

南宁地区饮用水源中的总放射性水平及剂量估算

何贤文, 黄伊林, 彭崇, 陈宝才, 周花珑, 刘鳃卿, 萧苑文, 冯亮亮

广西壮族自治区辐射环境监督管理站, 广西 南宁 530222

摘要: **目的** 调查南宁地区饮用水源中总 α 、总 β 活度浓度, 收集环境本底数据, 保障饮用水安全和公众健康。 **方法** 采用 LB 4200 型低本底 α/β 计数器测定调查南宁地区饮用水源中总 α 和总 β 放射性, 并根据监测结果进行剂量估算。 **结果** 南宁地区饮用水源中总 α 活度浓度平均值为 0.017 Bq/L (<0.008 ~ 0.038 Bq/L), 总 β 活度浓度平均值为 0.061 Bq/L (0.012 ~ 0.130 Bq/L), 均低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 中的放射性指标指导值; 通过估算, 饮用水致居民受到的总 α 内照射年有效剂量为 2.09 ~ 9.93 $\mu\text{Sv/a}$, 总 β 内照射年有效剂量为 0.044 ~ 0.476 $\mu\text{Sv/a}$, 均低于 WHO 的推荐参考水平。 **结论** 南宁地区饮用水源中的总 α 和总 β 放射性水平处于环境正常本底范围, 不会对人体健康造成影响。

关键词: 南宁; 饮用水源; 总 α 、总 β ; 年有效剂量

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)05-0534-04

Gross radioactivity level and does estimation for drinking water sources in Nanning, China

HE Xianwen, HUANG Yilin, PENG Chong, CHEN Baocai, ZHOU Hualong, LIU Manqing, XIAO Yuanwen, FENG Liangliang
Radiation-Environment Management and Monitoring Station of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530222 China

Abstract: **Objective** To investigate the gross α and β activity concentrations in drinking water sources of Nanning, and accumulate the environmental background to ensure drinking water safety and public health. **Methods** The activity concentrations of gross α and β were measured using the low background α/β counter (LB4200), and the results were used for dose estimation. **Results** The mean concentrations of gross α and β were 0.017 Bq/L (<0.008 ~ 0.038 Bq/L) and 0.061 Bq/L (0.012 ~ 0.130 Bq/L), respectively. Both of them were below the national limits set by GB 5749—2006. The annual effective doses were estimated to be 2.09 ~ 9.93 μSv and 0.044 ~ 0.476 μSv for the gross α and β activities respectively, and they were also below the WHO recommended reference level for all water samples. **Conclusion** The radioactivity level in drinking water sources of Nanning is within the normal background range and will not pose a threat to the public health.

Key words: Nanning; Drinking Water Sources; Gross α ; Gross β ; Annual Effective Dose

随着社会的不断发展、城镇化进程的加快, 不时出现关于饮用水环境安全的突发事件, 引发城市供水危机, 造成社会和公众的恐慌。福岛核事故后, 社会对环境中放射性水平给予了广泛关注与高度重视, 水体的放射性水平直接关系到饮水安全。南宁市饮用水水源结构相对单一, 主要以邕江水源为主, 应急联网供水体系建设尚不完善, 同时城市的快速发展, 日益频繁的人为活动, 导致城市饮用水安全的环境风险逐渐增大。本文对 2018 年南宁地区饮用水源中总放射性水平进行了监测与评价。

1 材料与方法

1.1 研究对象 本文所研究对象为南宁城区集中式

饮用水源和市场占有率较高的矿泉水水源。城区集中式饮用水源地分别选取了河流型水源地、水库型水源地、地下水源型水源地三种类型, 其中, 河流型水源地选为南宁城区在用的 5 个集中式饮用水源地, 三津水厂、陈村水厂、西郊水厂、中尧水厂、河南水厂; 水库型水源地选为南宁市的饮水备用水源, 天雹水库和大王滩水库; 地下水源选为南宁市武鸣区的灵水, 具体采集点位见表 1。南宁地处亚热带, 夏长冬短, 炎热时间较长, 矿泉水已作为人们日常饮用水的不可缺少的一部分, 南宁市场上占有率较高的矿泉水见表 2。

2018 年的丰水期、枯水期, 分别在上述城区集中式饮用水源地和市场占有率较高的矿泉水水源地采集

水样,进行实验室检测。

表 1 城市集中式饮用水水源采集点位

序号	水源地名称	经度(E)	纬度(N)	水源类型
1	三津水厂	108°12'03"	22°46'50"	河流水
2	陈村水厂	108°15'16"	22°49'53"	河流水
3	西郊水厂	108°06'08"	22°09'24"	河流水
4	中尧水厂	108°06'46"	22°48'47"	河流水
5	河南水厂	108°17'48"	22°48'11"	河流水
6	天雹水库	108°14'27"	22°52'08"	水库水
7	大王滩水库	108°19'26"	22°35'22"	水库水
8	灵水	108°16'11"	23°08'56"	地下水

表 2 矿泉水水源采集点位

序号	名称	经度(E)	纬度(N)	水源类型
9	西津	109°14'46"	22°38'50"	河流水
10	茶花山	110°12'33"	22°31'00"	地下水
11	北仑河	107°54'48"	21°35'08"	河流水
12	巴马活泉	107°16'33"	24°05'59"	地下水
13	九千万	108°44'26"	25°03'28"	河流水
14	巴马丽琅	107°21'07"	24°06'16"	地下水

1.2 测量方法 样品采集后,按照《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》(HJ 898—2017)^[1]、《水质 总 β 放射性的测定 蒸发法》(HJ 899—2017)^[2],按每升样品加入 20 ml 7.5 mol/L 的硝酸溶液酸化样品。样品酸化后,取一定体积的样品置于烧杯中,用控温电热板缓慢加热,温度控制在 80℃,让样品在微沸状态下蒸发浓缩至 50 ml 左右,然后转移到石英蒸发皿中。向蒸发皿缓慢加入 1 ml 浓硫酸,进行硫酸盐化,恒温加热,温度控制在 130℃,直至烟雾散尽。将装有残渣的蒸发皿放入马弗炉,350℃ 下灼烧 1 h,取出,放入干燥皿中冷却后,恒重。恒重后的残渣转移到研钵中,研磨成细粉末状,制备成待测样品后,用 LB 4200 型流气式低本底 α/β 计数器进行测定。仪器的总 α 本底好于 0.07 cpm,总 β 本底好于 0.65 cpm,效率曲线分别选用中国计量科学院的水残渣中总 α 监测标准物质(^{241}Am)和水残渣中总 β 监测标准物质(KCl)进行刻度。

1.3 质量控制 为保证检测数据的准确性,仪器设备每月进行本底稳定性检验、定期开展期间核查校准、校准曲线的绘制和检验。实验人员、分析方法、测量仪器均通过全国放射性检测质量考核比对,比对结果均为满意。

2 结果

2.1 总 α 、总 β 放射性水平 南宁地区饮用水水源总 α 、总 β 放射性水平见表 3。由表 3 可知,南宁地区饮

用水源中总 α 活度浓度平均值为 0.017 Bq/L (< 0.008 ~ 0.038 Bq/L),总 β 活度浓度平均值为 0.061 Bq/L (0.012 ~ 0.130 Bq/L),均低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[3]中总 α < 0.5 Bq/L,总 β < 1 Bq/L 的放射性指标指导值。测量结果与黄璐璐^[4]2011—2015 年南宁市生活饮用水的总 α 放射性水平 < 0.008 ~ 0.123 Bq/L,总 β 放射性水平 < 0.008 ~ 0.454 Bq/L 保持一致。我国其它地区饮用水源总 α 、总 β 放射性水平的结果见表 4,由表 4 可知,南宁地区饮用水源放射性水平处于正常本底范围。

按不同水样类型来比较,河流水中总 α 活度浓度平均值为 0.018 Bq/L (< 0.008 ~ 0.038 Bq/L),总 β 活度浓度平均值为 0.060 Bq/L (0.012 ~ 0.101 Bq/L),水库水中总 α 活度浓度平均值为 0.010 Bq/L (0.008 ~ 0.011 Bq/L),总 β 活度浓度平均值为 0.076 Bq/L (0.061 ~ 0.094 Bq/L),地下水中总 α 活度浓度平均值为 0.019 Bq/L (0.010 ~ 0.027 Bq/L),总 β 活度浓度平均值为 0.055 Bq/L (0.022 ~ 0.130 Bq/L),基本在我国河流水总 α 活度浓度 0.002 ~ 0.760 Bq/L,总 β 活度浓度 0.009 ~ 0.590 Bq/L,水库水总 α 活度浓度 0.007 ~ 0.260 Bq/L,总 β 活度浓度 0.023 ~ 0.820 Bq/L^[5] 的范围。按照总 α 活度浓度高低顺序依次为地下水 > 河流水 > 水库水;按照总 β 活度浓度高低顺序依次为水库水 > 河流水 > 地下水。地下水的放射性水平偏高可能受到当地地质的影响,水库水的放射性水平较高,可能是与周边的人为活动有关。

按丰水期、枯水期来比较,总 α 活度浓度平均值分别为 0.015 Bq/L (< 0.008 ~ 0.035 Bq/L)、0.019 Bq/L (0.008 ~ 0.038 Bq/L),总 β 活度浓度平均值分别为 0.054 Bq/L (0.012 ~ 0.114 Bq/L)、0.067 Bq/L (0.025 ~ 0.130 Bq/L),在整体上总 α 、总 β 活度浓度枯水期 > 丰水期。其中,河流水在丰水期和枯水期的总 α 活度浓度平均值为 0.018 Bq/L (< 0.008 ~ 0.035 Bq/L)、0.020 Bq/L (0.010 ~ 0.038 Bq/L),总 β 活度浓度平均值为 0.049 Bq/L (0.012 ~ 0.074 Bq/L)、0.072 Bq/L (0.034 ~ 0.101 Bq/L),河流水的总 α 、总 β 活度浓度枯水期 > 丰水期。地下水在丰水期和枯水期,总 α 活度浓度平均值为 0.017 Bq/L (0.010 ~ 0.027 Bq/L)、0.021 Bq/L (0.013 ~ 0.027 Bq/L),总 β 活度浓度平均值为 0.052 Bq/L (0.022 ~ 0.114 Bq/L)、0.059 Bq/L (0.025 ~ 0.130 Bq/L),地下水的总 α 、总 β 活度浓度枯水期 > 丰水期。水库水在丰水期和枯水期,总 α 活度浓度平均值为 0.010 Bq/L (0.008 ~ 0.011 Bq/L)、

0.010 Bq/L(0.010 ~ 0.010 Bq/L),总 β 活度浓度平均值为 0.079 Bq/L(0.064 ~ 0.094 Bq/L)、0.071 Bq/L(0.061 ~ 0.081 Bq/L),水库水的总 α 活度浓度在丰水期和枯水期基本保持一致,而总 β 活度浓度丰水期 > 枯水期。

表 3 南宁地区饮用水源总放射性水平 单位:Bq/L

序号	水源地 名称	丰水期		枯水期	
		总 α	总 β	总 α	总 β
1	三津水厂	0.008	0.042	0.015	0.069
2	陈村水厂	0.020	0.048	0.025	0.097
3	西郊水厂	<0.008	0.056	0.030	0.101
4	中尧水厂	0.035	0.052	0.010	0.084
5	河南水厂	0.015	0.074	0.026	0.089
6	天雹水库	0.008	0.064	0.010	0.061
7	大王滩水库	0.011	0.094	0.010	0.081
8	灵水	0.027	0.036	0.025	0.044
9	西津	0.010	0.059	0.009	0.059
10	茶花山	0.014	0.114	0.027	0.130
11	北仑河	0.009	0.050	0.008	0.041
12	巴马活泉	0.017	0.034	0.013	0.035
13	九千万	<0.008	0.012	0.038	0.034
14	巴马丽琅	0.010	0.022	0.020	0.025
测值范围		<0.008 ~ 0.035	0.012 ~ 0.114	0.008 ~ 0.038	0.025 ~ 0.130

2.2 内照射导致的年有效剂量估算 居民通过饮用水摄入所致内照射年有效剂量,可用如下估算公式^[15]

$$AEV = A \times C \times V \quad 1)$$

式(1)中,AEV 为年有效剂量;A 为水中某核素的放射性活度浓度,Bq/L;C 为成人摄入某核素的剂量转换系数,Sv/Bq;V 为成人的年平均饮水量,L/a。

由于水体总 α 的放射性主要来自²²⁶Ra,总 β 的放射性主要来自⁴⁰K,估算时 C 取²²⁶Ra、⁴⁰K 的剂量转换系数,分别为 3.58×10^{-4} mSv/Bq、 5.02×10^{-6} mSv/Bq^[16-17]。由于 WHO 推荐成人的每天平均饮水量取 2 L^[18],V 可取 730 L/a。计算得到,南宁地区居民通过饮水所致的总 α 内照射年有效剂量为 2.09 ~ 9.93 μ Sv/a,总 β 内照射年有效剂量为 0.044 ~ 0.476 μ Sv/a,均低于 WHO 的推荐参考水平 100 μ Sv/a^[18],居民饮用水所致的内照射年有效剂量在安全水平之下,可以安全饮用。

3 讨论

表 4 我国其它地区饮用水源总放射性水平

单位:Bq/L

研究区域	研究时间	总 α		总 β		参考文献
		测值范围	平均值	测值范围	平均值	
南宁	2018	<0.008 ~ 0.038	0.017	0.012 ~ 0.130	0.061	本研究
南宁	2011—2015	<0.008 ~ 0.123	0.014	<0.008 ~ 0.454	0.084	[4]
广西	2011—2015	<0.008 ~ 0.732	0.027	<0.008 ~ 1.63	0.135	[4]
北京	2011—2017	0.074 ~ 0.135	0.090	0.080 ~ 0.110	0.090	[6]
南京	2017	—	0.010	—	0.090	[7]
成都	2017	0.020 ~ 0.023	0.021	0.053 ~ 0.065	0.059	[8]
广州	2015	0.017 ~ 0.286	0.070	0.027 ~ 0.397	0.130	[9]
天津	2017	0.012 ~ 0.059	0.028	0.064 ~ 0.149	0.099	[10]
上海	2016	0.017 ~ 0.067	0.031	0.090 ~ 0.401	0.264	[11]
郑州	2015	0.0138 ~ 0.154	0.052	0.002 ~ 0.377	0.117	[12]
呼和浩特	2009—2013	<0.016 ~ 0.520	0.104	<0.028 ~ 0.394	0.145	[13]
大连	2011	0.003 ~ 0.046	0.020	0.057 ~ 0.166	0.088	[14]
国家标准	—	—	0.5	—	1	[3]

邕江作为南宁市重要的饮用水水源河流,在南宁城区有 5 个在用的集中式饮用水源地,分别为三津水厂、陈村水厂、西郊水厂、中尧水厂、河南水厂,它们的取水口依次分布在从上游到下游的 17 km 的水域,年供水能力超过 3.5 亿 m³,占城市年供水量的 85% 以上。为便于分析,将这一片水域分为 A、B、C 三段(见图 1),其中 A 段为三津水厂-陈村水厂-西郊水厂的水域,B 段为西郊水厂-中尧水厂的水域,C 段为中尧水厂-河南水厂的水域。由表 3 可知,A-B-C 三段水域的总放射性水平依次呈上升-下降-上升的趋势。在枯水期,这种变化趋势较为明显;而在丰水期,总 β 放射性

水平遵从这个规律,总 α 放射性水平因西郊水厂未检出,导致变化趋势不够明显。基于水体中总 α 放射性水平主要受到水中²²⁶Ra 的贡献,本研究进一步测定了三津、陈村、西郊、中尧、河南水厂的水样中²²⁶Ra 的含量,结果见表 5。由表 5 可知,在丰水期、枯水期,这段流域的²²⁶Ra 活度浓度较好的符合上述规律,即 A 段增长,B 段有所下降,C 段回升的趋势。B 段有所下降的原因,可能是受到多股河流汇入的影响。

随着人们生活水平的提高,矿泉水已成为人们日常饮用水的重要组成部分。广西水资源丰富,矿泉水储量巨大,南宁市场占有率较高的矿泉水水源主要有

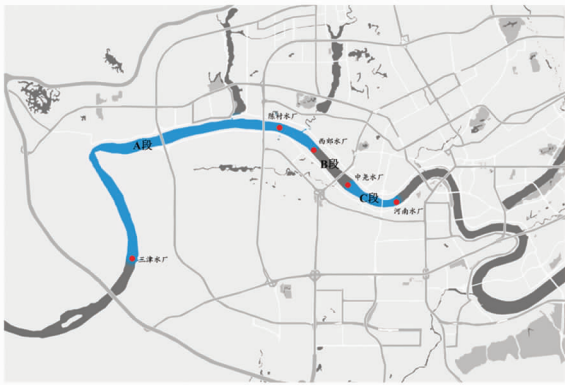


图 1 城区集中式饮用水源地位置示意图

表 5 南宁城市集中式饮用水源

 ^{226}Ra 的放射性水平 单位: mBq/L

序号	水源地名称	^{226}Ra	
		丰水期	枯水期
1	三津水厂	2.50	3.81
2	陈村水厂	3.44	3.45
3	西郊水厂	4.67	4.84
4	中尧水厂	3.13	2.69
5	河南水厂	5.67	3.63

河流水型和地下水型。对于矿泉水样品,河流水型的总 α 放射性水平为 0.015 Bq/L ($< 0.008 \sim 0.038$ Bq/L),总 β 放射性水平为 0.043 Bq/L (0.012 ~ 0.059 Bq/L); 地下水型中总 α 放射性水平为 0.017 Bq/L (0.010 ~ 0.027 Bq/L), 总 β 放射性水平为 0.060 Bq/L (0.022 ~ 0.130 Bq/L), 总 α 、总 β 放射性水平高低顺序依次为地下水 > 河流水。在丰水期和枯水期,总 α 活度浓度平均值为 0.012 Bq/L ($< 0.008 \sim 0.017$ Bq/L)、0.019 Bq/L (0.008 ~ 0.038 Bq/L), 总 β 活度浓度平均值为 0.049 Bq/L (0.012 ~ 0.114 Bq/L)、0.054 Bq/L (0.025 ~ 0.130 Bq/L), 总 α 、总 β 放射性水平高低顺序依次为枯水期 > 丰水期。

综上所述,南宁地区饮用水源中总 α 活度浓度平均值为 0.017 Bq/L ($< 0.008 \sim 0.038$ Bq/L), 总 β 活度浓度平均值为 0.061 Bq/L (0.012 ~ 0.130 Bq/L), 通过饮水摄入方式致公众的总 α 内照射年有效剂量为 2.09 ~ 9.93 $\mu\text{Sv/a}$, 总 β 内照射年有效剂量为 0.044 ~ 0.476 $\mu\text{Sv/a}$ 。按照不同水样类型来比较,总 α 放射性水平高低顺序为地下水 > 河流水 > 水库水, 总 β 放射性水平高低顺序为水库水 > 河流水 > 地下水。按照丰水期、枯水期来比较,整体上总 α 、总 β 活度浓度枯水期 > 丰水期。南宁地区饮用水源中总放射性水平低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 的放射性指标指导值,居民通过饮水所

致的内照射年有效剂量低于 WHO 的推荐参考水平, 南宁地区饮用水源未受到放射性污染,处于正常本底水平,可以放心饮用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国环境保护部. HJ 898—2017 水质 总 α 放射性的测定 厚源法[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. HJ 899—2017 水质 总 β 放射性的测定 蒸发法[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [4] 黄璐璐, 莫达松, 潘扬昌, 等. 广西生活饮用水总 α 、总 β 放射性分析[J]. 中国辐射卫生, 2017, 26(1): 36-38.
- [5] 刘英. 国家《生活饮用水卫生标准》中总 α 和总 β 放射性标准适用性的探讨[J]. 中国公共卫生, 1997(1): 36-38.
- [6] 王欢, 孙亚茹, 孔玉侠, 等. 2011—2017 年北京市地表水与生活饮用水放射性水平调查[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27(5): 492-495.
- [7] 杨声, 闫庆倩, 李红艳. 2014—2017 年南京市环境和水放射性水平监测与分析[J]. 江苏预防医学, 2018, 29(4): 438-440.
- [8] 庞荣华. 2014—2017 年四川省主要城市饮用水源地放射性变化趋势[J]. 四川环境, 2018, 37(2): 131-138.
- [9] 黄文暖, 聂一凡, 杨启泽, 等. 广东省部分饮用水源地水中总 α 和总 β 放射性水平[J]. 环境监测管理与技术, 2018, 30(1): 68-71.
- [10] 宋虹, 张继勉. 2017 年天津市生活饮用水放射性水平调查[J]. 环境与健康杂志, 2018, 35(3): 262-263.
- [11] 胡艳. 上海市部分地区饮用水中总 α 、总 β 放射性水平检测[J]. 海峡科技与产业, 2017(4): 153-154.
- [12] 郑天柱, 王永星, 田好亮. 2015 年郑州市饮用水放射性水平状况调查[J]. 环境卫生学杂志, 2016, 6(6): 457-459.
- [13] 崔建平, 苏丹, 张慧君, 等. 呼和浩特市饮用水中总 α 、总 β 放射性水平评价[J]. 中国辐射卫生, 2016, 25(1): 49-51.
- [14] 董倩倩, 张兴晖, 姜振华. 大连市自来水中总 α 、总 β 放射性水平调查[J]. 中国辐射卫生, 2013, 22(5): 568-569.
- [15] Miao X X, Ji Y Q, Shao X Z, et al. Radioactivity of drinking-water in the vicinity of nuclear power plants in China based on a large-scale monitoring study[J]. IJERPH, 2013, 10(12): 6863-6872.
- [16] Fernández F, Lozano J C, Gómez J M G. Natural radionuclides in ground water in western Spain[J]. Radiation Protection Dosimetry, 1992, 45(1/2/3/4): 227-229.
- [17] 冯江平, 郭键锋, 时劲松, 等. 2010—2016 年深圳市地表水中总 α 、总 β 放射性水平[J]. 中国辐射卫生, 2017, 26(6): 695-697, 707.
- [18] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, fourth edition[R]. Geneva: WHO, 2011.

收稿日期: 2019-04-10