

关于饮用地下水水质评价标准的探讨

——以华北平原地下水水质调查结果为例

王 昭, 石建省, 张兆吉, 费宇红, 李亚松, 张凤娥, 陈京生, 钱 永

中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061

摘 要: 地下水水质评价方法应以人体健康为依据, 同时满足原理简单、计算简便、物理意义明确三个特点。基于地下水水质标准 GB/T14848-93, 修订了其分级限值, 使得评价结果的物理意义更为明确。本文根据华北平原地下水水质测试结果评价了水质状况, 对水中主要有机和无机组分在区域上的分布特征及可能来源进行了分析。为了使地下水水质评价的结果更加适合我国的国情, 提出了地下水饮用适宜性评价意见, 并对评价结果进行了讨论。

关键词: 华北平原; 地下水; 水质评价; 饮用适宜性; 评价标准

中图分类号: P641.8 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)05-659-06

A Tentative Discussion on the Assessment Standards of Groundwater Quality: A Case Study of the Groundwater Quality in the North China Plain

WANG Zhao, SHI Jian-sheng, ZHANG Zhao-ji, FEI Yu-hong, LI Ya-song,
ZHANG Feng-e, CHEN Jing-sheng, QIAN Yong

Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang, Hebei 050061

Abstract: Groundwater quality should be assessed according to the requirement of human health. The assessment method should be simple and easily understood. Based on the groundwater assessment method (GB/T14848-93), the authors revised the water quality classification criteria, which makes the assessment results consistent to the requirement of drinking water quality. Exemplified by the groundwater analyzing results from the North China Plain, the authors also assessed the water quality and probed into the possible origin of the main compounds. As different regions of China had quite different situations, the water chemical conditions were discussed in terms of a new concept, i.e., suitability of water for drinking, which was put forward for the first time in this study.

Key words: North China plain; groundwater; quality assessment; suitability for drinking; assessment standard

1 地下水质量评价

1.1 地下水质量评价

地下水水质评价是指对一系列无机和有机组分的浓度、水中颗粒物、生物指标和由外在和内在的因子引起的水体质量在时空上变化的评价, 确定水质是否满足某种特定的需求(如生活饮用水)。以往

已有大量的水质评价方法(陈武等, 2002; 王嵩峰等, 2003; 孙涛等, 2004; 张祖亮, 2004; 汤洁等, 2005; 李进等, 2006; 毛兴华, 2006), 通过对以往评价方法的综合分析, 笔者认为进行地下水水质评价采用的方法应以人体健康为依据, 同时满足原理简单、计算简便、物理意义明确三个特点。结合目前新的水质标准中包括大量有机指标的具体情况, 本次水质

本文由国土资源大调查项目“全国地下水污染调查评价综合研究”(编号: 1212010634611)和基本科研业务费项目“地下水中主要有机污染物的迁移与分布规律研究”(编号: SK07013)共同资助。

收稿日期: 2008-11-06; 改回日期: 2009-02-04。

第一作者简介: 王昭, 女, 1969年生。博士, 副研究员。主要从事环境水文地质方面的研究。E-mail: bike2002d@yahoo.com。

通讯作者: 石建省, 通讯地址: 050061, 河北省石家庄新华区石岗大街406号。电话: 0311-88021116。E-mail: tiger7886@263.net。

评价,主要采用单因子评价、内梅罗综合指数法。根据以往水质评价中所出现的问题,对内梅罗指数分级的标准做了修改,以使物理意义更加清晰、明确。

1.2 依据国标的地下水质量评价

在地下水质量标准 GB/T 14848-93 中,以 1993 年的标准为例,依据我国地下水质量状况和人体健康基准值,参照生活、工业、农业等用水水质要求,将地下水质量划分为五类。I 类和 II 为优质水;III 类水是以人体健康基准值为依据的,适用于生活饮用水、农业用水和大多数工业用水;IV 类适用于农业和部分工业用水,适当处理后可作生活饮用水;V 类:不宜作生活饮用水,其他用水可根据使用目的选用。

由于人们对水质的要求越来越高,随着化学分析技术的进步,地下水水质指标中包括了越来越多的有机指标(参见 GB/T 14848-2007,报批稿)。这些指标又可分为常规指标和非常规指标。GB/T 14848-93 中,地下水质量评价以地下水水质测试资料为基础,分为单因子评价和综合评价两种,其中,水质综合评价采用的是内梅罗指数法。

1.3 对内梅罗指数分级标准的修订

在 GB/T 14848-93 的地下水质量综合类别的判定中,采用的类别定义与水质评价标准的类别不是一一对应的。参照 GB/T 14848-93 的规定,假设参与评价的指标数为 19 个,按要求计算综合评分,在优良等级的水中,可以有 10 个指标属于 II 类水;在良好等级的水中,可以有 8 个指标属于 III 类水;如果一个优质水(假定其它单个指标属 I 类水)受到一种致癌物质的污染且级别达到了 IV 级,综合评价结果为 4.248,分类结果为较好,而这种水从饮用水质要求上是不达标的。虽然这种情况很少见,但是为了使综合评价的类别分级从理论上更严谨,且与水质标准相对应,这里尝试对综合评价结果的类别划分限值及定义做了修订。

修订的指导思想是:水质的综合结果是由类别最差的单个组分(实际中可能会同时有多个)决定的;综合评价的类别划分与单组分类别相对应,以使评价结果的意义更加明确。例如,根据修正后的判别标准,在综合水质评价结果为 III 类时,说明水质的综合质量是满足生活饮用水标准的。修正后的评价方法的优点是,对于评价结果为同一类别的水,可以从它们的指数绝对值来对它们的质量进行对比,特别是在做区域上水质的评价时,便于空间上对水样水质的详细对比,而不只是一个大的类别。对于同一地点的水,综合评价结果也有利于分析水质是否有恶化的趋势。

根据统计,这里对内梅罗指数的评价标准进行了修订,以使评价结果的意义更加明确。以 III 类水为例来说明限值的选定。III 类水的上限值应小于最好的 IV 类水,即这个 IV 水中只有一个指标为 IV 水,而其它指标均设定为 I 类水,按国标中的公式计算综合评分时,由于求平均值时会受参与评价指标个数的影响,从而影响到综合评价的计算结果。在选定限值时,通过计算,在参评项目数增加不会引起小数点后第三位数字变化时的值就选定为其上限值。采用同样的步骤可以计算 II 类水的上限(也即 III 类的下限)。参照 GB/T 14848-93 的规定,进行水质综合评价时,水质指标不应小于 19 项(除大肠菌群),以使水质综合评价结果能最大程度地真实反映水质的总体情况。

根据数据统计,对内梅罗指数(F)的评价标准进行修订后的具体分级为:F 值小于 0.707 为 I 级,F 值 0.707~2.121 为 II 级,F 值 2.121~4.243 为 III 级,F 值 4.243~7.071 为 IV 级,F 值大于 7.071 为 V 级。修正后的综合评价结果分级与相应的单因子评价水质分类相对应。在进行水质评价时,要说明影响水质的主要水质指标,并应根据已有的资料,对水质成因进行分析。

1.4 地下水饮用适宜性评价方法

作为生活饮用水的地下水水质直接影响着人体健康,因此对水质要求更为严格。根据国家制定的水质标准进行评价时,具有一定的强制性,得出的结果也有一定的绝对性。但在水质评价中,如果能考虑当地的具体地质和水文地质条件,并有针对性地考虑水中主要指标对人类健康的风险,甚至在一些地区还要考虑到当地的具体经济条件,这样对水质结果的评价才更具实际意义。例如,按照国家标准,TDS 超过 1 g/l 就不符合饮用水水质要求了,但是在一些缺水地区,TDS 超过 1.5~2 g/l 的水仍被认为是好水,而按水质评价结果来说,这种水就不能饮用了。因此,应当在水质评价的基础上,结合当地的条件和超标的水质指标的致癌性质进行进一步的地下水饮用适宜性评价,为有关管理部门制定相应的政策和采取一定的措施提供科学的依据。这里,依据国标《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)并结合地下水质量标准(报批稿,中国地质调查局,2007),参照美国环境保护局的“饮用水标准与健康咨询”(USEPA, 2006)对各水质指标的致癌性进行了归纳整理,见表 1。在此基础上,拟定了饮用水适宜性评价标准(评价标准见表 2),并根据此标准对华北平原主要地下水调查点的水质饮用适宜性进行了评价。

表 1 中国地下水质量标准中部分指标的致癌分类^[1]

Table 1 Carcinogenic classification of items involved in China's standard of groundwater quality

指标	CAS#	致癌分类 ^[2]	指标	CAS#	致癌分类 ^[2]
锰	7439-96-5	D	氯苯	108-90-7	D
铜	7440-50-8	D	邻二氯苯	95-50-1	D
锌	7440-66-6	I	对二氯苯	106-46-7	C
氰化物	143-33-9	D	1,2,4-三氯苯	120-82-1	D
汞	7487-94-7	D	1,3,5-三氯苯	108-70-3	D
砷	7440-38-2	A	苯	71-43-2	A (H)
硒	7782-49-2	D	甲苯	108-88-3	D (I)
镉	7440-43-9	D	乙苯	100-41-4	D
铬	7440-47-3	D	二甲苯	1330-20-7	D(I)
铅	7439-92-1	B2	苯乙烯	100-42-5	C
三氯甲烷	67-66-3	(L/N)	林丹(γ-六六六)	58-89-9	C (S)
四氯化碳	56-23-5	B2	六氯苯	118-74-1	B2
总α放射性		A	七氯 (Heptachlor)	76-44-8	B2
总β放射性		A	阿特拉津(莠去津)	1912-24-9	C (N)
钡	7440-39-3	N	五氯酚	87-86-5	B2
钼	7439-98-7	D	2,4,6-三氯酚	88-06-2	B2
1,1,1-三氯乙烷	71-55-6	D	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	117-81-7	B2
三氯乙烯	79-01-6	B2	克百威	1563-66-2	E (N)
二氯甲烷	75-09-2	B2	滴灭威	116-06-3	D
1,2-二氯乙烷	107-06-2	B2	甲基对硫磷	298-00-0	N
1,1,2-三氯乙烷	79-00-5	C	马拉硫磷	121-75-5	D
1,2-二氯丙烷	78-87-5	B2	苯并(a)芘	50-32-8	B2
溴仿	75-25-2	B2 (L)	百菌清	1897-45-6	B2
氯乙烯	75-01-4	A (H)	2, 4-滴(2,4-D)	94-75-7	D
1,1-二氯乙烯	75-35-4	C (S)	毒死蜱	2921-88-2	D
顺-1,2-二氯乙烯	156-59-2	D	草甘膦	1071-83-6	D
转-1,2-二氯乙烯	156-60-5	D	酚	108-95-2	D

[1]指标选择主要根据中国地下水质量评价标准(报批稿, 2007)中所列项目及 US-EPA 2006 年版本饮用水标准与健康咨询(USEPA, 2006)中相应指标的致癌分类结果。[2]致癌分类: A 类为人类致癌物; B 类为可能的人类致癌物, 其中, B1 具有有限人类致癌证据, B2 人类致癌证据不足或无证据, 但动物致癌证据充足; C 类为可疑的人类致癌物; D 类为尚不能进行人类致癌分类的组分; E 类为有对人类无致癌证据的组分。括号内的分类为饮用水标准与健康咨询目前版本中(USEPA, 2006)定义的不同以往的新分类标准。H 类为人类致癌物; L 类为对人类可能致癌; L/N 类为在高于一定的剂量时可能对人类致癌, 但低于该剂量时不会致癌; S 有建议性的证据说明为可疑的人类致癌物; I 类为由于信息不足尚不能进行人类致癌分类的组分; N 类为有对人类无致癌证据的组分。新的分类评价工作还没有完成, 故而表中分类大多仍沿用以往的分类结果。

表 2 地下水水质生活饮用适宜性分级评价标准*

Table 2 Classification criteria of suitability of groundwater for drinking

水质分级		分 级 标 准	说 明
分级	评价		
I	适宜饮用	各指标均满足 III 类标准	适宜饮用
II	基本适宜饮用	总溶解性固体、总硬度、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、Na ⁺ 、Fe、Mn、pH 等一般指标满足 IV 类水标准; 毒理指标满足地下水质量 III 类水标准	基本适宜饮用
III	一般不宜饮用	总溶解性固体、总硬度、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、Fe、Mn 等常规指标达到五类水标准, 但在 III 类水标准值 3 倍以下; 毒理指标满足地下水质量 III 类水质标准	一般不宜饮用, 如饮用一般须经相应处理
IV	不宜饮用	总溶解性固体、总硬度、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、Fe、Mn 等常规指标为 III 类水标准值 3 倍以上, 或有一项毒理指标超过地下水质量 III 类水质标准	不宜饮用, 如饮用必须经过严格处理, 毒理指标超标时要进行水质的监测控制

*: 地下水质量标准中的 III 类与生活饮用水标准相一致。

2 华北平原地下水调查点水质评价

2.1 水质评价结果分析

本项研究重点完成了华北平原各市县的污染调查及取样,共采集样品 245 组,其中地下水 229 组,地表水 3 组,岩溶水 13 组。下面对 245 组采样点的水质测试结果(取样时间 2006 至 2007 年)进行了评价。地下水质量单因子评价中,根据测试项目,按标准所列指标限值分别进行了评价。地下水质量综合评价(即内梅罗指数法),除色(度)、嗅和味、浑浊度、肉眼可见物等感官指标外,样品其它测试指标(属于“地下水质量标准(2007 年,报批稿)”82 项指标之中的)均参与了评分计算。评价结果显示,采用新的内梅罗指数分级,其水质评价结果与单因子水质指标评价结果是完全一致的,但与内梅罗评价结果有些不同(见表 3)。

表 3 地下水质量单因子评价与内梅罗法评价结果对比
Table 3 Comparison between the single index method and the Nemerow index method

单因子评价		内梅罗法评价	
类别	水样个数	类别	水样个数
I 类	0	优良	15
II 类	15	良好	89
III 类	89	较好	35
IV 类	87	较差	106
V 类	54	极差	0
合计	245	合计	245

依据单因子水质评价结果,在 245 组水样中,无 I 级水样,属于 II 级水质的有 15 组,占总数的 6%。这类水样中,没有有机污染物检出,水质主要由硬度和总溶解性固体(TDS)等常规指标所决定,基本上反映天然水质的状况。

单因子评价结果表明:水质为 III 级的水样 89 个,占总数的 36.3%。其中有 50 个水样检出了有机污染物,三氯甲烷的检出率最高 43%(有 21 个水样),其它检出的有机物有二氯甲烷、甲苯、苯、溴二氯甲烷、三氯乙烯、四氯乙烯、苯并(a)芘、挥发性酚类、邻二氯苯、对二氯苯、氯苯、对二氯苯、滴滴涕(总量)等。这些有机物已被检出,但其浓度仍满足生活饮用水的要求,今后应加强这些项目的监测。影响水质的无机指标为总溶解性固体(TDS)(36 个水样)和总硬度(32 个水样)。其它影响水质的指标有硫酸盐、氟化物、铁、六价铬等。从水质结果看,水质主要是由原生水文地质条件决定的,但是多种有机污染物的检出,说明地下水水质已受到了人类活动

的影响。已往的研究成果表明,水中硬度的升高是各种人类活动对地下水水质影响的综合体现之一。

水质属于 IV 级水样 87 个,占总数的 35.5%。这类水样中,只有 11 个水样的水质是由有机指标决定的,其中苯并(a)芘 5 个水样,四氯化碳 3 个水样,挥发酚类 3 个水样,说明水质状况不是主要由人类活动产生的有机污染引起的。从统计数据来看,水质是由无机指标决定的,主要指标为总硬度(23 个样)、硝酸盐(14 个样)、氟(15 个样)、铁(13 个样)、pH(10 个样)、锰(10 个样)、硫化物(10 个样)、总溶解性固体(5 个样)、铅(5 个水样),其它的无机指标为钠、硫酸根、浑浊度、砷和锌等。需要注意的是,有的水样水质是由多个无机指标决定的。从超标的指标来看,主要是硬度、氟、铁、锰等,这种水质特征基本上体现了当地地质和水文地质条件对地下水水质的控制作用。但是在一定的条件下,人类活动会加剧水质的恶化。

水质为 V 级水样 54 个,占总数的 22%。对该水质类别起决定作用的没有有机指标,水的质量是由无机指标决定的。对水质起决定作用的是氟化物(30 个水样),其次是钠(11 个水样)、硫酸根(10 个水样)、总硬度(13 个水样)、铁(6 个水样)、氯离子(4 个水样)、硝酸根(3 个水样)、耗氧量(3 个水样),其它的无机指标有总溶解性固体、浑浊度、铵离子等。这类水的水质形成主要是天然原因,特别是高氟水,一直都是人们所关注的问题之一。

从以上的统计结果来看,影响采样点水质的主要是无机指标(如总硬度、氟化物、总溶解性固体等),而不是有机指标。在研究区内地下水水质基本上呈现着从山前地带到平原地区的水质大致分带性。在太行山前地带地下水的水质较好,一般为 II 类水或优于 III 类水。仅在城市地区的个别地下水点出现了五类水。山前地带的地下水水质与这一地区的水文地质条件有关,它接近于地下水补给区,径流条件较好。地下水水质在区域上的分带基本上反映了天然条件下的水文地球化学特征。但是在个别样点,由于人类的污染,地下水水质已有恶化的趋势。

2.2 饮用适宜性评价结果

本次研究中的 245 组水样,利用单因子评价法,评价为 II 类水的 15 个与 III 类水的 89 个水样是满足生活饮用水要求的,适宜饮用。其余的 141 组水样,在单因子评价中水质类别为 IV 类的水中有 45 个点是基本适宜饮用的;评价为 V 类的水中一般不适宜饮用的有 12 个点,如饮用必须经过相应处理,在这些水样中,主要是总硬度超标,而通过简单煮沸过

程就可以去除水中大部分的钙和镁,从而使硬度得到降低以适于饮用。

有 84 个点是不宜饮用的,如饮用必须经过严格处理并进行水质的监测控制。在这些水样中,有 47 个点是由于氟离子超标引起的(其中有 17 个水样同时有其它非毒性指标如钠和硫酸盐超标),这种由原生地质条件引起的地下水水质超标,如果经过目前技术成熟的降氟等方法处理,达到饮用水的标准后就可以适宜于生活饮用。关于这种高氟水问题,在以往的许多文献中已有详细的论述。

其他影响水质的指标主要有:硝酸根离子,共 17 个样;砷:8 个样;铅:共 5 个样;苯并(a)芘:共 6 个样;四氯化碳:共 3 个样;挥发酚类:共 3 个样。据表 1 所列的致癌性分类,砷、铅、苯并(a)芘、四氯化碳均有致癌作用,因此对这 22 个点要进一步取样监测,详细调查当地的地质、水文地质、污染源,查明水质的变化原因及动态,查明水质的变化原因及趋势,并依据系列的监测数据采取相应的措施。

2.3 水中主要超标指标原因分析

2.3.1 主要无机指标

在研究区的东部平原区,大部分地下水样品显示为 V 类水质。氟离子的含量在这一地区的水质类别划分中起着决定性的作用。在研究区的中间地带,IV 类水呈条带状分布。在人类活动强烈的城市地区,如北京、石家庄等城市地区,氟离子对水质的影响作用不明显,氟离子的含量大都满足 II 类水或 III 类水水质要求。据以往的大量研究成果(陈望和等,1999),研究区内地下水中的高氟含量,主要是由原生地质条件所引起的。也有研究表明,由于大量开采地下水,使得地下水水位下降,引起粘性土中的氟离子在释水过程中大量进入含水层,这也使得深层地下水的氟离子出现升高趋势(陈浩等,2005)。

在山前地带及广大平原区水中的总硬度满足 II 类或 III 类水标准。和周围地区的结果对比,在北京、石家庄、邯郸和新乡等城市及其周围地区地下水中的总硬度较高,出现了 IV 或 V 类标准范围值。据以往的研究,硬度的不断升高应是一个地区地下水受到污染的表现。以石家庄为例,在 20 世纪 70 年代,市区地下水硬度为 285.6~303.5 mg/l,到 1998 年高达 589.1~606.9 mg/l(陈浩等,2005)。在华北平原东南地区的硬度超标主要出现在浅层水中,人类活动可能在一定程度上对硬度的升高产生了影响。

硝酸根超标点主要分布在研究区的北部,并且主要是从深层井水样中检出的。北京地区的地下水中,硝酸盐与硬度一直是人们关注的问题(邹胜章等,

2002;肖智毅,2003;)。以往的研究结果表明:地下水中硬度升高和硝酸盐污染在时间和空间分布上具有不均匀性,显示了污染源、污染途径及污染机理的复杂性,引起污染的原因有:独特的水文地质条件、污水灌溉、砂石坑垃圾回填及区域地下水位下降(邹胜章等,2002)。

根据以往在冀东平原的研究成果(陈宗珍,1994),以及铁、锰在区域上检出浓度的分布特征,它们的超标很可能主要是由原生地质条件引起。

2.3.2 有机指标

调查点中超标的有机指标为苯并[α]芘(6 个点)、四氯化碳(3 个点)和挥发性酚类(3 个点),检出浓度均在 IV 类水标准范围内。有机指标超标点主要分布在山前平原人类活动密集区,主要是苯并[α]芘超标,有 4 个点,占总数的 67%。由于苯并[α]芘的有机碳吸附系数很高,一般应主要存留在土壤和沉积物中,而且这次苯并[α]芘都是在深井水中检出,结合以往的研究成果(李海明等,2006),研究区内地下水中苯并[α]芘的来源很可能是天然的,而不是来自人类的污染。四氯化碳在土壤及含水层中的淋溶迁移性很高,因此,较易污染地下水,酚类的迁移性一般,在一定条件下会迁移到地下水中(王昭等,2006)。四氯化碳和挥发性酚类的超标点均分布于山前地带,原因很可能是这一地带的岩土渗透性好,水在下渗补给地下水的过程中易把淋溶迁移性较好的有机物带入地下水中。

虽然这次水样中测出超标的有机物种类及水样点不多,但是由于大部分有机物有“三致”作用,应对这些超标检出点加强监测,进一步确定有机指标的浓度变化趋势,并在必要时采取相应的处理措施。

3 结论与建议

为了使地下水质量评价标准中的综合评价方法——内梅罗法评价结果的意义更加明确,对原来的分级标准进行了修订,并根据修订后的标准进行了评价,评价结果与饮用水水质标准相对应,同时有利于同一类别的地下水进行质量对比。依据华北平原地下水分析结果,决定地下水质量的主要是无机指标,如总硬度、TDS、氟、硝酸盐等。在采集的水样中,约 5%的样品水质类别是由有机指标(苯并[a]芘、挥发性酚类、四氯化碳)决定的,其中一个样品的水质级别由总硬度和四氯化碳两个指标共同确定。

结合我国的生活饮用水标准及美国环保局的饮

用水标准与健康咨询资料,对水质指标的致癌性进行了整理。在此基础上,尝试拟定了饮用水适宜性评价标准,并依据研究区水样的测试资料对地下水的饮用适宜性进行了评价。在进行饮用适宜性评价时,不能教条地照搬标准,要依据当地的具体地质、水文地质条件来进行评价,例如,对于一些地区水中的氟、铁等的超标,可以提出加强水质监测并进行相应的水处理建议。但是,对于归类为致癌指标(如砷、苯并[a]芘等)的超标,必须引起重视,必须进一步采样监测、查明水质的成因并采取一定的措施。在所采集的245组水样中,有22组(约占9%)是属于这种情况的。

致谢:感谢河北省地质环境监测总站雒国忠高级工程师和姜先桥工程师、天津市地质调查研究院王兰化高级工程师、北京市地质调查院周磊高级工程师、河南省地质调查院张连胜高级工程师、山东省地质调查院杨丽芝高级工程师、天津市地质矿产研究所马震高级工程师以及其他所有参加本项地调工作的人员,他们的工作为论文的完成提供了大量的基础资料。

参考文献:

- 陈浩,王贵龄,张薇. 2005. 河北平原地下水水化学演化[J]. 地球与环境, 33(supp.): 620-623.
- 陈望和等. 1999. 河北地下水[M]. 北京: 地震出版社.
- 陈武,艾俊哲,李凡修. 2002. 地下水水质综合评价方法探讨[J]. 地下水, 24(2): 74.
- 陈宗珍. 1994. 冀东平原浅层地下水水质污染成因初析[J]. 河北水利科技, 15(3): 6-9.
- 李海明,陈鸿汉,郑西来. 2006. 地下水中苯并[a]芘来源探讨[J]. 水文地质工程地质, (6): 21-24.
- 李进,陈益滨,师伟. 2006. 模糊综合评价法在地下水水质评价中的应用[J]. 地下水, 28(2): 4-6.
- 毛兴华. 2006. 常用水质评价方法的选择[J]. 水科学与工程, (1): 21-23.
- 孙涛,潘世兵,李永军. 2004. 人工神经网络模型在地下水水质评价分类中的应用[J]. 水文地质工程地质, (3): 58-61.
- 汤洁,李艳梅,卞建民. 2005. 物元可拓法在地下水水质评价中的应用[J]. 水文地质工程地质, (5): 1-5.
- 王嵩峰,周培疆. 2003. 用主成分分析法研究评价地下水质量——以邯郸市为例[J]. 环境科学与技术, (12): 55-58.
- 王昭,张翠云,陈玺. 2006. 地下水有机污染物自然衰减研究概述[J]. 地球学报, 27(supp.): 22-26.
- 肖智毅. 2003. 海淀区地下水硝酸盐污染及其影响因素[J]. 环境与健康杂志, 20(3): 158-160.
- 张祖亮. 2004. 灰色聚类法在地下水质量评价中的应用[J]. 云南环境科学, 23(1): 60-62.
- 邹胜章,张金炳,李洁. 2002. 北京西南城近郊浅层地下水盐污染特征及机理分析[J]. 水文地质工程地质, (1): 5-9.
- CHEN Hao, WANG Gui-ling. 2005. The evolvement of groundwater chemic character in Hebei Plain [J]. Earth and Environment. 33(supp.) 620-623 (in Chinese with English abstract).
- CHEN Wang-he et al.. 1999. Groundwater in Hebei [M]. Beijing: Earthquake Publishing House(in Chinese).
- CHEN Wu, AI Jun-zhe, LI Fan-xiu. 2002. Discussion on comprehensive assessment methods of groundwater quality [J]. Ground Water. 24(2): 74 (in Chinese).
- CHEN Zong-zhen. 1994. Discussion on the contamination of shallow groundwater in eastern Hebei plain [J]. Hebei Water Resources. 15(3): 6-9 (in Chinese).
- LI Hai-ming, CHEN Hong-han, ZHENG Xi-lai. 2006. A discussion of the source of B[a]p in groundwater [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, (6): 21-24(in Chinese with English abstract).
- LI Jin, CHEN Yi-bin, SHI Wei. 2006. Application of Fuzzy Comprehensive evaluation Method for Groundwater Quality Evaluation [J]. Ground Water, 28(2): 4-6(in Chinese with English abstract).
- MAO Xing-hua. 2006. Selection on assessment methods of typical water quality [J]. Water Sciences and Engineering Technology, (1): 21-23 (in Chinese with English abstract).
- SUN Tao, PAN Shi-bing, LI Yong-jun. 2004. Application of artificial neural network model to groundwater quality assessment and classification [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, (3): 58-61 (in Chinese with English abstract).
- TANG Jie, LI Yan-mei, BIAN Jian-min. 2005. Application of Matter-Element and Extension to groundwater quality evaluation [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, (5): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- USEPA. 2006. 2006 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories (EPA 822-R-06-013) [R]. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- WANG Song-feng; ZHOU Pei-jiang. 2003 Application of Principal Component Analysis in Assessment of Underground Water [J]. Environmental Science and Technology. (12): 55-58 (in Chinese with English abstract).
- WANG Zhao, ZHANG Cui-yun, CHEN Xi. 2006. A brief review on natural attenuation of organic contaminants in groundwater [J]. Acta Geoscientia Sinica, 27(supp.): 22-26(in Chinese with English abstract).
- XIAO Zhi-yi. 2003. Investigation of Nitrate Pollution and Its Influential Factors in Ground Water in Haidian District of Beijing [J]. Journal of Environment and Health, 20(3): 158-160 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zu-liang. 2004. Application of the Grey Clustering Method to Underground Water Quality Assessment [J]. Yunnan Environmental Science, 23(1): 60-62 (in Chinese with English abstract).
- ZOU Sheng-zhang, ZHANG Jin-bing, LI Jie. 2002. Analysis of shallow groundwater salt pollution feature and mechanism in the southwest suburb of Beijing City [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, (1): 5-9 (in Chinese with English abstract).