

# 中国大陆科学钻探工程主孔 100~2 000 m 岩心自然伽马测量及其地质意义

陈世忠<sup>1,2,3</sup> 杨经绥<sup>1,2</sup> 张泽明<sup>1,2</sup> 刘福来<sup>1,2</sup>  
李天福<sup>1,2</sup> 邱海峻<sup>2</sup> 牛一雄<sup>2</sup> 王文先<sup>2</sup> 徐海军<sup>2,4</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 国土资源部大陆动力学重点实验室, 北京 100037;  
2. 中国大陆科学钻探工程中心现场, 江苏 东海 222300;  
3. 中国地质调查局南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016;  
4. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 中国大陆科学钻探工程使用石油大学研制的岩心地面伽马测量仪对主孔 2 000 m 岩心进行了连续测量, 并记录峰、谷的伽马值及其对应的岩性、构造和矿化等特征。通过系统测量, 建立了主孔 2 000 m 自然伽马值剖面, 发现榴辉岩具有较低的伽马值, 并从榴辉岩→角闪岩→花岗片麻岩, 伽马值逐渐增大。伽马值与变质岩的岩性具有明显的对应关系。并从放射性元素 U、Th 和 K 含量的角度来看岩石中放射性元素的变化规律, 探讨这些元素变化的成因, 指出变质基(中)性岩原岩反映的岩浆岩成因, 不同于变质泥质沉积岩; 岩石高 Th/U 比值与岩石曾经经历了近地表环境有关。主孔深变质岩自然伽马测量的系统研究对主孔岩心深度归位、探讨岩石成因和区域岩石圈热状态和大地构造演化具有重要的作用。

**关键词:** 中国大陆科学钻探工程; 自然伽马测量; 变质岩; Th/U

**中图分类号:** P223 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)02-0239-10

中国大陆科学钻探工程中岩心定位和定向工作是科学钻探工程研究的重要组成部分。主孔(2 000 m)使用了当代先进的成像测井设备和 20 多种高新原位测井方法技术, 共进行 4 次综合测井和 32 次工程测井, 获取了钻孔剖面几何形态和岩石的各种原位物理化学参数<sup>[1]</sup>。除了原位测井外, 中国大陆科学钻探工程还进行了岩心表面图像扫描和岩心自然伽马(GR)测量等工作, 极大地配合了原位测井进行岩心定深定向归位工作。深孔岩心自然伽马测量数据对于岩心归位和岩心岩性特征解释有重要的意义。笔者重点对中国大陆科学钻探现场岩心自然伽马测量、成因及其意义进行阐述。

## 1 岩石的自然伽马

自然放射性主要由放射性元素铀(U)、钍(Th)和钾(K)引起的。岩石含有钾、铀、钍等放射性元素, 具有放射性。岩石的自然伽马辐射场, 含有钾、铀、钍的岩层就是一种分布在有限空间中的伽马源。岩石中放射性元素铀、钍和钾含量与岩石矿物成分、岩石成因和成岩背景关系密切。

## 2 岩心样品的自然伽马测定

以岩层自然放射性为基础, 用自然伽马射线探测器测量, 只记录伽马射线强度, 称之为自然伽马测

收稿日期: 2005-02-25; 改回日期: 2005-03-07

基金项目: 中国大陆科学钻探工程、科技部 973 项目(2003CB716503)、国家自然科学基金重大项目(4399143)和博士后基金联合资助。

作者简介: 陈世忠, 男, 1967 生, 博士, 副研究员, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 在中国大陆科学钻探现场指挥部岩石构造实验室从事编录工作; E-mail: chenshizhong@ccsd.org.cn。

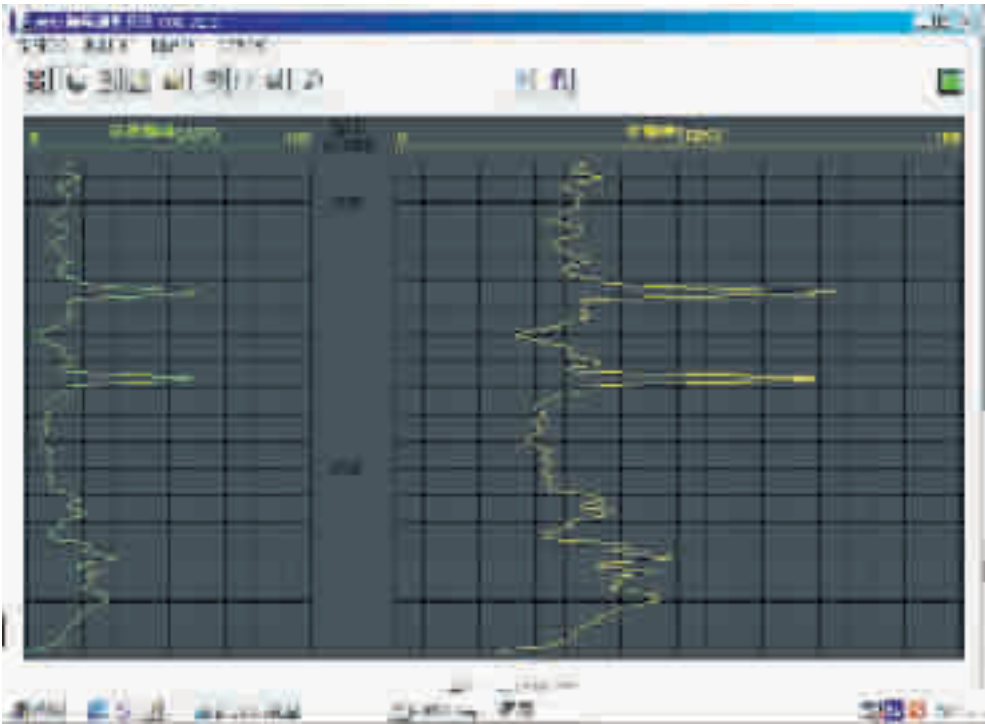


图 1 岩心自然伽马测量软件界面

Fig. 1 Interface of the ground core gamma eye

量。用每个深度点上测到计数率表示(图 1)。刻度过的仪器测量计数率曲线是用标准单位表示的,国际上习惯采用 API 单位。API 单位是美国石油界学会制定的自然伽马测井单位,它是这样规定的:在美国休斯顿大学建造一套由三层混凝土标准模块组成的刻度井,每个标准模块都是直径 1.219 m,高 2.438 m 的带眼的圆柱体,中间一层含有 13 mg/L 的铀、24 mg/L 的钍和 4% 的钾的高放射性地层,而上、下两层是未加放射性的低放射性地层。

将仪器在井眼中测得的高放射性和低放射性两组模块的读数差定为 200API。这样,岩心自然伽马测量给出总计数率(GR),可表示为

$$GR=A \times C_{Th}+B \times C_U+C \times CK$$

式中 A、B、C 为刻度系数,  $C_{Th}$ 、 $C_U$ 、CK 分别为钍、铀和钾在岩层中的含量<sup>[2]</sup>。

自然伽马测井资料在石油部门广泛使用,一般用于划分地质剖面,确定地层的泥质含量和解决与泥质含量有关的油矿地质问题,进行地质对比、跟踪射孔、寻找放射性矿物等<sup>[3-5]</sup>。

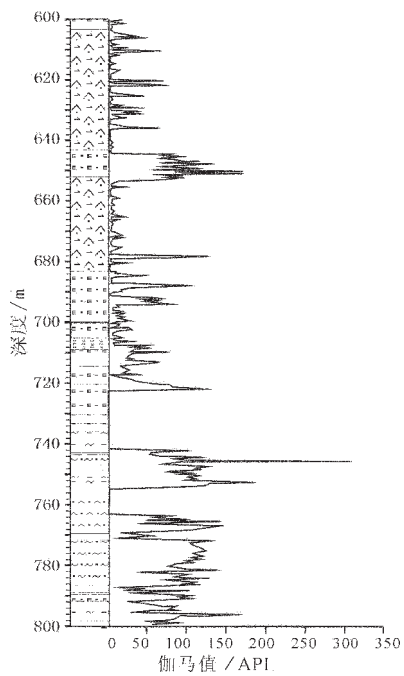
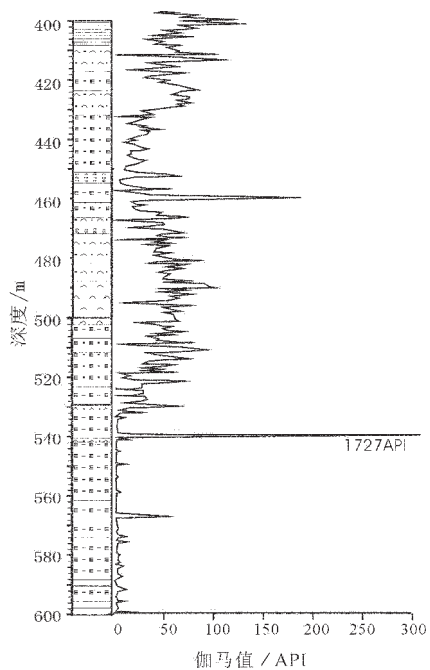
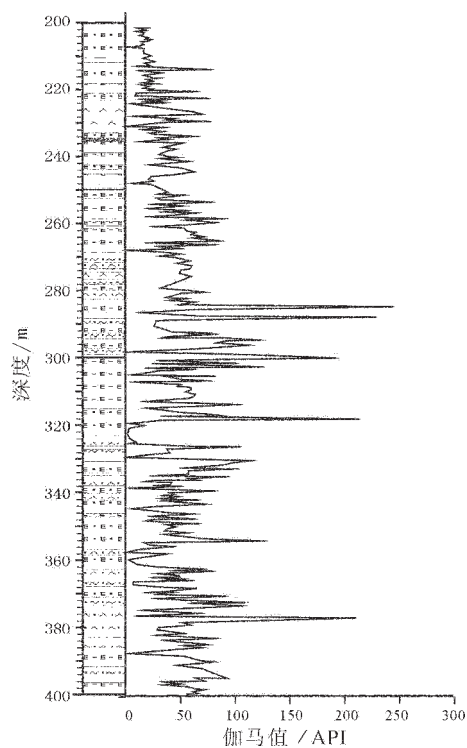
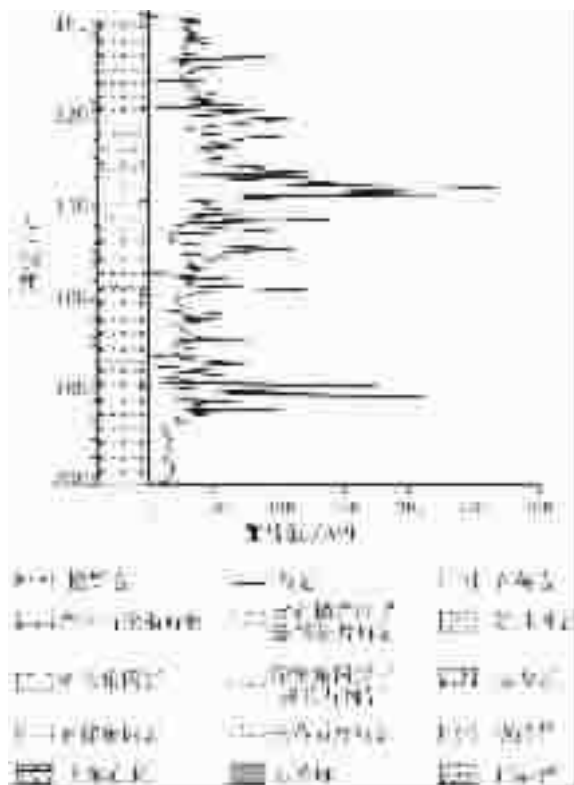
### 3 岩心地面伽马测量仪

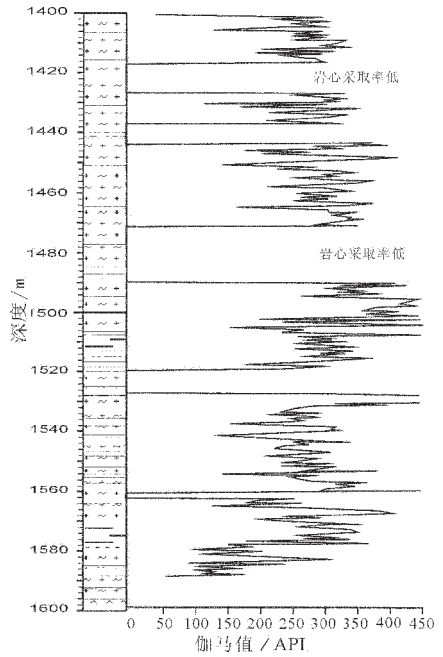
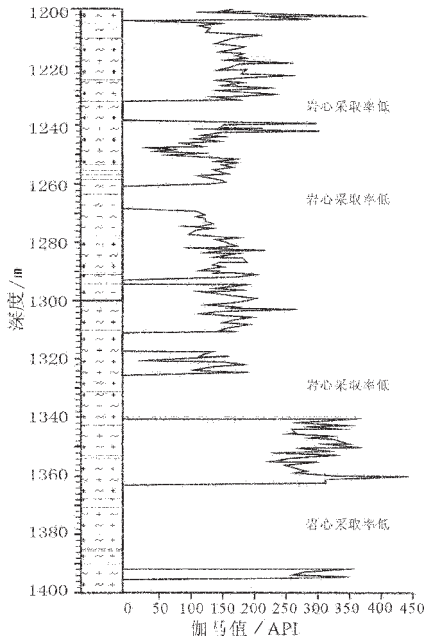
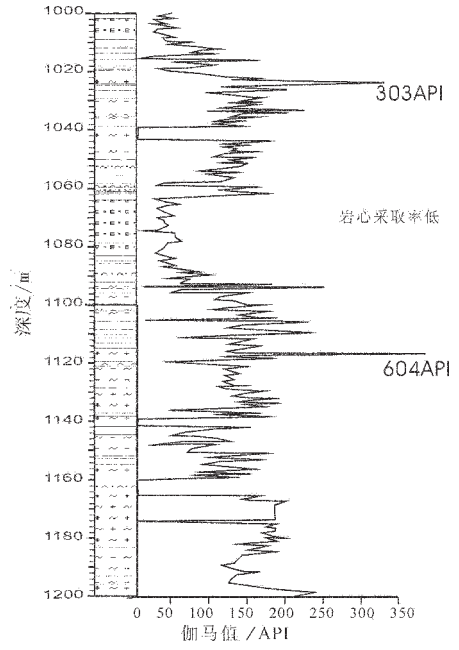
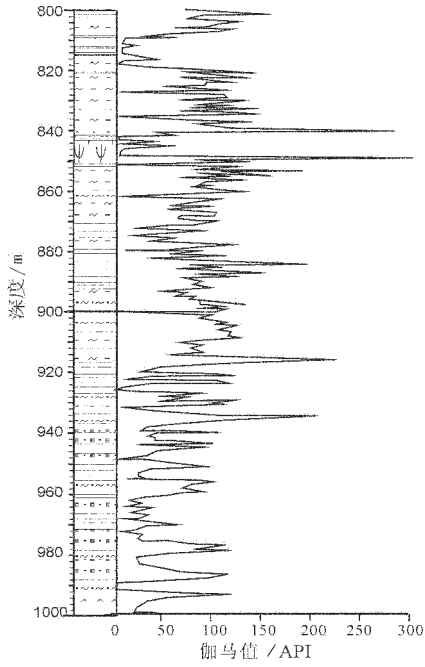
大陆科学钻探现场主孔 100~2 000 m 的岩心采用岩心地面伽马测量仪测定自然伽马,岩心地面伽马测量仪由中国石油大学研制和生产的,主要技术指标包括测量范围:计数率为 0~9999CP,岩心伽马强度为 0~400 API,岩心直径为 50~120 mm,传动带速为 0.1~1.5 m/min,测量精度优于 0.5%<sup>[6]</sup>。

伽马测量记录包括岩心回次号、回次起始和终止深度、起始和终止箱号和主要测量记录部分组成。主要测量记录部分就是记录伽马值的峰、谷值,分布的深度,以及与峰谷值对应的岩性、构造和矿化等特征。

### 4 伽马测量规律总结

岩心自然伽马测量与井下原位自然伽马相比,受岩心破碎和岩心摆放的影响较大;但是可观测岩性的细微变化和脉体分布对伽马值的影响。通过上面岩心自然伽马系统的测量和岩性的对比(图 2),发现如下规律:





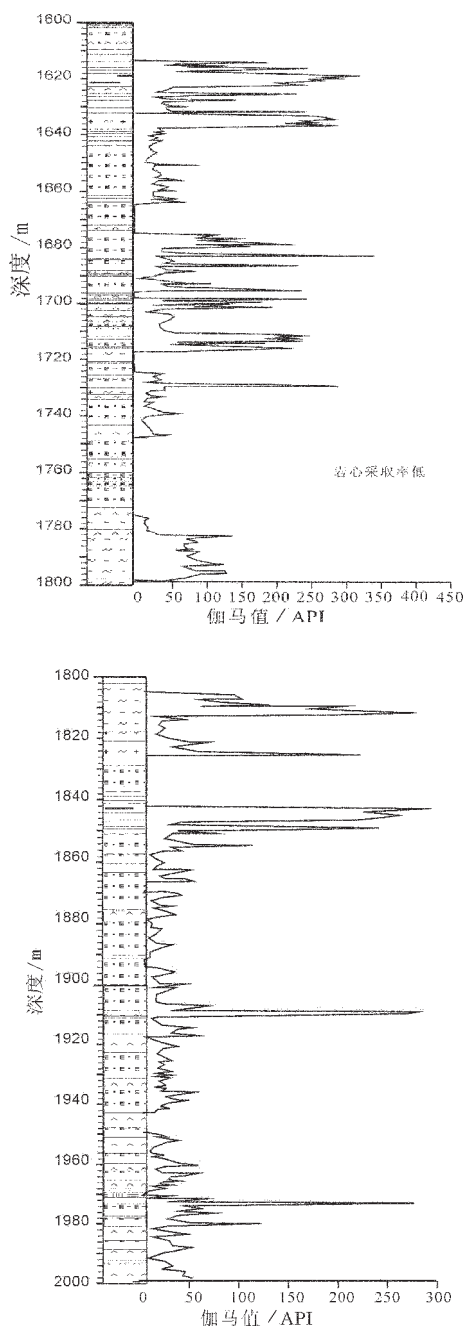


图 2 主孔 100~2 000 m 岩心分段自然伽马曲线  
Fig. 2 Natural gamma curve of 100~2 000 m cores  
of the CCSD mainhole

(1) 100~2 000 m 主体岩石为榴辉岩和退变榴辉岩,其伽马值普遍较低,钻孔主体岩性榴辉岩伽马值在 20~30 API。

(2) 540~600 m (含黄铁矿)金红石榴辉岩岩性段具有最低的伽马值,几乎为零值。

(3) 总体上,伽马值从大到小的规律有:花岗质片麻岩→黑云斜长片麻岩→斜长角闪岩→石榴角闪岩→角闪石化榴辉岩或多硅白云母榴辉岩→榴辉岩和超基性岩→金红石榴辉岩(图 3)。

(4) 榴辉岩角闪石化越强伽马值越高。如 487~502 m 强角闪石化榴辉岩比下部(502~506 m)角闪石化含黄铁矿金红石榴辉岩的伽马值更高。

(5) 第四岩性段为多硅白云母榴辉岩岩性段(1637~2 000 m)<sup>[7]</sup>,伽马值明显降低,一般在 20~30 API,其中大量高低不一曲线的地段,分布花岗质片麻岩、黑云斜长片麻岩和角闪岩等岩性,与岩性的复杂性一致。

(6) 带有不规则长英质脉体的榴辉岩的伽马值大于周围榴辉岩;带有不规则长英质脉体的角闪石化榴辉岩的伽马值大于带有不规则长英质脉体的角闪石化金红石榴辉岩。

(7) 片麻岩中暗色矿物越少的条带或岩层,伽马值越高。

(8) 超基性岩的伽马值很低,上部大量伽马值为 50~100 API 的峰的位置反映了片岩的分布。

(9) 花岗质片麻岩具有 250~500 API 的伽马值,多在 250~350 API 间;在主孔 2 000 m 的各类岩性中伽马值最高。1 113~1 637 m 为花岗质片麻岩岩性段<sup>[7]</sup>,表现为高伽马值的特点。134~138 m 的含石榴二云母长英质片麻岩的伽马值在前 100 m 中最高,伽马值达 220~280,其中夹有厚度约 25 cm 的绿帘角闪岩,其伽马值下降。其上部(131~134 m)石榴角闪黑云斜长片麻岩夹有榴辉岩团块,伽马值明显下降。

(10) 后期脉体的伽马值有高有低。总体上片麻岩和角闪石化榴辉岩中的石英脉高于超基性岩和金红石榴辉岩中的石英脉。从 530~680 m 中分布的脉体与其他部分对比中可明显看出这一特点。

(11) 在 454~461 m 地段,主体岩性为含黄铁矿金红石榴辉岩,但 459 m 位置为角闪石化榴辉岩,该位置发现伽马值达 1 728 API 的石英脉体,伽马值高于围岩近百倍。在显微镜下已经鉴定出沥青铀矿等铀矿物。

## 5 岩心伽马测量规律成因的初步探讨

铀的化学性质活泼,是典型的亲氧元素。钍主要以 <sup>232</sup>Th 同位素形式存在,常和铀共生,钍铀比(3~4)被确认为太阳系的基本比值。在岩浆中 Th/U 比值

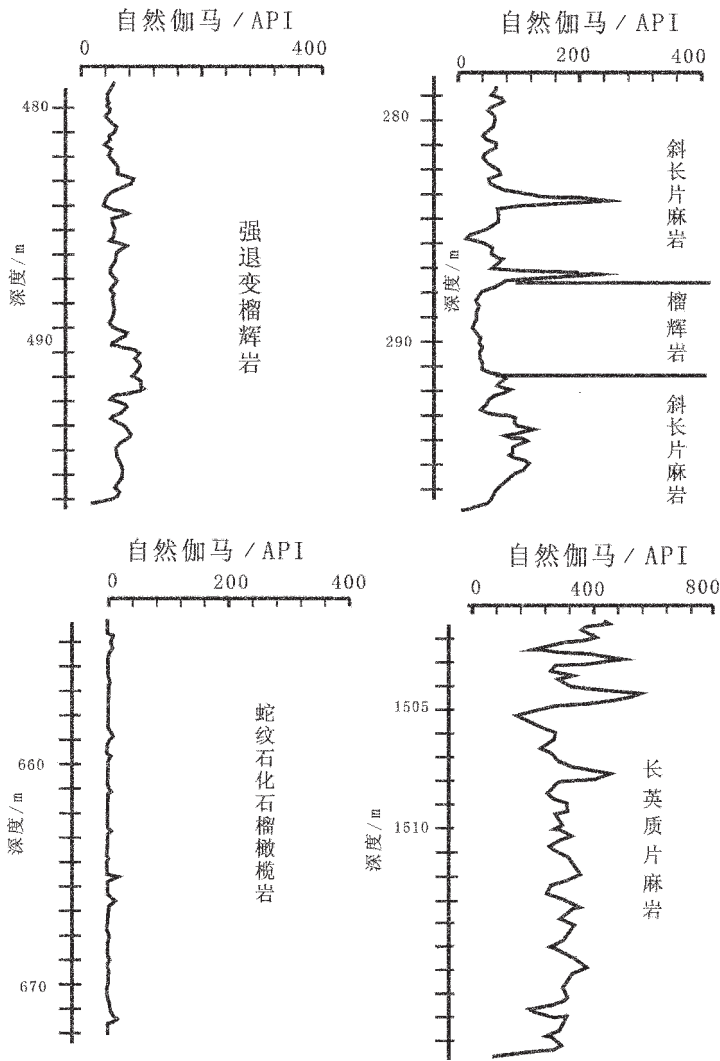


图3 中国大陆科学钻探主要岩性自然伽马测量曲线  
Fig. 3 Natural gamma values of various lithologies of CCSD

在4左右。钾作为地球中重要的组成部分,是碱金属(Li, Na, K, Rb 和 Cs)之一,趋向于富集在地壳的花岗质片麻岩和花岗岩等岩石中。铀和钍都是大离子不相容元素,但含量低,只是个别不常见矿物的重要组成元素。钍在碱性岩中较铀富集。同时,铀与钍除多呈正4价外,还可呈正6价,使其在氧化条件下具有迁移性。钾在岩浆中的含量随 $\text{SiO}_2$ 的增加而增高,岩浆中的铀和钍含量从酸性、中性、基性到超基性岩逐渐减少<sup>[3]</sup>。

主孔岩石自然伽马从花岗片麻岩→角闪岩→角闪石化榴辉岩→榴辉岩变小,反映了这种趋势特征。

主孔榴辉岩和角闪石化榴辉岩K含量在0~

2.0%,U含量在 $1.2 \times 10^{-6} \sim 3. \times 10^{-6}$ ,Th含量在 $0.1 \times 10^{-6} \sim 18.3 \times 10^{-6}$ ,多在 $3 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ <sup>[8]</sup>。其Th/U比值在6~11.5间。其中超基性岩上部(540~600 m,含黄铁矿)金红石榴辉岩含钾、钍和铀几乎为零,与岩性段具有最低(零值)的伽马值一致。张泽明等<sup>[8]</sup>认为其原岩可能为苦橄岩和更亏损的结晶岩。反映了岩石不是富集地幔的部分熔融物,而可能是亏损地幔岩熔融体或亏损地幔岩的特征。该金红石榴辉岩具有高含量的磷灰石(2%~15%),而磷灰石是富集钍等元素的主要矿物,这从另一方面说明了磷灰石形成于亏损不相容元素的环境,与晚期地表交代作用无关。

主孔花岗质片麻岩被归为A型花岗岩<sup>[9]</sup>,K含量

在 2.4%~5.5%, U 含量在  $0.9 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ , 多在  $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$ ; Th 含量在  $8.7 \times 10^{-6} \sim 23.9 \times 10^{-6}$ 。该值相当于 KTB 片麻岩, 略小于花岗岩的含量。与铀和钍含量随岩石的变质程度的增加而下降一致。

花岗片麻岩的 Th/U 比值为 5.3~15, 多为 6~9, 该比值与孔区榴辉岩的比值一致, 明显大于其他地区榴辉岩、角闪岩和片麻岩等岩石的比值(表 1)<sup>[10]</sup>。具有正常放射性的花岗岩的特点, 铀和钍含量接近克拉克值, 平均的铀钍比值为 2.5~4.5。比值的变化有几个原因:

(1) 在岩浆低度熔融和分离结晶时, Th 和 U 多保留在残余熔体中, 故残余熔体中的 Th 和 U 丰度

随分离结晶程度的增强而增加; 又因 Th 具较稳定的性质而使残余熔体中的 Th 富集更强烈, 致使其 Th/U 比值增加。但榴辉岩和花岗质片麻岩一样具有较高的 Th/U 比值, 难以用原岩-岩浆岩的成分的变化来解释。

(2) 在变质作用下, Th 和 U 的分异也较明显。在退变质条件下, 岩石中 U 和 Th 的丰度会升高, 但因 U 处于氧化态而具强的迁移性, 所以岩石中 U 丰度的增加不如 Th 明显, 致使 Th/U 比值升高; 但未退变的榴辉岩与花岗片麻岩具有相似的比值不能用此来解释。

(3) 在较高温或还原条件下, Th 和 U 因价态相同而等价类质同象, 但在较低温或氧化的条件下, U

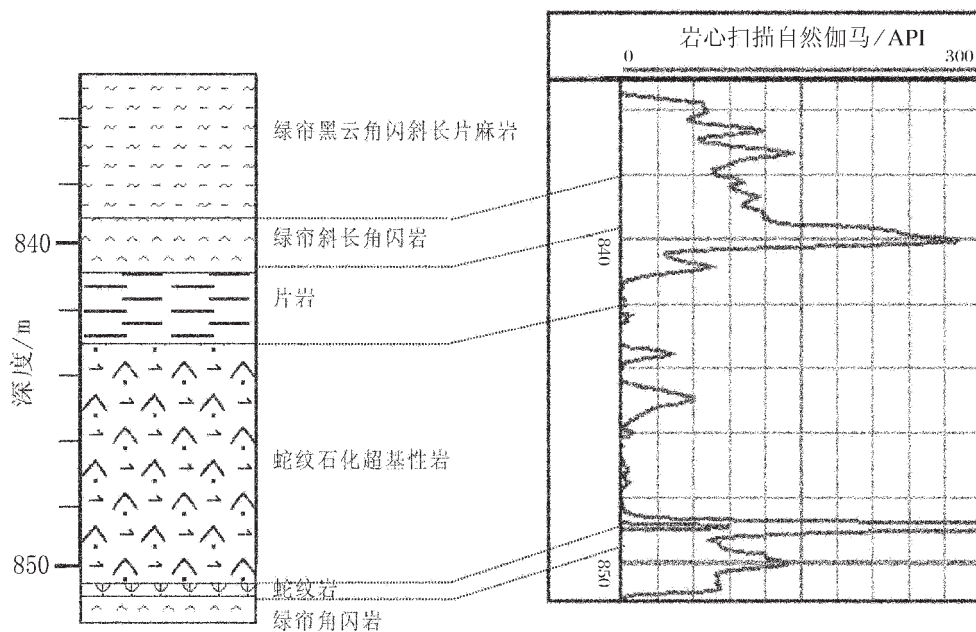


图 4 岩心岩性差异与自然伽马曲线的变化对比

Fig. 4 Comparison between different lithologies of cores and their natural gamma curve variation

表 1 各类岩石的平均 U、Th 和 K 含量 数据来自 J.H.Schön<sup>[10]</sup>

Table 1 U, Th and K content in various rocks (data from J.H.Schön)<sup>[10]</sup>

岩石类型	U/ $10^{-6}$	Th/ $10^{-6}$	K/%	Th/U
花岗岩	4~7	15~40	3.4~4.0	3.5~5.6
花岗闪长岩	2.1	8.3	2.3	4.0
辉长岩	0.6	1.8	0.7	3.0
纯橄岩、辉石岩	0.03	0.08	0.15	2.7
玄武岩	0.7	2.3	1.0	3.2
KTB 片麻岩	2.6±1.2	8.2±2.0	2.28±0.17	3.2
Alps 片麻岩	4.95	13.1	3.11	2.64
榴辉岩	0.2	0.4	0.8	2.0
角闪岩	0.7	1.8	0.6	2.6
KTB 变质基性岩	0.6±0.5	2.5±1.6	1.05±0.16	4.2
片岩	2.14	9.73	2.23	4.6
地壳中的克拉克值	2.1	7.8	2.1	3.7

呈正 6 价易于迁移,而 Th 的价态不变,这种晶体化学性差异致使 Th 和 U 分离, Th/U 比值升高。

如果岩石的 Th/U 比值较高,是由于岩石在低温或氧化条件下元素迁移的结果,是否意味着除超基性岩上部的金红石榴辉岩外,榴辉岩和花岗片麻岩都曾经来自地表,或受到了浅成低温流体的交代。反映了超高压变质带岩石特征<sup>[11~14]</sup>。

元素对自然伽马值(GR)的贡献正比于  $A \times C_{Th} + B \times C_U + C \times C_K$ , 从大陆科学钻探岩心 U、Th 和 K 含量来看, K 对自然伽马值的贡献最大。这不同于一般花岗岩。在花岗岩中, U 和 Th 占了 90% 的贡献率, K 只占 10%~13%, 其中 U 为主要元素, Th 只在黑云和二云花岗岩中起主要作用。U 和 Th 主要分布在花岗岩的副矿物中, 30%~90% 的 U 分布在沥青铀矿和铀云母中, 其余分布在独居石、磷钇矿和锆石中。放射性元素的主要赋存矿物独居石、锆石、磷灰石、磷钇矿和钽正硅酸岩在中-酸性火山岩或片麻岩与流体的作用中保持稳定, 即使淋漓也在一小段距离中迁移。而主孔 2000 m 中花岗质片麻岩具有更高的自然伽马值, 以及较大的变化范围可能意味着岩石经历了互不相容大离子流体或熔体的交代作用。

而独居石、磷灰石、褐帘石和钽石等为 Th 的主要赋存矿物, 占了 80%~90% 的 Th 含量, 反映了这些矿物在花岗质片麻岩和榴辉岩中的高含量。这与薄片鉴定的结果一致, 磷灰石为榴辉岩的主要副矿物; 独居石、褐帘石和磷灰石为片麻岩重要的副矿物。

## 6 岩心伽马测量的意义

通过系统对岩心岩性伽马测量, 绘制扫描曲线, 建立了自然伽马(GR)参数剖面, 成为大陆科学钻探工程物性测量剖面的一部分。

主孔自然伽马测量研究结果表明, 自然伽马对发现、识别岩性、分层及恢复岩心缺失井段岩性发挥了巨大作用, 利用它可以大致地划分超基性岩、榴辉岩、角闪岩和正、副片麻岩等大类岩性, 并可以区别岩性细小变化(图 4)<sup>[1]</sup>。

用岩心地面自然伽马曲线与测井自然伽马曲线对比法归位, 人为因素影响小, 且方便快捷, 准确率高。缺失岩心段的归位是恢复岩心空间位置的一部分, 对岩心进行系统自然伽马测量, 并对比井下原位测井曲线, 可以较准确地进行深度归位, 是方向归位的基础。为恢复超高压变质岩及其退变岩石和面理

的产状, 为反演超高压变质岩折返的力学状态提供了可能。

研究自然伽马响应特征可以探讨地质体的成因、研究元素分布和迁移规律。

放射性生热率(A)在地热研究中作为标量和岩石同位素物性参数, 与自然伽马强度(GR)呈正比<sup>[15]</sup>, 并可以通过如下统计公式表达两者的关系。

$$A [\mu\text{W}/\text{m}^3] = 0.0158 (\text{GR} [\text{API}] - 0.8)$$

放射性生热率(A)与地质体的热流(Q)存在联系, 结合其他测井及岩石样品分析资料, 可以研究地质构造单元, 而且对确定地壳结构、岩石热状态和造山带地壳的伸展和减薄等大地构造背景有重要的作用<sup>[16~17]</sup>。

**致谢:** 中国大陆科学钻探工程现场指挥部领导提供了帮助; 中国石油大学向军等人对岩心扫描提供了测井技术和岩心地面伽马测量仪方面的支持, 在此一并致谢。

## 参考文献 (References):

- [1] 牛一雄, 潘和平, 王文先, 等. 中国大陆科学钻探主孔(0~2000m)地球物理测井[J]. 岩石学报. 2004, 20(1):165~178  
Niu Yixiong, Pan Heping, Wang Wenxian, et al. Geophysical well logging in main hole (0~2000 m) of Chinese Continental Scientific Drilling [J]. Acta Petrologica Sinica. 2004, 20 (1):165~178 (in Chinese with English abstract).
- [2] Bücker C H, Rybach L. A simple method to determine heat production from gamma-ray logs [J]. Marine and Petroleum Geology, 1996, 13: 373~377.
- [3] Galbraith J H, Saunders D F. Rock classification by characteristics of aerial gamma-ray measurements [J]. Journal. Geochemical Exploration. 1983, 18: 49~73.
- [4] Pfister M, Rybach L. High-resolution temperature logging in shallow drill holes for the determination of terrestrial heat flow: field examples and analysis. Tectonophysics[J].1996, 257 :93~99.
- [5] Jaupart C, Mareschal JC. The thermal structures and thickness of continental roots[J]. Lithos. 1999, 48 :93~114.
- [6] 鞠晓东. Windows 环境下岩心伽马能谱测量系统软件[J]. 石油仪器, 1995, 9(1):47~53.  
Ju Xiangdong. The software of the core gamma ray spectrum logging system for MS windows [J]. Petroleum Instrument, 1995, 9 (1): 47~53 (in Chinese with English abstract).
- [7] 许志琴. 中国大陆科学钻探工程的科学目标及初步成果[J]. 岩石学报, 2004:20(1):1~8.  
Xu Zhiqin. The scientific goals and investigation progresses of the Chinese Continental Scientific Drilling Project [J]. Acta Petrologica Sinica. 2004, 20 (1): 1~8 (in Chinese with English abstract).



- [8] 张泽明,许志琴,刘福来,等. 中国大陆科学钻探工程主孔(100~2050m)榴辉岩岩石化学研究[J].岩石学报, 2004, 20(1):27~42.  
Zhang Zeming, Xu Zhiqin, Liu Fulai, et al. Geochemistry of eclogites from the main hole (100~2050 m) of the Chinese Continental Scientific Drilling Project. *Acta Petrologica Sinica* [J].2004,20 (1): 27~42 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘福来,许志琴,杨经绥,等.中国大陆科学钻探工程主孔及周边地区花岗质片麻岩的地球化学性质和超高压变质作用标志的识别[J].岩石学报,2004, 20(1):9~26.  
Liu Fulai, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, et al. Geochemical characteristics and UHP metamorphism of granitic gneisses in the main drilling hole of the Chinese Continental Scientific Drilling Project and its adjacent area [J]. *Acta Petrologica Sinica*,2004, 20 (1): 9~26 (in Chinese with English abstract).
- [10] Rybach L. Determination of heat production rate [A]. In: Haenel R, Rybach L, Stegena L (eds.). *Handbook of Terrestrial Heat-flow Density Determination*[C]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988, 125~142.
- [11] Chopin C. Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the western Alps: A first record and some consequences [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*,1984, 86: 107~118.
- [12] Smith DC. Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics [J]. *Nature*, 1984, 310:641~644.
- [13] Li SG, Chen Y, Cong BL, et al. Collision of the North China and Yangtze blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes[J]. *Chemical Geology*,1993, 109:70~89.
- [14] Cong B L. *Ultrahigh - pressure Metamorphic Rocks in the Dabieshan - Sulu Region of China* [A]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [15] Rybach L. Heat sources, heat transfer and rock types in the lower continental crust—inference from Deep Drilling [J]. *Tectonophysics*. 1996, 257:1~6.
- [16] 欧新功,金振民,王璐,等.中国大陆科学钻探主孔 100~2000m 岩石热导率及其各向异性;对研究俯冲带热结构的启示[J].岩石学报,2004, 20(1):109~118  
Ou Xingong, Jin Zhenmin, Wang Lu, et al. Thermal conductivity and its anisotropy of rocks from the depth of 100~2000 m mainhole of the Chinese Continental Scientific Drilling: revelation to the study on thermal structure of subduction zone [J]. *Acta Petrologica Sinica*,2004, 20 (1):109~118 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王良书,李成,施央申,等.下扬子区地温场和大地热流密度分布.地球物理学报[J]. 1995, 38(1):469~479.  
Wang Liangshu, Li Cheng, Shi Yangshen, et al. Distributions of geotemperature and terrestrial heat flow density in lower Yangtze area. *Chinese Journal. Geophysics*[J]. 1995, 38 (4): 469~476 (in Chinese with English abstract).

## Natural gamma-ray logging in the main hole (100–2000 m) of the Chinese Continental Scientific Drilling Project and its significance

CHEN Shi-zhong<sup>1,2,3</sup>, YANG Jing-sui<sup>1,2</sup>, ZHANG Ze-ming<sup>1,2</sup>, LIU Fu-lai<sup>1,2</sup>,  
LI Tian-fu<sup>1,2</sup>, QIU Hai-jun<sup>2</sup>, NIU Yi-xiong<sup>2</sup>, WANG Wen-xian<sup>2</sup>, XU Hai-jun<sup>2,4</sup>

(1. *Key Laboratory for Continental Dynamics of the Ministry of land and Resources of China,*

*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Engineering Site of the Chinese Continental Scientific Drilling Project, Donghai 222300, Jiangsu, China;*

3. *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;*

4. *China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China)*

**Abstract:** The Ground Core Gamma Eye was used to test the natural gamma values of cores (2000 m) in the main hole of the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) Project. The peak and valley of the gamma curve and their corresponding petrological, structural and mineralization features were recorded. Through systematic logging, a 2000 m long natural gamma value profile was constructed. The gamma value of eclogite is low and gets high progressively from eclogite through amphibolite to granite gneiss. There is a distinct correspondence between the gamma values and the lithology of metamorphic rocks. Concentrations of the radioactive elements K, U and Th for different types of rock are varied. The genesis of metamorphic rocks is discussed in the context of the radioactivity of these elements in rocks. It is proposed that the genesis of rocks reflected by the protoliths of eclogites and meta-basic (-intermediate) rocks different from that of metapelitic sedimentary rocks. These rocks are orthometamorphites and high Th/U ratios of the rocks are related to the action of near-surface weathering or hydrothermal alteration. The systematic measurements of the natural gamma values of high-grade metamorphic rocks in the main hole are helpful to homing the depth and orientation of cores and studying the genesis of rocks, thermal state of the lithosphere and tectonic evolution.

**Key words:** Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) Project; natural gamma logging; metamorphic rocks; Th/U

---

**About the first author:** CHEN Shi-zhong, male, born in 1967, post-doctoral researcher majors in mineralogy, petrology and ore deposits, now an associate researcher in NIGMR, Laboratory of Continental Dynamics and CCSD; E-mail: chenshizhong@ccsd.org.cn.