

# Application of Permeable Reaction Wall in Soil and Groundwater Remediation

Jiyu Wang Yang Liu Hao Wang

Shandong Environmental Protection Research and Design Institute Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250013, China

## Abstract

As an important natural resource on the earth, soil and groundwater directly affect human production and life. Due to non-compliant discharge of industrial wastewater, garbage and abuse of pesticides and fertilizers, the pollution problem of soil and groundwater in China is slowly becoming more serious. More attention is being paid to the ecological safety of heavy metal-contaminated soil and groundwater. In recent years, other countries have gradually developed a new type of repair technology, and began to use it commercially, that is, the permeable reaction wall technology, which has the characteristics of permeability and in situ repair, which solves the problem of high engineering cost caused by the interruption of groundwater flow and a large number of ectopic repairs.

## Keywords

permeable reactive wall; soil; groundwater; remediation

## 可渗透反应墙在土壤和地下水修复中的应用

王继宇 刘阳 王浩

山东省环境保护科学研究设计院有限公司, 中国·山东 济南 250013

## 摘 要

土壤和地下水作为地球上重要的自然资源,直接影响着人类的生产和生活。由于不合规排放的工业废水、垃圾和滥用农药和化肥,中国的土壤和地下水污染问题在慢慢变严重。目前对重金属污染土壤和地下水的生态安全给予了更多的关注。近年来,其他国家逐渐发展出一种新型的修复技术,并开始商业化运用,也就是可渗透反应墙技术,其具有渗透性和原位修复的特点,解决了地下水流动中断和大量异位修复造成的工程成本高的问题。

## 关键词

可渗透反应墙; 土壤; 地下水; 修复

## 1 引言

土壤和地下水受重金属污染的原因复杂,土壤结构复杂,地下水污染相对隐蔽,人们对土壤和地下水污染的严重性及治理难度远缺少其应有的关注。土壤和地下水一旦受到重金属污染,将给生产和人民生活带来灾难。虽然地下水是一种可再生资源,但其更新和自净的速度特别的慢,只要受到了重金属污染,往往很难修复,就算要修复,需要的时间也是特别的长。当土壤被重金属污染时,它不仅污染地下水,还污染土壤中的植物和生物,然后这类重金属的污染物就会通过食物链的富集威胁人类的健康<sup>[1]</sup>。近年来,重金属污染土壤和地下水的治理已引起许多国家的高度重视,成为环境保护领域的一项紧迫任务。可渗透反应墙技术是地下水修复过程之中常用的原位处理技术,其效率在很大程度上取决于活性填料的性质。可渗透反应墙技术处理地下水污染物

的原理与填充反应介质密切相关。如果反应介质为零价铁,其还原性主要用于降低重金属的价态或降解有机物,从而降低污染物的流动性或毒性,零价铁的反应性能受比表面、预处理和修复工艺、合金和杂质等因素的影响;当反应介质为磷灰石、沸石、炉渣(火山渣)或有机黏土时,主要利用其吸附和沉淀<sup>[2]</sup>达到修复的目的;当反应介质是碳源、营养源或微生物载体时,主要用于提高微生物的反应活性修复污染物。

## 2 土壤和地下水污染现状

### 2.1 地下水污染现状

近年来,地下水的开采、使用日益增加,特别是在一些地区,因为地表水稀缺或污染问题,地下水已成为当地用水的主要来源。在中国,约90%的城市因规划不当而遭受地下水污染,污染的严重程度各不相同。通过调查研究发现,大部分地下水已达到四、五类污染水平,三类地下水很少,一、二类地下水几乎没有,说明大部分地下水未经处理不能饮用,深层地下水的水质优于浅层地下水,污染相对较轻<sup>[3]</sup>。

【作者简介】王继宇(1990-),男,中国山东枣庄人,硕士,工程师,从事土壤与地下水调查与修复研究。

随着工业的发展和人类活动范围的日益扩大,各种污染物通过不同的途径进入土壤,并通过渗透、扩散和迁移进入地下水环境,造成地下水污染。地下水一旦受到污染,自我净化的速度特别慢,地下水污染由于其隐蔽位置,不仅很难及时发现,而且处理手段有限,如果处理不当,还会进一步破坏地下水的环境。因此,保护和治理地下水污染是当前地下水治理研究的重点之一。

## 2.2 土壤污染现状

土壤污染类型多种多样,表现为新旧污染物和无机有机化合物共存。土壤污染引发的农产品质量安全群体性事故问题逐年增多,成为影响人民健康和社会稳定的重要因素。例如,它将导致农作物被污染和减产,给社会造成巨大的经济损失。同时,它还将导致污染物在作物中的积累,通过食物链危害人类和动物健康,并导致癌症等疾病。土壤遭到污染之后,土壤在风和水的作用下进入大气和水体,点源污染扩散到非点源,造成空气、地表水、地下水污染和生态系统退化。因此,保护和治理土壤污染含有很重要的意义。

## 3 土壤和地下水治理技术

地下水污染治理技术很多。国际上去除地下水中重金属污染物的方法很多。根据地下水处理方法的不同,通常分为异位处理技术和原位处理技术。

### 3.1 异位处理技术

异位地下水处理技术,即抽出处理技术,主要使用抽提装置,通过抽水并抽取受污染的地下水,并将其放置在储存装置中<sup>[4]</sup>。随后,根据污染物的性质,选择合适的物理、化学和生物方法去除水中溶解的污染物,修复后的地下水在含水层中重新使用或直接用于生产和生活。该技术主要包括地下水的抽提、污染物的处理和处置、地下水回灌到地下水中的过程。持续泵送和处理受污染的地下水可以减缓下游受污染物流的流动。因此,污染羽流的范围减少,附着在土壤和含水层表面的污染物通过解吸和溶解转移到地下水中。异位地下水处理技术是目前较为常用的地下水修复方式。它也适用于高浓度污染情况和地下水深埋较深的情况。然而,该技术也有很大的局限性,包括:①开采和回灌地下水对土壤和地下水环境干扰较大,使用该设备的成本也较高;②需要定期检查、维护和手动维修,维护周期长;③不能够处理所有的污染物,如非水性有机污染物。

### 3.2 原位处理技术

原位处理技术指的是在地下水污染原址,在不严重破坏表土、周围地下水环境以及不抽取受污染地下水的前提下,清除和处理污染地下水的一种修复技术<sup>[5]</sup>。与异位处理技术相比,原位处理技术不仅可以减少对周围环境的干扰,还可以减少地下水处理设备和人力的使用。它具有经济和速度的优点。因此,该法是当前的前景更广阔。该技术可分为渗透反应墙技术、地下帷幕屏障技术和电处理技术。

## 4 渗透反应墙技术

透水反作用墙的研究已被广泛涉及和认可,并被认为是具有潜力的地下水处理方法之一。在污染羽流的下游安装了一个可渗透的垂直反应墙。当污染羽流通过渗透反应墙时,与污染物发生反应,将污染物转化为安全、低浓度、低毒的无害物质,并存在于地下水中。渗透反应墙技术因其处理效果好、无外力、运行成本低、能同时处理多种污染物等优点,受到了学者们的深入探索和研究。

### 4.1 渗透反应墙的分类

根据不同的选择标准,渗透反应墙中填料的分类不同。根据装置结构的不同,可渗透反应墙分为三种类型,即连续墙系统、组合分水漏斗和水闸系统、串并联多通道系统。连续墙系统必须沿污染区水流方向设置连续垂直反应墙。当污染羽流范围较大或含水层厚度较厚时,通过墙内填料与污染物接触进行大规模清除。考虑到安装成本和拆除效果,连续墙系统不能很好地被人们使用。组合分水漏斗和水闸系统主要设置在下游地下水边界区进行处理,收集狭窄区域的地下水流量,并建立一个充满反应介质的渗透反应墙。其优点是,水闸可以收集受污染的地下水,而不会渗漏。与连续墙系统相比,组合式分水漏斗和导水闸门系统反应面积小,运行成本低,反应介质易于去除和更换,更适合现场处理<sup>[6]</sup>。当污染物的种类和浓度不同,处理难度不同时,需要将多个反应墙并联或串联,以达到修复地下水的目的。并联多通道系统主要用于大规模地下水污染羽流;串联多通道系统通常用于处理复杂或高浓度污染物的地下水。

### 4.2 可渗透反应墙的反应填料类型

可渗透反应墙修复技术的重点是塔中的反应填料。反应填料的选择主要取决于待处理的污染物。为了保证渗透反应墙的正常运行及其在反应中的耐久性,通常根据以下原则选择合适的反应填料:污染物会沉淀、吸附,复合或与墙壁中的填料相互作用,以确保所有污染物都能被清除或低于检测限;反应填料本身应该是经济的;数量巨大;有可能的多选择农业和工业废物,这更有利于环境保护,达到废物回收的目的;反应填料应廉价易得,并能维持渗透反应墙的长期运行;材料性质安全稳定,不会对地下水造成二次破坏;环境兼容性好,粒度均匀,安装方便。根据反应填料在可渗透反应墙中的修复机理,将填料类型分为吸附反应型、化学沉淀型、氧化还原型和生物降解型<sup>[7]</sup>。

### 4.3 可渗透反应墙设计的主要参数选择

可渗透反应墙结构设计中主要考虑的问题包括:确保可渗透反应墙可以插入防水层或含水层,防止地下水通过渗透墙底部;保证足够的水力停留时间,确保水处理达标;确保良好的透水性以避免阻塞。因此,可渗透反应墙参数的选择至关重要。其主要包括结构类型的选择和水力停留时间和反应墙的渗透系数等。

#### 4.3.1 结构参数可渗透反应墙的选择

渗透反应墙的宽度主要取决于污染羽流的大小,同时也考虑到地下水流动的不稳定性以及污染羽流可能进一步增大,一般比污染羽流的宽度高出 1.2~1.5 倍。透水反应墙的高度主要取决于含水层的水密性或埋藏深度和厚度的决定,反应墙的底部至少可以渗入透水或低渗透含水层 0.60m,以防止污染物进入回流绕行反应墙及下游。透水反应墙的顶部必须高于地下水位的最高点,以防止其溢出或季节性波动。反应墙厚度(B)主要由地下水流速(V)和水力停留时间(T)决定,  $B=VT$ 。地下水流速(V)通常是指地下水的平均流速,主要由反应介质的孔隙率和渗透率、反应介质的长时间运行决定,随着孔隙率逐渐降低的趋势,因此在设计中通常采用最大流速<sup>[8]</sup>。

#### 4.3.2 水力停留时间的选择

污染物羽流在反应墙中的停留时间(T)主要由污染物的半滞留期决定以及流经反应墙的污染羽流的初始浓度。因地下水污染物浓度不均匀的情况较多,基于工程安全考虑,选择污染物的最大浓度值的计算。计算可采用:

$$t=nt_{0.5}U_1U_2R$$

式中, n 为半存留期的次数;  $t_{0.5}$  为半存留期,  $t_{0.5}=\ln 2/k$  (k 为一次反应速率);  $U_1$  为温度修正系数,取 2.0~2.5,正常温度为 20℃~25℃;  $U_2$  为密度修正系数,取 1.5~2.0; R 是安全系数,可取 2.0~3.0。

#### 4.3.3 渗透系数的选择

渗透系数,也称为水力传导率,指的是流体通过孔隙骨架的困难程度。表达式是:

$$\kappa=k\rho g/\eta$$

式中,  $\kappa$  为渗透系数; k 为孔介质渗透率;  $\eta$  为动态粘度系数;  $\rho$  为流体的密度; g 为重力加速度。

在可渗透反应墙设计中,渗透系数是反应墙正常运行的关键参数之一。为了达到良好的修复效果,必须对结构进

行优化。同时,需要选择具有合理渗透系数的填充介质。填充介质的选择必须高于甚至远高于含水层的渗透系数。如果反应介质的渗透系数低于含水层的渗透系数,反应产物将在反应墙表面富集和沉淀,导致反应墙堵塞,导致地下水的滞留,会造成可渗透反应墙的修复效果低下,或者不能使用。研究数据表明,反作用墙的渗透系数必须高于含水层的渗透系数 2 倍以上才可以起到更好的效果。因此,反应墙的设计通常选择渗透率大的过滤层(砂层)、筛网和高渗透反应材料。

## 5 结论

在土壤和地下水污染修复领域中,可渗透反应墙可以解决单一或多种污染物问题。作为一种修复方法,可渗透反应墙具有处理效率高,反应介质消耗慢,长期稳定运行,无浪费等优势。

## 参考文献

- [1] 李敬杰,蔡五田,吕永高,等.可渗透反应墙修复 Cr(VI)污染地下水影响因素研究[J].环境科学与技术,2021,44(S2):253-258.
- [2] 邓江兰,朱泽民,叶明强.某铬污染场地地下水可渗透反应墙技术(PRB)修复中试应用[J].湖南有色金属,2021,37(5):57-60+64.
- [3] 朱丰仪.地下水修复的可渗透反应墙填料开发与重金属去除效能[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.
- [4] 李艳梅,高柏,马文洁,等.可渗透反应墙技术修复铀矿区地下水中铀锰进展[J].水处理技术,2020,46(10):12-16+24.
- [5] 梁峻铭.地下水污染修复的可渗透反应墙系统设计[J].机电信息,2020(14):94-95.
- [6] 陈升勇,王成端,付馨烈,等.可渗透反应墙在土壤和地下水修复中的应用[J].资源节约与环保,2015(3):253-254.
- [7] 孔庆娜.可渗透反应墙(PRB)在环境工程实验中的体系设计[J].广东化工,2022,49(1):20-22+15.
- [8] 喻旭.化学强化剂协同可渗透反应墙强化电动修复铬污染土壤实验研究[D].重庆:重庆大学,2019.