

文章编号:1006-7639(2003)-04-0018-05

河西走廊沙尘暴特征及气候成因分析

张存杰¹, 汤绪², 李耀辉¹

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国气象局科技发展司, 北京 100081)

摘要: 本文主要分析了河西走廊春季沙尘暴多发的原因, 指出河西走廊所处的特殊的地理位置和独特的地形地貌以及干旱少雨的气候背景是沙尘暴频繁发生的主要原因。河西走廊的沙尘暴过程次数自 1955 年以来总体呈减少趋势, 上世纪 70 年代最多, 90 年代最少。研究发现, 河西走廊沙尘暴发生与东亚冬季风的强弱有直接关系, 并且与前期秋、冬季赤道中东太平洋海温关系密切, 海温偏高时, 东亚冬季风较弱, 河西走廊发生的沙尘暴较少, 海温偏低时, 东亚冬季风较强, 河西走廊春季容易发生沙尘暴。

关键词: 河西走廊; 沙尘暴特征; 气候成因

中图分类号: P425.5

文献标识码: A

沙尘暴也称为沙暴或尘暴, 是指强风将地面尘沙吹起, 使空气混浊, 水平能见度 < 1km 的天气现象。将同时满足风速 20m/s 、能见度 200m 的沙尘暴称为强沙尘暴; 同时满足风速 25m/s 、能见度 50m 的沙尘暴称为特强沙尘暴, 也称为“黑风”。

沙尘暴不但干扰和影响人们的正常生活, 而且对社会经济和环境造成一定程度的危害。强沙尘暴和特强沙尘暴不仅具有很大风速, 而且往往携带大量沙砾, 狂风能够刮断电杆, 刮翻车辆, 毁坏房屋, 破坏各种工农业设施, 造成人畜伤亡。1993 年 5 月 5 日发生在我国西北地区的特大沙尘暴, 使新疆、甘肃、内蒙古、宁夏四省(区)共死亡 85 人, 伤 264 人, 失踪 31 人, 死亡和丢失牲畜 12 万头, 农田受灾面积 $37 \times 10^4 \text{hm}^2$, 受灾果树面积 $2 \times 10^4 \text{hm}^2$, 刮断电线杆 6 021 根, 铁路因埋沙中断运输, 间接经济损失 7.25 亿元, 对生态的破坏及社会影响难以估计。沙尘暴来临时, 在狂风的驱动下, 以排山倒海之势向前移动, 当它碰上障碍物或风力减弱时大量沙尘落下, 造成农田、渠道、村舍、公路、铁路、草场被流沙大量掩埋, 对交通运输造成严重威胁。尘源区和影响区都会受到不同程度风蚀危害, 风蚀最大的是农田和农作物, 风蚀深度可达 10cm。在沙尘暴源区和影响区, 大气可吸入颗粒物增加, 大气污染加重。以“5.

5”特大沙尘暴为例, 甘肃省金昌市室外空气 TSP 达 $1\ 016\text{mg}/\text{m}^3$, 室内达 $80\text{mg}/\text{m}^3$, 超过国家标准 40 倍。频繁发生的沙尘暴, 对处于下游的广大地区是一个严重的污染源。2000 年 3~4 月, 西北地区发生多次沙尘暴, 北京地区受其影响, 有 10d 空气污染指数达到 4 级以上, 同时影响到我国东部许多城市。

沙尘暴天气是在特定地理环境和下垫面条件下, 由特定的大尺度环流背景和天气系统所诱发的一种灾害性天气。主要发生在沙漠及其邻近的干旱、半干旱地区。包括内蒙古在内的我国西北地区都是干旱半干旱地区, 自然环境恶劣, 是我国沙尘暴的多发区。河西走廊是我国沙尘暴的源地和频发区之一。河西走廊处于塔克拉玛干、巴丹吉林、腾格里等沙漠戈壁包围之中, 自然形成的沙土源非常丰富; 特别是春季, 降水稀少, 气候干燥, 干土层厚, 植被尚未形成, 地表裸露, 加之冷空气活动频繁, 导致了沙尘暴的频繁发生。

1 沙尘暴的空间分布特征

目前对我国沙尘暴空间分布的研究因出发点和资料不同, 其分布略有差异。王式功等^[1]根据沙漠化的分布特点等因素确定出了我国沙尘暴分布的范围。我国现代沙漠化土地面积达 $37 \times 10^4 \text{hm}^2$, 大致

收稿日期: 2003-12-19; 改回日期: 2003-12-29

基金项目: 国家科技部社会公益研究项目“西北干旱沙尘暴预警、服务系统研究”(2000DIA10031) 资助。

作者简介: 张存杰(1966-), 男, 甘肃靖远人, 副研究员, 在职博士研究生, 现从事干旱气候规律及预测研究。

分布在从东北经华北到西北的一条弧形地带,属于世界主要沙尘暴区—中亚沙尘暴区的一部分。在空间上主要集中在 2 大区域:一个是位于塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠,在其西南部又划分出两个中心,即从麦盖提经巴楚至柯坪为一中心,从莎车经和田到且末为另一个中心区;另一沙尘暴多发区是从巴丹吉林沙漠东南部至甘肃河西走廊,经腾格里沙漠、乌兰布和沙漠,到库布齐沙地和毛乌素沙地,这个区域是西北地区涉及范围最大的沙尘暴多发区。周自江等^[2]研究了我国北方干旱、半干旱地区近 47a 的扬沙和沙尘暴天气资料,通过统计提出我国沙尘暴发生的高频区集中在塔里木盆地和阿拉善、河西走廊东北部两个地区及邻近地区。钱正安等^[3]根据现代沙尘暴资料分析,发现西北有 3 个强沙尘暴高频地区:甘肃北部至内蒙中部、宁夏(中心是民勤),新疆东部至甘肃北部(中心是和田),新疆吐鲁番盆地(中心是吐鲁番)。王涛^[4]从沙尘暴发生的频率、强度、沙尘物质的组成与分布并结合区域环境背景,如生态现状、土壤水分含量、水土利用方式和强度等方面作了较为系统的研究,提出我国北方沙尘暴中心和源区主要有 4 个:甘肃河西走廊及内蒙古阿拉善盟,南疆塔克拉玛干沙漠周边地区,内蒙古阴山北坡及浑善达克沙地毗邻地区,蒙、陕、宁长城沿线。

综合以上观点,可以看出我国北方沙尘暴主要分布在干旱、半干旱区的沙漠、严重荒漠化土地分布区及边缘地区。强沙尘暴源区主要分布在两大地区:一是塔克拉玛干沙漠周边地区(从柯坪经巴楚、麦盖提到莎车,再经叶城、和田到且末的弧形地带),以和田为中心;二是巴丹吉林沙漠经甘肃北部到腾格里沙漠,经乌兰布和沙漠到毛乌素沙地,以民勤为中心。沙尘暴发生较强的局部源区还有吐鲁番盆地、阴山北坡、浑善达克沙地及其周围等地区。因此沙源区成片分布,面积广阔,一旦发生沙尘暴,会影响我国西北地区东部、华北北部、东北西南部等甚至更广的地区。

我们利用西北地区 128 个气象站 1954~2002 年的资料,分析了西北地区沙尘暴空间分布情况(图 1)。由于受下垫面状况、地形以及冷空气移动路径的影响,西北地区沙尘暴主要发生在塔克拉玛干沙漠、巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠及其附近地区,每年平均发生 10 次以上。西北地区沙尘暴高频区有两个:一个在甘肃河西走廊东部和内蒙古阿拉善地区,中心在民勤地区;另一个在南疆盆地南缘和田地区。

高频区沙尘暴年平均日数达 20d 以上,局部接近或超过 30d,如新疆民丰 36d、柯坪 31d、甘肃民勤 30d 等。

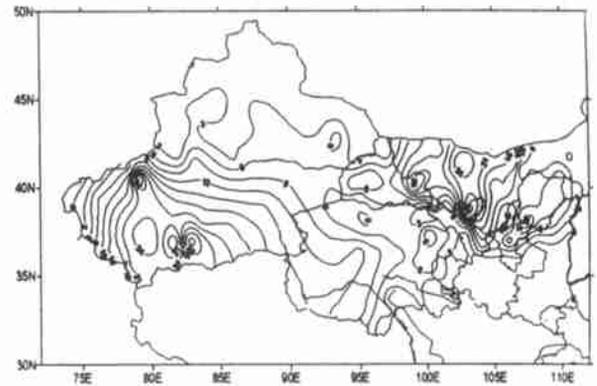


图 1 我国西北地区沙尘暴年总日数的分布
(1954~2002 年平均值)

Fig. 1 The distribution of annual mean sandstorm in Northwest China (1954~2002)

2 沙尘暴时间变化特征

对于沙尘暴发生频次的年际变化趋势的研究,周自江等^[2]认为近 47a 来,青海、内蒙古和新疆的小部分地区的沙尘暴呈增长趋势外,我国北方大部分地区的沙尘暴在减少,如甘肃民勤与新疆和田两个强沙尘暴多发区,20 世纪 80 和 90 年代的强沙尘暴明显少于 50 和 70 年代;2000 年华北和西北东部部分地区的沙尘暴多于 90 年代平均值,但绝大部分地区仍明显少于常年平均值。钱正安等^[3]研究表明:近 50a 来中国沙尘暴频数变化的特点是,20 世纪 60~70 年代波动上升,80~90 年代波动减少,2000 年后又急剧上升,未来可能将进入新一轮沙尘暴活动的活跃期。

我们根据沙尘暴的影响范围、持续时间以及强度给出了区域沙尘暴过程的标准,并对 1955 年以来的沙尘暴过程进行了划分。分析发现,河西走廊地区沙尘暴过程次数自 1955 年以来总体呈减少趋势,50 年代后期沙尘暴过程较多,60 年代减少,特别是 1961 年和 1967 年只有 12 次和 13 次区域沙尘暴过程。60 年代后期至 70 年代初为上升时期,70 年代沙尘暴发生较为频繁,其中 1971 年和 1973 年分别发生 40 次和 35 次过程,1972 年出现了 4 次特强沙尘暴过程。从 70 年代后期和 80 年代初开始,区域性沙尘暴过程次数处于下降趋势中,90 年代发生的过程很少,特别是 1997 年只发生了 1 次区域性一般

沙尘暴过程,为有记录以来最少年。1998年至2001年又处于上升趋势之中,特别是2001年发生了2次特强过程和9次一般过程。图2为1954~2000年河西走廊沙尘暴年发生次数随时间变化曲线及趋势。

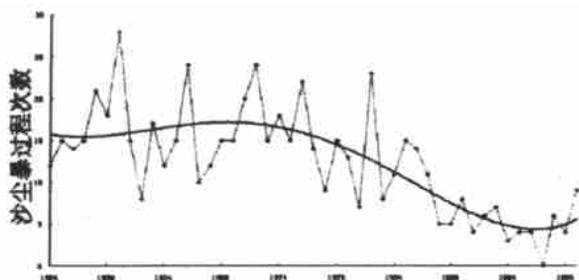


图2 河西走廊沙尘暴年发生次数随时间变化

Fig. 2 Evolution trend of annual mean sandstorm in Hexi corridor

沙尘暴的空间和强度变化分布呈现明显的季节性。1a中3、4和5月沙尘暴发生次数偏高,尤其以4月份沙尘暴发生次数为全年最高。5月以后沙尘暴发生次数急剧下降,9月和10月为最低。沙尘暴发生的季节主要集中在春季,这是因为这一季节是我国北方地区冷空气活动的频繁季节,主要受到蒙古气旋、东北气旋和黄河气旋的影响,这为沙尘暴的发生创造了有利的动力条件;同时由于春季太阳辐射加强,近地层气温上升迅速,冷空气侵入时容易形成对流不稳定天气;另一方面,由冬季到春季,我国北方大部分地区气候干燥、少雨,地表植被覆盖度低,下垫面裸露,春季到来地面温度回升快,使得裸露的沙土结构逐渐变得松散,一旦有较强的天气系统活动就很容易产生沙尘暴。夏季雨水相应增多,风力减弱,下垫植被覆盖率增高,沙尘暴发生的机率也随之减小。秋季沙尘暴发生频率为全年最低。冬季虽然冷空气活动频繁,但是地面接受的太阳辐射较少,地面对大气的加热作用减弱,近地层空气比较稳定,所以冬季沙尘暴发生的次数也较少。

沙尘暴的发生时间也具有明显的日变化。在一天内,沙尘暴的发生时间大多集中在中午至傍晚,夜间至正午前相对较少,主要原因是与近地层空气热力稳定性的日变化有关。实际资料分析发现,河西走廊每次沙尘暴发生前都出现持续3~4d的回暖升温天气,午后地面温度高达30~40℃,即春季每天午后,河西地区最易产生不稳定气层,遇有冷空气入侵,常常产生干对流,引起沙尘暴发生。

3 沙尘暴的移动路径

沙尘暴移动路径是指经常爆发强沙尘暴或强沙尘暴中心经常过境的地区。众所周知,强风、沙源、热不稳定条件是沙尘暴形成的原因,三者缺一不可,并且在发展过程中也主要是这三个条件的合力作用。因此,从某种意义上讲,沙尘暴的形成机理也是路径形成的机理。

根据天气图分析,西伯利亚地区常是冬春季冷空气的大本营,是入侵我国冷空气的源地。这些冷空气常随其源地不同,而取不同的路径入侵我国(图3)。有时,冷空气源地在西西伯利亚和蒙古一带,则冷空气主力从北疆侵入我国,然后经蒙古西部吹向巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠,容易造成青藏高原东部大部分地方出现沙尘天气,这是西北路入侵;有时,冷空气偏西在中亚地区,冷空气主力先翻越帕米尔高原侵入我国,经南疆盆地,再经敦煌、安西并沿河西走廊东行,这是西路冷空气入侵;若冷空气源地偏北偏东,则冷空气从北面入境,从内蒙中部南下,形成北路入侵,可影响西北地区东部和华北北部地区。这三路冷空气路径中西北路占大多数,西路次之,北路最少。值得注意的是河西走廊地区既是西北路也是西路冷空气入侵的必经之路。各气象站资料表明春季河西地区主要刮西北风或偏北风,正好和冷空气的流向一致,而且春季的风速在四季中最大。

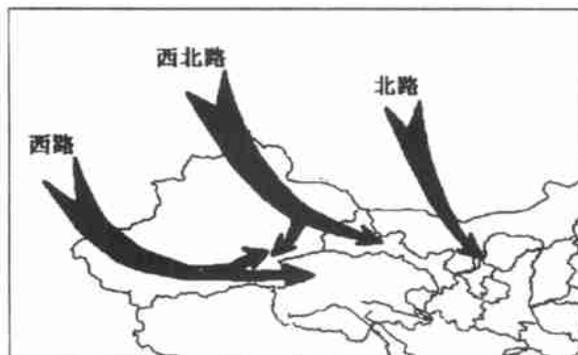


图3 造成西北地区沙尘暴的冷空气移动路径

Fig. 3 Moving paths of cold air arousing the sandstorm of Northwest China

河西走廊地处青藏高原北侧和东北侧边坡地带,南面有高耸的昆仑山、阿尔金山、祁连山,冷空气入侵时常积聚在低层,除能穿过个别山口地区外,常难以直接翻越3km以上的山脉,所以山脉成了阻挡冷空气的天然屏障。河西走廊为南北群山相夹的狭长走廊平原,东西长约1000km,南北宽数10km。

走廊平原又被山地分割为 3 个小盆地,南面有祁连山(平均高度 3~4km)及阿尔金山等山脉的屏障,北面有马鬃山、龙首山、合黎山、雅布赖山等山地的阻挡作用,常常形成气流的“狭管效应”,使风力明显增加。此外,河西走廊东、北、西三面被腾格里、巴丹吉林和库姆塔格三大沙漠包围,境内还分布着 12 万 km^2 的戈壁和沙地,沙物质相当丰富。加之春季多干旱少雨,地表十分干燥,地面沙尘容易被大风卷入空中。所以,河西走廊是我国沙尘暴的主要路径和源地。

4 沙尘暴与东亚冬季风的关系

沙尘暴的发生与高空冷空气的侵入有很大的关系,而东亚季风的变化直接影响到冷空气的强弱。利用东亚冬季风指数与河西走廊春季沙尘暴次数求相关,发现东亚冬季风强时河西走廊春季沙尘暴发生次数往往偏多,个别月份的相关系数超过了 0.01 的信度检验,如前一年 11 月的季风指数与民勤春季的沙尘暴次数相关系数达到 0.5,当年 1 月的达到 0.33。图 4 为东亚冬季风指数与河西走廊春季沙尘

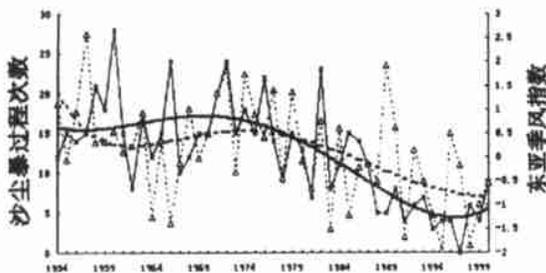


图 4 东亚冬季风指数(虚线)与河西走廊春季沙尘暴过程次数(实线)变化曲线

Fig. 4 Evolution trend and fitting of winter monsoon in East Asia (broken line) and spring sandstorm in Hexi corridor (real line)

暴过程次数变化曲线,从大的时间尺度可以分为两个时期,上世纪 50 年代后期到 80 年代以前东亚冬季风较强,春季沙尘暴发生次数较多,80 年代以后冬季风逐渐变弱,而沙尘暴发生次数也呈下降趋势。小的尺度可以分为 4 个时期,50 年代后期到 60 年代初,60 年代,70 年代和 80 年代初期,80 年代中期以后,强的冬季风对应沙尘暴多发时期,弱的冬季风对应沙尘暴较少时期,尤其 90 年代以来冬季风持续偏弱,而春季发生的沙尘暴次数明显偏少。

由于青藏高原地形的影响以及海洋和大陆热力性质的差异,冬季不断有冷空气从西西伯利亚经西

北地区吹向我国东南沿海,西北地区上空冬季盛行干冷的西北气流,这就是东亚冬季风的活动。从高空环流形势来看,强冬季风年,冬季欧亚 500hPa 距平场为北正南负型,中国大陆至西北太平洋为负距平区,从乌拉尔山至勘察加半岛为正距平区。这说明西太平洋副热带高压偏弱偏东,乌拉尔山至西伯利亚多高压脊控制,这种环流形势有利于冷空气不断东移南下,容易造成我国冬季寒冷少雨的天气。用冬季风指数与西北地区冬季气温和降水求相关,发现绝大部分站点为负相关,这说明强冬季风容易造成我国北方寒冷少雨的天气。通过计算发现,强冬季风不但会使西北地区冬季降水偏少,而且也会使春季和夏季降水偏少,新疆北部春季气温回暖较快。这种形势往往使西北地区上空春季多冷空气活动,同时河西走廊下垫面干燥,气温回升快,容易造成大气层结不稳定,给沙尘暴发生提供了有利的天气条件。

5 沙尘暴与海温的关系

通过计算河西走廊春季沙尘暴与前期太平洋海温之间的相关关系发现,前期秋、冬季赤道中东太平洋海温偏高时,河西走廊发生的沙尘暴较少,海温偏低时,河西走廊春季容易发生沙尘暴。前两年秋、冬季海温的高低对后期沙尘暴发生的多少更具有指示意义^[5]。图 5 为前一年秋季 NINO3 区海温距平与河西走廊春季沙尘暴过程次数变化曲线,可以看出两者具有明显的反相关关系。

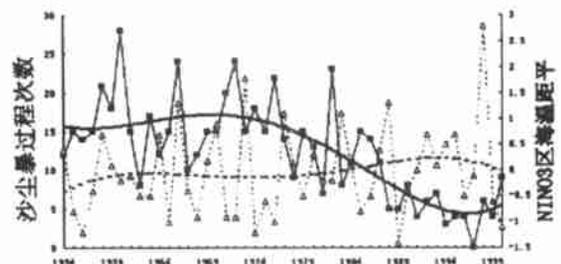


图 5 前一年秋季 NINO3 区海温距平(虚线)与河西走廊春季沙尘暴过程次数(实线)变化曲线

Fig. 5 Evolution trend and fitting of SSTA over NINO3 in the last autumn (broken line) and spring sandstorm in Hexi corridor (real line)

近 40a 的气象记录表明,中国北方春季大风日数的增减与沙尘暴日数的增减是一致的^[6],而冬季寒潮大风的出现与东亚冬季风的强度有关。最新

研究指出^[7],东亚冬季风与厄尔尼诺事件有密切关系,东亚冬季风在厄尔尼诺年较弱,在反厄尔尼诺(即拉妮娜)年较强。在厄尔尼诺年,中国北方冬春季大风天气较少,而在反厄尔尼诺年,大风天气出现频繁。20世纪70年代,反厄尔尼诺事件占优势,中国北方寒潮大风天气出现很频繁,沙尘暴发生也是最多;在80~90年代,厄尔尼诺事件占优势,寒潮大风天气出现相对较少,发生的沙尘暴也较少。2000年和2001年正处于20世纪最强的一次厄尔尼诺事件以后的反厄尔尼诺事件的高峰期,这一大范围的海洋-大气过程,其变化速度和强度均超过往年,造成这两年中国北方冬、春季寒潮大风的频繁出现,发生的沙尘暴次数也呈上升的趋势。2002年秋冬季赤道中东太平洋海温明显偏高,发生了厄尔尼诺事件,致使2003年春季中国北方发生的沙尘暴明显偏少。

6 结论与讨论

本文通过分析河西走廊特殊地形和地理位置、沙尘暴发生的时间和空间分布特征以及沙尘暴与东亚季风和赤道太平洋海温的关系,得出如下结论:

6.1 河西走廊处于塔克拉玛干、腾格里、巴丹吉林等沙漠戈壁包围之中,自然形成的沙土源非常丰富,春季降水稀少,气候干燥,干土层厚,地表裸露,白天地面加热较快,加之高空冷空气活动频繁,导致了沙尘暴的频繁发生。

6.2 河西走廊地区沙尘暴过程次数自1955年以来总体呈减少趋势,上世纪50年代后期沙尘暴过程较多,60年代减少,70年代发生较为频繁,80年代初开始发生的沙尘暴逐渐减少,90年代发生的过程最

少。沙尘暴多发生于春季的4月份。

6.3 河西走廊沙尘暴发生与东亚冬季风的强弱有直接关系,东亚冬季风强时河西走廊春季沙尘暴发生次数往往偏多,弱时偏少。

6.4 河西走廊春季沙尘暴与前期太平洋海温之间的关系密切,前期秋、冬季赤道中东太平洋海温偏高时,河西走廊发生的沙尘暴较少,海温偏低时,河西走廊春季容易发生沙尘暴。

本文揭示了河西走廊沙尘暴与前期东亚冬季风和赤道太平洋海温的关系,对预测河西走廊甚至中国北方春季沙尘暴发生的气候趋势有一定的指示意义。但是,针对河西走廊沙尘暴与东亚季风以及太平洋海温之间内在的物理机制,还需要用数值模拟以及大量的诊断分析来揭示。河西走廊沙尘暴的发生与本地区干旱少雨的气候背景也有很大的关系,有关这方面的研究较多,本文未做详细论述。

参考文献:

- [1] 王式功,董光荣,陈惠忠,等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349 - 356.
- [2] 周自江,王锡稳,牛若芸. 近47年中国沙尘暴气候特征研究[J]. 应用气象学报, 2002, 13(2): 193 - 200.
- [3] 钱正安,宋敏红,李万元. 近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106 - 111.
- [4] 王涛. 中国北方沙漠化过程及其防治研究[J]. 中国科学院院刊, 2002, (3): 204 - 206.
- [5] 尚可政,孙黎辉,王式功,等. 甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关分析[J]. 中国沙漠, 1998, 18(3): 239 - 243.
- [6] 周自江. 近45年中国扬沙和沙尘暴天气[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 9 - 17.
- [7] 穆明权,李崇银. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息(1) 观测资料分析[J]. 大气科学, 1999, 23(3): 276 - 385.

Characteristics and Climatic Forming Reasons of Sandstorm in Hexi Corridor

ZHANG Cun - jie¹, TANG Xu², LI Yao - hui¹

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China;

2. Department of Scientific and Technological Development, CMA, Beijing 100081, China)

Abstract: The reasons of sandstorm occurring frequently in spring in Hexi corridor were analyzed, we found special geographical location, particular topography and physiognomy and arid climatic background are the main reasons. The number of sandstorm occurring in Hexi corridor has decreased since 1955 in general, most in 1970s, least in 1990s. The results show that the occurring of sandstorm in Hexi corridor connects with winter monsoon of East Asia, and has high correlation with SST of Middle East Pacific in prophase autumn and winter. When the SST was higher, the winter monsoon of East Asia would be weaker, the number of sandstorm occurring in Hexi corridor would be less than usual. On the contrary, it would be more.

Key words: Hexi Corridor; characteristics of sandstorm; climatic forming reasons of sandstorm