

钢铁企业浅层地下水污染与治理研究

张建红¹ 吴礼云² 徐明³ 武建国³ 林小利³ 李金辉³

(1. 首钢技术研究院 北京市 100043 2. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司 河北·曹妃甸 063200

3. 首钢总公司 北京市 100041)

摘要 搬迁企业原址浅层地下水可能受原生产活动的污染,因此,旧址再利用之前必须进行地下水污染调查分析和环境风险评价,判断是否需要进行地下水修复。该文采用理化分析对首钢某区域及下游某村庄进行了地下水污染调查,采用内梅罗指数法进行地下水环境风险评价,分析了污染来源,并提出采用基于环境风险的地下水污染治理模式及技术经济分析。

关键词 钢铁企业 浅层地下水 环境风险评价 内梅罗指数 环境风险治理模式

Study on Pollution and Treatment of Shallow Groundwater in Iron and Steel Enterprise

Zhang Jianhong¹ Wu Liyun² Xu Ming³ Wu Jianguo³ Lin Xiaoli³ Li Jinhui³

(1. Shougang Research Institute of Technology 2. Shougang Jingtang United Iron & Steel Co., Ltd.

3. Shougang General Company)

Abstract The shallow groundwater of former site in removed enterprise may be polluted from steel-making production, so the investigation analysis and environmental risk assessment of groundwater pollution must be carried out before the reuse of former site, then judge whether the groundwater needs to remediation. The groundwater pollution is investigated for Shougang field and the village at lower reaches by physico-chemical analysis, and the environmental risk is assessed for the studied area by Nemerow index, the pollution source is at last found, finally the management model of groundwater pollution based on environmental risk and technical economic analysis are proposed.

Keywords iron and steel enterprise; shallow groundwater; environmental risk assessment; Nemerow index; management model of environmental risk

1 概况

自2005年以来,国务院批复了《北京城市总体规划(2004~2020年)》提出在石景山建设城市西部的综合服务中心之后,国家发改委下发发改工业[2005]273号文件批复了首钢实施搬迁结构调整计划,这为促进区域产业结构总体上向现代服务业、高新技术产业转变提供了有力的政策依据和难得的发展机遇。

研究区域位于永定河冲洪积扇顶部地区,该地区地势西北高,东南低,具有明显的水平分带性,大致由西北向东南,表部覆盖层薄,入渗系数约0.45~0.6m/d,含水层岩性颗粒由粗变细,含水层由单一逐渐变为多层,岩性以砂卵砾石为主,水交替强烈,渗透性好,渗透系数300~500m/d,单井出水量在5000m³/d以上。主要特点是地层防护性能差,一旦地表水受到污染,通过各种地球化学作用,将对区内地下水造成垂直污染和对下游地下水的侧向污染。地下水主要为第四系松散沉积物孔隙水,总体流向自西北向东南,地下水开采以潜水为主。多为深100m左右的基岩井^[1-3]。

作者简介: 张建红(1962-),男,硕士,工程师,从事水资源与节能环保工作。

收稿日期: 2010-07-21

2 取样分析

将检修时获取的井底淤泥风干、研磨过筛,取≤63μm的泥样^[4]消解,然后用等离子直读光谱测定泥

样中重金属的含量。水井及地下水水样均用标准方法测定^[5]。

2.1 研究区工业水井取样分析

工业水井取样分析结果见表1。

表1 研究区潜水化学组分分析 mg/L

项目单位	pH	总硬	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	TDS	COD _{Mn}	氨氮	细菌总数	Fe	Cu	Zn	Cr	Cd	Na
工业水井1	-7.12	505	145.6	194	13.6	985	4.9	0.38	720	0.12	0.02	0.01	0.01	0.005	102
工业水井2	7.64	441.5	133	185.3	11.7	846.5	3.6	0.25	640	0.08	0.01	0.01	0.005	0.005	96.3
工业水井3	7.56	411.3	248.4	279.4	14.8	976.71	5.1	0.41	810	0.05	0.01	0.01	0.01	ND	110
工业水井4	7.61	387.5	112.85	178.6	19.3	733.5	62.5	0.1	70	0.03	0.005	0.02	ND	ND	83.4
标准Ⅲ类	6.5~8.5	450	250	—	20	1000	3	0.2	100	0.3	1	1	0.05	0.01	—
标准Ⅳ类	5.5~6.5, 8.5~9	550	350	—	30	2000	10	0.5	1000	1.5	1.5	5	0.1	0.01	—

注:①ND表示未检出。本表中标准是《地下水质量标准(GB/T 14848-93)》,其中Ⅲ类是以人体健康基准值为依据,主要适用于集中式生活饮用水水源及工、农业用水;Ⅳ类是以农业和工业用水要求为依据,除适用于农业和部分工业用水外,适当处理后可作生活饮用水。②细菌总数的单位:个/mL,pH无单位。

由《地下水质量标准(GB/T 14848-1993)》和《生活饮用水卫生标准(GB 5749-2006)》可知,研究区地下水中无机物含量较高,总硬超标,部分井有机物和微生物超标,不能直接饮用。

1) 无机物超标。主要污染物为氨氮、COD,其次是总硬度,个别井的硝酸盐和含盐量较高,接近超标。研究区硬度和溶解性总固体含量整体多年持续上升。硝酸盐含量较高,多年变化不稳定,总体呈上升趋势;同时,亚硝酸盐氮和氮含量也在逐年上升。氯化物、硫酸盐含量逐渐升高,超标率较低。水化学类型发生了明显改变。在20世纪70年代前期,地下水化学类型以HCO-Ca·M和HCO-Ca水为主;现在,由于Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻等的增多,区内水化学类

型变得复杂,在局部地区形成了以含大量Cl⁻、NO₃⁻为特征的水化学类型:HCO·Cl—Ca·Mg水及HCO·SO—(K+Na)·Ca·Mg水^[2-3]。

2) 有机物污染及微生物超标。目前研究区域井中能检测到的卤代烃只有三氯乙烯,但检出浓度不高,低于EPA标准的5μg/L^[6],也远低于GB5749-2006标准的0.07mg/L。未检测到PAHs。

COD高可能是氨氮、亚铁和细菌超标引起的。

2.2 民用水井取样分析

取紧邻本研究区的位于永定河下游的某村庄的民用水井中的水样和泥样进行分析^[5]。分析结果见表2。

表2 研究区下游某村民用水水井水样分析结果 mg/L

项目单位	pH	总硬	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	TDS	COD _{Mn}	氨氮	细菌总数	Fe	Cu	Zn	Cr	Cd	Na
常用水井	7.13	480	131.4	152.3	9.5	601	1.7	0.05	15	0.02	ND	ND	ND	ND	60
备用水井	7.48	585	150.9	164.2	11.3	725	1.8	0.06	13	0.02	ND	ND	ND	ND	57
标准	6.5~8.5	450	250	250	20	1000	3	0.5	—	0.3	1	1	0.05	0.005	200

注:①ND表示未检出。②本表中标准是《生活饮用水卫生标准(GB 5749-2006)》,要求菌落总数≤100CFU/mL。③细菌总数的单位:个/mL,pH无单位。

由表2可知,研究区下游某村庄井水没有受到有机物和重金属污染,只是硬度超标^[7],其余指标基本上都达到地下水Ⅲ类水质标准,建议勾兑软化水或适当软化或除盐后饮用。

3 水污染风险评价

地下水污染评价一般多采用单因子指数法、内梅罗指数法、模糊综合评价法。本文采用内梅罗污

染指数法对研究区地下水环境进行评价和质量分级,分级标准见表3。该方法能综合反映多种污染物对地下水的作用,同时突出了高浓度污染物对地下水环境质量的影响^[8]。

表3 基于内梅罗污染指数的地下水污染分级

P	<1	1~2	2~3	3~5	>5
水质等级	清洁	轻污染	污染	重污染	严重污染

采用内梅罗指数法对研究区的地下水污染进行 风险评价,分析结果见表 4。

表 4 内梅罗污染指数分析

项目	总硬 $/(mg \cdot L^{-1})$	Cl^{-} $/(mg \cdot L^{-1})$	NO_3^{-} $/(mg \cdot L^{-1})$	TDS $/(mg \cdot L^{-1})$	COD_{Mn} $/(mg \cdot L^{-1})$	氨氮 $/(mg \cdot L^{-1})$	$P_{i,max}$	\bar{P}	I
标准Ⅲ类	450	250	20	1000	3	0.2			
工业水井 1 污染指数 P_i	1.122	0.5824	0.68	0.985	1.633	1.9	1.9	1.1505	1.5706
工业水井 2 污染指数 P_i	0.9811	0.532	0.585	0.8465	1.2	1.25	1.25	0.8991	1.0688
工业水井 3 污染指数 P_i	0.914	0.9936	0.74	0.9767	1.7	2.05	2.05	1.229	1.6901
工业水井 4 污染指数 P_i	0.8611	0.4514	0.965	0.7336	0.8333	0.5	0.965	0.7241	0.8531

注:本表中的标准依据《地下水质量标准(GB/T 14848-1993)》Ⅲ类。

结果表明:研究区地下水的内梅罗污染指数在 1~2 之间,为轻污染,主要污染物为氨氮、COD,其次是总硬度,个别井的硝酸盐和含盐量较高,接近超标。无机污染物一般不具有有机污染物的可降解性,对水体的影响是长期的;而且有机污染物最终转化为无机物,可加剧地下水盐污染^[3]。因此,有必要进行地下水修复。

4 污染来源分析

根据研究区域的生产性质和周边环境分析,地下水污染途径可分为四种情况:

- 1) 通过面状渗漏污染地下水。在研究区,由于大量引用废污水或中水抑尘、洒水,造成污染物下渗,导致松散孔隙水水质恶化,进而形成对中深层地下水污染。另外,钢铁企业生产过程中会产生很多的烟尘,经过降雨会侵入土壤进而污染地下潜水层。
- 2) 通过地表水入渗污染地下水。居民生活和企业生产所产生的一些废渣、废料、废水等各种污染物排入附近的永定河道后,变成纬状污染源,降雨时就会在河道两岸入渗,导致地下水水体污染。
- 3) 通过淋滤下渗污染地下水。研究区内工业垃圾以及上游生活垃圾等等各种固体堆积物中含有较多的硫酸盐、氨、细菌、混杂物和腐烂的有机物,经生物降解和雨水淋滤后,随雨水下渗,形成对地下水的污染。
- 4) 通过局部点状渗漏弥散污染地下水。钢铁企业地下管道数不胜数,一旦管道腐蚀、破损等造成

泄漏,就会对地下水尤其是潜水层造成威胁。泄漏污水进入地下后,一部分会受到土壤吸附以及生物降解等作用,滞留在土壤中,还有一部分会随着水体继续前进,最终汇入地下水中。在国外,Eiswirth 等列出地下污水管网泄漏是地下水的污染源之一;wakida and Lerner(2005)通过氮平衡确定出其泄漏率为 13%;Ellis et 等通过室内实验,确定地下管道泄漏率在 5%~10%之间。因此,管道泄漏引起的污染问题不可忽视^[9]。

5 基于环境风险的地下水污染治理的探讨

多年的实践表明,按照传统的方法来治理土壤和地下水污染往往难以成功。主要是因为传统的环境标准治理模式治理费用高昂,政府和许多企业的财力难以承受;此外,常用的治理技术又很难将污染物治理至环境标准值以下。产生这些问题的根源在于环境标准治理模式固有的缺陷——治理目标的刚性^[10]。为解决这一问题,欧美、日本等发达国家逐渐发展出基于环境风险的治理模式,在众多具体子模式中,又以 ASTM(美国材料与试验协会)的 RBCA(Risk-based Corrective Action)模式^[11-12]应用最为广泛和成功。目前,加拿大、日本和我国台湾也在采用这一模式。

5.1 治理目标

结合研究区地下水实际情况,以《生活饮用水卫生标准(GB 5749-2006)》为基准,制定基于环境风险的治理目标^[10,12-13]。

表 5 制定基于环境风险的治理目标

目标单位	pH	总硬	Cl^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	TDS	COD_{Mn}	氨氮	细菌总数	Fe	Cu	Zn	Cr	Cd	Na
一级	6.5~8.5	450	250	250	20	1000	3	0.2	100	0.3	1	1	0.05	0.005	200
二级	6.5~8.5	450	250	—	20	1000	3	0.5	100	0.3	1	1	0.05	0.01	—
三级	6.5~9.5	550	300	—	20	1500	3	0.5	500	0.5	1	1	0.05	0.01	—

注:基于环境风险的治理目标的一级同时满足《生活饮用水卫生标准(GB 5749-2006)》和《地下水质量标准(GB/T 14848-1993)》Ⅲ类相应指标的要求,二级满足较宽松的一个;②细菌总数的单位:个/mL,pH 无单位。

5.2 不同治理目标的技术经济比较

治理模式主要有传统的环境标准治理模式和基于环境风险的治理模式。目前应用的地下水修复技术很多^[14]。在不同模式下选择适用的修复技术进行技术经济比较,见表6。

表6 不同治理目标的技术经济比较

治理模式	成本估算/百万元	时间/a
环境标准治理模式	18~23	1.5~2.5
RBCA模式一级目标	20~25	1.5~2.5
RBCA模式二级目标	11~15	1~1.5
RBCA模式三级目标	8~10	0.75~1

注:本文环境标准治理模式以《地下水质量标准(GB/T 14848-1993)》第三类地下水环境质量为基准。

可见,采用不同模式将直接导致治理对象、治理方法及治理规模的差异;即使是采用相同的模式,治理目标等级不同,治理成本和时间也会有较大差别。

6 结论与建议

1) 研究区地下水的取样分析表明,内梅罗污染指数在1~2之间,为轻污染,主要污染物为氨氮、COD,其次是总硬度,个别井的硝酸盐和含盐量较高,接近超标,有必要进行修复。

2) 研究区下游某村庄井水只是硬度超标,其余指标基本上都达到地下水Ⅲ类水质标准。研究区及下游一些村庄地下水总硬度总体较高,已逐渐成为影响人们生活质量的因素之一,需引起供水部门的重视,建议短期可以勾兑软化水或适当软化或除盐后饮用。总硬度超标率呈现区域和水层差异,以后在水源选择时,应尽量选择基岩井^[9]。

3) 采用不同模式将直接导致治理对象、治理方法及治理规模的差异;即使是采用相同的模式,治理目标等级不同,治理成本和时间也会有较大差别。

4) 建议将土壤污染与地下水污染统筹考虑,采

用场地调查、风险评估、污染治理的程序。建议采用环境同位素方法^[4]结合理化分析研究地下水污染。另外地下水修复应分类治理,分质使用。同时,作为确定地下水污染状况的有力手段,地下水环境监测工作应贯穿地下水修复的全过程。

参考文献

1 关秉钧,唐京春.用环境同位素方法研究北京地区地下水及工业污染时空变化规律.水文地质工程地质,1992,19(5):10~14

2 王小玲,刘予,张志林.北京市永定河冲洪积扇地下水环境背景值的调查研究.北京地质,1994(2):20~28

3 邹胜章,张金炳,李洁.北京西南城近郊浅层地下水盐污染特征及机理分析.水文地质工程地质,2002,(1):5~9

4 陈静生,王飞越,陈江麟.论小于63μm粒级作为水体颗粒物重金属研究介质的合理性及有关粒级转换模型研究.环境科学学报,1994,14(4):419~425

5 孙卫玲,赵智杰,杨小毛.深圳江碧工业区地下水污染及其原因分析.环境科学研究,2002,15(2):12~15

6 张达政,陈鸿汉,李海明.浅层地下水卤代烃污染初步研究.中国地质,2002,29(3):326~329

7 苏领彦.北京市石景山区地下水中总硬度含量卫生学分析.职业与健康,2006,22(9):641~642

8 刘长礼,张云,张凤娥.北京某垃圾处置场对地下水的污染.地质通报,2003,22(7):531~535

9 高秀花,李俊梅,王娟.地下污水管道泄漏对环境影响研究进展.地下水,2009,31(4):85~88

10 陈炼钢,武晓峰.基于环境风险的土壤地下水污染治理.环境保护,2005,(10):52~55

11 ASTM International. E2081-00, Standard Guide for Risk-Based Corrective Action. 2000

12 陈鸿汉,湛宏伟,何江涛.污染场地健康风险评价的理论和方法.地学前缘,2006,13(1):216~223

13 湛宏伟,陈鸿汉,刘非.污染场地健康风险评价的实例研究.地学前缘,2006,13(1):230~235

14 杨梅,费宇红.地下水污染修复技术的研究综述.勘察科学技术,2008,(4):12~16,48