

# GCL复合竖向阻隔屏障技术在尾矿库整治中的应用

王 磊<sup>1</sup> 薛富刚<sup>2</sup>

1. 天津中联格林科技发展有限公司 天津 300387

2. 青海云天化国际化肥有限公司 青海 西宁 650106

**摘要：**目前，竖向阻隔屏障技术在尾矿库整治中的应用具有广泛的前景和重要的意义，该技术可以阻隔尾矿库内的水流和固体物质，防止其对周围环境造成污染和危害。GCL复合竖向阻隔屏障技术是由钠基膨润土防水毯（简称GCL）与低渗透墙体材料组成的复合防渗结构，在受控区域边界处的地面以下，在一定深度范围内建设不透水结构，该结构底部深入到地下不透水层一定深度，以此截断尾矿库内积水渗流通道，同时又可以有效降低该区域地质灾害的发生。

**关键词：**GCL；竖向阻隔；低渗透反应墙；尾矿库

## 1 背景

青海某化工企业用于磷石膏堆放的尾矿库，库内水中的 $SO_4^{2-}$ 含量为185.26~264.15mg/L， $HCO_3^-$ 含量为158.61~196.34mg/L，水中的 $Cl^-$ 含量为151.49~194.12mg/L，PH值介于1.83~2.0之间，水质呈强酸性，并富含氮磷、总磷等物质。尾矿库下游设有回水池，池内水质同库区。经过多年运行及在周围环境变化的影响下，渣场库区及库区下游回水池的防渗结构存在老化现象，同时库底和池体也已发生地质形变。渣场所属单位通过对回水池下游区域进行水文、地质勘探后证实，库区下游拦截坝及回水池下游坝体存在渗漏情况，并已引起该区域

湿陷性黄土塌陷，危及回水池下游坝坝体安全，并存在环境污染的风险。

为彻底消除坝体渗漏对下游造成的环境污染风险和基础软化造成地质塌陷的安全风险，经对比研究，制定了在回水池下游沟谷处设置竖向阻隔屏障解决方案。

## 2 方案比选

竖向阻隔屏障是指在区域边界处的地面以下，建造的防渗漏（透）结构。就渣场下游的地质情况而言，该结构底部深入到地下不透水层一定深度，以此截断尾矿库内积水渗流通道。几种典型的垂直防渗技术的优缺点对比见表1。

表1 几种典型的竖向阻隔防渗技术的优缺点对比

垂直防渗技术类型	优点	缺点
水泥旋喷桩	①适用于大多数地层类型；②高压旋喷桩强度高、厚度大；③有效提高抗渗性能，渗透系数 $10^{-6}$ cm/s；④深度可达到45~60m。	①墙体垂直度控制要求高；②适用地层有限，强风化以上不适用；③容易污染环境；
帷幕灌浆	①地层适用范围较广，特别适用岩层；②技术成熟，可用于减少渗流量；③造价较低，投资较少	①不适用于重污染区；②需进行压水试验对效果进行检测。
水泥搅拌桩连续墙	①原位搅拌、无需开挖成槽；②施工方便、技术成熟；③造价适中；④有效提高抗渗性能，渗透系数 $10^{-6}$ cm/s；⑤可提高土体强度。	①桩垂直度、连续性控制要求高；②施工深度受限制，一般小于20m；③对于强风化以上岩层施工能力受限。
GCL竖向阻隔屏障技术	①工艺简单、价格适中；②GCL膨润土毯渗透低；③为环保行业技术，渗透系数小于 $1.0 \times 10^{-7}$ cm/s、连续性防渗，无渗漏点、有卓越的抗化学性能；	①幅与幅之间的无法有效粘结；②常规GCL耐酸碱性能差，需要有针对性选择改性GCL或覆膜型GCL”。

结合现场水文地质条件、受污染范围和治理目标，经过对比各种阻隔技术的适用地层、阻隔效果以及施工难易程度，最终选择的阻隔技术为：GCL竖向阻隔屏障技术。

## 3 方案设计

### 3.1 低渗透GCL复合垂直防渗墙布置

本工程采用 $4800g/m^2$ 的粉末型GCL作为GCL复合构件，GCL复合构件靠墙体外侧垂直铺设，内侧采用低渗透反应料进行回填浇筑。场地水文地质资料显示，中风化泥岩渗透系数为 $2.0 \times 10^{-6}$ cm/s— $7.0 \times 10^{-7}$ cm/s，GCL复合竖向阻隔屏障需进入中风化泥岩层3.0m，深度为13m~24m。

### 3.2 GCL复合竖向阻隔屏障设计参数

#### 3.2.1 墙体主体设计参数

##### (1) GCL复合竖向阻隔墙参数

垂直阻隔屏障的厚度一般为0.6m~1.2m,可采用下式计算:

$$L = F_s \times A \times H^B$$

$L$ ——垂直阻隔屏障的厚度, m;

$F_s$ ——安全系数, 无量纲, 考虑渗透稳定、机械侵蚀、化学溶蚀、施工因素等, 一般取1.5;

$H$ ——垂直阻隔屏障两侧水头差, m, 取值5;

$A$ 、 $B$ ——系数, 无量纲, 与阻滞作用、弥散作用相关, 按图1和图2选取合适的取值。

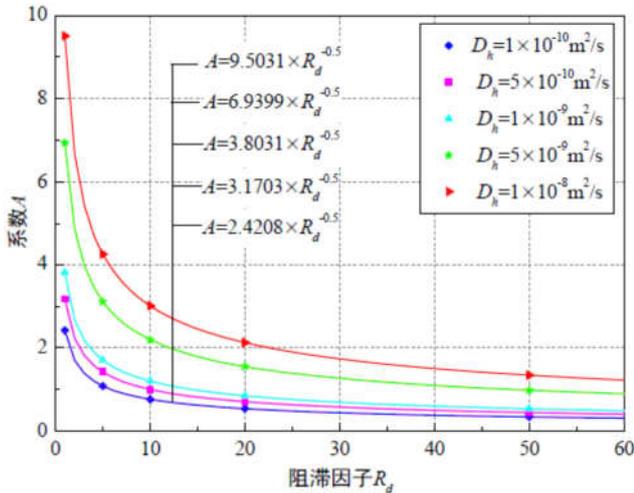


图1 系数A取值

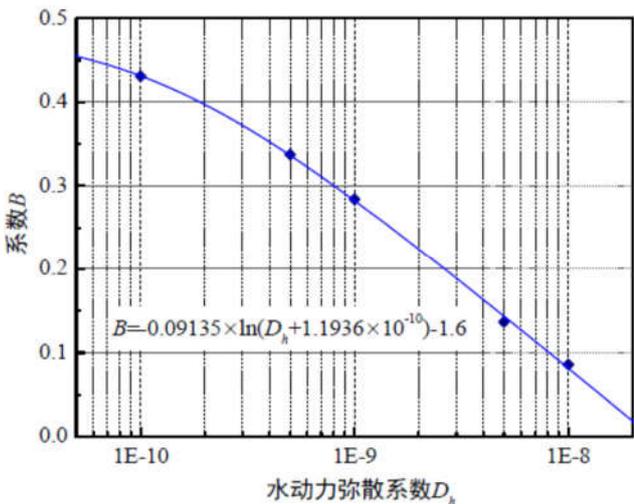


图2 数B的取值

注: (1) 水力弥散系数 $D_h$ 常用取值范围为 $1 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s} \sim 1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 。如阻隔屏障两侧水头差较大时取大值, 水头差较小时取小值; 如无经验数据, 应进行试验测

定; (2) 阻滞因子 $R_d$ , 无量纲, 参考国内外经验数据, 有机污染物宜取3~40, 由下式计算:

$$R_d = 1 + \frac{\rho_d K_p}{n}$$

式中:

$n$ ——阻隔材料孔隙率, 无量纲, 按膨润土取值为2.3;

$K_p$ ——阻隔材料分配系数,  $\text{cm}^3/\text{g}$ , 有机污染物可取 $0.5 \sim 5 \text{ cm}^3/\text{g}$ , 氨氮成份取值为1.5;

$\rho_d$ ——阻隔材料干密度 $\text{g}/\text{cm}^3$ , 取值为2.3。

结合上述计算, 阻隔墙的厚度为0.5m, 考虑到施工设备的成槽要求, 本次膨润土阻隔墙的厚度取0.6m, 满足《工业污染场地竖向阻隔技术规范》(HG/T 20715-2020)对防渗墙厚度的规定。

(1) 根据区域水文地质资料, 中风化泥岩渗透系数为 $1.728 \times 10^{-3} \text{ m/d}$  ( $2.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ )—— $6.05 \times 10^{-4} \text{ m/d}$  ( $7.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ), GCL竖向稳坝屏障渗透系数小于 $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ , 满足《工业污染场地竖向阻隔技术规范》(HG/T 20715-2020)对防渗墙的规定。

(2) GCL复合构件紧贴阻隔墙外侧槽壁设置, 深度与阻隔墙相同, 相邻两块采用搭接连接, 搭接宽度  $\geq 45 \text{ cm}$ 。GCL采用MC-GCL, 以提升GCL的化学兼容性和气候耐久性, 满足材料的长期服役要求。

(3) 根据现场勘探报告, 墙底进入基岩 3m, 两端全部至黄土层。

#### 3.2.2 材料参数

##### (1) GCL防水毯参数

GCL选择粉末型GCL, 以此提高低渗透墙体的防渗性能。GCL防水毯采用 $4800 \text{ g}/\text{m}^2$ , 幅宽  $\geq 6 \text{ m}$ , 每卷长度按槽深工厂定制完成。

##### (2) 低渗透回填料选择

根据本工程的防渗设计要求等级, 本工程GCL复合垂直防渗墙低渗透回填料采用钠基膨润土, 回填前膨润土填料中掺入硅酸盐水泥、骨料、高分子聚合物改性剂等外加剂, 掺入量以现场试验为准。

#### 4 施工工艺

1) 墙体定位: 按照设计文件定出控制点坐标, 导墙可作为平面定位轴线;

2) 导墙开挖及支护: 导墙形式采用“L”型, 深度1.5m;

3) 机械就位: 本工程选用液压抓斗进行成槽施工;

4) 泥浆配制: 参考《地下连续墙施工规程》(DG/TJ08-2073-2016)和《钢筋混凝土地下连续墙施工技术规

程》(DB29-103-2004)进行现场试配试作;

5)机械开槽:本工程按施工顺序将槽段划分为首开槽和二期槽,槽长度均为6m,首开槽和二期槽交替布置,按序施工。

6)成槽清孔:上部杂填土采用液压连续墙抓斗成槽,下部玄武岩采用双轮铣开挖成槽并将槽内的石渣和泥块等沉渣抓出,利用斗体提取粘稠物,下设潜水排污泵抽浆,并及时用新鲜泥浆补充,清孔深度及沉渣厚度须满足设计要求。

7)GCL复合构件铺设:①沟槽检测合格后,铺设已安装好的GCL符合构件机具吊放到合适位置。②接通电源,在GCL复合构件端部配重槽内放置配重块及放置量测钢丝标尺,启动电机,将GCL复合构件沿沟槽壁慢速下降,最后读取测量数据,确定最终下放深度。③施工过程中,两幅GCL构件的搭接宽度为 $\geq 45\text{cm}$ ,在搭接区域涂抹搭接膏体,搭接膏以膨润土和水按一定比例配置。④GCL复合构件下放完成后,在构件两端放置接头箱,安装导管,导管离槽底为500mm。

8)回填成墙:GCL复合构件铺设完成后及时向槽内回填回填料,回填要确保回填后墙体稳定;

9)在水泥-膨润土墙体材料完成浇筑36小时后,用吊车将接头箱拔出,进行下一槽段的施工。

#### 4.1 实施效果

(1)防渗效果明显:经第三方检测检测机构检定结果及后期业主现场观察井监测显示,GCL复合竖向阻隔屏障防渗性能效果明显,渗透系数检测可达到 $10^{-7}\text{cm/s}$ ,满足设计及国家标准要求。

(2)GCL竖向阻隔墙上游四口水位监测井水位数据趋势显示:墙体上游水位均呈明显增长趋势。

(3)垂直防渗墙外下游游水位监测井K01、K02水质检测数据显示:氨氮及总磷含量呈明显下降趋势,且在后期形成成稳定状态。

## 5 结论

根据本技术试验室试验结果及工程实际案例应用结果可得,本技术具有如下技术特点:

(1)本技术为多层防渗,可以应对更复杂的工程实际情况,应用范围更广,渗透系数 $< 1\times 10^{-7}\text{cm/s}$ ,满足环保防渗要求。

(2)将钠基膨润土防水毯(简称GCL)引入到垂直防渗领域,并将其定制化改造成复合构件,专门研发的施工机械和施工工艺,能够保证GCL垂直铺设效率。

(3)低渗透墙体既可以是常规低渗透防渗墙,也可以针对特定污染物设计为防污反应墙。

(4)可根据工程要求和场地条件选择适宜的GCL种类和低渗透墙体类型。

(5)GCL复合竖向阻隔屏障解决了现有垂直防渗技术的多种缺点,非常适合在环保等高防渗等级要求领域中应用。

综上,本技术已在多个工程中得到应用,工程实践表明,由GCL和低渗透性墙体组成的柔性复合垂直结构作为垂直地下帷幕,具有防渗效果显著,施工相比其他传统阻隔技术施工相对简单,是污染场地综合治理的首选垂直防渗方案。

## 参考文献

[1]甄胜利,霍成立,贺真等.垂直阻隔技术的应用与对比研究[J].环境卫生工程,2017,5(1):51-56.(Zhen Shengli,Huo Chengli,He Zhen, et al. Application and Comparison of Vertical Barrier Technology [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2017, 5(1): 51-56.(in Chinese))

[2]周春生-,史海滨,于健.膨润土复合土工垫在防渗工程中的应用[M].中国环境科学出版社,2012.

[3]谢世平,何顺辉,张健.一种GCL复合垂直防渗屏障用导墙结构:CN201821204778.4[P].CN208701723U[2024-04-02].