

水文地质参数优选方法——最优单纯形法

中国矿业大学地质系

杨兰合

实现对水文地质条件认识的定量化，我们常得首先建立起研究区水文地质数学模型，通过正演预测计算，获得地下水资源量的概念。然而，预测结果是否反映研究区的含水系统的真实性，主要取决于描述含水系统渗流特征的数学模型建立的是否正确。如果条件的认识及模型的建立是正确的，那么预测结果应该与实际观测到的结果完全拟合；否则，二者之间必然存在一定的差值。因此，需要对数学模型进行验证，这一步骤的内容之一，就是对水文地质参数的不断修正、调整，使各节点在每一时段的水位计算值与实际观测值完全拟合，或二者之间的差值达到误差要求。对于一般的定解问题来讲，尽管可编制程序软件，在计算机上自动实现，但如按传统的调试方法，每解一次正演问题，人工调整一次参数，那么，这不仅容易造成逆问题的不唯一性，而且浪费大量机时。

为提高计算效益，使模型达到最佳校正，笔者引入了一种最优方法——单纯形法对水文地质参数进行优选，虽运算次数较多，但在计算机上容易实现。

1 基本原理

1.1 概述

基于水文地质条件，反求水文地质参数，即解反演问题或逆问题，其方法有两种：一种是直接解法，一种是间接解法。由于直接求逆问题的解一般不稳定，故比较二者，间接法使用性较强。

间接解法的基本思想是利用正问题的解具有定性的性质，先给待定的水文地质参数

{ k } 假设一组初值，然后再利用这组参数去解正问题。根据最小二乘法原理，通常用误差的平方和作为衡量计算所得水位值和水位实际观测值之间拟合程度的标准：

$$E(k_1, k_2, \dots, k_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [H_j(t_i) - H_j^{\text{obs}}(t_i)]^2 \quad (1)$$

式中：
 n ——观测时刻总数；
 m ——观测点总数；
 $H_j(t_i)$ —— t_i 时刻 j 点的水位计算值；
 $H_j^{\text{obs}}(t_i)$ —— t_i 时刻 j 点的水位观测值。

一般说来， E 愈小，假设的这组参数就愈符合实际情况，但有时可能出现 E 达到极小的一组参数时还没满足对计算水位 $H_j(t_i)$ 和观测水位 $H_j^{\text{obs}}(t_i)$ 间差值的精度要求的情况，为此，通常采用加权法，即把函数 E 取为：

$$E(k_1, k_2, \dots, k_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} [H_j(t_i) - H_j^{\text{obs}}(t_i)]^2 \quad (2)$$

式中： W_{ij} ——权因子。

精度要求愈高，相应的 W_{ij} 取值愈大。函数 E 称评价函数或目标函数，这时逆问题，转化为一组参数 (k_1, k_2, \dots, k_n) ，

$$E(k_1, k_2, \dots, k_n) = \text{MIN}$$

变成了同时满足约束条件

$$\alpha_i \leq k_i \leq \beta_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中： α_i ——参数的下限；

β_i ——参数的上限。

的最优化问题。

根据计算所得 E 值的大小，逐次修正假

设的参数值，使 E 值不断减小，直至满意为止。在此过程中要不断地去解正问题，因为只有根据修正后的参数去解正问题，算出 H ，(t_1)后，才能求得相应的 E 值。

1.2 单纯形法

即间接求解逆问题的一种方法。它首先算出若干组水文地质参数的评价函数值，然后按这些函数值的大小关系来判别函数变化的大趋势，以作为寻找函数下降方向的参考(图1)。

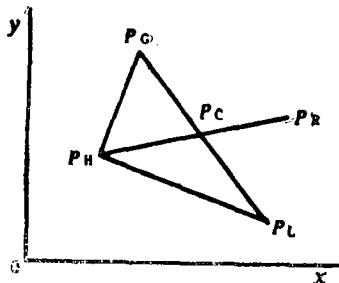


图1 单纯形法示意图

设：要确定的两个水文地质参数为 k_1 、 k_2 ，即 $E(k) = E(k_1, k_2)$ ，则取3组不同的(k_1, k_2)值，每一组在平面上代表1个点，3组参数具有的3个点不在同一直线上，然后分别利用这3组参数去解正问题，求出评价函数在这3个点上的值。又设 $E_{\max} = E_H$ ， $E_{\min} = E_L$ ， $E_{mid} = E_G$ (在3个以上的函数值中，表示次大的值)，将与3个函数值相对应的点，记为 P_H 、 P_L 和 P_G 。

由于我们的目标是求出使评价函数达到最小的那一组水文地质参数值，同时，评价函数值愈大，这一组参数愈“坏”，反之，则对应的一组参数愈“好”。所以，应关心向哪一个方向寻找，才能使算出的评价函数值逐渐地向减小的方向发展。

根据3个点的“好”“坏”情况，过 P_H 点并穿过其余2点(P_G 和 P_L)的中点(P_C)方向，显然，这是比较合适的寻查方向，在

此方向上取点 P_R (见图1)，使：

$$P_H P_R = 2 P_H P_C \text{ 或 } P_H P_C = P_C P_R \dots \dots \dots (3)$$

式中： P_R —— P_H 关于 P_C (实为除最坏点 P_H 外其余各点的形心)的反射点。

评价函数在 P_R 点的值，记为 E_R ，若

$$E_R \geq E_H \dots \dots \dots \dots \dots (4)$$

则说明点 P_R 并不比 P_H 好，前进得太远了，需要适当后退(压缩)，于是应在 P_H 和 P_R 间另取一个新点 P_S 。如果

$$E_R < E_H \dots \dots \dots \dots \dots (5)$$

说明情况还可以进一步改善，沿 $P_H P_C$ 方向可试探着走得更远一点，即可以扩张，那么，在 $P_H P_R$ 的延长线上取1点 P_E 。相应地评价函数值为 E_E 。若：

$$E_E \leq E_R \dots \dots \dots \dots \dots (6)$$

说明扩张成功，就取 P_E 作为新点 P_S 。如果(6)式不成立，则表示扩张没成功，只好退回来，用原来的点 P_R 作为新点 P_S 。

不论那一种情况，都可利用确定的新点 P_S 算出评价函数在 P_R 点的值 E_S 。若：

$$E_S < E_G \dots \dots \dots \dots \dots (7)$$

说明确定的新点是比较好的，取消原来最坏的那个点 P_H ，用 P_S 代替 P_H ，从而得到1个新的单纯形 $\{P_G, P_L, P_S\}$ ，用 P_S 代替 P_H 后情况较原有的显然会有一定程度的改善。再重复上述步骤，继续寻查函数下降的方向，如果(7)式不成立，即：

$$E_S \geq E_G \dots \dots \dots \dots \dots (8)$$

说明用 P_S 代替 P_H ，情况不会有太大改善。这时，为进一步寻查函数下降方向，可把原先的单纯形 $\{P_H, P_G, P_L\}$ 缩小，取三角形 $P_H P_G P_L$ 的三边中 $P_H P_L$ 和 $P_G P_L$ 边的中点 P_1 和 P_2 ，将它们和 P_L 构成新的单纯形 $\{P_1, P_2, P_L\}$ ，然后开始重复上述过程。

对于一般的评价函数 $E(k) = E(k_1, k_2, \dots, k_n)$ (注： k 为 n 维矢量)，需要确定 n 个水文地质参数，根据上述单纯形法的基本思

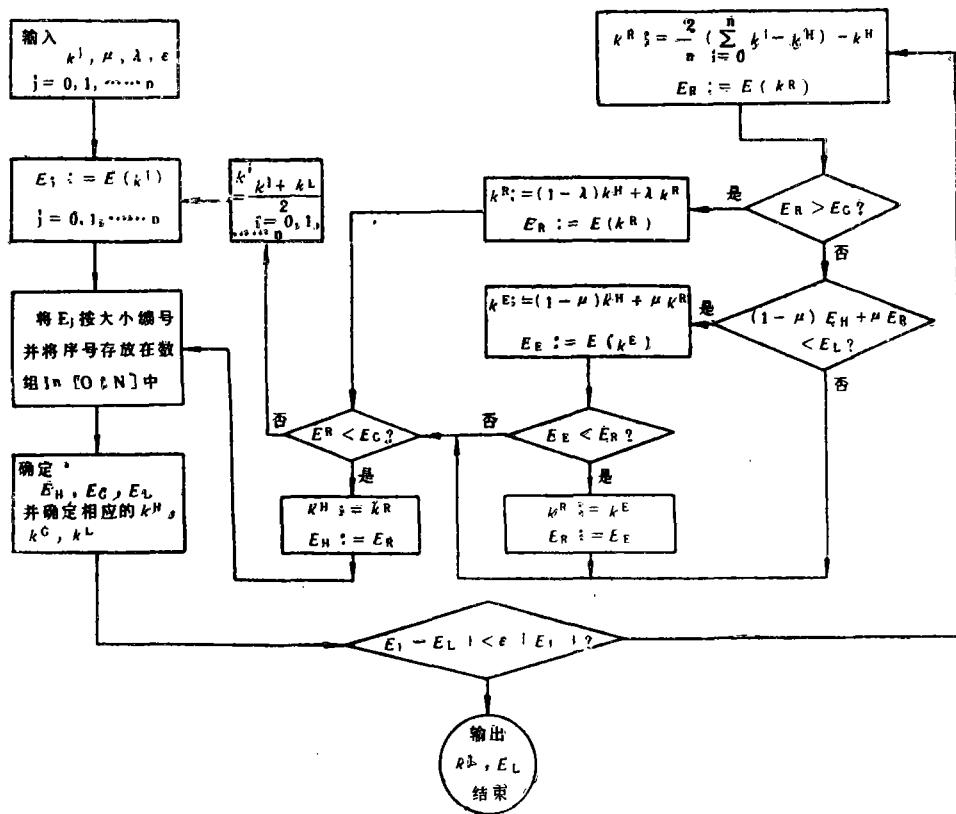


图2 单纯形优选法计算机程序框图

想, 要给出不同的 $n+1$ 组水文地质参数, 它们代表 k 所在的 n 维空间中的 $n+1$ 个点。即 $k^0, k^1, k^2, \dots, k^n$, 并要求点 k^1, k^2, \dots, k^n 与点 k^0 的连线构成矢量 $k^1 k^0, k^2 k^0, \dots, k^n k^0$ 线性独立。

可通过下式选取各点, 来满足上述要求:

$$k^0 = (k^0_1, k^0_2, \dots, k^0_n)$$

$$k^1 = (k^0_1 + \Delta k_1, k^0_2, \dots, k^0_n)$$

$$k^i = (k^0_1, k^0_2, \dots, k^0_i + \Delta k_i, k^0_{i+1}, \dots, k^0_n)$$

.....

$$k^n = (k^0_1, k^0_2, \dots, k^0_n + \Delta k_n) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

即以 k^0 为坐标原点, 在各个坐标轴上, 分别取步长 Δk_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 则可得到

n 个点, 然后再按上述方法进行优选。计算过程参见图2所示程序框图。此法我们曾在评价河北蔚县矿区供水水源时作了实际应用。

2 方法评价

实践证明, 用单纯形法优选水文地质参数是一种行之有效的方法, 它避免了用人工调整而带来的大量繁琐工作量。但该法也具有其自身的局限性——运行时间长, 这主要是受以下因素的影响:

a. 参数分区。分区越多运行时间越长。本文划25个参数区, 在BCM-S68000微机上通过, 如在其它型号的微机上或难以实现。

b. 权因子的选择(见图2)。若对各

• 煤田物探 •

煤层的反射

中国矿业大学 刘天放

休斯顿大学 R.E.sheriff

在中国东部,石炭二叠纪煤系广泛分布。该区典型的地质剖面由三部分组成:表层是第四系,有的地方还有第三纪未固结或固结较差的砂、砂质粘土、粘土、砾石和泥灰岩等;中部是石炭二叠纪含煤岩系,主要为砂岩、粉砂岩、泥岩及其互层,中下部含有数层厚约1~5 m、有时直至10 m以上的可采煤层,底部还有多层厚度小于10 m稳定的海相石灰岩;基底是厚层状的奥陶纪石灰岩。三大层间,皆为代表长期风化剥蚀的不整合界面所分割,特别是表层与煤系间的角度不整合界面是一个强反射面,它与主要可采层有关的反射波构成了该区的优势反射波(图1)。

近年来,该区一般采用24~48道仪器、6~12次叠加、0.5~1 ms采样、10 m道距、十米至数十米偏移距、单个或多个短基线组合接收。

煤层的密度与速度显著低于围岩,因而可以观测到与主要可采煤层有关的强反射。煤层,作为一个典型的低速薄层,它的反射已有许多讨论。值得提出,Almoghrabi和Lange(1986)先后在两篇文章中讨论含气砂岩反射特征及各种亮点的分辨中涉及到了煤层的反射。该文提出用波的相移叠加技术来计算薄层反射系数的一些问题,并借助于数因子量值选择不当,很可能造成死循环。

c. 参数初值的给定。给定的参数初值如与实际值偏差太大,会使循环次数增多,甚至会出现计算机系统紊乱或溢出等现象。

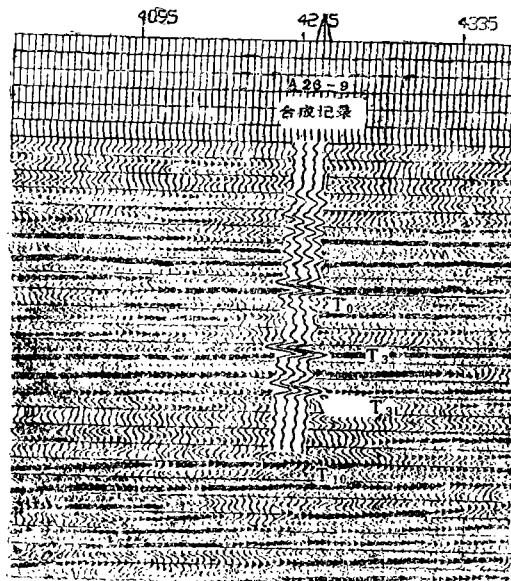


图1 山东济宁一井田L26线地震剖面
(人工合成记录及钻孔对比)

值计算方法,模拟中国东部的情况,对煤层反射波做进一步探讨。

1 煤层的反射系数

通常,可采煤层厚度比起其中传播的地震波长来,煤层是一个典型的低速薄层。它的顶底界面是彼此靠近的、明显的波阻抗分界面,在地震记录上,使用通常的高分辨率地震勘探也无法分辨。因此,地面接收到的煤层反射波几乎都是与顶底板界面有关的反射

对上述影响方面,可通过全面分析水文地质条件,正确刻划出水文地质结构,做到恰如其分,就可完全克服上述缺点,使运算速度提高,达到反演选参、修正模型之目的。