

水文地質工程地質工作方法小丛书

黃土濕陷性的評價方法

湯不凡 著

地質出版社

PDG

水文地質工程地質工作方法小叢書

黃土濕陷性的評價方法

著 者	湯 不 凡
出 版 者	地 質 出 版 社 北京宣武門外永光寺西街3号 北京市書刊出版業營業許可證出字 050 号
发 行 者	新 華 書 店
印 刷 者	化学工业出版社印刷所

印数 (京)1—5,000册 1958年10月北京第1版
开本 $31'' \times 43'' \frac{1}{32}$ 1958年01月第1次印刷
字数 23,000 字 印张 1 $\frac{1}{4}$
定价 (8) 0.14元

目 录

緒 言	1
黃土浸水時產生濕陷的原因	2
黃土濕陷性的評價方法	5
現行規定中若干問題的探討	16
假定濕陷量的涵義及其計算方法的討論	25
按土的物理指標確定假定濕陷量的方法	28
建築場地黃土濕陷性的評價	35
結 語	38
參考文獻	39

緒 言

黃土是一種第四紀的大陸沉積物，分布面積極廣，我國西北地區尤其著名。

黃土是一種具有很高孔隙度的土，一般具有多量管形垂直孔隙及大孔構造，因而又稱為“大孔土”或“多孔性土”。其實認真說來：這一名稱並不妥當，它並不能正確地反映着黃土的特性。因為具有高孔隙度的土並不一定都具有濕陷性，而所有的黃土也並不都具有大孔的構造。對一些粘土和近代的沼澤沉積，同樣也具有較高的孔隙度，但是它們並不具有濕陷性，因此大孔並不是濕陷性所必需的特征。研究證明：浸水壓縮後的土樣仍然保持有大孔隙，濕陷之所以能發生，主要是由於孔隙度的減少，可見大孔構造在土的變形過程中，並沒有特殊的作用。

Н.Я.傑尼索夫指出：“大孔土這個名稱並不能代表其狀態與性質上的特征；因此，不能認為大孔土這個術語是最合適的”。最近蘇聯召開的黃土地區建築問題會議的決議指出：“由於大孔土這一術語不符合濕陷性土的自然性質，因此應將該語改稱為黃土”。

黃土主要的工程地質特性，在於當濕度增加時將產生巨大的濕陷。這種濕陷不僅發生得很快。而且可以達到很大的數值，建築物往往不能適應這種劇烈的變化，因而導致建築

物严重的变形。西北某厂之办公大楼，由于水管接头不良，发生严重漏水现象，使基础产生剧烈沉陷，山牆及外牆互相拉开，門窗歪斜，磚牆裂縫达1—2公分，以致严重到必須拆除重建。某街坊之三层民用住宅亦因水管漏水而发生严重的变形，个别地方下沉达16公分，以致不能繼續使用。某工厂的大型車間，由于柱基浸水，支柱发生下沉，竟使原来架上此柱上的吊車跑道梁反而成为一个簡支梁而該柱却悬空掛在梁上了。

这些实际資料都証明了黃土浸水后产生湿陷的危害性，因此研究黃土之湿陷性，对国家的經濟建設，有着重大的实践意义。

本文之目的，在探討黃土湿陷性評價方法的基础上，試圖提出从土的物理指标間接評價黃土湿陷性的方法。由于作者水平有限，只是根据从事工作中的一些实际資料，加以整理写成，希望專家們予以指正。

黃土浸水时产生湿陷的原因

关于黃土浸水后产生湿陷的原因，有着各种各样的說法。有人認為产生湿陷的主要原因是由于浸水时鹽类发生溶解，有人認為产生湿陷的原因是由于毛細管压力的減低，这些学說在各个專門著作里，都已經有了詳尽的闡明。

值得注意的是H.Я.傑尼索夫提出的新理論。他認為黃土在浸水时所发生的湿陷是在兩種因素同时作用下所引起的。第一个因素是由于土中具有遇水不稳定的加固粘聚力，引起

土未达压实状态的地質与工程地質条件。第二个因素是水使膠結物膜破坏和使顆粒散化的物理化学的作用。这种說法較為完善地說明黃土湿陷性产生的原因，因而受到許多学者廣泛的讚許；如B.B.波波夫，Ю.М.阿別列夫等都對这一理論有着很高的評價。这里仅就各人的体会加以闡述。

黃土浸水后即开始发生湿陷，地表有显著的下沉，这些現象說明黃土顆粒及其集合体产生了位移。这些位移之所以产生，主要是由于土受到压密，孔隙度剧烈減小的結果。我們研究了野外載荷試驗的結果，发现載荷板浸水后以切入的形式嵌入土中，根据在試坑中不同地点选取試料进行分析的結果，在浸水压縮后土的孔隙度为45.1%，而天然土的孔隙度为50.8%，即浸水压縮后孔隙度減少了5.7%，而在載荷板以外取出土样之孔隙度为53.7~56.1%，与未浸水压縮前天然土样相差无几。由此可以証明：土在試驗过程中并没有发生挤出現象，湿陷的产生仅是因土的压实所致。

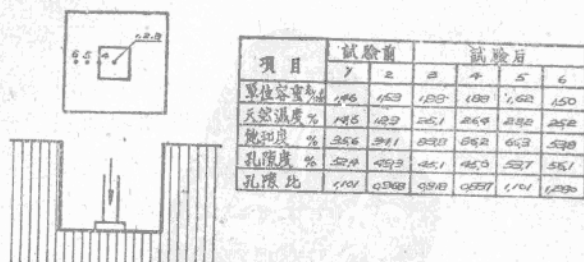


图 1. 載荷試驗中取土位置及其分析結果

对于沉积岩說来，它的性質主要与膠結物的成分、性質以及顆粒之間的接触等因素有很大的关系。以膠結的砂岩而

言：以粘土質或泥灰質所膠結的砂岩一般最不堅固，而矽質所膠結的砂岩一般抗壓強度就很高。因此顆粒間的膠結物和單位面積上接觸點的數量對土的強度有很大的關係。黃土也是如此；由於顆粒之間有碳酸鹽類、石膏以及其他鹽類的膠結作用，因而有着很高的強度。當水浸入後，這種聯系作用就大為削弱，以致強度就顯著降低，我們可用一個很淺顯的例子來闡明這一性質。

我們如果挖了一個淺坑，然後用土去填平它，不加夯實，這樣填土就保持了很高的孔隙度。這些土的顆粒都處於散化狀態，它們之間依靠了摩阻力的影響而保持平衡，在土骨架自重的條件下有着一定的外形。但是在外力作用下平衡條件受到破壞時，就會引起新的變化，顆粒之間就會擠得更緊密些，以求顆粒之間的接觸點增加而使摩阻力增大，在新的條件下維持新的平衡。因此如果有人踩了一腳，松土馬上會陷下去，在產生了一定的位移後又趨穩定，這個現象就表示在外力作用下原有的平衡條件受到破壞，因而必然發生內在的變化，力求適應新的條件。平衡條件之破壞不僅表現在外力的作用下，同時也表現在內力變化的作用下；如果雨水浸入坑中時，由於水份使顆粒之間的水膜增加，加強了顆粒間的滑潤作用，使摩阻力急劇降低，以致不足以維持原有的自重壓力而發生變形。這種由於土顆粒之間的摩阻力而引起的粘聚力，即稱之為原始粘聚力或原生粘聚力。

黃土浸水濕陷作用某種程度上也很類似上述的情況，所不同者只是黃土在浸水前可以承受較高的壓力作用，而填土僅能承受土骨架的自重作用。因此我們可以設想：黃土顆粒

之間除了有原始粘聚力之外，尚存在另一種粘聚力，它可以使黃土在浸水前有着較高的抗压強度，而在浸水後這種粘聚力又迅速消失。這種粘聚力可稱為加固粘聚力或次生粘聚力。

如果坑中堆置的松土經過凍結之後，顆粒之間除了有摩阻力以外，尚存在有水凍結時將顆粒緊緊聯繫起來的粘結力。在這種情況下，即使達到很大的壓力值，也不會產生濕陷；但是當溫度升高時，由於水的融化而使這種粘結力迅速消失。這一過程與黃土濕度增高以致引起粘聚力的迅速消失，有着同一的性質。

用這個例子來解釋黃土浸水後產生的濕陷是十分合適的。在黃土沉積的初期，僅存在着由於顆粒之間摩阻力影響而產生的原始粘聚力；以後在長時間的成岩作用的過程中，由於各個集合體及顆粒之間的相互作用以及各種化學物質對顆粒的膠結作用等，都可能使黃土產生了加固粘聚力。

對於黃土說來加固粘聚力有着特殊的意義，它決定着黃土工程地質的主要特性。目前主要的困難在於對黃土內含有的鹽類以及膠質成分尚研究不夠，特別是這些物質與水作用的关系，尤其不明；因此這些問題有待今後作進一步的研究。

黃土濕陷性的評價方法

如上所述：黃土主要的工程地質特性在於濕度增加時會產生巨大的濕陷作用。因此，要研究黃土的濕陷性質，就必須制定評價濕陷性的方法和檢驗指標，估計其可能產生的濕陷量，以便採用適當措施來保證建築在黃土上建築物的穩定。

性和正常使用。

評價黃土濕陷的方法很多，通常都是採用一些指標從數量上來表示黃土濕陷性的特徵。但是這些數值都是根據蘇聯的情況提出的，應該結合我們的具体情况加以檢驗，以便正確地運用到實際工作中去。

Ю. М. 阿別列夫建議在野外的條件下，用浸水載荷試驗來評價黃土的濕陷性，載荷板之面積為 70.7×70.7 公分²，並在壓力的作用下進行浸水。在試驗過程中要測定浸濕前的下沉量 $S_{H2Ч}$ 和浸濕后的下沉量 S_{3AM} ，然後用濕陷指數 M 來表示其比值：

$$M = \frac{S_{3AM}}{S_{H2Ч}}$$

M 值愈大，土的濕陷性也愈大，當 $M > 5$ 且 $S_{3AM} - S_{H2Ч} \geq 3$ 公分時即為濕陷性的。我們曾在實際工作中對這一指標加以驗證，認為這一指標是可以用來作為評價黃土濕陷性之用的。

我們曾用面積為 5000 公分² 的載荷板直接置於敷以薄層砂土的黃土層上，當壓力達到 2.0 公斤/公分² 時開始浸水，並保持在 36 小時內連續浸水，計注入水量為 2600 立升。浸水的方法系直接將水注入事先準備的二個大木桶中，以便計算水量；然後利用虹吸管的原理將木桶中所盛之水注入試坑，以保證在浸水過程中緩慢而連續地注入。試坑底部鋪以細砂，承壓板四周鋪以透水性強烈的卵石層，一方面可以使壓力傳布較為均勻，另一方面可以避免水流直接衝擊坑底土層而引起土的破壞。

根据試驗結果：在2.0公斤/公分² 压力下载荷板浸湿后之湿陷量 $S_{\text{SAM}}=31.64$ 公分，同压力下浸湿前之下沉量 $S_{\text{HAY}}=3.88$ 公分。

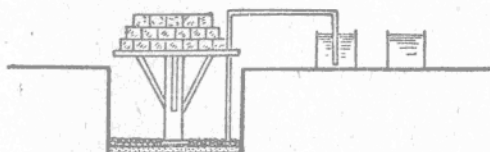


图2. 載荷試驗裝置示意图

$$M = \frac{31.64}{3.88} = 8.17 > 5$$

$$S_{\text{SAM}} - S_{\text{HAY}} = 27.76 \text{ 公分} > 3 \text{ 公分}。$$

根据地質資料的証明：該处黃土层之厚度达30公尺，地下水深度为25公尺，，属Ⅲ級湿陷性黃土地区，因此試驗結果完全符合当地的实际情况。

但是此法缺点在于裝置笨重，人力物力耗費較大，因而通常采用實驗室的方法来評价黃土的湿陷性。

用實驗室方法来評价黃土湿陷性的指标很多，仅就几个主要的指标加以評述：

通常用天然湿度与塑性下限之比值 $\frac{W}{W_p}$ 作为指标，在苏联古比雪夫区伏尔加左岸确定了如下之規律：如比率大于1至1.2則为非湿陷性的土，比率愈小則湿陷性愈显著。

根据我們在西安地区的試驗結果：若 $\frac{W}{W_p}$ 的比值大于1.30則为非湿陷性的土，而当 $\frac{W}{W_p}$ 介于0.9与1.2之間时則

为强湿陷性的土。

Н. Я. 傑尼索夫建議用压密指标 K 来评价黃土的湿陷性。

$$K = \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon}$$

ε_f ——塑性上限时的孔隙比；

ε ——天然状态时的孔隙比。

如 K 值由 $0.5-0.75$ 则为强湿陷性的， $K \geq 1$ 则为非湿陷性的。

在对这一指标作了檢驗后，我們認為当 $K > 1.0$ 时土是非湿陷性的，而 $0.60 < K < 0.90$ 时土是强湿陷性的。

В. А. 普里克蘭斯基建議用压密指标 K_d 来评价黃土的湿陷性。这个指标与上述 K 值不同之点即在于：它不仅表示天然孔隙比和塑性上限时孔隙比的比例关系，而且还表示它与塑性下限时孔隙比之比例关系。

$$K_d = \frac{\varepsilon_f - \varepsilon}{\varepsilon_f - \varepsilon_p} = \frac{W_f - W_o}{M_p}$$

W_f ——塑性上限

W_o ——土的饱和湿度(重量孔隙度)

M_p ——塑性指数

他認為强湿陷性的土 K_d 值一般为負的，若 K_d 为正值时则为非湿陷性的土。

我們詳細研究上述二个指标后，就可以发现它們兩者之間基本上没有什么区别的。关于 K 值与 K_d 之間的关系，可以进一步用数学关系来証实。

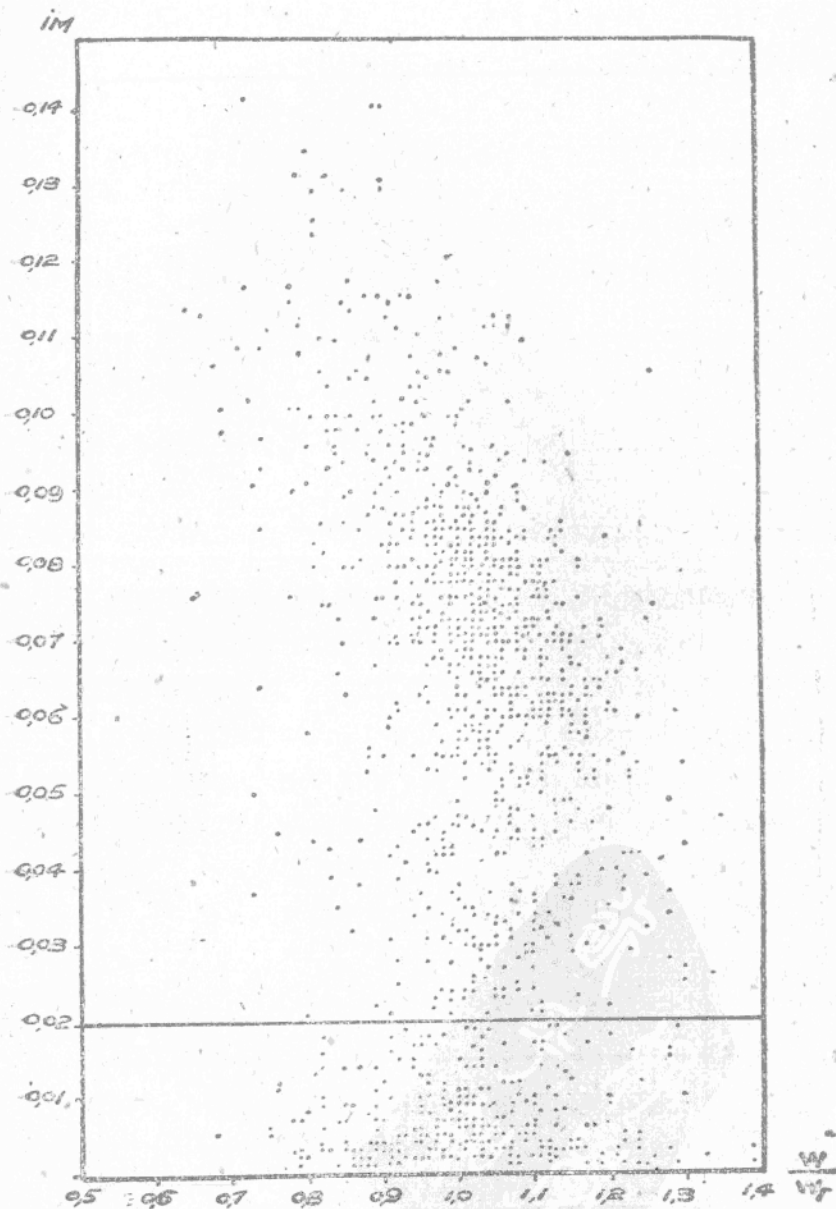


图3. iM 与 $\frac{W}{PW}$ 关系图

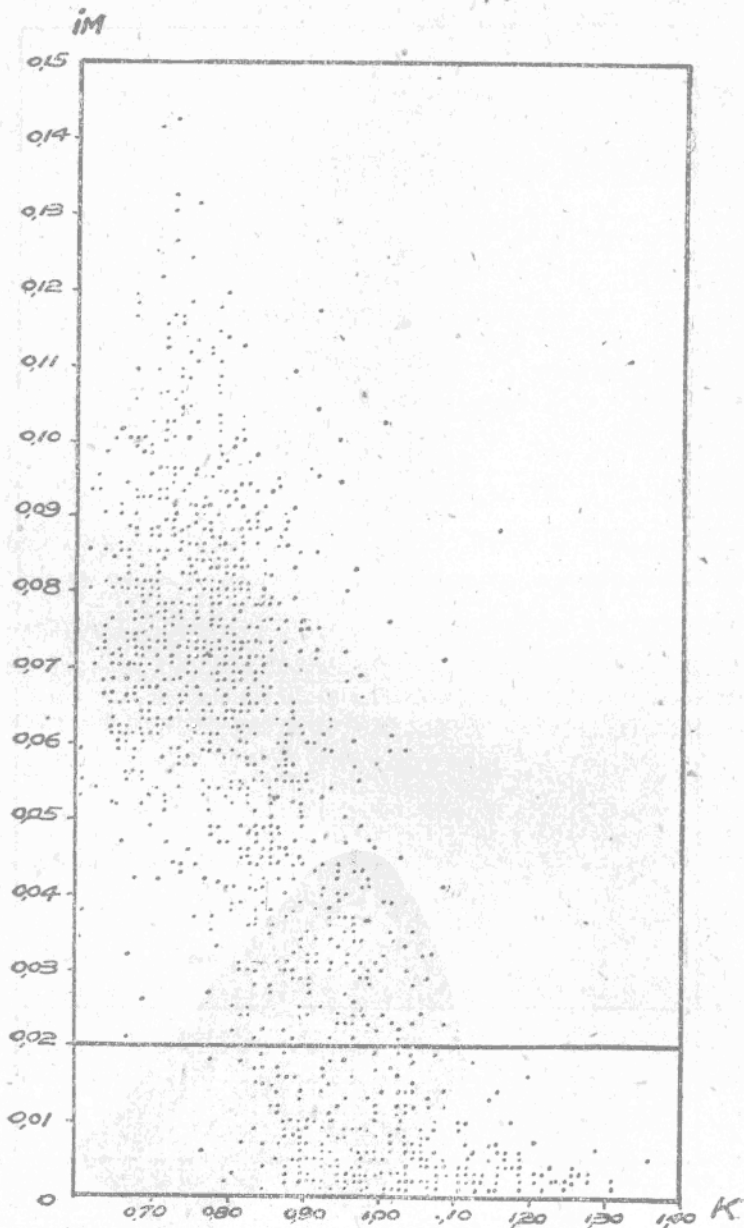


图4. iM 与 K 值之关系图

設液限 W_f 与塑限 W_p 之比为 C ，則 $C = \frac{W_f}{W_p} = \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_0}$ 。

$$K_d = \frac{\varepsilon_f - \varepsilon_0}{\varepsilon_f - \frac{\varepsilon_f}{C}} = \frac{C(\varepsilon_f - \varepsilon_0)}{(C-1)\varepsilon_f} = \frac{C}{C-1} \left(1 - \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_f}\right)$$

$$K_d = \frac{C}{C-1} \left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

根据我們对大量試驗資料的分析， C 值大致在 1.7—1.9 之間，若采用平均值 1.8 計，則 $\frac{C}{C-1} = 2.25$ 。

$$K_d = 2.25 \left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

因此当 $K \geq 1$ 时，按傑尼索夫之規定土为非湿陷性的，此时 $K_d \geq 0$ 按普里克朗斯基的規定亦为非湿陷性的。若 $K < 1$ ，按傑尼索夫之規定土是湿陷性的，此时 K_d 必为負值，按普里克朗斯基的規定亦为湿陷性的。因此 K 值与 K_d 值性質基本一致，在实际工作中利用 K 值远較利用 K_d 为簡便；事实上証明普里克朗斯基指出用 K_d 评价黄土湿陷性是最方便的方法的判断是有其局限性的。

Ю. М. 阿別列夫建議用大孔隙系数来评价土的湿陷性：

$$\varepsilon_M = \varepsilon_p - \varepsilon'_p$$

ε_p ——試样下沉前在压力 P 作用下的孔隙比，

ε'_p ——同一試样在同一压力下浸水压缩后的孔隙比。

若 $\varepsilon_M > 0$ 則該土为湿陷性的，若 $\varepsilon_M < 0$ 則該土不仅不湿陷而且是膨脹的。阿別列夫認為 ε_M 与压力有很大的关系，根据他实际測定的資料， ε_M 值最大值常处于 2—4 公斤/公分²

之間的壓力下，因此他建議必須在 3 公斤/公分²的壓力下來測定大孔隙係數。

由於 ϵ_M 是二個孔隙比的差數，它不能明確地提供關於黃土濕陷性的相對概念，因而他建議：用 3 公斤/公分² 壓力和土樣飽和條件下所得之大孔隙係數 ϵ_M ，與在同一壓力下浸水前試樣高度之比數 i_M 來表示濕陷性。這個比數 i_M 即稱之為相對濕陷係數。

$$i_M = \frac{\epsilon_M}{1 + \epsilon_p}$$

他認為若 $i_M > 0.02$ 則為濕陷性的土， $i_M \leq 0.02$ 則為非濕陷性的土。這一概念以後被具體應用到 1948 年批准之“工業與民用房屋和建築物天然地基設計標準及技術規範”（以下簡稱 $H_{HTy} 6-48$ ）中去。

H. Я. 傑尼索夫在 1951 年又提出用附加下沉指標來評價黃土的濕陷性。

$$R = \frac{S_2}{H - S_1}$$

S_2 ——試樣浸水時之附加下沉，

S_1 ——天然濕度試樣在浸水前的下沉，

H ——試樣受壓前的高度。

這個指標是在 1.25 公斤/公分² 時的壓力下求得的，他認為當 $R > 3\%$ 時，該土為濕陷性的，而 $R < 2-3\%$ 時則為非濕陷性的，並根據實際情況修正 1%。

其實相對濕陷係數 i_M 與附加下沉指標 R 之間並無本質上的差別。因為當孔隙比由 ϵ'_p 變到 ϵ_p 時，厚度為 H 土樣的濕陷量即等於土樣浸水時之附加下沉 S_2 ， H 是孔隙比為

ϵ_p 时土的厚度，它等于土样原有高度 n 減去天然湿度試样在浸水前的下沉 S_1 。亦即 $H = h - S_1$ 。因此，土样浸水时之附加下沉，与試样在浸水前高度之比，即所謂附加下沉指标 R 。

$$R = \frac{S_2}{h - S_1} = \frac{\epsilon_p - \epsilon_p'}{1 + \epsilon_p} = iM$$

由此可見，相对湿陷系数和附加下沉指标实际是一致的，所不同者只是前者在 3 公斤/公分² 的压力下測定，而后者是在 1.25 公斤/公分² 的压力下求得的。

总上所述，不論其采用指标如何，它們都只能从質的方面来評价黄土湿陷性，它們都不能提供黄土湿陷性在数量方面的概念，因此有必要制定評价湿陷性数量指标，以弥补此缺陷。

НИТУ 6-48 发展了阿別列夫的理论，并采用假定湿陷量 I 这一指标来表示黄土湿陷性在数量上的概念：

$$I = \sum_{h_{min}}^{H_0} h_n (iM)_n$$

h_n ——第 n 个均質黃土层之厚度(公分)；

$(iM)_n$ ——压力为 3 公斤/公分² 时第 n 层黄土的相对湿陷系数；

H_0 ——在建筑物基础下具有湿陷性土层之总厚度，以土层的上面算起(公分)；

h_{min} ——建筑物最小基础砌置深度，由土层之最上边起計算(公分)。

这规范沿用到 1954 年，由于建筑法規(以下簡称 СНИЛ)的頒布而作了某种程度的修改。在 СНИЛ 中規定：

“粘土类大孔土的湿陷性按其一定压力下，根据下列公式确定的相对湿陷值 δ_{np} 表示：

$$\delta_{np} = \frac{h-h'}{h_0}$$

式中：

h ——压力为 P 公斤/公分² 无侧向膨胀时的高度；

h' ——保持压力为 P 公斤/公分² 无侧向膨胀时土样浸水后的高度。

h_0 ——受天然压力并无侧向膨胀时，天然湿度土样的高度。

新规定与旧规定不同之点即相对湿陷值 δ_{np} 系在 P 公斤/公分² 压力下测定，而其涵义亦有不同的概念。 $H_{иTV6-48}$ 中之 iM 值表示试样浸水压縮前后高度之差与浸水前高度

之比，亦即 $iM = \frac{\varepsilon_p - \varepsilon_p'}{1 + \varepsilon_p} = \frac{h-h'}{h}$ ，而 $CH_{иП}$ 中规定 δ_{np}

的值，则表示试样浸水压縮前后高度之差与原始高度之比，

即 $\delta_{np} = \frac{h-h'}{h_0}$ 。虽然从理論上来講 $h_0 > h$ ，因而 $iM > \delta_{np}$ ，

但考虑到在 3 公斤/公分² 压力下土样实际上的压縮量是很小的，因此这种差異在数量上并没有多大的差别。但是这种改变却对实际工作带来不少便利，我們可以直接由試驗时所觀測的讀数代入，而 h_0 恒为常数，这就大大簡化了計算工作。

$CH_{иП}$ 又規定：“用为建造房屋和工业結構物的大孔土层受水浸湿时，其假定湿陷量按下列公式計算：

$$\Delta_{np} = \sum_i \delta_i h_i$$

式中：