

浅层孔隙地下水 水质演化机理研究

——以河南洛阳市为例

王现国 等著

824
381



黄河水利出版社

浅层孔隙地下水水质 演化机理研究

——以河南洛阳市为例

王现国 刘丕新 董永志 卢予北 著

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

浅层孔隙地下水水质演化机理研究:以河南洛阳市为例/
王现国等著. — 郑州:黄河水利出版社, 2005. 7
ISBN 7-80621-918-8

I. 浅… II. 王… III. 地下水-水质-演化-机理-
研究-洛阳市 IV. X824

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 047090 号

策划组稿:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:wlp@yrcp.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail:yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm×1 168 mm 1/32

印张:4

字数:100 千字

印数:1—1 500

版次:2005 年 7 月第 1 版

印次:2005 年 7 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-918-8/X·17

定价:10.00 元

前 言

地下水污染是指在人类活动影响下,地下水水质朝着恶化方向发展的现象。不管此种现象是否使水质恶化达到影响使用的程度,只要这种现象发生,就应该视为污染。自 1972 年西德学者马修斯教授(G. marthess, 1972 年)提出“地下水污染”的概念开始,随着社会、经济和都市化的发展,不合理开采地下水,工业“三废”排放的增加,环境污染已成为人类所面临的主要环境问题之一,地下水污染与防治工作越来越受到诸多国家的重视,国际地质界自 20 世纪 80 年代以来,把研究的重点从地下水资源评价与管理转移到地下水污染与防治上来。

近年来,地下水污染在我国呈现逐渐加剧的现象,全国 130 个城市连续多年水质监测资料表明,约有 64% 的城市地下水污染较严重,33% 的城市地下水污染较轻,仅 3% 的城市地下水基本清洁。从单项污染因子看,130 个城市中有 85% 的城市地下水硬度已超过了现行国家生活饮用水标准,超标在 12% ~ 100% 之间。由此而造成的破坏是巨大的,如北京市每年处理硬水所花费用就高达 5 000 万元。

洛阳市地下水已受到污染,浅层地下水的总硬度逐年升高,年平均升高值为 $7.8 \text{ mg/L}(\text{CaCO}_3)$ 。据不完全统计,洛阳市仅锅炉用水一项每年由地下水硬化所造成的损失达 440 万元。因此,受洛阳市政府委托,我们开展了洛阳地下水硬化及防治对策研究工作。

本书主要研究的内容如下:

(1)查明洛阳市浅层地下水开采情况,地下水位下降的时空变化规律。

(2)查明洛阳市浅层地下水水质(硬度)的时空变化规律。

(3)查明洛阳市地下水的主要污染源分布、规模等特征。

(4)分析研究洛阳市浅层地下水硬度升高的原因。

(5)通过回灌试验,分析研究地下水硬度的变化特征。

(6)初步分析地表河流水文要素变化及侧渗对岸边地下水硬度的影响特征。

本书借鉴国内外研究成果,通过对洛阳市自然地理、地质概况、水文地质条件、地下水水质现状及历时演变情况的分析,总结出了洛阳市浅层地下水硬度升高的规律,并揭示了硬度升高的原因,建立了预测地下水硬度变化的数理统计模型,提出了防治对策。研究得出的主要结论如下:

(1)洛阳市浅层地下水已受到不同程度的污染,其质量呈现逐年变差的趋势,地下水的总硬度年均上升 $7.8 \text{ mg/L}(\text{CaCO}_3)$ 。

(2)洛阳市浅层地下水硬度升高是受环境污染、地下水开采等多种因素综合影响的结果。受工业污染后李至白马集团一带地下水的硬度已严重超标,最高达 $1992.3 \text{ mg/L}(\text{CaCO}_3)$ 。

(3)地表河流与浅层地下水之间的联系密切,地表河流水质对岸边地下水的水质影响明显,所以要防止地表河流污染,进而污染地下水。浅层地下水接受低硬度河水的补给,其硬度大大降低,可通过人工调蓄来增加河水对地下水的补给,降低傍河开采水源地浅层地下水的硬度。

(4)用低硬度的地表水回灌,可以降低地下水的总硬度,其效果明显,在完善已有回灌工程的基础上,建设新的回灌工程也是可行的。

(5)加强“三废”排放的管理,严禁乱排乱放,提高污水资源化利用程度,减少污染,保护城市水资源的可持续利用。

(6)调查洛阳市现有地下水的开采方案,在康庄一带加快供水水文地质勘探工作,为城市发展寻找新的后备水资源,减缓城区地下水硬化的趋势。

值此本书出版之际,特别感谢中国地质大学靳孟贵教授(博士生导师),在研究工作过程中对我们的关心和支持,感谢中国地质大学(武汉)梁杏教授、马腾教授等老师,林丽蓉、刘延峰、孙自永、彭涛、刘伟等博士生给予的支持和帮助。

在收集资料和研究工作期间,洛阳市环境保护研究所顾雪荣高工(所长)、刘学善高工(总工程师)、牛波高工、洛阳市环境保护监测站务宗伟高工(总工程师)提供了大量的资料。同时,在撰写过程中引用了国内外有关学者的文献成果。在此一并表示衷心感谢。

作 者

2005年2月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 选题的依据及意义	(1)
1.2 国内外研究现状	(2)
1.3 研究区水工环地质研究程度及存在问题	(4)
1.3.1 研究程度	(4)
1.3.2 存在问题	(5)
1.4 主要研究内容与技术路线	(6)
1.4.1 研究区范围	(6)
1.4.2 研究内容	(6)
1.4.3 主要技术路线	(8)
第2章 地质环境条件	(9)
2.1 自然地理概况	(9)
2.1.1 概况	(9)
2.1.2 地形地貌	(9)
2.1.3 气象水文	(11)
2.1.4 地层与地质构造	(15)
2.2 水文地质条件	(18)
2.2.1 地下水的类型	(18)
2.2.2 地下水的补给、径流、排泄条件	(20)
2.2.3 地下水动态特征	(21)
2.2.4 地下水开采现状	(22)
2.3 地下水化学特征	(24)
2.3.1 地下水一般化学特征	(24)

2.3.2	浅层地下水成分的动态特征	(25)
2.3.3	地下水典型化学成分	(26)
第3章	地下水污染	(31)
3.1	地下水污染源	(31)
3.1.1	工业废水	(31)
3.1.2	生活废水	(32)
3.1.3	农业污染	(32)
3.2	废水中的污染物	(32)
3.3	地下水环境质量评价	(33)
3.3.1	评价说明	(33)
3.3.2	地下水质量状况	(36)
3.3.3	地下水质量年际变化与污染分析	(40)
第4章	地下水水质演化机理研究	(42)
4.1	地下水硬度的时空演变规律	(42)
4.1.1	洛阳市地下水总硬度区域变化研究	(43)
4.1.2	水质硬化的历时变化研究	(46)
4.2	环境污染引起地下水硬度升高的原因	(50)
4.2.1	工业污染对地下水硬度的影响	(50)
4.2.2	生活污染对地下水硬度的影响	(52)
4.3	地下水开发利用对地下水硬度的影响	(56)
4.4	污水灌溉对地下水硬度的影响	(57)
4.5	地表河流对地下水硬度的影响	(58)
4.6	地下水硬度变化趋势预测	(66)
4.6.1	洛阳市浅层地下水硬度的回归分析预测	(66)
4.6.2	洛阳市浅层地下水硬度的灰色数列预测	(68)
第5章	地下水硬度升高的防治对策	(77)
5.1	地下水硬度升高所产生的危害	(77)
5.1.1	硬水对工业生产的危害	(77)

5.1.2	硬水对农业生产的影响·····	(79)
5.1.3	硬水对日常生活与人体健康的影响·····	(79)
5.2	人工回灌防治地下水硬度升高·····	(82)
5.2.1	回灌影响范围和时间·····	(82)
5.2.2	回灌影响值·····	(84)
5.2.3	影响因素分析·····	(84)
5.3	防治对策·····	(87)
5.3.1	有效控制城市污染·····	(87)
5.3.2	实施清洁地表水回灌·····	(88)
5.3.3	开发利用地表水资源,节约用水,控制地下水 开采·····	(89)
5.3.4	实现污水资源化·····	(90)
5.3.5	加强管理·····	(90)
第6章	洛阳市浅层地下水保护研究 ·····	(93)
6.1	包气带防护能力评价·····	(93)
6.1.1	防护条件良好区·····	(93)
6.1.2	防护条件较好区·····	(93)
6.1.3	防护条件一般区·····	(93)
6.1.4	防护条件较差区·····	(94)
6.1.5	防护条件极差区·····	(94)
6.2	地下水水源地保护区划分·····	(94)
6.2.1	污染物在包气带介质中运移规律·····	(94)
6.2.2	地下水水源地保护区划分原则和方法·····	(97)
6.2.3	水源地保护区划分技术要求和依据·····	(100)
6.2.4	水源地保护区分区·····	(101)
第7章	结论与展望 ·····	(107)
7.1	结论与建议·····	(107)
7.1.1	结论·····	(107)

7.1.2 建议	(108)
7.2 研究展望	(111)
参考文献.....	(113)

第 1 章 绪 论

1.1 选题的依据及意义

地下水污染是指在人类活动影响下,地下水水质朝着恶化方向发展的现象。不管此种现象是否使水质恶化达到影响使用的程度,只要这种现象发生,就应该视为污染。人类开发利用地下水已有悠久的历史,随着人类开发利用地下水活动的加剧,环境条件的改变,人们逐渐觉察到人为活动引起地下水水质发生变化的一些迹象。1972 年,西德学者马修斯教授(G. Marthess, 1972 年)提出了“地下水污染”的概念。随着社会、经济和都市化的发展,地下水不合理开采,工业“三废”排放日益加剧,环境污染已成为人类所面临的主要环境问题之一,地下水污染与防治工作越来越受到诸多国家的重视。国际地质界自 20 世纪 80 年代以来,把研究的重点从地下水资源勘察评价转向地下水污染防治。在美国,近二十多年中,已把受污染场地中土壤和地下水污染的去除作为优先考虑的问题,并计划在未来几十年修复 30~40 个污染场地,费用估计达 5 000 亿~10 000 亿美元;仅 1996 年,美国在污染场地修复上的花费就高达 90 亿美元^[28]。

近年来,地下水污染在我国逐年加剧,全国 130 个城市连续多年水质监测资料表明,约占 64% 的城市地下水污染较严重,33% 的城市地下水污染较轻,仅 3% 的城市地下水基本清洁。从单项污染因子看,130 个城市中有 85% 的城市地下水硬度已超过了现行国家生活饮用水标准,超标范围在 12%~100%。地下水污染造成的损失很大,根据公布的有关资料,北京每年处理硬水所花费用高达 5 000 万元。据不完全统计,洛阳市仅锅炉用水一项每年

由地下水硬化所造成的损失达 440 万元。

洛阳市位于河南省西部,是我国著名的历史文化名城,因居洛河之北,邙山之南而得名。市辖面积约 464 km^2 ,构造部位为洛阳断陷盆地,地貌类型为洛河冲积平原,区内地势平坦,地面海拔在 $130 \sim 150 \text{ m}$ 。

洛阳市是新中国成立后国家重点建设发展起来的大型工业城市,随着城市规模不断扩大,城市“三废”排放不断增加,环境污染日益加重,地下水质量呈下降趋势,地下水的总硬度愈来愈高,局部已超过现行国家生活饮用水标准,最高达 $1\,992 \text{ mg/L}$ (以 CaCO_3 计)。从多年来的水质监测资料分析,洛阳市地下水污染比较严重,污染因子主要以总硬度、矿化度、 Cr^{6+} 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等,硬度逐渐升高已是不争的事实。从水资源可持续发展角度看,应该尽早采取措施,阻止或减轻地下水污染,否则,由此所衍生的环境问题及其经济损失将难以估量。

针对洛阳市已出现的地下水硬度升高现象,为了全面掌握地下水硬度升高规律,分析研究地下水硬度升高机制,并预测其发展趋势,防止地下水质量进一步恶化,我们开展了此项研究工作,目的是为洛阳市水资源开发利用与保护和国民经济的持续发展提供科学支持。

1.2 国内外研究现状

近几十年来,工业化和都市化进程带来了世界范围内地下水量衰竭和水质恶化,从地下水中检测出的各种元素及其化合物的浓度是罕见的。地下水的污染对于人类社会可持续发展的危害已受到各国政府和公众的广泛关注,自 1972 年西德学者马修斯教授提出地下水污染的概念以来,德国学者弗里德(J. J. Fried)^[6]、美国学者 D. W. Miller^[8]等以及国内许多专家对地下水污染与防治进行了专门的探讨,取得了显著的成效,在发达国家因基本上都

已建设有固体垃圾处理场,因此其对地下水的污染研究仅限于处理场周围的局部地区。美国学者 Bracelona.M. et al.^[9] 研究有代表性的垃圾土地填埋淋滤液的化学组分浓度为: K^+ , 200~1 000 mg/L; Na^+ , 200~1 200 mg/L; Ca^{2+} , 100~3 000 mg/L; Mg^{2+} , 100~500 mg/L; Cl^- , 300~3 000 mg/L; SO_4^{2-} , 10~1 000 mg/L。显然,固体垃圾的淋滤是城市地下水硬度升高的重要污染源。

我国华北平原浅层地下水,北京市、石家庄市、徐州市、峨眉山东麓等地浅层地下水,辽宁金州地区浅层地下水,宝鸡、郑州等地浅层地下水污染较为严重,主要污染因子为地下水硬度。这些地方对地下水硬度升高机理的研究程度较高,地下水硬度升高的原因是复杂的。

据 2002 年我国城市水质污染基本概况统计:130 个城市浅层地下水主要超标因子为总硬度、矿化度、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、 Cl^- 、 F^- 、pH 值等,东北、华北、西南、西北以硬度为第一超标因子,如宝鸡市地下水硬度上升 10.15~74.1mg/L(2002 年)。近年来,有大量的学者从污染源类型,水文地球化学作用等角度出发,对地下水硬度升高机理进行了探讨。

我国学者陈静生^[22]等在 1982 年对华北地区主要城市地下水硬度升高机理进行了研究;毕二平(2001 年)^[12]、郭永海(1996 年)^[17]先后从环境污染、地下水化学环境演化的地球化学模拟等方面对河北平原地下水硬度升高的原因进行了研究。吴勇、覃键雄等(1996 年)^[11]通过对浅层地下水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 碳酸盐、硫酸盐络合物的研究,对浅层地下水水质硬化机理做了详细的论述。于开宁(2000 年)^[13]、1996^[18]、王东胜(1995 年)^[15]、1998 年^[16]探讨了石家庄市浅层地下水硬度升高的时空演化,水岩相互作用,氮迁移转化对地下水硬度升高的影响。刘凌(1996 年)^[19]对污水灌区地下水硬度升高的机理进行了研究。李绪谦(1994 年)^[21]分析了酸雨地区地下水硬度升高的机理。钟佐桢(1984 年)^[2]对北京

市地下水硬度升高的化学机理进行了探讨,认为当污水中的钠吸附比(SAR)值为 2.13 和 3.52 时,下渗水中所增加的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} , 70% 来自 Na-Ca 交换,它们分别使硬度(以 CaCO_3 计)增加 94 mg/L 和 60 mg/L。

1.3 研究区水工环地质研究程度及存在问题

1.3.1 研究程度

洛阳市区的水工环地质工作研究程度较高,几十年来,地矿、城建、煤炭、水利、大专院校等部门,为不同的目的在区内开展过多次地质、水文地质、工程地质、环境地质工作,积累了较为丰富的资料,特别是河南省水文地质二队、洛阳市节水办、洛阳市水利局、中国地质大学(北京)、北京大学、洛阳市地矿局等单位,分别进行了一系列的供水水文地质、区域水文地质、地下水水量模拟、地下水动态观测、地质环境监测、地下水资源调查等工作,主要成果如下:

(1)洛阳市 1:5 万农田供水水文地质勘察报告,河南省水文地质大队,1962 年。

(2)洛南、李楼城市供水水文地质勘察报告,河南省水文地质二队,1972、1980 年。

(3)洛阳市地下水资源评价研究,河南省水文地质二队,1986 年。

(4)涧西深层水水文地质勘察报告,河南省水文地质大队,1971 年。

(5)洛阳市地下水污染现状调查和评价,洛阳市环境监测站,1987 年。

(6)洛阳市 2000 年地下水资源及环境地质问题预测报告,河南省水文地质二队,1988 年。

(7)洛阳市城市地质系列图说明书,河南省水文地质二队,

1989年。

(8)洛阳市地下水保护区划研究,河南省水文地质二队,1999年。

(9)洛阳市城市地下水开发利用和保护规划,清华大学,1996年。

(10)洛阳市地下水动态观测年报,河南省水文地质二队,1984~2003年。

(11)洛阳市地下水水质监测资料,洛阳市环境保护局,1996~2002年。

(12)洛阳市环境监测报告,洛阳市环境保护局,1995~2002年。

(13)洛阳市地面沉降研究工作总结,河南省水文地质二队,1986年。

现已解决的主要问题:①基本查明了洛阳市的区域水文地质条件,特别是浅层地下水含水层条件以及区域地下水补给、径流、排泄条件;②基本掌握了区内地下水动态变化规律和环境地质条件;③建立了地下水位、水温、水质监测网,掌握了洛阳市多年来地下水的开采情况及浅层地下水流场变化特征;④基本查明了洛阳市地下水污染特征及水质时空演化。

1.3.2 存在问题

国内外学者以往在地下水硬度升高方面的研究成果,大多数都是分析研究地下水硬度升高的时空演化规律。近年来,部分学者从水文地球化学作用方面对不同地区、不同污染源对地下水硬度升高的影响进行了研究,但研究程度相对较低。

洛阳市是一个历史悠久的城市,新中国成立后城市工业有了很大的发展,但城市生活污染和工业污染比较严重,地下水已明显受到污染,地下水质量逐年变差,尤其是浅层地下水硬度明显上

升,而前人在这方面还没有做过系统的专门研究。洛阳市随着城市规模的不断扩大,地下水的开采量不断增加。目前,已有 8 个集中开采地下水的水源地,地下水流场相继发生了变化,初步分析得知地下水硬度上升与地下水人工开采存在一定的关系,如在时空分布演化上有一致性,因此对地下水硬度升高机理研究亟需进一步研究。

本文重点要解决的问题是:

(1)探讨洛阳市浅层地下水硬度升高的形成机理。

(2)分析回灌试验条件下地下水硬度的变化特征。

(3)初步分析地表河流水文要素变化及侧渗对岸边地下水硬度的影响。

1.4 主要研究内容与技术路线

1.4.1 研究区范围

洛阳市位于黄河中下游的河南省西部,地处东经 $111^{\circ}08'$ ~ $112^{\circ}59'$,北纬 $33^{\circ}39'$ ~ $35^{\circ}05'$,是豫西山地与东部黄淮平原的过渡地带,南北纵跨 234 km,东西横卧 254 km,总面积 $15\,208.6\text{ km}^2$,本课题研究区范围是洛阳市市区(不包括吉利区),面积为 464 km^2 。洛阳市地理位置图见图 1-1(阴影部分为研究区)。

研究区位于伊洛河盆地西部,是冲积河谷平原,城市区沿洛河北岸呈狭长地带东西分布,北依邙山、南望龙门、西靠小秦岭、东望伊洛川,形成西高东低之趋势,区内地势平坦,海拔标高多在 130~150 m。

1.4.2 研究内容

研究目标:通过分析研究,搞清洛阳市浅层(80 m 以上)地下水硬度升高的原因,并提出初步的防治措施。

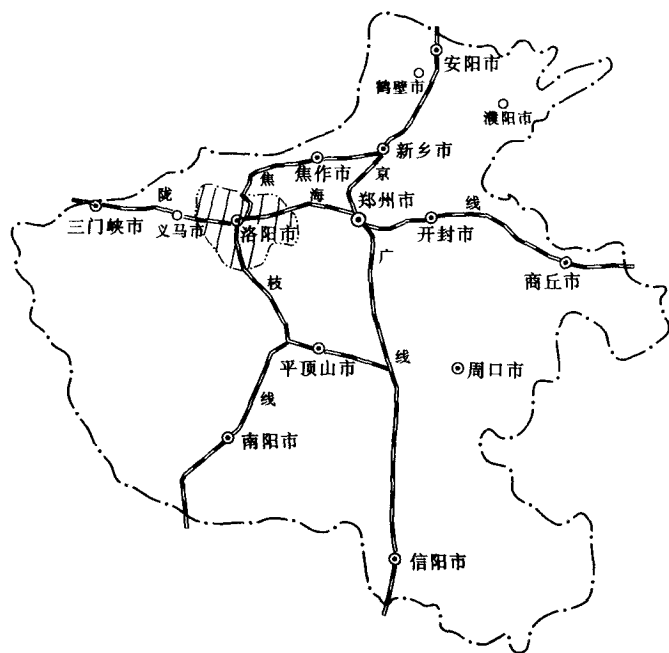


图 1-1 洛阳市地理位置图

研究内容:①查明洛阳市浅层地下水开采情况以及地下水水位下降的时空变化规律;②查明洛阳市浅层地下水水质(硬度)的时空变化规律;③查明洛阳市地下水的主要污染源分布、规模及特征;④探讨洛阳市浅层地下水硬度升高的形成机理;⑤开展回灌试验,分析回灌试验条件下地下水硬度的变化特征;⑥初步分析地表河流水文要素变化及侧渗对岸边地下水硬度的影响。

拟解决的关键问题:①不同类型的污染源(工业废水,城市生活污水)引起地下水硬度升高的机理研究;②地表河水及人工回灌对地下水硬度的影响机制。③地下水集中水源地保护区划分研究。