

冬季四川盆地霾天气对前期青藏高原热力作用的响应

罗玉

四川省气候中心, 成都 610072

摘要: 利用 NCEP/NCAR、ECMWF 大气环流资料以及四川盆地 101 站气象站点资料等, 通过线性相关分析、合成分析等统计方法, 分析了冬季四川盆地霾天气气候特征及其对应的关键环流系统和对前期青藏高原热力作用的响应。结果表明: 冬季四川盆地季霾日数呈弱增加趋势; 四川盆地三大城市群为冬季霾多发区。影响冬季四川盆地霾天气的关键环流系统是高低空正压结构的高度场正距平、异常下沉运动以及偏弱的东亚冬季风, 影响霾天气的关键环境条件为偏西北风异常控制、稳定大气层结易于建立、边界层高度偏低且相对湿度偏低。前期 11 月青藏高原关键区热力作用是影响冬季四川盆地霾天气频发的重要外强迫因子。当前期 11 月高原关键区热源指数偏低时, 冬季东北大西洋至西北太平洋上空存在一个“正、负、正、负、正”的异常遥相关波列, 四川盆地为显著正位势高度场距平控制, 盆地上空为反气旋环流控制, 配合异常的下沉气流, 并受到青藏高原“背风坡”东侧下沉气流影响, 导致霾日数偏多, 反之, 情况则相反。

关键词: 四川盆地; 霾日; 海温; 年际信号

1 四川盆地冬季霾日数的变化特征

冬季四川盆地霾日数具有显著的年代际、年际变化, 冬季四川盆地霾日数总体¹经历了少-多-少-多的变化趋势, 在 20 世纪 80 年代冬季四川盆地霾日数总体偏少, 20 世纪 90 年代整体偏多, 并处于波动状态, 进入 21 世纪 00 年代呈现略下降趋势, 2011~2018 年开始呈显著增加趋势。此外, 霾日数也具有明显的年际变化, 根据逐年冬季四川盆地霾日数资料, 把冬季霾日数距平的绝对值大于 1 个标准差定义为四川盆地冬季霾日数异常年, 挑选出 7 个典型霾日数偏多年: 1987、

1992、1999、2010、2016、2017、2018；5 个典型霾日数偏少年：1981、1984、1989、1995、2012（图 1）。

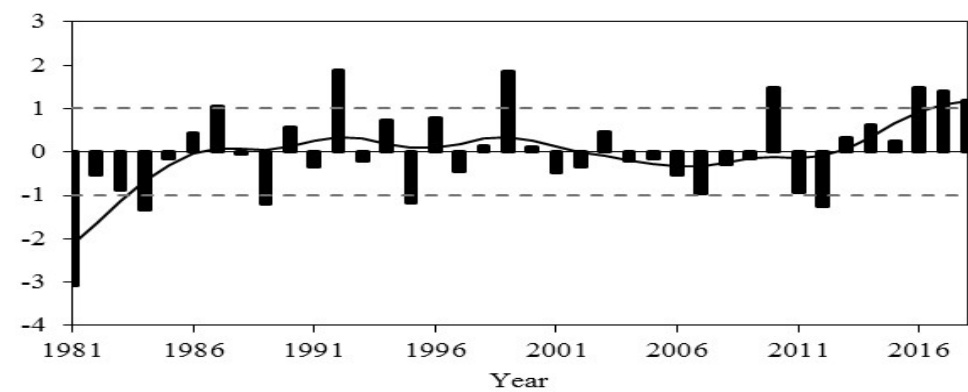
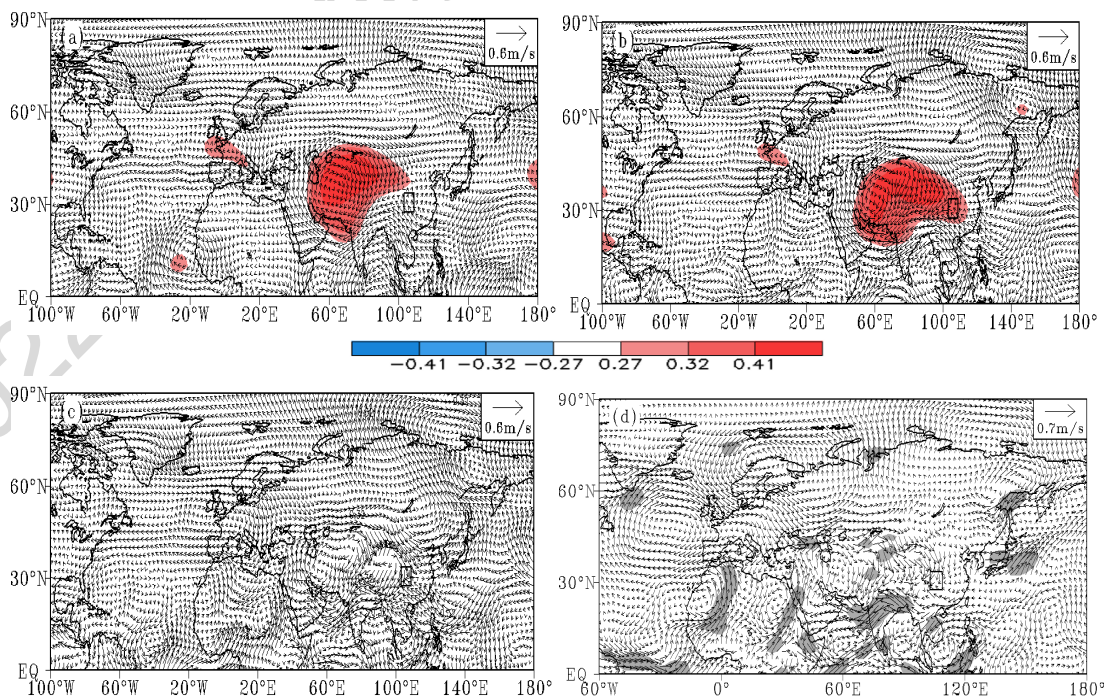


图 1 1981—2016 年四川盆地冬季平均霾日数的逐年变化

2 四川盆地冬季霾异常与大气环流、局地环境场的的关系

当冬季四川盆地霾日数偏多时，对流层高、中、低层大气环流呈现深厚的准正压结构，异常特征表现为青藏高原至四川盆地上空为显著正高度场距平和异常反气旋控制，下沉运动显著，大气垂直扩散污染物的能力偏弱。与此同时东亚大槽偏弱，不利于引导冷空气南下，导致大气污染物水平扩散能力减弱，盆地上空受到西北地区干冷空气影响，西南暖湿气流偏弱，不利于盆地降水的形成，污染物湿清除能力降低；西伯利亚高压偏弱，东亚冬季风偏弱，造成了静稳天气的发生。反正，情况则相反（图 2）。



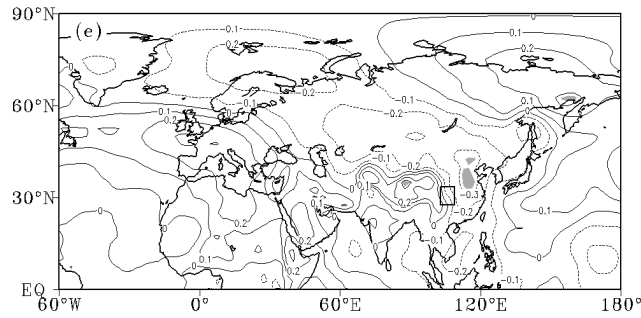
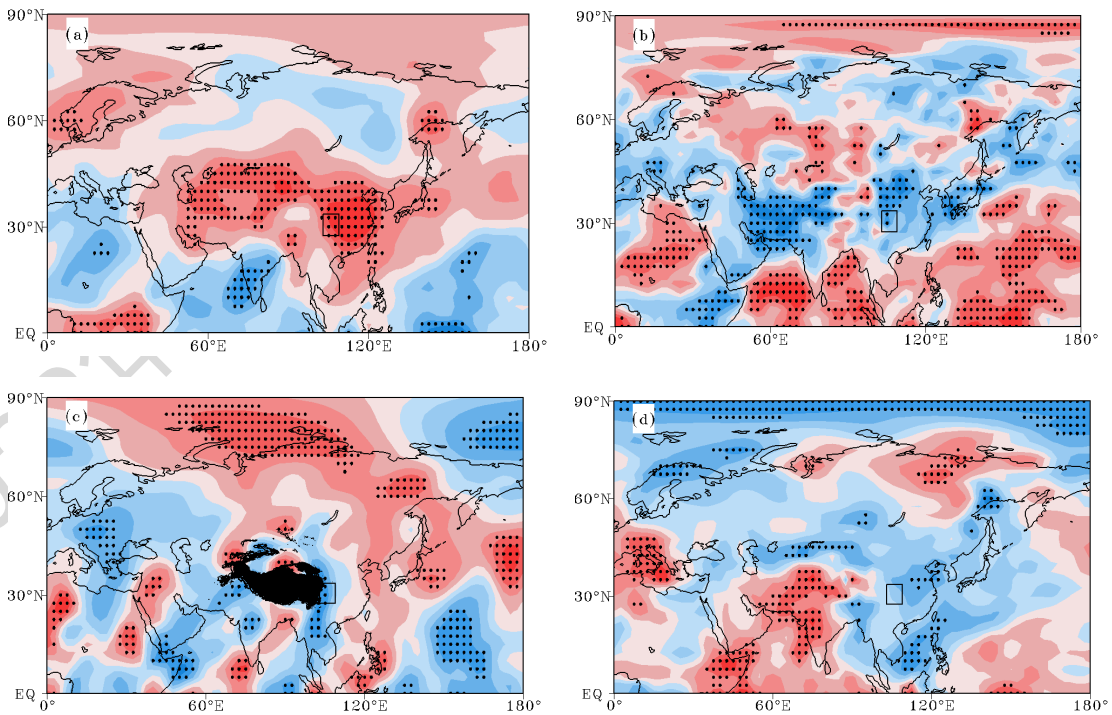


图2 1981~2018年冬季四川盆地霾日数距平与(a) 200hPa高度场距平(阴影区)和风场距平(矢量)、(b) 500hPa高度场距平(阴影区)和风场距平(矢量)、(c) 700hPa风场距平(矢量)、(d)水汽输送场距平(矢量)、(e)海平面气压场距平的相关分布,其中黑框代表四川盆地,红色阴影区由浅到深分别为高度场通过90%、95%、99%的置信水平,灰色阴影区为通过95%的置信水平

在925hPa温度场上,在四川盆地冬季霾日数偏多的年份,四川盆地近地面呈现显著的正异常(图3a),区域近地层为相对湿度显著负异常控制(图3b),相对湿度偏低不利于水汽凝结,形成降水,不利于污染物的湿清除。四川盆地均为显著的偏西北风异常,易受到来自中国西北地区的沙尘影响(朱荣,2008),导致四川盆地污染物的堆积(图3c),这与(Xu et al, 2016)研究结论一致。同时,四川盆地的表面抬升指数为显著的负异常,表示该区域底层大气异常稳定,垂直运动非常弱,颗粒物聚集在非常浅薄的边界层内(图3d)。此外,四川盆地近地层逆温层结显著(图3e),边界层高度偏低(图3f)。



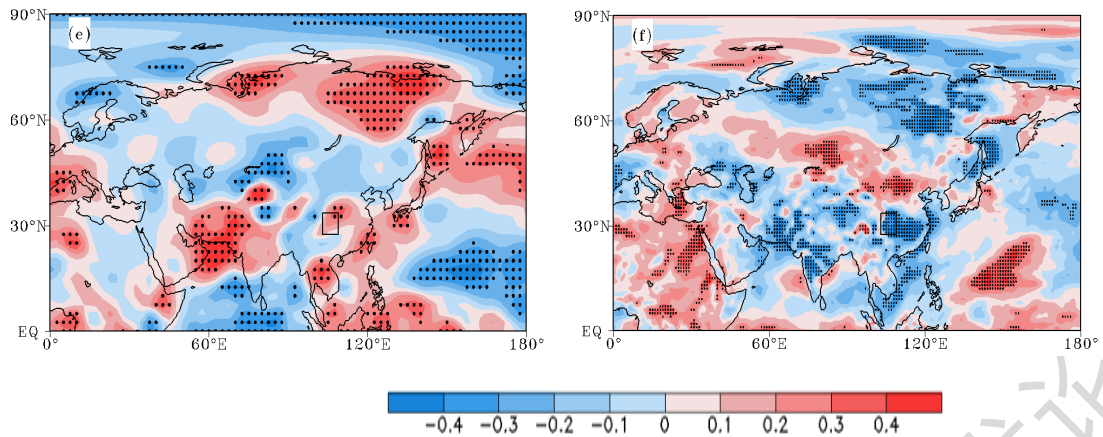
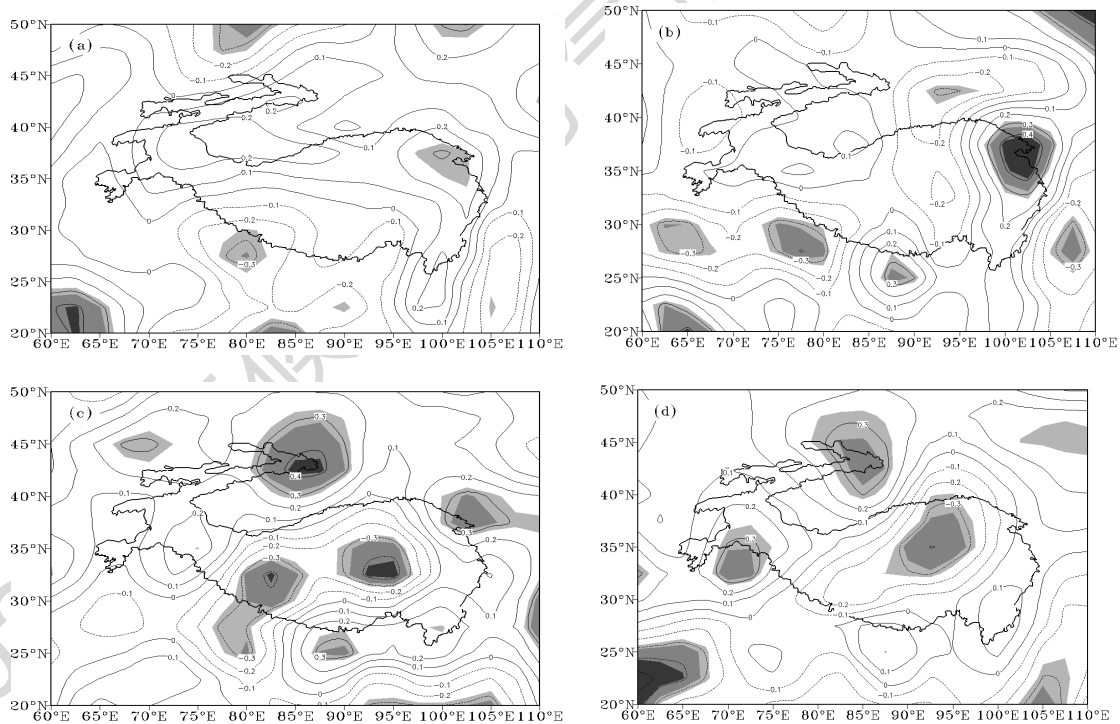


图3 1981~2018年冬季四川盆地霾日数距平与925hPa (a) 温度距平、(b) 相对湿度距平、(c) 经向风距平、(d) 表面抬升指数距平、(e) 850hPa和1000hPa温差距平、(f) 边界层高度距平的相关分布, 其中黑框代表四川盆地, 打点区域为通过95%的置信水平

3 冬季四川盆地霾天气对前期青藏高原上空大气热源的响应

发现11月的关键区大气热源与冬季盆地霾日数通过99%高相关显著性检验区域大于其他月份, 因此选取11月84°E~93°E、30°N~35°N的区域作为青藏高原大气热源关键区, 将该区域的平均大气热源值定义为热源指数(图4)。



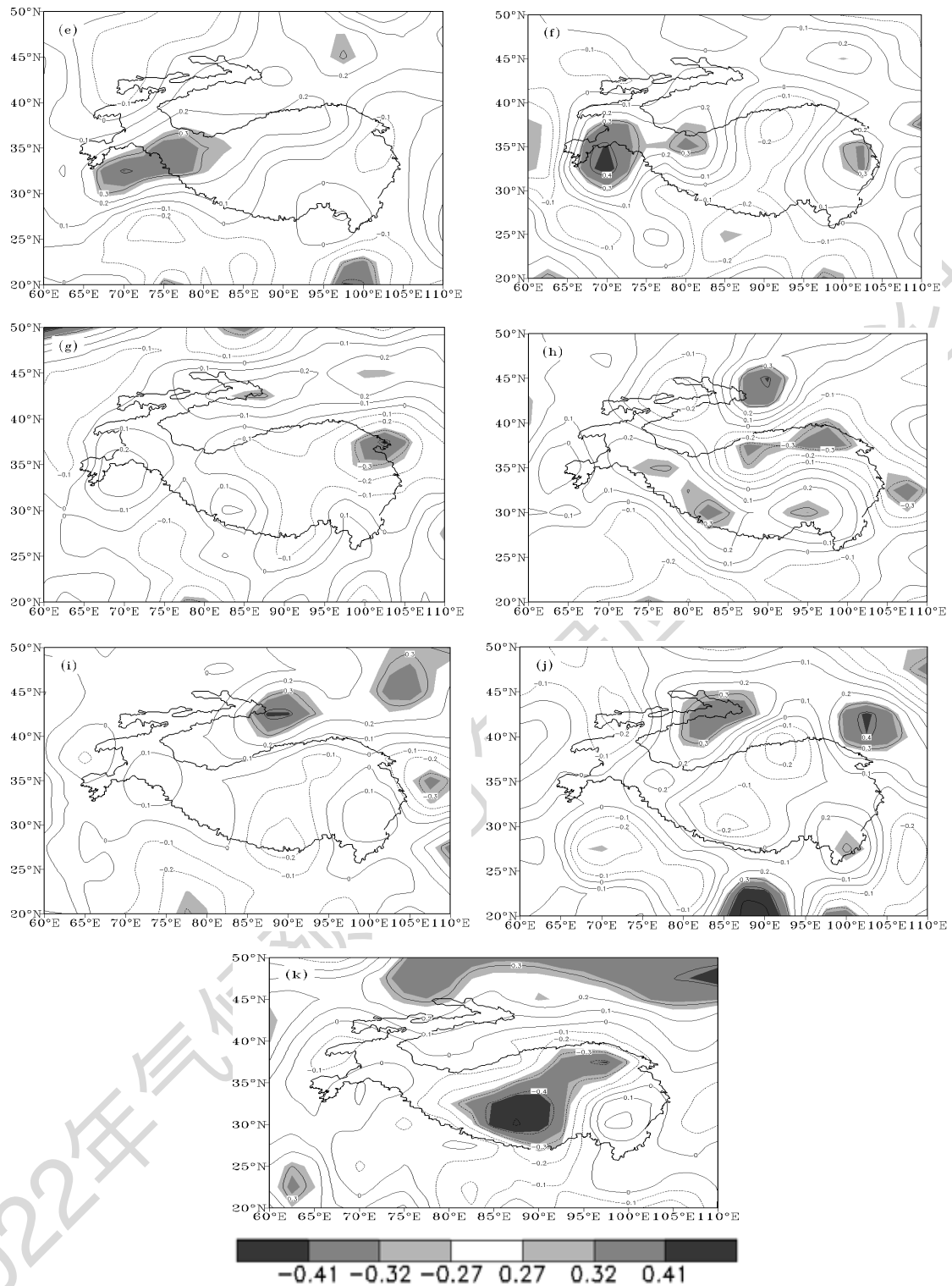


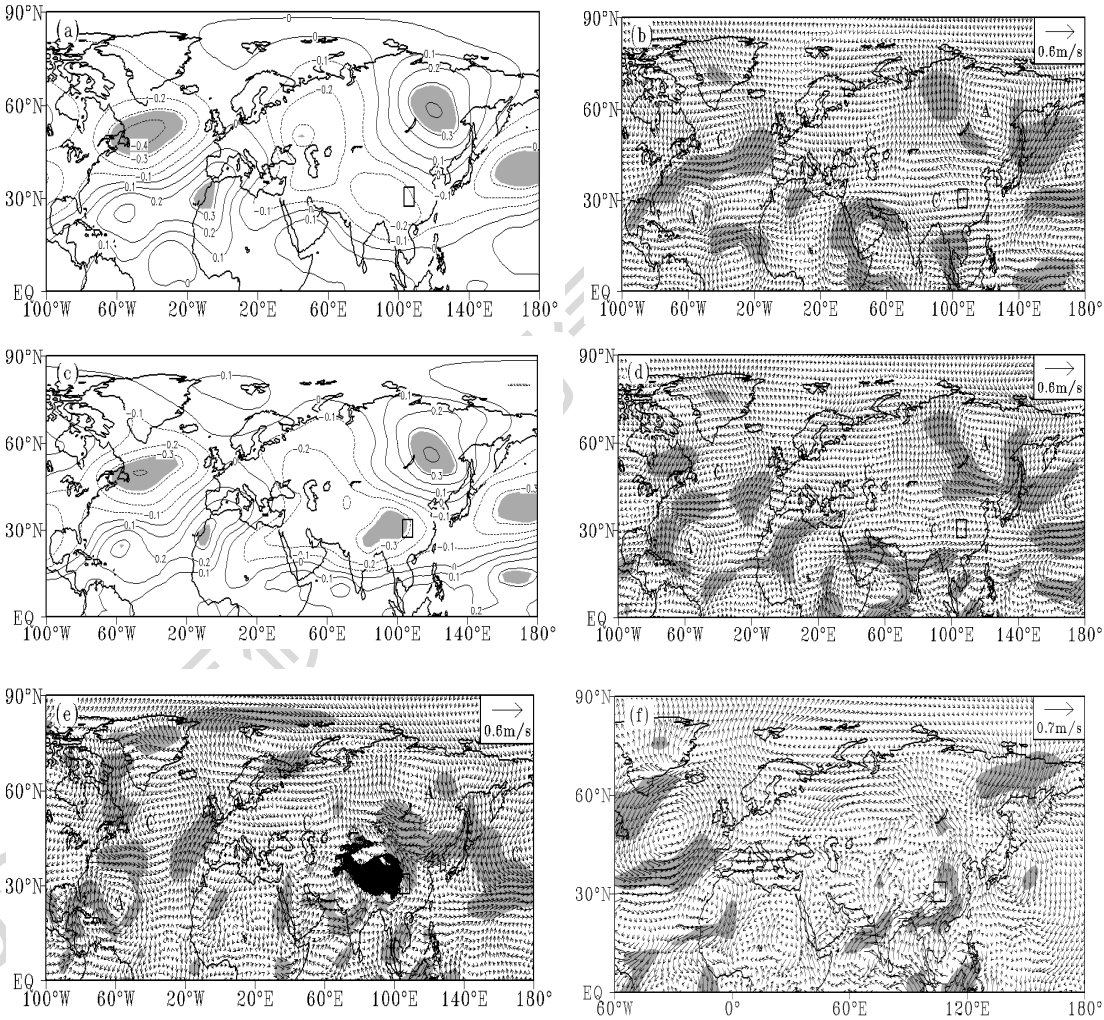
图4 1981~2018年冬季四川盆地霾日数与前期1~11月青藏高原大气热源的相关场分析(a)1月、(b)2月、(c)3月、(d)4月、(e)5月、(f)6月、(g)7月、(h)8月、(i)9月、(j)10月、(k)11月。

阴影区由浅到深分别为高度场的相关系数通过90%、95%、99%的置信水平

4 前期11月青藏高原热力异常对冬季四川盆地霾天气的影响

当前期11月高原关键区大气热源指数偏低时,冬季在对流层高层(200hPa),

中高纬 20° ~70° N 之间，从东北大西洋至西北太平洋上空存在一个自西向东的遥相关波列，呈现“正、负、正、负、正”的异常分布；在对流层中层（500hPa），四川盆地为显著正位势高度距平控制，盆地上空为反气旋环流控制（图 9c-d），四川盆地的对流层低层（850hPa）为异常反气旋环流控制（图 9e）。与此同时，冬季水汽输送的异常特征与大尺度环流以及 850hPa 风场相对应，来自阿拉伯海及孟加拉湾地区的西南暖湿水汽输送减弱，四川盆地处于反气旋环流控制，不利于降水的形成，导致污染物湿清除能力降低，西伯利亚高压减弱，冷空气活动减弱，导致四川盆地的污染物易于在水平方向的堆积，上述共同导致冬季四川盆地霾事件的发生（图 5）。



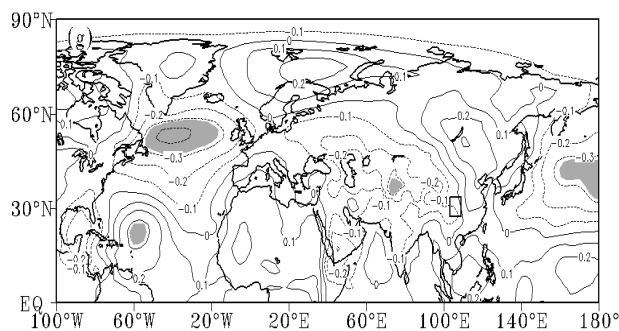


图5 1981~2018年11月高原关键区热源指数与冬季(a)200hPa高度场(单位:gpm)和(b)200hPa风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、(c)500hPa高度场(单位:gpm)和(d)500hPa风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、(e)850hPa风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、(f)水汽输送场(单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)、(g)海平面气压场(单位:hPa)相关分布,其中黑框代表四川盆地,黑色阴影:地形高度超过3000m,灰色阴影区为通过95%的置信水平

5 青藏高原大地形对冬季四川盆地霾天气的影响

冬季青藏高原东侧偏西气流在 $97^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 附近形成下沉气流,此类高原“背风坡”东侧的下沉气流动力效应不利于冬季四川盆地大气污染排物扩散,尤其抑制了污染物向高空的对流输送。

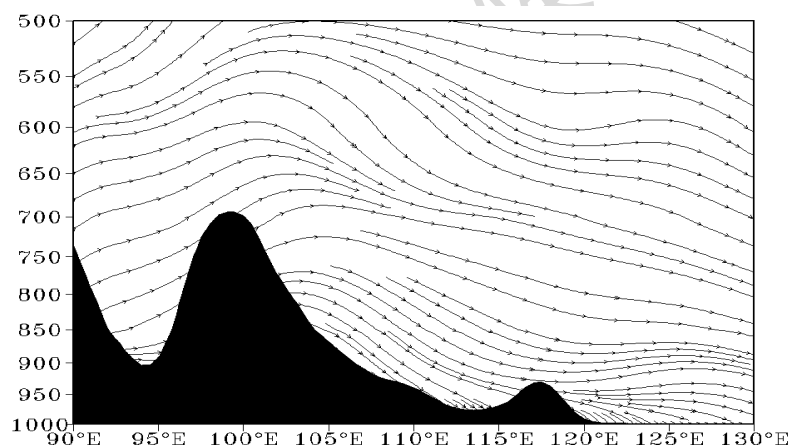


图11 1981~2018年11月高原关键区热源指数偏弱年与偏强年冬季沿 28.5°N 纬向平均环流剖面合成差值图,其中阴影区域为地形

参考文献:

GB/T 36542-2018 霾的观测识别 [S].

GB/T 36542-2018 Haze identification for meteorological observation [s]

Wu D,Mao J T,Deng X J,et al.2009.Black carbon aerosols and their radiative properties in the Pearl river delta region[J],Science in China Series D-earth Sciences,52(8):1152-1163

Wu D,Tie X X,Deng X J.2006.Chemical characterizations of soluble aerosols in southern China[J].Chemosphere,64(5):749-757

Wu D,Tie X,Li C C,et al.2005.An extremely low visibility event over the Guangzhou region: A case

study[J].Atmospheric Environment,39(35):6568-6577.

丁一汇, 柳艳菊.2014. 近 50 年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系[J]. 中国科学: 地球科学, 44 (1): 37-48.

高歌. 2008. 1961-2005 年中国霾日气候特征及变化分析[J]. 地理学报, 63 (7): 761-768.

吴兑,吴晓京,李菲.等.2010. 1951-2005 年中国大陆霾的时空变化[J]. 气象学报, 68 (5): 680-688.

孙斌, 马振峰, 牛涛, 等.2013. 最近 40 年中国雾日数和霾日数的气候变化特征[J].气候与环境研究, 18 (3): 397-406.

尹志聪, 王会军, 郭文利.2015. 华北黄淮地区冬季雾和霾的时空气候变化特征[J]. 中国科学: 地球科学, 45 (5): 649-655.

Wang H J, Chen H P, Liu J P. 2015. Arctic sea ice decline intensified haze pollution in eastern China[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters., 8(1): 1-9.

Xiao D, Li Y, Fan S J, et al, 2015. Plausible influence of Atlantic Ocean SST anomalies on winter haze in China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 122(1): 249-257.

严中伟, 裴琳, 周天军, 等.2018. 2017 年冬季北京霾日极少的大尺度气候和环流背景: “霾气候” 预测研究[J]. 气象学报, 76 (5): 816-823.

吴国雄, 刘屹岷. 2000. 热力适应、过流、频散和副高 I. 热力适应和过流[J]. 大气科学, 24 (4): 433-446.

刘新, 李伟平. 2002. 吴国雄. 夏季青藏高原加热和北半球环流年际变化的相关分析[J]. 气象学报, 60 (3): 367-277.

周秀骥, 赵平, 陈军明, 等. 2009. 青藏高原热力作用对北半球气候影响的研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 39 (11): 1473-1486.

Xu X, Zhao T, Liu F, et al. Climate modulation of the Tibetan Plateau on haze in China[J]. Atmos. Chem. Phys., 16, 1365-1375.

Ma X D, Xu X D, Cheng X H, et al. Association of climate-related total atmospheric energy anomalies in the Tibetan Plateau with haze in eastern China[J]. Aerosol and Air Quality Research., 20: 810-819.

Ning G C, Wang S G, Ma M J, et al. 2017. Characteristics of air pollution in different zones of Sichuan Basin, China[J]. Science of the Total Environment, 612: 975.

Chen H P, Wang H J. 2015. Haze days in North China and the associated atmospheric circulations based on daily visibility data from 1960 to 2012[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 120 (12): 5895-5909.

刘佳, 马振峰, 孙斌. 2016. 1981-2014 年四川不同强度霾时空特征及气候成因[J]. 环境科学学报, 36 (12): 4328-4339.

罗玉, 马振峰, 赵鹏国, 等. 2019. 近 36a 来四川盆地持续霾事件特征及环流分析[J]. 中国环境

科学, 39(9):3604-3615.

罗玉, 马振峰, 李小兰, 等. 2021. 四川盆地冬季霾日数的分布特征及其与气象条件和海温关系 [J]. 高原气象, 40(1):189-199.

Yanai M, Esbensen S, Chu J H. 1973. Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets. *J Atmos Sci*, 30(4):611-627.

魏凤英, 2007. 现代气候统计诊断与预测技术 (第二版) [M]. 北京: 气象出版社.

朱容. 2008. 北风沙尘天气对相关地区空气质量的影响研究 [D]. 成都: 成都信息工程大学硕士学位论文.

Zhu Rong. 2008. Study on the influence of north wind dust weather on air quality in relevant areas [D]. Chengdu: Master's degree thesis of Chengdu University Information Engineering

2022年气候预测与气候应用技术论坛