

堤坝管涌渗漏持续线热源模型研究

Study on Line-Heat-Resource Model on Piping Leakage of Dam and Dyke

董海洲/DONG Hai-zhou, 陈建生/CHEN Jian-sheng

河海大学科学研究院, 南京 210098

Research Academy, Hehai University, Nanjing 210098, China

[摘要] 地下水的渗漏会影响地层正常温度分布,使钻孔温度曲线发生异常变化。堤坝的管涌渗漏通道可看作是一个持续作用的线热源,通过研究管涌渗漏水对地层温度的影响,利用热源法的原理建立了管涌渗漏的持续线热源模型。工程实例的计算表明,利用该模型可以得到管涌通道的渗透流速,评价地层的渗漏特性。

[关键词] 传热学,线热源模型,堤坝,管涌渗漏通道

[中图分类号] P753, P731.22

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)02-0050-03

Abstract: Leakage of groundwater will influence strata normal temperature distribution and generate the abnormality on temperature curve. The piping leakage passage can be regarded as a continuous line heat resource. Through studying the influence of piping water on strata temperature, a continuous line-heat-resource model is proposed by using the heat resource theory. Verified by an example, the model can be used to get the leakage velocity of piping passage and estimate the permeability of strata.

Key Words: heat transfer, line-heat-resource model, dam and dyke, piping leakage passage

CLC Numbers: P753, P731.22

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)02-0050-03

1 引言

管涌渗漏是影响堤坝安全的重要因素之一,由管涌渗漏所致的溃堤、溃坝事件在历史上屡见不鲜,如长江堤防险情中基础的管涌渗漏不仅出现频率高(在所有的险情中,基础管涌约占一半),而且极易导致大堤的溃决^[1]。因此,集中渗漏通道研究对于堤防的安全非常重要。

在许多情况下,水的温度是调查水库渗漏的一种极好的示踪剂。因为地层温度分布是有规律的,其上部易受气温的影响而出现波动,而下部则一般随深度增加而温度上升。地下水渗漏会对这种正常的温度分布产生影响,使其温度曲线发生异常变化,所以,通过对地下水温度场的研究可以得到地下水渗流场的有关信息。周志芳等^[2]分析了河流峡谷区地下水温度异常特征,定性研究了区域地下水的渗流状况。张键等^[3]根据盆地地温场分布特征与地下流体活动规律的关系,利用井温资料估算出地下水的运移速度。

本文将堤坝的管涌渗漏通道看作是一个持续作用的线热源,通过研究管涌渗漏对地层温度的影响,利用传热学中热源法的原理建立了管涌渗漏的持续线热源模型。

2 方法和试验过程

2.1 持续线热源模型的建立

设地层初始温度为常数 t_i , 一条通过点 (x', y') 平行于 z 轴的管涌通道作为线热源,从时间 $\tau=0$ 起持续地释放热量,发热率为 $q_l(\tau)$ [W/m] (参见图 1)。

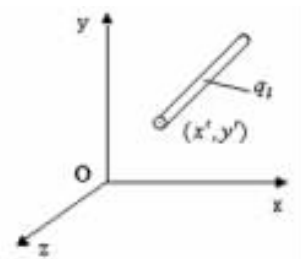


图 1 线热源示意图

Fig. 1 Sketch of line heat resource

则时刻 t 该线热源在地层中引起的温度场是 $0 \sim \tau$ 时间内顺序发热的无穷多瞬时线热源共同作用的结果。线热源在地层中引起的过剩温度为^[4]:

$$\theta(R, \tau) = \frac{1}{4\pi a} \int_0^\tau \frac{\phi_l(\tau')}{(\tau - \tau')} \exp\left[-\frac{R^2}{4a(\tau - \tau')}\right] d\tau' \quad (1)$$

式中 $\theta(R, \tau')$ 为地层中过剩温度($^{\circ}\text{C}$); a 为地层导热系数(m^2/s); R 为点 (x, y) 与线热源之间的距离(m), $R^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2$; $\phi_l(\tau')$ 为持续线热源强度($^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), $\phi_l(\tau') = \frac{q_l(\tau')}{\rho c}$, 其中 ρ 为管涌水密度, c 为管涌水比热($\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)。

若线热源功率 $q_l = \text{常数}$, 则 $\phi_l = \text{常数}$, 引进新变量 $\eta = R^2/[4a(\tau - \tau')]$, 式(1)变为:

收稿日期: 2005-06-24

基金项目: 中国博士后科学基金和江苏省博士后科研资助计划项目

作者简介: 董海洲,男,江苏省南京市西康路1号河海大学科学研究院,讲师(在站博士后),研究方向为同位素水文学及地下水渗流;

E-mail: donghzh@hhu.edu.cn

陈建生(通讯作者),男,河海大学科学研究院,教授,研究方向为同位素水文学及地下水渗流; E-mail: jschen@hhu.edu.cn。

θ(R,τ)=−q_l4πλEi(−R²4πλτ) (2)

式中−Ei(−x)=Ei(x)=∫_x[∞]1ηexp(−η)dη
=∫₁[∞]1ξexp(−xξ)dξ

称为指数积分。

对于大的τ值,式(2)可近似为:

θ(R,τ)=q_l2πλ(ln1R+12ln(4aτ)−γ2) (3)

式中γ=0.5772……称为欧拉常数。

2.2 热源强度的确定

设管涌水温为T₁,管涌通道半径为r₁;线热源在一段时间内持续发热,长度方向无温度差,则可设在地层中半径r₂处,达到岩体原始温度T₂(如图2所示)。

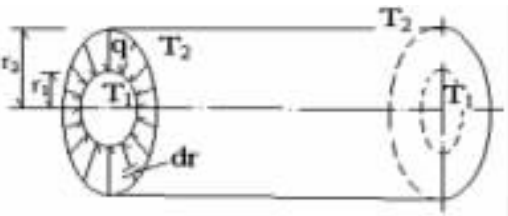


图2 吸热线热源热流示意图

Fig.2 Sketch of negative heat flow of line resource

则长度为l的线热源在径向的热流量为^[4]:

Q=2πλ(T₂−T₁)ln(r₁/r₂) (4)

设管涌水的渗透流速为v,则由上式可得线热源的发热率:

q_l=2πλv(T₂−T₁)ln(r₁/r₂) (5)

联立(3)、(5)两式,可求出管涌水流速的表示式:

v=θ(R,τ)ln(r₁/r₂)ln1R+12ln(4aτ)−γ2−1(T₂−T₁) (6)

2.3 现场实例

广东北江大堤石角堤段历史上曾发生过多严重次的管涌,甚至溃堤。石角段堤基下松散层厚度为28~30 m,从上到下分布了粘土层(厚2.9~8.0 m)、细中砂层(厚6~15 m)、中粗砂及砾质粗砂层(厚约2~8 m)及连续分布的砂卵石砾石层(厚7~8 m,局部超过10 m)。基岩以棕红色粉质细砂岩为主,间夹灰白色的砂砾岩和砾岩,泥质和钙质胶结,含灰岩砾岩。

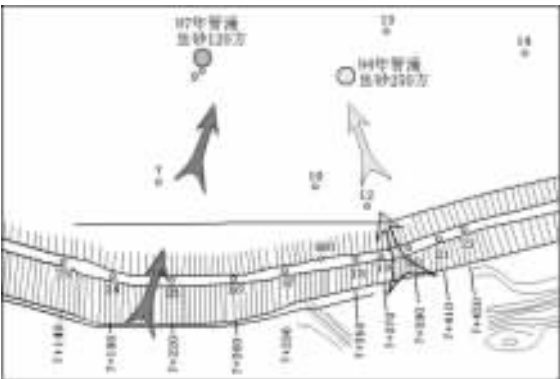


图3 北江大堤石角段管涌通道示意图

Fig.3 Sketch of piping passage at Beijiang Dam Shijiao Section

1991~1993年间,对石角段内的5.3km堤坝进行了高喷灌浆处理,处理深度为基岩下1 m。但在1994年6月的50年一遇和1997年7月的20年一遇洪水时,在距堤脚近140 m和150 m的莲藕塘和啤酒厂一带发生严重的喷水、冒砂现象。1994年冒砂250 m³,1997年冒砂120 m³(参见图3)。通过环境同位素分析,已经证实石角段的“管涌”来自于基岩断裂渗漏通道^[5]。

位于管涌通道附近的19#孔在孔深56 m处曾发生了1.3 m的跌钻,经同位素示踪探测跌钻处对应的渗透流速最大。从钻孔温度曲线来看,空洞附近存在低温谷,主要受低温河水渗漏的影响(见图4)。

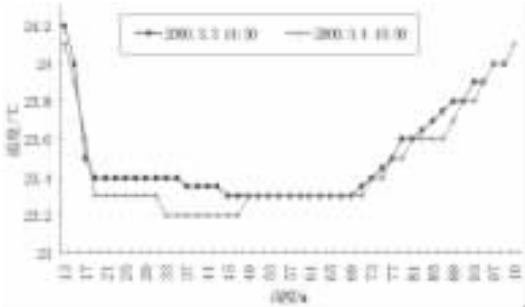


图4 19#孔温度曲线

Fig.4 Temperature curve in 19# borehole

从图4可以看出,可将49~69 m孔段视为一个集中渗漏通道,通道中心在59 m深处。在2000年3月3日14:30和3月4日15:30两次测量中,此孔段的温度不变,而该孔段的上部和下部第2次测量的温度都低于第1次,可作为吸热线热源来进行计算。在2次测量期间江水位和孔水位变化都不大,因此可近似认为2次测量时渗透流速未发生变化,管涌通道为一个持续的线热源。因为受地层岩性等多种因素的影响,温度曲线上管涌通道两侧温度并不是对称的。

在97 m深处两次测量温度趋于一致,可认为此处已不受渗漏水影响,为岩体原始温度,即r₂=38 m,T₂=24℃。计算深度内岩性为砂岩,根据文献[4]取其导热系数为a=4.5×10⁻³ m²/h。利用深度为21~47 m的2次温度分布计算集中渗漏通道的流速,计算结果参见表1。

表1 管涌渗漏计算数据

Tbl. 1 Calculation data of piping leakage

深度(m)	温度 2000.3.3 14:30	温度 2000.3.4 15:30	管涌水 流速v (m/d)	流速平均值 (49~69 m 孔段) (m/d)	实测平均值 (49~59 m 孔段) (m/d)	实测平均值 (49~69 m 孔段) (m/d)
21	23.4	23.3	3.1			
23	23.4	23.3	3.2			
25	23.4	23.3	3.2			
27	23.4	23.3	3.3			
29	23.4	23.3	3.4			
31	23.4	23.3	3.5			
33	23.4	23.2	7.1			
35	23.4	23.2	7.4	4.9	11.8	6.3
37	23.35	23.2	5.7			
39	23.35	23.2	5.9			
41	23.35	23.2	6.2			
43	23.35	23.2	6.6			
45	23.3	23.2	4.7			
47	23.3	23.2	5.1			

应用放射性同位素示踪方法^[6]在19#孔中探测出的渗透流速分布见图5。

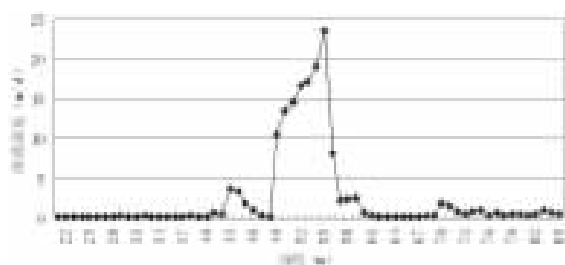


图5 同位素探测19#孔渗透流速分布

Fig. 5 Velocity distribution in 19# borehole, detected by isotope tracer technique

从图5可以看出,同位素实测的渗透流速在49~69 m孔段的平均值为6.3 m/d,与计算值较为吻合。在线热源模型的计算中可根据温度曲线近似地确定管涌通道的位置和半径。由于孔水流动及地层岩性等因素影响,可能与真实的管涌通道情况有偏差,但这并不影响模型的应用,因为所计算出的渗透流速仅表示该处的平均渗透性。如本例中将49~69 m孔段作为线热源位置,而根据同位素示踪实测的数据来看,其管涌通道在49~59 m孔段,该段实测流速平均值为11.8 m/d,近似为计算值4.9 m/d的2倍,这是由于计算所取半径大了1倍的缘故。而且,从渗流量计算来看,两者计算出的堤坝渗流量是趋于一致的。

3 结论

因为热的传导特性,即使钻孔未准确地布置在管涌通道或其它地下渗水构造的位置,渗漏水仍然会影响钻孔温度分布,产生温度异常现象。本文建立的持续线热源模型就是利用钻孔温度曲线上的异常,得到管涌通道中地下水的流速,进而评价其地层的渗透性。

堤坝管涌渗漏是一个重要的研究课题,查明管涌通道的渗流特性对堤坝安全至关重要。实践证明由温度分布研究堤坝的渗漏是可行的。温度分析以其准确、便于测量、经济的优点,具有很好的应用前景。

参考文献(References)

- [1] 李端有,陈鹏霄,王志旺. 温度示踪法渗流监测技术在长江堤防渗流监测中的应用初探[J]. 长江科学院院报, 2000, 17(增刊): 48-51.
- [2] 周志芳,王锦国. 河流峡谷区地下水温度异常特征分析[J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 62-65.
- [3] 张键,葛社民,许鹤华,等. 利用井温分布估算鄂-琼盆地地下流体运移速度[J]. 地质力学学报, 2000年, 6(2): 1-5.
- [4] 林睦曾. 岩石热物理学及其工程应用 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.
- [5] 陈建生,董海洲,陈亮. 采用环境同位素方法研究北江大堤石角段基岩渗漏通道[J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 57-61.
- [6] 刘光尧,陈建生. 同位素示踪测井[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1999.

(责任编辑 王 芷)

· 科技动态 ·

国防科工委发布 2005 年国防科技工业 10 大新闻

1月26日,国防科工委办公厅举行新闻发布会,发布了“2005年度国防科技工业10大新闻”。①“神舟六号”载人航天飞行圆满成功,百名功臣受表彰。2005年10月12日上午9时,“神舟六号”载人飞船发射升空,在环绕地球飞行5天后其返回舱于10月17日按照预定计划完整、准确地返回预定地区。“神舟六号”载人航天飞行的圆满成功,是我国载人航天工程“三步走”战略进入第二步的重要开局,标志着我国在发展载人航天技术方面取得了又一个具有里程碑意义的重大胜利。100名“中国载人航天工程突出贡献者”受到人事部、国防科工委、总装备部联合表彰。②造船完工量突破1200万载重t,连续11年位居世界第三。2005年全国造船完工量首次突破1000万t,达到1200万载重t,与国际造船大国的差距大幅度缩小,造船完工量连续11年位居世界第三。③总部设在北京的亚太空间合作组织正式签约。2005年10月28日,来自孟加拉国、中国、印度尼西亚、伊朗、蒙古、巴基斯坦、秘鲁、泰国等8个国家的政府代表在北京正式签署了《亚太空间合作组织公约》,标志着创建亚太空间合作组织取得了重大进展。④张立同科技创新团队荣获国家技术发明一等奖。2005年3月28日,在国家科学技术奖励大会上,西北工业大学张立同院士领导的科技团队完成的“耐高温长寿命抗氧化陶瓷基复合材料应用技术”荣获2004年度国家技术发明奖一等奖,改变了该

奖项连续6年空缺的局面。张立同院士领导的科技团队被国防科工委授予“国防科技工业优秀科技创新团队”荣誉称号。⑤首座商用重水堆核电站——秦山三期核电站工程通过国家竣工验收。2005年9月22日,秦山三期(重水堆)核电站以全部104个单项工程100%的优良率顺利通过国家竣工验收,标志着中国和加拿大两国最大的合作项目的建设阶段顺利完成。与国际同类33座重水堆核电机组相比,秦山三期设计最新、质量最好、进度最快、投资最省。⑥新支线飞机研制取得重要进展,民用飞机成功开拓国内外市场。我国具有自主知识产权的新型涡扇支线飞机ARJ21研制取得重要进展,完成全部结构设计发图,研制重点从工程设计全面转入试制阶段,市场开拓取得成效,已累计签订35架合同、6架意向协议。“新舟”60实现多国小批量出口,共签署17架飞机出口合同,已交付3架;中巴合资组装的ERJ145喷气支线客机继交付6架后,又签订了10架销售合同;小鹰500轻型多用途飞机取得中国民航型号合格证,签订35架合同、6架意向协议。⑦全面提升造船能力,新型造船基地相继开工。2005年6月3日,中国船舶工业集团长兴造船基地正式开工,它是新世纪以来国务院批准的第一个大型造船基地建设项目,计划在2015年前建成7个大坞,实现造船能力800万t。同年11月22日,中国船舶重工集团青岛海西湾基地大造船项目正式开工,一期项目完工后,

将形成年造船200万t、修船200余艘的能力,经过项目扩建,年造船能力将达到468万t。⑧发挥军工优势,服务北京奥运。中国兵器装备集团公司研制生产的“三角牌”运动弹在北京奥组委举行的北京奥运会比赛用弹鉴定中名列第一,标志着历时3年的奥运枪弹项目胜利完成。该项目的完成彻底改变了长期以来国家射击队在国内外重大比赛中使用国外枪弹参赛的历史。中国航天科工集团所属航天建设集团以代建制的方式承接了奥运会垒球场的建设工程。⑨国防科工委颁布《武器装备科研生产许可实施办法》。2005年5月27日,国防科工委颁布了《武器装备科研生产许可实施办法》。《办法》的实施对于建立健全武器装备科研生产许可机制和管理监督机制,推进武器装备科研生产市场准入工作的科学化、制度化,营造适度竞争的市场环境,优化竞争主体,规范市场行为,推动军民结合、寓军于民国防科技工业新体系建设具有重大意义。⑩国防科技工业积极参与松花江流域污水治理。2005年11月,松花江流域发生重大水污染事件。哈尔滨工业大学充分利用其独特的市政环保专业优势,组织专家开展科研和工程攻关,为哈尔滨市解决水污染问题发挥了重要技术保证作用;中国兵器工业集团及时分别为哈尔滨市和松花江下游俄罗斯流域水污染治理各提供了1000t柱状净水活性炭。

(本刊通讯员 冉露阳)