

第四次 核测井学术会议论文集

中国核物理学会 编
核测井专业委员会



4

26

8

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

第四次核测井学术会议论文集/中国核物理学会核测井专业委员会编. —北京: 石油工业出版社, 1998.8

ISBN 7-5021-2363-6

I. 第…

II. 中…

III. 油气测井: 核测井—学术会议—文集

IV. TE15-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 19520 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省徐水县激光照排厂排版

河北省徐水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 11 印张 275 千字 印 1—400

1998 年 8 月北京第 1 版 1998 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN7-5021-2363-6/TE·1969

定价: 15.00 元

前 言

中国核物理学会核测井专业委员会举办的第四次学术会议将于 1998 年 10 月在湛江召开，与此同时，出版会议论文集。

本论文集内容丰富，撰写论文的单位广泛，论文质量比较高，这些论文是近年来在核测井和相关专业应用研究方面所取得的最新成果，必将对我国核测井技术的发展发挥重要的作用。

核测井专业委员会一直把开展核测井技术的学术交流和合作作为最重要的活动内容来迎接新世纪的挑战，今后要进一步加强学术交流和合作，希望全体会员踊跃参加各种学术活动，积极撰写学术论文，为推动核测井学术水平的提高和核测井技术的发展贡献力量。

本次学术会议的召开和论文集的出版得到各会员单位和全体会员的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

中国核物理学会核测井专业委员会

1998.10

目 录

地层元素中子俘获 γ 能谱测井解释理论和方法	1
核测井仪井下集成电子系统的设计与实践	8
评 MCNP 程序在核测井模拟中的应用	13
中子测井源距选择数值模拟研究	20
核成像测井探测器探讨	28
改变源强法测量核辐射探测系统的分辨时间	31
一种新型自然伽马能谱测井仪	38
MZS—2 型井下中子发生器在 C/O 测井中的应用	46
C/O 测井中参数偏差问题的探讨	50
改进的 C/O 测井解释方法	55
胜利油区不同油田放射性同位素粒径选择	63
随钻密度测井现状与服务概况	69
光纤核探测器的研究及其用于核测井的探讨和展望	77
理论计算核模型井的建井孔隙度	85
岩性密度测井中基本物理量定义和关系	89
核测井仪器中的磁屏蔽研究	99
蒙特卡罗库最小二乘法在核测井中的应用	103
核磁共振测井解释方法研究及应用效果评价	109
用 NMR 测井资料评价毛管束缚水饱和度的方法	136
3206 核磁共振成像测井仪 (MRIL) 及刻度	143
APS 在四川碳酸盐岩地层中的应用评价	150
介电测井的侵入影响及测井响应	159

地层元素中子俘获 γ 能谱测井解释理论和方法

庞巨丰

(西安石油学院)

摘要 本文叙述了地层元素中子俘获 γ 能谱测井解释理论和方法,也就是由中子俘获 γ 能谱测井仪在井眼中获取地层的中子俘获 γ 射线 NaI (Tl) 谱,再由实测谱确定主要地层元素的重量百分含量的理论和方法。

引言

热中子能与大多数元素发生辐射俘获反应。利用中子与地层各种元素作用发生辐射俘获核反应,瞬发的 γ 射线能量不同,测量和分析瞬发俘获 γ 能谱,定性、定量确定地层中的元素成分和含量的测井方法称地层元素中子俘获 γ 能谱测井。

至今为止的核测井方法在确定岩石种类、识别复杂岩性方面还存在不少困难。所谓复杂岩性地层是指矿物成分复杂并随深度变化的地层。目前,对复杂岩性地层建立起的解释模型基本上属于结构模型,只有在非常简单的岩性地层情况下,结构模型才接近于矿物模型。因此,对复杂的岩性地层尽快建立新的矿物模型是一项急需解决的科研任务。这样就需要发展地层元素中子俘获 γ 能谱测井。这是一种全新的核测井技术,几乎能确定地层中的全部元素成分,进而确定岩石的矿物组成,为识别复杂岩性、创立新的核测井解释模型以及正确评价储层开辟了新的途径。

本文主要叙述如何从测井所获取的中子俘获 γ 谱数据,求得地层元素的重量百分含量和地层中矿物的重量百分含量的理论和方法。

用中子俘获 γ 实测谱确定地层元素含量的基本理论

在井眼里,某一地层中子俘获瞬发 γ 射线能谱的测量中,地层第 j 种元素中子俘获瞬发 γ 射线被井下 NaI (Tl) 微机多道谱仪记录的第 i 道的平均计数率 $\overline{CR}_{ij}$ 为^[1]:

$$\overline{CR}_{ij} = W_{ij} I_n (\rho_b \overline{\Phi}_n \overline{\Omega V}) N_A \frac{\sigma_f M_{ij}}{A_j} \quad (1)$$

式中 W_{ij} ——元素在该地层中的重量百分比含量, %;

I_n ——中子源发射的中子强度, 1/s;

ρ_b ——地层体积密度, g/cm³;

$\overline{\Phi}_n$ ——中子源单位中子强度 (1s⁻¹) 在地层的平均有效热中子通量, (cm²·s)⁻¹/s⁻¹;

$\overline{\Omega}$ ——NaI (Tl) 闪烁体的平均有效探测立体角份额, %;

$\overline{V}$ ——平均有效研究体积, cm³

N_A ——阿伏加得罗常数;

σ_j ——第 j 种元素的热中子辐射俘获截面, cm^2 ;

M_{ij} ——第 j 种元素俘获 γ 射线的传输和被第 i 道记录的效率, %;

A_j ——第 j 种元素的原子量, mol;

m ——该地层元素的种数。

所测得的 γ 谱是 256 道谱, i 从 2 开始是因为第 1 道往往是计数时间。

如果令 $\overline{CR}_j$ 为第 j 种元素俘获 γ 谱的总计数率; M_j 为第 j 种元素俘获 γ 射线的传输和总探测效率, 则

$$\overline{CR}_j = \sum_{i=2}^{256} \overline{CR}_{ij} \quad M_j = \sum_{i=2}^{256} M_{ij}$$

该层所有地层元素对实测的俘获 γ 谱的总贡献即总计数率 CR_t 为:

$$\overline{CR}_t = \sum_{j=1}^m \overline{CR}_j$$

那么, 第 j 种元素对俘获 γ 实测谱的贡献份额即产额 y_j 为:

$$y_j = \frac{\overline{CR}_j}{\overline{CR}_t} = W_{tj} I_n (\rho_b \overline{\Phi}_n \overline{\Omega} \overline{V} / CR_t) N_A \frac{\sigma_j M_j}{A_j} \quad (2)$$

$$\text{令} \quad S_j = N_A \frac{\sigma_j M_j}{A_j} \quad \frac{1}{F_0} = I_n \rho_b \overline{\Phi}_n \overline{\Omega} \overline{V} / CR_t$$

式中 S_j ——第 j 种元素俘获 γ 射线的探测灵敏度;

F_0 ——一个与单种元素无关的量, 但不同地层是不一样的。则

$$y_j = W_{tj} S_j / F_0 \quad (3)$$

但在实际中, 探测灵敏度 S_j 很难用实验测定, 因此, 采用相对灵敏度。例如定义 Si 元素的相对灵敏度为 1, 其他元素的相对灵敏度是相对 Si 而言的, 相对灵敏度 (灵敏度因子) S_{rj} 为:

$$S_{rj} = \frac{S_j}{S_{Si}} = \frac{y_j / W_{tj}}{y_{Si} / W_{tSi}} \quad (4)$$

由此可见, 元素的探测灵敏度因子是该元素的“产额—重量百分含量比”与 Si 的“产额—重量百分含量比”之比值。由于通常使用的都是相对灵敏度, 因此 S_{rj} 就简写为灵敏度因子 S_j , 这样, 第 j 种元素的重量百分含量 W_{tj} 为:

$$W_{tj} = F \frac{y_j}{S_j} \quad (5)$$

其中

$$F = F_0 / S_{Si}$$

F 是与待分析的地层元素无关、与测量介质总体情况有关的量; 而灵敏度因子 (相对灵敏度) S_j 与中子源强度、中子的输运、地层密度无关, 与具体元素和探测系统有关的量。式 (5) 是确定地层元素重量百分比含量的基本理论公式。具体工作的关键就是确定 y_j 、 S_j 和 F 了, 下面分别叙述这些量的确定方法。

产额 y_j 的确定方法

产额 y_j 的确定步骤是：首先要有一套标准的单种地层元素俘获 γ 谱（简称标准谱）；其次做谱漂移和谱形状校正；第三求归一化谱；第四选择一种工程上适用、精度高的解谱方法，最后求出待分析地层俘获 γ 谱中各元素的产额 y_j ，这里只给出谱漂移和谱形状校正的方法及待分析地层谱的解谱框图。

1. 谱漂移与谱形状校正

在实际中子俘获 γ 能谱测井中，由于井况变化、不同深度地层温度变化及仪器的不稳定性，即使采取稳谱措施，测量系统的增益和零截也会发生变化，致使实测俘获谱峰址发生漂移。特别是能量分辨率也会随温度升高而变差，导致峰形变宽。用能量和分辨率刻度不同的标准谱去拟合测井获得的地层混合元素俘获 γ 谱（简称混合俘获谱），会带来很大的误差。因此，在解谱之前，必须进行谱漂移校正和谱形状校正。

一般的校正方法是：对谱漂移校正，以标准俘获谱为基准，将混合俘获谱校正到标准俘获谱；对谱形状校正，以混合俘获谱为基准，将标准俘获谱的谱形校正到混合俘获谱。谱漂移校正的方法见参考文献^[2]；谱形状校正的方法如下：

通常，能量为 E_γ 的全能峰的半宽度 H_w 是能量 E_γ 和温度 T 的函数，若温度为 T_0 ($T = 273 + t_0$) 时，峰的半宽度为 $H_w(E_\gamma, T_0)$ ，温度为 T 时，峰的半宽度为 $H_w(E_\gamma, T)$ ，加宽了 $\Delta H(E_\gamma, T)$ ，则^[3]

$$H_w^2(E_\gamma, T) = H_w^2(E_\gamma, T_0) + \Delta H^2(E_\gamma, T) \quad (6)$$

$$\Delta H^2(E_\gamma, T) = \Delta H_0^2(T) + \Delta H_1^2(T)E_\gamma + \Delta H_2^2(T)E_\gamma^2 \quad (7)$$

其中， $\Delta H_0(T)$ ， $\Delta H_1(T)$ ， $\Delta H_2(T)$ 是温度 T 的函数，可由实验测得。设原谱为 $N_0(E_\gamma)$ ，通过对原谱进行卷积处理实现谱形校正，则校正后的谱为

$$N(E_\gamma) = \int_{E_{\gamma\min}}^{E_{\gamma\max}} N_0(E_{\gamma_0}) G(E_\gamma - E_{\gamma_0}) dE_{\gamma_0} \quad (8)$$

其中

$$G(E_\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\Delta H(E_\gamma, T)} \exp\left[-\frac{(E_\gamma - E_{\gamma_0})^2}{2\Delta H^2(E_\gamma, T)}\right]$$

2. 待分析地层俘获 γ 谱解谱流程图

待分析（待解）地层俘获 γ 谱解谱流程图如图 1 所示。图中：

$$\Delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(c_i - \sum_{j=1}^m a_{ij} y_j \right)^2 \quad (9)$$

式中 c_i ——根据解谱方法可以是第 i 道或第 i 段区的计数百分数；

a_{ij} ——仪器响应矩阵的矩阵元；

n ——总道数或总段区数（决定于解谱方法）；

i ——道码或段区序号。

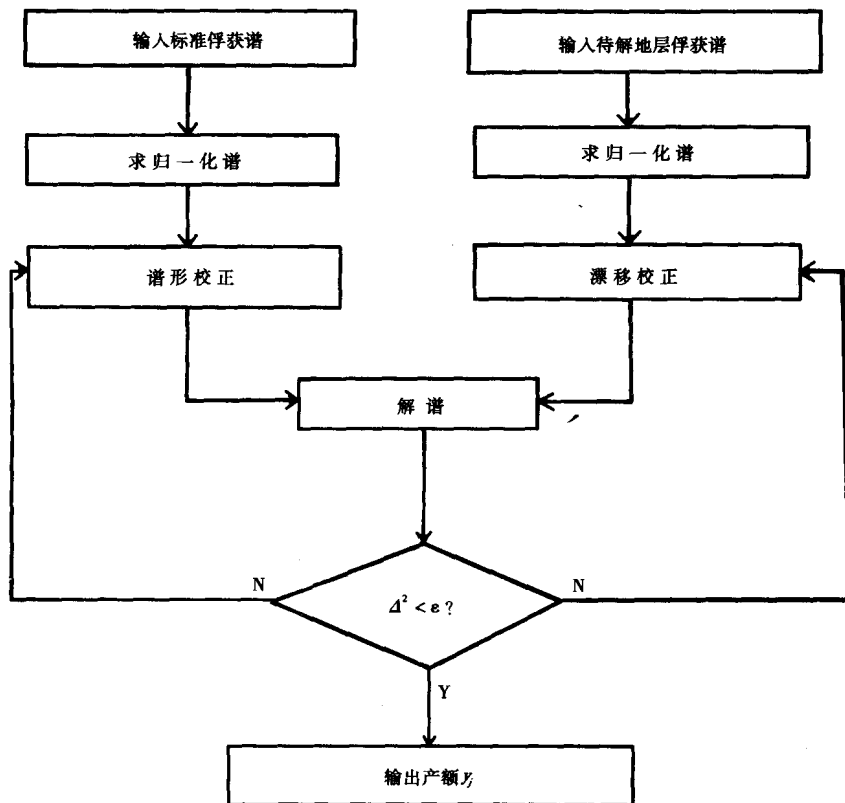


图1 地层元素俘获 γ 谱解析求 y_j 流程图

灵敏度因子 S_j 的确定

用一个 $\phi 1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的标准圆筒，圆筒中心再装上一根同轴的套管，在套管外壁与圆筒内壁之间装入精心配制的具有一定孔隙度、空隙流体和矿物重量百分含量已知的多种矿物混合物。使混合物密度和热中子扩散长度与标准谱井基本一样，从而得到元素重量百分含量 W_{ij} ($j=1, 2, \dots, m$) 已知的模拟井地层。然后用地层元素中子俘获 γ 能谱测井仪，在该模型井中获取中子俘获瞬发 γ 射线谱（用 NaI (TI) 探测器 256 道）。再用上节所述的解谱方法和解谱软件求出模拟地层中各元素的产额 y_j ($j=1, 2, \dots, m$)，由于 O 和 C 的热中子俘获截面很低，这两种元素对俘获谱的贡献忽略不计，对氧化物和碳酸盐矿物来说，只考虑 O 和 C 以外的元素。令 $S_{si}=1$ ，则

$$S_j = \frac{y_j / W_{tj}}{y_{si} / W_{tsi}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

由式 (10) 可以求出模拟地层中各元素的灵敏度因子，作为实际测井时应用。

测井时用闭合模型求地层的元素含量

对于一个确定的地层，各种矿物的重量百分含量 K_j 之和应该是 1，即

$$\sum_{j=1}^m K_j = 1 \quad (11)$$

这就是闭合归一化模型的理论依据。对于地层中主要是氧化物和碳酸盐矿物时，(11)可写成

$$\sum_{j=1}^m X_j W_{ij} = 1 \quad (12)$$

其中 X_j 为闭合归一化模型的第 j 种氧化物或碳酸盐的氧化物指数，它为该元素在矿物中所占重量百分比的倒数。部分元素其氧化物或碳酸盐的氧化物指数列于表 1^[4]。

表 1 闭合归一化模型的氧化物指数

元素	氧化物	氧化物指数
Si	SiO ₂	2.139
Ca	CaCO ₃	2.497
	CaO	1.399
Al	Al ₂ O ₃	1.899
Ti	TiO ₂	1.668
K	K ₂ O	1.205
Fe	FeO	1.287
	Fe ₂ O ₃	1.430
	FeCO ₃	2.075
S	CaSO ₄	1.125
	FeS	0.064

在前一篇文章中^[5]，我们已经论证过，用测井灵敏度来考虑，K、Al、Mg 三种元素都不是用中子俘获瞬发 γ 谱来测定的。因此，将式 (5) 代入式 (2) 得闭合归一化模型的表达式为^[4]：

$$F \sum_{j=1}^{m'} X_j \frac{y_j}{S_j} + X_{\text{Mg}} W_{t\text{Mg}} + X_{\text{K}} W_{t\text{K}} + X_{\text{Al}} W_{t\text{Al}} = 1 \quad (13)$$

式中 $m' < m$ ，这样，用热中子俘获瞬发 γ 射线谱确定地层元素的闭合归一化模型变为闭合 Q 模型，即

$$F \sum_{j=1}^m X_j \frac{y_j}{S_j} = Q \quad (14)$$

式中的 m 是对俘获谱有贡献的元素数，实际是 (13) 式中的 m' ，只是为描述方便仍用 m 。

关键是 Q 值的确定了，还是利用确定 S_j 的那口模型井，模拟地层中第 i 种元素的真含量 W_{tri} ($i=1, 2, \dots, m$) 已知，由式 (14) 将第 i 种元素的一项提到求和号外，得：

$$F \frac{y_i}{S_i} \left(\sum_{j=1}^m X_j \frac{y_j S_i}{y_i S_j} + X_i \right) = Q, \quad j \neq i \quad (15)$$

$$W_{ti} \left(\sum_{j=1}^m X_j \frac{y_j S_i}{y_i S_j} + X_i \right) = Q, \quad j \neq i$$

所以

$$W_{ti} = \frac{Q}{\left(\sum_{j=1}^m \frac{X_j y_j S_i}{S_j y_i} + X_i \right)} \quad (16)$$

由式 (16) 求出的 W_{ti} 与真值 W_{tri} ($i=1, 2, \dots, m$) 的方差为

$$\sigma^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (W_{ti} - W_{tri})^2$$

$$\text{即} \quad \sigma^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left[Q / \left(\sum_{j=1}^m \frac{X_j y_j S_i}{S_j y_i} + X_i \right) - W_{tri} \right]^2 \quad (j \neq i) \quad (17)$$

要使 $\sigma^2 \rightarrow \min$, 则 $\frac{d\sigma^2}{dQ} = 0$, 由式 (17) 对 Q 求导数, 并取零, 得:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^m \left[W_{tri} / \left(\sum_{j=1}^m \frac{X_j y_j S_i}{S_j y_i} + X_i \right) \right]}{\sum_{i=1}^m \left[1 / \left(\sum_{j=1}^m \frac{X_j y_j S_i}{S_j y_i} + X_i \right)^2 \right]} \quad (j \neq i) \quad (18)$$

在实际测井时, Q 值随不同的地层不一定与式 (18) 的计算值 (模型井刻度值) 相同, 而是随不同矿物地层而变化。因此, 对于含 Al 的地层, 用中子活化测井确定 Al 的重量百分含量 W_{tAl} ; 对于含 K 的地层, 用自然 γ 能谱测井确定 K 的重量百分含量 W_{tK} ; 对于含 Mg 的地层, 用岩性密度测井测定 P_e , 从而确定 Mg 的重量百分含量 W_{tMg} 。其确定公式如式 (19)^[6]:

$$F \sum_{j=1}^m P_{ej} \frac{y_j}{S_j} + P_{e,Mg} W_{tMg} + P_{e,K} W_{tK} + P_{e,Al} W_{tAl} + 0.23 = P_{e,mat} \quad (19)$$

式中 $P_{e,mat}$ ——地层骨架的光电吸收截面指数。

由式 (19) 和式 (13) 可求得 W_{tMg} 。

这样, 在实际测井中可按式 (20) 确定 Q 值:

$$Q = 1 - X_{Mg} W_{tMg} - X_K W_{tK} - X_{Al} W_{tAl} \quad (20)$$

对于不含 Mg、K、Al 的地层, $Q=1$ 。

$$F = Q / \left(\sum_{j=1}^m X_j \frac{y_j}{S_j} \right) \quad (21)$$

式中 y_j 是由地层俘获 γ 谱作定量解析求出的。

故可以求得地层第 j 种元素的重量百分比含量:

$$W_{ij} = F \frac{y_j}{S_j} \quad (22)$$

如果地层骨架是氧化物或碳酸盐矿物, 则可由式 (23) 求出相应矿物的含量:

$$K_j = F X_j \frac{y_j}{S_j} \quad (23)$$

但是，有的地层骨架由多种矿物构成，这时矿物含量由下式求得：

$$[K] = [C]^{-1} [W_i] \quad (24)$$

式中 $[K]$ ——各种矿物重量百分含量列矩阵；

$[W_i]$ ——地层元素重量百分含量列矩阵；

$[C]$ ——各种矿物中元素重量百分含量组成的系数矩阵。

小 结

本文对地层元素热中子俘获 γ 能谱测井时，由 NaI (Tl) 探测器记录得到的 256 道实测俘获谱，从实测俘获 γ 谱求出地层元素重量百分含量，进而求出地层矿物重量百分含量的基本理论和解决方法进行了讨论，给出了可操作性的实施方法。并且从理论上导出了地层元素重量百分含量与每种元素俘获 γ 射线对实测谱的贡献份额（产额）及相对探测灵敏度之间的关系，为从实测俘获 γ 谱求得各元素重量百分含量奠定了基础。实践证明该理论和方法是成功的。

参 考 文 献

- [1] J. A. Grau et al., A Geological Model for Gamma-ray Spectroscopy Logging Measurements. Nucl. Geophys. 1989, 3 (3): 351-359
- [2] 庞巨丰等. 岩心自然伽马射线 NaI (Tl) 谱的解析. 测井技术, 1996, 20 (6).
- [3] J. A. Grau et al., Prompt γ -Ray Spectral Analysis of Well Data Obtained with NaI (Tl) and 14 Mev Neutrons. Nucl. Geophys, 1987, 1 (2)
- [4] R. Hertzog et al., Geochemical Logging with Spectrometry Tools, 1987
- [5] 庞巨丰. 中子俘获 γ 能谱地层元素测井的灵敏度. 测井技术, 1992
- [6] J. S. Schweitzer et al., Elemental Concentrations from Gamma-ray Spectroscopy Logs, Nucl. Geophys., 1988

核测井仪井下集成电子系统的设计与实践

李会银 鞠晓东

(石油大学)

摘要 本文介绍一种以单片机为核心的核测井仪井下信息采集、处理及数据传输电子系统的设计方案。系统具有对岩性密度和自然伽马能谱的多道幅度分析,补偿中子及所有井下常规模拟、脉冲信号的数字化采集,数据传输采用与 Atlas 3508 遥测短节兼容的半双工 Manchester 编码。所述设计已在 $\phi 89\text{mm}$ 和 $\phi 76\text{mm}$ 两种直径下井组合仪器系统实现。

引 言

即使在成像测井技术已发展得日趋成熟的今天,由岩性密度测井、补偿中子测井及自然伽马能谱测井仪等“黄金搭档”组合仍将无可替代地充当常规核测井的角色,因为它们造价低、可靠性高,数据处理的理论和方法成熟且已能满足解决大多数地质问题的需要。为最有效地采集这一组合核测井仪的探测器信号,设计了一个以单片机为核心的集脉冲幅度分析(PHA)、模拟及脉冲计数数据采集、处理及数据传输集成化电子系统,主要性能及技术指标是:

(1) 两道高速 PHA 通道用于岩性密度(Z-DEN)长源距及自然伽马能谱(GRS),12位分辨率/ $1.7\mu\text{s}$ 转换速率,死时间小于 $10\mu\text{s}$,共用一个16级先进先出寄存器组(FIFO)。

(2) 五道脉冲计数,可对岩性密度短源距,补偿中子(CNL),非能谱自然伽马(不使用伽马能谱时的一种变通)等进行计数,计数率上限大于1MHz。

(3) 八道模拟信号采集用于对保温瓶内、外温度,井径,相对方位,缆头电压等进行模数转换,12位分辨率/ $7.5\mu\text{s}$ 转换速率。

(4) 四道模拟输出,用于设置 PHA 噪声门坎及高压稳谱的控制,12位分辨率。

系统采用军用级元器件,置于金属保温瓶内,仪器耐温在 $175\sim 200^{\circ}\text{C}$,满足一般中深井测井要求。数据传输部分为与 Atlas 3508 传输短节信号兼容,采用了 MII 编码,半双工,20kbps 通讯速率。由于每帧的数据量约1k字节,因此可有2帧/s的实际传输能力,当采用0.1m/深度采样时,可达720m/h的测井速度,这对核测井无疑已足够(并且其中0.1m深度间隔和0.5s/采样均已达到核测井仪深度分辨率和统计起伏影响的上限)。

系统硬件设计

集成电子系统总体构成如图1所示。主要组成部分有:单片机(MPU),2K字节的随机存取存储器(RAM),曼彻斯特码通讯电路(Manchester Encode/Decode),岩性密度长源距脉冲幅度分析电路(Z-DEN-LS PHA),自然伽马能谱脉冲幅度分析(GRS PHA),脉冲计数器,串行模/数转换电路(ADC),串行数/模转换电路(DAC)。

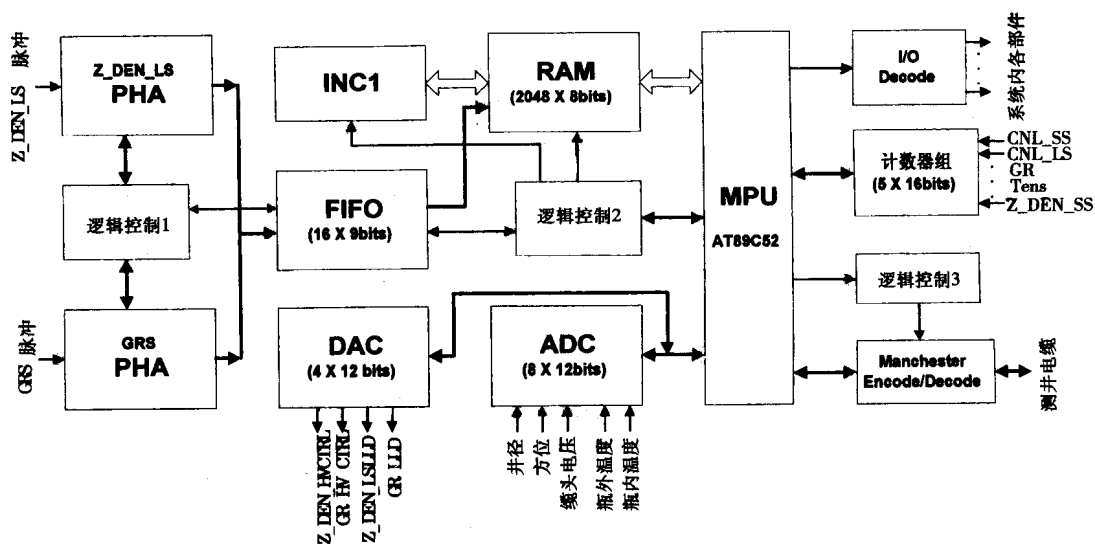


图 1 核测井仪井下集成电子系统总体框图

1. 双通道 PHA

双通道 PHA 电路组成如图 2 所示。图中详细画出了 Z—DEN—LS 道结构，GRS 道与 Z—DEN—LS 道结构，工作原理相同。PHA 通道由前置脉冲放大、脉冲微分校正、峰值保持、A/D 转换、静噪低门坎、峰位检测、时序控制及优先权控制等部分构成，其中优先权控制是为合理使用 FIFO 而设置的，为两个通道共用。

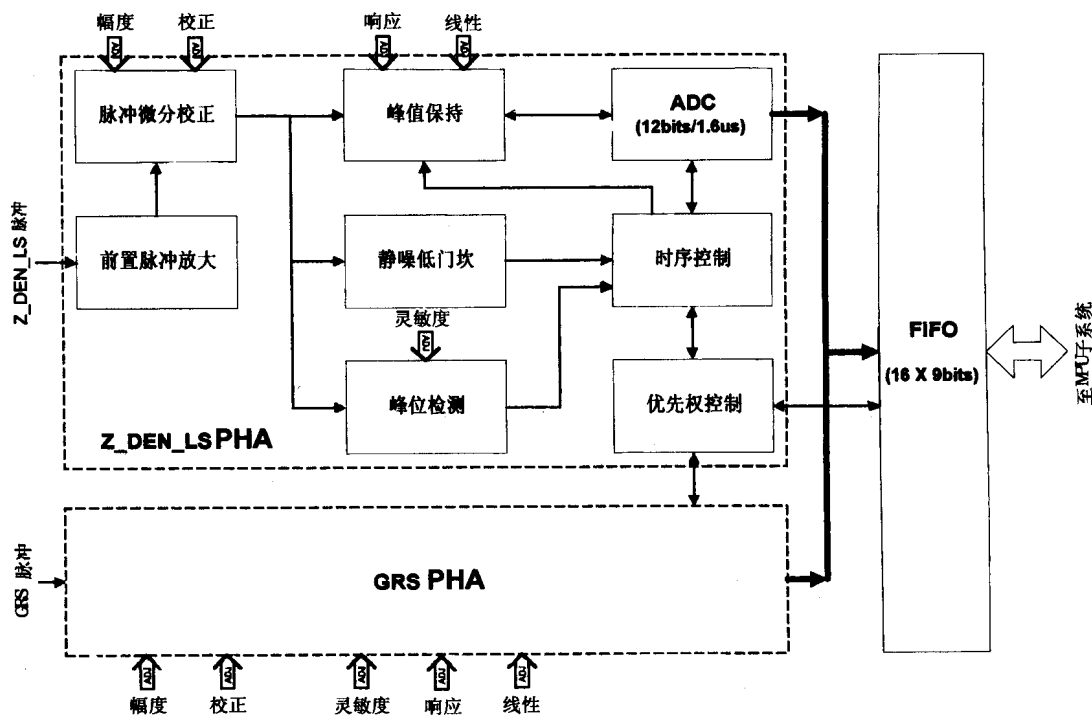


图 2 双通道 PHA 电路组成示意图

输入信号处理由前置脉冲放大和脉冲微分校正电路完成。前置脉冲放大将来自探测器的负脉冲反相放大,变为正极性脉冲。脉冲微分校正将前置脉冲放大后的正脉冲信号进一步放大,其放大倍数可调,以适应后面峰值保持及 A/D 转换器的需要。微分校正电路还消除由放大器级间 RC 耦合导致的基线漂移和拖尾现象,保证测量结果的准确性。

峰值保持和 A/D 转换是 PHA 电路的核心,其响应速度、线性, A/D 转换器的转换速度、分辨率是影响整个 PHA 电路的总体技术指标的关键因素。为此,系统在峰值保持电路中设置了响应速度及线性调节环节,可以根据探头脉冲特性将电路调整到最佳状态。A/D 转换器采用 12 位分辨率、转换时间 $1.7\mu\text{s}$ 的高速,高精度 A/D 转换器,以期达到最佳采集效果。考虑到对碘化钠晶体 256 道的分辨率已经足够,因而使用了 A/D 转换器的高 8 位。

采集过程控制由静噪低门坎、峰位检测及时序控制电路构成。它们提供峰值保持及 A/D 转换所需要的控制信号。静噪低门坎起抑制噪声、识别有效脉冲的作用。当信号的幅度低于规定的门坎电平时,认为是无用的噪声信号,不启动采集;当信号的幅度高于门坎电平时,则看作是有效的脉冲信号,由时序控制电路产生相应的控制信号,使峰值保持电路工作,跟踪输入脉冲的上升。峰位检测电路通过微分电路检测输入脉冲的峰点。峰位检测到时,峰值保持电路已达到保持状态,由时序控制电路延迟到 A/D 所需的采样时间(约 350ns)后产生启动 A/D 转换信号, A/D 转换器将峰值电压转换为数字量。A/D 转换完成后,由时序控制电路产生两个控制信号:一个使峰值保持电路的保持电容放电,为下一次脉冲采样作准备;另一个是向优先权控制电路发出的输出请求信号,请求将 A/D 转换的结果读出放入 FIFO 中。

由于系统中两个 PHA 通道彼此独立以及脉冲信号的随机性,当两个通道的 A/D 转换同时完成或转换结束时间非常接近时,会出现两个通道争用 FIFO 的情况。为解决问题,设计了优先权控制电路。A/D 转换结束时, A/D 转换结果保持在 A/D 转换器中,输出保持三态;只有在时序控制电路向优先权电路发出输出请求并得到允许后, A/D 转换结果才能经三态缓冲器输出,并由优先权电路产生的 FIFO 锁存信号锁入 FIFO 寄存器。当两个通道同时产生输出请求时, GRS 道优先处理。与 PHA 数据同时送入 FIFO 的还有一个通道标志位,标志为 0 时表示 PHA 数据来自 Z-DEN-LS 通道,标志为 1 时表示 PHA 数据来自 GRS 通道。在 FIFO 的输出端,通道标志与 PHA 数据一起控制存储器的地址总线,使不同通道、不同能级的脉冲计数有序地存入相应的存储单元中。

2. 存储器

存储器与 FIFO、增量器 INC1 及逻辑控制电路 2 构成一个相对独立的小系统(参见图 1)。FIFO 的输出作为存储器的地址信号。设计 FIFO 的目的是为了在脉冲间隔时间较短,来不及处理时,由 FIFO 暂存。FIFO 输出数据有效时,逻辑控制 2 产生一系列控制信号,将相应单元的计数值读出,由增量器增 1 后,再写回原单元中。本系统具有每通道 16 位(最大计数 65535 脉冲/道·每帧)的计数能力,通常 INC1 只需对通道的低字节增量即可。当按字节增量溢出时,由 INC1 产生的进位信号通知逻辑控制 2,再将 RAM 中同一道高字节读出再增量后送回。逻辑控制 2 兼作存储器的总线控制器。当 MPU 访问存储器时,逻辑控制 2 将存储器的地址总线、数据总线与 MPU 的总线相连,与 FIFO、增量器隔离。

存储器逻辑上分成两页存放脉冲幅度分析计数,当某页在采集的动态运行时,另一页受 MPU 控制将其中的数据读出、上传。

3. 计数器电路

系统中的计数脉冲信号共有五路：Z 密度短源距探测器脉冲信号 Z—DEN—SS、补偿中子长源距探测器脉冲信号 CNL—LS、补偿中子短源距探测器脉冲信号 CNL—SS、自然伽马脉冲信号 GR 以及张力信号 TENS。这些来自各有关传感器的脉冲信号经电平匹配电路处理后由 82C54 及单片机内部的计数器完成计数。

4. 串行 A/D 及 D/A 转换电路

本系统的 A/D 和 D/A 转换器均采用 MAXIM 公司的高性能 12 位多通道转换器，三线制串行接口，精度高、速度快，而且有效地减少了系统元件间的连线和节省了空间。A/D 转换器对井径、方位、保温瓶内、外部温度、缆头电压等信号进行模/数转换。D/A 转换器产生两个 PHA 通道的低门坎 Z—DEN—LS LLD 和 GR LLD 及探测器高压控制信号 Z—DEN—HV CTRL 和 GR—HV CTRL。

5. 单片机

本系统采用 AT89C52 单片机实现数据采集、处理及数据传输。AT89C52 是一种低功耗、高性能的八位 CMOS 微控制器。内部资源主要有：8k 字节快闪可编程/擦除只读存储器；256×8 位内部 RAM；3 个 16 位计数器；32 条可编程 I/O 线。系统设计充分利用了 MPU 的内部资源，因而使系统组成更加简洁、高效。

6. Manchester 码通讯电路

Manchester 码通讯电路用于实现井下仪器与地面系统的半双工串行通讯，由数字和模拟两部分组成。数字部分完成 Manchester 码的编码、译码及与 CPU 的接口，电路组成包括：Manchester 码编码、译码电路，并入串出、串入并出移位寄存器电路等；模拟部分由发送驱动电路、接收信号恢复电路及传输变压器等构成。

系统软件设计

系统控制程序的主要功能有：完成各种信号的数据采集、传输；对能谱数据作滤波处理实现寻峰稳谱控制；调整噪声门坎电平及控制探头高压。系统控制程序主要包括以下模块：

- (1) 初始化模块，完成系统内可编程器件的初始化、变量及数据缓冲区初始化等；
- (2) 命令接收与解释模块，负责接收及解释地面系统的下传命令，根据命令的要求，调用相应模块实现特定的功能；
- (3) 数据采集模块，完成能谱数据采集、模拟及脉冲量参数采集；
- (4) 上传数据模块，将采集的数据送 Manchester 编码电路编码，然后经驱动电路送上测井电缆，传送给地面系统；
- (5) 寻峰处理模块，对采集的能谱数据滤波、寻峰，通过调整探测器高压控制信号实现稳谱。

结 论

本集成电子系统的设计已在 $\phi 89$ 和 $\phi 76$ 两种规格的下井仪中实现。试验表明，设计中所有功能均已正确实现，并在 PHA 信道线性、通过率（实测可大于 20000 随机脉冲/s）等方面取得较好的结果。分析表明，本系统具有以下特点：

(1) 由于对系统中关键的模拟处理部分(脉冲基线校正, 峰值采样, 高压控制等)使用 Microsim 的 MSIM 软件包进行了计算机仿真分析, 不仅确保了性能而且简化了设计;

(2) 由于较多地采用了 GAL 可编程器件, 并灵活使用同步、导步、组合逻辑等方式, 较好地解决了系统中的各种逻辑控制的需要, 结果是大量地替代了普通 54HC 系列芯片(一片 GAL 约相当于 3~6 片, 实际上本系统未用 TTL、CMOS 系列门和触发器), 大大简化和灵活了系统布线(如果不采用这种方案, $\phi 76$ 直径仪器的布线将非常困难), 使得系统更加可靠。

(3) 通过对 PHA 与 FIFO 之间优先权控制以及 MPU 与 FIFO 对 RAM 的寻址合理控制, 使系统的性能和简化得到很好的统一, 实践证明是一个很成功的设计(原 Atlas 2222 Z-DEN 为达到同样功能又外加了一片 RAM 和 ROM)。

总之, 通过上述设计和实践, 成功实现了在一个短节内完成对组合核测井系列仪器全部信号的采集、处理及数据传输, 希望对国内外同行在类似问题中有抛砖引玉的作用。不当之处。敬请批评指正。

致 谢

在本系统的方案设计和制作调试中, 胜利测井公司陈序三高工给予许多指导和帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 2222 Z - DENSITY MAINTENANCE MANUAL, ATLAS WIRELINE SERVICES, 1990
- [2] 冯启宁等. 测井仪器原理. 石油大学出版社, 1992
- [3] 邬宽明. 80C51 系列微控制器系统原理、功能集成与应用. 北京航空航天大学出版社, 1995

评 MCNP 程序在核测井模拟中的应用

裴鹿成

(中国原子能科学研究院)

摘要 MCNP 是世界上最著名的解决中子—光子—电子辐射输运问题的超级蒙特卡罗方法程序,其几何能力与截面能力之强,应用范围之广,含蒙特卡罗技巧之多,是任何其他蒙特卡罗方法程序所无法比拟的。MCNP 程序广泛应用于许多科学与工业领域,核测井模拟是其最重要的应用领域之一。对于有的核测井问题用 MCNP 程序可以很好地直接得到解决,有的则需要用户在 MCNP 程序的基础上适当地加入针对性强的蒙特卡罗技巧予以解决。本文的目的是,评述 MCNP 程序在核测井方面的应用中,应采用哪些技巧,尚存在哪些问题,还有哪些核测井问题直接用 MCNP 程序解决有困难,不适当地加入针对性强的蒙特卡罗技巧难以很好解决,甚至根本无法解决。

引 言^[1]

MCNP 是美国 Los Alamos 国家实验室众多科学家的共同成果,其中包括著名科学家 Fermi、Von Neumann、Ulam 和 Metropolis 等人早期的关于蒙特卡罗方法的开创性工作,也包括许多后继者。Kahn、Cashwell 和 Everett 等做出的重要贡献。

MCNP 程序可以处理任意三维材料结构的粒子输运问题,几何区域的界面可以是平面、任意二次曲面和椭圆旋转环面,几何区域中的材料可以由任意多种元素组成。

MCNP 程序所采用的截面形式,按能量区分可以是连续方式的,也可以是多群方式的。考虑了 ENDF 截面库给出的所有中子反应类型,对于热中子,可以选用自由气体或 $S(\alpha, \beta)$, 两种模型中的任意一种。对于光子,考虑了相干与非相干散射,并处理了光电吸收之后可能有的荧光发射及电子对产生后的就地韧致辐射光。对于电子的考虑也是非常全面的。

MCNP 程序凝聚了作者们所掌握的几乎全部重要的蒙特卡罗技巧,其中包括计算点通量的下次事件估计 (NEE) 技巧,多一次碰撞通量估计 (OMCFE) 技巧,多群伴随技巧;计算体通量的径迹长度技巧;解一般问题的指数变换技巧,DXTRAN 技巧,分裂与赌技巧;解截面微扰问题的相关抽样技巧,等等。

MCNP 程序除了为美国政府的核武器计划做出了重要贡献外,还广泛应用于许多科学与工业部门,在核测井模拟中的应用则是其最重要的领域之一。本文的目的是,评述 MCNP 程序在核测井问题的应用中,应采用哪些技巧,尚存在哪些问题,还有哪些核测井问题直接用 MCNP 程序解决有困难,不适当地加入针对性强的蒙特卡罗技巧难以很好解决;甚至根本无法解决。

核测井模拟中普遍存在的深穿透问题^[1~4]

在核测井问题中,除自然粒子测井外,大体上都属于用人工制造粒子源,粒子由源出发