

ICS
CCS



中国土工合成材料工程协会标准

T/CTAG XXXX-202X

土工合成材料 聚合物改性膨润土防渗材料

Geosynthetics- Polymer Modified Bentonite seepage prevention Material

（征求意见稿）

202X- XX- XX 发布

202X- XX- XX 实施

中国土工合成材料工程协会 发布

中国土工合成材料工程协会标准

土工合成材料 聚合物改性膨润土防渗材料

Geosynthetics- Polymer Modified Bentonite seepage prevention Material

T/CTAG XXXX-202X

主研单位：湖南大学

批准部门：中国土工合成材料工程协会

发布日期：202X 年**月**日



中国铁道出版社

202x 年·北京

前 言

为规范聚合物改性膨润土防渗材料产品质量和应用范畴，促进新产品的标准化、规范化，制定本文件。

本文件按照 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。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国土工合成材料工程协会标准化工作委员会负责解释。

主研单位：湖南大学、湖南麓谷环保科技有限公司、中冶长天国际工程有限公司、山东捷高工程材料有限公司、五矿二十三冶建设集团有限公司、中蓝长化工程科技有限公司、长沙建益新材料有限公司、浙江大学、深圳大学、湖北工业大学、中国恩菲工程技术有限公司。

主要起草人：杨微、陈仁朋、郭承晖、李育超、蒲诃夫、李丽华、任孟健、袁平、岳方成、王益达、王又武、唐安辉、郑华伟、刘唐胜、康馨、刘雪莹、王军磊、李鑫、何逸飞、曾智磊、周蓉。

主要审查人：

特邀专家：

本标准为首次制定。

目 次

1 范围	
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类和标记	4
5 技术要求	5
6 试验方法	7
7 检验规则	13
8 运输、贮存、施工及验收	14
附录 A 防渗毯干湿循环渗透系数的测试方法	16
附录 B 防渗毯冻融循环渗透系数的测试方法	17
附录 C 平流通量比计算方法	18

1 范围

本文件规定了聚合物改性膨润土防渗材料制备技术及施工应用规范（以下简称“改性膨润土”）的分类标记、技术要求、试验方法、检验规则、贮存及施工验收。本文件适用于工业固废填埋、垃圾填埋场、重金属尾矿库、油田、中低放核废料储存库及其他防渗、防渗工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2791 胶粘剂 T 剥离强度试验方法 挠性材料对挠性材料

GB/T 6003.1—2022 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 11007—2008 电导率仪试验方法

GB/T 14684—2022 建设用砂

GB/T 15788 土工合成材料 宽条拉伸试验方法

GB/T 20973—2020 膨润土

GB/T 50123—2019 土工试验方法标准

JC/T 2054—2020 天然钠基膨润土防渗衬垫

T/CECS 10152—2021 高分子聚合矿物质防渗材料

T/CHTS 20042—2024 公路钠基膨润土防渗垫

HJ 1415—2025 磷石膏利用和无害化贮存污染控制技术规范

GB/T 50290—2014 土工合成材料应用技术规范

GB/T 17514—2017 水处理剂阴离子和非离子型聚丙烯酰胺

SL235—2012 土工合成材料测试规程

T/CTAG 101-2024 土工合成材料术语标准

GB/T 22875-2018 纸尿裤和卫生巾用高吸收性树脂

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

膨润土 bentonite

以蒙脱土矿物($\geq 80\%$)为主要矿物成分的细粒粘土, 具有较强吸水膨胀的特点。

3.2

聚合物 polymer

由一系列重复的、相对较小的化学单元(称为单体)通过共价键连接而成的, 具有非常巨大分子量的物质。可用于改性膨润土的聚合物主要有以下几种:

3.2.1 聚丙烯酸盐类: 分子链上大量的羧基可与土层表面阳离子产生离子键和或配位作用; 长链条可包裹土颗粒达到阻止土片层在污染作用下发生团聚和收缩的作用; 聚合物本身具有强吸水膨胀能力, 与膨润土的膨胀性产生协同效应;

3.2.2 聚丙烯酰胺类: 长分子链可通过氢键或范德华力在膨润土颗粒间形成架桥, 形成整体的絮凝网络结构; 溶解后提高水相粘度, 从而降低渗流液的渗透性;

3.2.3 纤维素醚类: 主要通过增稠和物理填充来降低渗透性, 并与膨润土颗粒通过氢键结合, 但其长期稳定性及化学相容性不足, 可能发生生物降解。

3.3

聚合物改性膨润土 polymer-modified bentonite

通过物理或化学方法将功能性聚合物引入膨润土结构体系中, 进而改善其吸水性、耐盐性及抗渗性等关键性能的一类复合材料。其核心机理在于通过聚合物的插层、接枝与网络形成作用, 有效扩充膨润土层间距、增强其水化膨胀能力并堵塞渗流孔隙, 从而显著改善其在极端环境下的抗渗性、耐盐性与稳定性。根据改性工艺原理, 主要可分为以下三类:

3.3.1 干混法(PMB-DM): 将干燥的膨润土原土与定质量的干燥聚合物粉末在密封容器中混合, 以每分钟 30 转的转速旋转 1 分钟, 以获得均匀的干混混合物, 用 PMB-DM 表示;

3.3.2 湿混法(PMB-WM): 将膨润土原土与聚合物分别分散于去离子水中, 混合后经高速搅拌形成均匀浆体, 随后经烘干、研磨与过筛处理, 制得湿混改性膨润土, 用 PMB-WM 表示;

3.3.3 原位聚合法(PMB-IN): 在冰水浴条件下将酸、碱溶液中和制备单体, 后加入膨润土原土与交联剂混合泥浆, 在持续搅拌下加入引发剂, 于特定温度进行原位聚合反应。将反应所得固体产物烘干、研磨与过筛, 制得原位聚合改性膨润土, 用 PMB-IN 表示。该方法中的“原位”指膨润土原位参与由单体到聚合物的反应过程。

3.4

平流通量 advection flux

单位时间内, 由于流体的整体流动, 通过单位横截面积的污染物的质量。代表了流体和污染物通过整个多孔介质断面的平均输送速率, 其表达式为: $J_A = q \cdot c$, 其中 q =达西流速、 c =污染物浓度。

3.5

浸润线 phreatic line

填埋体中渗流水的自由表面位置，在横剖面上为一条曲线。参照 HJ 1415-2025 6.6 要求，填埋/贮存场运行期内，应定期检测渗滤液收集和导排系统的有效性，保证正常运行。填埋/贮存场内浸润线高度不应大于设计堆积体高度的三分之一。

3.6

人工合成黏土 artificial synthetic clay

由聚合物改性膨润土、砂和水按特定比例混合均匀配制成的低渗透性防渗混合料，经现场摊铺、压实而成的防渗衬层，其厚度不应小于 5cm，可用于低边坡或者浸润线以下填埋库底防渗施工，用 SC 表示。

3.7

人工合成黏土防渗毯 artificial synthetic clay liner

由经过级配的砂、改性膨润土按特定比例混合均匀后，将混合物固定在两层土工织物之间通过针刺复合而制成的毯状结构制品，可用于浸润线以上边坡防渗施工，用 SCB 表示。

3.8

耐盐性 salt resistance

材料在 0.1% CaCl_2 溶液中静置 168h 后的膨胀指数，反映材料长期耐盐的指标，以 ml/2g 表示。

3.9

膨胀指数保留率 swelling index retention rate

用蒸馏水进行四次离心漂洗后材料膨胀指数与漂洗前膨润土膨胀指数的比值，反映材料性能稳定性的指标，以%表示。

3.10

界面摩擦角 interface friction angle

不同接触材料接触界面处的摩擦角，其正切值为单位面积的摩擦力与法向应力的比值，以°表示。

3.11

饱和内摩擦角 saturated internal friction angle

在完全饱和状态下进行剪切试验时，不同接触材料接触界面处的摩擦角，其正切值为单位面积的摩擦力与法向应力的比值，表征材料在饱水环境中的抗剪切能力，以°表示。

4 分类和标记

4.1 分类

4.1.1 按改性工艺分类

聚合物改性膨润土按改性工艺可分为干混法（PMB-DM）、湿混法（PMB-WM）、原位聚合法（PMB-IN）三类。

4.1.2 按产品类型分类

复合防渗产品类型包括人工合成黏土（SC）、人工合成黏土防渗毯（SCB）两种应用形式，结构示意图如图 1、图 2 所示，基本特性应符合表 1 的规定。

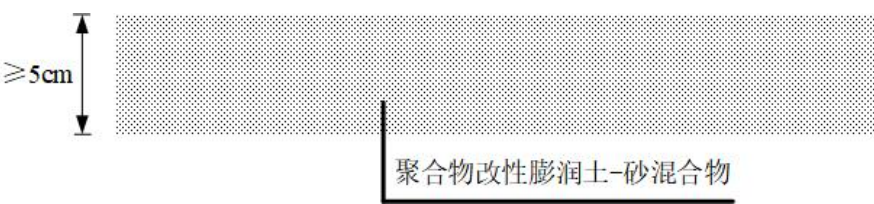


图 1 人工合成黏土
塑料扁丝编织土工布

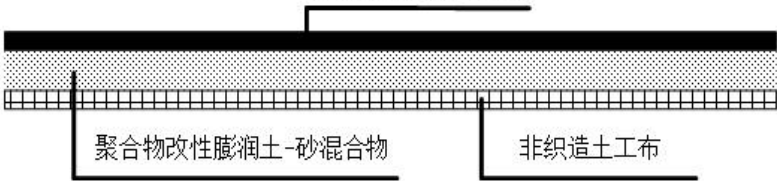


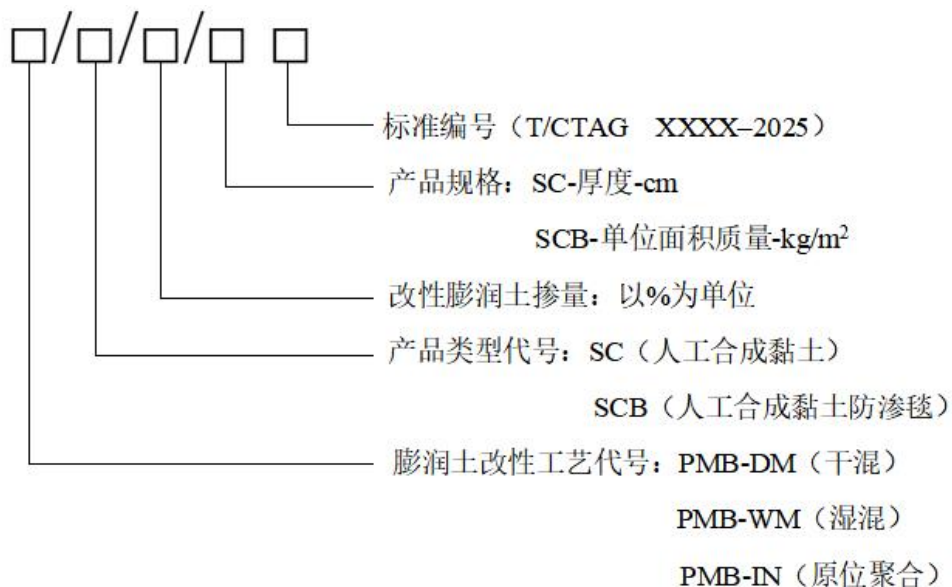
图 2 人工合成黏土防渗毯

表 1 人工合成黏土（SC）及人工合成黏土防渗毯（SCB）基本特性

产品类型	应用场景	施工方法	组成	规格	标记
人工合成黏土	坡度小于1:1.5边坡； 且浸润线以下	摊铺、压实	改性膨润土、砂、水	厚度：≥5cm	SC
人工合成黏土防渗毯	坡度大于1:1.5边坡； 且浸润线以上	铺设	改性膨润土、砂、土工布	单位面积质量： 4.8kg/m ² ~8kg/m ²	SCB

4.2 标记

复合防渗产品标记由膨润土改性工艺代号、产品类型代号、改性膨润土掺量、产品规格（厚度/单位面积质量）和标准编号组成。



示例: 符合本文件, 改性膨润土工艺为原位聚合, 产品类型为人工合成黏土防渗毯, 改性膨润土掺量为 20%, 单位面积质量为 5kg/m² 的复合防渗材料标记为: PMB-IN/SCB/20/5 T/CTAG XXXX - 2025

5 技术要求

5.1 原材料技术要求

5.1.1 砂

原材料砂技术指标要求应符合表 2 的规定。

表 2 砂技术指标要求

项目	技术指标
粒径≤0.075 mm/ (%)	≤5
粒径>10 mm/ (%)	0
粒径: 0.125 mm~2.0 mm/%	≥50
C_u	≥6
C_c	≥1
电导率/ (μ S/cm)	<1 000
含水率/%	<12
含泥含量/ (%)	<5
酸碱度/ (pH)	4.5~10.0

5.1.2 膨润土

原材料膨润土技术指标要求应符合表 3 的规定。

表 3 膨润土技术指标要求

项目	指标
膨胀指数/ (ml/2g)	≥15
吸蓝量/ (g/100g)	≥22
耐盐性/ (ml/2g)	≥12

滤失量/ (ml)	≤ 20
颗粒含量/ (0.2-2.0mm/%)	≥ 80

5.1.3 聚合物

采用干混法及湿润法工艺制备 PMB-DM 及 PMB-WM 时,所用原材料聚合物技术指标要求应符合表 4 的规定。

表 4 聚合物技术指标要求

项目	指标
生理盐水吸收量/ (g/g)	≥ 40
生理盐水保水量/ (g/g)	≥ 20
含水量/ (%)	≤ 10

5.2 改性膨润土技术要求

改性膨润土技术要求应符合表 5 的规定。

表 5 改性膨润土技术要求

项目	指标		
	干混	湿混	原位聚合
膨胀指数/ (ml/2g)	≥ 55	≥ 65	≥ 55
耐盐性/ (ml/2g)	≥ 30		
膨胀指数保留率/ (%)	≥ 60		
滤失量/ (ml)	≤ 12		

5.3 产品技术要求

5.3.1 人工合成黏土

人工合成黏土产品可用于填埋库内浸润线以下低边坡防渗施工,其技术指标要求应符合表 6 的规定。

表 6 人工合成黏土技术要求

项目	指标
渗透系数/ (cm/s)	按平流通量比 $R_k \leq 1.25$ 要求计算 建议范围: $5.0 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^{-8}$ cm/s
颗粒粒径/ (mm)	≤ 10 mm
内摩擦角/ ($^{\circ}$)	≥ 25
粘聚力/ (kPa)	≥ 18
干密度/ (g/cm ³)	≥ 1.6
含水量/ (%) a	以最优含水率为目标控制含水量,或根据现场

	施工情况调整	
压实度/（%）	≥90	坡底
	≥85	坡面
厚度（cm）	根据平流通量比设计可取 5~10cm 施工检测应大于设计值 90%	
干湿循环渗透系数数量级变化值/ Δn b	≤1	
冻融循环渗透系数数量级变化值/ Δn b	≤1	
a 可根据现场施工情况进行适当调整，以防止压路机滚筒的粘料； b 对于干湿/冻融交替频繁或地区，必要时检测干湿/冻融循环渗透系数数量级变化值。		

5.3.2 人工合成黏土防渗毯

人工合成黏土防渗毯可用于填埋库内浸润线以上高边坡防渗施工，产品的技术指标要求应符合表 7 的规定。

表 7 人工合成黏土防渗毯技术要求

项目	指标
单位面积质量/（kg/m ² ）	4.8~8
颗粒粒径/（0.2~2.0mm，%）	≥80
渗透系数/（cm/s）	≤5.0×10 ⁻⁹
拉伸强度/（N/100mm）	≥600
最大负荷下伸长率/（%）	≥10
剥离强度/（N/100 mm）	≥40
防渗毯填充物内摩擦角/（°）	≥20
防渗毯填充物饱和内摩擦角/（°）a	≥15
干湿循环渗透系数数量级变化值/ Δn b	≤1
冻融循环渗透系数数量级变化值/ Δn b	≤1
a 对于边坡大于 45° 应用场景，必要时应做饱和内摩擦角要求，若饱和摩擦角不满足标准，可以采用增大不均匀系数或降低改性膨润土掺比增强材料的水稳性能，颗粒粒径建议级配见附录 D 表 2。 b 对于干湿/冻融交替频繁或地区，必要时应检测干湿/冻融循环渗透系数数量级变化值。	

6 试验方法

6.1 砂

6.1.1 粒径分析

试验按 GB/T 50123—2019 中 8.2 的规定执行，其中需要增加 0.063 孔径的细筛作为分析筛。

6.1.2 电导率

试验溶液制备方法按 JTG 3430—2020 第 33 章中 T 0152—1993 的规定执行，电导率的测定按 GB/T 11007—2008 的规定执行。

6.1.3 含水率

试验按 GB/T 50123—2019 中第 6 章的规定执行。烘干温度 105 °C~110 °C，烘干时间不少于 8 h。

6.1.4 含泥量

试验按 GB/T 14684—2022 中 7.4.2 的规定执行。取 2 个试样的试验结果算术平均值作为测定值。

6.1.5 酸碱度

试验按 GB/T 50123—2019 中第 52 章的规定执行，使用电位法测定。

6.2 膨润土

6.2.1 膨胀指数

试验按 GB/T 20973—2020 中 6.7 的规定执行。

6.2.2 吸蓝量

试验按 GB/T 20973—2020 中 6.3 的规定执行。

6.2.3 耐盐性

试验方法同 6.2.1，测试材料在 0.1% CaCl₂ 溶液中静置 168h 后的膨胀指数。

6.2.4 滤失量

按 GB/T 5005—2010 中 5.5 规定执行。

6.2.5 颗粒含量

按 JC/T 2054-2020 中 6.1 的测定方法执进行。

6.3 聚合物

6.3.1 吸收量

按 GB/T 22875-2018 中附录 H 中的测定方法执行。

6.3.2 保水量

按 GB/T 22875-2018 中附录 H 中的测定方法执行。

6.4 改性膨润土

6.4.1 膨胀指数

试验按 GB/T 20973—2020 中 6.7 的规定执行。

6.4.2 耐盐性

试验方法同 6.5.1，测试材料在 0.1% CaCl₂ 溶液中静置 168h 后的膨胀指数。

6.4.3 膨胀指数保留率

用蒸馏水进行四次离心漂洗后材料膨胀指数与漂洗前膨润土膨胀指数的比值，反映材料性能稳定性的指标，以%表示。按下式计算：

$$X = \frac{L_1}{L_2} \times 100$$

式中：

X—膨胀指数保留率，%；

L₁—漂洗后膨胀指数，单位为毫升每 2 克(ml/2g)；

L₂—漂洗前膨胀指数，单位为毫升每 2 克(ml/2g)。

6.4.4 滤失量

试验按 GB/T 5005—2010 中 5.5 规定执行。

6.5 人工合成黏土

6.5.1 渗透系数

渗透系数试验的试样宜在现场压实成型后的工程实体中取样制备。当现场不具备取样条件或需要复核时，可在实验室内按现场压实标准与含水率重新制备。现场取样应待施工完成后，按 GB/T 50123—2019 的规定进行见证取样，并保证试样在转运过程中的完整性。实验室的试样制备按 GB/T 50123—2019 中的规定进行，制备好的试样应不低于现场取样的密度。每组试样不得少于 4 个，试样的其他尺寸视仪器条件而定。或可采用柔性壁渗透仪测量，试样侧向不应存在凹坑或凸起。渗透系数的测定按 ASTM D5084 或 JG/T 193—2006 中附录 A 的规定执行，宜采用 ASTM D5084 方法。

6.5.2 内摩擦角和粘聚力

内摩擦角和粘聚力的试样宜采用施工现场压实后的工程实体钻取的原状样。当无法取得合格原状样或需进行材料比选时，可在实验室内按设计要求的密度与含水率制备重塑样。制样方法与 6.6.1 中规定的方法相同，每组试样不得少于 4 个，试样尺寸视仪器条件而定。内摩擦角及粘聚力的测定按 GB/T 50123—2019 中第 21 章的规定执行。

6.5.3 干密度

密度的测定应待现场施工完毕后，按 GB/T 50123—2019 中 4.5 的规定进行现场见证取样及试样制备。制好的样品按照 GB/T 50123—2019 中 6.2 的“环刀法”规定进行试验。

6.5.4 塑性指数

试验按 GB/T 50123—2019 中第 9 章规定执行。

6.5.5 含水量

试验按 GB/T 50123—2019 中第 6 章的规定执行。烘干温度 $105\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，烘干时间不少于 8 h。

6.5.6 压实度

试验按 GB/T 50123—2019 中第 13 章的规定执行，获得材料的最佳含水率和最大干密度结果。根据 5.3.1 获得现场施工完成后，现场试样的密度，并按照 5.3.4 测定该试样的含水率，计算得到该现场试样的干密度。干密度与最大干密度的比值，即为现场试样的压实度。

6.5.7 厚度

主要仪器设备如下：

- a) 钢板尺：精度 0.1 mm；
- b) 切土刀。

试验方法应符合下列要求：

- a) 用切土刀从复合压实黏土往下开挖至与基础层界面，在复合压实黏土中挖一个方形小孔；
- b) 用切土刀将小孔侧面进行修整，使侧面垂直于底部基础层面，并保证侧面垂直平顺；
- c) 清除小孔底部复合压实黏土和其他杂物；

用尺子插入小孔底部，尺子紧贴小孔垂直顺平面，并读取复合压实黏土上面层对应尺子的读数，并记录。

6.5.8 颗粒粒径

试验按 GB/T 50123—2019 中 8.2 的规定进行，其中需要增加 0.063 孔径的细筛作为分析筛。

6.5.9 界面摩擦角

按 SL/T 235-2012 中第 31 章“直剪摩擦试验”进行测试，获得界面摩擦角参数。试样的压实度不低于 85%。

6.5.10 干湿循环渗透系数数量级变化值

按 GB/T 50123—2019 中第 16 节要求，取材料按指定干密度击实制取 6 个试样，其中 3 个作为参考样，另外 3 个作为干湿循环测试样。将循环试样置于抽气饱和桶内， $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下浸泡 48h，清除多余的水分。将多余的水分清除，在 $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中干燥 24h 后取出，室温下冷却至少 6h，重复以上步骤 10 次。干湿循环结束后，取出样品按 GB/T50123-2019 第 16 节进行渗透系数的测定。按照以下公式计算渗透系数数量级变化值：

$$\Delta n = \lg \left(\frac{k_{\text{测试}}}{k_{\text{参考}}} \right)$$

式中：

Δn ——干湿循环渗透系数数量级变化值；

$k_{\text{测试}}$ ——测试样品干湿循环后的渗透系数平均值，单位为厘米每秒 (cm/s)；

$k_{\text{参考}}$ ——参考样的渗透系数平均值，单位为厘米每秒 (cm/s)。

6.5.11 冻融循环渗透系数数量级变化值

按照 GB/T 50123—2019 中第 16 节要求，取材料按指定干密度击实制取 6 个试样，其中 3 个作为参考样，另外 3 个作为冻融循环测试样。将循环试样置于抽气饱和桶内， $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下浸泡 48h，清除多余的水分。将多余的水分清除，放入 $(-5 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的冷冻机冷冻 24h 后取出，在室温下解冻 24h，然后再次加入去离子水，在室温下浸泡 24h。重复 20 次。冻融循环结束后，取出样品按照 GB/T50123-2019 第 16 节进行渗透系数的测定。按照以下公式计算渗透系数数量级变化值：

$$\Delta n = \lg \left(\frac{k_{\text{测试}}}{k_{\text{参考}}} \right)$$

式中：

Δn ——冻融循环渗透系数数量级变化值；

$k_{\text{测试}}$ ——测试样品冻融循环后的渗透系数平均值，单位为厘米每秒 (cm/s)；

$k_{\text{参考}}$ ——参考样的渗透系数平均值，单位为厘米每秒 (cm/s)。

6.6 人工合成黏土防渗毯

6.6.1 单位面积质量

按 JG/T 193—2006 中 5.4 的规定执行。

6.6.2 颗粒粒径

试验按 GB/T 50123—2019 中 8.2 的规定执行，其中需要增加 0.063 孔径的细筛作为分析筛。

6.6.3 渗透系数

渗透系数的测定按 ASTM D5084 或 JG/T 193—2006 中附录 A 的规定执行。宜采用 ASTM D5084 方法。

6.6.4 拉伸强度

按 GB/T 15788 执行，拉伸速度为 300 mm/min。

6.6.5 最大负荷下伸长率

按 GB/T 15788 执行，拉伸速度为 300 mm/min。

6.6.6 防渗毯填充物内摩擦角

内摩擦角测定按 GB/T 50123—2019 中第 21 章的规定执行，区别仅在于待测物为卷材内的填充物。

6.6.7 防渗毯填充物饱和内摩擦角

内摩擦角测定按 GB/T 50123—2019 中第 21 章的规定执行，区别仅在于将防渗毯内的填充混合物进行饱和。

6.6.8 干湿循环渗透系数数量级变化值

按照附录 A 方法测定干湿循环后的渗透系数，后按以下公式计算干湿循环后渗透系数数量级变化值：

$$\Delta n = \lg \left(\frac{k_{\text{测试}}}{k_{\text{参考}}} \right)$$

式中：

Δn ——干湿循环渗透系数数量级变化值；

$k_{\text{测试}}$ ——测试样品干湿循环后的渗透系数平均值，单位为厘米每秒 (cm/s)；

$k_{\text{参考}}$ ——参考样即未受干湿循环测试样品的渗透系数平均值，单位为厘米每秒 (cm/s)。

6.6.9 冻融循环渗透系数数量级变化值

按照附录 B 方法测定冻融循环后的渗透系数，后按以下公式计算冻融循环后渗透系数数量级变化值：

$$\Delta n = \lg \left(\frac{k_{\text{测试}}}{k_{\text{参考}}} \right)$$

式中：

Δn ——冻融循环渗透系数数量级变化值；

$k_{\text{测试}}$ ——测试样品冻融循环后的渗透系数平均值，单位为厘米每秒 (cm/s)；

^k参考——参考样即未受冻融循环测试样品的渗透系数平均值，单位为厘米每秒(cm/s)。

7 检验规则

7.1 检验分类

聚合物改性膨润土防渗材料及其原材料和中间材料的检验分为型式检验、出厂检验及施工现场检验三类。其中，型式检验需要检验膨润土原料的膨胀指数、含水率，改性膨润土的膨胀指数、粒径，复合防渗毯的渗透系数、剥离强度、质量规格等相关项目。出厂检验则需要检测改性膨润土的膨胀指数、粒径，复合防渗毯的渗透系数、剥离强度、质量规格等相关项目。施工现场检验则需要检级配基质材料的粒径、含水率、强度，复合压实黏土的厚度、膨胀指数、强度、压实度、渗透系数等相关项目。

7.2 组批规则与抽样方案

层流状态下，水位差等于1时垂直于土工织物平面方向的渗透流速。

7.2.1 组批规则

组批规则应符合下列规定：

- 膨润土原料以300 t为一个检验批次，低于200 t按一个批次检验，级配基质材料每500 t为一个检验批次，低于500 t按一次批次检验；
- 聚合物改性膨润土以300 t为一批，不足300 t按一批计；
- 人工合成黏土的组批规则以测试项目分别划分，其中渗透系数和内摩擦角以5000 t为一批，含水率、密度和压实度以3000 m²为一批，厚度以500 m²为一批，不足一批的按一批计；
- 人工合成黏土防渗毯以12000 m²为一批，不足一批的按一批计；
- 产品以批为单位进行检验和验收。

7.2.2 抽样方案

抽样方案应符合下列规定：

- 膨润土原料和级配基质材料采用等距离抽样4组，总试样量不少于1 kg。
- 聚合物改性膨润土的性能指标检验以批次为单位，在材料进场时，每个测试项目按每批次随机抽取4个样进行检验。
- 人工合成黏土的性能指标检验以批次为单位，在压实施工完成后，表6中第1~5项指标每项随机抽取1个样进行检验，第6~8项指标每项随机抽取4个样进行检验。
- 人工合成黏土防渗毯的性能指标检验以批次为单位，在材料进场时，每个测试项目按每批次随机抽取不少于4个样进行检验。

7.3 判定规则和复验规则

7.3.1 判定规则

聚合物改性膨润土、人工合成黏土和人工合成黏土防渗毯应由生产厂的质量检验部门按照本标准规定的试验方法进行检验，依据检验结果和技术要求对产品做出质量判断，并提出证明。

产品出厂时，每批产品应附有产品质量检验合格证，合格证上应标明产品名称，批号，执行标准，并盖有质检专用章。

7.3.2 复验规则

检验结果若某项指标不符合本文件要求时，应重新取样对该项目进行复检，以复验结果作为该产品的质量判定依据。

8 运输、贮存、施工及验收

8.1 运输

人工合成黏土和人工合成黏土防渗毯均为非危险品，宜采用叉车等装卸设备配合叉车托盘进行装卸。运输工具应保持清洁、干燥。运输过程中应防潮、防渗、防破损漏料。

8.2 贮存

膨润土和聚合物等材料宜贮存在干燥、清洁的仓库内。露天堆放，应做好防雨、防潮和覆盖。聚合物改性膨润土宜堆放在仓库内，如需露天堆放，宜用防渗材料覆盖，防止雨水浸。人工合成黏土防渗毯应贮存在干燥、通风的库房中，存放地点应远离火源。堆放场地应选择地势较高的地方，架空存放，防止受潮，离地面高度不应小于 200 mm。可成卷叠放，叠放高度不宜超过 1.5 m。露天存放时，底部应垫隔潮板，顶部应遮盖防雨布。

8.3 施工

8.3.1 人工合成黏土

合理规划摊铺路线，搅拌后应及时摊铺。虚铺厚度应经试验确定。施工中应加强计划管理，减少材料在现场的堆放与损耗。碾压完成后做好成品保护，未及时碾压的材料，堆放时应做好覆盖。摊铺前，基础层应平整、清洁，不得有尖锐突起物或明显的有机物存在，无渗水、积水现象，还应保证基础层具有足够的承载能力和整平度，且压实度满足设计需求。合理设置摊铺和碾压区域，定岗指挥人员，设立安全警示标语，分段摊铺，分段碾压。辅以人工严格控制摊铺厚度及平整度。坡面摊铺、碾压均应自下而上进行。复合压实黏土施工和维护过程中，其安全、劳动保护及环境保护等均应符合国家现行有关标准的规定，做到安全文明施工。现场材料装卸和搬运时，应保证吊装和搬运的安全，防止机械和重物伤人。进入施工现场的材料应按照指定位置堆放整齐，不得随意乱摆乱放。

8.3.2 人工合成黏土防渗毯

铺设前，基础层应平整、清洁，不得有尖锐异物，压实标准应符合设计要求。且不得有积水，渗水，基础层节点等特殊部位应按设计要求施工。人工合成黏土防渗毯非织造土工布面应为迎水面。铺设应平整，贴紧基础面，不宜过度拉紧。搭接缝应紧密服贴、平整，严禁皱折，搭接部位施工应符合设计要求。人工合成黏土防渗毯搭接应为水流上侧压下游侧；坡面上搭接应坡上方压坡下方。当人工合成黏土防渗毯出现撕裂缺口时，应采用一整片人工合成黏土防渗毯覆盖于缺口处，其尺寸应超出缺口边缘不小于 500 mm，搭接部位的两层防渗毯中间应按照设计要求撒上膨润土粉。复合防渗毯施工和维护过程中，其安全、劳动保护及环境保护等均应符合国家现行有关标准的规定，做到安全文明施工。严禁在极端恶劣天气施工。

8.4 验收

8.4.1 人工合成黏土

压实后的人工合成黏土表面应平整，清洁，其铺设厚度、压实度及密度应符合设计要求。其他设计要求的指标或国家规定的指标应符合有关规定及要求。

8.4.2 人工合成黏土防渗毯

人工合成黏土防渗毯的铺设顺序与方向、搭接方式与宽度、施工缝及贯通物等节点构造、锚固沟尺寸均应符合设计要求；铺设应平整、贴实，无破损与褶皱。

附录 A

防渗毯干湿循环渗透系数的测试方法

A.1 仪器设备

A.1.1 柔性壁渗透仪：应符合 SL235-2012 的规定。

A.1.2 模板：边长不小于 200mm 的正方形或直径不小于 200mm 的圆形。

A.1.3 不透水盒：能盛放样品。

A.1.4 压力板：钢性化学惰性材料，与试样大小相同，厚度不小于 10mm。

A.1.5 砝码：能提供压力为 (4 ± 0.2) kPa（包含压力板重量）。

A.1.6 烘箱：能保持 $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的温度。

A.2 试样制备

A.2.1 从样品上裁取 6 个试样，其中 3 个作为参考样，另外 3 个作为干湿循环测试样。

A.2.2 裁样时，将模板放在选定的部位，用剪刀或者其他合适的工具将试样裁剪成与模板同尺寸大小。

A.2.3 用防渗胶带或自粘铝箔密封试样的边缘。

A.3 试验步骤

A.3.1 在不透水盒中装满去离子水，底部放置一块滤膜，手动去除滤膜和样品之间的气泡，将样品放在滤膜上。

A.3.2 在样品上部放置另一块滤膜，去除滤膜和样品之间的气泡。再依次放上压力板、砝码，加压至 (4 ± 0.2) kPa。

A.3.3 在 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 下浸泡 48h，清除盒内多余的水分。

A.3.4 在 $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中干燥 24h 后取出，室温下冷却至少 6h。

A.3.5 重复 A.3.1~A.3.4 步骤 3 次。

A.3.6 从不透水盒中取出样品，制成直径为 (100 ± 2) mm 的试样，按照 SL235-2012 进行渗透系数的测定。

A.3.7 对参考样按照 SL235-2012 进行渗透系数的测定。

附录 B

冻融循环渗透系数的测试方法

B.1 仪器设备

- B.1.1 柔性壁渗透仪：应符合 SL235-2012 的规定。
- B.1.2 模板：边长不小于 200mm 的正方形或直径不小于 200mm 的圆形。
- B.1.3 不透水盒：能盛放样品。
- B.1.4 压力板：钢性化学惰性材料，与试样大小相同，厚度不小于 10mm。
- B.1.5 砝码：能提供压力为 (4 ± 0.2) kPa（包含压力板重量）。
- B.1.6 冷冻机：能保持温度为 $(-5 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。

B.2 试样制备

- B.2.1 从样品上裁取 6 个试样，其中 3 个作为参考样，另外 3 个作为冻融循环测试样。
- B.2.2 裁样时，将模板放在选定的部位，用剪刀或者其他合适的工具将试样裁剪成与模板同尺寸大小，用防渗胶带或自粘铝箔密封试样的边缘，以防后续试验过程中膨润土流失。

B.3 试验步骤

- B.3.1 在不透水盒中装满去离子水，底部放置一块滤膜，手动去除滤膜和样品之间的气泡。将样品置于滤膜上，再于样品上覆盖另一块滤膜，去除其间的气泡。
- B.3.2 在滤膜上依次放上压力板、砝码，保持压力为 (4 ± 0.2) kPa。
- B.3.3 在 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 温度下浸泡 48h。将盒内多余的水分清除，放入 $(-5 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的冷冻机冷冻 24h 后取出，在室温下解冻 24h，再次加入去离子水，在室温下浸泡 24h。
- B.3.4 重复 B.3.1~B.3.3 步骤 3 次。
- B.3.5 从不透水盒中取出样品，裁剪成直径为 (100 ± 2) mm 的试样，按照 SL235-2012 进行渗透系数的测定。
- B.3.6 对参考样按照 SL235-2012 进行渗透系数的测定。

附录 C

平流通量比计算方法

C.1 与天然黏土衬层具有同等隔水效力的人工合成黏土的渗透系数计算采用平流通量比 R_A 计算方法, 见公式

$$R_A = \frac{(J_A)_{\text{复合}}}{(J_A)_{\text{天然}}} = \frac{k_{\text{复合}} \cdot L_{\text{天然}} (H+L_{\text{复合}})}{k_{\text{天然}} \cdot L_{\text{复合}} (H+L_{\text{天然}})}$$
$$k_{\text{复合}} = \frac{k_{\text{天然}} \cdot L_{\text{复合}} (H+L_{\text{天然}})}{L_{\text{天然}} (H+L_{\text{复合}})} \cdot R_A$$
$$L_{\text{复合}} = \frac{k_{\text{复合}} \cdot L_{\text{天然}} \cdot H}{R_A \cdot k_{\text{天然}} (H+L_{\text{天然}}) - k_{\text{复合}} \cdot L_{\text{天然}}}$$

式中:

R_A ——人工合成黏土与天然黏土衬层的平流通量比;

$(J_A)_{\text{复合}}$ ——通过人工合成黏土的平流通量, $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$;

$(J_A)_{\text{天然}}$ ——通过天然黏土衬层的平流通量, $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$;

$k_{\text{复合}}$ ——人工合成黏土的渗透系数, cm/s ;

$k_{\text{天然}}$ ——天然黏土衬层的渗透系数, cm/s ;

$L_{\text{复合}}$ ——人工合成黏土的厚度, cm ;

$L_{\text{天然}}$ ——天然黏土衬层的厚度, cm ;

H ——衬层上渗滤液水头。

C.2 若平流通量比 $R_A \leq 1$, 则认为在通过天然黏土衬层的稳定平流通量方面, 使用人工合成黏土防渗衬层与厚度为 0.75m、饱和渗透系数为 $1 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{s}$ 压实黏土标准方案相当或占优。

C.3 不同渗滤液水头高度条件下, 与 0.75m、饱和渗透系数为 $1 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{s}$ 压实黏土标准方案等效 (安全系数 1.25, $R_A=0.8$) 的人工合成黏土渗透系数要求见表 C.1。

表 C.1 与天然黏土衬层等效的人工合成黏土渗透系数对照表

水头高度/(cm)	衬层厚度 5cm 建议渗透系数/(cm/s)	人衬层厚度 7cm 建议渗透系数/(cm/s)
100	8.88×10^{-9}	1.22×10^{-8}
300	6.55×10^{-9}	9.12×10^{-9}
500	6.07×10^{-9}	8.46×10^{-9}
1000	5.70×10^{-9}	7.97×10^{-9}
2000	5.51×10^{-9}	7.71×10^{-9}

C.4 不同渗滤液水头高度条件下, 与 0.75m、饱和渗透系数为 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 压实黏土标准方案等效 (安全系数 1.25, $RA=0.8$) 的人工合成黏土厚度要求见表 C.2。

表 C.2 与天然黏土衬层等效的人工合成黏土厚度对照表

水头高度 /(cm)	$k=5.0 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ 建议厚度/(cm)	$k=7.5 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ 建议厚度/(cm)	$k=1.0 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 建议厚度/(cm)
100	2.75	4.19	5.66
300	3.80	5.73	7.69
500	4.11	6.19	8.29
1000	4.38	6.58	8.80
2000	4.53	6.80	9.08

附录 D 参考级配

D.1 为满足表 5.3.2 中饱和摩擦角大于 15° 的要求，人工合成黏土防渗毯内填充物的参考级配见表 D.1。

表 D.1 人工合成黏土防渗毯填充物参考级配表

项目	指标
粗砂 (0.5~2mm) (%)	30~50
中砂 (0.25~0.5) (%)	10~30
细砂 (0.075~0.5) (%)	20~30
改性膨润土 ($<0.075\text{mm}$) (%)	10~20
C_u 与 C_c	$C_u > 9$, $C_c > 1$