

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

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
3 场地调查和风险评估.....	73
3.1 一般规定.....	73
3.2 工业固废场地基本情况调查.....	73
3.3 地质条件勘察.....	73
3.4 堆体污染情况调查.....	74
3.5 堆填场周边环境调查.....	74
3.6 报告编制及风险评估.....	75
4 稳定及控制.....	76
4.1 一般规定.....	76
4.2 抗剪强度指标.....	76
4.3 稳定状况评估.....	77
5 工业固废堆填场地水平覆盖.....	79
5.1 一般规定.....	79
5.2 水平覆盖层设计.....	79
5.4 效果评估与维护.....	81
6 工业固废遗留堆填场地垂直阻隔.....	82
6.2 垂直阻隔墙设计.....	82
6.3 工程施工及质量控制.....	84
7 场地原位固化/稳定化	85
7.1 一般规定.....	85
7.2 修复方案设计.....	85
7.3 修复工程施工.....	86
7.4 修复效果评估与维护.....	86
8 污染土壤与地下水修复.....	87
8.1 一般规定.....	87
8.2 修复方案和设计.....	87
8.3 污染修复工程施工.....	88
8.4 污染修复工程运行监测及效果评估.....	88
9 填埋场灾害监测及安全预警.....	90
9.1 一般规定.....	90
9.2 稳定监测及预警.....	90
9.3 填埋场污染监测.....	91

Contents

1 General provisions and scope of application	71
3 Site survey and risk assessment	73
3.1 General provision.....	73
3.2 Basic situation survey of industrial solid waste site	73
3.3 Industrial solid waste site survey	73
3.4 Investigation of waste body contamination	74
3.5 Investigation of environmental pollution around landfills.....	74
3.6 Report preparation and risk assessment	75
4 Stability and control	76
4.1 General provision.....	76
4.2 Shear strength index.....	76
4.3 Stability assessment	77
5 Horizontal covering of industrial solid waste landfill sites	79
5.1 General provision.....	79
5.2 Horizontal overlay design	79
5.4 Effect evaluation and maintenance	81
6 Vertical barrier of industrial solid waste landfill sites	82
6.2 Vertical barrier wall design.....	82
6.3 Engineering construction and quality control	84
7 In-situ curing/stabilization	85
7.1 General provision.....	85
7.2 Remediation scheme design.....	85
7.3 Remediation engineering construction	86
7.4 Remediation effect evaluation and maintenance	86
8 Contaminated soil and groundwater remediation	87
8.1 General provision.....	87
8.2 Remediation scheme design.....	87
8.3 Remediation engineering construction	88
8.4 Operation monitoring and effect evaluation of remediation engineering.....	88
9 Disaster monitoring and safety warning of landfills.....	90
9.1 General provision.....	90
9.2 Stability monitoring and early warning	90
9.3 Pollution monitoring of landfills.....	91

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。

3 场地调查和风险评估

3.1 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。

3.2 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。

3.3 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。

3.4 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。

3.5 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。

3.6 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。

4 稳定及控制

4.1 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 I。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 I。

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 I 相区别。

4.2 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。

4.3 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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/32703015410006106>