

# 中国细颗粒土的统一分类体系初步研究

徐 惠, 范明桥

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024)

**摘 要:** 当前中国工程界对细粒类土的分类存在两种不同标准, 一种是按液限  $w_L$  和塑性指数  $I_p$  构成的塑性图进行分类, 一种是按单一塑性指数  $I_p$  进行分类, 并且这两种分类方法的分类指数  $I_p$  的确定标准也不相同, 造成了使用上的混乱。对中国细粒类土的两类分类标准的历史由来进行了探寻, 并与国际上通行的细粒类土的分类标准进行了分析比较, 最后对中国细颗粒土分类标准的统一途径提出了建议。

**关键词:** 细粒类土; 分类标准; 液限; 塑性指数

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2013)12-2317-05

作者简介: 徐 惠(1967-), 女, 江苏海安人, 本科, 高级工程师, 主要从事水利工程质量检测工作。E-mail: hxu@nhri.cn。

## Preliminary study on unified classification system for fine soil in China

XU Hui, FAN Ming-qiao

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** There are two kinds of classification systems for fine soil in China. One is based on the plasticity chart by means of the liquid limit and the plasticity index. The other is only based on the plasticity index. Furthermore, the two systems have different standard for determining the plasticity index, and some confusion is caused in engineering practice. The historical causes for the two kinds of classification systems for fine soil in China are investigated. The current international classification standards or systems for fine soil are analyzed and compared. Some suggestions are proposed for the unified classification system for fine soil in China.

**Key words:** fine soil; classification; liquid limit; plasticity index

## 0 引 言

工程土中粗颗粒土按粒径级配分类, 而细颗粒土按液塑性分类, 构成了中国工程土的基本分类体系, 这与国际上多数国家的分类原则是一致的。一般认为粗粒土的性质主要取决于构成土的土颗粒的粒径分布和它们的特征, 而细粒土的性质却主要取决于土粒和水相互作用时的性态, 即决定于土的液塑性。土的粒径级配特征可用筛分析方法确定, 土的液塑性可按界限含水率试验方法测定, 现场凭目测和触感的经验方法也可以估计。根据这些特征和指标判别土类, 基本上可以定性反映土的主要物理力学性质。

中国各行业或部门对于粗颗粒土按粒径级配分类的原则是一致的, 而对于细颗粒土却存在两种不同的标准, 一种是按液限  $w_L$  和塑性指数  $I_p$  构成的塑性图进行分类, 一种是按单一塑性指数  $I_p$  进行分类, 并且这两种分类方法的分类指标  $I_p$  的确定标准也是不同的。这就造成了中国不同行业或部门间对同一种土的定名不同或对不同土类定名相同的现象, 这在世界上

是绝无仅有的。

中国现在细颗粒土的两类分类标准的存在及土的分类和定名不统一, 造成了工程界使用混乱, 也阻碍了中国工程界与国际上的交流和发展, 因而有必要对细颗粒土分类标准进行统一。本文在对中国两种分类标准的历史由来进行探寻, 并对国际上通行的分类标准进行分析比较的基础上, 对中国细颗粒土分类标准的统一提出了建议。

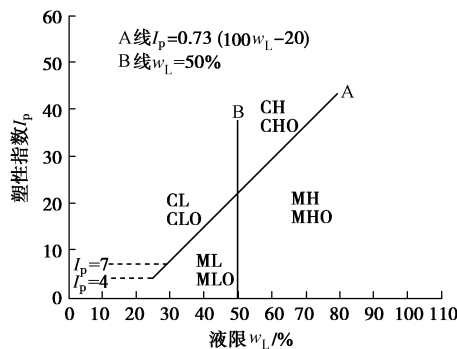
## 1 中国细颗粒土的分类标准剖析

对于细粒类土(试样中粒径不大于 0.075 mm 的细粒含量不小于 50% 的土, 如粉土、黏土), 其状态根据土中含水率的高低可分为黏滞液态、塑性固态和脆性固态。区分这 3 种状态的界限含水率称为液限 ( $w_L$ ) 和塑限 ( $w_p$ ), 液限与塑限的差值称为塑性指数 ( $I_p$ )。这 3 项指标是评价细粒土工程特性的基础性指标, 世界上大部分国家都按这 3 项指标对细粒土进行分类,

中国国家标准如土的工程分类标准<sup>[1]</sup>、岩土工程勘察规范<sup>[2]</sup>、建筑地基基础设计规范<sup>[3]</sup>等也以这3项指标作为细粒土的分类指标。

国家标准《土工试验方法标准》(GB/T50123—1999)<sup>[4]</sup>规定土的液限用液塑限联合测定仪(落锥法)或碟式液限仪(碟式仪法)试验测定,塑限用液塑限联合测定仪(落锥法)或土条滚搓法试验测定。在实际应用中,落锥法因操作简便,人为因素影响小而被广泛使用;碟式仪法因操作复杂,仪器和人为因素影响大,复现性差,多用于校准试验。

对塑限指标( $w_p$ )几种试验方法所得结果基本相符。对液限指标中国现行《土工试验方法标准》规定土的液限采用锥尖质量为76g,锥尖角为30°的落锥入土深度17mm时土的含水率,并认为它和碟式仪测得液限时土的不排水抗剪强度是等效的。细粒土采用以液限 $w_L$ 为横坐标塑性指数 $I_p$ 为纵坐标的塑性图进行分类,见图1,具体可分为4类,见表1。



注:图中虚线之间区域为黏土(CL)一粉土(ML)过渡区, O表示含有有机质

图1 塑性图

Fig. 1 Plasticity chart

表1 细粒土的分类

Table 1 Classification of fine soils

土的塑性指标在塑性图中的位置	土类代号	土类名称
$I_p \geq 0.73(w_L - 20)$ 和 $I_p \geq 7$	$w_L \geq 50\%$ 或 $w_L < 50\%$	CH 高液限黏土 CL 低液限黏土
$I_p < 0.73(w_L - 20)$ 或 $I_p < 4$	$w_L \geq 50\%$ 或 $w_L < 50\%$	MH 高液限粉土 ML 低液限粉土

注:黏土一粉土过渡区(CL-ML)的土可按相邻土层的类别细分。

由于历史的原因中国部分行业 and 部门取质量为76g,锥尖角为30°的锥尖入土深度为10mm时土的含水率作为液限<sup>[2-3]</sup>,称为10mm液限(这里用 $w'_L$ 表示),并采用塑性指数 $I_p$ 单一指标对细粒土进行分

类。其分类标准为:①粒径大于0.075mm的颗粒质量不超过总质量的50%,且塑性指数等于或小于10的土,定名为粉土。②塑性指数大于10的土定名为黏性土,塑性指数大于10,且小于或等于17的土,应定名为粉质黏土;塑性指数大于17的土定名为黏土。

由上可见,在中国液限(及相应的塑性指数 $I_p$ )的确定标准不同,细粒土进行分类标准也不同。液限试验所用的仪器设备(圆锥)是一样的,只是液限所取的锥尖入土深度不同,显然10mm液限与入土深度17mm的液限或碟式仪试验液限结果相比偏小,也造成了塑性指数 $I_p$ 显著偏小。这里笔者收集了近些年的部分试验资料,统计结果见表2。通过对17mm液限( $w_L$ )和10mm液限( $w'_L$ )进行相关统计,建立了两者的关系式:

$$w_L = Bw'_L - A \quad (1)$$

取平均值后得到

$$w_L = 1.24w'_L - 2.4 \quad (2)$$

由式(2)可知 $w_L$ 明显大于 $w'_L$ ,并且随着液限的增大,差值呈线性增大的趋势。

表2 A和B的值

Table 2 Values of A and B

序号	A	B	资料来源和说明
1	3.66	1.294	南京水利科学研究院, 303个试样(2005年) $w_L = 25.8\% \sim 60.5\%$
2	2.85	1.257	南京水利科学研究院, 613个试样(2001年—2003年) $w_L = 24.8\% \sim 62.5\%$
3	0.58	1.160	中国建筑科学院地基研究所, 28个试样 $w_L = 26.6\% \sim 57.1\%$
4	0.84	1.167	建设综合勘察研究设计院, 184个试样 $w_L = 20.5\% \sim 65.9\%$
5	3.44	1.301	长江科学院, 120个试样(1991年—2005年) $w_L = 23.9\% \sim 96.2\%$
6	2.71	1.273	西安理工大学, 74个试样, $w_L = 23.3\% \sim 49.9\%$

## 2 细粒类土的分类标准不统一的原因

中国为什么会产生两种不同的液限取值及土分类标准,这里有必要回顾工程建设以及相应技术标准建立的历史。

1949 年解放后, 中国掀起了大规模经济建设高潮, 工程技术主要向前苏联学习。20 世纪 50 年代的土工试验规程就采用了前苏联标准, 即取 76 g 圆锥锥尖入土深度 10 mm 时的含水率作为液限, 按塑性指数  $I_p$  单一指标对细粒土进行分类, 有关设计、施工规范都据此制订。20 世纪 70 年代末改革开放后, 许多学者看到锥尖入土深度 10 mm 液限标准与世界上很多国家的液限标准不一致。此后, 由原水电部牵头组织有关行业、部门对土的液限标准进行了大规模的比较试验, 认为土体在由黏滞液态向塑性固态过渡界限时 (含水率为液限时), 土体出现一定的流动阻力, 即最小可量度的抗剪强度, 理论上土体强度从无到有的分界点。经过试验测定, 结合国外的研究结果, 这时土体的不排水抗剪强度约为 2 kPa。根据对不同土类的大量试验比较, 当土体采用 76 g 圆锥锥尖入土深度 17 mm 时的含水率作为液限时, 与国际上通用的碟式液限仪 (如美国 ASTM D423 试验方法) 测得液限时土体强度 (平均值) 一致。为了与国际标准接轨, 水电系统在之后的土工试验规程修订时<sup>[5]</sup>率先在全国采用 76 g 圆锥锥尖入土深度 17 mm 含水率作为液限。

塑性图分类考虑了液限的变化对细粒土性质的影响, 采用液限  $w_L$  和塑性指数  $I_p$  两个指标对土进行分类, 国际上很多国家, 如美国、英国、日本、德国、印度等均采用塑性图分类。相对于塑性指数  $I_p$  单一指标对土进行分类, 塑性图分类更全面。所以目前国家标准《土工试验方法标准》规定细粒土采用塑性图进行分类, 土的液限采用锥尖质量为 76 g, 锥尖角为 30° 的落锥入土深度 17 mm 时土的含水率。

建工系统 (包括市政、水运交通系统) 没有自己的土工试验标准, 在其它部门对液限试验标准修改时, 一直沿用锥尖入土深度 10 mm 时试样含水率作为液限, 并依此标准建立了一套土的工程特性体系<sup>[2-6]</sup>, 如黏性土的分类、地基土的承载力、桩基的承载力 (端阻力和侧阻力) 等。其中, 土的分类又影响到地基处理、地基抗震等方面的技术参数选取。为照顾到工程实际使用, 《土工试验方法标准》<sup>[4]</sup>仍保留了 10 mm 液限的内容, 但特地指明是为建筑地基基础设计规范<sup>[3]</sup>配套的专门规定。大量的试验结果证明, 76 g 圆锥锥尖入土深度 10 mm 时测得土体的不排水抗剪强度约为 5.4 kPa, 明显偏高, 以这个标准测定的试样含水率作为液限是偏低的。

世界上多数国家均采用塑性图对细粒土进行分类, 这里列出几个主要工业国家的分类标准, 以便与

中国标准进行对比。

美国《土的工程分类标准 (土的联合分类系统)》(ASTM D2487—00)<sup>[6]</sup>对细粒类土的分类见图 2 和表 3。

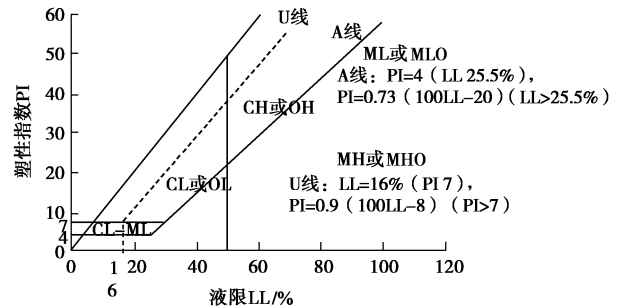


图 2 美国细粒类土分类塑性图

Fig. 2 Plasticity chart for fine soils of USA

表 3 美国细粒类土的分类

Table 3 Classification of fine soils of USA

液限	有机性	塑性指数	组符号	组名
液限小于 50%	无机土	PI > 7 且点在 A 线或 A 线以上	CL	瘦黏土
		PI < 4 或在 A 线以下	ML	粉土
	有机土	烘干的液限小于未烘干的液限的 0.75 倍	OL	有机黏土
		烘干的液限的 0.75 倍	OH	有机粉土
液限等于或大于 50%	无机土	在 A 线或 A 线以上	CH	肥黏土
	有机土	在 A 线以下	MH	弹性粉土
		烘干的液限小于未烘干的液限的 0.75 倍	OH	有机黏土
		烘干的液限的 0.75 倍	OH	有机粉土

与中国土的分类标准相比, 德国《土的工程分类》(DIN18196) (1988)<sup>[7]</sup>、英国土分类体系 BSCS—5930—1981<sup>[8]</sup>、日本《土工结构标准》<sup>[9]</sup>除了定名略有不同, 国际标准与中国目前使用的分类标准是基本一致的, 其中最主要的分界线 A 线 (区分黏土和粉土)、B 线 (区分液限高低) 是完全相同的。

### 3 对中国细颗粒土分类标准统一的建议

中国两套细颗粒土分类标准 (两套液限标准) 的存在, 造成了工程界使用的不便与不必要的资源耗费等弊端。首先是概念混淆不清, 造成使用混乱。一个国家使用两种不同液限标准在世界上是绝无仅有的。中国很多工程技术人员包括不少岩土工程专业人员误以为锥尖入土深度 10 mm 时含水率就是土的真正液

限,其实这时的含水率比土的液限小很多,10 mm液限只应是一个与地基设计规范中土的工程特性配套的专门指标。有些国外翻译资料如岩土工程专著、标准规范、手册等由于翻译者对国内外液限标准了解不深,对资料中的液限标准未作标注说明,如果使用者不加区别地在实际工程中应用或引用,其结果将造成工程建设要么偏于浪费要么偏于不安全,如在中国工程界广泛使用的美国《基础工程手册》<sup>[10]</sup>就存在这种问题。其次,耗费了大量的社会资源,液限试验结果除提供液限值外对于建工行业还需提供10 mm液限,试验室液限,试验要做两套指标。第三,它阻碍了中国工程界与国际上的交流和发展,世界上多数国家均采用碟式液限仪或与碟式液限仪结果相当的圆锥仪进行液限试验,10 mm液限标准与国际通行的液限标准差距较大。而中国还有不少部门只认10 mm液限标准,试验室只会做10 mm液限,这样既无法进行国际交流,也阻碍了中国岩土工程领域在国际上的发展。

在全球国际化的今天,中国工程界与国际上的交流和合作日益广泛,现存两种土的分类及液限标准的合并和统一有着极其迫切的要求。为了清除细颗粒土分类及液限标准统一的技术障碍,应开展以下三方面的研究。

#### (1) 两种液限标准的比较研究

同一种土,不同试验方法或同一试验方法不同取值标准所得出的液限值是不同的。20世纪80年代中国对落锥法和碟式仪法测定液限作过很多比较试验,但对不同入土深度液限标准的试验比较仅限于简单的比例关系分析。近年来已发现这个相关关系式对不同种类土或不同区域土存在一定的差别。通过收集和分析更广泛的试验数据,进一步研究查清2种液限之间的关系,使10 mm液限可以转换为17 mm液限。

#### (2) 土的分类标准的比较研究

国际上通行的塑性图分类是采用液限 $w_L$ 和塑性指数 $I_p$ 两个指标对土进行分类,而中国建工系统采用10 mm液限标准的单一塑性指数 $I_p$ 指标对土进行分类,而未考虑液限的变化。通过分析2种液限 $w_L$ 和 $w'_L$ 的统计关系,对塑性图进行转换,可以形成10 mm液限塑性图<sup>[12]</sup>,如图3所示。

在10 mm液限塑性图上笔者将单一塑性指数分类的土区域用汉字标示(在图3中用 $I_p=17$ 和 $I_p=10$ 两条横线分成3个区域,分别表示黏土、粉质黏土和粉土),按塑性图分类的土区域用字母代号标示。由图3可见,两种方法分类的土在较大区域并不重合。也就是说,两种方法分类定名相同的土实际上可能是性质差别很大的不同土类,如单一塑性指数分类定名的

黏土在塑性图上可以是CL(低液限黏土)、CH(高液限黏土)和MH(高液限粉土)。或者是同一种土两种方法分类定名差异很大,如CL按单一塑性指数分类可以是黏土、粉质黏土甚至粉土。

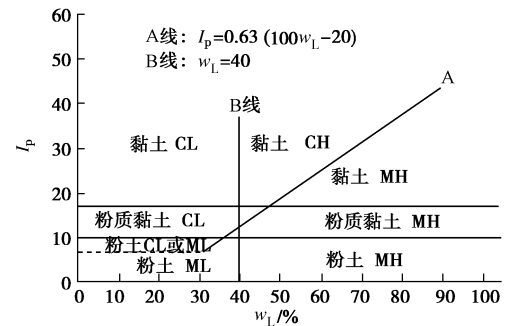


图3 10 mm液限塑性图

Fig. 3 Plasticity chart of 10 mm-liquid limit

通过对两种分类标准的比较发现,相对于单一塑性指数 $I_p$ 指标分类,由于塑性图采用液限 $w_L$ 和塑性指数 $I_p$ 双指标分类,其分类体系更全面。但中国使用单一塑性指数 $I_p$ 指标分类已有较长的历史,也积累了大量的资料和使用经验。如软土的分类定义基于10 mm液限标准,在中国已形成共识。如何把已有的资料和经验转化为既适合中国国情又与国际通行标准相一致的分类体系是需要研究的又一个课题。

#### (3) 两种液限标准的物理力学特性体系

中国工程界在长期使用过程中依据10 mm液限标准建立了一套土的常规工程特性体系即土的物理力学特性体系,主要包括土的力学特性体系,如土强度与强度指标、土的承载能力(包括土体对桩基的端承力和侧阻力)、土的变形特性指标以及土的渗透特性等,有些特性体系已纳入有关地基基础勘察、设计、施工规范及一些技术手册中。中国10 mm液限标准能一直使用至今,除自身未认识到两种液限并存的弊端外,关键在于对17 mm液限标准除进行土的分类外还没有建立一套与之相应的土的工程特性体系,如土的承载力、桩基的承载力等物理力学特性体系。应通过比较研究将这些特性体系转化为依17 mm液限标准为基础的土的物理力学特性体系,形成工程部门使用的17 mm液限标准的客观环境和条件。

## 4 结 语

确立两种液限标准相关关系是解决中国液限标准统一的基础。应建立既适合中国国情又与国际通行标准相一致的土的分类体系,以统一中国土的分类标准;应建立以17 mm液限为标准的土的物理力学特性体系,为中国液限标准统一创造客观的使用环境和

条件。

#### 参考文献:

- [1] GB/T 50145—2007 土的工程分类标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008. (GB/T 50145—2007 Standard for engineering classification of soil[S]. Beijing: China Planning Press, 2008. (in Chinese))
- [2] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (GB 50021—2001 Code for investigation of geotechnical engineering[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))
- [3] GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. (GB 50007—2011 Code for design of building foundation[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012. (in Chinese))
- [4] GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S]. 1999. (GB/T 50123—1999 Standard for soil test method[S]. 1999)
- [5] SD 128—84 土工试验规程[S]. 2 版. 1987. (SD 128—84 Specification of soil test[S]. 2nd ed. 1987. (in Chinese))
- [6] JGJ 94—94 建筑桩基技术规范[S]. 1994. (JGJ 94—94 Technical code for building pile foundation[S]. 1994. (in Chinese))
- [7] ASTM D2487—00 American standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified soil classification system)[S]. 2010.
- [8] DIN18196 German soil classification for civil engineering purpose[S]. 1988.
- [9] BSCS—5930 British soil classification system[S]. 1981.
- [10] JOSCS—1973 Japanese standard for civil structure[S]. 1973.
- [11] WINTERKORN H F. 基础工程手册[M]. 方晓阳, 主编. 钱鸿缙, 叶书麟, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983. (WINTERKORN H F. Handbook of foundation engineering[M]. FANG H Y, ed. QIAN Hong-jin, YE Shu-lin, trans. Beijing: China Architecture and Building Press, 1983. (in Chinese))
- [12] GBJ 145—90 土的分类标准[S]. 1990. (GBJ 145—90 Standard for classification of soil[S]. 1990. (in Chinese))