

包气带水勘察和研究方法

BAO QI DAI , SHUI
KAN CHA HE
YAN JIU FANG FA

L · G · 埃弗雷特等

地质出版社

包气带水勘察和研究方法

[美] L·G·埃弗雷特 等著
籍传茂 费瑾 尚若筠 等译

地 质 出 版 社

包气带水勘察和研究方法

[美] L·G·埃弗雷特 等著

籍传茂 费瑾 尚若筠 等译

责任编辑：汪熊麟

地质出版社出版

(北京西四)

河北省蔚县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：13³/₄ 字数：323,000
1986年1月北京第一版·1986年1月河北第一次印刷

印数：1—1,560册 定价：3.25元

统一书号：13038·新164

前 言

在进行黄淮海平原浅层地下水资源评价的研究中，通过国际交流引进了英国、美国和日本等国在包气带水勘察和研究中所采用的一些新理论、新技术和新方法。近十多年来，随着浅层地下水污染的监测和人工补给地下水技术的发展以及水均衡研究的需要，包气带的研究有了许多新进展，本书中介绍的内容包括英国沃灵福水文研究所、美国联邦地质调查所、日本筑波大学地球科学系等单位在七十年代后期和八十年代初期在这方面的一些新成果。

全书共包括十四篇文章，作者为英国、美国、日本和加拿大四国的水文地质学家或水文学家、土壤物理学家，工作地区涉及到英国、美国、加拿大、日本和印度等国。这些文章大部份发表在公开刊物或本单位的通报上，有两篇是节译自书籍的有关段落。

按照文章的内容，全书可划分为三大部份：前四篇文章阐述包气带水研究的一般原理、基本概念和工作部署等。

第二部份包括五篇文章，都是根据在野外现场布置的测试工作取得的资料写成的，这些文章从方法原理、仪器安装一直讲到成果数据、室内分析、以致数学模型等，无论研究工作的部署、采用的野外测试和室内综合分析方法都有可借鉴之处。

第三部份包括五篇文章，其中三篇重点讲研究包气带水所使用的仪器设备，另外两篇介绍室内模拟试验的方法和成果。

本译文集由地质矿产部水文地质研究所、水文地质技术方法研究队、水文地质司和外事局等单位的十余名同志翻译，并互相校对，最后由籍传茂、费瑾、尚若筠三同志统校，书内附图由吴炳书等同志清绘。

译者期望本书的出版能对国内正在日益广泛开展的包气带水的研究有所裨益，对文章的选择和译文的不足之处则望读者提出批评指正意见。

一九八四年四月

目 录

垃圾填坑、废液贮集池和垃圾地面处理等场区的上层滞水带监测	1
通过土壤水分观测计算土壤水均衡要素	12
毛细压力和滞留水曲线	24
地下水水质监测	34
毛细带及其对水位反应的影响	60
非饱和带空气垂向渗透率的现场测定	69
ALRK——一种由气压头读数来计算水力传导率的FORTRANIV程序	94
利用大气中碳氟化合物F-11和F-12确定得克萨斯南部高原非饱和带的扩散参数	113
塞特福德森林区非饱和土壤中水分通量的测定	132
通过印度黑棉花土壤对地下水补给的土壤物理学过程	139
中子水分仪实践	162
从地表安装和读数的水压式张力计	187
用温差式微流速计测定土壤水分运移量	192
减少实验边界效应的土柱张力渗透计	198
垃圾填坑附近非饱和带渗滤液运移的监测	202
主要术语	213

垃圾填坑、废液贮集池和垃圾地面处理 等场区的上层滞水带监测

L. G. 埃弗雷特 E. W. 霍伊尔曼
L. G. 麦克米林 L. G. 威尔逊

前言

颁布1976年的资源保护和回收法是为了通过各种有关有害废物处理场地作业方面的各种定期技术协助和培训计划，促进公共卫生和环境保护。其中“非饱和带监测”条例专门为地面处理规定了上层滞水带的监测要求。

对所有有害废物处理场地，包括废弃的、正在使用的及计划使用的场地，主要关心的是污染其下伏地下水系统的可能性。为此，1980年5月19日颁布的“有害废物地面处理和压实许可条例”中包括了这方面的要求。该条例要求在废液贮集池、垃圾填坑、废物堆积场和地面处理场地至少要有四个地下水取样井。该条例还规定了与场地边界有关的这类水井的井位，并指定必须测定水样的几项参数。上层滞水带的监测（即该条例所规定的“渗滤液”的监测）仅要求在地面处理场区进行。禁止在废液贮集池、垃圾填坑和废物堆积场采用一般所用的上层滞水带监测方法的理论如下：1）上层滞水带的主要监测工具是负压渗透计；2）负压渗透计只能提供点上的样品；3）负压渗透计不能安装在未清除废物堆积的现有设施里；4）负压渗透计容易堵塞。

该条例尚未提出可代替负压渗透计的方法来进行有害废液贮集池、垃圾填坑、废物堆积场和地面处理场区上层滞水带监测的可能性。实际上，有很多种可供选择的方法。通过对这些方法进行审慎的选择，完全可以在废液贮集池、垃圾填坑及其它废物处理场地组装一套行之有效的上层滞水带监测系统。这样一个系统的运转能够对潜在的污染发出“早期警报”，并容许采取初步补救措施。在那些上层滞水带厚达几百英尺、污染物的运移时间可能需几百年之久的地区，早期警报系统是合乎需要的。在这样的地区里，当监测井的样品显示出污染物的存在时，地下水系统实质上早已被破坏了。早期警报系统对于下伏有可饮用的浅层地下水系统的地区同样重要甚至更为重要，因为污染物的运移时间短，稀释衰减的可能性小。

上层滞水带的描述

从地表向下延伸至主要含水层顶面的地质剖面称作上层滞水带。“上层滞水带”一词比常用的“非饱和带”一词更确切，因为饱和带也常常出现在一些上层滞水带里。

表土层是显示出地质物质风化作用效应以及胶体物质的淋滤和淀积作用所形成的或多或少发育良好的剖面层段。表土层里水的运动常以非饱和状态发生，土壤水处于低于大气

压力的压力之下。在期刊和教科书中可找到有关这一课题的大量文章。在表土层里，饱和带可以在低渗透性地层之上发育。有许多关于滞水水面的水流理论的参考资料可加利用。土壤化学家和土壤微生物学家还试图定量地表示土壤水运移过程中的化学—微生物变化。

风化的表土层物质逐渐与下面的土壤物质融合在一起。在表土层之下并上覆于潜水面的地带里，孔隙空间中的水与空气并存，或者说地质物质是不饱和的，这样的地带就是通常所说的上层滞水带（图1）。滞水水面可在结构差异很大的地层之间的分界面上发育。饱和条件也可在补给场地之下发展，这是长期入渗的结果。与大量有关表土层水运动的研究相比，对上层滞水带的类似研究是不多的。因此创造了“水文地质的无人地带”一词用以形容对该带的有限了解。

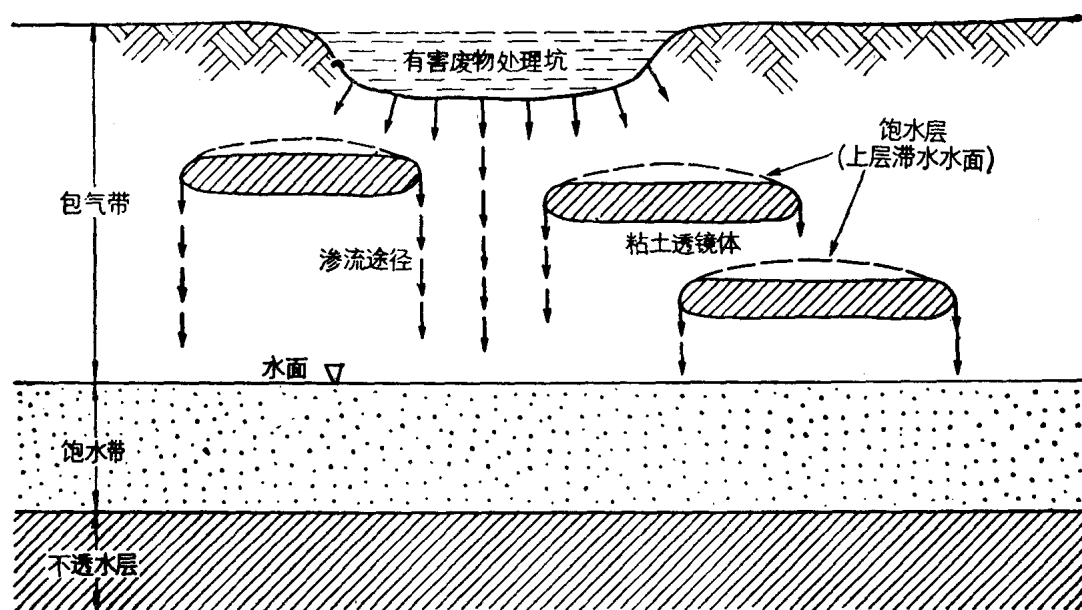


图 1 包括饱和和不饱和水流的上层滞水带

上层滞水带监测方法的分类

废物处理场的上层滞水带监测计划应包括预监测（预备性的）活动，以及随后在使用中的（运行中的）和关闭后的监测计划。预监测活动的基本组成部分包括对上层滞水带的水力性质，尤其是贮水和导水性，以及与污染物的活动性有关的地球化学性质的评价（表1）。预监测计划的结果将提供液体携带的污染物通过上层滞水带的潜在活动率、该地区液态废物的贮存潜力、以及特殊污染物稀释的可能性等方面的线索。预监测活动的具体细节在另外的报告中专门讨论。预监测计划还将为上层滞水带监测系统的设计提供宝贵资料。

运行中的和关闭后的监测计划将包括一套从一系列可能的方法中选出的取样和非取样方法。取样法提供采自上层滞水带的实际水样或土样，而非取样法则提供关于液体携带的污染物的运动的推断证据。已经研究提出了用于运行中的及关闭后的监测计划的取样和非取样方法的完整描述。

表1 有害废物处理场地上层滞水带的预监测

性 质	监 测 目 的	解 决 途 径	可 供 选 择 的 方 法
1. 贮存	1. 确定上层滞水带的总贮存能力	1. 建立贮存能力与潜水面深度或达到封闭层的深度之间的关系 2. 估计有效的孔隙度	1. 检查地下水水位图 2. 测量井水位 3. 检查到达潜水面或封闭层深度时的钻井记录 4. 打试验井 1. 根据粒度资料估计 2. 打试验井并取岩屑 3. 中子水份测井 (有效孔隙 = 总孔隙水含量, 按体积)
	2. 确定潜在液体积累 (滞水) 地区	1. 描述地下地层特性 2. 确定现有滞水带的位置	1. 检查钻井记录 2. 打试验井并获取供粒度分析的样品 3. 天然伽玛测井 1. 检查钻井记录 2. 打试验井 3. 中子水份测井
2. 液态废物的传输			
a. 通量	1. 确定入渗潜力	1. 测定野外入渗率	1. 入渗测定仪 2. 试验绘图
	2. 估计上层滞水带的渗透率	1. 测定用于达西方程的饱和和水力传导率 2. 测定或估计用于达西方程的饱和和水力传导率 a. 采用岩心样或粒度资料 b. 测量浅部地区的饱和和水力传导率 c. 测量深部地区的饱和和水力传导率	1. 瞬时速率法 2. 实验室土柱的研究 1. 渗透仪 2. 利用土壤水力性质一览表从粒度资料估计 1. 泵入法 2. 进气渗透计 3. 入渗梯度 4. 双管法 1. USBR孔底开口的套管试验 2. USBR裸孔法 3. 斯蒂芬斯-纽曼法 (Stephens-Neuman method)
b. 速度	1. 估计上层滞水带中液态污染物流速	1. 根据野外的通量资料加以估计 2. 示踪剂研究	1. 利用上面获得的通量值除以田间持水度的含水量值 1. 野外作图, 结合按深度顺序的一系列负压取样器, 使用守恒示踪剂
3. 污染物的活动性	1. 估计上层滞水带中潜在污染物的活动性	1. 描述固体样品影响污染物活动性的性质: 阳离子交换能力、粘土含量、铁的含水氧化物、pH值和游离氧化钙以及表面积 2. 根据利用液态废物的实验室或野外试验加以估计	1. 取得固体样品 (如通过打试孔) 和进行标准实验室分析 1. 批量试验 2. 土柱研究 3. 野外作图

概述上层滞水带监测方法的选择标准

为监测计划（预监测/运行中的/关闭后的监测）选择方法的一个指导性原则可陈述如下：“……为了一个可用的监测网保持长期有效的运转，所用的装置必须简单，以使受过训练但从技术教育的观点上看并非熟练的人员使用。”如果装置满足了这些标准而且造价并不贵，就不必作进一步的考虑了。实际上，从一组可用的方法中选择出其中之一要取决于特定地点和特定功能要求的。表2列出可供选择的14种上层滞水带监测方法。

表 2 上层滞水带监测方法的选择标准

序 号	标 准
1	对于新的、使用中的或废弃的场地的适用性
2	对于实验室或野外使用的适用性
3	对动力的要求
4	深度限制
5	多种用途的能力
6	数据收集系统
7	连续取样的可能性
8	样品/测量体积
9	可靠性和使用寿命
10	复杂程度
11	直接与间接取样/测量
12	介质类型
13	取样/测量对于流动状态的影响
14	有害废物类型对监测结果的影响

上层滞水带监测理论描述

用于有害废物处理设施的地下水监测计划的发展是个综合的过程。所要考虑的主要因素，如废物分类、废物处理方法、水文地质环境和监测设备，已有论述。总地来说，场地和废物的特点将决定处理方法，从而为给定场地提出最有效的监测计划。

垃圾填坑

典型的垃圾填坑是用空地法或壕沟法建成的。用空地法，废物被直接堆放在地面上。在这种情况下，必须将进来的水流从垃圾填坑的使用地段引开，从填坑设施流出的迳流如果是有害的废液则必须予以贮集，然后按1976年资源保护和回收法第261款的详细说明进行相应的处理。如果垃圾填坑的物质容易被风吹散，则必须予以覆盖或用其它方法加以管理，以便控制有害废物。用壕沟法，废物存放在壕沟的一头，并按要求在当天结束时予以覆盖。

在这种设施的建设期间，应搜集该场地上层滞水带的资料，并作为预监测工作的一部分予以审查。应把这些资料与水土保持服务局的土壤图和监测井穿透的地质建造的岩屑一起进行研究，以确定上层滞水带的厚度、构造和化学特征。潜水面应在图上标出，以确定上层滞水带现有的水力梯度和厚度。如果上层滞水带样品已在场地开发时就保存下来，有

几种实验室技术可用来估计水力传导率 (K)。饱和 K 值可以利用渗透仪确定,根据所得出的 K 值,假定水力梯度是一致的话,该场地的通量可用达西方程估算出。不同地层的饱和 K 值也可以利用粒度与从粒度分布曲线得出的 K 值之间的关系来确定。用于测量非饱和 K 值的其他实验室方法包括“长形土壤柱”、压力板法和其它管柱技术。

水中携带的污染物的贮存潜力可以从上层滞水带内滞水系统的抽水试验得出的贮水系数推导出来。如果井和观测用的测压水位计在该场地的初始工作中就有,则这些数据可以用最少的费用取得。应对航空照片进行检查,以发现由于垃圾填坑下的潜水面变化引起的泉和渗流及对该场地地表水水质产生潜在威胁的迹象。应了解该场地的降雨资料和周围地表水水质。应检查为控制流入和流出废物堆所设计的地面结构,以确保其符合1976年资源保护和回收法的规定。

有关上层滞水带化学特征的资料对研究和了解污染物稀释是极其重要的,尤其应确定胶体粒度的颗粒,例如粘土物质的百分比和有代表性的土壤水份提取液的pH值。在多孔地层中,这些颗粒具有与吸附在颗粒表面上的离子组份相交换的能力。这些颗粒的表面电荷性质是pH值的函数。在pH值较高时,就产生负电荷表面,而当pH值低时,就出现正电荷表面。因此,吸附阴离子或阳离子的趋势取决于上层滞水带土壤水溶液的pH值。这一资料在根据预期的渗滤液组份对污染物的稀释进行估计方面是有用的。此外,应测定滞水、土壤水份的提取液和/或渗滤液等的氧化还原势或氧化还原电位 (E_h)。已知上层滞水带的pH和 E_h ,就可建立 E_h —pH图,以展示主要溶解物质种类和固相的稳定范围。这些图表有助于了解微量及痕量元素的赋存和活性。建立 E_h —pH图的问题已有详细叙述。

周围地下水水质是在预监测工作期间要建立的一个重要的数据库。在老的现有场地,必须注意保证已对未受垃圾填坑影响的水的数据进行过取样,以确定背景水质。具有特殊意义的指示参数是:在固体废物渗滤液研究中发现的高浓度的TDS (溶解固形物总量)、COD (化学耗氧量)、传导性和BOD (生物耗氧量)。此外,温度、颜色、Cl和Fe也被列为指示参数。

用空地法或壕沟法的垃圾填坑的连续作业需要不断增加土地面积来处理新的废物。因此,每一场地都是由现有的和规划的废物处理坑的联合体构成的。对这些地区监测的不同之处在于:为新单元所安装的成本有限的专用监测设备也许不能用于原有的处理坑。例如,一个安装在垃圾填坑保护衬层之下用于测定通过衬层的渗滤液运移的电阻率网可以与发展新废物处理坑所要求的土方工程很容易地结合起来。而这种类型的安装工作不可能在原有坑底进行。按照毒性将废物分隔开来,就要求在选定的废物处理坑周围建立交错的监测网。依照废弃物质的毒性大小及其与含水层的垂直接近程度,用非破坏性的含水层监测方法(即地球物理技术)比取样法更好,因为后者要求通过潜在污染层打钻孔。大家都了解,这些钻孔会缩短液体携带废物通过成井不适宜的监测井周围的环形空间到达潜水面的循环距离。

使用中的或新的有害废物垃圾填坑的一般监测设计如图2所示。设计的要素包括使用非取样及取样两种方法。非取样法包括1) 中子减速探测器,2) 土壤湿度计,3) 新废物处理坑下的电阻率网,和4) 按探测或圈定污染物羽状流所要求的采用地表或钻孔地球物理方法。取样方法包括1) 多次完成井,2) 多层取样器,3) 负压取样器,4) 测压水位计,及5) 气体取样器。这些技术方法的技术描述、野外实施以及应用范围及限制因素均已有论述。

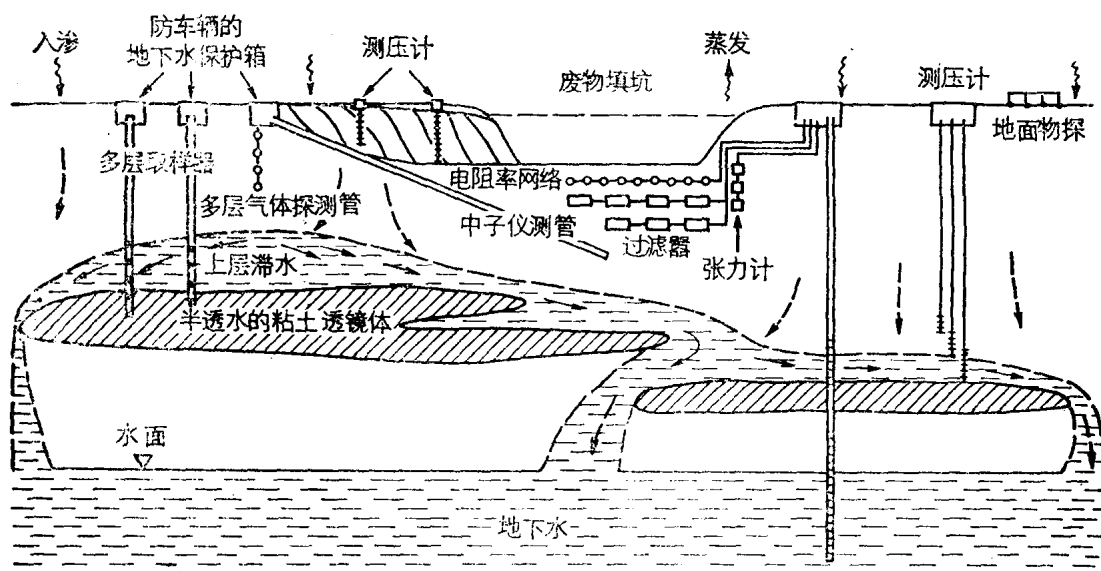


图 2 现有有害废物填坑的一般监测设计

地面废液贮集池

与前述的一般垃圾填坑模型不同，因为对现有的及规划中的废物处理坑的评价是为一个设施进行的，而对一般地面废液贮集池来说要分别考虑两种情况。第一种情况是一个崭新未用的设施（见图3），第二种情况是一个正在使用中的场地。这样的考虑形式是必要

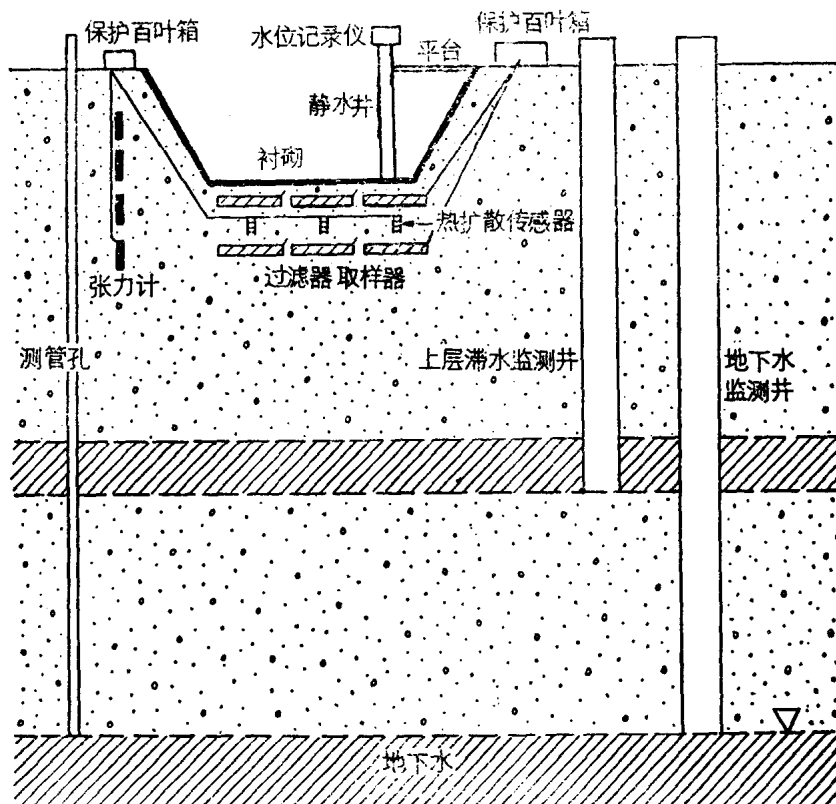


图 3 新地面贮集池的水质监测设计

的, 因为贮集池作业不包括随后在新扩展的土地进行新的废弃物处理。在贮集池建成之后, 一直到该设施关闭和新场地开辟利用时, 不需要再扩展土地面积。因此, 两个场地的仪器置放方法是不同的。要进行预监测工作, 以描述废水特征及上层滞水带的性质。理论上的计划包括地表水、上层滞水带和饱和带监测技术。

为了适应废液贮集池入流率的测量, 在平台的末端设置了带有水位记录仪的静水井。在使用贮集池过程中, 入流率可用瞬时速率法确定。这一方法是确定在一段暂短的停止运转期间在贮集池测得水位下降与贮集池的容量关系。

取样装置安装在贮集池池底之下, 如图 3 所示, 以便在衬层失效时采集渗漏水样。当然, 取样装置是置放衬层之前安装的。为这套设备选择的取样装置是水平置放的过滤棒。过滤棒的接融面积大于点取样器, 如渗透计。各个装置均放在各自的金属板槽内。鉴于探测废水在失效衬层之下运动的重要性, 备用装置被安装在较浅的装置之下。此外, 其它装置安装在贮集池的同一深度的其它位置上。这种重复装置可以看作是“有计划的多余”, 以免发生取样问题。取样器的入口及出口管线的末端设在地面上的百叶箱里, 箱内装有真空——压力源、样品瓶及其它附属设备。其中也包括备用品, 可以用来采集不连续的或连续的样品。

渗漏废水直接取样的第二道“防线”是由打在滞水带的一些监测井构成的。这些井特别有价值, 主要在于水池以下的水运动是发生在低于过滤棒工作限度(即约为 -0.8 个大气压)的填质压力下。理想的情况应该是这些监测井具有较大口径, 以便能安装永久性的潜水泵。取样应在完井后即开始, 以获取原始水质数值。

为探测贮集池废水渗漏所选择的间接方法包括土壤湿度计、热扩散传感器和中子水份测井用的测管井。土壤湿度计和热扩散单元对估计储水量变化和水力水头梯度是有效的。此外, 土壤湿度计将指示出取样期间对过滤棒所施加的适宜负压, 以避免影响非饱和流的通道。热扩散传感器可在土壤湿度计作用不可及的深度上, 提供负压条件下水力梯度的情况。在本文的实例中, 对热扩散传感器的选择是任意的。本着“有计划的多余”的原则, 也可以安装干湿计/测湿计和/或电阻装置组。土壤湿度计读数将由一名野外技术员抄录。但来自其它填质势能传感器的信号可自动记录。

假如地质剖面中发生了储水量的变化, 在测管井里的中子水份测井将显示出在衬层失效情况下上层滞水带中废水的侧向扩散。这些井还可用于监测地下水水位的变化, 以及从潜水面附近获取水样。

对于正在使用的(以及废弃的)贮集池不可能在池底以下安装监测装置, 因而必须安装在该设施的周边。安装一眼静水井和储水量记录器有助于用瞬时速率法测定入流率。更省钱的办法是把静水井的位置选在贮留池的边上。对于正在使用的水池, 有可能估计上层滞水带的通量和流速。用有代表性的含水量值去除这个值得出了对流速的估计。

取样技术是由在一个普通钻孔里安装成组的负压杯渗透计加上一个滞水井组成的。非取样技术是由土壤湿度计和供中子测井的测管井组成的。贮集池如果是新的, 建议安装其它非取样装置, 如干湿计/测湿计, 用于干燥地段的监测, 在这种情况下土壤湿度计显然是不起作用的。美国环保局的一份报告阐述了第一种和第二种情况所使用的基本原理和方法。

地面处理设施

按照有害废物地面处理和压实许可条例所下的定义，地面处理设施是“在一个设施的一部分，将有害废物堆放在土地表面上或混合到表土层中”。地面处理的目的是加快废弃污染物的微生物分解，或通过土壤的物理/化学反应降低其活动性。按照有些作者的意见，废物的地面处理，在堆放和混合后还应包括下列三个步骤：1) 把废物与表土混合，使土体充气并使废物暴露于土壤微生物的作用下，2) 添加养份或改良土壤物质（可以任选），和3) 定期重新混合土壤和废物，以保持充氧条件。

选择、管理和操作地面处理设施的技术，已有好几位作者作过评述。美国环保局对于地表水控制、记录的连续保持、废物分析、监测及左食物链作物上的利用和处理场的关闭所提出的要求均包括在“适用于有害废物生成环境的标准要求”之中。与有害废液贮集池和垃圾填坑的监测要求相反，在地面处理地区要求做上层滞水带监测，所指定的技术是孔隙水取样和固体取样。

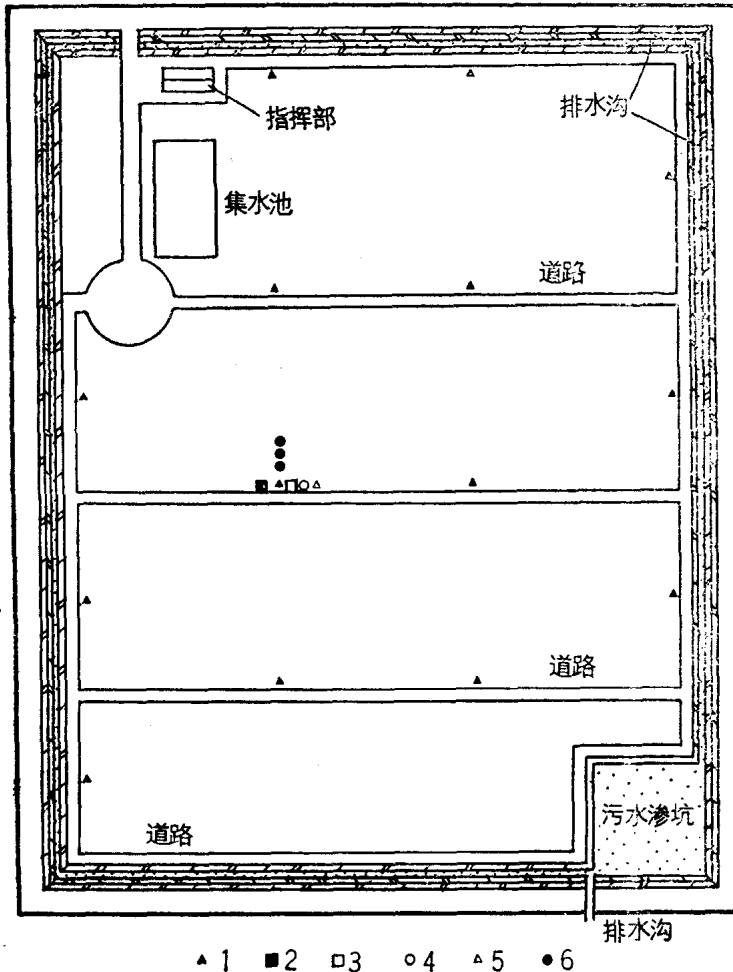


图 4 地面处理地区监测装置平面图

1—仪表百叶箱；2—多层取样器；3—测压计箱；4—测管井；5—观测井
6—埋藏的装置（负压杯取样器、土壤温度计、可插入的电导率探头），
装置埋深大于耕作深度

图 4 示出了典型的地面处理设施。如图所示，该设施包括一个容纳接受废液的贮集池。可以想象，这样的贮集池必然要加上衬层的，以使渗漏量减到最低限度，并且如上文所述带有监测设施。在场地上筑堤以防止无法控制的迳流。无论产生什么样的迳流都要收集到池内。

地面处理的预监测

一般来说，关系到有害废物的地面处理的预监测活动是与选择场地的预监测活动完全相同的。例如，废物和上层滞水带性质特征的描述。理想的情况应是把这些活动按下列分成阶段：1) 确定将会影响污染物在上层滞水带中活动性的废物性质，2) 确定将会影响废弃污染物活动性的上层滞水带固体的性质，以及3) 进行试验以评价加速污染物在上层滞水带中稀释的废物/土

壤相互作用。

如同所指出的，美国环保局所指定的地面处理场地上层滞水带监测技术包括土壤取芯和土壤孔隙水的监测。该监测计划要求在使用这些技术时，土地所有者/使用者必须详细说明监测深度、样品数量、取样频率、取样时间等细节。本文介绍的一般监测计划是基于这样的承诺，即土地所有者或使用者也选用了混合的非取样方法，以便有助于利用这两种基本方法确定采样深度、频率和取样时间。（鉴于分析污染物的花费较大，这种方法的成本可能是比较实际的）。此外，土地所有者或使用者如果从环境角度有一定的认识，他就选用取样法以弥补负压杯取样器之不足，因负压杯取样器在土壤水压力低于 -0.8 大气压时就不起作用了。

非取样方法

正在使用中的地面处理地区的非取样监测方法包括：1) 进行一项水预算分析和2) 安装非取样装置。利用土壤水份计算的水预算研究是估计在选定土壤深度以下的深部渗流体积的一项简单快速方法。由两位研究人员研究制订的这种方法是最经常使用的，并已有指定的WATBUG计算机程序可使计算简化。必须测量的入流量包括降水量和废水量。要求测量的流出量包括迳流和农作物土壤水份蒸发蒸腾损失总量。贮水量的变化等于给定深度上的含水量变化，使全部各项与深部渗流相等。

在地面处理区的一个站上所用的一种普通类型的监测装置在图5以断面形式示出。设计的组成部分包括1) 中子水份测井用的测管井，2) 供探测盐度变化的可插入的电导率探头，3) 测量不低于 -0.8 大气压的填质势能的土壤湿度计，以及4) 测量低于 -0.8 大气压的填质势能的热扩散传感器。这些技术描述、限制因素及野外应用均有说明。

为了避免对野外作业的干扰并便于接近，每个站都应像图4的设施平面图所示的那样，处于场地上横向延长的一条直线上。

图5示出，在站上安装了两个测管井，一个浅一个深。实际上可以在整个场地上安装大量的浅测管井（ <10 英尺），以确定在使用期和干燥周期的含水量变化。如果所有含水量变化均发生在浅部，就不要求安装深部的装置。但是，如果出现大量的深部渗流，就需要较深的测管井了，也许要延伸到潜水面。这种方法在确定特定场地的水平衡和土壤水通量上是有用的。应记住，这种水份测井是计算含水量变化的一项容量因素。实际上，水（和污染物）可以流经特定的地带而丝毫不能引起水份测井记录下来的含水量变化。这样就需要有辅助的设施。

包括在内的有一组深向的可插入的电导率探头。这些装置是以探测测量场地的电阻率的四探头温纳阵列为基础的。电阻率的变化指示了导电流体正在流过这些装置。可用于探测盐度变化的可用技术还包括盐度传感器、轻便电导率探头和轻便器四极阵列。

土壤湿度计装置亦包括在内，以供检测土壤水的填质势能。土壤湿度计的读数在确定施加在负压杯样品上的正确真空度上（以避免影响流场）是有效的。在重力分量不影响填质势能读数的地方用一组装置就可检测到土壤水压力梯度的情况下，可以用一些廉价的液压开关把一系列土壤湿度计连接在一个压力传感器上。安装在较深部位上的装置则要求使用组合压力传感器。安装在深处的装置还具有响应时间快的优点，并且，除了一根接到百叶箱的导线外，不需要其它地面部件。

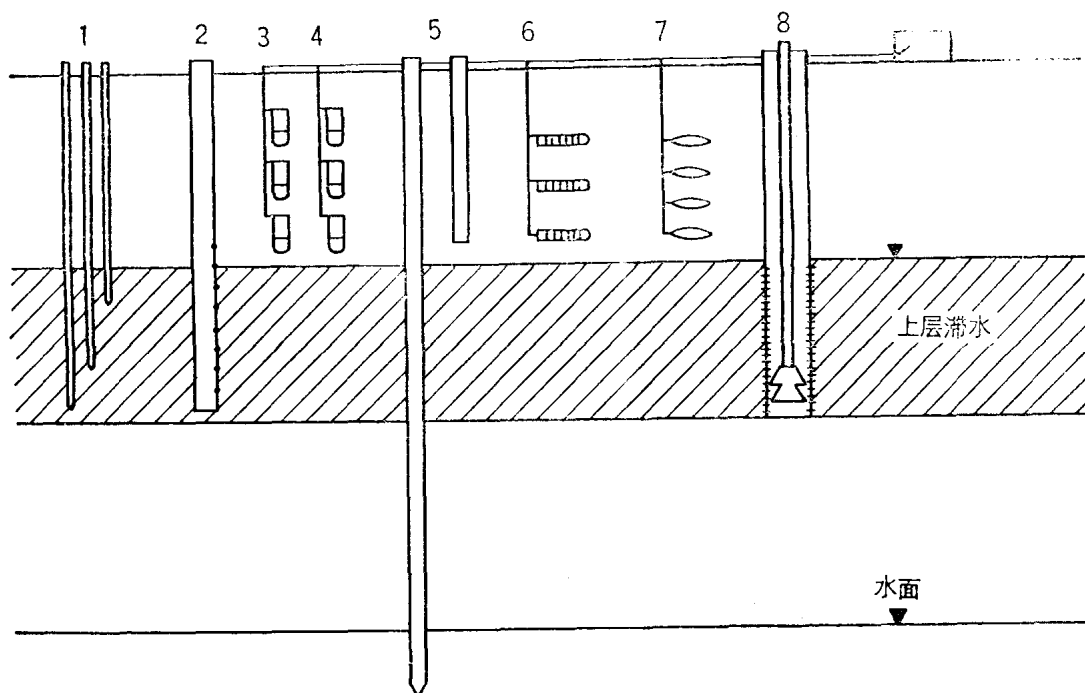


图 5 地面处理区监测装置的一般类型

1—测压管； 2—多层取样器； 3—负压杯测渗计； 4—张力计； 5—测管孔；
6—安置的电导率探头； 7—热扩散传感器； 8—观测井； 9—百叶箱

因为土壤湿度计装置在负压低于 -0.8 大气压时就不起作用，一般的系统中还包括一组热扩散传感器，可在干燥范围内起作用。其它可能已被用于扩大土壤湿度计检测填质势能变化范围的装置包括电阻/电容部件、热电偶湿度计/测湿计，和渗压土壤湿度计。

一个类似图5所示的非取样法阵列可以安装在新的场地上。主要的区别在于测管井中的安装深度、电导率探头、土壤湿度计和热扩散传感器要安装在浅处，大约在地表以下10英尺内。这种方法可把安装费减至最小。但是，如果流体已明显地在探测深度以下运移，则需要把监测仪器安装在更大的深度上。

取样法

正在使用的场地上所用的采样方法包括按照美国环保局要求的土壤取样和图5描述的一般方法。土壤取样包括用手钻和取样器，如维迈耶管 (Veihmeyer tube)。较深部的取样方法要求使用动力设备，包括土钻和带绳索取样器的空心钻杆土钻。

图5描述的一般方法包括：1) 负压杯取样器，2) 滞水中的多层取样器，3) 一个测压水位计装置的深向阵列，4) 一眼观测井，和5) 一眼对准观测井末端的滤管井。

负压杯渗透计安装在一组深向装置内，以保证对污染物垂直运动的检测。对于浅层取样深度，简单的真空操作装置就够了。

深部装置需要有真空压力或高压真空装置。可采用过滤棒型取样器代替负压杯装置。

多层取样器是安装在浅层滞水体内部的。这些装置是确定羽状流垂直范围的有效深向取样器。水平方向横装的这种装置可检测羽状流的侧向范围。这些装置还可用来测量水力梯

度。如图5所示，一些取样点分布在潜水面以上，以便在潜水面上升期间取样方便（对于采集“悬浮”在上层滞水带内的污染物是有用的）。该图所示的一组测压水位计装置可以用来代替或补充多层取样器。测压水位计对于进行所谓的测压水位计试验以确定饱和水力传导率的数值是有用的。

标准的观测井如图所示是安装在滞水体内的。这样的井允许抽取大量的滞水以供分析。分析结果可能对流过上层滞水带的合成水质具有指示性。这样，这些装置在估计质量通量方面可能就比点取样器如负压杯渗透计更有效。水泵安装在观测井内便于取样。水泵对于在确定上层滞水带的水力性质时所进行的抽水试验也有帮助。

最后，该图中所示的深部测管井包括一个获取接近潜水面水样的水井点。对这些装置的取样要求有适当批量。这样的点样品的代表性可能是不可靠的，但是其结果有助于质量检测。

图5所示的取样方法也可以用于新设施。但是，安装取样装置要采取分阶段的办法。换句话说，在浅层取样（及非取样）装置证明污染物正在向剖面的更深部运移时，才应安装较深层的装置。

陈凤春 译 尚若筠 校

通过土壤水分观测计算土壤水均衡要素

J. D. 库珀

第一章 前 言

1.1 土壤水均衡要素观测的用途

土壤是降雨、地表径流、地下水、蒸发及其它水文循环要素之间相互作用的交界带，因此土壤的水均衡对区分水文循环不同成分之间的水是很重要的。对土壤和非饱和带水均衡的知识及理解是提高其它水文过程定量化的基础。

土壤可以看作是一个有输入、输出及储存的水库，这三项的量是受土壤内部过程的控制，至少是部分受到控制。

土壤水的输入通常是指通过土壤表面进入土壤的入渗量，等于降雨量加上灌溉用水量减去植物截留量及地表径流量，为了本文目的，假定后两项为已知的（常常假定为0）。如果降雨入渗补给速率小于土壤能够接受水的速率（被称为入渗能力或入渗容量），入渗量可能是受补给速率（如降雨）的控制，而如果补给速率超过土壤入渗能力，则入渗量受土壤本身的控制。土壤水的输入还可能来自地下水和在斜坡上来自沿隔水层流的水（过水流或潜水流）。

土壤水的输出通过土壤表面的蒸发，植物根系的吸收，以及向地下水或较深层的入渗或随侧向过水流排走。

本文主要讲土壤水均衡要素的测量方法，特别是蒸发（包括植物根系吸收的，后来又通过植物叶面蒸腾的水）和向下入渗的水，而不是讲应用某种土壤性状模型来预测水均衡各要素的量。

土壤水均衡各要素的观测对一系列科学和应用目的来说都是重要的，这些目的包括：

- 确定作物需水量；
- 计算对地下水的补给量；
- 灌溉的研究；
- 溶质及污染物的运动。

1.2 本文涉及范围

本文着重介绍根据环境部承包合同在水文研究所发展的一些工作程序。这种方法综合了在夏季情况下应用零通量面法和在冬季条件下依据测得的降雨量和估算的蒸发量和测得的土壤含水量变化的土壤水均衡方法。