

文章编号:1000-0534(2001)01-0046-06

930505 特大沙尘暴沙尘在甘肃沉降状况研究

张 宁¹, 倾继祖², 倪 童¹, 赵 红¹, 刘文君¹

(1. 甘肃省环境监测中心站, 甘肃 兰州 730030; 2. 兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘 要:对发生在河西走廊东部的 930505 特大沙尘暴在甘肃省境内的降尘分布、降尘状况、降尘量等进行了研究。并对此次沙尘暴造成的大气环境的污染范围和有关报道的特强沙尘暴天气影响范围作了比较。前者的影响范围为 $35.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 后者为 $7.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。此次特大沙尘暴在甘肃 80.7% 的总土地面积上共尘降沙尘暴降尘 $1245.3 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{月}^{-1}$ 。源地周围大量的工业矿粉等有害物质在此次特大沙尘暴中也被输送出。

关键词:河西走廊东部; 特大沙尘暴降尘; 沉降量

中图分类号: P445⁺.4 **文献标识码:** A

1 引言

1993 年 5 月 5 日发生在甘肃金昌历史上罕见的特大沙尘暴(以下简称“5.5”特大沙尘暴), 给当地人民的生命财产和沿途地区造成了巨大的经济损失。对这一事件人们至今还记忆犹新。气象、沙漠环境保护等学科的科研工作者对此事件, 从沙尘暴的成因、气候分析、预报方法、防灾减灾对策等方面的问题进行了研究^[1~5], 同时也对这一天气现象作了科学的解释和探讨。

沙尘暴的发生发展是特定天气背景和下垫面条件下的产物。“5.5”特大沙尘暴的发生是由于在西西伯利亚强冷空气南下, 经新疆直入甘肃省的河西走廊及附近地区造成的。其发生发展与西风急流异常和孟加拉湾风暴在春季的异常出现有关。大气环流与当地地形地势的相互作用, 对形成这一区域特征很强的大风和沙尘暴起着重要的作用。由源地进入高空的沙(土)尘, 随西风急流东行, 同时也给黄河流域地区造成大范围 and 大量的降尘, 并使大气中的总悬浮微粒(TSP)值上升, 从而加重了这些区域大气中的固态污染物质的污染状况, 影响了大气辐射和大气浑浊度。本文通过“5.5”特大沙尘暴发生当月的大气环境背景值监测资料, 给出此次特大沙尘暴在甘肃境内的沉降量、沉降范围和沙尘的输送距离等。并对沙尘暴造成大气环境污染的有关问题进行了分析和讨论。相信这不仅对沙尘暴本身, 也对陇

东、陇西黄土形成环境的研究有重要意义。

2 930505 特大沙尘暴沙尘在甘肃的沉降状况

2.1 单位面积沙尘的沉降量

如以“5.5”特大沙尘暴发生当月, 全省各地大气背景监测点采集到的大气自然降尘量的实测值(X_i), 与各该测点多年同期的平均降尘量($\bar{X}_i$)进行比较, (注: $\bar{X}_i$ 为去除异常极大值之均值)。二者的差值即为某地单位面积上的沙尘暴降尘量(A_i), 进而可求得各区域和全省单位面积上的沙尘暴平均降尘量(A):

$$A_i = X_i - \bar{X}_i \quad (i = 1, 2, 3 \cdots n).$$

表 1 为全省各点在“5.5”特大沙尘发生月及多年 5 月平均的背景大气降尘实测值等的沉降状况统计结果。根据表 1 全省除兰州、临夏、武都(注: 合作因数据少未统计在内)少数几个测点外, 其余 71.4% 的地区的降尘量都不同程度高于各区的 $\bar{X}_i$ 值。除以上三地区的 $X_i < \bar{X}_i$ 外, 其余各地区的 $X_i >$ 或 $\gg \bar{X}_i$ 。 A_i 值范围为 $3.45 \sim 729.06 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$, 最高值自然是出现在金昌(图 1)。沙尘暴使全省当月的降尘量较常年同期均值明显增加, 单位面积上的沙尘暴降尘均值达到 $50.30 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$ 。根据作者对全省大气背景降尘的区域分类^[6], 此次特大沙尘暴在河西走廊(I 区)单位面积

收稿日期: 1999-11-18; 改回日期: 2000-01-07

基金项目: 甘肃省环保局科研项目(GH95-2)“我国西北地区沙尘暴对甘肃大气背景值的影响及卫星遥感技术的应用研究”成果内容之一

作者简介: 张宁(1953—), 男, 高级工程师, 主要从事大气环境监测、评价等业务工作

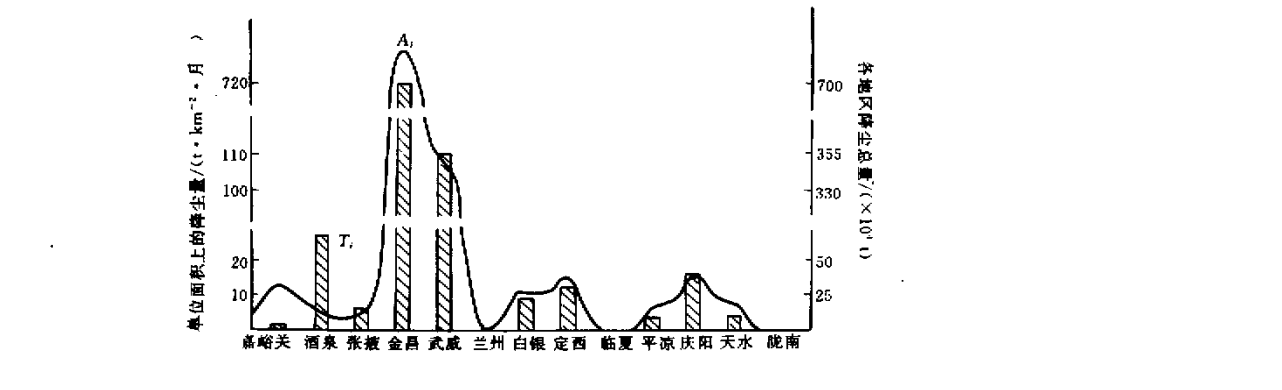


图 1 “5.5”特大沙尘暴在甘肃境内沉降状况
曲线为单位面积上的降尘量，直方柱为各地区降尘总量
Fig. 1 Deposition of “5.5” extraordinarily severe sandstorm in Gansu region

表 1 “5.5”特大沙尘暴沙尘在甘肃各地区沉降状况
Table 1 Deposition of “5.5” extremely severe sandstorm in Gansu region

区域和地区		1993 年 5 月 降尘量 (X_i)	多年 5 月 平均降尘量 ($\bar{X}_i$)	单位面积上 降尘量 (A_i)	$X_i > \bar{X}_i$ 的倍数 (B_i)	各地区沙尘暴 降尘总量 (T_i)
		$/(t \cdot km^{-2} \cdot 月^{-1})$	$/(t \cdot km^{-2} \cdot 月^{-1})$	$/(t \cdot km^{-2} \cdot 月^{-1})$		$/(\times 10^4 t \cdot 月^{-1})$
河西走廊 (Ⅰ区)	嘉峪关	29.76	17.19	12.57	0.73	1.6
	酒泉	27.22	23.77	3.45	0.14	65.9
	张掖	23.36	19.59	3.77	0.19	15.4
	金昌	790.92	61.86	729.06	11.78	699.4
	武威	151.99	44.96	107.03	2.38	355.7
	区域均值 或总量	204.65	33.47	171.18	5.11	1 138.0
陇中 黄土 高原 (Ⅱ-1区)	兰州	13.34	22.09			
	白银	57.29	46.70	10.59	0.23	21.2
	定西	37.83	22.51	15.32	0.68	30.0
	临夏	20.68	21.51			
	区域均值 或总量	32.28	28.20	12.96	0.14	51.2
陇东 黄土 高原 (Ⅱ-2区)	平凉	24.34	17.73	6.61	0.37	7.4
	庆阳	27.26	12.71	14.55	1.14	39.4
	区域均值 或总量	25.80	15.22	10.58	0.69	46.8
陇南山地 (Ⅲ区)	天水	16.96	10.46	6.5	0.62	9.3
	陇南	9.31	10.67			
	区域均值 或总量	13.14	10.56	6.5	0.24	9.3
甘肃境内均值或累计总量*		68.96	21.86	50.30	2.15	1 245.3

* 甘南因数据少未统计
上的沉降量均值为 171.18 $t \cdot km^{-2} \cdot 月^{-1}$ ；陇西黄土高原(Ⅱ-1区)单位面积的沉降量均值为 12.96

$t \cdot km^{-2} \cdot 月^{-1}$; 陇东黄土高原(Ⅱ-2区)单位面积的沉降量均值为 $10.58 t \cdot km^{-2} \cdot 月^{-1}$; 陇南山地(Ⅲ区)由于只有天水测出, 该区单位面积的总沉降量均值为 $6.5 t \cdot km^{-2} \cdot 月^{-1}$ 。由特大沙尘暴源地至本省东南部降尘量的分布趋势看, 是由西北部的源地向东南部迅速减少。即 $A_I \gg A_{I-1} > A_{I-2} > A_{II}$ (表1)。降尘量与输送距离呈反比关系。

如果以 $\bar{X}_i$ 值做为基准, 则 $X_i > \bar{X}_i$ 的倍数(B_i)为:

$$B_i = (X_i - \bar{X}_i) / \bar{X}_i,$$

统计结果 B_i 的范围为 0.14 倍~11.78 倍, 全省降尘量较多年同期平均值上升 2.15 倍(见表1)。由此可见, “5.5”特大沙尘暴对全省的影响是很大的。

2.2 各地区沙尘暴的实际沉降量

由以上各地区单位面积上降尘的沉降量(A_i), 结合所在地区的总土地面积(S_i), 可以估算出各地区“5.5”特大沙尘暴的降尘总量(T_i)和在全省境内的累计沉降总量(T):

$$T_i = (X_i - \bar{X}_i) \cdot S_i = A_i \cdot S_i,$$

$$T = \sum T_I + \sum T_{I-1} + \sum T_{I-2} + \sum T_{II}.$$

由于河西走廊(I区)是本次特大沙尘暴源地的所在区域, 因而沙尘暴降尘的总量较高, $\sum T_I = 1138.0 \times 10^4 t \cdot 月^{-1}$ 。其中在源地金昌共降尘 $699.4 \times 10^4 t \cdot 月^{-1}$, 为该区域和全省最高值。该地的降尘量占全省总量的 56.16% 和全区域总量的 61.45%。陇西黄土高原区域内降尘总量为 $\sum T_{I-1} = 51.2 \times 10^4 t \cdot 月^{-1}$; 陇东黄土高原区域内降尘总量为 $\sum T_{I-2} = 46.8 \times 10^4 t \cdot 月^{-1}$; 陇南山地区域内降尘总量为 $\sum T_{II} = 9.3 \times 10^4 t \cdot 月^{-1}$ 。“5.5”特大沙尘暴降尘对全省的大气环境造成了严重的污染。全省境内 80.7% 的总土地面积上共接受沙尘暴降尘 $1245.3 \times 10^4 t \cdot 月^{-1}$ 。

由沙尘暴降尘量的地域分布看, 占全省总量 91.38% 的沙尘都沉降在河西走廊区域。其中金昌和武威分别占 56.16% 和 28.56%, 两地累计占全省总量的 84.72%。由此可推断, 大量的大颗粒沙尘主要沉降在源地及近下游地区, 而远离源地地区的降尘量明显降低。沙尘暴降尘量在全省的分布, 基本呈源地中心向冷锋前移方向二侧地区扩散状。

2.3 沙尘暴降尘的构成和粒度特征

“5.5”特大沙尘暴在金昌发生后几乎是直接向

东经腾格里沙漠而进入宁夏明显减弱的。兰州在此次沙尘暴中因位于大气动力和热力条件大为减弱的南边缘地带。因而对兰州市区的影响并不十分明显, 对位于兰州盆地以外的降尘背景点榆中的影响就更小, 所以该点的实测降尘量并未超过多年 5 月的均值。

金昌特大沙尘暴发生的当天, 当冷锋在兰州过境时, 戴雪荣等^[7]在城区曾采集了沙尘沉积物样品, 沙尘粒度分析结果表明, 粉砂($50 \sim 5 \mu m$)占 79.15%, 粘土($<5 \mu m$)占 20.77%, 极细砂($>50 \mu m$)仅占 0.08%。平均直径 $6.444 \mu m$ 。这与作者^[8]对 1994 年 4 月 6~8 日源于新疆若羌、和田的沙尘暴在兰州沉降物的粒度分析结果有相近之处。那次沙尘暴的沉降物粒径 $<15 \mu m$ 的粒子累计占 83.6%, 平均直径 $3.85 \mu m$, 中位直径 $7.83 \mu m$ 。其平均直径偏小可能与输送的距离远有关。陈国英等^[9]对以上样品中的重矿物共鉴定 27 种, 并与兰州马兰黄土相比, 结果认为该沉积物中重矿物含量高, 尤其是较稳定重矿物和极稳定矿物的含量的。此特征似乎与中科院兰州沙漠所和国家林业部沙尘暴科学考察组调查中发现的问题有关^[10]。即在金昌市金川公司 $30 km^2$ 的尾矿坝(选矿排泄区)内, 有沉积的金属矿物粉末厚达数米, 在“5.5”特大沙尘暴中风蚀深度平均达 10 cm, 也就是说向大气层中输入有害金属矿末 $30 \times 10^4 m^3$; 永昌电厂的储灰场, 在此次特大沙尘暴中被风蚀深度平均在 50 cm, 它也向大气层中输入了 $16.5 \times 10^4 m^3$ 的灰量。由此可见, 沙尘暴不光是通过西风急流向下游输送沙尘, 同时还会向下游地区输送一些有害物质, 它不仅会危害人体健康, 也会危害土壤和农作物, 并对其造成潜在和长期的影响。

3 沙尘暴天气的影响范围和沉降污染范围

由西部南下的强冷空气进入甘肃后, 自西向东沿着 1 000 km 的河西走廊向前推进。由于遇到了祁连山脉等特殊地形的扰动和河西走廊的狭管效应, 从而使这一地区的风力在冷空气入侵时明显增大。冷空气前锋到达金昌时风速已达到 $34 m \cdot s^{-1}$ 。特大沙尘暴自进入宁夏中卫、平罗一线后, 才逐渐减弱成冷锋大风天气。从灾害性天气的角度来看, 此次特大沙尘暴影响到的主要省、区有甘肃、宁夏和内蒙。对这些地区地面的直接和肆虐性的破坏历时约 4 h。根据气象部门专家的研究结果^[1, 3], 我们认

为“5.5”特大沙尘暴天气的影响范围为：西起金昌、永昌与山丹、民乐之间，东沿黄河干流在

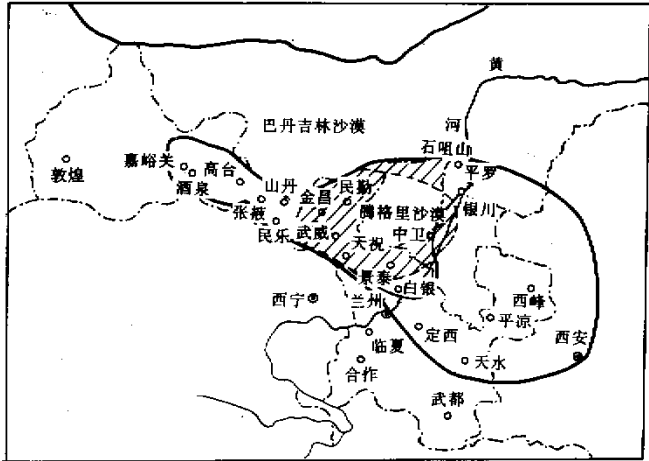


图 2 “5.5”特大沙尘暴天气的影响范围(图中虚线部分)和大气环境污染涉及影响的范围(图中实线部分)

Fig. 2 Weather effect range of “5.5” extremely severe sandstorm(dashed line) and air pollution range and its effect range(solid line)

白银、兴仁、中卫、平罗一线，南沿祁连山北麓，北面接近巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠交界处中泉子、锡林高勒、石嘴山一带。东西最长约 368 km，南北最大跨度 328 km，面积约 7×10^4 km²。图 2 是根据以上气象资料构画出的“5.5”特大沙尘暴天气影响范围(图中虚线区域)。

表 2 河西走廊及以东地区“5.5”沙尘暴沉降量和过境时风速

Table 2 Deposition and the windspeed of “5.5” sandstorm in Hexizoulang and its east of the region			
区域	测点	沙尘暴在单位面积上的 沉降量/(t·km ⁻² ·月 ⁻¹)	过境风速 /(m·s ⁻¹)
上游大风区	张掖	3.77	23
沙尘暴区	金昌	729.06	34
	武威	107.03	22
下游大风区	白银	10.59	29
	平凉	6.61	

“5.5”特大沙尘暴对源地及周围地区所造成的生命财产、农林牧业、电力通讯、公路铁路交通运输等损失情况，新闻媒介和有关的研究报告都有报道(表 2)。沙尘暴到来时，10~12 级的大风将地表的沙(土)尘吹起，并被卷入高空，这些细沙(土)尘在接踵而来的冷空气和上升气流的推动下再次升空，而形成大片的黄沙云。郑新江等^[3]利用气象卫

星提供的资料，对“5.5”特大沙尘暴云图特征进行了分析，认为沙尘暴的影响高度在 2 100 m 左右。由此可以推断，进入这一高度的大量沙(土)尘颗粒，在西风急流的作用下被输送到下风方很远的地区。当风速下降时，一部分沙尘以重力沉降形式降落在异地。由于多数的沙尘暴(即冷锋)过后，都伴随着不同程度的降水过程，也就是生活在北方的人们常说的泥雨。因而大多数沙(土)尘是通过湿沉降形式降落到地表的。每当沙尘暴产生时就有大量的沙(土)尘微粒悬浮于大气中，会使大气环境质量严重恶化。混浊的空气使人们呼吸困难，严重影响人们的身体健康。由于空气混浊使能见度降低，因此会造成交通堵塞飞机停飞和机场关闭。

被送入高空沙尘的传输路线与地面上沙尘暴的移动路线往往是不相同的。如果以前面给出的全省大气环境背景点的降尘资料作图，所推断出“5.5”特大沙尘暴造成的大气污染范围(见图 2 中实线部分)，要远比沙尘暴天气的影响范围大。

大气中细小微粒对人体健康的危害，远远大于粗微粒，这是人们所共知的。沙尘暴中被输送到远地的沙尘常以细粒为主。从环境保护的角度看，细粒对这些地区大气环境和人体健康的危害可能更大，因而也是不可低估的。

由实测降尘量 X_i 及 A_i 值看，其分布区域要比气象部门观测到的更大一些。由于暂未得到邻近省、

区同期的相关资料,尚不知“5.5”特大沙尘暴对这些地区造成影响的状况和具体的量。此次特大沙尘暴在甘肃实际影响和污染的面积约 $35.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。占全省地区总数的 71.4%, 占全省面积的 80.7%。沙尘暴后在全省境内共沉降约 $1\,245.3 \times 10^4 \text{ t}$ 的沙(土)尘。降尘量在全省的分布状况是以金昌为中心区,并向两侧各地逐渐减少分布。并在定西和庆阳西峰各有一个小的峰值区(见图 1)。如果以金昌为沙尘输送的起点,则至本省最远点西峰的空距约为 580 km。比来自新疆、青海等地发生沙尘暴、沙尘的输送距离要短的多^[11],但所沉降的尘量要多一些。通过以上分析可以看出,“5.5”特大沙尘暴的沙尘输送量大,沙尘暴沉降物的分布区域,除河西走廊外主要集中在陇东、陇西黄土高原和黄河流域上、中游一带。被送到甘肃以外或更远区域的沙尘的量会明显少于以上区域。

4 结论

“5.5”特大沙尘暴天气,影响到的省区有甘肃、宁夏和内蒙。全过程历时 5 h,其中对地面的直接破坏时间约 4 h。发生特大沙尘暴期间,甘肃各大气降尘背景点单位面积的总沉降量,较多年同期平均降尘量上升了 0.14 倍~11.78 倍不等。这期间的沙尘暴降尘量在全省累计达到 $1\,245.3 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{月}^{-1}$ 。沙尘暴中心的金昌沙尘沉降量达 $699.4 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{月}^{-1}$ 。此次沙尘暴降尘影响的面积大、范围广是近年来少有的。占全省总土地面积 80.7%的地域大气环境都不同程度地受到了污染。由污染浓度分布状况看,沙尘暴中心向冷锋前移方向两侧地区呈扩散状。除河西走廊外,陇东、陇西黄土高原和黄河流域上、中游一带是“5.5”特大沙尘暴降尘的主要沉降区域。

根据实测沙尘暴降尘量的结果和地区分布,可以这样认为,沙尘暴的发生源地及近下游地区是较大粒径(较大质量)沙(土)尘的主要沉降区,而较小粒径的沙(土)尘则被输送到了几百至上千公里以外

的地区。

通过以上讨论,我们认为,此次特大沙尘暴所造成的大气降尘污染范围,要比所报道的天气影响的范围大得多。从气象角度看,天气影响的范围约为 $7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。而沙尘暴对大气环境影响和污染的实际范围在甘肃境内就已达 $35.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,二者相差 4 倍之多。此次特大沙尘暴在甘肃境内 80.7% 的总土地面积上,共沉降沙尘暴降尘 $1\,245.3 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{月}^{-1}$ 。其中在河西走廊沉降 $1\,138.0 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{月}^{-1}$,在陇西黄土高原沉降 $51.2 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{月}^{-1}$,在陇东黄土高原沉降 $46.8 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{月}^{-1}$,在陇南山地沉降 $9.3 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{月}^{-1}$ 。由此可见,沙尘暴发生后会造成对大范围大气及地面环境的影响和污染,对这一问题必须引起我们的重视。

参考文献

- [1] 陈敏连,郭清台,徐建芬等.黑风暴天气的研究和探讨[J].甘肃气象,1993,11(3):16—27
- [2] 王式功,杨德保,金炯等.我国西北地区黑风暴的成因和对策[J].中国沙漠,1995,15(1):19—30
- [3] 郑新江,刘诚,赵亚民等.“5.5”沙尘暴天气的云图特征[J].甘肃气象,1993,11(3):32—34
- [4] 魏丽,沈志宝.大气沙尘辐射特性的卫星观测[J].高原气象,1998,17(4):347—355
- [5] 马晓燕,邱传涛.张掖地区的大气浑浊度[J].高原气象,1993,12(2):180—185
- [6] 张宁,康颖琦,刘晓文.甘肃大气自然降尘背景值调查和研究[J].甘肃环境研究与监测,1998,(3)
- [7] 戴雪荣,师育新,薛滨.兰州现代特大沙尘暴沉积物粒度特征及其意义[J].兰州大学学报(自然科学版),1995,31(4):168—174
- [8] 张宁,牛耘,李春生.兰州市大气降尘沉降物的粒度分布特征研究[J].干旱环境监测,1998,12(1):15—31
- [9] 陈国英,戴雪荣,张铭杰.兰州“930505”特大沙尘暴沉积物重矿物研究.中国沙漠,1995,15(4):374—377
- [10] 杨根生,王一谋,赵兴梁.我国西北地区“5.5”强沙尘暴的危害状况与对策[J].甘肃气象,1993,11(3):43—48
- [11] 张宁,黄维,陆荫等.沙尘暴降尘在甘肃的沉降状况研究[J].中国沙漠,1998,18(1):32—37

Research of Dust Depositions of 930505 Extremely Severe Sandstorm in Gansu

ZHANG Ning¹, QING Ji zu², NI Tong¹, ZHAO Hong¹, LIU Weng jun¹

(1. Gansu Environmental Monitoring Central Station, Lanzhou 730000, China; 2. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Research and analysis were carried out of the deposition distribution and amount of the 930505 extremely severe sandstorm occurred at Jinchang, east Gansu corridor. The main results are as follows; (1) The dust deposition of the sandstorm covers 80.7 percentage of the total area of Gansu Province. The total amount of dust deposition in Gansu Province is estimated to have reached $1.2453 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ with the maximum value of $699.4 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{mon}^{-1}$ in Jinchang area. (2) The active duststorm weather region is about $7.0 \times 10^4 \text{ km}^2$, but the area in which the atmospheric environment was severely degraded is much more larger and reached $35.5 \times 10^4 \text{ km}^2$.

Key words: East Gansu corridor; Deposition of the extremely severe sandstorm; Amount of deposition