

数值法计算预测山岭隧道裂隙岩体涌水量的应用研究

毕焕军

(铁道第一勘察设计院,陕西西安 710043)

Application of Numerical Method in Calculating Water Flowing Amount of Crevassed Rock Mass in Mountain Tunnels

Bi Huanjun

摘 要 应用数值法预测山岭隧道裂隙岩体涌水量,将复杂的水文地质问题,分解、转化为几类较典型的水文地质问题进行分析求解,编制计算机流程框图进行计算。根据工程实例,建立数学模型,预测涌水量。

关键词 数值法 预测 裂隙岩体 涌水量

在隧道涌水量的预测方面,水文地质计算方法主要有地下水动力学法、地下径流模数法、大气降水入渗法、水文地质类比法和水文地质数值法等,采用较多的是地下水动力学法。地下水动力学法的基础由裘布依假定理论演变而来,边界限制条件较多,在工程建设中往往受地形、人力、物力、财力等诸多因素影响,预测精度受到限制。水文地质数值法不受含水层介质类型、初始水头等条件限制,把一个较为复杂的问题分解成几类较典型的水文地质问题进行一一求解,已成为解决复杂地区水文地质问题的有效方法。

收稿日期 2006-12-28

作者简介:毕焕军(1964—),男,1987年毕业于成都地质学院水文地质与工程地质专业,工学学士,高级工程师。

同时,各种预报方法对不同地质体的探测又存在灵敏度不同的特点,例如,对于规则断面的预报,如断层构造、软弱界面等,TSP具有良好的预报效果;对于溶洞等空穴,地质雷达的探测精度比较高,但对于地下水的预报,目前还没有一种比较理想的仪器方法。

高分辨率直流电法仪在隧道施工超前地质预报中的应用,特别是在对地下水预报方面,为超前地质预报提供了一种新的尝试,也取得了一定的成绩,但仍存在很多不足。

该方法在煤炭系统中应用比较多,因而仪器设计的性能和配置及适应的工作环境,主要是满足矿井生产环

1 水文地质数值法计算裂隙岩体涌水量的原理

水文地质数值法包括有限元法、有限差分法、边界单元法和离散单元法等,其中以有限单元法应用得最为广泛。有限单元数值计算方法是利用剖分差值,用区域连续求解的初、边值条件建立混合的微分方程组,以近似解代替精确解。该方法适合于不规则边界条件及承压水、无压水含水层或二者共存,且不受含水层是否均质,初始水头是否水平等条件限制,在地下水渗流计算方面具有较大的优越性,其中以变分有限单元法最为常用。变分有限单元法又称瑞里—里兹(Rayleigh-Ritz)法,从变分原理出发,把微分方程的求解等价于求某个函数的极小值问题,再用剖分插值把求泛

境需要。在满足隧道施工生产环境需求方面,无论从硬件方面还是软件方面,还有许多需要改进和完善的地方,如设备的功率还不够大,探测的距离还不够长等。随着该项技术的不断完善和发展,高分辨率直流电法一定会在施工超前地质预报中发挥越来越大的作用。

参 考 文 献

- [1] 王梦恕.对岩溶地区隧道施工水文地质超前预报的意见[J].铁道勘察,2004,30(1)
- [2] TB10013—2004 铁路工程物理勘探规程[S]
- [3] TB10012—2001 铁路工程地质勘察规范[S]
- [4] TB10027—2001 铁路工程不良地质勘察规范[S]

函数的极小值问题划分成求解线性代数方程组,进而得到微分方程的近似解。这里以隧道区含水裂隙围岩介质地下水二维剖面渗流问题为例,对上述变分有限单元法计算隧道涌水量的原理进行分步阐述。

1.1 建立二维剖面渗流微分方程

一般情况下,隧道含水裂隙围岩介质地下水二维剖面渗流可由式(1)加以表述

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right] + q = S \frac{\partial h}{\partial t} & (x, z) \in \Omega, t > 0 \\ h(x, z, 0) = h_0(x, z) \\ h(x, z, t) = h_1(x, z, t) & (x, z) \in \Gamma_1, t > 0 \\ K_z h \frac{\partial h}{\partial x} \cos(n, x) + K_x h \frac{\partial h}{\partial z} \cos(n, z) - q = 0 & (x, z) \in \Gamma_2 \\ h(x, z, t) = z & (x, z) \in \Gamma_0, t > 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中 K_x, K_z ——渗透主方向的渗透系数/(m/d);

h ——地下水水头函数/m;

S ——储水系数;

q ——垂直方向补给量/(m³/d);

Ω ——渗流区域;

Γ_1 ——第一类定水头边界;

Γ_2 ——第二类定流量边界;

Γ_0 ——无压面;

n ——第二类定流量边界的外法线方向。

应用变微分有限单元法对上述定解问题进行求解。具体步骤如下:

①通过变分原理,将定解问题转化为泛函数 $E(h)$ 的极小值问题。

②将整个渗流区域 Ω 的泛函数 $E(h)$ 表示为各单元泛函数之和。

③求泛函数极小值。

④根据隐式差分对时间变量进行离散化。

⑤利用初始条件解出 Δt 步长的各节点水头值。

⑥检测降水漏斗自由水面边界 Γ_0 上各节点的水头值是否与节点位置高度相等,若不等,则用计算水头值代替其位置高度,建立新的渗流区域 Ω ,重复第②步以后的步骤,如此反复计算,直到降水漏斗自由水面边界 Γ_0 上各节点的计算水头值与其位置高度相等为止,并把此时的渗流区域 Ω 定为合理的计算渗流区域。

1.2 计算机流程框图的编制

有限单元法计算隧道涌水量过程极为复杂。可根据1.1的计算步骤编制程序,其计算机流程框图见

图1。

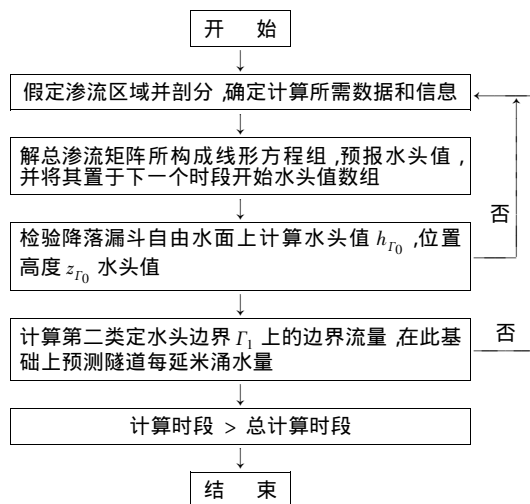


图1 变分有限单元法预测隧道涌水量计算流程

2 应用实例

有限单元法预测隧道涌水量的应用实例较多,下面仅对某特长隧道仙人岔断层涌水量进行应用预测。仙人岔断层为隧道区规模较大的断层,隧道开挖时出现大量涌水,这里对该断层涌水特征进行简述,并利用数值法进行涌水量预测计算。

2.1 断层特征

该断层出露在隧道进口段约3 km处,断层产状为N50°~60°W/70°~80°N,宽约120 m,为逆断层。断层带组成物质主要为碎裂混合片麻岩、断层泥及断层角砾,其间穿插有次火山岩脉。该断层对应地表位置为仙人岔沟,沟内常年流水,隧道埋深为198~225 m。

2.2 断层涌水特征及构造裂隙统计分析

该断层破碎带岩性以碎裂岩为主,泥砾带宽度仅5.0 m左右,节理裂隙极发育。隧道通过该断层出现股状、线状、淋雨状涌水,稳定涌水量为980 m³/d。

通过对断层破碎带的节理裂隙统计分析,平均每10 m范围内共测出节理裂隙96条,节理裂隙延伸长度0.1~2.0 m不等,基本呈微张状态。根据这些节理裂隙产状,按其走向作统计分析,可分为3组:

①N20°~30°E为一组,节理数为44条,占总数的45.8%。

②N45°~55°E为一组,节理数为20条,占总数的20.4%。

③N40°~60°W为一组,节理数为17条,占总数的17.7%。

不成组的 15 条 ,占总数的 15.6%。其中 NE 走向所发育的节理裂隙占总数的 82%。

根据应力场分析 ,仙人岔断层主应力方向为 N30°~40°E ,其伴生节理裂隙基本保持原有状态 ,后经多期构造运动影响 ,节理裂隙具有一定的张开性 ,为地下水的储存提供了空间和场所。通过对该处节理裂隙统计分析及渗透张量测量计算 ,岩体渗透系数 $K_x = 0.934 \text{ m/d}$, $K_z = 0.234 \text{ m/d}$ 。

2.3 有限单元数学模型的建立及涌水量计算

通过对断层节理裂隙量测及涌水特征的水文地质分析 ,该段涌水情况及现有参数满足数值法计算及定解条件。其水文地质边界条件属第二类边界条件 ,即定流量供水边界。根据既有钻孔资料并结合隧道涌水情况 ,建立断层带水文地质概念模型 :

- ①隧道裂隙岩体含水介质为均质、各项异性半无限含水介质。
- ②隧道通过区段与地表水体无直接水力联系。
- ③根据既有钻孔资料 ,含水层初始水位为 1 083.76 m ,隧道路肩高程为 907.76 m。其相对隔水底板的距离 ,根据实际勘测 ,定为路肩高程以上含水层厚度的一半 ,即含水底板高程为 819.76 m。
- ④根据渗透张量计算 ,水平及竖向渗透系数分别为 0.934 m/d、0.234 m/d。
- ⑤隧道开挖影响区地下水补给范围为隧道两侧各 500 m。

在此水文地质概念模型基础上 ,建立涌水量计算数学模型

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right] + q = S \frac{\partial h}{\partial t} & (x, z) \in \Omega \\ h(x, z, 0) = 1\,083.76 \text{ m} \\ h(x, z, t) = 1\,083.76 \text{ m} \quad x = 500 \text{ m} & (x, z) \in \Gamma_1 \\ h(x, z, t) = 907.6 \text{ m} \quad x = 0 & (x, z) \in \Gamma_1 \\ K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \cos(n, x) + K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \cos(n, z) = 0 & (x, z) \in \Gamma_2 \\ h(x, z, t) = z & (x, z) \in \Gamma_0 \end{cases} \quad (2)$$

对数学模型(2) ,应用变分有限元法进行求解 ,在有限元剖分计算中选择整个破碎带宽度进行计算。计算结果见表 1。

根据数值法计算结果 ,该断层涌水量为 1 099 m^3/d ,与实际涌水量 980 m^3/d 基本吻合。

表 1 涌水量的有限元剖分计算

项 目		内 容
含水层类型		潜水半无限含水层
节点数/个		220
单元数/个		336
地下水初始水位/m		1 083.76
隧道路肩高程/m		907.76
含水层底板高程/m		819.76
地下水补给半径/m		500
含水层渗透系数/(m/d)	K_x	0.934
	K_z	0.234
隧道每延米涌水量/($\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$)		9.16
涌水区段长/m		120
隧道稳定涌水量/(m^3/d)		1 099

3 结束语

隧道涌水量的预测计算是水文地质学科中一个重要的理论问题 ,也是隧道防排水设计和施工涌水预测中一个亟待解决的实际问题 ,迄今尚无成熟的理论和公认的准确计算方法。究其原因 ,主要为隧道涌水的复杂性和多变性 ,以及人们对现场水文地质条件认识的不完善。要解决这一问题 ,一方面应强调通过各种先进的勘察手段 ,尽可能获取涌水系统的重要信息 ;另一方面应提倡科学思维 ,用新的观念和新的理论来完善与充实隧道涌水的研究 ,本文所述就是这样的尝试。通过建立水文地质概念模型及数学模型对隧道涌水量预测 ,可以得出以下几点结论 :

- (1)通过对隧道十分复杂的水文地质边界条件的分析研究及地下水初始边界条件的分析确定 ,建立了适合条件的数值法计算涌水量数学模型。
- (2)通过对裂隙岩体节理裂隙的量测分析 ,利用渗透张量原理 ,计算岩体不同方向的渗透系数 ,提高了预测裂隙岩体涌水量的精度。
- (3)实例计算与隧道涌水量的比较 ,效果较为理想。可利用该方法对符合边界条件的隧道进行预测预报 ,提高预测精度。

参 考 文 献

[1] 杨立中. 渗透张量及其在长大隧道水害预测中的应用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1993

[2] 薛禹群. 地下水动力学原理[M]. 北京: 地质出版社, 1986

[3] TB10012—2001 铁路工程地质勘察规范[S]

[4] TB10049—2004 铁路工程水文地质勘察规范[S]

[5] 林宗元, 等. 岩土工程勘察手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993