

附件 2

《土的分散性判别试验规程》

(征求意见稿 送审稿 报批稿)

编制说明

主编单位： 中水北方勘测设计研究有限责任公司

2022 年 9 月 28 日

一、工作简况

1 任务来源

2022年1月，中国水利学会根据《中国水利学会团体标准管理办法》相关规定，经过立项论证，公示后以《关于批准《水利水电工程水土保持生态修复技术规范》等7项标准立项的通知》（水学〔2022〕02号）批准该标准立项。

本标准的主编单位为中水北方勘测设计研究有限责任公司，参编单位为四川省水利水电勘测设计研究院有限公司和江河工程检验检测有限公司。

2 任务背景

土的分散性是决定土料能否用于工程的重要因素，是土坝稳定性评价的重要指标，在《碾压式土石坝设计规范》（SL274-2020）、《提防工程地质勘察规程》（SL188-2005）、《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》（SL251-2015）和《水电工程天然建筑材料勘察规程》（NB/T 10235-2019）等多种类型勘察设计规程规范中均对其有明确的要求，然而现阶段我国还没有较为完整和系统的土的分散性试验方法标准，没有明确的试验方法和步骤，很难形成具有权威性和统用性的试验结论。故我们计划在借鉴国内外研究成果的基础上，通过对实际工程的土料进行分散性试验研究和分析，编制本标准。本标准规定了双密度计法、针孔法、土块法、孔隙水阳离子法四种土的分散性试验方法和判别方法。

2 主要工作过程

(1) 立项启动

标准编制任务下达后，2021年9月初成立标准编制组，正式启动《土的分散性判别试验规程》团体标准的研制工作。充分收集和整理我国现有土的分散性试样方法和判别方法相关资料，经编制组研讨后，初步确定了标准框架及结构。

(2) 起草阶段

1) 搜集国内外相关规程规范如《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015、《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、ASTM D4221、ASTM D6572、ASTM D4647、《分散性土研究》潘恒辉、孔令伟著 中国水利水电出版社等，对分散性试验相关内容作出归纳整理。

2) 结合《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019 相关试验要求制定双密度计试验、针孔试验、土块试验、孔隙水阳离子试验四种试验具体试验方法。

3) 依照制定的试验方法进行试验，对试验成果进行归纳整理，并对试验过程中遇到的问题进行分析研究，提出优化方法并进行验证。

4) 结合试验数据，归纳合适的分散性综合评价方法。

5) 编制《土的分散性判别试验规程》初稿。

6) 2022年1月《土的分散性判别试验规程》通过水利学会立项审批。

(3) 形成标准征求意见稿

针对标准关键技术内容，标准编制组组织召开多次内部讨论会议，增加比对试验，结合《土的分散性试验规程》立项论证会专家审查意见，经过多轮修改和完善，形成本标准的征求意见稿。

3 主要起草人及其所做工作

本标准起草工作中水北方勘测设计研究有限责任公司牵头负责，依据上述主要工作过程完成资料搜集、试验步骤制定、试验验证、试验数据整理、试验方法优化升级及验证、综合评价方法的分析研究、标准编制等工作。

二、主要内容说明及来源依据

1 技术指标、试验方法、评价标准等的论据

(1) 技术指标及评价标准

依据《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、ASTM D4221、ASTM D6572、ASTM D4647等相关规范中对分散性土的评价标准，通过双密度计试验、针孔试验、土块试验和孔隙水阳离子试验对土的分散性进行试验判别。

主要技术指标包括：

①双密度计试验通过计算土的分散度指标(分散度=不加分散剂的黏粒含量/加分散剂的黏粒含量*100%)，依据表1进行分散性判别：

表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%	

②针孔试验通过测定试样在不同水头坡度下通过试样中部孔隙的渗透流量和试验结束后最终孔径，依据表 2 进行分散性判别：

表 2 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

③土块试验通过人工观察土块在水中的分散性性状并进行描述，；依据表 3 进行分散性判别：

表 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。

④孔隙水阳离子试验通过测定土样浸提液中钙离子、镁离子、钠离子、钾离子含量并依此计算 TDS ($TDS = b(Na^+) + b(K^+) + b(\frac{1}{2}Ca^{2+}) + b(\frac{1}{2}Mg^{2+})$) 和 PS ($PS = b(Na^+)/TDS \times 100\%$) 两项指标并绘制双对数坐标图，依据图 1 进行分散性判别：

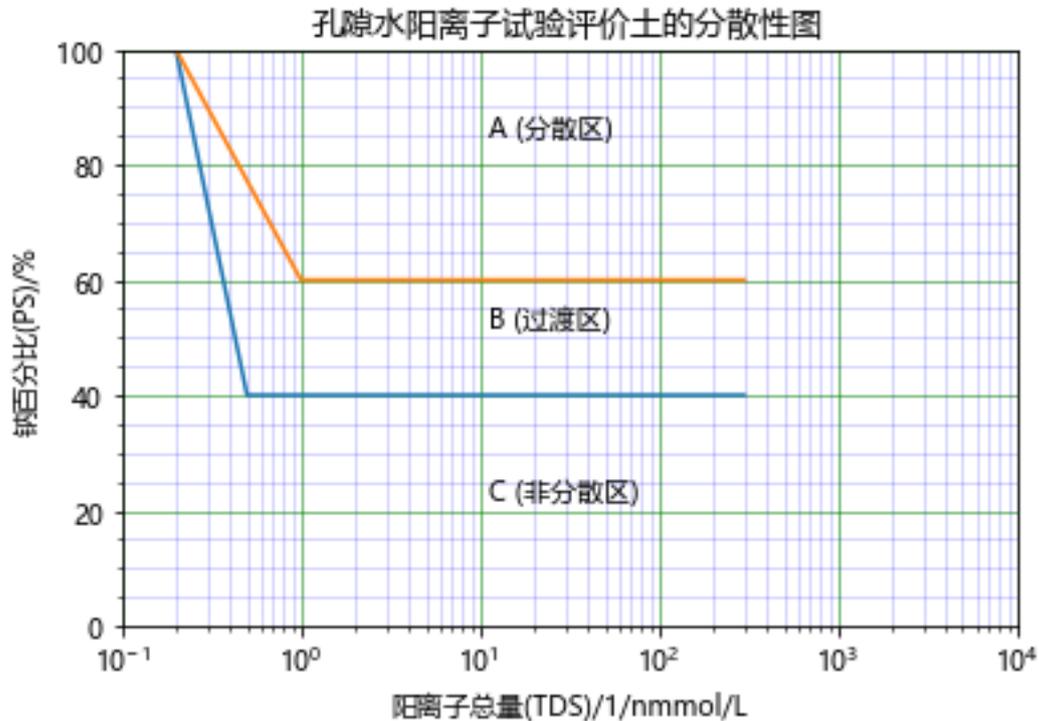


图 1 孔隙水阳离子试验评价土的分散性图

(2) 试验方法

根据团体标准立项申请书，依据《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 等相关规范对土的分散性试验的相关论述，结合《土工试验规程》YS/T 5225-2016 中对分散性试验的相关要求和《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019 在颗粒分析试验，化学离子分析试验方面的相关要求编制了双密度计试验、针孔试验、土块试验和孔隙水阳离子试验的试验方法。

2 主要试验的分析、综述

根据团体标准立项申请书，本次《土的分散性判别试验规程》主要包括双密度计试验、针孔试验、土块试验和孔隙水阳离子试验四种

试验：

（1）双密度计试验

双密度计法试验将破碎后的试样分为两组进行颗粒分析试验，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。

上述双密度计试验采用的颗粒分析试验方法为密度计法，适用于粒径小于 2.00mm 的土。

（2）针孔试验

针孔试验适用于原状样和扰动样。原状样通过针孔试验模具开样后进行试验；扰动样按照相关的技术要求进行试样制备后进行针孔试验。

针孔试验适用于粒径小于 2.00mm 的土样。由于针孔试验模拟土体在渗透水流的作用下所承受的冲蚀条件，而有些土样因本身土性的原因具有较低的抗冲蚀性，因此针孔试验不适用于黏粒含量（ $< 0.005\text{mm}$ ）小于 10% 和塑性指数不大于 4 的土。

（3）土块试验

土块试样适用于原状样和扰动样。原状样选取具有代表性的部位用小刀进行切削制成尺寸适用的试样后进行土块试验；扰动样按照相关的技术要求制备成环刀样，试验时将环刀样推出用小刀进行切削制成尺寸适用的试样后进行土块试验。

土块试验适用于粒径小于 2.00mm 的土样。有些土样因本身土性的原因放入水中后易表现出分散性特征，因此土块试验不适用黏粒

($<0.005\text{mm}$) 小于 10% 和塑性指数小于或等于 4 的土。

(4) 孔隙水阳离子试验

孔隙水阳离子试验将试样破碎过筛后加纯水至接近液限，充分静置后进行抽滤或离心得到浸提液，随后使用浸提液进行离子试验。钙离子和镁离子采用 EDTA 滴定法，钠离子和钾离子采用火焰光度法。

孔隙水阳离子试验主要针对土颗粒表面双电层厚度影响土颗粒絮凝倾向而设计，而自然界土体中阳离子主要包括钙离子、镁离子、钠离子和钾离子，因此孔隙水阳离子试验依靠测定以上四种离子含量评价土的分散性，从某种程度上反映了分散性土的本质，但试验中孔隙水的提取技术影响了试验结果的测量精度。

三、专利情况说明

未查找到相关专利。

四、与相关标准的关系分析

1. 与国际、国外同类标准水平的对比情况

(1) 双密度计试验

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（表 1），国外以 ASTM D4221-18 为例如图 2 所示，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。

Percent Dispersion	Dispersiveness
$<30\%$	Nondispersive
30 to 50 %	Intermediate
$>50\%$	Dispersive

图 2 ASTM D4221-18 双密度计法分散性判别标准

(2) 针孔试验

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（表 2），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，如图 3 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	5	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).

^c Dispersive—D1, D2.
 Moderately to Slightly Dispersive—ND4, ND3.
 Nondispersive—ND2, ND1.

图 3 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作了进一步划分，分散性土（D1、D2）、过渡性土（ND4、ND3）和非分散性土（ND2、ND1）。在土的分散性分类上国内外标准具有一致性。

(3) 土块试验

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，如上表 3 所示，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 4~图

6 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 4 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 5 ASTM D6572-20 土块法分散性分级特征

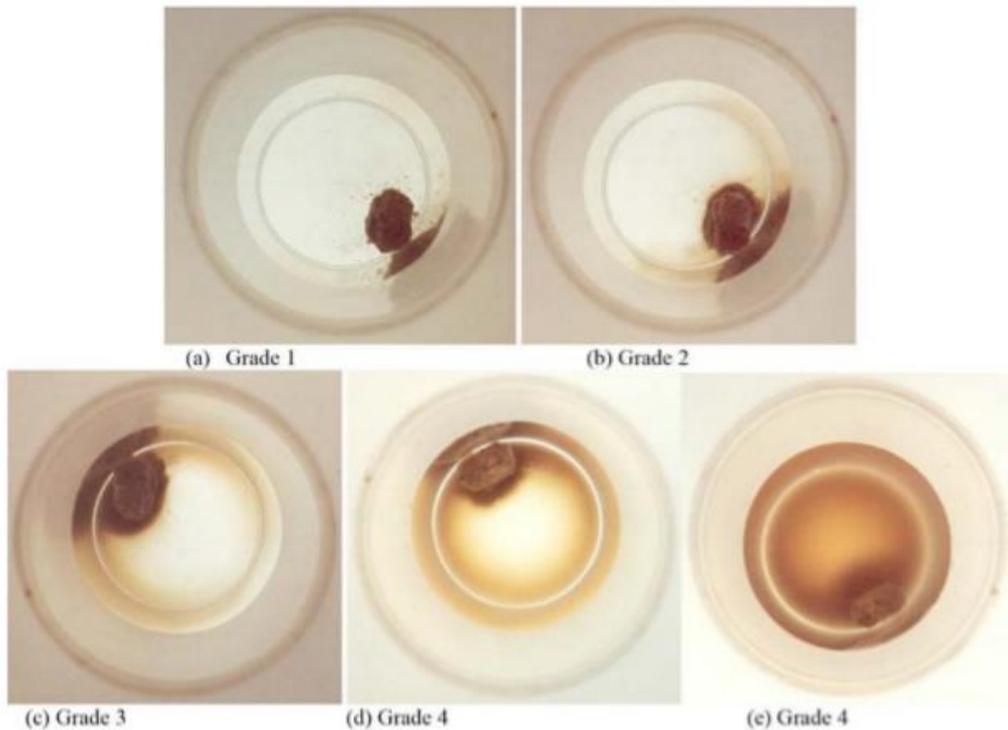


图 6 ASTM D6572-20 土的分散性特征示意图

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 2min ± 15s 和 1h ± 8min 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。

经过试验对比分析，分散性土、过渡性土和非分散性土的浸水后特征在 5~10min 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，并不会因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浸水 5~10min 后的胶粒分散特征观察并进行

分散性分类（在下文举例说明）。

（4）孔隙水阳离子试验

ASTM D4542-15 用折射计提取孔隙水和测定土壤可溶性盐含量的标准试验方法对孔隙水提取方法和孔隙水可溶盐含量的检测进行了规定，但没有孔隙水可溶盐中阳离子的相关检测要求，也没有相关的分散性判断标准，与《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 附录 C 相差较大。因此在本规程中以《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 附录 C 的相关要求为准。

2. 与国内相关标准协调性分析

现有标准《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 和《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB/T 10235-2019 等对土的分散性评价标准做出了要求。《土工试验规程》YS/T 5225-2016 对双密度计试验、针孔试验和土块试验在试验方法、仪器设备作出了要求，但对孔隙水阳离子试验并未提及。本规程在以上规程规范的基础上结合《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019 相关试验方法进行编制。下面就本规程与国内相关规程规范进行评价标准和试验方法两方面进行协调性分析。

（1）评价标准协调性分析

《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 等勘察规程和《土工试验规程》YS/T 5225-2016 与本规范对土的分散性评价要求一致。

(2) 试验方法协调性分析

①双密度计试验：

本规程双密度试验符合《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019 中颗粒分析试验（密度计法）的相关要求。

本规程双密度计试验与《土工试验规程》YS/T 5225-2016 双密度计试验均将试样分为两组进行，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。在本规程中采用不煮沸不加分散剂的颗粒分析试验方法试样在倒入量筒试验前进行 10min 真空抽滤；而根据《土工试验规程》YS/T 5225-2016 该组试样静止后直接倒入量筒进行试验，缺少排气步骤，可能有气体附着在土颗粒表面，影响密度计读数，进而影响试验结果准确性。

②针孔试验

《土工试验规程》YS/T 5225-2016 提出了水平针孔试验的方法，试验装置示意图如图 7 所示，本规程在水平针孔试验方法的基础上提出了垂直针孔试验的方法，试验装置示意图如图 8 所示。

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方向改变，不易堵塞。

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。

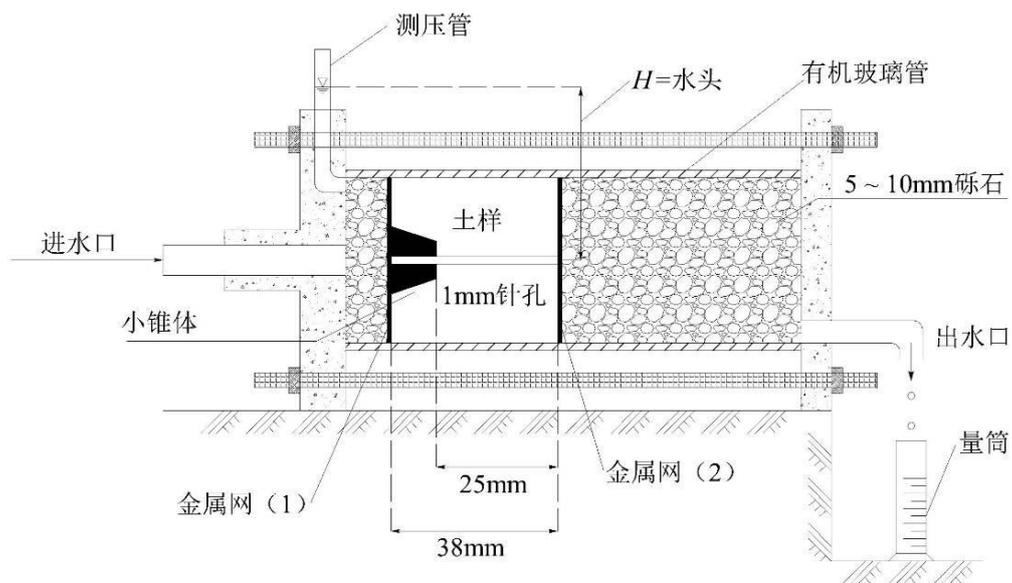


图7 水平针孔试验装置示意图

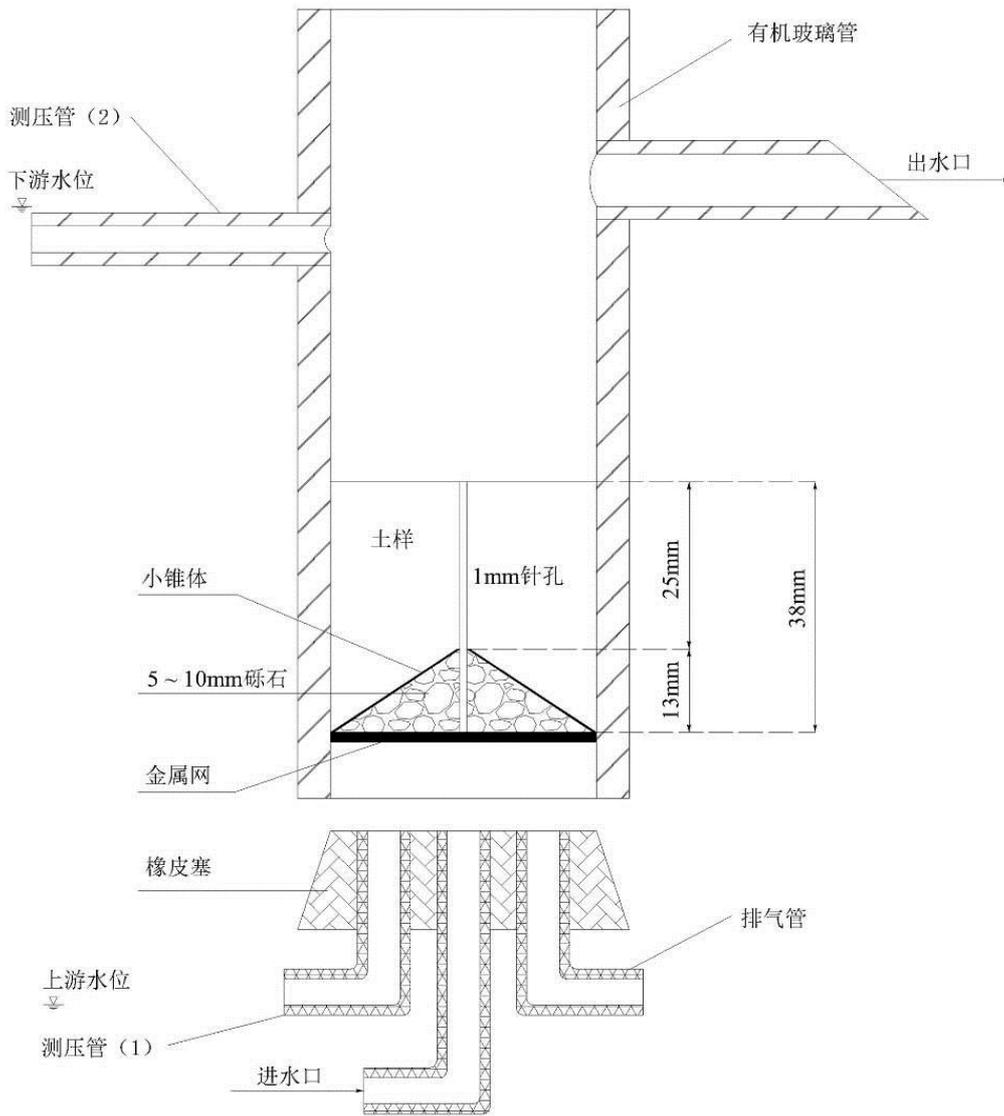


图 8 垂直针孔试验装置示意图

③ 土块试验

本规程与《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 和《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB/T 10235-2019 等规程要求土块试验用水为纯水，《土工试验规程》YS/T 5225-2016 要求土块试验用水为 0.001mol/L 的氢氧化钠溶液。

考虑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。而不同盐分含量的试验用水对土块在试验过程中胶体析出程度具有一定影响。

工程所在地的河水、水库水更贴近当地情况，但仅适用于现场土块试验。且河水、水库水的水质情况受时间季节变化影响，不具有统一性和可重复性。

使用 0.001mol/L 氢氧化钠溶液进行土块试验会对土颗粒中胶体扩散产生一定影响，但未找到相关文献对其进行说明。

而全国各地对于纯水的标准要求一致，采用纯水进行试验具有统一性和可重复性，故在本规程中要求采用纯水进行试验。

④孔隙水阳离子试验

《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 和《土工试验规程》YS/T 5225-2016 等规程规范均未对孔隙水阳离子试验方法做出明确规定。因此本规程在《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 等对孔隙水阳离子试验法评价标准和《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019 在化学离子检测的基础上进行孔隙水阳离子试验方法编制，与其具有一致性。

五、重大分歧或重难点的处理经过和依据

1 针孔试验不同试验方法对比

国内相关规程规范与美国标准在针孔试验方面的要求大致相同，

均为水平针孔试验法，试验装置如上图 7 所示。在试验过程中易堵孔，影响试验结果。

针对上述情况，经过分析研究提出竖直针孔试验法，试验装置土上图 8 所示。因土体在实际工程中可能受到各种方向渗流力的作用，故改水平渗流力为竖直方向渗流力，模拟土体受到水流的冲蚀条件。

经试验验证，垂直针孔试验法试验成果适用于针孔试验评价土的分散性标准（表 2），以表 4 和表 5 数据进行举例说明。

表 4 某工程竖直针孔法试验成果

土样编号	最终水头 (mm)	持续时间 (min)	最终流量 (mL/s)	流出水的混浊情况	最终孔径 (mm)	类别
1	180	5	2.50	混浊	>1.5	过渡性土
2	180	5	1.60	混浊	>1.5	过渡性土
3	380	0	2.60	混浊	>1.5	过渡性土
4	180	5	1.50	混浊	>1.5	过渡性土
5	380	0	2.30	混浊	>1.5	过渡性土
6	380	0	2.30	混浊	>1.5	过渡性土

表 5 某工程水平针孔法试验成果

土样编号	最终水头 (mm)	持续时间 (min)	最终流量 (mL/s)	流出水的混浊情况	最终孔径 (mm)	类别
1	180	5	2.20	混浊	>1.5	过渡性土
2	180	5	1.50	混浊	>1.5	过渡性土
3	380	0	2.00	混浊	>1.5	过渡性土
4	180	5	1.50	混浊	>1.5	过渡性土
5	380	0	1.90	混浊	>1.5	过渡性土
6	380	0	1.90	混浊	>1.5	过渡性土

2 土块试验不同观察时间对比

国内行业标准如《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》SL 251-2015 对土块试验在评价土的分散性标准要求观察时间为 5~10min；而美国标准 ASTM D6572-20 评价土的分散性要求观察时

间为 2min~1h。

图 9~图 16 为某工程土块试验在不同试验时间试样状态。



图 9 1 号试样土块试验 10min 状态



图 10 1 号试样土块试验 1h 状态



图 11 2 号试样土块试验 10min 状态



图 12 2 号试样土块试验 1h 状态



图 13 3号试样土块试验 10min 状态

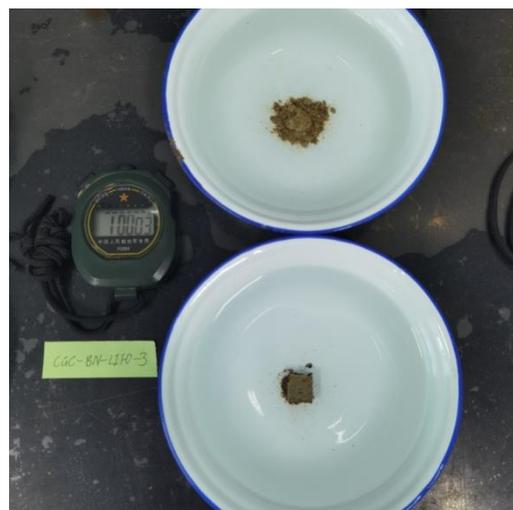


图 14 3号试样土块试验 1h 状态



图 15 4号试样土块试验 10min 状态



图 16 4号试样土块试验 1h 状态

从图中可看出分散性土、过渡性土和非分散性土的浸水后特征在 5~10min 时就已经表现出来，在将时间延长至 1h 后，分散性特征表现的更为明显，但不会导致土的分散性类别因试验时间延长而改变。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 5~10min 后的胶粒分散特征观察并进行分散性分类。

六、预期效益

本规范实施后能够指导工程建设中的土的分散性试验判别工作，统一其试验的步骤和操作，使其结果具有可参考性，对工程土料的判别具有重要作用。

七、其他说明事项

随着本标准的推行和在实际中的应用，本标准将根据试验技术和判别方法的进步不断更新。