

中国风沙灾害及其防治对策*

史培军^{①②} 王静爱^{①③} 严平^{①②} 袁艺^{①②}

(① 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, ② 北京师范大学中国沙漠研究中心,
③ 北京师范大学资源与环境科学系, 北京, 100875, 中国)

摘 要: 本文系统地介绍了中国风沙灾害的现状、近 10 年来的时空变化; 综合分析了近年中国沙尘暴灾害加剧的自然与人为原因; 2000 年全国全面评价了受沙尘暴影响地区的脆弱性并估计了其风险水平。在这些工作的基础上, 就中国防沙治沙提出了具体的政策建议。

关键词: 风沙灾害, 沙尘暴, 风沙防治对策, 中国

引言

近年, 我国先后发生了多次沙尘暴灾害, 特别是在 2000 年春季发生多次强沙尘暴, 以及 2002 年春季 3 月 20 日特大沙尘暴覆盖首都北京以来, 风沙灾害引起了各界的广泛关注, 党中央和国务院对此十分重视。我国已于今年 1 月 1 日实施《国家防沙治沙法》。我国土地沙化形势十分严峻, 必须把防沙治沙、加强生态环境建设作为一项重大而紧迫的任务。本报告阐述了我国风沙灾害发展的严峻形势, 分析了风沙灾害加剧的主要原因, 论证了防沙治沙的方针, 划分了防沙治沙的重点区域, 明确了各区防沙治沙的重点工作。

谈到风沙灾害, 常常会涉及到下列几个基本概念。

荒漠: 与森林和草原相对应的一种干旱区自然景观, 常以超旱生灌木和草本为代表性植物。

沙漠: 分布在干旱荒漠景观区的连片沙丘, 俗称沙海。

沙地: 分布在半干旱(部分半湿润)景观区的沙质土地, 其代表性的地貌为固定程度不同的沙丘和沙片。

风沙流: 是一种气固两相流, 它是起沙风(使沙粒离开地表运动的临界风速)通过对地面侵蚀, 使不饱和气流挟带沙粒而形成的混合流。

扬沙: 由于风力较大, 将地面沙尘吹起, 使空气相当混浊, 水平能见度在 1~10 公里的一种沙尘天气。

* 国家重点基础研究规划项目(G1999043404、G2000048701、G2000018604)资助。

浮尘：在无风或在风力较小的情况下，尘土、粉沙均匀地浮游在空中，使水平能见度小于 10 公里的一种浮尘天气。

沙尘暴：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 1 公里。

黑风暴：强烈的沙尘暴（瞬时风速大于 25 米/秒，风力 10 级以上）可使地面水平能见度低于 50 米，破坏力极大，俗称“黑风”。

荒漠化：是以土地生产能力下降为主要标志的生态环境退化过程。

沙化：即沙质荒漠化，它是荒漠化的一种类型，简称“沙化”，包括流动沙丘前移入侵、土地风蚀沙化、固定沙丘活化与古沙翻新等一系列风沙活动。

风沙灾害：由风沙活动造成的人畜伤亡，村庄、农田、牧场埋压，交通通讯设施破坏，土地生物生产能力的下降，大气环境质量恶化，各种运输机械和精密仪器毁损等共同组成的生态灾难。与水灾形成的水患相对应，风沙灾害亦称“沙患”。

1. 中国风沙灾害的现状、成因与趋势

1.1 现状

按照联合国环境规划署（UNEP）的分类标准，地球陆地表面的 41% 为干旱半干旱地区，其中 69% 的土地已经退化。我国是世界上受沙化危害严重的国家之一。目前全国荒漠化土地达 262 万平方公里，占国土面积的 27.3%，其中沙漠化和沙化土地为 162 万平方公里，其中地质时期形成的占 77.6%，人为活动形成的占 22.4%。全国沙化土地主要分布在我国北方广大干旱和半干旱，以及部分半湿润地带。其中，我国北方农牧交错带、草原区、大沙漠的边缘地带是沙化最为严重的地区，风沙活动最为活跃的沙化土地近 30 万平方公里，这些地区是防沙治沙的重点地区。

“沙患”严重影响人民生活、制约经济发展，已经成为中华民族的心腹之患。其主要危害有：一是蚕食可利用土地。建国以来，全国已有 1000 万亩耕地、3525 万亩草地和 9585 万亩林地与灌草地沙化。二是掩埋村舍、沙进人退。全国有 2.4 万多个村庄，1400 公里铁路、3 万公里公路和 5 万多公里灌渠常年遭受沙害威胁。三是造成人员伤亡和经济损失。1993 年 5 月 5 日发生在西北地区的一次特大沙尘暴，导致 116 人丧生、264 人受伤。2002 年 3 月 15 日到 20 日，我国北方发生了两次大面积的沙尘暴灾害，据中国气象局的监测结果，3 月 20 日的沙尘暴覆盖面积达 170 万平方公里，影响人口达 1.5 亿。另据国家环保局监测结果，3 月 15—17 日的沙尘暴，降尘 $25\text{g}/\text{m}^2$ ，影响北京平原约 1064km^2 ，总降尘达 2.6 万吨。这次沙尘暴的源区为蒙古国中南部 → 浑善达克 → 科尔沁南缘，影响北京持续时间 49 小时，沙尘高度达 3500m。2002 年 3 月 20 日的沙尘暴，降尘 $29\text{g}/\text{m}^2$ ，北京地区总降尘 3.0 万吨。这次沙尘暴的源区为哈萨克斯坦 → 俄罗斯 → 蒙古国中南部 → 北疆 → 河西走廊，影响北京时间 51 小时，沙尘高度 2500—3000m。两次沙尘暴的粒径分布的共同特征是，大气颗粒物，主要是 2.1 微米以上的粗粒子，高空传输/本地扬尘混合型（3 月 15—17 日）天气 11 微米粒子占总颗粒物浓度的 45%，远大于高空传输尘降型（3 月 20 日）天气的 37%，监测结果表明前一次沙尘是外来与本地混合的产物，而后一次则主要是外来尘。据初步估算，全国“沙患”每年造成的损失达 540 亿元，而其造成的生态服务价值的损失，则更难以估计。总之，“沙患”不仅影响人民生产、生活，而且导致贫富差距、东西

差距拉大，进而影响社会稳定、民族团结，乃至整个国家的长治久安。

1.2 成因

我国沙漠主要分布在极端干旱地区，沙地主要分布在半干旱地区。研究表明，气候干燥、地表富含沙性沉积物、植被覆盖度低、大风频发是沙漠形成的重要自然因素。沙化土地的形成主要是由于人类不合理的土地利用，使沙漠边缘流沙蔓延，固定沙丘活化和古沙翻新，以及沙质土地风蚀沙化而形成的。由此可以看出，沙漠是自然的产物，而沙化土地则是在干旱半干旱气候背景下，人为所致。我国风沙灾害加剧的成因主要是：气候干燥多风、生态用水不足和沙化土地面积增大。

1.2.1 气候干燥多风

沙尘暴是沙化的产物，沙尘暴频发期均对应于干旱期。例如，在公元 1060~1270 年、1640~1720 年、1810~1920 年三段时期，我国大部分地区表现为干旱期。同期，沙尘暴高频率发生。近 50 年来，受全球气候变暖的影响，我国北方大部分地区气温明显增高，而降水量减少，呈现出暖干化现象。气候干燥化加剧，为沙化土地的扩展创造了重要的环境条件。

近年我国北方地区冬春季温差增大，强冷空气活动频繁，使大风频发，为沙化土地的扩展和沙尘暴形成提供了动力条件。不同地表的沙尘颗粒具有不同的起动风速，土壤颗粒愈粗，起动风速愈大。流动沙丘在风速达到 5 米/秒时起沙，半固定沙地为 7—10 米/秒、砂砾戈壁为 11—17 米/秒才能起沙扬尘，其输沙量随风速的增大而增加。而且，沙尘的悬浮或跃移高度与风速也有一定关系，风速达到 30 米/秒时，细沙（直径 0.125—0.25 毫米）跃移的高度达到 2 米，粉砂（直径 0.005—0.05 毫米）飘浮的高度可达到 1500 米，而粘粒（直径<0.005 毫米）则可飘浮于整个对流层。

就北京来说，虽然近 50 年来沙尘日数在减少，即 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 倍、14.5 倍和 3.2 倍，但近几年入春以来，强沙尘暴频发，是 90 年代历年同期发生次数的 3 倍左右，反映了天气活动的异常。冬春季气温变幅加大，使大气层结处在不稳定状态，遇低压冷风过境，极易形成大风天气。大风频发正是近年北京风沙灾害多的一个重要的动力条件。

1.2.2 生态用水严重不足

随着人口的剧增，从河流或地下取用淡水资源量明显增加，使维护植被生长的水资源不能得到保证，即生态系统用水严重短缺，加之，无节制抽取地下水，导致地下水位的大幅度下降，有些地段的地下水埋深已经低于植物根系分布的深度，结果造成植被枯死。原来被这些植被固定的沙质地表失去了植物的保护，一遇大风极易起沙扬尘。从这一角度看，生态系统用水短缺，亦是人类不合理利用水资源的结果。经济发展与生态保护用水竞争激烈，若确保了生产和生活用水，就使生态用水得不到保证，如额济纳河下游、塔里木河下游胡杨林的大面积死亡，就是因水源短缺造成的。京津平原地区覆沙扩展亦与维护沙地植被的地下水位下降有密切关系。由于生态用水不能保证，使大面积的植被干枯，失去保护地表沙性物质的抗风蚀功能，加快了沙化土地的扩展，以及沙漠边缘沙丘向农田前沿的入侵。

1.2.3 沙化土地面积增大

沙尘暴等恶劣天气是生态脆弱的一种突出表现，其根本原因是水土资源的不合理利用，导致大量土地沙化。而造成土地沙化的主要原因是滥牧、滥垦、滥伐、滥采、

滥樵。我国北方大部分地区，特别是农牧交错地带，人口密度增加，土地负荷加重，土地利用粗放，滥垦滥种。由于处在森林与草原过渡地带，常分布一些疏林和灌丛草地，为了获得耕地和木材，开垦这些土地，滥伐疏林和灌丛，结果导致覆沙层活化，这在河北坝上和大兴安岭西坡尤为突出。天然草地游耕游牧、超载过牧，形成大面积的撂荒地和退化草地，极易沙化。这些地区经济落后，当地人民常常以采挖药材作为一项主要收入，如过度采挖麻黄、甘草、发菜等，从而大范围地破坏了植被。由于贫困，处在煤炭能源基地的老百姓却因无能力使用煤炭，采挖各种灌木作为燃料，破坏植被，造成地面植被覆盖度整体减小。由于北方地表多为疏松的沙质沉积物，一旦植被破坏，必然造成沙丘活化、古沙翻新，地表风蚀沙化，从而使沙化土地面积扩大。

在冬春两季，大面积的耕作农田、退化草地和沙化土地地表裸露，沙尘物质丰富，成为沙尘暴的重要物源区。沙化土地是当地沙尘暴的沙源和尘源，也是其下风方向地区的重要尘源。近年影响首都的多次风沙活动，其尘源主要来自蒙古高原中部、我国北方农牧交错带中段和首都圈的沙化土地和裸地。据中科院的资料，供尘区主要分布在内蒙古中西部和河北西北部近 25 万平方公里的沙化发展区，而贴近地表的扬沙主要为就地起沙。因此，处在北京上风向 70 多公里的怀来县天漠流沙不是首都就地扬沙的物质来源，控制天漠流沙不能解决首都冬春季大风扬沙的影响，而仅能相对削弱从北京上风向沿程累加的尘源。所以，固化冬春季建筑弃土和裸地、增加绿地面积和防护林网建设是控制首都大风扬沙的根本出路。

全球气候变暖是导致我国北方地区气候干燥化加剧的重要原因，植被覆盖度的减少，是人类不合理利用水土资源的结果。由此认为，风沙灾害加剧是人类活动与自然因素共同作用而形成的生态灾难，其中人类活动是诱发和加剧风沙灾害的关键因素。因此，在这些生态环境极为脆弱的地区，尽管开展了一些防沙治沙工作，但因大面积的开发利用，导致风蚀沙化、固定沙丘活化、古沙翻新，使治理的面积和速度赶不上破坏的面积和速度。几十年来形成的这种大面积搞生产，小面积搞生态的模式，正是局部治理、整体恶化的根本原因。

1.3 趋势

沙化土地扩展速度加快。全国每年土地沙化扩展的速度已从 50 年代—70 年代的 1560 平方公里，增加到 70 年代中—80 年代的 2100 平方公里，90 年代前五年的 2400 平方公里，90 年后五年的 3436 平方公里，相当于一年沙化掉一个中等县的土地面积。另据刚刚由水利部公布的我国土壤风蚀面积由 80 年代末的 188 万平方公里增加到 90 年代末的 191 万平方公里，净增 3 万平方公里，增速达 1.6%。

大约在公元 1100 年左右，中国北方沙尘暴发生频数急剧增加。近千年来，我国沙尘暴的频发期有 5 个，即 1060~1090 年、1160~1270 年、1470~1500 年、1610~1700 年和 1820~1890 年。

从近 50 年来的时间尺度上，中国沙尘暴的发生频率与区域性的气候变化有关。中国北方 100 个气象站观测（1951~1997 年）表明，20 世纪 50 年代以来，青藏高原的东北部柴达木盆地西部、共和盆地、祁连山地区，以及内蒙古高原中蒙边境地区，沙尘暴呈增加趋势，余之，大部分北方地区则呈减少的特征。强和特强沙尘暴的发生频数自 50 年代以来一直在增加，50 年代每年为 0.5 次，60 年代每年为 0.8 次，70 年代每年为 1.3 次，80 年代每年为 1.4 次，90 年代每年为 2.3 次，2000 年则为 14 次。由此可见，中国北方强风沙活动呈现增多的趋势。

总体来讲，我国风沙灾害的发展趋势是：治理速度赶不上沙化速度，局部改善、

整体恶化的趋势还在延续，“沙进人退”的局面没有从根本上得到遏制，且有不断加剧之势。

2. 中国沙尘暴时空分布与发展趋势

2.1 沙尘暴的空间分布

中国沙尘暴受冷高压路径、下垫面性质、地形等因素的控制，呈现出显著的区域特色。总体上，中国沙尘暴主要分布于西北、华北和东北西部，尤其以西北地区的沙尘暴的分布范围广、危害最为严重。中国沙尘暴的区域分布，目前有以下三种划分：一是采用地面气象观测的沙尘暴日数，将中国沙尘暴从区域分布上划分为影响区、易发区、多发区和高频区。从中可以看出，塔里木盆地、青藏高原西北部、内蒙古阿拉善高原和鄂尔多斯高原是沙尘暴的高发区。从多年平均值来看，沙尘暴影响到大半个中国，即沙尘暴覆盖达 18 个省市自治区。二是以年平均沙尘暴日数 20 天为标准，将中国沙尘暴高发区划分为三个，分别是塔里木盆地周围地区、吐鲁番—哈密盆地—河西走廊—宁夏平原—陕北一线和内蒙古阿拉善高原—河套平原—鄂尔多斯高原。三是根据 40 多年来的中国强和特强沙尘暴的频数分布，认为中国有三个沙尘暴频发区，分别为甘肃河西走廊及宁夏河套地区（中心在民勤）、新疆和田地区、吐鲁番地区。

2.2 2000 年次风沙灾害的时空格局

2000 年 3~6 月中国共发生 14 场沙尘暴，共涉及 18 个省区，1062 个旗县，总面积 328.4 万 km^2 ；其中较大范围的有 12 场。在 14 场沙尘暴中，4 月 5~7 日的风沙灾害影响范围最广，涉及 16 个省区，892 个旗县，覆盖面积达 220.3 万 km^2 。

2000 年 3~6 月中国发生沙尘暴与常年比较，3 月初就出现，提早 15~20 天；3~5 月发生了 13 次，其中 4 月份 6 次，平均 5 天 1 次，比常年缩短 1~2 天；大范围发生沙尘暴的平均持续时间每次 3 天，最长持续达 5 天，是历史上少见的。沙尘暴影响区有耕地面积约 41.6 万平方公里，占区域的 12.5%；人口约 5.6 亿，占全国总人口的 43%。各次沙尘暴涉及的区域和范围差异很大，面积最大可相差 100 倍，通常相差 5~7 倍，这主要取决于每场风沙活动的发生区域和迁移路径，还有赖于承灾体的人口和经济差异，其中第 4 次、第 5 次和第 12 次影响最大。

2.3 沙尘暴发生区域脆弱性评价

中国北方是整个亚洲地区生态环境比较脆弱和对全球变化响应敏感地区之一。在有器测记录以来，中国北方水热变化及整个以土地利用和地表覆盖为特征的景观变化都非常明显。由于气候条件和地表覆盖格局的变化，直接或间接引致沙尘暴发生频次和强度的变化。因此，评价中国北方沙尘暴的风险水平，就必须首先分析沙尘暴发生区域的环境脆弱性空间格局及其动态变化。在本文我们以降水和温度的变化表示气候的变化；以地表植被覆盖度和生物量（NPP）表示地表覆盖的变化；以土地利用、人口数量及单位面积上的 GDP 大小表示人类活动强度的变化。由这些环境特征值综合评价它们对沙尘暴的脆弱性水平。

2.3.1 降水和温度的变化

从中国北方器测时期气温和降水的观测结果可以看出，近 50 年来，温度总体呈现出在波动中增高的趋势，年增幅平均达到 $0.5\sim 1.0^\circ\text{C}/10\text{a}$ ；与此同时，降水变化在

贺兰山以东的地区则是呈现出波动中减少的趋势，减幅平均达到每十年为多年平均降水量的 10—20%，贺兰山以西的地区与东部相反，降水量在波动中略有增加的趋势，增幅为 5% 左右。就总体而言，温度增幅大于降水。由于在贺兰山以东，温度增加，降水减少，则必然导致干燥度增加。这就有利于土壤水分耗损，从而使同等风力条件下，植被或土壤的抗风蚀能力减弱，相对加速了以土壤风蚀为标志的风沙活动；在贺兰山以西，虽然气候呈现为暖湿化趋势，但因这些地区为干燥或极端干燥地区，水分亏缺仍然难以抑制由于增温带来的土壤水分耗减，结果仍然导致以土壤风蚀为标志的风沙活动加剧。

2.3.2 地表植被覆盖度和土壤水分的变化

利用 NOAA/AVHRR 的数据，对中国北方 13 个省市区的植被覆盖度进行了测算，结果表明，近十年来，这一地区植被覆盖度整体呈下降趋势；与此相关的地上净第一性生产力（NPP）也相应呈下降趋势，即从 1988 年的全区平均 $1.32 \times 10^9 \text{ t C}$ ，下降到 1999 年的 $0.82 \times 10^9 \text{ t C}$ ，下降幅度达 38%。与植被变化相对应，近十年来，7 月份的近地表（10cm）土壤水分也呈现下降趋势，即从 1988 年的 17.4% 下降到 1999 年的 15.0%，下降幅度到 14.0%。植被和土壤水分的衰减，有利于在同样的气候条件下，促使沙尘暴的发生和发展，这表明中国地表覆盖的条件对沙尘暴来说，其脆弱性水平大大提高。

2.3.3 土地利用变化

就整个北方 13 个省市区来看，受植被保护的陆地面积明显减少，带之而来的是冬春季裸露的旱耕地面积的增加，以及退化草地和沙化土地（流动与半流动沙地）也相应增加。我国北方半干旱地区荒漠化（主要是风蚀沙化）陆地面积扩展迅速，其中广大北方东部沙地是沙化土地扩展的主要地区，沙化土地的平均扩展速度在每年 4%—10% 之间。土地利用格局的变化，使区域土壤水蚀和风蚀沙化过程明显加剧，结果导致受植被保护的沙质土地裸露面积明显增加，这相对为沙尘暴的发生发展提供了更多的物质来源。

2.3.4 人口与 GDP 的变化

就整个中国北方来看，近 50 年来，人口增长的速度高出全国的平均水平，其中处在本区的东北森林地带、农牧交错带、河西走廊以及天山北坡的绿洲地带，人口增长更加迅速。如北方农牧交错带，1953 年与 1997 年相比，以县为单位的人口密度，50 人/km²以下的县数，由 118 个减少到 37 个；50—100 人/km²县数由 59 个减少到 65 个；100—150 人/km²由 14 个增加到 48 个；150 人/km²以上县数由 10 个增加到 51 个。由此可见，人口的增加对土地形成的压力在逐年增大，使土地的负荷加重。GDP 的增长主要表现在改革开放以来的 20 多年来，GDP 的年增长率在这一期间都在 10% 以上。地均 GDP 也有了明显的增加，目前每平方公里一般已达到 150 万元以上，而且，城镇区域明显高于广大农村牧区，沿交通线两侧明显高于其它地区。人口与 GDP 的变化作为土地利用变化的驱动因子，大大改变了这一地区的土地利用格局，从而形成了对沙尘暴发生发展的诱发和加强因素。

2.3.5 沙尘暴区域的脆弱性评价

基于以上四方面的分析，我们可以看出，整个中国北方沙尘暴发生区域内，近年气候趋于干燥，有利于在同等风力条件下诱发沙尘暴；天然植被覆盖度的减少，以及人工各种工农业用地的增加，伴之地表生物量和土壤水分的下降，也极有利于沙尘暴

的发生；在地表覆盖中，中国北方大面积地区是晚更新世晚期盛冰期形成的大面积流沙、坪沙和沙黄土的分布区，这些具有丰富沙物质的地区，植被覆盖度的减少，裸地的增加，为沙尘暴的发生和发展提供了丰富沙尘物质来源；人口的迅速增加，土地承载力的与年剧增，经济活动的加强，对本来就已脆弱的生态系统形成了更大的压力，这些对沙尘暴强度的强化起到了诱发的作用，这正是近 50 年来中国北方强和特强沙尘暴增加的根本原因。综合这些因素，表明整个中国北方沙尘暴发生区域内环境的脆弱性在加剧，生态环境的安全水平在下降，沙尘暴灾害的风险水平在提高。其中，从区域上看，人口密度比较高的北方农牧交错带、牲畜密度较高的内蒙古天然草原区、受上游人口增加和经济快速发展影响的本区内流河下游地区（如黑河下游的额济纳地区、塔里木河下游的阿拉干地区、天山北坡的绿洲边缘地带等）表现的更为突出，已成为中国北方环境易于诱发和加强沙尘暴发生与发展的主要地区，这些地区已经或将要成为中国沙尘暴灾害的高风险地区。除此之外，分布在这些地区或其下风向的城镇，特别如首都圈的北京、天津、唐山、张家口，东北平原的沈阳和长春，河套平原的呼和浩特、包头、乌海和银川，汾渭谷地的太原、西安、咸阳和宝鸡，黄土高原与鄂尔多斯高原的大同、榆林、延安、庆阳、东胜，黄河和湟水谷地的兰州和西宁、河西走廊的武威、张掖和酒泉、天山北坡的乌鲁木齐、石河子和克拉玛依，南疆的喀什和田，以及柴达木盆地的格尔木和德令哈等城市已经成为受沙尘暴影响的高风险城市，特别是在冬春两季，已经成为大气中可吸入粒子浓度增高的主要原因。这些高浓度的沙尘与同季节的燃煤排放的烟尘微粒构成这些城市重要的环境公害。

2.4 2000 年风沙灾害危险性与风险评价

由于所收集和调查资料的限制，在本文仅以 2000 年在中国所发生的沙尘暴为例，对其造成的危险进行评价，在此基础上，进一步确定了其潜在高风险的区域。

中国 2000 年 3~6 月沙尘暴灾害涉及 18 省、市、治自治区。首先，从灾次看内蒙古最多，达 13 次；宁、晋、甘、陕、冀次之，在 10~12 次；京、津为 8 次。这些省区是风沙灾害的频发区。其次，从被灾指数看宁夏最多，达 9.18，也就是说 11 次风沙灾害覆盖的总面积是该区域面积的 9.18 倍；京、津、冀、晋、蒙次之，在 6~8 倍之间；甘、陕、辽、豫、鲁、苏、徽、沪在 2~5 之间。2000 年风沙灾害被灾指数与其他灾种比较，普遍要高几十至几百倍。

风沙灾害灾次（ZC）为在某时段风沙灾害发生的次数，此值愈高致灾程度愈大。中国 2000 年 3~6 月风沙灾害有 29 个县域发生 12 次以上，44 个县域发生 10~11 次，63 个县域发生 8~9 次，250 个县域发生 6~7 次，355 个县域发生 4~5 次，317 个县域发生 1~3 次。中国 2000 年 3~6 月风沙灾害灾次的区域分异，有 4 个基本特征：第一，灾次高值中心在内蒙古中西部的阿拉善—锡林郭勒高原，平均为 10 次以上，与徐启运等绘制的中国 1952~1998 年发生的沙尘暴天气年平均日数图的河西走廊—阿拉善高原—乌兰察布高原高值区基本一致，但范围偏东；第二，灾次的空间递变以高值区阿拉善—锡林郭勒高原为中心，向南、向东、向西降低，但最明显的是向东南的伸展和递变，这与风沙天气的西北主风向以及秦岭和大兴安岭等山地阻挡密切相关；第三，灾次为 8 次以上的区域，即：阿拉善—锡林郭勒高原、冀北、晋北、陕北、宁北等地区，是沙尘天气的主要发源地，也是沙尘暴多发区，京津及华北大部分地区多为扬沙和浮尘区域，这与叶笃正对沙尘天气发源地在内蒙古中西部和河北西北部的认识基本一致；第四，风沙灾害影响的南界在浙北，主要记录沙尘天气影响下出现泥雨、大风等的发生，与张德二等提出的历史沙尘记录的南界 28°N 比较接近，可见 2000 年 3~6 月风沙灾害影响范围之广。

风沙灾害承灾体指数 (CH) 表示风沙灾害发生县域的承灾体强度, 是县域单元的人口密度 (人/km²)、耕地比例 (%) 和地均GDP (万元/km²) 的综合强度, 此值愈高表明承灾体潜在的危险性愈大。

中国 2000 年 3~6 月风沙灾害潜在风险水平指数 (WX) 图是 ZC 和 CH 综合评价的结果, 该图的评价结果表明: 1) 风沙灾害 WX 最高等级的县域单元有 19 个, 自东向西呈斑块状断续分布在京津、内蒙古乌盟商都—山西大同、呼包平原和后套一带, 这些区域具有最大的潜在风沙灾害的高风险水平。2) 风沙灾害 WX 为 3.5~4.5 的县域单元有 332 个, 将前述的条带向南、向北和东部扩展成为较大的连续区域, 包括: 内蒙古乌兰察布高原—河套平原—鄂尔多斯高原北部、山西北部、京津及河北大部、山东西北部和河南北部, 这些区域是潜在风沙灾害的次高风险区亦成为防沙治沙的核心区域。这里有沙化最严重的阴山北部伏沙区、浑善达克沙地和库布齐沙带, 其 ZC 值相当高。在银川平原和汾渭平原也出现断续分布的条带。3) 风沙灾害 WX 值为 2.5~3.5 的县域单元有 508 个, 它们与前述的高值区域连成一片, 形成大的三角区域, 其北界为国界、西南界从内蒙古西部的阿拉善左旗—甘肃东部的定西县—浙江北部的杭州市、东北界从内蒙古中部锡林郭勒盟的锡林浩特市、多伦县—河北东北部承德市的丰宁县—秦皇岛市, 这一三角区域应属我国风沙灾害防治的重点区域。4) 风沙灾害 WX 值为 1~2.5 的县域单元有 203 个, 向东涉及内蒙古东部、辽宁西部, 东部延伸到了森林草原地带, 这里有科尔沁沙地和呼伦贝尔沙地。向西延伸到新疆东部、内蒙古西部、甘肃、青海东部地区, 西部延伸到了荒漠地带, 这里有巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、东疆戈壁, 以及柴达木盆地东部的高寒干燥强风蚀沙区。5) 风沙灾害 WX 值的区域变化规律是以潜在风沙灾害的高风险区域为中心, 分别向南、向东、向西风沙灾害的潜在风险水平逐渐降低。

3. 中国风沙灾害防治对策

中国风沙灾害已经成为涉及范围极广的公害。由于风沙灾害的发生发展, 不仅造成原发地人民生命和财产的损失, 还极大地破坏了当地的生态环境; 其中沙尘暴引发了其影响区域内大气质量的变化, 即一旦发生沙尘暴, 使城镇近地表沙尘弥漫、能见度大大下降, 导致大气中可吸入粒子浓度大幅度增加。因此, 减轻风沙灾害, 控制其风险水平的提高, 应总体纳入到国家和地方政府减灾与环境管理体系。为此, 我们建议从以下几个方面完善中国风沙灾害防治对策。

3.1 明确国家防沙治沙工程的战略方针

防沙治沙工作是一项复杂的系统工程, 涉及生态、经济、社会等多方面的问题。既有沙区生态条件差、土地易沙化的问题, 又有沙区群众科学文化素质低、生产方式落后的问题, 也有人口超载、生活贫困等社会问题。防沙治沙工作战略方针应为: 整体布局、长远规划; 分区治理、突出重点; 先保后治、以保为主; 除害兴利、治用结合; 开源节流, 合理调配。与此同时, 防沙治沙必须“提高效益、发展产业”。要集中力量, 在一些风口和沙化的地区, 采取果断的措施, 退耕还草, 以草定畜, 围封育草, 免耕固土, 以实现隔断沙源, 减少尘源的目标。

3.2 全面调整与优化风沙灾害发生与影响区域的土地利用格局

不同的土地利用格局有着不同的风沙灾害过程, 控制风沙灾害的发生与发展, 特别是减弱其沙尘暴的风险水平, 最根本的措施控制沙尘源提供地区的地表覆盖, 即提

高植被覆盖度。目前，不合理的土地利用格局突出表现为，有植被覆盖的土地面积比例大幅度减少，带之而来是裸地面积的增加。为此，必须在生态环境安全的条件下，重新布局土地利用格局，大大提高城乡区域植被覆盖度，并在特定的植被覆盖度的条件下，优化林灌草的结构，确定它们的空间布局。对中国广大北方地区来说，除整体提高植被盖度外，要特别注重加强冬春两季地表覆盖度的提高。基于此，我们建议必须调整这些地区农耕地的土地利用制度，大面积实施旱耕地地区的免耕法和水浇地地区的草田轮作法，以及放牧草地地区的舍饲畜牧法等。就整个地区的土地利用机构的优化，我们建议由原来的“小面积生态用地、大面积生产用地”转换为“大面积生态用地、小面积生产用地”，从而使生态环境安全建设的用地得以保证。

为了加强这些地区植被的恢复与建设，调整土地利用格局，国务院批准了《京津风沙源治理工程规划》，据此在未来的 10 年（2001—2010）内，通过生物措施、工程措施，增加这一地区的林灌草覆盖度达 11%，基本实现遏制土地沙化扩展，总的防治面积为 45.8 万 km²，其中退耕还林 3944 万亩，营林造林 7416 万亩，草地治理 15942 万亩，修建水利配套设施 113889 处，小流域治理 23455 km²，生态移民 18 万人。与此同时，国务院于去年批准了《“三北”防护林四期工程》，这一工程包括我国“三北”地区 13 个省、区、市的 595 个县，到 2010 年将完成造林 1.42 亿亩，治理沙化土地 1950 万亩。这一工程的完成，将会对影响我国首都地区主要沙尘源区的植被得到一定程度的恢复与建设，对遏制风沙灾害的蔓延起重要的作用。

3.3 加强对沙尘暴监测与预警系统的建设

自从 2000 年沙尘暴爆发以来，在国家的支持下，中国气象局已建立了沙尘暴天气预报系统；国家林业局也正在其管辖的中国林业科学院建立荒漠化土地的监测系统。这些工作虽然大大改善了对沙尘暴的监测和预警能力，但仍然满足不了各行各业对防治沙尘暴灾害的需要。一是地面气象观测与土地覆盖监测不同步；二是短期天气预报与中长期气候预报不相配；三是科学研究与产业发展不结合。针对这一现状，必须加强对沙尘暴灾害的综合评价，建立系统而完善的数据库和评价体系，并进一步建设一个功能齐全、综合天与地监测数据的沙尘暴预警系统。从而不仅提高沙尘暴天气的预报水平，而且能提高沙尘暴灾害的预报水平，以及由沙尘暴所引发的大气环境质量的预报水平。

3.4 防沙治沙工程分区与防治模式

针对我国土地沙化及沙尘暴日益严重的形势，配合国家防沙治沙工作，我国防沙治沙重点区域的布局和工作重点如下：

3.4.1 首都圈

首都圈主要包括北京、天津及河北省张家口地区、承德市，总土地面积 6 万平方公里，人口 3300 多万。首都圈以提高植被覆盖率为重点。城区的重点是土地的绿化和硬化；郊区的重点是调整农业结构，发展高效农业；周边地区的重点是退耕还林还草，提高植被覆盖率，涵养水源、恢复生态。

3.4.2 农牧交错带

农牧交错带指我国北方农区与天然草地牧区接壤的过渡地带，是年降水量 250 - 500 毫米的半干旱地区。主要分布在内蒙古、辽宁、河北、山西和陕西等省区，包括 205 个县（旗），6053.61 万人口，面积 72.6 万平方公里。农牧交错带要以退耕还林还草为重点。大兴安岭南—科尔沁沙地采取乔灌草结合的方式恢复沙地植被；张北—

集宁丘陵区要以灌木和草本为主，提高地表植被覆盖率；黄土高原区要草田轮作。

3.4.3 草原带

草原带包括内蒙古中东部 4 个盟，含 32 个旗县，总面积 45.6 万平方公里，人口 630 万。天然草地面积 4670 万公顷，可利用草地面积 3990 万公顷，是我国北方重点牧区之一。草场退化面积累计已达 1544 万公顷，占 38.7%，是我国东部和首都圈沙尘暴的主要尘源。草原带要以草定畜，培育优质草畜品种为重点。草原带防沙治沙的重点是：一是禁耕禁垦；二是改良草地，围栏轮牧，提高草地生产力；三是以草定畜，大幅度降低单位草地的载畜量，培育优良畜种，提高家畜个体生产能力和经济效益；四是大力推广“公司+农户”发展产业化畜牧业模式。草原带分为三个类型，应采取不同措施治理：条件较好的呼伦贝尔草甸草原，严禁继续垦殖开荒，整治恢复撂荒土地，退耕还草；锡林郭勒典型草原，重点实施划区轮牧，解决夏季无水草场的开发利用和冬春草场的合理利用问题；条件较差的乌兰察布荒漠草原和鄂尔多斯草原化荒漠区，大力提倡舍饲圈养、退牧还草、围封育草，恢复自然植被。

3.4.4 荒漠绿洲带

本区位于贺兰山以西，昆仑山和阿尔金山以北的广大内陆地区，包括新、青、甘、宁、蒙的全部或部分地区，总面积 210 万平方公里，人口 5300 多万。区内分布着七大沙漠（塔克拉玛干、古尔班通古特、巴丹吉林、柴达木、库姆塔格、腾格里及乌兰布和），沙丘浩瀚，戈壁广袤。荒漠绿洲带要以建立城市、道路、绿洲生态屏障为重点。防沙治沙工作重点是在城市、道路、国防设施、绿洲等重要经济区建设生态屏障。根据不同保护对象，采取不同的保护措施。

本报告主要依据由科技部防沙治沙专家组完成的《我国风沙灾害加剧的成因分析防沙治沙科技对策》和作者提交“第二届亚洲风险评价与管理学术会议”的《中国沙尘暴的风险评价与管理》一文，以及王静爱等发表在“自然灾害学报（2001 年 10 卷 4 期）”的《2000 年中国风沙灾害的时空格局与危险性评价》写成。