

# 我国沙尘暴的形成机制与防护措施

卢磊 倪昆

(河南省国土资源科学研究院 河南 郑州 450053)

**摘要:** 以历史时期沙尘暴活动的资料为依据,描述沙尘暴的发生次数及频率。分析沙尘暴的形成机制,提出形成沙尘暴的条件,并给出防治沙尘暴的基本措施。

**关键词:** 沙尘暴;影响因素;防护措施

**中图分类号:** P4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-7597 (2010) 0710111-02

沙尘暴是沙尘暴和尘暴两者兼有的总称,是指强风把地表大量沙尘卷入空中,使空气特别混浊,水平能见度低于1km的天气现象。它是沙漠化的主要过程之一,也是沙漠及其他边缘等特殊条件下产生的一种灾害性天气。近半个世纪我国西部沙尘暴的变化特点是:20世纪50年代沙尘暴发生日数多,60年代发生日数最少,70年代略有增加,80年代又处于逐渐减少的趋势,90年代有明显增加,21世纪初则上升到一个新阶段,为百年所罕见。2000~2002年我国西部连续出现了30余次的沙尘天气,出现之早,发生频率之高,影响范围之大,为国内外罕见,不仅影响到北方的14个省(市、区),而且波及台湾和日本,造成机场关闭,道路阻断,人员伤亡等。2002年3月15日~4月5日,内蒙古22天之内遭受了2次沙尘暴侵袭,3月16日,3月19~20日出现10年以来最大的两次沙尘天气,3月20日又出现扬尘天气,较前一次范围更大,沙尘密度和沙尘暴区域也更大。内蒙古锡林郭勒盟西部风速在20~32m/s,兰州能见度只有400m。由于全球气候变暖,地表蒸发加大,土地利用不合理的格局不可能在短期内得到根本性的调整,沙尘暴只会加剧,短期内难以减轻。

### 1 沙尘暴发生的频率及形成机制

#### 1.1 发生频率

据国家林业局荒漠化监测中心的监测结果表明,从20世纪50年代至今,沙尘天气(含沙尘暴)的出现频率各时段有所变化(见图1);20世纪50年代,发生48次;60年代,68次;70年代最多达89次;80年代减少到47次;90年代最少,为36次(见图1)。

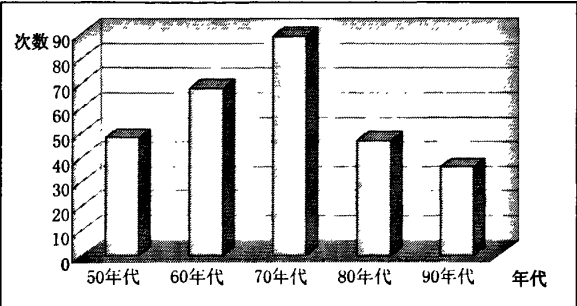


图1 20世纪不同年代我国沙尘暴发生次数

**Fig1** Frequency of sand storm occurring in China last century  
进入21世纪,2000年突然增加达到8次;2001年升至10次;其后,到2002年,又降为5次;2003年最少,为3次;2004年激增到15次、2005年9次、2006年高达18次、2007年15次。经统计分析表明,这种60~70年代陡

增,80~90年代以来骤降的变化情况,主要是与当时大风日数多少、风力强弱、降水量、开垦弃耕、草原垦殖导致的植被盖度变化等情况密切相关(见图2)。

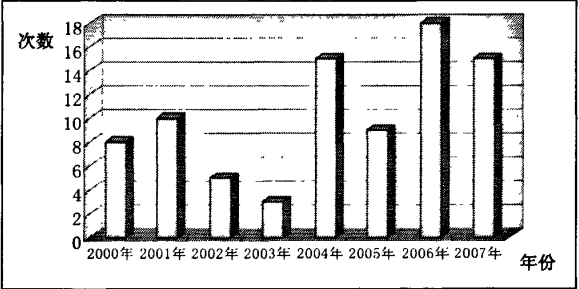


图2 2000~2007年我国沙尘暴发生次数

**Fig2** Frequency of sand storm occurring in China from 2000 to 2007  
据494例载有月份的沙尘暴记录统计可知,沙尘暴主要出现在2~5月份,占沙尘暴总数的78.3%;其中又以3~4月份最频繁,占沙尘暴总数的49.2%;2月份和5月份次之,分别占16%和13%;其它各月沙尘暴较少,不超过6%。如果按季节而论,可知沙尘暴主要出现在春季,占62.2%;次为冬季,主要出现在冬季末期,占24.3%;夏秋季节沙尘暴很少,共占13.2%。近年来的沙尘暴也是出现在春季,如甘肃河西走廊的沙尘暴与西安的沙尘暴主要出现在春季的4月份。由此可见,一年中沙尘暴的活动呈现出由弱到强再到弱的规律,其中3~4月份为沙尘暴活动的最频繁时期(见图3)。

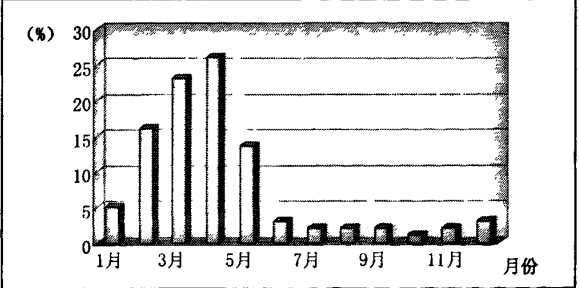


图3 一年中各月沙尘暴发生频率

**Fig3** Frequency of sand storm occurring in one year

## 1.2 形成机制

沙尘暴的形成因素。沙尘暴是一种灾害性的天气现象，主要发生于干旱、半干旱乃至湿润地区。我国北方的沙尘暴天气，是特殊的地理环境和气象条件所致的自然现象。沙尘暴天气的发生必须具备3个基本条件：沙尘源、强风和稳定的大气层结。沙尘源是产生沙尘暴的物质基础，强风和稳定的大气层结是其动力。

1) 沙尘源：运动力而无搬运物，则不会有沙尘暴发生，所以具备大量为风搬运的粉土物质且这种物质处于干燥状态同样是沙尘暴发生的重要条件。现今我国西北戈壁和沙漠广泛分布，物理风化盛行，风化作用产生了大量碎屑物质，为风力搬运提供了丰富的物质来源。只要粉土物质处在易搬运的干燥疏松状态下，在有大风经过时，必然会将粉土物质带走。但如果粉土物质湿度较大或呈固结状态，那么即使具备搬运介质也难以将其带走。大小相同的颗粒含水越少，起动风速越小，越利于风的搬运；含水越多，起动风速越大，越不利于风的搬运。在春季，水量较少，气温较高，蒸发作用较强，加之这时植被稀疏，地表裸露，固结作用弱，表土层处于干燥疏松状态。在夏季，降水量较多，表土层湿度大，并且这时为植物的生长期，植被对土层有保护作用，粉土物质不同程度地被固结。在秋季，降水量较丰富，气温低，蒸发作用弱，相对湿度大，碎屑颗粒的粘滞性和团聚作用强，粉土物质不如春季干燥疏松。在冬季，降水量虽少，但因气温过低，蒸发锐减，相对湿度大，不利于风的搬运。另一方面，我国北方冬季温度多在0℃以下，这时地表处于冻结状态或为雪层覆盖，也将对粉土物质的搬运产生不利影响。以陕西为例，延安12月份为-3.2℃，1月份为-5℃，2月份为-1.9℃；定边12月份为-2.5℃，1月份为-9.4℃，2月份为-5.4℃；榆林12月份为-8.4℃，1月份为-10.3℃，2月份为-8.4℃。陕西冬季温度尚在0℃以下，那么西北沙漠和戈壁区的温度则要更低。显然，在地表处于冻结状态时，粉土物质不能飞扬到空中，风的搬运也就受到了限制。据测定，陕西土壤冻结期从10月下旬开始，由北向南逐渐推迟；解冻期始于2月，从南向北至4月上旬结束。由此可见，解冻期正是沙尘暴发生的高潮期。这表明了冻结作用对沙尘暴是有影响的。雪层覆盖对表土起到了保护作用，因而粉尘的搬运受到了限制。上述得出，春季粉尘处于干燥疏松状态，具备了很好的沙尘源，这就是春季沙尘暴出现高峰的主要原因之一。

2) 强风和稳定的大气层：根据历史时期以来沙尘暴活动的规律，沙尘暴的活动以春季的3~4月份最频繁，这与气温的变化有着密切的关系。从春季的3月份起，气温开始明显回升，而且回升的速度快，例如华北地区每3~4天就升高1℃。而温度的快速回升导致下层大气强烈受热。根据判别大气稳定度的公式 $a=T_i-T_g$ 可知，当空气团温度比周围空气高时，即 $T_i>T_g$ 时空气团将受到向上的加速度而使其上升，空气变得不稳定，而当空气团温度比周围空气温度低时，即 $T_i<T_g$ 时，空气团将受到向下的加速度而使其下沉，则空气趋于稳定；当 $T_i=T_g$ 时，垂直运动将不会发展。因此，春季的升温，使下层的空气获得加速度而上升，造在空气不稳定，这将促使对流作用及湍流作用的加强，从而有利于风速的加大，造成春季风速大，夏秋季节和冬季风速小。这种较大的风速为沙尘暴活动提供了有利的条件。另一方面，对流作用及湍流作用的加强除了有利于风速加大之外，伴随着空气的上下交换，粉土物质也被带到了较高层的大气中，为远距离搬运提供了条件。

## 2 沙尘暴的影响因素

### 2.1 降水对沙尘暴的影响

一般来说，降水量越少，地表土层越干燥，越有利于沙尘暴的活动。降水可直接增加土层湿度，从而增加土粒、沙粒的固结性，减小沙尘暴发生的可能性；降水还可以促进植被的生长，从而提高植被覆盖状况，减小沙尘暴的形成和强度。但在降水量最少的12~1月份，因地表冻结或被雪覆盖，沙尘暴较少或无。在春季，降水量较少，气温较高，蒸发作用强，又植被稀疏，地表裸露，固结作用弱，为沙尘暴活动提供了丰富的物质源。而夏季降水较多的年份，沙尘暴则明显偏少。

### 2.2 植被对沙尘暴的影响

植被起到物理隔绝作用，但由于几何形态的季节性变化，造成植被覆盖区域地表粗糙度等参数发生动态改变，对边界层大气产生机械阻挡作用。不同季节、不同的植被类型，对天气动力的影响程度有很大差别。风洞试验证实，空气流经植被体时，植被对大气的总阻力由两部分组成：一

是粗糙元对流体的阻力，另一个是植被间裸露地表的阻力。当地表植被覆盖密度越大、高度越高时，大气对土壤的风蚀力会下降。当植被覆盖率超过35%以上时，土壤几乎没有风蚀作用，即使稀疏植被也能有效减少风蚀。自20世纪80年代以来，随着风动力的逐年减弱，在中国主要沙尘源地，植被覆盖变化已逐渐显现地成为影响沙尘天气发生频次的重要因素之一。卫星监测数据显示，植被覆盖状况不但同步影响沙尘天气的发生频次，而且具有显著的滞后性影响效应。在西北地区，夏季植被的覆盖率与后期冬春两季各类沙尘天气的发生频次高度相关。

### 2.3 地质地貌对沙尘暴的影响

沙尘暴发生源地地表沉积物往往比较松散、粒度较细。如我国沙尘暴源地为流动沙丘及半流动沙丘所在地。如源地之一科尔沁沙地组成物质主要为上更新统砂丘组成的中细砂和粉砂层，以及中更新统大青沟组粉细砂；再如鄂尔多斯等地含细砂、粉砂高达80%。据研究特殊地形对沙尘暴天气的形成有重要的促进作用。根据典型沙尘暴天气的个例分析，发现突起的山脉与盆地交接地带容易形成沙尘暴。如1984年发生于河套地区的两次沙尘暴，是由于冷空气翻越贺兰山向银川盆地俯冲时，冷空气迅速下沉，加之锋前高温，在银川盆地形成强烈的辐合上升运动形成强烈的沙尘暴。另一种类型是地形的狭管效应，如吐鲁番沙尘暴高发中心，有西段的托克逊风口；河西走廊和南疆盆地南缘是冷空气活动的通道，加上该两地区南侧山地地形绕流的加速作用，所以也具备强风条件。

### 2.4 人类活动对沙尘暴的影响

随着人口的增加和科学技术的相对进步，滥垦、滥伐、滥牧等造成大面积植被的破坏，带来了沙化和沙漠化面积的增加，扩大了沙尘源区。根据王震达等人给出的定义，所谓沙漠化是指，在干旱、半干旱(包括部分半湿润)地区脆弱的条件下，由于人为过度的经济活动，破坏了生态平衡，使原本非沙漠地区出现了以风沙活动为主的主要特征的类似沙漠环境的退化。据统计，20世纪70年代，我国土地沙化扩展速度每年234万亩，80年代每年315万亩，90年代前5年达369万亩，后5年则达515.4万亩。沙化土地扩展，5%是干旱等气候原因，95%是人为因素。

### 3 沙尘暴的预防措施

我国处于中亚沙尘暴频发区，是世界上四大沙尘暴频发区之一。与我国毗邻且处在上风向的蒙古和哈萨克斯坦分布着近200万km<sup>2</sup>的荒漠化土地，为入侵我国最重要的境外重要沙源区。我国境内也有174万km<sup>2</sup>的沙化土地，而可治理的沙化土地仅为53万km<sup>2</sup>，即使这部分沙化土地全部得到治理，其余120多万km<sup>2</sup>的沙漠、戈壁等依然是一个巨大的沙尘源。并且在沙尘暴发生的季节，正值我国北方植被干枯，耕地裸露，土壤水分含量低，很容易起沙扬尘。因此，受境内、境外沙尘源的双重影响，要从根本上消除沙尘暴的发生是困难的，也是不现实的。

但人们对遏制沙尘暴活动并非无能为力，完全可以通过自身努力，达到减少发生次数、降低沙尘暴强度、减轻灾害损失的目的。

### 3.1 加强对沙尘暴的研究

沙尘暴研究是一项非常重要的基础资料，它是防灾减灾的主要依据，并且是计划、统计、国土、畜牧、农业、保险等部门必不可少的资料。由于在实际工作中凭主观判断估计数字的现象普遍，因此，应加快研究和拟定出沙尘暴评价指标体系，开发和利用遥感技术及地理信息系统，建立快速和科学的资料收集和核实手段，达到科学、简便、实用的要求。

### 3.2 加强对沙尘暴的监测

沙尘暴监测是掌握其发展趋势的重要手段，通过现代遥感和自动化处理技术，进行信息管理，对不同类型沙尘暴进行监测，及时预测沙尘暴的动态变化，利用高科技手段，定期进行沙尘暴发展、势态的评估，制定整治计划，进一步在沙化地区的资源环境和高效农业的研究与实践方面利用“3S”(RS, CS, GIS)等高新技术，建立资源环境信息系统。

### 3.3 加强植被的种植

目前比较经济有效的方法是，大幅度增加地表植被覆盖度，既可以减少流沙裸露面积，防止扬尘起尘，又可以降低近地表风速，减小风力对土壤的侵蚀。据研究，形成沙尘暴的起沙风速一般要达到4级以上，在建有防护林网并配置有灌木植被覆盖的林网内部，风速可降低30%~40%，最大能降低风速50%~60%。

(下转第174页)

时间序列, 干扰抑制前不能得到检测的目标在干扰抑制后能得到检测, 信号特征明显。

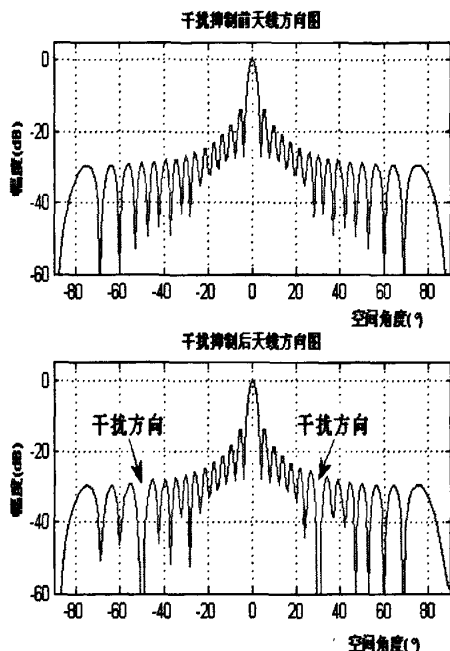


图3 干扰抑制前后的波束方向图

#### 4 结论

本文介绍了在雷达数字波束形成系统中, 通过对最小均方误差准则的改造, 当干扰与数字波束形成主波束不在同一个空间位置时, 利用雷达休止期, 对辅助通道加权系统的自适应调节得到与主通道输出相同的干扰信号, 以期获得干扰的自适应抑制的方法是有效的。

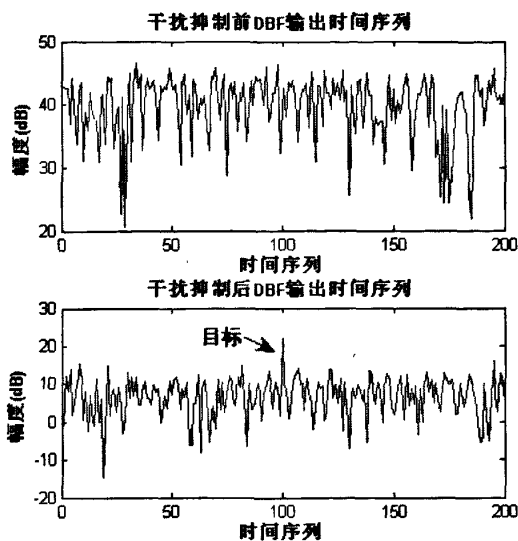


图4 干扰抑制前后DBF目标输出

#### 参考文献:

- [1] 马晓岩、向家彬, 雷达信号处理[M]. 长沙: 湖南科技出版社. 1999.
- [2] 张光义, 相控阵雷达系统[M]. 北京: 国防工业出版社. 1994.
- [3] Merrill I Skolnik主编, 王军、林强译, 雷达手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

#### 作者简介:

张学森(1979-), 工程师, 研究方向: 雷达信号处理, 阵列信号处理;  
李宏(1979-), 工程师, 研究方向: 雷达信号处理, 阵列信号处理。

(上接第112页)

灌木是我国北方干旱、半干旱地区最适宜生长的重要树种。在大面积植被体系恢复过程中, 要注意选择耐干旱、耐盐碱的灌木种植, 坚持以发展灌木为主, 建设灌草结合的生态防护体系。在降水量300mm以上的西部地区, 应以疏林和灌草为主, 在300mm以下地区, 无灌溉条件下应以种植沙生灌木为主。近年来, 营造的防沙固沙林中, 灌木林面积已经占到80%以上。

灌木既有比之草本更强的抗逆性和适应性, 而且耗水量小, 可作为饲料、燃料及工业原料, 一举多得。

#### 3.4 实行封禁保护

对生态区位重要, 沙化严重, 需要治理但目前暂不具备治理条件的集中连片沙化土地, 划定为沙化土地封禁保护区, 实行严格的封禁保护。通过封禁保护, 减少人为干扰, 促进生态系统的自然修复, 保护沙化土地结皮层不被破坏, 减轻风力作用下的扬尘起尘。

#### 3.5 加强水资源管理, 优化水资源配置

要加强水资源管理, 制定管理办法, 合理调配江河流域水资源, 科学分配上中下游用水。在现有水资源条件下, 兼顾好生活、生产和生态用水, 科学用水, 节约用水, 鼓励农牧民推广使用滴灌、喷灌等所有节水措施, 最终实现水资源的水续利用。

#### 3.6 调整产业结构、转变经济增长方式

要建设保护型林业、自给型农牧业, 摆脱资源依赖型经营, 实现沙区

社会经济可持续发展。要大力调整产业结构, 发展特色农牧业, 改变传统的以扩大规模的方式提高收入的做法, 用高科技成果来提升质量和效益, 注重发展农副产品加工业, 延长产业链, 实现加工增值。同时要发挥沙区风能、太阳能和生物质等能源优势, 加快农村能源建设和城镇化进程。

#### 参考文献:

- [1] 秦雪亮, 沙尘天气的危害及防治对策, 科技情报开发与经济, 2008. 7.
- [2] 徐兴奎等, 植被覆盖对沙尘天气滞后性影响的机制分析, 环境科学, 2009. 2.

#### 作者简介:

卢磊(1982-), 男, 2005年毕业于中国地质大学(北京), 水文与水资源专业, 主要从事矿产资源调查与水文地质、工程地质方面的工作。