

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.08.074

基于美标岩土勘察的土质分类方法研究

范利频, 霍知亮, 郑 龙, 田迪冲

(天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津市 300051)

摘 要:近年来,随着国家“一带一路”战略计划,越来越多的中国企业走出国门,承担着海外建设工程,美国标准的土分类体系在国际范围内广泛使用。系统介绍了美标体系下 USCS、AASHTO 和静力触探试验的土工程分类方法,阐述了各方法的具体内容、相互联系及应用特点。以南亚某国勘察项目为具体案例,简述其应用中的情况和若干问题。指出美标体系下 USCS 是一种应用于工程的土质分类简明方法。与我国标准相比,在粗粒土界限粒径划分、细粒土塑性图、土工试验方法等方面有一定的区别。AASHTO 土的分类常用于公路建设中土壤集料等方面,在勘察工作中应用较少,并且与 USCS 土的分类方法两者之间没有直接的对应关系。采用静力触探进行土层划分和分类本质上还是一个间接的方法,在区域地质资料和工程经验丰富的地区可以直接利用,对于资料和经验缺乏的地区还需要结合钻孔资料进行验证。其研究内容可供以美标进行的海外工程勘察项目予以参考和借鉴。

关键词:岩土勘察;美国标准;土质分类;静力触探

中图分类号: P624

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)08-0286-05

0 引 言

近年来,伴随国家“一带一路”计划,中国工程企业承担着越来越多的海外建设项目。对于援外项目的勘察设计工作,在具体实施中,采用以中国规范、标准为主,受援国规范、标准为辅的方法进行测量、勘察和设计工作。然而,对于采用欧美规范、标准项目的具体实施过程中,常出现设计人员无法直接使用国外公司依据美欧标准提交的勘察成品,而境外设计人员、监理方、业主等又不认可按我国标准提交的勘察设计成果资料;以致需要花费大量时间和精力对不同技术标准进行说明,影响项目的有效开展。系统全面地研究国外规范、标准是我院开拓国外市场亟待解决的问题,另外通过对比学习国外标准与国内标准的异同,对推进中国标准的国际应用具有较大的意义。

随着国际工程项目的开展,总结国外勘察设计规范的相关成果逐渐增多。冯蓓蕾^[1]介绍了美标和我国标准中土体分类的试验方法和命名的区别。胡建平等^[2]通过二叉树遍历算法,集成了信息配置、导入接口、计算、导出接口等模块,进行了国标与 ASTM 在土体分类方面的相互转换。冷艺^[3]、贾宁等^[4]具体提出美英等标准中勘察报告的编写、室内试验、

原位测试等方面与国标的联系和区别,便于地质指标的对比分析,并对如何适应英美标准提出一些建议。

综上,国内学者关于此类问题进行了相关的对比与研究,取得可供参考的成果。本文基于前人研究基础上,系统介绍了美标体系下土壤的工程分类方法,并以南亚某国岩土工程勘察为例,简述在工程应用中的情况和若干问题,供以美标进行的海外岩土工程勘察项目予以参考和借鉴。

1 ASTM 体系下土的工程分类

我国勘察规范因应用范围不同,其不同行业对于土体定名、试验方法等方面既有交叉、又各不相同。但在实际应用中,这些行业规范向国家标准《土的工程分类标准》(GB/T 50145)^[6]靠拢。在美标中的岩土勘察方面,主要有两大规范体系:美国国家公路与运输协会(AASHTO)和美国材料与试验协会(ASTM)的规范体系,其中 ASTM D2487《统一土质分类体系》(简称 USCS)^[7]是一种服务于工程的土质分类简明方法,为工程勘察设计提供依据。由于国标和美标的土质分类体系不同,对于同一种土质,依据中、美规范将定义出不同的名称。

1.1 粗粒土的分类

国标将巨粒土按粒组,即土颗粒的大小和颗粒形状划分;粗粒土按照粒组、相应的级配情况及细粒含量的多少进行划分;细粒类土则参照塑性图进行

收稿日期: 2021-02-18

作者简介: 范利频(1973—),男,硕士,高级工程师,从事岩土工程勘察工作。

划分,其分类方法的基本思想与美欧规范基本一致,但相应的粒组、试验方法等方面则存在一定的差异。

ASTM 将通过第 200 号筛 (0.075 mm) 不小于 50% 的土定名为细粒土,否则定名为粗粒土。粗粒土通过粒径进行进一步分类过程中,通过 200 号筛 (0.075 mm) 颗粒的按照含量的多少,即小于 5%,5% ~ 12% 和大于 12%,将砾类土或者砂类土进一步分为纯砾石、纯砾砂;含粉土砾、含粉土砂、含黏土砾、含黏土砂;粉土质砾、粉土质砂、黏土质砾、黏土质砂等。同时结合不均匀系数 $C_u \geq 4$ 且曲率系数 $C_c = 1 \sim 3$ 和 $C_u \geq 6$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 作为级配良好的条件,具体见表 1。其中第 200 号筛孔径为 75 μm 、第 4 号筛孔径为 4.75 mm。

表 1 ASTM D2487 粗粒土分类原则

采用室内试验定名组号和组名的方法				土质分类	
				分组符号	分组名称
粗粒土 第 200 号筛上 留存比例高于 50%	砾石 (未通过第 4 号筛的粗 粒比例超过 50%)	纯净的砾石 (细粒比例低于 5%)	$C_u \geq 4$ 和 $1 \leq C_c \leq 3$	GW	级配良好砾石
		含细粒土的砾石 (细粒比例高于 12%)	$C_u < 4$ 和 / 或 ($C_c < 1$ 或 $C_c > 3$)	GP	级配不良砾石
		砂 (通过第 4 号筛的粗粒 比例为 50%或以上)	细粒分类为 ML 或 MH	GM	粉土质砾
			细粒分类为 CL 或 CH	GC	粘土质砾
	砂 (通过第 4 号筛的粗粒 比例为 50%或以上)	纯净的砂 (细粒比例低于 5%)	$C_u \geq 6$ 和 $1 \leq C_c \leq 3$	SW	级配良好砂
		含有细粒土的砂 (细粒比例高于 12%)	$C_u < 6$ 且 / 或 ($C_c < 1$ 或 $C_c > 3$)	SP	级配不良砂
细粒土 通过第 200 号 筛的比例为 50%或更高	粉土和粘土 液限 LL 低于 50	无机	$PI > 7$ 且位于“A”线或之上	CL	贫粘土
			$PI < 4$ 或位于“A”线之下	ML	粉土
		有机	烘干后的液限	OL	有机粘土
			烘干前的液限 < 0.75		有机粉土
	粉土和粘土 液限 LL 为 50 或以上	无机	PI 位于“A”线或以上	CH	富粘土
			PI 位于“A”线以下	MH	弹性粉土
		有机	烘干后的液限	OH	有机粘土
			烘干前的液限 < 0.75		有机粉土
高有机土	主要是呈黑色的有机物以及有机臭味气体			PT	泥炭

1.2 细粒土的分类

ASTM 采用塑性图对细粒土进行分类,具体见图 1 和表 1。在 ASTM 的塑性图中,规定“A”线以上为黏土,以下为粉土;“B”线左侧定义为低液限土,右侧定义为高液限土。(其中 PI 为塑性指数, LL 为液限)。

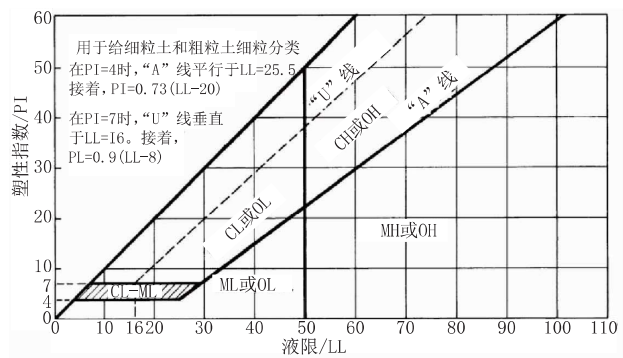


图 1 ASTM D2487 塑性图

2 AASHTO 体系下土的工程分类

2.1 分类体系

AASHTO 土的分类又称为公共道路管理分类系

统,建立了公路建设用土壤和土壤集料混合物的分类方法^[8]。AASHTO 系统指定了 A-1 到 A-8 以及几个附加的亚组。A-1 至 A-3 土壤被认为是粗粒土,其试验中 35% 以下颗粒通过 200 号筛,是优良的路基土壤。A-1 包括级配良好的砾石、粗砂。A-2 为粉质或粘质砂和砾石。A-3 为细砂,不含粉质或粘质细粒颗粒或少量非塑性粉土。

A-4 至 A-7 组土壤均为细粒土,通过 200 号筛颗粒总量大于 35%。这些土壤组基于阿太堡界限而分类不同,见图 2。A-4 土壤包括非塑性或中等塑性粉土,A-5 土壤与 A-4 类似但液限较高。A-6 和 A-7 组分别为低塑性和高塑性粘土。A-8 土壤包括高有机性土壤(泥炭和淤泥),具体分类见表 2 和图 2。

AASHTO 土的分类还提供了使用“类别指数 (Group Index, GI)”对土壤进行进一步分类,该指数使用粒度特征和阿太堡限值计算,如下所示:

$$GI = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$$

(1)

表 2 AASHTO 土的分类体系

一般分类	粗粒材料(试验中 35%或以下颗粒通过 200 号筛)							粉土 - 黏土材料(试验中 35%以上颗粒通过 200 号筛)			
类别	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
筛分析(通过百分比)											
2 mm(10 号筛)	最多 50										
0.425 mm(40 号筛)	最多 30	最多 50	最少 51								
0.075 mm(200 号筛)	最多 15	最多 25	最多 10	最多 35	最多 35	最多 35	最多 35	最少 36	最少 36	最少 36	最少 36
通过 40 号筛部分的特性(0.425 mm)											
液限 LL				最多 40	最少 41	最多 40	最少 41	最多 40	最少 41	最多 40	最少 41
塑性指数 PI	最多 6		非塑性	最多 10	最多 10	最少 11	最少 11	最多 10	最多 10	最少 11	最少 11
一般的主要构成材料	石块、砂石与砂土		细砂	粉质或粘质砂石与砂土				粉质土壤		黏土质土壤	
做为路基的一般评比				优良到好				尚可到不良			

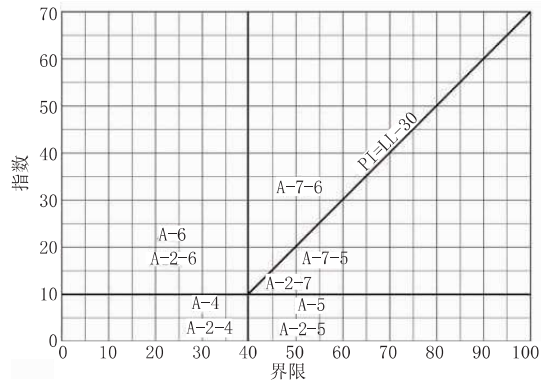


图 2 AASHTO 细粒土的分类

式中： F_{200} 为通过 200 号筛的百分比， LL 为液限， PI 为塑性指数。

2.2 USCS 与 AASHTO 土的分类比较

USCS 和 AASHTO 土的分类方法两者之间没有直接的对应关系。由于这两个系统基于相同的试验标准进行测试,因此在大多数情况下,分类通常是重叠的。Handy^[9]提供了一个合理的比较,见表 3。

表 3 USCS 和 AASHTO 土的分类的大致对应关系

AASHTO 分类	USCS 分类
A-1-a	GW
A-1-b	SW
A-2	SM 或 SC
A-3	SP
A-4	ML
A-5	MH
A-6	CL
A-7-5	大部分为 MH
A-7-6	CH
A-8	PT

3 基于原位测试土的工程分类

在工程勘察中,采用静力触探(CPT 或 CPTU)、扁铲试验(DMT)等可有效评估土壤类型和地层变化,其中以静力触探方法最为常用。在美国联邦公路局勘察工作的相关手册中(如 FHWA-IF-02-034^[10]、FHWA NHI-16-072^[11]),推荐采用 Robertson 所提出和总结的土体分类指数,该方法已经在国际上得到了广泛采用和认可。

采用锥尖阻力 q_t 和摩阻比 FR 或者孔压参数比 B_q 进行土质分类的方法见图 3 和图 4。其中 1 为高灵敏性细粒土、2 为有机质土、3 为黏土、4 为粉质黏土至黏土、5 为黏质粉土至粉质黏土、6 为砂质粉土至粉质黏土、7 为粉质砂土至砂质粉土、8 为砂土至粉质砂土、9 为砂土、10 为砾砂至砂、11 为坚硬的细粒土(超固结或胶结)、12 为砂至黏砂(超固结或胶结)。

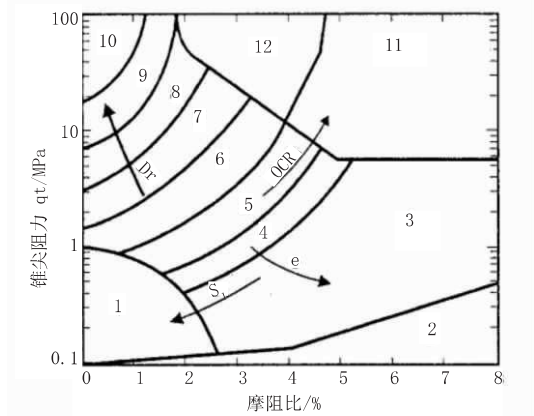


图 3 基于锥尖阻力和摩阻比的土体分类方法

然而,需要注意的是,由于原位试验是对土壤物理力学指标响应的测量,其确定的土体类型与 USCS

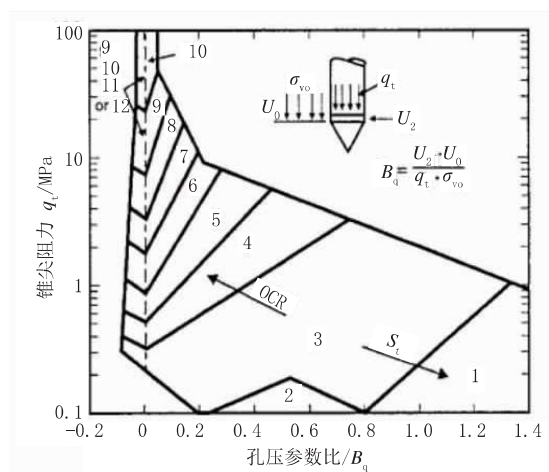


图4 基于锥尖阻力和孔压参数比的土体分类方法

或 AASHTO 的土体分类标准不同^[12]。因此,通过原位测试确定的土壤类型被称为“土壤行为类型(Soil behavior type, SBT)”,用以和正式分类进行区分。基于 USCS 或 AASHTO 的土体分类标准与 SBT 分类虽然不同,但均有助于对场地特征进行描述,从工程角度来看,最终目标都能了解地层特性和力学特性。

4 工程案例

4.1 工程概况

南亚某国拟建高速公路项目,工程所在区域地形比较平坦,属于河流冲积平原部分。地层主要为第四系人工填土层、湖沼相沉积层、冲洪积层等组成。场地地震效应系数为 0.20,属中等活动区域。

4.2 地层概况

采用美国标准进行岩土工程勘察,根据揭露的地层、沉积原因、密实程度及状态^[13]、工程地质等特征,场地地层由 6 个主层、若干亚层组成,具体为:

层 1 为 FS(杂填土),松散,填筑时间不等,主要为黏性土夹砂、砖块等,局部含生活和建筑垃圾。层 2 主要为 CL(贫黏土),流塑~可塑,局部揭示为 ML(粉土)。层 3 主要为 CL(贫黏土),灰黄色~红棕色,软塑~硬塑,土质不均,含云母,局部为 CH(高液限黏土)。层 4 主要为 4-1 ML(粉土),稍密~中密;4-2 SC(黏土质砂),稍密~中密;4-3 SM(粉土质砂),稍密~中密。层 5 主要为 CL(贫黏土),可塑~硬塑。层 6 主要为 SM(粉土质砂),密实。按照标贯击数可进一步分为若干亚层。各层指标见表 4。

4.3 土层分类对比

依据 ASTM D5778^[14]、ASTM D1586^[15]进行静力触探试验和钻探的对比工作。依据美标要求,在完成的钻孔旁 2.5 m 进行孔压静力触探试验。并依据土层

表 4 原位测试试验统计表

层号	岩土名称	标贯试验击数 N/击			静力触探试验成果	
		最大值	最小值	平均值	q_c /MPa	f_s /kPa
1	FS	10	4	6.6	—	—
2	CL	11	3	6.3	0.68	15.73
3	CL	19	9	12.9	1.92	85.73
4-1	ML	23	8	16.4	3.63	101.37
4-2	SC	25	10	15.8	2.56	49.13
4-3	SM	36	9	19.1	5.93	95.08
5	CL	14	9	12	3.76	94.06
6-1	SM	50	22	35.4	14.08	250.49
6-2	SM	125	50	65.4	19.16	258.05

的测试指标基于第 3 节所述的土壤行为类型(Soil behavior type, SBT)对地层进行划分。得到测试结果和土层划分情况见图 5,可以看出:

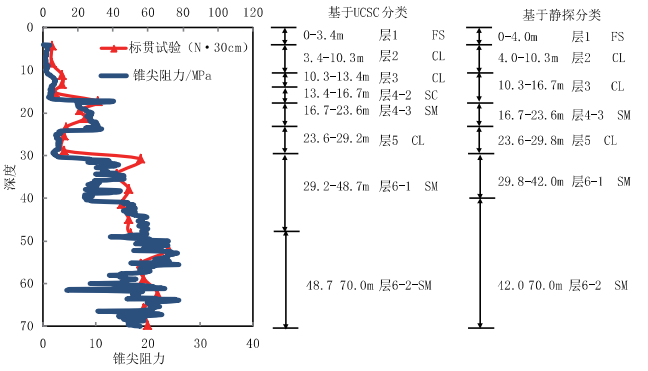


图 5 不同分类方法土体分层的对比

(1)标准贯入试验(SPT)和孔压静力触探试验(CPTU)得到的土体力学相应规律性符合较好,依据孔压静力触探结果可较好的进行地层划分。

(2)静力触探探头在测试地层的贯入过程中,常会出现测试数据因地层的沉积过渡,造成测试信号出现突变(土层的界面效应),在应用过程中应对土层的界面效应予以相应的处理。

(3)采用静力触探划分土层本质上是一个间接的方法,侧重于地层特性和力学特性。无法判断地层成因,在本工程地层划分中对区分 CL(贫黏土)与 SC(黏土质砂)效果不理想,仍需结合钻孔资料进行验证。

5 结 语

本文介绍了美标体系下土壤的工程分类方法,简要阐述各方法的基本内容。并以南亚某国岩土工程勘察为例,简述在工程应用中的情况和若干问题,供以美标进行的海外岩土工程勘察项目予以参考和借鉴。得到的主要结论如下:

(1)美国 ASTM D2487《统一土质分类体系》(USCS)是一种应用于工程的土质分类简明方法。但与我国标准相比,在粗粒土界限粒径划分、细粒土塑性图、土工试验方法等方面有一定的区别。

(2)AASHTO 土的分类常用于公路建设中土壤集料等方面,在勘察工作中应用较少。AASHTO 和 USCS 土的分类方法两者之间没有直接的对应关系。

(3)采用静力触探进行土层划分和分类本质上还是一个间接的方法,在区域地质资料和工程经验丰富的地区可以直接利用,对于资料和经验缺乏的地区还需要结合钻孔资料进行验证。

参考文献:

- [1] 冯蓓蕾,周伟兵.基于土壤分类的 ASTM(美标)与国标之异同研究[J].水运工程,2013(10):224-228.
- [2] 胡建平,吴朝东.中美土质分类标准模型转换程序设计[J].港工技术,2016,53(4):74-78.
- [3] 冷艺.国内外规范在港口岩土工程勘察中的异同分析[J].水运工程,2011(9):27-30.
- [4] 贾宁,王红播,金永军,等.国内外土工直接剪切试验方法对比[J].勘察科学技术,2014(增刊):12-14,56.
- [5] 丁其兵,许永斌,沈忠炎,等.英美土工试验标准与国标的主要区

别[J].广东土木与建筑,2010(10):19-21.

- [6] GB/T 50145—2007,土的工程分类标准[S].
- [7] ASTM D2487-11,Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (unified soil classification)[S].
- [8] ASTM D3282-15,Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes[S].
- [9] Handy R L.Geotechnical engineering:soil and foundation principles and practice[M].McGraw-Hill Education,2007.
- [10] Sabatini P J,Bachus R C,Mayne P W,etc.Evaluation of soil and rock properties: Geotechnical Engineering Circular No. 5[R].FH-WA-IF-02 - 034,National Highway Institute (US),2002.
- [11] Loehr J E,Lutenegger A,Rosenblad B L,etc.Geotechnical Site Characterization Geotechnical Engineering Circular No. 5[R].FH-WA NHI-16-072,National Highway Institute (US),2016.
- [12] Robertson P K.Soil behaviour type from the CPT: an update[C]// 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing,2010.
- [13] Hathaway A W.Manual on subsurface investigations: Washington [M].DC,American Association of State Highway and Transportation Officials,1988.
- [14] ASTM D5778-12,Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils[S].
- [15] ASTM D1586-11,Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils[S].

(上接第 274 页)

损伤的可能性有所增大。

(3)对于整座桥梁而言,这种支座位移的累计效应无疑是危险的,这将加大桥梁发生落梁的可能性,并降低桥梁后续的抗震及运营能力。板式橡胶支座筒支梁桥抗震设计中,应充分考虑地震序列的影响。

参考文献:

- [1] 陈乐生.汶川地震公路震害调查—桥梁[M].北京:人民交通出版社,2012:14-35.

- [2] 肖旭红.汶川地震筒支梁桥桥墩及主梁震害机理分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2014(2):15-20.
- [3] 范立础,李建中.汶川桥梁震害分析与抗震设计对策[J].公路,2009(5):122-128.
- [4] 张煜敏.公路桥梁位移型抗震分灾系统研究[D].西安:长安大学,2011.
- [5] 丁文胜.下承式刚架系杆拱桥的抗震设计方法及试验研究[D].南京:东南大学,2006.
- [6] 吕晓健,高孟潭,高战武.强余震和主震地面运动分布比较研究[J].地震学报,2007,29(3):295-301.