

重庆嘉陵江干流饮用水水源地 水质分析与健康风险评价

刘跃晨, 王云, 吴树宝, 王春雷, 陈立娜, 李坤

(重庆市水文水资源勘测局, 重庆 401147)

摘要: 利用 WQI 模型和水环境健康风险评价模型对 2009~2011 年嘉陵江干流重庆段 6 个饮用水水源地进行评价, 并将影响这两种方法的主要因素进行分析比较。结果表明, 6 个水源地水质总体较好且城郊差异不大, 但健康风险等级普遍偏高, 城区明显高于郊区; 各污染物都可能影响到 WQI 值, 而砷、镉尤其是六价铬等化学致癌物是影响总健康危害风险的主要因素。两种模型侧重点不同, 综合运用将更有助于客观全面评价水体质量和对人体健康的影响。

关键词: 嘉陵江; 水源地; WQI 模型; 健康风险评价模型

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)03-0091-06

1 引言

近年来, 我国城市水源地突发污染事件日益增加^[1], 水源地水质状况与健康风险问题越来越受到人们的重视, 目前主要基于相关水环境标准进行水源地水质评价, 常用的评价方法包括: 单因子评价法、污染指数评价法、基于模糊理论的水环境评价法、基于灰色系统理论的水环境评价法、基于人工神经网络的水环境评价法等^[2-6], 朱叶华^[7]等采用综合水质指数模型对长江沙市江段水质进行了评价, 取得了较好的成果。这些方法尽管可以得到较为准确的水质状况及污染程度, 但是无法直观地反映水中污染物对人体健康危害的风险程度, 20 世纪 80 年代由美国环保局 (US EPA) 提出的环境风险评价模型^[8-11], 以风险度作为评价指标, 把环境污染与人体健康联系起来, 定量描述环境污染物对人体产生健康危害的风险, 弥补了这一不足。我国的健康风险评价工作始于 20 世纪 90 年代初^[12-13], 目前在水环境健康风险评价中做了大量工作, 李如忠^[14]运用模糊集理论构建了水环境健康风险评价模型, 并对华东某城市饮用水源地进行了评价; 丁昊天等^[15]采用模糊化原理对长沙、株洲和湘潭地区的地下水重金属污染进行了人体健康风险评价,

吴义锋等^[16]则利用未确知数学理论, 建立了未确知性水质风险评价模式; 祝慧娜、袁兴中、曾光明等^[17-18]则基于动态聚类分析和区间数对湘江流域的水环境健康风险进行了综合评价。这些研究成果进一步丰富和发展了健康风险评价理论、方法和模型。然而, 针对同一水体进行评价时, 采用单一的评价模型或方法, 评价结果不能全面反应水体的水质特征, 为了较为客观的反应饮用水水源地水质状况和污染程度, 以及水体中主要污染物对人体健康的危害程度, 本文拟采用综合水质指数 (WQI) 评价模型对 2009~2011 年重庆嘉陵江干流水源地的水质进行常规水质评价, 在此基础上, 运用水环境健康风险评价模型对重庆嘉陵江干流水源地的健康风险进行定量评价, 在关注水源地水质状况的同时, 定量反映其影响人体健康的风险, 并进一步探讨两种方法之间的异同, 为今后饮用水水源地水质评价提供参考。

2 模型介绍

2.1 综合水质指数 (WQI) 评价模型

2.1.1 分类标准及评价项目

综合水质指数 (WQI) 评价模型将地表水环境质量标准^[19]中基本项目和补充项目, 从美国环保局 (USEPA)

收稿日期: 2012-08-08

作者简介: 刘跃晨 (1980-), 男, 河南漯河人, 工程师, 主要从事水环境监测与水资源调查评价工作。E-mail: i-yaochen@163.com

通讯作者: 王云 (1964-), 男, 重庆人, 高级工程师, 主要从事水文水资源管理与技术工作。E-mail: 951723413@qq.com

公布的水环境优先有毒污染物、难以净化的污染物、水源地背景值几方面考虑,将参与评价的项目分为3类,第1类:对人体危害程度严重且经水厂处理后难以消除的污染物;第2类:经水厂处理后出水水质能够达标的污染物;第3类:除第一、第二类以外的其他污染(表1)。

2.1.2 计算方法

WQI 的计算分为3个步骤,具体计算方法参照朱叶华^[7]等采用的综合水质指数模型。

2.1.3 评价方法

根据 WQI 值,按照表2评价水体的水质状况。

2.2 水环境健康风险评价模型

国际癌症研究机构(IARC)通过全面评价水体中化学有毒污染物的可靠性程度,将污染物分为基因毒物质(包括化学致癌物和放射性污染物)和躯体毒物质(非化学致癌物)2类。由于天然水体中放射性污染物浓度极低,本文不将其列入讨论,化学致癌物的健康危害(R^a)和躯体毒物质的健康危害(R^c)风险模型计算详

表1 评价分类具体项目

Table1 Specific items for evaluation classification

类别	评价项目
第1类	砷、汞、镉、六价铬、铅、氰化物
第2类	溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮
第3类	挥发酚、锰

表2 水质评价分级

Table2 Classification of water quality evaluation

水体质量级别	优良	良好	尚好	较差	差	极差
WQI 值	≤ 20	(20,40]	(40,60]	(60,80]	(80,100]	> 100

表3 健康风险评价标准的等级与分值

Table3 The grades and scores of health risk assessment standards

健康风险等级	评价标准区间/ a^{-1}
低风险	$[1.0 \times 10^{-6}, 1.0 \times 10^{-5})$
低-中风险	$[1.0 \times 10^{-5}, 5.0 \times 10^{-5})$
中风险	$[5.0 \times 10^{-5}, 1.0 \times 10^{-4})$
中-高风险	$[1.0 \times 10^{-4}, 5.0 \times 10^{-4})$
高风险	$[5.0 \times 10^{-4}, 1.0 \times 10^{-3})$
极高风险	$[1.0 \times 10^{-3}, 5.0 \times 10^{-3})$

见曾光明^[13]等采用的方法,化学有毒污染物总的健康危害风险($R_{总}$)为化学致癌物健康危害和躯体毒物质健康危害的总和。

2.3 水环境健康风险评价等级的划分

水环境健康风险评价一般采用国际防辐射委员会(ICRP)和US EPA的标准。ICRP推荐的最大可接受风险为 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$,而US EPA认为在 $10^{-4} a^{-1}$ 级别内的风险都是可以接受的。这两种评价标准相差较大,采用这两种评价标准进行健康风险评价,评价结果将会产生很大差别。为了更好的准确评价风险水平的等级,本文引用丁昊天^[15]等采用的风险评价标准等级划分方案(见表3)。

3 实例研究

利用 WQI 模型和水环境健康风险评价模型对2009~2011年重庆市嘉陵江干流郊区(合川钓办、北碚金岗碑)和城区(江北梁沱、高家花园、大兴村、大溪沟)共6个饮用水水源地(图1)进行评价。

3.1 资料与参数选择

选取嘉陵江重庆段6个饮用水水源地2009~2011年监测资料(表4,限于篇幅,只列出两个),根据嘉陵江水体中污染物种类, WQI 模型选择溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮、挥发酚、砷、铅、汞、镉、六价铬、氰化物、锰11个评价参数。根据IARC对水体中化学有毒污染物的分类,健康风险评价模型选择氨氮、挥发酚、砷、铅、汞、镉、六价铬、氰化物、锰9个评价参数。其中砷、镉、六价铬为化学致癌物,其致癌强度系数见表5;氨氮、挥发酚、铅、汞、氰化物、锰为躯体毒物质,其参考

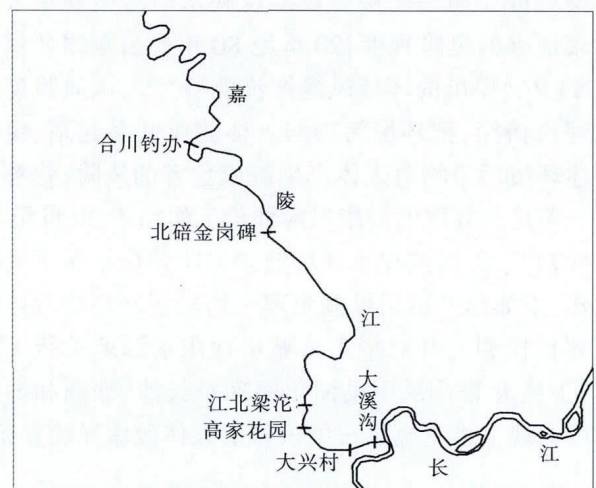


图1 嘉陵江干流水源地示意图

Fig.1 Location of the water supply source on the Jialing River

剂量见表6。

3.2 评价分析

3.2.1 水质综合指数(WQI)评价

运用 WQI 模型,对 2009~2011 年各饮用水水源地年度水质浓度(表4)进行计算,得到各参数年度 I_i 值、 I_L 值和 WQI 值(表7)。表7表明,第一类污染物中砷的 I_i 值最小,均小于1;氰化物和六价铬的 I_i 值均在2010年高家花园达最大,分别为14和19.33;汞的 I_i 最大和次大值出现在2011年的梁沱(60.32)和大溪沟(17.82),其余均小于10;镉的 I_i 值普遍较高,处于20~30之间;铅的 I_i 值则差异较大,这表明对 I_{L1} 值贡献最大是镉、其次是铅和汞。 I_{L2} 值则表现出随年度增长的趋势,尤其是北碚金岗碑、江北梁沱和大兴村,这说明进入到嘉陵江水体中的该类污染物量在逐年增多。WQI 值最小24.36(2011年高家花园),最大60.32(2011年江北梁沱),大部分位于(20,40]之间,占总数的55.56%,其次是(40,60]范围,占38.89%,大于60的仅江北梁沱。比较发现,同年度 I_{L1} 值一般比 I_{L2} 和 I_{L3} 大,因此 WQI 值的大小多数取决于 I_{L1} 的贡献,但2010年高家花园水源地和2011年大溪沟水源地的 WQI 却取决于 I_{L2} ,各参数年度 I_i 值大多处于10~60之间(占总数的61.61%),这表明各类污染物都有可能影响到 WQI 的最终计算结果。另外从 $WQI=(I_L)_{\max}$ 的公式可以看出,WQI 值总体上类似于单指标评价法,在第二类污染物和第三类污染物的计算上,局部采用了类别平

均值,这表明 WQI 值偏重于体现水体综合水质,更注重从总体上把握水质状况和污染程度。

3.2.2 健康风险评价

运用水环境健康风险评价模型,分别对2009~2011年嘉陵江干流重庆段饮用水水源地中的化学致癌物和躯体毒物质(见表4)进行计算,得到各污染物经食入途径所致的个人年均风险值和,并计算了健康危害总风险 $R_{\text{总}}$ (见表8)。这9种污染物在各水源地中以六价铬、砷和镉的危害较大,尤其六价铬的危害最大,其值达 $1.768 \times 10^{-4} a^{-1}$;砷处于 $10^{-6} \sim 10^{-5} a^{-1}$ 之间,最大达 $1.527 \times 10^{-5} a^{-1}$;镉主要处于 $10^{-6} a^{-1}$ 水平。其它污染物的风险较低,大多在 $10^{-10} \sim 10^{-12} a^{-1}$ 之间。从表9还可以看出这6个水源地的健康危害总风险普遍偏高,2009年北碚金岗碑最小 $5.45 \times 10^{-5} a^{-1}$,2010年高家花园最大 $1.993 \times 10^{-4} a^{-1}$,均超过了ICRP推荐的最大可接受限制 $10^{-5} a^{-1}$ 。2010年合川钓办、高家花园和大溪沟以及2011年江北梁沱、大兴村和大溪沟的总风险值均超过了US EPA规定的可接受水平 $10^{-4} a^{-1}$ 。其中,城区4个水源地的健康总风险值较郊区的2个明显偏高,这表明嘉陵江干流重庆段饮用水水源地健康风险总体偏高,且城区的水源地健康风险高于郊区。

分别按表2和表3对各水源地年度 WQI 值(表7)和健康总风险 $R_{\text{总}}$ (表8)进行评价,得出了相应的水体质量级别和健康风险等级(表9)。对表9的分析表明 WQI 评价的水体质量以良好和尚好为主,只有江北

表4 2009~2011年水质监测资料

Table4 Water quality data from 2009 to 2011 单位:mg/L

断面名称	年份	DO	高锰酸盐指数	氨氮	砷	汞	镉	六价铬	铅	氰化物	挥发酚	锰
合川钓办	2009	8.58	2.70	0.22	0.0012	7.08E-06	0.0025	0.0023	0.0133	0.0010	0.0010	0.021
	2010	7.17	2.19	0.16	0.0002	1.33E-05	0.0025	0.0058	0.0100	0.0019	0.0012	0.009
	2011	8.24	2.94	0.24	0.0018	7.73E-06	0.0025	0.0036	0.0100	0.0010	0.0011	0.038
北碚金岗碑	2009	8.97	2.48	0.20	0.0010	5.42E-06	0.0012	0.0024	0.0114	0.0020	0.0010	0.041
	2010	8.39	2.73	0.28	0.0023	1.54E-05	0.0021	0.0034	0.0078	0.0013	0.0012	0.035
	2011	7.71	3.38	0.16	0.0011	2.18E-05	0.0020	0.0043	0.0089	0.0020	0.0014	0.022

表5 化学致癌物致癌强度系数(饮水途径)

Table5 Strength coefficients for carcinogens by drinking approach

致癌强度系数 $Q_w(mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1})$		
Cd	As	Cr ⁶⁺
6.1	15	41

表6 非致癌物参考剂量(饮水途径)

Table6 Reference doses for non-carcinogens by drinking approach

参考剂量 $Rf/D_w(mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1})$					
氨氮	挥发酚	Hg	Pb	Mn	氰化物
9.7×10^{-1}	1.0×10^{-1}	3.0×10^{-4}	14×10^{-3}	1.4×10^{-1}	3.7×10^{-2}

表7 2009~2011年 I_i 值和 I_L 值计算结果Table7 The results of I_i and I_L from 2009 to 2011

断面名称	年份	第一类污染物 I_i 值						I_{L1}	第二类污染物 I_i 值			I_{L2}	第三类污染物 I_i 值		I_{L3}	WQI 值
		砷	汞	镉	六价铬	铅	氰化物		DO	高锰酸盐 指数	氨氮		挥发酚	锰		
合川钓办	2009	0.48	2.83	27.50	4.67	41.67	4.00	41.67	6.29	27.00	24.19	19.16	10.00	12.50	11.25	41.67
	2010	0.09	5.33	27.50	11.50	20.00	7.67	27.50	24.44	21.92	20.57	22.31	11.67	5.38	8.52	27.50
	2011	0.72	3.09	27.50	7.27	20.00	4.00	27.50	10.68	29.36	25.14	21.73	10.91	22.64	16.77	27.50
北碚金岗碑	2009	0.40	2.17	20.96	4.83	40.70	8.00	40.70	1.43	24.75	22.98	16.39	10.00	24.80	17.40	40.70
	2010	0.91	6.17	25.67	6.83	15.65	5.00	25.67	8.71	27.25	27.52	21.16	11.67	20.70	16.18	25.67
	2011	0.44	8.73	25.12	8.55	17.89	8.00	25.12	17.35	33.82	20.84	24.00	14.00	13.09	13.55	25.12
江北梁沱	2009	0.36	3.67	27.50	8.00	42.08	4.00	42.08	4.07	24.33	27.86	18.75	10.00	16.25	13.13	42.08
	2010	0.73	6.13	27.50	5.83	40.42	5.00	40.42	5.76	28.15	26.14	20.02	11.17	14.80	12.98	40.42
	2011	0.75	60.32	27.50	11.09	20.00	6.91	60.32	17.81	28.91	28.29	25.00	12.55	15.60	14.07	60.32
高家花园	2009	0.25	4.00	24.58	6.67	40.14	4.00	40.14	4.07	25.50	29.05	19.54	10.00	25.40	17.70	40.14
	2010	0.90	3.00	28.33	19.33	16.95	14.00	28.33	11.16	31.00	58.63	33.60	14.17	15.10	14.63	33.60
	2011	0.69	4.18	24.36	7.09	14.22	4.00	24.36	19.31	31.18	20.96	23.82	14.18	21.60	17.89	24.36
大兴村	2009	0.40	5.00	21.92	7.17	40.78	4.00	40.78	5.23	25.42	28.12	19.59	10.00	7.65	8.83	40.78
	2010	0.73	6.13	26.65	5.83	13.83	5.00	26.65	5.76	28.15	26.14	20.02	11.17	14.80	12.98	26.65
	2011	0.75	4.58	26.17	11.09	10.96	6.91	26.17	17.81	28.91	28.29	25.00	12.55	15.60	14.07	26.17
大溪沟	2009	0.42	3.33	23.38	5.83	41.78	8.00	41.78	6.50	28.92	28.38	21.27	10.00	23.10	16.55	41.78
	2010	0.77	6.00	27.13	8.83	14.75	4.00	27.13	7.45	25.07	27.81	20.11	10.83	12.65	11.74	27.13
	2011	0.67	17.82	26.39	12.36	14.22	4.00	26.39	16.55	28.55	52.20	32.43	10.00	21.60	15.80	32.43

表8 各种有毒污染物所致健康风险(个人年风险)

Table8 The health risk from every carcinogen and non-carcinogen

断面名称	年份	氨氮 E-11	砷 E-6	汞 E-12	镉 E-6	六价铬 E-5	铅 E-10	氰化物 E-11	挥发酚 E-12	锰 E-11	总风险 E-5
合川钓办	2009	10.34	8.14	10.60	6.85	4.29	4.28	1.21	4.49	6.68	5.79
	2010	7.41	1.52	19.95	6.85	10.55	3.21	2.33	5.24	2.87	11.38
	2011	11.11	12.06	11.56	6.85	6.68	3.21	1.21	4.90	12.10	8.57
北碚金岗碑	2009	9.35	6.79	8.11	3.26	4.44	3.66	2.43	4.49	13.26	5.45
	2010	13.04	15.27	23.07	5.84	6.28	2.51	1.52	5.24	11.06	8.39
	2011	7.62	7.41	32.65	5.54	7.84	2.87	2.43	6.29	7.00	9.14
江北梁沱	2009	13.31	6.06	13.72	6.85	7.34	4.54	1.21	4.49	8.69	8.63
	2010	11.92	12.23	22.95	6.85	5.36	3.47	1.52	5.01	7.91	7.27
	2011	13.66	12.56	171.43	6.85	10.17	3.21	2.10	5.63	8.34	12.11
高家花园	2009	14.27	4.15	14.97	5.25	6.12	3.30	1.21	4.49	13.58	7.06
	2010	44.71	15.16	11.22	7.30	17.68	2.72	4.25	6.36	8.07	19.93
	2011	7.72	11.59	15.65	5.13	6.51	2.28	1.21	6.37	11.55	8.18
大兴村	2009	13.52	6.68	18.71	3.79	6.58	3.70	1.21	4.49	4.09	7.63
	2010	11.92	12.23	22.95	6.38	5.36	2.22	1.52	5.01	7.91	7.22
	2011	13.66	12.56	17.14	6.12	10.17	1.76	2.10	5.63	8.34	12.04
大溪沟	2009	13.73	7.13	12.47	4.59	5.36	4.35	2.43	4.49	12.35	6.53
	2010	13.27	12.97	22.45	6.64	8.11	2.37	1.21	4.86	6.76	10.07
	2011	37.26	11.19	66.67	6.24	11.33	2.28	1.21	4.49	11.55	13.08

梁沱在 2011 年出现较差级别,并且该水源地水质随年度变差。然而,各水源地年度健康风险等级却处于中风险到中-高风险,江北梁沱、大兴村和大溪沟 3 个水源地的健康风险等级逐年增高,北碚金岗碑的随年度变化不大,而合川钓办和高家花园则随年度先增后减。还可以看出城区 4 个水源地健康风险等级较郊区偏高,但用 WQI 评价的水体质量级别城郊差异不大。

这两种模型评价结果的差异可能是由于模型本身的原理和侧重点不同所致。 WQI 模型主要着眼于水体质量的综合评价,更注重从总体上把握水质状况和污染程度。从模型设计的计算过程中可以看出, WQI 值多数取决于 I_{L1} ,但各类污染物都有可能影响到最终的评价结果;分析还表明对 I_{L1} 贡献最大的是镉、其次是铅和汞。健康风险评价模型更注重水体中污染物对人体健康危害的风险大小,针对性更强,也更具体。从本次嘉陵江重庆段各主要饮用水水源地的计算结果来看,影响健康总风险的因素主要来自于六价铬、砷和镉等重金属污染,其中六价铬最大,在 10^{-4} ~ 10^{-5} 数量级,砷和镉大致是 10^{-5} ~ 10^{-6} 数量级,其余项目较小,一般在 10^{-10} ~ 10^{-12} 数量级,这种数量级上的差别,导致 $R_{\text{总}}$ 主要来源于较大数量级的几个甚至一个项目。

以上分析结果还可以看出,江北梁沱水体质量级别随年度变差,健康风险等级也随年度增高,而大溪沟水体质量级别随年度变好,但健康风险等级却随年度增高(表 9),这表明由于侧重点不同这两种评价模型得到的结果可能不一致甚至相悖。从表 7 还可以看出铅、汞和 I_{L2} (溶解氧、高锰酸盐指数和氨氮)中的一个或几个共同影响了水体质量的级别,而表 8 则表明主要是六价铬、砷和镉,尤其是六价铬决定了水体的健康风险等级,这也进一步证明了各类污染物都有可能影响到 WQI 值,即水体质量的总体评价结果,而健康风险模型可以反应出不同污染物的风险大小。综合运用这两种模型对水源地进行评价,得到水源地水体质量的同时,还可以较准确的反映出水体中污染物可能对人体健康造成危害的风险等级,两个模型相互补充,更利于我们客观全面评判水源地水质安全状况。

4 结论与讨论

本文综合利用 WQI 模型和水环境健康风险评价模型对 2009~2011 年嘉陵江干流重庆段 6 个饮用水水源地进行评价,并对水源地水体质量和水体中污

染物通过饮水途径可能对人体健康造成的危害比较分析。

(1) 对 WQI 模型的评价结果分析表明, WQI 值多数取决于 I_{L1} 的贡献,但 2010 年高家花园水源地和 2011 年大溪沟水源地的 WQI 却取决于 I_{L2} ,各污染项目的 I_i 值大多数处于 10~60 之间,这说明各污染物都有可能影响到 WQI 的最终计算结果。

(2) 分析表明对 I_{L1} 值贡献最大是镉、其次是铅和汞。 I_{L2} 值则表现出随年度增长的趋势,尤其是北碚金岗碑、江北梁沱和大兴村,这说明进入到嘉陵江水体中的该类污染物量在逐年增多。

(3) 从 $WQI=(I_{L1})_{\text{max}}$ 的公式可以看出, WQI 值总体上类似于单指标评价法,在第二类污染物和第三类污染物的计算上,局部采用了类别平均值,因此 WQI 值偏重于体现水体综合水质,更注重从总体上把握水质状况和污染程度。

(4) 对 R_{ig}^c 、 R_{ig}^n 和 $R_{\text{总}}$ 进行分析可以看出,6 个水源地健康风险水平总体较高,城区 4 个水源地的健康总风险值较郊区的 2 个明显偏高。2009 年北碚金岗碑 $R_{\text{总}}$ 最小 $5.45 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$,2010 年高家花园最大 $1.993 \times 10^{-4} \text{a}^{-1}$,

表9 WQI 与健康风险评价结果

Table9 The results of WQI and the health risk

断面名称	年份	WQI 评价		健康风险评价	
		WQI 值	水体质量级别	总风险 $R_{\text{总}}$ $/(E-5) \cdot \text{a}^{-1}$	健康风险等级
合川钓办	2009	41.67	尚好	5.79	中风险
	2010	27.5	良好	11.38	中-高风险
	2011	27.5	良好	8.57	中风险
北碚金岗碑	2009	40.7	尚好	5.45	中风险
	2010	25.67	良好	8.39	中风险
	2011	25.12	良好	9.14	中风险
江北梁沱	2009	42.08	尚好	8.63	中风险
	2010	40.42	尚好	7.27	中风险
	2011	60.32	较差	12.11	中-高风险
高家花园	2009	40.14	尚好	7.06	中风险
	2010	33.6	良好	19.93	中-高风险
	2011	24.36	良好	8.18	中风险
大兴村	2009	40.78	尚好	7.63	中风险
	2010	26.65	良好	7.22	中风险
	2011	26.17	良好	12.04	中-高风险
大溪沟	2009	41.78	尚好	6.53	中风险
	2010	27.13	良好	10.07	中-高风险
	2011	32.43	良好	13.08	中-高风险

均超过了 ICRP 推荐的最大可接受限制 $10^{-5}a^{-1}$ 。2010 年合川钓办、高家花园和大溪沟以及 2011 年江北梁沱、大兴村和大溪沟的总风险值均超过了 US EPA 规定的可接受水平 $10^{-4}a^{-1}$ 。

(5) 从本次嘉陵江重庆段各主要饮用水水源地的计算结果来看,影响健康总风险的因素主要来自于六价铬、砷和镉等化学致癌物,其中六价铬最大,在 10^{-4} ~ 10^{-5} 数量级,砷和镉大致是 10^{-5} ~ 10^{-6} 数量级,其余项目较小,一般在 10^{-10} ~ 10^{-12} 数量级,这种数量级上的差别,导致 $R_{\text{总}}$ 主要来源于较大数量级的几个甚至一个项目。这表明健康风险评价模型更注重水体中化学致癌物对人体健康危害的风险大小,针对性更强,也更具体。

(6) 由于两种模型侧重点不同,可能导致评价结果不一致甚至相悖,但并不影响我们综合运用这两种模型,得到饮用水水源地水体质量的同时,还能较为准确的反映出水体中污染物可能对人体健康造成危害的风险,这将更加有利于我们客观全面地对水体质量和污染物对人体健康的影响进行评价。

参考文献:

- [1] 张勇,王东宇,杨凯.1985~2005 年中国城市水源地突发污染事件不完全统计分析[J].安全与环境学报,2006,6(2):79-84.(ZHANG Yong, WANG Dongyu, YANG Kai. Statistical analysis on water pollution incidents in urban water supply area in China during the year 1985 to 2005[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(2): 79-84. (in Chinese))
- [2] 郭劲松,龙腾跃,霍国友,等.四种水质综合评价方法的比较[J].重庆建筑大学学报,2000,22(4):6-12.(GUO Jinsong, LONG Tengyue, HUO Guoyou, et al. A comparison of four methods of water quality assessment [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2000, 22(4): 6-12. (in Chinese))
- [3] 余春雪,李祚泳,汪嘉杨.指标规范值的未确知测度模型用于地表水水质评价 [J]. 水文,2011,31(3):51-54.(YU Chunxue, LI Zuoyong, WANG Jiayang. Surface water quality evaluation using unascertained measure model based on normalized index values [J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(3): 51-54. (in Chinese))
- [4] 兰文辉,安海燕.环境水质评价方法的分析与探讨[J].干旱环境监测,2002,15(3):167-169.(LAN Wenhui, AN Haiyan. Discussion of environmental quality evaluation methods [J]. Arid Environmental Monitoring, 2002, 16(3): 167-169. (in Chinese))
- [5] 刘坤,刘贤赵,李希国,等.模糊概率神经网络模型在水质评价中的应用[J].水文,2007,27(1):36-39.(LIU Kun, LIU Xianzhao, LI Xiguo, et al. Fuzzy probabilistic neural network water quality evaluation model and its application [J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(1): 36-39. (in Chinese))
- [6] 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报(自然科学版),2005,33(4):482-488.(XU Zuxin. Comprehensive water quality identification index for environmental quality assessment of surface water [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 33(4): 482-488. (in Chinese))
- [7] 朱叶华,曾涛,杨军,等.综合水质指数法对长江沙市江段的水质评价[J].南水北调与水利科技,2010,8(5):122-124.(ZHU Yehua, ZENG Tao, YANG Jun, et al. Water quality assessment in Shashi of the Yangtze River by comprehensive water quality index method [J]. South-to-North Water Transfer and Water Science & Technology, 2010, 8(5): 122-124. (in Chinese))
- [8] David J Severn. Exposure assessment [J]. Environ. Sci. Technol., 1987, 21(12): 1159-1163.
- [9] Richard Cothorn C. et al. Estimating risk to human health [J]. Environ. Sci. Technol., 1986, 20(2): 111-116.
- [10] EPA/540/1-86-060. Superfund Public Health Evaluation Manual [S].
- [11] EPA/601/5-89-001. Supplement Risk Assessment. Part I. Guidance for Public Health Risk Assessment [S].
- [12] 胡二邦.环境风险评价实用技术和方法[M].北京:中国环境科学出版社,2000.(HU Erbang. Technology and Methods of Environmental Risk Assessment [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000. (in Chinese))
- [13] 曾光明,卓利,钟政林,等.水环境健康风险评价模型及其应用[J].水电能源科学,1997,15(4):28-33.(ZENG Guangming, ZHUO Li, ZHONG Zhenglin, et al. Assessment models for water environmental health risk and its application [J]. Water Resources and Power, 1997, 15(4): 28-33. (in Chinese))
- [14] 李如忠.基于不确定信息的城市水源地环境健康风险评价[J].水利学报,2007,38(8):895-900.(LI Ruzhong. Assessment for environmental health of urban water supply source based on uncertain information [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(8): 895-900. (in Chinese))
- [15] 丁昊天,袁兴中,曾光明,等.基于模糊化的长株潭地区地下水重金属健康风险评价[J].环境科学研究,2009,22(11):1323-1328.(DING Haotian, YUAN Xingzhong, ZENG Guangming, et al. Health risk assessment for heavy metals in groundwater of Changsha - Zhuzhou - Xiangtan district based on fuzzy theory [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(11): 1323-1328. (in Chinese))
- [16] 吴义锋,薛联青,吕锡武.基于未确知数学理论的水质风险评价模式 [J]. 环境科学学报,2006,26(6):1047-1052.(WU Yifeng, XUE Lianqing, LV Xiwu. Assessment model of water quality risk based on unascertained mathematics theory [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(6): 1047-1052. (in Chinese))
- [17] 祝慧娜,袁兴中,曾光明,等.基于动态聚类分析的水环境健康风险综合评价 [J]. 湖南大学学报(自然科学版),2010,37(9):73-78.(ZHU Huina, YUAN Xingzhong, Zeng Guangming, et al. Integrated assessment of environmental health risks of water sources based on dynamic cluster analysis [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2010, 37(9): 73-78. (in Chinese))

参考文献:

- [1] 吉林省墒情监测中心. 吉林省墒情评价指标实验及旱情分析技术研究[R]. 2011.(Soil Moisture Monitoring Center of Jilin Province. Soil moisture indices and analysis of drought experimental technology for Jilin Province [R]. 2011.(in Chinese))
- [2] 吉林省水文水资源局. 吉林省水文计算手册 [R]. 2011.(Hydrology and Water Resources Bureau of Jilin Province. Hydrological Computation Handbook for Jilin Province [R]. 2012. (in Chinese))
- [3] 中国气象局. 自动土壤水分观测规范(试行)[S]. (China Meteorological Bureau. Automatic Soil Moisture Observation Criterion(Try out) [S].(in Chinese))
- [4] SL 364-2006, 土壤墒情监测规范 [S]. (SL 364-2006, Technical Standard for Soil Moisture Monitoring[S].(in Chinese))
- [5] NY/T 1782-2009, 农田土壤墒情监测技术规范[S]. (NY/T 1782-2009, The Technical Rules for Soil Moisture Monitoring in Farmland [S].(in Chinese))
- [6] 陈川亮. 时域反射法(TDR)在膨胀土水分量测中的若干问题研究[D]. 广西大学, 2006:3-5. (CHEN Chuanliang. Study on the Application of Time Domain Reflectometry (TDR) in Swelling Soil [D]. Guangxi University, 2006:3-5.(in Chinese))
- [7] 段爱旺. 时域反射仪(TDR)及其应用[J]. 灌溉排水学报, 1995, (1). (DUAN Aiwang. Time domain reflectometry (TDR) and its application [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1995, (1).(in Chinese))
- [8] 唐修雄, 董克非. 以介电常数为中心的自动土壤水分观测设备标定体系的探讨[J]. 气象水文海洋仪器, 2011, (4):15-16. (TANG Xiuxiong, DONG Kefei. Calibration system of automatic soil moisture observation equipment based on dielectric constant [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instrument, 2011, (4):15-16.(in Chinese))

Research on Portable Soil Moisture Collecting Instrument Calibration

ZOU Wenan¹, XU Liping^{1,2}, XU Jialin¹

(1. Hydrology and Water Resources Bureau of Jilin Province, Changchun 130033, China;

2. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Taking the portable soil moisture collecting instrument calibrating process as an example, this paper introduced the specific calibration principle, technical requirements and calibration methods, which is a reference for the other soil moisture automatic acquisition instrument calibration based on the dielectric constant method, and provides a beneficial exploration for development of soil moisture automatic acquisition instrument technology and operational application.

Key words: soil moisture; dielectric constant; collection instrument; calibration technology

=====

(上接第 96 页)

- [18] 祝慧娜, 袁兴中, 曾光明, 等. 基于区间数的河流水环境健康风险模糊综合评价模型 [J]. 环境科学学报, 2009, 29 (7): 1527-1533. (ZHU Huina, YUAN Xingzhong, Zeng Guangming, et al. An integrated fuzzy model based on interval numbers for assessment of environmental health risks of water sources [J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, 29(7): 1527-1533.(in Chinese))
- [19] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准 [S]. (GB 3838-2002, Surface Water Quality Standards[S].(in Chinese))

Water Quality Analysis and Health Risk Assessment for Drinking Water Sources at Chongqing Section on Jialingjiang River

LIU Yuechen, WANG Yun, WU Shubao, WANG Chunlei, CHEN Lina, LI Kun

(Chongqing Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Chongqing 401147 China)

Abstract: Assessment for the six drinking water sources at the Chongqing section on the Jialingjiang River from 2009 to 2011 was made based on the WQI model and the water environmental health risk analysis model, and the difference between the main factors of the two methods was compared. The results show that the water quality of these water sources is still good in general, and there is a little difference between urban and suburban, but the health risk level for individual person is generally high, and that in the city is higher than that in the suburb. Various kinds of pollutants are possible to affect the WQI value while the carcinogens (As, Cd, and especially Cr⁶⁺) are the main factors affecting R_g. The two models have different emphasis, using WQI model and the water environmental health risk analysis model will be beneficial to assessing the water quality and the impact on human health objectively and comprehensively.

Key words: Jialingjiang River; water source; WQI model; health risk assessment model