

文章编号: 1000-7709(2003)02-0038-03

基于遗传算法探讨反求水文地质参数新方法

戴春华 徐军海

(河海大学 土木工程学院地质系, 江苏 南京 210098)

摘要: 提出了求解水文地质参数的遗传算法, 并将该方法应用于一地质模型中。结果表明, 只要给出待求参数的取值范围, 就可以搜索出全局最优参数值, 与其他确定水文地质参数的方法相比较, 该法具有较高的稳定性和可靠性。

关键词: 反演问题; 水文地质参数; 遗传算法

中图分类号: P64

文献标识码: A

1 概述

水文地质计算的反演问题即反求水文地质参数, 是正演问题的基础, 也是水文地质模型识别的核心内容, 它是根据控制方程给出的结构、目标函数 H 和 Q 在区域和边界上的部分信息或完整信息来确定方程的一个或多个或全部系数。控制方程中的这些系数常常表征介质的某种性质, 因此, 求解参数控制反问题的目标通常是推求介质的特性函数, 从而进一步推求介质的种类^[1]。求解水文地质参数的方法分为直接解法和间接解法。但无论是哪种解法, 最终都是把反演问题归结为最优化问题来求解, 即求一组满足一系列约束条件的参数, 使目标函数值最小。单纯形法、复单纯形法、牛顿法、最速下降法是几种常规的方法, 但除单纯形法和复单纯形法外, 其余方法都要求计算目标函数的偏导数, 这不但增加了计算量, 而且精度低。遗传算法是以决策变量的编码作为运算对象, 直接以目标函数值作为搜索信息, 找出全局最优解。同常规方法相比, 计算效率较高, 而且能够克服常规方法容易陷入局部极小点的不足, 有较强的稳定性和可靠性。

2 遗传算法

遗传算法(GA)是一类可用于复杂系统优化

计算的随机搜索法, 它是利用概率的随机摄动直接实现目标函数的优化而不要求导, 其核心包括三种基本操作: 选择、交叉和变异^[2]。其反演的具体步骤如下:

步骤1 编码和初始群体设定。用一定比特的 0, 1 二进制码对自变量进行编码形成基因码链, 每一码链代表一个个体, 表示优化问题的一个解。 $t=0$ 时, 随机产生 n 条基因码链形成一个初始种群 $P(0)$ 。

步骤2 评价。评价标准是遗传算法的一个重要方面。通常的评价标准是指目标函数与传统寻优方法的“适应度”, 因群体中每个个体代表一种决策, 所以将决策变量代入下面的模拟模型, 就可得到对应的目标函数值。

步骤3 选种。按一定概率从群体 $P(t)$ 中选取 M 对个体, 作为双亲用于繁殖后代, 一般每个个体被选中的概率与 F_i 成反比, 即 F_i 越小越适合于生存环境的优良个体将有越多的繁殖后代的机会, 从而使个体的优良性状获得遗传。

步骤4 杂交。将随机选中的双亲进行杂交, 最简单的方法是随机地选取一个截断点, 将双亲的基因码链在截断点切开, 然后交换其尾部, 由杂交产生的新染色体数仍为 n_0 。

步骤5 突变。以一定概率 P_m 从 n 条新产生的染色体中随机选取若干个体, 对选中的个体, 随机选择某一位进行取反运算, 即由 1 0 或由 0 1。

收稿日期: 2003-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50179510)。

作者简介: 戴春华(1979-), 男, 湖北黄冈人, 河海大学硕士研究生。

表 1 节点水头值随时间的变化

时段	节点								
	3	4	5	7	8	9	11	12	13
1	26 97	27 19	28 77	27 95	24 15	28 11	27 08	27 49	28 77
2	25 00	25 63	27 31	26 98	22 20	27 07	24 91	25 73	27 76
3	23 41	22 56	24 05	21 66	20 74	26 27	22 98	24 21	26 87
4	24 44	23 82	19 76	18 75	19 69	25 84	21 92	23 37	26 39
5	22 33	23 65	26 98	28 47	19 75	25 73	21 63	23 15	26 26
6	22 27	23 61	26 87	18 47	19 70	25 70	21 55	23 09	26 22
7	22 25	23 59	23 86	18 38	19 68	25 69	21 53	23 07	26 21
8	22 25	23 59	23 86	18 37	19 68	25 69	21 53	23 06	26 21
9	22 25	23 59	23 86	18 37	19 68	25 69	21 52	23 06	26 21
10	22 25	23 59	23 86	18 37	19 68	25 69	21 52	23 06	26 21

对新一代种群 $P(t+1)$ 继续进行评价、选种、杂交、突变, 如此循环往复, 直至最优个体的适应度达到某一既定值或最优个体的适应度和种群的平均适应度不再提高, 则迭代过程终止, 计算结束。

综上所述, GA 是一种自适应启发式、迭代式、概率性全局搜索优化算法, 它的主要特点是能同时对搜索空间中的多个解进行评估, 可任意设定其定义域, 并采用概率的变迁规则来指导它的搜索方向, 这些特点使它能够在反演水文地质参数计算中得到很好的应用。

3 实例

设有一方形含水层(图 1), 左侧与上侧为给定水位边界, 水位固定值为 30 m, 右侧为隔水边界, 单宽流量为 $0.01\text{ m}^3/\text{d}$ 。各边长 2 000 m, 含水层厚 10 m, 整个含水层是非均质的, 但可分为三个均质区。AEGD 是第一区, 渗透系数为 K_1 ; EFHG 为第二区, 渗透系数为 K_2 ; FBCH 为第三区, 渗透系数为 K_3 , 全区的贮水系数为 S 。初始流场稳定, 两抽水井位于 $W_1(1\ 000, 500)$ 和 $W_2(1\ 000, 1\ 000)$ 处, $t>0$ 时, 两井抽水量分别为 $Q_1=2\ 500\text{ m}^3/\text{d}$, $Q_2=3\ 000\text{ m}^3/\text{d}$, 三个均质区的渗透系数分别为 $K_1=15\text{ m/d}$, $K_2=25\text{ m/d}$, $K_3=55\text{ m/d}$, 贮水系数为 $S=0.000\ 1$ 。

本文反演水文地质参数所使用的评价模型为水流模拟模型和水位优化模型。在每一个均质区内, 假设水的密度为常数, 则水流模拟模型由二维各向同性地下水稳定流的运动方程可得:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(KH\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(KH\frac{\partial h}{\partial y}\right)+W=S\frac{\partial H}{\partial t}\tag{1}$$

式中, K 为渗透系数; H 为含水层厚度; h 为水头; W 为源汇项; S 为贮水系数。

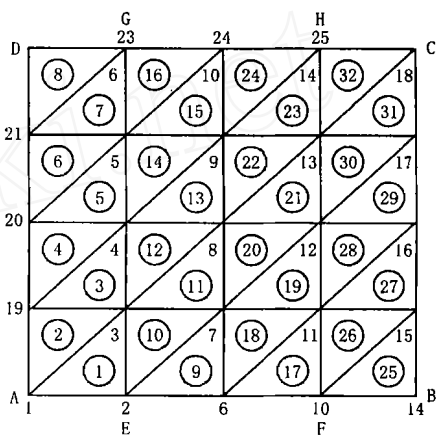


图 1 方形含水层

水位优化模型: 利用最小二乘法建立目标函数, 即使其在相应的约束条件下, 当 K_1 、 K_2 、 K_3 、 S 取值恰当时, 水位计算值与水位实测值之间的误差平方和最小^[3], 即有

$$E(K_1, K_2, K_3, S) = \sum_{j=1}^m [H_j(t_m) - H_j^c(t_m)]^2\tag{2}$$

约束条件: $5 \leq K_1 \leq 25, 10 \leq K_2 \leq 55, 20 \leq K_3 \leq 80, 0.000\ 01 \leq S \leq 0.001$

式中, $H_j(t_m)$ 、 $H_j^c(t_m)$ 分别为 t_m 时刻节点 j 的水位实测值和计算值。

用有限元法^[4]可求得在水位模拟模型中各节点的水头值随时间的变化, 表 1 列出了 3、4、5、7、8、9、11、12、13 等 9 个节点在 10 个不同时段 的计算值。现将表 1 列出的计算值当作水位实际观测资料, 再利用水位优化模型来反求水文地质参数 K_1 、 K_2 、 K_3 和 S 。运用遗传算法计算, 取初始群体为 50, $P_c=0.35$, $P_m=0.001$, 进化代数为 1 000 次, 费时 0.52 s, 所得结果为 $K_1=10.03$, $K_2=24.99$, $K_3=50.32$, $S=0.000\ 9$, $E=2.579 \times 10^{-3}$ 。与用单纯形法^[5]算出结果相比较 $K_1=10.11$, $K_2=24.52$, $K_3=50.76$, $S=0.000\ 88$, $E=$

4 213×10^{-3} 差别不大, 说明计算结果正确。由计算过程可知, 只要给出一定的参数范围, 适当地修改所求问题的优化准则函数, 就可以很方便地将遗传算法推广到其他水文地质参数的确定之中, 且计算结果精度较高, 比较客观。同时遗传算法不限制模型参数估计问题的具体形式, 它从多点出发可在大区域内作快速自适应并行搜索, 也可用于其他水文地质问题的参数估计。

4 结论

a 遗传算法计算效率高, 且能够克服常规方法容易陷入局部极小点的不足, 有较强的稳定性和可靠性。

b 遗传算法是一种近似算法, 其收敛速度、解的精度受控于该算法的某些参数的选取。

c 对于大规模、多变量的求解参数问题, 其收敛速度较慢, 计算时间长, 应考虑采用计算机的并行算法编制遗传算法程序。

参考文献:

- [1] 金忠青, 周志芳. 工程水力学反问题[M]. 南京: 河海大学出版社, 1997.
- [2] 陈国良, 吴正中. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- [3] 孙纳正. 地下水流的数学模型和数值方法[M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [4] 徐士良. FORTRAN 常用算法程序集[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
- [5] 谢敬东, 王 磊, 唐国庆. 遗传算法在多目标电网优化规划中的应用[J]. 电力系统自动化, 1998, 20(10): 20-22.

New Hydrogeologic Parameter Evaluation Based on Genetic Algorithm

DA I Chun-huang XU Jun-hai

(School of Civil Eng., Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: The solution of hydrogeologic parameters based on genetic algorithm is adopted in this article, at the same time, the method is applied to a geological model. The result shows that so long as the total range of the parameters is put forward, the optimal parameters can be searched. Comparing with other methods of determining hydrogeological parameters, it bears better stability and security and overcomes the shortages of routine method.

Key words: inversion problem; hydrogeologic parameters; genetic algorithm

(上接第 21 页)

参考文献:

- [1] 汝乃华, 牛运光. 大坝事故与安全·土石坝[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [2] 水利部. 碾压式土石坝设计规范 SL 274-2001[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [3] 刘 杰. 土的渗透稳定与渗流控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [4] 朱以文, 韦庆如, 顾伯达. 微机有限元前后处理系统 VIZICAD 及其应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 1993.

Re-analysis for Downstream Slope Sliding of Earth-dam on Siqing Reservoir

SONG Zi-long¹ SHI J iang-tao² YANG Zhuo¹

(1. Hunan Water Resource and Hydropower Research Institute, Changsha, 410007, China;

2. Chengdu Hydroelectric Investigation & Design Institute of SPC, Chengdu, 610072, China)

Abstract: The finite element model is established on the basis of the representative cross-section of the sliding slope, so the re-analysis program is compiled. With the help of the recent geologic prospecting data and soil test results, the computer search as for the sliding surface of the downstream sliding slope responding to the minimum safety factor. Then, the safety factor of this surface is supposed equal to 1.0. The mechanical factors ensuring the slope in steady state could be calculated through the method of re-analysis.

Key words: slope sliding; re-analysis; finite element; sliding stability