

九. 放射性同位素示踪技术

放射性同位素示踪技术是对一体系中本体物质（主群体）的特征和行为进行示踪观察的一种信息获取技术。放射性示踪技术大体可以分为三类：物理示踪、化学示踪和可活化示踪。

物理示踪是利用放射性同位素示踪剂（微量群体物质）参混在被示踪的系统（主群体物质）中，通过核仪器监测追踪主群体物质的信息。物理示踪不要求放射性示踪剂与系统中主群体物质在化学上的同一性。

化学示踪剂则是用化学上与主群体物质相同的放射性同位素（或其标记化合物）作为示踪剂，参与考察和追踪被示踪物质（主群体）的运动、反应和代谢过程，从而取得主群体的信息。

可活化示踪技术是采用具有高活化截面的微量非放射性示踪剂，并结合中子活化分析而提供主群体物质信息的一种示踪技术。这种技术适用于放射性可能对人体健康或生态环境造成有害影响的一些场合。

放射性同位素示踪技术具有以下优点：

- (1) 同一性。任何一种元素的各种同位素，其物理化学性质可以认为相同的。
- (2) 特异性。放射性同位素衰变时放出的射线是这类示踪物质的特有性质，它不受系统中其他物质与条件的影响和干扰。
- (3) 灵敏性。根据所用放射性同位素不同，其检测灵敏度一般是 10^{-14} 克或更低。
- (4) 简便性。放射性示踪不必经过复杂的分离纯化步骤可直接获得示踪信息。

放射性同位素示踪技术用同位素稀释法进行分析测量。

- (1) 直接稀释法

$$W_x = \left(\frac{S_1}{S_2} - 1 \right) W_1$$

式中， W_x 为样品中所求化合物的量； W_1 为添加的标记化合物的量； S_1 为添加的标记化合物的比放射性； S_2 为混合后分离出化合物的比放射性。

- (2) 逆稀释法

$$W_x = \frac{S_2}{\left(\frac{S_0}{S_2} - 1 \right)} W_1$$

式中， W_x 为样品中所求放射性化合物的量； W_1 为添加的非放射性与标记化合物相同物质的量； S_0 为样品中放射性化合物的比放射性； S_2 为混合后分离出来的化合物的比放射性。

- (3) 二重稀释法

$$W_x = \frac{S_2' W_2' - S_2 W_2}{S_2' - S_2}$$

$$S_0 = \frac{S_2 S_2' (W_2' - W_2)}{S_2' W_2' - S_2 W_2}$$

式中， W_1 , W_2' 添加的非放射性化合物量； S_2 , S_2' 混和后分离出化合物比放射性。

由于放射性示踪技术应用领域广泛，所用示踪剂品种多样，往往需要自行合成放射标记

化合物。表 9-1 列出常用的示踪剂，包括气体、液体、固体、有机化合物、无机物和单体。

表 9-1 放射性同位素示踪剂

放射性核素	半衰期	所探测的辐射类型	能量, keV	化学状态	系统适用性
³ H	12.33 a	β	19	H ₂ O H ₂	水或蒸汽
¹⁴ C	5730 a	β	155	有机化合物	生物系统
²⁴ Na	14.96 h	γ	1370	Na ₂ CO ₃ , NaCl	固体或液体系统
		γ	2755		
³⁵ S	87.38 d	β	167	S, H ₂ SO ₄	固体或液体系统
⁴¹ Ar	109 min	γ	1294	气体	气体系统或蒸汽系统
⁴⁵ Ca	165 d	β	254	CaCO ₃	固体系统或液体系统
⁴⁶ Sc	83.79 d	γ	320	Sc ₂ O ₃	固体系统或液体系统
		γ	889		
⁵⁹ Fe	44.5 d	γ	1099	Fe ₂ O ₃ 铁有机	固体系统或液体系统
		γ	1291	化合物	
⁶⁴ Cu	12.7 h	γ	511	有机化合物	液体系统
⁶⁸ Ga	68 min	γ	510		液体系统或有机系统
		γ	1080		
⁷⁷ Ge	11.3 h	γ	211~	有机化合物	液体系统或有机系统
			1676		
⁷⁶ As	25.87 h	γ	560~	AsH ₃	气体系统
			2080		
⁸² Br	35.3 h	γ	550~	CH ₂ Br, 有机化	有机系统
			1480	合物	
⁸⁵ Kr	10.78 a	β	840	气体	气体系统
		γ	510		
¹²⁴ Sb	60.2 d	γ	602~	有机化合物	有机系统
			2090		
¹³¹ I	8.02 d	γ	364	NaI, 有机物	液体系统或有机系统
¹³³ Xe	5.24 d	β	346	气体	气体系统
		γ	81		
¹⁴⁰ La	40.3 h	γ	487	La ₂ O ₃	固体系统或液体系统
			1596		
¹⁹⁸ Au	2.69 d	γ	412	Au	液体系统
²⁰³ Hg	46.7 d	γ	279	Hg	汞计量

放射性同位素示踪技术在生物医学得到广泛应用，为促进分子生物学和现代生命科学的发展做出了重要贡献；在农业活动中，在研究植物光合作用、物质同化、土壤养分、根系分布、肥料农药施用效果及其生态影响，以及畜禽营养代谢与生殖生理规律等方面发挥了重要作用；在工业和野外矿产资源和环境的应用也取得令人瞩目的进展，诊断故障，优化工程参数，革新工艺流程，提高设备效能，保证运行安全，以及节约能源与原材料采取的各种措施等提供了宝贵的依据；在水利方面，病险水库的盘查，江河流沙的运动和沉积规律的研究方面，取得很好的结果，为病险水库治理和江河水道疏通提供了

依据。

放射性同位素示踪技术在实验室范围的应用已经取得很好的效果，在推广到实际生产过程观察示踪效果要注意放射性污染的控制和管理。

表 9-2 放射性同位素示踪技术在工业方面的典型应用

应用领域	应用方面
化学工业	流速测量，泄漏探测，滞留时间分布研究，物料平衡控制，料位、密度和成分控制，工艺故障（堵塞、泄漏）检查。
石油工业	油井注水剖面测量，输油管道检漏，管道堵塞位置检查。
冶金工业	在线和离线测量物料，物料转移，提供工艺参数、单元操作和装置参数
能源工业	在设备满负荷运行条件下实现最优化数据的获取，追踪水和蒸汽的行为
汽车工业	磨损件测量，部件经活化后，测量磨损下的物质。油消耗量测量。
矿产工业	考察水对矿井、通风系统和油井的入侵，设备磨损观查。
电子工业	分析半导体材料杂质的浓度和分布，超微量杂质的分析。
水利工程	泥沙运动、迁移和沉降规律研究，水库隐患盘查。
市政工程	研究城市的空气、土壤和水环境的污染。