

放射性在石油测井中的 应用与防护

魏震球 桂立明 符传复 刘文珣 张金新 编

石油工业出版社

放射性在石油测井中的 应 用 与 防 护

魏震球 桂立明 符传复 刘文珣 张金新 编

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书分两篇：第一篇介绍放射性测井的方法原理和应用；第二篇是本书的重点，着重介绍放射性辐射防护原理及防护方法，对不同的测井方法常用的放射源与操作方法和剂量计算作了介绍，列出了较为详细的实例，书中附有实用图表可供直接应用。对放射性同位素开放操作、安全防护、事故处理、污物处理也作了介绍。本书着眼于实用，给从事放射性测井的技术人员、管理人员参考，部分章节也可供从事放射性工作的工人阅读；也可供地质、钻井、开发有关技术人员参考；本书也可作为石油院校有关专业的教学参考书；第二篇内容也可供从事一般核技术应用的技术人员参考。

放射性在石油测井中的 应用与防护

魏震球 桂立明 符传复 刘文琦 张金新 编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 32开本 9¹/₂印张 1插页 275千字 印1—2,200

1985年5月北京第1版 1985年5月北京第1次印刷

书号：15037·2512 定价：2.00元

序 言

随着石油工业的迅速发展,我国石油测井技术,近年来取得了很大进步。测井技术在石油勘探和开发中的作用愈来愈被人们所重视。测井技术中的放射性测井方法有很多优点,既能在裸眼井中探测地层参数,又能在套管井中探测地层参数并且也能在生产井中测量流体性质及管外工程状况等等。因而,放射性测井在石油勘探和油田开发中得到了广泛应用。并将得到更为广泛的应用和推广。

放射性测井已发展成多种方法,使用的放射性辐射源、同位素种类愈来愈多,源强和同位素用量不断增加。从事放射性测井人员接触放射性辐射源和进行同位素开放型操作的次数和时间也有所增加。因而对放射性测井中安全防护问题,确保放射性测井人员的健康及环境的安全,应引起足够的重视。使从事放射性测井人员熟悉和掌握放射性辐射防护方面的基本知识和技术,既认识到放射线的辐射对人体的危害性,又看到它的可防性,避免盲目操作和不必要的恐惧心理,执行正确的安全操作方法,既能保证安全,又能使工作顺利的完成,这便是编写本书的目的。

本书分两篇。第一篇对放射性测井的方法原理和应用作一般性介绍,使读者了解放射性测井技术的现状。第二篇是本书的重点,着重介绍放射性辐射防护原理及防护方法,对不同测井方法中常用的放射源及操作方式和剂量计算列出了较为详细的实例,并列有实用图表可供查用。对放射性同位素

开放型操作，安全防护方面的基本知识及发生意外污染事故、污物处理等也作了介绍。

本书由大港油田测井公司、清华大学、核工业部原子能研究所的魏震球、桂立明、符传复、刘文珣、张金新共同编写。

陆大卫同志在全书编写过程中给予了热情支持和指导。

本书初稿完成后，承蒙范深根、尹远淑同志认真审阅。书中不足之处，恳请读者给予批评指正。

编者

1984年5月

目 录

序 言

第 一 篇

第一章 伽玛测井	2
第一节 自然伽玛与自然伽玛能谱测井	2
一、自然伽玛测井	2
二、自然伽玛能谱测井	8
第二节 补偿密度测井及岩性密度测井	13
一、补偿密度测井	13
二、岩性密度测井	19
第三节 流体密度及三相流含水率	
——密度测井	21
一、放射性流体密度测井	22
二、三相流含水率——密度测井	23
第二章 中子测井	27
第一节 岩石的中子特性	27
第二节 中子测井	31
一、中子伽玛测井	31
二、中子中子测井	36
第三节 脉冲中子测井	39
一、脉冲中子能谱测井	40
二、中子寿命测井	42
三、中子活化测井	47
第三章 同位素示踪测井	49

一、测定注水井的分层注入量	49
二、用来检查工程上的一些问题	50
三、同位素示踪剂注测仪测井	50

第 二 篇

第一章 放射性基础知识	55
第一节 原子的结构与同位素	55
一、原子的结构	55
二、同位素	56
第二节 核衰变及放射性	57
一、核衰变及放射性	57
二、中子	59
三、放射性活度单位	59
第三节 射线与物质的相互作用	60
一、带电粒子与物质的相互作用	60
二、 γ 射线与物质的相互作用	62
三、中子与物质的相互作用	67
第二章 电离辐射对人体的作用及辐射防护标准	74
第一节 辐射防护中常用的辐射量和单位	76
一、描述辐射场性质的辐射量	76
二、 γ 射线的照射量	80
三、吸收剂量	83
四、比释动能	85
五、吸收剂量、比释动能和照射量之间的关系和区别	87
六、辐射防护中使用的量和单位	95
第二节 射线对人体的作用	99
一、本底辐射	99
二、电离辐射对生物机体的原发作用	104
三、电离辐射对人体的损伤作用	106
第三节 辐射防护标准	116

一、辐射防护标准简史	116
二、我国现行的辐射防护标准	119
第四节 ICRP关于辐射防护的新建议	132
一、提出与明确的概念与建议	133
二、剂量限制体系的三个原则	133
三、辐射防护标准等级	135
四、基本限值	136
第三章 放射性测井中用辐射源与放射性核素	141
第一节 放射性测井用辐射源	141
一、测井用辐射源选用的一般要求	141
二、密封性检测	142
三、放射性测井用 γ 源	142
四、放射性测井用中子源	148
第二节 放射性测井用同位素	158
一、放射性核素种类	158
二、所用同位素的某些特性	159
第四章 放射性辐射的防护	161
第一节 射线防护的基本原则	161
一、控制受照射时间	161
二、增大与辐射源间的距离	162
三、屏蔽	163
第二节 γ 射线的防护	164
一、 γ 射线外照射剂量的计算	165
二、 γ 射线在物质中的减弱规律	180
三、 γ 点源的屏蔽计算	198
四、 γ 射线屏蔽中的几个具体问题	212
第三节 中子源中子的防护	216
一、中子与机体组织作用的特点	216
二、中子剂量的计算	218
三、同位素中子源的屏蔽计算	223

四、中子的屏蔽材料及某些特殊问题	239
第五章 辐射防护监测	244
第一节 辐射防护监测内容、监测技术和方法	245
一、个人剂量监测	245
二、工作场所的监测	251
三、外环境监测	259
第二节 辐射剂量测量原理和方法	262
一、 γ 射线的剂量	262
二、中子剂量的测量	265
三、测量剂量的其它方法	268
四、个人剂量计	270
五、仪表刻度和标准源	27 ⁹
第三节 辐射防护测量仪表简介	283
第六章 开放型放射性工作场所的安全问题	293
第一节 开放型放射性工作单位的地址选择、布局 and 分类	294
一、放射性核素的毒性分组	294
二、放射性工作单位的分类和防护监测区	296
三、地址选择和布局	297
第二节 开放型放射性工作场所的设置和装备	299
一、放射性工作场所的分级	300
二、各级工作场所的内部设施及安装要求	301
第三节 使用开放型放射性物质的安全操作及卫生防 护要求	315
一、安全操作的基本原则	315
二、开放型放射性物质安全操作技术	316
三、个人防护用品和卫生要求	319
第四节 放射性表面污染的去 除	321
一、概述	321
二、表面污染的控制水平	322
三、去污的一般原则	324

四、人体表面污染的去 除	325
五、设备表面污染的去 除	329
第五节 放射性“三废”的处 理	330
一、固体放射性废物的处 理	331
二、液体放射性废物的处 理	333
三、气体放射性废物的处 理	338
第六节 放射性物质的保管与事故处 理	341
一、放射性物质的保 管	341
二、辐射事故处 理	342

附录

附表 1 基本的辐射量和单 位	344
附表 2 各类防护标 准	347
附表 3 质量能量吸收系数 μ_{en}/ρ	348
附表 4 质量能量吸收系数 μ_{en}/ρ	351
附表 5 各种能量的光子在水、骨骼、肌肉组织中的f 值	352
附表 6 各向同性点源 γ 射线减少倍数K所需要的水厚 度	353
附表 7 各向同性点源 γ 射线减少倍数K所需要的混凝土厚 度	355
附表 8 各向同性点源 γ 射线减弱倍数K所需的铁厚 度	357
附表 9 各向同性点源 γ 射线减弱倍数K所需的铅厚 度	359
附表10 各向同性点源 γ 射线减弱倍数K所需的铅玻璃 厚 度	361
附表11 各向同性点源 γ 射线减弱倍数K所需的铅玻璃 厚 度	362
附表12 对“斜”射线效应的修正 值	363
附表13 不同能量的中子在各种材料中的比释动能因子 $K_f = E (\mu_{tr}/\rho)$	364
附表14 在附表13中所列各种材料的成 分	369
附表15 将镭的 γ 射线减弱至容许水平所需的屏蔽厚 度	370
附表16 将 ^{137}Cs 的 γ 射线减弱至容许水平	371

附表17	将 ^{60}Co 的 γ 射线减弱至容许水平.....	372
附表18	几种放射性核素的衰变特性	374
附表19	放射性核素的体内最大容许负荷量	375
附表20	常用单位的换算	376
附表21	一些单位的换算系数	377
附表22	一些物质的密度 ρ	378
附表23	国际制词头	379
附表24	放射性衰变计算表	380
附图 1	剂量减弱系数 f_D 与铅屏蔽层厚度的关系	383
附图 2	剂量减弱系数 f_D 与铁屏蔽层厚度的关系	384
附图 3	剂量减弱系数 f_D 与混凝土屏蔽层厚度的关系	385
附图 4	剂量减弱系数 f_D 与水屏蔽层厚度的关系	386
附图 5	“辐射危险”标志示意图	387
参考文献		388

第一篇 放射性在石油 测井中的应用

利用测量地层的自然放射性及通过人工核辐射与地层及井内介质的相互作用，来探测和研究地层、井内介质的一些物理、化学特性以及开发过程中的某些油水动态问题的测井方法，在石油测井中统称为放射性测井。随着核物理、核电子学及电子计算机技术的发展，放射性测井已成为油、气田勘探与开发测井中一个重要的组成部分。它不仅在测定岩性、划分地层、评价储集层、检查生产井的技术状况等方面，能可靠地提供许多重要资料。而且由于它能在套管井中应用，因此是油田开发中，观察和研究储集层动态特性、评价开采效果及判断和研究油层水淹状况的重要测井手段。本篇共分伽玛测井、中子测井及同位素测井三章，对我国油气田勘探与开发测井中已经较为广泛应用的一些放射性测井方法作一般介绍。

第一章 伽 玛 测 井

在油气田勘探与开发测井中应用的主要伽玛测井方法有：自然伽玛测井、自然伽玛能谱测井、补偿密度测井（伽玛——伽玛测井）、流体密度测井及三相流含水率——密度测井等。

第一节 自然伽玛与自然伽玛能谱测井

一、自然伽玛测井

（一）自然伽玛测井原理及应用

自然伽玛测井是放射性测井中的一种最基本同时也是最简单的测井方法，迄今仍然普遍应用。它采用探测器直接记录井孔剖面中地层的自然伽玛总强度。由于不同岩石所含放射性元素的含量不同，放射性强度也就不同。所以测量的结果可以反映不同地层的岩性剖面。因为这种方法是以测量地层的自然伽玛辐射为基础的，故称之为自然伽玛测井。

火成岩中放射性元素的分布极不均匀，其富集的地区即形成放射性矿床。因此火成岩地区，自然伽玛测量方法是寻找放射性矿床的一种极有效的方法。通常酸性火成岩自然伽玛数值较强，中性稍弱，基性次之，超基性最弱。而沉积岩中的放射性元素随火成岩风化侵蚀迁移而来的。一般情况下，沉积岩中粘土含量与放射性元素的含量成正比。因为粘土颗粒细，较砂粒的比面大，在沉积过程吸附放射性元素的能力强，沉积过程时间长，结晶格宽，因此，粘土颗粒比砂粒能

更多地吸附放射性元素。因此，自然伽玛测井可用来划分砂泥岩剖面的岩性及进行地层对比。特别是某些地区自然电位失真的情况下，可以作为划分砂泥岩剖面岩性的重要补充资料。由于伽玛射线有很强的穿透能力，所以在有套管和水泥的井中仍然可以测量。当地层剖面不存在放射性矿床富集带时，还可以利用自然伽玛曲线直接求得岩层中的泥质含量。图 1-1-1 是我国某油田不同区块的三条自然伽玛相对值 GR 与地层泥质含量 Q_{sh} ，（体积百分比）的关系曲线。

在碳酸盐岩中放射性元素含量较少，但由于地下水的作用，白云岩中的放射性元素含量稍高于石灰岩，如果其中含有泥质较多也可以做出自然伽玛与泥质含量的关系图。图 1-1-2 是我国某油田白云岩地层自然伽玛相对读数 GR 与地层泥质含量 Q_{sh} ，（体积百分比）的关系曲线。

自然伽玛测井时，要对井径、泥浆及套管、水泥环等环境因素进行校正。否则测井资料的解释会有较大的误差。在裸眼井中的校正图版如图 1-1-3。

在套管井中其井眼校正图版如图 1-1-4。

如进一步使用自然伽玛测井资料，作求泥质含量等定量解释时，往往还要进行地层密度校正。

（二）自然伽玛测井的单位

自然伽玛测井通常使用脉冲/分或微伦/小时做为记录单位。而且常用一个标准活度的放射源来标定仪器。美国石油学会制定了一套相对单位标准，称为 API 单位。目前我国已逐渐向 API 单位过渡。

美国自然伽玛测井的 API 标准刻度井，建在美国休斯顿大学。其结构如图 1-1-5。

井内装有三种不同的经过搅拌均匀的放射性混凝土

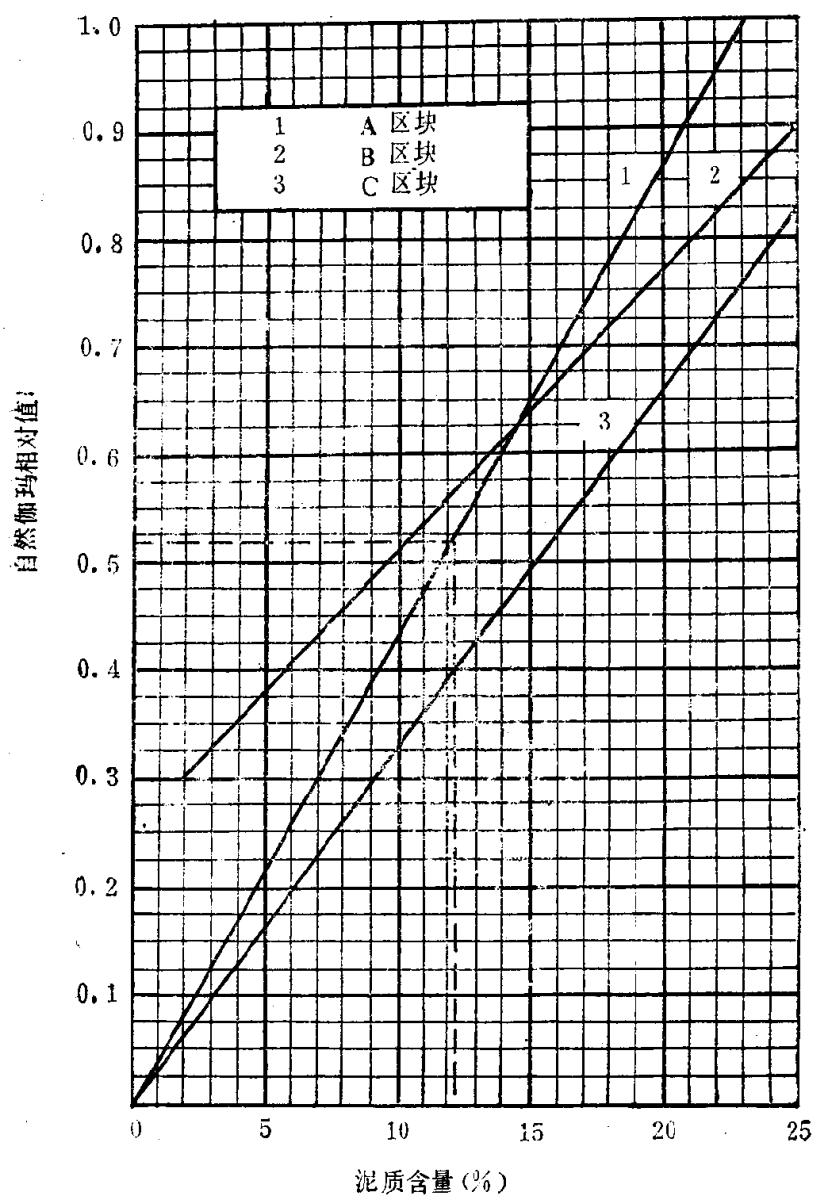


图 1-1-1 自然伽玛确定泥质含量关系图 (砂泥岩地层)

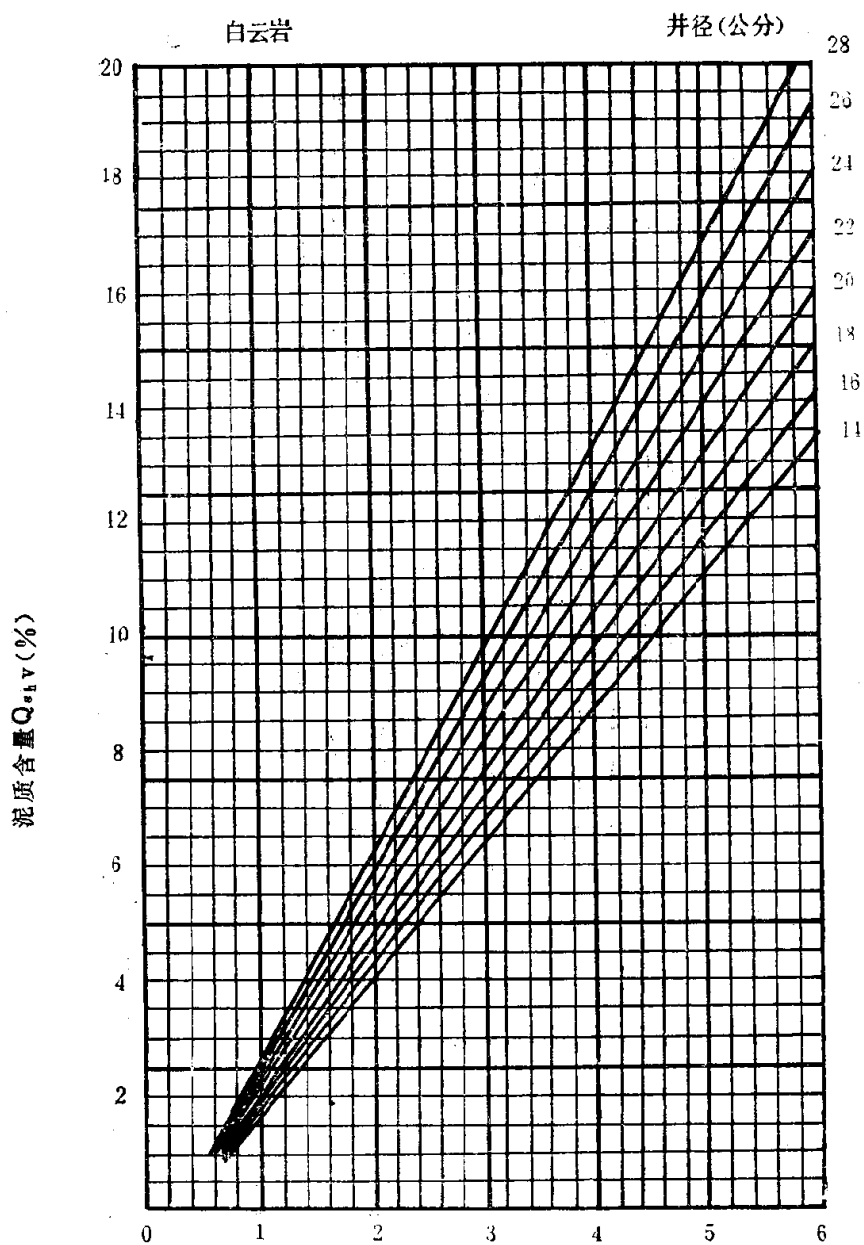


图 1-1-2 白云岩地层自然伽玛与泥质含量的关系图

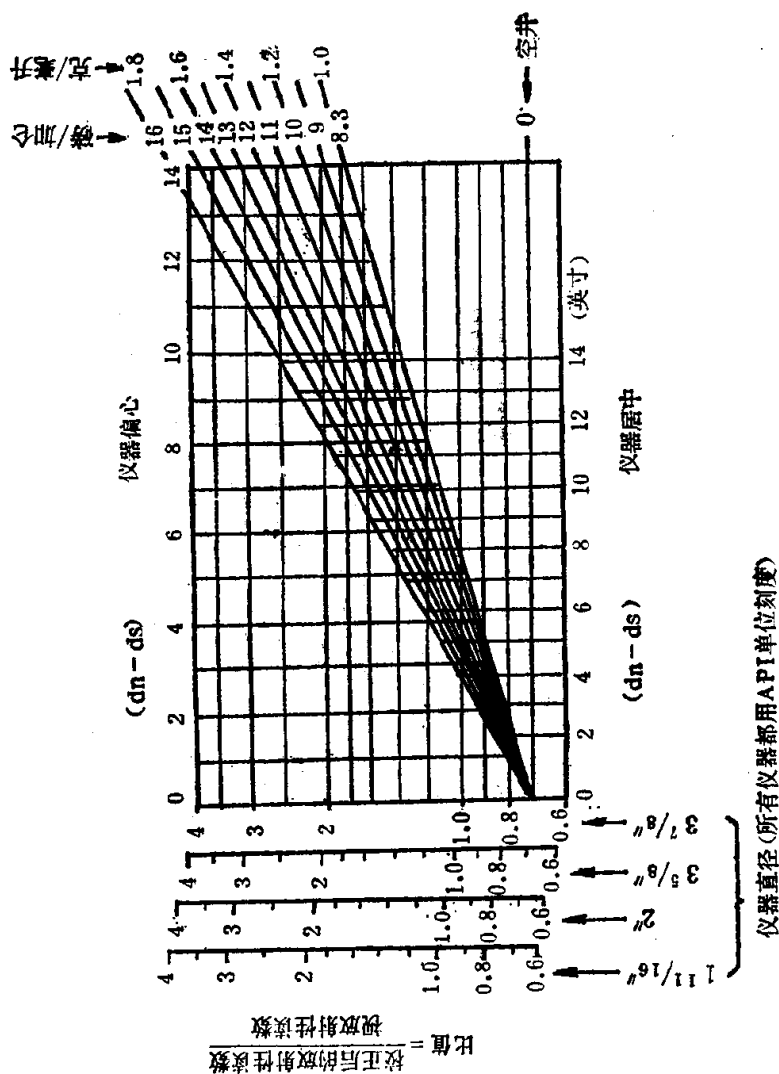


图 1-1-3 裸眼井自然伽玛测井井眼校正图版