

岩土工程国家重点学科专著系列

NATIONAL KEY SUBJECT GEOTECHNICAL
ENGINEERING MONOGRAPH SERIES

膨胀土的改良技术与工程应用

王保田 张福海 著



科学出版社
www.sciencep.com

岩土工程国家重点学科专著系列

膨胀土的改良技术与工程应用

王保田 张福海 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者及其课题组多年在膨胀土改良与工程应用方面进行的系统科研工作的总结。主要内容包括中国膨胀土的分布、结构特征和对交通工程的危险论述,系统总结了石灰改良膨胀土工程施工工艺、质量控制标准、现场质量检测方法和室内物理力学性质试验方法。其研究成果使得石灰改良膨胀土在高速公路路基施工中得到广泛应用,形成的系统施工工艺已申报国家施工工法。书中系统介绍了作者提出的膨胀土化学改良发明专利的内容及改良膨胀土的物理力学性质和水稳定性试验成果,提出了考虑土体初始含水率和不同工程填土的平衡含水率的膨胀土层胀缩变形计算方法,该计算方法的合理性已经得到实际工程观测成果的检验。

本书可供岩土工程领域的科学工作者和交通、水利行业的科学技术人员参考,也可作为高等院校岩土工程专业研究生和交通、水利学科本科生的教学参考书或教材。

图书在版编目(CIP)数据

膨胀土的改良技术与工程应用/王保田,张福海著. —北京:科学出版社,2009
(岩土工程国家重点学科专著系列)

ISBN 978-7-03-023823-8

I. 膨… II. ①王…②张… III. ①膨胀土-土壤改良 ②膨胀土-工程技术
IV. TU475

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 208521 号

责任编辑:童安齐 任加林/责任校对:柏连海
责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 12 月第 一 版 开本: B5(720×1000)
2008 年 12 月第一次印刷 印张: 8 1/2
印数: 1—2 000 字数: 160 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010—62134988 编辑部电话 010—62137026(BA08)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010—64030229; 010—64034315; 13501151303

前 言

本著作是河海大学承担交通部西部交通科技项目和江苏省宁淮高速公路膨胀土路基研究的课题研究成果总结,是作者和作者课题组全体教师和7位研究生经过5年的辛苦研究,全面完成了课题研究任务,并在科研报告、研究论文和研究生的学位论文的基础上,将核心研究成果提炼出来编写成本书出版,以与阅读本书的同仁分享研究的快乐。

本书共分六章,第一章主要为国内公开出版物资料总结,介绍我国膨胀土的分布和地质成因,给读者一个总体印象,了解我国膨胀土工程问题的广泛性和危害的严重性;第二章主要介绍膨胀土的结构特征和膨胀土胀缩变形对高速公路工程产生的危害;第三章主要介绍膨胀土的改良机理,针对获得工程实际应用的石灰改良方法,提出了合理适用的石灰改良膨胀土的施工工艺,改进了现行规范的石灰剂量检测方法和标准击实试验方法,其成果已经列入江苏省路基施工规范;第四章对石灰改良膨胀土的物理力学性质进行了较为系统的介绍,其中关于合理掺灰量的研究是本课题创造性的工作;第五章是作者课题组的发明专利介绍,结合膨胀土地基改良技术研究发明了一种膨胀土有机改良剂,室内试验研究证明该发明对膨胀土改良有良好的效果;第六章提出了考虑土体初始含水率和不同工程填土和地基含水率变化范围的膨胀土层胀缩变形计算方法,改计算方法的合理性与准确性已经得到施工工程观测成果的检验。

本著作包括了宁淮高速公路膨胀土路基研究(江苏省交通科技项目,编号04Y040)和高液限土路基稳定技术研究(西部交通建设科技项目,编号J30202—3)两项重大课题研究的主要成果,收进了河海大学岩土工程研究所张福海博士学位论文和张松南、黎灿明、李进、林清芝、叶建东、王培清等人的硕士学位论文的主要研究成果。在此向我国交通部和江苏省交通厅提供作者研究平台和研究经费致以最诚挚的感谢!作者还要向多年来不怕苦、不怕累、长期在工程现场或实验室从事研究工作的作者课题组同事武良金高级工程师、张文慧博士、田正宏博士、李俊红博士、李守德博士,以及程文军、艾年生、武海林、梁飞等表示衷心感谢!作者课题的研究成果已经在江苏省宁淮高速公路、宁宿徐高速公路盱眙南段、南水北调东线等工程和云南、广东、广西的膨胀土和高液限土改良中得到广泛应用并申报了国家施工工法。祝愿我国基础设施建设事业取得长期稳定的发展。

本著作的出版得到了河海大学重点学科建设经费的资助,作者将不懈努力工

作回报河海大学对我们长期的培养。由于笔者的水平有限,本书还会存在不足和需要改进之处,权且作为抛砖引玉之作,与关心笔者的同行共同探讨,为解决包括膨胀土在内的特殊性土工程应用问题作出贡献。

目 录

第一章 膨胀土的分布和地质成因	1
1.1 概论	1
1.1.1 膨胀土的定义	1
1.1.2 膨胀土的主要物理力学特征	1
1.2 工程建设中的膨胀土问题	2
1.2.1 膨胀土的分布及其地质成因	2
1.2.2 工程建设中的膨胀土问题	3
1.2.3 高速公路建设中需要解决的膨胀土问题	4
1.3 中国主要省区膨胀土分布与工程特性	5
1.3.1 广西壮族自治区	5
1.3.2 云南省	7
1.3.3 湖北省	8
1.3.4 河南省	9
1.3.5 江苏省	11
1.3.6 湖南省	12
1.3.7 四川省	13
1.3.8 陕西省	16
参考文献	17
第二章 膨胀土的性质及其对高速公路工程的危害性	19
2.1 膨胀土的胀缩机理	19
2.2 膨胀土的特性	20
2.2.1 膨胀土的结构特性	20
2.2.2 膨胀土的变形特性	22
2.2.3 膨胀土的强度特性	23
2.3 膨胀土的工程危害	25
2.3.1 概述	25
2.3.2 高速公路建设中的膨胀土问题	26
参考文献	28
第三章 石灰改良膨胀土的机理和施工工艺	32
3.1 常用的膨胀土地基处理方法	32

3.1.1	换土法	32
3.1.2	湿度控制法	32
3.1.3	桩基础	32
3.1.4	化学改良	32
3.2	石灰改良膨胀土机理分析	35
3.2.1	离子交换	35
3.2.2	凝硬反应	35
3.2.3	碳化作用	36
3.2.4	胶结作用	36
3.3	石灰改良膨胀土施工工艺	36
3.3.1	概述	36
3.3.2	石灰与膨胀土的拌和方法	37
3.3.3	路拌法的“二次掺灰”工艺	37
3.3.4	影响石灰改良土压实效果和强度的因素	38
3.4	石灰改良膨胀土碾压质量控制标准研究	40
3.4.1	概述	40
3.4.2	室内击实试验简介	41
3.4.3	不同击实试验方法取得的不同结果	42
3.4.4	宁淮高速公路石灰改良膨胀土碾压质量控制标准	44
3.4.5	现场碾压试验成果	46
3.4.6	结论	48
3.5	石灰改良膨胀土灰剂量检测标准研究	48
3.5.1	概述	48
3.5.2	规范灰剂量检测方法介绍	48
3.5.3	灰剂量检测方法存在的问题	49
3.5.4	石灰改良膨胀土灰剂量检测方法的改进	49
3.5.5	现场试验段路堤填土的灰剂量检测成果	52
3.5.6	国内其他工程试验资料分析	52
3.6	工程实例	53
3.6.1	两次掺灰比例的优化	54
3.6.2	碾压前土块大小控制标准	55
3.6.3	第一次掺灰到碾压等待时间的长短对压实效果的影响	56
3.6.4	填土含水率的控制标准	58
3.6.5	现场碾压工艺研究	61
	参考文献	63

第四章 石灰改良膨胀土的物理力学性质	65
4.1 石灰改良膨胀土的合理掺灰量研究	65
4.1.1 概述	65
4.1.2 合理灰剂量的确定方法	65
4.1.3 石灰改良膨胀土合理灰剂量的确定方法	66
4.2 动荷载作用下石灰改良膨胀土的强度特性	74
4.2.1 概述	74
4.2.2 动荷载作用下的强度试验设计	74
4.2.3 试验成果	75
4.2.4 结论	80
4.3 石灰改良膨胀土的微观结构	81
4.3.1 概述	81
4.3.2 试验方法	82
4.3.3 试验结果分析	82
参考文献	85
第五章 有机化合物改良膨胀土的性质研究	86
5.1 有机化合物改良剂改良膨胀土的机理	86
5.1.1 概述	86
5.1.2 有机阳化学改良剂改良膨胀土机理	86
5.2 CTMAB 改良膨胀土的试验研究	88
5.2.1 概述	88
5.2.2 CTMAB 改良膨胀土填料试验方案	88
5.2.3 改良前后土体的膨胀性的对比分析	89
5.2.4 小结	94
5.3 CTMAB 改良原状膨胀土的模拟试验研究	94
5.3.1 概述	94
5.3.2 试验研究方案	95
5.3.3 试验成果分析	96
5.3.4 试验结论	99
第六章 膨胀土路基胀缩变形计算	100
6.1 概述	100
6.2 膨胀土发生胀缩变形的力学条件	100
6.2.1 膨胀土膨胀变形计算的基本方程	100
6.2.2 高速公路膨胀土地基膨胀变形计算的边界条件	101
6.2.3 高速公路膨胀土地基竖向膨胀变形计算公式	102
6.2.4 膨胀土地基应力各向异性膨胀变形规律讨论	102

6.3	膨胀土地基的膨胀变形分析	104
6.3.1	现行规范中规定的计算方法	104
6.3.2	改进的膨胀土膨胀变形计算方法	104
6.3.3	膨胀变形计算方法的适用性	107
6.4	高速公路膨胀土地基膨胀变形计算	107
6.4.1	计算剖面的基本情况	107
6.4.2	有荷膨胀率试验	109
6.4.3	宁淮高速公路膨胀土地基膨胀变形量计算	111
6.5	宁淮高速公路膨胀土地基膨胀变形现场测量	117
6.5.1	沉降板埋设	117
6.5.2	膨胀土地基隆起变形分析	118
6.5.3	结论	119
6.6	膨胀土填筑路堤的膨胀变形分析	119
6.6.1	概述	119
6.6.2	采用压实膨胀土填筑路堤时的路堤膨胀变形计算	120
6.6.3	结论	127
参考文献		127

第一章 膨胀土的分布和地质成因

1.1 概 论

膨胀土是在自然地质过程中形成的一种具有多裂隙和显著胀缩特性的特殊性黏土。其黏粒成分主要由亲水性黏土矿物(主要是蒙脱石和伊利石等)组成,具有超固结性、多裂隙性、遇水膨胀、失水收缩开裂且反复变形等特殊工程性质,与一般黏性土显著不同。由于膨胀土具有多裂隙性以及土体中裂隙的杂乱分布,膨胀土对建筑物产生的变形破坏作用往往伴有长期潜在危险的特点。膨胀土的不良工程特性导致的工程问题或地质灾害的频繁发生及其在世界各国的广泛分布,使得膨胀土问题成为困扰各类浅表层轻型工程建设的全球性技术难题,也是当今岩土工程和工程地质领域中世界性的重大工程问题之一^[1]。

1.1.1 膨胀土的定义

关于膨胀土的定义曾在第二次国际膨胀土研究会议上有过讨论,结论是膨胀土是一种对于环境变化,特别是对于湿热变化非常敏感的土,其反映是发生膨胀和收缩,产生膨胀压力。影响土的膨胀性的主要矿物是蒙脱石。

在我国文献中主流定义膨胀土指的是一种具有吸水膨胀、失水收缩的黏性土,其主要黏土矿物成分是蒙脱石和伊利石,或伊利石-蒙脱石。这与国际上的含义相比,少掉了产生膨胀压力的内容。应指出的是吸水膨胀和失水收缩是黏性土的共性,亦是其区别于非黏性土的主要特性之一,不能将所有的黏性土都说成是膨胀土。只有当黏性土的胀缩性增大到一定程度,产生膨胀压力或收缩裂缝,并足以危害建筑物的稳定与安全时,才可将其作为一种特殊土从中独立出来,称“膨胀土”。这是膨胀土的定性含义^[2]。

1.1.2 膨胀土的主要物理力学特征

- 1) 粒度组成中,通常黏粒($d < 2\mu\text{m}$)含量大于 30%。
- 2) 黏土矿物成分中,伊利石和蒙脱石等强亲水性矿物占主导地位。
- 3) 土体湿度增高时,体积膨胀并形成膨胀压力;土体干燥失水时,体积收缩并形成收缩裂缝,反复的干缩湿胀,使土中的裂隙发育,不仅破坏土体的连续性和完整性,而且也形成了地表水浸入的通道,同时水的浸入又加速了土体的软化及裂隙

生成。因此工程上常将膨胀土称作裂隙土,说膨胀土具有多裂隙性。

4) 膨胀、收缩变形可随环境变化往复发生,导致土的强度衰减。

5) 多数属于液限大于 50% 的高液限土。

6) 超固结性:膨胀土在沉积过程中,在重力的作用下逐渐堆积,土体将随着堆积物的加厚产生固结压密。由于自然环境的变化和地质作用的复杂性,土在自然界的沉积作用并不一定都处于持续的堆积加载过程,而是常常因地质作用而发生卸载作用。膨胀土在反复胀缩变形过程中,由于上部荷载(土层自重)和侧向约束作用,土体在膨胀压力作用下反复压密,土体表现出较强的超固结特性。这种超固结与通常的剥蚀作用产生的超固结机理完全不同,是膨胀土由于含水率变化引起的膨胀压力变化产生的,是膨胀土特有的性质。

1.2 工程建设中的膨胀土问题

1.2.1 膨胀土的分布及其地质成因

膨胀土分布十分广泛,它在世界六大洲中的 40 多个国家都有分布^[5~8]。不同国家对膨胀土概念理解的不统一,因此膨胀土的名字也就多样化,如印度、中非和东非的“黑棉土”、中国的“胀缩土”或“裂隙黏土”、日本的“问题黏土”、澳大利亚和南非的“黑泥”、英国的“伦敦黏土”和美国的“隐藏的危害”等^[2,9]。据统计,美国由于膨胀土造成的损失平均每年高达 20 亿美元以上,已超过洪水、飓风、地震和龙卷风所造成的损失的总和,全世界每年造成的损失达 50 亿美元以上^[10]。

我国是世界上膨胀土分布最广、面积最大的国家之一。自 1950 年以来,我国各地先后发现膨胀土危害的地区,已达 20 多个省、市、自治区。根据各地资料和国内历次有关膨胀土会议的文件记载,我国已陆续发现有膨胀土的省市区主要有云南、贵州、四川、陕西、广西、广东、湖北、河南、安徽、江苏、山东、山西、河北、吉林、黑龙江、新疆、湖南、江西、北京、辽宁、甘肃、宁夏、海南等。国内各地区膨胀土的详细分布情况如图 1.1 所示。由图 1.1 可见:我国膨胀土主要分布在从西南云贵高原到华北平原之间各流域形成的平原、盆地、河谷阶地,以及河间地块和丘陵等地。其中,尤以珠江流域的东江、桂江、郁江和南盘江水系,长江流域的长江、汉水、嘉陵江、岷江、乌江水系,淮河流域、黄河流域以及海河流域的各干流水系等地区,膨胀土分布最为集中。

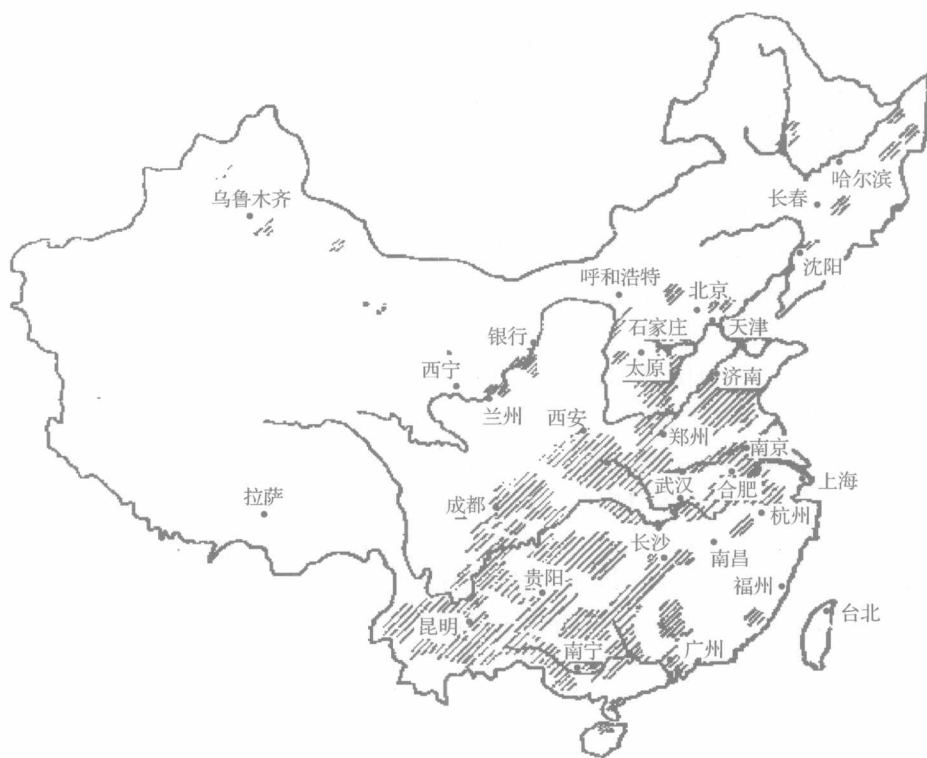


图 1.1 中国膨胀土分布图

1.2.2 工程建设中的膨胀土问题

1) 在天然状态下,膨胀土通常强度高,压缩性较低,在地面以下一定深度取样时难以发现宏观裂纹。但一旦在大气中暴露,含水率发生变化时,很快出现大大小小的裂纹,土体结构迅速崩解,透水性不断增加,强度迅速减小直至为零。膨胀土边坡常在极缓的情况下发生滑动。我国在总结膨胀土地区修建铁路的经验中就有“逢堑必滑,无堤不塌”之说^[11,12]。我国南方诸省广为流传的“晴天一把刀,雨天一团糟”和“天晴张大嘴,雨后吐黄水”,则可以说是对膨胀土强度特性和胀缩特性规律的高度概括和逼真写照。

2) 膨胀土素土作为堤坝回填土时,因其干密度与含水率关系非常密切,很难压实,压实质量难以控制。若碾压质量不好,在运行过程中,填土含水率增加时土体极易产生膨胀变形,含水率降低也会在土体中产生干缩裂隙,使土体渗透性变化,外界水分极易进入。干缩裂隙的扩展,对地基土上的路面结构和地表防渗层的连续性破坏极大。

3) 当建筑物基础直接与膨胀土层接触时,即使基础建基面位于地下水位以下,由于建筑物荷载变化,土体体积和强度仍然会不断发生变化,给工程带来负面影响。

1.2.3 高速公路建设中需要解决的膨胀土问题

由于膨胀土分布的广泛性,在膨胀土地区修筑高速公路这样巨型带状工程时,不可避免地会穿越膨胀土地区,若处理不当,会严重危害高速公路正常运行。尤其是在南方降雨充沛地区,存在比较明显的干湿循环,在湿润多雨的季节,膨胀土吸水膨胀,路面结构层要承受向上的膨胀力;同时,在干燥季节又承受下卧膨胀土的收缩带来的影响。因此在路面结构层中通常会出现裂缝,这些裂缝又随之反映到路面上。随着一年年的潮湿、干燥季节的往复循环,路面结构层承受着犹如“大地的呼吸”般上下起伏的影响。其上的裂隙会越来越大,从而影响了公路的正常使用。裂缝的出现也使得大气降水“有孔可入”,这加剧了裂缝的进一步展开。同时,水的浸入使得路基出现软化,加速路面结构破坏,缩短了路面的使用年限^[13]。反复的干湿循环效应还使得土体发生崩解,加之路基内部的含水率分布不均,使得路基内部产生不均匀的胀缩变形,在路面表现出来的就是波浪式的变形特征,影响了公路的安全使用。如图 1.2 所示为江苏某公路路堤填土发生膨胀变形引起路面破坏的照片。

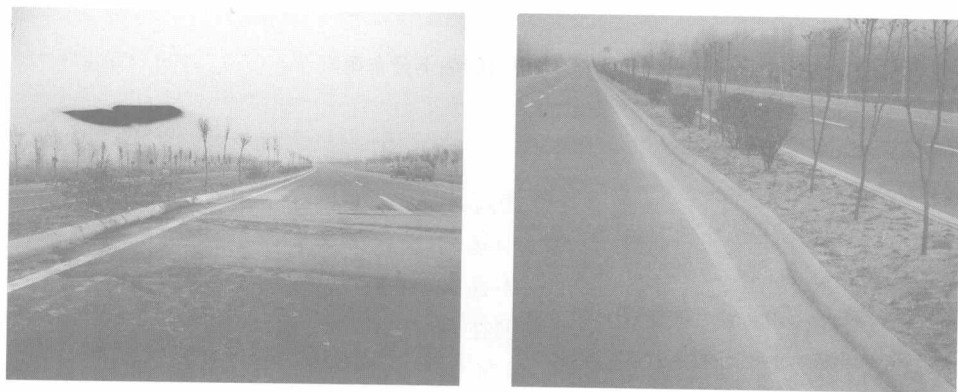


图 1.2 江苏某公路发生膨胀变形后的照片

鉴于以上问题,许多国家的技术标准规定不准许用膨胀土作路基填料,要求使用非膨胀土填料置换膨胀土。改革开放以来,我国各地高等级公路数量日益增加,特别是近十多年来,我国加大了高速公路修建力度,而许多路线不可避免地穿越膨胀土地区,当膨胀土的工程特性指标(特别是当承载比 CBR 值和胀缩总率)不能满足公路路基设计规范要求时,人们便面临要么用大量的非膨胀土置换膨胀土,要么

对膨胀土进行土性改良以满足路基设计规范要求。由于采用置换的方法经济上不划算,而且弃土会造成环境污染。因此,目前高速公路建设中膨胀土问题的研究重点集中在如下几个方面:

- 1) 如何利用弱到中等膨胀土来填筑路堤,主要研究膨胀土填料改良方法。
- 2) 改良膨胀土的施工工艺研究。
- 3) 改良膨胀土路堤填土施工质量控制标准的研究。
- 4) 膨胀土填料改良效果分析,包括改良膨胀土膨胀性研究、强度特性研究、微观结构分析和改良膨胀土水稳定性分析等。
- 5) 天然膨胀土路基膨胀变形分析和改良膨胀土路堤的膨胀变形分析。

1.3 中国主要省区膨胀土分布与工程特性

1.3.1 广西壮族自治区

广西膨胀土具有种类多与分布广的特点,主要分布于南宁盆地、宁明盆地、百色盆地和桂中岩溶平原等全区 7 个市、27 个县(图 1.3)。广西膨胀土按成因、地层和土(岩)性可分为三大类、六个亚类:I 类为第三系湖相半成岩及其风化物,其中黏土质岩及其风化形成的黏土为 I1 亚类,粉砂质黏土岩及其风化形成的亚黏土为 I2 亚类。II 类为碳酸盐岩风化形成的残坡积膨胀性黏土,其中以红为基色的为 II1 亚类,以黄为基色的为 II2 亚类。III 类为第四系河流冲积膨胀性黏土,其中以红或黄为基色的为 III1 亚类,以白或灰为基色的为 III2 亚类。

南宁盆地位于广西西南部,大致呈北东向,略呈北东东至南西西的纺锤形,周围有低山丘陵环绕,盆地内地势基本平坦,邕江自西向东穿越盆地腹部,两岸发育有六级阶地。盆地内膨胀土分布的地区主要有南宁、武鸣、邕宁、横县等,上述三种成因均有出现。

宁明盆地位于广西西南部,为东西向构造断陷盆地,明江自东向西流过,两岸发育有二级阶地。膨胀土主要分布在宁明、上思、大新、扶绥、崇左、凭祥等,为第三系始新统湖相沉积泥岩的风化残积——坡积土。

百色盆地位于广西西部,呈北西—南东向长条形分布,右江横贯整个盆地。盆地内分布有膨胀土的地区主要有百色、平果、田东、田阳等,成因类型为第三系泥岩风化后形成。

桂中岩溶平原的膨胀土分布于贵港(贵县)、柳州和桂林三个区域,由碳酸盐岩风化残积物演化而来,以胀缩性红黏土形式存在。在这些区域内膨胀土广泛分布于岩溶准平原、洼地、谷地,主要地区有贵港、平南、桂平、柳州、来宾、武宣、桂林等。

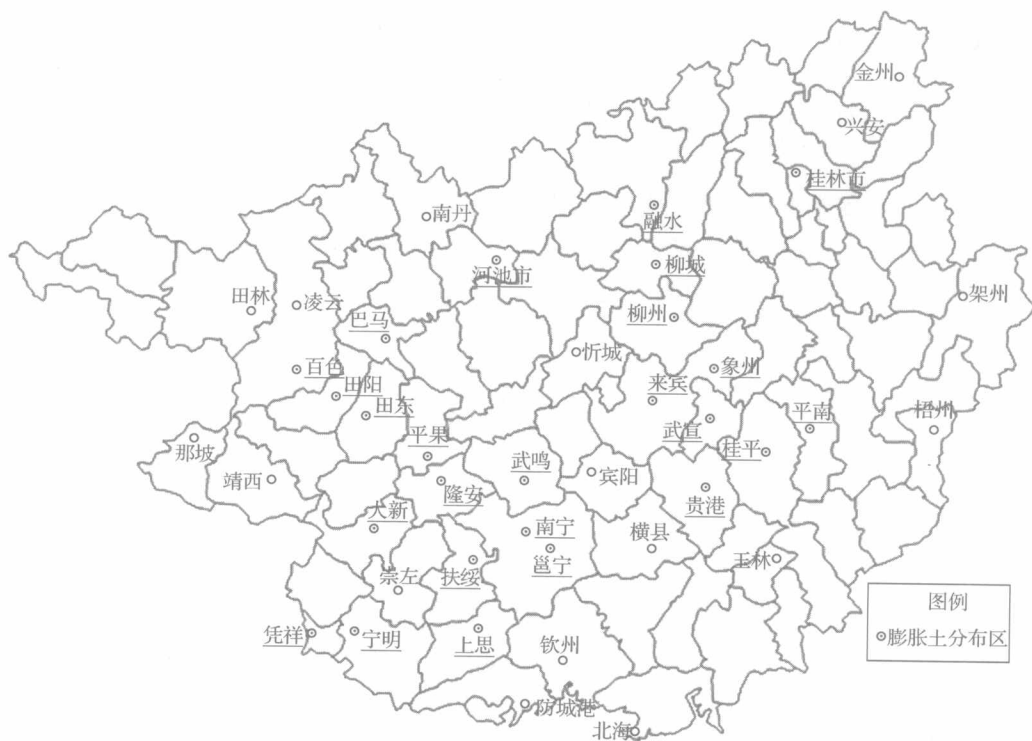


图 1.3 广西膨胀土分布图

对广西典型的膨胀土分布地区宁明盆地、百色盆地和南宁盆地的南(宁)友(谊关)高速公路、南宁市快速环道、百(色)乐(业)高速公路、南(宁)坛(洛)高速公路、水(任)南(宁)高速公路、百(色)罗(村口)高速公路、南(宁)北(海)高速公路膨胀土物理力学性质指标的调查发现:广西膨胀土干密度在 $1.08 \sim 1.57 \text{g/cm}^3$ 之间,与国内其他地方相比,干密度偏低。膨胀土的密度不仅是表征土的膨胀潜势的基本物理指标,而且也是计算膨胀土边坡稳定性和土压力的重要计算指标,它与膨胀土的结构、颗粒成分和含水率有密切关系。对于同一土体,当饱和度增大时,土的天然密度也越大,此时膨胀势变小、收缩势变大。换句话说,土的胀缩潜势与干密度有密切关系,因为干密度直接表征了单位土体内的固体物质所占的比例。因为干密度低,广西膨胀土具有较强的收缩性。

广西各条高速公路公路沿线的膨胀土自由膨胀率平均值在 $43.9\% \sim 54.9\%$ 之间,南友路个别地点最大值达到 81.5% ,而根据工程病害的调查资料显示,自由膨胀率大于 80% 的土将对工程具有严重危害。

通过分析扫描电镜图像分析,广西膨胀土微结构具有以下特征:

1) SEM 照片中的土颗粒呈薄片状者占优势。有的片状颗粒宽大,并有些弯曲,主要为蒙脱石或伊里石/蒙脱石混层矿物;有的片状晶粒细小,边长一般小于 $10\mu\text{m}$,没有明显的弯曲,主要为伊利石,其中少数颗粒为六边形,系高岭石。

2) 对于片状颗粒宽大者占优的情况,颗粒呈多层状排布,颗粒间多呈面一面接触,形成面一面叠聚体。这种情况在电镜观察中遇到最多,所以可以认为该种面一面叠聚体是广西膨胀土中占主导地位的基本组构单元。

3) 对于片状晶粒细小者占优的情况,颗粒呈无规则排布,颗粒间多为点一点或点一面接触。

4) 对于颗粒呈多层状排布的情况,孔隙多为狭缝状,孔隙间连通性较差。也有少数孔隙宽阔,形状不规则。

5) 对于颗粒呈无规则排布的情况,孔隙形状无规则,连通性较好。

6) 有少数试样的 SEM 照片显示颗粒形状及颗粒间的界限均不明显,颗粒排列和接触情况看不清楚。这意味着该试样颗粒间可能存在较多的胶结物。

1.3.2 云南省

云南膨胀土按其矿物成分和地质成因可以分为以下四大类:

甲类:一般黏性土类膨胀土,亲水性矿物为伊利石、蒙脱石、高岭石。为 Q4 时代形成,属残积、坡积及其他混合类型。岩性上,红褐、黄褐、浅灰等色的黏土、亚黏土及黏土岩、泥灰岩残积层,坚硬到硬塑状态,光滑裂隙面发育。成土母岩多为泥灰岩、黏土岩、泥质页岩、石灰岩、白云质灰岩、粉砂岩、玄武岩等,主要分布于小龙潭、曲靖、昭通、蒙自、建水、昆明等地。

乙类:红土类膨胀土,亲水性矿物为伊利石为主。为 Q3 时代形成。属碳酸盐类风化的残积、坡积层及铝土岩风化物。接近地表外的褐红、褐黄、灰白及杂色的黏土,孔隙比大、含水率高,坚硬到硬塑状态,多含铁锰质结核,其下褐黄及灰白色黏土,土颗粒细腻,光滑裂隙面发育,胀缩性强。分布于昆明、砚山等地。

丙类:超压密膨胀土,亲水性矿物为蒙脱石、伊利石、高岭石。为 N 时代形成,属湖积相。呈褐、黄、灰白等色,黏土为主,湖盆边缘沉积者多夹亚黏土层,坚硬到硬塑状态,含铁锰质结核,光滑裂隙面发育,土的孔隙比低,强度高,胀缩性强。鸡街、小龙潭、建水为代表。

丁类:高孔隙比膨胀土,亲水性矿物为蒙脱石、伊利石。为 N—Q1~3 形成,属湖积相。黄褐及灰白色为主,一般为高孔隙比、高含水率、高塑性黏土,硬塑到坚硬状态,含铁锰质结核,裂隙发育,裂隙面常具有油脂光泽并带擦痕,土的胀缩可逆性变形幅度大,浸水后强度衰减显著。昭通、蒙自、曲靖、昆明皆有分布。

Q3 以前形成的膨胀土层为的湖相沉积物及第三系含煤段内的高塑性黏土,多具有较强的膨胀潜势。母岩多属泥灰岩、黏土岩、石灰岩、白云质灰岩、页岩、铝土

岩、玄武岩等。一般为黄、褐红、灰白色黏土或黏土,在自然状态下呈坚硬或硬塑状态,土颗粒细腻,有滑感,裂隙发育,裂隙面光滑并常具有油脂光泽及擦痕,裂隙间局部有灰白色黏土充填。

云南膨胀土地形地貌及分布规律:膨胀土多出露于盆地边缘低丘、山前缓坡、河流二级以上阶地和隐伏岩溶发育地带。在岩溶地区或岩相变化较大地段膨胀土常呈“鸡窝”状分布。膨胀土分布地区地形平缓,无明显的自然陡坎和深沟幽谷,河流阶段常被掩埋或夷平,丘陵酷似“馒头”状,丘顶浑圆,坡面舒缓。

1.3.3 湖北省

湖北膨胀土分布区属于南襄断拗南部的襄枣断陷,断陷发育于晚白垩世,北呈斜坡进渡至新野凸起,构造线呈北西西向,与断陷南部及两侧隆起山系的延伸方向相协调。在地层上,膨胀土主要由第四系中上更新统、全新统地层构成,其下伏为白垩系红色砂岩,局部地段可见其出露。中上更新统(Q2-3)为棕红色亚黏土层,具似网纹结构,垂直节理发育,含钙质结核及灰白色高岭土、灰黄色、棕黄色砂砾岩,浅褐黄色亚黏土或亚黏土层,深黄色、褐色铁质亚砂土或铁质夹层,含铁锰质结核。全新统(Q4)为灰色、灰黄色粉细砂、亚砂土、亚黏土层,局部夹黏土透镜体,偶夹深色有机质条带。

孝襄段膨胀土由于其形成年代的不同,导致膨胀土的内在组成及外观表象的差异,这有利于识别膨胀土的不同成因类型,结合地形地貌,其成因类型可分为三类:冲积型、冲洪积型、残坡积型。

冲积型(Q3):主要由褐色、棕褐色、棕色低液限或高液限黏土及亚黏土组成,呈硬塑状态。主要分布于汉江的支流水系清河、唐白河、滚河、沙河的一级或二级阶地上,具典型的河流二元结构,海拔高程一般在 75~95m。

冲洪积型(Q3):主要由褐色、棕褐色、黄褐色低液限或高液限黏土及亚黏土组成,呈硬塑状态,土中含有较多的铁锰质结核,结核粒径一般为 1~3mm 左右。主要分布于汉江支流水系的二级或三级阶地上,海拔高程一般为 85~100m 左右。

残坡积型(Q2-3):主要由褐红色、棕褐色、黄色高液限黏土及亚黏土组成,呈硬塑状态,土中含少量的铁锰质结核。其主要分布于垄岗,海拔高程一般在 100~125m 以上。

湖北膨胀土的矿物成分由碎屑矿物与黏土矿物两部分组成。碎屑矿物占总量的 40%~70%,主要为石英和长石组成,其中石英一般在 30%~60%,长石一般在 5%~20%;黏土矿物占总量的 30%~49%,主要由蒙脱石、高岭石、伊利石组成,其中蒙脱石一般在 6%~25%,伊利石在 10%~24%,高岭石在 5%~10%。通过 X 荧光成分分析,孝襄段膨胀土的化学成分以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 TiO_2 为主,其中的 SiO_2 含量为 60.26%~73.39%, Al_2O_3 的含量为