

# T/ZJPAEE

## 团体标准

T/ZJPAEE XXXX—XXXX

### 工业固废填埋场垂直阻隔技术标准

Vertical barrier technology standard for industrial solid waste landfill site

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

## 前 言

本文件基于编制组丰富的科研和工程实践经验，经过广泛调查和研究，结合国内外相关标准，征求各方意见，完成本标准的制定。

本标准共分为8章，主要技术内容包括总则、术语、场地勘察与污染状况调查、阻隔墙材料性能测试、阻隔墙材料选取、阻隔墙设计、阻隔墙施工与质量控制、效果评估与维护。

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

本文件由××××提出。

本文件由浙江省生态经济促进会归口。

本文件主要起草单位：

本文件参与起草单位：

本文件主要起草人：

本文件参与起草人：

## 目录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1. 总则 .....            | 1  |
| 2. 术语 .....            | 2  |
| 3. 场地勘察与污染状况调查 .....   | 3  |
| 3.1 一般规定 .....         | 3  |
| 3.2 场地勘察 .....         | 3  |
| 3.3 填埋场堆体和场地污染调查 ..... | 4  |
| 4. 阻隔墙材料性能测试 .....     | 5  |
| 5. 阻隔墙 .....           | 7  |
| 5.1 土-膨润土阻隔墙材料 .....   | 7  |
| 5.2 水泥-膨润土阻隔墙材料 .....  | 8  |
| 5.3 塑性混凝土阻隔墙材料 .....   | 8  |
| 5.4 土工膜复合阻隔墙材料 .....   | 10 |
| 6. 阻隔墙设计 .....         | 11 |
| 7. 阻隔墙施工与质量控制 .....    | 13 |
| 7.1 一般规定 .....         | 13 |
| 7.2 施工方法 .....         | 13 |
| 7.3 质量控制 .....         | 14 |
| 8. 效果评估与维护 .....       | 16 |
| 8.1 阻隔效果评估 .....       | 16 |
| 8.2 垂直阻隔墙长期维护 .....    | 16 |
| 附录 A：垂直阻隔墙厚度计算方法 ..... | 17 |

## 1. 总则

1.0.1 为了防止和减少工业固废填埋场污染泄露扩散等危害以及管控、降低填埋场风险，指导和规范垂直阻隔技术在工业污染场地风险管控中的应用，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于工业填埋场地垂直阻隔屏障的勘察、设计、施工、工后效果评估与维护工作。不适用于石油废弃物、放射性废物等填埋场地垂直阻隔工程。

1.0.3 垂直阻隔技术应根据填埋场地污染物类型、场地的空间大小选择合适的屏障材料、适宜设计方案、确定合适的施工方法以及后续的效果评估与维护工作。

1.0.4 本标准制定的关于工业固废填埋场地勘察、垂直阻隔材料、设计、施工与质量控制、效果评估与维护的规定尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2. 术语

### 2.0.1 垂直阻隔技术 vertical barrier technology

采用土-膨润土阻隔墙、水泥-膨润土阻隔墙、塑性混凝土阻隔墙、土工膜复合阻隔墙等阻断地下污染向周边环境的迁移的技术。

### 2.0.2 土-膨润土阻隔墙 soil-bentonite

由基土（砂土、粉土等）、膨润土、膨润土泥浆按设计配合比搅拌均匀配制而成。

### 2.0.3 水泥-膨润土 cement-bentonite

由水泥、膨润土和水按一定的比例经搅拌配制而成。

### 2.0.4 塑性混凝土 plastic concrete

由骨料、水泥、膨润土和水等原材料经搅拌、浇筑、凝结而成，具有弹性模量低、变形大、良好防渗性能等特性的混凝土。

### 2.0.5 水胶比 water-to-binder ratio

塑性混凝土中，用水量与所有胶结材料总用量的比值。

### 2.0.6 隔水层 aquitard

透水性很低的岩土层，又称不透水层。

### 3. 场地勘察与污染状况调查

#### 3.1 一般规定

3.1.1 工业固废填埋场地污染风险调查前宜应收集场地的水文资料、场地及周边环境的工程地质资料、场地和周边的使用历史。

3.1.2 工业固废填埋场地应进行场地勘察，分析场地地下水污染源位置、污染路径以及污染物的污染范围，必要时宜补充场地周边环境污染调查。

3.1.3 工业固废填埋场地勘察可采用调查与测绘、勘探与取样、原位测试、室内污染物检测等方法。

3.1.4 污染场地的勘察过程中应采取保护措施，保障作业人员安全及对环境的影响；对废弃物采取隔离等安全措施，防止污染扩散。

#### 3.2 场地勘察

3.2.1 勘察范围应包含工业固废填埋场堆体、填埋场场区内构建筑物以及邻近相关地段。

3.2.2 填埋场堆体及周边工程地质勘察应符合下列规定：

(1) 工程地质勘察应调查内容参照《岩土工程勘察规范》GB 50021 中的第 4.2 节的有关规定；

(2) 土体工程性质宜参照现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定；

3.2.3 填埋场堆体及周边水文地质勘察应符合下列规定：

(1) 水文地质勘察应包括下列调查内容：

- 1) 地下水的类型和埋藏条件；
- 2) 地下水补给、流向、水位动态变化特征；
- 3) 地下水、地表水以及邻近水体的补排关系；
- 4) 透（含）水层与隔水层的埋藏条件及分布；
- 5) 通过抽水试验、注水试验等，获取透水层渗透系数等水文地质参数；

(2) 场地位于岩溶、洼地、以及较大暗河通道等地区，可采用电测剖面或电测深法，参考《岩土工程勘察规范》GB 50021 第 9 节；

(3) 水文参数测定宜参照《岩土工程勘察规范》GB 50021 第 7 节的有关规定；

### 3.3 填埋场堆体和场地污染调查

3.3.1 填埋场堆体及周边环境污染调查范围应符合以下规定：

(1) 污染调查范围确定前应根据场地具体情况、场地内外的污染源分布、水位地质条件、污染物的迁移和转化等因素判断可能的污染物分布范围；

(2) 污染调查范围应大于污染物可能的分布范围；

(3) 地下水、地表水、土壤污染调查范围应根据场地土壤水文地质条件、污染物可能的分布范围等确定，必要时调查范围可适当外延；

3.3.2 采用勘探取样方法对原位工业固废填埋场地土样进行采样，勘探取样点宜布置在污染区中央、明显污染部位及可能影响范围，取样深度间距宜为 2 m~4 m，并分析不同埋深的样品。

3.3.3 工业固废填埋场堆体成分调查应符合以下规定：

(1) 对取样固体进行浸出试验。浸出试验检测指标宜综合考虑场地对应行业的主要污染物，包括但不限于汞、镉、铬、锰、砷、镍、铅、铁等污染物；

(2) 结合填埋场区资料、浸出试验检测数据，对堆体进行固体废物属性鉴别。可根据《中华人民共和国固体废物污染环境法》、现行国家标准《固体废物鉴别标准通则》GB 34330 相关规定进行判断；

3.3.4 宜通过堆体上的勘探孔对渗滤液进行采样，采样方法宜参照《污水监测技术规范》HJ 91.1 第 5-6 节规定执行。

3.3.5 工业固废填埋场堆体渗滤液调查应符合以下规定：

(1) 场地渗滤液污染物检测项目宜综合考虑场地污染物情况与场地固体废物成分分析结果，渗滤液特征污染物检测项目可从《污水综合排放标准》GB 8978 中选取；

(2) 场地渗滤液特征污染物分析方法可参照《污水综合排放标准》GB 8978 相关规定；

3.3.6 宜进行场地与周边区域地表水环境调查，当地表水检测数据不符合《地表水环境质量标准》GB 3838 IV类指标时，应调查地表污染水体（河、塘、水渠等）的分布、规模、利用情况及水质状况等。

## 4. 阻隔墙材料性能测试

4.0.1 材料性能测试试验用水应达到现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848-2017 所规定的Ⅲ类地下水。

4.0.2 材料性能测试所用溶液应为填埋场地渗滤液或者 pH、电导率、离子强度、主要污染物与填埋场地地下水水质相接近的自配溶液；填埋场地渗滤液取样应符合本标准第 3.3.4 条的规定。

4.0.3 膨润土质量控制应考虑阻隔墙在强酸、强碱、强盐溶液作用下的防渗性和化学相容性；其基本性质测试宜符合下列规定：

(1) 过筛率（0.075mm，干筛）测试宜符合《膨润土》GB/T 20973-2020 相关规定；

(2) 膨胀指数表征膨润土膨胀能力，膨胀指数试验宜符合《膨润土膨胀指数试验方法》JC/T 2059-2011 相关规定

(3) 滤失量试验宜符合《钻井液材料规范》GB/T 5005-2010 相关规定；

(4) 阳离子交换量测试宜符合《膨润土》GB/T 20973-2020 相关规定；

4.0.4 膨润土泥浆制备应搅拌均匀，制备完成后应存放 24h 后使用，在使用前应再次搅拌均匀；

4.0.5 膨润土泥浆马氏漏斗黏度、密度、pH、稳定性等性能指标测试宜符合《水利水电工程固壁泥浆试验规程》DL/T 5815-2020 相关规定。

4.0.6 膨润土泥浆制备所用水应满足国家标准《地下水质量标准》所规定的Ⅲ类地下水；当配制泥浆采用的是工业固废填埋场区域内水时，应进行水质分析，必要时采取措施保证泥浆质量。

4.0.7 土-膨润土回填料中基土颗粒级配、压缩系数等基本性质指标测试应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定。

4.0.8 水泥的强度测试宜按照《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》GB/T 17671-2020 进行；比表面积测试宜符合《水泥比表面积测定方法 勃氏法》GB/T 8074-2008 相关规定。



4.0.9 土-膨润土、水泥-膨润土、塑性混凝土、土工膜复合阻隔墙施工应测试回填料的坍落度，坍落度测试所用仪器设备、测试步骤宜符合《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080-2002 相关规定；

4.0.10 屏障材料渗透试验装置宜采用柔性壁渗透仪，终止条件应符合下列规定：

（1）Ⅲ类水及以上作为渗透溶液时，渗透试验终止条件为：1)流入量、流出量的比值连续 4 次测定均在 0.75~1.25 之间；2)渗透系数连续 4 次测定值变化幅度小于等于 25%，且无明显的升高或降低趋势；

（2）当渗透溶液为填埋场污染溶液或 pH、电导率、离子强度、特征污染物与填埋场污染溶液相接近的自配溶液时，终止条件除满足本条第 1 款规定外，还应满足下列规定：流出液 pH、电导率及主要污染物浓度与流入液的比值在 0.9~1.1 之间。

4.0.11 水泥-膨润土无侧限抗压强度试验可参照《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定执行。

4.0.12 塑性混凝土抗压强度试验可参照《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081-2019 的相关规定执行，强度试验应注意加荷速度。

4.0.13 水泥-膨润土、塑性混凝土的凝结时间试验宜符合国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080-2016 相关规定。

4.0.14 塑性混凝土泌水率试验仪器、制样、操作步骤应符合国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080-2016 相关规定。

4.0.15 可根据《垃圾填埋场用高密度聚乙烯土工膜》CJ/T 234-2006 对土工膜进行最小密度、拉伸性能、氧化诱导时间等技术指标进行测试评估；

4.0.16 针对污染物种类复杂多样、污染面积广、污染风险等级高、工程项目重要性高的场地污染物时，宜测定污染物在墙体材料中的扩散系数和阻滞因子；

## 5. 阻隔墙

### 5.1 土-膨润土阻隔墙材料

5.1.1 土-膨润土垂直阻隔墙回填料配比、密度等特性宜符合《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》第 6.5.2 条的规定。

5.1.2 在化学侵蚀性强的地下水条件（高盐、强酸、强碱等）中，宜选用化学相容性较好的改性膨润土材料制备回填料。

5.1.3 可通过改性剂提升土-膨润土回填料的化学相容性和耐久性。膨润土改性工艺可选用原位聚合或物理拌合等制备方法。

5.1.4 土-膨润土回填料配比确定后宜进行柔性壁渗透试验，柔性壁渗透试验应符合本标准第 4.0.9 条的规定，填埋场地渗滤液的化学相容性应符合下列规定：

（1）填埋场地渗滤液或者自配溶液渗透时，在标准养护 28 天龄期时的渗透系数不应大于  $1.0 \times 10^{-9} \text{m/s}$ ；

（2）当化学相容性不符合设计要求时，宜调整墙体材料原料、配合比或添加改性剂，增强回填料化学相容性；

5.1.5 土-膨润土回填料使用的膨润土颗粒粒径小于 0.075mm 的质量占比、滤失量指标应符合国家标准《膨润土》GB/T 20973-2020 相关规定，在填埋场地渗滤液作用下膨润土膨胀指数不宜小于 12ml/2g，膨润土基本性质的测试应符合本标准第 4.0.3 条的规定。

5.1.6 基土颗粒粒径小于 0.25mm 的颗粒质量占总质量的 50%以上，粒径小于 0.075mm 的颗粒质量占总质量的 15%以上，基土应优先选用场地清洁土料，宜优先选用粉砂或粉土。

5.1.7 当基土为填埋场地原位土时，应测试原位土中污染物的浸出浓度。

5.1.8 土-膨润土回填料施工坍落度值宜在 100-150mm 之间。当膨润土为改性膨润土时，土-膨润土回填料施工坍落度值宜取大值，坍落度测试应符合本标准第 4.0.9 条的规定。

5.1.9 膨润土泥浆马氏漏斗黏度值、泥浆密度、泥浆 pH 值应符合《工程泥浆技术标准》DBJ/T 13-417-2023 地下连续墙部分相关规定，性能指标测试应符合本标准第 4.0.5 条的规定。

## 5.2 水泥-膨润土阻隔墙材料

5.2.1 当垂直阻隔结构顶部需承受上覆荷载时，宜采用水泥-膨润土墙，设计宜符合《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176-2012 第 8.5.3 条的相关规定。

5.2.2 水泥-膨润土材料中水泥的选取应符合下列规定：

(1) 水泥的强度等级宜在 42.5 以上；

(2) 水泥的比表面积不小于  $300\text{m}^2/\text{kg}$ ；

5.2.3 膨润土材料基本性质应符合本标准第 5.1.5 条的相关规定。

5.2.4 水泥、膨润土和水三者混合物中，水泥质量宜占混合物总质量的 15%~30%，膨润土泥浆质量宜占混合物总质量的 70%~85%。

5.2.5 膨润土泥浆性能指标应符合本标准第 5.1.9 条的相关规定，制备工艺应符合本标准第 4.0.4 条的相关规定，性能指标的测试应符合本标准第 4.0.5 条的相关规定。

5.2.6 水泥-膨润土在标准养护条件下 28 天龄期时无侧限抗压强度不应小于  $100\text{kPa}$ ；无侧限抗压强度试验应符合本标准第 4.0.11 条的相关规定。

5.2.7 水泥-膨润土在标准养护条件下 28 天龄期时渗滤液或者自配溶液渗透下渗透系数应小于  $1.0 \times 10^{-9}\text{m/s}$ ，渗透试验应符合本标准第 4.0.10 条的相关规定。

5.2.8 当水泥-膨润土材料渗透系数过高时，宜掺入磨细的细炉渣、粉煤灰、矿渣等添加料，以代替部分水泥，调整水泥-膨润土材料的工作性能，水泥的替代率宜为 40%~90%之间；水泥与细炉渣材料配比可参考《地下水污染阻隔技术指南》T/GIA 006-2021 第 4.3.1 条。

5.2.9 当填埋场地污染物特殊或对材料要求较高时，可用改性膨润土，增强材料吸附、抗侵蚀能力。

## 5.3 塑性混凝土阻隔墙材料

5.3.1 塑性混凝土主要组成材料（水泥、骨料、膨润土、水）应通过配合比设计确定，宜寻找各种材料组分最经济的组合，使塑性混凝土各项性能指标满足设计要求。

5.3.2 应选用符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175-2020 的普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥，水泥强度等级宜在 32.5 以上。水泥具体种类选择宜考虑工业固废填埋场地污染物种类，所选水泥种类应能抵抗污染物的侵蚀（矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥抵抗硫酸盐类污染物侵蚀性能好，适用于硫铁矿、黄铁矿等工业固废填埋堆场等）。

5.3.3 塑性混凝土宜采用一级骨料，可选用人工砂或天然砂（中砂），也可掺入 5-20mm 的卵石，最大骨料粒径应不大于 20mm，砂性能检测与试验应符合现行国家标准《建筑用砂》GB/T 14684-2022。

5.3.4 膨润土中蒙脱石含量宜在 70%以上，其他基本性质应符合本标准 5.1.6 条的相关规定。

5.3.5 塑性混凝土所用泥浆应具有良好的稳定性、流动性，应根据施工条件、成槽工艺、经济技术指标等因素选择泥浆的原材料，宜优先选用膨润土。

5.3.6 当泥浆为膨润土泥浆时，膨润土泥浆性能指标应符合本标准第 5.1.10 条的相关规定，制备工艺应符合本标准第 4.0.4 条的相关规定，性能指标的测试应符合本标准第 4.0.5 条的相关规定。

5.3.7 当塑性混凝土加入外加剂时，外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076-2008 的相关规定。

5.3.8 塑性混凝土初凝时间不宜小于 6h，终凝时间不宜大于 24h。初凝、终凝时间试验应符合本标准第 4.0.13 条的相关规定。

5.3.9 塑性混凝土的泌水率应小于 3%，泌水率试验应符合本标准第 4.0.14 条的相关规定。

5.3.10 塑性混凝土含砂率不宜小于 45%。

5.3.11 塑性混凝土的容重宜控制在 2100kg/m<sup>3</sup> 左右。

5.3.12 塑性混凝土水胶比宜控制在 0.7~1.0 之间，在满足流动性要求的前提下，宜尽量减小用水量。

5.3.13 塑性混凝土施工时坍落度宜控制在 180~240mm 之间，坍落度保持在 150mm 以上的时间应不小于 1h。坍落度试验应符合本标准第 4.0.9 条的相关规定。

5.3.14 塑性混凝土在标准养护条件下 28 天龄期抗压强度宜在 2~5MPa 之间, 抗压强度试验应符合本标准第 4.0.12 条的相关规定。抗压强度试验应注意加荷速度, 加荷速度宜控制在每秒 0.05~0.15MPa。

5.3.15 塑性混凝土弹性模量宜在 400~1500MPa 之间, 弹强比宜为 200~500 之间。

5.3.16 塑性混凝土在工业固废填埋场渗滤液或者自配溶液渗透下渗透系数应小于  $1 \times 10^{-9} \text{m/s}$ , 渗透试验应符合本标准第 4.0.10 条的相关规定。

## 5.4 土工膜复合阻隔墙材料

5.4.1 土工膜材料选取、土工膜厚度、外观质量和技术性能指标等特性应符合《土工合成材料 聚乙烯土工膜》GB/T 17643-2011 的相关规定。

5.4.2 宜考虑阻隔区域地下水中污染物对土工膜服役寿命的影响。

5.4.3 可采用水蒸气或目标有机污染物气体扩散试验评价土工膜的渗透系数。

5.4.4 土工膜膜片间的搭接宜采用水膨型止水锁扣、灌浆型锁扣及焊接型锁扣等搭接方式, 使用水膨型密封剂或锁扣腔室内的灌浆产生机械密封。

5.4.5 施工过程会对锁扣产生压力, 可通过室内或现场试验测试锁扣处的渗流量评估锁扣的强度和抗渗性能, 并评估密封材料与地下水的相容性。

## 6. 阻隔墙设计

6.0.1 垂直阻隔墙设计应综合考虑填埋场地空间、填埋场地特征污染物、填埋场地水文地质情况、设计使用年限等因素。

6.0.2 垂直阻隔墙设计应进行污染物迁移验算，保证在填埋场的全生命周期内阻隔墙下游含水层的污染物浓度满足《地下水质量标准》GB/T 14848 规范中Ⅲ类水要求。

6.0.3 阻隔墙设计应包括屏障的几何形式（平面布置、深度、厚度）、稳定性分析、阻隔材料材料选取。

6.0.4 垂直阻隔墙选型应符合下列规定：

（1）当顶部需承受上覆荷载或墙身左右两侧土压力差距过大时，对有强度和变形要求，宜选用水泥-膨润土阻隔墙或塑性混凝土墙；

（2）当地基会发生明显侧向变形时，宜选用柔性的土-膨润土阻隔墙；

（3）当工业固废填埋场地污染严重，达到《环境影响评价技术导则 地下水环境》HJ 610-2016 中规定的重点防渗区的要求，对阻隔材料抗酸、碱、盐等污染物侵蚀性能要求高，一般材料难以满足渗透性或化学相容性时可选用可靠性高、渗透性低的土工膜复合阻隔墙，其深度不宜大于 20m；

6.0.5 阻隔墙平面布置设计应符合下列规定：

（1）应综合考虑场地地形、地下水流向与流速、地下污染平面范围、场地红线与已有构筑物、场地地下管线等。应能切断污染物的迁移途径；

（2）可采用闭合式或非闭合式，阻隔墙形式的选择可参考《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715-2020 第 5.2.2 条的相关规定；

（3）当垂直阻隔墙区域存在邻近建筑物时，阻隔墙与邻近建筑物的水平距离不宜小于 1.5m；

（4）当填埋场地对地下水位有特殊要求或者阻隔墙设置位置上下游水位落差较大时，应进行降水设计，可在阻隔墙上游地下水汇聚布置抽提井。抽提井的设计可参考《冶金企业污染场地地下水抽提技术规范》YB/T 4960-2021 的相关规定；

6.0.6 垂直阻隔墙深度设计应符合下列规定：

(1) 嵌入连续且完整的隔水层, 嵌入深度不小于 1m。隔水层厚度不小于 3m, 且渗透系数不大于  $1 \times 10^{-8} \text{m/s}$ ;

(2) 当隔水层完整度不够, 可隔水层采用注浆等措施进行加固处理, 达到设计要求;

(3) 隔水层埋深大时, 场地污染物为密度小于水的非水相液体, 可采用悬挂式垂直阻隔墙。当采用悬挂式垂直阻隔墙时, 应满足下列规定:

1) 应通过污染物渗流-扩散分析等方法确定阻隔墙临界嵌入深度, 阻隔墙设计深度不应小于临界嵌入深度;

2) 阻隔墙底部位置应低于最低季节性水位线;

6.0.7 阻隔墙的厚度设计应满足下列要求:

(1) 厚度不应小于 0.6m;

(2) 垂直阻隔墙厚度计算可参考附录 A;

(3) 当填埋场地污染物种类复杂多样、污染物浓度高、污染物特殊等情况时, 阻隔墙厚度计算公式中的参数应通过试验测定;

(4) 阻隔墙的厚度应进行击穿判别验算, 可参考《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715-2020 第 5.4 条的相关规定;

6.0.8 阻隔墙稳定性分析应符合下列规定:

(1) 沟槽稳定安全系数不应小于 1.1, 沟槽稳定安全系数计算可参照《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准(征求意见稿)》附录 H 的相关规定;

(2) 阻隔墙离工业固废堆场距离较近或阻隔墙墙体两侧土压力差距较大时, 应对阻隔墙应力、变形进行计算, 保证在堆体作用下墙体变形在允许的要求范围内;

(3) 阻隔墙建设位置在地层松散、不稳定的斜坡上时, 应计算边坡稳定性, 计算方法可参考现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的相关规定;

6.0.9 阻隔墙材料的选取宜符合本标准第四章、第五章的相关规定。

6.0.10 土-膨润土阻隔墙、水泥-膨润土阻隔墙、塑性混凝土墙、土工膜复合阻隔墙墙体材料应进行墙体材料的配比试验, 墙体材料种类的选择宜综合考虑工业固废填埋场地污染情况。

## 7. 阻隔墙施工与质量控制

### 7.1 一般规定

7.1.1 垂直阻隔墙施工前应准备场地勘察及污染物状况调查资料、阻隔墙的设计图纸和技术要求、墙体材料质量检验材料等。

7.1.2 施工方案应包括测量作业、施工组织设计、施工方法、施工的质量控制。

7.1.3 施工场地的施工空间、平整情况和场地地层承载力应该满足机械施工要求。

7.1.4 施工应该保证施工作业面的连续，保证最后阻隔墙是竖直、完整的。

7.1.5 施工过程中宜监测地下水流向、水位变化。

7.1.6 土-膨润土阻隔墙、土工膜复合阻隔墙等成墙初始阶段应在阻隔墙表面覆盖竹片、钢板等保护性措施，成墙固结后应在阻隔墙表面再次回填屏障材料。

### 7.2 施工方法

7.2.1 垂直阻隔墙的施工宜选择泥浆沟槽开挖等方法。

7.2.2 泥浆沟槽开挖法应符合以下规定：

(1) 泥浆沟槽开挖法施工可通过挖掘土层形成沟槽，灌入膨润土泥浆维持槽壁稳定，向沟槽中回填墙体材料置换出护壁泥浆从而形成阻隔墙，该方法可应用于土-膨润土阻隔墙、塑性混凝土阻隔墙等；

(2) 垂直阻隔墙施工前应进行墙体材料的配合比试验，并应满足渗透系数、化学相容性及施工和易性要求；

(3) 垂直阻隔墙采用泥浆沟槽开挖法施工时，宜根据场地条件修筑导墙。开挖沟槽及导墙建造宜参考《建筑基坑支护技术规范》JGJ 120-2012 中的规定，墙体材料回填施工可参考《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》的规定；

(4) 垂直阻隔墙回填施工完成后，顶部应铺设临时覆盖层。墙体材料主沉降完成后，宜移除临时覆盖层，采用墙体材料修补凹陷或沉降槽，并铺设永久覆盖层，覆盖的顶部标高宜与天然地面一致；



7.2.3 渠式切割法通过渠式切割机械在土体中切割出渠槽，向渠槽内回填墙体材料从而形成阻隔墙，适用于建造深度较大的垂直阻隔墙，施工工艺宜符合《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303-2013 中的规定。

7.2.4 土工膜复合阻隔墙施工工艺包括沟槽开挖、灌注泥浆护壁、土工膜安装、回填墙体材料、土工膜顶部固定、铺设覆盖层等，施工工艺应符合《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715-2020 和《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》的规定。

## 7.3 质量控制

7.3.1 施工质量控制应包括施工材料质量控制、施工工序质量控制。各阶段施工质量控制应进行准确记录。主控项目的质量控制均应符合质量控制要求。

7.3.2 垂直阻隔墙施工前宜对墙体材料进行配合比、渗透性能和施工和易性试验，以确保同时满足设计和施工要求。

7.3.3 阻隔墙施工前应检测施工用水的水质，保证施工用水的质量。

7.3.4 对沟槽内膨润土泥浆宜进行黏度、pH、密度、滤液损失和含砂量的测试。每个工作日或每班次宜对沟槽中的膨润土泥浆取两次样：一次在沟槽中部取样，一次靠近沟槽底部取样。

7.3.5 开槽完成后，应量测开槽的深度、宽度和开槽的垂直度，确保沟槽垂直、沟槽底嵌入不透水层的厚度达到设计要求。

7.3.6 在回填料回填前，现场宜对土-膨润土、塑性混凝土等回填料进行塌落度测试，确保符合设计要求。

7.3.7 垂直阻隔墙施工完工一个月后，宜对墙体进行质量检查，检查包括墙体的连续性、完整性、渗透性、强度等。检查方法可采用原位测试和钻孔取芯室内测试。

7.3.8 土-膨润土垂直阻隔墙原位渗透系数测试宜采用孔压静力触探法（《工程勘察通用规范》GB 55017-2021）；水泥-膨润土垂直阻隔墙原位渗透系数测试宜采用注水试验《水利水电工程注水试验规程》SL 345-2007、《注水试验规程》YS/T 5214-2021。室内渗透系数测试宜采用柔性壁渗透试验。

7.3.9 垂直土工膜搭接的施工质量评估宜参考《土工合成材料应用技术规范》GB/T 50290-2014 中第 5.2.11 条规定，搭接宽度的施工质量标准宜参考《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术规范》CJJ 113-2007 中第 3.7.2 条规定。

7.3.10 施工过程中，应监测可能受影响的邻近建筑物、岩土体，采取措施确保施工的安全性。

## 8. 效果评估与维护

### 8.1 阻隔效果评估

8.1.1 垂直阻隔墙的阻隔效果评估可通过地下水水位及污染物浓度监测、示踪试验、注水试验、连续性检验、地球物理探测方法等方法进行。

8.1.2 墙体的连续性检验宜采用在墙体预设传感器的方法,传感器数量不宜过多,以防影响墙体质量。

8.1.3 可在垂直阻隔墙的库区外侧 3m 内设置地下水水质和水位监测井,沿垂直阻隔墙的轴线方向的井间距宜取 50m~100m,井深宜取垂直阻隔墙深度的 60%~90%,监测方法按本规范 9.3.2 节执行,监测频率在成墙后前 6 个月宜每 1~3 月测试 1 次,6 个月之后宜每半年 1 次。

8.1.4 可通过示踪剂法向监测井中注入同位素示踪剂,判断地下水流动方向、测定地下水位和水质,评估阻隔墙效果;试验方法可参考《中国地质调查局地质调查技术标准》DD 2019-07 和《放射性测井辐射安全与防护技术规范》。

8.1.5 阻隔效果评估完成后,应对工作点位采取保护和复原措施。

### 8.2 垂直阻隔墙长期维护

8.2.1 宜定期检查垂直阻隔墙的完整性和稳定性,检查方法因墙体材料类型而异。可采取方法包括:

(1) 通过目视检查墙体表面的裂缝、凸起、凹陷或其他损坏迹象;

(2) 可通过地质雷达或电阻率成像等地球物理技术探测可能影响墙体稳定性的地下异常,实施方法可参考《电阻率测深法技术规范》DZ/T 0072-2020、《地质雷达探测测绘技术规程》DB22/T 2574-2016、《中国地质调查局地质调查技术标准》DD 2019-07 等;

8.2.2 对于垂直阻隔墙表面的破损和裂缝,可使用密封盖和环氧树脂对阻隔墙表面开裂或破损处进行修补。

8.2.3 可采取预防措施,如在阻隔墙顶部周围安装防护栏杆、设置警示标志等,减少阻隔墙受到损害的可能性。

## 附录 A：垂直阻隔墙厚度计算方法

垂直阻隔墙厚度，可按下式确定：

$$d_b = \eta_b \left( m + \sqrt{m^2 + P_{Lb}} \right) \sqrt{D_{hb} \frac{t_b}{R_b}} \quad (1)$$

$$m = 3.56 - 3.33 (c_f / c_0)^{0.142} \quad (2)$$

$$P_{Lb} = \frac{k_b \Delta h (1 + e_b)}{D_{hb} e_b} \quad (3)$$

式中： $d_b$ ——垂直阻隔墙厚度（m）；

$\eta_b$ ——考虑场地污染物污染土壤和地下水的风险等级的安全系数，根据《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准（征求意见稿）》表 3.0.2 中的高、中、低风险等级分别取 1.2、1.1 和 1.0；

$m$ ——系数，按式（2）计算；

$P_{Lb}$ ——垂直阻隔墙的 Peclet 数，按式（3）计算；

$D_{hb}$ ——污染物在防污垂直阻隔墙的墙体材料中迁移的水动力弥散系数（ $m^2/s$ ）；

$t_b$ ——垂直阻隔墙的设计服役寿命，取值应大于设计要求的防控时间，宜取填埋场剩余运行时间与封场后垃圾稳定化时间之和（s）；

$R_b$ ——在工业固废填埋场地污染物作用下墙体材料的阻滞因子；

$c_0$ ——垂直阻隔墙体靠近工业固废填埋场地一侧主要污染物浓度（ $mg/L$ ）；

$c_f$ ——垂直阻隔墙体远离工业固废填埋场地一侧地下水中主要污染物的出流浓度，宜根据现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 相应类别限值取值（ $mg/L$ ）；

$k_b$ ——垂直阻隔墙墙体材料的渗透系数（ $m/s$ ）；

$\Delta h$ ——垂直阻隔墙靠工业固废填埋场地一侧与另一侧的地下水水位差；当靠近场地一侧水位低于另一侧时，宜取 0；

$e_b$ ——墙体材料的孔隙比。