

EJ

中华人民共和国核行业标准

备案号：15832-2005

EJ/T 611-2005

伽玛测井规范

Specification for γ logging

2005-04-11 发布

2005-07-01 实施

国防科学技术工业委员会 发布

目 次

前 言	2
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 总则	1
4 伽玛测井设计	1
5 仪器设备	2
6 测井准备	6
7 伽玛测井方法及要求	6
8 伽玛测井资料解释方法及要求	7
9 各种影响因素的确定及修正方法	15
10 质量要求	18
11 资料提交与归档	20
12 安全与防护	22
附录 A（规范性附录）固体镭源常数的确定	23
附录 B（规范性附录）FD-3019 型 γ 测井仪铀、钍、钾含量灵敏度系数表	23
附录 C（资料性附录） γ 测井通知书格式	24
附录 D（资料性附录） γ 测井实际材料登记表格式	25
附录 E（规范性附录） γ 测井解释参数表	26
附录 F（规范性附录）FD-3019 型 γ 测井仪 $4/5(I_{\max}-I_{DS})Z$ 呈报数据表	28
附录 G（资料性附录） γ 测井解释结果报告单格式	29
附录 H（资料性附录）FD-3019 型 γ 测井仪铁、水吸收系数表	30
附录 I（资料性附录）HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管铁、水吸收系数曲线图	32
附录 J（资料性附录）HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管铁、水吸收系数表	31
附录 K（资料性附录）FD-3019 型 γ 测井仪钍铀、钾铀 γ 当量系数表	32

前 言

本标准代替 EJ/T 611-1991 《 γ 测井规范》。

本标准与 EJ/T 611-1991 相比主要有以下变化：

- a. 删除了有关涉及 FD-61K γ 总量测井仪器的所有内容；
- b. 增加了 HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管的 γ 测井内容；
- c. 增加了地浸砂岩型铀矿床 γ 测井内容。

本标准的附录 A、附录 B、附录 E 和附录 F 为规范性附录，附录 C、附录 D、附录 G、附录 H、附录 I、附录 K 和附录 J 为资料性附录。

本标准由中国核工业集团公司提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：核工业地质局、核工业二一六大队、核工业二〇三研究所。

本标准主要起草人：余水泉、杜建农、丁忙生、邓小卫、常桂兰。

本标准于 1991 年 10 月首次发布。

中华人民共和国核行业标准

伽玛测井规范

EJ/T 661-2005

1 范 围

本标准规定了铀矿地质勘查 γ 测井（总量测井）的技术要求。

本标准适用于铀矿地质勘查，其它矿产勘查的 γ 测井工作也可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 4792 放射卫生防护基本标准

GB/T 15481 检测和校准实验室能力的通用要求

EJ/T 983 铀矿取样规程

EJ/T 1030 铀矿射气系数测量规范

EJ/T 1094 铀镭平衡系数测量规程

EJ/T 1158 地浸砂岩型铀矿取样规范

EJ/T 1162 地浸砂岩型铀矿地球物理测井规范

3 总 则

3.1 铀矿地质勘查的每个钻孔均应进行 γ 测井。

3.2 γ 测井的目的为：

- a. 确定钻孔内铀矿层起止深度、品位和厚度；
- b. 测定岩（矿）石和地层的 γ 照射量率；
- c. 测定镭—氡放射性平衡系数。

3.3 γ 测井仪应进行校准、野外核查和井场检查。

3.4 γ 测井原始数据应取全取准。

3.5 γ 测井资料应结合地质情况进行综合解释。

4 γ 测井设计

4.1 所有承担 γ 测井工作的单位均应编写 γ 测井设计。 γ 测井设计可单独编写，也可作为地质项目设计的一部分编写。

4.2 γ 测井设计主要内容包括：测井目的、任务与质量要求；区内地质概况及地球物理特征；采用的测井方法技术及要求；人员组成及仪器设备；质量保证措施；资料整理方法和提交的成果。对于专门物探参数孔设计内容还应包括：钻孔位置的选择原则、钻孔结构、钻探

施工的技术要求等。

4.3 γ 测井设计应报主管单位审批后方可实施。实施过程中如有修改和补充应及时申报审批。

5 仪器设备

5.1 性能要求

5.1.1 含量测量范围与灵敏阈

用于铀矿地质勘查的 γ 测井仪,含量测量范围为0%eU~5%eU,灵敏阈应达到0.001%eU;用于划分岩性的 γ 测井仪,含量测量范围为0%eU~0.01%eU,灵敏阈应达到0.0001%eU。

5.1.2 稳定性

5.1.2.1 短期稳定性

γ 测井仪在测量范围内的任何一固定 γ 照射量率值的点上连续工作8h,所测量的 γ 照射量率的相对差应不大于5%(每组 γ 照射量率测量值为30个,组间间隔时间为1h), γ 照射量率的相对差按式(1)计算:

$$\delta_1 = \frac{N_i - N_0}{N_0} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

δ_1 —— γ 照射量率相对差的数值,以百分数表示;

N_i ——第*i*组 γ 照射量率测量平均值的数值,单位为纳库每千克小时(nC/(kg·h));

N_0 ——预热10min后,第一组 γ 照射量率测量平均值的数值,单位为纳库每千克小时(nC/(kg·h))。

5.1.2.2 长期稳定性

γ 测井仪使用前应在检查短期稳定性的同一固定 γ 射量率值的点上长期稳定性检查。每一次检查 γ 照射量率测量值为5个。当仪器长期稳定性 γ 照射量率相对差大于5%时,该仪器应重新校准,符合要求后,方可投入使用。 γ 照射量率的相对差按式(2)计算:

$$\delta_2 = \frac{N_i - N_0^1}{N_0^1} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中:

δ_2 —— γ 照射量率相对差的数值,以百分数表示;

N_j ——第*j*次 γ 照射量率测量平均值的数值,单位为纳库每千克小时(nC/(kg·h));

N_0^1 —— γ 测井仪使用前第一次短期稳定性检查八组 γ 照射量率测量平均值的数值,单位为纳库每千克小时(nC/(kg·h))。

5.1.3 准确性检查

5.1.3.1 在 γ 测井模型标准上的检查

γ 测井仪校准后,在铀模型上所测量的当量铀含量与模型已知当量铀含量的相对误差应不大于5%,当量铀含量相对误差按式(3)计算:

$$\delta_3 = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

δ_3 ——当量铀含量相对误差的数值,以百分数表示;

Q_2 —— γ 测井仪对铀模型测量的当量铀含量的数值,以百分数表示;

Q_1 ——模型已知铀含量的数值，以百分数表示。

5.1.3.2 涨落性检查

利用 γ 测井仪短期稳定性测量数据，用“偏度、峰度检验法”或“ χ^2 检验法”检查 γ 测井仪读数，其结果应符合正态分布，否则测井仪应重新校准。

5.1.3.3 非线性检查

γ 测井仪在量程范围内，在固体镭源标准上实际测量的 γ 照射量率与理论值的相对误差应不超过 5%，非线性相对误差按式（4）计算：

$$\eta = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

η ——非线性相对误差的数值，以百分数表示；

N_1 ——仪器在最大量程的理论数值，单位为纳库每千克小时（nC/（kg·h））；

N_2 ——仪器在最大量程实际测量的数值，单位为纳库每千克小时（nC/（kg·h））。

5.1.4 一致性检查

5.1.4.1 在 γ 测井模型标准上的一致性检查

多台仪器在同一含量铀模型上进行测量时，其中任意两台仪器测量的当量铀含量的相对差应不大于 5%，铀含量测量相对差按式（5）和式（6）计算：

$$\delta_4 = \frac{Q_j - Q_i}{Q} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

$$Q = \frac{\sum Q_i}{n} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

δ_4 ——铀含量测量相对差的数值，以百分数表示；

Q_j 、 Q_i ——任意两台仪器测量的当量铀含量的数值，以百分数表示；

Q ——多台仪器测量的当量铀含量平均值，以百分数表示；

n ——仪器的台数。

5.1.4.2 在固体镭源标准上的一致性检查

多台仪器在固体镭源标准上进行同一固定点位置相同 γ 照射量率校准时，其中任意两台仪器测量的 γ 照射量率的相对差应不大于 5%， γ 照射量率测量相对差按式（7）计算：

$$\delta_5 = \frac{I_j - I_i}{I_n} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

$$I_n = \frac{\sum I_i}{n} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

δ_5 —— γ 照射量率测量相对差的数值，以百分数表示；

I_j 、 I_i ——任意两台仪器测量的照射量率的数值，单位为纳库每千克小时（nC/（kg·h））；

I_n ——多台仪器测量照射量率的平均值，单位为纳库每千克小时（nC/（kg·h））。

5.2 附属设备

5.2.1 概述

γ 测井附属设备包括绞车和测井电缆。

5.2.2 附属设备要求

5.2.2.1 绞车应轻便耐用。集流环连接电缆后，缆心间的最低绝缘电阻值应不小于 10MQ。利用地球物理测井仪加装 γ 测井仪器的设备及电缆的最低绝缘电阻见 EJ/T 1162。

5.2.2.2 测井电缆拉断力应大于 2000N，缆心千米直流电阻应小于 166Ω 。电缆深度系统检查方法和要求见 EJ/T 1162。

5.3 仪器校准

5.3.1 校准要求

5.3.1.1 γ 测井仪每年投入使用前应在能够证明资格、测量能力和溯源性的放射性勘查计量站进行校准。放射性勘查计量站应根据该测量设备的校准内容和方法制定校准计划。

5.3.1.2 投入使用的 γ 测井仪应有放射性勘查计量站提供的校准证书。

5.3.1.3 校准的相关规定见 GB/T 15481。

5.3.2 校准设施

5.3.2.1 概述

γ 测井仪的校准设施包括 γ 测井系列模型标准和固体镭源标准。

5.3.2.2 γ 测井系列模型标准

γ 测井系列模型标准是校准 γ 测井仪器、测定各种定量参数和进行测井方法研究的基础设施。核工业放射性勘查计量站的系列测井模型标准是核工业系统校准 γ 测井仪的最高标准。

5.3.2.3 固体镭源标准

5.3.2.3.1 固体镭源标准既是 γ 测井仪在放射性勘查计量站的校准标准，同时也是野外生产过程中核查 γ 测井仪的工作标准源。

5.3.2.3.2 野外使用的固体镭源标准应定期到放射性勘查计量站进行检定。

5.3.2.3.3 固体镭源标准的检定周期为三年。

5.3.2.3.4 固体镭源标准发生以下现象时应停止使用：

- a. 固体镭源标准的质量变化大于 3%；
- b. 点状中心消失；
- c. 24h 的漏气量大于 37Bq。

5.3.3 γ 照射量率换算系数的校准

5.3.3.1 校准要求

γ 照射量率换算系数的校准应在放射性勘查计量站进行。

5.3.3.2 校准方法

校准应在仪器测程范围内均匀地给出不少于 10 个测量值的点，每个测量值的点上测量次数应不少于 10 个。用固体镭源标准校准时，不同距离的 γ 照射量率按式 (9) 计算：

式中：
$$I = \frac{K_r}{R^2} \dots\dots\dots (9)$$

I ——距固体镭源为 R 处的 γ 照射量率的数值，单位为纳库每千克小时 (nC/(kg·h))；

K_r ——距固体镭源 1m 处的 γ 照射量率的数值， K_r 的使用数据见附录 A，单位为纳库二次方米每千克小时 (nC·m²/(kg·h))；

R ——镭源中心到晶体中心距离的数值， $R > 2I$ ，单位为米 (m)；

I ——晶体长度的数值，单位为米 (m)。

5.3.3.3 γ 照射量率换算系数确定方法

γ 测井仪非线性误差符合本标准要求时,应采用二元正态线性相关分析方法确定 γ 照射量率换算系数。

5.3.4 γ 测井仪含量灵敏度系数的校准

5.3.4.1 γ 测井仪含量灵敏度系数是指照射量率与饱和矿层单位含量之间的关系系数。 γ 测井仪含量灵敏度系数按式(10)计算:

$$\left. \begin{aligned} I^u &= K_u Q_u^u + K_{th} Q_{th}^u + K_k Q_k^u + D_s \\ I^{th} &= K_u Q_u^{th} + K_{th} Q_{th}^{th} + K_k Q_k^{th} + D_s \\ I^k &= K_u Q_u^k + K_{th} Q_{th}^k + K_k Q_k^k + D_s \\ I^0 &= K_u Q_u^0 + K_{th} Q_{th}^0 + K_k Q_k^0 + D_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

I^u 、 I^{th} 、 I^k 、 I^0 ——在铀、钍、钾和零值模型中测量的 γ 照射量率值,单位为纳库每千克小时〔nC/(kg·h)〕;

K_u ——铀含量灵敏度系数值,单位为纳库万分之一当量铀含量每千克小时〔(nC·0.01% eU)/(kg·h)〕;

K_{th} ——钍含量灵敏度系数值,单位为纳库万分之一当量钍含量每千克小时〔(nC·0.01% eTh)/(kg·h)〕;

K_k ——钾含量灵敏度系数值,单位为纳库百分之一钾含量每千克小时〔(nC·1%K)/(kg·h)〕;

Q_u^u 、 Q_{th}^u 、 Q_k^u ——铀模型中的铀、钍、钾含量值,以百分数表示;

Q_u^{th} 、 Q_{th}^{th} 、 Q_k^{th} ——钍模型中的铀、钍、钾含量值,以百分数表示;

Q_u^k 、 Q_{th}^k 、 Q_k^k ——钾模型中的铀、钍、钾含量值,以百分数表示;

Q_u^0 、 Q_{th}^0 、 Q_k^0 ——零值模型中的铀、钍、钾含量值,以百分数表示;

D_s ——本底 γ 照射量率值,单位为纳库每千克小时〔nC/(kg·h)〕。

铀、钍、钾含量灵敏度系数校准结果见表 B.1。

5.3.4.2 γ 测井仪含量灵敏度系数的使用范围

矿石的有效原子序数在 9~21 范围内, γ 测井仪含量灵敏度系数的变化应不大于 3%。

有效原子序数按式(11)计算:

$$\text{式中: } Z_e = (\sum P_z \cdot Z^{2.3})^{\frac{1}{2.3}} \dots\dots\dots (11)$$

Z_e ——矿石的有效原子序数;

P_z ——矿石中原子序数为 Z 的元素的含量;

Z ——原子序数。

5.3.5 γ 照射量率换算系数的野外核查

5.3.5.1 一般要求

γ 测井仪在野外使用期间,正常情况下应每月用固体镭源标准采用空中法对仪器照射量率换算系数核查一次;若 γ 测井仪长期放置或更换了光电倍增管、晶体后,应对照射量率换

算系数及时进行检查。

5.3.5.2 核查方法

核查方法按 5.3.3.2 的规定进行。

5.3.5.3 γ 照射量率换算系数确定方法

γ 照射量率换算系数确定方法按 5.3.3.3 的规定进行。

5.3.5.4 γ 照射量率换算系数核查

γ 测井在野外进行核查时，每次核查的 γ 照射量率换算系数与在放射性勘查计量站校准时确定的 γ 照射量率换算系数之间的相对差应不大于 5%， γ 照射量率换算系数相对差按式 (12) 计算：

$$\delta_6 = \frac{K_i - K}{K} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中：

δ_6 ——照射量率换算系数相对差的数值，以百分数表示；

K_i ——任意一次照射量率换算系数核查的数值，单位为纳库秒每千克小时 $[(nC \cdot s) / (kg \cdot h)]$ ；

K ——校准时确定的照射量率换算系数值，单位为纳库秒每千克小时 $[(nC \cdot s) / (kg \cdot h)]$ 。

6 测井准备

6.1 γ 测井通知书

γ 测井通知书的格式、内容参见附录 C。

6.2 准备工作

测井人员接到 γ 测井通知书后，应提前 1h 到达井场，并及时清理钻机现场，清点所需的仪器设备、工具、材料和资料并参见附录 D 的要求填写 γ 测井实际材料登记表；查阅岩（矿）心编录资料，详细了解和掌握孔内情况，了解矿层赋存部位；检查仪器设备的工作状态，确保仪器处于最佳工作状态后开始测井。

6.3 冲孔

应使用无放射性污染的井液进行冲孔。测井人员应对井液 γ 照射量率进行检查，当冲孔排出井液的 γ 照射量率小于 $5.2 nC / (kg \cdot h)$ （地浸砂岩型铀矿床冲孔排出井液的 γ 照射量率小于 $3.0 nC / (kg \cdot h)$ ）时，方可进行测井。

6.4 钻孔准备及要求

钻孔准备及要求见 EJ/T1162。

7 γ 测井方法及要求

7.1 γ 测井方法

7.1.1 基本测井

基本测井包括中间测井和终孔测井两种。当钻孔揭穿主要矿层后，应立即进行中间测井；当钻孔达到地质设计孔深和要求时，应进行终孔测井。完成全部测井任务前，不允许拆除钻机场地任何设施。

7.1.2 点法测井

探管由下而上逐点进行测量，在放射性正常地段测量点距应采用 1m，放射性偏高地段

点距应采用 0.2m~0.5m，异常地段点距应采用 0.1m。当用计算机进行分层解释时，正常地段点距应采用 1m，放射性偏高地段和异常地段点距应采用 0.1m，且异常测量段应伸入正常地段五个点。

7.1.3 连续测井

连续 γ 测井时，应进行最佳提升速度试验，防止因提升速度过快造成异常幅度和定位误差。确定最佳提升速度的条件为：异常幅度下降不大于 3%；异常边界滞后不大于 0.1m；正常地段不漏异常。通常在放射性正常地段提升速度不大于 4m/min，异常地段提升速度不大于 2m/min。测井速度应保持匀速，速度变化不大于 5%。连续测井点距为 0.05m。

7.1.4 孔径测量

铀矿床勘查钻孔，在塌孔或扩孔严重的地段，应进行孔径测量，孔径测量点距在含矿地段不大于 0.5m；地浸砂岩型铀矿床勘查钻孔应连续进行孔径测量，测量点距为 0.05m。

7.1.5 井液密度测量

使用泥浆冲孔时，测井前应测量泥浆的密度，测量允许最大误差为 $0.1 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。

7.2 其它要求

电缆下井速度应 $\leq 20 \text{m/min}$ 。探管下放过程中，操作人员应通过耳机、率表或仪器控制面板进行监测，概略了解井内矿化情况并做好记录，探管放至井底后，应立即上提 0.1m~0.3m。

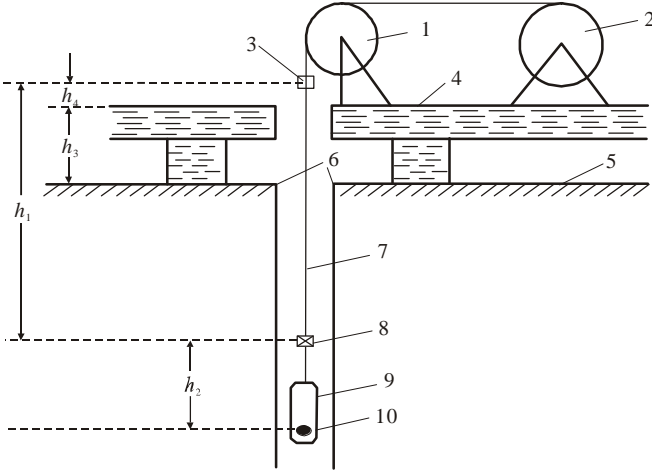


图 1 测井深度计算示意图

测井起算深度的零点应与钻探的零点统一。计算测井深度应包括上提部分。测井孔深与钻探孔深不相符时，应查明原因后，再开始测井，测井深度按式（13）计算，见图 1。

$$H = h_1 + h_2 - h_3 - h_4 \dots \dots \dots (13)$$

式中：

- H ——测井深度值，单位为米（m）；
- h_1 ——电缆第一标志与孔口第一标志距离值，单位为米（m）；
- h_2 ——探测器中心与电缆第一标志距离值，单位为米（m）；
- h_3 ——机台面与地面距离值，单位为米（m）；
- h_4 ——机台面与孔口第一标志距离值，单位为米（m）。

8 γ 测井资料解释方法及要求

8.1 分层解释法

8.1.1 概述

分层解释法是将异常段分成几个厚度（视厚度）为 0.1m 不同含量的单元层解释，以揭

示矿化段内含量的变化规律，并按不同品位圈定出矿层。其方法有反褶积法和迭代法等。

8.1.2 反褶积法

8.1.2.1 解释方法

反褶积法分层确定含量时，通常采用五点式〔式（14）〕也可采用三点式〔式（15）〕的方法计算第 i 个单元层含量。如果采用五点式反褶积法分层解释时，应统一使用铀矿地球物理测井数据处理软件中的 γ 测井五点式反褶积法分层解释模块。

五点式计算公式：

$$q_i = \frac{I_i}{k_u} - \frac{1}{12k_u(\alpha \cdot h)} \cdot (-I_{i-2} + 16I_{i-1} - 30I_i + 16I_{i+1} - I_{i+2}) \cdots \cdots (14)$$

三点式计算公式：

$$q_i = \frac{I_i}{k_u} - \frac{1}{k_u(\alpha \cdot h)^2} \cdot (I_{i-1} - 2I_i + I_{i+1}) \cdots \cdots (15)$$

式中：

Q_i ——第 i 个单元层含量值，以百分数表示；

I_i ——测点 i 的 γ 照射量率值，单位为纳库每千克小时〔nC/（kg·h）〕；

α ——特征参数，与探头结构、钻孔条件和地层环境等参数有关；表示单位吸收层厚度对 γ 照射量率衰减的百分数，单位为每米，（1/m）；

h ——单元层厚度值，单位为米（m）。

8.1.2.2 特征参数的确定方法

8.1.2.2.1 概述

特征参数通常从钻孔实测的 γ 照射量率曲线上求取，同时也可以采用在 γ 测井模型标准上直接测量或理论计算的方法确定。

8.1.2.2.2 斜率法

斜率法主要在矿层与围岩分界清晰、围岩底数 γ 照射量率稳定、距矿层边界 1m 范围内无其它矿层的情况下使用，见图 2。这时特征参数（ α ）按式（16）计算：

$$\alpha = \left| \frac{\ln(I_b - I_{DS}) - \ln(I_a - I_{DS})}{Z_b - Z_a} \right| \cdots \cdots (16)$$

式中：

I_a 、 I_b ——分别为靠近矿层边界外一侧的两点 Z_a 、 Z_b 的 γ 照射量率，单位为纳库每千克小时〔nC/（kg·h）〕；

I_{DS} ——矿层外侧的围岩底数照射量率，单位为纳库每千克小时〔nC/（kg·h）〕；

Z_b 、 Z_a ——孔内两个不同的深度，单位为米（m）。

当底数 γ 照射量率难于确定时，可采用微分斜率法按式（17）计算特征参数：

$$\alpha = \left| \frac{\ln(\Delta I / \Delta Z)_a - \ln(\Delta I / \Delta Z)_b}{Z_b - Z_a} \right| \cdots \cdots (17)$$

式中：

ΔI ——矿层边界外一侧两点 Z_a 、 Z_b 的 γ 照射量率的变化量；

ΔZ ——矿层边界外一侧两点 Z_a 、 Z_b 深度值的变化量。

8.1.2.2.3 判别因子法

该方法主要是利用分层解释出现的负值特征，通过控制负值的大小，以获取合适的特征

参数。同时也可利用 E 判别因子法和 B 判别因子法求取 α ，步骤如下：

a. 对 γ 照射量率曲线作去底数处理；

b. 选取较小的 α (2/m)，按式 (14) 或式 (15) 逐点计算各单元层的含量，然后按式 (18) 或式 (19) 做出判别：

E 判别因子公式为： $q_i \geq -E \dots\dots\dots (18)$

B 判别因子公式为：

$$\frac{q_i}{|q_{i+2(\max)} - q_i|} \geq -B \dots\dots\dots (19)$$

式中：

E——E 判别因子，其值 $E = N \sqrt{I_{\max} / Ku}$ ，N 通常取值为 2；

B——B 判别因子，一般取值在 3%~5%；

$q_{i+2(\max)}$ ——在 q_{i+2} 和 q_{i-2} 中取高含量。

c. 当判别式的条件不满足时，可按规定的 α 增量 ($\Delta \alpha = 0.5/m$ 或 $\Delta \alpha = 1/m$) 改变 α 值，直到该点满足判别式 (18) 或 (19)，然后从该点起逐点计算其它各单元层含量，若判别式条件不满足的点再次出现时，再用相同的方法改变 α 值，依次循环，直到整条异常曲线计算完毕，最后一次计算的 α 值，即是该异常曲线所适用的特征参数。

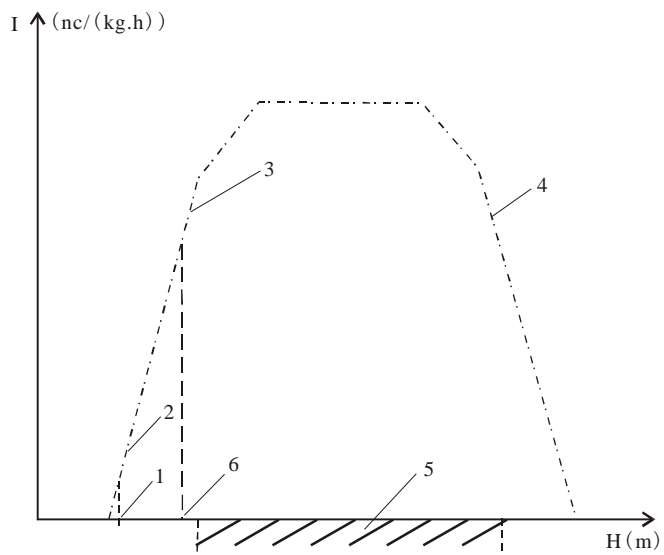


图 2 斜率法确定特征参数 α 示意图 (半对数坐标)

8.1.2.2.4 理论计算法

用理论计算法计算特征参数，

按式 (20) 和 (21) 计算：

式中：

$B(h)$ ——厚度为 h 的单元矿

层的饱和度；

I_h ——厚度为 h 的单元矿层中心点产生的 γ 照射量率的数值，单位为纳库每千克小时 (nC/ (kg · h))；

I_∞ ——饱和矿层中心点的 γ 照射量率值，单位为纳库每千克小时 (nC/ (kg · h))。理论计算的 α 值见表 E.1。

$$\alpha = -\frac{2}{h} \ln [1 - B(h)] \dots\dots\dots (20)$$

$$B(h) = \frac{I_h}{I_\infty} \dots\dots\dots (21)$$

8.1.2.2.5 其它方法

其它计算 α 特征参数的方法的确定，应有大量野外试验数据并在考核达标的前提下，经核工业放射性勘查计量站校准合格，主管部门批准后，方可投入使用。

8.1.3 迭代法

8.1.3.1 迭代法计算含量

迭代法计算含量步骤如下：

a. 将异常曲线作去底数处理，求出 γ 照射量率数值 I_i^0 ($i=1, 2, 3, \dots, n$)。给出各单元层的初值含量 q_i^0 (记为 0 次迭代)，按式 (22) 计算：

$$q_i^0 = \frac{I_i^0}{K_u} \dots\dots\dots (22)$$

b. 经 $j-1$ 次迭代后各单元层的含量为 q_i^{j-1} ，相应含量下的 γ 照射量率 I_i^j 按式 (23) 计算：

$$I_i^j = K_u \cdot B(h) \sum \alpha_k q_{i-k}^{j-k} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

I_i^j ——单元层的 γ 照射量率值，单位为纳库每千克小时 (nC/ (kg · h))；

α_k ($k=-m, \dots, 0, m$)——形态系数，表示离单元矿层中心 k 个单元层距离处单元矿层产生的 γ 照射量率与该单元矿层中心 γ 照射量率的比值，($\alpha_k = \alpha_{-k}$)；

m ——算子半长度，当 $\alpha_k \leq 0.01 \alpha_0$ 时， m 取 k 值。

c. 确定迭代运算是否继续进行，一般固定迭代次数 (10~20 次)，当迭代终止时，可按步骤 e) 处理，否则按步骤 d) 修正迭代含量。

d. 将含量 q_i^{j-1} 修改为 q_i^j ，修改方法有比值法和差值法，按式 (24) 和式 (25) 计算。

比值法：

$$q_i^j = q_i^{j-1} \cdot \frac{I_i^j}{I_i^0} \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (24)$$

差值法：

$$q_i^j = q_i^{j-1} + \frac{I_i^0 - I_i^j}{K_u} \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (25)$$

然后继续按步骤 b) 使迭代次数 j 增加一次。

e. 确定最终各单元矿层的解释含量，各单元矿层的解释含量按式 (26) 计算。

$$q_i = q_i^{j-1} + \frac{I_{DS}}{K_u} \dots\dots\dots (26)$$

式中：

q_i ——单元矿层含量值，以百分数表示；

I_{DS} ——异常曲线的底数照射量率值，单位为纳库每千克小时 (nC/ (kg · h))。

8.1.3.2 形态系数和饱和度的确定

8.1.3.2.1 模型确定法

形态系数和饱和度可以在 γ 测井模型标准上直接测量。形态系数按式 (27) 计算：

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 &= I_0/I_0 \\ \alpha_1 &= I_1/I_0 \\ \alpha_2 &= I_2/I_0 \\ \alpha_3 &= I_3/I_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

饱和度按式 (28) 计算：

$$B(h) = \frac{I_0}{I_\infty} \dots\dots\dots (28)$$

设单元层中心点 γ 照射量率为 I_0 见图 3，距中心点距离 h 、 $2h$ 、 $3h$ 处的 γ 照射量率分别

为 I_1 、 I_2 、 I_3 。图 4 中的实线是一条去底数饱和矿层曲线，是由各单元矿层异常曲线迭加而成的，其中 a 、 b 、 c ……处的 γ 照射量率可用式 (29) 表示：

$$\left. \begin{aligned} I_a &= 0 \\ I_b &= I_3 \\ I_c &= I_3 + I_2 \\ I_d &= I_3 + I_2 + I_1 \\ I_e &= I_3 + I_2 + I_1 + I_0 \\ I_f &= I_3 + I_2 + I_1 + I_0 + I_1 \\ I_g &= I_3 + I_2 + I_1 + I_0 + I_1 + I_2 \\ I_h &= I_3 + I_2 + I_1 + I_0 + I_1 + I_2 + I_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (29)$$

单元矿层各点的 γ 照射量率按式 (30) 计算：

$$\left. \begin{aligned} I_3 &= [(I_b - I_a) + (I_h - I_g)] / 2 \\ I_2 &= [(I_c - I_b) + (I_g - I_f)] / 2 \\ I_1 &= [(I_d - I_c) + (I_f - I_e)] / 2 \\ I_0 &= I_e - I_d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (30)$$

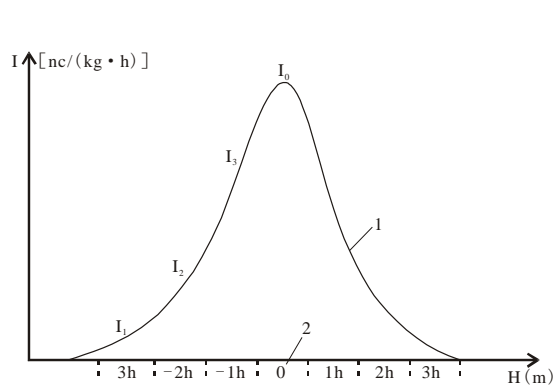


图 3 单元矿层异常曲线示意图

1. 单元矿层异常曲线；2. 厚度为 h 的单元矿层； I_0 ——距单元矿层中心点处的伽玛照射量率； I_1 、 I_2 、 I_3 ——距单元矿层中心点 h 、 $2h$ 、 $3h$ 处的伽玛照射量率

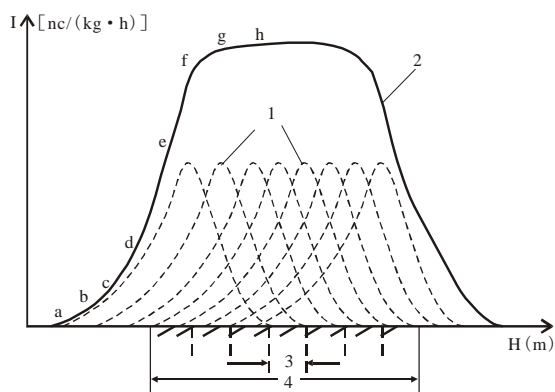


图 4 均匀饱和矿层与单元矿层异常曲线示意图

1. 单元矿层异常曲线；2. 饱和矿层异常曲线；3. 厚度为 h 的单元矿层；4. 均匀饱和矿层； a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 、 h ——异常的不同位置

8.1.3.2.2 理论计算法

形态系数及饱和度也可用理论计算法求取，形态系数及饱和度分别按式 (31)、(32) 计算：

$$\alpha_k = \frac{I_{i+k}}{I_i} \dots\dots\dots (31)$$

$$B(h) = \frac{I_i}{I_\infty} \dots\dots\dots (32)$$

式中：

I_i 、 I_{i+k} ——分别表示第 i 单元层在中心点与距该单元层中心点 k 、 h 距离处产生的 γ 照射量率值，单位为纳库每千克小时 (nC/ (kg · h))；

即：

$$\left. \begin{aligned} I_{i+k} &= \frac{I_{\max}(2kh+h) - I_{\max}(2kh-h)}{2} \\ I_i &= I_{\max}(H) \\ I_{\infty} &= I_{\max}(\infty) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (33)$$

$I_{\max}(H)$ 函数可用式 (34) ~ 式 (36) 计算：

$$I_{\max}(H) = \int_{\left| \mu h/2 - \mu L/2 \right| \sin \theta}^{(\mu h/2 + \mu L/2) \sin \theta} \int_{\varphi_0}^{\pi/2} [e^{-\mu \sec \varphi} - e^{-\mu \csc \varphi - \mu \csc \varphi}] \cdot \sin \varphi d\varphi dt \dots\dots\dots (34)$$

$$y = p - \frac{\mu r_0}{\sqrt{\sin \theta}} \dots\dots\dots (35)$$

$$\varphi_0 = t_g^{-1} \frac{r_0}{t \sin \theta \cdot \sqrt{\sin \theta}} \dots\dots\dots (36)$$

式中：

μ ——有效线吸收系数，单位每米 (1/m)；

L ——探测器 (晶体) 长度，单位为米 (m)；

θ ——钻孔与矿层的相遇角，单位为度 (°)；

P ——探测器外壳、井液和套管的附加吸收百分数，其值为：

$P = \mu_1 d_1 + \mu_2 d_2 + \mu_3 d_3$ (其中 μ_1 、 μ_2 、 μ_3 分别为井液、套管和探管的有效吸收系数，单位为每米 (1/m)；

d_1 、 d_2 、 d_3 ——分别为井液、套管及探管的厚度，单位为米 (m)；

r_0 ——钻孔半径，单位为米 (m)。

采用特征参数 α 定义形态系数与饱和度见式 (37)：

$$\left. \begin{aligned} Q_k &= \begin{cases} 1 \dots\dots\dots k=0 \\ \frac{(1 - e^{-\alpha h/2}) \cdot e^{-k\alpha h}}{2} \dots\dots\dots k=1, 2, 3 \dots \end{cases} \\ B(h) &= 1 - e^{-\alpha h/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (37)$$

形态系数理论计算值见 E.2，也可按 8.1.2.2 的方法实测。

8.1.4 矿层边界的确定

8.1.4.1 矿层边界应由不同含量的单元层边界确定。

8.1.4.2 可根据一般工业指标或可行性评价确定的矿层品级指标，属于同一品级的连续单元层，合并为一个矿层。

8.1.4.3 两个同一品级的矿层之间，存在小于可采厚度的低品级矿层或夹石层时，合并后其加权平均含量仍保持原品级者，可合并为一个矿层；不同品级的矿层之间，存在小于可采厚度的夹石层时，该夹石层合并到低品级矿层后，仍能保持原品级者，允许合并为一个矿层。地浸砂岩型铀矿床在两个矿层之间，存在小于可采厚度且低于边界品位夹层时，符合以下两

个条件可合并为一个矿层：低于边界品位的夹层厚度应经有关主管部门批准认可；合并后品位应不小于工业边界品位。同一矿段含有渗透和不渗透的矿石时，渗透与不渗透矿石应分开。

8.1.5 矿层含量的确定

矿层含量按式（38）确定：
$$Q_k = \frac{\sum q_i \cdot h_i}{H} \dots\dots\dots (38)$$

式中：

Q ——矿层含量的数值，以百分数表示；

q_i ——单元矿层含量的数值，以百分数表示；

h ——单元矿层厚度的数值，单位为米（m）；

H ——矿层厚度的数值，单位为米（m）。

8.2 平均含量法

8.2.1 确定矿层厚度的方法

8.2.1.1 二分之一最大 γ 照射量率法

适用于矿层边界清晰（用截距法判别矿层边界是否清晰，当截距大于0.25m时，可判为矿层边界清晰），厚度大于0.4m，矿层内矿化基本均匀，或者距边界0.3m内矿化基本均匀的异常曲线。矿层边界由异常两翼1/2（ $I_{\max} - I_{DS}$ ）的点决定，其边界 γ 照射量率值（ $I_{1/2}$ ）按式（39）计算（见图5）：

$$I_{1/2} = \frac{1}{2} (I_{\max} - I_{DS}) + I_{DS} \dots\dots\dots (39)$$

式中：

I_{\max} ——异常某翼 γ 照射量率峰值的数值，单位为纳库每千克小时（nC/（kg·h））；

I_{DS} ——异常某翼的 γ 照射量率底数值，单位为纳库每千克小时（nC/（kg·h））。

当矿层边界附近的异常最大照射量率不显著或不稳定时，矿层边界由异常两翼的直线段中点决定。

8.2.1.2 五分之四最大 γ 照射量率法

适用于矿层边界清晰，矿层厚度小于0.4m的尖峰异常曲线和矿层内矿化不均匀的复杂异常曲线。矿层边界由异常两翼4/5（ $I_{\max} - I_{DS}$ ）的点决定，其边界上 γ 照射量率值（ $I_{4/5}$ ）按式（40）计算（见图6）：

$$I_{4/5} = \frac{4}{5} (I_{\max} - I_{DS}) + I_{DS} \dots\dots\dots (40)$$

$I_{4/5}$ 与 I_{\max} 值点之间的深度距离为1/2Z，查Z量板（图7）或按表F.1求出1/2H，由 I_{\max} 值点向 $I_{4/5}$ 点方向外推1/2H，即为矿层边界。

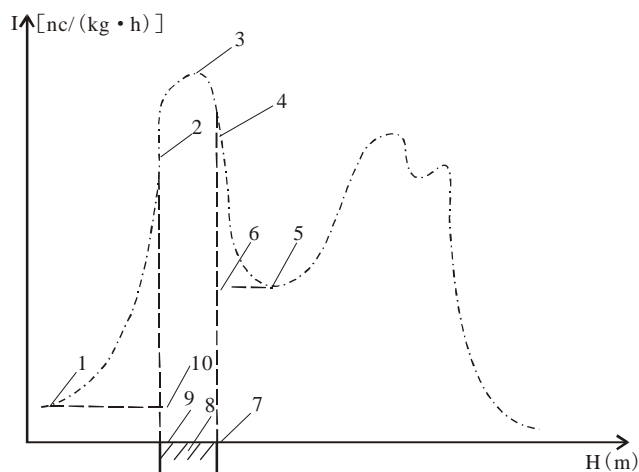


图5 1/2 I_{\max} 法异常解释示意图

- 1.异常某一翼的 I_{DS} 值点；2.异常某一翼的 $I_{1/2}$ 点；
3. I_{\max} 值点；4.异常另一翼的 $I_{1/2}$ 值点；5.异常另一翼的 I_{DS} 值点；6.异常某一翼的 I_{DS} 等值线与矿层某一边界深度值点；7.矿层某一边界深度值点；8.矿层位置；9.矿层另一边界深度值点；10.异常另一翼的 I_{DS} 等值线与矿层另一边界深度值点连线的交点

8.2.1.3 给定 γ 照射量率法

适用于矿层边界不清晰, 矿层内矿化呈渐变状态的异常曲线。矿层边界点可按规定的工业品位、边界品位和矿化品位指标乘以换算系数后, 在异常曲线上截取, 见图 8。

8.2.2 矿层中铀含量的确定

8.2.2.1 含量计算

矿层内铀含量按式 (41) 计算:

$$Q = \frac{S}{K_u \cdot H} \dots\dots\dots (41)$$

式中:

S ——异常面积的数量, 单位为纳库米每千克小时 $((nC \cdot m) / (kg \cdot h))$ 。

8.2.2.2 异常面积确定方法

图 5 中 1、2、3、4、5、6、7、9 和 10 各点所包围的面积为 $1/2(I_{\max} - I_{DS})$ 法解释的异常面积; 图 6 中 1、2、3、5、6、7、8、10 和 11 各点所包围的面积为 $4/5(I_{\max} - I_{DS})$ 法解释的异常面积; 图 8 中 1、2、3、4 和 6 各点所包围的面积为给定照射量率法解释的异常面积。

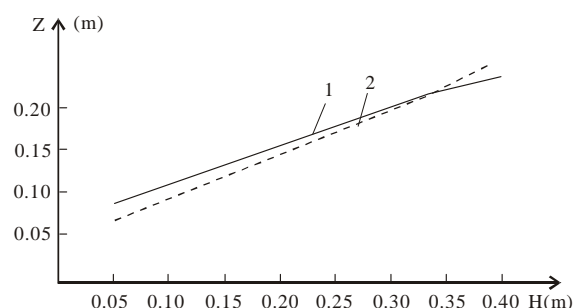


图 7 FD-3019 测井仪

$\rho = 2.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 时的 Z 量板

1. $2r_0 = 70 \text{ mm}$ Z-H 曲线; 2. $2r_0 = 100 \text{ mm}$ Z-H 曲线

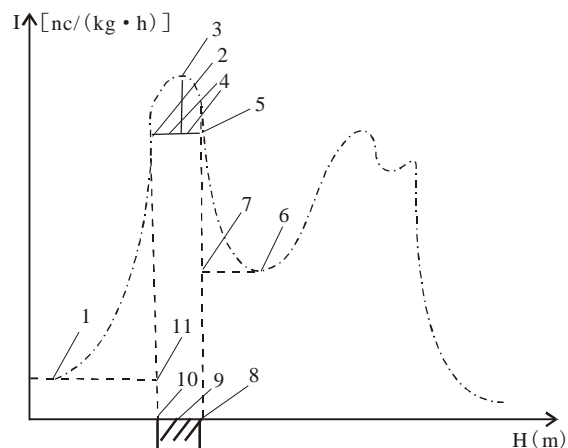


图 6 $4/5I_{\max}$ 法异常解释示意图

1. 异常某一翼的 I_{DS} 值点 2. 异常某一翼的 $I_{4/5}$ 值点
3. I_{\max} 值点 4. $Z_{1/2}$ 距离 5. 异常另一翼的 $I_{4/5}$ 值点
6. 异常另一翼的 I_{DS} 值点 7. 异常某一翼的 I_{DS} 等值线与矿层某一边界深度值点和 $I_{4/5}$ 值点连线的交点
8. 矿层某一边界深度值点 9. 矿层 10. 矿层另一边界深度值点
11. 异常另一翼的 I_{DS} 等值线与矿层另一边界深度值点和 $I_{4/5}$ 点连线的交点

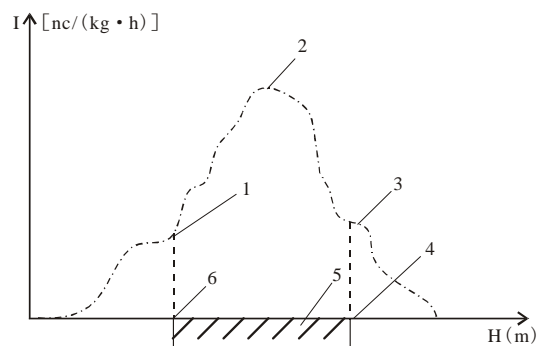


图 8 给定含量法异常解释示意图

1. 异常一翼给定铀含量所对应的伽玛照射量率值点; 2. 异常最大处伽玛照射量率值点; 3. 异常另一翼给定铀含量所对应的伽玛照射量率值点; 4. 异常一翼深度边界值点; 5. 矿层位置;

8.2.2.3 异常面积计算

8.2.2.3.1 求积仪测量法

用求积仪沿已确定的闭合圈圈定, 每一异常要求连续测量两次以上, 精度要求: 当求积仪测量值不大于 $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 时, 测量允许最大误差为 $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2$; 当求积仪测量值大于 $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 时, 允许相对误差为 1%。异常面积按式 (42) 计算:

$$S=B \cdot m \cdot n \cdots \cdots (42)$$

式中:

S ——异常面积的数量, 单位为纳库米每千克小时 $[(nC \cdot m) / (kg \cdot h)]$;

B ——求积仪测量值的数值, 单位为平方米 (m^2) ;

m ——异常的深度比例尺的数值;

n ——异常的幅度比例尺的数值, 单位为纳库每千克小时米 $[nC / (kg \cdot h \cdot m)]$ 。

8.2.2.3.2 梯形法计算

γ 测井点距相等时, 异常面积用梯形法按式 (43) 计算:

$$S=h/2 (I_0+2I_1+2I_2+\cdots+2I_{n-1}+I_n) \cdots \cdots (43)$$

式中:

h —— γ 测井点距, 单位为米 (m) ;

I_0 、 I_1 、 I_2 、 \cdots 、 I_n ——各测点 γ 照射量率的数量, 单位为纳库每千克小时 $[nC / (kg \cdot h)]$ 。

梯形法用于 $1/2(I_{\max}-I_{DS})$ 和 $4/5(I_{\max}-I_{DS})$ 法时, 矿层外各测点应减去底数后的 γ 照射量率值。

8.3 解释结果

测井结束后, 应在 3d 内完成单孔的成果解释, 参见图 G.1 填写 γ 测井解释结果报告单。

9 各种影响因素的确定及修正方法

9.1 铁、水吸收系数

铁、水系数与 γ 测井仪的探测器类型和结构有关, 使用新型测井仪时, 应附有仪器在测井条件下的铁、水吸收系数, FD-3019 测井仪的铁、水吸收系数曲线见图 9、图 10, 其曲线数据分别参见表 H.1 和表 H.2。HD-4002 测井仪 G511 γ 测井探管铁、水吸收曲线参见图 I.1 和图 I.2, 其曲线数据分别参见表 J.1 和表 J.2。

可根据使用仪器类型、钻孔中铁套管和水吸收层厚度, 从曲线上查出相应的吸收系数, 然后逐点修正, 按式 (44) 修正:

$$N_2 = \frac{N_1}{(1-\mu_1)(1-\mu_2)} \cdots \cdots (44)$$

式中:

N_2 、 N_1 ——分别为任意点修正后和测量的 γ 照射量率值, 单位为纳库每千克小时 $[nC / (kg \cdot h)]$;

μ_1 、 μ_2 ——分别为水和铁套管吸收系数值, 以百分数表示。

当井液是泥浆时, 应用式 (45) 将井液换算成水的等效厚度:

$$d_s = \rho_1 \cdot d_1 \cdots \cdots (45)$$

式中:

d_s ——等效水吸收层厚度的数值, 单位为米 (m) ;

ρ_1 ——井液吸收层厚度的数值, 单位为米 (m) ;

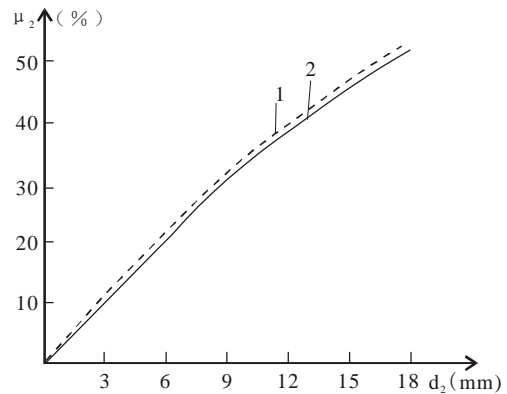


图 9 FD-3019 型 γ 测井仪
铁套管吸收曲线

- 1.沿井壁测量的测井探管铁吸收系数曲线;
- 2.沿井轴测量的测井探管铁吸收系数曲线

d_1 ——井液密度的数值，单位为千克每立方米（ kg/m^3 ）。

井液吸收层厚度按式（46）计算：

$$d_1 = \frac{1}{2} (D_k - 2d_2 - D_T) \dots\dots\dots (46)$$

式中：

D_k 、 D_T ——分别为钻孔直径和探管直径值，单位为米（ m ）；

d_2 ——铁套管厚度值，单位为米（ m ）。

当有孔径测量结果时， D_k 应采用矿段的平均值。

9.2 铀—镭放射性平衡系数

9.2.1 铀—镭放射性平衡系数取样方法和数量

9.2.1.1 铀—镭放射性平衡系数取样方法和要求

取样方法和要求见 EJ/T 983。对于地浸砂岩型铀矿床取样方法和要求见 EJ/T 1158。

9.2.1.2 铀—镭放射性平衡系数取样数量

铀—镭放射性平衡系数取样数量要求如下：

- a. 中型以上矿床应不少于 200 个单样，小型矿床应不少于 100 个单样；
- b. 地浸砂岩型铀矿中型以上矿床应不少于 30 个矿段的样品，小型矿床应不少于 100 个单样；
- c. 当平衡系数变化复杂（平衡系数的变异系数大于 20%）时，应适当增加取样数量。

9.2.2 铀—镭放射性平衡系数测量方法和要求

测量方法和要求见 EJ/T 1094。

9.2.3 铀—镭放射性平衡系数计算

铀—镭放射性平衡系数按式（47）计算：

$$K_p = \frac{Q_{Ra}}{Q_u \cdot 3.4 \times 10^{-7}} \dots\dots\dots (47)$$

式中：

K_p ——铀—镭放射性平衡系数；

Q_{Ra} 、 Q_u ——分别为样品分析镭、铀含量值，以百分数表示。

9.2.4 矿层铀含量的修正

应根据矿体地质条件及地球化学条件，研究放射性平衡沿矿体走向、倾向的变化规律和与含量之间关系，按其规律采用相应的修正系数进行修正。地浸砂岩型铀矿床，应根据不同矿石类型、深度、品级、矿体或同一矿体的不同部位（卷头和翼部），研究沿矿体走向、倾向的放射性平衡规律，采用相应的修正系数进行修正。

平衡系数在 0.90~1.10 之间， γ 测井确定的当量铀含量可不予修正。超出该范围时，矿层铀含量按式（48）进行修正：

$$Q_u = \frac{Q_r}{K_p} \dots\dots\dots (48)$$

式中：

Q_u ——修正后的铀含量值，以百分数表示；

Q_r ——修正前的铀含量值，以百分数表示。

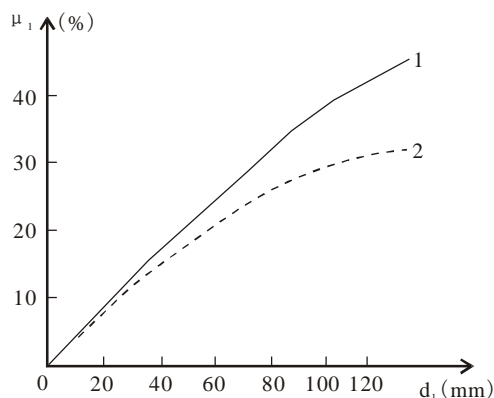


图 10 FD-3019 型 γ 测井仪
水层吸收曲线

- 1.测井探管沿井轴测量水层吸收曲线；
- 2.测井探管沿井壁测量水层吸收曲线

9.3 射气系数

无井液钻孔应作射气系数修正。射气系数可以在矿化条件相近的硐探工程中用炮眼法测定（中型以上矿床炮眼法测定数量不少于 10 个），射气系数测量方法和要求见 EJ/T 1030。

射气系数按式（49）计算：

$$K_a = \frac{S_{\infty} - S_0}{S_{\infty}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (49)$$

式中：

K_a ——射气系数值，以百分数表示；

S_{∞} ——射气积累饱和时，异常面积测量值，单位为纳库米每千克小时 $((nC \cdot m)/(kg \cdot h))$ ；

S_0 ——无射气积累时，异常面积测量值，单位为纳库米每千克小时 $((nC \cdot m)/(kg \cdot h))$ 。

矿层铀含量按式（50）进行修正：

$$Q_u = \frac{Q_a}{1 - K_a} \quad \dots\dots\dots (50)$$

式中：

Q_u 、 Q_a ——分别为不存在和存在射气扩散时的铀含量值，以百分数表示。

9.4 镭—氡放射性平衡系数

地浸砂岩型铀矿床，在勘查钻孔施工过程中，一般存在压氡现象，应采用各种方法进行镭—氡放射性平衡检查。当镭—氡放射性平衡系数不小于 0.90 时， γ 测井确定的当量铀含量可以不予修正，当镭—氡放射性平衡系数小于 0.90 时，矿层铀含量应按式(51)进行修正：

$$Q_u = \frac{Q_a}{P_{Ra}} \quad \dots\dots\dots (51)$$

式中：

Q_u 、 Q_a ——分别为不存在和存在压氡现象时的铀含量值，以百分数表示；

P_{Ra} ——镭—氡放射性平衡系数值。

9.5 钍、钾元素干扰的修正

9.5.1 修正原则

当 γ 测井确定的铀矿层中的钍含量大于 0.005% 或钍铀比值大于 0.1；钾含量大于 10% 时，应进行钍、钾干扰因素修正。

9.5.2 修正方法

根据干扰元素存在的不同规律，修正方法如下：

a. 矿层中钍铀比值为常数时，矿层铀含量按式（52）修正：

$$Q_u = \frac{Q_r}{1 + K_{th} \cdot Q_{th}/Q'_u} \quad \dots\dots\dots (52)$$

式中：

Q_u 、 Q_r 、 Q_{th} 、 Q'_u ——分别为修正后的铀含量、 γ 测井的当量铀含量和样品分析钍含量、铀含量值，以百分数表示；

K_{th} ——钍铀 γ 当量系数值，参见表 K.1。

b. 钍铀比值在空间位置上与铀有相关关系时，铀含量应按式（53）进行修正：

$$Q_u = \frac{Q_r}{1 + K_{th} \cdot B(x, y, z)} \quad \dots\dots\dots (53)$$

式中：

$B(x, y, z)$ ——钍铀比值的空间分布函数。

c. 钾的影响可按矿床（体）的平均含量进行修正，铀含量按式（54）进行修正：

$$Q_u = Q_r - K_k \cdot Q_k \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中：

K_k ——钾铀 γ 当量系数值, 参见表 K.1;

Q_k ——样品分析的钾含量值, 以百分数表示。

9.6 湿度修正

当矿石湿度大于 5% 时, 铀含量应按式 (55) 进行湿度修正:

$$Q_g = \frac{Q_s}{1-W} \dots\dots\dots (55)$$

式中:

Q_g 、 Q_s ——分别指矿石的干、湿铀含量值, 以百分数表示;

W ——矿石湿度值。

10 质量要求

10.1 重复测井

10.1.1 基本要求

10.1.1.1 应在基本测井结束后使用同一台仪器由同一个操作员进行测井。

10.1.1.2 铀含量不小于 0.03%, 且米百分值不小于 0.021 的矿段应进行 100% 的重复测井; 铀含量在 0.01%~0.03% 之间, 且米百分值小于 0.021 的矿化段, 重复测井应不少于总矿化段的 20%。

10.1.1.3 地浸砂岩型铀矿床, 铀含量不小于 0.01%, 且平米铀量不小于 0.5kg/m² 的矿(化)段应进行 100% 的重复测井; 铀含量不小于 0.01%, 且平米铀量小于 0.5kg/m² 的矿化段, 重复测井应不少于总矿化段的 20%。

10.1.2 误差要求

10.1.2.1 铀含量不小于 0.03%, 且米百分值不小于 0.021 的矿段重复测井异常面积或米百分值允许相对误差应不大于 5%, 单矿段重复测井的合格率应不小于 80%; 当铀含量在 0.01%~0.03% 之间, 且米百分值小于 0.021 的矿化段, 异常面积或米百分值误差应不大于 10%。地浸砂岩型铀矿床铀含量不小于 0.01%, 且平米铀量不小于 0.5kg/m² 的矿(化)段, 异常面积或米百分值允许相对误差应不大于 5%; 铀含量不小于 0.01%, 且平米铀量小于 0.5kg/m² 的矿化段, 异常面积或米百分值误差应不大于 10%。

10.1.2.2 异常峰值位移误差: 孔深 200m 以内为不大于 0.2m; 孔深大于 200m 时, 应不大于异常深度的 0.1%。

10.1.2.3 重复测井相对误差按式 (56) 计算:

$$\delta_\gamma = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100\% \dots\dots\dots (56)$$

式中:

δ_γ ——重复测井异常面积数值或米百分值的相对误差, 以百分数表示;

S_2 ——重复测井异常面积数值或米百分值, 单位为纳库米每千克小时 ((nC·m)/(kg·h)) 或米百分值;

S_1 ——基本测井异常面数值积或米百分值, 单位为纳库米每千克小时 ((nC·m)/(kg·h)) 或米百分值。

10.1.2.4 重复测井的合格率按式 (57) 计算:

$$A = \frac{\sum B_i}{B} \times 100\% \dots\dots\dots (57)$$

式中:

A——单矿段重复测井的合格率的数值，以百分数表示；

B_i ——重复测井异常面积或米百分值相对差符合允许相对差要求的任意单矿段；

B——符合重复测井要求的总矿段数量。

10.2 检查测井

10.2.1 检查方法与要求

10.2.1.1 检查测井应采用不同仪器、不同人员进行全孔测量。检查测井的钻孔数量应不小于钻孔总数的 10%；并选择的有代表性钻孔。

10.2.1.2 检查测井的质量要求包括：

a. 铀含量不小于 0.03%，且米百分值不小于 0.021 的矿段，地浸砂岩型铀矿床，铀含量不小于 0.01%，且平米铀量不小于 0.5kg/m^2 的矿（化）段，检查测井异常面积或米百分值允许相对误差应不大于 10%，单矿段检查测井的合格率应不小于 80%。当铀含量在 0.01%~0.03% 之间，且米百分值小于 0.021 的矿化段，地浸砂岩型铀矿床铀含量不小于 0.01%，且平米铀量小于 0.5kg/m^2 的矿化段异常面积或米百分值误差应不大于 15%。

b. 当使用同一电缆测量时，异常峰值位移误差应与重复测井要求相同。当使用不同电缆测量时，峰值允许位移误差应为重复测井要求的两倍。

c. 检查测井相对误差按式（58）计算：

$$\delta_s = \frac{S_1 - S_3}{S_3} \times 100\% \dots\dots\dots (58)$$

式中：

δ_s ——检查测井异常面积或米百分值相对差，以百分数表示；

S_3 ——检查测井异常面积或米百分值，单位为纳库米每千克小时 $((\text{nC} \cdot \text{m}) / \text{kg} \cdot \text{h})$ 或米百分值；

d. 检查测井的合格率按式（59）计算：

$$G = \frac{\sum B_i}{B} \times 100\% \dots\dots\dots (59)$$

式中：

G——单矿段检查测井的合格率值，以百分数表示；

B_i ——检查测井异常面积或米百分值相对误差符合允许相对误差要求的单矿段数量；

B——检查测井总矿段数量。

10.3 取样对比

10.3.1 矿心取样对比要求

用于对比测井质量的矿心，应具有代表性，其采取率应不小于 85%，要求矿心中铀无溶蚀淋滤现象。对比的矿段数量应不小于总矿段数量的 5%，对比矿心累计长度应不小于 20m。当见矿层累计厚度小于 20m 时，对比的矿心累计长度应不小于实际见矿层长度的 50%。对比允许系统误差应在 0.9~1.1 之间。对比系统误差按式（60）计算：

$$f = \frac{\sum Q_i \cdot H_i}{\sum q_i \cdot h_i} \dots\dots\dots (60)$$

式中：

f——矿心取样对比系统误差值；

Q_i —— γ 测井解释经湿度修正后的单矿段含量值，以百分数表示；

H_i —— γ 测井解释经湿度修正后的单矿段厚度值，单位为米（m）；

q_i ——矿心取样分析的单矿段平均含量值，以百分数表示；
 h_i ——经矿段采取率修正后的单矿段厚度值，单位为米（m）。

10.3.2 圆柱取样对比要求

10.3.2.1 取样要求

利用硃探工程揭露见矿钻孔，在钻孔揭穿矿体的孔径周围取圆柱样，取样间距一般为0.1m，应取至矿层外2~3个样，送两个以上实验室分析铀、镭、钍、钾的含量，与 γ 测井解释结果进行米百分值对比。圆柱取样直径按式（61）计算：

$$D = \frac{80/\rho + 2r_0}{\sin \theta} \dots\dots\dots (61)$$

式中：

D ——圆柱取样直径值，单位为米（m）；
 ρ ——矿石密度值，单位为千克每立方米（kg/m³）；
 r_0 ——钻孔半径值，单位为米（m）；
 θ ——矿层与钻孔的相遇角值，单位为度（°）。

10.3.2.2 对比系统误差的计算

对比系统误差按式（62）和（63）计算：

$$f_0 = \frac{f_i \cdot H_i}{\sum H_i} \dots\dots\dots (62)$$

$$f_i = \frac{Q_r \cdot H_r}{\sum q_i \cdot h_i} \dots\dots\dots (63)$$

式中：

f_0 ——矿床对比系统误差；
 H_i ——各矿层厚度的数值，单位为米（m）；
 f_i ——矿层对比系统误差的数值；
 Q_r —— γ 测井解释的矿层含量的数值，以百分数表示；
 H_r —— γ 测井解释的矿层厚度的数值，单位为米（m）；
 q_i ——某层样品分析含量的数值，以百分数表示；
 h_i ——某层样品分析圆柱取样间距的数值，单位为米（m）。

10.3.2.3 对比系统误差取样要求

10.3.2.3.1 当铀的 f_0 值在0.9~1.1之间，钍的 f_0 值在0.8~1.2之间时 γ 测井质量合格，否则应增加取样数量。当已达到规定取样数量上限时， f_0 值仍超过规定要求时则应找出超差原因。

10.3.2.3.2 鉴于圆柱取样成本高，取样点应选择在测井质量检查合格、矿化特征有代表性、用少量硃探工程可揭露之处。根据矿床规模的不同，圆柱取样数量为：小型矿床1~2层，中型矿床2~3层，大型矿床3~5层。

11 资料提交与归档

11.1 资料提交

11.1.1 单孔资料

应提交如下资料：

- a. γ 测井实际材料登记表；
- b. γ 测井原始数据和实时曲线；

- c. γ 测井异常曲线、 γ 测井解释结果及 γ 测井解释结果报告。

11.1.2 阶段性报告

γ 测井阶段性报告应包括以下主要内容：

- a. 工作概况；
- b. 完成的工作量（按基本测井、重复测井和检查测井分别统计）及见矿情况；
- c. 质量评述；
- d. 参数收集；
- e. 技术改进；
- f. 存在的问题和建议。

11.1.3 储量报告中 γ 测井部分的文字报告

11.1.3.1 文字报告

文字报告应包括以下主要内容：

- a. 概述；
- b. 完成的工作量（按基本测井、重复测井和检查测井分别统计）；
- c. 工作方法；
- d. 资料解释方法；
- e. 参数的确定及修正；
- f. 干扰因素及消除方法；
- g. 质量评述；
- h. 取得的主要成果和认识；
- i. 存在的问题及建议。

11.1.3.2 附图和附表

需要提供下列图表：

- a. γ 测井解释成果登记表；
- b. 物探参数取样分布图；
- c. 物探参数平面分布图；
- d. 物探参数剖面分布图；
- e. 有代表性的 γ 测井定量解释图；
- f. γ 测井质量检查结果明细表；
- g. 各种物探参数计算表。

11.2 原始资料归档

需要归档的原始资料：

- a. γ 测井通知书；
- b. γ 测井实际材料登记表；
- c. γ 测井原始数据记录和实时曲线；
- d. γ 测井仪校准证书及野外核查数据的原始资料；
- e. 井场采集的原始数据磁盘及数据文件目录清单（测井日期、探管名、数据文件名、数据深度范围、采样间隔、回程差、参数的换算系数、衰减系数等）；

- f. 成果数据库文件;
- g. γ 测井仪性能检查原始记录。

12 安全与防护

12.1 基本要求

12.1.1 凡从事下测井工作的人员,应熟悉与安全防护有关的规定。

12.1.2 γ 测井施工现场应具备安全保障措施,否则不允许开展 γ 测井工作。

12.2 安全措施

12.2.1 γ 测井过程中,操作员应认真观察 γ 测井仪器设备的运行状况,发现异常情况应及时处理。

12.2.2 严禁骤然启动和关停绞车。

12.2.3 严禁用下井仪器冲击障碍物。仪器下井遇阻时,应将仪器提出井口,通孔、冲孔后重新测井。

12.2.4 布置井场或更换下井仪器时,防止物件掉入孔中。

12.2.5 下井仪器被卡时,应立即停止提升,迅速研究处理事故和解决问题的具体措施,并指定专人处理。

12.2.6 γ 测井过程中遇有雷电天气时,应停止测井。

12.3 放射性防护

12.3.1 凡从事放射性同位素工作的人员,应具备放射性卫生防护基本知识,持证上岗。

12.3.2 工作人员操作放射源时应做好安全防护。

12.3.3 放射性同位素工作人员接受的剂量及防护见 GB 4792。

12.3.4 对现场使用的放射源,应建立严格的管理制度。放射源的保管应有专人负责,放射源的运输、调拨、使用应有详细记录,严防丢失。

12.3.5 禁止将放射源密封外壳打开,禁止直接接触放射源。

附录 A

(规范性附录)

固体镭源常数的确定

不同产地的固体镭源，其常数不同，英国产的固体镭源符合国际固体镭源标准，其它产地的固体镭源均应用英国产固体镭源标准重新标定出镭当量质量。

用加有外壳的英产固体镭源校准 γ 测井仪时，固体镭源的使用常数应按式 (A.1) 修正：

$$K_r = m \cdot (1 - \mu) \cdot A_0 \cdots \cdots \cdots (A.1)$$

式中：

K_r ——固体镭源的使用常数，单位为纳库三次方米每千克小时毫克 $((nC \cdot m^3) / (kg \cdot h \cdot mg))$ ；

m ——英国产镭源质量，单位为毫克 (mg)；

μ ——英国产镭源附加外壳吸收系数，其值为 9.28%；

A_0 ——1mg 镭在 1m 远处产生的 γ 照射量率，其值为 212.85 $((nC \cdot m^2) / (kg \cdot h \cdot mg))$ 。

使用其它产地的固体镭源校准 γ 测井仪时，应选用校准后的镭当量质量，固体镭源常数按式 (A.2) 计算：

$$K_r = m \cdot A_0 \cdots \cdots \cdots (A.2)$$

式中：

m ——经检定给出的固体镭源的当量镭质量，单位为毫克 (mg)。

附录 B

(规范性附录)

FD-3019 型 γ 测井仪铀、钍、钾含量灵敏度系数表

FD-3019 型 γ 测井仪铀、钍、钾含量灵敏度系数见表 B.1。

表 B.1 FD-3019 型 γ 测井仪铀、钍、钾含量灵敏度系数表

仪器型号	在饱和模型内测得的含量灵敏度系数		
	铀 (nc 0.01%eu) / (kg h)	钍 (nc 0.01%Th) / (kg h)	钾 (nc 1%K) / (kg h)
FD-3019	30.1 ± 0.8	13.0 ± 0.7	0.69 ± 0.02

附录 C

(资料性附录)

γ 测井通知书格式

γ 测井通知书格式见图 C.1。

γ 测井通知书									
1 γ 测井任务									
地区 号钻机 钻孔, 孔深 m, 测量范围: 自 m 至 m, 为终孔(中间)									
测井。希于 月 日 时到达井场, 完成下列测井任务:									
1)									
2)									
3)									
...									
2 钻孔情况									
1) 安全情况及测井过程中应注意事项:									
2) 孔径变换: 从 m 至 m, ϕ mm;									
从 m 至 m, ϕ mm;									
从 m 至 m, ϕ mm。									
3) 套管深度: 从 m 至 m, ϕ mm;									
从 m 至 m, ϕ mm。									
4) 泥浆性质 , 比重 g/cm ³ , 粘度 s。									
3 交通情况									
填发日期: 年 月 日; 收到日期: 年 月 日									
地质编录员:									
地质技术负责人:									
钻探技术负责人:									
测井技术负责人:									

图 C.1 γ 测井通知书格式

(资料性附录)

γ测井实际材料登记表格式

γ 测井实际材料登记表格格式见图 D.1。

γ测井实际材料登记表

测井日期			终孔深度		
测井性质			测井深度		
仪器型号及编号			液面深度(m)		
探管直径(mm)			冲洗液密度(g/cm³)		
γ照射量率换算系数 (nc s)/(kg h)			冲洗液 γ照射量率 nc/(kg h)		
钻 孔 参 数					
钻孔深度(m)		孔径 (mm)	套管厚度 (mm)	液面厚度 (mm)	综合修正参数 (%)
起	止				
测量者			检查者		
计算者			登记者		
计算日期			测井单位		

附录 E

(规范性附录)

γ 测井解释参数表

E.1 特征参数 α 理论计算值见表 E.1。表 E.1 中数据是采用式 (20) 计算出来的, 指相遇角 (θ) 是 90 时的特征参数 α ; 当相遇角 (θ) 不是 90 时, 按式 (E.1) 计算:

$$\alpha_{斜} = \alpha \sin \theta \dots\dots\dots (E.1)$$

表 E.1 特征参数 α 理论计算表

线吸收系数 μ (1/cm)	探测器有效 长度 $2L$ (cm)	钻孔半径 r_o (cm)	附加吸收百分数 P		
			0.0	0.2	0.4
			特征参数 α (1/cm)		
0.075	4	2.5	0.1207	0.1324	0.1415
		5.0	0.0902	0.0993	0.1067
		7.5	0.0721	0.0791	0.0851
0.100	4	2.5	0.1433	0.1578	0.1690
		5.0	0.1040	0.1148	0.1236
		7.5	0.0815	0.0897	0.0966
0.125	4	2.5	0.1628	0.1798	0.1929
		5.0	0.1153	0.1275	0.1376
		7.5	0.0889	0.0980	0.1057

E.2 形态系数理论计算值见表 E.2。

表 E.2 形态系数理论计算表

μ 1/cm	钻孔半 径 r_0 cm	附加吸 收百分 数 P	单元层 饱和度 $B(h)$	形态系数 $\alpha_0=1:0000$							
				α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8
0.075	2.5	0.0	0.4532	0.3963	0.1259	0.0472	0.0191	0.0082	0.0037	0.0017	0.0008
		0.2	0.4843	0.3677	0.1059	0.0364	0.0136	0.0053	0.0021	0.0009	0.0004
		0.4	0.5072	0.3449	0.0928	0.0304	0.0109	0.0041	0.0016	0.0007	0.0003
	5.0	0.0	0.3631	0.5264	0.1984	0.0821	0.0365	0.0171	0.0084	0.0044	0.0024
		0.2	0.3913	0.4984	0.1709	0.0642	0.0257	0.0107	0.0046	0.0020	0.0009
		0.4	0.4136	0.4737	0.1500	0.0526	0.0197	0.0077	0.0031	0.0013	0.0005
	7.5	0.0	0.3027	0.6273	0.2763	0.1253	0.0600	0.0301	0.0159	0.0088	0.0051
		0.2	0.3268	0.6028	0.2451	0.1017	0.0440	0.0197	0.0091	0.0043	0.0021
		0.4	0.3466	0.5802	0.2194	0.0845	0.0340	0.0141	0.0060	0.0026	0.0011
0.100	2.5	0.0	0.5116	0.3467	0.0885	0.0271	0.0092	0.0034	0.0014	0.0005	0.0003
		0.2	0.5457	0.3177	0.0713	0.0192	0.0056	0.0017	0.0005	0.0002	0.0001
		0.4	0.5704	0.2948	0.0605	0.0153	0.0042	0.0012	0.0004	0.0001	0.0000
	5.0	0.0	0.4055	0.4831	0.1533	0.0553	0.0217	0.0093	0.0043	0.0022	0.0012
		0.2	0.4367	0.4541	0.1296	0.0404	0.0135	0.0047	0.0017	0.0006	0.0002
		0.4	0.4611	0.4286	0.1106	0.0313	0.0094	0.0030	0.0010	0.0003	0.0001
	7.5	0.0	0.3346	0.5911	0.2309	0.0931	0.0404	0.0189	0.0096	0.0053	0.0031
		0.2	0.3613	0.5654	0.2007	0.0721	0.0273	0.0108	0.0045	0.0019	0.0009
		0.4	0.3830	0.5418	0.1761	0.0574	0.0195	0.0068	0.0025	0.0009	0.0003
0.125	2.5	0.0	0.5568	0.3084	0.0648	0.0168	0.0050	0.0017	0.0007	0.0003	0.0001
		0.2	0.5929	0.2794	0.0498	0.0107	0.0025	0.0006	0.0002	0.0000	0.0000
		0.4	0.6188	0.2568	0.0409	0.0080	0.0017	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000
	5.0	0.0	0.4380	0.4492	0.1261	0.0400	0.0145	0.0060	0.0028	0.0015	0.0009
		0.2	0.4714	0.4196	0.1023	0.0272	0.0079	0.0024	0.0008	0.0003	0.0001
		0.4	0.4973	0.3938	0.0850	0.0199	0.0050	0.0013	0.0003	0.0001	0.0000
	7.5	0.0	0.3588	0.5652	0.1991	0.0735	0.0300	0.0136	0.0069	0.0039	0.0024
		0.2	0.3873	0.5360	0.1700	0.0546	0.0187	0.0069	0.0027	0.0012	0.0005
		0.4	0.4104	0.5117	0.1466	0.0417	0.0124	0.0039	0.0013	0.0004	0.0002
注 1: 表内形态系数采用公式(31)~(36)计算, 即相遇角 90°时的形态系数, 适用 $\theta \geq 60^\circ$ 的钻孔。											
注 2: 探测器灵敏长度 $2L=4\text{cm}$ 。											

附录 F

(规范性附录)

FD-3019 型 γ 测井仪 4/5 ($I_{\max}-I_{\text{DS}}$) Z 呈报数据表

FD-3019 型 γ 测井仪 4/5 ($I_{\max}-I_{\text{DS}}$) Z 呈报数据见表 F.1。表中所列数据均为矿层与钻孔相互垂直条件下获得 ($\theta=90^\circ$)，当 $\theta \neq 90^\circ$ 时，应按式 (F.1)、(F.2) 换算：

$$Z_{90}=Z_{\theta} \sin \theta \cdots \cdots \cdots (F.1)$$

$$H_{90}=H_{\theta} \sin \theta \cdots \cdots \cdots (F.2)$$

表 F.1 FD-3019 型 γ 测井仪 4/5 ($I_{\max}-I_{\text{DS}}$) 呈报数据表

矿层厚度 (m)	Z 值 (m)	
	0.07 ^a	0.100 ^a
0.05	0.067	0.080
0.10	0.087	0.095
0.20	0.132	0.140
0.30	0.183	0.187
0.40	0.245	0.225
^a 钻孔直径，单位为米 (m)。		

附 录 G

(资料性附录)

γ 测井解释结果报告单格式

γ 测井解释结果报告单格式见图 G.1。

钻孔 γ 测井解释结果报告单

1、 γ 测井参数表

仪器型号		仪器编号		探管直径 (mm)		钻探深度 (mm)	
仪器校准日期		测井长度 m		测井者		测井性质	
仪器校准曲线号		标准源号				测井日期	
γ 照射量率换算系数 (nc s)/(kg h)		冲洗液面深度 (m)		解释者		解释日期	
铀含量灵敏度系数 (nc 0.01 eU)/kg-h	%	冲洗液密度 (g/cm ³)		检查者		检查日期	
铁套管长度 (m)		铁套管壁厚 (mm)		铁套管吸收系数 (%)			

2、 γ 测井解释结果表

矿段 编号	矿段位置(m)		钻孔直径 (mm)	冲洗液吸 收系数%	解 释 结 果				岩 性	密 度 10 ³ kg/m ³
	自	至			H(m)	C(%)	CH(m %)	CHd(kg/m ²)		

3、质量评述表

矿段编号	1	2	3	4	5	6	7
异常面积相对误差(%)							
异常峰值位移误差(cm)							
米百分值相对误差(%)							
仪器长期稳定性检查结果	工作前测值 nc/(kg h)				相对误差(%)		
	工作后测值 nc/(kg h)						
质量评述							
备 注							

图 G.1 γ 测井解释结果报告单格式

附录 H

(资料性附录)

FD-3019 型 γ 测井仪铁、水吸收系数表

FD-3019 型 γ 测井仪铁、水吸收系数分别见表 H.1 和表 H.2。

表 H.1 FD-3019 型 γ 测井仪铁吸收系数

铁管厚度(mm)	1	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	探管位置
吸收值(%)	4.2	7.9	9.5	11.7	13.6	15.7	17.5	19.3	靠井壁测
	3.4	7.7	9.0	11.4	13.2	15.2	17.1	18.6	靠井轴测
铁管厚度(mm)	6	7	8	9	10	11	12	13	探管位置
吸收值(%)	22.5	25.7	28.7	31.6	34.2	36.7	39.3	41.8	靠井壁测
	22.1	25.2	28.2	31.0	33.7	36.3	38.8	41.3	靠井轴测
铁管厚度(mm)	14	15	16	17	18	19	20	—	探管位置
吸收值(%)	43.7	45.5	47.2	48.7	50.2	51.6	53.2	—	靠井壁测
	43.2	44.8	46.6	48.0	49.5	50.9	52.1	—	靠井轴测

表 H.2 FD-3019 型 γ 测井仪水吸收系数

水层厚度 mm	2.5	5.0	7.5	10	12.5	15	20	25	30	35	探管位置
吸收值%	1.1	2.3	3.4	4.4	5.6	6.6	8.7	10.5	12.4	13.7	靠井壁测
	1.1	2.4	3.5	4.7	5.8	7.0	9.2	11.3	13.4	15.1	沿井轴测
水层厚度 mm	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	探管位置
吸收值%	15.4	17.0	18.6	20.1	21.6	22.8	24.2	25.4	26.6	27.6	靠井壁测
	17.0	19.1	20.9	23.0	24.9	26.6	28.5	30.4	32.2	34.1	沿井轴测
水层厚度 mm	90	95	100	105	110	115	120	125	130	—	探管位置
吸收值%	28.7	29.4	30.2	30.8	31.3	31.9	32.3	32.6	33	—	靠井壁测
	35.9	37.5	39.3	40.8	42.3	43.7	45.1	46.1	46.3	—	沿井轴测

附录 J

(资料性附录)

HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管铁、水吸收系数表

HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管铁、水吸收系数见表 J.1 和表 J.2。

表 J.1 HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管铁吸收系数表

铁管厚度(mm)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
吸收值(%)	1.72	3.41	5.07	6.71	8.32	9.90	11.45	12.98	14.48
铁管厚度(mm)	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
吸收值(%)	15.95	17.39	18.81	20.20	21.56	22.89	24.20	25.48	26.73
铁管厚度(mm)	9.5	10.0	—	—	—	—	—	—	—
吸收值(%)	27.95	29.15	—	—	—	—	—	—	—
注：表中吸收值均为探管靠壁测量时的吸收值。									

表 J.2 HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管水吸收系数表

水层厚度(mm)	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5
吸收值 (%)	0.96	1.91	2.87	3.81	4.75	5.69	6.63	7.56	8.48
水层厚度(mm)	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0
吸收值 (%)	9.41	10.32	11.24	12.15	13.05	13.95	14.85	15.75	16.63
水层厚度(mm)	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5
吸收值 (%)	17.52	18.40	19.28	20.15	21.02	21.88	22.74	23.60	24.45
水层厚度(mm)	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	85.0	87.5	90.0
吸收值 (%)	25.3	26.14	26.98	27.82	28.65	29.48	30.30	31.12	31.93
水层厚度(mm)	92.5	95.0	97.5	100.0	102.5	105.0	107.5	110.0	112.5
吸收值 (%)	32.74	33.55	34.35	35.15	35.94	36.73	37.52	38.30	39.08
水层厚度(mm)	115.0	117.5	120.0	122.5	125.0	127.5	130.0	132.5	135.0
吸收值 (%)	39.85	40.62	41.39	42.15	42.91	43.66	44.41	45.15	45.89
注：表中吸收值均为探管靠壁测量时的吸收值。									

附录 I

(资料性附录)

HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管铁、水吸收系数曲线图

HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管铁、水吸收系数曲线见图 I.1 和图 I.2。

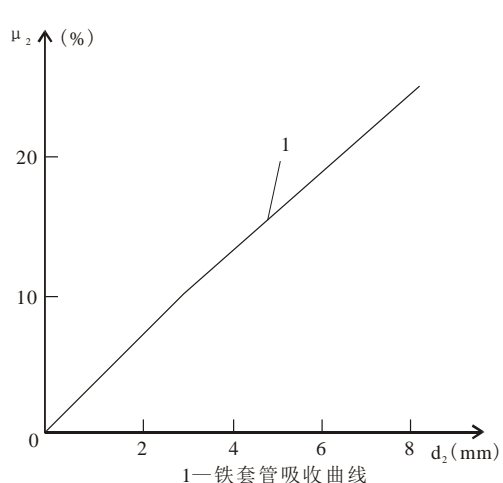


图 I.1 HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管铁吸收系数曲线

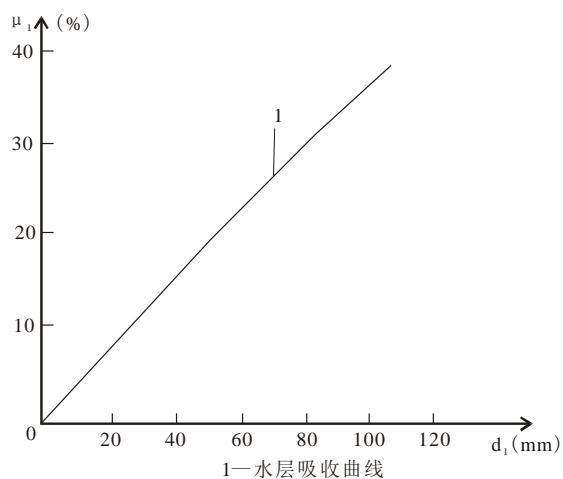


图 I.2 HD-4002 型测井仪 G511 γ 测井探管水吸收系数曲线

附录 K

(资料性附录)

FD-3019 型 γ 测井仪钍铀、钾铀 γ 当量系数表

FD-3019 型 γ 测井仪钍铀、钾铀 γ 当量系数表见表 K.1。

表 K.1 FD-3019 型 γ 测井仪钍铀、钾铀 γ 当量系数

当量系数名称	当量系数
钍铀 γ 当量系数	0.38
钾铀 γ 当量系数	2.4×10^{-4}

