



强震前的“干热异常”与地温、降水波及应变弱停

汤懋苍¹, 惠小英¹, 郭维栋², 李 洁^{1,3}

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000;
2. 中国科学院大气物理研究所东亚中心, 北京 100029; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100029)

摘要: 对近 30 年出现在中国西部及邻区的 14 次 $M_s \geq 6.9$ 强震前 1 年多内的地温场和降水场进行了分析。发现有如下共同规律: ①在震前 1 年左右东亚地区会出现干热异常(3.2 m 地温升高, 同时降水距平为负值), 持续时间约为 2~6 个月, 最大干热面积可达 $2 \sim 4 \times 10^6 \text{ km}^2$; ②在震前 0.5~1 年左右我国的月降水距平%图和 3.2 m 地温距平的月际变温图上, 可看到波长小于 1 000 km 的地温波和降水波, 可称为“超低频应力密度波(应变波)”^[1], 它是致使岩石破裂的力源; ③在震前 0~2 个月应变波的波长会停止缩短, 振幅变小, 且波动方向可有一个近 90° 的旋转, 是“应变弱停”^[1] 的表现。以上可视为孕震三步曲。依据上述统计事实本文提出了强震成因的假设: 地外核中有一股热力极不稳定的 Benard 上升流体对其上的壳幔层形成顶托, 造成地温升高, 对流热传导系数变小, 形成干热异常; 岩石圈中脆性层的应力不断增大, 致使出现不稳定波(应变波); 出现“应变弱停”时意味着强震即将爆发。

关键词: 干热异常; 地温波; 降水波; 应变弱停; 强震; 孕震

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2010)01-0099-06

The Abnormal High Soil Temperature, Less Precipitation and Weakening of Stress Wave before Strong Earthquake

TANG Maocang¹, HUI Xiaoying¹, GUO Weidong², LI Jie^{1,3}

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of Gansu Province, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Regional Climate Environment Research for Temperature East Asia, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China;
3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The relationship between the ground temperature field and the precipitation field within one year before the occurrence of strong earthquake ($M_s \geq 6.9$, 14 times in total) in western China over the past 30 years are analyzed. It is found that: ① A large area with abnormal high soil temperature at 3.2 m are identified one year before the occurrence of earthquake accompanied by less precipitation in this area. The abnormal mentioned could last for 2 to 6 months with a maximum dry area of $2 \sim 4 \times 10^6 \text{ km}^2$. ② The fluctuation in both the soil temperature and precipitation fields with the wavelength less than 1 000 km are appeared 0.5~1 year before earthquake occurrence, namely, the so called "ultra low frequency stress wave". The wave is responsible for break of the crust. ③ The stress wave weakens with a shorter wavelength and lower intensity, as

收稿日期: 2009-07-28

基金项目: 国家 973 项目(2008CB425704); 国家自然科学基金(40775050); 高原气象基金(LPM2008017)

作者简介: 汤懋苍(1935—), 男(汉族), 江西宜春人, 研究员, 主要从事地球系统演化和短期气候预测研究。

well as a sharp turning of the propagation direction by nearly 90° . The above three stages could be called "the three stages for earthquake gestation".

A hypothesis is proposed on the mechanism of strong earthquake based on the above mentioned facts as follows: There is a kind of unstable uplifting Benard convection in outer layer of the earth core with a horizontal scale of 10^6 km^2 . The uplifting action push up the crust and the mantle. When arrives at the boundary layer between the earth core and the mantle. Following results are expected consecutively: The higher soil temperature field and the heat conductivity decreasing cause less rainfall. With the stress in the crust keeping increase a kind of unstable wave (strain wave) appears. The weakening of the stress wave happens right before the occurrence of the strong earthquake.

Key words: Abnormal high soil temperature with less rainfall; Soil temperature fluctuation; Precipitation fluctuation; Weakening of stress wave; Strong earthquake; Earthquake gestation

百年前提出的地震发生的“弹性回跳”理论无疑是地震学史上的一个里程碑。该理论的不足之处是将地震发生的原因局限在岩石圈之内。事实上地球系统各圈层中激活能量最大者是外核(它是流体且质量占到整个地球的三分之一以上),地震的成因离不开外核的活动。

1 强震的孕震三部曲

我们分析了近30年我国3.2 m地温、降水和地震资料,发现 $M_s \geq 6.9$ 强震之前1年多会出现三个特别现象,可称为孕震三部曲:

(1) 震前1年左右会出现大范围(面积在 10^6 km^2 以上)的3.2 m地温距平升温。同时降水减少($R' < 0$)现象,称为“干热异常”。耿庆国提出了“旱震关系”^[2],部分地抓住了地震的本质。但是有些“旱”是与地温降低相伴,此类“旱”不是地震前兆。

(2) 在强震前0.5~1年左右,3.2 m地温和降水量的空间分布有明显的波动现象。称此为地温波和降水波,可以合称为“应变波”^[1]。

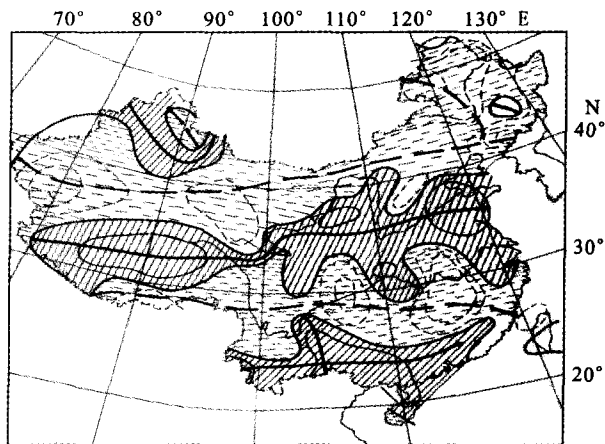
(3) 在震前0~2个月会出现地温波和降水波波长停止缩短(波长变长),振幅变小,甚至波动方向由准径向变为准纬向。这对应于“应变弱停”^[1](应变波减弱或消失称为“应变弱停”),表明强震即将发生。

2 2001年昆仑山口西8.1级巨震的震孕三部曲

此震是近40年来东亚大陆的最强震。从2000年10月至2002年2月的1.5年中,东亚大陆(25°N 以北)未出现 $M \geq 6.5$ 地震,故此巨震可以认为是一

个“孤震”。它基本未受其它地震影响,“孕震三部曲”表现得很清楚。

(1) “干热异常”。在2001年1月的3.2 m月际变温图(图1, $\Delta T'_i = T'_i - T'_{i-1}$, T'_i 为*i*月的3.2 m地温距平),可见正(负)变温区与2月份的降水距平百分率($R\%$)分布图(图2)的多(少)雨区基本上是一一相合。在 $30^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ 有一条东西向的正变温带(图1)和多雨带(图2)。在此带的南北两边是负变温带和少雨带,这符合“正多负少规则”(正变温区对应多雨,负变温区对应少雨)^[3]。此时尚看不到“孕震”过程已经开始的迹象。

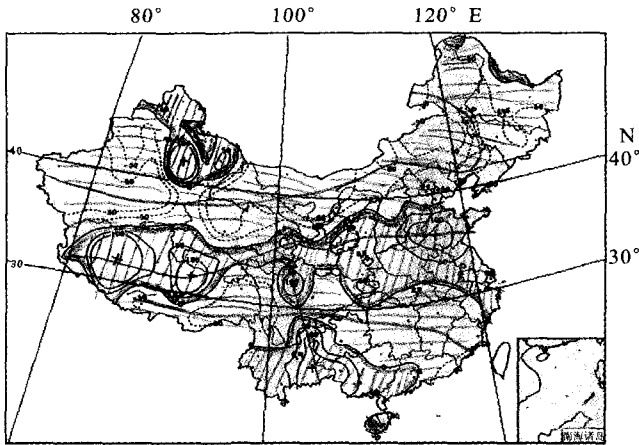


斜直线为正变温区, 横断线为负变温区

图1 2001年1月3.2 m地温距平的月际变温图(单位 0.1°C)

Fig. 1 The map of inter-monthly soil temperature-anomaly change at the depth of 3.2 m in Jan. 2001.

2001年2月的3.2 m月际变温图上(图略),在我国东中部有一块面积 $>10^6 \text{ km}^2$ 的正变温区,对应3月份的降水距平图上(图略)为一块 $R'\% < 0$ 的少雨区。这不符合“正多负少规则”,可以认为本月



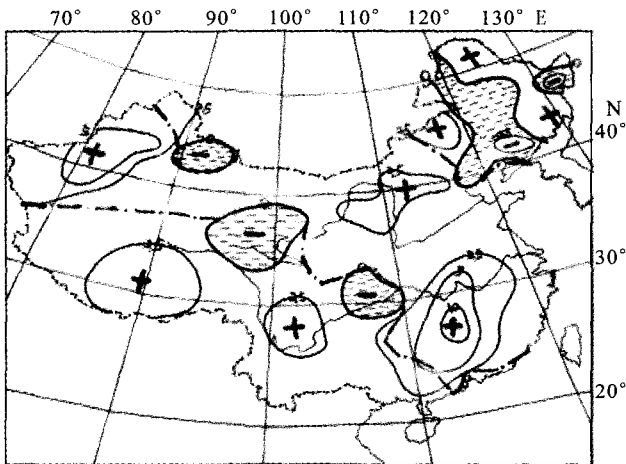
斜实线为多雨区, 横断线为少雨区

图2 2001年2月降水距平百分率($R'\%$)分布图

Fig. 2 Distribution of percentage of precipitation anomaly in Feb. 2001.

孕震过程已开始。

2001年4月的 $\Delta T'_i$ 图上(图3)全国几乎均是正变温,但5月的 $R'\%$ 图上(图4)全国大部为少雨区,严重地背离了“正多负少规则”。对每一个站可以定义一个“干热指数” $w_d = \Delta T'_i \cdot R'_{i+1}$, $\Delta T'_i$ 为*i*月3.2 m地温距平月际变温; R'_{i+1} 为本站下个月降水距平百分率。对正多($\Delta T'_i > 0, R'_{i+1} > 0$)或负少($\Delta T'_i < 0, R'_{i+1} < 0$)地区 $w_d > 0$;对“负多”地区($\Delta T'_i < 0, R'_{i+1} > 0$)暂不作分析。对“正少”地区,即 $\Delta T'_i > 0, R'_{i+1} < 0$,此乃 $w_d < 0$ 地区,称为“干热区”。量出每个月干热区的面积。从图3、4对比可知,2001年5月干热区面积达到 $360 \times 10^4 \text{ km}^2$



横断线为负变温区, 点划线所包围的区域为“干热区”

图3 2001年4月3.2 m地温距平月际变温图

Fig. 3 The map of inter-monthly soil temperature-anomaly change at the depth of 3.2 m in Apr. 2001.

(图3上点划线所围成的面积),是近几个月的最大值,将此月定为孕震三步曲的第一步。

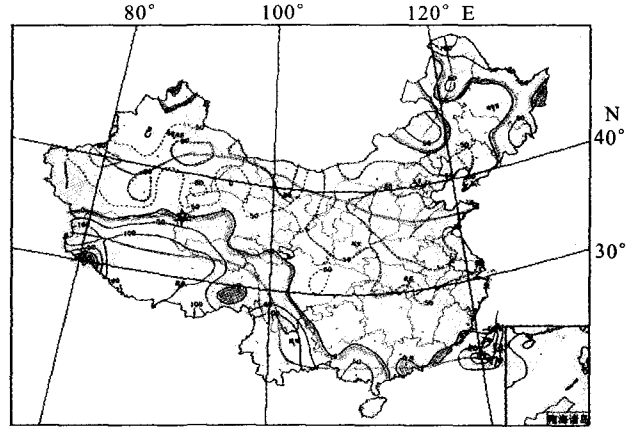


图4 2001年5月降水距平百分率($R'\%$)分布图

Fig. 4 Distribution of percentage of precipitation anomaly in May 2001.

(2) 地温波和降水波(应变波)始现。在图3、4上未表现出有波动(可认为此时波长为无穷长)。在6月的 $R'\%$ 图上(图略),我国北方东部和西部国境线上为多雨区,中间少雨,相当于波长约为3 500 km。以后波长继续缩短,在7月的图(图5)和8月的 $R'\%$ 图上(图6)波长缩短至约1 000 km,将此月定为孕震三步曲的第二步。对比图5、6可看出,此时“正多负少规则”又对应的很好,表明大气圈中的降水分布确实是与岩石圈中地热释放(地球波状排气)密切相关。

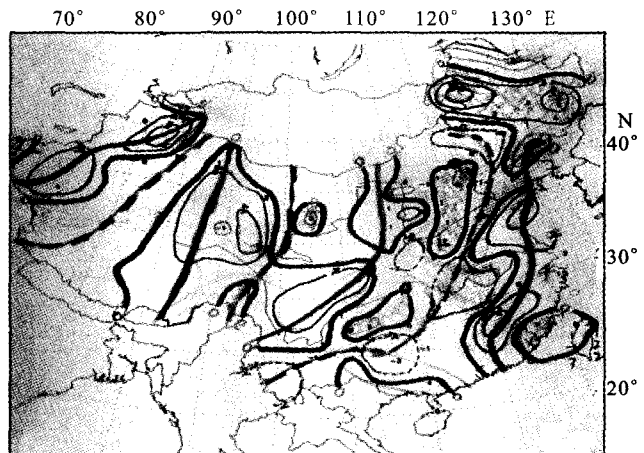


图5 2001年7月3.2 m地温距平月际变温图

Fig. 5 The map of inter-monthly soil temperature-anomaly change at the depth of 3.2 m in July 2001.

(3) 到9月份3.2 m地温波转向以纬向波为主(图略),10月的 $R'\%$ 分布图上(图7),降水的纬向分布非常清楚,与前两个月降水的经向分布形成鲜

明的对照,波长也增长至 1 200 km 左右。这是“应变弱停”的孕震第三步的开始。此时距强震发生仅剩 1~2 个月的时间。到 11 月(地震当月)又转变为以经向波为主(图略)。

表 1 1980—2009 年中国大陆 $M_s \geq 6.9$ 强震的震孕三步曲

时间	震级 M_s	纬度 $N/^{\circ}$	经度 $E/^{\circ}$	第一步 最大月	wd 面 积/ 10^6 km^2	中心 $N/^{\circ}$	第二步 始月	最短 波长 L / 10^2 km	对应 经度 $E/^{\circ}$	第三步 始月	第一步到 地震时间	第二步到 第一步 时间/月	第三步到 第二步 时间/月	第三步到 强震时 间/月
1980-02-22	7.0	31	88	1979-10	?	32	1979-12	5	90	1980-02	4	2	2	0
1981-01-24	6.9	31	101	1980-11	1.0	30	1980-12	7	100	1981-01	3	1	1	0
1982-01-24	6.9	31	83	1981-09	1.2	29	1981-11	8	90	1981-12	4	2	1	1
1985-08-23	7.4	39	75	1984-10	2.8	38	1985-05	3	100	1985-08	10	7	3	0
1988-08-06	7.2	24	94	1987-12	2.2	29	1988-04	5	100	1988-07	8	4	3	1
1990-04-25	7.0	37	100	1989-11	2.0	39	1990-02	5	100	1990-03	5	3	1	1
1991-01-05	7.6	24	96	1990-08	2.7	24	1990-10	4	100	1991-01	5	2	3	0
1992-08-19	7.5	42	73	1991-10	2.5	40	1992-05	6	80	1992-08	10	7	3	0
1996-02-03	7.0	28	100	1995-04	2.1	26	1995-07	5	100	1995-12	10	3	5	2
1996-11-19	7.1	35	78	1995-12	2.4	35	1996-07	7	80	1996-09	11	7	2	2
1997-11-18	7.5	35	87	1996-12	2.8	35	1997-05	6	100	1997-09	11	5	4	2
2001-11-14	8.1	36	91	2001-05	3.6	38	2001-08	5	90	2001-10	6	3	2	1
2005-10-08	7.8	34	74	2005-01	2.6	36	2005-05	6	80	2005-09	9	4	4	1
2008-05-12	8.0	31	103	2007-01	3.6	35	2007-07	4	100	2008-3	16	6	8	2

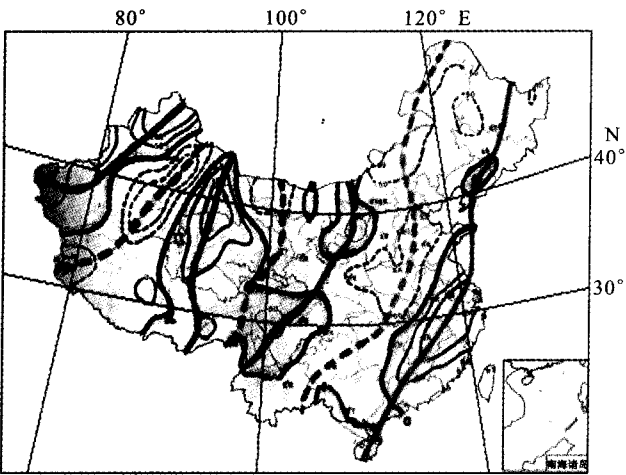


图 6 2001 年 8 月降水距平百分率(R' %)分布图
Fig. 6 Distribution of percentage of precipitation anomaly in Aug. 2001.

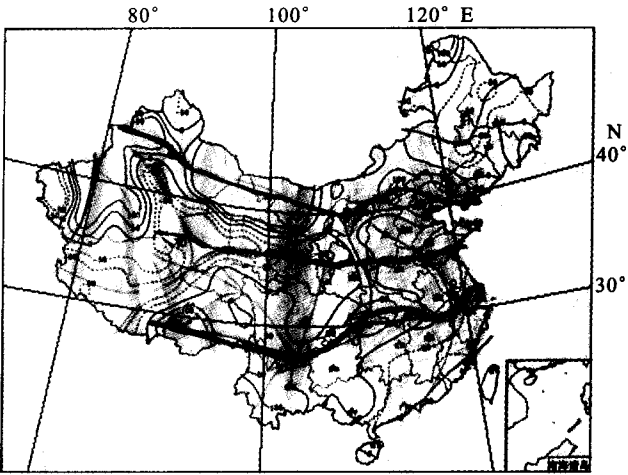


图 7 2001 年 10 月降水距平百分率(R' %)分布图
Fig. 7 Distribution of percentage of precipitation anomaly in Oct. 2001.

3 1980 年以来 $M_s \geq 6.9$ 强震的震孕三步曲

1980 年以前我国观测 3.2 m 地温的气象站只剩 30~40 个,从 1980 年开始突增到约 200 个,为分析地气活动创造了有利条件。本文仅分析 1980 年以后出现在我国西部及邻区($73^{\circ} \sim 103^{\circ}E$)的 6.9 级以上强震的孕震三步曲。应该指出,有些强震在其前后半年左右另有强震出现,这对分析孕震三步曲是一个干扰。如 1988 年 8 月在 $85^{\circ} \sim 100^{\circ}E$ 之间先后出现了 5 次 $M_s \geq 7$ 强震(纬度在 $22^{\circ} \sim 34^{\circ}N$ 之间)。2008 年 5·12 汶川巨震前于 1 月和 3 月先后出现了 6.9 级(改则)和 7.3 级地震(昆仑山),使

2008 年 1~4 月成为改则的震后,但是汶川巨震的震前。尽管存在着各种干扰,但 7 级以上的强震的孕震三步曲仍可分析出来。表 1 所列为 1980—2009 年上半年的 30 年间我国西部($24^{\circ} \sim 42^{\circ}N, 73^{\circ} \sim 103^{\circ}E$) $M_s \geq 6.9$ 强震共 14 次的孕震三步曲的统计特征。关于其统计方法有几点说明如下:

- (1) 震前半年到 1 年半会出现数个月的“干热异常”,将干热面积最大的一个月定义为“干热始月”(即孕震开始月,表 1 第 5 列),将该月的“干热面积”和最干轴线所在纬度列于表 1(第 6 列和第 7 列)。
- (2) “干热始月”开始后,相继各月的 3.2 m 月际变温图和下个月的降水距平(R' %)图上会开始出

现地温波和降水波(合称为应变波),波长会逐月变短。将波长开始 $<1\,000\text{ km}$ 的月份称为“应变波始月”。此为孕震第二步的开始月(表1第8列)。表1上记录了各次最短波长的长度(以 10^2 km 为单位,表1第9列),及所对应的经度(表1第10列)。

(3) 随着“应变波”波长的持续缩短,在强震爆发之前,会进入到应变波减弱的“应变弱停”阶段,表现为波长变长,振幅变小,甚至波动转向。此为孕震三步曲的第三步(表1中的第11列)。

从表1所列的统计事实可以得到以下几点结果:

(1) 作为孕震三步曲的第一步——干热面积达到最大的月份,全部出现在强震开始前3~12个月,只有汶川地震出现在震前16个月。若将2008年1—10月6次 $M_s \geq 6.5$ 强震看成是一组强震群,则其开端强震(改则1月6.9级)距干热最大月仍是12个月。表1上14次强震发生时间距干热最大月份平均是8个月(表1第13列),这可以看作是一次强震孕震所需的平均时间。应予说明的是1980年2月7级强震之前的干热始月是1979年10月或11月尚不能确定,因为当时地温测站太少。

(2) 孕震的第二步——3.2 m地温距平月际变温和月降水距平的波长开始 $<1\,000\text{ km}$,出现在第一步之后1~7个月(表1第13列)。距强震发生平均有4个月的时间。若自孕震第二步出现以后的次月开始发布强震预报,其时效平均尚有3个月左右。

(3) 孕震三步曲的第三步——应变弱停,出现在第二步之后1~8个月(表1第14列),平均是3个月。第三步距强震爆发平均是0.9个月(表1第15列)。

(4) 未来震级与最大干热面积之间有很好的正相关。从表1上的数据可算出其线性回归方程为 $M_s = 6.2 + 0.5wd$ (wd 的单位为 10^6 km^2),二者的相关系数达到了0.88,信度好于0.01。这意味着当最大干热面积出来以后,人们可以据此推出未来地震强度。

(5) 在月降水距平%图上,准经向波的最短波长 L 与震级存在反相关,但相关程度不如 M_s 与 wd 那样密切。如1985年8月7.4级强震出现在青藏高原西侧北段,但 L 的最小值(出现在1985年7月),出现在高原的东侧南段,波长为300 km。其原因也许与高原西部降水测站密度较低有关。

(6) 在干热面积最大月的 $R'\%$ 图上,可以划出一条准纬向的 $R'\%$ 极小线(最干带),列于表1的第

7列(φ 列)。将它与震中纬度(第3列)相比可知,两者之间相差一般均在 2° 纬距之内,只是1988年和2008年两个“群震年”相差在 $4^\circ \sim 5^\circ$ 纬距。1988年8—11月在我国西半部 $M_s > 7$ 级强震共出现了5次,其中1988年11月5日震中纬度在 33°N 。2008年3月21日7.3级强震震中纬度在 36°N 。这表明最干带纬度与震中有较好的相关,可以用最干带纬度作为未来震中纬度的初步猜测值。在波长最短月出现后,找到其中最短一个波所在的经度记在表1第10列上(λ 列),将其与震中经度(表1第4列)比较可知,二者有一定的正相关。这说明应变波的波长是在震中附近最短,向外逐渐增长。

从以上的分析可知,将历史上强震前的地温场和降水场进行了仔细分析之后,就可能找到强震三要素的中期预报指标(3个月~2年尺度的预报称为中期预报)。

4 关于强震成因的设想

根据本文所揭示的事实,对强震的成因我们可作如下设想:地球外核的雷诺数达 3×10^8 ^[3],可见是一个热力极不稳定的Benard对流体,其间常有一团一团的流体做Benard上升流。设某一流体团的垂直投影面积为 s 。当此流体团上升到核幔边界,就会顶托其上方面积为 s 的幔壳物质作上升运动。这就会产生两个后果:一是随着壳幔物质的上抬,整层地温要升高(3.2 m地温自然也要升高),故强震前常观测到红外热异常^[5]和地下气体释放增强^[6];二是随着壳幔的被压缩,岩石中的裂隙度要变小,使导热系数(K)变小,垂直向上的热量输送(Q)减少(因 $Q = \rho C_p K \frac{\partial T}{\partial z}$, K 变小必使 Q 变小)。这是降水减少的直接原因。郭增建等^[7]指出:特大旱灾还有地壳构造挤压这一因素。这实质上就是使地下对流热传导系数(K)减小。无论是水平方向的挤压或垂直方向的顶托,均可使 K 变小。由于上述两个过程同时进行,就使孕震三步曲的第一步——干热面积达到最大。随着Benard对流团的持续上拱,岩石圈中脆性层内的应力不断增大,使得不稳定波(应变波)开始出现,使孕震三步曲进入到第二步。随着应变波的不断增强(波长变短),最终导致整个脆性岩层因振荡而破裂形成强地震。此强震成因的假说可称为外核对流上升体(孕震体)“顶托说”。其间的一个重要插曲是“应变弱停”。它可能给发震时间的中期预报提供一个很好的线索。这可以用“热力回跳

弹性模式”^[8-9]来解释。

如果上述关于强震成因的假说基本正确,则可以推知得到以下两个结果。

(1) 一次强震的孕震时间应从何时开始计算?我们认为只能从外核的 Benard 对流上升体(孕震体)升到核幔边界开始顶托壳幔层作为孕震的开始时间。它在地表层的反映是干热面积开始形成并迅速扩大。于是由表 1 可见,强震的孕震时间一般是 1~2 年,即使是特巨大震我们估计也很难超过 3 年。那种将应力积累过程看成是孕震过程开始的观点是值得商榷的,因为应力积累不会直接导致地震,只有触发因素才可导致地震。所以那种认为一次强震的孕震过程要持续数十年甚至数百年的观点是没有根据的。

(2) 实验室得到的一小块岩石的抗破裂强度与地震震级没有直接关系。震级是由震源体的体积或其垂直截面积(s)来决定的,它在地表面的表现是“最大干热面积”(wd)。若认为 s 与 wd 大体相当,则可得到 s 的量级为 10^6 km^2 ,相当于线性尺度是 $1\,000 \sim 2\,000 \text{ km}$ 。这与地幔热柱的水平尺度一致^[3]。于是人们可猜测,地幔热柱的成因之一是外核中 Benard 对流上升体对地幔的顶托作用。

5 结论

(1) 地表面干热面积开始形成并迅速扩大,很可能是外核中震源体对幔壳层顶托的结果。它可以看成是强震孕震过程的开始,其持续时间大体是 1~2 年。

(2) 最大干热面积(wd)与震级有很好的正相关,可以用 wd 做为预报震级的第一近似。据此亦可推知: wd 与孕震体的垂直截面积(s)应该有密切相关。

(3) 月降水距平百分率分布图和 3.2 m 地温距平月际变温图上开始出现波长 $< 1\,000 \text{ km}$ 的地温波和降水波,很可能是岩石圈中脆性层的应力积累增大到地壳产生应变波之故。此时距发震时间平均是 4 个月,其时间跨度是 2~7 个月。据此可知,若

想将发震时间的预报精度提高到旬或候,还有大量工作要做。

(4) 干热面积最大月的最干带纬度与未来震中纬度有较好的相关;应变波最短一个月中的最短波所在经度与未来震中的经度也有一定的相关。可以用此纬度和经度作为预报震中位置的参考值。

本文只是对地震时空强三要素的中期预测开了个头,工作还很粗糙。至于短临预报必需另找途径。欲想提高预测准确率,国家地震局与中国气象局必需紧密合作,对所得资料进行统一分析,否则地震中期预报和降水气候预测都做不好。当务之急是尽快增加 3.2 m 地温测站的密度,以便更仔细了解地下热动过程。

致谢:中国地球物理学会天灾预测专业委员会主任郭增建教授所提意见对本文观点的形成起了重要作用,特此致谢。

[参考文献]

- [1] 赵复垣,张国栋,王泽之. 微破裂弹性回跳模型和一次地震的三种波[A]//2009 天灾预测学术研讨会议文集[C]. 北京:天灾预测专业委员会, 2009:152-157.
- [2] 耿庆国. 中国旱震关系研究[M]. 北京:海洋出版社,1995:1-351.
- [3] 汤懋苍,成青燕,张东方,等. 地气图预测全国降水的实践总结[J]. 高原气象,2008,27(5):1054-1059.
- [4] 滕吉文. 固体地球物理学概论[M]. 北京:地震出版社,2003:218.
- [5] 钟美娇,张元生. 2005 年 10 月 8 日巴基斯坦 7.8 级地震热红外异常[J]. 西北地震学报,2007,29(2):137-140.
- [6] 杨竹转,邓志辉,刘成龙,等. 2000—2006 年怀来 CO₂ 变化特征分析[J]. 西北地震学报,2008,30(3):288-292.
- [7] 郭增建,郭安红. 对 2006 年川渝特大旱灾成因的新看法[J]. 西北地震学报,2007,29(2):200.
- [8] Rundle J B. A Physical Model for Earthquakes,(2), Application to Southern California[J]. J. Geophys. Res. , 1988, 93: 6255-6274.
- [9] Rundle J B. A Physical Model for Earthquakes,(3), Thermodynamical Approach and its Relation to Nonclassical theories of Nucleation[J]. J. Geophys. Res. , 1989, 94:2839-2855.