

地下水污染风险评估现状研究

王斯 余进海 黄世博
西藏大学

DOI:10.12238/eep.v7i4.2031

[摘要] 地下水是水资源的重要组成部分之一,在工业、农业和生活等方面占据重要位置。现如今,地下水污染日益严重,地下水污染风险评估已成为地下水开发利用重要的一环,可保障居民饮水健康、产业用水充足等。本文概述了地下水污染的不同途径;总结了地下水污染风险评估方法;归纳了最常用的地下水脆弱性评价模型;提出了污染评价方法当前存在的问题和未来展望。

[关键词] 地下水污染; 主要途径; 风险评估; 评价模型

中图分类号: X131.2 **文献标识码:** A

Present situation research on risk assessment of groundwater pollution

Si Wang Jinhai Yu Shibo Huang
Tibet University, Lhasa

[Abstract] Groundwater resources occupy an important resource position in industry, agriculture and life. Groundwater pollution risk assessment protects the health of residents' drinking water and the adequacy of industrial water, etc., and this work becomes an important part of groundwater protection and regulation. This paper outlines the different pathways of groundwater pollution; summarises the groundwater pollution risk assessment methods; summarises the most commonly used groundwater vulnerability assessment models; and puts forward the current problems and future perspectives of pollution assessment methods.

[Key words] Groundwater Pollution; Major Pathways; Risk Assessment; Assessment Model

水资源是地球上生物体赖以生存的基础,支持工业生产、农业灌溉和居民用水。地下水是水资源的重要组成部分之一。随着现代科技、经济和农业的发展,地下水的开采利用不断深入。由于地下水开采的深度和次数、工业废水和生活污水的排放、地表污染物的堆积等现象,导致地下水污染风险不断增加。为了加强地下水的开发利用及保护,地下水污染风险评估成为必要工作。近年来,众多学者在地下水污染风险评估领域研究深入,主要包括地下水脆弱性模型和方法的创新等。地下水污染具有途径隐蔽、污染防治不及时、污染源多样且污染区域广等特点,因此,地下水污染风险评估需结合地下水脆弱性、污染源荷载和地下水功能价值综合评估,提升风险评估研究的客观性和准确性。地下水污染防治关乎社会经济发展、人民生命健康等,因此广泛开展地下水污染风险评估研究意义重大。

1 地下水污染风险概述

地下水是我国水资源的重要组成部分,由于越来越多的人类活动,导致地下水资源被大量开采,用于工业生产、农业灌溉和居民饮用等。地下水污染风险概念引申于地下水脆弱性这一词^[1]。地下水污染是指由于受自然因素影响和人类活动扰动致

地下水水质恶化的现象。风险是指发生不幸事件的概率,也就是发生不幸事件的可能性与后果的组合。

起初,国内外对地下水污染的理解只是污染物从含水层上部侵入到某位置,进而污染地下水的地下水脆弱性概念的转化,现如今,由于对地下水污染的污染受体研究的深入,根据受体对象的不同,分为基于人类健康的地下水健康风险评估、基于生态环境的地下水生态风险评估以及基于地下水功能的地下水污染风险评估3类^[2],使地下水污染风险概念更加深入全面。地下水污染风险是指地下水污染事件发生的概率与发生后可能造成的后果的乘积^[3],即:

$$RI = P \times C \quad (1)$$

式中: R(Risk)为地下水污染风险, P(Probability)为地下水污染可能性(概率), C(Consequence)为地下水污染可能造成的后果。

2 地下水污染途径

大气降水、地表河流与湖泊、冰雪融水和凝结水等通过入渗、越流和径流等方式渗入土壤进入地下溶洞和暗河等通道形成地下水。当地下水受到污染时,代表地表河流等补给来源受到污染;或者将污染物堆积到地表时,降水等进行冲刷溶解并携带

有害物质进入地下水；或者工矿业直接通过深井将工业废水排入地下、农业生产使用的肥料等中的有害物质渗入土壤等。因此，地下水污染途径与地表水和土壤密切相关。

2.1 农业污染

农业引起的污染大多是扩散型面源污染，农业面源污染是地下水污染治理攻坚重点，通常与农业化学品的投入不合理有关。随着科技的发展，农业生产大多依赖于农药和化肥，然而农药和化肥中的有机物一部分被农作物等吸收，一部分进入大气，剩余部分则停留土壤表面或进入土壤，在降雨、地形和地表径流的共同驱动下，进入地下含水层中，造成地下水污染。

2.2 工矿业污染

工矿业污染主要表现在地下水重金属污染，大多分布在城市和靠近工矿企业的区域。工矿业对地下水造成的重金属污染可分为天然因素和人为因素污染。其中，天然污染主要来自地下水对岩石产生的溶蚀等作用，岩石中可溶性矿物溶于地下水，危害人类健康；其次，岩石风化致使岩层松散，经雨水和河流等地表水冲刷，岩石矿物伴随地表水污染地下水。人为因素污染主要来自工矿业的生产及开发，随着我国工矿业生产规模的逐步扩大，地下水面临遭到工矿业污染的风险越来越高。例如露天堆放的矿物、矿渣会通过降雨冲刷进入土壤，进而进入地下含水层；工矿企业等将未经加工处理的废水直接排入到地表水，伴随水活动进入含水层，进而污染地下水等。

2.3 生活污染

随着世界人口的不断增多，生活污水和生活垃圾的污染面积不断扩大。不经处理的生活垃圾，直接运送堆积到某指定区域进行填埋或焚烧，这些长时间被掩埋在城市周边的垃圾，经过雨淋、腐蚀和径流冲刷等自然现象，将它所溶出的有害物质携带进入地下，进而对地下水造成污染。不经管理和处理的生活污水直接排到地表，渗透进入地下，含磷洗涤剂对地下水的影响较严重，其中大多是人工合成的有机化合物(如洗衣粉、洗洁精等)，含磷的废水流入江河和湖泊等地表水，致使水质变差。

3 地下水污染风险评价

地下水污染风险是地下水脆弱性、地下水污染荷载和地下水功能价值的综合评估(图1)。换句话说，地下水污染风险评估是在地下水脆弱性评价的基础上，叠加人类活动产生的地下水污染荷载以及地下水功能价值等因素，确定污染风险量化等级，掌握地下水遭受污染的可能性，从而为地下水污染防治工作提供科学依据[4]。地下水污染风险是指地下水受污染可能性与污染后果的叠加，其中地下水污染可能性通过地下水系统脆弱性评估和污染荷载评估两个方面来描述，而地下水污染后果则通过地下水功能价值评估实现。

因此，地下水污染风险指标RI可根据下式(2)计算：

$$RI = VI \times PI \times FI \quad (2)$$

式中，VI为地下水脆弱性指数，PI为地下水污染荷载指

数，FI为地下水功能价值指数。

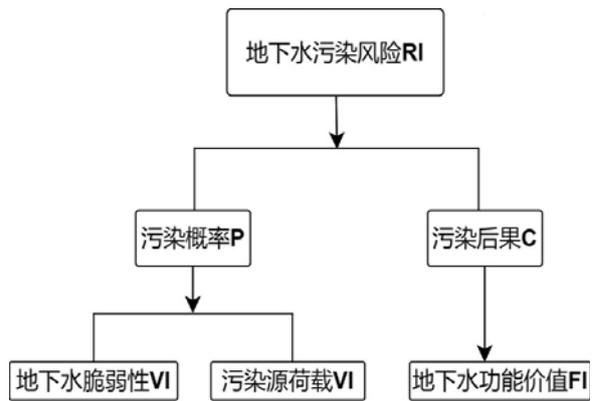


图1 地下水污染风险流程图

3.1 地下水脆弱性评价

地下水脆弱性评价是地下水进行污染风险评估的前提。地下水脆弱性评价方法主要分为定性和定量方法，现如今，大多研究均采用定性定量相结合的评价方法。主要分为选置指数法、过程模拟法和统计法等，如表1所示。

表1 地下水脆弱性评价方法统计表

地下水脆弱性评价方法	模型
选置指数法	DRASTIC、GOD、AVI、Sintacs、Siga、Epik、PI、COP 等
过程模拟法	HYDRAUS、MODFLOW with MT3D、FeFLOW、HELP 等
统计法	逻辑回归分析法、线性回归分析法、地理统计法、人工神经网络(ANN)、人工智能方法等

3.1.1 选置指数法

选置指数法是一种定性、半定量或定量的评估手段，具有较高的实用性和简便性，目前常用的是选置法对大范围浅层地下水的易损性进行评估。

其中，DRASTIC模型是最常用的地下水脆弱性评价方法。选取7个左右的评价指标，评价指标分为本质脆弱性评价和特殊脆弱性评价指标^[4]。大量学者对地下水脆弱性进行分析时，一般选取本质脆弱性和特殊脆弱性中的地下水埋深(D)垂向净补给量(R)、含水层厚度(A)、土壤介质类型(S)、地形坡度(T)、包气带介质类型(I)和含水层渗透系数(C)。但是根据其研究区域不同和地形差异等，近几年学者倾向于采用优化后的DRASTIC模型对研究区进行地下水脆弱性评价。例如：侯宇徽(2023)^[5]提出一种地下水脆弱性与污染荷载结合的评价方法，通过引入“土地利用类型”指标对该模型进行优化；陈钰頔(2021)^[6]根据水文地质特征改进了该模型，建立以地下水埋深、净补给量、地形坡度、含水层渗透系数4个水动力条件指标和土壤类型、包气带

介质2个介质属性指标的“DRSTIC”模型,结合敏感度分析,进行冲洪积扇地下水脆弱性评价。总得来说,根据研究差异选取合适指标,调整优化DRSTIC模型,不断提高研究区地下水脆弱性评价精确度。

地下水脆弱性指数VI可根据下式(3)计算:

$$VI = DrDw \times RrRw \times ArAw \times SrSw \times TrTw \times IrIw \times CrCw \quad (3)$$

式中,Dr、Rr、Ar、Sr、Tr、Ir、Cr,分别为地下水位埋深、垂向净补给量、含水层厚度、土壤类型、地形坡度、包气带介质、含水层渗透系数的评分值;Dw、Rw、Aw、Sw、Tw、Iw、Cw为上述各指标权重。

3.1.2 过程模拟法

过程模拟法多应用于评价地下水的特殊脆弱性,模拟地下水污染物的迁移规律,该方法适用于小区域低风险评价。可运用的模型如表1所示^[7]。这些模型大部分可以单独使用,或与遥感、地理信息系统和其他模型结合使用,以尽可能地反映水文地质地质的复杂性^[8]。

3.1.3 统计法

统计方法针对研究区域已有的地下水污染监测资料和发生污染的地下水相关信息,运用合适的统计学分析工具,已赋值各项参数导入模型计算,以取得评价结果。统计方法可避免人为主观影响,可客观选出地下水污染的主要因素,其需要的资料信息较大,获取完整数据难度较大。常见的方法主要从逻辑回归分析法、线性回归分析法、地理统计法等和数据驱动的人工神经网络(ANN)和人工智能方法等^{[9][10][11]}。

3.2 地下水污染荷载评价

地下水污染荷载评价主要是对人类活动形成的污染源对地下水产生污染的可能性进行定量评价^[12]。地下水污染荷载评价因子可选取为点源污染和面源污染。点源污染指由于污染物的高度集中而引起的,例如工业废水以及有害废物的堆放等;面源污染指无集中排污管网的大量污染物的分散排放,一般包括农业污染和生活污染,例如大面积的农业灌溉等。点源污染可以通过收集的研究区调查资料确定位置等;面源污染可以通过土地利用类型来确定面源污染的大小等^[13]。地下水污染荷载评价指标PI选取工农业和生活造成的点源污染和面源污染为评价指标,评价指标的权重可采用专家打分法确定。

地下水污染荷载指数PI可根据下式(4)计算:

$$PI = (PPr \times PPw) + (NPr \times NPw) \quad (4)$$

式中,PPr、NPr分别为点源污染和面源污染的评分值,PPw、NPw分别为点源污染和面源污染的权重。

3.3 地下水功能价值评价

地下水功能价值是指根据水质和水量确定的地下水开发利用的重要程度。可从研究区地下水样本中选取水质评价指标通过评价模型对水质进行评估。而水量采用地下水富水性来表征,

地下水富水性是指以一定降深、一定口径下的单井涌水量来表征的含水层富水程度。水质好的地下水使用量大,价值较高;水质差的地下水利用有限,甚至无法利用,价值较低。

因此,选取水质和含水层富水程度为评价指标的地下水功能价值的评价指数FI可根据下式(5)计算:

$$FI = Qr \times Wr \quad (5)$$

式中,Qr为地下水水质因子的评分值,Wr为含水层富水程度因子评分值。

4 结语

4.1 结论

地下水源的污染问题已为世人所重视,对其进行评价,是开发和利用地下水的前提。本文研究内容主要是:

(1)地下水污染途径以农业、工矿业和生活污染为主,其中,农业以及工矿业对地下水的污染较大。

(2)目前,国内外地下水污染风险评估主要集中在对地下水脆弱性、污染源荷载及功能价值等方面进行综合评价。既要考虑地下水受污染可能性,又要考虑地下水的价值。具有高价值的地下水,一旦受到污染,就会造成大面积、大深度的危害,需要进行有效的防治。

(3)国内外研究人员在地下水脆弱性评估方面都有了较大的革新,通过引入多种评估指标,对其进行了更为全面的评价;从点源、面源两个方面对地下水的污染荷载进行了评价;综合水质和区域含水层富水性,综合评价了该地区地下水的功能价值。

4.2 展望

当前地下水污染风险评价仍有难点,主要集中在关于脆弱性评价模型评价指标选取的客观性、复杂水文地质环境的适用性、地下水污染源荷载资料以及数据的准确性及完整性等。

(1)完善评价指标体系,提高评价的客观性和准确性。

(2)综合考虑各方面因素,运用多种方法模型结合,提出一种新的、适合于复杂水文地质条件的评价方法。

(3)确保数据和资料的完整性、时效性及准确性,并创建相应的数据库,改进有关的数据和标准。

【参考文献】

- [1]张丽君.地下水脆弱性和风险性评价研究进展综述[J].水文地质工程地质,2006,(6):113-119.
- [2]田华.基于过程的地下水污染风险评价—以滦河三角洲为例[D].西安:西安科技大学,2011.
- [3]付高平,张弛,徐斌.区域地下水污染风险评价方法研究[J].能源与节能,2022,(7):180-182,185.
- [4]马晋.地下水污染风险评价及预警模型研究—以北京市平谷区为例[D].成都:成都理工大学,2019.
- [5]侯宇徽,窦筱艳,保善磊,等.基于DRASTIC模型优化的地下水污染风险评价研究[J].环境科学学报,2024,44(02):227-236.

[6]陈钰颀,李妍颖,叶忠.基于改进DRASTIC模型的冲洪积扇地下水脆弱性评价[J].环境科学与技术,2021,44(12):194-202.

[7]黄勇,王大庆,丁志斌,等.地下水脆弱性评价研究现状及展望.节能,2023,42(9),84-88.

[8]雷静,张思聪.唐山市平原区地下水脆弱性评价研究[J].环境科学学报,2003,(1):94-99.

[9]张博,孙法圣,王帆,等.HYDRUS-1D在基于过程的地下水污染评价中的应用[J].科技导报,2013,31(17):37-40.

[10]刘凡,孙继朝,张英,等.地下水污染风险评价研究综述[J].南水北调与水利科技,2014,(3):127-132.

[11]方进,王德全.地下水污染风险评价方法研究综述[J].

智能城市,2021,7(10):2.

[12]滕彦国,苏洁,翟远征,等.地下水污染风险评价的迭置指数法研究综述[J].地球科学进展,2012,27(10):1140-1147.

[13]付康.成都平原典型混合用地区域地下水质量及污染风险评价研究[D].成都:西南交通大学,2020.

[14]白凡,周金龙,周殷竹,等.吐鲁番南盆地平原区地下水污染风险评价[J].环境科学,2023,44(08):4325-4333.

作者简介:

王斯(2000--),女,汉族,四川南充人,硕士研究生,西藏大学工学院地质资源与地质工程专业,研究方向:水文地质。