

土质分类及其应用

李生林 王正宏

水利电力出版社

土质分类及其应用

李生林 王正宏

水利电力出版社

目 录

概述	1
一、土质分类及其意义	5
(一) 土质分类及其种类	5
(二) 土质分类的意义	6
二、国外土质分类方法综述	8
(一) 历史的回顾	8
(二) 各国分类法简介	15
(三) 各国分类方法的对比	69
三、我国土质分类的发展	78
(一) 50年代时期土质分类	78
(二) 60年代时期土质分类	81
(三) 70年代时期土质分类	84
(四) 80年代时期土质分类	85
(五) 我国土分类展望	86
四、关于分类标准的讨论	90
(一) 确定分类标准的指导原则	90
(二) 粒度组成作为分类指标的应用	92
(三) 塑性指标作为分类指标的应用	106
(四) 我国水利电力部SDS01-79规程土质分类中分类指标的 选定	127
五、我国水利电力部SDS01-79规程统一土质分类法 简介	128
(一) SDS01-79分类法的基本情况	128
(二) 分类指标界限值的确定	134
(三) 我国塑性图的建立	139

六、我国细粒土在卡萨格兰地塑性图上的分布规律	145
(一) 我国普通细粒土在塑性图上的分布	145
(二) 我国特殊土在塑性图上的分布	146
(三) 塑性图A线与红粘土分类	152
(四) 有机质土在塑性图上的分布	155
(五) 对塑性图A线意义的新认识	160
七、分类结果的应用	162
(一) 美国统一土质分类法适用于填土与地基的分类表	162
(二) 美国统一分类法用于道路及机场跑道的分类表	162
(三) 美国统一土质分类法在土坝设计中的应用	171
(四) 结论与建议	171
八、土质分类的鉴别方法	173
(一) 土的主要地质成因类型的鉴别	173
(二) 土的现场鉴别分类法	180
参考文献	188

概 述

天然土一般是由矿物颗粒、土孔隙中充填液体、气体以及一些其它物质组成的多相体。随着这些成分类别及相对含量的改变，土体性质可称得上千差万别。人们要想利用土来进行各种活动，不能不按各自的目的将它们作科学的、系统的分门别类。其实，所有的科学技术，当发展到一定阶段，无不需要建立自己的切合适用的分类体系。

在土木工程领域，土不外被用作建筑物地基，作为建筑材料（土坝、路堤等）或作建筑物周围的支承介质（地下涵管、隧道等）。为了有效地研究和合理地利用土料，势必也要有一个行之有效的土类划分的体系，这就是工程土质分类。这样的分类不只为工程人员选择适宜用料，利用土料或评价土性提供方便和可靠的依据，并且由于有统一标准，使得广大工程人员在交流和借用彼此间有关土工经验与信息时具有共同语言。采用土试样进行土性测定时，试样经过分类，即可供选择少量代表性样品作必要试验，试验工作量可大大削减。由此可见，合理的土分类，是从事岩土工程生产、设计、研究和教学各个环节必不可少的最基本的标准。

要真正从分类中获得较完整准确的涉及土性状的有用信息，土分类应该包括两方面内容：鉴别与定名。鉴别旨在区分，定名在于归类。很明显，先有区分，后才能归类。区分是客观信息，它来自观测与测试，而归类则是一种带解释性的推理的结果。区分既然是客观事实，相对地说，它不随时间而改变；与其相反，推理性的归类则要随人们对土性认识

的深化，要求不断地紧跟科学技术的发展而改进。例如，早期人们只知道简单地将土分为砂土与粘土。后来认识到土性与土粒粒度和级配有关，在本世纪二十年代后期，出现了按砂粒、粉粒及粘粒的粒组分类；随着人们对土粒与水相互作用的微观研究的发展，揭示了土的塑性决定着细粒土性质，所以又出现了按塑性的土分类，等等。所以阿累斯托克雷斯特（Aristocristane）说过：“分类是科学现状的反映，各种分类法表明了它们发展的进程。”诚然如此。

我国的土质工程分类早在新中国建立初期，由于大规模社会主义建设需要，不同部门就各自拟订了本部门的分类法。后来全面学习苏联技术，直接引用了苏联的НИТУ6-48和НИТУ127-55，同时我国水利部门主要参考苏联 Маслов 的体系制定了《土工试验操作规程》中的细粒土按粒度划分的“三角坐标分类法”。到70年代初期我国国家建委颁布了《工业与民用建筑地基基础设计规范》（TJ7-74）中的分类法。到此为止，我国的分类法基本上是直接借用或稍加修改后的苏联体系的分类法。只是到文化大革命结束后，鉴于国际上许多主要国家在此期间对其分类法都进行了不少修改，而且可喜的趋势是，各国的分类法总的体系可说已趋于一致。我国水利电力部在70年代后期为了适应最新科技发展和国际交往日益频繁的要求，首先制订了与国际上流行最广的体系相接近的《土工试验规程》SDS01-79中的粗细粒土统一分类法。稍后，我国交通部和地质矿产部的土工规程也先后制订了类似的分类法。这些分类法的最显著的特点是粗粒土的划分以土的粒度与级配为依据，而细粒土的分类则是既考虑土的塑性指数，又计及其液限的塑性图。并且分类采用代号。这样的体系是当今国际土分类的大势所趋，不仅在

理论上符合对土性认识的近代概念，而且在体系上逻辑严密，层次分明，将天然土不分粗细统一归纳于一个完整的格架之中。尤其是我国已于1983年参加了国际标准化组织（ISO）的岩土力学部（TC182-Geotechnics-NNI），更有必要在充分考虑我国国情条件下，将我国的标准尽量向国际靠拢。尽管如此，但是由于以上提出的我国的一些新的分类法与旧分类法相比，无论从划分的理论依据，或是从细节内容乃至表示方式上说，都是截然不同的。这样自然就出现两方面问题：新分类法怎样才能让岩土工程专业人员从思想上乐于接受？也就是说，何以要用新代旧，新方法的优点究竟何在？再一个问题就是如何运用新分类法以及如何判别新分类法中各类土的工程特点及其在不同工程部位中的适宜性。水利电力部规程制订组的有关同志在新分类法颁布后曾组织过多次向使用单位征询意见的调查研究，接受调研的同志们一致认为，回答上述两个问题，是新分类法得以顺利推广的关键所在，这也是编写这本小册子企图达到的唯一目的。

本书作者认为，要回答好以上问题，不能仅就事论事，而应该是谈现在要回忆过去，谈国内要联系国外，谈新的方法要分析其优缺点，谈学习国外先进经验要结合我国国情，谈分类方法要着眼于应用，等等。所以，本书涉及内容较广，介绍了当前几个主要国家的分类，比较了它们的特点；回顾了我国土分类的发展进程。在总结的基础上，讨论了合理分类应遵循的原则；然后再具体到水利电力部的SDS01-79分类法的细节，并阐述了该分类法在细粒土分类方面有别于国外的特点；最后介绍了新分类法的实际应用。

近几年来，我国在土分类方面的学术思想相当活跃，许多单位作了大量的研究和实践工作，这反映了大家对这个带

普遍意义的重要课题的重视与关注，十分可喜。但是，为了借鉴工程经验和研究岩土问题，一个适用于各工程专业的统一的普通分类法却是迫切需要的。作者希望这本小册子有助于读者开阔视野，了解当今国内外和从过去到现在关于土质分类的发展概貌与动向，确认我国土分类法必须随时代而更新，并且通过大家努力，共同研究制订出适合我国情况的统一的普通土质分类系统来。

一、土质分类及其意义

(一) 土质分类及其种类

分类是一切自然学科中的基本内容之一，是中心理论课题。分类反映各自然学科在一定研究阶段，运用一定的研究观点和手段对其研究对象的认识水平。分类反映学科的现状和发展历史。恩格斯所说的“没有种的概念，整个科学就没有了”的著名论断，充分道出了分类对于自然学科发展的重要意义。

自然界的土按地质成因、物质组成、组织结构和性质是多种多样的。土的性质要比钢材、木材、水泥等其它土木工程用的材料复杂得多。研究土的性质时没有一个分门别类的系统是不行的。在涉及土的分类中，有农业土壤学的分类、地质学分类、土质、土力学的分类，以及着眼于其它目的的分类等等。本书侧重研究的是土质、土力学中的土质分类。

以松散粒状体系和松软分散体系的自然土为对象，以服务于工程建设为目的的分类谓之土质分类，亦称土的工程分类。

土质分类的任务是将作为人类工程活动和经济活动对象的各种自然土，按其在实际应用中所表现出的共性划分为类或组，达到“土以类聚”。与其它各自然学科中的分类一样，土质分类是工程地质学，土质、土力学中的一个重要理论课题。同时也是将土质、土力学的研究成果具体应用于工

程实践的手段之一。

土质分类有专门分类与普通分类之分。专门分类是为满足某种建筑工程（工业、民用建筑工程、道路工程、水利工程等）的需要，或是根据某一单项，或少数几项土质特性指标而制定的分类。此种分类一般是划分得非常详细，如砂土按堆积密度、按动力或静力触探阻力分类；黄土按湿陷性指标分类；粘性土按压缩性指标分类等等。此外，紧密结合某一建筑部门的直接需要所制定的分类，如美国AASHTO的分类，英国土木学会确定地基土承载力的分类（CP2004，1972），我国工业民用建筑地基基础设计规范（TJ7-74）中的土分类等亦皆属专门分类。

普通分类适用于各类工程建筑，涉及自然界中作为人类工程经济活动对象的一切土类，依据土的主要工程地质特性制定。普通分类是一种比较全面的综合性分类，具有重要的理论与实践意义。涉及某一具体地区（如北京、南京地区）的区域性土质分类，按其性质亦应属于普通分类。

专门分类是普通分类的补充。普通分类一般要比专门分类粗些，它是专门分类及其它分类进一步完善的基础，同时又是高等院校进行土质、土力学及工程地质学教学的依据。本书侧重于讨论普通分类。

（二）土质分类的意义

合理的土质分类具有许多实际用途。

1）根据土质分类确定土的命名。土质分类有如地层学中的地层划分一样，是工程地质图、工程地质剖面图、土体柱状图，各种地基图等图示土类单元的依据。

2）根据经验建立表格，概略地鉴别各类土的工程地质

性质，对于土的适用性和建筑物能提供初步评价。如根据美国统一土质分类法制成的填土与地基及道路与机场跑道的两个表就能起到这样的作用。按为填土与地基所建立的表可查得渗透系数、干容重等数值指标，为概略评价填土用料、选择加固施工机械、估计地基承载力等找到简单依据。按适用于道路与机场跑道的表可查得干容重、现场加州承载比（*CBR*）、地基系数等数值，为各类土的应用带来方便。

3) 根据分类，明确对各类土深入开展土质、土力学研究的重点内容，确定试验项目和数量，选择有效研究方法和手段。

4) 结合反映地基土体结构的指标和建筑经验，评定地基土的承载能力，为基础工程的设计与施工服务。

5) 展示对各类土进行土质改良的可能性和必要性，以及选定适宜的土质改良方法和手段。

二、国外土质分类方法综述

(一) 历史的回顾

国外土质分类是沿着为特定土木工程建筑服务的专门分类与为各种土木工程建筑服务的普通分类两个方面发展起来的。如前所述,美国道路局研制的用于道路填料的土分类标准,可作为专门分类的代表。1929年霍金托格勒(Hogentogler)和太沙基提出的分类法经修改后成为美国道路局的土质分类法(PR法)。PR分类法经1945年修订后,于1949年被美国州道路协会(American Association of State Highway Officials)采用作为道路用料土的分类标准AA-SHO分类。1973年ASSHO分类法随AASHO改名为AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)而成AASHTO分类,同年被美国材料试验协会采用作为ASTM标准(ASTM D3282-73)(表2.1),它是道路建设中广为使用的专门分类,一直沿用至今。但是道路部门之外的工程人员对此法并不熟悉,而且它对土料的工程地质评价也仅仅涉及道路工程。另外,根据该标准中的A-1, A-2等符号的命名,一般也难以记忆。

AASHTO还有同时考虑粒度与塑性指标的分类标准,如图2.1所示。

FAA法是另一个有代表性的专门分类法。该法系1944年由美国民间航空局(Civil Aeronautics Administra-

表 2.1 ASTM D3282-73 土 的 分 类 表

主要区分	土 的 分 类	筛 通 率, %			425 μ m筛下 土的性质		主要土类	能 否 作 路 基 及 路 床 材 料	群 作 用 指 数G ^①
		2000 μ m	425 μ m	75 μ m	w_L	I_p			
粗粒材料 (75 μ m筛通 量小于35%)	A-1	小于50	小于30 小于50	小于15 小于25		小于6	岩屑、砾 及砂	优或良	0
	A-1-a A-1-b								
	A-3		大于51	小于10		无	细 砂		0
	A-2			小于35	小于40 大于41	小于10 小于10	粉土质或 粘土质砾及 砂	优或良	0
		A-2-4 A-2-5							
		A-2-6 A-2-7		小于35	小于40 大于41	大于11 大于11			
粘土、粘土 材料(75 μ m筛 量大于35%)	A-4			大于36	小于40	小于10	粉土质土		小于8
	A-5			大于36	大于41	小于10			小于12
	A-6			大于36	小于40	大于11	粘土质土	可或不可	小于16
				大于36	大于41	大于11			小于20
	A-7			大于36	大于41	大于11			
		A-7-5 A-7-6		大于36	大于41	大于11			

① 根据群指数计算图求算, G值列于分类符号之后, 如A-2-6(3)。

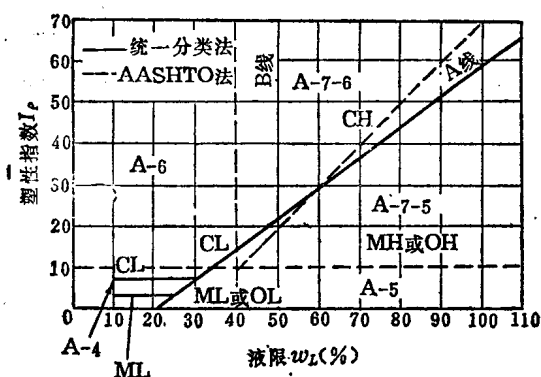


图 2.1 AASHTO分类法的塑性图

tion) 提出,用于机场滑行跑道填土用料的分类。后被联邦航空局 (Federal Aviation Agency) 采用,称为FAA分类法,几经修订后,如表2.2所示。

普通土质分类方法,是从最早由A.卡萨格兰地 1942年提出的AC分类法发展起来的。AC分类法 (Airfield Classification Method) 是用于机场的土质分类法,首先被巴巴多大学选作为课程教材,后来用于军事建设以控制填土质量。AC分类法经过三次较大的修订后具有如表 2.3 所示的形式。

表2.3系AC分类法1947年的原形,这是它的前半部分。自第 6 栏以后的后半部分尚有: 7.机场地基经冻结后的质量; 8.分期施工或紧急施工时,机场表层土的质量; 9.冻胀性; 10.压缩性和膨胀性; 11.排水性; 12.现场土的击实性和机械; 13.最佳击实的干容重与孔隙比; 14.浸水 CBR; 15.与PR分类法的对比等等。这些都是各类土结合机场工程

表 2.2

FAA 土 质 分 类 表

分 类		粒 度				液 限	塑 限
		2mm 的筛留 量, %	2mm以下的细粒, (%)			w_L (%)	w_p (%)
			2-0.25	0.25- 0.05	<0.05		
粗粒土	E-1	0~45	40+	60-	15-	25-	6-
	E-2	0~45	15+	85-	25-	25-	6-
	E-3	0~45	—	—	25-	25-	6-
	E-4	0~45	—	—	35-	35-	10-
	E-5	0~45	—	—	45-	40-	15-
细粒土	E-6	0~55	—	—	45+	40-	10-
	E-7	0~55	—	—	45+	50-	10-30
	E-8	0~55	—	—	45+	60-	15-40
	E-9	0~55	—	—	45+	40+	30-
	E-10	0~55	—	—	45+	70-	20-50
	E-11	0~55	—	—	45+	80-	30+
	E-12	0~55	—	—	45+	80+	—
	E-13	腐植土与泥炭, 现场鉴别					

在不同情况下所表现的性能, 限于篇幅从略。

AC分类几经补充修改后, 于1953年为美国陆军工程师团 (Corps of Engineers) 和垦务局 (Bureau of Reclamation) 共同采用, 并称统一土质分类法 (Unified Soil Classification System), 简称USCS。

统一土质分类法 (VSCS) 60年代迅速普及, 并成为广为流行的普通土质分类方法。至1966年, 统一土质分类法被ASTM采用为适用于一般性土木建筑工程的暂行规定, 1969年上升为正式规定 (ASTM D2487—1969), 具体情况如表2.4所示。

表 2.3

A.卡 萨 格 兰 地 提

1	2		3
大 分 类	典 型 名 称		分 类 符 号
粗 粒 土	砾 石 及 砾石质土	粒度级配好的砾石及砾、砂混合土，不含或几乎不含细粒	GW
		微含粘土级配好的砾石、砂混合土	GC
		级配不好的砾石及砾砂混合土，不含或几乎不含细粒土	GP
		含细粒的砾，粉土质砾、粘土质砾，级配不好的砾，砂粘混合土	GF
	砂及砂质土	级配好的砂及砾质砂不含或几乎不含细粒土	SW
		微含粘土级配好的砂	SC
		级配不好的砂，不含或几乎不含细粒土	SP
		含细粒的砂，粉土质砂、粘土质砂，级配不好的砾砂粘混合土	SF
少含或 不含粗 粒的细 粒 土	低或中等 压缩性的 细 粒 土 $w_L < 50$	无机粉土及极细砂，岩粉，稍具塑性的粉质和粘质细砂	ML
		低或中等塑性的无机粘土，砂质粘土，粉质粘土	CL
		低塑性的有机质粉土和有机质粉质粘土	OL
	高压缩性的 细粒土 $w_L > 50$	云母质，硅藻质的细砂质和粉土质土，弹性粉土	MH
		无机高塑性粘土	CH
		中或高塑性的有机质粘土	OH
非常高压缩性的纤维质有机质土		泥炭及其它强有机质的沼泽土	Pt

出的 AC 分类 (前半部)

4		5	6
据扰动试样的简易判别		土 料 的 现 场	主 要 分 类 试 验
0.42mm 筛下部分的干强度	其它试验	观 察 与 试 验	(据扰动试料)
无	粒 度 粒 形 结 合 料 的 湿 润 及 干 燥 试 验	干容重或孔隙比 击 实 度 结 合 度 成层状态及排水特性 地下水状态 交通试验 大型载荷试验 CBR试验	粒度分析
中 等			粒度分析, 细粒的液, 塑限
无			粒度分析
极低~高			粒度分析, 细粒的液, 塑限
无			粒度分析
中~高			粒度分析, 细粒的液, 塑限
无			粒度分析
极低~高			粒度分析, 细粒的液, 塑限
极低~中	摇动试验及 塑 性	干容重, 含水量 孔 隙 比 成层状态, 根系孔隙 裂 隙 排水及地下水状态 交通试验 大型载荷试验 CBR试验 压缩试验	粒度分析, 如可能作液, 塑限
中~高	塑性试验		液、塑限
低~中	塑性、嗅、气、色		天然土及烘干土的液, 塑限
极低~中	摇动及塑性 试 验		粒度分析, 如可能作液, 塑限
高~极高	塑 性		液、塑限
中~高	塑性、嗅、气、色		天然土及烘干土的液, 塑限
容 易	鉴 别	稠度、组成及含水量	