

结构工程师：地基设计中的沉降计算 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/457/2021_2022__E7_BB_93_E6_9E_84_E5_B7_A5_E7_c58_457462.htm 为了保证建筑物的安全和正常使用，对建在可压缩地基上的建筑物，尤其是比较重要的建筑物在地基设计时必须计算其可能产生的最大沉降量和沉降差，确保在规范所规定的允许范围内，否则就必须采取加固改善地基的工程措施或改变上部结构物和基础的设计。

1 理论根据 土的压缩性是指土在压力作用下体积缩小的性能，有关研究结果表明，作为三相系的土，在工程实践中常达到的压力（约 $< 600 \text{ KPa}$ = 作用下，土粒本身和孔隙中的水、气压缩量极小，可忽略不计，但在外荷作用下，土体中土粒间原有的联结可能受到削弱或破坏，从而产生相对的移动，土粒重新排列，相互挤紧从而导致土体孔隙中的部分水、气将被排出，土的孔隙体积便因此缩小，导致土体体积变小，其压缩量随时间增长的过程，称为土的固结。固结问题和固结特性是作为多相介质的土体所特有的区别其它工程材料的一个独特性质。对一般粘性土而言，通常所说的基础沉降一般都是指固结沉降，目前在工程中广泛采用的计算方法是以无侧向变形条件下的单向压缩分层总和法，首先确立应力--应变关系，广泛采用材料力学中的广义虎克定律，即土体的应力与应变假定为线性关系，这里的压缩模量 E_s 或变形模量 E_0 的地位（三维条件下还有土的侧膨胀系数即泊松比 μ ）均相当于虎克定律中的杨氏模量的地位和作用。但是土体毕竟不是理想弹性体，从土的室内压缩试验中的土的回弹、再压曲线可知，土体的变形是由弹性变形和塑性变形两

部份组成，所以回弹曲线与再压曲线能构成一个迴滞环，同时应力的状态、大小以及排水条件等的不同，均会使土的变形（沉降）发生变化，从而导致计算的变形参数产生相应的改变，且使理论计算结果与现场实测发生差异，这样，即使是最接近实际的三维变形状态并考虑土体固结过程中的侧向变形时，理论计算的沉降值也必须用沉降计算经验系数 m_s 进行修正，这些变形计算参数可通过室内或现场试验的方法确定。

2 有关计算参数的确定 在进行地基设计之前，先通过勘探和原位试验（如荷载试验，旁压试验）或室内压缩试验，测定有关计算沉降的土工参数。试样无侧向变形的压缩试验结果，可用压缩曲线或称 $e - p$ ($e \sim \log p$) 曲线表示，并得出反映土压缩性高低的两个指标（压缩系数 a_v 、压缩指数 C_c ），同时为了研究土的回胀特性，亦可进行减压试验，得出土的回弹、再压曲线。

$$a_v = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} = - \frac{e}{p}$$

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2 - \log p_1} = - \frac{e}{\log(p_2/p_1)}$$

压缩系数不是常量，它随压力增量的增大而减小。在我国《工业民用建筑地基基础设计规范》按 a_{1-2} 值的大小（即 $P_1 = 100 \text{ KPa}$ ， $P_2 = 200 \text{ KPa}$ ），划分土的压缩性。而压缩指数在较高的压力范围内基本为常量。通过两种图示曲线可以算出：

$$a_v = 0.435 / p C_c$$

为所研究压力范围内的平均压力

3 不同固结条件下的沉降计算 如前所述目前工程中广泛采用的分层总和法，该法按照压缩曲线所取坐标的不同，又可分为 $e - p$ 曲线法和 $e - \log p$ 曲线法。在进行地基沉降计算时，先要确定地基的沉降深度（即压缩层的界定），对于天然沉积的土层，土体本身已在自重作用下压缩稳定，所以地基

中的初始应力 σ_z 随深度的分布即为土的自重应力分布。而地基土的压缩变形是由外界压力（沉降计算压力）在地基中引起的附加应力 σ_z 产生的，在理论上附加应力可深达无穷远。但目前在水利工程中通常按竖向附加应力 σ_z 与自重应力 σ_s 之比确定地基沉降计算深度，对一般性粘土取 $z = 0.2 \sigma_s$ ，对软粘土取 $z = 0.1 \sigma_s$ 。

3.1 e-p 曲线法计算公式为第 i 分层的压缩量 $S_i = (e_{1i} - e_{2i}) / (1 + e_{1i}) H_i$ -- 第 i 分层的厚度 地基的最终沉降量 (1-2) 有时勘测单位提供的不是压缩曲线，而是其他压缩性指标，可换算为： $S_i = a_v / (1 + e_1) P H_i = m_v P H_i = 1 / E_s P H_i$ -- 压力增量 m_v -- 土的体积压缩系数 a_v -- 土的压缩系数 E_s -- 土的压缩模量

在计算过程中应注意首先要根据建筑物基础的尺寸，判别在计算基底压力和地基中附加应力时是属于空间问题还是平面问题，再按荷载性质求出基底压力 P 的大小和分布。应当注意，当基础有埋置深度 D_f 时，应当采用基底净压力 $P_n = P - r D_f$ ，然后求出计算点垂线上各分层的竖向附加应力 σ_z ，并绘出它的分布曲线，按算术平均计算出各分层的平均自重应力 σ_s 和平均附加应力 σ_z 进行累加，在 e-p 曲线中查出相应的初始孔隙比 e_{1i} 和压缩稳定后孔隙比 e_{2i} ，从而计算出各分层压缩量（式1-1），并进行累加后得出地基的最终沉降量（式1-2），必须注意自重应力 σ_s 应从原地面高程算起，附加应力 σ_z 应从基底高程算起，同时在三维变形状态下，斯肯普登--贝伦建议将沉降值 S 乘以一个系数 C_p ，即修正固结沉降 $S = C_p S$ ，根据我国《工业民用建筑地基基础设计规范》规定，计算所得的沉降值 S 应

乘以一个沉降计算经验系数 M_s ，这样才能较准确估算地基沉降量（ $M_s = 1.3 \sim 0.2$ ，其具体数值视土的压缩模量 E_s 的不同范围参见规范说明），一般来讲软粘土地基的 S 计算值偏小，而硬粘土的 S 计算值又偏大较多。

3.2 $e - \lg p$ 曲线法按 $e - \lg p$ 曲线法来计算地基的沉降与 $e - p$ 曲线一样，每一分层压缩量计算公式仍为 $S = (e_1 - e_2) / (1 + e_1) H$ ，与前述利用 $e - p$ 曲线或压缩系数 a_v 计算的方法步骤基本相同，所不同的只是选用压缩性指标和确定初始及最终孔隙比的手段不同，须由现场压缩曲线求得。经推导可得出用 $e - \lg p$ 曲线或压缩指数 C_v 的沉降计算公式为：

$$S = H C_c / (1 + E_0) \lg (p_0 + p) / p_0 (2 - 1)$$

由于土的应力历史对土的压缩性能有较大影响，应先推估土的受荷历史和计算未来在建筑物荷载作用下，土可能产生的新的压缩变形。必须确定先期固结应力 P_c ，根据卡萨格兰德提出的依据室内压缩曲线特征的经验图解法，可在 $e - \lg p$ 曲线上图解得出先期固结压力 P_c ，根据反映土体固结程度的超固结比 $O C R = p_c / p_0$ （ P_0 为现有有效应力），当 $O C R = 1$ 时，为正常固结土， $O C R > 1$ 时，为超固结土；由于土在钻探、取样、运输、制备土样和试验过程中或多或少地会受到扰动，扰动愈大，曲线的位置就愈低，所以室内压缩试验成果不能反映现场条件下土的压缩性能，还须对室内压缩试验所得 $e - \lg p$ 曲线加以修正为现场压缩曲线。确定了土的固结性质，并分别确定正常固结土和超固结土的现场压缩曲线，这里仅示出推求结果。经过大量研究者的证实，无论土受何等程度的扰动，在室内进行压缩试验时，所得的多条 $e - \lg p$ 曲线在 $0.42 e_0$ 处附近都趋

于一点，由此推算土的现场压缩曲线势必也通过该点。同时假定试样的孔隙比还能保持现场原位条件下的数值 e_0 。另外在超固结土中由室内的回弹再压曲线可知在曲线中存在一个滞后环，其斜率应为超固结土的超固结段压缩量的膨胀指数 C_s ，超固结土在压缩应力 P 作用下的压缩量就由超固结段的压缩量 S_1 和正常固结段的压缩量 S_2 两部分总和而成。其计算公式为：

$$S_i = S_1 + S_2 = H_i / (1 + e_0) (C_s \log p_c / p_0 + C_c \log (p_0 + p) / p_c) \quad (2-2)$$

当 p 较小， $p_0 + p < p_c$ （先期固结压力）时，则土始终处于超固结状态，此时土层的压缩量计算公式简化为

$$S_I = H_i / (1 + e_0) (C_s \log (p_0 + p) / p_c) \quad (2-3)$$

3.3 关于初始沉降（瞬间沉降）及次固结沉降的计算

对于普通粘性土，固结沉降是其基础沉降的一个主要部分，它对基础宽大、而压缩土层较薄，排水条件又较符合假定时较为适用。但是实际地基的地质条件往往较为复杂，有时可压缩的软土层分布较厚或土层分布不均，基底面又不是排水面，对较软的粘性（亚粘性）土来说，次固结沉降在总沉降中占有一定比例，这时初始沉降就不可忽视；又如砂性较重的地基，由于固结排水速率很快，初始沉降与固结沉降这两部分已融合一起难以区分，这些都必须计算初始沉降或次固结沉降。下面给出有关计算公式：

初始沉降 $S_d = P B (1 - u^2) / E I = 3 / 4 P B I / E \quad (3-1)$

P -- 基底压力
 B -- 基础宽度
 e_0 -- 初始孔隙比
 u -- 土的泊松比 对饱和粘土 $u = 0.5$
 I -- 影响系数，取决于基础形状和所研究点的位置。
 E -- 土的不排水变形模量（弹性模量，可用三轴或单轴不排水试验求得）或采用旁压仪在现场测得。

次固结沉降 S_t

$$= H / (1 + e_0) C_a \log (t_2 / t_1) \quad (3-2)$$

t_1 --次固结的起始时间 t_2 --建筑物使用年限 C_a --次固结系数，可用主固结和次固结引起的孔隙比与时间半对数关系曲线 ($e - \lg t$) 求得。当 $C_a < 0.03$ 时，粘性土的次固结沉降可以忽略。此外除了上述两种计算方法外，还有通过室内试验模拟现场应力路径，再量取土样的垂直变形的应力路径法等。当然在工程设计中，有时我们不但需要预估建筑物基础可能产生的最终沉降量或沉降差，而且还常常需要预估基础达到最终沉降量所需的时间或者预估建筑物完工以后经过某一段时间可能产生的沉降量，即基础的沉降量与时间关系的问题，目前多以饱和土体单向固结理论（一维固结理论）为基础进行求解（当然还有二维、三维固结理论，分别用于解决土坝和砂井、塑管排水法加固地基问题），这里就不再一一叙述。

4 结束语 以上各种计算沉降的方法，由于土性质变化的复杂性，采取原状土样的困难，边界条件及加荷情况与计算时所采取的简化情况有所差异，计算结果往往与实测沉降有较大差别，这时可采用由河海大学研制的真三轴仪进行竖向应变 ϵ_z 测定，可直接用于沉降计算。另外在计算技术上，近似解法已有较好的应用，特别是利用电子计算机按有限元理论进行求解。即使这样，沉降计算值仍可作为判断地基好坏的依据，作为评价土工建筑物安全或危险的依据。目前水利工程中，对于各类建筑物的容许沉降量与沉降差尚无统一标准可循，因此要加强沉降的实地观测以及观测资料的积累，并与理论计算值相比较，从而推动理论的改进，给设计提供可靠的校核数据。

100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 www.100test.com