

2007—2015年长江流域四川段主要江河放射性水平分析

唐研博

(四川省辐射环境管理监测中心站, 四川 成都 611139)

摘要:对2007—2015年长江流域四川段主要12条江河水体放射性核素活度浓度的监测结果进行了分析。结果表明,四川段主要江河放射性核素水平远低于我国规定的露天水源的限制浓度。与1995年中国环境天然放射性(四川省部分)、1988年长江水系天然放射性活度浓度参考范围相比,U、Th、²²⁶Ra、⁴⁰K、¹³⁷Cs均有上升趋势,其他核素活度浓度涨落不明显均在本底范围内。总 α 、总 β 放射性活度浓度测值均符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的限值要求。

关键词:长江流域四川段;江河;放射性水平;限值

中图分类号:X837

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2017)05-0052-05

Analysis on Radioactivity Levels of Major Rivers Located in Sichuan Section of Yangtze River from 2007 to 2015

TANG Yan-bo

(Management & Monitoring Center of Rediant Environmentin Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 611139, China)

Abstract: The monitoring results of radionuclide activity concentrations in 12 major river water bodies in Sichuan section of Yangtze River during 2007—2015 were reported. The monitoring results showed that the radionuclide level of major rivers in Sichuan is much lower than the limit concentration of open water in China. Uranium, thorium, radium-226, potassium-40 and cesium-137 all have an upward trend compared with the natural radioactivity concentration reference range of the Yangtze River system in 1988 and the natural radioactivity concentration in China in 1995 (Sichuan section). Activity concentration fluctuation is not obvious within the background range. Total α , total β radioactivity concentration measured values meet the limits set by “drinking water standards” (GB 5749—2006).

Key words: Sichuan section of yangtze river; The rivers; Radioactivity level; Limit

随着核技术的广泛应用,辐射环境污染已成为当今社会公众关注的环境问题之一。四川作为水资源大省,也是重要的供水源地。为确保长江流域居民用水安全,了解其水中放射性物质分布特点和地区差异,现根据历年来由环境保护部汇编的《辐射环境质量年报》《全国辐射环境质量报告书》和四川省辐射环境管理监测中心站汇编的《四川省辐射环境质量报告书》,对测量数据作分析、归纳、分类和统计处理,对2007—2015年长江流域四川段主要12条江河水体放射性核素活度浓度的监测结果进行分析。

1 研究方法

1.1 监测布点及采样频次

根据《辐射环境监测技术规范》^[1]和历年相关监测方案^[2],在长江水系主要支干流区段,在较大直流汇合口的上游和汇合后与干流充分混合得较好的断面进行布点和采样。

2007—2015期间先后布设采样点位共12个,见表1。每年采样2次,枯、丰水期各1次(枯水期为每年1—4月、丰水期为每年5—10月);每次采样75 L。

收稿日期:2016-09-29;修订日期:2017-05-27

作者简介:唐研博(1982—),女,工程师,本科,从事辐射环境监测工作。

1.2 样品预处理与分析方法

1.2.1 样品采集

采集水样后,用浓硝酸酸化到 pH 值 = 1 ~ 2 (其中监测¹³⁷Cs的水样用盐酸酸化;当水中泥沙量较高时,应立即过滤后取上清液再酸化);将填好的采样标签贴于密封的水桶上方,转交样品管理员后按分析项目进行统一分配。

1.2.2 分析项目

结合单位自身情况,采用国家颁布的标准方法分析测量(U、Th数据为²³⁸U、²³²Th的结果),见表2。采集的水样应尽快分析测定,水样保存期一般不得超过2个月。

1.3 质量保证

根据质控要求,每年随机抽取10%~20%的样品进行平行样和加标样分析。2007—2015年平行样相对偏差控制在20%以内;加标样的准确度控制在±5%以内。为加强实验室考核和实验室内部的质量控制,确保监测数据的准确性、代表性、完整性和可比性,先后参加了中国计量院提供的参考

样(标准样)来源,对监测项目水样中⁹⁰Sr、¹³⁷Cs、U进行考核,满意度为100%;由江苏省辐射环境监测管理站组织的水中钍比对、云南省辐射环境监测站组织的水中⁹⁰Sr比对、甘肃核与辐射安全中心组织的水中Th和水中²²⁶Ra比对活动,比对结果均为合格。

表1 2007—2015年长江流域四川段布点

所在地区	河流名称	断面名称	备注 ^①
攀枝花市	金沙江(入川)	龙河	A
凉山州自治州	雅砻江	漫水湾	A
乐山市	大渡河	李码头	B
	青衣江	姜公堰	
宜宾市	岷江	凉姜沟	A
	金沙江	金沙江大桥	
泸州市	干流	沙溪口	C
	沱江	沱江二桥	A
绵阳市	涪江	香山	
广元市	白龙江	苴国村	
南充市	嘉陵江	清泉寺	A
广安市	嘉陵江(出川)	清平镇	

①A:自2011年起新增;B:自2014年起新增;C:自2008年起新增。

表2 分析仪器及分析方法

项目	测量仪器	分析方法
U	微量U分析仪	水中微量U分析方法 ^[3]
Th	紫外可见分光光度计	N235萃取分光光度法 ^[4]
²²⁶ Ra	氡钍分析仪	水中 ²²⁶ Ra的分析测定 ^[5]
⁴⁰ K	原子吸收分光光度计	水中 ⁴⁰ K的分析方法 ^[6]
⁹⁰ Sr		水中 ⁹⁰ Sr放射化学分析方法二-(2-乙基己基)磷酸萃取色层法 ^[7]
¹³⁷ Cs		水中 ¹³⁷ Cs放射化学分析方法 ^[8]
总α	低本底α、β测量仪	生活饮用水标准检验方法放射性指标标准曲线法 ^[9]
总β		水中总β放射性测定蒸发法 ^[10]

2 结果分析

2.1 放射性核素水平分析

2007—2015年四川段主要河流各放射性核素监测结果见表3。表中给出的各项目的均值是由各采样点枯水期和平水期的均值计算而得。

表3 四川段主要河流放射性核素水平

项目	样品数	范围	均值+标准差
$\rho(U)/(\mu g \cdot L^{-1})$	155	0.31~9.4	1.33±0.98
$\rho(Th)/(\mu g \cdot L^{-1})$	154	0.023~4.73	0.51±0.70
$\rho(^{226}Ra)/(mBq \cdot L^{-1})$	149	1.86~36.6	12.22±6.79
$\rho(^{40}K)/(mBq \cdot L^{-1})$	155	26.3~103.0	62.55±12.36
$\rho(^{90}Sr)/(mBq \cdot L^{-1})$	150	0.60~13.2	1.96±2.20
$\rho(^{137}Cs)/(mBq \cdot L^{-1})$	145	0.10~3.7	0.90±0.63
$\rho(\text{总}\alpha)/(Bq \cdot L^{-1})$	155	0.003~0.311	0.031±0.030
$\rho(\text{总}\beta)/(Bq \cdot L^{-1})$	155	0.0114~0.22	0.031±0.068

由表3可见,天然铀对水中总α浓度贡献最大约占1/3,天然Th的贡献占1/4。²²⁶Ra对水中总β放射性浓度贡献大约占一半。

经统计学检验,总α与U、Th、²²⁶Ra;总β与²²⁶Ra、⁴⁰K;U与Th 6组彼此成正比关系,其他几组未看出相关性。6组正比关系的分析结果见表4。

表4 四川段主要河流放射性核素相关分析

组别	自由度 ^①	R值 ^②	理论R值	判断	直线方程式
总α—U	95	0.203	0.199	正相关	$y=0.0141+0.0306x$
总α—Th	80	0.223	0.217	正相关	$y=0.0052+0.0419x$
总α— ²²⁶ Ra	101	0.201	0.194	正相关	$y=0.030+0.0444x$
总β— ²²⁶ Ra	95	0.206	0.199	正相关	$y=0.00721+0.00519x$
总β— ⁴⁰ K	86	0.211	0.209	正相关	$y=0.00265+0.001x$
U—Th	101	0.199	0.193	正相关	$y=0.607+1.298x$

①用统计方法,对个别异常数据进行了剔除;②R取0.05。

2.2 枯、丰水期比较

四川段主要江河的枯水期和丰水期放射性核素水平比较见表5。经统计学检验表明,U、Th、²²⁶Ra、⁴⁰K、⁹⁰Sr、¹³⁷Cs、总α、总β枯水期和丰水期之间差别不明显。部分核素丰水期浓度高于枯水期。

2.3 各支干流放射性核素水平比较

各支干流放射性核素水平汇总见表6。表6采用1987年四川省水体中天然放射性核素浓度调查^[11]成果和1988年长江水系放射性水平调查^[12]成果U、Th、²²⁶Ra、⁴⁰K的活度浓度作为参考本底。由表6可见,与全省江河相比,金沙江(宜宾段)U的放射性水平最为明显,不仅高于全省江河,且高

出此点位1987年的参考范围水平近9倍。

表5 枯水期和丰水期放射性核素水平比较^①

项目	枯水期		丰水期	
	n	均值 ± 标准差	n	均值 ± 标准差
$\rho(U)/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	75	1.37 ± 0.95	80	1.30 ± 1.02
$\rho(\text{Th})/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	75	0.42 ± 0.60	79	0.58 ± 0.78
$\rho(^{226}\text{Ra})/(\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1})$	74	11.97 ± 6.71	75	12.47 ± 6.90
$\rho(^{40}\text{K})/(\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1})$	75	63.43 ± 13.43	80	61.72 ± 11.61
$\rho(^{90}\text{Sr})/(\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1})$	73	1.70 ± 1.30	77	2.21 ± 2.78
$\rho(^{137}\text{Cs})/(\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1})$	73	0.86 ± 0.70	72	0.94 ± 0.56
$\rho(\text{总}\alpha)/(\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1})$	75	0.032 ± 0.021	80	0.031 ± 0.037
$\rho(\text{总}\beta)/(\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1})$	75	0.069 ± 0.035	80	0.068 ± 0.026

①用统计方法,对个别异常数据进行了剔除。

表6 2007—2015年四川段主要江河放射性水平汇总

支干流名	时间	$\rho(U)/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$			$\rho(\text{Th})/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$			$\rho(^{226}\text{Ra})/(\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1})$			$\rho(^{40}\text{K})/(\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1})$		
		n ^①	范围	均值	n	范围	均值	n	范围	均值	n	范围	均值
雅砻江	2011—2015	10	0.32 ~ 1.21	0.78	10	0.21 ~ 1.1	0.45	10	7.71 ~ 26.0	12.15	10	40 ~ 78	51.30
	参考值 ^②	17	0.25 ~ 1.10	0.76	17	0.071 ~ 2.90	0.84	17	0.50 ~ 34.0	3.00	17	25 ~ 97	43.00
金沙江(入川)	2011—2015	10	1.02 ~ 2.11	1.52	10	0.10 ~ 0.99	0.29	10	7.52 ~ 31.5	65.40	10	58 ~ 72	65.40
	参考值 ^②	36	0.12 ~ 1.9	0.97	36	0.034 ~ 2.3	0.66	36	0.50 ~ 17	3.50	36	9.2 ~ 160	68.00
青衣江	2007—2015	17	0.46 ~ 1.42	0.78	17	0.12 ~ 1.75	0.57	15	6.27 ~ 18.25	12.52	17	37.2 ~ 62.0	49.89
	参考值 ^②	25	0.032 ~ 0.81	0.45	25	0.061 ~ 1.4	0.46	25	0.50 ~ 7.0	2.50	25	17 ~ 900	39.00
大渡河	2014—2015	4	0.61 ~ 1.18	0.82	4	0.13 ~ 0.20	0.17	4	7.89 ~ 36.6	15.89	4	53.0 ~ 88.0	69.75
	参考值 ^②	14	0.20 ~ 1.90	0.89	14	0.061 ~ 1.6	0.47	14	0.50 ~ 58	8.60	14	24 ~ 120	47.00
岷江	2011—2015	10	0.80 ~ 1.57	1.12	10	0.22 ~ 0.77	0.40	10	6.60 ~ 29.4	12.82	10	56.0 ~ 83.0	66.10
	参考值 ^②	82	<0.030 ~ 3.2	0.79	82	0.029 ~ 2.5	0.52	82	0.50 ~ 58	3.90	82	1.7 ~ 410	77.00
金沙江(宜宾)	2007—2015	17	0.88 ~ 9.4	2.22	17	0.16 ~ 2.38	0.63	16	9.81 ~ 24.35	14.32	17	55.5 ~ 80.4	65.18
	参考值 ^②	36	0.12 ~ 1.9	0.97	36	0.034 ~ 2.3	0.66	36	0.50 ~ 17	3.50	36	9.2 ~ 160	68.00
沱江	2011—2015	10	0.87 ~ 1.79	1.23	10	1.16 ~ 0.67	0.29	10	5.01 ~ 31.9	16.55	10	55 ~ 103	80.20
	参考值 ^②	42	0.041 ~ 2.1	0.69	42	0.049 ~ 2.5	0.54	42	0.50 ~ 12.0	3.70	42	20 ~ 450	130.00
长江上游干流	2007—2015	17	0.1 ~ 1.34	0.96	17	0.17 ~ 3.33	0.70	16	3.85 ~ 21.7	11.24	17	56.5 ~ 75.5	67.5
	参考值 ^②	42	0.097 ~ 3.2	0.81	42	0.091 ~ 2.9	0.49	42	0.50 ~ 40	4.20	42	15 ~ 300	60.00
涪江	2007—2015	17	1.02 ~ 1.61	1.43	17	0.2 ~ 1.02	0.69	16	4.93 ~ 10.7	8.06	17	51.5 ~ 79.5	63.43
	参考值 ^②	35	<0.030 ~ 2.2	0.86	35	0.044 ~ 5.7	0.76	35	0.50 ~ 14	3.00	35	15 ~ 210	38.00
白龙江	2007—2015	17	1.30 ~ 2.03	1.67	17	0.15 ~ 2.49	0.63	16	6.05 ~ 21.4	11.10	17	34.8 ~ 67.5	55.03
	参考值 ^②	16	0.25 ~ 6.3	1.10	16	0.15 ~ 2.5	0.71	16	0.60 ~ 16	4.90	16	23 ~ 140	51.00
嘉陵江(南充)	2011—2015	10	0.74 ~ 2.84	1.23	10	0.07 ~ 0.88	0.23	10	4.0 ~ 18.2	11.95	10	59 ~ 72	66.00
	参考值 ^②	97	<0.030 ~ 6.3 ^③	1.10	97	0.044 ~ 5.6	0.64	97	0.50 ~ 38	4.60	97	15 ~ 320	54.00
嘉陵江(出川)	2007—2015	17	0.91 ~ 4.41	1.93	17	0.2 ~ 1.38	0.60	16	6.81 ~ 12.1	11.04	17	52.8 ~ 69.5	64.31
	参考值 ^②	97	<0.030 ~ 6.3 ^③	1.10	97	0.044 ~ 5.6	0.64	97	0.50 ~ 38	4.60	97	15 ~ 320	54.00
合计	2007—2015	156	0.32 ~ 9.4	1.31	156	0.07 ~ 3.33	0.47	149	3.85 ~ 36.6	16.92	156	34.8 ~ 103	63.67
全省江河	参考值 ^②	503	<0.030 ~ 6.3	0.87	439	0.029 ~ 5.7	0.61	439	0.50 ~ 58	4.23	439	2.9 ~ 1840	60.09
长江水系	参考值 ^④	224	0.07 ~ 4.51	0.88	212	0.02 ~ 1.08	0.16	222	0.4 ~ 25.7	6.00	212	16 ~ 128	49.00

①n代表样品数;②采用1987年四川省水体中天然放射性核素浓度调查值做参考;③低于LLD的测值按LLD/2参与统计;④采用1988年长江水系放射性水平调查值做参考。

金沙江(入川)、青衣江、上江上游干流Th的放射性水平范围主要集中在0.12 ~ 3.33 μg/L,略高于1987年各点位的参考范围,其他点位均持平。金沙江(入川)、青衣江、金沙江(宜宾)、沱江

以及白龙江²²⁶Ra的放射性水平范围主要集中在5.01 ~ 31.9 mBq/L,均高于1987年各点位参考范围的1 ~ 2倍。⁴⁰K则相反,整体偏低且远低于1987年各点位的参考水平。与1987年四川省水体中天

然放射性核素水平相比,除U以外其余均在全省江河的参考范围内;与1988年长江水系放射性水平相比,除U、Th、²²⁶Ra外其余均在长江水系的参考范围内。

各支干流放射性核素水平汇总见表7。表7采用1988年长江水系放射性水平调查成果⁹⁰Sr、¹³⁷Cs、总α、总β活度浓度与作为参考本底。由表7

可见, ⁹⁰Sr整体偏低,其放射性水平范围远低于参考水平的5倍; ¹³⁷Cs放射性水平范围基本与参考水平持平;总α、总β亦是如此,其放射性水平范围分别为0.006~0.311 Bq/L、0.025~0.231 Bq/L。以《生活饮用水标准》^[13]作参考,各支干流水中总放射性活度浓度测值均符合标准中相应的限值(总α 0.5 Bq/L、总β 1Bq/L)要求。

表7 2007—2015年四川段主要江河放射性水平汇总

支、干流名称	时间	$\rho(^{90}\text{Sr})/(\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1})$			$\rho(^{137}\text{Cs})/(\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1})$			$\rho(\text{总}\alpha)/(\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1})$			$\rho(\text{总}\beta)/(\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1})$		
		$n^{\text{①}}$	范围	均值	n	范围	均值	n	范围	均值	n	范围	均值
雅砻江	2011—2015	10	0.72~1.45	1.16	10	<1.4~1.6	0.80	10	<0.006~0.095	0.04	10	0.025~0.11	0.06
金沙江入川	2011—2015	10	0.98~1.40	1.20	10	<1.3~1.6	0.77	10	0.02~0.042	0.03	10	0.046~0.09	0.07
青衣江	2007—2015	16	1.12~10.9	2.75	16	<0.2~1.91	1.17	17	0.01~0.09	0.026	17	0.032~0.231	0.071
大渡河	2014—2015	4	0.65~1.3	1.07	4	0.21~0.30	0.26	4	0.0082~0.032	0.02	4	0.051~0.072	0.06
岷江	2011—2015	10	0.74~1.5	1.22	10	<1.2~1.2	0.74	10	<0.006~0.084	0.03	10	0.04~0.09	0.07
金沙江宜宾	2007—2015	16	1.08~13.2	3.35	16	<1.2~2.07	1.22	17	0.014~0.311	0.062	17	0.045~0.11	0.071
沱江	2007—2015	10	0.97~1.67	1.28	10	<1.2~1.27	0.77	10	0.01~0.07	0.03	10	0.05~0.22	0.11
上游干流	2007—2015	16	<1.41~3.9 ^①	1.68	16	<2.5~1.91	1.13	17	0.018~0.039	0.026	17	0.042~0.05	0.068
涪江	2007—2015	17	<1.4~11.5	3.4	17	<1.1~2.07	0.99	17	0.017~0.03	0.032	17	0.039~0.085	0.07
白龙江	2007—2015	17	1.11~10.9	2.62	17	<1.2~2.51	1.35	17	0.011~0.069	0.029	17	0.039~0.07	0.061
嘉陵江南充	2011—2015	10	0.68~1.55	1.31	10	<1.1~1.6	0.74	10	0.014~0.06	0.03	10	0.055~0.11	0.08
嘉陵江出川	2011—2015	16	<1.2~12.1	2.73	15	<2.5~2.36	1.26	17	0.016~0.044	0.032	17	0.037~0.1	0.068
合计	2007—2015	152	<1.2~13.2	1.98	151	<0.2~2.51	0.93	156	<0.006~0.311	0.032	156	0.025~0.231	0.072
长江水系	参考值 ^②	212	1.6~67.4	13.7	218	0.03~2.71	0.50	220	0.011~0.274	0.069	152	0.041~0.299	0.106

①低于LLD的测值按LLD/2参与统计;②采用1988年长江水系放射性水平调查值做参考。

总体来说,各支干流中放射性核素除U、Th、²²⁶Ra、总α外其余均在长江水系的参考范围内。经查明,U、总α与2007年发生的泸州电厂重大环境污染事故有关;Th、²²⁶Ra与2011年山洪泥石流造成的四川涪江锰矿水污染事件有关。事件发生后,环保部门迅速启动应急预案,在消除污染源的

同时组织有关单位做好储水工作,采取相应措施以降低水体中个别超标指数并对其进行了后期治理工作。对市民进行了正确引导,以避免公众造成不必要的恐慌。

2.4 放射性核素在不同流域、地区水中的分布
不同流域、地区水中放射性核素水平见表8。

表8 各支干流放射性核素水平比较^①

支干流名	$\rho(\text{U})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Th})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(^{226}\text{Ra})/(\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(^{40}\text{K})/(\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(^{90}\text{Sr})/(\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(^{137}\text{Cs})/(\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{总}\alpha)/(\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{总}\beta)/(\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1})$
金沙江(入川)干流	1.52±0.40	0.29±0.31	15.28±8.28	65.40±5.15	1.20±0.20	0.76±0.50	0.031±0.011	0.066±0.016
n	10	10	10	10	10	10	10	10
金沙江(宜宾)干流	1.79±2.05	0.60±0.91	14.32±7.07	64.28±7.04	2.84±3.25	1.08±0.78	0.048±0.070	0.069±0.037
n	17	17	16	17	16	16	17	17
长江上游干流	1.07±0.29	0.69±1.17	11.24±7.26	67.49±10.39	1.75±1.29	0.96±0.62	0.033±0.029	0.067±0.025
n	17	17	16	17	16	16	17	17
嘉陵江(出川)干流	1.87±1.67	0.55±0.55	11.04±6.09	64.09±8.97	2.23±2.81	1.06±0.68	0.032±0.015	0.069±0.031
n	17	17	16	17	16	15	17	17
雅砻江支流	0.78±0.26	0.45±0.27	12.15±5.59	51.30±12.94	1.16±0.21	0.79±0.49	0.037±0.027	0.061±0.029
n	10	10	10	10	10	10	10	10
青衣江支流	0.74±0.30	0.52±0.57	11.82±6.09	49.98±8.92	2.24±2.45	0.95±0.64	0.022±0.021	0.048±0.023
n	17	17	15	17	16	16	17	17
大渡河支流	0.82±0.25	0.17±0.03	15.89±13.85	69.75±17.35	1.07±0.31	0.26±0.05	0.019±0.012	0.058±0.010

续表

支干流名	$\rho(\text{U})/$ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Th})/$ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(^{226}\text{Ra})/$ ($\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(^{40}\text{K})/$ ($\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(^{90}\text{Sr})/$ ($\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(^{137}\text{Cs})/$ ($\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{总}\alpha)/$ ($\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{总}\beta)/$ ($\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$)
<i>n</i>	4	4	4	4	4	4	4	4
岷江 支流	1.12 ± 0.23	0.40 ± 0.18	12.82 ± 6.54	66.10 ± 9.37	1.22 ± 0.21	0.73 ± 0.41	0.026 ± 0.023	0.071 ± 0.017
<i>n</i>	10	10	10	10	10	10	10	10
沱江 支流	1.23 ± 0.31	0.29 ± 0.18	16.55 ± 9.74	80.20 ± 16.61	1.28 ± 0.22	0.75 ± 0.44	0.034 ± 0.019	0.133 ± 0.052
<i>n</i>	10	10	10	10	10	10	10	10
涪江 支流	1.45 ± 0.27	0.67 ± 0.97	8.05 ± 2.59	63.38 ± 10.55	3.06 ± 3.41	0.80 ± 0.53	0.032 ± 0.024	0.070 ± 0.020
<i>n</i>	10	10	10	10	10	10	10	10
白龙江 支流	1.65 ± 0.47	0.60 ± 0.80	11.10 ± 5.38	55.09 ± 10.03	2.16 ± 2.39	1.22 ± 0.92	0.027 ± 0.018	0.060 ± 0.025
<i>n</i>	17	17	16	17	17	17	17	17
嘉陵江(南充)支流	1.23 ± 0.61	0.23 ± 0.25	11.95 ± 4.80	66.0 ± 4.62	1.31 ± 0.41	0.71 ± 0.47	0.028 ± 0.015	0.079 ± 0.021
<i>n</i>	10	10	10	10	10	10	10	10

①*n* 为样品数。

由表 8 可见,干流中²²⁶Ra、⁴⁰K 从金沙江(入川)到嘉陵江(出川)有逐渐降低的趋势,经统计学检验,²²⁶Ra、⁴⁰K 是金沙江(入川)高于嘉陵江(出川)($P < 0.01$),金沙江(宜宾)及长江上游干流高于嘉陵江(出川)($P < 0.01$),金沙江(入川)与金沙江(宜宾)无显著性差别($P < 0.05$)。U、Th 是嘉陵江(出川)高于金沙江(入川)($P < 0.01$),金沙江(宜宾)高于金沙江(入川)($0.01 < P < 0.05$),金沙江(宜宾)与长江上游干流无显著性差别。支流中⁴⁰K、总 β 属沱江最高并高于整个四川段干流,与 1988 年长江水系放射性水平调查^[12]相比,不仅高于整个长江干流上游,且高于长江干流总平均值本底⁴⁰K 41.0~43.0mBq/L、总 β 0.101~0.102 Bq/L。U 是白龙江最高青衣江最低。²²⁶Ra 是大渡河最高涪江最低。总 α 是大渡河最低,其他支流无明显差异。参照文献[14],将每种放射性同位素考虑在内计算了 IDC,结果表明,各支干流的放射性核素水平均满足各导出浓度限值要求。

3 结语

2007—2015 年长江流域四川段主要江河放射性核素水平远低于我国规定的露天水源的限制浓度^[15]。与 1995 年中国环境天然放射性(四川省部分)、1988 年长江水系天然放射性活度浓度参考范围相比,U、Th、²²⁶Ra、⁴⁰K、¹³⁷Cs 有上升趋势,其他核素活度浓度涨落不明显均在本底范围内。总 α 、总 β 放射性活度浓度测值均符合《生活饮用水卫生标准》^[13]的限值要求。与《饮用水水质准则(第四版)》^[14]相比,均满足各核素 IDC ≤ 1 要求,不会引起额外的健康风险。

铀、镭以及氡都易溶解于水。地表水中含有氡,在水流过岩石和土壤过程中易因搅动作用释放到大气中。相对于地表水,地下水供水源可能含有较高浓度的氡。按 90% 饮用水氡辐射剂量来说,吸入的氡及其衰变产物会造成更大的氡辐射剂量。水中氡的筛查水平应以空气中的国家参考水平和各国氡在住宅内的分布规律为基础。四川是中国矿产资源丰富的省份之一,稀土金属矿产资源相当丰富,在进行地表水及饮用水监测的同时应考虑测定空气中氡浓度^[16-17]。不仅如此,在经历了 2008 年的“5·12”大地震和 2011 年的涪江锰矿水污染事件后,四川部分地区的地理地貌都发生了巨大的改变,对于今后矿产区域的选址应当考虑地质条件进行合理规划开发,毕竟自然灾害造成的污染都是不可预知的。

加强对辐射环境监测数据的规范化管理,运用大数据技术治理环境有利于健全辐射环境监测管理制度,确保国控网年度监测计划和质量保证计划真正落实到位。宏观方面有利于中心数据库进行数据分析,直接指导下一步环境治理方案的制定,并实时监测环境治理效果,动态更新治理方案。

[参考文献]

- [1] 国家环境保护总局. 辐射环境监测技术规范: HJ/T 61—2001 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [2] 国家环境保护总局. 全国辐射环境监测方案(暂行) [Z/OL]. (2011-02-14) [2016-09-29]. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201102/t20110223_201114.htm.
- [3] 国家环境保护局. 水中微量铀分析方法: GB 6768—86 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.

(下转第 68 页)

多处,数量不足,分布不均,尚未建立起现代化的国家级地下水环境监测网络^[16]。进一步加强基础设施建设,加速建设和完善地下监测井网,专设地下水监测专用井,建立全国性的地下水监测网络。同时加强对重点污染区域的地下水监测,建立和完善地下水动态监测与评价服务系统,有效集成现有各部门所属的地下水监测网络,建立全国范围内地下水监测数据公用平台。

3.3 建立地下水资源市场调节机制

目前中国地下水分布不均匀,不同区域、不同产业对水资源的需求不同,导致了一些缺水地区急需用水而无水,一些丰水地区的水资源反而有剩余。可以通过建立市场自动调节机制来完善水资源分布不均的问题,包括:建立流域可交易水权制度、实现流域政府间生态补偿机制、实施排污费和排污权交易制度及推广污水处理设施民营化^[17-18]。

[参考文献]

[1] 赵章元. 地下水污染不容忽视[J]. 环境经济, 2006(4): 39-40.
 [2] 吕书君. 我国地下水污染分析[J]. 地下水, 2009, 31(1): 1-5.
 [3] 国土资源部. 2015年国土资源公报[R/OL]. (2016-04-22) [2016-11-01]. http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201604/t20160422_1403267.htm 2016.
 [4] 蓝捕, 陈燕, 彭妮妮. 地下水资源保护立法问题研究[M]. 北

京: 中国地质大学出版社, 2010.

[5] 余元玲. 水资源保护法律制度研究[M]. 北京: 光明日报出版社, 2010.
 [6] 邱志勇, 苏学云. 地下水资源保护的立法研究[J]. 地下水, 2007(6): 11-14, 43.
 [7] 陈颖. 地下水污染防治区划体系构建研究[J]. 资源节约与环保, 2013(1): 196-202.
 [8] 方玉莹. 我国地下水污染现状和地下水污染防治法的完善[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
 [9] 王新操. 地下水资源保护比较立法研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.
 [10] 吴庆琪. 我国地下水污染管制政策研究[D]. 杭州: 浙江财经大学, 2016.
 [11] 陈肖娟. 城镇地下水污染防治法律制度研究[D]. 福州: 厦门大学, 2014.
 [12] 李印. 试论我国地下水的法律保护[J]. 创新, 2012(1): 93-97, 130.
 [13] 楚道文. 我国城市地下水环境保护的法律机制[J]. 政法论丛, 2006(4): 73-77.
 [14] 闫琪. 地下水污染的刑法保护研究[D]. 辽宁: 辽宁大学, 2013.
 [15] 王柏林. 我国地下水污染防治法律问题研究[D]. 重庆: 西南政法大学, 2014.
 [16] 章树安, 陈喜, 杨建青, 等. 国外地下水监测与管理[M]. 南京: 河海大学出版社, 2011.
 [17] 胡继连. 水权市场与地下水资源配置[J]. 中国农村经济, 2004(1): 56-62.
 [18] 井柳新, 刘伟江, 王东, 等. 浅谈我国地下水环境监测网的建设和管理[J]. 环境监控与预警, 2013, 5(2): 1-4.

(上接第56页)

[4] 中华人民共和国卫生部. 食品中放射性物质检验 天然钍和铀的测定: GB 14883. 7-94[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
 [5] 国家环境保护局. 水中镭-226的分析测定: GB 11214-89[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
 [6] 国家环境保护局. 水中钾-40的分析方法: GB 11338-89[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
 [7] 国家环境保护局. 水中铈-90放射化学分析方法二-(2-乙基己基)磷酸萃取色层法: GB 6766-86[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
 [8] 国家环境保护局. 水中铯-137放射化学分析方法: GB 6767-86[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.
 [9] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水标准检验方法放射性指标: GB/T 5750. 13-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
 [10] 中国核工业总公司. 水中总β放射性测定 蒸发法: EJ/T 900-94[S]. 北京: 中国核工业总公司, 1994.

[11] 谭涪江, 吴宇, 董晓辉, 等. 四川省水体中天然放射性核素浓度调查研究[J]. 辐射防护, 1992(4): 56-62.
 [12] 陈明俊, 朱震南, 王志明, 等. 长江水系放射性水平调查[J]. 中国核情报中心, 1988, 223(1): 1-20.
 [13] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准: GB 5749-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 12.
 [14] 世界卫生组织. 饮用水水质准则(四版). [M] //上海市供水调度监测中心, 上海: 上海交通大学出版社, 2014: 181-193.
 [15] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准: GB 3838-2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
 [16] 刘合凡, 曾兵, 侯克斌, 等. 成都市土壤天然放射性核素的外照射水平估算研究[J]. 环境监控与预警, 2009, 1(2): 37-40.
 [17] 韦正, 张平, 朱晓翔. 基于余弦模型的核电站周围环境γ辐射水平季节性分析[J]. 环境监控与预警, 2010, 2(4): 36-38.