

# 四川盆地西缘农村水源地水质健康风险评价\*

倪福全<sup>1,2</sup> 刘国东<sup>1</sup> 杨尚川<sup>3</sup> 叶 剑<sup>4</sup>

1. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065; 2. 四川农业大学信息与工程技术学院水利与建筑工程系, 雅安 625014; 3. 河海大学土木工程学院, 南京 210098; 4. 河海大学水利水电工程学院, 南京 210098

**摘要** 针对农村饮水安全中水质不安全的核心问题, 对四川盆地西缘典型区-四川省雅安市名山县水环境特征分析、水环境健康风险源辨识的基础上, 基于GIS技术对41个饮水水源地的水质进行了检测, 应用U.S. EPA(美国环保局)推荐的健康风险模型计算并分析了本区农村水源地饮水水质的致癌风险和非致癌风险(危害指数), 并制作了致癌物和非致癌物的单因子和组合因子的GIS风险专题图, 应用Tobit回归分析方法检验了非致癌风险的显著性和拟合效果, 指出水源地中危害指数前4位的污染物分别是砷、氟化物、硝酸盐、铁, 建议重点监控这4种污染物质。研究结论揭示了研究区农村饮水水质的风险水平、污染物的主次及治理的优先顺序, 探讨了成因机制, 为研究区饮水水质风险管理提供了科学依据。

**关键词** 水源地 健康风险评价 水质安全 名山县

如何量化饮水中的污染物的严重程度, 以风险度来直接表达其对人体健康的危害, 国内已有一定的研究<sup>[1-36]</sup>。但大多主要集中在对单个水源地源水水质的评价方面, 且多为U.S. EPA健康风险公式的简单应用。如何开展农村地区县域尺度的水源地水质健康风险评价, 并从评价结果中探讨水土成因机制、揭示风险规律是本文研究的主要目标。

四川省雅安市名山县位于四川盆地西南边缘, 介于北纬 $29^{\circ}58'$ — $30^{\circ}16'$ 、东经 $103^{\circ}02'$ — $103^{\circ}23'$ 之间, 幅员面积 $614.27\text{ km}^2$ , 海拔高程为 $548$ — $1456\text{ m}$ , 地处青衣江流域上游, 地貌上为蒙山背斜与总岗山背斜之间的向斜槽谷(名山向斜), 三面环山, 为青衣江与岷江流域的分水岭地带, 地势西南高东北低, 东北部逐渐过渡到川西平原, 坪岗交错, 溪谷纷呈, 以深丘高岗为主, 有部分高山。气候属亚热带季风性湿润气候, 雨量充沛, 终年温暖湿润, 年均气温 $15.4^{\circ}\text{C}$ , 最高气温 $35.2^{\circ}\text{C}$ 。年均降

水量在 $1200$ — $1700\text{ mm}$ 之间, 是全省四大暴雨区之一。

依据人口密度、不同地貌、不同经济状况、农村饮水安全工程项目等因素综合考虑, 选择本区作为研究对象, 理由是: (1) 本区属于四川盆地西缘典型区, 为长江中上游生态环境脆弱区, 资源环境承载能力较弱、灾害风险较大。选择本区能代表四川盆地西缘区的主要水源和供水类型, 能反映当地的经水传播传染病和水性地方病情况, 能代表环境污染对饮水水质的影响, 能满足采样时的水样保存时间的要求, 能覆盖国家、省级及当地疾病监测点; (2) 村民生活用水长期依靠井水、河水, 水质差、水量少, 严重影响了村民的生产生活。本区总人口 $26.8$ 万。据2004年调查, 本区农村饮水水质不达标涉及人口 $8.5$ 万, 其中, 饮用未经处理的IV类及超IV类地表水涉及人口 $2.6$ 万, 细菌学指标超标严重、未经处理的地表水涉及人口 $1.1$ 万, 污染严重、未经处理的地下水涉及人口 $0.9$ 万, 血吸虫

2009-05-19 收稿, 2009-08-14 收修改稿

\* 四川农业大学青年科技创新基金(批准号: 00530300)和四川农业大学引进人才基金(批准号: 00530301)资助项目

\*\* 通信作者, E-mail: nfq1965@163.com

病疫区涉及人口 3.9 万<sup>[37]</sup>。农村饮水安全问题，特别是农村饮水水质问题严重影响了人体健康、农村稳定，是人们最关心、最迫切需要解决的问题之一。积极开展水质健康风险评价、尽快改善本区农村饮水条件十分迫切和必要；(3) 作者在本区长期从事农村饮水安全及其水质风险评价研究，基础条件优越。

## 1 材料和方法

### 1.1 健康风险评价的数学模型

**单因子致癌风险计算模型**<sup>[38-40]</sup> 通常认为人体在低剂量化学致癌物暴露条件下，暴露剂量率和人体致癌风险之间呈线性关系；当高剂量导致高致癌风险时，暴露剂量率和人体致癌风险之间呈指数关系。计算公式如下：

$$\begin{cases} R = S_F \cdot E & (R < 0.01) \\ R = 1 - \exp(-S_F \cdot E) & (R \geq 0.01) \end{cases} \quad (1)$$

式中  $R$  为致癌风险，表示人体终生超额患癌的概率； $S_F$  为化学致癌物的致癌斜率系数 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )<sup>-1</sup>，表示人体终生暴露于剂量为每日每公斤体重 1 mg 化学致癌物时的终生超额患癌风险度； $E$  为暴露剂量率 ( $\text{mg} \cdot \text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ )，表示单位体重人体日均摄入的评价污染物质量。

$E$  的计算如下：

$$E = (C \cdot I_R \cdot E_F \cdot E_D) / (B_W \cdot A_T) \quad (2)$$

式中  $C$  为源水中化学污染物的浓度 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )； $I_R$  为饮水率 ( $\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$ )，U.S. EPA 建议值为  $2 \text{L} \cdot \text{d}^{-1}$ ，表示人体日均饮水量； $E_F$  为暴露频率 ( $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ )，饮水为每日必需，所以为“评价时段天数/ $a$ ”，表示评价时段内年均人体摄入评价污染物的天数； $E_D$  为暴露历时/ $a$ ，U.S. EPA 建议值为  $30 a$ ，表示人体终生摄入评价污染物的年数； $B_W$  为平均人体体重 ( $\text{kg}$ )，我国宜采用  $60 \text{kg}$ ； $A_T$  为平均时间 ( $\text{d}$ )，致癌为  $70 a \times 365 \text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ 、非致癌为  $E_D \times 365 \text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

**单因子非致癌风险计算模型** 化学污染物对人体的非致癌慢性毒害一般以参考剂量为衡量标准；暴露水平高于参考剂量者为可能有危险者；

暴露水平等于或低于参考剂量者为不大可能有危险者。

通常用危害指数  $H_1$  来表示：

$$H_1 = E/D_{rf} \quad (3)$$

式中  $D_{rf}$  为参考剂量 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )。

**组合因子总风险计算模型** 对饮水中各有毒物质所引起的整体健康风险，假设各有毒物质对人体健康危害的毒性作用呈相加关系，而不是协同或拮抗关系，则饮用水总的健康危害风险  $R_T$  为：

$$R_T = H_1 + R \quad (4)$$

(4) 式为饮用水中污染物整体健康风险评价模型。

### 1.2 样品采集、检测、水质风险物的筛选与甄别

2005 年，根据地形、地貌、地质、水文、水系与饮水水源、饮水型疾病分布及供水工程类型，共采集水样 41 个，分布位置见图 1，检测成果见表 1，其中，地下井泉水 12 个，水样编号分别为 1, 8, 11, 15, 21, 24, 27, 28, 32, 33, 34, 37，地表坑塘水 7 个，水样编号分别为 6, 9, 10, 22, 25, 29, 36；集中式供水及池水水样 9 个，水样编号分别为 3, 4, 5, 13, 16, 17, 30, 38, 41；另有地表河水、水库水、渠水水样 13 个，水样编号分别为 2, 7, 12, 14, 18, 19, 20, 23, 26, 31, 35, 39, 40。依据卫生部《生活饮用水检验规范》(2001) 进行样品的采集、保存、检测，分别检测了 41 个采集点水质中的物理学水质指标(颜色、浑浊度、臭味、肉眼物)、水化学指标(PH、COD、总硬度、溶解性总固体、氯化物、硫酸盐)，毒理学指标(铁、锰、氟化物、As, Hg, Cd, Cr, Pb, 硝酸盐)、细菌学指标(细菌总数、总大肠菌群总数)等共计 21 项。依据检测的水质指标是否对人体健康有害，筛选并甄别确定需要进行健康风险评价的毒理学指标 9 项，分别为砷、铅、汞、镉、铬、铁、锰、氟化物、硝酸盐，其中，砷、铅仅在 6 号检测点有检出，汞、镉、铬均小于检出限值，锰在 38, 39, 40, 41 号点小于检出限值，氟化物在 6, 8, 39 号点小于检出限值。

名山县农村水源地水质监测点GIS分布图

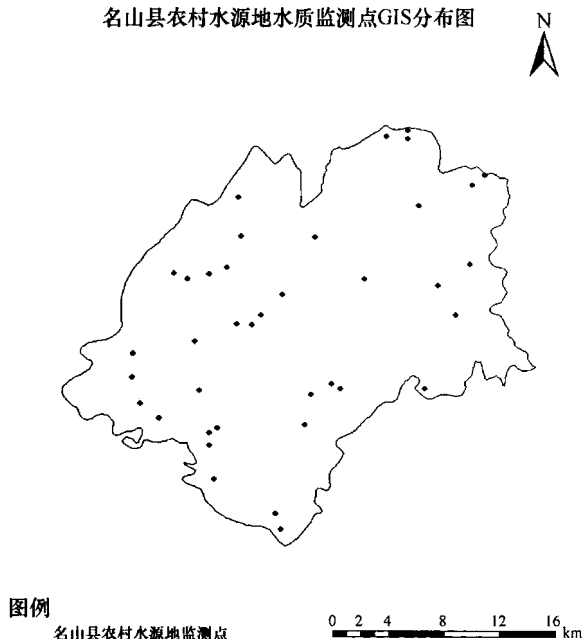


图1 水质监测点GIS分布图

表1 2005年水源地污染物水质检测原始数据<sup>a)</sup>

(单位:mg/L)

序号	取样点位置	铁	锰	氟化物	硝酸盐
1	永兴化城井水	0.64	0.1	0.32	0.8
2	新店白土坎万星渠	0.19	0.1	0.26	1.77
3	中峰供水站	0.18	0.1	0.1	0.97
4	车岭供水站	0.19	0.1	0.11	4.31
5	永兴供水站	0.23	0.1	0.14	1.03
6	茅河大桥坑水	0.13	0.1	<DL	7.94
7	名山河上游河水	0.17	0.1	0.41	1.39
8	黑竹黑竹关井水	1.84	0.1	<DL	0.11
9	新店石桥塘水	0.35	0.1	0.1	0.02
10	百丈凉江塘水	0.08	0.05	0.2	0.1
11	永兴化城井水	0.1	0.05	0.1	6
12	中峰朱场河水	0.2	0.05	0.1	0.1
13	城西梨花水池	0.2	0.05	0.2	0.1
14	联江两河水	0.2	0.05	0.1	0.1
15	车岭岱宗泉水	0.15	0.05	0.1	0.1
16	建山经典水池	0.25	0.1	0.19	1.02
17	红星供水站	0.18	0.1	0.18	1.72
18	中峰寺岗玉溪河水	0.27	0.1	0.1	1.16
19	脚基扁库水	0.17	0.1	0.26	1.28
20	虎跳水库水	0.64	0.1	0.32	0.8
21	廖场村泉水	0.31	0.23	0.1	1.08
22	廖场村坑水	0.32	0.11	0.1	0.11
23	廖场万坝小溪水	0.32	0.1	0.1	1.07
24	蒙阳关口泉水	0.28	0.1	0.1	1.77

续表

序号	取样点位置	铁	锰	氟化物	硝酸盐
25	新店古城坑水	0.22	0.1	0.1	3.06
26	新店新安小溪水	0.23	0.1	0.1	0.87
27	红光泉水	0.19	0.1	0.1	1.17
28	陆坪井水	0.15	0.23	0.1	0.32
29	水月坑水	0.19	0.11	0.1	23.73
30	车岭水月小池水	0.17	0.1	0.1	3.9
31	车岭石城小溪水	0.19	0.1	0.1	1.52
32	马岭新桥井水	0.18	0.1	0.1	0.74
33	联江土墩井水	0.19	0.1	0.1	3.46
34	解放银木井水	0.18	0.1	0.1	0.82
35	蒙阳中瓦溪水	0.19	0.1	0.1	1.74
36	蒙阳安民坑水	0.18	0.1	0.1	3.87
37	万古红草井水	0.19	0.1	0.1	3.35
38	茅河乡临溪供水站	3.34	<DL	0.18	0.57
39	双龙峡水库水	0.17	<DL	<DL	1.17
40	城西卫干村名山河水	0.35	<DL	0.95	1.59
41	车岭龙水供水站水源水	0.11	<DL	0.2	0.002

a) 6号采样点砷、铅的检测值均为0.01 mg/L; 其他采样点砷、汞、镉、铬、铅的检测值小于检出限值, <DL表示小于检出限值

### 1.3 参数的选择

据美国能源部综合风险信息系统(Integrated Risk Information System, IRIS)和健康影响评价概要表(Health Effects Assessment Summary Tables, HEAST)以及暂定毒性数据库(Provisional Peer Reviewed Toxicity Values Database, PPRTV)等数据源中化学污染物对人体健康危害的数据,表1中通过饮用水对人体有致癌作用的2种污染物的致癌斜率系数  $S_F$  值分别为: As:  $1.50 [mg/(kg \cdot d)]^{-1}$ , Pb:  $0.055 [mg/(kg \cdot d)]^{-1}$ . 6种污染物的参考剂量  $D_H$  值分别为: Fe:  $0.3 mg/(kg \cdot d)$ , Mn:  $0.14 mg/(kg \cdot d)$ , 氟化物:  $0.06 mg/(kg \cdot d)$ , 硝酸盐:  $1.6 mg/(kg \cdot d)$ , As:  $0.0003 mg/(kg \cdot d)$ , Pb:  $0.055 mg/(kg \cdot d)$ .

### 1.4 计算结果及风险分析GIS专题图

应用公式(1)~(4)及相应的计算参数对表1中的检测数据进行单因子、组合因子、总健康风险的计算,计算结果见表2. 为了揭示风险水平的空间分布规律,应用ArcGIS软件分别制作了致癌物与非致癌物的组合因子(非致癌危害指数总风险、致癌总风险)、总风险图(非致癌危害指数总风险与致癌总风险的叠加),见图2.

表2 水源地非致癌风险(危害指数)计算结果表<sup>a)</sup>

序号	Fe/ $10^{-2}$	Mn/ $10^{-2}$	氟化物/ $10^{-2}$	硝酸盐/ $10^{-2}$	合计
1	7.10	2.38	17.8	1.67	0.290
2	2.10	2.38	14.4	3.69	0.226
3	2.00	2.38	5.56	2.02	0.120
4	2.10	2.38	6.11	8.98	0.196
5	2.56	2.38	7.78	2.15	0.149
6	1.44	2.38	0.00	16.5	1.41
7	1.89	2.38	22.8	2.90	0.300
8	20.4	2.38	0.00	0.229	0.230
9	3.89	2.38	5.56	0.0417	0.119
10	0.889	1.19	11.1	0.208	0.134
11	1.11	1.19	5.56	12.5	0.204
12	2.22	1.19	5.56	0.208	0.0918
13	2.22	1.19	11.1	0.208	0.147
14	2.22	1.19	5.56	0.208	0.0918
15	1.67	1.19	5.56	0.208	0.0863
16	2.78	2.38	10.6	2.13	0.179
17	2.00	2.38	10.0	3.58	0.180
18	3.00	2.38	5.56	2.42	0.134
19	1.89	2.38	14.4	2.67	0.213
20	7.11	2.38	17.8	1.67	0.290
21	3.44	5.48	5.56	2.25	0.167
22	3.56	2.62	5.56	0.229	0.120
23	3.56	2.38	5.56	2.23	0.137
24	3.11	2.38	5.56	3.69	0.147
25	2.44	2.38	5.56	6.38	0.168
26	2.56	2.38	5.56	1.81	0.123
27	2.11	2.38	5.56	2.44	0.125
28	1.67	5.48	5.56	0.667	0.134
29	2.11	2.62	5.56	49.4	0.597
30	1.89	2.38	5.56	8.13	0.180
31	2.11	2.38	5.56	3.17	0.132
32	2.00	2.38	5.56	1.54	0.115
33	2.11	2.38	5.56	7.21	0.173
34	2.00	2.38	5.56	1.71	0.117
35	2.11	2.38	5.56	3.63	0.137
36	2.00	2.38	5.56	8.06	0.180
37	2.11	2.38	5.56	6.98	0.170
38	37.1	0.00	10.0	1.19	0.483
39	1.89	0.00	0.00	2.44	0.0433
40	3.89	0.00	52.8	3.31	0.600
41	1.22	0.00	11.1	0.00417	0.123

a) 表中6号采样点砷、铅的非致癌风险分别为1.11, 0.0952; 致癌风险分别为 $2.14 \times 10^{-4}$ ,  $7.86 \times 10^{-6}$ . 其他采样点的砷、汞、镉、铬、铅的非致癌风险和致癌风险均忽略不计

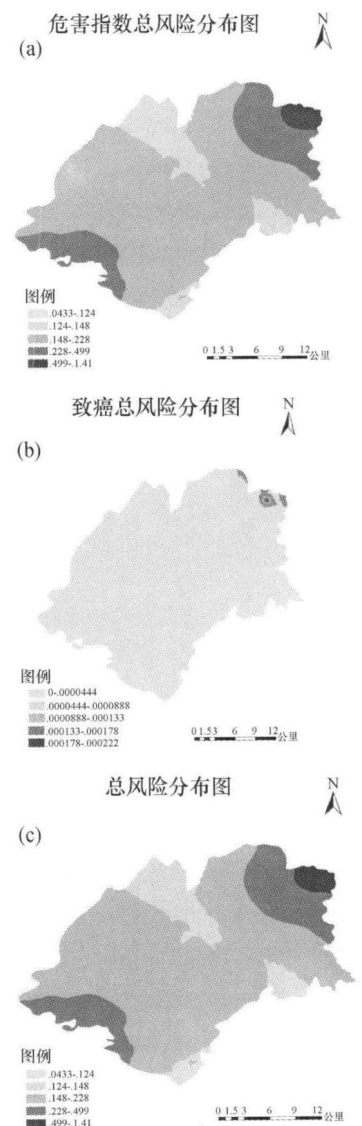


图2 组合因子总风险分布GIS图

(a) 危害指数总风险分布图; (b) 致癌总风险分布图; (c) 总风险分布图

## 2 结果分析

### 2.1 致癌风险评价

国外多年的风险管理实践表明, 化学污染物的致癌风险根据其致癌证据的充分程度在  $1.00 \times 10^{-6}$ — $1.00 \times 10^{-4}$  均是可以接受的<sup>[41]</sup>. 以最严格的风险可接受度  $1.00 \times 10^{-6}$  标准进行评价, 在水源地中超过该标准的致癌污染物有砷、铅. 根据 U. S. EPA 综合风险信息系统 IRIS 的分类信息, 砷属于 A 类致癌污染物 (U. S. EPA 建议以  $1.00 \times$

$10^{-6}$ 进行风险控制), 铅属于 B2 类致癌污染物(风险控制标准可以适度放宽至  $1.00 \times 10^{-5}$ ). 根据上述分类风险控制标准, 由表 2、图 2 可见, 41 个水源地中仅有 6 号水源地中的砷的致癌健康风险值为 0.000214, 超标达 214 倍. 但是与《欧盟饮用水水质指令》及最新颁布的国标《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中砷的限值 0.01 mg/L 相比, 该水源地中砷的浓度恰恰处于临界状态; 按《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中的小型集中供水和分散式供水部分水质指标及限值、《美国饮用水水质标准》、《地表水环境质量标准基本项目标准限值》(GBGB3838-2002)中的 I, II, III 类标准、《地下水质量标准》(GB/T14848-93)中 III 类标准 0.05mg/l 进行衡量, 均属于未超标水源地.

慢性饮水型砷中毒对人体多系统功能均可造成危害, 包括高血压、心脑血管病、神经病变、糖尿病、皮肤色素代谢异常及皮肤角化, 影响劳动和生活能力, 并最终发展为皮肤癌, 可伴膀胱、肾、肝等多种内脏癌的高发. 建议做进一步的溯源调查,

掌握更确切的毒理学参数. 6 号水源地饮用水中的铅达到《欧盟饮用水水质指令》、《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中水质常规指标及限值、《地表水环境质量标准基本项目标准限值》(GBGB3838-2002)中的 I, II 类标准 0.01 mg/L 的临界值; 按《地下水质量标准》(GB/T14848-93)中 III 类标准 0.05 mg/L 进行衡量, 未超标.

### 2.2 非致癌风险(危害指数)评价

对表 2 中的危害指数作基本统计分析, 结果表明, 41 个水源地中危害指数的平均值为 0.219, 区间值为 0.0433—1.41, 极差为 1.367. 由于检测仪器观察精度的原因, 表 1 中的检测指标值低于精度以下的数值均未被检出, 存在检测数据被截断的问题, 应用 Tobit 回归分析方法对表 2 的数据作进一步更加直观的分析<sup>[42]</sup>, 建立了非致癌风险(危害指数)与各检测指标风险之间的方程, 并检验了方程的拟合情况, 结果见表 3.

表 3 水源地 Tobit 回归结果表

参数	方程系数	标准误差	Wald $\chi^2$	p 值	95%置信区间	对数似然函数 L 值	对数似然函数 L' 值	正态分布参数 $\sigma$ 值
$\beta_0$	0.0000	0.0001	0.16	0.6936	-0.0002			
$\beta_1$	1.0000	0.0007	2141326.00	0.0001	0.9986			
$\beta_2$	1.0021	0.0040	63555.32	0.0001	0.9943	56.7294	94.4059	0.0003
$\beta_3$	1.0002	0.0005	3881626.00	0.0001	0.9992			
$\beta_4$	1.0791	8266.3420	0.00	0.9999	-16201.0000			
$\beta_5$	0.0926	96382.7700	9.22E-13	0.9999	-188910.0000			
$\beta_6$	1.0002	0.0005	3612279.00	0.0001	0.9992			

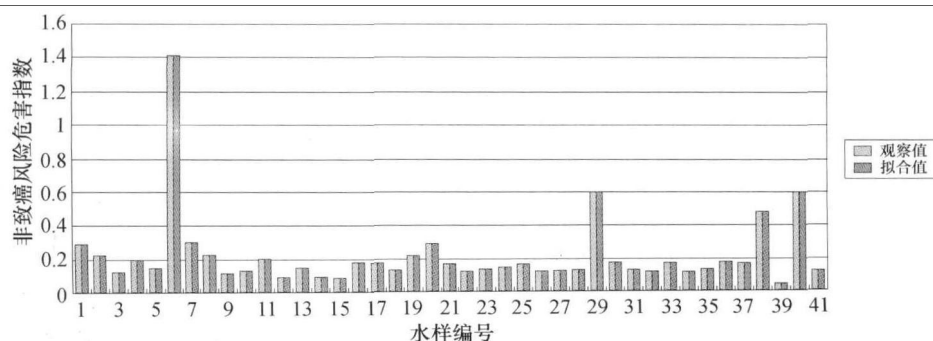


图 3 水源地非致癌风险(危害指数)Tobit 回归拟合图

表3分别给出了回归方程系数估计值、标准误差、Wald卡方检验值、显著水平、参数估计95%的置信区间、模型总体参数值(对数似然函数 $L$ 、似然方程去掉常数项 $2\pi$ 后的似然函数值 $L'$ 、样本正态分布参数 $\sigma$ 的估计值)。由表3可见,参数 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_6$ 的显著水平 $P$ 值均为0.0001,均小于0.05,达到了显著水平,而参数 $\beta_4, \beta_5$ 的显著水平 $P$ 值均为0.999,均大于0.05,未达到显著水平。因此,铁、锰、氟化物、硝酸盐是主要的危害指数指标参数,应予以重点研究。图3给出了各水源地的检测值与Tobit回归分析拟合值的对比情况,由图3可见,拟合效果非常好,说明Tobit回归分析建立的方程很好的反映了危害指数与各致灾因子之间变动比例的关系。

**非致癌风险评价标准:**根据危害指数的定义,可以确定“1”为非致癌慢性毒害效应的风险控制标准。从表2、图2可见,41个水源地中除了6号水源地中6种污染物的合计危害指数超过1之外,其余40个水源地中6种污染物的合计危害指数均未超过1,因此可以基本认定本区大多数水源地的供水不会对饮用人群产生非致癌慢性毒害效应。将污染物危害指数值大于0.1的几种污染物按大小排序,水源地中危害指数前4位的污染物分别为砷、氟化物、硝酸盐、铁,建议重点监控这4种污染物质。

### 2.3 水质健康分析

**砷污染:**6号水源地砷的危害指数为1.11。

**氟化物污染:**38个水源地中氟化物的平均值为0.1663,区间值为0.10—0.95,极差为0.85。全部检测值均低于所有的各类标准。1,2,10,13,16,17,19,20,38,40,41等11个水源地氟化物的危害指数均超过0.1,其平均值为0.165,区间值为0.10—0.528,极差为0.428。危害指数均超过0.1的11个水源地中氟化物的平均值为0.296,区间值为0.18—0.95,极差为0.77。在一个固定地区(如一个乡内),饮水中含氟化物含量超过国家规定标准( $0.5\text{—}1.0\text{ mg/L}^{-1}$ )或因食物中含氟过高,造成人群发病时,即可定为地方性氟中毒。地方性氟中毒可出现中枢神经、肌肉、胃肠道等一系列症状,以及骨骼、牙齿的变化。但主要表现是牙齿和骨骼

的损害,此外还是心血管疾病、癌症的诱因之一。氟化物主要来源于含氟产品的生产、磷肥厂、钢铁厂、冶铝厂等工业生产过程。因此,建议对水源保护区内此类企业进行重点排查,了解其生产过程是否存在氟化物排放,做到有针对性的防控。地下水中氟化物超标主要与区域土壤母质、土壤类型等因素有相关。因此,应对本区饮水型氟化物超标的问题从区域背景值方面查找原因。

**硝酸盐污染:**41个水源地中硝酸盐的平均值为2.1154,区间值为0.002—23.73,极差为23.728。按《美国饮用水水质标准》、《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中水质常规指标及限值10 mg/L和《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中的小型集中供水和分散式供水部分水质指标及限值、《地下水质量标准》(GB/T14848-93) III类标准20 mg/L进行衡量,只有29号水源地不达标;按《欧盟饮水水质指令》标准50 mg/L进行衡量,均未超标。6,11,29等3个水源地硝酸盐的危害指数均超过0.1,分别为0.165,0.125,0.494,平均值为0.261。硝酸盐是水质污染的一项重要指标,水中硝酸盐的不断增加,可能来自生活污水、农药化肥的施喷或某些工业废水的污染。硝酸盐污染对人体健康,家畜,农作物,河、湖等水体的危害较大,应从控制农业面源污染等方面进行综合治理。

**铁锰污染:**41个水源地中铁的平均值为0.342,区间值为0.08—3.24,极差为3.16。按《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中水质常规指标及限值、《地下水质量标准》(GB/T14848-93) III类水标准、《美国饮用水水质标准》等中铁的标准0.3 mg/L进行衡量,1,8,9,20,21,22,23,38,40等9个水源地铁是超标的;按《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中的小型集中供水和分散式供水部分水质指标及限值0.5 mg/L进行衡量,1,8,20,38等4个水源地铁是超标的;按《欧盟饮水水质指令》标准0.2 mg/L进行衡量,1,5,8,9,16,18,20,21,22,23,24,25,26,38,40等15个水源地超标,12,13,14等3个水源地处于临界状态。37个水源地中锰的平均值为0.0995,区间值为0.05—0.23,极差为0.180。按《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中的小型集中供水和分散式供水部分水质指标及限值中0.3 mg/L进行

衡量, 37个水源均未超标; 按《地下水质量标准》(GB/T14848-93) III类标准和《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中水质常规指标及限值0.1 mg/L进行衡量, 21, 22, 28号等3个水源地超标, 1—9号、16—20号、23—27号、30—37号等27个达到临界状态; 按《美国饮用水水质标准》和《欧盟饮用水水质指令》标准0.05 mg/L进行衡量, 除了10—15号达到临界状态之外, 其余全部超标。8, 38等2个水源地铁的危害指数均超过0.1, 分别为0.204, 0.371, 平均值为0.287。过量的铁锰进入人体会严重危害人体健康。据有关报道及《中国环境保护全书》, 过量的铁危害人体肝脏, 铁污染地区往往是肝病高发区, 过量的锰长期低剂量吸入, 会引起慢性中毒, 可出现震颤性麻痹, 有类似于精神分裂症的精神障碍和帕金森病样锥体外系统症候群, 最后成为永久性残废。本区地下水受到铁锰污染, 至使水中铁锰含量严重超标, 主要原因是水流经的地层铁锰含量过高, 地下水铁锰空间分布特征主要与区域土壤母质、土壤类型和人为活动等因素密切相关<sup>[43]</sup>。

### 3 结论

农村水源地水质健康风险评价定量反映了水质与人体健康之间的关系, 应用该方法评价农村水源地水质安全, 检测源水水质与人体健康之间的关系, 可以为农村水源地的管理和保护提供更深入的科学信息。本文以四川西缘山地典型区-四川省雅安市名山县为例, 基于GIS技术对41处水源地源水检测成果的分析, 应用U. S. EPA(美国环保局)推荐的健康风险评价模型对源水中超标项目的健康致癌风险和非致癌风险(危害指数)进行了计算, 并制作了致癌物和非致癌物单因子和组合因子的GIS风险专题图, 应用Tobit回归分析方法检验了非致癌风险(危害指数)的显著性和拟合效果。结果表明, 水源地中危害指数前4位的污染物为砷、氟化物、硝酸盐、铁, 建议重点监控这4种污染物质; 41个水源地中除了6号水源地中6种污染物的合计危害指数超过1之外, 其余40个水源地中6种污染物的合计危害指数均未超过1, 因此可以基本认定本区大多数水源地的供水不会对饮用人群产生非致癌慢性毒害效应。

### 参 考 文 献

- 1 曾光明, 卓利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评价模型及其应用. 水电能源科学, 1997, 15(4): 28—34
- 2 仇付国, 王晓昌. 污水再生利用的健康风险评价方法. 环境污染与防治, 2003, 25(1): 49—53
- 3 李洪良. 农田污水灌溉的风险分析研究. 河海大学硕士学位论文, 南京, 2003
- 4 孙树青, 胡国华, 王勇泽, 等. 湘江干流水环境健康风险评价. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 12—16
- 5 耿福明, 吴义锋, 曲卓杰. 水源地水污染物健康风险的未确知评价. 水电能源科学, 2006, 24(5): 5—8
- 6 张玉晨. 北京市生活垃圾填埋场地下水污染风险评价, 北京工业大学工程硕士学位论文, 北京, 2006
- 7 苏伟, 刘景双, 李方. 第二松花江干流重金属污染健康风险分析评价. 农业环境科学学报, 2006, 25(6): 1611—1615
- 8 何星海, 马世豪, 李安定. 再生水利用健康风险暴露评价. 环境科学, 2006, 27(9): 1912—1916
- 9 张晟, 黎莉莉, 张勇, 等. 三峡水库135 m蓄水前后水体重金属环境健康风险评价. 环境污染与防治, 2006, 28(11): 865—869
- 10 肖振国. 昆明市松华坝水库水质健康风险评价. 环境科学与技术, 2007, 30(增刊): 146—149
- 11 滕丽华. 宁波市饮用水中重金属铁锌铜健康风险度评价. 广东微量元素科学, 2007, 14(6): 33—37
- 12 何星海, 马世豪, 潘小川, 等. 再生水道路降尘化学污染物的健康风险评价研究. 环境科学, 2007, 28(6): 1290—1295
- 13 陈敏建, 陈炼钢, 丰华丽. 基于健康风险评价的饮用水水质安全管理. 中国水利, 2007, 7: 12—15
- 14 张俊娥, 潘俊, 高艳艳. 新南市柳河水源地水环境健康风险评价. 工业安全与环保, 2007, 33(11): 36—40
- 15 李如忠. 盲信息下城市水源水环境健康风险评价. 武汉理工大学学报, 2007, 29(12): 75—81
- 16 王东红, 原盛广, 马梅, 等. 饮用水中有毒污染物的筛查和健康风险评价. 环境科学学报, 2007, 27(12): 1937—1945
- 17 王铁军, 查学芳, 熊威娜, 等. 贵州遵义高坪水源地岩溶地下水重金属污染健康风险初步评价. 环境科学研究, 2008, 21(1): 46—51
- 18 秦波. 湖南省水环境健康风险评价. 湖南水利水电, 2008(1): 69—72
- 19 何向明, 吴明福, 章民驹. 饮用水水源地水质健康风险评价及对策. 供水技术, 2008, 2(1): 1—4
- 20 李如忠, 石勇, 王玉锋. 淮河蚌埠段水环境健康风险评价. 水电能源科学, 2008, 26(2): 37—40
- 21 王丽萍, 周晓蔚, 黄小锋. 饮用水水源地健康风险评价. 水资源保护, 2008, 24(4): 14—17
- 22 刘帆, 程波, 张志敏, 等. 城市再生水灌溉区作物重金属的健康风险研究. 中国农学通报, 2008, 24(4): 445—450

- 23 李珊珊, 田考聪. 饮用水源水中重金属的健康风险评价. 重庆医科大学学报, 2008, 33(4): 450—454
- 24 闰欣荣, 周航, 邸涛. 城市饮用水源地水质健康风险评价. 环境科学与管理, 2008, 33(4): 164—167
- 25 秦普丰, 雷鸣, 郭雯. 湘江湘潭段水环境主要污染物的健康风险评价. 环境科学研究, 2008, 21(4): 190—196
- 26 杨全锁, 郑西来, 许延营. 青岛市黄岛区饮用水源健康风险评价. 安全与环境学报, 2008, 8(2): 83—87
- 27 魏金梅, 米文宝, 何彤慧. 银川市饮用水源地安全状况评价及其管理对策. 水资源与水工程学报, 2008, 19(3): 65—69
- 28 严小三. 某垃圾填埋场附近浅层地下水污染及水环境健康风险评价. 合肥工业大学硕士学位论文, 合肥, 2008
- 29 黄磊, 李鹏程, 刘白薇. 长江三角洲地区地下水污染健康风险评价. 安全与环境工程, 2008, 15(2): 26—30
- 30 段小丽, 王宗爽, 于云江等. 垃圾填埋场地下水污染对居民健康的风险评价. 环境监测管理与技术, 2008, 20(3): 20—25
- 31 覃忠书, 黎明强. 某农村饮用水源水健康风险评价. 现代预防医学, 2008, 3(8): 1416—1419
- 32 罗鸿兵, 刘晓玲, 梁洁. 河流水环境健康风险监测与评价系统设计. 中国环境监测, 2008, 24(4): 61—67
- 33 唐文清, 曾荣英, 冯泳兰, 等. 湘江(衡阳段)河流沉积物中重金属潜在生态风险评价. 环境监测管理与技术, 2008, 20(5): 25—28
- 34 李俊杰, 李靖洁. 张家口市洋河、桑干河流域水环境健康风险评价. 中国环境监测, 2008, 24(5): 92—96
- 35 郑德凤, 史延光, 崔帅. 饮用水源地水污染物的健康风险评价. 水电能源科学, 2008, 26(6): 48—52
- 36 李政红, 毕二平, 张胜, 等. 地下水污染健康风险评价方法. 南水北调与水利科技, 2008, 6(6): 47—52
- 37 Ni FQ. Study on the drinking water safety decision support system in rural areas in Ya'an region of Sichuan Province. Lin Luo, Shaw Lei Yu. In: The 5th International Conference on Urban Watershed Management and Mountain River Protection and Development (Volume II). Chengdu China, April 3—5 2007, Chengdu: Sichuan University Press, 2007, 669—677
- 38 U. S. EPA. Superfund public health evaluation manual. EPA/540/186060, 1986
- 39 U. S. EPA. Available information on assessment exposure from pesticides in food. U. S. Environmental Protection Agency Office of Pesticides Programs, June 21, 2000
- 40 U. S. EPA. Supplement risk Assessment (Part 1). USA: EPA, 1989, 26—35
- 41 陈炼钢, 陈敏建, 丰丽华. 基于健康风险的水源地水质安全评价. 水利学报, 2008, 39(2): 235—244
- 42 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其DPS数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002, 327—331
- 43 胡玉福, 邓良基, 张世榕, 等. 四川盆地西缘浅层地下水铁、锰含量的空间变异特征. 生态学报, 2009, 29(2): 797—803