

地气图方法预报汛期降水 10 年总结

汤懋苍¹ 郭维栋² 柳艳香³ 张拥军^{1,4} 李栋梁¹

1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000

2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

3 中国气象局国家气候中心, 北京 100081

4 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 作者总结了用地气图方法进行 1995~2004 年汛期降水预报的经验教训。10 年来各单位的平均得分均为 60 多分, 表明气候预测尚未过关。地气图方法虽然取得了在 8 大单位中平均排名第一的成绩, 但比第二名只多 0.4 分。表明地气图方法还有很长的路要走。不过它所走的大方向: 要考虑岩石圈热力异常对短期气候变化的影响, 似乎值得肯定。因为岩石圈与大气圈的耦合作用是气候系统中的一对主要矛盾, 而且岩石圈释放的热量有时可达 $10^0 \sim 10^1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的量级, 这足以影响到短期气候变化。10 年中 1995 年和 2002 年本方法预报得分排名为倒数第一, 因而对此进行了深入分析。最值得吸取教训的是 2002 年和 2003 年。

关键词 地气图方法 地气热通量 汛期降水预报

文章编号 1006-9585 (2006) 05-0642-07 **中图分类号** P445 **文献标识码** A

Summary of Precipitation Prediction during Flood Season Based on “Geothermal Gases” Map over the Last 10 Years

TANG Mao-Cang¹, GUO Wei-Dong², LIU Yan-Xiang³, ZHANG Yong-Jun^{1,4}, and LI Dong-Liang¹

1 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

4 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract Precipitation prediction during flood season based on “Geothermal gases” map over the last 10 years is summarized in this paper. The average score of prediction for all participants is just higher than 60, which implies that the skill of short-term climate change prediction is still not enough for operational use. “Geothermal gases” Map method ranks at the top of the participants with limited advantages by 0.4, indicating that there is much room to further improve this method. At the same time, it is worthwhile to attach more importance to this method because it focuses on the interaction between lithosphere and atmosphere, which is probably the main process of the climate system. The heat flux released from lithosphere could reach as high as $10^0 \sim 10^1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ according to some investigations, which is large enough to cause the effects on short-term climate change. Cases in year 1995 and 2002 are analyzed in detail since the performances of this method are poor. In addition, some lessons are mentioned in particular concerning the predictions in year 2002 and 2003.

Key words “Geothermal gases” Map method, geothermal heat flux, precipitation prediction during flood season

收稿日期 2005-03-02 收到, 2006-04-10 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40405014 和科技部社会公益研究专项 2004DIB5J192 的 01 课题 02 专题

作者简介 汤懋苍, 男, 1935 年出生, 研究员, 主要从事气候变化研究。E-mail: tangmc@lzb.ac.cn

行降水的气候预测。

1 引言

自 1975 年开始，我们根据地温、地震等岩石圈变化的信息，于 4 月初预测全国本年汛期的降水分布。前两个 10 年（1975~1984 年和 1985~1994 年）的汛期预测总结工作，均已公开发表^[1,2]。本文将对第 3 个 10 年（1995~2004 年）的汛期预报进行总结，以利吸取经验教训。

目前，参加全国汛期降水预测会商的各单位大体都是根据前期海温、大气环流、积雪或一些天文因素等得出预测意见，惟有中国科学院寒区旱区环境与工程研究所是根据地温和地震等岩石圈的因子做出预测。此种方法被称为“地气图方法”，其基本原理是：地球内部充斥着气体（称为地气），它与大气圈无时无刻不在进行气体交换。在有些时候有些地方，此种交换能量可达 $10^0 \sim 10^1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的量级^[3~6]，这足以引起月以上时间尺度的气候变化^[7]。地球内部时时刻刻都在进行着“呼吸运动”，地球向外呼气的地方，地温升高，降水增多^[8]；而地球向内呼气的地方地温降低，降水减少。我们就是在捕捉深层地温变化的趋势，将其作为岩石圈热力异常信号的基础，进

2 10 年预报的基本情况

以前各单位预报未进行统一评分，相互之间无法比较，1993 年开始由国家气候中心预测室（原中央气象台长期科）对各单位的汛期预报与实况对比，进行统一评分。表 1 为 1995~2004 年各单位的汛期预报得分^[9]。

分析表 1 可知：1) 各单位的预报平均得分均为 60 多分，前 6 名的得分相差在 2 分以内，表明预报水平均不高，即短期气候预测尚未过关；2) 各单位会商后正式向外发布的预报得分最高，可见预报会商的重要性；3) 完全只用“土”办法（地温、地震），一点未用“洋”资料（洋温、洋流，ENSO 等）的中国科学院寒区旱区环境与工程研究所地气图方法 10 年平均得分在 8 大单位中为最高（虽然仅比第二名高 0.4 分），而且标准差为最小，表明该方法不但准确率较高，且预报效果较稳定。

在短期气候预测方面，中国科学院寒区旱区环境与工程研究所为什么 10 年平均能取得相对最好的成绩？这应该深入分析和仔细思考。我们愿

表 1 1995~2004 年各大单位汛期预报得分
Table 1 Score list of precipitation prediction during flood season over 1995—2004

年份 Year	会商发布 Released	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1995	84	76	72	76	71	77	81	70	72	/
1996	67	73	62	70	81	66	64	71	63	/
1997	67.7	65.4	76	73.5	67	68	68	69.7	41	/
1998	69.1	60.8	76.9	61.7	78.7	66.3	63.8	64.6	67.2	57.3
1999	44.4	42.1	45.9	53.9	49.4	66.4	54	57.1	62.6	/
2000	76	77	71	72	75	65	76	69	53	/
2001	71	74	64	67	56	57	65	71	/	69
2002	66	64	65	70	69	66	/	59	76	71
2003	48	49	60	37	54	47	/	60	52	49
2004	74	62	65	66	44	68	/	71	55	62
平均 Average	66.7	64.3	65.8	64.7	64.5	64.7	/	66.2	60.2	61.7
标准差 Standard deviation	11.5	11.0	8.6	11.0	12.2	7.4	/	5.3	10.4	8.1

注：序号 1~9 代表参加汛期会商的各单位，单位 7 用“地气图方法”
Note: Number 1—9 stands for participants providing precipitation prediction respectively, unit 7 provides prediction based on “Geothermal gases” Map

在此提出以下几点认识与各位同行商榷:

(1) 气候系统是 5 大圈层相互作用的系统, 气候变化是气候系统变化在大气圈的反映, 这种观点已公认为是正确的。岩石圈、水圈、冰雪圈、大气圈和生物圈 5 个圈层所占质量和所储能量之比大体是 $10^4:10^3:10^1:10^0:10^{-2}$, 可见岩石圈是气候系统中最主要的子系统, 它占气候系统总质量和总能量的 90%。由于岩石圈和大气圈是气候系统中仅有的在地球上连续分布的系统, 因而在气候子系统的各类矛盾中, 两者构成了主要矛盾, 而岩石圈又是主要矛盾的主要方面, 抓住了它们, 一切问题就会迎刃而解。

(2) 目前争论的焦点是对 $10^{-1}\sim10^0$ a 的时间尺度, 岩石圈是否对大气圈有大影响? 国外有的教科书中至今仍写着: “在本书中所考虑的时间尺度内 (注: 指 $10^{-1}\sim10^0$ a), 可以认为岩石圈是气候系统中几乎不变的因子”^[10]。然而不但我们 30 年的汛期预报实践证明上述说法是不正确的, 而且很多观测事实也说明岩石圈内 $10^{-1}\sim10^0$ a 的变化可以明显影响着气候变化。如国家地震局在河北怀来观测地下 CO_2 向地表的排放通量, 已有 10 余年的资料, 发现在 10^1 年的时间尺度内 CO_2 的排放量变化很大, 最高排放通量比最低排放通量大 2 个数量级。大排放量都出现在附近有中强地震发生的前后^[6]。Etiope 等^[4]收集了很多作者在全球不同地方观测的地下 CO_2 释放通量, 最大值 (在 California) 可达 $216\,000\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。据此可计算出相应的热通量约为 $5.5\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ^[5], 这足以使得经过该地区的降水系统受到下垫面热力异常的激发, 导致其降水量比周围大大增加。

(3) 我们认为处于发展阶段的地热涡^[8]正是地下气体排放量大增的地方, 此时其地热通量可达 $10^0\sim10^1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, 于是经过其上空的降水系统, 降水量在此必然要大增, 而在地热通量小的地方降水量自然要少。故对降水的气候预测就可转化为对地温 (地热) 场变化的预测, 即地气形势变化的预测。这一转化不仅使得预测思路变得十分简洁, 而且大大增加了在实践中的可操作性。

再分析表 1, 可见 1997 年以前各单位的预报得分普遍比 1998 年以后要高。1997 年以前的老办法^[11], 只用 100 个站参加评分, 1998 年开始的新办法^[12]用了 160 个站。根据 1996 和 1997 两年新、

老办法同时应用的对照结果, 新办法的评分比老办法平均要低 4.4 分。这意味着以后要想得到 70 分以上, 比以前更难了。再看中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的预测结果, 虽然有逐渐变好的趋势 (2003 和 2004 两年均为第一名), 但不少年份预报的并不好, 其中 1995 和 2002 两年是预报最差的。这是因为从冬季以前的地气形势如何来预测夏季将出现的地气形势, 至今尚无一套可靠的方法。特别是在 20 世纪, 我们基本上是将冬季的地气形势不变地用于夏季, 即假定从冬到夏地气形势不变。这在较多的时候, 基本上是可以的, 因为地热涡的平均生命史是 1.5 年^[13]。但地热涡从冬到夏会移动、消失或新生, 这就导致了预报的失败。研究地气形势的演变规律已成为我们的当务之急。下面分年总结预报的经验教训。

3 1995~2004 年逐年预报的经验教训

1995 年夏季的降水距平预测图^[9], 基本上是按照冬季的地气形势画出的 (地热涡为多雨区, 地冷涡为少雨区)。其失败之处是: 1) 当时尚未发现 1995 年 1 月日本阪神 7.4 级强震, 对我国东部沿海同纬附近的地热涡 (山东半岛和长江下游) 有抑制作用 (应预报夏季为少雨区); 2) 1994 年 11 月和 1995 年 2 月在中印缅热点区先后出现了 1 次 >6 级和 2 次 >5 级地震, 这表明该热点区夏季仍将继续活跃, 它将激发江南地区夏季地热涡发展, 形成多雨区 (冬季该区为地冷涡区, 故预报为少雨); 3) 东北冬季强地热涡 (中心在 46°N), 我们预报它夏季将往北活跃, 实况是往南活跃。在冬季的地气图上, 其上游 (西部) $40\sim45^\circ\text{N}$ 为一串地热涡列, 而 $45\sim50^\circ\text{N}$ 为一串地冷涡列, 故一般应预报东北地热涡将向南活跃。如果上述 3 点当时就认识到了, 则 1995 年的预报结果不致于是最后一名。

1996 年的最大失败是当时未发现 2 月丽江 7 级震会激活汛期长江流域多雨; 另与 12 月黄河源区 6.2 级震相伴的青海地热涡中心在 37°N , 考虑到 3 月新疆伽师 6.9 级震, 应预报与青海地热涡相应的汛期降水将出现在 37°N 以北, 可当时错误地预报在 37°N 以南。

1997 年在 40°N 附近预报了一条宽度达 8 个纬距的多雨带，实况只出现了 4 块零星多雨区。1996 年 11 月喀拉昆仑 7.1 级强震，3 月伽师又 6.6 级地震，从统计相关看，此预报应该无大错。问题出在 1997 年 11 月藏北玛尼又发生了 7.5 级强震，它使我国北方本年夏季在岩石圈中出现了“驻波”，根据“驻波不频散规则”^[14]使北方的地热涡都得不到发展，形成冬、春、夏、秋大范围的少雨干旱区。

1998 年冬季的地气形势和降水场分布，与 1954 年非常相似。都是长江流域为地冷涡，但降水较多，江淮之间为极少见的强形变锋，淮河干流即为地热涡控制，且北方均有 7 级以上强震。当时之所以不敢报“长江大洪水”，而预报为“长江以北（淮河流域）将有较大洪涝”，是因为中印缅热点区未出 ≥ 7 级地震，最大震仅 6.4 级，而 1954 年为 7.4 级。事实上 3 月 5 日在伊朗东南部（ 30°N ）也发生了 7.4 级强震，根据“能量频散规则”^[14]也应该预报长江大洪水，但当时未注意到国外地震，致使很遗憾地漏报了 1998 年长江大洪水。至于 1998 年的嫩江大水，从事后分析，根据冬季东北中部的强地热涡和 1 月张北 6.2 级地震应该可以预报出来。

1999 年是预报得分最低的一年，有一半单位亦是本年得分最低。主要原因是 1998 年长江大水后，一般均认为 1999 年长江不会再发大水。从地气图角度看，1998 年引发长江大水的地热涡，1999 年应该减弱消失。但 1999 年特殊之处是唯一的“扰动源”为 3 月 29 日普兰境外（在印度境内）的 6.8 级强震（震中在 30°N ），除此之外整个亚洲大陆无 ≥ 6 级强震（东北深震不计）。故它应该激活我国南方的“S 涡列”^[15]，使汛期多雨。我们在该年的预测意见中曾经写到“普兰境外 6.8 级强震标志着我国地震活跃期的开始，故 3 月开始我国南方降水增多进入多雨期，预计此多雨期将维持 4~5 个月”^[9]。这就是说汛期南方应该多雨，但在画 6~8 月的降水距平图时，我们还是相信了“地热涡的生命史平均是 1.5 年”，将南方定为少雨区。此教训今后应牢牢记住。

2000 年的汛期会商会，因暂时未用到山东、河南等省几个关键资料，使 2 月的地气图上，从 $29^{\circ}\sim 38^{\circ}\text{N}$ 的我国中部一大片为低温区，于是只能

预报长江—黄河间为少雨区。后用到几个关键资料，发现 35°N 附近存在一地热涡列，而且在（ $30^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ ， $90^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ ）约 $2\times 10^5\text{ km}^2$ 的土地上，11~2 月共发生了 ≥ 5 级地震 7 次，这也应该是一“扰动源区”，故预报主雨带在江河之间（淮河流域）。可见地温测站的密度对我们的预报精度起着关键作用。

2001 年冬季信号较强，使预报较易制作。1 月印度 7.8 级强震（ 23°N ）是最强的扰动源，故预报华南为一多雨带。在我国沿海为一南北向高地温带。3 月我国北方除东北外，为大范围干旱少雨。这些强信号使所绘出预报图的基本特征与事实较为相像。

2002 年是需要深刻吸取教训的一年。2001 年 11 月 8.1 级特强震（ 36°N ）是近 50 年来我国大陆的最强震，12 月台湾东洋面又发生 7.5 级强震，据此两个强信号，反查 50 年的个例^[9]，我们似乎有“充分”的理由预报本年主雨带应在长江以北，而不在江南。事实上直到 2002 年 6 月主雨带都在北方，但从 7 月开始主雨带跳到江南，北方为干旱少雨区，致使夏季主雨带出现在江南。我们的预报彻底反了，预报得分成绩为最后一名。事后检查原因，主要有两点：1) 8.1 级强震后，我国 35°N 以北直到 2002 年 8 月均未出现 ≥ 6 级地震（东北深震不计），在 100°E 以东甚至 ≥ 5 级地震都未出现过，表明 8.1 级强震是一“孤震”，根据“准半年韵律”^[14]，它激活地热涡列使北方多雨只能持续到 5、6 月。2) 2002 年 3 月在台湾 125°E 以东洋面发生了 7.2 级震。近 50 年在台湾以东（ $21^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ ， $125^{\circ}\sim 143^{\circ}\text{E}$ ）范围内 1~6 月发生 ≥ 7 级震的年份计有：1954、1955、1998、2000 和 2002 年共 5 年，汛期我国主雨带均在江南或江南亦有一条多雨带（2000 年）。这说明台湾 125°E 以东的强震不是太平洋板块加速向西插的标志，这与 125°E 以西的强震性质是相反的。

2003 年虽然评分为第一，但得分并不高，在 2003 年 2 月的地气图上（图 1），江南为面积 $> 5\times 10^5\text{ km}^2$ 的大地冷涡控制，应该预报该区夏季为少雨干旱区。（如图 2 所示），但综合考虑各种因素后，我们将江南预报改为多雨区^[9]，致使预报失败。至于本年的淮河大水，则要待 4 月 17 日德令哈 6.6 级地震后，才可能预报出来。

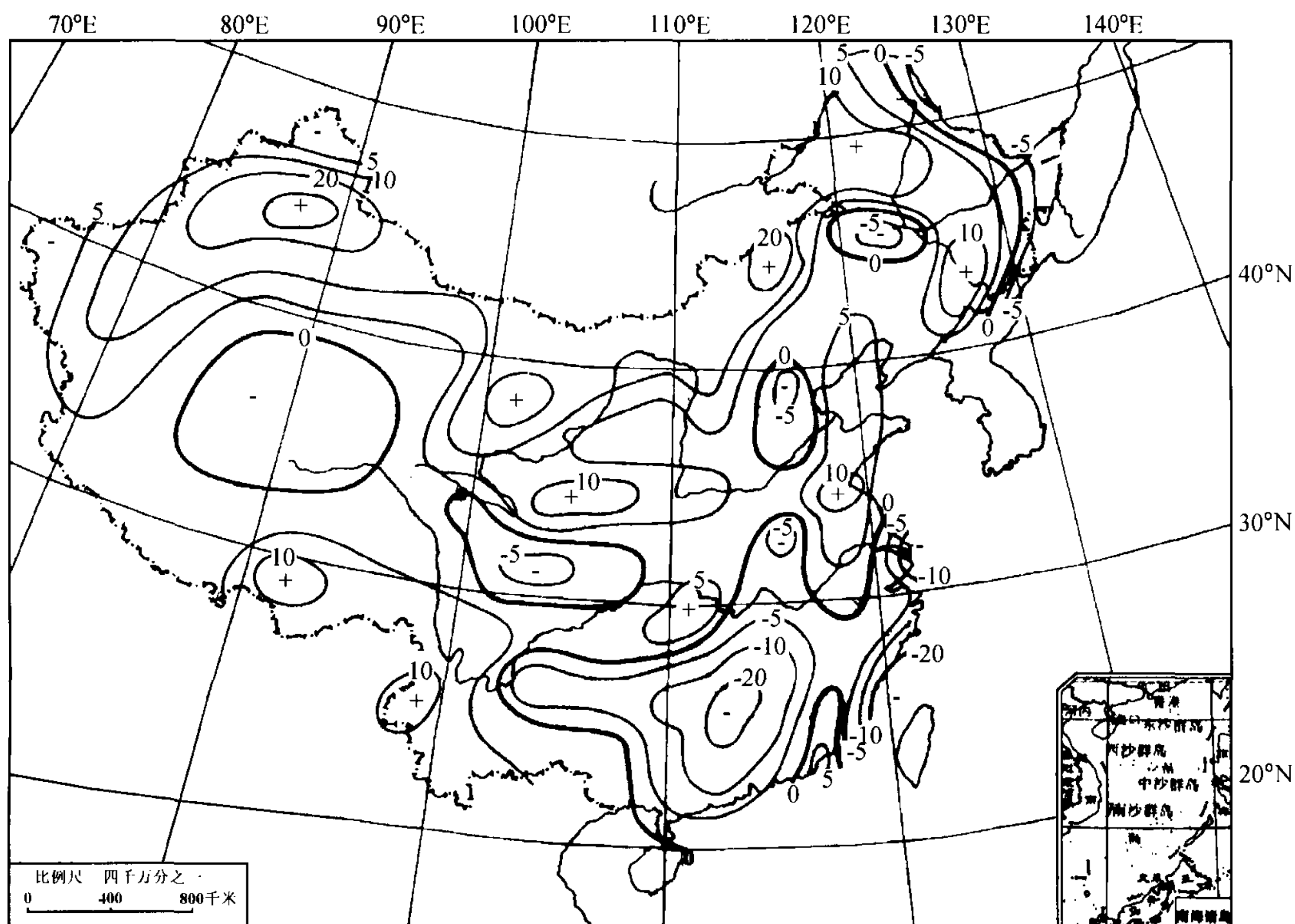


图1 2003年2月地气图

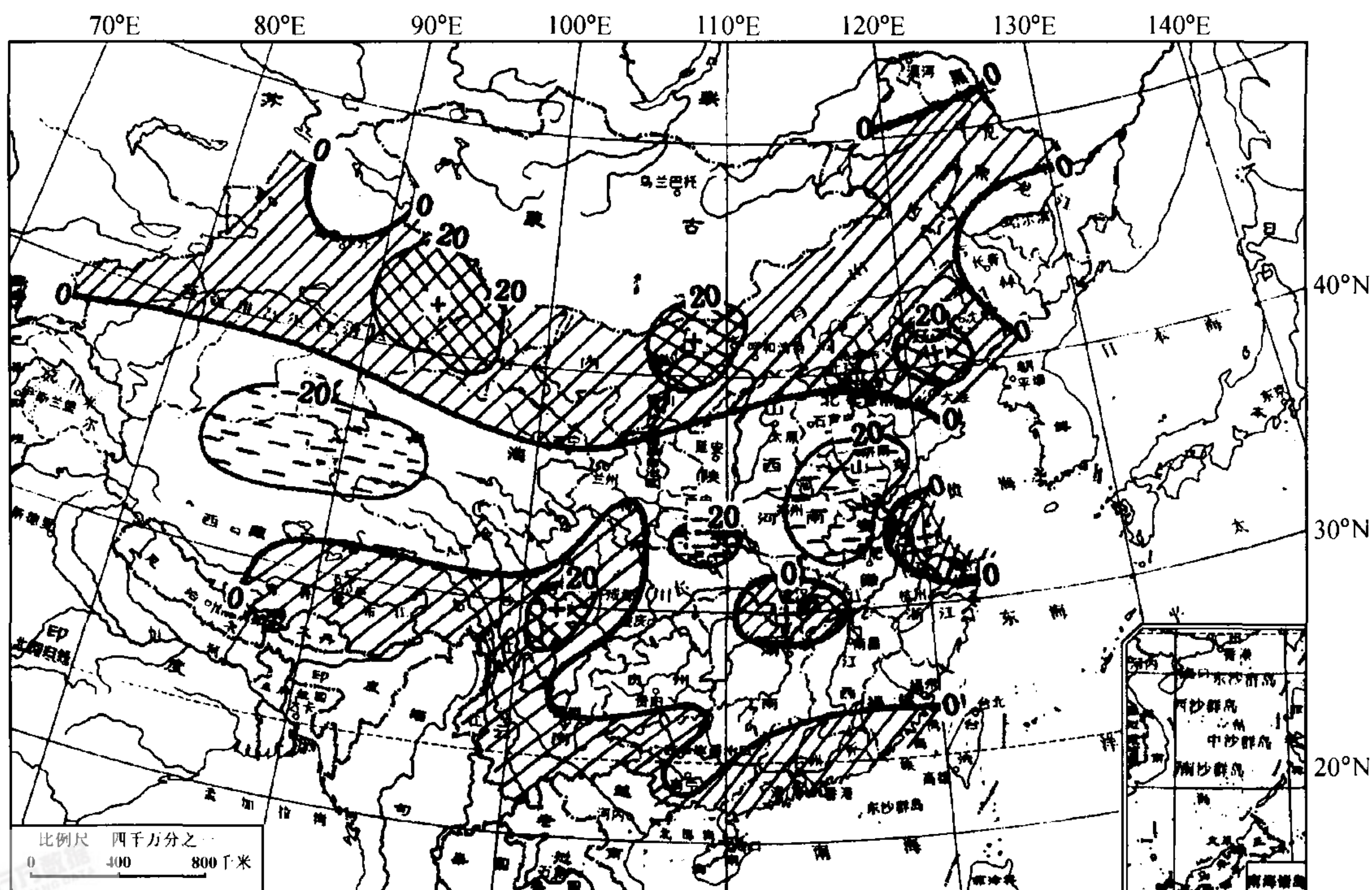
Fig. 1 Distribution of soil temperature anomaly at 3.2 m in Feb, 2003 (units: 10^{-1}°C)

图2 2003年6~8月全国降水距平百分率预测

Fig. 2 Prediction of precipitation anomaly in China during flood season (JJA) in 2003 (units: %)

2004 年最大的遗憾是黄淮之间的多雨区未预报出。3 月 28 日班戈 6.3 级震 (34°N) 为当年最强的扰动源, 在其下游的陕晋 (N_3) 和山东 (N_4) 两个地热涡^[9], 因受同纬最大扰动源的激活, 一般均会出现一片相连的多雨区。

4 结束语

一般认为汛期预报的得分平均能到 70 分, 且全流域性的大旱、大涝不漏报, 则可认为汛期降水预测基本过关。通过 1964~1974 年的地温与降水变化关系的分析工作和 1975 年以来的 30 年实际预报经验积累, 我们认为已接近于基本解决短期气候预测的难题。岩石圈是整个气候系统的主导系统, 想脱离岩石圈而解决气候预测问题是不可能成功的。描述岩石圈变化的各种要素还有很多尚未用在气候预测上, 如地磁^[16]、地倾斜^[17]、GPS 测量的地表 3 维速度、重力等等。我们希望下一步能对这些资料进行收集分析, 以进一步提高预测的准确率。当然, 下垫面特性的变化, 如积雪、海温等也是在必需考虑之列。

参考文献 (References)

[1] 辛坚十. 10 年 (1975~1984 年) 汛期降水预报小结. 高原气象, 1985, **4** (4): 372~381
Xin Jianshi. Summary of precipitation prediction during flood season over past ten years (1975~1984). *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1985, **4** (4): 372~381

[2] 汤懋苍, 赵振国, 马柱国. “地下信息法” 10 年 (1985~1994) 汛期降水预报总结. 气候与环境研究, 1997, **2** (1): 55~60
Tang Maocang, Zhao Zhengguo, Ma Zhuguo. Summary of precipitation prediction during flood season over past ten years (1985~1994) based on “underground information” method. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1997, **2** (1): 55~60

[3] 汤懋苍, 钟大赉, 李文华, 等. 雅鲁藏布江“大峡弯”是地球热点的证据. 中国科学 (D 辑), 1998, **28** (5): 463~468
Tang Maocang, Zhong Dalai, Li Wenhua, et al. Evidences of the “Great Gorge” of the Brahmaputra River as a “hot spot” on the earth. *Science in China* (Ser. D) (in Chinese), 1998, **28** (5): 463~468

[4] Etiope G, Klusman R W. Does geogas emission in non-vol-

canic Ares contribute to carbon cycle and global climate change? In: Proceedings of the 25th E. S. Q. E. Course: Observational Database and Mechanisms of Climate, Erice-Sicily, Italy, Nov. 1998

[5] 郭维栋, 柳艳香, 汤懋苍. 1998 年夏季地震、地温场演变与洪涝过程分析, 地球物理学报, 2004, **47** (3): 411~416
Guo Weidong, Liu Yanxiang, Tang Maocang. Analyses on the evolution of the earthquake activity, soil temperature and flood events in summer 1998. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2004, **47** (3): 411~416

[6] 林元武, 王基华, 高松升. 断层气 CO_2 测定新方法 with 张北—尚义 6.2 级地震预报. 地震, 1998, **18** (4): 353~357
Lin Yuanwu, Wang Jihua, Gao songsheng. A new method to detect fault gas CO_2 emission and its relation with the Ms 6.2 earthquake prediction in Zhangbei-Shangyi region. *Earthquake* (in Chinese), 1998, **18** (4): 353~357

[7] 汤懋苍. 论“天候谱”的自然分段. 科学通报, 1988, **33** (9): 680~683
Tang Maocang. On the division of “weather and climate spectrum”. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1988, **33** (9): 680~683

[8] 汤懋苍, 高晓清. 1980~1993 年我国“地热涡”的若干统计特征 II. “热涡”与地震的统计相关. 中国科学 (B 辑), 1995, **25** (12): 1313~1319
Tang Maocang, Gao Xiaoqin. Some statistical characteristics of “Geothermal Vortex” in China during 1980—1993. II. Statistical correlation between “Geothermal Vortex” and earthquake activity. *Science in China* (Ser. B) (in Chinese), 1995, **25** (12): 1313~1319

[9] 国家气候中心. 气候预测评论 (1995~2004 年). 北京: 气象出版社, 1995~2004
National Climate Center. *Remarks on Climate Change Prediction* (1995~2004) (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1995~2004

[10] Peixoto J P, Oort A H. 气候物理学. 见: 吴国雄, 刘辉等译. 北京: 气象出版社, 1995. 13
Peixoto J P, Oort A H. In: *Physics of Climate* (in Chinese), Translated by Wu Guoxiong, Liu Hui, et al. Beijing: China Meteorological Press, 1995. 13

[11] 赵振国. 我国汛期旱涝趋势预测进展. 见: 丁一汇主编, 气候预测研究. 北京: 气象出版社, 1996. 84~93
Zhao Zhengguo. Advances in flood/drought prediction during flood season in China. In: *Climatic Prediction Research* (in Chinese). Ding Yihui, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1996. 84~93

[12] 陈桂英, 赵振国. 短期气候预测评估方法和业务初估. 应用气象学报, 1998, **9** (2): 178~185
Chen Guiying, Zhao Zhengguo. Assessment of short-term climate prediction and its operational application. *Journal*

- of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9** (2): 178~185
- [13] 汤懋苍, 高晓清. 1980~1993 年我国“地热涡”的若干统计特征 I. “热涡”的时空分布. 中国科学 (B 辑), 1995, **25** (11): 1186~1192
Tang Maocang, Gao Xiaoqin. Some statistical characteristics of “Geothermal Vortex” in China during 1980—1993 I. Spatial-temporal distribution of “Geothermal Vortex”. *Science in China (Ser. B)* (in Chinese), 1995, **25** (11), 1186~1192
- [14] 汤懋苍, 张拥军, 李栋梁. 短期气候预测地气图方法的 7 条预报规则. 高原气象, 2005, **24** (2): 218~222
Tang Maocang, Zhang Yongjun, Li Dongliang. 7 rules of short-term climate change prediction based on “Geothermal Gas” Map method. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2005, **24** (2): 218~222
- [15] 江灏, 王钟睿, 柳艳香等. 地震、地温、降水之间的动态统计特征. 地球物理学报, 2002, **45** (增刊): 144~150
Jiang Hao, Wang Zhongrui, Liu Yanxiang, et al. Dynamical statistical correlation between earthquake activity, soil temperature and precipitation events. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2002, **45** (Suppl.): 144~150
- [16] 曾小萍, 林云芳, 续春荣. 地球磁场大面积短暂异常与灾害性天气相关初探. 自然灾害学报, 1992, **1** (2): 59~65
Zeng Xiaoping, Lin Yunfang, Xu Chunrong. A preliminary discussion on the relationship between abrupt anomaly of geomagnetic field over large area and catastrophic atmospheric events. *Journal of Natural Disasters* (in Chinese), 1992, **1** (2): 59~65
- [17] 郭维栋, 汤懋苍. 我国地形变场的统计特征及与地温场的相关. 高原气象, 1999, **18** (1): 79~87
Guo Weidong, Tang Maocang. Some statistical characteristics of earth surface deformation field and its Correlation with soil temperature field. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (1): 79~87