

文章编号: 1001-8166(2005)06-0627-10

我国沙尘的来源、移动路径及对东部海域的影响^{*}

张 凯^{1,2}, 高会旺¹, 张仁健², 朱燕君³, 王跃思²

(1·中国海洋大学海洋生态环境实验室, 山东 青岛 266003; 2·中国科学院大气物理研究所大气边界层和大气化学国家重点实验室, 北京 100029; 3·中国气象局, 北京 100081)

摘 要 利用中国气象局提供的 micaps 天气资料, 通过对 2000—2002 年发生的 42 次沙尘天气个例的分析, 重点研究了沙尘的源地、移动路径、入海地点及对不同海域的影响概率。结果表明, 影响我国的沙尘天气有 70% 起源于蒙古国, 在经过境内沙漠地区时得以加强。沙尘粒子的移动和入海途径主要有 3 条: 一是从内蒙古东部入侵的沙尘天气经浑善达克和科尔沁沙地后进入渤海和黄海; 二是从内蒙古西部入侵的沙尘天气经内蒙古西部沙地和黄土高原后进入渤海、黄海和东海; 三是从青海东部扬起的沙尘长距离运输进入黄海、东海及西北太平洋。2000—2002 年, 63.9% 的沙尘天气会影响到海洋, 其中, 影响渤海、黄海和东海的概率分别为 27.4%、30.9% 和 12.3%, 影响朝鲜海峡和日本海的概率为 20.2% 和 9.2%。

关 键 词 沙尘粒子; 源地; 入海途径; 影响概率; 中国

中图分类号: P445⁺ 4 文献标识码: A

我国西北地区荒漠化严重, 已成为全球四大沙尘暴高发地区之一——中亚沙尘暴区的重要组成部分。西高东低的地势使发生于我国西北地区的沙尘天气会顺势而下, 并在高空强西北气流作用下, 影响到我国华北广大地区和东部海域。爆发于我国西部的沙尘暴会把大量的沙尘气溶胶送入大气, 并在随西风环流向东飘移过程中, 通过干、湿沉降入海, 对中国近海及西北太平洋的海洋环境和生态系统产生影响。已有研究证明, 冬季中国大陆盛行的西北风有利于陆地上空气溶胶向太平洋输送^[1], 北太平洋上空气溶胶和海底沉降物的化学成分与中国黄土有明显联系^[2], 西北太平洋的矿物气溶胶主要来源于亚洲东北部的沙尘^[3,4], 矿物气溶胶浓度的季节变化与亚洲沙尘暴活动相一致^[5]。这些研究反映了沙尘自源地经内陆向海洋输送的事实。

关于沙尘天气发生的条件、过程及其危害已有不少研究, 近十几年来, 我国学者也开始对中国近

海^[6,7]、渤海和黄海^[8,9]以及台湾海峡^[10]的气溶胶成分、分布特征和元素入海通量进行了研究。本文根据中国气象局提供的 micaps 天气资料, 通过对 2000—2002 年逐个沙尘天气个例的分析, 重点研究沙尘源地、运输路径、入海地点, 给出不同源地、不同类型沙尘天气的发生比例以及对海洋的影响概率。表 1~3 分别为 2000 年、2001 年、2002 年沙尘天气个例及其特征。

1 沙尘爆发源地及来源

1.1 爆发源地

根据沙尘暴发生源地, 可以将其分为境外源型和国内源型, 其中 70% 左右是境外源型。2000 年春季我国共发生 12 次沙尘天气, 其中 9 次 (占 75.0%) 爆发于蒙古国。2001 年共发生 18 次, 其中 12 次 (占 66.7%) 爆发于蒙古国。2002 年共发生 12 次, 其中 8 次 (占 66.7%) 爆发于蒙古国。总体而

* 收稿日期: 2004-03-12; 修回日期: 2004-11-09。

^{*} 基金项目: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目“山东近岸海域水质变化与污染控制优化方案研究”, 国家自然科学基金重大项目“上层海洋—低层大气生物地球化学与物理过程耦合研究”(编号: 40490262) 资助。

作者简介: 张凯(1977-), 女, 山东青州人, 博士研究生, 主要从事大气物理与大气环境研究。E-mail: zhangk96.student@sina.com

言,这 3 年发生的 42 次沙尘暴天气,有 29 次(占 69.0%)首先爆发于蒙古国,然后移入我国境内。从地面天气图上可以看出,爆发于蒙古国的沙尘暴天气主要通过 2 条路径入侵我国:一是内蒙古西部的阿拉善盟;另一个是内蒙古中部的锡林郭勒盟。从阿拉善盟入侵的沙尘暴经过巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙地等沙漠、半沙漠地区时,沙尘暴天气得以加强,沙尘气溶胶的浓度增加,影响区域扩大。从锡林郭勒盟入侵的沙尘暴经过浑善达克沙地和科尔沁沙地时,也会卷入更多的沙尘粒子,扩大沙尘暴天气的影响范围。每年冬、春季影响我国的沙尘暴既有境外源型也有国内源型,多数境外源沙尘天气在爆发时其强度和影响范围并不很大,而在入境后,我国西部的沙漠或沙地成为新的沙尘粒子源区,增大了沙尘暴的范围、规模和强度,影响下游地区或移动入海的沙尘粒子也主要来源于这些地区。

1.2 沙尘来源

根据沙漠、半沙漠、沙地、戈壁的分布,把影响我国的主要沙尘来源分为:南疆的塔克拉玛干沙漠、柴达木盆地、蒙古国、内蒙古西部沙地、内蒙古东部沙地和黄土高原。内蒙古西部沙地主要是指巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙地、乌兰布和沙漠。内蒙古东部沙地主要是指浑善达克沙地和科尔沁沙地。在一些沙尘天气个例中,沙尘粒子会来源于 2 个以上不同源地,本文假定这些源地所占的权重相等,因此每个源地发生概率为 $1/n$ (n 为沙尘源地数)。把一年中来源于同一沙尘源地的次数相加,再除以本年总沙尘天气数,得到这一沙尘源地的爆发频率。下文中沙尘粒子起源于某地的百分数表示的是沙尘源地的出现频率。

2000 年发生的 12 次沙尘天气中,扬沙 3 次,占 25.0%,沙尘暴 7 次,占 58.3%,强沙尘暴 2 次,占 16.7%。对沙尘来源分析发现,8.3%的沙尘粒子起源于柴达木盆地,23.6%起源于黄土高原,11.1%起源于蒙古国,56.9%起源于内蒙古沙漠和沙地,其中起源于内蒙古西部沙地的沙尘占 48.6%,起源于内蒙古东部沙地的占 8.3%。

2001 年发生的 18 次沙尘天气中,扬沙 4 次,占 22.2%,沙尘暴 11 次,占 61.1%,强沙尘暴 3 次,占 16.7%。18.5%的沙尘粒子起源于塔克拉玛干沙漠,5.6%起源于柴达木盆地,5.6%起源于甘肃的河西走廊,70.4%起源于内蒙古,其中起源于内蒙古西部沙地的占 38.0%,起源于内蒙古东部沙地的占 32.4%。有的个例中沙尘天气在几个源地同时出

现,不同的沙尘源地影响的区域不同,但也有的个例中沙尘源地几乎连成一片,很难区分沙尘粒子的具体来源。新疆和河西走廊地区降雨较前两年有所增加,植被又有所恢复,土壤墒情有所改善,这可能是造成 2001 年春季沙尘天气高发区域东移至内蒙古中部的原因之一。

2002 年发生的 12 次沙尘天气中,扬沙 1 次,占 8.3%,沙尘暴 7 次,占 58.3%,强沙尘暴 4 次,占 33.3%。16.7%的沙尘粒子起源于塔克拉玛干沙漠,29.2%起源于蒙古国,54.2%起源于内蒙古,其中起源于内蒙古西部沙地的占 25.0%,起源于内蒙古东部沙地的占 29.2%。

对 2000—2002 年沙尘个例分析发现,70%的沙尘天气爆发于蒙古国,进入我国境内经过沙化、半沙化及荒漠化土地时得以加强。不同年份沙尘粒子的来源不尽相同,但总体上内蒙古的沙漠、荒漠和戈壁等地是沙尘粒子的主要来源地区,每年有一半以上的沙尘粒子都源于此,如 2001 年有 70%的沙尘粒子来源于内蒙古,其次有近 20%的沙尘粒子来源于南疆的塔克拉玛干沙漠。另外,我国北部、西北部等一些沙漠化、半沙漠化土地,以及一些沙漠化农田、草原等也是沙尘粒子的一个很重要的来源。

2 沙尘移动路径和入海途径

根据影响范围和移动距离的不同,沙尘暴个例可划分为:局地、大范围、短距离输送、长距离输送等 4 种类型。前两类的主要特征是原地发生,原地消失,没有明显的移动路径;后两类的主要特征是沙尘离开源地影响到下游地区,有明显的移动路径。局地是指受沙尘天气影响的范围仅限于沙尘粒子来源的省(自治区),或与其相邻省(自治区)的局部范围;大范围是指沙尘天气影响的范围比较大,包括几个省(自治区),地面天气图上同一时刻大范围地区出现沙尘符号,影响范围较广(>50 万 km^2),持续时间也较长(2~3 天左右),在地面天气图上沙尘粒子没有明显移动路径。短距离输送是指从沙尘天气出现到消失的过程中,影响范围有短距离移动(仅限于相邻的 2~3 个省,移动距离 <800 km),下风向地区依次出现沙尘天气,地面天气图上有明显移动路径。长距离输送是指沙尘天气从出现到消失的过程中,沿着风向的地区依次出现沙尘天气,影响范围跨越好几个省(自治区)(移动距离 >800

km) 沙尘移动的距离较长 持续²~4天左右。

在地面天气图上 通常是在某一范围内多个站点同时观测到沙尘现象的 随着时间的推移 出现沙尘天气的区域也不断变化。因此 在确定沙尘移动路径时 本文主要是根据micaps地面天气图上沙尘天气符号出现区域和时刻来确定沙尘移动的路径。具体做法是 利用³小时¹次的地面天气图 从沙尘开始到沙尘结束的整个时间段内 追踪沙尘依次影响的区域 再借助高空天气形势图(主要是风向和大气环流)来确定沙尘的移动路径以及入海途径。

2.1 2000年沙尘的移动路径和入海途径

2000年的12次沙尘天气过程中 局地范围的

沙尘天气¹次 占^{8.3%} 大范围的4次 占^{33.3%} 长距离运输的7次 占^{58.3%}(表1)。有9次沙尘天气从爆发到消失 沙尘粒子发生了移动 其中7次在地面天气图上可以看出明显移动路径。另2次可能为高空输送 如个例¹ 首先在内蒙古局部出现短时沙尘天气 而后在朝鲜半岛南端出现沙尘天气 沙尘可能是通过高空运输而影响到朝鲜海峡的 但还需要其他资料的进一步证实。

概括起来 沙尘粒子的移动路径可分为³条 从西向东分别是(图1): 从青海柴达木盆地或内蒙古西部沙地扬起的沙尘 东移过程中经黄土高原的加强 进而影响到山东、江苏等地 进入黄海或东海,

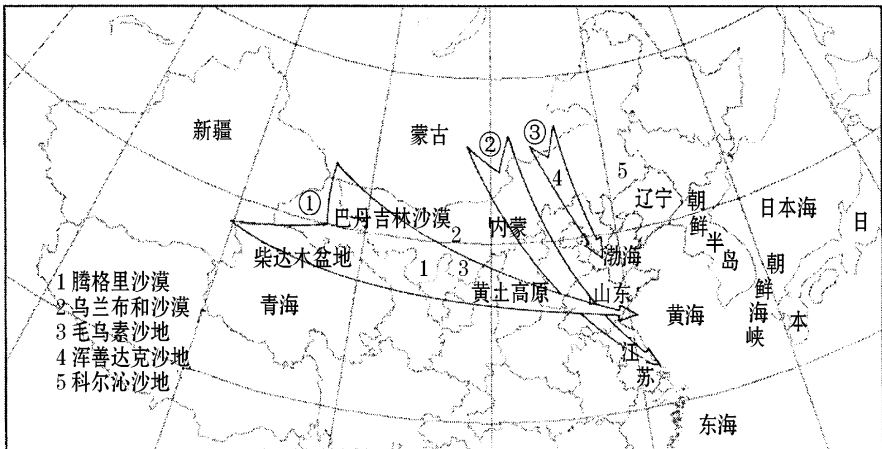


图1 2000年沙尘粒子的移动路径

Fig.1 The movement routes of sand-dust aerosols in 2000

部分沙尘粒子能跨海运输 影响到朝鲜半岛和日本;

爆发于蒙古国的沙尘暴从内蒙古中部入侵我国后 沿河北、山东、江苏南下 自山东和江苏入黄海 部分沙尘粒子能飘移到东海中部的琉球群岛 并沉降到西北太平洋; 爆发于蒙古国的沙尘暴从内蒙古中部入侵我国 经浑善达克沙地西部影响到河北北部、北京、天津、辽宁等地 从天津、辽东半岛入渤海。

2.2 2001年沙尘的移动路径和入海途径

2001年发生的18次沙尘天气过程中 局地范围的有7次 占^{38.9%} 大范围的有1次 占^{5.6%} 短距离运输的有4次 占^{22.2%} 长距离运输的有6次 占^{38.9%}(表2)。其中10次在地面天气图上可以看出明显的移动路径。

在这些个例中 沙尘粒子运输过程大部分有几条路径同时起作用 有的甚至出现³条路径。虽然

这些路径都不尽相同 沙尘来源也不一样 但沙尘的运输路径基本上可概括为4条(图2) 从西向东分别是: 从青海东部的西宁、共和经兰州、西安、郑州到江苏射阳或浙江舟山人入黄海、东海 沙尘粒子来源于青海和黄土高原及周围沙漠化土地(如个例1、个例2、个例3、个例5和个例13); 从新疆哈密沿河西走廊经腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、毛乌素沙地后 或者经黄土高原到达山东半岛入黄海 或者经内蒙古中部、张家口到京津地区入渤海 沙尘粒子部分来源于新疆南部、内蒙古西部的沙化、半沙化土地, 部分来源于黄土高原(如个例2、个例3、个例12);

从蒙古国入侵的沙尘天气经浑善达克沙地西部到达京津沿海地区入渤海 沙尘粒子来源于浑善达克及周围沙地 或从呼伦贝尔盟经东北三省、科尔沁沙地到辽东半岛 沙尘粒子来源于科尔沁及周围沙地

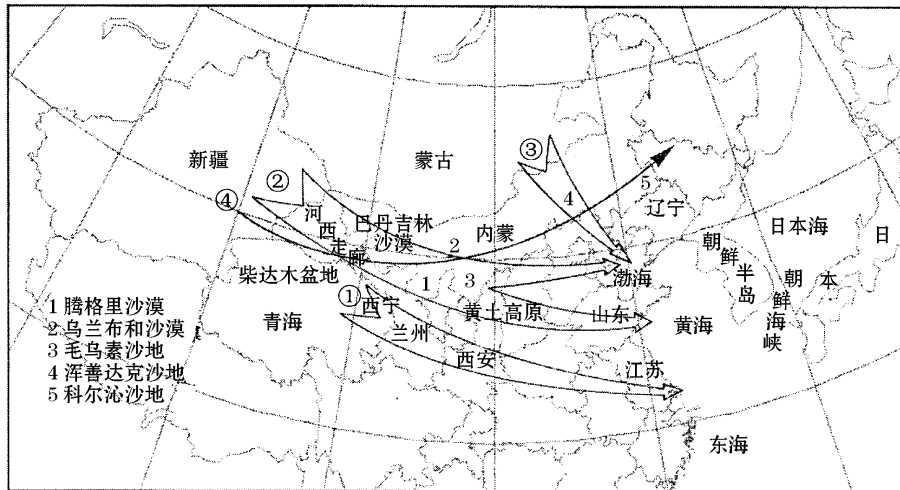


图2 2001 年沙尘粒子的移动路径

Fig.2 The movement routes of sand-dust aerosols in 2001

(如个例 10、个例 13、个例 18)；从新疆东部经河西走廊，横跨内蒙古到东北三省，沙尘粒子来源于内蒙古西部的沙漠、半沙漠化土地，并且途中会有新的粒子不断补充(如个例 9)。

2.3 2002 年沙尘的移动路径和入海途径

2002 年发生的 12 次沙尘天气过程中，局地范围的有 4 次，占 33.3%，短距离运输的占 25.0%，长距离运输的占 29.2%，大范围的占 12.5%(表 3)。概括而言，可以把沙尘粒子的移动路径分为 4 条，从东向西分别是(图 3)：爆发于蒙古国的沙尘暴从二连浩特入侵我国后，经浑善达克沙地和科尔沁沙地的加强，沙尘粒子或从辽东半岛、天津、东营入渤海，或经朝鲜半岛、山东半岛入黄海；从阿拉善盟的中蒙边境，河西走廊，经内蒙古中西部的沙漠地区、呼和浩特到京津地区、辽东半岛入渤海，或经辽东半岛入黄海；从阿拉善盟经腾格里沙漠、黄土高原到青岛、日照入黄海；从南疆盆地经河西走廊、兰州、西安到黄土高原。

对个例 7 的地面图分析发现，从南疆的民丰、且未爆发的沙尘天气，在 4 月 2 日 17 时经酒泉、张掖后，直到 3 日 08 时才在山西太原、河北邯郸、山东青岛等地出现沙尘天气，其它地区都未曾出现。这说明沙尘气溶胶在空中的长距离运输有两层，较低一层的沙尘气溶胶(2 km 左右)到达太原、邯郸时开始沉降，较高一层的沙尘气溶胶进入 500 hPa 高空，随高空强西北气流长距离运输到沿海的青岛后开始

沉降。

总结 2000—2002 年沙尘粒子的移动路径和入海途径，可进一步概括为以下 3 条：

(1) 入侵内蒙古东部锡林郭勒盟的蒙古沙尘暴天气，经内蒙古东部沙化、半沙化地区加强后，从天津、辽东半岛、山东半岛北部入渤海，或从山东半岛南部、朝鲜半岛入黄海。这条路径的特点是移动距离较短，发生频率较高。

(2) 由新疆东部、阿拉善盟的中蒙边境入侵的沙尘暴，经巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙地到黄土高原，沙尘粒子经过多次加强后影响广大的华北平原，最后经天津、河北和山东进入渤海和黄海。这条路径的特点是移动距离长，沙尘粒子来源多，影响范围广。

(3) 从青海东部爆发的沙尘暴经黄土高原沙尘粒子的加强后，向东南影响长江中下游地区，并进入黄海和东海。这条路径的特点是发生频率较低，是沙尘粒子入东海的最有效的途径。

3 对海洋的影响概率

3.1 入海概率

2000 年有 9 次沙尘粒子入海，占总沙尘天气次数的 75.0%(表 1)。入海的沙尘粒子来源主要有 4 个，从西向东分别是柴达木盆地(占 11.1%)、内蒙古西部沙地(占 53.7%)、黄土高原(占 14.8%)、内蒙古东部沙地(占 20.4%)。从柴达木

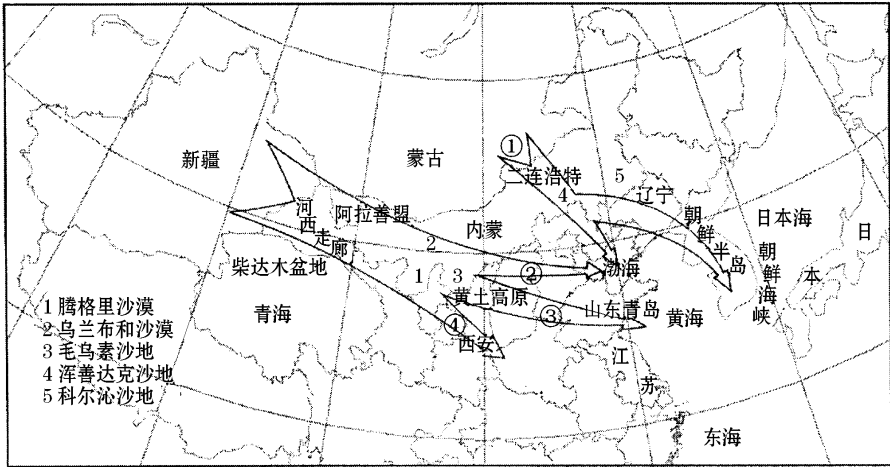


图3 2002年沙尘粒子的移动路径

Fig.3 The movement routes of sand-dust aerosols in 2002

盆地扬起的沙尘经高空输运进入黄海、朝鲜海峡和日本海；从内蒙古西部沙地扬起的沙尘会东移到辽东半岛、山东半岛及江苏，分别进入渤海、黄海和东海；从黄土高原扬起的沙尘会影响华北平原，并从山东、江苏进入黄海；从内蒙古东部沙地扬起的沙尘会南移，经天津、辽东半岛进入渤海，少数到达朝鲜半岛，并影响黄海东部海域。

2001年有8次沙尘粒子入海，占总沙尘天气次数的44.4%（表2）。主要的沙尘粒子来源有3个，从西向东分别内蒙古西部沙地（占25.0%）、黄土高原（占18.8%）和内蒙古东部沙地（占56.2%）。从内蒙古西部沙地等地扬起的沙尘经天津和山东半岛分别进入渤海和黄海海域，黄土高原扬起的沙尘大部分经山东半岛和江苏进入黄海，部分从舟山或经高空沉降进入东海；从内蒙古东部沙地扬起的沙尘大部分从辽东半岛进入渤海，部分经高空飘移入黄海，部分从韩国进入黄海东部海域。

2002年有8次沙尘粒子入海，占总沙尘天气次数的66.7%（表3）。主要的沙尘粒子来源有4个，从西向东分别是内蒙古西部沙地（占22.9%）、黄土高原（占10.4%）、蒙古国中部（占25.0%）、内蒙古东部沙地（占41.7%）。内蒙古东部沙地扬起的沙尘，经天津或辽东半岛入渤海，部分从青岛等地入黄海，部分从朝鲜半岛或日本西移入黄海，甚至经高空飘移到东海；从黄土高原扬起的沙尘部分从天津、烟台入渤海，部分从青岛、日照入黄海；从蒙古国扬起

的沙尘会沉降到东海或经高空飘移到日本入海；从内蒙古西部扬起的沙尘或经黄土高原入黄海，或从山东半岛分别进入渤海或黄海。

3.2 对不同海域的影响概率

图4给出了沙尘天气对不同海域的影响概率。2000年入海的沙尘个例中，入渤海的概率占22.0%，入黄海的占20.2%，入东海的占11.9%，入朝鲜海峡的占31.1%，入日本海的占14.8%。2001年入渤海的概率占31.2%，入黄海的占39.5%，入东海的占8.7%，入朝鲜海峡的占12.8%，入日本海的占7.8%。2002年入渤海的概率占29%，入黄海的占33.0%，入东海的占16.5%，入朝鲜海峡的占16.5%，入日本海的占5.0%。3年平均而言，入渤海的概率占27.4%，入黄海的占30.9%，入东海的占12.3%，入朝鲜海峡的占20.2%，入日本海的占9.2%。

概括来讲，入渤海的沙尘大部分来源于内蒙古东部的沙地，少部分来源于内蒙古西部沙地；入黄海的沙尘部分来源于新疆、青海、内蒙古西部沙地或黄土高原，部分来源于内蒙古东部的沙地；入东海的沙尘有的来源于青海、内蒙古西部沙地或黄土高原，有的来源于蒙古国或内蒙古东部的沙地。

4 结 语

本文利用中国气象局提供的micaps地面天气图资料，分析了2000—2002年沙尘粒子的来源、移

表 1 2000 年主要沙尘来源及移动路径
Table 1 The source and movement routes of sand-dust aerosols in 2000

个 例	起止时间 (月·日 ~日)	过程类型	影响类型	爆发源地	沙尘主要来源	沙尘影响范围、 移动路径和入海途径
1	3.2	扬沙	局地	蒙古国	蒙古国、内蒙古西部	内蒙古中西部地区,朝鲜半岛
2	3.17 ~18	扬沙	大范围	蒙古国	巴丹吉林沙漠、黄土高原	高空沉降,从天津、山东东营入渤海,韩国南端入黄海
3	3.21 ~23	沙尘暴	长距离	蒙古国 内蒙古	巴丹吉林沙漠、毛乌素沙地、浑善达克沙地	从蒙古国中部入侵的沙尘暴和从腾格里沙漠扬起的沙尘→浑善达克沙地西部、河北北部→辽宁营口,从大连、山东东营入渤海,威海入黄海→从青岛、日照入黄海,从朝鲜、韩国入黄海,部分沙尘粒子高空运输到东海
4	3.26 ~28	沙尘暴	长距离	蒙古国 内蒙古	科尔沁沙地	科尔沁沙地→辽宁阜新、沈阳→大连入渤海
					内蒙古西部沙漠、黄土高原	河西走廊、内蒙古西部沙漠→宁夏、陕西北部→山西、河南、河北、山东→从大连入渤海,日照入黄海
5	4.3 ~4	扬沙	大范围	内蒙古中部	黄土高原	内蒙古中部、宁夏北部、甘肃东部、黄土高原、北京出现扬沙天气,其中,内蒙古中西部局部出现了沙尘暴
6	4.5 ~7	沙尘暴	长距离	蒙古国	浑善达克沙地、科尔沁沙地	蒙古国入侵→乌兰察布盟、浑善达克沙地→河北北部、北京、天津、辽宁西部→从天津、河北唐山、辽宁葫芦岛入渤海部分沙尘南下,影响到河北大部、山东、江苏北部,从东营、烟台入渤海,从威海、青岛、日照、连云港、江苏射阳入黄海
7	4.8 ~9	沙尘暴	长距离	蒙古国	蒙古国	蒙古国从二连浩特入侵→部分到辽宁西部,从锦州入渤海,部分经乌兰察布盟到京津地区,从天津入渤海
				内蒙古西部	内蒙古西部沙漠、黄土高原	巴丹吉林沙漠→宁夏→陕西北部→山西、河北→从山东日照、连云港入黄海
8	4.12 ~13	沙尘暴	长距离	柴达木	柴达木盆地	青海柴达木盆地、张掖、金昌→宁夏→陕西、河南→从江苏连云港入黄海
9	4.18 ~20	强沙尘暴	长距离	蒙古国内蒙古西部	巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、黄土高原	甘肃金塔、鼎新→腾格里沙漠→宁夏、甘肃兰州→陕西北部、山西西部→陕西南部→四川东部、河南西部、湖北局部
10	4.21 ~22	沙尘暴	大范围	蒙古国内蒙古东部	腾格里沙漠、毛乌素沙地	高空沉降到日本海、朝鲜海峡和东海
11	4.24 ~26	强沙尘暴	长距离	内蒙古西部	巴丹吉林沙漠、毛乌素沙地、黄土高原	内蒙西部沙漠→东移到内蒙中部→河北北部、京津地区,从天津入渤海内蒙西部沙漠→宁夏、陕西北部、山西、河北南部→河南、山东、江苏→从山东青岛、日照,江苏连云港、射阳入黄海,上海入东海
12	4.28 ~29	沙尘暴	大范围	蒙古国	内蒙古西部沙漠	西北、华北西部和北部,黄淮北部,其中甘肃东部、宁夏、内蒙古中部有沙尘暴,内蒙古局部有强沙尘暴

表 2 2001 年主要沙尘来源及移动路径
Table 2 The source and movement routes of sand-dust aerosols in 2001

个 例	起止时间 (月·日 ~日)	过程类型	影响类型	爆发源地	沙尘主要来源	沙尘移动路径和入海途
1	3.2 ~3	扬沙	短距离	蒙古国	浑善达克沙地	二连浩特→浑善达克沙地西部→张家口→北京、天津入渤海
				柴达木	柴达木盆地、 黄土高原	青海的都兰、共和→兰州→西安→河南许昌 →安徽合肥→舟山、宁波入东海
2	3.4 ~6	沙尘暴	长距离	蒙古国	巴丹吉林沙漠、乌兰布和沙漠	甘肃鼎新、金塔→巴丹吉林沙漠、乌兰布和沙漠→呼和浩特→张家口→北京→天津、秦皇岛、东营入渤海
					腾格里沙漠、毛乌素沙地	腾格里沙漠、毛乌素沙地→陕西榆林→山西太原→济南→青岛、日照、连云港入黄海
					黄土高原	青海东部→兰州→西安→河南郑州→江苏射阳入黄海
3	3.13 ~14	扬沙	长距离	内蒙古西部	毛乌素沙地、 黄土高原	内蒙的杭锦旗→陕西的延安、潼关→临汾、焦作→河北邯郸→济南→青岛、日照入黄海 甘肃平凉、西安→郑州、开封→安徽淮南→江苏淮阴、射阳入黄海
4	3.18 ~19	沙尘暴	局地	内蒙古东部	腾格里沙漠、浑善达克沙地西部	内蒙古西北部、甘肃、宁夏等地
5	3.21 ~22	沙尘暴	长距离	蒙古国	浑善达克沙地、毛乌素沙地	二连浩特、苏尼特右旗→浑善达克沙地西部→张家口、承德→北京→部分从天津、东营入渤海，部分到青岛入黄海
					黄土高原	毛乌素沙地→陕西榆林→西安→郑州→山东临沂→日照、连云港、射阳入黄海
6	3.23 ~24	沙尘暴	大范围	蒙古国	巴音彦尔盟、乌兰布和沙漠、黄土高原	内蒙古西部、甘肃东部、宁夏北部、山西中北部、陕西北部 其中，内蒙古中西部部分地区出现沙尘暴，局部出现强沙尘暴
7	3.26	扬沙	局地	甘肃	甘肃金昌	甘肃中西部、宁夏、内蒙古西部沙漠化地区
8	4.3 ~4	沙尘暴	局地	内蒙古西部	塔克拉玛干沙漠的于田、且末等地	南疆盆地、青海北部有扬沙，其中，南疆盆地部分地区出现沙尘暴，局部有强沙尘暴
9	4.5 ~8	强沙尘暴	长距离	蒙古国	巴丹吉林沙漠、乌兰布和沙漠、浑善达克沙地	民勤→巴丹吉林沙漠→腾格里沙漠、乌兰布和沙漠→包头、呼和浩特市→浑善达克沙地→通辽市民勤沿河西走廊→金昌、武威→宁夏的中卫、盐池→榆林、延安→太原
10	4.7 ~10	强沙尘暴	大范围	新疆南部	塔克拉玛干沙漠	塔克拉玛干沙漠西部的喀什→哈密→河西走廊→巴丹吉林沙漠→银川、山西
				内蒙古东部	科尔沁沙地	呼伦贝尔盟→科尔沁沙地→沈阳→部分从大连、营口、秦皇岛入渤海，部分从青岛入黄海
11	4.11 ~12	沙尘暴	局地	新疆南部	塔克拉玛干沙漠	甘肃、青海东部，其中甘肃西部部分地区出现沙尘暴，局部出现强沙尘暴
12	4.17 ~19	扬沙	长距离	蒙古国 新疆南部	浑善达克沙地	二连浩特→锡林郭勒盟→黑龙江、吉林、辽宁三省西部→锦州入渤海
					巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠	巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠→银川→河北石家庄→东营、天津入渤海
					塔克拉玛干沙漠	塔里木盆地→河西走廊→山西、河南
13	4.22 ~23	沙尘暴	大范围	蒙古国	科尔沁沙地	科尔沁沙地→阜新、沈阳→营口入渤海
14	4.27	沙尘暴	局地	蒙古国	二连浩特、苏尼特左旗	内蒙古中部有扬沙，部分地区有沙尘暴
15	4.28 ~30	强沙尘暴	短距离	蒙古国	巴丹吉林沙漠、塔克拉玛干沙漠、黄土高原	额济纳旗→鼎新、金塔→民勤→西安→郑州
16	5.1	沙尘暴	局地	蒙古国	浑善达克沙地	内蒙古、甘肃中西部
17	5.2 ~3	沙尘暴	局地	蒙古国	浑善达克沙地	内蒙古大部、河北北部
18	5.11 ~14	沙尘暴	大范围	蒙古国	巴丹吉林沙漠	额济纳旗→乌拉特后旗→辽宁阜新、沈阳
					科尔沁沙地	苏尼特左旗→科尔沁沙地→锦州入渤海

表 3 2002 年主要沙尘来源及移动路径

Table 3 The source and movement routes of sand-dust aerosols in 2002

个例	起止时间 (月·日 ~日)	过程类型	影响类型	爆发源地	沙尘主要来源	沙尘移动路径和入海途径
1	3.1 ~3	扬沙	局地	内蒙古西部	巴丹吉林沙漠	内蒙古西部部分地区,甘肃河西走廊
2	3.15 ~17	沙尘暴	短距离	蒙古国	浑善达克沙地	二连浩特市、锡林浩特市→浑善达克沙地→部分从张家口市到北京、天津、东营、烟台、威海入渤海,或从青岛入黄海,部分经辽东半岛到锦州、大连入渤海,或经朝鲜半岛从西部入黄海,从东部入日本海,从南部入朝鲜海峡
			长距离		巴丹吉林沙漠	内蒙的额济纳旗→腾格里沙漠→黄土高原→青岛,日照入黄海
3	3.18 ~22	强沙尘暴	长距离	蒙古国	浑善达克沙地	二连浩特、浑善达克沙地西部→四子王旗、张家口→京津地区、山东半岛、辽东半岛入渤海,或从辽东半岛到朝鲜、韩国、日本入黄海
					毛乌素沙地、乌兰布和沙漠	阿拉善盟的中蒙边境、河西走廊→毛乌素沙地、乌兰布和沙漠→呼和浩特、张家口→京津地区、山东半岛、辽东半岛入渤海,或从辽东半岛到朝鲜、韩国、日本入黄海
					黄土高原	哈密、芒崖→河西走廊→银川→黄土高原→京津地区,从天津入渤海,或到山东半岛从烟台等地入渤海,从青岛等地入黄海
4	3.24 ~25	强沙尘暴	短距离	蒙古国	科尔沁沙地	二连浩特→浑善达克沙地北部→科尔沁沙地→从锦州入渤海
5	3.28 ~30	沙尘暴	大范围	内蒙古西部	巴丹吉林沙漠、黄土高原	内蒙古西部,甘肃河西地区,宁夏,陕西,山西南部,河南大部
6	3.30 ~31	沙尘暴	局地	蒙古国	蒙古国	高空沉降进入朝鲜海峡和东海
7	4.1 ~3	沙尘暴	大范围	新疆南部	塔克拉玛干沙漠	南疆盆地南部和东部,甘肃东部,黄土高原,华北平原
			短距离	内蒙古	科尔沁沙地、黄土高原	科尔沁沙地→沈阳→葫芦岛、锦州、营口入渤海,黄土高原→青岛、日照入黄海
8	4.5 ~9	强沙尘暴	短距离	蒙古国	蒙古国、浑善达克沙地和科尔沁沙地	浑善达克沙地→锡林浩特市、张家口→京津地区→部分从天津、辽东半岛、山东半岛入渤海,部分从山东半岛南部入黄海,部分从朝鲜、韩国入黄海
9	4.11	沙尘暴	局地	蒙古国	蒙古国	高空沉降从日照和日本分别进入黄海
10	4.13 ~17	沙尘暴	长距离	蒙古国	南疆沙漠	南疆盆地→河西走廊→兰州、西安→黄土高原
					巴丹吉林沙漠	内蒙的额济纳旗→乌兰布和沙漠→呼和浩特→北京→从营口、东营、烟台、威海入渤海,或从青岛入黄海
11	4.19 ~20	沙尘暴	局地	蒙古国	蒙古国	内蒙古中部偏东地区、辽宁西部
12	4.21 ~24	强沙尘暴	长距离	新疆南部	塔克拉玛干沙漠	南疆盆地→河西走廊→兰州、西安、黄土高原

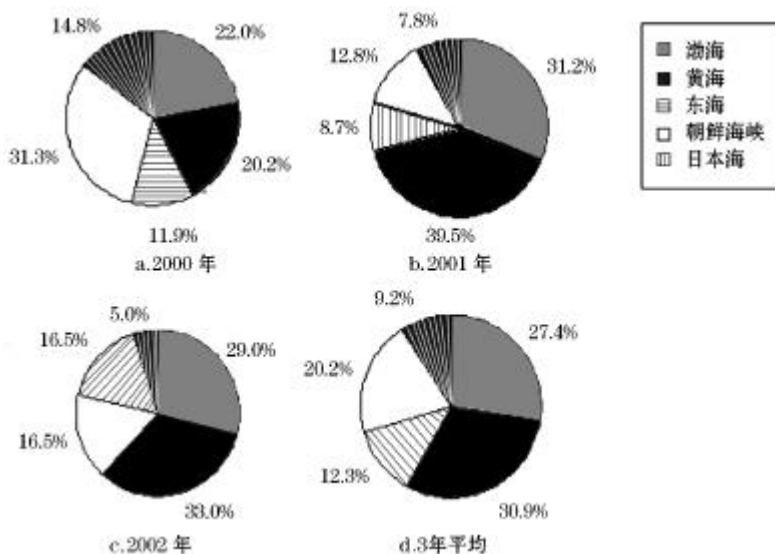


图4 沙尘粒子对不同海域的影响概率

Fig.4 The probability of sand-dust aerosols deposition into different seas

动路径及对海洋的影响,主要结论为:

根据沙尘暴发生源地,可以将其分为境外源型和国内源型。影响我国的沙尘天气有近70%起源于蒙古国的戈壁、沙漠化地区,分别从内蒙古西部的阿拉善盟和东部的锡林郭勒盟入侵我国。30%为国内源型,沙尘粒子来源于内蒙古沙漠化地区的概率超过50%。南疆盆地、青海、内蒙古西部沙地、内蒙古东部沙地、黄土高原等都是沙尘粒子的主要源地。

沙尘粒子的移动路径和入海途径可概括为3条:从内蒙古东部入侵的沙尘天气,经内蒙古东部沙地加强后进入渤海,或从山东半岛南部、朝鲜半岛入黄海,特点是移动较短,发生频率较高;从内蒙古西部入侵的沙尘天气,经内蒙古西部沙地和黄土高原,沙尘粒子经多次加强后影响广大的华北平原,最后进入渤海、黄海和东海,特点是移动距离长,沙尘粒子来源多,影响范围广;从青海东部爆发的沙尘暴经黄土高原加强后,向东南影响长江中下游地区,并进入黄海和东海,特点是发生频率较低,是沙尘粒子入海的最有效的途径。

2000—2002年,有超过一半(63.9%)的沙尘天气会影响到我国东部沿海地区,对各海域的影响概率分别为:渤海27.4%、黄海30.9%、东海12.3%、朝鲜海峡20.2%和日本海9.2%。从蒙古国西部、内蒙古西部沙地、南疆盆地、柴达木盆地等扬起的沙

尘经长距离输送,会影响到渤海、黄海、东海,甚至西北太平洋。从蒙古国东部、内蒙古东部沙化地区扬起的沙尘大部分沉降于渤海,部分会影响黄海和东海,或者影响到日本海和朝鲜海峡。

参考文献(References):

- [1] Yang Shaojin, Yang Yi'nan, Chen Bingru, et al. Characterization of marine aerosol and its sources over the Western Pacific Ocean[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1993, 13, 2: 135-142. [杨绍晋, 杨亦男, 陈冰如, 等. 西太平洋上空气溶胶的来源及其化学特征的研究[J]. 环境科学学报, 1993, 13(2): 135-142.]
- [2] Zhang J, Huang W. W. Potential chemical link between continental wind deposits, marine aerosol and pelagic sediments—An example from Chinese Loess [J]. Deep-sea Research, 1992, 39 (10): 1806-1816.
- [3] Uematsu M, Duce R A, Prospero J M, et al. Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean[J]. Journal of Geophysics Research, 1983, 88: 5343-5352.
- [4] Duce R A, Unnik K, Ray B J, et al. Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: Temporal variability [J]. Science, 1980, 209: 1522-1524.
- [5] Gao Qingxian, Li Lingjun, Zhang Yungang, et al. Studies on the springtime dust storm of China [J]. China Environmental Science, 2000, 20(6): 495-500. [高庆先, 李令军, 张运刚, 等. 我国春季沙尘暴研究[J]. 中国环境科学, 2000, 20(6): 495-500.]
- [6] Liu Yi, Zhou Mingyu. Temporal and spatial characteristics of aerosols over the East China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1999, 21(1): 32-40. [刘毅, 周明煜. 中国近海大气气溶胶的时

- 间和地理分布特征[J]. 海洋学报, 1999, 21(1): 32-40.]
- [7] Gao Huiwang, Zhang Yingjuan, Zhang Kai. Atmospheric inputs of pollutants to the sea and their effects on marine environment and ecosystem[J]. *Advances in Earth Science*, 2002, 17(3): 326-330. [高会旺, 张英娟, 张凯. 大气污染物向海洋的输入及其生态环境效应[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 326-330.]
- [8] Zhang J, Huang W, Liu S M, et al. Transport of particulate heavy metals towards the China Sea: A preliminary study and comparison[J]. *Marine Chemistry*, 1992, 40(3): 161-178.
- [9] Liu C L, Zhang J, Yu Z G, et al. Atmospheric transport of heavy metals to the Yellow sea [A]. In: Hong G H, Zhang J, Park B K, eds. *Health of the Yellow Sea* [C]. Seoul, Korea, 1998.
- [10] Chen Liqi, Wang Zhihong, Yang Xulin, et al. Characteristics of metals in atmosphere over the western Taiwan Strait: Sources and fluxes [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1999, 21(1): 23-31. [陈立奇, 王志红, 杨绪林, 等. 台湾海峡西部海域大气中金属的特征——大气颗粒金属的来源和入海通量[J]. 海洋学报, 1999, 21(1): 23-31.]

SOURCES AND MOVEMENT ROUTES OF SAND-DUST AEROSOLS AND THEIR IMPACT PROBABILITIES ON CHINA SEAS IN 2000-2002

ZHANG Kai^{1,2}, GAO Hui-wang¹, ZHANG Ren-jian², ZHU Yan-jun³, WANG Yue-si²

(1. Laboratory of Environmental Science and Ecology, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the Micaps meteorology data provided by China Meteorological Administration, the source, movement route, influence areas and impact probabilities on different seas were studied for each case. It was shown that about 70% sand-dust storms that influenced China originally came from Mongolia, and were strengthened during their movement in the desert areas of China. There were totally 42 sand-dust storms influencing China and three movement routes from west to east during 2000-2002. Firstly, sand-dust originally occurred in Mongolia intruded into China from the east part of Inner Mongolia, by the way of Hunshandake desert and Horqin desert, and were deposited into the Bohai sea, the Yellow sea, Korea Strait and Japan sea; secondly, sand-dust coming from Mongolia intruded into China from the west of Inner Mongolia, were transported from west to east, and then sunk into the Bohai sea, the Yellow sea, the East China sea, Korea Strait and Japan Sea; and thirdly, sand-dust that occurred in Mongolia and in the northwest of China were transported by the high northwest current and sunk into the Yellow sea, the East China sea and the West Pacific Ocean. There were about 63.9% sand dust weather that might affect China seas by the three different routes. The impact probability on the Bohai sea was 27.4%, the Yellow sea 30.9%, the East China sea 12.3%, Korea Channel 20.2% and Japan sea 9.2%.

Key words: Sand-dust aerosols; Sources; Movement routes; Impact probability; China.