

湿陷性土

对于旱、半干旱地区的湿陷性碎石土、湿陷性砂土及其他需要现场测定湿陷性的土，在 200kPa 压力下浸水载荷试验的湿陷量与承压板宽度之比大于 0.023 的土判定为湿陷性土。《湿陷性黄土地区建筑规范》则以湿陷系数 $\delta_s \geq 0.015$ 作为判定标准。下文主要叙述湿陷性黄土地区建筑规范的要求与规定。

1. 湿陷性黄土的性质

(1) 孔隙比：变化在 0.85~1.24 之间，大多数在 1.0~1.1 之间，随深度增大而减小。在其他条件相同时，土的孔隙比越大，湿陷性越强。

(2) 天然含水量：含水量低时，结构强度较高，湿陷性强烈；随含水量的增大，结构强度降低，湿陷性减弱。

(3) 液限：一般当液限小于 30% 时，湿陷性较强；当液限大于 30% 时，湿陷性较弱。

(4) 压缩性：我国湿陷性黄土的压缩系数介于 $0.1 \sim 1.0 \text{MPa}^{-1}$ 之间，除土的天然含水量的影响外，地质年代是一个重要因素。 Q_2 和 Q_3 早期黄土，其压缩性多为中等偏低，或低压缩性。 Q_3 晚期和 Q_4 黄土，多为中等偏高压缩性。新近堆积黄土一般具有高压缩性，且其 $\rho \sim \delta_s$ 关系曲线的峰值往往在压力不到 200kPa 时出现。

2. 新近堆积黄土的划分

(1) 野外鉴别

1) 堆积环境：黄土塬、梁、峁的坡脚和斜坡后缘，冲沟两侧及沟口处的洪积扇和山前坡积地带，河道拐弯处的内侧，河漫滩及低阶地，山间凹地的表部，平原上被掩埋的池沼洼地。

2) 颜色：灰黄、黄褐、棕褐，常相杂或相间。

3) 结构：土质不均匀、松散、大孔排列杂乱。常混有岩性不一的土块，多虫孔和植物根孔，锹挖容易。

4) 包含物：常含有机质，斑状或条状氧化铁；有的混砂、砾或岩石碎屑；有的混砖

瓦陶瓷碎片或朽木片等人类活动的遗物。在大孔壁上常有白色钙质粉末。在深色土中，白色物呈菌丝状或条纹状分布；在浅色土中，白色物呈星点状分布，有时混钙质结核，呈零星分布。

(2) 室内判定

- 1) 在 50~150kPa 压力段变形敏感， $e \sim P$ 曲线前陡后缓，小压力下具高压缩性。
- 2) 利用下列判别式判定：

$$R = -68.45e + 10.98a - 7.16\gamma + 1.18w$$
$$R_0 = -154.80$$

(1.7.2.1)

(1.7.2.2)

式中 R ——新近堆积黄土综合判别指标；

R_0 ——新近堆积黄土综合判别界限值；

e ——土的孔隙比；

a ——压缩系数 (MPa^{-1})，宜取 50~150kPa 或 0~100kPa 压力下之大值；

w ——土的天然含水量 (%)；

γ ——土的重度 (kN/m^3)。

当 $R > R_0$ 时，可判为新近堆积黄土。

3. 湿陷性黄土的勘察

(1) 黄土地基的勘察工作应着重查明地层时代、成因、湿陷性土层的厚度，湿陷性随深度变化，场地湿陷类型和湿陷级别的分布，地下水位变化幅度和其他工程地质条件。结合工程要求，对场地和地基做出评价和处理措施建议。

(2) 采取不扰动土试样必须保持其天然湿度和结构 (I 级土试样)。探井中取样竖向间距一般为 1m，土样直径不应小于 10cm；钻孔中取样，必须按现行湿陷性黄土地区建筑规范的操作要求执行。

取土勘探点中，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。

(3) 为评价地层均匀性和土的力学性质，勘探点中宜有一定数量的静力触探孔，并可采用标贯试验或旁压试验等原位测试手段。

(4) 勘探点的间距，宜按表 1.7.2.1 确定。

取样勘探点，初步勘察时应按地貌单元和控制性的地段布置，其数量不得少于全部勘探点的 1/2；详细勘察时不得少于全部勘探点 2/3，若勘探点的间距较大或数量不多时，全部勘探点可作为取样勘探点。

(5) 勘探点深度除应大于压缩层深度外，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，当基础底面以下湿陷性黄土厚度大于 10m 时，对陇西、陇东和陕北地区，不应小于基础底面下 15m；其他地区不小于基础底面下 10m；对甲、乙类建筑物，应有一定数量的取样勘探点穿透湿陷性土层。

(6) 在特定条件下，季节性降水或定期灌溉等会影响黄上的湿陷性评价。雨季取样试

勘察点的间距 (m) 表 1.7.2.1

场地类别	初步勘察	详细勘察
简单场地	250~150	100~50
中等复杂场地	150~100	50~30
复杂场地	100~50	<30

注：场地的复杂程度可分为：

- 1. 简单场地：地形平缓、地貌、地层简单，湿陷类型单一，湿陷等级变化不大；
- 2. 中等复杂场地：地形起伏较大，地貌、地层较复杂，不良地质现象局部发育，湿陷类型、湿陷等级变化较复杂；
- 3. 复杂场地：地形起伏大，地貌、地层复杂，不良地质现象广泛发育，湿陷类型、湿陷等级分布复杂，地下水位变化显著。

验确定的湿陷等级和承载力会偏低，而在旱季确定的湿陷等级和承载力又可能偏高。这些因素，在勘察和评价时应根据具体情况加以考虑。

(7) 试验要求

1) 室内测定湿陷系数的压力，应自基础底面（初步勘察时，自地面下 1.5m）算起，10m 以内应用 200kPa，10m 以下至非湿陷土层顶面，应用其土覆土的饱和自重压力；当基底压力大于 300kPa 时，宜按实际压力测定湿陷系数。

2) 新建地区的甲、乙类建筑，宜采用试验坑浸水试验实测自重湿陷量，其他建筑可按室内试验测定的自重湿陷系数计算自重湿陷量。

3) 湿陷起始压力可采用室内试验（单线法、双线法）和现场载荷试验（单线法、双线法、饱和曲线法）进行。

4. 黄土地基的岩土工程评价

(1) 黄土湿陷性的判定

1) 黄土的自重湿陷性，应按室内压缩试验测定的不同深度的土样在饱和土自重压力下的自重湿陷系数 δ_{zs} 值判定，应符合下列规定：

①当自重湿陷系数 δ_{zs} 值等于或大于 0.015 时，应定为自重湿陷性黄土。

②自重湿陷系数 δ_{zs} 值可按下列式计算：

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (1.7.2.3)$$

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_0 ——土样的原始高度 (cm)。

2) 黄土的湿陷性，应按室内压缩试验在一定压力下测定的湿陷系数 δ_s 值判定，并应符合下列规定：

①当湿陷系数 δ_s 值小于 0.015 时，应定为非湿陷性黄土；当湿陷系数 δ_s 值等于或大于 0.015 时，应定为湿陷性黄土。

②湿陷性系数 δ_s 值，应按下列式计算：

$$\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \quad (1.7.2.4)$$

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

h'_p ——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_0 ——土样的原始高度 (cm)。

③测定湿陷系数的压力，应自基础底面（初步勘察时，自地面下 1.5m）算起，10m 以内的土层应用 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）。

注：当基底压力大于 300kPa 时，宜按实际压力测定的湿陷系数值判定黄土湿陷性。

(2) 场地湿陷类型

1) 自重湿陷量的计算

计算自重湿陷量 Δ_{zs} (cm), 应按下式计算:

$$\Delta_{zs} = \beta_0 \sum_{i=1}^n \delta_{zs_i} h_i \quad (1.7.2.5)$$

式中 δ_{zs_i} ——第 i 层土在上覆土的饱和 ($S_r > 0.85$) 自重压力下的自重湿陷系数;

h_i ——第 i 层土的厚度 (cm);

β_0 ——因土质地区而异的修正系数; 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。

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 δ_{zs} 小于 0.015 的土层不应累计。

2) 场地湿陷类型的判定

①当实测或计算自重湿陷量小于或等于 7cm 时, 应定为非自重湿陷性黄土地;

②当实测或计算自重湿陷量大于 7cm 时, 应定为自重湿陷性黄土地。

(3) 地基湿陷等级

1) 地基总湿陷量的计算

湿陷性黄土地基, 受水浸湿饱和至下沉稳定为止的总湿陷量 Δ_s (cm), 应符合下列规定:

①总湿陷量 Δ_s , 应按下式计算:

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \beta \delta_{s_i} h_i \quad (1.7.2.6)$$

式中 δ_{s_i} ——第 i 层土的湿陷系数;

h_i ——第 i 层土的厚度 (cm);

β ——考虑地基土的侧向挤出和浸水机率等因素的修正系数。基底下 5m (或压缩层) 深度内可取 1.5; 5m (或压缩层) 深度以下, 在非自重湿陷性黄土地, 可不计算; 在自重湿陷性黄土地, 可按自重湿陷量计算的 β_0 值取用。

②总湿陷量应自基础底面 (初步勘察时, 自地面下 1.5m) 算起。在非自重湿陷黄土地, 累计至基底下 5m (或压缩层) 深度止; 在自重湿陷性黄土地, 对甲、乙类建筑, 应按穿透湿陷性土层的取土勘探点, 累计至非湿陷性土层顶面止; 对丙、丁类建筑, 当基底下的湿陷性土层厚度大于 10m 时, 其累计深度可根据工程所在地区确定; 但在陇西、陇东陕北地区不应小于 15m; 其他地区不应小于 10m。其中湿陷系数 δ_s 小于 0.015 的土层不应累计。

2) 地基湿陷等级

湿陷性黄土地基的湿陷等级

表 1.7.2.2

湿陷类型		非自重湿陷性场地	自重湿陷性场地	
计算自重湿陷量 (cm)		$\Delta_{zs} \leq 7$	$7 < \Delta_{zs} \leq 35$	$\Delta_{zs} > 35$
总湿陷量 Δ_s (cm)	$\Delta_s \leq 30$	I (轻微)	II (中等)	—
	$30 < \Delta_s \leq 60$	II (中等)	II 或 III	III (严重)
	$\Delta_s > 60$	—	III (严重)	IV (很严重)

注: 当总湿陷量 $\Delta_s \geq 50$ cm, 计算自重湿陷量 $\Delta_{zs} \geq 30$ cm 时, 可判为 III 级; 当总湿陷量 $30\text{cm} < \Delta_s < 50\text{cm}$, 计算自重湿陷量 $7\text{cm} < \Delta_{zs} < 30\text{cm}$ 时, 可判为 II 级。

(4) 地基承载力

1) 地基承载力基本值 f_0 ，可根据土的物理、力学指标的平均值或建议值，按表 1.7.2.3~1.7.2.7 确定。

晚更新世 Q_3 、全新世 Q_4 湿陷性黄土承载力 f_0 (kPa) 表 1.7.2.3

f_0 w/w_L	w (%)	≤ 13	16	19	22	25
22		180	170	150	130	110
25		190	180	160	140	120
28		210	190	170	150	130
31		230	210	190	170	150
34		250	230	210	190	170
37		—	250	230	210	190

注：1. 对天然含水量小于塑限含水量的土，可按塑限含水量确定土的承载力。

2. 上表的经验公式为 $f_0 = 144.8 + 7.417 \frac{w_L}{e} - 0.8035w$

饱和黄土承载力 f_0 (kPa) 表 1.7.2.4

f_0 a_{1-2} (MPa ⁻¹)	w/w_L	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
0.1		186	180	—	—	—
0.2		175	170	165	—	—
0.3		160	155	150	145	—
0.4		145	140	135	130	125
0.5		130	125	120	115	110
0.6		118	115	110	105	100
0.7		106	100	95	90	85
0.8		—	90	85	80	75
0.9		—	—	75	70	65
1.0		—	—	—	—	55

注：1. 当土的饱和度 $S_r = 70\% \sim 80\%$ 时，亦可按此表查取承载力。

2. 上表经验公式为： $f_0 = 219.4 - 132a_{1-2} - 27 \frac{w}{w_L}$

新近堆积黄土 Q_4 承载力 f_0 (kPa) 表 1.7.2.5

f_0 a (MPa ⁻¹)	w/w_L	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2		148	143	138	133	128	123
0.4		136	132	126	122	116	112
0.6		125	120	115	110	105	100
0.8		115	110	105	100	95	90
1.0		—	100	95	90	85	80
1.2		—	—	85	80	75	70
1.4		—	—	—	70	65	60

注：1. 压缩系数 a 值，可取 50~150kPa 或 100~200kPa 压力下的值；

2. 上表的经验公式为： $f_0 = 175.3 - 46.6 \frac{w}{w_L} - 47.2a$

2) 利用静力触探比贯入阻力 p_s , 确定河谷低阶地的新近堆积黄土 Q_4^2 的承载力, 可按表 1.7.2.6 查得。

新近堆积黄土 Q_4^2 承载力 f_0 (kPa)								表 1.7.2.6
p_s (MPa)	0.3	0.7	1.1	1.5	1.9	2.3	2.8	3.3
f_0	55	75	92	108	124	140	161	182

注: 上表的经验公式为: $f_0=44.7+44.4p_s$ 。

3) 根据轻便触探锤击数确定新近堆积黄土 Q_4^2 地基承载力基本值时, 可按表 1.7.2.7 查得。

新近堆积黄土 Q_4^2 承载力 f_0 (kPa)							表 1.7.2.7
锤击数 (N_{10})	7	11	15	19	23	27	
f_0	80	90	100	110	120	135	

注: 上表的经验公式为: $f_0=5.8+0.29N_{10}$ 。

4) 黄土地基承载力的深宽修正与《建筑地基基础设计规范》相类似, 只是当基础埋置深度大于 1.5m 时才开始深度修正, 另外, 深宽修正系数按表 1.7.2.8 采用。

η_b 、 η_d 系数采用值				表 1.7.2.8
地基土类别	有关物理指标	η_b	η_d	
Q_3 、 Q_4^1 湿陷性黄土	$w \leq 24\%$	0.2	1.25	
	$w > 24\%$	0	1.10	
饱和黄土	e 和 I_L 均小于 0.85	0.2	1.25	
	e 和 I_L 均大于 0.85	0	1.10	
	e 和 I_L 均大于等于 1.0	0	1.00	
新近堆积黄土 Q_4^2		0	1.00	

注: 表中 w 为土的含水量; e 为孔隙比。

5) 地基变形

黄土的沉降计算采用分层综合法, 其沉降计算经验系数采用表 1.7.2.9 值

地基沉降计算经验系数 ψ_s								表 1.7.2.9
综合压缩模量 E_s' (MPa)	3.0	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
ψ_s	1.8	1.22	0.82	0.62	0.50	0.40	0.35	0.30

5. 地基处理

(1) 地基处理措施

- 1) 消除地基的全部湿陷量, 如采用桩基等深基穿透全部湿陷性土层;
- 2) 消除地基的部分湿陷量, 如采用换土垫层, 夯实、挤密法等。

(2) 防水措施

- 1) 基本防水措施: 在建筑布置、场地排水、地面防水、散水等方面采取措施, 防止雨水或生产生活用水渗入地基内的各项措施;
- 2) 严格防水措施: 对重要建筑场地和高等级湿陷地基, 在检漏防水措施的基础上, 对防水地面、排水沟, 检漏管沟和检漏井等设施提高设计标准。

(3) 结构措施

减少建筑物的不均匀沉降，或使结构物适应地基的变形。建筑平面布置力求简单，或用沉降缝分成若干个体型简单的独立单元，用增设圈梁、构造柱等方法加强建筑物上部结构的整体刚度。

6. 其他湿陷性土

(1) 勘察要点

在其他湿陷性土地勘察时，除满足一般要求外，尚应注意以下几点：

- 1) 对土层分布极不均匀的场地，勘探点间距适当加密。
- 2) 控制性勘探点的深度应穿透湿陷性土层。
- 3) 应查明湿陷性土的年代、成因、分布特征及其夹层、包含物和胶结成分、性质等。
- 4) 不能取得不扰动土试样时，对湿陷性的碎石土和砂土宜采用标贯等动力触探试验确定土的特性。

5) 从探井中采集的不扰动土试样，应占总数的 30% 以上。

6) 取不到不扰动土试样时，应在探井中用大体积法测定土的重度和含水量，对取得的不扰动土试样，除测定一般物理力学性质指标外，尚应作土的湿陷性试验和湿化试验。

(2) 地基评价和处理原则

1) 对用 5000cm^2 承压板在 200kPa 压力下的野外浸水载荷试验测得湿陷变形量大于 3cm 的土，不宜用作天然地基。当湿陷变形量为 $1\sim 3\text{cm}$ 时，应根据建筑物等级和场地环境条件综合考虑其作为天然地基的适宜性。

2) 土的承载力应按载荷试验或其他原位测试结果确定。在无条件进行试验时，可参照有关标准综合考虑确定。

3) 湿陷性土边坡的评价应注意由于浸水崩解导致崩塌和滑坡的可能。

4) 湿陷性土地应作好竖向设计和建筑物四周的排水设施，适当加大散水宽度，地下管道应考虑增设管沟及检漏设施。

5) 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、桩基及化学加固等各种方法，应根据岩土特征，处理目的和当地实际条件综合考虑选用。

6) 湿陷性土地的重要建筑物，应按有关规定进行沉降观测。