

## 同位素水文学：调查地下水污染情况

### 应用环境同位素研究严重的污染问题

V. Dubinchuk, K. Fröhlich 和 R. Gonfiantini

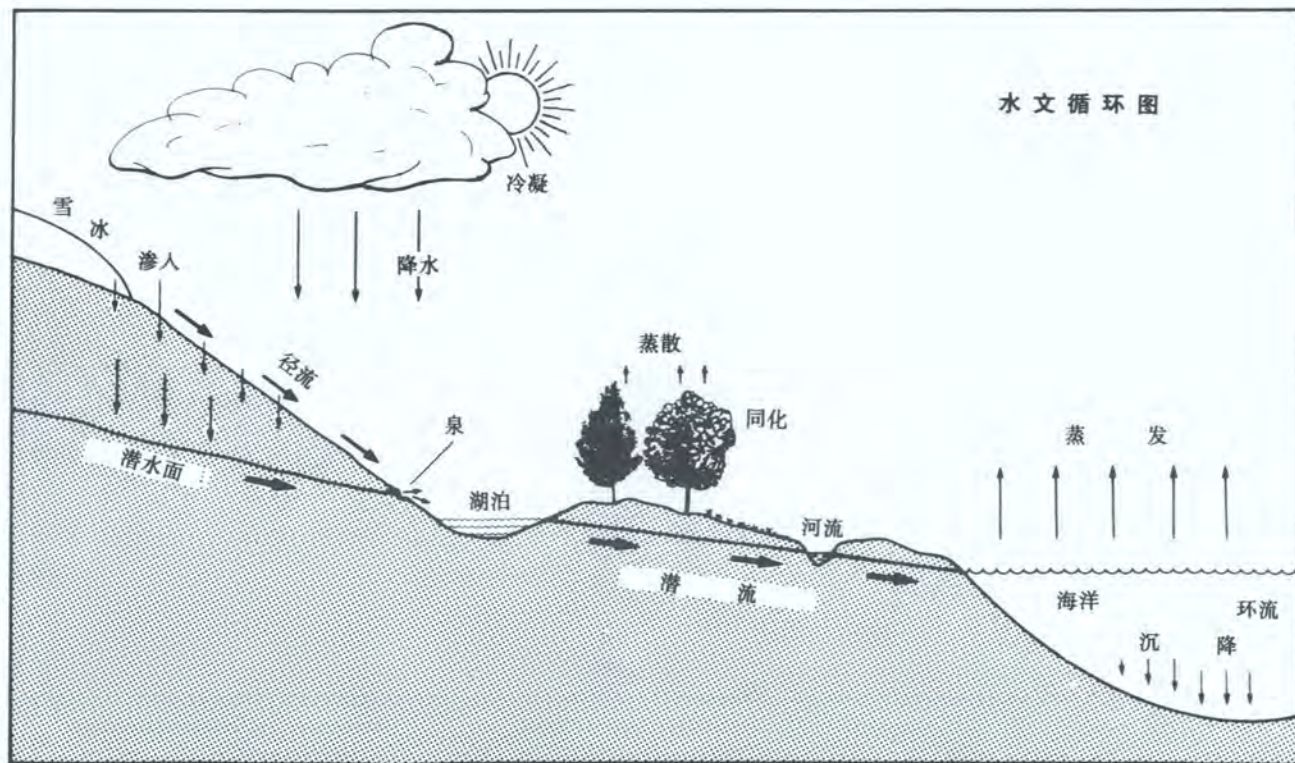
在过去 100 年里，地下水已在全世界范围内日益成为人民生活、农业和工业用水的重要来源。含水地层几乎到处都有，地下水的水质好，钻井技术又有了发展，这些都有助于人类对地下水的开发利用。

由于地下水天然地受到保护，所以它长期未受污染，比地表水更加清澈透明。事实上，自公元前 5 世纪希波克拉底时代以来，人们就一直认为污浊的地表水是多种疾病的根源。

Dubinchuk 先生和 Fröhlich 先生是 IAEA 物理和化学处同位素水文学科工作人员，Gonfiantini 先生是该科科长。

然而近年来，许多地区的地下水水质已经恶化，有的引起了严重后果。地下水的净化是一个非常缓慢的过程，它之所以能得到净化，是由于水在大多数地层中的滞留时间普遍较长，但有时也可能因时间太短而得不到净化。

造成污染的主要原因是地下水管理不善（往往只顾眼前的社会利益）、缺乏利用和处置污染物方面的管理条例和控制措施。农业方面有时不加选择和频繁地过量施用化肥、除莠剂和农药，是造成地下水污染的最直接的原因之一。例如，经常被人们用来示踪化肥利用率的浅含水层中的硝酸盐水平，正在日益增加。



工业和生活污染物属最危险的污染物之列。部分原因是由于它们主要产生在都市地区，而这些地区的需水量和对地下水的开采正好都比较大。在这里，随着地下水压力的降低，污染的地表水可能会渗到原先靠静水压力阻止渗透的那种深度。

在沿海地区，地下水的过量开采常常引起海水侵蚀，导致地下水盐化。在干旱地区，过量开采常常招致地下水资源急剧减少，这在当地气候条件下是难以充分补给的。此外，设计不佳的灌溉方案，可以加速土壤的盐碱化，最终使之成为不毛之地。

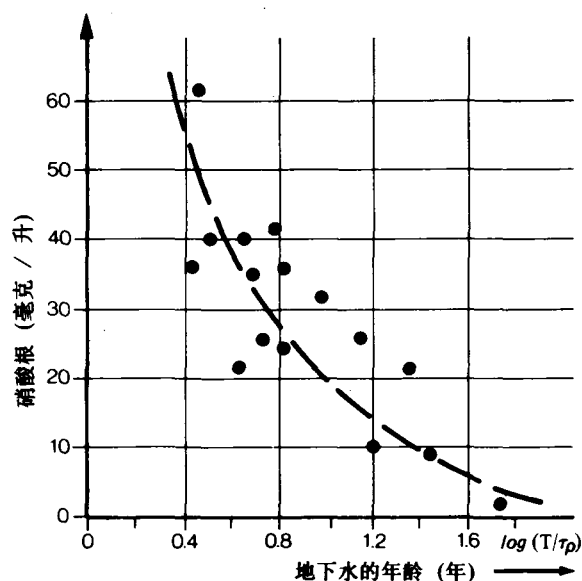
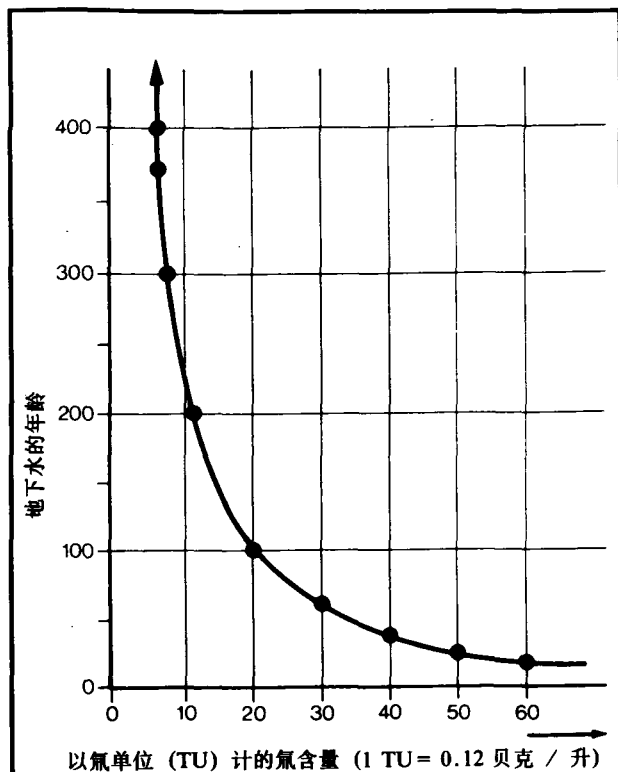
例如，对墨西哥西北部干旱地区的墨西卡利盆地的地下水的调研，已帮助研究人员找到了盐碱化的根源。地下水水质的恶化究竟是由于灌溉方法不善，还是由于 Presal Morelos 大坝或 Wellton-Mohawk 排污沟的堤岸渗漏所致，仅用化学方法是无法解决的。研究人员应用同位素技术对氯化物和氧-18 浓度间的线性关系，以及氡和氧-18 这两种较重同位素浓度间的线性关系进行了研究。Payne、Quijano 和 Latorre 于 1979 年报道的结果清楚地表明，地下水与 Wellton-Mohawk 排污沟交混，是造成地下水污染的主要根源。

诸如此类的问题，已使调查污染物在水文循环中的行为的必要性日益增强。其主要目的是防止地下水资源被污染和水质变坏，或在已污染情况下找出污染的根源，以便及时采取补救措施。

### 环境同位素

环境同位素已证明是一种研究地下水污染的有效工具。一般说来，这些同位素属于稀有同位素，既有稳定同位素又有放射性同位素。与同一元素中丰度最大的同位素相比，它们在环境中的浓度很低，数值大小不等。环境同位素有天然的或人造的。不管是那一种，它们在环境中的分布取决于各种天然存在的过程。尽管环境同位素的浓度很低，但仍然可用高精度的仪器测量出它们的浓度变化，提供有关水文学系统的有价值信息。

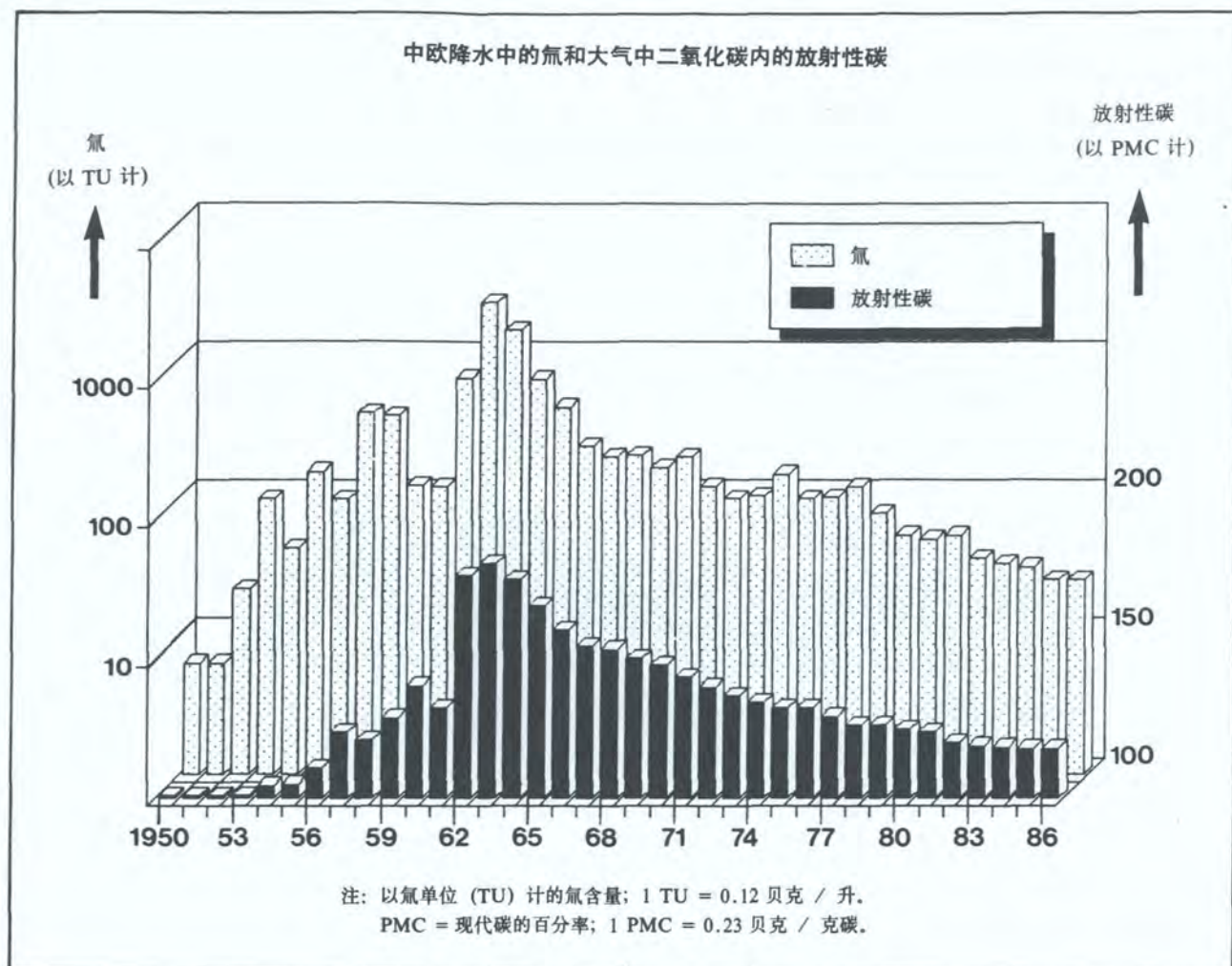
水文循环的各个过程和水圈与大气圈之间的相互作用，是使人们可以观察到天然水体中的同位素变化的主要原因。(见附图。)通常，稳定同位素(它是不随时间变化的)用于查明地下水的起源和混合过程。放射性同位素(它随时间衰变的过程是可探测到的)用于评估地下水的动力学特性。化学分析法一般



注: T 是地下水的年龄。τ<sub>p</sub> 是大气层核武器试验产生氡和进行现场研究之间的时间间隔。

上图所示为在德意志民主共和国境内二叠系无压含水层中观察到的硝酸根与氡浓度之间的关系曲线。这种关系表明，由于雨水的渗入作用，硝酸根已进入地下水。





用来提供补充信息，而且是与利用同位素进行的研究同时进行的。

在水文学研究中经常使用的同位素，包括由次级宇宙辐射天然产生的氡和碳-14。1963年前联合国、美国和苏联进行的大气层热核试验，在大气中产生了大量的这类元素。后来中国和法国的试验只产生少量的上述同位素。（见附图。）1963年签订《部分禁试条约》后，降水中的氡和大气二氧化碳中的碳-14的浓度都降低了，这给了解大气过程提供了一个新的非常宝贵的机会。

氡的半衰期仅为 12.43 年，可以用来揭示地下水是否在近期得到了补给（也就是说，可以探测到地下水在过去 30 多年内的补给情况）。这种信息除具有重大的水文学意义外，还是一种可用来评估某一地下水体是否存在遭到污染的潜在危险的工具。若地下水中有氡，说明水从补给区到达含水层的转移时间很短，这部分地下水在含水层中的滞留时间也不长。这

样一来，由含水层基质吸附补给水中所溶解的任何污染物的机会也就少了，因此，污染的危险大概就比较高。

放射性核素在地下水中的运移情况，往往是调查研究工作的重要课题之一。铀和钍衰变系中的天然放射性核素，可以因溶解而从含水层基质进入地下水。在适宜的情况下，它们可被用于评估地下水的动力学特性。

顺带说一句，人们对通过研究这些放射性核素的地球化学行为来评价核设施厂址，特别是评价核废物处置场所的兴趣，也日益增加。问题是如何根据对地下水本身的迁移速度的认识，评定各种岩石基质吸附-解吸这些同位素的速率和确定它们的迁移速度。

核测井技术能帮助确定水在不饱和带（潜水面上的浅含水层）中的渗透率。在苏联切尔诺贝利地区，为了测定污染物从地表到达地下水层所需的时间，一直在使用这种技术，并同时使用环境同位素和人

## 环境研究工作中使用的一些主要元素的稳定同位素

同位素	在天然化合物中的丰度 (%)
氢-1	99.984
氢-2	0.015
碳-12	98.89
碳-13	1.11
氮-14	99.634
氮-15	0.366
氧-16	99.76
氧-18	0.2
硫-32	95.02
硫-34	4.21

## 同位素资料。

自 1987 年以来, 国际原子能机构 (IAEA) 一直有一项关于应用核技术测定地下水中污染物的运移情况的协调研究计划。在 IAEA 在拉丁美洲地区的区域性合作计划 (称为 ARCAL) 范围内, 目前正在开辟一个同位素水文学项目。主要目的是在拉丁美洲地区应用环境同位素解决地下水的评价和地下水的污染问题。1989 年, 计划设立另一项协调研究计划。在这个计划名下, 同位素示踪剂和其他示踪剂将用于验证地下水迁移研究方面的数学模型。

## 地下水研究工作中使用的放射性核素

核素	半衰期 (年)	来源	地下水中初始放射性的近似浓度 (毫贝克 / 升)
氟 (氢-3)	12.4	次级宇宙辐射; 热核装置的大气层试验; 核工厂 (主要是后处理厂)	600 (1954 年前)
碳-14	5730	次级宇宙辐射; 热核装置的大气层试验; 核工厂 (主要是后处理厂)	3
硅-32	105	次级宇宙辐射	$5 \times 10^{-3}$
氯-36	301 000	次级宇宙辐射; 热核装置的大气层试验; 天然核反应 (地下的)	$3 \times 10^{-3}$
氩-39	269	次级宇宙辐射; 天然核反应 (地下的)	$7 \times 10^{-4}$
氪-81	210 000	次级宇宙辐射	$1 \times 10^{-7}$
氪-85	10.7	核工厂 (主要是后处理厂)	小于 $2 \times 10^{-7}$ (1950 年前)

