

UDC

中华人民共和国行业标准

**SL**

**P**

**SL237—1999**

---

# 土工试验规程

Specification of soil test

1999-03-25 发布

1999-04-15 实施

---

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国行业标准

土工试验规程

Specification of soil test

SL237—1999

主编单位:南京水利科学研究院

批准单位:中华人民共和国水利部

施行日期:1999年4月15日

中华人民共和国水利部

关于批准发布  
《土工试验规程》SL237—1999 的通知

水国科[1999]139 号

根据部水利水电技术标准制定、修订计划,由水利部国际合作与科技司主持,以南京水利科学研究院为主编单位修订的《土工试验规程》,经审查批准为水利行业标准,并予以发布。标准的名称和编号为:

《土工试验规程》SL237—1999。

本标准实施后取代 SD128—84, SD128—86, SD128—87 及 SDS01—79《土工试验规程》。

本标准自 1999 年 4 月 15 日起实施。在实施过程中,请各单位注意总结经验,如有问题请函告主持部门,并由其负责解释。

标准文本由中国水利水电出版社出版发行。

一九九九年三月二十五日

## 前 言

根据水利部技监办[1995]22号精神,按《水利水电技术标准编写规定》的要求,对《土工试验规程》第一分册(SD128—84)、第二分册(SD128—86)、第三分册(SD128—87)的内容及SDS01—79下册中除第二、第三分册外的内容共76项,进行了全面的修订。经修订后的《土工试验规程》,列有69项试验和3个附录。在修订中,将原规程中不常用或不成熟的项目减去了12项试验,新增了5项试验(承载比试验、回弹模量试验、共振柱试验、冻结温度试验及游离氧化铁试验)。在固结试验中增加了“应变控制连续加荷试验方法”,在原位密度试验中增列了“核子射线法”,在载荷试验中增加了“螺旋板试验方法”等。修改后的《土工试验规程》,包括“室内常规土工试验”、“土的膨胀性试验”、“土的变形参数试验”、“土的动力试验”、“冻土物理性试验”、“土的原位试验”、“粗颗粒土试验”和“土的化学性试验”等内容,涵盖了一般工程及黄土、膨胀土、盐渍土、红土和冻土等特殊土所需的试验项目,比较全面地反映了土工试验的内容。

本次修订,与原规程相比,增加了“引用标准”一章;在仪器设备中,增加了“仪器设备的检定和校准”一节;在附录中,增加了“试验数据的整理与成果报告”和“室内土工仪器通用要求”;并按标准编写规定的要求,将“试验说明书”改为“条文说明”。

**本标准主编单位:**南京水利科学研究院

**本标准参编单位:**中国水利水电科学研究院

长江科学院

水利部东北勘测设计院

**本标准主要起草人:**盛树馨 龚 宜 陶秀珍 朱思哲

徐伯孟 李青云 郭熙灵 何晓民

## 目 次

土的工程分类 SL237—001—1999 .....	8
土样和试样制备 SL237—002—1999 .....	19
含水率试验 SL237—003—1999 .....	28
密度试验 SL237—004—1999 .....	33
比重试验 SL237—005—1999 .....	38
颗粒分析试验 SL237—006—1999 .....	49
界限含水率试验 SL237—007—1999 .....	72
湿化试验 SL237—008—1999 .....	84
毛管水上升高度试验 SL237—009—1999 .....	87
相对密度试验 SL237—010—1999 .....	92
击实试验 SL237—011—1999 .....	97
承载比试验 SL237—012—1999 .....	105
回弹模量试验 SL237—013—1999 .....	114
渗透试验 SL237—014—1999 .....	120
固结试验 SL237—015—1999 .....	130
黄土湿陷试验 SL237—016—1999 .....	147
三轴压缩试验 SL237—017—1999 .....	154
一个试样多级加荷三轴压缩试验 SL237—018—1999 .....	185
孔隙水压力消散试验 SL237—019—1999 .....	191
无侧限抗压强度试验 SL237—020—1999 .....	201
直接剪切试验 SL237—021—1999 .....	206
排水反复直接剪切试验 SL237—022—1999 .....	214
无粘性土休止角试验 SL237—023—1999 .....	219
自由膨胀率试验 SL237—024—1999 .....	222
膨胀率试验 SL237—025—1999 .....	225
收缩试验 SL237—026—1999 .....	230
膨胀力试验 SL237—027—1999 .....	234

静止侧压力系数试验	SL237—028—1999	237
弹性模量试验	SL237—029—1999	243
土的变形参数试验	SL237—030—1999	248
单轴抗拉强度试验	SL237—031—1999	258
振动三轴试验	SL237—032—1999	266
共振柱试验	SL237—033—1999	281
冻土含水率试验	SL237—034—1999	297
冻土密度试验	SL237—035—1999	302
冻结温度试验	SL237—036—1999	309
冻土导热系数试验	SL237—037—1999	313
未冻含水率试验	SL237—038—1999	316
冻胀量试验	SL237—039—1999	318
冻土融化压缩试验	SL237—040—1999	322
原位密度试验	SL237—041—1999	327
原位渗透试验	SL237—042—1999	341
原位直剪试验	SL237—043—1999	345
十字板剪切试验	SL237—044—1999	351
标准贯入试验	SL237—045—1999	358
静力触探试验	SL237—046—1999	362
动力触探试验	SL237—047—1999	371
旁压试验	SL237—048—1999	377
载荷试验	SL237—049—1999	388
波速试验	SL237—050—1999	399
原位冻胀量试验	SL237—051—1999	408
原位冻土融化压缩试验	SL237—052—1999	412
粗颗粒土的试样制备	SL237—053—1999	417
粗颗粒土相对密度试验	SL237—054—1999	422
粗颗粒土击实试验	SL237—055—1999	428
粗颗粒土的渗透及渗透变形试验	SL237—056—1999	434
反滤料试验	SL237—057—1999	442

粗颗粒土固结试验 SL237—058—1999 .....	445
粗颗粒土直接剪切试验 SL237—059—1999 .....	451
粗颗粒土三轴压缩试验 SL237—060—1999 .....	460
化学分析试样风干含水率试验 SL237—061—1999 .....	470
酸碱度试验 SL237—062—1999 .....	473
易溶盐试验 SL237—063—1999 .....	476
中溶盐石膏试验 SL237—064—1999 .....	496
难溶盐碳酸钙试验 SL237—065—1999 .....	500
有机质试验 SL237—066—1999 .....	506
游离氧化铁试验 SL237—067—1999 .....	510
阳离子交换量试验 SL237—068—1999 .....	515
土的矿物组成试验 SL237—069—1999 .....	519
附录 A 试验数据的整理与成果报告 .....	529
附录 B 室内土工仪器的通用要求 .....	537
附录 C 土样要求与管理 .....	540
本标准用词说明 .....	545

# 土的工程分类

## SL237—001—1999

### 1 目的和适用范围

**1.0.1** 本规程用于工程用土的鉴别、定名和描述,以便对土的性质作定性评价。

**1.0.2** 本规程适用于各类工程用土;不适用于有机土、混凝土所用砂和石料。

注:工程用土指工程勘察、建筑地基、堤坝填料等涉及的土类;有机土指土中部分成分为有机物质的土。

### 2 引用标准

GBJ145—90《土的分类标准》。

SL237—1999《土工试验规程》。

### 3 一般规定

**3.0.1** 土的工程分类(简称“分类”),应以下列土的特性指标作为依据。

1 土颗粒组成及其特性。

2 土的塑性指标:液限( $\omega_L$ )、塑限( $\omega_P$ )和塑性指数( $I_P$ )。

3 土中有机质含量。

**3.0.2** 土的分类试验应按下列标准进行。

1 土颗粒组含量应按 SL237—006—1999《颗粒分析试验》中的筛析法规定进行试验。

2 土的塑性指标应按 SL237—007—1999《界限含水率试验》



规定进行试验。

3 有机质含量应按 SL237—066—1999《有机质试验》规定进行测定。

3.0.3 本规程将工程用土分为一般土和特殊土两大类。

1 一般土不同粒组的相对含量可分为：巨粒土、粗粒土和细粒土。

2 特殊土包括黄土、膨胀土、红粘土。

3.0.4 土的粒组应按表 3.0.4 中规定的土颗粒粒径范围划分。

表 3.0.4 粒 组 划 分

粒组统称	粒组划分		粒径( $d$ )的范围 (mm)
巨粒组	漂石(块石)组		$d > 200$
	卵石(碎石)组		$200 \geq d > 60$
粗粒组	砾粒(角砾)	粗砾	$60 \geq d > 20$
		中砾	$20 \geq d > 5$
		细砂	$5 \geq d > 2$
	砂 粒	粗砂	$2 \geq d > 0.5$
		中砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细粒组	粉 粒	$0.075 \geq d > 0.005$	
	粘 粒	$d \leq 0.005$	

3.0.5 土颗粒组成特性应以土的级配指标(不均匀系数  $C_u$  和曲率系数  $C_c$ )表示。

1 不均匀系数  $C_u$  :反映土中颗粒级配均匀程度的一个系数,应按式(3.0.5-1)计算:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3.0.5-1)$$

式中  $d_{10}$ 、 $d_{60}$  ——在粒径分布曲线上粒径累积质量分别占总质量 10%和 60%的粒径。

2 曲率系数  $C_c$  :反映粒径分布曲线的形状,是颗粒级配优劣程度的一个系数,应按式(3.0.5-2)计算:

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} d_{60}} \quad (3.0.5-2)$$

式中  $d_{30}$  ——在粒径分布曲线上,粒径累积质量占总质量的 30%的粒径。

其余符号见式(3.0.5-1)

3.0.6 土类基本代号应符合下列规定。

漂石(块石)	B
卵石(碎石)	$C_b$
砾(角砾)	G
砂	S
粉土	M
粘土	C
细粒土(C和M合称)	F
混合土(粗、细粒土合称)	SI
有机质土	O
黄土	Y
膨胀土	E
红粘土	R
盐渍土	St
级配良好	W
级配不良	P
高液限	H
低液限	L

3.0.7 表示土类的代号按下列规定构成。

1 1个代号即表示土的名称。

示例: $C_b$ ——卵石、碎石;

M——粉土。

2 由 2 个基本代号构成时,第 1 个基本代号表示土的主成分,第 2 个基本代号表示土的特性指标(土的液限或土的级配)。

示例:GP——不良级配砾;

CL——低液限粘土。

3 由 3 个基本代号构成时,第 1 个基本代号表示土的主成分,第 2 个基本代号表示液限的高低(或级配的好坏),第 3 个基本代号表示土中所含次要成分。

示例:CHG——含砾高液限粘土;

MLS——含砂低液限粉土。

## 4 土的分类

### 4.1 一般程序

4.1.1 根据土中未完全分解的动植物残骸和无定形物质判定是有机土还是无机土。有机质呈黑色、青黑色或暗色,有臭味,手触有弹性和海绵感。

注:当不能判定时,可将试样在 105~110℃的烘箱中烘焙一昼夜,焙烘后试样的液限降低到未烘焙试样液限的 3/4 时,则试样为有机质土。

4.1.2 对于无机土,则按巨粒土、粗粒土和细粒土进行细分类。

### 4.2 巨粒土和含巨粒土的分类和定名

4.2.1 试样中巨粒组质量大于总质量 50%的土称巨粒类土。

4.2.2 试样中巨粒组质量为总质量的 15%~50%的土为巨粒混合土。

4.2.3 试样中巨粒组质量小于总质量 15%的土,可扣除巨粒,按粗粒土或细粒土的相应规定分类、定名。

4.2.4 巨粒土和含巨粒土的分类、定名,应符合表 4.2.4 的规定。

### 4.3 粗粒土的分类和定名

4.3.1 试样中粗粒组质量大于总质量 50%的土称粗粒类土。

4.3.2 粗粒类土中砾粒组质量大于总质量 50%的土称砾类土;砾粒组质量小于或等于总质量 50%的土称砂类土。

表 4.2.4 巨粒土和含巨粒土的分类

土类	粒组含量		土代号	土名称
巨粒土	巨粒含量 100%~75%	漂石粒含量>50%	B	漂石
		漂石粒含量≤50%	C <sub>b</sub>	卵石
混合巨粒土	巨粒含量 小于75%,大于50%	漂石粒含量>50%	BSI	混合土漂石
		漂石粒含量≤50%	C <sub>b</sub> SI	混合土卵石
巨粒混合土	巨粒含量 50%~15%	漂石含量>卵石含量	SIB	漂石混合土
		漂石含量≤卵石含量	SIC <sub>b</sub>	卵石混合土

4.3.3 砾类土应根据其中细粒含量及类别、粗粒组的级配,按表 4.3.3 分类和定名。

表 4.3.3 砾类土分类

土类	粒组含量		土代号	土名称
砾	细粒含量 小于5%	级配: $C_u \geq 5$ $C_c = 1 \sim 3$	GW	级配良好砾
		级配:不同时满足 上述要求	GP	级配不良砾
含细粒土砾	细粒含量 5%~15%		GF	含细粒土砾
细粒土质砾	15%<细粒含量≤50%	细粒为粘土	GC	粘土质砾
		细粒为粉土	GM	粉土质砾

注 表中细粒土质砾土类,应按细粒土在塑性图中的位置定名。

4.3.4 砂类土应根据其中细粒含量及类别、粗料组的级配,按表 4.3.4 分类和定名。

#### 4.4 细粒土分类和定名

4.4.1 试样中细粒组质量大于或等于总质量 50%的土称细粒类土。

4.4.2 细粒类土应按下列规定划分。

- 1 试样中粗粒组小于总质量 25%的土称细粒土。
- 2 试样中粗粒组质量为总质量的 25%~50%的土称含粗粒

表 4.3.4 砂类土的分类

土类	粒 组 含 量		土代号	土名称
砂	细粒含量 小于 5%	级配: $C_u \geq 5$ $C_c = 1 \sim 3$	SW	级配良好砂
		级配: 不同时满足 上述要求	SP	级配不良砂
含细粒土砂	细粒含量 5%~15%		SF	含细粒土砂
细粒土质砂	15% < 细粒含量 ≤ 50%	细粒为粘土	SC	粘土质砂
		细粒为粉土	SM	粉土质砂

注 表中细粒土质砂土类,应按细粒土在塑性图中的位置定名。

的细粒土。

3 试样中含有部分有机质(有机质含量  $5\% \leq O_u \leq 10\%$ )的土称有机质土。

4.4.3 细粒土应根据塑性图分类。塑性图的横坐标为土的液限 ( $\omega_L$ ),纵坐标为塑性指数 ( $I_p$ )。塑性图中有 A、B 两条界限线。

1 A 线方程式:  $I_p = 0.73(\omega_L - 20)$ 。A 线上侧为粘土,下侧为粉土。

2 B 线方程式:  $\omega_L = 50$ 。  $\omega_L \geq 50$  为高液限,  $\omega_L < 50$  为低液限。

3 本标准的塑性图为图 4.4.3。

4.4.4 细粒土应按塑性图中的位置确定土的类别,并按表 4.4.4 分类和定名。

表 4.4.4 细粒土的分类

土的塑性指标在塑性图中的位置		土代号	土名称
塑性指数 ( $I_p$ )	液限 ( $\omega_L$ )		
$I_p \geq 0.73(\omega_L - 20)$ 和 $I_p \geq 10$	$\omega_L \geq 50\%$	CH	高液限粘土
	$\omega_L < 50\%$	CL	低液限粘土
$I_p < 0.73(\omega_L - 20)$ 和 $I_p < 10$	$\omega_L \geq 50\%$	MH	高液限粉土
	$\omega_L < 50\%$	ML	低液限粉土

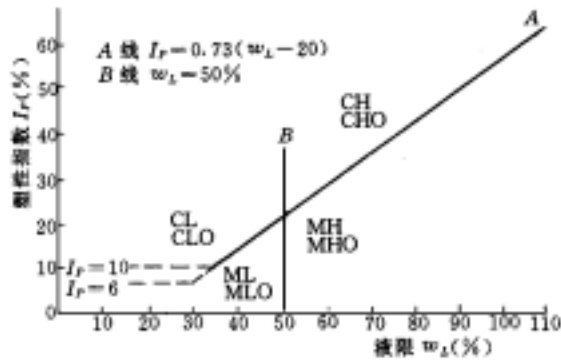


图 4.4.3 塑性图

4.4.5 含粗粒土的细粒土先按表 4.4.4 规定确定细粒土名称,再按下列规定最终定名。

1 粗粒中砾粒占优势,称含砾细粒土,应在细粒土名代号后缀以代号 G。

示例:CHG——含砾高液限粘土;

MLG——含砾低液限粉土。

2 粗粒中砂粒占优势,称含砂细粒土,应在细粒土代号后缀以代号 S。

示例:CHS——含砂高液限粘土;

MLS——含砂低液限粉土。

4.4.6 有机质土可按表 4.4.4 规定划分定名,在各相应土类代号之后缀以代号 O。

示例:CHO——有机质高液限粘土;

MLO——有机质低液限粉土。

#### 4.5 特殊土分类

4.5.1 黄土、膨胀土和红粘土等特殊土类在塑性图中的基本位置见表 4.5.1。其相应的初步判别见表 4.5.1。

4.5.2 黄土、膨胀土、红粘土等特殊土的最终分类和定名尚应遵

照相应的专门规范。本规程仅规定在塑性图中的基本位置和相应的学名。

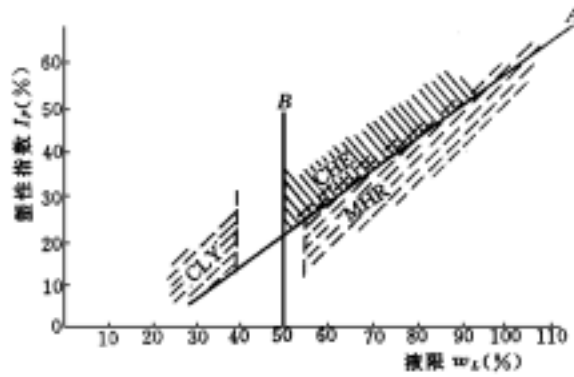


图 4.5.1 特殊土塑性图

表 4.5.1 黄土、膨胀土和红粘土的判别

土的塑性指标在塑性图中的位置		土代号	土名称
塑性指数 ( $I_p$ )	液限 ( $\omega_L$ )		
$I_p \geq 0.73(\omega_L - 20)$	$\omega_L < 40\%$	CLY	低液限粘土(黄土)
	$\omega_L > 50\%$	CHE	高液限粘土(膨胀土)
$I_p < 0.73(\omega_L - 20)$	$\omega_L > 55\%$	MHR	高液限粉土(红粘土)

## 5 土的简易鉴别、分类和描述

### 5.1 简易鉴别方法

5.1.1 简易鉴别方法是用目测法代替筛析法确定土颗粒组成及其特征；用干强度、手捻、搓条、韧性和摇振反应等定性方法代替用仪器测定土的塑性。

5.1.2 土的有机质可按本规程 4.1.1 的规定鉴定。

5.1.3 土粒粒组含量的确定：可将研碎的风干试样摊成一薄层，凭目测估计土中巨、粗、细粒组所占的比例。再按本规程 4.2 至

4.4的有关规定确定其为巨粒土、粗粒土(砾类土或砂类土)和细粒土。

**5.1.4 干强度试验。**将一小块土捏成土团风干后用手指掰断、捻碎。根据用力大小可区分为：

- 1 干强度高——很难或用力才能捏碎或掰断；
- 2 干强度中等——稍用力即可捏碎或掰断；
- 3 干强度低——易于捏碎或捻成粉末。

**5.1.5 手捻试验。**将稍湿或硬塑的小土块在手中揉捏，然后用拇指和食指将土捻成片状，根据手感和土片光滑度可区分为：

- 1 塑性高——手感滑腻，无砂，捻面光滑；
- 2 塑性中等——稍有滑腻感，有砂粒，捻面稍有光泽；
- 3 塑性低——稍有粘性，砂感强，捻面粗糙。

**5.1.6 搓条试验。**将含水率略大于塑限的湿土块在手中揉捏均匀，再在手掌上搓成土条。根据土条断裂而能达到的最小直径可区分为：

- 1 塑性高——能搓成直径小于 1mm 的土条；
- 2 塑性中等——能搓成直径为 1~3mm 的土条；
- 3 塑性低——搓成直径大于 3mm 的土条即断裂。

**5.1.7 韧性试验。**将含水率略大于塑限的土块在手中揉捏均匀，然后在手掌中搓成直径为 3mm 的土条，再揉成土团。根据再次搓条的可能性可区分为：

- 1 韧性大——能揉成土团，再搓成条，捏而不碎；
- 2 韧性中等——可再揉成团，捏而不易碎；
- 3 韧性小——勉强或不能揉成团，稍捏或不捏即碎。

**5.1.8 摇振反应试验。**将软塑至流动的小土块捏成土球，放在手掌上反复摇晃，并用另一手振击该手掌，土中自由水渗出，球面呈现光泽；用两手指捏土球，放松手水又被吸入，光泽消失。根据上述渗水和吸水反应快慢。可区分为：

- 1 反应快——立即渗水和吸水；
- 2 反应中等——渗水和吸水中等；



3 反应慢(或无反应)——渗水和吸水慢或不渗不吸。

## 5.2 鉴别分类

5.2.1 巨粒土和粗粒土根据 5.1.3 的目估结果,按本规程表 4.2.4、表 4.3.3 和表 4.3.4 的规定进行分类和定名。

5.2.2 细粒土可根据本规程 5.1.2 和 5.1.4 至 5.1.8 的试验结果,按表 5.2.2 进行分类和定名。

表 5.2.2 细粒土简易分类

半固态时的干强度	硬塑—可塑状态时的手捻感和光滑度	土在可塑状态时		软塑—流动状态时的摇振反应	土类代号
		可搓成最小直径(mm)	韧性		
低—中	灰黑色,粉粒为主,稍粘,捻面粗糙。	3	低	快—中	MLO
中	砂粒稍多,有粘性,捻面较粗糙,无光泽。	2—3	低	快—中	ML
中—高	有砂粒,稍有滑腻感,捻面稍有光泽,灰黑色者为 CLO	1—2	中	无—很慢	CL CLO
中	粉粒较多,有滑腻感,捻面较光滑	1—2	中	无—慢	MH
中—高	灰黑色,无砂,滑腻感强,捻面光滑	<1	中—高	无—慢	MHO
高—很高	无砂感,滑腻感强,捻面有光泽,灰黑色者为 CHO	<1	高	无	CH CHO

## 5.3 土状态描述

5.3.1 在现场采样和试验开启土样时,应按下述内容描述土的状态。

1 巨粒土和粗粒土:通俗名称及当地名称;土颗粒的最大粒径;漂石粒、卵石粒、砾粒、砂粒组的含量百分数;土颗粒形状(圆、次圆、棱角或次棱角);土颗粒矿物成分;土的颜色和有机物含量;

细粒土成分(粘土或粉土);土的代号和名称。

示例:粉质砂土,含砾约 20%,最大粒径约 10mm,砾坚,带棱角;砂粒由粗到细,粒圆;含约 15%的无塑性粉质土,干强度低,密实,天然状态潮湿,系冲积砂(SM)。

**2 细粒土:**通俗名称及当地名称;土粒的最大粒径;巨粒、砾粒、砂粒组的含量百分数;潮湿时颜色及有机质含量;土的湿度(干、湿、很湿或饱和);土的状态(流动、软塑、可塑或硬塑);土的塑性(高、中或低);土的代号和名称。

示例:粘质粉土,棕色,微有塑性,含少量细砂,有无数垂直根孔,天然状态坚实,系黄土(CLY)。

**5.3.2 土的状态应根据不同用途按下列各项分别描述。**

**1 当用作填土时:**不同土类的分布层次和范围。

**2 当用作地基时:**土类的分布层次及范围;土层结构、层理特征;密实度和稠度。