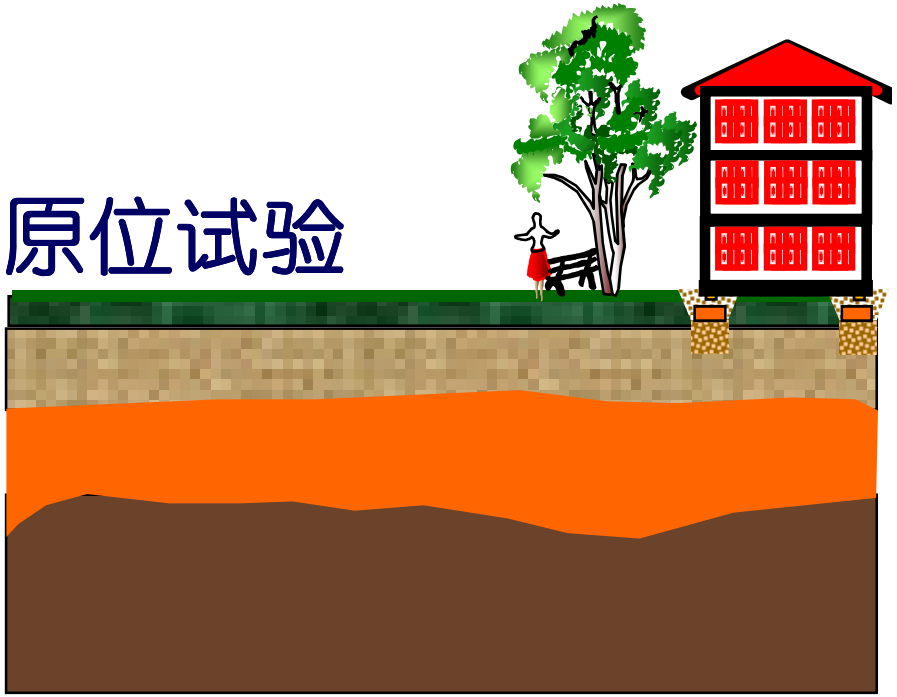
第一章 地基勘察

- 1.1 概述
- 1.2 地基勘察任务和勘探点布置
- 1.3 地基勘探方法
- 1.4 地基岩土分类
- 1.5 室内土工试验与原位试验
- 1.6 地基勘探报告



§1.1 概述

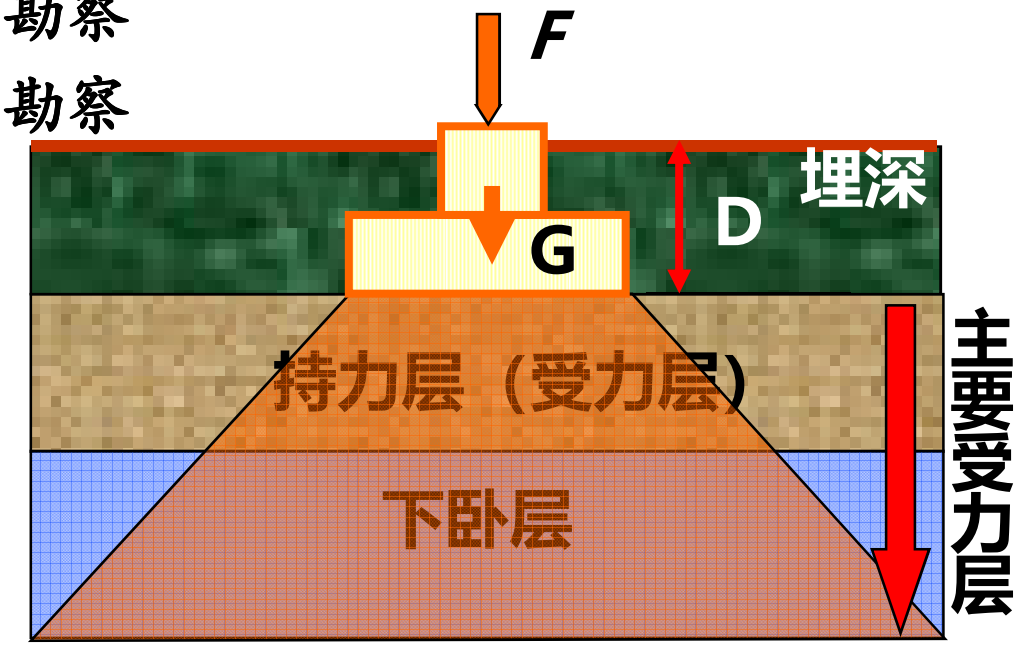
- 岩土工程勘察的内容、方法及工程量的确定取决于:
- （1）工程的规模和技术要求;
- （2）建筑场地地质和水文地质条件的复杂程度;
- （3）地基岩土层的分布和性质的优劣。

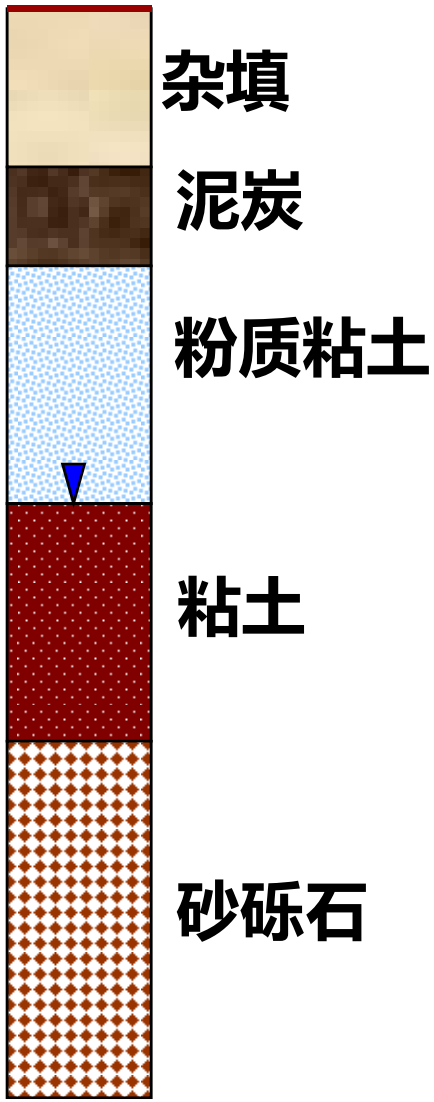
- 通常勘察工作都是由浅入深，由表及里，随着工程的不同阶段逐步深化

P1

地基勘探阶段（类型）

- 1）选址勘察
- 2）初步勘察
- 3）详细勘察
- 4）施工勘察





1）可行性研究(选址)勘探阶段

- 对一些重大建设项目，如对特大型桥梁、地下铁道等工程进行选址勘察是十分必要的。
- 目的是为了取得几个方案场址的主要工程地质资料，对拟选场址的稳定性和适宜性作出工程地质评价。

2）初步勘察阶段

- 初步勘察是在建设场址经批准后进行的，工作前要掌握场址选择报告书内容，以及建设项目的类型、规模、建筑面积等相关内容和资料。
- 初步勘察的目的：是对场地内各建筑地基局部的稳定性作出岩土工程评价，为确定建筑总平面布置、主要建筑物地基基础设计方案及不良地质现象的防治工程方案，作出论证并提出岩土工程结论。

3）详细勘察

- 详细勘察在初步设计完成以后进行，直接为设计施工图提供资料。
- 对于有建筑经验的地区，或小型工程和现有项目的扩建工程一般是直接进行这一阶段的工作。

4）施工勘探

- 施工勘察是直接为施工服务的勘察工作，它的目的是与设计、施工单位一起，解决与施工有关的工程地质及岩土工程问题。它不仅包括施工阶段的勘察工作，还包括可能在施工完成后进行的勘察工作。

施工勘探的要求

- 配合施工的基槽检验工作

  核查校对原勘查资料，及时处理新问题

- 配合深基础施工勘察

  深基础的施工监控、环境变化与稳定的监控、动态控制施工和优化设计

- 地基处理加固

  人工加固地基的效果、使用中变形稳定控制、有关新问题的处置

一般而言，当出现下列情况时应进行施工勘察：

- （1）在复杂地基上修建较重要的建筑物时；
- （2） 基槽开挖后，地质条件与原勘探资料不符，有可能要做较大设计修改时；
- （3）深基础施工设计及施工中需要进行测试工作时；
- （4）选择地基处理加固方案，需进行设计和检验工作时；
- （5）需进一步查明及处理地基中的不良地质现象，如土洞、溶洞等时；
- （6）对施工中出现的边坡失稳等地质问题需进行观察及处理时。

§1.2 地基勘察任务和勘探点布置

§1.2.1 地基勘察的任务

1）总任务

(1)对建筑物地基岩土工程评价;

(2)为地基基础设计提供参数;

(3)地基基础设计和施工给出具体方案和建议;

(4)地基加固具体方案和建议;

(5)不良地质的防治工程具体方案和建议。

P1

2）勘探前的工作

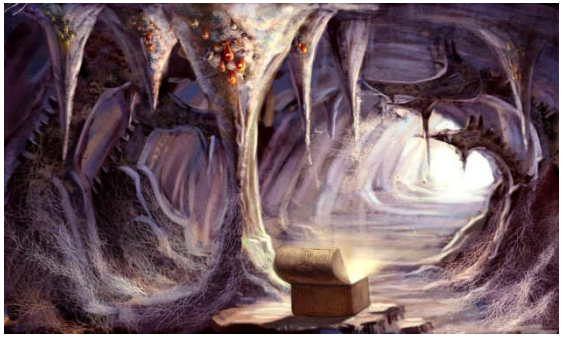
- 在进行地基勘察之前应详细了解设计意图（建筑物的性质），
- 全面搜集和研究建筑场地及邻近地段的已有勘察报告、建筑经验和历史变迁。

具体的勘探前应取得的资料

- 比例尺不小于1：2000的现状地形图及拟建建筑物的平面位置；
- 拟建建筑物的高度、层数、有无地下室、结构类型、所采用的基础类型、尺寸、埋置深度、单位面积荷载或总荷载，对地基基础设计、施工的特殊要求；
- 拟建场地的历史变迁，地下管线、电缆、地下构筑物的分布情况，水准基点的位置及高程

3）具体任务

- (1) 查明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；
- (2) 查明建筑范围内岩土层的类型、深度、分布、工程特性，分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力；
- (3) 对需进行沉降计算的建筑物，提供地基变形计算参数，预测建筑物的变形特征；



- (4) 查明埋藏的河道、墓穴、防空洞、孤石等对工程不利的埋藏物；
- (5) 查明地下水的埋藏条件，提供地下水位及其变化幅度；
- (6) 在季节性冻土地区，提供场地土的标准冻结深度；

- (7) 抗震设防烈度等于或大于6度的地区，应进行场地和地基地震效应的岩土工程勘察，以划分场地类别，提供地基土层的剪切波速和地震液化判别；
- (8) 判定水和土对建筑材料的腐蚀性。

1.2.2　勘察点的布置

- 勘察工作的布置是勘察工作的首要环节，应根据建筑物规模和安全等级以及场地的复杂程度确定。
- 为了搞好勘察工作，对其进行分级是很有必要的。建筑场地和地基的复杂程度以及建筑物(工程)安全等级是岩土工程勘察分级的三个主要因素。下面我们就先对这三个主要因素进行分级。

1）场地等级

1) 简单场地(三级场地)：指地形地貌简单，地质环境基本未受破坏，不良地质现象不发育，地震设防烈度小于等于6度（或对建筑抗震有利的地段）的场地；

⌘2) 中等复杂场地(二级场地)：指地形地貌较复杂，地质环境已经或可能受到一般破坏，不良地质现象一般发育，对建筑抗震不利的场地；

⌘3) 复杂场地(一级场地)：指地形地貌复杂，地质环境已经或可能受到强烈破坏，不良地质现象强烈发育，对建筑抗震危险的场地。

P2

2）工程（建筑物的）安全等级

表0-1　建筑物(结构）的安全等级

安全等级	破坏后果	建筑类型
一级	很严重	重要的工业与民用建筑物；20层以上的高层建筑；体型复杂的14层以上的高层建筑；对地基变形有特殊要求的重要工业建筑物；单桩荷载在4000kN以上的建筑物
二级	严重	一般的工业与民用建筑物
三级	不严重	次要的建筑物

3）地基等级

- 根据地基岩土种类、性质、地下水对工程的影响程度，以及特殊性岩土的分布与性质等的复杂程度将地基划分如下三级：
- (1)符合下列条件之一者为**一级地基**：
  - ① 岩土种类多，性质变化大，地下水对工程影响大，且需特殊处理；
  - ② 多年冻土、湿陷、膨胀、盐渍、污染严重的特殊性岩土，以及其他情况复杂，需作专门处理的岩土。
- (2)符合下列条件之一者为**二级地基**：
  - ① 岩土种类较多，性质变化较大，地下水对工程有不利影响；
  - ② 含不属于一级地基中的特殊性岩土。
- (3)符合下列条件者为**三级地基**：
  - ① 岩土种类单一，性质变化不大，地下水对工程无影响；
  - ② 无特殊性岩土。

4）岩土工程勘察等级划分

⌘岩土工程勘察等级应根据工程安全等级、场地等级和地基等级综合分析，按下面的表0-2确定。

表0-2 岩土工程勘察等级划分

岩土工程勘察等级	划分标准
甲级	在工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级中，有一项或多项为一级
乙级	除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目
丙级	工程重要性、场地复杂程度和地基复杂程度等级均为三级

岩土工程勘察等级基本决定或对应于后继地基基础设计等级 表2-6

5）勘探点的布置（平面上的）

勘探点的间距可以参考下表确定:

表0-3 勘探点间距(m)

场地 勘察性质	复杂场地	中等	简单
详细勘察	10～15	15～30	30～50

高层建筑勘探点要沿建筑物周边布置，角点和中心点都要布置勘探点。勘探点间距一般为15~35m，且不少于4个。每栋至少一个控制性勘探点(教材中P2介绍的更详细)

6）勘探深度

- 勘探点分为一般性勘探点和控制性勘探点两种。
- 一般性勘探点以能控制地基的主要受力层为原则。
- 控制性勘探点则要求能控制地基压缩层的计算深度。

详细勘察的勘探孔深度确定

对一般性（General）勘探孔：条形基础，可取基础宽度b的3~3.5倍(与基底压力的比较)；单独基础可取1.5b，但不小于5m。 **(主要受力层)**

控制性（Control）勘探孔的深度应当超过地基沉降计算深度（与自重应力的比较），并要考虑相邻基础的影响，并按下页表1-1确定。 **(压缩层)**

一般性勘探点深度		控制性勘探点深度
单独基础	条形基础	取决于基础宽度
1.5*b*	3.0*b*	

P3

控制性勘探孔深度

表1-1 控制性勘探孔深度 m

基础宽度(m)	1	2	3	4	5	
条形基础	6	10	12			
单独基础		6	9	11	12	

P3

- 对于箱形、筏形和其它宽度b很大的基础，一般性/控制性勘探点的深度Z 可按下式选择：
- $$Z = d + \alpha \cdot \beta \cdot b \quad (m) \qquad (1\text{-}1)$$
- d—基础埋置深度，m；
- b—基础宽度，m；
- α—与土的压缩性有关的经验系数，可参照表1-2采用
- β—与层数和基底压力有关的经验系数，
- 取1.1（甲级高层）；取1（乙级高层）

表1-2 经验系数α

	土类别 / 勘探点类别	碎石土	砂土	粉土	粘性土（含黄土）	软土
αc	控制性勘探点	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~1.2	1.0~1.5	2.0
αg	一般性勘探点	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.7	0.6~0.9	1.0

P2

- 对于桩基础，一般性勘探点的深度Z 应达到预计桩长以下3-5倍桩径，且不小于3m；对于大直径桩，桩长以下不小于5m；控制性勘探孔深度应满足下卧层验算要求及沉降计算要求

- 当钻孔在预定深度内遇到基岩时，除了控制性钻孔应钻进基岩适当深度外，其他钻孔达到确认基岩后可以终止钻进。

问题：当时建设我们的教学楼（图书馆）布置了几个勘探点（假定为简单场地），若为条形基础1米宽度，探孔深度大体为多少？若为桩基础，探孔深入如何？

§1.3 地基勘探方法

为了查明地层构成、岩土物理力学性质、地下水、不良地质分布及其范围等，通常采用如下勘探方法：

1.3.1 地球物理勘探

1.3.2 坑探(Exploratory trench)

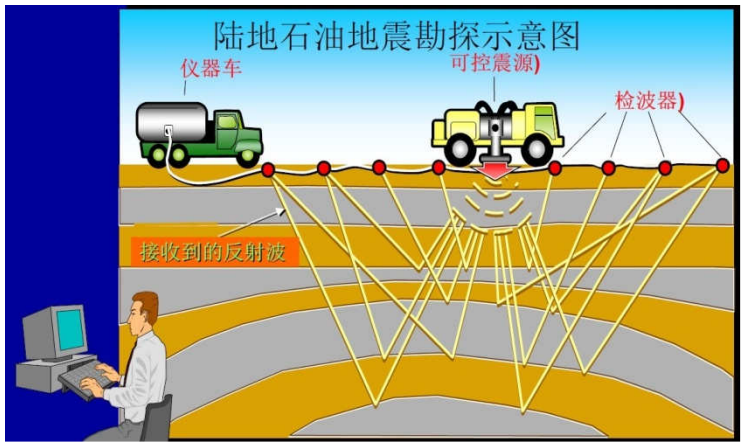
1.3.3 钻探(Boring Exploration)

1.3.4 触探

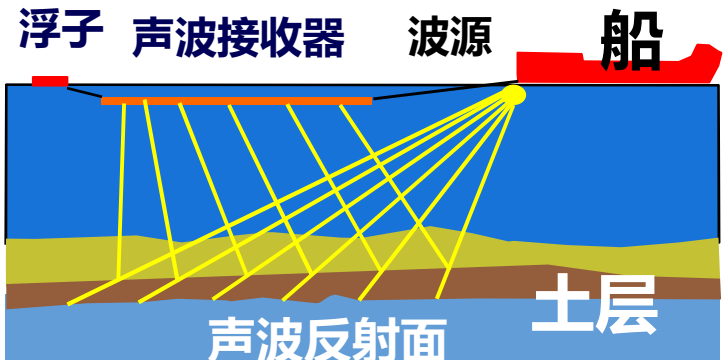
P4

1.3.1 地球物理勘探（物探）

- 地球物理勘探是用物理的方法（不同的岩层具有不同的物理性质）勘测地层分布、地质构造和地下水埋藏深度等的一种勘探方法。它是一种简便而迅速的间接勘探方法。
- 是一种兼有勘探和测试双重功能的技术;
- 作为钻探的工作开展的先行手段和辅助手段。



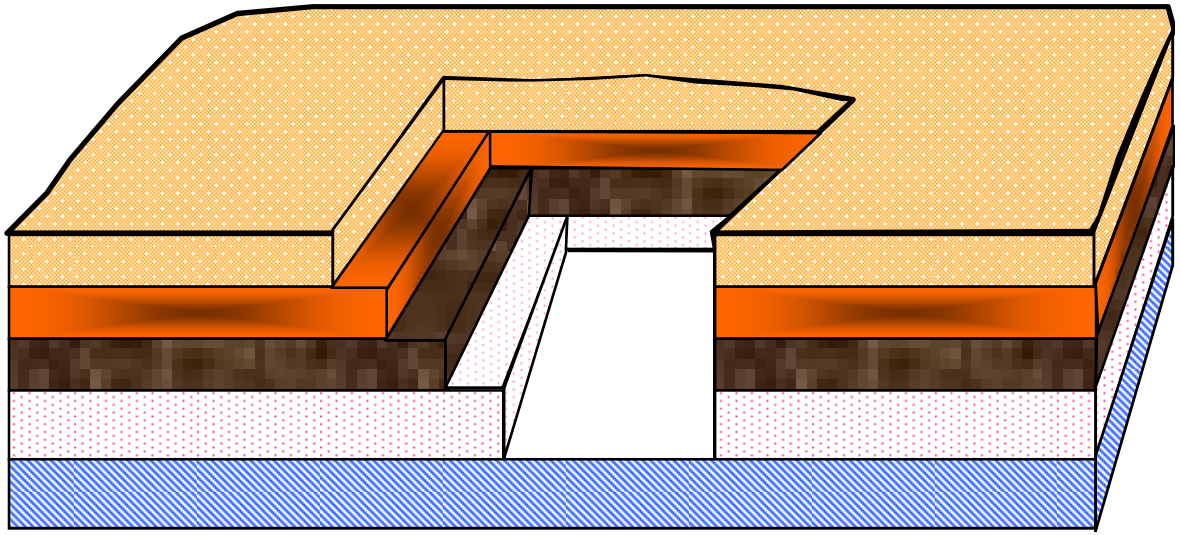
地球物理勘探的方法



- 常用的物探方法有：地震勘探、声波勘探、电阻率法勘探、雷达勘探等；无损
- 最常用的是地震勘探。在《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)，(GB50011-2001)中，都要求按土层剪切波（S波）速（剪切波速）的大小进行场地岩土的类型划分（如：中软场地土、中硬场地土、硬场地土），这时就必需进行现场地震勘探，以确定岩土中波的传播速度。

1.3.2 坑槽探(Exploratory trench)

- 也称掘探法，即在建筑场地开挖探坑或探槽直接观察地基土层情况，并从坑槽中取高质量原状土进行试验分析。
- 探坑深度一般不超过4m，但当地下水位较深，土质较好时，探坑也可挖到4m以上。



1.3.3 钻探(Boring Exploration)

⌘钻探就是用钻具钻孔进行的地质勘探，是目前应用最广的勘探方法。

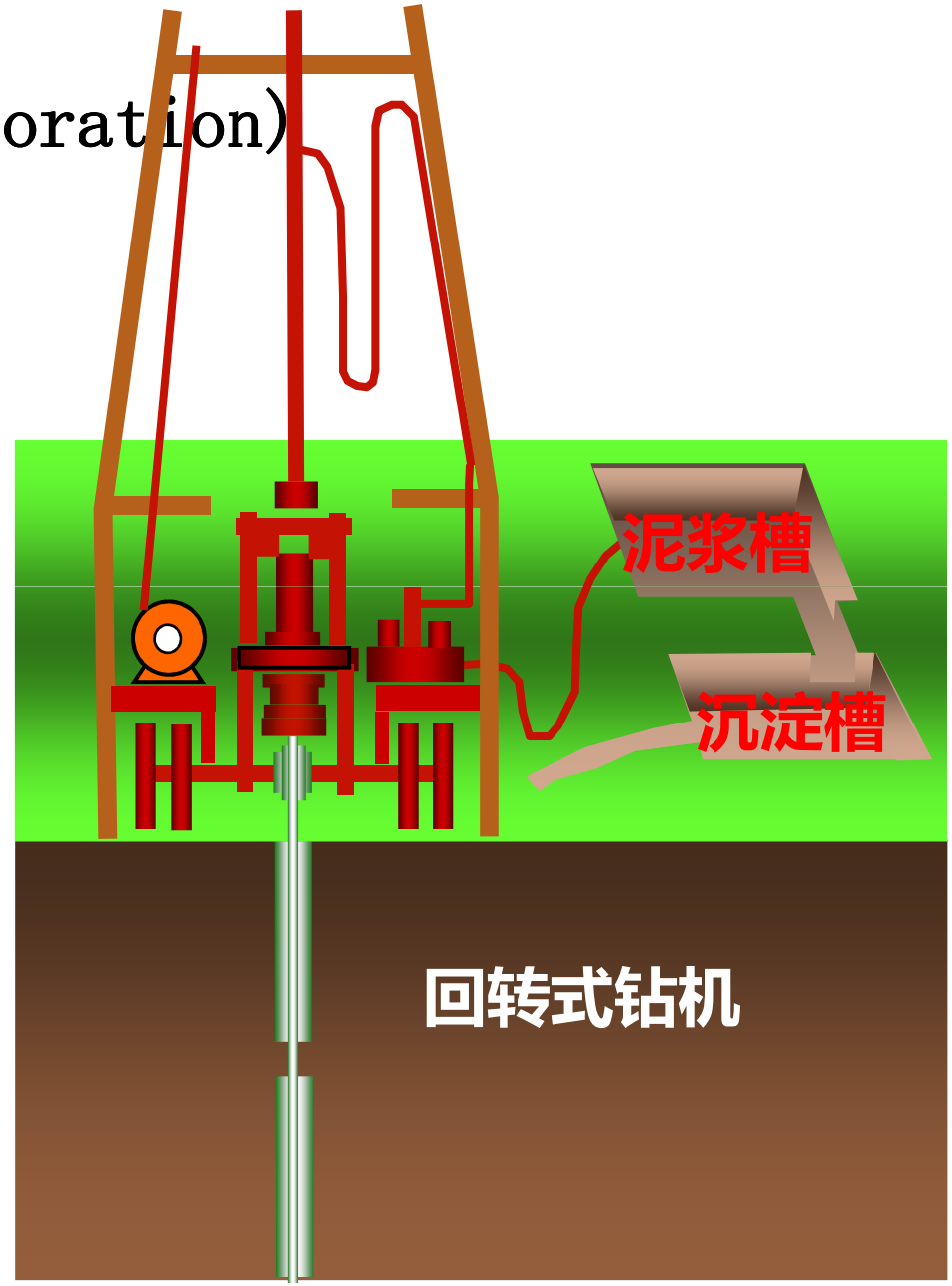
可达100m下

（1）划分地层

（2）确定地下水

（3）采取土样

（4）开展原位试验



钻探的目的

通过钻探可以达到：

- （1）鉴别和描述土的表观特征，并划分地层，确定土层的分界面；
- （2）取原状土样或扰动土样供试验分析；
- （3）确定地下水位埋深，了解地下水的类型；
- （4）在钻孔内进行触探试验或其它原位试验。

土质地基的钻探

- 可以用钻机或人工钻进行。
- 钻机的种类很多，钻孔直径为110~200 mm，钻探深度可以从几十米至百米以上。
- 人工钻常用麻花钻、洛阳铲等，设备简单，钻孔深度一般不超过6m，应用普及。

机钻钻探图

1—钢丝绳； 2—汽油机(4.41kW)(或电动机4.5kW)； 3—卷扬机； 4—车轮； 5—变速箱及操纵把；6—四腿支架(高 6m)； 7—钻杆；8—钻杆夹； 9—拨棍； 10—转盘； 11—钻孔(φ114 mm)； 12—钻头

钻孔深度：30m；钻杆直径：42mm；开孔直径：142mm；终孔直径：110mm

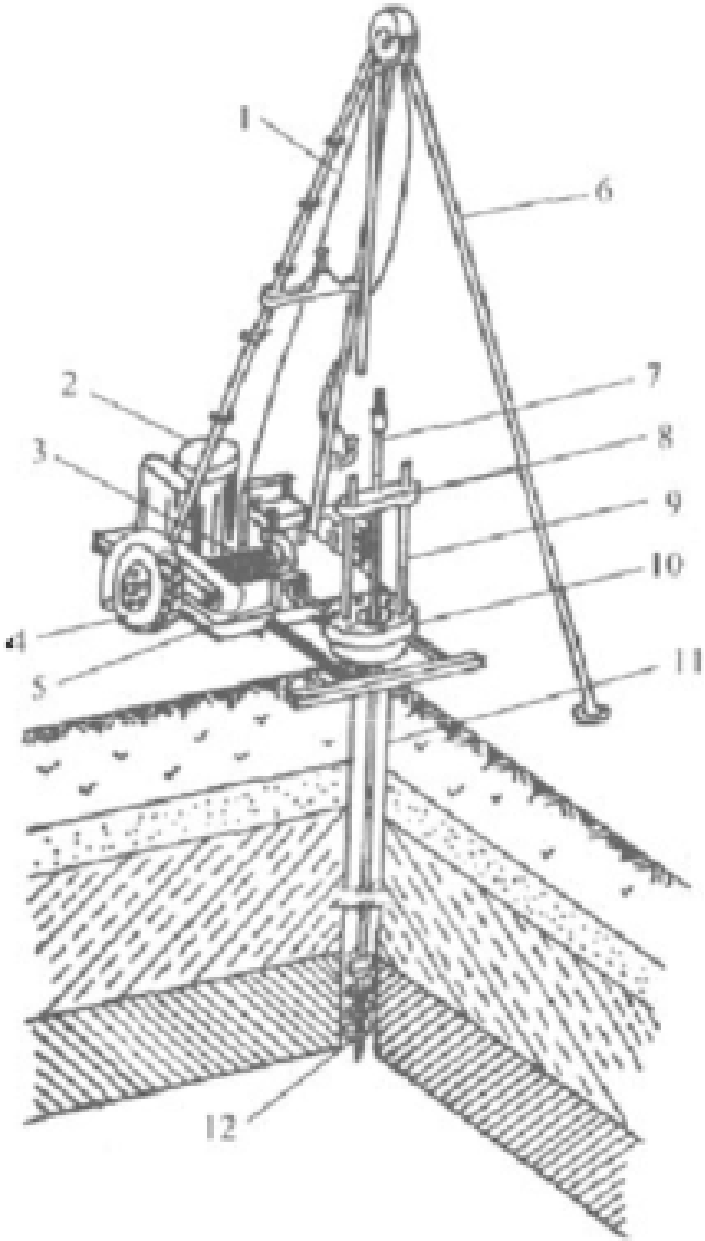


图2-2 SH-30型钻机结构示意图

人力钻钻探图

- 手摇麻花钻钻进;
- 小口径勺形钻钻进
- 洛阳铲钻进

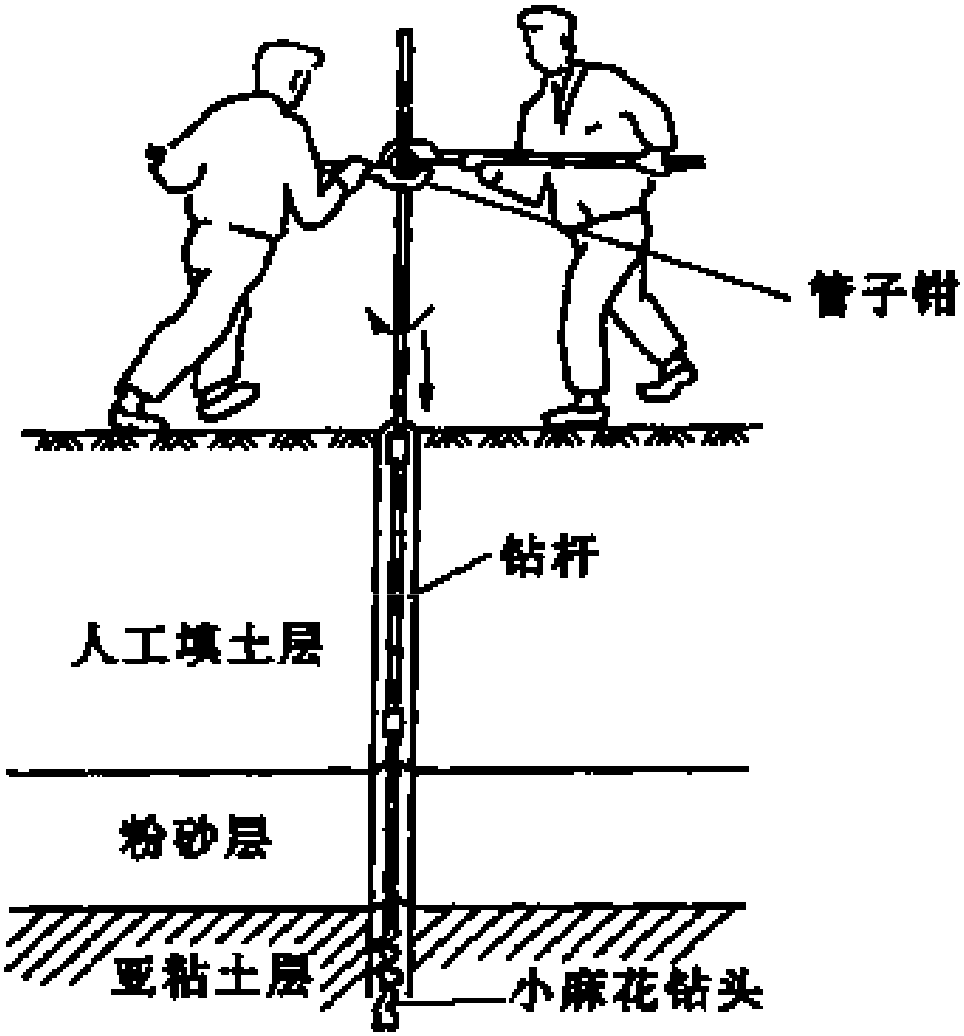
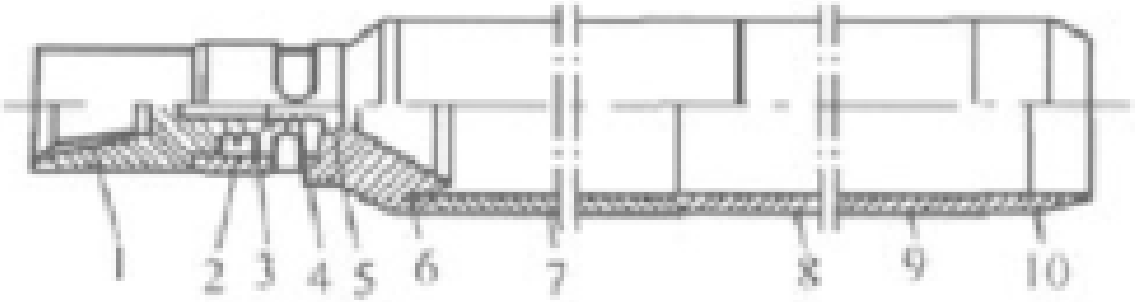


图 7.5　手摇麻花钻钻进示意图

技术孔和鉴别孔

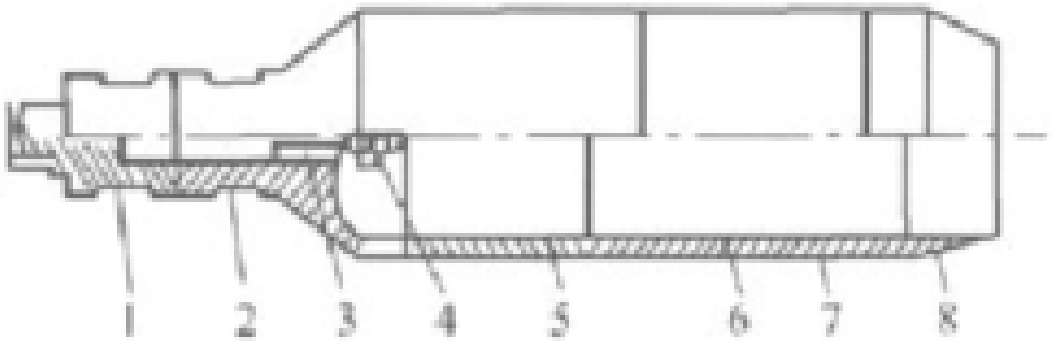
- 建筑场地的孔可分为技术孔和鉴别孔;
- 若仅用钻头钻进一定深度，然后上拔取出扰动土样进行鉴别，这样的孔称为鉴别孔。
- 若在钻到一定深度时，把钻头换成特制的取土器，用冲击沉入或压入土中，取得原状土样进行鉴别，这样的孔称为技术孔。



(a) 限制球阀式取土器

1—接头；2—调节片；3—调节螺丝；4—弹簧；
5—球；6—异径接头；7—余土管；8—衬管；
9—取土管；10—管靴

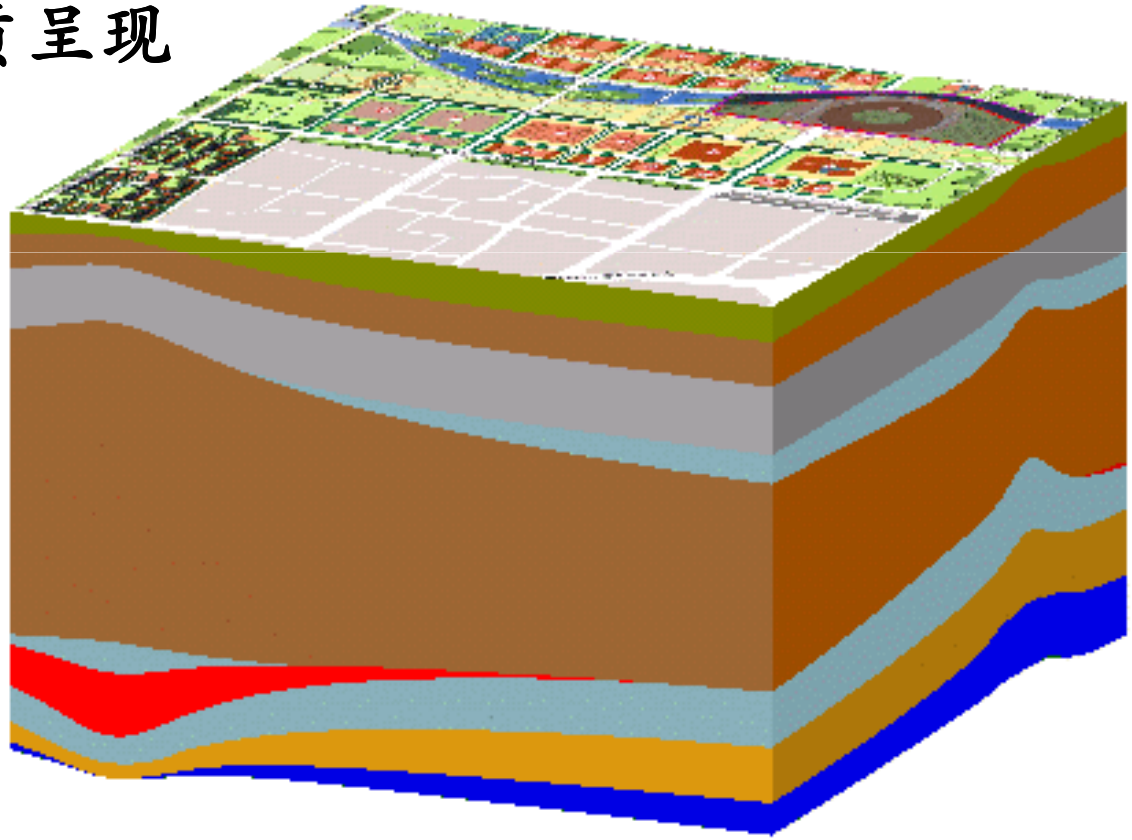
取土器



(b) 上提橡皮垫活阀式取土器

1—接头；2—连接器；3—操纵杆；4—橡皮垫活阀；
5—余土管；6—衬管；7—取土管；8—管靴

三维地质呈现



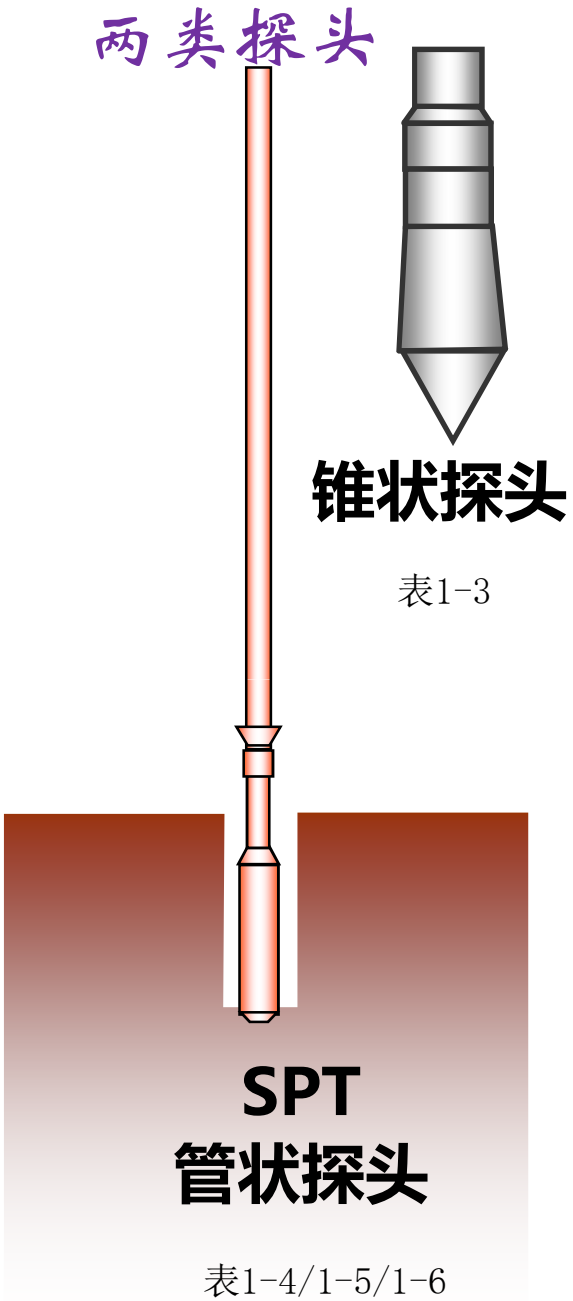
1.3.4 触探

- 触探既是一种勘探方法，也是一种现场测试方法，但测试结果所提供的指标并不是概念明确的物理量，通常需要将它与土的物理力学参数建立统计关系才能使用。这种统计关系因土而异，并有很强的地区性。
- 触探法具有许多优点，它不但能较准确地划分土层，且能在现场快速、经济、连续测定土的某种性质，以确定地基的承载力、桩的侧摩阻力、地基土的抗液化能力等。
- 根据触探头入土的方式不同，触探可以分为静力触探和动力触探两大类。

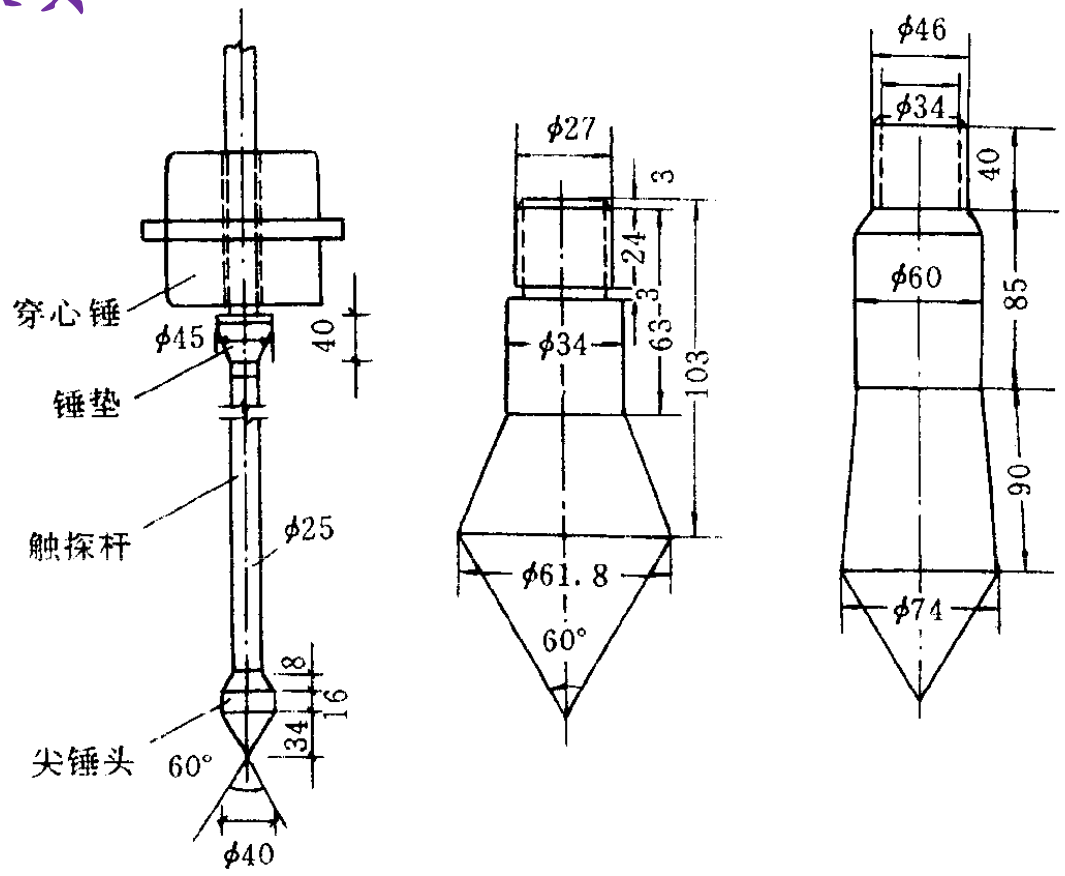
（1）动力触探 Dynamic Penetration

- 当土层较硬，用静力触探无法贯入土中时，可采用圆锥动力触探法，简称动力触探。动力触探法适用于强风化、全风化的硬质岩石，各种软质岩石及各类土。
- 动力触探仪的构造可分为3部分，即圆锥形探头、钻杆和冲击锤。
- 它的工作原理：动力触探是将一定重量的锤，从一定高度自由下落，锤击插入土中的探头，测定使探头贯入土中一定深度所需要的锤击数，以锤击数的多少判定被测土体的性质。

- 动力触探仪根据锤的质量进行分类，相应地探头和钻杆的规格尺寸也不同。分为：轻型(10kg)、中型(28kg)、重型(63.5kg)和特重型(120kg) 4类。
- 轻型动力触探是用以确定粘性土和素填土地基承载力和基槽检验的一种手段（将落锤从50cm高处下落，贯入土层30cm的锤击数N10为指标）；
- 中型和重型触探是评价碎石和卵、砾石地层密实度的有效试验工具。



圆锥形探头



(a) (b) (c)

图1-2 圆锥动力触探装置（mm）

2004.11.20

63.5 kg锤，76cm落距

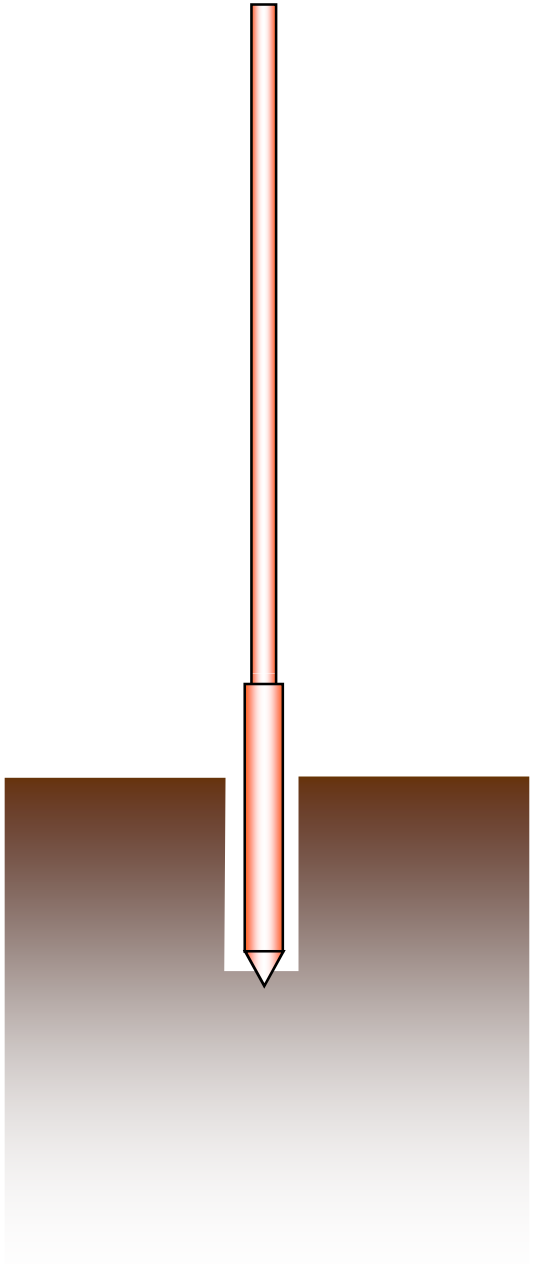
- 我国的城市建设中常采用轻便动力触探仪，用于粘性土和素填土，总结出一套每贯入一定深度（30 cm）的锤击数N与承载力的关系。

标准贯入试验适用砂土、粘性土 简称为标贯

- 动力触探试验所确定的地基承载力在很大程度上靠经验，可靠性较差，故安全系数用的也很大。
- 一般情况下，最好用静力触探，只有在静力触探遇到困难时，才考虑用动力触探。

（2）静力触探

- CPT（Cone penetration test)
- 静力触探是用静力将一定规格的圆锥形探头按一定的速率压入土中，通过测量土对探头的阻力，推测被测土层的工程性质。如砂土的密实度、粘性土的不排水强度、土的压缩模量，以及地基的承载力和液化可能性等。



P8

CPT适用于粘性土和砂类土

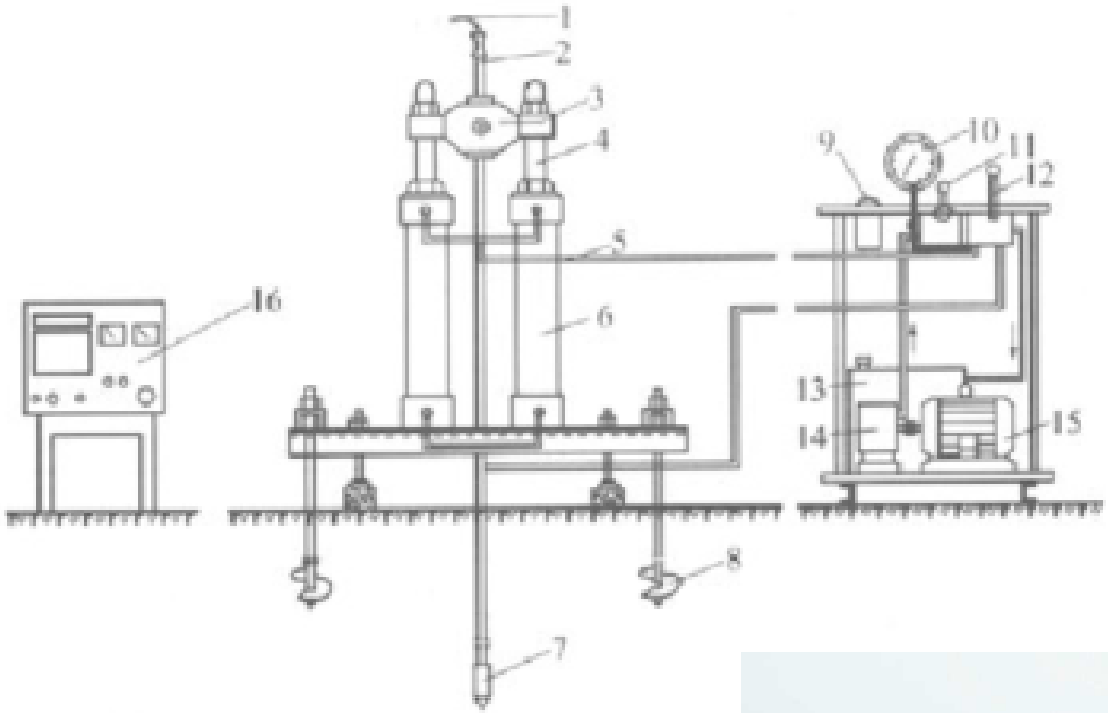


图 2－4　机械式静力触探

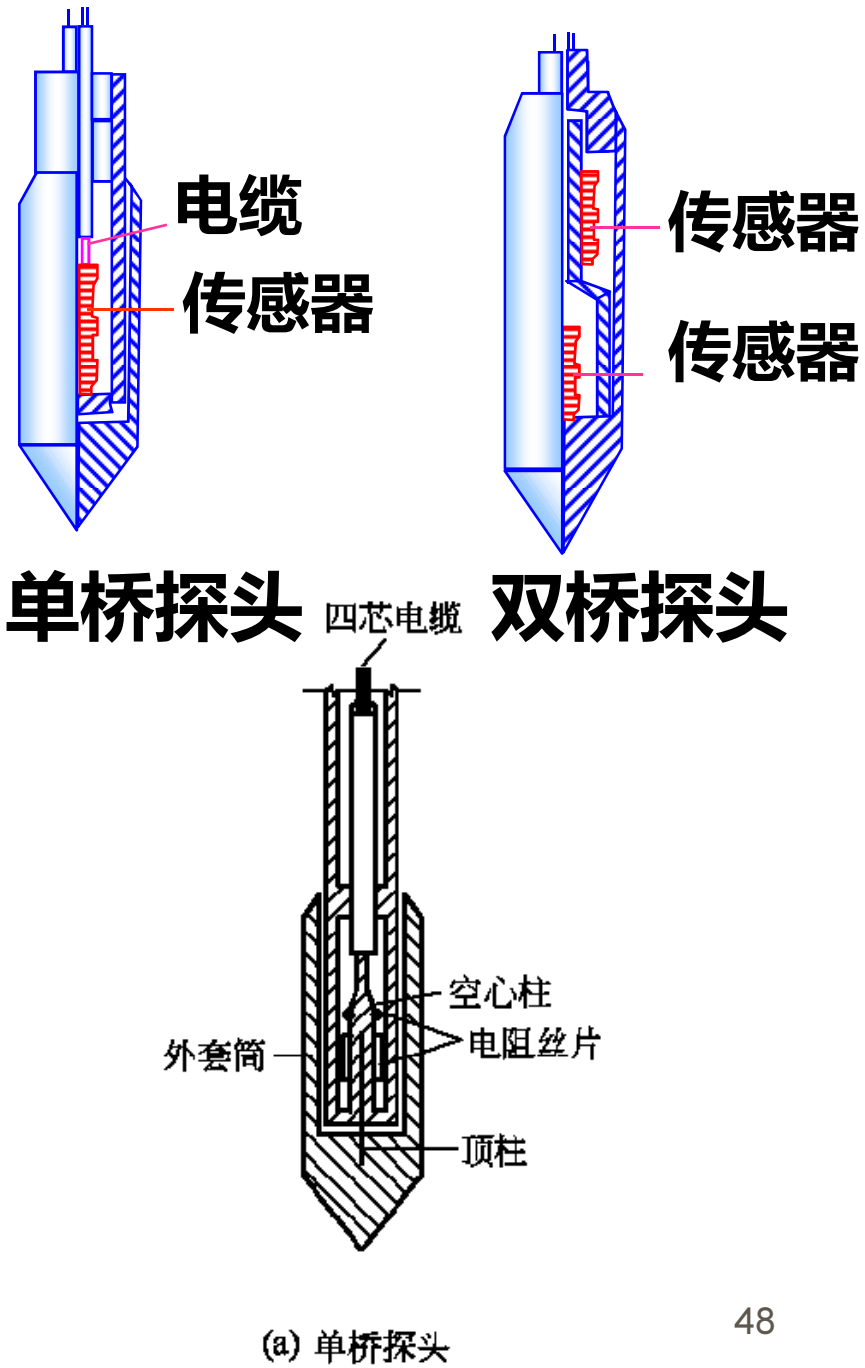
1—电缆;2—触探杆;3—活塞杆;4—长杆器;

7—触探头;8—地锚;9—倒顺开关;10—压力

12—换向阀;13—油箱;14—油泵;15—马

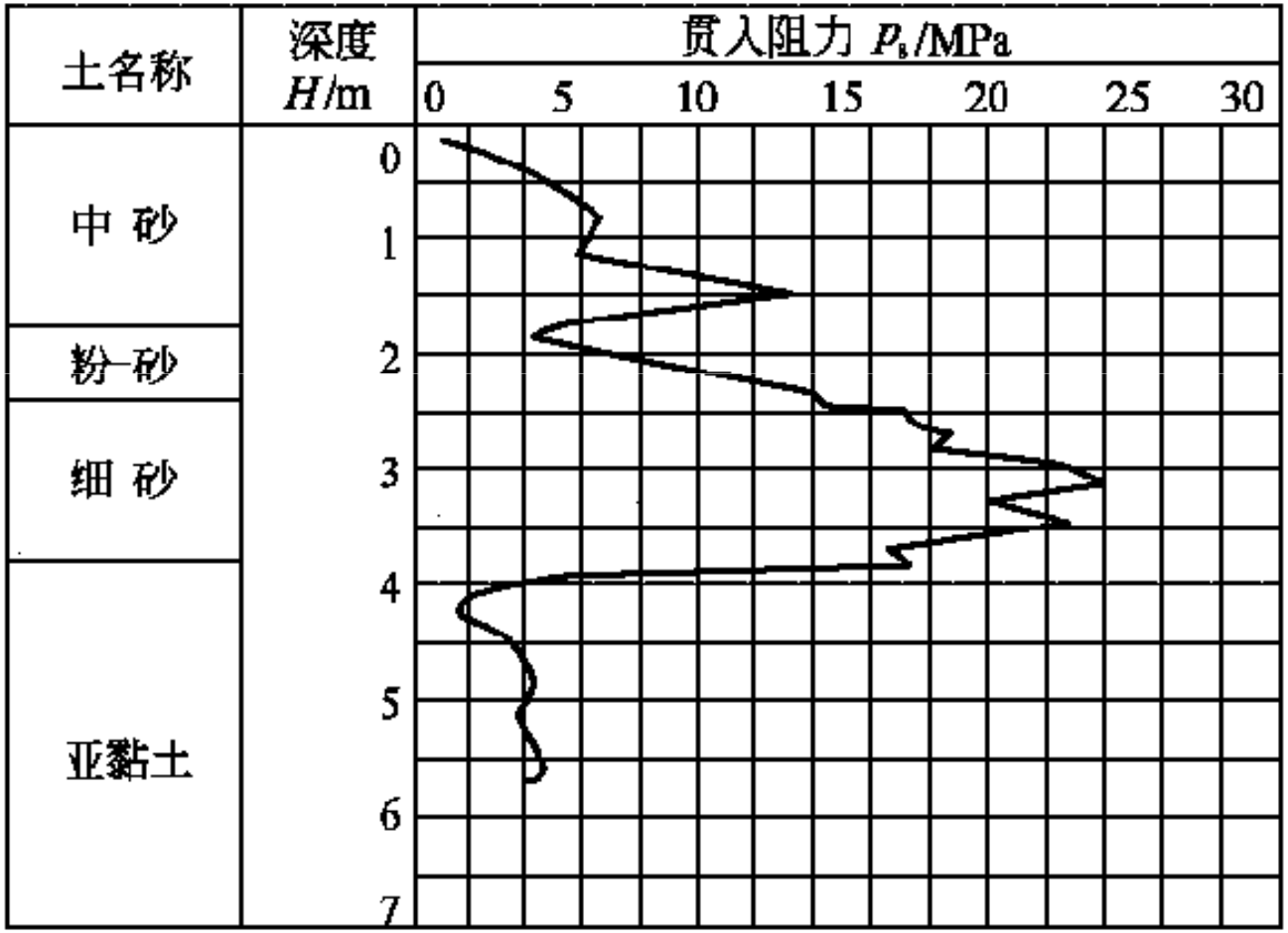
- 目前常用的静力触探探头有单桥探头和双桥探头两种。
- 单桥探头只能量测贯入过程中锥头所受的总阻力Q。若锥底面积为A，则比贯入阻力为：

$$p_s = Q/A \qquad (1\text{-}3)$$



(a) 单桥探头

单桥探头的p_s－H曲线



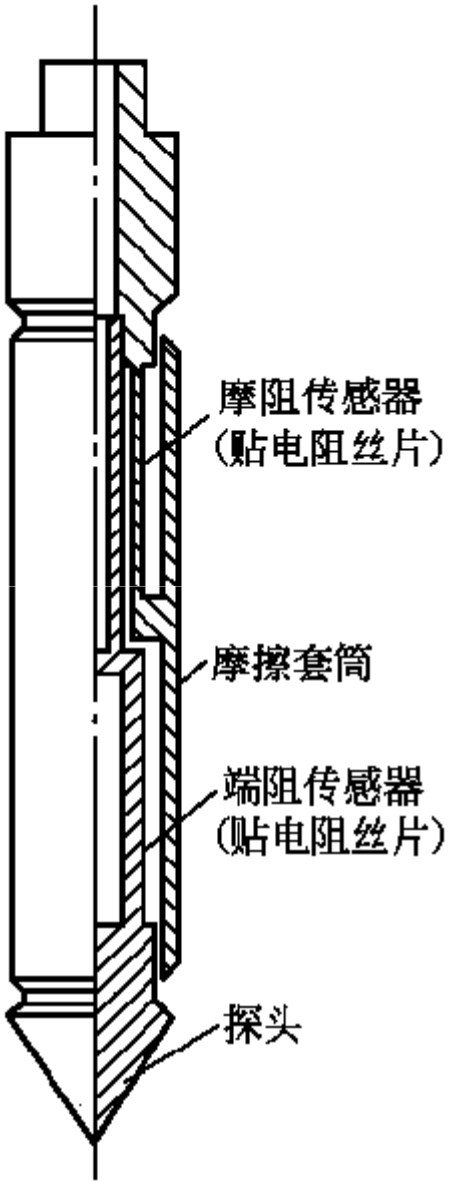
⌘ 双桥探头则能分别测定锥底的总阻力Q_p和侧壁的总摩擦阻力Q_s、单位面积上的锥头阻力和单位面积上的侧壁阻力分别为：

$$q_p = Q_p/A \qquad (1\text{-}4)$$

$$q_s = Q_s/S \qquad (1\text{-}5)$$

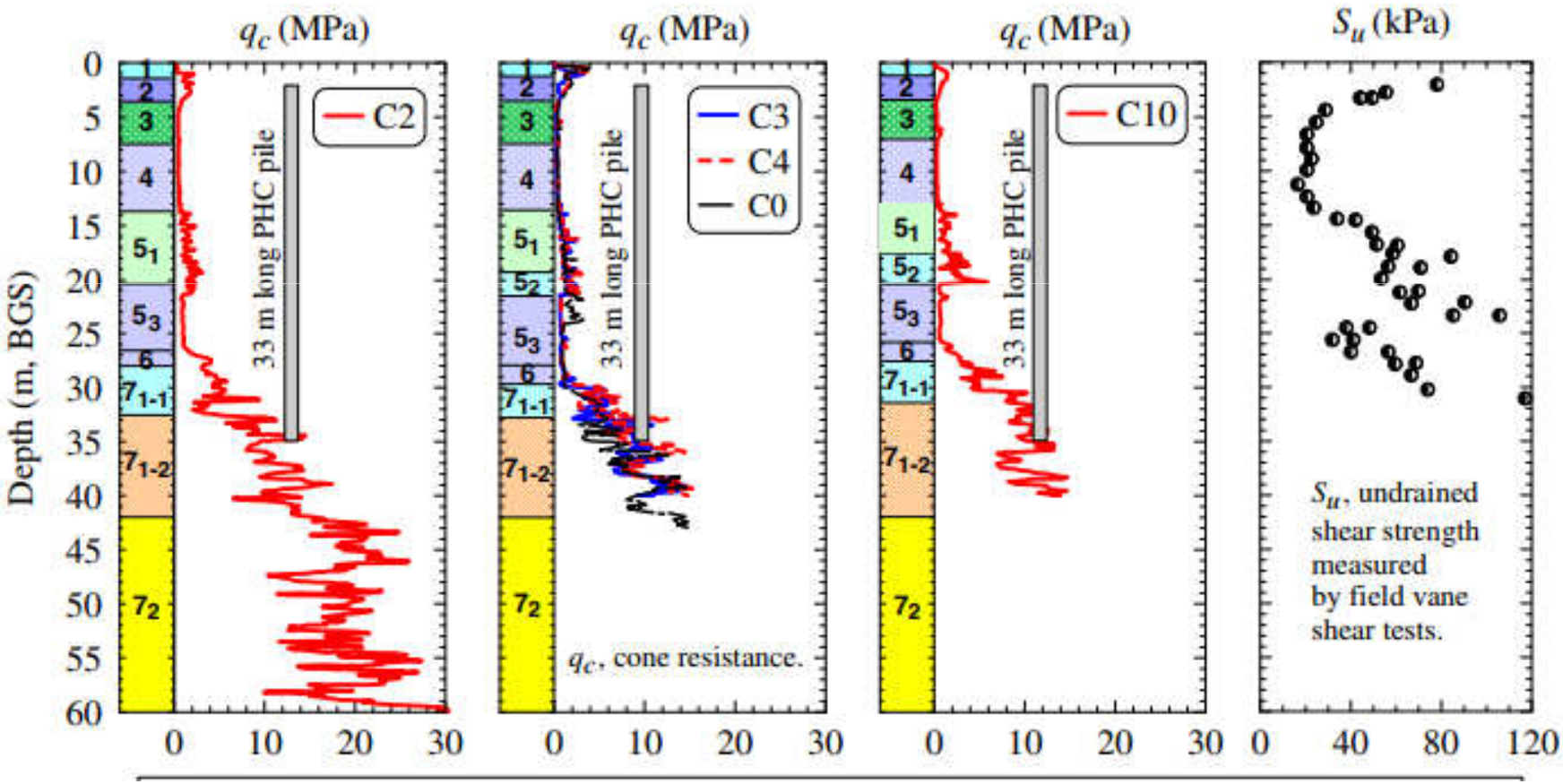
式中：S 为锥头侧壁摩擦筒的表面积。

⌘ 静力触探探头的受力情况与桩相似，因此根据q_s和q_p可以求出桩侧阻力和桩端阻力。



10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002264

J. Geotech. Geoenviron. Eng., 2020, 146(7): 05020005



（3）标准贯入试验　　书P6

- 标准贯入试验(SPT - Standard Penetration Test)是目前用得很多的一种动力触探法，其探头为管形。
- 标准贯人试验的设备主要由标准贯入器、触探杆和穿心锤3部分组成。
- 锤重63.5kg，落高76cm，以贯入30cm的锤击数N63.5(有时简写为N)作为贯入指标。
- 在GB_50007-2011《建筑地基基础设计规范》中，都以它作为确定砂土和粘性土地基承载力的一种触探法。
- GB50011-2010（2016年版）《建筑抗震设计规范》都以它作为判定地基土层是否可液化的主要方法。
- 还可以根据N值确定砂土和碎石土的密实程度。

或需要安装u盘上的
SWF播放器F

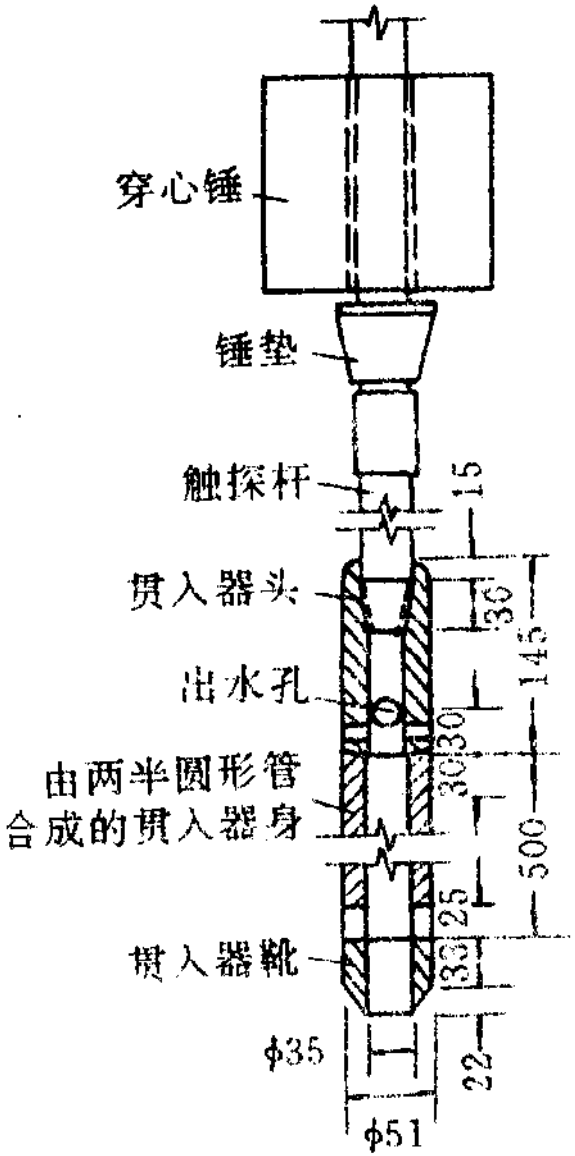


图1-1 标准贯入试验装置(mm)

FETsinghua 01 标准贯入试验检测.swf

- 《岩土工程勘察规范》(GB50021-2009)以及《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)对砂土密实度的划分

表1-3 按标准贯入击数确定砂土密实度

N值	密实度
N≤10	松散
10<N≤15	稍密
15<N≤30	中密
N>30	密实

使用这种方法时，当钻杆长度大于3m，要考虑贯入过程中的能量损失，对贯入锤击数需作钻杆长度修正，修正公式如下：

$$N_{63.5} = \alpha N \qquad (1\text{-}2)$$

式中：N— 实测锤击数；

α— 钻杆长度校正系数，

α=1(l≤3m)~0.7(l=21m)。

P6

§1.4　地基岩土分类

- 土 地质年代：Q3（第四纪晚更新世及以前期）
- Q4（第四纪全新世中近期）
- 岩石：非均匀性、各向异性、裂隙性

- 参见清华版 土力学

P9-12 参照课后习题
1-12至1-17

§1.5　室内土工试验与原位试验

也可参考：同济大学：袁聚云 徐超 赵春风编，土工试验与原位测试

- 土工试验是地基勘察的重要组成部分。通过试验，测定地基岩土的各项物理力学特性，提供地基设计和工程处理所需的指标。按照试验的环境和方法不同，土工试验可以分成两大类：
- （1）室内试验;
- （2）原位试验。

1.5.1 室内试验

- 地基勘察所必须包括的室内试验项目，视地基计算的要求而言，比如要确定地基的承载力就应该进行直剪试验或三轴剪切实验，要进行沉降计算就要做侧限压缩实验。

基础工程要求的室内土工试验项目

表 1-13　基础工程要求的室内土工试验项目

目　　的	应用指标	试验项目
定名和状态	1. 土的分类 黏性土和粉土：I_P（塑性指数） 粉土、砂土和碎石土：d（颗粒组成） 2. 土的状态 黏性土：e（孔隙比），I_L（液性指数） 粉土：e（孔隙比），w（含水量） 砂土：e（孔隙比），D_r（相对密度）	液限试验（w_L），塑限试验（w_P），颗粒分析试验（筛分法或比重计法），比重试验（G_s），含水量试验（w）*，密度试验（ρ）*
地基变形量和沉降随时间发展关系计算	a 或 E_s，E'_s（压缩系数或压缩模量、回弹再压缩模量），p_c（先期固结压力），c_v（固结系数）	侧限压缩试验（或称固结试验）*
用公式确定地基承载力，基坑边坡稳定分析和土压力计算	c（黏聚力） φ（内摩擦角）	三轴剪切试验或直剪试验*
基坑降水或排水	k（渗透系数）	渗透试验*
填土质量控制	w_{op}（最优含水量），ρ_{max}（最大干密度）	击实试验

* 应该用原状土样的试验项目。

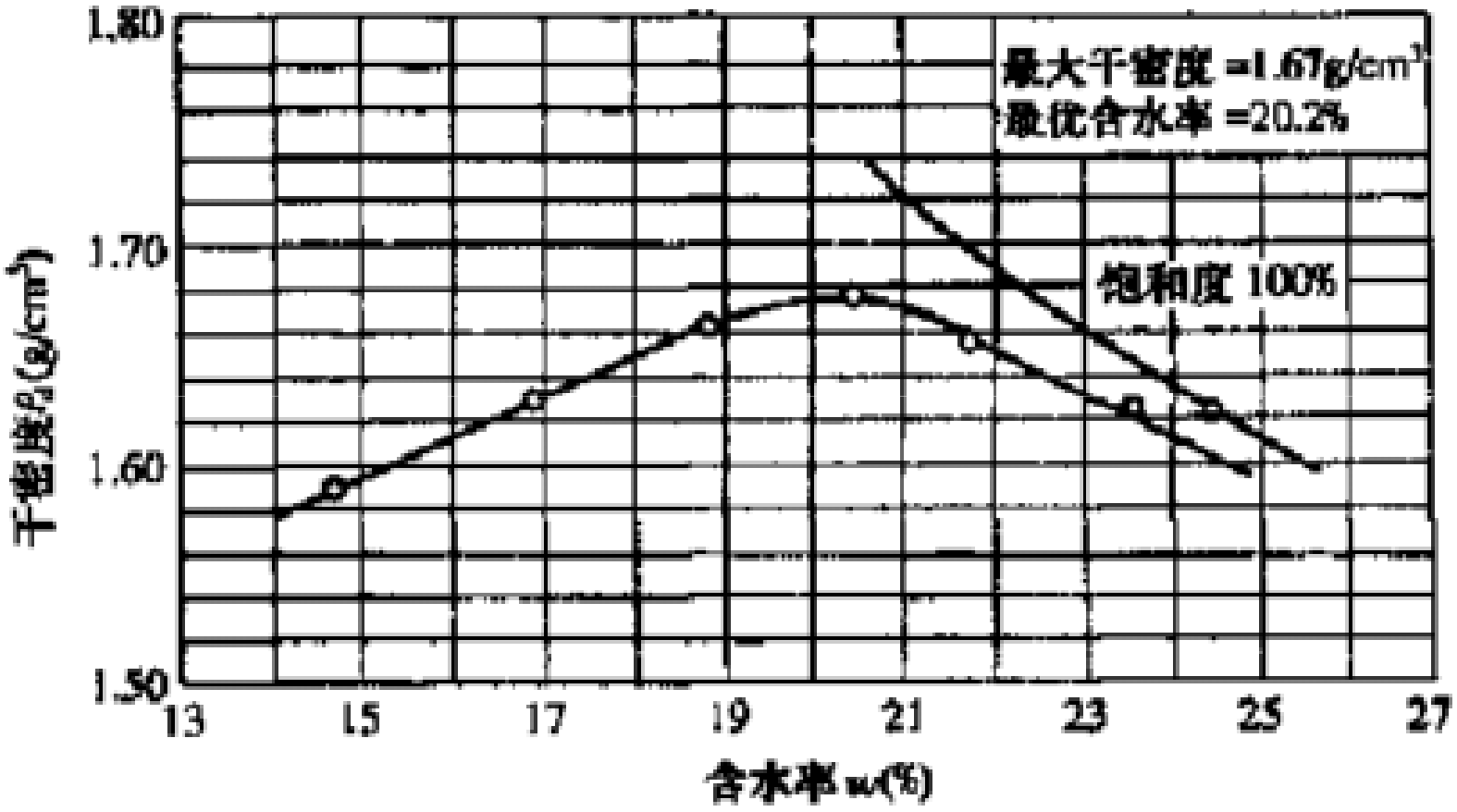
P12 截图

三轴剪切试验

- 对于重大工程或科学研究必须进行三轴剪切试验。当采用室内剪切试验确定土的抗剪强度指标时，（建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011)推荐采用三轴试验。
- 鉴于多数工程施工速度快，较接近于不固结不排水条件，故规范进一步推荐选择三轴剪切试验中的不固结不排水试验（UU试验），而且用UU试验成果计算，一般是比较安全的。采用UU试验时，宜在土的有效自重压力下预固结，这样更符台实际。

击实试验

- 击实试验就是模拟施工现场压实条件，采用锤击方法使土体密度增大、强度提高。沉降减小的一种试验方法。
- 土在一定的击实效应下如果含水率不同，则所得的密度也不相同，击实试验的目的就是测定试样在一定击实次数下或某种压实功能下的含水率与干密度之间的关系。
- 击实试验分轻型击实试验和重型击实试验两种方法。


最大干密度 =1.67g/cm³
最优含水率 =20.2%
饱和度 100%
干密度ρd(g/cm³)
1.80
1.70
1.60
1.50
13
15
17
19
21
23
25
27
含水率 w(%)

- 应该指出，天然生成的土，即使属于同一土层，性质也不会完全一致，因此用体积很小的一块土样所测得的指标难以代表整个土层的性质。为了使试验结果有较好的代表性，每项试验都必须从土层的不同部位取样，做若干个或若干组试验，并对结果进行统计分析，然后提出比较有代表性的指标。显然，平行试验的个数愈多，试验结果的代表性就愈强。
- 通常要求同一项试验的个数不少于6个（规范）。

P12

以土的抗剪强度指标为例，根据土的n组强度试验的结果，按下列公式计算内摩察角phiϕ和粘聚力c的平均值，μ 标准差，σ 变异系数，δ 然后按照统计理论计算它们的统计修正系数 ψ_ϕ 和 ψ_c，最后计算它们的标准值，ϕ_k 和 c_k

$$\mu_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_i}{n} \qquad \sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_i^{\,2} - n\mu_m^2}{n-1}} \qquad \delta = \frac{\sigma}{\mu_m}$$

1-7 1-8 1-9

P13

根据内摩察角和粘聚力的变异系数，按下列公式计算它们的统计修正系数

$$\psi_c = 1 - \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta_c \qquad \psi_\phi = 1 - \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta_\phi$$

1-10　　1-11

再根据二者的平均值及修正系数分别计算其标准值

$$c_k = \psi_c c_m \qquad \phi_k = \psi_\phi \phi_m$$

1-12　　1-13

大空间　小样本

P13

粉质粘土力学统计 EXCEL表

目录PPTsByWuFinal2019\RefsChap01

表3.1 粉质粘土试验成果统计表

岩性	编号	含水量	密度	比重	饱和度	孔隙比	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩模量	自由膨胀率	抗剪强度	
		ω	ρ_w	Gs	Sr	e_0	ω_L	ω_p	I_p	I_L	E_s	δef	内摩擦角 ϕ	粘聚力C
		%	g/cm^3		%		%	%			Mpa	%	°	Kpa
粉质粘土		5.70	2.46			1.27	0.12	1.46						
		6.00	2.51	2.32	18.04	0.75	0.16	1.75						
		7.30	2.38	2.65	11.69	0.78		2.53						
		7.00	2.44	3.46	20.12	1.11								
		5.70	2.41		10.60	2.65		1.32						
		5.30	2.33			0.63		1.25						
		4.20	2.33	2.33		0.63								
		4.00	2.43	2.43		1.23								
		5.20	2.33	2.33		0.99								
		5.30	2.35	2.35		0.69								
		7.50	2.46	2.46										
				3.86										
				3.49										
				2.05										
n		11	11	15	4	8	2	5	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
最小值		4.00	2.33	2.05	10.60	0.69	0.12	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最大值		7.50	2.51	3.86	20.12	1.23	0.16	2.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
平均值		5.75	2.40	2.71	15.11	0.97	0.14	1.66	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
标准差		1.15	0.06	0.51	4.68	0.27	0.03	0.52	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
变异系数		0.20	0.03	0.19	0.31	0.28	0.20	0.32	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
修正系数		0.89	0.99	0.91	0.65	0.81	0.52	0.70	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
标准值		5.11	2.37	2.47	9.76	0.7872	0.0728	1.16	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
保证率平均值		6.41	2.37	2.47	12.90	0.7887	0.1633	2.55	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

1.5.2 原位试验

- **原位试验：** 是在岩土层原来所处位置基本保持原有的天然结构、天然含水量以及天然应力状态下，测定岩土体的物理力学指标。
- 由于试验土体的体积大，所受的扰动小，测得的指标有较好的代表性，因此近几十年来，原位试验技术和应用范围均有很大的发展。
- 前面阐述的触探试验也可算是原位试验，不过它所测定的不是土的某种物理、力学性质指标。

P13

⌘ 直接测定原位土的物理、力学性质指标，最常用的有:

1）平板载荷试验（竖向的压缩性试验、地基直接承载力试验）

2）旁压试验（横向的压缩试验、地基间接承载力试验）

3）十字板剪切试验（抗剪切强度试验、推算地基承载力）

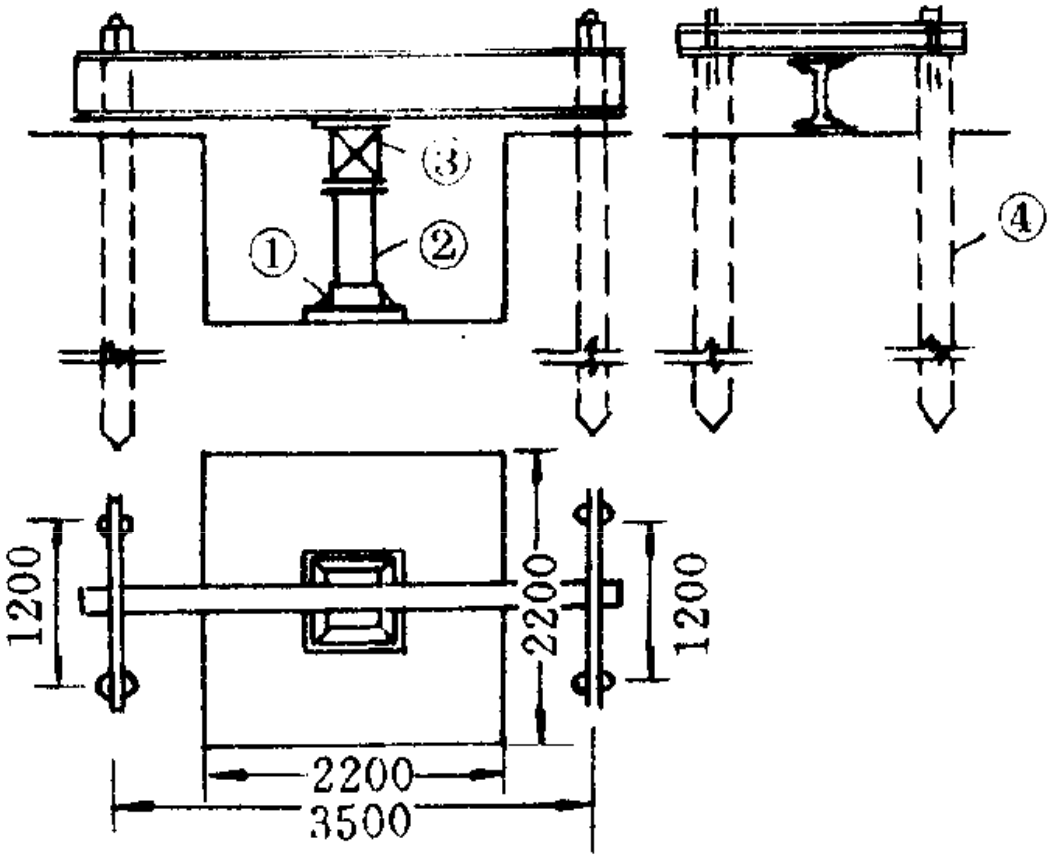
P13 FETsinghua 01 荷载板试验或承载板试验.swf

（1）平板载荷试验（PLT，Plate load test）

- 平板载荷试验是一种模拟实体基础承受荷载的原位试验，用以测定地基土的变形模量E、地基承载力以及估算建筑物的沉降量等。
- 工程中常认为这是一种能够提供较为可靠成果的试验方法，所以对于一级地基或复杂地基，特别是碰到松散砂土或高灵敏度软粘土，取原状土样很困难时，均要求进行这种试验。
- 进行载荷试验要在建筑场地适当的位置挖一定深度的试坑，深度等于基础埋深，宽度不小于3倍的荷载板宽度或直径，常用尺寸为50，70.7，100cm，即面积2500，5000，10000cm^2。

P13

加载方法一



① 荷载板； ② 支柱；

③ 千斤顶； ④ 锚锭木桩。

加载方法二

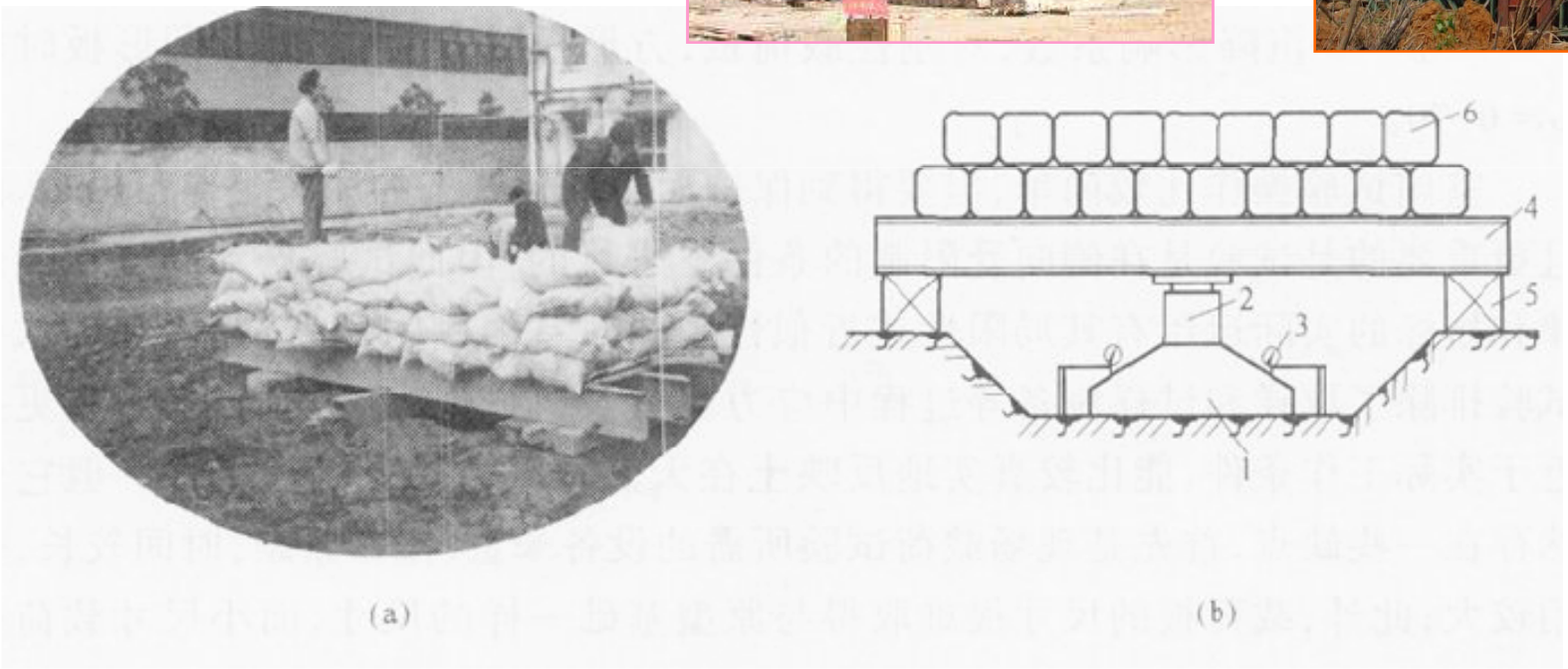


图 4－7　地基土现场载荷试验现场和简图

(a) 地基土现场载荷试验现场；(b) 地基土现场载荷试验简图

1—载荷板；2—千斤顶；3—百分表；4—平台；5—枕木；6—堆重

造价高

如果出现下列现象之一即认为地基破坏，可以终止试验：

（1）载荷板周围的土有明显侧向挤出或发生裂纹；

（2）荷载 p 增加很小，但沉降s却急剧增加；p-s曲线出现陡降；

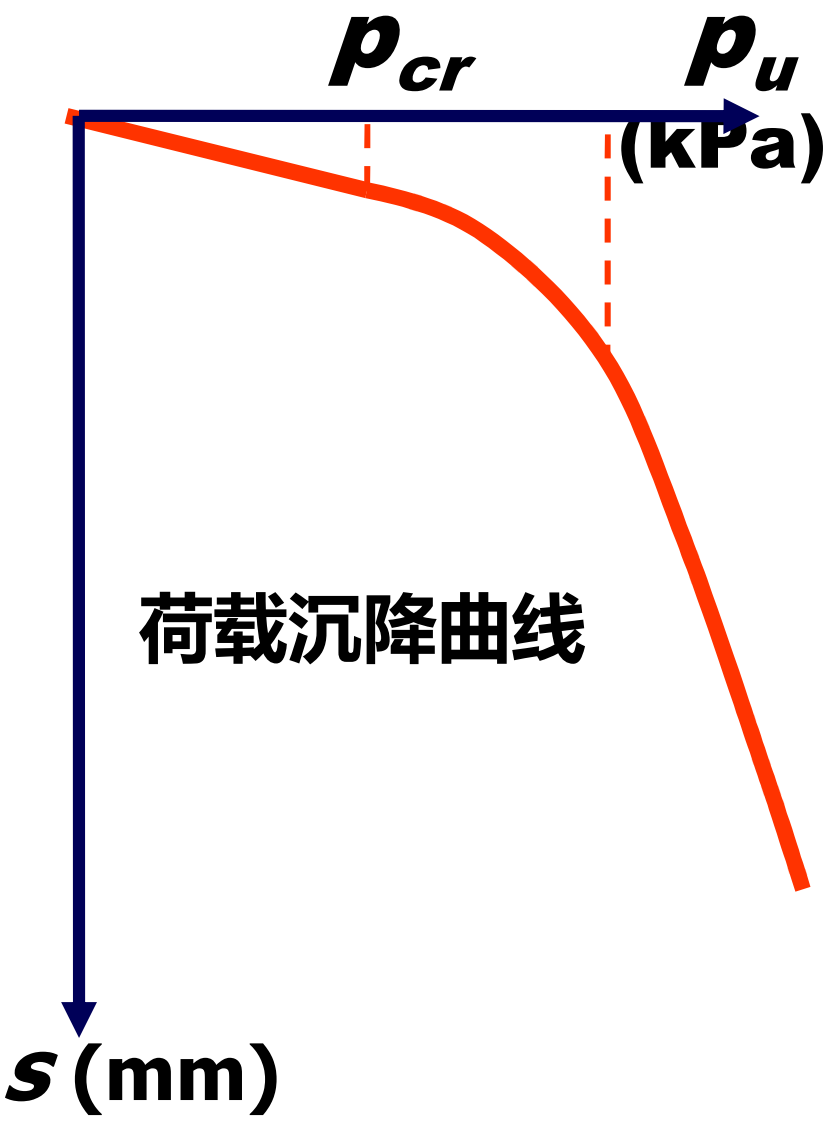
（3）在某级荷载下，24小时内，沉降速率不能达到稳定标准。

- 在不出现上述现象时，也可用s/b ⩾ 0.06（b为荷载板宽度）的荷载作为破坏荷载pf，终止试验。取破坏荷载的前一级荷载作为极限荷载 p_u。
- 根据每级荷载 p所对应的沉降量s，绘制p-s曲线，如图1-3(b)。

P14

*p-s*曲线

- 试验时对荷载板逐级加载，测量每级载荷p所产生的沉降，得到p-s曲线，如图1-3(b)所示。

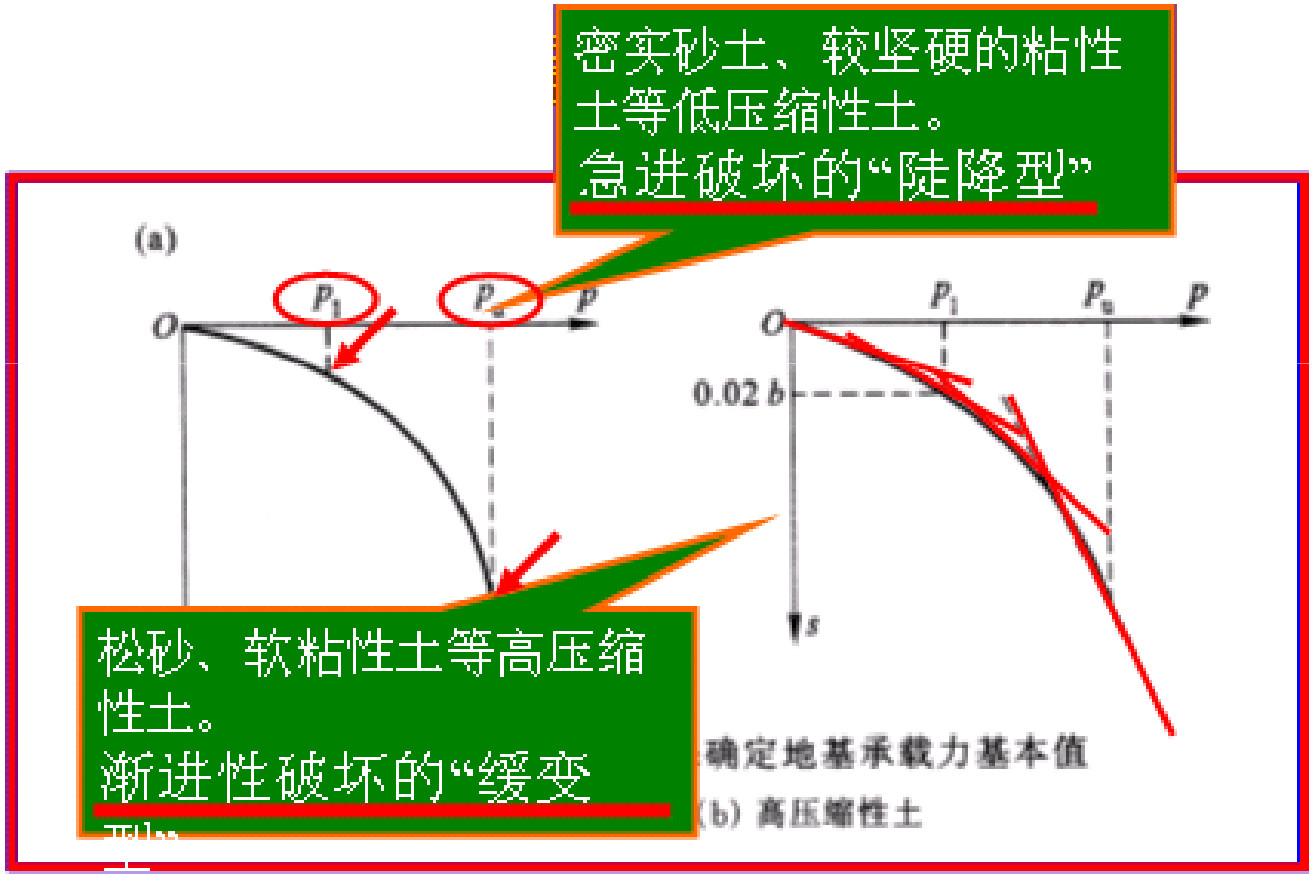


承载力的特征值f_{ak}

比例界限p_{cr}

当p_u<2.0 p_{cr}时取极限承载力一半

按载荷试验p-s线确定地基承载力



（i）根据p-s曲线，用下式求土的变形模量

$$E = [pb(1-\mu^2)/s]I \qquad (1\text{-}14)$$

式中:

p---在p~s曲线的直线段oa上,相应于沉降s(m)时所对应的板底压强, kpa

b---荷载板的宽度,m

μ---土的泊松比,对于饱和土μ=0.50

I 是反映荷载板形状和刚度的系数，对刚性方形荷载板，可取 I = 0.88。

P14

（ii）利用载荷试验确定地基的承载能力

⌘要依靠 p~s曲线的特征：

（1）当p-s曲线有明显直线段时，取直线段的比例界限点p_{cr}作为地基的承载力标准值 f_o 。

（2）当从p-s曲线上能够确定极限荷载p_u，且p_u小于p_{cr}的1.5倍时，采用p_u除以安全系数K作为承载力基本值 f_o，K 一般可取2。

（3）当无法采用上述两种标准时，若压板面积为0.25 ~ 0.5m^2，对于低压缩性土和砂土，可取s/b = 0.01 ~ 0.015所对应的荷载值；对于中高压缩性土，则取s/b = 0.02所对应的荷载值，作为地基承载力的标准值。

说明

- 值得的是，载荷板尺寸一般比实际基础小，影响深度较小，试验只反映1～2倍载荷板宽度的影响深度范围内土层的承载力。
- 如果载荷板影响深度之下存在软弱下卧层，而该层又处于基础的主要受力层内（如图），此时除非采用大尺寸载荷板做试验，否则意义不大。

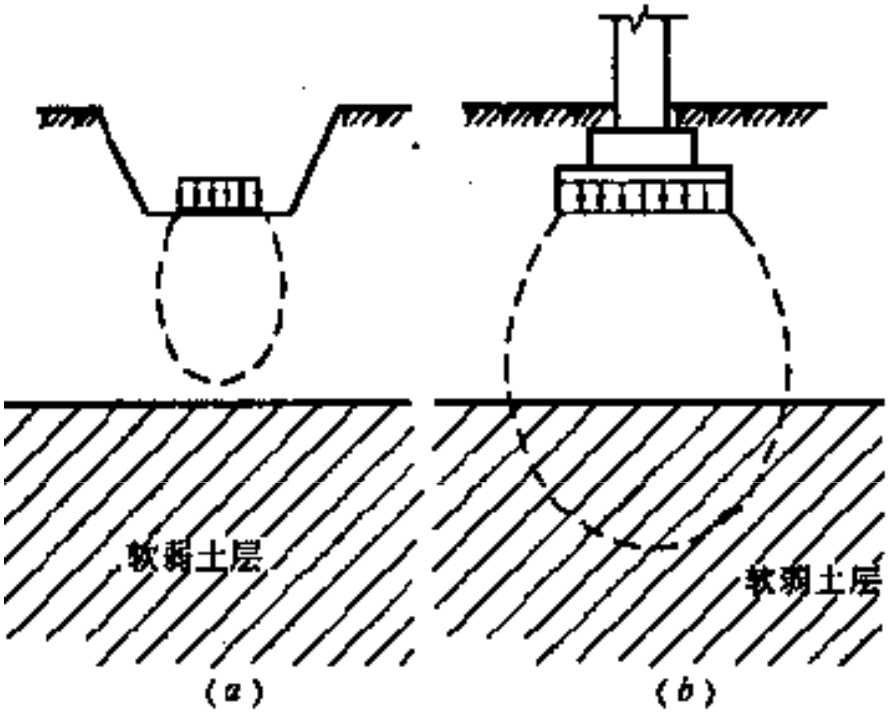


图 7.15　载荷板与基础荷载影响深度的比较

(a)载荷试验；(b)实际基础

承载力基本值、标准值、特征值的关系

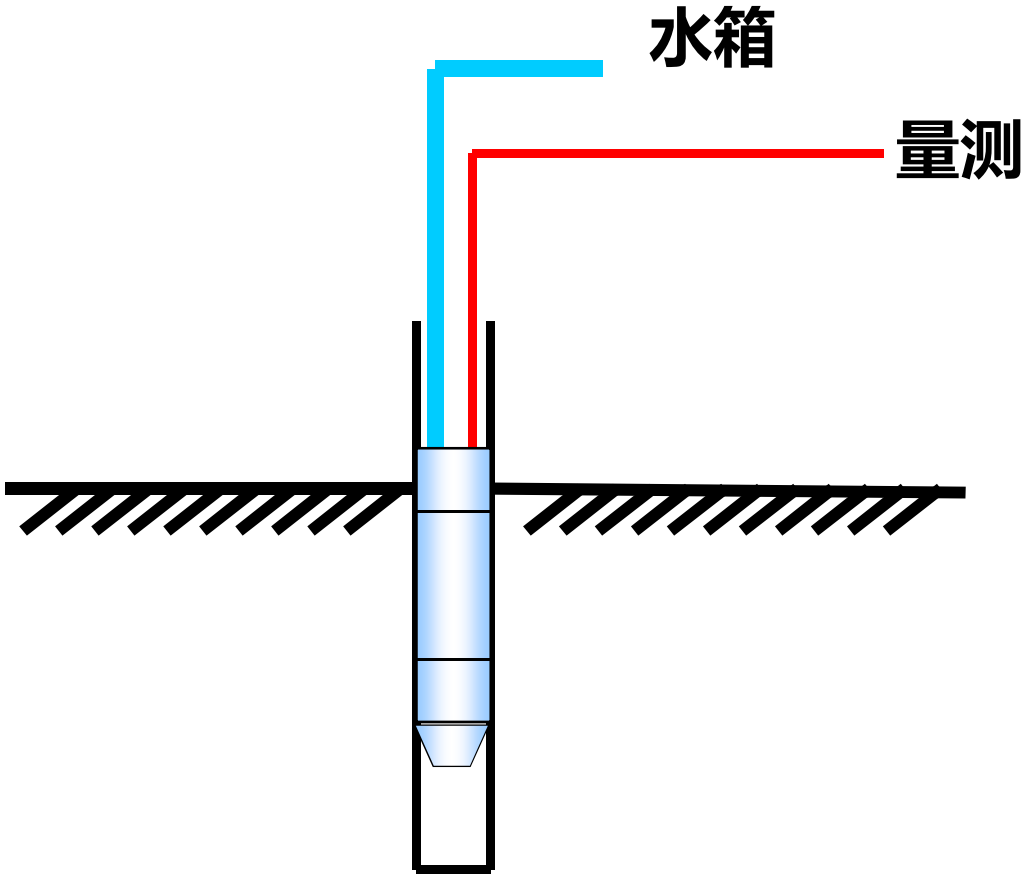
- 单次试验，一个试验点，基本值 f_0；
- 同一土层，几个试验点，平均后乘以统计修正系数得标准值 f_{ak}；
- 标准值经深度、宽度修正后的特征值 f_a。

（2）旁压试验

- 平板荷载试验的试坑深度等于基础埋深，如果基础埋深很大，则试坑开挖很深，工程量太大，不适用；若地下水位较浅，基础埋深在地下水位以下，则平板荷载试验无法使用。在这类情况下，可使用旁压试验，即PMT（Pressuremeter test）。
- 旁压试验又称横压试验，是在钻孔内进行的横向载荷试验，能用以测定较深处土层的变形模量和承载力。
- 旁压仪由旁压器、充水系统、加压系统和变形量测系统4部分组成。

旁压试验装置及试验曲线

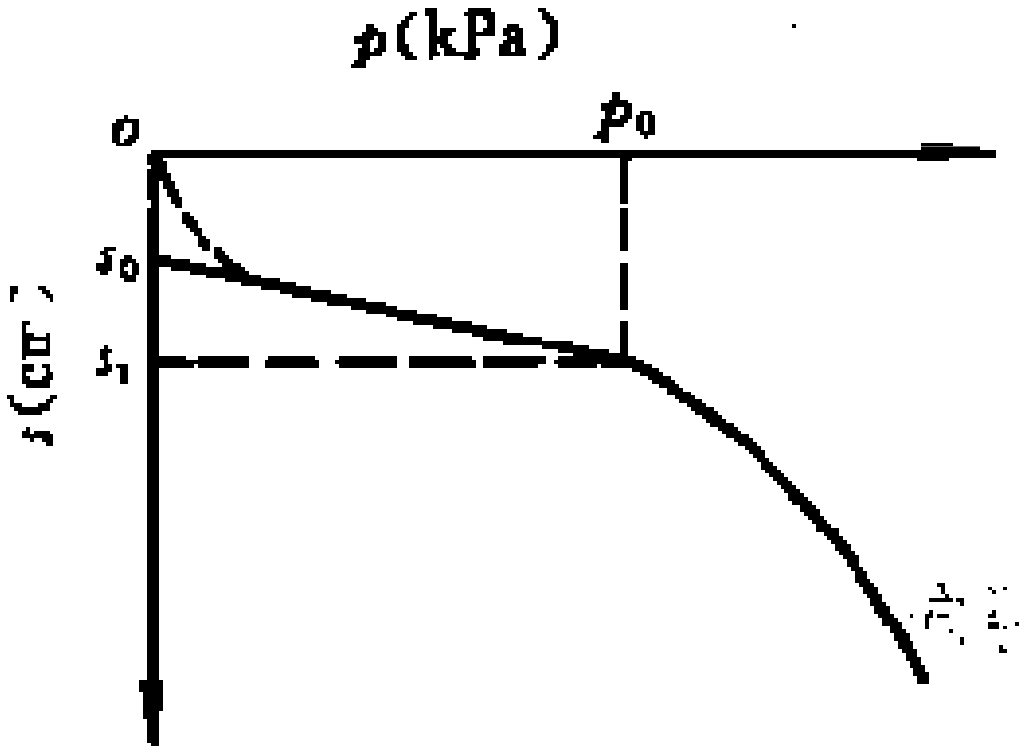
- 土体变形量测系统。采用透明的有机玻璃制成的一支测管和一支辅管，管子的内截面面积为 15.28cm2。测管旁边安装刻度为1mm的钢尺，量测测管中的水位升降用。测管和辅管竖直固定在旁压仪的表盘上，各管的上端密封并接通精密压力表；其下端分别连接旁压器的中腔与上、下腔。



- 旁压器是旁压仪的主要部分。它是外径56mm的圆柱形橡皮囊，内部用横隔膜分成中腔和上下腔。中腔直接用以量测，称为测量室；上下腔用以保持中腔的变形均匀，将空间问题简化成平面应变问题，称为辅助室。
- 试验时，先将旁压仪竖在地面，打开充水系统的注水阀，向旁压器及管路充水。充满后，关闭注水阀门。将旁压器置于钻孔中预定的测试位置。利用加压系统，经测量管（包括铺助管）分级向旁压器加压，测量室和辅助室因内部水压升高而体积膨胀，直至四周土体破坏。

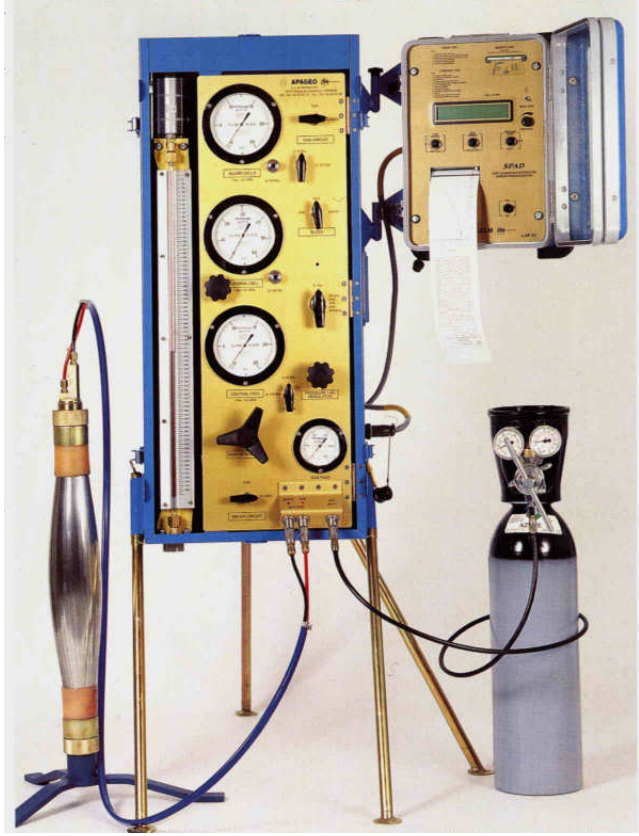
旁压试验成果

•绘制测量室四周孔壁所受的压力p与测管水位下降值S 的变化关系曲线如图。



- 上述旁压试验都是在已钻成的钻孔内进行的，这类旁压仪称为预钻式旁压仪。
- 实际上，钻孔不但使孔壁土体受到扰动，同时也改变了孔壁土体的应力状态，使旁压试验结果失真。为了减少探头插入过程对土的扰动，保持土体的天然应力状态，70年代又发展了自钻式旁压仪，就是在测试段的下部带有钻孔切削和冲洗设备，可以自行钻到试验部位，还可以测定土中的孔隙水压力，使旁压试验更趋完善。

自钻式旁压仪



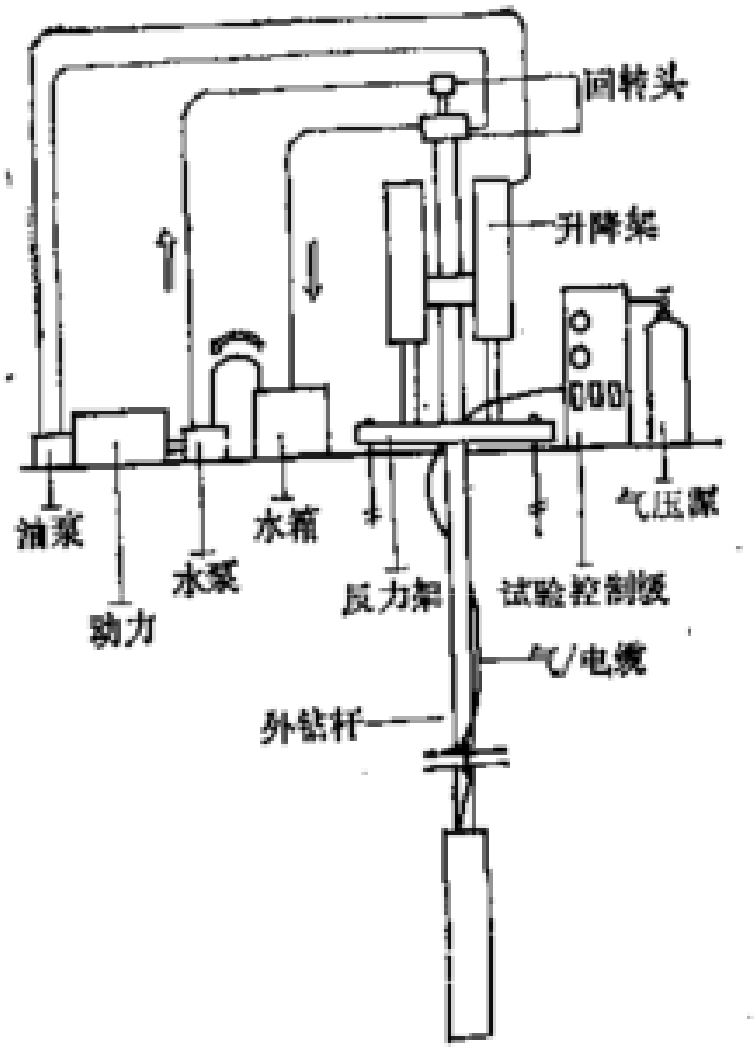


图 2-28 剑桥式自钻横压仪装置示意图

（3）十字板剪力试验

⌘VST（Vane shear test)

⌘十字板剪切试验是一种抗剪强度的原位测试最常用的方法。

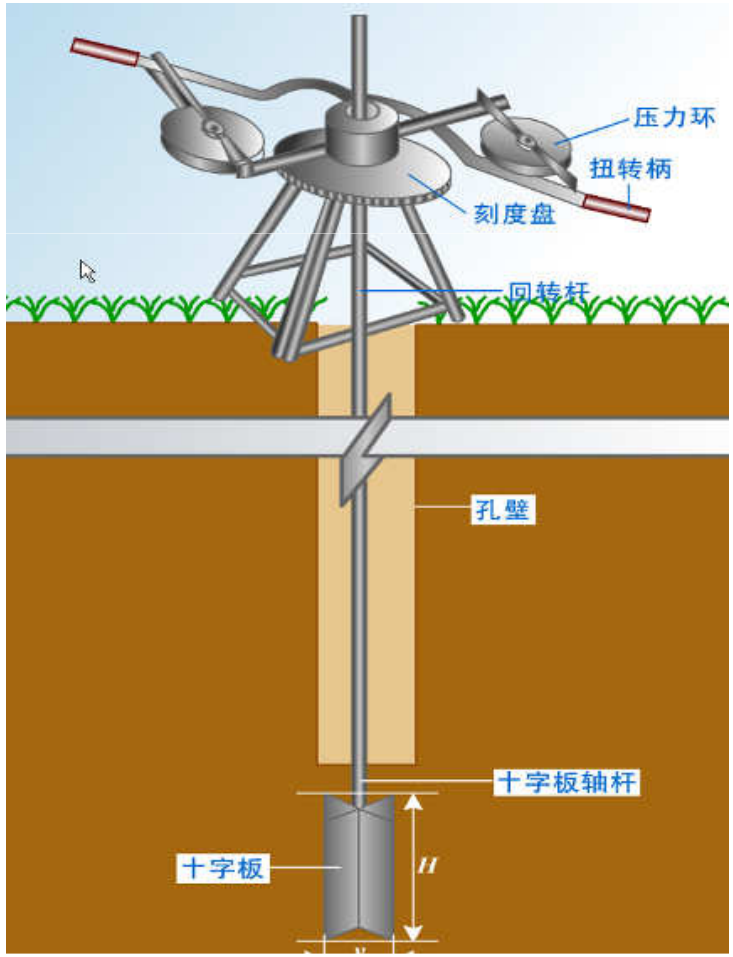
⌘该试验无需钻孔取原状土样，而是在工地现场直接测试地基土的强度。

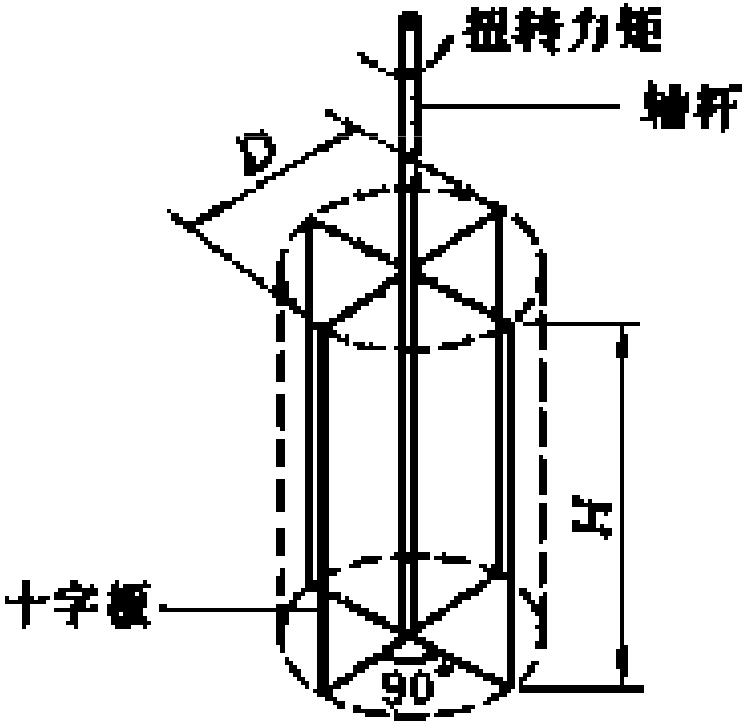
⌘该法对土的扰动小，试验时土的排水条件、受力状态与实际情况非常接近。

⌘这种方法适用于地基为软弱粘性土、取原状土困难的条件，并可避免在软土中取土、运送及制备试样过程中受扰动影响试验成果的可靠性。**饱和软粘土**

P16

⌘仪器主要由十字板和加载剪切装置及测力装置所组成，如图1-5所示。软粘土中十字板的直径和高度一般为75mm ×100mm或75mm ×120mm，较硬的土中一般用50mm ×100mm的板头。





- 十字板剪切试验在钻孔中进行。通过钻杆将十字板头插入拟测试的土层中预定深度处，然后由安放在地面上的加力装置对钻杆施加扭矩，使板头等速扭转，一般要求在3~10分钟内剪损。测得剪损的峰值扭矩M max，再用公式计算土的不排水抗剪强度。

1-25 试总结各种土工原位测试方法测得的特征指标、工程应用及所适用的土类。

土工原位测试成果及应用

测试方法	特征指标	主要工程应用
标准贯入试验	标准贯入击数$N_{63.5}$	1.确定砂土密度; 2.评价砂土地基承载力 3.评价地基液化势
轻型动力触探试验	N_{10}	1.评价粘性土地基承载力; 2.基槽检验
重　型动力触探试验 特重型	$N_{63.5}$ N_{120}	评价碎石土和卵石土的密实度,以及这类土的承载力
单桥探头静力触探 双桥探头	比贯入度P_s 侧壁阻力q_s 锥底阻力q_p	1.评价土的密度;　　2.评价地基土承载力 3.估算地基土的压缩性; 4.估算单桩承载力 5.评价地基液化势
平板荷载试验	变形模量E 比例界限Pcr 极限荷载Pu	1.地基变形计算;　　2.评价地基承载力 3.推算砂土地基沉降量
旁压试验	横向模量E 横向比例界限Pcr 横向极限荷载Pu	1.地基变形计算 2.评价地基承载力
十字板剪切试验	不排水强度	1.不排水强度; 2.评价地基承载力; 3.求地基土灵敏度

于它所测试的是较大范围的岩土体，故测试结果远较室内试验的土样更具有代表性；此外，可以在现场进行重复验证，并可缩短试验的周期，所以在工程中得到日益广泛的应用。表 1-15 归纳了上述几种原位测试方法所测定的特征指标和工程上用以解决的问题。

表 1-15　土工原位测试成果及其应用

测试方法	特征指标	主要工程应用	适用土类
标准贯入试验	标准贯入击数 N	① 确定砂土密实度 ② 评价地基土液化势 ③ 确定土层液化影响折减系数(用于桩基)	砂土、粉土、一般黏性土
轻型动力触探试验	N_{10}	① 施工验槽 ② 填土勘查 ③ 局部软土、洞穴勘查	浅层的填土、砂土、粉土和黏性土
重型和超重型触探试验	$N_{63.5}$ N_{120}	① 评价碎石土的密实度 ② 评价场地的均匀性和地基承载力	砂土、碎石土、极软岩和软岩
静力触探试验 单桥探头 双桥探头	比贯入阻力 p_s 侧壁阻力 q_s 锥底阻力 q_p	① 评价土的密实度或塑性状态 ② 评价地基土承载力 ③ 估算单桩承载力 ④ 评价地基土液化势	软土、一般黏性土、粉土、砂土、含少量碎石的土
平板载荷试验	变形模量 E 临塑荷载(比例界限) p_{cr} 极限荷载 p_u	① 地基变形计算 ② 评价地基承载力	各种土和软质岩
旁压试验	旁压模量 E_p 旁压临塑荷载 p_{crh} 旁压极限荷载 p_{uh}	① 地基变形计算 ② 评价地基承载力	各种土和软质岩
十字板剪切试验	不排水抗剪强度 τ_f	① 不排水强度 ② 评价地基承载力 ③ 求地基土灵敏度	饱和软黏性土
大型直剪试验	岩土的抗剪强度指标 c、φ 结构面和接触面摩擦系数 f	① 评价地基承载力 ② 评价地基稳定性	粗粒土及含大量粗颗粒的土、软质岩

P18

思考题：

1-18 土是一种很不均匀的材料，试验结果离散性很大，如何整理试验结果提供有代表性的试验指标？

答案在P12 1.5.1 室内试验下面

§1.6 地基勘察报告

地基勘探报告的基本内容包括：

- 1）任务要求；
- 2）工程的结构特点；
- 3）勘探方法；
- 4）地形，地貌，地质构造，地基土层分布，各层土的特性，地下水，不良地质现象等描述和评价；
- 5）场地和地基的等级评价；
- 6）不良地质现象的整治措施，对设计、施工的建议。

P19

报告应附有必要的图件

包括：

⌘1）勘探点的平面布置图；

⌘2）钻孔柱状图；

⌘3）地质剖面图；

⌘4）原位测试成果图表；

⌘5）室内试验成果图表；

⌘6）其他必要的专门图件和计算分析图表。

1）勘探点布置平面图

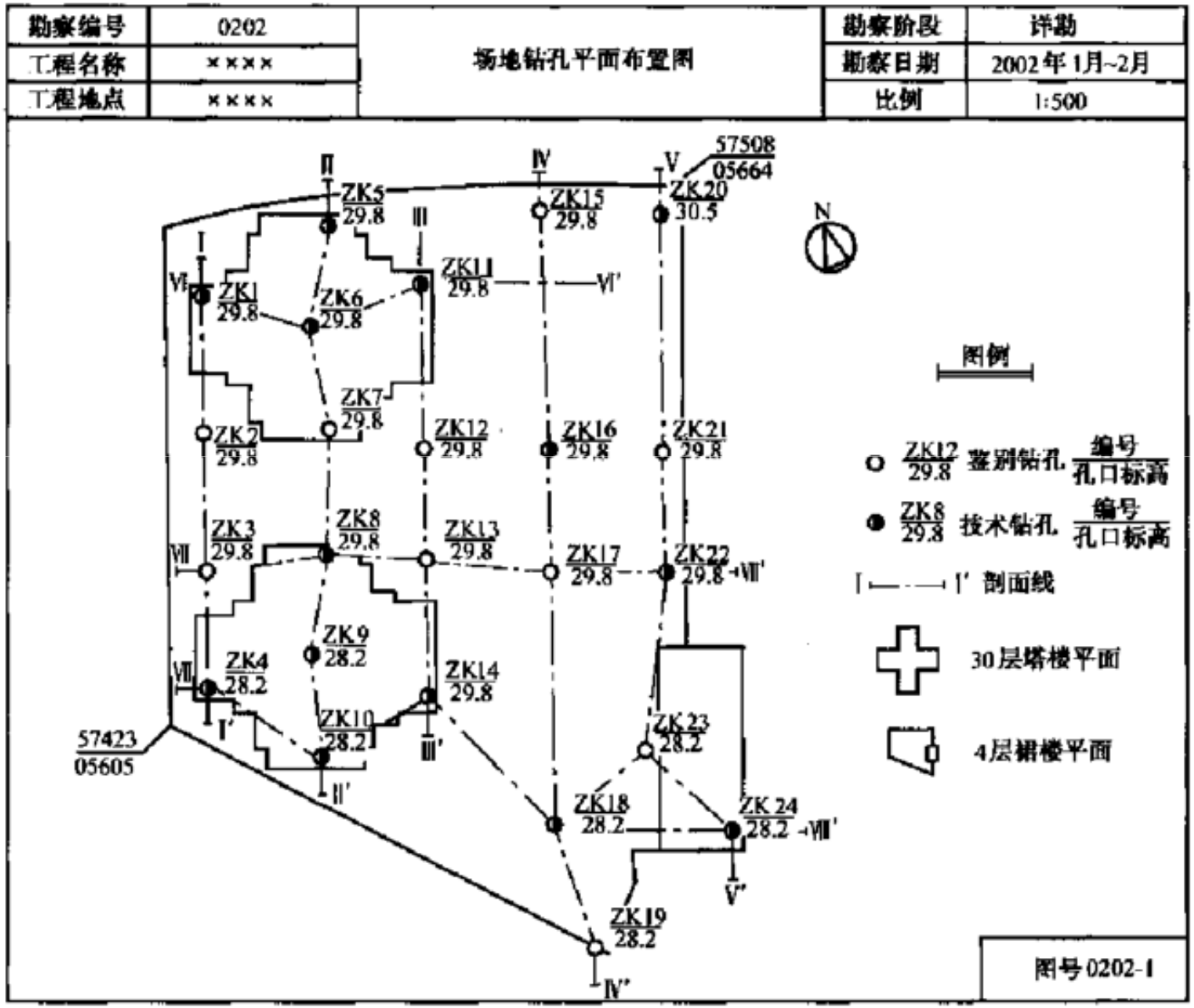


图2－10 勘探点平面布置示意图

2）钻孔柱状图

勘察编号	0202	钻孔柱状图	孔口标高	29.8 m
工程名称	××××		地下水位	27.6 m
钻孔编号	ZK1		钻探日期	2002年2月7日

地质代号	层底标高(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	层序号	地质柱状 1:200	岩芯采取率(%)	工程地质简述	标贯$N_{63.5}$ 深度(m)	实际击数 / 校正击数	岩土样 编号 / 深度(m)	备注
Q^{ml}		3.0	3.0	①		75	填土：杂色、松色，内有碎砖、瓦片、混凝土块、粗砂及粘性土，钻进时常遇混凝土板				
		10.7	7.7	②	●	90	粘土：黄褐色，冲积、可塑、具粘滑感，顶部为灰黑色耕作层，底部土中含较多粗颗粒	10.85 / 11.15	31 / 25.7	ZK1-1 / 10.5-10.7	
Q^{al}		27.3	13.0	③	▲	85	坚硬，土中含较多粗石英粒，局部为砾质粘土	20.85			
γ_5^1		32.4	5.1	④	+ + + ■	80	花岗岩：灰白色-肉红色，粗粒结晶，中微风化，岩质坚硬，性脆，可见矿物成分有长石、石英、角闪石、云母等，岩芯呈柱状			ZK1-3 / 31.2-31.3	
										图号 0202-7	

▲ 标贯位置　■ 岩样位置　● 土样位置

拟编：　　审核：

图2-11　钻孔柱状图

3）工程地质剖面图

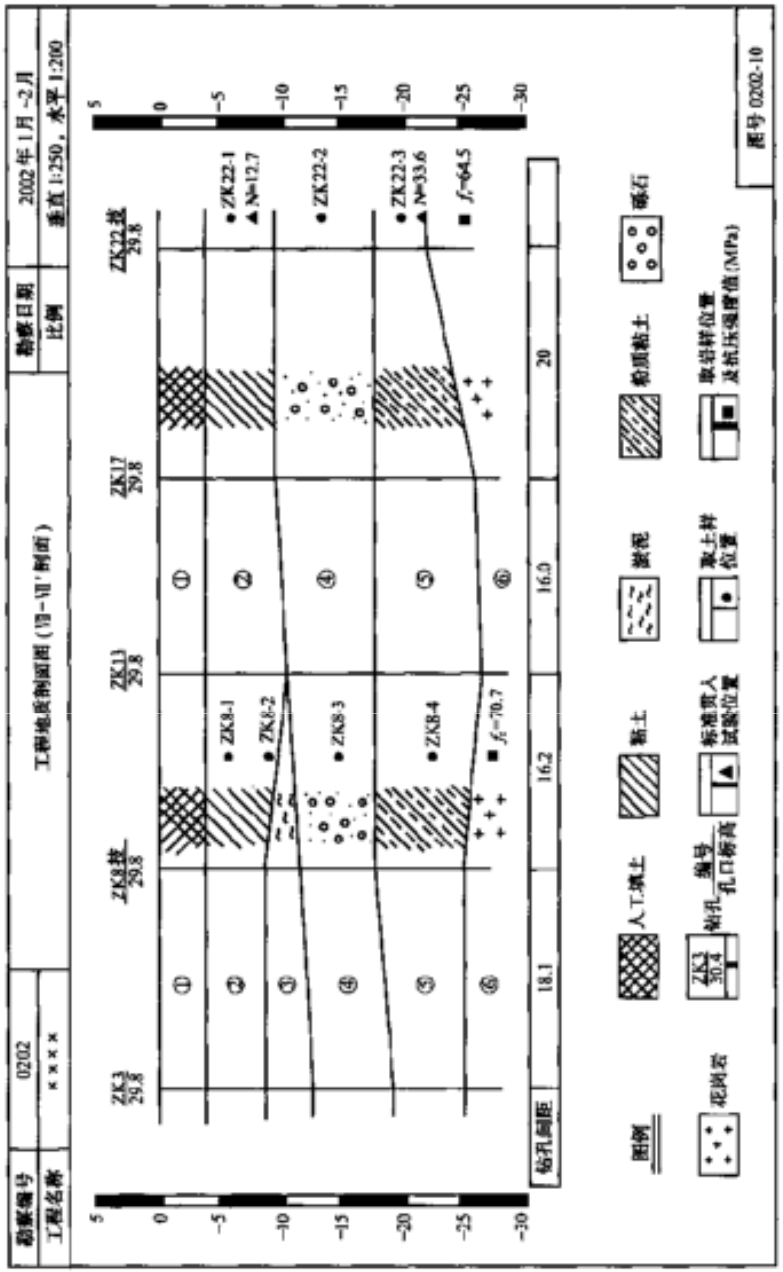


图 2－12　工程地质剖面图

4）土工试验成果汇总表

表 2－24　土工试验成果汇总表

主要指标		天然含水率 w /%	土的天然密度 γ/(kN·m^{-3})	孔隙比 e	液限 w_L /%	塑限 w_P /%	塑性指数 I_P	液性指数 I_L	压缩系数 a_{1-2} /MPa^{-1}	压缩模量 E_{s1-2} /MPa	岩石的饱和单轴极限抗压强度 f_a /MPa	抗剪强度		地基承载力标准值 f_k/MPa
												内聚力 c_{ck} /MPa	内摩擦角 φ_{ck} /(°)	
②	粘土	25.3	19.1	0.710	39.2	21.2	18.0	0.23	0.29	5.90		25.7	14.8	289
③	淤泥	77.4	15.3	2.107	47.3	26.0	21.3	2.55	1.16	2.18		6	6	35
⑤	粉质粘土	18.1	19.5	0.647	36.5	20.3	16.2	<0	0.22	7.49		30.8	17.2	338
⑥	花岗岩										26.5			

（四）结束语及建议

方案	地基类型	基础砌置标高	持力层土质 ***	地基承载力特征值/kPa ***	其他建议
Ⅰ	浅埋天然地基（局部按设计需要处理）	详见天然老土起始标高分区图	粉质黏土②层粉土③层	$f_{ak}=180$	甲$_2$：土的密度分布不均匀，要求加强上部结构丙$_1$、丙$_2$、丙$_3$、戊$_5$、戊$_6$

注：甲、乙、丙、丁、戊为勘探单位对加强结构或地基采取的各种措施（略）。

备注：1. 本报告书中的 f_{ak} 值是综合值（即多种方法综合确定，未加基础埋深和宽度修正）。

2. 本场地土质湿度相差较大，土的密度和强度也不均匀，要求槽底严格进行钎探，结合钎探数据必须对过软、过硬土层进行妥善处理。

地基勘察本章小结

1. 了解地基勘察的目的和任务，基本的勘察内容及勘察流程
2. 了解基本的勘探方法及各自的用途
3. 掌握标准贯入试验的操作方法和用途
4. 掌握平板载荷试验的目的、方法和用途

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

http://www.xingzhengwu.com/CVInChinese/index.html