

内蒙古师范大学

硕士学位论文

近两年内蒙古沙尘暴遥感监测

姓名：海全胜

申请学位级别：硕士

专业：地图与地理信息系统

指导教师：阿拉腾图雅;包玉海

20070605

中文摘要

沙尘暴是沙漠及邻近的干旱半干旱地区一种较为常见的自然灾害，通过风沙流的吹蚀和磨蚀、流沙埋压、大风袭击、污染环境等方面对生态环境、人类健康、社会经济产生负面影响，给国民经济所造成的直接和间接损失也在逐年增加。内蒙古地区是我国沙尘源地和主要路径地区之一，该地区发生的沙尘暴不仅影响了京津唐周围地区，而且也加剧了该地区的环境恶化和地区贫困化，引起了社会各界的广泛关注，提出了准确监测和分析研究的迫切需要。

从沙尘暴的监测手段来看，以往采用的遥感监测沙尘暴方法都是直接利用沙尘与背景物体的反射率、辐射亮度或辐射亮温的差异。物体的反射率与它本身的物理性状、太阳光照条件有关外，还与所处的纬度和海拔高度、季节和探测时间有关。辐射亮度和辐射亮温与地物的性质、表面状况（如粗糙度、颜色等）、地物的温度 T 和波长 λ 有关，且受太阳辐射强度和外部环境条件的影响很大。所以以往的沙尘暴监测方法在不同环境条件下都不是很稳定，可比性较差，方法尚不成熟。

为此本文建立了一个稳定定量判识沙尘暴的沙尘指数模型，并用此模型监测了近两年内蒙古地区的沙尘暴。同时在分析沙尘暴与主要影响因子的关系基础上，研究了近两年内蒙古地区沙尘暴的原因及对策。本文的主要研究结论如下：

(1) 沙尘暴强度模型的构建：地物的比辐射率与地物的性质、表面状况有关。比辐射率在没有发生沙尘暴的情况下主要受地面组成成分的影响，但如果出现沙尘暴，空气中的沙尘成分就会参与比辐射率的贡献，所以可以把沙尘暴发生时的比辐射率看成是地面成分和沙尘成分共同作

用的结果。中国北方地区沙尘的主要成分都是硅酸铝、石英等类物质。因此内蒙古地区沙尘的主要成份也是硅酸铝、石英等类物质。而且对内蒙古不同时间不同地点的沙尘颗粒来说,表面状况相近,所以不考虑沙尘物质组成和表面状况差异对比辐射率的影响。单从地面和沙尘对比辐射率的影响来讲,地面要高于沙尘,所以沙尘成分参与的越多,比辐射率相对就会越低。也就是说,沙尘强度越强,沙尘层的厚度就越大,沙尘的均匀程度也越高,比辐射率中沙尘成分的贡献就越大,地面成分贡献就越低,使得比辐射率越低;反之,沙尘强度越低,比辐射率则越高。所以可用比辐射率代表内蒙古地区的沙尘强度。本文根据热辐射理论,利用比辐射率的特征,结合 MODIS 数据的热辐射波段的特征,建立了一个稳定的定量判识沙尘强度的沙尘指数(DSI)模型。经过多次沙尘暴的实例验证,本方法能够较精确地监测沙尘强度。

(2) 沙尘暴的遥感监测:利用构建的沙尘指数(DSI)模型监测了近两年 MODIS 数据接收时间段发生的内蒙古地区沙尘暴次数、发生范围、强度,得出 2005 年的沙尘暴比 2006 年次数少、范围小、强度弱的结论。

(3) 沙尘暴原因分析:通过沙尘暴强度与主要影响因子的相关分析,得出沙尘强度与当时风速、上年夏季降水量、上年秋季降水量、上年夏季植被覆盖度的相关性比较高;通过沙尘暴日数与主要影响因子的相关分析得出了内蒙古的沙尘暴日数与春季温度、春季降水量、上年夏季降水量、上年植被覆盖度、春季大风日数相关性比较高。在此基础上,具体分析了近两年内蒙古地区沙尘暴的发生和强度原因。

(4) 沙尘暴的防治对策:从沙尘暴发生原因和人为能够去改变的角度出发,提出控制人口增长、恢复植被、保护生态环境、提高预报预测能力等防治对策。

关键字：内蒙古，沙尘暴，遥感监测，沙尘指数

原创性声明：本人所提交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中明确标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

ABSTRACT

Sand and dust storm, mainly occurring in the deserts and its neighboring arid and semi-arid area, is a common natural disaster through a Sand and dust storm of blowing the eclipse and whetting the eclipse, quicksand press, the strong wind assault, environment pollution etc., and has negative influence on ecosystem environment, mankind health, the social economy produces, resulting in direct and indirect loss of the national economy which enlarge year by year. Inner Mongolia is one of the Sand and dust sources and main path regions of our country, the occurrence of the Sand and dust storm has not only affected the surroundings region the Jing Jin Tang, but also worse the environment depravation and poverty of the regions, causing the extensive concern of social public, putting forward the urgent demand of accurate monitor and analysis and research.

See from the monitor means of the Sand and dust storm, the remote sensing monitor Sand and dust storm methods of the former are all to make use of the reflectivity of the Sand and dust and the background object and radiate the bright degree or radiate the difference of bright directly. The reflectivity of the object not only has something to do with its physics form and the sun shine condition, but also relevant to latitude and elevation height, seasons and probe into time. The radiation brightness degree and radiation brightness tempe rature relevant to the property, surface status (such as rough degree, color...etc.) of the ground-objects, and also relevant to temperature T and the wave-length λ and are subjected to the conditional influence of the sun radiation strength and the exterior environments. So the above-mentioned method is instability. under the condition of different environment, less comparability, the method is still not mature.

In this paper, the Sand and dust storm of Inner Mongolia in recent two

years is monitored by building up a Sand and dust storm index model of stable fixed amount. At the same time, based on the analysis of relation between factor with it and Sand and dust storm, the reason countermeasures of Sand and dust storm in Inner Mongolia in recent two years are studied. The main conclusion of the paper is as follows:

(1) Setup of the sandstorm strength model: The emissivity (LSE) of the ground-objects has something to do with the property, the surface status (such as rough degree, color...etc.) of the ground-objects, and also is the function of the temperature and wave-length. The emissivity was affected by the ground object composition, but with the sandstorm appearing, the sand in the air would contributed to the emissivity, so it could be included that the emissivity during the occurring of the sandstorm was the result of the cowork of the ground composition and the sand. The main composition of the sand dust in Inner Mongolia was aluminum silicate and quarts. The Sand and dust storm material composition of Inner Mongolia is close to color, but rough degree is dissimilarity because of the difference of the Sand and dust strength. With the sand dust strength strengthen, the sand dust layer thickens, and the rough degree become lower, namely the even degree of the Sand and dust storm increment, spread the hot radiation that the sensor receiver in the comparison is decrease. So the emissivity(LSE) can be used to represent the Sand and dust storm strength of Inner Mongolia. In this paper based on the heat-radiating theory, make use of the emissivity (LSE) characteristics of the object, and combine the characteristics of the hot radiation wave band of the data of MODIS, to set up a more stable fixed amount to judge index number model of the Sand and dust strength. Through a verification of many Sand and dust storms, the method can accurately monitor the sand dust strength.

(2)The remote sensing monitor of the Sand and dust storm: the Sand and dust index model was used to monitor the Sand and dust storm numbers, the

occurrence scope, strength of Inner Mongolia that the MODIS data receives in recent two years, getting a conclusions that compare to 2006,the2005 of sandstorm is less, small scope and less strength.

(3)The reason analysis of the sandstorm: at first, through study on the relation between factor with it and Sand and dust storm, get the correlations between sand dust strength and wind velocity of the same year, summer precipitation of last year, autumn precipitation of last year, summer vegetation cover of last year are high; through the analysis of day number of Sand and dust storm and factor with it, can get that the correlations between day number of Sand and dust storm and spring temperature, spring precipitation, summer precipitation of last year, vegetation cover of last year, the number of day of strong wind are high. On the basis, the reason of day number and strength of Sand and dust storm in Inner Mongolia in recent two years is analyzed.

(4)The prevention countermeasures of the dust storm: from the angles of the reason of sandstorm taking place and human can change, improve the prevention and countermeasures about controlling the population growth, renew vegetation, protect the ecosystem environment and raise the forecast and estimate abilities etc.

KEY WORDS: Inner Mongolia, Sand and dust storm, the remote sensing monitor, sand Index

1 绪 论

1.1 研究背景

全球环境变化是人地关系长期失调的结果,自工业革命以来,工业、农业和城市化的迅速发展,世界人口急剧增长,人类对自然的干扰和破坏愈来愈烈,长期的累积过程,导致一系列全球性环境问题,严重地威胁到人类的生存和发展。其中,沙尘暴的频繁发生就是环境恶化的重要标志之一^[1]。沙尘暴是一种气象灾害,也是一个严重的生态环境问题^[2]。

沙尘暴是由特殊的地理环境和气象条件所导致的一种较为常见的自然现象,主要发生在沙漠及邻近的干旱与半干旱地区^[3]。沙尘暴是动力条件(大风过程)、沙尘物质源区和热力条件(不稳定对流层)相互作用的结果。沙尘暴所携带的沙尘微粒所引发的气候学效应,一方面会对当地大气能见度、大气光学特征、地—气辐射平衡等产生影响,从而导致自然生态环境的破坏;另一方面这些微粒被送入高空随风飘移,又会造成大范围降尘和大气中气溶胶浓度的增加,对区域气候产生一定的影响^[4]。沙尘暴严重危害人类的生产生活和生存环境比如:沙尘暴天气携带的大量沙尘蔽日遮光,天气阴沉,造成太阳辐射减少,能见度降低。沙尘暴天气经常影响交通安全,造成飞机不能正常起飞或降落,使汽车、火车车厢玻璃破损、停运或脱轨。出现沙尘暴天气时狂风裹的沙石、浮尘到处弥漫,凡是经过地区空气浑浊,呛鼻迷眼,呼吸道等疾病人数增加。有可能导致大量牲畜死亡、带走农田沃土、种子和幼苗。沙尘暴还会使地表土壤风蚀、沙漠化加剧。

我国处在全球变化的敏感区,西北部深入亚洲内陆,是世界上受沙尘暴灾害影响较为严重的国家之一。长期以来沙尘暴灾害的侵袭给国家和人民的生命和财产造成了不可估量的损失,在一定程度上制约着社会经济的发展。从近 50 年的尺度上看我国沙尘暴次数是逐渐减少,但强和特强沙尘暴次数有明显的上升趋势。60 年代特大沙尘暴在我国发生过 8 次,70 年代发生过 13 次,80 年代发生过 14 次,而 90 年代至今已发生过 20 多次,并且涉及的范围愈来愈广,造成的损失愈来愈严重^[5]。内蒙古地区属于中纬度西风带干旱半干旱地区,大部分地区干旱少雨,冬夏温差悬殊,沙漠、

沙地分布广,风湿沙化比较严重,地面沙物质很丰富,稀荒草地和旱作耕地为主,植被稀少,并且该地区大风频繁。内蒙古地区是我国沙尘暴主要源地之一的同时,我国沙尘暴的3条主要路径中有2条经过该地区^[6]。该地区的近几年的沙尘暴的情况是2000年和2001年比较严重,2002年到2005年期间有所减少,而2006年又大幅增长。近几年的沙尘暴对自然环境依赖性强的牧业和旱作农业为主,经济发展落后,防御能力弱的内蒙古地区来讲,危害更严重。2004年3月27日锡林郭勒盟发生的沙尘暴^[7]、2005年4月10日阿拉善左旗发生的沙尘暴^[8]和2006年3月30日二连浩特市发生的沙尘暴^[9]为例。2004年3月27日,内蒙古锡林郭勒盟遭受强沙尘暴袭击,据锡林郭勒盟防震抗灾指挥部消息,到2004年3月28日上午8时,苏尼特左旗3人失踪,地震灾区(东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗和乌拉盖开发区)为灾民搭建好的帐篷和蒙古包,在这次沙尘暴中约80%被摧毁,20%被连根拔起,被安置好的灾民约1万多人又露天住宿。东乌珠穆沁旗和乌拉盖开发区等地震灾区刚刚修好的电路、管道也在这次沙尘暴中被破坏,两个镇区内出现停水停电现象。另外,这次沙尘暴还造成全盟5000多只牲畜走失或死亡。2005年4月10日,阿拉善左旗遭遇的一次强烈沙尘暴,风速达到每秒13米,风力达到7级。据统计,这次沙尘暴使阿拉善左旗的牲畜死亡4500多头只、丢失2000多头只,棚圈损坏750多座、倒塌150多座,埋没人畜饮水井640眼,损坏牧户小型风力发电机560台,损坏房屋580间,受灾农田3350亩,损坏135座温棚的塑料薄膜,埋压道路70多处,部分通讯、电力设施不同程度受损。经济损失达到1549万元,其中农业经济损失达到309万元。2006年3月30日内蒙古二连浩特市遭遇强沙尘暴袭击,风力短时达9、10级,能见度不到300米。此次沙尘暴主要起源于蒙古国南部和内蒙古西部,沙尘暴影响的范围包括宁夏北部、陕西北部 and 内蒙古中西部等地,受影响土地面积约68万平方公里,受影响的人口约630万人,受影响的耕地面积88万公顷,园地面积3.7万公顷,草地面积约3200万公顷。因此,内蒙古地区迫切需要对沙尘暴进行分析研究,了解其特点和引发沙尘暴的天气的气候成因,并在此基础上做出更准确的监测,对当地的政府部门决策、防灾减灾、生态环境建设提供科学的依据。目前我国对沙尘暴的监测主要来源于气象台站的定时观测,有许多局限性。在内蒙古广大的地区范围内,监测站点较少。对造成灾害的沙尘暴过程,研究能够提供信息的常规资料是点上的观测资料,这些观测点的资料还难以跟踪其源地、移动路径和强度变化。正由于常规地面观测数据对沙尘暴监测研究有很大的

局限性，所以利用气象卫星遥感数据对沙尘暴进行监测是一种有效的方法。MODIS 数据具有从可见光到远红外的多个探测波段，探测数据包含了丰富的大气和下垫面信息，可以将沙尘区域云、积雪及有关地物区分开来，为遥感观测沙尘暴提供了更先进的手段。

1.2 研究内容

本文运用热辐射理论并根据 MODIS 数据的波段特征，建立较稳定定量判识沙尘暴强度的沙尘指数 (DSI) 模型，并用建立的模型监测近两年内蒙古沙尘暴。通过研究沙尘暴与主要影响因子之间的关系，分析近两年沙尘暴发生的原因及对策。主要研究内容如下：

- (1) 沙尘暴信息提取和沙尘暴强度模型的建立
- (2) 近两年内蒙古沙尘暴的遥感监测
- (3) 内蒙古沙尘暴日数与主要影响因子的关系
- (4) 近两年内蒙古沙尘暴发生原因分析
- (5) 内蒙古沙尘强度与主要影响因子的关系
- (6) 内蒙古沙尘强度原因分析
- (7) 内蒙古沙尘暴的对策研究

2 沙尘暴研究概述

2.1 沙尘暴的定义与分级标准

沙尘暴是一种风与沙相互作用的灾害性天气现象，它的形成与地球变暖、厄尔尼诺现象、植被破坏、生态环境恶化等因素有着不可分割的关系。在国内气象规范中根据所造成的大气水平能见度的差异，将沙尘天气划分为强沙尘暴、沙尘暴、扬沙和浮尘 4 个等级。强沙尘暴是指大风将地面尘沙吹起，使空气非常混浊，水平能见度小于 500 米的天气现象；沙尘暴指由于强风将地面大量沙尘吹起，使空气很混浊，水平能见度小于 1km；扬沙指由于风力较大，将地面沙尘吹起时，空气相当混浊，水平能见度在 1~10km 之间；浮尘指在无风或风力较小的情况下，尘土、细沙均匀浮游在空中，使水平能见度小于 10km，浮游的尘土和细沙多为远地沙尘经上层气流传播而来，或

为沙尘暴、扬沙出现后下沉的尘土。

对沙尘暴特别是强沙尘暴的分级标准，不同研究领域会有不同的标准。国内气象行业中根据水平能见度把沙尘暴分为特强、强、中等和轻四个等级（表 2-1）。

表 2-1 沙尘暴强度分级标准

沙尘暴强度	特强	强	中	轻度
能见度(m)	0~50	50~200	200~500	500~1000

2.2 研究区概况

我国沙尘天气的路径主要有三条（图 2-1）：东路：从蒙古国东中部南下，影响我国东北、内蒙古东部、中部和山西、河北、京津地区及以南地区；中路：从蒙古国中西部东南下，影响我国内蒙古中西部、西北东部、华北中南部及以南地区；西路：从蒙古国西部和哈萨克斯坦东北部东南移，影响新疆在内的西北、华北及以南地区^[10]。其中两条路径途经内蒙古。内蒙古自治区处于我国北方干旱半干旱地区，地跨东北、华北、西北，毗邻八个省区，北部接壤俄罗斯、蒙古国。特殊地理位置和自然环境条件下内蒙古地区不仅成为我国的主要沙尘源之一，而且也正处于西伯利亚—蒙古寒潮和季风入侵我国的前沿地区，为沙尘天气的发生提供了动力条件。

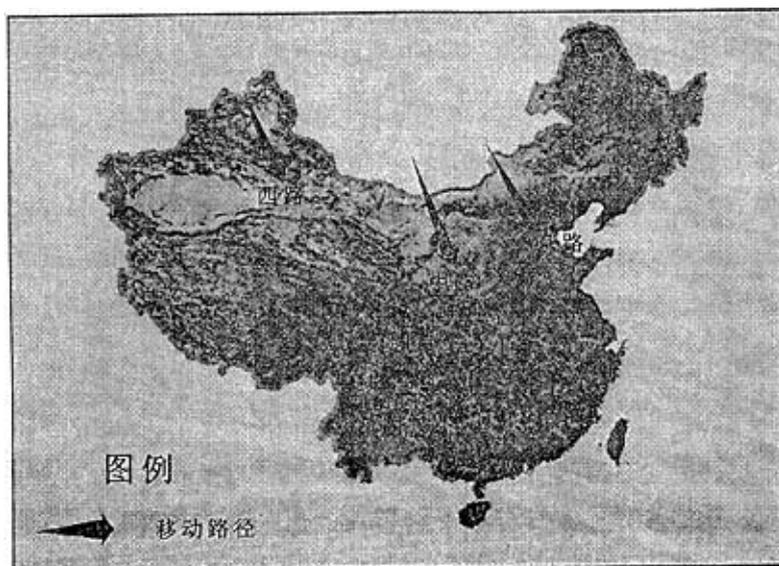


图 2-1 造成沙尘天气的冷空气路经我国路线图

内蒙古地区地貌类型繁多，有山地、丘陵、高平原、平原、沙漠、沙地及台地等，其中以高平原所占面积最大。此外，内蒙古地区风沙地貌广泛发育，不论是从山前丘陵到平原，还是从高平原到河谷沿岸，都可看到连片或零星的风沙地貌存在。从全区来看，大的连片的沙地或沙漠有浑善达克沙地、毛乌素沙地、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠及库布齐沙漠。在自然景观方面以干草原为主，西部和西北部为荒漠草原和荒漠，东北部虽有森林，但面积不大。这样的下垫面除东北部的森林可以对局部地区的气候有所调解外，广大的高原地区是处于缺少湿气内循环条件。

内蒙古地域广袤，从气候条件来看一方面地处中纬度西风带，在内陆腹地，远离海洋，故属于大陆度很强的大陆性气候，多数地区干旱少雨，冬夏温差悬殊。另一方面内蒙古又距蒙古高压中心很近，寒冷而干燥的气流常自西北或北方袭来，因此形成了广大的干旱地区。风是风蚀和沙尘移动的动能来源，内蒙古地区距蒙古高压较近，全年都受蒙古高压的影响，尤其冬春季节完全在其控制之下，每次冷空气南下，本区首当其冲，阴山以北地区是全国著名的大风（ ≥ 17.2 米/秒，8 级）区之一，锡林郭勒盟西部、乌兰察布市北部、巴彦淖尔市北部大风日数最多，年平均 70~90 天，大兴安岭林区最少，年平均 10 天以下。内蒙古大部分地区降水量从西向东介于 50~450

mm, 而年蒸发量却达 4000~10000 mm。雨量少而集中, 夏季降水量占全年雨量的 70%, 春旱几乎年年发生。冬春大风频繁, 大风日数占全年的 60%以上, 春季是最干旱、地表覆盖度最小、土壤水分含量最低的时期^[11]。

2.3 国内外沙尘暴研究进展

国外从 20 世纪 20 年代就开始了沙尘暴特征、时空分布、成因、结构以及下垫面条件方面的研究。从上世纪 20 年代初 Hankin 首先对印度“*Andhi*”型沙尘暴进行了研究^[12]; 随后, Sutton 对“*Haboob*”型沙尘暴进行了分析^[13]; wolfson 对“*phantom*”型沙尘暴进行了分析^[14]; Brazel 对发生在美国亚利桑那州的沙尘暴的天气类型作了分类^[15]; Jauregui 对墨西哥城沙尘暴的时空分布进行了系统研究^[16]; Littmann 研究了亚洲沙尘暴的发生频率^[17]; Goudie 总结了沙尘天气导致的一些列环境问题^[18]; soddoway 研究了地表植被覆盖对土壤侵蚀的研究^[19], Shao Y 分析了沙尘的传播模型^[20]; Pye 指出沙尘暴主要发生在沙漠及其临近的干旱与半干旱地区^[21]。

与国际上的沙尘暴研究相比, 我国沙尘暴研究起步较晚。我国从上世纪 70 年代才开始系统地研究沙尘暴的时空分布规律、形成的动力条件和下垫面条件。王式功等通过研究得出我国沙尘暴主要发生在长江以北地区, 属于中亚沙尘暴区的一部分^[22]; 钱正安通过分析得出我国北方农牧交错带、沙漠边缘带、沙漠绿洲过渡带是沙尘天气的多发地带^[23]。史培军指出了我国沙尘暴发生的四大路径, 即东北路经、华北路径、西北路径和西部路径^[24]; 夏训诚通过研究沙尘灾害的发生频率、沙尘灾害影响因子指出了从较长的历史时间来看沙尘暴的发生是周期性变化的, 与气候变化和地面沙尘物质关系比较密切^[25]; 胡金明研究了我国从公元前 3 世纪以来的沙尘暴频率的分布^[26]; 全林生总结出春季我国北方地区由于受蒙古气旋、东北气旋、黄河气旋的影响沙尘天气发生频繁^[27]; 范一大研究出沙尘暴的发生及强度的变化与风力、下垫面沙源物质等有着密切关系^[28]; 张增祥、张国平等得出影响沙尘暴的下垫面主要因子包括植被的组成、结构、覆盖度、土壤的结构、质地、含水量、侵蚀强度、表面粗糙度、土地利用状况等等^[29]。

沙尘暴的监测方法方面, 传统的地面监测方法受到许多因素的制约, 不能很好地刻画出沙尘暴过程。随着遥感技术的发展, 卫星遥感已成为监测沙尘暴最重要的手段。利用遥感技术监测沙尘暴的发生范围、强度、光学厚度、气溶胶特性和移动路径的研

究也比较多。如20世纪70年代,国外就开展了利用卫星遥感技术监测沙尘暴的研究,如Griggs利用ERTS-1的可见光数据研究了水面上空大气悬浮颗粒光学厚度的测量方法^[30];Norton等利用静止气象卫星在可见光波段的观测资料监测海洋上空沙尘暴的爆发;并估算其光学厚度^[31]。Shenk利用可见光和红外通道数据研究了水面和路面上空沙尘暴的监测方法^[32];Kaufman利用TM资料监测沙漠地区沙尘暴;Carlson利用卫星观测的亮度数据确定了撒哈拉地区沙尘的爆发及其相应的大气扰动^[33];Steven利用3.7 μm 和11 μm 的辐射亮温差来监测沙尘暴的路径^[34];近15年国内在沙尘暴遥感监测方法的研究越来越受到关注^[35]。郑新江等^[36]根据光谱波长对沙尘暴的反应特征,建立了0.63 μm 和1.06 μm 波长反射率与3.75 μm 和11.0 μm 波长亮温的统计关系,用于沙尘暴监测,取得了较好的效果;刘诚^[37]、孙司衡^[38]等应用卫星遥感监测信息,对2000~2001年沙尘暴过程的起源、空间分布、移动路径和降尘区域进行了研究;方宗义等^[39]利用NOAA-AVHRR通道3,4的差值来判识沙尘暴区;张军华等^[40]的研究表明,利用GMS-4数字展宽红外数据和部分常规数据,可以分析出特强沙尘暴过程中强冷锋前部的中尺度对流系统(MCS)及其伴随的飚线的卫星云图特征;毛节奏等^[41]利用TOMS数据研究沙尘暴,表明应用气溶胶指数(AI, Aerosol Index)和有效反射率可以很好排除云的影响,比较准确的获取遥感沙尘暴的发生、发展和影响范围,并能定量描述沙尘暴气溶胶的强度;范一大等^[42]给出了利用查找表增强沙尘暴影像的方法,同时探讨了沙尘暴信息提取和强度监测的方法;高庆先,任阵海^[43]等人利用GMS-5的数据,通过假彩色合成的方法凸显沙尘信息,再通过人工判识的方法观测分析沙尘发生、发展的过程,取得了很好的效果;延昊,王长耀^[44]应用大气可吸入颗粒物PM10指标和NOAA-AVHRR的大气上界的反射率指标,估算出一次东亚沙尘的携沙量,为确定由沙尘暴引起的土壤侵蚀提供了定量测定方法;罗敬宁^[45]等对比分析了NOAA-AVHRR和FY-1C的沙尘暴数据,探讨了沙尘信息的提取的方法,并构建了监测沙尘强度的可比沙尘指数;郭妮,倾继祖^[46]利用沙尘与其它下垫面光谱差异,寻找定量提取沙尘信息的指针,通过对多次沙尘天气过程NOAA-AVHRR资料的研究定量区分沙尘的方法,构造了定量识别沙尘的两种沙尘判识指数,从而有效区分了云、沙尘和晴空地表,并能对沙尘强度进行监测;张杰,郭妮^[47]利用NOAA-AVHRR数据在前人构建的沙尘指数的基础上进一步研究了指数与沙尘暴强度之间的关系,确定了指数的等级划分。这些方法大多数使用地球对太阳光

的反射光谱或直接利用辐射亮度或辐射亮温的差异来监测沙尘天气,由于物体的反射率除了与物体的物理性状、太阳光照条件有关外,还与所处的纬度和海拔高度、季节和探测时间有关。辐射亮度和辐射亮温也与它的辐射强度、地物的性质、表面状况(如粗糙度、颜色等)、地物的温度 T 和波长 λ 有关。因此,直接利用反射光谱、辐射亮度或辐射亮温等方法监测的结果会受太阳辐射的时间、纬度、地区、季节、温度等多种要素的影响比较大。目前利用热辐射波段监测沙尘暴强度的方法还不是很成熟、地物的自身的热辐射主要与地物的性质和表面有关,所以大大降低受太阳光照条件、经度、纬度、海拔高度等条件的影响,同时白天和晚上的沙尘暴都能监测。因此,开发热辐射遥感信息具有广阔的前景。

3 基于 MODIS 数据沙尘暴遥感监测技术研究

根据卫星运行轨道,可以将卫星平台分为静止轨道卫星和极地轨道卫星两种。静止气象卫星的时间分辨率比较高、极地轨道卫星的空间分辨率比较高。根据目前在轨卫星运行情况,对内蒙古地区可提供沙尘暴业务监测的卫星包括FY-1D/MVISR、FY-2C/VISSR、NOAA/AVHRR、Terra/MODIS、Aqua/MODIS、MTSAT/IMAGER数据等,空间分辨率从0.25km到5km,光谱范围覆盖从可见光到远红外,搭载在Terra和Aqua上的MODIS探测器,在0.4~14 μm 的电磁波谱范围内有36个波段,分辨率是0.25km到1km,提供了较以往卫星探测器更多的信息,为更有效地监测沙尘暴提供了丰富的信息源。

3.1 MODIS 数据的介绍

1999年12月18日,美国成功地发射了地球观测系统(EOS)的第一颗先进的极地轨道环境遥感卫星Terra(AM-1)。这颗卫星是NASA地球行星使命计划中总数15颗卫星的第一颗。2002年4月18日NASA又发射了Aqua(PM-1),以后的发射计划至少持续15年时间。AM和PM均为与太阳同步的极地轨道卫星,AM在地方时间早晨10:30由北向南穿越赤道线,而PM在地方时间下午1:30由南向北穿越赤道线。AM在云量最少的时间过境,主要对地球的生态系统进行观测,而PM在云量最多的时候过境,主要对地球的水循环系统进行观测。EOS系列卫星上载有下列五种对地观测仪器:

- 先进的空间热辐射反射辐射计 (ASTER);
- 云和地球辐射能量系统 (CERES) (两个相同的扫描器);
- 多角度成像光谱辐射计 (MISR);
- 中分辨率成像光谱仪 (MODIS);
- 对流层污染探测装置 (MOPITT);

其中 MODIS 是最主要的探测器。MODIS 是当前世界上新一代“图谱合一”的光学遥感仪器, 具有 36 个光谱波段, (其中第 13 和 14 波段各有两个通道组成, 分为高值通道和低值通道, 所以实际上一共有 38 个光谱通道), 分布在 0.4~14 μ m 的电磁波谱范围内。MODIS 的空间分辨率分别为 0.25km、0.5km、1km, 扫描宽度 2330km, 在对地观测过程中, 每秒钟同时获得 6.1 兆比特的来自大气、海洋和陆地表面信息。多波段数据可以同时提供反映陆地、云边界、云特性、海洋水色、浮游植物、生物地理、化学、大气水汽、地表温度、云顶温度、大气温度、臭氧和云顶高度等特征信息, 用于地表、生物圈、固体地球、大气和海洋进行长期观测。MODIS 波段及其主要用途见表 3-1^[48]。

表 3-1 EOS MODIS 主要技术参数

波段标识	光谱范围 (nm)	分辨率 (km)	主要用途
MODIS-1	620-670	250	植被叶绿素吸收
MODIS-2	840-876	250	云和植被覆盖变换
MODIS-3	459-479	500	土壤植被差异
MODIS-4	545-565	500	绿色植被
MODIS-5	1230-1250	500	叶面/树冠差异
MODIS-6	1628-1652	500	雪/云差异
MODIS-7	2105-2155	500	陆地和云的性质
MODIS-8	405-420	1000	叶绿素
MODIS-9	438-448	1000	
MODIS-10	483-493	1000	
MODIS-11	526-536	1000	
MODIS-12	546-556	1000	沉淀物
MODIS-13	662-672	1000	沉淀物, 大气层
MODIS-14	673-683	1000	叶绿素荧光

MODIS-15	743-753	1000	气溶胶性质
MODIS-16	862-872	1000	气溶胶/大气层性质
MODIS-17	890-920	1000	云/大气层性质
MODIS-18	931-941	1000	(大气水汽)
MODIS-19	915-965	1000	
MODIS-20	3660-3840	1000	洋面温度
MODIS-21	3929-3989	1000	森林火灾/火山
MODIS-22	3929-3989	1000	云/地表温度
MODIS-23	4020-4080	1000	
MODIS-24	4433-4498	1000	对流层温度/云片
MODIS-25	4482-4549	1000	
MODIS-26	1360-1390	1000	红外云探测
MODIS-27	6535-6895	1000	对流层中层温度(卷云水汽)
MODIS-28	7175-7475	1000	
MODIS-29	8400-8700	1000	表面温度(云特征)
MODIS-30	9580-9880	1000	臭氧总量
MODIS-31	10780-11280	1000	云/表面温度
MODIS-32	11770-12270	1000	云高和表面温度
MODIS-33	13185-13485	1000	云高和云片
MODIS-34	13485-13785	1000	
MODIS-35	13785-14085	1000	
MODIS-36	14085-14385	1000	

本文中所使用的 MODIS_level1B 格式数据是由内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室接收的数据。

3.2 基于 MODIS 数据的沙尘暴监测方法研究

沙尘暴发生时,大量的沙尘粒子飘浮在空中形成沙尘云,沙尘粒子一方面反射、散射和吸收来自太阳的辐射,同时也阻挡沙尘下方下垫面的长波辐射,并自身向外射出长波辐射,使卫星传感器的探测值发生变化。沙尘在可见光、中红外、远红外波段的光谱特性与下垫面背景和云的差异是卫星遥感监测沙尘暴的基本原理。由于下垫面组成成分复杂多样,导致光谱特性也复杂多样,给沙尘信息的监测增加了难度。以往

用卫星资料监测沙尘暴的方法都是直接根据沙尘与背景物体的反射率、辐射亮度或辐射亮温的差异来研究的。由于物体的反射率除了与物体的物理性状、太阳光照条件有关外，还与所处的纬度和海拔高度、季节和探测时间有关。辐射亮度和辐射亮温与它的辐射强度、地物的性质、表面状况（如粗糙度、颜色等）、地物的温度 T 和波长 λ 有关，所以这些方法不是很稳定地反映不同地区不同时期的沙尘暴，从而也暴露了它们的可比性差的弱点。

本文利用热辐射理论和比辐射率的特征发现比辐射率能监测沙尘暴。比辐射率是温度和波长的函数，所以对某一特定的波长范围内温度是比辐射率的主要影响因素，随着监测时温度的不同，比辐射率表现出了不稳定的特性。本文通过试验建立模型，利用物体比辐射率特性，并结合MODIS数据的热辐射波段的特征建立一个考虑温度影响的较稳定定量判识沙尘强度的沙尘指数(DSI)，可以精确地反映沙尘的强度。经过多次沙尘暴的实例验证，本方法能精确地监测沙尘强度。

3.2.1 沙尘暴遥感监测原理

根据地球辐射与太阳辐射的相互效应传感器接收的地球辐射可分为三段，分别是短波辐射（ $0.3\sim 2.5\mu\text{m}$ ）、中红外辐射（ $2.5\sim 6\mu\text{m}$ ）、长波辐射（ $6\mu\text{m}$ 以上）。短波辐射以地球表面对太阳的反射为主，地球自身的热辐射可忽略不计。地球长辐射可只考虑地表物体自身的热辐射，在这个区域内太阳辐照的影响极小。介于两者之间的中红外波段太阳辐射和热辐射的影响均有，两者都不能忽略。如果使用短波和中红外波段则必须充分考虑影响太阳辐射的时间、纬度、地区、季节等多种要素，这样会增加监测的难度，降低实用性。若使用地球长波辐射，则只从地物本身的性质角度去考虑即可，这样将复杂的问题得以简化并提高监测精度。

对于地球的长波辐射而言，其辐射亮度 L 与地物的比辐射率 ϵ 、地物的温度 T 及波长 λ 有关。比辐射率是指地物的辐射出射度 W 与同温体的黑体的辐射出射度 $W_{\text{黑}}$ 的比值。常用 ϵ 表示，即 $\epsilon = W/W_{\text{黑}}$ 。地物的比辐射率与地物的性质、表面状况有关，而且是温度和波长的函数^[49]。比辐射率在没有发生沙尘暴的情况下主要受地面组成成分的影响，但如果出现沙尘暴，空气中的沙尘成分就会参与比辐射率的贡献，所以可以把沙尘暴发生时的比辐射率看成是地面成分和沙尘成分共同作用的结果。中国北方地区沙尘的主要成分都是硅酸铝、石英等类物质^[50]。因此内蒙古地区沙尘暴的主要成份也是硅酸铝、石英等类物质。而且对内蒙古不同时间不同地点的沙尘颗粒来说，表面

状况相近, 所以不考虑沙尘物质组成和表面状况差异对比辐射率的影响。单从地面和沙尘对比辐射率的影响来讲, 地面要高于沙尘, 所以沙尘成分参与的越多, 比辐射率相对就会越低。也就是说, 沙尘强度越强, 沙尘层的厚度就越大, 沙尘的均匀程度也越高, 比辐射率中沙尘成分的贡献就越大, 地面成分的贡献就越低, 使得比辐射率越低; 反之, 沙尘强度越低, 比辐射率则越高。所以可用比辐射率代表内蒙古地区的沙尘强度。

根据 1900 年普朗克用量子物理的新概念, 推导出热辐射定理, 可以用普朗克公式表示:

$$w_{\lambda} = 2\pi hc^2 / \lambda^5 (e^{ch/\lambda kT} - 1) \quad (3-1)$$

从基尔霍夫定理得出

$$w'_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} w_{\lambda} \quad (3-2)$$

从公式 (3-1) 和 (3-2) 得出

$$w'_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} 2\pi hc^2 / \lambda^5 (e^{ch/\lambda kT} - 1) \quad (3-3)$$

根据辐射亮度的概念

$$L'_{\lambda} = w'_{\lambda} / \pi \quad (3-4)$$

从公式 (3-3) 和 (3-4) 得出

$$L'_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} 2hc^2 / \lambda^5 (e^{ch/\lambda kT} - 1) \quad (3-5)$$

因为 $e^{ch/\lambda kT}$ 远大于 1 所以从公式 (3-5) 得出

$$L'_{\lambda} \approx \varepsilon_{\lambda} 2hc^2 / \lambda^5 e^{ch/\lambda kT} \quad (3-6)$$

w' 是实际物体总辐射出射度; w 是黑体总辐射出射度; w'_{λ} 是黑体光谱辐射出射度; w_{λ} 是实际物体光谱辐射出射度; ε_{λ} 是光谱比辐射率; T 是黑体的温度, 也是把地面和到达传感器的所有物体看成一体时候的温度; L'_{λ} 是实际物体辐射亮度。

3.2.2 沙尘指数(DSI)的构建

虽然 ε_{λ} 能代表沙尘强度但从公式 (3-6) 不能直接获得 ε_{λ} , 因为有两个未知变量 ε_{λ} 和 T 。因为 MODIS 数据的 31、32 波段都是长波辐射波段, 所以可以不考虑地物对

太阳光的反射辐射，只考虑地物的热辐射，所以从公式 (3-6) 中可以得出

$$L'_{31} \approx \epsilon_{31} 2hc^2 / \lambda_{31}^5 e^{ch/\lambda_{31}kT} \quad (3-7)$$

$$L'_{32} \approx \epsilon_{32} 2hc^2 / \lambda_{32}^5 e^{ch/\lambda_{32}kT} \quad (3-8)$$

对公式 (3-7) 和 (3-8) 分别求 λ_{31} 的幂和求 λ_{32} 的幂后得出

$$L'_{31}{}^{\lambda_{31}} \approx (\epsilon_{31} 2hc^2)^{\lambda_{31}} / (\lambda_{31}^5)^{\lambda_{31}} (e^{ch/\lambda_{31}kT})^{\lambda_{31}} \quad (3-9)$$

$$L'_{32}{}^{\lambda_{32}} \approx (\epsilon_{32} 2hc^2)^{\lambda_{32}} / (\lambda_{32}^5)^{\lambda_{32}} (e^{ch/\lambda_{32}kT})^{\lambda_{32}} \quad (3-10)$$

公式 (3-9) 和 (3-10) 中的 L'_{31} 和 L'_{32} 从遥感数据通过计算可以获得、T 是两个方程所共有的变量，所以通过方程 (3-9)、(3-10) 可以得到 $\epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03}$ 的近似值。因为比辐射率能代表沙尘强度，并且 MODIS 数据中 31、32 波段都是沙尘比较敏感的波段，所以 ϵ_{31} 和 ϵ_{32} 都能很好地代表沙尘强度，但 ϵ_{31} 和 ϵ_{32} 的值不能准确获取。因为 ϵ_{31} 和 ϵ_{32} 是数值特别相近的两个变量，所以 $\epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03}$ 的值与 ϵ_{31} 和 ϵ_{32} 的值都很接近，并且通过计算可以方便的获取 $\epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03}$ 的值，所以可以用 $\epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03}$ 的值来代表沙尘强度。因 $\epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03}$ 的值很小，为了使结果更加明显，最终用 $\epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03} \times 10$ 倍来扩大数据后代表沙尘强度

$$y = \epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03} \times 10 \quad (3-11)$$

因为 T 对 ϵ_{31} 和 ϵ_{32} 的影响比较大，所以 T 对 $\epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03}$ 的影响也比较大。不同 T 条件下相同强度的沙尘暴 Y 值不同，利用沙尘强度值 Y 与温度 T 之间的回归分析，得出考虑监测时温度影响的新的沙尘强度值 y' 。由于获得 T 的难度比较大，并且 MODIS 数据的第 31 (10.780~11.280) 和第 32 (11.770~12.270) 波段是适合地表温度反演的两个波段^[48]并且 y 与第 31 (10.780~11.280) 波段亮温的相关性比第 32 (11.770~12.270) 波段的亮温高。所以本文用 MODIS 第 31 波段的亮温 T_{31} 来代替 T。

沙尘暴发生时主要的背景地物是植被、裸土、沙地，所以对沙尘和这三种主要背景地物分别采了 20 个样点 (附表 1) 的基础上计算出各点 3×3 像元 (像元大小为 1km×1km) 的 T_{31} 和 y 平均值。采集完成后用 SPSS 软件对自变量 T_{31} 和因变量 y 进

行回归分析，其结果与 S 型曲线的拟合度最好，见表 3-2 和图 3-1。

表 3-2 T_{31} 和 y 回归分析结果表

Independent: T_{31}									
Dependent	Mth	Rsqr	d. f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
y	LIN	.879	78	565.17	.000	-2.1797	.0081		
y	LOG	.874	78	542.49	.000	-13.292	2.3762		
y	INV	.869	78	518.77	.000	2.5739	-693.30		
y	QUA	.893	77	322.69	.000	6.2734	-.0496	9.8E-05	
y	CUB	.893	77	322.29	.000	3.4205	-.0206	1.1E-07	
y	COM	.946	78	1377.91	.000	4.0E-07	1.0452		
y	POW	.949	78	1439.28	.000	1.7E-33	12.9679		
y	S	.950	78	1484.52	.000	11.2061	-3797.5		
y	GRO	.946	78	1377.91	.000	-14.734	.0442		
y	EXP	.946	78	1377.91	.000	4.0E-07	.0442		

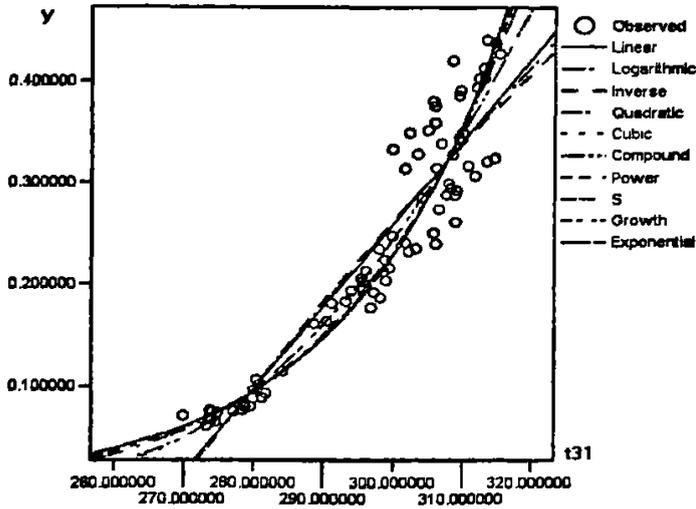


图 3-1 T_{31} 和 y 回归分析拟合度图

拟合度最好的 S 型曲线方程为：

$$y' = e^{(11.2061 - (3797.5/T_{31}))} \quad (3-12)$$

因此选择此方程建立了沙尘指数：

$$DSI = e^{(11.2061 - (3797.5/T_{31}))} \quad (3-13)$$

从上面的分析中可以看出 y ($\epsilon_{31}^{12.02} / \epsilon_{32}^{11.03}$) 能代表沙尘强度, 所以 y 的回归值沙尘指数 (DSI) 也能代表沙尘强度。

通过沙尘指数 (DSI) 的直方图 (图 3-2), 可以看出云区、地表、沙尘区呈现明显的三峰结构。这也就说明沙尘、地面、云区的沙尘指数 (DSI) 差异比较大, 利用这种分布特征可以提取沙尘的发生范围, 而且这种方法对弱沙尘也比较敏感, 如图 3-5。

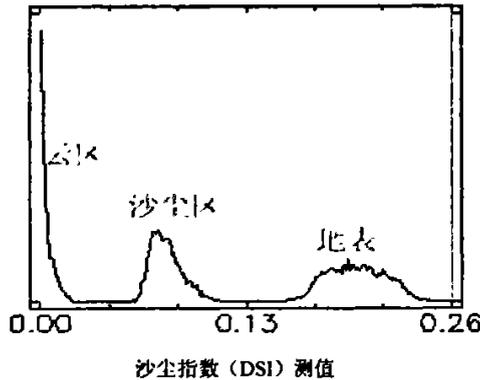


图 3-2 地表、云区和沙尘区直方图

3.2.3 DSI 指数稳定性分析

沙尘指数值 (DSI) 与沙尘强度的变化相一致, 因为沙尘指数值 (DSI) 与 $0.65 \mu\text{m}$ 波段反射值 ($R_{0.65}$) 具有线性关系 (图 3-3), 这对沙尘暴的监测有重要的意义。定量监测沙尘范围和强度时要求不同时间不同地点的监测结果具有一致性和可比性。而沙尘指数值 (DSI) 不同时间不同空间的监测结果具有一致性。为证明此优势, 通过对比 2006 年 4 月 21 日内蒙古镶黄旗、正镶白旗、正蓝旗地区、2006 年 5 月 16 日内蒙古乌拉特中旗以北 160 km 处和 2005 年 4 月 18 日内蒙古苏尼特左旗以北 150 km 处发生的三次沙尘暴的 MODIS 数据来进行稳定性分析。图 3-3-a、图 3-3-b 和图 3-3-c 分别是这三场沙尘暴发生区 y 指数值与 $0.65 \mu\text{m}$ 波段的反射值 ($R_{0.65}$) 所做的散点图; 图 3-3-d、图 3-3-e 和图 3-3-f 分别是这三场沙尘暴发生区 DSI 指数值与 $0.65 \mu\text{m}$ 波段反射值 ($R_{0.65}$) 所做的散点图, 上述两组散点图拟合直线方程的斜率见表 3-3。从图 3-3-a、图 3-3-b 和图 3-3-c 看出这三场沙尘暴发生区 y 指数值的范围不一致。图 3-3-a、图 3-3-b 和图 3-3-c 和表 3-3 表明 y 指数值与 $0.65 \mu\text{m}$ 波段反射值 ($R_{0.65}$) 所做散点图拟合曲线的斜率差异比较大。从图 3-3-d、图 3-3-e 和图 3-3-f 看出这三场

沙尘暴发生区沙尘指数值 (DSI) 值范围一致, 并且图 3-3-a、图 3-3-b 和图 3-3-c 和表 3-3 表明沙尘指数值 (DSI) 与 $0.65 \mu\text{m}$ 波段反射值 ($R_{0.65}$) 所做的散点图拟合曲线斜率也很相近。以上结果表明了用 DSI 指数监测结果使反映的沙尘强度在不同时空条件下具有可比性。

表 3-3 Y 和 DSI 与 $R_{0.65}$ 值散点图拟合直线方程斜率变化表

散点图拟合直线方程斜率	内蒙古镶黄旗、正蓝旗、正蓝旗地区 (2006 年 4 月 21 日)	内蒙古乌拉特中旗以北 160 km 处 (2006 年 5 月 16 日)	内蒙古苏尼特左旗以北 150 km 处 (2005 年 4 月 18 日)
Y 值	0.51	0.175	0.3
DSI 值	0.60	0.61	0.58

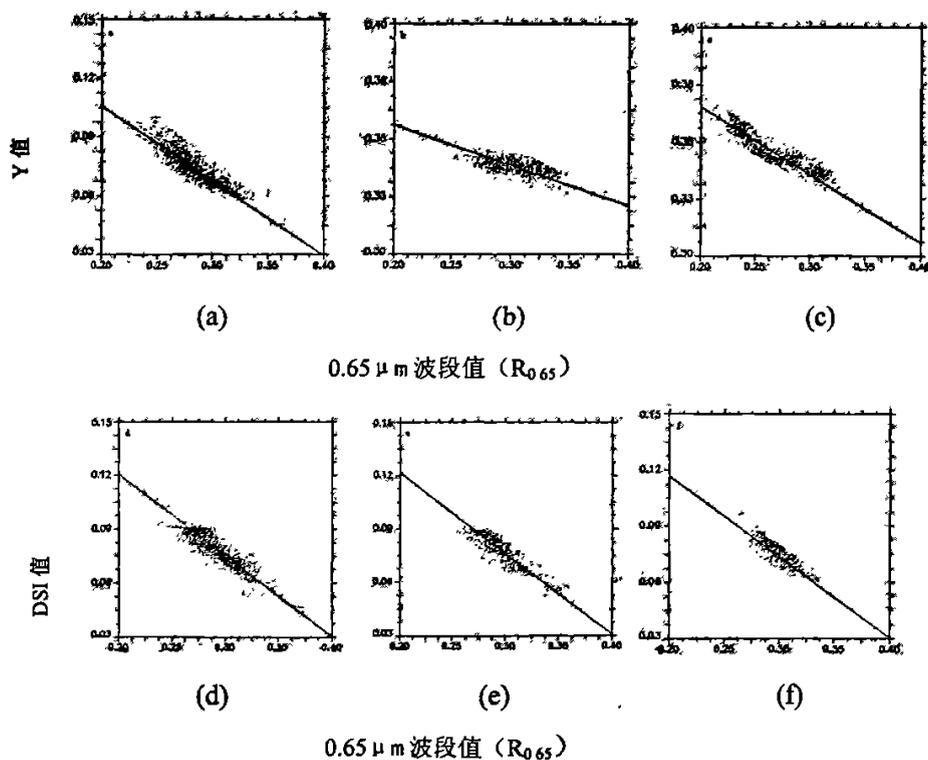


图 3-3 不同时间不同地区 MODIS 数据 DSI 指数稳定性分析

- (a) 2006 年 4 月 21 日 $R_{0.65}$ 与 y 值散点图 (b) 2006 年 5 月 16 日 $R_{0.65}$ 与 y 值散点图
 (c) 2005 年 4 月 18 日 $R_{0.65}$ 与 y 值散点图 (d) 2006 年 4 月 21 日 $R_{0.65}$ 与 DSI 散点图
 (e) 2006 年 5 月 16 日 $R_{0.65}$ 与 DSI 值散点图 (f) 2005 年 4 月 18 日 $R_{0.65}$ 与 DSI 值散点图

3.3 近两年内蒙古沙尘暴的遥感监测

建立沙尘暴监测模型的目的是应用即实际监测。另外, 模型的好坏, 监测的精确

与否,除了理论推导的支持外,更重要的是实践的验证。本文利用理论推导出的沙尘指数(DSI)法分别监测了内蒙古地区2005和2006两年的可接收MODIS数据时间段内的沙尘暴发生的次数、范围和强度,并将监测结果与合成影像的目视效果、气象部门实测的数据进行对比,验证了其实用性和稳定性。

3.3.1 沙尘暴次数的监测

沙尘暴发生的致灾因素是大风,而大风的出现有年内规律,没有日内规律。与此相应沙尘暴的发生也有年内规律,主要集中在春季,而日内没有时间规律,而且持续时间一般也不会太长,并且用MODIS数据能够监测到的只是发生时间与接收时间相吻合的沙尘暴,所以用MODIS数据不可能监测到所有发生过的沙尘暴。利用沙尘指数(DSI)方法监测了MODIS数据接收时段的近两年内蒙古的所有沙尘暴,结果监测到了11次,其中2005年的沙尘暴监测到了4次,2006年的沙尘暴监测到了7次。即2005年4月7日、2005年4月9日、2005年4月30日、2005年5月10日、2006年3月6日、2006年4月6日、2006年4月9日、2006年4月17日、2006年4月21日、2006年4月28日和2006年5月16日的沙尘暴。2005年4月7日沙尘暴发生地区是阿巴嘎旗、锡林浩特市;2005年4月9日的发生地区是阿巴嘎旗、正镶白旗、正蓝旗、锡林浩特市、克什克腾旗、西乌珠穆沁旗、东乌珠穆沁旗、林西县、巴林右旗、巴林左旗、阿鲁科尔沁旗、翁牛特旗;2005年4月30日的发生地区是正蓝旗、正镶白旗、苏尼特左旗、阿巴嘎旗;2005年5月10日的发生地区是乌拉特前旗、乌拉特中旗;2006年3月6日的发生地区是额济纳旗、阿拉善右旗、阿拉善左旗、乌拉特后旗、磴口县、杭锦后旗;2006年4月6日的发生地区是乌拉特中期、乌拉特前旗、达茂旗、固阳县、包头市区、武川县;2006年4月9日的发生地区是锡林浩特市、克什克腾旗、西乌珠穆沁旗、阿巴嘎旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗、四子王旗、察哈尔右翼中旗、察哈尔右翼后旗、商都县、化德县、镶黄旗、正镶白旗、正蓝旗;2006年4月17日的发生地区是苏尼特右旗、苏尼特左旗、阿巴嘎旗、锡林浩特市、克什克腾旗、西乌珠穆沁旗、镶黄旗、正镶白旗、正蓝旗、克什克腾旗;2006年4月21日的发生地区是察哈尔右翼中旗、察哈尔右翼后旗、商都县、化德县、镶黄旗、正镶白旗、正蓝旗、阿巴嘎旗、苏尼特左旗、二连浩特、四子王旗;2006年4月28日的发生地区是额济纳旗、阿拉善右旗、阿拉善左旗;2006年5月16日的发生地区是杭锦旗、乌拉特前旗、五原县。为了表明监测结果的可靠性,对这11次的遥感监

测到的沙尘暴数据与地面观测数据进行了验证,结果都一致。

3.3.2 沙尘暴范围的监测

沙尘指数(DSI)方法能够精确地监测出发生的沙尘暴。正如上述内容,沙尘指数(DSI)方法监测到了所有发生沙尘暴的地区。与气象部门地面监测数据进行对比的结果,遥感监测到的沙尘暴发生范围覆盖了所有监测到沙尘暴发生的气象点,而地面上没有发生沙尘暴的点均在遥感上监测到的沙尘暴发生的范围之外。气象部门监测的站点少,而且分布稀疏,只凭气象站点的数据不能精确的说明监测范围的精度。因此,区域范围内需要进一步验证监测沙尘暴范围的效果。汪溪远用最佳波段组合指数法和方差协方差特征值法从众多MODIS波段中筛选出了用于沙尘暴图像的最佳彩色合成增强波段组合20、1、29波段^[49]。用MODIS数据的20、1、29波段合成后与监测结果进行了对比,结果两者非常一致。2005年和2006年发生的较典型的两次沙尘暴的监测结果与20、1、29波段合成影像对比的结果如下:图3-4、图3-5和图3-6、图3-7。下面以2006年4月21日和2005年4月9日内蒙古地区发生的沙尘暴为例。

对2006年4月21日Terra/MODIS数据用本文建立的沙尘遥感监测方法对沙尘发生范围监测,结果如图3-5。图3-4是对MODIS数据进行20(3.66~3.84 μm)、1(0.62~0.67 μm)、29(8.4~8.7 μm)波段合成图。通过对比图3-5与图3-4发现沙尘指数(DSI)反映的沙尘发生范围与目视结果一致。此次通过遥感监测到的沙尘发生地区是蒙古国南部、内蒙古中部大部分地区包括化德县、镶黄旗、正镶白旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗、商都县、察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗、四子王旗、正蓝旗、阿巴嘎旗。此次沙尘暴蒙古国境内的影响面积大约是9822.6 km^2 ,内蒙古地区的影响面积大约是65137 km^2 。从各旗县气象点的此次沙尘暴发生时间来看化德县是从10点40分开始到20点结束、镶黄旗10点32分开始20点结束、正镶白旗是从9点55分开始到17点30分结束、苏尼特左旗是从6点53分开始到18点20分结束、苏尼特右旗是从9点31分开始18点02分结束、商都县是从11点23分开始19点30分结束、察哈尔右翼后旗是从11点30分开始到20点10分结束、察哈尔右翼中旗是从11点12分开始到19点58分结束、四子王旗是从9点15分开始到11点35分结束、正蓝旗11点38分开始到20点结束、阿巴嘎旗是从1点52分开始到17点07分结束。该地区此次卫星数据接收的时间是2006年4月21日12点,这与上面的气象点上的沙尘暴发生时间是一致的。

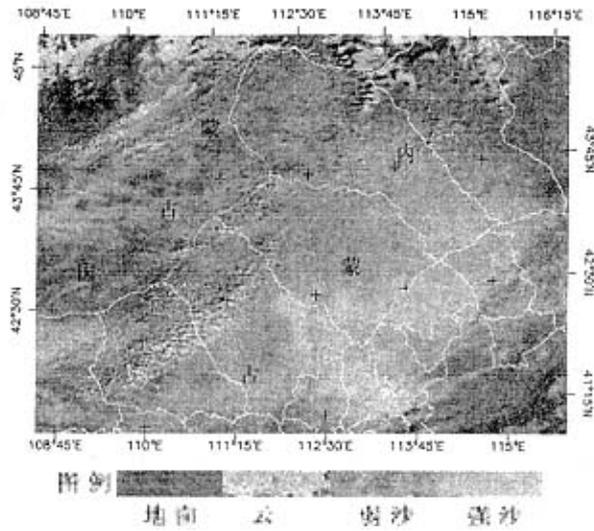


图 3-4 2006 年 4 月 21 日 MODIS 数据 20、1、29 波段合成图

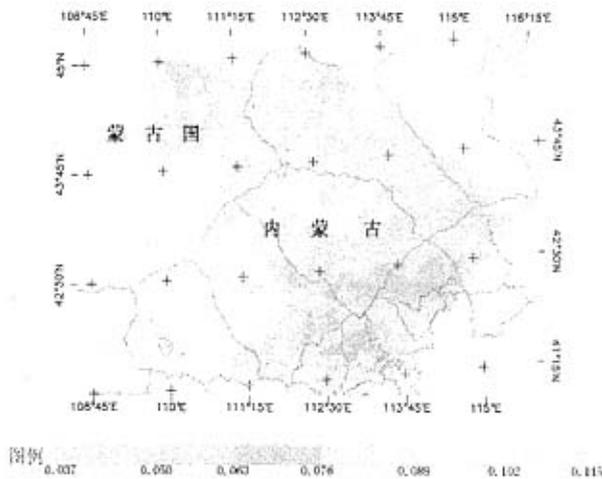


图 3-5 2006 年 4 月 21 日 DSI 分布图

通过用本文建立的沙尘遥感监测方法对 2005 年 4 月 9 日 Terra/MODIS 数据进行沙尘发生范围监测，结果如图 3-7。图 3-6 是对 MODIS 数据进行 20(3.66~3.84 μm)、1(0.62~0.67 μm)、29(8.4~8.7 μm) 波段合成的图。通过对比图 3-7 与图 3-6 发现沙尘指数 (DSI) 反映的沙尘发生范围与目视结果一致。此次遥感监测到的沙尘暴发生的地区是内蒙古阿巴嘎旗、正镶白旗、正蓝旗、锡林浩特、克什克腾旗、西乌珠穆沁旗、东乌珠穆沁旗、林西县、巴林右旗、巴林左旗、阿鲁科尔沁旗等。影响面积大约

是 41316.8 km²。从各旗县气象点观测到的此次沙尘暴发生时间来看阿巴嘎旗是从 9 点 23 分开始到 17 点 34 分结束、正镶白旗、正蓝旗、锡林浩特 10 点 52 分开始到 15 点 37 分结束、克什克腾旗是从 13 点开始到 20 点结束、西乌珠穆沁旗 11 点 13 分开始到 20 点结束、林西县 13 点 10 分开始到 19 点 50 分结束、巴林右旗 13 点 17 分开始到 20 点结束、巴林左旗 13 点 23 分开始到 20 点 30 分结束、阿鲁科尔沁旗的气象点上没有发生。这次卫星接收时间是 13 点 30 分，这与上面的气象点上的沙尘暴发生时间是一致的。

从上面的两个例子的验证结果中可以看出用沙尘指数 (DSI) 方法能够精确地监测出沙尘暴发生范围。用此方法监测了近两年的 MODIS 数据接收时段的所有沙尘暴发生的范围，结果监测到 2005 年发生的所有沙尘暴累加面积大约是 215184.21km²，监测到 2006 年发生的沙尘暴累加面积大约是 432201.15 km²。

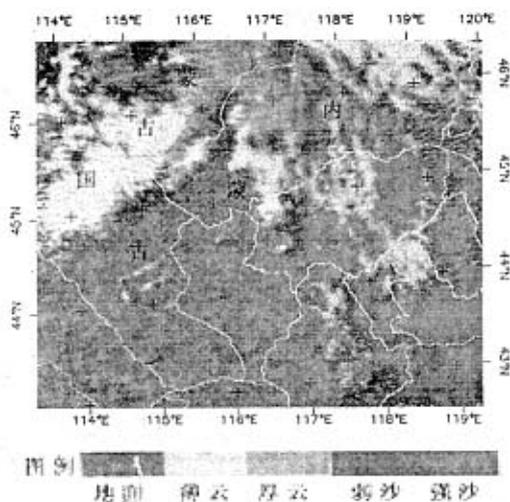


图 3-6 2005 年 4 月 9 日 MODIS 数据 20、1、29 波段合成图

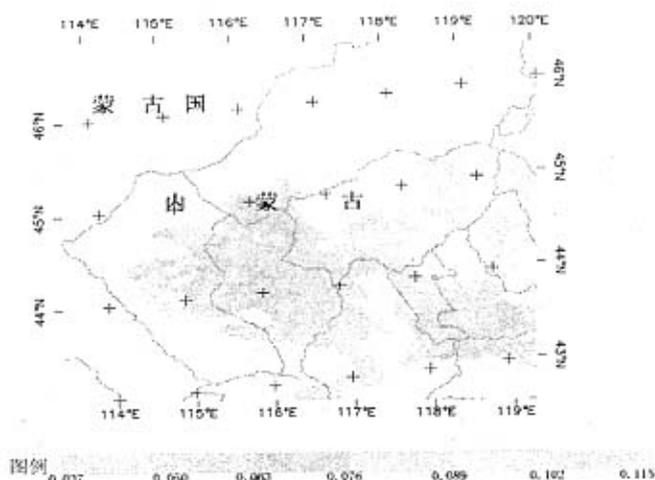


图 3-7 2005 年 4 月 9 日 DSI 分布图

3.3.3 沙尘暴强度的监测

本文中并没有采用常规的遥感监测方法,而自行研发监测模型的最主要目的就是抓住沙尘自身的热辐射性质,发挥不依靠太阳辐射,昼夜都能监测不同地区不同时期不同环境条件下发生的沙尘暴强度的优势。近两年的沙尘指数(DSI)监测的沙尘强度与能够获取的(因为能见度的地面资料少,而且时间与MODIS数据的接收时间恰好吻合的更少)少数几个地面观测数据的拟合度较好。另外由于地面验证数据不充足而又选择MODIS数据20($3.66\sim 3.84\mu\text{m}$)、1($0.62\sim 0.67\mu\text{m}$)、29($8.4\sim 8.7\mu\text{m}$)波段合成图来表示了沙尘暴强度进行对比。

通过对比图3-5与图3-4发现2006年4月21日DSI指数反映的沙尘强度与目视结果一致。从DSI分布图中可以看出商都县、察哈尔右翼后旗、察哈尔右翼中旗、正镶白旗、化德县、镶黄旗的沙尘强度比四子王旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗、正蓝旗、阿巴嘎旗的强,并且同一个旗县里分布的强度也不同,比如苏尼特左旗沙尘强度从南往北逐渐减少,这个结果与MODIS数据20($3.66\sim 3.84\mu\text{m}$)、1($0.62\sim 0.67\mu\text{m}$)、29($8.4\sim 8.7\mu\text{m}$)波段合成图一致。

通过对比图3-7与图3-6发现2005年4月9日沙尘指数(DSI)反映的沙尘强度与目视结果一致。从沙尘指数(DSI)分布图中可以看出锡林浩特市、林西县、克什克腾旗、西乌珠穆沁旗的沙尘强度比阿巴嘎旗、正蓝旗、巴林右旗、巴林左旗、阿鲁

科尔沁旗、翁牛特旗的强，并且同一个旗县里不同地方的强度分布也是不一样的，如阿巴嘎旗沙尘强度从东向西逐渐减弱。这个结果与 MODIS 数据 20(3.66~3.84 μm)、1(0.62~0.67 μm)、29(8.4~8.7 μm)波段合成图一致。

从上面的两个例子的验证结果中可以看出沙尘指数 (DSI) 能够准确地分辨出不同沙尘强度。本文中把沙尘强度根据沙尘指数分成 6 个等级，从等级 1 到等级 6 是沙尘强度逐渐减少，等级 1 的沙尘指数范围是 0.037~0.050、等级 2 的是 0.050~0.063、等级的 3 是 0.063~0.076、等级 4 的是 0.076~0.089、等级 5 的是 0.089~0.102、等级 6 的是 0.102~0.115。用沙尘指数方法监测了近两年 MODIS 数据接收时段发生的所有沙尘暴，计算出了不同等级沙尘强度沙尘暴占监测到的年内所有沙尘暴的累加面积的比例（如表 3-4），可以看出 2006 年的沙尘暴明显比 2005 年的强。

表 3-4 2005 年和 2006 年的不同等级沙尘强度
沙尘暴占累加面积的比例对照表 单位：%

	等级 1	等级 2	等级 3	等级 4	等级 5	等级 6
2005 年沙尘暴	35.61	71.65	318.57	123.98	232.29	217.9
2006 年沙尘暴	61.53	109.62	413.69	153.21	98.26	163.69

4 近两年内蒙古沙尘暴的原因分析及对策研究

本研究中主要是对沙尘暴的强度、范围、日数进行了监测。沙尘暴发生的范围是沙尘暴的强度不为零的地区，所以沙尘暴发生的强度和日数可视为表明沙尘暴大小的两个重要指标。沙尘暴发生的日数和强度与沙尘暴途经区域下垫面状况有很大的关系。本文中主要选取了沙尘暴发生的孕灾条件温度、降水、植被覆盖度和致灾条件大风日数和当时的风速作为沙尘暴发生的日数和强度的影响因子，找出内蒙古沙尘暴与其影响因子的关系，并分析了内蒙古近两年的沙尘暴发生的原因。气象数据是从内蒙古气象局获得的，包括年沙尘暴日数、月平均温度、月平均降水量和大风日数，并对气象数据进行了整理，季节降水量用该季节各月降水量数据之和表示；季节大风日数用该季节各月大风日数之和表示；季节温度也是用该季节各月温度数据的平均值表示。风速是沙尘暴发生时的风速。夏季植被覆盖度数据是夏季的植被覆盖度的最大合

成数据。

4.1 近两年内蒙古沙尘暴发生原因分析

4.1.1 内蒙古沙尘暴日数与主要影响因子的关系

沙尘暴发生面积和强度可以通过遥感监测获得,沙尘暴发生的日数是从气象部门的地面观察数据获得的。沙尘暴日数的主要影响因子包括上年冬季温度、当年春季温度、上年夏季降水量、上年秋季降水量、上年冬季降水量、上年夏季植被覆盖度,春季大风日数等。内蒙古地区东西跨度大、区内植被覆盖度、气象条件差异很大,沙尘暴与影响因子之间的关系较复杂,所以从全区东、中、西部地区中分别选择了巴林右旗、正镶白旗和杭锦旗作为沙尘暴代表站。利用1992~2006年15年的沙尘日数和其影响因素的数据,进行了时间序列分析。

表4-1 巴林右旗时间序列沙尘暴数据相关系数表

	当年春季 大风日数	当年春 季温度	上年冬 季温度	当年春季 降水量	上年夏季 降水量	上年秋季 降水量
沙尘暴日数	0.463	0.129	-0.258	-0.203	-0.457	-0.053

表4-2 杭锦旗时间序列沙尘暴数据相关系数表

	当年春季 大风日数	当年春 季温度	上年冬 季温度	当年春季 降水量	上年夏季 降水量	上年秋季 降水量
沙尘暴日数	0.562	0.169	-0.059	-0.170	-0.400	-0.370

表4-3 正镶白旗时间序列沙尘暴数据相关系数表

	当年春季 大风日数	当年春 季温度	上年冬 季温度	当年春季 降水量	上年夏季 降水量	上年秋季 降水量
沙尘暴日数	0.518	0.157	-0.142	-0.135	-0.365	-0.074

从表4-1、表4-2和表4-3中我们可以看出内蒙古东部、中部和西部的沙尘暴代表站巴林右旗、正镶白旗、杭锦旗的沙尘暴都与当年春季温度、当年春季降水量、当年春季大风日数、上年的夏季降水量的关系比较密切。

由于单个沙尘暴代表站的多年夏季植被覆盖度数据比较少,无法计算同一个点的沙尘暴与植被覆盖度之间的相关系数。为了使得到的植被覆盖度与沙尘暴日数之间的

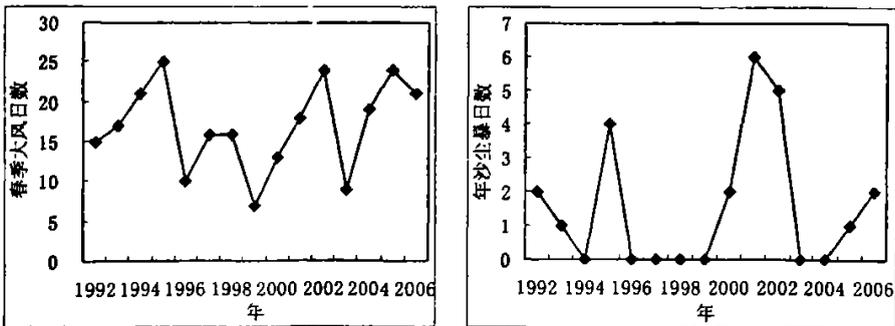
关系具有代表性本次研究中选了内蒙古东、中、西部的沙尘暴代表站巴林右旗、正镶白旗和杭锦旗以外加了6个邻近点来进行研究。但从表4-4中能够看出夏季植被覆盖度减少的地区来年的沙尘暴出现也比较多，从而也得出植被覆盖度对沙尘暴的影响也比较大。

表4-4 沙尘暴代表站点及邻近站点的植被覆盖度与沙尘暴日数对照表

	04 植被覆盖度	05 植被覆盖度	05 年沙尘暴日数	06 年沙尘暴日数
乌拉特前旗	0.3033	0.2763	0	2
五原	0.3699	0.3512	2	4
杭锦旗	0.11345	0.09594	0	5
巴林右旗	0.6445	0.4947	1	2
林西县	0.65031	0.607734	0	1
克什克腾旗	0.6782	0.4697	8	9
镶黄旗	0.3442	0.2635	4	16
化德	0.5021	0.3716	0	10
正镶白旗	0.4862	0.3499	12	14

4.1.2 近两年内蒙古沙尘暴发生原因分析

从内蒙古的三个沙尘暴代表气象站点的数据可以看出，内蒙古沙尘暴近几年的情况是2000年和2001年比较严重，2002年至2005年减少，2006年又有较大幅度增加，见图4-1、图4-2和图4-3。这一情况与风力、气温、降水及与其相关的土壤表层状况有关。



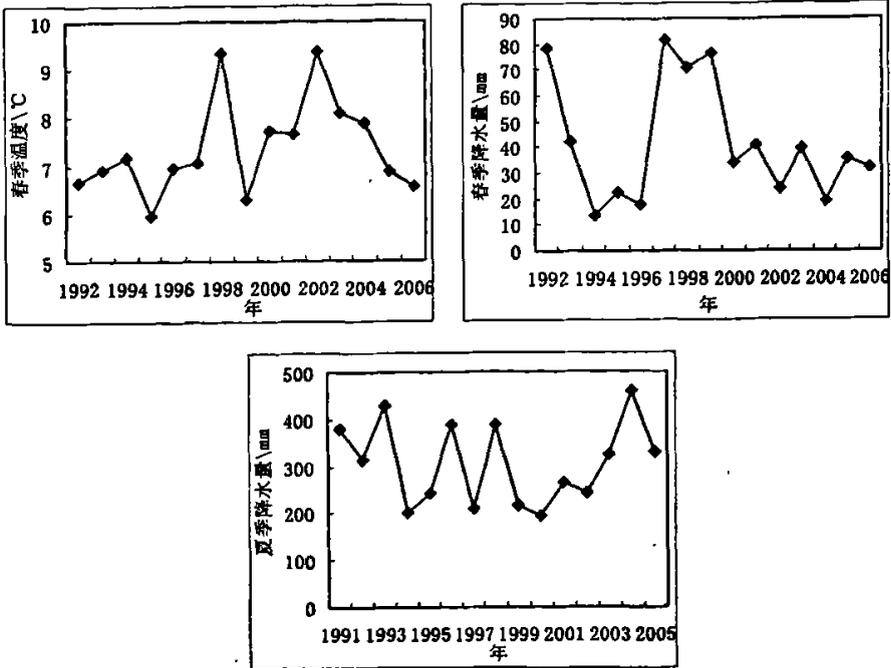


图 4-1 巴林右旗沙尘暴日数与主要气象影响因子的时间序列曲线图

从东部区沙尘暴代表站巴林右旗的沙尘暴日数与主要气象影响因子的时间序列曲线图（图 4-1）中看出，内蒙古东部地区 2005 年和 2006 年的沙尘暴比 2003 年和 2004 年的严重，并且 2006 年的沙尘暴比 2005 年的严重。2005 年和 2006 年的沙尘暴比 2003 年和 2004 年的严重，原因是虽然 2005 年和 2004 年的夏季降水量高于 2003 年和 2002 年，并且 2006 年和 2005 年春季温度低于 2004 年和 2003 年，但 2005 年和 2006 年的春季大风日数明显多于 2003 年和 2004 年，这就从引发沙尘暴的直接因素动力条件方面加强了沙尘暴。2006 年的沙尘暴比 2005 年的严重，原因是虽然 2006 年的春季温度低于 2005 年，但 2006 年春季大风日数比 2005 年的多，2006 年的春季降水量比 2005 年的少，2005 年夏季降水量比 2004 年的少。而且内蒙古东部地区沙尘暴易发生区的 2005 年植被覆盖度整体上低于 2004 年植被覆盖度，这也能够表明 2006 年的东部区沙尘暴多于 2005 年，见图 4-4。

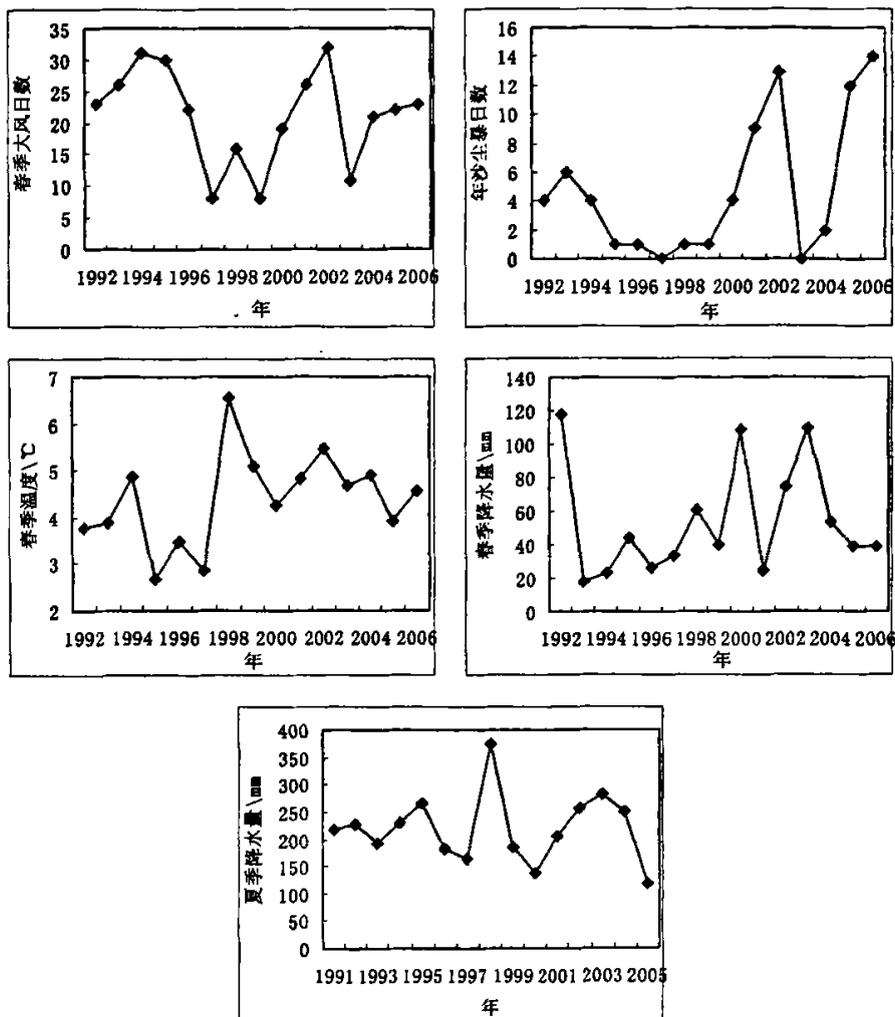


图 4-2 正镶白旗沙尘暴日数与主要气象影响因子的时间序列曲线图

从中部区沙尘暴代表气象站点正镶白旗的沙尘暴日数与主要气象影响因子的时间序列曲线图（图 4-2）中看出内蒙古中部地区 2006 年的沙尘暴比 2005 年的严重，2005 年和 2006 年的沙尘暴比 2003 年和 2004 年的严重。2006 年沙尘暴比 2005 年严重，原因是 2006 年春季大风日数多于 2005 年，2006 年的春季温度高于 2005 年，2005 年夏季降水量明显低于 2004 年，并且 2006 年的春季降水量低于 2005 年的春季降水量。2005 年和 2006 年的沙尘暴比 2004 年多，原因是虽然 2005 年和 2006 年的春季温度低于 2004 年，但 2005 年和 2006 年的春季大风日数比 2004 年的多，2005 年和 2006 年春季降水量小于 2004 年，而且 2004 年和 2005 年的夏季降水量低于 2003 年。

2005 年和 2006 年的沙尘暴比 2003 年多，原因是虽然 2005 年和 2006 年春季温度低于 2003 年，但 2005 年和 2006 年的春季大风日数明显多于 2003 年，并且 2005 年和 2006 年的春季降水量明显少于 2003 年；2005 年夏季降水量明显小于 2002 年。此外正镶白旗为沙尘暴代表站点的内蒙古中部地区 2005 年的植被覆盖度也明显好于 2004 年的情况，这也从另外一个角度反映着 2006 年的尘暴多于 2005 年的原因，见图 4-4。

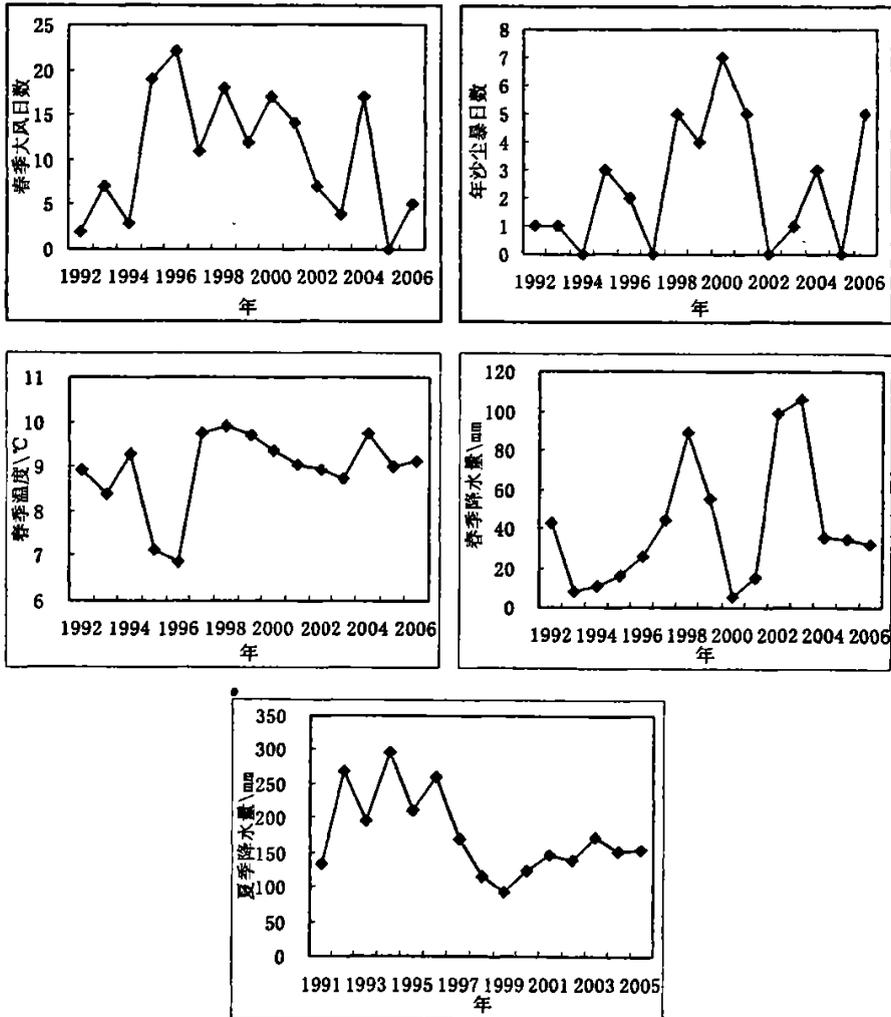


图 4-3 杭锦旗沙尘暴日数与主要气象影响因子的时间序列曲线图

从西部区沙尘暴代表气象站点杭锦旗的沙尘暴日数与主要气象影响因子的时间序列曲线图（图 4-3）中可以看出 2006 年的沙尘暴比 2003、2004、2005 年的多并且

2005年的沙尘暴比2006、2004和2003年的少。2006年的沙尘暴比2003年和2005年严重的原因是2006年的春季大风日数、春季降水量、上年夏季降水量都比2003和2005年更适合沙尘暴发生。2006年的沙尘暴比2004年严重的原因是虽然2006年的春季大风日数和春季温度都低于2004年,但2006年的春季降水量比2004年的低,并且2005年的夏季降水量也低于2003年。2005年比其它年份沙尘暴少的主要原因是2005年的春季大风日数少。从图4-4中反映出的内蒙古西部2004年的植被覆盖度明显好于2005年的实际情况也可分析出2006年的沙尘暴多于2005年。

从30个气象点的2005和2006两年的内蒙古沙尘暴日数分布图(图4-5)能看出,2005、2006两年的沙尘暴发生日数的分布情况和2006年的沙尘暴比2005年的沙尘暴严重。从图4-5能看出,只有阿拉善右旗一个气象点的2006年发生的沙尘暴日数低于2005年,其它29个点的2006年的沙尘暴日数都比2005年的沙尘暴日数高。内蒙古地区总的来看2006年的气象条件比2005年的更适合沙尘暴发生,而且2005年植被覆盖度大部分低于2004年,并且2005年大旱之后,秋季现存生物量比上年明显减少,使得2006年春季下垫面条件比2005年差。2006年春季大风来临时,该地区下垫面条件不能够有效地削弱沙尘。



图4-4 2005年与2004年内蒙古植被覆盖度监测图

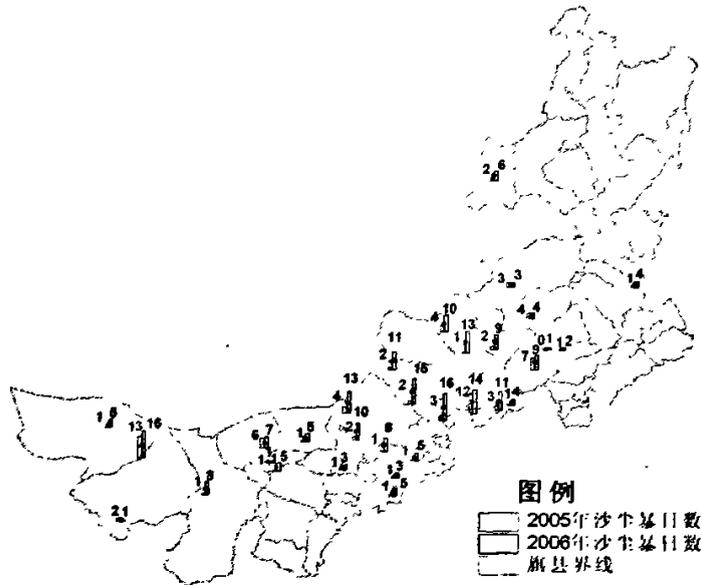


图 4-5 2005 年和 2006 年的内蒙古沙尘暴日数分布图

4.2 内蒙古沙尘暴强度原因分析

4.2.1 内蒙古沙尘暴强度与主要影响因子的关系

沙尘强度与它的动力条件和地面沙尘物质的丰富度有关。综合考虑沙尘暴发生的影响条件，利用沙尘指数和致灾、孕灾因子之间的多种组合关系发现了沙尘强度的主要影响因子是当时风速、当年春季温度、当年春季降水量、上年冬季温度、上年夏季降水量、上年秋季降水量、上年冬季降水量、上年夏季植被覆盖度等因子。遥感监测到的2005、2006两年沙尘暴发生气象点上，对上述的影响因子与沙尘指数(DSI)进行了相关性分析，结果如表4-5。

表4-5 沙尘指数(DSI)与主要影响因子的相关系数表

	当时 风速	当年春 季温度	上年冬 季温度	当年春季 降水量	上年夏季 降水量	上年秋季 降水量	上年冬季 降水量	上年夏 季植被 覆盖度
沙尘指数 (DSI)	-0.530	-0.215	0.241	0.181	0.592	0.522	0.324	0.465

从表 4-5 中我们可以看出沙尘指数(DSI) (沙尘指数值越小的沙尘强度越强) 与当年春季温度和当时风速负相关, 与当年春季降水量、上年夏季降水量、上年秋季降水量、上年冬季降水量、上年夏季植被覆盖度、上年冬季温度呈正相关。其中沙尘指数(DSI) 与沙尘暴发生时的当时风速、上年夏季降水量、上年秋季降水量、上年夏季植被覆盖度的相关性比较高。沙尘指数(DSI) 与当年春季温度、春季降水量、上年冬季温度之间也有关系, 但不密切。沙尘暴发生当时的风速大时带走的沙尘含量也变得多, 上年夏季植被覆盖度高, 则植被通过地面部分增加粗糙度减缓风速的同时, 还通过地下的根系部分固定沙地的作用会影响来年沙尘暴的发生。上年夏季降水量和上年秋季降水量一方面影响植物的生长, 另一方面增加土壤湿度。在当年春季温度对地表的作用主要体现在对水分的蒸发方面, 同时温度变化可导致局地热力不稳定, 易产生上升气流。春季降水量增加湿度、固定土壤。因为沙尘指数(DSI) 越高沙尘强度越低、沙尘指数(DSI) 越低沙尘强度越高, 所以沙尘强度和影响因子的关系与沙尘指数(DSI) 和影响因子的关系是相反的。

4.2.2 近两年内蒙古沙尘强度原因分析

内蒙古近两年发生的沙尘暴强度也不例外, 首先受到致灾因子风速外, 还受到其它孕灾条件的影响。下面以 2006 年 4 月 21 日在内蒙古地区发生的沙尘暴为例具体分析沙尘强度分布及原因。从图 3-6 可以看出镶黄旗沙尘强度最高, 察哈尔右翼后旗沙尘强度也较高, 察哈尔右翼中旗、化德、商都、正镶白旗的沙尘强度比较强, 四子王旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗、阿巴嘎旗的沙尘强度比较弱。原因是上述沙尘暴发生的地区里镶黄旗的 2005 年夏季降水量和秋季降水量最低, 2005 年夏季植被覆盖度也是最小, 2006 年春季降水量也相对少, 而且沙尘暴发生当时风速比其它地区大。察哈尔右翼后旗在上述沙尘暴发生的地区里虽然 2005 年夏季降水量和秋季降水量最高, 但 2005 年的夏季植被覆盖度除了镶黄旗以外属于最低, 2006 年春季温度最高, 沙尘暴发生当时风速也很大所以该地区的沙尘强度也比较高。察哈尔右翼中旗、化德、商都、正镶白旗 2005 年的夏季降水量和秋季降水量、植被覆盖度, 2006 年的春季降水量都比镶黄旗和察哈尔右翼后旗高, 但 2006 年春季温度比较低, 而且沙尘暴发生当时风速大。四子王旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗、阿巴嘎旗的 2006 年春季降水量、2005 年的夏季降水量、秋季降水量和植被覆盖度也都适合沙尘暴发生, 但这些地区的当时风速弱, 从而这几个旗县范围内发生的沙尘强度最弱。

4.3 内蒙古沙尘暴对策研究

沙尘暴的发生发展是特定的天气背景和下垫面条件共同作用的产物。沙尘暴的发生,除了要有强风条件外,还要有“起沙”的下垫面植被条件。目前人类还无法控制大风、强对流天气和气候状况,也不可能彻底消除沙尘暴灾害。但是,对沙尘暴灾害的防治,有可能着眼于生态环境的保护,即从遏制生态环境中的沙尘源入手,从而减弱沙尘暴的强度,缩小沙尘暴的范围,并减轻沙尘暴的危害。由于地面覆盖植被少,地温升高快,一旦遇到冷气流,就地起沙,而且强度极大。内蒙古地区地势平坦开阔,成为沙尘暴容易产生的先天条件,植被稀疏、低矮,地表裸露面积大,下垫面温度变化剧烈时,很容易起风。裸露的地表为沙尘提供丰富的沙源物质,而稀疏的植被又不能有效地拦截这些沙尘,从而导致沙尘暴的产生和发展。

针对以上情况,提出如下对策:

(1) 注重以植被建设为主体的生态环境治理。要调整防沙治沙战略,从片面重视发展人工植被转到积极发展人工——天然、乔灌草复合植被;从单纯保护绿洲、城镇到积极保护包括绿洲、城镇在内的整个荒漠生态系统。要针对不同的土壤、不同的气候条件、不同的地理环境,采取不同的种植措施,同时要强调植被品种的多样化。要将植树造林朝产业化方向发展,把林业转化成有经济效益的产业,让当地居民能够从治理环境中获得利益。只有把环境保护与经济利益挂钩,合理退耕还林、还草,因地制宜,这样才能使恶化的生态环境得到改良。

(2) 在农牧业的发展上,要优化品种,调整产业结构,大力发展阳光型、节水型、保墒型的农牧业和沙产业,加快农业工业化进程,要把沙化土地规定为特殊的自然保护区,严禁在沙化土地上乱耕、乱牧、乱伐、乱樵、乱采、乱挖等。在沙尘暴频发区进行规划,按照当地实际情况确定农林牧渔各业的比例,达到既发展生产,又促进生态平衡的目的。

(3) 控制人口增长,减轻人为因素对土地的压力,保护好环境,加强沙尘暴的发生、危害及人类活动有关的科普宣传。

(4) 加强研究,提高防御风沙危害的预警能力和应变能力。要针对风沙天气及风沙灾害的类型、强度、分布和产生机理、演变规律、区域特点、防御对策等进行多方面的系统地研究,提高风沙天气的预报水平,提高对风沙灾害的监测能力,建立风沙灾害的监测、评估、预警系统,有效地增强防御灾变能力。

(5) 扩宽融资渠道, 建立多元化投入机制是防沙治沙生态环境建设社会化投资方向。防沙治沙是一项需要资金投入的生态环境建设工程, 是受益于全体人类社会的公益事业, 因而需要在国家层面上解决资金来源问题。建立多元化投资渠道, 保障治理资金的稳定来源, 形成全民防沙治沙融资机制是十分重要。

5 结论与讨论

总结前四章的分析, 可以得出以下结论, 并对一些问题进行了讨论:

(1) 地物的比辐射率与地物的性质、表面状况(如粗糙度、颜色等)有关。比辐射率在没有发生沙尘暴的情况下主要受地面组成成分的影响, 但如果出现沙尘暴, 空气中的沙尘成分就会参与比辐射率的贡献, 所以可以把沙尘暴发生时的比辐射率看成是地面成分和沙尘成分共同作用的结果。中国北方地区沙尘的主要成分都是硅酸铝、石英等类物质。因此内蒙古地区沙尘暴的主要成份也是硅酸铝、石英等类物质。而且对内蒙古不同时间不同地点的沙尘颗粒来说, 表面状况相近, 所以不考虑沙尘物质组成和表面状况差异对比辐射率的影响。单从地面和沙尘对比辐射率的影响来讲, 地面要高于沙尘, 所以沙尘成分参与的越多, 比辐射率相对就会越低。也就是说, 沙尘强度越强, 沙尘层的厚度就越大, 沙尘的均匀程度也越高, 比辐射率中沙尘成分的贡献就越大, 地面成分的贡献就越低, 使得比辐射率越低; 反之, 沙尘强度越低, 比辐射率则越高。所以可用比辐射率代表内蒙古地区的沙尘强度。本文通过试验建立模型, 利用物体比辐射率特性, 并结合 MODIS 数据的热辐射波段的特征建立一个较稳定定量判识沙尘强度的沙尘指数(DSI), 可以精确地反映沙尘的强度。经过多次沙尘暴的实例验证, 本方法能精确地监测沙尘强度。

(2) 通过地面调查观测数据的分析和遥感监测得出内蒙古地区发生的沙尘暴 2006 年比 2005 年严重。通过沙尘暴强度与主要影响因子的相关分析, 得出沙尘强度与当时风速、上年夏季降水量、上年秋季降水量、上年夏季植被覆盖度的相关性比较高; 通过沙尘暴日数与主要影响因子的相关分析得出了内蒙古的沙尘暴日数与春季温度、春季降水量、上年夏季降水量、上年植被覆盖度、春季大风日数相关性比较高。并且得出近两年沙尘暴的原因与其影响因子的关系非常密切。

(3) 沙尘暴的防治对策是根据沙尘暴发生原因来确定的, 气象、气候条件不能

够人为地去改变，所以沙尘暴的防范主要是控制人口增长、恢复植被、保护生态环境、提高预报预测能力。

(4) 不管监测沙尘暴的强度、还是沙尘暴发生面积、移动路径，要想全面地监测沙尘暴，必须结合多个卫星数据。本研究当中就明显感觉到单靠一个或一种数据不能满足研究沙尘暴所需的时间分辨率高、波普分辨率高的要求。

(5) 由于缺乏地面沙尘强度观测数据，本文沙尘强度的判别是相对的，还需要在这方面做更多的工作。

参考文献

- [1] 范一大.沙尘灾害遥感监测模式及其形成机制的研究—以中国北方沙尘暴灾害形成过程为例 [D]. 北京: 北京师范大学, 2003:
- [2] 史培军, 张宏, 王平等.我国沙区防沙治沙的区域模式 [J]. 自然灾害学报, 2000a, (3): 1-7.
- [3] 罗敬宁.沙尘暴遥感方法研究及其强度计算模型构建 [D]. 北京: 北京师范大学, 2006:
- [4] 朱福康, 江吉喜, 郑新江, 罗敬宁.沙尘暴天气研究现状和未来 [J]. 气象科技, 1999, 4: 1-8.
- [5] <http://www.sina.com.cn> 中国气象局中央气象台 2007 年 03 月 30 日 11:00
- [6] <http://www.xinhuanet.com/st/>
- [7] <http://www.china.org.cn/chinese/2004/Mar/525485.htm>
- [8] <http://bbs.yinsha.com>
- [9] <http://post.com.tv/simple>
- [10] 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
- [11] 孙金铸.内蒙古地理文集 [M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2003: 46.
- [12] Hankin E H. On dust raising winds and descending currents [J]. India Meteorological Memoirs, 1921, 22:210-223.
- [13] Sutton L J. Haboobs [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1925, 51:25-30.
- [14] wolfson N, Matson M. Satellite observations of a phantom in the desert [J], weather, 1986, 41(2):57-60.
- [15] Brazel A J, Nicking W C. The relationship of weather types to dust storm generation in Arizona [J], journal of Climatology, 1986, 6(3):255-273.
- [16] Jauregui E. The dust storms of Mexico City. Inter [J]. Climatology, 1989, 9(2):169-180.
- [17] Littmann T. Dust storm frequency in Asia: Climatic control and Variability [J]. International Journal of Climatology, 1991, 11:393-412.
- [18] Goudie A S, Middleton [J]. The changing frequency of dust storms through time. climatic Change, 1992, 20:197-225.
- [19] Soddoway F H, Chepil W S and Armbrust D V. Effect of kind, amount, and placement of residue on wind erosion control [J], Transactions of the ASAE, 1965, 8(3):327-331
- [20] Shao Yaping. Physics and modeling of wind erosion [M]. The Netherlands: Kluwer Academic publishers, 2000
- [21] Pye k. Aolian dust and dust deposits [M]. London: Academic Press Inc Ltd, 1987. 113-126.
- [22] 王式功, 王金艳, 周自江等. 中国沙尘天气的区域特征 [J]. 地理学报, 2003, 58 (2): 193-200.

- [23] 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.
- [24] 史培军. 我国风沙灾害加剧的成因分析及防沙治沙科技对策 [J] .科学技术部, 2000c.
- [25] 夏训诚, 杨根生. 中国西北地区沙尘暴灾害防治 [M] .北京, 中国环境科学出版社, 1996.
- [26] 胡金明, 崔海亭, 唐志尧. 中国沙尘暴时空特征及人类活动对其发展趋势的影响 [J] .自然灾害学报, 1999, 8 (4) : 49-56.
- [27] 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.
- [28] 范一大, 史培军, 王秀山等. 中国北方典型沙尘暴的遥感分析 [J] .地球科学进展, 2002, 17 (2) : 289-294.
- [29] 张国祥, 周全斌, 刘斌等. 中国北方沙尘灾害特点及其下垫面状况的遥感监测 [J] .遥感学报, 2001, 5 (5) : 377-382.
- [30] Griggs M. Measurements of atmospheric aerosol optical thickness over water using ERTS-1 data [J] . Air Pollution Control Association , 1975, 25:622-625.
- [31] Norton C, Mosher F R, Hinton B, et al. A model for calculating desert aerosol turbidity over the oceans from geostationary satellite data [J] . Journal of Applied Meteorology , 1980, 19: 633 - 644.
- [32] Shenk W E , Curian R J. The detection of dust storms over land and water with satellite visible and infrared measurements [J] . Monthly Weather Review, 1974, 102:820-837.
- [33] Carlson T N. Atmospheric turbidities in Saharan dust outbreaks as determined by analysis of satellite brightness data [J] . Monthly Weather Review, 1979, 107:322-335.
- [34] Steven A A. Using the radiative temperature difference at 3.7 μm and 11 μm to track dust outbreaks [J] . Remote Sensing of Environment, 1989, 27: 129 - 133.
- [35] Yoram J Kaufman, Arnon Karnieli, Didier Tanré. Detection of Dust Over Deserts Using Satellite Data in the Solar Wavelengths [J] . IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2000, 38: 252 - 531.
- [36] 郑新江, 陆文杰, 罗敬宁. 气象卫星多通道信息监测沙尘暴的研究 [J] .遥感学报, 2001, 5 (4) : 301 - 305.
- [37] 刘诚, 郑新江等著. 卫星遥感监测大气与环境科学原理和技术——2002 年度卫星遥感监测与分析 [M] . 气象出版社, 2004: 12
- [38] 孙司衡, 郑新江. 沙尘暴的卫星遥感监测与减灾服务 [J] .测绘科学, 2000, 6, 25(2): 33-36.
- [39] 方宗义, 张运刚, 郑新江等. 用气象卫星遥感监测沙尘暴的方法和初步结果 [J] . 第四纪研究, 2001, 21 (1) : 48 - 55.
- [40] 张军华, 毛节奏, 王美华. 利用 TOM S 资料遥感沙尘暴的研究 [J] .高原气象, 2002, 10,

21(5): 457-465.

- [41] 毛节泰, 李成才, 张军华, 刘晓阳, 刘启汉. MODIS 卫星遥感北京地区气溶胶光学厚度及与地面光度计遥感的对比 [J]. 应用气象学报, 2002, 1(13): 127-135.
- [42] 范一大, 史培军, 潘耀忠, 景贵飞. 基于 NOAA/AVHRR 数据的区域沙尘暴强度监测 [J]. 自然灾害学报, 2001, 11, 10(4): 46-51.
- [43] 高庆先, 任阵海, 张运刚, 李占青, 普布次人. 利用静止卫星资料跟踪沙尘天气的发生、发展及其传输 [J]. 资源科学, 2004, 9, 26(5): 24-29.
- [44] 延昊, 王长耀, 牛铮, 刘正军, 张晔萍. 应用遥感技术估算东亚沙尘携带量 [J]. 水土保持学报, 2002, 3, 16(1): 120-123.
- [45] 罗敬宁, 范一大, 史培军, 陆文杰, 周俊华. 多源遥感数据沙尘暴强度监测的信息可比方法 [J]. 自然灾害学报, 2003, 5, 112(2): 28-34.
- [46] 郭铎, 倾继祖. NOAA 卫星沙尘暴光谱特征分析及信息提取研究 [J]. 高原气象, 2004, 23 (5): 643 - 647.
- [47] 张杰, 郭铎. 春季沙尘暴强度的 NOAA-14 气象卫星监测研究 [J]. 遥感技术与应用, 2002, 12, 17(6): 290-292.
- [48] <http://MODIS.gsfc.nasa.gov/data/dataproducts.html>
- [49] 陈述等. 遥感技术与遥感数字图像分析处理方法、解译制图及其综合应用实务全 [M]: 7.
- [50] 郑新江等. 气象卫星多通道信息监测沙尘暴的研究 [J]. 遥感学报, 2001-07, 5(4): 300-306.
- [51] 杨青生, 刘闯. MODIS数据陆面温度反演研究 [J]. 遥感技术与应用, 2004-04, 19 (2): 91.
- [52] 汪溪远. 基于MODIS数据的新疆沙尘暴信息提取与沙尘天气生态效应研究 [D]. 新疆: 新疆大学, 2005:

附录

附表 1: 采样点数据对照表

样本类型	纬度	经度	时间	y	t31	t32
植被	38/26/0.61	108/50/44.32	2006/06/10/11 点	0.4027	312.3220	311.8152
植被	37/49/49.62	108/34/19.09	2006/06/10/11 点	0.4372	314.7100	314.0260
植被	38/15/42.23	107/57/49.54	2006/06/10/11 点	0.4262	315.3510	314.9671
植被	39/23/58.19	109/39/8.43	2006/06/10/11 点	0.4398	313.4780	312.5371
植被	39/38/31.03	109/33/38.83	2006/06/10/11 点	0.4126	313.0287	312.4707
植被	40/20/56.99	110/20/7.9	2006/06/10/11 点	0.3754	305.9355	304.8097
植被	40/26/55.96	110/42/53.26	2006/06/10/11 点	0.3487	302.3198	301.0763
植被	40/27/24.83	110/31/24.18	2006/06/10/11 点	0.3328	299.8577	298.5032
植被	41/52/59.76	110/36/30.18	2006/06/10/11 点	0.3907	309.5900	308.8194
植被	41/34/7.32	110/54/3.13	2006/06/10/11 点	0.3588	305.9469	305.1360
植被	41/51/4.56	107/56/25.75	2006/06/10/11 点	0.3387	306.8420	306.5892
植被	41/27/10.81	110/41/48.28	2006/06/10/11 点	0.3586	306.0000	305.2000
植被	35/45/49.87	108/2/56.69	2006/06/10/11 点	0.3137	301.6527	301.0045
植被	35/25/36.55	104/16/3.6	2006/06/10/11 点	0.3490	309.9576	310.0518
植被	35/51/11.94	105/19/24.69	2006/06/10/11 点	0.4027	313.1046	312.7364
植被	35/56/57.59	105/39/45.36	2006/06/10/11 点	0.3934	311.9946	311.5979
植被	40/56/23.7	108/34/3.2	2006/06/10/11 点	0.3800	305.6778	304.4243
植被	40/56/26.24	107/46/59.24	2006/06/10/11 点	0.4199	308.4848	307.1929
植被	41/32/3.58	110/52/25.32	2006/06/10/11 点	0.3510	304.9591	304.1258
植被	41/29/59.45	110/25/13.48	2006/06/10/11 点	0.3280	303.4978	302.8724
沙地	41/42/5.89	99/55/57.73	2006/04/21/12 点	0.3065	311.7047	313.0571
沙地	41/58/36.69	99/15/5.68	2006/04/21/12 点	0.2877	308.8714	310.1419
沙地	42/40/57	97/27/38.61	2006/04/21/12 点	0.3165	310.7099	311.6426
沙地	41/55/16.85	97/53/1.39	2006/04/21/12 点	0.2739	306.4608	307.6227
沙地	41/46/0.6	101/25/48.87	2006/04/21/12 点	0.2947	308.1647	309.1313
沙地	41/56/54.82	100/22/50.41	2006/04/21/12 点	0.3206	313.4888	314.8525

近两年内蒙古沙尘暴遥感监测

沙地	41/48/34.28	103/7/32.46	2006/04/21/12点	0.2509	305.7866	307.4337
沙地	41/51/7.45	102/56/19.4	2006/04/21/12点	0.2611	308.8937	310.8604
沙地	41/29/28.99	104/8/34.14	2006/04/21/12点	0.2399	306.0270	308.0340
沙地	40/30/41.92	108/00/58.2	2006/04/21/12点	0.1868	298.0846	300.2479
沙地	40/28/14.77	107/51/30.99	2006/04/21/12点	0.1917	297.2158	299.0386
沙地	40/25/30.08	107/29/7.36	2006/04/21/12点	0.2033	298.9411	300.7047
沙地	40/11/23.65	107/43/41.75	2006/05/16/12点	0.1768	296.7420	299.0083
沙地	39/52/31.1	101/2/1.39	2006/05/16/12点	0.3237	314.6082	316.1141
沙地	40/42/34.4	103/55/24.58	2006/05/16/12点	0.2351	303.2116	304.8155
沙地	41/44/3.37	99/1/55.02	2006/05/16/12点	0.2925	309.0279	310.2094
沙地	41/95/4.57	98/24/23.47	2006/05/16/12点	0.2880	307.5898	308.6092
沙地	40/40/27.46	103/7/50.49	2006/05/16/12点	0.2505	305.6663	307.3018
沙地	40/38/34.64	104/57/27.57	2006/05/16/12点	0.2409	301.6882	302.8665
沙地	40/10/14.09	107/29/43.63	2006/05/16/12点	0.2161	299.3340	300.7647
裸土	42/55/55.68	105/25/39.06	2006/04/21/12点	0.1936	293.9278	295.0520
裸土	43/4/4130	106/16/24.24	2006/04/21/12点	0.2060	295.4338	296.4393
裸土	43/35/50.85	105/52/10.81	2006/04/21/12点	0.1810	291.1922	292.2269
裸土	41/31/27.87	106/11/7.13	2006/04/21/12点	0.2322	302.1784	303.6681
裸土	41/52/22.59	107/21/51.21	2006/04/21/12点	0.1960	295.6020	296.9643
裸土	42/41/36.34	109/7/21.54	2006/04/21/12点	0.1637	290.4587	291.9903
裸土	42/50/53.27	108/41/7.31	2006/04/21/12点	0.1833	293.1420	294.4692
裸土	42/55/1.99	107/4/35.43	2006/04/21/12点	0.2240	298.7534	299.8319
裸土	42/44/59.23	106/58/21.59	2006/04/21/12点	0.2124	298.4985	299.8862
裸土	40/22/38	110/58/13.44	2006/04/21/12点	0.2474	299.8157	300.4284
裸土	39/34/12.95	107/38/7.56	2006/04/21/12点	0.3434	309.3961	309.5047
裸土	39/28/30.18	107/57/5.24	2006/04/21/12点	0.3275	308.4848	308.7626
裸土	39/21/12.33	109/42/25.15	2006/05/16/12点	0.2993	307.8663	308.6661
裸土	39/47/52.65	109/54/49.1	2006/05/16/12点	0.2848	304.1087	304.5588
裸土	39/28/35.71	110/38/18.27	2006/05/16/12点	0.3142	306.1071	306.2431
裸土	41/28/43.67	110/55/42.41	2006/05/16/12点	0.2346	297.9016	298.5153
裸土	41/16/25.09	110/18/17.38	2006/05/16/12点	0.2026	295.6021	296.7484
裸土	42/8/51.85	109/43/50.96	2006/05/16/12点	0.1614	288.6401	289.9129

裸土	41/37/11.43	109/00/49.62	2006/05/16/12点	0.2133	295.9874	296.5259
裸土	36/55/18.7	109/49/57.33	2006/05/16/12点	0.3856	309.3905	308.6774
沙尘	42/15/9.9	113/11/44.91	2006/04/21/12点	0.0693	273.6847	277.0122
沙尘	42/26/10.93	114/21/59.97	2006/04/21/12点	0.0676	274.0287	277.5684
沙尘	41/32/55.18	112/35/28.64	2006/04/21/12点	0.0615	273.2165	277.1280
沙尘	41/42/25.11	111/57/36.4	2006/04/21/12点	0.0801	278.7717	282.3248
沙尘	41/16/6.05	112/30/48.03	2006/04/21/12点	0.0890	281.2141	284.6536
沙尘	41/52/51.34	113/00/22.82	2006/04/21/12点	0.0822	278.7135	282.1033
沙尘	42/34/43.58	113/15/28.98	2006/04/21/12点	0.0884	279.9499	283.1656
沙尘	43/15/27.69	114/14/16.12	2006/04/21/12点	0.1014	280.7802	283.3441
沙尘	43/10/54.87	115/11/26.63	2006/04/21/12点	0.1147	284.1878	286.6987
沙尘	42/18/50.31	113/12/54.56	2006/04/21/12点	0.0652	274.5916	278.4582
沙尘	41/59/45.58	113/27/40.7	2006/04/21/12点	0.0766	278.3199	282.0409
沙尘	42/27/28.47	112/41/3.15	2006/04/21/12点	0.0753	277.1741	280.7584
沙尘	44/33/59.42	107/7/59.33	2006/05/16/12点	0.0712	269.8644	272.2425
沙尘	44/34/51.34	107/20/57.99	2006/05/16/12点	0.0751	274.1049	277.0557
沙尘	44/51/24.45	106/48/38.27	2006/05/16/12点	0.0804	279.5467	283.2411
沙尘	41/1/29.36	109/7/55.71	2006/05/16/12点	0.0932	281.7380	285.0058
沙尘	40/23/17.82	107/38/48.78	2006/05/16/12点	0.1063	280.4375	282.6494
沙尘	44/7/52.2	107/00/22.97	2006/05/16/12点	0.0765	273.7459	276.5189
沙尘	44/36/2.72	106/33/45.72	2006/05/16/12点	0.0964	280.0218	282.7322
沙尘	44/45/52.46	108/46/8.67	2006/05/16/12点	0.0739	274.8567	278.0572

附图1：沙尘暴危害图



a



b



c



d



e



f



注释：图 a 为影响基础设施；图 b 为能见度下降；图 c 为污染大气环境；图 d 为掩埋村庄；图 e 为危害人体健康；图 f 为妨碍交通；图 g 为破坏草原生态；图 h 为恶化生态环境；图 i 为黑风暴侵袭城市；图 j 为黑风暴埋压村庄。

致 谢

时光如梭，三年的硕士研究生生活很快就要结束了。回顾我这三年来的学习和生活，我所取得的每一项成绩都跟老师、同学们的无私的关怀与帮助分不开。

值此毕业论文付梓之际，我再次向各位帮助和支持我的老师、同学表示我深深的敬意和谢意。在我三年的硕士研究生学习生活中，首先要感谢的是我的两位导师包玉海教授和阿拉腾图雅副教授，无论在学习上还是生活上都对我关怀有加，尽可能给我们提供好的学习条件。我在三年的学习中所取得的成果与进步都跟两位老师的认真指导和悉心帮助分不开，同时也被他们的认真严谨的治学态度，广博的学术知识所折服，导师是我今后学习工作的榜样。在这三年两位老师给我提供了很多学习的机会，比如参加的项目、出野外实习、去外地学习。师恩难忘，在此论文完成之际我再一次向我的两位导师表示深深的敬意和衷心的感谢。并祝愿两位老师身体健康，工作顺利。

感谢银山教授、李百岁教授、雷军副教授在我平时学习中的指导以及在我做毕业论文期间对论文提出的很多宝贵意见，使我避免了许多弯路，顺利完成论文。感谢内蒙古气象局都瓦拉、乌兰师姐对我毕业论文提供了思路。感谢内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室的玉山老师和来全老师的大力支持。感谢内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室包钢老师对我学习上的指导以及生活上的帮助。感谢内蒙古草原勘察设计院乌兰图雅师姐对我论文的帮助。感谢内蒙古测绘局地图制印院的石主任对我技术上的培养以及对我生活上的帮助。感谢都业军、包山虎、芙蓉、赵惠丹、冯异星、呼斯呼、韩丽芳、李慧静、白智娟、德喜、毕力格、谢丽丽、斯琴高娃师妹们无论是在学习上还是生活上的帮助。感谢我的舍友吉日木图、哈日巴拉、金峰、才胜给与我的帮助。感谢我的同学海军、那日苏、何文明、嘎毕日、王永霞、席冬梅、红格尔、卓义、于凤鸣、萨楚拉、田军、王秀梅等同窗在这三年学习生活中的相互关心和帮助，感谢你们对我学习上的大力支持。

感谢国家气象局罗敬宁研究员对我论文的帮助，您可能不认识我、我就是那个多次在电话上请教过您有关用遥感监测沙尘暴方面的学生。感谢内蒙古大学师范大学地理科学学院的各位老师，使我有机会在这里学习，并对我提供帮助。感谢我的家人，在我上学读书期间对我的一贯支持和关怀。这种帮助使我倍感温暖，支持我努力前进。最后，对所有关心我、支持我的人表示衷心的感谢。

海全胜

2007年4月5日