

人造放射性同位素 在水文学调查研究 方面的应用

评议各种具体应用

Antonio Plata- Bedmar



用以稀释大剂量示踪剂测量地下水流速

人造放射性核素用于调查研究水文学问题，已有30多年的历史。在这段时间内，人们已积累了大量的资料 and 知识，因此我们现在能够对这些技术的实际贡献和未来可能作出的贡献进行评价。水文学问题通常是很复杂的，调查研究时必须使用多种不同技术。在已开发出的技术中，无论哪一种都不能加以否定；本文中提到的各种放射性同位素技术也是如此，这些技术起到了补充的但又很重要的作用。

放射性同位素以两种不同的方式用于水文学调查研究：密封辐射源方式和示踪剂方式。

密封辐射源

已为特定的水文学课题开发了一些含有放射性密封源的不同类型的测量仪器。这些仪器的工作原理是以辐射与物质（指可以提供与水流有关的固体介质方面的资料的物质）的相互作用为基础的。下述方法是其中最重要的：

- 以悬浮方式被河水搬运的泥沙含量的测量。这方面的搬运量占河流全部固体搬运量的75%以上，常常引起具有重大经济意义的问题，例如，影响人造水库的寿命。这些问题用已知的常规方法是不能圆

满解决的。为此，已开发出几种使用镭-241和铯-137的核测量仪器。泥沙含量可利用固定式仪器进行长期自动记录，也可利用便携式仪器进行人工测量。为了改进固定式仪器的性能和可靠性以及降低它的成本，需要进一步做工作。

- 沉积泥沙层的厚度和密度的测量。这种方法的重要性在于与维持港口和河口航道的畅通（疏浚作业）有关，也与水库的排沙有关；在泥沙搬运率最高的干旱和热带地区尤其如此。这些测量仪器可以提供现有的任何常规技术不能提供的资料。

某些核测量仪器已有商品供应，利用它们可测得沉积泥沙层的密度分布图。这些分布图随时间变化的情况可给出沉积过程的动态资料。为了改进在通常不利的现场条件下的测量技术，还需要进一步做工作。

- 泥沙的X射线荧光分析。使用放射性 γ 源激发泥沙样品中所含重元素（ $Z > 20$ ）的特征X射线，从而取得这些元素的定性和半定量分析结果。这些技术同活化分析等其它方法联合使用，就有可能判别出河流所搬运泥沙的来源地。

- 测井方法。天然 γ 测井方法已相当普及，广泛用于水文学和地质学调查。这种方法可用来识别粘土层，这对取得冲积和崩积含水层中的渗透率分布情况，以及鉴别碎裂岩含水层中已被粘土充填的裂隙，是非常重要的。另一方面，中子-中子和 γ - γ 测井方法，主要用于与灌溉有关的研究以及与不饱和带的渗透过程有关的研究，这在干旱地区是特别有意义

Plata- Bedmar 先生是 IAEA 物理和化学处工作人员。

右上角照片：尼加拉瓜用稀释法测量地下水流速。

的。用中子-中子方法可得到土壤中水含量的分布状况，它与饱和带中孔隙度的分布状况相当。用 $\gamma-\gamma$ 方法可得到地层中湿密度的分布状况，从中也可估出饱和带的孔隙度分布状况。然而由于这些测井方法需要有专门的钻孔，因而大大限制了它们在水文学方面的应用。

放射性示踪剂

显然，世界各国都有一些需要应用人造示踪剂技术解决的水文学问题。许多这类问题只能借助于放射性示踪剂进行研究，因为水系的有关参数随时间和空间的不同而有很大变化。这种变化常常使人们难以得

到能反映所研究水系中水行为的可靠的参数值，对于必须获得精确资料的情况更是如此。在这些情况下，只有示踪方法才是能解决问题的唯一方法。

●泥沙的示踪。使用标记泥沙研究水流搬运泥沙的情况，可看成是一种已得到高度发展的技术。例如，使用像金-198、铁-59或铪-181等这样一些同位素作示踪剂，可以很容易地标记悬浮的泥沙，而且可以研究这些泥沙在水体底部的沉积情况。在港口区域、河口、水库和用于人工回灌水的渗滤池等处，进行与沉积有关的研究时，这项技术是有用的。

在使用人造放射性示踪剂测定河床和海床的泥沙输运量方面，已积累了大量的经验。已有几种放射性核素可以给泥沙作标记，它们包括钷-46、

典型的示踪剂应用

下面是人造放射性示踪剂的一些最重要的和典型的应用。应当指出，它们通常必须与其他技术（环境同位素、水化学和常规的其他水文学技术）结合使用，才能得到所需的资料。

地表水

●河流和明渠流量的测量。流量测量的许多要求只能靠示踪技术来实现。放射性示踪剂最适合于测量50至100米³/秒之间的大流量水流。而对比这小的水流，使用其它的非放射性示踪剂可能更可取。水电站水轮机的标定和河流水文站的标定都可算作这类应用的典型实例。

●河流、湖泊、河口和海洋的研究。主要从水污染角度研究扩散特性，通过这些实验得到的扩散系数通常用于调整数学模型或水力学模型。

●测量水在湖泊中的滞留时间和水在湖泊中的混合特征。

●河流流域动力学，包括测量水的通过时间。环境示踪剂（例如水的稳定同位素）能有助于这些研究。

●与灌溉用水的使用有关的问题，包括沟渠中水的损失；回流的鉴别与评价；不同来源水的贡献份额。

●污染水的示踪，以调查研究不同地表水体的自净化能力。

●与地下水的联系（地表水体的泄漏），环境同位素通常也是研究这类问题的基本工具。

地下水

●不饱和带的渗漏研究。对这类研究而言，人造氟是唯一选择。利用在不同的时间间隔内测得的注入氟的垂直分布图，可得到这类资料。

●通过单井和多井示踪剂试验测定含水层的参数，包括用点稀释法和通过时间法测定流速、井内垂直水流的鉴别和测量、地下水流向测定、结合抽水试验测定有效孔隙率和渗透率、含水层扩散系数测定以及碎裂岩含水层中裂隙分布状况（垂直分布图）测定。

●岩溶系统的动力学调查研究。

●岩溶系统动力学方面的许多局部问题和地区问题，只能用人造示踪剂进行研究。通常在系统的某一给定部位注入这种示踪剂，然后在它预计要到达的一些地点进行监测。在过去30年期间，已利用荧光示踪剂和放射性示踪剂完成了这一类的许多实验。除了测定水的流动型式以外，还可得到地下水储量方面的半定量资料。

●对利用过并被重新注入地热区的地热流体进行示踪，以研究被注入流体的命运。

●在人工回灌过程中示踪注入含水层的水，以得到注入水的动态特性，包括它与以前存在的水的混合情况。此外，用这些方法也能得到注入水的化学演变情况（如果我们研究废水，这就是重要的）和含水层的某些水文学参数（总孔隙率、天然地下水流速、流量和扩散性）方面的资料。



在多米尼加共和国的
马古瓦卡水库调查坝的渗
漏情况。

镧-140、银-110m、金-198、铀-192和
钴-60-95。在泥沙很细的情况下，通常使用放射性
玻璃砂（钷-46）。

用示踪技术可以得到定性的和定量的资料。在河
床情况下，虽然泥沙粒度变化很大，给研究带来某些
困难，但仍可测定泥沙的大量转移情况。在涉及海床
情况时，这项技术比较适合于研究一些局部问题，例
如与疏浚作业（评估卸料地点）或与保护海滩有关的
问题。

●水的示踪。早在2000多年以前，人类就开始
使用人造示踪剂来调查水的流向，人们一直使用许多
种非放射性示踪剂，目前在水示踪研究中起重要作用
的示踪剂有荧光物质和染色物质，偶尔也使用离子型
化学制品、石松科孢子和特种细菌。在最近30年期
间，还使用了人工生产的某些放射性核素，其中最重
要的有碘-131、溴-82、铬-51、钴-58、金-198
和氚。

放射性示踪剂与非放射性示踪剂的比较，可以归
纳如下：放射性示踪剂的优点是，其寿命有限（不会
使水永久污染）、可就地探测 γ 辐射体（在某些情况
下这是必需的）、探测灵敏度高（用少量示踪剂就能
示踪大量水），以及稳定性较好（有可能用于水被严
重污染和泥沙大量淤积的场合）。

其缺点是，使用前需经过批准、有时难以买

到（短寿命示踪剂不能贮存），以及操作有一定危险
等。

鉴于氚是水的唯一已知的人造同位素示踪剂（它
可成氚水分子），故应对其特别重视。尽管氚的半衰
期长（12.43年），又是纯 β 辐射体（不可能就地探
测），但对许多示踪剂实验来说，它仍是唯一的选
择。当涉及地下水流的示踪时，只有氚水有与水一
样的行为，能给出可靠的定量资料。此外，人造氚不
贵，容易处理（实际上没有任何危害），并且在
 0.2 微居里/米³的浓度下不用浓缩就能探测到（用
电解浓缩为 0.03 微居里/米³）。

典型应用

适宜于使用人造示踪剂的课题类型，是由这些示
踪剂实验的两个主要特征决定的：（1）可以加标记的
水量受到限制，通常只占水系中实际水总量的一小部
分。（2）可用于实验的时间通常受到限制，在绝大
多数情况下是由被研究水系的动力学特性决定的。持
续一年以上的实验非常罕见。

因此，用人造示踪剂解决的课题最常见的是下述
几类：

●与水流很急的水系有关的问题，大多数地表水
系和碎裂岩中的许多地下水系属于这种类型。

- 受影响区域较小 (不超过几平方公里) 的局部问题, 在这些区域需要精确而详细的水文资料。与土木工程有关的许多水文学问题属于这种类型。

- 大型水体的局部实验, 其目的在于综合各个点的资料, 从而得到对整个系统有效的通用资料。

土木工程

对于调查研究土木工程中与水有关的许多课题来说, 人造放射性示踪剂是重要的工具。这些课题通常需要用各种不同的技术进行综合研究。一个重要的实例是水库和湖泊泄漏情况的调查研究。已专门为这类课题的研究开发了许多种示踪技术。它们包括水库和下游涌出水之间相互关系的实验, 利用可在水库底部被吸收的示踪剂探测渗水区, 根据水流方向测量值找出水库底部渗水区位置的仪器, 在水库底部测量渗水点渗水率的仪器, 以及探测通过邻近地层的地下水流的单孔井技术等。

此外, 一些人造示踪剂技术可用来调查研究水坝建造地段的适宜性, 以便预先估计泄漏问题。在其它情况下, 在涉及诸如开凿隧道或修筑重要建筑物和桥梁的基础等这样一些工程时, 也能用它们来进行类似的调查研究。

矿井涌水

过去曾利用各种类型的人造示踪剂来获取关于涌入矿井中水的发源地和路径的资料, 在这方面已进行过许多研究。一般说来, 为此需要使用不同的技术进行综合研究。在这些研究中, 人造示踪剂与环境同位素一道起主要的作用, 尤其当水可能有不同的来源时更是如此。通常必须调查研究地表水体同矿井水的关系。在另一些情况下, 这种研究有助于找出流向矿井的水流, 以便在其涌入矿井前将它抽走。

IAEA 的活动

IAEA 在宣传和支助在这个领域使用核技术方面具有悠久的历史。在过去 30 年期间, IAEA 一直在组织本文所述的几乎全部课题的许多技术合作项目与研究合同。

目前, IAEA 正在支助涉及使用人造放射性同位素的一些研究项目。这些项目包括危地马拉一湖泊的污染、罗马尼亚的灌溉用水、东南亚和巴西的泥沙搬运和沉积、智利和多米尼加共和国湖泊和水坝的泄漏、尼加拉瓜的矿井涌水和地下水污染, 以及阿根廷的从水污染角度研究河口水流的扩散特性 (仅提供咨询服务)。

这些技术的前景

过去 30 年间所积累的经验已证明, 利用人造放射性核素调查研究水文学问题可以获得重大收益。然而, 不幸的是, 由于许多国家对使用放射性材料一事强加限制, 致使在应用这一技术方面存在一些困难。这些技术的利用一般都由与核有关的单位经办, 不可能把这种技术转移给直接从事水文学研究的那些单位。但这两类单位之间的合作并不总是令人满意的。甚至有一些国家已绝对禁止把人造放射性核素用于水文学调查研究。

另一方面, 经验已证明, 使用这种技术一般不会给居民带来任何危害, 或只带来非常小的危害。然而, 许多国家所实施的核法规强加了一些过于苛刻的限制, 因为这些核法规基本上是根据其他核活动的情况制订的, 而那些核活动的危害类型和危害大小是完全不同的。如果以实际危害的评价结果为基础来制订专门用于在环境研究中使用放射性材料的法规, 定能大大有助于这种技术的未来发展。

