

# 地质 - 地理环境对土体工程特性的影响<sup>\*</sup>

陈 戈

阎世骏

( 北京大学城市与环境学系 ) ( 国土资源部水文地质工程地质研究所 , 河北正定 )

**摘 要** 松散土体是自然条件下地壳表层系统不断演化的产物 , 土的生成环境及其演化决定着土体的基本特性。按其所处的地质 - 地理环境 , 土体的生成大致可分为同生环境、表生环境和里生环境。地质 - 地理环境的不断演化使土体的结构和性质向着差异性、层次性、不规则性、突变性等非线性特征增强的方向发展。遵循生成 - 演化为主导、结构 - 性质一体化的研究思路 , 本文对我国南方常州市和闽南三角区的软土及天津市和海口的硬土分别进行了研究 , 并重点讨论了演化环境与土体结构特征和物理力学性质之间的关系。

**关键词** 演化环境 工程特性 固结旋回 非线性

## 1 土体性质的影响因素

土是地壳表层系统在外营力作用下不断演化而形成的地质体 , 各种类型的土体共同构成了地壳表层非均质、非连续的散粒状开放系统。它们多形成于新生代 , 由固态颗粒、液态或气态水以及空气等物质组成 , 近地表的土体中还包含有植物根系和微生物。与坚硬的基岩相比 , 土体具有结构松散、力学强度低、易于变化等特点。土的性质取决于它的物质组成和结构 , 组成成分和结构类型各异的土体形成于不同的地质 - 地理环境 ( 土所赋存的外界条件 ) , 它们是地质历史的产物 , 残留着各种地质作用的痕迹<sup>[1]</sup>。从根本上说 , 土体性质取决于它所处的生成环境和演化环境。不同的地质 - 地理环境中发生的各种地质作用是土体形成的驱动力。土体生成环境决定了土的物质成分、粒度成分及固体颗粒的基本排列方式 , 是土体性质的根本影响因素 , 土体演化环境则对土的物理力学性质和化学性质产生不同程度的改造作用 , 使土体的成分、结构和力学强度发生变化。

土中所含的水分、空气和生物等具有很强的活动性 , 容易受到环境变化的影响而发生量或质的变化 , 从而改变土的物质组成、结构类型和土的物理力学性质。由于土体形成的初始环境不同 , 它们对某种地质作用的反应也是不同的 , 如性质相同的土体因其周围介质性质、温度、围压大小等环境因素的差异 , 在同一附加应力作用下所受到的改造程度各异。外界条件相同的情况下 , 不同性质的土体其演化结果也是不同的 , 如坚硬状态的粘土在无侧限压力作用下呈现脆性破裂 , 使其结构的完整性受到破坏 , 非均一性增强 , 差异性增大 , 而塑性状态的粘土则产生塑性变形 , 主要对水膜的形状和厚度产生影响 , 而对结构连接及其差异性影响不大。

土体在漫长的地质历史时期中经历着多种演化环境 , 遭受着各种各样内外营力的作用 ,

<sup>\*</sup> 原地矿部“七五”重点科技攻关项目( 86014-4-3 ) 和国家“八五”科技攻关项目( 85907-06-01-02 ) 联合资助  
第一作者 陈戈 , 1970 年生 , 在读博士生 , 主要从事资源与环境信息系统和环境地质研究 , 邮编 : 100871

这些作用与土本身相互制约、相互影响并形成了复杂多样的演化结果。但是,环境演化对土体作用的总趋势是促使土的物质成分和结构向非均一化方向发展,特别是使土体的结构向着层次性增强的方向发展。因此,演化环境中发生的各种地质作用是造成土体不规则性、不确定性、模糊性、突变性等非线性特征的主要根源。

## 2 土体的生成演化环境

早在 20 世纪 50 年代,张宗祜先生就注意到土体生成演化环境的重大意义并将其应用到黄土的工程地质研究中。他在划分黄土工程地质类型时考虑的首要因素是黄土所处的地质 - 地理环境<sup>[2]</sup>。在研究黄土的形成规律时,将其形成模式概括为黄土的堆积阶段、黄土的原始结构形成阶段、黄土坚固结构形成阶段和黄土的风化与土壤化阶段等 4 个阶段。黄土形成演化的 4 个不同发展阶段均与地质 - 地理环境密切相关,其主要演化作用有土体孔隙中溶液的物理 - 化学作用、生物及微生物的生物 - 化学作用、化学溶液的再结晶作用、盐类的迁移再分配、机械成分的物理分解作用、天然压密作用、胶结作用、土壤化作用和表生风化作用等<sup>[3]</sup>。根据演化成因的系统研究,张宗祜先生提出了黄土化作用的新概念,从而揭示了黄土工程特性形成与变化的本质,丰富了沉积地层学、土质学研究内容,为黄土区地质灾害的研究和防治提供了理论依据。

除黄土外,对工程建筑有较大影响并且分布广泛的软土、硬土、红土、冻土等土体都是特定地质 - 地理环境的产物。一般而言,土体的生成演化环境可分为同生演化环境、表生演化环境和里生演化环境。

同生演化环境系指现代沉积盆地和沿海滨岸地带。在这种地质 - 地理环境中,土体处于演化的初级阶段,即土的形成与演化基本上同步进行。土中的孔隙溶液与土体沉积环境的溶液基本相同,以孔隙溶液的物理化学作用为主,如凝聚、胶结、离子交换作用等。土粒间水化膜厚度大,联结力微弱,呈块状构造及散粒结构,成分和结构较均匀。处于同生沉积环境中的土体工程特征主要表现为力学强度低、受力变形大、固结程度差。

表生演化环境系指地壳表层包气带和地下潜水水位变动带范围。表生演化环境处于岩石圈、大气圈、水圈和生物圈的交汇地带,经受着众多外营力频繁剧烈的作用,加之人类工程活动的影响,大大增加了环境变化对土体作用的强度,快速而明显地改变着土体的结构和性质,使土体结构的差异性、层次性增强,土颗粒间的联结力发生变化,土体的力学强度随之改变。总体上看,土体的性质和结构向着非均质性、突变性和不确定性等非线性特征增强的方向发展。

里生演化环境系指深埋于地下深处的饱和带范围。该环境一般是较为封闭的还原环境,以自重压实作用和厌氧细菌等微生物的生物 - 化学作用为主。在这种环境条件下,土颗粒间的联结力增大,土体结构的均一性、整体性增强,非线性特征减弱,从而使土体的力学强度提高。一般情况下,里生演化强度较小,对土的结构和性质的改造速率较慢<sup>[4]</sup>。

## 3 软土的演化环境及其特征

软土主要分布于现代湖盆和滨海沿岸地带,处于同生、表生和里生演化环境。其粒度成分主要为粘土、粉砂质粘土和粉砂,以高含水量、微弱的结构联结、强度低、灵敏易变为其特

点。通过研究闽南晋江和九龙江入海口(泉州、厦门、漳州)软土的工程地质性质可以看出,在软土的生成阶段、生成环境和岩性相同的情况下,不同演化环境软土的物理力学性质具有明显的差异。里生演化环境中的软土与表生演化环境中的软土,物理性质指标值相差6%~26%,力学性质指标值相差45%~40.2%(表1)。

表 1 不同演化环境条件下软土的物理力学性质指标对比

Table 1 Comparison of physical mechanic property indexes of soft soil in different evolutionary environments

项 目		演 化 环 境	表生型	里生型
基本条件	生长环境		河 口 相	河 口 相
	地点		闽南三角区	闽南三角区
	埋深 / m		0.5 ~ 3.0	3.0 ~ 15.0
	地质年代		Q <sub>4</sub>	Q <sub>4</sub>
	土的名称		淤 泥	淤 泥
	塑性指数 I <sub>p</sub>		20.0 (15)	23.0 (160)
	液性指数 I <sub>L</sub>		1.12 (15)	1.85 (100)
物理力学性质	天然含水量 w( H <sub>2</sub> O )%		51.7 (14)	69.5 (150)
	天然重度 γ/kNm <sup>-2</sup>		16.9 (14)	15.9 (150)
	天然孔隙比 e <sub>0</sub>		1.40 (14)	1.87 (149)
	压缩系数 a <sub>v</sub> /MPa		0.93 (12)	1.70 (146)
	固结系数 C <sub>v</sub> /×10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s		1.52 (1)	0.52 (11)
	直接快剪	内聚力 c/kPa	23.0 (7)	6.8 (21)
		内摩擦角 φ°	4.82 (7)	0.96 (21)
	超固结比 P <sub>c</sub> /P <sub>0</sub>		14.8 (1)	0.97 (5)
备 注	括号内数据为实验个数			

4 硬土的演化环境及其特征

在物理力学性质上,坚硬粘性土以低含水量、低渗透性、微压缩性和坚硬状态为其特点,大多赋存于里生演化环境。我们在研究天津市和海南省海口市地面沉降机理时发现,两地的深层坚硬粘土均生成于上新世(N<sub>2</sub>)河湖相沉积环境,一般物理力学性质相近似,只有渗透固结特性差别很大。海口市硬土的实验固结曲线与太沙基理论固结曲线相吻合,而天津市硬土的实验固结曲线具有突变转折点,以此转折点为界可将曲线一分为二,每一部分又自成系统,各自的曲线形态与太沙基理论固结曲线相似。我们将初始部分称第Ⅰ固结旋回,第二部分称第Ⅱ固结旋回(图1)。

在某一恒定荷载作用下产生不同的固结旋回是孔隙大小的差异性造成的。天津市地处新构造运动强烈地区,坚硬粘土在较强的构造营力作用下,产生大量微裂隙,这些微裂隙与沉积成因的较大孔隙(孔径≥0.08 μm)相连通,其中赋存着重力水和毛细水等非结合水,构成与第Ⅰ固结旋回相对应的渗透固结系统;土中的较小孔隙(孔径0.08~0.02 μm)中主要赋存着弱结合水。随着固结时间的延续,有效应力逐渐增加,当其等于或大于这些孔隙的结构强度时,则孔隙被压缩,赋存于其中的弱结合水骤然释出,固结速率突然增大,出现了固结

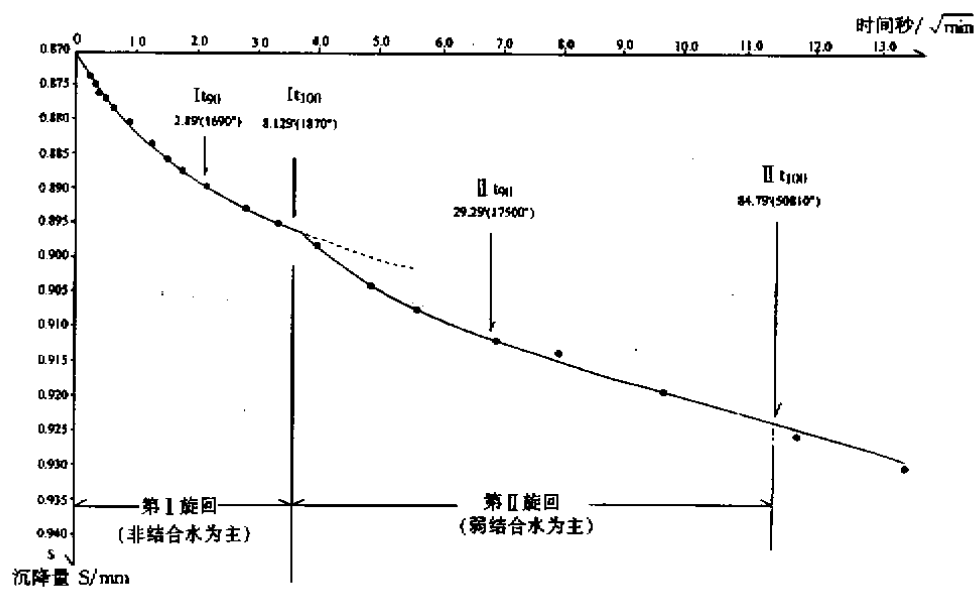


图 1 天津市坚硬粘性土固结沉降曲线

Fig. 1 Consolidation settlement curve of hard cohesive soil in Tianjin

曲线的转折点,从而出现了第 II 固结旋回。海口地区新构造应力强度较弱,内动力作用强度不明显,以自重压实作用为主,硬土结构的差异性较弱、均一性较强,符合太沙基固结理论的基本假设,所以固结曲线与其理论曲线相吻合。

5 结论与建议

土体的生成演化环境是使土体结构和物理力学性质向非均质性、不确定性和突变性等非线性方向发展演化的主要影响因素,地质 - 地理环境决定着土体的生成速率,并且不断改变着土体的结构和物理力学性质。在我国,黄土、软土和硬土分布面积广泛、沉积厚度大,它们的物理力学性质决定着各类工程建筑物的稳定性。由于环境演化而造成的土体结构和力学性质的非线性特征是土体工程地质研究的重要课题之一。

近几年来,耗散结构理论、协同论、突变理论、混沌理论、分形几何及重正化群理论等非线性科学的引进,促进了土体工程地质研究的发展<sup>[5]</sup>。但是,在土体生成演化环境研究方面还重视不够,有待深入细致地开展工作。为此,我们建议在土体工程地质研究中应以地质历史发展为主导,引进广义系统论的观点和非线性科学的理论与方法,加强演化环境及其作用的研究,将土体的生成演化与其结构、力学性质作为一个有机整体,着重分析演化作用的差异性、土体结构的层次性和土体力学性质突变性之间的内在联系,阐明土体的形成和变化规律,从而揭示不良土体诱发地质灾害的机理,把土体工程地质研究推向新的发展阶段。

参 考 文 献

1 胡瑞林 李向全 官国琳等. 土体微结构力学——概念·观点·核心. 地球学报,1999,20(2):150~156.  
2 张宗祜. 中国黄土及黄土状岩石. 北京:地质出版社,1959.  
3 张宗祜 张之一 王芸生. 中国黄土. 北京:地质出版社,1989.  
4 阎世骏 王秀艳 傅崇远. 闽南软土的环境工程地质特征. 水文地质工程地质研究所刊,1991,7:49~63.  
5 秦四清 张倬元 王士天等. 工程地质学的未来——非线性工程地质学. 地质灾害与环境保护,1993,4(2):11~14.

Effect of Geological and Geographical Environment of Engineering  
Characteristics of Soils

Chen Ge

( Department of Urban and Environmental Sciences ,Peking University ,Beijing )

Yan Shijun

( Institute of Hydrogeology and Engineering Geology ,CAGS ,Zhengding ,Hebei )

**Abstract** As soil is the product of the nature ,the property of soil is determined by the evolutionary environment. According to the geological and geographic setting ,the evolutionary environments of soil can be divided into syngenetic environment ,supergene environment and endogenic environment. Soil generally evolves toward the strengthening of nonlinear characteristics ,such as differentiation ,stratification ,irregularity and mutation of soil structure and property. This research focuses respectively on the soft soil in Changzhou ,Jiangsu Province and the triangular area of southern Fujian Province ,and the hard soil in Tianjin and Haikou ,Heinan Province with emphasis placed on the relationship between the evolutionary environment and the structural characteristics of soil.

**Key words** evolutionary environment engineering characteristic consolidation cycle nonlinearity