

Groundwater Pollution Control and Remediation of Industrial Sites

Yan Li^{1,2}

¹Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Email: liyan_hhu@163.com

Received: Apr. 23rd, 2019; accepted: May 7th, 2019; published: May 14th, 2019

Abstract

Groundwater pollution control and repair is an important part of industrial site remediation. This paper comprehensively discusses the characteristics of groundwater pollution in industrial sites, and analyzes the conditions for the use of groundwater pollution sources and pollution plumes, and subsequently, discusses the application points of *in-situ* remediation techniques, such as groundwater flushing, air disturbance, and reaction belt repair. In addition, the characteristics and application scope of ectopic repair and monitoring natural attenuation repair technology are also summarized. The article provides reference for the selection and application of groundwater remediation engineering technology in industrial sites.

Keywords

Industrial Sites, Groundwater Pollution, Pollution Control, Repair Technology

工业场地地下水污染控制与修复

李 燕^{1,2}

¹陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

²自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

Email: liyan_hhu@163.com

收稿日期: 2019年4月23日; 录用日期: 2019年5月7日; 发布日期: 2019年5月14日

摘 要

地下水污染控制与修复是工业场地污染修复的重要组成。本文综合讨论了工业场地地下水污染特征, 分

文章引用: 李燕. 工业场地地下水污染控制与修复[J]. 世界生态学, 2019, 8(2): 74-78.

DOI: 10.12677/ije.2019.82010

析了地下水污染源与污染羽控制的主要措施使用条件。探讨了地下水冲洗、空气扰动、反应带修复等原位修复技术的应用要点；异位修复与监控自然衰减修复技术特征与适用范围，为工业场地地下水修复工程技术的选取与应用提供参考。

关键词

工业场地，地下水污染，污染控制，修复技术

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

城市快速发展和经济结构转型升级过程中产生大量工业企业污染场地，据统计，我国面积不小于 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的污染场地有 50 多万个。废弃的工业场地多位于城市扩张发展的重点范围，不仅阻碍城市建设，影响城市整体建设、生态景观、人文环境，甚至还污染空气环境、城市土壤乃至地下水环境(如地下水源地)，威胁人体健康[1]。工业污染场地水土关系密切，地下水是工业场地污染控制与修复不可忽视的关键[2]。发达国家早在 20 世纪 70 年代开展工业场地土壤、地下水污染修复研究和工程实践，地下水控制与修复技术主要有异位修复、原位修复和检测自然衰减技术等[3]。针对污染场地地下水控制与修复技术发展迅速，对各项技术的适用对象、使用方法、修复机理、修复效果及成本等有一定的研究应用，但缺乏系统的梳理比较。本文介绍了工业场地地下水污染的控制与修复技术，从工程应用角度对各项技术进行了归纳分析，为我国工业场地地下水污染控制与修复技术的选取提供思路和参考。

2. 工业场地地下水污染特征

不同国家对污染场地的定义略有差异，但大多认为污染场地是一个包含了土壤地下水、地表水等特定的区域，且已经被有害物质污染使其对周围环境产生或存在潜在负面影响。工业场地是一类数量多、类型复杂的污染场地，主要包括了污废水排放、固体废物住址、管线工程泄漏、危化品运输与存放、工业场地搬迁一直以及事故或非正常排放污染等人类经济活动的各方面，而土壤是重要的污染介质和受体[4]。其中，地下水污染特征因其埋藏条件、污染物迁移性、地下水文特征等不同有所变化，一般受污染风险方面：上层滞水 > 潜水 > 承压水，控制与修复难度方面：承压水 > 潜水 > 上层滞水，具体由工业场地污染时空分布、污染特征及其所在区域地下水文特征决定场地的调查精细程度与修复治理难度[2]。

3. 工业场地地下水污染控制技术

3.1. 地下水污染源控制

工业场地污染类型多样，相应的地下水污染源也各不相同。对于工业场地污染治理，应先地下水污染以防止恶化。对于地下水污染源，可物理、化学、生化处理等与焚烧、固化等原位/异位处理措施直接去除污染源。但对于垃圾、危险废物填埋场渗滤液渗漏等占地规模大、工程施工难、去除成本高的污染源，更多的通过建立阻隔、封闭、防护系统等污染源控制措施，阻断污染源扩散途径。

污染源控制措施有防渗屏障(水平/垂直)，如加固、修复填埋场防渗层，增加其防渗性能，防止渗滤液下渗；同时可强化场地表层防身层，避免地表水、降水等进入污染源，从源头减少污染物产生量。

3.2. 地下水污染羽控制

工业场地地下水污染羽的控制措施有水动力控制与地下水阻滞、拦截。其中,水动力控制措施利用地下水流场控制污染羽的形成与扩散,根据地下水流向、水力坡度、渗透系数、孔隙度等参数,模拟估算污染羽的扩散速度与范围,确定地下水污染量及水位变化。结合工程技术条件与区域水文地质特征,通过地下水注水或抽水(恢复法、压力水脊法等),改变地下水流向、地下水位以控制污染羽扩散。

地下水阻滞、拦截系统通过建设低渗透性(弱渗透性)工程屏障,将受污染水体阻隔封闭,防止污染物进一步扩散,主要有阻截墙、地下水幕灌浆、收集廊道等。其中,收集廊道广泛用于控制地下水油污,一般在处理非水相流体污染时效果较好。根据墙体的材料分为泥浆阻截墙、灌浆阻截墙、板桩阻截墙等,常作为永久性封闭措施用于小范围剧毒、难降解污染场地控制或者阶段性、应急控制,具有施工简单、成本低、速度快、污染源控制效果显著等优点。此外,阻截墙材料需要同时满足低渗透性、与污染物不相容条件,防止阻截墙防渗性能不满足要求或材料与污染物相容而影响阻截效果。

4. 工业场地地下水污染修复技术

4.1. 原位修复技术

原位冲洗处理技术在污染土体注入冲洗液溶剂,增强污染物的溶解度与迁移性,促进污染物汇集至地下水,通过抽取处理地下水以达到修复目的。常用的地下水冲洗液有水、表面活性剂、酸碱溶液等,其中表面活性应选择环境友好、可生物降解、在地下水中可保持良好活性、增溶能力强、溶解平衡时间短、损失小、成本低且已工业化生产的成熟产品。地下水原位冲洗处理技术无需开挖、运输污染土体,可处理多种污染物(有机/无机),操作简单、可与其他修复技术联合使用等优点,但存在低渗透层或非均质层中效果不佳、不能用于溶解相的污染羽修复、冲洗可能改变土体性质等不足[5]。目前,作为使用最广泛、最成功的修复技术之一,原位冲洗技术研究多集中于冲洗剂、冲洗效果及二次污染风险及治理成本等方面,主要用于均质、污染物多样复杂不宜采用异位修复的场地地下水修复。

原位空气扰动技术原位空气扰动技术(地下水曝气技术)是去除地下水挥发性有机物有效的方法之一。利用物理挥发和好氧生物降解,能较好的修复均质、渗透性好的工业场地地下水挥发性/半挥发性污染物(如汽油、氯化溶剂)。原位空气扰动技术应用需考虑亨利常数、污染物组成与费电、气体压力等污染物性质与土体渗透性、结构和曾隶、地下水提中溶解态离子浓度等污染受体参数。该技术对场地扰动相对较小、修复时间段、成本低、设备简单、操作方便且无需对地下水进行抽取、贮存、处理、回灌等,根据工程实施经验,对均质、渗透性好的挥发/半挥发性有机物污染场地修复效果较好。但不能修复承压含水层、较复杂的修复过程机理尚待研究以及分层含水层可能会导致修复失败等。

原位反应带修复技术基于在地下人为产生已有的“地带”,通过人为控制自然变化过程,拦截、固定或降解其中迁移的污染物以达到修复地下水的目的。原位反应带技术与可渗透反应墙技术相似,通过注入井在地表注入反应剂,在地下形成类似可渗透反应墙的污染物处理带。避免了墙技术开挖土体、填充介质的过程,减少污染物暴露,对环境扰动小、施工简单、经济效益好,并且可以修复含水层埋藏深或形状不规则场地的地下水。

4.2. 异位修复技术

工业污染场地规模大小不一,对污染范围较小、原位修复难度较大的场地地下水修复,在场地地质、水文地质条件、污染物特征等条件具备的情况下,多采用开挖污染土体在现场或异地进行处理(开挖-处理),对地下水污染控制与修复效果较好,避免二次污染,但不适用于污染面积大、资金有限的工业场地

修复。

异位固化/稳定化技术将污染土体挖出,在地表进行污染土壤的固化/稳定化混合处理后回填原位或异地填埋。在修复工程中多以水泥、凝胶和石灰等作为固化剂。其中,水泥固化多用普通的硅酸盐水泥固化高浓度重金属。一般在固化前,先对污染土体中的可溶性盐、高浓度硫酸盐、酸性污染物等干扰物进行预处理,特别是溶解度低的金属碱,在固化前必须采取措施防止金属从固体产物中析出,避免降低固化效果、浪费水泥资源。此外,对于固化/稳定化处理后的固状土体进行安全填埋时,填埋场选址应至少满足安全可靠、经济合理、运行稳定,并满足相应的入场要求,与其他入场废物相容、不发生反应、产生二次污染。

抽取-处理技术广泛用于工业场地地下水有机物和多金属等污染物的修复。在阻断污染源的情况下,抽取受污染的地下水,根据污染特征与水量采用合理的理化、生化方法处理后进行回灌或外排作为他用[6]。其中,地下水抽取井数量、位置的布置与抽取速度基于污染羽的精准模拟。实际工程中,随着抽取-处理时间的推移其处理效率逐渐降低,甚至存在拖尾效应和反弹效应,且修复周期主要有含水层的水文地质条件、污染物的迁移扩散特征决定,大多修复时间为5~10年,甚至更长。为了提高抽取-处理效率、减少反弹效应,对于渗透系数 $K > 10^{-4}$ cm/s 的含水层,通常注入表面活性剂来改善处理效率[7]。综上,抽取-处理技术效果受场地岩性、污染物形式、含水层厚度、抽水量、抽取方式与速度等诸多因素影响,其明显缺点是修复周期长。

4.3. 监控自然衰减技术

监控自然衰减包括了不同的物理、化学、生物学过程,在合适条件下可减少土壤和地下水中污染物数量、毒性、迁移性、体积和浓度。监控自然衰减技术主要用于石油类污染场地的修复,早期发达国家对石油污染场地地下水的修复主要关注污染羽的范围,后期将污染物迁移与降解速率也纳入研究。

监控自然衰减技术整体费用低,对场地干扰最小、甚至可在工业场地建筑物下方进行,环境友好、无修复废物、污染物对人体暴露风险小,可与其他修复技术联合应用[8]。明显的,监控自然衰减也存在一定的局限性,不适用于已污染的受体(地下水)、高浓度污染物或存在非水相液体(NAPL, Non-aqueous Phase Liquid)的修复,且修复速度缓慢、周期长,需要精准的场地调查和长期监测。目前,多应用于低污染场地或重污染场地的外围区域,更多的与其他修复技术联合使用,在一定程度上缩短修复时间。

5. 结论与展望

工业场地地下水污染控制与修复形势严峻、数量巨大、类型复杂,目前已有诸多成功用于控制与修复的工程实践。本文总结了地下水污染源与污染羽的控制,阐述了地下水原位冲洗、空气扰动和反应带修复技术,异位固化/稳定化、抽取-处理技术与监控自然衰减技术特征与适用条件。但对于各项技术的通用性、经济性等还需优化,以及地下水控制与修复系统工程的应用、非确定性的定量化和最小化、预测模型的优化与修复技术的改进等方面尚待进一步研究。

参考文献

- [1] 陈梦熊. 中国水文地质工程地质事业的发展与成就 - 从事地质工作 60 年的回顾与思考[M]. 北京: 地震出版社, 2003.
- [2] 李燕, 卢楠. 场地地下水污染调查评价研究[J]. 土地开发工程研究, 2019, 4(1): 36-40.
- [3] 李元杰, 王森杰, 张敏, 等. 土壤和地下水污染的监控自然衰减修复技术研究进展[J]. 中国环境科学, 2018, 38(3): 1185-1193.
- [4] 赵勇胜. 地下水污染场地污染的控制与修复[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(2): 303-310.

-
- [5] 郑伟, 周睿. 氧化剂在地下水原位化学氧化修复工程中的应用[J]. 污染防治技术, 2018, 31(6): 42-44.
- [6] 张娟, 邢轶兰, 李书鹏, 等. 土壤与地下水修复行业 2017 年发展综述[J]. 中国环保产业, 2018(11): 6-24.
- [7] 赵勇胜. 地下水污染场地的控制与修复[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [8] Suthan, S.S. and Fred, C.P. (2005) *In situ* Remediation Engineering. CRC Press, London.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ije@hanspub.org