

# 元素测井研究

刘际时

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

**摘要** 本文介绍原子能院在元素测井研究领域开展的工作和取得的成果。

**关键词** 元素测井。

## 1 引言

通常,把元素测井定义为:通过直接探测地层元素自发特征辐射或受激特征辐射的能量和相应强度,从而确定地层中元素含量或元素之间含量比值的测井方法。

自70年代末以来,元素测井研究已成为国际核测井研究中最活跃的领域。特别是在测井仪中采用HPGe探测器后,可测元素的数量和测井精度都得到了显著的提高,被称为跨世纪的测井新技术<sup>[1~6]</sup>。

原子能院自70年代中期即开始涉足元素测井研究,本文将简要介绍原子能院在该研究

领域开展的主要工作及取得的成果。

## 2 高纯锗中子俘获 $\gamma$ 能谱测井系统

该系统适用于孔径不小于90mm和孔深小于1000m的煤田钻孔。

该系统由包括<sup>252</sup>Cf中子源、高纯锗探测器、低温恒温器、井下模拟电子学线路、井下4096道多道和缓存的井下探管和地面车载计算机数据获取和处理系统及其它附属设备组成。计算机通过1500m电缆和高速双向数字通讯接口,控制测井程序和采集数据。

低温恒温器一次冷却后可维持探测器在井

表1 葛亭钻孔煤层测井结果和取芯化学分析结果的对比

井号:GT	岩性:煤			井段:390.9~396.40m				
序号	7			8				
类别	测井分析			化学分析	化学分析	测井分析	化学分析	化学分析
谱号	GT593872	GT593877	平均值	N5-8-3-1	与测井差值	GT593822	N5-8-3-2	与测井差值
SiO <sub>2</sub> %	4.67±1.58	4.17±1.49	4.42	3.71	0.17	4.90±2.31	5.32	-0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	3.35±1.45	3.19±1.08	3.27	2.85	0.42	3.80±1.71	4.63	-0.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	1.22±0.39	0.99±0.34	1.105	0.73	0.375	1.38±0.57	0.71	0.67
CaO%	1.09±1.92	0.99±1.53	1.04	0.78	0.26	1.47±3.30	1.06	0.41
TiO <sub>2</sub> %	0.37±0.17	0.36±0.13	0.365	0.19	0.175	0.11±0.21	0.25	-0.14
C%	73.2±13.9	75.4±13.1	74.30	75.86	-1.56	72.3±20.9	72.05	0.25
H%	4.87±0.05	3.83±0.04	4.35	4.63	-0.28	4.86±0.07	4.36	0.5
S%	1.15±0.55	1.02±0.43	1.085	0.58	0.505	1.13±0.78	0.65	0.48
O+N%	10	10	10	9.6		10	10.03	
Ash%	10.70	9.70	10.2	9.33	0.87	11.66	12.92	-1.26
Q	29837	29086	29461	30431	-970	29507	28845	662
FT°C	1401	1422	1411	1459	-48	1426	1529	-103

下正常工作 10h 以上. 系统适用的最大输入计数率为 80Kc/s. 系统可用于定点(定层位)测井, 也可用于连续扫描测井.

定点测井测速为每点 5~10min, 用于对被测层位进行元素含量分析. 在煤系地层定点测井获取的能谱中已观察到包括自然  $\gamma$  和中子活化  $\gamma$  在内的近 20 个元素的谱线. 对其中 11 个作为煤系地层主要组成元素的 C、H、S、Al、Si、Fe、K、Na、Ca、Mg、Ti 进行了含量分析, 测井结果与取芯化学分析符合得相当好. 见表 1.

连续扫描测井的目的是划分地层和判明各对应地层的岩性. 测速为每 30m/h, 每 0.5m 井段获取一张谱, 测井结果与取芯岩性鉴定结果对照表明, 在煤系地层中大约 0.5m 的、包括煤层与夹矸层在内的绝大多数地层, 测井结果都能准确地划分并能判明岩性.

该系统只要取走  $^{252}\text{Cf}$  源或将源放在探管中部即可用于进行高分辨率自然  $\gamma$  能谱或中子活化  $\gamma$  能谱测井. 该系统只需稍加改造就可以用于石油测井和多种非能源矿藏资源勘探.

该系统已通过鉴定, 交付用户使用.

### 3 大体积高纯锗自然 $\gamma$ 能谱测井仪

适用于深度 3000m、井温 120℃ 的石油钻孔测井. 其特点是采用了 200~240 cm<sup>3</sup> 的大体积高纯锗探测器, 以在微弱的自然  $\gamma$  下获得尽可能高的测速. 由于总计算率低, 因此井下探管以模拟量输出形式, 经 4500m 电缆向地面传送能谱信息. 低温恒温器一次冷却后可维持 6~8h 的正常工作. 经 4500m 电缆模拟量传输后整个系统能量分辨率仍好于 5.5keV. 测井仪同样可用定点和连续扫描两种方式测井, 前者测速为每点 15~30min, 后者测速为每小时 36m.

该测井仪于 1993 年底以前在大庆油田配合该院为大庆油田研制的“车载多功能核测井数据采集系统”成功地完成了现场实验. 虽然由于岩芯分析数据还未出来, 不能对测井结果的精确程度作最终判定. 但根据现有数据来看, 与油田现用的  $\phi 50 \times 300$  mm 大 NaI(Tl) 探测器自

然  $\gamma$  能谱测井仪结果相比, 至少有三个优点: (1) 更好的层分辨能力, (2) 能够判铀-镭是否平衡, (3) 钍钾精度相当, 铀的精度更好. 缺点是测速要慢的多. 显然这一测井仪的使用范围应是疑难地层和关键地层.

### 4 高纯锗的测井仪

这是该院于 70 年代中至 80 年代初与大庆油田合作完成的早期工作, 测井仪经过现场实验显示了极好的地质效果. 目前的 NaI 闪烁探测器的 C/O 测井仪测量含油饱和度的精度为  $\pm 15\%$ , 已远不能满足油田后期水淹层测井的需要, 大庆油田改用 BGO 闪烁体后最好精度也只达到约  $\pm 10\%$ , 而该仪器在 80 年代初已达到  $\pm 7\%$  的精度, 但由于当时我国高纯锗探测器制作刚起步, 使用的探测器体积只有几~十几 cm<sup>3</sup>, 只能用于定点测井, 每点测量时间为 20~30min. 现在, 该院已有制作体积大于 200cm<sup>3</sup> 高纯锗探测器的能力, 国际上最新推出的 C/O 测井仪也已开始使用高纯锗<sup>[3~4]</sup>. 因此, 是重新考虑继续发展这一测井技术的时候了.

### 5 车载多功能核测井数据采集系统

这是一套用 ND9900 多道和 WAX-2 计算机强化配制并配有多组测井面板的数据采集系统. 它既可以用于模拟量采集, 也可用于数字采集. 它可以进行多路能谱采集, 也可以进行多路多定标采集以及能谱及多定标混合采集. 事实上, 它拥有对大庆油田几乎所有核测井方法, 多路非核测井方法, 以及高分辨率能谱测井方法进行数据采集的功能.

该系统已由大庆油田验收并交付使用.

### 6 多参数能谱测井系统

该系统是用 14MeV 井下中子发生器产生的快中子的非弹性散射  $\gamma$  能谱和快中子在地层中慢化为热中子后的俘获  $\gamma$  能谱得到 C/O、Si/Ca、Cl/(Si+Ca)、Fe/(Si+Ca) 等十余个有价值的地

层参数. 该系统适用于 3500m 井深、井温 135℃ 的石油钻孔. 独立配备车载计算机数量采集与处理系统具有与国外同类进口测井系统兼与互换的功能.

系统采用闪烁探测器, 从物理方法、仪器结构、测井控制方式、数据采集与处理方法及最终获得的地层参数的类别和数量上来看, 该系统与国外进口的闪烁探测器能谱测井系统是几乎等价的, 立项的目的是国产化和争取市场. 目前工作正在紧张进行中.

## 7 其它相关技术

元素测井研究是一项多学科、多种技术汇集的综合领域. 元素测井研究必然带动其它相关技术的发展. 反之, 其它相关技术新的进展, 也是使元素测井研究得以前进的基础. 原子能院在多年元素测井研究的带动下, 逐渐掌握了一批至少在国内来说居领先地位的相关技术. 例如: (1) 适用于在 135℃ 环境温度下工作的 14MeV 中子管及中子发生器制作技术. 第一套样管和样机将在 1994 年中完成. (2) 第一块大体积(大约 200cm<sup>3</sup>)P 型高纯锗探测器和第一块实用的 N 型高纯锗探测器的研制成功都是因元

素测井研究需要而进行的. (3) 4096 道多道及缓存微型化为可装入内径 50mm 的探管井下井. (4) 在内径仅为 56mm 的探管空间内掌握了可维持高纯锗探测器正常工作达 20h 间的低温恒温技术. (5) 提出并建立了  $\gamma$  能谱相对探测效率曲线的自刻度法, 从而使  $\gamma$  能谱多元素含量分析能用于任何形状的样品及任意变化的源-样品-探测器几何和样品组分.

近二十年来, 原子能院及有关协作单位直接参加元素测井研究工作的有四、五十人之多, 笔者只是参加了其中一部分工作. 在此对所有参加过该领域工作、从而为笔者提供了完成本文所需素材的人员深致谢意.

## 参 考 文 献

- 1 Senfttle F E. Mining Engineering, 1978, 30 : 660
- 2 Horzqq R. SPE, 1987, 16792
- 3 SPWLA 29 Annual Logging Symposium 论文文摘, 1988, 1(4) : 9
- 4 Baicker J A. SPWLA 26 Annual Logging Symposium, 1985
- 5 Clayton C G. Int. J. Appl. Radiat. Isot, 1983, 34(1) : 83
- 6 Kerr S A. IAEA-SM-308/69, 1991

# Element Well Logging Research

Liu Jishi

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

**Abstract** A description for the projects and the advances of the element well logging research in CIAE is given in this paper.

**Key word** element well logging.