

高等学校试用教材

Teshu Diqu Gonglu

特殊地区公路

膨胀土地区

(公路与城市道路工程专业用)

李 斌 主编

人 民 交 通 出 版 社

书进行了全面审校，在此深表谢意；同时借此向为本书编写提供和引用了资料的单位与个人，以及为本书整理、校对工作付出了辛苦劳动的铁道部第二勘测设计院廖舸、向红、杨红兵等表示感谢。

由于作者水平和资料等方面的原因，本书不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

1992年6月于成都

(京)新登字091号

特殊地区公路

膨胀土地

(公路与城市道路工程专业用)

李 斌 主编

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

曙光印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 - \frac{1}{32}$ 印张: 3.125 字数: 64 千

1993年12月 第1版

1993年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3130册 定价: 1.50元

ISBN 7-114-01649-2

U·01097

内 容 提 要

本书从基本理论和工程实践两个方面，全面、系统地介绍了膨胀土的基本知识和基本理论，以及在膨胀土地区进行公路勘察、设计与施工的基本方法和原则。

本书为高等学校教材，也可供有关工程技术人员参考学习。

本书由廖世文编著 丛书由李斌主编

前 言

膨胀土是一类具有吸水显著膨胀软化和失水急剧收缩硬裂的特殊粘性土，它是在长期自然地质历史作用过程中形成的地质体。

膨胀土在世界范围内分布十分广泛，从北纬 60° 至南纬 50° 之间的广阔地域内，迄今已发现有膨胀土的国家 和 地区达40多个，横穿赤道跨南北两大半球，遍及六大洲。我国是世界上膨胀土分布最广的国家之一，尤其是在长江与黄河的中下游，以及南部沿海和西南地区，膨胀土最为发育，分布最普遍。而上述地区又是我国经济最发达，道路网密度大的地区。由于膨胀土的特殊工程性质，易使这些地区的工程建筑，特别是公路和铁路遭受严重的破坏，造成巨大的经济损失。因而日益引起政府有关部门和学术界、工程界的高度重视。

全书共六章，比较系统地总结了作者从事膨胀土研究工作近20年来的成果和经验，并吸取了国内外膨胀土研究的有益借鉴，从基本理论与工程实践两个方面，全面而系统地介绍了膨胀土的基本知识和基本原理，以及在膨胀土地区进行公路勘察、设计与施工的基本方法和原则，使膨胀土基本理论与工程实践有机地相结合。

本书是高等学校本科生和研究生学习膨胀土专门知识的教材。

《特殊地区公路》丛书主编西安公路学院李斌教授对本

目 录

第一章 概论	1
第一节 膨胀土的定义与名称	1
第二节 膨胀土的判别标准	3
第三节 膨胀土对道路工程的危害	7
第二章 膨胀土的成因类型与分布	9
第一节 膨胀土的成因类型	9
第二节 膨胀土的分布	11
第三章 膨胀土的物质组成与结构	17
第一节 物质组成成分	17
第二节 结构特征	23
第四章 膨胀土的工程特性	28
第一节 膨胀与收缩性	28
第二节 多裂隙性	38
第三节 超固结性	40
第四节 强度衰减性	42
第五节 崩解性	44
第六节 风化特性	45
第七节 膨胀土的工程地质分类	49
第五章 膨胀土地区的路线、路基与路面	51
第一节 膨胀土地区的路线	51
第二节 膨胀土地区的路基	52
第三节 膨胀土地区的路面	74

第六章 膨胀土地区的桥涵与隧道	81
第一节 膨胀土上的桥涵	81
第二节 膨胀土中的隧道	85
参考文献	90

第一章 概 论

第一节 膨胀土的定义与名称



膨胀土系指土中粘土矿物成分主要由亲水性矿物组成，同时具有吸水显著膨胀软化和失水收缩硬裂两种特性，且具有湿胀干缩往复变形的高塑性粘性土。决定膨胀性的亲水矿物主要是蒙脱石粘土矿物。

从这个定义可以看出，膨胀土有以下几个显著的基本特性：

1. 膨胀土中的粘土矿物成分主要是由亲水性矿物组成的，而蒙脱石则是最典型的强亲水性矿物，伊利石(水云母)具有中等亲水性，这两类粘土矿物都具有膨胀的微结构。所以当土含有蒙脱石、伊利石的有效成分，且在土中达到一定数量时，这一类土对湿度状态的变化就特别敏感。

2. 膨胀土同时具有吸水膨胀和失水收缩两种变形特性，而且这种变形是可逆的，即可以吸水膨胀、失水收缩，再吸水再膨胀、再失水再收缩，并胀缩变形显著。

3. 膨胀土吸水膨胀后强度减小，并有随之湿化崩解的现象；而失水收缩后土的强度增大，一般都较干硬，但常伴有裂隙产生。

4. 膨胀土一般具有高液限、低塑限以及塑性指数较高的特性，因而从土质分类与土的工程分类意义来讲，属于高塑性粘性土范畴。

由于过去对膨胀土概念理解的不统一，因而膨胀土的名称也就多样化。虽然国际范围早已公认命名为膨胀土(Expansive Soils)，而且在国际土力学与基础工程协会下设有膨胀土专门委员会，从1965年起每隔4年定期召开一次国际膨胀土研讨会议。但是各地仍有根据土的产地、颜色和性质等命名的情况，如英国伦敦粘土、南非黑泥、印度黑棉土等。我国基本上统称做膨胀土，但也有叫胀缩土、裂土或裂隙粘土等名称的。

从一般概念而论，土的名称同自然界所有物种的名称一样，只不过仅是一个代名词而已。然而从土的工程分类与土质分类来讲，名称应要反映土的本质，并尽可能表征其固有特性。因此有的认为，膨胀土只突出了土的膨胀性，却忽略了此类土的收缩，而我国南方大量房屋地基的变形却是由于这类土的失水收缩而引起，故应该定名为胀缩土；有的认为对于地基而论，这类土主要表现为膨胀与收缩变形，但对于道路边坡来讲，则主要是这类土中发育的裂隙削弱了土体强度而产生失稳，故前者可命名为膨胀土或胀缩土，而后者则应称做裂土。很显然，这些看法是不够全面，也只说出了事物的一个方面。

如前所述，膨胀土之所以具有显著膨胀与收缩的特性，主要是这类土中含有一定数量的膨胀性粘土矿物成分，以及具有膨胀扩张微结构等本质原因。所以采用以土的最本质特性定名膨胀土，完全不等于说这类土没有收缩。正如物理学的热胀冷缩原理一样，膨胀土的吸水膨胀与失水收缩，也是一对作用相反且具可逆过程的变形。至于某个地区土的变形是以膨胀为主，或以收缩为主，这主要取决于土的湿度状态，与当地气候有密切关系。已有研究清楚表明，若地区气候干燥、土的湿度较小，则土体吸水的膨胀变形就大，表现以膨

胀为主；相反，则主要表现为收缩，这并非是由于土的本质所决定的。再说膨胀土与裂土（或裂隙粘土），这在岩土工程中本来就是两种不同性质的土类。对于膨胀土的裂隙而言，它只是这类特殊土的重要特性之一，是膨胀土的一种表现形态。所以，无论从土质分类学还是从名词术语学观点出发，采用膨胀土这一名称是确切的、合适的。

第二节 膨胀土的判别标准

膨胀土同自然界所有岩土体一样，它是在长期自然地质历史作用过程中形成的地质体，同时又随自然地质作用和人类工程活动的发展而变化 and 发育。因此，膨胀土不仅在微观方面具有特殊的物质组成与结构和工程地质特性，而且在宏观方面，还形成了一套特殊的地质与地貌景观。这就为正确认识和判别膨胀土，提供了客观依据。但是，膨胀土又确实属于粘性土的范畴，同时具有一般粘性土的共性。由于膨胀土的判别标准选择不当，工作中常常产生对膨胀土的错判和漏判，直接导致工程措施的失误，给工程带来严重损失。

目前我国普遍采用的试验测试指标判别法，可划分为：单指标法，双指标法，多指标法和作图法四类，各类方法判别膨胀土的标准分述如下：

1. 单指标法：“膨胀土地区建筑技术规范”（国家标准），规定土的自由膨胀率 $\geq 40\%$ ，且符合一定野外地质地貌特征的土，应判定为膨胀土。

2. 双指标法：机械、水电等部门的标准规定，凡自由膨胀率 $\geq 40\%$ ，液限 $\geq 40\%$ 的土，则判定为膨胀土；铁道部门有标准规定，自由膨胀率 $\geq 30\%$ ，液限 $\geq 40\%$ 的土，应划分

为膨胀土。

3.多指标法：这类方法有采用土的自由膨胀率、粘粒含量、体缩率、线总胀缩率等指标的组合判别法，也有选用土的液限含水量、塑性指数、粘粒含量和粉粒含量，或选用液限、自由膨胀率、粘粒含量和粉粒含量等指标的函数判别法。但由于选择的测试指标较多，判别略显复杂一些。下面仅介绍几组判别标准，以供参考：

(1)陕南地区膨胀土判别函数式，可适用于汉江流域对膨胀土的判定。

$$Z = 0.113A_{\text{粉}} + 0.195A_{\text{粘}} - 1.157I_P + 1.075w_L$$

当临界判别值 $Z \geq 28.89$ 时，应判定为膨胀土。

式中： $A_{\text{粉}}$ ——土中粉粒含量，%；

$A_{\text{粘}}$ ——土中粘粒含量，%；

I_P ——塑性指数；

w_L ——液限，%。

(2)南襄盆地膨胀土判别函数式，适用于南阳-襄樊盆地及相邻地区膨胀土的判定。

$$Z = 0.273m_s + 0.570m_o - 0.217w_L + 0.133F_s$$

当临界判别值 $Z \geq 33$ ，应判定为膨胀土。

式中： m_s ——土中粉粒含量，%；

m_o ——土中粘粒含量，%；

w_L ——液限，%；

F_s ——自由膨胀率，%。

4.作图法：将液限(w_L)和塑性指数(I_P)绘成塑性图(如图1-1)。以横坐标表示液限，纵坐标表示塑限，当土的测试值 w_L 和 I_P 交汇于塑性图中A线以上，B线以右的CH区，即定为膨胀土。

以上几类判别膨胀土的方法只是选择的指标和标准的不

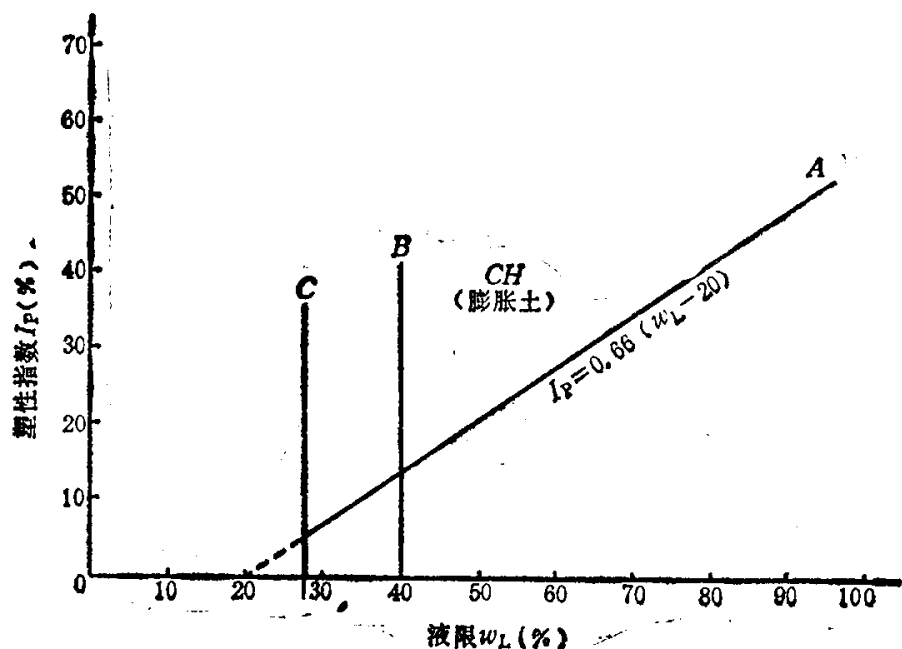


图1-1 塑性图

同，但过去都是一次性判别。即一次判别对了就属正确，若一次判别失误则属错误。故在生产中常出现将膨胀土漏判为非膨胀土，或将非膨胀土错判为膨胀土的现象。

鉴于膨胀土判别标准的复杂性，以及准确判定膨胀土的重要性，作者结合工作的需要，近年来专门对膨胀土的判别与分类问题，进行了深入系统的研究，提出了采用初判和详判结合的二次判别法，可以大大提高膨胀土的正判率。二次判别法的主要优点是，第一次采用土的膨胀潜势指标结合野外宏观地质地貌特征，对可能的膨胀土进行初判。若当测试指标在临界判别值附近，或有疑问难以判定时，或因工程需要时，则应进行第二次详细判别，可防止或减少错判与漏判。详判采用的标准，应当选择最能反映膨胀土本质的特性指标，如膨胀性粘土矿物（蒙脱石）的有效成分含量，物理

化学特性阳离子交换量，以及自由膨胀率等。

以上介绍的是膨胀土判别最重要的指标判别方法，因为这些土的特性指标，基本上都能从某个方面揭示膨胀土的本质特征，或反映膨胀土的重要属性，因而判别具有很大的可靠性，只是各种方法之间在正判率方面尚有一定差别。但无论何种方法所选择的判别指标，都是试验室测试得出的土的工程性质，属于土的微观判别。

除此之外，膨胀土的另一个重要鉴别方法，即是膨胀土在长期自然地质作用过程中形成的特殊地质地貌景观，即可以直接在野外观察的宏观判别法。膨胀土的野外宏观地质地貌特征，主要有以下五个方面：

1.地貌特征：具有垄岗式地貌景观，常呈垄岗与宽谷相间，地形平缓无自然陡坎，坡面冲蚀沟槽发育，多出露于二级以上阶地与平原、缓丘；

2.土体结构：具有多裂隙性，常见有垂直、水平和斜交三组，裂面光滑常有擦痕，并可见灰白色或黑色薄膜与条带等。土块可层层分割成规则的几何形体；

3.土质特性：粘土质重，滑感较强，常含有钙质与铁锰质结核或豆石；

4.土的颜色：多棕、黄、褐、红等色夹灰白、灰绿色，亦常见灰白色、灰绿色等；

5.自然地质作用：常见边坡表层溜塌与浅层塑性滑坡，以及地裂等。

当道路通过具有上述宏观地质地貌特征的地区，应当首先考虑膨胀土的可能性。然后再采取代表性土样，^②进行工程性质测试试验，选择微观判别指标和方法，对可能的膨胀土进行判别。若野外宏观地质地貌符合以上特征，判别指标又达到临界判别值以上的土，则应判定为膨胀土。

第三节 膨胀土对道路工程的危害

我国在膨胀土地区修建的公路和铁路，累计长度已远在万余公里以上，膨胀土对公路和铁路造成的危害是十分严重的。

据文献资料介绍，全国铁路每年因整治膨胀土地地区路基病害，花费的投资额均在一亿元以上，而且各种膨胀土路基的新生病害还在不断发生。尤其是南方几条铁路干线在施工中即产生溜塌、滑坡等严重病害，造成施工受阻，以至被迫停工先期抢修病害，再行施工。例如，成昆铁路北段，铁路通过成都膨胀土地段；襄渝铁路中段，铁路通过安康膨胀土地段等，膨胀土灾害不仅严重影响了施工进度，而且因整治这些铁路病害，使工程造价成倍增大，造成巨大经济损失。

在膨胀土地区已建成通车的铁路，路基普遍产生下沉外挤，基床翻浆冒泥，边坡冲蚀溜塌、坍滑与滑坡等严重病害，有的滑坡不仅造成路基成片破坏，甚至连同路基防护加固工程也一起毁坏，严重影响行车安全。

我国过去修建的公路一般等级较低，膨胀土灾害问题不太突出，所以尚未引起广泛关注。然而，近年来由于高等级公路的兴建，不少地区都遇到了膨胀土带来的麻烦。许多新建公路同铁路一样，在施工过程中就开始出现各种变形病害，有的地段土基一边施工开挖一边溜塌、坍滑；有的地段土基刚施工建成，则出现整段土基吸水膨胀软化，土基表层象发面似地鼓胀，导致无法铺筑路面等等。例如，河南境内一条修建在膨胀土地地区的公路，全长仅16km，自土基建成铺筑路面开始，就不断产生溅浆冒泥、油面开裂及松散脱落等病害，3年中仅保留下2km左右的完整路段，其余地段路

基全部被病害破坏。平（顶山）—汝（州）公路通过平顶山到汝河谷地典型膨胀土地区，在施工过程中就不断产生各种膨胀土路基病害，边坡普遍出现冲蚀剥落与表层溜塌等。严重病害地段，边坡开裂损坏，挡墙与桥台错位，甚至有的地段膨胀土滑坡将挡墙剪断，产生平行外移等，造成了很大的经济损失。安徽通过江淮膨胀土地区的一条二级公路，凡是挖深大于 2m 的路堑⁷²，一般冲蚀、剥落、溜塌、滑坡等各种路基病害都很严重，其病害地段的累计长度约占该条公路病害总长度的 80%~90%，而且从施工开始病害一直不断，造成了严重的经济损失，时刻危及行车安全。

上述膨胀土地区的铁路和公路，从施工到建成行车各种病害的如此严重，充分表明，膨胀土对道路工程的严重危害性，应当受到高度重视。

第二章 膨胀土的成因 类型与分布

第一节 膨胀土的成因类型

膨胀土主要是由含铝硅酸盐的岩石（包括沉积岩、火成岩与变质岩中的富铝硅酸盐岩类）经风化破碎，在氧化（还原）条件下经水合作用、淋滤作用及水解作用等地球化学的演变，在湿热气候环境中经成土作用而形成的。

在自然界广泛分布着的膨胀土，主要是上述岩石的风化产物经流水动力等搬运与分选，在重力作用下沉积而生成的流水建造膨胀土。根据流水作用的性质，又可进一步分为河流冲积成因膨胀土，洪积成因膨胀土，湖积成因膨胀土，以及冰水成因膨胀土。此外还有不少混合成因类型的，如冲积洪积膨胀土，冲积湖积膨胀土等；除了流水建造以外，还有许多膨胀土是上述母岩的风化产物未经搬运，在原地堆积演化发育而生成的残积成因膨胀土，或是一部分风化产物在重力作用下，沿下部山坡堆积发育生成的坡积成因膨胀土，此外还有残积坡积混合成因膨胀土。因此，我国膨胀土的成因类型，具有多因性的特点。反映在膨胀土的物质组成与工程地质特性上，南方膨胀土与北方膨胀土是不一样的，流水建造成因膨胀土与残坡积成因膨胀土也有明显的不同，甚至流水建造中的冲积、洪积、湖积、冰水沉积等各种膨胀土同样有显著差别。

我国部分地区膨胀土的成因类型，及其与母岩的关系，