

如何修复被污染的地下水

□ 文图 / 王 平 韩占涛 孔祥科

第一作者简介 王平，主要从事地下水污染数值模拟与修复研究。

地下水作为地球上重要水体，与人类社会有着密切联系。地下水的贮存有如在地下形成一个巨大的水库，以其稳定的供水条件、良好的水质，而成为农业灌溉、工矿企业以及城市生活用水的重要水源，成为人类社会必不可少的重要水资源，尤其是在地表缺水的干旱、半干旱地区，地下水常常成为当地的主要供水水源。

何为地下水

地下水是指埋藏在地表以下各种形式的重力水，通过水循环与其他水体交换，在地表下亦缓慢移动。地下水水量稳定，受空气污染程度低，可作为居民生活用水、工业用水以及农业灌溉水源。此外，地下水也是生态环境的重要因素和一种活跃的地质营力与信息载体。

地下水来自何处

地下水并非产生于地球内部，而是由雨水或河水入渗存在地下的。井里的水看起来只有一小汪，可总也用不尽，这是为什么呢？因为我们脚下的土层既有砂土层又有粘土层，一层一层，像一摞叠放的书。砂土层孔隙较大，就像海绵一样。下雨时，雨水向地下渗透并储存在砂土层里，这样的砂土层叫含水层。把井打在含水层时，从井里往外取水，四周

砂层中的水就流向井里，所以总也用不完。可是，如果我们打了好多井，然后大规模地取水，地下水面就会逐渐下降。华北平原就是由于大规模开采，地下水位由原来的几米深变成现在的几十米甚至上百米深。

地下水是如何被污染的

(1) 化肥里的硝酸盐、垃圾填埋场造成的污染。土层具有过滤功能，当雨水和河水向地下入渗时，水里面的枯枝落叶、动物尸体、粪便以及浮游生物，会被过滤，留在地面或浅土层，而水里还有溶解了的、我们看不见的有害物质。例如化肥里面的硝酸盐，具有很强的水溶性，如果施肥过多，庄稼不能全部吸收，部分化肥就会随着灌溉水入渗到地下，这也是我国很多地方的浅层地下水硝酸盐超标、不适合饮用的主要原因。

除了化肥里的硝酸盐，地下水还有很多污染源。城市扩张迅速，产生的垃圾也越来越多。为容纳这些垃圾而建造了许多垃圾填埋场。虽然垃圾填埋场在底层铺有防渗层和排水管将垃圾渗滤液收集起来集中处理，但巨大的垃圾填埋场防渗层难免有破损，含有高浓度污染物的垃圾渗滤液就从这些破损处入渗到地下，造成严重的地下水污染。

(2) 大型化工厂、机械加工

厂等造成的污染。工厂会使用毒性很大的氯仿、四氯化碳等溶剂，还有苯、氯苯等化工原料。这些有机液体在使用过程中难免会通过跑冒滴漏渗入地下。它们大都不溶于水，有的比较轻，入渗到地下后漂在水面上，被称作“比水轻的非水溶相液体(LNAPL)”。有的比水重，会沉到水面以下，被称作“比水重的非水溶相液体(DNAPL)”。含水层下面有粘土层，油水都难以再渗透过去，被称作“隔水层”。LNAPL和DNAPL毒性大，即使少量溶入地下水，也会造成严重污染，导致地下水超标。

(3) 金属冶炼厂造成的污染。金属冶炼厂使用各种化工原料将金属矿石溶解掉，再将溶解的金属提炼出来，这一过程中会排出含有高浓度重金属的废水和废渣。这些废水和废渣里渗出的水也会入渗污染地下水。

(4) 石油和天然气开采造成的污染油井和气井都很深，与地下水隔绝。石油开采后期，需要往油田里注水把油驱赶出来。天然气开采，尤其页岩气开采，需要用水力压裂，也就是高压注水将地层撑裂，这样天然气才能冒出来。这些高压注入的水往往含有一些药剂，压裂控制不好，就可能向上冒，污染供人类饮用的浅层地下水。

石油的使用也会引起地下水

污染。通常情况下，燃料、油料、危险化学品和溶剂、化学废料都储存在地下储油罐内。这些储油罐由于内部或外部金属腐蚀，可能会出现泄露渗入地下水。

如何修复被污染的地下水

地下水污染修复技术很多，常用的可以分为物理处理技术、化学处理技术、生物处理技术三种。修复被污染的地下水，要先弄清楚地下污染物的性质和分布情况，然后再选择相应的措施。

如果地下污染物是大量的、集中的不溶于水的液体，可以打井或者挖沟将它们抽出或引出，然后在地表集中处理，从而除掉污染主体。但是，这种简单的物理处理手段只能除掉大约 50% 的污染物，其他残留污染物成为长期污染源。

物理处理技术

有一种物理处理技术针对可溶性地下水污染物，就是把被污染的地下水抽出来，在污水处理厂进行处理，地下没有被污染的水则会流过来补充；但是，吸附在含水层上的污染物不能全部随地下水被抽走，继续释放有害物质，污染新的水源。该处理方式耗资巨大，并且后期效率低下，因为土壤中的污染物浓度降低，需要抽出大量的水，而可抽出的污染物却越来越少，如果停止抽水，污染物浓度还会上升。

土壤气相抽提（原位土壤通风）是针对挥发和半挥发性有机污染物的物理修复方法。挥发和半挥发性有机物在地下挥发成气体，在土壤中扩散。土壤气相抽提就是用真空泵把这些“脏”的气体抽出来。抽取过程中，吸附



两种类型的可渗透反应墙设计示意图

在土壤中的有机污染物会继续挥发，持续抽气，土壤就慢慢干净了。有时候为了增强效果，增设一些注气井，在抽气的同时向地下“吹气”，这样能更快地把脏东西“吹出来”，达到净化土壤的目的。这种技术设备简单，易于操作；对现场环境破坏小，不影响地表建筑；修复时间短，费用低；易于和其他修复技术联合使用。然而，这一方法很难将污染物浓度降低到 90% 以上；对“透气性较差”的土壤（低渗透土壤）和不均匀的土壤效果不确定，抽出的气体需要后续处理，所以它只适用于非饱和区域土壤。

化学处理技术

化学处理技术包括化学氧化与还原、可渗透反应墙，等等。

化学氧化与还原是使污染物通过氧化还原反应转变成无毒无害的物质。这种处理方式需要往土壤中添加氧化剂或还原剂，要确保添加的化合物无毒无害，而且反应过程中对环境无害。

可渗透反应墙，即在地下污染物的必经之路上，人为建设一堵可透水的“墙”，里面填充反应介质包括零价铁、沸石和增强微生物活性的碳源，等等。当地下水流经反应墙时，污染物会发生生物或化学反应，或者被滞留在围墙内，或者被转变为无毒无害物质流过去。这种技术需要充分了解地下水流的方向和含水层厚度，才能选择正确的位置，建立恰当尺寸的围墙。另外，还要了解污染物的性质，在围墙内填充适当的反应物。

生物处理技术

生物处理技术包括生物曝气、监测自然降解，等等。

土壤中除了含有土、水和各种化合物，还存在着微生物。有些微生物可以“吃掉”有机污染物，但是，它们需要氧气或者无机离子来维持生命。生物曝气法就是向地下注入空气（或氧气），使微生物的活性大大增加，从而消灭有机污染物。这种处理技术需要了解微生物的“食量”，根据微生物降解的需求来决定注入空气的流速。该方法治理石油产品泄露最有效，不太适合高度挥发性的污染物。

还有一种方式是监测自然降解。在有利条件下，监测自然降解是最为经济的方法，并且对场地扰动最小。如上所述，有些微生物可以与污染物进行反应，生成无毒无害的物质，而微生物维持生存需要的“食物”是自然界的一些无机物，如溶解氧、硝酸盐、硫酸盐，等等。我们需要做的就是通过监测污染场地的无机物变化，适时投放一些“食物”给微生物，以确保它们能持续地把污染物“吃掉”。

第一作者单位 / 中国地质科学院水文地质环境地质研究所

（本文编辑：张佳楠 胡 勇）