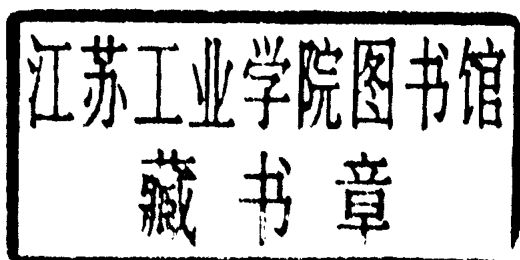


湿陷性黄土地基处理

裴章勤 刘卫东 编著



中国铁道出版社

1992年·北京

湿陷性黄土地基处理

裴章勤 刘卫东 编著

中国铁道出版社

1992年·北京

(京)新登字063号

内 容 简 介

本书系统地总结了国内外处理湿陷性黄土地基的常用方法及研究成果。对各种处理方法都有详细介绍，并例举了大量的工程实例。另外，对一些方法中存在的问题也进行了理论探讨。

本书内容全面、详细，基本反映了当前湿陷性黄土地基处理的技术水平。可供工程地质和地基基础技术人员参考，也可作为科研、教学人员的参考书。

湿陷性黄土地基处理

裴章勤 刘卫东 编著

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 张苍松 封面设计 赵敬宇

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米1/32 印张：10.875字数：246千

1992年11月 第1版 第1次印刷

印数：1—4 00册

ISBN7-113-01290-6/TU·281 定价：8.20元

前 言

黄土是和我们人类同时代产生的一种“年轻的”地质土层。这种土以粉土颗粒为主，富含碳酸盐，具大孔隙与垂直节理，以黄色为基本色调，有的具有湿陷性。具湿陷性的黄土称为湿陷性黄土。

我国黄土分布很广。据统计，中国的黄土和黄土状土分布面积约64万 km^2 ，其中湿陷性黄土为38万 km^2 ，占我国黄土总面积的60%。从地质年代上看，第四纪早、中更新世的黄土（ Q_1 和 Q_2 ）即所谓老黄土不具湿陷性（在压强为200 kPa的情况下），而晚更新世（ Q_3 ）和全更新世（ Q_4 ）的黄土，一般具有湿陷性。

黄土高原是我们中华民族的摇篮。随着社会主义建设的发展，大西北即将成为我们大规模经济建设的战略要地，黄土地区的工程会越来越多，对黄土特别是湿陷性黄土地基处理技术的研究也显得更加重要。

回顾过去，虽然取得了很大成就，但更有许多教训。由于我们对湿陷性黄土认识不足，采取的措施不够，致使许多建筑物在使用过程中因地基湿陷而发生严重变形。迫使厂矿企业停产者有之，迫使住户搬迁者有之。更有甚者，建筑物在施工过程中即发生严重的变形破坏，导致施工中断。据调查，六盘山以西地区湿陷事故出现的次数占相应建筑物调查总幢数的60%，六盘山以西地区为5~15%。可见，湿陷性黄土地区建筑物的湿陷事故是相当普遍的。

兰州化工厂和刘家峡化工厂是兰州地区的两个湿润性生

产的大企业,他们的建筑湿陷事故率分别为66.1%和50.8%。又如,西宁南川锻件厂的数十栋房屋大部分发生湿陷事故,完好者无几,老1*楼在施工中发生湿陷,一昼夜之间建筑物两端相对沉降差达16cm,由于不均匀湿陷的继续发展,该楼的地下室尚未建成便停建报废;厂食堂建了坏,坏了建,三番五次;汽车库建成后尚未使用就下沉开裂,无奈只好拆除;成品库地面波状起伏;单身楼裂隙满布;浴池平房墙身开裂处人可穿越;福利区所有楼房均是危楼。该厂厂区由于地下水水位上升造成大面积湿陷下沉,情况触目惊心。老1*楼室外地坪下沉多达60cm。这个厂的湿陷事故闻名国内,建筑物一个接一个报废。再如甘肃省定西地区靖远氮肥厂亦很典型。该厂位于黄河一级阶地上,地基为Ⅱ、Ⅲ级自重湿陷性厚层黄土。该厂于1970年兴建,1973年年底建成,1974年2月14日全厂联动试车成功,正式投产。由于车间用水渗入地基,产生湿陷,致使主厂房或主要生产设设备基础发生了严重的不均匀下沉,其中造气车间为三层砖混结构物,下沉后楼板相对高差达19.5cm,多数主、次梁和楼板开裂,纵墙倾斜15cm,砖柱墙开裂多处,缝宽达5cm,面墙已濒临倒塌。这样,该厂正式投产仅9天便被迫停产。这类湿陷事故不胜枚举,给社会主义建设造成了巨大的经济损失。

鉴于湿陷性黄土对建筑物造成的种种危害,在湿陷性黄土地区进行工程建设时,必须慎重处理。随着科学技术的进步,总结以往经验,我们完全能够克服湿陷性黄土的危害,避免许多经济损失,更好地进行社会主义建设和生产。此即本书之编写目的。

本书由裴章勤同志编写前言、第一章、第二章的第三节至第七节及第九节和第十节、第三章第一节、第三节、第六节、第七节和第四章;刘卫东同志编写第二章第一节、第二

目 录

第一章 湿陷性黄土地基的勘测与设计	1
第一节 勘探工作.....	1
第二节 设计工作.....	15
参 考 文 献	20
第二章 土体加密法	21
第一节 重锤表层夯实.....	21
第二节 强 夯 法	35
第三节 挤密灰土桩.....	67
第四节 石灰挤密桩.....	80
第五节 微型挤密灌注短桩.....	83
第六节 电火花压密法.....	90
第七节 气体爆炸压密法.....	97
第八节 浸 水 法	103
第九节 土垫层法	120
第十节 黄土地下坑穴的处理	132
参 考 文 献	137
第三章 土体加固法	141
第一节 热加固法	141
第二节 硅化加固法	168
第三节 碱液加固法	225

第四节	高压喷射注浆加固法	237
第五节	深层搅拌加固法	271
第六节	灰土和水泥土垫层法	287
第七节	其它加固方法	289
参 考 文 献		294

第四章 荷载传递法297

第一节	灌注桩	297
第二节	打(沉)预制桩	326
第三节	关于负摩擦力的问题	333
参 考 文 献		338

第一章 湿陷性黄土地基的 勘测与设计

要做好湿陷性黄土地基的处理工程，必须在勘测阶段取得准确全面的资料。这样才能有经济合理而又可靠的设计，为优质工程创造充分的前提条件。

第一节 勘 探 工 作

勘探工作的基本任务是为技术设计提供准确齐全的工程地质和水文地质资料。也就是根据有关的规定、建筑物的重要性和地层的复杂程度布置一定密度的勘探点，应用各种勘探技术确定建筑场地的地层情况及地下水、地表水的情况，特别是湿陷性黄土层的平面范围、厚度、湿陷类型、湿陷等级和容许承载力等。

一、勘探工作的要求

(一) 勘探工作布置

要根据勘探工作的不同阶段及其具体要求进行勘探工作。勘探工作与设计工作是相对应的，分为选择厂址勘探、初步勘探和详细勘探三个阶段。对场地面积不大、地质条件简单或有建筑经验的地区，可以简化勘探阶段，但应符合初步勘探和详细勘探两个阶段的要求。对工程地质条件复杂或建筑物有特殊要求的地区，必要时还应进行专门的勘探工作。各阶段的勘探成果应符合各阶段设计的要求。

(二) 工程地质报告内容

工程地质报告书，除应阐明一般工程地质条件外，还应根据湿陷性黄土的特点和不同的勘探阶段，并结合下列各点，对场地的稳定性和适宜性作出评价：

1. 不同的地质时代和成因黄土层的厚度和分布规律；
2. 湿陷类型和湿陷等级的分布；
3. 地下水位升降的可能性；
4. 由于工程建设，可能引起的不良地质现象。

（三）工程地质测绘

除应符合一般要求外，还应包括下列内容：

1. 研究地形的起伏和降水的积聚及排泄条件，调查山洪淹没范围及其发生时间；
2. 划分不同地貌单元，查明不良地质现象的分布地段、规模和发展趋势及其对建设的影响；
3. 按地质时代、成因及土的工程特性划分黄土层；
4. 调查地下水的深度、季节性的变化幅度、升降趋势、地表水体和灌溉情况；
5. 调查邻近建筑物的现状；
6. 访问场地内的地下坑穴情况（包括墓、井、坑穴、地道、矿井和矿巷等）。

二、湿陷性评价

在湿陷性黄土地区进行工程建设，正确地评价地基的湿陷性，具有重大的实际意义。

黄土地基湿陷性评价一般包括以下三方面的内容：

1. 判定地基土层是湿陷的还是非湿陷的，据此确定湿陷性黄土层的总厚度及其在平面上的分布范围；
2. 如果是湿陷性黄土，还要判定场地是自重湿陷性的还是非自重湿陷性的；

3. 判定湿陷性黄土地基的湿陷等级。

(一) 湿陷性的判定

根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(TJ25—78)的规定,黄土的湿陷性是在现场取原状土样,然后在室内通过压缩仪在一定的压力下进行浸水压缩试验,求出湿陷系数(δ_s 和 δ_{zs}),据以判断其是否具有湿陷性以及是否具有自重湿陷性。

1. 按湿陷性系数 δ_s 判定

$$\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \quad (1-1)$$

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;

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。

测定湿陷系数时所用压力,自基础底面算起(初步勘探时自地面以下1.5m算起)10m以内的土层应用200kPa, 10m以下的土层应用300kPa。但对压缩性较高的新近堆积黄土, 5m以内的土层应用150kPa, 5m以下与一般湿陷性黄土相同。

当 $\delta_s < 0.015$ 时,一般定为非湿陷性黄土;

$\delta_s \geq 0.015$ 时,一般定为湿陷性黄土。

但要说明,划分湿陷性黄土与非湿陷性黄土的界限值,根据当地经验,也可采用 $\delta_s = 0.02$ 。

2. 按自重湿陷性系数 δ_{zs} 判定

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (1-2)$$

式中 h_z ——土样在上覆土的饱和自重压力作用下,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。

用 δ_{zs} 可以划分黄土的非自重湿陷性和自重湿陷性：

当 $\delta_{zs} \geq 0.015$ 时应定为自重湿陷性黄土；

$\delta_{zs} < 0.015$ 时应定为非自重湿陷性黄土。

测定自重湿陷性系数时所用压力，采用自天然地面算起（当挖、填方厚度和面积较大时，自设计地面算起）至该土样顶面为止的上覆土的饱和（ $S_r = 0.85$ ）自重压力（当大于300kPa时，仍应用300kPa）。

注：湿陷性系数（或叫相对湿陷性系数），是单位厚度的土样在自重压力下或自重压力与附加压力共同作用下受水浸湿后所产生的湿陷量。它是通过室内浸水压缩试验确定的，用 δ_s （或 δ_{sk} ）表示。湿陷系数的大小反映了黄土对水的敏感程度， δ_s 越大表示土受水浸湿后的湿陷量越大，对建筑物的危害性也越大；反之，则小。

根据 δ_s 的大小可以大致地判断土样湿陷性的强弱。一般认为

$\delta_s \leq 0.03$ 为弱湿陷性的；

$0.03 < \delta_s \leq 0.07$ 为中等湿陷性的；

$\delta_s > 0.07$ 为强湿陷性的。

（二）湿陷类型的划分

湿陷性系数只是代表它所在的某一黄土层在某一压力的作用下的湿陷性大小，而不表示整个地基湿陷性的强弱。对整个地基土层的湿陷性，主要考虑在湿陷影响深度范围内各黄土层的湿陷性系数及其相应的厚度。对于湿陷性黄土地基的湿陷性评价，我国目前主要用湿陷类型和湿陷等级来表示。

自重湿陷性黄土地基的湿陷事故多，对建筑物的危害也大，因此，准确地划分建筑场地的湿陷类型是很重要的。

建筑场地的湿陷类型可按计算的自重湿陷量 Δ_{zs} 划分（有时还需要结合场地的地貌、地质条件和当地的建筑经验

综合判定)，或按实测的自重湿陷量 Δ'_{zs} 划分。

1. 按计算的自重湿陷量 Δ_{zs} 划分

根据对每一个勘探点原状土样进行室内试验测出的自重湿陷系数，按下式计算场地的自重湿陷量 Δ_{zs} ，即

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

式中 δ_{zs_i} ——第 i 层土样的自重湿陷系数；

h_i ——第 i 层土样所在土层的厚度，cm。

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

当 $\Delta_{zs} < 7\text{cm}$ ，一般定为非自重湿陷性黄土地；

$\Delta_{zs} > 11\text{cm}$ ，一般定为自重湿陷性黄土地；

Δ_{zs} 在 $7 \sim 11\text{cm}$ 之间时，可能是非自重湿陷性黄土地，亦可能为自重湿陷性黄土地，通常是自重湿陷性黄土层与非自重湿陷性黄土层并存。建筑场地的湿陷类型应结合工程所在地区的地形、地貌条件和当地的建筑经验等因素进行综合判定。对于陇西地区、陇东—陕北地区宜取 $7 \sim 11\text{cm}$ 中的较小值，其它地区则取其中的较大值作为自重湿陷性黄土场地的界限值。

2. 按实测的自重湿陷量 Δ'_{zs} 划分

在工程现场挖深 0.5m 、长或直径不小于 10m 的试坑，进行浸水，直接测定该场地的实际自重湿陷量 Δ'_{zs} 。

当 $\Delta'_{zs} \leq 7\text{cm}$ ，为非自重湿陷性黄土地；

当 $\Delta'_{zs} > 7\text{cm}$ ，为自重湿陷性黄土地。

实践证明，用实测的自重湿陷量 Δ'_{zs} 划分场地的湿陷类型，比用计算的 Δ_{zs} 划分要可靠。

(三) 湿陷等级的划分

湿陷性黄土地基的湿陷强烈程度，以分级湿陷量 Δ_s 来划分。分级湿陷量的大小与基础底面以下各黄土层的湿陷系数 (δ_s 和 δ_{zs}) 的大小以及累计湿陷量的计算深度有关。

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

式中 δ_{s_i} ——第 i 层土的湿陷系数；

h_i ——第 i 层土的厚度，cm。

分级湿陷量 Δ_s 的累计，自基础底面算起（初步勘探时，自地面以下1.5m算起）。对非自重湿陷性黄土地基，至其下5m深度为止；对自重湿陷性黄土地基，至其下10m深度为止。其中非湿陷性黄土层不加入累计。

按分级湿陷量划分湿陷性黄土地基的湿陷等级的标准如下表。

湿陷性黄土地基的湿陷等级

湿陷等级	湿 陷 类 型	
	非自重湿陷性黄土地基	自重湿陷性黄土地基
	Δ_s (分级湿陷量, cm)	
I	≤ 15	≤ 15
II	$15 < \Delta_s \leq 35$	$15 < \Delta_s \leq 40$
III	> 35	> 40

对湿陷性黄土层的厚度大于10m的自重湿陷性黄土场地，还应根据穿透湿陷性黄土层的取土勘探点，按下式计算其全部土层的湿陷量 Δ_{sq} (cm)。

$$\Delta_{sq} = \sum_{i=1}^n \delta_{s_i} h_i \quad (1-5)$$

式中 δ_{si} ——第 i 层土的湿陷系数；
 h_i ——第 i 层土的厚度，cm。

全部土层湿陷量 Δs_0 的累计，自基础底面算起（初步勘探时，自地面以下1.5m算起），至其下全部湿陷性黄土层的底面为止，其中非湿陷性土层不加入累计。

三、容许承载力的确定

地基土层的容许承载力是指在保证地基稳定的条件下，建筑物的沉降量或沉降差不超过容许值的地基承载能力。它不仅与地基土层本身的特性有关，还与建筑物的结构构造和使用要求等（归结为建筑物的容许变形值）有关。它是决定基础底面尺寸的主要依据。

湿陷性黄土地基的湿陷性，只是在地基浸水的情况下才能表现，带有一定程度的偶然性。因此，在确定建筑物基础的底面尺寸时可按天然地基考虑，而不考虑其湿陷性问题，但应有一定的防范措施。

湿陷性黄土地基的容许承载力和其它地基土层一样可用野外载荷试验、触探试验、旁压试验、公式计算和实践经验等方法的一种或几种综合确定。

（一）根据现场载荷试验确定

载荷试验是模拟建筑物荷载通过基础传给地基的方式，观测各级荷载下地基土相应的变形，然后根据荷载与变形量的关系判定湿陷性黄土层的承载力。这种方法比较切合实际，也较可靠。

由载荷试验所得到的 $p-s$ 关系曲线如图 1—1 所示。其变化规律与一般粘性土地基基本相同，即由压密阶段 (om) 过渡到局部剪切阶段 (mn)，最后发展到完全破坏阶段 (nw)。

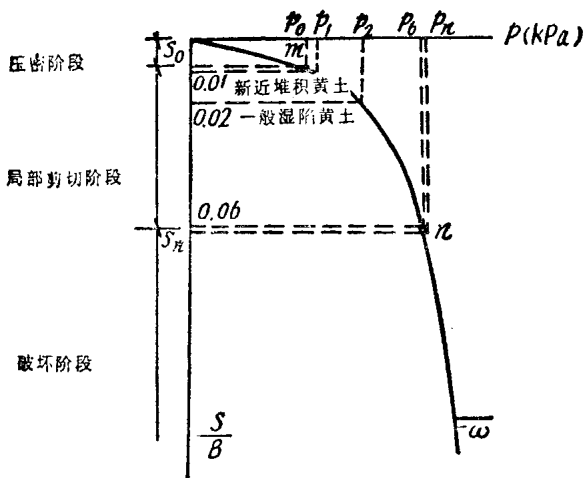


图 1—1 湿陷性黄土地基变形的三个阶段

湿陷性黄土地基的剪切破坏曲线大致可分为三种形态，如图 1—2 所示。

(a) 整体剪切破坏：如曲线 1、2。荷载分别达到 200 kPa 和 300 kPa 时（相应于 n 点），地基内剪切变形区迅速扩大，变形急剧增加，曲线很快变陡，直至 $\frac{ds_n}{dp_n} \rightarrow \infty$ ，地基由局部剪切阶段很快发展到破坏阶段。

(b) 局部剪切破坏：如曲线 3、4。其曲线上的 mn 段较长，即局部剪切阶段较长。曲线形状随荷载增大而缓慢变陡，达 n 点， $\frac{ds}{dp}$ 趋于一定值。以后，随荷载增加继续增大，沉降又成正比例增加。大多数湿陷性黄土地基的破坏属于这种形式。因为 $\frac{ds}{dp}$ 值较大，荷载稍有增加，地基也会产生较大的变形。这种情况是不容许的。

(c) 冲切变形破坏：如曲线 5。从很小的荷载开始，地基变形就随荷载的增大而迅速增长。这种破坏形式很少。

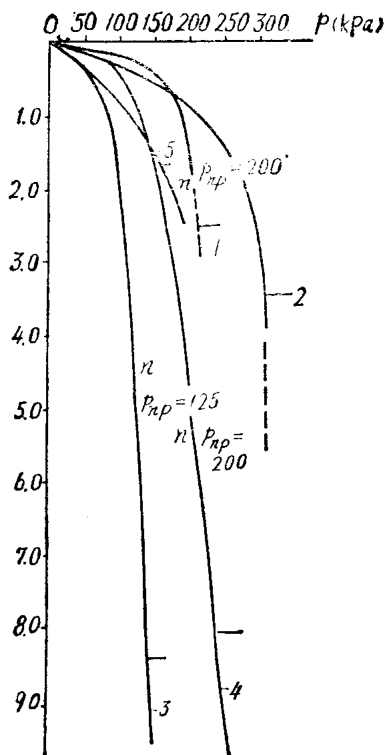


图 1—2 湿陷性黄土地基 $p-s$ 曲线的三种形态

在基础荷载不断增长的情况下，地基由压密阶段进入局部剪切阶段时， $p-s$ 关系由直线转变到曲线，其转折点 m 所对应的荷载称比例界限荷载 p_0 。地基由局部剪切阶段 (mn) 发展到完全破坏阶段 (nw) 的临界荷载称为极限荷载 p_u 。

1. 根据比例界限荷载确定容许承载力 $[R]$

$p-s$ 曲线上具明显的直线段 (om)，拐点 m 容易确定时， m 点所对应的荷载即为比例界限荷载 p_0 。

$p-s$ 曲线上无明显的直线段，拐点 m 不易确定时，当