

# 可渗透反应墙对湖南省镉污染场地的修复分析

潘琼 (长沙环境保护职业技术学院, 湖南长沙 410004)

**摘要** 可渗透反应墙是一种在原位对污染物进行拦截、阻断和补救的污染处理技术,其关键是筛选适宜的反应介质。通过对湖南省硫酸锌行业进行深入调研,发现硫酸锌企业均沿湘江及其支流而建,对湘江污染严重,纳入湘江重金属污染治理方案中。同时通过对硫酸锌企业所处位置的地质条件进行踏勘,得出该区域适宜建连续式可渗透反应墙。因此对该区域污染场地产生的渗滤液原样进行试验,选用石灰石(80~100目)与砾石(10~20目)作为PRB的介质材料,最优配比为0.45时,能最经济有效去除地下水污染中的Zn、Cd。

**关键词** 可渗透反应墙;硫酸锌;反应介质;污染修复

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)27-09506-03

## The Remediation Analysis of Permeable Reactive Barrier (PRB) for Hunan Cadmium-polluted Sites

PAN Qiong (Changsha Environmental Protection College, Changsha, Hunan 410004)

**Abstract** Permeable Reactive Barrier (PRB) is a technology of pollution treatment via in-situ interception, barrier and remediation of the contaminant, the key for which is to identify suitable reactive medium. In this paper, through in-depth investigation and survey of Hunan zinc sulfate industry, it has been found that zinc sulfate manufacturers are all incorporated along Xiang River and its tributary, causing Xiang River to be heavily polluted. They are therefore listed in pollution management scheme of heavy metal in Xiang River. Simultaneously, in term of surveying the geological condition at which zinc sulfate manufacturers are located, it would be concluded that this area is applicable to establish a continuous PRB. Therefore, the author had tested the original samples of leachates which were generated from this polluted area; we were used to select limestone (80-100 meshes) and gravel (10-20 meshes) as PRB medium. When optimum mixing ratio reaches up to 0.45, it can most effectively remove Zn, Cd contained in polluted underground water.

**Key words** Permeable Reactive Barrier (PRB); Zinc sulfate; Reaction medium; Pollution remediation

可渗透反应墙(Permeable Reactive Barrier, PRB)技术是一种在原位对污染羽流进行拦截、阻断和补救的污染处理技术,通常置于污染羽流的下游,并尽可能垂直于羽状流迁移途径,以切断整个污染羽状流,保证污染区域内的地下水得到修复<sup>[1]</sup>。PRB主要由透水的活性反应介质组成,污染物羽流在水力梯度作用下通过反应墙时,水中污染物与活性反应介质产生沉淀、吸附、氧化还原和生物降解反应等,使水中污染物转化为环境可接受的形式。其能否成功达到处理污染地下水的目标,介质材料起关键作用。因此筛选无害且经济的PRB反应介质是可渗透反应墙技术极为关注的研究课题<sup>[2]</sup>。Cd是生产硫酸锌行业场地地下水一种常见的重金属污染物。该试验以Zn、Cd作为研究对象,石灰石、石膏和砾石等组成不同混合柱作为反应介质,探讨介质配比对PRB修复效率的影响。

### 1 湖南省硫酸锌行业分布

根据2014年现场调研,湖南省主要以硫酸锌为最终产品的企业共有14家,3家在建,1家停产整治,10家企业正常生产。企业生产能力均不大于2万t/a(一家5万t/a除外)。企业约86%分布在衡阳,14%分布在株洲。用GPS对14家生产企业定位发现,这类企业集中在112°35'~113°33' E, 26°23'~27°50' N,均沿湘江及其支流而建,约79%的企业分布在湘江中上游(图1),是湘江主要重金属污染源之一,已列入《湘江流域重金属污染治理方案》中。硫酸锌生产过程中产生的铜镉渣,随废水、废渣等释放到环境中,随地表水渗

入地下,造成地下水Cd污染严重。

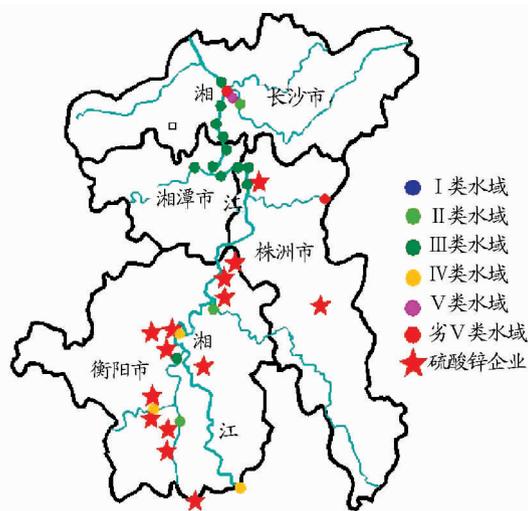


图1 湖南省硫酸锌企业沿水系分布情况

### 2 PRB结构的选择

湖南省衡阳地区气候温暖湿润,雨量充沛,属亚热带季风气候。地貌类型以丘岗为主,四周山、丘围绕,中部平、岗丘交错,整个地形比降为7.9‰。地质构造简单,无活动断裂通过,未发现不良地质现象,场地和地基稳定。区域地层依次为碳酸盐岩、碎屑岩与页岩、红色碎屑岩。区域内地震基本烈度<6度,设计地震加速度<0.05g,未发现饱和砂土层。地下水类型为上层滞水及基岩裂隙水,水量贫乏;透漏分析发现岩石土层透水性为中等-弱透水,底部下伏基岩风化较为强烈,透水性强,因此适宜建可渗透反应墙。拟建可渗透反应墙采用天然地基浅基础,持力层选择全风化板岩或强风化板岩,为防止可渗透反应底部有毒有害元素通过底部基岩渗漏到下游,需对基础底部基岩进行防渗处理。

**基金项目** 湖南省科技厅项目(2013FJ3071);环保部公益性项目(201109052-3);湖南省教育厅项目(14CC0017)。

**作者简介** 潘琼(1978-),女,湖南宁乡人,副教授,硕士,从事水环境工程治理技术、水环境污染设施运营、环境影响评价等研究。

**收稿日期** 2014-08-15

该地区含水层埋藏浅,地下水污染物羽流规模小,因此 PRB 结构选用连续反应墙式(图 2)。在污染区下游修建一个连续反应墙,墙体的宽度及高度能保证整个污染羽状体通过,墙体的厚度能切断整个污染羽状流,保证污染区域内的地下水得到修复<sup>[3]</sup>。区域硫酸锌企业生产能力和生产工艺基本相同,区域污染物特征也类似。根据该区域水流特征、污染物浓度和排放标准计算,拟建可渗透反应墙可按照顶部

厚度约 2.0 m,底部厚度约 1.3 m,反应墙宽度约 15 m,高度约 6 m 的模式选择,采用砾石基体材料,修复 Cd、Pb、Zn 等重金属的活性材料建造。反应墙的使用寿命按 30 年设计,重金属离子与活性材料发生物理吸附及化学反应形成重金属碳酸盐沉淀,达到地下水重金属 Cd 含量  $< 0.10 \text{ mg/L}$ , Zn 含量  $< 2.0 \text{ mg/L}$  的要求。

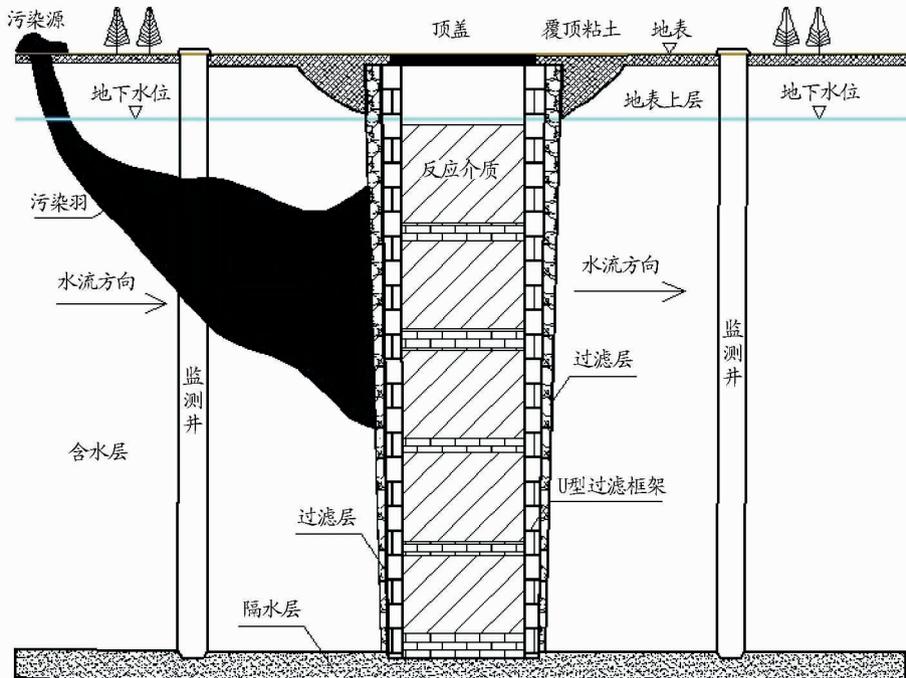


图2 连续式可渗透反应墙

### 3 PRB 介质的选择

PRB 介质材料选择时应该考虑下列几个方面:第一,介质材料能否与地下水中的污染物发生一定的物理、化学或生物反应,从而使污染物能够全部被清除;第二,介质材料能否大量取材,同时在反应中不易溶解或消耗,从而使 PRB 系统达到 30 年设计要求;第三,介质材料既经济又不产生二次污染<sup>[4]</sup>。

**3.1 试验方法** 该次试验以湖南省硫酸锌行业污染场地产生的渗滤液原样进行分析,渗滤液水质特性为  $\text{Zn} = 36.30 \text{ mg/L}$ ,  $\text{Cd} = 1.53 \text{ mg/L}$ 。通过实验室土柱试验模拟 PRB 可渗透反应墙,探索石灰、石灰石混合料等不同介质材料与填充方式对渗滤液中 Zn、Cd 等重金属在不同渗透时间下的去除效果,并判断介质材料的最佳细度、最优配比和反应时间,确定 PRB 技术防治地下水 Cd 污染的可行性。

**3.1.1 介质的选材。** 试验设计了 3 个塑料柱(1、2、3),每个反应器的总高度为 50 cm,内径为 5 cm,底部填充 5 cm 厚的砂层,起过滤、缓冲和保护作用;上部为 10 cm 厚的砂层,以隔绝空气;中间为反应器主体部分,高度为 20 cm。试验几种不同填充方式的反应效果:1 号柱内填充砾石 + 石灰单层,2 号柱内填充砾石 + 石灰 + 砾石多层,3 号柱内填充石灰 + 砾石混合料。

**3.1.2 反应柱运行。** 该次试验分析多种介质及其细度和配比对 Zn、Cd 的去除效果。根据试验需要,选择需混合的活性

材料,装入混合机充分混合。反应柱运行 14 h,且均以 4 ml/min 左右的流速往塑料柱内滴加渗滤液,每隔 2 h 左右取一次样进行重金属定量检测,分析 3 个柱内 Zn、Cd 达标持续的时间。参考柱试验结果,估算工程应用中所需的原料和数量,完善可渗透反应墙的设计方案。

**3.2 试验结果分析** 装置运行后,3 个塑料柱同步运行监测,样品送化验室分析各塑料柱输出液 Zn、Cd 浓度,综合对比介质细度、介质配比对 Zn、Cd 的去除情况。3 个塑料柱出水 Cd 和 Zn 浓度值随渗透时间的变化曲线见图 3。由图 3 可知,试验效果较好的是 3 号柱。3 号柱的介质材料是石灰石和砾石混合柱,石灰石细度为 80 ~ 100 目,砾石细度为 10 ~ 20 目,石灰石与砾石的比例为 0.45。在该配比中,2 ~ 11 h 任意点取样,去除 Cd 的效率都在 97% 以上,而 10 h 时,出水 Zn 浓度为 1.468 mg/L,达到环境标准要求,11 h 时出水 Zn 浓度为 5.186 mg/L,超出环境标准要求。因此取该试验出水达标时间为 10 h,即 10 h 时最优配比为 0.45 的石灰石混合柱达到吸附饱和状态。

介质材料之所以选择石灰石是因为在特定可行性测试中,它的重金属负载能力和去除能力比其他材质好(石灰石 ~ 骨炭粉 > 硅肥 > 高炉渣),且石灰石比骨炭粉经济。因此,工程应用上,可渗透反应墙选择石灰石(80 ~ 100 目)与砾石(10 ~ 20 目)混合,比例为 0.45 为宜。

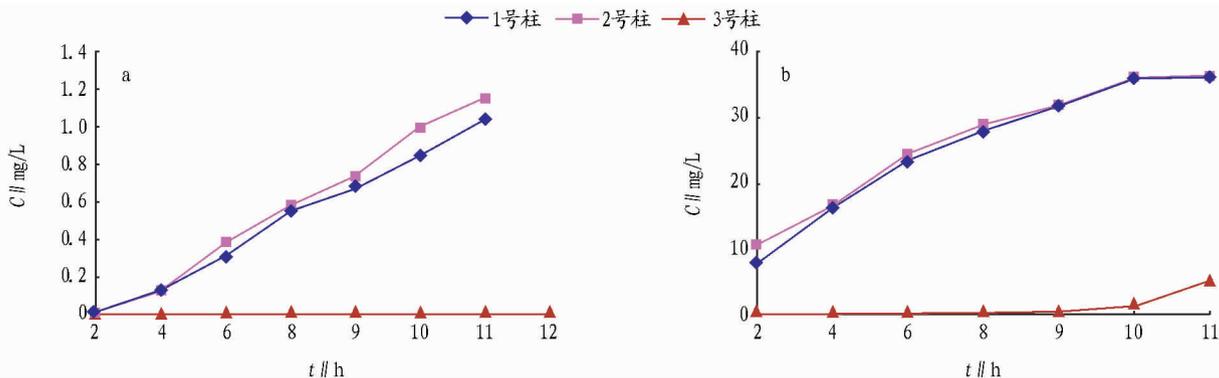


图3 不同介质材料下出水 Cd(a)、Zn 浓度(b) 随时间的变化曲线

#### 4 结语

(1) 湖南省硫酸锌企业主要沿湘江水系分布, 重金属污染严重, 是湘江流域重金属污染治理重点污染源。

(2) 湖南省硫酸锌企业主要集中在衡阳地区, 从水文地质地层等分析, 该区域适宜采用连续式可渗透反应墙。

(3) 以石灰石(80~100目)与砾石(10~20目)作为 PRB 的介质材料, 最优配比为 0.45 时, 可以经济有效去除模拟污染地下水中的 Zn、Cd 浓度, 满足环境标准要求。

#### 参考文献

- [1] 陈仲如, 张澄博, 李洪艺, 等. 可渗透反应墙的结构与设计研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(4): 56-61.
- [2] 杨维, 王立东, 徐丽, 等. 铬污染地下水的 PRB 反应介质筛选及修复试验[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(5): 854-858.
- [3] 牛少凤, 李春晖, 富强, 等. PRB 连续反应单元模拟与敏感性分析[J]. 环境科学研究, 2009, 22(6): 718-722.
- [4] 彭利群, 张澄博, 李洪艺, 等. 介质材料在可渗透反应墙中的应用进展[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(10): 47-52.

(上接第 9502 页)

#### 3 结论与讨论

在农地利用的六大碳排放源中, 化肥的贡献首当其冲, 21 世纪前 10 年中, 湖北省单位农地面积化肥施用量一直呈上升趋势, 如图 2 所示, 这和我当前农村农民追求粮食产量的现状是一致的, 化肥的大量使用直接导致了农业的高碳化。而其他碳排放源如农药、农膜等单位面积使用量较为稳定, 分别控制在 0.01、0.02 t/hm<sup>2</sup> 以下, 这与近些年来一直推崇绿色农业, 追求粮食安全观念有关。从播种面积的变化来看, 从 2000 年的 758.4 万 hm<sup>2</sup> 到 2010 年的 755.63 万 hm<sup>2</sup>, 前半段实际播种面积减少, 后半段呈现增加趋势, 整体呈现减少趋势, 而碳排放总量呈现增加趋势, 即单位实际播种面积上的碳排放量逐年增加, 仍表现出农业生产过程的高碳化形势。

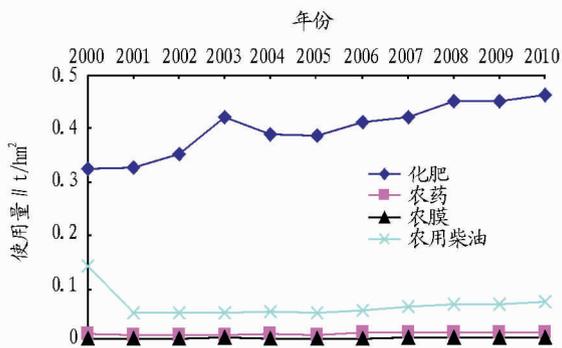


图2 湖北省单位农地面积农业投入品使用量(2000~2010年) 就区域差异而言, 农地利用碳排放总量主要集中在襄

阳、黄冈、荆州等农业面积较大区域, 而碳排放强度最高为鄂州, 这与其单位面积投入的化肥施用量最高有关, 其他较高区域如襄阳的碳排放高强度与其农用柴油使用量有关; 而恩施和十堰等地由于地处山区的农地较多, 农业耕作和管理相对不足, 其农业投入特别是化肥等相对较少, 因此体现为碳排放强度较低。

总体上, 湖北省仍旧没有走出现代化化石农业的生产模式, 在农业生产过程中, 化肥、农药、农膜、农用柴油等化工产品单位面积上的使用量虽有一定程度的减少, 但减少趋势不明显, 且这些化工产品的使用总量仍呈现出逐步上升的趋势。虽然发展低碳农业已被提倡, 但实际农业生产操作过程中, 却仍旧存在片面追求产量按着化石农业的生产方式进行生产。

#### 参考文献

- [1] 黄贤金等. 低碳排放: 土地利用调控新课题[EB/OL]. www.mlr.gov.cn/x wdt/jrx w/200912/t20091225.
- [2] 田云, 李波, 张俊飏. 我国农地利用碳排放的阶段特征及因素分解研究[J]. 中国地质大学学报: 社会科学版, 2011, 11(1): 59-63.
- [3] IPCC. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [4] WEST T O, MARLAND G A. Synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture; Comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 91(1/3): 217-232.
- [5] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响[J]. 生态学杂志, 2007(12): 2035-2039.
- [6] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 203-208.