



湘江的放射性水平研究

翟鹏济 康铁笙 张志尧

(中国科学院高能物理研究所)

石瑞林 张政国 宋德村

(湖南省环境保护科研所)

姜 加 之

(湖南省冶金防护防治所)

一、引 言

放射性核素对环境的影响是直接关系到人民健康的大问题。湘江流域矿产丰富。随着该地区核工业和有色冶金工业的发展,许多厂矿排出物中的放射性核素可能通过各种途径进入湘江影响其水质。因此,我们对湘江的放射性水平进行了研究,并对放射性污染状况做了评价。

二、样品采集和测定

1. 样品采集

湘江全长 856 公里,共设置 16 个采样断面(见图 1)。上游(零陵以上,252 公里)工矿较少,水清澈透明,设断面较少。中游(零陵至衡阳,278 公里)和下游(衡阳至河口,326 公里),由于工矿及城市污水影响,水透明度较差,个别江段相当混浊,设断面较多。每一断面一般采左右两点,部分断面采左中右三点,个别断面进行了垂直采样。采样用塑料瓶、桶,经严格清洗和酸处理。同时采集水和沉积物样。从 1979 年 7 月至 1981 年 11 月共进行四次采样。

2. 分析方法和分析项目

采用裂变径迹法^[1]和 TRPO 萃取分光光度法测定铀; N-235 萃取分光光度法测定

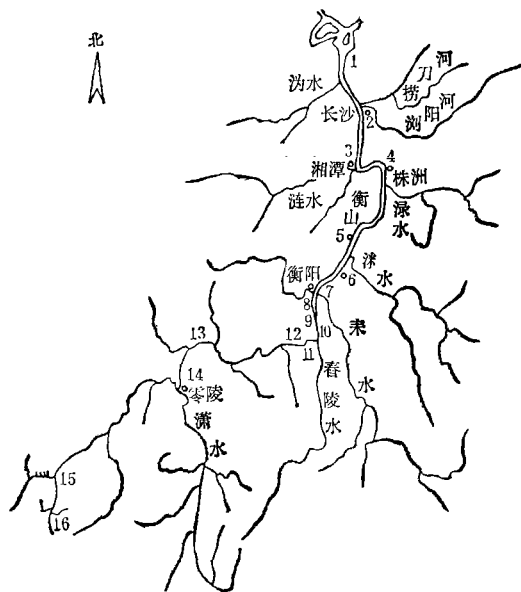


图 1 湘江采样断面设置示意图

1 樟树港 2 长沙 3 湘潭 4 株洲 5 衡山 6 大浦街
7 耒河口 8 衡阳 9 衡南二中 10 新塘铺 11 松柏
12 柏坊 13 黄杨司 14 零陵 15 兴安 16 海洋山

钍;闪烁射气法测定镭;厚源法和相对厚源法测定总 α ;相对比较法测定总 β 。

三、湘江水体放射性核素浓度及其分布

1. 湘江水的 U、Th、Ra、总 α 和总 β

表 1 列出了 U、Th、Ra、总 α 和总 β 的测定结果。由表 1 可知 200 个水样中含铀量

表 1 湘江各断面水质 U、Th、Ra 总 α 和总 β 浓度

采样断面	U($\mu\text{g/l}$)			Ra(10^{-13}ci/l)			Th($\mu\text{g/l}$)			总 $\alpha(10^{-11}\text{ci/l})$			总 $\beta(10^{-12}\text{ci/l})$		
	样品数	检出范围	平均值	样品数	检出范围	平均值	样品数	检出范围	平均值	样品数	检出范围	平均值	样品数	检出范围	平均值
海洋山	10	0.047—0.37	0.16	3	1.5—3.0	2.3	2	0.01—0.022	0.016	2	4.5—4.9	4.7	2	2.0—2.2	2.1
兴安	4	0.12—0.68	0.47	3	1.3—4.0	2.3	2	0.063—0.081	0.072	2	<3.5—4.0	3.8	2	0.41—1.5	1.0
零陵	9	0.22—0.66	0.37	6	2.7—5.1	3.8	4	0.11—0.13	0.12	4	<3.5—3.8	3.6	4	0.44—2.3	1.4
黄杨司	8	0.086—0.71	0.35	5	2.0—4.5	3.1	2	0.026—0.22	0.12	4	<3.5—4.2	3.7	4	3.6—4.9	4.2
柏坊	14	0.11—2.3	0.69	7	2.7—18.5	5.9	9	0.025—0.32	0.14	6	4.5—22	11.6	6	2.5—12	7.4
松柏	11	0.20—1.08	0.44	5	2.7—3.4	3.0	6	0.10—0.35	0.20	6	4.4—11	6.8	6	2.0—6.9	4.1
新塘铺	15	0.17—2.36	0.40	8	1.9—14.8	5.6	8	0.013—0.18	0.09	6	4.9—18	10.2	6	4.5—12	7.1
衡南二中	25	0.19—0.56	0.38	16	1.0—11.7	3.8	15	0.031—0.75	0.16	10	8.3—22	11.3	10	1.5—11	5.1
衡阳	16	0.15—1.5	0.52	9	2.0—18.8	5.0	9	0.07—0.29	0.14	6	<3.5—7.0	5.4	6	4.5—9.4	6.3
耒河口	14	0.19—1.3	0.64	9	2.1—7.7	4.6	6	0.01—0.44	0.17	6	4.0—7.3	6.0	6	2.4—11	6.4
大浦街	15	0.26—0.92	0.48	9	0.5—5.4	3.1	9	0.025—0.18	0.08	6	<3.5—9.2	6.8	6	4.1—7.0	5.5
衡山	12	0.12—1.08	0.53	7	2.0—7.0	3.7	6	0.054—0.26	0.17	6	<3.5—15	7.5	6	3.7—8.2	6.4
株洲	9	0.16—0.89	0.42	7	1.0—8.0	4.0	6	0.14—0.35	0.26	6	4.0—10	7.4	6	2.4—7.2	4.5
湘潭	11	0.12—1.14	0.42	7	0.5—7.3	4.0	7	0.17—0.46	0.24	6	9.9—20	13.0	6	1.8—11	6.2
长沙	15	0.25—0.99	0.54	9	0.5—8.6	4.4	9	0.041—0.36	0.12	6	3.7—12	8.4	6	0.95—10	5.4
樟树港	12	0.34—0.92	0.59	7	0.4—7.3	3.3	4	0.028—0.17	0.12	6	4.2—12	9.1	6	4.6—11	7.4

表 2 湘江各断面底沉积物中 U、Th、Ra、总 α 和总 β 测定结果

采样断面	U(mg/kg)			Ra(10^{-6} ci/kg)			Th(mg/kg)			总 α (10^{-6} ci/kg)			总 β (10^{-6} ci/kg)		
	样品数	检出范围	平均值	样品数	检出范围	平均值	样品数	检出范围	平均值	样品数	检出范围	平均值	样品数	检出范围	平均值
海洋山	2	0.5—0.72	0.59	1	1.4					2	3.3—3.5	3.4	2	1.7—1.8	1.8
兴安	2	0.45—2.15	1.3	2	0.9—1.1	1.0	2	5.3—6.9	6.1	2	4.4—4.4	4.4	2	1.4—1.5	1.4
零陵	4	1.0—3.7	2.0	5	1.2—1.7	1.4	4	5.8—10.6	7.9	4	3.5—4.2	3.7	4	1.3—2.0	1.6
黄杨司	2	2.4—2.5	2.4	2	0.5—1.6	1.0	2	3.6 7.1	5.4	3	3.4—3.7	3.5	4	1.8—3.1	2.4
柏坊	6	2.0—3.0	2.4	6	1.0—2.2	1.6	4	5.9—7.0	6.2	4	3.8—8.4	6.0	4	2.7—3.4	3.0
松柏	2	3.1—3.2	3.1	3	0.9—1.4	1.2	4	7.2—11.3	9.4	4	3.5—5.6	4.2	4	2.3—2.8	2.5
新塘铺	6	0.7—2.7	1.9	6	1.5—1.9	1.7	4	8.8—12.3	9.9	4	3.4—7.5	5.2	4	1.5—2.5	2.2
衡南二中	6	1.4—4.6	2.3	6	0.9—2.2	1.5	4	5.4—10.1	8.1	4	7.4—8.5	7.7	4	2.3—3.5	2.8
衡阳	4	1.3—3.5	2.8	4	2.4—3.0	2.7	1	2.7	2.7	1	6.3	6.3	1	3.7	3.7
耒河口	6	2.3—6.2	4.0	6	1.1—3.5	2.1	3	3.4—5.2	4.2	4	3.2—5.5	4.3	4	1.4—2.8	2.0
大浦街	5	1.2—5.2	2.8	5	0.8—1.9	1.2	4	3.3—9.7	7.4	4	3.4—8.5	5.9	4	1.5—3.5	2.7
衡山	3	1.35—4.1	2.9	3	1.3—2.0	1.7	3	6.6—16.8	10.8	2	3.6—4.5	4.0	2	3.0—3.2	3.1
株洲	4	0.88—2.8	1.9	4	1.2—2.4	1.6	3	4.7—12.8	7.8	4	4.7—6.0	5.1	4	1.7—3.6	2.7
湘潭	5	1.0—4.8	2.6	5	1.5—2.4	2.0	4	6.2—10.9	9.1	4	6.4—6.8	6.6	4	2.7—4.0	3.4
长沙	7	0.9—3.5	1.8	8	0.7—1.7	1.4	4	6.2—11.4	8.7	3	4.6—6.0	5.5	4	2.5—3.8	3.4
樟树港	4	1.0—2.1	1.7	4	1.1—2.1	1.6	4	5.4—13.6	6.4	4	4.3—8.2	6.1	4	2.5—3.7	3.0

检出范围是 $0.05-2.36\mu\text{g/l}$, 其中柏坊和耒河口两断面平均最高。各断面镭的平均值在 $(2.3-5.9) \times 10^{-13}\text{ci/l}$ 之间, 其中柏坊和新塘铺最高。各断面钍平均浓度在 $0.016-0.26\mu\text{g/l}$ 之间, 株洲和湘潭最高, 比源头高十几倍。湘潭和柏坊断面的总 α 放射性水平较高, 柏坊和樟树港总 β 较高。

2. 湘江底沉积物中 U、Th、Ra、总 α 和总 β

各采样断面底沉积物中 U、Th、Ra、总 α 和总 β 测定结果见表 2。铀的平均含量是 2.3mg/kg , 耒河口断面较高。钍的平均值是

7.4mg/kg 。镭、总 α 和总 β 平均值分别是 0.16 、 5.1 和 $2.6 (\times 10^{-8}\text{ci/kg})$ 、断面之间差别一般不大。

3. Th/U 比

湘江水各断面 Th/U 比从 0.1 到 0.6 变化, 而沉积物中 Th/U 比在 $1-5$ 之间, 这与钍在地壳中平均含量比铀高是一致的^[2]。河水中含铀量高则是因为铀比钍化学性质活泼, 易进行再分配而进入水中, 钍则显惰性。

4. 湘江各江段水质的变化

表 3 列出了湘江各江段放射性的平均水平。由表 3 可见中下游各项都超过总平均

表 3 湘江各江段(平均) U、Th、Ra、总 α 和总 β 浓度

源头参考值	上 游	中 游	下 游	总 平 均
U($\mu\text{g/l}$) 0.16	0.34	0.46	0.52	0.44
Th($\mu\text{g/l}$) 0.04	0.08	0.14	0.17	0.13
Ra(10^{-13}ci/l) 2.3	3.0	4.4	3.9	3.8
总 α (10^{-12}ci/l) 4.2	3.9	8.2	8.3	6.8
总 β (10^{-12}ci/l) 1.5	1.5	5.7	6.0	4.4

值, 而上游均低于总平均值。这表明湘江水水质放射性水平由上至下逐渐提高了。

四、湘江的放射性污染评价

1. 评价方法

本工作分析项目和数据较多, 为反映各种参数对湘江各采样断面造成放射性污染的综合效果, 我们采用未受人类活动影响或影响较小的源头江段测定结果的平均值加二倍标准差作为各参数的比较标准进行了综合评价^[3]。采用如下评价模式:

$$P_i = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_{i\text{源}} + 2\sigma_{i\text{源}}} \quad (1)$$

$$P_{\text{水(泥)综}} = \frac{\sum P_i}{n} \quad (2)$$

$$P_{\text{综}} = 0.7P_{\text{水综}} + 0.3P_{\text{泥综}} \quad (3)$$

式中 P_i 是某污染物的污染指数; $P_{\text{水(泥)综}}$ 是某断面水(底泥)综合污染指数; $\bar{X}_i$ 是某断面 i 污染物平均浓度; $\bar{X}_{i\text{源}}$ 是源头 i 污染物 n 次测

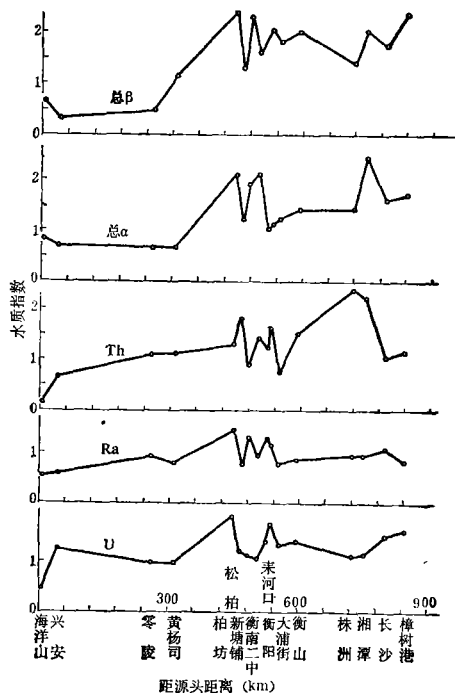


图 2 湘江各断面水质污染指数的变化

表 4 湘江水年均 U、Ra 含量变化*

年 份	1961	1962	1963	1965	1971	1976	1979	1980
U($\mu\text{g/l}$)	0.39	1.01	0.30	1.10	1.44	1.59	0.68	0.44
Ra(10^{-13}Ci/l)					5.8	7.5	7.0	3.3

* 1976 年以前数据根据湖南省劳动卫生研究所内部资料

量的平均浓度; $\sigma_{i\text{源}}$ 是源头 i 污染物 n 次测量浓度的标准差; $\sum P_i$ 是某断面各检测参数污染指数之和; n 是检测参数数目. 认为 $P_{\text{总}} < 1$ 为未受污染, $1 < P_{\text{总}} < 2$ 为轻度污染, $P_{\text{总}} > 2$ 为污染.

2. 湘江水水质放射性污染特点

图 2 给出了按式 (1) 计算的湘江各断面水中 U、Th、Ra、总 α 和总 β 污染指数变化情况. 由图可见沿江变化趋势相似. 柏坊以下的中下游变化较大.

3. 湘江水水质污染年变化趋势

表 4 列出了 1961—1980 年检测湘江水中铀钍的年均含量. 图 3 是水质放射性污染年变化趋势, 显示出七十年代末期以来有减缓的趋势.

4. 湘江底沉积物的放射性污染情况

由 (2) 式计算并比较湘江底质污染指数可知, 各断面中属未受污染断面 U、Th 和 Ra 分别占 69%、73% 和 75%. 受轻度污染的断面只占 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{1}{4}$. 上游江段底沉积物未

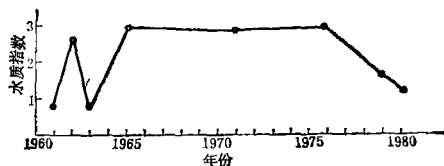


图 3 湘江水水质放射性污染年变化

受污染, 中下游只有少数断面受轻度污染.

5. 综合评价

综合评价表明上游江段无论是水还是沉积物都是清洁的(见图4). 中下游受到了轻度放射性污染, 比较明显的是柏坊和湘潭断面.

五、讨 论

湘江测定结果与国家标准及其他国家的结果比较列于表 5. 由表 5 可见铀的水平相当而钍和钍湘江含量较高, 但比国家标准放射性同位素在露天水源中的限制浓度^[6]低得多.

从地球化学大量资料来看, 地表水中的放射性核素含量也受气候和自然地理因素的影响. 其背景浓度在很大程度上受区域岩石

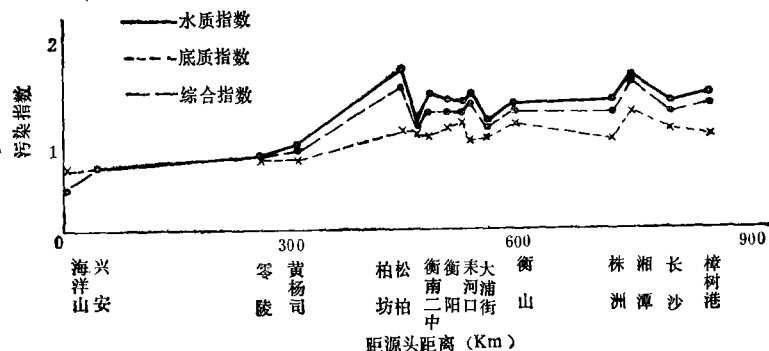


图 4 湘江各断面水质、底沉积物和综合(放射性)污染指数的变化

表 5 湘江与其他国家河水中 U、Th、Ra 浓度范围比较

美 国 ^[5]	巴 西 ^[5]	日 本 ^[4]	湘 江	国家标准
U($\mu\text{g/l}$) 0.01—1.22	0.29—1.61	0.34—1.23	0.05—2.36	50
Th($\mu\text{g/l}$)		0.0087—0.048	0.01—0.75	100
Ra(10^{-13}Ci/l)		0.37—1.37	0.4—18.8	300

学和水化学作用过程的制约。由测定结果看只有源头海洋山的含铀量检出过 $0.05\mu\text{g/l}$ ，与其区域背景值相当^[7]。而多数为 $0.1—0.9\mu\text{g/l}$ ，检出上限达 $2.4\mu\text{g/l}$ ，比背景下限值高约 50 倍，说明湘江受到了人类活动的影响。

值得注意的是，湘江的放射性污染存在着潜在的威胁。每年都有大量废水排入湘江，大量放射性废渣和废矿石野外堆放，湘江流域贮量丰富放射性水平较高的石煤开采和使用过程中有时会造成放射性污染。因此不可放松管理和治理。

参 考 文 献

- [1] 翟鹏济、康铁奎、张志尧，环境科学，3(2)，6(1982)。
- [2] 中国科学院地球化学所编译简明地球化学手册，51 页，64 页，科学出版社 1981。
- [3] 中国环境学会环境质量评价委员会环境质量评价方法提要第 38 页，长春，吉林人民出版社，1981。
- [4] Adams, John A. S., and Lower, Wayne M., ed, *The Natural Radiation Environment*, P219, Chicago, The Univ. of Chicago Pr., C, 1964.
- [5] Raisbeck, G. M. and Cobble, J. W. *Phys. Rev.*, **153**, 1270 (1967).
- [6] 中华人民共和国国家标准放射防护规定, GB18—74, 第 11—12 页, 北京, 原子能出版社, 1974.
- [7] 高万林等著, 放射性水文地球化学找矿, 北京, 原子能出版社, 1980.

北京市城区大气可吸入颗粒物中多环芳烃的分布规律

洪伟雄 全文熠 田德海 黄玲玲 张婴奇 马 丹 赵振华

(北京市环境保护科学研究所)

目前，国内外的研究工作已经证明致癌性多环芳烃 (PAH) 化合物在大气悬浮颗粒物中的分布与其粒径密切相关^[1,2]；不同粒径的颗粒进入人体呼吸系统的位置不同^[3,4]，对人体造成的危害也不同，一般说来，粒径越小，对人体健康危害程度越大，大于 15 微米的颗粒不能进入呼吸系统，15 微米的颗粒可阻留在面部鼻腔和咽部，5.0 微米以下的颗粒可进入肺部，1.1 微米以下的颗粒可沉积在肺泡内。

我们对北京市城区大气可吸入颗粒物 (IPM) 中苯并(a)芘 (BaP) 等十多种 PAH

化合物的分布规律进行了较为全面的研究，基本上了解了 PAH 化合物在 IPM 中的分布规律，为研究大气污染对人体健康的危害，为控制和改进北京市大气质量提供了重要的基础数据。

一、实 验

1. 采样点的设置

北京市的四个城区是人口密集，交通拥挤，商业、服务业网点和办事机构集中的地方研究这一地区的大气污染状况具有十分重要的意义。我们在宣武、崇文、东城和西城区各