

9222/79
34126

膨胀土上的基础



中国建筑工业出版社

膨胀土上的基础

陈孚华 著

石油化学工业部化工设计院等 译

中国建筑工业出版社

本书是美国于1975年出版的比较系统地论述膨胀土的理论与实践的新近著作。第一部分为理论与实践,包括膨胀土的性质及鉴别方法、膨胀力学、野外调查和实验室试验、膨胀土上各种形式基础的设计计算、基础移动的调查、原因及补救;第二部分为事故的研究,共举出五个事故实例,其中有事故的分析研究及采取的补救措施。本书可供膨胀土地区土建工程设计施工人员及科研人员参考,还可供土建院校地基与基础专业师生参考。

FU HUA CHEN
FOUNDATIONS ON EXPANSIVE SOILS
EISEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY
Amsterdam-Oxford-New York 1975

膨胀土上的基础
石油化学工业部化工设计院等 译

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米^{1/32} 印张: 8^{5/8} 字数: 231 千字

1979年4月第一版 1979年4月第一次印刷

印数: 1—17,160 册 定价: 0.76 元

统一书号: 15040·3546

译 者 的 话

本书作者陈孚华 (Fu Hua Chen) 是美国科罗拉多州丹佛市顾问土力学工程师。他在最近十五年中调查了洛基山区膨胀土地带的数千个建筑现场, 还调查了一千余幢产生裂缝的建筑物, 并提出了补救措施。

本书就是根据上述的工程实践经验及国际上过去二十年中所获得的有关膨胀土知识的进展而写成的。全书共分十章及两个附录, 第一部分一至九章为膨胀土上的建筑的理论和实践, 第十章 (即原著的第二部分) 为事故实例的研究, 在附录里列出了膨胀土的试验方法及对膨胀土问题的正确和错误认识。为了使全书更好地连贯, 我们把原书第二部分“事故实例的研究”改编为第十章。

本书系全文译出, 仅对原文中的个别词句作了删节, 对一些需要更正的地方作了译注。至于一些明显的印误, 在更正后不再一一注明。为了读者的方便, 增加了附录C英制公制换算表和附录D美国土的统一分类法。

本书第一章石化部化工设计院倪继森和轻工部第二设计院崔福鑫译, 第二章崔福鑫和兰州化工公司设计院王应彪译, 第三章王应彪译, 第四、五章吉林化工公司设计院周俊杰译, 第六、七章湖北化工设计院何尚远译, 第八、九章南京化工公司设计院蔡德坚译, 第十章轻工部第二设计院夏祥圭译, 两个附录倪继森译, 倪继森总校。由于水平所限, 难免存在错误, 欢迎读者批评指正。

一九七八年五月

目 录

第一章 膨胀土的性质	1
1-1 膨胀土的成因	1
1-2 膨胀土的分布	4
1-3 膨胀土造成的损害	8
1-4 粘土矿物	9
1-5 膨胀土的识别	15
1-6 膨胀土的物理性质	23
参考文献	31
第二章 膨胀力学	33
2-1 水分的迁移	33
2-1-1 水分的转移(33); 2-1-2 水分的平衡(34); 2-1-3 水分波 动的深度(35); 2-1-4 收缩(37)	
2-2 膨胀潜势	39
2-2-1 影响体积变化的因素(39); 2-2-2 总隆胀(41); 2-2-3 有效应力(45)	
2-3 膨胀压力	46
2-3-1 试验方法(46); 2-3-2 附加压力(47); 2-3-3 饱和度(49); 2-3-4 初始含水量(51); 2-3-5 土层厚度(54); 2-3-6 初始容重(56); 2-3-7 结论(59)	
参考文献	60
第三章 现场调查和实验室研究	61
3-1 现场调查	61
3-1-1 地形(61); 3-1-2 地表地质(62); 3-1-3 现有建筑物(63)	
3-2 钻孔和取样	64
3-2-1 试验孔(64); 3-2-2 贯入试验(66); 3-2-3 取样(67)	
3-3 实验室试验	68
3-3-1 膨胀试验(68); 3-3-2 试验结果的解释(69)	

参考文献	70
第四章 钻孔桩基础	71
4-1 桩的承载力	71
4-1-1 承载力(72); 4-1-2 页岩的表面摩擦力(73); 4-1-3 设计承载力(74)	
4-2 桩上升的力学	76
4-2-1 上举力(77); 4-2-2 锚固力(77); 4-2-3 湿润区(78);	
4-2-4 桩上举力的模型试验(78); 4-2-5 合理的桩公式(83)	
4-3 扩底桩	84
4-3-1 扩底桩的优点(84); 4-3-2 扩底桩的缺点(85); 4-3-3 桩上升的隔绝(86)	
4-4 摩擦桩	88
4-4-1 表面摩擦(88); 4-4-2 摩擦桩的设计(90)	
4-5 桩系统的失效	91
4-5-1 过大的桩尺寸(94); 4-5-2 不足的桩长度(94); 4-5-3 均匀的桩直径(95); 4-5-4 桩的配筋(97); 4-5-5 空隙(97);	
4-5-6 桩的沉降(100); 4-5-7 桩身的空洞(101); 4-5-8 基础墙的上升(101); 4-5-9 基础墙上的侧压力(102); 4-5-10 地下水的上升(102)	
参考文献	103
第五章 基脚基础	104
5-1 带形基础	104
5-1-1 墙基础(104); 5-1-2 箱形结构(106)	
5-2 板式基础	107
5-2-1 设计(108); 5-2-2 深的板式基础(110); 5-2-3 间断基础(110)	
5-3 在选定填土上的基础	110
5-4 筏式基础	111
5-4-1 设计(112); 5-4-2 性能(115)	
参考文献	120
第六章 膨胀土上的板	121
6-1 地上板	121
6-1-1 地上板的型式(121); 6-1-2 板的移动(122); 6-1-3 板下砾石层(125)	

6-2 加劲板	125
6-2-1 结构性地板(125); 6-2-2 架空式地板体系(126); 6-2-3 峰 窝式体系(127)	
6-3 浮式板	128
6-3-1 滑动接缝(128); 6-3-2 室外板(130); 6-3-3 间隔墙(132);	
6-3-4 门框和公用设施(139); 6-3-5 散水坡(140)	
参考文献	142
第七章 水分的控制	143
7-1 水平水分截断层	143
7-1-1 薄膜(143); 7-1-2 混凝土散水坡(144); 7-1-3 沥青薄膜(145)	
7-2 垂直水分截断层	146
7-2-1 装置(146); 7-2-2 回填土(148)	
7-3 地下排水	149
7-3-1 截水盲沟(150); 7-3-2 滞水(150); 7-3-3 周边排水沟(151)	
7-4 地面排水	153
7-4-1 喷洒系统(153); 7-4-2 植物生长(153); 7-4-3 屋面排水 (155); 7-4-4 室内管道工程(155)	
参考文献	155
第八章 土的稳定	156
8-1 预湿	156
8-1-1 浸泡法(156); 8-1-2 实践(158); 8-1-3 评价(160)	
8-2 压实控制	161
8-2-1 堆筑条件(161); 8-2-2 设计(163)	
8-3 换土	165
8-3-1 材料的类型(165); 8-3-2 换土深度(166); 8-3-3 换土范 围(167); 8-3-4 评价(168)	
8-4 石灰稳定	169
8-4-1 反应(169); 8-4-2 应用(171); 8-4-3 压力注射(172)	
8-5 化学稳定	173
8-5-1 水泥稳定(174); 8-5-2 有机化合物(175)	
参考文献	179
第九章 基础移动的调查	181
9-1 历史性研究	181

9-1-1 基础资料(181); 9-1-2 移动数据(182)	
9-2 损害的研究	183
9-2-1 裂缝形式(183); 9-2-2 应力的形成(186)	
9-3 调查	187
9-3-1 下层土(187); 9-3-2 测量(188); 9-3-3 试坑(188)	
9-4 移动的原因	189
9-4-1 基础设计(189); 9-4-2 施工(190); 9-4-3 排水(191)	
9-5 补救措施	192
第十章 事故实例的研究	194
10-1 桩上升引起的危害	194
10-1-1 历史(194); 10-1-2 调查(198); 10-1-3 移动的原因 (203); 10-1-4 补救措施(204)	
10-2 不合理的桩设计和施工引起的危害	209
10-2-1 存在情况(209); 10-2-2 移动的原因(212); 10-2-3 补 救措施(214)	
10-3 独立基础和地板隆起引起的危害	216
10-3-1 历史(216); 10-3-2 危害(219); 10-3-3 调查(221); 10-3-4 处理(225); 10-3-5 补救施工(232)	
10-4 条形基础隆起引起的危害	233
10-4-1 历史(238); 10-4-2 下层土条件(240); 10-4-3 移动的 原因(240); 10-4-4 补救措施(241)	
10-5 水位上升引起的危害	244
10-5-1 历史(245); 10-5-2 下层土条件(249); 10-5-3 地下水 位(249); 10-5-4 移动的原因(250); 10-5-5 水分来源(252); 10-5-6 建筑物情况的评价(253); 10-5-7 补救措施(254)	
附录A 粘性土的一维膨胀和上举压力的试验的 建议方法	256
附录B 正确和错误二十五条	264
附录C 英制公制换算表	267
附录D 美国土的统一分类法	267

第一章 膨胀土的性质

关于膨胀土的问题，直到二十世纪三十年代后期才为土力学工程师们所认识。1920年以前，美国的轻荷载建筑物大多是框架式住宅。这类结构物能够经受相当大的移动而不开裂。到了1930年，镶砖的住房得到广泛使用。随后，发现砖层开裂。当时把损坏的原因归咎于施工不良及基础某一角的下沉，而没有意识到膨胀土的作用。

1938年，美国开垦局^[1]●在奥勒冈州欧维希的一座钢制虹吸管基础工程中首次认识了膨胀土的问题。从那时起，工程人员才领悟到结构物的损坏，除了由于沉降造成的以外，有时还有其他原因。1940年以后，因为日益广泛地采用地上板结构，由膨胀土造成的结构物损坏进一步增多了。

目前，膨胀性粘土和页岩已经引起了世界范围的注意。加拿大、澳大利亚、南非、以色列及美国的工程人员，对于膨胀土的知识 and 膨胀土上结构物的正确设计做出了巨大贡献。在美国，首次有关膨胀性粘土的全国性重要会议，大概要算1959年在科罗拉多州召开的那一次。第一、第二两次国际膨胀土科研和工程会议，分别于1965年和1969年在得克萨斯州举行；第三次于1973年在以色列的海法举行。

1-1 膨胀土的成因

唐纳尔森 (G.W. Donaldson) ^[2] 曾经把和膨胀土有关的

● 方括号内的数字表示各章末所列参考文献的序号。

母岩材料分为两类。

第一类包括印度德坎高原的玄武岩、南非中部的粗玄岩岩床和岩脉及特兰斯瓦省普利托利亚西部的辉长岩和苏长岩等基性火成岩。在这些岩土中，母岩的长石和辉石矿物经过分解而形成蒙脱石和其它次生矿物。

第二类包括某些沉积岩，其中含有的蒙脱石组分，经过物理破碎而形成膨胀土。在北美洲，底艾组、较近的拉拉米组和丹佛组中所见到的基岩页岩就是这种岩石的例子。在以色列有泥灰岩和石灰岩，在南非则有艾卡统页岩。

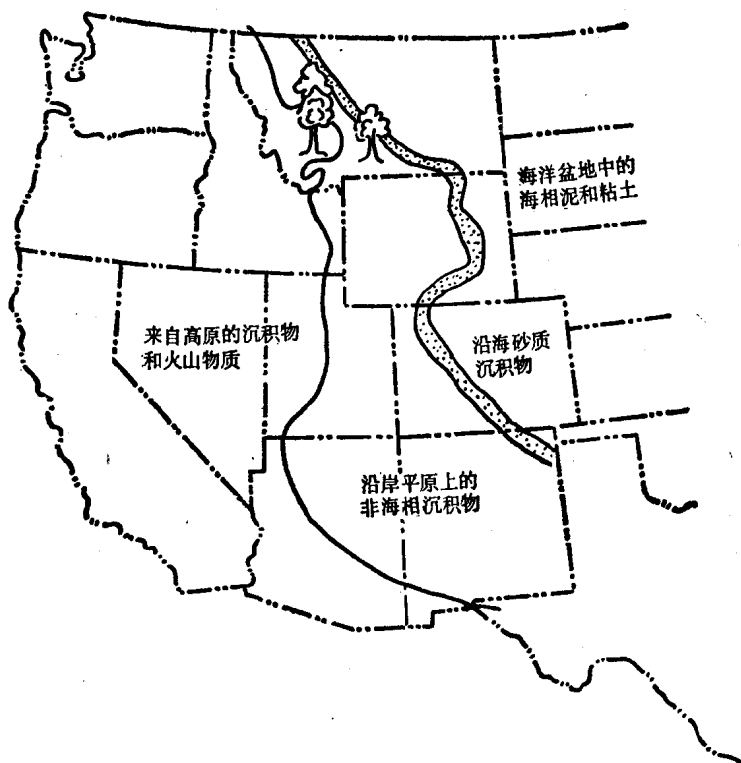


图 1-1 洛基山和大平原区白垩纪晚期底艾和贝阿包页岩及有关岩石堆积的地理分布（引自Tourtelot, 1973年）

杜尔帖洛特 (Tourtelot) [3] 重绘了洛基山和大平原区的古地理条件图, 如图1-1所示。

在白垩纪晚期, 洛基山脉以西是高到中的高地, 至于大平原东部则一度是海洋盆地, 沉积了庇艾和贝阿包页岩及其同位地层。沉积物来源于北部地区(蒙塔那)的火山岩和南部地区的若干种岩石。一条带状砂质沉积物将沿海平原和海洋盆地隔开。靠近岸边的页岩是砂质的和粉质的, 具有较低的膨胀潜势。内陆的页岩几乎全部由粘粒物质组成, 具有高的膨胀潜势。

蒙脱石可能有两种不同的成因。高原上岩石风化和侵蚀后的产物被河流携带到沿海平原。细粒土最终变成聚集在海洋盆地的页岩。另一方面, 火山喷发的灰云降落在平原上和海洋里。这些火山灰转变成蒙脱土。

图1-2大致地示出美国蒙脱石富集的基岩地质构造。蒙脱石富集在整个落基山区的连续性地质构造、大平原的大部地区、海湾岸边平原和密西西比湾的很大一部分以及加利福尼亚州和太平洋西北区。

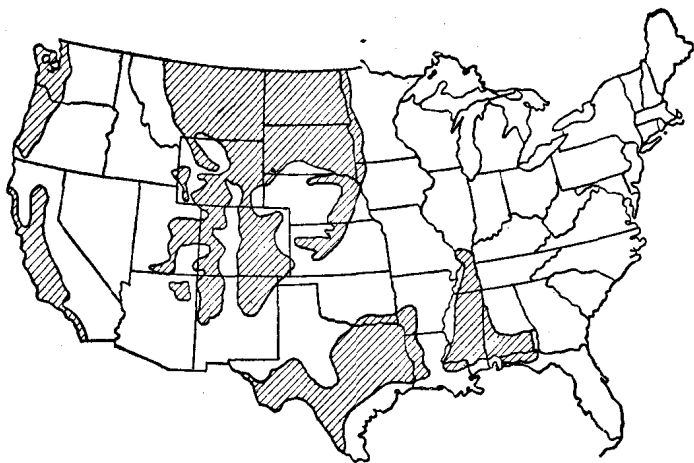


图 1-2 基岩露头附近处蒙脱石的富集情况
(引自 Tourtelot, 1973年)

1-2 膨胀土的分布

唐纳尔森汇总了世界各地膨胀土实例的分布情况。已报道有膨胀土的国家●列出如下：

阿根廷

澳大利亚

缅甸

加拿大

古巴

埃塞俄比亚

加纳

印度

以色列

伊朗

墨西哥

摩洛哥

罗得西亚

南非

西班牙

土耳其

美国

委内瑞拉

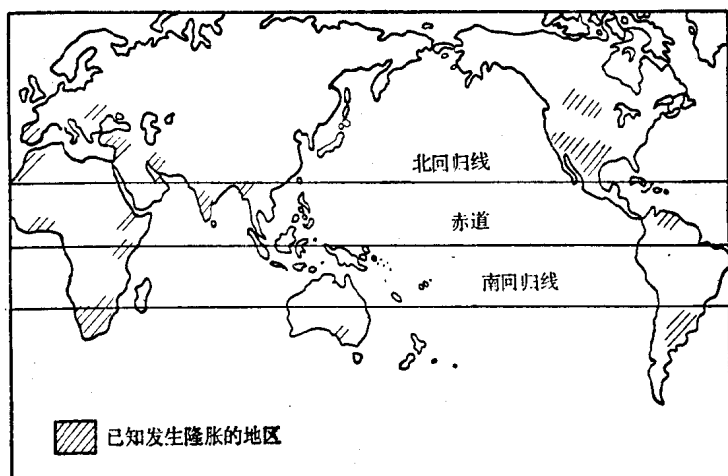


图 1-3 已知发生隆胀事故的地区的分布
(引自 G.W. Donaldson)

● 中国也有膨胀土，在本书中均未提及。——译注

图 1-3 表明, 潜在性膨胀土的分布限于热带和温带气候区的半干旱地区内。膨胀土多分布在年蒸发-蒸腾量超过年降水量的地区。这种情况符合于在半干旱地区由于缺少淋滤作用而助长了蒙脱石形成的理论。

潜在性膨胀土几乎在世界任何地方都可能发现。在发展中国家, 许多膨胀土问题也许还未被认识。可以预料, 随着建设的扩大, 将会逐年发现更多的膨胀土地区。

1-2-1 膨胀土的世界性课题

1965年, 在得克萨斯举行的第一次膨胀土会议期间, 大会的国际小组在评论中曾对膨胀土的世界性课题处理的发展现状进行了概述。下面是各有关国家的典型发现:

1. 澳大利亚——有膨胀土经历的主要城市是南部的阿德雷德。在这座有60万人口的城市中, 尽管膨胀土产生的破坏是中等的, 但是由基础开裂而积累起来的损害仍是可观的。

2. 加拿大——由于加拿大的气候和地质条件的变化大, 因而发生了多种多样的基础问题。在西部, 包括萨斯喀切温和阿尔伯塔, 膨胀土问题非常突出。该地区的土通常是干燥的。此外, 该地区常在浅基础上设置浅地下室。发生了许多起由膨胀土压力引起地下室墙的侧向挠曲的事故。有的地下室地坪在18个月内隆起达6英寸之多。

3. 印度——在印度的中心地区大约20万平方英里的一个大面积内, 覆盖着所谓的黑棉土。这种土的特征是干时极硬, 而在浸湿过程中出现高的膨胀潜势。

4. 以色列——在以色列到处存在膨胀土问题。以色列的冬季多雨而夏季干热。地基土主要是冲积土或经过搬运的冲积土, 其母岩是风化的玄武岩或石灰岩。在粘土地区, 蒙脱石含量可能占40~80%。

5. 墨西哥——墨西哥城的沉降问题是世界闻名的。墨西哥的膨胀性粘土问题, 迄今尚不被认为很严重。到目前为止, 只在五

座中等城市遇到过膨胀土问题，但是问题可能会变得较为严重起来，因为新兴城市正在建设，并有些小城镇已经在扩建。

6. 南非——在南非，膨胀土问题早在1950年就已经引起了工程人员的注意。南非土木工程师学会于1957年首次发表了有关膨胀土的论文集。特兰瓦斯省的留霍夫、维利尼京和普利托利亚，都记录了严重的基础移动问题，这些地方的膨胀土属于河湖沉积物。在奥兰吉自由邦金矿区的奥敦达斯拉斯，基础移动问题是由覆盖大部南非的艾卡页岩所造成的。

7. 西班牙——在西班牙可以见到许多沉积成因的高塑性粘土地层。该国的大部分地区气候干旱，蒸发蒸腾量比降水量大好几倍，结果形成膨胀现象。存在这种现象的各个地区中，有两个省可以视为典型的，即安达露西亚和马德里。在马德里省，大部分地区的土由蒙脱石粘土组成。这类土的液限，虽然一般不超过80，但是也有高达250的。在首府的大部分地区，高塑性粘土为相当厚的砂质粘土所覆盖，因而没有发生膨胀问题。

8. 委内瑞拉——委内瑞拉有关膨胀土的首次报道来自科罗城附近地区，那里有许多建筑物严重开裂。城市附近有一处还发现具有膨胀特性的页岩。这类土中某些土的膨胀压力为13吨/英尺²，而有的高达28吨/英尺²。

1-2-2 美国膨胀土的分布

在美国，从墨西哥湾至加拿大边境，从内布拉斯加至太平洋沿岸，粘土和变朽粘土页岩中富集着蒙脱石是常见的现象。

已经报道有问题的地区大多位于图1-2所标明的蒙脱土富集区。美国各地有许多州进行过膨胀土的研究工作。图1-4表明在州公路局主持下做过膨胀土研究的一些州^[4]。图1-2和图1-4的相似性，应当引起我们的兴趣。经历过不同程度膨胀土问题的那些州列举如下：

1. 严重的：（1）科罗拉多；（2）得克萨斯；（3）怀俄明。

2.中等的：（1）加利福尼亚；（2）犹他；（3）内布拉斯加；（4）南达科他。

3.较轻的：（1）奥勒冈；（2）蒙塔那；（3）阿利桑那；（4）奥克拉荷马；（5）堪萨斯；（6）阿拉巴马；（7）密西西比。

1-3 膨胀土造成的损害

琼斯（Jones）和霍尔兹（Holtz）1973年^[5]在美国土木工程师学会的报告中估计了由膨胀土造成的损害，列出于下：

结 构 类 型	估计的年平均损失 （百万美元）
独户住宅	300
商业建筑物	360
多层建筑物	80
人行道、车行道及停车场	110
公路和街道	1140
地下的公用和服务设施	100
飞机场	40
市区滑坡	25
其它	100
总计 2255	

按照上述估计，膨胀土造成的损失现已超过洪水、飓风、地震和龙卷风每年所造成平均损失的总和。

大量的结构移动问题曾过分地归咎于膨胀土。许多建造在膨胀土地区的地板开裂及有时隆起，是由于混凝土设计不当造成的。众所周知，混凝土养护不善，再加上缺乏伸缩缝，将导致开裂。混凝土板的卷曲和膨胀土引起的地板隆起非常相似。大型仓库的地坪尤其是这样，对于这种地坪正确设计和妥善养护是必不可少的。

在膨胀土地区，土通常很硬，由于沉降引起轻载荷结构物的开裂，将发生在相当长远以后。同时，存在地下室墙出现严重裂缝的大量事例，这些裂缝并非由基础隆胀引起的，而是由作用在墙上、且往往夹有渗流压力的土压力所造成的。在地下室墙发生垂直或水平裂缝的多数场合下，可能是土压力的问题。窗洞下和门洞上发生的斜裂缝则是膨胀移动的明显标志。

有时，地下室墙的开裂是因施工人员疏忽而造成的。反铲或其它挖土设备移动对墙体的碰撞可以引起垂直或水平裂缝。

实际上是由于配筋和固定不当而形成的墙体拱凸问题，也往往归咎于膨胀土。在墙的顶部和底部尚未适当固定以前，不应向墙体堆筑回填土。违反这一做法，就有可能导致墙体拱凸。这种拱凸现象有时被误认为作用于墙体的水平膨胀力造成的。

尽管有可能对墙体产生大的水平膨胀力，但是一般来说，回填土都比较松散，因而很少会发生由于回填土的侧向膨胀而引起损害。

结构性缺陷有时也被误认为膨胀土形成的损害。高低层的房屋往往在不同标高上设置基础梁。这类梁，如果没有适当地用钢筋连接起来，就会引起开裂和移动。

的确，轻载荷结构物的大多数开裂和移动可能是膨胀土引起的，但是基础移动的其它原因不能也不应予以忽视。

1-4 粘 土 矿 物

大多数土的分类体系任意地把粘土颗粒定为具有有效粒径为2微米（0.002毫米）或更小的土颗粒。然而，单靠粒径确定不了粘土矿物。矿物成分可能是细粒土的最重要的颗粒特性^[6]。对于细小颗粒，作用在颗粒表面的电荷力要比重力大得多。这些颗粒被称为处于胶体状态。胶体颗粒主要是由母岩经风化分解而成的粘土矿物组成的。

最重要的三组粘土矿物是蒙脱石、伊利石和高岭石，它们都