

地下水污染问题研究现状及其防护

左 建 孔庆瑞

(沈阳农业大学)

提 要

本文介绍地下水污染含义的各种观点,并提出作者的看法,论述地下水污染研究现状,最后讨论地下水污染源防护的问题。

关键词: 地下水污染、地下水保护

一、前 言

目前,我国和世界上其他国家一样,水资源不仅从数量上,而且从质量上均面临着严重威胁,地下水资源的合理开发利用和保护问题已经引起愈来愈广泛的重视。

研究地下水污染问题是环境科学的重要组成部分。但是,目前对地下水污染概念的理解尚不统一。例如:西德基尔大学普遍地质及应用地质学教授梅恩斯(G·Metthess)在“*The Properties of Groundwater*”一书中提到:“受人类活动污染的地下水是由人类活动间接或直接引起总溶解固体及总悬浮固体含量,超过国内或国际上制定的饮用水和工业用水标准的,最大允许浓度的地下水;不受人类活动影响的天然地下水,也可能含有超过标准的组分,在这种情况下,也可据其某些组分超过天然变化值的现象而定为污染”。法国斯特拉斯堡大学水力学教授弗里德(J·J·Fried)在“*Ground water pollution*”一书中提到:“污染是水的物理、化学和生物特性的改变,这种改变通常会限制或阻碍着地下水在各方面的使用”。

从上述引用的外国学者关于地下水污染含义的论述中,可以发现一些相互矛盾的看法。主要表现在:第一,污染标准问题。有的人提出明确的标准,即地下水某些组分浓度超过水质标准(饮用水、工业用水等标准)的现象称为地下水污染。第二,污染源问题。有的人认为,地下水污染是人类活动引起的特有现象;而在天然条件下地下水,某些组分相对富集和贫化而影响水质的现象,不能称为地下水污染。而有的人认为,不管是人类活动引起的还是天然形成的,只要某些组分的浓度超过水质标准都称为地下水污染。笔者认为,这些定义是不全面的,它们仅仅反映着对污染问题认识过程。从目前大多数研究者的倾向性来看,可以概括为,在人工作用下,引起物理、化学与生物化学过程,导致地下水中某些组分的浓度变化,达到危害人体健康,破坏生态平衡及自然环境的程度,叫做地下水污染。可以说,地下水污染是直接或间接限制和妨碍地下水在各方面正常应用的现象。地下水污染问题是十分复杂的。在每一个具体情况所包含的一切导致污染的因素都必须加以考虑。除有关的地质因素外,还有渗流系统的水力学污染物的化学、物理、生物特性,以及在地下环境中可能产生的天然降

解过程。尤其是对浅含水层地下水开发和管理方案供水水源, 甚至还会污染后备水源。从技术方面考虑, 地下水污染也是很复杂的, 而且一旦污染就很难治理, 所以应采取预先防护措施。地下水污染问题应进行多学科协作、共同攻关。

二、地下水污染问题的研究现状

近二十年来, 地下水污染课题的研究获得了迅猛的发展。促成了发展的原因, 除客观需要外, 首先是化学分析仪器精度的提高, 使得有可能对环境许多微量与痕量污染物做出精确测定。其次是研究者们创立了较完整的理论并从事了大量实践活动, 能对地下水系统的弥散性和吸收性进行了深入分析。目前, 为预测含水层中污染质运移和定量评价污染与天然地下水, 岩石(运动介质)的相互作用的过程, 经常根据室内实验方法与野外试验方法获得一系列特性参数。其中第一类参数为水动力参数, 诸如岩石导水系数、给水度、有效孔隙度、压力传导系数等; 第二类参数为物理、化学参数如分子扩散系数、弥散系数, 吸附作用参数及解吸作用参数, 岩石中盐类溶解指数、交换反应指标等。以上所列举的参数表征的作用过程均会控制污染流运移的机理, 从而形成新的化合物并改变地下水系统的性质。

十几年来, 国内外关于地下水中污染质迁移的物理化学机理的研究有很大的突破。总的趋向是从描述定性或简单统计分类法, 进入了定量化阶段。该课题研究中, 不但采用了新的分析技术而且引进了许多近代化学、物理化学的新的理论与研究成果。在研究地下水的结构理论方面, 应用量子化学、量子力学, 在研究污染机制方面应用生物地球化学方法是比较突出的进展标志。目前将地下水(包括污染地下水)看成是复杂的溶液系统, 处于地球热力场和动力场之中。迄今, 地下水做为一种天然溶液系统的性质还不完全清楚, 其原因有可能是对于水和溶质的电子构型和同位素性质尚未解决。而污染地下水是“天然”溶液系统中加入污染质, 而这种“加入”是一个自然过程, 时间是“爆发”式的。目前污染对地下水的流剂(水)和溶质(污染质)的双方性质强调并重进行深入研究。关于水的结构特点, 当前有几十种说法和假设, 其中以Born水分子结构模型最具有说服力, 它是建立在量子理论基础上的, 根据赋予能量可使离子脱离金属表面的现象建立的光子学说认为光子运动是不连续的, 是量子化的。电子具有微粒与波动两重性, 它在原子核外分布与运动是呈概率分布的。某一个电子的核外分布 $d(x, y, z, t)$ 是薛定谔(Schrodinger)方程的一个解。电子云在核外的概率分布构成了氢、氧原子的电子构型是决定溶剂(水)化学性质的根本原因。水的溶剂性质可归纳为: 1. 水分子具有极性、与离子形成水合物迁移; 2. 水分子具四方体结构形成晶体, 具有强(氢)键合能力; 3. 高介电常数, 0℃时, $\epsilon = 81$; 4. 热溶值大, 电导率大, 焓、熵热力学性质特殊; 5. 溶解性极强; 6. 粘滞性小, 表面张力大; 7. 特殊高的熔点与沸点, 水液态阶段极长; 8. 水具有活性, 高温高压条件下, 热化与冷却作用中常引起热振动, 水的正常四方体结构及分子间氢键受到破坏。热水溶液发生活化, 处于介稳状态而且有明显的驰豫特点。水的介稳相化学势增高, PH值降低, 对无机化合物和矿物溶液能力增强。污染质在水中迁移机制方面的研究目前也有较深入的发展。从内因方面考虑可以归结为五个方面, 1. 离子电位; 2. 离子构型; 3. 物质溶解性; 4. 元素在岩石(土)中存在的形式及含量; 5. 元素的重力性质。污染质迁移的环境因素包括: 1. 地下水的酸碱度及氧化

还原电位; 由 PH—Eh 决定的天然水系的稳定场, 是污染质迁移的首要条件, 不同离子共生关 的决定因素; 2. 生物化学作用(氧化还原作用、有机螯合作用等); 3. 地下水流速场; 4. 水—岩石系统演化的方向性; 5. 人为活动的影响。

近年来, 地下水环境质量评价工作, 从理论上到方法上发展较快。评价工作中突出了以人类生存、生活, 特别是对人类健康的适应程度作为判别质量优势的准绳。目前, 世界各国把环境质量评价(EQE)工作列为环境保护与管理工作的主要内容和手段。地下水环评工作为查明在域环境质量变化规律, 制定区域环境综合防治方案, 控制环境污染提供了重要科学依据。地下水环评工作中进行现状评价及予断(影响)评价。评价中关键工作是制定地下水环境质量标准。一般应遵循三条制定标准原则: 1. 考虑保证人体健康和维持生态平衡, 系统平衡, 进行定量相关分析以确保护符合保证人体健康和生态平衡的允许污染物浓度。2. 合理协调与平衡实现标准的代价与效益之间的关系, 要进行详细的损益分析, 剖析代价和效益之间的关系, 要进行数学模拟求取最优解。3. 遵循区域性差异原则, 因地制宜制定地下水环境质量标准。

从目前的环境质量评价发展趋势来看, 国内外均例重于综合环境质量评价, 但是从单位要素(如地下水要素)入手。所以, 单要素的评价是基础工作, 仍是十分重要的。一九六五年, R·K·Horton 提出质量指数(QI)法对地下水质量进行评价。其后, 一九七〇年, R·M·Brown 提出水质质量指数(WQ)法。这种方法首先确定环境污染因子, 分析污染因子现状, 然后制定评价标准, 根据以定标准进行实地调查, 观察居民对生活环境的感受及进行相关性分析。美国环境质量工作发展很快, 目前美国有1000多个环境影响评价公司。西欧各国中瑞典很重视环境质量影响评价工作, 制定了完善的环境保护法及严密审查手续。西德与法国起步较晚, 它们是将环评工作穿插在其他各种制度当中。东欧与苏联采用统一的物理化学及生态指标进行评价。苏联配合水质预报及最优化控制水质评价研究进展较快, 东欧与苏联各国分别建立1—2个“模式区”开展环境质量研究。日本已建立了一系列环境影响评价模型, 如渡边干向在一九七一年设计了以防止水污染模拟系统为中心的环境管理通用系统模型, 它是以海域排水扩散现象的数学模型为基础。通过预测计算污染浓度。一九七七年, 日本进一步提出了环境污染模型, 对东京郊区环境质量评价进行了实例研究。根据一个区域内生产、消耗和污染之间的相互关系而建立模型。我国从一九七三年以来, 先后在北京、沈阳、天津等地开展了这项工作。大多采用环境质量系数, 根据系数分级判断质量标准。一九八〇年沈阳市在进行综合环境质量评价时, 采用了综合环境质量评价系数(ECES)。

一九七八年以来, 世界上已有不少国家应用近代数学方法来解决环境质量评价问题。仅从我国目前一些研究结果来看它不仅充实了环境质量评价方法, 而且为环评工作展现了远景。在这方面, 近几年来取得了新的进展。比如, 环境概率统计方法对评价指标进行同一化处理, 采用指标的质量函数来表示。模糊数学方法确定权系数值引起人们广泛兴趣。我国曾尝试运用模糊集理论进行权系数的计算。模糊数方法还可对地下水水质进行综合评价, 其优点是用隶属函数描述水质分级, 并能够刻划出界线的模糊性。

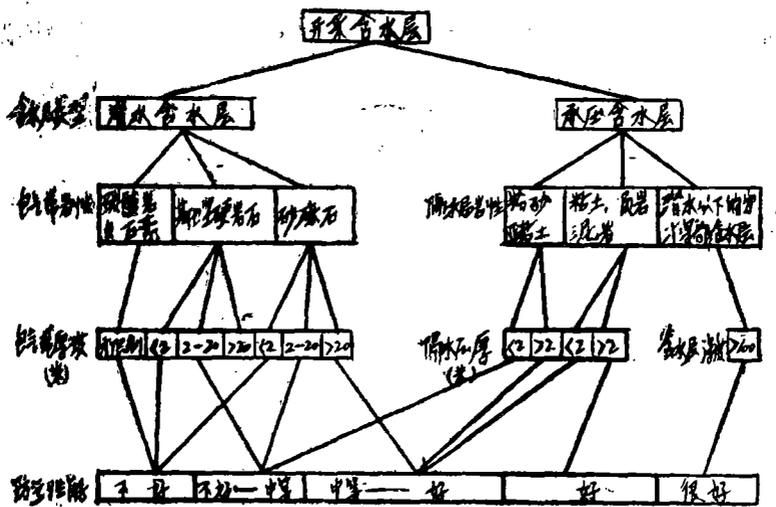
三、地下水污染源防护的问题

1. 关于区域防护

在过去区域性的不同比例尺的水文地质调查中，多半着重柱含水层的分布，富水性，水质上的适用性等方面较详细的研究，并编绘出相应的水文地质图件。但环境保护问题，特别是地下水资源保护问题的日益突出，给区域地下水资源研究提出了一个重要的新课题，即区域地下水资源（或者含水层）防污性能的研究，这样就要求我们在区域地下水资源研究中，必须编绘一张以往没有的而且是必须的新图件，即区域地下水防污性能图。这一图件对于区域规划特别是城市规划来说，无疑是很有价值的，因为可根据这一图件，从保护地下水资源的角度出发，进行更合理的规划。

所谓“防污性能”，就是指含水层防止污染的能力。众所周知，处于不同地质结构的含水层，其防污性能不同，因此便可据防污性能的不同进行分区，西德的维尔赫夫（H·Verhuff）曾就此问题作过一些论述。他认为，在考虑地下水防污性能的问题时，应着重在防止来自地表污染的能力方面，因此主要应考虑复盖层防止地表污染能力的大小及含水层中受污染地下水净化（吸附影响、化学反应、稀释）的能力。具体考虑的因素如下：水文地质结构、非饱水带的地质条件及土壤条件，地下水的埋深或隔水层厚度。据上述因素，他把地下水防污性能分为五级，详见下图。

显然，维尔赫夫的分类考虑并不是完整无缺的。除了他提出的因素外，我们认为，可据各地区的情况，还应考虑下列因素：包气带表层粘性土的厚度及岩性，含水层的厚度（或含水层的贮水量）、隔水层的连续性、表层粘土的破坏程度。同一类型的含水层，其贮水量越大，稀释能力



防止来自地表污染的地下水防污性能分类

越强，地下水越不易污染；包气带结构中，表层粘性土厚度和岩性是一个重要因素，粘性越厚，地下水越不易污染，维尔赫夫只考虑包气带砂、砾石，而忽视粘性土，显然是一个明显的不足；此外，局部地区，由于人为活动（如工程开挖、窑坑等）而使局部地段的表层粘性土遭严重破坏，也应予以考虑。我们在宣化炮院附近地区的地下水污染研究中，考虑了上述因素，并以打分法作了含水层防污性能的分區，这一做法，有助于我们对该区地下水污染原因的分析。

总之, 在地下水的区域防护中, 进行地下水防污性能的分区, 对城市合理规划及地下水资源的防护, 显然是有实际意义的; 但分区原则及方法, 还不成熟, 还是一个有待探讨的问题。这种防污性能的分区, 比笼统地, 目的性不明确的所谓环境水文地质分区, 显然是更实用更有针对性。不过这种分区的最大困难是有足够的地质、水文地质基础资料, 在地质、水文地质工作程度较差的地区, 编制这种图件是困难的。

2. 关于局部防护

这里所指的“局部防护”主要是指地下水供水水源的防护。在我国一九七六年制定的《生活饮用水卫生标准》第十四条中规定: “在单井或井群的影响半径内, 不得使用工业废水及生活污水灌溉……”。这里所说的影响半径范围, 就是人们常说的“卫生保护带”。到目前为止, 除了《标准》的上述条文外, 在我国没有任何其他供水水源防护的规定或法律条文。因此我国各地的地下水供水水源, 有许多遭到不同程度的污染, 甚至因严重污染而报废, 如北京水源七厂因为农药污染而报废两口井。这种情况在全国各地的水源井中屡见不鲜

从理论上讲, 地下水供水水源地, 水质保护的唯一方法是防止整个补给区出现任何污染的危险, 但是, 由于实际上和社会上的复杂原因, 要维持这一方针几乎是不可能的。因此, 在水源地周围设立一定范围的防护带是比较可行的方法。

在国外的防护带研究中, 经常使用的一个概念是“迟后时间”(或称“滞留时间”), (“传输时间”), 其含义是污染物从集水区内某一点运移到抽水点所需时间。

对于均流场来说, 利用稳定流方程, 可求得迟后时间 t 的计算公式:

$$t = 2\pi b n e (\gamma_2 - \gamma_1)^2 / Q \ln (\gamma_2 / \gamma_1) \quad \dots\dots ①$$

式中 b 为含水层厚度, n_e 为有效孔隙度, γ_1 为井孔半径, γ_2 为某点与井孔的距离, Q 为抽水量。

假定在汗水含水层的开采中, 从集水区开采的地下水量 (Q 米³/米) 等于影响半径地区垂直入补给量 (i 米/年), 则井后时间 t 的计算公式如下:

$$t = \frac{n e b}{i} \ln \frac{Q}{Q - V^2 \pi i} \quad \dots\dots ②$$

该公式是荷兰的范威格宁 (Van wigeningh) 和范杜文布登 (Van Dnij Vertboodeh) 提出来的。式 v 是影响半径内某点至抽水孔的距离 (米), 其它符号含义如前述。

范威格宁和范杜文布登曾提出过水源地防护带分区的意见, 他们把防护带分为两个区: (1) 集水区, 迟后时间为60天, 在荷兰的冲击层浅水区, 其相应的保护带半径为 10—15 米, 即该区为离开10—15米的地区。设立此区的目的是防止病原菌的污染。据一些研究表明, 沙门化杆菌在非饮用水水质的水中, 其活时间为44—50天。因此, 60天的迟后时间已足以破坏一般的病原菌, 并使其丧失病原性。当然有些病毒的存活时间比60天长, 所以此区对防病毒污染来说可能是无效的。(2) 保护区, 由迟后时间 10年和25 年的两个保护带组成 (多孔介质含水层)。对于裂隙和喀斯特含水层来说, 由于其流速大, 按10年和25年的迟后时间, 其相应的保护区范围必定很大, 因此保护区限定为离井 2 公里的范围内, 西德30多年来一直使用这个距离, 并成功地保护了地下水水质。对于荷兰冲积层潜水来说, 迟后时间为10年 | 25年的两个带的半径分别为800和1200米。此区范围的确定并不是依据化学污染物的变化

机理而定的,因此化学污染物的种类繁多,其变化机理尚所知甚少。此区设立的目的是,一旦在此范围以内或以外发现化学污染时,有足够的时间采取补救措施,以保证持续供水。在上述防护带的两个区内,都明确规定有相应的环境要求,并且有法律效力。

应该指出的是,上述集水区60天的迟后时间只是根据病菌水平迁移的情况确定的,因此它只适宜某些污水河渠或污水管水平补给潜水的情况,而对于来自地表污染源(如粪坑、垃圾堆)的病原菌来说,它们首先通过包气带,然后进入含水层作水平迁移,因此,迟后60天的时间,应是病原菌垂直迁移时间和水平迁移时间的总和。所以在包气带较厚的情况,据60天的迟后时间,按公式(2)算得的集水区半径必定偏大。例如,我们曾按公式(2)计算了宣化炮院附近水源地迟后时间为60天的防护带半径,其值多为110—120米,也就是说,在这样的距离内不应有病原菌污染源。实际上分离78和773井12米和70米处,均有病原菌污染源(猪圈和粪堆),但从78年开采以来,均未发现细菌污染,这可能是井孔附近地区包气带较厚(约11米)且有3—4米表层粘性土之故。关于细菌在包气带迁移距离曾有过许多研究,吹饮森(H·Hutchinson)综合了许多研究后建议,当细菌污染源与潜水面垂直距离大于3米时,开采井与污染源的半径一般为15—30米即可。

在供水地下水水源里,集水区(我国有人称为严禁带,实际上称细菌防护带更确切些)的半径到底是多少合适?如只考虑细菌的水平迁移的话,则其半径显然会偏大,这种考虑从水质保护来说是安全的,但保护范围过大,往往会带来一些难以克服的社会问题,因此,研究出一种可靠的、切实可行的确定细菌防护带半径的方法。仍然是今后有待解决的问题。

参 考 文 献

- (1) N.И.普洛特尼科夫 利用线性规划评价一组相互影响的取水工程地质地下水开采贮量,国外地下水研究,地科院情报所,1976年
- (2) И.伯拉斯 水资源科学分配,水电出版社,1983年
- (3) 柴崎达雄 地下水盆地管理,地质出版社,1982年
- (4) 李元生 区域性环境水文地质图的编制原则与方法的讨论,辽宁地质 四期 1984年

The present situation of the pollution problem

Study of groundwater and its prevention

Abstract

Zuo Jian . Kong Qingrui

There are a lot of problems to be discussed in the study of groundwater pollution. The main content in this article are all kinds of viewpoints of implication of groundwater pollution. In addition, the author puts forward his opinion and discusses the present situation of this study. The problem of groundwater resources protection is dealt with at the end.

Key words; underground water pollution; Ground water protection.