

张亚妮. 2011 年 4 月大气环流和天气分析[J]. 气象, 2011, 37(7): 906-912.

2011 年 4 月大气环流和天气分析^{* 1}

张亚妮

国家气象中心, 北京 100081

提 要: 2011 年 4 月大气环流主要特征如下: 北半球极涡呈现单极型, 且偏向西半球, 中高纬度地区环流呈现三波型分布, 亚洲中高纬地区为一槽一脊形势。东亚大槽较常年同期偏强, 西太平洋副热带高压明显偏弱, 南支槽接近常年同期。2011 年 4 月全国平均气温为 11.3℃, 较常年同期偏高 1.0℃, 西北地区大部气温明显偏高。4 月全国平均降水量为 21.4 mm, 较常年同期偏少 22.4 mm。月内共出现 4 次冷空气过程和 4 次沙尘天气过程, 部分省(市、区)遭受强对流天气袭击。

关键词: 冷空气, 沙尘, 干旱, 强对流, 大气环流, 天气分析

Analysis of the April 2011 Atmospheric Circulation and Weather

ZHANG Yani

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The following are the main characteristics of the general circulation of atmosphere in April 2011. There is one single center of the Northern Hemisphere polar vortex and is located in the Western Hemisphere. There are three waves around the earth in middle-high latitudes and is one wave in Asia area. The East Asia deep trough is stronger, the subtropical high is obviously weaker than climatological normals and the south branch trough is approaching the climatological normals. The monthly mean temperature averaged over China is 11.3℃ which is 1.0℃ higher than climatological normals and that in Northwest China is obviously higher. The monthly mean precipitation averaged over China is 21.4 mm which is 22.4 mm less than climatological normals. There are four cold air currents and four sand-dust processes in April respectively. Some provinces and regions are hit by severe convective storms.

Key words: cold air, sand-dust process, drought, severe convection, atmospheric circulation, weather analysis

1 天气概况

1.1 降 水

2011 年 4 月全国平均降水量为 21.4 mm, 较常年同期(43.8 mm)偏少 22.4 mm^[1]。从月降水量分布图看到(图 1), 西北大部及内蒙古大部、黑龙江西北部、西藏中西部不足 10 mm, 长江流域及其以南大部以及黑龙江东部、辽宁东南部等地在 30 mm 以上, 其中江南北部及云南南部超过 75 mm, 我国其余地区一般有 10~30 mm。

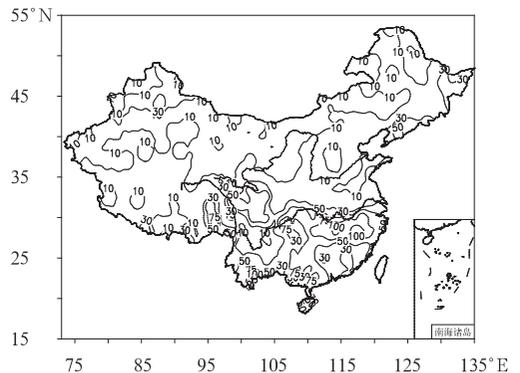


图 1 2011 年 4 月全国降水量分布
(单位: mm)

Fig. 1 Distribution of precipitation over China in April 2011 (unit: mm)

* 2011 年 5 月 18 日收稿; 2011 年 5 月 30 日收修定稿

作者: 张亚妮, 主要从事中短期天气预报工作. Email: zhangyn@cam.gov.cn

月降水量与常年同期相比,除华北北部、西南西部和南部及黑龙江东部、辽宁南部、青海南部、新疆部分地区偏多或接近常年外,全国其余大部地区偏少 3~8 成,其中新疆南部、甘肃西北部、宁夏南部、安徽北部、江西南部、广东东部等地偏少 8 成以上(图 2)。

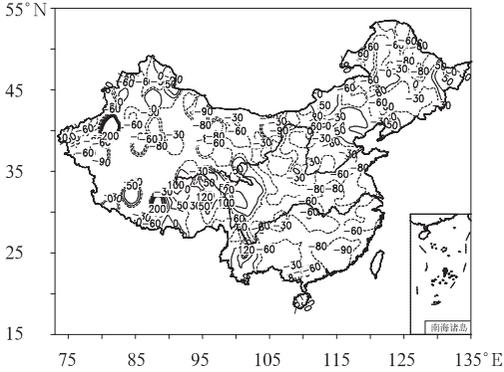


图 2 2011 年 4 月全国降水量距平百分率分布(单位:%)

Fig. 2 Distribution of precipitation anomaly percentage over China in April 2011 (unit: %)

1.2 气温

2011 年 4 月全国平均气温为 11.3℃,较常年同期(10.3℃)偏高 1.0℃^[1]。从 2011 年 4 月平均气温距平分布图看到(图 3),与常年同期相比,除海南气温偏低 1~2℃外,全国其余大部地区气温接近常年或偏高,其中新疆北部和东部、甘肃大部、青海西北部、宁夏南部、陕西西南部、内蒙古部分地区偏高

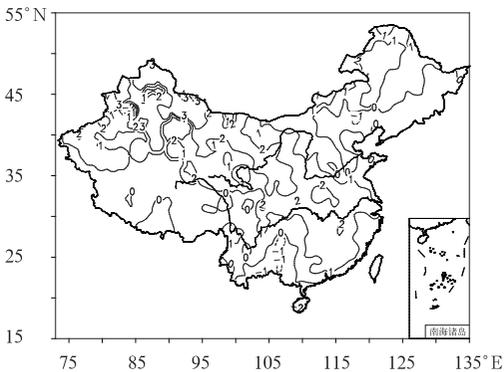


图 3 2011 年 4 月平均气温距平分布(单位:℃)

Fig. 3 Distribution of monthly mean temperature anomaly in April 2011 (unit: ℃)

2~4℃,局部地区偏高 4℃以上。

2 环流特征与演变

从 2011 年 4 月 500 hPa 平均高度及距平的水平分布(图 4)发现,本月北半球的环流形势有以下几个特点。

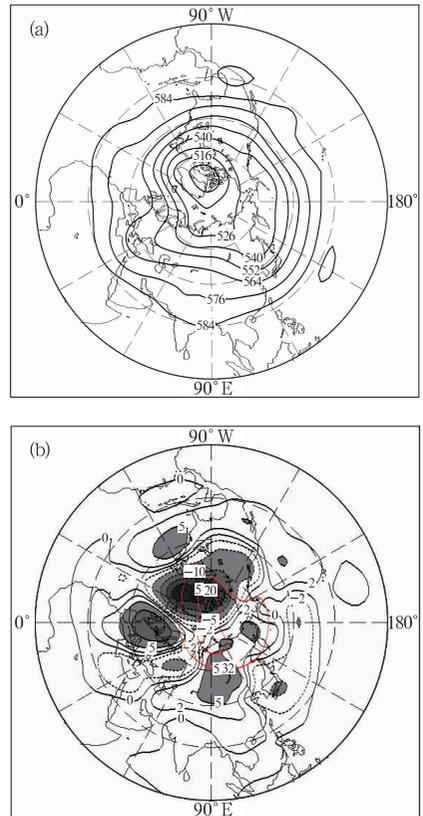


图 4 2011 年 4 月北半球 500 hPa(a)月平均和(b)气候平均的位势高度及距平(阴影区 ≥ 5 dagpm)(单位:dagpm)

Fig. 4 Monthly mean (a) and climatological (b) 500 hPa geopotential heights and anomalies (shaded area, the value is equal or more than 5 dagpm) in the Northern hemisphere in April 2011 (unit: dagpm)

2.1 极涡偏强且呈单极型

2011 年 4 月北半球极涡呈现单极型,且偏向西半球,中心位于北美洲巴芬岛附近(图 4a),最大负距平大于 20 dagpm(图 4b),明显强于偶极型极涡^[2]。极涡中心位势高度小于 504 dagpm,与气候平均的极涡强度 520 dagpm 相比显著偏强。

2.2 中纬度呈三波型

4 月北半球中高纬度环流呈现三波型分布,长波槽分别位于欧洲东部、亚洲东海岸和大西洋东部。亚洲中高纬地区为一槽一脊形势,脊位于巴尔喀什湖至贝加尔湖附近地区,我国西北地区和华北西部受高压影响,气温偏高(图 3)。东亚大槽较常年同期偏强,我国东北东部位于负距平区,槽后脊前的西北气流不断引导冷空气南下,影响我国北方东部地区。

2.3 副热带高压偏弱,南支槽接近常年同期

从 2011 年 4 月 500 hPa 位势高度场发现(图 4a),仅在西太平洋及北美南部的副热带地区存在两个范围很小的 588 dagpm 闭合线,而 2010 年 4 月 588 dagpm 线基本绕地球一周,几乎覆盖整个副热带地区^[2]。与常年同期相比,副热带高压强度偏弱,与副热带西太平洋地区的负距平相对应,是我国华南地区雨量偏少(图 2)的一个原因。

另外,从 500 hPa 位势高度距平(图 4b)发现,在孟加拉湾附近地区为负距平,表明 2011 年 4 月南支槽较常年同期偏强,但是考虑到距平振幅小于 2 dagpm,尤其是在 90°E 附近小于 1 dagpm,可以认为基本接近常年同期。

2.4 环流演变与我国天气

图 5 是 2011 年 4 月上、中、下旬 500 hPa 旬平均位势高度场。从图 5a 可以看出,4 月上旬亚洲中高纬度气流较为平直,呈纬向环流,东亚大槽较弱。旬内有两次长波槽东移过程,于 1—4 日和 4—7 日引导两股冷空气分别以西北路和偏西路径影响我国,给我国中东部带来明显降水。印度半岛北部的南支槽区较为清晰,其上不断有短波槽东移,给青藏高原东部、西南地区等地带来雨雪天气。西太平洋副高西脊点位于 140°E 以东,平距场上为负值区(图略),较常年同期偏弱。

4 月中旬(图 5b)亚洲中高纬环流经向度加大,呈西高东低的一槽一脊形势,脊区位于西伯利亚地区,东亚大槽较上旬加强。我国西北及华北西部地区受高压脊前西北气流控制,降水偏少,气温偏高。另外,高纬地区冷空气在脊前西北气流引导下影响我国东部地区,旬内共有 3 次冷空气东移南下,冷空气活动较为频繁,其中 14—17 日的冷空气过程给我

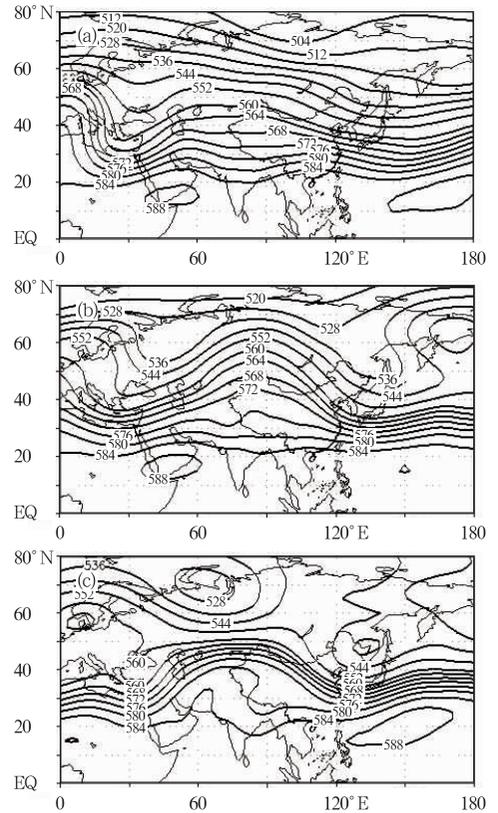


图 5 2011 年 4 月上(a)、中(b)和下旬(c)平均的 500 hPa 位势高度(单位:dagpm)

Fig. 5 The mean 500 hPa geopotential heights for (a) the first, (b) middle and (c) last dekad in April 2011 (unit: dagpm)

国中东部大部分地区带来明显降水,并且在贵州、广东和海南等地出现了短时雷雨大风等强对流天气。南支槽区比较平直,较上旬减弱,青藏高原受高压脊影响,高原中东部降水比上旬偏少(表 1)。西太平洋副高变得更弱,588 dagpm 等高线几乎消失。

4 月下旬(图 5c)西西伯利亚地区受高空冷涡控制,亚洲中高纬环流仍呈西高东低型,虽然高压脊较中旬减弱,脊区西退南压,但我国西北地区及华北西部地区仍受高压脊前西北气流控制,气温持续偏高,为沙尘天气的发生提供了一定背景条件,4 月份最强的一次沙尘暴过程发生在月末(表 2),与前期气温偏高有一定关系。我国东北地区受东北冷涡影响,东亚大槽略加强。在南支锋区,南支槽明显加强,给高原东部及西南地区西部带来明显降水,与常年同期相比(图略),下旬西藏东部偏北地区、青海南部、川西高原及云南降水偏多。西太平洋副高较上、中旬明显加强,但接近常年同期值(图略)。

表 1 2011 年 4 月主要降水过程

Table 1 The main precipitation processes during April 2011

起止时间	影响系统	降水范围
3 月 31 日至 4 月 4 日 ^[5]	高空槽、切变线、地面冷锋	青藏高原东部、山西中北部等地出现小到中雪,其中,山西北部出现暴雪;西南地区东部、华北大部、黄淮、江淮、江南、江汉等地出现小到中雨
4—6 日	高空槽、南支槽、切变线	新疆北部、甘肃河西、内蒙古中东部、青藏高原东部出现小雪(雨);西北地区东南部、华北地区中西部、江淮、黄淮、东北地区中北部、西南大部、江南大部、广西出现小雨,其中云南南部出现中到大雨
7—9 日	南支槽、高原槽、切变线	青海东部、西藏中东部出现小到中雪(雨);西南地区东部和南部、江南、华南地区西部等地出现小到中雨,其中云南南部局部出现暴雨
11—13 日	南支槽、切变线	西南地区东部、云南南部、陕西南部、湖北、江南大部出现小到中雨,局部大雨
14—17 日	高空槽、东北冷涡、切变线、地面冷锋	西藏中东部、青海东南部、内蒙古东部、东北大部出现小到中雪(雨);甘肃南部、陕西西南部、湖北中南部、西南、江南、华南等地出现小到中雨,其中,安徽南部、湖北西南部、湖南北部、江西北部偏南地区、江苏南部、福建北部、广东南部、广西北部偏南地区出现大到暴雨
19—23 日	高空槽、南支槽、切变线、东北冷涡,地面倒槽	西藏东部,青海南部和东部、东北出现小到中雪(雨),局部大雪(雨);西北地区东南部、华北、黄淮、江淮、江汉、江南、华南、西南出现小到中雨,其中重庆中部、云南南部、广西东部、广东西南部、海南东部和南部、湖南和江西北部的部分地区、天津西部偏北地区等地出现大雨,局部暴雨
27—30 日	高空槽、蒙古气旋、低空急流、切变线、热带低压	新疆北部、云南、四川东部、华北地区东部、东北、山东大部、江南、华南出现小到中雨,其中广西南部、广东西南部和西北部、海南中部、湖南中部和南部、江西中北部等地出现大到暴雨

表 2 2011 年 4 月主要沙尘天气过程

Table 2 The main sand-dust weather processes during April 2011

起止时间	过程类型	影响系统	沙尘范围
4—5 日	沙尘暴	冷锋	南疆盆地、内蒙古西部、甘肃西部出现扬沙天气,部分地区出现沙尘暴
17 日	扬沙	地面低压、冷锋	南疆盆地、甘肃西部、内蒙古中部偏东地区、山西中东部、河北北部、北京大部、河南北部出现扬沙天气
24—25 日	扬沙	冷锋、气旋	内蒙古西部、甘肃河西、宁夏北部、陕西北部、山西北部出现扬沙天气,局部出现沙尘暴
28—30 日	沙尘暴	冷锋、蒙古气旋	北疆东部及南疆盆地、内蒙古中西部、西北地区中东部、华北大部、山东北部、河南西部等地出现扬沙或沙尘暴,其中南疆盆地、甘肃金塔、酒泉、永昌等地出现了强沙尘暴

3 冷空气过程

3.1 概况

本月主要有 4 次冷空气过程,影响范围大,但强度不强,这 4 次过程分别为 3 月 31 日至 4 月 3 日的全国强冷空气过程,4 月 14—17 日的全国中等强度冷空气过程,以及 8—11 日和 20—22 日的北方中等强度冷空气过程。月初与中旬的两次全国性冷空气过程分别以偏东路径和偏西北路径影响我国大部分地区,造成大风降温,并带来大范围雨雪天气。

3.2 3 月 31 日至 4 月 3 日冷空气过程分析

3 月 31 日 08 时,500 hPa 环流呈纬向型,中西伯利亚东部至远东西部有冷空气堆积,锋区位于贝

加尔湖以东 50°N 附近,且温度场落后于高度场,槽后脊前的冷平流及脊后的暖平流导致槽脊东移发展。北支锋区高空槽位于贝加尔湖以东,是本次冷空气过程的主要影响系统。700 hPa 等压面上存在 -28℃ 冷中心,且冷舌落后于高空槽,位于槽后脊前的强偏北气流中,存在明显的冷平流,使地面加压,引导冷空气南下。3 月 31 日 08 时地面冷高压中心位于贝加尔湖附近,强度大于 1040 hPa,冷空气沿河套地区南下,影响我国中东部大部分地区。在冷空气影响下,内蒙古大部、东北、华北、黄淮大部出现了 5~6 级偏北风,我国中东部大部分地区 24 小时日平均气温下降 6~10℃,其中河南、安徽、湖北大部及江南大部等地日平均气温的降温幅度大于 10℃。从环流形势分析来看,此次冷空气过程并不是很强,但是由于前期回温明显,导致降温幅度较

大,其中在江南、江淮达到寒潮标准。

另外,3月31日08时在青海中部500 hPa上存在另一短波槽,随着冷空气向南侵入,该短波槽东移,于4月1日08时位于宁夏西部至甘肃南部附近,且强度维持,同时在低层有切变线生成及低压发展。在冷空气及中纬度短波槽前偏南气流的共同影响下,西北地区东部、华北西部、京津地区出现小到中雨雪,其中山西北部出现了暴雪^[5]。

本次冷空气过程给我国中东部地区带来了大范围雨雪天气,但量级不大,尤其是南方地区,基本以小雨为主,部分地区为中雨,这是由于水汽条件比较差。

4 降水天气过程

4.1 概况

2011年4月主要出现了7次明显的降水过程,表1给出了降水过程的起止时间、影响系统和主要落区。4月14—17日,一股中等强度冷空气自东向西、自北向南影响我国,我国中东部大部分地区出现了雨雪天气,其中安徽南部、湖北西南部、湖南北部、江西北部偏南地区、江苏南部、福建北部、广东南部、广西北部偏南地区出现大到暴雨,并且广东省出现了短时强降水和雷雨大风、冰雹等强对流天气,最大阵风达14级,是该省1994年建设加密区域自动气象站以来记录的最大瞬时极大风。下面就对广东的强天气过程进行简单分析。

4.2 4月17日广东强对流天气分析

2011年4月17日,广东省出现了短时强降水和雷雨大风、冰雹等强对流天气。佛山顺德区陈村录得 $45.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的最大阵风,深圳罗湖区出现127 mm的最大雨量,降水分布不均匀。强降水和大风区均发生在广东中部。受此次雷雨大风影响,佛山、肇庆和广州等地造成了不同程度的人员伤亡,共造成19人死亡。

4月16日08时,冷暖空气交绥于江南地区,地面冷空气前锋位于江南南部,由于受到南岭的阻挡,锋面移动缓慢,广东省处于地面锋前暖湿气流控制下。与此同时,另一股冷空气主体位于贝加尔湖附近,其前锋即将影响我国。随后,该股冷空气的一部分继续向东南方向移动,一部分沿河套快速南下,17

日08时(图6)到达西南地区东部,与前股冷空气汇合,推动锋面南移,17日14时锋面抵达广东中部,对这次强对流天气的发生起到动力抬升作用。

图7给出的是2011年4月17日08时清远站的 $T\text{-ln}p$ 图,发现层结曲线与状态曲线之间存在较大的正面积,对流有效位能(CAPE)为 $664.5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。通过分析广东省其他站的探空图,发现也存在较大的CAPE值表明广东大部分地区均为热力不稳定层结。从16日20时CAPE值的水平分布看,广东大部地区大气层结已处于不稳定状态,但对流有效位能普遍比17日08时小,如清远站16日20时的CAPE值仅为 $105.3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,这种变化趋势说明大气层结的不稳定程度在增强,对强对流天气的发生非常有利。进一步分析17日08

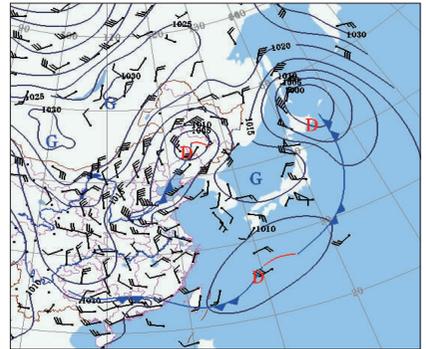


图6 2011年4月17日08时海平面气压场(单位:hPa)及850 hPa风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 6 Sea level pressure (unit: hPa) and 850 hPa wind (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) fields at 08:00 BT 17 April 2011

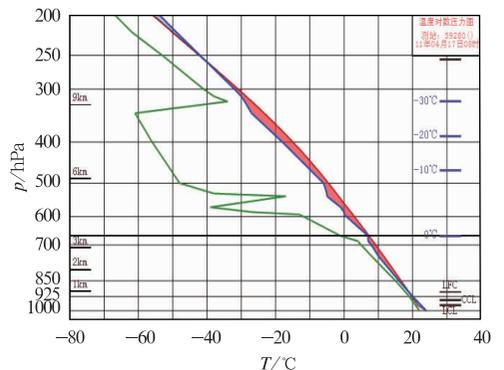


图7 2011年4月17日08时清远站的 $T\text{-ln}p$ 图
Fig. 7 The $T\text{-ln}p$ diagram from Qingyuan sounding station at 08:00 BT 17 April 2011

时水汽平流和温度平流发现,700 hPa 以下在广东省存在暖平流和湿平流,且 700 hPa 暖湿平流最大,而在 400 hPa 有明显的冷平流,这种上层冷平流、下层暖湿平流的垂直分布结构是热力不稳定增长的主要原因。另外,从 17 日 08 时水汽通量散度场上发现,广东省内存在显著的水汽辐合,为强对流天气的发生提供了水汽条件。

本次过程的主要特点是瞬时风力大,强风是造成灾害的主要因素。从图 7 发现对流层中层特别干,500 hPa 温度露点差大于 40°C ,非常有利于雷暴大风的发生。

综上所述,这次强对流天气是在地面冷锋的动力抬升作用下、在充足的水汽供应以及不断增长的热力不稳定条件下发生的。

5 影响我国北方地区的沙尘天气过程

5.1 概况

2011 年 4 月共出现 4 次沙尘天气过程(表 2),其中沙尘暴 2 次,扬沙 2 次,比 2000—2010 年同期(5.2 次)偏少,其中沙尘暴过程较前两年也偏少^[2-3]。下面对 4 月 28—30 日的沙尘天气过程进行简单分析。

5.2 4 月 28—30 日沙尘天气过程分析

受蒙古气旋和地面冷锋影响,2011 年 4 月 28—30 日,我国北方地区出现了 2011 年以来强度最强的沙尘天气过程,北疆东部及南疆盆地、内蒙古中西部、西北地区中东部、华北大部、山东北部、河南西部等地出现扬沙或沙尘暴,其中南疆盆地、甘肃金塔、酒泉、永昌等地出现了强沙尘暴。

2011 年 4 月我国西北地区大部气温偏高,降水偏少,使得浅层土壤湿度较低,给此次沙尘暴天气提供了一定的背景条件。4 月 28 日 08 时位于巴尔喀什湖以东的 500 hPa 高空槽开始影响新疆,28 日 20 时槽后冷空气增强,最低温度由 08 时的 -32°C 减小为 -36°C ,温度梯度增大,冷平流增强,高空槽于 29 日 08 时加强为低涡系统,此时高空槽位于内蒙古西部,随后冷涡系统逐渐减弱。从地面系统的发展移动情况来看,冷空气以偏西路径影响我国大部分地区,28 日 20 时,新疆东部、内蒙古西部和甘肃西北

部出现沙尘天气。随后冷空气沿河西走廊向东南方向移动,29 日 08 时地面冷锋位于陕西北部、甘肃南部一带,冷锋后的偏北大风在我国境内大约为 4~5 级。至 29 日 14 时(图 8),地面气旋发展为两个,分别位于蒙古国东部和华北地区南部,沙尘天气主要位于低压后部气压梯度较大的区域。由图 8 还可以看出,我国境内沙尘区地面风力较小,仅在内蒙古中西部偏北地区出现 6 级及以上大风,而在甘肃南部、宁夏及陕北西部的起沙区,地面风力小于 5 级。总体来看,引起本次沙尘天气的地面平均风力较弱^[2,4]。30 日,随着补充冷空气的东移南压,华北、山东北部等地也出现了沙尘天气,30 日 20 时,此次沙尘过程基本结束。

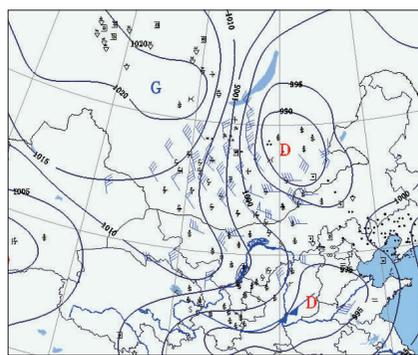


图 8 2011 年 4 月 29 日 14 时海平面气压(单位:hPa)、大于等于 6 级的 10 m 风场及沙尘区

Fig. 8 Distribution of sea level pressure (unit: hPa), wind fields (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 10 m with speed equal to or higher than the sixth scale, and the sand-dust area

6 其他灾害天气

6.1 长江中下游和华南等地气象干旱发展

3 月下旬至 4 月,长江中下游、华南和西南东部部分地区降水持续偏少,降水量普遍为 20~100 mm,比常年同期偏少 5~8 成,其中长江中下游、华南区域平均降水量只有 62.6 mm,不及常年同期(210.1 mm)的三分之一。由于降水异常偏少,加之大部地区 4 月中下旬气温偏高,土壤失墒加快,造成部分地区发生严重春旱。4 月底全国气象干旱

监测显示,黄淮大部、长江中下游大部、华南大部、西南东部部分地区以及宁夏中南部、甘肃东部、山西东部等地存在中到重度气象干旱,局部达到特旱等级^[1]。

6.2 我国部分地区遭受风雹灾害

2011年4月全国共有15个省(区)局地遭受冰雹袭击,其中贵州、广东、海南等省风雹造成的损失较为严重。4月15日,贵州省5个市(州)11个县(区)遭受风雹袭击,直接经济损失约2.6亿元。4月17日,云南省5州(市)6个县(市)遭受大风冰雹灾害。4月17日,广东省出现短时强降水和雷雨大风、冰雹等强对流天气,最大阵风达14级,共造成

19人死亡。4月18日凌晨,海南省东方市发生雷雨大风等强对流天气,导致8只渔船沉没,7人死亡。

致谢:感谢国家气候中心刘波提供的降水量、降水距平和气温距平资料。

参考文献

- [1] 国家气候中心. 2011年4月中国气候影响评价[R].
- [2] 樊利强. 2010年4月大气环流和天气分析[J]. 气象, 2010, 36(7):174-179.
- [3] 田伟红. 北方气温显著偏高 云贵川渝降水偏多—2009年4月[J]. 气象, 2009, 35(7):119-123.
- [4] 李勇. 2010年3月大气环流和天气分析[J]. 气象, 2010, 36(6):128-133.
- [5] 符娇兰. 2011年3月大气环流和天气分析[J]. 气象, 2011, 37(6):756-763.



中国北方沙尘暴研究

牛生杰 著

该书内容涉及:沙尘暴发生频次的时空分布及其变化趋势;沙尘暴热力、动力结构及近地层要素变化特征;沙漠地区的大气扩散规律和边界层结构以及起沙通量模型;沙尘气溶胶微结构;沙尘气溶胶光学特性反演及其辐射模型;沙漠地区云凝结核、冰核的时空分布规律及其对云和降水的影响。

该书适用于大气物理学、大气化学、大气环境、气候变化、天气分析和预报等专业领域,也可供相关领域的研究人员、教学人员和研究生参考。

16开 定价:48.00元

东北天然林研究

李文华 等著

该书是我国著名生态学家和林学家李文华院士和以他学生为主的研究团队,长期在我国东北小兴安岭、长白山、大兴安岭进行考察和定位研究的总结和综述,包括了东北不同地区森林生态系统的分布、组成、结构、生物量和演替的规律,既有对历史的分析又有新形势下对东北林业可持续经营的建议。

该书可供林业、生态、地理、资源以及区域可持续发展等方向的科研和生产部门的有关人员以及决策管理部门的有关人员参考。

16开 定价:78.00元

浙江省气象灾害防御规划研究

樊高峰 主编

该书详细研究了浙江省气象灾害时空分布特征,调查并统计分析气象灾害对全省各区域的影响,设计了不同种类气象灾害的设防指标,并应用灾害风险区划理论,根据浙江地形地貌、河流水系及全省经济社会发展状况,开展了气象灾害风险区划,规划了到2020年浙江省气象灾害防御目标,制定了气象灾害防御需要完善的相关措施等。本书对因地制宜地开展气象灾害风险区划技术研究,制定科学的防御气象灾害对策措施,编制适合各地的防御规划,具有一定的参考借鉴作用。

16开 定价:38.00元

气候变化与中国林业碳汇

刘于鹤 主编

该书将目前人类社会关注的气候变化问题与林业的碳汇功能结合起来加以论述,着重介绍我国改革开放以来,特别是最近10年,林业发展取得的巨大成就及存在问题,面对气候变化的新形势和新问题,我国林业发展需要的新战略、新举措。全书共分九章:第1章改革开放30年来的林业;第2章气候变化的背景与外交、政治博弈;第3章气候变化对我国林业发展的影响与适应对策;第4章森林培育与碳汇;第5章森林保护与林业碳汇;第6章湿地保护与碳汇;第7章水土保持与林业碳汇;第8章林业生物质能源与碳汇;第9章木材利用与林业碳汇。本书可供全球气候变化科技人员和林业、气象、环境保护以及有关人员参考。

16开 定价:50.00元