

# 山东黄河口地区环境放射性辐射水平及评价

徐东宸, 王卫平

(航空物探遥感中心, 北京 100083)

**摘要:** 依据山东黄河口地区航空物探综合测量结果, 阐述了航空伽马能谱资料在评价环境放射性辐射水平、圈定放射性污染范围等方面的应用方法及效果, 指出该区虽天然本底辐射水平较低, 但区内多处发现的放射性异常, 则是引以关注的环保问题。

**关键词:** 航空伽马能谱测量; 照射量率; 环境放射性辐射水平; 放射性污染

中图分类号: P631      文献标识码: A      文章编号: 1000-8918(2000)03-0178-06

广阔的黄河三角洲蕴藏着丰富的油气资源, 是国家重点经济开发区。近年来, 该区石化工业、市政建设发展很快, 油气探井、饮用水源星罗棋布, 比比皆是。大规模的人文活动, 增加了人工放射性污染形成的机率。为此, 如何快速、有效地开展环境放射性本底调查, 查明环境放射性辐射水平及污染状况, 即成为普遍关注的环保问题。

1996年, 航空物探遥感中心使用引进的航空物探综合站, 在该区开展了旨在寻找浅层淡水为主要任务的1:5万高精度航空物探综合测量, 机载光泵磁力仪、三频电磁仪、四道伽马能谱仪等航空物探仪器和辅助设备, 共计飞行约21 500 km, 完成调查面积约10 000 km<sup>2</sup>。其结果发现区内既存在因海水入侵、黄河断流等自然因素引起的土壤盐渍化、沙漠化环境地质问题, 又发现了数处人文活动引起的放射性异常。所获成果除查清了海侵边界, 圈定了29片寻找浅层淡水远景区外, 还论述了环境放射性辐射水平及放射性污染问题。地质信息极为丰富。

## 1 环境放射性辐射水平评价及方法

利用航空伽马能谱数据进行环境放射性监测, 寻找放射性污染源, 评价环境放射性辐射水平, 国内均有先例。其中在环境监测中最突出的例证是1986年瑞典地质公司应用航空伽马能谱测量方法, 快速、有效地圈定了原苏联切尔诺贝利核电站因事故泄漏的放射性沉降物范围, 成功地完成了环境放射性事故监测任务。其方法依据如下。

1. 航空伽马能谱测量是目前国内外最先进的航空物探勘查方法, 是测定环境天然放射性核素的理想仪器。所用的四道或多道伽马能谱仪在饱和模型坪上经过标定, 由空中采集的各道计数率经本底、高度、大气氢、康普顿修正及调平等数据处理, 可直接测出地表岩石或土壤中的放射性核素含量, 其精度钾约0.25%, 铀、钍为 $1 \times 10^{-6}$ 左右。表1是采用不同测试方法对黄河口地区同一地点地表粘土、砂土的钾、铀、钍核素含量测定结果。通过分析对比发现: ①同一样品不同测试方法测定的核素含量虽有差异, 但放射性核素含量均随土壤粒度由细至粗而逐渐降低, 有其相同的变化规律; ②空中测定的钾、铀、钍核素含量与室内分析及地面伽马能谱测量结果基本相同, 其相对误差均小于20%, 从而为确定环境天然放射性辐射水平、定性评价

表 1 河口区东三合村地表岩性放射性核素含量测试

测试方法	岩性	测试点数	$\alpha(K)\%$		$\alpha(U)10^{-6}$		$\alpha(Th)10^{-6}$		物理特征
			$Q_K$	$\sigma_K$	$Q_U$	$\sigma_U$	$Q_{Th}$	$\sigma_{Th}$	
地面伽马能谱测量	粘土	14	1.97	0.20	2.51	0.40	11.49	1.48	干硬不易碎,有粘性
	亚粘土 亚砂土	26	1.58	0.14	1.99	0.47	8.82	1.31	手压可碎,有塑性
	砂土	7	1.32	0.25	1.83	0.35	8.56	0.85	粉砂状,无塑性
室内分析	粘土	1	2.12	/	2.43	/	12.8	/	同上粘土
	砂土	1	1.64	/	1.91	/	5.8	/	同上砂土
航空伽马能谱测量	粘土		1.91	/	2.3	/	10.5	/	
	砂土		1.50	/	1.7	/	6.2	/	

大气氡浓度提供了可靠数据。

2. 三种天然放射性核素—— $^{40}K$ ,  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$  是陆地表面伽马辐射的主要辐射源,约占环境放射性辐射总剂量的 2/3 左右。因其对人体的外部照射及内部照射都直接与土壤、岩石中的钾、铀、钍核素含量大小有关,故是环境放射性辐射的主要贡献者。

3. 根据在电离室测试检验后的换算系数(表 2),把航空伽马能谱测得的钾、铀、钍核素含量换算成距地表 1 m 高处的照射量率和空气吸收剂量率,进而编绘成照射量率等系列图件,即可依此分析地表(土)放射性核素分布组合规律,评价环境放射性伽马辐射水平。

表 2 天然放射性核素含量与照射量率、吸收剂量率换算系数

核素质量分数 换算单位	$\alpha(K)\%$	$\alpha(U)10^{-6}$	$\alpha(Th)10^{-6}$
照射量率/( $\mu C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ )	0.108	0.047	0.021
吸收剂量率/( $\mu Gy \cdot s^{-1}$ )	3.633	1.576	0.693

注:此表是 Lovborg 于 1981 年公布的换算系数,适用于均匀平面测试环境。

## 2 黄河口地区环境放射性辐射水平及评价

### 2.1 区域放射性场特征

全区均为第四系覆盖。黄河以北地表土壤主要为海陆交互沉积的砂性土、砂质粘土,是盐渍化程度很高的海侵区,黄河以南,即淄河、弥河冲积扇前沿,主要是粘性土和砂质粘土,为海侵淡水分布区。因各地岩性变化大,故以往水文地质调查对地表土质即不再详细划分。

此次航空伽马能谱测量,因使用了大体积 NaI 晶体探测器( $V=33.6 L$ ),加之飞行高度低( $\bar{h}=66 m$ ),采样点密(64 点/ $km^2$ ),干扰因素少,致使涨落误差明显降低。其结果发现本区放射性场虽然低平但并不单调,其各地放射性场特征及钾、铀、钍元素含量均有明显差异。图 1 是依据不同的放射性场特征,对划分出的 15 个伽马能谱单元的总计数率统计后,绘制的总计数率均值及方差直方图。图中毗邻错落的特点说明地表岩性、土壤粒度及成因各地并不一样,土质分布并非均匀。由于区域放射性场及放射性核素分布组合特征各地差别明显,界线清楚,从而为划分土壤岩性、微型地貌——决口扇、古河道等提供了依据。据此以区内 15 个伽马能谱特征单元为基础,按其反映的岩性、粒度的不同和微观地形特征,编制了第四系岩性、地貌推断图,为环境评价、水文地质及工程地质研究提供了地质背景。

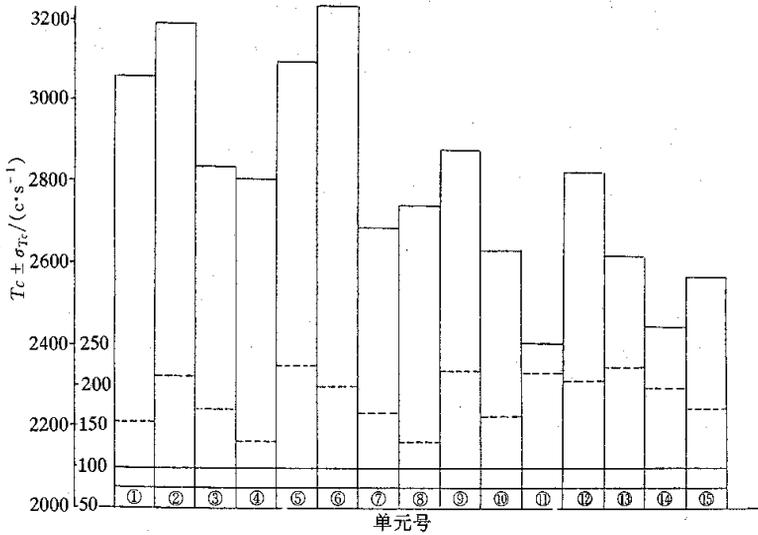


图 1 黄河口地区各伽马能谱特征单元不同岩性区的总计数率均值、方差直方图

### 2.2 环境放射性辐射水平及评价

经统计,该区的放射性场及钾、铀、钍元素含量普遍较低,总计数率和钾、铀、钍核素均值及方差分别为: $Tc \pm \sigma_{Tc} = 2\ 666 \pm 465\ C/s$ ;  $Q_K \pm \sigma_K = (1.6 \pm 0.32)\%$ ;  $Q_U \pm \sigma_U = (1.9 \pm 0.7) \times 10^{-6}$ ;  $Q_{Th} \pm \sigma_{Th} = (7.3 \pm 1.8) \times 10^{-6}$ ,与联合国原子辐射效应科委会(UNSCEAR)公布的土壤中钾、铀、钍平均含量十分接近。

表 3 东营、滨州等市县天然放射性本底伽马辐射水平统计

地 区	放射性元素质量分数			照射量率 pC/(kg·s)	空气吸收剂量率 pGy/s	备 注
	$\alpha(K)\%$	$\alpha(U)10^{-6}$	$\alpha(Th)10^{-6}$			
东营市	1.1	2.1	4.8	0.32	10.63	元素含量为(2×2) km <sup>2</sup> 面积内的平均值。下同
垦利县	1.6	2.0	7.1	0.42	13.89	
河口区	1.2	2.0	5.4	0.34	11.25	城区周围多苇地
利津县	1.7	2.1	7.8	0.45	14.89	
广饶县	1.8	2.2	8.4	0.48	15.83	
滨州市	1.4	1.5	6.3	0.36	11.82	
沾化县	1.8	2.1	8.1	0.46	15.46	
滨 县	1.5	1.4	6.0	0.35	11.81	城区四周环水
博兴县	1.7	1.9	7.9	0.44	14.65	
寿光市	1.9	2.0	8.1	0.47	15.67	
上海市	1.6	1.3	9.4	0.43	14.48	陆地部分引自文献(2)
秦山核电站	1.6	1.4	9.6	0.44	14.67	陆地部分引自文献(2)
土 壤	1.2	2.0	6.3	0.36	11.88	1990年UNSCEAR统计值,引自文献(4)
黄河口地区	1.6	1.9	7.3	0.41	13.87	1996年10月航空伽马能谱测量统计值

表 3 列出了该区及区内各市、县的照射量率和空气吸收剂量率。为便于与郊区及正常环境辐射区进行对比,表中还引用了 UNSCEAR1990 年公布的资料和 1994 年核工业航测遥感

中心在上海等地的放射性本底水平调查数据,参照中国环保部门的划分标准,就黄河口地区天然放射性核素分布特征及环境辐射总体水平得出以下结论。

1. 黄河口地区钾、铀、钍元素的质量分数普遍较低,分别为 1.6%,  $1.9 \times 10^{-6}$ ,  $7.3 \times 10^{-6}$ , 不存在高本底伽马辐射场,由此产生的天然辐射照射量率平均为 0.41 pC/(kg·s),平均吸收剂量率为 13.87 pGy/s,其中 41.6% 来源于钾元素,21.5% 来源于铀系列,36.9% 来源于钍。

2. 区内各市县外照射空气吸收剂量率虽有差异,但变化范围不大且低于 19.4 pGy/(中国环保部门测定的长江以北地区的吸收剂量平均值),与 UNSCEAR、上海市及秦山核电站陆地部分的天然辐射水平基本一致。

综上所述,说明黄河口地区至今未遭受外界核事故、核试验等大范围放射性物质对环境的污染,属于天然本底伽马辐射水平较低地区。

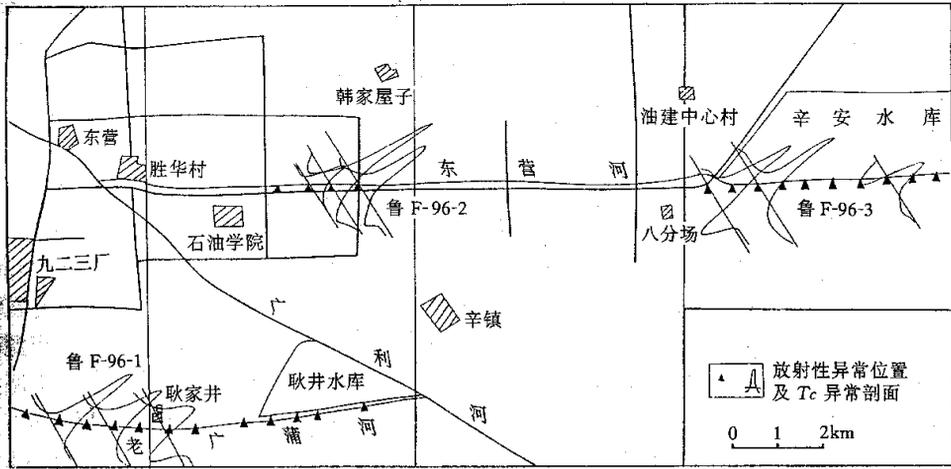


图 2 某市区放射性异常平面位置

### 3 放射性污染

航空伽马能谱测量在本区共发现 6 处放射性异常,其中有 3 处位于某市区附近(图 2)。该类异常共同特征是 ①异常峰值尖锐、狭窄,呈条带状展布,长达数公里; ②总计数率及铀、钍含量高,约为背景场的数倍到数十倍,钾含量与背景值一样,异常性质属铀钍混合类型。

对其中 2 处异常进行地面伽马能谱测量后,证实了异常的存在,初步查明该类异常是由沿河沟分布的石油废弃物所引起。如位于耿家井村南的鲁 F-96-1 异常,范围达  $(0.2 \times 7) \text{ km}^2$ ,经地面检查,发现异常峰值位于广蒲沟两岸堆积的黑灰色淤泥中,沟边杂草丛生,腐臭味很大,当地居民称之为油沟。地面测定钾的质量分数为 1.4%,铀、钍的质量分数分别高达  $86 \times 10^{-6}$ ,  $195 \times 10^{-6}$ ,约为该地区铀、钍背景含量的数十倍(图 3)。按此

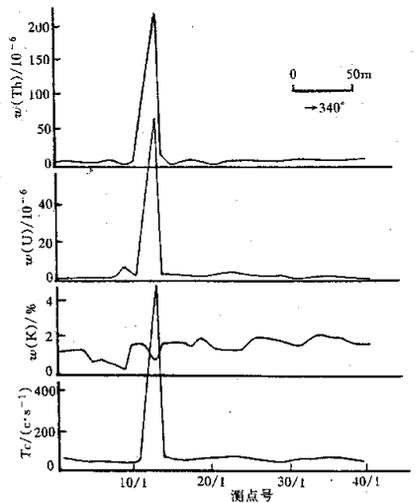


图 3 鲁-96-1 地面伽马能谱异常剖面

质量分数计算异常区室外照射量率为 8.29 pC/(kg·s),吸收剂量率为 275.76 pGy/(表 4)。

以国家技术监督局 1992 年发布实施的“用于建筑材料的工业废渣,伽马射线照射量率应低于 1.43 pC/(kg·s)”作为标限,显然区内多处放射性异常均为严重超标的放射性污染源所引起。考虑异常距市区、农田及饮用水源很近,故应尽快查明治理。

表 4 某市区放射性污染源区室外照射剂量

异常编号	异常性质	异常范围 km <sup>2</sup>	测量方式	放射性元素质量分数			照射量率 pC/(kg·s)	空气吸收剂量率 pGy/s
				α(K) %	α(U) 10 <sup>-6</sup>	α(Th) 10 <sup>-6</sup>		
鲁-96-1	铀钍混合	7×0.2	空中	1.6	12	22	1.20	39.97
			地面	1.4	86	195	8.29	275.76
鲁-96-3	同上	5×0.2	空中	1.8	14	22	1.31	43.85
			地面	2.0	96	103	6.89	229.94
鲁-96-2	同上	1.5×0.2	空中	1.7	11	21	1.14	38.06
鲁-96-5	同上	1×0.3	空中	1.5	6.2	13.2	0.73	24.37

#### 4 结语

航空物探在环境地质中的应用虽起步较晚,但因许多水工环问题具有良好的地球物理前提,故一旦介入该应用领域,其效果多较明显,尤其是综合勘查成果最为丰富。该方法自 80 年代初开展高灵敏度航空伽马能谱测量以来,目前已飞行数十万 km<sup>2</sup>,其中特别是在冀中、鲁北、苏南、豫西等产油区,都开展过大比例尺的航空伽马能谱测量,虽与高精度航空磁测配合在油气勘查中取得了良好效果,但在环境地质方面的应用却至今无人问津。为杜绝“走浪费资源和先污染后治理的路子”,建议今后在环境地质调查中广泛应用航空物探方法,采用装有上测探头的多道伽马能谱仪,先期在国内人口密集、经济发达的东部地区开展以 1:10 万或 1:25 万航空伽马能谱测量为主的航空物探综合勘查方法(磁、电、放),快速、有效地查明环境放射性本底含量、放射性污染和大气氡浓度水平,为不同目的的环境监测与治理、能源矿产勘查、水文地质等应用领域提供可靠信息。此外,当前还应重视对已有航空伽马能谱资料的二次开发利用,使其在新一轮国土资源大调查及生态环境治理中发挥宏观先导作用。

#### 参考文献:

[1] 俞誉福. 环境放射性概论[M]. 上海:复旦大学出版社,1993  
 [2] 于百川. 利用航空伽马测量数据确定环境天然放射性水平方法评价[J]. 国外铀金地质,1995,1(3):257~263

## ENVIRONMENTAL RADIATION LEVEL OF THE YELLOW RIVER MOUTH AREA IN SHANDONG PROVINCE AND ITS EVALUATION

Xu Dongchen, Wang Weiping

(Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center, Beijing 100083)

Abstract: According to the aerogeophysical integrated survey carried out in the Yellow River mouth area of Shandong Province, this paper describes the application of airborne gamma spectral data to the evaluation of environmental radi-

ation level and the delineation of the limits of radioactive pollution. It is pointed out that although the background radiation level of this area is relatively low a number of radioactive anomalies detected within the area constitute an environmental problem which deserves our serious attention.

**Key words** :airborne gamma spectrum survey ;irradiation rate ;environmental radiation level ;radioactive pollution

第一作者简介 :徐东宸(1938 - ) ,男 ,河北省安新县人。1958年毕业于北京地质学校物探专业 ,1964年毕业于北京地质学院地勘系(函大) ,长期在航空物探遥感中心从事航空放射性勘探及科研工作 ,教授级高工 ,发表论文近 20 篇

万方数据