

中国湿陷性黄土

冯连昌 郑晏武 编著

中国铁道出版社

铁路特殊工程地质技术丛书

中国湿陷性黄土

冯连昌 郑晏武 编著

中国铁道出版社

1982年·北京

中国湿陷性黄土

冯连昌 郑晏武 编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 施以仁

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张: 8.625 字数: 214 千
1982年10月 第1版 1982年10月 第1次印刷
印数: 0001—4,500册 定价: 1.10 元

10101 511

内 容 简 介

本书从工程地质角度研究和讨论了我国湿陷性黄土地层的分布、堆积时代、成因、物质构成、地貌分区、节理构造特征及其物理、力学基本性质；黄土湿陷原因和机理分析与扫描电镜实验研究。书中并详细论述了黄土地基湿陷性、黄土地基容许承载力、黄土斜坡稳定性和黄土陷穴等问题。

本书是对全国湿陷性黄土作出比较全面的综合研究的一本专著，内容较新，取材也比较丰富，可供铁道、建筑、水利等部门的工程地质、工程设计和科研人员以及有关高等院校师生参考。



前 言

我国是世界上黄土面积分布最广的国家之一，在北方各地特别是黄河中游地区分布着厚度不同、类型复杂的黄土地层。

建筑在湿陷性黄土地区的水利、铁路、房屋建筑等工程，时常发生与黄土湿陷性有关的许多病害。因此，对湿陷性黄土的研究，有着十分重要的现实意义。

鉴于湿陷性黄土和工程的关系极为密切，故本书将重点讨论湿陷性黄土的基本理论知识和常见的工程地质问题。

黄土的湿陷性等是自然历史的产物，然而对其真正认识，却不是遥远的事。从三十年代提出黄土的湿陷性等问题以来，对它的研究进展很快，仅在几十年的时间里，便取得了不少的成果。五十年代初期，引进国外的湿陷性黄土评价理论，以后在生产实践中不断地充实和创新，使这方面的理论逐步完善和提高。在五十一六十年代，我国水电、铁路、冶金、机械、建工和地质等系统，对湿陷性黄土问题，进行大量的工作，积累了相当丰富的经验；提出了很多关于湿陷性黄土工程地质问题和有关湿陷性理论以及测试方法等论文；建立起比较适合我国特点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、管理等方面的实施原则。

通过实践，我国湿陷性黄土及其工程地质问题的研究，不断地取得新的成果，湿陷性黄土等的理论研究，也都有程度不同的提高或突破。对湿陷性黄土的有关研究成果的归纳和分析是有现实意义的。

本书力图将我国这些对湿陷性黄土研究成果和大量的实际资料，结合建筑地基的湿陷性、容许承载力及建筑物地基设计措施，斜坡稳定性和黄土陷穴的处理等方面进行讨论，以期解决一

系列湿陷性黄土的特殊工程地质问题。

本书第一章对湿陷性黄土作了概念性介绍，同时又列举了湿陷性黄土地区的一些湿陷事故，从而可以概括地了解黄土湿陷性的病害程度以及对黄土湿陷性研究的现实意义。在第二章里概括地记述和探讨了我国湿陷性黄土的分布、地层、成因、物质构成、地貌、节理与构造等一般特征。在第三章里整理分析了湿陷性黄土的物理、力学等基本性质。第四章专门地研究讨论了黄土湿陷产生原因与机理；又特别介绍了扫描电镜下湿陷产生机理的实验研究。第五章介绍了湿陷性黄土的几个主要工程地质问题，如湿陷性问题；地基容许承载力；斜坡稳定性问题和黄土陷穴等。第六章介绍了湿陷性黄土的勘察方法。

本书的撰写，除参考引用部分公开出版的有关专著或论文等外，主要根据我们在青海省建筑勘察设计院和铁道部科学研究院西北研究所工作期间，收集的最近时期国内在黄土方面的一些研究成果，以及我们的一些研究资料和看法。

本书第五章 § 1、§ 2 和第六章由郑晏武执笔。第二章 § 5、§ 6，第三章 § 3，第四章 § 2，第五章 § 3、§ 4，由冯连昌执笔。其余章节根据郑晏武初稿，经冯连昌修改并做了部分补充后定稿，全书最后由冯连昌统阅整理。

本书初稿完成后，较为广泛地征求了意见，得到许多同志的热情支持和帮助。并蒙兰州大学地质地理系主任张咸恭教授予以审校，铁道部科学研究院西北研究所李嘉所长的热情支持。本书编写过程中，曾得到铁道科学研究院西北研究所马志贤、傅春林、徐艳等同志的大力协助。在此特表示感谢！

由于受作者水平所限，欠妥和错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

1980年

目 录

第一章 湿陷性黄土的概念及其意义	1
§ 1. 黄土及湿陷性黄土	1
§ 2. 湿陷性黄土的有关概念	2
§ 3. 湿陷性黄土地区工程建筑情况调查	5
第二章 中国湿陷性黄土的特征	12
§ 1. 我国湿陷性黄土的分布	12
§ 2. 我国湿陷性黄土地层及其堆积时期	16
§ 3. 我国湿陷性黄土的成因	26
§ 4. 我国湿陷性黄土的物质构成	31
§ 5. 我国湿陷性黄土地区地貌特征	51
§ 6. 黄土的节理与构造	61
第三章 中国湿陷性黄土的基本性质	75
§ 1. 湿陷性黄土的物理性质	77
§ 2. 湿陷性黄土的力学性质	89
§ 3. 松散结构湿陷性新黄土与密实结构老黄 土的基本物理力学性质的差别	96
§ 4. 新近堆积黄土的物理、力学性质	104
第四章 湿陷性黄土湿陷的原因与机理	113
§ 1. 湿陷原因与机理	113
§ 2. 扫描电子显微镜下湿陷产生机理的实验观察 研究	121
第五章 湿陷性黄土地区的主要工程地质问题	135
§ 1. 黄土地基湿陷问题	140
一、湿陷系数	141
二、湿陷起始压力	150

三、黄土地基湿陷变形特征	157
四、湿陷性评价	167
§ 2. 湿陷性黄土地基的容许承载力	177
一、湿陷性黄土容许承载力的含义 及其评定方法	177
二、湿陷性黄土地基容许承载力表的建立	179
三、关于湿陷性黄土容许承载力的几个问题	185
§ 3. 黄土斜坡稳定性问题	188
一、黄土边坡变形类型	188
二、影响黄土边坡变形的因素	192
三、黄土路堑边坡设计	195
四、黄土边坡稳定性评价及其变形的预防	224
§ 4. 黄土陷穴问题	232
第六章 湿陷性黄土地区的工程地质勘察	237
§ 1. 勘察阶段	237
§ 2. 测绘、钻探与取土	241
§ 3. 原位试验	246
一、试坑浸水试验	246
二、浸水载荷试验	251
§ 4. 室内试验	256
一、湿陷性压缩试验要点	256
二、湿陷系数的试验压力	259
三、湿陷系数的计算公式	261
四、室内试验测定湿陷起始压力	263
参考文献	264

第一章 湿陷性黄土的概念及其意义

§ 1. 黄土及湿陷性黄土

湿陷性黄土是黄土的一种。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，黄色的松软沉积物。国内外一些黄土工作者，力图将黄土划分为黄土和黄土状土两大类。其划分原则很不一致。有的按黄土的性质划分，有的则根据其成因进行划分等。对黄土（即原生黄土）和黄土状土（即次生黄土）的含义和概念也存在着一些分歧。但对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，已不是一个主要问题，而更有现实意义的是看黄土有没有湿陷性。因此，笼统地把“原生黄土”和“次生黄土”都以黄土名之，而将黄土分为湿陷性黄土和非湿陷性黄土两类，较有实际意义。

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”乃为原生黄土及次生黄土的统称。这里所指的“一定的压力”系指土的自重压力（黄土自身重量的压力）或者土的自重压力与附加压力（即外荷压力）的总和。所谓“土结构迅速破坏”，并不是一般性的土颗粒间的孔隙压缩，而是土的结构（即多孔性结构）发生了改变，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，一般较为猛烈而迅速。所说的“显著附加下沉”，是指远远大于它的正常压密或塑性变形。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。

需要指出的是，湿陷性并非湿陷性黄土独具的特性。某些素填土，干旱条件下沉积的角砾和砂土等，浸水受压后也能发生土结

构的破坏而突然的大量下沉。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，才能够确切地论定湿陷性黄土。

湿陷性黄土的主要特征，可归纳为：

1. 黄色是基本色调，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，另外硫酸盐、氯化物等含量也都比较高；
3. 矿物组成主要为石英、粘土矿物等。粘土矿物以伊利石为主。化学成分中 SiO_2 、 Al_2O_3 和碱土金属钙镁含量都较高；
4. 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，55%～60%者居多；
5. 一般具有大孔性，大孔隙常常肉眼可见。孔隙比常在1.0左右，呈松散结构状态；
6. 在天然剖面上，具有垂直节理；
7. 具有湿陷性。

§ 2. 湿陷性黄土的有关概念

湿陷性黄土由于它的特定生成环境、发生原因、地质历史、埋藏产状、地理地貌位置、气候条件、物质成分，尤其是它的特殊的结构、特殊的组成情况等等，致使压力和水的作用下发生湿陷现象，产生湿陷变形。为了便于以后各章节的讨论，现将有关湿陷性的一些主要概念及其含义，简单介绍如下。

（一）湿陷变形

当湿陷性黄土在一定的压力（包括自重压力或者自重压力和附加压力）作用下受水浸湿产生下沉变形，下沉变形中除掉正常压缩变形外，还有一部分附加下沉变形，这部分附加下沉变形，称为湿陷变形。

湿陷变形值，叫做湿陷量。湿陷量有时也叫湿陷变形量，在数值上等于总下沉变形量（也叫总下沉量）减去压缩下沉量。

湿陷变形量（即湿陷量）又分为总湿陷变形量和相对湿陷变形量两种。总湿陷变形量（也叫总湿陷量）指地基土中全部湿陷变形值；相对湿陷变形量（也叫相对湿陷量）指单位厚度的土层具有的湿陷量而言的。

相对湿陷量应用得比较广泛，特别是湿陷系数更被广泛的应用到生产实践之中。湿陷系数（过去叫相对下沉系数、相对湿陷系数等等）是相对湿陷量的一种特殊形式，是用室内压缩试验求得的环刀土样的相对湿陷量，去代表某一采样点的土层的相对湿陷量。湿陷系数的含义是1厘米厚的压缩稳定后的土样浸水湿陷了多少。

湿陷量还分为实际湿陷量、实测湿陷量、假定湿陷量、自重湿陷量、剩余湿陷量等等：

（1）实际湿陷量：湿陷性黄土地基的真实湿陷变形值，它是不易确得的，往往用实测湿陷量代替之；

（2）实测湿陷量：通过实地观察测量得到的一种地基土的总湿陷变形量值。由于一些原因，实测湿陷量往往不与实际湿陷量相等；

（3）假定湿陷量：是根据湿陷系数计算来的，即把需要计算的土层分成若干计算层，用每个计算层的厚度乘上它的湿陷系数得出计算层的湿陷量，然后把计算层湿陷量加起来，就得出所要计算的整个土层的假定湿陷量。

假定湿陷量往往用来划分湿陷等级，所以把划分湿陷等级用的假定湿陷量又叫做分级湿陷量（分级湿陷量的计算土层厚度规定5米或10米）。

（4）自重湿陷量：用自重压力求得的整个湿陷性黄土总厚度的湿陷变形量。

（5）自重湿陷系数：它的定义和湿陷系数一样（即单位自重湿陷量或称相对自重湿陷量）。它与湿陷系数不同的是，不像湿陷系数求测时用一个规定好的固定压力进行试验，而是用土样在地层中全部上覆土层的饱和自重压力求得的。

(6) 剩余湿陷量,是指地基处理后,其湿陷量还剩下多少。

(二) 湿陷性质

黄土受压后浸水,能发生湿陷者,叫做湿陷性黄土。湿陷性黄土具有湿陷性。

黄土受压后浸水,不发生湿陷者,叫做非湿陷性黄土。它不具有湿陷性。

在黄土湿陷性的评价的实际工作中,规定了一个界限值。这个界限值是湿陷系数等于0.015或0.020。就是说,凡是湿陷系数大于等于0.015(或者0.020)的黄土层,就定为湿陷性黄土,而小于0.015(或者0.020)就定为非湿陷性黄土。湿陷与非湿陷的界限值又叫湿陷标准。

湿陷性土层厚度(湿陷深度、湿陷带下限)也是用湿陷性界限值确定的。

(三) 湿陷类型

湿陷性黄土地基或场地分为自重湿陷与非自重湿陷两种类型。

当湿陷性黄土地基或场地浸水后,没有任何外部的附加荷载,仅在地基土的自重压力作用下发生湿陷的,称为自重湿陷性黄土地基或场地;当湿陷性黄土地基或场地没有外部附加荷载的作用下浸水不发生湿陷,需要有一定的附加荷载作用下浸水才能发生湿陷的,叫非自重湿陷性黄土地基或场地。

自重湿陷类型的黄土地区浸水后,湿陷现象比较明显。例如洼地积水造成地面下沉;水管漏水使管道下沉、折断,以至引起附近建筑物的破坏;新建水渠初次放水时,地面下沉沿两岸出现纵向裂缝,路基受水后发生坍塌等等。在自重湿陷地区发生的建筑物事故较多,而且很严重。而非自重湿陷地区则上述现象较轻或者不出现。

关于湿陷类型的划分,也与湿陷性质的确定一样。在生产实践中规定了一定的界限值,大于界限值者认为是自重湿陷类型的黄土地基或场地。否则为非自重湿陷类型的黄土地基或场地。

划分湿陷类型的界限值有两个：根据野外试坑浸水原位试验划分湿陷类型时，规定野外试坑浸水原位试验测量自重湿陷量大于7厘米时，定为自重湿陷黄土地基或场地；小于7厘米时，定为非自重湿陷黄土地基或场地。如根据室内试验划分，则计算湿陷深度的自重湿陷量大于7至11厘米时，定为自重湿陷黄土地基或场地，小于7至11厘米时，定为非自重湿陷黄土地基或场地。

（四）湿陷起始压力

湿陷性黄土受水浸湿后，如果作用在其上的压力不大时，则土只是由于其结构的联系减弱而产生压缩变形。当压力超过某一定数值时，土的结构才发生明显而剧烈地破坏，变形速度和数量突然剧增，表现为湿陷形式，这个压力叫做湿陷起始压力。湿陷起始压力是在压力与下沉变形（野外浸水载荷试验）或湿陷系数（室内压缩试验）的关系曲线上按规定的湿陷标准确定的。

湿陷起始压力，是发生湿陷时所需要的最小压力。但是由于建筑物上部结构的互相调正的作用，允许有一定的湿陷变形存在，因此，湿陷起始压力取值往往比湿陷性黄土刚刚开始湿陷时的压力略大一些。

（五）湿陷程度

湿陷程度有两种评价方法，即强烈程度和湿陷等级。

（1）湿陷强烈程度：一般按规定压力下测得湿陷系数值，按0.03、0.07划分为轻微湿陷、中等湿陷和强烈湿陷三种。

（2）湿陷等级：根据规定厚度计算的分级湿陷量，按15、35（或40）厘米划分为三级：

I级——计算的分级湿陷量小于等于15厘米；

II级——计算的分级湿陷量为15~35（或40）厘米；

III级——计算的分级湿陷量大于35（或40）厘米。

§ 3. 湿陷性黄土地区工程建筑情况调查

湿陷性黄土与非湿陷性黄土不同，它既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最主要的核

心问题。因为黄土的湿陷性，对于一切工程建设有着十分重要的现实意义。

我国北方，分布有广阔的黄土地层。而湿陷性黄土，又多出现在地表上层，数以万计的城市村镇座落在湿陷性黄土地层之上，广厦万间，烟囱林立，一条条铁路、公路，一座座水电站、发电厂……，建设在湿陷性黄土地区。因而，黄土的湿陷性给工程建筑物带来了不少危害。

甘肃、陕西、青海、山西、河南及宁夏等省、自治区有关单位，曾对我国湿陷性黄土地区作了大规模的建筑物现状调查。初步统计共调查了房屋建筑物1,505幢(建筑物调查数量和分布如表1—1)，水池类构筑物80个和上下水管道30公里。根据调查研究结果，可以得出这样的结论：湿陷性黄土对建筑的危害是比较严重的。

建筑物调查数量统计表

表 1—1

省区	甘 肃	青 海	陕 西	山 西	河 南	宁 夏
调查房屋数量(幢)	201 86	152	254 373	122	38 245	34
合计(幢)	287	152	627	122	283	34

陕西各类建筑物湿陷事故所占的比例(%) 表 1—2

建筑物类型 \ 事故程度	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：据《陕西省湿陷性黄土地区建筑调查总结》。

事故程度按裂缝宽度 b , mm; 局部倾斜 i , %; 和相对沉降 h , cm, 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”—— $b > 5$, $i > 8$, $h > 12$ 。

甘肃省两个化工厂房屋建筑物湿陷

事故情况

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

注：据《甘肃省湿陷性黄土地区部分建筑物调查报告》。

青海省湟源县某地两个单位房屋事故情况

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	79	13	61

注：据《青海省四个新近堆积黄土建筑群调查报告》。

表 1—2，表 1—3，表 1—4 列举了陕西、甘肃和青海三省有关房屋建筑物湿陷事故的统计数字。从上述表列数字中不难看出房屋建筑物湿陷事故占有较大的比重。假如以六盘山为界，两侧的湿陷性黄土地区建筑物湿陷事故出现机率迥然不同。六盘山以西，湿陷事故的机率大，占相应的建筑调查总幢数的 60% 左右；六盘山以东，房屋建筑物湿陷事故出现机率较小些，但亦占调查的房屋总幢数的 5~15%，如图 1—1。

可见六盘山以西湿陷事故比六盘山以东要严重的多。

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，看一看黄土的湿陷性对房屋建筑物的危害程度：

例一、西宁南川锻件厂

这个厂数十幢房屋建筑物完好者无几。1 号楼在施工中受水浸湿，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致使这幢房屋地下室尚未砌成，被迫停建报废；汽车库建成后尚未使用便下沉开裂，只好拆除；成品库下沉，屋面呈波浪起伏状（照片 1—1）；宿舍楼裂缝密布（照片 1—2）；福

利区所有楼房几乎均成了危楼（图1—2）。这个厂由于地下水上升造成大面积湿陷，有的室外地坪下沉达60多厘米。

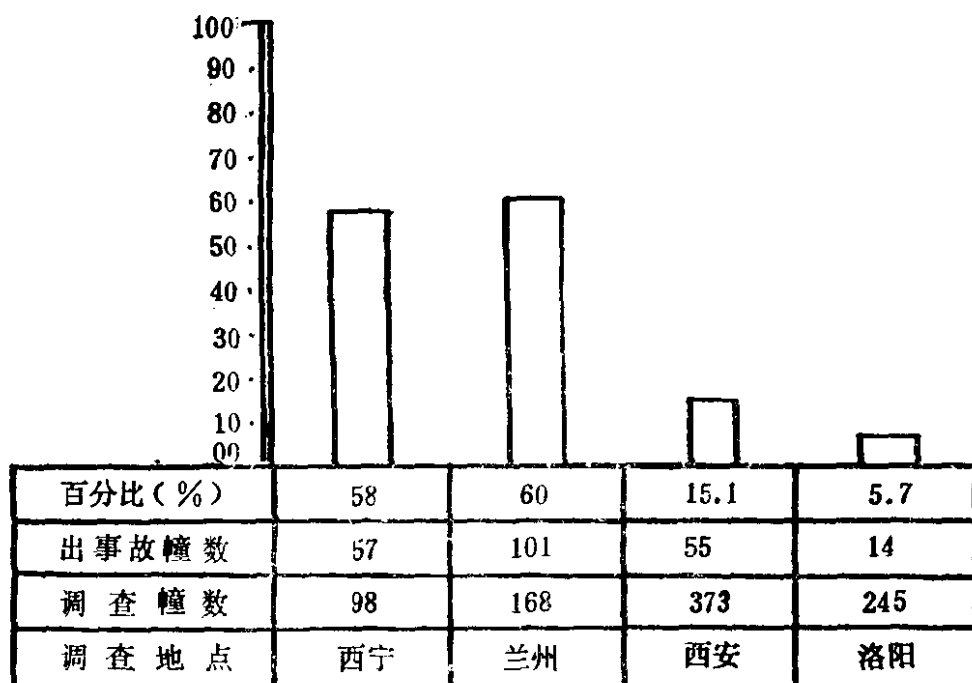
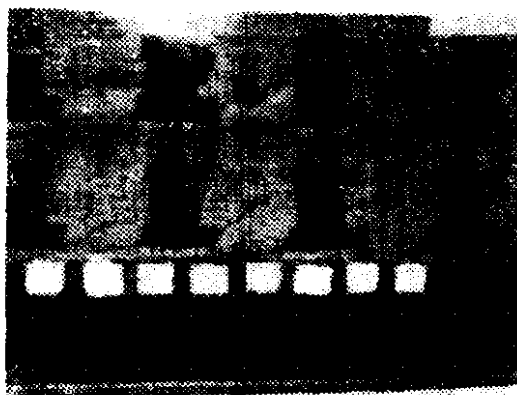


图 1—1 湿陷事故统计图



照片 1—1 因下沉建筑物呈波浪形



照片 1—2 裂缝密布

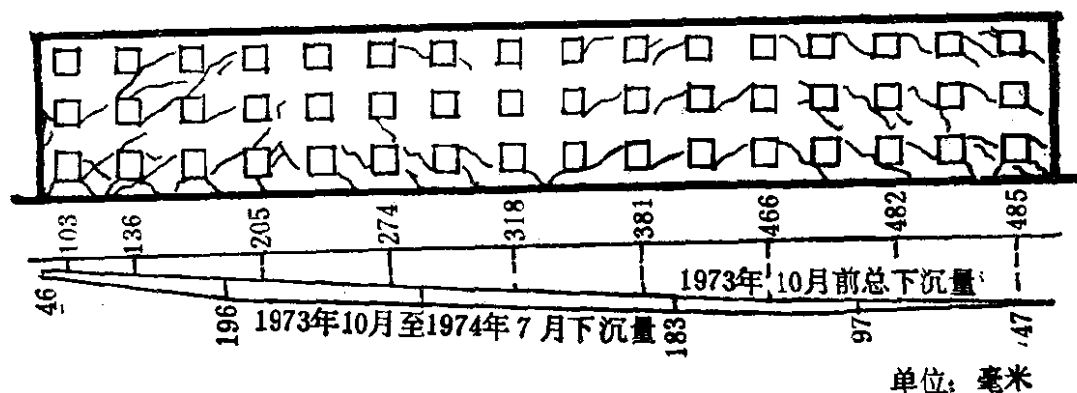


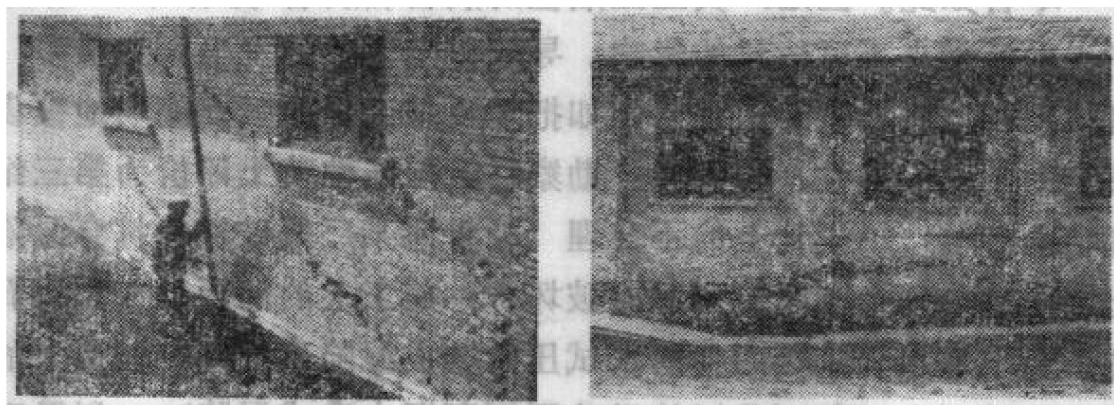
图 1—2 西宁南川锻件厂 3 号楼裂缝图（南立面）

例二、兰州西北民族学院

该院1954年竣工的女生楼、男生楼两幢房屋，完好地使用十四年，但在1968~1969年由于厕所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，最大倾斜率22.5%，墙面裂缝从地面发展到屋顶；这个院1~3号、12~14号住宅楼，在1969年由于类似的原因使地基湿陷下沉，房屋开裂严重，最大缝宽25~50毫米，最大相对沉降达22.4~49.8厘米，以致无法居住。

例三、青海湟源物探队基地和某公司仓库

这是两个单位组成的较大的建筑群，有房屋建筑物近百幢，多为干打垒平房。这个建筑群的大部分房屋基本上都遭到了程度不同的湿陷破坏。有两幢化验室房屋，竣工后不久便被迫停用拆除，其他房屋破坏的也都比较严重，最大沉降差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。某公司仓库一幢幢建筑物拆毁重建，半数以上的仓库要拆除“更新”，“更新”的房屋仍遭破坏。湟源物探队，年年翻新加固，年年有新的事故出现，至1978年，决定搬迁，另选队址。关于这个建筑群房屋破坏情况，参见照片1—3~1—6。



照片 1—3 湿陷墙裂

照片 1—4 湿陷墙裂