

**T/CECS ×××-202×**

**中国工程建设标准化协会标准**

工业固废堆填场地土壤与地下水原位管控与协同修复标准

Technical code for in-situ management and collaborative remediation of soil and groundwater at industrial solid waste landfill sites

（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**

\*\*\*\*出版社

**中国工程建设标准化协会标准**

工业固废堆填场地土壤与地下水原位管控与协同修复标准

Technical code for in-situ management and collaborative remediation of soil and groundwater at industrial solid waste landfill sites

主编单位：浙江大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年××月××日

XXXX出版社

202X北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2021〕20号文）的要求，经深入调查研究和广泛征求意见，认真总结工程实践经验，制定本标准。

本标准共分为9章和3个附录，主要技术内容包括：总则及适用范围、规范性引用文件、术语和定义、场地调查和风险评估、稳定及控制、工业固废堆填场地水平覆盖、工业固废遗留堆填场地垂直阻隔、原位固化/稳定化、污染土壤与地下水修复、填埋场灾害监测及安全预警。

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。

本标准由中国工程建设标准化协会工业固废资源化与生态修复专业委员会归口管理，由浙江大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议请寄送浙江大学（地址：浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号，邮编：310058）。

主编单位：浙江大学

参编单位：中节能大地环境修复有限公司

华中科技大学

东南大学

环境保护部固体废物与化学品管理技术中心

北京市勘察设计研究院有限公司

中国石油集团安全环保技术研究院有限公司

中冶节能环保有限责任公司

北京矿冶科技集团有限公司

内蒙古科技大学

浙江大学建筑设计研究院

北京市国际生态经济协会

浙江省生态经济促进会

浙江省中浙生态科技研究院

上海环联生态科技有限公司

上海甚致环保科技有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

[1 总则 1](#_Toc8768)

[2 术语 2](#_Toc30098)

[3 场地调查和风险评估 5](#_Toc6173)

[3.1 一般规定 5](#_Toc2597)

[3.2 工业固废场地基本情况调查 5](#_Toc22912)

[3.3 工业固废场地勘察 6](#_Toc9161)

[3.4 堆体污染情况调查 7](#_Toc25042)

[3.5 堆填场周边环境污染调查 8](#_Toc16181)

[3.6 报告编制及风险评估 10](#_Toc22017)

[4 稳定及控制 11](#_Toc25714)

[4.1 一般规定 11](#_Toc24979)

[4.2 抗剪强度指标 12](#_Toc19969)

[4.3 稳定状况评估 13](#_Toc1466)

[4.4 固废堆场稳定控制措施 15](#_Toc11833)

[4.5 固废堆场失稳治理措施 15](#_Toc12717)

[5 工业固废堆填场地水平覆盖 17](#_Toc11437)

[5.1 一般规定 17](#_Toc30473)

[5.2 水平覆盖层设计 17](#_Toc17298)

[5.3 工程施工及质量控制 20](#_Toc527)

[5.4 效果评估与维护 22](#_Toc9596)

[6 工业固废遗留堆填场地垂直阻隔 24](#_Toc31991)

[6.1 一般规定 24](#_Toc22002)

[6.2 垂直阻隔墙设计 24](#_Toc32431)

[6.3 工程施工及质量控制 28](#_Toc13217)

[6.4 效果评估与维护 32](#_Toc26814)

[7 原位固化/稳定化 34](#_Toc26942)

[7.1 一般规定 34](#_Toc29993)

[7.2 修复方案设计 34](#_Toc8786)

[7.3 修复工程施工 38](#_Toc31880)

[7.4 修复效果评估与维护 40](#_Toc2948)

[8 污染土壤与地下水修复 42](#_Toc32169)

[8.1 一般规定 42](#_Toc8735)

[8.2 修复方案和设计 43](#_Toc31610)

[8.3 污染修复工程施工 44](#_Toc11020)

[8.4 污染修复工程运行监测及效果评估 44](#_Toc18562)

[9 填埋场灾害监测及安全预警 46](#_Toc31473)

[9.1 一般规定 46](#_Toc25570)

[9.2 稳定监测及预警 47](#_Toc1602)

[9.3 填埋场污染监测 47](#_Toc11703)

[9.4 填埋场安全管理 49](#_Toc22795)

[附录A 堆填场初步调查表 50](#_Toc18855)

[附录B 堆填场污染问题清单 51](#_Toc22775)

[附录C 特征污染物清单 53](#_Toc7373)

[附表C-1 农用地分析检测项目 53](#_Toc31850)

[附表C-2 企业用地特征污染物分类 53](#_Toc6885)

[附表C-3 企业用地分析检测项目 54](#_Toc2930)

[附录D 常见工业堆填场地浸出污染物对混合土料回填料渗透系数影响等级表 57](#_Toc2558)

[附录E 垂直阻隔墙厚度计算方法 58](#_Toc16692)

[附录F 垂直阻隔污染物击穿判别方法 59](#_Toc22707)

[附录G 土壤和地下水修复技术适用性分析 61](#_Toc6589)

[标准用词说明 63](#_Toc17212)

[引用标准名录 64](#_Toc14174)

附：[条文说明 67](#_Toc9672)

**Contents**

[1 General provisions](#_Toc153182090) 1

[2 Terms 1](#_Toc153182092)

[3 Site survey and risk assessment 5](#_Toc153182093)

[3.1 General provision 5](#_Toc153182094)

[3.2 Basic situation survey of industrial solid waste site 5](#_Toc153182095)

[3.3 Industrial solid waste site survey 6](#_Toc153182096)

[3.4 Investigation of waste body contamination 7](#_Toc153182097)

[3.5 Investigation of environmental pollution around landfills 8](#_Toc153182098)

[3.6 Report preparation and risk assessment 1](#_Toc153182099)0

[4 Stability and control 1](#_Toc153182100)1

[4.1 General provision 1](#_Toc153182101)1

[4.2 Shear strength index 1](#_Toc153182102)2

[4.3 Stability assessment 1](#_Toc153182103)3

[4.4 Stability control measures for solid waste landfill sites 1](#_Toc153182104)5

[4.5 Control measures for unstable solid waste landfill sites 1](#_Toc153182105)5

[5 Horizontal covering of industrial solid waste landfill sites 1](#_Toc153182106)7

[5.1 General provision 1](#_Toc153182107)7

[5.2 Horizontal overlay design 1](#_Toc153182108)7

[5.3 Engineering construction and quality control 2](#_Toc153182109)0

[5.4 Effect evaluation and maintenance 2](#_Toc153182110)2

[6 Vertical barrier of industrial solid waste landfill sites 2](#_Toc153182111)4

[6.1 General provision 2](#_Toc153182112)4

[6.2 Vertical barrier wall design 2](#_Toc153182113)4

[6.3 Engineering construction and quality control 2](#_Toc153182114)8

[6.4 Effect evaluation and maintenance 3](#_Toc153182115)2

[7 In-situ curing/stabilization 3](#_Toc153182116)4

[7.1 General provision 3](#_Toc153182117)4

[7.2 Remediation scheme design 3](#_Toc153182118)4

[7.3 Remediation engineering construction 3](#_Toc153182119)8

[7.4 Remediation effect evaluation and maintenance 4](#_Toc153182120)0

[8 Contaminated soil and groundwater remediation 4](#_Toc153182121)2

[8.1 General provision 4](#_Toc153182122)2

[8.2 Remediation scheme design 4](#_Toc153182123)3

[8.3 Remediation engineering construction 44](#_Toc153182124)

[8.4 Operation monitoring and effect evaluation of remediation engineering 4](#_Toc153182125)4

[9 Disaster monitoring and safety warning of landfills 4](#_Toc153182126)6

[9.1 General provision 4](#_Toc153182127)6

[9.2 Stability monitoring and early warning 4](#_Toc153182128)7

[9.3 Pollution monitoring of landfills 4](#_Toc153182129)7

[9.4 Safety management of landfills 4](#_Toc153182130)9

[Appendix A Preliminary landfill survey form 50](#_Toc153182131)

[Appendix B List of landfill contamination problems 51](#_Toc153182132)

[Appendix C List of characteristic pollutants 5](#_Toc153182133)3

[Schedule C-1 Agricultural land analysis and testing projects 53](#_Toc153182134)

[Schedule C-2 Classification of characteristic pollutants in enterprise land 53](#_Toc153182135)

[Schedule C-3 Enterprise land analysis and testing projects 5](#_Toc153182136)4

[Appendix D Grade table of influence of leached pollutants from common industrial landfills on permeability coefficient of mixed soil refill 5](#_Toc153182137)7

[Appendix E Calculation method of vertical barrier wall thickness 5](#_Toc153182138)8

[Appendix F Identification method of vertical barrier pollutant breakdown 5](#_Toc153182139)9

[Appendix G Applicability analysis of soil and groundwater remediation technologies 6](#_Toc153182140)1

[Explanation of wording 6](#_Toc153182140)3

[List of quoted standards 6](#_Toc153182140)4

Addition：Explanation of provision [6](#_Toc153182140)7

# 总则

1. 为了防止和减少工业固废堆填场失稳滑坡和污染泄露扩散等危害，规范堆填场地质勘察与评价，以及堆填场风险管控和治理工程的设计、施工、管理和运行，利用环境岩土手段实现堆填场安全、环保和修复目标，制定本标准。
2. 本标准适用范围包括一般工业固废、工业固废与生活垃圾混填情况。
3. 工业固废堆填场地治理时应对堆填场地的场底、库区周边山坡、堆体边坡、封场覆盖系统进行稳定验算，堆填场地运行期间和封场后应对可能出现失稳隐患的边坡进行稳定验算。
4. 工业固废堆填场地水平覆盖设计应综合考虑场地污染特征、气候类型、风险管控目标等因素，垂直阻隔工程设计应综合考虑场地勘察与污染状况调查结果、风险管控目标、目标污染物、设计使用年限要求，做到合理选型、优化设计、严格控制施工过程，并做好运营过程中的监测与维护。
5. 工业固废堆填场地应根据水、土、气体的不同污染类型选择管控和修复技术。本标准针对工业固废堆填场地水平覆盖和垂直阻隔等原位管控技术，以及固化/氧化稳定化、抽提等修复技术的设计和应用提出要求，修复应达到对应地块土壤及地下水修复目标污染物的修复目标值。
6. 本标准制定的关于工业固废堆填场地勘察、管控与修复技术设计、施工与运行安全监测，除符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 术语

1. 一般工业固体废物 non-hazardous industrial solid waste

企业在工业生产过程中产生且不属于危险废物的工业固体废物。

1. 一般工业固体废物堆场 non-hazardous industrial solid waste landfill

用于最终处置一般工业固体废物的填理设施。

1. 工业固体废物堆场污染基本情况调查 basic site investigation

采用资料收集、现场踏勘、人员访谈、抽样检测等调查方法获取堆填场基本情况信息，初步确定场地污染物种类，分析污染物可能污染的深度和范围。

1. 场地环境勘查 environmental site investigation

采用系统的调查方法，确定场地是否被污染及污染程度和范围的过程。

1. 敏感目标 potential sensitive targets

指污染场地周围可能受污染物影响的居民区、学校、医院、饮用水源保护区以及重要公共场所等。

1. 环境风险评估 environmental risk assessment

对工业固废堆填场渗沥液渗漏等途径导致的污染土壤及地下水、堆填气扩散导致的污染大气等污染物暴露于人体或环境受体产生潜在不利效应的分析过程。

1. 土工合成材料允许应变特征值 allowable strain for geosynthetics

材料拉伸试验测得的最大拉力所对应的应变值，除以安全系数后所得的应变值。

1. 土工材料界面 interfaces between geosynthetics

复合衬垫系统中相邻层材料之间的界面，一般包括：碎石/土工织物界面、土工织物/土工膜界面、土工膜/黏土界面、土工膜/土工复合膨润土垫界面、土工膜/土工复合排水网界面、土工复合膨润土垫/黏土界面等。

1. 界面峰值抗剪强度 peak shear strength of interfaces

具有应变软化特性的土工材料界面所具有的最大抗剪强度值。

1. 界面残余抗剪强度 residual shear strength of interfaces

土工材料界面的抗剪强度随变形量增大达峰值后，逐渐软化后的最低值。

1. 水平覆盖 horizontal cover system

设置在工业固废堆填场表面，用于减少雨水的渗透和防止污染气体溢出的多层材料复合结构。

1. 防渗 anti-seepage

采取措施或使用特定材料，以防止雨水通过覆盖屏障的渗漏。

1. 渗漏量 leakage

穿过覆盖层、底部衬垫或垂直阻隔等屏障的水分和气体总量。

1. 击穿判别标准 breakthrough criteria

当目标污染物或指示污染物迁移通过竖向阻隔屏障的浓度达到风险控制值，即判定竖向阻隔屏障被目标污染物或指示污染物击穿。

1. 垂直阻隔技术 vertical barrier technology

利用单种或复合防渗截污材料作为原材料，采用垂直布置的形式施工建成地下连续墙体结构，用于确保设计使用年限内满足污染场地风险管控目标的工程措施。

1. 垂直阻隔性能 containment performance

垂直阻隔屏障减缓污染物以对流、水动力弥散方式迁移以及吸附污染物的综合性能，可通过渗透系数、水动力弥散系数、阻滞因子等定量评价。

1. 固化 solidification

通过加入胶凝性材料等固化药剂，将污染土壤转化成稳定的低渗透性固化体，阻滞或减缓其中污染物迁移释放。

1. 稳定化 stabilization

通过加入稳定化药剂，使土壤中污染物与其发生化学反应并转化成难以溶解和浸出的状态，提升污染物空间稳定性的过程。

1. 原位固化/稳定化 in-situ solidification/stabilization

不经挖掘和移动受污染土壤，直接在场地发生污染位置进行固化/稳定化处理的过程。

1. 浸出浓度 leaching concentration

表征固化/稳定化产物通过理化机理固定和稳定污染物性能的参数，指固化/稳定化产物中的可溶性污染物组分经过浸沥溶解后，浸出液中污染物的浓度。

1. 土壤和地下水协同修复 collaborative restoration

采用综合治理手段和技术，完成对土体和水体污染的同步去除，实现土壤污染和地下水污染共同治理。

1. 土壤和地下水修复模式 soil and groundwater remediation strategy

以降低土壤和地下水中污染物浓度或降低污染毒性实现修复目标为目的的对土壤和地下水进行修复的总体思路，包括原位修复、异位原地修复、异地修复、自然修复等。

1. 静态箱 static chamber

静态箱是一种通过箱内浓度随时间的变化量和箱体体积来计算气体释放通量的土壤气体释放监测装置。

# 场地调查和风险评估

* 1. **一般规定**
     1. 工业固废堆体场地调查宜分阶段进行，在稳定或污染风险调查前宜先开展基本情况调查，完成堆填场问题清单。
     2. 当堆体有失稳迹象或监测数据表明有堆体失稳风险时，应开展堆填场勘察工作。
     3. 工业固废堆场存在堆体失稳风险时，应进行固废场地勘察。存在污染风险时，应补充堆体污染状况调查，必要时需补充堆填场周边环境污染调查。
     4. 堆体及周边环境污染调查应确定污染物种类和组分，场地污染现状、地下水污染羽的空间分布与扩散趋势，地表水和地下水污染之间的相关性。
     5. 风险评估报告宜包含对堆填场风险进行的定量评估，风险管控的措施与建议。
  2. **工业固废场地基本情况调查**
     1. 场地基本情况调查应包含基础资料收集，现场踏勘，人员访谈、处理设施调查。
     2. 应通过档案馆、政府部门、勘察公司、卫星影像等收集场地基本信息、土地利用、场地污染史、水文地质等资料，内容详见附录A。
     3. 现场踏勘
        1. 现场踏勘应主要包括以下内容：

1. 堆填场及周边地形地貌、水文地质等条件；
2. 土地利用现状和历史；
3. 可见污染源、疑似污染或污染现象；
4. 填埋堆体边坡是否存在变形失稳迹象；
5. 场地周边地表水分布、水井位置；
6. 高压线、变电站、地下管线等位置；
7. 环境敏感目标情况。
   * + 1. 应对堆填场地现状和历史的知情人，包括当地政府管理部门相关人员、堆填场工作人员、周边居民进行人员访谈，针对3.2.2获得的基础资料进行补充和核对。
     1. 进行处理设施调查时，应包括下列调查内容：
8. 防渗系统的防渗层破损渗漏情况；
9. 地下水导排系统的淤堵、破损情况；
10. 雨污分流系统的覆盖层破损情况、雨水收集与导排情况；
11. 渗滤液导排设施淤堵、破损情况；
12. 填埋气输气管网导排泄漏情况。
    * 1. 堆填场问题清单

根据前期基础污染资料分析堆填场污染问题清单，为堆体勘查及土壤、地下水环境调查提供基础资料。详见附录B。

* 1. **工业固废场地勘察**
     1. 勘察范围应包含堆体、堆填场场区内构筑物以及邻近相关地段。
     2. 堆体及周边工程地质勘察
        1. 工程地质勘察应调查内容参照《岩土工程勘察规范》GB50021-2001中的第4.2节有关规定。
        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有关规定。
        3. 堆体勘探工作应符合以下规定：

1. 勘探线应垂直堆体走向或平行主滑方向布置勘探孔，勘探孔平面间距宜为30 m～60 m，勘探线不宜少于3条，每条勘探线不宜少于2个勘探孔；
2. 当场地面积较大且地形起伏较缓勘探孔可适当扩大间距，局部地形起伏大可适当加密；
3. 底部存在人工防渗衬垫时，应保证孔底离衬垫系统不小于5 m。
   * 1. 堆体及周边水文地质勘察
        1. 水文地质勘察应包括下列调查内容：
4. 地下水的类型和赋存状态；
5. 地下水补给、排泄条件、地下水流向、水位及其动态变化；
6. 地表水径流及其和地下水的补排关系；
7. 透（含）水层与隔水层的埋藏条件及分布，渗透性。
   * + 1. 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 50021-2001第9节。
       2. 水文参数测定宜参照《岩土工程勘察规范》GB50021-2001中的第7节有关规定。
     1. 堆体稳定性调查应符合以下规定：
8. 通过土工试验或监测确定废渣的力学参数，指标应包括但不限于含水率、容重、颗粒组成、密实程度、酸碱度等；
9. 对堆填体的位移和水位进行监测，布点应符合本标准9.2节；
10. 查明场地所在区域的地震烈度及地震动参数，评价堆场的地震效应；
11. 堆体稳定性计算应符合本标准4.3.1节。
    1. **堆体污染情况调查**
       1. 采用勘探孔对原位固废进行采样，取样深度间距宜为2 m~4 m，以分析不同埋深的样品。
       2. 堆体成分调查应符合以下规定：
12. 应开展固体废物全成分分析，酸浸和水浸浸出检测指标包括但不限于镉、汞、砷、铅、铬、六价铬、铜、锌、镍、铊等，以及固体废物对应相关行业特征污染物，特征污染物清单详见附录C；
13. 结合场区堆填资料，对堆体进行固体废物属性鉴别，判别应符合本标准术语规定。
    * 1. 堆体渗滤液调查应符合以下规定：
14. 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；
15. 检测项目根据一般工业固体废物特性、环境影响评价文件及其批复等相关生态环境管理规定，从《污水综合排放标准》GB 8978中选取废水污染物项目；
16. 分析方法宜参照《污水综合排放标准》GB 8978-1996第5节规定执行。
    * 1. 堆体状况调查结果应明确工业固废堆填存量以及堆填体内渗滤液和场内废水现状赋存总量。
      2. 若堆体产生填埋气，应进行填埋气体成分调查且符合以下规定：
17. 填埋气成分宜通过勘探孔进行采样测试或采用便携式设备原位检测；
18. 填埋气成分的采样、分析方法宜按照《环境空气质量手工监测技术规范》HJ/T 194中的要求执行；
19. 检测项目宜包括但不限于：甲烷、硫化氢、二氧化硫、三氧化硫、氨、氮氧化物；
20. 宜分析填埋气产气速率和封场后释放总量。
    1. **堆填场周边环境污染调查**
       1. 堆填场周边环境污染调查范围应符合以下规定：
21. 地下水、地表水调查范围应根据场区地水文地质条件等确定，不同的水文地质条件宜按下表确定，必要时范围可适当外延：

**表3.5.1 堆体下游调查范围界限建议值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 场地地形 | 平原型 | | 阶地型 | | 山谷型 | |
| 径流类型 | 强径流型 | 弱径流型 | 强径流型 | 弱径流型 | 强径流型 | 弱径流型 |
| 最大距离 | 2000 m | 150 m | 1500 m | 500 m | 1500 m | 300 m |

1. 表层、深层土壤污染调查范围宜分别参考地表水、地下水调查范围确定；
2. 大气污染调查范围为堆体外常年或夏季主导风向的下风向且距堆体边界50 m~100 m处以及堆填场场界500 m范围内环境敏感区域。
   * 1. 当地表水监测数据不符合《地表水环境质量标准》GB 3838 Ⅳ类指标或堆体外地域下游地表水受到渗沥液泄漏污染的时候，应进行地表水环境调查，且符合以下规定：
        1. 在湖、河、鱼塘、常年有水的水坑等区域进行采样；
        2. 地表水检测指标应符合以下规定：
3. 检测指标由堆填废物的特性提出，必须具有代表性且能表征固体废物特性；
4. 常规测定项目应包括：浑浊度、pH、溶解性总固体、氯化物、硝酸盐（以N计）、亚硝酸盐（以N计），以及铬、铁、锰、铜、铅等；
5. 分析方法按《地表水环境质量标准》GB 3838-2002第7节执行；
6. 水质分析按《地表水环境质量标准》GB 3838-2002第5节的有关规定，分析堆填场对地表水水质的影响。
   * 1. 当地下水环境监测记录不符合《地下水质量标准》GB/T 14848 Ⅳ类指标、发生渗沥液渗漏或渗滤液收集与导排系统失效时，应进行地下水污染状况调查，且符合以下规定：
7. 根据已有监测井以及前期地质勘探孔进行地下水采样；
8. 检测指标可参照本标准3.5.2节确定的地表水检测指标；
9. 分析方法按《地下水质量标准》GB/T 14848附录B执行；
10. 水质分析应按《地下水质量标准》GB/T 14848-2017第6节，分析堆填场对场地地下水水质的影响。
    * 1. 当需要进行地表水污染调查时，应进行表层土壤污染状况调查。当需要进行地下水污染调查时，应进行深层土壤污染状况调查，满足如下规定：
         1. 表层土壤采样按《污染场地土壤和地下水调查与风险评价规范》DD2014-06第7.2.3.1节的规定执行；
         2. 深层土壤根据前期地质勘探孔进行采样，采样按《污染场地土壤和地下水调查与风险评价规范》DD2014-06第7.2.3.2节的规定执行；
         3. 检测指标应符合以下规定：
11. 表层土壤必测指标包括但不限于理化性质pH、有机质、阳离子交换量；无机污染物砷、镉、铬、铜、铅、汞、镍、锌、钒、锰；有机物污染物多环芳烃；
12. 深层土壤必测指标包括但不限于理化性质pH、有机碳；无机污染物砷、镉、铬、铜、铅、汞、镍、锌、钒、锰等；有机物污染物多环芳烃；
13. 若堆填场规划为农用地，检测指标应补充附表C-1中的特征污染物；
14. 若堆填场规划为建设用地，检测指标应根据附表C-2污染物分类补充附表C-3中的特征污染物。
    * + 1. 应根据现行国家标准《土壤环境质量-建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600-2018第5节、《土壤环境质量-农用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 15618-2018第4-5节及地方土壤环境质量标准，分析堆填场对场地土壤环境质量的影响。
      1. 当大气监测数据不符合《大气污染物综合排放标准》GB 16297或周边居民区有臭气的时候，应进行大气环境调查，且符合以下规定：
15. 采样点布设、采样及检测方法按《大气污染物综合排放标准》GB 16297的规定执行；
16. 无组织气体排放的检测因子应基于堆填废物的生化特性提出；
17. 大气环境质量分析应根据《环境空气质量标准》GB 3095- 2012第4节、《恶臭污染物排放标准》GB 14554-93第4节等有关规定。
    1. **报告编制及风险评估** 
       1. 工业固废堆填场地调查报告应根据调查目的包含基本情况、水文地质条件、堆体稳定性、堆体污染情况、周边环境调查及污染风险评估等部分或全部工作内容。
       2. 污染风险评估内容应包括但不限于以下部分：
18. 渗滤液污染土壤、地下水的风险以及对区域地下水污染的风险；
19. 污染土壤在溶滤作用下，地下水被污染的风险；
20. 堆填气体扩散污染大气的风险；
21. 污染物对人体的健康风险。
    * 1. 调查报告结论应明确工业固废堆场内堆体成分、组分含量、渗滤液积存量、场区及周边水土污染情况、周边居民和环境风险等，为后期管控和治理方案制定提供依据和指导。

# 稳定及控制

* 1. **一般规定**
     1. 工业固废堆场的等级应根据设计使用期的全库容和坝高按表4.1.1确定。

**表4.1.1工业固废堆场等级**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 安全等级 | 全库容V（×104m³） | 最终堆积坝高H（m） |
| 一 | V≥10000 | *H*≥100 |
| 二 | 100≤V＜10000 | 30≤*H*＜100 |
| 三 | V＜100 | *H*＜30 |

注：1 全库容系指校核洪水位以下容积。

2 最终堆积坝高自初期坝轴线处坝底标高起算。

3 按库容与坝高指标分属不同等级时，以高的等级为准。

4 具有下列情况之一者，可按本表确定的等级提高1等：当堆场失事时，将使下游的重要城镇、工矿企业或铁路干线遭受严重灾害者；下游有重点保护历史文物、古迹且不易拆迁者；当工程地质和水文地质条件特别复杂，经地基处理后尚认为不够彻底者（洪水标准不予提高）。

* + 1. 稳定分析工况

工业固废堆体边坡稳定验算应根据其工作状况、作用力出现的概率和持续时间的长短分为下列三种运用条件：

**1** 正常运用条件为堆填场地投入运行期间或封场后，经常发生或长时间持续且堆场渗沥液液位处于正常水位；

**2** 非常运用条件I为遭遇强降雨等引起渗沥液液位短时显著上升；

**3** 非常运用条件II为正常运用条件下遭遇地震。

* + 1. 边坡稳定性评价标准

**1** 除校核工况外，边坡稳定性状态分为稳定、欠稳定和不稳定三种状态，可根据边坡稳定性系数按表4.1.3-1确定。

**表4.1.3-1边坡稳定性状态划分**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 边坡稳定性系数Fs | Fs＜1.00 | 1.00≤Fs＜Fst | Fs≥Fst |
| 边坡稳定性状态 | 不稳定 | 欠稳定 | 稳定 |

**2** 边坡稳定安全系数Fst应按表4.1.3-2确定，当边坡稳定性系数小于边坡稳定安全系数时应对边坡进行处理。

**表4.1.3-2 堆填场地堆体边坡的抗滑稳定最小安全系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 运用条件 | 安全等级 | | |
| 一级 | 二级 | 三级 |
| 正常运用条件 | 1.35 | 1.30 | 1.25 |
| 非常运用条件Ⅰ | 1.30 | 1.25 | 1.20 |
| 非常运用条件Ⅱ | 1.15 | 1.10 | 1.05 |

注：1 除工业固废堆体边坡外的其它类型边坡的安全系数控制标准应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330等相关规范的规定；

2 当工业固废堆体边坡等级为一级且符合表4.1.1注4中提级条件时，其稳定安全系数应适当提高。

* + 1. 工业固废堆积坝的稳定分析，应分析评价现状坝体的稳定性，并应预测达到总坝高时的稳定性。
    2. 堆填场地的场底、库区周边山坡、工业固废堆体边坡、封场覆盖系统的地震液化判别和评价应符合《构筑物抗震设计规范》（GB 50191）的相关规定。
  1. **抗剪强度指标**
     1. 工业固废堆体的抗剪强度指标应根据工况和堆填物质力学特性确定，并应符合下列规定：

**1** 安全等级为一、二级的堆填场地工业固废抗剪强度指标，宜采用现场试验、室内三轴试验、室内直剪试验等试验方法确定，试验方法应根据工程要求、填料的性质和施工质量等确定，试验条件应尽可能符合实际状况；

**2** 无试验条件时，安全等级为三级的堆填场地工业固废抗剪强度指标可采用工程类比、反演分析等方法确定；

**3** 工业固废抗剪强度试验时，试验所施加的应力范围应根据堆填边坡的实际受力水平确定，试样宜采用现场钻孔取样或人工配制，试样尺寸应根据填料颗粒级配确定。

* + 1. 工业固废堆积坝的抗剪强度试验方法的选择应符合下列规定：

**1** 根据堆体边坡内的含水状态选择天然或饱和状态的抗剪强度试验方法；

**2** 计算整体稳定、局部稳定和抗滑稳定性时，对渗透性较好的填料宜选择有效应力强度指标，选择慢剪、三轴固结排水剪、三轴固结不排水剪等试验方法；对渗透性较差的填料宜选择总应力强度指标，选择固结快剪、三轴固结不排水剪或十字板剪切试验。

* + 1. 土工材料界面的抗剪强度指标确定方法应符合下列规定：

**1** 土工材料界面的抗剪强度指标应包括峰值抗剪强度指标和残余抗剪强度指标。库区基底坡度小于10º区域可采用峰值抗剪强度指标，库区基底坡度大于10º区域宜采用残余抗剪强度指标。

**2** 安全等级为一级的堆填场地土工材料界面抗剪强度指标宜采用大尺寸界面直剪试验方法确定。

**3** 大尺寸界面直剪试样应采用在堆填场地工程中实际使用的土工材料，试样平面尺寸不宜小于30 cm×30 cm，试验所施加的应力范围应根据土工材料界面的实际受力水平确定。

**4** 安全等级为二级或三级的堆填场地土工材料界面抗剪强度指标可按工程类比法确定，或参考《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》（CJJ 176）中的相关规定。

* 1. **稳定状况评估**
     1. 堆体边坡稳定性分析

**1** 堆体稳定性分析之前，应根据岩土工程地质条件、施工条件、填料性质等对堆体边坡的可能破坏方式及相应破坏方向、破坏范围、影响范围等作出判断；

**2** 工业固废填埋场设计时，应根据填埋物渗透系数等水力特性参数，采用水量平衡法或渗流分析法估算堆体水位；

**3** 宜采用摩根斯坦-普赖斯法验算，抗滑稳定最小安全系数应符合本标准第4.1.3条的规定；

**4** 设计时可用拟合法确定工业固废堆体堆填过程中的渗沥液警戒液位，其所对应的抗滑稳定最小安全系数应按表4.1.3-2中非正常运用条件Ⅰ的规定确定。

* + 1. 初期坝和堆积坝稳定性分析

**1** 对于浆砌石坝、混凝土坝等形式的初期坝，应按《混凝土重力坝设计规范》SL 319的规定，进行坝坡稳定性验算。

**2** 对于碾压式土石坝形式的初期坝，应按《碾压土石坝设计规范》SL 274的规定，进行坝坡稳定性验算。

**3** 对于堆积坝，应按《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》（GB/T 50547）的相关规定进行坝坡稳定性验算。

**4** 任意高度堆积坝的浸润线最小埋深应符合《尾矿设施设计规范》（GB 50863）的相关规定。

* + 1. 覆盖层稳定性分析

**1** 填埋场覆盖层边坡应满足稳定性要求，稳定验算可采用无限边坡稳定分析法，根据当地降雨情况验算无渗透水流或完全饱和有渗流时的抗滑稳定性，且覆盖层稳定性安全系数不宜小于1.25。

**2** 对于无渗透水流的无限土坡，安全系数应按下式计算：

 （4.3.3-1）

式中： *Fs*——安全系数（无量纲）；

*φ* ——内部或界面摩擦角（°）；

*c* ——黏聚力（kPa）；

*β* ——土坡倾角（°）；

*γm* ——临界潜在滑动面以上材料的总重度（kN/m3）；

*z* —— 滑动面的深度（m）。

**3** 对于有饱和渗透水流的无限土坡，安全系数应按下式计算：

 （4.3.3-2）

式中： *Fs*——安全系数（无量纲）；

*φ* ——内部或界面摩擦角（°）；

*c* ——黏聚力（kPa）；

*β* ——土坡倾角（°）；

*γm* ——材料的干重度（kN/m3）；

*γb* ——材料的有效重度（kN/m3）；

*γsat* ——材料的饱和重度（kN/m3）；

*z* —— 滑动面的深度（m）；

*h* —— 水位到滑动面的深度（m）。

* 1. **固废堆场稳定控制措施**
     1. 各稳定性状态边坡的风险控制，应符合下列规定：

**1** 稳定边坡：采取日常养护管理措施，进行日常巡检，采取目测、影像记录的手段进行持续关注；若稳定边坡出现失稳迹象，则应及时记录和汇报，并重新评估失稳风险。

**2** 欠稳定边坡：加强养护管理，制定专项监测方案，进行日常巡检，应进行设计校核并组织专家进行现场查勘；建立预警方案，并制定应急处置措施。

**3** 不稳定边坡：组织专家进行实地查勘，启动应急预案，进行应急抢险，安排专项治理；对边坡失稳影响区域内人员和设备进行撤离疏散。

* + 1. 工业固废堆场堆积坝坝坡坡比应按坝高、堆积坝材料和抗震设防烈度因素，根据坝体稳定性计算确定。
    2. 填埋场地基存在软弱地基和岩溶等不良地质条件时，应进行地基处理。
    3. 当沿土工材料界面滑移的工业固废堆体边坡稳定验算不满足要求时，应优化基底形状、堆体体型及衬垫系统材料和结构。
    4. 堆填场地运行期间及封场后，应对堆填场地工业固废堆体、挡墙及库区周边山坡的稳定安全进行监测，当监测结果大于警戒值时，应采取工程措施。
    5. 当堆体主水位的计算结果可能超过警戒水位时，应设置长期水位控制措施，包括导排盲沟、抽排竖井、水平井等，视情况采用坡顶减载与坡脚反压。
  1. **固废堆场失稳治理措施**
     1. 边坡失稳治理应考虑灾害类型成因、失稳形态、工程地质和水文地质条件、滑坡稳定性、工程重要性、坡上建（构）筑物和施工影响等因素，分析事故的有利和不利因素、发展趋势及危害性，并采取适当的工程措施进行综合治理。
     2. 既有边坡加固方法可分为削方减载法、堆载反压法、锚固加固法、抗滑桩加固法、加大截面加固法、注浆加固法和截排水法等，也可采用当地成熟、可靠、有效的其他加固法。
     3. 根据边坡的破坏模式、原因、施工安全及可行性以及现场条件等，边坡工程的加固可以使用一种或多种加固方法组合。当采用组合加固法时，应使组合支护结构受力、变形相协调。
     4. 固废堆场失稳治理施工尚应符合《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》（GB 50843）和《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）的有关规定。

# 工业固废堆填场地水平覆盖

* 1. **一般规定**
     1. 工业固废堆填场地水平覆盖设计应综合考虑场地勘察结果、气候类型、风险管控目标、设计使用年限要求，兼顾施工条件。
     2. 堆填场覆盖层应满足：减少雨水渗入工业固废堆体产生有害渗滤液；减少工业固废填埋气中的有害气体及臭气排放至空气；对于会氧化产酸的工业固废，减少空气中的氧气入侵至固废堆体。
     3. 封场覆盖系统施工过程中及竣工后应进行质量检测，服役期间应定期检测堆填场产生的渗滤液和填埋气，检验阻隔效果。
     4. 堆填场水平覆盖层封场完成时宜对覆盖系统进行生态复绿。
  2. **水平覆盖层设计**
     1. 用于封场的覆盖层底部雨水渗漏量应根据工业固废堆填场地所在气候区干湿指数按表5.2.1控制，覆盖层表面的污染气体排放限值应符合现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599中的有关规定，酸性场地的全年氧气入侵量应不超过50 g/m2。

**表5.2.1 土质覆盖系统的渗漏量控制要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 年最大渗漏量（mm/yr） | |
| 气候干湿指数*P/PET*<0.5 | 气候干湿指数*P/PET>0.5* |
| 10 | 30 |

* + 1. 封场覆盖系统的结构型式应符合《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599中的有关规定。对于工业固废堆填场地，水平覆盖层结构选型应考虑堆填场地所在气候区和场地类型，宜选用如图5.2.2-1所示的腾发式复合覆盖结构或如图5.2.2-2所示的增强型腾发式覆盖结构。覆盖结构类型适用性判别应符合下列规定：

**1** 对于非湿润气候区的堆填场，仅考虑防渗要求不考虑闭气要求时，宜选用腾发式复合覆盖结构；

**2** 对于湿润气候区的堆填场地以及非湿润气候区需要同时考虑防渗和闭气要求的堆填场地，应选用增强型腾发式覆盖结构。

幻灯片2

1—植被层；2—储水层；3—无纺土工布；4—导排层；5—工业固废

**图5.2.2-1 腾发式复合覆盖层结构**

幻灯片1

1—植被层；2—储水层；3—导排层；4—防渗层；5—排气层或隔盐层；6—工业固废；7—无纺土工布

**图5.2.2 -2 增强型腾发式覆盖层结构**

* + 1. 腾发式复合覆盖层结构由植被层、储水层及导排层组成，如图5.2.2-1所示，应符合以下规定：

**1** 植被层土质适合植被生长，厚度不应小于15 cm，对于封场后需要复垦的覆土应满足《土地复垦质量控制标准》TD/T 1036等相关要求。

**2** 储水层采用储水性能良好的粉土、粉质黏土、细砂或再生细粒料等，压实度不低于85%，厚度为40~150 cm，可按照规范《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准》CJJ 176进行设计。

**3** 导排层应采用导水性能良好的粗砂、碎石或再生粗骨料等，渗透系数不小于0.1 cm/s，厚度宜为20~30 cm。

* + 1. 增强型腾发式复合覆盖层结构由植被层、储水层与导排层构成的毛细阻滞层、防渗层及排气层或隔盐层组成，如图5.2.2-2所示，并符合以下规定：

**1** 植被层土质适合植被生长，厚度应不小于15 cm，对于封场后需要复垦的覆土应满足《土地复垦质量控制标准》TD/T 1036等相关要求。

**2** 储水层采用储水性能良好的粉土、粉质黏土或再生细粒料等，压实度不低于85%，厚度不小于40 cm。

**3** 导排层采用导水性能良好的粗砂、碎石或再生粗骨料等，厚度为10~30 cm；

**4** 防渗层采用渗透系数较低的压实黏土、细颗粒固废、再生细粒料、或合成材料（如，土-膨润土混合料或土-改性膨润土混合料等），厚度不小于40 cm。

**5** 排气层或隔盐层应根据工业固废堆填场地调查情况确定是否需要设置，若需要宜采用粗砂、碎石或再生粗骨料等，厚度宜为20~30 cm。

* + 1. 防渗层的材料和厚度选择除了满足5.2.4条第4款规定外，还应综合考虑经济性、施工便宜性、场地勘察与污染状况调查结果、风险等级和渗透系数等，并符合以下规定：

**1** 根据场地气候、区域水文条件及场地pH值和盐含量，防渗层材料应满足抗干湿、抗冻融和耐酸碱盐等性能。

**2**  防渗层采用压实黏土或土-膨润土混合料等细颗粒材料，饱和渗透系数宜不大于1×10-6 cm/s，当饱和渗透系数大于1×10-6 cm/s时应对其阻隔效果根据5.2.1的要求进行验算判定。

* + 1. 压实黏土、细颗粒固废或再生细粒料等作为防渗层时，应符合下列规定：

**1** 防渗层压实度不小于93%；

**2** 粒径小于0.075 mm的土颗粒干重应大于土粒总干重的30%；

**3** 粒径大于5 mm的土粒干重不宜超过土粒总干重的20%。

* + 1. 土-膨润土混合料作为防渗层时，应符合下列规定：

**1** 土-膨润土混合料由土、膨润土（或改性膨润土）和水混合而成，水宜为淡水，宜选用自来水，压实度不小于93%；

**2** 土应优先选用场地清洁土料，宜选用粉砂、矿渣、粉土或筛分过的可回收固废；

**3** 膨润土宜选用天然钠基膨润土或钠化钙基膨润土，粒径大于0.075 mm的颗粒质量不大于总质量的5%，含水量不大于10%。

* + 1. 生态复绿所需的植物类型应根据当地气候﹑植被分布、植物特性等自然条件及经济状况确定，应满足下列条件：

**1** 应选择当地抗逆性强、适应堆填场环境条件、生长稳定的植物。

**2** 植物应能在旱涝条件下生存，能够在很少或没有维护的情况下存活并发挥作用。

**3** 植物类型宜具有足够的多样性，以抵御各种气候条件下的水蚀和风蚀。

**4** 植物类型不会诱发穴居野生动物采食。

**5** 覆盖层边坡宜选用护坡、防冲刷能力强的浅根植物。

* 1. **工程施工及质量控制**
     1. 植被土层应分层压实，应满足下列条件：

**1**  绿化土层土壤的有机质含量、水分、通气性、pH值等应符合所选植物种植的土壤要求，重点绿化区可人工配制土壤。

**2** 绿化土层土壤密实度、粒径、杂物含量等参数宜符合现行行业标准《绿化种植土壤》CJ/T 340的有关规定。

**3** 坡度大于1：3的边坡宜采取表面固土措施。

* + 1. 储水土层应分层压实，压实度应大于85%，储水层与导排层交界面处宜使用低压推土机铺设土壤。
    2. 导排层应根据工程实际需要和现场条件选择，并符合以下规定：

**1** 碎石等颗粒材料应耐酸性气体腐蚀，碳酸钙含量应不大于15%；

**2** 碎石层应有大于2%的坡度，上部宜铺设不小于200 g/m2无纺土工布。

* + 1. 防渗层填筑施工前应开展碾压试验，确定达到控制指标的压实方法和碾压参数，包括含水率、压实机械类型和型号、压实遍数、速度及铺土厚度等，特别是不同土层交界面处的压实需谨慎处理。
    2. 低渗透性防渗层采用压实黏土或细颗粒固废时，宜先在堆填场当地查勘满足本标准第5.2.6条的土料场，拟采用的黏土或细颗粒固废料场中宜每100 m3设置1个取样点，取样点总数不应少于5个。每个取样点的土样应进行颗粒分析、界限含水率及渗透系数试验，试验方法应符合《土工试验方法标准》GB/T 50123的规定。
    3. 压实黏土或细颗粒固废防渗层施工和质量控制应符合下列要求：

**1** 对于天然含水率超过设计的压实含水率时，需要晾晒处理，降低其天然含水率至设计压实含水率；

**2** 每层松土铺设厚度不大于30 cm，压实后的填土层厚度不应超过15 cm；

**3** 在后续层施工前，应将前一压实层表面拉毛，并适当洒水，拉毛深度宜为2.5 cm，可计入下一层松土厚度；

**4** 各层应每500 m2取3个点进行压实度检测，每1000 m2取1个点进行饱和渗透系数检测，并应满足本标准5.2.5条的规定。

* + 1. 土-膨润土混合料作为防渗层施工和质量控制应符合下列要求：

**1**  土-膨润土混合料施工前应进行合成材料的配合比试验，满足渗透系数、化学相容性及现场施工和易性要求。

**2** 填筑施工前应通过碾压试验确定达到施工控制指标的压实方法和碾压参数，包括含水率、压实机械类型和型号、压实遍数、速度及松土厚度等。

**3**  各层应每500 m2取3个点进行压实度检测，每1000 m2取1个点进行饱和渗透系数检测，并应满足本标准5.2.5条的规定。

**4** 土-膨润土防渗层施工完成后，宜在现场钻孔取芯进行室内渗透系数测试。

* 1. **效果评估与维护**
     1. 工业固废堆填场地水平覆盖层施工完成投入运营后，需要对工程效果进行评估，主要包括施工质量以及覆盖层阻隔性能评估，并形成效果评估报告，评估现场工作完成后应立即对工作点采取复原和保护措施。
     2. 施工质量评估应在施工单位自行核查评定合格的基础上进行，包括工程全流程资料、土体压实度、覆盖层厚度、覆盖材料均匀性，应符合下列规定：

**1** 全流程资料完整，施工过程中的质检项目及指标记录满足设计和质量控制要求；

**2** 土体压实度、覆盖层厚度、覆盖材料均匀性等抽检点位宜随机分布，检测结果应不低于设计要求。

* + 1. 覆盖层阻隔性能评估可在水平覆盖层完成施工后一年内完成，主要为工程性能抽检，包括饱和渗透系数、导气系数，应符合下列规定：

**1** 饱和渗透系数通过现场钻孔取样进行室内测试并满足设计值要求，耐酸碱盐的土-改性膨润土混合料应满足相应的酸碱盐溶液下的控制指标。

**2** 导气系数通过现场钻孔取样进行室内测试并满足设计值要求。

* + 1. 工业固废堆填场封场后宜对覆盖系统进行长期现场监测，主要包括渗漏量监测、气体排放量或氧气入侵监测等，应符合下列规定：

**1** 监测点位的平面布置应采用分区布点法，宜根据现场和勘察结果布置。

**2** 根据具体监测项目明确监测方法及监测频次，可按表5.4.4执行。

**3** 当监测到的项目指标出现异常时，应及时向运营单位发出警报并提高监测频率，及时采取应对措施。

**表5.4.4 覆盖系统现场监测方法及监测频次**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 现场监测项目 | 监测方法 | 监测频次 |
| 1 | 渗漏量 | 按本规范9.3.1节执行 | 每年1次 |
| 2 | 气体排放通量 | 按本规范9.3.5节执行 | 每年1次 |
| 3 | 氧气入侵量 | 按本规范9.3.5节执行 | 每年1次 |

* + 1. 工业固废堆填场地封场覆盖系统完成后，应进行维护，并符合下列规定：

**1** 宜至少每五年评估一次覆盖系统的性能，进行一次全面的维护；

**2** 开展必要的例行检查作为覆盖系统长期维护计划的一部分，宜不少于每半年一次，包括植被生长情况、覆盖层表面侵蚀和完整性、地表沉降、排水及排气结构检查、现场监测系统检查、基础设施检查等**，**形成相应的记录文件、存档；

**3** 对出现问题的地方应及时采取措施，必要时核实覆盖层的阻隔性能。

# 工业固废遗留堆填场地垂直阻隔

* 1. **一般规定**
     1. 垂直阻隔工程设计应综合考虑场地勘察与污染状况调查成果、目标污染物种类和源强、风险管控目标、设计使用年限要求，做到合理选型、优化设计；
     2. 垂直阻隔屏障的总体设计内容应包括平面布置、阻隔墙深度、厚度和墙体材料及构造设计。阻隔墙设计需考虑填埋场渗沥液污染地下水与土壤的风险等级，该等级评估可参考《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》第3.0.2条规定；
     3. 垂直阻隔结构的施工工艺应考虑场地施工条件，施工过程中应严格控制施工质量；
     4. 竣工后应对墙体进行防渗性能检测，在服役期间定期检验阻隔效果，并做好运营过程中墙体的监测与维护；
     5. 对使用时间超过服役期的垂直阻隔墙，需要继续使用时，应对垂直阻隔墙的工程性能及效果进行重新检测和评估，合格后方可继续使用。
  2. **垂直阻隔墙设计**
     1. **垂直阻隔墙的平面布置**

**1** 垂直阻隔墙的平面布置，应考虑场地地形、地下水流向与水力梯度、地下污染平面范围、场地红线与已有构筑物、场地地下管线等因素确定；

**2** 垂直阻隔墙的平面布置形式可根据场地的水文地质条件、地下水污染物迁移途径采用闭合式、逆地下水流向非闭合式和顺地下水流向非闭合式，平面布置需能够切断污染物的迁移途径；

**3** 针对山谷型污染场地等地下水埋深落差较大的污染区域，宜进行地下水降水设计，如在垂直阻隔墙上游适当布置降水井，控制阻隔墙建成后上游与下游地下水位的水头差。降水井设计可参考《建筑基坑支护技术规程》JCJ 120-2012第6.3条规定，其中单井流量和地下水位降深可参考规程中第8.3.5-8.3.10条计算公式。

* + 1. **垂直阻隔墙的深度**

垂直阻隔墙的深度设计，宜考虑场地地层结构、地基稳定性、岩土层渗透系数、地下水位、承压含水层水头、污染深度等地质条件，以及场地的污染物性质与污染深度，并符合下列要求：

**1** 垂直阻隔墙的设计深度宜大于污染深度；

**2** 垂直阻隔墙宜嵌入连续且完整的隔水层，隔水层厚度不小于3 m且渗透系数不大于1.0×10-6 cm/s；隔水层为土层时，嵌入深度应不小于1 m；隔水层为岩层时，在大多数页岩与灰岩地层中宜嵌入0.3-0.9 m，对于坚硬岩层，可根据开挖难度和经济性选择 嵌入深度；

**3** 隔水层埋深大或目标污染物主要为低密度非水相液体（LNAPLs）时，可采用悬挂式垂直阻隔墙，深度设计应满足污染物从底部绕流击穿垂直阻隔墙的时间不小于污染物从浅部水平击穿防污垂直阻隔墙的服役寿命设计要求；

**4** 对于阻隔墙中插入土工膜的情况，当垂直阻隔墙的深度小于等于20 m时，土工膜插入深度宜与墙深相同；当垂直阻隔墙深度大于20 m时，土工膜插入深度宜取20 m或根据施工条件确定。

* + 1. **垂直阻隔墙的厚度**

垂直阻隔墙的厚度设计，宜考虑场地岩土层分布、渗透系数等地质条件，以及阻隔墙两侧的水头差、污染物扩散、及垂直阻隔墙的墙体材料对污染物的吸附性。

* + - 1. 垂直阻隔墙的厚度，可按附录E中公式（E1-E3）确定；
      2. 当根据式（E1）计算的厚度小于0.6 m时，宜取0.6 m；
      3. 当根据式（E1）计算的厚度大于1.2 m时，宜取1.2 m，并采取以下两种措施之一：

**1** 采用土工膜复合墙，回填墙体材料的渗透系数应不大于1.0×10-7 cm/s，土工膜厚度应不小于2.0 mm；

**2** 采用工程措施，控制靠近堆填体一侧地下水水位标高应低于远离堆填体一侧地下水水位标高0.3 m以上。

* + - 1. 对设计的垂直阻隔墙厚度，可按附录F方法进行污染物击穿判别验算。验算满足击穿判别标准时，阻隔墙厚度可用于施工；验算不满足击穿判别标准时，宜合理增加墙体厚度或采取措施，并重复验算。
    1. **垂直阻隔墙体材料及构造设计**

工业固体废物堆填场垂直阻隔墙需具备低渗透性（渗透系数宜不大于1.0×10-7 cm/s）和耐久性，在极端气候或高污染程度等特殊服役条件下还需具备抗腐蚀、抗干湿、抗冻融等性能。垂直阻隔墙可选取土-膨润土墙、水泥-膨润土墙、土工膜复合防渗墙等类型。

* + - 1. **土-膨润土墙**

**1** 土-膨润土垂直阻隔墙的墙体材料由基土、膨润土和水拌合制成。墙体材料选取及回填料配比、坍落度、密度等特性应符合《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》第6.5.2条的规定；

**2** 在化学侵蚀性强的地下水条件（如高盐、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；

**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。针对膨润土的改性剂可选用亲水、抗盐或耐酸/碱性良好的聚丙烯酸钠、羧甲基纤维素钠、六偏磷酸钠、黄原胶等材料，改性工艺可选用原位聚合或物理拌合等制备方法；

**4** 土-膨润土回填料配比初步确定后宜进行柔性壁渗透试验，评价墙体材料与地下水的化学相容性：

1. 未受污染土-膨润土在标准养护28天龄期时的渗透系数不宜大于1.0×10-7 cm/s；污染物作用下在标准养护28天龄期时的渗透系数不应大于1.0×10-6 cm/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。
3. 针对污染风险等级高、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；
4. 工业固废堆填场地常见浸出污染物对土-膨润土回填料渗透性能的影响见附录D。
   * + 1. **水泥-膨润土墙**

**1**  水泥-膨润土墙由水泥和膨润土加水混合形成，硅酸盐水泥、膨润土等墙体材料的选取、材料配比和坍落度等性能应符合《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》第6.5.3条中的规定；

**2** 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；

**3** 可在水泥中加入细炉渣等添加剂降低渗透系数，增加材料的化学相容性和强度，细炉渣的粒径应小于0.075 mm，水泥与细炉渣材料配比及对应渗透系数可参考《地下水污染阻隔技术指南》T/GIA 006-2021第4.3.1条。

* + - 1. **土工膜复合防渗墙**

**1**  土工膜复合防渗墙由土工合成材料与常规的泥浆沟垂直阻隔技术建造，使用于特殊地质、环境要求高、一般材料难以满足渗透性或化学相容性的场地；

**2**  土工膜材料的选取、渗透系数、厚度、表观完整性等特性应符合《土工合成材料聚乙烯土工膜》GB/T 17643和《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715-2020第5.3.6条规定；

**3** 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；

**4**  可根据《垃圾填埋场用高密度聚乙烯土工膜》CJ/T 234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；

**5** 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；

**6** 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；

**7** 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。

* 1. **工程施工及质量控制**
     1. **垂直阻隔墙施工方法**

垂直阻隔墙的工程施工可选择沟槽开挖-回填法、深层搅拌法、高压喷射注浆法、渠式切割法等方法。

施工组织设计应符合现行国家标准《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502的相关规定，根据工业污染场地特点，具体应包括：材料配置、人员配置、设备配置、重点施工方法和工艺要求、施工过程质量保障措施、进度安排与保障措施、安全施工保障措施、工程应急预案、环境保护措施等。

* + - 1. **沟槽开挖-回填法**

**1** 沟槽开挖-回填法施工可通过挖掘地下土形成沟槽，由灌入的膨润土泥浆维护槽壁稳定，向沟槽中灌注墙体材料并将置换出护壁泥浆从而形成的阻隔墙，可应用于土-膨润土墙、水泥-膨润土墙、塑性混凝土墙等；

**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** 垂直阻隔墙采用沟槽开挖-回填法施工时，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防止垂直阻隔墙顶部开裂。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。

* + - 1. **深层搅拌法**

深层搅拌法通过螺旋钻和特殊搅拌装置，在钻进的同时注入墙体材料，形成圆柱形的原位土-注入材料混合体，可用于在堤坝及其地基中形成连续阻隔墙，施工工艺可参考《深层搅拌法地基处理技术规范》DL/T 5425及《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715中的规定。

* + - 1. **高压喷射注浆法**

**1** 高压喷射注浆法通过高压注浆的方式向土层中注入水泥浆液等形成阻隔帷幕，施工工艺宜符合《地基与基础工程施工及验收规范》GBJ 202、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79和《高压喷射注浆施工技术规范》HG/T 20691中的规定；

**2** 当垂直防渗帷幕底部岩石裂隙发育，或存在断层、破碎带等强透水性的地质条件，宜采取帷幕灌浆等措施处理，底部注浆施工宜符合《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148中的规定。

* + - 1. **渠式切割法**

渠式切割法通过渠式切割机械在土体中切割出渠槽，向渠槽内灌注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中的规定。

* + - 1. **土工膜复合防渗墙**

土工膜复合防渗墙，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和《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》的规定。

* + 1. **泥浆沟槽的稳定性**

**1** 沟槽稳定分析时应考虑沟槽旁边地表上覆荷载（包括垃圾堆体、垃圾坝、围堤等荷载）对沟槽稳定性的影响。

**2**  垂直阻隔墙沟槽开挖应验算开挖至各土层底面、设计深度工况时的沟槽稳定性，沟槽稳定安全系数应不小于1.1，沟槽稳定安全系数可按公式（6.3.2-1、6.3.2-2、6.3.2-3）计算：

（6.3.2-1）

 （6.3.2-2）

 （6.3.2-3）

式中： *F*b——沟槽稳定安全系数；

*P*s——沟槽内泥浆施加在沟槽壁的力（kN/m）；

*P*w——周边地基土内的地下水作用在沟槽壁的静水压力（kN/m）；

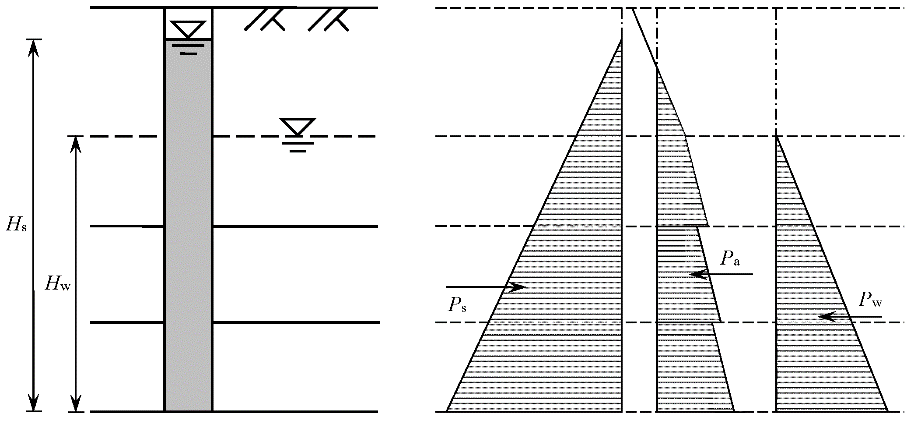
*P*a——周边地基土及地表荷载作用在沟槽壁的土压力（kN/m），宜按《建筑地基基础设计规范》GB 50007中挡土墙主动土压力计算方法计算，地表荷载应包括垃圾堆体、垃圾坝、围堤等荷载；

——泥浆重度（kN/m3）；

*H*s——沟槽泥浆液面至验算深度的距离（图6.3.2）（m）；

——地下水的重度（kN/m3）；

*H*w——周边地基土中地下水水位面至验算深度的距离（图6.3.2）（m）。



**图6.3.2 垂直阻隔墙沟槽稳定验算示意**

**3** 当沟槽开挖出现侧壁塌时，槽壁加固措施可选用水泥土搅拌桩（墙）、高压旋喷桩等。

* + 1. **施工质量控制和质量保证**

**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合格率需高于90%，且不存在严重缺陷；

**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；开挖宽度与深度应分别与屏障厚度和深度的设计要求一致；垂直度允许偏差可参考现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202-2018中776关于槽壁垂直度（临时结构）的规定；

**3** 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，一次在沟槽中部深度处取样，另一次在靠近沟槽底部深度处取样，且两次都应在回填料斜坡前方7.5 m~12 m处取样；

**4** 在回填料回填沟槽前，宜对基土进行颗粒级配和表观评估，对土-膨润土回填料进行塌落度和颗粒级配的测试，确保符合设计要求；

**5** 回填完成后，沿沟槽中心线进行开挖深度与土-膨润土回填剖面的量测，量测数据包括：沟底嵌入底层的顶部标高、沟底底部的标高、回填之前的沟槽底部高程及回填料斜坡的剖面；

**6** 垂直阻隔墙施工完工后，宜对墙体材料进行原位渗透系数测试或钻孔取芯进行室内渗透系数测试（《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384、《土工试验方法标准》GB/T 50123）；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）；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、《注水试验规程》YS/T 5214）；

**7** 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；

**8** 工业污染场地竖向阻隔工程中可能存在的特殊施工情况主要涉及施工引起污染扩散等。施工过程中出现有机物异味等污染扩散情况时，应立即停止施工，确保施工人员离场，并查明原因及时采取临时性覆盖等应急措施。

* 1. **效果评估与维护**
     1. **阻隔效果评估**

**1** 垂直阻隔墙的阻隔效果评估方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、地球物理探测等方法进行；

**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；

**3** 可在垂直阻隔墙的库区外侧3 m内设置地下水质和水位监测井，沿垂直阻隔墙的轴线方向的井间距宜取50 m~100 m，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；

**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和《放射性测井辐射安全与防护技术规范》；

**5** 施工质量验收包括原材料验收、施工工序质量控制，可依据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的相关规定。与设计及施工相关的其他资料可包括工程环境影响评价及其批复、施工方案变更协议、运输与接收的协议和记录、施工管理文件等。相关资料可在施工质量验收时整理完成。

* + 1. **垂直阻隔墙长期维护**

对垂直阻隔墙的长期维护可包括以下措施：

* + - 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任何地下异常，实施方法可参考《电阻率测深法技术规范》DZ/T 0072、《地质雷达探测测绘技术规程》DB22/T 2574、《中国地质调查局地质调查技术标准》DD 2019等。

* + - 1. 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；
      2. 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，以减少阻隔墙受到损害的可能性。

# 原位固化/稳定化

* 1. **一般规定**
     1. 针对工业固废堆填体、场地及周边土壤和地下水的原位固化/稳定化修复，应基于处理对象的酸碱度和盐分含量等理化性质特征，做到科学合理、安全适用，确保固化/稳定化修复效果，保障生态环境安全。
     2. 本标准主要适用于工业固废堆填场地污染土壤的原位固化/稳定化修复，如无机氰化物（氢氰酸盐）、腐蚀性无机物、石棉以及砷、镉、铬、铜、铅、汞、镍、硒、锑、铀和锌等无机物污染的土壤，以及有机氰化物（腈类）、腐蚀性有机化合物、农药、石油烃（重油）、多环芳烃（PAHs）、多氯联苯（PCBs）、二噁英或呋喃等有机物污染的土壤。本标准不适用于卤代和非卤代挥发性有机物污染、放射性污染和致病性病菌污染的土壤修复。
     3. 固化稳定化工程设计前应针对工业固废堆填体的特征和潜在污染物特性，按照本标准第3.3节和第3.4节开展系统、全面和充分的环境调查与工程勘察。
     4. 工业固废堆填场地土壤原位固化/稳定化修复工程的工作程序应包括现场调查与勘察，方案设计、工程施工、效果评估、长期监测与维护。
  2. **修复方案设计**
     1. 修复方案设计应结合工业固废堆填场地调查（勘察）报告、场地实际情况和类似工程经验，综合考虑修复效果、经济成本与操作难易程度，对修复工程目标、方法、材料、装备、工艺、周期、费用等内容进行确定。
     2. 原位固化/稳定化材料设计应符合下列要求：

**1** 固化/稳定化材料选用应根据技术类型、堆填场地特征、土壤理化性质、污染物种类和含量等因素确定。

**2** 固化材料选择宜以水泥、粉煤灰、高炉矿渣等胶凝材料为主，辅以稳定化材料和外掺剂。稳定化材料可选择合适的碱性材料、含磷、铁类材料、氧化还原材料、吸附性材料等。

**3** 经固化/稳定化材料原位处理的污染土壤应满足浸出毒性测试标准和工业固废堆填场地的后续利用要求。

**4** 固化/稳定化材料应优先就地取材，实现堆填固废的原地资源化利用。选用的固化/稳定化材料应遵循绿色环保、长期有效、经济适用的原则。

* + 1. 原位固化/稳定化设备设计应符合下列要求：

**1** 原位固化/稳定化修复工程中药剂制备、输送和注入装置、原位搅拌混合装备等，除工作性能应满足基本的使用要求外，宜优先选用生产适用、先进可靠的自动化专用机械设备。

**2** 根据场地修复深度范围，原位固化/稳定化搅拌混合设备的选择可按表7.2.3确定。

**表7.2.3 原位固化/稳定化搅拌混合设备选用要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 最大有效处理深度 | 搅拌混合设备类型 | 固化/稳定化药剂状态 | 药剂投加方式 |
| 0.2 m~0.5 m | 机械翻松系统(如挖掘机、翻耕机) | 液体、浆状或粉状 | 直接投加或专有设施投加 |
| 1 m~2 m | 挖掘机、螺旋中空钻等 |
| 4 m~6 m | 阿鲁搅拌机等浅层搅拌设备 |
| ＞5 m | 螺旋搅拌机、高压旋喷机等深层搅拌设备 | 液体或浆状 | 专有设施投加 |

**3** 原位固化/稳定化设备材质应能适应药剂和被修复对象的化学、物理环境，具有必要的耐腐蚀性、耐磨损性和机械强度。

**4** 原位固化/稳定化设备尺寸和重量应满足工业固废堆填场地进场条件、设备正常放置、移动和作业要求。

* + 1. 原位固化/稳定化修复技术参数设计应符合下列要求：

**1** 应采取具有场地整体污染状况代表性的土壤样品开展实验室小试，采样量一般不小于0.04 m3，通过实验室小试确定和调整固化/稳定化材料类型、配比、掺量、拌合含水率和养护龄期等参数。

其中，原位固化/稳定化材料的目标拌合含水率可按下列公式计算：

 （7.2.4-1）

式中： ——土体目标拌合含水率，%；

——固化/稳定化材料掺量与干土的质量比，%；

——水胶比，满足原位施工拌合稠度要求的含水量与固化/稳定化材料的质量比，%；

——土体的天然含水率，%。

**2** 实验室小试应根据场地修复目标值和后续利用方式，选择合理指标评估固化/稳定化产物性能是否满足设计要求。固化/稳定化产物性能常用评估指标包括理化性质（密度、增容比、pH值、含盐量）、工程性能（如无侧限抗压强度、渗透系数、耐久性）和浸出毒性等。评估指标的选用可按表7.2.4-1确定，相关测试方法可按表7.2.4-2确定。

其中，原位固化/稳定化修复后，污染土壤的体积增容比可按下列公式计算：

 （7.2.4-2）

式中： ——体积增容比，%；

——固化/稳定化前污染土壤的体积，m3；

——固化/稳定化后的污染土壤体积，m3。

**表7.2.4-1 原位固化/稳定化评估指标选用要求**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 场地后续利用方式 | 技术类型 | 理化性质 | 工程性能 | 浸出毒性 |
| 建设用地 | 原位固化/稳定化 | 密度  增容比 | 无侧限抗压强度  渗透系数  抗干湿、冻融循环特性 | 污染物种类和浓度 |
| 农用地 | 原位稳定化 | 密度  pH值  EC值 | 渗透系数 | 污染物种类和浓度 |

**表7.2.4-2 原位固化/稳定化评估指标测试方法选择**

|  |  |
| --- | --- |
| 指标名称 | 测试方法 |
| 密度 | 《土工试验方法标准》（GB/T 50123）  《岩土工程勘察规范》（GB 50021） |
| EC值 | 《土壤电导率的测定 电极法》（HJ 802） |
| pH值 | 《土壤 pH值的测定 电位法》（HJ 962） |
| 无侧限抗压强度 | 《土工试验方法标准》（GB/T 50123）  《公路土工试验规程》（JTG 3430） |
| 渗透系数 | 《Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter》（ASTM D5084）  《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082） |
| 抗干湿、冻融循环特性 | 《土工试验方法标准》（GB/T 50123）  《公路土工试验规程》（JTG 3430） |
| 浸出毒性 | 《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557）  《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJ/T 299）  《固体废物 浸出毒性浸出方法 醋酸缓冲法》（HJ/T 300） |

**3**  应根据实验室小试确定的技术方案开展现场中试，确定和调整现场施工步骤、药剂制备、输送和注入及搅拌混合工艺、养护方式、工期及费用等参数。

**4** 现场中试时原位处理的污染土壤方量不得小于单台设备工作30分钟处理的方量，且应达到既定的场地最大处理深度。

**5**  现场中试结果需验证在现场原位修复时施工设备和工艺的可靠性、固化/稳定化产物性能及修复效果与小试结论的一致性、二次污染防治措施的有效性。

**6** 现场中试结果应验证药剂与土壤混合的均匀性，选取10 m3的中试拌合施工单元，应至少随机采取10个样品，可按照《固体废物 22种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》（HJ 781）或《固体废物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法》（HJ 1211）测定各样品中药剂特征元素含量，并按公式（7.2.4-3）计算拌合均匀度，中试拌合均匀度不宜低于60%，否则应变更修复装备或施工工艺设计，直至均匀度满足要求。

 （7.2.4-3）

式中： ——拌合均匀度，%；

——测试样品中的药剂特征元素含量，mg/kg；

——测试样品数量。

* 1. **修复工程施工**
     1. 原位固化/稳定化修复工程施工应严格按照设计方案和相关技术要求开展,如已制定的设计方案因现场地层和污染状况差异，导致不能达到场地修复目标时，应开展场地补充调查，对修复方案进行变更。
     2. 施工准备阶段应全面核查场地施工条件，重点关注修复工程的用电、用水、排水、设备占地面积、施工作业区及周边道路交通等情况，并采取相应措施保障工程施工正常开展。
     3. 原位固化/稳定化修复全场施工前应对场地表面进行清理整平，对场地表面以下的大石块、混凝土块、地下构筑物等可能对施工造成影响的障碍物进行探测和清除。
     4. 原位搅拌和注入施工需配置有贮料罐、配料制浆机、输送泵和流量控制仪等药剂制备及输送设备，制备的浆液搅拌时间应大于3分钟，储存时间应不超过2小时，必要时配备可随搅拌混合设备移动的专用设施。
     5. 采用原位固化/稳定化修复的场地应设置防水覆盖层进行养护，确保固化/稳定化药剂与目标污染物的持续接触与反应，原位固化养护时间不得少于14d，原位稳定化养护时间不得少于7d。
     6. 原位固化/稳定化修复施工中的质量控制应符合下列要求：

**1** 各类施工设备应性能合格，参数设定准确，安装及运行应遵守有操作规程。

**2** 各类材料品质应达到质量标准，材料运输、贮存与使用应符合规定要求。

**3** 施工过程中应确保施工参数与设计要求保持一致，质量控制要点应包括作业点的定位测量（±0.05 m）、材料的称取质量（±0.01 kg）、浆液的注入压力（±0.05 MPa）和流量（±1 L/s）、搅拌转头的下沉及提升速度（±0.1 m/s）、施工单元的垂直度（±1%），药剂与土壤混合的均匀程度（表观无色差），施工单元间的搭接重合程度（搭接范围大于单元体尺寸的5%且无死角）、固化/稳定化产物的覆盖养护质量（表观完好密封）等。

* + 1. 原位固化/稳定化修复施工过程中的环境监测应符合下列要求：

**1** 环境监测宜贯穿修复工程的整个施工阶段，监测内容宜包括大气颗粒物及污染物含量、周边地表和地下水质量、空气气味、振动和噪声等。

1. 对于粉尘控制，应对场地附近的空气进行监测，监测内容应根据场地环境、污染土壤特征确定。宜在污染场地的边界设置监测点，当施工造成空气质量不满足现行国家标准《大气污染物综合排放标准》GB 16297限值时，不得继续施工，应采取降尘措施，直至影响消除。
2. 对于污水控制，应对施工过程中产生的污水进行收集，严禁随意排放，各项监测指标应满足《污水综合排放标准》GB 8978中的相关规定要求；应详细记录施工中污水产生的体积，并应及时处置或运至污水处理机构进行处置。
3. 对于噪声控制，修复期间应设置噪音监测点，当施工造成的声环境质量不满足现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523限值时，不得继续施工，应采取降噪措施，直至满足GB 12523的限值要求。

**2** 环境监测位点布置和监测频率设定应根据修复工程短长期目标、修复周期、场地施工特点、周边敏感受体情况等确定，监测技术方法和技术程序可参照《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》执行。

**3**  监测数据异常时应启动应急预案，暂停作业并进行整改，重复监测直至达到环境安全及卫生要求。

* + 1. 施工产生的固体废物、废水应进行集中存放、转运和处置。现场施工设施、设备和交通运输工具应及时清洗，避免交叉污染。
  1. **修复效果评估与维护**
     1. 场地修复效果评估包括文件审核、实验室样品检测、原位勘察测试和评估报告编制等工作内容。
     2. 场地修复效果评估时应对工业固废堆填场地调查（勘察）报告、设计、施工及监理资料等文件进行审查与核实，明确修复方案落实情况。
     3. 场地修复效果评估内容应结合修复目标和利用方式确定，实验室检测指标选用可参照7.2.4节中有关规定，处于特殊化学环境的场地还应增加评估其耐酸碱盐腐蚀性等，相关技术方法可参照《水泥抗硫酸盐侵蚀试验方法》（GB/T 749）和《水泥抗海水侵蚀方法》（GB/T 38140）等标准执行。饱和渗透系数应达到设计要求，全体样品的达标率不应小于95%。
     4. 有特殊工程用途的场地（如路用、建筑用等）可选用无侧限抗压强度、高密度电法、静动力触探法、十字板剪切法和载荷板试验等原位勘察测试的方法进行检测与评估，相关技术内容可参照《高密度电阻率测深法勘探技术规程》（Q/SH 0759）、《土工试验方法标准》（GB/T 50123）和《公路土工试验规程》（JTG 3430）执行。无侧限抗压强度应达到设计要求，全体样品的达标率不应小于95%。
     5. 原位固化/稳定化产物的浸出毒性按7.3.4节中有关规定测试，应不超过《地下水质量标准》（GB 14848）的Ⅳ类标准所规定的限值。
     6. 场地修复效果评估报告编制应包括修复工程概况、评估内容及方法、质量检测结果分析、修复效果评估结论及后期环境监管建议等内容。其中评估内容应包括修复方案实施情况、评估程序及方法、文件审核与现场踏勘、采样布点方案、现场采样、实验室检测、修复效果评估、监理报告和检测报告以及工后监测方案等。
     7. 对采用原位固化/稳定化技术修复的场地，应通过采取场地保护和隔离措施、限制场地使用要求等手段，保证固化/稳定化产物的长期服役性能。
     8. 应对采用原位固化/稳定化技术修复的场地开展长期监测，以评估固化/稳定化产物中污染物浸出情况，以及其对周边土壤、地下水和地表水环境的长期影响，并定期向环境管理部门报告监测情况，监测技术方法参照《地下水环境监测技术规范》（HJ 164）和《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）规定执行。
     9. 长期监测的固化/稳定化产物浸出毒性应满足6.5.6节规定要求，周边水体污染物含量应不超过《地下水质量标准》（GB 14848）的Ⅳ类标准所规定的限值，周边土壤污染物含量应不超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600）或《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》（GB 15618）中规定的筛选值。
     10. 长期监测时长宜不少于5年，监测频率宜不少于每半年一次。在对监测目标进行充分分析的基础上，征得环境管理部门同意后，可根据需要适当缩减监测时长和降低监测频次。

# 污染土壤与地下水修复

* 1. **一般规定**
     1. 在对受污染土壤与地下水修复前，宜根据实际情况先对固废堆填体实施降低渗滤液水位、固化稳定化、水平覆盖、垂直阻隔等污染源管控措施的一种或多种组合，防止污染物进一步扩散。
     2. 当地下水和土壤污染区域有重叠时，应根据污染地块的水文地质条件、土壤和地下水污染特征等，统筹考虑土壤和地下水协同修复。
     3. 土壤和地下水修复应实现对应地块土壤及地下水的目标污染物均达到修复目标值的要求，并避免或控制修复过程中产生新的污染物。
     4. 土壤和地下水修复的工作程序应包括场地调查与风险评估、修复方案与设计、工程施工、运行监测与效果评估。
  2. **修复方案和设计**
     1. 土壤和地下水修复的目标污染物及其修复目标应根据本标准第3章场地调查与风险评估的结论确定。
     2. 土壤和地下水修复范围和工程量应根据本标准第3章场地调查与风险评估确定的土壤和地下水污染空间分布并结合修复目标确定。
     3. 应基于场地特征、土地规划、土壤和地下水的污染物类型和修复目标以及修复周期等确定土壤和地下水的修复和风险管控模式，对适宜的修复技术进行初步筛选，见附录F。
     4. 土壤和地下水重叠污染区域，如采用抽提等技术手段，应重点进行增溶剂效果的试验，以解决地下水修复存在的“拖尾”和“回弹”问题，达到土壤和地下水协同修复的效果。
     5. 实验室小试应采集具有典型代表性的待修复污染土壤和地下水，针对关键环节和关键参数，分析初筛技术的可行性。综合考虑处理效果、成本、工期以及可能产生的二次污染等因素初步确定工艺参数，包括污染物处理浓度上限、预处理要求、药剂投加浓度和投加量等。
     6. 现场中试应根据修复技术体系特点，结合地块地质与水文地质条件、污染物类型和空间分布特征等，选择适宜的单元开展中试，获得设计和施工所需要的工程参数，确定现场施工过程中可能产生的二次污染物。
     7. 应根据水文地质条件、修复目标、技术路线、工艺参数、工程量、费用和周期等，制订不少于两套的备选修复技术方案，估算每个备选修复技术方案的工程量。其中土壤修复工程量应根据污染物修复范围、深度及分层情况进行具体计算，地下水修复工程量应根据污染物修复范围、深度、渗透性等水文地质条件进行具体估算。同时应考虑修复过程中阻隔等工程辅助措施的工程量。
     8. 构建综合评估方法对各备选方案进行评估和比选，主要指标应包括技术可行性、修复时间、修复成本、修复效益、环境及健康安全等，在此基础上制定最终的技术方案。
     9. 土壤与地下水修复工程设计根据工作开展阶段宜分为初步设计、施工图设计。对于小型项目，可根据实际情况直接进行施工图设计。根据专业划分为工艺和辅助专业设计。工程设计参照HJ 2050执行。
     10. 初步设计文件应根据修复方案进行编制，满足编制施工图、采购主要设备、修复工期、控制工程投资的需要。
     11. 施工图设计文件应满足编制工程预算、工程施工招标、设备材料采购、非标准设备制作、施工组织计划编制和工程施工的需要。
  3. **污染修复工程施工**
     1. 工程施工准备包括技术准备、施工现场准备、材料准备、施工机械和施工队伍准备等。应根据工程设计图纸，综合考虑现场条件、施工企业情况等，编制施工方案。
     2. 施工过程中做好工程动态控制工作，落实安全和质量保证措施、控制工程施工进度和建设运行成本。
     3. 应根据国家和地方环境管理法律法规，结合工程施工工艺特点以及工程周边环境，对修复治理实施全流程的二次污染防控，防范施工过程中造成的地下水、土壤、地表水、环境空气、噪音等二次污染。
     4. 施工除遵守相关的施工技术规范以外，还应遵守国家的质量、劳动安全及卫生、环境保护、消防等强制性标准。
     5. 应编制工程运行维护方案，包括设备操作、安全运行**、**维护保养、检修等管理制度建立、以及药剂和材料进场检测、试验、储存、使用的管理等内容。
  4. **污染修复工程运行监测及效果评估**
     1. 修复工程运行监测及效果评估范围应包括修复范围以及治理修复中废水、废气及废渣影响的区域范围。在修复工程经初步判断达到修复目标后，即开展修复效果评估，确定工程修复效果均可达到修复目标。
     2. 监测点布设

**1** 土壤采样点应参考HJ 25.2的监测点布设方法，原位修复原则上每个单元不应超过1600 m2，异位修复的基坑应参考HJ 25.5布设基坑采样点，异位外运的土壤每个样品代表不超过500 m3；对于污染较均匀的地块和地貌严重破坏的地块，采用系统布点法划分工作单元，在每个工作单元的中心采样；对于面积较小的地块，应不少于5个工作单元。

**2** 地下水采样点应参照HJ 25.6的监测井布设方法，原则上对照井至少设置1个，内部监测井至少设置3～4个，控制井至少设置4个，可根据修复工程特点合理调整；原则上内部监测井设置网格不宜大于80 m×80 m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，监测井设置网格不宜大于40 m×40 m。

**3** 应在污染物浓度高的区域、修复范围边界区等位置加密采样点布设。

* + 1. 监测指标

**1** 修复工程运行期间应对工程运行指标（包括注入药剂浓度以及土壤、地下水的特征参数等）、目标污染物及中间产物（原位化学修复、微生物修复等）进行监测；

**2** 修复工程效果评估应对目标污染物及中间产物（原位化学修复、微生物修复等）进行监测。

* + 1. 监测频次

**1** 工程运行期间土壤和地下水中目标污染物和中间产物应至少在运行中期和末期各监测1次；

**2**  土壤修复效果评估可采集1批次样品；

**3** 地下水修复效果评估应至少采集8批次样品，持续至少1年。

* + 1. 应根据土壤和地下水监测数据及趋势预测工程运行状况，分析土壤和地下水修复工程运行阶段的有效性、目标可达性、经济可行性等，判断技术方案、工程设计、施工、运行有无调整和优化的必要。
    2. 修复效果评估监测过程中，如发现未达到治理修复标准的工作单元，则应进行二次治理修复，并在修复后再次进行修复效果评估监测。
    3. 若通过修复区域及二次污染区的采样、监测，确定污染物浓度已经达到修复效果，修复工程不再继续时，可选择关闭或保留原位修复工程。

# 填埋场灾害监测及安全预警

* 1. **一般规定**
     1. 固废堆填场安全监测项目、监测频率设置宜符合以下规定。

**表9.1.1 堆填场安全监测项目表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 监测项目 | | 安全等级 | | | 监测频率  （次/月） |
| 一级 | 二级 | 三级 |
| 水位监测 | 堆体主液位 | ★ | ★ | ★ | 2 |
| 堆体边坡、坝体变形监测 | 表面水平位移 | ★ | ★ | ● | 2 |
| 深层水平位移 | ● | ● | ○ | 2 |
| 表面竖向位移 | ★ | ★ | ● | 2 |

注：1 ★为应设项目，●为宜设项目，○为可设项目；

2 安全等级应符合本标准第4.1.1条的规定；

3 对于工业固废堆场，坝体包括初期坝和堆积坝；

4 当水位超过警戒液位或堆体出现失稳征兆时，应增加监测项目和加密监测频次；

5 遇暴雨等恶劣天气或其它紧急情况时，堆体主液位、表面水平位移及深层水平位移等项目的监测频次应适当提高。

* + 1. 对工业固废堆场及周边环境污染风险应进行监测和预警，应按照《环境监测管理办法》制定监测方案。
    2. 工业固废堆填场地原位固化/稳定化修复完成后，应对场地开展长期监测，以评估固化/稳定化产物中污染物浸出情况，以及对周边环境的长期影响。
    3. 填埋场的稳定监测基准网由基准点和部分工作基点组成，点位布设按照《工程测量标准》（GB 50026）的规定执行。监测基准网应每半年复测一次，当对变形监测结果产生怀疑时，应随时检核监测基准网。
    4. 当采用光学水准仪、电子经纬仪、全站仪等进行填埋堆体变形监测时，技术要求可按照《建筑变形测量规范》（JGJ 8）及国家相关标准的规定执行。
    5. 当采用卫星导航定位测量、三维激光扫描测量、数字近景摄影测量等方法时，应满足现行国家标准《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》（GB 51108）的相关技术要求。
  1. **稳定监测及预警**
     1. 堆体边坡、坝体的表面水平位移和深层水平位移监测应符合下列规定：

**1** 表面水平位移监测线布置，应根据堆场边坡的走向长度、断面坡度，地基工程地质情况决定。堆体边坡、初期坝和后期坝顶应设检测线，有多级子坝时监测线不应少于3条，每条监测线上不应少于3个监测点，监测点平面间距宜为30 m~60 m。

**2** 深层水平位移宜采用测斜仪测量，测斜管的埋设应尽量深；在底部有防渗衬垫情况下，应保证管底离衬垫系统不小于5 m。

**3**  前期监测宜对测斜管顶部进行位移校核，判断测斜管底是否稳定。当管底稳定时，深层水平位移以管底为起点；当管底距衬垫层接近5 m，或其他不稳定情况时，深层水平位移以管顶为起点。

**4** 水平位移量、水平位移变化速率的正常运营预警值宜根据堆体特点、工程类比、已有监测成果统计分析及试验研究等确定。预警预报方法可参照《煤炭工业露天矿边坡工程监测规范》（GB 51214）中的相关规定执行。

* + 1. 堆体边坡、坝体竖向位移监测应符合下列要求：

**1** 竖向位移监测点可参照表面水平位移监测点布设，总监测点数量不宜少于3个；当坝体出现失稳征兆时，应在失稳区域增设监测点。

**2** 竖向位移预警值宜参照本规范9.2.1条相关规定，当竖向位移变形量或变形速率出现异常变化；应向运行单位发出警报。

* + 1. 堆体水位监测应符合下列规定

**1** 库水位在线安全监测可采用雷达液位计、超声波液位计、水位尺结合视频等仪器设备。

**2** 堆体警戒水位应根据本标准4.3.1条确定。

* 1. **填埋场污染监测**
     1. 渗滤液监测

**1** 监测方法

采样点的设置与采样方法，按《污水监测技术规范》（HJ 91.1）的规定执行。渗滤液及其处理后排放废水污染物的监测频次，应根据废物特性、覆盖层和降水等条件加以确定，宜不少于每月1次。

**2** 分析方法

废水污染物的监测分析方法按照《污水综合排放标准》（GB 8978）的规定执行。

* + 1. 地下水监测

**1** 监测方法

堆场附近地下水的监测井布置和采样方法应按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599）的相关规定执行。

**2** 分析方法

地下水的监测频次和分析方法按照《地下水质量标准》（GB/T 14848）的相关规定执行。

* + 1. 地表水监测

**1** 监测方法

堆体附近地表水监测点位布设、监测频次应按照《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T 91）执行。

**2** 分析方法

分析方法参照《地表水环境质量标准》（GB 3838）的相关标准执行。

* + 1. 土壤污染监测

**1**  监测方法

堆体附近土壤的监测点布设应按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599）的相关规定执行。堆体附近土壤监测点的监测频次宜每3年1次，采样深度根据堆体的可能污染范围适度调整。

**2** 分析方法

土壤监测的分析方法按照《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）的相关规定执行。周边土壤污染物含量应不超过《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600）或《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》（GB 15618）中规定的筛选值。

### 大气监测

**1**  监测方法

采用静态箱直接测量或浓度分布间接测量。采样点布设、采样及监测方法按《大气污染物综合排放标准》（GB 16297）的规定执行，主要监测范围为堆场下风方向。运行期间，监测频次宜每季度1次。

**2** 分析方法

总悬浮颗粒物（TSP）浓度的测定方法按照《 环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》（GB/T 15432）执行。

### 新污染物监测

新污染物如全氟和多氟烷基物质（PFAS）的样品采集应按照《污水监测技术规范》（HJ 91.1-2019）中相关要求采集渗滤液样品。采集大气环境样品时可采用主动式或被动式空气采样器，并搭配对应污染物的吸收材料。吸附气态污染物时可采用聚氨酯泡沫（PUF）或聚苯乙烯-二乙烯基苯共聚树脂（XAD），吸附颗粒态污染物时可采用玻璃纤维膜（GFF）和石英纤维膜（QFF）。

渗滤液样品和经过萃取、浓缩和净化后的大气环境样品宜采用液相色谱-质谱联用仪（LC-MS/MS）对PFAS进行定性和定量分析。

* 1. **填埋场安全管理**
     1. 填埋场运行管理

**1** 应根据填埋工艺制定填埋场运行管理手册、各岗位职责和各种规章制度，规范填埋场管理。

**2** 应规范填埋作用流程，采取分区、分单元、分层作业；应根据堆填固废总量及种类、填埋作业区场地条件、填埋机械设备条件等因素制定分区、分类填埋方案和年、月填埋作业计划。

**3** 应对原位固化/稳定化修复场地开展长期维护，通过采取场地保护和隔离措施、限制场地使用要求等手段，保证固化/稳定化产物的长期服役性能。

* + 1. 防控设施维护检测

**1** 应对工业固废填埋场堆体、坝体及库区周边山坡等进行巡查和监测工作，巡查宜包括：坝坡坡面的沉陷、裂缝等异常变形；排洪设施、监测设施及其他安全设施的运行状况；影响堆体安全的山体滑坡、泥石流等其他情况。

**2** 监测设施的日常检查工作应按尾矿库安全监测系统工程技术报告书的要求进行，对于受损的监测设施应进行修复。工业固废堆场除险加固或改扩建中需保留的监测设施，应采取保护措施。

**附录A 堆填场初步调查表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1.堆填场基本情况** | | | | | | | | | |
| 1.1 堆填场名称： | | | | | | | | | |
| 1.2 堆填场场址： | | | | | | | | | |
| 1.3 堆填场分类： Ⅰ类场 Ⅱ类场 | | | | | | | | | |
| 1.4是否封场：已封场 未封场 | | | | | 1.5 使用年限： 年 | | | | |
| 1.6 初始堆填时间： 年 月 | | | | | 1.7堆填规模（t/d）: | | | | |
| 1.8堆体总方量（万m3）： | | | | | 1.9 堆场占地面积（m2）: | | | | |
| 1.10 堆场平均埋深（地面下，m）: | | | | | 1.11 堆场占地面积（地面上，m）: | | | | |
| **2 堆填场建设概况** | | | | | | | | | |
| 2.1渗滤液导排 | | 导排措施：有/无 | | | 2.2 渗滤液处理 | | 处理措施：有/无 | | |
| 导排方式：竖井/盲沟 | | | 处理方式：  调节池/渗滤液处理站 | | |
| 导排量（m3/d）： | | | 处理量（m3/d）： | | |
| 2.3 水平防渗 | | 防渗措施：有/无 | | | 2.4垂直防渗 | | 防渗措施：有/无 | | |
| 防渗方式：粘土/土工膜 | | | 防渗方式： | | |
| 2.5 地表水导排措施：  有/无 效果：好/较好/失效 | | | | | 2.6 挡渣坝：  土石坝 浆砌块石坝 混凝土坝 其他 | | | | |
| 2.7 堆填场类型：  平原型/山谷型/坡地型/海域围垦型 | | | | | 2.8主要堆填种类：  危险废物 第Ⅰ类一般工业固体废物  第Ⅱ类一般工业固体废物 | | | | |
| **3 堆填场周边环境情况** | | | | | | | | | |
| 3.1 周围敏感点 | A.地表水体（1河 2湖 3水库 4污水沟 5其他） | | B 居民区 | C.自然保护区 | | D.耕作区 | | E.养殖区 | F.水源地 |
| 3.2与敏感点的距离 |  | |  |  | |  | |  |  |
| **4 其他需提供资料**  场地及周边前期水文地质勘察资料、堆填场废渣来源资料、堆填场运营记录资料、堆填场地形测绘资料、堆填场工程设计与建设资料、填埋堆体稳定安全监测资料、堆填场及周边环境监测资料、区域气象资料、区域自然社会资料、区域规划资料等 | | | | | | | | | |

**附录B 堆填场污染问题清单**

| 序号 | 勘查内容 | 勘查子项 | 子项内容 | 勘查情况 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 环境状况 | 大气环境 | 堆体表面气体异味明显 | 是（）否（）不确定（） |
| 水体环境 | 废渣渗滤液或废水外溢 | 是（）否（）不确定（） |
| 岩土环境 | 岩土体明显浸染 | 是（）否（）不确定（） |
| 2 | 运行效果 | 渗滤液 | 检测指标不符合GB 8978 | 是（）否（）不确定（） |
| 地表水 | 检测指标不符合GB 3838 | 是（）否（）不确定（） |
| 地下水 | 检测指标不符合GB/T14848 | 是（）否（）不确定（） |
| 表层土壤/周边土壤 | 检测指标不符合GB 36600 | 是（）否（）不确定（） |
| 大气污染物 | 检测指标不符合GB 16297 | 是（）否（）不确定（） |
| 3 | 污染防控设施建设 | 地下水导排系统 | 无地下水导排设施 | 是（）否（）不确定（） |
| 有地下水导排设施，不能满足标准要求 | 是（）否（）不确定（） |
| 防渗系统 | 堆填库区无防渗设施 | 是（）否（）不确定（） |
| 有防渗系统但不完整，主防渗层设计不能 | 是（）否（）不确定（） |
| 有防渗系统设施，防渗层主材破损明显 | 是（）否（）不确定（） |
| 无渗滤液收集与处理设施 | 是（）否（）不确定（） |
| 无渗滤液产量、渗滤液水位检测、污染物指标检测设施 | 是（）否（）不确定（） |
| 渗滤液导排不顺畅，堆体表面及坡脚有渗滤液渗出 | 是（）否（）不确定（） |
| 主要工艺环节水量、水质检测设施缺失 | 是（）否（）不确定（） |
| 调节池未封闭，封闭后无气体导排处理措 | 是（）否（）不确定（） |
| 渗滤液处理设施处理能力不匹配 | 是（）否（）不确定（） |
| 覆盖系统 | 无覆盖设施 | 是（）否（）不确定（） |
| 有覆盖设施,存在覆盖膜破损现象 | 是（）否（）不确定（） |
| 雨污分流系统 | 无雨污分流设施 | 是（）否（）不确定（） |
| 有雨污分流设施，存在雨污混流情况 | 是（）否（）不确定（） |
| 环境监测设施 | 地下水监测井缺失 | 是（）否（）不确定（） |
| 监测、化验用设备仪器缺失，或不能满足日常主要指标检测 | 是（）否（）不确定（） |
|  |  |  | 有无外排水，外排水是否达标 | 是（）否（）不确定（） |
|  |  |  | 有外排水时，是否安装了在线监测装置 | 是（）否（）不确定（） |
|  |  |  | 台账记录是否完整 | 是（）否（）不确定（） |
|  |  |  | 是否编制了完整的突发环境事件应急预案 | 是（）否（）不确定（） |
|  |  |  | 是否存在扬尘环境问题？ | 是（）否（）不确定（） |

**附录C 特征污染物清单**

**附表C-1 农用地分析检测项目**

| 序号 | 行业大类 | 特征污染物 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 07石油和天然气开采业 | 总石油经、多环芳经 |
| 2 | 08黑色金属矿采选业 | 钒、锰 |
| 3 | 09有色金属矿采选业 | 馆、锰、锑、钒、钻、钼 |
| 4 | 17纺织业 | 锑 |
| 5 | 19皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业 | - |
| 6 | 造纸和纸制品业 | - |
| 7 | 25石油加工、炼焦和核燃料加工业 | 总石油经、酚类化合物、多环芳经 |
| 8 | 26化学原料和化学制品制造业 | 氟化物、锑、钼、钻 |
| 9 | 27医药制造业 | - |
| 10 | 28化学纤维制造业 | 锑、多环芳经 |
| 11 | 31黑色金属冶炼和压延加工业 | 多环芳经，二噁英 |
| 12 | 32有色金属冶炼和压延加工业 | 铊、锰、锑、钒、钴、钼、多环芳烃，二噁英 |
| 13 | 33金属制品业 | 氟化物、锡 |
| 14 | 38电气机械和器材制造业(电池制造） | 钴、氟化物 |
| 15 | 59仓储业（涉及原油、成品油、危化品以及金属矿物仓储） | 总石油经 |
| 16 | 77生态保护和环境治理业(危废、医废处置） | 二嗯英 |
| 17 | 78公共设施管理业(生活垃圾处置） | 二嗯英 |

**附表C-2 企业用地特征污染物分类**

| 类别名称 | 污染物 |
| --- | --- |
| A1类-重金属8种 | 镉、铅、铬、铜、锌、镍、汞、砷 |
| A2类-重金属与元素8种 | 锰、钴、硒、钒、锑、铊、铍、钼 |
| A83类-无机物2种 | 氰化物、氟化物 |
| B1类-挥发性有机物16种 | 二氯乙烯、二氯甲烷、二氯乙烷、氯仿、三氯乙烷、四氯化碳、二氯丙烷、三氯乙烯、三氯乙烷、四氯乙烯、四氯乙烷、二溴氯甲烷、溴仿、三氯丙烷、六氯丁二烯、六氯乙烷 |
| B2类-挥发性有机物9种 | 苯、甲苯、氯苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯、三甲苯、二氯苯、三氯苯 |
| B3类-半挥发性有机物1种 | 硝基苯 |
| B4类-半挥发性有机物4种 | 苯酚、硝基酚、二甲基酚、二氯酚 |
| C1类-多环芳烃类15种 | 苊烯、苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并[a]蒽、屈、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-c,d]芘、二苯并[a,h]蒽、苯并[g,h,i]苝 |
| C2类-农药和持久性有机物 | 滴滴涕、六六六、氯丹、灭蚁灵、六氯苯、七氯、三氯杀螨醇 |
| C3类-石油经 | C10-C10总量 |
| C4类-多氯联苯12种 | 2,3,3',4,4',5,5'-七氯联苯(PCB189)、2,3',4,4',5,5'-六氯联苯(PCB167)、2,3,3',4,4',5'-六氯联苯(PCB157)、2,3,3',4,4',5-六氯联苯(PCB156)、3,3',4,4',5,5'-六氯联苯(PCB169)、2',3,4,4',5-五氯联苯(PCB123)、2,3',4,4',5-五氯联苯(PCB118)、2,3,3',4,4'-五氯联苯(PCB105)、2,3,4,4',5-五氯联苯(PCB114)、3,3’,4,4',5-五氯联苯(PCB126)、3,3',4,4'-四氯联苯(PCB77)、3,4,4',5-四氯联苯(PCB81) |
| C5类-二噁英类 | 二噁英类（具有毒性当量组分) |
| D1类-土壤pHl | 土壤pH |

**附表C-3 企业用地分析检测项目**

| 大类 | 中类 | 分析测试污染物类别 |
| --- | --- | --- |
| 07石油和天然气开采业 | 071石油开采 | Al类-重金属8种、B2类-挥发性有机物9种、C1类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃 |
| 08黑色金属矿采选业 | 081铁矿采选 | Al类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、D1类-土壤pH |
| 082锰矿、铬矿采选 |
| 089其他黑色金属矿采选 |
| 9有色金属矿采选业 | 091常用有色金属矿采选 | Al类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、D1类-土壤pH |
| 092贵金属矿采选 |
| 093稀有稀土金属矿采选 |
| 17纺织业 | 17l棉纺织及印染精加工 | A1类-重金属8种、B1类-挥发性有机物16种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物1种、C5类-二噁英类 |
| 172毛纺织及染整精加工 |
| 173麻纺织及染整精加工 |
| 174丝绢纺织及印染精加工 |
| 175化纤织造及印染精加工 |
| 176针织或钩针编织物及其制品制造 |
| 19皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业 | 191皮革鞣制加工 | Al类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、D4类-土壤pH |
| 193毛皮鞣制及制品 |
| 22造纸和纸制品业 | 221纸浆制造 | A1类-重金属8种、Bl类-挥发性有机物16种、C5类-二噁英类 |
| 25石油加工、炼焦和核燃料加工业 | 25l精炼石油产品制造 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、B2类-挥发性有机物9种、B4类-半挥发性有机物4种、C1类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃 |
| 252炼焦 |
| 26化学原料和化学制品制造业 | 261基础化学原料制 造（无机、有机） | Al类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、C3-类石油烃（无机化学原料制造) |
| A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、B1类-挥发性有机物16种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物1种、B4类-半挥发性有机物4种.C1类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃(有机化学原料制造) |
| 263农药制造 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、B1类-挥发性有机物16种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物1种、B4类-半挥发性有机物4种、C1类-多环芳烃类15种、C2类-农药和持久性有机物、C3类-石油烃 |
| 264涂料、油墨、颜料及类似产品制造 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、B1类-挥发性有机物16种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物Ⅰ种、B4类-半挥发性有机物4种.C1类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃、C4类-多氯联苯12种 |
| 265合成材料制造 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、B1类-挥发性有机物16种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物1种、B4类-半挥发性有机物4种、Cl类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃 |
| 266专用化学品制造 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、B1类-挥发性有机物16种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物1种、B4类-半挥发性有机物4种.C1类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃、C4类-多氯联苯12种 |
| 267炸药、火工及焰火产品制造 | A1类-重金属8种、A3类-无机物2种、B1类-挥发性有机物16种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物1种、B4类-半挥发性有机物4种、Cl类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃 |
| 27医药制造业 | 271化学药品原料药制造 | A1类-重金属8种、A3类-无机物2种、B1类-挥发性有机物16种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物1种、B4类-半挥发性有机物4种、C1类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃 |
| 28化学纤维制造业 | 281纤维素纤维原料及纤维制造 | A1类-重金属8种、B1类-挥发性有机物16种、C5类-二噁英类、D1类-土壤pH |
| 282合成纤维制造 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、B1类-挥发性有机物16种、C1类-多环芳烃类15种 |
| 31黑色金属冶炼和压延加工业 | 311炼铁 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、C1类-多环芳烃类15种、C3类-石油烃、C5类-二噁英类、D1类-土壤pH |
| 312炼钢 |
| 315铁合金冶炼 |
| 32有色金属冶炼和压延加工业 | 321常用有色金属冶 炼 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、C1类-多环芳烃类15种、C3类-石油经、C5类-二噁英类、D1类-土壤pH |
| 322贵金属冶炼 |
| 323稀有稀土金属冶 炼 |
| 33金属制品业 | 336金属表面处理及 热处理加工 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、D1类-土壤pH |
| 38电气机械和器材制造业 | 384电池制造 | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、A3类-无机物2种、D1类-土壤pH |
| 59仓储业 | 599其他仓储业 | A1类-重金属8种、B2类-挥发性有机物9种、B3类-半挥发性有机物1种、B4类-半挥发性有机物4种、C3类-石油烃 |
| 77生态保护和环境治理业 | 772环境治理业(危废、医废处置) | A1类-重金属8种、A2类-重金属与元素8种、C5类-二噁英类 |
| 78公共设施管理业 | 782环境卫生管理(生活垃圾处置) |

**附录D 常见工业堆填场地浸出污染物对混合土料回填料渗透系数影响等级表**

|  |  |
| --- | --- |
| 污染物 | 渗透性影响等级 |
| 钙或镁 （1000 ppm） | 低 |
| 钙或镁（10 000 ppm） | 中 |
| 铅（500 mM） | 中/高 |
| 锌（50 mM） | 高 |
| 铜（50 mM） | 高 |
| 铁（300 mM） | 高 |
| 铬（20 mM） | 低 |
| NH4NO3（10 000 ppm） | 中 |
| 酸 （pH>1） | 低 |
| 酸 （pH<1） | 中/高\* |
| 碱 （pH<11） | 低/中 |
| 强碱 （pH>11） | 中/高\* |
| HCl (1%) | 低 |
| HCl (5%) | 中/高\* |
| H2SO4 (1%) | 低 |
| NaOH (1%) | 中 |
| NaOH (5%) | 中/高\* |
| Ca(OH)2 (1%) | 中 |
| 酸性废水（H2SO4, pH=3） | 低 |
| 卤水 （电导率=1.2） | 中 |
| 低=无显著影响，渗透系数增加2倍或更少；  中=中等影响，渗透系数增加2-5倍；  高=渗透系数增加5-10倍；  \*=可能产生明显溶解现象 | |

**附录E 垂直阻隔墙厚度计算方法**

垂直阻隔墙厚度，可按下式确定：

（E1）

 （E2）

 （E3）

式中： *d*b——防污垂直阻隔墙的厚度（m）；

*η*b——考虑填埋场渗沥液污染土壤和地下水的风险等级的安全系数，根据表6.1（“填埋场渗沥液污染地下水与土壤的风险等级”）中的高、中、低风险等级分别取1.2、1.1和1.0；

——系数，按式（E2）计算；

*P*Lb——垂直阻隔墙的Peclet数，按式（E3）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（m2/s）；

——垂直阻隔墙的设计服役寿命，取值不小于填埋场要求的污染防控时间，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）；

*Rb*——垂直阻隔墙的墙体材料对污染物的阻滞因子；

——垂直阻隔墙靠近填埋体一侧的地下水中污染物的浓度（mg/L）；

——垂直阻隔墙远离填埋体一侧的地下水中污染物的出流浓度标准，宜按现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848相应类别限值的规定取值（mg/L）；

*k*b——垂直阻隔墙的墙体材料的渗透系数（m/s）；

——垂直阻隔墙的两侧水头差（m）；靠近填埋体一侧的地下水水头低于远离填埋体一侧的地下水水头时宜取0；

*e*b——垂直阻隔墙的墙体材料的孔隙比。

**附录F 垂直阻隔污染物击穿判别方法**

设计垂直阻隔墙厚度时，宜进行污染物击穿判别验算。当验算满足击穿判别标准时，阻隔墙厚度可用于施工；当验算不满足击穿判别标准时，宜合理增加墙体厚度，并重复验算。

对合理范围内厚度尚未能通过击穿判别验算的，宜进行地下水降水设计，减小墙体上下游两侧地下水位差。

污染物击穿判别可按下列公式计算：

（F1）

（F2）

（F3）

式中： *C*e——垂直阻隔墙下游段渗出液中的目标污染物浓度（mg/L）；

*C*KZ——目标污染物的风险控制值（mg/L）；

*C*0——渗入垂直阻隔屏障的目标污染物浓度（mg/L）；

*C*i——初始状态下垂直阻隔屏障孔隙液中目标污染物浓度（mg/L）；

*L*——垂直阻隔墙厚度（cm）；

——污染液在垂直阻隔墙孔隙中的实际流速（cm/s）；

*k*——垂直阻隔墙渗透系数（cm/s）；

*i*——垂直阻隔墙中的平均水力梯度；

*n*——垂直阻隔墙体材料孔隙率；

*D*h——目标污染物迁移通过垂直阻隔屏障的水动力弥散系数（cm2/s）；

*R*d——垂直阻隔墙的墙体材料对污染物的阻滞因子；

*t*——设计使用年限（s）。

击穿判别验算所需参数取值宜符合下列规定：阻隔性能参数，宜取目标污染物的阻隔性能参数实测值；缺乏实测数据时，可采用指示污染物的阻隔性能参数进行击穿判别验算，阻滞因子*R*d可取1.0；*C*i 可取场地勘察与污染状况调查阶段土试样的孔隙液中目标污染物浓度。

**附录G 土壤和地下水修复技术适用性分析**

| 技术分类 | 技术名称 | 适用的目标污染物 | 适用地块 | 适用目标 | 优点 | 缺点 | 参考标准/指南 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 原位修复  原位修复 | 监测自然衰减技术 | 易降解、浓度较低的挥发、半挥发有机物、石油烃 | 污染程度较低、渗透性高、污染物自然衰减能力较强的孔隙、裂隙和岩溶含水层 | 土壤、地下水 | 费用低，对环境影响小。 | 需长期监测。 | / |
| 固化稳定化技术 | 重金属 | 渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层 | 土壤、地下水 | 成本较低、效率高、环境风险较低。 | 稳定化产物可能会随水文化学条件的变化重新释放。 | 《污染土壤修复工程规范 固化/稳定化》（HJ 1282）  及第7章 |
| 空气注入技术 | 半挥发、可挥发有机物 | 渗透率高，粘土含量低，土壤分层少的潜水含水层，含水层饱和厚度较厚，地下水埋深较深 | 土壤、地下水 | 对修复地块干扰小，设备简单，施工方便；成本较低； | 可能导致地下水中污染扩散；气体可能会迁移和释放到地表，造成二次污染 | / |
| 生物通风技术 | 易生物降解的有机物 | 渗透性强不饱和土壤及含水层 | 土壤、地下水 | 绿色环保、操作灵活、安装简便；成本较低。 | 耗时长，对于高浓度污染物去除效率比较低 | / |
| 双/多相抽提技术 | 适用于石油烃和氯代烃等 | 渗透性高、地下水位变动相对较小 | 土壤、地下水 | 可处理易挥发、易流动的非水溶性液体，土壤破坏小、投资成本低、简单易操作、无二次污染。 | 效果受地块水文地质条件和污染物分布影响较大，需要对抽提出的气体和液体进行后续处理。 | / |
| 化学氧化/还原/中和技术 | 挥发性有机物、半挥发有机物、高价态重金属、pH | 适用于渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层 | 土壤、地下水 | 适用范围广，二次污染小，能与原位生物修复联合使用，修复效率高，时间消耗短。 | 可能产生二次污染，二次产物可能会降低土壤渗透性，其他物质也会消耗大量化学药剂，成本高 | / |
| 热脱附技术 | 挥发、半挥发有机物 | 渗透性强、土壤湿度较低 | 土壤 | 工艺简单、技术成熟、高效、灵活、二次污染少。 | 高能耗，高费用 | 《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附》（HJ1165） |
| 循环井技术 | VOCs、SVOCs、部分无机污染物、pH | 水力传导系数大于10-5cm/s，地下水流动性较小，含水层较深 | 地下水 | 设计简单，成本低。 | 含非水相液体的地块不可用。 | / |
| 渗透反应墙技术 | 氯代烃、六价铬等重金属、硝酸盐、 砷等 | 埋深浅，污染面积大的潜水含水层 | 地下水 | 成本低，扰动小、处理效果好、安装施工方便。 | 容量有限需定期更换填料，容易发生填料堵塞。 | 《地下水污染可渗透反应格栅技术指南》 |
| 异位修复 | 土壤开挖异位处理 | 多种污染物 | 适用于各种地块 | 土壤 | 地块修复彻底 | 成本高，作业面积大，容易产生二次污染 | 《污染土壤修复工程规范 固化/稳定化》（HJ 1282）  、《污染土壤修复工程技术规范 异位热脱附》（HJ 1164）、《污染土壤修复工程技术规范 生物堆》 （HJ 1283）等 |
| 抽出处理技术 | 高浓度的多种污染物 | 渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层 | 地下水为主，可协同土壤修复 | 施工方便，早期处理见效快，对土壤中溶解性较好的污染物效果较好。 | 不适用于渗透性较差的含水层，成本高。 | 《污染地下水抽出-处理技术指南（试行）》 |

**标准用词说明**

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”。

**引用标准名录**

本导则引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本导则；不注日期的，其最新版适用于本导则。

《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523

《恶臭污染物排放标准》GB 14554-93

《土壤环境质量-农用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 15618-2018

《大气污染物综合排放标准》GB 16297

《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599

《环境空气质量标准》GB 3095-2012

《土壤环境质量-建设用地土壤污染风险管控标准》GB 36600-2018

《地表水环境质量标准》GB 3838-2002

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001

《工程测量标准》GB 50026

《构筑物抗震设计规范》GB 50191

《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202-2018

《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300

《建筑边坡工程技术规范》GB 50330

《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843

《尾矿设施设计规范》GB 50863

《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》GB 51108

《煤炭工业露天矿边坡工程监测规范》GB 51214

《工程勘察通用规范》GB 55017

《污水综合排放标准》GB 8978-1996

《地下水质量标准》GB/T 14848-2017

《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》GB/T 15432

《土工合成材料聚乙烯土工膜》GB/T 17643

《水泥抗海水侵蚀方法》GB/T 38140

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082

《土工试验方法标准》GB/T 50123

《土工试验方法标准》GB/T 50123

《土工合成材料应用技术规范》GB/T 50290-2014

《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502

《尾矿堆积坝岩土工程技术规范》GB/T 50547

《水泥抗硫酸盐侵蚀试验方法》GB/T 749

《地基与基础工程施工及验收规范》GBJ 202

《垃圾填埋场用高密度聚乙烯土工膜》CJ/T 234

《绿化种植土壤》CJ/T 340

《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术规范》CJJ 113-2007

《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176-2012

《地质雷达探测测绘技术规程》DB22/T 2574

《中国地质调查局地质调查技术标准》DD 2019

《污染场地土壤和地下水调查与风险评价规范》DD2014-06

《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148

《深层搅拌法地基处理技术规范》DL/T 5425

《电阻率测深法技术规范》DZ/T 0072

《高压喷射注浆施工技术规范》HG/T 20691

《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715-2020

《固体废物 无机元素的测定 波长色散X射线荧光光谱法》HJ 1211

《地下水环境监测技术规范》HJ 164

《环境工程设计文件编制指南》HJ 2050

《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ 25.2

《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》HJ 25.5

《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6

《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》HJ 557

《固体废物 22种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》HJ 781

《土壤电导率的测定 电极法》HJ 802

《污水监测技术规范》HJ 91.1

《土壤 pH值的测定 电位法》HJ 962

《土壤环境监测技术规范》HJ/T 166

《环境空气质量手工监测技术规范》HJ/T 194

《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》HJ/T 299

《固体废物 浸出毒性浸出方法 醋酸缓冲法》HJ/T 300

《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91

《建筑基坑支护技术规程》JCJ 120-2012

《建筑基坑支护技术规范》JGJ 120

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

《建筑变形测量规范》JGJ 8

《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303

《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384

《公路土工试验规程》JTG 3430

《高密度电阻率测深法勘探技术规程》Q/SH 0759

《碾压土石坝设计规范》SL 274

《混凝土重力坝设计规范》SL 319

《水利水电工程注水试验规程》SL 345

《地下水污染阻隔技术指南》T/GIA 006-2021

《土地复垦质量控制标准》TD/T 1036

《注水试验规程》YS/T 5214

《Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter》ASTM D5084 《放射性测井辐射安全与防护技术规范》  
《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》

《环境监测管理办法》

《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》

**中国工程建设标准化协会标准**

工业固废堆填场地土壤与地下水原位管控与协同修复标准

T/CECS ×××-202×

# 条文说明

**制定说明**

《工业固废堆填场地土壤与地下水原位管控与协同修复标准》制定过程中，编制组进行了工业固废堆填场地治理的调查研究，总结了我国工业固废堆填场地勘察、管控与修复技术设计、施工与运行安全监测等的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验取得了对于不同污染类型的管控和修复技术选用方法。

为便于广大技术和管理人员在使用《工业固废堆填场地土壤与地下水原位管控与协同修复标准》时能正确理解和执行条款规定，编制组按章、节、条顺序编制了《工业固废堆填场地土壤与地下水原位管控与协同修复标准》的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

**目 次**

[1 总则及适用范围 71](#_Toc156479460)

[3 场地调查和风险评估 73](#_Toc156479461)

[3.1 一般规定 73](#_Toc156479462)

[3.2 工业固废场地基本情况调查 73](#_Toc156479463)

[3.3 地质条件勘察 73](#_Toc156479464)

[3.4 堆体污染情况调查 74](#_Toc156479465)

[3.5 堆填场周边环境调查 74](#_Toc156479466)

[3.6 报告编制及风险评估 75](#_Toc156479467)

[4 稳定及控制 76](#_Toc156479468)

[4.1 一般规定 76](#_Toc156479469)

[4.2 抗剪强度指标 76](#_Toc156479470)

[4.3 稳定状况评估 77](#_Toc156479471)

[5 工业固废堆填场地水平覆盖 79](#_Toc156479472)

[5.1 一般规定 79](#_Toc156479473)

[5.2 水平覆盖层设计 79](#_Toc156479474)

[5.4 效果评估与维护 81](#_Toc156479475)

[6 工业固废遗留堆填场地垂直阻隔 82](#_Toc156479476)

[6.2 垂直阻隔墙设计 82](#_Toc156479477)

[6.3 工程施工及质量控制 84](#_Toc156479478)

[7 场地原位固化/稳定化 85](#_Toc156479479)

[7.1 一般规定 85](#_Toc156479480)

[7.2 修复方案设计 85](#_Toc156479481)

[7.3 修复工程施工 86](#_Toc156479482)

[7.4 修复效果评估与维护 86](#_Toc156479483)

[8 污染土壤与地下水修复 87](#_Toc156479484)

[8.1 一般规定 87](#_Toc156479485)

[8.2 修复方案和设计 87](#_Toc156479486)

[8.3 污染修复工程施工 88](#_Toc156479487)

[8.4 污染修复工程运行监测及效果评估 88](#_Toc156479488)

[9 填埋场灾害监测及安全预警 90](#_Toc156479489)

[9.1 一般规定 90](#_Toc156479490)

[9.2 稳定监测及预警 90](#_Toc156479491)

[9.3 填埋场污染监测 91](#_Toc156479492)

**Contents**

[1 General provisions and scope of application 71](#_Toc156479460)

[3 Site survey and risk assessment 73](#_Toc156479461)

[3.1 General provision 73](#_Toc156479462)

[3.2 Basic situation survey of industrial solid waste site 73](#_Toc156479463)

[3.3 Industrial solid waste site survey 73](#_Toc156479464)

[3.4 Investigation of waste body contamination 74](#_Toc156479465)

[3.5 Investigation of environmental pollution around landfills 74](#_Toc156479466)

[3.6 Report preparation and risk assessment 75](#_Toc156479467)

[4 Stability and control 76](#_Toc156479468)

[4.1 General provision 76](#_Toc156479469)

[4.2 Shear strength index 76](#_Toc156479470)

[4.3 Stability assessment 77](#_Toc156479471)

[5 Horizontal covering of industrial solid waste landfill sites 79](#_Toc156479472)

[5.1 General provision 79](#_Toc156479473)

[5.2 Horizontal overlay design 79](#_Toc156479474)

[5.4 Effect evaluation and maintenance 81](#_Toc156479475)

[6 Vertical barrier of industrial solid waste landfill sites 82](#_Toc156479476)

[6.2 Vertical barrier wall design 82](#_Toc156479477)

[6.3 Engineering construction and quality control 84](#_Toc156479478)

[7 In-situ curing/stabilization 85](#_Toc156479479)

[7.1 General provision 85](#_Toc156479480)

[7.2 Remediation scheme design 85](#_Toc156479481)

[7.3 Remediation engineering construction 86](#_Toc156479482)

[7.4 Remediation effect evaluation and maintenance 86](#_Toc156479483)

[8 Contaminated soil and groundwater remediation 87](#_Toc156479484)

[8.1 General provision 87](#_Toc156479485)

[8.2 Remediation scheme design 87](#_Toc156479486)

[8.3 Remediation engineering construction 88](#_Toc156479487)

[8.4 Operation monitoring and effect evaluation of remediation engineering 88](#_Toc156479488)

[9 Disaster monitoring and safety warning of landfills 90](#_Toc156479489)

[9.1 General provision 90](#_Toc156479490)

[9.2 Stability monitoring and early warning 90](#_Toc156479491)

[9.3 Pollution monitoring of landfills 91](#_Toc156479492)

**1 总则及适用范围**

**1.0.1** 本条明确了本标准制定的目的。本标准以保障人民生命财产安全、人身健康、工程安全、生态环境安全、公众权益和公共利益等为基础，具有较强的可操作性和实用性。为了防止和减少工业固废堆填场发生失稳滑坡、污染泄露扩散等危害，需要对堆填场的地质进行详细勘察与评价。通过科学规范的方法，可以准确了解堆填场所处地层结构以及水文地质条件等关键信息，从而为后续的风险管控和治理工程提供可靠依据。在设计、施工、管理和运行过程中，必须严格遵循相关标准和规定。本标准旨在通过规范化的环境岩土手段来实现工业固废堆填场的安全稳定运行，并最大限度地减少对周边环境造成的污染影响。

**1.0.2** 在工业固废堆填场地治理过程中，需要对堆填场地的各个部分进行稳定验算。首先是对场底进行稳定验算，确保其能够承受住固废的重量和压力，并且不会发生下沉或破裂等问题。同时，在库区周边山坡也需要进行稳定验算，以防止山体滑坡或崩塌等灾害事件的发生。此外，还要对堆体边坡进行稳定验算，确保其能够承受住固废的自身重量和外界因素带来的影响，并且不会出现滑坡、塌方等情况。这样可以有效避免固废溢出或泄漏导致环境污染和安全事故。在封场覆盖系统方面也需要进行稳定验算，以确保覆盖层能够牢固地覆盖在堆体上，并且不会因为风雨侵蚀、温度变化等原因而失去作用。只有通过合理设计和稳定验证，才能保证封闭系统起到隔离、防渗透和减少气味传播等功能。 除了治理期间的稳定验算之外，在堆填场地运行期间和封场后也应该持续关注可能出现失稳隐患的边坡，并及时进行相应的稳定验算工作。这样可以及早发现并解决潜在问题，从而提高整个处理过程中环境安全性与可持续性。

**1.0.3** 工业固废堆填场地水平覆盖设计的综合考虑因素非常重要。首先需要充分了解场地的污染特征，包括固废种类、含量以及可能对环境造成的潜在危害，例如酸性工业固废堆填场（磷石膏、黄铁矿等）覆盖层不仅需要隔绝内部填埋气溢出，还需要隔绝大气中氧气入侵与工业固废产酸与有害气体致灾。同时还需考虑气候类型，因为不同气候条件下水平覆盖层所面临的挑战也会有所不同。理想工业固废堆填场覆盖层要实现防水、闭气、隔盐、抗不均匀沉降和生态复绿。

在进行垂直阻隔工程设计时，应该结合场地勘察和污染状况调查结果来确定最佳方案。通过关注土壤和地下水中目标污染物浓度、迁移特征等信息确定风险管控目标。此外，在选择材料和技术时，还需要考虑设计使用年限要求以确保长期稳定性。 为了实现合理选型、优化设计和严格施工过程控制，在整个项目运营过程中都需要进行监测与维护工作。通过定期监测场地周边环境质量指标如空气质量、土壤pH值等可以及早发现问题并采取相应措施加以解决。此外，在运营过程中也需要注意设备设施的正常运行情况，并做好日常维护工作。

**1.0.4** 我国工业固废种类多样，赋存形式复杂，导致场地污染情况各不相同，但遗留堆填场地普遍存在高盐、强酸/强碱及复合污染特征。针对不同工业固废堆填场地的不同污染类型、地质条件和污染特征等信息，选择合适的管控和修复技术是确保修复效果和时间经济成本的重要举措。本标准主要针对工业固废堆填场地提出了水平覆盖和垂直阻隔等原位管控技术以及固化/氧化稳定化、抽提等修复技术的设计和应用要求。在工业固废堆填场地的污染管控中，水平覆盖和垂直阻隔技术被广泛采用。通过铺设防渗薄膜或者植物覆盖层，有效降低了土壤与大气之间的交换通量，减少了有害物质向周边环境扩散的风险。垂直阻隔技术则主要通过设置带有排液系统的截留层来避免污染物进入地下水体系。固化/氧化稳定化技术被广泛运用于处理含有重金属、有机物等高浓度污染物的土壤。该方法通过添加特定活性剂进行混合反应使得污染物转变为相对稳定且不易释放到环境中。抽提技术则是利用各种吸附材料将目标污染物从土壤或者地下水中富集起来，经过后续处理达到安全排放标准。单一治理手段难以实现对场地的有效治理，因此需要在明确各技术适用条件的基础上使他们能够协同工作，确保所选取的管控和修复技术能够将环境风险降至最低限度。

**1.0.5** 本标准制定了关于工业固废堆填场地勘察、管控与修复技术设计、施工与运行安全监测体系，可能存在地域性的特殊要求或不适应性，因此使用人员在制定方案时除符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**1.0.6** 由于标准的分工，本标准未能将所有类型工业固废污染场地全部包括。本标准适用范围主要包括一般工业固废、工业固废与生活垃圾混填情况，尾矿可参考。

1. **场地调查和风险评估**
   1. 一般规定

**3.1.1~3.1.3** 工业固废堆体场地调查一般根据实际情况分阶段进行。基本情况调查初步识别污染源对场地及周边受体的危害性；通过工程地质勘察查明水文地质与工程地质条件，并对堆体的稳定性进行调查；堆体污染情况调查是确定污染物种类和组分；堆填场周边环境污染调查是查明周边地下水、地表水、土壤、大气污染情况以及进一步向周边污染的风险。

* 1. 工业固废场地基本情况调查

**3.2.2** 本条规定了现场踏勘前需搜集的主要资料，可以用来初步建立场地污染概念模型。

**3.2.3** 现场踏勘的主要目的是，通过观察场地及周边自然环境条件、环境污染迹象，周边区域的天然物理场以及工业干扰背景情况(如地下管线)，核实所收集信息的准确性，获取与场地污染有关的新线索，初步确定场地调查的范围及污染物种类和组分。

**3.2.4** 本条对污染防控设施的调查内容作了具体规定。

* 1. 地质条件勘察

**3.3.1** 由于工业堆填场的废弃物的种类、地形条件、环境保护要求等各不相同，工程建设运行过程有较大差别，勘察范围应根据任务要求和工程具体情况确定。

**3.3.2** 勘探孔的深度应满足分析稳定、渗漏、污染情况的要求，如果有衬垫系统，勘探孔的深度不能过大，否则会破坏衬垫造成污染。

**3.3.3** 水文地质勘察的目的是查明堆填场区及周边地表水及地下水补、径、排及动态变化特征，应根据勘探孔、水井、物探等资料进行调查。

**3.3.4** 工程地质勘察查的目的是查明堆填场工程地质条件，识别堆填场周边地质灾害隐患点。

**3.3.5** 堆体稳定性评价要查明水位高度，力学参数以及场地地震效应。土体工程性质可通过土工试验方法确定，有些力学参数可通过现场监测反分析确定。

* 1. 堆体污染情况调查

**3.4.1** 为查明堆体不同深度的污染情况，需要采取不同深度的试样。取样间距根据实际需求确定。

**3.4.2** 查明堆渣为第I类一般工业固体废物或第II类一般工业固体废物，完成固体废物属性鉴别。

浸出检测指标根据堆填场具体情况确定，本条给出常规检测项目，具体项目应参照附录C特征污染物清单确定。

废弃物如尾矿、赤泥、灰渣等，其颗粒组成、物理性质、强度、变形、渗透和动力性质，可用土工试验方法测试。有些力学参数也可通过现场监测，用反分析确定。

**3.4.5** 填埋气体是受到多种因素的影响，不同堆场成分和比例会有比较大的不同，本条给出常规检测项目。

* 1. 堆填场周边环境调查

**3.5.1** 填埋场地水文地质分类以及调查范围借鉴自詹良通等（2022）通过对我国80座生活垃圾填埋场地水文地质条件以及填埋场地下水污染状况的统计分析获得。

考虑到堆填场地污水渗漏扩散是导致堆填场周边土壤污染的主要因素，也考虑到可操作性以及工程成本控制等方面，本标准建议堆填场周边土壤调查范围设置为与地表水、地下水环境调查总范围一致，判别土水污染的相关性。

由于堆填场的大气污染物属于无组织排放，因此应在源头、周围的环境敏感区域以及污染物容易聚集的区域布置。污染源下风方向应为主要大气监测范围。

**3.5.2** 本条提出地表水常规测定项目，检测因子应根据堆填场具体情况确定。

**3.5.3** 地下水污染状况调查目的是查明地下水中污染物的组分、浓度变化，存在形式以及地下水污染羽分布特征。建议地下水污染检测因子选取与地表水相同，这样也便于判断地表水与地下水污染的相关性。

**3.5.4** 土壤检测指标应根据土地用途、堆填废物的种类，土壤、地表水以及地下水三者污染空间分布特征等确定。

* 1. 报告编制及风险评估

**3.6.1** 应在充分整理与分析资料的基础上编制报告，报告应全面、准确反映工业固废堆填场地调查及风险评估全部工作内容。

1. **稳定及控制**
   1. 一般规定

**4.1.1** 工业固废堆场安全等级是设计、施工中根据不同的场地条件及工程特点加以区别对待的重要标准，从高到低分三级，一级最高，三级最低。由于工业固废堆场用以堆存工业固废，坝高与库容是逐年增加的，重要性和危险性亦随之加大，因此，在各不同运行期的等别有所不同。本条规定按不同运行期的全库容和坝高分期确定工业堆场等级，可使设计更经济、合理。工业固废堆场建设也出现向高坝、大库发展的趋势，目前设计的最高堆场坝高已达325 m，最大库容达8.3亿m3。对于经论证可以储存工业固废的露天废弃采坑及凹地，当周边未建堆积坝时，所储存的工业固废不会溢出原地面，故不定等别；建堆积坝时，一旦发生溃坝，只有原地面以上工业固废可能溢出地面，故根据坝高及其对应的库容确定库的等别。

**4.1.2** 三种运用条件主要按可能出现的频度高低划分。一种运用条件往往包含多种工况，但由于工业固废堆体边坡工程的复杂性，条文中难以将不同运用条件下的所有工况全部列出，条文中指明的仅是部分典型的工况，而非所有工况。

**1** 正常运用条件。在划分正常运用条件时，考虑工业固废堆体边坡工程的特点，明确了正常运用条件包括堆场填埋过程以及封场后，逐步壅高的渗沥液水位应属于正常运用条件。

**2** 非常运用条件І。大量工业固废堆体边坡失稳与渗沥液水位相关。在我国南方，在正常运用条件下渗沥液水位经常处于较高水平，一旦发生强降雨和其他原因易引起渗沥液水位显著上升，但该工况持续时间较短，发生频度较低，故将此工况划为非常运用条件І。

**3** 非常运用条件Ⅱ。非常运用条件Ⅱ主要根据现行行业标准《碾压式土石坝设计规范》SL 274和《水利水电工程边坡设计规范》SL.386的规定，确定正常运用条件遭遇地震作为非常运用条件Ⅱ，与非常运用条件І相区别。

* 1. 抗剪强度指标

**4.2.1** 在工程实践中，工业固废抗剪强度指标的确定方法很多，主要有现场试验（现场直剪试验、SPT、CPT等现场试验方法均可建立与抗剪强度指标的相关关系)、室内直剪试验、室内三轴试验、工程类比或反演分析等。一般来说，现场试验方法取得的工业固废抗剪强度指标较为可靠，但是有的现场试验（如现场直剪试验)费用高、周期长、难度较大；室内试验相对简单易行，费用较低，室内试验应选取有代表性的试样。

**4.2.2** 初期坝和堆积坝的坝体材料由施工方式和堆填材料的不同而差异较大，在室内试验时含水量及密度宜与原状样保持一致；浸润线以下应预先饱和，试验应力应与坝体实际应力一致。

**4.2.3** 许多土工材料界面的抗剪强度具有应变软化特征，因此根据现场剪切位移可能发生的大小，分别规定了峰值抗剪强度指标及残余抗剪强度指标。参考《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》（CJJ 176-2012），复合衬垫系统一般包含多个土工材料界面，每个土工材料界面均具有不同的峰值抗剪强度指标及残余抗剪强度指标，选择峰值抗剪强度指标还是残余抗剪强度指标将显著影响堆场沿土工材料界面的稳定计算结果。Filz等（2001）和林伟岸（2009）通过数值分析研究堆场库底和边坡上土工材料界面随填埋高度不断增加而发生应变软化的可能性，分析结果表明即使在填埋高度不大的情况下，位于库区边坡（坡度大于10°）上的土工材料界面应力易越过峰值强度，处于大变形或残余强度的状态，而库底近水平段（坡度小于10°）土工材料界面大部分还未超过峰值强度。因此，在应用极限平衡理论进行填埋场稳定分析时，可以假定库底土工材料界面处于峰值强度状态而边坡上土工材料界面处于大变形或残余强度的状态来选择界面强度参数。

* 1. 稳定状况评估

**4.3.1** 摩根斯坦-普赖斯法可计算沿堆体内部的圆弧形滑动或非圆弧滑动以及部分或全部沿土工材料界面的折线滑动，因此规定采用该方法进行验算。随堆体水位上升，安全系数的降低十分显著。获得的警戒水位并不相同。因此，以第4.1.3条规定的非正常条件Ⅰ对应的稳定安全系数为标准可确定各填埋阶段的警戒水位，要求设计时必须给出各填埋阶段的警戒水位，并作为堆场运行时堆体主水位监测稳定安全的预警值。

拟合法即根据浸润线的基本特性事先假定位置绘制的一条浸润线来计算警戒液位的方法。其上端始于库内水边线，中段大致平行于坝体的下游坡面，下端交于初期坝的上游坡面，进行坝体抗滑稳定试算。如安全系数不够，再将浸润线向下平移，直到满足安全要求为止。

**4.3.3** 封场覆盖应进行滑动稳定性分析，确保封场覆盖层的安全稳定。滑动稳定性分析宜采用无限边坡分析方法。在进行覆盖稳定性分析时，要求考虑其最不利条件下的稳定性。封场覆盖稳定性安全系数（稳定系数）在1.25～1.5为宜。

1. **工业固废堆填场地水平覆盖**
   1. 一般规定

**5.1.1** 对于工业固废堆填场地水平覆盖设计，需要综合考虑多个因素，根据实际情况设计出安全、环保和经济的覆盖结构，因此需要兼顾考虑：

**1** 场地勘察和污染气体测试结果，如固废的组分、性质、分布等信息，以及产生的渗滤液和污染气体种类、浓度和扩散情况。

**2** 气候类型：如降雨量、蒸发量、温度变化情况等。

**3** 风险管控目标：风险管控是重要考虑因素，例如针对重要区域安全系数应适当提升。

**4** 设计使用年限要求：如覆盖材料应具有足够的抗渗性和抗老化性能，以确保在设计使用年限内有效地隔离固废。

**5** 施工条件：如场地现状、地形地貌、交通条件等，确保方案实施的可行性，例如高陡边坡不适宜采用含土工膜的覆盖结构。

**5.1.2** 水平覆盖层的基本功能是防渗和闭气，主要表现为减少雨水渗入工业固废堆体产生有害渗滤液，同时阻止固废产生的有害气体及臭气排放至空气污染大气，对于酸性工业固废，覆盖可减少氧气入侵至固废堆体产生酸性渗滤液污染土壤和地下水。

**5.1.4** 在封场覆盖系统施工完成后，应进行质量检测以确保其符合设计要求，并在服役期间进行定期检测渗滤液和填埋气以评估其效果。这些检测结果可以用于评估封场覆盖系统的性能，及时发现潜在的问题，并采取必要的修复和改进措施，确保堆填场的安全性。

**5.1.5** 现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599-2020中的有关规定：覆盖系统进行生态复绿有助于修复堆填场覆盖区域的生态环境，促进生态系统的恢复和稳定，并为场地周边创造美观、健康和可持续的环境。

* 1. 水平覆盖层设计

**5.2.1** 气候干湿指数（*P/PET*）是一个用于衡量土地干湿程度的指标，它是通过将降水量与潜在蒸发量进行比较来计算的，用来判别指定地区属于湿润气候区或非湿润气候区。根据北美防渗标准（USEPA 1993）：气候干湿指数*P/PET*<0.5时，年最大允许渗漏量为10 mm，气候干湿指数*P/PET>0.5*时，年最大允许渗漏量为30 mm，本条也采用同样的控制要求。酸性工业固废的覆盖层需要限制氧气的入侵，以减少氧气与固废的氧化反应和产酸作用，根据学者Aubertin的大量研究，认为覆盖层氧通量应等于或小于约50 g/m2/y。

**5.2.2、5.2.3、5.2.4** 根据现行国家标准《生活垃圾卫生填埋场封场技术规范》GB 51220-2017和行业标准《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176-2012中的提到的结构，毛细阻滞覆盖结构是一种具有良好的防渗效果的土质覆盖结构，在美国、德国等国家广泛应用于干旱半干旱地区；在更恶劣的条件下，通常结合土工膜、压实黏土、GCL等低渗透性材料发挥防渗闭气功能。

覆盖结构及厚度不仅要满足现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599-2020中的有关规定，还应根据当地气候条件（如极端降雨量）、服役功能（如防渗或闭气）来综合确定。根据浙江大学和华中科技大学的研究成果，针对我国非湿润气候区的气象特点，本条文建议采用的细粒土层厚度介于40 cm ~ 150 cm，粗粒土层厚度应介于20 cm~30 cm。工程应用时应保证粗粒土层粒径明显大于细粒土层，粗粒土层还同时兼作导排及隔盐作用，为防止细颗粒材料进入粗颗粒导致毛细阻滞效应失效，需要在细粒层和粗粒层之间增加一层土工布。针对我国湿润气候区以及需要兼顾闭气功能的非湿润气候区堆填场覆盖，本条文建议在上述结构基础上，增加低渗透性层，可采用压实黏土和土工合成材料等低渗透性材料。

**5.2.7** 土-膨润土混合料作为防渗层时，由于膨润土的膨胀性，混合材料的渗透系数较低，但混合材料的厚度与渗透系数需求因具体的应用、环境条件有所不同。

**5.2.8** 堆填场封场后进行生态复绿，不仅具有明显的生态环境效益，同时保护覆盖层不受风蚀、雨蚀与动物生活的影响。优先选择适应性较强的植物，如草皮和灌木。这些植物能够通过蒸腾作用促进水分循环，增加土壤湿度，帮助控制水分蒸发。同时，植物的根系应该能够深入细粒土层内，以提供更好的抓固土壤、防止侵蚀和稳固土体的功能。在具体的工程项目中，植被层的设计和选择应根据当地的环境条件、土壤特性和工程要求来确定。此外，合理的植被管理和维护对于确保植被层的功能和稳定性也十分重要。因此，在设计和管理过程中，建议参考相关的环境保护法规、工程规范和植被管理技术，以确保植被层的有效性和可持续性。

* 1. 效果评估与维护

**5.4.4** 本条规定了工业固废堆填场封场后的覆盖系统效果评估与维护。封场后进行长期监测目的是保障覆盖层在设计年限内能满足防渗或闭气的功能需求，避免出现覆盖系统因服役条件的动态变化造成的失效劣化污染生态环境。依据美国EPA出台的规范《(Draft) Technical Guidance For RCRACERCLA Final Covers》EPA 540-R-04-007 2004，覆盖系统服役性能监测内容包括：含水率、基质吸力、渗漏量、气体排放量、温度等，基于我国的填埋场封场覆盖现状，提出了渗漏量和气体排放量两个重要指标的监测。同时根据行业标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6-2019中第11.2.3条对长期环境监测规定如下：“长期监测宜1~2年开展一次，可根据实际情况进行调整”。本条所规定的监测频次参考此进行规定，长期监测宜1~2年开展一次。

1. **工业固废遗留堆填场地垂直阻隔**

**6.2** 垂直阻隔墙设计

**6.2.1** 由于场地规划许可等特定的限制，许多垂直阻隔工程面临无法围封污染范围的情况。对于不采用闭合形式布置的阻隔工程，应根据场地地下水渗流场等水文地质条件，查明地下水污染羽迁移途径，确保非闭合形式布置下切断污染物的迁移途径。对场地局部重点防渗区，特别是存在高浓度、具有毒理性的污染源时，可额外地对其设计闭合形式布置的垂直阻隔墙，实现垂直阻隔工程达到风险管控目标，参考《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715-2020中第5.2.2-5.2.3条规定。

**6.2.2** 规定了垂直阻隔墙的深度设计。设计中，应优先考虑达到污染深度以下的隔水层，即采用落底式垂直阻隔墙。落底式垂直阻隔墙进入隔水层的深度规定，参考现行行业标准《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176-2012中8.6.2的规定。低密度非水相液体比重小于1.0的污染物垂直向下迁移的深度通常至包气带及毛细上升区，并滞留于地下水位面，仅微量污染物转化为溶解相；此时，考虑垂直阻隔工程经济性，可采用悬挂式垂直阻隔墙。美国环保署（EPA 542-R-98-005）报道了34个垂直阻隔工程，阻隔墙进入隔水层深度主要设计为0.61 m~1.52 m。本条参考《生活垃圾卫生填埋岩土工程技术标准》第6.3.4条、《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715-2020第5.2.5条规定。

**6.2.3** 规定了垂直阻隔墙的厚度设计，参考了现行行业标准《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176-2012中第8.6.1条规定。阻隔墙厚度是阻隔墙使用年限的重要设计参数之一，设计时需要兼顾有效性、经济性及施工可行性。通常，可通过阻隔墙材料选用，提升阻隔性能，确保合理阻隔墙厚度条件下使用年限。美国环保署（EPA542-R-98-005）报道的34个垂直阻隔墙厚度主要设计为0.7 m~1.0 m，并指出阻隔墙完整性较阻隔墙宽度对使用年限的影响相对更大。本标准中通过击穿判别验算判别阻隔墙设计厚度是否能够满足设计使用年限内阻隔墙下游段出液中的目标污染物浓度小于风险控制值的风险管控目标。

**6.2.4** 垂直阻隔墙体材料及选型

**6.2.4.1** 规定了土-膨润土垂直阻隔墙应满足的选材指标。膨润土颗粒粒径直接影响膨润土泥浆的分散性以及防渗性能。污染物作用下膨润土的膨胀指数与液限是表征污染物作用下防渗性能的重要物理性质指标。膨胀指数/液限越高，则渗透系数相对越低。垂直阻隔墙墙体材料满足渗透系数要求是材料配合比设计的关键。当膨润土针对场地地下水的防渗性能未达到设计要求时，可通过添外加剂提升膨胀及防渗性能。综合现行国家标准《钻井液材料规范》GB/T 5005-2010及浙江大学、东南大学、华中科技大学科研成果，外加剂可选择交联接枝两性聚丙烯酸钠、六偏磷酸钠、甲基纤维素钠、聚阴离子纤维素等。

**6.2.4.2** 水泥系、混凝土等屏障材料的渗透系数随龄期增长而降低。本规范对采用保准养护28d龄期条件下渗透系数进行规定；其中养护条件要求依据现行国家标准《混凝物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081-2019中第5.2条规定。对塑性混凝土竖向阻隔屏障渗透系数的规定参考了现行行业标准《现浇塑性混凝土防渗芯施工技术规程》JGJ/T 291-2012中4.3.3：其规定用于建筑工程性混凝防芯墙的塑性混凝的渗透系数应为10-6 cm/s~10-8 cm/s。对水泥及其外加的选用进行了原则性规定。现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008中第4章对防水混凝、水泥砂浆防水层的材料提出明确规定，可作为水泥系垂直阻隔墙材料选用的依据。常用外加剂的选用可按照现行国家标准《混凝外加剂》GB 8076-2008《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596-2017《用于水泥中的火山灰质混合材料》GB/T 2847-2005《用于水泥和混凝中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046-2017等的规定执行。

**6.2.4.3** 对土工膜复合防渗墙中土工膜的品质进行了规定。现行国家标准《土工合成材料应用技术规范》GB/T 50290-2014中5.2.8规定“土工膜厚度不宜小于0.5 mm。重要或要求严格的工程(如废料场)土工膜应予加厚”。现行行业标准《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术规范》CJJ 113-2007、《钠基膨润土防水毯》JG/T 193-2006中4.2.1规定高密度聚乙烯工膜厚度不应小于1.5 mm。考虑到工业堆填场地存在高浓度、高毒理性污染物的潜在风险，建议土工膜厚度宜不小于2.0 mm。现行国家标准《土工合成材料聚乙烯土工膜》GB/T 17643-2011指出，高密度聚烯土工膜按表面粗程度可分为光面、单糙面、双糙面；考虑到土工膜与两侧回填墙体材料相互作用、施工工艺等因素，土工膜复合垂直阻隔墙中使用光面高密度聚乙烯土工膜。

**6.3** 工程施工及质量控制

**6.3.1** 垂直阻隔墙施工方法

**6.3.1.1** 规定了采用开挖-回填法施工原位-膨润土、原位-水泥-膨润土、水泥-膨润土垂直阻隔墙的施工工艺流程。施工方法参考了《工业污染场地竖向阻隔技术规范》HG/T 20715-2020条文说明表4。

**6.3.2** 泥浆沟槽的稳定性

开挖同时采用膨润土浆液注入开挖槽体，使得槽壁上形成一层薄而光滑的膨润土层（膨润土泥膜），以阻隔成槽期间地下水的渗入，并通过膨润土浆液所形成侧向压力以保持开挖槽体的稳定，防止侧壁发生坍塌。

膨润土与水搅拌，经24 h - 48 h才能形成性能稳定的膨润土泥浆。因此，沟槽内制备膨润土泥浆易引起槽壁坍塌，且不利于膨润土泥浆搅拌作业。

**6.3.3** 施工质量控制和质量保证

**1-5**  对开挖-回填法的施工工序质量控制标准进行了规定，垂直度在垂直阻隔墙交接处尤其重要，良好的垂直度不仅能保证搭接处的闭合效果，同时使得施工有效厚度得到保证。泥浆液面高度控制是保障槽壁稳定的重要施工工艺。

**7** 土工搭接表观的施工质量标准参考了现行国家标准《土工合成材料应用技术规范》GB/T 50290-2014中第5.2.11节规定搭接宽度的施工质量标准参考了现行行业标准《生活圾卫生填场防渗系统工程技术规范》CJJ 113-2007中第3.7.2节规定。

1. **场地原位固化/稳定化**
   1. **一般规定**

**7.1.1** 固化/稳定化技术介绍

固化/稳定化修复技术是通过添加修复药剂，将土壤中的有毒有害物质固定起来，或者将污染物转化成化学性质不活泼的形态，阻止其在环境中迁移和扩散过程，从而降低其危害。固化和稳定化技术在工作原理和作用特点上各有不同，但在实践中经常搭配使用，是两个密切关联的过程。

**7.1.2** 原地原位固化/稳定化适用于深层及大面积污染土壤的治理与修复，其通过利用开凿或钻孔机械将粘合剂与受污染土壤原地直接混合。操作环节相对异位修复要少，对环境造成二次污染的风险也较小，并可显著降低污染土壤的消治理与修复成本，但局限性在于难以有效治理粘度较大的土壤，容易受到地下障碍物(如碎石瓦砾等)和地层结构变化的影响。常因搅拌不均匀而降低修复效果，施工单元间对接不充分会形成污染土壤“夹层”。修复后土壤体积增容改变地面形状，操作过程对地面承载力和地块面积有一定的要求等。

**7.1.4** 对于固化/稳定化土壤，也有许多内部因素和外部环境因素可能对其性能产生影响。内部因素包括固化/稳定化土壤的物理与化学因素，也包括放置固化/稳定化土壤的地下环境中特有的一些因素；影响固化/稳定化土壤性能的外部因素主要为一些外部环境因素。

* 1. **修复方案设计**

**7.2.3** 污染土壤原地异位固化/稳定化修复专用拌合设备有ALLU筛分斗、混匀一体机等，现场中试所需污染土壤方量因采用的拌合设备类型而不同。根据本规范编制单位的施工经验，挖掘机挖斗拌合时，污染土壤方量不应低于10倍挖掘机铲斗容量；专用装备拌合时，污染土壤方量不应低于专用拌合装备的30分钟处理方量。

**7.2.4** 原地异位固化/稳定化土壤的重金属浸出浓度与土壤的拌合含水率密切相关，重金属浸出浓度最低的拌合含水率约为污染土壤最佳含水率。因此，本规范规定实验室小试时应根据目标污染物浸出浓度与修复目标值的关系确定拌合含水率的范围。

* 1. **修复工程施工**

**7.3.1** 按照小试获取的修复药剂类型，中试获取的修复药剂掺量、施工步骤、工艺参数、修复药剂与污染土壤的拌合含水率，以及修复工程实施方案的要求完成施工。

**7.3.5** 原地固化/稳定化土壤表层设置覆盖层的主要目的为避免短时间内固化/稳定化土壤与周围受体的直接接触。

* 1. **修复效果评估与维护**

**7.4.10** 工后环境监测时长常为5年，在有充分的证据表明不再需要开展长期监测时，可停止长期监测，《污染场地修复技术指南-固化稳定化技术（试行）征求意见稿》可供参考。

1. **污染土壤与地下水修复**
   1. **一般规定**

**8.1.1** 鉴于固废堆填场地的污染源特性、污染物的多样性和复杂性，以及填埋场地的不同水文地质条件等因素，因此针对固废堆填场地，应采取污染物扩散管控与土壤和地下水修复协同的方式，以系统性、最优化的方式、最小的投入达到最大限度的控制污染物迁移以及修复周边被污染的土壤和地下水。管控措施包括本标准前述章节所涉及的堆体渗滤液抽提技术、水平覆盖技术、垂直阻隔技术、固化稳定化技术等。

**8.1.2** 针对周边土壤和地下水同时存在污染时，需要针对不同污染物、不同水文地质条件等因素选择修复技术，同时考虑到土壤与地下水之间有密切的物质和能量转移，对被污染的土壤和地下水进行共同修复和治理，宜采用土壤和地下水协同修复技术，以达到科学性和系统性地实现周边被污染土壤-地下水一体化的修复，并提高修复效率、降低修复成本，确保这些介质中的污染物不再对人体和环境产生负面影响。

**8.1.3** 明确土壤和地下水修复时除关注土壤和地下水中目标污染物达标外，应关注修复产生新的污染物。

**8.1.4** 明确土壤和地下水修复的工作程序。

* 1. **修复方案和设计**

**8.2.1、8.2.2** 明确了土壤和地下水修复目标污染物、修复目标值及修复范围的确定方式。

**8.2.3** 提出土壤和地下水修复技术适用性分析表，对常用技术的适用污染物、适用地块及优缺点进行了应用情景分析，据此结合场地污染特征、水文地质条件及修复模式等对适用的修复技术进行初步筛选。

**8.2.4** 针对土壤和地下水重叠污染区的协同修复，提出投加适合的增溶剂以同时解决土壤和地下水污染的问题。

**8.2.5、8.2.6** 明确基于初步筛选技术的关键环节和关键参数，开展实验室小试、现场中试，综合考虑处理效果、成本、工期以及可能产生的二次污染等因素确定工艺参数。

**8.2.7、8.2.8** 规定了修复方案的制定思路，应基于至少对两个修复备选方案的综合评估结果制定最终的技术方案，指标应涉及技术可达性、修复时间、修复成本以及效益、安全等。

**8.2.9** 根据专业和开展阶段划分了修复设计工作。不同规模、不同修复技术的工程设计的划分不同。小型项目可直接进行施工图设计，生物修复可能不需要辅助专业的设计。辅助专业设计应在工艺专业设计基础上进行，为修复工艺设计提供支撑。

**8.2.10、8.2.11** 明确初设和施工图设计的文件要求。

* 1. **污染修复工程施工**

**8.3.1** 工程施工准备应基于设计图纸，综合考虑现场给排水、交通用电及临时用地等情况进行施工现场准备以及人、材、机的准备。应特别关注地块的地下管线情况、周边建（构）筑物情况，并根据施工需要关注抽水及排水条件、用水、用电等问题。

**8.3.2** 由于前期不可能完全掌握场地特征、污染分布特征，土壤、地下水修复在施工过程中很可能由于各种变化需要设计变更，设计变更前应经建设单位及监理的同意，并保证工期、质量及成本等目标的全方位实现。

**8.3.3** 污染土壤和地下水地块的修复很可能涉及到开挖、钻井等施工，都有可能造成污染地下水的外排、污染土壤的临时堆放外运等，应重视二次污染防治。

**8.3.5** 工程施工完成后，即开始工程的运行管理。工程运行管理主要包括设备和材料的管理，各项记录应及时、准确、完整。

* 1. **污染修复工程运行监测及效果评估**

**8.4.1** 污染物达到修复目标效果评估的关键，工程运行需进行监测保证修复效果。工程运行监测范围及效果评估范围是一致的。

**8.4.2** 土壤和地下水采样点布设应参考HJ 25.2和HJ 25.6，并应在污染物浓度高的区域、修复范围边界区等位置加密采样点布设。

**8.4.3** 修复工程运行期间由于注入大量的化学或生物药剂，可能产生二次污染物，因此在施工运行过程及效果评估时除目标污染物外还应监测可能的二次污染物。

**8.4.4**  参考HJ 25.2和HJ 25.6，同时结合成本控制和反映处理效果来综合考虑，明确了工业固废堆体周边土壤和地下水修复工程的监测频次。

**8.4.6** 土壤和地下水中污染物可能因地下水或土壤中污染物的持续释放的影响产生波动，而且由于工业固废堆体长期存在，环境风险将一直存在，建议保留原位修复工程。

1. **填埋场灾害监测及安全预警**
   1. **一般规定**

**9.1.1** 工业固废堆体主液位是影响堆体整体稳定的关键因素，故将其设为所有安全等级堆场的必测项目。

表面水平位移反映工业固废堆场表面位移状况，深层水平位移监测可以体现堆体沿深度方向上不同点的水平位移状况，可确定堆体沿深度方向最大水平位移值点及其位置；两者结合可掌握填埋场平面和空间的位移及边坡稳定状况，鉴别潜在失稳模式及滑动面位置。鉴于深层水平位移监测的工作量较大，需埋设测斜管，表面水平位移监测相对简便易行。堆体的变形监测点在堆填过程中可能难以保留，各阶段的监测方案视具体工程情况而定，而初期坝和堆积坝平台相对稳定，适合布点。因此，将坝体表面水平位移监测设为一级和二级工业固废堆场边坡的应测项目，坝体深层水平位移可在水位超过警戒水位，填埋场存在滑移失稳风险时采用。

监测项目的监测频次是建议值，监测频次不是一成不变的，应该根据降雨和填埋场的安全稳定状况适当地进行调整。

* 1. **稳定监测及预警**

**9.2.1、9.2.2、9.2.3** 表面水平位移监测方法及监测点参照了现行行业标准《水利水电工程边坡设计规范》SL 386。

工业固废堆场的堆填材料各异，其测斜管埋设一定深度时，在尾矿等固废堆场中可能是稳定的，而在赤泥等固废堆场中可能存在长期蠕变，底部并非不动点。因此建议在前期监测时对测斜管的顶部位移进行校核，以保证监测数据的准确性。

监测预警的各项限值对各堆场是不同的，但其破坏征兆往往具有共性，位移变形速率的突变往往作为失稳的预警判别。有相似工程时宜采用工程类比法预先设定一个预警限值。

* 1. **填埋场污染监测**

**9.3.1、9.3.2、9.3.3、9.3.4、9.3.5** 工业固废堆场的污染监测应视堆填材料而定，总体包括渗滤液、地下水、地表水、周边土壤和大气污染监测。各项监测内容均已列出供参考的现行规范。同时污染监测要与本规范的场地水平覆盖、场地垂直阻隔、场地原位固化/稳定化三大章节相对应的质量控制效果评估方法相适应，具体监测布点方法和监测频次宜互相兼容。

**9.3.6** 目前，国内外广泛关注的新污染物主要包括国际公约管控的持久性有机污染物、内分泌干扰物、抗生素等。根据2022年5月发布的《新污染物治理行动方案》，应对工业固废堆场可能存在的新污染物进行监测和管控。例如已知的PFAS物质有几千种，尤其以PFOS 和 PFOA为主，同时这两种也是《重点管控新污染物清单（2023年版）》首要列出的两种污染物。已有文献指出PFAS的毒性效应使得其评价方法以风险评估为主，而且由于 PFOA 曾导致严重的环境污染事故，风险评估又以人群健康风险评估为主。目前有多个国家和地区制定了主要 PFAS 物质在饮用水中的健康标准值和日耐受摄入量（TDI）指导值，以加强对 PFAS 排放的监管。但整体上PFAS的生态风险评价标准值的研究和制定相对滞后。