

# 同位素测绘地下水污染和更新

文/ Joel Podgorski、Michael Berg 和 Rolf Kipfer

由于人口增长、水资源过度开采、土地利用和气候变化，获得供饮用、工业和农业使用的优质地下水变得越来越困难。地下水资源提供世界50%的饮用水和43%的灌溉用水。但近地表地下水含水层很容易受到肥料和农药、化学品泄漏和废水的污染。此外，由于水位迅速下降，过度开采和从含水层中不受控制地取水可能导致供水损失。

为了帮助水管理者保护和节约地下水资源，含水层脆弱性图能够发挥重要作用，有助于确定对污染或过度开采特别敏感的景观区域，从而有助于为水管理和治理工作提供信息。绘制地下水脆弱性图也是支持“联合国可持续发展目标6”的关键。该目标要求为所有人提供可持续用水，特别是安全用水（目标6.1），并倡导综合水资源管理（目标6.5）。

## 含水层脆弱性

从技术角度来看，有很多方法可以评估含水层对水污染或过度开采的脆弱性。过去，人们使用一般地质特征、井眼数据和地区水文数据。然而，这些数据通常是不精确或不准确的，或完全缺失。人们使用复杂的计算机模型，但这些模型需要准确的数据并且经常受较高的计算成本和有限的数据可用性影响，因此通常仅限于小的研究区域。

化学指标和统计分析可用于将可用的环境数据与地下水脆弱性联系起来。例如硝酸盐，它是一种主要由

农业带来的水污染物，易于测量且成本低廉。为了产生地下水脆弱性或保护图，必须获得适当的关注区域内的污染物（如硝酸盐）或脆弱性指标数据，以生成可靠和准确的预测图。

## 在线绘制

为证明含水层脆弱性统计图的有效性，利用免费在线地下水评估平台（[www.gapmaps.org](http://www.gapmaps.org)）重新分析了加拿大现有脆弱性图的数据，通过地下水评估平台的含水层脆弱性图，在不需要收集整个研究区域的大量数据的情况下，得出了较高含水层脆弱性的精确概率预测图。

## 利用氚绘制水补给率图

痕量放射性同位素氚在降雨中通过高层大气中宇宙射线的相互作用自然产生。在1952年至1962年间进行的地上核武器试验期间，大量的氚被注入水循环，因此成为现代地下水补给的一个可测量指标。虽然降雨中的全球氚水平此后已降至核试验前的低天然水平，但灵敏的分析检测能力仍然可以使我们能够准确地检测到这一同位素。

使用氚（ $^3\text{H}$ ）进行绘图的一个主要优势在于该同位素是水分子的基本构成要素，因此存在于降雨中。这意味着在水循环其他部分（河流、湖泊、地下水）中任何可检测到的氚都可揭示来自近期降雨的现代水的存在情况，从而可以告诉我们，我们正在处理的水来自过去几十年——我们可



Joel Podgorski、Michael Berg和Rolf Kipfer在瑞士联邦水生科学和技术研究所（Eawag）水资源和饮用水部门（W+T）工作。

瑞士联邦水生科学和技术研究所是一家瑞士水研究机构，致力于研究可持续处理水体和水资源的概念和技术。该研究所与各大学、其他研究机构、公共机构、工业界和非政府组织合作，通过其全球网络，努力协调用水方面的生态、经济和社会利益。



以利用这些数据直接确定和绘制含水层经过降雨对污染的易感性，即使地下水从未被污染过。

到目前为止，用于估算含水层脆弱性的统计绘图方法通常没有广泛用于氡测量。这是因为氡通常未被包括在地下水研究中，并且分析依然成本很高。与此同时，其他易于收集的水质或同位素参数可用于脆弱性绘图。例如，碳-14、水的稳定同位素组成（ $^2\text{H}$ 、 $^{18}\text{O}$ ）、硝酸盐和氯化物也可以帮助评估地下水年龄或验证其是否已受到污染影响。

利用同位素和化学对含水层脆弱性和地下水补给进行统计和在线绘图，

是一个重大进步，也是氡和相关天然同位素示踪剂的一项实际应用。目前，将原子能机构有关 $^3\text{H}$ 、 $^2\text{H}$ 和 $^{18}\text{O}$ 的广泛全球数据集以及上述地质统计绘图应用于全球地下水和地表水质量和数量问题研究具有巨大潜力。原子能机构正在与瑞士联邦水生科学和技术研究所合作，在这一领域作出新的努力，以便对全球范围内的安全饮用水进行循证评估和绘图。我们还期望利用同位素测绘技术协助世界各地的专家以平衡和可持续的方式管理地下水。

本文系与国际原子能机构同位素水文学家合作撰写。

加拿大西部的一项指数含水层脆弱性研究（左）与在线地下水评估平台上这些脆弱性指数值的新逻辑回归图（右图）的比较。红色表示脆弱性最高的区域。绿色区域不易受到影响或受到足够的地面污染保护。

（图片来源：瑞士联邦水生科学和技术研究所）

