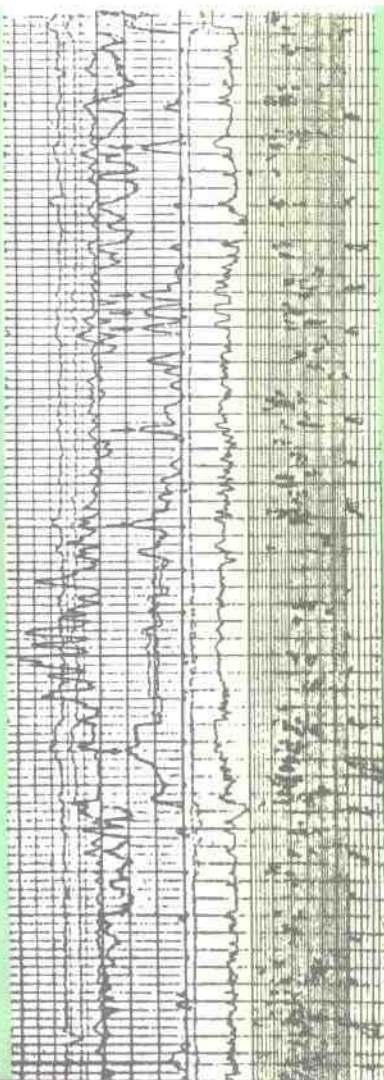


测井培训丛书

补偿中子测井



石油工业出版社

P631.81



200353189

32876

测井培训丛书

补偿中子测井

王文祥 朱桂清 编译 章兆琪 审校



00285049



J77/E0

石油工业出版社

内 容 提 要

《补偿中子测井》是《测井培训丛书》的一种。书中介绍了补偿中子测井的测量原理和物理基础,仪器的框图和技术特性,介绍了仪器的刻度、操作、维修,同时还介绍了测井质量控制和环境影响。本书可作为培训数控操作、维修技术人员的培训教材,也可供测井技术人员及大专院校有关师生参考。

* * *

本书第一章由王文祥编译,第二章由朱桂清编译,全书由章兆琪审校。



测井培训丛书

补 偿 中 子 测 井

王文祥 朱桂清 编译 章兆琪 审校

*

石油工业出版社出版发行

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

*

787×1092毫米 16开本 3 1/4印张 72千字 印1—2,500

1986年8月北京第1版 1986年8月北京第1次印刷

书号: 15037·2668 定价: 0.67元

内 部 发 行

出版者的话

为了做到在引进国外测井仪器的同时,要注意消化、吸收和掌握国外先进的测井技术,提高我国石油测井技术人员的技术水平,我们出版了《测井培训丛书》。该丛书主要根据斯伦贝谢公司CSU数控测井系列编译的,包括有:

- 数控测井
- 声波测井
- 感应测井
- 双侧向测井
- 微球形聚焦测井
- 电磁波传播测井
- 高分辨率地层倾角测井
- 补偿中子测井
- 自然伽马与自然伽马能谱测井
- 岩性密度测井
- 电缆通信
- 核测井仪器模块
- 重复式电缆地层测试器
- 打捞技术

《测井培训丛书》每一分册的内容一般分为两部分,第一部分是操作、维修和现场解释人员必须具备的知识,介绍了测井方法原理,测量技术,仪器的基本框图、结构和技术特性,操作与维修须知,刻度与环境校正,质量控制与资料解释。第二部分是需要更深入了解的知识,主要介绍了测井方法的理论基础,详细框图以及需要详细说明的关键技术问题。因此该丛书可做为数控测井操作与维修技术人员、资料解释与技术管理人员的培训教材,也可做为测井技术人员及大专院校测井专业师生的参考书。

在《测井培训丛书》的编译出版过程中,石油部地质勘探司做了大量的组织工作;石油部科学技术情报研究所、华东石油学院承担了编译工作;大庆石油管理局测井公司、中原石油勘探局测井公司给予了大力支持和帮助;四川石油管理局井下作业处、华北石油管理局测井公司、大港石油管理局测井公司、江汉石油管理局测井公司、江汉石油管理局测井研究所、江汉石油学院物探系、辽河石油勘探局测井公司、西安石油勘探仪器总厂也给予了积极的支持和帮助,在此一并表示感谢。

目 录

第一章 测量原理与方法	(1)
第一节 测量原理介绍	(1)
1.1. 用户使用	(1)
1.2. 弹性散射效应	(1)
1.3. 非弹性散射效应	(1)
1.4. 辐射俘获效应	(1)
1.5. 活化效应	(1)
1.6. 典型中子寿命分析	(3)
1.7. 探测方法	(4)
1.8. 双探测器测井仪	(5)
1.9. 小结	(5)
第二节 基本框图与测井图	(5)
2.1. CNC-A基本框图	(5)
2.2. 核测井模块(NSM)基本框图	(7)
2.3. 计算孔隙度的基本框图	(7)
2.4. 测井图	(10)
2.5. 小结	(10)
第三节 设备说明和技术特性	(10)
3.1. 设备说明	(10)
3.2. 技术特性	(12)
第四节 仪器设备的刻度和准备工作	(13)
4.1. 安全防护	(13)
4.2. 现场和车间刻度	(13)
4.3. CSU参数	(16)
4.4. 安装、居中	(18)
4.5. 小结	(19)
第五节 操作须知	(19)
5.1. 安全	(19)
5.2. 吊升	(20)
5.3. 操作	(20)
5.4. 测井质量控制(LQC)	(20)
5.5. 维护	(24)
第六节 典型线路说明	(24)
6.1. 多路调制器与多路解调器	(24)
6.2. 自偏压	(25)

第二章 测量的物理基础、详细框图与环境影响	(27)
第一节 测量的物理基础	(27)
1.1. 碰撞机率	(27)
1.2. 减速指数	(27)
1.3. 热扩散	(29)
1.4. 两种探测系统	(31)
1.5. 放射源NSR-F	(31)
1.6. 探测器	(33)
第二节 详细框图	(35)
2.1. CNC-A 的详细框图	(35)
2.2. 补偿中子仪器的NSM功能	(37)
第三节 环境影响	(40)
3.1. 探测深度	(40)
3.2. 侵入影响	(40)
3.3. 挖掘效应	(42)
3.4. 骨架影响	(42)
3.5. 粘土影响	(44)
3.6. 矿化度的影响	(44)
第四节 砾石充填测井	(44)

第一章 测量原理与方法

第一节 测量原理介绍

1.1 用户使用

补偿中子测井仪 (CNT) 是一种孔隙度测井仪, 该仪器响应于周围存在的氢的数量。

在一个有孔隙的地层中, 孔隙空间可以充满水或原油, 二者的含氢量近似相同, 因而通过测量所含氢的数量, 可以确定其孔隙度。

CNT 还可用作天然气指示, 假如孔隙空间含天然气, 天然气的含氢量低, 所测的视孔隙度将过低。因而如果 CNT 孔隙度比由其它方法确定的孔隙度值低得多 [例如补偿地层密度测井 (PGT) 孔隙度], 则该地层可能含天然气。

与其它测井方法组合, CNT 还可用于帮助确定许多其它的地层参数, 例如岩性、粘土含量、含水饱和度等等。

下面分别介绍了中子与原子发生的弹性散射、非弹性散射、辐射俘获和活化效应 (图1)。

1.2 弹性散射效应

氢在减弱中子能量方面比其它元素的影响更大, 因为氢的原子量近似与中子的重量相同。

这种理论可用弹子球最清楚地予以说明。假如一个弹子球撞击一个比它小得多的球, 例如一个玻璃弹子, 它损失给玻璃弹子的能量非常小。假如一个弹子球撞击一个比它大得多的球例如一个滚球, 它就被弹开, 而且损失的能量比较小。然而, 假如一个弹子球撞击另一个弹子球, 则将其全部动能交给第二个球。

弹性散射效应发生在所有的中子能级, 包括热中子。某一元素从一个中子吸收能量的能力称为“散射截面”, 以靶恩为单位。该截面受中子能级和靶核的质量或其几何面积的影响, 而在更大程度上取决于能级。

1.3 非弹性散射效应

非弹性散射效应只发生在高能中子和较重原子之间。非弹性散射使中子损失的能量较少。

1.4 辐射俘获效应

俘获效应通常仅与热中子有关, 虽然该效应可能在任一中子能级产生。任何一种核都可能俘获中子, 但对大多数元素, 这种机会是极少的。只有几种元素可被列为“中子吸收剂”, 氯是在地层中唯一常见的中子吸收剂。

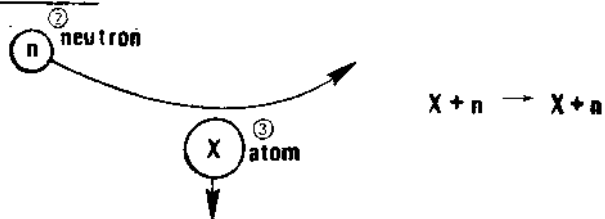
某一元素俘获与其撞击的中子的能力称为“俘获截面”, 以靶为单位。此特性也是很依赖于中子的能量。

1.5 活化效应

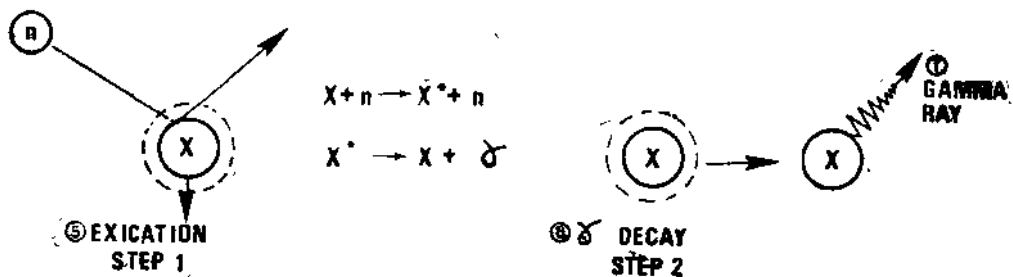
除非源停留在某一点相当长的时间, 这一效应可予忽略。在测井时, 停留在某一点的情况一般是不会遇到的。

图2示出了几种元素的俘获截面与散射截面。

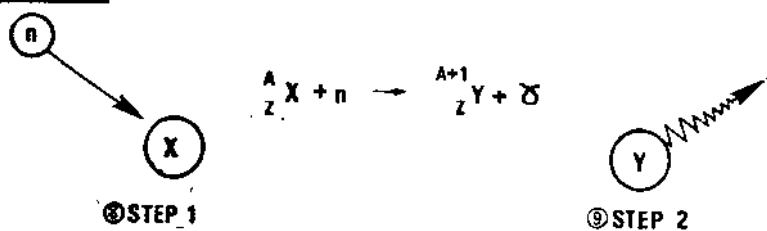
① ELASTIC



④ INELASTIC



⑩ CAPTURE



⑪ ACTIVATION

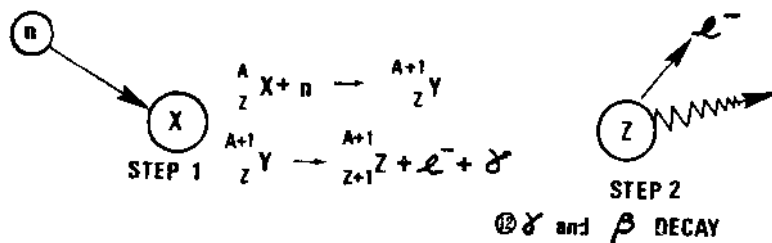
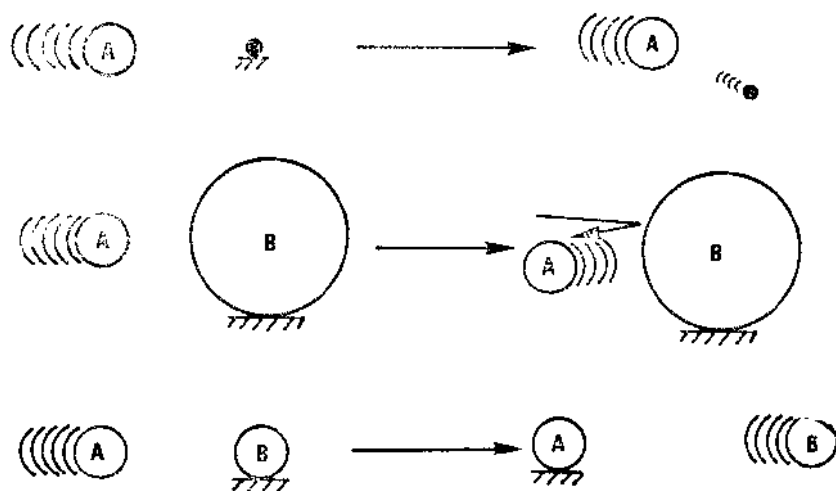


图1

①弹性；②中子；③原子；④非弹性；⑤激发；⑥衰变；⑦伽马射线；⑧第一步；
⑨第二步；⑩俘获；⑪活化；⑫ γ 和 β 衰变



① Element Z (atomic No.)	② Element Symbol	③ Σa Capture Cross Section (Barns)	④ Σs Scattering Cross Section (Barns)	⑤ Average No. of Collisions to reduce Neutron energy from 2 MeV to .025eV
1	H	0.30	20	18
6	C	0.0032	4.8	115
8	O	0.0002	4.1	150
14	Si	0.13	1.7	261
17	Cl	31.6	10	329
20	Cd	2500	5.3	1028

图2

①元素原子序数 Z ；②元素符号；③俘获截面（靶恩） Σa ；④散射截面（靶恩） Σs ；

⑤中子能量从2MeV减至0.025eV伏特的平均碰撞次数

1.6 典型中子寿命分析

从一个中子源放射出一个高能中子（约2MeV），该中子与原子多次碰撞，并由于弹性和非弹性散射而失去能量。直到中子达到“热”能级之前，其能量继续损失。达到“热”能级时，中子能量如此之低（约0.025eV）以致它与原子碰撞时得到的能量等于所失去的能量，此称为热扩散。中子在达到热能级后，在附近弹跳若干时间直到被一个原子辐射俘获为止（见图3）。

因而，空间某一点的热中子密度主要取决于，

- (1) 源距（由于几何分布）；
- (2) 引起弹性和非弹性散射的原子的密度（高能中子的行程比热中子远得多）；
- (3) 俘获中子的原子的密度。

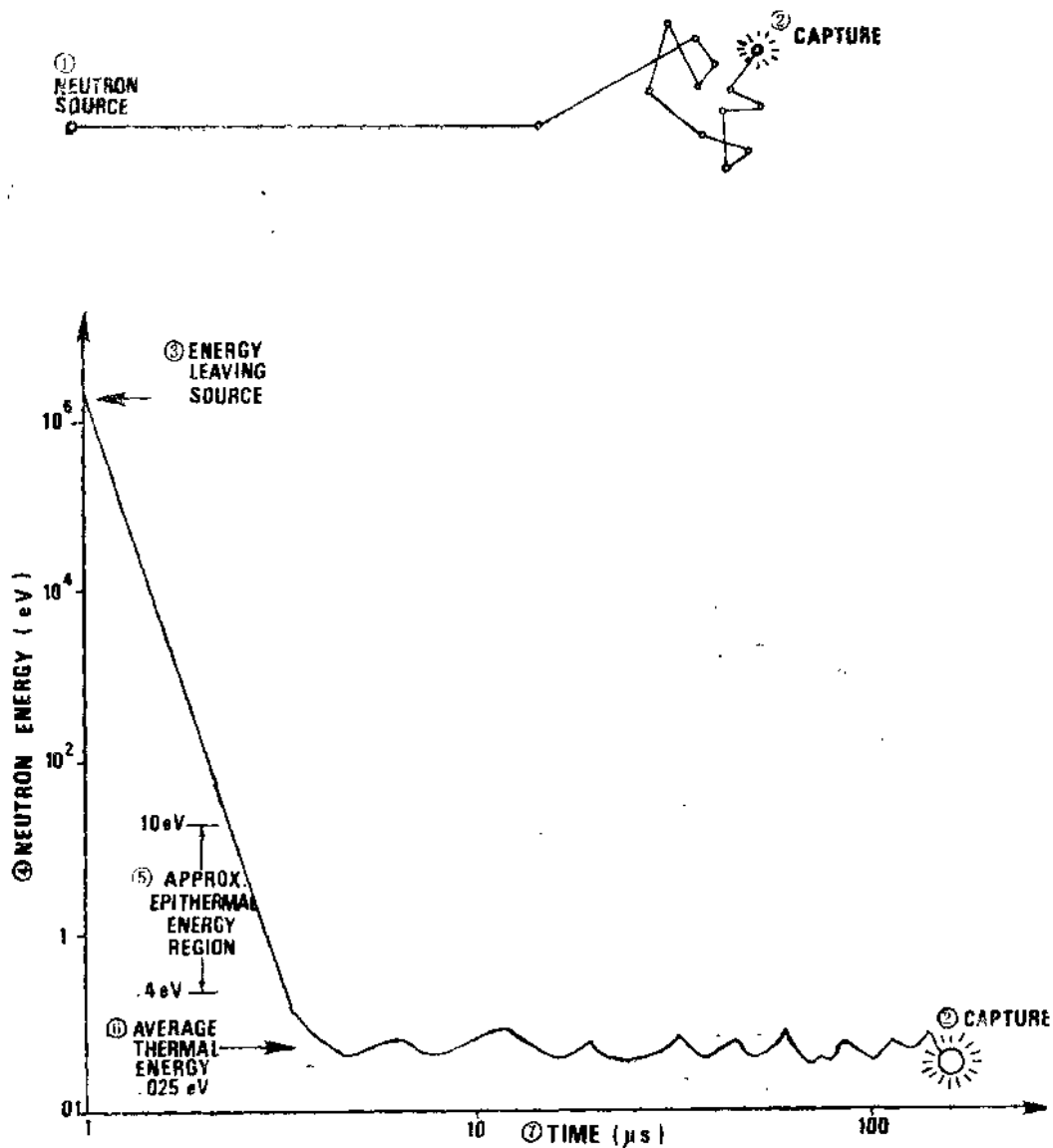


图3

①中子源；②俘获；③离开源时的能量；④中子能量 (eV)；⑤近似的超热中子能量的范围4~10eV；
⑥平均热中子能量0.025eV (电子伏特)；⑦时间 (μs)

1.7 探测方法

探测中子的基本方法有三种，

1) 俘获伽马射线探测

俘获伽马射线密度与中子密度有关，后者又和所存在的氢的数量有关。因为伽马射线探测器制造较简单，其原理应用于最初的中子测井仪 (GNT)。

上述方法由于需要对俘获元素作校正，而这种元素的实际数量又可能是未知的，因而相对来说不太精确。井眼影响也引入大的误差。

2) 热中子探测

该方法用于CNT-A型中子测井仪,应用一个氦-3 正比计数器直接探测中子。虽然上述方法优于俘获伽马射线法,但由于俘获元素影响中子密度,测量精度仍然多少受些影响。

3) 超热中子探测

这种方法只探测超热中子。高于热能级时的俘获率很低,可以忽略不计,所以由于俘获元素引起的误差可以忽略。

探测器如同用于热中子探测的一样是一个氦-3计数器,但有一个铜过滤器,该过滤器在热中子到达探测器的计数管之前就俘获它们。

此仪器的缺点是计数率过低,以致统计误差成为一个问题。一般,超热中子密度大约为热中子密度的十分之一。这种探测中子的方法将被引入于新一代的补偿中子测井仪(CNT-G)中。

1.8 双探测器测井仪

老的中子测井仪应用一个源和一个探测器的原理。探测器周围的中子密度与地层的“氢指数”有关。氢指数(H.I.)被定义为地层中的含氢量和标准(地面)状态下水中含氢量的比值。淡水的H.I.为1。中子密度(或探测器计数率)与氢指数成反比。

CNT-A型测井仪应用一个源和两个不同源距的探测器(图4)。该仪器测量两个探测器计数率的比值而不是测量一个探测器的绝对计数率。该比值代表地层内中子密度随距离而衰减的速率。

这种比值法的优点是减少由环境因素造成的误差。例如,设想一个双探测器测井仪在理想的环境下测量得到的计数率为N和F计数/秒或比值N/F。假如我们设法增加泥饼厚度使N探测器有20%误差,而F探测器的误差将是相似的。

在厚泥饼条件下的比值 $(1.2N) / (1.2F) = N/F$ 等于理想条件下的比值。这是由于消除了误差(实际上,大大减少)。

1.9 小结

CNT测量氢指数,该参数与孔隙度和天然气含量有关。中子主要由于与氢原子碰撞产生弹性散射效应而被减速。其它的相互作用为非弹性散射、辐射俘获和活化。氢具有高散射截面。氯具有高俘获截面。CNT-A测井仪探测热中子。双探测器测井仪减少了环境误差。近探测器的计数率(计数/秒)和远探测器的计数率(计数/秒)的比值和氢指数有关。

第二节 基本框图与测井图

2.1 CNC-A基本框图

补偿中子测井仪的电子线路CNC-A(图5)通常在接头引线1和4之间以150V交流电压(VAC)供电,虽然该线路可在接头引线15和电缆铠装之间以50V直流电压(VDC)供电进行工作。

采用一种带滤波器的科克罗夫特-瓦耳顿(Cockroft-Walton)可调梯形高压电路供给探测器1500伏特的直流电压。该电压可以稍许增高或降低来检验坪的特性,方法是从地面

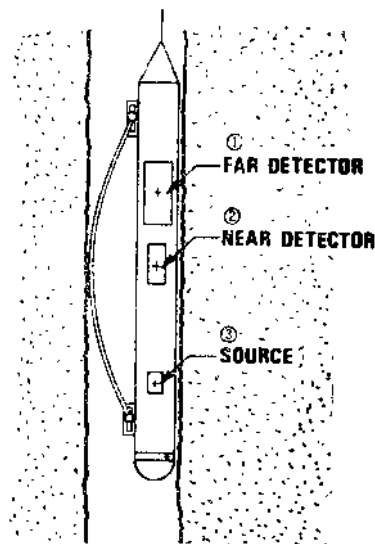


图4 双源距中子测井仪(CNL)示意图
①远探测器; ②近探测器; ③中子源

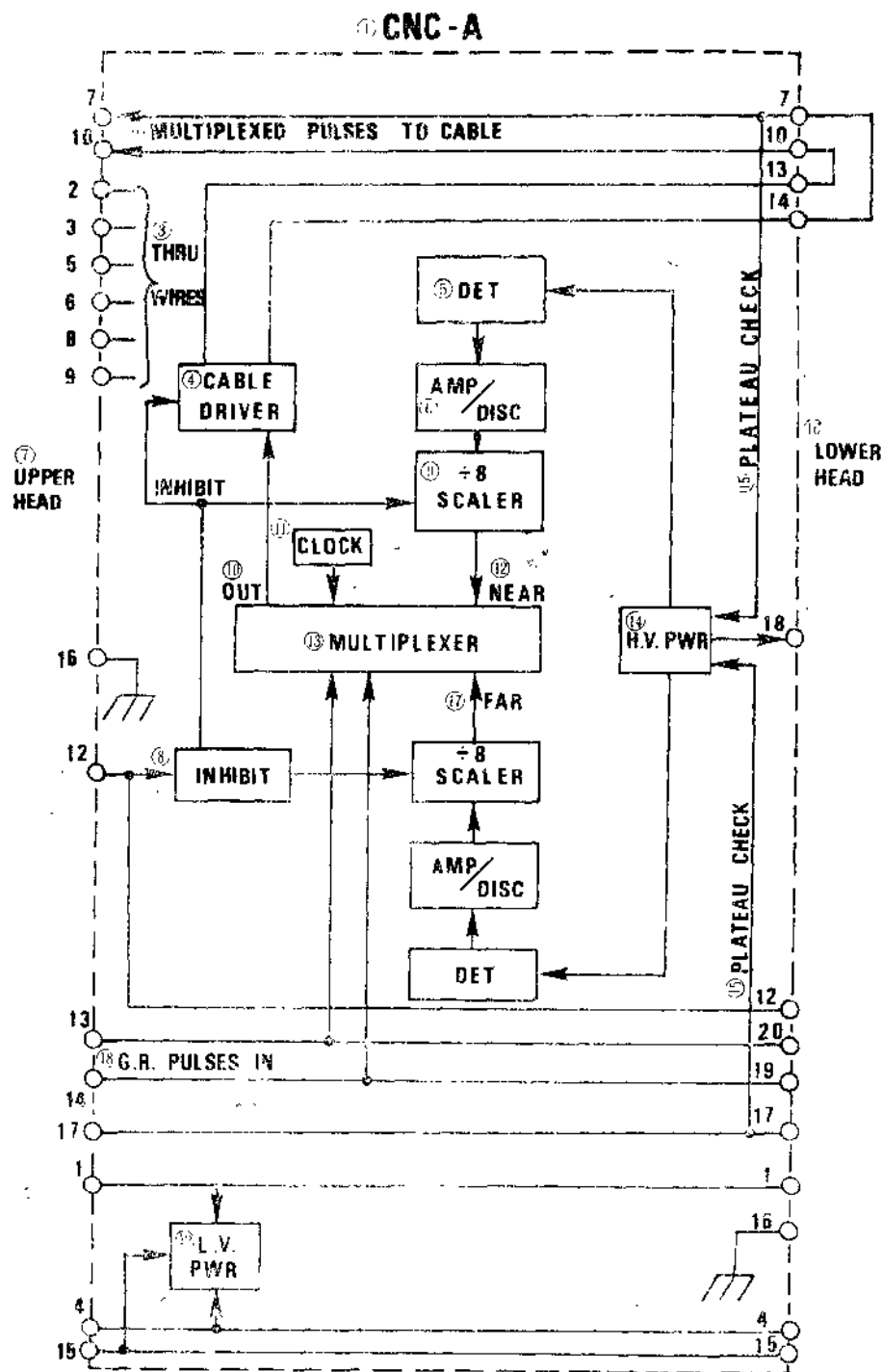


图5

- ① CNC-A补偿中子测井仪电子线路；②多路调制后的脉冲送往电缆；③贯穿线；④电缆驱动器；⑤探测器；
⑥放大器/甄别器；⑦上接头；⑧禁止；⑨计数器；⑩输出；⑪时钟；⑫远探测器脉冲；⑬多路调制器；
⑭高压电源；⑮坪特性检验；⑯下接头；⑰远探测器脉冲；⑱输入自然伽马脉冲；⑲低压电源。

在缆芯7和铠装之间加上 $\pm 15\text{V}$ 直流电压或在下井仪底部插入一个测试插件并在引线16、17和18之间换接。

探测器的输出脉冲的幅度很小(μV)并且变化,因而必须放大到可处理的电平,然后经过甄别,从背景噪声中区分出脉冲。

在高计数率的情况下,脉冲重复频率对测井电缆所能容纳的量而言可能是过高了,所以将计数减少到原来的1/8。计数器每接到8个脉冲就输出1个脉冲。

假如一个自然伽马测井仪与CNT组合测井,自然伽马仪器的输出脉冲通过上接头引线13和14输入到CNT-A。

然后,自然伽马、CNT远探测器和CNT近探测器的脉冲经过多路调制通过电缆驱动器(放大器)送到下接头的引线13和14。通常CNT下面的尾部或下井仪将这些引线连接到缆芯7和铠装。

当一个声波测井仪与CNT组合测井时,则由于测井电缆的串音,CNT的输出脉冲可能叠加在声波信号上。为防止出现上述情况,在声波波形传送过程中,CNT的输出脉冲被“截断”(或“断开”或“禁止”)。这段时间占总时间的比率小于10%。

2.2 核测井模块(NSM)基本框图

核测井模块NSM(或老的核测井模块NLM)在CNT-A测井仪和CSU地面仪器之间提供接口。在下井仪组合时必须通过面板上的开关选择CNT〔如用闪烁自然伽马测井仪(SGT)测井还选择SGT〕,并通知软件。

NSM的作用为:

- (1) 从下井仪电源单元TPU的交流电源将电力引到CNT-A测井仪。
- (2) 探测来自CNT-A的脉冲串并放大和整形。脉冲大小及形状随电缆的长度及技术状况而有相当大的变化。仪器中的“自偏压”电路取最大脉冲幅度的一部分来给定触发电平。任何高于触发电平的电压都作为脉冲来处理,任何低于此电平的均当作噪声并滤去。
- (3) 将脉冲串多路解调并将信号输入到通用电子线路单元(G.E.U)的计数器。如果失去同步,面板上的红灯就点亮。
- (4) 通过对缆芯7加上 ± 15 伏特的直流电压来检验坪的特性。这一工序可以通过用手转换组件面板上的开关来完成或由软件来控制。
- (5) 通过以NSM中产生的脉冲串代替CNT-SGT脉冲串的方法来模拟下井仪器。这种简便方法对于常规检验或检查故障是很有用的。
- (6) 假如在下井仪接口单元(TIU)中,所用组件及开关置位都是正确的就报告CSU地面仪器。这由有效电路来完成。

图6示出了用于CNT-A的核测井模块(NSM)的功能。

2.3 计算孔隙度的基本框图

为了将计数率比值转换成孔隙度,CSU需要输入其它几种信息(图7)。

1) 每种单个下井仪的特性参数

没有哪两个下井仪是完全相同的,所以对某个下井仪输出的原始比值必须使用一个增益系数。结果得出的“规格化”的比值就和一个假设的“理想”下井仪所给出的相同。增益系数在刻度时确定。

2) 井径

对井眼影响作实时校正,校正时可用实测的井径或名义钻头直径。

①NSM Function For CNT-A

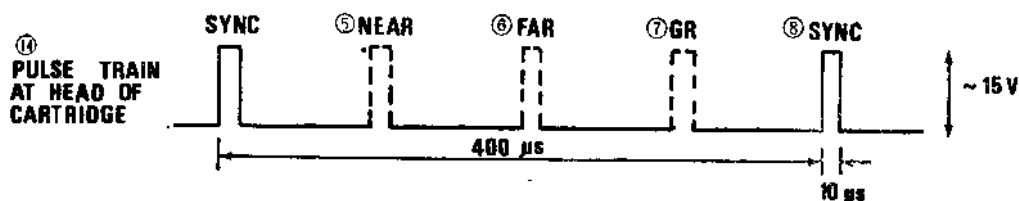
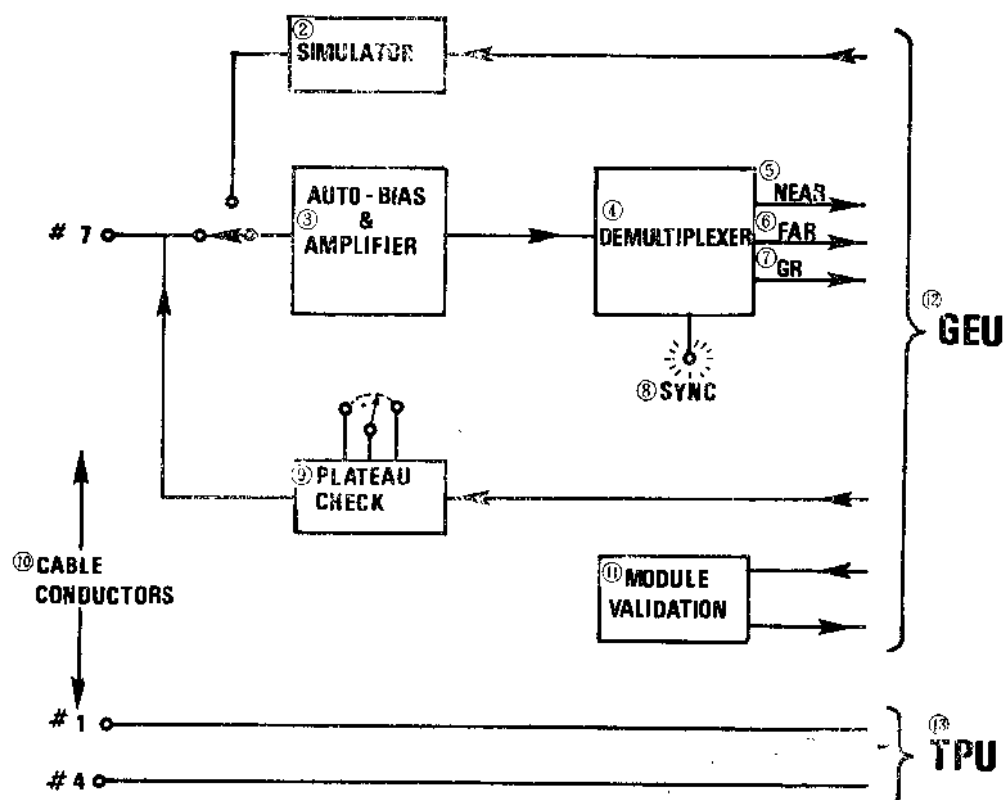


图6

①用于CNT-A的NSM功能；②模拟器；③自偏压电路和放大器；④多路解调器；⑤近；⑥远；⑦自然伽马；

⑧同步信号；⑨坪特性检验；⑩缆芯；⑪模块有效性；⑫通用电子线路单元；⑬下井仪电源单元；

⑭电子线路接头处的脉冲串

3) 骨架物质

各种较重的岩石元素的原子核以不同的方式影响中子的散射。对应于普通骨架物质石灰石、砂或白云石的三种比值中的任一个比值可用于孔隙度算法。

4) 裸眼井或套管井

对裸眼井或套管井使用不同的算法。在套管井模式中不作井径校正。

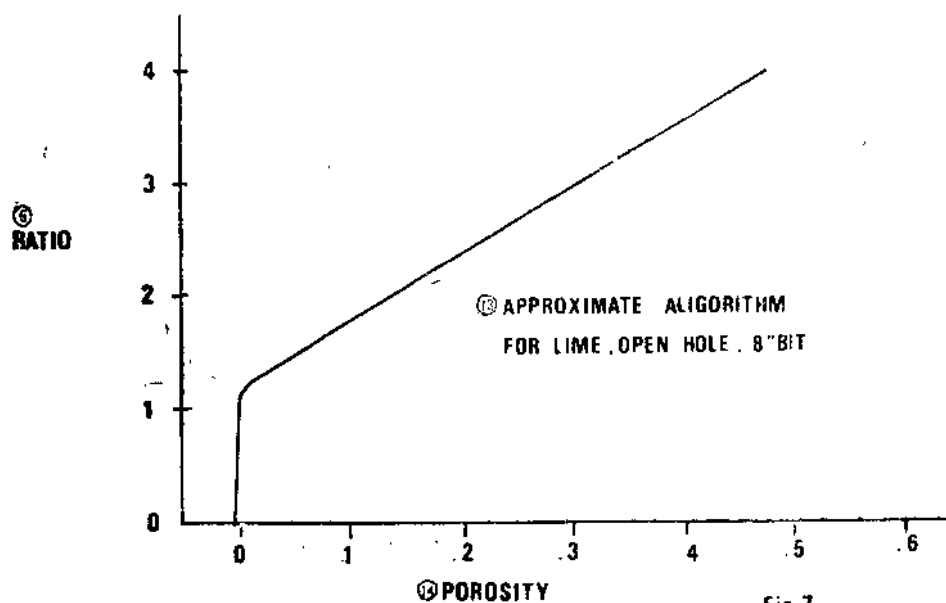
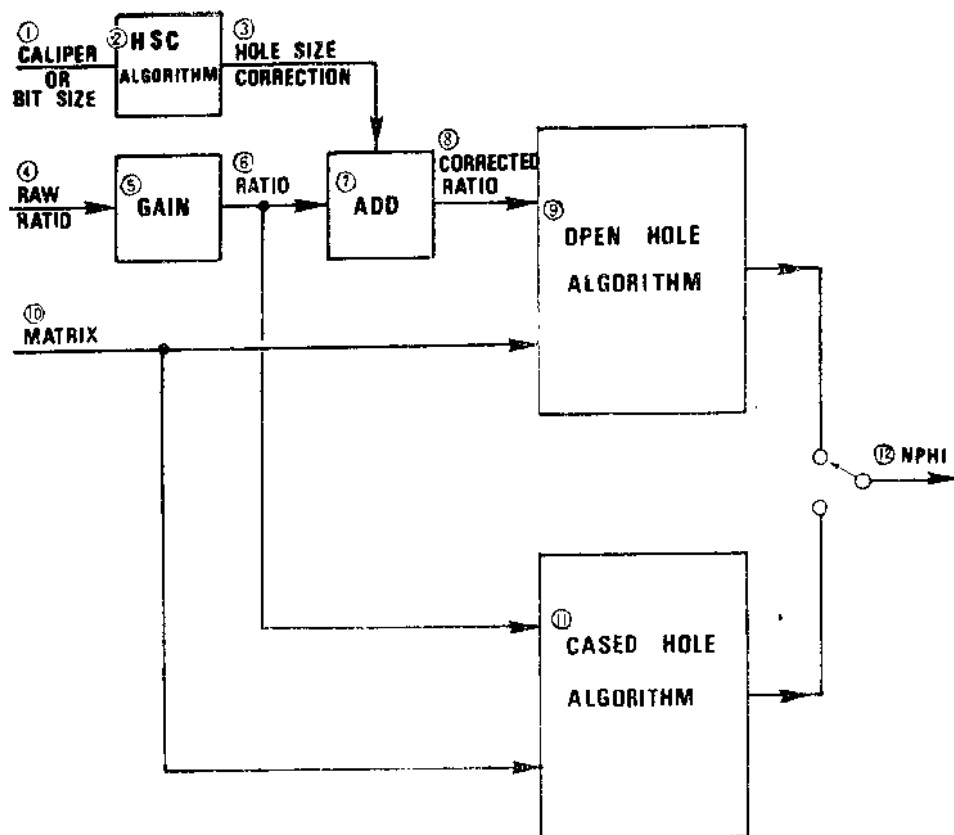


Fig 7

图7

①井径或钻头直径；②井径校正算法；③井径校正；④原始比值；⑤增益；⑥比值；⑦加法电路；⑧校正后的比值；⑨裸眼井算法；⑩骨架；⑪套管井算法；⑫中子孔隙度；⑬近似算法，适用于石灰岩、裸眼井、8"钻头；⑭孔隙度

2.4 测井图

CNT-A测得的参数通常在胶片上显示的只有中子孔隙度NPHI (ϕ_N)，如图8所示。

一般的比例尺取为0.6到0 (60%到0%) 或0.30到-0.10 (30%到-10%)，跨越第二栏和第三栏，为线性网格。实际上负孔隙度当然是不可能的，但是一个不正确的骨架选择，比值-孔隙度转换算法可能给出负的视孔隙度值。

CNT-A通常和另一种孔隙度测井仪例如密度测井仪 (PGT) 组合一起测井。采用“兼容比例尺”。这意味着NPHI和体积密度RHOB (ρ_b) 的比例尺使两条曲线在纯的含水石灰岩地层处重叠一起。然后油气、别的骨架物质或泥质的影响变得明显。这种比例尺对“快速直观”解释是很有用的。

通常和NPHI (中子孔隙度) 一起显示的其它测量值是自然伽马、井径 (和钻头尺寸) 以及电缆张力。

探测器的计数率或比值在特殊目的应用中可以显示在图上。

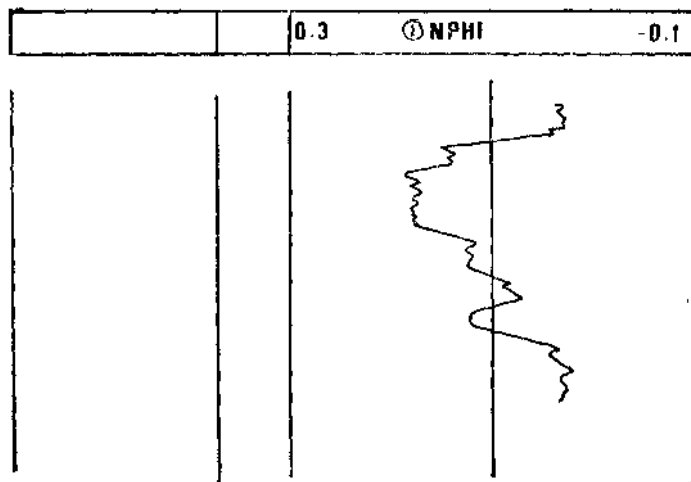


图8
①中子孔隙度

云石，

井眼状况 (裸眼井、套管井)

2.5 小结

CNC-A电子线路 将探测器的脉冲放大、甄别、除以八并多路调制。

NSM将脉冲甄别、多路解调并输入到GEU的计数器。

为从原始比值确定中子孔隙度NPHI，工程师必须输入：

增益系数 (根据车间刻度值)

井眼校正参数 (井径或钻头直径)

骨架 (石灰石、砂、白

第三节 设备说明和技术特性

3.1 设备说明

补偿中子测井所需设备 (如图9所示) 包括：

(1) CNT-A下井仪，包括在CNH-A耐压外壳内的CNC-A电子线路。

(2) 在携带的NCS-YB (或NCS-T) 屏蔽罐内的NSR-F中子源。

(3) 装卸源的工具和扳手。这是将源装入CNT-A仪器所需的。

(4) 现场刻度器 (CNB-AB)，内装一小中子源，用于测井前后校验下井仪的响应。

(5) 一个偏心弹簧 (带支座)，通常用于裸眼井，井径小于6英寸或井斜角大于15度的情况除外。在套管井内，下井仪一般贴着套管移动，而且绝对偏心通常是不需要的。

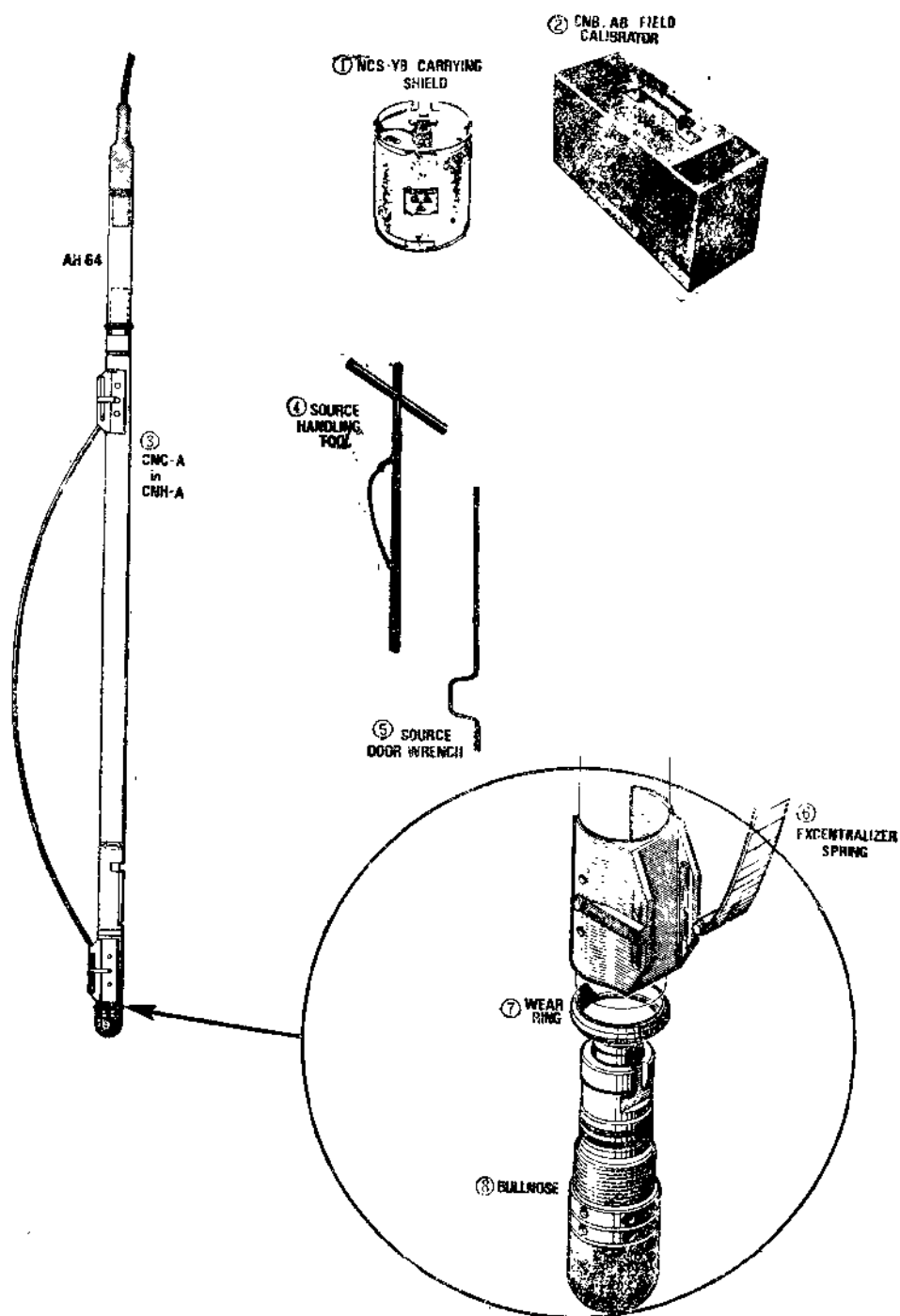


图9

- ①NCS-YB携带式屏蔽罐；②CNB-AB现场刻度器；③CNH-A中的CNC-A电子线路；④装卸源的工具；
⑤用于源的门形扳手；⑥偏心弹簧；⑦耐磨环；⑧仪器尾部