

第九章 特殊性岩土的工程勘察

本章重点：介绍了各类特殊性土的特性、勘察重点及勘察评价与计算。

学习要求：掌握本地区常见的几种特殊土的勘察内容、要求，即评价计算方法。

特殊性岩土是指在特定的地理环境或人为条件下形成的具有特殊的物理力学性质和工程特征，以及特殊的物质组成、结构构造的岩土。如果在此类岩土上修建建筑物，在常规勘察设计的方法下不能满足工程要求，为了安全和经济，因而在岩土工程勘察中须采取特殊的进行研究和处理，否则会给工程带来不良后果。特殊性岩土的种类很多，其分布一般具有明显的地域性。常见的特殊性岩土又是湿陷性土、红粘土、软土、混合土、填土、多年冻土、膨胀岩土、盐渍岩土、风化岩与残积土及污染土等。

第一节 湿陷性土

湿陷性土是指那些非饱和和结构不稳定的土，在一定压力作用下受水浸湿后，其结构迅速破坏，并产生显著的附加下沉。湿陷性土在我国北方分布广泛，除常见的湿陷性黄土外，在我国的干旱及半干旱地区，特别是在山前洪、坡积扇中常遇到湿陷性碎石土、湿陷性砂土等。

一、湿陷性黄土

湿陷性黄土属于黄土。当其未受水浸湿时，一般强度较高，压缩性较低。但受水浸湿后，在上覆土层的自重应力或自重应力和建筑物附加应力作用下，土的结构迅速破坏，并发生显著的附加下沉，其强度也随着迅速降低。

湿陷性黄土分布在近地表几米到几十米深度范围内，主要为晚更新世形成的马兰黄土（ Q_3 ）和全新世形成的 Q_4 黄土（包括 Q_4^1 黄土和 Q_4^2 新近堆积的黄土）。而中更新世及其以前形成的离石黄土和午城黄土一般仅在上部具有较微弱的湿陷性或不具有湿陷性。我国陕西、山西、甘肃等省区分布有大面积的湿陷性黄土。

（一）湿陷性黄土的性质

1. 粒度成分上，以粉粒为主，粉粒含量超过 50% 以上，砂粒、粘粒含量较少。
2. 密度小，孔隙率大，大孔性明显。在其它条件相同时，孔隙比越大，湿陷性越强烈。
3. 天然含水量较少时，结构强度高，湿陷性强烈；随含水量增大，结构强度降低，湿陷性降低。
4. 塑性较弱，塑性指数在 8~13 之间。当湿陷性黄土的液限小于 30% 时，湿陷性较强；当液限大于 30% 以后，湿陷性减弱。
5. 湿陷性黄土的压缩性与天然含水量和地质年代有关，天然状态下，压缩性中等，抗剪强度较大。随含水量增加，黄土的压缩性急剧增大，抗剪强度显著降低。新近沉积黄土，土质松软，强度低，压缩性高。
6. 抗水性弱，遇水强烈崩解，膨胀量小，但失水收缩较明显，遇水湿陷性较强。

（二）湿陷性黄土的勘察要点

1. 在湿陷性黄土场地进行岩土工程勘察时应查明下列内容，并结合建筑物特点和设计要求，对场地和地基做出评价，对地基处理措施提出建议。①黄土地层的时代、成因；②湿陷性黄土的厚度；③湿陷系数、自重湿陷系数和湿陷起始压力随深度的变化；④场地湿陷类型和地基湿陷等级的平面分布；⑤变形参数和承载力；⑥地下水等环境水的变化趋势；⑦其他工程地质条件。

2. 勘察阶段可分为场址选择或可行性研究、初步勘察、详细勘察三个阶段，各个阶段的勘察成果应符合各相应设计阶段的要求。对场地面积不大，地质条件简单的地区可简化勘察阶段。对工程地质条件复杂或有特殊要求的建筑物，必要时进行施工勘察或专门勘察。

3. 采取不扰动土样，必须保持其天然的湿度、密度和结构，并符合级土样质量的要求。

在探井中取样，竖向间距宜为 1 米，土样直径不宜小于 120mm；在钻孔中取样，应严格按照规范要求执行，避免扰动。

取土勘探点中，应有足够数量的探井，其数量应为勘探点总数的 1/3~1/2，并不宜少于 3 个。探井的深度宜穿透湿陷性黄土层。

4. 勘探点使用完毕后，应立即用原土分层回填夯实，并不宜小于该场地天然黄土的密度。

5. 场址选择或可行性勘察阶段应对拟建场地的稳定性和适宜性做出初步评价。进行的工作有收集资料、现场调查，当已有资料不能满足设计要求时，应进行必要的工程地质测绘、勘探和试验等工作。

6. 初步勘察阶段应查明场地湿陷类型，为确定建筑物总平面图的合理布置提供依据，对地基基础方案、不良地质现象和地质环境的防治提供参数和建议。进行的工作有：初步查明场地各土层物理力学性质、场地湿陷类型、地基湿陷等级、不良地质现象及其影响，并对场地稳定性做出初步评价。勘探工作要求：

(1) 初步勘探线的布置应按地貌单元的纵、横线方向布置，勘探点的间距宜按表 9-1 确定。

表 9-1 初步勘探点的间距 (m)

场地类别	勘探点间距	场地类别	勘探点间距
简单场地	120~200	复杂场地	50~80
中等复杂场地	80~120		

(2) 取土和原位测试点的数量，应按地貌单元和控制性地段布置，其数量不得少于全部勘探点的 1/2。

(3) 勘探点深度应根据湿陷性黄土层的厚度和地基压缩层深度的预估值确定，控制性勘探点应有一定数量的取土勘探点穿过湿陷性黄土层。

(4) 新建地区的重要建筑，应按规定进行现场试坑浸水试验，并按自重湿陷系数的实测值判定场地湿陷类型。

7. 详细勘察阶段应按建筑物或建筑群提供详细的岩土工程资料和设计所需的岩土技术参数；对地基、桩基或深基坑做出分析评价；并对地基处理、不良地质现象、地质环境和施工监测提出建议。进行的工作有：详细查明地基土层及其物理力学性质指标，确定场地湿陷类型、地基湿陷等级的平面分布和承载力。勘探工作要求：

(1) 勘探点的间距应按建筑物类别和工程地质条件的复杂程度等因素确定，宜按表 9-2 确定。

表 9-2 详细勘察勘探点的间距 (m)

建筑类别 场地类别	建筑类别			
	甲	乙	丙	丁
简单场地	30~40	40~50	50~80	80~100
中等复杂场地	20~30	30~40	40~50	50~80
复杂场地	10~20	20~30	30~40	40~50

- (2) 在单独的甲、乙类建筑场地，勘探点不应少于 4 个。
- (3) 采取不扰动土样和原位测试的勘探点不得少于全部勘探点的 2/3，其中采取不扰动土样的勘探点不宜少于 1/2。
- (4) 勘探点的深度应大于地基压缩层的深度，并符合表 9-3 的规定或穿透湿陷性黄土层。

表 9-3 勘探点的深度 (m)

湿陷类型	非自重湿陷性黄土场地	自重湿陷性黄土场地	
		陇西、陇东-陕北-晋西地区	其他地区
勘探点深度 (自基础底面算起)	>10	>15	>10

(三) 湿陷性黄土地基湿陷性的评价
 黄土地基的湿陷性评价内容：首先判定黄土是湿陷性黄是非湿陷性的；如果是湿陷性黄土，再进一步判定湿陷性黄土场地湿陷类型；其次判别湿陷性黄土地基的湿陷等级。

1. 黄土湿陷性判定

黄土湿陷性是按室内浸水压缩试验在一定压力下测定的湿陷系数 δ_s 值判定。

$$\delta_s = \frac{hp - hp'}{h_o} \quad (9-1)$$

式中： h_p ——保持天然湿度和结构的土样，加压至一定压力时，下沉稳定后的高度，cm；

hp' ——上述加压稳定后的土样，在浸水作用下，下沉稳定后的高度，cm；

h_o ——土样的原始高度，cm。

当 $\delta_s < 0.015$ 时，为非湿陷性黄土；当 $\delta_s \geq 0.015$ 时，为湿陷性黄土。

压缩试验测定湿陷系数的压力，应自基础底面算起（初勘时自地面下 1.5m 算），10m 内的土层该压力应用 200kPa，10m 以下至非湿陷性土层顶面，应用其上覆土的饱和自重压力（当大于 300kPa 时，仍应用 300kPa，对新近沉积黄土，基地以下 5m 内的土层宜用 100~150kPa 压力）。对基底压力大于 300kPa 的建筑物，宜按实际压力测定湿陷系数。

2. 场地湿陷类型判定

(1) 自重湿陷性判别

自重湿陷性的判别是测定在饱和自重压力土的湿陷系数 δ_{zs} 值，当 $\delta_{zs} < 0.015$ 时，为非自重湿陷性黄土；当 $\delta_{zs} \geq 0.015$ 时，为自重湿陷性黄土。自重湿陷系数按下式计算：

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_o} \quad (9-2)$$

式中： h_z ——保持天然的湿度和结构的土样，加压至土的饱和自重压力时，下沉稳定后的高度，cm；

h'_z ——上述加压稳定后的土样，在浸水作用下，下沉稳定后的高度，cm；

h_o ——土样的原始高度，cm。

饱和自重压力，通常是自地面算起，至该土样顶面为止的上覆土层饱和自重压力。

(2) 场地湿陷类型

湿陷性黄土地基湿陷类型，应按照自重湿陷量的实测值 Δ_{zs}' 或计算值 Δ_{zs} 判定。湿陷性黄土地基自重湿陷量计算值 Δ_{zs} 按下式计算：

$$\Delta_{zs} = \beta_o \sum_{i=1}^n \delta_{zsi} h_i \quad (9-3)$$

式中： δ_{zsi} ——第 i 层土在上覆的饱和自重压力下的自重湿陷系数；

h_i ——第 i 层土的厚度，cm；

β_o ——因地区土质而异的修正系数。对陇西地区可取 1.5；对陇东和陕北地区可取 1.2；对关中地区可取 0.7；对其他地区可取 0.5。

计算自重湿陷量 Δ_{zs} 的累计，应自天然地面算起（当挖、填方的厚度和面积较大时，应自设计地面算起），至其下全部湿陷性黄土层的底面为止，其中自重湿陷系数 $\delta_{zs} < 0.015$ 的土层不累计。

湿陷性黄土地基的湿陷类型按下列条件判别：

当自重湿陷量的实测值 Δ_{zs}' 或计算值 Δ_{zs} 小于或等于 7cm 时，应定为非自重湿陷性黄土地基；当自重湿陷量的实测值 Δ_{zs}' 或计算值 Δ_{zs} 大于或等于 7cm 时，应定为自重湿陷性黄土地基；当自重湿陷量的实测值与计算值出现矛盾时，应按自重湿陷量的实测值判定。

3. 地基湿陷等级判定

湿陷性黄土地基的湿陷等级，应根据各土层累计的总湿陷量和计算自重湿陷量的大小等因素按照下表判定。

表 9-4 湿陷性黄土地基的湿陷等级

湿陷类型 Δ_s (mm)	非自重湿陷性场地		自重湿陷性场地	
	$\Delta_{zs} \leq 70$	$70 < \Delta_{zs} \leq 350$	$\Delta_{zs} > 350$	
$\Delta_s \leq 300$	I (轻微)	II (中等)		
$300 < \Delta_s \leq 700$	II (中等)	*II (中等) 或 III (严重)	III (严重)	
$\Delta_s > 700$	II (中等)	III (严重)	IV (很严重)	

*注：当湿陷量的计算值 $\Delta_s > 600\text{mm}$ 、自重湿陷量的计算值 $\Delta_{zs} > 300\text{mm}$ 时，可判为 III 级，其他情况可判为 II 级

湿陷性黄土地基的总湿陷量 Δ_s ，应按下式计算：

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \beta \delta_{si} h_i \quad (9-4)$$

式中： δ_{si} ——第 i 层土的湿陷系数；

h_i ——第 i 层土的厚度 (mm)

β ——考虑基底下地基土的受水浸湿可能性和侧向挤出等因素的修正系数，基底以下 0~5m，取 $\beta=1.50$ ；基底以下 5~10m，取 $\beta=1$ ；基底以下 10m 以下

至非湿陷性黄土层顶面，在自重湿陷性黄土场地，可取工程所在地区的 β_0 值。

湿陷量的计算值的计算深度，应自基础底面（如基底标高不确定时，自地面以下 1.5m）算起；在非自重湿陷性黄土场地，累计至基底下（或地基压缩层）深度至；在自重湿陷性黄土场地，累计至非湿陷性黄土层的顶面至。其中湿陷系数 δ_s （10m 以下为 δ_{zs} ）小于 0.015 的土层不累计。

二、其他湿陷性土

（一）勘察要点

其他湿陷性土是指除湿陷性黄土以外的湿陷性土。此类土的勘察方法和要求原则上与湿陷性黄土的勘察相同。但由于这类土分布在山间盆地中、冲积扇上或山脚下，多属复杂场地。勘察时除应满足一般要求外，尚应注意以下几点：

- (1)对湿陷性土分布极不均匀的场地应加密勘探点。
- (2)控制性勘探孔深度应穿透湿陷性土层。
- (3)应查明湿陷性土的年代、成因、分布和其中的夹层、包含物、胶结物的成分和性质。
- (4)湿陷性碎石土和砂土，宜采用动力触探试验和标准贯入试验确定其力学特性。
- (5)不扰动土试样应在探井中采取，且不扰动土试样除测定一般物理力学性质之外，尚应做土的湿陷性和湿化试验。
- (6)对不能取得不扰动土试样的湿陷性土，应在探井中采用大体积法测定密度和含水量。
- (7)对于厚度超过 2m 的湿陷性土，应在不同深度处分别进行浸水载荷试验，并应不受相邻试验的浸水影响。

（二）湿陷性土的岩土工程评价

1. 湿陷性的判别

非黄土的湿陷性的勘察评价首先要判定是否具有湿陷性。这类土不能如黄土那样用室内浸水压缩试验指标判别湿陷性，应采用现场浸水载荷试验作为判定湿陷性的基本方法。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。

2. 湿陷性土的湿陷程度划分

湿陷性土的湿陷程度划分是根据浸水载荷试验测得的附加湿陷量的大小划分的，如表 9-5 所示。

表 9-5 湿陷程度分类

湿陷程度	附加湿陷量 Δ_{Fs} (cm)	
	承压板面积 0.50m ²	承压板面积 0.25m ²
轻微	$1.6 < \Delta_{Fs} \leq 3.2$	$1.1 < \Delta_{Fs} \leq 2.3$
中等	$3.2 < \Delta_{Fs} \leq 7.4$	$2.3 < \Delta_{Fs} \leq 5.3$
强烈	$\Delta_{Fs} > 7.4$	$\Delta_{Fs} > 5.3$

注：对能用取土器取得不扰动土试样的湿陷性粉砂，其试验方法和评定标准按现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》执行。

3. 湿陷性土地基的湿陷等级判定

湿陷性土地基的湿陷等级是依据湿陷土总湿陷量及湿陷土总厚度综合分析判定的，如表 9-6 所示。

表 9-6 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
$5 < 6\Delta_s \leq 630$	> 3	I
	≤ 3	II
$30 < 6\Delta_s \leq 60$	> 3	
	≤ 3	III
$\Delta_s > 60$	> 3	IV
	≤ 3	

总湿陷量是指湿陷性土地基受水浸湿饱和至下沉稳定为止的总湿陷量，应按下式计算：

$$\Delta_s = \sum \beta \Delta_{Fs} h_i \quad (9-5)$$

式中： Δ_s ——总湿陷量，cm；

Δ_{Fsi} ——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，从基础地面(初勘时自地面下 1.5m)算起， $\Delta_{Fsi} / b < 0.023$ 的不计入；

β ——修正系数， cm^{-1} ，承压板面积为 0.50m^2 ， $\beta=0.014$ ；承压板面积为 0.25m^2 时， $\beta=0.020$ 。

4. 湿陷性土地基承载力

湿陷性土地基承载力宜采用载荷试验或其他原位测试确定。对湿陷性土边坡，当浸水因素引起的湿陷性本身或其与下伏地层接触面的强度降低时，应进行稳定性评价。

5. 湿陷性土地基处理

湿陷性土的处理原则和方法，除地面防水及管道防渗漏外，应以地基处理为主要手段，处理方法包括换土、压实、挤密、强夯、桩基及化学加固等方法，应根据土质特征、湿陷等级和当地经验综合考虑选用。

第二节 红粘土

一、红粘土的工程性质

红粘土是指在湿热气候条件下碳酸盐系岩石经过第四系以来的红土化作用形成并覆盖于基岩上，呈棕红、褐黄等色的高塑性土。其主要特征是：液限 (w_L) 大于 50%、孔隙比 (e) 大于 1.0；沿埋藏深度从上到下含水量增加，土质由硬到软明显变化；在天然情况下，虽然膨胀率甚微，但失水收缩强烈，故表面收缩，裂隙发育。红粘土经后期水流再搬运，可在一些近代冲沟，洼谷、阶地、山麓等处堆积于各类岩石上而成为次生红粘土，由于其搬运不远，很少外来物质，仍然保持红粘土基本特征，液限 (w_L) 大于 45%，孔隙比 (e) 大于 0.9。

红粘土是一种区域性特殊土，主要分布在贵州、广西、云南地区，在湖南、湖北、安徽、四川等省也有局部分布。地貌一般发育在高原夷平面、台地、丘陵、低山斜坡及洼地上，厚度多在 5~15 米，天然条件下，红粘土含水量一般较高，结构疏松，但强度较高，往往被误认为是较好的地基土。由于红粘土的收缩性很强，当水平方向厚度变化不大时，极易引起不均匀沉陷而导致建筑破坏。

红粘土的一般性质可以归纳为：

1. 天然含水量和孔隙比较高，一般分别为 30%~60% 和 1.1~1.7。且多处处于饱和状态，饱和度在 85% 以上。

2. 含较多的铁锰元素，因而其比重较大，一般为 2.76~2.90。

3. 粘粒含量高常超过 50%，可塑性指标较高；含水比为 0.5~0.8 且多为硬塑状态和坚硬或可塑状态；压缩性低，强度较高，压缩系数一般为 $0.1\sim 0.4\text{MPa}^{-1}$ ，固结快剪的 C 一般为 $0.04\sim 0.09\text{MPa}^{-1}$ ，内摩擦角一般为 $10^\circ\sim 18^\circ$ 。各指标变化幅度大，具有高分散性。

4. 透水性微弱，多为裂隙水和上层滞水。

5. 红粘土的厚度变化很大，主要有基岩的起伏和风化深度不同所致。

二、红粘土的分类

(一) 红粘土的状态

红粘土的状态按含水比划分应符合表 9-7 的规定。

表 9-7 红粘土的状态分类

状态	含水比 a_w
坚硬	$a_w \leq 0.55$
硬塑	$0.55 < a_w \leq 0.70$
可塑	$0.70 < a_w \leq 0.85$
软塑	$0.85 < a_w \leq 1.00$
流塑	$a_w > 1.00$

注：含水比为含水量与土的液限之比。

(二) 红粘土的结构分类

红粘土的结构可根据其裂隙发育程度按表 9-8 确定。

表 9-8 红粘土的结构分类

土体结构	裂隙发育特征
致密结构	偶见裂隙 (<1 条/m)
巨块结构	较多裂隙 (1~2 条/m)
碎块结构	富裂隙 (>5 条/m)

(三) 红粘土的复浸水性分类

红粘土的复浸水性可按表 9-10 分类

表 9-10 红粘土的复浸水性特征分类

类别	I_r 与 I_r' 关系	复浸水特征
I	$I_r \geq I_r'$	收缩后复浸水膨胀，能恢复到原位
II	$I_r < I_r'$	收缩后复浸水膨胀，不能恢复到原位

注： $I_r = w_L/w_p$ ， $I_r' = 1.4 + 0.0066 w_L$ 。

(四) 红粘土的地基均匀性分类

红粘土的地基均匀性可按表 9-11 分类

表 9-11 红粘土的地基均匀性分类

地基均匀性	地基压缩层范围内的岩土组成
均匀地基	全部由红粘土组成
不均匀地基	由红粘土和岩石组成

三、红粘土勘察评价要点

1. 工程地质测绘和调查应着重查明的内容

(1) 不同地貌单元的红粘土和次生红粘土的分布、厚度、物质组成、土性等特征及其差异，并调查当地的建筑经验；

(2) 下伏基岩、岩溶发育特征及其与红粘土土性、厚度变化的关系；

(3) 地裂的分布、发育特征及其成因、土体结构特征，土体中裂隙的密度、深度、延展方向及其发展规律；

(4) 地表水体和地下水的分布、动态及其与红粘土状态垂直向分带的关系；

(5) 现有建筑物开裂的原因分析，当地勘察、设计、施工经验等。

2. 红粘土地区勘探工作量的布置

红粘土地区勘探点的布置，应取较密的间距，查明红粘土厚度和状态的变化。初步勘察勘探点间距宜取 30~50 米；详细勘察勘探点间距，对均匀地区宜取 12~24 米，对不均匀地基宜取 6~12 米。厚度和状态变化大的地段，勘探点间距还需加密。各阶段勘探孔的深度可按一般土对各类岩土工程勘察的基本要求布置。对不均匀地基，勘探孔深度达到基岩。

对不均匀地基、有土洞发育或采用岩面端承桩时，宜进行施工勘察，其勘探点间距和勘探孔深度根据需要确定。

3. 试验工作

红粘土的室内试验除应满足常规试验项目的规定外，对裂隙发育的红粘土应进行三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验。必要时，可进行收缩试验和复浸水试验。当需评价边坡稳定性时，宜进行重复剪切试验。

三、红粘土的岩土工程评价

红粘土的岩土工程评价应符合下列要求：

1. 建筑物应避免跨越地裂密集带或深长地裂地段；

2. 轻型建筑物的基础埋深应大于大气影响急剧层的深度；炉窑等高温设备的基础应考虑地基土的不均匀收缩变形；开挖明渠时应考虑土体干湿循环的影响；在石芽出露的地段，应考虑地表水下渗形成的地面变形；

3. 选择适宜的持力层和基础形式，在满足裂隙和胀缩要求的前提下，基础宜浅埋，利用浅部硬壳层，并进行下卧层承载力的验算；不能满足承载力和变形要求时，应建议进行地基处理或采用桩基础；

4. 基坑开挖时应采取保湿措施，边坡应及时维护，防止失水干缩。

5. 红粘土的地基承载力应综合地区经验按有关标准综合确定。当基础浅埋、外侧地面倾斜、有临空面或承受较大水平荷载时，应结合以下因素综合考虑确定红粘土的承载力：①土体结构和裂隙对承载力的影响；②开挖面长时间暴露，裂隙发展和复浸水对土质的影响。

6. 当岩土工程评价需要详细了解地下水埋藏条件、运动规律和季节变化时，应在测绘调查的基础上补充进行地下水的勘察、试验和观测工作。有关要求按本规范第 7 章的规定执行。

第三节 软土

一、软土的特征

天然孔隙比大于或等于 1.0，且天然含水量大于液限的细颗粒土应判定为软土，包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。软土一般是指在静水或缓慢水流环境中以细颗粒为主的近代沉积物。按地质成因，我国软土有滨海环境沉积、海陆过渡环境沉积、河流环境沉积、湖泊环境沉积和沼泽环境沉积。软土具有如下工程性质：

(1) 触变性。灵敏度在 3~16 之间。

- (2)流变性。在剪应力作用下，土体会发生缓慢而长期的剪切变形。
- (3)高压缩性。压缩系数一般为 $0.6\sim 1.5\text{MPa}^{-1}$ ，最高可达 4.5MPa^{-1} 。
- (4)低强度。不排水抗剪强度小于 30kPa 。
- (5)渗透性弱。垂向渗透系数为 $10^{-6}\sim 10^{-8}\text{cm/s}$ 。
- (6)不均匀性。粘土中常夹有厚薄不等的粉土、粉砂和细砂等。

二、软土的勘察

(一) 软土勘察的主要内容

软土勘察除应符合常规要求外，尚应查明下列内容：

1. 成因类型，成层条件，分布规律，层理特征，水平向和垂直向的均匀性；
2. 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；
3. 固结历史，应力水平和结构破坏对强度和变形的影响；
4. 微地貌形态和暗埋的塘，浜，沟，坑穴的分布，埋深及其填土的情况；
5. 开挖，回填，支护，工程降水，打桩，沉井等对软土应力状态，强度和压缩性的影响；
6. 当地的工程经验。

(二) 软土勘察工作布置

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。当土层变化较大或有暗埋的塘、浜、沟、坑、穴时应予加密。

2. 原位测试。软土原位测试宜采用静力触探试验、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。软土取样应采用薄壁取土器，其规格应符合相关规范的要求。

3. 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。有条件时，可根据堆载试验，原型监测反分析确定。抗剪强度指标室内宜采用三轴试验。原位测试宜采用十字板剪切试验。压缩系数、先期固结压、压缩指数、回弹指数、固结系数可分别采用常规固结试验、高压固结试验等方法确定。

三、软土的岩土工程评价

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，

第四节 混合土

一、混合土的性质

由细粒土和粗粒土混杂且缺乏中间粒径的土应定名为混合土。当碎石土中粒径小于 0.075mm 的细粒土质量超过总质量的 25% 时，应定名为粗粒混合土；当粉土或粘性土中粒

径大于 2mm 的粗粒土质量超过总质量的 25% 时，应定名为细粒混合土。

混合土是由坡积、洪积、冰水沉积形成的，在颗粒分布曲线形态上反映出的是不连续状。混合土因其成分复杂多变，各种成分粒径相差悬殊，所以其性质变化很大。一般来说，混合土的性质主要取决于土中粗、细颗粒含量的比例，粗粒的大小及其相互接触关系以及细粒土的状态。经验和专门研究表明：粘性土、粉土中的碎石组分的质量只有超过总质量的 25% 时，才能起到改善土的工程性质的作用；在碎石土中，特别是当含水量较大时，当粘粒组分的质量大于总质量的 25% 时，则对碎石土的工程性质有明显影响。

二、混合土的勘察应符合下列要求：

1. 查明地形和地貌特征，混合土的成因，分布，下卧土层或基岩的埋藏条件；
2. 查明混合土的组成，均匀性及其在水平方向和垂直方向上的变化规律；
3. 勘探点的间距和勘探孔的深度除应满足规范的要求外，尚应适当加密加深；
4. 应有一定数量的探井，并应采取大体积土试样进行颗粒分析和物理力学性质测定；
5. 对粗粒混合土宜采用动力触探试验，并应有一定数量的钻孔或探井检验；
6. 现场载荷试验的承压板直径和现场直剪试验的剪切面直径都应大于试验土层最大粒径的 5 倍，载荷试验的承压板面积不应小于 0.5 m²，直剪试验的剪切面面积不宜小于 0.25 m²。

三、混合土的岩土工程评价应包括下列内容：

1. 混合土的承载力应采用载荷试验，动力触探试验并结合当地经验确定；
2. 混合土边坡的容许坡度值可根据现场调查和当地经验确定。对重要工程应进行专门试验研究。

第五节 填土

一、填土的分类及工程性质

由于人类活动而堆填的土，统称为填土。在我国大多数城市周边的地表面，普遍覆盖着一层人工杂土堆积层。这种填土无论其物质的组成、分布特征和工程性质均相当复杂，且具有地区性特点。例如，上海地区多暗浜、暗塘、暗井，常用土和垃圾回填；福州市表层为砾填土，其下部常见一种粘质填土。在旧河道、旧湖塘地带，可见一种与淤泥混杂堆填的软弱填土，呈流动或饱和状态。又如，西安市由于古城兴衰、战争等，普遍覆盖一层填土，厚度 2~6m，多为瓦砾素土，其间密布古井渗坑，周围土体呈黑绿色。

(一)填土的分类

根据其物质组成和堆填方式，可将填土分为素填土、杂填土、冲填土和压实填土四类。

1. 素填土：由碎石土、砂土、粉土和粘性土等一种或几种土质组成，不含杂质很少的土，称为素填土。

按主要组成物质分为：碎石素填土；砂性素填土；粘性素填土。

按其填的时间分为：老填土：当主要组成物质为粗颗粒，堆填时间在 10a 以上者，或是主要物质为细颗粒，堆填时间在 20a 以上者，均称老填土。新填土：堆填年限低于上述规定者，称为新填土。

2. 杂填土：含大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物的填土。

按组成物质和特征分为：

(1)建筑垃圾土：主要为碎砖、瓦砾、朽木等建筑垃圾组成，有机物含较少。

(2)工业废料土：由现代工业生产的废渣、废料堆积而成，如矿渣、煤渣电石渣等以及其它废料加少量土类组成。

(3)生活垃圾土：填土中由大量从居民生活中抛弃的废物，诸如炉灰、布片、菜皮、陶瓷片等杂物夹土类组成，一般含有机质和未分解的腐殖质较多。

3. 冲填土：冲填土也叫吹填土，是由水力冲填泥砂形成的填土。

冲填土是我国沿海一带常见的填土之一，主要是由于整治或疏通江河航道，或因工农业生产需要填平或填高江河附近某些地段时用高压泥浆挖泥船挖出的泥砂，通过输泥管，排送到需要填高地段及泥砂堆积区而成。上海黄浦江、天津的海河塘沽，广州的珠江等河流滨海地段不同程度分布有这种填土。

4. 压实填土

素填土经过分层压实（或夯实）称为压实填土。压实填土在筑路、坝堤等工程中经常涉及。

(二)填土的工程性质

填土的工程性质和天然沉积土比起来有很大的不同。由于堆填时间、环境，特别是物质来源和组成成分的复杂和差异，造成填土性质很不均匀，分布和厚度变化缺乏规律，带有极大的人为偶然性，往往在很小的范围内，填土的质量密度会在垂直方向变化较大。

填土往往是一种欠压密土，具有较高的压缩性，在干旱和半干旱地区，干或稍湿的填土往往具有湿陷性。

因此，填土的工程性质主要包括以下几个方面：

1. 不均匀性：填土由于物质来源、组成成分的复杂和差异，分布范围和厚度变化缺乏规律性，所以不均匀性是填土的突出特点，而且在杂填土和冲填土中更加显著。例如，冲填土在吹泥的出口处，沉积的土粒较粗，甚至有石块，顺着出口向外围土粒则逐渐变细，并且在冲填的过程中，由于泥砂来源的变化，造成冲填土在纵横方向上的不均匀性，故冲填土层多呈透镜体或薄层状出现。

2. 湿陷性：填土由于堆积时未经压实，所以土质疏松，孔隙发育，当进水后会产生附加下陷，即湿陷。通常，新填土比老填土湿陷性强，含有炉灰和变质炉灰的杂填土比素填土湿陷性要强，干旱地区填土的湿陷性比气候潮湿、地下水位高的地区湿陷性强。

3. 自重压密性：填土属欠固结土，在自身重量和大气降水下渗的作用下有自行压密的特点，压密所需的时间随填土的物质成分不同而有很大的差别，例如，由粗颗粒组成的砂和碎类素填土，一般回填时间在 2~5a 即可以达到自重压密基本稳定，而粉土和粘性土质的素填土则需 5~15a 才能达到基本稳定。建筑垃圾和工业废料填土的基本稳定时间需要 2~10a；而含有大量有机质的生活垃圾填土的自重压密稳定时间可以长达 30a 以上。充填土的自重压密稳定时间更长，可以达几十年甚至上百年。

4. 压缩性大，强度低：填土由于密度小，孔隙度大，结构性很差，故具有高压缩性和较低的强度。对于杂填土而言，当建筑垃圾的组成物以砖块为主时，则性能优于以瓦片为主的土；而建筑垃圾土和工业废料土一般情况下性能优于生活垃圾土，这是因为生活垃圾土物质成分杂乱，含大量有机质和未分解或半分解状态的植物物质。对于冲填土，则是由于其透水性弱，排水固结差，土体呈软塑状态之故。

二、填土的勘察评价要点

1. 填土勘察应包括下的内容：①搜集资料，调查地形和地物的变迁，填土的来源、堆积年限和堆积方式；②查明填土的分布、厚度、物质成分、颗粒级配、均匀性、密实性、压缩性和湿陷性；③判定地下水对建筑材料的腐蚀性。

2. 填土勘察应在一般土勘察规定的基础上加密勘探点，确定暗埋的塘、浜、坑的范围。勘探孔的深度应穿透填土层。

3. 勘探方法应根据填土性质确定。对由粉土或粘性土组成的素填土，可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法；对含较多粗粒成分的素填土和杂填土宜采用动力触探、钻探、并应有一定数量的探井。

4. 填土的工程特性指标宜采用的测试方法有：①填土的均匀性和密实度宜采用触探法，

并辅以室内试验；②填土的压缩性、湿陷性宜采用室内固结试验或现场载荷试验；③杂填土的密度试验宜采用大容积法；④对压实填土，在压实前应测定填料的最优含水量和最大干密度，压实后应测定其干密度，计算压实系数。

三、填土的工程评价

1. 填土岩土的工程评价应包括以下内容：

(1)填土的均匀性和密实度评价

填土的均匀性和密实度与其组成物质、分布特征和堆积年代有密切关系，因此可以根据以上特征判定地基的均匀性、压缩性和密实度。必要时尚应按厚度、强度和变形特性指标进行分层和分区评价。

(2)填土的堆积时间与组成物质的关系

对于堆积年代较长的素填土、冲填土和由建筑垃圾或性能稳定的工业废料组成的杂填土，当较均匀和较密实时可作为天然地基；由有机质含量较高的生活垃圾和对基础有腐蚀性的工业废料组成的杂填土，不宜作为天然地基。

(3)填土的承载力及稳定性

填土的承载力应结合当地建筑经验、室内外测试结果综合确定。当填土地面的天然坡度大于 20% 时，应验算其稳定性。

2. 地基处理及检验

填土的成分比较复杂，均匀性差，厚度变化大，工程上一般要进行地基处理。常用的地基处理方法有换土垫法，适用于地下水位以上，可减少和调整地基不均匀沉降；机械碾压、重锤夯实及强夯法，适用于加固浅埋的松散低塑性或无粘性填土；挤密法、灰土桩，适用于地下水位以上；砂、碎石桩适用于地下水位以上，处理深度一般可达 6~8 m。

填土地基基坑开孔后应进行施工验槽。处理后的填土地基应进行质量检验。常用的检验方法有轻型动力触探、静力触探、取样分析法。对于复合地基，宜进行大面积载荷试验。控制压实填土地基的检验，需随施工进度分层进行。

第六节 多年冻土

一、多年冻土的分级及性质

(一)多年冻土的分级

多年冻土是指含有固态水，且冻结状态持续两年或两年以上的土。我国多年冻土主要分布在青藏高原、帕米尔及西部高山(包括祁连山、阿尔泰山、天山等)，东北大小兴安岭和其他高山的顶部也有零星分布。

多年冻土对工程的主要危害是其融沉性，工程上对其要进行融沉性分级。根据融化下沉系数的大小，多年冻土可划分为不融沉($\delta \leq 1$)、弱融沉($1 < \delta \leq 3$)、融沉($3 < \delta \leq 10$)、强融沉($10 < \delta \leq 25$)和融陷($\delta > 25$)五级。冻土的融化下沉系数 δ 可按下式计算：

$$\delta = \frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \times 100\% \quad (9-5)$$

式中： h_1 、 e_1 ——冻土试样融化前的高度(mm)和孔隙比；

h_2 、 e_2 ——冻土试样融化后的高度(mm)和孔隙比。

根据不同类型的土的总含水量及平均融沉系数，多年冻土可划分为五大类型：少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层，如表 4-9 所示。

表 9-12 多年冻土的融沉性分类

土的名称	总含水量 w (%)	平均融沉系数 δ	融沉等级	融沉类别	冻土类型
碎石土, 砾、粗中砂(粒径小于 0.075mm 的颗粒含量不大于 15%)	$w_0 < 10$	$\delta \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$w_0 > 10$	$1 < \delta \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
碎石土, 砾、粗中砂(粒径小于 0.075mm 的颗粒含量不大于 15%)	$w_0 < 12$	$\delta \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$12 \leq w < 15$	$1 < \delta \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
	$15 \leq w_0 < 25$	$3 < \delta \leq 10$	III	融沉	富冰冻土
	$w_0 \geq 25$	$10 < \delta \leq 25$	IV	强融沉	饱冰冻土
粉砂、细砂	$w_0 < 14$	$\delta \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$14 \leq w_0 < 18$	$1 < \delta \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
	$18 \leq w_0 < 28$	$3 < \delta \leq 10$	III	融沉	富冰冻土
	$w_0 \geq 28$	$10 < \delta \leq 25$	IV	强融沉	饱冰冻土
粉土	$w_0 < 17$	$\delta \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$17 \leq w_0 < 21$	$1 < \delta \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
	$21 \leq w_0 < 32$	$3 < \delta \leq 10$	III	融沉	富冰冻土
	$w_0 \geq 32$	$10 < \delta \leq 25$	IV	强融沉	饱冰冻土
粘性土	$w_0 < w_p$	$\delta \leq 1$	I	不融沉	少冰冻土
	$w_p \leq w_0 < w_p + 4$	$1 < \delta \leq 3$	II	弱融沉	多冰冻土
	$w_p + 4 \leq w_0 < w_p + 15$	$3 < \delta \leq 10$	III	融沉	富冰冻土
	$w_p + 15 \leq w_0 < w_p + 35$	$10 < \delta \leq 25$	IV	强融沉	饱冰冻土
含土冰层	$w_0 \geq w_p + 35$	$\delta > 25$	V	融陷	含土冰层

注: 1.总含水量 w_0 包括冰和未冰水; 2. 本表不包括盐渍化冰土、冰结泥炭化土、腐殖土、高塑性粘土。

(二) 多年冻土的一般性质

1. 冻胀性: 土冻结时体积膨胀, 在于水在转化为冰时体积膨胀, 从而使土的孔隙度增大。如果土中的原始孔隙空间足以容纳水在冻结时所增大的体积, 则冻胀不会发生; 只有在土的原始饱和度很高或有新的水分补充时才会发生冻胀。冻胀性是对多年冻土上层的季节融冻层评价的重要依据。在自然界中, 冻胀也常表现为土层表面的隆起。

2. 融陷性

融陷性对多年冻土地基的评价有着重要的意义。融陷性, 是在土融化过程中表现出来的性能, 即融陷性是冻土在融化过程中, 由于固态冰转化为液态水是体积缩小的性能。在融化过程中, 土粒间联结削弱, 水分排出, 在自重压力下, 特别是在外部荷载作用下, 多年冻土可能产生较大的压缩变形。

二、多年冻土的勘察评价要点

1. 运用工程地质测绘和调查查明的内容

- (2) 多年冻土的类型、厚度、含水量、构造特征、物理力学和热学性质;
- (3) 多年冻土层上水、层间水、层下水的赋存形式、相互关系及其对工程的影响;
- (4) 多年冻土的融沉性分级和季节融化层土的冻胀性分级;
- (5) 厚层地下水、冰锥、冰丘、冻土沼泽、热融滑塌, 热融湖塘、融冻泥流等不良地质作用的形态特征、形成条件、发布范围、发生发展规律及其对工程的危害程度。

2. 勘探点间距与深度应结合工程和地区的实际情况布置

(1) 多年冻土地区勘探点间距, 在满足。对各类岩土工程勘察基本要求的同时, 应予以适当加密。特别是在初步勘察和详细勘察阶段要引起注意。

(2) 勘探孔深度布置要满足的要求: ①对保持冻结状态设计的地基, 不应小于基底以下 2 倍基础宽度, 对桩基应超过桩端以下 3 至 5 米; ②对逐渐融化状态和预先融化状态设计的地基, 应符合非冻土地基的要求; ③无论何种设计原则, 勘探孔的深度均宜超过多年冻土上限深度的 1.5 倍; ④在多年冻土的不稳定地带, 应查明多年冻土下限深度, 当地基为饱冰冻土或含土冰层时, 应穿透该层。

3. 多年冻土的勘探测试应满足的要求

(1) 多年冻土地区钻探宜缩短工作时间，宜采用大口径低速钻进，终孔直径不宜小于108毫米，必要时可以采用低温泥浆，并避免在钻孔周围造成人工融区或孔内冻结。

(2) 应分层测定地下水位。

(3) 保持冻结状态设计地段的钻孔，孔内测温工作结束后应及时回填。

(4) 取样的竖向间隔，除应满足规范相应要求外，在季节融化层还应适当加密，式样在采取、搬运、贮藏、试验工程中应避免融化。

(5) 试验项目除按常规要求外，尚因根据需要，进行总含水量、体积含水量、相对含水量未冻水含量、冻结温度、导热系数、冻胀量、融化压缩等项目的试验；对盐渍化多年冻土，尚因分别测定易溶盐含量和有机质含量

(6) 工程需要时，可建立地温观测点，进行地温观测；

(7) 当需查明与冻土融化有关的不良地质作用时，调查工作宜在二月至五月份进行；多年冻土上限深度的勘察时间宜在九、十月份。

三、多年冻土的岩土工程评价

1. 多年冻土岩土工程评价的主要内容

(1) 查明多年冻土的物理力学性质、总含水量、融陷性分级。

(2) 确定地基承载力应结合当地建筑经验，按下述要求综合确定：

①对安全等级为甲级建筑物的应采用载荷试验或其它原位试验方法结合当地建筑经验综合确定。

②对于安全等级为乙级建筑物的宜采用载荷试验或其他原位试验确定。当无条件时，对保持冻结状态的地基，可根据冻土的物理力学性质和地温状态，按表 9-20 确定；对于容许融化的地基，应采用融化土地基的承载力，按实测成果确定。

③对丙级建筑物可根据邻近建筑的经验确定。

(3) 除次要工程外，建筑物宜避开饱冰冻土、含土冰层地段和冰锥、冰丘、热融湖、厚层地下冰融区与多年冻土区之间的过度带，宜选择坚硬岩层、少冰冻土、和多冰冻土地段以及地下水位或冻土层上水位低的地段和地形平缓的高地。

2. 提出多年冻土地地区的地基处理措施

多年冻土地地区地基处理措施应根据建筑物的特点和冻土的性质选择适宜有效的方法。一般选择以下处理方法：

(1) 保护冻结法，宜用于冻层较厚、多年地温较低和多年冻土相稳定的地带，以及不采暖的建筑物和富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层的采暖建筑物或按容许融化法处理有困难的建筑物。

(2) 容许融化法的自然融化宜用于地基总融陷量不超过地基容许变形值的少冰冻土或多冰冻地基；容许融化法的预先融化宜用于冻土厚度较薄、多年地温较高、多年地温不稳定的地带是富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层地基，并可采用人工融化压密或挖除换填法进行处理。