

综合示踪方法探测复杂堤基渗流

刘建刚, 陈建生, 陈 亮

(河海大学土木工程学院, 南京 210024)

[摘 要]从工程地质角度分析了堤防渗漏的原因,阐述了应用同位素示踪和天然示踪技术探测堤防渗漏的原理和方法,综合分析了北江大堤石角段 7+140~7+430 渗流场特征,认为红层基岩中溶蚀现象的广泛发育使基岩的渗透性大大提高,而具集水功能的透水断层是历年洪水时发生喷水冒砂的直接原因。

[关键词]渗流 温度电导 同位素 垂向流

[中图分类号]P642 [文献标识码]A [文章编号]10495-5331(2002)02-0094-03

1 堤防渗漏的工程地质简析

我国各大江河的许多堤段均存在渗漏现象,堤基渗漏是影响堤防安全的最重要因素。渗漏源于以下方面:

1) 松散层的类型、结构、成因决定堤基透水性大小及均匀性。近期古河道和现代河床的冲积砂层具有较强的透水性,而在短则几百米,长则几十公里的堤圈下又具有明显的不均匀性,尤其是北方河流,没有明显的二元结构,强透水的砂层与透水性很小的黏土层往往呈透镜体相间分布,不易查清,统一的设计方法和标准常在强透水部位留下渗漏隐患。

2) 断裂和岩溶构造的隐蔽性和强透水性强化了堤基渗漏的不均匀性和复杂性。由于基岩被松散层覆盖,加上建堤时复杂的社会历史背景,没有考虑基岩条件,透水断层走向、规模、延伸长度以及补给和岩溶也影响堤基的渗漏。

3) 堤圈的水文地球化学背景。地表水和地下水与堤基岩土之间存在复杂的水文地球化学作用,这种作用是长期和缓慢的,其结果是使堤基的渗透性增大。例如钙质胶结的岩土或碳酸岩层在酸性或弱酸性水的长期浸泡下,将使岩土松散化和岩溶化。一些堤防随年代的久远漏水量逐渐增加就是例证。

2 综合示踪方法探测堤防渗流场的方法及原理

综合示踪方法包括人工同位素示踪和天然示踪,人工同位素示踪探测地下水的流速和流向,包括垂向流,而天然示踪则是利用地下水的温度和电导分析地下水的补给和径流,从而达到了解流场的目的。

2.1 单孔稀释法测定地下水水平渗透流速

当示踪剂稳定,在稀释水柱内均匀混合,滤水管的轴线与含水层整个厚度中的水流流线直交,通过滤水管的水平流连续均匀稳定,无垂向流干扰时,可用下式计算渗透流速 V_f : $V_f = (\pi r_1 / 2^a t) \ln(N_0 / N)$

式中: a —校正系数; r_1 —滤水管内半径; N_0 、 N —分别为 0 和 t 时刻示踪剂放射性计数率。

当已知水力坡降时可求出渗透系数。

2.2 单孔中测定地下水水平流向

投入钻孔中的放射性示踪剂主要沿水流方向以一定的流散角被地下水带到孔外含水层中。流散角与流速、含水层结构和颗粒等因素有关,飘移到含水层中的放射性晕反射回来的放射性强度在孔内各不相同,最强的方向与地下水流出滤水管的方向相对应,就可以根据对孔周围测得的计数率确定地下水流向。

2.3 单孔中垂向流测定

可采用峰峰法测定,即将 3 支相距均为 L 的串联探头放置在井中示踪同位素将要经过的井段,投源于中间探头附近,若在上部和中间的探头上分别记录到了两探头的计数率随时间变化曲线,则存在

[收稿日期]2001-06-11; [修订日期]2001-12-01; [责任编辑]李石梦。

[第一作者简介]刘建刚(1963年-),男,毕业于河海大学土木工程学院,获硕士学位,副教授,主要从事地质及岩土工程方面的教学和科研工作。

向上的水流,找出两条变化曲线上峰值所对应的时间 T_A 和 T_B ,则该井段的垂向流速 V 为: $V = L / (T_A - T_B)$ 。若在下部和中间的探头上分别记录到了两探头的计数率随时间变化曲线,则存在向下的水流,两条变化曲线上峰值所对应的时间 T_C 和 T_B ,垂向流速 V 为: $V = L / (T_C - T_B)$ 。

2.4 地下水温度

地下水温度受气温、地温及补给水源温度等因素的影响。受气温影响的主要是浅层地下水,表现为随昼夜、季节的周期性变化。受地温影响的主要是深层地下水,表现为随深度的增加而呈有规律的增高。浅层和深层之间有一个过渡带,地下水的温度变化很小。当含水层得到具有不同温度的环境水补给时,地下水的温度发生变化,即温度异常,温度异常常常被认为是渗透层,甚至为强透水带。

2.5 地下水电导(或矿化度)

地下水的电导受补给水源、补给距离、径流强弱及岩土性质和透水性等因素影响。一般说来,地下水受低电导地表水及大气降水的补给,经与岩土的相互作用,电导有所提高。电导值的大小可作为判断地下水补给源及补给方向的一个依据。

3 北江大堤石角段 7 + 140 ~ 7 + 430 渗流探测

3.1 北江大堤石角段是历史上多次溃决的地段,尤其是 7 + 140 ~ 7 + 430,水文地质条件十分复杂

松散层为冲积相的粘土、砂和卵石层,总厚约 30 m,其下为红层砂岩夹砾岩,钙质胶结并含有灰岩砾岩,江水和地下水均呈酸性,但地下水酸性有所减弱。在 1994 年 6 月的 50 年一遇和 1997 年 7 月的 20 年一遇洪水期间,距堤脚一百多米的地方发生严重喷水冒砂现象。为查明喷水冒砂原因,在堤内和堤顶设置了 25 个示踪试验孔,对该地段进行水文地质条件及渗流特征研究,孔深 50 ~ 101 m 不等。部分观测孔平面位置如图 1。

3.2 堤顶诸孔附近渗流场特征

堤顶有 16、17、19、20、21、22、23、24、25 号共 9 个孔。它们的共同特征是基岩浅部渗透性大于松散层;存在低温和低电导的强透水带;江水上涨时有向上的垂向流,水平流向为 NE 向,表示得到江水的补给,退水时为 NW 向,表示向北江排泄。低温和低电导区域与这些孔成孔时发生的跌钻位置恰好一致,17、19、20、23、和 24 号孔均发生跌钻,有的还不止一处,最大跌钻深度达 3.7 m。25 号孔虽未发生跌钻部位,但

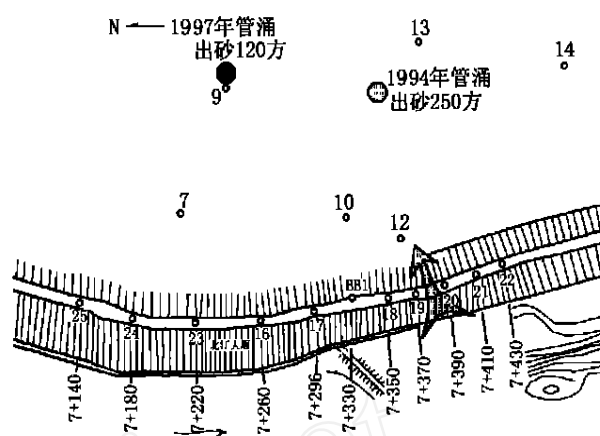


图1 石角段部分观测孔平面位置示意

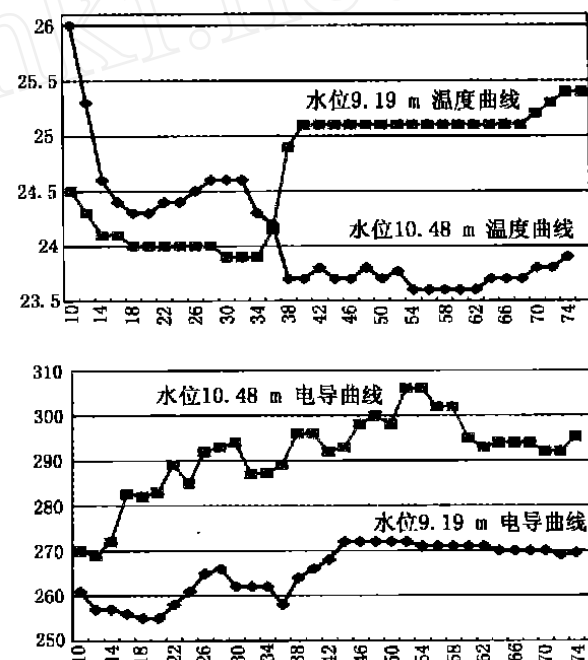


图2 25#孔的温度及电导

也存在低温和低电导区域(图2),在孔深 55 ~ 64 m (高程 - 38 ~ - 47 m) 之间有强渗漏层,经计算最大渗透系数达 4500 m/d,证明这一层为强渗漏区。在江水下降过程中的地下水平均流向为 N30°W。

17#和 19#两孔的地下水流向在江水上涨时流向喷水冒砂区,17#孔在 50 m 及 57 m 处发生了两次跌钻,跌钻深度分别为 1.4 m 和 0.7 m,19#在孔深 56 m 处发生了 1.3 m 的跌钻。对它们分析如下: 17#:跌钻溶洞处变温幅度和电导的变化幅度都很大,没有垂向流干扰时在 49 m 的温度为 23,而在 59 m 处的温度为 21.9,二者相差了 1.1。看垂向流的分布,垂向流仅在深 40 m 以上地层存在,且在江水上涨时向上流,这说明溶洞中的漏水量极大,上覆松散层水不是溶洞水的补给来源,也说明溶洞水直接与江水相通,存在基岩渗漏通道。

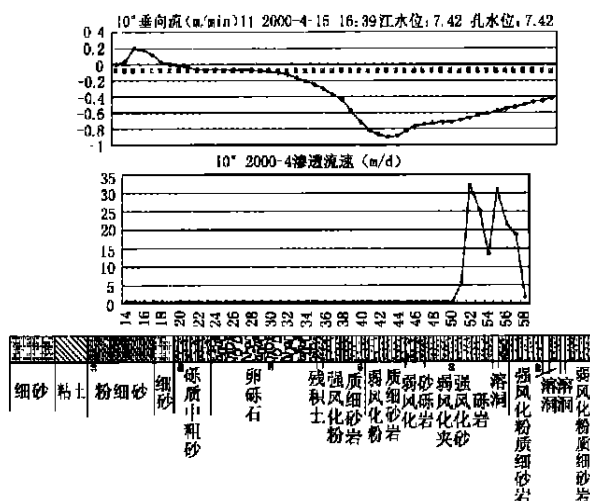


图3 10[#]孔中岩芯、渗透流速、垂向流随孔深的分布图

19[#]: 溶洞处低温低电导, 且最大渗透流速超过 20 m/d; 从电导看, 孔深 20 m 以下的地层都受到低电导的江水的补给。江水水位上升时地下水平均流向 N70°E, 正好流向管涌区。该孔孔深 101 m, 据岩性分析, 存在多层砾岩夹层, 其孔底即位于砾岩夹上层上, 估计是强透水带, 由于种种原因, 未能测得垂向流和流向数据, 但有温度和电导数据, 为相对的高温低电导区。高温的存在说明, 孔底水源于深部循环水。

3.3 堤内 12[#]、10[#]、7[#]、9[#] 孔附近渗流场特征

仅 10[#] 孔在成孔过程中发生跌钻, 孔深 55 m、61 m 和 62 m 处跌钻深度分别为 0.33 m、0.7 m 和 0.4 m。

7[#]: 该孔温度随着孔深的增加呈缓慢上升趋势, 在江水水位上升和下降过程中, 存在较小的垂向流, 说明该孔受基岩地下水影响较小, 渗流不活跃。

9[#]: 虽在 -6 m 以下温度略呈下降趋势, 但温度比 7[#] 孔高 2 °C, 显然该孔的补给来自下部, 它可能与深层的水有关。

12[#]: 温度随孔深也呈上升趋势, 但在江水涨落时孔中存在垂向流, 说明该孔的渗透性较 7[#] 强。

10[#]: 位于喷水冒砂区与 19[#]、17[#] 孔之间, 跌钻溶洞处低温低电导, 且渗透流速是所有 25 个孔中最大的(图 3)。江水水位下降时溶洞处地下水平均流向为 250°, 与江水位上升时 19[#] 孔溶洞处地下水流

向相对应, 两孔在江水位升降时垂向流活跃, 这说明 10[#] 和 19[#] 两孔的溶洞之间是相连的, 它们构成了基岩强渗漏通道。

另外, 探测发现 19[#]、10[#] 以及 9[#] 等孔底部水温 24 °C 以上, 为相对高温水, 其分布走向与基岩地下水的补给方向大体一致, 且又通向喷水冒砂区, 疑存在更深的地下渗漏通道, 是发生喷水冒砂的直接原因。

为证实存在 19[#]—10[#]—喷水冒砂区基岩深部地下渗漏通道, 且是发生喷水冒砂的直接原因, 结合地下水流向规律, 即退水时 10[#] 孔有向下的垂向流, 进行了在 10[#] 孔投盐后随即在其他各孔观测电导变化的连通试验, 并获得成功。只有 19[#] 孔 6 小时后即从孔底首先发现电导的明显增加, 最高时达投盐前电导背景值的 5 倍以上, 最后又回到投盐前的背景值。后来, 经航测部门对航测资料的认真解译, 发现在 19[#]—10[#]—喷水冒砂区的基岩中确实有一条一定规模的断层。至此, 北江大堤石角段渗漏管涌的真正原因真相大白。这说明用综合示踪方法探测堤防复杂渗流的方法是行之有效的, 值得推广应用。

4 结 论

应用示踪(包括同位素示踪和天然示踪)技术研究地下水渗流场是一种行之有效的方法, 并在许多工程中取得成果。北江大堤石角段水文地质条件比较复杂, 不仅松散层透水性强, 而且基岩中溶洞、溶孔及溶蚀裂隙等非常发育, 它们或孤立存在或相互连通, 使基岩透水性具有明显的不均匀性, 而存在的断层又是基岩的集水通道, 其流量流速大, 成为喷水冒砂的主要原因, 这是应用示踪技术解决堤防复杂渗流最成功的例子。

[参考文献]

- [1] 刘光尧. 用放射性同位素测定含水层水文地质的方法[J]. 勘察科学技术, 1997(1): 21~27.
- [2] 陈建生, 等. 同位素示踪方法测定地下水及含水层参数[J]. 水文地质及工程地质, 1991, 18(6): 57~61.
- [3] 刘光尧, 陈建生. 同位素示踪测井[M]. 江苏科学技术出版社, 1999(10).

DETECTING OF COMPLICATED EMBANKMENT FOUNDATION INFLUENT BY THE COMPREHENSIVE LABELLING METHOD

L IU Jian - gang, CHEN Jian - sheng, CHEN Liang

(Civil Engineering College of Hehai University, Nanjing 210024)

Abstract: Paper analyses the seepage field in Shijiao 7 + 140 ~ 7 + 430 dike of Beijiang by application of the techniques of isotopic tracer and natural tracer, points out that there are some central seepage roads in the rock, and that is why the piping often occurs in blood.

Key words: BEIJANG dike, temperature and conductivity, vertical flow, connection test