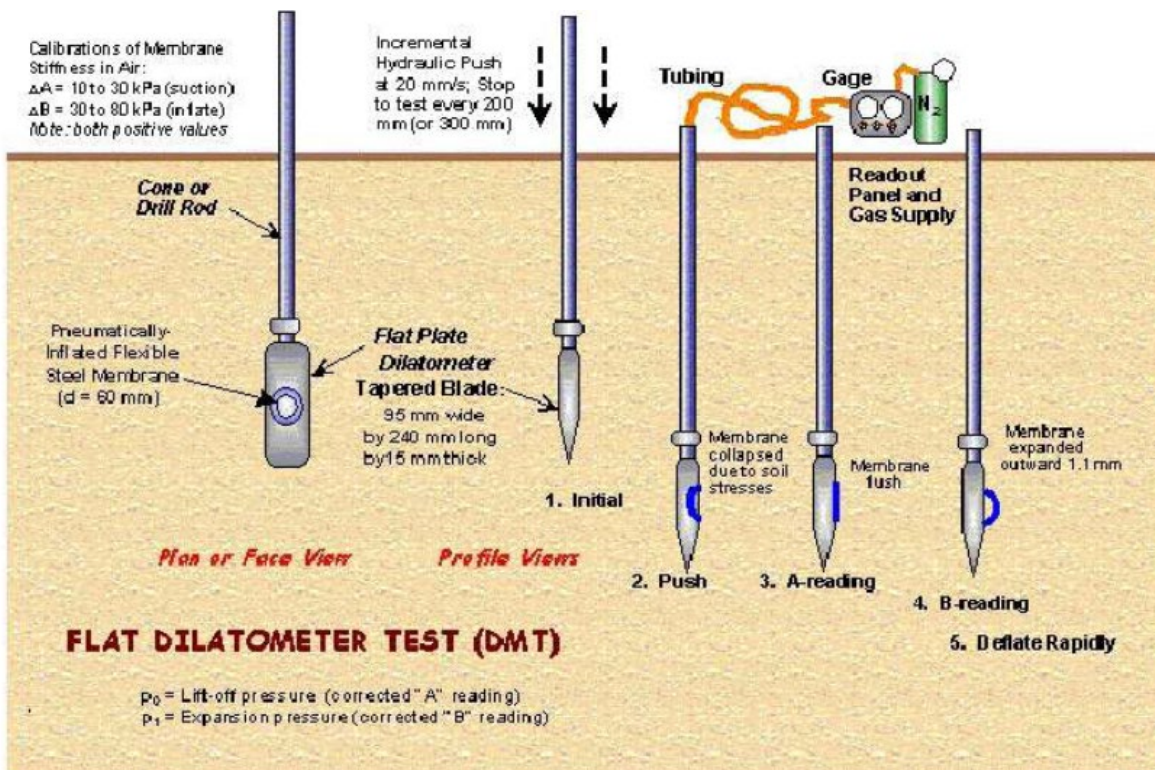
Menard Pressuremeter (PMT)



旁压试验是一种将圆柱形旁压器放入土中，向旁压器内充水（或气）并施加压力，利用旁压器的扩张，对周围土施加均匀压力，测量压力与体积扩张（径向变形）的关系，即可得到地基土在水平方向上的应力-应变关系。根据这种关系对地基土的承载力、变形特性进行评估。



扁铲侧胀试验 Dilatometer (DMT)



(Source: <http://www.ce.gatech.edu/~geosys/Faculty/Mayne/Research/devices/>)

扁铲侧胀试验是一种利用静力或锤击动力将一扁平铲形侧头贯入土中，达到预定深度后，利用气压使扁铲测头上的钢膜片向外膨胀，分别测得膜片中心向外膨胀不同距离（分别为 0.05mm 和 1.10mm 这两个特定值）时的气压值，进而获得地基参数的一种原位试验方法。

小节



01 | **地质勘察的目的**

02 | **地质勘察的手段**

03 | **基于地勘的经验模型**

04 | **本章小结**



Skempton (1986) 提出针对正常固结和超固结砂性土，关联N与相对密实度的经验方程：

$$\frac{D_r}{100\%} = \sqrt{\frac{N_{60}}{A + BC \frac{\sigma'_v}{p_A}}} \quad 27 \leq A \leq 46, \text{ and } B \approx 27$$
$$C = \frac{1 + 2K_0}{1 + 2K_{0,NC}}$$

从近期研究发现该公式适用工况：

$$\begin{cases} 35\% \leq D_r \leq 85\% \\ 50 \text{ kPa} \leq \sigma'_v \leq 250 \text{ kPa} \end{cases}$$

$p_A = 100 \text{ kPa}$:

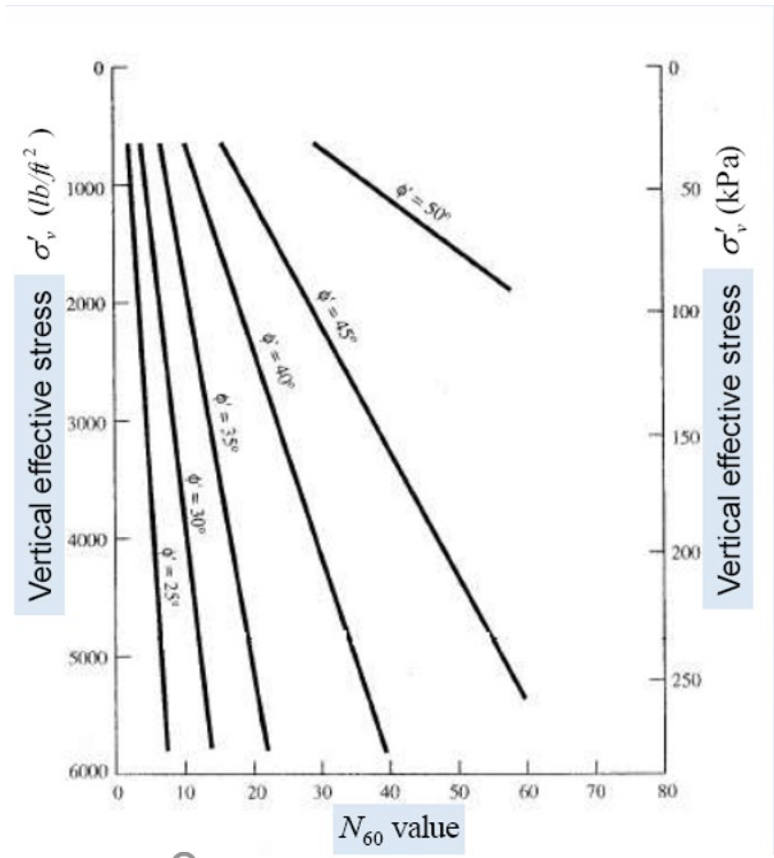
$$D_r (\%) \approx \sqrt{\frac{N_{1,60}}{60}}$$

**Schmertmann (1975),
Kulhawy and Mayne (1990)**

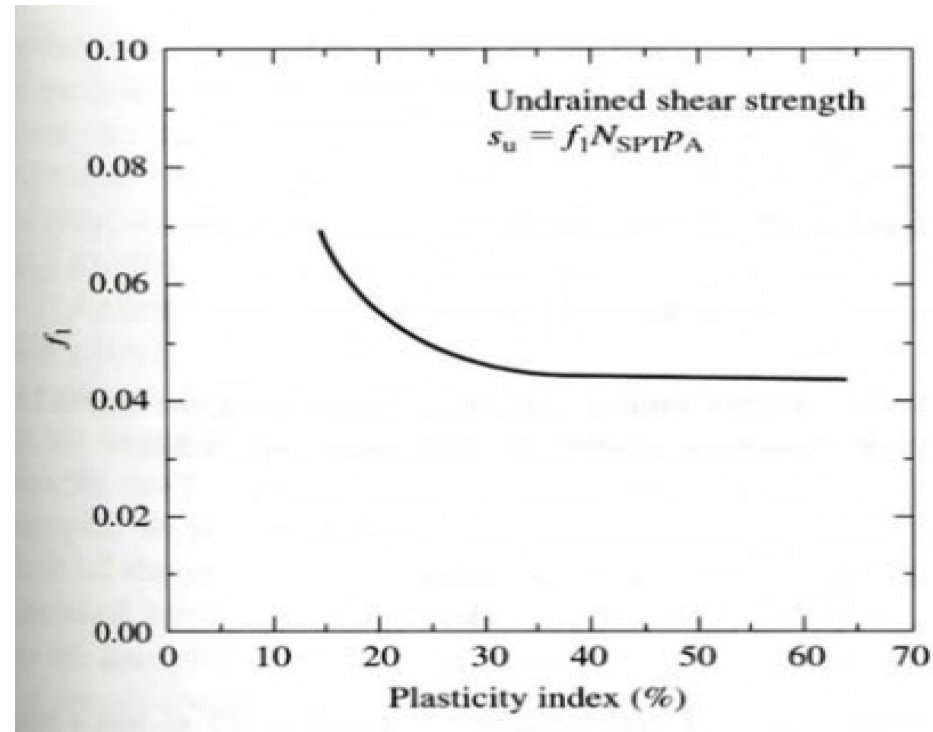
$$\phi_p = \tan^{-1} \left[\frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \left(\frac{\sigma'_v}{p_A} \right)} \right]^{0.34}$$



峰值摩擦角与N: (DeMello, 1971)



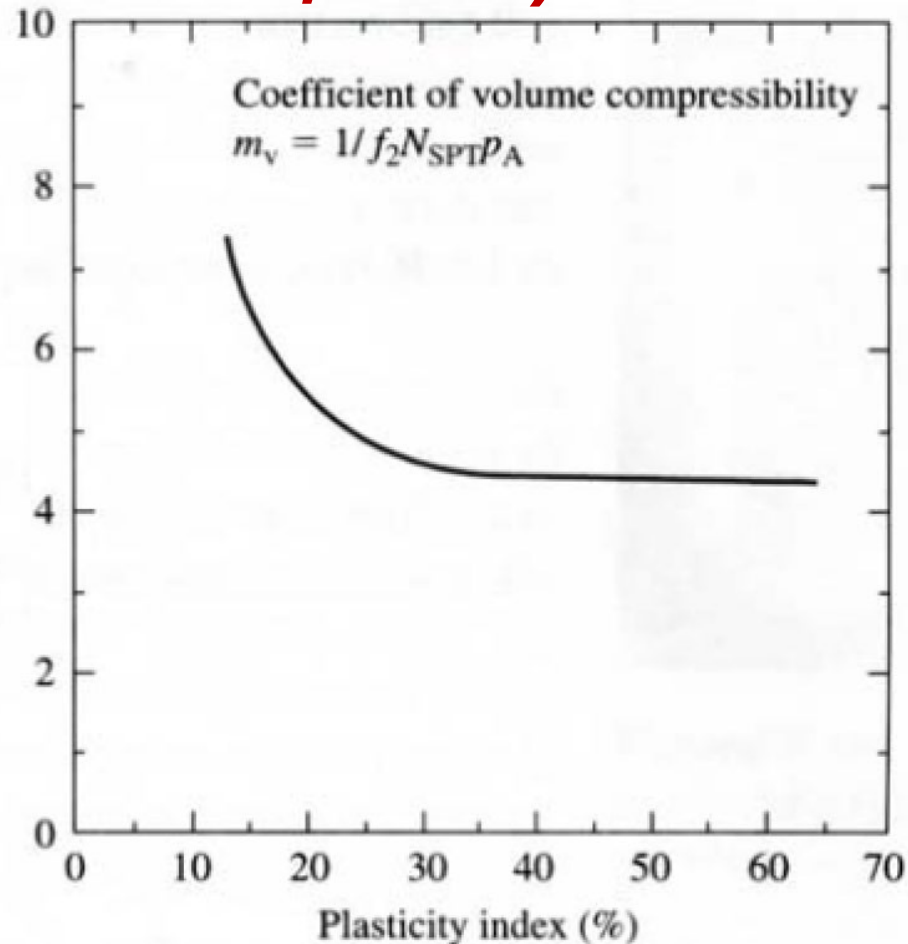
不排水抗剪强度 S_u 与N: (Stround, 1975)



$$S_u = 0.82 f_1 N_{60} P_A$$



体积压缩系数 m_v 与N:
(Stroud, 1975)



$$m_v = \frac{1}{f_2 N_{SPT} p_A}$$

$$m_v p_A = \frac{1.2}{f_2 N_{60}}$$



Salgado and Prezzi (2006)

$$\frac{q_c}{p_A} = 1.64e^{\left[0.104\phi_c + (0.0264 - 0.0002\phi_c)D_r\right] \left(\frac{\sigma_h'}{p_A}\right)^{0.841 - 0.0047D_r}}$$

$$D_r = \frac{\ln\left(\frac{q_c}{p_A}\right) - 0.4947 - 0.1041\phi_c - 0.841\ln\left(\frac{\sigma_h'}{p_A}\right)}{0.0264 - 0.0002\phi_c - 0.0047\ln\left(\frac{\sigma_h'}{p_A}\right)}$$

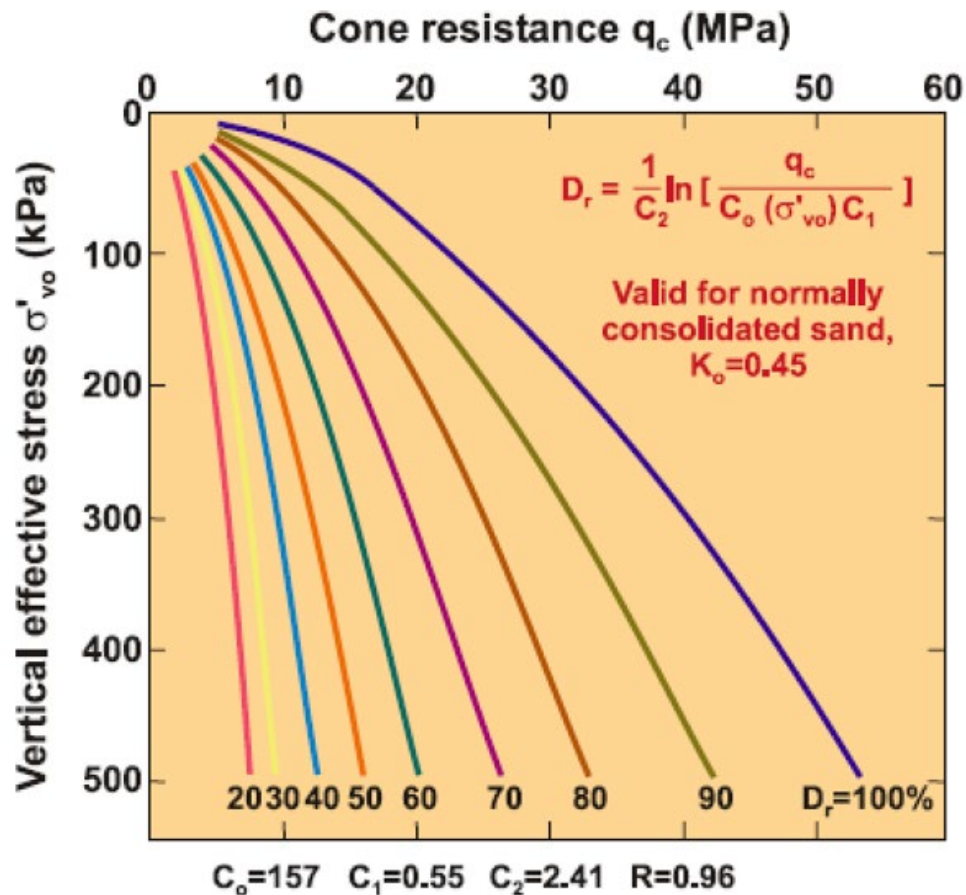
p_A , 为参考应力, 通常取100 kPa;

ϕ_c , 为临界态土体内摩擦角($29^\circ \sim 36^\circ$)



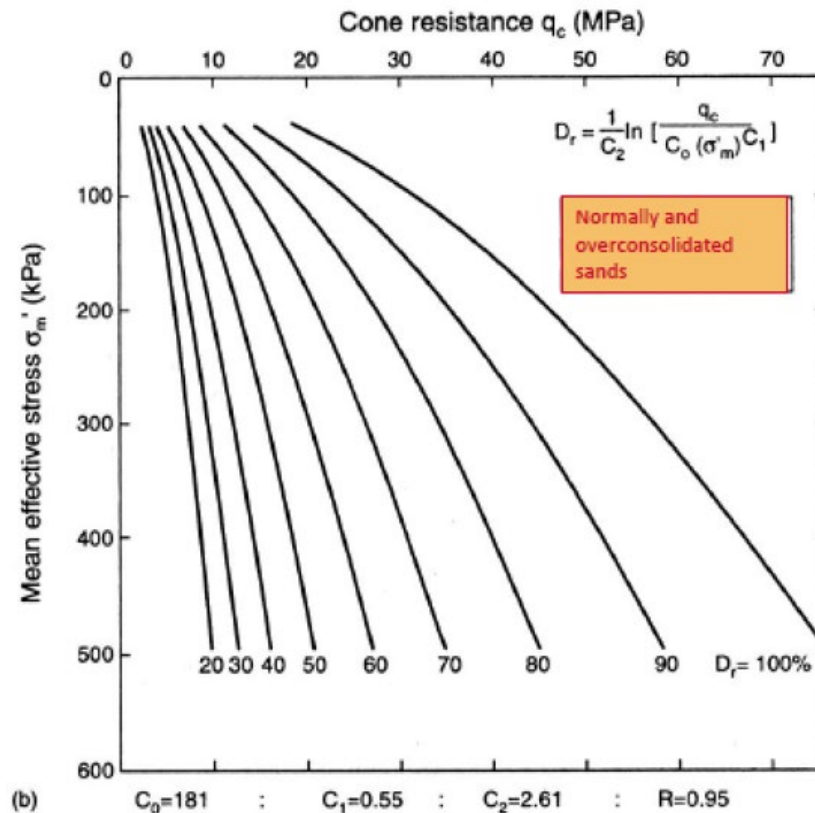
Baldi et al.,(1986)

正常固结砂， q_c, σ_{v0}, D_r 的关系



Baldi et al.,(1986)

正常固结砂及超固结砂， q_c, σ_{v0}, D_r 的关系



$$\sigma_m = \frac{1}{3} (\sigma'_v + 2\sigma'_h)$$

$$K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$$



Mayne (2007)

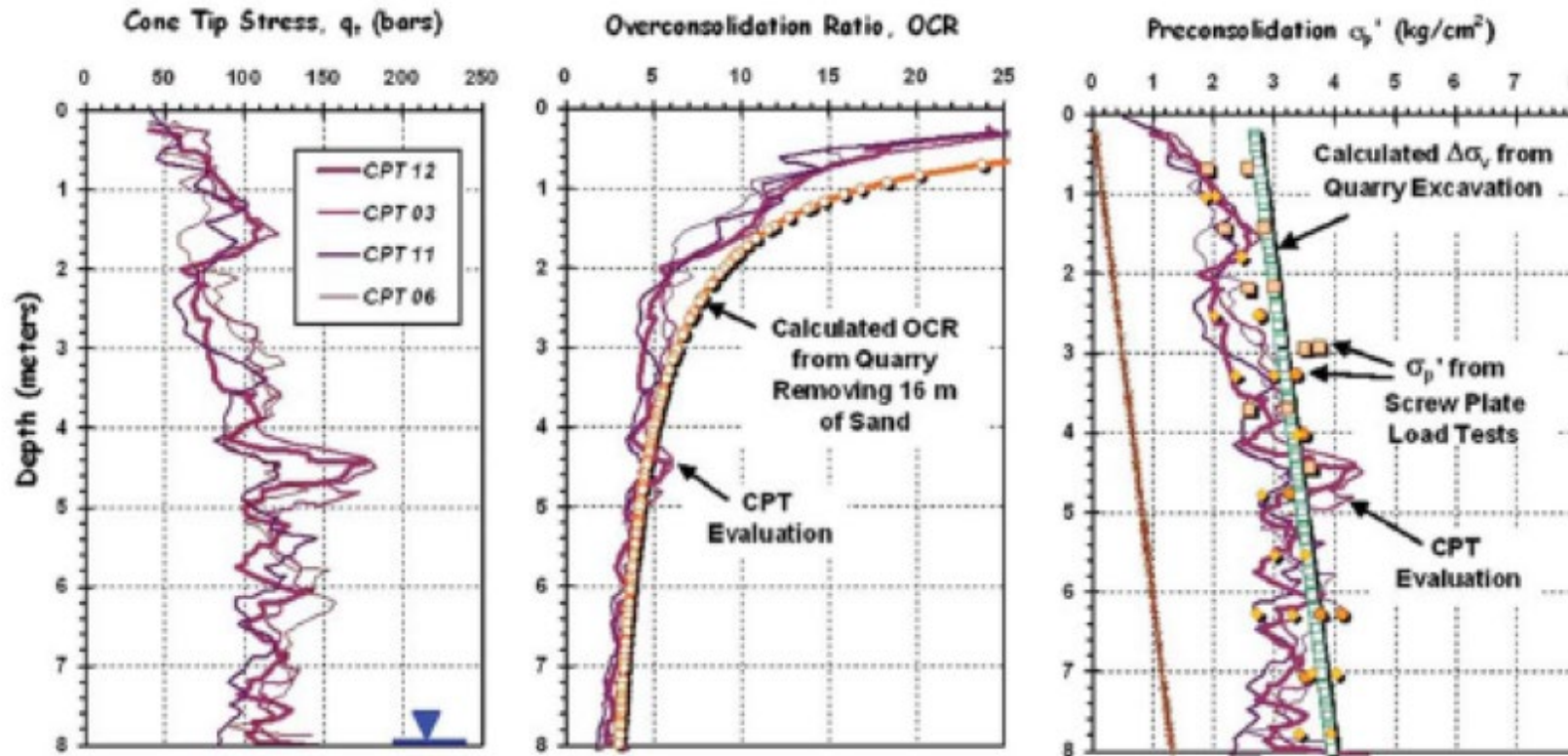


FIGURE 39 Results from Stockholm quarry sand site showing (left) cone tip resistances, (center) OCR profiles from excavation, and (right) preconsolidation stresses (data from Dahlberg 1974).

$$OCR = \left[\frac{0.192 \left(\frac{q_t}{\sigma_{atm}} \right)^{0.22}}{(1 - \sin \phi') \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma_{atm}} \right)^{0.31}} \right]^{\left(\frac{1}{\sin \phi' - 0.27} \right)}$$

$$\sigma_{atm} = 100 \text{ kPa}$$



Mayne (2007)

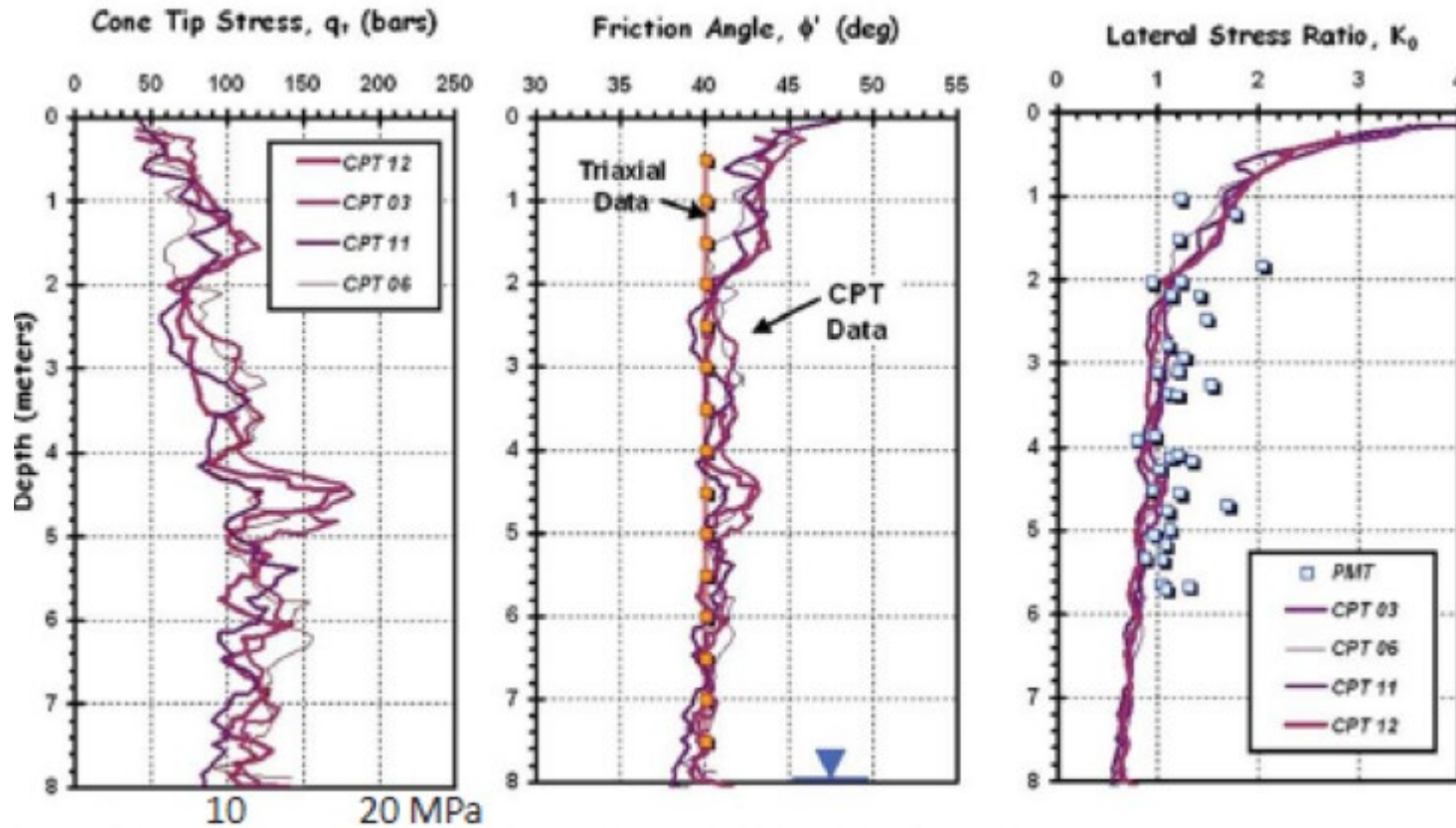


FIGURE 52 CPT post-processing for peak ϕ' and coefficient K_0 in Stockholm sand.

$$K_0 = 0.192 \left(\frac{q_t}{\sigma_{atm}} \right)^{0.22} \left(\frac{\sigma_{atm}}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.31} (OCR)^{0.27}$$



Lunne and Christophersen (1983)

Rough estimate from calibration chamber tests: 标定罐模型试验粗略估测

NC sands: $M_0 = 4 q_c$ $q_c < 10 \text{ MPa}$

$M_0 = 2 q_c + 20 \text{ (MPa)}$ for $10 \text{ MPa} < q_c < 50 \text{ MPa}$

$M_0 = 120 \text{ MPa}$ $q_c > 50 \text{ MPa}$

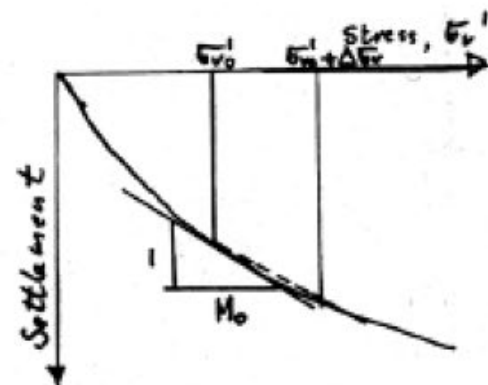
OC sands: $M_0 = 5 q_c$ $q_c < 50 \text{ MPa}$

$M_0 = 250 \text{ MPa}$ $q_c > 50 \text{ MPa}$

M_0 is tangent modulus at in situ stress conditions, σ_{v0}' .

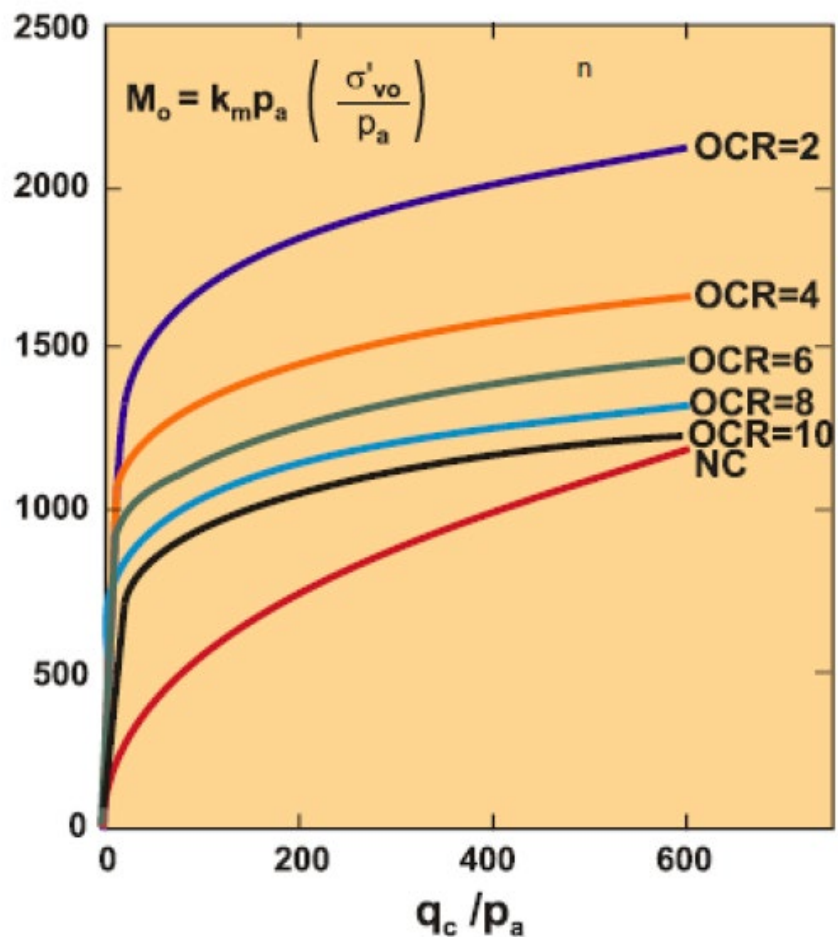
Tangent modulus applicable for stress range $\sigma_{v0}' + \Delta\sigma_v'$ is given as:

$$M = M_0 \sqrt{\frac{(\sigma_{v0}' + \Delta\sigma_{v0}'/2)}{\sigma_{v0}'}}$$





Eslaamizaad and Robertson (1996)



$$M_0 = k_m p_a (\sigma'_{v0} / p_a)^n$$

Exponent n :

NC sand : $n = 0.20$

OC sand : $n = 0.128$

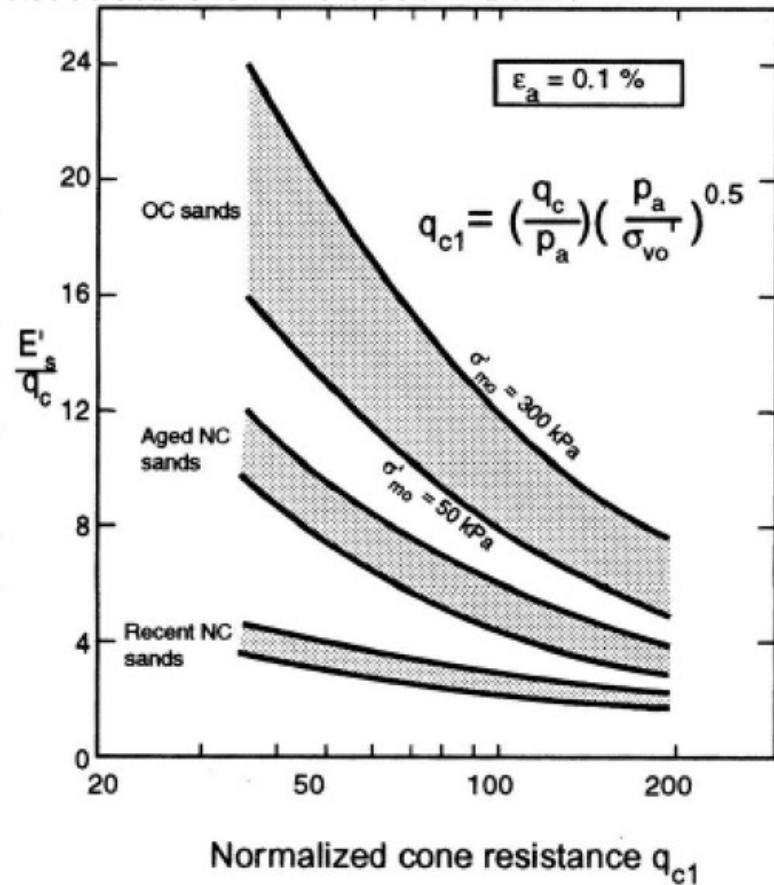
M_0 is tangent modulus at in situ stress conditions, σ'_{v0} .

M_0 是原位状态下的切线模量



Baldi et al., (1989)

CPT测得的排水状态下的杨氏模量值

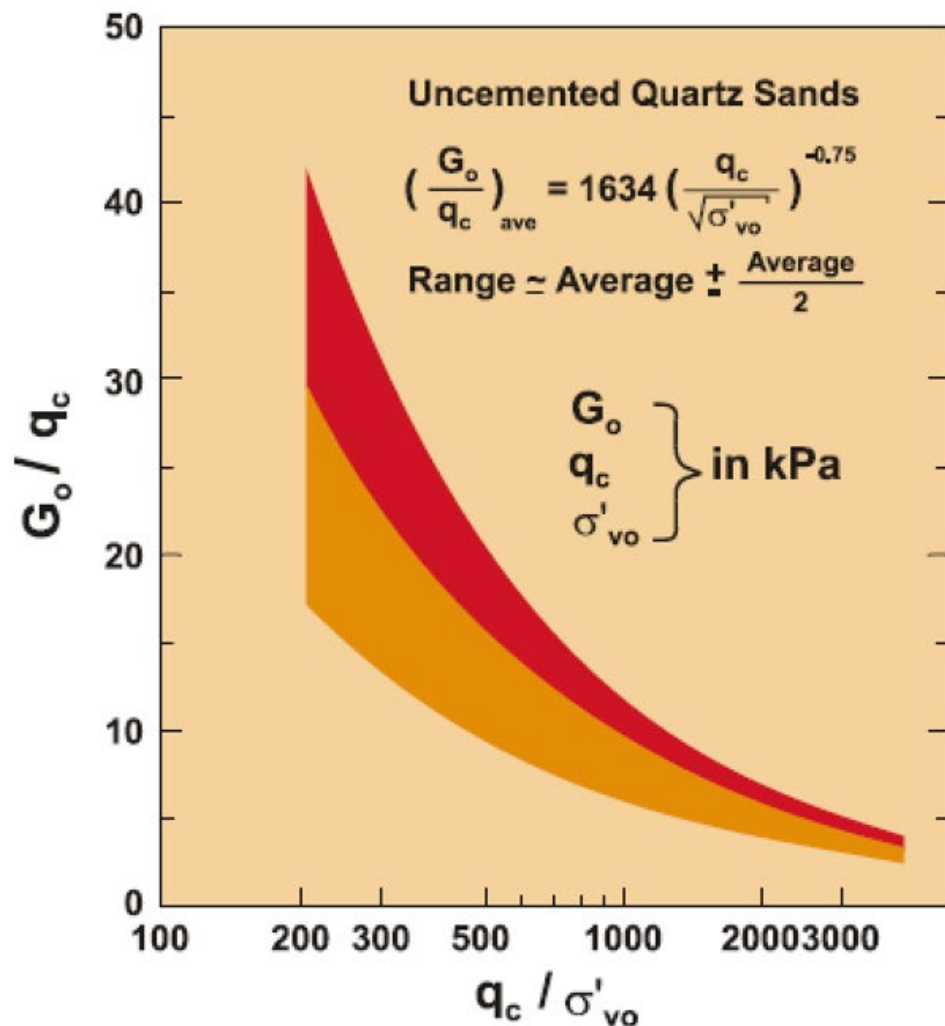


E - modulus at 0.1 % axial strain

E是轴向应变为0.1 % 时的模量



Rix and Stokoe (1992)



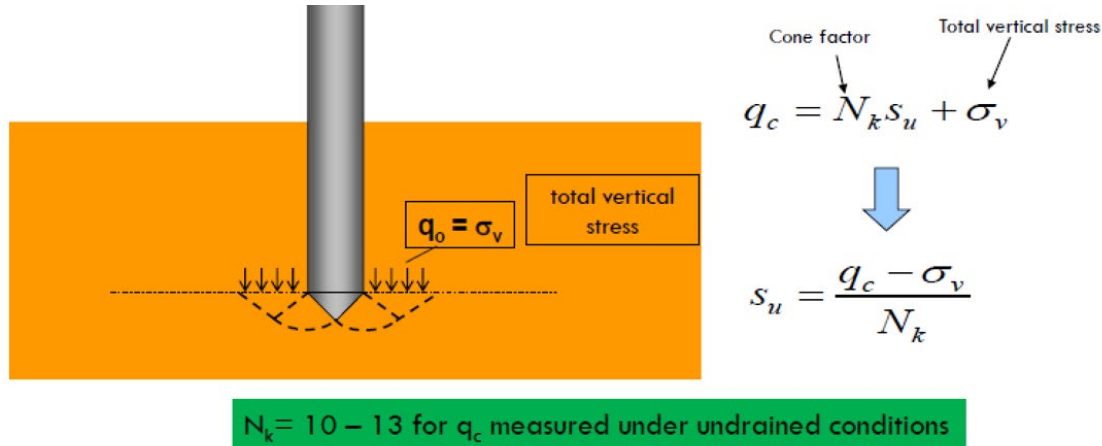
Small strain
shear
modulus, G_{max}
小应变剪切模量 G_{max}



基于地勘的经验模型 (CPT)

地质勘察

黏土的不排水抗剪强度的估测



Name	Site	Soil description	% clay	LL	I _p	Avg. N _k
Rad, N.S. 1988	Troll	Lean sandy clay	28.5	34	19.5	18.4
	Haltenbanken	silty sandy clay w/ gravel		33	18	17.4
Rochelle, L. et al. 1988	Berthierville(BTV)	Grey silty clay				16
Lunne, T. et al. 1986	Gullfaks A	Silty clay	15-40	41-50	22-28	15
Stark, T.D et al. 1989		young, soft to medium silty clay with low plasticity				13.5
Rad, N.S & Lunne, T. 1988	Onsoy	Homogeneous clay	60	69	42.5	13.3
Rochelle, L. et al. 1988	Louisville(LV)	silty clay with pine seams of silt, organic matters, sensitive				13
Lunne, T. et al. 1986	Sleipner	Stiff clay	23-35	34-46	18-25	12
Rad, N.S & Lunne, T. 1988	Onsoy	plastic clay with shells	55	70	42.5	11.6
	Rio	Highly plastic clay	50	112	69	11.5
	Emmerstad	Silty quick clay				11
Lunne, T. et al. 1986	Emmerstad	Onshore quick clay				10.5
Rad, N.S & Lunne, T. 1988	Drammen	Plastic Drammen clay	48	52	22	9.5
	Troll	Plastic clay	34	37	37	9.4
Denver, H 1988	Niverod site	glacial or late glacial meltwater clay				9.5
	Niva site	late glacial meltwater clay				7.3

q_c (partially drained penetration)/ $s_u \Rightarrow$ larger N_k value

小节



01 | **地质勘察的目的**

02 | **地质勘察的手段**

03 | **基于地勘的经验模型**

04 | **本章小结**



- 地质勘察的目的
- 标准贯入试验, SPT
- 静力触探试验, CPT
- 基于SPT的经验模型
- 基于CPT的经验模型



- 标准贯入试验是否适用岩层？
- 静力触探试验是否适用密实沙层？含碎石、砾石土层？
- 可以通过标贯N值估算土体的哪些工程特性？
- 是否可以通过静探CPT估算桩基承载力？



Thank You!
Q&A