

中国沙尘暴时空分布特征及预报技术

牛若芸 李泽椿
(国家气象信息中心)

一、前言

沙尘暴属于最强烈的一种风沙活动,是指强风把地面大量沙尘卷入空中,使空气特别混浊,水平能见度低于1km的天气现象^[1]。沙尘暴是一种危害极大的灾害性天气,当其形成之后,会以排山倒海之势向前移动,携带沙粒的强劲气流所经之处,通过沙埋、风蚀沙割、狂风袭击、降温霜冻和污染大气环境等作用方式,使大片农田或受沙埋或遭风蚀刮走沃土,或者农作物受霜冻之害,致使有的农作物绝收,有的大幅度减产^[2]。此外,它还能加剧土地荒漠化,对生态环境造成巨大破坏,对工农业生产产生重要影响,给人民生命财产造成严重损失^[3];其高浓度的沙尘也会对大气环境造成严重污染,例如2010年3月20日北京受沙尘暴天气影响,空气质量达到最严重的五级重度污染程度,严重威胁到广大市民的身体健康。此外,悬浮在空气中的沙尘通过其辐射效应还可以影响气候变化^[4]。

中国大陆干旱区是中亚沙尘暴发生频率最高、强度最大的地区之一^[5]。1993年5月5日的特强沙尘暴造成了甘肃、宁夏等地数百人伤亡和数亿元经济损失,中国出现了气象学、沙漠学、林学等多学科联合研究、联合防治的局面^[6]。目前,沙尘暴灾害已经引起了政府和公众对我国北方地区生态环境变化的担忧,同时也将沙尘暴的科学研究和监测预报工作推到了减轻自然灾害的前沿^[7,8]。笔者利用中国气象局已积累的全国681个气象站连续50多年观测资料,给出中国沙尘暴的时空分布特征等若干观测事实。然后从预防和减灾的角度,就沙尘暴监测预报方法进行归纳总结,以期对沙尘暴预报预警提供参考。

二、中国沙尘暴的基本观测事实

1. 中国沙尘暴地理分布

在中国西北、华北大部、青藏高原大部和东北平原地区是沙尘暴的主要发生区和影响区。从图1给出的沙尘暴出现日数的多年平均值来看,塔里木盆地及其周围地区、柴达木盆地西南部、河西走廊、阿拉善高原、河套平原、鄂尔多斯高原和青藏高原局部地区年沙尘暴总日数超过10天,是沙尘暴的多发区。塔里木盆地中西部及其周围地区、阿拉善高原及相邻的河西走廊东北部分别是沙尘暴的两大高频中心,年沙尘暴总日数达20天以上,局部接近或超过30天,如新疆民丰34.9天,柯坪31.0天,和田26.0天,甘肃民勤28.2天,内蒙古拐子湖27.5天等。

对照董光荣等的研究成果^[9],沙尘暴易发区大多属中纬度干旱和半干旱地区,这些地区受荒漠化的影响和危害比较严重,地表多为沙漠、沙地和旱地,植被稀少,大风过境时,易形成沙尘暴。

强沙尘暴的多发区域主要位于南疆盆地、西北地区东部和华北地区北部。其中新疆的若羌和民丰 50 多年累计分别高达 33 次和 32 次,是强沙尘暴的最高频发中心,其次是新疆和田 25 次、且末 23 次、甘肃民勤 27 次、安西 20 次、宁夏盐池 28 次和内蒙古朱日和 24 次,以这些地区为中心向周围辐射分别形成了多个高频发区域(图 2)。显然,强沙尘暴的多发区域与沙漠、沙地等干旱荒漠区更是紧密相联,同时,多发区域恰好位于影响我国的强冷空气的主要路径上。

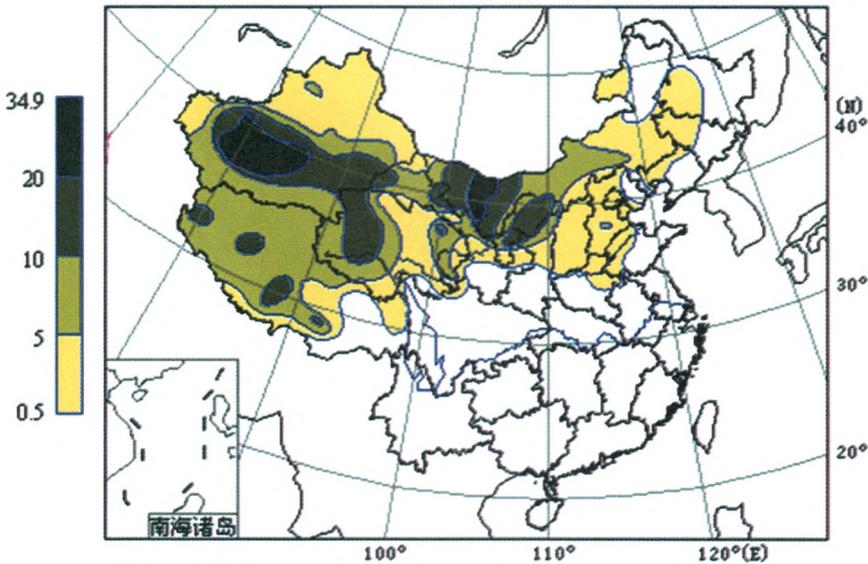


图 1 1961 ~ 2006 年平均的年沙尘暴总日数的全国分布 (单位:天)

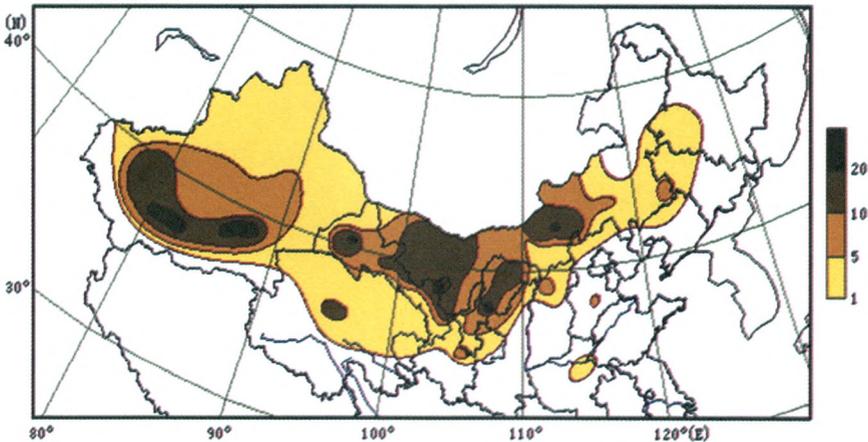


图 2 1954 ~ 2006 年中国北方典型强沙尘暴的地理分布 (单位:次)

2. 沙尘暴季节与日变化

(1) 沙尘暴的季节变化

沙尘暴的季节分布基本为春多秋少。不同地区沙尘暴的季节分布又有一定的差异,通过对中国北方地区台站观测资料的总结分析,可大致分为四类:

1)冬春单峰型。其特点是冬季和春季的沙尘暴相对较多,并且只有一个波峰(波峰的出现时间大致为冬末春初),例如西藏申扎和青海兴海 12~4 月的沙尘暴日数分别占全年总数的 95.6% 和 92.6%。

2)冬春双峰型。其特点是 1 月和 4 月各有一个波峰,4 月的波峰明显高于 1 月,例如北京和河南郑州,1~5 月的沙尘暴日数分别占全年总数的 74.6% 和 80.5%,其中春季 3~5 月的沙尘暴日数分别占全年总数的 49.3% 和 53.1%。

3)春季多发型。沙尘暴主要集中在 3~5 月,例如辽宁阜新、内蒙古朱日和、山西河曲、宁夏盐池和新疆吐鲁番,其间沙尘暴日数依次占全年总数的 80.9%,73.9%,72.5%,60.7% 和 68.5%。

4)春夏频繁型。沙尘暴主要集中在 3~8 月,例如甘肃敦煌、民勤,青海格尔木,内蒙古拐子湖,新疆和田、柯坪、民丰等,其中春季 3~5 月的沙尘暴日数占全年总数的比例依次为 47.1%,41.8%,50.9%,45.1%,48.0%,40.0% 和 40.9%。

(2)沙尘暴的日变化

沙尘暴具有明显的日变化特征,一日之中,沙尘暴发生在午后到傍晚时段内的,约占 65.4%;其他时段的,仅占 34.6%。在甘肃河西走廊中部地区,强沙尘暴大都出现在中午 12 时至晚上 22 时以前的时段内。每天 13~18 时是沙尘暴天气易发高峰期。陕西榆林、吴旗、横山沙尘暴发生在上午者仅占 19%~25%,发生在下午的占 50%~63%。夜间的占 11%~26%。宁夏沙尘暴天气发生在上午的占 22.7%,下午的占 63.7%,夜间的占 13.6%。

3. 中国沙尘暴的发展趋势

中国北方沙尘暴总体呈波动式减少趋势(图 3)。20 世纪 60~70 年代,沙尘暴日数、相对较多,80 年代中期以后沙尘暴的减少趋势比较明显,自 1985 年以后一直处于平均线以下,于 1997 年达到最低点,2000~2002 年又相对增多,但未超过多年平均值。扬沙和浮尘也有同样变化规律。

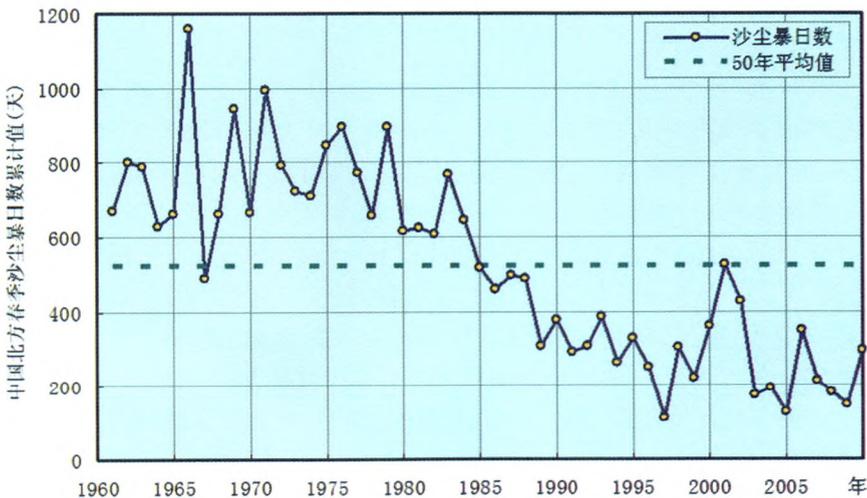


图 3 1961~2010 年中国北方春季沙尘暴的年度变化

本文将文献^[10]的强沙尘暴序列延长至2010年(图4)。可以看出,20世纪50年代强沙尘暴较为频繁,几乎年年高于平均线,其中1959年为近49年的最高值,达11次。20世纪60年代至80年代中期虽然存在较大的年际波动,但趋势并不明显。90年代和21世纪第1个10年强沙尘暴相对较少,其中2009年为近57年的最低值,没有出现强沙尘暴天气。总之,中国北方典型强沙尘暴在波动中呈减少趋势。

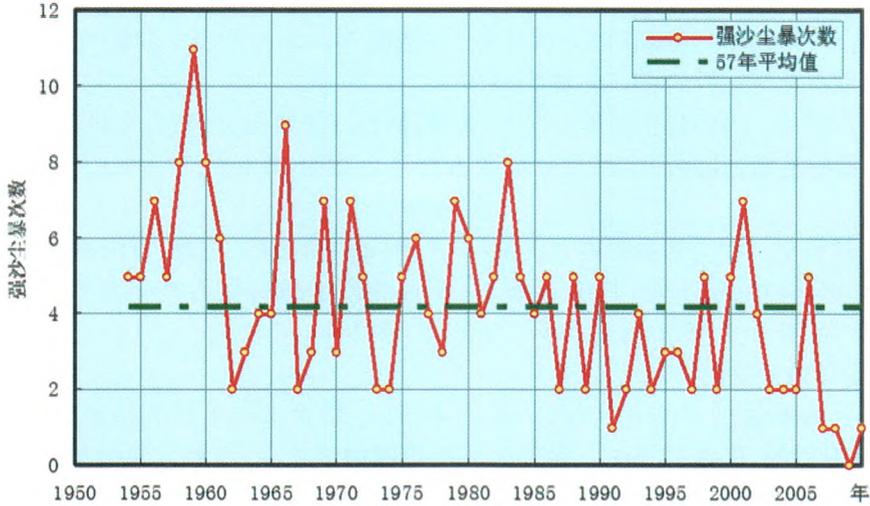


图4 1954~2010年中国北方强沙尘暴的年际变化

三、中国沙尘暴的成因

沙尘暴天气是在特定的地理环境和下垫面条件下,由特定大尺度环流背景和某种天气系统发展所诱发的一种灾害性天气。沙尘暴的形成有三个基本条件:(1)丰富的沙尘源,这是形成沙尘暴的物质条件;(2)大风,这是形成沙尘暴的动力条件;(3)不稳定的大气层结状态,这是使沙尘悬浮在空中的重要局地热力条件。

1. 沙尘暴的气候背景

特定的大气环流形势是造成沙尘暴活动频次变化的主要原因^[11]。20世纪70年代后期北半球出现了较明显的气候变化,在东亚地区,与1960~1975年间相比,1980~1995年冬季对流层中层的东亚大槽强度减弱,位置东移;相应地,西伯利亚地面冷高压1970年前较强,1976~1995年间明显减弱;结果20世纪60年代和70年代冷空气活动强,各地多强风和沙尘暴;而进入80年代后,冷空气活动减弱,连续出现14个暖冬,各地较少出现强风和沙尘暴。但是2000年春季(3~5月)东亚大槽又回到正常位置,强度偏强,西边的乌拉尔山高压脊也偏强;2001年4~5月也盛行强乌拉尔山高压脊、强贝加尔湖低槽的形势。这正是2001年4~5月多沙尘暴的盛行环流特征。1998年之后的几年内(特别是2000~2002年),东亚大气环流又进入了一个小的年代际变化期,沙尘暴活动也随之加强,但之后又减弱。

2. 沙尘暴的天气成因

大范围沙尘暴天气过程的发生发展,总伴随着一次大尺度环流调整,即经向环流向纬向环流调整时,通常位于西伯利亚的冷空气迅速向我国境内由西北向东南爆发,若此时处在春季,

且前期久旱无雨,地表沙尘源丰富,对流层低层处于强烈不稳定时,则易造成大范围的沙尘暴天气。

不同强度、不同地区出现的沙尘暴天气过程,在环流形势和影响系统上都具有某些共同的特征。沙尘暴过程的环流形势主要包括^[12]:

(1)纯强干冷锋型。这类特强沙尘暴是由纯强干冷锋触发的,冷锋是整个过程的控制系统。冷锋坡度陡峭,具有典型的二型冷锋的垂直结构。

(2)蒙古气旋与干冷锋混合型。触发该类特强沙尘暴的环流系统为强烈发展的蒙古气旋及其干冷锋,以蒙古气旋强烈发展为主要特征。

(3)蒙古冷高压南部倒槽型。这类强沙尘暴是由蒙古冷高压与其南部倒槽(或低压)相互作用形成的强东风触发的特强沙尘暴过程。

(4)干飚线与冷锋混合型。该类是由冷锋前的干飚线或中尺度低气压扰动强烈发展造成的特强沙尘暴过程。

3. 沙尘暴的起沙机理与传输路径

静止沙粒如何成为运动的沙粒就是沙尘暴的起动机理问题。目前主要有下面三种学说:湍流的扩散与振动学说、压差升力学说和冲击碰撞学说^[13]。影响我国的沙尘暴的传输路径主要分为西方路径、西北路径和北方路径三大类(图5):



图5 影响我国的沙尘暴的主要传输路径(钱传海供图)

(1)西方路径。冷空气从中亚翻越帕米尔高原进入南疆西部,穿越塔里木盆地东移影响南疆、河西走廊西部及青海北部而出现大风沙尘暴天气,此类沙尘暴占14%,主要发生在塔里木盆地、河西走廊西部和青海省。

(2)西北路径。冷空气源于北冰洋冷气团,经西西伯利亚加强后向东南经我国北疆、内蒙古西部,再入侵河西走廊,往往造成大范围强沙尘暴天气,可穿过巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠,然后东移至鄂尔多斯高原,此路径沙尘暴具有范围广、强度大、灾害严重等特点,易形成黑风

暴,发生次数最多,占68%,如1977年“4.22”黑风暴、1993年“5.5”黑风暴以及2000年“4.12”强沙尘暴等。

(3)北方路径。冷空气来自极地气团或变性气团,经贝加尔湖、蒙古国南下,影响我国西北地区东部和华北等地,从而引发大风沙尘暴。沙尘暴从蒙古国经我国内蒙古中东部到达陕北以及华北、东北等地区,此类路径的沙尘暴约占18%。

四、沙尘暴的预报方法

1. 基于天气学方法的定性预报技术

风力是沙尘暴的启动条件,地面沙源是产生沙尘暴的物质条件。天气学的预报方法实质上是对产生大风天气的环流形势和影响系统的预报。沙尘暴预报的技术路线是:以数值天气预报为基础,综合应用大气和地表的观测和分析的信息,对未来出现的大风天气和地表条件做出综合分析,从而做出沙尘暴的预报或警报^[8]。

沙尘暴往往爆发于发展迅速的深厚的天气系统中,其大尺度和中尺度的物理量场特征十分明显,沙尘暴发生时局地的气压、温度、湿度等气象要素也会发生突变。分析研究沙尘暴的天气系统结构特征,建立沙尘暴发生的天气学模型,依托数值天气预报产品,建立动力统计的沙尘预报方法。对这些信息的综合分析,定性确定沙尘暴可能出现的区域和强度,做出沙尘暴的预报。目前的数值天气预报模式已可以较好地预报出未来5~7天内冷空气的活动及影响范围和强度,与沙尘暴相伴随的低压气旋的位置和强度以及相应的风场强度等。

2. 以风沙动力学为基础的定量预报技术

沙尘暴定量预报技术主要是以风沙物理学为基础的沙尘暴数值预报模式^[13-15]。如前所述,沙尘暴的产生是风力条件和地表的沙尘物质输送共同作用的结果,因此沙尘暴数值预报模式是一个包含风沙物理过程和大气运动过程的集成模式。一个完整的沙尘暴模式至少应该包括四部分:大气模式、陆面过程模式、风沙模式和地理信息系统。大气模式为风沙模式提供风速、降水等物理场;陆面模式预报土壤水分、摩擦速度等物理量的变化,同时为风沙模式提供地表参数;风沙模式主要预报沙尘的源地、浓度与沉降传输;地理信息系统提供了土壤类型、植被覆盖、植被类型、叶面指数等参数,为大气、陆面与风沙模式提供必需的输入参数。

从目前的业务实践来看,沙尘暴数值预报模式预报的不再是以能见度为标准的沙尘天气,由于考虑了起沙和传输过程,定量地预报出了大气中沙尘浓度的分布。沙尘暴数值预报还面临着诸多科学问题,现有的数值预报结果,还需要有相应的观测数据来进行检验订正。

参考文献

- [1] 中央气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,1979.
- [2] 方宗义,朱福康,江吉喜等. 中国沙尘暴研究[M]北京:气象出版社,1997.
- [3] 王涛. 我国沙漠化研究的若干问题:沙漠化防治的战略与措施[J]. 中国沙漠,2004,24(2):115-123.
- [4] 曾庆存,董超华,彭公炳等. 千里黄云—东亚沙尘暴研究[M],北京:科学出版社,2006.
- [5] 卢琦,杨有林. 全球沙尘暴警世录[J]. 北京:中国环境科学出版社,2001.

- [6] 王式功,董光榮,陳惠忠等. 沙塵暴研究的進展[J]. 中國沙漠,2000,20(4):349-356.
- [7] 葉篤正,丑紀范,劉紀遠,等. 關於我國華北沙塵天氣的成因與治理對策[J]. 地理學報,2000,55(5):513-521.
- [8] 矯梅燕,周自江. 中國沙塵暴及其監測預警[J]. 中國工程科學,2003,5(9):1-6.
- [9] 董光榮,吳波,慈龍駿,等. 我國荒漠化現狀、成因與防治對策[J]. 中國沙漠,1999,19(4):318-332.
- [10] 周自江,章國材. 中國北方的典型強沙塵暴事件(1954-2002年)[J]. 科學通報,2003,48(11):1224-1228.
- [11] 張莉,任國玉. 中國北方沙塵暴頻數演化及其氣候成因分析[J]. 氣象學報,2003,61(6):744-750.
- [12] 劉景濤,錢正安,姜學恭,等. 影響中國北方特強沙塵暴的天氣系統分型研究[J]. 干旱區資源與環境,2004,18(增刊):14-20.
- [13] 趙琳娜. 沙塵(暴)發生發展的机理及起沙机制的数值模拟[D]. 中科院大气层物理所博士研究生学位论文,2002:6-16.
- [14] 張小曳,龔山陵,等. 2006年春季的東北亞沙塵暴[M]. 北京:氣象出版社,2006.
- [15] 雷航,林朝暉,孫建華. 一個改進的沙塵天氣数值預測系統及其模拟試驗[J]. 氣候與環境研究,2005,10(3):669-683.