



文章编号:1006-7329(2002)06-0025-04

复合形优化方法在石刻岩体 渗流反演分析中的应用*

王桂林, 文海家, 汪东云

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:岩体渗流反演分析可利用最优化方法来寻找一组反映客观岩体渗流的参数,其实质是求解带约束的最优化问题,而复合形是解决带约束条件的非线性规划问题的一种比较简单、且易于实现的优化方法,文章介绍了将它与岩体渗流有限元数值分析相结合的岩体渗流反演方法的基本原理及过程,并利用这种方法在大足县顶山石刻岩体渗流中得到应用。通过反演分析表明,宝顶山石刻区上层渗流介质的渗透系数为1.0014 m/d,降雨入渗量为 1.0988×10^{-4} m/d,下层渗流介质的水平向渗透系数为44.994 m/d,竖向渗透系数为2.9472 m/d,具有明显的各向异性,计算结果符合实际。

关键词:复合形法; 岩体渗流; 反演分析; 石刻岩体

中图分类号: O221.2; P641.2

文献标识码: A

岩体渗流反演分析实质是解逆问题,其解法有直接法和间接法两种^[1]。由于直接法的不稳定性和对实测资料要求过高,故难以实际应用。而间接法利用正问题的解是适定的这一重要性质,把反演问题化为解一系列的正问题。其基本思路是先假定一组参数值作为初值,用数值法计算水头,求出实测值之间的误差,不断修改参数值,反复计算水头,直到水头的计算值和实测值很好拟合为止,此时相应的参数则为所求。

在反演分析中,根据研究的渗流区域内若干已知坐标值的水头值与观测值的误差,一般用最小二乘法建立目标函数^[2]:

$$E(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^m W_j (H_j^c - H_j^0)^2 \quad (1)$$

显然,我们的目的就是寻找一组反映客观岩体渗流的参数 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$,使目标函数趋于极小。寻找最优参数的方法,可以是人工的,也可以利用计算机。人工试算法工作量很大,而且在每次重复性试算中,由于缺少一个收敛的准则,因此整个参数调整过程中盲目性较大。为了克服人工调参的不足。人们提出了单纯形探索寻求最优解的方法,即化为最优化问题利用计算机自动调参。但是,单纯形法只适于求解无约束的最优化问题,而在具体调参计算中为避免出现纯数学最优解,往往要对参数加上一定的约束条件,把问题化为带约束的最优化问题。有约束优化方法包括复合形法、可行方向法和罚函数法等,其中复合形是解决带约束条件的非线性规划问题的一种比较简单、且易于实现的优化方法。

1 复合形优化方法的基本原理

复合形法是在求无约束极小的单纯形法基础上,推广到求解下列类型的有约束极小值问题的

* 收稿日期:2002-09-11

作者简介:王桂林(1970-),男,江西寻乌人,讲师,博士生,主要从事岩土工程及工程地质的教学与研究。

一种直接解法^[3]。

极小化 $f(x)$

满足于 $g_i(x) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m;$

$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u, i = 1, 2, \dots, n$

复合形法的基本思路是在可行域内构造一个具有个顶点的初始复合形。对该复合形各顶点的目标函数值进行比较,去掉目标函数值最大的顶点(称最坏点),然后按一定的法则求出目标函数值有所下降的可行的新点,并用此点代替最坏点,构筑新的复合形。复合形的形状每改变一次,就向最优点移动一步,直到逼近最优点。

由于复合形的形状不必保持规则的图形,对目标函数及约束函数的性状又无特殊要求,求极小时不需对目标函数用约束条件的导数。在设计变量较少的情况下,是一个收敛快、能有效处理不等式约束,且比较简单、灵活的方法,加之在寻优过程中检查了整个可行域,因此,所求结果可靠^[4]。

2 复合形优化方法与有限元数值分析相结合的程序实现

根据复合形法迭代步骤,可以编制如图1所示的反演分析程序框图。

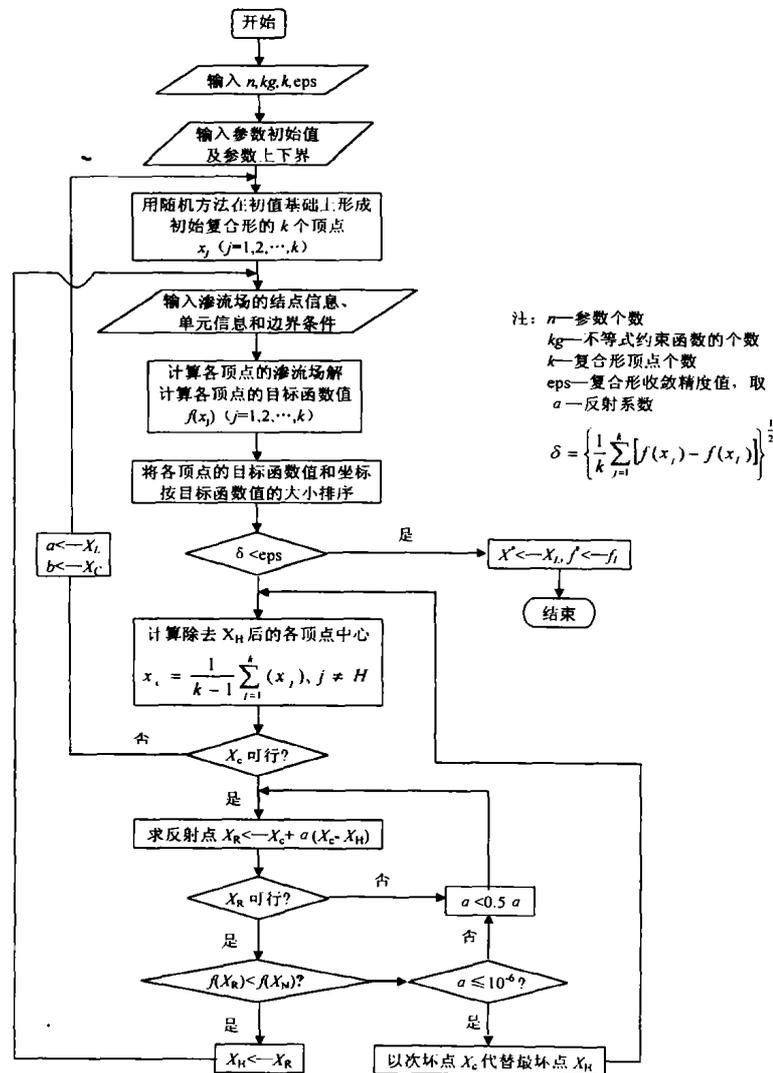


图1 基于复合形法的有限元反演分析程序框图

3 应用实例

重庆市大足县宝顶山石刻历经八百多年的风雨沧桑,产生了不同程度的风化破坏,其中最突出的问题是石刻岩体的渗水病害^[5,6]。根据石刻岩体含水性及水力特性笔者提出了石刻岩体渗流的概化模型,即石刻区岩体存在双层渗流,上层为石刻岩体上部砂岩顶板与泥岩底部接触带风化裂隙水渗流,下层为石刻岩体中部的构造裂隙水渗流,并建立了相应的数学模型^[7]。

石刻区内有井泉点(图2),并有长期观测资料,井泉观测水位值是石刻区岩体赋存地下水及表征岩体渗流特性的宏观反映,由井孔泉点的地下水位反求出来的渗流参数能反映石刻岩体渗流特性的平均值,选定典型条件下的井泉观测水位资料进行渗流分析是较为可靠的。

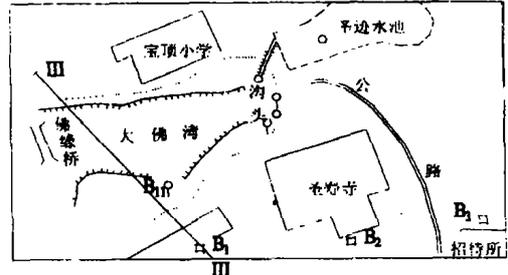


图2 石刻区内井绿点分布图

石刻区岩体上层渗流介质可视为似多孔介质,即 $k = k_x = k_y$,其渗流场为:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} [k(H - B) \frac{\partial H}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k(H - B) \frac{\partial H}{\partial y}] + \epsilon = 0 \\ H(x, y) |_{s_1} = H_1(x, y) \\ \frac{\partial H}{\partial n} |_{s_2} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: H 为水位标高; B 为隔水底板标高; k 为渗透系数; ϵ 为降雨入渗量。

石刻区上层渗流通过 B_2 井及 B_3 井,因此,反演分析的目标函数为:

$$f(x) = 0.5(H_{27}^c - H_{27}^0)^2 + 0.5(H_{34}^c - H_{34}^0)^2 \quad (2)$$

式中: H_{27}^c 、 H_{34}^c 分别是 B_2 井及 B_3 井的计算水头值; H_{27}^0 、 H_{34}^0 分别是 B_2 井及 B_3 井的实测水头值。

反演分析中输入的参数有渗透系数 k 及降雨入渗量 ϵ ,据当地地质、水文条件其约束条件为:

$$0 \leq k \leq 50$$

$$0 \leq \epsilon \leq 0.01$$

根据渗流反演复合形优化法程序,计算结果列于下表1,由结果可知,迭代次数仅为38次,石刻区岩体上层渗流的渗透系数为 1.0014 m/d ,降雨入渗量为 $1.0988 \times 10^{-4} \text{ m/d}$ 。

表1 计算结果

迭代次数	目标函数 计算次数	目标 函数值	参数值		井孔计算水位值(m)		井孔实测水位值(m)	
			$k(\text{m/d})$	$\epsilon(\text{m/d})$	B_2	B_3	B_2	B_3
38	120	0.4993	1.0014	1.0988×10^{-4}	502.85	503.83	503.38	504.68

石刻区岩体下层渗流介质为各向异性介质,考虑石刻区 III - III' 水文地质剖面的渗流情况(剖面位置如图2),并假定, $\epsilon = 0$,即其渗流场为:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial y} (k_y H \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z H \frac{\partial H}{\partial z}) = 0 \\ H(y, z) |_{s_1} = H_1(y, z) \\ \frac{\partial H}{\partial n} |_{s_2} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: H 为以隔水底板为参考点的水头; k_y 、 k_z 分别是该剖面 y 、 z 方向的渗透系数。

石刻区上层渗流通过 B_{11} 泉及 B_1 井,因此,反演分析的目标函数为:

$$f(x) = 0.5(H_1^c - H_1^0)^2 + 0.5(H_4^c - H_4^0)^2 \quad (4)$$

式中: H_1^c 、 H_4^c 分别是 B_{11} 泉及 B_1 井的计算水头值; H_1^0 、 H_4^0 分别是 B_{11} 泉及 B_1 井的实测水头值。

反演分析中输入的参数有渗透系数 k_y 、 k_z , 据当地地质、水文条件其约束条件为:

$$0 \leq k_y \leq 50$$

$$0 \leq k_z \leq 50$$

计算结果列于表 2, 由结果可知, 迭代次数仅为 21 次, 石刻区岩体下层渗流的水平向渗透系数为 44.994 m/d, 竖向渗透系数为 2.947 2 m/d, 两者比值为 15.267, 此层渗流介质各向异性明显。

表 2 计算结果

迭代 次数	目标函数 计算次数	目标 函数值	参数值		井孔计算水位值(m)		井孔实测水位值(m)	
			k (m/d)	ϵ (m/d)	B_2	B_3	B_2	B_3
21	87	4.43×10^{-5}	2.947 2	44.994	2.049 4	3.629 8	2.04	3.63

由上述计算结果可知, 将复合形优化方法与岩体渗流有限元数值方法相结合, 在反演分析中, 其迭代次数少, 结果也符合实际情况。

4 结语

1) 将复合形优化方法与岩体渗流有限元数值方法相结合, 在反演分析中具有收敛快、简单、灵活等特点, 且所求结果符合实际。

2) 通过反演分析表明, 宝顶山石刻区上层渗流介质的渗透系数为 1.001 4 m/d, 降雨入渗量为 $1.098 8 \times 10^{-4}$ m/d。下层渗流介质的水平向渗透系数为 44.994 m/d, 竖向渗透系数为 2.947 2 m/d, 具有明显的各向异性。

参考文献:

- [1] 钱孝星. 水文地质计算[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [2] 陈葆仁. 地下水动态及其预测[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [3] S.S. 雷欧. 工程优化原理及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1990.
- [4] 高荣. 广义优化设计[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [5] 汪东云, 张赞勋. 宝顶山石窟卧佛渗水病害形成原因分析[J]. 水文地质工程地质, 1992, 19(3): 25 - 28.
- [6] 汪东云, 刘东燕. 摩岩石刻文物保护防风化研究现状及深化方向[J]. 重庆建筑大学学报, 1997, 19(2): 106 - 112.
- [7] 王桂林, 汪东云, 张赞勋. 大足县宝顶山石刻区岩体渗流模型研究[J]. 重庆建筑大学学报, 1999, 21(2): 49 - 52.

(下转第 34 页)

参考文献:

- [1] GBJ 77 - 85, 钢筋混凝土筒仓设计规范[S].
- [2] H.G. 斯特列律斯基. 钢结构[M]. 北京: 高等教育出版社, 1954.
- [3] B.O. 古兹马诺瓦奇. N. 威廉斯. 钢结构设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 1984.

Discussion on Structural Design of Fly Ash Silo

LAI Zhen - xian

(Central Southern China Power Design Institute, Wuhan 430071, Hubei Province, China)

Abstract: In the view of engineering applications, two kinds of fly ash silo structures derived from its bottom shapes are highlighted as the type of flat bottomed and the type of hopper bottomed. It is focused on impacts of ash temperature upon the structure selection, structural material and the insulation/wearing properties of the material. Some suggestions are offered for the choice of heat insulation material and construction consideration. Some design experiments are summed up and design - schemes are recommended and the standard criteria are also presented for weight per vol. of the ash. Meanwhile, it is noted that careful attentions should be paid to and research is carried out on those topics, such as calculation of reinforced concrete circular beam, layout of hoop - beam upon the top of silo wall for the steel - structure fly ash silo type, etc.

Keywords: fly ash silo; structure; temperature; circular beam; ash hopper; thickness of plank; welding

(上接第 28 页)

Application of Complex Method for Reverse Analysis on Seepage of Carved Rock - mass

WANG Gui - lin, WEN Hai - jia, WANG Dong - yun

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Using optimization techniques, the actual hydraulic parameters of rock mass can be obtained in reverse analysis of rock - mass seepage. In fact this issue is an optimization problem with restraining conditions. The complex method is a simple optimization method, which is easy to be practiced. In this paper, the basic principle and process of the reverse analytical method, which combining the finite element method with complex method, have been introduced. By this method, the seepage parameters of carved rock - mass in Baodingshan Grotto area of Dazu County have been investigated. The results show that for upper seepage of carved rock - mass, the coefficient of permeability is 1.001 4 m/d, the rainfall infiltration is $1.098 8 \times 10^{-4}$ m/d and the horizontal and vertical coefficient of permeability is 44.994 m/d and 2.947 2 m/d respectively for lower seepage of carved rock mass.

Keywords: complex method; seepage of rock mass; reverse analysis; carved rock - mass