

2008年冬季—2009年春季干旱的大气结构与地球转动特征

魏 鸣¹, 欧阳首承²

(1. 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044;

2. 成都信息工程学院, 成都 610041)

[摘要] 针对干旱预测的难题, 利用揭示大气热结构垂直特征的 $V-30$ 图, 分析影响旱区的气流特征。根据国际地球自转服务(IERS)的数据, 分析地球极移、章动和转速的变化与大气热结构变化的关系, 基于地气动量守恒原理, 将大气热结构与地球转动特征变化进行了制约性分析。结果表明, 大气热结构异常和地球转动特征引起的冷空气路径变化与大范围干旱有关。

[关键词] 干旱; 冷空气路径; 回流; 章动; 极移

[中图分类号] P429; P434; P127 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)01-0049-07

1 前言

自2008年10月下旬至2009年2月上中旬, 我国中部和北部约15个省区100多天缺少有效降水而导致了严重干旱。这次旱灾持续时间长、受旱范围广、程度较重。重旱区和特旱区主要是在华北、黄淮以及西北地区东部等地。此外, 在西藏中南部和东南部以及四川西部、云南西部等地, 旱情也有所加剧。国家气候中心公布的我国北方地区干旱的进展报告显示: 2008年10月下旬以来, 北方冬麦区降水量普遍较常年同期偏少5~8成, 降水量之少为30年一遇, 特旱区达50年一遇。由于来自南海太平洋的水汽输送以及从印度洋、孟加拉湾过来的水汽输送比较弱, 所以造成中南半岛、印度次大陆出现比较严重的少雨和干旱情况。相反, 在西半球、北美等地暴风雨比较强。

针对此次干旱发生的原因, 预报专家认为是大气环流异常所致。干旱是一段时间内缓慢积累的结果, 其预测问题被现行分析体系列为世界性难题。

2 问题的提出

气象科学是大气演化的预测科学^[1~3], 也是使用信息最多的学科之一。正确认识、深入发掘观测信息是气象科学的重要任务。整个大气系统是一个有机的整体, 中长期天气是短期、短时天气的背景, 后者是前者在一个短时期内的具体体现。观测信息是研究问题的基础, 极端天气的观测信息需要从微观到宏观的整体认识。信息是确定性的, 现象背后必有机理。由于地气系统是相互关联和制约的, 所以文章基于信息的确定性将研究的视野拓展, 以地球转动特征的变化探索大气环流异常的可能机理。

除了目前预报业务上常用的天气图分析及数值模式方法以外, 充分利用观测资料揭示大气运动规律, 预测灾害性天气的发展, 是气象学启蒙时期到现在面临的重要问题。鉴于气象行业流行将大气环流异常作为气象灾害的终极原因, 所以重大灾害天气的有效预测依然困难。严重干旱也必然引起人们的思考和追问: 干旱的大气环流异常原因是什么? 怎样

[收稿日期] 2009-04-16; **[修回日期]** 2010-04-15

[基金项目] 国家自然科学基金项目(60674074); 高校博士点专项科研基金联合资助课题(20093228110002); 江苏省高校自然科学研究重大基础研究项目(10KJA170030); 灾害天气国家重点实验室开发课题(2010LASW-A01)

[作者简介] 魏 鸣(1957—), 女, 天津市人, 南京信息工程大学教授, 博士生导师, 主要从事灾害性天气的遥感监测与预报研究; E-mail: njueducn@126.com

拓展思路认识频发的天气灾害?

关于地球转动参数与自然灾害的关系,已有研究涉及了洪水及气候变化等问题,许厚泽等发现大气环流与地球转动参数(极移、地球转速)有相互作用^[4];李明志等认为气候变化要考虑地球转速的影响^[5];冯利华总结了地球转速和极移与洪水的可能关系^[6]。这些成果均说明地球转动参数在自然灾害研究中的重要性,但目前仍缺乏对灾害性天气与地球转动参数之间关系的定量分析与机理研究。

为此,近年来笔者利用大气热结构的数字化分析^[1-3]与地球转动特征,对2006年重庆干旱进行了跨尺度跨学科跨行业的研究^[7-10],从将副热带高压系统作为预测原因的传统方法深化到东风层变化的大气热结构分析,既追溯到西风带的变化,也涉及东风带的来源。结果揭示:与目前的气压系统跟踪式外推的预报方式相比,这种预测方法提前了预见期。鉴于大气结构的调整相对于地球转动参数具有滞后性,因此可将地球转动参数的变化作为大气变化的超前信息,对于提前预测期至少向前探索了两步,在此认识上曾经实践了预知未然的预测。

利用揭示大气热结构垂直分布的V-30图^[1-3],分析干旱发生期间影响旱区的气流特征,并根据国际地球自转服务(IERS)的数据,将大气热结构异常与地球转动特征(极移、章动和转速)的变化进行了制约性分析,核心观点就是将长期气象灾害的原因不局限于大气自身,尽可能地提前预见期。用地气动量守恒原理揭示大气环流呈经向性或纬向性的机理,计算极移发生的位置、幅度和影响范围,从而对灾害性天气的背景提出合理解释。

3 天气背景分析

亚洲冬季风多来自于西伯利亚高压,它的向南移动与寒潮爆发密切相关,其路径主要有3条:西北路径、西方路径与东北路径^[11],按大气热结构分析还存在新疆南部到青藏高原北坡的路径(如2008年1月份雪灾的气流路径)。图1是2008年12月3日至5日强冷空气过程中5日08时500 hPa天气图,可看出东亚冷涡的位置明显偏东,强盛西北气流的干冷空气影响了我国大部分地区。

值得注意的是冷空气自2008年10月中下旬至2009年2月上旬在东亚地区较稳定地维持。仅以我国中部地区的河南省为例,连续百日无雨的河南成为受灾严重的省份,受旱面积超过6成,为1951

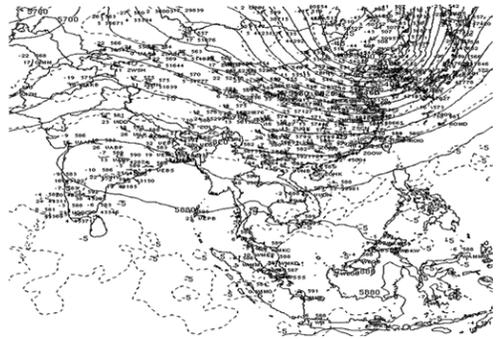


图1 2008年12月5日08时500 hPa天气图
Fig. 1 Synoptic chart of 500 hPa
at 8:00 on Dec. 5, 2008

年以来之最。显然在只有干冷空气的情况下不可能形成有效降水,致使干旱维持和发展。

4 大气热结构的V-30图分析

V-30图^[1-3]根据大气热结构的不均匀性分析其垂直特征,不同于传统分析体系的是启用了非规则的特性层信息,以风向要素为核心,突出对流层垂直方向的风向转换及含有水汽作用的不稳定能量的演变特征,对灾害性天气有明显的预测能力。

图2是2008年12月5日08时南京的Stuve图,可见到边界层以上温度露点差较大(相差30~40℃),存在下沉逆温,空气干燥。图3是2008年12月5日08时南京的V-30图,500 hPa以上主要是强劲西风,其下受西北气流控制,表示大气中水汽含量的 θ_{seil} 廓线(位于三条线的中间)贴近左侧,与图2相互印证揭示了对流层干燥的特征。低层干冷的西北气流阻隔了东海洋面上含有水汽的东北风回流,此种状况持续积累必然造成干旱。

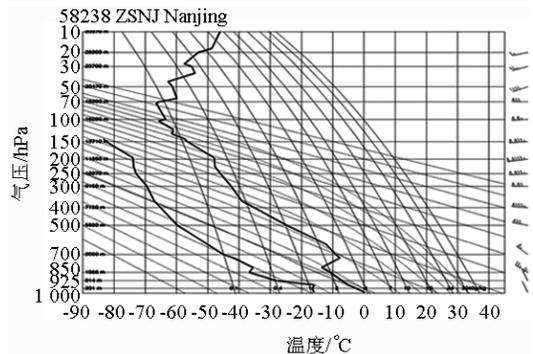


图2 2008年12月5日08时南京Stuve图
Fig. 2 Stuve diagram of Nanjing at 8:00 on Dec. 5, 2008

实际上沿90°E至120°E附近一带自2009年

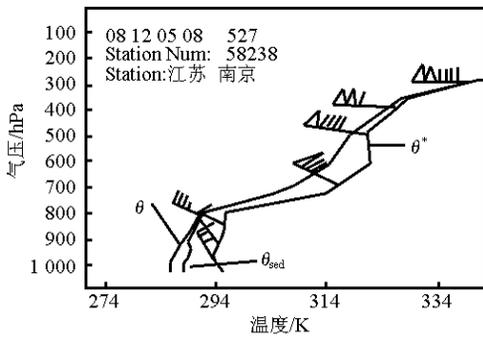


图3 2008年12月5日08时南京V-30图

Fig. 3 V-30 diagram of Nanjing at 8:00 on Dec. 5, 2008

10月下旬起已经多次呈现冷空气沿北京至南京一

带南下。例如,图4(a)~图4(f)均可见冷空气从90°E~120°E附近一带南下。我国中纬度以北地区冬季降水(雨或雪)的水汽主要是来自海洋及其临近地区的西风带系统的逆滚流回流,这是日常预报天气值得注意的问题(见图5和图6)。或者说将我国中纬度以北的北方地区的降水也像夏季一样地寻求副热带高压或热带系统提供水汽的看法是不切实际的。强调此问题是因为分析2008年1月雪灾时仍存在寻找副热带高压位置的现象。图5和图6就是以实际降雪(暴雪)时的大气结构特征说明东北风逆滚流回流的意义和作用(注意图5和图6的逆滚流东北风回流与图4(a)~图4(f)西北风的差别)。

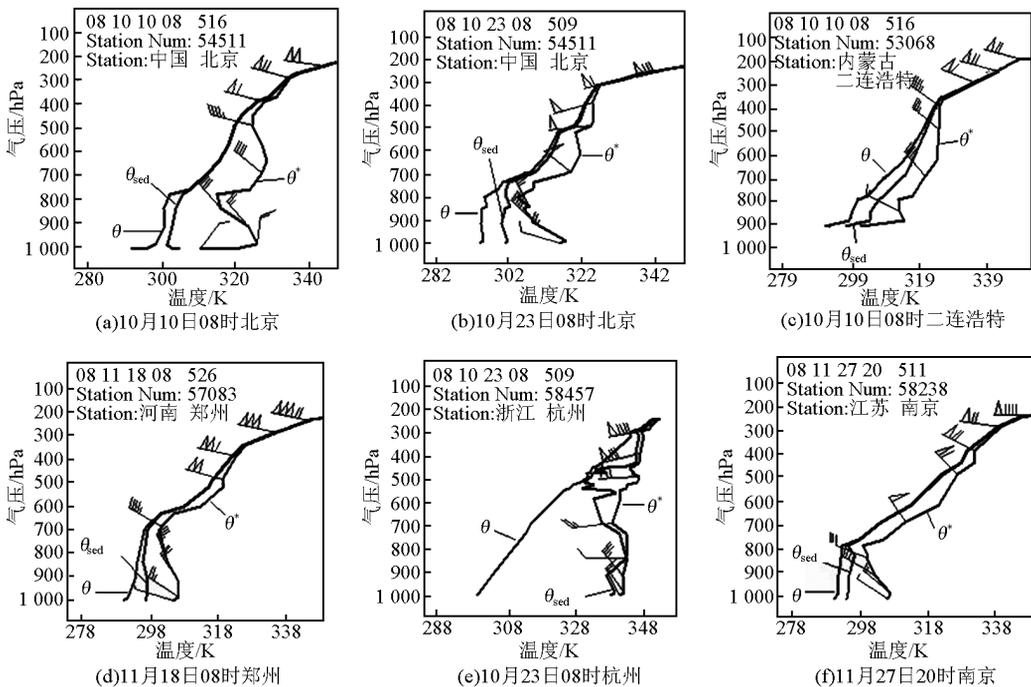


图4 2008年从北向南不同城市的V-30图

Fig. 4 V-30 diagram of cities from the north to the south in 2008

5 地球自转参数的变化与大气环流异常

为探索导致此次干旱大气环流异常的原因,笔者开拓视野,利用地球转动特征(转速、章动、极移等)的演变与地气动量的守恒原理,分析大气结构的机理及特点,不仅可研究此次干旱过程,更有助于理解其他灾害性天气的大气环流背景信息。

5.1 地球转动特征

地球转动特征^[12]包括三方面的内容:a. 地球绕瞬时轴的转速率变化,用日长表示;b. 天球参考轴

方向相对于地球本体的变化,称为极移;c. 天球参考轴方向相对于惯性空间的变化,称为岁差章动,其中变化的长期部分称为岁差,周期部分称为章动。作为整体转动的地球,其三方面特征相互关联^[13]。它们影响着地球的整体运动状况以及地球各圈层之间的相互作用,在维持总角动量守恒的前提下形成了地球的动力学系统。在此系统中地球各圈层的力学过程和耦合作用是以角动量交换的形式进行的,因此这个系统是一个典型的守恒系统,也是一个相互反馈的系统^[12]。

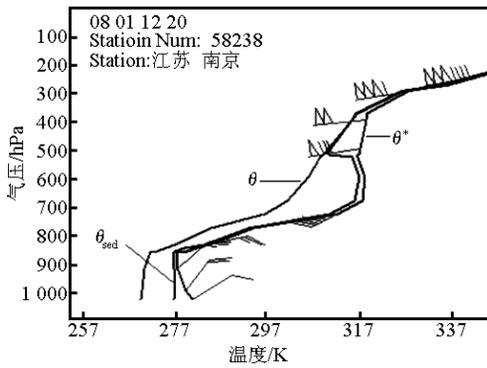


图5 2008年01月12日20时南京V-30图
Fig. 5 V-30 diagram of Nanjing at 20:00 on Jan. 12, 2008

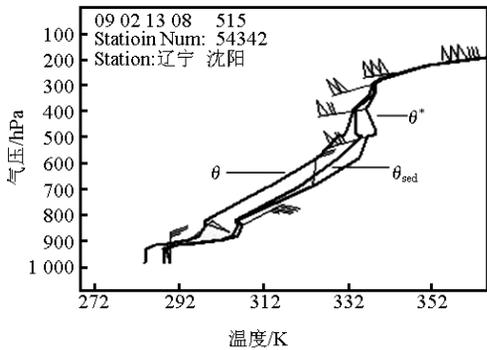


图6 2009年02月13日08时沈阳V-30图
Fig. 6 V-30 diagram of Shenyang at 08:00 on Feb. 13, 2009

大气层是地球的气体圈层, 地气之间的运动会受到地球转动及总角动量守恒的制约。当考虑固体地球(包括海洋)与大气的相互作用时, 在地球瞬时角速度为 ω 的地球固定坐标系中, 设地球角动量为 H , 则描述其动力学模型的 Euler 方程^[14]为:

$$\frac{dH}{dt} + (\omega \times H) = L + L_{atm} \quad (1)$$

式(1)中, L 为作用于固体地球上的力矩之和; L_{atm} 为大气对固体地球的力矩。由式(1)可知, 在总角动量守恒的制约下, 地球自转角速度 ω 的变化会引起 L_{atm} 的变化, 所以地球自转参数的变化与大气环流的变化密切相关。应注意到式(1)是非适定性问题, 实质上为非惯性系方程, 真正的物理含义在于揭示了天体运行中存在演化的物理因素。

在地球固定参考系中, 瞬时地球自转角速度的定义式^[12]如下:

$$\omega = \omega_1 i_1 + \omega_2 i_2 + \omega_3 i_3 = \Omega [m_1 i_1 + m_2 i_2 + (1 + m_3) i] \quad (2)$$

式(2)中, Ω 为地球平均角速度($7.292115 \times$

10^{-5} rad/s); $i_i (i=1, 2, 3)$ 为地球固定坐标参考系的直角坐标基; $m_i (i=1, 2, 3)$ 为无量纲的参量, 是时间的函数, 量级为 $10^{-8} \sim 10^{-6}$, 其中 m_3 表示地球自转角速度的变化, m_1 和 m_2 表示地球自转轴方向的变化即自转轴的极移, 表示为复数形式:

$$\tilde{P}_R = \tilde{m} = m_1 + im_2 \quad (3)$$

由式(2)可知, 极移与自转角速度的变化均会影响瞬时地球自转角速度, 在研究地气系统的变化及大气环流异常时值得注意。

5.2 章动(DX, DY)

章动是天极相对黄极的若即若离的点头式的运动, 并具有短周期运动^[15]。当地球的章动幅度和频率改变时, 必然通过角动量守恒原理影响大气纬向风或经向风的改变。例如, 当章动幅度大时, 地球本身沿着经线方向的摇摆幅度增强, 而大气在动量守恒的制约下也将随之做经向运动, 必然导致大气环流的经向性增强。当大气的经向动量进一步增强时, 在大气总动量守恒的制约下, 其纬向动量相应地削弱, 使大气西风风速有所减小。反之, 章动幅度较小时, 西风风速受其干扰较小。

图7是2008年12月1日—2009年2月28日章动幅度在 x 和 y 方向上的变化。图7(a)上DX是 x 方向, 其章动在 -0.362 mas(毫弧度秒)至 -0.229 mas之间呈现小幅度起伏。2008年12月至2009年2月间出现多次突然减小的情况, 总体趋向减小。图7(b)上DY是 y 方向, 其章动的数值正逐步减小, 趋近于零。

因此这期间总体章动幅度很小, 较强劲的西风在地转偏向力的作用下, 使纬向环流多呈现为西北风。这个分析结果可以从图2~图6系列的风向垂直分布上得到印证, 持续的干冷西北风引导了我国2008年冬季至2009年春季的持续干旱。

5.3 日长(LOD)

日长与地球自转速度呈反比关系, 其计算公式为^[16]:

$$\Omega = 72\,921\,151.467\,064 - 0.843\,994\,809 \text{ LOD} \quad (4)$$

日长的变化反映了地球自转速度的变化, 当日长增加时, 地球自转速度相应减小, 受地气系统总动量守恒的制约, 大气纬向环流在调整适应中仍保持一个较快的速度以平衡总角动量, 因此大气的纬向风速相应增加。反之, 日长减小, 地球的自转速度增加, 纬向气流的速度也相应减小。图8是2008年12月1日至2009年2月28日日长的变化。

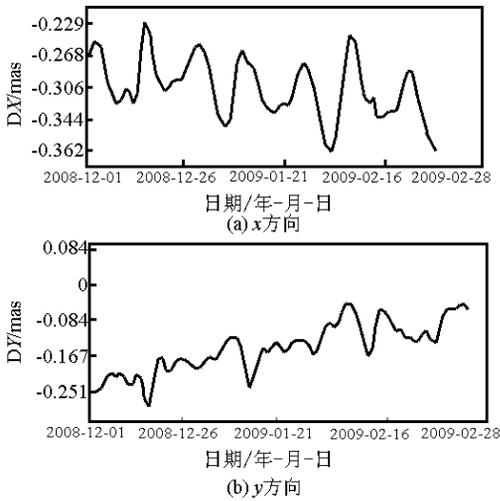


图7 2008年12月1日—2009年2月28日的章动幅度

Fig. 7 Nutation variation from Dec. 1, 2008 to Feb. 28, 2009

由图可知,日长的变化均大于平均日长(86 400 s/24 h),有大致月周期和半月周期。日长的振荡使大气的纬向气流速度或快或慢,大约7 d有一次或增或减的调整,所以理论上对应的大气西风也会有相应的快慢变化,当纬向风速减弱时,在大气总动量的制约下会有经向方向动量的增加,使大气的经向环流加强。所以日长的变化对大气环流的变化具有影响。

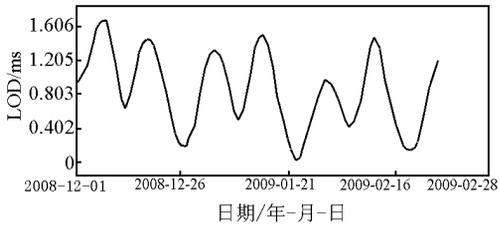


图8 2008年12月1日至2009年2月28日LOD的变化

Fig. 8 LOD variation from Dec. 1, 2008 to Feb. 28, 2009

5.4 极移 (X_{Pol} , Y_{Pol})

极移是地球瞬时自转轴在地球本体内部作周期性摆动而引起的地球自转轴在地球表面上移动的现象^[15]。极移包括两个主要周期成分:一个是近14个月的周期称为钱德勒项,是弹性地球的自由摆动;另一个是周年周期称为周年项,是由大气环流引起的受迫摆动。地极的位置可用直角坐标系的两个坐标分量表示,这个坐标系取在地球北极,坐标系的X轴为本初子午线,Y轴为西经90°子午线。

极移使地面上各点的纬度、经度和方位角都发生变化。影响极移的因素包括太阳、月球、大气和海洋等作用,因此极移与大气的流动有密切联系。

图9是2008年12月1日至2009年5月底极移在x和y方向的变化曲线。分析可知在x,y两个方向上自2008年12月至2009年2月底的3个月内均有较大变化,x方向上极移为负值增大,y方向上则趋于正值增大。利用式(3)计算2008年12月1日至2009年2月28日共90 d的极移经度变化和振幅变化(见图10)。图10(a)是极移的经度变化,在56.90°W和117.00°W之间变化,对应的经度从美国东部到美国西部。图10(b)是极移的振幅变化,从2008年12月1日至12月20日极移幅度逐渐减小,此后则逐渐增加。

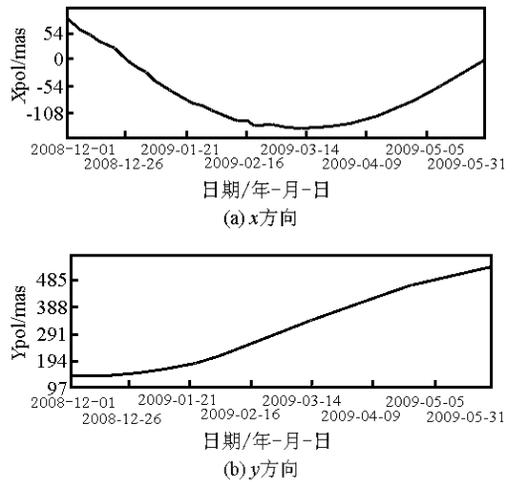


图9 2008年12月1日至2009年5月31日极移的变化

Fig. 9 Polar motion variation from Dec. 1, 2008 to May 31, 2009

地球转动理论^[15]表明,极移可以改变各地的纬度。如地极移向90°W时,可使其附近的纬度增加,而相反方向即90°E附近则纬度降低。因此2008年12月1日至2009年2月28日极移的变化就使北美地区纬度增加,相对应的中国东部到伊朗高原则纬度降低。极移的位置会影响大气极涡的位置,引导大气结构和环流的变化。2008年12月5日500 hPa天气图(见图1)上东亚冷涡位置偏东似乎与极移的影响有关,有待深入研究。对应期间全球灾害性天气的观测事实或为纬度改变的现象提供了印证。例如北美地区的暴雪严寒以及中国中东部地区雨雪少的现象,中国中纬度地区2009年1月的严重干旱与2008年1月的严重雨雪形成了明

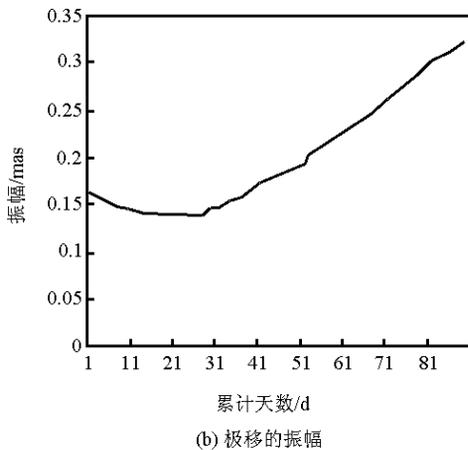
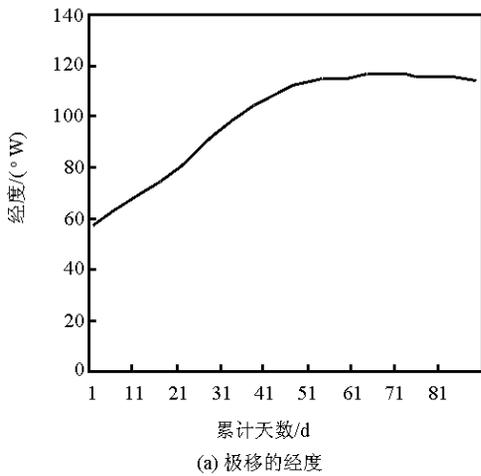


图10 2008年12月1日至2009年2月28日极移的经度和振幅变化

Fig. 10 Polar motion variation on longitude and intensity from Dec. 1, 2008 to Feb. 28, 2009

显对比。纬度的变化对南半球的天气也有影响,使 $90^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 附近纬度有所增加,这期间澳大利亚东北部由大风和气旋引发的暴雨以及东南部因干旱大风而助长的森林大火或许给予启示:纬度及方位的变化信息可以成为探索大气环流异常的重要线索。

6 结语

1) 大气热结构的 $V-3\theta$ 图含有非规则信息和风向转换,所以2008年10月中旬就显示了黄河流域临近地区的西北气流强盛,表现出2008年冬季或2009年早春季节西北风与东北气流的差别。

2) 冷空气南下路径频繁地选择 $90^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 一带,实质上是此次干旱的直接原因。它涉及了大气

结构配置并可追溯到地球转动特征,由此认识的深入可延长预测期。

3) 再次展示了地球转动特征与大气结构变化的对应关系,为提前预测期提供了可继续探索的途径。目前大气环流分析依据的是等压面体系,来自人为插值处理的规定层。天气图运用了大气动力学的静力近似处理的结果,消除了变化信息,故大气环流在预测中存在滞后性。有经验的预报员可以根据2008年10月中旬到11月中旬几次持续的近低空西北风给出干旱预警。文章是在文献[7~10]研究基础上的探索性工作,未来还需进行更多的研究。

参考文献

- [1] 欧阳首承. 天气演化与结构预测[M]. 北京:气象出版社, 1998.
- [2] 欧阳首承, McNeil D H, 林 益. 走进非规则[M]. 北京:气象出版社, 2002.
- [3] 欧阳首承, 陈刚毅, 林 益. 信息数字化与预测[M]. 北京:气象出版社, 2009.
- [4] 许厚泽, 蒋福珍, 张赤军. 我国动力大地测量学的进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(2): 127-133.
- [5] 李明志, 袁嘉祖, 李建军. 中国气候变化现状及前景分析[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2003, 2(2): 16-20.
- [6] 冯利华. 洪水前兆的初步探讨[J]. 灾害学, 2000, 15(1): 21-26.
- [7] Ouyang Shoucheng, Wei Ming. Discussion on super high-temperature weather and city construction [J]. Engineering Science, 2006, 4(1): 56-64.
- [8] 魏 鸣, 欧阳首承. 地球的章动和转速与副热带高压和高温干旱[J]. 中国工程科学, 2007, 9(8): 40-46.
- [9] Wei Ming, Peng Taoyong, Li Nan, et al. On the earth rotation in relation to subtropical anticyclone[J]. Scientific Inquiry (USA), 2008, 9(2): 115-122.
- [10] Wei Ming, Ouyang Shoucheng, Fei Haiyan. Relationship among subtropical anticyclone, drought and earth rotation [J]. Engineering Science, 2008, 6(4): 17-24.
- [11] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京:气象出版社, 2005.
- [12] 张捍卫, 许厚泽, 柳林涛. 动力大地测量学中的地球自转理论[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2006.
- [13] 赵 铭. 天体测量学导论[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2006.
- [14] 叶叔华, 黄 斌. 天文地球动力学[M]. 济南:山东科学技术出版社, 2000.
- [15] 芒克 W H, 麦克唐纳 G J F. 地球自转[M]. 北京:科学出版社, 1976.
- [16] Seidelmann P K. 1980 IAU nutation; The final report of the IAU working group on nutation[J]. Celest Mech, 1982(27): 79-106.

Characteristics of atmospheric structure and earth rotation of drought from winter in 2008 to spring in 2009

Wei Ming¹, Ouyang Shoucheng²

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610041, China)

[**Abstract**] The airflow characteristics impacted on the drought areas were analyzed with $V-3\theta$ plot which revealed characteristics of the atmospheric thermal structure. The relationship between the atmospheric thermal structure and the variation of earth rotation (length of day, nutation, polar motion) was analyzed with the update data of IERS. Based on the total momentum conservation of earth and atmosphere, the variations between the atmospheric thermal structure and the earth rotation were restricted to each other. The research results showed that large scale drought was related to the air path change caused by characteristics of atmospheric structure and the earth rotation.

[**Key words**] drought; cold air path; circumfluence; nutation; polar motion

(上接 30 页)

Disaster reduction project management on barrier risk eliminating and emergency dredging of Bailong River in Zhouqu County and the cognizance

Liu Ning

(The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Beijing 100053, China)

[**Abstract**] This paper briefly introduced the barrier risk eliminating and emergency dredging of Bailong River in Zhouqu County, including the scheme compilation and perfecting, and the key aspects and actual considering etc. Based on the target decision-making, systemization and dynamics, the important meaning and effect of the disaster reduction project management in handling natural disasters and risk eliminating succor were analyzed, and the methods for improving the capacity of scientific disaster reduction were also discussed.

[**Key words**] Zhouqu mudslides; risk eliminating of barrier lake; emergency dredging; disaster reduction project management