

中国黄土的湿陷性

郑晏武 著

地质出版社

中国黄土的湿陷性

郑晏武 著

地质出版社

内 容 简 介

本书是对黄土湿陷性研究的一部专著。全书共五章，包括湿陷性黄土的特征及性质（如分布、埋藏、成因、时代、地层划分、物质构成及物理-力学性质等），湿陷发生原因及机理；湿陷系数的试验与计算、离散程度、随机误差，试验量及其规律性；湿陷起始压力的测试手段、判定方法及取值标准，湿陷起始压力的影响因素；湿陷变形特征及其与压力、浸水的关系，湿陷影响深度的规律性及其估算方法，侧向挤出变形的特点，湿陷的时间过程；湿陷标准、湿陷类型、湿陷等级评价理论及方法等。

本书可供勘察、设计、施工、科研人员及有关高等院校师生参考。

中国黄土的湿陷性

郑晏武 著

*

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑 戴鸿麟

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张：11 $\frac{7}{16}$ 字数：302,000

1982年6月北京第一版·1982年6月北京第一次印刷

印数1—3,400册·定价1.90元

统一书号：15038·新810

· 目 录 ·

序言	1
----------	---

第一章 湿陷性黄土概述

§1 黄土的湿陷性及其在工程建设方面的意义	5
§2 湿陷性黄土的分布、地层和成因特征	14
一、我国湿陷性黄土的分布	14
二、湿陷性黄土地层及其堆积时期	19
三、湿陷性黄土的成因	25
§3 湿陷性黄土的物质构成	30
一、颗粒成分	30
二、水溶盐含量	36
三、组织结构	39
§4 湿陷性黄土的基本性质	45
一、物理性质	47
二、力学性质	60
三、新近堆积黄土基本性质的特点	66
§5 湿陷原理与机理	76
§6 黄土湿陷性的有关概念	84

第二章 湿陷系数

§1 湿陷系数的室内试验	89
一、湿陷系数的试验要求	95
二、湿陷系数的试验压力	103
三、湿陷系数的试验方法	113
§2 湿陷系数计算公式	124
一、两个公式及其计算方法	125
二、两个公式的涵义	130
三、两个公式计算结果的比较	133
四、两个公式的选用	141

§ 3 湿陷系数的离散性	142
一、湿陷系数的离散程度	145
二、湿陷系数的随机误差	148
三、湿陷系数试验值的代表性	153
四、湿陷系数离散性的原因及其影响因素	157
§ 4 湿陷系数的规律性	161
一、湿陷系数的区域性分布规律	161
二、湿陷系数的垂直分布特点	162
三、湿陷系数与压力的关系	165
四、湿陷系数与天然含水量的关系	168
五、湿陷系数和孔隙比、干容重的关系	172

第三章 湿陷起始压力

§ 1 湿陷起始压力的涵义及其作用	175
§ 2 湿陷起始压力的测试与判定方法	179
一、浸水载荷原位试验	179
二、室内压缩试验	186
三、湿陷起始压力的判定方法	189
§ 3 湿陷起始压力的取值标准	194
一、野外试验判定湿陷起始压力的取值标准	194
二、室内试验判定湿陷起始压力的取值标准	207
§ 4 湿陷起始压力的野外试验值与室内试验值相互比较	209
一、承压板位置的比较	209
二、地基中的野外、室内试验值的比较	215
§ 5 湿陷起始压力的影响因素	220

第四章 湿陷变形

§ 1 湿陷变形的试验要求	225
§ 2 湿陷变形量	228
一、湿陷变形量与压缩下沉量	229
二、湿陷量与压力、基础形式与尺寸的关系	231
三、湿陷量与浸水的关系	235
四、湿陷量的深度分布特点	246
§ 3 湿陷影响深度	250

一、湿陷影响深度与湿陷带深度	251
二、湿陷影响深度与压缩影响深度	258
三、湿陷影响深度的计算值与实测值	265
§4 湿陷侧向挤出变形	270
§5 湿陷变形的时间过程	275
§6 关于湿陷量的室内、野外试验值的对比问题	279
一、自重湿陷量的室内、外试验值对比	280
二、外荷湿陷量的室内、外试验值对比	280

第五章 湿陷标准、湿陷类型 及湿陷等级

§1 湿陷标准	285
一、0.02	287
二、0.015	288
§2 湿陷类型	317
一、湿陷类型的划分方法及其标准	319
二、计算自重湿陷量的累计标准与深度下限	324
三、关于自重湿陷黄土层的划分问题	334
§3 湿陷等级	337
一、湿陷等级的评定	337
二、评价深度	340
三、湿陷等级的界限值	346
附 扫描电镜图版	353
主要参考文献	359

序 言

我国北方地区分布有面积大域广的黄土。其中，具有湿陷性的黄土比较普遍。黄土的湿陷性是湿陷性黄土特有的工程地质性质。它与湿陷性黄土地区的很多工程地质问题，如黄土斜坡（天然与人工边坡）的稳定性，黄土岩溶问题（碟形地、溶洞、暗沟、天生桥、黄土柱，等等），黄土地区的冲沟、泥石流、砂井砂巷、古墓坟穴、人工洞室以及地基强度与压缩性等等一样，与各种工程建筑物的关系是十分密切的。黄土的湿陷性常威胁与破坏工程建筑的正常运营和使用。随着国民经济建设的日益发展，黄土湿陷性病害问题日显突出。因此，进行黄土湿陷性的研究，对各种工程建筑来讲，均有着十分重要的现实意义。

黄土的湿陷性是自然历史的产物。然而，人类对其真正认识，却不是复古辽远的事。在人类的生产活动中，对湿陷性及其规律一直在探索，特别是三十年代以来，对它的研究进展得很快。仅在几十年的时间里，便取得了不少的成果。我国建国初期，引进了国外的黄土湿陷性评价理论，并在生产实践中不断地予以完善和提高。在五十到六十年代，我国水电、铁路、冶金、机械、建工和地质等系统，对黄土的湿陷性问题，进行了大量的工作，积累了相当丰富的经验，提出了很多关于湿陷性的理论及其测试方法等论文。1966年，我国首次颁发了《湿陷性黄土地区建筑规范》，系统地总结了我国在这方面的研究成果，建立起比较适合我国国情的一整套湿陷性黄土地区工程建筑的勘察、设计、施工和使用、维护等方面的原则、设施和手段；提出了我国自己的关于黄土湿陷性评价的理论与方法。

任何理论都是在实践中发展、提高的，黄土的湿陷性理论亦然。从六十年代到七十年代，我国对黄土湿陷性的研究取得了新

的成果。对于黄土湿陷类型的划分、湿陷起始压力的判定、新近堆积黄土的认识等，在理论上都有程度不同的提高或突破。特别是在1973—1976年这段时间里，配合国家建委主持进行的《湿陷性黄土地区建筑规范》的修订工作，我国广大生产和科研单位的黄土工作者，开展了大量的调查研究和科学试验。建筑物调查的范围和数量，场地试验的规模和内容，国内现有资料的搜集和总结，等等，都是前所少有的。对黄土湿陷性的有关研究成果的归纳、汇总不仅有现实意义，而且具有一定的理论意义。

本书力图将我国对黄土湿陷性的许多研究成果和大量的实际资料进行归纳与汇总，祈望对今后的生产实践和理论研究能够有所裨益。但由于著者水平有限，力不从心，很难达到预期的目的，深感惭愧于怀。

黄土的湿陷性仅是湿陷性黄土的特性之一。为了不同的目的，对湿陷性黄土研究的侧重点是不同的。本书所要讨论的范围，仅限于湿陷性黄土的湿陷性，不涉及湿陷性黄土其他方面的内容。

研究黄土湿陷性的主要内容是湿陷发生的原因和机理、湿陷变形及其特性、湿陷性评价理论及方法等。

黄土湿陷原因和机理，至目前为止，还没有统一公认的意见。因此，只在第一章里作了讨论性的介绍。为了有助于讨论黄土的湿陷性特点和规律，在第一章里还概括地叙述了我国湿陷性黄土的一般特征（分布埋藏、地质年代、成因类型等）及其基本性质（物理性质、力学性质等）以及它的物质成分与构成等问题。同时还介绍了湿陷性黄土地区的一些湿陷事故，从中可以概括地了解黄土湿陷性的病害程度及对黄土湿陷性研究的现实意义。在第二章以后的各个章节里，专门地讨论了黄土的湿陷变形及其评价理论与方法。第二章讨论湿陷系数。湿陷系数是研究黄土湿陷性的重要参数。这一章着重地介绍了湿陷系数的试验方法、试验压力、计算公式等测试技术方面的内容，也对湿陷系数的离散性、规律性等理论问题进行了探讨。第三章专门讨论了湿

陷起始压力。对湿陷起始压力的试验方法、判定方法、取值方法等较有争议的问题进行了重点介绍。湿陷起始压力是评价黄土地基的一个主要方面。它在正确地利用湿陷性黄土地基问题中的现实意义越来越具有显著地位。第四章介绍了湿陷变形。湿陷变形与一般地基变形迥然不同，它是一种特殊的变形。湿陷变形的特性决定了湿陷性评价的理论与方法。因此，湿陷变形的研究，是研究黄土湿陷性的核心问题之一。本章对湿陷变形量的概念及其影响因素、湿陷变形深度、侧向挤出变形、湿陷变形与时间的关系等有关湿陷变形特征进行了专门地论述。第五章主要讨论对湿陷性的评价问题。这个问题非常重要，能否正确地利用湿陷性黄土地基，主要在于对它的评价是否恰到好处。关于湿陷性评价的理论与方法，在国内目前存在着不同的看法，分歧意见很大。对这方面的研究探讨尤其具有现实意义及理论意义。本章利用国内现有的研究成果与资料，论述了湿陷性评价的理论与方法，并侧重于湿陷与非湿陷、自重湿陷与非自重湿陷、湿陷强烈程度等评价标准的讨论。

本书对国内争议较大的问题，如湿陷系数计算公式，湿陷起始压力判定方法与取值标准，湿陷性的定性、分级、划类等花费了较多的笔墨。因为这些问题直接关系着湿陷性评价的准确性，并影响着基本建设的经济性和安全性。评价保守，可以造成浪费；评价冒进，也能造成浪费。譬如把某项评价标准定高一点或低一点，看上去相差微毫，但其评价结果可以导致某些湿陷级别相差几级。假如将Ⅰ级非自重湿陷性黄土地基当成Ⅲ级自重湿陷性黄土地基来设计，必然会造成很大的经济损失；如果把Ⅲ级自重湿陷性黄土地基用Ⅰ级非自重湿陷性黄土地基对待进行设计，亦必然酿成不堪设想的湿陷性祸患，同样是极大的浪费。

对于有争议的问题，本书原则上是将各种不同的观点均加以介绍。但由于作者在黄土湿陷性问题上有过微薄肤浅的见解，在这些“见解”的束缚下，对问题的介绍与讨论可能有所偏见或侧重。希望得到批评指教。

本书的撰写，除参考引用（特别是第一章）部份公开出版的有关专著或论文等书刊外，主要编纂依据是最近时期国内在黄土湿陷性等方面的一些研究成果和资料。在这些成果资料中，犹以青海多巴、兰州、宝鸡、西安、张桥等的现场湿陷性试验研究成果等为主。

本书参考引用的科研成果多为1970—1976年间的交流资料。这些交流资料数以百计。它们的质量较高，有的得到了全国科学大会的奖励，反映了我国黄土湿陷性的研究水平。对于那些实有密级要求及其他问题者，本书未予引用。在此，对提供资料的单位和同仁致以由衷的谢意。

本书在编写过程中得到了很多同志的热情帮助，著者表示真挚地感谢。

著者

第一章 湿陷性黄土概述

§1 黄土的湿陷性及其在工程建筑方面的意义

黄土是第四纪堆积的以粉土颗粒为主、富含碳酸盐、具有大孔性、黄色的土状沉积物。国内外一些黄土工作者，力图将黄土这种岩石划分为黄土和黄土状岩石两大类。其划分原则不相一致（有的根据岩石性质进行划分，有的根据黄土成因进行划分，等等）。对黄土（即原生黄土）和黄土状岩石（即次生黄土）的概念也存在着一些分歧看法。对黄土的这种分类，这里不拟进行讨论。为了工程建设这个专门性目的将黄土区分为原生黄土和次生黄土不是一个主要问题，更有现实意义的是看黄土有没有湿陷性。因此，我们为工程建设的需要笼统地把“原生黄土”和“次生黄土”，都以黄土名之。对于具有湿陷性的黄土，叫做湿陷性黄土；不具湿陷性的黄土，叫做非湿陷性黄土。

何为“湿陷性”呢？1966年我国颁布的《湿陷性黄土地区建筑规范》（以下简称《1966黄土规范》）和这个规范的修订本（以下简称《1978黄土规范》）中规定：黄土在一定的压力作用下受水浸湿，土结构迅速破坏而发生显著附加下沉的性质，叫做黄土的湿陷性。这里所说的“黄土”，乃为原生黄土或次生黄土；所指的“一定压力”，系指土的自重压力（受水浸湿后，黄土自身的压力）或土的自重压力与附加压力（外荷压力）的总和；所谓的“土结构迅速破坏”，不是指一般性的土颗粒位移，而是指土结构（特别是多孔性结构）的改变，土颗粒产生滑动、滚动或者跃动，进行了重新排列。这种结构破坏，来的较为猛烈而迅速，不是徐缓地进行；所述的“显著的附加下沉”，是指受

水浸湿后的黄土在压力作用下，发生了较大的变形。这种变形，一般情况下，远远的大于它的正常压密或塑性形变。黄土的湿陷，是在水的作用下产生的，没有水这个因素，就无从谈起“湿陷”与否。

须指出的是，湿陷性并非湿陷性黄土独具的性质。某些素填土、干旱条件沉积的角砾和砂土等，浸水受压后也能发生土结构的破坏而产生突然的大量下沉。所以说，具有湿陷性的土，并不一定都是湿陷性黄土。因此，湿陷性是湿陷性黄土的重要特性，但不是唯一的特性，单有湿陷性这一特征，还不能反映出湿陷性黄土的全部内容，必须结合其他特征，才能够确切地论定是湿陷性黄土。

湿陷性黄土的主要特征，可归纳为：

1) 黄色是其基本色调，通常为黄褐、褐黄、灰黄、棕黄等颜色；

2) 含盐量较大，特别是碳酸盐含量尤为突出。硫酸盐、氯化物等含量都比较高；

3) 粉土颗粒含量较多，我国湿陷性黄土粉土颗粒（0.05—0.005毫米）一般占半数以上，以含55—60%者居多；

4) 一般具有多孔性与大孔性。大孔隙常常用肉眼可见，孔隙比常在1.0左右；

5) 天然剖面上有时有垂直节理；

6) 具有湿陷性。

湿陷性黄土，即具有黄土的一般特征，又具有湿陷性这个特点。湿陷性是湿陷性黄土的核心问题。因为黄土的湿陷性，对于一切工程建设都有着十分重要的现实意义。

我国北方，黄土分布广泛。我们中华民族起源于黄土高原的黄河岸边。我们的祖先劳动、生息和斗争在莽莽的黄土陇中。勤劳勇敢的我国劳动人民继承了祖先的光荣传统，继续建设着壮丽的黄土高原。黄土地区，是我国古代的文化摇篮，也是今天社会主义建设的基地。然而，黄土的湿陷性，也给工程建筑物带来了

一些不可言喻的祸患。

1974至1975年间,甘肃、陕西、青海、山西、河南及宁夏等省、自治区与《湿陷性黄土地区建筑规范》修订组,对我国湿陷性黄土地区的建筑物进行了大规模地调查。初步统计,共调查了房屋等建筑物1505幢。调查建筑物的数量和分布如表1-1。

建筑物调查数量 表1-1

省 区	甘 肃	青 海	陕 西	山 西	河 南	宁 夏
调查房屋数量	201	152	254	122	38	34
(幢)	86		373		245	

另外,还调查了水池类构筑物80个和上、下水管道30公里。根据这些调查资料,可以得出这样的结论:黄土湿陷性对建筑物的危害是比较严重、利害的。

表1-2、1-3、1-4分别列举了陕西、甘肃和青海的房屋建筑物湿

陕西省各类建筑物湿陷事故所占的比例 (%) ① 表1-2

事故程度 建筑物类型	轻 微	一 般	严 重	总 数
单层厂房	54	40	6	100
空旷砖房	46	31	23	100
多层砖房	62	31	7	100
小型砖房	64	33	3	100

注:本表中事故程度是按裂缝宽度 b (mm)、局部倾斜 i (%)和相对下沉量 h (cm)等划分的。其中:“轻微”—— $b < 2$, $i < 4$, $h < 5$; “一般”—— $b = 2 \sim 5$, $i = 4 \sim 8$, $h = 5 \sim 12$; “严重”—— $b > 5$, $i = 8$, $h > 12$ 。

① 见《陕西省湿陷性黄土地区建筑物调查总结》, 湿陷性黄土地区建筑规范修订组, 1975。

甘肃省两个化工厂房屋建筑物湿陷事故情况① 表1-3

单 位	调查的建筑物 (幢数)	建筑物事故 (幢数)	百分比 (%)
兰 化	103	68	66.1
刘 化	60	33	50.8

青海省湟源县某地两个单位房屋事故情况② 表1-4

单 位	建筑物总 幢数	建筑物事 故幢数	百 分 比 %
省物探队基地	79	44	56
某公司仓库	19	13	61

陷事故的统计数字。这些数字可在一定程度上反映出祸患情况。

以上资料,不难看出,我国湿陷性黄土地区建筑物事故占有很大的比重。以六盘山为界,两侧的湿陷事故不相一致。六盘山以西湿陷事故出现机率大些,占相应的建筑物调查总幢数的60%左右;六盘山以东事故机率小些,但亦占调查的房屋总幢数的5—15%之间,如图1-1所示。此图是据洛阳、西安、兰州、西宁四市的部分资料编制的。所以明显地看出六盘山以西湿陷事故比六盘山以东要严重得多。

以上概括地介绍了我国湿陷性黄土地区建筑物事故的一般情况。下面再举几个实例,看一看黄土湿陷性对房屋建筑物的危害程度。

例一,西宁南川锻件厂:这个厂的数十幢房屋建筑物,完好者无几。老1*楼,在施工中受水湿陷,一夜之间,建筑物两端相对沉降差达16厘米之多。由于大量不均匀湿陷继续不停的发展,

● 见《甘肃省湿陷性黄土地区部分建筑物调查报告》,黄土规范修订组甘肃省调查组,1975。

● 《青海省四个新近堆积黄土建筑群调查报告》,青海省勘察设计院,1975。

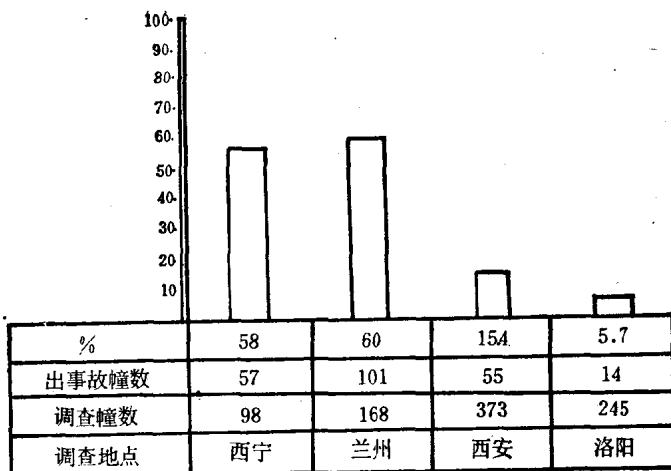


图 1-1 湿陷事故统计图

致使这幢楼房地地下室尚未砌成便被迫停建报废；厂食堂，建了坏，坏了再重建，三番四次；汽车库，建成后尚未使用就下沉开裂，无奈拆除；成品库房，地面波浪起伏；独身楼，裂缝满布；平房浴池，墙身裂缝，可以使人穿越；福利区，几乎所有楼房均成了危楼（图1-2）。厂区由于地下水上升造成地面大面积湿陷下沉，情况十分触目惊心，老1*楼室外地坪下沉达60多厘米。这个厂的湿陷事故闻名国内，建筑物一幢一幢地接连报废。

例二，西北民族学院：位于兰州。男生楼与女生楼，皆因厕所大便器堵塞不通，人为地将存水弯捣坏，使下水浸入地基，造成建筑物严重破坏。女生楼墙身局部相对下沉量12.6厘米，墙面裂纹很多，缝宽10毫米左右；男生楼相对下沉量达20.1厘米，最

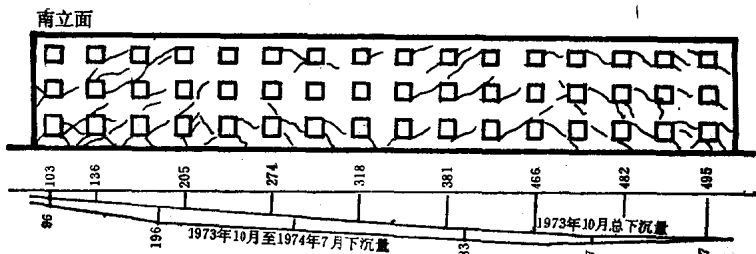
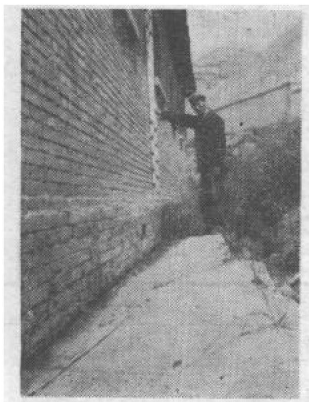


图 1-2 西宁南川锻件厂福利区3*楼沉裂图

大倾斜率为22.5%，墙面裂缝从地面发展屋顶。学院的1—3*、12—14*住宅楼，1953年建造，至1969年，由于厕所大便器存水弯冻裂、地沟进口处化粪池堵塞，下水倒灌入室内地沟，致使地基湿陷下沉，房屋开裂严重，最大缝隙宽25—50毫米，最大相对沉降量达22.4—49.8厘米，已不能使用。

例三，山西石英厂：氧氮车间，因施工验收不严格，室内外上水管接口处未接好，试车时跑水浸入地基，遂发生湿陷。后因山洪侵袭，又一次引起湿陷事故。纵墙靠近高跨部分裂缝达15毫米之多。伸缩缝横墙亦严重开裂。冷加工车间，因室内排水沟漏水，引起地基湿陷。墙身出现多道裂缝，缝宽达15毫米；02车间，上水管有砂眼，使用后长期漏水，致使地基湿陷，引起柱基不均匀下沉，砖砌墙体裂缝。特别是南纵墙西段开裂较为严重。

例四，青海湟源物探队和某公司仓库：这是两个单位合用的一个较大的建筑群，有房屋建筑物近百栋，多为干打垒平房或砖砌仓库等建筑物。这个建筑群的大部分房屋遭到了强烈湿陷破坏。最大沉降差达61.6厘米，最大裂缝宽度达100毫米，最大局部倾斜达53.6%。这个建筑群的建筑物自1966年兴建以来，连年不断报废拆除。某公司半数以上的仓库受到“更新”，“更新”的房屋仍然破坏。湟源物探队，年年翻新加固，年年有新的事故出现。至1978年，不得不另选队址。关于这个建筑群房屋破坏情况，见照片1—18。



照片1 散水坡倒塌



照片2 住宅倾斜（白细线为垂直吊线）



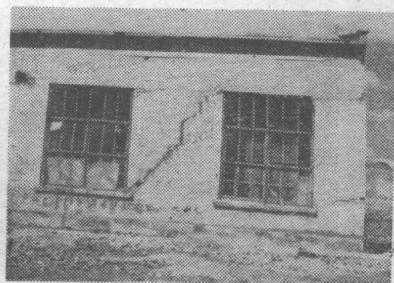
照片3 库房倾斜、裂缝



照片4 砖附壁柱断裂错位



照片5 钢筋混凝土圈梁断裂



照片6 砖墙裂缝



照片7 土坯房山墙裂断



照片8 砖墙下沉开裂