

文章编号: 1007-6301 (2002) 01-0090-05

# 东亚沙尘源地、沙尘输送路径的遥感研究

延 昊<sup>1</sup>, 王长耀<sup>1</sup>, 牛 铮<sup>1</sup>, 张晔萍<sup>2</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所 遥感信息科学开放实验室, 北京 100101;

2. 中国气象局 国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘要:** 东亚沙尘灾害严重影响东亚各国的生态环境, 在源地大量侵蚀表层土壤, 在输送过程中严重污染大气环境质量。此外, 作为气溶胶, 对区域辐射平衡和天气系统产生重大影响。本文利用 SeaWiFS 遥感数据分析了东亚沙尘灾害的源地、沙尘输送路径, 结果显示: 东亚沙尘的三个主要源地是蒙古的戈壁、内蒙古中西部的沙漠戈壁和塔克拉玛干沙漠。沙尘输送路径有北路、中路和南路三条, 北路主要影响中国的东北地区, 中路主要影响中国的华北地区, 南路主要影响中国的华中、华东地区。通过遥感确定沙尘源地和沙尘输送路径对于东亚沙尘灾害的治理有指导意义, 也是对沙尘大气模式的一种检验。

**关键词:** 东亚沙尘灾害; 遥感技术; SeaWiFS 数据

**中图分类号:** X144 **文献标识码:** A

## 1 前言

起源于亚洲干旱、半干旱地区(主要是中国和蒙古的沙漠、戈壁和黄土高原)的沙尘严重影响亚洲地区。在蒙古和西伯利亚冷风的作用下, 沙尘颗粒被抬升至 6 km 高<sup>[1]</sup>, 并被输送到数千公里外的太平洋<sup>[2]</sup>, 有时甚至输送至北美, 长距离输送的沙尘也是深海沉积的重要物质来源<sup>[3]</sup>。作为北半球大气气溶胶的主要成分, 亚洲沙尘对区域辐射平衡和气候变化有显著影响; 作为环境污染物, 严重危害人类健康。沙尘也是生态环境脆弱区治理和开发中关注的问题<sup>[4,5]</sup>。沙尘输送特征的认识对上述领域的研究是关键性的。在气象学中, 将沙尘天气依据气象学的指标分为浮尘、扬沙和沙尘暴三个等级, 扬沙和沙尘暴发生的两个前提条件是强风和地表存在干燥裸露的土质<sup>[6]</sup>。

利用多年气象资料对中国沙尘、沙尘暴已做了许多研究, 杨东贞<sup>[7]</sup>分析了中国西北地区沙尘暴的变化趋势, 邱新法<sup>[8]</sup>研究了中国沙尘暴的时空分布规律和移动路径, 全林生<sup>[9]</sup>探讨了中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因, 但根据气象观测记录确定沙尘的源地和沙尘输送路径存在很大的不确定性。利用 AVHRR 卫星数据对 2000 年春季中国华北地区沙尘天气的沙尘路径、成因和治理对策<sup>[6,10]</sup>也进行了研究, 但是 AVHRR 数据对沙尘不敏感, 沙尘易于与云和下垫面混淆。本文利用较长时间的每日 SeaWiFS 数据, 研究东亚沙尘(包

收稿日期: 2001-12; 修订日期: 2002-01

基金项目: 中国科学院知识创新重大项目(KZCX1-SW-01-02); 中国科学院遥感应用研究所创新项目(CX000016)

作者简介: 延昊(1973-), 男, 中国科学院遥感应用研究所在读博士。现从事全球变化和生态系统的定量遥感研究。E-mail: yanhaon@yahoo.com.cn

括中国)的源地、迁移路径,并分析沙尘的时空分布特征。

## 2 数据

采用的卫星数据是 2000 年 12 月至 2001 年 6 月共 7 个月的每天 SeaWiFS 1、5、6 三个波段的假彩色合成图像,经过轨道拼接(两个轨道之间存在三角型拼接裂缝),形成本文研究中的东亚数据。SeaWiFS 合成图像的一个重要特点是在影象上,黄色的沙尘易于与白色的云区分,也易于与下垫面区分,同时,沙尘影象存在特殊的纹理。此外,其轨道重复周期和空间分辨率也适于沙尘的过程监测。

SeaWiFS 数据的重复周期是 1 天,卫星轨道高度是 705 km 的太阳同步轨道,正午时间过境,空间分辨率为 1.1 km,有 8 个光谱分辨率为 20 nm 宽的通道,主要集中在可见光和近红外波段,见表 1。

表 1 SeaWiFS 的波长范围  
Tab. 1 Band Wavelength of SeaWiFS

波段	1	2	3	4	5	6	7	8
波长/nm	402~ 422	433~ 453	480~ 500	500~ 520	545~ 565	660~ 680	745~ 785	845~ 885

## 3 东亚沙尘研究区概况

在东亚中纬度的干旱和半干旱地区,主要是沙漠、戈壁和黄土高原地区,由于植被稀疏、降水稀少、地表覆盖大量的松散土质,在冬春季大风条件下,经常发生沙尘天气。特别是 2000 和 2001 两年,东亚发生数十次大范围沙尘暴,对东亚各国生态环境影响严重。

在东亚分布有大片的沙漠和戈壁,见图版 3 中的背景图 1(两个轨道之间存在拼接裂缝),位于最北的是蒙古戈壁(海拔在 1 000~ 1 400 m),位于最西的是塔克拉玛干沙漠(海拔在 800~ 1 400 m)和柴达木盆地的沙漠(海拔在 2 600~ 3 400 m),位于中部的是内蒙古中西部的沙漠戈壁,包括阿拉善高原的沙漠(巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和乌兰布和沙漠,海拔在 1 200~ 1 800 m)和毛乌素沙地(海拔在 1 200~ 1 500 m)。

## 4 沙尘过程遥感研究

沙尘过程遥感研究包括源地起尘、沙尘迁移输送和沙尘沉降三部分,并对沙尘影响面积、沙尘浓度和携沙量进行量化。显然,沙尘过程研究的首要内容是确定沙尘源地和输送路径,利用常规气象数据在中国已开展了许多研究,但由于中国的 338 个标准气象观测站在西部分布较稀,位置离沙漠、戈壁中心较远,根据地面气象观测站的沙尘资料准确推定沙尘源地和沙尘输送路径存在一定难度。本文利用 SeaWiFS 数据研究东亚沙尘灾害源地和沙尘输送路径的情况。

### 4.1 沙尘灾害源地分析

沙尘源地分析是指在一次沙尘天气过程中,确定出最初的沙尘起源地。一次严重沙尘天气影响范围广,沙尘移动超过数千公里,沿途也会补充一定的沙尘物质。确定出沙尘源

地对于沙尘防治具有重要意义,也是沙尘气溶胶模型运行的一个主要初始条件。

本文对 SeaWiFS 数据的分析结果表明,长距离输送的、影响严重的东亚沙尘主要起源于东亚的沙漠和戈壁地区,其它地区未见沙尘生成。东亚沙尘的三个主要源地是蒙古的戈壁、内蒙古中西部的沙漠戈壁和塔克拉玛干沙漠。现以三个典型沙尘天气过程对此进行论述:图版 3 图 2 中的 2001 年 4 月 12 日影象与背景图 1 对比,在塔克拉玛干沙漠有明显的沙尘正在生成;图版 4 图 3 中的 2001 年 4 月 17 日影象与图版 3 中背景图 1 对比,在蒙古的戈壁有明显的沙尘正在生成;图版 4 图 4 中的 2001 年 4 月 6 日影象与图版 3 中背景图 1 对比,在蒙古的戈壁和内蒙古中西部的沙漠戈壁有明显的沙尘正在生成,这说明对于受沙尘影响的下风向区域,沙尘颗粒可能来自多个沙源地。

#### 4.2 沙尘灾害移动路径分析

沙尘移动路径是指在一次沙尘过程中,沙尘从源地生成后,在空中随风输送的路径。本文通过对 SeaWiFS 数据进行分析,结果显示:

从蒙古的戈壁生成的沙尘有两条明显移动路径:一条是向东翻过大兴安岭进入中国东北,随后向日本海移动;第二条是向东南进入内蒙古中部,再到华北地区。

从内蒙古中西部的沙漠戈壁生成的沙尘有一条明显移动路径:向东翻过太行山脉进入华北地区,再向朝鲜半岛移动,在内蒙古中西部的沙漠戈壁生成的沙尘;第二条是向东南到关中盆地,翻过中条山,进入华中地区,再到华东地区。从塔克拉玛干沙漠生成的沙尘有一条明显移动路径:从塔克拉玛干沙漠开始,沿河西走廊,到关中盆地,翻过中条山,再向东南到华中、华东地区,再出黄海,见图版 3 图 2 中的 2001 年 4 月 12 日、13 日、14 日和 15 日从塔克拉玛干沙漠生成的沙尘,这条东亚沙尘长距离的移动路径未见报导;另一条是从塔克拉玛干沙漠开始,沿河西走廊,到毛乌素沙地和黄土高原,向东翻过太行山脉进入华北地区。

沙尘起源地不同,其移动路径也不同。即使从同一源地生成的东亚沙尘,由于在移动过程中受不同风向的气流支配,一般存在两条移动路径,一条东向,另一条是东南向。

沙尘移动路径除受风向和高空气流支配外,还受地形影响。源于塔克拉玛干沙漠(海拔在 800~1 400 m)的沙尘,主要是沿河西走廊向东输送,很少翻过祁连山,经过柴达木盆地的沙漠(海拔较高,在 2 600~3 400 m)向东输送。

### 5 东亚沙尘的时空分布特征

对已收集到的 2000 年 12 月至 2001 年 6 月每天 SeaWiFS 合成图像进行研究:分析在沙尘源地是否起尘,在沙尘源地以外是否有沙尘移动,所影响区域,属于那一条沙尘移动路径,并进行统计。

东亚沙尘源地爆发沙尘的日数表 2 反映出:塔克拉玛干沙漠爆发沙尘的日数最高,达 80 天;内蒙古中西部的沙漠戈壁其次,为 19 天;蒙古的戈壁较少,为 13 天。春季是源地爆发沙尘日数最多的季节,4 月份是源地爆发沙尘日数最多的月份。

沙尘从源地生成后,沿不同的沙尘移动路径输送,影响的区域也不同。从沙尘天气影响中国东部的地区差异来看,还可将沙尘移动路径划分成三条:北路、中路和南路。北路主要影响中国的东北地区,沙尘主要来源于蒙古的戈壁。中路主要影响中国的华北地区,沙

尘来源于三个主要沙源地。南路主要影响中国的华中和华东地区, 沙尘来源于塔克拉玛干沙漠和内蒙古中西部的沙漠戈壁。

沙尘影响中国东部地区的日数表 3 反映出: 北路出现沙尘的日数为 19 天, 中路出现沙尘的日数为 20 天, 南路出现沙尘的日数较少, 为 10 天。东北和华北出现沙尘的日数较多, 华东地区也受到一定沙尘天气影响。春季是沙尘从源地发生移动最多的季节, 4 月份是发生严重沙尘移动的月份, 见图版 3 中图 2、图版 4 中图 4。尽管塔克拉玛干沙漠作为沙源地发生沙尘频繁, 但不是所有的沙尘都发生移动, 有时只是原地起尘。

表 2 东亚沙尘源地爆发沙尘的日数

Tab. 2 Days of obvious dust in eastern

日期	Asian dust source		
	蒙古的戈壁	内蒙古中西部的沙漠戈壁	塔克拉玛干沙漠
2000 年 12 月	1	3	2
2001 年 1 月	3	3	7
2001 年 2 月	2	3	7
2001 年 3 月	1	3	16
2001 年 4 月	5	6	26
2001 年 5 月	1	1	13
2001 年 6 月	0	0	9
合计	13	19	80

表 3 沙尘影响中国东部地区的日数

Tab. 3 Days of obvious dust affecting

日期	Eastern China		
	北路	中路	南路
2000 年 12 月	0	0	0
2001 年 1 月	1	1	3
2001 年 2 月	2	2	0
2001 年 3 月	5	8	5
2001 年 4 月	7	6	2
2001 年 5 月	4	3	0
2001 年 6 月	0	0	0
合计	19	20	10

## 6 结论与讨论

(1) 东亚沙尘灾害的三个主要源地是蒙古的戈壁、内蒙古中西部的沙漠戈壁和塔克拉玛干沙漠。从源地生成的东亚沙尘, 由于在移动过程中受不同风向的气流支配, 一般存在两条路径, 一条东向, 另一条是东南向。根据沙尘影响中国东部地区的差异来划分, 沙尘输送路径有北路、中路和南路三条, 北路主要影响中国的东北地区, 中路主要影响中国的华北地区, 南路主要影响中国的华中、华东地区。

(2) 通过遥感观测到的沙尘天气一般都比较严重, 影响面积大, 但要直接判定其对应于气象学上定义的是那一个等级沙尘(沙尘暴、扬沙或浮尘)还存在困难。

(3) 遥感资料的时间较短, 大约 20 年, 利用遥感资料对沙尘天气或沙尘暴的发生趋势进行分析存在困难。但遥感资料对沙尘灾害的严重程度可以做精确的定量描述, 使其在沙尘过程研究和发生趋势分析研究等方面存在巨大潜力。

(4) 由于 SeaWiFS 的重复周期是 1 天, 正午时间过境, 所以正午时间以外(主要是下午和晚上)在沙源地爆发的沙尘是 SeaWiFS 监测不到的。此外, 云下爆发的沙尘和云下移动的沙尘也是 SeaWiFS 监测不到的。因此, 本文统计的在源地爆发沙尘的日数(见表 2)和沙尘影响中国东部地区的日数(见表 3)比实际的偏小。

## 参考文献:

- [1] Iwasaka Y, Yamato M, Inasu R et al Transport of Asian dust (Kosa) particles; importance of weak kosa events on the geochemical cycle of soil particles[J]. *Tellus*, 1988, **40B**: 494-503
- [2] Parrington J R, Zoller W H, A ras N K Asian dust: seasonal transport to the Hawaiian islands[J]. *Science*, 1983, **220**(8): 195-197.
- [3] Gao Y, Arimoto R, Zhou M Y et al Relationships between the dust concentrations over Eastern Asia and the remote North Pacific[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97D**: 9867-9872
- [4] 陈志清, 朱震达 从沙尘暴看西部大开发中生态环境保护的重要性[J]. *地理科学进展*, 2000, **19**(3): 259-265
- [5] 汤奇成, 张捷斌 西北干旱地区水资源与生态环境保护[J]. *地理科学进展*, 2001, **20**(3): 227-233
- [6] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远 等 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. *地理学报*, 2000, **55**(5): 513-521.
- [7] 杨东贞, 房秀梅, 李兴生 我国北方沙尘暴变化趋势的分析[J]. *应用气象学报*, 1998, **9**(3): 352-358
- [8] 邱新法, 曾燕, 缪启龙 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. *地理学报*, 2001, **56**(3): 316-322
- [9] 全林生, 时少英, 朱亚芬 等 中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因[J]. *地理学报*, 2001, **56**(4): 477-485
- [10] 张国平, 张增祥, 赵晓丽 等 2000 年华北沙尘天气遥感研究[J]. *遥感学报*, 2001, **5**(6): 466-471.

## Remote Sensing Study of Tracks and Source Areas of Eastern Asian Dust

YAN Hao<sup>1</sup>, WANG Chang-yao<sup>1</sup>, NIU Zheng<sup>1</sup>, ZHANG Ye-ping<sup>2</sup>

(1.LARSIS, Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences,  
Beijing 100101 China; 2.National Satellite Meteorological Center, CMA, Beijing 100081 China)

**Abstract:** Eastern Asian dust has great influences on ecosystem and atmosphere environment. The remote sensing data of 'true color' SeaWiFS image (7 months' daily data from Dec, 2000 to Jun, 2001) is used to analyze the source areas and tracks as well as temporal-spatial distribution of eastern Asian dust. The result indicates that three main dust sources are Gobi of Mongolia, desert and Gobi of inner Mongolia, and Taklamakan desert. There are three tracks of eastern Asian dust according to difference of affected areas, that is, north track, middle track and south track. And the north track affects the northeastern China, the middle track affects northern China, and the south track affects eastern China.

Based on the statistics of 7 months' daily SeaWiFS data, this paper find that Asian dust occurs most frequently in spring, especially in April. As dust sources, Taklamakan desert has 80 dust days, desert and Gobi of inner Mongolia has 19 dust days, and Gobi of Mongolia has 13 dust days. But not all dust occurred in dust sources moves away to the outside. Moreover, as dust affected areas, northeastern China has 19 dust days, northern China has 20 dust days, and eastern China has 10 dust days.

**Key words:** Asian dust disaster; remote sensing; SeaWiFS data

图版 3

延昊：东亚沙尘源地、沙尘输送路径的遥感研究

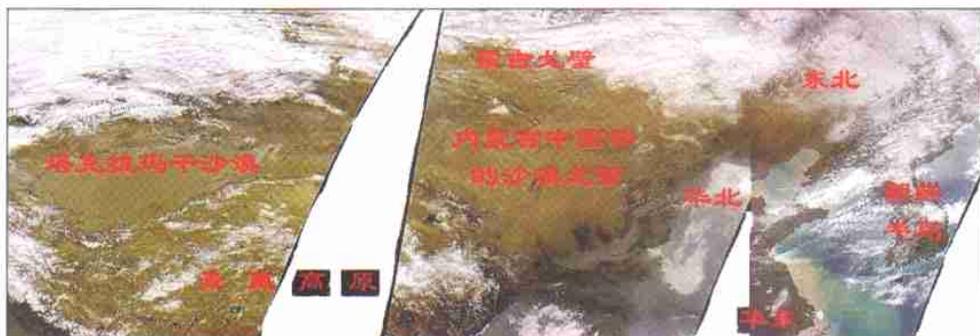


图 1 东亚沙尘背景图

Fig.1 Background of eastern Asian dust

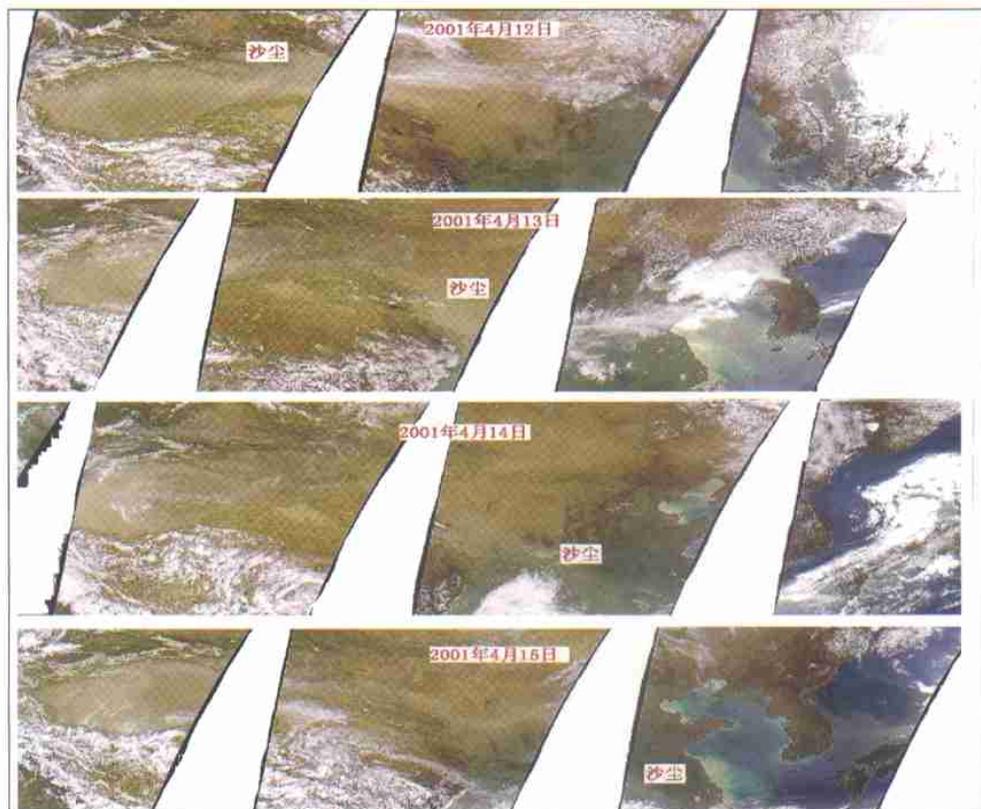


图 2 典型沙尘图 (2000 年 4 月 12~15 日)

Fig.2 Dust case (from 4/12/2001 to 4/15/2001)

图版 4

延昊：东亚沙尘源地、沙尘输送路径的遥感研究

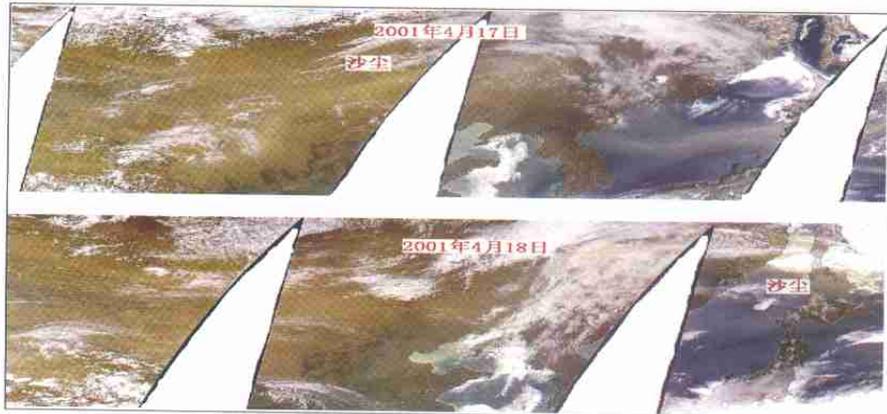


图3 典型沙尘图 (2001年4月17日和18日)  
Fig.3 Dust case (from 4/17/2001 to 4/18/2001)

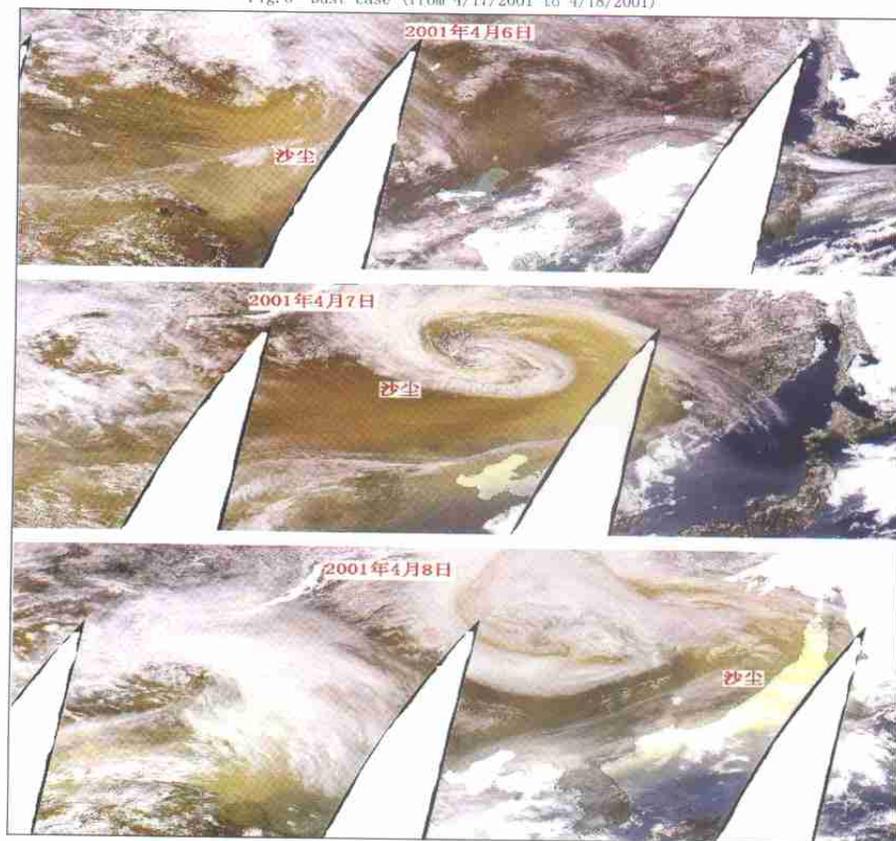


图4 典型沙尘图 (2001年4月6日至8日)  
Fig.4 Dust case (from 4/6/2001 to 4/8/2001)