

新疆师范大学

硕士学位论文

艾比湖干涸湖底沙尘暴形成与运行机制研究

姓名：荆耀栋

申请学位级别：硕士

专业：地图学与地理信息系统

指导教师：陈蜀江

2007-06

中文摘要

艾比湖已经成为新疆最大的沙尘暴策源地之一。艾比湖干涸湖底各个部分出露的年代、水分、地形各异, 本文将其划分为四个不同的区域: 龟裂区、盐泥区、疏松裸土区、植被覆盖区进行研究。经过对 Aerosol Index 数据的统计发现, 艾比湖湖面面积变化与沙尘日数呈反向变化趋势, 当湖面面积增加 1km^2 , 沙尘日数平均减少 0.08d , 而湖面减少 1km^2 , 沙尘日数将增加 0.5d 。沙尘暴发生的物质基础是大量沙源的存在, 在对艾比湖干涸湖底下垫面进行分析研究时, 笔者应用了分层分类的方法, 通过卫星影像提取了各类地表分布信息。其中, 龟裂区主要位于干涸湖底的西北部, 面积 157.97km^2 。盐泥区主要位于湖滨及干涸湖底低洼处附近, 面积 55.64km^2 。疏松裸土区主要位于干涸湖底的中部, 面积 252.70km^2 。植被覆盖区主要分布在泉水溢出点附近等水分状况较好的区块, 共有两处, 一处在西部的乌兰达布森泉水周围, 面积 9.33km^2 ; 另一处在玛依拉山东部洪积扇缘, 从拉巴河口至库夏奇沟沿扇缘呈带状分布, 长约 14.26km , 宽约 0.67km 。

沙尘暴发生的另一个因素是大风天气, 为此对艾比湖干涸湖底风速风向特征进行了统计分析, 得出年起沙总风速 $5293\text{m/s}\cdot\text{a}$, 年起沙合成风速为 $1200\text{m/s}\cdot\text{a}$, 时间分布上主要风期是 4~7 月, 且一天中启动风速出现频率较高的时段主要集中在 0 点~1 点、10 点~13 点、15 点~23 点这三个时间段中。经过实地观测, 确定疏松裸土区的起沙尘临界风速约为 5m/s (2.0m 高度)。结合各个不同地表的理化性质, 确定了艾比湖干涸湖底沙尘暴风沙源点位于疏松裸土区。应用帕萨克风蚀方程作为风蚀模型计算干涸湖底的风蚀量, 统计得出艾比湖干涸湖底的年风蚀量为 889.64 万吨, 并用 DEM 开挖方计算验证了该值。

利用 DSI 沙尘指数对发生在艾比湖干涸湖底的沙尘暴进行了沙尘信息的提取, 对比我国沙尘暴运行路径发现艾比湖干涸湖底沙尘运行路径属于我国沙尘暴运行路径的第二条和第三条的一部分。其一, 艾比湖区域的沙尘沿精河、塔城南部、沙湾县、乌鲁木齐市向东南方向运行到达吐鲁番西部, 与塔里木盆地沙尘在哈密会合, 运行至酒泉, 随后进入张掖市, 该路径为艾比湖区域沙尘运行的主要路径; 其二, 艾比湖干涸湖底的沙尘首先进入蒙古国, 经山西省、陕西省, 进入河北省, 越过燕山进入北京。

关键词: 艾比湖; 沙尘暴; 气溶胶指数; MODIS; 风蚀; 形成; 运行

Abstract

Ebinur Lake in Xinjiang province has become one of the largest sources of dust storms. Each part of the dry Ebinur lakebed is different in water, terrain and year. In this paper, the dry Ebinur lakebed is divided into four different regions: Vegetation coverage region, Osteoporosis bare soil region, salt and mud region and fissured region. According to Aerosol Index statistical data, the change of Ebinur lake area reversely correlates with dust storm days. When the area of the lake increases 1km^2 , the average number of dust storm days will reduce 0.08d, but, when the area of the lake reduces 1km^2 , the average number of dust storm days will increase 0.5d. The basic materials of dust storms are the existence of a large number of sand sources. When Ebinur surface of dry lakebed was researched. This paper used hierarchical classification method and extracted various distribution information of surface from satellite images. Vegetation mainly distributes in the water well area, such as near the overflowing dots of the springs. There are two areas, one is in the west around the springs Wulandabusen, its area is 9.33km^2 . Another is in the eastern margin of Alluvial Fan from the margin of Ku Xia Ji ditch to the margin of Laba estuary. It is zonal distribution. Its length is about 14.26km, and its width is about 0.67km. Cracking bare soil areas are mainly located in the northwest of the dry Ebinur lakebed, its area is 157.97km^2 . Salt and mud region is located in around the low-lying and the dry Ebinur lakebed. Its area is 55.64km^2 . Osteoporosis bare soil region is mainly located in the middle of the dry Ebinur lakebed. Its area is 252.70km^2 .

The stormy weather is another factor of dust storms. According to statistical characteristics of wind velocity and direction at Ebinur Lake dry lakebed. Total wind sand is $5293\text{m/s} \cdot \text{a}$. Synthesis wind sand is $1200\text{m/s} \cdot \text{a}$. Wind period is mainly from April to July. The higher frequency start-up wind mainly concentrates in the three points. They are 0:00 to 1:00, 10:00 to 13:00, 15:00 to 23:00. Through field observations, we confirm that Critical wind - up dust is around 5m/s (2.0m height) in Osteoporosis bare soil region. According to the physical and chemical properties of different surface, the point of sources of sandstorms is located in Osteoporosis bare soil region. This paper applies Pasak wind equation as Wind Erosion Model to calculate Wind Erosion of the dry Ebinur lakebed. As a result, Wind Erosion of the dry Ebinur lakebed is 8.8964 million ton every year and this paper validates this value by the amount of DEM Excavation.

This paper uses the dust index of DSI to extract information from the dust storms of Ebinur Lake dry lakebed. Compared to sand running road in China, Ebinur Lake dry lakebed sand road running is the part of the second

and third sand running road in china. For one, the dust of Ebinur region is along the Jinghe, southern Tacheng, Shawan County, arrives in Urumqi, southeastly moves to west Turpan city, and then links up with Dust of the Tarim Basin in Hami, arrives Jiuquan, and then enters Zhangye City. This road is mainly passing road. For another, the dust of Ebinur Lake dry lakebed enters into Mongolia, along Shanxi Province, Shanxi Province and Hebei Province, crosses Yanshan into Beijing.

Key words: Ebinur Lake, dust storms, Aerosal Index, MODIS, Wind Erosion, formation, operation

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 新疆师范大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：荆耀栋 签字日期： 2007 年 6 月 10 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 新疆师范大学 有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 新疆师范大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：荆耀栋

导师签名：陈蜀江

签字日期：2007 年 6 月 10 日 签字日期： 2007 年 6 月 10 日

文献综述

沙尘暴是兼有沙暴和尘暴两者的总称，是指强风把地表大量沙尘卷入空中，使空气特别混浊，水平能见度低于1km的天气现象。它是沙漠化的主要过程之一，也是沙漠及其边缘等特殊下垫面条件下产生的一种灾害性天气。我国西北地区位于世界四大沙暴区(中亚、北美、中非和澳大利亚)之一的中亚沙暴区，有着浩瀚的沙漠和沙地，沙物质极为丰富，只要具备一定的天气条件，随时都有爆发沙尘暴天气的可能。一旦沙尘暴天气形成之后，会以排山倒海之势滚滚向前移动，携带沙粒的强劲气流所经之处，通过沙埋、风蚀、沙割、狂风袭击、降温霜冻和污染大气等作用方式，使大片的农田或受沙埋，或受风蚀刮走沃土，或者农作物受霜冻之害而颗粒无收，它能加剧土地沙化，导致生态环境恶化，并对交通和供电线路产生严重影响，给人民的生命财产造成严重损失。由于近几年强沙尘暴频率有逐年增加的趋势，加之工业建设和土地资源超载局面短期内难以改善，沙尘暴造成的危害越来越大。因此，实时监测沙尘暴天气，对防灾减灾保护生态环境有着极其重要的意义。

1 国内外研究进展

1.1 国内研究现状

我国从70年代开始对沙尘暴天气开展较为系统的研究^[1]。国外对沙尘暴天气的研究已逐步系统化，从沙尘暴的天气气候学特征、分析预报、遥感监测、沙尘暴成分分析、数值模拟、灾害预报等方面都作了一些探索性研究。1994年以来，国家自然科学基金先后资助了多项沙尘暴方面的研究项目，部分省、市的有关科技部门也立项支持对沙尘暴进行研究。我国的学者、专家主要从形成与防治、监测方法、路径分析、降尘规律等四个方面对其进行了研究。

1.1.1 形成与防治研究

2003年肖红等论述了沙尘暴发生的三个因素是：风力、高空强对流、沙尘源，并指出了我国两大沙尘暴高发区，第一个是西北地区，第二个是华北地区^[2]。钱亦兵等在2004年研究了准噶尔南部沙尘暴发生的地表条件研究，并指出沙尘暴发生与否的重要地表条件是植被状况，尤为重要是植物群落的多样性。据研究调查，植物群落多样性越高的地带，地表稳定性越好，而那些春季大面积裸露或种植结构单一的农田则是沙尘暴重要的物源地。

2004年阿依夏木根据1961~2001年东疆6个气象站沙尘暴资料的分析表明：东疆沙尘暴高发区在平原地区，主要出现在3~7月，4月份最多；沙尘暴多出现在午后到晚上，傍晚最多，持续时间多在1.5h之内；东疆局地 and 区域性沙尘暴天气过程，从80年代到90年代减少明显，年平均气温的升高和降水的增多是造成这种变化的主要原因。2005年段晓芹介绍了当前我国遥感技术与计算机技术相结合，在沙尘暴预测与监控中的应用，这方面已经有所发展，沙尘暴的卫星遥感监测评估系统已研建完成。该系统在试运行中已为我国的沙尘天气，特别是沙尘暴的防灾减灾和荒漠化防治决策提交了科学的、有说服力的监测评估成果。2005年范一大等综述了关于我国沙尘暴时空分布规律的研究进展，利用117个沙尘暴代表站近50年来的气象观测数据，以沙尘暴出现日数为定量指标，采用相关分析的方法，对我国沙尘暴的变化趋势进行了分析，并针对中国北方的草原区、荒漠区和农业区，进行了变化趋势分析。结果表明：近50年来，我国北方沙尘暴天气总体呈下降趋势，沙尘暴发生频率与下垫面状况有着很好的对应关系，同时，沙尘暴有着明显的年代级变化规律^[3]。

2005年陈巧等利用NOAA/AVHRR数据，采用单时相乘积法计算土壤湿度，采用NDVI指示地表状况，

利用地表土壤相对湿度旬平均值、NDVI旬平均值、风速以及三者的综合值与实测的沙尘暴旬数据,定性和定量分析了我国北方地区土壤湿度、植被覆盖、风速与沙尘暴发生的关系,结果表明:风速是影响沙尘暴发生的关键因素,与沙尘暴的发生成正比;土壤相对湿度与地面植被在一定程度上影响了沙尘暴的发生,与沙尘暴的发生成反比;由平均风速、土壤相对湿度和NDVI组成的综合因子与沙尘暴发生次数及能见度的相关性高于风速与后二者的相关性,因此该综合因子具有指示和监测沙尘暴发生的潜力。

1.1.2 监测方法研究

2001年倾继祖等利用1994年4月8日17时32Min和1994年3月23日两次NOAA-11卫星资料,分别沿41°N和40°N做剖面,绘制光谱曲线图,从图中可看到,不同的探测表面其各通道的探测值有差别,根据各自的光谱特点,提取沙尘暴信息,建立监测模型。2001年郑新江等利用“风云一号”(C)极轨气象卫星(FY-1C)所提供的图像,对1999年5月13~14日发生在塔里木盆地至河西走廊西部以及2000年4月6~7日发生在北京周围地区的两次沙尘暴过程进行了分析,说明(FY-1C)资料在环境监测方面可以发挥极好的作用^[3]。张利(2001年)用空间特征分析方法,通过对裸露地表、云、沙尘区的反射率和亮度温度进行对比分析,得出其各自不同的遥感判识指标,并分析得出其各自不同的遥感判识指标。其中沙尘区的1通道反射率在27%~36%,云系的1通道反射率为40%~70%,并且高云的云顶温度与沙尘区的3通道温度值相比偏低20K左右,低云与沙尘暴顶的亮温虽然较相近,但是低云的平均反射率也在40%以上,所以还是可以同沙尘区分开的。2002年熊利亚等指出了利用Terra/MODIS数据进行沙尘参数遥感信息的定量化研究,应包括提取MODIS数据中与沙尘信息相关的主要特征波段;将沙尘信息与环境背景信息进行分离的图像处理办法以及浮尘和扬沙等弱沙尘信息的增强处理办法;建立沙尘信息定量化提取模型;在特定区域进行沙尘信息实证研究。并设计了沙尘信息定量化研究技术路线。延昊等(2002年)应用中国重点城市环境监测站的大气可吸入颗粒物PM10指标和NOAA-AVHRR的大气上界的反射率指标,首先从遥感影象上确定沙尘,同时利用单通道遥感方法,从AVHRR可见光通道反演东亚沙尘气溶胶光学厚度的空间分布,进一步依据沙尘气溶胶光学厚度与沙尘载荷的定量关系,估算出一次东亚沙尘的携沙量,基于卫星遥感的沙尘携沙量为风力侵蚀的定量研究提供了一个新方法^[4]。2003年胡秀清等运用MODTRAN的理论模拟和实际卫星图象分析结果表明:分裂窗亮温差与11 μ m红外亮温的比值可很好地反映弱沙尘的存在。当强沙尘出现时,借助于可见光、红外和水汽图象的光谱分类技术是监测沙尘暴的有效手段^[5]。

1.1.3 路径分析

2001年刘晓强等指出因地理的原因,我国沙尘暴运行的路线主要有3条:第一条形成于甘肃河西走廊和内蒙古阿拉善地区,强大的沙尘暴,横扫宁夏、鄂尔多斯高原和陕北,风势减弱后进入中原地区,一直影响到长江流域;另一条主要形成于帕米尔高原,经塔里木盆地南下,时常影响甘肃省河西地区;再一条形成于中蒙西部边境戈壁地区,在内蒙古高原得到加强,从西北部进入河北省,越过燕山进入北京^[6]。2005年蒋大凯分析得出辽宁沙尘暴天气的沙尘源地有2部分:外来沙源与本地沙源;外来沙源影响路径主要分为西北、偏北、偏西、西南路径。并指出了本地沙源主要分布在辽宁西北部以及中部部分地区,当有低值系统发展或辽宁上空层结不稳定时,常常产生上升运动,使本地沙源升空,加重沙尘天气危害^[7]。

1.1.4 降尘规律

1998年张宁等对1986~1996年以来,发生在我国西北地区的12次较大沙尘暴个例,首次结合大气自然降尘背景值的监测结果,研究了沙尘暴降尘在甘肃境内的沉降范围和分布状况,给出了沙尘暴降尘在这一区域内的沉降量。同时还讨论了沙尘暴降尘在甘肃的分布和黄土堆积问题。沙尘暴降尘在甘肃的分布是以河西走廊东部为中心,并向大气环流下游地域扩散,形成一个自西北向东南迅

速递减的梯度分布状态。11年间发生的较大沙尘暴,在甘肃境内共降尘 $3758.37 \times 10^4 \text{t}$ ^[8]。

2004年岳乐平等对阿拉善高原干涸湖床沉积物与华北地区沙尘暴的粒度进行了对比分析,得出地的粒度组成分析,论述干涸湖床沉积物对沙尘天气的影响。古居延泽湖床沉积粒度分析结果表明,干涸湖床的地表湖相沉积物粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒占64%以上,可以在一般风暴条件下在大气中搬运几千公里,这意味着西北地区阿拉善高原干涸湖床产生的粉尘在风暴作用下可以横扫整个东亚北部地区。沙尘暴呈现“接力方式”继续向东南部移动^[9]。

2004年王赞红等对2002年3月20~21日发生在北京地区的一次尘暴过程进行了降尘量和降尘粒度的研究。发现该次尘暴分为尘暴前期和尘暴后期两个过程。降尘量和粒度参数值在尘暴前期和后期都呈现不同特征。结论认为,风速是降尘量变化的重要因^[10]。

2005年谢远云等对2002年3月20日中国黑龙江省哈尔滨市遭遇的特大沙尘天气沙尘沉降物进行的粒度分析表明,沙尘沉降物属粉质亚砂土,以 $4\sim 63\mu\text{m}$ 的粉砂为主,占71.18%,大于 $63\mu\text{m}$ 的砂粒组分占21.7%,小于 $4\mu\text{m}$ 的粘土组分含量最少,仅占7.13%。粒度为三峰态分布粒度分布显示这次哈尔滨市沙尘沉降物是迄今为止国内有见报道中最粗的,沉降物是不同来源沙尘远距离和近距离搬运的混合物,粗颗粒为低空气流搬运的近源物质。哈尔滨市或周缘邻近区域是这次特大沙尘暴的降尘中心,属大气动力条件较强的中心或近中心地带。哈尔滨城市扩展区域的疏松地表裸土、河床及漫滩细粒冲积物以及市内地表建筑沙土等都可以是哈尔滨市沙尘沉降物的主要物源。

2005年张宁等对近15年来发生在我国西北地区的较大沙尘暴个例进行研究发现沙尘暴降尘量在甘肃的分布是以河西走廊东部为中心,向大气环流下游地域扩散,形成一个自西向东南迅速递减的梯度分布状态。受沙尘暴降尘的影响,近15年来甘肃省大气自然降尘背景值总体水平呈上升趋势^[11]。

1.2 国外研究现状

沙尘暴是全球干旱半干旱地区特有的灾害性天气,国内外学者一直致力于这方面的研究^[12]。国外从20世纪20年代就开始了沙尘暴时空分布、成因与结构以及监测与对策方面的研究。石广玉等讨论沙尘暴研究的科学问题时做了如下阐述^[12]:20年代初HanKin首先对印度的Andi型沙尘暴的上升和下沉气流进行了研究^[13]。1972年Idso、1980年Joseph也先后对沙尘暴的气候特征、沙尘暴与雷暴中湿度场的差异,沙尘暴的平均风速及其发生发展的地理区域和频数等作了多方面的研究^[14-15]。1986年Brazel对发生在美国亚利桑那州的沙尘暴天气类型作了统计分类把美国亚利桑那州的沙尘暴天气类型做了详细分析并把该州多年来发生沙尘暴的天气系统分为四类:①锋面系统;②雷暴和对流;③热带扰动;④上部低涡或切断低涡^[16]。1989年Jauregui对墨西哥城沙尘暴的时空分布也进行了系统研究,并指出3月份沙尘暴出现频率最大^[17]。1991年Ott S. T. 和A. Ott曾利用卫星和GATE资料对撒哈拉沙尘暴的爆发作过分析^[18]。2004年Barnum B. H等人根据MM5模式建立了CARMA沙尘暴传输模型,来对非洲北部地区和亚洲西南部地区的沙尘暴事件进行短期、中期和长期预测^[19]。2005年Orlovsky等人采用长时间序列数据和56个气象站点的资料,分析了土库曼斯坦沙尘暴事件的空间分布、频率、季节变化和日变化^[20]。2003年Natsagdorj L等人发现,从1960到1990年,蒙古的沙尘暴发生次数增长了3倍,在1990年以后开始减少,并且城市地区的沙尘暴发生一般较为频繁,并且时常伴有 $6\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风^[21]。1987年Mcnaughton D. L. 认为沙尘暴天气总是与中尺度低压或飑线相联系^[22]。1994年Tegen I在全球模式中模拟了撒哈拉地区沙尘的起源、传输和分布,并指出估计全球每年约有 $1000\sim 5000\text{Tg}$ 的沙尘粒子从地面释放到大气中^[23]。1991年Littmann T分析了亚洲沙尘暴的发生频率^[24]。1992年Goudie A. S总结了沙尘天气导致的一系列环境结果和灾害^[25]。2000年Nilgun Kubilay分析了沙尘气溶胶的成分及含量^[26]。1996年Pauley等对美国加利福尼亚一谷地处的一次沙尘暴事件研究之后指出,高空急流、锋面次级环流和边界层过程等与沙尘暴有着密切关系,动量由对流层上部向下输送,促使锋的形成,并导致动量在对流层低空积聚,从而促进边界层过程发展,使地表风力

增强,强地表风速对沙尘暴的爆发提供必要的动力条件^[27]。

近半个世纪以来国内外科技工作者从各方面做了大量卓有成效的研究工作,取得了一系列非常有价值的科研成果,为今后进行更为深入研究沙尘暴奠定了良好的基础,特别是国际间的合作不断加强,近日中日沙尘暴研究项目在新疆启动,主要研究风沙送尘的原因、输送机制及其对气候和环境的影响。然而,随着世界人口的不断增加,全球气候变化日益加剧,有限的资源(特别是水资源)和环境条件与人类需求量的迅速增长之间的矛盾日趋突出,如果不尽快采取切实有效的措施,某些地区的自然生态环境状况也将渐趋恶化。沙尘暴的发生和发展可能会更加频繁,强度有可能越来越大,影响范围也将越来越广,需要进一步研究的问题会越来越多,沙尘暴的研究仍然任重而道远(王式功等,2001)。

艾比湖干涸湖底沙尘暴形成与运行机制研究

1 绪论

1.1 研究目的和意义

艾比湖坐落于新生代第三纪中期喜马拉雅运动中断裂形成的地堑陷落区,是准噶尔盆地最低的积水洼地。在地质历史时期湖区生态环境经历剧烈的变化,水位有过较大幅度的涨落,相应的湖泊面积也有过扩大和缩小。而第四纪以来,随着气候的逐步变干,其总的趋势是以缓慢的速度不断缩小。根据湖岸阶地,古浪底遗址及湖岸平原分析,湖泊面积最大曾达到过3000km²,水深约40m,至二十世纪初湖面缩小并稳定在约1310km²,五十年代初约1200km²。然而,从五十年代至七十年代,整个艾比湖流域人口增长了9.7倍,耕地增长了8.2倍,引水量增加了6.8倍,各主要河流入湖水量剧减。其中奎屯河、四棵树河、古尔图河已被截拦断流,精河、博尔塔拉河入湖水量锐减70%。湖面面积急剧退缩至557.5km²左右。艾比湖在五十年代干涸后,露出了500多km²的湖底,其主要部位位于湖的西北部,即阿拉山口—艾比湖三角区内,这片干涸湖底由于出露时间短、地下矿化度高、土壤盐分含量大、风大导致种苗着床困难等原因致使生物的生长存活极为困难,因而这里除了个别地点之外,其余大片土地都寸草不生,均为裸地。

上世纪90年代,受干涸湖底风蚀的影响,精河、博乐、乌苏及准噶尔盆地南缘一带,浮尘天气剧增。精河城区空气中固体悬浮颗粒含量高达16.5mg/m³,每遇大风天气,博乐市空气中固体悬浮颗粒含量则为10~30mg/m³。一到浮尘天气,大气中的尘埃形成连续不断的尘幕,遮天蔽日,天空呈现混浊的灰色,水平能见度下降至1~2千米以下,严重时仅数米至数十米。浮尘造成停电、停水、商店停业、饭店停炊。居民关门闭窗,尘土依然是无孔不入,造成清扫卫生,清洗衣物等工作开支大增,费用至少增大2~30倍以上。浮尘中,即使白天机动车也要开灯行驶,还经常被停车,交通事故屡有发生。为了防尘街上行人不得不头戴塑料袋赶路,城乡居民苦不堪言。

然而,最严重的还是浮尘对人体健康造成的危害。据测定,目前精河县空气固体悬浮物颗粒中,97.07%粒径在0.01mm以下,65.12%粒径在0.005mm以下。而粒径0.005mm以下的含盐含菌颗粒可以轻易的通过呼吸道进入肺部和肺泡组织,形成尘肺和肺气肿。据卫生部对紧邻精河县城茫子布拉克乡100位40岁农民的体检,呼吸系统疾病患者高达72%,其中尘肺7%,矽肺8%,结核病19%,支气管炎26%,肺气肿12%,而据精河县人民医院病理档案,1996年呼吸系统疾病占全年总病例的30%,1997年为49.2%,1998年为59.1%。同时,浮尘引起的砂眼等眼部疾病和皮肤病也大量增加,精河县医院1996年眼部疾病病例占总病例的1.63%,1997年为3.6%,1998年为10.1%。实际上,精河

县人群中眼部及皮肤疾病极为普遍，但一般情况下群众都采取自我治疗，只有严重时才入院治疗。因此，实际情况远比上述数字严重。此外，问卷调查的结果也表明，对大风浮尘天气损害身体健康反映了强烈者高达了 97.5%，其中引起眼病的占 41.8%，引起哮喘的占 9.1%，诱发高血压的占 6.9%。由此可见，浮尘严重危害了人民群众身体健康，缩短了预期寿命，造成医疗费用支出大量增加。据精河县调查，目前该县城乡居民消费支出中的医疗费用所占比例高达 10%以上。

浮尘同样也使各类牲畜致病。据调查，风区牲畜患呼吸系统疾病高达 70%，每年因该病死亡之牲畜 2500 至 5000 多头（只）。引发牲畜皮肤病，感染率达 3%以上。因上述疾病引起掉膘，生长不良等产生瘦弱畜 6 万（只）左右。增加疫病防治费用每年 270×10^5 元。同时，浮尘还使各类畜产品质量大幅下降。

干涸湖底的风蚀还使得各地降尘量大幅上升。据测定，精河城区年降尘量已达 288.6 t/km^2 ，89 团为 119.05 t/km^2 ，83 团为 101.14 t/km^2 ，博乐市区为 72.07 t/km^2 。这些降尘中均含有大量的含盐颗粒，其比例高达 52.36%。

降尘致使牧草、农作物及各类植被茎叶积满大量盐霜，严重时厚达 5~10mm。造成牧草和农作物污染，并导致其大面积减产。受到降尘污染的牧草含有高剂量的 MgSO_4 ，致使牛羊采食后出现腹泻，这是造成春季牲畜大量死亡的一个重要原因。据统计，精河牲畜采食含有毒盐的牧草后，每年死亡率达 8~10%，其中受害最重的是幼年羊羔。

目前，艾比湖干涸湖底引发的生态危机仍在发展，环境污染进一步加剧，波及范围的进一步扩大严重威胁着博乐社会经济的发展。因此治理干涸湖底已经成为北疆生态环境建设中一项刻不容缓的任务。因此对艾比湖干涸湖底沙尘暴发生、发展、运行的机制及其周边环境进行深入的分析研究，对于改善艾比湖流域生态环境，从根本上治理艾比湖干涸湖底沙尘暴，实现周边地区经济和生态环境的可持续发展有着重要的意义。

1.2 研究内容

本研究主要分析研究艾比湖干涸湖底沙尘暴的时空分布规律，从沙尘暴发生的三个因素出发，对艾比湖干涸湖底下垫面机械和化学组成进行深入分析，并统计分析该区域风速风向特征，从而揭示艾比湖干涸湖底沙尘暴形成的原因。综合分析艾比湖干涸湖底各不同区域的理化性质、地表状况，结合该区域启动风速风向特征，确定艾比湖干涸湖底当前主要的风沙源点。根据艾比湖干涸湖底所特有的地理环境，选择合理的风蚀量计算方程，计算艾比湖干涸湖底年平均风蚀量，由此分析其对下风向地区所发生的降尘影响。利用 RS、GIS 方法提取沙尘信息，对艾比湖干涸湖底沙尘的运行规律及影响范围进行分析。

1.3 研究方法和技术路线

本研究综合应用了 RS、GIS、DataBase 技术。实地野外调查艾比湖干涸湖底的地表类型，并进行土壤剖面的制作，以分析其土壤理化性质。应用 RS 综合野外调查结果将艾比湖干涸湖底进行遥感解译分类。选择研究所需的气象要素，建立阿拉山口气象数据库，以备风蚀量的计算。利用 DSI 沙尘指数提取 MODIS 影像的沙尘信息结合 GIS 对艾比湖干涸湖底沙尘暴影响和运行路径进行分析。技术路线见技术流程图 1-1。

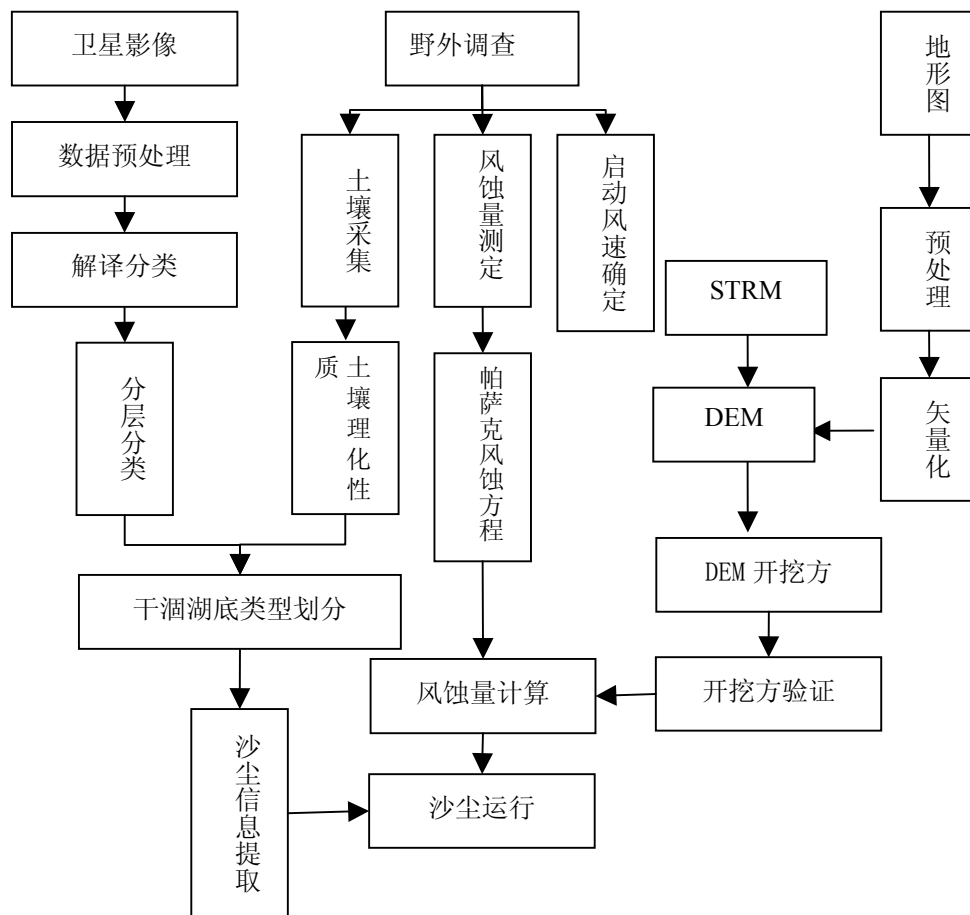


图 1-1 技术流程图

1.4 数据收集

1.4.1 气溶胶指数数据 (OMI Aerosol Index数据)

气溶胶指数数据来自NASA (美国航空航天局) 提供的1996年7月~2006年7月, 10年气溶胶指数。

1.4.2 阿拉山口气象站数据

该部分数据来自新疆天气网的自动站网络信息查询系统中的单站要素查询部分, 共获得2003~2005年三年, 每天24次自计监测数据。

1.4.3 数字高程模型

数字高程模型选取2004年SRTM作为风蚀量计算验证的基础数据。SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)是由美国航空航天局(NASA)、美国图像测绘局(NIMA)、德国及意大利航天局共同实施的航天飞机雷达地形测量任务。

1.4.4 卫星影像

本研究选取由中国与巴西研制的中巴资源卫星(CBERS-2)2004年8月卫星影像作为对艾比湖干涸湖底解译、分类的基础数据。并选择了2000年3月8日、2000年3月9日、2000年3月11日、2000年4月14日、2000年4月15日、2000年4月20日6景MODIS卫星影像作为进行沙尘信息的提取、运行路径研究的数据。

1.4.5 艾比湖地形图

以1979年1:10万艾比湖地形图作为对艾比湖干涸湖底解译、分类数据的补充及DEM构建。

2 艾比湖干涸湖底现状研究

2.1 研究区概况

2.1.1 自然概况

(1) 地理位置

艾比湖位于 $44^{\circ}54' \sim 45^{\circ}09' \text{N}$, $82^{\circ}35' \sim 83^{\circ}10' \text{E}$, 深处欧亚大陆腹地新疆北部, 是准噶尔盆地西南缘的最低汇水中心。艾比湖盆地的南(天山支脉婆罗科努山)、西(阿拉套山)、北(玛依力山)三面环山, 西北是著名的风区阿拉山口, 东部与准噶尔盆地相连。海拔 $195 \sim 196 \text{m}$ 。艾比湖流域位于 $43^{\circ}38.1' \sim 45^{\circ}52' \text{N}$, $79^{\circ}53' \sim 85^{\circ}02' \text{E}$ 之间, 面积 52042km^2 , 其中山地 23223km^2 , 平原 28319km^2 , 包括博州全部(赛里木湖集水区除外)、乌苏市、奎屯市、独山子地区、托里县南部, 境内有兵团20个团场, 是北疆地区重要的粮食基地、棉花基地、畜牧业基地和石油化工基地, 是我国向西开放的通道。

阿拉山口—艾比湖三角区干涸湖底位于新疆博尔塔拉蒙古自治州东北角, 西距博乐市约 44km , 东北距阿拉山口约 6km 。地理坐标介于东经 $82^{\circ}35' \sim 83^{\circ}05'$, 北纬 $44^{\circ}56' \sim 45^{\circ}06'$ 之间。西邻博乐市, 北界塔城地区托里县, 西北是哈萨克斯坦塔中库尔干州, 东依精河南面则为艾比湖北岸。南北宽 23km , 东西长 39km , 面积为 405.94km^2 。

从地貌上看, 这个区域位于开阔的朗库里谷地东南开口处的洼地之中, 其西北部是阿拉山口套山, 东部则为准噶尔界山南端的玛依拉山, 东南部是艾比湖, 形状则基本上为一开口向着东南的喇叭性开阔地, 由艾比湖干缩后形成, 地势北高南低, 地势北高南低, 由西北向东南倾斜, 最高处西北角古湖底坝遗址, 海拔高 200m , 最低处艾比湖湖面海拔 190m , 地形极为平坦整齐, 坡度均为 0.7% 。地表多风蚀痕迹, 风蚀地貌较为发育。

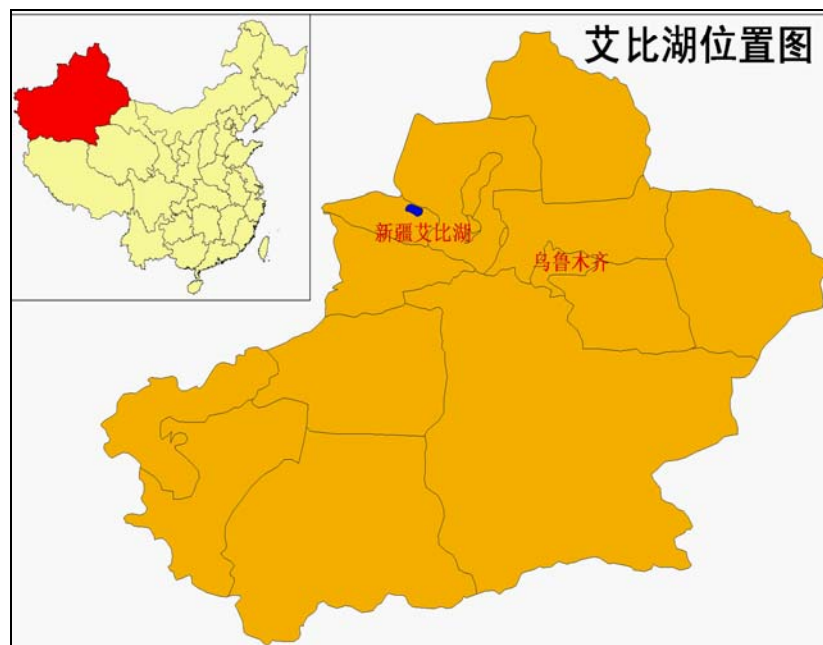


图2-1 艾比湖位置图

(2) 气候特点

气候类型为温带干旱荒漠气候。气候极度恶劣, 夏季酷热, 冬季严寒, 常年干旱少雨, 多大风。年均温 8.3°C , 7月份平均气温 27.4°C , 一月均温 -15.8°C , 极端最高温 44.2°C , 大于 35°C 的日数超过

了33d, 极端最低温 -33.0°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 3950.8°C , 无霜期193d。全年日照时数2695.9h, 日照百分率为61%。年均降雨量100mm, 最长连续无降水日数95d, 年蒸发量3421.3mm, 平均相对湿度53%。蒸发比1: 34, 年农田水份供求差1031mm。这一区域气候的一个突出特点是常年多大风, 年平均风速 6.0m/s , 八级以上大风日数163.8d, 历年最大风速 49.0m/s , 最大瞬间风速 55m/s 。主要灾害性天气是大风一起的风沙(沙尘暴、扬尘、浮尘)天气。

(3) 水文与植被

更新世晚期以来, 随着气候的变干, 艾比湖逐渐干缩, 特别是二十世纪五十年代以来, 因受到人为活动的强烈影响, 艾比湖水面由五十年代的 1070km^2 干缩到五十年代末的 800km^2 。干涸湖底目前无任何地表径流, 仅在乌兰达布森有一溢出泉, 出水量 $5\sim 10\text{m}^3/\text{h}$ 。潜水(浅层地下水)埋深 $0.8\sim 2.0\text{m}$, 主要由艾比湖湖水补给, 矿化度 139g/L , 但靠近山麓洪积扇部分区域, 亦有少量山区地下径流补给, 矿化度 35.3g/L , 部分承压水含水层依赖山区洪水, 融雪水, 地下径流的渗入补给和山区基岩裂隙水的侧向补给, 动储量均为 $1000\times 10^5\text{m}^3$, 可采储量约 $700\times 10^5\text{m}^3$, 水质可以满足耐盐作物灌溉需求。

表2-1 艾比湖干涸湖底水质

采样点	埋深 (m)	矿化度 (g/L)	离子总 量(g/L)	离子组成 ($\text{m}\cdot\text{e/L}$)						
				Na^+K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}
湖底中部	2.20	138.9	131.90	1926.1	15.5	257.7	0	18.90	1725.5	454.90
湖水	0.80	35.3	35.50	430.70	32.9	71.80	0	4.84	351.20	179.40
扇缘(乌兰达布森)	出露地表	1.0	0.75	6.36	3.31	1.24	0	3.69	3.60	3.62

湖底除个别地点外尚无植被发育, 基本上为裸露土地偶尔才可以遇见一、两处盐节木(*halocnemum strobilaceum*), 密度最高处也不过每隔 $700\sim 800\text{m}$ 一株。

(4) 土壤及地貌

艾比湖地区地貌类型主要包括: 湖积—冲积平原, 分布在艾比湖东侧, 组成物质以细砂、粉砂和亚粘土为主。湖滨三角洲平原, 主要见于博河下游, 在艾比湖西侧, 现在是一片干三角洲平原, 生长芦苇、红柳。靠近艾比湖, 地表有 20cm 厚的干草滩, 组成物质是粉砂和亚粘土。湖滨平原, 在湖四周呈环状分布, 地表有盐渍土和芒硝等。组成物质有灰色淤泥质粘土、亚砂土。风成地貌, 集中在艾比湖以东, 奎屯河南岸及精河和先锋公社以南地区, 以南北向新月型沙丘以及沙丘链为主, 高几十厘米至几十米不等, 流动沙丘为主, 固定和半固定沙丘为辅^[28]。干涸湖底成土母质基本上为湖相沉积物, 主要土壤类型是沼泽盐土, 但是分布在乌兰达布森及北部湖缘等个别地带, 其余广大区域因无植被分布尚无开始成土过程, 仍为高度含盐的非土壤形成物。

2.1.2 社会概况

阿拉山口—艾比湖三角区干涸湖底目前暂属阿拉山口口岸管理委员会管辖, 口岸管理委员为一县级机构, 行使政府职能。口岸始建于1990年, 1992年始正式开始向第三国开放。目前城市建设覆盖面积为 7km^2 , 完成固定资产投资 5×10^8 元, 总建筑面积 $3\times 10^5\text{km}^2$, 基本工作和生活娱乐设施已建设齐全, 常住人口5500人, 流动人口约为6000人。口岸是我国向西进出口贸易及旅客运输的换装站, 是我国西部地区唯一的铁路、公路并举的口岸, 其过货量占全疆口岸过货量的85%以上, 同时, 这个口岸也是全国过货量最大的陆地口岸之一, 1999年截至10月底已完成过货量 $400\times 10^5\text{t}$ 以上, 完成税收 8×10^8 元。

目前口岸经济结构极为单纯, 主要产业是对外进出口贸易和与此相关的运输业仓储业等配套产业, 餐饮、住宿、娱乐、商业、旅游等行业也有一定规模。工业和农业则尚为空白。干涸湖底附近的另一居民点是科克巴斯套村, 位于东部拉巴河口洪积扇上, 有耕地约 30ha , 小学一所, 居民户数

51户，人口210人，均为塔城地区托里县户籍，以务农、放牧、捕捞卤虫为生，生活极为贫困。

此外，这一带湖滨每年夏季都有约1000多流动人口来此捕捞卤虫，主要人群是甘肃、青海等省的外出民工。干涸湖底的主要交通线路是西缘的北疆铁路，即著名的欧亚大陆桥，境内总长140km，与其并行的是博乐至阿拉山口沿干涸湖底东北缘有一沙土便道通达科克巴斯套、甘家湖，车排子等地，路况尚可，但未经勘测和设计。

2.2 艾比湖湖面变化及干涸湖底的形成

艾比湖坐落于新生代第三纪中期喜马拉雅运动中断裂形成的地堑陷落区，是准噶尔盆地最低的积水洼地。在地质历史时期湖区生态环境经历剧烈的变化，水位有过较大幅度的涨落，相应的湖泊面积也有过扩大和缩小。而第四纪以来，随着气候的逐步变干，其总的趋势是以缓慢的速度不断缩小。根据湖岸阶地，古浪底遗址及湖岸平原分析，湖泊面积最大曾达到过3000km²，水深约40m，至二十世纪初湖面缩小并稳定在约1310km²，五十年代初约1200km²，湖面面积详见表2-2。

表2-2 不同时期艾比湖水面面积

不同时期	湖面面积(km ²)	不同时期	湖面面积(km ²)
6500-8000aBP	3000	1993年	570
4500-6000aBP	2300	1997年10月	518
2000-3000aBP	1340	1998年10月	602
1950年	1200	1999年10月	608
1972年	589	2000年10月	568
1980年	520	2001年10月	650
1983年	522	2002年10月	850
1984年8月	599	2004年7月	698
1985年6月	560	2005年8月	709
1987年9月	499	2006年8月	677
1990年10月	590	2006年10月	525

根据以上数据利用线形拟合方法得出艾比湖湖面变化曲线，如图2-2。

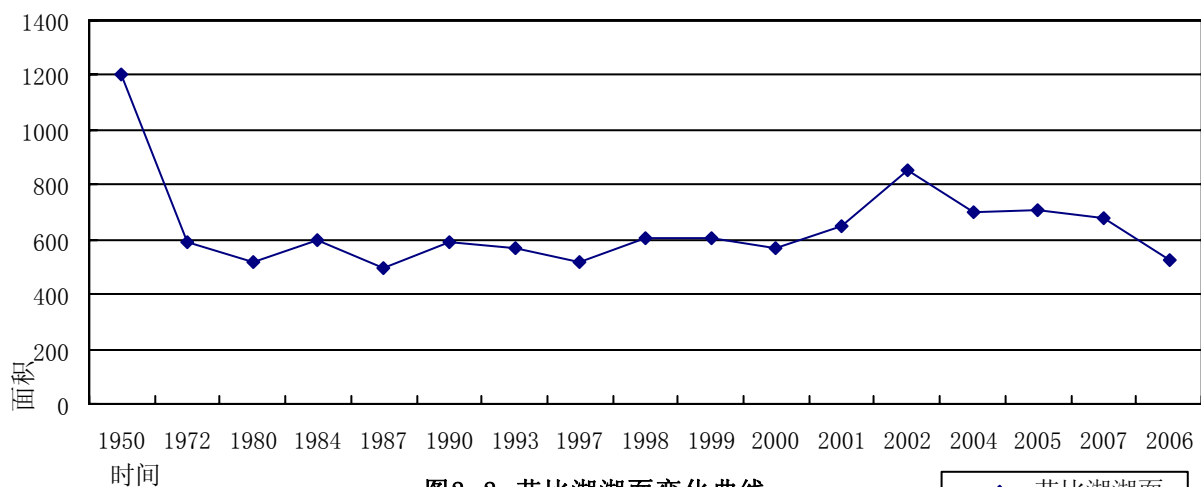


图2-2 艾比湖湖面变化曲线

艾比湖湖面变化曲线看出，艾比湖湖面面积变化总体呈现不断减小的趋势。1972年以前湖面呈

现直线下降,其中,1950~1972年湖面面积发生变化最大,湖面缩减了611km²。在70年代以后湖面变化出现了5个波动(1980~1987、1987~1995、1995~2000、2000~2004、2004~2006),但面积始终保持在500km²以上。在这5次波动中湖面都出现了湖面面积的增大和回落的动态变化,其中前三次总体变化较小,第3次出现了面积的增大,第4次呈现出面积的不断减小,但湖面面积变化不大。

从以上描述可以将艾比湖的湖面变化分为两个阶段:变化期与相对稳定期。造成这种情况原因可以从自然和人文两个因素进行分析。从五十年代至七十年代,整个艾比湖流域人口增长了9.7倍,耕地增长了8.2倍,引水量增加了6.8倍,各主要河流入湖水量剧减。其中奎屯河、四棵河、古尔图河已被截断流,精河、博尔塔拉河入湖水量锐减70%。湖面面积急剧退缩至557.5km²左右。湖水矿化度也急剧上升至90~130g/L。七、八十年代以来,由于流域内垦植速度放慢,入湖水量比较稳定,因而湖面退缩速度大为减缓,湖面面积也比较稳定,大至在500~710km²之间伸缩涨落,其波动变化主要取决于流域气候和水文因素。1995年以后,湖底干涸湖底面积不断下降,主要原因是候变化造成。

艾比湖萎缩的直接原因是,入湖水量减少。50年代流入艾比湖的大小河流23条,多年平均年径流量33亿立方米。其中年径流量大于1亿立方米有奎屯河、四棵树河、古尔图河、精河、阿卡尔河、大河沿子河、博尔塔拉河(亦称博乐河)。70年代后期至今,入湖河流主要是博乐河和精河,多年平均年径流量约 $5.4 \times 10^9 \text{m}^3$,加上团场总排干渠的流量,年入湖约在 $5.8 \times 10^9 \text{m}^3$ 。据观测,近年湖的年蒸发量约在 $7 \times 10^9 \text{m}^3$,估计每年约有一亿多立方米地下水补给。故近20年湖面面积变化不大。

艾比湖萎缩的原因,主要在自然因素和人为因素两方面:从地质历史看,北疆自第四纪以来,气候向干旱发展。进入湖内水量减少,蒸发剧烈。25000年前湖面积3000km²以上,本世纪中缩到1300km²左右。平均每年缩0.13km²。这是自然因素为主。后来不到30年又缩小一半,平均每年缩20km²。这主要受人为因素影响。因为流域内人口增加,垦荒面积增加,耗水量增加,入湖水量减少。如表2-3所示:全流域在30年内,人口增长近三十六倍;播种面积增长近八倍;净耗水量增长近八倍。

表2-3 1950~1980年人口、播种面积、净耗水量变化

时 间	1950 年	1960 年	1970 年	1980 年
人 口	1.78 万人	14.66 万人	43.21 万人	63.97 万人
播种面积	2.26 万公顷 (33.9 万亩)	11.55 万公顷 (173.25 万亩)	15.58 万公顷 (233.7 万亩)	17.85 万公顷 (267.75 万亩)
净耗水量	1.12 亿立方米	5.72 亿立方米	7.71 亿立方米	8.84 亿立方米

80年代以来湖的面积相对稳定,原因主要是:在此期间流域内未兴建大型用水、蓄水工程,入湖水量基本稳定。新垦面积用水,主要靠推广节水技术,提高了水利用率,以及开采地下水来解决。

艾比湖在五十至七十年代干缩后,露出了611多km²的湖底,其主要部位位于湖的西北部,即阿拉山口-艾比湖三角区内,面积419.02km²这片干涸湖底由于出露时间较短、地下矿化度太高、土壤盐分含量太大、风大导致种苗着床困难等原因致使生物的生长存活极为困难,因而这里除了个别地点之外,其余大片土地都寸草不生,均为裸土地。艾比湖成为新疆最大沙尘暴策源地之一。中科院新闻网这样说到,如果把艾比湖当作一个病人,医生的诊断就应该是“严重脱水”,虽然生态学家们断言,不会让其变成第二个罗布泊,但50年来面积急剧退缩,艾比湖原有的大湖风貌不仅难以复现,裸露的湖床反而成了新疆最大的沙尘暴策源地之一。由于湖水面积逐年缩小和处在新疆著名风口阿拉山口的下风向,使裸露出来的干涸湖底成为危害新疆北部的最大沙尘源,湖床松软的沙地上覆盖着白大量的芒硝,稍有点风,芒硝尘和细微沙粒就随风而起。

3 艾比湖干涸湖底下垫面研究

3.1 卫星影像预处理

3.1.1 卫星影像数据

中巴资源卫星是由中国与巴西研制，其中CBERS-1于1999年10月14日合作发射，CBERS-2是我国的第一代数字传输型资源卫星，星上搭载了CCD传感器、IRMSS红外扫描仪、广角成像仪，中巴资源卫星提供了从20m~256m分辨率的11个波段不同幅宽的遥感数据，成为资源卫星系列中有特色的一员。中巴地球资源卫星的成功发射，为我国国土资源环境的宏观、综合、快速和动态调查监测提供了又一数据源，填补了我国地球资源卫星的空白，结束了我国长期依赖外国地球资源卫星数据的历史，同时又为资源监测提供了一种有效的手段。

表 3-1 CBERS-2 波段分布特征

传感器	波谱范围	覆盖宽度	空间分辨率	侧视能力
红外多光谱扫描仪	0.50—1.10(μm)	119.50 公里	77.8 米	
	1.55—1.75(μm)			
	2.08—2.35(μm)			
	10.4—12.5(μm)			
CCD 相机	0.45—0.52(μm)	113 公里	19.5 米(天底点)	-32 士 32
	0.52—0.59(μm)			
	0.63—0.69(μm)			
	0.77—0.89(μm)			
	0.51—0.73(μm)			
广角成像仪	0.63—0.69(μm)	890 公里	256 米	
	0.77—0.89(μm)			
卫星参数	太阳同步轨道 轨道高度：778 公里 倾角：98.5° 重复周期：26 天 平均降交点地方时为上午 10：30 相邻轨道间隔时间为 4 天 扫描带宽度：185 公里			

3.1.2 影像数据处理

(1) 彩色影像合成

CBERS-2卫星遥感影像属于高光谱遥感数据，其波段数较多，且各波段之间的相关性较大，为此在卫星影像的彩色合成，波段的选择和组合时必须考虑波谱的相关性和冗余。对于CBERS-2卫星数据的11个波段来说，由于红外多光谱扫描仪、CCD相机、广角成像仪3个传感器的空间分辨率不同，所以首先要进行波段融合，使其统一到19.5m的空间分辨率上。为了在减少波段的时候去除光谱冗余，通常采用计算各波段相关性的方法，对波段进行分组，将相关性较强的波段分为一组，然后每组中选择一个波段，本文利用CCD相机的5个波段进行相关性分析及彩色影像的合成。

单个波段数据所含信息量多少可以由其灰度直方图表示。合成图像信息量及识别效果不仅取决于所选取波段的灰度范围，而且与所选用波段间的相关程度有关，相关系数大则信息重复多，反之，则重复信息少，合成图像反映的相对信息较多。在ERDAS IMAGINE 8.6空间建模工具中用CORRELATION分析函数，对遥感影像作相关性分析。各波段的相关系数见表3-2。

表 3-2 CBERS-2 波段相关系数

波段	B1	B2	B3	B4	B5
B1	1.000 000				
B2	0.976 294	1.000 000			

B3	0.950 916	0.941 770	1.000 000		
B4	0.647 786	0.635 743	0.684 075	1.000 000	
B5	0.792 894	0.571 387	0.823 329	0.579 685	1.000 000

根据以上相关性数据分析波段 1、波段 2 与波段 3、4、5 的相关性强,也就是说波段 3、4、5 中含有大量的地表信息。为此选择波段 3、4、5 进行彩色影像的合成。

(2) 几何校正

由于遥感传感器、遥感平台及地球本身等方面的原因,在卫星影像成像时往往会引起难以避免的几何畸变,按照畸变的性质可以划分为系统性畸变和随机性畸变。几何校正就是校正成像过程中所造成的各种几何畸变,几何校正分为两种几何粗校正和几何精校正。几何精校正是利用控制点进行几何校正,它是用一种数学模型来近似描述遥感图像的几何畸变过程,并利用畸变的遥感图像与标准地图之间的一些对应点求得该几何畸变模型,然后利用此模型进行几何畸变校正,这种校正不考虑几何畸变形成的原因,而只考虑几何畸变模型来进行校正。

在对艾比湖干涸区域卫星影像校正采用多项式变换图像计算校正模型,其控制点数计算公式为 $((t+1) * (t+2)) / 2$, 式中 t 为次方数,即 1 次方最少需要 3 个控制点,2 次方最少需要 6 个控制点,依次类推。具体校正过程中利用艾比湖地形图作为地理参考图层。地面控制点的采集选择参考图层上明显、清晰的识别标示,如道路交叉点、河流叉口、农田界限,尽量选择图像上永久性地点,以保证校正图像和参考图层可以同时识别。此外,控制点的分布应均匀分布。本文在 ERDAS IMAGINE 8.6 系统下校正,共选取了 36 个控制点,对误差统计得出,所取控制校正点精度为小于 0.6 个像元,平均误差为 0.36 个像元,即 7.02m,最大误差为 0.8 个像元,即 15.6m。同时在校正影像时对其进行投影变换投影类型选择横轴墨卡托投影 (UTM), 椭球体为 WGS84, 分带为北半球 44 带。

(3) 图像裁剪

对艾比湖干涸湖底的解译时,所获取的卫星影像覆盖的范围较大,地表类型也较为复杂,由此无论是目视解译还是进行计算机自动分类,艾比湖干涸湖底以外的像元信息都会对此产生干扰,并且卫星影像数据量较大,为减少不必要的信息干扰和提高计算机处理速度,对影像进行裁剪,常用的分幅裁剪方式有两种规则分幅裁剪和不规则分幅裁剪。由于所研究的区域为极不规则形状,本文选择不规则分幅裁剪,首先将艾比湖区域矢量界线 (ArcInfo 格式) 转换位栅格影像,再利用其和卫星影像进行掩膜运算 (Mask)。实际裁剪时分别选择被裁剪图和处理后输出图像,其中掩膜运算方式选择交集运算,为此获得艾比湖干涸湖底卫星影像。

3.2 图像解译分类

图像分类总的目的是将每个像元根据其在不同的光谱亮度、空间结构特征或者其他信息,按照某种规则或算法划分为不同的类别。常用分类方法有:监督分类、非监督分类、模糊分类、空间结构纹理分类、人工智能神经网络等方法。其中,监督分类又称为训练分类法,即利用确认类别的样本像元去识别未知类别像元的过程,监督分类的主要过程有选择训练样本、选择分类算法、执行监督分类。监督分类算法有平行算法、最小距离法、最大似然法三种。在进行监督分类时人为主观因素较强,对不能对同物异谱、同谱异物进行很好的分辨。非监督分类也称为聚类分析或点群分析,即在多光谱图像中搜索、定义其自然相似光谱集群的过程。非监督分类的已经发展了上百种算法,其中 ISODATA 即重复自组织数据分析技术最为常用。虽然非监督分类方法认为误差的机会减少,但其自然因素的依赖性较强如光谱特征随时间的变化、地形的影响而变换。

在对艾比湖实地考察初步确定艾比湖区的主要有湿地、水域、盐泥、植被、裸地五个地表类型组成。虽然地表类型较少,但其中盐泥部分含水较大,与水域在影像上反映出同谱异物特征。在裸

地内部，也同样有混淆的情况。经过监督分类和非监督分类试验，都不能很好的对艾比湖区域进行地表类型信息的提取。为此本文应用了现在较为应用广泛的分层分类法，首先利用光谱信息结合NDVI指数提取部分信息，再利用监督分类提取剩余信息。

3.2.1 盐泥、水体、植被及湿地提取

归一化植被指数（NDVI）定义为近红外波段和可见光波段之差和这两个波段数值的比值。NDVI可以很好表征植被覆盖状况，为此利用NDVI指数提取植被覆盖范围。中巴卫星影像NDVI指数的提取利用CH3和CH4计算NDVI值[其公式为 $(CH4-CH3)/(CH4+CH3)$]。在对遥感影像进行NDVI指数提取时，可以使用ERDAS IMAGINE空间建模工具中的veg_ndvi模型对艾比湖区域卫星影像进行NDVI指数的提取。

根据中巴资源卫星的特征，水体在波段4的光谱值比波段3、波段2低，利用这一特点可以进行水域信息的提取，同时发现盐泥区波段4的值比水体在波段4的值高，但同时低于波段3、波段2。据此特性结合NDVI指数分析，在盐泥区的NDVI指数在0.055~0.069之间，水体区域NDVI值在-0.0618~-0.1之间，植被覆盖区NDVI在0.554~0.659之间，其中艾比湖周边地区的湿地部分的NDVI表现为植被类型。根据分析盐泥区由水体和泥沙混合的原因对波段4的反射比植被小而比水体大，所以导致NDVI指数在0.055~0.069之间，总体表现为植被特征，该点需要进行分析。利用这些性质在ERDAS IMAGINE空间建模模块中建立水体、植被、盐泥的提取模型。具体模型结构见图3-1。

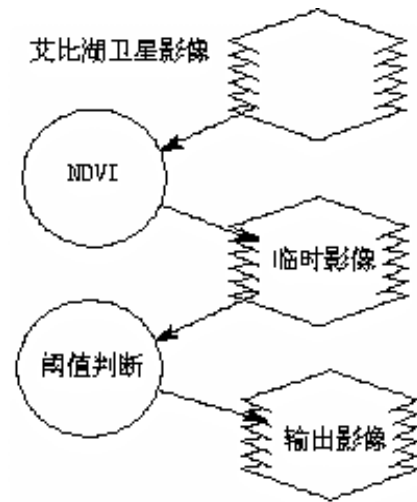


图3-1 提取模型

根据不同地表类型在NDVI阈值判断时如果NDVI值在0.055~0.069之间将影像的像元值为盐泥赋值为128，NDVI值在-0.618~-0.1之间将影像的像元为水体赋值为170，NDVI值在0.554~0.659之间将影像的像元为植被赋值为255，其他不符合条件的像元值赋值为0。将该模型输出的影像进行非监督分类，并进行相关的分类后处理得出盐泥、水体、植被信息。具体提取效果见图3-2。

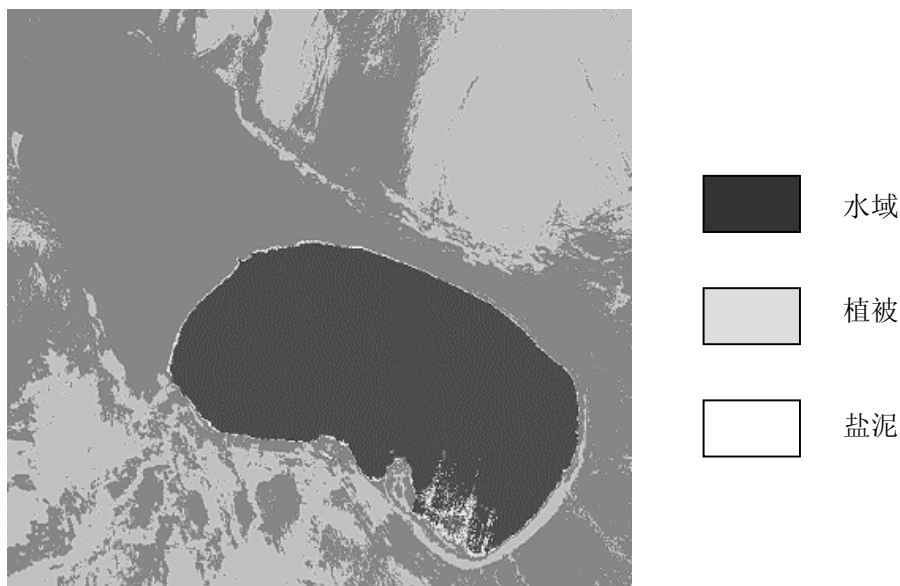


图3-2 模型提取结果

3.2.2 裸地信息提取

在3.1中盐泥、水体、植被及湿地信息的提取，整个干涸湖底只土体信息未详细提取。利用监督分类方法对这两个区域进行提取，具体方法将3.1分类处理后的影像进行非监督分类，经过栅格到矢量转化提取像元值为0的矢量，和艾比湖卫星影像做掩膜即可得到艾比湖干涸湖底其他部分的影像，随后选取训练样本进行监督分类，分类后与3.1数据合并后利用SUPERMAP GIS进行专题制图，艾比湖干涸湖底类型专题图见图3-3。



图 3-3 艾比湖干涸湖底类型专题图

3.3 艾比湖干涸湖底类型

根据分类结果艾比湖干涸湖底区域内部由于各个部位出露年代不同、水分、地形各异，形成了四个不同的区块，即：龟裂区、盐泥区、疏松裸土区、植被覆盖区。其中：

龟裂区主要位于干涸湖底的西北部，在卫星影像上表现为条带相间纹理，色调比疏松裸土区亮，面积 157.97km^2 。由于干涸时间较早，原来高度含盐的蓬松表土层已被风蚀殆尽，地面非常平整，地表有零星白色盐霜且有明显龟裂缝，宽 $8\sim 10\text{cm}$ ，深 $1\sim 1.5\text{cm}$ ，质地非常粘重，常形成巨大的板层状结构，干燥而结实，地表虽有少量风蚀痕迹，但总的来说抗风蚀能力较强，但经物理化学风化后仍能起沙扬尘。目前，已成为一个巨大的风蚀洼地，是干涸湖底风蚀物质的主要来源。

疏松裸土区主要位于干涸湖底的中部，面积 252.70km^2 ，在卫星影像上表现为波纹状纹理，主要由龟裂区吹来的风蚀物质堆积而成，由于盐分含量极高，经过冻融，干湿交替变化，表层物质变得极其松散，极易风蚀，遇到干燥大风天气，往往形成沙盐尘暴，其中细小颗粒继而形成高空中远距离漂移的浮尘。

盐泥区主要位于湖滨及干涸湖底低洼处附近，面积 55.64km^2 。地面潮湿泥泞粘重，只有个别地

势稍高干燥处有轻微风蚀痕迹。局部地区地面覆有厚1cm左右的盐壳。地下水埋深约为1m,矿化度约130g/L。

植被覆盖区主要分布在泉水溢出点附近等水分状况较好的区块。共有两处,一处在西部的乌兰达布森泉水周围,面积9.33km²。另一处在玛依拉山东部洪积扇缘,从拉巴河口至库夏奇沟沿扇缘呈带状分布,长约14.26km,宽约0.67km。其上生长的植被属于盐生植被,无乔木,主要是灌木、半灌木和草本植物,覆盖度约为20~70%。主要植物种类有:芦苇(*Phragmites communis*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、盐豆木(*Halimodendron*)、白刺(*Nitraria schobei*)、盐节木(*halocnemum strobilaceum*)、盐爪爪(*kalidium foliatum*)、盐角草(*Salicornia europaea*)、膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)、罗布麻(*Apocynum ventum*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、盐穗木(*Halostachys belangeriana*)等。

3.4 机械组成

3.4.1 粒径分级

土壤学上所说的土粒(简称)大小,并非土粒的真实直径,而是人为的把土粒直径堪称理想球体的直径对待,这样在实际中更便于研究。确切的说叫做“当量粒径”。根据粒径的大小和理化性质的差异,把土粒分为若干组,每组即为一个粒级,该组内粒径大小成分及性质基本相近,而与组间有明显的差异。目前存在不同的粒径分级标准,但主要土粒分为石砾、沙粒、粉粒和黏粒等四大基本粒级。我国曾采用卡庆斯基分级制,所以本文在对艾比湖干涸湖底进行粒径分级是同时采用了国际制和卡庆斯基制^[36]。

3.4.2 粒径分布及土壤质地

1952~1955年Chepil做了土壤风蚀的土块结构和风蚀度的一系列因素试验研究。包括土壤质地、水稳性结构、碳酸钙、有机质、机械组成,目的在于搞清影响团聚结构的次要因素及其次要因素之间的相互关系。研究表明:土壤质地对风蚀度的影响很大,质地最粗和最细的土壤比中质地的更容易风蚀,风蚀度随土壤中直径小于0.42mm或0.84mm土粒的百分数而变化,随土壤中沙粒、粘粒和粉粒的比率而变化。在粉粒土壤中,含1%~5%碳酸钙将会大幅度引起土块的破碎、土块机械稳定性的降低,并增加风蚀度。在壤质砂土中,随碳酸钙的增加,风蚀度随之减少;但分解后的有机质会增加土壤的易蚀性。对于单一机械组成(砂、粉粒或粘土)的土样,直径在0.005~0.01mm的粉砂土具有最大的团聚度和抗风蚀度,土壤中粉砂的比率越大,砂的比率越小,则风蚀度越低,因此对干涸湖底所形成的扬尘、扬沙及沙尘暴天气形成的机理的研究就有必要对其机械组成进行定量分析。由于植被覆盖区表面覆盖一定植被,风蚀度受到其的影响而大大降低。基于上述原因本文只给出龟裂区、盐泥区、疏松裸土区机械组成。

从所采样的土样分析发现龟裂裸土区土壤的粒径在0.02m~0.002m之间百分含量占比重相对较大,然而从各级沙粒含量比重可以看出龟裂裸土区遭遇了很强的风蚀,与现地观测结果相符合。其中粉砂粒的平均含量占59.5%,砂粒的平均含量占16%,粘粒的平均含量占24.5%,且该区域的物理性粘粒的平均含量为74.5%。该区域内的土壤质地属于粉质壤土、粉质粘壤土,该区域的土壤类型在不同的采样深度内,轻、中粘土及重粘土类型都有存在。

盐泥区土壤的粒径在0.02m~0.002m之间百分含量同样占有很大比重。其中粉砂粒的平均含量占63.9%,砂粒的平均含量占25.5%,粘粒的平均含量占10.6%。该区域内的土壤质地属于粉质壤土、壤粘土,只有少数地点属于壤粘土,该区域的土壤类型在采样深度为0cm~20cm和70cm~120cm主要为轻粘土,20~50cm和120cm~220cm主要为中粘土,在该区域内没有发现重粘土。

疏松裸土区土壤的粒径在0.02m~0.002m之间百分含量占很大比重。其中粉砂粒的平均含量占61.29%,砂粒的平均含量占21.71%,粘粒的平均含量占17%,且该区域的物理性粘粒的平均含量为

63.64%。该区域内的土壤质地属于粉质壤土、粉质粘壤土，只有少数地点属于壤粘土，该区域的土壤类型为轻、中粘土，只有一采样点属于重粘土。

3.5 化学组成

Zobeck曾把土壤分的性质分为两大类：内在性质包括质地、有机质、碳酸钙、盐分、代换量、水分含量、粘矿物等，这些性质随时间的迁移变化很慢；暂时性质，包括微地形、容重、团聚体密度、稳定性和大小分等性质，这些性质随着管理方式和气候的变化而急剧变化。Fryrear等人利用沙和沙粒百分含量、沙和粘粒比、碳酸钙、有机质通过计算机模拟得出方程：

$$EF=29.69+0.31(\text{Sand})+0.17(\text{Silt})+0.33(\text{sand/clay})-4.66(\text{oc})-0.95(\text{CaCO}_3) \quad R^2=0.67$$

式中sand、Silt、Sand/Clay、oc、CaCO₃分别为沙和粉粒百分含量、沙和粘粒、碳酸钙、有机碳百分含量。从该方程式可以看出随着沙粒或粉粒的百分数增加，易蚀性颗粒也随之增加，随着有机质和碳酸钙含量的增加，易蚀性颗粒逐渐减少。艾比湖干涸湖底的风蚀、水蚀及盐渍化都有发育，其之间会有相互促进，所以在这个特殊的地理环境中，对于干涸湖底有必要进行化学组成的分析研究。

龟裂裸土区土壤质地为中、重粘土0~30cm含盐量2~3%，1m以内含盐量1~36%，盐分组成以氧化物为主，从Cl⁻/SO₄²⁻比多在1~2之间。PH值8.2~8.7。表层有机质含量为0.5~1%，P含量10~12PPm，K含量400PPm左右，CaCO₃含量在19~25%之间，地表30cm以下湿润层地下水深2米以上矿化度约130g/L。

盐泥区土壤地质为砂壤土—壤粘土。上部为黄灰色的盐泥层，40~80cm之间为具有大量锈斑的灰棕色氧化还原层，下部为青灰色潜育层。0~3cm土层含盐量为8~17%，1米土层含盐量5~10%，Cl⁻/SO₄²⁻当量比在2~4之间。Ph值在8.1~9.1之间。有机质含量1%左右，P含量6~8PPm，K含量800~970PPm，CaCO₃含量12~18%。

疏松裸土区土壤质地为轻粘土地表非常疏松，松土层厚度约30cm。而心土层则相当紧实，物理性状类似于龟裂裸土。土壤剖面上部有明显的结晶盐，中部有多量锈纹、锈斑，下部为青灰色潜育层。0~30cm含盐4%~6%，1米内土体含量5%左右，盐分组成以氧化物为主，Cl⁻/SO₄²⁻当量比一般在2以上。PH值8.3~9.0。有机质含量1%左右，P含量5~12PPm，K含量380~970PPm，CaCO₃含量18~24%。表层无结构，其下各层为板层状结构，质地非常粘重。地表30cm以下即为湿润层，地下水埋深约为1.5m，矿化度130g/L。

植被覆盖区土壤为沙质疏松硫酸盐—氧化物沼泽盐土，地表潮湿，地下水埋深约0.8m，矿化度35g/L。其主导成土过程是盐化过程，同时辅以沼泽化过程，盐分强烈表聚，地表常为白色盐霜和盐结皮，含盐量16%以上，其下盐分量0.5%。0~80cm范围内土体均为细沙。其下为质地较为粘重的青灰色潜育层，Cl⁻/SO₄²⁻当量比在1~2之间。土壤通体呈碱粒，其中上部的盐聚层呈强碱性。养分除速效钾较丰富，有机质及其他养分都较低。

4 艾比湖干涸湖底风速风向特征及风沙源点

4.1 启动风速

静止的沙粒必须在一定风力条件下才能开始运动。当风速增大到某一临界值时，地表沙粒得以从气流中获得足够的水平动量并最终脱离静止状态开始运动。这个使沙粒开始运动的临界风速称为启动风速，一切大于启动风速的风称为起沙风。

关于沙粒的启动风速，拜格诺提出流体启动值和冲击启动值的概念。所谓流体启动值，是指沙粒的运动完全处于风对沙面沙粒的直接推动作用，使沙粒开始启动的临界风速；若沙粒的运动主要是跃移沙粒的冲击作用，其启动的临界风速则成为冲击启动值。拜格诺根据流体在启动条件下，作用在沙粒上的迎面阻力（拖曳力）和重力的平衡，导出了沙粒开始运动的临界速度和粒径关系得以下表达式(2)。

$$u_{*t} = A \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d} \quad (1)$$

公式 u_{*t} 是临界磨擦阻速度； ρ_s 为沙粒的密度； d 为沙粒的粒径； g 为重力加速度； A 为经验系数。根据普兰—冯·卡曼的速度对数分布规律其公式(3)。

$$u = 5.75 u_* \lg \frac{z}{z_0} \quad (2)$$

其中 u_* 为摩阻速度（或剪切速度）， $u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ ； τ 为地面的剪切力（拖曳力）或阻力； ρ 为空气密度； u 为高度 z 处的风速； z_0 为光滑床面与空气的粘滞性有关的参数，在床面粗糙时则等于标志床面粗糙的特征长度。

4.2 干涸湖底启动风速确定

4.2 干涸湖底启动风速确定

启动风速与沙粒粒径、地表性质、沙粒含水率等多种因素有关。国内外专家研究证实，在一般情况下启动风速和沙粒粒径的平方根成正比。切皮尔、拜格诺、津格等对经验系数 A 进行了测定，但所确定的 A 有较大的差别。为此本文利用实地观测到的启动风速作为启动风速。

从粒度分析来看，艾比湖干涸湖底的四个不同部分，在疏松裸区土表层疏松物质中 0.05mm 以下悬移成分含量较高。而对细小颗粒来说，由于颗粒之间微弱化学键的作用而是其内聚力增强，从而增强了抗风蚀能力，因而其流体启动风速较大，但其冲击起动力风速则极小。这也就是说，在大多数情况下，这些物质是在其他颗粒得冲击下被卷入气流的。根据分析，这些冲击颗粒主要是同一疏松物质中的跃移和蠕移成分，因而决定疏松裸土区沙尘启动风速的关键是其跃移和蠕移成分的启动风速。根据现地观察和跃移、蠕移成分的粒径分析，目前可以初步确定疏松裸土区的起沙尘临界风速约为 5m/s（2.0m 高度）见表 4-1。

表 4-1 起沙起尘风速表

风力等级	风速 (m/s)	起沙起尘现象
3 级	5.0	沙粒沿地表蠕动
4 级	5.8	沙粒滚动，有时离开地面 1~2cm，尘土开始飞扬
5 级	8.0	沙粒跳跃达 20cm，尘土大量飞扬

4.3 干涸湖底风速风向特征

4.3.1 气象数据处理

沙尘暴是风和沙相互作用的灾害性天气。本文收集了新疆阿拉山口气象站2003~2006年的气象数据。气象站对自计风速、风向数据的加工和整理，仅限于计算每个正点前10min的平均风速和风向，风向为360度方位，每天有24个数据。首先提取2003~2006全部气象资料的观测时间、10min风向和10min风速数据，鉴于风向玫瑰图利用8或16方位表示风频和风向，本文对将所有的风向换算为16方位（22.5°为一个方位），以便利于统计分析（并将所有数据放入DBF表文件中以便计算风蚀量）。风向玫瑰图见图4-2。

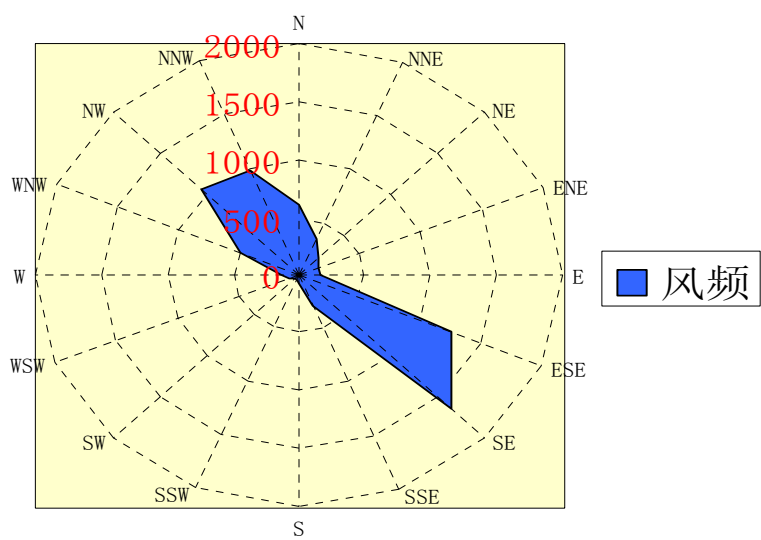


图 4-2 风向玫瑰图

4.3.2 统计分析

由4.1中确定干涸湖底的沙尘的启动风速为5.0m/s，对2003~2006年每年12个月的启动风进行统计，干涸湖底启动风速风向集中在W19° N~W35° N之间，全年合成启动风速风向为W27° N，且风速主要集中在32m/s~53m/s之间。在全年12个月中1、2、3月风向主要集中在WNW、ENE、N37° W三个不同方向，并且风速相对于4~12月较小。由表可以看出艾比湖干涸湖底沙尘暴主要发生在4~10月之间，其结论与NASA所提沙尘监测资料统计结果相一致，详细逐月启动风速统计结果见表4-2。

表 4-2 逐月启动风速统计表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
合成风向	WNW	ENE	N37° W	W19° N	W30° N	W33° N	W31° N	W35° N	W22° N	W17° N	W6° N	W21° N	W27° N
风速 (m/s)	13	5	77	128	147	192	193	115	115	121	72	45	1200

由于干涸湖底恰好处于阿拉山口大风区的主风道内，年均大风日数163.8d，最多188d，最少137d，最大风速46m/s。风蚀能力极为巨大，5m/s以上起沙风频次为5895次，占全年总风次频率的52%，最多起风方向为NW44.73°。年起沙总风速5293m/s•a，年起沙合成风速为1200m/s•a，时间分布上主要风期是4~7月，空间分布上则以距地面300~500m处风速最大。阿拉山口是北方气流进入新疆的重要门户，当冷空气由开阔地区进入朗库里谷地时，由于狭管效应作用，气流加速，出山口后又因地形落差风速进一步加速，到达到干涸湖底时，风力达到最强。大风的主风道是从阿拉山口沿NW44.73°方向呈直进式，快速型发展，西至布根陶勒哈，东至艾比湖盆边缘，从阿拉山口至沙泉子，长约

70km，平均宽约35~40km，高1200~1500m，大风至精河黑山头后受阻，主风向继续向WSW乌苏方向扩展，同时向SEN博乐方向盘旋式，快速扩展。

为了对艾比湖干涸湖底启动风速全面了解对各级风速进行了统计，发现启动风速主要集中在6~7m/s，其总持续时间占18.6%。全部启动风速总持续时间占68.4%。各级风速统计结果见表4-3。

表 4-3 各级风速统计表

风 速	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
(m/s)															
频次	180.9	149.3	150.3	107.9	87.6	62.2	54.3	51.1	40.1	40.8	34.4	26.5	27.0	18.4	15.6
时数	1085.4	895.8	901.8	647.4	525.6	373.2	325.8	306.6	240.6	244.8	206.4	159.0	162.0	110.4	93.6

将三年气象数据每天的24个时段的启动风速统计发现艾比湖干涸湖底启动风速出现频率较高的时段主要集中在0点~1点、10点~13点、15点~23点这三个时间段中。其中0点~1点时间段出现频率为104次/年，平均启动风速为9.09m/s；10点~13点时间段出现的频率为107.5次/年，平均启动风速为8.89m/s；15点~23点时间段出现的频率为133次/年，平均启动风速为9.12m/s。所以，艾比湖干涸湖底发生扬尘、沙尘暴的时间段主要集中在15点~23点之间。

4.4 确定风沙源点

土壤的物理、化学性质和生物状况决定着土壤的抗风蚀能力，土壤抗风蚀能力中特别重要的是土粒的稳定性、土粒的大小和土壤的含水量。风蚀过程中发生土壤分选作用的结果是将细土物质吹失，残留下较大的颗粒，在风力不再增加的情况下，处于相对稳定状态，风蚀度随之削弱，只有当风力再度增加，风速达到地表粗颗粒的启动风速值时风蚀又再度发展。

植被不仅可以降低风速，而且土粒可被植被庇护起来从而防止风的直接冲击。同时扎根与土壤中的植物也有助于土壤剖面而减少风蚀，同时可增加地面粗糙度，削弱贴近地面的风沙流速度，减小风力吹蚀和搬运的能力。植物覆盖地面，使气流不能直接作用于砂质地表，防止了风的吹蚀作用；同时也使阳光不能直接照射地面，从而减少了沙丘表层水分的蒸发，加强了砂粒间的团聚力。植物枯枝落叶的堆积，使地面有机质逐渐增多，促进了成土作用。在植被覆盖区分布着灌木、半灌木和草本植物，覆盖度约为20~70%。植被覆盖区域内，由于植被覆盖大大降低风蚀强度，其风蚀程度相对较小。

土壤水分含量也直接影响风蚀强度，由于水分表面张力而阻止土壤风蚀。盐泥区的形成的主要原因是湖面变化，虽盐泥区土壤粒级主要分布在0.02m~0.002m之间，质地为粉质壤土、壤粘土，但由于其湿度大，能力抗风蚀强。

龟裂区内地面非常平整，地表有零星白色盐霜且有明显龟裂缝，宽8~10cm，深1~1.5cm。质地非常粘重，常形成巨大的板层状结构，干燥而结实，地表虽有少量风蚀痕迹，但总的来说抗风蚀能力较强，估计25m/s以上风速（高2m）。

根据4.3分析艾比湖干涸湖底风速主要集中在32m/s~53m/s之间，而盐泥区、龟裂区、植被覆盖区受到该范围风速风蚀的影响较小，从而确定当前艾比湖干涸湖底扬尘、扬沙天气的出现，其沙尘物质主要来自尘疏松裸土区，其也就成为当前艾比湖干涸湖底沙尘、盐暴发生的主要沙源地，但从现地观测发现疏松裸土区的物质主要来源于龟裂区，从阿拉山口冲出的大风大量刨蚀龟裂区土壤物质，经过风力分选将粒径较大的颗粒残留在疏松裸土区，粒径较小的漂移到下风向地区，也就是说艾比湖干涸湖底主要风蚀地区为龟裂区。

5 艾比湖干涸湖底风蚀量的计算及验证

土壤侵蚀过程是土壤侵蚀力与土壤可侵蚀性之间相互作用的一系列过程的集合。一般情况下可以分为侵蚀力造成的土壤颗粒分散、搬运与沉淀过程。

5.1 风蚀及影响因子

5.1.1 风蚀定义

风和风沙对地表的吹蚀和磨蚀作用，统称为风蚀作用。风吹经过地表时，由于风的动力作用，将地表的松散沉积物或基岩上的风化物（沙质物）吹走，使地面遭受到破坏，称为吹蚀作用。风挟带沙子贴近地面运动时，风沙流中的沙粒可对地表物质进行冲击、摩擦，如果岩石表面有裂隙等凹进之处，风沙甚至可以钻进去进行旋磨，风的这种作用称为磨蚀作用。磨蚀作用是风蚀过程中的一个重要的方面。风蚀是狭义的风蚀概念，它是指松散的土壤物质被风吹起、搬运和堆积的过程以及地表物质受到风吹起的颗粒的磨蚀过程。其实质是在风力的作用下，表层土壤中细颗粒和营养物质的吹蚀、搬运与沉积的过程。风蚀过程主要包括土壤团聚体和基本粒子的分离、输送和沉积。

关于风蚀的几种形式及产生的原因，Chapil, W. S. 曾做过以下描述。①跃移是包含跳跃移动的一种形式。土粒被提升到空中，然后又落地面，落返时将其他土粒击出使之发生移动。跃移是其他风蚀形式的前提，它包括了直径 0.05~0.5mm 土粒的移动。要控制风蚀，就得减少土壤中这种颗粒的数量，并保护它们不受风力侵蚀。②挤移是在跃移所带砂粒的撞击下发生土粒移动的一种侵蚀。侵蚀的形式是使仅靠风力无法移动的大颗粒发生表面蠕动，就像一个沙粒受到另一个沙粒撞击时出现的那种移动。③撞移是土壤突起顶端受到侵蚀轰击时击出粗土粒的过程。其和挤移移动不同的是，这些土粒都大得无法在平面上移动。这种类型的侵蚀将击出更多的可能为突起所保护的易侵蚀土粒。④悬移是指悬空细颗粒的迁移。细颗粒悬空主要是粗颗粒跳跃移动时造成的。细粉粒和粘粒级的这类颗粒可以被带到高空中。风刮起尘土时，即可看到这种形式的侵蚀。土壤细粒组分的迁移，经过几年时间就会使土壤质地变粗，更易侵蚀，最后降低了土壤生产力。⑤磨移是指那些多少有些坚硬的物质（如土块和表面结皮）的磨损作用。粗结构物质对砂丘砂磨损作用比较敏感，石灰含量高的土壤也会增强磨损作用。砂丘砂是土壤中磨损力最大的因子，因为它不含细土，具有较高的比重和尖锐地边缘。

5.1.2 影响因子

土壤风蚀因子包括可蚀性因子和侵蚀性因子。其中，可蚀性因子主要包括水分、土壤质地、有机物含量、分离过程；侵蚀性因子包括气流和粗糙度。在风蚀因子中，对于某一特定地区，土壤质地、有机物含量、分离过程在短时间内难以改变，因此主要研究土壤水分、风力和粗糙度对风蚀的影响。作用于土壤表面的风力可以用摩阻速度表示，土壤表面的抗蚀力用临界摩阻速度表示，其中临界摩阻速度是指土壤颗粒开始运动时的风速。风蚀是指摩阻速度大于临界摩阻速度时推动土壤表面颗粒发生运动的过程。斯基德莫尔和伍德拉夫分析了美国212个地区的风速记录，他们认为，只有平均风速大于5.4m/s的风，才具有侵蚀性，并能应用于研究工作。因此，影响摩阻速度和临界摩阻速度的因素，如残茬覆盖、地表粗糙度、土壤含水量以及土壤特性等因素，必将影响风蚀的发生及其发生的强弱程度。所以，通过提高土壤的地表水分和增加残茬覆盖量，可以有效地提高土壤粗糙度，降低摩阻速度，提高临界摩阻速度，从而有效地减少风蚀损失^[29]。

5.2 艾比湖干涸湖底风蚀量计算

5.2.1 风蚀模型的选取

气流在单位时间内同单位宽度和面积所搬运的沙量，叫做风沙流的固体流量，也称为输沙量。计算输沙量不仅有理论意义，而且具有重要的实践意义。国内外许多学者从不同角度研究出许多风

蚀方程式，各有千秋。克拉瓦洛维克(Cravailovic)的风蚀强度计算公式(3)：

$$EP = T \times v \times De \times y \times Xa \times F \quad (3)$$

式中：EP为年风蚀量，T为温度系数， $T = (t/10) + 0.1$ ，t为年平均温度，v为年平均风速(m/s)，De为无雪覆盖时期的年平均风日数。Y为土壤抗蚀系数(沙地为2.0，最抗蚀土壤为0.25，其他为2.0~0.25之间) Xa 为汇水区结构系数(耕地或裸地为0.9~1.0，荒地为1.0，森林地为0.05)，F—汇水区面积(km²)。

在1965年，N.P. Woodruff 和F.H. siddoway提出了风蚀方程(Wind erosion equation) (WEQ) 方程表达式(4)：

$$E = f(I, K, C, L, V) \quad (4)$$

式中： E 年土壤风蚀量(t/ha.a)；
I 土壤可蚀性因子(t/ha.a)；
K 土壤粗糙度因子；
C 气候因子；
L 风方向无保护地块长度因子(m)；
V 植被覆盖因子(t/ha)。

对于各个因子，图和表格已经被发展来确定各因子。此外，也可以使用方程来计算(William et al)。

帕萨克(Pasak)于1973年提出的风蚀模型旨在预测单一风蚀事件^[30]可用(5)表示。

$$E = 22.02 - 0.72P + 1.69V - 2.64Rr \quad (5)$$

式中： E 风蚀量(kg/hm²)；
P 不可蚀颗粒所占百分比；
V 风速(km·h⁻¹)；
Rr 相对土壤湿度。

该模型以简单的函数关系来预测风蚀量，应用起来极为方便，但缺少其它一些必要的变量，如作物残留物及土壤表面粗糙度等因子，从而造成了在实际应用中的局限性。其次，即使在某单一风蚀事件中，土壤水分含量和风速亦非恒量。再次该模型亦是一个经验模型，存在类似WEQ的不足。

Fryberger曾提出输沙势方程：

$$Q \propto V^2 (V - V_t) \cdot t \quad (6)$$

式中：Q为输沙势；V为10m高度的风速；V_t为10m高度冲击起动风速(即10m高度上使沙处于运动状态的最小风速，取其值为5.0m·s⁻¹)；t为刮风时间，在风统计表中用频率(%)表示。

凌裕泉根据实地观测结果将Bagnold(1941)输沙率公式修正为计算公式(7)：

$$q = 8.95 \times 10^{-1} (V - V_t)^{1.9} \quad (7)$$

$$V = 5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

5.2.2 风蚀量计算

本文鉴于各个风蚀模型都有各自的优缺点，并且各个模型的提出都是为了特定的要求，从不同的角度看帕萨克提出的风蚀量计算方程对于艾比湖干涸湖底的沙尘暴这一特殊的侵蚀，且该风蚀事件相对单一的的计算较为适合，所以本文以帕萨克风蚀方程作为风蚀模型计算干涸湖底的风蚀量。其中疏松裸土区的0~21cm是当前风蚀物质的主要来源，为此0~21cm剖面粉砂粒(0.02mm~0.002mm)的百分含量作为可蚀粒子的百分含量，从而确定疏松裸土区的不可蚀粒子的百分含量为37%。本文在4.3干涸湖底风速风向统计中已经将一年中365×24个小时的风速数据统计为DBF表格。在利用帕萨克

风蚀模型计算时, 由于所获取的风速数据是10分钟平均风速, 而帕萨克风蚀方程所计算得出的是15分钟内的风蚀量, 因此在计算每小时的风蚀量时需将帕萨克风蚀方程计算值乘以1.5转化为15分钟的风蚀量, 再将该计算乘以4转化为当前一小时内的风蚀量。最后统计得出艾比湖干涸湖底的年风蚀量为889.64万吨。

5.3 验证风蚀量

5.3.1 DEM的定义

DEM是3S(GIS、GPS、RS)技术应用成果的主要产品之一。高精度的DEM不仅可以非常直观的展示一个地区的地形、地貌, 而且也为各种地形特征的定量分析和不同类型专题图的自动绘制提供了基本数据^[31]。DEM(Digital Elevation Mode)是“4D”(“4D”指数字高程模型DEM、数字正射影像DOM、数字栅格地图DRG和数组线划地图DLG)产品的一种。它是一定区域范围内规则格网点的平面坐标(X、Y)及其高程(Z)的数据集或者是经度 λ 、纬度 Φ 和海拔 h 的数据集。该数据集从数学上描述了区域地貌形态的空间分布, 通过计算机, 采用一定的算法, 能很方便地将DEM数据转换为等高线图、坡度图、断面图、晕渲图以及与数字正射影像(DOM)复合形成景观图等各种专题图产品; 或者按用户需求计算出体积、空间距离、表面覆盖面积等工程数据和统计数据^[32]。由DEM还可进一步产生坡度、坡向、沟谷、山脊、地表粗糙度等10多个地形要素, 构成数字地面模型(DTM)数据。利用这些地表信息与植被、土壤、人文要素的相关性, 建立不同的地学应用模型。

DEM有多种表示形式, 主要包括规则格网DEM和不规则三角网DEM。所谓规则格网(RSG)DEM, 是利用一系列在X、Y方向上都按等间隔排列的地形点的高程值Z表示地形, 形成一个矩阵格网DEM。而不规则三角网(TIN)DEM, 是按一定的规则将离散点连接成覆盖整个区域且互不重叠、结构最佳的三角形, 实际上是建立离散点之间的空间关系^[33]。

5.3.2 数据处理

基于现有地形图的质量和等高线的密集程度, 以分辨率300~400dpi, 用扫描仪扫描成栅格图, 以TIF格式存储在计算机中。TIF格式的地形图在矢量化之前必须进行几何精校正, 以避免产生数字化的结果与原有地形图位置不相重合的问题。随后将其转入SuperMap GIS 5中进行自动跟踪矢量化, 并对矢量添加属性字段evaluation, 进行高程属性的注记。

5.2.3 构建DEM

不规则三角网(TIN)优点是可以克服数据冗余, 具有可变分辨率, 可以较好的表示复杂地形缺点数据结果复杂, 但算法复杂, 计算时间长, 管理困难。而规则格网(RSG)数据结构简单, 计算简单, 存储量小, 便于管理, 然而复杂地形反映清晰不能精确表示地形复杂程度, 同时地形起伏较大区域存在数据冗余。

在比较两种格式的优缺点后选择运用规则规则格网DEM。Supermap GIS 5中可以实现等值线到DEM的插值计算。内插(Interpolatio)是地统计学的一个重要内容。内插的含义是对于一个区域, 如果只有部分离散点数据已知, 要想创建或者模拟一个表面或者场, 需要对未知点的值进行估计, 通常采用的是内插表面的方法。SuperMap GIS 5中提供三种内插方法用于模拟或者创建一个表面, 它们分别是: 距离反比权重法(IDW)、克吕金插值方法(有两种实现方式, 普通和四叉树)、径向基函数RBF插值法(普通和四叉树)。选用何种方法进行内插, 通常取决于样点数据的分布和要创建表面的类型。

克里金(Kriging)插值法, 它首先考虑的是空间属性在空间位置上的变异分布, 确定对一个待插点有影响的距离范围, 然后用此范围内的采样点来估计待插点的属性值。该方法是数学上可对所研究的对象提供一种最佳线性无偏估计(某点处的确定值)的方法^[34]。对于格网数的设置视建模区域情况和模型精度而定, 如果设置过大, 不但会有海量数据, 而且计算时间长, 同时对计算机硬件要求

也较高；数据量过小，又不能表示出复杂区域的地形差异，因此度的把握首应考虑。

本文在SuperMap 5 中的三维建模功能实现等高线到DEM的插值计算。其中高程属性选择5.3.1中增加的属性字段evaluation，由于所选取得地形图精度为50m，故将分辨率设定为40m，经过计算得到DEM。

5.3.4 艾比湖干涸湖底蓄水量计算

根据2004年遥感卫星影像解译与2003对比发现艾比湖的湖水，由于注入水量的增大湖面不断升高，整个湖面呈现出上下两个板块并且中间连同。由此可以看出龟裂区被风沙所侵蚀成为一个很大的风蚀洼地，现漫入大量的湖水。将2004艾比湖卫星影像与等高线叠加后发现龟裂区内的湖水大致达到了艾比湖湖面面积为1200km²时的高程，为此只要计算出龟裂区内的水量，也就得出了艾比湖干涸湖底的风蚀总量。

整个艾比湖干涸湖底从1950年以后开始出露，各个地点出露的年代、时间都不相同，风蚀的程度也大不相同。例如艾比湖干涸湖底四个类型中的龟裂去风蚀相当严重，地表部分的疏松物质已风蚀殆尽，而靠近水域部分的盐泥区和部分疏松裸土区却相对较弱，从整个湖底看艾比湖干涸湖底风蚀部分为一个高度不同的曲面。为此利用GIS现有的填挖方计算工具较难实现艾比湖干涸湖底风蚀体积的计算。为此本文利用DEM相减的方法进行计算。

本文所获得的部分DEM数据为SRTM_DEM，其投影类型为Geographic (Lat/Lan)，如果将其转化为UTM投影类型在提取等高线时，RS系统将对其进行重采样其高程数据也就是像元值将发生变化，为了不改变其像元值，本文作如下推导：

$$\begin{aligned} v &= s_1 h_1 + s_1 h_2 + \dots + s_1 h_j \\ &+ s_2 h_1 + s_2 h_2 + \dots + s_3 h_j \\ &\dots\dots\dots \\ &+ s_i h_1 + s_i h_2 + \dots + s_i h_j \end{aligned}$$

其中：v为整个DEM的体积，S_i为面积，h_j为高度。如果分割的面积足够小而且相等。那么公式可以转化为：

$$v = s \sum_{m=1, n=1}^{m=in=j} h_{mn}$$

那么该公式成为所有点的高程和乘以面积，进而可以转化为：

$$v = s * i * j * h' = S * h'$$

其中：S为总面积，h为平均高度，s为分割后的面积。

具体计算过程是首先把干涸湖底范围矢量进行矢量到栅格的转化，再利用该栅格图分别与两期DEM进行掩膜运算，最后利用ENVI软件中Statistics工具对象元值统计，结果为：1979年平均高度243.245m，2004年平均高度242.794m，将平均高度乘以干涸湖底面积5.50×10⁸m²，两期数据相减后即可得出风蚀体积。由此可以算出艾比湖干涸湖底在出露的56年期间风蚀了2.5×10⁹m³，平均每年风蚀量为4.42×10⁷m³。

6 艾比湖干涸湖底风沙送尘运行规律分析

沙尘暴移动路径是指沙尘暴爆发后经常过境的地区，沙尘暴的形成机理也是路径的形成机理，沙尘暴的起发地也是其路径的起始地。沙尘暴的运行路径会受到地形、气象、沙源等因素的影响，并且沙尘暴在运行过程中，沿路起沙，又受到不同气象条件的影响。因此，沙尘运行的确切路径很难确定。本文鉴于上述原因将艾比湖干涸湖底沙尘暴的运行规律分为近距离降尘影响和远距离风沙送尘影响路径两个部分进行分析研究。

6.1 MODIS 数据

MODIS是当前世界上一代“图谱合一”的光学遥感仪器，它是被动式成像分光辐射计，携带490个探测器，分布在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），覆盖从可见光到红外（0.4~14 μm ）波段。MODIS仪器的地面分辨率分别为250m、500m和1000m，视幅宽度为2330km，在对地观测过程中，每秒可同时获得61兆比特来自大气、海洋和陆地表面信息，每日或每两日可获取一次全球观测数据。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，大气中水汽，地表、云顶温度，大气温度，搭载在Terra和Aqua上的MODIS探测器，在0.6~14 μm 的电磁波谱范围内有36个波段，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，MODIS波段分布特征见表6-1。

表 6-1 MODIS 波段分布特征

主要用途	波段	波谱	光谱	空间分辨率
陆地、云的分界线	1	0.620~0.670 μm	红	250m
	2	0.841~0.876 μm	近红外	
	3	0.459~0.479 μm	蓝/青	
	4	0.545~0.565 μm	绿	
陆地、云的属性	5	1.230~1.250 μm		500m
	6	1.628~1.652 μm	近红外	
	7	2.105~2.155 μm		
	8	0.405~0.420 μm	紫	
海洋颜色、水体表层性质生物、化学	9	0.438~0.448 μm	蓝	1000m
	10	0.483~0.493 μm	青	
	11	0.526~0.536 μm	绿	
	12	0.546~0.556 μm		
	13	0.662~0.672 μm		
	14	0.673~0.683 μm	红	
	15	0.743~0.753 μm		
	16	0.862~0.877 μm		
	17	0.890~0.920 μm		
	18	0.931~0.941 μm	近红外	
大气、水蒸汽	19	0.915~0.965 μm		中红外
	20	3.660~3.840 μm		
地表、云温度	21	3.929~3.989 μm		
	22	3.929~3.989 μm		

	23	4.020~4.080 μm		
大气温度	24	4.433~4.498 μm		
	25	4.482~4.549 μm		
卷云	26	1.360~1.390 μm	近红外	
	27	6.535~6.895 μm		
水蒸汽	28	7.175~7.475 μm	中红外	
	29	8.400~8.700 μm		
臭氧	30	9.580~9.880 μm		
地表、云温度	31	10.780~11.280 μm	远红外	
	32	11.770~12.270 μm		
	33	13.185~13.485 μm		
云顶高度	34	13.485~13.785 μm	远红外	1000m
	35	13.785~14.085 μm		
	36	14.085~14.385 μm		

6.2 沙尘信息提取

6.2.1 沙尘暴光谱特征及沙尘指数

郭铤等人深入研究了前人对沙尘暴光谱特征的研究并指出：沙尘在太阳反射波段表现为较高的反射率，反射率一般介于云和地表之间；在热红外波段则为较低的辐射亮温，亮温值在云、积雪和地表之间。由于云的类型多样、分布广泛，加之高山、戈壁、沙漠等复杂下垫面，给沙尘卫星遥感定量判识带来困难。根据其研究表明，浓密的沙尘往往与云混淆，而较轻的沙尘又难以与沙漠、戈壁等高反射率的地表区分开来。中亚沙尘暴多发地分布着大片的戈壁、沙漠、盐碱地等高反射率的地表，同时我国的西北地区地表海拔高度不均一，使沙尘暴的反射和辐射特征与某些下垫面相似，致使沙尘暴的定量监测更为复杂。

沙尘的散射能力与沙尘粒径有很大关系，沙尘粒径越大所产生的散射越强。直径为1.5 μm 的沙尘粒子在波长为0.7和3.9 μm 的散射效率因子分别为2.3125和0.395；当直径增加到2.5 μm 时，粒子在这2个波段散射效率可达2.7988和1.7984，比直径为1.5 μm 的沙粒增加了1.21和4.55倍。而且，当散射效率因子 >1 时，被粒子扰动的那块入射波波阵面面积要大于粒子本身的几何截面，粒子可以扰动它所占截面以外的电磁波并把它散射出去。这表明在短波红外波段，随着沙尘粒子的增大，沙尘散射的能量成倍增加。

郭铤等人在深入分析沙尘暴光谱特征及辐射特征后提出了两个沙尘指数即NDSL、DSL，

$$NDSI = (B7 - B3) / (B7 + B3) \quad (8)$$

$$DSI = (B20 - B29) \quad (9)$$

经过实际检验NDSL能够很好地将沙尘和云、雪区分开来，对沙尘暴判别较好，但对沙尘与沙漠等高反射率地表判别不好。而DSI不仅可以区分沙尘暴，其数值大小还可以反映沙尘强度。本文选择DSI沙尘指数对艾比湖干涸湖底的沙尘进行提取。

6.2.2 沙尘信息提取

(1) 数据选取及预处理

本文在研究艾比湖干涸湖底沙尘运行规律时需要进行卫星影像筛选，在对影像的选取时结合了Aerosol Index数据和阿拉山口地面气象站能见度数据，最终选择了2000年3月8日、2000年3月9日、

2000年3月11日、2000年4月14日、2000年4月15日、2000年4月20日6景MODIS卫星影像作为进行沙尘信息的提取、运行路径研究的数据。

MODIS各级数据产品是以HDF文件格式存储、处理和发布的。HDF文件格式是美国国家高级计算应用中心为了满足各种领域研究需求而研制的一种能高效存储和分发科学数据的新型数据格式。一个HDF文件中可以包含多种类型的数据，主要有6种数据类型：栅格图像数据、调色板、科学数据库、注释、Vdata和Vgroup。本文选取的数据为MODIS Level1B数据产品，该产品中包含了Latitude和Longitude两个数据集，其代表了该HDF文件的地理坐标，利用ENVI 4.0对MODIS HDF文件格式数据读取并进行校正。

(2) 彩色影像合成

彩色影像的合成在图像的解译应用非常广泛。由于人眼只能识别20多个灰度级，但对于不同的亮度、色调和饱和度人眼可以识别上千种。在实际彩色影像合成时主要是将遥感影像的三个不同的波段进行RGB合成。本文在该部分进行彩色影像的合成时主要应用了最佳波段组合指数法。

最佳波段组合指数法(OIF) 由Chavez1982年提出，利用3个波段的标准差及两个波段间的相关系数计算最佳指数因子OIF。

$$OIF = \sum_{i=1}^3 S_i / \sum_{j=1}^3 |r_{ij}|$$

式中： S_i 为*i*波段的标准差， r_{ij} 是第*i*波段与第*j*波段之间的相关系数，在不同的组合方式中，选择OIF最大作为最佳组合。在实际选择最佳波段组合是利用ERDAS IMAGINE 8.6系统下对波段间的相关系数计算，标准差利用ENVI 4.0 中的BASIC Tool→Statistics进行统计。最终选择了7、10、29波段作为最佳波段组合，合成彩色影像见图6-1。



图 6-1 合成彩色影像

(3) 沙尘信息提取

在ERDAS IMAGINE 8.6中的空间建模中实现DSI沙尘指数模型，对预处理后的MODIS数据进行沙尘信息的提取。由于不同时期的数据DSI的阈值会有所不同，根据不同的影像设定不同的阈值，经过试

验DSI的阈值一般在30附近较为合适,该数值应视提取效果而定。最后将提取出的沙尘信息栅格图像,经过栅矢转换后与我国1:400万地图形叠合进行沙尘影响范围和运行路径的分析。

6.3 干涸湖底沙尘暴发生与湖面波动之间的联系

上世纪气象卫星的出现为沙尘暴的监测提供了有力的工具。本文该部分利用NASA所提供的气溶胶监测资料,数据名称为OMI Aerosol Index,格式为PNG,详见图6-2气溶胶图像。NASA利用臭氧总量绘图系统(TOMS)来计算悬浮在大气中的固、液气溶胶的总量。该系统可以探测到2km以上沙尘、烟尘和火山灰。TOMS测定太阳紫外线被大气吸收和反射回太空的量。利用这些值可以确定集中在某一大气柱中气溶胶的含量。气溶胶指数(Aerosol Index)在对沙漠、雪地、冰川等监测点较少之地进行监测时比其他方法更为方便。Aerosol Index 是利用纯净大气的瑞利散射和特定波段太阳紫外线反射量的比值来确定。AI指数的计算NASA给出了明确的计算方法:

$$AI = 100 * \text{Log}[I_{360}^{\text{meas}} / I_{360}^{\text{calc}}] \quad (10)$$

式(1)中: I_{360}^{meas} 为EP-TOMS 波段为360nm的辐射值, I_{360}^{calc} 为EP-TOMS 波段为360nm的瑞利散射值。

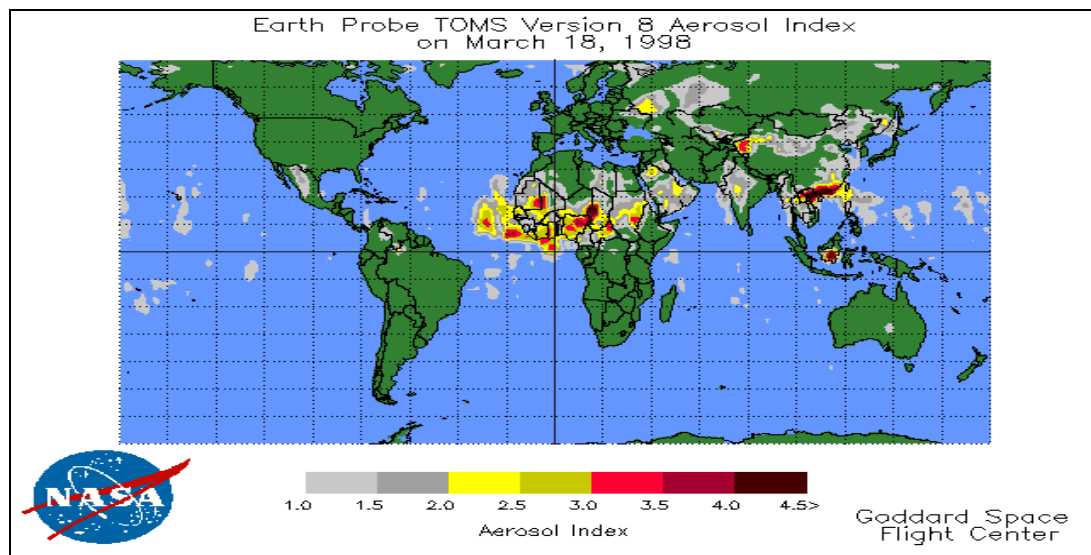


图 6-2 气溶胶图像

本文收集了1996年7月~2005年12月全球的OMI Aerosol Index数据,将这些数据进行分类汇总后得出1997~2006年10年期间干涸湖底发生沙尘天气的数据,在这些数据中选择Aerosol Index指数大于1,并记为一个沙尘日。经过统计分析湖面面积与沙尘日数之间有很大的相关性,详见图6-3。两者的变化趋势为反向变化,当湖面面积减小沙尘的日数相对增加,湖面面积增大沙尘的日数相对减少。根据统计分析,艾比湖湖面面积每增加1km²沙尘日数将减少0.08d,而湖面面积每减少1km²沙尘日数将增加0.5d。说明艾比湖干涸湖底的面积与干涸湖底沙尘暴的发生有着密切的关系。



图6-3 湖面变化与沙尘日数关系

6.4 沙尘路径分析

6.4.1 近距离降尘影响

目前，受干涸湖底风蚀的影响，精河、博乐、乌苏及准噶尔盆地南缘一带，浮尘天气剧增。精河城区空气中固体悬浮颗粒含量高达 $16.5\text{mg}/\text{m}^3$ ，而每遇大风天气，博乐市空气中固体悬浮颗粒含量则为 $10\sim30\text{mg}/\text{m}^3$ 。一到浮尘天气，大气中的尘埃形成连续不断的尘幕，遮天蔽日，天空呈现混浊的灰色，水平能见度下降至 $1\sim2\text{km}$ 以下，严重时仅数米至数十米。浮尘造成停电、停水、商店停业、饭店停炊。居民关门闭窗，尘土依然是无孔不入，造成清扫卫生，清洗衣物等工作开支大增，费用至少增大 $2\sim30$ 倍以上。浮尘中，即使白天机动车也要开灯行驶，还经常被停车，交通事故屡有发生。在精河县城进行了降尘粉粒的采集和疏松裸土区的土壤样品进行了盐碱成分对比后盐分对比分析表见表 6-1，可以确定精河县城上空漂移的含盐粉尘主要来自艾比湖西北部的干涸湖底。

表 6-1 精河城、干涸湖底盐分对比分析

样品名称	采样地点	含盐量%	离子组成 (m. e/100g 土)						
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$
降尘	精河城	3.23	0.70	1.33	29.4	20.5	16.4	3.90	31.5
疏松裸土	干涸湖底	6.78	0.25	0.2	79.9	30.9	20.6	3.55	87.1

经过分析发现处在艾比湖下风向的精河县、奎屯市、沙湾县、玛纳斯县、石河子市、呼图壁县、昌吉、米泉、阜康西部、乌鲁木齐市、乌鲁木齐县的大部分地区都受到了艾比湖干涸湖底沙尘的影响。由此可以看出艾比湖干涸湖底沙尘暴主要沿天山南坡向东南方向运行。其主要原因是艾比湖干涸湖底的主导风向为 SE，平均频次为 1637 次/年，该风向的风速的平均速度为 $8\text{m}/\text{s}$ ，该风向上的沙尘由于受到婆罗科努山的阻挡进而抬升，在风速相对小时，无法翻越天山山脉的阻挡，从而沙尘沿天山北坡东南方向行进，在其间时得到古尔班通古特沙漠，沙尘物质的补充而加强，该点可以从气溶胶指数上看出，具体影响范围见图 6-4。

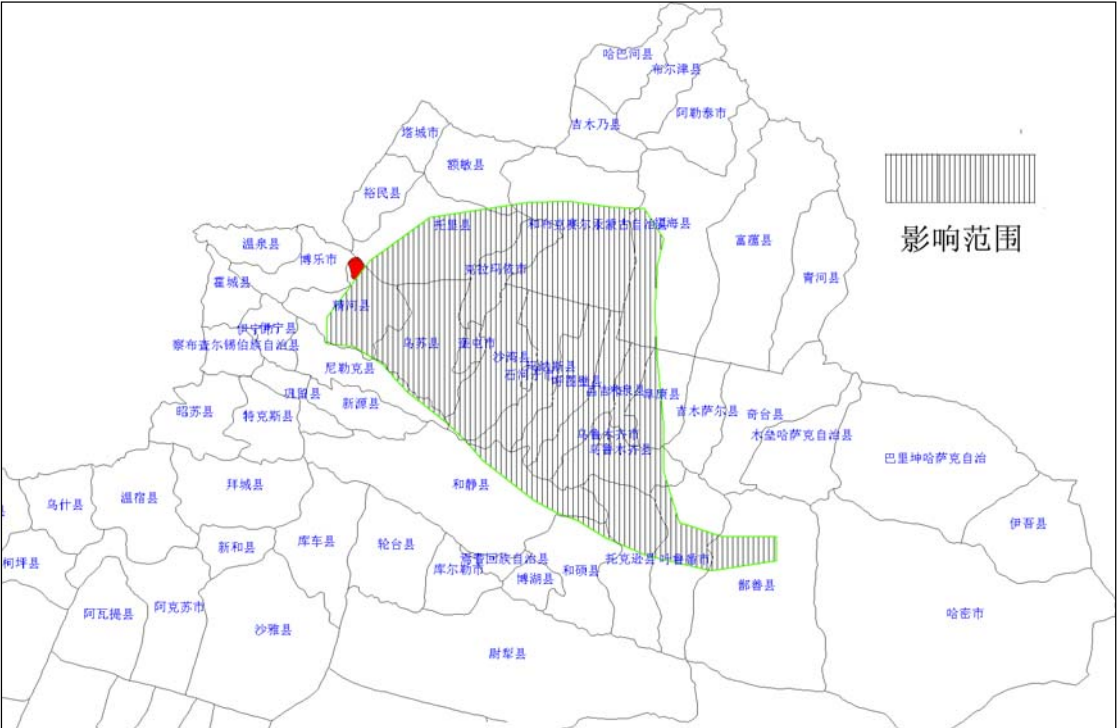


图 6-4 艾比湖干涸湖底沙尘暴影响范围

艾比湖干涸湖底的风蚀造成了几个方面的严重生态后果，一是景观质量显著下降，严重影响了阿拉山口的国门形象。二是就地起沙，致使风沙前移，威胁至欧亚大陆桥的安全（博乐车站至阿拉山口段，共14km）。最严重的则是湖底沉积物中的细小含盐颗粒随风飘移，污染空气，植被和土地，造成浮尘天气，从而对艾比湖周边及准噶尔盆地南缘一带产生了严重的生态影响。

6.4.2 远距离风沙送尘影响路径

刘晓强等指出因地理的原因，我国沙尘暴运行的路线主要有3条：第一条形成于甘肃河西走廊和内蒙古阿拉善地区强大的沙尘暴，横扫宁夏、鄂尔多斯高原和陕北，风势减弱后进入中原地区，一直影响到长江流域；另一条主要形成于帕米尔高原，经塔里木盆地南下，时常影响甘肃省河西地区；再一条形成于中蒙西部边境戈壁地区，在内蒙古高原得到加强，从西北部进入河北省，越过燕山进入北京。沙尘暴以接力的方式运行，也就是沿运行路径不断的降尘，并不断的得到沿途沙尘的补充。经过对艾比湖干涸湖底沙尘运行的路径分析发现，其运行路径属于我国沙尘暴运行的3条路径中的第二条和第三条路径的一部分。

以2000年3月8日~2000年3月11日沙尘运行路径为例，说明其属于我国的沙尘运行的第二条路径。2000年3月8日塔里木盆地和艾比湖区域同时发生沙尘天气，其中艾比湖区域的沙尘，沿精河、塔城南部、沙湾县、乌鲁木齐市向东南方向运行到达吐鲁番西部，而与此同时塔里木盆地沙尘向东运行。2000年3月9日艾比湖区域的沙尘和塔里木盆地沙尘在哈密会合，同时运行至酒泉。2000年3月11日，整个沙尘运行至张掖市、门源县，并发生沉降。2000年3月12日，整个沙尘完全沉降，整个运行路径见图6-5。

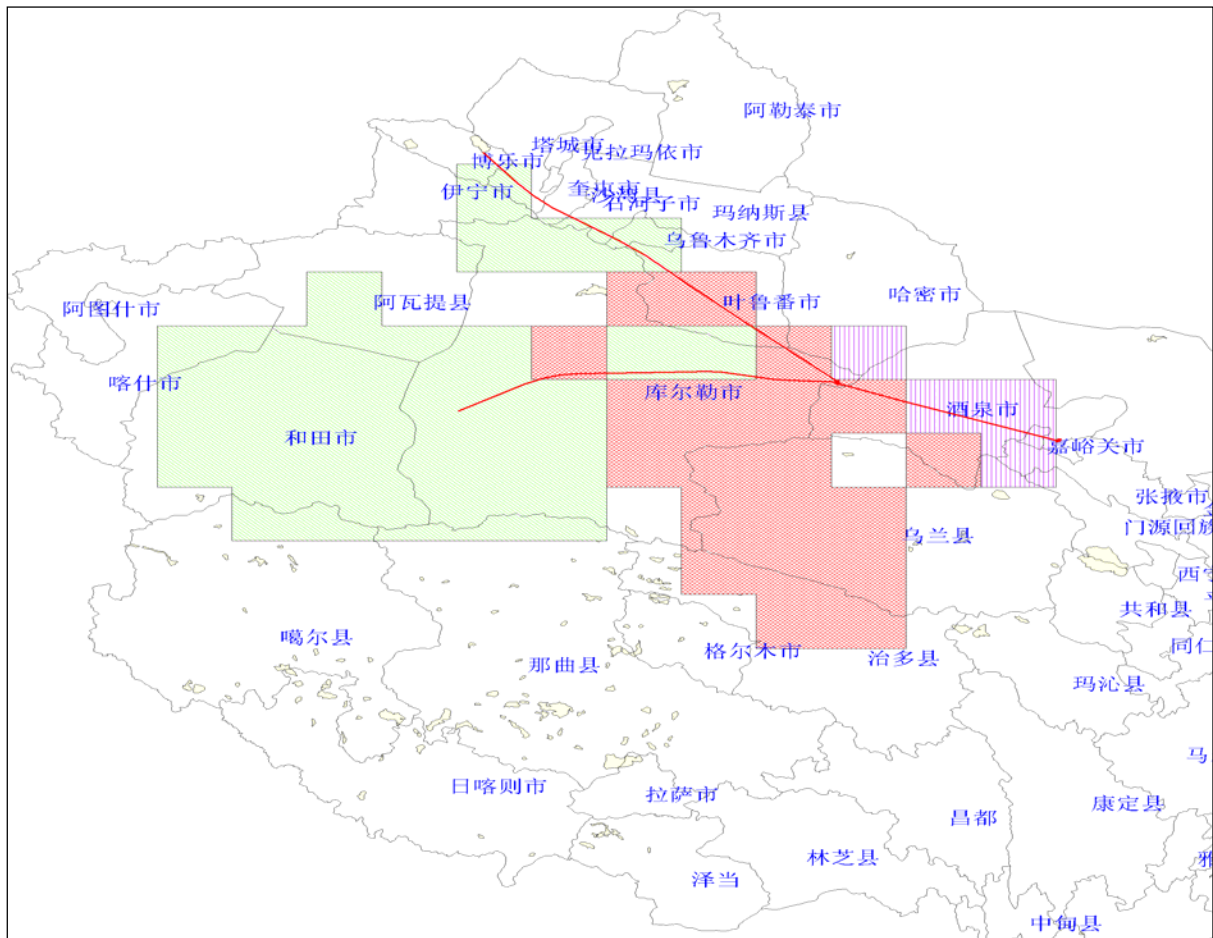


图 6-5 艾比湖干涸湖底沙尘运行路径 1

从NASA提供的气溶胶监测数据也显示出2000年4月14日、2000年4月15日、2000年4月20日我国的大部分地区发生了不同程度的沙尘天气，这次沙尘天气过程中蒙古国也有沙尘天气的出现，本文以该次沙尘运行的路径作为个例分析，说明其运行路径是我国沙尘暴路径的第三条路径的一部分。这次沙尘期间，2000年4月14日艾比湖干涸湖底、塔克拉玛干沙漠、阿拉善左旗同时发生沙尘天气，我国的中、东部地区都受到沙尘的影响。其中艾比湖干涸湖底沙尘沿塔城、阿拉泰市向东运行，2000年4月15日进入蒙古国。与此同时，艾比湖干涸湖底的沙尘大部分仍沿第二条路径，向东南方向运行。2000年4月15日该部分沙尘在哈密会合，进而进入甘肃省的金昌、张掖等地。2000年4月15日艾比湖干涸湖底的沙尘进入蒙古国，影响到了山西省、陕西省，进入河北省，越过燕山进入北京。详细运行路径见图6-6。

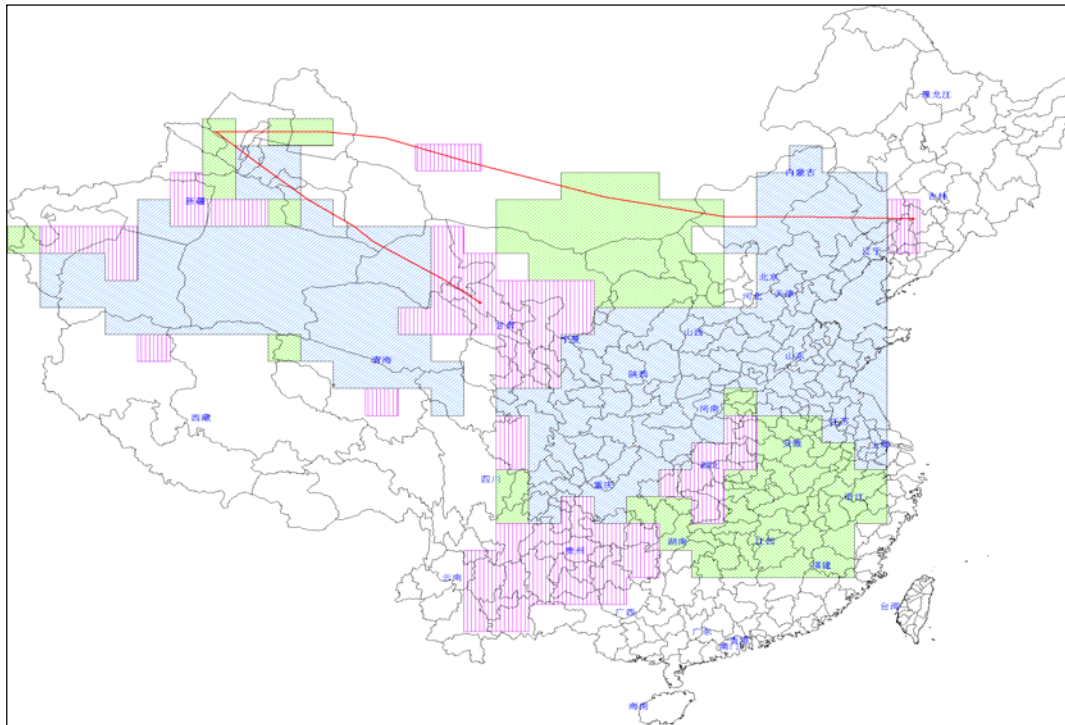


图 6-6 艾比湖干涸湖底沙尘运行路径 2

7 结论与展望

7.1 结论

本文对艾比湖干涸湖底下垫面进行了研究，将干涸湖底分为四个不同的类型即：龟裂区、疏松裸土区、植被覆盖区、盐泥区。并对这四个不同的区域的机械、化学性质进行了分析。利用RS与GIS技术对艾比湖干涸湖底进行解译，结合阿拉山口气象资料，确定了疏松裸土区为艾比湖干涸湖底沙尘暴的主要风沙源点。利用帕萨克风蚀方程计算了艾比湖干涸湖底的年风蚀量为881万吨，并运用DEM开挖方量验证了该值。

通过对比艾比湖干涸湖底沙尘运行路径，发现其属于我国沙尘暴运行路径的第二条和第三条的一部分。其一，艾比湖区域的沙尘，沿精河、塔城南部、沙湾县、乌鲁木齐市向东南方向运行到达吐鲁番西部，与塔里木盆地沙尘在哈密会合，运行至酒泉，随后进入张掖市，该路径为主要的路径；其二，艾比湖干涸湖底的沙尘进入蒙古国，经山西、陕西省，进入河北省，越过燕山进入北京。

对比艾比湖湖面面积变化与沙尘日数的变化，发现两者变化呈反方向变化趋势，也就是当湖面面积减小，沙尘的日数相对增加；湖面面积增大，沙尘的日数相对减少。根据统计分析，艾比湖湖面增加 1km^2 沙尘日数将减少0.08d，而湖面面积减少 1km^2 沙尘日数将增加0.5d。造成其原因是湖水起到抑制沙尘的作用，然而两者的变化趋势相差较大，本文分析，当湖面缩小时，疏松裸土区将被露出地表，造成沙源丰富。而湖面当前相对稳定，如果湖面面积增大时，对沙尘贡献较小的盐泥区部分区域被淹没。所以致使湖面面积没有较大的变化时，沙尘日数的变化不大。

MODIS卫星影像结合NASA所提供的OMI Aerosol Index的栅格数据，在进行大范围沙尘监测时，可以很好的反应其运行路径及影响范围，两者数据的提供相对即时，在监测沙尘天气的发生、发展和传输过程时TOMS传感器可以给出每日沙尘云的空间分布信息。因此，以此为依据可以推断出沙尘

的沉降。

数字高程 (DEM) 现已广泛的应用到地形分析、流域分析等多个方面, 但就目前GIS提供的开挖方量计算方式, 并不能很好的满足曲面形式的计算。为此本文在计算风蚀量体积时利用了DEM体积相减的方法, 且取得了较好的效果。

7.2 展望与不足

7.2.1 展望

根据艾比湖干涸湖底下垫面类型分析研究, 并参照干涸湖底不同的土壤类型及非土壤形成物的类型及理化特性, 同时考虑水源条件及植物的抗逆性(抗盐性、抗旱性、抗风性), 初步设想把艾比湖干涸湖底分为五个绿色覆盖区即: 自然植被保护区、耐盐乔灌区、抗风耐盐灌木半灌木区、耐盐乔灌草区、高耐盐喜湿半灌木区等五个区进行植被的保护和恢复。

自然植被保护区主要是在植被覆盖区及其周边植被稀疏地段, 积极保护自然植被并同时对稀疏植被地段进行补种。在该区域主要补种怪柳、盐节木等耐盐抗风植被, 应充分利用阿拉套山西坡雨后流入的间歇性洪水进行灌溉, 以便尽早使植被覆盖度从现在的10%恢复到70%。抗风耐盐灌木半灌木区主要设立在龟裂裸土区, 该区域有机质缺乏、磷钾丰富, 在这个区域内可选择抗风、抗旱和较为耐盐的乔木(如胡杨)、灌木(如怪柳)、草(如碱茅、胖姑娘)等进行种植。耐盐乔灌草区主要设立在龟裂裸土区的东部, 该区域同样有机质缺乏、磷钾丰富, 在这个区域内可选择抗风、抗旱和较为耐盐的乔木(如胡杨)、灌木(如怪柳)、草(如碱茅、胖姑娘)等进行种植。耐盐乔灌区初步设想设立在疏松裸土区, 在这个区域有机质缺乏、速磷中量、钾丰富。在这个区域内可选择耐盐灌木(盐穗木)、半灌木(如盐节木)等进行带状种植。高耐盐喜湿半灌木区设想建立在盐泥区, 该区域内地表泥泞, 地下水埋藏浅、矿化度高。该区将会是绿色覆盖难度最大的部分。但仍可以选择耐盐性较高的盐节木进行种植。

相信随着专家、学者们对艾比湖研究的不断深入, 从不同的角度审视艾比湖的特点, 我们也将对其更加的了解, 最终我们会还艾比湖一个碧水蓝天。

7.2.2 不足

本文在讨论艾比湖沙尘暴的影响时, 主要概述了沙尘暴对其下风向地区的环境负面影响。然而, 根据中科院王自发博士研究, 我国二氧化硫的排放量在北方并不比南方少, 但在北方地区少有酸雨事件的发生, 其原因是沙尘微粒的碱性离子成分可将我国北方及韩国、日本地区的酸雨中和, 从而缓解了土壤的酸化进程。另外, 沙尘微粒所携带的营养物质输送到海洋之后, 将有利于海洋生物的生长发育。从沙尘暴正面效应的影响这一点出发看, 人们对沙尘暴的认识、防理也许是一个永远走不到尽头的漫长过程。

在进行沙尘运行路径的分析研究中, 由于受到数据资料 and 知识积累的限制, 没有将大气不稳定因素进行综合的考虑, 其次大范围的地形影响也只考虑了一部分, 希望自己能在以后的研究中能进一步的深入。

参考文献

- [1] 范一大, 史培军, 罗敬宁. 沙尘暴卫星遥感研究进展[J]. 地球科学进展, 2003, (18) 3: 367.
- [2] 肖红, 刘海雁. 浅谈沙尘的得形成及防治[J]. 黑龙江环境通报, 2003, (27) 4: 10~11.
- [3] 郑新江, 罗敬宁, 刘征. FY-1C 气象卫星在沙尘暴监测中的应用[J]. 上海航天, 2001 (1): 60.
- [5] 胡秀清, 卢乃锰, 邱红, 刘玉洁. 利用静止气象卫星监测沙尘暴[J]. 气候与环境研究, 2003 (8), 1: 101.
- [6] 刘晓强, 肖铮, 李晓红, 常沁春, 姜泳波, 牛耘. 沙尘暴路径分析[J]. 甘肃环境研究与监测, 2001 (14), 4: 202.
- [7] 蒋大凯, 陈艳秋, 盛永. 辽宁沙尘暴天气预报方法研究[J]. 辽宁气象, 2005 (3): 5.
- [8] 张宁, 张武平, 张萌. 沙尘暴降尘对甘肃大气环境背景值的影响研究[J]. 环境科学研究, 2003, (18) 5: 6.
- [9] 岳乐平. 阿拉善高原干涸湖床沉积物与华北地区沙尘暴[J]. 第四纪研究, 2004, 24 (3): 311.
- [10] 王赞红, 夏正楷. 北京 2002 年 3 月 20~21 日尘暴过程的降尘量与降尘粒度特征[J]. 第四纪研究, 2004, 24 (1): 98.
- [11] 张宁, 张武平, 张萌. 沙尘暴降尘对甘肃大气环境背景值的影响研究[J]. 环境科学研究, 2005 (18), 5: 7.
- [12] 石广玉, 赵思雄. 沙尘暴研究中的若干科学问题[J]. 大气科学, 2003, 27 (4): 591~606.
- [13] Hankin E.H. On dust raising winds and descending current. India Met Memoirs, 1921.
- [14] Idso S.B, Ingram R S, Pritchard J M. An American Haboob. Bull A MS, 1972, 53: 930~935.
- [15] Joseph P.V, Raipal DK, Keka SN. "Andhi", the convective dust storms of Northwest India. Mausam, 1980, 31: 431~442.
- [16] Brazel A.J, Nicking WC. The relationship of weather types to dust storm generation in Arizona. J Climatology, 1986 (3): 255~275.
- [17] Jauregui E. The dust storms of Mexico City. Inter J Climatology, 1989, 9 (2): 169~180.
- [18] Ott S.T, A.Ott. Analysis of a Trans-Atlantic Saharan dust outbreak base on satellite and GATE data. Mon Wea Rev, 1991, 119 (8): 1832~1850.
- [19] Barnum B.H, Winstad N.S, Wesely J, et al. Forecasting dust storms using the CARMA-dust model and MM5 weather[J]. Environmental Modelling & Software, 2004, 19: 129~140.
- [20] Orlovsky L, Orlovsky N, Durdyev A. Dust storms in Turkmenistan[J]. Journal of Arid Enviroment, 2005, 60: 83~97.
- [21] Natsagdorj L, Jugder D, Chung Y.S. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37: 1401~1411.
- [22] Mcnaughton D.L. Possible connection between anomalous anticyclones and sandstorms[J]. Weather, 1987, 42 (1): 8~3.
- [23] Tegen I, Fung I. Modeling of mineral dust in the atmosphere: Source, Transport, and optical thickness[J]. Geophysical Research, 1994, 99 (22): 897~914.
- [24] Littmann T. Dust storm frequency in Asia: Climatic control and variability[J]. International Journal of Climatology, 1991, 11: 393~412.
- [25] Goudie A.S, Middleton N.J. The changing frequency of dust storms through time[J]. Climatic CH, 1992, 20: 197~225.

- [26] Nilgun Kubilay, Slobodan Nickovic, Francois Dulac, et al. An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto eastern Mediterranean[J]. Atmospheric Environment, 2000, 293.
- [27] Pauley PM, Baker NL, Barker EH. An observational study of the "Inter-state 5" dust storm case[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77 (4), 693 ~ 722.
- [28] 周长海, 雷加强. 艾比湖地区风沙危害趋势及对欧亚大陆桥的影响[J]. 干旱区地理, 2005, (28) 1.
- [29] 张伟, 梁远, 汪春. 土壤风蚀机理的研究[J]. 农机化研究. 2006 (2): 44.
- [30] PASAKV. Wind Erosion on Soils[R]. VUMZbraslaav, Scientific Monographs, 1973, (3): 78 ~ 89.
- [31] 叶海建. DEM 模型生成效率分析[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4 (6): 81 ~ 84.
- [32] 鲍英华, 刘学会. 1:10000 DEM 试生产的几点体会[J]. 东北测绘, 1998, 21 (3): 33 ~ 34.
- [33] 王家耀, 崔铁军, 苗国强. 数字高程模型及其数据结构[J]. 海洋测绘, 2004, 24 (3): 1 ~ 4.
- [34] 延昊, 张佳华, 赵一平, 张国平, 李才兴. 青藏高原沙尘天气的遥感研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26 (6): 932
- [35] 王炜等. 沙尘暴天气及其研究进展综述[J]. 应用气象学报, 2004, 15 (3): 3670.
- [36] 熊顺贵. 基础土壤学[M]. 中国农业大学出版社, 2001 (1): 43 ~ 45
- [37] 白世彪, 陈晔, 王建. 等值线绘图软件 SURFER 7.0 中九种插值法介绍[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24 (2): 157 ~ 162.
- [38] 杨云良, 阎顺, 贾宝全等. 艾比湖流域生态环境演变与人类活动关系初探[J]. 生态学杂志, 1996, 15 (6): 43 ~ 49.
- [39] 李文华, 郭江平, 赵强. 新疆艾比湖荒漠生态保护区建设条件评价及规划[J]. 中国沙漠, 2000, 20 (3): 278 ~ 282.
- [40] 杨青, 何清, 李红军, 雷加强. 艾比湖流域沙尘气候变化趋势及其突变研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23 (5): 504 ~ 500
- [41] 申彦波, 沈志宝, 杜明远, 汪万福. 敦煌戈壁地表风蚀起沙量的计算[J]. 高原气象, 2000, 23 (5): 649 ~ 650.
- [42] 王训明, 董治宝. 起沙风统计和工程输沙量计算中的若干问题[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14 (3): 42
- [43] 吴正. 风沙地貌学[M]. 科学出版社, 1987 (1).
- [44] 赵时英等. 遥感原理分析原理与方法[M]. 科学出版社, 2003 (1).
- [45] 宋阳, 刘连友, 严平, 曹彤. 中国北方 5 种下垫面对沙尘暴的影响研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19 (6).
- [46] 张军华, 毛节泰, 王美华. 利用 TOMS 资料遥感沙尘暴的研究[J]. 高原气象, 2002, 21 (5).
- [47] 王洪涛, 董治宝, 张晓航. 风沙流中沙粒浓度分布的实验研究[J]. 地球科学进展, 2004, (05) .
- [48] 赵书河, 冯学智, 都金康. 中巴资源一号卫星水体信息提取方法研究[J]. 南京大学学报, 2003, (39) 1: 107 ~ 110.
- [49] 刘三超, 张万昌, 蒋建军, 赵登中. 用 TM 影像和 DEM 获取黑河流域地表反射率和反照率[J]. 地理科学, 2003, (23) 5: 586 ~ 590.
- [50] 刘志丽, 马建文, 张国平, 张小曳. 沙尘暴过程观测数据与实测数据的综合分析[J]. 兰州大学学报, 2005, (41) 3: 27 ~ 30.
- [51] 李艳春, 赵光平, 陈楠, 郑广芬. 宁夏沙尘暴天气研究进展[J]. 中国沙漠, 2006, (26) 1: 138.

致谢

三年的学习生活累积了许许多多美好的回忆：导师的淳淳教诲，同学之间的朝夕相处，师兄妹间的共同进步，等等，所有这一切美好的画面都历历在目，就像刚发生过般清晰。

在论文完成之际，首先衷心的感谢我的导师陈蜀江。在专业的成长道路上，您的教导、关怀和激励使我不断超越自己，不断的进步。可以说每一次的进步都倾注了老师的心血。感谢我的父母，作儿子的求学多年，一直无法帮家里做些事，是你们在精神和物质上无私给予，才使我顺利完成学业。感谢我的爱人，在这里说一声：你辛苦了！三年了，所有的家庭重担都落在你一个人肩上，你为这个家庭付出了太多太多，还有我的姗姗，是你给了我无穷的动力。在三年的研究生学习期间，我还得到了新疆师范大学地理科学与旅游学院金海龙教授、海鹰教授、焦黎副教授、楚新正副教授、王哲副教授、王晓峰教授等的悉心指导与帮助，是他们为我创造了良好的学习环境和浓厚的学术氛围，使我的论文工作得以顺利地进行。

感谢胡碧玉老师在各个方面的大力帮助。感谢李新国老师在本人论文写作中给予的建议与指导，以及在工作和学习中提供的帮助。感谢我的一帮师兄妹们：耿庆龙、白冰、祁晨、刘云彤、曾雅娟、冯娟，同级研究生咎梅、马春林、陈冬花，如果没有你们的大力帮助，我想自己很难完成所有工作。最后感谢舍友王勇辉，你无数次对我的刺激和鞭策帮我改正了很多缺点，就是现在，你的话语也仍然在响彻耳边。

不久就要离开生活三年的师范大学了，徘徊在校园中看着自己每天所走的路，望着一张张熟悉面孔，很多的不舍真的难以言表。然而面对时间的催促、生活压力，我不敢再留恋什么，只能仰起头，向前看。

最后说一声：感谢亲爱的母校——新疆师范大学！感谢您提供了这么好的环境，才使我在这里度过了一段美好难忘的时期，接受到了终生都会受益无穷的教育，谢谢！

荆耀栋

2007年06月于乌鲁木齐

作者简介

荆耀栋，男，1980年出生于山西省阳泉市平坦镇，2003年毕业于山西农业大学资源与环境科学学院土地资源管理专业，获得学士学位，2004年考取新疆师范大学地理科学与旅游管理学院地图学与地理信息系统专业硕士研究生，攻读硕士学位，主要从事地理信息系统应用与开发研究，现已发表论文1篇，参编专著一部。