

第四章 特殊岩土的工程勘察

教学内容：

- 1、湿陷性黄土岩土工程勘察；
- 2、膨胀岩土岩土工程勘察；
- 3、红粘土岩土工程勘察。

教学要求：

- 1、掌握各类特殊性土的工程勘察主要特点、基本技术要求及其岩土工程评价；
- 2、了解各种岩土的整治方法。

• § 4-1 湿陷性黄土

在一定压力下受水浸湿，土结构迅速破坏，并产生显著附加下沉的现象称为**湿陷**，浸水后发生湿陷的黄土称为**湿陷性黄土**。

其中，在上覆土的自重压力下受水浸湿发生湿陷的黄土称为**自重湿陷性黄土**，在大于上覆土的自重压力下受水浸湿发生湿陷的黄土称为**非自重湿陷性黄土**。

我国湿陷性黄土主要为 Q_3 马兰黄土和 Q_4 新近堆积黄土，广泛分布于北方的中、西部地区（如甘肃、陕西、山西、河南、辽宁等）。

• (一) 湿陷性黄土的工程地质特征

- 湿陷性黄土的主要工程地质特征是：
 - 1、 粒度成分以粉粒组为主（多在50%~70%之间），天然孔隙比较大（多在1.0~1.1之间），天然状态下多具垂直节理和大孔隙架空结构；
 - 2、 由于可溶盐胶结物与负孔隙压力的存在，在天然状态下，其压缩性较低，表观粘聚力较大，抗剪强度较高，但遇水浸湿后，因可溶盐胶结物的胶溶作用以及负孔隙压力的消失，其压缩性骤然增大，表观粘聚力骤然减小乃至完全消失，导致土的抗剪强度迅速减小而产生湿陷。
 - 3、 由于垂直节理的存在，其渗透系数具有明显的各向异性，垂直向渗透系数一般比水平向渗透系数大10倍左右。

- **（二）湿陷性黄土岩土工程勘察基本技术要求**

湿陷性黄土场地与地基的岩土工程勘察除应满足一般场地与地基的岩土工程勘察基本技术要求外，还应着重调查和评价湿陷性黄土的工程特性及其对建筑物的影响：

——着重查明黄土地层的时代、成因，湿陷性土层的厚度，湿陷系数随深度的变化，湿陷类型和湿陷等级的平面分布，地下水位变化幅度，湿陷性黄土的主要物理力学性质；

——结合工程要求，对场地与地基作出岩土工程评价和处理措施建议。

1、 勘探点的布置应根据建筑总平面图、建筑物类型、工程地质条件复杂程度确定。

勘探点间距可根据场地类别与勘察阶段按下表确定。

湿陷性黄土地基勘探点间距（m）

场地类别	初步勘察勘探点间距	详细勘察勘探点间距
简单场地	151~250	51~100
一般场地	101~150	30~50
复杂场地	50~100	<30

2、 勘探点的深度应根据湿陷性黄土的厚度和预估压缩层深度确定。

——除应大于预估压缩层深度外，对非自重湿陷性黄土场地，还应大于基础底面下**5m**；

——对自重湿陷性黄土场地，当基础底面下的湿陷性黄土厚度大于**10m**时，对陇西、陇东和陕北地区，不应小于基底下**15m**，对其他地区不应小于基底下**10m**；

——对甲、乙类建筑物应有一定数量的取土勘探点穿透湿陷性黄土层。

3、技术孔数量不应少于全部勘探孔数量的 $2/3$ ，并应有一定数量的探井，在III、IV级自重湿陷性黄土场地，探井数量不得少于 $1/3$ 。

采取原状土试样，必须保持其天然的湿度和结构，竖向间距一般为 1m 。

4、为评价地层均匀性和土的力学性质，可采用静力触探、标准贯入试验和旁压试验等原位测试方法。

当需进一步确定湿陷起始压力或地基承载力时，应进行载荷试验。

5、进行室内试验时，要求：

(1) 固结（压缩）试验，环刀面积不小于 50cm^2 ，透水石应烘干冷却；

(2) 测定湿陷系数时，应分级加荷至规定压力下沉降稳定后，浸水至湿陷稳定为止，分级加荷要求是，在 $0 \sim 200\text{kPa}$ ，每级增量为 50kPa ，在 200kPa 以上，每级增量为 100kPa 。

(3) 测定自重湿陷系数时，采用快速分级加压，加压至上覆土层的饱和自重压力，下沉稳定后浸水到湿陷稳定为止。

（三）湿陷性黄土地基的评价

1、湿陷系数

湿陷系数：
$$\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0}$$

h_0 —— 试样原始高度；

h_p —— 加压 p 稳定后的试样高度；

h'_p —— 加压 p 并浸水稳定后的试样高度。

$\delta_s < 0.015$ 非湿陷性黄土

$\delta_s \geq 0.015$ 湿陷性黄土

当不能取试样做室内湿陷性试验时，应采用现场载荷试验确定湿陷性。在200kPa 压力下浸水载荷试验的附加湿陷量与承压板宽度之比等于或大于0.023 的土，应判定为湿陷性土。

湿陷性土的湿陷程度划分：

试验条件 湿陷程度	附加湿陷量 ΔF_s (cm)	
	承压板面积 0.50m ²	承压板面积 0.25m ²
轻微	$1.6 < \Delta F_s \leq 3.2$	$1.1 < \Delta F_s \leq 2.3$
中等	$3.2 < \Delta F_s \leq 7.4$	$2.3 < \Delta F_s \leq 5.3$
强烈	$\Delta F_s > 7.4$	$\Delta F_s > 5.3$

ΔF_s —第i层土浸水载荷试验的附加湿陷量 (cm)。

- 2、湿陷类型和湿陷等级
- (1) 建筑场地湿陷类型的划分

按实测自重湿陷量或计算自重湿陷量判定建筑场地的湿陷类型。

实测自重湿陷量应根据现场试坑浸水试验确定。

计算自重湿陷量按下式计算：

$$\Delta_{zs} = \beta_0 \sum_{i=1}^n \delta_{zsi} h_i$$

δ_{zsi} ——第*i*层土在上覆土的饱和（ $S_r > 0.85$ ）自重应力作用下的湿陷系数。

h_i ——第*i*层土的厚度。

n —— 总计算厚度内湿陷土层的数目。总计算厚度应从天然地面算起（当挖、填方厚度及面积较大时，自设计地面算起）至其下全部湿陷性黄土层的底面为止，但其中 $\delta_{zs} < 0.015$ 的土层不参与累计；

β_0 —— 因地区土质而异的修正系数，它从各地区湿陷性黄土地基试坑浸水试验实测值与室内试验值比较得出。对陇西地区可取1.5，对陇东陕北地区可取1.2，对关中地区可取0.7，对其他地区可取0.5。

当 $\Delta_{zs} \leq 70\text{mm}$ 时，应定为非自重湿陷性黄土场地；

当 $\Delta_{zs} > 70\text{mm}$ 时，应定为自重湿陷性黄土场地；

- (2) 黄土地基的湿陷等级

湿陷性土地基受水浸湿至下沉稳定为止的总湿陷量 Δ_s (cm)，应按下式计算；

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \beta F_{si} h_i$$

F_{si} —— 第*i*层土浸水载荷试验的附加湿陷量(cm)；

h_i —— 第*i*层土的厚度(cm)，从基础底面（初步勘察时自地面下1.5m）算起， $\Delta F_{si}/b < 0.023$ 的不计入；

β —— 修正系数(cm^{-1})。承压板面积为 0.50m^2 时， $\beta = 0.014$ ；

承压板面积为 0.25m^2 时， $\beta = 0.020$ 。

表 6.1.6

湿陷性土地基的湿陷等级

总湿陷量 Δ_s (cm)	湿陷性土总厚度(m)	湿陷等级
$5 < \Delta_s \leq 30$	> 3	I
	≤ 3	II
$30 < \Delta_s \leq 60$	> 3	
	≤ 3	III
$\Delta_s > 60$	> 3	IV
	≤ 3	

（四） 湿陷性黄土地基的工程措施

- （一） 地基处理——破坏土的大孔结构。
- （二） 防水措施——建筑物的防水和排水。
- （三） 结构措施——增强建筑物适应不均匀沉降的能力。

§ 4-2 膨胀土

膨胀土是指土中粘粒成分主要由亲水性矿物组成，同时具有显著的吸水膨胀、失水收缩两种变形特性的粘性土。

膨胀土在我国南方的中西部地区较为多见，可根据以下特征进行初判：

- (1) 多分布在二级或二级以上阶地、山前丘陵和盆地边缘，地形平缓，无明显自然陡坎；
- (2) 常见浅层滑坡、地裂，新开挖的路堑、边坡、基槽易发生坍塌；
- (3) 裂缝发育，方向不规则，常有光滑面和擦痕，裂缝中常充填灰白、灰绿色粘土，干时坚硬，遇水软化，自然条件下呈坚硬或硬塑状态；

- (4) 自由膨胀率一般大于40%;
- (5) 未经处理的建筑物成群破坏, 低层较多层严重, 刚性结构较柔性结构严重; 建筑物开裂多发生在旱季, 裂缝宽度随季节变化。

(一) 膨胀土的工程地质特征

膨胀土的主要工程地质特征是:

1、多具有

- (1) 高分散性: $<0.002\text{mm}$ 的粘粒含量一般 $>30\%$;
- (2) 高塑性: 塑性指数一般 $>20\%$;
- (3) 高液限: 液限含水量一般 $>40\%$ 。

- 2、吸水膨胀：其膨胀率一般为1%~5%，大的可达10%，膨胀压力一般为50~100kPa。
- 3、失水收缩：其线收缩率一般为3%~8%，收缩系数一般为0.3~0.6，大的可达0.7~1.0，缩限含水量一般为9.3%~20.8%。
- 4、具有胀缩可逆性。即吸水膨胀，失水收缩，再吸水再膨胀，再失水再收缩的变形特性。

(二) 膨胀土的岩土工程勘察基本技术要求

膨胀土场地与地基的岩土工程勘察除应满足一般场地与地基的岩土工程勘察基本技术要求外，还应着重调查膨胀土的时代、成因与埋藏分布特征、评价膨胀土的工程特性及其对建筑物的影响。

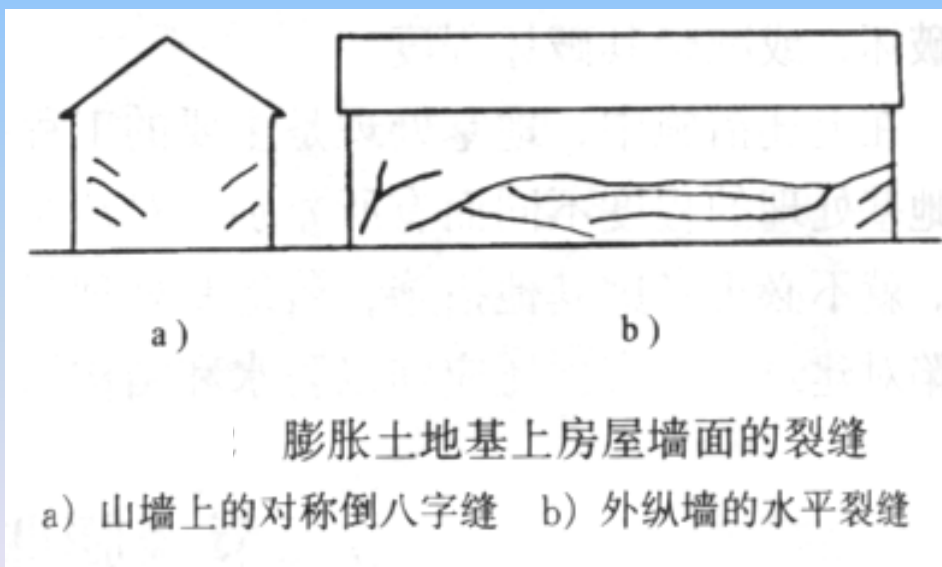
勘察时应遵循下列规定：

- 1、 勘探点宜结合地貌单元和微地貌形态布置；其数量应比非膨胀土地区适当增加，其中采取试样的勘探点不应少于全部勘探点的1/2。
- 2、 勘探孔的深度，除应满足基础埋深和附加应力的影响深度外，尚应超过大气影响深度；控制性勘探孔不应小于8m，一般性勘探孔不应小于5m。

- 3、在大气影响深度内，每个控制性勘探孔均应采取 I、II 级土试样，取样间距不应大于1.0m，在大气影响深度以下，取样间距为1.5~2.0m；一般性勘探孔从地表下1m开始至5m深度内，可取III级土试样，测定天然含水量。
- 4、对重要的和有特殊要求的工程场地，宜进行现场浸水载荷试验、剪切试验或旁压试验，以确定土的胀缩性能和承载力。
- 5、膨胀土的室内土工试验应进行膨胀和收缩试验以测定自由膨胀率、50kPa压力下和一定压力下的膨胀率、膨胀力和收缩系数。
- 6、对建在膨胀土地区的建筑物，应分别计算膨胀变形量、收缩变形量和胀缩变形量，并根据计算结果对膨胀土地基划分胀缩等级。

(三) 膨胀土对建筑物的危害

因季节性气候变化，土中水分剧烈变化而引起地基不均匀胀缩变形，导致房屋（一~二层砖木结构）开裂。



（四）膨胀土的胀缩性指标

1、自由膨胀率 δ_{ef}

$$\delta_{ef} = \frac{V_w - V_0}{V_0} \times 100\%$$

V_0 —— 试样原有的体积（量土杯的容积），10ml；

V_w —— 膨胀稳定后测得的量筒内试样的体积，ml。

2、膨胀率 δ_{ep}

$$\delta_{ep} = \frac{h_w - h_0}{h_0} \times 100\%$$

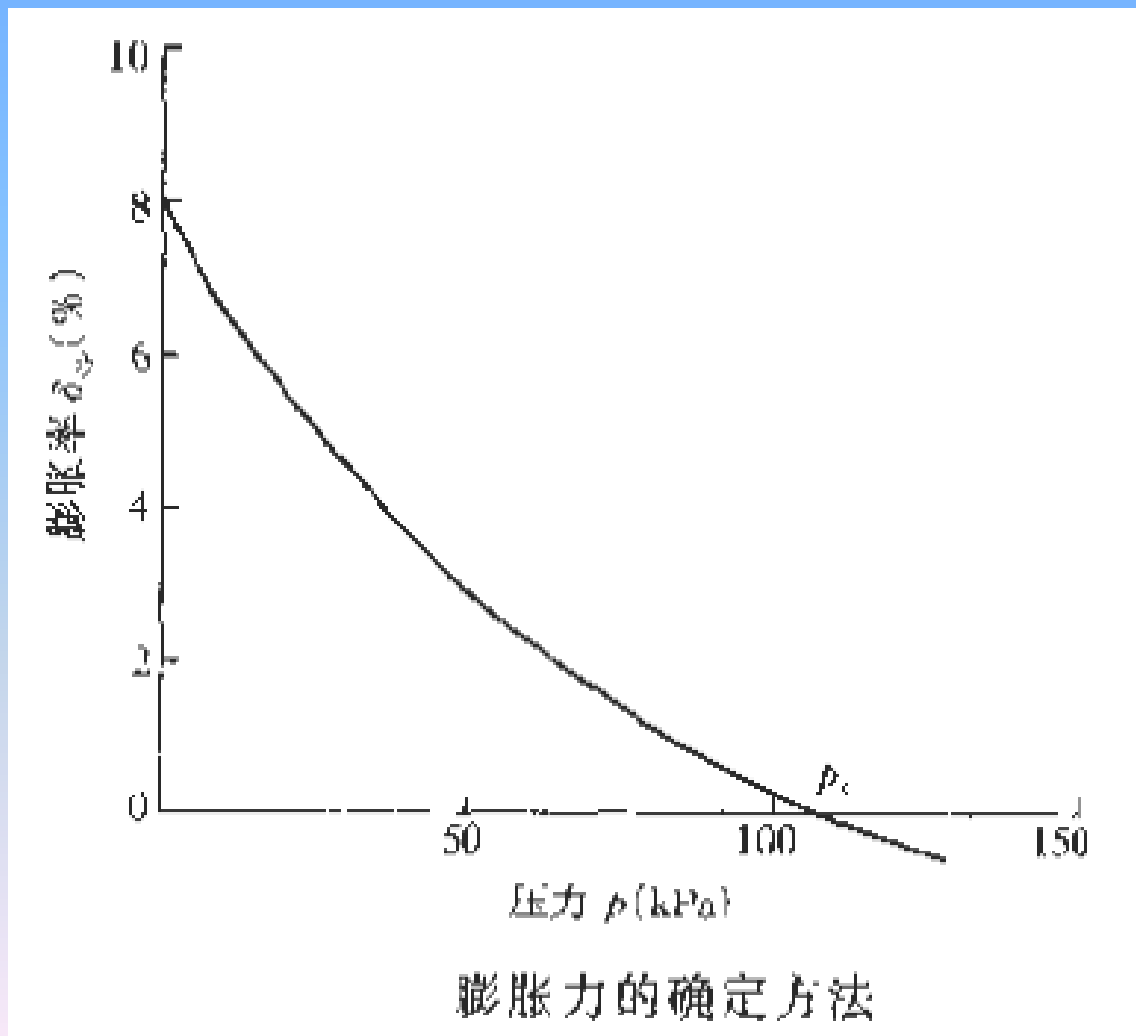
h_w —— 侧限压缩土样在浸水后卸压膨胀过程中的第*i*级压力 p_i 作用下膨胀稳定时的高度；

h_0 —— 试验开始时土样的原始高度。

3、膨胀力 p_e

原状土样在体积不变的条件下，由于浸水产生的最大内应力。

绘制不同压力下的
膨胀率曲线 $\delta_{ep} - p$ ，
则曲线与 p 轴的
交点即为膨胀力 p_e 。



4、线缩率 δ_s

$$\delta_s = \frac{h_0 - h}{h_0} \times 100\%$$

h_0 —— 试验开始时的土样高度；

h —— 试验中某次测得的土样高度。

5、收缩系数 λ_s

$$\lambda_s = \Delta\delta_s / \Delta w$$

6、原状土的缩限 w_s

微缩阶段与收缩阶段的直线段相交点对应的含水量。

（五）膨胀土地基的评价

（1）膨胀土的判别

含有大量亲水矿物，湿度变化时有较大体积变化，变形受约束时产生较大内应力的岩土，应判定为膨胀岩土。

具有下列特征的土可初判为膨胀土：

- 1）** 多分布在二级或二级以上阶地、山前丘陵和盆地边缘；
- 2）** 地形平缓，无明显自然陡坎；
- 3）** 常见浅层滑坡、地裂，新开挖的路堑、边坡、基槽易发生坍塌；

4) 裂缝发育，方向不规则，常有光滑面和擦痕，裂缝中常充填灰白、灰绿色粘土；

5) 干时坚硬，遇水软化，自然条件下呈坚硬或硬塑状态；

6) 自由膨胀率一般大于40%；

7) 未经处理的建筑物成群破坏，低层较多层严重，刚性结构较柔性结构严重；

8) 建筑物开裂多发生在旱季，裂缝宽度随季节变化。

(2) 膨胀岩土膨胀潜势

按自由膨胀率的大小划分：

自由膨胀率 (%)	膨胀潜势
$40 \leq \delta_{ef} < 65$	弱
$65 \leq \delta_{ef} < 90$	中
$\delta_{ef} \geq 90$	强

(3) 膨胀土地基的胀缩等级

按地基胀缩变形量 s_c 划分：

$$s_c = \sum_{i=1}^n (\delta_{epi} + \lambda_{si} \Delta w_i) h_i$$

地基分级变形量 s_c (mm)	级别
$15 \leq s_c < 35$	I
$35 \leq s_c < 70$	II
$s_c \geq 70$	III

膨胀岩土场地，按地形地貌条件可分为平坦场地和坡地场地。符合下列条件之一者应划为平坦场地：

1 地形坡度小于 5° ，且同一建筑物范围内局部高差不超过1m；

2 地形坡度大于 5° 小于 14° ，与坡肩水平距离大于10m的坡顶地带。

不符合以上条件的应划为坡地场地。

对边坡及位于边坡上的工程，应进行稳定性验算；验算时应考虑坡体内含水量变化的影响；均质土可采用圆弧滑动法，有软弱夹层及层状膨胀岩土应按最不利的滑动面验算；具有胀缩裂缝和地裂缝的膨胀土边坡，应进行沿裂缝滑动的验算。

（六） 膨胀土地基的工程措施

1、设计措施：

建筑场地的选择、建筑措施、结构处理、地基处理。

2、施工措施：

排水、防水。

§ 4-3 软土

软土是指天然孔隙比大于或等于1.0，且天然含水量大于液限的细粒土。包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等，其外观多为灰到灰黑色。软土在我国主要分布于东南沿海、中西部湖沼地区等。

(一) 软土的工程地质特征

软土的主要工程地质特征是：

- (1) 天然含水量大（天然含水量大于液限）；
- (2) 天然孔隙比大（一般大于或等于1.0）；
- (3) 压缩性高，强度低；
- (4) 渗透性低（垂直渗透系数一般为 $10\sim 6\text{cm/s}$ 或 $10\sim 8\text{cm/s}$ ）；

- (5) 灵敏度大（一般为3~4，大者可达8~9）；
- (6) 在较大的地震力作用下，容易产生震陷。

(二) 软土的岩土工程勘察基本技术要求

软土场地与地基的岩土工程勘察除应满足一般场地与地基的岩土工程勘察基本技术要求外，还应着重调查

- 软土的成因类型、成层条件、埋藏分布规律、层理特征、水平向与垂直向的均匀性；
- 地表硬壳层的分布与厚度、下伏硬土层或基岩的埋深和起伏；
- 软土的固结历史、应力水平和结构破坏对强度与变形的影响；

- 微地貌形态和暗埋的塘、浜、沟、坑、穴等的分布、埋深及其填土的情况；
- 地基基础施工等对软土应力状态、强度和压缩性的影响等。
- 评价软土的工程特性及其对建筑物的影响。

勘察时应遵循下列规定：

1、软土地区勘察宜采用钻探取样与静力触探结合的手段。

 勘探点布置应根据土的成因类型和地基复杂程度确定，但一般不应超过30m，在土层变化较大或有暗埋的塘、浜、沟、坑、穴时应予以加密；

勘探点深度可按 $Z=d+mb$ 估算。其中 Z 为勘探点深度， d 为基础埋深， b 为基础宽度， m 为深度系数，对控制性孔 m 取2.0，一般性孔 m 取1.0。

2、钻进方式应采用回转式提土钻进，并采用清水加压或泥浆护壁，以免塌孔。

原状土试样应采用薄壁取土器静压法采取，并在采取、运送、保存、制样过程中，严防扰动。

3、软土原位测试宜采用静力触探、旁压试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验和螺旋板载荷试验。

4、软土的室内土工试验除应进行一般物理性质指标试验外，还应进行常规固结试验、高压固结试验、三轴剪切试验等，以确定其压缩系数、先期固结压力、压缩指数、回弹指数、固结系数与抗剪强度指标等。

5、软土的力学参数宜采用室内试验、原位测试，结合当地经验确定。

地基沉降量可采用分层总和法计算，并乘以经验系数；对一级建筑物，宜采用土的应力历史的沉降计算方法。

(三) 软土的岩土工程评价

应包括下列内容；

1、判定地基产生失稳和不均匀变形的可能性；当工程位于池塘、河岸、边坡附近时，应验算其稳定性；

2、软土地基承载力应根据室内试验，原位测试和当地经验，并结合下列因素综合确定；

1) 软土成层条件、应力历史、结构性、灵敏度等力学特性和排水条件；

2) 上部结构的类型、刚度、荷载性质和分布，对不均匀沉降的敏感性；

3) 基础的类型、尺寸、埋深和刚度等；

4) 施工方法和程序；

3、当建筑物相邻高低层荷载相差较大时，应分析其变形差异和相互影响；

当地面有大面积堆载时，应分析对相邻建筑物的不利影响；

4、地基沉降计算可采用分层总和法或土的应力历史法，并应根据当地经验进行修正，必要时，应考虑软土的次固结效应；

5、提出基础形式和持力层的建议；

对于上为硬层，下为软土的双层土地基应进行下卧层验算。