

采用自然伽马能谱测井仪 研究天然放射性元素的高度和深度分布规律

袁祖贵

(胜利石油管理局 石油工程技术管理处, 山东 东营 257001)

摘要: 尝试提出将自然伽马能谱测井仪用于生态环境的研究。对自然伽马能谱测井仪、地面伽马能谱、室内分析、航空伽马能谱测量的同一地点钍、铀、钾元素含量进行对比分析得知, 各种方法所得结果具有较好的一致性。通过 16 口浅层自然伽马能谱测井资料分析黄河三角洲浅层放射性的区域变化状况, 研究发现, 随着石油勘探开发程度的深入, 浅层钍、铀、钾元素含量随之增高。将所采集的数据与地壳中钍、铀、钾元素含量的平均值进行比较, 得出黄河三角洲地区的钍、铀、钾元素含量普遍较低的结论。

关键词: 自然伽马能谱测井仪; 黄河三角洲; 生态环境

中图分类号: TE991.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2005)05-0466-04

Research on Distribution for Natural Radioactive Elements at Different Height and Deep With Natural Gamma Ray Spectrum Logging

YUAN Zu-gui

(Petroleum Engineering and Technology Management Department,
Shengli Petroleum Administrative Bureau, Dongying 257001, China)

Abstract: The writer tries to bring creatively up a new way to research the ecosystem environment with natural gamma ray spectrum data. The data of natural gamma ray spectrum logging are of well conformity with the contents of thorium, uranium and potassium obtained by surface gamma ray survey, laboratory analysis and aerial gamma ray spectrum survey. The radioactivity variation of the shallow part of Yellow River delta with the natural gamma ray spectrum logging from 16 wells is studied. The results show that the contents of thorium, uranium and potassium in shallow parts increase with the enhanced degrees of oil exploration and developments, and their contents in the Yellow River delta are lower than the mean richness in the crust.

Key words: natural gamma ray spectrum logging; Yellow River delta; ecosystem environment

收稿日期: 2004-03-18; 修回日期: 2005-01-20

作者简介: 袁祖贵(1957—), 男, 湖北钟祥人, 高级工程师, 博士, 地球物理专业

自然伽马能谱测井仪简称为 NGS(natural gamma ray spectrum logging),它通过钻井井筒分别测量井筒周围主要天然辐射源的放射性。地层中的自然伽马射线主要源于铀系(²³⁸U)和钍系(²³²Th)中的放射性核素及⁴⁰K,约占环境放射性辐射总剂量的 2/3^[1~3]。因其对人体的外部照射及内部照射均直接与土壤、岩石中的钍、铀、钾元素含量有关,故是环境放射性辐射的主要贡献者。

自然伽马能谱测井仪使用 5 个窗口的能谱将总伽马射线谱解析成 3 个最普通的天然放射性的成分——钍、铀、钾,在石油测井中,主要用来进行储集层划分、详细的井间对比、阳离子交换研究、火成岩判别和识别放射性矿物等应用研究。自然伽马能谱测井属于勘探地球物理范畴。将 NGS 用于测量地表及浅层放射性的变化是一种尝试与创新,是勘探地球物理向环境地球物理的延伸^[4]。目前,国内外尚未见将 NGS 用于地表及浅层放射性测量的研究报道,其可行性需进行研究。

1 NGS 监测天然放射性的可能性研究

表 1 列出采用地面伽马能谱测量、室内分析、航空伽马能谱测量、NGS 测量等方法对黄河口地区同一地点的粘土、砂土中的钍、铀、钾元素含量的测定结果。

为验证这些离散数据是否存在一致性,用 F_2 对表 1 数据进行检验。考虑到地面伽马能谱测量、室内分析、航空伽马能谱测量采集的数

据来自表层,NGS 测量的数据来自地下 11 m 处,且隔着一层套管,与裸眼测量存在一定差异,故按砂土的数据进行 χ^2 检验^[7]。结果表明,NGS 所测数据可用。

通过分析对比表 1 数据可看出,粘土和砂土中的放射性元素含量存在差异,细粒粘土中的放射性元素含量高,亚砂土、砂土中的低,这是因为粘土的颗粒细,吸附表面增大所致,与井下自然伽马能谱测量砂泥岩的数据一致。地面伽马能谱测量、室内分析、航空伽马能谱测量 3 种方法所测粘土/砂土中的元素含量有一定的规律性。与室内分析数据相比,地面伽马能谱测量和航空伽马能谱测量的数据 $w(\text{Th}_{\text{粘土}})/w(\text{Th}_{\text{砂土}})$ 误差较大, $w(\text{U}_{\text{粘土}})/w(\text{U}_{\text{砂土}})$ 次之, $w(\text{K}_{\text{粘土}})/w(\text{K}_{\text{砂土}})$ 相近。

NGS 所测钍、铀、钾含量与其他方法测量的数值相近。NGS 的移动测量虽存在统计误差,但钍、铀、钾的含量变化却有一定规律,因此,可用 NGS 来研究地表环境变化。

2 数据采集与井点分布范围

为用 NGS 监测浅地层的天然放射性状况,布置了 16 口井的浅层自然伽马能谱测井。根据测井所处位置及它们的间距,把 16 口井分成 5 个部分:郑 370、郑 371、坨古 2、永古 1 四口井划属东营中部;渤 601、渤古 1、埕北 306、义古 98、老 301、桩海 101、桩海古 1 七口井属滩海地区;商 549、商 848、禹古 1 三口井属惠民凹陷的探井;车古 19 井属车西凹陷的探井;孤古斜 25

表 1 东营市地表岩性放射性元素含量
Table 1 Contents of radioactive elements in the rocks of the ground surface of Dongying

测试方法	岩性	测试点数	$w(\text{Th})/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	$w(\text{U})/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	$w(\text{K})/\%$	备注
地面伽马能谱测量	粘土	14	11.49	2.51	1.97	文献[5]
	亚粘土、亚砂土	26	8.82	1.99	1.58	
	砂土	7	8.56	1.83	1.32	
室内分析	粘土	1	12.8	2.43	2.12	文献[6]
	砂土	1	5.8	1.91	1.64	
航空伽马能谱测量	粘土		10.5	2.3	1.91	文献[6]
	砂土		6.2	1.7	1.50	
NGS 测量			4.2	1.13	1.16	义古 98 井距地表 11 m 处的 NGS 数值

井属沾化凹陷的探井。可以看出,这16口井分布范围很广,可以反映黄河三角洲地区浅层天然放射性元素的分布规律^[8]。受文章篇幅所限,以下仅对东营凹陷的四口井进行分析。

3 东营凹陷浅层钍、铀、钾的含量变化

本地区安排了郑370(测量日期,2003年1月11日)、郑371(测量日期,2003年3月18日)、坨古2(测量日期,2003年2月18日)、永古1井(测量日期,2003年3月31日)4口井的浅层自然伽马能谱测井。测量仪器为哈里伯顿(Halliburton)的EXCELL-2000。采样间隔为0.125 m。为分析方便,按1 m间隔进行分析。测量结果示于图1。

从图1a可看出:在-7 m以上,郑371井钍含量过高;在离地面18 m的空中,钍含量达14 $\mu\text{g/g}$,高出地壳中的平均含量12 $\mu\text{g/g}$,该高度恰是钻井平台的位置,钻杆接头处的油封与平台的油污导致钍含量升高。对比4口井的测量数据,永古1井的钍含量处于几口井的中间(-52 m以上地层),钍含量在4 $\mu\text{g/g}$ 附近波动,即地表以上19 m的空中到浅层-52 m,在这上下71 m范围内,钍平均含量约为4 $\mu\text{g/g}$ 。在-52~-78 m范围内,4口井的钍平均含量为5 $\mu\text{g/g}$ 。在-78~-109 m范围内,郑370井钍含量处于中间,为3 $\mu\text{g/g}$ 。即东营凹陷浅层钍含量为4 $\mu\text{g/g}$,比地壳中平均含量低。

图1b示出东营凹陷浅层铀含量的变化。4口井的铀含量大部分在0.4~1.4 $\mu\text{g/g}$ 范围内变化,局部有峰值异常变化。从每口井的数据看,郑370井的铀含量偏低,但曲线起伏变化与其他几口井的一致。综合4口井的数据分析认为,浅层地层-10 m以上至离地面19 m范围内的铀含量大致为0.8 $\mu\text{g/g}$, -10~-31 m的铀含量为1 $\mu\text{g/g}$, -31~-72 m层段的数据比较集中,大部分为0.7 $\mu\text{g/g}$, -72~-111 m的数据为低值,在0.6 $\mu\text{g/g}$ 附近变化。整体看来,东营凹陷浅层地层的铀含量较低,为0.8 $\mu\text{g/g}$,比地壳中平均含量4 $\mu\text{g/g}$ 低得多。

图1c示出东营凹陷浅层中的钾含量变化。从图1c可看出,永古1井的钾含量居于几口井的中间, -52 m以上时,钾含量为0.9%。对郑370井, -52 m以下的钾含量为0.8%。比

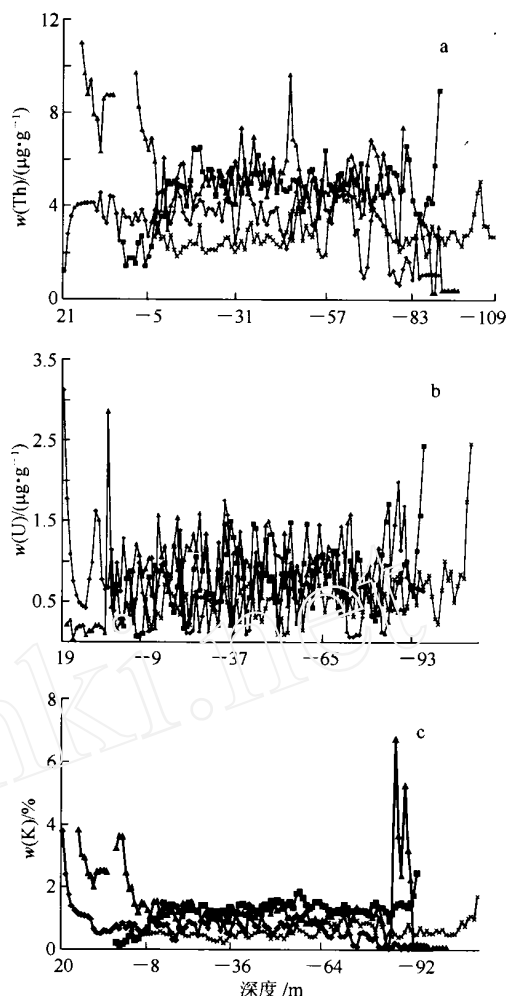


图1 东营凹陷浅层的钍(a)、铀(b)、钾(c)含量
Fig. 1 Th(a), U(b), K(c) contents
in shallow layer of Dongying depression

◆——永古1井; ■——坨古2井;
△——郑371井; ×——郑370井

较而言,东营凹陷浅层的钾含量比钍、铀的含量高。地壳中钾的平均含量为2%,东营凹陷浅层的平均含量为0.8%,为地壳平均含量的40%,可以说,东营凹陷浅层地层中的放射性钾的贡献是较大的。

4 黄河三角洲浅层钍、铀、钾分配规律

表2列出济阳拗陷浅层自然伽马能谱探测获取的钍、铀、钾元素含量。从表2可见,随着勘探开发程度的加深(表中按勘探开发的时间排列,东营凹陷开发的时间早,车镇洼陷开发的时间晚),放射性元素含量有所升高。东营凹陷

在 20 世纪 60 年代投入开采,40 多年来,勘探、开发、生产从未停止,是胜利油田的主力产油区,其放射性元素含量比其他区块的高,Th 平均含量为 4.655 $\mu\text{g/g}$,占地壳中 Th 含量 12 $\mu\text{g/g}$ 的 38.8%;U 平均含量为 1.309 $\mu\text{g/g}$,占地壳含量 4 $\mu\text{g/g}$ 的 32.7%;K 平均含量是 0.951%,占地壳含量 2 $\mu\text{g/g}$ 的 47.6%。其他区块的平均含量列于表 2。相对于整个济阳坳陷来说,东营凹陷的自然伽马能谱数值相应高一些,但比地壳中的平均含量低得多。

表 2 济阳坳陷浅层自然伽马能谱探测获取的钍、铀、钾元素含量
Table 2 Th, U, K contents from natural gamma ray spectrum logging
in the shallow layer of Jiyang supper Depression

凹陷与区块	井号	测量井段/m	$w(\text{Th})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$\overline{w}(\text{Th})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$w(\text{U})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$\overline{w}(\text{U})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$w(\text{K})/\%$	$\overline{w}(\text{K})/\%$
东营	坨古 2	3~-92	4.771	4.655	0.824	1.309	1.402	0.951
	永古 1	19~-95	3.324		0.744		0.602	
	郑 370	-7~-111	2.976		0.67		0.614	
	郑 371	15~-101	7.122		2.998		1.187	
滩海	渤古 1	-1~-100	3.772	3.027	0.384	0.873	0.759	0.539
	埕北 306	-11~-108	3.304		1.18		0.425	
	老 301	-12~-99	2.28		0.647		0.236	
	义古 98	-11~-107	3.75		1.286		0.735	
惠民	商 549	15~-145	4.249	3.554	0.983	0.617	0.517	0.51
	禹古 1	10~-97	2.559		0.251		0.503	
车镇	车古 19	3~-102	2.976	2.976	0.365	0.365	0.56	0.56

5 NGS 在环境监测中的应用前景

NGS 用来监测地表天然放射性有着其它环境监测仪无法比拟的优点。测量深度可从钻井平台到井下任意深度,测量数据的采样点密集,可得到连续曲线。尝试采用 NGS 来监测地表天然放射性开拓了 NGS 的应用领域。从胜利油田济阳坳陷应用 NGS 监测地表天然放射性的结果看,用 NGS 监测大地放射性污染是可行的,只需在采集深部地层数据的过程中同时记录浅层的数据,即可动态监测分析勘探开发过程中浅层放射性的变化。NGS 在相关环境监测领域具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 黄隆基. 放射性测井原理[M]. 北京:石油工业出版社,1985. 65~80.
[2] Lawson BL, Hoyer WA, Pickett GR. 自然伽

马、中子和密度测井[M]. 孙济元,王文祥,雍世和译. 北京:石油工业出版社,1987. 1~16.
[3] Schlumberger. 自然伽马与自然伽马能谱测井[M]. 程宗华,张作信,郑思蕴译. 北京:石油工业出版社,1986. 8.
[4] 楚泽涵,任平. 环境地球物理学[M]. 北京:石油工业出版社,2002. 214,224.
[5] 王卫平,徐东宸. 航空物探综合测量在山东黄河口地区水工环勘探中的应用[J]. 物探与化探, 1999,23(5): 321~325.
[6] 徐东宸,王卫平. 山东黄河口地区环境放射性辐射水平及评价[J]. 物探与化探,2000, 24(3): 178~183.
[7] 梅里特 FS. 工程技术常用数学[M]. 北京:科学出版社,1976. 273,274,281,282.
[8] 袁祖贵. 胜利油田矿产资源开发与地区经济发展及生态环境变化的研究[D]. 北京:中国石油大学,2005.