

ICS 编号

CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

土的分散性判别试验规程

Test code for dispersion of soil

（征求意见稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 次

前 言	II
1 总则	1
2 规范性引用文件	2
3 术语	3
4 符号	4
5 基本规定	6
6 双密度计法评价土的分散性	7
6.1 一般规定	7
6.2 仪器设备	7
6.3 操作步骤	7
6.4 评价标准	11
7 针孔法评价土的分散性	12
7.1 一般规定	12
7.2 仪器设备	12
7.3 试样制备	12
7.4 操作步骤	13
7.5 评价标准	15
8 土块法评价土的分散性	17
8.1 一般规定	17
8.2 仪器设备	17
8.3 试样制备	17
8.4 操作步骤	18
8.5 评价标准	18
9 孔隙水阳离子法评价土的分散性	19
9.1 一般规定	19
9.2 浸出液制取	19
9.3 钙离子 (Ca^{2+}) 的测定 (EDTA 法)	19
9.4 镁离子 (Mg^{2+}) 的测定 (钙镁含量滴定法)	21
9.5 钠离子 (Na^{+}) 和钾离子 (K^{+}) 的测定 (火焰光度法)	21
9.6 评价标准	22
附录 A: 土粒比重校正	24
附录 B: 温度校正	25
附录 C: 水的动力黏滞系数 ($1 \times 10^{-6} \text{kPa} \cdot \text{s}$)	26
附录 D: 粒径计算系数 K 值表	27
附录 E: 土的分散性综合判别	28
本标准用词说明	29
引用标准名录	30
条文说明	31

前 言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，本标准按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本标准共分为 7 章和 5 个附录，主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、双密度计法评价土的分散性、针孔法评价土的分散性、土块法评价土的分散性、孔隙水阳离子法评价土的分散性等。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条 16 号，邮编 100053），以便今后修订时参考。

本标准主编单位：中水北方勘测设计研究有限责任公司

本标准参编单位：四川省水利水电勘测设计研究院有限公司

江河工程检验检测有限公司

本标准主要起草人：牛 坤 何贤广 罗绪远 王鹏程 李玉贵
赵 永 张庆建 于 磊 张富臣 邵祎迪
玉 博 于可忱 李远洋 黄志望 李 省

1 总则

- 1.1 为测定土的分散性，统一试验方法，客观判别土的分散性类别，制定本标准。
- 1.2 本标准适用于粒径小于 2.00mm 的土的分散性判别试验。

2 规范性引用文件

2.1 本标准主要引用下列标准：

GB/T 50123-2019 土工试验方法标准

YS/T 5225-2016 土工试验规程

SL 251-2015 水利水电工程天然建筑材料勘察规程

NB/T 10235-2019 水电工程天然建筑材料勘察规程

2.2 土的分散性试验除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

3 术语

3.1 双密度计法 double densimeter method

对土样进行不同条件下的两次密度计试验来测定黏粒（ $<0.005\text{mm}$ ）含量，得出土的分散度以判别其分散性的方法，简称双密度计法。

3.2 针孔法 pinhole test method

通过土的抗冲蚀能力判别土的分散性的方法称为针孔法。

3.2 土块法 soil block method

根据肉眼观察浸放在水里的土块中胶粒的分散性状，判别土的分散性类别的方法称为土块法。

3.4 孔隙水阳离子法 cation of pore water method

通过对影响分散性的关键性因素钠离子采用钠百分比定量指标判定土的分散性的方法称为孔隙水阳离子法。

3.5 分散度 dispersion

不加分散剂的黏粒含量与加分散剂黏粒含量之比，以百分数表示。

4 符号

4.1 物理性质指标

w_0 ——风干土含水率；

m_0 ——风干土质量；

m_d ——干土质量；

K_T —— $T^\circ\text{C}$ 时悬液的电导率；

T ——测定时悬液的温度；

C_s ——土粒比重校正值；

m_T ——温度校正值；

n_w ——弯液面校正值；

C_D ——分散剂校正值；

ρ_s ——土粒密度；

ρ_{w20} —— 20°C 时水的密度；

d ——粒径；

η ——水的动力黏滞系数；

G_{wT} ——温度为 $T^\circ\text{C}$ 时的水的比重；

ρ_{w0} —— 4°C 时水的密度；

g ——重力加速度；

L_t ——某一时间 t 内的土粒沉降距离；

t ——沉降时间；

w_L ——液限含水率。

4.2 化学性质指标

$C(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液的浓度；

$b(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+})$ ——钙离子的质量摩尔浓度；

$b(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+})$ ——镁离子的质量摩尔浓度；

$b(\text{Na}^+)$ ——钠离子的质量摩尔浓度；

$b(\text{K}^+)$ ——钾离子的质量摩尔浓度。

4.3 分散性计算指标

D——分散度；

TDS——孔隙水中阳离子总量；

PS——钠百分比。

5 基本规定

5.1 本标准所用的仪器设备应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的有关规定，并应进行检定或校准。

5.2 本标准试验用水，除特殊要求外均应为纯水。

5.3 本标准试验用试剂，除特殊要求外应为国家标准二级品或以上等级的试剂。

6 双密度计法评价土的分散性

6.1 一般规定

6.1.1 本试验方法适用于粒径小于 2.00mm 的土。

6.2 仪器设备

6.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 密度计应符合下列规定：

1) 甲种：刻度单位以 20℃时每 1000mL 悬液内所含土质量的克数表示，刻度为-5~50，分度值为 0.5；

2) 乙种：刻度单位以 20℃时悬液的比重表示，刻度为 0.995~1.020，分度值为 0.0002。

2 试验筛应符合下列规定：

1) 细筛：孔径 2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.15mm；

2) 洗筛：孔径 0.075mm。

3 天平：称量 200g，分度值 0.01g。

4 量筒：高约 45cm，直径约 6cm，容积 1000mL。刻度为 0mL~1000mL，分度值为 10mL。

5 温度计：刻度 0℃~50℃，分度值 0.5℃。

6 洗筛漏斗：直径略大于洗筛直径，使洗筛恰可套入漏斗中。

7 搅拌器：轮径 50mm，孔径约 3mm；杆长约 400mm，带旋转叶。

8 其他：烘箱、锥形瓶、秒表、煮沸设备、真空设备、电导率仪等。

6.2.2 试剂应符合下列规定：

1 分散剂：浓度 4%六偏磷酸钠，6%过氧化氢，1%硅酸钠；

2 水溶盐检验试剂：10%盐酸，5%氯化钡，10%硝酸，5%硝酸银。

6.3 操作步骤

6.3.1 双密度计法试验将试样分为两组，一组采用煮沸后加分散剂的颗粒分析试验方法，另一组采用不煮沸不加分散剂的颗粒分析试验方法。

6.3.2 采用煮沸后加分散剂的颗粒分析试验方法，应按下列步骤进行试验：

1 宜采用风干土试样，并按下式计算试样干质量为 30g 时所需的风干土质量：

$$m_0 = m_d(1 + 0.01w_0) \quad (6.3.2-1)$$

式中： w_0 ——风干土含水率（%）；

m_0 ——风干土质量（g）；

m_d ——干土质量（g）。

2 试样中易溶盐含量大于总质量的 0.5%时，应洗盐。易溶盐含量检验可用电导

法或目测法:

1) 电导法应按电导率仪使用说明书操作, 测定温度 $T^{\circ}\text{C}$ 时试样溶液(土水比 1:5) 的电导率, 20°C 时的电导率应按下式计算:

$$K_{20} = \frac{K_T}{1+0.02(T-20)} \quad (6.3.2-2)$$

式中: K_{20} —— 20°C 时悬液的电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$);

K_T —— $T^{\circ}\text{C}$ 时悬液的电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$);

T ——测定时悬液的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

当 $K_{20} > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 时, 应洗盐。

2) 目测法应取风干试样 3g 于烧杯中, 加适量纯水调成糊状研散, 再加纯水 25mL 煮沸 10min 冷却后移入试管中, 放置过夜, 观察试管, 当出现凝聚现象时应洗盐。

3 洗盐应按下列步骤进行:

1) 将分析用的试样放入调土杯内, 注入少量纯水, 拌和均匀。迅速倒入贴有滤纸的漏斗中, 并注入纯水冲洗过滤。附在调土杯上的土粒全部洗入漏斗。发现滤液混浊时, 应重新过滤。

2) 应经常使漏斗内的液面保持高出土面约 5cm。每次加水后, 应用表面皿盖住漏斗。

3) 检查易溶盐清洗程度, 可用 2 个试管各取刚滤下的滤液 3mL~5mL, 一管加入 3~5 滴 10% 盐酸和 5% 氯化钡; 另一管加入 3~5 滴 10% 硝酸和 5% 硝酸银。当发现管中有白色沉淀时, 试样中的易溶盐未洗净, 应继续清洗, 直至检查时试管中均不再发现白色沉淀为止。

4) 洗盐后将漏斗中的土样仔细洗下, 风干试样。

4 称干质量为 30g 的风干试样倒入锥形瓶中, 勿使土粒丢失。注入水 200mL, 浸泡约 12h。

5 将锥形瓶放在煮沸设备上, 连接冷凝管进行煮沸。煮沸时间约为 1h。

6 将冷却后的悬液倒入瓷杯中, 静置约 1min, 将上部悬液倒入量筒。杯底沉淀物用带橡皮头研杵细心研散, 加水, 经搅拌后, 静置约 1min, 再将上部悬液倒入量筒。如此反复操作, 直至杯内悬液澄清为止。当土中粒径大于 0.075mm 的颗粒大致超过试样总质量的 15% 时, 应将其全部倒至 0.075mm 筛上冲洗, 直至筛上仅留大于 0.075mm 的颗粒为止。

7 将留在洗筛上的颗粒洗入蒸发皿内, 倾去上部清水, 烘干后分级筛析称量。

8 将过筛悬液倒入量筒, 加 4% 浓度的六偏磷酸钠约 10mL 于量筒溶液中, 再注入纯水, 使筒内悬液达 1000mL。当加入六偏磷酸钠后土样产生凝聚时, 应选用其他分散剂。

9 用搅拌器在量筒内沿整个悬液深度上下搅拌约 1min, 往复各约 30 次, 搅拌时勿使悬液溅出筒外。使悬液内土粒均匀分布。

10 取出搅拌器,将密度计放入悬液中同时开动秒表。可测经 0.5min、1min、2min、5min、15min、30min、60min、120min、180min 和 1440min 时的密度计读数。

11 每次读数均应在预定时间前 10s~20s 将密度计小心地放入悬液接近读数的深度,并应将密度计浮泡保持在量筒中部位置,不得贴近筒壁。

12 密度计读数均以弯液面上缘为准。甲种密度计应准确至 0.5,乙种密度应准确至 0.0002。每次读数完毕立即取出密度计放入盛有纯水的量筒中。并测定各相应的悬液温度,准确至 0.5℃。放入或取出密度计时,应尽量减少悬液的扰动。

13 当试样在分析前未过 0.075mm 洗筛,在密度计第 1 个读数时,发现下沉的土粒已超过试样总质量的 15%时,则应于试验结束后,将量筒中土粒过 0.075mm 筛,按本标准第 4.3.2 条第 7 款的规定进行筛析,并应计算各级颗粒占试样总质量的百分比。

6.3.3 采用不煮沸不加分散剂的颗粒分析试验方法,应按下列步骤进行试验:

1 宜采用风干土试样,并按式 6.3.2-1 计算试样干质量为 30g 时所需的风干土质量。

2 称干质量为 30g 的风干试样倒入锥形瓶中,勿使土粒丢失。注入水 200mL,浸泡约 12h。

3 将锥形瓶放入真空缸中,将真空缸与真空泵相连接,启动真空泵。

4 抽气 10min 后,关闭真空泵,取出锥形瓶,结束抽气。

5 将悬液冲洗到 1000mL 量筒中,加纯水至满刻度,用手掌或橡皮塞堵住量筒口,倒转量筒来回摇晃 1min,来回各约 30 次,让黏土颗粒自行水化分解。摇晃 1min 结束时,启动秒表开始计时。步骤 3 和 5 之间不超过 1h。

6 测经 0.5min、1min、2min、5min、15min、30min、60min、120min、180min 和 1440min 时的密度计读数。

7 每次读数均应在预定时间前 10s~20s 将密度计小心地放入悬液接近读数的深度,并应将密度计浮泡保持在量筒中部位置,不得贴近筒壁。

8 密度计读数均以弯液面上缘为准。甲种密度计应准确至 0.5,乙种密度应准确至 0.0002。每次读数完毕立即取出密度计放入盛有纯水的量筒中。并测定各相应的悬液温度,准确至 0.5℃。放入或取出密度计时,应尽量减少悬液的扰动。

9 当试样在分析前未过 0.075mm 洗筛,在密度计第 1 个读数时,发现下沉的土粒已超过试样总质量的 15%时,则应于试验结束后,将量筒中土粒过 0.075mm 筛,按本标准第 4.3.2 条第 7 款的规定进行筛析,并应计算各级颗粒占试样总质量的百分比。

6.3.4 颗粒分析试验成果应按下列方法进行计算:

1 黏粒含量(<0.005mm 的颗粒)占试样总质量百分数应按下列公式计算:

(1) 甲种密度计:

$$X = \frac{100}{m_d} C_s (R_1 + m_T + n_w - C_D) \quad (6.3.4-1)$$

$$C_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}} \cdot \frac{2.65 - \rho_{w20}}{2.65} \quad (6.3.4-2)$$

式中：X——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数（%）；

C_s ——土粒比重校正值，也可按附录 A 执行；

R_1 ——甲种密度计读数；

m_T ——温度校正值，可按附录 B 执行；

n_w ——弯液面校正值；

C_D ——分散剂校正值；

ρ_s ——土粒密度（ g/cm^3 ）；

ρ_{w20} ——20℃时水的密度（ g/cm^3 ）。

(2) 乙种密度计：

$$X = \frac{100V}{m_d} C'_s [(R_2 - 1) + m'_T + n'_w - C'_D] \rho_{w20} \quad (6.3.4-3)$$

$$C'_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}} \quad (6.3.4-4)$$

式中：V——悬液体积（mL）；

C'_s ——土粒比重校正值，也可按附录 A 执行；

R_2 ——乙种密度计读数；

m'_T ——温度校正值，可按附录 B 执行；

n'_w ——弯液面校正值；

C'_D ——分散剂校正值。

2 粒径应按下式计算：

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wT}) \rho_{w0} g} \cdot \frac{L_t}{t}} \quad (6.3.4-5)$$

式中：d——粒径（mm）；

η ——水的动力黏滞系数（ $1 \times 10^{-6} \text{kPa} \cdot \text{s}$ ），可按附录 C 执行；

G_{wT} ——温度为 T℃时的水的比重；

ρ_{w0} ——4℃时水的密度（ g/cm^3 ）；

g——重力加速度（ 981cm/s^2 ）；

L_t ——某一时间 t 内的土粒沉降距离（cm）；

t——沉降时间（s）。

为了简化计算，式（6.3.4-5）也可以写成：

$$d = K \sqrt{\frac{L_t}{t}} \quad (6.3.4-6)$$

式中：K——粒径计算系数 [$K = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wT}) \rho_{w0} g}}$]，与悬液温度和土粒比重有关。其

值可按附录 D 执行。

6.3.5 分散度应按下列公式计算：

$$D = \frac{\text{不加分散剂的黏粒含量}}{\text{加分散剂的黏粒含量}} \times 100\% \quad (6.3.5-1)$$

式中：D——分散度。

6.4 评价标准

6.4.1 双密度计法评价土的分散性应按下表进行评价：

表 6.4.1 双密度计试验评价土的分散性标准

类别	分散度 D/%
分散性土	>50
过渡性土	30~50
非分散性土	<30
注：D=（不加分散剂的黏粒含量/加分散剂的黏粒含量）×100%	

注：双密度计法针对分散性土与普通黏性土的差别设计的分析试验，但它无法反映水流对土粒的冲刷因素，且对含盐量大的土结果不可靠。

7 针孔法评价土的分散性

7.1 一般规定

- 7.1.1 针孔法适用于原状样和扰动样。
- 7.1.2 针孔法适用于粒径小于 2.00mm 的土样。
- 7.1.3 针孔试验不适宜于黏粒含量 ($<0.005\text{mm}$) 小于 10% 和塑性指数不大于 4 的土。

7.2 仪器设备

- 7.2.1 本试验制样设备应符合下列规定：

- 1 试验筛：孔径 2mm。
- 2 台秤：称量 10kg，分度值 5g。
- 3 天平：称量 200g，分度值 0.01g。
- 4 针孔试验制样器
 - (1) 仪器筒：内径为 30mm~38mm，有效高度大于 38mm；
 - (2) 钢针：直径 1.0mm；
 - (3) 锥体底座：高度为 13mm，其孔内径为 1.5mm，底边直径略小于配套的仪器筒内径。
 - (4) 开样器：开样器适配仪器筒尺寸，上部可与仪器筒紧密连接，下部刃口内径同仪器筒内径一致。
- 5 其他：击锤、切土刀、钢丝锯、碎土工具、烘箱、保湿缸、喷水设备等。

- 7.2.2 针孔试验设备应符合下列规定：

- 1 针孔渗透仪：仪器筒、锥形透水板、滤网、止水夹、橡皮塞底座及支架。锥形透水板是顶端有且仅有一个 1.5mm 孔径透水孔的斗笠状金属片，在其与滤网之间充填粒径 5mm~10mm 的砾石作为过滤层，确保水流由下而上平稳进入试样中预先制备的孔径为 1.0mm 轴向贯通孔，减少水头损失。
- 2 供水设备：供水箱、提升架、橡皮管。供水箱设置溢流堰，能保持常水头。
- 3 量测设备：测压管、量筒、卡尺和秒表。

7.3 试样制备

- 7.3.1 当采用原状样进行针孔法试验时，应按下列步骤进行试样制备：

- 1 小心开启原状土样包装皮，辨别土样上下和层次，整平土样两端。无特殊要求时，切土方向与天然层次垂直。
- 2 将针孔试验开样器连接于仪器筒下部。
- 3 刃口向下放在土样上，用切土刀将土样切削成稍大于仪器筒直径的土柱，然后将仪器筒与开样器垂直向压，边压边削，至土样刚好达到仪器筒内部刻线为止。削

去下部余土。

4 小心掏出开样器内部土料，将开样器与仪器筒分离。

5 将试样底部刮开适配于椎体底座的椎体空间，将椎体底座装入试样。依照椎体底座尖端开孔位置，小心插入钢针。

6 采用黏土或其他材料将试样和筒壁之间密封，防止水流从筒壁和试样之间穿过。

7 测定土样密度、含水率，并描述试样的均质性特征。

7.3.2 当采用扰动样进行针孔法试验时，应按下列步骤进行试样制备：

1 将全部土样置于橡皮板上风干，用木锤将土块及附着在粗颗粒土上的细粒土敲散，应避免破坏土的天然颗粒。

2 将全部土样过 2mm 筛，去掉粗砂或砾石颗粒。

3 取筛下足够试验用的土样，测定风干含水率，并按照制样指标加入需要的水量。放置 24h，使土样含水率均匀。加水量按下式计算：

$$m_w = \frac{m}{1+0.01w_0} \times 0.01(w - w_0) \quad (7.3.2-1)$$

式中： m_w ——加水质量（g）；

m ——土样质量（g）；

w ——试验要求含水率（%）。

4 在底座中间圆孔内插入钢针，后将仪器筒放置在制样底座上，称取一定质量的土样放入仪器筒中。

5 将土样分层夯实，层与层之间刮毛，以保证土样均一性。

6 试样制样完成后，从试样顶部拔出一定长度钢针，并在试样底部刮开适配于椎体底座的椎体空间，将椎体底座装入试样。

7.4 操作步骤

7.4.1 水平针孔法试验应按下列步骤进行：

1 从保湿缸内取出仪器筒，推动钢针贯穿试样后拔出，在圆柱状试样中心形成直径为 1.0mm 的轴向贯通针孔，拔出过程中应将钢针旋转 4~5 次，使针孔干净、畅通。

2 在试样筒内的上部和下部放上金属网和砾石块。

3 依照图 5.4.1 装配仪器。将针孔试验仪放在水平稳定的操作台上。

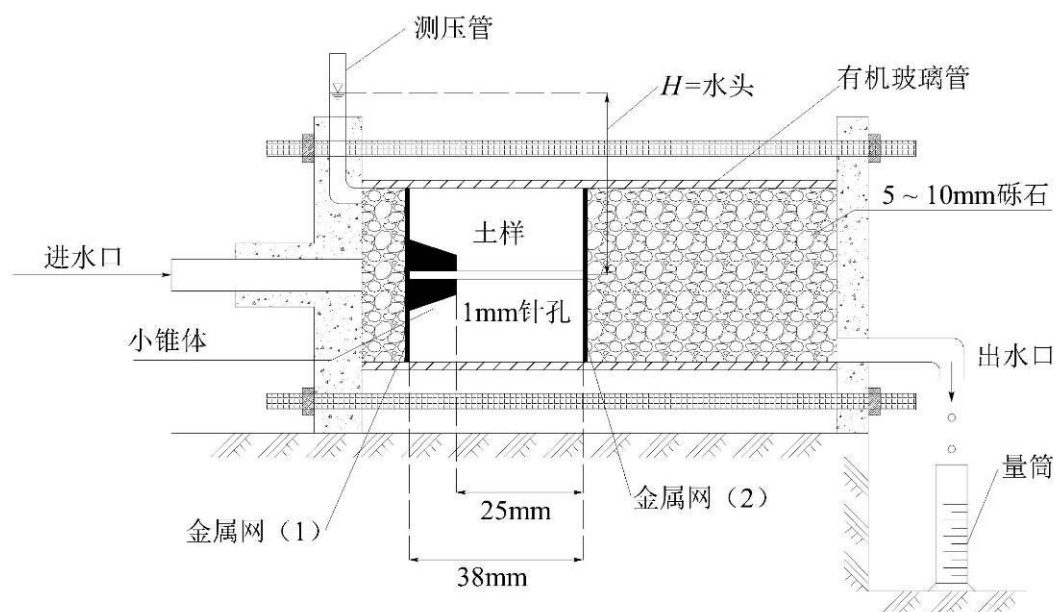


图 7.4.1 水平针孔试验装置示意图

4 连接进水管。在 50mm、180mm、380mm 和 1020mm 水头下，每级水头时间间隔 5min~10min，让水透过针孔。用秒表和量筒连续测量流量并记录时间，计算某水头下渗出流量。通过侧视和俯视观察量筒中水的颜色。

5 试验结束后，拆卸仪器，检查试样针孔大小，与穿孔钢针比较，确定孔径尺寸。

7.4.2 垂直针孔法试验应按下列步骤进行：

1 将橡皮塞底座固定在支架上，调整供水箱的高度，检查仪器的各部件是否堵塞及漏水等。检查完毕后，降低供水箱高度，使其水位与橡皮塞的出水管口持平，用止水夹阻断水流。

2 从保湿缸内取出仪器筒，推动钢针贯穿试样后拔出，在圆柱状试样中心形成直径为 1.0mm 的轴向贯通针孔，拔出过程中应将钢针旋转 4~5 次，使针孔干净、畅通。

3 依照图 5.4.2 装配仪器。在试样下部锥形空间充填粒径 5mm~10mm 的砾石作为过滤层，并放置金属滤网。将橡皮塞底座缓慢插入仪器筒底部，使其紧密贴合仪器筒内壁和滤网，且不扰动试样。

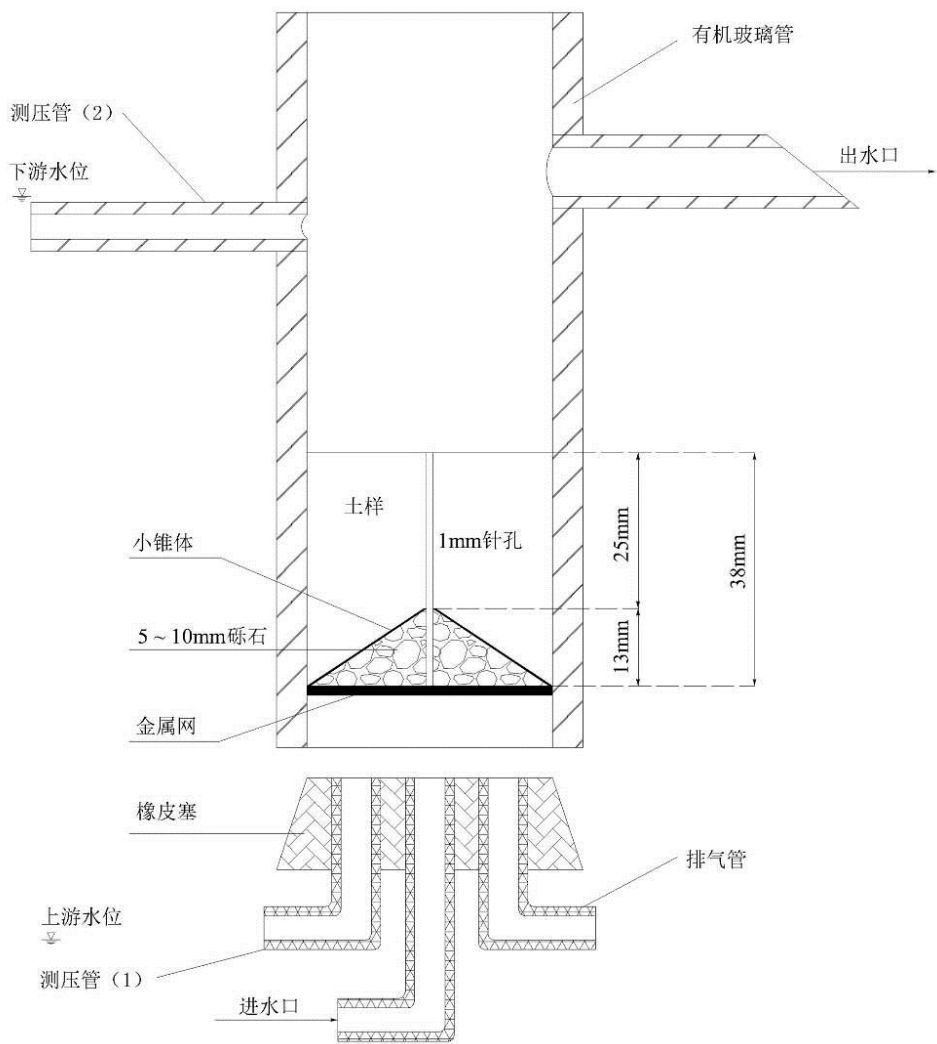


图 7.4.2 垂直针孔试验装置示意图

4 试验过程中提升供水箱，在 50mm、180mm、380mm 和 1020mm 水头下，每级水头时间间隔 5min~10min，让水透过针孔。用秒表和量筒连续测量流量并记录时间，计算某水头下渗出流量。通过侧视和俯视观察量筒中水的颜色。

5 试验结束后，拆卸仪器，检查试样针孔大小，与穿孔钢针比较，确定孔径尺寸。

7.5 评价标准

7.5.1 针孔法评价土的分散性应按下表进行评价：

表 7.5.1 针孔试验评价土的分散性标准

类别	水头 h(mm)	在某一水头下的试验持续时间 t (min)	最终流量 Q (mL/s)	流出水的混浊情况	最终孔径 d (mm)
分散性土	50	5	1.0~1.4	混 浊	≥2.0
	50	10	1.0~1.4	较混浊	>1.5

过渡性土	50	10	0.8~1.0	稍混浊	≤ 1.5
	180	5	1.4~2.7	较透明	
	380	5	1.8~3.2	较透明	≥ 1.5
非分散性土	1020	5	>3	稍透明	<1.5
	1020	5	<3	透 明	1.0

8 土块法评价土的分散性

8.1 一般规定

- 8.1.1 土块法适用于原状样和扰动样。
- 8.1.2 土块法适用于粒径小于 2.00mm 的土样。
- 8.1.3 土块法不适用黏粒（<0.005mm）小于 10%和塑性指数小于或等于 4 的土。

8.2 仪器设备

8.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 试验筛：孔径 2mm。
- 2 台秤：称量 10kg，分度值 5g。
- 3 天平：称量 200g，分度值 0.01g。
- 4 烧杯：250mL。
- 5 击实器：包括活塞、导管和环刀。
- 6 其他：白色瓷盘、切土刀、钢尺、毛玻璃、钢丝锯、凡士林、碎土工具、烘箱、保湿缸、喷水设备等。

8.3 试样制备

8.3.1 当采用原状样进行针孔法试验时，应按下列步骤进行试样制备：

- 1 小心开启原状土样包装皮，辨别土样上下和层次，整平土样两端。无特殊要求时，切土方向与天然层次垂直。
- 2 将试验用的环刀内壁涂一薄层凡士林，刃口向下放在土样上。用切土刀将土样切削成稍大于环刀直径的土柱，然后将环刀垂直向下压，边压边削，至土样伸出环刀为止。削去两端余土并修平。
- 3 擦净环刀外壁，称环刀、土总量，准确至 0.1g 并测定环刀两端削下土样的含水率，计算试样干密度，并描述试样的均质性特征。将环刀整体暂存于保湿缸内备用。
- 4 试样密度计应按下列公式计算，计算至 0.01g/cm³：

$$\rho = \frac{m}{V_0} \quad (8.3.1-1)$$

式中：ρ——试样湿密度（0.01g/cm³）；

V₀——环刀容积（cm³）。

8.3.2 当采用扰动样进行针孔法试验时，应按下列步骤进行试样制备：

- 1 将全部土样置于橡皮板上风干，用木锤将土块及附着在粗颗粒土上的细粒土敲散，应避免破坏土的天然颗粒。
- 2 将全部土样过 2mm 的筛，取筛下足够试验用的土样，测定风干含水率，装入保湿缸或者塑料袋内备用。

3 根据土样性质及工程要求,从粒径 $\leq 2\text{mm}$ 的土中分别取代表性土样进行物理性质试验。必要时,参照地质鉴定方法,对粒径 $\leq 2\text{mm}$ 土粒特性进行描述。

4 按照制样指标加入需要的水量。放置 24h,使土样含水率均匀。

5 根据环刀的容积及所要求的干密度、含水率,将所需质量的湿土倒入预先装好的环刀内,击打到所需密度。将环刀整体暂存于保湿缸内备用。

8.4 操作步骤

8.4.1 将白色瓷盘放在水平稳定的工作台上。

8.4.2 将 250ml 烧杯放在白色瓷盘之上,加入纯水 250ml。

8.4.3 将用环刀切取或制备完成的试样从保湿缸内取出,将试样从环刀内推出。

8.4.4 将试样放置在毛玻璃上,用切土刀切成边长为 1cm 的立方体试样。

8.4.5 将土块小心放入烧杯中,试验期间不得摇晃烧杯和移动瓷盘。

8.4.6 记录土块放入烧杯的时间,观察土块在水中胶粒的分散性状和烧杯中水的混浊情况。

8.4.7 在 5min 和 10min 时观察和记录土块在水中的分散情况。

8.5 评价标准

8.5.1 土块法评价土的分散性应按下表进行评价:

表 8.5.1 土块试验评价土的分散性标准

类别	浸水后特征
分散性土	土块水解后混浊,土很快扩散到整个量杯底部,水呈雾状,经久不清。
过渡性土	土块水解后四周有微量混浊水,但扩散范围小。
非分散性土	无分散出胶粒的反应,土块水解后在量杯底部以细颗粒状平堆,水色是清的,或稍混浊后很快又变清。

9 孔隙水阳离子法评价土的分散性

9.1 一般规定

9.1.1 孔隙水阳离子法适用于粒径小于 2.00mm 的土样。

9.2 浸出液制取

9.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 过滤设备：包括真空泵、平底瓷漏斗、抽滤瓶。
- 2 离心机：转速为 10000r/min。
- 3 天平：称量 200g，分度值 0.01g。
- 4 其他：广口瓶、细颈瓶等、微孔滤膜。

9.2.2 浸出液制取法试验应按下列步骤进行：

1 取一定质量的干土，用纯水拌和到接近液限的稠度，静置 24h。液限加水量应按下列式计算：

$$m_w = \frac{m}{1+0.01w_0} \times 0.01(w_L - w_0) \quad (9.2.2-1)$$

式中： w_L ——液限含水率（%）。

2 将滤纸用纯水浸湿后贴在漏斗底部，漏斗装在抽滤瓶上，连通真空泵抽气，使滤纸与漏斗贴紧，将振荡后的土悬液摇匀，倾入漏斗中抽气过滤。

3 当发现滤液混浊时，应重新过滤。经反复过滤后仍然混浊，应用离心机分离，或用微孔滤膜过滤。所得的透明滤液即为土的浸出液，贮于细口瓶中供分析用。

9.3 钙离子（ Ca^{2+} ）的测定（EDTA 法）

9.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 酸式滴定管：容量为 25mL，分度值为 0.1mL。
- 2 分析天平：称量 200g，分度值 0.0001g。
- 3 其他：容量瓶、蒸发皿、烘箱等。

9.3.2 本试验所用的试剂应符合下列规定：

- 1 1: 4 盐酸溶液：将浓盐酸 10mL 与 40mL 纯水混匀。
- 2 酒精：浓度为 95%。
- 3 刚果红试纸。
- 4 铬黑 T 指示剂：将 0.5g 铬黑 T 和 100g 烘干氯化钠（NaCl）混合，磨细拌匀，贮于棕色瓶中，并放入干燥器中。
- 5 氨缓冲溶液（pH=10）：将 67.50g 氯化铵（ NH_4Cl ）溶于 300mL 纯水中，加入氨水 570mL，用纯水稀释至 1000mL，贮于塑料瓶中。
- 6 钙指示剂：将 0.5g 钙指示剂和 50g 烘干氯化钠（NaCl）混合，磨细拌匀，贮

于棕色瓶中，并放入干燥器中。

7 2mol/L 氢氧化钠 (NaOH) 溶液应称取 8g 氢氧化钠溶于 100mL 无二氧化碳的纯水中。

8 钙 (Ca^{2+}) 标准溶液：准确称取在 $105^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘干 4h~6h 的分析纯 CaCO_3 0.5004g，溶于 25mL 0.5mol/L 盐酸溶液中，煮沸除去 CO_2 ，用无 CO_2 的纯水洗入 500mL 容量瓶，并稀释至刻度。此溶液浓度为 0.01mol/L。

9 浓度为 0.01mol/L EDTA 标准溶液：称取乙二胺四乙酸二钠 3.720g 溶于无 CO_2 的纯水中，微热溶解，冷却后定容至 1000mL。用氯化锌标准溶液标定。

9.3.3 EDTA 标准溶液的标定应符合下列规定：

1 浓度为 0.01mol/L EDTA 标准溶液的标定应用移液管吸取 3 份浓度为 0.01mol/L 氯化锌标准溶液，每份 10mL，分别注入 3 个锥形瓶中，加纯水至 50mL，加氨缓冲溶液 10mL，铬黑 T 指示剂少许，95% 酒精 5mL，用 EDTA 标准溶液滴定，使溶液由红色变为亮蓝色为止，记下用量。

2 EDTA 标准溶液的浓度应按下式计算，计算至 0.0001mol/L，取 3 个标定值的算术平均值：

$$C(\text{EDTA}) = V_{\text{C}} \frac{C(\text{Zn}^{2+})}{V_{\text{E}}} \quad (9.3.3-1)$$

式中：C(EDTA)——EDTA 标准溶液的浓度 (mol/L)；

V_{C} ——氯化锌标准溶液的用量 (mL)；

$C(\text{Zn}^{2+})$ ——氯化锌标准溶液的浓度 (mol/L)；

V_{E} ——EDTA 标准溶液的用量 (mL)。

9.3.4 钙离子 (Ca^{2+}) 试验应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取土浸出液 25mL，加入 150mL 三角瓶中，放入刚果红试纸一小片。滴入 1: 4 的盐酸溶液，使试纸变蓝色，煮沸除去二氧化碳。当土浸出液中碳酸根和重碳酸根含量很少，可省去此步骤。

2 冷却后，加入 2mol/L 氢氧化钠 2mL (酸碱度控制在 12)，摇匀放置 1min~2min，使镁离子沉淀完全。加入钙指示剂少许，95% 酒精 5mL，用 EDTA 标准溶液滴定至试液由红色变为亮蓝色为止。记下 EDTA 标准溶液的用量，准确至 0.01mL。

7.3.5 钙离子的含量按下列公式计算，计算至 0.01mmol/L，平行最大允许差值为 0.1mmol/L，取算术平均值：

$$b\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right) = 2 \times \frac{C(\text{EDTA})V_{\text{E1}}}{V} \times 10^3 \quad (9.3.4-1)$$

式中： $b(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+})$ ——钙离子的质量摩尔浓度 (mmol/L)；

C(EDTA)——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L)；

V_{E1} ——滴定 Ca^{2+} 时所用的 EDTA 体积 (mL)；

V——试验时吸取土提取液量 (mL)。

9.4 镁离子 (Mg^{2+}) 的测定 (钙镁含量滴定法)

9.4.1 本试验所用的仪器设备应符合本标准第 9.3.1 条的规定。

9.4.2 本试验所用的试剂应符合本标准第 9.3.2 条的规定。

9.4.3 标准溶液的标定应符合本标准第 9.3.3 条的规定。

9.4.4 镁离子 (Mg^{2+}) 的测定试验应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取土浸出液 25mL，注入三角瓶中，加入氨缓冲溶液 5mL，摇匀，加铬黑 T 指示剂少许，95%酒精 5mL，充分摇匀。再用 EDTA 标准溶液滴定试液至亮蓝色为止，记下 EDTA 标准溶液用量，准确至 0.01mL。

2 用移液管吸取与本标准第 7.3.4 条规定的等体积浸出液，应按本标准第 7.3.4 条的规定，滴定钙离子对 EDTA 标准溶液的用量。

9.4.5 镁离子的含量应按下列公式计算，计算准确至 0.01mmol/L，平行最大允许差值为 0.1mmol/L，取算术平均值：

$$b\left(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}\right) = 2 \times \frac{C(\text{EDTA})(V_{E2}-V_{E1})}{V} \times 10^3 \quad (9.4.5-1)$$

式中： $b\left(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}\right)$ ——镁离子的质量摩尔浓度 ($\frac{1}{2}$ mmol/L)；

$C(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L)；

V_{E1} ——滴定 Ca^{2+} 时所用的 EDTA 体积 (mL)；

V_{E2} ——滴定 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量时所用的 EDTA 标准溶液体积 (mL)；

V ——试验时吸取土提取液量 (mL)。

9.5 钠离子 (Na^+) 和钾离子 (K^+) 的测定 (火焰光度法)

9.5.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 火焰光度计或原子吸收光谱-火焰分光光度计。
- 2 分析天平：称量 100g，分度值 0.0001g。
- 3 其他：烧杯、容量瓶、塑料瓶、高温电炉、烘箱。

9.5.2 试剂应符合下列规定：

1 钠 (Na^+) 标准溶液：准确称取经 550℃灼烧过的氯化钠 (NaCl) 0.2542g，在少量纯水中溶解，移至 1000mL 容量瓶定容，贮于塑料瓶中，此溶液含钠离子浓度为 0.1mg/mL，以此为母液可稀释配制成所需浓度的标准系列溶液。

2 钾 (K^+) 标准溶液：准确称取经 105℃~110℃烘干 4h~6h 的分析纯氯化钾 (KCl) 0.1907g，在少许纯水中溶解，移至 1000mL 容量瓶中定容，贮于塑料瓶中，此溶液含钾离子 0.1mg/mL，以此为母液可稀释配制所需浓度的标准系列溶液。

9.5.3 钠离子 (Na^+) 和钾离子 (K^+) 的测定试验应按下列步骤进行：

- 1 标准曲线的制作。取 50mL 容量瓶 9 个，准确加入钠和钾标准溶液各为 0mL、

0.5mL、1mL、2.5mL、5mL、10mL、15mL、20mL、25mL 然后用纯水稀释定容，即成钠、钾含量分别为 0mg/L、1mg/L、2mg/L、5mg/L、10mg/L、20mg/L、30mg/L、40mg/L、50mg/L 的标准系列溶液。按火焰光度计使用说明进行操作，分别用钠滤光片和钾滤光片逐个测定其吸收值，然后以吸收值为横坐标，相应的钠、钾浓度为纵坐标，分别绘制标准曲线，并将曲线进行回归，求出回归方程。

2 吸取 10mL~20mL 的土浸出液，在火焰光度计上，按仪器说明书进行操作。当钠、钾含量超过仪器容许范围时，需稀释后再操作。分别用钠滤光片、钾滤光片逐个测定吸光值。记下仪器读数，注明试验条件。分别查钠、钾标准曲线，计算其钾、钠含量。用原子吸收-火焰分光光度计时，用发射挡。

9.5.4 钠离子的含量应按下列公式计算，计算至 0.01mmol/L，平行最大允许差值为 0.2mmol/L，取算术平均值：

$$b(\text{Na}^+) = \frac{NK_n}{23} \quad (9.5.4-1)$$

式中：b(Na⁺)——钠离子的质量摩尔浓度（mmol/L）；

N——土浸出液的稀释倍数，当直接取土浸出液比色时，N=1；

K_n——由标准曲线查得的钠离子含量（mg/L）；

23——钠离子的摩尔质量（g/mol）。

9.5.5 钾离子的含量应按下列公式计算，计算至 0.01mmol/L，平行最大允许差值应为 0.5mmol/L，取算术平均值：

$$b(\text{K}^+) = \frac{NK_k}{39} \quad (9.5.5-1)$$

式中：b(K⁺)——钾离子的质量摩尔浓度（mmol/L）；

N——土浸出液的稀释倍数，当直接取土浸出液比色时，N=1；

K_k——由标准曲线查得的钾离子含量（mg/L）；

39——钾离子的摩尔质量（g/mol）。

9.6 评价标准

9.6.1 孔隙水中阳离子总量应按下列公式计算：

$$\text{TDS} = b(\text{Na}^+) + b(\text{K}^+) + b\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right) + b\left(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}\right) \quad (9.6.1-1)$$

式中：b($\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}$)——钙离子的质量摩尔浓度（ $\frac{1}{2}$ mmol/L）；

b($\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}$)——镁离子的质量摩尔浓度（ $\frac{1}{2}$ mmol/L）；

b(Na⁺)——钠离子的质量摩尔浓度（mmol/L）；

b(K⁺)——钾离子的质量摩尔浓度（mmol/L）；

TDS——孔隙水中阳离子总量 ($\frac{1}{n}$ mmol/L)。

9.6.2 钠百分比应按下列公式计算：

$$PS = b(\text{Na}^+)/\text{TDS} \times 100 \quad (9.6.2-1)$$

式中：PS——钠百分比 (%)。

9.6.3 孔隙水阳离子法评价土的分散性应按下图进行评价：

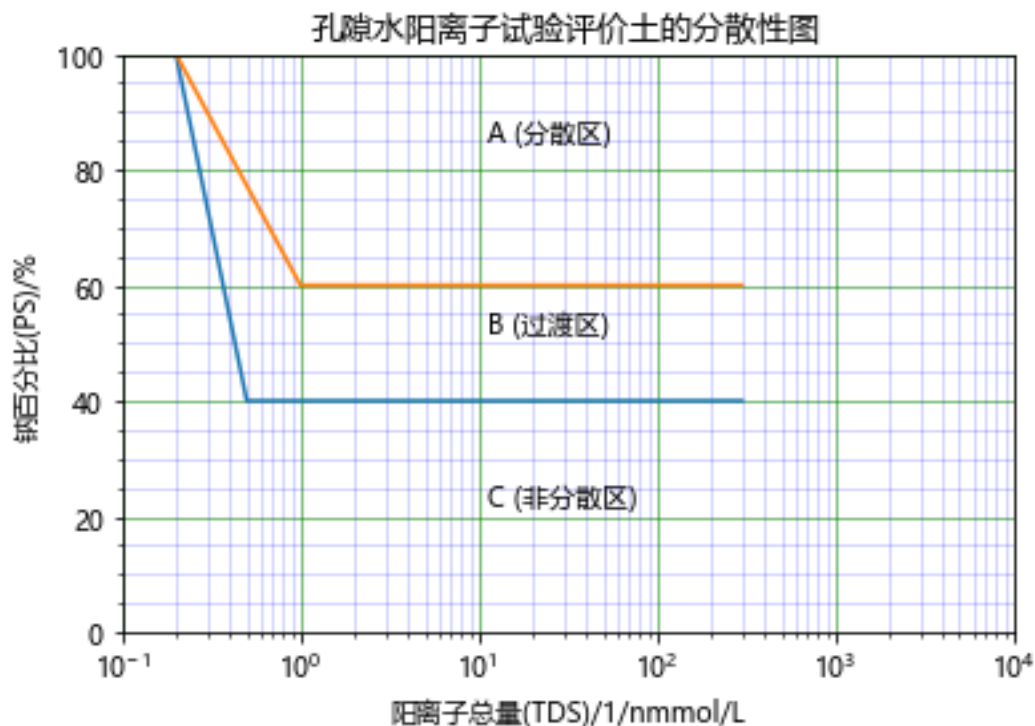


图 9.6.3 孔隙水阳离子试验评价土的分散性图

注：TDS 为浸提液中阳离子总量， $\text{TDS} = b(\text{Na}^+) + b(\text{K}^+) + b\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right) + b\left(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}\right)$

(TDS 以每升毫克当量计，用 $\frac{1}{n}$ mmol/L 表示，其中 n 为离子的化合价)；

PS 为钠离子百分比， $PS = b(\text{Na}^+)/\text{TDS} \times 100\%$ 。

附录 A：土粒比重校正值

土粒比重	甲种 土壤密度计 比重校正值 C_s	乙种 土壤密度计 比重校正值 C'_s	土粒比重	甲种 土壤密度计 比重校正值 C_s	乙种 土壤密度计 比重校正值 C'_s
2.50	1.038	1.666	2.70	0.989	1.588
2.52	1.032	1.658	2.72	0.985	1.581
2.54	1.027	1.649	2.74	0.981	1.575
2.56	1.022	1.641	2.76	0.977	1.568
2.58	1.017	1.632	2.78	0.973	1.562
2.60	1.012	1.625	2.80	0.969	1.556
2.62	1.007	1.617	2.82	0.965	1.549
2.64	1.002	1.609	2.84	0.961	1.543
2.66	0.998	1.603	2.86	0.958	1.538
2.68	0.993	1.595	2.88	0.954	1.532

附录 B：温度校正值

悬液温度 (℃)	甲种密度计 温度校正值 m_T	乙种密度计 温度校正值 m'_T	悬液温度 (℃)	甲种密度计 温度校正值 m_T	乙种密度计 温度校正值 m'_T
10.0	-2.0	-0.0012	20.0	0.0	+0.0000
10.5	-1.9	-0.0012	20.5	+0.1	+0.0001
11.0	-1.9	-0.0012	21.0	+0.3	+0.0002
11.5	-1.8	-0.0011	21.5	+0.5	+0.0003
12.0	-1.8	-0.0011	22.0	+0.6	+0.0004
12.5	-1.7	-0.0010	22.5	+0.8	+0.0005
13.0	-1.6	-0.0010	23.0	+0.9	+0.0006
13.5	-1.5	-0.0009	23.5	+1.1	+0.0007
14.0	-1.4	-0.0009	24.0	+1.3	+0.0008
14.5	-1.3	-0.0008	24.5	+1.5	+0.0009
15.0	-1.2	-0.0008	25.0	+1.7	+0.0010
15.5	-1.1	-0.0007	25.5	+1.9	+0.0011
16.0	-1.0	-0.0006	26.0	+2.1	+0.0013
16.5	-0.9	-0.0006	26.5	+2.2	+0.0014
17.0	-0.8	-0.0005	27.0	+2.5	+0.0015
17.5	-0.7	-0.0004	27.5	+2.6	+0.0016
18.0	-0.5	-0.0003	28.0	+2.9	+0.0018
18.5	-0.4	-0.0003	28.5	+3.1	+0.0019
19.0	-0.3	-0.0002	29.0	+3.3	+0.0021
19.5	-0.1	-0.0001	29.5	+3.5	+0.0022
20.0	-0.0	-0.0000	30.0	+3.7	+0.0023

附录 C：水的动力黏滞系数($1 \times 10^{-6} \text{kPa} \cdot \text{s}$)

温度 T(°C)	动力黏滞系数 η	η_T/η_{20}	温度校正系数 T_D	温度 T(°C)	动力黏滞系数 η	η_T/η_{20}	温度校正系数 T_D
5.0	1.516	1.501	1.17	17.5	1.074	1.066	1.66
5.5	1.493	1.478	1.19	18.0	1.061	1.050	1.68
6.0	1.470	1.455	1.21	18.5	1.048	1.038	1.70
6.5	1.449	1.435	1.23	19.0	1.035	1.025	1.72
7.0	1.428	1.414	1.25	19.5	1.022	1.012	1.74
7.5	1.407	1.393	1.27	20.0	1.010	1.000	1.76
8.0	1.387	1.373	1.28	20.5	0.998	0.988	1.78
8.5	1.367	1.353	1.30	21.0	0.986	0.976	1.80
9.0	1.347	1.334	1.32	21.5	0.974	0.964	1.83
9.5	1.328	1.315	1.34	22.0	0.963	0.953	1.85
10.0	1.310	1.297	1.36	22.5	0.952	0.943	1.87
10.5	1.292	1.279	1.38	23.0	0.941	0.932	1.89
11.0	1.274	1.261	1.40	24.0	0.919	0.910	1.94
11.5	1.256	1.243	1.42	25.0	0.899	0.890	1.98
12.0	1.239	1.227	1.44	26.0	0.879	0.870	2.03
12.5	1.223	1.211	1.46	27.0	0.859	0.850	2.07
13.0	1.206	1.194	1.48	28.0	0.841	0.833	2.12
13.5	1.188	1.176	1.50	29.0	0.823	0.815	2.16
14.0	1.175	1.163	1.52	30.0	0.806	0.798	2.21
14.5	1.160	1.148	1.54	31.0	0.789	0.781	2.25
15.0	1.144	1.133	1.56	32.0	0.773	0.765	2.30
15.5	1.130	1.119	1.58	33.0	0.757	0.750	2.34
16.0	1.115	1.104	1.60	34.0	0.742	0.735	2.39
16.5	1.101	1.090	1.62	35.0	0.727	0.720	2.43
17.0	1.088	1.077	1.64				

附录 D：粒径计算系数 K 值表

温度 (℃)	土粒比重 G_s								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
5	0.1385	0.1360	0.1339	0.1318	0.1298	0.1279	0.1261	0.1243	0.1226
6	0.1365	0.1342	0.1320	0.1299	0.1280	0.1261	0.1243	0.1225	0.1208
7	0.1344	0.1321	0.1300	0.1280	0.1260	0.1241	0.1224	0.1206	0.1189
8	0.1324	0.1302	0.1281	0.1260	0.1241	0.1223	0.1205	0.1188	0.1182
9	0.1305	0.1283	0.1262	0.1242	0.1224	0.1205	0.1187	0.1171	0.1164
10	0.1288	0.1267	0.1247	0.1227	0.1208	0.1189	0.1173	0.1156	0.1141
11	0.1270	0.1249	0.1229	0.1209	0.1190	0.1173	0.1156	0.1140	0.1124
12	0.1253	0.1232	0.1212	0.1193	0.1175	0.1157	0.1140	0.1124	0.1109
13	0.1235	0.1214	0.1195	0.1175	0.1158	0.1141	0.1124	0.1109	0.1004
14	0.1221	0.1200	0.1180	0.1162	0.1149	0.1127	0.1111	0.1095	0.1000
15	0.1205	0.1184	0.1165	0.1148	0.1130	0.1113	0.1096	0.1081	0.1067
16	0.1189	0.1169	0.1150	0.1132	0.1115	0.1098	0.1083	0.1067	0.1053
17	0.1173	0.1154	0.1135	0.1118	0.1100	0.1085	0.1069	0.1047	0.1039
18	0.1159	0.1140	0.1121	0.1103	0.1086	0.1071	0.1055	0.1040	0.1026
19	0.1145	0.1125	0.1108	0.1090	0.1073	0.1058	0.1031	0.1088	0.1014
20	0.1130	0.1111	0.1093	0.1075	0.1059	0.1043	0.1029	0.1014	0.1000
21	0.1118	0.1099	0.1081	0.1064	0.1043	0.1033	0.1018	0.1003	0.0990
22	0.1103	0.1085	0.1067	0.1050	0.1035	0.1019	0.1004	0.0990	0.09767
23	0.1091	0.1072	0.1055	0.1038	0.1023	0.1007	0.09930	0.09793	0.09659
24	0.1078	0.1061	0.1044	0.1028	0.1012	0.09970	0.09823	0.09600	0.09555
25	0.1065	0.1047	0.1031	0.1014	0.09990	0.09839	0.09701	0.09566	0.09434
26	0.1054	0.1035	0.1019	0.1003	0.09897	0.09731	0.09592	0.09455	0.09327
27	0.1041	0.1024	0.1007	0.09915	0.09767	0.09623	0.09482	0.09349	0.09225
28	0.1032	0.1014	0.09975	0.09818	0.09670	0.09529	0.09391	0.09257	0.09132
29	0.1019	0.1002	0.09859	0.09706	0.09555	0.09413	0.09279	0.09144	0.09028
30	0.1008	0.09910	0.09752	0.09597	0.09450	0.09311	0.09176	0.09050	0.08927

附录 E：土的分散性综合判别

E.1 土的分散性综合判别原理：

分散性土被水冲蚀破坏，是一个复杂的物理化学过程，其破坏具有快速、隐蔽的特点。分散性土产生分散性的根本原因是颗粒之间的斥力能大于引力能，使得土-水-电解质系统中的黏土颗粒分散，其影响因素复杂多样，诸如黏粒含量、黏土矿物成分及其含量、pH 值、阳离子种类和含量等。双密度计试验法、针孔试验、土块试验法和孔隙水阳离子试验法，分别从不同角度对土的分散性进行研究，每种方法都有其优点，也有其局限性，当不同试验方法判别结果不同时，宜根据工程实际情况进行综合分析再做出判断。

E.2 土的分散性综合判别方法：

本规程参考《分散性土研究》（樊恒辉 孔令伟 著 中国水利水电出版社）土的综合评价方法，提出了 3 种土的分散性综合评价方法，在实际工程中，可根据工程实际状况，选择合适的综合判别方法。

1 当以四种试验方法综合进行土的分散性评价时，参考《分散性土研究》（樊恒辉 孔令伟 著 中国水利水电出版社）中土的综合评价方法，可按下列方法进行判别：

- （1） 分别赋予双密度计试验、针孔试验、土块试验、孔隙水阳离子试验 20%、40%、20%、20%的权重值。
- （2） 如果分散性权重 $>50\%$ ，土样属于分散性土。
- （3） 分散性权重 $=50\%$ 时，如果过渡性的权重 $\geq 20\%$ ，则属于分散性土，反之则属于过渡性土。
- （4） 分散性土的权重 $<50\%$ 时，如果“过渡性+分散性”的权重 $\geq 50\%$ ，则为过渡性土，否则属于非分散性土。

2 在对土的分散性要求严苛的工程项目中，为完全消除分散性土的影响，当四种试验方法评价结果不一致时，出于安全考虑，可按下列方法进行判别：

- （1） 同一组试样四种试验方法评价结果有分散性土时，综合评价应为分散性土。
- （2） 同一组试样四种试验方法评价结果没有分散性土，但有过渡性土时，综合评价应为过渡性土。

3 针孔法模拟了土体在集中渗透水流的作用下所承受的冲蚀条件，因而在工程实际中可用针孔试验法的判别结果作为土的分散性综合判别结果。

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019
- 《试验筛 技术要求和检验 第 1 部分：金属丝编织网试验筛》GB/T 6003.1
- 《实验室用标准筛振荡机技术条件》DZ/T 0118
- 《土工实验仪器 环刀》SL 370
- 《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015
- 《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB/T 10235-2019
- 《土工试验规程》YS/T 5225-2016
- 《分散性土研究》樊恒辉 孔令伟 著 中国水利水电出版社

中华人民共和国团体标准

土的分散性判别试验规程

T/CHES XXX—20XX

条文说明

目 录

1 总则 33

5 基本规定 34

6 双密度计法评价土的分散性 35

 6.3 操作步骤 35

 6.4 评价标准 36

7 针孔法评价土的分散性 37

 7.4 操作步骤 37

 7.5 评价标准 38

8 土块法评价土的分散性 40

 8.4 操作步骤 40

 8.5 评价标准 40

9 孔隙水阳离子法评价土的分散性 44

1 总则

- 1.1 为测定土的分散性，统一试验方法，客观判别土的分散性类别，制定本标准。
- 1.2 本标准适用于粒径小于 2.00mm 的土的分散性判别试验。

5 基本规定

5.1 土的分散性试验所用的仪器应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定。根据国家计量法的要求，土工试验所用的仪器设备应定期检定或校验。对通用仪器设备，应按有关的检定或校验规程进行，对专用仪器设备可参照国家现行相关标准进行校验。

6 双密度计法评价土的分散性

双密度计试验是由美国农业部土壤保持服务实验室 G.M.Volk 于 1937 年发明的。该试验是对土样进行两次比重计试验来测定不同处理措施下的黏粒 ($<0.005\text{mm}$) 含量, 因而称之为“双密度计试验”。第一次是常规的煮沸后加分散剂的方法, 得一条颗粒级配曲线; 第二次是不煮沸不加分散剂, 先将土样放在盛有纯水的抽滤瓶中, 与真空泵相连接, 抽气 10min, 然后把土一水悬液冲洗到量筒中, 加纯水至 1000mL。倒转量筒来回摇晃 1min, 来回往复各约 30 次, 让黏土颗粒自行水化分散, 得到另一条颗粒级配曲线。根据两次黏粒含量比值的百分数 (称为分散度) 来判断土的分散性。

黏性土通常呈团粒结构, 遇水不易分解成单个黏粒, 因而在试验过程中除煮沸外, 同时还要施加化学分散剂进行分散, 而分散性土在水中黏粒部分极易分散。针对分散性土与普通黏性土的这种差别, 设计双密度计颗粒分析试验, 这种分析方法比较符合客观实际。但是, 它无法反映水流对土粒的冲刷作用, 也不能反映土体内对土颗粒起分散作用的钠离子含量, 而且这种试验方法对于盐渍土不适用。由于盐渍土中含有大量的可溶盐, 在双密度计试验中, 如果不进行洗盐, 则由于可溶盐中的离子絮凝作用的影响, 土颗粒很快聚沉, 土悬液澄清, 试验结果很不准确。但是, 由于洗盐本身 (多次搅拌、换水) 就促使土粒发生分散, 使得洗盐后的分散度结果偏大。因此, 双比重计试验对于盐渍土来讲结果不可靠。另外, 双比重计试验适用于塑性指数大于 4 和黏粒含量大于 10% 的土, 这一点是值得非常注意的。

6.3 操作步骤

6.3.2 采用煮沸后加分散剂的颗粒分析试验方法, 应按下列步骤进行试验:

8 关于分散剂品种, 国内有不同意见, 主要反映在: ①从不同土类的角度出发, 选用合适的分散剂; ②从不同的分散理论角度出发, 如有的从土悬液 pH 值的大小来考虑, 采用不同的分散剂; 有的从黏土的离子交换容量能力来考虑, 选用合适的分散剂。

从目前国际上的趋势看, 采用强分散剂 (如六偏磷酸钠, 焦磷酸钠) 不再考虑不同土类用不同分散剂的趋势, 以便统一标准和方法。

国内大多数标准也均以钠盐作为分散剂, 以六偏磷酸钠使用最广; 使用六偏磷酸钠和焦磷酸钠亦不少, 还有些单位使用 25% 氨水作分散剂。

分散剂的选择应考虑各种不同土类的黏土矿物组成、结晶的性质及浓度, 同时又要考虑到试验数据的可比性及国内外交流的需要。根据我国以往对分散剂使用的现状及我国土类分布的多样性, 本标准规定了对一般土用 4% 六偏磷酸钠作为分散剂。至于特殊土类, 要选择不同的合适的分散剂。

10 密度计读数的选择目前有两种方法: 一种是全曲线分析读数法, 即经 0.5min、1min、2min、5min、15min、30min、60min、120min、180min、1440min……测读密度计读数。其中, 0.5min、1min、2min 读数后均需重新搅拌。另一种是五点法, 即测定 1min、5min、30min、120min 和 1440min 的 5 个读数。这种方法节省了大量的计算工作量, 又免去了多次在静止的悬液中放取密度计对悬液的扰动, 减少了产生误差的因素。另外也可根据试样情况或实际需要, 可适当增加密度计读数或缩短最后一次读数的时间。

6.3.4 颗粒分析试验成果应按下列方法进行计算：

2 根据司笃克斯定律（G.G.Stocks, 1845），颗粒直径与颗粒沉降的时间的平方根成反比，与距离的平方根成正比，因此测得颗粒沉降的时间和距离就可以计算颗粒直径。利用土壤密度计测定黏土悬浮液比重的变化，根据司笃克斯定律计算各级土粒的粒级大小及百分含量或由颗粒大小级配曲线确定各级土粒的粒级百分含量。

6.4 评价标准

6.4.1 双密度计法评价土的分散性应按下表进行评价：

根据国内外相关规程规范要求对土的分散性进行评价，国内以《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 为例，国外以 ASTM D4221-18 为例，双方均以分散度 30%和 50%为节点进行分散度评价，具有一致性。

7 针孔法评价土的分散性

针孔试验是美国著名工程师 J.L. Sherard（1976 年）首先提出来的。根据渗透理论可知，当水流流经土壤孔隙时，能将其动能传输给土壤颗粒，从而使土壤颗粒产生分散。针孔试验通过模拟在一定的水压力作用下，测定流经土壤孔隙的水流流量、颜色和孔隙尺寸的变化，反映土壤颗粒所具有承受水流的冲蚀能力，藉此表示分离颗粒所需力的大小。

针孔试验可直接、定性地鉴定试样的分散性能和黏性土胶粒的抗冲蚀性。针孔试验的试验方法和鉴定标准是通过对大量的样品试验得到的，这些样品来自堤坝、渠道和其他工程的具有分散性和抗冲蚀性土壤。由于针孔试验直观地模拟了土体中的孔隙在渗透水流作用下所具有的冲蚀能力，因而被认为是最可靠的鉴定方法，同时也是分散性土其他鉴定方法最直接和可靠的验证。

针孔试验不适宜于黏粒含量（ $<0.005\text{mm}$ ）小于 10% 和塑性指数不大于 4 的土，因为这些土样具有较低的抗冲蚀性，不论其是否具有分散特性。另外，应当注意针孔试验的目的是为了鉴定土料的分散性，而没有注意建筑物的几何尺寸，在针孔试验的设计中没有应用形似理论，因此针孔试验中测得的数据，包括流量、侵蚀量等等，不能外推到实际工程中去。针孔试验的冲蚀用水也可用河水或配制的含各种不同种类和数量离子水，用以研究不同种类和数量的离子对土的分散性的影响。有文献指出，高灵敏度土在针孔试验中可能会判为分散性土，而在天然状态下可能会具有抗冲蚀能力。

7.4 操作步骤

7.4.1 水平针孔法试验应按下列步骤进行：

《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 等规程规范中没有对针孔试验的具体试验方法做出明确规定。根据《土工试验规程》YS/T 5225-2016 中的试验方法要求，对针孔试验采用水平试验方法。在实际试验过程中经常遇到土颗粒淤积堵孔导致同水头下随时间增长流量减小的现象，而此时如果选择挤压进水软管冲孔的方式，针孔很容易因为人为挤压而导致孔径扩大，渗流量突然增加，试样破坏，进而影响试验结果。基于此问题在经过实际试验对比后，本规程提出了垂直针孔试验方法。

垂直针孔试验方法相对于水平针孔试验方法：

一方面，土颗粒在渗流力的作用下移动，沉降距离由水平向试验时的针孔直径约 1.0mm 变为竖直向试验时沿针孔长度方向进行沉降，沉降距离大幅增加。

另一方面，水平针孔试验时土颗粒在竖直方向是受水平渗流力的竖直向分力和土颗粒自身重力的合力；竖直向针孔试验时是竖直向渗流力直接作用于土颗粒。土颗粒在竖直方向的受力情况由原来的水平渗流力的竖直向分力作用变为竖直向渗流力直接作用，力的大小大幅增加，减少了土体尤其是分散性土体在针孔试验过程中由于土颗粒沉降导致的堵孔现象的发生概率。

经过大量试验验证，水平针孔试验方法操作简单便捷，能够避免水平针孔试验方法的不足之处，能够对土的分散性做出准确评级，具有高度可行性。

放置小锥体可减少土样进口水头损失、限制针孔塌陷、减少针孔堵塞，还起着导管作用。在试样进口处放置长 13mm 的一个锥体（由塑料或金属制成的），其孔内径

为 1.5mm，底座为 10mm，上座为 3.8mm，土样实际长度为 38mm。

各种针孔直径试验得出的结果基本相同，但<1.0mm 的针孔孔径易被堵塞，>1.0mm 的针孔渗流量大，对保持水头稳定不利，而 1.0mm 针孔孔径很少被堵塞，且渗流量不大，易保持水头稳定，故以 1.0mm 为标准孔径。

分散性土的分散性与水中盐分有关，为确保试验成果的可靠性及可重现性，故采用纯水做试验。

7.5 评价标准

7.5.1 土的分散性应按下表进行评价：

国内对于针孔法进行土的分散性评价标准以《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 为例，如表 C.0.1 所示：

表 C. 0. 1 针孔试验评价土的分散性标准

类别	水头 h(mm)	在某一水头 下的试验 持续时间 t（min）	最终流量 Q（mL/s）	流出水的 混浊情况	最终孔径 d（mm）
分散性土	50	5	1.0~1.4	混 浊	≥2.0
	50	10	1.0~1.4	较混浊	>1.5
过渡性土	50	10	0.8~1.0	稍混浊	≤1.5
	180	5	1.4~2.7	较透明	
	380	5	1.8~3.2	较透明	≥1.5
非分散性土	1020	5	>3	稍透明	<1.5
	1020	5	<3	透 明	1.0

国外对于针孔法进行土的分散性评价标准以 ASTM D4647-13（Reapproved2020）为例，如下图所示：

TABLE 1 Criteria for Evaluating Pinhole Test Results ^A						
Dispersive Classification ^B	Head, mm	Test time for given head, min.	Final flow rate through specimen, mL/s	Cloudiness of flow at end of test		Hole size after test, mm
				from side	from top	
D1	50	5	1.0–1.4	dark	very dark	≥2.0
D2	50	10	1.0–1.4	moderately dark	dark	>1.5
ND4	50	10	0.8–1.0	slightly dark	moderately dark	≤1.5
ND3	180	5	1.4–2.7	barely visible	slightly dark	≥1.5
	380		1.8–3.2			
ND2	1020	5	>3.0	clear	barely	<1.5
ND1	1020	5	≤3.0	perfectly clear	perfectly clear	1.0
Method B						
D	50	10	...	slightly dark to dark	very dark to moderately dark	≥1.5
SD	180–380	5	...	barely visible	slightly dark	≥1.5
ND	380	5	...	clear	barely visible to clear	<1.5

^AFor criteria for Method C, see Fig. 8.
^BCriteria for Method A adapted from the work by Wilson (12).
^CDispersive—D1, D2.
Moderately to Slightly Dispersive—ND4, ND3.
Nondispersive—ND2, ND1.

图 7. 5. 1-1 ASTM D4647-13 针孔法分散性判别标准

经对比，双方标准对于分散性土、过渡性土和非分散性土的评价节点相同，但 ASTM D4647-13（Reapproved2020）对于分散性土、过渡性土和非分散性土进行了进

一步划分，分散性土（D1、D2）、过渡性土（ND4、ND3）和非分散性土（ND2、ND1）。
对土的分散性分类上国内外标准具有一致性。

8 土块法评价土的分散性

土块试验最初是由 W.W.Emerson 于 1964 年提出来的，称之为“土壤团粒黏聚性试验”，根据土—水反应将土分为 7 个等级。J.L Sherard 后来（1976 年）对此试验方法进行了简化，其主要是通过观察土块在水中的崩解情况，将土的分散性分为 4 个等级。

土块试验是从胶体化学的基本观点出发的，认为某些黏性土在水中产生分散性的原因是胶体颗粒的析出，因而采用胶体析出的程度不同作为鉴定标准。土块试验简便易行，在野外和室内均可快速简单地操作，而且可以模拟各种不同含盐浓度的河水 and 水库水，研究含盐水对分散性土的影响。此试验有良好的再现性。但是，土块试验只是定性的鉴定，缺乏定量的指标，而且在定性鉴定时需要丰富的经验。

土块试验不适用黏粒（<0.005mm）小于 10%和塑性指数小于或等于 4 的土。试验土样采用天然含水率土块，或由风干土样或天然含水率土样配制的成型土块。有些分散性土在土块试验中具有非分散性土的反应。含有高岭石的具有分散性的黏性土在土块试验中表现为非分散性。但是，若土块试验表明试样具有分散性，则土样一般很可能具有分散性。土块试验鉴定分散性土具有一定的局限性，很少采用土块试验来单一地鉴定土的分散性，需要结合双比重计试验和针孔试验结果来进行综合鉴定。

8.4 操作步骤

8.4.2 当试验有特殊要求时，可使用工程所在地的河水、水库水或 0.001mol/L 氢氧化钠溶液。

8.4.5 如果土块含水率过低，当土块放入水中时，大量的气泡集中冒出水面，带动土中的胶体颗粒，使得水体混浊，造成误判。建议采用天然含水率的土块或针孔试验后的土块。

8.5 评价标准

8.5.1 土的分散性应按下表进行评价：

国内对于土块法进行土的分散性评价标准以《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 为例，如 C.0.3 所示：

表 C. 0. 3 土块试验评价土的分散性标准

类别	浸水后特征
分散性土	土块水解后混浊，土很快扩散到整个量杯底部，水呈雾状，经久不清。
过渡性土	土块水解后四周有微量混浊水，但扩散范围小。
非分散性土	无分散出胶粒的反应，土块水解后在量杯底部以细颗粒状平堆，水色是清的，或稍混浊后很快又变清。

国外对于针孔法进行土的分散性评价标准以 ASTM D6572-20 为例，如下图 8.5.1-1~8.5.1-3 所示：

- 12.1.1 *Grade 1*—Nondispersive.
- 12.1.2 *Grade 2*—Intermediate.
- 12.1.3 *Grade 3*—Dispersive.
- 12.1.4 *Grade 4*—Highly Dispersive.

图 8.5.1-1 ASTM D6572-20 土块法分散性分级

11.9.1 *Grade 1, (Nondispersive)*—No reaction; the soil may crumble, slake, diffuse, and spread out, but there is no turbid water created by colloids suspended in the water. All particles settle during the first hour.

11.9.2 *Grade 2, (Intermediate)*—Slight reaction; this is the transition grade. A faint, barely visible colloidal suspension causes turbid water near portions of the soil crumb surface or all around the surface. If the cloud is easily visible, assign Grade 3. If the cloud is faintly seen in only one small area, assign Grade 1.

11.9.3 *Grade 3, (Dispersive)*—Moderate reaction; an easily visible cloud of suspended clay colloids is seen around all of the outside soil crumb surface. The cloud may extend up to 10 mm ($\frac{3}{4}$ in.) away from the soil crumb mass along the bottom of the dish.

11.9.4 *Grade 4, (Highly Dispersive)*—Strong reaction; a dense, profuse cloud of suspended clay colloids is seen around the entire bottom of the dish. Occasionally, the soil crumb dispersion is so extensive that it is difficult to determine the interface of the original soil crumb and the colloidal suspension. Often, the colloidal suspension is easily visible on the sides of the dish.

图 8.5.1-2 ASTM D6572-20 土块法分散性分级特征

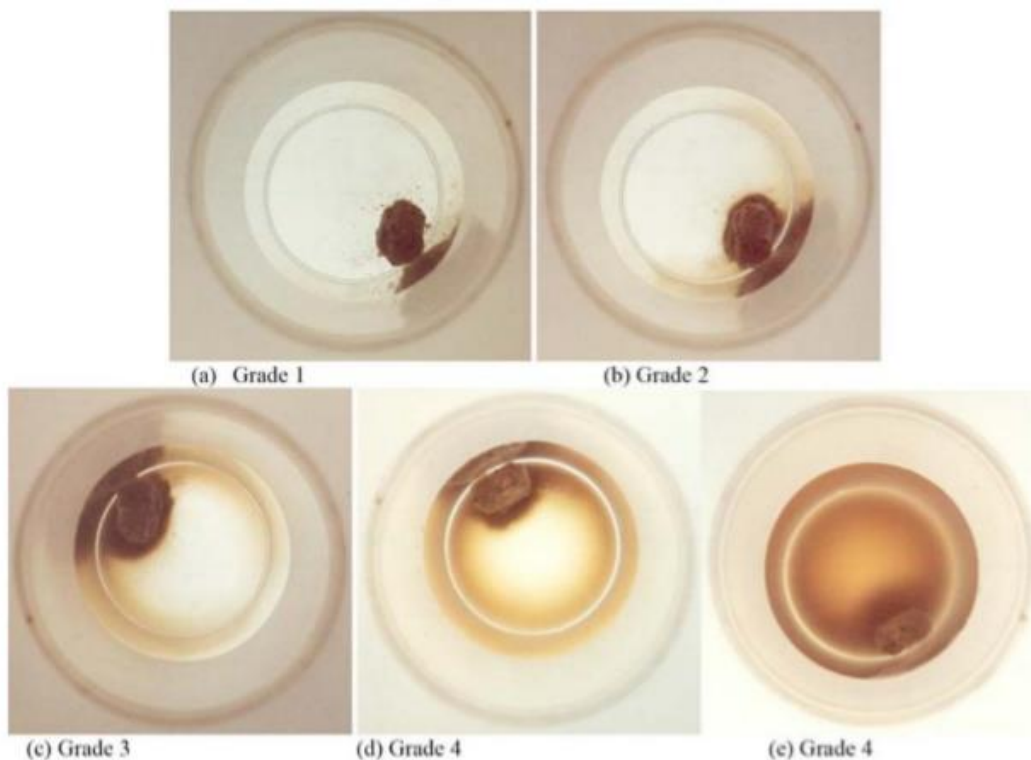


图 8.5.1-3 ASTM D6572-20 土的分散性特征示意图

国内相关规程规范如《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 在土块法进行分散性评价时观察土块在水中 5min 和 10min 时的分散状态，而 ASTM D6572-20 要求观察土块在水中 $2\text{min} \pm 15\text{s}$ 和 $1\text{h} \pm 8\text{min}$ 时的分散状态。同时 ASTM D6572-20 在分散性土、过渡性土和非分散性土的基础上根据土块中胶粒在水中分散的剧烈程度将分散性土细分为分散性土和强分散性土，但都归属于分散性土，对工程评价不造成实际影响。

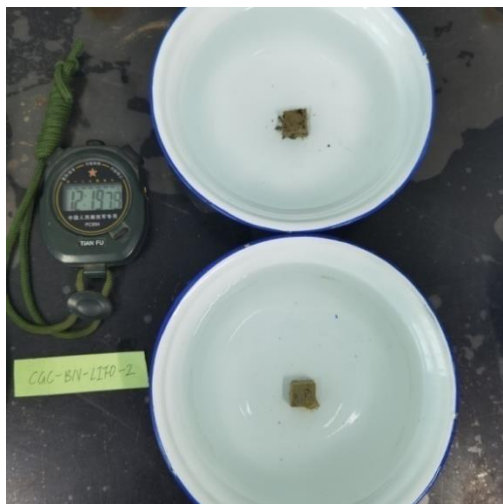
下面以某工程土块在水中 10min 和 1h 时土中胶粒的分散状态为例，说明观察土块在水中 10min 和 1h 时分散状态并进行分散性评价对试验结果造成的影响，如图 8.5.1-4~8.5.1-11 所示：



8.5.1-4 1号试样土块试验 10min 状态



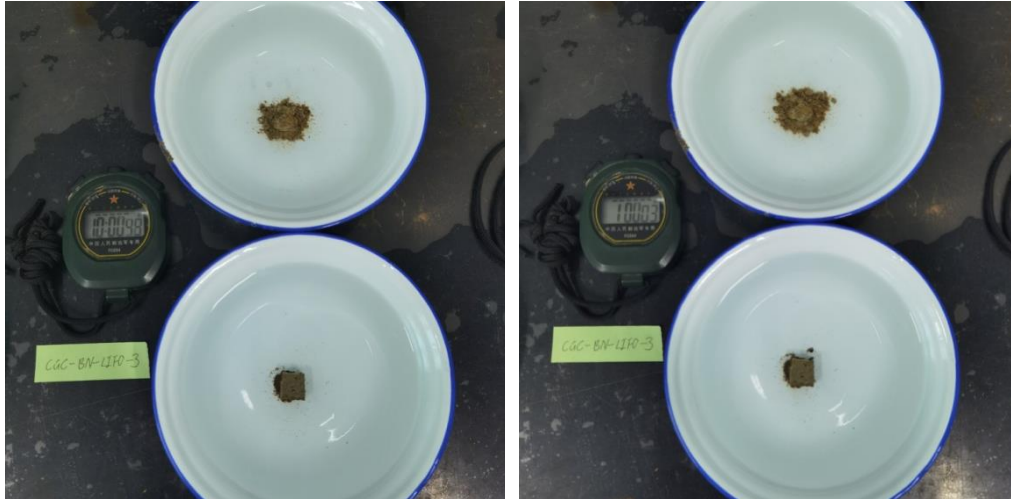
8.5.1-5 1号试样土块试验 1h 状态



8.5.1-6 2号试样土块试验 10min 状态

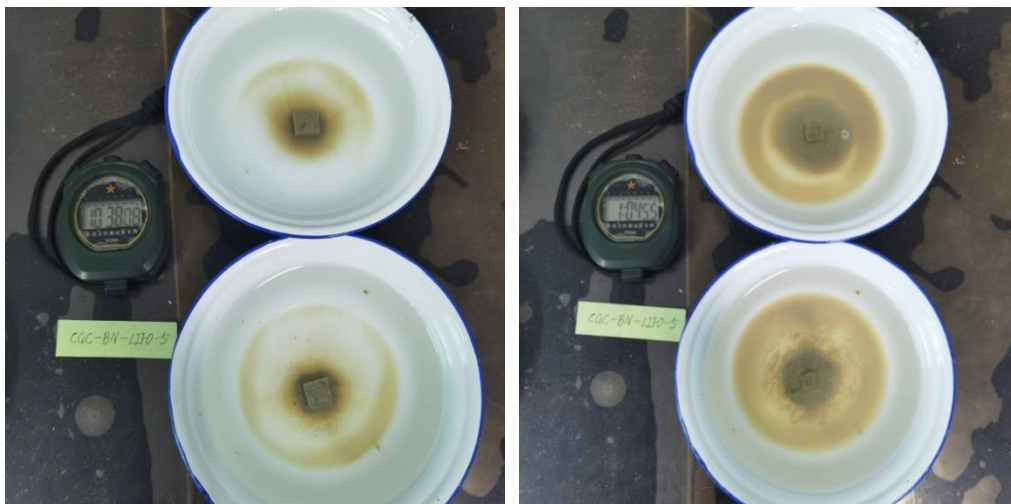


8.5.1-7 2号试样土块试验 1h 状态



8.5.1-8 3号试样土块试验 10min 状态

8.5.1-9 3号试样土块试验 1h 状态



8.5.1-10 4号试样土块试验 10min 状态

8.5.1-11 4号试样土块试验 1h 状态

经过试验对比分析，分散性土、过渡性土和非分散性土的进水后特征在 5min~10min 时就已经表现出来，在将时间延长至 1h 后，分散特征只是表现的更为明显，并不会造成因为时间延长导致土的分散性类别改变。因此就试验效率和国内相关规程规范在土的分散性评价要求方面考虑，在本规程中进行土块入水 5min~10min 后的胶粒分散特征观察并进行分散性分类。

9 孔隙水阳离子法评价土的分散性

在常态下，水是土中液相物质的主要成分，溶解于水中的各种电解质以离子或化合物的形式存在于水中，它和水以及水中的黏土颗粒构成土—水—电解质系统，影响土的工程性质。一般来说，土颗粒表面双电层越厚，悬浮液中的颗粒的絮凝倾向就越小，即颗粒分散性能就越强。当黏土颗粒表面电荷恒定时，扩散层厚度与离子价成反比，与离子浓度的平方根成反比，而与介电常数和温度的乘积的平方根成正比。在实际情况下，介电常数和温度的变化对双电层的厚度没有多大影响，而溶液中离子的浓度和化合价对扩散双电层的厚度具有明显地影响。因此，离子价越高，离子浓度越大，扩散层的厚度越小。

在自然界的土体中，阳离子一般包括 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 和 K^+ ，其中含量较多的是 Ca^{2+} 和 Na^+ ，一价 Na^+ 的双电层厚度是二价 Ca^{2+} 的 2 倍。因此，若土样中含有大量的钠离子，使得土颗粒间双电层厚度增加，排斥力大于吸引力，净势能表现为斥力，土样产生分散。

因此孔隙水阳离子试验方法测定土的浸提液中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 和 K^+ 的离子含量，并计算 Na^+ 在总离子含量中的占比，并以此判断土的分散性。