

文章编号: 1000-2022(2001)01-0044-07

偶极子型热源的变化对西北干旱流型的作用

王咏青¹, 贾效忠², 谢金南³ 周后福¹,

(1) 南京气象学院大气科学系, 南京 210044; 2) 甘肃省临夏州气象局, 临夏 731100; 3) 甘肃省气象局, 兰州 730002

摘要: 实施了 5 组计 9 个时间积分为 30 个模式日的数值试验, 研究了偶极子型热源不同位置的强度变化对西北干旱流型的作用。结果指出, 东、西两侧热源状况的变动, 对西北干旱流型的形成、维持均存在重要影响。这意味着, 应该同时考虑东、西两侧的预报因子讯号。

关键词: 西北干旱; 偶极子; 热源强迫

中图分类号: P435 **文献标识码:** A

赤道东太平洋海温异常增暖是西北地区降水偏少的一个强讯号^[1]。谢金南等^[2]进一步指出, 除赤道东太平洋区域外, 其他海区的海温异常也可以是西北干旱的一个讯号。罗哲贤等^[3]的数值研究指出, 西北盛夏干旱流型的形成与其东、西两侧的偶极子型热源分布有关。本文的数值研究进一步指出偶极子型东、西两侧的热源强迫强度变化对西北干旱的形成和维持存在重要的影响。

1 模式描述

采用半球球面无辐散正压涡度方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{a} \left[\left(\frac{U}{1-\mu^2} \frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} + V \frac{\partial \zeta}{\partial \mu} \right) + \left(\frac{U}{1-\mu^2} \frac{\partial h}{\partial \lambda} + V \frac{\partial h}{\partial \mu} \right) \right] = \epsilon (\nabla^2 \Psi - \xi). \quad (1)$$

式中, $U = u \cos \varphi$, $V = v \cos \varphi$, u 和 v 分别为风速的东西向、南北向水平分量; $\xi = \frac{1}{a} \left(\frac{1}{1-\mu^2} \frac{\partial V}{\partial \lambda} - \frac{\partial U}{\partial \mu} \right)$ 为相对涡度; $\mu = \sin \varphi$, λ 和 φ 分别为经度和纬度; $\zeta = \xi + 2\Omega \mu$ 为绝对涡度; Ω 为地球自转角速度, $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; a 为地球半径, $a = 6371 \text{ km}$; ϵ 为强迫耗散系数 ($\epsilon^{-1} = 14.7 \text{ d}$); Ψ 为强迫流函数; h 为地形函数; ∇^2 为算子,

$$\nabla^2 = \frac{1}{a^2} \left[\frac{1}{1-\mu^2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} + \frac{\partial}{\partial \mu} (1-\mu^2) \frac{\partial}{\partial \mu} \right].$$

令

$$\left. \begin{aligned} U &= \bar{U}(\mu) + U(\lambda, \mu, t); & V &= V(\lambda, \mu, t); \\ \xi &= \bar{\xi}(\mu) + \xi(\lambda, \mu, t); & h &= h(\lambda, \mu). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

基金项目: 国家“九五”重大科技攻关项目(96-908-05-03)资助课题

收稿日期: 2000-05-26; 修订日期: 2000-12-06

作者简介: 王咏青, 女, 1970 年 1 月生, 博士研究生, 讲师

将(2)式代入(1)式, 令 $h=0$, 即不考虑地形作用, 得到出发方程(略去“ \cdot ”号, 且背景场 $U=0, V=0$),

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{1}{a} \left(\frac{U}{1-\mu^2} \frac{\partial \xi}{\partial \lambda} + V \frac{\partial \xi}{\partial \mu} \right) = \epsilon (\dots)^2 \Psi - \xi. \quad (3)$$

将(3)式中各因变量作球谐展开,

$$\xi(\lambda, \mu, t) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=m}^M \xi_n^m(t) P_n^m(\mu) e^{im\lambda}; \quad (4)$$

$$\Psi^*(\lambda, \mu, t) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=m}^M \Psi_n^{*m}(t) P_n^m(\mu) e^{im\lambda}. \quad (5)$$

m 为纬向波数; n 为全波数; $m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm M$; $n = m \sim M, n \geq 0$; $P_n^m(\mu)$ 为标准化的勒让德函数; $\xi_n^m(t)$ 为 $\xi(\lambda, \mu, t)$ 的谱系数。取三角形截断, 截断波数 M 取 42, 得截谱方程

$$\begin{aligned} \frac{d\xi_n^m(t)}{dt} = F(\mu, \lambda, t) = & - \frac{1}{4\pi a} \int_{-10}^{10} \left\{ \frac{im(u\xi) P_n^m(\mu)}{1-\mu^2} - (v\xi) \frac{dP_n^m}{d\mu} \right\} e^{-im\lambda} d\lambda d\mu + \\ & \frac{1}{4\pi} \int_{-10}^{10} \{ \epsilon (\xi^* - \xi) \} e^{-im\lambda} P_n^m(\mu) d\lambda d\mu. \end{aligned} \quad (6)$$

强迫场 Ψ^* 按下式求得,

$$\epsilon \xi^* = \epsilon (\dots)^2 \Psi^* = \frac{1}{a} \left(\frac{U}{1-\mu^2} \frac{\partial \xi^*}{\partial \lambda} + V \frac{\partial \xi^*}{\partial \mu} \right) + \epsilon \xi_s. \quad (7)$$

ξ_s 为方程(3)的平衡解。模式的积分方案采用向前差起步的蛙跃格式, 所有积分均计算 30 d, 时间步长取 10 min。

2 强迫场与试验设计

贾效忠^[4]根据欧亚范围 500 hPa 高度距平实测资料和降水资料, 得到了我国西北地区盛夏干旱流型的高度距平场的主要特征是, 在东亚上空大约 90°E 以东, 30°~50°N 范围有一个正距平区, 欧洲上空的正距平区在(20°~80°E, 30°~65°N)之间。

本文先求出实际的流函数扰动场 ξ_s , 进而求出热源强迫流函数场 Ψ^* (图 1)。可见, 强迫场 Ψ^* 为二低二高型的两对偶极子型热源强迫, 分别位于欧洲上空和东亚上空。由于主要考虑的

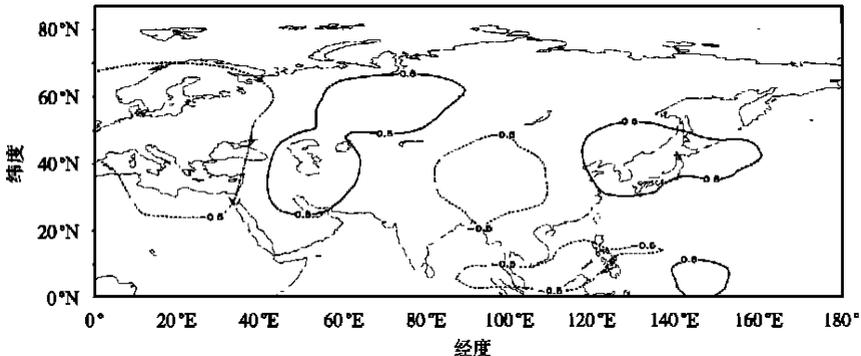


图 1 强迫流函数场 Ψ^* (单位: $\text{km}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 1 Forcing streamfunction Ψ^* (unit: $\text{km}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

对象是我国西北地区的干旱环流型,故仅考察对西北干旱有影响的位于东亚地区的这一对偶极子热源强迫流函数场。

图 1 中,在实际的西北干旱环流高度正距平区中心附近为东亚偶极子型热源强迫流函数场的零值区,在零值区的东面为正强迫流函数场,其值记为 V_e ;西面为负,其值记为 V_w 。

本文设计了 5 组共 9 个试验来分析这个偶极子型热源强迫场的变化对西北干旱环流型形成及维持的影响,见表 1。

表 1 试验设计

Table 1 Experiment schemes

试验序号	初始场	欧洲地区的热源强迫	东亚地区的热源强迫的变化	积分时间(d)
1	0	不变	$1.0 \times V_e, 1.0 \times V_w$	0 ~ 30
A	0	不变	$1.0 \times V_e, 0.8 \times V_w$	0 ~ 30
2	B	0	$1.0 \times V_e, 0.5 \times V_w$	0 ~ 30
C	0	不变	$1.0 \times V_e, 0.3 \times V_w$	0 ~ 30
A	0	不变	$0.8 \times V_e, 1.0 \times V_w$	0 ~ 30
3	B	0	$0.5 \times V_e, 1.0 \times V_w$	0 ~ 30
C	0	不变	$0.3 \times V_e, 1.0 \times V_w$	0 ~ 30
			$1.0 \times V_e, 1.0 \times V_w$	0 ~ 12
4	0	不变	$1.0 \times V_e, 0.8 \times V_w$	13 ~ 14
			$1.0 \times V_e, 0.5 \times V_w$	15 ~ 16
			$1.0 \times V_e, 0.3 \times V_w$	17 ~ 30
			$1.0 \times V_e, 1.0 \times V_w$	0 ~ 12
5	0	不变	$0.8 \times V_e, 1.0 \times V_w$	13 ~ 14
			$0.5 \times V_e, 1.0 \times V_w$	15 ~ 16
			$0.3 \times V_e, 1.0 \times V_w$	17 ~ 30

注: V_e 为由平衡解推算出的东亚地区偶极子型热源强迫场的东侧流函数值; V_w 为西侧流函数值

由于本研究主要考虑我国西北地区的干旱环流型,故试验设计中,欧洲地区的热源强迫取固定不变的值,即为由实际的高度距平场计算出来的强迫流函数场值;东亚的偶极子型热源强迫值分别令一侧取原推算值的 1.0、0.8、0.5、0.3 倍,而另一侧取原值,初始场均为 0,代入模式中,将干旱流型从无到有强迫出来,以此研究东、西两侧不同的热源强度变化对干旱流型范围和强度的影响。

3 主要结果

(1) 热源变化对西北干旱流型范围的影响。

试验 1,第 6 模式日已模拟出实际的干旱环流的形势,其高度距平区的范围与实际范围相差无几。此后,模拟出的干旱环流在此强迫场的支持下一直维持,其范围区域有少许变化,第 30 模式日的高度距平场图见图 2b。

试验 2A,干旱环流型在第 6 模式日亦已形成,其高度距平区的范围要比实际范围大,而后,模拟出的干旱环流在此强迫场的支持下一直维持,其范围区域有少许变化。

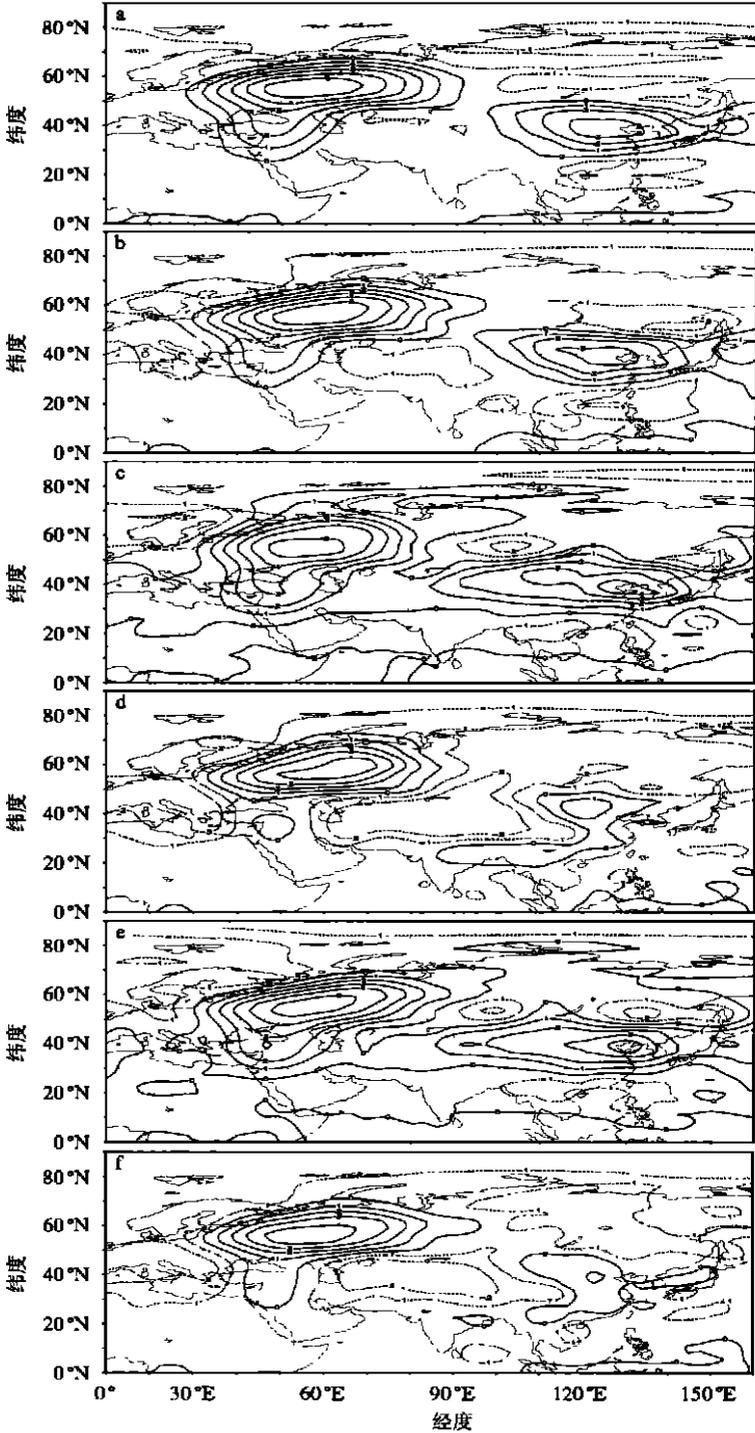


图2 500 hPa 干旱流型实测高度距平场和试验 1~5 第 30 模式日高度距平场(单位: dagpm)
 a. 实测; b. 试验 1; c. 试验 2C; d. 试验 3C; e. 试验 4; f. 试验 5

Fig. 2 Observed departure height field and the departure height fields at 30th model day of each experiment at 500 hPa (unit: dagpm)
 a. observed; b. Exp. 1; c. Exp. 2C; d. Exp. 3C; e. Exp. 4; f. Exp. 5

试验 2B、试验 2C 模拟结果类似, 干旱环流型在第 6 模式日左右形成, 但较弱的偶极子西侧流函数场强迫出的高度距平区的范围大。而后, 模拟出的干旱环流在此强迫场的支持下一直维持, 其范围区域有少许变化。试验 2C 第 30 模式日的高度距平图见图 2c。

试验 3A, 干旱环流型在第 6 模式日形成, 其高度距平区的范围要比实际范围偏小。而后, 模拟出的干旱环流在此强迫场的支持下一直维持, 其范围区域有少许变化。

试验 3B、试验 3C 干旱环流型均在第 6 模式日左右形成, 但较大的东侧强迫流函数场值对应强迫出较小的高度距平区范围。而后, 模拟出干旱环流在此强迫场的支持下一直维持, 其范围区域有少许变化。试验 3C 第 30 模式日的高度距平图见图 2d。

试验 4 先以与试验 1 相同的条件积分至 12 模式日, 然后在 13~14 模式日使用 0.8 倍的原西侧强迫场, 即 $0.8 \times V_w$, 在 15~16 模式日使用 $0.5 \times V_w$, 17 模式日后令西侧强迫场减弱至 $0.3 \times V_w$, 并一直积分至 30 模式日。形成的干旱环流在减弱的西侧强迫场的支持下, 其环流依然维持, 但范围没有缩小反而明显扩大。第 30 模式日的高度距平图见图 2e。

类似于试验 4, 令西侧值不变, 东侧值依次在 13、15、17 模式日取原值的 0.8、0.5、0.3 倍, 即试验 5。当干旱环流在减弱的东侧强迫场的支持下, 其环流依然维持, 但其范围明显缩小, 第 30 模式日的高度距平图见图 2f。

综上所述, 偶极子型热源东侧值相同时, 较弱的西侧热源模拟强迫形成较大的干旱环流正距平区范围。反之, 偶极子型热源西侧值相同时, 较弱的东侧热源形成的干旱环流正距平区范围较小。东、西两侧热源强度的变动, 对西北干旱流型形成的范围存在重要影响。

(2) 热源变化对西北干旱流型正距平区强度的影响。

各试验第 6、14、16、30 模式日中心最大值见表 2。由表可知以下几点。

表 2 东亚地区高度正距平区中心最大值

Table 2 Maximum value of positive height departure at 500 hPa in East Asia

					dagpm
试验序号		第 6 模式日	第 14 模式日	第 16 模式日	第 30 模式日
1		3.796	3.622	3.936	3.697
	A	3.754	3.886	4.413	3.970
2	B	3.841	4.156	4.509	4.091
	C	4.007	4.361	4.719	4.634
	A	3.385	2.852	3.444	2.856
3	B	2.811	2.099	2.333	1.930
	C	2.482	1.475	2.322	1.893
4		3.796	3.516	3.680	4.585
5		3.796	3.404	3.185	1.152

试验 1, 在东、西两侧热源共同作用下, 模拟出的干旱环流型正距平区高度最大值在实测高度距平最大值(3.854 dagpm) 附近摆动(图 3a)。

试验 2A、2B、2C, 在第 6 模式日干旱流型基本形成时, 东亚地区高度正距平中心最大值分别为 3.754、3.841、4.007 dagpm; 在第 30 模式日, 分别为 3.970、4.091、4.634 dagpm。可见, 较弱的西侧热源强迫模拟出的正距平区中心最大值较大(图略)。

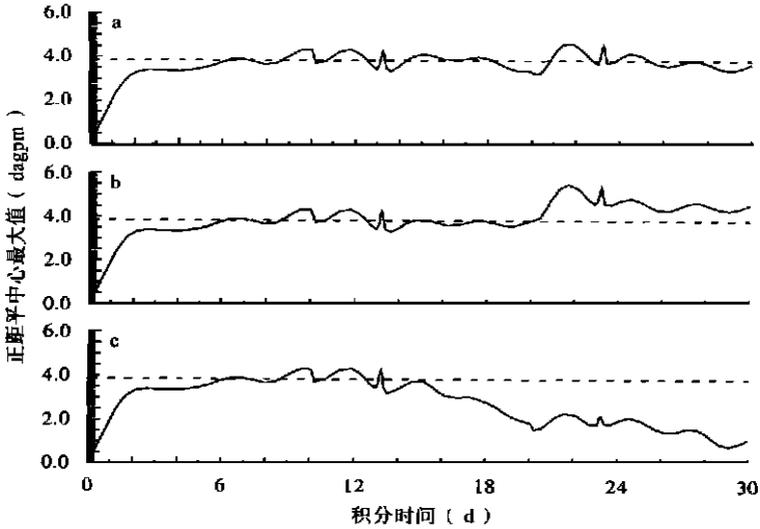


图3 各试验正距平区中心最大值随时间的演变

a. 试验 1; b. 试验 4; c. 试验 5

Fig. 3 Evolutions of maximum value of positive height departure in each experiment

a. Exp. 1; b. Exp. 4; c. Exp. 5

试验 3A、3B、3C, 在第 6 模式日干旱流型基本形成时, 东亚地区高度正距平中心最大值分别为 3.385、2.811、2.482 dagpm; 在第 30 模式日分别为 2.856、1.930、1.893 dagpm, 说明较弱的东侧热源强迫形成较小的正距平区中心最大值(图略)。

试验 4 中, 当干旱流型已经形成后, 偶极子型热源强迫场东侧不变, 西侧的热源强迫的减弱至原来的 0.8、0.5、0.3 倍, 不但没有减弱干旱流型的强度, 反而使其强度增加, 第 14、16、30 模式日正距平区高度最大值分别为 3.516、3.680、4.585 dagpm(图 3b)。

试验 5 中, 当干旱流型已经形成后, 偶极子型热源强迫场西侧不变, 东侧的热源强迫的减弱, 使干旱流型的强度迅速减弱, 第 14、16、30 模式日正距平区高度最大值分别为 3.404、3.185、1.152 dagpm。此时分别对应 0.8、0.5、0.4 倍的 V_e (图 3c)。

4 结 论

采用半球球面无辐散正压涡度方程模式, 研究偶极子型热源强迫场东、西两侧强度的变化对西北干旱流型的形成和维持的影响, 结果表明:

(1) 初始场为零, 东、西两侧热源状况均采用原平衡解推算出的偶极子型热源强迫时, 模拟形成的干旱环流型的高度正距平区范围和中心最大值均与实际情况相当, 并能维持。说明正是由于此时的东西两侧热源强迫的配置结构, 强迫出西北干旱流型, 并使其维持。

(2) 初始场为零, 当偶极子型热源强迫东侧强度相同, 西侧热源强度取不同值时, 较弱的西侧热源强迫, 模拟形成的干旱环流型的高度正距平区比实际范围大, 中心最大值亦较实际值大。

(3) 始场为零, 当偶极子型热源强迫西侧强度相同, 东侧热源强度取不同值时, 较弱的东侧热源强迫, 模拟形成的干旱环流型的高度正距平区较实际范围小, 中心最大值亦比实际值小。

(4) 当干旱环流型已经形成后, 东侧强度不变, 西侧强度的减弱使得干旱环流型的高度正距平区范围增大, 中心最大值增大; 而当干旱环流型已经形成后, 西侧强度不变, 东侧强度的减弱使得干旱环流型的高度正距平区范围缩小, 中心最大值减小。

可见, 偶极子型热源东、西两侧强度变化对西北干旱流型的形成、维持均存在重要影响。这意味着, 在西北干旱预测业务中, 应该同时考虑东、西两侧的预报因子讯号。

参考文献:

- [1] 朱炳瑗, 李栋梁. 热带太平洋海温与中国西北夏季降水的关系[J]. 气象学报, 1991, 49(1): 21~28
- [2] 谢金南, 高云. 海温对西北干旱的影响. 见: 谢金南主编. 中国西北干旱气候变化与预测研究(第一卷)[C]. 北京: 气象出版社, 2000. 255~259
- [3] 罗哲贤, 谢金南, 马镜娴. 基本气流在局域流型演化过程中的作用[J]. 大气科学, 1999, 23(3): 308~315
- [4] 贾效忠. 青藏高原东北持续异常干旱的研究[D]. 南京: 南京气象学院大气科学系, 1997

Effect of Modon Heat Source Variation on Drought in Northwest of China

WANG Yong-qing¹, JA Xiao-zhong²,
XIE Jin-nan³ ZHOU Hou-fu¹,

(1. Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044;

2. Meteorological Bureau of Linxia Prefecture of Gansu Province, Linxia 731100;

3. Meteorological Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730002)

Abstract: Five group experiments have been undertaken to investigate the effect of modon heat source variation on drought circulation pattern in Northwest of China. Results show that heat source's variation on the west and east sides have significant influence on the formation and maintenance of drought circulation pattern in NW China so that the heat sources on the both sides must be considered together as the indicators of prediction.

Keywords: drought in northwest China, modon, heat source force