

# 浅议地下水污染治理技术方法及进展

张 倩

(铜山县环境保护局, 江苏 铜山 221116)

**摘 要:** 简要介绍了地下水污染治理技术的沿革, 包括物理法、水动力控制法、抽出一处理法和原位处理法, 着重阐述了目前研究最多的原位处理法, 即原位物化法、原位生物法和反应性渗透墙技术。并提出应该在学习国外先进技术的基础上, 开发研究适合我国国情的地下水污染治理技术。

**关键词:** 地下水污染; 治理技术; 原位处理法

**中图分类号:** X523      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-1504(2008)03-0174-05

## Development and Techniques for Groundwater Pollution Control

ZHANG Qian(Tongshan Environmental Protection Bureau, Tongshan Jiangsu 221116, China)

**Abstract:** This paper reviewed the development of groundwater pollution control, the techniques included physical, water dynamic control, pump and treat, in-situ remediation. The focus was on in-situ remediation such as physical chemical, microbiological and permeable reactive wall. In the end, the author suggested that on the basis of learning from abroad, the new techniques for groundwater pollution control should be researched.

**Key words:** groundwater pollution control; treatment techniques; in-situ remediation

随着经济的快速发展,我国地下水污染的问题日益突出,地下水污染所带来的对环境和经济发展的影响也日趋显露。因此,加强对地下水污染的治理和相应技术的开发就成为一种迫切的需要。客观地讲,我国目前在地下水污染调查及地下水污染物迁移转化模式方面做了不少基础性工作,但在具体的地下水污染治理技术方面做的工作却不多,而国外,尤其是欧美国家自 20 世纪 70 年代以来在地下水点源污染治理方面取得了很大的进展,且逐渐发展形成较为系统的地下水污染治理技术。

## 1 地下水污染治理技术

地下水污染治理技术归纳起来主要有:物理处理法、水动力控制法、抽出一处理法、原位处理法。

### 1.1 物理法

物理法是用物理的手段对受污染地下水进行治理的一种方法,概括起来又可分为以下几种。

#### 1.1.1 屏蔽法

该法是在地下建立各种物理屏障,将受污染水体圈闭起来,以防止污染物进一步扩散蔓延。常用的灰浆帷幕法是用压力向地下灌注灰浆,在

收稿日期: 2008-04-02; 修回日期: 2008-06-23

作者简介: 张倩(1977-),女,江苏铜山人,助理工程师,学士,主要从事环境监测工作。

受污染水体周围形成一道帷幕,从而将受污染水体圈闭起来。其他的物理屏障法还有泥浆阻水墙、振动桩阻水墙、板桩阻水墙、块状置换、膜和合成材料帷幕圈闭法等,原理都与灰浆帷幕法相似。总的来说,物理屏障法只有在处理小范围的剧毒、难降解污染物时才考虑作为一种永久性的封闭方法,多数情况下,它适合在地下水污染治理初期用作一种临时性的控制方法。

### 1.1.2 被动收集法

该法是在地下水流的下游挖一条足够深的沟道,在沟内布置收集系统,将水面漂浮的污染物质如油类污染物等收集起来,或将所有受污染地下水收集起来以便处理的一种方法。被动收集法一般在处理轻质污染物(如油类等)时比较有效,它在美国治理地下水油污染时得到过广泛的应用。

### 1.2 水动力控制法

水动力控制法是利用井群系统,通过抽水或向含水层注水,人为地改变地下水的水力梯度,从而将受污染水体与清洁水体分隔开来。根据井群系统布置方式的不同,水力控制法又可分为上游分水岭法和下游分水岭法。上游分水岭法是在受污染水体的上游布置一排注水井,通过注水井向含水层注入清水,使得在该注水井处形成一地下分水岭,从而阻止上游清洁水体向下补给已被污染水体,同时在下游布置一排抽水井,将受污染水体抽出处理。而下游分水岭法则是在受污染水体下游布置一排注水井注水,在下游形成一分水岭,以阻止污染羽流向下游扩散,同时在上游布置一排抽水井,抽出清洁水并送到下游注入。

由于水动力法不能保证从地下环境中完全、永久地去除污染物,因而用作一种临时性的控制方法,一般在地下水污染治理的初期用于防止污染物的扩散蔓延。

### 1.3 抽出一处理法

抽出一处理法是最早使用、应用最广的经典

方法,可根据污染物类型和处理费用来选用,大致可分为三类:①物理法。包括:吸附法、重力分离法、过滤法、反渗透法、气浮法等。②化学法。包括:混凝沉淀法、氧化还原法、离子交换法和中和法等。③生物法。包括:活性污泥法、生物膜法、厌氧消化法和土壤处置法等。受污染地下水抽出后的处理方法与地表水的处理相同,需要指出的是,在受污染地下水的抽出处理中,井群系统的建立是关键,井群系统要能控制整个受污染水体的流动。处理后地下水的去向有2个,一是直接使用,另一个则是用于回灌。后者为主要去向,用于回灌多一些的原因是回灌一方面可稀释受污染水体,冲洗含水层,另一方面还可加速地下水的循环流动,从而缩短地下水的修复时间。其运行示意图见图1。

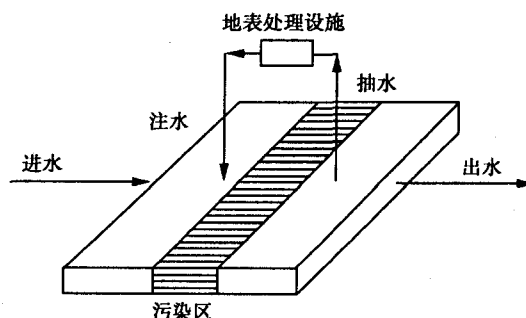


图1 抽出一处理工艺示意图

此方法应用初期取得了良好成效,后来随着地下水中有有机污染物种类的增多,这种方法的弱点日益显现出来。因为它能去除有机污染物中的轻非水相液体(LNAPL),而对重非水相液体(DNAPL)的治理效果甚微。此外,地下水系统的复杂性和污染物在地下的复杂行为常常干扰此方法的有效性。例如,1994年美国国家研究理事会对美国77个抽出一处理系统的运行情况的调查表明<sup>[1]</sup>,只有8个是成功的,其余的69处均未达到净化目标。影响修复效率的因素包括:①污染物与水的不混溶性。②污染物扩散进入水流动性有限的微孔和区域。③含水介质对污染物的吸附。④含水介质的非均质性。

### 1.4 原位处理法

原位处理法是地下水污染治理技术研究的热点,不但处理费用相对节省,而且还可减少地表处理设施,最大程度地减少污染物的暴露,减少对环境的扰动,是一种很有前景的地下水污染治理技术。原位处理技术又包括物理化学处理法及生物处理法。

#### 1.4.1 物理化学处理法

(1) 加药法。通过井群系统向受污染水体灌注化学药剂,如灌注中和剂以中和酸性或碱性渗滤液,添加氧化剂降解有机物或使无机化合物形成沉淀等。

(2) 渗透性处理床。渗透性处理床主要适用于较薄、较浅含水层,一般用于垃圾填埋渗滤液的无害化处理。具体做法是在污染羽流的下游挖一条沟,该沟挖至含水层底部基岩层或不透水粘土层,然后在沟内填充能与污染物反应的透水性介质,受污染地下水流入沟内后与该介质发生反应,生成无害化产物或沉淀物而被去除。常用的填充介质有:① 灰岩,用以中和酸性地下水或去除重金属。② 活性炭,用以去除非极性污染物和  $\text{CCl}_4$ 、苯等。③ 沸石和合成离子交换树脂,用以去除溶解态重金属等。

(3) 土壤改性法。利用土壤中的粘土层,通过注射井在原位注入表面活性剂及有机改性物质,使土壤中的粘土转变为有机粘土<sup>[2]</sup>。经改性后形成的有机粘土能有效地吸附地下水中的有机污染物。

(4) 冲洗法。对于有机烃类污染,可用空气冲洗,即将空气注入到受污染区域底部,空气在上升过程中,污染物中的挥发性组份会随空气一起溢出,再用集气系统将气体进行收集处理<sup>[3]</sup>;也可采用蒸汽冲洗,蒸汽不仅可以使挥发性组份溢出,还可以使有机物热解;另外,用酒精冲洗亦可。理论上,只要整个受污染区域都被冲洗过,则所有的烃类污染物都会被去除。

(5) 射频放电加热法。通入电流使污染物降解。

原位物化法在运用时需要注意的是堵塞问题;尤其是当地下水中存在重金属时,物化反应易生成沉淀,从而堵塞含水层,影响处理过程的进行。

#### 1.4.2 生物处理法

原位生物修复的原理实际上是自然生物降解过程的人工强化。它是通过采取人为措施,包括添加氧和营养物等,刺激原位微生物的生长,从而强化污染物的自然生物降解过程。通常原位生物修复的过程为:先通过试验研究,确定原位微生物降解污染物的能力,然后确定能最大程度促进微生物生长的氧需要量和营养配比,最后再将研究结果应用于实际。现在所使用的各种原位生物修复技术都是围绕各种强化措施来进行的,例如强化供氧技术大致有以下几种:① 生物气冲技术。该技术与原位物化法中的气冲技术相似,都是将空气注入受污染区域底部,所不同的是生物气冲的供气量要小一些,只要能达到刺激微生物生长的供气量即可。② 溶气水供氧技术<sup>[4]</sup>。这是由维吉尼亚多种工艺研究所(Virginia Polytechnic Institute)的研究人员开发的技术,它能制成一种由 2/3 气和 1/3 水组成的溶气水,气泡直径可小到 55  $\mu\text{m}$ 。把这种气水混合物注入受污染区域,可大大提高氧的传递效率。③ 过氧化氢供氧技术。该技术是把过氧化氢作为氧源注入到受污染地下水中,过氧化氢分解以后产生氧以供给微生物生长。过氧化氢常常要与催化剂一起注入,催化剂用以控制过氧化氢的分解速度,使之与微生物的耗氧速度相一致。

另外,强化措施还可以从微生物的角度入手。可以先在地表设施中对微生物进行选择培养,然后再通过注射井注入到受污染区域,或直接引进商品化菌种,都可以起到强化生物降解过程的作用。总的来说,原位生物修复技术具体的工艺形式很多,但其原理无非都是自然生物降解过程的人工强化。一般情况下,原位生物修复要与井群系统配合运行,即通过抽水井与注水井

的配合,以加速地下水的流动及氧和营养物的扩散,从而缩短处理时间。

#### 1.4.3 反应性渗透墙技术

这是近几年才兴起的原位修复地下水新技术<sup>[5,6]</sup>。该技术是在污染区域内垂直于地下水流方向建一道渗透墙。针对不同类型的污染物,渗透墙内部可以结合物理、化学或者生物处理方面的各种技术,例如吹脱、抽提、好氧降解、吸附、化学氧化、金属还原(例如铁屑还原和沉淀)等。加拿大学者 O'Hannesian 和 Gillham R W 对此进行了系统研究。他们在治理地下水中的挥发性有机污染物时,采用 5.5 m × 1.6 m × 2.2 m 反应墙(墙体由 22% 的铁粒和 78% 的粗砂组成)。其降解三氯乙烯和四氯乙烯的效率分别达到 90% 和 86%。世界上第一个也是最成功的地下水污染试验场——安大略省的 Borden 场址的持续数年现场试验证明这种方法是有效的。

## 2 国内地下水污染治理的研究进展

目前,国内在地下水污染治理技术方面刚刚起步,工程应用实例不多。国家环保局与清华大学于 1991—1995 年以山东淄博大武水源地石油类污染为研究对象,深入开展了一系列室内和现场试验研究<sup>[7]</sup>,在 10 km<sup>2</sup> 范围内布置了 213 口抽水井和观测井。监测资料表明,该地区地下水中石油类污染物浓度平均达到 1.0 mg/L,最高达到 30 mg/L。在修复过程中,水动力控制法、原位生物法和原位化学法得到了综合应用。朱琨等人着重研究了原位化学修复中各种化学药剂的使用,结果表明,二氧化氯为主的混合气(大部分二氧化氯和少量氯气、臭氧、过氧化氢的混合气)是一种经济有效的氧化剂,它不但成本相对低,而且能有效地降低石油及苯系类污染物,并且不会生成有毒及诱变致癌物质。经现场使用表明,地下水中检测到的 80 种有机污染物大部分都得到了降解,并且产物中没有发现诱变、致癌物质。最近,台湾学者 Kao C. M 等<sup>[8]</sup>又提出了一种叫泥

炭生物屏障的原位生物修复技术,该技术能有效地降解地下水污染物中广泛存在的氯化污染物如三氯乙烯(TCE)和四氯乙烯(PCE)等。其原理是利用微生物的共代谢作用,因为 TCE 和 PCE 均不能作为微生物的生长基质,所以需要为微生物提供另外的碳源,微生物利用提供的碳源生长,然后再去降解 TCE 和 PCE 等污染物。该修复工艺见图 2。

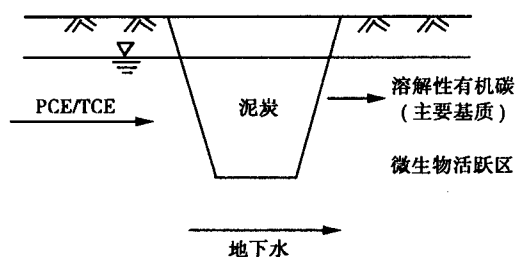


图2 泥炭生物屏障工艺示意图

泥炭生物屏障垂直于水流方向设置,在泥炭中接种污水厂的活性污泥以引进微生物。在该工艺中,泥炭作为一种基质扩散源,溶解性有机物从泥炭中释放出来并被微生物所利用,从而强化污染物的生物降解过程。该工艺的特点是:无需地下水回灌;泥炭是一种很好的基质且价格便宜;施工简单,只需用传统的开挖回填技术即可;建设与运行费用节省;而且泥炭屏障还能去除溶解性重金属,如铜、铅等。另外,国内还有学者从土壤改性的角度进行了地下水污染防治的试验研究。据报道<sup>[9]</sup>,经表面活性剂改性后的粘土去除油类污染物的能力比原粘土提高了30.2%,且改性后粘土截留的油不易被清水洗出,改性后粘土的油释放率比原粘土降低了九分之一以上。另外还有报道<sup>[10]</sup>,向土壤中掺入活性炭纤维,可以强化土壤的反硝化能力。

总体来看,我国在地下水污染治理技术上取得可喜的成绩,但是受经济发展水平的制约,与发达国家有一定的差距,工程应用实例不多。加之我国水文地质条件复杂,污染物种类多样,今后应该在学习国外先进技术的基础上,针对各地区水文地质条件的差异、地下水污染性质的不

同、以及受高矿化地下水及盐化土壤的影响,综合考虑技术、经济、环境三方面,开发研究适合我国国情的地下水污染治理技术。

### 3 结语

地下水污染的治理相对于地表水来说更加复杂,在进行具体的治理时,还需要考虑以下因素:①在具体的地下水污染治理中,往往要多种技术结合使用。一般在治理初期,先使用物理法或水力控制法将污染区封闭,然后尽量收集纯污染物如油类等,最后再使用抽出一处理法或原位法进行治理。②因为污染区域的水文地质条件和地球化学特性都会影响到地下水污染的治理,因此地下水污染的治理通常要以查明水文地质条件为前提。③受污染地下水的修复往往还要包括土壤的修复。地下水和土壤是相互作用的,如果只治理了受污染的地下水而不治理土壤,由于雨水的淋滤或地下水位的波动,污染物会再次进入地下水体,形成交叉污染,使地下水的治理前功尽弃。④在地下水污染治理过程中,地表水的截流也是一个需要考虑的问题,要防止地表水补给地下水,以免加大治理工作量。

### 参考文献:

[1] 王焰新.地下水污染与防治[M].北京:高等教育出版社,

2007.327—332.

[2] SIMPSON C A, ASSOCIATE Editor. New process may replace chlorine, improve in-situ remediation [J]. Pollution Engineering, 1994, 26(8): 52—58.

[3] WEYMANN D F. Biosparging used in aquifer remediation [J]. Pollution Engineering, 1995, 27(5): 36—41.

[4] KRAKOWSKI J. Hazardous waste microbubbles and electron beams are part of growing arsenal to treat contaminated soils [J]. Pollution Engineering, 1994, 26(8): 65—69.

[5] WADLEY S L S, GILLHAM R W, GUI L. Remediation of DNAPL source zones with granular iron: Laboratory and field tests [J]. Ground Water, 2005, 43(3): 9—18.

[6] 张国俊, 孟洪, 薛峰, 等. TCE/PCE 的 DNAPL 污染及零价铁墙防治技术 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(4): 12—18.

[7] ZHU kun, CHEN hui, LI Guang he, et al. In-situ remediation of petroleum compounds in groundwater aquifer with chlorine dioxide [J]. Water Resource, 1998, 32(5): 1471—1480.

[8] KAO C M, LEI S E. Using a peat biobarrier to remediate PCE/TCE contaminated aquifer [J]. Water Resource, 2000, 34(3): 835—845.

[9] 张朝阳, 唐进宜. 改性粘土对水中浮上一分胶态油的截留能力实验 [J]. 土壤与环境, 1999, 8(3): 238—240.

[10] 胡国臣. 地下水硝酸盐氮污染防治研究 [J]. 农业环境保护, 1999, 18(5): 228—230.

欢迎订阅《干旱环境监测》