

地温‘流’泛导的溃变与地震预报^{*}

李 超^① 欧阳首承^① 汤懋苍^②

(吴学谋推荐, 1996 年 6 月 26 日收到, 1997 年 6 月 30 日收到修改稿)

摘 要

本文在泛系的广义转化、优化和泛导变关系中的非线性动力系统的溃变理论^[1,2]的启发下, 利用[2]的方法显化了非线性热传导方程的溃变与实际的地温‘流’演变类似。为此, 作者结合 1976 年唐山大地震进行了相应的模拟。结果表明: 地震前后的地温‘流’溃变可以用于地震预报, 对唐山大地震约有 5 个月的预见期。

若地温‘流’体现地壳运动的不可积的泛导方程, 在信息充分的条件下, 显化其溃变机理, 则地震(地壳断裂)是可预报的。

关键词 地温‘流’ 溃变 泛导 预测

中图分类号 P315

§ 1. 引 言

地震是地球自身运动的一种自然现象, 但由于影响较大, 相对于人类及生物圈等则往往是灾难性的破坏过程。所以, 研究其活动特征及有关过程, 深入了解其物理实质, 制定预防措施和监测能力等均是有意义的。

地热流中蕴涵了丰富的地质学、地球物理学和地球化学等方面的信息, 是研究地球科学的一种重要手段。早已被证明, 地球内部存在着深层向外的热流能量, 虽然地球内部的传导热流量要比太阳辐射能量小^[3]。但是, 大地热流对于地球内部的大地物理现象仍是很重要的热源, 地下热流控制着地热梯度, 从而控制着地下温度场^[4]。地表热流使得发生在深层地壳和岩石中的热生成、传输、贮存等过程得以实现^[5]。这就是说, 地热流里同样包含着地震的信息, 或者说地震会在热流的变化、分布特征里得到反映。近几年来, 利用地温异常预报地震的研究已引起了地震学者的普遍关注; 即地震的发生与地温、地热的变化有密切的关系。在全球范围内的许多地区都发现, 地热异常区与地震带非常吻合, 实际上地震前后地热场的异常, 包括地温、水温、地热流的增大等现象以及地热场参数随时间的变化已被大家所公认, 基于此点, 许多学者对地热异常和地震的关系做了研究, 并对其形成机制进行了种种探讨、猜想。汤懋苍等研究^[6]指出, 深层地温存在的“突升”现象, 即 3.2 米深的地温距平比 1.6 米深的地温距平还

* 本文由国家基础性重大关键项目“气候动力学和气候预测理论的研究”资助

① 成都气象学院, 成都 610041

② 中科院兰州高原大气物理所, 兰州 730000

要强,并认为这种地温距平的变化与地震有密切的联系,耿国庆也指出^[7],在唐山大地震的诱震过程中,即从1972年大旱后至1976年上半年这段时间里,0.8米地温异常最为突出(当时该地的最深地温观测),这就是说,地温异常来自于地下深处;并非来自高空太阳辐射加热。无论是作为地温变化的物理现象本身,或是作为地震预报的信息来源之一,其物理特征的研究均是有必要的。

地震就其自身活动特征或其带来的影响都是人们关注的问题。地震预测是自今为止的重大科学难题之一。除了监测手段、设备等方面的原因外,也有一个认识观念的理论问题。作为泛导方程的不可积问题中就涉及非线性系统的可积性问题。近年来吴学谋创立了泛系理论^[1],指出了所有预测都是泛系预测,并概括了认识问题的思维模式:

问题原型 → 泛系建模 → 泛系泛导, 泛对称 → 泛系转化, 泛系显生 → 对原问题的显生

在此种思维的基础上,吴学谋又指出了泛导方程的不可积问题。欧阳首承等在对非线性泛导分析中发现了时间演化的溃变和逆向转变^[8],揭示了泛导方程不可积的原因之一是非线性泛导方程中蕴含了不连续并可导致逆向转变,从而筹创了非线性动力系统的溃变理论。使非线性问题变为运动的中频繁发生的不连续转变,而不是传统的适定条件下的消、长平衡。这已不只是方法、技术问题,而是涉及思维观念的变革问题。

显然,作为数学建模,认为地壳自身运动建立模型较直接,而且由于存在地震(地壳断裂),则地壳运动应当是含有连续和不连续的非线性的泛导方程。但由于此模型涉及因素较复杂,并还有一个认识的统一性问题。为此我们接着泛系的转化及文献[3~7]所揭示的事实和研究,与地壳运动相伴随的地温‘流’的变化也应蕴含连续不连续的特征。为此,本文利用溃变观点分析了地温‘流’的非线性热传导方程,而不沿用适定条件下热传导方程的模型。结合1976年唐山地震时期的资料,发现温度‘流’的溃变与实况的地温异常非常相似,并显化了非线性动力系统,在演化中存在不连续溃变,因而其数值计算不能沿用Riemann意义的积分格式。其不稳定增长是溃变的有效部分。对于唐山大地震而言,地温‘流’的溃变发生在地震前的五个月左右。对地震预测有指示信息。这表明按溃变理论,地壳运动是可认识的,在信息充分的条件下,地震也是可预测的。

§ 2. 基本模型

按蕴含描述连续和不连续的模型,则地温‘流’变化的一维热传导方程可写为^[9]

$$\frac{\partial T'}{\partial t} + K_1 \left[\left(\frac{\partial T'}{\partial z} \right)^2 + T' \frac{\partial^2 T'}{\partial z^2} \right] + K_2 \frac{\partial^2 T'}{\partial z^2} \quad \text{研究} \quad (2.1)$$

其中, T' 为地温变化距平, K_1, K_2 为常数,取 z 方向向下为正, t 为时间坐标。

取初始条件为:

$$t = 0, \quad T' = T_0(z) \quad (2.2)$$

忽略地表面引起的温度变化,其上边界条件为:

$$z = 0, \quad \frac{\partial T'}{\partial z} = 0 \quad (2.3)$$

一般说来,地幔或地壳深处的地热热流沿着非连续方向或裂隙上涌,造成了地热异常,地热异常蕴藏的大量热能就成为发动地震的动力源泉^[9]。地震时,发生一系列导致震源区介质变热的过程,使得整个地震的大部分能量转变成热能^[10]。因此,假定在某一深度,由于地震等

过程,存在地热异常,使其温度发生变化,其下边界条件:

$$z = D, \quad \frac{\partial T'}{\partial z} = Q(t) \tag{2.4}$$

其中, D 为地热异常影响深度, $Q(t)$ 为地热热流(单位时间沿温度梯度方向流过单位面积的能量流)异常分布函数。假定在地震发生前后,存在地热累积和释放过程,热流函数定义为(如图 1):

$$Q(t) = \begin{cases} \frac{Q_{\max}}{t_0 - t_1}(t - t_1) & (t_1 \leq t \leq t_0) \\ \frac{Q_{\max}}{t_0 - t_2}(t - t_2) & (t_0 < t \leq t_2) \\ 0 & (\text{其它}) \end{cases} \tag{2.5}$$

其中, t_0 为地震爆发时刻, t_1 为地震发生前热流累积的开始时刻, t_2 为地震发生后热流全部释放完的时刻。 Q_{\max} 为地震爆发时刻的热流能量。

为计算方便,对上述方程进行无量纲化,今引入无量纲量如下:

$$T' = T_s T^*, \quad t = \tau^*, \quad z = Dz^*, \quad Q = \frac{T_s}{D} Q^* \tag{2.6}$$

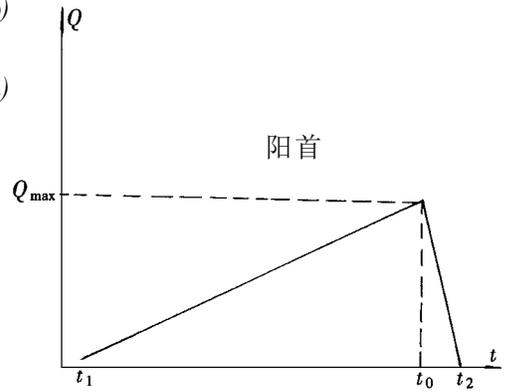


图 1 地热热流异常分布函数

其中,带“*”的量为无量纲量, T_s, τ, D , 分别为地温异常,时间和垂直深度的量纲,进一步可取:

$$\tau = \frac{D^2}{K_2} \tag{2.7}$$

将(2.6)、(2.7)代入(2.1)~(2.5)式并略去“*”得到无量纲方程为:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = M_1 \left[\frac{\partial T}{\partial z}^2 + T \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \tag{2.8}$$

$$z = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \tag{2.9}$$

$$z = D, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = Q(t) \tag{2.10}$$

$$t = 0, \quad T = T(z) \tag{2.11}$$

其中, $M = K_1 T_s / K_2$ 为无量纲参数。

$$\text{设 } T_1 = T - z^2 Q / 2 \tag{2.12}$$

将(2.12)式代入(2.8)~(2.10)式得:

$$\begin{aligned} \text{蕴藏 } \frac{\partial T_1}{\partial t} = M_1 & \left[\frac{\partial T_1}{\partial z} + Qz^2 + \left(T_1 + \frac{z^2}{2} Q \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q \right) \right) \right. \\ & \left. + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} + Q - \frac{z^2}{2} \frac{dQ}{dt} \right] \end{aligned} \tag{2.13}$$

$$z = 0, 1 \quad \frac{\partial T_1}{\partial z} = 0 \tag{2.14}$$

设(2.13)式的先验解为:

$$T_1 = A(t) (\exp[\lambda x] \cos kz + \exp[-\lambda x] \sin kz) \tag{2.15}$$

将(2.14)代入(2.15)式得:

$$k = -\lambda = n\pi - \sqrt{4} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (2.16)$$

则:

$$T_1 = A(t)(\exp[kz]\sin kz + \exp[-kz]\cos kz) \quad (2.17)$$

其中, $A(t)$ 可视为地温振幅. 将(2.17)式代入(2.13)式得到关于 $A(t)$ 的方程如下:

$$I_1 \frac{dA}{dt} = M_1 k^2 I_2 A^2 + I_3 A + I_4 \quad (2.18)$$

其中,

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_0^1 (\sin kz + \exp[-2kz]\cos kz) dz \\ I_2 &= \int_0^1 [(1 + 2\sin 2kz)(\exp[kz] + \exp[-3kz]) - 2\sin 2kz \exp[-kz]] dz \\ I_3 &= 2QkM_1 \int_0^1 z(\sin kz + \cos kz)(1 - \exp[-2kz]) dz \\ &\quad + QI_1 M_1 + M_1 k^2 Q \int_0^1 z^2(\cos kz + \exp[-2kz]\sin kz) dz \\ &\quad + 2k^2 \int_0^1 (\cos kz + \exp[-2kz]\sin kz) dz \\ I_4 &= \frac{3}{2} M_1 Q^2 \int_0^1 z^2 \exp[-kz] dz + Q \int_0^1 \exp[kz] dz - \frac{1}{2} \frac{dQ}{dt} \int_0^1 z^2 \exp[-kz] dz \end{aligned}$$

当 $I_1 \neq 0$ 时, (2.18)式可进一步化为:

$$\frac{dA}{dt} = u_2 A^2 + u_1(t)A + u_0(t) \quad (2.19)$$

其中,

$$u_2 = M_1 k^2 I_2 / I_1, \quad u_1(t) = I_3 / I_1, \quad u_0(t) = I_4 / I_1$$

§ 3. 地温‘流’异常的溃变问题

(2.19)式就是我们讨论问题的出发方程,在不同的阶段其描述方程是不一样的,下面分别进行讨论:

3.1 无地震前兆时

无地震前兆时,即当 $t < t_1$ 时, (2.19)式化为:

$$\frac{dA}{dt} = u_2 A^2 + u'_1 A \quad (3.1)$$

其中,

$$u'_1 = 2k^2 \int_0^1 (\cos kz + \exp[-2kz]\sin kz) dz / I_1$$

(3.1)式用初始条件积分得到

$$T = \frac{C_1^* u'_1 \exp[u'_1 t]}{u'_1 + u_2 C_1^* - u_2 C_1^* \exp[u'_1 t]} (\exp[kz]\sin kz + \exp[-kz]\cos kz) \quad (3.2)$$

其中,

$$C_1^* = \int_0^1 T(z) \exp[-kz] dz / I_1$$

分析(3.2)式的解知道,随着时间的变化,必存在 t_{c1} 使得:

$$u'_1 + u_2 C_1^* - u_2 C_1^* \exp[u'_1 t_{c1}] = 0$$

这时温度变化 T 出现奇异解,也就是说在有限时间内,温度 T 发生溃变.同时计算出出现溃变的时间:

$$t_{c1} = \frac{1}{u_1} \ln \left[1 + \frac{u'_1}{u_2 C_1^*} I \right] \quad (3.3)$$

文献[9]的计算发现,只有初始温度存在明显的“突变”时才可能发生.

3.2 地震前兆阶段

当地震未发生时,但存在地震能量累积时,即当 $t_1 < t < t_0$ 时,(2.19)式化为:

$$\frac{dA}{dt} = u_2 A^2 + (\alpha_1 t + \alpha_2) A + (\alpha_3 t^2 + \alpha_4 t + \alpha_5) \quad (3.4)$$

其中,

$$\alpha_1 = M_1 Q_1 J_1$$

$$\alpha_2 = J_2 - Q_1 t_1$$

$$\alpha_3 = M_1 J_5 - Q_1^2$$

$$\alpha_4 = (J_4 - 2M_1 J_5 Q_1 t_1) Q_1$$

$$\alpha_5 = (J_3 - J_4 t_1) Q_1 + M_1 J_5 Q_1^2 t_1$$

$$Q_1 = \frac{Q_{\max}}{t_0 - t_1}$$

$$J_1 = 1 + k(kI_{32} + 2I_{33})/I_1$$

$$J_2 = 2k^2 I_{31}/I_1$$

$$J_3 = -J_{k1}/2I_1$$

$$J_4 = (1 - e^{-k})/kI_1$$

$$J_5 = -3J_3$$

$$J_{k1} = 2/k^3 - e^{-k}/k(1 + 2/k + 2/k^2)$$

$$I_{31} = \int_0^1 (\cos(kz) + \exp(-2kz) \sin(kz)) dz$$

$$I_{32} = \int_0^1 z^2 (\cos kz + \exp(-2kz) \sin(kz)) dz$$

$$I_{33} = \int_0^1 z (\sin(kz) + \cos(kz)(1 - \exp(-2kz))) dz$$

(3.4)式的系数都是无量纲数,计算发现, $\alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 相对 α_1, α_2 来说,至少差两个量级以上,因此可假定 $\alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 近似为零,即(3.4)式可简化为:

$$\frac{dA}{dt} = u_2 A^2 + (\alpha_1 t + \alpha_2) A \quad (3.5)$$

取 $B = 1/A$ (3.6)

(3.6)代入(3.5)式有:

$$\frac{dB}{dt} + (\alpha_1 t + \alpha_2) B = -u_2 \quad (3.7)$$

(3.7)式是变系数一阶常微分方程,其通解为:

这时
$$B = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_1}{2}t^2 + \alpha_2 t\right)\right] \left[\int -u_2 \exp\left[\frac{\alpha_1}{2}t^2 + \alpha_2 t\right] dt + C_1 \right] \quad (3.8)$$

其中, C_1 为积分常数, 待定。

为了求得 (3.8) 式的解析式, 将积分近似地表达出来, 则:

$${}^9) B = \exp\left[-\left(\frac{\alpha_1}{2}t^2 + \alpha_2 t\right)\right] \left\{ -u_2^* \left[\frac{\alpha_2}{2}t^2 + \left(1 + \frac{\alpha_2^2}{2\alpha_1}\right)t + \frac{\alpha_2^3}{6\alpha_1^2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right] + C_1 \right\} \quad (3.9)$$

其中, $u_2^* = u_2 \exp[-\alpha_2^2/2\alpha_1]$

将 (3.9) 式代入 (3.6) 式得:

$$A = \frac{\exp\left[\frac{\alpha_1}{2}t^2 + \alpha_2 t\right]}{C_1 - u_2^* \left[\frac{\alpha_1}{2}t^2 + \left(1 + \frac{\alpha_2^2}{2\alpha_1}\right)t + \frac{\alpha_2^3}{6\alpha_1^2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right]} \quad (3.10)$$

其温度
$$T = A \exp[kz] \sin kz + \exp[-kz] \cos kz + \frac{z^2}{2} Q \quad (3.11)$$

由 $t = t_1$ 时, 温度连续, 则积分常数为:

$$C_1 = C_2^* + C_3^* \quad (3.12)$$

其中

$$C_2^* = u_2^* \left[\frac{\alpha_1}{2}t_1^2 + \left(1 + \frac{\alpha_2^2}{2\alpha_1}\right)t_1 + \frac{\alpha_2^3}{6\alpha_1^2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right] \quad ($$

$$C_3^* = \frac{u_1' + u_2 C_1^* (1 - \exp[u_1 t_1])}{C_1^* u_1' \exp\left[u(-\alpha_2)t_1 - \frac{\alpha_1}{2}t_1^2\right]} \quad)$$

由 (3.10), (3.11) 式知道, 随着时间的演化, 当 t 满足:

$$C_2^* + C_3^* - u_2^* \left[\frac{\alpha_1}{2}t^2 + \left(1 + \frac{\alpha_2^2}{2\alpha_1}\right)t + \frac{\alpha_2^3}{6\alpha_1^2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right] = 0 \quad ((3.13)$$

其解 T 在有限时间内出现溃变。

(3.13) 式可进一步化为:

$$a_2 t^2 + a_1 t + a_0 = 0 \quad (3.14)$$

其中,

$$\begin{aligned} a_2 &= \alpha_1 u_2^* / 2 \\ a_1 &= \left(1 + \frac{\alpha_2^2}{2\alpha_1}\right) u_2^* \\ a_0 &= \left(\frac{\alpha_2^3}{6\alpha_1^2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right) u_2^* - C_2^* - C_3^* \end{aligned} \quad (3.15)$$

取 $D = 6$ 米, $T_s = 0.5^\circ\text{C}$, $K_1 = -8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} / ^\circ\text{C}$, $K_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, $t_1 = 0$, $t_0 = 1.5$ 年 (18 个月), $t_2 = 2$ 年 (24 个月), $Q_{\max} = 5^\circ\text{C} / 100\text{km}$, 将这些参数代入 (3.14) 式求得时间 t 的两个根分别为: $t'_1 = 13$ 个月, $t'_2 < 0$ 作为预测未来, 这里只讨论 t'_1 。对于 t'_1 来说, 表示离地震爆发前的 5 个月, 地温异常出现溃变, 这与实况是吻

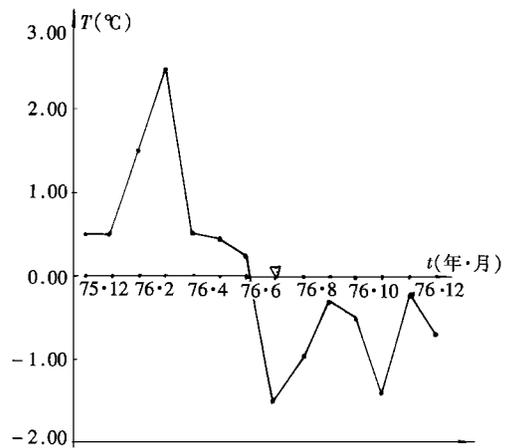


图2 1976年唐山大地震前后 0.8米地温距平变化曲线 (其“△”表示地震发生月份)

合的(见图 2)。

3.3 地震发生后

当地震发生之后,能量就逐渐地被释放出来,即当 $t_0 < t < t_2$ 时,(2.19)式化为:

$$\frac{dA}{dt} = u_2 A^2 + (\beta_1 t + \beta_2) A + (\beta_3 t^2 + \beta_4 t + \beta_5) \quad (3.16)$$

其中:

$$\beta_1 = M_1 Q_2 J_1$$

$$\beta_2 = J_2 - Q_2 t_2$$

$$\beta_3 = M_1 J_5 - Q_2^2$$

$$\beta_4 = (J_4 - 2M_1 J_5 Q_2 t_2) Q_2$$

$$\beta_5 = (J_3 - J_4 t_2) Q_2 + M_1 J_5 Q_2^2 t_2$$

$$Q_2 = \frac{Q_{\max}}{t_0 - t_2}$$

对于(3.16)式经计算同样得到 $\beta_3 = \beta_4 = \beta_5 \approx 0$,即(3.16)式可化为:

$$\frac{dA}{dt} = u_2 A^2 + (\beta_1 t + \beta_2) A \quad (3.17)$$

按前述同样的方法求得(3.17)式的通解为:

$$A = \frac{\exp\left[\frac{\beta_1}{2} t^2 + \beta_2 t\right]}{C_2 - u_2 \left[\frac{\beta_1}{2} t^2 + \left(1 + \frac{\beta_2^2}{2\beta_1} t + \frac{\beta_2^3}{6\beta_1^2} + \frac{\beta_2}{\beta_1}\right) t \right]} \quad (3.18)$$

其中, $u_2 = u_2 \exp[-\beta_2^2/2\beta_1]$, C_2 为积分常数

$$T = A (\exp[kz] \sin kz + \exp[-kz] \cos kz) + \frac{Q}{2} z^2 \quad (3.19)$$

假定在 $t = t_0$ 时,温度连续,则

$$C_2 = C_4^* + C_5^*$$

其中,

$$C_4^* = \frac{C_2^* + C_3^* - u_2^* \left[\frac{\alpha_1}{2} t_0^2 + \left(1 + \frac{\alpha_2^2}{2\alpha_1}\right) t_0 + \frac{\alpha_2^3}{6\alpha_1^2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right]}{\exp\left[\frac{t_0^2}{2}(\alpha_1 - \beta_1) + t_0(\alpha_2 - \beta_2)\right]} \quad (3.20)$$

$$C_5^* = u_2 \left[\frac{\beta_2}{2} t_0^2 + \left(1 + \frac{\beta_2^2}{2\beta_1}\right) t_0 + \frac{\beta_2^3}{6\beta_1^2} + \frac{\beta_2}{\beta_1} \right] \quad \text{年唐}$$

则由(3.18)、(3.19)式知道,随时间的演化,当 t 满足:

$$C_4^* + (C_5^* - u_2 \left[\frac{\beta_1}{2} t^2 + \left(1 + \frac{\beta_2^2}{2\beta_1} t + \frac{\beta_2^3}{6\beta_1^2} + \frac{\beta_2}{\beta_1}\right) t \right]) = 0 \quad (3.21)$$

其解 T 在有限时间内出现奇异解或溃变。

(3.21)式进一步可化为:

$$b_2 t^2 + b_1 t + b_0 = 0 \quad (3.22)$$

其中,

$$b_2 = \beta_1 u_2 / 2$$

$$b_1 = (1 + \beta_2^2 / 2\beta_1) u_2$$

$$b_0 = (\beta_2^3 / 6\beta_1^2 + \beta_2 / \beta_1) u_2 - C_4^* - C_5^*$$

取前述相同的参数, 得到方程(3.22)式的两个根的一个 $t''_1 = 21.5$ 个月, 另一个根 $t''_2 < 0$ 。同样我们只讨论 t''_1 , 这一溃变解离地震爆发的时间为: $21.5 - 18 = 3.5$ 个月, 这与实况是相当吻合的(见图2)。

§ 4. 地温‘流’异常与地震预测

图2是1976年唐山大地震前后0.8米深的地温度距平变化曲线(“·”位置是地震发生月份)。应说明的是此记录是当时最深的地温观测记录, 作为预测信息显然有不充分之处。然而由图2仍可明显地看到:

1. 地震前后的地温‘流’异常分布与数学模型的溃变结果是相当近似的。震前为正距平溃变。
2. 正距平溃变发生在震前约5个月。
3. 正距平转为负距平当月内发生地震。
4. 震后为负距平, 并也出现溃变与数学模型结果是相近的。

作为非线性热传导泛导方程重要特征, 地温‘流’会随时间演化为不连续溃变问题, 其溃变前的增长及溃变后的跌落, 均为原物理问题的有效部分, 不能视为适定的不稳定。针对此种情况沿用连续意义的 Riemann 意义积分格式求数值解, 必然遇到计算不稳定而停机^[2]。显然是求解方法的佯谬^[1]。对于奇异不可积的泛导方程, 连续条件下的 Riemann 意义积分格式已经失效。

地震对人类生存活动是重大的自然灾害, 充分的, 本质性的信息来源是必要的。这里引用地温‘流’只是信息的某个局部, 还不能认为是充分的信息来源。但有一点似乎明确的, 若描述系统是非线性的, 则是奇异的溃变问题, 其求解方法不能沿用适定性初值问题求解。非线性泛导方程模型含有溃变使理论趋于实际而回归自然, 较具体的体现了事物演化“物极必反”的演变规律。为此, 对于不可积的泛导方程的时间演化问题—预测模型的建立, 求解方法均应在“道法自然”的前提下进行再思考和研究。此外, 作为新信息的开发和探索, 也将是预测科学研究的方向。

参 考 文 献

- 1 吴学谋,《从泛系着世界》, 中国人民大学出版社(1990)。
- 2 欧阳首承等,《运动流体的断裂与天气预测的若干问题》, 成都科技大学出版社(1994)。
- 3 [加] 加兰(Garland, G. D),《地球物理引论—地幔, 地核和地壳》, 刘则仁译, 地震出版社(1987)。
- 4 [德] O. 卡普迈耶, R. 海涅尔同著,《地热学及其应用》, 陈乾元译, 科学出版社(1981)。
- 5 L. Rybach and L. J. Pmuffler, Geothermal system—Principles and cases histories, Rev. Geophy. . . 25 (3) (1982), 1441—1472.
- 6 汤懋苍、张健,“地温突升”与短期气候变化初探, 高原气象, 9(4) (1990), 364—370.
- 7 耿国庆著,《中国旱震关系研究》, 海洋出版社(1985)。
- 8 欧阳首承, 泛系预测观与流体暴转, 应用数学和力学, 16(3) (1995), 255—262.
- 9 [苏] . . . , 莫伊谢科等,《地热研究与应用》, 周惠兰等译, 地震出版社(1990)。

10 [苏] . . , 戈尔什科夫等,《地震危险区地球物理综合研究成果》, 徐客明译, 地震出版社 (1984), 128—160.

Panderivative Blown_Up of Ground Temperature and Predicting Earthquake

Li Chao Ouyang Shoucheng

(Chengdu Institute of Meteorology, Chengdu 610041, P. R. China)

Tang Maocang

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Chinese Academy
of Science, Lanzhou 730000, P. R. China)

Abstract

According to the blown_up theory (described in references [1, 2]) for nonlinear dynamic system on the relationship of general pansystem transformation, optimisation and panderivative blown_up, by means of blown_up theory, we demonstrate that the blown_up of nonlinear heat conductive equation is similar to the evolution of observational ground temperature ‘flow’ in this paper. And a successful simulation of Tang Shan Earthquake in 1976 has been given. The result of simulation indicates that the blown_up of ground temperature ‘flow’ around earthquake can be applied to predict earthquake. As for Tang Shan Earthquake, the predicting time is about five months.

If ground temperature ‘flow’ that embodies the earth’s crust satisfies the unintegral panderivative equation, we can demonstrate its mechanism and forecast earthquake with enough information.

Key words ground temperature ‘flow’, blown_up, panderivative, predicting