

中国地下水资源质量评价(II)——地下水水质现状和污染分析

唐克旺¹, 吴玉成², 侯 杰³

(1. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100044 ; 2. 中国水利水电科学研究院防洪减灾研究所, 北京 100038 ; 3. 水利部水利水电规划设计总院水战略部, 北京 100066)

摘要 对我国平原区浅层地下水水质现状进行了评价。初步评价结果表明, 我国地下水水质形势严峻, 劣质水分布面积占平原区面积近 60%。高矿化度地下水分布比较广泛, 总硬度和矿化度成为地下水主要的超标因子。铁、锰、氟等水文地球化学组分对地下水水质也有明显的影响。除天然因素外, 地下水受人为污染的程度十分严重, 全国有近 25% 平原区地下水受到不同程度的污染。在人口和社会经济活动密集的流域, 地下水污染已经呈现大范围扩散的态势。地下水保护形势十分迫切, 指出要客观认识到地下水水质的先天因素和人为污染的区别, 有针对性地进行地下水的保护。

关键词 地下水; 水质评价; 平原区; 中国

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2006)03-0001-04

Assessment of groundwater quality in China : II . Groundwater quality and pollution analysis

TANG Ke-wang¹, WU Yu-cheng², HOU Jie³

(1. Department of Water Resources, IWHR Beijing 100044, China ; 2. Department of Water Hazard Research, IWHR, Beijing 100038, China ; 3. Department of Water Strategy, General Design and Planning Institute of Water Resources and Hydropower, Beijing 100066, China)

Abstract The quality of shallow groundwater of plains in China was assessed. The results show that groundwater is seriously polluted as poor quality water covers nearly 60% of the plain regions. Groundwater of high salinity is widely distributed, and hardness and salinity are two major contributors for the poor quality. Besides, iron, manganese and fluorine are also the major chemical components influencing the groundwater quality. The results also indicate that human-induced pollution is also evident. Area with polluted shallow groundwater is about 26% of the plain areas in China. Groundwater pollution in the densely populated plains is becoming worse in the last decades. We must distinguish between the natural and manmade factors of groundwater pollution and protect the groundwater with different measures suitable for local areas as soon as possible.

Key words groundwater ; water quality assessment ; plain regions ; China

第一次全国水资源评价由于受条件的限制, 没有对地下水水质进行系统评价, 仅根据地下水矿化度进行了咸淡水分布区的划定^[1]。本次地下水水质评价以水文地质单元为基本评价空间, 维持地下水系统的完整性。在整体系统性评价基础上, 再综合评价各水资源分区和计算分区的地下水水质状况。

因此, 尽管评价分区是和水资源分区一致的, 但地下水水质评价首先遵循的是地下水的系统性运动规律, 以地下水系统的连续性为原则。

1 评价内容和方法

地下水水质现状评价主要包括现状水质综合评

价、污染分析、水质变化趋势分析等。现状水质综合评价是按照地下水的^{所有水质项目进行综合评判得出的地下水水质类别} 其中既有天然因素也有人为污染因素 天然因素主要受本底水文地球化学特征的影响²¹。污染分析则重点评价因人为污染导致的地下水水质类型变化 主要是针对人类活动导致污染物进入地下水系统 影响地下水功能的现象。水质变化趋势分析是通过历史数据对比 分析评价我国平原区地下水水质的过去变化 并分析变化的主要原因。

1.1 评价标准

地下水水质评价采用的技术标准 为 GB/T 14848—93《地下水质量标准》,并参考了 GB 5084—92《农田灌溉水质标准》、GB 5749—85《生活饮用水卫生标准》、CJ 3020—93《生活饮用水水源水质标准》等。

主要的参评水质项目包括 pH 值、矿化度、总硬度、氨氮、挥发酚、高锰酸盐指数、硫酸盐、氯化物、氟化物、硝酸盐、亚硝酸盐、铁、锰、砷、铬、镉、大肠杆菌 共 17 项。由于各流域地下水水质资料参差不齐,一些井点还包括氰化物、汞等项目。

本次地下水水质评价的水质资料有 3 类来源。①历史监测资料,是水利部门的水质监测站点资料,部分长期观测井积累了 1980 年以来的系列水质数据 ②在地矿、环保、卫生、城建等部门的大力支持下,从相关部门收集的水质资料 ③根据水文地质条件和资料情况,进行补测的水质数据。

水质评价的现状水平年为 2000 年,除特别注明外,本次地下水水质评价均指全年平均值。

1.2 评价方法

地下水水质评价按照不同类别的分布面积进行评价。根据监测井水质评价结果,综合考虑当地水文地质条件、污染性质、社会经济活动特点等,合理确定水质类别面积。

评价方法依据 GB/T14848—93《地下水质量标准》制定。根据我国地下水水质现状,参照生活饮用水、工业、农业用水水质要求,将地下水水质划分为 5 类。

地下水水质评价分为单项组分评价和多项组分综合评价。单项组分评价按分类指标划分为 5 类,当某一水样不同类别的指标值相同时,从优不从劣,最后综合对比各项指标评价结果,按就高不就低的原则判定地下水类别。也就是说,当有某一指标含量较高时,就按它所属的类确定该地下水的类别,最后的归类取决于各单项评价的最高者。

地下水水质评价分综合评价和污染评价两个层次。区分综合水质评价和污染评价的主要目的是甄别对待天然水化学水质指标和人为污染指标。矿化

度、硫酸盐等主要反映天然水化学特征的指标参与综合水质评价,但不参与污染评价和分析。尽管人为污染会影响地下水的这些水化学指标,但是在全国宏观上,天然水化学的地带性规律是影响这些指标变化的主要因素³¹。如果用这些指标判断污染会失真,并误导决策。因此,区分出天然水质和人为污染影响是十分重要的。

综合水质评价用 17 项指标,依据 GB/T14848—93《地下水质量标准》,按照最劣水质项目确定水质类别,将地下水划分为 I、II、III、IV、V,共 5 类。污染评价主要按照人为污染项目如高锰酸盐指数、氨氮等,依据 GB/T14848—93《地下水质量标准》,超过 III 类的水质判定为污染,其中 IV 类定为轻污染,V 类定为重污染。

2 水质综合评价

2.1 水质综合类别

在全国进行地下水水质评价的 199.6 万 km² 的面积中,I 类和 II 类水质的面积仅为 4.98%。III 类区面积占评价面积的 35.53%。地下水 IV、V 类的面积占总评价面积的 59.49%。全国及各水资源一级区地下水分类水质分布见表 1。

表 1 各水资源一级区浅层地下水水质类别分布面积的比例 %

水资源一级区	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	超标区
松花江	0.47	2.47	42.65	15.04	39.37	54.41
辽河	2.15	0.92	12.38	23.44	61.11	84.55
海河	0.00	0.61	22.99	26.80	49.60	76.40
黄河	0.00	3.42	48.47	16.41	31.70	48.11
淮河	0.00	1.68	30.54	42.95	24.83	67.78
长江(含太湖)	1.74	15.83	37.05	24.77	20.61	45.38
太湖	0.00	0.00	8.51	70.21	21.28	91.49
东南诸河	0.00	1.47	41.18	27.94	29.41	57.35
珠江	5.63	23.00	67.61	1.41	2.35	3.76
西北诸河	0.81	4.41	34.67	31.92	28.19	60.11
全国	0.72	4.26	35.53	27.08	32.41	59.49

从全国平原区地下水现状水质状况的空间分布来看,经济社会活动强度大、人口密集、天然本底水质较差的平原区地下水水质也较差。从 IV、V 类地下水面积占评价区的比例排序来看,依次为太湖、辽河、海河、淮河、西北诸河、东南诸河、松花江、黄河、长江和珠江区。

松花江平原区 I、II、III 类地下水面积占总评价面积的比例为 45.59%,已有超半数的地下水不适宜直接饮用。辽河平原区浅层地下水 I、II、III 类面积占评价面积的比例为 15.45%,已有 84.55%的地下水不适宜直接饮用。海河平原区(含盆地)地下水

大多数受到不同程度的污染 ,浅层水的天然水化学特征也是影响水质的主要因素 ,Ⅳ、Ⅴ类面积占平原区(含盆地)面积的 76.40% ,主要的超标因子为氨氮、矿化度、总硬度、硝酸盐、高锰酸盐指数、亚硝酸盐、铁、锰等。海河流域深层承压水水质好于潜水 ,但氟超标比较普遍。

黄河流域Ⅳ类和Ⅴ类区面积占总评价面积的 48.11% ,近一半的地下水不宜直接饮用。淮河平原区Ⅳ类和Ⅴ类区面积占评价面积的 67.78%。太湖流域Ⅳ类和Ⅴ类浅层地下水的面积占评价面积的 91.49% ,地下水水质几乎全部不能直接饮用。

2.2 项目超标率

我国地下水有近 60%的井水属于劣质水 ,水质状况十分严峻 ,因此 ,需要了解造成劣质的主要项目分布情况。图 1 为全国地下水水质项目超标率分布图。由表 2 可见 ,总硬度、氨氮、矿化度、锰、铁、氟、亚硝酸盐、高锰酸盐指数是导致地下水劣质的 8 个最主要因子 ,其中既有天然水化学指标 ,也有人为污染指标。也就是说 ,地下水水质受到天然和人为的共同影响。

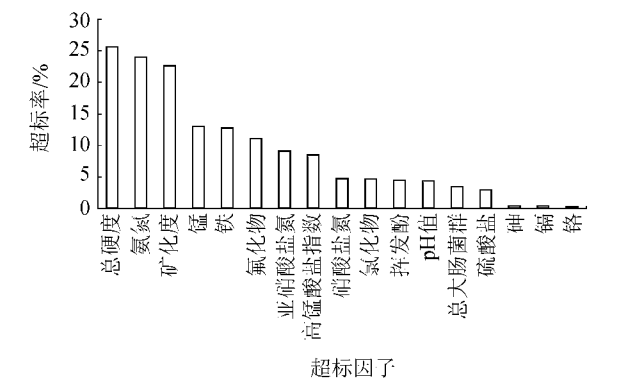


图 1 全国地下水主要超标项目排序

不同的流域 ,水质特点有差异。各流域有关项目的超标率见表 2。

3 地下水污染分析

3.1 污染评价

地下水污染一般都是由于人类活动引起的 ,从

污染源 ,可以分为点源和面源两类。点污染源主要是垃圾、废污水排放、污染的地表水体渗漏等。面污染源主要是大面积的农业耕作、化肥农药使用、污水灌溉、畜牧养殖和生活污染、水土流失等。

不同的污染类型 ,其污染面积也不同。一般来说 ,点源污染只局限在局部地区 ,包括垃圾场附近、污染河流沿岸等 ,面积不会很大 ,而面源污染影响面积比较广泛。例如 ,农业化肥和农药造成的污染 ,可能会覆盖整个农药和化肥施用区 ,尽管土壤自净能力不同的耕地有一定差异。因此 ,地下水污染区划分应严格区分不同类型的污染 ,结合地面人类活动方面的信息、资料以及水文地质条件 ,合理地确定污染范围和面积。

表 3 显示我国主要流域平原区污染评价结果。从该表数据可以看出 ,全国 199.6 万 km² 的平原区内 ,有 24.84%的面积已经被不同程度的人为污染。黄河和内陆人口密度较小的流域污染相对轻一些 ,而人口密集的太湖和海河平原等污染已经呈现大范围蔓延态势。

表 3 全国主要流域平原区地下水污染分布情况

水资源一级区	评价面积/ 万 km ²	污染区面积比例/%		
		轻污染	重污染	合计
松花江	29.99	2.87	20.64	23.51
辽 河	9.77	14.02	29.79	43.81
海 河	14.60	23.63	19.11	42.74
黄 河	19.62	2.91	3.52	6.43
淮 河	17.88	37.14	8.95	46.09
长江(含太湖)	12.97	15.19	10.95	26.14
太 湖	2.82	69.86	20.21	90.07
珠 江	2.13	1.41	1.41	2.82
东南诸河	0.68	1.47	16.18	17.65
西北诸河	89.15	8.80	9.59	18.39
全 国	199.60	12.38	12.45	24.83

3.2 主要污染因子

地下水污染原因和污染途径不同 ,根据污染物质及其形成污染的性质 ,可以从不同的角度进行多种分类分析。表 4 显示“三氮”(NO₃⁻、NO₂⁻、NH₄⁺)超标十分普遍。这说明我国浅层地下水普遍受到农

表 2 各流域按井单项超标率 %

水资源一级区	pH 值	矿化度	总硬度	NH ₃ -N	FN	COD _{Mn}	SO ₄	Cl	F	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Fe	Mn	As	Cr	Cd	大肠杆菌
松花江	10.24	11.95	13.66	37.56	1.22	11.46	0.24	0.73	6.34	1.71	2.20	41.95	32.20	0.00	0.37	0.29	0.35
辽 河	0.89	16.07	18.75	57.14	5.36	22.32	0.00	1.79	11.61	0.89	1.79	63.39	35.71	0	0	0	0
海河浅层	1.31	39.39	44.42	32.82	6.78	12.91	17.72	18.16	14.88	4.60	17.72	12.25	40.04	1.09	0.22	0	0
海河深层	13.45	10.92	10.08	36.97	0.00	5.88	7.56	11.76	41.18	4.20	7.56	0	7.56	0	1.68	0	0.84
黄 河	3.78	39.04	41.31	16.62	3.53	10.83	0	9.07	19.90	9.07	7.05	10.58	0.50	1.76	1.76	0.50	6.05
淮河浅层	0.64	26.12	43.90	27.84	6.85	11.56	1.28	2.78	11.99	13.92	21.41	0	0	0	0	0	0
长 江	0.94	0.94	7.55	22.64	7.55	7.55	0	0	0	0.94	7.55	17.92	7.55	0.94	0	0	0
太 湖	2.50	10.00	22.50	37.50	12.50	10.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.70
珠 江	9.16	0.76	0.76	6.11	5.34	2.29	0	0	0.76	12.21	9.16	2.29	11.45	0	0	0	0
东南诸河	9.00	0.00	0.00	15.42	5.91	1.54	0	0	7.97	3.08	15.17	18.51	14.91	0	0	0	0.26
西北内陆	2.74	34.35	30.00	3.23	0.65	3.87	0.81	1.29	6.94	0	0	0.97	0.48	0	0	0	3.87

业面源污染 ,加上被污染的地表水渗漏和工业生活的局部直接排污 ,氮污染属于最突出的水质问题。

表 4 平原区浅层地下水的主要污染项目超标率及排序

排序	项目	超标率/%	排序	项目	超标率/%
1	NH ₃ -N	23.94	6	总大肠菌群	3.43
2	NO ₂ -N	9.09	7	As	0.37
3	COD _{Mn}	8.45	8	Cd	0.35
4	NO ₃ -N	4.76	9	Cr	0.29
5	FN	4.50			

在“三氮”类污染因子中 ,氨氮属于新进入地下水系统的污染物 ,尚未转化为亚硝酸盐和硝酸盐。因此 ,超标率最大的氨氮排序结果显示目前我国平原区地下水每年还在接纳到新的污染物。氮类污染物每年都在不断地补充进入 ,并逐渐转化为亚硝酸盐和硝酸盐。三者的超标率排序显示新污染源的不断输入。氨氮向硝酸盐转化的中间产物亚硝酸盐处于超标率的第 2 位 ,显示了地下水系统中“三氮”转化的动态结果。硝酸盐排序仅次于高锰酸盐指数 ,列第 4 位 ,显示地下水系统中三氮转换的平衡关系。

4 地下水污染成因分析

本次评价将地下水污染仅限于受人类活动的影响 ,污染物质进入地下水系统造成地下水水质恶化的现象。因此 ,主要污染原因是人类社会经济活动 ,特别是城市生活污水及垃圾、工业“三废”等的排放 ,农业大量使用农药、化肥等 ,导致地下水污染问题日益突出。污染严重区主要分布在大城市、城镇周围区、排污河道两侧、地表污染水体分布区及引污水灌溉农田地区。很多地区的浅层地下水已不能直接饮用。污染组分中“三氮”和高锰酸盐指数是比较突出的污染因子。

地下水污染不仅检出组分越来越多 ,越来越复杂 ,而且污染程度和深度也在不断增加 ,有些地区(例如河北廊坊、衡水、沧州等地 ,深层水中已有污染物检出。海河、淮河平原和太湖流域平原区 ,松嫩平原等重要农业开发地区 ,浅层地下水已出现面状污染态势。地下水污染正由点污染、条带状污染向面上扩散 ,由浅层向深层渗透 ,从城市向周围蔓延 ,应引起高度重视 ,及时进行治疗。

地下水运动缓慢 ,地下水污染面积大小主要决定于污染源分布。地下水系统的污染受面源污染和污染地表水体的渗漏影响更明显和突出一些 ,而对于局部的点源污染需要精细的调查评价和长期监测才能予以揭示。

4.1 地下水污染与人类活动强度的关系

地下水污染主要受人类活动的影响 ,因此 ,人类

活动强度的大小会直接反映在地下水的污染程度上。人类活动强度可以用人口密度、耕地面积和土地开发程度等指标来反映。人口的增加会加剧生活污染程度 ,耕地面积的大小则间接反映农药化肥使用面积 ,这些因素都对区域地下水水质产生影响。

我国平原区地下水污染以“三氮”污染为主 ;“三氮”污染除生活污染外 ,化肥的使用是主要原因 ,而化肥的影响包括使用面积和施用强度两种因素。使用面积一般和耕地面积是一致的。因此 ,地下水污染程度在很大程度上受面源污染的影响。人口和农业耕作活动与地下水污染应具有明显的相关关系。

人口密度越大的流域和平原区 ,生活污水和固体废物堆积量必然也越大 ,从而对地下水水质构成了严重的危害。

4.2 地下水污染和地表水污染的关系

地表水和地下水彼此有着不可分割的联系。在大多数情况下 ,地表水污染往往导致地下水污染。两者在污染源方面往往是相同的 ,但在污染机理和治理方法上却是截然不同的。治理地下水污染要比地表水污染复杂得多。地下水一旦污染 ,恢复是十分困难的。

我国平原区 ,尤其是我国北方平原区 ,地下水一般接受地表水的入渗补给。全国平原区地下水资源量(矿化度 $\leq 2\text{ g/L}$)1 725 亿 m^3 中 ,有 35% 左右来自地表水体的补给。因此 ,受到地表水水质的影响会更明显 ,尤其是地表水补给量较大的流域。本次评价结果表明 ,地表水污染较严重的流域 ,地下水水质污染范围也比较大。因此 ,要防治地下水污染 ,地表水污染治理是重要的前提条件。

5 结论和建议

从本次全国平原区地下水的水质综合评价结果看 ,有以下几方面特点 ①矿化度、总硬度、铁、锰、氟成为影响我国地下水水质的主要因子 ,而这些指标主要是受气候和水文地球化学条件的影响。因此 ,评价地下水水质必须将天然和人为因素分开。充分尊重地下水的天然水化学规律。②“三氮”污染问题普遍而突出(氨氮超标 24%) ,而且北方地区新污染源(氨氮)仍在不断输入到地下。③地下水污染有浅层向深层渗透的趋势。④我国平原区浅层地下水水质总体上形势十分严峻 ,需要提高认识 ,加大投入 ,增强保护的力度。

本次全国范围的地下水水质评价也暴露出我国地下水水质保护和管理方面的不足 ,迫切需要加强和完善。首先 ,水质监测井点密度不足 ,地下水水质资料短缺。今后应重视地下水水质(下转第8页)

表 4 现状工程条件下不同水平年供需平衡分析

保证率	水平年	规划可用水量/亿 m ³				预测需水量/亿 m ³					水量平衡/亿 m ³		缺水率/%
		地表	地下	其他	小计	农业	工业	生活	其他	小计	余水	缺水	
P = 75%	2005	98.50	6.78	0.75	106.03	38.30	15.63	10.42	5.00	69.35	36.68		
	2015	92.75	5.85	0.68	99.28	38.48	24.25	13.45	6.30	82.48	16.80		
	2020	89.48	4.52	0.53	94.53	41.35	29.88	14.31	7.42	92.96	1.57		
	2030	82.31	3.54	0.48	86.33	46.99	38.71	15.86	7.98	109.54		23.21	21.19
P = 80%	2005	98.50	6.78	0.75	106.03	40.54	15.63	10.42	5.00	71.59	34.44		
	2015	92.75	5.85	0.68	99.28	43.53	24.25	13.45	6.30	87.53	11.75		
	2020	89.48	4.52	0.53	94.53	47.47	29.88	14.31	7.42	99.08		4.55	4.59
	2030	82.31	3.54	0.48	86.33	50.65	38.71	15.86	7.98	113.20		28.67	25.33
P = 85%	2005	98.50	6.78	0.75	106.03	44.24	15.63	10.42	5.00	75.29	30.74		
	2015	92.75	5.85	0.68	99.28	45.25	24.25	13.45	6.30	89.25	10.03		
	2020	89.48	4.52	0.53	94.53	51.34	29.88	14.31	7.42	102.95		8.42	8.18
	2030	82.31	3.54	0.48	86.33	53.36	38.71	15.86	7.98	115.91		29.58	25.52
P = 90%	2005	98.50	6.78	0.75	106.03	47.36	15.63	10.42	5.00	78.41	27.62		
	2015	92.75	5.85	0.68	99.28	47.48	24.25	13.45	6.30	91.48	7.80		
	2020	89.48	4.52	0.53	94.53	53.54	29.88	14.31	7.42	105.15		10.62	10.01
	2030	82.31	3.54	0.48	86.33	54.53	38.71	15.86	7.98	117.08		30.70	26.23

着西部大开发的不断深入 ,工业和生活用水大幅增
加是缺水的主要原因 ;另一方面 ,农业是用水大户 ,
需水量都在 60% 以上 ,提高灌溉率也是造成灌区缺
水的重要因素。

3 小结和建议

通过建立农业灌溉需水模型 ,针对都江堰灌区
水资源特征及开发利用情况 ,在不同的灌溉保证率
和不同的水平年对灌区水资源供需状况作出分析。
分析结果表明 ,都江堰灌区水资源开发利用已达相
当规模 ,随着地区经济发展 ,都江堰灌区将面临缺水
状况。为使都江堰灌区在不同水平年达到供需平
衡 ,必须采取工程措施 ,增加可供水量 ,同时要强化
全社会的保护水源和节水意识 ,严防工业、生活污
水污染源 ,积极推广节水技术 ,降低耗水量。在遇到
严重干旱时 ,对水源供水工程要进行联合调度 ,加强
宏观调控和动态管理。为适应社会对水需求不断增

长的要求 ,还需进一步论证如何合理开发利用有限
的水资源和采取计划用水、节约用水的措施来解决
供需矛盾。

参考文献：

[1] 曾令刚. 数字模拟技术在水资源供需平衡中的应用[J].
浙江水利科技 2003(2) 9-13.
[2] 郭元裕 ,李寿声. 灌排工程最优规划与管理[M]. 北京 :水
利电力出版社 ,1994 :180-200.
[3] 汤瑞凉 ,郭存芝 ,董晓娟. 灌溉水资源优化调配的熵权系
数模型研究[J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2000 ,28
(1) :19-20
[4] 彭述明. 都江堰水利可持续发展战略研究[M]. 北京 :科
学出版社 ,2004 :75-82.
[5] 雍富强 ,刘学军. 宁夏引黄灌区沟水利用研究[J]. 水资
源保护 ,2004 ,20(3) :17-20.

(收稿日期 2005-03-10 编辑 :舒 建)

(上接第 4 页) 监测工作 ,建立健全地下水水质、水量
监测网和信息系统。其次 ,地下水水质方面的技术
力量较薄弱 ,需要加强地下水方面的技术建设 ,提高
地下水科学管理和保护的能力。另外 ,对地下水水
质的重要性和水质污染的严重后果缺乏认识。由于
地下水水质污染具有隐蔽性和难恢复的特点 ,需要
加强宣传和科学知识的普及工作 ,加强地下水水质
保护工作的力度。

参考文献：

[1] 水利部水文局. 水资源评价[M]. 北京 :水利水电出版社 ,
1990.
[2] 中央爱国卫生运动委员会 ,中国科学院地理与资源研究
所. 中国生活饮用水地图集[M]. 北京 :中国地图出版社 ,
1988.
[3] 唐克旺 ,侯杰 ,唐蕴. 中国地下水质量评价(I)——平原
区地下水水化学特征[J]. 水资源保护 ,2006(2) :1-5.

(收稿日期 2004-12-31 编辑 :舒 建)