

2000 年春季中国北方沙尘暴天气气候成因研究

杨 民¹, 蔡玉琴¹, 王式功^{2*}, 李文莉¹, 尚可政², 董光荣³

(甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020 ; 2. 兰州大学 大气科学系, 甘肃 兰州 730000 ; 3. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 : 从环境背景和天气气候成因两个方面 , 分析了 2000 年春季中国北方沙尘暴频繁爆发的原因。结果表明 , ①2000 年春季中国北方大风沙尘暴的源地、路径和天气形势可归纳为三种类型 ; ②近年来中国北方干旱加剧土地荒漠化严重 , 使原本广阔的戈壁沙漠面积逐步扩大 , 为沙尘暴天气的爆发提供了物质基础 ; ③2000 年处于反厄尔尼诺(拉尼娜) 事件的高峰期 , 使东亚冬季风加强 , 同时 2000 年春季极涡位于东半球新地岛附近 , 冷空气频繁南下 , 易形成大风天气 ; ④2000 年春季我国北方干旱少雨 , 气温回升迅速且温度偏高 , 使解冻的地表土层疏松 , 又提供了丰富的沙尘源。

关键词 : 沙尘暴 ; 源地与路径 ; 天气气候成因 ; 中国北方
中图分类号 : P445.4 文献标识码 : A

2000 年春季 , 我国北方特别是华北地区连续多次出现沙尘天气 , 其时间之早 , 频率之高 , 范围之广 , 强度之大 , 为历史同期所罕见。据统计 , 2000 年春季共出现 16 次大风、沙尘暴天气 , 每次沙尘暴发生期间 , 都有“ 疾风卷冥海 , 万里扬沙砾 , 仰头不见天 , 昏昏竟朝夕 ” 的状况出现。给工农业生产、交通运输、空气质量和人民的日常生活都带来了很大的危害 , 造成上亿元的直接经济损失和成百的人员伤亡。本文从环境背景和天气气候成因两个方面对 2000 年春季我国北方大风沙尘暴天气过程进行了初步分析研究。

1 近 50 a 北方沙尘暴发生频次概况

通过对华北气象台站网连续 40 多年观测数据的分析表明 , 虽然我国华北地区一般沙尘天气发生的日数呈减少趋势 , 例如 , 北京 50 年代平均沙尘暴日数、扬沙日数和浮尘日数分别是 90 年代的 8.5 倍、14.5 倍和 3.2 倍^[1] ; 但有关统计结果表明 , 我国北方强沙尘暴天气却有加重趋势 , 强风沙灾害 , 10 世纪前平均 100 a 一次 , 20 世纪 50、60 年代发展到每两年一次 , 进入 90 年代 , 已发展到一年一次以上^[1~3]。以西北五省区强或特强沙尘暴为例 , 西北五省(区) 1952—2000 年 5 月共出现强($20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \leq \text{风速} < 25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $200\text{ m} \leq \text{能见度} < 50\text{ m}$) 特强(风

速 $\geq 25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、能见度 $\leq 50\text{ m}$) 沙尘暴天气 63 次 , 平均 1.3 次/年。从近 50 a 西北区强和特强沙尘暴频数年代际变化的统计分析^[4]及相关的分析结果来看 , 强沙尘暴发生频次呈上升趋势(表 1)。特别是进入 90 年代中后期以来 , 西北区强沙尘暴发生更加频繁。1995—2000 年出现强沙尘暴 16 次 , 平均 $2.6\text{ 次}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

表 1 50 年代以来西北区强和特强沙尘暴频数年代际变化 *

Tab.1 Inter decadal variation of strong sandstorms and extra strong sandstorms since 1950s over Northwestern China

年代	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	2000 年
发生次数	5 次	8 次	13 次	14 次	19 次	4 次
百分比/%	8	13	21	22	30	6

* 1994 年以前资料来源于参考文献 [4] ; 1995—2000 年资料来源于甘肃省资料档案室。

2 2000 年春季北方大风、沙尘暴的源地、路径及天气形势

2000 年春季 , 我国北方大风、沙尘暴发生的频次明显高于历年同期 , 共出现 16 次 , 其中仅 4 月份就出现了 8 次(表 2) , 就华北地区而言这是 20 世纪

收稿日期 2000-12-22 ; 改回日期 2001-03-07
基金项目 : 国家重点基础研究发展规划项目(G2000048703)、国家自然科学基金重大项目(39990490) 共同资助
作者简介 : 杨民(1976—) , 男(汉族) , 新疆昌吉人 , 助理工程师 , 主要从事天气预报及灾害性天气研究。
* 通讯联系人

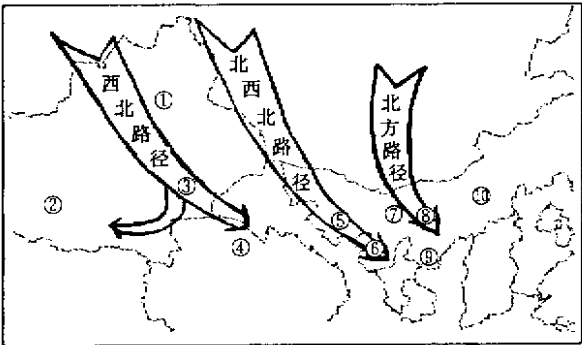
90年代历年同期发生次数的3倍多^[1~3]。经统计分析2000年春季发生的大风、沙尘暴的源地、路径

及天气形势可归纳为三种类型(图1)。

表2 2000年春季中国北方大风沙尘暴个例谱

Tab.2 Table of gale and sandstorm cases in the spring of 2000 over Northern China

沙尘暴发生时间	大风、扬沙区域	沙尘暴区域	强或特强沙尘暴区域
3月1719日	东疆、河西、华北大部、东北西南部	内蒙古中西部、蒙古国中部、宁夏	
3月2022日	东疆、陇中、山西局部、东北南部	内蒙古中部、蒙古国、宁夏、陕西局部、河西	
3月2627日	陇东、关中、华北大部、东北南部、黄淮的部分地区	蒙古国、内蒙古中西部、河西、宁夏、陕北、山西中北部	
4月23日	宁夏、华北大部、陇东	内蒙古中西部、蒙古国中部	
4月56日	河西、华北中北部、黄淮的部分地区	内蒙古、蒙古国中部、河北北部、辽宁西部	
4月89日	陇东、华北大部、东北南部、黄淮的部分地区	蒙古国、内蒙古中部、河西、宁夏、陕北、河北及山东局部	
4月1213日	北疆、东疆、华北西部	内蒙古中西部、蒙古国、宁夏、南疆、陇东	青海中北部、甘肃中西部
4月1819日	东疆、青海、关中、华北西部	陕北、蒙古国中西部、山西中北部、甘肃中西部、宁夏	内蒙古中部
4月2021日	陕北、华北大部、东北西南部	内蒙古、蒙古国中部、宁夏	
4月2325日	东疆、陕北、华北西部	甘肃中西部、宁夏	内蒙古中部
4月2728日	北疆、东疆	蒙古国中部、宁夏、陕北、甘肃中、东部	内蒙古中部
5月23日	陕北、宁夏	内蒙古中部、蒙古国中部	
5月56日	河西、宁夏	北疆、南疆、蒙古国、内蒙古中西部	东疆
5月1011日	东疆、关中、陇东、华北大部	蒙古国、河西、山西中北部、宁夏、内蒙古中部	陕北、内蒙古西部
5月1516日	陕北、华北西部、东北西南部	蒙古国、内蒙古中部、宁夏、山西局部	
5月2425日	东疆、河西、陇东	蒙古国、内蒙古中西部、陕北	宁夏



- ①古尔班通古特沙漠 ②塔克拉玛干沙漠 ③库姆塔格沙漠 ④柴达木盆地沙漠 ⑤巴丹吉林沙漠；
⑥腾格里沙漠 ⑦乌兰布和沙漠 ⑧库布齐沙漠；
⑨毛乌素沙地 ⑩浑善达克沙地

图1 2000年春季中国北方沙尘暴源地及路径示意图

Fig.1 Sketch map of source and route of sandstorms occurred in the spring of 2000 over Northern China

(1) 北方路径类 这类大风、沙尘暴天气一般起源于蒙古国的乌兰巴托以南的广大地区,途经蒙古大戈壁、腾格里沙漠、东止乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、毛乌素沙地和浑善达克沙地,影响蒙古国、我国西北区东部、华北大部和东北南部,有时还可向南影响到黄淮地区。此类大风、沙尘暴天气2000年春季共发生了7次,分别在3月2627日;4月23日,56日,89日,2021日;5月23日,1516日。这类天气发生时欧亚高空多移动性槽脊。过程开始前24小时

高空偏西风急流多位于河套北部,此后快速东移到华北,经统计地面大风区与此高空急流有较好的对应关系。沙尘暴天气发生前期,西北区地面增温明显;贝加尔湖西部至新西伯利亚有强冷高压,中心一般位于蒙古高原西北部,气压值在1030-1045 hPa之间;贝加尔湖东部到河套北部存在有低压中心。地面冷锋一般位于此低压中心到河套西北部,冷锋前后均有较大的正、负3小时变压。

(2) 北西北路径类 这类大风、沙尘暴天气起源于蒙古高原中西部,东移南下过程中穿越蒙古大戈壁、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、东止乌兰布和沙漠和黄河河套的毛乌素沙地等。影响范围包括新疆北部与东部、甘肃、蒙古国与内蒙古中西部、宁夏、陕西北部及华北西部等。此路径的沙尘暴2000年春季共发生了6次,分别在3月1719日,2022日;4月23-25日,2728日;5月1011日,2425日。此类天气过程开始前,北欧上空有高压脊发展,并向东扩展到乌拉尔山。同时中亚的里海、咸海一带也有脊发展,然后两脊迭加并加强,使脊前冷槽南压至蒙古高原到新疆北部,并在阿勒泰山到河西走廊形成一支强的高空西风急流。它随着冷槽的东移发展不断增强,所经之地易造成大风、沙尘暴天气。地面影响系统为新西伯利亚强冷高压,高压中心位于巴尔喀什湖附近,同时贝加尔湖以东也有较强高压存在。两高压

之间为一低值区, 低压中心多位于贝加尔湖南部。地面冷锋过程前位于蒙古高原西部至天山, 冷锋前后均存在较大的正负 3 小时变压。过程发展中, 新西伯利亚高压与我国东北反气旋高压贯通, 使贝加尔湖南部低压区南压, 当地面冷锋进入河西走廊时, 沙尘暴天气出现。

(3) 西北路径类 这类大风、沙尘暴天气多起源于巴尔喀什湖附近。引发沙尘天气的冷空气团东移经过古尔班通古特沙漠, 翻越天山后分支: 一部分冷空气倒灌入南疆引发沙尘暴; 另一部分(主力)继续向东南移动。其影响范围包括蒙古高原的中西部、新疆大部、河西走廊、青海北部及宁夏、陕西的部分地区。这类在 2000 年出现了 3 次, 即 4 月 1213 日、1819 日 5 月 56 日。此类大风、沙尘暴天气过程开始前 24 小时, 500 hPa 高空乌拉尔山中部到咸海多为高压脊, 脊区有大片正变高区, 最大达 +19 位势什米, 冷槽一般位于蒙古高原西部到巴尔喀什湖附近, 冷槽附近为负变高区, 正负变高的连线成西北东南走向。此后脊前偏北风加强, 使得巴尔喀什湖冷槽迅速南压到新疆后东移, 造成大风、沙尘暴天气。此类沙尘暴天气的地面影响系统中心偏南, 主要以新西伯利亚至贝加尔湖的强冷高压为主, 中心强度在 1 045 hPa 以上。地面冷锋位于内蒙古至柴达木盆地, 冷锋后有较大的正 3 小时变压。

3 我国北方的地理环境

大风、沙尘天气的发生、发展离不开丰富的沙尘源。我国北方与蒙古国境内戈壁沙漠众多, 仅我国北方就有古尔班通古特沙漠、塔克拉玛干沙漠、库姆塔格沙漠、柴达木盆地沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、黄河河套的毛乌素沙地和浑善达克沙地等^[5], 这些总面积达数百万平方公里的沙漠戈壁为沙尘暴天气的发生提供了大量的沙尘源。

此外在全球气候变化的影响下, 我国北方地区干旱和暖冬现象日益严重, 加之不合理的人为活动干扰(过度农垦、放牧、滥伐以及水资源利用不当、工矿交通建设中不注意环境保护等), 造成了大面积植被的破坏, 加剧了水土流失、土壤沙化、土壤次生盐渍化和土壤物理性质的恶化。我国已成为世界沙漠化最严重的国家之一, 沙漠化面积达到 262.2 万 km², 占国土面积的 27.3%(而我国的森林覆盖率仅有 13.92%); 涉及全国 18 个省(区), 471 个县, 1.1 亿人口, 90 年代后沙漠化的国土面积以每年 2 460 km²的速度扩展着。据统计, 1949—1994 年, 我国共

有 66.6 万 hm² 耕地沦为沙丘或沙地, 每年平均丧失耕地 1.7 万 hm²。我国北方“三化”(即退化、沙化、碱化)的草地面积达 1.35 亿 hm², 约占草地总面积的 1/3, 并且仍以每年 433.3 万 hm² 的速度增加着。根据最新资料显示, 我国北方大部分省(区)退化的草地面积均超过这些省区草地总面积的 60%, 其中宁夏、陕西、山西三省区退化的草地面积达到 90%—92%^[6,7,11]。

由上述这些触目惊心的数字可知, 我国北方土地荒漠化越来越严重, 因此地表覆盖状况急剧恶化。而强沙尘暴灾害的频繁发生又与土地荒漠化的加速蔓延和扩展密切相关。

4 2000 年春季我国北方沙尘暴多发的气候原因

4.1 气候的年代和年际变化

近 40 a 来的气象记录表明, 我国北方春季大风日数的增减与沙尘暴日数的增减是一致的。研究表明大风日数的增减是气候年代际和年际变化的反映。每年冬春季寒潮大风的出现与冬季风的强度有关。东亚季风有明显的 1050 a 尺度的变化。亚洲冬季风与厄尔尼诺事件有密切关系, 在厄尔尼诺年东亚冬季风强度弱, 而在反厄尔尼诺年东亚冬季风势力强^[8]。在 70 年代, 反厄尔尼诺事件占优势, 我国北方寒潮大风天气出现很频繁; 在 8090 年代, 厄尔尼诺事件占优势, 寒潮大风天气出现相对少一些。2000 年正处于 20 世纪最强的一次厄尔尼诺事件以后的反厄尔尼诺事件的高峰期, 这一大范围的海洋—大气过程, 其变化速度和强度超过以往, 造成我国北方 1999 年冬至 2000 年春强寒潮大风的频繁出现, 为沙尘暴的频繁发生提供了动力学条件。

4.2 冷空气频繁南下的环流背景分析

由于 2000 年 4 月我国北方出现了 8 次大风、沙尘暴天气, 因此以 4 月为例分析春季大风、沙尘暴发生的天气环流背景。由 3 月北半球 500 hPa 月平均图(图略)可知 2000 年极涡呈偶极型分布, 中心分别位于美洲东北部和新地岛附近(二者强度基本相当), 而常年同期的极涡主体只位于美洲东北部。再由 4 月 500 hPa 月平均图(图 2)知, 在东半球新地岛附近有一较大强度的极涡中心, 极地环流呈重心偏于东半球的偶极型分布。北半球高纬度和低纬度气流发生明显分支。中高纬度波型为三波, 波谷(槽区)分别位于北美大陆东岸、欧洲大陆西岸和东亚大陆东岸。并且从欧洲北部到亚洲的蒙古高原维持有一支西北东南向的强锋区(等高线密集带)。在中低

纬度环流形势为两槽一脊型,地中海地区为一平均槽,里海到新疆西部为一浅脊,东亚地区又为槽区。同时,由图 2 还知东半球,负距平区有两个,最强的位于亚洲大陆东岸(中心为 -12 位势什米);另一个位于新地岛附近(中心达 -5 位势什米)。正距平区有三个,最强的位于东欧平原到我国西北部,中心位于里海以北(达 +12 位势什米);在它的南部伊朗高原上也有一正距平区(中心为 +8 位势什米);另一个位于东西伯利亚以北(中心为 +5 位势什米)。这些正负距平区的分布使得东半球经向度明显加大,锋区加强;另外还表明,2000 年 4 月欧洲大陆西岸、新地岛地区及亚洲大陆东岸分别有稳定的冷槽;乌拉尔山到新疆西部和东西伯利亚北部有稳定的高压脊,与常年同期相比东亚大槽与乌拉尔山脊强度较大,位置偏西。长波槽脊的这种分布,使冷空气经常从新地岛一带沿乌拉尔山脊前偏北气流向东南移动,影响中国北方;又由于新疆西部存在较稳定的浅脊,使冷空气多以西北路径和北方路径入侵我国。因此造成 2000 年春季我国北方冷空气活动频繁,尤其华北大风沙尘暴日数明显增多。

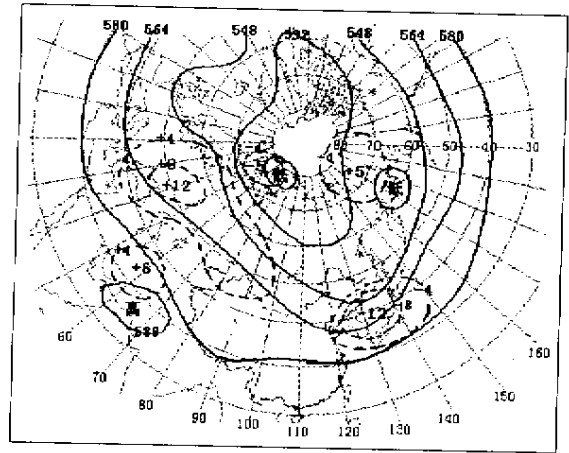


图 2 2000 年 4 月北半球 500 hPa 平均高度和距平图
Fig.2 Chart of average height and departure in April of 2000 in the Northern Hemisphere

5 2000 年春季中国北方温、湿状况分析

5.1 降水状况

自 2000 年 2 月起,我国北方降水稀少,23 月基本无雨雪。3 月,我国北方除东北东部、甘肃南部和青海南部有 1050 mm 的降水外,其余大部分地区月降水量不足 10 mm;其中南疆、内蒙古西部和东部、甘肃西部、青海西北部、华北平原南部和黄淮大部分地区基本无降水。与常年同期相比(图 3),西北地

区大部、内蒙古大部、汉水流域、黄淮、江淮以及东北和华南的部分地区偏少 59 成。4 月我国北方大部分地区降水在 50 mm 以下,其中南疆、内蒙古中部偏西地区无降水;与历年同期相比(图略),北疆西北部和南疆、青海大部、宁夏、陕西、甘肃东北部、内蒙古中部、山西、河北西部、黄淮、江淮、汉水流域等地区偏少 57 成;其中南疆、黄淮、江淮北部等地偏少 8 成以上。

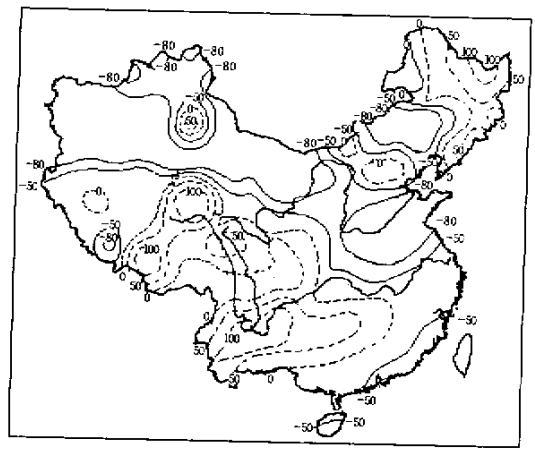


图 3 2000 年 3 月中国大陆降水距平百分率
Fig.3 Departure percentage of precipitation in March of 2000 in China

5.2 温度状况

2000 年春季气温回升较快,特别是 2 月中旬后,北方大部地区各旬平均气温比常年偏高 13℃。虽然 3 月我国境内有多次冷空气入侵活动,但强度较弱,我国北方大部地区月平均气温仍高于常年同期 12℃(图 4a),其中华北大部、黄淮、江淮和西北东部偏高 24℃,尤其 3 月下旬,华北部分地区偏高 4-5℃。2000 年 4 月冷空气活动频繁,北方地区温度起伏较大,与常年同期相比(图 4b)西北区大部、华北大部、东北西部、黄淮、江淮、汉水流域等地区月平均气温偏高 12℃,其中内蒙古东北部、华北南部、黄淮、江淮、汉水流域偏高 23℃,新疆北部偏高 34℃。

以甘肃省和内蒙古自治区 2000 年春季降水,温度为例。甘肃省 1999 年秋季与冬季出现严重旱情,2000 年春季(35 月)除少数偏南地区降水正常外其余大部分地方又比历年同期偏少 18 成;同时甘肃省春季月平均温度,比历年同期偏高 0.72.9℃,因此大部分地方土壤失墒严重,植被稀少,地表裸露较多。内蒙古中西部地区在 1999 年春、夏、秋三季连旱,冬季是 20 a 来平均气温最低的一年,2000 年春季降水

稀少,气温回升迅速,解冻的地表土层疏松。

结合降水与气温两方面状况,可知2000年春季我国北方大部分地区降水稀少,气温偏高,土壤解冻后失墒较快,地表全面解冻后浮土干松,一遇到大风,浮土就会随风而起,形成浮尘、扬沙甚至沙尘暴。

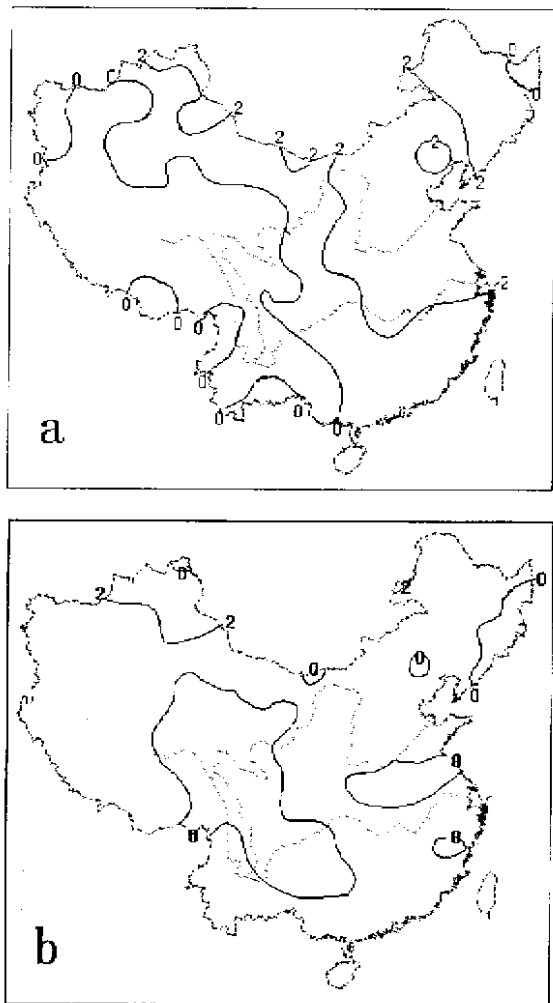


图4 2000年3月(a)和4月(b)中国大陆平均温度距平图

Fig.4 Departure map of average temperature in March (a) and April (b) of 2000 in China

6 结语

(1)综上所述,2000年春季我国北方沙尘暴多发的气候原因有:①2000年处于20世纪最强的一次厄尔尼诺事件以后的反厄尔尼诺(拉尼娜)事件的高峰期,使东亚冬季风加强,致使我国北方去冬今春的寒潮大风频繁出现;②极涡位于东半球新地岛附近,致使乌拉尔山高压脊与东亚大槽强度较大,冷空气经常从新地岛一带沿乌拉尔山脊前偏北气流向东南移动,影响我国北方;③2000年春季我国北方大部分地方气温偏高,降水稀少,土壤干燥,提供了较充足的沙尘源。所以,当冷空气频繁入侵时就造成了一

次次的大风沙尘暴天气。

(2)沙尘暴是干旱和荒漠区特有的灾害性天气,丰富的沙尘源,大风是其形成的基本条件。人类要想抵御风沙灾害的侵袭就必须从这两方面着手。人类对于遏止大风或垂直不稳定方面,迄今还是无能为力,然而人类活动在制造“沙尘源”方面却功不可没。如过度农垦、放牧、滥伐以及水资源利用不当,使森林、草地面积日减,植被遭到破坏,从而导致地表裸露土质松散,加剧土地荒漠化,产生沙尘暴频发的恶果。此恶果反过来又会加速土地荒漠化的进程,形成恶性循环。因此人类要抵御风沙侵袭,首先要重视生态环境的保护和治理,减少对自然的破坏,其次要恢复林草植被,减少沙尘源。尽可能减少沙尘源地是减少沙尘暴等自然灾害,使之防患于未然的重要措施。[59~11]

参考文献(References):

- [1] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北地区沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2000,55(5):513-521.
- [2] 汪式功,董光荣,杨德保,等.中国北方地区沙尘暴变化趋势初探[J].自然灾害学报,1996,5(2):86-94.
- [3] 汪式功,杨民,祁斌,等.甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J].中国沙漠,1999,19(4):354-358.
- [4] 钱正安,贺慧霞,瞿章,等.我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计分析[A].中国沙尘暴研究[C].北京:气象出版社,1997.1-10.
- [5] 徐启运,胡敬松.我国西北地区沙尘暴天气的时空分布特征分析[A].中国沙尘暴研究[C].北京:气象出版社,1997.11-16.
- [6] 刘淑珍,柴宗新,范建容.中国土地荒漠化分类系统探讨[J].中国沙漠,2000,20(1):35-39.
- [7] 刘毅华,董玉祥.论议我国的荒漠化与可持续发展[J].中国沙漠,1999,19(1):17-22.
- [8] 尚可政,孙黎辉,汪式功,等.甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关分析[J].中国沙漠,1998,18(3):239-243.
- [9] 贾训诚,杨根生等著.中国西北地区沙尘暴灾害及防治[M].北京:中国环境科学出版社,1996年10月.
- [10] 汪式功,杨德保,金炯,等.我国西北地区黑风暴的成因和对策[J].中国沙漠,1995,15(1):19-30.
- [11] 董光荣,吴波,慈龙骏,等.我国荒漠化现状、成因与防治对策[J].中国沙漠,1999,19(4):318-332.

Synoptic and Climatological Analysis of Sandstorms \ = in the Spring of 2000 over Northern China

YANG Min¹ , CAI Yu-qin¹ , WANG Shi-gong² , LI Wen-li¹ ,
SHANG Ke-zheng² , DONG Guang-rong³

(1. Lanzhou Central Meteorological Observatory of Gansu Province , Lanzhou 730020 , China ; 2. Department of Atmospheric Sciences , Lanzhou University , Lanzhou 730000 , China ; 3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute , Chinese Academy of sciences , Lanzhou 730000 , China)

Abstract : The high-frequency of sandstorm occurrence in the Spring of 2000 over Northern China has been analyzed in respect of circulation background and synoptic-climatological theories. The results show that 1) there are three patterns of the source , course and weather to sandstorms in the Spring of 2000 over Northern China. 2) abundant duststorm origin resulting in the sandstorm outbreak comes from spreading desert area resulted from more intense drought and more severe wildness recently over Northern China 3) 2000 is the fastigium of La-Nina that means more intense monsoon over the east part of Asia in winter , at the same time , in the Spring of 2000 the pole eddies lie in near Xindi island of East-hemisphere , which results in cold air going down northward ready to form gale ; 4) another abundant duststorm origin is from looser soil resulted from arid and rare rain in the spring of 2000 over Northern China , air temperature rising rapidly and high.

Key words : sandstorm ; source and course ; synoptic and climatological causes ; Northern China