

电离辐射安全与防护培训

工业应知应会

生态环境部辐射源安全监管司
中国原子能研究院、清华大学、南华大学
编制人员：XXX、XXX/

目录

第一节 概述.....	1
第二节 放射性测井的组成及原理.....	1
2.1 自然伽玛测井.....	1
2.2 自然伽马能谱测井.....	3
2.3 密度测井.....	4
2.4 中子测井.....	4
2.5 放射性示踪测井.....	6
第三节 放射性测井的安全与防护.....	7
3.1 源项及风险分析.....	7
3.2 防护要求.....	8
3.3 管理要求.....	14
第四节 放射性测井案例分析与辐射应急.....	17
4.1 案例分析.....	17
4.2 辐射应急.....	19

第六章 放射性测井的辐射安全与防护

第一节 概述

测井是地球物理测井的简称，是在钻孔中进行地球物理测量、研究井中各种物理场的变化，进而达到研究基础地质、寻找矿产的目的的一门学科。放射性测井又称核测井，是以地层和井内介质的核物理性质为基础的地球物理测量方法。放射性测井时，用探测器在井中连续测量由天然放射性核素发射的或由人工激发产生的辐射，以计数率或标准化单位记录射线强度随深度的变化，也可直接转换成测井分析所需要的地球物理参数，以更直观的形式进行记录。这类测井方法可在裸眼井和套管井中测定岩性、进行地层评价、观察油田开发动态和研究油井的工程质量等。

放射性测井方法，可分为探测 γ 射线的 γ 测井法、探测中子的中子测井法以及放射性示踪测井三大类。 γ 测井法包括：自然 γ 测井、自然 γ 能谱测井、密度测井等；中子测井包括：中子测井和中子- γ 测井等。

放射性测井的特点：**1**、裸眼井、套管井内均可进行测井；**2**、在油基泥浆、高矿化度泥浆以及干井中均可测井；**3**、是碳酸岩剖面和水化学沉积剖面不可缺少的测井方法；**4**、测速慢，成本高。

第二节 放射性测井的组成及原理

2.1 自然伽玛测井

自然伽玛测井是通过在井内测量岩层中自然存在的放射性元素核衰变过程中放射出来的伽玛射线的强度来认识岩层的一种放射性测井方法。用自然伽玛测井曲线可以进行地层对比、划分砂泥岩、计算泥质含量、识别岩性、评价生储盖组合等。

1. 岩石的天然放射性

不同的岩层，放射性元素的含量和种类不同。岩石的放射性元素含量与岩石的岩性及其形成过程中的各种条件有关。三大岩类中火成岩放射性最强，其次是变质岩，最弱的是沉积岩，沉积岩放射性浓度粗略地分为三类：

(1) 放射性高的岩石：粘土岩、火山灰、钾岩等。其它还有海绿石砂岩、独居石砂岩、钾钒矿砂岩。

(2) 放射性中等的沉积岩：砂岩、含少量泥质的碳酸盐岩等；

(3) 放射性低的沉积岩：石膏、岩盐、纯的石灰岩、白云岩和石英砂岩等。

一般情况下，沉积岩的放射性主要取决于岩层的泥质含量。这是由于泥质颗粒细，具有较大的比面，使得它吸附放射性元素的能力较大，并且因为沉积时间长，吸附的放射性物质多，有充分时间使放射性元素从溶液中分离出来与泥质颗粒一起沉积下来。沉积岩的放射性有以下变化规律：

(1) 随泥质含量的增加而增加。

(2) 随有机物含量的增加而增加，如沥青质泥岩的放射性很高，有机物容易吸附含铀和钍的放射性物质。

(3) 随着钾岩和某些放射性矿物的含量增加而增加。

2、自然伽玛测井测量原理

测量原理如图 2-1 所示，测量装置由井下仪器和地面仪器组成。井下仪器有探测器、放大器和高压电源等几部分。自然伽玛射线由岩层穿过泥浆、仪器外壳进入探测器，探测器将伽玛射线转化为电脉冲信号，经放大器把电脉冲放大后由电缆送到地面仪器。地面仪器把每分钟电脉冲数转变成与其成正比例的电位差进行记录，井下仪器沿井身移动，就连续记录出井剖面上自然伽玛强度曲线。早期的自然伽玛曲线采用计数率（脉冲/分钟）单位，曲线用 J_r 表示，现今的自然伽玛测井都采用标准刻度单位 API，曲线用 GR 表示。定义高放射性地层与低放射性地层读数之差为 200API 单位，作为标准刻度单位。

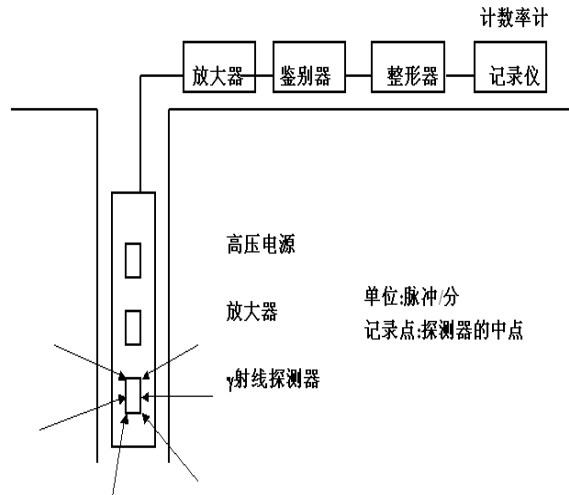


图 2-1 自然伽玛测井示意图

3、自然伽玛曲线特点及主要影响因素

(1) 曲线特点

a、曲线对称于地层中点，在地层中点处有极大值或极小值，反映该层放射性大小。

b、当地层厚度 h 小于三倍的钻头直径 d_0 ($h < 3d_0$) 时，极大值随 h 升而升(极小值随 h 降而降)。当 $h \geq 3d_0$ 时，极大值(或极小值)为一常数，与地层厚度无关，与岩石的自然放射性强度成正比。

c、 $h \geq 3d_0$ 时，由曲线的半幅点确定的底厚度等于地层的真实厚度，当 $h < 3d_0$ 时，由半幅点确定的地层厚度大于地层的真实厚度，而且越薄，大得越多。

理论曲线是在测速为零、点状晶体探测器的条件下计算得到的，但实际测井中，计数管不是点状的，测速也不为零，所以实测曲线和理论曲线是有些差异的，但基本形状仍然相似。

(2) 自然伽玛测井曲线的影响因素

a、地层厚度的影响。地层变薄会使泥岩层的自然伽玛测井曲线值下降，砂岩层的自然伽玛测井曲线值上升，并且地层越薄，这种下降和上升就越多。因此对 $h < 3d_0$ 的地层，应用曲线时，应考虑层厚的影响。

b、井参数的影响。井径的扩大意味着下套管井水泥环增厚和裸眼井泥浆层增厚。若水泥环和泥浆不含放射性元素，则水泥环和泥浆层增厚会使 GR 值降低，但由于泥浆有一些放射性，所以泥浆的影响很小。套管的钢铁对射线的吸收能力很强，所以下了套管的井，GR 值会有所下降。

c、放射性涨落的影响。放射性涨落是由于放射性元素的各个原子核的衰变彼此是独立的，衰变的次序是偶然的等原因造成的，它与测量条件无关，是微观世界的一种客观现象。由于放射性涨落的存在，使得 GR 曲线不像电测井光滑。

d、测速的影响。测井时的仪器上提速度是对 GR 曲线产生影响。测速越大，GR 关于地层越不对称。

4、自然伽玛曲线主要应用

(1) 划分岩性。根据不同的岩性，自然伽玛射线强度不同可以划分岩性。在砂泥岩剖面，纯砂岩 GR 最低，粘土最高，泥质砂岩较低，泥质粉砂岩和砂质泥岩较高，即自然伽玛随泥质含量的增加而升高。在碳酸盐岩地层，纯石灰岩和纯白云岩最低，泥岩和页岩最高，泥灰岩较高，泥质石灰岩，泥质白云岩介于它们之间，也是随泥质增加曲线数值增高。膏盐剖面中，石膏层的数值最低，泥岩最高，砂岩在二者之间。

(2) 进行地层对比。以单井划分岩性为基础,可在构造剖面上用几口井的曲线进行地层对比。**GR** 曲线与地层中所含流体性质无关,其幅度主要决定于地层中的放射性物质,通常对于不同岩性其幅度较为稳定,另外,对比的标准层也易选取,通常选用大厚度泥岩地层作标准层,进行油田范围或区域范围内的地层对比。

(3) 计算泥质含量。一般情况下,泥质是控制自然伽马射线强度的主要因素,所以在—个地区通过岩心分析,用统计的方法可以找到自然伽马射线强度和泥质含量之间的关系,利用这种关系可以由自然伽马值确定泥质含量。

2.2 自然伽马能谱测井

自然伽马测井只能测量地层中放射性元素的总含量,无法分辨地层中含有什么样的放射性元素,为此研制了自然伽马能谱测井,即测量不同放射性元素放射出不同能量的伽玛射线,从而确定地层中含有何种放射性元素。

1. 自然伽马能谱测井原理

根据实验室对铀、钍、钾放射的射线能量的测定,发现铀、钍、钾放射的射线谱都存在各自易鉴别的特征谱峰,如图 2-2 所示,在 ^{40}K 的伽马能谱中,可以清楚地看到 1.46MeV 的光电峰以及由康普顿散射形成的低能连续谱。在 ^{238}U 系的伽马仪器谱中,最明显的峰是 1.76MeV 的光电峰,易于识别;在 ^{232}Th 系的伽马仪器谱中,最明显的峰是 2.62MeV 的光电峰。从混合源的伽马仪器谱中,可看到相应于 ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th 的能量分别为 1.46MeV, 1.76MeV, 2.62MeV 的三个光电峰,且最容易识别,因而选用它们作为识别铀、钍、钾的特征峰。根据铀、钍、钾的自然伽马能谱特征,用能谱分析的方法将测量到的混合谱进行解谱,从而确定铀、钍、钾在地层中的含量。

自然伽马能谱测井的探测器与自然伽马测井基本相同,所不同的是增加了多道脉冲幅度分析器,能分别测量不同幅度的脉冲数,从而得出不同能量的 γ 射线能谱,用以测定不同的放射性核素。自然伽马能谱测井根据测出的伽玛射线特征峰值,经刻度可输出铀、钍、钾三条曲线及一条总的自然伽马曲线。

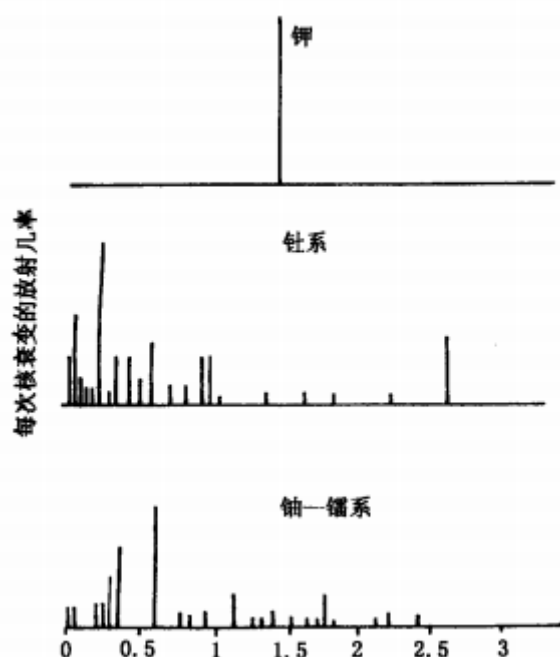


图 2-2 铀系、钍系、⁴⁰K 伽玛能谱

2.自然伽玛能谱测井的应用

自然伽玛能谱测井除了 GR 曲线的应用外,还可研究生油层、识别页岩储集层、确定高放射性碎屑岩和碳酸盐岩储集层等。

(1) 研究生油层:大量研究表明,岩石中的有机物对铀在地下的富集起到重大作用,所以铀含量可以评价生油层的生油能力。生油岩中的铀含量与有机碳含量之间有很好的对应关系。与普通粘土岩相比,生油粘土岩在自然伽玛能谱曲线上的特征是:钾钍含量与普通粘土岩一样高,而铀含量比普通粘土岩更高。

(2) 识别页岩储集层:在局部地段,富含有机物的高放射性黑色页岩由于具有裂缝、粉砂、燧石或碳酸盐岩夹层,可成为产油层。这种地层在自然伽玛能谱曲线上的特征是钾和钍含量低,而铀含量很高。

(3) 确定高放射性碎屑岩和碳酸盐岩储集层:纯的碎屑岩储集层铀、钍、钾含量均为低值,但当这些岩石中含有高放射性矿物时,铀、钍、钾含量中某一种或某两种元素含量明显偏高,取决于高放射性矿物含有的放射性核素种类和含量;当岩石中含有锆石等高含钍的矿物时,钍含量明显偏高。对于碳酸盐岩储集层,当岩石中含有钾盐或长石等矿物时,钾含量明显增高。另外,在还原条件下,地层水中的铀也会在渗透带沉积,从而使地层的铀含量增高。

2.3 密度测井

密度测井主要是利用康普顿散射现象,测井时利用Cs¹³⁷伽马源,它放出的γ射线的能量不是很高,所以与岩层主要产生康普顿散射。γ射线强度减弱主要与康普顿散射吸收系数σ有关,而σ与岩石的体积密度有关,所以通过测量散射γ射线的强度就反映岩层的体积密度。这就是密度测井可以用来研究岩层体积密度的基本原理。

在进行密度测井时,将装有γ源、γ探测器(这两者之间保持一定距离,称之为源距)以及电子线路的下井仪器放入井中。γ源和探测器装在滑板上,滑板装在可伸缩的仪器臂上,以液压方法把滑板推靠到井壁上。γ源放出的伽马射线在岩层中运动,因为散射吸收,强度逐渐减弱,然后由探测器接收经过岩石散射后未吸收而到达探测器的散射γ射线。

岩层密度大,则吸收得多,散射γ射线计数率就小,反之则计数率就大。

如果把仪器在已知密度的介质中事先刻度好,则可以把散射γ射线计数率换算成岩层体积密度,直接记录出各个岩层的体积密度来。

密度测井的探测深度不大,一般局限在冲洗带内,所以仪器和井壁之间的泥饼等介质对测井结果有较大影响,必须予以校正。所以密度测井多采用长源距和短源距的双探测器装置,以便对泥饼等介质的影响加以校正。这种双源距密度测井也称为补偿密度测井。

2.4 中子测井

中子测井包括中子-中子测井和中子-γ测井等。在石油勘探中,广泛采用中子-中子测井技术,勘探石油和天然气。采用²⁵²Cf作为中子源,可以勘探石油,还可以进行海底探矿。

中子-中子测井由装在下井仪器里的中子源发出快中子打入地层,在与重元素相碰撞时,便被迅速弹回,在地层中经过多次弹性散射,快中子变成慢中子。在中子减速过程中,氢是对中子减速的决定因素,因此含氢量的多少就决定了慢中子的空间分布。在中子源周围氢多

的情况下，中子源发出的中子在其附近就迅速减速为慢中子；当中子源附近氢含量低时，中子要经过较大的距离才能转化为慢中子，这种情况下在离中子源较远的地方，慢中子密度较大，而较近的地方慢中子密度较小。由于油层或水层含氢丰富，如果将仪器在参考介质中事先刻度好，由于测井曲线读数大致和地层含氢量的对数成比例，通过中子计数器记录与分析，可实现勘探目的。

另外一种中子- γ 测井，如图 2-3 所示，是当中子源或中子发生器放射出的快中子通过石油、水等含氢丰富的地层时，与周围物质的氢核相碰撞，因为氢核和中子的质量差不多。这样，经过很短距离中子的速度就被减慢下来，变成了慢中子，它易被其他物质俘获而产生 γ 射线，而被附近安置的 γ 探测器接收，记录仪上就出现了电流信号的高峰。反之，如果岩层中没有石油和水，中子就一直穿入地层深处才能被减慢下来，被地层原子核俘获，因此探测器输出的信号电流就弱，根据记录曲线就可推知岩层含氢量的多少，依据测得的 γ 射线强弱程度，可以划分出油、气、水层。利用中子- γ 测井法检查天然气层的状况是十分有效的。同理，中子测井法还可以用来勘探硼、铜、银、锰、钨、汞和稀土元素等矿藏。

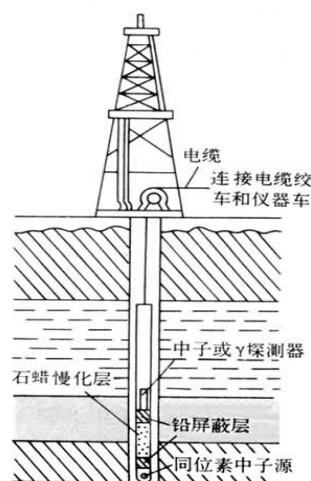


图 2-3 中子- γ 测井

探测热中子使用含硼正比计数管，或者使用含锂或含硼荧光体的闪烁计数器。硼对热中子有很大的吸收截面。核反应产生的 α 粒子引起正比计数管内气体电离或激发荧光体发光。若记录超热中子时可在上述探测器的计数管外加一层石蜡，并在石蜡外加一薄层 (0.5mm) 镉。镉对热中子有很大的吸收截面，通过镉层进入石蜡层的只是超热中子，然后这些超热中子经含氢的石蜡层减速为热中子，而被记录下来。近来多采用 ^3He 正比计数管记录超热中子，它是利用 $^3\text{He}(\alpha, p)^3\text{H}$ 反应制成的 (p 代表质子)。由于它对超热中子有较高的探测效率，所以是比较理想的探测器。

普通中子测井仪测量结果受钻井本身的影响很大，井径变化时会引起中子测井曲线异常，泥浆矿化度高也会给结果带来影响、使确定孔隙度的精度降低。为了减少钻井本身条件的影响，目前多使用井壁中子测井仪和补偿中子测井仪。

井壁中子测井仪工作原理与普通中子测井仪基本类似，只是采用了推靠器装置，使井下仪器贴井壁进行测量。此外，井壁中子测量结果直接给出经过井径校正的孔隙度曲线。将计数率转换成孔隙度值，是由面板中专门的电路或计算机完成。井壁中子测井仪多采用加屏蔽的 ^3He 正比计数管，所以井壁中子测井是属超热中子测井。井壁中子测井仪与普通中子测井仪相比，受泥饼影响较大，因此需进行泥饼厚度校正。这种校正可借助简单的图板进行，其中泥饼厚度由井径与钻头直径差来确定。仪器中附有井径测量部分，可以提供井径校正及泥

饼校正所需的井径资料。井壁中子测井仪的缺点是不能用在有套管的井中，在非均匀裂隙或破碎地层中应用效果有时也不够好。

图 2-4 是补偿中子测井仪结构示意图。井下仪器是由两个源距不同的普通中子测井仪组合而成，同时记录长、短源距两种计数率。在地面仪器中，计算出两个探测器计数率的比值。该比值与孔隙度呈一定函数关系，刻度后可直接按孔隙度记录。

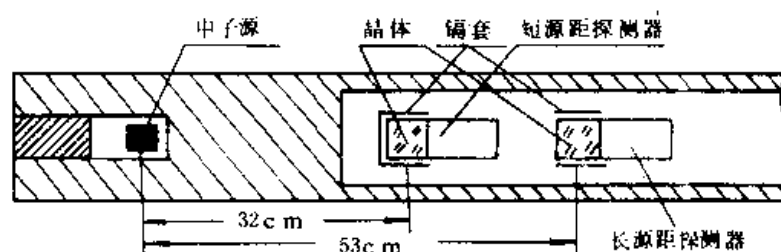


图 2-4 补偿中子测井仪结构示意图

长短源距计数率比值与孔隙度的关系，是在实验的基础上确立的。只要长、短源距搭配合适，长短源距计数率比值和孔隙度的关系曲线在半对数坐标上近似是一条直线。补偿中子测井比井壁中子测井受井径变化和泥饼影响小，探测深度比普通中子测井和井壁中子测井大，可在裸眼井和套管井中使用。

2.5 放射性示踪测井

放射性示踪测井利用放射性同位素或化学药剂作为示踪剂，追踪注入流体在地层内的运移和分布，从而了解油层非均匀特征，观察油井技术状况和采油注水动态情况。方法是在注入井中注入放射性同位素或化学示踪剂，在其周围的生产井中取样分析示踪剂浓度，得到示踪剂产出曲线。如果选用的示踪剂能有效地追踪注入流体，那么，监测示踪剂在井间油层的动态，就等于监测注入流体在井间油层的动态。通过对示踪剂产出曲线进行综合分析，就可以了解油层非均质特征和注入开发的有关问题。

放射性示踪测井的效果，在很大程度上决定于放射性示踪剂的选用是否合适。选用哪一种同位素要根据施工的目的而定，一般来说要考虑下列几个方面：

- (1) 应能放出较高能量的伽玛射线；
- (2) 要有合适的半衰期；
- (3) 为了工作安全方便，放射性同位素应易于配成它的盐液形式；
- (4) 应具备适宜的吸附能力。

思考题：

- 1、简述中子测井原理。
- 2、简述密度测井原理。
- 3、简述放射性示踪测井测量原理。

第三节 放射性测井的安全与防护

3.1 源项及风险分析

放射性测井是利用放射源所释放出的 γ 和中子射线的特性来进行相关的应用，表 3-1 为常用放射源在放射性测井中的典型应用。

表 3-1 放射源在放射性测井中的应用

应用类别	放射源	半衰期	射线类型	说明
放射性测井	$^{241}\text{Am-Be}$	432.2a	中子	用于石油等矿产资源勘查、开采中的测井
	$^{210}\text{Po-Be}$	138.4d	中子	
	^{252}Cf	2.6a	中子	
	^{137}Cs	30.2a	β/γ	
	^{59}Fe	45d	γ	
	^{131}Ba	11.6d	γ	

1. γ 放射源

γ 射线的贯穿能力很强，其辐射照射范围往往超出工作场所之外，形成对环境的污染，应用了放射源主要应防止外照射。

屏蔽强 γ 射线时要特别注意对散射和漏束的防护，常见工程中应注意如下事项：

a. 缝隙、孔洞、管道、气窗、电缆及拉门的地沟等薄弱部位，都可能产生直接和多次散射泄漏，在二种不同的搭接处最容易忽略。

b. 辐射场的房顶的防护，若顶板的厚度不够或者没有屋顶，会因“天空”散射使房外临近地区的辐射水平升高。而且要注意带檐的房顶会造成檐下采光窗及通风孔洞漏辐射线的散射。

c. 防护容器和屏蔽设施的建造必须注意质量，不能留有“孔洞”、“蜂窝”和裂缝，并且在选材时要考虑火灾或高温时防止熔化流失等，使用贫铀要防护其衰变子体发射的 β 辐射。

d. 防护容器和屏蔽设施投入使用前，应全面检查其防护效果。不符合设计要求时，应采取补救措施或者降低使用标准。

2. 中子源

中子的贯穿能力很强，使用中子源应着重对外照射的防护，许多防护措施与使用 γ 放射源的措施相似，但所用的防护材料不完全相同。

中子放射源几乎都是发射快中子。设计屏蔽层时必须用含氢较多的物质(如水、石蜡、聚乙烯等)将快中子慢化，然后用吸收截面大的物质将其吸收。最合适的吸收物质是锂和硼，它们不但对于慢中子吸收截面大，而且俘获中子后放出的 γ 射线能量低，几乎可以忽略。镉和铟对慢中子吸收截面也很大，但产生较强的辐射。常用硼与石蜡（或聚乙烯）均匀混合作为中子屏蔽材料，也可用水或石蜡单独屏蔽。混凝土内含有相当数量的氢，它对中子和 γ 射线都有较好的防护能力，是工程中常用的材料。

某些中子源具有较强的 γ 射线，例如，Ra-Be 源所产生的 γ 辐射剂量率，比同一计算点

的中子当量剂量率约高几十至几百倍，必须同时考虑其 γ 射线的屏蔽。

无论从改善屏蔽性能，还是从减少屏蔽重量考虑，均应将重材料布置在内层，而将含氢材料布置在外层，因此首先要考虑 γ 射线的屏蔽，然后考虑中子的屏蔽。一般用能将该类中子源的 γ 辐射水平降到规定的限值以下的水或混凝土厚度，常可满足对中子的屏蔽防护要求，如达不到对中子的屏蔽防护要求，应根据计算在外层附加聚乙烯等材料。

中子在混凝土地面和厚墙上的散射非常严重，因此设计屏蔽时要特别注意“迷道”、穿墙管道和电缆地沟等薄弱部位的防护，而且为了防止天空散射对环境的影响，屋顶(或顶盖)要有足够的厚度。

常用中子源的 α 放射性活度一般大于 $37\text{GBq}(1\text{Ci})$ ，几乎都是极毒核素，因此要十分注意防止活性物质泄漏。由于 α 射线的穿透性弱，射程短，同时密封型放射源包壳密封、防护性好，所以一般不考虑对 α 射线外照射的防护。

3.2 防护要求

1.密封放射源测井的辐射防护安全要求

(1) 放射源

放射源应符合国家相关标准 (GB4075) 的要求，确保密封性能可靠。放射源的外壳应标有放射源编号与放射源核素(包括中子源靶核素)名称或符号。另有放射源的说明资料，其内容至少包括：放射源编号、核素名称、活度、辐射类型、理化特性、所用射线的辐射输出量率(或注量率)及其测量日期、表面沾污与泄漏的检验结果和检验日期等。

(2) 贮存和载运放射源的容器

a.贮存或载运放射源的罐(桶)(以下简称源罐)应便于搬运和放射源的取出、放入，必须能锁定；源罐的外表面要有源罐编号、核素名称和活度的标签，并按照国家相关规定印有鲜明的电离辐射警示标识和使用单位的名称。

b.测井用源罐载源时，离源罐表面 5cm 和 1m 处的空气比释动能率不得大于下表 3-2 的控制值。

表 3-2 测井用源罐载源时源罐表面 5cm 和 1m 处的空气比释动能率控制值

放射源	活度	空气比释动能率($\text{mGy}\cdot\text{h}^{-1}$)	
	GBq(Ci)	5cm	1m
$^{241}\text{Am-Be}$	$>200(5)$	2	0.1
	$\leq 200(5)$	1	0.05
^{137}Cs	$>20(0.5)$	2	0.1
	$\leq 20(0.5)$	1	0.05

(3) 放射源贮存库

a.放射源贮存库(源库)应为独立建筑物，四周应设围墙，围墙内不得有人员居住、办公或放置易燃、易爆等其他危险物品。源库应在明显位置设有电离辐射警示标识，如图 3-1 所示。

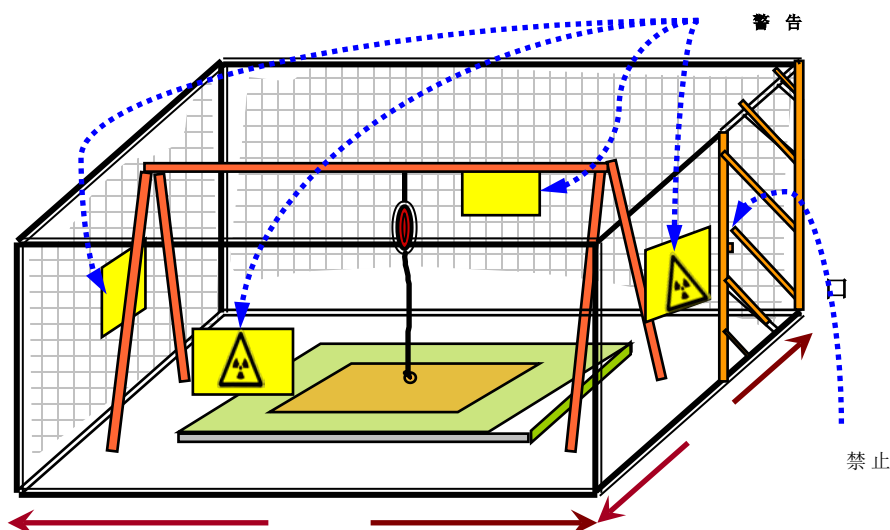


图 3-1 国际原子能机构(IAEA)对放射性测井贮源库的要求示意图

b.源库示例：源库内应设置凹入地面 150cm 以下、上口高出地面 10~15cm，用以贮存放射源及其源罐的贮源坑，其上盖有适当材料与厚度的防护盖。所有测井用放射源及废源须放在贮源坑内保存，经常使用的放射源应一源一坑。

c.贮源坑防护盖表面空气比释动能率应小于 $25\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。源库外空气比释动能率应小于 $2.5\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$

d.贮存大于 200GBq(5Ci)的中子源和大于 20GBq(0.5Ci)的 γ 源的源库，应有机械提升与传送设备。

e.源库内应有良好的照明和通风，并有足够的使用面积，以便于存放与领取放射源。

f.源库的放射源出入口应有剂量监测装置，并能给出警示信号，以提示出入库的源罐中是否具有放射源。

g.源库必须建立放射源出入库管理制度，由专人保管，双人双锁，建立台帐、登记，用仪表检测并记录，定期盘点。

(4) 载运放射源的车辆

a.供油田测井用载运放射源的车辆(运源车)应设有固定源罐的装置。使用运源车载运放射源时应采取相应的安全防护措施。未采取足够安全防护措施的运源车(包括兼作运载测井用放射源的兼用运源车)，不得进入人口密集区和在公共停车场停留。

b.运源车内外的空气比释动能率不得大于下表 3-3 的控制值。

表 3-3 运源车内外的空气比释动能率控制值

测量位置	运源车空气比释动能率($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)
驾驶员座椅	2.5
车厢外表面	25
车厢外 2m 处	2.5

注：在对驾驶员的年个人剂量得到严格控制的情况下，空气比释动能率可以适当放宽。但不得超过其 2 倍。

c.石油放射性测井辐射防护安全规程(SY5131 — 2008)对测井用放射源的运输有明确规定：放射源的异地运输，应符合 GB11806 的要求;用源车运输密封型放射源时，车辆四周外

表的当量剂量率应小于 $2.5 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$ ；用测井车尾部载源时，其车辆四周表面当量剂量率应小于 $2.5 \times 10^{-1} \text{mSv/h}$ ；两种载源车驾驶室内当量剂量率均应接近当地本底水平，运源容器都必须加锁，容器表面应有电离辐射标志。测井车载源时应选择非人口稠密区运行。；载运测井用开放型放射源的专用运源车，必须在车内设有贮源容器，该容器必须与车固定并应加锁。贮源容器表面应有明显的电离辐射标志。距贮源容器外表面 5cm 处的空气比释动能率，应低于 $25 \mu\text{Gy/h}$ ，外表面的放射性污染： α 不得超过 $4 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^2$ ； β 不超过 4Bq/cm^2 ；放射源在运输中，应指定专人负责放射源的安全。

(5) 操作放射源的防护

a. 进行放射源操作时应充分考虑放射源活度、操作距离、操作时间和防护屏蔽等因素，采取最优化的防护措施，以保证操作人员所受剂量控制在可以合理做到的尽可能低的水平。

b. 不得徒手操作放射源。无机械化操作时，根据源的不同活度，应使用符合下列要求的工具：大于等于 $200 \text{GBq}(5 \text{Ci})$ 的中子源和大于等于 $20 \text{GBq}(0.5 \text{Ci})$ 的 γ 源，操作工具柄长不小于 100cm；

小于 200GBq 的中子源和小于 20GBq 的 γ 源，操作工具柄长不小于 50cm。

c. 放射性测井仪器置于井下的部分(井下仪器)因其中装有放射源，应使用柄长度不小于 50cm 的工具擦洗。

d. 井下仪器进出井口时，应使用柄长不小于 100cm 的工具扶持。

e. 进行换放射源外壳、弹簧、密封圈或盘根等特殊操作时，应有专用操作工具和防护屏蔽等设备，防护屏蔽靠人体一侧的空气比释动能率应小于 $1 \text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(6) 室外操作放射源时的附加要求

室外操作放射源时，须在空气比释动能率为 $2.5 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 处的边界上设置警告标志(或采取警告措施)，防止无关人员进入边界以内的操作区域。

2. 放射性同位素示踪的辐射防护安全要求

(1) 示踪剂配制与分装的防护

放射性工作中的安全问题，不但涉及到直接接触放射性物质的工作人员，而且由于放射性物质的正常排放及偶然事故的发生，也将涉及到周围环境和附近居民的安全。因此配制与分装放射性同位素示踪剂的实验室的选址、布局、内部设施与装备、示踪剂的分装及其安全操作等，都要达到一定的安全防护要求。

a. 放射性同位素实验室的选址与内部设施

开放型同位素实验室一般选择气象条件好、地势稍高、地形宽阔、地下水位低、土质渗透性小的地方。要求周围人口稀少，有便利的运输条件，足够的供电、供水能力。在最后确定地址前还必须得到有关管理部门的批准。

按 GB18871—2002 的规定，按所用同位素日等效最大操作量的大小，将非密封源工作场所分为甲、乙、丙三级。

油田示踪测井用放射性同位素实验室应属于乙级工作场所。实验室应按照操作放射性水平，放射性污染的危险程度，依次分为清洁区（包括办公室、休息室等），低活性区（包括仪器维修室、放射性测量室和更衣、淋浴及辐射剂量监测室等）和高活性区（包括开瓶分装室、储源库与废物储存设施等）三个区域来布局。也可按两区来布局（如图 3-2 所示）。气流方向应设计成从低活性区至高活性区。在实验室的门上应设有电离辐射警告标志符号（如图 3-3 所示）。

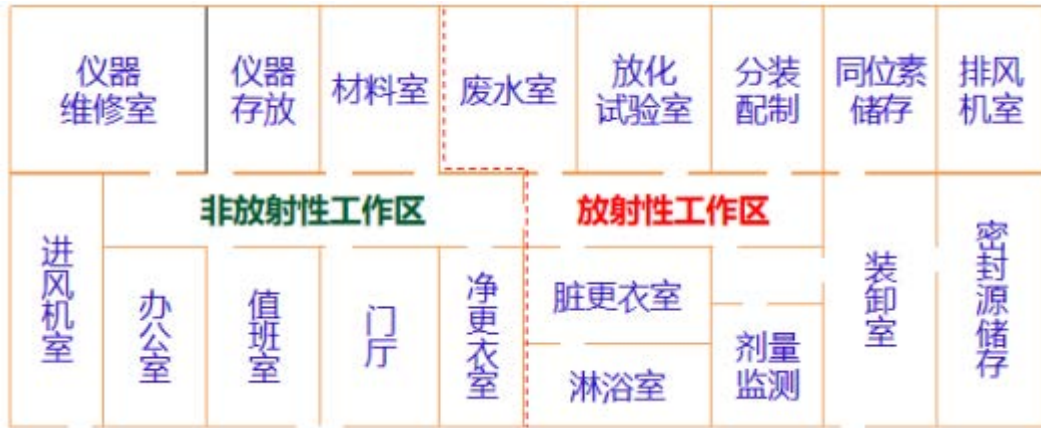


图 3-2 放射性同位素示踪剂配制室平面图



图 3-3 电离辐射警告标志

实验室内部的地面、墙壁、门窗及内部设备的结构力求简单，表面应光滑、无缝隙。地面应铺设可更换易去污的材料，并设地漏接一般下水系统。高出地面两米以下的墙面应涂以耐酸碱的油漆。有良好的通风与照明，供水采用脚踏或壁肘式开关。储源库应与开瓶分装室相连接或相邻，并有单独的出入口。墙壁、门窗的材料与结构要具有防盗与防火的作用。必须配备必要的监测仪器和专职监测人员，进行剂量监测，发现沾污必须马上处理。

b. 示踪剂的配制分装与剂量监测

放射性同位素示踪剂的配制和分装应在手套箱内进行。手套箱实际上是限制放射性物质扩散沾污的小室，利用装在这种箱上的手套来进行操作。手套箱的一侧设有一个小室叫前室或耳箱，与箱内有隔离门相通，是专为传递物件用的。制做手套箱的材料应视辐射类型和辐射能量而定，用得较多的是不锈钢，其内壁光滑便于清洗。对于伴有低能 X、 γ 射线的操作，手套箱应有铸铁或铅等做的屏蔽层（用不锈钢做衬里），窥视窗一般选用铅玻璃。

为了防止手套箱内含有放射性物质的气体外逸，手套箱应该是严密的，并与箱外保持一定的负压（10~20mm 水柱），操作时应经常检查箱内负压的大小。操作人员藉助手套箱上的手套接触放射性物质，所以手套极易污染。手套性能一般为气透性小、柔软，有韧性，耐酸、碱。

根据测井的具体情况，有时放射性同位素示踪剂需要在野外分装。如果工作人员在井场

徒手操作不仅会受到较大剂量的内、外照射，而且由于工作中的撒漏等原因还会沾污环境，所以应采用固定在车上的“同位素分装器”来分装。分装之前应做好充分准备工作，穿戴符合要求的工作服，帽子、口罩等个人防护用品，佩戴好个人剂量计。熟悉操作程序，核对放射性示踪剂的名称、活度、出厂日期、总量、分装量。检查设备是否正常，通风是否良好，然后按前述方法进行分装。工作场所要经常用湿法清扫。装释放器使用的工具、清扫用的工具均不得与非放射区混用。

一般情况下，实验室的辐射水平、设备、地面、墙壁表面的放射性沾污水平，每月进行一次全面监测。清洗释放器的水池、地面要反复冲洗，尽量使其剂量的测量值接近本底。严禁将拖鞋、工作服等用品带回家，以免可能造成家庭沾污。

c.放射性同位素示踪剂的包装与运输

放射性测井施工单位涉及到两种情况的运输问题：一是从机场、码头、车站或生产厂家将订购的放射性同位素示踪剂等运回本单位；二是将分装好的示踪剂等由本单位运往井场。这两种运输都要涉及屏蔽防护，因为示踪测井中使用的示踪剂大多是放射 γ 射线的。由于这些放射源体积不大，都可以看成点源。放射性物质的包装，必须符合国家规定的安全标准，这是减少运输事故的重要措施之一。

示踪剂的运输必须使用专车，不允许无关人员搭乘也不允许与食品、衣服等其他物品同车装运。油田外部运输应持有当地公安部门的危险品押运证，所运的示踪剂容器要加锁，尽量与驾驶室持有有一定距离，并贴有放射性标志符号。容器必须牢固稳妥地摆放在车上，不致因震动、颠簸、拐弯、刹车而倾倒或滚出（外容器最好与车厢固定）。运输路线应尽量避免人口稠密地区，中途停车，一定要停在安全地方并指派专人看管。

测井用示踪剂上井前由测井队的“护源员”持测井通知单到实验室领取。要当场逐项验收清楚，项目包括名称、数量、容器，并与保管人员双方签字登记。将领取的示踪剂放在专门运送放射性示踪剂车上的铁皮箱内，加锁。途中由“护源员”押运。施工完毕返回后，将释放器直接放置污水处理间的清洗池内，然后与保管员办理归还手续。释放器清洗后应对释放器、清洗池、污水间进行剂量和表面污染监测，如监测结果高于规定，应反复清洗直至合格。

放射源的异地运输，应符合 GB11806—2004 的要求；载运测井用开放型放射源的专用运输车，必须在车内设有贮源容器，该容器必须与车固定并应加锁。贮源容器表面应有明显的电离辐射标志距贮源容器外表面 5cm 处的空气比释动能率，应低于 $25\mu\text{Gy/h}$ ，外表面的放射性污染： α 不得超过 $4\times 10^{-1}\text{Bq/cm}^2$ ； β 不超过 4Bq/cm ；放射源在运输中，应指定专人负责放射源的安全。

(2) 放射性同位素示踪现场作业的辐射安全

放射性同位素示踪注水剖面测井施工，属非密封型放射性同位素施工作业范畴。由于野外测井作业时间长、接触人员多，涉及周围广阔环境，做好现场测井施工过程中的安全防护工作是同位素示踪注水剖面测井安全防护工作的一个重要环节。

根据放射性同位素示踪注水剖面测井施工的不同阶段，现场的安全防护工作主要包括：测井施工前的准备工作、测井施工中和施工完毕后的安全防护。

a.准备工作中的安全防护

测井施工前准备工作中的安全防护包括示踪剂从配制室领取、运送，施工前的临时存放等内容。测井施工队到达测井现场后，应在以施工井口为轴心的周围 15~20m 范围内划定施工区。施工区四周设置“放射性危险”标志旗（或标志灯），并设专人看管。测井设备的摆放：测井仪器车和测井电缆绞车应摆放在井口的上风向位置，运输放射性示踪剂的源车应摆放在测井施工区内远离井口的下风向位置（如图 3-4 所示）。

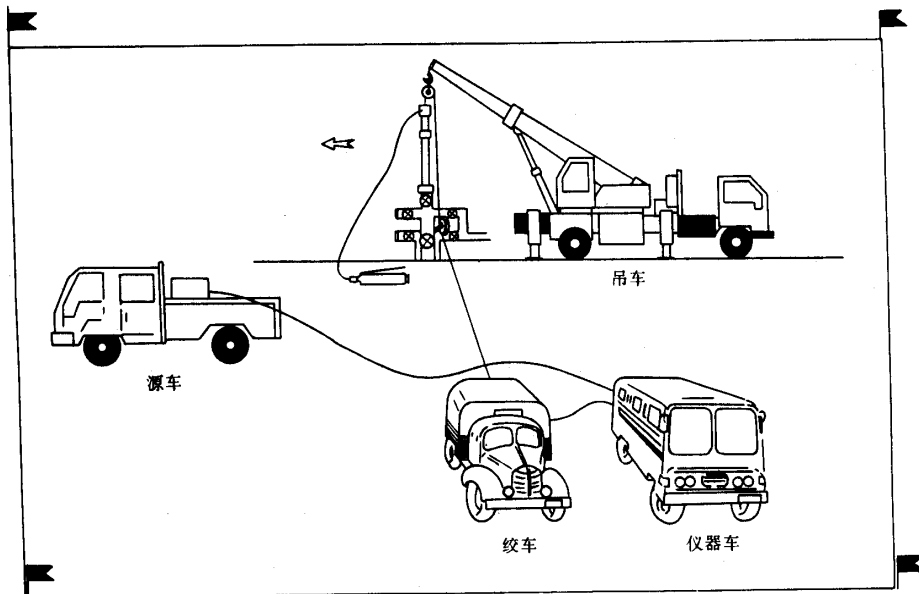


图 3-4 同位素示踪注水剖面测井施工现场布置示意图

测井施工所用放射性同位素示踪剂从配制室拉运到测井施工现场后,源车在指定地点停放。待现场井口各项准备工作完成后,方可将盛装示踪剂的容器从源车上搬到井口。在示踪剂注入井内之后,其盛装示踪剂容器应立即放回源车内锁好。整个测井施工过程中,示踪剂的存放由护源员负责看管,现场的沾污情况有专人监测。

此外,参加施工的全体人员,除了应当清楚知道施工井的井况、条件及施工要求外,还应熟知对施工人员和施工现场的安全防护要求及注意事项。施工前应由负责安全防护的工作人员检测施工区内的天然 γ 本底。

b.测井施工中的安全防护

放射性同位素示踪注水剖面测井施工时,示踪剂注入井内的方式主要有两种:一种是井口注入式,即将示踪剂通过专用的注入装置,靠地面注水系统将示踪剂注入井中;二是使用示踪剂井下释放器,将示踪剂携带到井内预定深度后进行定点释放。从注水剖面测井施工的安全防护出发,应用井下释放方式较好。严格禁止使用从井口倒人和在注水站配水间向井内倒入示踪剂的施工方法。使用示踪剂注入装置向井内注入示踪剂时,施工人员要做到以下几点:

负责示踪剂注入人员,要根据施工所用示踪剂的放射性活度、毒性等级,按防护规定穿戴劳动保护用品:铅围裙、铅眼镜、放射性防护手套、口罩等。尽量减少示踪剂放射的 γ 射线和放射性挥发性气体(放射性气溶胶)对人体内外造成的照射伤害;

仔细检查示踪剂注入装置及所用管线是否畅通无阻,有无破损之处;

检查井口各注水闸门,防喷管连接油以及防喷器是否完好,以保证各部位无泄漏。防止示踪剂在注入过程中泄漏到地面上造成污染;

示踪剂注入人员在将示踪剂从注入容器倒入注入装置时,要站在上风向位置。示踪剂容器的瓶口距离注入装置的倒入口越近越好,以免因风力影响造成放射性沾污人体或地面;

示踪剂倒入注入装置后,按操作规程将示踪剂注入井内。用后的示踪剂容器应放回源车的铅罐中锁好,防止丢失。

由于井下释放法是采用井下释放器将示踪剂携带到井内预定深度进行定点释放,是一种较好的注入示踪剂方式。施工时,施工人员除穿戴劳保用品外,还应做到以下几点:

施工人员要按照井下释放器安装操作规程,迅速将释放器与下井仪器串连接好,再下入井内;

若井下释放器未能在井下正常释放时，应更换井下释放器进行重新注入施工。不允许在现场对存在故障的释放器打开维修；

施工完毕后，应将所用井下释放器用源车拉运回配制室。不允许用其它车辆拉运。

c.测井施工完毕后的安全防护

测井施工完毕后，施工人员应做好以下几方面的安全防护工作。

检测施工作业区内的放射性沾污情况，并做出评价。若检测有剂量超标时，应及时处理并通知有关单位，推迟下步施工作业；

检测井下仪器、井下释放器或示踪剂注入装置。若检测出沾污超标时，应将其送回同位素实验室的沾污处理系统中清洗处理。处理合格后才可进行维修和投入下次使用；

参加施工人员所穿戴的劳保防护用品，经检测合格后，放入专用衣柜中。检测不合格的劳保用品必须经清洗去污后，方可再用；

对施工中所用过的手套等沾污的废弃物品不能随意在施工现场丢弃。应由专人收集交放射性废物处理部门处理；

仔细清点测井施工所用施工装置、仪器和工具，特别要重点清查示踪剂容器和井下释放器。回厂后按规定交还、并履行交接登记手续；

施工完毕后，收回施工现场设置的放射性危险标志，并妥善保管；

参加同位素示踪测井施工人员回厂经淋浴后，换无沾污的服装，并经人体表面沾污检测合格后方可离厂。

放射性同位素示踪注水剖面测井施工队伍在现场作业时，应配备专用餐车。就餐前应用流动水清洗手和脸部，以防止放射性物质从口部进入体内。

对测井施工中出现的施工现场沾污或示踪剂丢失等放射性事故，要组织人员保护现场。按照国家的有关规定，进行事故处理。

d.废液废物的贮存和处理

放射性同位素示踪过程中产生的废液废物的贮存和处理，是辐射安全监管部门十分关注的问题，也是监督检查的重点之一。石油放射性测井辐射防护安全规程(SY5131—2008)对此有如下规定：放射性液体和固体废物的分类按照 GB9133—1995 的规定执行；低活度放射性废液的的排放按照 GB18871—2002 的规定执行；实验室内放射性废物、废液的处理，应按 GB118—2002 的规定执行。

3.3 管理要求

1.人员管理要求

(1) 凡从事测井放射作业的人员，必须学习有关放射性防护知识，并经有关部门专业培训，取得执业资格证后方可持证上岗工作。

(2) 新上岗或转岗人员必须经过健康体检合格，并取得“辐射工作人员上岗证”方可上岗。严禁未培训人员在放射性岗位工作。

(3) 石油放射性测井工作人员的从业条件应符合 GBZ98-2017 的规定。

(4) 上岗后 1~2 年进行一次健康检查，必要时可增加临时性体检。

(5) 职业健康检查出职业禁忌，应进行复查，复查不合格应调离放射工作岗位。

(6) 放射工作人员所在单位应建立职业健康监护档案。

2.放射源及非密封放射性物质的使用管理要求

(1) 测井用放射源应符合 GB4075—2009 中的规定后方能继续启用

(2) 测井用放射源应具有放射性核素名称、出厂时间和活度、标号、编码以及相应的

泄漏检验与表面污染检测报告。放射源启用后，使用单位应建立泄漏与表面污染检测档案，检测档案随放射源长期保存。

- (3) 放射源出现意外受损时，应送有资质单位进行检验。
- (4) 放射源库的设计和使用管理要求应符合 SY6322—2013 的要求
- (5) 非密度放射性物质的储存防护应符合 GBZ118—2002 中 4.1 的要求
- (6) 放射源及非密封放射性物质的运输，应符合 GB11806—2004 的规定

3.现场测井作业的辐射防护管理要求

- (1) 从事放射性运输、装卸作业的操作人员，应经运输、装卸作业的专业技能培训
- (2) 进行放射源操作时，应设立非安全控制区，在醒目位置摆放电离辐射标志。设专人监护，无关人员不得进入。
- (3) 进行放射源与仪器连接与拆卸时，应采取防止放射源脱落、失控等措施。
- (4) 测井施工人员应按照辐射防护的时间、距离、屏蔽原则，采取最优化的辐射防护方式，进行装卸放射源作业，不得徒手接触放射源。
- (5) 使用带有中子发生器的仪器进行测井作业时，中子发生器断电 20min 后，仪器方能取出井口。
- (6) 现场运输和施工作业中，应指定专人负责放射源的安全。作业完成后，应由指定的专人会同测井队队长共同确认放射源装回运源车。
- (7) 现场使用非密封放射性物质进行测井作业，应符合 GBZ118—2002 中的规定。
- (8) 测井作业前要认真研究安全操作方案，必要时在安全防护人员的指导下，进行模拟操作实验。
- (9) 将操作用品如：扳手、螺丝、梯子等工具准备齐全。做好人员防护，操作过程要遵守时间、距离、屏蔽防护原则，使工作人员的辐射剂量达到尽量低的水平。
- (10) 操作技术人员在操作工作开始以前应穿戴好防护用品，如：铅屏蔽、护目镜、个人辐射计量仪、辐射报警器等。安全防护用品穿戴整齐之后，在确保安全的情况下，管理、操作俩人用各自保存的钥匙打开铅箱子上的双连锁，将放射源取出来，安装仪器即正式开始测井工作。
- (11) 测井施工结束后，按照相关程序进行拆卸仪器，将放射源体装入铅容器内，俩人一同上双连锁，经过检查确认无误后将铅容器装入工程车辆，由专业管理人员押运撤离施工现场。
- (12) 发现问题，立即解决。若无法自行解决，立即上报公司和环保部门，直到彻底解决为止。

4.监测管理要求

放射性测井过程中，既有外照射也可能有内照射，如示踪注水剖面测井经常使用的¹³¹I、¹³¹Ba等放射性同位素，既有外照射，又可能通过食入、吸入等方式造成内照射。所以个人剂量监测也要从内、外照射这两方面来考虑。须定期对工作场所和环境进行剂量监测（包括表面放射性污染），根据受照剂量情况进行个人剂量监测。相关岗位人员应配备满足要求的个人剂量计，个人剂量计应定期送有资质或经授权的单位或部门进行测读或检测。对辐射工作单位和工作场所的防护状况进行定期、不定期的检查和评价，按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）中对场所划分、单位分类及场所分级等的要求，进行相应的辐射水平监测。

内照射个人剂量监测的目的原则上与外照射个人剂量监测的目的相同。它是通过对人体生物样品的分析或整体测量技术来测定体内放射性物质的污染含量，从而判断是否超过国家规定的年摄入量限值或年剂量当量限值。对内照射个人剂量，具体参照《职业性内照射个人剂量监测规范》（GBZ129—2016）进行监测。体内污染监测有两种方法：一是通过体外测量来

估算体内放射性核素；二是通过排泄物和其他生物样品分析来估算体内污染量。体外直接测量，适合评价 X 和 γ 射线发射体。其他的发射体，样品分析是唯一可行的方法。可供分析的样品有尿、粪、呼出气、痰、唾液等。放射性同位素示踪测井使用的放射性同位素用量比较小，且属中等毒性的放射性核素，如果不出现大的事故，一般不需要进行个人内照射剂量监测。利用 ^3H 进行井间示踪作业时，因氚有很强的渗透性和挥发性，故需进行尿样监测。

对工作场所的表面污染监测是监测的重点之一，其目的主要是检查污染的程度和范围，防止污染扩散，从而及时采取去污措施，找出引起污染的原因，保障工作人员的安全。对于开放型放射性工作场所，表面污染监测是非常需要的。对操作、使用高毒性、高水平放射性物质或从事放射性粉尘作业的工作人员，在每次工作以后，应对手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽进行表面污染监测。同时，实验室的地板，墙壁、实验台面，门窗把手处也要进行表面污染检查。另外，对从控制区或监测区进出的物件进行表面污染检查。

对于放射性同位素示踪，是开放型放射性同位素工作场所，除对工作场所和工作人员进行监测外，还涉及对流出物的监测。在油田放射性测井的注水场所进行监测，可以指导工作人员停留的位置、规定停留的时间，以减少不必要的照射。

对非密封型放射性同位素应用场所的辐射环境监测要求如表 3-4。

表 3-4 应用非密封型放射性同位素的环境监测

监测对象	监测点	监测频次/年	监测项目
γ 辐射剂量	以工作场所为中心，半径 50~300m 以内	1~2	γ 辐射空气吸收剂量率
土壤	以工作场所为中心，半径 50~300m 以内	1	应用核素
地表水	废水排放口上、下游 500m 处	1~2	应用核素
底泥	废水排放口外	1	应用核素
废水	废水贮存池或排放口	1~2	应用核素
废气	排放口	1	应用核素
放射性固体废物	贮存室或贮存容器外表面	1~2	γ 辐射空气吸收剂量率， α 、 β 表面污染水平

思考题：

- 1、石油放射性测井辐射防护安全规程中对放射性工作人员健康防护有哪些要求？
- 2、现场测井作业的辐射防护管理要求有哪些？
- 3、放射性测井的辐射监测内容有哪些？

第四节 放射性测井案例分析与辐射应急

4.1 案例分析

测井，放射源移动性大，多为野外作业，其放射源丢失事故所占的比例高，其次为卡源事故和超剂量照射事故。放射源卡在井中无法打捞上来，这在技术事故中达到 80% 以上。

本节介绍了一些测井的辐射事故案例，期盼读者能从这些案例中吸取深刻的经验教训，进一步加强放射源安全管理水平，减少和杜绝放射源事故的发生，促进核技术应用的健康、安全发展。

1. 贵州省地矿局某地质队放射源丢失事故（贵州，2004 年）

2004 年 1 月 15 日 16 时，贵州省地矿局某地质队物探队作业组在黔西县谷里廖家寨结束测井工作后，准备到大方县继续工作。因路段不通机动车，租用马车运输设备及放射源（1 枚 IV 类 ^{137}Cs 放射源），运输马车装上全部设备后先行，待管理人员与项目部联系完毕追上马车时，发现放射源丢失，立即派人寻找，结果未找到。20 时 30 分该项目部向队部公安科报告，20 时 50 分向谷里镇派出所报案。经过多方努力于 2004 年 1 月 16 日 14 时将丢失的放射源找回。

事故原因：

因路段不通机动车，临时租用马车运输设备及放射源，且无押运人员，导致放射源在途中丢失。

经验反馈：

移动放射源必须专车运输，专人押运，押运人员须全程监护。

2. 新疆核工业某大队放射源失控事故（新疆，2004 年）

新疆核工业某大队使用 1 枚 ^{137}Cs 放射源开展放射性测井工作，出厂活度为 $2.78 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属 IV 类源。2004 年 8 月 3 日，某大队在新疆伊犁哈萨克自治州察布查尔县对 ZKJ6-52 号钻孔进行物探测井时，因钻孔泥岩层发生缩径，探管在孔深 314m 处遇卡，技术人员提拉探管时，将探管提拉电缆（钢丝绳）拉断，致使 ^{137}Cs 放射源落入 319.5m 深的孔底，经过 42 天、17 次打捞，未果。2004 年 9 月 14 日，该队在未按规定上报辐射事故的情况下，擅自用水泥封闭钻孔，于 9 月 16 日才向环保部门上报了辐射事故。新疆维吾尔自治区环保局接到事故报告后，立即赶往现场，经现场调查和监测，基本可以判定放射源随探管一并落入孔底，没有引起钻孔周围环境辐射异常，要求事故单位在 ZKJ6-52 号钻孔处设立永久性标志，建立健全应急预案和事故报告制度。依照相关法规要求，自治区环保局对事故单位进行了行政处罚，罚款人民币 2 万元。

事故原因：

（1）钻孔泥岩层发生缩井，探管被卡，技术人员未使用打捞套管解卡而直接提拉探管，将探管提拉电缆（钢丝绳）拉断，致使放射源随探管一并落入 319.5m 深的孔底；

（2）事故单位对测井作业中的意外情况缺乏相应的预防和应急处置措施。

经验反馈：

（1）辐射工作单位应建立健全应急预案和辐射事故报告制度，并对工作人员加强安全教育，从管理的角度对辐射防护规章等制度执行的情况进行细致的检查；

（2）加强设备的安全性检查，避免和减少人为因素和技术因素导致的辐射事故；

(3) 加强放射源管理工作, 对辐射工作人员进行辐射防护知识及法规培训, 完善辐射防护管理制度, 防止类似事故的发生。

3. 山东胜利石油管理局测井公司某分公司放射源失控事故 (山东, 2005 年)

2005 年 4 月 3 日 4 时, 该单位在东营河 100-某 32 井水平井施工, 由于吊卡门锁销子断裂, 吊卡门被打开, 测井仪器跟随钻具落井, 测井仪器内含 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 放射源 (事故时活度为 $7.4 \times 10^{11}\text{Bq}$, II 类源) 和 ^{137}Cs 放射源 (事故时活度为 $7.4 \times 10^{10}\text{Bq}$, IV 类源) 各 1 枚。经两次打捞未成功, 打捞工具下至井深 3250 米处有遇阻显示, 测井公司在循环泥浆中未测出放射性污染, 经分析放射源在井中完好, 位置在 3250-3262 米井段中。采用“填井侧钻”方案, 下光杆至 3250 米井底, 用水泥将井底到 1700 米井段全部用水泥固封, 然后在原井眼 1702 米处侧钻新井眼。事后, 山东省环保局同意将 2 枚落井的密封放射源注销。

事故原因:

因作业中锁源卡销断裂致使装有放射源的测井仪器落井。

经验反馈:

- (1) 测井前应做好仪器的安全检查, 在测井过程中严格遵守操作规程, 避免过失;
- (2) 测井用的含源装置在设计上应更加合理, 测井技术应优化, 防止放射源落井或被卡。

4. 宁夏煤田某地质局放射源失控事故 (宁夏, 2005 年)

2005 年 8 月 19 日, 宁夏煤田某地质局在清水营井田勘探测井, 因井孔内情况不稳定, 作业时突发井孔挤压, 操作人员强制提拉导致钻具断裂, 1 枚 ^{137}Cs 放射源 (活度为 $2.59 \times 10^9\text{Bq}$, 属 IV 类) 卡在 1020 米深井底。后经尽力打捞未果, 于 8 月 22 日上午 11 时向宁夏辐射环境监督站报告。下午 1 时, 辐射站调查小组赶到现场, 经向施工人员询问了解情况和现场监测, 初步认定被卡放射源打捞时已造成外壳破裂, 井下及井口周围受到小范围污染。随即, 宁夏辐射站要求事故责任单位立刻停止打捞, 对泥浆池和泥浆槽内所有泥浆全部进行塑料布覆盖封存。事后, 辐射站责令地质局限期完成去污封井工作。27 日, 钻井设备清洗、井口周围去污和封井处理全部完成, 并将所有污染泥浆和清洗污水收集装载到槽罐车, 经宁夏环保局批准运至宁夏东方铝业集团公司放射性渣库贮存。现场处理完毕后经宁夏辐射站检查验收合格。

事故原因:

井孔内情况不稳定, 作业时突发井孔挤压, 操作人员强制提拉导致钻具断裂。

经验反馈:

为了避免类似事故的发生, 应提高领导和操作人员的安全意识, 严格操作规程, 加强设备的检查, 使用性能好的电缆和泥浆, 严禁设备带故障运行, 提高从业人员的放射防护知识和事故应急处理能力。

5. 四川省核工业地质某调查院放射源丢失事故 (四川, 2011 年)

因地质勘察测井工作需要, 四川省核工业地质某调查院在未办理相关手续的情况下, 将 1 枚 IV 类 ^{137}Cs 放射源转移到贵州省毕节市境内进行放射性测井。2011 年 8 月 22 日 13 时左右, 该单位工作人员用皮卡车将放射源从毕节市层台镇总煤矿办公室运往大南山工地途中不慎将放射源丢失, 寻找无果后向层台镇派出所报案。毕节市政府组织当地公安、环保、卫生等部门进行侦查、追缴、调查和应急处理等工作。22 日晚 21 时 50 分, 有村民电话报告捡到放射源, 经现场查验, 确定是丢失的放射源。

事故原因:

- (1) 直接原因是未落实专车运输、专人押运的要求, 在用皮卡车运输放射源过程中, 未采

取有效的安全保卫措施, 导致放射源丢失;

(2) 该单位轻视辐射安全管理, 在未办理相关手续的情况下, 违规将放射源转移使用。

经验反馈:

(1) 异地使用放射源要按照法规要求进行报告和备案;

(2) 移动放射源必须专车运输, 专人押运, 押运人员须全程监护。

6. 重庆某地质队放射源丢失事故(重庆, 2013年)

2013年3月15日, 该单位工作人员从北碚区作业完毕后返回单位, 按规定应将放射源放回源库, 但相关人员违反规定擅自将装有放射源的车辆停放在渝北区龙溪街道。2013年3月16日上午8时30分, 该单位在未检查装源车上放射源的情况下出发前往贵州省开展煤矿测井作业。上午11时40分左右, 该车行至贵州省遵义市境内高坪服务站就餐, 停留约40分钟后离去, 下午14时左右, 行至贵州省大方县百里杜鹃服务站时, 发现随车仪器设备和放射源丢失。3月16日下午16时, 重庆市局接到沙坪坝区环保局电话报告, 称地质队2枚V类 ^{137}Cs 放射源在渝北区龙溪街道辖区丢失。2枚放射源出厂活度分别为 $4.98 \times 10^8 \text{Bq}$ 和 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ 。接报后, 环保部门和公安部门立即启动辐射事故应急预案, 积极搜寻丢失放射源。经过公安部门7天的调查, 于2013年3月22日下午14时许, 在一废品收购站追查到疑似放射源源仓的不锈钢制品。为核对放射源的情况, 应急人员在监控下打开了源仓, 取出放射源, 其外观未破损。经监测核实, 该放射源核素为 ^{137}Cs , 计算出活度为 $1.49 \times 10^9 \text{Bq}$, 数量1枚, 其数量、活度均与事故报告不符。为确保现场的安全, 将放射源装入屏蔽容器后运到放射性废物库暂存, 现场经监测, 没有放射性污染。为核实该公司的放射源情况, 执法人员立即赶赴该单位源库核查, 打开源库内3个源容器内的源仓, 其中1个源仓中有2枚放射源, 经监测和计算与该公司报案的2枚V类放射源吻合, 该公司另1枚IV类放射源的活度与找到的放射源吻合。确认2013年3月16日重庆某地质队事故报告丢失的2枚V类放射源为误报, 丢失的放射源应为1枚IV类放射源。

事故原因:

(1) 该单位未办理异地使用放射源转移手续;

(2) 运源车辆和放射源容器未采取有效、可靠的安全保卫措施, 未按规定停放车辆, 再次出发前也未进行检查;

(3) 操作人员未经考核和培训使用放射源;

(4) 放射源贮存库中放射源账物不符。

经验反馈:

(1) 异地使用放射源要按照相关法规的要求进行报告和备案;

(2) 加强放射源运输过程中的安全保卫, 落实专人押运;

(3) 运输时应做好放射源容器的栓系、固定工作, 运输过程中, 不得随意停放运输车辆。

4.2 辐射应急

放射性测井中发生的辐射事故主要为放射源意外落井失控或放射源丢失、被盗, 引发事故的原因有自然客观因素, 也有人为主观因素: 如放射源意外卡井、安保措施不到位导致放射源丢失或被盗、不遵守测井操作规程、含源仪器安全设计上存在缺陷。

放射性测井应用中发生的辐射事故多为放射源卡井或落井事故, 放射源卡井时所处位置较深, 一般不会对人员和环境造成危害, 但有时会造成较大的社会影响, 因此应尽量避免。为有效降低放射性测井中辐射事故发生率, 需要预防放射性测井中的放射源卡井、落井。放

射性测井单位应制定防止探测器具被卡措施和解卡操作规程，加强放射源的安全使用，提升工作人员安全意识和责任心，严格落实放射性测井操作规程，有效防止放射源落井。发生放射源落井事故，测井部门应即向上级生产、技术安全及环保部门就带源仪器落井情况（仪器落井原因、掉落深度、源的种类、强度及密封性能等）提出报告。测井部门应立即和被测井的部门联系，提供向其上级部门报告的同等资料，并商讨处理事宜。当装有强度大于 $1.1 \times 10^7 \text{Bq}$ 的铯中子源的仪器落井时，应积极打捞。在打捞过程中，测井单位的责任是：

1.向钻井部门提供落井仪器的详细情况，放射源在仪器上安装的位置、安装情况、源室的尺寸、源的耐温、耐压、耐冲击等技术参数及落井仪器的结构和几何尺寸。并尽可能准确地提供仪器落入井中的深度，积极配合钻井部门，制订合理的打捞方案。

2.在打捞过程中，测井部门应经常提醒钻井部门不提采取任何有可能损坏源室的措施。并在可能条件下，配合油田环保部门，对打捞全过程进行污染监测。如发现源破损，应立即报告有关部门并请的有关专业防护部门协助处理。

3.如无法打捞时，应由钻井部门及时向主管部门汇报，经主管部门批准后，由油田环保部门通报井场所在的地方环保部门，提供包括井的位置、放射源落井日期、落入深度、放射源的种类、性质、强度等内容的文件备案。油田环保部门应会同地方环保部门在落有放射源的井口建立永久性标志牌。标志牌上应有落井放射源的种类、性质、强度及放射源落井日期、落入深度等内容。

4.对落有放射源井的处理方法规定，如确切证实带源仪器掉在生产层以下，宜采用水泥将带放射源的仪器封盖。对上部油层仍可进行正常的生产作业。如能证实带源仪器离开产层较远，且嵌入井壁垮塌处，而下套管作业不会损坏放射源盒时，则可下套管进行固井作业。

辐射事故主要指除核设施事故以外，放射性物质丢失、被盗、失控、或者放射性物质和射线装置失控造成人员受到意外的异常照射或环境放射性污染后果的事件。主要包括：核技术利用中发生的辐射事故；放射性废物处理、处置设施发生的辐射事故；铀矿冶及伴生矿开发利用中发生的环境辐射污染事故；放射性物质运输中发生的事故；可能对我国环境造成辐射影响的境外核试验、核事故及辐射事故；国外航天器在我国境内坠落造成环境辐射污染的事故；各种重大自然灾害引发的次生辐射事故。根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故、一般辐射事故四种类型。特别重大辐射事故，是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。重大辐射事故，是指I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人（含10人）以上急性重度放射病、局部器官残疾。较大辐射事故，是指III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。一般辐射事故，是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限制的照射。

发生辐射事故时，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地环境保护主管部门报告。涉及放射源丢失、被盗的还应同时向当地公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，控制并消除事故影响，同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门。县级以上地方人民政府及其有关部门接到辐射事故报告后，应当按照事故分级报告的规定及时将辐射事故信息报告上级人民政府及其有关部门。发生特别重大辐射事故和重大辐射事故后，事故发生地省、自治区、直辖市人民政府和国务院有关部门应当在4小时内

报告国务院；特殊情况下，事故发生地人民政府及其有关部门可以直接向国务院报告，并同时报告上级人民政府及其有关部门。

企业辐射事故应急组织应包括：应急领导小组组长（企业法人代表）；副组长（分管环保领导）；成员（企业内部与应急工作相关的部门负责人、专（兼）辐射安全负责人）。组别可分为：现场控制组、现场处置组、辐射监测组、医疗救援组、后勤保障组。辐射事故应急响应应坚持属地为主的原则。特别重大辐射事故的应急响应由国家环保部组织实施。重大辐射事故、较大辐射事故由省级应急领导小组负责。一般事故的应急响应由地市应急领导小组负责。一旦发生放射事故，必须立即采取措施防止事故继续发生和蔓延而扩大危害范围，并在第一时间向领导小组报告，同时启动应急指挥系统，具体程序如下：

1.迅速报告

发生事故必须立即将发生事故的性质、时间、地点、科室名称、联系人、电话等报告给放射事故应急指挥中心，指挥中心立即将情况向领导小组汇报，并做好准备。

2.现场控制

现场处置小组接到事故发生报告后，立即赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和公众的生命安全，保护环境不受污染，最大限度控制事态发展；负责现场警戒，划定紧急隔离区，不让无关人员进入，保护好现场；迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告应急指挥中心。

3.启动应急系统

辐射事故应急指挥中心接到现场报告后，立即启动应急指挥系统，指挥其他各应急小组迅速赶赴现场，开展工作；后勤保障组同时进行物资准备。

4.现场报告

根据现场情况，由应急指挥中心将事故发生时间、地点、造成事故的核素、核素现有活度、危害程度和范围及射线装置的名称等主要情况报告卫生局、环保局、公安局等相关部门以及上级行政主管部门。

5.现场处置

等待相关部门到达现场的同时，采取相应措施，使危害、损失降到最小。

若是发生放射性同位素与射线装置失控导致大剂量 X 线误照，应立即进行现场救助，采取措施，以使人员损伤、环境污染降到最小，组织人力将受照人员送往医院。

若是放射性同位素丢失、被盗，可以组织人力在单位内进行排查，并将放射源的名称、状态、特性、危害及射线装置等进行通告，广泛引起本单位职工与公众的重视，最大限度降低危害。

6.查找事故原因

配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理、检测等工作，查找事故发生的原因，进行调查处理。将事故处理结果及时报上级卫生行政主管部门。

7.警报解除

总结经验教训，制定或修改防范措施，加强日常环境安全管理，杜绝类似事故发生。

放射源和辐射技术在工农业、医学、科研和教学等领域有着广泛的应用。当发生辐射事故，可能影响到公众的健康、安全和环境时，为防止和减少事故的危害，保障人体健康，保护环境，必须制定应急预案，并作出正确响应。必须增强辐射事故应急管理响应能力，事故发生后事故单位和相关部门应急响应的及时性、有效性关系到辐射事故后的危害和影响。部分单位辐射安全管理混乱，辐射事故应急机制未建立或不健全，事故发生后不及时上报甚至瞒报，这些都给事故处理增加了难度，错过了最佳时机，往往会造成更大的事故后果和社会影响。

思考题

- 1、放射性测井中发生的常见辐射事故类型有哪些？
- 2、放射性测井类事故的常见原因是什么？