

工程中土的流变特性 及其应用

杨元明 等著

The Characteristic of Rheological of Soil
and Applied in Engineering



地质出版社

工程中土的流变特性 及其应用

杨元明 等著



西安地图出版社

责任编辑：马京鸣

封面设计：赵冰

图书在版编目(CIP)数据

工程中土的流变特性及其应用 / 杨元明等著. —西安：西安
地图出版社，2006.9

ISBN 7-80670-992-4

I. 工… II. 杨… III. 土木工程—土体流变学
IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 105756 号

工程中土的流变特性及其应用

杨元明等著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮编：710054)

新华书店经销 河南省南阳市寰宇印务有限责任公司印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 510 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

印数：0001—1000

ISBN 7-80670-992-4 / TU·28

定价：38.00 元

内容提要

本书介绍一些基础工程如房屋建筑、市政工程或地下建筑物等施工时基础开挖、大坝坝体及公路工程建设中路基基础的土力学特性,特别是土体的流变特性及其在工程上应用的一些研究成果,既有一定的理论基础,又有具体的工程应用背景。

全书共分五章:第一章是宛坪高速路基土体的试验研究;第二章是土体的渗流特性及其工程应用研究;第三章为软土的流变—固结特性及软土地基固结有限元分析;第四章为粗粒土的湿化变形研究;第五章是高层建筑地基基础智能选型方法。

本书可作为高等院校相关专业师生的教学、科研用书,也可作为工程技术人员的设计与施工参考用书。

前 言

本书反映的是作者在一些基础工程如房屋建筑、市政工程或地下建筑物等施工时基础开挖、大坝坝体及公路建设中的路基基础的土力学特性特别是土体的流变特性及其在工程上的应用的一些研究成果,既有一定的理论基础,又有具体的工程应用背景,因此,结集出版这本书,我们感觉还是很有必要的,尽管它还远不能达到这个学科的前沿的研究水准,但由于它的工程背景,这本书的出版,对于相关专业的工程技术人员来说还是有所裨益的。

全书共分五章。第一章是宛坪高速路基土体的试验研究,主要针对建设中宛坪高速路基土体包括原状膨胀土、回填膨胀土以及改性土体进行了物理性质试验、力学性质试验、水理性质试验和特殊性质试验的研究,并且确定其的各项性能指标,分析对比了三类土体土力学性质上的差异,对其在工程建设与施工提出了对应措施。第二章是土体的渗流特性及其工程应用研究,主要研究深基坑工程的土体力学性状,渗流(饱和渗流及饱和-非饱和渗流)规律以及水、土及支护结构相互作用规律,结合目前深基坑工程数值模拟及实时优化研究的理论需求和发展现状,在对几个具体深基坑工程进行系统分析的前提下,应用并融合了有限元分析、神经网络、模糊逻辑、遗传算法、灰色理论、突变理论、数理统计等多项理论和技术,对建筑深基坑及水库围堰进行了多方面的研究。第三章为软土的流变-固结特性及软土地基固结有限元分析,在对土固结理论和流变理论的发展进行简要的总结的基础上,通过软土三轴压缩蠕变试验,分析软土在不同排水条件和加荷速率下变形随时间发展的规律;同时,运用有限元法对非线性弹-粘性固结问题进行分析,在 TDBC-95 程序基础上,采用 Fortran90 语言改编有限元计算程序,并用此程序对某软土地基固结沉降进行有限元分析。第四章为粗粒土的湿化变形研究,介绍了土体的湿化变形,对土体湿化变形机理和防治措施进行了简要的分析;提出了湿化变形的计算方法,对湿化变形计算中有关浮力的处理、单元拉裂、剪切破坏后的应力修正等进行了研究和探讨;结合算例,采用非线性弹性模型,对土体的分级加荷、湿化变形对应力场、位移场的影响等进行了分析。第五章是高层建筑地基基础智能选型方法,分析了地基基础选型的过程与特征,规划了基础方案优选时的五个目标级性能指标,给出了它们的多级性能分解模型图,建立科学的性能评价模型,给出了表征因素或性能间相对重要程度的权重向量的确定方法;介绍建立了基于规则推理、实例推理和知识发现方法的备选方案产生方法;分析介绍了基于模糊评判与模糊辨识、模糊推理、BP 神经网络、模糊神经网络的智能优选方法,并给出了将它们用于基

础方案优选的算法和网络结构。

全书总体结构由杨元明负责并统稿，各章写作分工为：第一章由杨元明、李海军、孔德军、王建海执笔，第二章由沈细中、张伟、赵冰执笔，第三章由张波、司马玉洲执笔，第四章由杨元明执笔，第五章由张世海执笔。本书的出版得到了南阳理工学院郭建生教授、西安地图出版社马京鸣老师及陕西电子杂志社孙彩贤社长的大力支持，周士军、文凯、李光文、倪静、刘振义、王永强、秦娇娇同学也付出了辛勤的劳动，在此，向他们表示谢意。限于作者水平与经验，错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

杨元明

二〇〇六年八月于南阳理工学院

目录

前言

第一章 宛坪高速路基土体的试验研究	1
1.1 引言	1
1.2 原状土的工程性质研究	4
1.3 宛坪高速公路路基回填土的工程性质试验研究	46
1.4 宛坪高速公路路基改性土的试验研究	76
1.5 参考文献	123
第二章 土体的渗流特性及其工程应用研究	124
2.1 概述	124
2.2 深基坑工程弹-塑-粘性有限元分析	130
2.3 深基坑工程饱和-非饱和渗流及应力耦合分析研究	150
2.4 深基坑工程时空效应分析研究	167
2.5 深基坑工程实时优化研究	177
2.6 实例分析	207
2.7 结论	223
2.8 参考文献	226
第三章 软土的流变-固结特性及软土地基固结有限元分析	233
3.1 土固结与流变理论的发展概况	233
3.2 土的流变	240
3.3 考虑土流变特性的固结理论	253
3.4 考虑蠕变特性的尾矿坝地基固结有限元分析	264
3.5 结论	282
3.6 参考文献	283
第四章 粗粒土的湿化变形研究	286
4.1 湿化变形及湿化机理	286
4.2 湿化变形的计算方法	288
4.3 湿化算例及分析	293
4.4 本章小结	297
4.5 参考文献	297

第五章 高层建筑地基基础智能选型方法·····	298
5.1 引言·····	298
5.2 高层建筑地基基础智能选型的过程与特征·····	298
5.3 高层建筑地基基础智能选型的性能指标体系规划·····	303
5.4 高层建筑地基基础智能选型的备选方案产生·····	309
5.5 方案的智能评价方法·····	322
5.6 高层建筑地基基础智能选型的备选方案优选·····	327
5.7 权重向量的确定·····	332
5.8 结论·····	335
5.9 参考文献·····	335

第一章 宛坪高速路基土体的试验研究

1.1 引言

1.1.1 工程背景

膨胀土在世界范围内分布极广,迄今已发现存在膨胀岩土的国家达 40 余个,我国是膨胀岩土分布最广的国家之一,在黄河流域及其以南的 20 余个省区均有不同范围的分布。

近 40 年来,特别是近几年,国际上在土力学、岩石力学和工程地质学等领域十分重视对这一课题的研究和探索,国际岩石力学学会还专门成立了膨胀岩专业委员会,至今已召开了五届国际膨胀土学术会议。1981 年国际岩石力学学会在东京召开的“国际软岩会议”专门将膨胀岩列为一个专题来讨论,近十年来,膨胀岩课题已经引起我国岩土工程界的重视,1988 年工程地质专业委员会召开了首次“膨胀岩学术讨论会”。这些会议都促进了膨胀岩课题研究的进展。同时随着我国工程建设事业的蓬勃发展,必将会遇到更多的膨胀岩土课题。因此,开展膨胀岩土课题的研究在理论和实际方面都具有重大意义。

河南是一个膨胀土广泛分布大省,其大部分地区都分布有膨胀土,给其工程建设及经济发展造成了极大的困难。我们所做的是宛坪高速公路镇平段灰白色膨胀土的试验研究。宛坪高速公路是国家重点公路建设规划“十三纵、十五横”中的第八横,即上海至武威重点干线公路的重点组成路段,也是河南省“五纵、四横、四通道”高速公路网中的“第四横”。该项目的建设对于完善河南省及南阳市高速公路网布局,提高河南省及南阳市的高速公路网的整体效益,增强路网综合功能,打造南阳区域城市功能,均具有十分重要的作用。在我国,把膨胀土作为一种特殊土来对待和研究,仅仅只有 20 余年的历史,虽然取得了不少的成果和成功的经验,但由于膨胀土分布广泛,种类繁多,而且不同地区膨胀土差异较大,作用机理复杂,对其成因的认识还不够充分,因此在工程应用中对膨胀土造成的危害的影响远未达到消除与解决,因而加强对膨胀土的研究工作,是一件现实而有意义的工作。

1.1.2 工程地质情况

膨胀土是指黏粒成分主要由强亲水性矿物组成的,液限大于 40%且胀缩性能较大的黏性土。主要由次生黏土矿物—蒙脱石和伊利石组成,同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩两种变形特性。由于组成成分及比例的不同,其外观一般呈现褐色、红色、黄色或灰白色等,一般土质细腻,黏性大,呈硬塑状态,斜交裂隙和光滑面发育,裂面颜色呈灰白、黄褐等杂色交混,无明显界限。膨胀土的微结构特征值随母岩与地质成因不同而各异,灰白色膨胀土主要是残积膨胀土,由岩石风化而成,富含 CaO 颗粒(疆石结核),镇平段膨胀土主要是泥灰岩风化而成,黏土矿物成分主要以蒙脱石为主,大约占矿物成分的 33%,属第四系中、上更新统膨胀土。

拟建宛坪高速公路位于南阳市西部,地势呈阶梯状,由西北向东南倾斜,地面标高在 130242m 之间。根据地貌形态特征和成因类型将公路走廊带范围内划分为剥蚀岗地区和堆积平原区两个地貌单元。

(1) 剥蚀岗地区

该地貌单元沿线均有零星分布,尤以工作区的中西部分布较为集中,地面标高 180~240m,岗地走向近南北,岗顶平缓略有起伏。沿岗坡“V”型冲沟发育,地表多被棕红色坡洪积地层覆盖。

(2) 堆积平原区

该地貌区主要分布在工作区的中、东部,为南阳盆地的边缘地带,地面标高一般在130~180m之间,为河流冲洪堆积作用所形成,漂流众多,地势平坦开阔。根据成因类型,进一步可划分为冲洪积倾斜平原和冲积带状平原两个亚区。前者地面标高一般120~180m,纵坡降2.0%~3.0%,分布于垄岗以外的广大地区;后者地面标高130m左右,分布于各主要河流两侧呈带状展布。

宛坪高速公路土质主要以膨胀土为主,膨胀土土层主要分布在地表0~4m深度,该工程在镇平段的回填土取土源主要为沿线道路两旁农田,因此回填土大部分为膨胀土。由于膨胀土的特殊性质,即吸水膨胀,失水干缩,已经引发了许多工程事故。

1.1.3 膨胀土的分类

迄今为止,国内外膨胀土分类的方法不少,标准也不统一。主要分为两大类:一类是通过测定蒙脱石含量,如X射线法,电热分析法,染料吸附法,电子显微镜辨别法;另一类为通过对土的自由膨胀率,塑性指数,液限,缩限等的确定,找出膨胀土与非膨胀土的界限指标进行判别。我们以第二种方法为主。

表 1.1.1 收缩指标分类

缩限 (%)	线收缩 (%)	体积变化
<10	>8	严重
10~12	5~8	临界
>12	<5	不严重

我国《膨胀土地区建筑技术规范》(JGJ112-87)规定,自由膨胀率大于40%可判定为膨胀土,特殊情况下尚可根据蒙脱石含量占全量的比例确定,当蒙脱石含量大于7%时,亦可判定为膨胀土,具体分类方法见下表:

表 1.1.2 膨胀土级别

自由膨胀率/%	蒙脱石含量/%	膨胀土级别
>100	>25	强
70~100	15~25	中
40~69	7~14	低

1.1.4 南阳地区膨胀土的特点及分类标准

南阳膨胀土分布广泛,该地区膨胀土不仅有膨胀土的共同性质也有自己的典型特点。

(1) 膨胀土的矿物成分

膨胀土之所以有膨胀性,是由于黏性土中含有亲水的黏土矿物,如蒙脱石、伊利石等。膨胀性实质上是这些黏土矿物晶格中的水,随雨季和旱季、丰水年枯水年的温度变化而增减所致。膨胀性能的大小取决于这些亲水黏土地矿物质在黏性土中的含量高低。含量越高,膨胀性越大,反之,则越小。膨胀土的膨缩性能,除与黏土矿物含量多寡有直接关系外,尚与膨胀土体的含水量、厚度及埋藏或出露条件密切相关。

(2) 含水量的影响分析

土体的含水量决定吸水量的大小,在膨胀范围内,膨胀率与含水量成正比,当含水量达到饱和时,吸水量最小,其膨胀变形渐趋稳定。在收缩范围内,收缩率随含水量减小而减小,当收缩至缩限以后,失水量最小,收缩变形也渐趋稳定。膨胀土体的含水量随季节

变化而变化,也随丰水年和枯水年的变化而变化。土体含水量的这种周期性的变化,导致土体周期性的膨胀和收缩。

(3) 膨胀土体的厚度影响分析

膨胀土的胀缩幅度与其厚度成正比。但当强膨胀土体厚度不大时,其胀缩幅度也不会很大。低膨胀土体厚度大,则胀缩幅度也会很大,只时间过程较长而已。

(4) 膨胀土体埋藏深度的影响分析

膨胀土体埋藏深度对胀缩幅度也起控制作用。据前人对灰绿色黏土的研究认为,膨胀土的埋藏深度(非膨胀土覆盖厚度)如果大于3m,则对膨胀土体的胀缩起缓冲作用。建筑物不致遭其破坏;如果小于3m,则建筑物可直接遭受土体胀缩力的破坏。

对膨胀土的判定各行业采用的标准不尽相同(路基设计规范在条文说明中认为膨胀土的判别标准目前国内外尚不统一),由此可能造成膨胀土分类上的差异。考虑到本项目属于重点公路工程项目,本次研究中对膨胀土的判定主要采用《公路路基设计规范》(JTJ013-95)进行膨胀土潜势分类,分类标准见表1.1.3。

表 1.1.3 膨胀土的膨胀潜势分类

膨胀潜势	弱膨胀	中等膨胀	强膨胀
自由膨胀率(%)	$40 \leq F_s < 65$	$65 \leq F_s < 90$	$F_s > 90$
胀缩总率	0.7-2.0	2-4	>4

1.1.5 南阳膨胀土的物理力学参数

膨胀土由于其组成含有较多的膨胀性黏土矿物(蒙脱石、伊利石),他具有很强的吸水性、高塑性、快速崩解及剧烈的胀缩性。膨胀土的胀缩性除了受土体自身的黏土矿物成分及含量控制外,土体的基质吸力及含水量的变化也是重要因素。通过室内试验测得南阳膨胀土的部分物理力学参数,见表1.1.4。南阳膨胀土的黏土矿物成分见表1.1.5。从这些物理力学参数可以看出南阳膨胀土属于中等强度膨胀性的黏土,黏土矿物主要有伊利石,其次是蒙脱石,还有少量的高岭石、水云母和绿泥石等。

同时,南水北调中线工程中也遇到了膨胀土的问题,其总干渠沿线涉及膨胀土的范围广、工程地质复杂,任何局部的边坡失稳、衬砌结构的破坏都可能影响渠道的正常输水。南水北调中线工程贯穿长江、淮河、黄河、海河四大流域,中线工程总干渠明渠段渠坡或渠底涉及到膨胀土(岩)长度约340千米。膨胀土主要分布在河南南阳一带,试验段初选在南阳湍河附近;膨胀岩在河南省大多分布在沙河南至漳河南渠段,试验段初选在河南省新乡瓠王坟渠段,长1700米。

表 1.1.4 南阳膨胀土的物理力学参数

G_s	$\rho_d / (\text{kN}/\text{m}^3)$	$W_0(\%)$	$W_L(\%)$	$W_p(\%)$	I_p	粒径(%)			
						>0.05mm	0.05 ~ 0.005mm	<0.005mm	<0.002mm
2.7	16.3	21.4	26.5	58.3	31.8	6.7	48.6	44.6	24.8

表 1.1.5 南阳膨胀土的矿物成分(%)

伊利石	蒙脱石	高岭石	长石	水云母	绿泥石	其他
38.5	23.1	8.3	10.1	5.5	6.4	8.1

1.1.6 膨胀土的危害

由于膨胀土的特殊性质,即吸水膨胀,失水干缩,已经引发了许多工程事故,“雨时流不歇,天旱开大裂”,“晴天一把刀,雨天一团糟”说的就是膨胀土的问题。由于膨胀土对建筑物的危害,人们称膨胀土为“隐藏的危害”,“难对付的土”。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,全世界每年因膨胀土造成的损失达到 50 亿美元以上。据不完全统计,我国由于膨胀土地基致害的建筑面积达 1000 万平方米左右,铁路、公路受到的危害也很严重。宁西铁路就是一个见证,由于宁西铁路所经地区大多为膨胀裂隙土,造成道砟以下的基床不稳定,自工程完工以来,整个宁西铁路共有 263 处出现了塌方现象,造成了不同程度的经济损失。目前,南水北调工程和宛坪高速公路已经在建,关于南阳膨胀土的处理问题已经引起了高度重视,为避免出现工程事故,须加强对南阳膨胀土的试验研究,解决膨胀土的处理问题。在膨胀土地基的处理方面,目前工程建设中处理膨胀土的方法主要是换填,极大的增加了工程造价,影响工程施工进度,给国家造成了大量的经济损失。因此在研究膨胀土性质的同时,应加强对膨胀土的研究工作。

1.1.7 本研究的主要工作

本研究的主要工作是对宛坪高速公路的原状膨胀土、回填膨胀土以及改性的进行物理性质试验、力学性质试验、水理性质试验和特殊性质试验的研究,并且确定其的各项性能指标,以作日后对膨胀土的辨别和分类,为工程施工提供原始的数据资料和参考依据。

1.2 原状土的工程性质研究

1.2.1 土样的采集和保管

1. 土的工程分类

按照粒组的大小可将土分成巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土,膨胀土属于特殊土,他同时也是细粒的黏性土。

2. 土样的采集

土样可在试坑、平洞、竖井、天然地面及钻孔中采取。取原状土样时,必须保持土样的原状结构及天然含水量,并使土样不受扰动。在取得土样后,应对土样进行编号,用标签贴在相应的取土袋上。

3. 土样的保管

- (1) 土样采集后应把土样放在阴凉处,防止水分的蒸发;
- (2) 土样应放在空闲处,防止人为因素而使原状土样受扰动;
- (3) 土样应随用随削。

1.2.2 原状土的制备

1. 原状土试件制备程序

按土样上下层次小心开启原状土包装皮,将土样取出放正,整平两端。在环刀壁涂一薄层凡士林,刀口向下,放在土样上,无特殊要求时,切土方向与天然层次垂直。

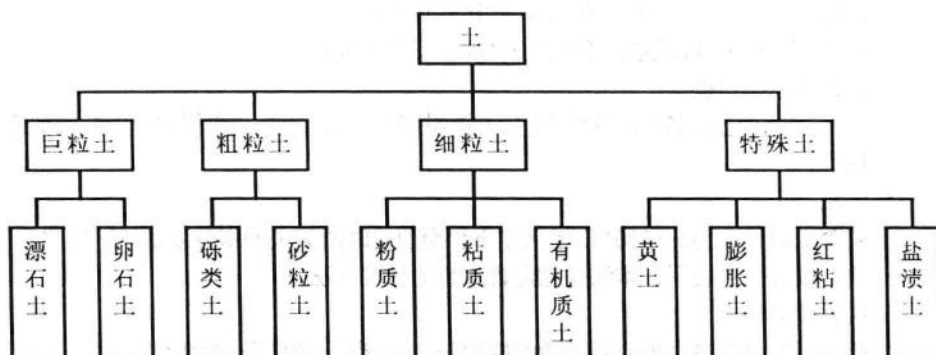


图 1.2.1 土的工程分类

表 1.2.1

土样数量可按下表规定进行采取

试验项目	土样状态	最大颗粒直径 (mm)	土样质量或体 积	备注
含水量	扰动		30~50g	在现场以铝盒取样时， 必须现场称铝盒及湿 土的质量
密度	原状		$\Phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	
液限塑限	扰动		500g	
膨胀收缩	原状		环刀取样	
渗透	原状		环刀取样，环刀 高 40mm	
固结	原状		环刀取样	
三轴压缩	原状		$\Phi 6 \times 80\text{mm}$	
直接剪切	原状		环刀取样	

切削过程中，应细心观察并记录试件的层次、气味、颜色，有无杂质，土质是否均匀，有无裂缝等。如连续切取数个试件，应注意使含水量不发生变化。视试件本身及工程要求，决定试件是否进行饱和，如不立即进行试验或饱和时，则将试验暂存于保温器内。切取试件后，剩余的原状土样用蜡纸包好置于保温器内，以备补作试验之用。切削的余土作物理性试验。平行试验或同一组试件密度差值不大于 $\pm 0.1\text{g}/\text{cm}^3$ ，含水量差不大于 2%。

2. 试件饱和（真空饱和法）

真空饱和所用仪器：

饱和器、真空缸、抽气机等。

操作步骤：

- (1) 将装好试件的饱和器放入真空缸内，盖口涂一薄层凡士林，以防漏气；
- (2) 关管夹，开阀门，开动抽气机，抽除缸内及土中气体，当真空压力表达到一个负大气压力值后，稍微开启管夹，使清水同引水管徐徐注入真空缸内；在注水过程中，应调节管夹，使真空压力表上的数值基本保持不变；
- (3) 待饱和器完全淹没水中后，即停止抽气，将引水管自水缸中提出，令空气进入真

空缸内，静待一定时间，借大气压力，使试件饱和；

(4) 取出试件，称质量，准确至0.1g，计算饱和度。

1.2.3 含水率试验

含水率试验方法有多种，有烘干法、酒精燃烧法、比重法、碳化钙气压法，该试验采用烘干法进行。

1. 定义

土的含水量是在105—110℃ 摄氏度下烘至恒量时所失去的水分质量和达恒量后干土质量的比值，以百分数表示，本法是测定含水量的标准方法。

2. 仪器设备

烘箱：可采用电热烘箱或温度能保持105~110 摄氏度的其他能源烘箱；

天平：杆量0.01g的电子天平；

其他：干燥器、称量盒等。

3. 试验步骤

(1) 取具有代表性试样15~30 克，放入称量盒内，立即盖好盒盖，称质量。

(2) 揭开盒盖，将试样和盒放入烘箱内，在温度105~110 摄氏度恒温下烘干。烘干时间宜为8h~10h。

(3) 将烘干后的试样和盒取出，放入干燥器内冷却（一般只需0.5~1h 即可），冷却后盖好盒盖，称质量，准确至0.01g。

4. 结果处理

按下式计算含水量： $\omega = (m - m_s) / m_s \times 100$

式中： ω —含水量，%； m —湿土质量，克； m_s —干土质量，克；计算至0.1%。

本试验采用了3组12个试样进行了测定，其结果如表1.2.2所示。

1.2.4 密度试验

由于所取试样含有大量疆石易破裂，且形状不好控制，因此采用蜡封法测定试样密度。

1. 仪器设备

杆量为0.01g的天平；烧杯、细线、蜡、针、削土刀等。

2. 试验步骤

用削土刀切取体积大于30立方厘米试件，削除试件表面的松浮土及尖锐棱角，在天平上称量，准确至0.01g；

将蜡加热至刚过熔点，用细线系住试件浸入石蜡中，使试件表面覆盖一薄层严密的石蜡，若试件蜡膜上有气泡，需用热针刺破气泡，再用石蜡填充针孔，涂平孔口；

待冷却后，将蜡封试件在天平上称量，准确至0.01g；

用细线将蜡封试件置于天平一端，使其浸浮在盛有蒸馏水的烧杯中，注意试件不要接触烧杯壁，称蜡封试件在水下的质量，准确至0.01g，并测量蒸馏水的温度；

将蜡封试件从水中取出，擦干石蜡表面水分，在空气中称其质量，将其与3中所称质量相比，若质量增加，表示水分进入试件中；若浸入水分超过0.03g，应该重作。

3. 结果整理

按下式计算土的密度：

$$\rho = \frac{m}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_{wt}} - \frac{m_1 - m}{\rho_n}}; \quad \rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w}$$

表1.2.2

含水率

试样编号		含水率 (%)	平均含水 (%)
试样一	1-1	26.83	26.03
	1-2	26.94	
	1-3	25.18	
	1-4	25.16	
试样二	2-1	27.16	26.39
	2-2	27.08	
	2-3	26.00	
	2-4	25.30	
试样三	3-1	32.00	28.83
	3-2	28.80	
	3-3	28.30	
	3-4	26.20	

式中:

m —试件质量, g; m_1 —蜡封试件质量, g; m_2 —蜡封试件水中质量, g; ρ_{wt} —蒸馏水在 $t^\circ\text{C}$ 时密度, g/cm^3 , 准确至 $0.001 \text{ g}/\text{cm}^3$; ρ_n —石蜡密度, g/cm^3 (准确至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$; 一般可采用 $0.92 \text{ g}/\text{cm}^3$); w —含水量, %; ρ —土的湿密度, g/cm^3 ; ρ_d —土的干密度, g/cm^3 。

4 试验记录

表1.2.3为土的密度记录表

1.2.5 界限含水量试验(液、塑限联合测定法)

液、塑限联合测定法是根据圆锥仪的圆锥入土深度与其相应的含水率在双对数坐标上具有线性关系的特性来进行的。利用圆锥质量为76g的液塑限联合测定仪测得土在不同含水率时的圆锥入土深度,并绘制其关系直线图,在图上查得圆锥下沉深度为10mm(或17mm)所对应的含水率即为液限,查得圆锥下沉深度为2mm所对应的含水率即为塑限。

1. 仪器设备

液塑限联合测定仪,包括带标尺的圆锥仪、电磁铁、显示屏、控制开关和试样杯。其中圆锥质量为76g,锥角为300;计数显示为光电式;试样杯内径为40~50mm,高度为30~40mm;称量200g,最小分度值0.01g的电子天平;

烘箱、干燥器;

铝制称量盒、调土刀、孔径为0.5mm的筛、凡士林等。

表1.2.3 土的密度记录表

土样编号	土质量(g)	土+蜡封质量(g)	蜡封试件在水中质量(g)	密度 (g/cm^3)
B22	85.03	88.14	41.95	1.99
B21	80.98	85.33	38.72	1.94
B12	64.09	67.00	31.18	1.96
B11	83.54	88.34	38.14	1.90
B41	113.54	118.58	54.30	1.93
B42	104.62	111.12	48.84	1.90
B31	104.00	110.58	50.64	1.97
B32	110.64	116.73	54.36	1.99

2. 试验步骤

取过0.5mm筛的代表性土样200g, 将试样用纯水调制成均匀膏状, 放入调土皿, 盖上湿布, 浸润过夜;

将制备好的试样用调土刀充分调拌均匀后, 分层装入试样杯中, 并注意土中不能留有空隙, 装满试杯后刮去余土与杯口齐平。并将试样杯放在联合测定仪的升降座上;

将圆锥仪擦拭干净, 并在锥尖上抹一薄层凡士林, 然后接通电源, 使电磁铁吸住圆锥;

调节零点, 使屏幕上的标尺调在零位, 然后转动升降旋钮, 试样杯则徐徐上升, 当锥尖刚好接触试样表面时, 指示灯亮, 立即停止转动旋钮;

按动控制开关, 圆锥在自重下沉入试样, 经5秒后, 测读显示在屏幕上的圆锥下沉深度, 然后取出试样杯, 挖去锥尖的凡士林, 取锥体附近的试样不少于10g, 放入称量盒内, 测定含水率;

将试样从试样杯中全部挖出, 再加水或吹干并调匀, 重复以上的试验步骤分别测定试样在不同含水率的圆锥下沉深度。液塑限联合测定至少在三点以上, 其圆锥入土深度宜分别控制在3~4mm, 7~9mm和15~17mm。

表1.2.4 土的液塑限记录表

试样编号	圆锥下沉深度 h(mm)	盒号	称量盒质量 m(g)	湿土+称量盒质量 m_1 (g)	干土+称量盒质量 m_2 (g)	含水率 W (%)	液限 W_L (%)	塑限 W_P (%)
1	4.80	30	14.50	45.68	37.15	37.7	50.8	26.5
2	9.40	100	15.34	43.73	34.29	49.8		
3	17.38	15	16.53	47.71	35.74	62.3		

3. 结果整理

按下式计算试样含水率:

$$w = \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_0} \quad 00\%$$

式中: w — 含水率 (%), 精确至 0.1%; m_1 — 干土、称量盒质量 (g); m_2 — 湿土、称量盒质量 (g); m_0 — 称量盒质量。

2.5.4 试验记录

在含水率与圆锥下沉深度的关系图上查得圆锥下沉深度为 17mm 所对应的含水率为 17mm 液限; 查得圆锥下沉深度为 10mm 所对应的含水率为 10mm 液限; 查得圆锥下沉深度为 2mm 所对应的含水率为塑限, 取值以百分数表示, 准确到 0.1%。

按下式计算塑性指数:

$$I_p = \omega_L - \omega_P$$

式中: I_p — 塑性指数, 精确至 0.1; ω_L — 液限; ω_P — 塑限。

按下式计算液性指数:

$$I_L = \frac{\omega_0 - \omega_P}{I_p}$$

式中 I_L — 液性指数, 精确至 0.01; ω_0 — 天然含水率。

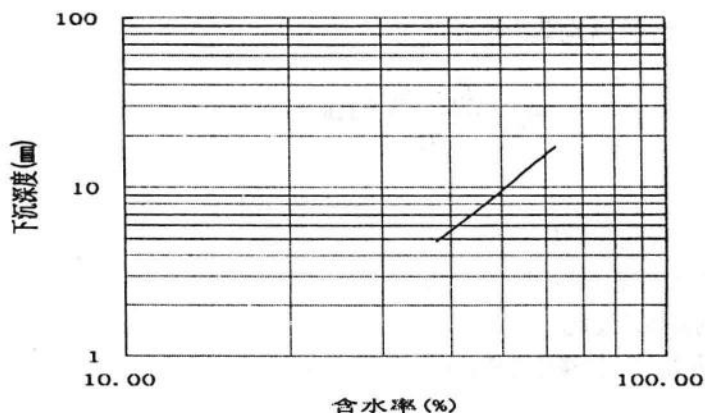


图1.2.2 含水率与圆锥下沉深度关系曲线

1.2.6 膨胀率试验

土的膨胀是指黏性土体在浸水过程中体积增大的现象。所谓膨胀率, 是指试样在有侧限