

## 一、黄河水系放射性水平调查与卫生学评价

### 黄河水系放射性水平调查协作组

黄河为我国第二大河 发源于青海省巴颜喀拉山北麓 海拔 4500 米的雅拉达泽山以东约古宗列盆地。黄河从河源以下沿途汇集了 70 多条支流 穿过高山峡谷 跨过辽阔平原 逐渐形成了波澜壮阔的大河。它流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等 9 个省区，在山东省垦利县注入渤海 流程全长 5464 公里 流域面积为 75.24 万平方公里。

黄河按地理位置及河流特征划分为上、中、下游，从河源到内蒙古自治区托克托县河口镇为上游，河长 3461 公里 流域面积为 37 万平方公里，占全河总流域面积的 49%。汇入的主要支流有洮河、湟水、祖厉河、清水河、大黑河等 年水量为 313 亿立方米 占全河总水量的 55% 而年输沙量只有 1.4 亿吨，占全河年输沙量的 9%。这段河道的特点是：水多沙少，河水较清，流量均匀，比降大，峡谷多，水力资源丰富。

从河口镇到河南省郑州市桃花峪为中游，河长 1235 公里 流域面积为 36 万平方公里，占全河总流域面积的 48%。汇入的主要支流有窟野河、无定河、延河、汾河、北洛河、泾河、渭河、伊洛河、沁河等。年水量为 247 亿立方米，占全河总水量的 44% 而年输沙量为 15 亿吨，占全河年输沙量的 90%。这段河流的特点是：暴雨强度大，历时短，洪峰高，水位陡涨陡落，是下游洪水泥沙的主要来源区。

从桃花峪到山东省垦利县为下游，河长 768 公里 流域面积为 2.27 万平方公里，占全河总流域面积的 3%。主要支流有金堤河、大汶河、玉符河等。这段河流的特点是：河道比较平稳，宽浅散乱，泥沙淤积严重，河床逐年升高，一般高出两岸地面 3~5 米 有的高达 10 米 成为世界上著名的“地上河”。

黄河流域地域辽阔，气候变化很大，降水量在时间分配上有明显差别，每年 6~10 月的降水量占全年降水量的 65~80%，形成了明显的洪水。年平均降水量约为 3600 亿立方米 年平均输沙量为 16 亿吨，是世界上著名的多泥沙河流，一年之中约 60% 的水量和 80% 的沙量都集中在汛期。以花园口为例，年平均径流量为 560 亿立方米，年平均输沙量为 16 亿吨。由于黄河的水流量和沙量年际变化较大，据记载花园口最大年径流量是 1964 年的 861.1 亿立方米 最小年径流量为 1960 年的 201.2 亿立方米，其大小径流量的比值为 4.28

比 1;最大年输沙量为 1958 年的 27.8 亿吨 最小年输沙量为 1961 年的 4.43 亿吨 其大小输沙量的比值为 6.28 比 1<sup>[1]</sup>。

黄河流域内有耕地 2.7 亿亩 总人口 1.3 亿,沿河居民使用黄河水系水包括生活、工业、灌溉和养殖用水等。由于工业城市废污水向黄河水系的排放,以及黄河流域农田农药和化肥用量的增加,使黄河水系的水质污染日趋严重。据有关专家测算,黄河全流域工业及城镇废污水年排放量达 21.2 亿吨 工业废渣及生活垃圾近 4100 万吨,农药及化肥年施用量分别为 3.75 万吨和 690 万吨。从黄河干支流各河段水质评价看,干流兰州和包头两河段水质已下降为三级,支流湟水西宁以下,汾河太原以下,大黑河呼和浩特以下,渭河宝鸡以下 伊洛河洛阳以下 大汶河莱芜以下等六个河段 水质仅为四至五级 污染已十分严重<sup>[2]</sup>。随着核工业的发展和核技术的广泛应用,一些放射性物质也在向黄河水系排放,黄河水系也面临着放射性污染的问题。为确保黄河流域居民用水安全,有必要调查黄河水系的放射性水平和波动范围,了解水中放射性物质的分布特点和地区差异,并做出卫生学评价,为今后制定黄河水系水体的保护规划以及环境标准的制定和修改提供科学依据。在黄河小浪底水电工程大坝合龙之前进行黄河水系放射性水平的全面调查,对今后黄河水系的质量评价也有重要的参考价值。

## 1. 黄河水系放射性水平的调查内容

对黄河水系的调查着重于基础性调查,也就是了解黄河水系放射性物质活度的基本情况。对黄河水系监测性调查也是本次调查的组成部分,结合废物废水排放到黄河水系的选择性定位调查,了解废物废水中有无明显影响黄河水系水质的放射性物质,以及其在水中的活度和在黄河水系中的分布及迁移情况。根据对黄河水系中的放射性物质调查目的和要求,结合黄河水系的地理特点和污染源的排放情况,参照黄河水利委员会对黄河水系水质的监测布点以及过去对部分地区黄河水中的放射性物质调查资料,在黄河水系干流、支流和与之沟通的湖泊和水库设调查点 66 个 其中干流 28 个 支流 31 个 湖泊和水库 7 个(表 1、图 1)。1992 年在黄河水系 3~5 月枯水期和 7~10 月丰水期各采样 1 次 共采集 311 个样品 其中水样品 126 个 水沉淀样品 55 个 河底泥样品 110 个 岸边土壤样品 10 个 鲤鱼样品 10 个。分析测量项目有总  $\alpha$ 、总  $\beta$ 、<sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs、U、Th、<sup>226</sup>Ra、<sup>3</sup>H、<sup>40</sup>K、<sup>210</sup>Po、<sup>210</sup>Pb 共计得 3 万多个分析测量原始数据。

## 2. 样品采集和分析测量方法

### (1) 样品采集

在水流混合得近均匀的地方采取河断面水面下 0.5 米处水样,采样点若

设在黄河干流和支流汇合口或城镇污物和污水排入河流口附近时，一般应在汇合口或排入口上游或下游 20~40 倍于河宽处分别采集水样。各河断面设采样点多少视河流宽度而定，一般设 3~5 个采样点 即河轴心一点 两边距河岸 10 米以外各设 1 个或 2 个采样点，较小的河流在河流的轴心采样，在采水样的同时采集河断面的底泥。对湖泊和水库水用“S”型采样法，即在“S”型线上等距离采取水面下 0.5 米处多个水样和底泥，岸边土壤采用梅花型取样，鱼

表 1 黄河水系采样地点和编号

编号	名称	采样地点	编号	名称	采样地点
	黄河	玛曲县城		窟野河	神木县城边
1	黄河	兴海县唐乃亥	34	黄河	吴堡县城边
2	龙羊峡水库	共和县龙羊峡水库	35	无定河	绥德县城边
3	黄河	贵德县大桥	36	延河	延安市李渠
4	隆务河	尖扎县隆务河口	37	黄河	河津县禹门口
5	黄河	循化县积石桥	38	黄河	万荣县秦村
6	大通河	互助县连城	39	汾河	河津县柴村
7	湟水	民和县享堂	40	北洛河	黄陵县交口
8	庄浪河	永登县红崖子	41	黄河	大荔县朝邑
9	刘家峡水库	刘家峡水库	42	黄河	潼关县港口
10	黄河	兰州市西固	43	渭河	咸阳市
11	黄河	兰州市东岗	44	泾河	泾阳县寨头
12	大夏河	临夏市折桥	45	渭河	高陵县耿镇
13	洮河	临洮县红旗	46	渭河	宝鸡县虢镇
14	祖厉河	靖远	47	渭河	天水市
15	黄河	靖远县安宁渡	48	汾河	太原市上兰村
16	黄河	中卫县下河沿	49	汾河	太原市小店镇
17	清水河	中宁	50	三门峡水库	三门峡水库
18	青铜峡水库	青铜峡水库	51	洛河	宜阳
19	苦水河	灵武	52	黄河	济源县小浪底
20	黄河	吴中市叶盛大桥	53	伊河	洛阳市龙门镇
21	黄河	青铜峡水文站	54	伊洛河	巩县黑石关
22	黄河	石嘴山市大桥	55	沁河	武陟
23	黄河	巴彦高勒大桥	56	黄河	郑州市花园口
24	乌加河	巴彦淖尔盟宏丰渡槽	57	黄河	兰考县东坝头
25	乌梁素海	乌梁素海	58	黄河	东平县孙口
26	黄河	乌拉特前旗三湖河口	59	金堤河	范县
27	黄河	包头市昭君坟渡口	60	东平湖	东平湖
28	黄河	包头市公路大桥	61	大汶河	东平县陈山口
29	南海	包头市南海公园	62	大汶河	泰安市大汶口
30	大黑河	呼和浩特市东大桥	63	黄河	东阿县艾山
31	黄河	托克托县头道拐	64	黄河	济南市洛口
32	浑河	清水河县当阳桥	65	黄河	利津县水文站
33			66		

在秋季采集 1 次。

### (2) 样品预处理

采集的水样放置在洗净的玻璃缸中待泥沙自然沉淀完全，每个水样取出做总  $\alpha$  和总  $\beta$  活度测量用水 10 升 蒸发浓缩至干 高温 450℃ 灼烧。每个水样取水 100 毫升 供分析测定 U、 $^3\text{H}$ 、 $^{40}\text{K}$  用。每个水样再分别取出做  $^{210}\text{Po}$  和  $^{210}\text{Pb}$  用水 2 份 每份 20 升 各加入 5 毫升浓盐酸，加热浓缩到 500 毫升左右。剩余水样加入浓硝酸调 PH=1~2 保存 供  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、Th 和  $^{226}\text{Ra}$  分析测量用。水中自然沉淀的悬浮物离心，弃上清液，水沉淀和河底泥 110℃ 烘干 研碎，60 目过筛。鲜鲤鱼去鳞、鳍、鳃和内脏，用蒸煮法将肉和骨分开，烘干，450℃ 灰化 备分析测量用。

### (3) 分析方法

黄河水系各种样品的总  $\alpha$ 、总  $\beta$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、U、Th、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{40}\text{K}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$  放射化学分析测量方法采用国家颁布的标准方法和国内通用的经典方法<sup>[3,4,5]</sup>，各种核素的分析测量方法，使用的测量仪器和仪器的探测下限，见表 2。

表 2 各监测项目的分析测量方法

项目	样品	分析测量方法	探测仪器	仪器探测下限
总 $\alpha$	水样	蒸干—相对饱和法		
	水沉淀 鱼样 底泥	相对饱和法	FJ-322 低本底测量装置 BH1216 低本底测量装置	$4.5 \times 10^{-4} \text{Bq}$
总 $\beta$	水样			
	水沉淀 鱼样 底泥	相对饱和法 (以 KCl 为标准源)	PH1914 低本底测量装置 FJ-2603 $\alpha\beta$ 弱放射性测量装置	$4.0 \times 10^{-4} \text{Bq}$
$^{90}\text{Sr}$	水样 水沉淀 鱼样 底泥	硫酸盐—EDTA 络合 沉淀法	FJ-2603 $\alpha\beta$ 弱放射性测量装置	$4.0 \times 10^{-4} \text{Bq}$
$^{137}\text{Cs}$	水样			
	水沉淀 鱼样 底泥	AMP 吸附，碘铋酸铯 沉淀法 $\gamma$ 谱法	FJ-2603 $\alpha\beta$ 弱放射性测量装置 $\gamma$ 谱仪	$4.0 \times 10^{-4} \text{Bq}$
U	水样			
	水沉淀 鱼样 底泥	激光荧光法 $\gamma$ 谱法	WGJ- I 型激光铀分析仪 WGJ- II 型激光铀分析仪 $\gamma$ 谱仪	$1.3 \times 10^{-10} \text{Bq}$
Th	水样			
	水沉淀 鱼样 底泥	离子交换分光光度法 $\gamma$ 谱法	722 光栅分光光度计 $\gamma$ 谱仪	$2 \times 10^{-4} \text{Bq}$

续表 2 各监测项目的分析测量方法

项目	样品	分析测量方法	探测仪器	仪器探测下限
<sup>226</sup> Ra	水样	硫酸钡共沉淀射气法	FD-125 型钍、铀分析仪	$1.8 \times 10^{-3}$ Bq
	水沉淀 鱼样	碱熔硫酸盐共沉淀射 气法		
	底泥	γ 谱法	γ 谱仪	
<sup>3</sup> H	水样	电解浓集—液闪测量法	低本底液体闪烁计数器	$2.0 \times 10^{-2}$ Bq
<sup>40</sup> K	水样	四苯硼钠沉淀法	180-80 原子吸收分光光度仪	$3.7 \times 10^{-3}$ Bq
	水沉淀 鱼样	火焰光度法		
	底泥	γ 谱法	γ 谱仪	
<sup>210</sup> Po	水样	银片自沉积联合测定法	BH1216 低本底测量装置	$1.7 \times 10^{-2}$ Bq
<sup>210</sup> Pb	水样	银片自沉积联合测定法	BH1216 低本底测量装置	$1.1 \times 10^{-2}$ Bq

#### (4) 质量保证

质量控制贯穿于黄河水系放射性水平调查的各个环节，其中采样点选择，样品采集方法，样品处理方法和样品分析测量方法已于前述。样品中核素分析方法都参加过全国组织的比对分析测量试验，各种核素的比对结果都在参加单位平均值的 2 个标准差以内。根据所用测量仪器的质量、样品的活度和本底计数率的波动范围确定了各种核素的分析误差（表 3）和 γ 谱仪分析误差（表 4）控制范围（99.0% 置信度）

表 3 黄河水系样品分析误差

项目	分析误差	项目	分析误差	项目	分析误差
总 α	35%	U	20%	<sup>3</sup> H	10%
总 β	30%	Th	30%	<sup>210</sup> Po	30%
<sup>90</sup> Sr	35%	<sup>226</sup> Ra	30%	<sup>210</sup> Pb	30%
<sup>137</sup> Cs	35%	<sup>40</sup> K	15%		

表 4 黄河水系底泥 γ 能谱仪分析误差

项目	分析误差	项目	分析误差	项目	分析误差
<sup>238</sup> U	30%	<sup>226</sup> Ra	20%	<sup>137</sup> Cs	20%
<sup>232</sup> Th	20%	<sup>40</sup> K	10%		

除各省区参加单位负责样品的总 α、总 β 和部分样品中的 <sup>40</sup>K 分析测量外，各种样品都集中进行分析测量，制定统一的数据记录表格和审核制度，样品的总 α、总 β 和放射化学分析测量的核素均取二个平行样。调查中发现祖厉河水中总 α 比活度明显偏高，其中河水中 <sup>226</sup>Ra 比活度略高于其他河流。据了解祖厉河水中总 α 比活度较高的原因与该河水的矿化程度很高有关，河水蒸干后的残渣比其他河水的残渣高 1~2 个数量级，历来该河水既不能饮用，也不能

用于灌溉，故应用数理统计学原理，在写总结材料进行数据计算处理时剔除了祖厉河水中总  $\alpha$  比活度明显偏高的数据。并对祖厉河水又进行了连续两年的总  $\alpha$  比活度测量验证，结果表明其比活度与本次 1992 年调查结果相接近。采用环境监测常用统计方法<sup>[6]</sup> 输入 Lco530A 微型计算机进行数据计算处理。

### 3. 结果分析

#### (1 黄河水系水中放射性水平 附表 1、2、3 续附表 1、2、3)

黄河水系水中总  $\alpha$  平均比活度为  $13.97 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  比国家规定的饮用水限值  $0.1 \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  稍高<sup>[7]</sup>，比 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中总  $\alpha$  平均比活度  $5.92 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $6.9 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  都高<sup>[8,9]</sup>。接近美国纽约州赫得森河水中总  $\alpha$  比活度  $11.1 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[10]</sup>，比芬兰未处理饮用水中总  $\alpha$  比活度  $5.18 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  高 1 倍多<sup>[11]</sup>。黄河水系水中总  $\alpha$  比活度范围是  $0.30 \sim 45.60) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ ，比 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中总  $\alpha$  比活度范围  $(1.04 \sim 27.75) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $(1.1 \sim 27.4) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  都大<sup>[8,9]</sup>，低于哥伦比亚河 里多特段 水中总  $\alpha$  比活度范围  $(0 \sim 130) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[12]</sup>，但高于美国纽约州赫得森河水中总  $\alpha$  比活度范围  $(3.7 \sim 18.5) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和斯洛伐克境内多瑙河水中总  $\alpha$  比活度范围  $(5.18 \sim 9.62) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 5)<sup>[10,13]</sup>。统计学检验表明，黄河支流水中总  $\alpha$  平均比活度非常显著地大于干流水，分别为  $17.49 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $11.61 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 6)。黄河水系枯水期水中总  $\alpha$  平均比活度非常显著地大于丰水期水，分别为  $15.42 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $12.47 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 7)。

表 5 黄河水系水中放射性水平

项 目	样品数	范 围	均值 $\pm$ 标准误	
总 $\alpha$	$\times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	118	0.30~45.60	$13.97 \pm 1.78$
总 $\beta$	$\times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	126	0.22~17.80	$2.25 \pm 0.26$
$^{90}\text{Sr}$	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	122	0.71~38.40	$10.06 \pm 0.05$
$^{137}\text{Cs}$	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	119	0.02~6.66	$1.31 \pm 0.01$
U	$\times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	126	0.18~24.51	$8.83 \pm 0.33$
Th	$\times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	126	0.73~12.88	$3.58 \pm 0.01$
$^{226}\text{Ra}$	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	126	0.47~6.70	$1.90 \pm 0.01$
$^3\text{H}$	$\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	119	1.50~9.40	$4.73 \pm 0.01$
$^{40}\text{K}$	$\times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	125	0.27~6.74	$1.71 \pm 0.07$
$^{210}\text{Po}$	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	90	0.27~31.68	$4.62 \pm 0.06$
$^{210}\text{Pb}$	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	90	0.38~3.40	$1.08 \pm 0.01$

表 6

黄河水系水中放射性水平

项 目	干 流		支 流		湖泊和水库	
	样品数	均值 ± 标准误	样品数	均值 ± 标准误	样品数	均值 ± 标准误
总 $\alpha$ $\times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	55	11.61 ± 1.28	51	17.49 ± 1.46	12	9.86 ± 2.64
总 $\beta$ $\times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	56	1.98 ± 0.24	57	2.66 ± 0.33	13	1.64 ± 0.40
$^{90}\text{Sr}$ $\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	56	9.83 ± 0.08	53	9.38 ± 0.11	13	13.81 ± 0.77
$^{137}\text{Cs}$ $\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	56	1.23 ± 0.02	52	1.38 ± 0.03	11	1.34 ± 0.12
U $\times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	56	9.35 ± 0.07	57	8.91 ± 0.08	13	6.24 ± 0.21
Th $\times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	56	3.55 ± 0.03	57	3.72 ± 0.03	13	3.11 ± 0.12
$^{226}\text{Ra}$ $\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	56	2.16 ± 0.01	57	1.62 ± 0.01	13	1.98 ± 0.06
$^3\text{H}$ $\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	56	5.23 ± 0.01	55	4.15 ± 0.03	8	5.19 ± 0.45
$^{40}\text{K}$ $\times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	56	1.43 ± 0.01	56	2.00 ± 0.02	13	1.65 ± 0.06
$^{210}\text{Po}$ $\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	42	4.35 ± 0.11	38	5.38 ± 0.17	10	2.92 ± 0.28
$^{210}\text{Pb}$ $\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	42	1.05 ± 0.01	38	1.15 ± 0.02	10	0.89 ± 0.05

黄河水系水中总  $\beta$  平均比活度为  $2.25 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  ,比 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中总  $\beta$  平均比活度  $1.04 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.06 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  高 1 倍多<sup>[8,9]</sup> ,也比 1981 年珠江水系水和 1982 年松花江水系水中总  $\beta$  比活度  $1.14 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.09 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  高 1 倍多<sup>[14,15]</sup> 但低于 1976 年斯洛伐克布拉迪斯发多瑙河水中总  $\beta$  比活度  $4.29 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[13]</sup> 却高于 1976 年贝尔格莱德萨凡河水中总  $\beta$  比活度  $1.52 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[16]</sup>。黄河水系水中总  $\beta$  比活度范围为  $(0.22 \sim 17.80) \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  ,与 1979~1980 年长江水系水中总  $\beta$  比活度范围  $(0.14 \sim 11.84) \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  相接近<sup>[8]</sup> ,比 1984 年长江水系水中总  $\beta$  比活度范围  $(0.41 \sim 2.99) \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  大<sup>[9]</sup> ,比 1981~1987 年松花江水系水中总  $\beta$  比活度范围  $(0.60 \sim 3.40) \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和芬兰 1977 年全国未处理水中总  $\beta$  比活度范围  $(0.37 \sim 11.1) \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  也都大(表 5)<sup>[11,14]</sup>。黄河水系干流水中总  $\beta$  平均比活度位于支流水和湖泊水库水之间,依次分别为  $1.98 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2.66 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.64 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 6)。统计学检验表明,黄河水系枯水期水中总  $\beta$  平均比活度非常显著地大于丰水期水,分别为  $2.52 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.00 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 7)。

黄河水系水中 $^{90}\text{Sr}$  平均比活度为  $10.06 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  ,与 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中 $^{90}\text{Sr}$  平均比活度  $9.99 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $13.7 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  相接近<sup>[8,9]</sup> 其值大于 1978 年日本淡水中 $^{90}\text{Sr}$  比活度  $7.62 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和 1980 年哥伦比亚河水中 $^{90}\text{Sr}$  平均比活度  $8.14 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[17,18]</sup> 但低于南斯拉夫泽蒙市多脑河水中 $^{90}\text{Sr}$  比活度  $25.9 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[16]</sup> ,比 1983 年珠江水系水中 $^{90}\text{Sr}$

平均比活度  $5.8 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  高<sup>[14]</sup>。黄河水系水中<sup>90</sup>Sr 比活度范围为  $0.71 \sim 38.40) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  ,比 1979~1980 年长江水系水中<sup>90</sup>Sr 比活度范围  $2.96 \sim 29.23) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  大<sup>[8]</sup> 与世界大陆河流水中<sup>90</sup>Sr 比活度范围上限相接近, 但比下限低, 其比活度范围是  $3.7 \sim 37) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 5)<sup>[19]</sup>。黄河水系枯水期水中<sup>90</sup>Sr 平均比活度和丰水期水相接近, 分别为  $10.99 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $9.19 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 7)。

表 7 黄河水系枯水期和丰水期水中放射性水平

项 目	枯 水 期		丰 水 期		
	样品数	均值 ± 标准误	样品数	均值 ± 标准误	
总 α	$\times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	60	$15.42 \pm 0.97$	58	$12.47 \pm 1.58$
总 β	$\times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	62	$2.52 \pm 0.31$	64	$2.00 \pm 0.22$
<sup>90</sup> Sr	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	59	$10.99 \pm 0.14$	63	$9.19 \pm 0.12$
<sup>137</sup> Cs	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	57	$1.58 \pm 0.03$	62	$1.05 \pm 0.02$
U	$\times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	62	$8.66 \pm 0.09$	64	$8.99 \pm 0.09$
Th	$\times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	62	$3.53 \pm 0.04$	64	$3.63 \pm 0.03$
<sup>226</sup> Ra	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	62	$1.70 \pm 0.02$	64	$2.09 \pm 0.02$
<sup>3</sup> H	$\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	59	$4.87 \pm 0.04$	60	$4.59 \pm 0.03$
<sup>40</sup> K	$\times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	61	$1.63 \pm 0.02$	64	$1.78 \pm 0.02$
<sup>210</sup> Po	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	45	$6.14 \pm 0.18$	45	$3.11 \pm 0.07$
<sup>210</sup> Pb	$\times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	45	$1.17 \pm 0.02$	45	$0.98 \pm 0.02$

黄河水系水中<sup>137</sup>Cs 平均比活度为  $1.31 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  是世界大陆河流水中<sup>137</sup>Cs 平均比活度  $2.96 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  的二分之一<sup>[19]</sup> 但明显高于 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中<sup>137</sup>Cs 平均比活度以及 1980 年哥伦比亚河水中<sup>137</sup>Cs 平均比活度, 依次分别为  $0.24 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.50 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.37 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[8,9,18]</sup> 不到 1982 年黄河水系水中<sup>137</sup>Cs 平均比活度  $5.92 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  的四分之一<sup>[14]</sup>。黄河水系水中<sup>137</sup>Cs 比活度范围比 1984 年长江水系水中<sup>137</sup>Cs 比活度范围大, 分别为  $(0.02 \sim 6.66) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $(0.03 \sim 2.71) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[9]</sup> 与世界大陆河流水中<sup>137</sup>Cs 比活度范围上限相接近, 但比下限低, 其比活度范围是  $(1.85 \sim 7.77) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 5)<sup>[19]</sup>。黄河水系干流水、支流水和湖泊水库水中<sup>137</sup>Cs 平均比活度较为接近, 依次分别为  $1.23 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.38 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.34 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 6)。统计学检验表明, 黄河水系枯水期水中<sup>137</sup>Cs 平均比活度非常显著地大于丰水期水, 分别为  $1.58 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和

$1.05 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 7)。

黄河水系水中 U 平均比活度是  $8.83 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  , 为 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中 U 平均比活度  $2.03 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.34 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  的 3~4 倍<sup>[8,9]</sup> , 也高于日本十大河流水中 U 平均比活度  $1.45 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和世界大陆河水中 U 平均比活度  $2.54 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[20~22]</sup>。黄河水系水中 U 比活度范围为  $(0.18 \sim 24.51) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  与 1980 年北京地区地表水中 U 比活度范围  $(0.76 \sim 20.29) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  相接近<sup>[23]</sup> , 在世界淡水中 U 比活度范围  $(0.06 \sim 508.00) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[24~26]</sup> 以内, 比北美河水中 U 比活度范围  $(0.04 \sim 0.10) \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  高(表 5)<sup>[27]</sup>。黄河水系干流水中 U 平均比活度和支流水相接近 分别为  $9.35 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $8.91 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 6)。黄河水系枯水期中 U 平均比活度和丰水期水非常接近, 分别是  $8.66 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $8.99 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 7)。

黄河水系水中  $\text{Th}$  平均比活度为  $3.58 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  , 低于 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中  $\text{Th}$  平均比活度  $6.06 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $6.46 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[8,9]</sup> 比世界大陆河水中  $\text{Th}$  平均比活度  $0.8 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  高 3 倍多<sup>[21,22]</sup> , 但低于日本十大河流水中  $\text{Th}$  平均比活度  $10.9 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[20,21]</sup> , 高于 1979 年意大利 4 条主要河流水中  $\text{Th}$  平均比活度  $1.70 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[28]</sup>。黄河水系水中  $\text{Th}$  比活度范围是  $(0.73 \sim 12.88) \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  , 小于 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中  $\text{Th}$  比活度范围, 分别为  $(1.2 \sim 23.8) \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $(0.8 \sim 43.6) \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 5)<sup>[8,9]</sup> , 黄河水系干流水、支流水和湖泊水库水中  $\text{Th}$  平均比活度相接近, 依次分别为  $3.55 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $3.72 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $3.11 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 6)。黄河水系枯水期中  $\text{Th}$  平均比活度和丰水期水非常接近 分别是  $3.53 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $3.63 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 7)。

黄河水系水中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度为  $1.90 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  , 比 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度  $10.36 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $6.00 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  低<sup>[8,9]</sup> , 也低于世界各大河流水中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度和日本十大河流水中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度 分别为  $2.59 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $3.03 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[20,22]</sup> 但高于英国河水中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度  $0.37 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和美国河水中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度  $1.11 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[20,21]</sup>。黄河水系水中  $^{226}\text{Ra}$  比活度范围是  $(0.47 \sim 6.70) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  , 小于 1979~1980 年和 1984 年长江水系水中  $^{226}\text{Ra}$  比活度范围  $(0.74 \sim 36.26) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $(0.40 \sim 25.70) \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 5)<sup>[8,9]</sup>。统计学检验表明, 黄河干流水中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度非常显著的大于支流水, 分别为  $2.16 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.62 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 6)。黄河水系丰水期中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度非常显著的大于枯水期水, 分别为  $2.09 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.70 \times 10^{-3}$

Bq·L<sup>-1</sup>(表 7)。

黄河水系水中<sup>3</sup>H平均比活度为 4.73Bq·L<sup>-1</sup>,比 1984 年长江水系水中<sup>3</sup>H平均比活度 7.70Bq·L<sup>-1</sup>和中国江河水中<sup>3</sup>H平均比活度 10.5Bq·L<sup>-1</sup>低<sup>[9,29]</sup>与日本爱知县三条主要河水中<sup>3</sup>H平均比活度 5.04Bq·L<sup>-1</sup>相接近<sup>[30]</sup>较核试验前淡水中<sup>3</sup>H平均比活度 0.4Bq·L<sup>-1</sup>高 10 倍多<sup>[31]</sup>。黄河水系水中<sup>3</sup>H比活度范围为 1.50~9.40Bq·L<sup>-1</sup>小于 1984 年长江水系水中<sup>3</sup>H比活度范围 1.9~19.2Bq·L<sup>-1</sup><sup>[9]</sup>但高于核试验前淡水中<sup>3</sup>H比活度范围 0.2~0.9Bq·L<sup>-1</sup>(表 5)<sup>[31]</sup>。黄河水系枯水期水中<sup>3</sup>H平均比活度和丰水期水颇为接近,分别为 4.87Bq·L<sup>-1</sup>和 4.59Bq·L<sup>-1</sup>(表 7)。统计学检验表明,黄河水系干流水中<sup>3</sup>H平均比活度显著的大于支流水分别为 5.23Bq·L<sup>-1</sup>和 4.15Bq·L<sup>-1</sup>(表 6)。

黄河水系水中<sup>40</sup>K平均比活度为 1.71×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup>,比 1984 年长江水系水中<sup>40</sup>K平均比活度 0.49×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup>高 2 倍多<sup>[9]</sup>,小于吉林省地表水中<sup>40</sup>K平均比活度 7.5×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup><sup>[32]</sup>。黄河水系水中<sup>40</sup>K比活度范围是(0.27~6.74)×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup>大于 1984 年长江水系水中<sup>40</sup>K比活度范围(0.15~1.28)×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup>(表 5)<sup>[9]</sup>。黄河水系枯水期水中<sup>40</sup>K平均比活度和丰水期水相接近分别为 1.63×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup>和 1.78×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup>(表 7)。统计学检验表明,黄河水系支流水中<sup>40</sup>K平均比活度非常显著地大于干流水,分别为 2.00×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup>和 1.43×10<sup>-1</sup>Bq·L<sup>-1</sup>(表 6)。

黄河水系水中<sup>210</sup>Po平均比活度为 4.62×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>,比 1984 年长江水系水中<sup>210</sup>Po平均比活度 1.78×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>高 1 倍多<sup>[9]</sup>,与福建省江河水中<sup>210</sup>Po平均比活度 4.81×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>相接近<sup>[33]</sup>。黄河水系水中<sup>210</sup>Po比活度范围为(0.27~31.68)×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>,比美国河水中<sup>210</sup>Po比活度范围(0.35~1.85)×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>大(表 5)<sup>[34]</sup>。统计学检验表明,黄河水系枯水期水中<sup>210</sup>Po平均比活度非常显著地大于丰水期水,分别为 6.14×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>和 3.11×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>(表 7)。

黄河水系水中<sup>210</sup>Pb平均比活度为 1.08×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>,比福建省河水中<sup>210</sup>Pb平均比活度 5.82×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>低<sup>[33]</sup>。黄河水系水中<sup>210</sup>Pb比活度范围为(0.38~3.40)×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>比辽宁省河水中<sup>210</sup>Pb比活度范围(0.1~10.7)×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>小(表 5)<sup>[35]</sup>。黄河水系干流水、支流水和湖泊水库水中<sup>210</sup>Pb平均比活度相接近,依次分别为 1.05×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>、1.15×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>和 0.89×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>(表 6)。统计学检验表明,黄河水系枯水期水中<sup>210</sup>Pb平均比活度显著地大于丰水期水分别为 1.17×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>和 0.98×10<sup>-3</sup>Bq·L<sup>-1</sup>(表 7)。

表 8 说明,黄河水系干流中游水中总 α 平均比活度大于上游水和下游水,依次分别为 18.03×10<sup>-2</sup>Bq·L<sup>-1</sup>、9.93×10<sup>-2</sup>Bq·L<sup>-1</sup>和 10.18×10<sup>-2</sup>Bq·L<sup>-1</sup>。黄

河水系干流上游水中总  $\beta$  平均比活度大于中游水和下游水, 依次分别为  $2.22 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.73 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.79 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。黄河水系干流中游水和下游水中 $^{90}\text{Sr}$ 平均比活度都大于上游水, 依次分别为  $13.32 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $13.82 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $7.03 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  黄河水系干流上游水中 $^{137}\text{Cs}$ 平均比活度大于下游水, 下游水又大于中游水, 依次分别为  $1.43 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.15 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.78 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。黄河水系干流中游水和下游水中 U 平均比活度都大于上游水, 依次分别为  $12.81 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $14.26 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $6.22 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  黄河水系干流上游水和中游水中 Th 平均比活度都大于下游水 依次分别为  $3.95 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $4.18 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.84 \times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。黄河水系干流上游水和下游水中 $^{226}\text{Ra}$ 平均比活度都大于中游水, 依次分别为  $2.26 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2.68 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.38 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。黄河水系干流上游水中 $^{210}\text{Po}$ 平均比活度大于中游水和下游水, 依次分别为  $6.28 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2.66 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $2.52 \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 8 黄河干流水中放射性水平

项 目	上 游		中 游		下 游	
	样品数	均值 $\pm$ 标准误	样品数	均值 $\pm$ 标准误	样品数	均值 $\pm$ 标准误
总 $\alpha \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	9.93 $\pm$ 1.39	11	18.03 $\pm$ 0.65	12	10.18 $\pm$ 0.76
总 $\beta \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	2.22 $\pm$ 0.40	12	1.73 $\pm$ 0.01	12	1.79 $\pm$ 0.02
$^{90}\text{Sr} \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	7.03 $\pm$ 0.13	12	13.32 $\pm$ 0.34	12	13.82 $\pm$ 0.35
$^{137}\text{Cs} \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	1.43 $\pm$ 0.04	12	0.78 $\pm$ 0.03	12	1.15 $\pm$ 0.07
U $\times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	6.22 $\pm$ 0.08	12	12.81 $\pm$ 0.13	12	14.26 $\pm$ 0.18
Th $\times 10^{-4} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	3.95 $\pm$ 0.06	12	4.18 $\pm$ 0.10	12	1.84 $\pm$ 0.02
$^{226}\text{Ra} \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	2.26 $\pm$ 0.02	12	1.38 $\pm$ 0.06	12	2.68 $\pm$ 0.06
$^3\text{H} \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	5.36 $\pm$ 0.03	12	5.12 $\pm$ 0.03	12	5.01 $\pm$ 0.02
$^{40}\text{K} \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	32	1.54 $\pm$ 0.02	12	1.18 $\pm$ 0.02	12	1.37 $\pm$ 0.02
$^{210}\text{Po} \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	20	6.28 $\pm$ 0.35	12	2.66 $\pm$ 0.08	10	2.52 $\pm$ 0.13
$^{210}\text{Pb} \times 10^{-3} \text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$	20	0.96 $\pm$ 0.03	12	1.21 $\pm$ 0.04	10	1.04 $\pm$ 0.06

(2)黄河水系水沉淀放射性水平 (附表 4、5 续附表 4、5)

统计学检验表明, 黄河水系水沉淀中总  $\alpha$  平均比活度显著地大于黄河水系水沉淀中总  $\beta$  平均比活度, 分别为  $10.29 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $7.11 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。黄河水系水沉淀中 $^{90}\text{Sr}$ 平均比活度为 $^{137}\text{Cs}$ 平均比活度的 4 倍多 分别为  $13.87 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $3.35 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  黄河水系水沉淀中 U、Th 和 $^{226}\text{Ra}$ 平均比活度处于同一数量级 依次分别为  $3.31 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $6.40 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $4.29 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$

(表 9)。

表 9 黄河水系水沉淀放射性水平

项 目	样品数	范 围	均值 ± 标准误	
总 α	× 10 <sup>2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	55	2.82~18.28	10.29 ± 0.07
总 β	× 10 <sup>2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	55	2.79~11.69	7.11 ± 0.04
<sup>90</sup> Sr	Bq·kg <sup>-1</sup>	47	0.53~78.13	13.87 ± 0.28
<sup>137</sup> Cs	Bq·kg <sup>-1</sup>	47	0.41~16.30	3.35 ± 0.06
U	× 10 <sup>1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	52	0.59~9.43	3.31 ± 0.04
Th	× 10 <sup>1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	52	3.49~11.53	6.40 ± 0.06
<sup>226</sup> Ra	× 10 <sup>1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	52	1.48~12.49	4.29 ± 0.05
<sup>40</sup> K	× 10 <sup>2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	52	0.27~9.84	2.87 ± 0.03

### (3)黄河水系河底沉积物放射性水平 (附表 6、7、8 续附表 6、7、8)

据报道河底部沉积物 (简称底泥) 在水环境放射生态系统中起着重要的作用 [36~38], 所以调查黄河水系底部沉积物中的放射性水平是评价黄河水系状况的一个重要方面。河底沉积物中的放射性物质主要来源于被雨和雪水冲刷进水体的岩石风化物 and 地表泥沙大小不等的颗粒在河底的沉积, 其次是吸收和吸附有放射性物质的生物残骸的沉积。河底沉积物可分为性质不同的暂时性和永久性沉积物两类, 对黄河来讲因为上游和中游水流较快, 河底沉积物主要属于暂时性沉积物, 下游水流缓慢, 河底沉积物主要属于永久性沉积物。

黄河水系底泥中总 α 平均比活度为 8.66 × 10<sup>2</sup> Bq·kg<sup>-1</sup>, 比 1979~1980 年和 1984 年长江水系底泥中总 α 平均比活度 21.28 × 10<sup>2</sup> Bq·kg<sup>-1</sup> 和 15.3 × 10<sup>2</sup> Bq·kg<sup>-1</sup> 都低 [8,9]。黄河水系底泥中总 β 平均比活度为 6.48 × 10<sup>2</sup> Bq·kg<sup>-1</sup> 与 1979~1980 年和 1984 年长江水系底泥中总 β 平均比活度 7.77 × 10<sup>2</sup> Bq·kg<sup>-1</sup> 和 7.57 × 10<sup>2</sup> Bq·kg<sup>-1</sup> 相接近 [8,9]。黄河水系底泥中 <sup>90</sup>Sr 平均比活度比 <sup>137</sup>Cs 平均比活度

表 10 黄河水系底泥中放射性水平

项 目	样品数	范 围	均值 ± 标准误	
总 α	× 10 <sup>2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	110	0.97~21.35	8.66 ± 0.03
总 β	× 10 <sup>2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	110	3.02~10.85	6.48 ± 0.01
<sup>90</sup> Sr	Bq·kg <sup>-1</sup>	109	0.21~40.70	10.32 ± 0.05
<sup>137</sup> Cs	Bq·kg <sup>-1</sup>	110	0.14~15.19	1.32 ± 0.02
<sup>238</sup> U	× 10 <sup>1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	110	0.90~4.57	2.93 ± 0.01
<sup>232</sup> Th	× 10 <sup>1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	110	2.53~13.60	4.41 ± 0.01
<sup>226</sup> Ra	× 10 <sup>1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	110	1.24~4.79	2.92 ± 0.01
<sup>40</sup> K	× 10 <sup>2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	110	1.97~9.94	5.04 ± 0.01

高 6 倍多 分别为  $10.32\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $1.32\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系底泥中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度为  $2.92 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，比地壳中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度  $7.40 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  低 50% 以上(表 10)<sup>[22]</sup>。

统计学检验表明，黄河水系支流底泥中  $^{137}\text{Cs}$  平均比活度显著地大于干流底泥 分别为  $1.34\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $0.80\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系支流底泥中  $^{238}\text{U}$  平均比活度显著地大于干流底泥，分别为  $3.07 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $2.78 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系支流底泥中  $^{232}\text{Th}$  平均比活度显著地大于干流底泥，分别为  $4.75 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $4.01 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 11)。

表 11 黄河水系底泥中放射性水平

项 目	干 流		支 流		湖泊和水库	
	样品数	均值 $\pm$ 标准误	样品数	均值 $\pm$ 标准误	样品数	均值 $\pm$ 标准误
总 $\alpha$	$\times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	56 8.25 $\pm$ 0.05	41	8.49 $\pm$ 0.08	13	10.98 $\pm$ 0.32
总 $\beta$	$\times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	56 6.10 $\pm$ 0.02	41	6.75 $\pm$ 0.05	13	7.23 $\pm$ 0.18
$^{90}\text{Sr}$	$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	55 10.49 $\pm$ 0.11	41	10.19 $\pm$ 0.14	13	10.05 $\pm$ 0.48
$^{137}\text{Cs}$	$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	56 0.80 $\pm$ 0.01	41	1.34 $\pm$ 0.06	13	3.48 $\pm$ 0.39
$^{238}\text{U}$	$\times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	56 2.78 $\pm$ 0.01	41	3.07 $\pm$ 0.02	13	3.13 $\pm$ 0.07
$^{232}\text{Th}$	$\times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	56 4.01 $\pm$ 0.01	41	4.75 $\pm$ 0.04	13	5.05 $\pm$ 0.12
$^{226}\text{Ra}$	$\times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	56 2.83 $\pm$ 0.01	41	2.94 $\pm$ 0.02	13	3.22 $\pm$ 0.08
$^{40}\text{K}$	$\times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$	56 4.90 $\pm$ 0.01	41	5.14 $\pm$ 0.04	13	5.31 $\pm$ 0.13

黄河水系干流上游底泥中总  $\alpha$  平均比活度大于中游底泥，中游底泥又大于下游底泥，依次分别为  $10.00 \times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $7.66 \times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $4.17 \times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系干流下游底泥中总  $\beta$  平均比活度大于上游底泥，分别为  $7.70 \times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $5.38 \times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系干流中游底泥中  $^{90}\text{Sr}$  平均比活度大于上游底泥和下游底泥，依次分别为  $12.76 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $9.86 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $9.83\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系干流上游底泥和下游底泥中  $^{137}\text{Cs}$  平均比活度都大于中游底泥 依次分别为  $0.88 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.80 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $0.59 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系干流上游底泥和下游底泥中  $^{238}\text{U}$  平均比活度都大于中游底泥，依次分别为  $2.85 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $2.85 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $2.51 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系干流上游底泥中  $^{226}\text{Ra}$  平均比活度大于中游底泥，分别为  $2.90 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $2.68 \times 10^1\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系干流中游底泥和下游底泥中  $^{40}\text{K}$  平均比活度都大于上游底泥 依次分别为  $5.22 \times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $5.20 \times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $4.68 \times 10^2\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 12)。

统计学检验表明，黄河水系枯水期底泥中  $^{137}\text{Cs}$  平均比活度显著的大于丰水期底泥 分别为  $1.80\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和  $0.85\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。黄河水系丰水期底泥中  $^{226}\text{Ra}$

平均比活度显著的大于枯水期底泥，分别为  $3.01 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $2.82 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，黄河水系枯水期底泥中  $^{40}\text{K}$  平均比活度非常显著的大于丰水期底泥，分别为  $5.22 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $4.86 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  (表 13)。

表 12 黄河干流底泥中射性水平

项 目	上 游		中 游		下 游	
	样品数	均值 ± 标准误	样品数	均值 ± 标准误	样品数	均值 ± 标准误
总 $\alpha$ $\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	32	10.00 ± 0.34	12	7.66 ± 0.16	12	4.17 ± 0.27
总 $\beta$ $\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	32	5.38 ± 0.02	12	6.44 ± 0.04	12	7.70 ± 0.07
$^{90}\text{Sr}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	31	9.86 ± 0.24	12	12.76 ± 0.31	12	9.83 ± 0.28
$^{137}\text{Cs}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	32	0.88 ± 0.02	12	0.59 ± 0.03	12	0.80 ± 0.04
$^{238}\text{U}$ $\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	32	2.85 ± 0.01	12	2.51 ± 0.04	12	2.85 ± 0.04
$^{232}\text{Th}$ $\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	32	3.93 ± 0.01	12	4.20 ± 0.08	12	4.04 ± 0.06
$^{226}\text{Ra}$ $\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	32	2.90 ± 0.01	12	2.68 ± 0.03	12	2.77 ± 0.02
$^{40}\text{K}$ $\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	32	4.68 ± 0.01	12	5.22 ± 0.02	12	5.20 ± 0.02

表 13 黄河水系枯水期和丰水期底泥中放射性水平

项 目	枯 水 期		丰 水 期	
	样品数	均值 ± 标准误	样品数	均值 ± 标准误
总 $\alpha$ $\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	54	8.42 ± 0.26	56	8.90 ± 0.21
总 $\beta$ $\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	54	6.15 ± 0.11	56	6.79 ± 0.11
$^{90}\text{Sr}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	53	10.64 ± 0.23	56	10.03 ± 0.22
$^{137}\text{Cs}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	54	1.80 ± 0.41	56	0.85 ± 0.26
$^{238}\text{U}$ $\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	54	2.90 ± 0.05	56	2.95 ± 0.05
$^{232}\text{Th}$ $\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	54	4.30 ± 0.09	56	4.52 ± 0.09
$^{226}\text{Ra}$ $\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	54	2.82 ± 0.06	56	3.01 ± 0.06
$^{40}\text{K}$ $\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	54	5.22 ± 0.11	56	4.86 ± 0.09

#### (4) 黄河水系河岸土壤放射性水平 (附表 9、续附表 9)

黄河水系河岸土壤中总  $\alpha$  平均比活度大于总  $\beta$  平均比活度，分别为  $10.04 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $7.07 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。黄河水系河岸土壤中  $^{90}\text{Sr}$  平均比活度大于汉江两岸土壤中  $^{90}\text{Sr}$  平均比活度和湘江两岸与洞庭湖区土壤中  $^{90}\text{Sr}$  平均比活度依次分别为  $10.06 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.73 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $1.56 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  [39,40]。黄河水系河岸土壤中  $^{137}\text{Cs}$  平均比活度为  $0.69 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  比我国陆地土壤中  $^{137}\text{Cs}$  平均比活度  $10.15 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  低 [41]，也低于汉江沿岸土壤中  $^{137}\text{Cs}$  平均比活度  $1.78 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  [39]。黄河水系河岸土壤中  $^{137}\text{Cs}$  比活度范围为  $0.15 \sim 1.72 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  远远低于美国橡树岭泛洪平原土壤中  $^{137}\text{Cs}$  比活度范围  $0.74 \sim 2.22 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  [42] 也低于我国台湾省土壤中  $^{137}\text{Cs}$  比活度范围  $1.9 \sim 11.1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  [43]。黄河水系河岸土壤中  $^{238}\text{U}$  平均比活度比我国陆地土壤中  $^{238}\text{U}$  平均比活度低 分别为  $2.81 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $3.85 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  [41]。黄河水系河岸土壤中  $^{238}\text{U}$  平均比活度和范围与世界土壤中  $^{238}\text{U}$  平均比活度和范围相接近，分别为  $2.81 \times 10^1 (1.50 \sim 3.80) \times$

$10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $2.50 \times 10^1 (1.0 \sim 5.0) \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[44]</sup>。黄河水系河岸土壤中<sup>232</sup>Th 平均比活度比我国陆地土壤中<sup>232</sup>Th 平均比活度也低, 分别为  $3.94 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $5.46 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[41]</sup>。黄河水系河岸土壤中<sup>232</sup>Th 平均比活度与范围也与世界土壤中<sup>232</sup>Th 平均比活度和范围相接近, 分别为  $3.94 \times 10^1 (2.40 \sim 5.84) \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $2.5 \times 10^1 (0.7 \sim 5.0) \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[44]</sup>。黄河水系河岸土壤中<sup>226</sup>Ra 平均比活度比我国陆地土壤中<sup>226</sup>Ra 平均比活度低, 分别为  $2.72 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $3.76 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[41]</sup>, 也低于美国 1975 年公布的土壤中<sup>226</sup>Ra 背景值  $7.7 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[45]</sup>。黄河水系河岸土壤中<sup>40</sup>K 平均比活度与我国陆地土壤中<sup>40</sup>K 平均比活度和汉江两岸土壤中<sup>40</sup>K 平均比活度相接近, 依次分别为  $5.64 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $5.84 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $5.46 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[39, 41]</sup>, 但大于世界土壤中<sup>40</sup>K 平均比活度  $3.70 \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[44]</sup>, 黄河水系河岸土壤中<sup>40</sup>K 比活度范围为  $(4.98 \sim 6.57) \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 与莫斯科土壤中<sup>40</sup>K 比活度范围  $(5.93 \sim 7.78) \times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  相接近(表 14)。<sup>[46]</sup>

表 14 黄河水系河岸土壤中放射性水平

项 目	样品数	范 围	均值 ± 标准误	
总 α	$\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	10	6.30~18.56	10.04 ± 0.88
总 β	$\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	10	6.06~9.45	7.07 ± 0.61
<sup>90</sup> Sr	$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	10	8.00~12.64	10.06 ± 0.87
<sup>137</sup> Cs	$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	10	0.15~1.72	0.69 ± 0.06
<sup>238</sup> U	$\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	10	1.50~3.80	2.81 ± 0.25
<sup>232</sup> Th	$\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	10	2.40~5.84	3.94 ± 0.34
<sup>226</sup> Ra	$\times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	10	1.35~3.75	2.72 ± 0.24
<sup>40</sup> K	$\times 10^2 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	10	4.98~6.57	5.64 ± 0.49

(5) 黄河水系鲤鱼放射性水平 (附表 10、续附表 10)

黄河水系鲤鱼肉中总 β 平均比活度比总 α 平均比活度高 1 个数量级 分别为  $4.30 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $1.68 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。黄河水系鲤鱼肉中<sup>90</sup>Sr 平均比活度大于长江水系干流鲤鱼肉中<sup>90</sup>Sr 平均比活度, 分别为  $1.15 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $0.43 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[47]</sup>。黄河水系鲤鱼肉中<sup>137</sup>Cs 平均比活度也大于长江水系干流鲤鱼肉中<sup>137</sup>Cs 平均比活度, 分别为  $3.04 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $1.58 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[47]</sup>。黄河水系鲤鱼肉中 U 平均比活度为江西省淡水中鲤鱼肉中 U 平均比活度的 5 倍 分别为  $1.85 \times 10^{-1} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $3.7 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[48]</sup>。黄河水系鲤鱼肉中 Th 平均比活度与河南省淡水中鲤鱼肉中 Th 比活度相接近, 分别为  $3.10 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $3.72 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[49]</sup>。黄河水系鲤鱼肉中<sup>226</sup>Ra 和<sup>40</sup>K 平均比活度依次为  $4.13 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $7.47 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  分别与安徽省淡水鲤鱼肉中<sup>226</sup>Ra 和<sup>40</sup>K 平均比活度  $4.8 \times 10^{-2} \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $8.63 \times 10^1 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  相接近(表 15)<sup>[50]</sup>。

表 15

黄河水系鲤鱼肉中放射性水平

项 目	样 品 数	范 围	均值 ± 标准误
总 α	Bq·kg <sup>-1</sup>	0.11~4.29	1.68 ± 1.44
总 β	× 10 <sup>1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	0.56~4.91	4.30 ± 0.15
<sup>90</sup> Sr	× 10 <sup>-1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	0.17~3.73	1.15 ± 0.11
<sup>137</sup> Cs	× 10 <sup>-2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	1.36~9.54	3.04 ± 0.26
U	× 10 <sup>-1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	1.07~3.48	1.85 ± 0.08
Th	× 10 <sup>-2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	0.92~4.75	3.10 ± 0.14
<sup>226</sup> Ra	× 10 <sup>-2</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	1.49~5.96	4.13 ± 0.16
<sup>40</sup> K	× 10 <sup>1</sup> Bq·kg <sup>-1</sup>	3.96~15.40	7.47 ± 0.39

#### 4. 讨论

黄河流程长，流域面积大，流域中人口众多，农田纵横交错，工业较为发达。黄河水系中天然和人工放射性核素复杂，为探讨各种放射性核素对黄河水系的影响和变化规律，对黄河水系的调查结果做如下综合分析。

(1) 黄河水系水中总 β 和 <sup>90</sup>Sr 比活度从 1969 年到 1980 年呈现逐年下降的趋势 基本上是按指数规律进行递减的 总 β 服从  $Y_{\beta} = 42.32 e^{-0.137X}$  关系式，<sup>90</sup>Sr 服从  $Y_{^{90}\text{Sr}} = 4.34 e^{-0.079X}$  关系式，由此可知黄河水中总 β 比活度大约每隔 5 年下降一半 而 <sup>90</sup>Sr 比活度大约 9 年下降一半(图 2;附表 11、12)。

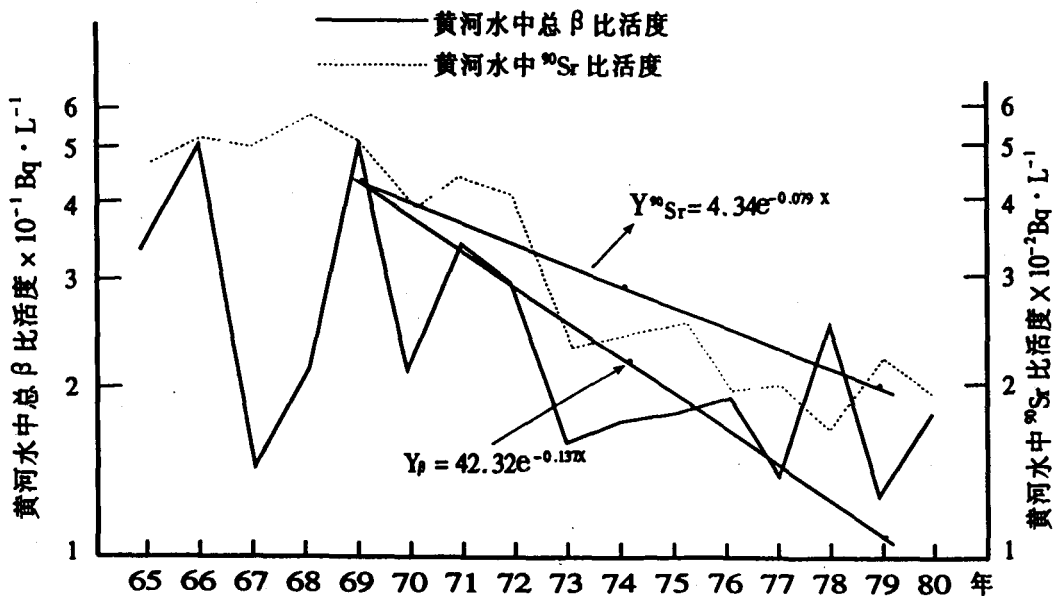


图 2 黄河水中总 β 和 <sup>90</sup>Sr 比活度历年变化

(2)图 3 显示 大气沉降物中总  $\beta$  比活度和黄河水中总  $\beta$  比活度从 1966 年到 1980 年呈现下降的趋势,其中 1966 年和 1971 年大气沉降物中总  $\beta$  比活度和黄河水中总  $\beta$  比活度 以及 1969 年黄河水中总  $\beta$  比活度因受国内外大气层核试验的影响都处于较高水平,1977 年大气沉降物中总  $\beta$  比活度受我国大气层核试验产生的短寿命核素近期沉降的影响也明显偏高。其他年份的大气沉降物中总  $\beta$  比活度和黄河水中总  $\beta$  比活度都处于较低水平,主要为大气层核试验产生的中、长半衰期核素和天然放射性元素的贡献(附表 11、13)。

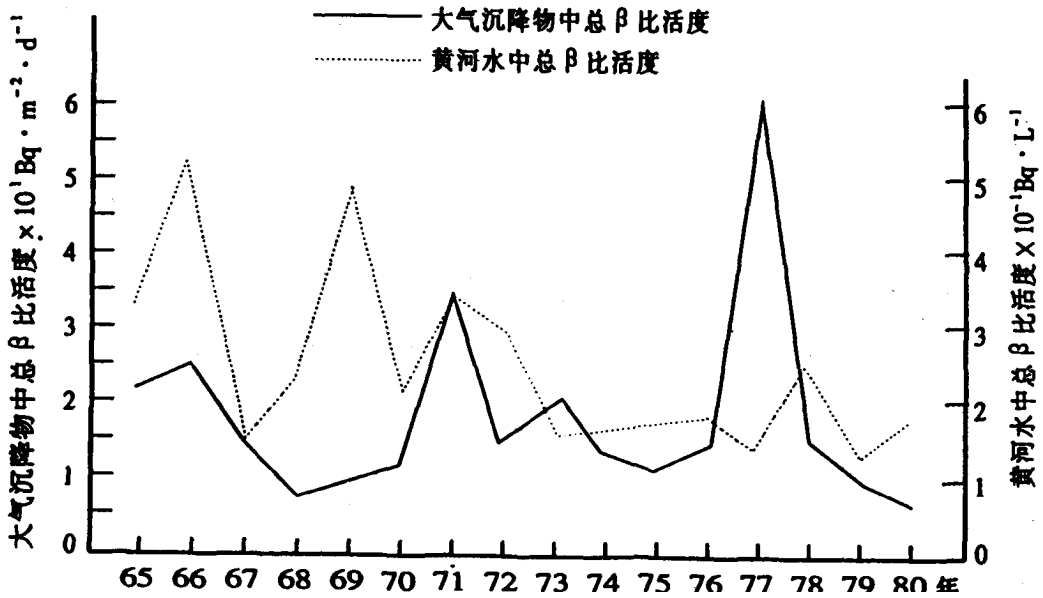


图 3 大气沉降物中总  $\beta$  和黄河水中总  $\beta$  比活度历年变化

图 4 说明,1966 年到 1976 年大气沉降物中  $^{90}\text{Sr}$  比活度和黄河水中  $^{90}\text{Sr}$  比活度也呈现下降的趋势,1976 年以后黄河水中  $^{90}\text{Sr}$  比活度趋于稳定 其中 1965 年到 1971 年受国内外大气层核试验的影响大气沉降物中  $^{90}\text{Sr}$  比活度和黄河水中  $^{90}\text{Sr}$  比活度明显偏高(附表 12、14)。

从 1965 年到 1980 年大气沉降物中总  $\beta$  比活度与黄河水中总  $\beta$  比活度和大气沉降物中  $^{90}\text{Sr}$  比活度与黄河水中  $^{90}\text{Sr}$  比活度分别进行的线性回归分析得知 黄河水中总  $\beta$  比活度和黄河水中  $^{90}\text{Sr}$  比活度主要受大气沉降物的影响,他们之间的动态变化关系可用下列相关分析表示。

总  $\beta$  相关分析