

气象灾害丛书

SHACHENBAO ZAHAI

沙尘暴 灾害

王式功 周自江 尚可政 杨德保 等 编著



气象出版社
China Meteorological Press

气象灾害丛书

沙尘暴 灾害

 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 提 要

本书概述了沙尘暴的基本特征,分析了沙尘暴的成因及其变化规律,总结了自然因素和人类活动对沙尘暴的影响,指出了沙尘暴对农林业、畜牧业、工业、通信、交通运输、人民生命财产、人体健康等的危害及其对大气和海洋环境的影响,介绍了沙尘暴的监测、预报、预警、预测技术及沙尘暴预警信息的发布和服务,提出了沙尘暴的防治对策和技术,并在附录部分介绍了历史上沙尘暴重大灾例。

本书内容丰富,行文通俗易懂,可供气象、环境、生态等相关领域的科技、管理人员和高等院校师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

沙尘暴灾害/王式功等编著. —北京:气象出版社,
2010.6

(气象灾害丛书)

ISBN 978-7-5029-4712-5

I. 沙… II. 王… III. 沙暴-气象灾害-研究
IV. P425.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 210146 号

Shachenbao Zaihai

沙尘暴灾害

王式功 周自江 尚可政 杨德保 等 编著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

总 策 划:陈云峰 成秀虎

责任编辑:郭彩丽 崔晓军

封面设计:燕 彤

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:700 mm×1000 mm 1/16

字 数:287 千字

版 次:2010 年 6 月第 1 版

印 数:1~6000

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印 张:15.5

印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

定 价:38.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

丛书编辑委员会成员

主 任：秦大河

副 主 任：许小峰 丁一汇

成 员（按姓氏笔画排列）：

马克平	马宗晋	王昂生	王绍武	卢乃锰	卢耀如
刘燕辉	宋连春	张人禾	李文华	陈志恺	陈联寿
林而达	黄荣辉	董文杰	端义宏		

编写组长：丁一汇

副 组 长：宋连春 矫梅燕

评审专家组成员（按姓氏笔画排列）

丁一汇	马宗晋	毛节泰	王昂生	王绍武	王春乙	王根绪
王锦贵	王馥棠	卢乃锰	任阵海	任国玉	伍光和	刘燕辉
吴 兑	宋连春	张小曳	张庆红	张纪淮	张建云	张 强
李吉顺	李维京	杜榕桓	杨修群	言穆弘	陆均天	陈志恺
林而达	周广胜	周自江	徐文耀	陶诗言	梁建茵	黄荣辉
琚建华	廉 毅	端义宏				

丛书编委会办公室成员

主 任：董文杰

副 主 任：翟盘茂 陈云峰

成 员：周朝东 张淑月 成秀虎 顾万龙 张 锦
王遵娅 宋亚芳

《沙尘暴灾害》分册编写人员

主 编：王式功 周自江 尚可政 杨德保

编写成员：周春红 王金艳 李江萍
 牛若云 袁 薇 马玉霞
 文小航

序

据世界气象组织统计,全球气象灾害占自然灾害的 86%。我国幅员辽阔,东部位于东亚季风区,西部地处内陆,地形地貌多样,加之青藏高原大地形作用,影响我国的天气和气候系统复杂,我国成为世界上受气象灾害影响最为严重的国家之一。我国气象灾害具有灾害种类多,影响范围广,发生频率高,持续时间长,且时空分布不均匀等特点,平均每年造成的经济损失占全部自然灾害损失的 70% 以上。随着全球气候变暖,一些极端天气气候事件发生的频率越来越高,强度越来越大,对经济社会发展和人民福祉安康的威胁也日益加剧。近十几年来,我国每年受台风、暴雨、冰雹、寒潮、大风、暴风雪、沙尘暴、雷暴、浓雾、干旱、洪涝、高温等气象灾害和森林草原火灾、山体滑坡、泥石流、山洪、病虫害等气象次生和衍生灾害影响的人口达 4 亿人次,造成的经济损失平均达 2000 多亿元。2008 年,我国南方出现的历史罕见低温雨雪冰冻灾害,以及“5·12”汶川大地震发生后气象衍生灾害给地震灾区造成的严重人员伤亡和财产损失,都说明进一步加强气象防灾减灾工作的极端重要性和紧迫性。

党中央国务院和地方各级党委政府对气象防灾减灾工作高度重视。“强化防灾减灾”和“加强应对气候变化能力建设”首次写入党的十七大报告。胡锦涛总书记在 2008 年“两院”院士大会上强调,“我们必须把自然灾害预报、防灾减灾工作作为事关经济社会发展全局的一项重大工作进一步抓紧抓好”。在中央政治局第六次集体学习时,胡锦涛总书记再次强调,“要提高应对极端气象灾害综合监测预警能力、抵御能力和减灾能力”。国务院已经分别就加强气象灾害防御、应对气候变化工作做出重大部署。在 2008 年全国重大气象服务总结表彰大会上,回良玉副总理指出,“强化防灾减灾工作,是党的十七大的战略部署。气象防灾减灾,关系千家万户安康,关系社会和谐稳定,关系经济发展全局。气象工作从来没有像今天这样受到各级党政领导的高度重视,

从来没有像今天这样受到社会各界的高度关切，从来没有像今天这样受到广大人民群众的高度关心，从来没有像今天这样受到国际社会的高度关注。这既给气象工作带来很大的机遇，也带来很大的挑战；既面临很大压力，也赋予很大动力，应该说为提高气象工作水平创造了良好条件”。

我们一定要十分珍惜当前气象事业发展的良好环境，紧紧抓住气象事业发展的难得机遇，深入贯彻落实科学发展观，牢固树立“公共气象、安全气象、资源气象”的发展理念，始终把防御和减轻气象灾害、切实提高灾害性天气预报预测准确率作为提升气象服务水平的首要任务。面对国家和经济社会发展对加强气象防灾减灾工作的迫切需求，推进防灾减灾工作快速发展，做到“预防为主，防治结合”，很有必要编写一套《气象灾害丛书》，从不同视角吸收科学、社会以及管理各方面的研究成果，就气象灾害的发生、发展、监测、预报和预防措施，普及防灾减灾知识，提高防灾减灾的效益，为我国防灾减灾事业、构建社会主义和谐社会做出贡献。

2003年中国气象局组织编写出版了《全球变化热门话题丛书》，主要立足宣传和普及天气、气候与气候变化所带来的各方面影响以及适应、减缓和应对的措施。这套书的出版引起了很大反响，拥有广大的读者群。《气象灾害丛书》是继《全球变化热门话题丛书》之后，中国气象局组织了有关部委、中科院和高校的气象业务科研人员及相关行业领域的灾害研究专家，编写的又一套全面阐述当今国内外气象灾害监测、预警与防御方面最新技术成果、最新发展动态的科学普及读物。《气象灾害丛书》分21分册，在内容上开放地吸收了不同部门、不同地区和不同行业在气象灾害和防御方面的研究成果，体现了丛书的系统性、多学科交叉性和新颖性。这对于进一步提高社会公众对气象灾害的科学认识，进一步强化减灾防灾意识，指导各级部门和人民群众提高防灾减灾能力、有效地为各行业从业人员和防灾减灾决策者提供参考和建议都具有重要意义。同时，根据我国和全球安全减灾应急体系建设这一大学科的要求，“安全减灾应急体系”共有100多部应写作的书籍，《气象灾害丛书》的出版为逐步完善这一科学体系做出了贡献。

在本套丛书即将出版之际，谨向来自气象、农业、生态、水文、地质、城乡建设、交通、空间物理等多方面的作者、专家以及工作人员表示诚挚的感谢！感谢他们参与科学普及工作的高度热忱以及辛勤工作。

郑国光

编著者的话

通过两年的努力,《气象灾害丛书》终于编写完毕。丛书由 21 册组成,每一册主要介绍一个重要的灾种,整个丛书基本上将绝大部分气象以及相关的衍生灾害都作了介绍,因而是一套关于气象灾害的系统性丛书。参加此丛书编写的专家有 200 位左右,他们来自中国气象局、中国科学院、林业部和有关高等院校等部门。他们在所编写的领域中不但具有丰硕的研究成果,而且也具有丰富的实践经验,因而,丛书无论是从内容的选材,还是从描述和写作方式等方面都能保证其准确性和适用性。编写组在编写过程中先后召开了六次编写工作会议,各分册主编和撰稿人以高度负责的态度和使命感热烈研讨,认真听取意见和修改,使各册编写水平不断提高,从而保证了丛书的质量。另外,值得提及的是,丛书交稿之前,又请了 46 位国内著名的院士、专家和学者进行了评审。专家们一致认为,《气象灾害丛书》是一套十分有用、有益和十分必要的防灾减灾丛书。它的出版有助于政府、社会各部门和人民群众对气象灾害有一个全面、深入的了解与认识,必将大大提高全民的防灾减灾意识。丛书的内容丰富、全面、系统、新颖,基本上反映了国内外气象灾害的监测、预警和防御方面的最新研究成果和发展动态,可以作为各有关部门指导防灾减灾工作的科学依据。

在丛书包括的 21 个灾种中,除干旱、暴雨洪涝、台风、寒潮、低温冷害、冰雪等过去常见的气象灾害外,丛书还包括了近一二十年新出现的或日益受到重视的新灾种,如霾、生态气象灾害、城市气象灾害、交通气象灾害、大气成分灾害、山地灾害、空间气象灾害等。这些灾害对于我国迅速发展的国民经济已越来越显示出它的重大影响。把这些灾害包括在丛书中不但是必要的,而且也是迫切的。另外,通过编写这些书,对这些灾种作系统性总结,对今后的研究进展也有推动作用。

为了让读者对每一种灾害都获得系统而正确的科学知识以及了解目前最

新的防灾减灾技术、能力和水平，编写组要求每一册书都要做到：（1）对灾害的观测事实要做全面、正确和实事求是的介绍，主要依据近 50 年的观测结果。在此基础上概括出该灾种的主要特征和演变过程；（2）对灾害的成因，要根据大多数研究成果做科学的说明和解释，在表达上要深入浅出，文字浅显易懂，避免太过专业化的用语和用词；（3）对于灾害影响的评估要客观，尽可能有代表性与定量化；（4）灾害的监测和预警部分在内容上要反映目前的水平和能力，以及新的成就。同时要加强实用性，使防灾减灾部门和人员读后真正有所受益和启发；（5）对每一灾种，都编写出近 50 年（有些近百年）国内重大灾害事件的年表，简略描述出所选重大灾害事件发生的时间、地点、影响程度和可能原因。这个重大灾害年表对实际工作会有重要参考价值。

在丛书编写过程中，所有编写者亲历了 1 月发生在我国南方罕见的低温雨雪冰冻灾害和“5·12”汶川大地震。在全国可歌可泣的抗灾救灾精神的感召下，全体编写人员激发了更高的热情，从防大灾、防巨灾的观念重新审视了原来的编写内容，充分认识到防灾减灾任务的重要性、迫切性和复杂性。并谨以此丛书作为对我国防灾减灾事业的微薄贡献。

丛书编写办公室与编写组专家密切配合，从多方面保证了编写组工作的顺利完成，在此也表示衷心感谢。另外，由于这是一套科普丛书，受篇幅所限，各册文中所引文献未全部列入主要参考文献表中，敬请相关作者谅解。

编写组长 丁一汇

2008 年 10 月 21 日于北京

前言

沙尘暴属于最强烈的一种风沙活动，是强风卷起大量沙尘使地面能见度小于 1 km 的灾害性天气。它的频繁发生既是土地荒漠化发展到一定程度的综合体现，又是加速土地荒漠化的一种重要过程。从全球范围看，沙尘暴主要发生在中亚、北美、澳洲、北非至中东地区等广大的干旱荒漠化区域。我国大陆干旱区是中亚沙尘暴发生频率最高、强度最大的地区之一。虽然在我国的历史、地方志及诗书中，自公元前 16 世纪以来，就不断有“风霾大作”“黄雾下尘”及“边风猎猎卷晴沙”等沙尘现象的描述、记载和诗句，但是，真正从科学角度研究它，国外始于 20 世纪 20 年代，国内也仅有 30 多年的历史，如 1977 年 4 月 22 日甘肃张掖特强沙尘暴后，气象学家们开始对它进行研究；“1993-05-05”甘肃金昌特强沙尘暴后，中国才出现了大气、沙漠等多学科联合研究的局面，对它的监测、时空分布特征、成因分析、数值模拟、理化特征以及对荒漠化生态环境的影响等进行了初步研究。2000 年以来，再度活跃的沙尘暴又把对它的研究推向国际合作的新阶段，中、美、日、韩等国的科学家进行了全球大气化学计划/亚洲气溶胶特性实验；中日间实施了“风送沙尘的形成、输送机制及其对气候与环境的影响”研究计划；中国大陆和台湾地区从 2003 年开始已连续举办了五届“海峡两岸沙尘暴与环境治理”学术研讨会。研究内容不仅包括沙尘暴本身，而是拓展到它对气候变化，大气、海洋和生态环境，以及人体健康等诸多方面的影响研究。一时间，中蒙沙尘暴也成了全球瞩目的热点问题之一。

沙尘暴的发生、发展和消亡是一个大气、土壤和陆面相互作用的复杂过程。同样，沙尘暴的研究与防治也需要多学科交叉、联合攻关，目前已涉及气象学、地理学、生态学、灾害学、流体力学、土壤物理学、卫星遥感等诸多学科领域，并且在每一个学科领域都积累了一定的研究成果。这些成果为我们进一步认识、研究和防治沙尘暴奠定了很好的基础。本书就是作者对国

内外相关研究成果的简要总结，旨在抛砖引玉，促进科学普及。

本书第1章由周自江、王式功执笔，介绍了沙尘暴的基本概念、中国历史时期的沙尘暴、全球近代沙尘暴重大事件和沙尘暴研究的若干科学问题。第2章由王式功、周自江执笔，论述了沙尘暴的地理分布、沙尘暴的时间变化规律和沙尘暴的物理化学特征。第3章由杨德保、王式功、王金艳执笔，总结了沙尘暴形成的宏观和微观基本条件、起沙机制及沙尘粒子的运动方式、沙尘暴形成的环流形势与天气系统，以及东亚沙尘暴的源区和沙尘输送。第4章由尚可政执笔，总结了自然因素和人类活动对沙尘暴的影响，包括气候对沙尘暴的影响、地表状况（如土壤湿度、积雪、地形、荒漠化等）对沙尘暴的影响、海温异常对沙尘暴的影响，以及人类活动对沙尘暴的影响。第5章由李江萍、王式功和袁薇执笔，总结了沙尘暴对农林业、畜牧业、工业、通信、交通运输、人民生命财产和人体健康的危害，沙尘暴对大气和海洋环境的影响。第6章由周春红和牛若云执笔，介绍了沙尘暴的监测、预报、预警和预测技术，以及沙尘暴预警信息的发布和服务。第7章由尚可政执笔，介绍了沙尘暴的防治对策和技术。附录由周自江、杨德保执笔，介绍了历史上的强沙尘暴个例谱及重大灾例。书中的部分插图由文小航绘制或修改。全书由王式功和周自江统稿。

本书的编写工作得到了中国气象局预测减灾司和国家气候中心的大力支持，张小曳、张强、伍光和、董安祥等专家对本书的编写与修改提出了许多宝贵意见，国家气象信息中心和甘肃省兰州中心气象台对本书的编写也给予了无私的帮助。笔者在此对上述单位和专家一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，文中欠妥之处，敬请读者批评指正。

《沙尘暴灾害》编写组

2009年5月1日



序

编著者的话

前 言

第 1 章 概 论	1
1.1 沙尘暴的基本概念	1
1.2 中国历史时期的沙尘暴	6
1.3 全球近代沙尘暴重大事件概览	10
1.4 沙尘暴研究历程与科学争论	14
1.5 理性看待沙尘暴	16
第 2 章 沙尘暴的基本特征	19
2.1 沙尘暴的地理分布	19
2.2 沙尘暴的时间变化	23
2.3 沙尘暴的结构与物理化学特征	26
第 3 章 沙尘暴的成因及其变化	53
3.1 沙尘暴的成因	53
3.2 沙尘暴的年际和年代际变化及其原因	80
3.3 我国沙尘暴的源区及沙尘输送	96
第 4 章 自然因素和人类活动对沙尘暴的影响	103
4.1 气候对沙尘暴的影响	103
4.2 地表状况对沙尘暴的影响	108

4.3	海温异常对沙尘暴的影响	124
4.4	人类活动对沙尘暴的影响	134
4.5	自然因素和人类活动对沙尘暴综合影响的总结	145
第5章	沙尘暴的危害与影响	146
5.1	对农、林业的危害	147
5.2	对畜牧业的危害	151
5.3	对工业的危害	152
5.4	对通信的影响	154
5.5	对交通运输的影响	155
5.6	对人民生命财产的危害	160
5.7	对空气质量与人体健康的影响	161
5.8	抑制降水的酸化	167
5.9	对海洋环境的影响	168
第6章	沙尘暴的观测、预报和预警	170
6.1	沙尘暴的观测	170
6.2	沙尘暴的预报和预警	174
第7章	沙尘暴及其灾害的防治	180
7.1	沙尘暴防治对策	180
7.2	沙尘暴防治技术	191
附录	历史上的强和特强沙尘暴个例谱及重大灾例简介	206
1	历史上的强和特强沙尘暴个例谱	206
2	重大灾例简介	214
参考文献		223

第1章

概 论

1.1 沙尘暴的基本概念

冬去春来,万物复苏,人们在徐徐微风中享受春天温暖气息的同时,也不免要受到沙尘暴的袭扰。近年来,我国北方沙尘暴频发,引起了人们的极大关注和忧虑。人们不禁要问:何为沙尘暴?沙尘暴有哪些危害?人类能制止沙尘暴的发生吗?

1.1.1 沙尘暴的定义与强度划分

沙尘暴是沙暴和尘暴两者兼有的总称,是指强风把地面大量沙尘卷入空中,使空气特别浑浊,水平能见度低于1 km的风沙天气现象。当沙尘暴发展到其最大强度(瞬时最大风速 ≥ 25 m/s,能见度 ≤ 50 m)时,称之为特强沙尘暴,在国内俗称“黑风暴”或“黑风”(徐国昌等 1979)(图 1.1)。在国外沙尘暴还有不同的名称。如在印度的新德里,称之为安德海(Andhi),在非洲和阿拉伯地区称之为哈布(Haboob)(Joseph 等 1980),还有的地区称之为“Phantom”,即“鬼怪”的意思(Wolfson 等 1986)。可见沙尘暴是一种给人以恐惧感的灾害性天气,给相关地区的工农业生产和人民生命财产造成严重损失。

对沙尘暴强度的等级划分,一般采用风速和能见度两个指标。如 Joseph 等(1980)把发生在印度西北部的沙尘暴划分为三个等级:即 4 级 $<$ 风速 ≤ 6 级,500 m $\leq$ 能见度 < 1000 m,称为弱沙尘暴;6 级 $<$ 风速 ≤ 8 级,200 m $\leq$ 能见度 < 500 m,称为中等强度沙尘暴;风速 > 8 级,能见度 < 200 m,则称为强沙尘暴。我国 20 世纪 90 年代对沙尘暴强度的定义,与上述定义大体相同,只是在强沙尘暴的等级范围内,又划分出了特强沙尘暴,即 50 m $<$ 能见度 ≤ 200 m 时,称为强沙尘暴;当其达到最大强度,瞬时最大风速 ≥ 25 m/s,能

能见度 ≤ 50 m, 称为特强沙尘暴(俗称“黑风暴”或“黑风”)。参考国内外已有标准, 借鉴有关研究成果, 并兼顾实用性、科学性和可操作性, 徐启运等提出了我国沙尘暴天气单点和区域强度划分标准。单点沙尘暴天气以瞬间极大风速、最小水平能见度作为划分标准(方宗义等 1997)。并指出, 由系统性天气引发邻近地区 3 个站以上出现沙尘暴天气, 称为区域性沙尘暴; 由非系统性天气(如局地强对流等)引发的零星一两个站出现沙尘暴, 称为局地性沙尘暴。



图 1.1 2001 年 4 月发生在新疆的一次特强沙尘暴(王涛供图)

对沙尘暴强度的分级标准, 气象与沙漠工作者会有不同的看法, 即使各省(市、自治区)气象部门内部也有不同意见。有的从现象上看, 过境时的沙尘壁形态、风向突变风速急增, 以及过境后 10 分钟内气压跃升 1~2 hPa 的气压鼻现象, 这种沙尘壁和风突变现象在我国西北地区的南疆盆地南缘、甘肃河西走廊、宁夏、内蒙古及柴达木盆地的典型沙尘暴发生时都可见到。也有人指出, 强沙尘暴并非一个模式, 如 1990 年 3 月 12 日甘肃酒泉地区的强沙尘暴(最大风速 30 m/s, 能见度则降到 50 m 以下)既无沙尘壁, 也无气压鼻, 风速也是逐渐加大的, 因此, 更多的还是看沙尘暴发生时的能见度和风速。特强沙尘暴发生时因浓密的沙尘遮天蔽日, 白昼变成黑夜, 又遭强风裹挟, 才造成人畜落水而死伤。可见, 能见度差和强风速是沙尘暴发生时两个主要的致灾因素。

为了规范全国沙尘天气的观测、监测, 以更好地开展沙尘天气预警服务业务, 21 世纪初, 中国气象局预测减灾司组织有关人员制定了《沙尘天气预警业务服务暂行规定》(以下简称“沙尘天气规定”), 该规定采用的沙尘天气

划分标准主要参考了《大气科学辞典》及现行《地面观测规范》和《地面气象电码手册》，并在2002年12月召开的“第一届全国沙尘暴专家委员会第一次会议”上作了补充修订。“沙尘天气规定”将沙尘天气分为浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴四类。划分标准如表1.1所示。还规定，如果在同一次天气过程中，我国天气预报范围内有3个及其以上国家基本（准）站出现了沙尘暴（强沙尘暴）天气，则认为我国出现了一次沙尘暴（强沙尘暴）天气过程。

表 1.1 浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴划分标准

名称	成因（来源）	能见度	天空状况	风力	大致出现时间
浮尘	远地或本地产生沙尘暴或扬沙后，沙尘等细粒浮游空中而形成	水平能见度小于10.0 km，垂直能见度也较差	远物呈土黄色，太阳呈苍白色或淡黄色	≤ 3.0 m/s	冷空气过境前后
扬沙	本地或附近沙尘被大风吹起，使能见度显著下降	1.0~10.0 km	天空浑浊，一片黄色	风较大	冷锋或雷暴、飑线过境
沙尘暴		500 m~1000 km		风很大	
强沙尘暴		<500 m		风非常大	

“沙尘天气规定”中划分沙尘天气的主要依据是能见度，对风力作用的考虑为辅。钱正安等（2006）和牛生杰等（2001b）分析了近几年在腾格里沙漠边缘吉兰泰等四站的多次观测结果，发现从背景大气到浮尘、扬沙、弱沙尘暴天气，地面平均空气总悬浮颗粒物（TSP）浓度分别为0.083，0.356，1.206和3.955 mg/m³，即沙尘浓度约按公比为3的比率递增；沙尘气溶胶光学厚度分别为0.417，0.604，0.830和1.274，即气溶胶光学厚度约按公比为1.5的比率递增。这些差别说明，以能见度为主的沙尘天气划分方法是科学的，它能够反映不同沙尘天气条件下的大气含尘量及气溶胶光学厚度不同的物理本质。

为了适应沙尘天气预报服务和科学研究的需要，更好地反映不同强度沙尘天气的客观特征，2006年依据《中华人民共和国气象法》，引用和参考国家相关行业标准，参照我国地面气象观测规范和近年来我国沙尘天气预报服务情况，为了满足气象、环保、农业、林业、交通等各行业的实际需要，中国气象局又制定了新的《沙尘暴天气等级》国家标准，即将沙尘天气共分为5级，1级是浮尘，2级是扬沙，3级是沙尘暴，4级是强沙尘暴，5级是特强沙尘暴。具体定义如下：

——浮尘天气是指当天气条件为无风或平均风速 ≤ 3.0 m/s时，尘沙浮游在空中，使水平能见度小于10 km的天气现象。

——扬沙天气是指大风将地面尘沙吹起，使空气相当浑浊，水平能见度

在 1 km 至 10 km 以内的天气现象。

——沙尘暴天气是指大风将地面尘沙吹起，使空气很浑浊，水平能见度小于 1 km 的天气现象。

——强沙尘暴是指强风将地面大量尘沙吹起，使空气非常浑浊，水平能见度小于 500 m 的天气现象。

——特强沙尘暴是指狂风将地面大量尘沙吹起，使空气特别浑浊，水平能见度小于 50 m 的天气现象。

1.1.2 与沙尘暴相联系的其他风沙活动现象

风沙活动是存在于全球干旱荒漠化严重地区的一种普遍的自然现象，沙尘暴则属于其中最强烈的一种风沙活动，与此相关联的风沙活动主要还有下列两类。

(1) 风沙流

风沙流是一种发生在沙漠及邻近地区贴地层气流搬运大量固体颗粒（沙粒）所形成的混合流（流体力学中称为“气固两相流”）（屈建军等 2005），它的形成依赖于近地层空气与沙质地表两种不同密度介质的相互作用。当近地面的风速大于 4 m/s 时，粒径 0.1~0.25 mm 的沙粒就能被搬运，通常，风力作用不小于起沙风速之后，沙质干燥疏松地表在气流冲击力的作用下，使沙尘颗粒脱离地表进入近地层气流中便形成风沙流（图 1.2）。风沙流中沙粒的颗粒大小和风速成正比，其含沙量与高度有关。据观测，风沙流中的绝大部分沙粒都在近地表 10 cm 以下，并随着风速的增大而增多。关于风沙流结构，众多学者对其含沙量的垂直分布做了许多研究，结果均认为随着高度增加，其相对输沙量呈指数规律递减。



图 1.2 穿越公路的弱风沙流现象