

文章编号: 1671-2021(2010)02-0225-07

岩土工程非线性优化反演模型 在 ABAQUS中的应用

贾善坡^{1,2}, 伍国军²

(1. 长江大学城市建设学院, 湖北 荆州 434023 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要:目的 针对常规反演方法应用于岩土工程参数反演时搜索效率低、计算量大的缺点, 提出了基于改进 Nelder-Mead算法的有限元优化反分析法, 为工程所需的计算参数提供参考。方法 基于混合罚函数法, 以测点的实测值与计算值建立误差函数, 将有限元程序 ABAQUS作为一个单独模块嵌入到改进的 Nelder-Mead算法中, 编制了优化反演分析程序。结果 给出了具体的应用实例, 结果表明, 改进 Nelder-Mead算法提高了参数的搜索效率, 用较少的迭代次数就能得到满足精度要求的结果, 是一种可行的参数反演方法。结论 笔者提出的优化反演方法具有很强的实用性, 可应用于实际工程中复杂岩土体初始应力场反演、渗流场以及位移反分析。

关键词: 岩土工程; 优化反演; 混合罚函数; 有限元; ABAQUS

中图分类号: TU454 文献标志码: A

随着监控量测技术和现代控制技术的发展, 岩土工程领域提出了基于实测的反演分析方法, 为岩土力学参数和地应力场的获取提供了新的途径。由于岩土材料的不均匀性, 通过试验手段确定岩土力学参数不仅代价高昂, 而且所得结果往往缺乏代表性, 难以满足数值分析的需要, 因此利用现场监测信息反演岩土力学参数是一种较理想途径并被应用于生产实践中, 日益成为岩土工程信息化设计与施工的核心环节。目前, 基于量测的反演分析主要在宏观尺度领域广泛应用, 如隧道和边坡的信息化施工; 水电站及地下工程的安全监控; 利用地基 GPS站网测定地壳变形; 岩体初始应力场和渗流场的获取; 监测滑坡灾害等。由于岩土体介质的非线性, 难以建立待反演参数与量测信息之间的显式关系, 目前主要采用正演优化反分析方法实现上述参数识别过程。但是, 优化反演法本身存在两个问题: 解的不适定性和计算量过大问题。不适定性主要表现在极小的观测误

差会引起反演结果的较大波动, 同时, 由于岩土介质的非线性特性, 满足有限观测信息的反演结果常常具有不唯一性。研究表明, 采用合理有效的数值方法和优化算法可以克服反演过程中的计算量过大和不适定性等问题^[1-6]。

笔者针对上述问题, 提出了基于改进 Nelder-Mead算法的有限元优化反分析法, 并基于混合罚函数法对反演模型进行了改进, 提高了计算效率。最后运用两个算例对此法进行了验证。

1 非线性优化反演模型

岩土工程反分析法是根据现场的监测数据反求岩土力学参数、初始地应力场或渗流场参数, 包括应力反分析法、位移反分析法、渗流反分析和混合反分析法。由于位移量测比应力和孔隙压力(或流量)量测更经济方便, 且获取监测数据更容易, 因此, 目前岩土工程中位移反分析应用最普遍^[7]。

收稿日期: 2009-10-10

基金项目: 国家自然科学基金重大国际合作项目(50720135906); 长江大学科研发展基金项目(801170010110)

作者简介: 贾善坡(1980-)男, 博士, 主要从事岩石力学与地下工程方面研究。

待求参数主要包括力学参数、初始地应力参数和渗流场参数。渗流场参数主要包括渗透系数和孔隙度等；材料参数主要包括为弹性力学参数、塑性参数、损伤参数或流变参数等。于是，待求参数可以表示为

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]^T, \quad (1)$$

式中： m 表示待求参数的总个数。

优化反演分析法致力于寻找使计算结果与观测结果之间的误差为最小的解答，须通过建立目标函数实现。考虑到平衡大小值之间作用和消除不同物理量的量纲，目标函数可以定义为

$$\phi(X) = \sum_{i=1}^n \omega_i [u_i^c(X) / u_i^m - 1]^2, \quad (2)$$

式中： n 为选取观测点的总数； ω_i 为第 i 个测点观测值的权重； u_i 为第 i 个测点的计算变形、应力或孔隙压力值； u_i^m 为相应的实测值。

岩土工程反演问题往往比较复杂，需要加一些约束条件才能保证解的稳定性和唯一。在保证待反演参数的取值在允许范围内的前提下，在数学上非线性优化反演模型可定义为

$$\begin{cases} \min \phi(X), X \in R^m \\ h_i(X) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, l \\ g_j(X) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, r \end{cases} \quad (3)$$

式中： $\phi(X)$ 为目标函数， $X = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m)^T$ ； $h_i(X)$ 是第 i 个等式约束函数； g_j 是第 j 个不等式约束函数； m 为待反演参数个数。

2 优化反演分析及程序实现

岩土介质是一种极为复杂的材料模型，弹塑性本构关系中的位移与初始地应力、材料参数间一般不是线性关系，目标函数的解析式难以显示表达，一般需要采用直接搜索方法。Nelder—Mead法是一种非常有效的方法，不必计算函数导数，该法只适于求解无约束的最优化问题，但可通过罚函数法将非线性约束最优化问题转化为无约束优化问题。

2.1 Nelder—Mead算法

假定待反演参数为 m 个，记为 x_1, x_2, \dots, x_m ，把一组参数看做是 n 维空间的一个点，取 $m+1$ 组参数，它们在 n 维空间代表 $m+1$ 个点 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_m$ ，这 $m+1$ 点构成一个单纯形，可取为

$$\begin{cases} X_0 = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m) \\ X_1 = (x_1 + \Delta x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m) \\ X_2 = (x_1 \ x_2 + \Delta x_2 \ \dots \ x_m) \\ \dots \\ X_m = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m + \Delta x_m) \end{cases} \quad (4)$$

用 Nelder—Mead法求解无约束优化问题的步骤如下：

① 选取初始单纯性，置 $k=0$

② 将单纯性 $m+1$ 个点按目标函数的大小编号，即

$$F(X_0) \leq F(X_1) \leq \dots \leq F(X_m)$$

③ 令 $X_{m+1} = \frac{1}{m} \sum_{j=0}^{m-1} X_j$ 若

$$\left\{ \frac{1}{n+1} \sum_{j=1}^n [F(X_j) - F(X_{m+1})]^2 \right\}^{1/2} \leq \epsilon$$

停止迭代并输出 X_0 ，否则转到步骤④；

④ 计算 $X_{m+2} = X_{m+1} + \alpha(X_{m+1} - X_m)$ ， α 为反映系数 ($\alpha > 1$)，若 $F(X_{m+2}) < F(X_0)$ 转步骤⑤，否则当 $F(X_{m+2}) < F(X_{m-1})$ 时转步骤⑥，当 $F(X_{m+2}) \geq F(X_{m-1})$ 转步骤⑦；

⑤ 计算 $X_{m+3} = X_{m+1} + \gamma(X_{m+2} - X_{m+1})$ ，若 $F(X_{m+3}) < F(X_0)$ ，令 $X_m = X_{m+3}$ ，转步骤②，否则转步骤⑥；

⑥ 令 $X_m = X_{m+2}$ ，转步骤②；

⑦ 令 $X_m = \{X_i \mid F(X_i) = \min(F(X_m), F(X_{m+2}))\}$ ，计算 $X_{m+4} = X_{m+1} + \beta(X_m - X_{m+1})$ ， β 为收缩系数 ($\beta \in (0, 1)$)，若 $F(X_{m+4}) < F(X_m)$ ，令 $X_m = X_{m+4}$ ，转步骤②，否则转步骤⑧；

⑧ 令 $X_j = X_0 + \theta(X_j - X_0)$ ， $j = 0, 1, \dots, m$ 转步骤②。

Torczon在 1989 年提出了 Multi-Directional Search 即 MDS 方法。这种方法优先考虑在最坏点和最好点的连线上展开搜索，在下次迭代时保留了当前迭代的方向，并且即使不再沿着此方向进行搜索，下次迭代时也保留了当前的最好点，这样不仅仅减少了计算的次数，还使搜索的精确度提高。笔者将 MDS 方法和 Nelder—Mead 算法相结合，对 Nelder—Mead 算法进行了改进^[8-9]，并开发了程序，该算法可以减少迭代次数并减少代入函数值次数。

2.2 混合罚函数法

罚函数法是解决约束优化问题的重要方法，经常采用的方法之一是在原来的目标函数上加上由约束函数组成的一个“惩罚项”来迫使迭代点逼近

可行域. 如何选取罚函数, 以加速迭代算法的收敛速度, 一直是约束优化问题研究的热点问题^[10].

结合外点罚函数的优点 (初始点可以任意选取) 和内点罚函数的优点 (可以求近似最优解), 构造了混合罚函数, 可用来求解同时含有等式约束和不等式约束的优化问题^[11-12]. 混合罚函数法求解约束优化问题的算法过程如下:

(1) 给定满足不等式约束的初始点 $X^{(0)}$ 、罚因子 $r_0 > 0$ 、缩小系数 $c < 1$ 及精度 $\epsilon > 0$ 置 $k=0$

(2) 根据式 (3) 构造增广目标函数 (误差函数);

$$F(X) = \phi(X) + \frac{1}{\sqrt{k}} \sum_{i=1}^l [h_i(X)]^2 + \sum_{j=1}^r \frac{1}{g_j(X)}$$

(3) 以 Nelder-Mead 法求解 $\min F(X)$, 若 $|X^{(k+1)} - X^{(k)}| < \epsilon$ 则停止迭代, 输出 $X^{(k+1)}$; 否则令 $r_{k+1} = cr_k$ 置 $k = k + 1$, 转步骤 (2).

为了加快混合罚函数的求解速度, 采用两点外插技术, 具体公式:

$$X^{(*)} = \frac{cX^{(k-1)} - X^{(k)}}{c-1} + c \left[X^{(k-1)} - \frac{cX^{(k-1)} - X^{(k)}}{c-1} \right]. \quad (5)$$

2.3 参数敏感性分析

参数灵敏性分析的目的在于计算系统参数对系统输出 (如岩土变形、应变或孔隙压力等) 的影响因子, 从而对系统参数进行筛选, 所得影响因子可用于后续参数估计. 参数的灵敏度就是当参数发生微小扰动时测点计算结果发生变化的程度, 用数学语言表达就是计算结果关于模型参数的偏导数. 参数灵敏性分析在岩土工程反演、模型修正和非确定性分析等方面得到了广泛的应用.

采用优化反分析方法时, 待反演参数越多, 反演参数的范围越大, 计算工作量就越大. 如果待反演参数过多, 会造成反演的困难甚至误差, 每增加一个反演参数, 所需的计算时间将大大增加. 因此, 在反分析前有必要对待反演参数进行敏感度分析, 确定出主要反演参数 (敏感参数) 和次要反演参数 (不敏感参数). 在反分析过程中重点考虑敏感参数, 而不敏感参数取为一个定值或较小范围, 这样就可极大程度地减少优化反演迭代次数, 减少计算工作量. 此外, 由于岩土力学参数灵敏度是空间坐标的函数, 因此, 对尚未布置观察点的工

程, 可以用于指导观察点的合理布置, 选择那些参数灵敏度较大的测点测值进行反演, 可以提高反演的效率与精度.

笔者在文献 [13] 中提出了用秩相关系数来评价水-力耦合参数灵敏度的方法, 实现了多因素敏感性分析, 结果表明, 黏聚力和弹性模量对于围岩塑性区变形影响较大, 而黏聚力和侧压力系数则对塑性区孔隙压力影响较大. 采用位移反分析时, 常将待辨识参数取为弹性模量、内摩擦角和黏聚力; 由于地层泊松比变幅很小, 对变形的影响比弹性模量小, 主要影响应力场分布.

一般情况下, 岩土工程有限元计算模型较大, 单元数量巨大, 计算量极为庞大. 笔者提出在减少待反演参数个数的基础上可再减小待反演参数的取值范围, 具体做法如下: 在进行整体模型参数反演前, 首先取包含典型监测部位的小模型进行反演, 参数取值范围按较大的范围 R_0 取值, 反演后得到参数值 X_0 , 然后对反演得到的每个参数值取一个较小的波动范围 R' , 即 $R' = (X_0 - \epsilon, X_0 + \epsilon)$; 最后, 将 R' 作为整体大模型的反演取值范围, 通过优化方法可以得到整体模型的反演参数值.

2.4 程序研制

基于上述介绍的反演模型和优化算法, 以 MATLAB 语言为平台, 将有限元程序 ABAQUS 作为求解器, 结合混合罚函数法以及 Nelder-Mead 算法, 编制了优化反分析程序. 具体实施步骤如下: (1) 在 MATLAB 程序中通过 system 命令调用 ABAQUS 进行计算; (2) 调用 ABAQUS 结果文件, 计算目标函数; (3) 应用 Nelder-Mead 算法, 对目标函数进行优化计算; (4) 在 ABAQUS 命令流文件中修正待反演参数. 反分析程序框图如图 1 所示.

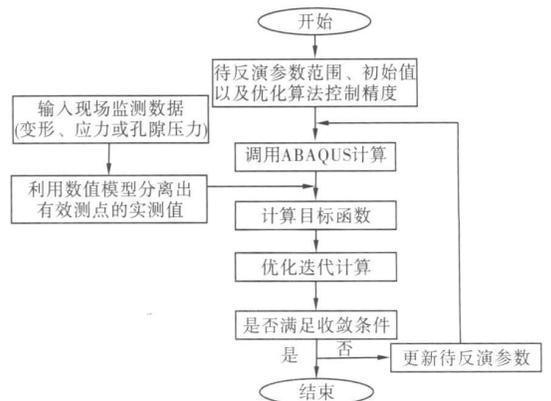


图 1 岩土工程优化反演程序框图

3 算例分析

为了验证笔者提出的优化反演方法及程序的正确性和可靠性,给出两个数值算例进行分析和验证.第一个算例采用位移反分析法反演岩土力学参数;第二个算例采用渗流反分析法反演岩体的渗透系数.笔者已将地应力反演模型用于具体工程^[8],获得了较满意的结果,在这里不再给出算例.

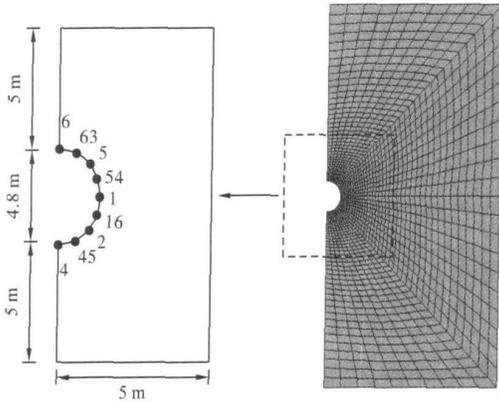


图 2 隧道开挖测点分布示意图

3.1 岩土力学参数反演

以软岩隧道开挖为例,开挖直径为 4.84 m,隧道轴线处的初始地应力为 2.25 MPa,孔隙水压力为 2.25 MPa,侧压力系数为 0.8.具体力学参数:重度为 21 kN/m³;弹性模量为 800 MPa;泊松比为 0.125;内摩擦角为 18°;黏聚力为 1.5 MPa;渗透系数为 1.1×10^{-12} m/s;孔隙度为 0.39.由于渗透系数小,可假定为不排水条件^[14-15],计算模型及测点分布如图 2 所示.

采用 Mohr-Coulomb 模型描述软岩的力学

表 1 待反演参数设置与反演结果

参数	弹性模量 /MPa	内摩擦角 / (°)	黏聚力 /MPa
反演区间	300~2 000	10~30	1.0~3.5
初始值	500	25	2.0
反演结果	798.223	18.2847	1.49055
真实值	800	18	1.5

测点的理论值与反演值的比较如表 2 所示,可以发现,测点变形的反演结果与理论值非常接近,相对误差均控制在 0.16% 以内.

3.2 岩体渗透系数反演

根据上述介绍的优化反演模型,以孔隙压力或流量为反演数据,可以反演出岩土介质的渗透

行为,对上述模型进行有限元计算,以通过有限元正算得到的围岩周边节点的理论位移值作为实测值实施反分析,待反演参数设置如表 1 所示,优化程序迭代了 91 次,调用 ABAQUS 计算 158 次,反演求解迭代过程曲线如图 3 和图 4 所示.

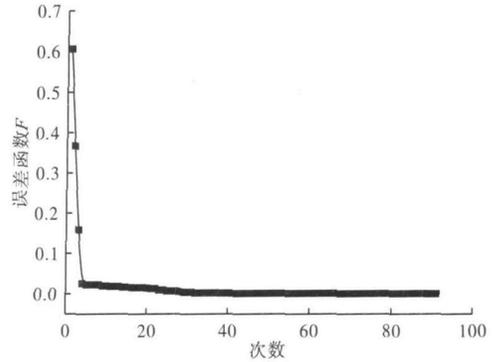


图 3 优化算法求解的迭代过程曲线

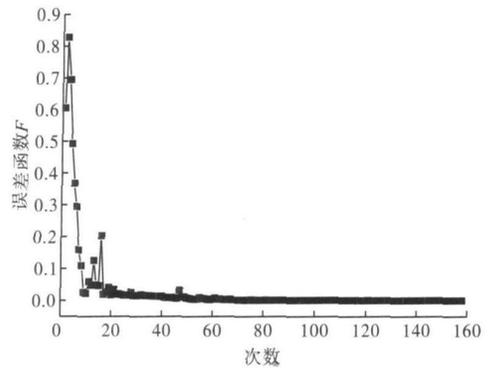


图 4 有限元求解的迭代过程曲线

待反演参数的反演结果如表 1 所示,反演结果与真实值接近,相对误差控制在 5% 以内;内摩擦角的反演结果较差,相对误差约为 1.6%,这也反映了该参数对围岩的变形不如其他两个参数敏感.

性参数.

对某水源地群井开采条件下的地下水渗流动态进行了数值模拟,所研究含水层的埋深为 160 m,厚度为 30 m,流体初始压力 P_0 为 1.4 MPa,最小水平地应力 σ_h 为 2.2 MPa,最大水平地应力 σ_H 为 2.8 MPa.

表 2 理论值和反演计算值的比较

测点	分项	理论值 / mm	计算值 / mm	误差 / %
6	垂向位移	-2.3563	-2.3568	0.0212
63	垂向位移	-2.2579	-2.2579	0
5	水平位移	-1.3142	-1.3138	0.0304
	垂向位移	-1.9079	-1.9070	0.0472
54	水平位移	-1.9122	-1.9099	0.1203
	垂向位移	-1.2198	-1.2190	0.0656
1	水平位移	-2.1592	-2.1558	0.1575
16	水平位移	-1.9236	-1.9210	0.1352
2	水平位移	-1.3311	-1.3304	0.0526
	垂向位移	1.4127	1.4114	0.0920
45	垂向位移	1.7718	1.7713	0.0282
4	垂向位移	1.8728	1.8729	0.0053

考虑区域内存在两个非均质区域(左、右两个区域), 模拟区域包括 1 口注水井、1 口抽水井和 6 口观测井, 井半径为 0.156 m, 注水井和抽水井流量均为 0.01 m³/s, 井位分布如图 5 所示。

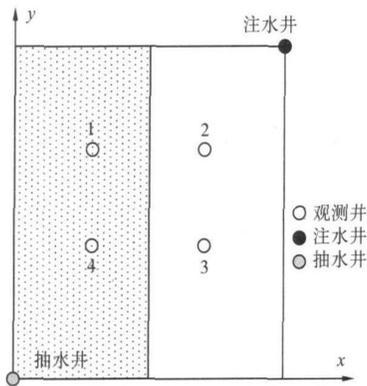


图 5 井位分布图

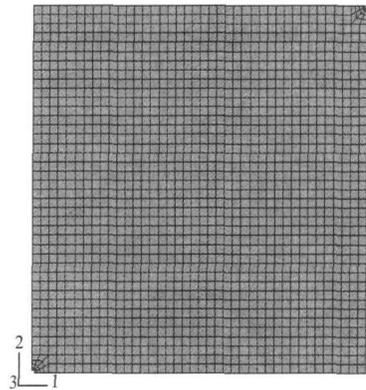


图 6 计算网格图

数值计算模型如图 6 所示, 模型 x 方向承受最小水平地应力 σ_h 作用, 模型 y 方向承受最大水平地应力 σ_H 作用, 假定边界为不透水, 计算模拟时间为 100 d 含水地层参数如表 3 所示。

表 3 含水地层力学参数

参数	弹性模量 /MPa	泊松比	孔隙率	左区渗透系数 / (m ² s ⁻¹)	右区渗透系数 / (m ² s ⁻¹)
数值	2.360	0.2	0.13	2.3×10^{-9}	6.8×10^{-10}

将抽水井及注水井当做定流量边界处理, 对该模型进行有限元计算. 计算出渗流场后, 将此渗流场视为“真实渗流场”. 取渗流 100 d 后 4 个观测井处的孔隙压力值作为实测值, 然后, 依据这 4

个“实测点”的孔隙压力值通过反演法获得地层的渗透系数. 通过比较, 可对笔者所提方法的合理性和精度做出判断。

表 4 100 d 后孔隙压力理论值和反演计算值的比较

观测井	理论值 /MPa	计算值 /MPa	误差 / %
1	1.3531	1.3534	0.0222
2	1.3897	1.3894	0.0216
3	1.3576	1.3576	0
4	1.3362	1.3364	0.0150

表5 待反演参数设置与反演结果

m/s

参数	左区渗透系数	右区渗透系数
反演区间	$1.01 \times 10^{-9} \sim 9.99 \times 10^{-9}$	$1.01 \times 10^{-9} \sim 9.99 \times 10^{-9}$
初始值	5.0×10^{-9}	5.0×10^{-9}
反演结果	2.2867×10^{-9}	6.9314×10^{-9}
真实值	2.3×10^{-9}	6.8×10^{-9}

优化程序迭代了123次,调用ABAQUS计算242次.表4和表5中的数据直观地反映了参数优化结果非常理想地收敛于理论值.通过该算例的反演结果可知,笔者提出的方法可用于含水层参数的识别和反演.

通过上述两个算例可以发现,改进的Nelder—Mead法局部搜索能力较强,反演参数的精度较高,该方法为岩土工程力学参数的辨识和确定提供了有效的途径,对于解决实际工程问题具有重要的意义.

4 结 论

(1)将改进的Nelder—Mead算法运用到岩土工程反分析中,基于混合罚函数法对反演模型进行了改进,编制了反分析程序,将有限元程序作为一个模块嵌入优化算法程序中,通过两个算例的参数反演分析,反演结果与实测值吻合较好,表明了该方法能较好地解决岩土工程复杂的非线性问题,为岩土工程反演分析提供了一种新的思路和方法.

(2)为了减少优化反演迭代次数和计算耗时,在进行参数反演之前,应该对参数的敏感性进行分析,确定出敏感参数和不敏感参数,并将敏感参数作为主要反演参数,而不敏感参数取为一个定值或较小范围.

(3)正分析采用ABAQUS有限元软件,而非自行编写的有限元程序,大大减轻了工作量;由于ABAQUS的求解器功能强大,能很好地解决弹塑性、粘弹塑性、渗流—应力耦合等复杂岩土工程问题,所以笔者提出的有限元优化反演法具有很强的实用性,可应用于实际工程中复杂岩体初始应力场反演、渗流场以及位移反分析.

参考文献:

- [1] Deng J H, Lee C F. Displacement back analysis for a steep slope at the Three Gorges Project site [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2001, 3: 259—268
- [2] Xiang Zhikai, Gunter Swoboda, Cen Zhangzhi. Identification of damage parameters for jointed rock [J]. Computers and Structures, 2002, 80: 1429—1440
- [3] Deng Desheng, Duc Nguyen Minh. Identification of rock mass properties in elastoplasticity [J]. Computers and Geotechnics, 2003, 30: 27—40
- [4] Michele Calvello, Richard J F. Selecting parameters to optimize in model calibration by inverse analysis [J]. Computers and Geotechnics, 2004, 31: 411—425
- [5] Karakus M, Fowell R J. Back analysis for tunnelling induced ground movements and stress redistribution [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2005, 20: 514—524
- [6] Jun S Lee, Il-Yoon Choi, Hee-Up Lee et al. Damage identification of a tunnel liner based on deformation data [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2005, 20: 73—80
- [7] 贾善坡. Boom Clay泥岩渗流应力损伤耦合流变模型、参数反演与工程应用[D]. 武汉:中国科学院武汉岩土力学研究所, 2009
(Jia Shanpo. Hydro-mechanical coupled creep damage constitutive model of boom clay back analysis of model parameters and its engineering application [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Rock & Soil Mechanics Chinese Academy of Sciences, 2009)
- [8] 贾善坡, 陈卫忠, 谭贤君, 等. 大岗山水电站地下厂房区初始地应力场 Nelder—Mead优化反演研究 [J]. 岩土力学, 2008, 29(9): 2341—2348
(Jia Shanpo, Chen Weizhong, Tan Xianjun et al. Nelder—Mead algorithm for inversion analysis of in situ stress field of underground powerhouse area of Dagangshan Hydropower Station [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(9): 2341—2349)
- [9] 耿忠娟, 王周宏, 宫静, 等. 对单纯形方法的改进 [J]. 曲阜师范大学学报, 2009, 35(1): 13—15
(Geng Zhongjuan, Wang Zhouhong, Gong Jing et al. Modified simplex method [J]. Journal of Qufu Normal University, 2009, 35(1): 13—15)
- [10] 程桂香, 陈兰平. 双曲余弦罚函数法 [J]. 首都师范大学学报, 2006, 27(2): 1—4
(Cheng Guixiang, Chen Lanping. Hyperbolic cosine penalty function algorithm [J]. Journal of Capital Normal University, 2006, 27(2): 1—4)

- [11] 刘华伟, 陈耀元, 叶莹. 多目标优化的新方法——幂加权和法及数值仿真[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 31(5): 835—838
(Liu Huawei, Chen Yaoyuan, Ye Ying. New method of multi objective optimization——sum of weighted power and numerical emulator[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2007, 31(5): 835—838)
- [12] 钟海全, 李颖川, 刘永辉. 用混合罚函数法求解气举区块优化配气模型[J]. 石油学报, 2007, 28(1): 146—150
(Zhong Haiquan, Li Yingchuan, Liu Yonghui. Solution of optimum gas allocation model for gas lift block with sequential unconstrained minimization technique[J]. Acta Petrol Sinica, 2007, 28(1): 146—150)
- [13] 贾善坡, 陈卫忠, 李香玲. 基于非参数统计的泥岩水-力耦合参数敏感性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(5): 830—834
(Jia Shanpo, Chen Weizhong, Li Xiangling. Parameter sensitivity analysis for seepage stress coupling model of boom clay based on non-parameter statistics[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2008, 4(5): 830—834)
- [14] 贾善坡, 陈卫忠, 于洪丹, 等. 泥岩大变形隧道盾构施工法的围岩稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(2): 3897—3903
(Jia Shanpo, Chen Weizhong, Yu Hongdan, et al. Research on surrounding rock stability of mudstone large deformation tunnel excavation by shield construction method[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(2): 3897—3903)
- [15] 贾善坡, 陈卫忠, 于洪丹, 等. 泥岩隧道施工过程中渗流场与应力场全耦合损伤模型研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(1): 19—26
(Jia Shanpo, Chen Weizhong, Yu Hongdan, et al. Research on seepage stress coupling damage model of boom clay during tunneling[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(1): 19—26)

Nonlinear Optimum Inversion Model of Geotechnical Engineering and Its Application in ABAQUS

JIA Shanpo¹, WU Guojun²

(1. School of Urban Construction, Yangtze University, Jingzhou, China 434023; 2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, China 430071)

Abstract: In order to offset the disadvantage of low search efficiency and large amount of calculation by the traditional methods of back analysis in geotechnical engineering, the back analysis method combining the Nelder-Mead algorithm and finite element method is studied. Based on the mixed penalty function method, a penalty function model of error is established between the actual measures and corresponding calculated results. The back analysis code is developed by the software MATLAB, in which the finite element code of ABAQUS is embedded as a module in the modified Nelder-Mead algorithm. This approach is applied to two engineering examples. The results show that the parameter searching efficiency and the convergence precision of the proposed method have an obvious improvement and the inverse results meeting accuracy requirements can be obtained with less iteration. So the proposed method is a feasible method for back analysis of stress, seepage and displacement in geotechnical engineering.

Key words: geotechnical engineering; optimum inversion; mixed penalty function; finite elements; ABAQUS