

# 中國的沙塵暴



沙塵暴是沙暴和塵暴的總稱，它是指強風把地面大量沙塵捲入近地氣層內所形成的攜裹大量沙塵的風暴，使空氣特別混濁，水平能見度低於1,000米的災害性天氣。當水平能見度少於500米時被稱為強沙塵暴，當水平能見度少於50米時被稱為特強沙塵暴①。

沙塵暴是中國北方強災害性天氣。它通過強風、沙埋、土壤風蝕和大氣污染危害人類，給其發源地和影響區的經濟和人民生命財產造成嚴重的損失。在沙塵暴天氣裏，狂風呼嘯，沙石、浮塵瀰漫，空氣混濁，可造成戶外人畜嗆鼻迷眼、呼吸困難，以至傷亡，同時，攜帶細沙粉塵的強風可摧毀建築物和公用設施，掩埋村舍、公（鐵）路、機場，造成汽車破損，火車停運甚至脫軌，飛機不能正常起飛或降落。1993年5月5日，甘肅金昌、威武、民勤、白銀等地發生了強沙塵暴天氣，受災農田253.55萬畝，損失樹木4.28萬株，直接經濟損失2.36億元，死亡50人，重傷153人。2000年3至4月，北京地區受沙塵暴的影響，10天內空氣污染指數達到4級以上，城市交通和居民生活受到了極大的影響。

但沙塵暴並非十惡不赦。沙塵暴中攜帶大量的硫(S)和鐵(Fe)，具有輸送物質的功能，可以促進物質循環，推動系統生產力轉換，在全球生態系統物質循環中具有不可替代的作用。沙塵暴進入生態系統中，為外來物種定居或原有物種的進化提供了可能，從而加速生態系統結構的更新。沙塵暴還具有降溫增濕、淨化空氣以及減緩溫室效應等功效。沙塵在高空大氣中懸浮，產生「陽傘效應」，通過吸收射入地球大氣層的太陽光熱量，使地球氣溫降低，同時，高微細的浮塵充當雨中的凝結核，使雲滴半徑增大，促進雨滴降落。沙塵暴通過在空中大規模飄蕩、大範圍清洗，可迅速帶走城市上空的大量污染氣體和浮塵，沙塵減輕了因廢氣過度積累造成的污染，有淨化大氣的作用。另外，落到海洋中的沙塵，可以促進浮游植物的光合作用，從而減緩了溫室效應，抑制全球變暖。沙塵暴還是天然的「中和劑」，它可以中和酸雨沉降的SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>等酸性氣體，使中國北方降水的pH值增加0.8至2.5，減緩土壤的酸化進程。

沙塵暴通過強風、沙埋、土壤風蝕和大氣污染危害人類，給其源地和影響區的國民經濟建設和人民生命財產造成嚴重的損失。但沙塵暴也可以促進物質循環、加速生態系統結構的更新，還具有降溫增濕、淨化空氣以及減緩溫室效應等功效。

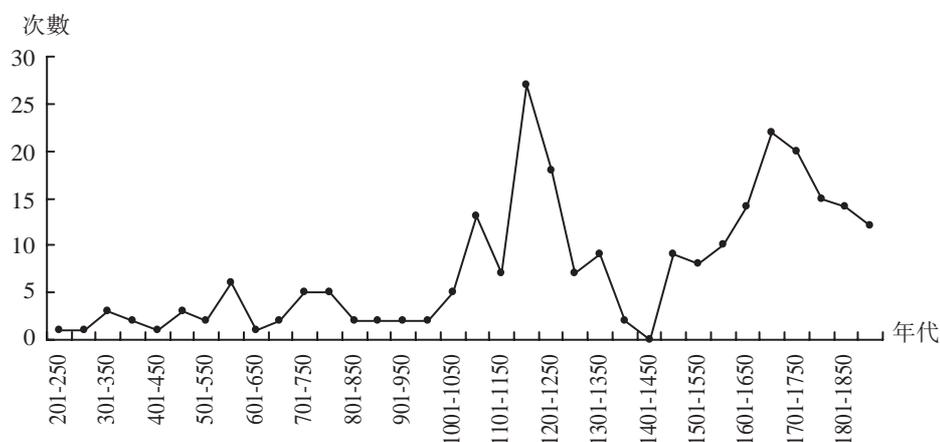
## 一 中國歷史時期沙塵暴的變化特徵

中國自古就有沙塵暴的記載。明清以來中國沙塵暴發生頻次增多，影響範圍逐步向東、南擴展，文獻所記載的沙塵暴不僅覆蓋了整個中國西北地區，也包括河北、河南、山東等地。

中國自古就有沙塵暴的記載。《詩經》稱：「終風且霾，傳霾雨土」，《爾雅》曰：「風爾雨土曰霾」。秦漢時期，中國沙塵暴主要發生在西北一帶，文獻中有關沙塵暴的記載甚少，據估計，公元前50年至公元200年間中國文獻中較強的沙塵天氣記載僅有一次，《漢書·五行志》記載漢昭帝元鳳元年（公元前80年）：「四月辛丑夜，西北有如火光。壬寅晨，大風從西北起，雲氣赤黃，四塞天下，終日夜下着地者黃土塵也」。晉朝張華在《博物志》中有「天乃大風揚沙，一夕填此空谷」的記載，據考證是中國文獻資料中記載最早的沙塵暴，該沙塵暴出現在公元前十六世紀，今豫、秦、晉交界的地區。魏晉後中國沙塵暴發生的次數稍多，影響範圍略有擴大，山西、北京等地均有沙塵暴的記載。《魏書·靈徵志》記載南北朝梁武帝天監元年（502）：「九月丙辰，幽、岐、梁、東秦州暴風昏霧，拔樹發屋。己卯，黑氣四塞」，其中幽、岐、梁、東秦州分別指當今北京西南、陝西鳳翔、甘肅西和和陝西隴縣；《五代會要·雜災變》記載五代後周世宗顯德六年（959）：「六月辛卯、辰巳間，京師天地晦冥，澍雨驟降，雨中有腥氣」；《元史·五行志》記載大德十年（1306）：「二月，大同平地縣雨沙黑霾，斃牛馬二千」。明清以來中國沙塵暴發生頻次增多，影響範圍逐步向東、南擴展，文獻所記載的沙塵暴不僅覆蓋了整個中國西北地區，河北、河南、山東等地也屢有記述。《明史·五行志》中記載成化六年（1470），開封「二月丁丑晝晦如夜，黃霾弊天。三月辛巳，雨霾晝晦」；萬曆四十八年（1620），「山東省城及泰安、肥城皆雨土」；《清史稿·五行志》雍正元年（1723）亦載：「三月，青州風霾。四月初七日，獻縣風霾晝晦；十七日，邢台、元氏大風霾拔木」。

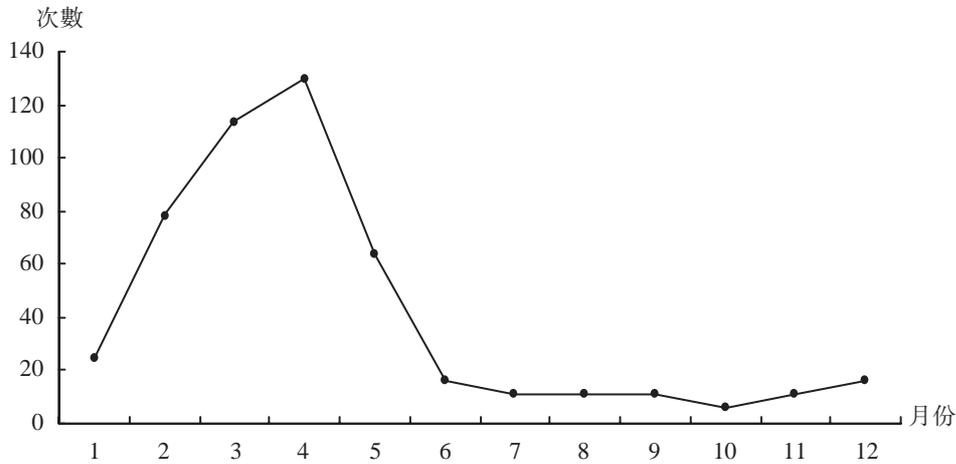
由圖1可見，201至1900年，中國北方較強沙塵天氣發生次數總體呈上升趨勢，並呈現三個階段：201至1050年為貧發期，較強沙塵天氣發生次數增長趨勢

圖1 公元201至1900年間中國北方較強沙塵天氣的年代分佈



數據來源：王煒、方宗義：〈沙塵暴天氣及其研究進展綜述〉，《應用氣象學報》，2004年第3期，頁366-81。

圖2 歷史時期沙塵暴逐月分佈圖



數據來源：趙景波、杜娟、黃春長：〈沙塵暴發生的條件和影響因素〉，《乾旱區研究》，2002年第1期，頁58-62。

不明顯，每50年內發生的次數在1至6次之間；1051至1450年為高發期，其中，1151至1200年間中國較強沙塵天氣出現了27次，為文獻記載的高峰；1451至1900年為多發期，1651至1700年中國較強沙塵天氣出現第二次峰值為22次，隨後的200年裏呈逐漸降低的趨勢，1851至1900年較強沙塵天氣降為12次。

歷史時期的沙塵暴，除了具有明顯的年際變化特徵外，其發生次數還呈現出冬春較多、夏秋偏少的季節性規律。由圖2可以看出，中國沙塵暴主要出現在2至5月，佔記錄總數的78.3%，發生次數均在60次以上，其中3至4月份最為頻繁，佔記錄總數的49.2%，且4月份出現130次沙塵暴，是沙塵暴最多的月份；6至12月份之間沙塵暴很少，基本在6至16次之間。春季是全年沙塵暴最為頻繁的季節，沙塵暴次數為308次，佔總數的62.3%；其次為冬季，沙塵暴次數為130次，佔總數的24.3%；夏季和秋季較少，兩個季節沙塵暴次數僅為66次，佔沙塵暴總數的13.4%。

歷史時期的沙塵暴，除了具有明顯的年際變化特徵外，其發生次數還呈現出冬春較多、夏秋偏少的季節性規律。

## 二 中國近期沙塵暴主要的特徵

### (一) 沙塵暴的路徑來源

中國北方沙塵暴的移動路徑主要有三條：東路自蒙古國東中部南下，影響中國東北、山西、內蒙古東部和中部、河北及其以南地區；中路從蒙古國中西部向東南移動，影響中國內蒙古中西部、西北東部、華北中南部及以南地區；西路由蒙古國西部和哈薩克斯坦東北部向東南移動，影響中國的西北大部、華北及其以南地區。

## (二) 沙塵暴的空間分佈

1961至2000年間中國長江以北大部地區都曾出現過沙塵暴天氣，並以西北地區最為突出。沙塵暴的影響區域可分為三個等級：一級區覆蓋西北大部、華北大部、東北平原區和西藏自治區大部，其春季平均沙塵暴日數在0.5至5天；二級區包括新疆中部、甘肅北部、寧夏北部、陝西西北部、內蒙古西部以及西藏的局部地區，其春季平均沙塵暴日數介於5至10天之間；三級區包括新疆西南部、內蒙古西南和甘肅中北部地區，這也是沙塵暴發生的兩大高頻中心，其春季平均沙塵暴日數達10天以上。

## (三) 沙塵暴的時序特徵

統計資料表明，中國北方沙塵暴站次數及強沙塵暴過程次數在二十世紀50至90年代呈下降趨勢，1997年後又出現相對增多的趨勢。1954至2000年，沙塵暴站次數呈現三個階段：1954至1978年為頻發期，大多數年份沙塵暴站次數在1,000至2,500之間，其中1978年突破2,500次，為氣象觀測記錄的高峰；1979至1997年為漸弱期，該階段沙塵暴站次數逐漸減少，並在1997年出現最低值；1998至2002年為漸多期，沙塵暴的發生頻率開始不斷增加。與此類似，強沙塵暴次數也呈現三個階段：1954至1983年為頻發期，該階段強沙塵暴次數較為頻繁，平均每年發生4至6次，其中1959年高達11次，為氣象觀測記錄的高峰；1984至1996年為漸弱期，強沙塵暴的年發生次數明顯減少，其中1991年出現氣象觀測記錄的最低值為1次；1997至2002年為漸多期，強沙塵暴次數逐漸增多，尤其在2000年後急劇增加，2001年達到7次，高於頻發期的平均水平。

統計資料表明，中國北方沙塵暴站次數及強沙塵暴過程次數在二十世紀50至90年代呈下降趨勢，1997年後又出現相對增多的趨勢。沙塵暴站次數呈現三個階段：1954至1978年為頻發期，1979至1997年為漸弱期，1998至2002年為漸多期。

## 三 沙塵暴的成因分析

通過對歷史時期和1949年以來沙塵暴時間、空間分佈特徵的研究，人們逐漸認識到沙塵暴的發生規律和演變過程。沙塵暴的發生除了具備必要的天氣成因及物理機制外，還需要有適宜的氣候背景。

### (一) 沙塵暴的形成機理

沙塵暴的發生必須具備三個條件：足夠強勁持久的風力、不穩定的空氣層結和充足的沙塵。強勁的大風是沙塵暴天氣形成的動力條件，不穩定的空氣層結是其形成的熱力條件，充足的沙塵則是其形成的物質基礎。冷空氣是形成大風天氣的動力因素，它能夠推動暖空氣作加速運動，從而形成地面大風；在高空乾冷急流和強垂直風速、風向切變及熱力不穩定等條件下，地面冷鋒前對流單體發展成雲團或飈線，從而加大了鋒區前後的氣壓、溫度梯度，形成鋒區前後的巨大壓溫梯度，造成近地層風速陡升，掀起地表沙塵，形成沙塵暴或強沙塵暴天氣。

## (二) 沙塵暴發生的氣候背景

據研究，風力、降水和溫度條件是導致沙塵暴發生的主要氣候因素。沙塵暴的出現與厄爾尼諾現象 (El Niño) 有着密切的關係，在厄爾尼諾年東亞冬季風強度減弱，沙塵暴出現較少，而在拉尼娜年東亞冬季風增強，沙塵暴便會頻繁出現。如在二十世紀70年代，拉尼娜現象 (La Niña) 佔優勢，中國北方由寒潮大風所引起的沙塵暴頻繁出現；在二十世紀80至90年代，厄爾尼諾現象佔優勢，大風強度減弱，從而使沙塵暴出現較少<sup>②</sup>。此外，降水和溫度變化對沙塵暴的發生次數也有一定的影響。充沛的降水量可以增加地表植被覆蓋度，從而使沙塵暴發生的次數和強度相應降低；相反，當天氣持續乾旱，同時溫度變化波動較大時，地表植被大大減少，地表沙塵逐漸增多，沙塵暴發生的次數則會相應提高。尤其是在冬季前期天氣寒冷乾燥，在次年春季降水量偏少而溫度回升迅速的背景下，沙塵暴發生的機率更大一些。中國西北、華北部分地區表土裸露、植被稀疏、多細沙塵土，為沙塵暴天氣提供了物質基礎；此外，寒冷的冬季破壞了深層土壤的結構，再加上入春以來冷暖氣流活動頻繁，致使沙塵暴頻頻發生。如1999年的冬季有別於往年的「暖冬」，且2000年春天中國北方大部分地區降水稀少，溫度回升快，加之濫墾、濫伐等人類的不合理活動，北方大部分地區多次出現沙塵暴天氣。

不少學者通過不同的資料和方法對沙塵暴的未來變化趨勢進行了短期和長期預測，他們一致認為未來中國的沙塵暴發生次數有增多的趨勢。未來幾年中國可能處在新一輪沙塵暴發生的活躍期。

## 四 沙塵暴的未來發展趨勢

隨着對沙塵暴研究的不斷深入，不少學者通過不同的資料和方法對沙塵暴的未來變化趨勢進行了短期和長期預測，他們一致認為未來中國的沙塵暴發生次數有增多的趨勢。研究指出，中國沙塵暴發生次數在2000年以來有急劇增加的勢頭，未來幾年中國可能處在新一輪沙塵暴發生的活躍期<sup>③</sup>。國家環保總局和中國科學院經過實地考察，同時結合近期生態環境和氣象狀況的變化，以及近年沙塵暴的活動趨勢，預測未來幾年，中國的沙塵暴發生次數也將會增加。同以上研究相比，有些學者進行了更具體的預測，他們根據沙塵暴時間序列的赫斯特指數 (Hurst Exponent) 及其變化趨勢，預測在2002年以後的7至8年內，中國北方沙塵暴事件將會具有先增加後減少的趨勢；從過去幾年的沙塵暴及強沙塵暴發生情況看，他們的預測與實際狀況基本一致<sup>④</sup>。除此之外，還有學者對沙塵暴的發展趨勢進行了長期的預測，他們通過研究西北地區常規氣象觀測站以及美國NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research, 美國國家環境預報中心/美國國家大氣研究中心) 提供的全球再分析數據，總結了近五十年來中國北方沙塵暴發生的規律性，同時他們還預計未來幾十年內中國北方沙塵暴的發生次數將有所增加<sup>⑤</sup>。

未來幾十年內，中國北方內陸地區降水量偏少，溫度顯著增高，地表蒸發逐漸加大，土壤乾旱化日趨嚴重，這些都為沙塵暴的發生提供了有利條件。按

照現有情況發展下去，在未來5至10年內，除了自然條件較好、生態環境得到改善的個別地區外，西北大部和華北北部地區沙塵暴發生的頻率、強度及危害程度，都有進一步加大的可能。

## 五 國內外沙塵暴的治理對策

沙塵暴作為一種災害性天氣，其負面影響往往大於其正面影響。根據沙塵暴的發生特徵、形成原因及其危害方式，美國、加拿大、前蘇聯、澳大利亞以及中國等諸多國家都提出了應對、減緩沙塵暴的對策。

### (一) 國外典型地區的沙塵暴治理對策

二十世紀30年代，在美國西部曾連續數年颳起舉世震驚的「黑風暴」，成千上萬噸表土被風颳走，對美國造成了巨大的影響。為防止經濟蕭條和生態環境惡化等問題，美國成立了專門的防沙治沙機構，並組成了一些臨時性的調查委員會。通過保護生態環境、調整土地利用結構、改變土地租賃方式等措施的實施，美國西部的沙化土地得到了有效治理；同時該地區30年代末的降水量逐步趨向正常，沙塵暴天氣在40年代基本得到控制。

此外，二十世紀50至70年代，加拿大、前蘇聯、澳大利亞等國家也飽受沙塵暴的摧殘。他們採用免耕法、無壁犁耕作法、秸稈覆蓋等技術措施，增加了作物產量，減少了水土流失面積，有效降低了沙塵暴的發生頻率和危害程度。

### (二) 中國沙塵暴治理對策

在長期的沙塵暴治理實踐中，中國人民積累了大量寶貴的經驗，為進一步做好沙塵暴治理工作奠定了堅實的基礎。特別是最近幾年，中國政府相繼實施了京津風沙源治理、三北防護林四期、退耕還林、退牧還草、草原保護、小流域綜合治理等一系列生態建設工程。2000至2004年各類工程累計完成，有效治理面積達4.8萬多平方公里，年均有效治理面積近百萬公頃；全國已有20%的沙化土地得到不同程度治理，5年間，全國沙化土地面積淨減少6,416平方公里，由上世紀90年代後期年均擴展3,436平方公里，轉變為年均縮減1,283平方公里；流動沙地、半固定沙地面積逐年減少，其在沙化土地中的比重由1999年的36.1%下降到2004年的33.9%。此外，通過生態工程的實施，沙區植被明顯增加，重點治理區植被覆蓋度增加了20%以上，沙化嚴重的西部地區平均森林覆蓋率由5年前的9.03%提高到12.54%。據統計，2000至2004年間國家共安排退耕還林工程2.27億畝，其中，退耕地造林1.08億畝，宜林荒山造林1.19億畝；西部地區退耕還林工程1.44億畝，佔全國的63.44%，退耕地造林和宜林荒山造林分別為0.71億畝和0.73億畝，佔全國的65.74%和61.34%。

在長期的沙塵暴治理實踐中，中國人民積累了大量寶貴的經驗，為進一步做好沙塵暴治理工作奠定了堅實的基礎。特別是最近幾年，中國政府相繼實施了京津風沙源治理、三北防護林四期、退耕還林、退牧還草、草原保護、小流域綜合治理等一系列生態建設工程。

中國的沙塵暴治理工作雖然取得了一定的成效，但也存在一些問題。比如群眾缺乏防沙治沙意識，治理沙塵暴的積極性較低；治理者不遵守自然規律，盲目栽植樹苗，導致苗木成活率極低。另外，沙源區的沙化土地雖然已經得到治理，但其生態狀況仍很脆弱，人們仍然要靠消耗大量的生態資源解決生計問題。因此，對於沙塵暴災害的防治，我們要採取以下對策：

#### 1、加強法制建設，增強國民的責任感

在《防沙治沙法》的基礎上進一步完善相應的法律法規，加強執法隊伍建設，嚴厲制止掠奪式的土地開發方式，有效地保護現有的植被；此外，通過開展形式多樣、內容豐富的環保教育和培訓活動，增強各級領導和廣大群眾對防治沙塵暴的責任心和迫切感。

#### 2、遵循自然規律，科學治理沙塵暴

在沙塵暴治理過程中必須遵循自然規律，採用人工恢復與自然恢復相結合的措施，增加沙源區的植被覆蓋度，宜林則林，宜灌則灌，宜草則草，對不適宜植樹種草的荒地，不要輕易破壞其地表結構。

#### 3、注重生態保護，減少土地沙化面積

在搞好生態建設的同時，要注重採用經濟、社會和法律手段，對良好生態系統或恢復重建的生態系統採取積極的保護措施，加強監管，防止毀林、墾草；同時通過推廣免耕法，防止由於濫墾而引起的土地沙化、退化，最大限度地減輕沙塵暴的危害。

#### 4、轉變機制，調動群眾的治理積極性

在防治沙塵暴的過程中，要從單純的政府驅動機制，轉向政府推動與利益驅動相結合的新型運作機制，進一步實行優惠政策，積極推行個體承包造林、管護等方式，充分調動群眾參與沙塵暴治理的積極性。

對於沙塵暴災害的防治，我們要採取以下對策：1、加強法制建設，增強國民的責任感；2、遵循自然規律，科學治理沙塵暴；3、注重生態保護，減少土地沙化面積；4、轉變機制，調動群眾的治理積極性。

### 註釋

- ① 中國氣象局：《GB/T20480-2006沙塵暴天氣等級》（北京：中國標準出版社，2006），頁1-2。
- ② 葉篤正、丑紀範、劉紀遠等：〈關於我國華北沙塵天氣的成因與治理對策〉，《地理學報》，2000年第5期，頁513-21。
- ③ 錢正安、宋敏紅、李萬元：〈近50年來中國北方沙塵暴的分佈及變化趨勢分析〉，《中國沙漠》，2002年第2期，頁106-11。
- ④ 尹曉惠、王式功：〈我國北方沙塵暴與強沙塵暴過程的分形特徵及趨勢預測〉，《中國沙漠》，2007年第1期，頁130-36。
- ⑤ 李棟樑、魏麗、蔡英等：〈中國西北現代氣候變化事實與未來趨勢展望〉，《冰川凍土》，2003年第2期，頁135-42。

**葛全勝** 中國科學院地理科學與資源研究所研究員，國際全球環境變化人文因素計劃中國國家委員會秘書長

**郭義強** 中國科學院地理科學與資源研究所博士生