

# 水平防渗与垂直防渗组合结构设计及施工方法

陈金陵<sup>1</sup> 龚永林<sup>2</sup> 李宁<sup>3</sup>

1. 南京市六合区水务局, 中国·江苏 南京 211500
2. 技术江博建设有限公司, 中国·江苏 南京 211500
3. 江苏淮源工程建设监理有限公司, 中国·江苏 淮安 223003

**摘要:** 该设计属于防渗工程施工技术领域, 具体涉及一种具有水平防渗、垂直防渗组合结构的施工方法, 可广泛用于污染场地生态修复、固体废物原位处理、废水渗漏收集、河道水质保护等领域, 对需要同时进行水平防渗和垂直防渗要求的固体废物堆存场所更为适用。

**关键词:** 水平防渗; 垂直防渗; 结构设计; 施工方法

## Design and Construction Methods of Horizontal and Vertical Anti-seepage Combined Structures

Jinling Chen<sup>1</sup> Yonglin Gong<sup>2</sup> Ning Li<sup>3</sup>

1. Nanjing Liuhe District Water Bureau, Nanjing, Jiangsu, 211500, China
2. Technology Jiangbo Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211500, China
3. Jiangsu Huaiyuan Engineering Construction Supervision Co., Ltd., Huan'an, Jiangsu, 223003, China

**Abstract:** This design belongs to the field of anti-seepage engineering construction technology, specifically involving a construction method with a combination of horizontal and vertical anti-seepage structures. It can be widely used in the fields of ecological restoration of polluted sites, in-situ treatment of solid waste, collection of wastewater leakage, and protection of river water quality. It is more suitable for solid waste storage sites that require both horizontal and vertical anti-seepage requirements.

**Keywords:** horizontal anti-seepage; vertical anti-seepage; structural design; construction methods

### 1 背景技术

由于历史原因, 许多企业在生产过程中产生大量固体废物, 如钢厂的钢渣、铜冶炼废渣、矿山开采产生的剥离废石(土)等, 大量固体废物长期堆存形成了选冶渣场、排土场等固废堆存场所, 雨水进入这些固废堆场, 将会产生有害废水, 然后这些有害废水进入地下水中, 或渗漏出来, 就会严重影响当地水系安全, 破坏土质、影响植物生长、破坏了当地的环境质量。

目前, 处置这些固废的主要方法有: 异地填埋、就地堆存、就地固化处理, 采取的防渗方法有水平防渗、垂直防渗。

异地填埋对于只有少量的固废, 在环保、安全可靠的情况下比较可行; 由于历史原因, 对于大量已存在固废, 就地管控也是切实可行办法。

水平防渗就是在固体废物堆场表面的水平方向建立防渗层, 防止雨水或外界新水进入下面的固废堆层, 避免固废污染产生新的废水污染地下水。

垂直防渗就是在固废堆场四周或地下水流的下游一定深度范围内建立竖向屏障(防渗墙), 阻止被污染水流向其他水域扩散、迁移而污染周边水域。

目前, 对固废产生废水的垂直防渗、水平防渗处理,

都是分别进行治理, 这种分别采取垂直防渗、水平防渗措施的施工方法, 施工周期长、施工复杂、费用大。如何使水平防渗与垂直防渗相互结合, 共同构建水平防渗与垂直防渗组合结构体系, 对于节省黏土资源、减少土方使用量、简化施工工序、提高防渗效果具有重要意义。

### 2 技术方案

针对现有技术存在的防渗效果差、施工周期长、施工工序复杂、成本高的问题, 而提供一种能够节省黏土资源、减少土方使用量、施工简便、施工成本低、防渗效果好的水平防渗与垂直防渗组合结构的施工方法。

水平防渗与垂直防渗组合结构的施工方法采用以下技术方案实施:

水平防渗与垂直防渗组合结构的施工方法采用的组合防渗结构包括垂直防渗墙、复合防渗工程结构、水平防渗系统、过滤排水系统; 复合防渗工程结构是由垂直防渗内墙及位其上部向固废堆场/污染场地一侧扩展的内墙覆盖板、垂直防渗外墙及其上部向外扩展的外墙覆盖板构成; 垂直防渗墙位于垂直防渗内墙、垂直防渗外墙之间位置的下部, 在垂直防渗内墙和垂直防渗外墙之间的底部设有垂直防渗结合层, 垂直防渗内墙、垂直防渗外墙、垂直防渗结合层构成的凹形空间为水平防渗雨水收集外排空间; 水平防渗系统位

于垂直防渗内墙靠近固废堆场 / 污染场地一侧的原有基层之上, 水平防渗系统自下而上是由基础层、防渗材料保护层、水平防渗层、生态基层、生态层组合构成; 在垂直防渗内墙内间隔设有排水孔, 在排水孔的进口处顺序设有反滤层、过滤层, 排水孔的出口排向水平防渗雨水收集外排空间, 反滤层、过滤层、排水孔、水平防渗雨水收集外排空间共同构成过滤排水系统, 根据区域环境整治及雨水收集和排放计算确定水平防渗雨水收集外排空间的空间大小; 其施工方法如下:

①在需要进行水平防渗与垂直防渗的固废堆场 / 污染场地的外缘, 明确垂直防渗线路, 并按照设计标高和坡度要求进行固废堆场 / 污染场地之原有基层的场地平整。

②按照垂直防渗线路位置, 施工复合防渗工程结构; 的复合防渗工程结构采用钢筋混凝土结构, 通过支模、绑钢筋后浇筑混凝土形成; 排水孔与垂直防渗内墙同步施工。

③待复合防渗工程结构稳定验收后, 施工垂直防渗墙, 垂直防渗墙采用素混凝土或三轴水泥搅拌桩或高压旋喷桩; 垂直防渗墙的深度需达渗透系数小于  $1 \times 10^{-7}$  的防渗土层, 且进入渗透系数小于  $1 \times 10^{-7}$  的防渗土层厚度不小于 1000mm。

④基础层、防渗材料保护层的施工: 基础层采用杂填土, 分层压实, 压实厚度不小于 0.95; 防渗材料保护层采用素土, 整平压实, 素土中不得含有有机质、碎石块、草木屑等杂质。

⑤施工反滤层, 反滤层采用圆形反滤层包, 内含级配碎石, 外包土工布。

⑥施工过滤层, 过滤层采用粗砂并围绕圆形反滤层包布设; 粗砂为粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 85%。

⑦铺设水平防渗层, 水平防渗层采用高密度聚乙烯 HDPE 土工防渗膜, 上加土工布保护层。

⑧施工生态基层, 生态基层采用种植土, 种植土上栽种植物形成生态层, 植物品种根据区域生态环境保护及绿化的要求确定。

⑨施工垂直防渗结合层, 垂直防渗结合层采用素混凝土。

进一步地, 在垂直防渗内墙、垂直防渗外墙之上还设有水平盖板, 的水平盖板采用混凝土盖板, 水平盖板上带篦孔。

结合防渗效果和施工成本, 经过试验研究结果和对比, 的垂直防渗内墙、垂直防渗外墙的厚度 B1 在 150~200mm; 垂直防渗墙的厚度 B2 在 600~800mm, 垂直防渗墙的厚度需满足渗透系数小于  $1 \times 10^{-7}$ , 并保证深度满足设计要求; 内墙覆盖板、外墙覆盖板的厚度 H3 一般在 150~200mm, 垂直防渗内墙、垂直防渗外墙的高度 H4 在 1300~1800mm。

进一步地, 的基础层的厚度为 400~600mm, 分层压实的每层厚度不大于 200mm; 的防渗材料保护层的厚度为 150~250mm。

进一步地, 的圆形反滤层包的直径在 360~450mm, 圆形反滤层包的上下高度还需满足分别位于排水孔进口下不小于 80mm、排水孔进口上不小于 80mm; 的过滤层的厚度为 420~560mm; 的生态基层的厚度为 420~560mm。

进一步地, 的水平防渗层为 1.5mm 厚度的高密度聚乙烯 HDPE 土工防渗膜。

### 3 附图说明

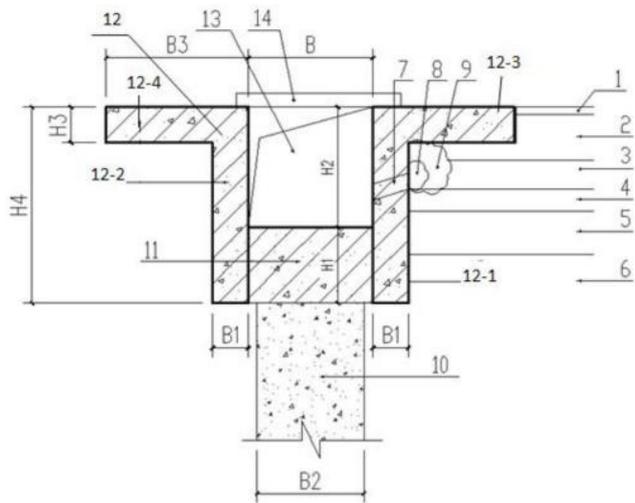


图 1 水平防渗与垂直防渗组合结构的施工方法设计的组合防渗结构剖面图

- 1—生态层; 2—生态基层; 3—水平防渗层; 4—防渗材料保护层;
- 5—基础层; 6—原有基层 (即: 固废堆场 / 污染场地表层);
- 7—排水孔; 8—反滤层; 9—过滤层; 10—垂直防渗墙;
- 11—垂直防渗结合层; 12—复合防渗工程结构; 12-1—垂直防渗内墙;
- 12-2—垂直防渗外墙; 12-3—内墙覆盖板; 12-4—外墙覆盖板;
- 13—水平防渗雨水收集外排空间; 14—水平盖板。

### 4 具体实施方式

由图 1 所示水平防渗与垂直防渗组合结构的施工方法设计的组合防渗结构剖面图看出, 水平防渗与垂直防渗组合结构的施工方法, 采用的组合防渗结构包括垂直防渗墙 10、复合防渗工程结构 12、水平防渗系统、过滤排水系统、水平盖板 14; 的复合防渗工程结构 12 是由垂直防渗内墙 12-1 及位其上部向固废堆场 / 污染场地一侧扩展的内墙覆盖板 12-3、垂直防渗外墙 12-2 及位其上部向外扩展的外墙覆盖板 12-4 构成; 的垂直防渗墙 10 位于垂直防渗内墙 12-1、垂直防渗外墙 12-2 之间位置的下部, 在垂直防渗内墙 12-1 和垂直防渗外墙 12-2 之间的底部设有垂直防渗结合层 11, 垂直防渗内墙 12-1、垂直防渗外墙 12-2、垂直防渗结合层 11 构成的凹形空间为水平防渗雨水收集外排空间 13; 水平盖板 14 采用混凝土盖板, 水平盖板 14 覆盖在垂直防渗内墙 12-1、垂直防渗外墙 12-2 之上; 的水平防渗系统位于垂直防渗内墙 12-1 靠近固废堆场 / 污染场地一侧的原有基层 6

之上,水平防渗系统自下而上是由基础层 5、防渗材料保护层 4、水平防渗层 3、生态基层 2、生态层 1 组合构成;在垂直防渗内墙 12-1 内间隔设有排水孔 7,在排水孔 7 的进口处顺序设有反滤层 8、过滤层 9,排水孔 7 的出口排向水平防渗雨水收集外排空间 13,反滤层 8、过滤层 9、排水孔 7、水平防渗雨水收集外排空间 13 共同构成过滤排水系统,根据区域环境整治及雨水收集和排放计算确定水平防渗雨水收集外排空间 13 的空间大小。

实施例中采用的组合防渗结构的技术参数为:

垂直防渗内墙 12-1、垂直防渗外墙 12-2 的厚度 B1 为 150~200mm,垂直防渗墙 11 的厚度 B2 为 600~800mm,内墙盖板 12-3、外墙盖板 12-4 的厚度 H3 为 150~200mm,垂直防渗内墙 12-1、垂直防渗外墙 12-2 的高度 H4 为 1300~1800mm;基础层 5 的厚度为 500mm,分层压实的每层厚度不大于 200mm;防渗材料保护层 4 的厚度为 200mm;圆形反滤层包的直径在 400mm;过滤层 9 的厚度为 500mm;生态基层 2 的厚度为 500mm;水平防渗层 3 为 1.5mm 厚度的高密度聚乙烯 HDPE 土工防渗膜;的圆形反滤层包的上下高度还需满足分别位于排水孔进口下 100mm、排水孔进口上 100mm。

其施工方法如下:

①在需要进行水平防渗与垂直防渗的固废堆场/污染场地的外缘,明确垂直防渗线路,并按照设计标高和坡度要求进行固废堆场/污染场地之原有基层 6 的场地平整。

②按照垂直防渗线路位置,施工复合防渗工程结构 12;的复合防渗工程结构 12 采用钢筋混凝土结构,通过支模、绑钢筋后浇筑混凝土形成;排水孔 7 与垂直防渗内墙 12-1 同步施工;复合防渗工程结构 12 采用钢筋混凝土结构,混凝土中钢筋直径 14mm、钢筋间距 200mm;排水孔 7 采用预埋  $\varnothing 100$  塑钢管,间距 2000mm,竖向位置按设计确定。

③待复合防渗工程结构 12 稳定验收后,施工垂直防渗墙 10,垂直防渗墙 10 采用 C15 素混凝土或三轴水泥搅拌桩或高压旋喷桩。

④基础层 5、防渗材料保护层 4 的施工:基础层 5 采用杂填土,分层压实;防渗材料保护层 4 采用素土,整平压实。

⑤施工反滤层 8,反滤层 8 采用圆形反滤层包,内含级配碎石,外包土工布。

⑥施工过滤层 9,过滤层 9 采用粗砂并围绕圆形反滤层包布设。

⑦铺设水平防渗层 3,水平防渗层 3 采用高密度聚乙烯 HDPE 土工防渗膜,上加土工布保护层。

⑧施工生态基层 2,生态基层 2 采用种植土,种植土上栽种植物形成生态层 1,植物品种根据区域生态环境保护及绿化的要求确定。

⑨施工垂直防渗结合层 11,垂直防渗结合层 11 采用素混凝土。

⑩完成水平盖板 14 的制作、安装。

试验验证表明,本设计和分别采用水平防渗、垂直防渗方法相比,可节省土建造价 30% 以上,同时可有效节省土地使用面积,进而节省土地资源。

适用不同形状固废堆体,如地上、凹坑、山洼,特别适合要求地面平整的情况。

## 5 有益效果

①采用垂直防渗墙、复合防渗工程结构、水平防渗系统、过滤排水系统构成的组合防渗结构,使之同时满足水平防渗、垂直防渗的工艺要求,实现了水平防渗与垂直防渗的完美结合。

②水平防渗系统自下而上是由基础层、防渗材料保护层、水平防渗层、生态基层、生态层组合构成,既能满足固废堆场/污染场地水平防渗的要求,又修复了固废堆场/污染场地的生态,实现了固废堆场/污染场地的绿化、美化。

③垂直防渗系统由位于底部的垂直防渗墙、位于上部的垂直防渗内墙和垂直防渗外墙双层结构以及垂直防渗结合层组合构成,垂直防渗效果好,施工方便。

④反滤层、过滤层、排水孔、水平防渗雨水收集外排空间共同构成过滤排水系统,排水顺畅,排水水质优。

⑤采取下沉式水平防渗,即:雨水经过生态层、生态基层渗透至水平防渗层,再经过水平防渗层向下沿过滤层、反滤层、排水孔流到水平防渗雨水收集外排空间排出;下沉式水平防渗与垂直防渗组合的结构,不仅节省黏土资源,减少土方使用量,而且施工简便、费用低、效果好的方法。

### 参考文献:

- [1] 徐丽丽.谈水利工程渠道防渗的意义及防渗技术措施[J].居舍,2019(32):2.
- [2] 孙胜.水利工程渠道防渗施工技术研究[J].农业科技与信息,2015(8):2.
- [3] 薛利,陈玉.渠道防渗及施工运行中应注意的问题[J].新疆农垦科技,2004(5):2.