

中国地下水质量评价(I)——平原区地下水水化学特征

唐克旺¹, 侯 杰², 唐 蕴¹

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

摘要 根据全国水资源第二次调查评价初步结果, 对我国地下水水质进行了全面系统的分析, 论述了地下水水化学特征。初步评价结果表明, 我国地下水以重碳酸型为主, 但硬度和总矿化度较大, 成为影响天然水质的主要因素。地下水总体上属于中性偏碱类型。地下水水化学评价结果表明, 我国地下水水质先天不足, 地下水水质保护工作要重视对天然地下水水文地球化学特征的认识。

关键词 地下水评价; 水化学特征; 平原区; 中国

中图分类号: P641.12 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2006)02-0001-05

Assessment of groundwater quality in China : I . Hydrochemical characteristics of groundwater in plain area

TANG Ke-wang¹, HOU Jie², TANG Yun¹

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

Abstract :Based on water resources survey and evaluation in China, groundwater quality was systematically analyzed. The assessment of the hydrochemical characteristics of groundwater shows that most groundwater is of bicarbonate type with high hardness and TDS (Total Suspended Solids). The pH of groundwater is mostly neutral and alkaline. As the groundwater quality is poor naturally, the recognition of hydrogeochemical characteristics of natural groundwater is important for the groundwater quality protection.

Key words :groundwater assessment ; hydrochemical characteristics ; plain area ; China

水是人类赖以生存的不可缺少的宝贵资源, 作为水资源的重要组成部分, 地下水因其水质良好, 分布广泛, 变化稳定以及便于利用等原因, 成为人类理想的供水水源。在我国北方半湿润、半干旱和干旱的华北、西北地区, 地下水更是主要的有时甚至是唯一的生活和工农业供水水源。2000 年, 全国开发利用地下水总量达 1 069 亿 m^3 ^[1], 占全国总供水量的 20%。北方流域地下水开发利用量更大些, 根据全国水资源第二次评价的初步结果, 松花江、辽河、海河三流域地下水开发利用量占总水资源开发利用量的比例分别为 41%、57% 和 66%, 黄河流域和淮河

流域的地下水供水量也占总供水量的 35% 和 34%。

为了全面了解和掌握我国地下水的水质情况, 为地下水资源的合理开发利用与保护提供依据, 水利部开展了水资源评价工作。本次地下水水质评价包括地下水天然水化学特征分析、地下水水质综合评价、地下水水质污染分析、地下水水质变化趋势分析、地下水供水水质评价和集中式供水源地地的水质评价等内容。本文主要论述和介绍的是地下水水化学特征分析的初步成果。第一次全国水资源评价未能就地下水水质状况进行全面的评价, 而仅根据地质部门调查成果, 划分了地下水咸淡水分布区^[2]。

作者简介: 唐克旺(1963—), 男, 吉林安图人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水资源保护和管理、生态环境保护等领域研究。E-mail: kwtang@iwhr.com

本次地下水水质的全面系统评价填补了第一次评价的空白。

1 评价方法

本次地下水水质评价从技术方法上有以下几个特点。首先,将山区和平原、深层承压水和潜水分开进行评价,以开发利用的主要对象——平原浅层地下水为主要评价区。同时,地下水水质评价和地下水开发利用评价实现分区一致、范围一致、数据统一。例如,地下水硬度除了污染原因和气候因素外,地下水的过量开采也有很大影响。因此,需要结合地下水超采评价来分析硬度升高的内在机理,为地下水保护和管理提供科学决策依据。

1.1 评价范围和分区

地下水水质是指地下水的物理、化学和生物学特征和性质的总称。由于我国地下水开发利用主要集中在平原区,少部分在丘陵区,地下水水质存在问题的地区也主要集中在人类活动集中的平原区,因此,本次地下水水质评价的对象为平原区浅层地下水以及进行了地下水资源可开采量评价的山丘区浅层地下水(含岩溶水和基岩裂隙水)和平原区深层承压水。

本次评价大多针对的是平原和盆地区的潜水,对于海河、淮河、太湖三个有深层承压水开发利用且有资料条件的流域片单独进行了深层承压水的水质评价。在全国约 960 万 km^2 的国土面积中,去掉人烟稀少、没有地下水开发利用活动或资料空白的山区和荒漠区,本次地下水水质评价面积 197 万 km^2 ,占全国总面积的 21%。

本次地下水水质评价按照地下水的运动和补给、径流、排泄规律,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,再统计水资源分区和计算分区的水质情况,包括劣质区或污染区面积等。因此,尽管分区是和水资源分区一致的,但地下水水质评价首先遵循地下水的系统性运动规律,以地下水系统的连续性为原则,不因行政和水资源分区界限而分割地下水系统。

1.2 评价标准

本次地下水水质评价采用的技术标准 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。

主要参评水质项目包括:pH 值、矿化度(g/L)、总硬度、氨氮、挥发酚、高锰酸盐指数、硫酸盐、氯化

物、氟化物、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、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。当某一水样某一项目不同类别的指标值相同时,从优不从劣。

本次地下水水质评价的水质资料有三类来源。一是历史监测资料,是水利部门的水质监测站点资料,部分长期观测并积累了 1980 年以来的系列水质数据;二是在地矿、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;三是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,不再进行丰枯水期分别评价。

1.3 评价方法

地下水水质评价按照系统论的思想,在统一的水文地质单元内进行,原则上不用行政和水资源分区界限破坏和割裂具有相同补径排系统的地下水分布区。在平原区,先进行系统的评价和分析,然后将评价结果再归到行政区和水资源分区中。

地下水天然水化学分析按照八大离子和三个指标,分四个方面来进行,包括水化学类型、矿化度分布、硬度分布、地下水酸性分析。水化学分类采用舒卡列夫分类法。

水质评价依据 GB/T 14848—93《地下水质量标准》。

2 地下水水化学特征

地下水的水化学特征是长期的地质历史发展过程中,经多种地球化学作用而形成的,受气象、水文、地质、地貌、水文地质条件及人类活动等多种因素的影响。在上述综合因素影响下,地下水化学组分会发生变化。特别是近几十年来,人类活动影响日益强烈,地下水化学组分在一定范围内发生了变化,从而引起地下水资源质量变异或恶化。

本次分析的地下水水化学类型主要针对平原区,分析地带性变化规律。地下水水化学特征按照水化学类型的空间变化、矿化度分布、硬度分布、酸性分布四个方面论述。

2.1 水化学类型

按照舒卡列夫分类法,将地下水划分为 49 种水化学类型,为了介绍简便起见,按照阴离子含量比例,将 49 种水化学类型分成四大类型,即:重碳酸型、重碳酸硫酸氯化物混合型、硫酸型(硫酸氯化物)和氯化物型。全国各流域片平原区地下水的水化学

类型分布如表 1。

表 1 全国各流域片平原区地下水的水化学类型分布 %

水资源一级区	重碳酸型	重碳酸硫酸氯化物混合型	硫酸型	氯化物型
辽河	49.04	43.31	4.14	3.50
海河	46.55	41.34	7.56	4.54
黄河	49.21	36.68	12.52	1.59
淮河	47.32	43.44	3.51	5.73
长江(含太湖)	69.92	29.32	0.75	0.00
太湖	51.93	44.20	0.00	3.87
珠江	65.33	28.00	1.33	5.33
东南诸河	47.01	29.49	17.95	5.56
西北诸河	17.13	56.89	22.83	3.15
全国	46.25	41.11	9.03	3.61

我国平原地区地下水主要是重碳酸型水和重碳酸硫酸氯化物混合型水,其占总评价面积的比例为 87%,其中重碳酸型水占全国评价面积的 46%。从空间分布来看,地下水的水化学特征自东南沿海向西北内陆呈规律性变化,即由重碳酸盐型为主过渡为重碳酸-硫酸盐型-硫酸盐型或氯化物型,直至氯化物型盐卤水。

从局部地区和平原区来看,潜水水化学组分在区域上的水平分带性十分明显,表现为从山区到平原或自山麓至盆地中心或由山前至滨海的水化学组分的规律性带状分异。例如海河平原由山前向滨海区,水化学类型由重碳酸水逐渐演变为硫酸水和氯化物水。

除地带性变化规律外,沿海地区受海水影响,存在氯化物型地下水,例如淮河和东南沿海。

2.2 矿化度

地下水矿化度的大小能够反映地下水的水岩作用和浓缩作用。在地下水垂向交换比较频繁和占主导的地区,地下水矿化度增加。从各流域片矿化度分布来看,全国有近 73% 的评价面积是淡水分布区,矿化度 1~3g/L 的微咸水面积 25%,矿化度 3~5g/L 的半咸水面积占评价面积的 1.3%。高矿化区比例比较高的是干旱的内陆地区和海河流域,见表 2。

2.3 地下水硬度

地下水的硬度受气候和地质条件的影响,也受人类活动的干扰。从全国范围来看,地下水硬度呈现由东南向西北的空间变化,随着干旱程度和降水大小,呈现南软北硬特点。但是,各地区也有差异,东北的三江平原地下水硬度较小。黄淮海流域地下水硬度普遍偏高。总硬度的面积分布见表 3。

从气候来说,一般降水大的地区,地下水硬度较小。图 1 显示全国 10 个流域片的平原区地下水硬度小于 150mg/L 的面积比例和当地平均降水深度之

表 2 各流域片矿化度分布面积 %

水资源一级区	矿化度($g \cdot L^{-1}$)				
	0~1	1~2	2~3	3~5	>5
松花江	88.80	10.77	0.40	0.03	0.00
辽河	79.22	16.48	1.54	0.82	1.94
海河	50.00	26.07	10.23	6.48	7.22
黄河	67.84	21.76	8.15	1.76	0.51
淮河	71.48	16.55	8.28	1.40	2.29
长江(含太湖)	95.92	2.40	1.21	0.41	0.06
太湖	93.26	6.74	0.00	0.00	0.00
珠江	80.88	19.12	0.00	0.00	0.00
东南诸河	99.53	0.47	0.00	0.00	0.00
西北诸河	67.90	20.57	10.72	0.55	0.26
全国	72.85	17.56	7.33	1.26	1.02

表 3 全国主要流域平原区地下水硬度分布比例 %

水资源一级区	总硬度($mg \cdot L^{-1}$)				
	<150	150~300	300~450	450~550	>550
松花江	18.44	48.15	21.71	4.53	7.17
辽河	5.32	47.90	36.23	4.30	6.24
海河	1.00	25.00	26.54	12.30	35.16
黄河	1.22	43.17	31.45	11.01	13.15
淮河	0.06	15.10	35.91	25.73	23.21
长江(含太湖)	28.32	47.28	21.75	2.57	0.15
太湖	7.09	51.06	37.23	3.90	0.71
珠江	35.29	48.53	16.18	0.00	0.00
东南诸河	87.79	11.27	0.94	0.00	0.00
西北诸河	3.66	47.94	21.66	6.44	20.30
全国	7.88	42.43	24.78	8.34	16.65

注:总硬度按 $CaCO_3$ 计。

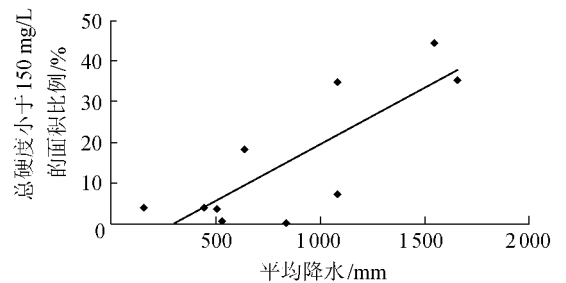


图 1 多年平均降水量和平原区地下水软水分布面积比例的关系

间的关系。显然,降水量大,比较湿润的流域,其地下水也更软一些。两个变量之间呈现比较明显的正相关关系。

松花江流域平原区地下水总硬度等于或低于 450 mg/L 的面积占总评价面积的 88.3%,高于 450 mg/L 的面积占总评价面积的 11.7%。松花江流域平原区地下水总硬度大部分小于 450 mg/L ,总体上水质较软。辽河与松花江流域类似。

海河流域平原区(含盆地)地下水总硬度小于 450 mg/L 的面积占平原区(含盆地)面积的 52.54%,主要分布在丰南、北京、高碑店、保定、定州、晋州、邢台、鹤壁等地区。淮河流域地下水总硬度等于和低

于 450 mg/L 的面积占总评价面积的 51.1% ,高于 450 mg/L 的面积占总评价面积的 48.9%。

长江流域平原区地下水总硬度等于和低于 450 mg/L 的面积占总评价面积的 97%。长江流域平原区地下水总硬度大部分小于 450 mg/L。总体上说 ,地下水呈现南软北硬的特点。

2.4 地下水酸碱性

评价结果表明 ,我国浅层地下水的 pH 值一般在 5.5~8.5 之间 ,有 94% 的平原区的地下水 pH 值在 6.5~8.5 之间 ,符合一般的用水水质要求。

地下水酸碱性受土壤成分和大气降水性质的影响 ,总体上说 ,南方偏酸性 ,北方偏碱性。但是北方也有偏酸的地区 ,如黑龙江三江平原区。地下水自东南向西北 pH 值呈递增态势 ,即由酸性、弱酸性过渡为中性直至弱碱性水。从全国整体来说 ,我国地下水呈现中性偏碱 (pH 值为 7~8.5) ,其分布面积占评价面积的 79%。东南流域地下水酸性较强 ,而黄淮海流域更偏碱性。

表 4 全国各流域平原区地下水酸碱性分布 %

水资源一级区	pH 值				
	≤6.5	6.5~7	7~8.5	8.5~9	>9
松花江	15.61	30.73	52.93	0.49	0.24
辽 河	0.00	26.79	72.32	0.00	0.89
海 河	2.53	1.52	92.40	3.21	0.34
黄 河	1.01	6.05	89.92	1.51	1.51
淮 河	0.00	3.14	96.23	0.63	0.00
长江(含太湖)	0.83	21.49	76.03	0.00	1.65
太 湖	0.00	15.38	80.77	0.00	3.85
珠 江	6.61	14.88	78.51	0.00	0.00
东南诸河	10.32	26.46	63.23	0.00	0.00
西北诸河	0.16	18.04	79.07	2.58	0.16
全 国	4.26	14.83	79.01	1.45	0.45

松辽流域地下水 pH 值大部分为 7.0 左右 ,呈中性、微碱性 ,变化范围在 6.5~8.0 之间 ,面积占平原区总面积的 94.9%。pH 值在 5.5~6.5 的偏酸性地下水主要分布黑龙江省内 ,在哈尔滨市的宾县、阿城市、延寿县、通河县 ,双鸭山市 ,鸡西市以及绥化市一带 ,面积占 3.9%。pH 值在 8~8.5 呈弱碱性的地下水主要分布在吉林省长春市农安县、松源市乾安县、长岭县和内蒙通辽市科左中旗等地 ,面积仅占 1.2%。

海河流域平原区(含盆地)浅层地下水 pH 值大部分在 7.0~8.5 之间 ,呈微碱性。唐海县、德州等地区 pH 值有大于 8.5 的情况 ,但是面积都不大 ,呈小片状分布。

长江流域地下水 pH 值大部分为 7.0 左右 ,呈微碱性 ,变化范围在 6.5~8.0 之间。湖北、河南的唐白河、安徽的安庆等地浅层地下水由于受到地表水

污染影响 ,pH 值呈中碱性。上海、江苏等沿海平原区浅层地下水呈中性 ,无异常。

东南诸河地下水的 pH 值大部分维持在 6.5~7.5 之间 ,基本上呈中性 ,无异常。其中地下水 pH 值在 7.0~7.5 之间占的比例最大 ,面积为 4815 km² ,主要分布在富春江以下、浙东沿海诸河、甌江温溪以下、闽江中下游和闽南诸河的大部分地区 ;其次是 pH 值在 5.5~6.5 之间的面积为 1203 km² ,主要分布在浙东沿海诸河和闽南诸河区 ;pH 值在 6.5~7.0 之间的主要分布在浙东沿海诸河和闽南诸河的小部分地部分。

3 地下水水化学特征变化趋势

地下水水化学特征受天然和人为两类因素的影响。近 20 年来 ,人类活动对地下水干扰十分剧烈 ,尤其是平原区的地下水开发利用对地下水水化学场、水动力场都产生了明显的影响。因此 ,本次评价提出的是地下水水化学特征分析 ,而没有提天然水化学特征分析。

超量开采地下水是引起地下水环境条件发生变化的主要原因之一 ,污染物进入地下水导致的污染也可以影响到地下水的常规水化学指标。但是从大尺度区域来说 ,地下水水位的下降 ,使包气带厚度加大 ,含水层相对变薄 ,天然状态下地下水的水盐均衡遭到破坏 ,其影响范围更大些。一方面 ,原来部分含水层变为包气带 ,使其从相对还原环境变为相对氧化环境 ,一些矿物被氧化 ,变为更易溶解的形式。同时 ,包气带厚度加大使入渗途径加长 ,渗入补给水中的组分浓度增加 ,进入地下水中的盐量增加。这种现象在浅层水 ,特别是浅层潜水中较为普遍 ,尤其是近十几年来 ,北方地区气候趋于干旱 ,地下水的含盐量及总硬度升高趋势明显 ,部分地区水化学类型已产生变异。

根据本次评价结果 ,海河、辽河、黄河等北方流域地下水矿化度、硬度升高趋势很明显。辽河流域 7 个有历史资料的观测井中 ,有 5 个井的矿化度出现显著上升的趋势。黄河 93 个趋势分析井 ,有 38% 个井矿化度升高。由于长期超采地下水 ,河北平原浅层地下水含盐量和总硬度普遍升高 ,其中井深小于 100 m 的潜水含盐量和总硬度升高最为明显。在咸水区及开采量较小的地区 ,则变化不明显。

矿化度和总硬度两个因子的变化结果表明 ,总硬度呈现总体升高的趋势 ,硬度升高的井点占总趋势分析井的 53% 左右 ,尤其在干旱半干旱的北方地区 ,矿化度稳中有升。

地下水硬度的升高与地下水超采有很大关系。

根据有关研究成果,全国地下水超采面积已经达到 181 291 km²[3]。海河流域的河北省超采面积最大,也是本次评价地下水硬度升高最明显的地区。

4 地下水化学组分异常

由于受地下水含水介质的化学组分的影响,一些地区的地下水含有一些非常规离子(相对于八大离子而言),如铁、锰、氟甚至砷等。这些化学组分影响到地下水的水质评价结果,而这些化学特征一般属于天然背景情况,而不是人为污染问题。地下水水化学异常与人群健康有直接影响,为此单独进行了评价。

我国北方地区地下水化学组分异常相对普遍,其中松花江和辽河流域的铁锰超标(Ⅲ类标准值)明显,成为影响地下水水质的主要因素之一。海河流域浅层地下水锰超标较多,而深层承压水的氟相对较高。这些都是天然地球化学作用的结果。南方片中的东南诸河铁锰超标相对明显,见表 5。

表 5 全国各流域地下水化学异常组分的单井超标率分布 %

水资源一级区	氟化物	铁	锰
松花江	6.34	41.95	32.20
辽河	11.61	63.39	35.71
海河(潜水)	14.88	12.25	40.04
海河(承压水)	41.18	0.00	7.56
黄河	19.90	10.58	0.50
淮河	11.99	0.00	0.00
长江	0.00	19.19	8.08
太湖	0.00	0.00	0.00
珠江	0.76	2.29	11.45
东南诸河	7.97	18.51	14.91
西北诸河	6.94	0.97	0.48

上面各流域片的地下水地球化学背景异常结果与全国爱国卫生运动委员会 1980 年前后开展的饮用水水质普查结果^[4]是十分接近的,具有同样的地区分布规律,与地方病(氟中毒、氟斑牙等)的分布具有一致性。

根据本次评价,全国很多地区不同程度地存在着与饮用水水质有关的地方病区。尤其在我国北方丘陵山区较普遍地分布着与克山病、大骨节病、氟中毒、甲状腺肿等地方病有关的高氟水、高砷水、低碘水和高铁锰水等。黑龙江省的水化学异常区十分普遍,存在各种地方病。

5 主要结论和建议

第一次全国水资源评价仅根据矿化度进行了咸淡水分布的初步评价。本次水资源评价对地下水的

水化学特征进行了更为系统全面的分析。从本次全国范围的地下水水质评价结果看,从湿润的南方到中西部,我国地下水天然水化学特征具有明显的地带性变化规律。在盆地和平原区内,由山前到盆地中部或滨海区,地下水由淡变咸的局部地带性变化特征也很明显。

总体上说,我国地下水水质属于先天不足。仅按照总硬度评价,全国 197 万 km² 的平原区属于Ⅳ类、Ⅴ类的地下水分布面积占 30%。地下水天然水质相对较差。硬度和矿化度成为影响地下水开发利用的主要天然水化学指标。

从水化学变化特征上来看,近年来随着地下水开发利用程度的提高和补给量的减少,地下水水化学特征正呈现恶化的趋势,地下水开发利用程度较高的平原区,硬度升高趋势十分明显。

从本次全国地下水水化学评价的结果可以得出这样的结论,我国地下水水质保护要客观地认识其天然水文地球化学规律的作用,尊重自然规律。地下水水质污染评价也要区分出天然水化学因素和人为影响两类不同性质的问题,这样才能有针对性地开展地下水水质保护工作。

参考文献:

[1] 水利部. 中国水资源公报[EB/OL].[2001-10-08]. <http://www.people.com.cn/GB/paper464/4381/497887.html>.

[2] 水利部水文局. 水资源评价[M]. 北京: 水利水电出版社, 1990.

[3] 水利部水资源司. 21 世纪初期中国地下水资源开发利用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

[4] 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.

(收稿日期 2004-11-31 编辑 高渭文)

