

# 同位素水文学示踪法在探测堤坝渗漏研究中的应用

叶合欣

(广东省水利水电科学研究院, 广州, 510610)

**摘要:** 利用同位素水文学示踪技术, 结合地质条件, 对调查堤坝渗漏具有很重要的意义。该方法具有方便、快捷、准确等优点, 在大多情况下, 对孔或泉水的水化学和同位素成分分析、利用放射性同位素示踪技术可探测已存在的集中渗漏通道, 对采取工程措施具有科学的指导意义。

**关键词:** 同位素 堤坝 渗漏 示踪 探测

同位素水文学示踪法在我国水利工程中的应用是从 1958 年开始的, 最早开始研究的课题是碳-14 测龄、利用  $^{65}\text{Zn}$  观测长江卵石推移和利用  $^{60}\text{Co}$  在室内进行掺气量测量, 然后逐步扩展到水库淤泥溶重和河水含水量砂量测量, 地下水运动、渗流和泥沙运动观测, 以及其它方面的实际应用。在地下水运动及堤坝渗流研究中, 常需取得流向、流速、途径和渗透系数等现场观测资料。在水文地质勘测中, 测定地下水渗透系数的最常用的方法是注水、抽水和压水试验。但这些试验技术都有它们的一定局限性, 有时取不到可靠的数据, 有时甚至不能使用。因此, 应为广泛采用指示剂来确定地下水和坝基渗流的参数。

在各种水利工程测试技术中, 示踪法占有特殊的地位, 因为这种方法能直接了解地下水的运动过程和分布情况。近四十年来, 除了传统的染色示踪法和盐类示踪法外, 已出现了同位素示踪法。这种方法对于解决水利工程、地基基础、地下水开发、污水排放和环境保护等方面的各种测试中能起到特别重要的作用。放射性同位素示踪法是指采用具有放射性的溶液或固体颗粒模拟天然状态的水或泥沙的运动特性, 并用放射性测量方法观测其运动踪迹和特征的一种技术。

根据示踪剂的来源不同, 示踪法可分为天然示踪和人工示踪。

## 1 水的天然示踪

### 1.1 水的温度:

来自于水库并出现在下游的水的温度与在水库沿垂直方向上的测量出来的温度断面相比较, 可知道这水来自于库水的哪一深度。这对探测渗漏水流有很大帮助。

### 1.2 水的电导率

水的电导是一个极容量测量的参数, 对于调查渗漏能提供很多有价值的资料。就水库而言, 在深层地带测量垂直方向电导的大小范围是必要的, 这对调查盐度的层化有帮助。调查水库渗漏时, 需对所有的点包括水库、钻孔中、泉水的电导进行周期性测量。

### 1.3 水的化学成分及稳定同位素

利用环境同位素及地下水水质的分析, 结合地质条件, 对调查堤坝渗漏具有很重要的意义。地表水进入地层后, 化学成分及环境同位素的变化携带了丰富的信息, 可以从中知道地下水渗漏过的一些岩层的天然性质。反之, 了解岩层的天然性质及地下水成分可推断地下水是否流经该岩层。在许多情况下, 对孔或泉水的水化学和同位素成分分析可探测已存在的集中渗漏通道。

## 2 水的人工示踪方法

人工示踪方法很多, 这里仅介绍近年来发展迅速并得到广泛应用的放射性同位素示踪法。

### 2.1 放射性示踪剂的选择:

被周围介质吸附很少, 易溶于水, 且不沉淀;

- (1) 发射 射线，且能量适中，适合现场直接探测；
- (2) 半衰期适应观测时的要求；
- (3) 毒性低，符合辐射防护卫生要求；
- (4) 容易得到，价格便宜。

## 2.2 点稀释技术——测定水平地下水流速

地下水的水平流速可利用注入孔的示踪剂浓度的下降来测得。

工作原理：假设一定量的示踪剂注入孔中两个止水栓之间的水体中，止水栓间的长度为  $h$ ，孔径为  $d$ ，最初浓度为  $C_0$ 。假设满足：

- 试验点地下水模式是处于稳定状态；
- 在被标定的圆柱形水体中，被测定的示踪剂浓度始终是均匀分布的；
- 示踪剂从该水体中逃逸仅是由于含水层中存在水平流的原因（不存在垂向流，以及不存在由于扩散引起的明显的示踪剂的损失）；
- 在孔外的示踪剂不引起探头的响应。

则渗透流速  $v_f$  可按下式求出：

$$v_f = \frac{\pi(r_1^2 - r_0^2)}{2\alpha r_1 t} \ln(C_0 - C) \quad (1)$$

式中， $C_0$ ——初始浓度； $C$ —— $t$ 时刻浓度；

$t$ ——测量时间； $r_0$ ——探头半径； $r_1$ ——孔半径；

$\alpha$ ——校正系数。

局限性：具有强烈的点的特征，需要多次测量；

使用止水栓并不能保证不存在垂向流；

但它是最基本的方法。

## 2.3 广义稀释定理

当被测含水层中存在垂向流干扰时，可以考虑全孔标记示踪剂进行测量（图1）。此时

$$v_f = \frac{\pi r}{2\alpha \left\{ t - \frac{(v_A - v_B)t^2}{2h} + \frac{t^3}{3} \left[ \frac{(v_A - v_B)}{h} \right]^2 - \frac{t^4}{4} \left[ \frac{(v_A - v_B)}{h} \right]^3 + \dots \right\}} \ln(C_0 - C)$$

式中： $v_A$ 、 $v_B$ ——孔中地下水流速； $v_u$ 、 $v_D$ ——含水层上下游地下水流速；

$Q_A$ 、 $Q_B$ ——孔中垂向流量； $Q_U$ 、 $Q_D$ ——含水层上下游地下水流量；

$h$ ——含水层厚度； $r$ ——孔径；其余符号同前。

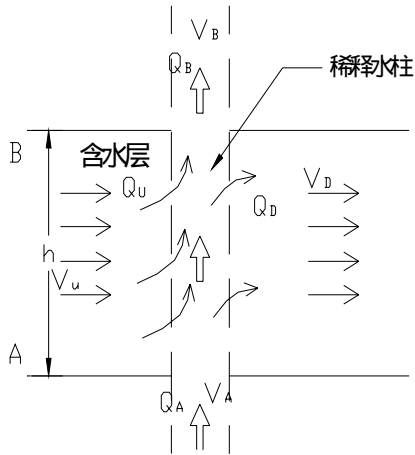


图 1 有垂向流时孔中水的运动示意图

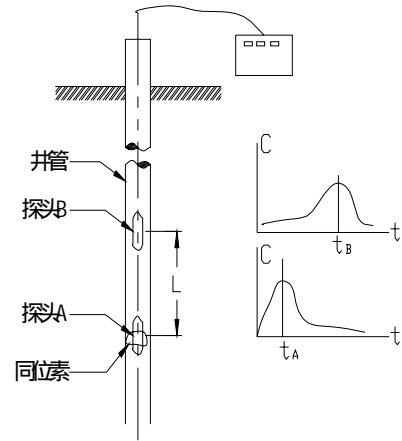


图 2 峰峰法示意图

## 2.4 垂向流的测定

垂向流十分常见，有下列几种情况：

- 钻孔揭露了两个或以上存在不同水头的含水层或渗透层；
- 当钻孔与承压含水层有联系时；
- 当含水层中的流线与孔轴线倾斜时。

测定垂向流方法：峰峰法和累计法，但由于后者测定垂向流需要标定，测量精度低，故一般不采用。

峰峰法是将两支串联探头放置在井中示踪同位素将要通过的孔段，分别记录下两条计数率随时间变化的曲线。找出两条曲线的峰值所对应的时间  $t_A$  和  $t_B$ ，设两探头之间距离为  $L$ ，则垂向流速  $v$  为（图 2）：

$$v = \frac{L}{t_B - t_A} \quad (2)$$

## 2.5 流向测定

通过装有 6 支探测器的流向探头在孔中进行核计数率测定。将 6 支探测器测定的结果进行运算，计数率为最大值的方向系流向方向（图 3）。

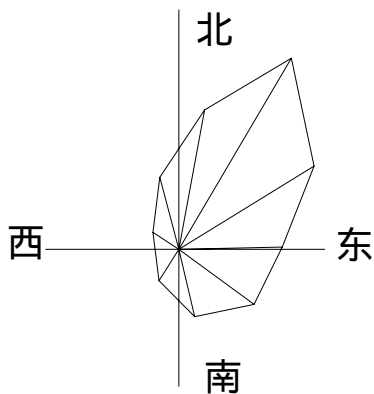


图 3 钻孔周壁放射性活度分布

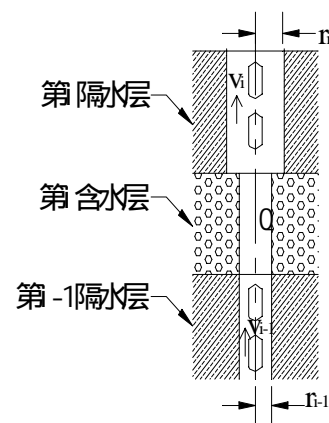


图 4 涌水量或吸水量测定示意图

## 2.6 孔中分层含水层涌水量、吸水量测定

由于各含水层的静止水位不同，将造成各含水层之间的地下水会通过钻孔进行补给。若静止水位高于混合水位，则含水层将向孔中涌水；反之，将吸水。各含水层涌水量或吸水量的大小，取决于各含水层静止水位与混合水位差，以及其导水系数的大小，可根据在隔水层测定的垂向流来求得：

$$\Delta Q_i = \pi(v_i r_i^2 - v_{i-1} r_{i-1}^2) \quad (3)$$

式中： $\Delta Q_i$ ——第*i*含水层的涌水量或吸水量；

$r_{i-1}$ 、 $r_i$ ——孔径； $v_i$ 、 $v_{i-1}$ ——垂向流速。

## 2.7 渗漏带、渗漏点及导水通道的探测

渗漏带、渗漏点及裂隙、岩溶、断层等导水构造的探测，是监测坝基、煤田矿井涌水发生等勘察研究中十分重要的物探工作。将放射性同位素投放到孔中，用示踪仪进行跟踪测量，可查出主要渗漏点、渗漏带、渗漏方向等。在渗漏比较严重的地段，垂向流很强，示踪仪测量也很困难。

这时，可选用具有吸附特性的放射性同位素如 $^{131}I$ 等，就能容易地找到渗漏点。这种方法是其它水文物探方法难以取代的。

此外，利用同位素示踪法还可测量多含水层混合孔渗透系数、导水系数、含水层的有效孔隙度、弥散系数等等。

## 3 应用实例——略

## 4 结论

同位素水文学示踪技术在水利水电工程上已成功地作为常规测试手段应用于发达国家，在发展中国家应用正蓬勃发展。用一般方法测得的水文数据较少或难以实施时，应用该技术解决问题快而可靠。目前，同位素水文学示踪技术已发展到比较成熟的阶段，可作为室内外的常规分析手段，且以所得数据的解释已达到精细先进的程度。因此，该技术在水利水电工程的应用中占有十分重要的位置，用它所得到的明确结论可为水利资源利用、管理和规划、方案设计等提供科学的依据。

## 参考文献

- [1] 陈建生 等. 同位素示踪法测定地下水及含水层参数[J] 水文地质与工程地质 1991, 6
- [2] 叶合欣 等. 北江大堤石角管涌多发段基岩地质条件分析[J] 水文地质与工程地质 2003, 4
- [3] 陈建生 等. 多含水层稳定涌非干扰多孔混合井流理论及示踪测井方法[J] 水利学报 1997, 5
- [4] 刘光尧, 陈建生 著. 同位素示踪测井[M] 南京: 江苏科学技术出版社 1999
- [5] 李樟苏 等 编著. 同位素技术在水利工程中的应用[M] 北京: 水利电力出版社 1990
- [7] 叶合欣 等. 水质模糊聚类及环境同位素在探测某堤基渗漏通道中的应用[J] 工程勘察 2005, 1