

灰色系统预测在地电预报地震 三要素中的应用

阮爱国 赵和云

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

李平林

(河南省地震局, 郑州 450000)

摘要 本文用灰色系统理论中的系统预测方法, 分别建立震级 M 、震中距 R 、发震时间 t_f 与地电异常幅度 U 、持续时间 T 的灰色预测模型 $CM(1,3)$ 。由于引入了 GM 模型, 就避免了人为确定统计函数形式, 并且在震例较少的情况下也可以进行三要素预报, 这样就可以建立起适合各个具体台站的预测关系, 预测结果较目前统一的预报公式要好。该方法所需资料少, 计算简单, 给出的结果简明实用。

关键词: 灰色系统 地电阻率 单项手段预报

1 问题的提出

地震预报是对地震三要素即震中、震级和发震时间的预报, 所以各种地震前兆手段都必须建立其异常特征量与地震三要素之间的定量关系。对于地电阻率法来说, 目前建立这种定量关系的做法是将全国已经取得的震例资料进行统计, 得到函数形式的统计公式, 从而在未来的预报实践中应用。这种统计公式存在的问题是: (1) 统计往往因人而异, 这样就会有多个统计公式, 使用时颇感为难; (2) 现有的统计关系是根据全国 100 多个地电台站, 几十个地震震例资料建立起来的, 由于受台址条件、孕震类型等诸因素的影响, 资料离散度很大, 对于一个特定的地电台, 预测的效果往往不尽人意。造成这种状况的根本原因是我们迄今为止还没有从物理上找到地电阻率异常量与地震三要素之间的函数关系。其次, 对于一个特定的台站往往由于震例较少, 不能满足统计的基本要求, 无法建立适合于具体台站的统计预报公式。

灰色系统论提供了解决这类问题的理论和基本方法。众所周知, 所谓系统就是若干相互联系、相互作用的要素组成的有机整体, 所谓灰色系统就是其信息不完全的系统。灰色系统论认为信息不完全的客体是可研究、可处置的, 并且已有一整套将影响系统行为特征的因素进行量化、序化分析, 寻找主要影响因素并将其表现形式进行转化建立起最佳预测模型的思路和方法。地震地电阻率法与其所预报的地震可看作一灰色系统, 因此可应用灰色系统理论来建立预报方程。本文旨在将灰色理论中的灰关联分析、数据生成、建模及预测思想引入地电阻率预报地震三要素中, 建立适合每个具体台站的预测关系。

2 灰色系统预测在地电预报地震三要素中的应用

寻求灰色系统中现有数据与未来数据间的量化关系便是灰色预测。根据文献[1],其基本方法步骤如下:

- (1)首先定性讨论所用因子 $X_i(i=2,3,\dots,N)$ 是否对系统主行为有影响,然后作灰关联分析,根据关联度的大小来确定建模所需因子;
- (2)对 X_i 作初值化、均值化、规一化等预处理;
- (3)建立 GM(1,N)模型;
- (4)用灰差分形式、白差分形式或指数形式检验模型精度;
- (5)挑选与实际状态吻合最好的模型对未来进行预测。

现以四川甘孜地电台为例详细讨论具体预测办法和细节。甘孜地电台已有震例 12 次,具体参见表 1,表中 M 为甘孜台周围发生地震的震级, R 为震中与甘孜台的距离(公里), t_f 为发震时间(天), U 为地电阻率的异常幅度(%), T 为地电阻率异常的持续时间(天)。将第 12 次震例留作外推检验,用前 11 次震例建立甘孜台的灰色预测模型。先建立震级 M 预测模型:

第一步:首先作灰关联分析。考虑母序列 $\{M(i), i=1,2,\dots,11\}$, 与影响因子 $\{U(i), i=1,2,\dots,11\}$ 及 $\{T(i), i=1,2,\dots,11\}$ 之间的灰关联。根据文献[2]的方法,得到关联度 $r_{MU}=0.7989$, $r_{MT}=0.6410$ 。结果表明 U 对预报震级的影响显著,但这与实际的经验不符。预报实践的直觉表明,异常持续时间 T 对未来地震震级较异常幅度 U 影响大,故我们将影响因子中的 $\{T(i)\}$ 变换成 $\{\log T(i)\}$ 后作灰关联分析,得到关联度 $r_{MU}=0.5295$, $r_{M\log T}=0.7621$ 。

显然这一结果与实践经验相符,因此取 $\{U(i)\}$ 和 $\{\log T(i)\}$ 作为影响 M 、 R 、 t_f 的建模因子。

第二步:取各因子一次累加生成,使其变为较有规律的生成数列,累加生成结果见表 2。

第三步:建立 GM(1,3)模型,其灰微分方程为:

$$\frac{dM^{(1)}}{dt} + aX = b_1 U^{(1)} + b_2 \log T^{(1)} \quad (1)$$

式中 X 为 $\frac{dM^{(1)}}{dt}$ 的背景值, a 、 b_1 、 b_2 可在最小二乘准则下求出,记 GM(1,3)的参数向量为: $[a, b_1, b_2]$, 则有:

$$[a, b_1, b_2] = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (2)$$

式中

$$B = \begin{bmatrix} -0.5(M^{(1)}(2) + M^{(1)}(1)), & U^{(1)}(2), & \log T^{(1)}(2) \\ -0.5(M^{(1)}(3) + M^{(1)}(2)), & U^{(1)}(3), & \log T^{(1)}(3) \\ \dots, & \dots, & \dots \\ -0.5(M^{(1)}(11) + M^{(1)}(10)), & U^{(1)}(11), & \log T^{(1)}(11) \end{bmatrix}_{10 \times 3}$$

$$(Y_N = [M^0(2), M^0(3), \dots, M^0(11)])$$

由式(2)及表 2 计算得到:

$$a = 0.924, b_1 = 0.65, b_2 = 0.93$$

GM(1,3)模型除了上述微分方程外,还有以下三种预测形式:

$$\text{灰差分形式: } M^{(0)}(K) + \frac{a}{2} [M^{(1)}(K) + M^{(1)}(K-1)] = b_1 U^{(1)}(K) + b_2 \log T^{(1)}(K) \quad (3)$$

$$\text{灰指数形式: } M^{(0)}(K) = \sum_{i=1}^K \beta_1 U^{(0)}(i) e^{K-i} L_n(1-a_1) + \sum_{i=1}^K \beta_2 \log T^{(0)}(i) e^{K-i} L_n(1-a_1) \quad (4)$$

$$\text{白差分形式: } M^{(0)}(K) = \beta_1 U^{(0)}(K) + \beta_2 \log T^{(0)}(K) + (1-a_1) M^{(0)}(K-1) \quad (5)$$

第四步: 根据与实际值的吻合程度, 挑选白差分形式为甘孜台由地电阻率异常量 U 和异常时间 T 预测未来地震震级的预测方程。方程系数计算方法如下:

$$\beta_1 = \frac{-b_1}{1+0.5a} = \frac{0.65}{1+0.5 \times 0.924} = -0.445$$

$$\beta_2 = \frac{b_2}{1+0.5a} = \frac{0.93}{1+0.5 \times 0.924} = 0.636$$

$$a_1 = \frac{a}{1+0.5a} = \frac{0.924}{1+0.5 \times 0.924} = 0.632$$

这样我们就得到了震级 M 的预测方程:

$$M^{(0)}(K) = -0.445 U^{(0)}(K) + 0.636 \log T^{(0)}(K) + 0.368 M^{(0)}(K-1) \quad (6)$$

同理可建立甘孜地电台由 U 、 T 预测震中距 R 和发震时间 t_f 的预测方程, 它们分别是

$$\log R^{(0)}(K) = -0.248 U^{(0)}(K) - 0.359 \log T^{(0)}(K) + 0.709 \log R^{(0)}(K-1) \quad (7)$$

$$\log t_f^{(0)}(K) = -0.021 U^{(0)}(K) + 0.845 \log T^{(0)}(K) + 0.127 \log t_f^{(0)}(K-1) \quad (8)$$

3 检验与讨论

(1) 内符检验: 将 $K=2, 3, \dots, 11$ 代入(6)、(7)和(8)式分别求得预测的三要素 $\hat{M}(k)$ 、 $\hat{R}(k)$ 、 $\hat{t}_f(k)$ 与实际值进行比较, 见表 3。可见内符检验是合格的。

(2) 外推检验: 现以甘孜台地电阻率第 12 次异常的 $U=-5.3\%$ 、 $T=196$ 天作预报, 得到 $M=5.8$ 、 $R=160$ 、 $t_f=185$, 实际发生的地震参数为 $M=6.7$ 、 $R=190$ 、 $t_f=196$, 由内符和外推检验结果可见预测结果是好的。

由以上可见, 应用灰色系统论建立的预报方程其精度是较高的。究其原因, 首先是由于用地电阻率异常量预报未来地震三要素的系统结构目前还不明确, 系统状态不易判断, 也就是说这一过程是一灰色动态系统, 那么用灰色系统理论去解决必然要比其它方法的效果要好一些; 其次, 在具体环节上灰色预测避开了以往利用统计方法必须事先人为确定统计函数形式的弊端, 并且能在少量震例资料的情况下建立适合各个具体台站的预报方程, 因而较使用统一的统计公式的预测效果要好。从灰色理论的角度看, 灰色预测还可以通过灰数的不同生成、数据的不同取舍, 不同级别残差 GM 模型的补充修正以提高模型精度。本文作为尝试, 在选择灰数时并没有直接使用原始的 U 、 T , 而是通过灰关联分析, 选择了 $\{\log T(i)\}$ 、 $\{\log R(i)\}$ 和 $\{\log t_f(i)\}$ 数列, 这也是使预测效果显著的一项具体措施。倘若对目前的预报方程再进行残差模型修正, 预计可能会有更好的效果。

然而, 从另外一个角度看, 本文所举算例在个别数据上偏差还相当大, 一方面是由于在识别异常 U 和 T 时有误差, 过大的误差使模型难以吻合, 另一方面如何改进模型仍是一个值得深入探讨的问题。灰色系统理论主张, 系统行为数据列的表现形式是非唯一的, 而 GM 模型又是一种数据生成模型, 因此通过摸索总可以找到更为有效的灰元形式和生成方式来建模, 以适应地电阻率预报地震三要素的需要。在这一方面的研究前景也是十分宽阔的。尽

管如此,灰色预测方法的优越性还是十分明显的。

表 1 甘孜地电台原始资料

地震 序号	$M^{(0)}$	$R^{(0)}$	$t_f^{(0)}$	$U^{(0)}$	$T^{(0)}$
1	7.9	50	420	-8.1	420
2	5.7	10	30	-3.4	30
3	6.2	300	260	-10	260
4	6.4	300	415	-7.0	415
5	6.9	140	120	-3.0	120
6	6.0	20	81	-4.5	60
7	4.2	160	48	-4.3	30
8	4.2	35	62	-3.4	60
9	4.7	10	36	-3.3	36
10	4.6	150	80	-8.0	80
11	4.7	175	100	-2.5	100
12	6.7	190	196	-5.8	196

表 2 甘孜地电台的一次生成数据

地震 序号	$M^{(1)}$	$\log R^{(1)}$	$\log t_f^{(1)}$	$ U^{(1)} $	$\log T^{(1)}$
1	7.9	1699	2.623	8.1	2.623
2	13.6	2.699	4.1	11.5	4.1
3	19.8	5.176	6.515	21.5	6.515
4	26.2	7.653	9.133	28.5	9.133
5	33.1	9.799	11.212	31.5	11.212
6	39.1	11.1	13.121	36.0	12.991
7	43.3	13.304	14.802	40.3	14.468
8	47.5	14.848	16.595	43.7	16.246
9	52.2	15.848	18.151	47.0	17.802
10	56.8	18.025	20.054	55.0	19.705
11	61.3	20.268	22.054	57.5	21.705

表 3 内符检验结果

地震 序号	$M^{(0)}(K)$	$\hat{M}(K)$	$R^{(0)}(K)$	$\hat{R}(K)$	$t_f^{(0)}(K)$	$\hat{t}_f(K)$
1	7.9	7.9	50	50	420	420
2	5.7	5.4	10	33	30	45
3	6.2	8.0	300	490	260	288
4	6.4	7.1	300	504	415	470
5	6.9	5.0	140	82	120	144
6	6.0	5.7	20	68	81	74
7	4.2	5.1	160	68	43	37
8	4.2	4.2	35	32	62	59
9	4.7	4.0	10	21	36	41
10	4.6	6.5	150	174	80	96
11	4.7	4.1	175	31	100	98

邓聚龙教授对本文提出过很好的修改意见,谨表谢意。
(本文 1993 年 10 月 26 日收到)

参考文献

1 邓聚龙. 多维灰色规划. 武汉华中理工大学出版社,1990. 15—19.
2 邓聚龙. 灰色控制系统. 武汉华中理工大学出版社,1989. 316—336.

APPLICATION OF GREY SYSTEM PREDICTION MODEL TO EARTHQUAKE
PREDICTION WITH APPARENT RESISTIVITY METHOD

Ruan Aiguo and Zhao Heyun
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou,SSB,China*)
Li Pinglin
(*Seismological Bureau of Henan Province,Zhengzhou, China*)

Abstract

In this paper,the authors applied the grey system prediction model of the grey system theory to set up respectively three grey prediction models (GM) of magnitude(M),epicentral distance (R) and origin time(tf) versus apparent resistivity abnormal value(U) and lasting time (T). Because of introducing GM to avoid determining subjective statistical function,this model is able to predict earthquake with less data at one geoelectric station,and afford different prediction equations for different stations. The prediction effect is better than that of present some prediction equations. The advantages of this method are:requiring less data;simple calculation;clear result and practical.

Key Words:Grey system; Ground resistivity; Single disciplinary prediction