

新疆沙质荒漠化防治区划及分区防治模式研究

阿力木江

2009 届

博士

中国林业科学研究院

分类号 S775
UDC

密级 公开

学 位 论 文

新疆沙质荒漠化防治区划及分区防治模式研究

Study on Xinjiang Sandy Desertification Preventing and Controlling

Regionalization and Suitable Controlling Technologies and Modes of the
Regions

阿力木江

指导教师姓名	卢 琦 研究员
申请学位级别	博 士
专 业 名 称	水土保持与荒漠化防治
研 究 方 向	干旱土地退化
论文提交日期	2009 年 5 月 20 日
论文答辩日期	2009 年 7 月 8 日
学位授予日期	2009 年 7 月

答辩委员会主席

评 阅 人

北京 • 中国林业科学研究院

中国林业科学研究院

学 位 论 文

新疆沙质荒漠化防治区划及分区防治模式研究

学位论文作者	阿力木江
指导教师姓名	卢 琦 研究员
指导小组成员	吴 波 研究员
申请学位级别	博 士
专 业 名 称	水土保持与荒漠化防治
研 究 方 向	干旱土地退化
论文答辩日期	2009 年 7 月 8 日



中国·北京

Dissertation for the Degree

Study on Xinjiang Sandy Desertification Preventing and Controlling Regionalization and Suitable Controlling Technologies and Modes of the Regions

Candidate:	Alimujiang
Supervisor:	Lu Qi
Academic Degree Applied for:	PH.D
Speciality:	Water and soil conservation and desertification combating
Date of Defence :	July 8, 2009
Degree-Conferring-Institution:	Chinese Academy of Forestry

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，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，也不包含为获得本研究生培养单位或其它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：

日期： 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解中国林业科学研究院有关保留、使用学位论文的规定，中国林业科学研究院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。本人授权中国林业科学研究院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：

导师签名：

年 月 日

年 月 日

学位论文作者毕业联系方式

工作单位：新疆维吾尔自治区林业厅种苗总站

联系电话：13325535506

电子邮件：alimujiang45@163.com

通讯地址、邮编：新疆乌鲁木齐市黑龙江路自治区林业厅种苗总站 830000

摘要

新疆地处内陆干旱区，有着我国三分之二的沙漠面积和约 43.30 万 km² 的沙漠化土地，是我国沙质荒漠化（以下简称沙漠化）面积最大、分布最广、危害最严重的省区，也是世界上沙漠化最严重的地区之一。全疆许多县市大风、沙尘暴、扬沙、浮尘等灾害性天气频繁，耕地、草场、林地、居民点、道路等经常遭受风沙侵袭。沙漠化严重威胁和制约着新疆的生态安全和社会经济发展，并且危及我国东部地区环境质量和经济社会的可持续发展。

沙漠化防治区划作为一项基础性研究工作，对于科学指导沙区的防沙治沙实践具有重要的意义。自上世纪 80 年代以来，我国科研工作者陆续开展了一些这方面或类似这方面的工作。截止目前，也已有一些工作对新疆沙漠化防治区域的划分有所涉及，但大都比较粗略或不够系统、全面，针对新疆的专门的、较详细的沙漠化防治区划尚未见到。

本文针对新疆沙质荒漠化成因的复杂性、类型的多样性、分布的广泛性、危害的严重性和防治的紧迫性，在科学分析新疆沙漠化发生条件和发展现状的空间分异规律并借鉴已有相关成果的基础上，通过定性与定量相结合的方法，提出了新疆的沙漠化防治区划。

新疆沙漠化防治区划采用三级区划系统。其中一级区的区划，为与全国的防沙治沙治理区划相衔接，将《全国防沙治沙规划》中位于新疆的两个治理亚区作为本区划的一级分区，仅对分区名称作必要的调整。在此基础上再进行二级和三级区的划分。

鉴于新疆幅员广阔，各地貌区域沙漠化发生发展条件差异显著，为便于成果应用，二级区划主要依据大地貌单元进行划分。

三级区划是在二级区划的基础上，根据中小自然地理单元、沙漠化成因、土地覆被类型、沙漠植被覆盖状况、风沙活动特征及危害状况、沙漠化防治难易程度、沙漠化防治对策一致性等多种因子中某一项或多项因子的差异进行划定。为定量（或半定量）反映这些差异以便于划区，经过分析和对比筛选，并考虑到资料可获取性，选取了沙尘天气指数（由年沙尘暴日数和年扬沙日数合并后分级生成）、土地覆被指数（由土地覆被类型和大地貌类型合并后赋指生成）、植被盖度指数（由 NDVI 值分级生成）、大风指数

（由年大风日数分级生成）、海拔高程指数（由海拔高程分级生成）等五项因子作为三级区划的指标。然后，在地理信息系统软件支持下将这些指数通过指数和法模型生成沙漠化综合评级指数。根据综合评级指数及主导因子的差异，并参考自然地理单元界线、（非山地区）雨养植被界线、县级行政区划界线、耕居地人口密度（县域人口总数除以县域耕地、园地与居民点三者面积之和）、人口耕居地比重和（县域人口占全疆人口的比例与县域耕居地占全疆耕居地的比例之和）等辅助因子，划定各三级区划单位及其界线。

经过上述区划过程，最终将全疆划分为 2 个一级区，7 个二级区和 22 个三级区。

论文最后归纳和提出了适用于新疆的生物、非生物防治技术及 22 项专项和综合性技术与模式，并针对各防治区的具体特点，分别提出了适用的防治技术与模式，主要包括封禁技术、封育技术、农田防护林营造技术、节水灌溉造林模式、林农间作、特色药用植物种植模式等。

关键词： 新疆, 沙漠化, 防治, 区划

Abstract

Located in inland arid areas, and having two-thirds of China's desert area and approximately 433,000 km² of sandy desertification land, Xinjiang is the province which has the largest and most widely distributed sandy desertification land and is most seriously harmed by sandy disaster in China, and also it is one of the most serious region of sandy desertification in the world. In many cities and counties of Xinjiang, disastrous weather such as gale, sand storm, sand blowing, sand floating are frequent. Farmlands, grasslands, forests, residential areas, roads and railways often suffer the invasion of sand disaster. Sandy desertification is seriously threatening and restricting Xinjiang's ecological security and development of society and economy, and endangers the environmental quality and sustainable development of society and economy of east China.

As a basic research work, sandy desertification preventing and controlling regionalization is of great significance in practice as scientific guidance for desert regions to guard against and control sandy desertification. Since 1980s, Chinese scientific research workers have undertaken a number of researches of this domain or similar domains. Up to now, some researches also have partially involved the sandy desertification preventing and controlling regionalization of Xinjiang, but they are all relatively sketchy, not systematic and not comprehensive. A detailed and specialized regionalization of sandy desertification prevention and control in Xinjiang has not yet been seen.

In view of the complexity of geneses of sandy desertification, the diversity of sandy desertification types, the distributional universality of sandy desertification lands, the gravity of sand disasters and the urgency of controlling sandy desertification in Xinjiang, based on scientific analysis of genetic conditions and status quo of sandy desertification and their spatial differentiation law in Xinjiang, using the existing related research results for reference, and through a combination of qualitative and quantitative methods, this thesis proposes a regionalization scheme of sandy desertification prevention and control in Xinjiang.

The XinJiang sandy desertification preventing and controlling Regionalization (XJR) uses

three-level regionalization systems. In order to link up with the national regionalization of sandy desertification control, the two treatment sub-districts of Xinjiang in the "national anti-desertification planning", only whose names are made necessary adjustments to, are taken as the first level regions in the first level regionalization system of XJR. On this basis, further second level and third level regions are partitioned off.

In light of the vastness of Xinjiang and the significant differences in genetic and evolutionary conditions of sandy desertification in various geomorphic regions, and for the sake of convenience of outcome application, the thesis marks the second level regions off mainly based on large geomorphic units.

On the basis of the second level regions, the third level regions are partitioned off resting on the difference of one or multiple factors such as middling and small physiographical units, causes of sandy desertification, land cover types, conditions of desert vegetation cover, characteristics of wind drift sand activities and situation of sand disasters, difficulty level of sandy desertification control, consistency of countermeasures on sandy desertification and so on. In order to indicate the difference quantitatively or semi-quantitatively and thus to delimit the regions easily and reasonably, after analyzing and comparing the factors, and also taking the availability of data into account, the thesis selects 5 indices as indicators of the third level regionalization system. The 5 indices are sand-dust weather index (produced by reclassifying the composite of annual mean sandstorm days and annual mean sand-blowing days), land cover index (produced by reclassifying the composite of land cover types and landform types), vegetation cover index (generated by grading the value ranges of NDVI), gale index (generated by grading the value ranges of annual mean gale days), and elevation index (produced by grading the value ranges of elevation). Then, under the support of ArcGIS software, these indices are integrated into Sandy Desertification Comprehensive Rating Index (SDCRI) by Weighted Index Summation Model. Lastly, according to the differences of DCRI and those of leading factors in various regions, and considering such subsidiary factors as demarcation lines of physiographical units, boundaries of rainfed vegetation (non-mountainous regions), demarcation lines of county level administrative regionalization units, population density of farmland-residential area (produced by dividing county population by total area of farmland, garden and residential area in a county), and sum of

population proportion and farmland-residential area proportion (sum of the proportion which the population of a county accounts for of that of Xinjiang and the proportion which the total area of farmland, garden and residential area of a county accounts for of that of Xinjiang), the third level regionalization units and their boundaries are delineated.

After the above-mentioned zoning process, Xinjiang is eventually divided into 2 first level regions, 7 second level regions and 22 third level regions.

Finally, the thesis summarizes and proposes suitable biological, non-biological preventing and controlling technologies and 22 special or comprehensive technologies and modes in Xinjiang, and suggests suitable controlling technologies and modes respectively against the status and characteristics of sandy desertification in each third level region. The technologies and modes mainly include land banning, land banning and plant nurturing, planting of farmland shelterbelt, afforestation by water-saving irrigation, intercropping of trees and crops, cropping of characteristic medical plants, and so on.

Key words: Xinjiang, sandy desertification, control, regionalization

目录

摘要	I
Abstract	III
第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 国内外研究现状及评述	1
1.2 研究目标和主要研究内容	12
1.2.1 研究目标与关键的科学问题	12
1.2.2 主要研究内容	12
1.3 研究技术路线	12
1.3.1 研究方法	12
1.3.2 技术路线	13
1.4 项目来源和经费支持	14
第二章 新疆沙质荒漠化形成背景及演变过程	15
2.1 新疆沙质荒漠化现状分析	15
2.1.1 新疆沙质荒漠化的空间分布格局	15
2.1.2 新疆沙漠化的主要形式	19
2.1.3 新疆沙漠化的主要危害状况	20
2.2 新疆沙漠化形成背景	31
2.3 新疆沙质荒漠化演化过程	34
2.3.1 新疆沙质荒漠化演化历史	34
2.3.2 新疆沙漠化发展趋势	36
第三章 新疆沙质荒漠化防治区划研究	39
3.1 已有的相关工作简介	39
3.2 新疆沙漠化防治区划的目标、原则及方法	42
3.2.1 区划目标	42
3.2.2 区划原则	42
3.2.3 区划方法	43

3.3 新疆沙漠化防治区划的指标体系 ----- 43

3.3.1 三级区划指标厘定 ----- 45

3.3.2 基础数据来源、数据处理方法和具体区划步骤 ----- 62

3.4 新疆沙质荒漠化防治区划方案 ----- 65

3.4.1 区划方案 ----- 65

3.4.2 区划结果分析 ----- 65

3.4.3 分区概述 ----- 69

第四章 新疆沙质荒漠化分区防治技术与模式 ----- 77

4.1 新疆沙漠化防治的指导思想、战略思路与对策 ----- 77

4.1.1 指导思想 ----- 77

4.1.2 战略思路与对策 ----- 77

4.2 新疆沙质荒漠化分区防治技术与模式 ----- 78

4.2.1 新疆沙漠化防治适用技术与模式 ----- 78

4.2.2 新疆沙漠化分区适用防治技术与模式 ----- 78

第五章 结论与讨论 ----- 83

5.1 结论 ----- 83

5.2 讨论 ----- 83

5.3 展望 ----- 83

参考文献 ----- 85

附录 A 区划成果表格 ----- 97

附录 B 新疆沙漠化适用防治技术与模式 ----- 105

在读期间的学术研究 ----- 124

致谢 ----- 126

正文图表目录

图 1-1	技术路线图	13
图 2-1	新疆沙漠分布图	17
图 2-2	新疆干燥度分布图	32
图 3-1	新疆沙漠化防治区划图（一级区）	44
图 3-2	新疆沙漠化防治区划图（二级区）	45
图 3-3	多年平均沙尘暴日数分布图	48
图 3-4	多年平均扬沙日数分布图	48
图 3-5	沙尘天气指数分布图	49
图 3-6	土地覆被类型图	51
图 3-7	山地-平原-沙漠分布图	51
图 3-8	土地覆被指数分布图	52
图 3-9	NDVI 值分布图	53
图 3-10	植被盖度指数分布图	54
图 3-11	年大风日数分布图	55
图 3-12	大风指数分布图	55
图 3-13	海拔高程图	57
图 3-14	海拔高程指数分布图	57
图 3-15	耕居地人口密度分级图	59
图 3-16	人口耕居地比重和分级图	60
图 3-17	沙漠化防治区划指标体系	62
图 3-18	沙漠化综合评级图（1）	64
图 3-19	新疆沙质荒漠化防治区划图	68
图 3-20	沙漠化综合评级图（2）	68
表 2-1	新疆沙漠的自然地域分布	16
表 2-2	新疆各县市沙质土地统计表	17
表 2-3	沙漠化引起的地面物质中机械组成变化	21
表 2-4	沙漠化引起地表组成物质中养分的变化	21

表 2-5 且末裸露平坦沙砾地面上低矮新月形沙丘移动速度 ----- 22

表 2-6 塔里木盆地东部 5-8 月干旱（热）风出现次数（天） ----- 23

表 2-7 和田地区各县沙漠面积及耕地、林地、沙漠化面积比 ----- 24

表 2-8 艾比湖地区风沙天气年均变化 ----- 26

表 2-9 近年新疆沙尘暴危害情况 ----- 30

表 3-1 全国防沙治沙治理区 ----- 40

表 3-2 新疆防沙治沙治理区 ----- 41

表 3-3 新疆防沙治沙重点治理区 ----- 41

表 3-4 土地沙漠化敏感性格局 ----- 42

表 3-5 沙尘天气指数 ----- 47

表 3-6 土地覆被指数（1） ----- 50

表 3-7 土地覆被指数（2） ----- 50

表 3-8 植被盖度指数 ----- 53

表 3-9 大风指数 ----- 54

表 3-10 海拔高程指数 ----- 56

表 3-11 耕居地人口密度分级 ----- 59

表 3-12 人口耕居地比重和分级 ----- 59

表 3-13 沙漠化综合评价指数分级 ----- 63

表 3-14 新疆沙质荒漠化防治区划方案 ----- 66

表 3-15 区划结果分析表（1） ----- 67

表 3-16 区划结果分析表（2） ----- 67

附录图表目录

表 A-1	各参评指数分级面积统计表	97
表 A-2	沙漠化综合评级面积	97
表 A-3	人口耕居地比重和与耕居地人口密度分级分布	97
表 A-4	沙漠化防治区划各分区大风指数分级及面积	98
表 A-5	沙漠化防治区划各分区土地覆被指数分级及面积	98
表 A-6	沙漠化防治区划各分区海拔高程指数分级及面积	99
表 A-7	沙漠化防治区划各分区植被盖度指数分级及面积	100
表 A-8	沙漠化防治区划各分区地貌类型分级及面积	100
表 A-9	沙漠化防治区划各分区沙尘天气指数分级及面积	101
表 A-10	沙漠化防治区划各分区沙漠化综合评级分级及面积	102
表 A-11	沙漠化防治区划各分区耕居地人口密度分级面积	102
表 A-12	沙漠化防治区划各分区人口耕居地比重和分级面积	103
表 A-13	沙漠化防治区划各分区沙漠化综合评价各评级面积占本分区总面积比例（×100%）及各分区评级平均值	104

第一章 绪 论

1.1 引言

1.1.1 研究背景

荒漠化是全球当前最为严重的生态问题之一。目前全球荒漠化土地面积为 3600 万 km^2 ，全球陆地面积的三分之一遭受到荒漠化威胁，全世界五分之一的人口受到荒漠化影响的威胁。

我国是世界上荒漠化面积大、分布广、危害重的国家之一，新疆则是我国沙质荒漠化（以下简称沙漠化）面积最大、分布最广、危害最严重的省区，也是世界上沙漠化最严重的地区之一，中国的沙漠三分之二在新疆。全疆许多县市大风、沙尘暴、扬沙、浮尘等灾害性天气频繁，耕地、草场、林地、居民点、道路等经常遭受风沙侵袭。沙漠化严重威胁和制约着新疆的生态安全和社会经济发展，并且危及我国东部地区环境质量和经济社会的可持续发展，威胁中华民族的生存和发展。沙漠化已成为新疆严重的生态环境和社会经济问题。

沙漠化防治区划作为一项基础性研究工作，对于科学指导沙区的防沙治沙实践具有重要的意义。自上世纪 80 年代以来，我国科研工作者陆续开展了一些这方面或类似这方面的工作。截止目前，也已有一些工作对新疆沙漠化防治区域的划分有所涉及，但大都比较粗略或不够系统、全面，针对新疆的专门的、较详细的沙漠化防治区划尚未见到。

针对新疆沙漠化成因的复杂性、类型的多样性、分布的广泛性、危害的严重性和防治的紧迫性，在科学分析新疆沙漠化发生条件和发展现状的空间分异规律并借鉴已有相关成果的基础上，提出新疆的沙漠化防治区划及各区适用的防治技术与模式，对指导和促进新疆的防沙治沙实践有着积极的现实意义。

1.1.2 国内外研究现状及评述

（1）荒漠化与沙漠化概念

荒漠化问题的提出可追溯于 20 世纪 30 年代的美国大平原地区“黑风暴”事件，而引起全球关注是 20 世纪 60 年代的非洲撒赫尔地区“大饥荒”事件。

荒漠化的正式英文用词为“desertification”，这一术语是由法国学者 Aubreville 在 1949 年出版的《热带非洲的气候、森林和荒漠化》一书中首次提出的^[1]，在该书中他研究发现，非洲热带森林被砍伐以后与火烧后，森林界限后退了 60—400 km，并论述了萨利姆如何演变成热带草原，然后又变成类似荒漠的景观，他把这种环境退化称为“荒漠化”。法国植物学家、草场学家 Houerou(1968)认为，荒漠化是典型的荒漠景观和荒漠地貌向干旱区四周的扩展^[2]。1977 年在肯尼亚召开的“联合国荒漠化大会（UNCOD）”，首次对荒漠化问题进行了系统、科学的分析与总结，明确了荒漠化的定义，即“荒漠化是土地的生物潜能衰退或遇到破坏，最终导致出现类似荒漠的景观，是生态系统的退化过程”^[3]。10 年后 Ahmed 和 Kassas(1987)在《荒漠化》一书中写道，“荒漠化是干旱的表征，是人类活动引起的土地承载力的超载现象”^[4]，Warren 和 Agnew（1993）也有自己的看法^[5]。1992 年由各国首脑参加巴西里约召开的“联合国环境和发展大会（UNCED）”，“把荒漠化作为影响人类社会持续发展的重要问题列入 21 世纪议程”^[6]。根据“联合国环境和发展大会”的决议，通过政府间的多次谈判，1994 年在法国巴黎形成了《联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》（简称《防治荒漠化公约》）^[7]，100 多个国家都签署了该公约，我国是第一批签约的国家。签约国在动员社会各界与荒漠化作斗争方面取得了共识。在《防治荒漠化公约》中，进一步明确“荒漠化是在干旱、半干旱和亚湿润干旱区，由于气候变异和人类活动等多种因素造成的土地退化”。《防治荒漠化公约》中还阐述了“防治荒漠化”包括干旱、半干旱和亚湿润干旱地区为可持续发展而进行的土地综合开发的部分活动，目的是：① 防止和/或减少土地退化；② 恢复部分退化的土地；③ 垦复已荒漠化的土地^[8,9]。2006 年世界环境日聚焦“沙漠和荒漠化”，以突出强调这一人类所面临的紧迫环境问题。

关于荒漠化的定义，在学术界曾经存在很大的争议。由于不同学者对荒漠化的理解差异和所从事的专业领域限制，在国际上先后提出了荒漠化的 100 多种定义^[10]。我国学者朱震达认为，“土地荒漠化”是在脆弱生态条件下由于人为强度活动，经济开发、资源利用与环境不协调时出现的类似荒漠景观的土地生产力下降的环境退化过程”^[11]。在荒漠化一词出现的 30 多年里，不同的学者又提出诸如 desertization, aridification、sahelisation、desert encroachment、desert expanding 等词来描述在干旱、半干旱地区由于人类活动或者气候变化影响导致的与荒漠环境的扩展过程相类似的现象^[10, 12-15]。这些词被赋予的内涵和创立者的用词环境虽有不同，但看起来至少部分属于同义词。1997 年在肯尼亚的内罗毕召开的联合国荒漠化大会（UNCOD）统一用“desertification”，已

经成为国际公约中应用的一个正式词语^[16]。

沙漠化(sandy desertification)的概念同样很多,朱震达^[17]对沙漠化的定义为:“沙漠化是沙质荒漠化的简称,其含义可简单概括为在干旱、半干旱(包括部分半湿润)地区的脆弱生态环境条件下由于人为过渡的活动,破坏了生态平衡,使原非沙漠地区出现了风沙活动为主要特征的类似沙质荒漠环境的退化”,当然,朱震达对此也有一些另外的定义,如“地表出现风沙活动导致土地生产力下降的环境退化过程称之为沙漠化过程,所影响的土地称之为沙漠化土地”;把“干旱多风的沙质地表条件下,由于人为强度活动破坏脆弱生态平衡,造成地表出现风沙活动为主要标志的土地退化过程称之为沙质荒漠化”^[18],并用英文“sandy desertification”表示之。吴正等^[19, 20]认为:朱震达提出的沙漠化概念内涵,较荒漠化概念单一,范围具体,指证明确,便于实用,治理措施具有针对性,易为沙区群众所接受,较切合我国的实际。但对沙漠化发生的时间和空间有不同的意见:认为沙漠化在空间上既可发生在“原非沙漠的地区”,又可发生在原系沙漠的地域(沙漠环境条件的强化与扩张);在时间上,既可发生在人类历史时期,也可发生在地质时期。并提出沙漠化的定义是:在干旱、半干旱和部分半湿润地区,由于自然因素又受人为活动的影响,破坏了自然生态系统的脆弱平衡,使原非沙漠的地区出现了以风沙活动为主要标志的类似沙漠景观的环境变化过程,以及在沙漠地区发生了沙漠环境条件的强化与扩张过程。简单之,沙漠化也就是沙漠的形成和扩张过程。并用英文“desertization”表示之。夏训诚等^[21]在中日合作研究沙漠化机制时认为:“沙漠化,是一个长期的环境过程,既包含非沙漠环境向沙漠环境,或类沙漠环境的转化,也包含沙漠环境的进一步恶化”,“自然环境和人文环境的作用,各有侧重”。陈隆亨^[22]主张研究广义的荒漠化,还有其他学者的定义,不再一一赘述。

本文中所提到的沙漠化将采用吴正的定义。

(2) 沙漠化研究进展

正式提出以“荒漠化”为对象开始学科综合研究与防治实践是在 1977 年联合国荒漠化大会以后,但实际上在此以前,随着对防沙治沙工作的需要,科研工作者就已经涉及一些荒漠化问题。

自 1977 年联合国荒漠化大会以来,在国际社会的推动和科学界的努力下,各国科学家从基础理论、监测与评价方法到治理模式与技术等方面广泛而深入地开展了全球及区域沙漠化研究,沙漠化的研究与治理得了巨大的进展。Charney(1977)利用 Giss 模式证实了:由于人类或自然因素引起的旱地植被的减少将提高地表反射率,降低地表温度

和空气对流,从而减少局部地区的降水,从而使干旱加重^[23, 24]。Sud 等(1982)研究了反射率对大气环流和能量平衡的影响,其结果与 Charney 的一致^[25]。Anthes(1984)的研究认为半干旱地区植被覆盖的中尺度变化将促进对流型降水^[26]。Nobre 等(1991)^[27]和 Wright 等(1992)^[28]分别利用大气环流模式进行的研究表明,毁林导致亚马逊流域降水和蒸发减少,温度上升,从而使干旱加重。Phillips(1993)^[29]总结了这一现象并提出假说:旱地的土壤水分直接与植被覆盖度、降水量和水蚀成正比,而与反射率、温度和风蚀成负相关。Hobbs(1994)^[30]、Bryant(1990)^[31]和 Sala(1997)^[32]曾就热带干草原土壤水分的垂直分布和温带草原植物功能类型进行过研究,认为土壤水分梯度和持久性决定了植被演替的方向,草本趋向于利用土壤上层 0-50 cm 的水分,而多年生木本植物则较多利用下层水分。80 年代后沙漠化监测与评价以航空遥感为主。遥感监测方法主要是通过室内目视解译绘制草图,结合野外典型地段线路考察验证,最终获得沙漠化评价图与数据。Tucker 等(1991, 1994)^[33-35]利用 NOAA—AVHRR 卫星数据获取归一化植被指数。Ludwig(1986)^[36]认为植被指数能够用来估计植被净初级生产力,但作为土地退化的指标是不可靠的。Ringrose 等(1990)^[37]利用 Landsat—MSS 多时相数据,采用最大似然法进行土地利用/覆盖的监督分类,然后根据植被类型将土地利用覆盖类型归纳为五种土地退化类型,对 1978—1987 年博茨瓦纳东南草地退化及成因进行了研究。Delvalle 等(1998)^[38]利用 NOAA—AVHRR 数据结合野外调查,直接通过监督与非监督分类法确定了阿根廷 Patagonian 地区的荒漠化类型。Tripathy 等(1996)^[39]在对印度 Gulbarga 地区荒漠化监测中,利用 Landsat—MSS 和印度资源卫星数据,提取地表反照率、归一化植被指数,利用土壤通用侵蚀方程和气象数据获取土壤侵蚀速率和土壤水分,通过 GIS 的数据融合获得了研究区荒漠化三级分类。Milich 和 Weiss(2000)^[40]利用详尽的地面测量数据和 NDVI 数据检验了荒漠化的证据,结果表明,NDVI 与生态系统过程之间的相关性不强,而 NDVI 的年际变化通常与景观退化和干旱有关系。

中国对荒漠化问题一直都十分重视^[41]。荒漠化的研究伴随着中国北方防沙治沙研究及北方干旱地区自然资源的开发利用,经历了近 50 年的探索历程。对有关沙漠化环境背景、沙漠化物理学与生物学、沙漠化监测与评价、沙漠化景观生态学、沙漠化的植被逆境生理学、沙漠化地区水土资源的高效利用与可持续发展、沙漠化整治模式和技术体系等领域开展了广泛而深入的研究,取得了许多有价值的成果。主要表现在以下方面:

①沙漠化基础研究

进一步认识和理解了风沙问题即沙漠化的物理学原理,在风沙气固两相流体动力

学、风成床面形态变化、土壤风蚀、风沙实验相似理论和风沙工程学等方面的研究都取得了长足的进展^[42-44]。董光荣等(2002)^[45]总结了我国沙漠地区若干沉积类型的特征及其气候、环境意义,界定了不同时期沙漠的空间分布格局、区域分异、发展模式,重点研究了前第四纪红色沙漠与第四纪黄色沙漠在气候、环境与成分上的不同;探讨了现代土地沙漠化的发展历史、现状及其未来发展趋势与相应的对策问题。

近年来,随着先进仪器的引进和使用,沙漠化的微气象变化研究取得了长足进展。通过地表反射率、风速廓线、潜热交换等微气象指标,结合植被盖度,可以对沙漠化程度进行评价。李胜功(1999)^[46]认为:沙化地区的微气象特征中反射率是区别不同沙漠化土地发展进程的重要指标,随着沙漠化的发展,净辐射和潜热交换趋于减少,风速分布有偏离分布的趋势。孙鹏森等(2003)^[47]对鄂尔多斯地区两种典型沙漠化阶段的微气象特征进行了比较。

②北方地区沙漠化动态监测与评价的研究

当遥感与地理信息系统(GIS)相结合,实现动态监测和模拟分析,更是开展荒漠化研究的有效途径。遥感监测方法主要是通过室内目视解译绘制草图,结合野外典型地段线路考察验证,最终获得沙漠化评价图与数据。近 20 年来,在我国北方沙漠化的形成机制、发展过程、分布规律和演变趋势等研究中,遥感技术业已被广泛利用,使沙漠化的研究进入定量分析和经济评价阶段。

朱震达等(1981)^[48]在 80 年代初期利用 50 年代后期和 70 年代中期航片的对比分析和野外考察,提出东起科尔沁草原经围场、丰宁北部、张家口的坝上地区,内蒙古锡盟南三旗至乌兰察布草原的商都、四子王旗,武川,达茂旗至固阳北部的草原农垦区是近半个世纪以来沙漠化蔓延最明显的地区,尽管这些地区并无原生沙漠与之相毗连,不存在沙漠中流动沙丘扩展入侵的危险。1987 年中国科学院兰州沙漠研究所和地质矿产部合作进行了“遥感技术在沙漠化监测中的应用”^[18],1995 年刘纪远等(1996)^[49]采用遥感方法对盐池县、塔里木河下游的铁干里克、科尔沁沙地等进行了沙漠化遥感动态等专题研究,有机地实现了“3S”技术在沙漠化土地动态监测的结合,这些研究多侧重于沙漠化类型的遥感判读和面积的变化分析。董光荣等(1993)^[50]利用 1950 年代和 1980 年代的航空像片,通过目视解译获得黄河上游共和盆地土地沙漠化的动态变化信息,并以此为依据研究了共和盆地沙漠化成因、演化与防治途径与措施。随着航天遥感技术的飞速发展和广泛应用,目前在沙漠化监测中更多地使用高时间分辨率、高空间分辨率和高光谱分辨的航天遥感数据,但目视解译方法在沙漠化监测中则一直沿用至今,并且是目前

我国沙漠化遥感监测的主要方法。慈龙骏等 (1994, 2004)^[51, 52]通过实测数据和模型预测相结合的方法,分析了全球变化对我国沙漠化的潜在影响,得出随着温室气体的增加,沙漠化生物气候类型区将进一步增加,即使全球温室气体增量按《京都协议》确实降低到 0.5%,我国未来沙漠化生物气候型区的面积仍会以相当的比例增加,区域干旱程度也会进一步加剧。王涛等在 1998 年利用遥感和 GIS 技术,结合中国北方沙漠化区的社会经济及环境变化情况,开展了详细的沙漠化逆转原因、效益等方面的综合评估^[53]。

③沙漠化与植被演替、景观生态学研究

沙区植被的演替大多数与土地沙漠化程度有关,植被演替阶段往往和土地沙漠化程度互为前提。杨宝珍等(1994)^[54]研究了沙地建群种油蒿的演替过程,认为油蒿在流动沙丘旺盛生长,随着沙丘的固定到具有结皮的沙丘,油蒿的生长能力降低,大量油蒿枯死,油蒿将被其它物种所代替。王庆锁(1997)^[55]等报道了油蒿群落顺向演替趋势为流动沙丘→流动沙地油蒿群落→固定沙地油蒿群落→具结皮的固定沙地油蒿+本氏针茅群→本氏针茅群落。黄兆华(1997)^[56]研究了鄂尔多斯高原草原沙漠化过程中植被量与质的演变。刘玉平等(1998)^[57]在沙地草场荒漠化评价的指标体系中指出油蒿群落的出现为中度退化,牛心朴子群落的出现为极严重退化。沙区植被沙漠化演变既有渐变,又有突变,这种渐变和突变即受制于土地沙漠化程度、又决定于其本身的结构功能;在不同类型沙漠化土地间,植被为突变;在相同类型沙漠化土地内,轻度沙漠化土地上的植被为渐变,重度沙漠化土地上植被为突变^[58]。其变化速度明显高于放牧引起的植被退化,但植被高度和产量不一定下降,只是植被盖度和植物种组成迅速减少^[59]。沙地退化植被在有利环境条件下发生正向演替,植物种组成、植被盖度、高度均明显增加,群落种草本植物比重增大。程晓莉等(2001)^[60]研究了鄂尔多斯草原沙漠化过程与生物量变迁的关系。

近年来,景观生态学研究已经逐渐渗透到沙漠化防治学科领域。研究表明,土地沙漠化过程与景观结构特征变化密不可分^[61]。荒漠化评价、监测及荒漠化土地的分类和制图是目前国内外荒漠化研究中亟待解决的一个关键问题。荒漠化土地景观分类与制图研究对中尺度荒漠化土地评价与监测具有重要意义。吴波(2000)^[62]对景观分类进行了理论和方法的探索,提出了一套适用于干旱、半干旱地区沙漠化土地的景观分类与制图方法。陈玉福、董鸣(2002)^[63]对鄂尔多斯高原沙地草地荒漠化景观现状做了定量分析。

④沙漠化的植物逆境生理学研究

过去,有关沙漠植物的逆境生理研究主要集中于沙漠植物的生理特征研究,其中比较深入的方面为沙漠植物水分生理研究,如植物的束缚水、自由水研究,蒸腾系数和速

率研究及水分亏缺研究等。近 10 年来, 已经开始注意沙漠化过程与植物生理变化的关系及植物对沙漠化的适应机制和对策的研究。研究的内容涉及植物的形态解剖、光合速率、保护酶系统、渗透调节物质的变化、质膜透性、植物的抗逆演替等^[64-66]。赵文智等(2003)^[67]研究了草原农垦区土地沙漠化过程的生物学机制。当 95% 的柠条根系因风蚀而暴露在外长达半年之久时, 柠条仍能维持其生理活动^[59]。于云江等(1998)^[68]研究了风和风沙流对不同固沙植物生理状况的影响。

⑤沙漠化对生态系统影响的研究

近年来, 随着对沙地退化生态系统物质转化、能量流动过程的深入研究, 进一步阐明了沙漠化对生态系统的危害机制。农田沙漠化过程中, 首先表现为土壤粗化, 肥力降低, 持水供水能力下降, 地表温度日变化强烈, 种植作物后土壤水分难以保持平衡, 在正常降水或常规灌溉制度下, 作物常因土壤供水不足而导致气孔关闭, 水分循环受阻, 光合能力降低, 植株细弱矮小^[69, 70]。对于草地生态系统, 沙漠化首先导致风沙活动增强, 由于水分生产效率和光能转化率降低, 使生态系统生产力下降, 微环境恶化, 使抗风沙能力差的高大、宽叶、生育期长的植物消失, 生物多样性降低, 群落结构趋于简单、稀疏; 其次, 由于植被总盖度降低, 叶面积指数下降, 使进入草地生态系统的能量减少, 物质转化进程受阻, 生产力下降^[71, 72]。对于在流动沙地上建立的人工生态系统, 随之植物种群盖度的增加, 土壤水分状况趋于恶化, 因而不利于先锋植物的生长, 土壤形成结皮后表层紧实度增加, 不利于沙生植被种子的入土和萌发, 因而先锋植物竞争力逐渐衰弱, 最终被后来种所替代^[73, 74]。段争虎等(1996)^[75]根据我国不同地区沙漠化类型的面积、土壤有机质含量及沙漠化正逆转化速率, 计算了中国沙漠化土地有机碳的变化。阎德仁等(1998)^[76]展望了沙漠化土壤生态恢复, 赵文智等(2002)^[77]研究了土地沙漠化过程的土壤分形特征。关文彬等(2000)^[78]对中国东北西部地区沙漠化过程与植被动态关系的生态学进行了研究, 植被分类反映了沙地植被分布与环境的关系。

⑥沙漠化地区水土资源的高效利用与可持续发展研究

近年来, 结合沙漠化地区区域开发和环境治理, 开展了一些专门问题的研究^[79, 80], 如西北地区水资源可利用量与林业建设, 风沙土和干旱土以及绿洲灌淤土等的系统分类^[81-83]。聂浩刚等以陕北榆林地区为例, 对近 10 年来沙漠—黄土边界带荒漠化土地动态进行了分析, 获取了该地区水土资源的高效利用综合防治模式^[84]。

⑦沙漠化防治区划研究进展

我国在沙漠化防治区划的研究方面作了很多努力, 也取得了很多成果。早在 80 年

代,朱震达等(1981)就根据不同自然地带提出了沙漠化治理区划的划分原则和分区系统,将我国北方地区沙漠化土地划分为三个大区 26 个小区,并提出了各区治理途径^[48]。董光荣等(1993)^[50]提出了青海共和盆地沙漠化防治区划,主要根据大地貌条件和沙漠化过程的发展程度将整个研究区划分为 8 个小区,沙漠化程度划分与朱震达等(1981)^[48]的区划方案相同。1995 年的《中国沙漠化灾害区划》^[85]仍然是采用了朱震达等(1981)^[48]的区划方案。董玉祥(1996, 1997)^[86, 87]根据沙漠化土地占地率、沙漠化土地年增率等指标对我国沙漠化危险度做了评价和分区。张胜邦等(1998)^[88]参考中国北方地区沙漠化治理区划、青海省林业区划等,以自然带为第一指标,把地貌单元或土地类型作为第二指标,把沙漠化类型作为第三指标,并考虑到农牧业生产的地域差异性等,开展了青海省防治荒漠化区划工作。李森等(2001)^[89]按照自然地带主导性、沙漠化成因综合性、沙漠化发展状况趋同性等区划原则和依据,将青海省沙漠化土地划分为 4 区 10 个亚区,并针对各亚区沙漠化土地现状和特点,提出了合理开发方向和防治途径。马增旺等(2001)^[90]在分析河北省沙漠化现状的基础上,依据地貌、气候、土壤、植被等主导因子,对河北省沙漠化土地进行了类型区划分,并对各类型区沙漠化成因作了简要分析,为各类型区设计出适宜的乔灌木植物及防治对策。王涛等(2005)^[91]根据中国北方沙漠化土地形成发展的历史和现代过程、分布特点、发展趋势及其综合防治途径和利用开发方向等,以“保护优先,重点防治,合理利用,协调发展”作为沙漠化防治的指导方针,在考虑自然条件、沙漠化发展阶段与程度和自然条件、资源利用开发与区域可持续发展方向一致性等原则的基础上,将中国北方沙漠化土地划分为 4 大区 22 小区。吴波等(2006)^[92]对京津风沙源工程区沙漠化影响因素和沙漠化土地分布进行分析,提出制定沙漠化防治区划的原则,并对该地区进行沙漠化防治分区,提出不同区域的沙漠化防治战略对策。他们根据气候分区、植被和土壤的分布、地貌类型以及沙漠化土地分布情况,将京津风沙源工程区划分为 6 个治理区。

⑧沙漠化防治模式研究进展

a 沙漠化防治模式的概念

模式是一种来自实践又高于实践的“模板”是研究自然现象或社会现象的理论图示和解释方案,同时也是一种思想体系和思维方式。

沙漠化防治模式,广义而言是指对沙漠化土地综合治理与开发的样式。狭义而言是对某一目标期内,按照当地的自然条件,根据沙漠化防治原理,在某一防治方针指导下,为达到某一防治目标,按一定的土地利用结构、水土保持措施、荒漠化防治措施、土地

优化配置及开发利用方向形成的能够提高系统整体功能，并获得效益的一种式样。

沙漠化防治应根据各地的实际情况，因地制宜、有侧重的制定模式。在荒漠化防治的措施方面包括植物的、工程技术的、化学的以及政府行为等，具体有植树种草，耕作保苗，合理用水，营造防护林网、设置沙障、化学固沙等防风沙措施，以及宏观决策、产业结构调整、土地利用结构调整、畜群结构调整等方面。由于各地自然条件的差异性、复杂性和其防治对策的特殊性，如交通道路以线状保护为主，工矿居民点以点状保护为主。农田、牧场以面状防护为主，因此防治模式不可能只限于应用一种防治措施，而是需要各种措施相互配合，组成一个完整的治理工程体系。此外，不同荒漠化地区区域经济水平不同，防治的目的不同，采取的防治模式也就不同。只有这样，才能符合实际，起到生态社会经济效益相统一的作用。

b 我国沙漠化防治的历史

中国的治沙工作最早可追溯到 2000 多年前秦汉时期绿化沙漠的榆奚塞工程^[93]。在与大自然的斗争中，劳动人民不断进行防风固沙的实践活动，但是治沙研究的历史不长，仅 100 多年的时间。中国荒漠化防治及荒漠化防治与研究，在解放前基本上是一片空白。在治理措施上也只有个别地区采取了防治工作，如在 40 年代靖边桥畔等地采用了引水治沙，引洪淤地等方法进行造田发展农业。

对沙漠深入研究及大量的治理工作，是在中华人民共和国成立后进行的。

新中国对防沙治沙工作十分重视，投入了大量人力和物力，现在局部地区出现“人进沙退”的新局面。大约有 10%的地区沙漠化得到控制，12%的沙漠化土地恶化情况有所改善^[94]。中国防沙治沙的成就，特别是沙漠化治理的模式和经验，受到国际社会的广泛重视和好评。1984 年联合国第 12 届环境理事会的报告中指出，“中国在沙漠化防治方面做出了突出成就，可为发展中国家学习的榜样”^[95]。新中国的防沙治沙研究发展变化进程，有许多学者做过报道和研究^[96-149]。如朱震达、张奎壁、王涛等都有过总结^[44, 96-110]。

综合其研究成果，大致可分为以下几个阶段：

(a)防沙治沙初期阶段(1949-1956)：这一阶段主要是引进国外(主要是苏联)的防沙治沙经验和总结群众治沙经验，提出了在各种不同自然条件下单一的以防沙为主的防治措施，如甘肃民勤用粘土沙障固定流沙取得了很好的效果，我国 80 年代在沙坡头地区进行的沥青乳液化学固沙和铁路沿线沙漠化防治的做法也源于前苏联。在 50 年代初期，为了防止东北平原西部风沙对农田的危害，开展了农田林网的营建工作。

(b)加强科研, 建立试点(1956-1983): 这一阶段我国加强了对沙漠化防治的科学研究, 并且在全国许多地方建立了实验基地。原中科院沈阳林业土壤所在 1956 年建立了沙坡头试验站, 中国林科院建立了陕西榆林红石峡试验站, 此外还在内蒙古、西北等地建立了试验站进行定位试验研究。这阶段我国还加强了对各种专题的研究, 例如结合沙区铁路建设开展沙漠地段铁路选线及沙害治理措施的研究。

(c)沙漠化土地综合整治阶段(1984 以来): 84 年以来, 我国沙漠化防治工作进入了一个新的发展阶段, 即把我国防治沙漠化与整个生态环境的变化联系起来作综合分析、综合研究、综合治理。以用沙为目的的防治用一体化的新思路、新观念。明确提出了防沙治沙是与人口、粮食、能源、环境、自然资源有密切关系的生态环境工程, 它是一项涉及多行业、多学科、多部门的系统工程, 它还包括与防治有关的农林牧副渔和资源利用等风沙干旱区综合治理、综合开发的综合性建设项目。

c 我国沙漠化防治技术与模式分类

我国的沙漠化综合防治技术与模式分类可以从不同的分类方法得出分类结果。按照沙漠化综合防治技术的方法可以分为以下三类:

(a)生物治理技术: 包括: 农田防护林造林技术, 流动沙丘造林固沙技术, 防风阻沙林带造林技术, 沙漠沙源带封沙育草保护技术, 弃耕还林还草防止土壤退化技术, 封山育林育草和建立保护区, 小流域治理营造水土保持林, 飞播造林技术, 引种抗盐植物, 控制盐渍化。

(b)工程治沙技术: 包括铺设草方格, 设置各种材料网膜的固沙工程技术, 引水拉沙, 治沙造田技术。

(c)化学治沙技术: 包括铺设粘土、高分子化学材料、石油沥青制品治沙固结技术, 使用化学制品增肥保水造林技术^[108]。

按照沙漠化综合防治模式的对象可以分为: 以农业保护为主的综合防治模式, 围绕交通及工矿的防治模式。

根据荒漠化防治发展的不同阶段划分的防治模式: 以治为主的模式, 综合防治的模式和沙产业模式。

⑨ 新疆沙漠化防治与研究现状

新疆是我国沙漠化面积最大、分布最广、危害最严重的省区, 也是世界上沙漠化最严重的地区之一。中国的沙漠三分之二在新疆。新疆沙化土地不仅分布广泛, 而且近百年来发展变化速度在全国最快, 沙尘暴等风沙危害频繁发生, 几乎每年都给新疆的农牧

林业以及交通通讯等造成不小的损失和破坏。

历史上,新疆人民与沙漠化的斗争从未停止过,但是受各种因素限制,所采取的防治措施极其有限和稀少,且仅局限于个别零星的小范围区域,真正较大规模的、系统性的防治还是在新中国成立以后特别是改革开放以后。由于沙化土地的治理工作不仅关系着新疆的可持续发展,还影响着国家西部大开发进程,国家及自治区各级政府对防沙治沙工作高度重视,通过积极努力采取各项措施整治沙化土地,取得了一定的成就,使新疆的生态状况得到了一定程度的改善。自 1992 年新疆启动“十年防沙治沙工程规划”以来,全区累计完成综合治理、综合开发面积 128.6 万 hm^2 ,柯柯牙绿化工程、和田地区防护林生态保护工程、昌吉天然荒漠林保护工程、塔里木沙漠公路全程绿化防护工程等一系列防沙治沙工程项目的实施,是新疆防沙治沙工作走在了全国的前列。从上世纪 90 年代起,国家先后启动了天然林保护工程、退耕还林工程、水土保持工程、生态综合治理工程等一系列工程,增加了对生态治理的投资力度,经过各级领导和全区各族人民的辛勤劳动,新疆的森林覆盖率已由 1.68% 上升到 2.94%,绿洲森林覆盖率由 12% 上升到 14.95%,草地增加了 1.4 万 hm^2 ,由于林草面积的增加和新疆气候今年明显向暖湿方向转变,局部恶化的生态状况趋于好转。特别值得一提的是,生态综合治理工程取得可喜的成绩。2000 年以来,塔里木河综合治理实现了六次从博斯腾湖向塔里木河下游输水,结束了塔里木河下游 300 多 km 河道断流 30 年的历史,挽救了“绿色走廊”的大片胡杨林,对塔里木河下游生态环境的改善做出了积极贡献。随着 2002 年启动的艾比湖流域综合治理工程的实施,我国四大沙尘源地之一的艾比湖的湖面已从 540 km^2 恢复扩展到超过 1200 km^2 ,曾经干涸的湖底已是碧波荡漾,昔日的湿地得到保护和恢复,生态环境质量稳步提高。但是,尽管如此,某些局部区域(例如和田地区等)沙漠化发展扩大和风沙危害严重的态势仍未得到根本遏制,沙漠化防治工作依然任重而道远。

建国以来,很多学者以新疆的沙漠化为研究对象开展了研究^[150-195]。50 年代中科院组织专家对新疆的沙漠化进行了综合考察。70 年代以来,经过专家的研究和对生产实践的总结,新疆各地提出了许多综合防治模式其中比较有代表性的模式有:“和田模式”“吐鲁番模式”“策勒模式”等。新疆林业勘察设计院在全疆范围内进行了三次荒漠化监测(1994, 1999, 2004),取得了大量翔实的监测数据。此外,中科院兰沙所、中科院生地所对新疆的沙漠化开展了大量研究,如,对塔克拉玛干沙漠区的沙漠化开展了研究^[150-159],对古尔班通古特沙漠等其它区域的沙漠化也开展了不少研究^[160-165]。杨怀仁等(1979)对新疆的第四纪地质做了研究^[166]。徐海量、陈亚宁等(2003)^[167]利用多元

回归模型分析了塔里木河下游的沙漠化。在沙漠化防治方面，已达到国际先进水平，如塔克拉玛干沙漠公路及其防护林工程^[168-178]。周智彬、李红忠、李生字、王晓静等对塔克拉玛干沙漠腹地咸水灌溉进行了研究^[179-182]。这些研究成果对于促进新疆沙漠化防治实践不断取得成功发挥了积极的贡献。

1.2 研究目标和主要研究内容

1.2.1 研究目标与关键的科学问题

（1）研究目标

提出新疆沙漠化防治三级区划方案，编制防治区划图；提出各防治分区的适用防治技术与模式。

（2）关键的科学问题

区划方法以及区划指标的确定；沙漠化分区防治技术与模式的确定。

1.2.2 主要研究内容

（1）新疆沙漠化形成因素、发展现状及发展趋势分析。

（2）新疆沙漠化防治区划理论基础与方法，包括区划的原则、区划的方法，建立三级区划的指标体系。

（3）新疆沙漠化防治区划方案及各区特征。

（4）新疆沙漠化防治技术与模式集成。

（5）新疆沙漠化分区防治技术与模式。

1.3 研究技术路线

1.3.1 研究方法

（1）资料收集：收集查阅书籍、论文、遥感图像、专题图件、统计年鉴等相关文献资料，了解和掌握新疆地质地貌、气候、水文、土壤、植被及社会经济等方面的基本情况，以及新疆沙漠化形成历史、整体现状以及近年来为防治荒漠化、风沙侵害而采取的相关防治技术和成熟模式。同时，收集查阅有关新疆的各种专门区划成果，如综合自

然区划，农业区划，生态功能区划等，以备本论文防治区划工作参考。

(2) 实地调查：对资料解读过程中存在的一些需要实地核查确认或进一步了解的问题或需要了解的最新情况，赴实地进行考察了解。

(3) 区划拟采用的方法和步骤

采用定性分析与图件迭置相结合的方法。即：先根据专业知识人工初拟区划方案和界线；再将生成的各种参评指标专题图件通过 GIS 软件叠置在一起，计算沙漠化综合评价指标并对评价结果进行分级；最后，将人工初拟区划方案与沙漠化综合评级结果进行对比分析，根据综合评级指数及主导因子和其它辅助指标的差异，调整和划定各沙漠化防治分区及其界线。

1.3.2 技术路线

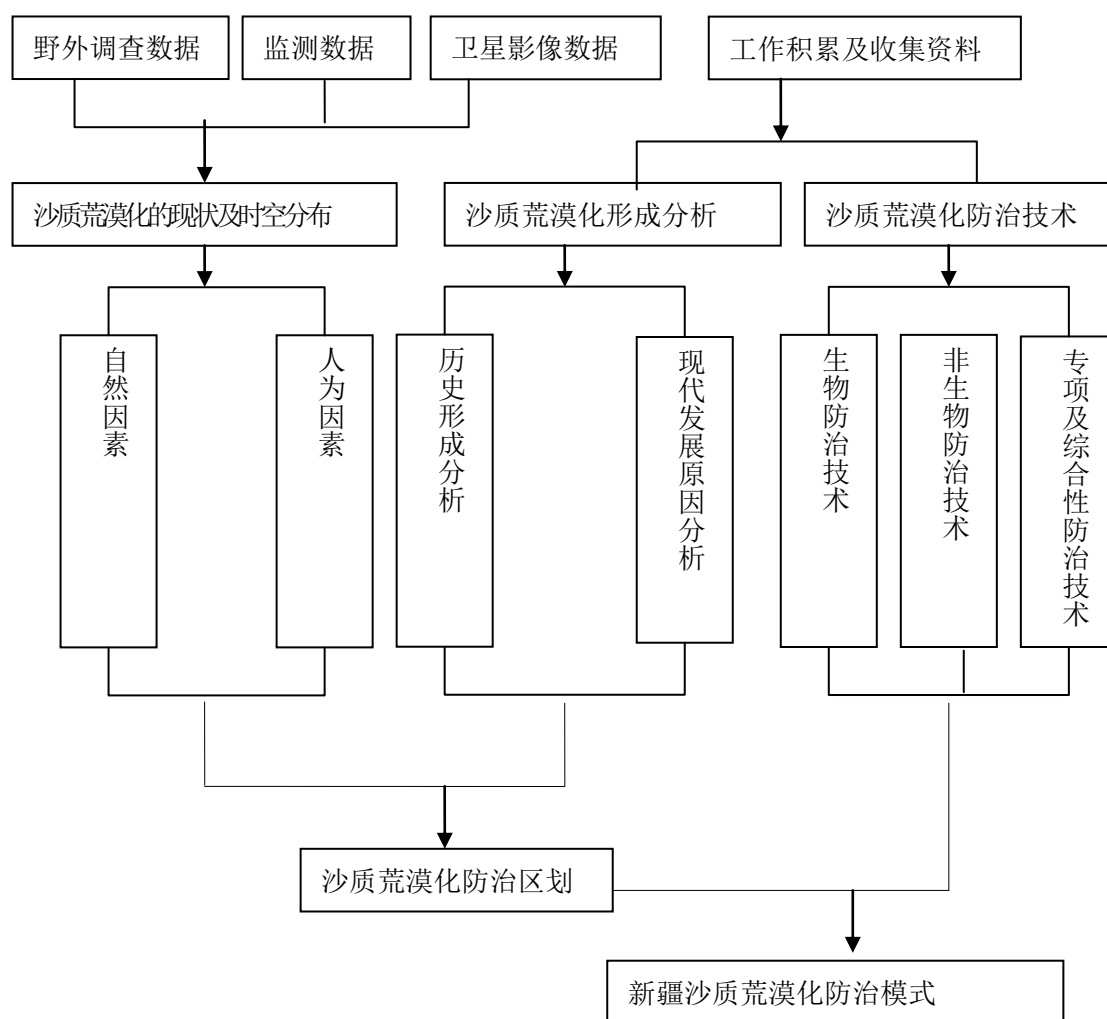


图 1-1 技术路线图

Fig.1-1 Flowchart of the study

1.4 项目来源和经费支持

本研究经费来源于“十一五”国家科技支撑计划“防沙治沙关键技术与试验示范”项目的子课题“防沙治沙植物材料筛选与扩繁、沙区植被快速恢复技术及防沙治沙战略对策研究”（2006BAD26B01）。

第二章 新疆沙漠化形成背景及演变过程

2.1 新疆沙漠化现状分析

2.1.1 新疆沙漠化的空间分布格局

新疆沙漠化土地分布十分广泛，大部分县市均有沙漠或沙漠化土地分布。

(1) 新疆沙漠的空间分布

新疆地域辽阔，有三大山系和两大盆地，地质条件复杂，气候变化大，气候的水平和垂直地带性差异明显，沙漠地域分布广，类型多，差异明显。新疆沙漠一般分布于各盆地或谷地中，面积较大的沙漠有 10 片，其中北疆分布着古尔班通古特沙漠、福海沙漠、乌苏沙漠、吉木乃沙漠和塔克尔莫乎尔沙漠，南疆分布有塔克拉玛干沙漠、阿克别勒库姆沙漠、库姆塔格沙漠、鄯善库姆塔格沙漠以及位于昆仑山的库木库里沙漠^[196]。尤以塔里木盆地内的塔克拉玛干沙漠和准噶尔盆地内的古尔班通古特沙漠面积最大，分别达 33.76 万 km² 和 4.88 万 km²，位居我国各大沙漠的第 1、第 2 位^[193]，并分别是世界第二大流动性沙漠和我国最大的固定半固定沙漠。见表 2-1、图 2-1。

(2) 新疆沙漠化土地的空间分布

据 2004 年新疆林业部门组织的全疆第三次沙化监测的结果（《新疆沙化土地监测报告》，新疆林业勘察设计院），全疆沙质土地（含沙漠和沙漠化土地）总面积 432986.15 km²，其中：流动沙地 284923.42 km²，占沙质土地总面积的 65.80%；半固定沙地 80763.61 km²，占沙质土地总面积的 18.65%；固定沙地 66923.94 km²，占沙质土地总面积的 15.46%；非生物工程治沙地 66.71 km²，占沙质土地总面积的 0.02%；沙化耕地 308.47 km²，占沙质土地总面积的 0.07%。在全疆 88 个县市中，有沙漠或沙漠化土地分布的有 68 个县市，占 77.27%。在这 68 个县市中，沙质土地面积最大的是且末县，达 77595.76 km²，最小的是乌什县，仅 0.11 km²；沙质土地占土地面积比例最大的是沙雅县，达 84.67%，最小的是博乐市和拜城县，均为 0.02%（表 2-2）。

表 2-1 新疆沙漠的自然地域分布

Tab.2-1 Physiographical distribution of Xinjiang deserts

名 称 1	名 称 2	位 置
Name 1	Name 2	Position
1 库 姆 塔 格 沙 漠		阿尔金山北麓
2 塔 克 拉 玛 干 沙 漠	2.1 库鲁克库姆沙漠	孔雀河—塔里木河三角洲
	2.2 塔克拉玛干东部沙漠	塔里木盆地腹部和田河以东
	2.3 塔克拉玛干西部沙漠	塔里木盆地腹部和田河以西
	2.4 托克拉克库姆沙漠	岳普湖河下游
	2.5 布古里库姆沙漠	莎车和岳普湖绿洲之间
	2.6 塔里木盆地南缘沙漠	昆仑山北麓
	2.7 艾曼库勒沙漠	却勒塔格山与塔里木河之间
3 塔克尔莫乎尔沙漠		伊犁霍城县境内
4 鄯善库姆塔格沙漠		吐鲁番善鄯县境内
5 古尔班通古特沙漠	5.1 艾生库姆沙漠	木垒北部与发发湖以东地区
	5.2 霍景涅里辛沙漠	奇台将军庙以南沙漠地区
	5.3 德佐索腾艾里沙漠	五家渠至呼图壁以北沙漠区
	5.4 阔布北沙漠	三个泉西北部沙漠区
	5.6 小拐附近沙漠	莫索湾玛纳斯古河道与奎屯河之间
	5.7 托托北部沙漠	精河至车牌子之间
6 阿克别勒库姆沙漠		焉耆盆地南部
7 额-乌沙漠	7.1 福海沙漠	乌伦古河三角洲
	7.2 恰夏克多库木沙漠	吉木乃北部
	7.3 阿克库木沙漠	哈巴河西岸
	7.4 通古能库木沙漠	别列克河东西两岸
	7.5 高潮沙漠	布尔津河西岸
8 库木库里沙漠		昆仑山库木库里盆地内
9 托格拉萨依沙漠		昆仑山托格拉萨依河谷地内
10 阿什库勒沙漠		昆仑山阿什库勒湖西岸
11 布伦口沙漠		帕米尔高原布伦口湖岸边
12 桑株沙漠		昆仑山桑株盆地
13 柯克亚沙漠		昆仑山柯克亚东部
14 喀群沙漠		昆仑山喀群东南部
15 哈拉峻沙漠		天山哈拉峻盆地内
16 库米什沙漠		天山库米什盆地内
17 尤尔都斯沙漠		天山大尤尔都斯盆地东部
18 南湖沙漠		哈密盆地南湖西北部
20 军马场沙漠		巴里坤盆地东部
21 淖毛湖沙漠		淖毛湖周边地区

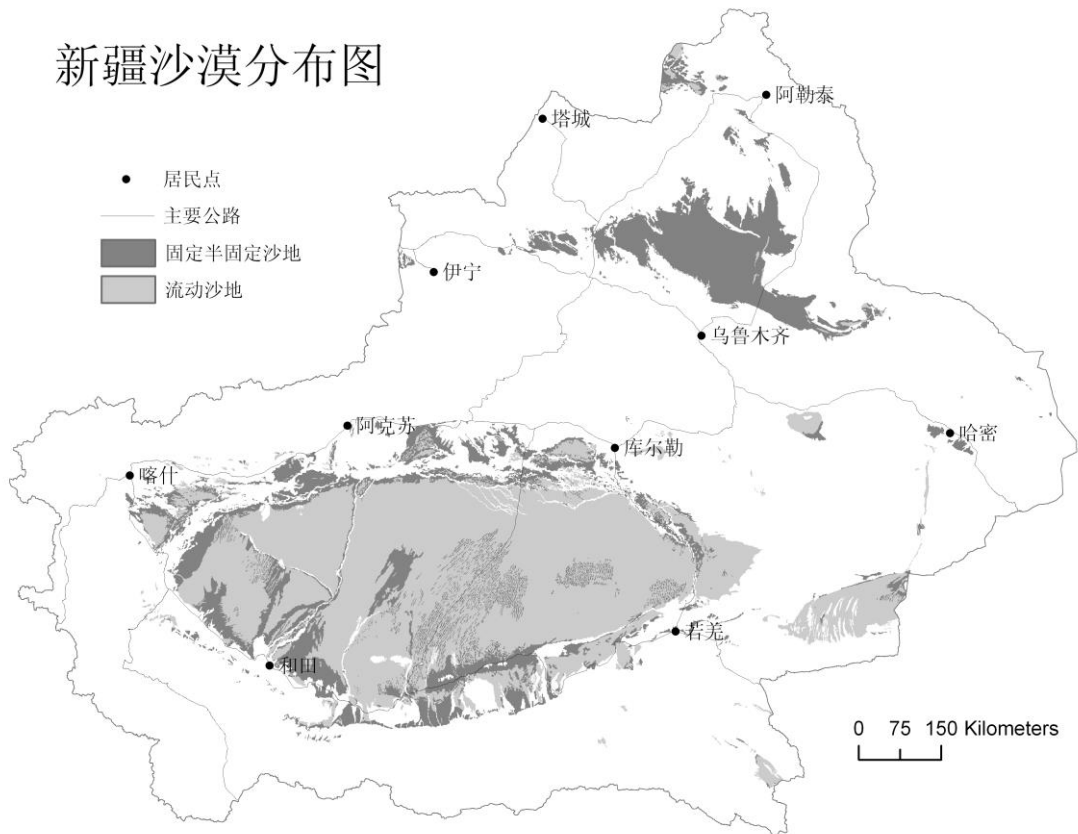


图 2-1 新疆沙漠分布图

Fig.2-1 The map of deserts distribution in Xinjiang

表 2-2 新疆各县市沙质土地统计表（单位：hm²）

Tab.2-2 Statistics of sandy land in counties of Xinjiang (unit: hm²)

统计单位 Administrative Unit	合计 Sum	占本行政区面 积比例(%) Proportion(%)	流动沙地 Floating sandy land	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	固定沙地 Fixed sandy land	沙化耕地 Sandy deserti- fied farmland	非生物治 沙工程地 Others
全疆合计	43298615.4	26.01	28492341.7	8076361.2	6692394.3	30847.3	6670.9
乌鲁木齐市	0	0.00	0	0	0	0	0
克拉玛依市	200983.9	23.22	0	99982.4	101001.5	0	0
独山子区	0		0	0	0	0	0
克拉玛依区	139410.5		0	90577.1	48833.4	0	0
白碱滩区	34866.2		0	8945.5	25920.7	0	0
乌尔禾区	26707.2		0	459.8	26247.4	0	0
吐鲁番地区	260251.7	3.85	227290.5	21095	11866.2	0	0
吐鲁番市	9956.7	0.73	5965.7	2918.1	1072.9	0	0
鄯善县	219623.7	5.74	205624	8566.2	5433.5	0	0
托克逊县	30671.3	1.95	15700.8	9610.7	5359.8	0	0
哈密地区	96027.6	0.68	82555.1	9469.2	4003.3	0	0
哈密市	62465.6	0.73	51971.5	7083.7	3410.4	0	0
巴里坤哈萨克自治县	32335.6	0.87	29357.2	2385.5	592.9	0	0
伊吾县	1226.4	0.06	1226.4	0	0	0	0
昌吉回族自治州	2076372.7	26.74	45575.2	937018	1093779.5	0	0
昌吉市	203314.9	24.75	0	130406	72908.9	0	0

(续上)

阜康市	436665.6	51.16	4193.1	114324.6	318147.9	0	0
米泉市	212097.5	55.99	0	167137.8	44959.7	0	0
呼图壁县	263702.5	27.99	0	200058.9	63643.6	0	0
玛纳斯县	328806.7	34.26	0	227355.7	101451	0	0
奇台县	267635.9	16.09	5942.1	49937.5	211756.3	0	0
吉木萨尔县	237911.1	29.21	0	23233	214678.1	0	0
木垒哈萨克自治县	126238.5	9.49	35440	24564.5	66234	0	0
博尔塔拉蒙古自治县	121949.9	4.89	100.9	41676.5	79841.5	0	331
博乐市	136	0.02	0	0	107.4	0	28.6
精河县	121813.9	10.90	100.9	41676.5	79734.1	0	302.4
温泉县	0	0.00	0	0	0	0	0
巴音郭楞蒙古自治州	16960851.1	36.01	13187007.9	2758609.9	1002129.5	11873.8	1230
库尔勒市	188449.5	26.12	67673.2	83144.5	37631.8	0	0
轮台县	182824.8	12.91	76854.4	87225.4	18745	0	0
尉犁县	3668061.3	61.92	1708010.2	1666722.4	287165.4	6163.3	0
若羌县	5036360.5	25.33	4441699	356450.9	238210.6	0	0
且末县	7759575.7	56.30	6842684	525776.7	389776.5	108.5	1230
焉耆回族自治县	2651.4	1.09	0	290.2	89	2272.2	0
和静县	3394.2	0.10	0	1394.3	1374.5	625.4	0
和硕县	51952.6	4.05	17404.2	17529.8	17018.6	0	0
博湖县	67581.1	18.88	32682.9	20075.7	12118.1	2704.4	0
阿克苏地区	5084732.6	38.71	3370012.1	1432604	275857.7	6258.8	0
阿克苏市	1032581.7	56.79	858102	75465.1	96281.8	2732.8	0
温宿县	53912.7	3.80	64.1	50868.9	2979.7	0	0
库车县	69781.8	4.78	13739.2	48489.6	7553	0	0
沙雅县	2705556.7	84.67	1621814.1	1011822.3	68394.3	3526	0
新和县	185638.5	31.91	73399.6	66580.9	45658	0	0
拜城县	238.2	0.02	0	0	238.2	0	0
乌什县	10.8	0.00	10.8	0	0	0	0
阿瓦提县	937513.5	70.84	770629.3	127882.2	39002	0	0
柯坪县	99498.7	11.42	32253	51495	15750.7	0	0
克孜勒苏柯尔克孜自治州	1764.8	0.02	0	1764.8	0	0	0
阿图什市	1764.8	0.11	0	1764.8	0	0	0
阿克陶县	0	0.00	0	0	0	0	0
阿合奇县	0	0.00	0	0	0	0	0
乌恰县	0	0.00	0	0	0	0	0
喀什地区	3465189.4	24.84	2021746.4	884914.8	549947.9	8580.3	0
喀什市	650.5	3.26	0	0	0	650.5	0
疏附县	3049.1	0.92	0	1400.9	244.2	1404	0
疏勒县	47162.8	18.98	2897.5	24839.6	19425.7	0	0
英吉沙县	92565.2	28.71	39559.5	31230.6	20166.3	1608.8	0
泽普县	1247.5	1.51	65.4	0	1182.1	0	0
莎车县	256498.8	28.29	90086	69089.2	92574.6	4749	0
叶城县	301677.9	10.28	195449.6	69024.4	37203.9	0	0

(续上)							
麦盖提县	862815.3	83.96	667748.1	132397.7	62669.5	0	0
岳普湖县	171715.4	63.59	82506.4	78065.9	11143.1	0	0
伽师县	250241.2	37.53	92130.1	110763.3	47347.8	0	0
巴楚县	1474869.8	70.89	849260	367495	257946.8	168	0
塔什库尔干塔吉克自治县	2695.9	0.05	2043.8	608.2	43.9	0	0
和田地区	11829271.8	47.48	9449378.4	1151123.8	1220739.4	4134.4	3895.8
和田市	3289	6.63	35.8	1661.9	1551.6	39.7	0
和田县	132345	3.24	75097.4	29519.7	24258.3	2273.5	1196.1
墨玉县	2125353.1	82.94	1512655.5	520647.6	91480.3	0	569.7
皮山县	1569933.1	39.43	1328139.9	146470.5	95322.7	0	0
洛浦县	1099356	76.95	924164.7	94438.1	80753.2	0	0
策勒县	1488756.2	47.50	1356663.5	55559.1	76149.2	384.4	0
于田县	2404461.8	61.45	2020339.9	151420.3	231264.8	1436.8	0
民丰县	3005777.6	52.21	2232281.7	151406.6	619959.3	0	2130
伊犁哈萨克自治州	3201219.9	11.91	108675.2	738102.8	2353227.8	0	1214.1
奎屯市	810.5	0.73	0	0	810.5	0	0
察布查尔锡伯自治县	0	0.00	0	0	0	0	0
霍城县	34941	6.44	0	0	34941	0	0
塔城地区	1212952.4	12.81	7500.3	246770.5	958681.6	0	0
乌苏市	108407.9	7.58	7500.3	1086.7	99820.9	0	0
额敏县	0	0.00	0	0	0	0	0
沙湾县	197807	15.60	0	18822.8	178984.2	0	0
托里县	0	0.00	0	0	0	0	0
裕民县	1461.4	0.24	0	1461.4	0	0	0
和布克赛尔蒙古自治县	905276.1	32.11	0	225399.6	679876.5	0	0
阿勒泰地区	1952516	16.59	101174.9	491332.3	1358794.7	0	1214.1
阿勒泰市	1031.2	0.10	0	167.1	864.1	0	0
布尔津县	105166.2	10.15	10497.8	41940.9	52727.5	0	0
富蕴县	353787.6	10.99	1374.1	83955.2	268458.3	0	0
福海县	1073070.2	32.27	0	201931	869925.1	0	1214.1
哈巴河县	234476.2	28.71	65220.9	65541.7	103713.6	0	0
青河县	0	0.00	0	0	0	0	0
吉木乃县	184984.6	25.86	24082.1	97796.4	63106.1	0	0
省直辖单位	0	0.00	0	0	0	0	0
石河子市	0	0.00	0	0	0	0	0

2.1.2 新疆沙漠化的主要形式

从全疆范围来看,沙丘活化应该是最主要的形式。所谓沙丘活化,即原来属于固定、半固定的沙丘(或沙地)变成了流动沙丘。形成流动沙丘的条件,一个是沙丘上的植被被破坏了,松散的沙子在风力吹扬下向流动沙丘转化。它们多出现在绿洲与流动沙漠之间的过度带。形成流动沙丘的第二个条件是地下水位降低,造成地上植被衰败、干枯,

逐渐失去保护沙地地面的作用。这种现象在已经干涸了的新老河道两岸很普遍，例如塔里木河下游沿岸。

沙漠化的第二种形式是新的风蚀流沙地的形成。这一现象出现在已经开垦了，尔后因无水源保证而放弃的多沙耕地上。在已经干涸了的新老河道的河床、河岸、湖泊地区，风力作用代替了流水作用，开始形成具有不同尺度的风蚀地貌和风积地貌。如果沙源丰富，随着风蚀广度和深度的扩大，则形成大量风蚀地貌，甚至流沙最终又将这些风蚀地貌掩埋掉。这是就地起沙所形成的沙漠地貌发展到终极的象征。

沙漠化的第三种形式是风沙流和沙丘运动过程中侵占了原来并不属于沙漠地区的土地。在塔克拉玛干沙漠南缘，流动沙丘侵占绿洲耕地的现象很普遍。当绿洲外围天然植被受到严重破坏，或者人工防护林存在不衔接的缺口时，就为流动沙丘的长驱直入开了绿灯，将会加快流动沙丘的移动和蔓延过程^[193]。

2.1.3 新疆沙漠化的主要危害状况

新疆地处欧亚大陆的中心，深居内陆，是世界上距离海洋最远的地区，四面高山环抱，很难受到海洋暖湿气流的影响，属温带、暖温带干旱性气候，新疆的沙漠又都是在盆地的中间，更是干旱性气候的极端类型，总的特点是干旱少雨，蒸发强烈，日照充足，热量丰富，大风、沙尘暴、扬沙、浮尘等灾害性天气频繁，沙害严重^[193]。

(1) 危害类型

沙漠化灾害包括风害、沙害及风沙流作用产生的危害。这些均与大风、沙尘暴、扬沙、浮尘等灾害性天气引起的风沙运动密切相关。常见的风蚀、风积、沙埋、沙打、沙割等现象，都是风沙运动造成的。

①风蚀危害

风蚀是指在一定的风力条件下对地表的吹蚀作用。风蚀危害可以分为两类，一是表土吹蚀，使土壤粒度变粗，养分损失，肥力降低（表 2-3、表 2-4）。又如 1977 年 4 月 1 日至 21 日，阿克苏农垦 3 团场 3 连 2 斗东条田，被连续几次大风吹走 16 cm 厚的表土，刚播种的棉籽也未能幸免。按当地耕层土壤养分含量计算，每公顷有机质损失达 13950 kg，相当于优质厩肥 69750 kg；全氮损失 832.5 kg，相当于尿素 1809.75 kg；全磷损失 3127.5 kg，相当于过磷酸钙 20850 kg。在新绿洲建设过程中同样存在着土壤风蚀问题，当 1 m 高处风速为 7.3 m/s 时，风蚀深度平均为 0.26 cm/h。二是铁路、公路路基风蚀，在沙漠地区筑路一般用当地的沙土修筑路基，由于组成物质缺乏粘性，结构疏松，在大

风的作用下,沙土质路基上的沙子很容易被风吹走,产生路基风蚀。路基风蚀一般发生在迎风坡路肩和边坡上部,特别是高路堤,路基风蚀最为严重,若在修筑时不加以防护,路基将受到不同程度的破坏。

表 2-3 沙漠化引起的地面物质中机械组成变化

Tab.2-3 Composition changes of ground substance caused by sandy desertification

地 点 Place	地 表 特 征 Characteristics of land surface	采样深度 (cm) Depth	粒 级 组 成 (%) Composition of particle size				
			1.0-0.5 (mm)	0.5-0.25 (mm)	0.25-0.1 (mm)	0.1-0.05 (mm)	<0.05 (mm)
沙雅公安农场	红柳林土质平地	0-5	—	0.67	14.74	79.95	4.46
以南	受沙漠化影响土地	0-5	—	5.96	67.83	24.64	1.57
库车库乃斯大	胡杨林土型土地	0-5	—	0.15	1.64	83.53	14.67
队开荒点	受沙漠化影响土地	0-5	—	0.09	45.95	52.49	1.47

表 2-4 沙漠化引起地表组成物质中养分的变化

Tab.2-4 Nutrient changes of ground substance caused by sandy desertification

地 点 Place	地 表 特 征 Characteristics of land surface	采样深度 (cm) Depth	有机质 (%)	全氮 (%)
			Organic substance (%)	Total N (%)
沙雅哈达墩	龟裂性土型土质平地	0-10	0.52	0.007
	沙漠化已开始发生的沙地	0-10	0.17	0.002
沙雅公安农场	胡杨林土型土地	0-10	1.59	0.101
	沙漠化已开始发生的沙地	0-10	0.10	0.003

②积沙危害

风沙流在运行过程中受到局部地形或机械障碍物的阻挡时,沙子就从气流中坠落发生堆积,并沿着风影区逐渐向背风方向堆积延伸,形成舌状堆积或片状堆积,当公路、农田、林带处在其下风向时,就会造成沙埋的危害。

③沙丘移动造成的压埋危害

流动沙丘在风力作用下不断的向前移动,当单一或一组方向相近似的主风向作用于沙丘时,沙粒在迎风坡下部被风力吹动,以后顺着斜坡向前跳跃或滚动(表层蠕动沙粒成沙纹运动形式进行)搬运,向着丘顶推进。跳跃上移的沙粒到达丘顶后,因气流在背风坡受到沙丘本身掩护作用,于背风坡形成具有水平轴的涡流,气流速度减弱,跳跃沙粒不能继续被气流搬运,借助于惯性的作用跳越沙脊一段距离后,受重力作用滚落入背风坡。所以,在与沙丘轴向偏角不大的风力作用沙丘时,沙丘总是垂直于丘脊的方向向前移动。沙丘移动的速度与沙丘本身的高度成反比,越是低矮的沙丘移动速度越快,1 m 以下的新月形沙丘,每年可以移动 40-50 m (表 2-5),因此,沙漠边缘形成的低矮新月

形沙丘对绿洲农田的危害最大，应及早予以防治。

表 2-5 且末裸露平坦沙砾地面上低矮新月形沙丘移动速度
(1973 年 8 月 7 日--1974 年 8 月 21 日)

Tab.2-5 Move speed of low barchans on bare gobi in Qiemo

沙丘高度 Height of dune	0.67	0.58	0.86	1.74	0.84	0.93
年移动距离 (m) Distance of movement per year (m)	44	62	41	49	52	43

④风沙流沙打沙割危害

风沙流是指含有沙粒的运动气流，是一种贴近地表的风沙运动。根据风沙流结构特征，气流中搬运的沙量大部分是在离地表 30 cm 的高度内，其中绝大部分是在离地表 0-10 cm 的气流层中通过，而且又特别集中的分布于地表 0-5 cm 的气流层中。因此，沙打、沙割主要以近地表 20 cm 高度内最为严重，并以对棉花的危害最为明显。新疆春天风沙季节，正是棉花的幼苗阶段，一场大风过后，沙粒打割棉花幼苗的子叶，将其打焦，甚至将生长点打死，造成对棉花的严重危害。尤其在特大风时，出现一种称之为“黑风”的日、特殊天气。“黑风”出现时，远似乌云，近似浓烟，从远方滚滚而来，顷刻间狂风怒吼，黄沙翻腾，日月无光，刹时能见度降至数米，强劲的风沙流打割作物，使棉花一片焦枯。大风还会折断树木，造成人畜死亡。强劲风力下的滚滚沙流也会淹没水渠、农田、道路等。这种特大风沙天气会给农牧业造成极为严重的灾害。

⑤干热风危害

由于温度高、蒸发量大，农作物蒸腾加剧，以致植物根系吸水满足不了蒸腾需要，植物体内水分生理平衡被破坏，使作物枯萎受害，这种灾害称为大气干旱灾害。在大气干旱灾害中，高温低湿并伴有 4 m/s 以上的风即称干旱（热）风，其危害性很大。若高温低湿，风速小于 4 m/s，则称干旱(热)日。干旱（热）风的危害期为 5-8 月（表 2-6）。在塔里木盆地出现的干旱（热）风主要类型有两种：一种为高温低湿型，发生在副热带高压脊控制的南疆，以高温为主，风速为 3m/s 左右；另一种为大气型干旱风，当西风低槽逼近新疆时，控制南疆的副热带高压脊减弱撤退，此时塔里木盆地东部在持续高温低湿天气过后，虽然温度有所下降，但风速明显加大，持续时间长，造成对作物较重的危害。干旱（热）风主要危害小麦、棉花、玉米及树苗等作物。在高温低湿和风的综合作用下，植株蒸腾加剧，体内水分平衡失调，光合作用遭到破坏，根系活动能力降低，碳水化合物的制造和运输受到阻碍，造成大量减产。小麦在开花期遇到干旱（热）风，会使小花不孕增加，结实穗粒数减少，如在灌浆期遇到干旱（热）风，千粒重降低。玉米的秃顶、棉花的落蕾铃等也与干旱（热）风的影响有关。因此，干旱（热）风是影响

作物稳产高产的主要农业气象灾害之一。

表 2-6 塔里木盆地东部 5-8 月干旱（热）风出现次数（天）

Tab.2-6 Days of drought (hot) wind weather during May to August in east Tarim Basin

地区 Place	5 月 May		6 月 June		7 月 July		8 月 August	
	平均	最多	平均	最多	平均	最多	平均	最多
	Average	Max	Average	Max	Average	Max	Average	Max
焉耆	0.3	2	0.6	4	0.3	4	0.3	2
库尔勒	0.2	4	1.7	5	2.8	8	2.7	8
二十九团场	0.5	4	3.2	7	6.9	14	5.8	11
若羌	0.8	4	5.2	10	9.5	16	8.6	14

⑥大气降尘的危害

风沙运动依风力、颗粒大小和质量不同，有悬移、跃移和表层蠕移三种基本形式。其中，悬移运动是沙土颗粒保持一定时间悬浮于空气中，并以与气流相同的速度向前转移。一般来说，粒径较大的沙粒并不能悬移，只有粒径小于 0.05 mm 的粉沙和粘土颗粒才能悬移。这是由于其体积细小，质量轻微，在空气中的自由沉速很小，一旦被风扬起，就不易沉落，能随风悬移很长距离。风沙的这种悬移运动便形成了浮尘天气。塔克拉玛干沙漠的沙粒以细沙与粉沙为主，大风常伴随着浓厚的浮尘天气，并造成大量降尘，使果树和牧草覆盖一层碱性较大的尘土，可影响到果树的授粉和牲畜采食。浮尘天气造成太阳辐射和日照时数减少，对农业生产亦有一定影响。同时，对航空、交通与人体健康也有较大影响。北疆精河地区的盐尘，对畜牧业有更大的危害。

（2）风沙危害严重地区概况

新疆风沙危害的主要发生地区，一是塔克拉玛干沙漠周边、特别是南缘受流动沙丘扩展、蔓延和影响的绿洲边缘地区；二是准噶尔盆地西、南缘与固定、半固定沙丘带相接壤的绿洲边缘地区；三是流经沙漠地区的河流下游沙漠化发生发展地带；四是绿洲内部零星沙丘（沙地）分布地区；五是部分受风沙危害影响的重要交通运输线沿线。

①塔克拉玛干沙漠周边风沙危害

a 巴楚至伽师绿洲北部边缘

巴楚至伽师绿洲北面为天山南麓的洪积冲积平原，原来分布有红柳灌丛沙堆，由于红柳被挖，固定沙堆遭风蚀破坏，绿洲外围形成了一条东西长 120 km、宽 2-4 km 的流动沙丘带，高 1-2 m 的新月形沙丘每年以 5-10 m 的速度向绿洲推进，仅伽师县古鲁力克乡外围的流沙面积就扩大了 5300 hm²，被风沙埋没的农田有 183 hm²，还有 1300 多 hm² 农田受到威胁，50 户房舍被沙埋。

b 喀什内陆三角洲“走廊式绿洲”

托克拉克沙漠位于喀什干三角洲北部，边缘以灌丛沙丘为主，中心为新月形沙丘和沙垄，一般高 8-10 m，最高达 15-20 m。在古河道下风方向分布着密集的新月形沙丘链。东西向穿越沙漠内部的走廊式绿洲受到古河道的夹击危害。岳普湖县亚恰克提乡深入喀什三角洲北部托克拉克沙漠 30 余 km。1967 年以来，由于盖孜河下游尾闾处于断流状态，干旱缺水，沙枣防护林生长不良，沙丘侵入良田，先后有 30 多 hm^2 农田被沙埋，50 多户农民被迫搬迁。此外，巴依阿提乡老绿洲，有近 400 hm^2 农田受到沙埋，1970 年以来也有 45 户被迫搬家。

c 和田地区 7 县 1 市绿洲西部、北部边缘

位于塔克拉玛干沙漠南缘的和田地区，几百片大小绿洲散布在东西长约 600 km 的狭长地带，环绕绿洲的沙漠及风沙戈壁边界长达 2000 km。全区耕地、林地、沙漠面积比为 1: 1.2: 47.1（表 2-7）。由于绿洲外围荒漠植被受到持续的破坏，人工绿洲与流动沙漠之间的天然灌草带大为减少，流动沙丘多与绿洲农田直接毗邻，给绿洲边缘农牧业生产与人民生活带来直接的危害。建国 40 年来，绿洲附近土壤沙化面积 1.6 万 hm^2 ，其中耕地沙化 5960 hm^2 。1986 年 5 月中旬一场大风，使和田绿洲边缘的棉田损失 90% 以上，绿洲腹地受灾面积也在 50%。

表 2-7 和田地区各县沙漠面积及耕地、林地、沙漠化面积比

Tab.2-7 The compare of area of cultivated land, forest land and sandy desertification land in the counties of Hotan prefecture

县 名 County	沙 漠 面 积 Area of sandy desert		耕地：林地：沙漠化 Farmland : forest : sandy desert
	面积（km ² ）Area (%)	占全县面积（%）	
		Proportion(%)	
皮山	16311.2	40.8	1： 0.5： 50.7
墨玉	18703.5	82.70	1： 0.7： 40.9
和田	4283.1	10.61	1： 0.7： 10.7
洛浦	9717.3	71.97	1： 1.9： 29.0
策勒	12679.8	40.97	1： 2.0： 53.6
于田	22144.3	53.79	1： 1.1： 69.0
民丰	21695.1	40.70	1： 8.4： 452.2
全地区	105334.3	43.37	1： 1.2： 47.1

②古尔班通古特沙漠西、南缘风沙危害**a 古尔班通古特沙漠南缘东段木垒—奇台沙漠边缘绿洲**

这一地段在历史时期沙漠的水草条件较好。如在木垒县北 38 km 沙漠中的伊尔哈巴

克细石器遗址（距今 3000 年）中采集到细石核、小石叶、石镞、石片等细石器时代和唐代的陶片、铜箭头，说明 1000 多年前这里曾有人居住过。而今在遗址外围有生长梭梭的半固定沙垄外，还出现了高 4-6 m 密集分布的新月形沙丘链，沙漠化土地向南扩展了 1000 m。本世纪 50 年代初，木垒县的荒漠灌木林一直分布到城北 15 km 的“骆驼路”南，后来由于人为破坏植被与地下水位下降等原因，灌木林后退了 10-30 km，沙漠边缘已有 10 km 宽的半流动沙丘带，南部边缘数十米范围内已演变成低矮的流动沙丘，在西北风作用下，每年向东南移动 1-3m。沙漠环境的这一变化，加剧了风沙对绿洲边缘农牧业的危害。奇台县位于沙漠边缘的农田受到活化沙丘移动的危害与风沙流的侵袭，幼苗被沙埋或打死后需要重新播种，沙埋边缘的草场亦受到沙埋威胁或沦为沙漠化土地，仅在道沙梁南缘就有 2 万多 hm^2 草场和耕地受到影响。

b 古尔班通古特沙漠南缘中部东道海子芒硝场区

东道海子位于乌鲁木齐北部 100 km 沙漠边缘。这一带原为“苇湖连天无际，淤泥深丈许，入者辄死顶盖”的地方。《新疆图志》记载“海子东西长，南北狭，周径约四五十里，周围泽薮（沼泽地）纵横八万四千方里”。在 60 年代编绘的地形图上，湖的形状为南北狭长，深入沙漠，水面有 14 km^2 ，水最深处达 10 m，有乌鲁木齐河、屯头河及老龙河水注入。自乌鲁木齐河断流后，海子渐涸，芦苇枯死，呈现荒漠景观。位于东道海子东侧边缘的芒硝厂，厂区和居民区两侧原为半固定沙梁，丘间为大片红柳灌丛，厂址背后高 10 m 的沙梁上，原来生长着繁茂的梭梭，在人为强度的樵采下，梭梭和红柳被采挖殆尽，使沙梁活化，20 多年来向南、南东方向移动 20 多 m，流沙顺坡泻溜进入厂区与居民后院，已危及工厂生产和工人生活。

c 古尔班通古特沙漠西南缘莫索湾垦区

莫索湾垦区深入沙漠 60 km，三面被沙漠包围。建国以来，在荒漠转变为绿洲的同时，由于人为过度樵采和过度放牧，垦区外围出现了平均宽度为 10-20 km 的沙丘活化带。沙漠边缘的半固定沙丘变成了流动沙丘。每年以 0.5-1.5 m 的速度向农田推进，个别沙垄每年向前延伸 10-20 m，有的已经进入林带，威胁住房。沙漠边缘新形成的新月形沙丘移动速度也很快，据对 149 团场 14 连西侧 2 m 高的新月形沙丘的观测，1986 年 4-9 月向东南移动了 8 m。150 团场于 1980 年 7 月 17 日和 1983 年 5 月 2 日的两场大风，使团场受灾面积分别为 1612 hm^2 和 4815 hm^2 。

d 古尔班通古特沙漠西南缘下野地垦区

下野地垦区位于玛纳斯河下游，绿洲西面和背面是索布古尔布格莱沙漠，正处在西

北风的下风方向，受风沙活动的影响明显。从 60 年代至 70 年代，沙尘暴日数从年均 2.7 天增至年均 4.9 天，与沙漠相毗邻的农田经常遭到风沙的危害。1980 年 5 月 23 日一次 9 级以上大风，136 团场的玉米、棉花被沙埋和打掉生长点的受灾面积 47 hm²。同年 7 月 9 日，正是小麦黄熟阶段，一场 9 级大风，很多麦粒被刮掉，全团场损失小麦 20 多万 hm²。1983 年 5 月 21 日-22 日，一场 8 级以上大风，60 cm 深的渠道被填平，麦地积沙 6 cm 厚，30%的麦子被风沙打死。

e 艾比湖南岸精河地区

精河毗邻艾比湖南岸，处于阿拉山口的下风方向，年均大风日数，50 年代为 18 天，60 年代为 47.2 d，70 年代为 26.7 d，1981-1985 年年均为 19 d，起沙风占全年总风次 7%。由于荒漠林被破坏，致使沙随风起，阻碍交通，埋没良田；原固定、半固定沙丘活化成流动沙丘，形成从精河黑山头至可力尔墩 40 km 的流沙地，沙丘移动速度快，在乌伊公路 387 里程附近，3-6 m 高的新月形沙丘每年向东移动 5-10 m。由于地表裸露，土壤风蚀严重，大面积地表成了扬沙、浮尘的源地。同时，随着艾比湖的干缩，西北部约 300 km² 的干涸的湖底呈现宽 10 cm、深 10-100 cm 的龟裂地，在暴雨冲刷和大风侵蚀作用下，已形成 10-90 cm 深的风蚀沟槽，成为沙尘暴的源地，使精河县的扬沙和浮尘天气明显增加。70 年代后与 70 年代以前比较，扬沙日增加了 1.08 倍，浮尘日增加了 1.44 倍，1980-1986 年，风沙日最少有 23 d，最多达 148 d，而同期阿拉山口风况并没有明显变化（表 2-8）。1980 年 5 月一次 10 级大风，阿拉山口以西天气晴朗，但在干涸的艾比湖区却卷起了沙尘暴，呈楔形向东南逐渐升高，越过湖面，到达 90 团场时出现黑尘暴，反向环流将尘埃刮到博乐城区，大风后出现了 3 d 的浮尘天气。在阿拉山口大风影响下，艾比湖逐渐干涸，湖底风蚀后沙土盐尘被携带到空中，随风运送到艾比湖南岸地区，使草木和农作物的茎、叶、秆都积满了镁盐霜土，厚度达 0.5-1.0 cm，牲畜吃了拉肚子，每年死亡率可达到 8-10%，对农牧业与人民生活带来了极大危害。

表 2-8 艾比湖地区风沙天气年均变化
Tab.2-8 Annual change of sand-dust weather in Abinur area

站名 Site	时间 Time	大风日数 (≥8 级) Gale days (d)	沙暴日数 Sandstorm days (d)	扬沙日数 Sand-blowing days (d)	浮尘日数 Floating dust days (d)
精河	1953-1970 年	22.7	3.6	14.9	0.5
	1971-1980 年	26.7	7.4	31	7.7
阿拉山口	1957-1970 年	167.3	0.07	0.5	0
	1971-1980 年	164.5	0.1	0.6	0.9

③河流中、下游风沙危害

a 乌伦古河三角洲尾部湖滨地带

乌伦古河原在福海县城北依叶克一带直入乌伦古湖，清末（1867）在福海县城西南约 2 km 处开渠引水灌溉，乌伦古河即沿该渠改道流入吉力湖，于是福海以北湖滨地带留下很多散流的干河道，河床宽浅，曲流发育，经风力吹扬，河流沉积物堆积形成沙丘。在福海县北部有分布有西北走向的平直低沙垄和片状沙堆地，沙丘上长有红柳、梭梭等植物，活动性很小。自 70 年代以后因大量截引河水，入湖水量减少，湖区与三角洲尾部下水位下降，植被衰退枯死，加上大量樵柴破坏，风沙活动加剧。如 70 年代以前平均沙尘暴日数为 1 d，1971-1980 年间增至 3.5 d，固定沙丘活化，沙漠扩展，东部耕作区严重沙漠化，农田与公路部分被沙埋，渔场三连的房屋院内明显积沙，依叶克乡数十公顷草场被沙丘吞没。

b 塔里木河下游轮台县草湖乡

草湖乡位于轮台县城南 60 多 km，原为水草丰茂之地，由于塔里木河的老河道恰阳河、阿克莫奇河干涸后风蚀起沙，形成环绕草湖乡的流动沙丘带，成为沙漠中的“绿色孤岛”，东面的群尔库姆沙漠逐渐向农区逼近，影响农牧业生产。

c 塔里木河下游垦区

塔里木河下游垦区包括农二师的 31、32、33、34、35 等 5 个团场，北靠库鲁克沙漠，南依塔克拉玛干沙漠。自建场以来，由于对绿洲边缘的乔灌木进行大量的砍伐，原来固定、半固定的沙丘演变成了流动沙丘，使北面断续延伸的沙漠不断入侵农田，同时，部分耕地因长期缺水而被迫弃耕，地表干旱、疏松，在风的作用下形成了沙化土地，进而危害农田。如 32 团场东部 1962 年开垦了一片质地轻的土地，毁掉了原来的红柳等植被，后来因为缺水而弃耕，至 1991 年已形成了一条高 8 m、宽 100 余 m 的流动沙梁，近 10 年来向前推进了 30 m，埋没了耕地、渠道和林带。该团场 12 连 9 支渠东部的近 30 hm² 撂荒地，70 年代以来，逐渐形成了一片高 0.8-1.5 m 的新月形沙丘，1974-1982 年，沙丘由东向西推进了 50 m，其前端已到达渠边。据统计以上 5 个团场弃耕、撂荒的耕地有 8600 多 hm²，其中已被风沙埋没近 2000 hm²。沙丘活化与土地风蚀加剧了风沙流活动，给农场的农业生产带来了一定程度的危害。如 1982 年 4-6 月的两场大风，使 31 团场有 219 hm² 农田遭受风沙灾害。

④吐鲁番绿洲内部零星沙漠地区风沙危害

吐鲁番盆地具有特殊的地形条件与气候特点，是新疆风大风多、风沙灾害严重的地

区。由于盆地热气流与北疆冷气流之间形成的气压梯度差而产生的盛行风,使从盆地西部进入的气流形成一条呈西北—东南转为西北西—东南东的风沙线,风蚀作用强烈。由于盆地中心与周围山地之间存在巨大的高差,从而形成地形风—干热风,给农业生产带来很大影响。吐鲁番绿洲内部有 4.7 万 hm^2 沙漠化土地,大多分布在火焰山南麓及托克逊县城以西,从盐山南麓山前洪积扇开始,向东南延伸,风蚀流沙区长达 16.5 km,每年春季,大风不断的将流沙向农田推进,埋没农田和村庄。近年来,因阿拉沟上游南山矿截水,影响托克逊县境内水流量,更加剧了风沙危害。不过,经过多年的治理,吐鲁番绿洲内部风沙灾害有所减轻。

⑤重要交通运输线沿线风沙危害

a 兰新铁路哈密段

兰新铁路哈密段修筑初期,一度风沙灾害严重,如 1966 年 4 月上旬一场 11-12 级大风。使尾娅至哈密间 24 处路堑和零断面地段积沙 14173 m^3 , 25 处小桥涵积沙 312 m^3 。后来随着戈壁地面粗化,风沙灾害有所减轻。但 70 年代后期以来,铁路两侧挖甘草、碱土、红土急剧增多,植被和地表遭到破坏,铁路沙害时有发生,在特大风的情况下,风沙灾害更为严重。如 1986 年 5 月 19-20 日,一场持续 28 小时的 12 级大风(东南风),使得哈密路段有 59 处积沙,总长度达 40.7 km,总积沙量 74918 m^3 ,部分设备毁坏,铁路运输中断两天,造成严重的经济损失。

b 北疆铁路乌苏至阿拉山口段

北疆铁路是连接欧亚大陆的第二“路桥”,它的建成将改善亚洲太平洋区域与欧洲国家间的交通运输,对欧亚大陆国家之间的经济贸易和文化交流起着重要的纽带作用。该段铁路全长 224 km,其通过沙漠地区有 73.4 km,并有 20 多 km 为流动沙丘地段,与铁路呈 $40—60^\circ$ 的交角。由于艾比湖的干缩与植被的破坏,铁路面临沙埋与道床积沙的危害。阿拉山口是北疆西部的风口,年平均大风日数为 163.8 d,最多年达 188 d,最大风速为 46 m/s。精河年平均大风日数 31.5 d,最多年为 63 d,最大风速达 24 m/s,大风将影响行车,且风蚀路基。

c 吉木萨尔县三台道口至五彩湾沙漠公路

通往准噶尔盆地东部火烧山油田的三台道口至五彩湾公路,长 80 km,由南往北穿越 36 km 的古尔班通古特沙漠,公路多处切开西北——东南走向的固定、半固定沙垄。随着公路的开通,公路两侧的沙漠植被遭到一定程度的破坏,导致固定、半固定沙垄活化,由西北向东南延伸,造成局部沙埋。风沙流则在弯道处容易造成路肩积沙。

d 莫索湾 149 团创至夏孜盖盐场的运盐公路

该公路始于 149 团场 14 连,沿历史古道直向北延伸,止于夏孜盖盐场,全长 98 km,穿越古尔班通古特沙漠 20 多 km 的固定、半固定沙漠,公路两侧植被遭到了不同程度的破坏,植被覆盖度很低,平均不到 5%,靠沙漠边缘呈现流动沙丘景观。公路正式修筑以前,汽车很难直接通行,现已修筑成沙砾公路,但又将会遭到沙埋的威胁。

e 塔里木河下游库(库尔勒)若(若羌)公路

库若公路穿越塔里木河下游绿色走廊,是沟通塔里木盆地南北路径的重要交通干线。然而,随着塔里木河下游河段的长期断流,绿色走廊的生态环境日趋恶化,地下水位下降,胡杨林与灌草植被衰败死亡,沙漠化强烈发展,东边的库鲁克沙漠的流动沙丘现已每年 3-5 m 的速度向西侵入绿色走廊,致使阿拉干以下的绿色走廊宽度仅有 1-2 km。走廊内部风蚀流沙地不断发展,新月形沙丘不断形成。风沙季节,库若公路上风侧路肩和路面出现舌状与片状积沙;1982 年夏季,阿拉干至罗布庄的 100 km 地段,有 95 处发生路肩和路面积沙;克兹勒克的新月形沙丘与依干不及麻的沙垄入侵公路,造成积沙危害;1987 年 6 月全线有 8 处路面完全被沙埋,影响道路通畅。

f 塔克拉玛干沙漠南缘且末至若羌公路

且末至若羌公路全长 350 km,严重沙害地段有 40 多 km,主要有三个地段:一是且末县城东南 32-49 km 段,全长 17 km,公路遭到新月形沙丘前移沙埋,和风沙流对路肩、路中积沙的危害;二是且末、若羌之间的塔什萨依河地段,全长 13 km,公路上风侧 500-800 m 处为高大流动沙丘带,沙源丰富。在干涸河床中形成高 1.5-4.0 m 的新月形沙丘、沙丘链与沙垄,在东北风作用下不断侵入公路;三是若羌西 109-120 km 的博斯坦至塔什萨依河路段,全长 11 km,公路两侧高 3-10 m 的固定红柳沙包,近年来由于塔什萨依河的干涸及河道的被沙垄堵塞,致使红柳沙包活化,流沙扩展,连绵 10 多 km 的路段中,有 5 处常遭沙埋。以上路段的沙害治理早在 70 年代就开始实验研究,经过观测实验,在 80 年代又进一步完善,采取阻、固、输、导相结合的工程防治措施,已经取得了明显效果,只要防沙工程得到正常的维护,公路沙害就可以控制。

g 塔里木沙漠公路^[171, 174-177]

塔里木沙漠公路全长 522 km,南北纵贯塔克拉玛干大沙漠,其中有 446 km 连续穿行于流动沙漠中,为世界上通过流沙地段最长的公路。沿线气候极端干燥,风沙地貌类型复杂多样,风沙活动十分强烈,所孕育的风沙危害对沙漠公路构成了巨大威胁,特别是两侧保障公路畅通的防沙体系,随着时间的推移,防护作用正逐渐减弱,沙害形势日

趋严峻。已有的研究表明,塔里木沙漠公路风沙危害宏观上公路沙害受水平分异规律的制约,出现和大地貌单元相对应的沙害区;区域内公路沙害受垂直分异规律的制约,随地貌部位的变化出现规律性的分布与组合。严重沙害多分布于风沙活动强、地形相对高度大,上覆沙丘高大密集、高路堑和组合公路断面形式的垭口和堑体,沙害类型以防护体系的严重风蚀和高大沙丘前移压埋公路为主;中度沙害多分布于地形次高、上覆沙丘中度密集的过渡区,沙害类型为风蚀、中度沙丘的前移压埋和风沙流滞留堆积并存;轻度沙害主要分布于地形平坦、沙丘稀疏低矮的垭间低地,沙害类型主要为风沙流滞留堆积和小沙丘前移压埋。

沙漠化的危害缩小了新疆各族人民生存与发展的空间,导致了土地生产力的严重衰退,造成了巨大的经济损失,加深了沙区人民的贫困程度。

表 2-9 近年新疆沙尘暴危害情况

Tab.2-9 Harms caused by sandstorms in Xinjiang recent years

时间 Time	地点 Place	沙尘暴危害情况 Circumstances of sandstorm harm
1998 年	新疆北部和东部吐鲁番、托克逊、鄯善	4 月 19 日,新疆北部和东部吐鲁托盆地遭瞬间 12 级大风袭击,部分地区伴有沙尘。这次特大风灾造成大量财产损失,有 6 人死亡、44 人失踪、256 人受伤
2001 年	新疆阿克苏	4 月 7 日凌晨,阿克苏地区遭受特大沙尘暴袭击,最大风力达 10 级,致使阿克苏市一个木材厂发生重大火灾,火灾共烧毁两个木材加工厂和两个个体棉花加工厂,烧毁蔬菜大棚 100 多个,居民住宅 40 多户。当地部分单位停水、停电,阿克苏市市区许多广告牌、灯箱和店铺的牌被刮坏,部分店铺停业
2001 年	新疆东部	4 月 8 日—9 日,受我国新疆及蒙古国强冷空气的影响,在新疆东部、内蒙古、青海、甘肃、宁夏、陕西先后出现了一次大范围的大风、浮尘及沙尘暴天气。主体位于新疆西北部,冷高压前部位于若羌-七角井及青海刚察一带有中尺度低压形成,新疆东部、内蒙古、甘肃、宁夏部分地区开始出现沙尘天气;8 日 14:00 至 20:00 冷高压东移南下,锋面加强,风力加大,沙尘暴天气达到最强,入夜后,沙尘暴天气有所减弱,降水天气开始加强
2001 年	新疆吐鲁番	4 月 7 日,吐鲁番地区发生特大沙尘暴,312 国道 4023 km 至 4026 km 处最大风力达 12 级,行驶在该路段的 100 余辆汽车和 361 名乘客被困。大部分汽车玻璃被打碎,许多车辆被刮翻,道路堵塞
2002 年	新疆北部	6 月 3 日下午,塔城地区托里县阿合别斗乡遭受 8 级强沙尘暴袭击,沙尘暴持续达 10 分钟,沙尘过后出现强降雨。沙尘暴使这个乡第三学校教室屋顶油毡全部被掀起刮走,教室严重漏雨,无法正常使用,学校被迫停课。沙尘暴还使这个乡的一个配种站被毁,配种仪器、设备、药具全部损坏,经济损失达 3 万多元
2002 年	新疆塔城地区	12 月 23 日—24 日新疆塔城市遭遇了罕见的冬季沙尘暴,浮尘天气一个星期内未完全消退,空气污染指数为五级,空气质量严重下降,沙尘暴最为严重的时候,空气中总悬浮颗粒物日均浓度达到 $4.952\text{mg}/\text{m}^3$,当时风速达到了 10 级左右,肆虐的狂风夹杂着漫天沙粒,席卷了当地的设施和农田,使得空气质量严重下降

(续上)		
2004 年	新疆西部的克孜勒苏柯尔克孜自治州阿图什市	3 月 10 日狂风大作，尘土飞扬，能见度只有 100 m 左右，严重影响当地交通安全，汽车都开着防雾灯行驶，空气混浊呛鼻。受此影响，大风曾一度使兰新铁路以及从乌鲁木齐通往新疆南部的高速公路中断
2004 年	新疆若羌	4 月 16 日—17 日，狂风夹杂着特大沙尘暴席卷了若羌县。造成若羌县山口电站发电机组无法正常运转，供电线路电力供应中断。此次寒潮强大风和沙尘暴天气造成该县牲畜死亡 909 只，棉田受灾面积 48.2hm ² ，蔬菜大棚受灾 1.85hm ² ，瓜菜受灾面积 12.67hm ² ，果树受灾面积 88.77hm ² ，受灾程度达到 50%—60%；毁坏渠道 1840m。渠道淤沙 10 km，房屋倒塌 17 间，防护林树木刮断 208 棵，刮走饲草 46 吨，羊圈毁损 120m ²
2004 年	新疆南部	5 月 20 日，新疆南部遭受沙尘暴袭击，喀什地区风力普遍在六到七级，部分路段能见度不到 50m
2005 年	新疆若羌	1 月 28 日，位于新疆塔克拉玛干沙漠东南部的若羌县受西西伯利亚南下强冷空气影响，刮起了一场强沙尘暴，该地区瞬间极大风力达到 7 级，并有沙尘暴天气，最小能见度为 100m
2006 年	新疆吐鲁番	4 月 9 日吐鲁番地区遭遇 22 年来最强的沙尘暴，大风造成，1 人死亡、1 人受伤。途经的 T70 次列车遇特大沙尘暴袭击，列车一侧窗户玻璃全部被毁，数千旅客被困

2.2 新疆沙漠化形成背景

干旱的气候、丰富的沙源、裸露的地面、起沙风的作用是地质历史时期和人类历史时期新疆约 43.30 万 km² 沙漠和沙漠化土地形成的先决条件。人类活动的干扰则是最近数千年来新疆沙漠化发生发展的一个极其重要的促进因素^[193]。

据高迪研究，在年降雨小于 250-300 mm 的地区，只要存在沙源地，均可形成流动沙丘^[197]。新疆的气候是典型的温带干燥大陆性气候，由于深处内陆，加之山盆相间的地貌格局相对封闭，在其 165 万 km² 的国土中，有 88.7% 属于干旱和半干旱区，绝大多数平原和沙漠区域的干燥度都在 4 以上，塔里木盆地、吐哈盆地及东疆东北部的不少区域在 32 以上，塔克拉玛干沙漠腹地则在 64 以上，而吐鲁番盆地则达 100 以上（图 2-2）。其中极端干旱区占 28.8%，干旱区占 36.7%，半干旱区占 23.2%。准噶尔盆地中部沙漠区降水一般都在 150 mm 以下，塔里木盆地山前平原和沙漠区降水则大多不足 50 mm。干旱的气候导致新疆的多数区域植被盖度偏低，生态十分脆弱，全疆荒漠面积达 62%，南疆和东疆更是存在大面积植被极稀、几乎完全裸露的区域。这就为沙漠和沙漠化土地的形成提供了广阔的场所。

新疆山区存在着各地质时期形成的花岗岩、砂岩、变质岩等易风化成沙粒的岩石。山区河流把大量松散沉积物带往山麓平原和盆地，形成了较厚的第四纪沉积地层，其中

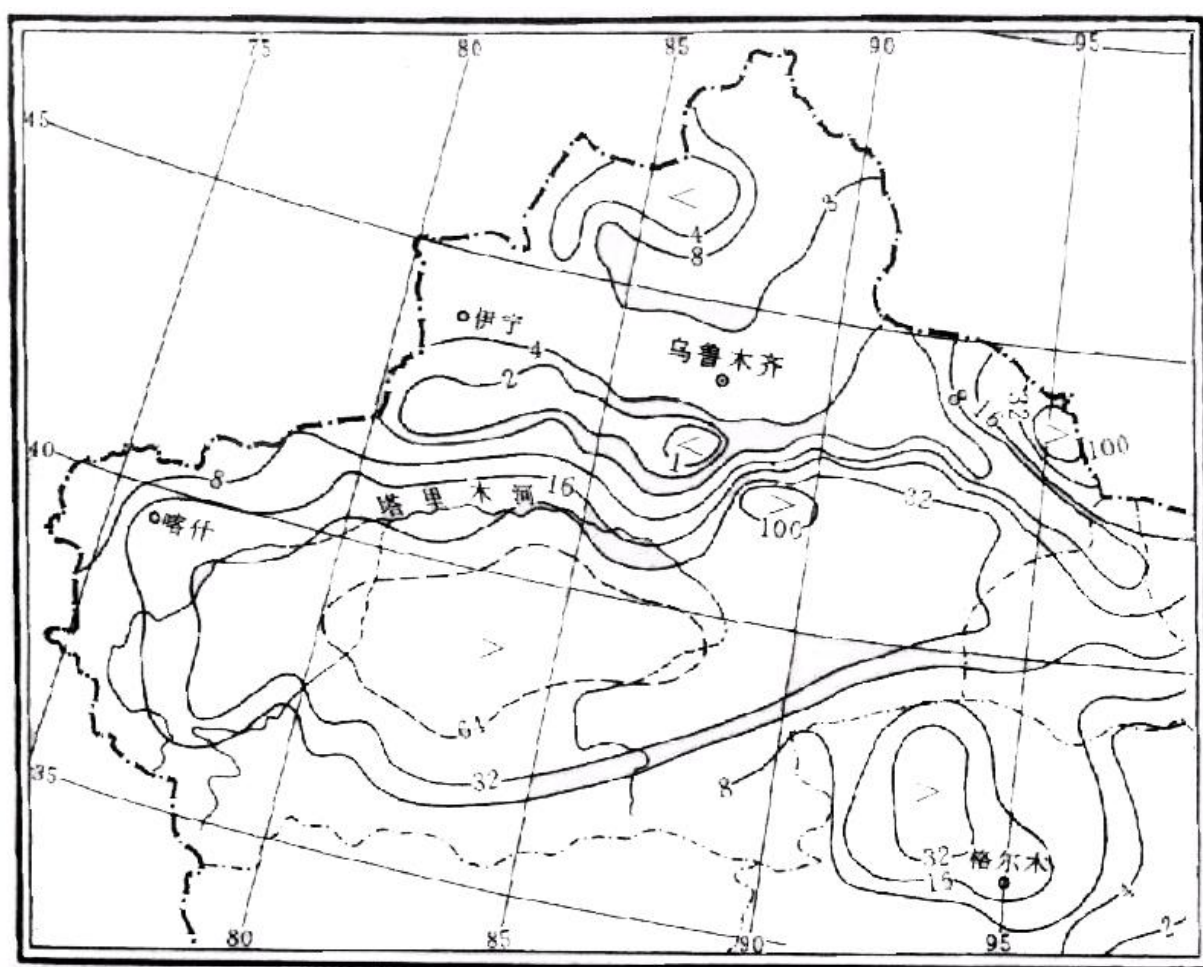


图 2-2 新疆干燥度分布图

Fig. Map of aridity index in Xinjiang

(图件来源: 耿宽宏. 中国沙区的气候. 北京: 科学出版社, 1986)

的沙层为沙漠的形成提供了丰富的沙源。根据物探资料, 塔里木河上游冲积平原沉积厚度为 400-500 m, 冲积层在钻探深度 70 m 内, 主要由细沙、粉沙和亚沙土组成^[198]。无论是古老的河流沉积层, 还是现代的河流冲积物, 或是流动沙丘的沙物质, 其粒级组成均以细沙与极细沙为主。正是由于塔里木盆地堆积有深厚疏松的古代河流沉积沙层, 在干燥气候条件下, 经风力吹扬, 提供了沙漠化扩展的丰富沙物质来源。另外, 新疆许多地区降水相对强度值高, 如若羌达 422%, 塔里木盆地南缘都在 80%至 231%之间。准噶尔盆地南缘也在 20%左右, 这非常有利于山区和平原地区侵蚀地貌的发育和松散沉积物的搬运。

气象部门规定风速 ≥ 17.2 m/s (即 ≥ 8 级) 的风称为大风。北疆西北部、东疆和南疆东部是大风高值区。阿拉山口年大风日达 165 d, 最大风速达 55 m/s。起沙风日数(按 ≥ 6 m/s 计), 塔里木盆地一般在 30 d 以上, 盆地中西部多在 50 d 以上, 南部达 90-110 d; 北疆

和东疆一般在 20 d 以下；准噶尔盆地南缘的精河到乌苏以东、玛纳斯河下游和哈密盆地东部，多在 20 d 以上，最高达 50-60 d。

许多事实已经表明，不适当的人类活动会促进沙漠化的发生和发展。在新疆，历史时期发生于沙漠（特别是边缘）地区的战争、疫病等危害是阶段性沙漠化的得以发展的重要原因。以历史时期沙漠化发展较快的和田地区为例，据史料记载，从公元 2 世纪至 19 世纪，在和田地区发生了 12 次历时较长或规模较大的战争，其中有 6 次战争对和田地区人口锐减、经济及水利设施的破坏、沙漠化的扩展蔓延起了很大的作用。在近现代，随着绿洲人口不断增加，资源环境承受的压力也不断增大。目前新疆不少绿洲（特别是塔里木盆地西南缘的绿洲）的人口密度已达每 km^2 数百人，已与我国部分人口稠密的东部地区相当，远远超过了联合国关于干旱区土地对人口承载每平方千米 7 人的极限。为了承载过量的人口，资源环境往往遭到不适当的、过度的开发利用。由于盲目开垦、过度放牧、过度樵采、水资源无序开发利用等人为不合理的强度社会经济活动，已导致局部区域脆弱的生态平衡被破坏，沙漠化土地不断扩展，风沙危害不断加剧。

新疆的河流绝大部分属内流河，发源于盆地周围高山的较大河流，出山以后流经砾质戈壁、冲积平原，或注入湖泊作为归宿，或散流消失于沙漠之中。长期以来，流域开发与生产布局缺乏整体的统一规划，忽视了上、中、下游水资源利用的合理布局 and 生态保护用水的合理安排，各地在开发中层层拦水、河流改道，以人工渠系代替了原来的河道，以人工水库代替天然湖泊，不断扩大灌溉绿洲，造成上中游大量用水，下游水量剧减，甚至断流，以致湖泊干涸、植被枯死，引起风蚀与流沙的发展。有些地区地下水被大量的开采，也使沙漠边缘地区植被生长衰退，加之长期以来多注意农业用水而忽视林业灌溉用水，不注意维护荒漠生态，使沙漠与灌溉绿洲之间的过渡地带得不到水源保证，造成草灌植被干枯死亡，也是导致流沙再起，风沙活动加剧的原因之一。

盲目开荒，特别是毁林开荒，往往由于水源不足而弃耕，这不但破坏了沙地植被，松动了地表，而且造成林退沙进，促使风沙活动的加剧。这在河流下游地区较为严重，有的地方开荒直达沙漠边缘，在无林带保护下，难免受风沙袭击。

过度放牧和大量采挖荒漠资源植物，严重破坏了荒漠植被。而在干旱环境条件下，植被一旦遭到破坏就难以自然恢复。樵采主要是滥伐胡杨与砍挖梭梭、红柳。目前，新疆广大农村的燃料仍以生物能源为主，除少部分以人工薪炭林和作物秸秆作燃料外，大部分仍靠樵采红柳、梭梭作燃料。由于强度樵采，自然更新很困难。如北疆古尔班通古特沙漠南缘莫索湾附近的植被覆盖度，从上世纪 50 年代的 25%-35%减少到 80 年代的

5%-8%，有的地表甚至完全裸露；南疆塔克拉玛干沙漠南缘绿洲的天然屏障—植被遭到严重破坏，促使沙丘强烈活化，流沙入侵绿洲。采挖荒漠植被，主要是采挖甘草、麻黄、罗布麻等资源植物。这些植物在沙漠地区起着固沙阻沙、抑制风蚀的作用。然而，挖取药材，致使沙子外翻，在风力作用下风沙再起，造成风沙灾害。据测定，每挖 1 kg 甘草要破坏 2-5 m² 的草地。

2.3 新疆沙漠化演化过程

2.3.1 新疆沙漠化演化历史

新疆沙漠化的形成和演化与当地气候的不断干旱化是密切相关的。研究表明，在漫长的地质历史时期，当气候出现略微变湿的波动时，沙漠化过程就趋于停滞或萎缩，而当气候重新转为干旱时，沙漠化过程就又趋于活跃，沙漠化土地扩展，沙漠化程度进一步加深^[193]。

大量的地质及古气候资料证明，新疆沙漠大规模的形成是在第四纪中更新世以后，特别是晚更新世至全新世期间。这是干旱气候、丰富沙源与风力的长期作用所形成的自然沙漠，它们与人类的活动没有关系。但在历史时期（特别是汉唐以来），由于人为因素的直接或间接作用，而使原来形成的沙漠的自然环境进一步退化或恶化，或者使原来的绿洲等非沙漠化土地变成了沙漠。这就是新疆沙漠化的双重含义，它与我国东部地区的沙漠化（干草原或荒漠草原向沙漠的转变）不同。与此同时，在一些局部区域，现代沙漠环境的逆向变化—非沙漠化过程或绿洲化过程也在进行着，在人为干预下，一些轻度沙漠化土地转变为非沙漠化土地，一些强度沙漠化土地也逆转为中度或轻度乃至非沙漠化土地，一些荒漠变成了绿洲，灌溉绿洲的面积在继续扩大。

从地质学的角度研究表明新疆的干旱环境具有很长的历史渊源。虽然与现代干旱环境的动力学机制密切关联的干旱时期（或干旱事件）在学术界认识还不统一（部分学者认为新疆地区性的干旱最早出现在中生代的末期），但第三纪广泛发生的膏盐沉积和卤盐沉积很充分地说明，新疆地带性的干旱应该至少在早第三纪已经形成，只是在大地构造演变过程中格局在不断发生变化，最后山盆格局的形成奠定了现代干旱环境基础。

中新世以后，塔里木盆地腹部沙漠开始形成，统一的中亚内陆干旱型盆地——塔里木盆地就此产生。晚第三纪上新世，塔里木盆地广大面积为沙漠所占据。晚第三纪（距

今约 2500-200 万年) 及第四纪早更新世, 随着喜马拉雅山造山运动, 青藏高原大面积抬升至 3000 m 高度, 昆仑山、天山、阿尔泰山亦发生强烈断块上升, 成为高大山脉。而大面积的台块则相对陷落, 形成了远离大洋的准噶尔盆地(半封闭型)和塔里木盆地(高山环绕, 仅在东部有一数 10 km 宽缺口的封闭型盆地)。晚第三纪末, 因东北行星风系逐步为东亚季风环流所取代, 东部长江流域变得湿润, 而新疆成了东南季风难以到达的地方。再加上高原对南北气流的屏障作用, 特别是第四纪中更新世末期以来, 青藏高原隆起至海拔 4000 m, 使得输送高度达 3500 m 的来自印度洋的西南湿润季风不能进入新疆, 因此气候向着干旱方向发展。可能再早更新世晚期, 准噶尔盆地东北部和塔里木盆地东部出现了第四纪沙漠沉积, 并在以后的历次冰期中逐步扩大。

早更新世, 塔里木盆地的东北部正当强劲风力之要冲, 植物稀少, 东部平原首先起沙, 逐步发展为综合新月形沙丘。这就是塔克拉玛干沙漠第四纪地质时期形成的古老沙丘; 中更新世, 发源于昆仑山北坡的较大古河道都能贯穿沙漠, 流入自西向东流的塔里木河, 最后汇入罗布泊。罗布泊洼地成为第四纪积盐中心。洼地周围保存较老的湖相沉积, 并被风蚀, 形成方山地形; 晚更新世, 塔里木盆地中心的塔克拉玛干沙漠初具规模, 其东北部分和中心部分大都为高达 50 m 的综合新月形沙丘链所覆盖。盆地东部盛行东北风, 而西北部则以西北风为主, 两种风大体交会于克里雅河西部, 对沙漠的形成具有影响。在罗布泊以东, 库姆塔格沙漠移动, 扩展到阿尔金山北坡, 并被后期流水切深至 300 m 处。昆仑山东段, 由沙漠中以悬移方式搬运来的亚沙土, 堆积到高达 3500 m 的高度。

末次冰期后与现代情况一样, 塔里木盆地内均属极端干旱的荒漠气候, 并无显著变湿的现象。从末次冰期以来, 气候持续干旱(其中偏湿期的记录不明显), 风况变化亦不大。

罗布泊地区的库姆塔格沙漠也是中更新世以后开始出现的, 晚更新世以后进一步发展扩大, 形成今日规模的沙漠。其发展过程是, 最初在南部, 然后在北部, 由南向北逐渐向阿奇克谷地扩展。

考古、历史地理资料和胡杨 ^{14}C 测年数据表明, 全新世, 特别是全新世中、晚期以来, 原来庞大、统一的塔里木河水系存在着瓦解的趋势。曾经流入沙漠地区的河流频繁改道, 或由于进入下游的水量减少、尖灭, 使流程缩短, 天然湖泊萎缩、干涸, 导致近代与现代沙漠化土地面积扩大。

准噶尔盆地中部在早更新世, 气候已经变得干燥, 并形成了沙漠。中更新世, 准噶

尔盆地平原上冲积和风积两种作用交替进行。晚更新世的准噶尔盆地，冬季受蒙古高压的影响，以东北风为主，在平原上以南北向排列的纵向沙垄占优势。而在沙漠南缘，偏北风气流受阻于天山，发展为横向类型沙丘。当强气流更折向东时，形成了南北排列的新月形沙丘链。这种沙丘分布格局，可能在晚冰期，由西伯利亚高压带进入盆地的北风，改变了蒙古反气旋形成的沙丘方向。全新世以来，天山北麓河流变化的趋势也是流程缩短，平原地区河流改道频繁，湖泊面积也趋于缩小，而沙漠面积则相应扩大。玛纳斯湖盆干涸的湖岸出现沙丘堆积。小拐附近，在风化较强的古老沙丘上，覆盖着由北部洪积物带来的红色粗沙。全新世大西洋期，雨量略多，大部分沙丘上盛长灌丛和草本植物，并逐渐趋向固定。

自全新世早期以来，天山北麓东段沙漠不断向南扩展，并迫近潜水溢出带。至全新世中期的后期，满营湖、旱台子以北亦沙漠化。新沙丘出现在老沙漠南侧，早期的泥炭沼泽区部分被沙丘覆盖，全新世晚期沙漠继续南扩。

近两千多年来，新疆准噶尔盆地沙漠环境基本稳定。但在东南缘及西南缘存在着固定、半固定沙丘向流动沙丘转化的沙丘活化现象。从整体来看，准噶尔盆地南缘的许多地段，历史时期是“苇湖连天际，淤泥深丈许”，并且有着茂密的红柳、梭梭和胡杨，沙丘仍以固定、半固定为主。至上世纪 50 年代末，这类沙丘仍占古尔班通古特沙漠面积的 97%^[103]。塔克拉玛干沙漠，在沿着沙漠河流下游干三角洲分布的一些古代绿洲，主要由于水系变迁、战争等原因沦为沙漠化土地。在塔克拉玛干沙漠南北缘亦存在着“就地（近）起沙”和沙丘移动（含风沙流运动）而形成的沙漠化土地。河流中上游及洪积、冲积平原虽然也有风沙化了的古城废墟分布，但在其附近又出现了新的绿洲和城镇。据朱震达等的估算，历史时期塔克拉玛干沙漠地区形成的沙漠化土地面积约为 2.83 万 km²，其中至上世纪 80 年代以前的近百年间形成的沙漠化土地占 30.3%^[155]。总体来看，历史时期无论是北疆还是南疆，大多数灌溉绿洲的腹心区没有多大位移，均处于相对稳定状态。

2.3.2 新疆沙漠化发展趋势

全球变化是沙漠形成与演变的主要动力，人类活动自人类的农业文明以来也在或多或少，或直接或间接地影响着沙漠化的进程。新疆的沙漠不仅由于深居欧亚大陆腹地远离海洋，受青藏高原的直接影响，而且受山盆地貌格局的严格控制，即在亚洲中部具有典型性，又在全球具有特殊性。沙漠的演变不但与全球变化密切相关，而且表现为不同

的发展模式。同时，沙漠在全球变化和人为扰动双重作用的驱动下，不仅地理环境特征（活动性、规模以及生物、景观和生态等特征）发生显著变化，而且可能产生空间位置的变动。

分析新疆历史时期沙漠的演变与现代沙漠环境的变化，并考虑到目前新疆许多沙漠化危害严重地区（例如塔里木盆地南缘）的沙漠化问题还远未得到根本控制和解决的客观事实，可以预料，新疆沙漠化发展趋势是^[193]：沙漠化和风沙灾害仍将持续发生，但在部分地区，随着沙漠化土地的综合整治与沙害防治工程的逐步实现，沙漠化和风沙灾害会有所减轻，以至基本得到控制；某些局部地区则随着人类社会经济活动的发展，风沙灾害有所增强，但只要在开发过程中注意保护生态环境，并采取有效的防治措施，风沙灾害可以降到最低限度；未受人类活动影响的地区，则将主要在气候的影响下继续其原有自然状态下的沙漠化演化过程。

全球变暖是近一个多世纪全球气候变化的最主要特征，我国西北地区也不例外。上世纪 80 年代以来，气温上升的势头更加强烈，1987-2000 年我国西北地区气温较 1961-1986 年平均升高了 0.7°C ，90 年代使近 1000 年最暖的时期，与 60、70、和 80 年代相比，分别偏高了 0.8°C 、 0.7°C 和 0.5°C 。伴随气温加速上升的同时，1987 年我国西北西中部气候出现了向暖湿转型的突变，降水量和冰川融水量普遍增加，而且增加势头强劲。1987-2000 年降水平均值与 1961-1986 年相比较，新疆的北疆增加了 22%，南疆增加了 33%，天山增加了 12%。同期，冰川融水增加，以天山乌鲁木齐河 1 号冰川为例，1985-2001 年平均年融水量较 1958-1985 年增加 84.2%。在降水增加区，相应的水文与生态环境也发生了明显改变。新疆大多数河流从 1987 年开始，径流量呈增加趋势，增幅（1997-2000 年与 1956-1986 年相比较）均超过 5%，大部分地区增幅在 20% 以上，最大达 40%。博斯腾湖、艾比湖、艾丁湖等受降水显著增加影响的内陆湖泊，1987 年以来湖水为持续快速上升，其中博斯腾湖水位 1987-2000 年间上升了近 4.5 m，超过 50 年代最高水位。宽浅的艾比湖面积到 2002 年已由 1987 年的 499 km^2 扩大到 1064 km^2 ，恢复到了 1957 年的水平。随着暴雨增加和气温升高，洪水灾害也频繁发生，1987、1996、1999 和 2002 年新疆均发生了有记录以来最严重的洪水灾害。新疆 1987-2000 年出山口年水资源量比 1956-1986 年增加 7%，约为 $62.1 \times 10^8\text{ m}^3\text{ a}^{-1}$ 。降水显著增加地区，尤其是新疆西部和北部地区，植被指数也明显增加。结合大风日数的减少，新疆沙尘暴发生日数亦急剧减少。尽管如此，研究者认为，我国西北气候的变湿程度是有限度的，不能奢

望西北干旱气候会转变为湿润气候,这是由西北深处内陆和地形相对封闭的条件所决定的。一定量的降水增加,可有利植物覆盖度增加与沙尘暴减少,以至小部分干旱区甚至可能转变为半干旱区,但是不太可能根本改变干旱区的景观^[199],沙漠化问题仍将长期存在。

第三章 新疆沙漠化防治区划研究

3.1 已有的相关工作简介

沙漠化防治是指通过人工措施消除或削弱沙漠化产生的自然或人为因素，重建适于人类或其他生物生存的生态环境。沙漠化防治区划（或防沙治沙区划）则是根据沙漠化发生的自然条件、驱动因素和沙漠化严重程度、分布特点等的区域分异，从预防沙漠化发生、治理现有沙漠化土地和开发利用沙漠化土地的角度出发，对沙漠化发生区域进行划分，以便因地制宜地采取沙漠化防治措施，进而针对所划分的不同区域提出不同的沙漠化防治对策^[92]。

截止目前，专门针对新疆的沙漠化防治区划虽尚未见到，但国内也已经出现过一定数量与此相关的成果。主要有以下几方面。

《中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划》（1981）^[48]依据自然地带、沙漠化程度将我国北方地区的沙漠化土地划分为 3 个大区和 26 个区。3 个大区是：半湿润地带沙漠化土地零星分布区、半干旱草原地带及荒漠草原地带沙漠化发展区、干旱荒漠地带流沙入侵及固定半固定沙丘活化区。新疆境内划分出了准噶尔盆地南部沙漠化正在发展区、塔里木河中下游沙漠化强烈发展区、塔里木盆地南部严重沙漠化区，在大区上均属于“干旱荒漠地带流沙入侵及固定半固定沙丘活化区”。此外，吉木乃等地被单独列入“沙漠化土地零星分布的一些县”。需要特别指出的是，该书的沙漠化仅指发生在人类历史时期的、主要因人为原因而导致的沙漠化，并不涉及地质历史时期即已形成的诸如塔克拉玛干沙漠东部高大沙山区等沙漠区域。

《新疆沙漠化与风沙灾害治理》（1991）^[93]列出了新疆风沙灾害比较严重的 18 个地区（地段），如古尔班通古特沙漠南缘东段木垒至奇台沙漠边缘绿洲、古尔班通古特沙漠南缘中部东道海子芒硝厂区等。

《中国沙漠与沙漠化》（2002）^[107]根据自然地带的原则、沙漠化发展程度的原则以及自然条件、大农业自然资源、利用开发方向一致性原则，参照《中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划》，将中国沙漠化土地治理划分为 5 个大区、31 个小区，新疆分出了 3 个小区：准噶尔盆地南部中度沙漠化土地治理区、塔里木河中下游重度沙漠化土地

治理区、塔里木盆地南部严重沙漠化土地治理区，均归入“干旱荒漠地带沙丘活化及流沙入侵沙漠化土地治理区”（大区）。

《全国防沙治沙规划（2005-2010 年）》依据地形地貌、水文、气候、沙化土地现状、目前存在的问题、治理方向的相似性以及地域上相对集中连片，将全国划分为 5 大类型区和 15 个亚区：

表 3-1 全国防沙治沙治理区

Tab.3-1 Treatment districts of sandy desertification control in China

类型区 Districts	亚区 Sub-districts
干旱沙漠边缘及绿洲类型区	塔克拉玛干沙漠周边及绿洲区、古尔班通古特沙漠及周边保护治理区、河西走廊及阿拉善高原沙漠周边及绿洲区
半干旱沙地类型区	京津及周边沙化土地治理区、科尔沁沙地治理区、毛乌素沙地治理区、呼伦贝尔沙地治理区
高原高寒沙化土地类型区	柴达木沙漠周边及绿洲区、共和盆地及江河源区沙化土地治理区、西藏河谷沙化土地治理区
黄淮海平原半湿润、湿润沙地类型区	黄淮平原沙化土地治理区、华北平原沙化土地治理区
南方湿润沙地类型区	沿海沙化土地治理区、长江中下游-珠江流域沿河沿湖沙化土地治理区、西南峡谷沙化土地治理区

在上述的划分中，新疆的沙漠化土地全部位于五大类型区之干旱沙漠边缘及绿洲类型区，其中，将新疆按照干燥系数指标划分为塔克拉玛干沙漠周边及绿洲区和古尔班通古特沙漠及周边保护治理区两个亚区。这种划分主要是从方便应用的角度对全国沙化土地采取的一个比较粗略的划分，与新疆的实际情况多少有些出入。例如，新疆实际上也是存在高原高寒沙化土地类型的，位于羌塘高原库木库里盆地内的沙漠，如果仍归类于“干旱沙漠边缘及绿洲类型区”之下，就显然不是太合适。

《准噶尔盆地南缘和艾比湖流域防沙治沙规划》（2005）对准噶尔盆地南缘和艾比湖流域 2020 年前的防沙治沙工作从封沙育林、飞播造林种草、人工造林、保护区建设、产业发展、重点公益林保护等诸多方面进行了规划安排，划分了人工造林区、封育区、飞播区、封禁保护区、退耕还林区等。

《新疆维吾尔自治区防沙治沙规划》（2006）依据新疆沙区地形地貌、水文、气候、沙漠化土地现状、存在的问题、治理方向的相似性以及地域上相对集中连片等因素，将全疆划分为三大沙漠化治理区域，即北疆的古尔班通古特沙漠及周边绿洲治理区、南疆的塔克拉玛干沙漠周边及绿洲治理区和东疆的库姆塔格沙漠周边及绿洲治理区，并进一步划分为 10 个治理亚区和 19 个治理小区，见表 3-2。

《新疆维吾尔自治区重点地区防沙治沙工程建设规划》（2007）依据沙化土地在现实情况下的可治理性以及各个区域治理措施的差异性和对区域生态功能定位等，将全疆防

沙治沙重点地区工程区划分为两大治理区、九个治理小区，见表 3-3。

表 3-2 新疆防沙治沙治理区

Tab.3-2 Treatment districts of sandy desertification control in Xinjiang

治理区 Zones	治理亚区 Sub-zones	治理小区 Districts
古尔班通古特沙漠及周边绿洲治理区	准噶尔盆地北部沙漠化土地及周边荒漠绿洲	吉哈布治理小区
	治理亚区	额尔齐斯河与乌伦古河流域治理小区
	准噶尔盆地南缘和艾比湖流域沙漠化土地及	艾比湖流域治理小区
	周边绿洲治理亚区	准噶尔盆地南缘治理小区
	准噶尔盆地西缘及塔额盆地沙漠化土地及周	塔额盆地治理小区
	边绿洲治理亚区	准噶尔盆地西缘治理小区
塔克拉玛干沙漠周边及绿洲治理小区	伊犁谷地治理亚区	莫乎尔沙漠及周边绿洲治理小区
	塔里木盆地北部沙漠化土地及周边绿洲治理	塔里木河中下游流域治理小区
	亚区	阿克别勒库姆沙漠及周边绿洲治理小区
	塔里木盆地西部和喀什三角洲沙漠化土地及	开都河上游沙化草场治理小区
	周边绿洲治理亚区	托克拉克沙漠和布古里沙漠及周边绿洲治理小区
	塔里木盆地南部沙漠化土地及周边绿洲治理	叶尔羌河流域治理小区
库姆塔格沙漠周边及绿洲治理小区	亚区	和田地区沙化土地及周边绿洲治理小区
	塔里木盆地东南部沙漠化土地及周边绿洲治	和田河流域治理小区
	理亚区	车尔臣河流域治理小区
	鄯善库姆塔格沙漠及边缘绿洲治理亚区	库姆塔格沙漠及周边绿洲治理小区
	淖毛湖及噶顺戈壁治理亚区	鄯善库姆塔格沙漠及周边绿洲治理小区
		淖毛湖戈壁治理小区
		噶顺戈壁治理小区

表 3-3 新疆防沙治沙重点治理区

Tab.3-3 Key treatment districts of sandy desertification control in Xinjiang

治理区 Districts	治理小区 Sub-districts
准噶尔盆地周边治理区	准噶尔盆地南缘治理小区
	艾比湖盆地治理小区
	乌伦古河流域及吉哈布沙漠周边治理小区
塔里木盆地周边治理区	托克拉克沙漠及布古里沙漠周边治理小区
	叶尔羌河流域治理小区
	和田地区绿洲外围治理小区
	塔里木盆地北缘治理小区
	车尔臣河流域治理小区
	重要风区治理小区（托克逊县、哈密市）

除上述工作以外，其它一些种类的区划、规划或国内其它一些地区的沙漠化区划、规划也可作为新疆的沙漠化防治区划工作提供有益的借鉴。

《塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究》（1981）^[150]依据沙丘下伏地貌的成因类型以及沙丘形态给出了一个塔克拉玛干沙漠风沙地貌区划，划分了 9 个区和 21 个亚区。该区划可

为塔克拉玛干沙漠及周边地区的沙漠化区划提供借鉴。

《新疆生态功能区划》(2005)^[200]根据湿润指数、年大风天数、土壤质地、植被覆盖等指标对全疆的土地沙漠化敏感性进行了评价,见表 3-4。

表 3-4 土地沙漠化敏感性格局

Tab.3-4 Sensitivity of sandy desertification in different regions

敏感性分区 Regions	主要分布地区 Distribution
极敏感区	塔克拉玛干沙漠, 古尔班通古特沙漠, 库木库里沙漠, 库姆塔格沙漠等
高度敏感区	艾比湖周围半固定沙地, 库鲁克沙漠, 昆仑-阿尔金山北麓, 吐鲁番盆地, 哈密盆地, 罗布泊洼地, 孔雀河下游, 塔里木河下游, 精河-博尔塔拉谷地等
中度敏感区	古尔班通古特沙漠南缘, 乌伦古河-额尔齐斯河两河间平原, 乌苏沙漠等
轻度敏感区	天山南麓半固定、半流动沙漠, 天山北麓山前冲积平原等
不敏感区	阿尔泰山南坡, 天山山地, 昆仑-阿尔金山, 伊犁谷地, 塔城盆地, 乌什谷地, 拜城盆地等

《新疆综合自然区划概要》(1987)^[201]以天山山脊分水岭为界, 将全疆分为北疆中温带干旱大区和南疆暖温带干旱大区这两个大区, 并进一步按大地貌单元划分出阿尔泰山地和准噶尔西部山地、准噶尔盆地、天山北坡山区、天山南坡山区、塔里木盆地、昆仑山区共 6 个二级区, 按中地形和水分条件划分出阿尔泰山区西段、托里低山丘陵等共 37 个三级区。该区划方案可为新疆的沙漠化区划提供有益的借鉴。

此外, 还有前文曾述及的青海共和盆地沙漠化防治区划等国内其他一些区域的相关区划成果。

无疑, 所有上述这些工作对于更好地开展新疆的沙漠化防治区划工作都是有着积极的指导和借鉴意义的。

3.2 新疆沙漠化防治区划的目标、原则及方法

3.2.1 区划目标

针对新疆沙漠化成因的复杂性、类型的多样性、分布的广泛性、危害的严重性和防治的紧迫性, 在科学分析沙漠化成因和时空分布的基础上, 依据不同的风力风向状况、风沙危害情形、水土条件、地形地貌特征以及社会经济行为等, 构建新疆沙漠化区划指标体系, 提出新疆沙漠化区划方案, 进一步揭示新疆沙漠化的区域差异性, 同时结合沙漠化防治技术集成, 提出适宜于不同区域的沙漠化防治模式, 为新疆的防沙治沙工作提供有益的科学支持。

3.2.2 区划原则

地理单元完整性原则: 同一地理单元在沙漠化发生发展条件及沙漠化防治措施上通

常具有较高的相似性,尽可能保持地理单元的相对完整有助于在同一地理单元范围内统一协调防治措施,从而保障防治措施的有效实施。

区域共轭原则:沙漠化防治区划作为区域区划而非类型区划,地域的共同性(不可分割性)及明显的个体性和空间的不重复性,是其最主要的、必备的标志^[202]。

成因一致性原则:各所划区划单位内沙漠化的成因应当具有相对的一致性,这是保证区划科学性的重要标志。

防治策略一致性原则:同一区划单位内,沙漠化防治策略应当具有相对的一致性。这是区划合理性和实用性的基本保证。

综合因素原则:与沙漠化相关的因素很多,为对区域差异做出全面、正确的诊断,应当尽可能全面分析各种相关因素,以避免以偏概全或遗漏重要信息。

主导因素原则:这是必须与综合因素原则相结合的一项重要原则。分析相关问题时,尽可能找出主要矛盾,这是找出解决问题办法的重要途径。辨明沙漠化主导因素,将便于在解决划区问题时能够区分出主次,并制定出有针对性的和更为有效的防治策略。

兼顾实践应用原则:本区划旨在归纳和总结出全疆的沙漠化格局,为有关人员全面、准确认识新疆不同区域的沙漠化过程、沙漠化现状以及沙漠化治理方向提供参考。正因为沙漠化防治是一项实践性很强的工作,因此沙漠化区划成果应尽可能便于实践应用。

可持续发展原则:区划应考虑到社会经济及生态建设的可持续发展问题,提出的分区及防治措施应当因地制宜,切合实际,对社会经济发展和生态环境建设起到促进作用而不是相反。

3.2.3 区划方法

采用定性分析与图件迭置相结合的方法。即:先根据专业知识人工初拟区划方案和界线;再将生成的各种参评指标专题图件通过 GIS 软件叠置在一起,计算沙漠化综合评价指标并对评价结果进行分级;最后,将人工初拟区划方案与沙漠化综合评级结果进行对比分析,根据综合评级指数及主导因子和其它辅助指标的差异,调整和划定各沙漠化防治分区及其界线。

3.3 新疆沙漠化防治区划的指标体系

新疆沙漠化防治区划采用三级区划系统。

其中一级区的区划,依据《全国防沙治沙规划》,为了与全国的防沙治沙治理区划

相衔接，在此，将其位于新疆的两个亚区作为本区划的一级分区，仅对分区名称进行必要的调整。在此基础上再进行二级和三级区的划分。

鉴于新疆幅员广阔，各地貌区域自然地理环境及沙漠化发生发展条件差异显著，同时，考虑到地理单元的完整性，二级区划主要依据大地貌单元进行划分，共划分出 7 个二级区。

这样，本区划指标体系的确定实际上就主要表现在三级区划上。

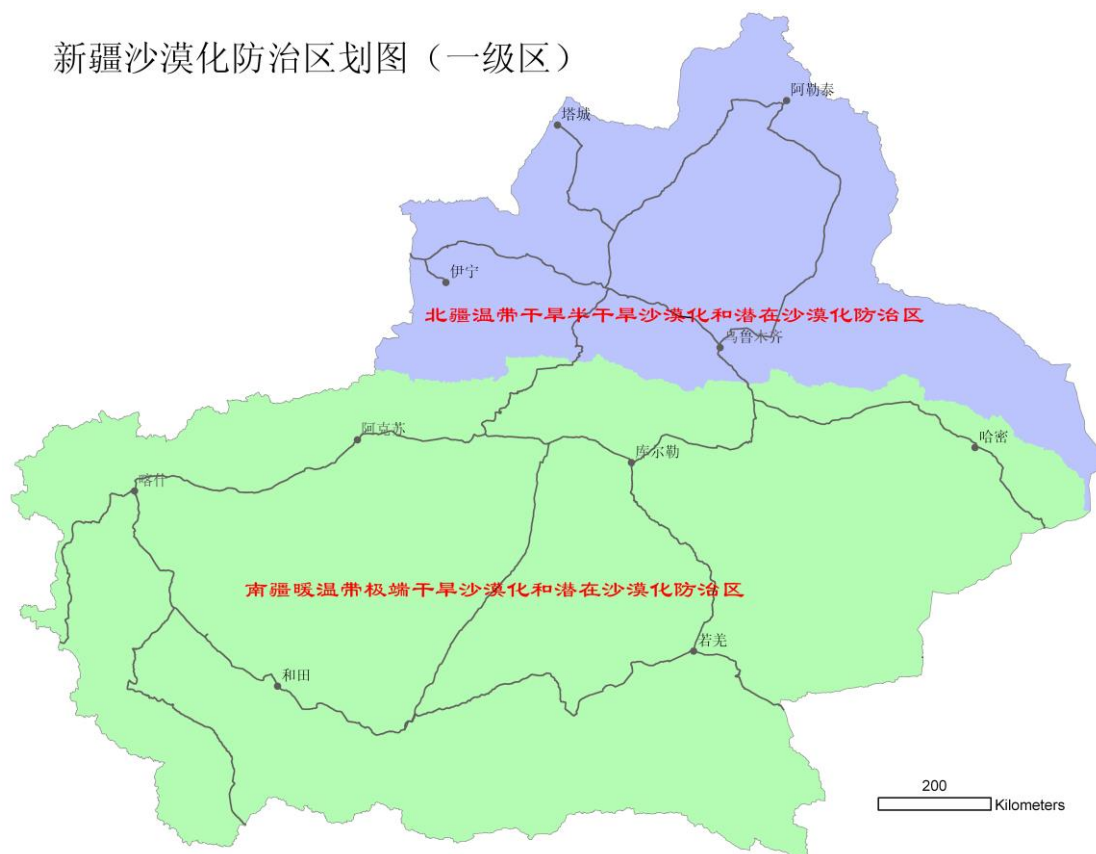


图 3-1 新疆沙漠化防治区划图（一级区）

Fig.3-1 Map of sandy desertification preventing and controlling regionalization of Xinjiang (first level)



Fig.3-2 Map of sandy desertification preventing and controlling regionalization of Xinjiang (second level)

3.3.1 三级区划指标厘定

根据区划的目的，三级区划应是在二级区划的基础上，根据中小自然地理单元、沙漠化成因或过程、风沙活动特征及危害状况、地表覆盖或沙漠植被状况、沙漠化防治难易程度、沙漠化防治对策一致性等多种因子中某一项或多项因子的差异进行划定。

沙漠化防治区划工作的重点是要考察各区域在沙漠化防治策略或防治措施上的差异，以便更有针对性也更加有效地指导各区域的沙漠化防治工作。区域沙漠化防治策略或防治措施上的差异是由各区域在沙漠化发生条件、发展现状和未来趋势等多方面（统称沙漠化表征因子）的差异所决定的，一般说来，各区域在这些沙漠化表征因子状况或因子组合状况不同，则相应的沙漠化防治策略或防治措施也会有明显的不同。因此，这些沙漠化表征因子就自然成为首选的区划指标。

沙漠化表征因子并不一定与沙漠化有直接的因果联系，而可以仅有间接的关联。一项因子是否适宜用作区划指标，主要在于其对沙漠化分异状况是否有较强的指征能力。

沙漠化是多种因素共同作用的产物，其发生条件是存在明显的区域差异性的，有些区域显然就比另一些区域更易于发生沙漠化，防治难度也相应会增大，因此沙漠化发生条件是沙漠化防治区划的重要依据。但由于沙漠化发生条件中的人为因素受沙漠化防治政策等影响而相对易变，造成其指征能力降低，因此自然因素就成为应当着重考虑的方面。

受多种自然及人为因素的制约，全疆各地沙漠化发展的现状也是有着巨大差异的，各地沙漠化的严重程度以及受沙漠化危害或潜在威胁的程度都是有着明显差异的，即使沙漠化发生的自然条件基本相同，但由于人为因素的不同，也可能使沙漠化现状出现明显差异，这种差异就为区划提供了良好的指征。

受气候变化、人为活动等因素的影响，全疆各地沙漠化的未来趋势显然也是有着巨大差异的，不过，由于沙漠化的发生条件和发展现状往往也决定着沙漠化的未来趋势，在人类活动越来越注重保护自然和加大沙漠化防治力度的一般情形下，沙漠化的未来趋势通常可由沙漠化发生条件和发展现状间接推知，且未来趋势所表征的区域差异与前二者所表征的区域差异有着较好的相关性或一致性，因此通常可以不再单独考虑（当然，这并不是绝对的，在某些特殊情况下则可能尚需适当加以特别考虑，例如当考虑到湖泊趋于消失等自然因素的改变或人工恢复植被、修建道路、开采油气、居民点废弃等人为因素作用的加强或减弱等情况时）。

从某种角度说，区划实质上也是一种评价，是对区域差异显著程度做出的一种评价。沙漠化防治区划，实际上是对各区域在关于沙漠化防治方面的综合评价（以下简称沙漠化综合评价），其评价结果应当反映各区域发生沙漠化的危险性大小或者沙漠化现实危害程度的差异，以及由此而决定的沙漠化防治措施或防治策略的差异。

理论上，所有能够反映沙漠化在发生条件、发展现状以及防治策略方面区域差异的表征因子都可作为区划指标选择时的参考。但是有些因子对这种“差异”的反映是间接的，或需要与其它因子协同考虑才能正确表达“差异”；而另一些因子则是“差异”的直接反映，与“差异”有着很明确的正相关或负相关关系。为便于操作和简化评价模型，一般说来应当优先选择后一类因子参与评价工作。经过分析和对比筛选^[50-85-92, 203-220]，并考虑到可操作性和资料可获取性，本文选定以下这些因子作为三级区划的指标：

（1）沙尘天气指数

通常，沙漠化的具体危害主要表现在沙尘天气增多增强和地表物质组成沙化（就地起沙或遭受沙埋）这两大方面，危害最重的区域也就是沙漠化防治的重点区域。沙尘天

气状况作为沙漠化危害程度和沙漠化现状的最直观反映之一，资料相对易于取得，并且由于沙尘天气的增多增强与地表物质组成的沙化在地域分布上通常也有着很好的相关性，因此，我们可以尝试以沙尘天气状况来作为沙漠化危害程度的表征。年沙尘暴日数和年扬沙日数是反映沙尘天气状况的两个最主要的指标，据统计，新疆扬沙平均风速为 5.5-7.0 m/s，沙尘暴的风速约 12-14 m/s，分别接近起沙风速和风沙流显著的风速，因此，有学者认为^[207]，以各地扬沙和沙尘暴的合计日数代表风沙活动的强度是可行的，而且比较直观。但是沙尘暴和扬沙的危害显然并不是同等级别的，简单相加可能会导致实际受危害程度差别较大的两个区域因具有基本相同的合计日数而无法区分。有研究结果显示，当风速显著超过起沙风速后，气流搬运的沙量会急剧增加，在沙源丰富、地面干燥、平坦、无结构、无植被时，输沙量应正比于风速的三次方^[208]。当然，实际上输沙量并不只与风速相关，还与地表物质组成、植被、水分等因素有关，因此即使风速相同，各地的实际输沙量也会有很大差异。尽管如此，为简化问题起见，本文根据“输沙量正比于风速的三次方”和“新疆沙尘暴平均风速约为扬沙平均风速 2 倍”，从而“相同时间内新疆沙尘暴输沙量约为扬沙输沙量的 8 倍”这一情况，将沙尘暴日数乘以 8 后再与扬沙日数相加，得到一个虚拟的“综合沙尘天气日数”（单位仍以天数表示），再对其加以分级评价后，得到“沙尘天气指数”，以此来表征沙漠化危害程度。

表 3-5 沙尘天气指数

Tab.3-5 Sand-dust weather index

综合沙尘天气日数(d)	沙漠化危害程度	沙尘天气指数
Compositive days of sand-dust weather (d)	Grades of harm	Sand-dust weather index
0-40	无或轻微	1
40-60	轻度	2
60-180	中度	3
180-240	重度	4
>240	极重度	5

（综合沙尘天气日数分级阈值系据各地沙漠化现实危害程度并结合数据自然断点综合分析后确定。自然断点分级法是用统计公式来确定属性值的自然聚类 and 分组，公式的功能是减少同一级中的差异、增加级间的差异，适合于非均匀分布的属性值分级。）

沙尘天气指数值越大，表示发生沙漠化的可能性越高或沙漠化的现实危害越大（注：以下各参评指数的含义亦均如此）。

由图 3-5 可以看到，南疆地区的沙尘天气指数普遍较高，指数一般都在 3 以上；天山及其以北地区则指数普遍较低，除古尔班通古特沙漠一带指数可达 2 以外，其余地区均为 1。

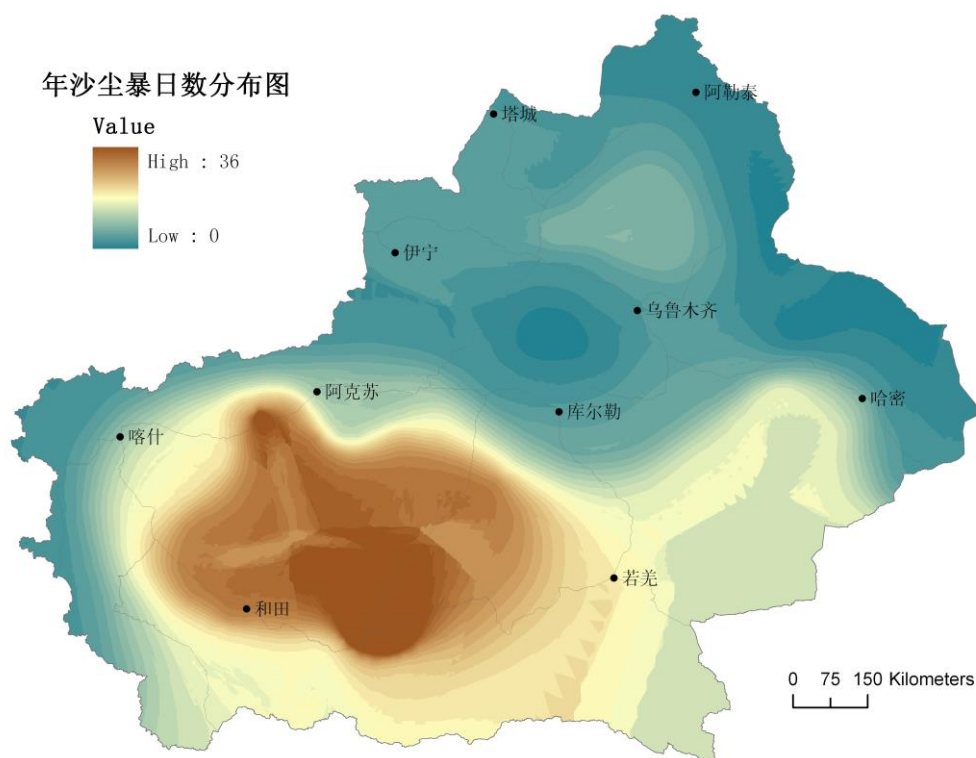


图 3-3 多年平均沙尘暴日数分布图

Fig.3-3 Map of annual mean sandstorm days

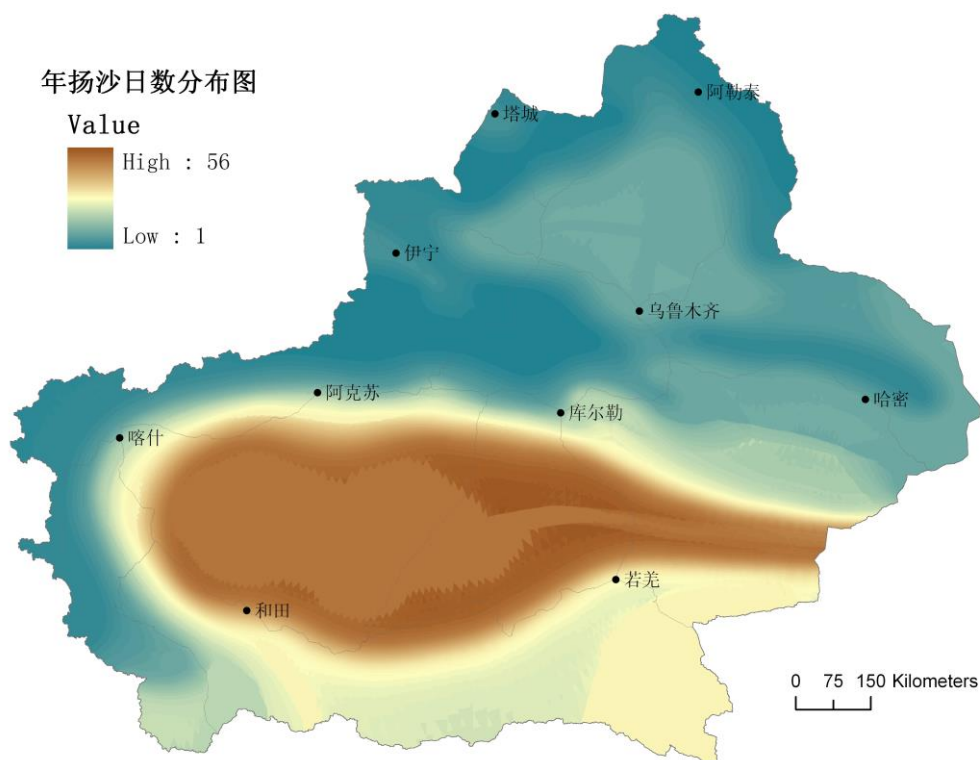


图 3-4 多年平均扬沙日数分布图

Fig.3-4 Map of annual mean sand-blowing weather days

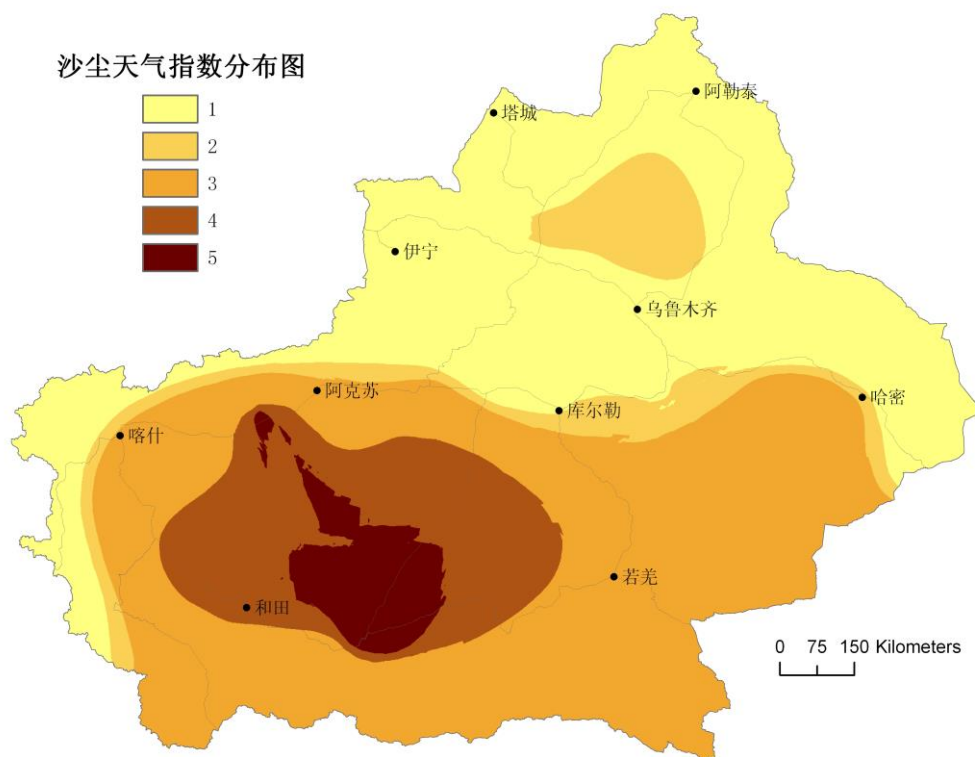


图 3-5 沙尘天气指数分布图

Fig.3-5 Map of sand-dust weather index

(2) 土地覆被指数

土地覆被类型对沙漠化的发生发展有着直接影响。

不同的土地覆被发生沙漠化的可能性有着天壤之别。例如，在自然条件下，新疆山地针叶林地发生沙漠化的可能性可以认为不存在，而罗布泊以东库姆塔格沙漠周边地区发生沙漠化的较大可能性则几乎是显而易见的。

地貌条件也对沙漠化过程起重要作用。平原（含高原）、谷地、盆地通常较丘陵（非风成地貌）、山地易受沙漠化威胁。

本区划根据不同土地覆被类型与沙漠化的关系，分别赋予不同的数值，以此作为土地覆被指数，来反映土地覆被类型对沙漠化的贡献大小，贡献越大，则指数值越大。具体操作时，是分别制作以沙漠化为主要考虑对象、不直接反映地貌特征的土地覆被指数图，和反映山地、平原、沙漠地貌条件的土地覆被指数图，然后将二者叠加，生成综合的土地覆被指数图。（由于基础资料来源不同，对叠加后产生的一些界线冲突问题做了必要的归并处理。）

表 3-6 土地覆被指数 (1)

Tab.3-6 Land cover index (1)

土地覆被类型及代码	沙漠化威胁或危害程度评价		土地覆被指数
Types and codes of land cover	Evaluation of sandy desertification		Land cover index
1 草原、草甸、沼泽	低	抗风蚀和自然修复能力强, 不易就地起沙	1
2 荒漠草原	较高	抗流沙入侵和自然修复能力较差, 可能就地起沙	3
3 森林、灌丛	低	抗风蚀和自然修复能力强, 通常不易就地起沙	1
4 土质草原化荒漠、土质(或土砾质)荒漠	较高	抗流沙入侵和自然修复能力差, 并可能就地起沙	3
5 沙砾质草原化荒漠、砾沙质荒漠	较高	抗流沙入侵和自然修复能力差, 并可能就地起沙	3
6 沙质荒漠、固定半固定沙地	高	抗风蚀和自然修复能力差, 沙地易复活	4
7 砾石质草原化荒漠、砾石质荒漠	较低	抗风蚀能力强, 不会就地起沙, 但可能遭流沙侵埋	2
8 盐土荒漠	较低	抗风蚀能力强, 不易就地起沙, 但可能遭流沙侵埋	2
9 高原高寒草原化荒漠、高原高寒荒漠	较低	沙源较缺乏, 但植被盖度低, 仍有沙化危险	2
10 流动沙地	极高	抗风蚀和自然修复能力极差, 流沙对周边威胁很大	5
11 砾质戈壁地	较低	抗风蚀能力强, 但无植被修复能力, 可能遭流沙入侵	2
12 龟裂地	较低	抗风蚀能力强, 但无植被修复能力, 可能遭流沙入侵	2
13 裸盐碱地、盐壳	较低	抗风蚀能力强, 但无植被修复能力, 可能遭流沙入侵	2
14 风蚀雅丹	较低	风蚀强劲, 不易积沙, 但在丘间地及背风处仍可能出现小规模或不稳定的积沙	2
15 裸岩石山	低	因地表物质组成及坡度, 不易就地起沙和被流沙掩埋	1
16 水体	低	不易沙化	1
17 冰川及永久积雪	低	因其特殊的地表物质组成, 几无沙化风险	1
18 农田、居民区	较低	在防护林网不完善时, 有就地起沙或流沙入侵风险	2

表 3-7 土地覆被指数 (2)

Tab.3-7 Land cover index (2)

地貌类型及代码	沙漠化风险评级	土地覆被指数
Types and codes of landform	Risk grades of sandy desertification	Land cover index
1 山地	低	1
2 平原	中等	2
3 沙漠	高	3

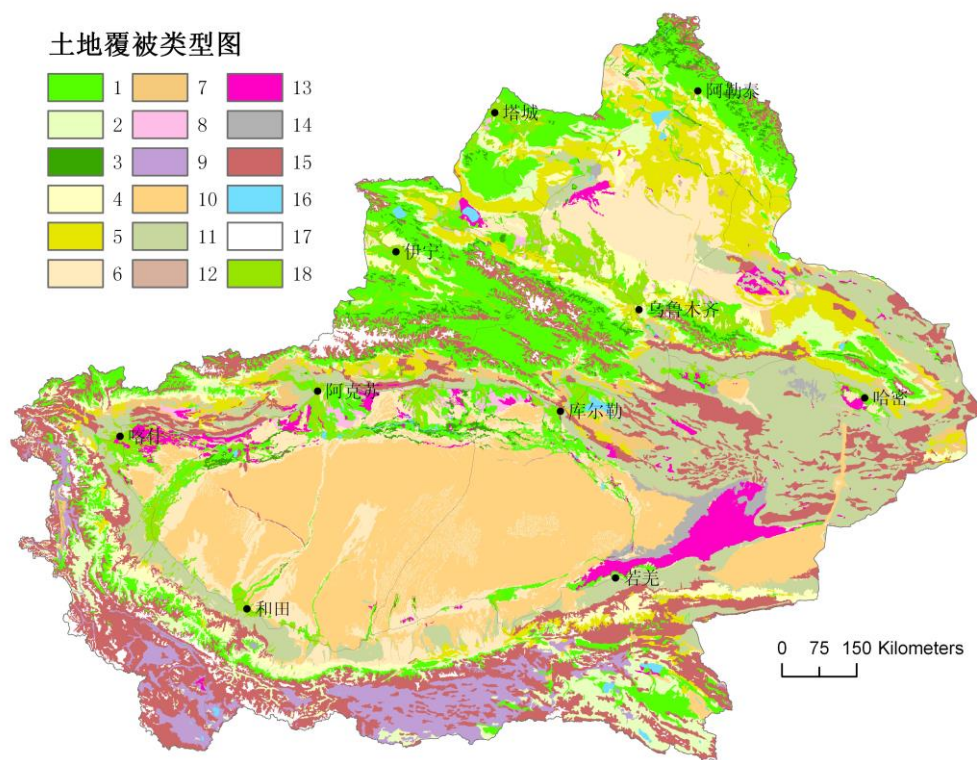


图 3-6 土地覆被类型图

Fig.3-6 Map of land cover

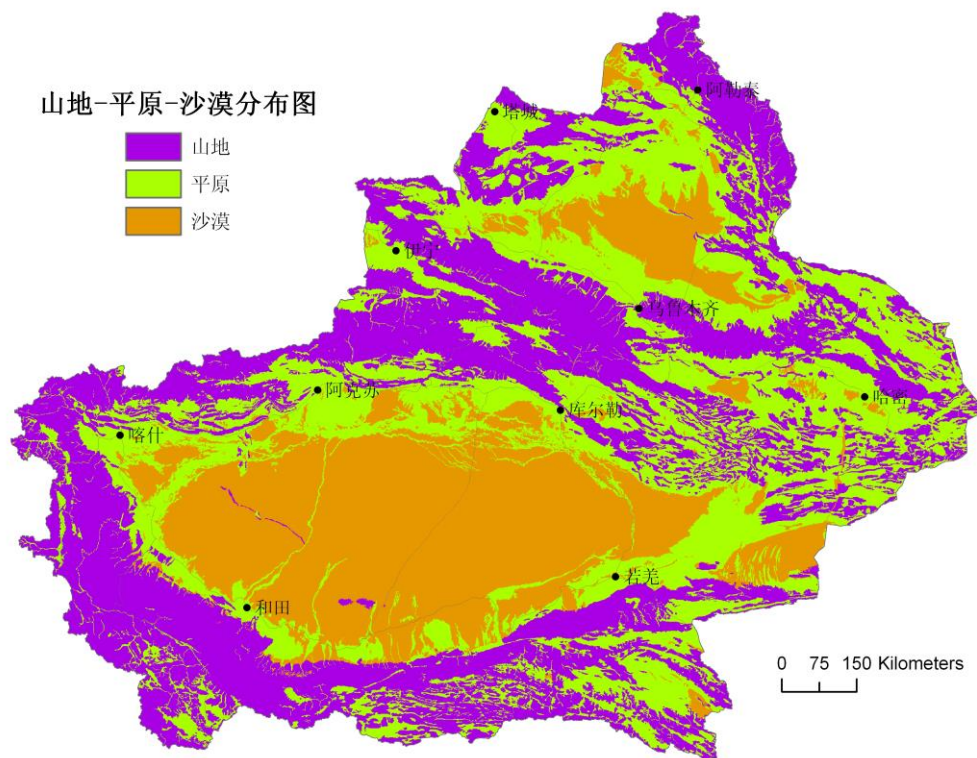


图 3-7 山地-平原-沙漠分布图

Fig.3-7 Map of mountains, plains and deserts

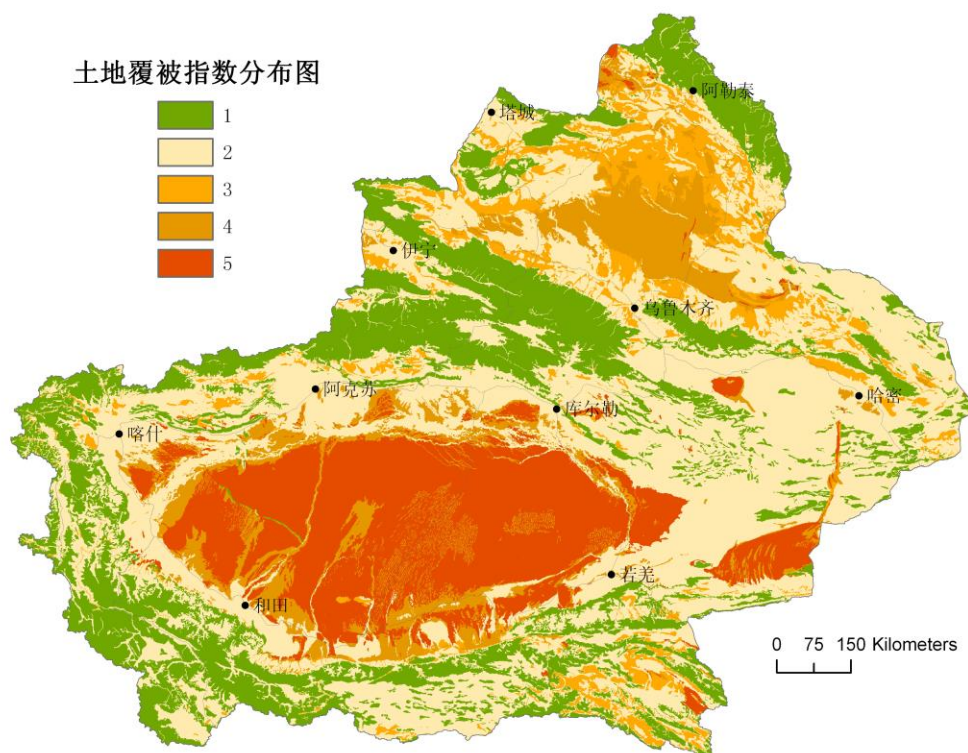


图 3-8 土地覆被指数分布图

Fig.3-8 Map of land cover index

图 3-8 显示，土地覆被指数最高的区域均为南疆的几处流动性沙漠，指数最小区域均位于山区，其它区域的指数值则位于最高与最小之间。

(3) 植被盖度指数

植被类型和植被盖度是气温和水分状况（降水、地表水或地下水）亦即寒冷与温暖、干旱与湿润状况的综合反映。尤其植被盖度可直接反映地表的抗风蚀能力，从而间接反映出沙漠化的危害程度或潜在威胁程度，以及防治的相对难易程度。同为荒漠植被时，植被盖度大的区域发生沙漠化的危险通常会小于植被盖度小的区域。就沙地而言，植被盖度则可直观地反映沙地的活动性，固定、半固定和流动沙地这三种沙地类型的主要划分依据就是植被盖度。

在前述的土地覆被指数中，植被类型的作用已经得到反映，严格说来，植被盖度也应归入土地覆被指数中加以反映，但由于植被盖度与土地覆被的组合关系过于复杂，使得将其加入后土地覆被指数具体数值的确定变得困难，因而此处将植被盖度单独列出，单独计算其指数及对沙漠化综合评价的贡献。鉴于 NDVI 植被指数能够较好地反映植被盖度，因此本区划通过 NDVI 值来构建和确定植被盖度指数。

表 3-8 植被盖度指数

Tab.3-8 Vegetation cover index

植被盖度 Vegetation cover	NDVI 值 Value of NDVI	沙漠化风险评级 Risk grades of sandy desertification	植被盖度指数 Vegetation cover index
高≥60%	>3680	低	1
中 30-60%	2550-3680	中等	2
低 10-30%	2110-2550	高	3
极低<10%	≤2110	极高	4

(上述 NDVI 值系根据制图需要,对原始 NDVI 数据做归一化处理后再扩大 60000 倍后产生的数值。NDVI 分级阈值系据遥感影像与 NDVI 值的对比关系综合分析后确定。)

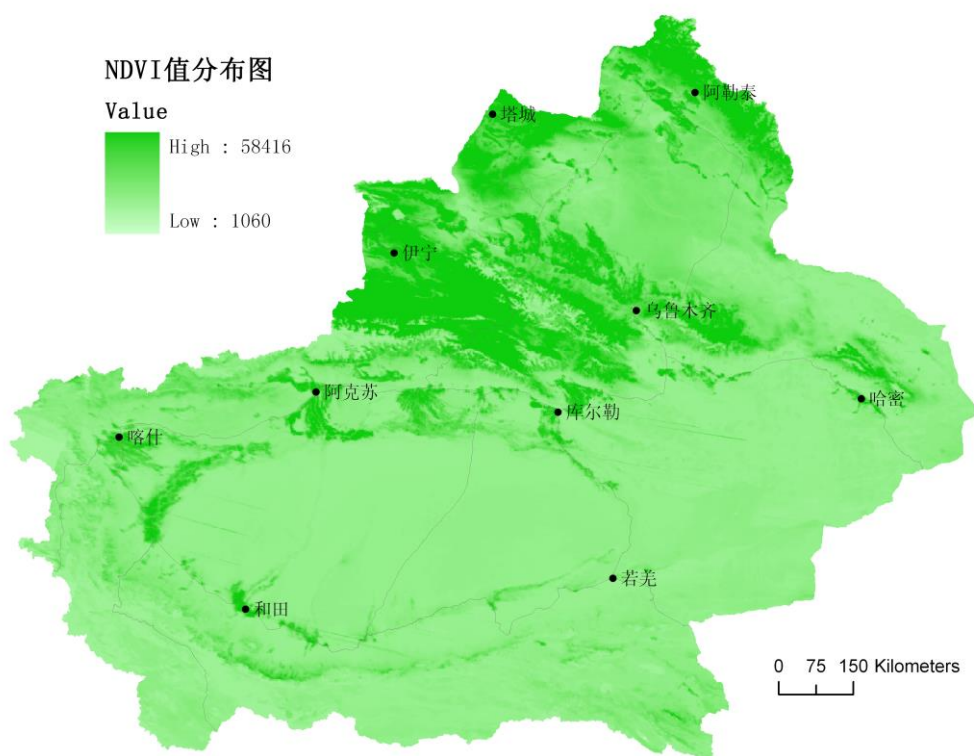


图 3-9 NDVI 值分布图

Fig.3-9 Map of NDVI

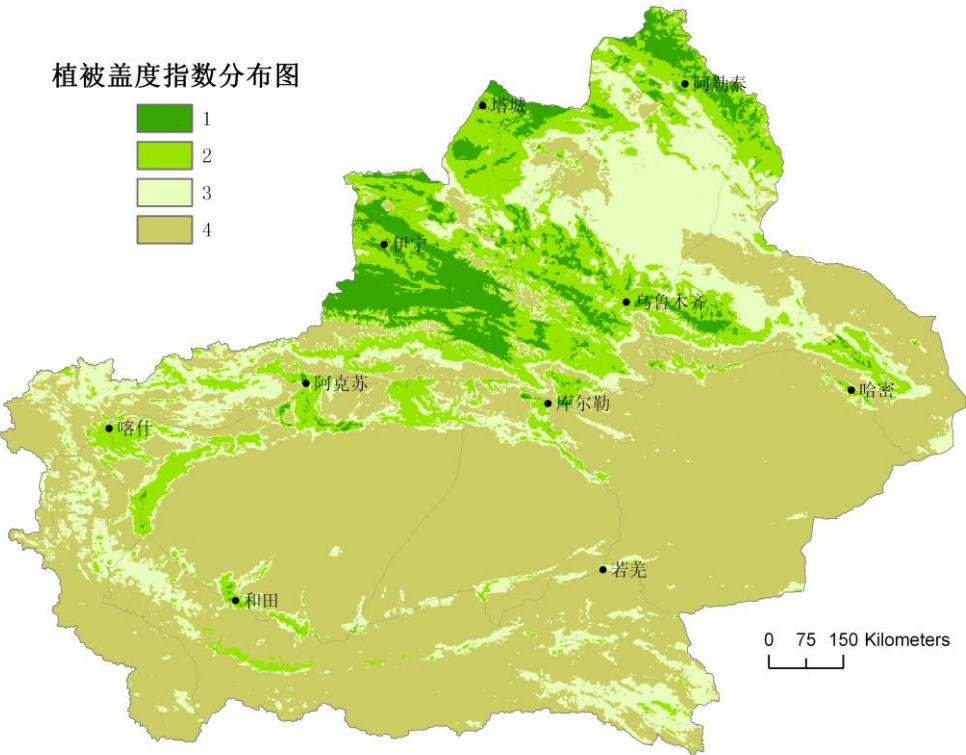


图 3-10 植被盖度指数分布图

Fig.3-10 Map of vegetation cover index

由图 3-10 可见，植被盖度指数低值区主要位于北疆山地及全疆各地的绿洲区，指数高值区则主要位于东疆及南疆的戈壁、沙漠以及昆仑山、阿尔金山地区。

(4) 大风指数

年大风日数反映风动力条件，大风日数多一般会意味着土壤受风蚀威胁较大，在其它条件相似的情况下，大风日数多的区域（特别是临近沙漠下风向的区域）受沙漠化威胁或危害的程度往往要比其它区域严重，并且防治任务也会相应较重。大风频发区与沙尘暴频发区并不完全重合，例如南疆是西北乃至全国沙尘暴最频发区之一，但是南疆却是西北地区大风的较少区，年大风日数远少于沙尘暴日数。

表 3-9 大风指数

Tab.3-9 Gale index

年大风日数 (d) Annual gale days (d)	大风可能导致的危害 Quantity of possible harm	大风指数 Gale index
≤17	少	1
17-35	较少	2
35-58	中等	3
58-80	较多	4
>80	多	5

(年大风日数分级阈值系据数据自然断点确定。)

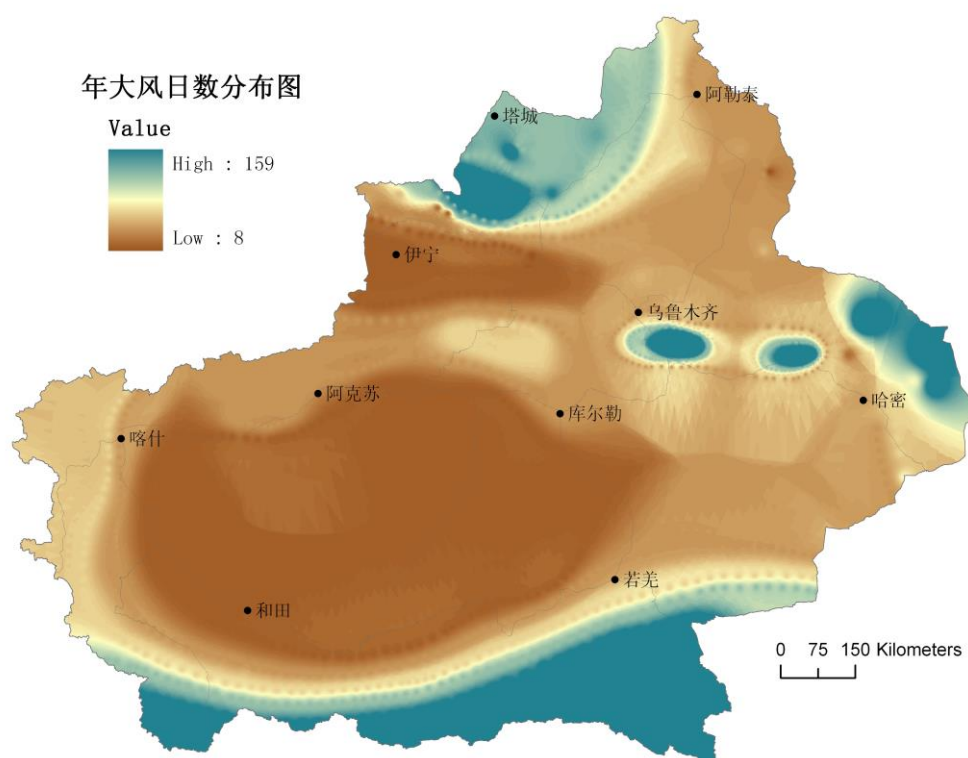


图 3-11 年大风日数分布图
Fig.3-11 Map of gale days

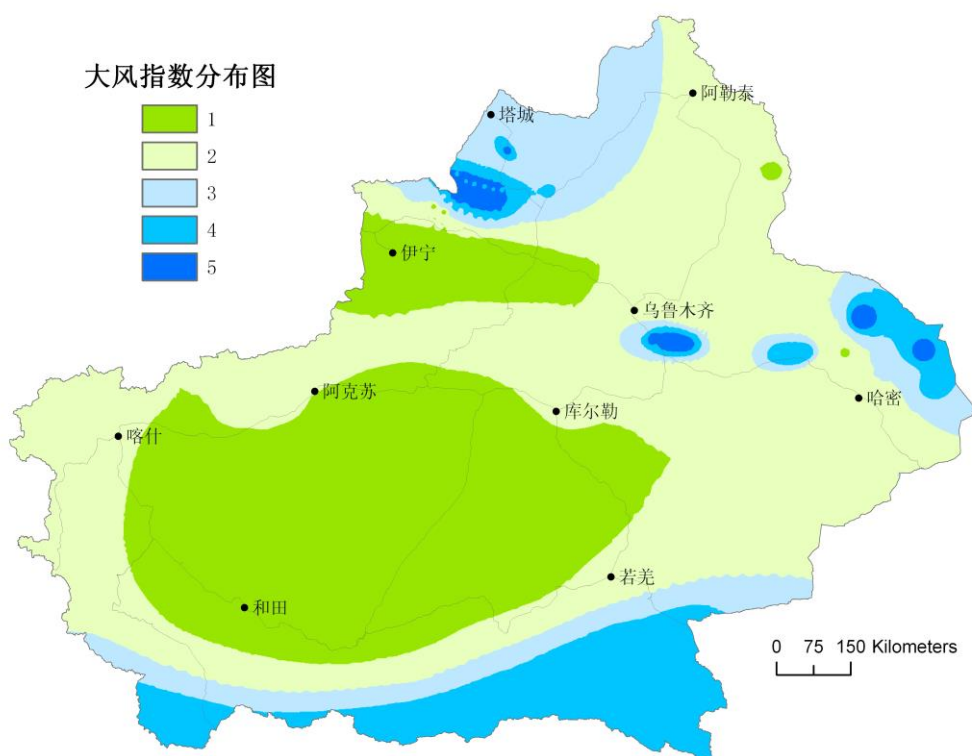


图 3-12 大风指数分布图
Fig.3-12 Map of gale index

大风指数由对年大风日数进行分级而获得。

图 3-12 显示，全疆大风指数偏高的区域主要位于北疆及天山的几个风口地区以及新疆与西藏、青海交界的高原地区，南疆盆地、天山大部、准噶尔盆地中部地区指数值均不高。

（5）海拔高程指数

在干旱内陆区，海拔高程对沙漠化的发生发展也有重要影响。除非是出现类似柴达木盆地那样的大规模相对平坦和低洼的区域，一般说来，随着海拔高程升高，沙漠化的发生几率是逐渐降低的，这可以从新疆沙漠的分布状况得到证明。产生这一现象的原因主要是因为受重力和流水作用的影响，地表各种风化碎屑物特别是细粒物质存在向海拔较低处运移、汇集的趋势，再加上海拔较高处多以冻融作用为主，其风化产物以粗粒为主，这样，在海拔较高的地方，沙源物质一般就会变得相对贫乏，从而不易出现积沙。此外，海拔高程对人类活动也有重要的影响，过高的海拔会限制人类的活动，这不仅会减少因人为因素产生的沙漠化，而且会对沙漠化防治措施和防治策略产生直接影响。

海拔高程指数由对海拔高程进行分级得到。

表 3-10 海拔高程指数

Tab.3-10 Elevation index

海拔高程 Elevation (m)	沙漠化综合评价 Evaluation of sandy desertification	海拔高程指数 Elevation index
≤1500	高	4
1500-2500	较高	3
2500-3500	较低	2
>3500	低	1

（海拔高程分级阈值系据 1: 10 万新疆土地资源矢量数据中耕地、居民点及沙漠分布与海拔高程的关系综合分析后确定。）

由图 3-14 可见，全疆海拔高程指数的高值区均位于两大盆地及天山、准噶尔西部山地的一些较大的盆地、谷地，阿尔泰山、天山、昆仑-阿尔金山的中高山区指数值则较高。

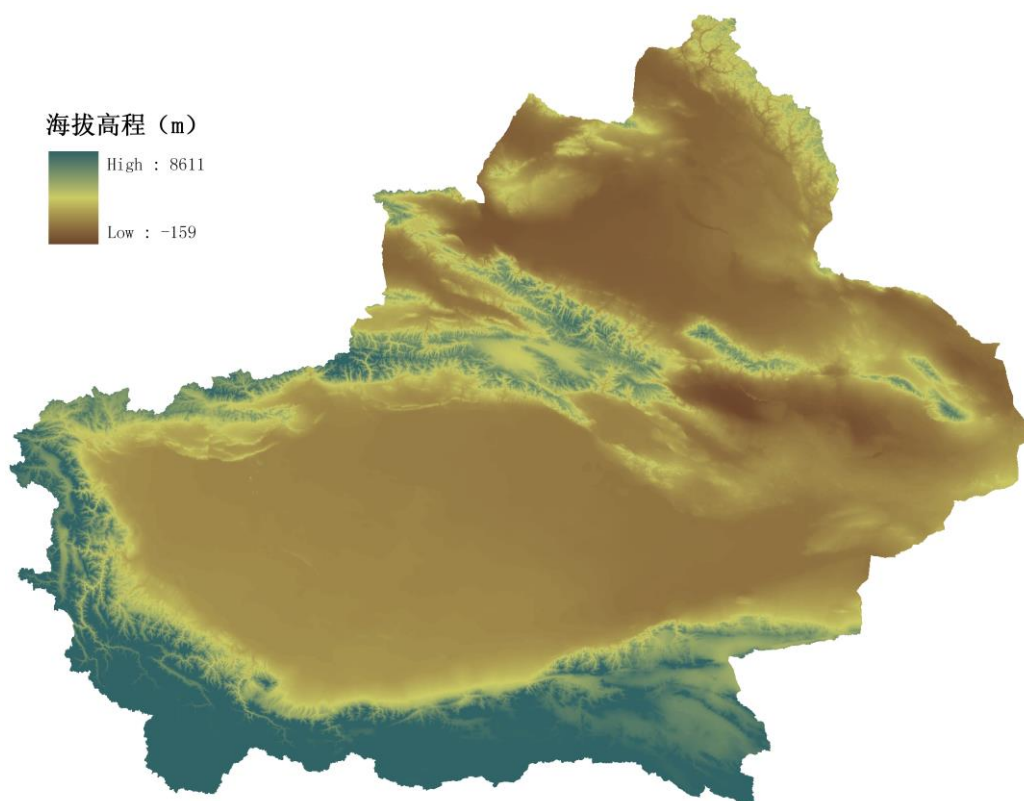


图 3-13 海拔高程图
Fig.3-13 Map of elevation

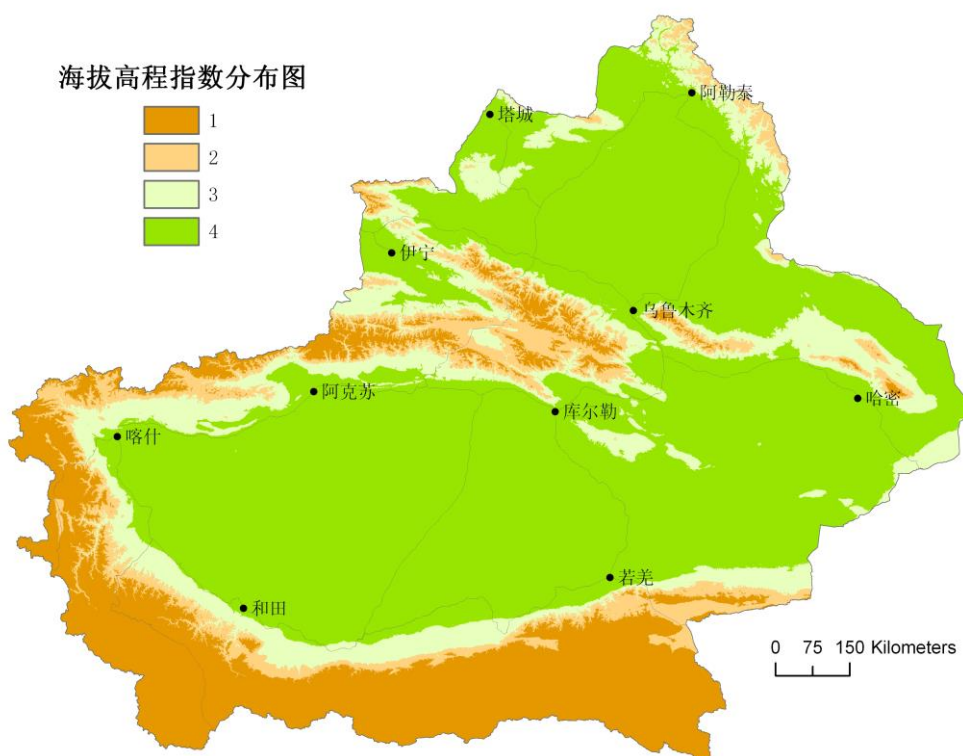


图 3-14 海拔高程指数分布图
Fig.3-14 Map of elevation index

除了上述沙漠化综合评价参评指标外,为便于划定区划界线和更合理地确定各区域的防治措施和策略,本区划还将以下因子作为辅助参考指标:

(6) 自然地理单元

自然地理单元对沙漠化的区域差异性具有较好的指示作用。同一尺度下的不同自然地理单元,其在沙漠化发生条件和发展现状上也往往有着明显的差异,而同一地理单元的沙漠化和沙漠化防治则又往往具有相似性,因此不同尺度的自然地理单元常常也就自然地成为了相应不同级别的沙漠化防治区划单位。本文自然地理单元界线主要依据《新疆综合自然区划概要》^[201]、1:100万新疆数字地貌图以及卫星遥感图像上的地貌界线进行勾绘。少数与准噶尔和塔里木两大盆地相通的山间盆、谷地视需要分别划归两大盆地,以避免再单独划区而造成分区过多。

(7) 雨养植被界线

雨养植被,特别是平原、谷地、盆地区的雨养植被在新疆具有特殊意义。天然雨养植被的存在与否及其盖度如何,关系着防沙治沙的成本及难易。虽然准噶尔盆地和塔里木盆地同属干旱区,但是在前者就存在着大量依靠天然降水维持生存的短命、短生和耐旱荒漠植被,这里的沙漠化治理显然就要比依靠地表水或地下水才能生长植被的后者相对容易得多。根据实际需要,本文雨养植被分布界线仅涉及考虑准噶尔盆地内雨养植被的东界,该界线依据《新疆农业气候资源及区划》^[207]中“林业气候区划”的相关界线划定。

(8) 耕居地人口密度和人口耕居地比重和

人口密度可在一定程度上反映人口对资源环境的压力,同时对沙漠化防治策略的制定也有重要影响。较小的人口密度,特别是沙漠毗邻地区较小的农村人口密度,往往意味着人类活动对环境特别是沙漠环境的破坏或干扰会相对较小。另一方面,在目前条件下,人口密度极低或荒无人烟的地方一般除了注意减少干扰和加强自然保护以外,暂时是不会考虑采取其它主动防治措施的,而人口密度大同时沙漠化危害又严重的区域,则通常应被确定为沙漠化防治的重点区域。由于新疆许多县市在有人口相对密集的绿洲区的同时又都有大面积的无人区或人口稀少区,作为变通方式,本文采用“耕居地人口密度”,即:县域人口总数除以县域耕地面积(含园地)与居民点面积之和(图3-15)。

人口密度只涉及单位空间面积上的人口,没有考虑到县域人口总量及耕地、居民点用地总量。在人口密度相同的情况下,后两者的数量也可能会有很大差别。因此,增设“人口耕居地比重和”指标,其值为县域人口占全疆人口的比例与县域耕居地占全疆耕

居地的比例之和（图 3-16）。

表 3-11 耕居地人口密度分级

Tab.3-11 Reclassification of population density of farmland-residence (PDFR)

耕居地人口密度（人/km ² ）	评价	沙漠化综合评级代码
PDFR（persons/km ² ）	Evaluation	Grades of sandy desertification evaluation
≤224	密度较小	1
224-421	密度较大	2
421-721	密度大	3
>721	密度很大	4

（耕居地人口密度分级阈值系据数据自然断点确定。）

表 3-12 人口耕居地比重和分级

Tab.3-12 Reclassification of sum of population proportion and farmland-residence proportion (SPPFRP)

人口耕居地比重和（%）	评价	沙漠化综合评级代码
SPPFRP（%）	Evaluation	Grades of sandy desertification evaluation
≤1.39	比重小	1
1.39-2.85	比重较大	2
2.85-5.07	比重大	3
>5.07	比重很大	4

（人口耕居地比重和分级阈值系据数据自然断点确定。）

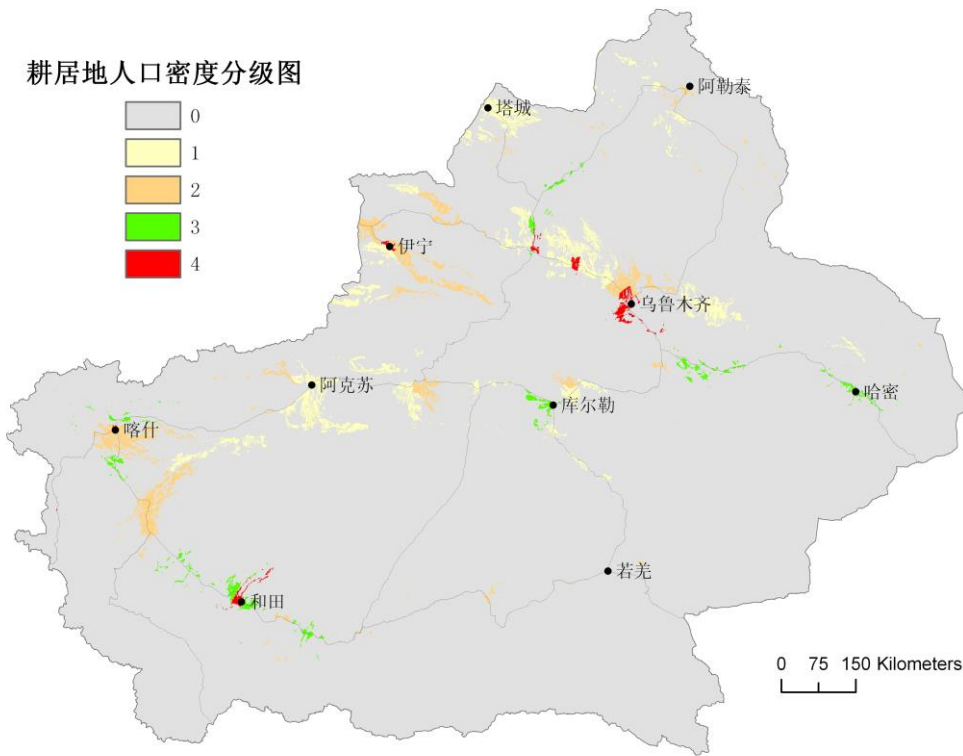


图 3-15 耕居地人口密度分级图

Fig.3-15 Map of population density of farmland-residence

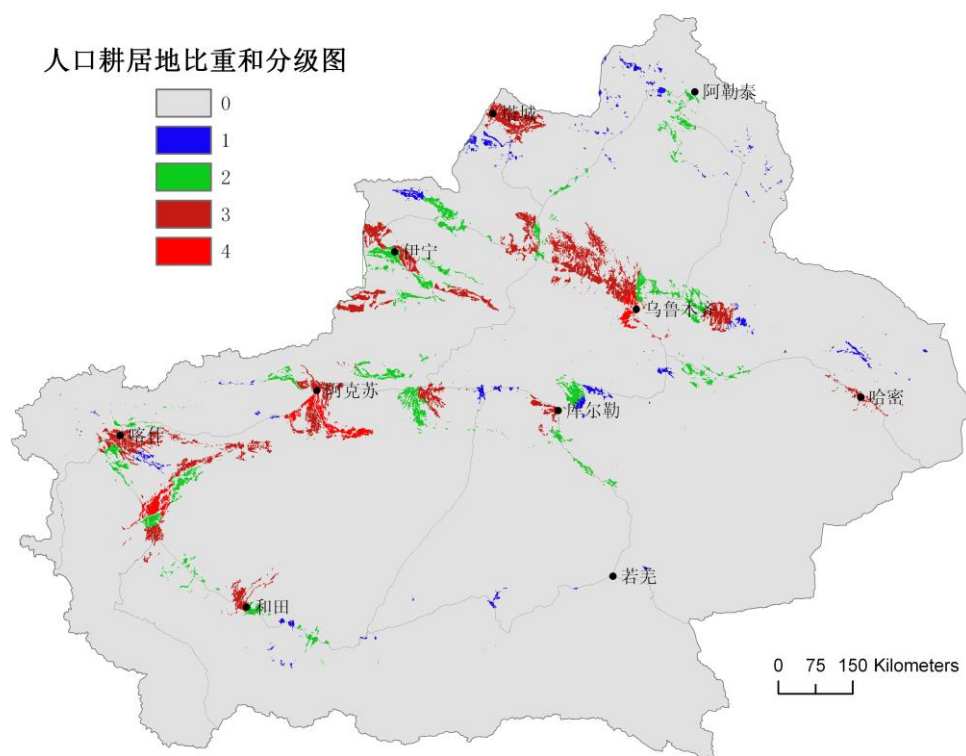


图 3-16 人口耕居地比重和分级图

Fig.3-16 Map of sum of population proportion and farmland-residence proportion

综上所述，三级区划主要是以根据气候、地貌、土地覆被等指标综合计算出的反映沙漠化危害或危险程度的沙漠化综合评价指标进行划分。地理单元、雨养植被界线、人口密度和人口耕居地比重等作为辅助指标（图 3-17）。

附：关于对降水量及水资源量的考虑

1.降水量与沙漠化虽有关系，但是关系并不直接。植物对降水资源的利用还受其它因素的制约，这涉及到降水的有效性或可利用程度。而降水的有效性或可利用程度又与热量条件（涉及到蒸散量和植物对极端热量条件的生理耐受能力）、降水年内分配状况（各季乃至各月雨量差异、雨和雪各占比例多少）甚至地表组成物质等有关。同样的降水量，由于蒸散量不同以及植物生理条件限制，热量过高或过低地区的植被盖度通常会小于热量适中或较低的地区。北疆沙漠之所以有较多的雨养植被，其春季有较多的融雪水和降水是非常重要的因素。另外，在同样的降水量条件下，不同的地表物质组成也会产生不同的植被状况，龟裂地、盐碱地、盐沼或盐壳、沙地、壤质土地、砾质戈壁的植被类型和植被盖度是迥然有别的。

2.降水量的情况可通过土地覆被指数、植被盖度指数和雨养植被界线三者来共同反映，它们对降水差异的反映已经很完全，而且比单纯的降水量指标对沙漠化发生条件的反映更为全面、直观和

符合实际，因此不需另外再单独增设降水量指标，否则会造成重复考虑。

3.新疆的沙漠基本都在平原或盆地内，这些区域的降水量都偏少，一般不足 200 mm，如果不考虑别的因素，这种降水量已经都在雨养植被的生理需水量下限附近（北疆）或是低于下限（南疆）。用雨养植被界线对此情况已能作很好反映，如对这种降水量差异再作细分既无意义且目前也缺乏依据。至于其它区域的降水量差异，通过土地覆被指数和植被盖度指数也已得到很好反映。

4.降水还有个地表再分配过程，就是还要经过地表径流或地下径流的汇集和运移过程，有些区域可能降水很少，但是因为有来自外部的地表或地下径流输入，自然植被可能会很茂盛，这就会导致地面实际植被状况或沙漠化状况与降水情况不相符。例如，塔里木河干流沿岸，其降水量与毗邻的塔克拉玛干沙漠的降水量并无本质差异，但植被状况却是有着天壤之别。

5.如果不用土地覆被指数、植被盖度指数和雨养植被界线作指标，而用降水量作指标，就必须再加入热量条件以及降水年内分配状况甚至雨雪比例等作指标，但由于这些指标（包括降水量）本身及指标之间的具体组合与沙漠化之间的关系很复杂或暂时难以明确，因此目前还无法确定这些指标明确的分级阈值。此外，还需要加入水资源分布状况作指标，但此资料暂无可用作与其它指标进行叠加运算的合适的图面表达方式，且水资源分布状况易受截流、分水比例、人工渠系建设、跨流域调水、节水等人为因素影响而复杂多变，又并不适宜用作指标。

6.土地覆被指数、植被盖度指数、雨养植被界线以及海拔高程指数是对降水、热量条件的综合的反映，与沙漠化的关系较后二者更为直观、明确和一致，也更便于进行分级，可以作为后二者良好的指示和替代。此外，前三者还同时反映了地表物质组成以及水资源分布现状的差异，作为评价指标显然也比后二者更具优势。

基于以上原因，区划没有将降水量及水资源量列为参评指数。

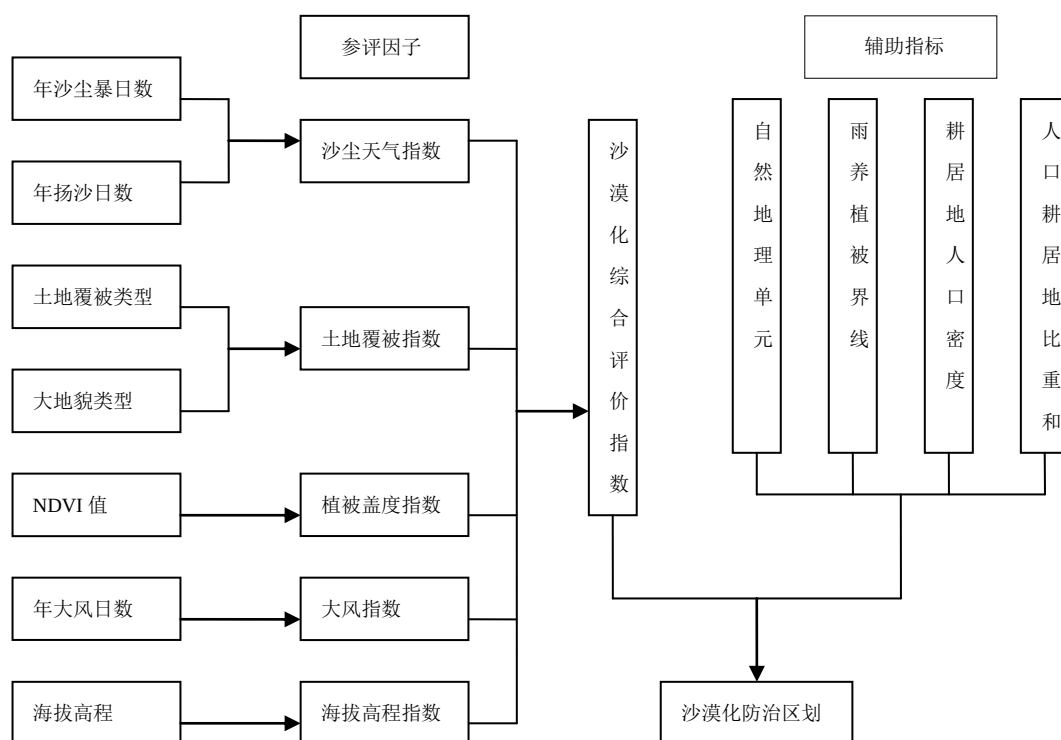


图 3-17 沙漠化防治区划指标体系

Fig.3-17 Indices of sandy desertification preventing and controlling regionalization

3.3.2 基础数据来源、数据处理方法和具体区划步骤

(1) 基础数据来源

沙尘暴日数系据《中国灾害性天气气候图集》(2007)^[221]，扬沙日数据《中华人民共和国气候图集》(2002)^[222]。土地覆被指数图根据中科院植物所编 1:100 万植被图矢量数据、新疆公路自然区划成果之一的新疆土地覆被类型图、新疆 1:100 万数字地貌图编制。植被盖度指数图根据 2002 年 4 月-2003 年 4 月 MODIS 的 NDVI 每 10 天合成数据编制。大风指数图根据《中国灾害性天气气候图集》(2007)^[221]，并补充部分站点资料后编制。海拔高程指数根据 1999 年生产的新疆 1:25 万数字地形图 100 m×100 m DEM 数据编制。耕居地人口密度和人口耕居地比重和的图件系据中科院 2000 年新疆土地资源矢量数据和《新疆统计年鉴》^[223]中 2000 年的相关人口数据绘制。

(2) 数据处理方法

所有参与沙漠化综合评价计算的指数数据均最终处理为 1 km×1 km 的 GRID 格式。沙尘暴日数和扬沙日数的 GRID 由 KRIGGING 插值法生成，将前者乘以 8 后两者相加，再经重分类生成沙尘天气指数 GRID。大风日数 GRID 由 IDW 插值法生成，经重分类后生成

大风指数 GRID。植被盖度指数和海拔高程指数 GRID 由对源数据重采样和重分类获得。其余 GRID 由相应的扫描图像或卫星图像数据配准并矢量化, 或直接从源矢量数据进行栅格化(或栅格化后再重分类)获得。参评指数的重分类等操作以及图层的叠加和运算等分别在 ArcGIS 软件 ArcMap 操作界面以及 ARC 模块、GRID 模块下进行。

采用指数和法进行沙漠化综合评价, 其计算公式是:

$$P = S \times W_1 + T \times W_2 + Z \times W_3 + F \times W_4 + H \times W_5$$

P: 沙漠化综合评价指数; S: 沙尘天气指数; T: 土地覆被指数;

Z: 植被盖度指数; F: 大风指数; H: 海拔高程指数;

W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 分别为 S、T、Z、F、H 的权重。

权重采用特尔菲法^[224]和调试法^[225]综合分析确定。权重值分别为: W_1 , 0.4; W_2 , 0.17; W_3 , 0.13; W_4 , 0.11; W_5 , 0.19。

为了既反映出全疆沙漠化综合评价结果的主要地域差异, 又尽可能多反映出更细节一些的地域分异, 对值域为 1-4.35 的综合评价指数采用了 10 级划分, 根据数据自然断点确定其分级阈值如下:

表 3-13 沙漠化综合评价指数分级

Tab.3-13 Reclassification of sandy desertification comprehensive rating index (SDCRI)

综合评价指数 SDCRI	分级 Grades	综合评价指数 SDCRI	分级 Grades
≤ 1.578039	1	2.615882-2.773529	6
1.578039-1.998431	2	2.773529-2.944314	7
1.998431-2.169216	3	2.944314-3.338431	8
2.169216-2.326863	4	3.338431-3.614314	9
2.326863-2.615882	5	> 3.614314	10

(3) 具体区划步骤

先根据天山山脊线将全疆划分为两个一级区, 再根据次级地貌单元将全疆划分为 7 个二级区。

然后根据更次一级地理单元及其与沙漠化相关的自然地理特征, 以及区划作者对全疆各地沙漠化状况一定程度的了解, 初步草拟三级区划单位及区划界线。

接下来, 根据前述的沙漠化综合评价模型, 生成全疆的沙漠化综合评级图(图 3-18)。最后, 根据该图对初拟的区划单位和区划界线进行修订, 产生最终的三级区划结果。

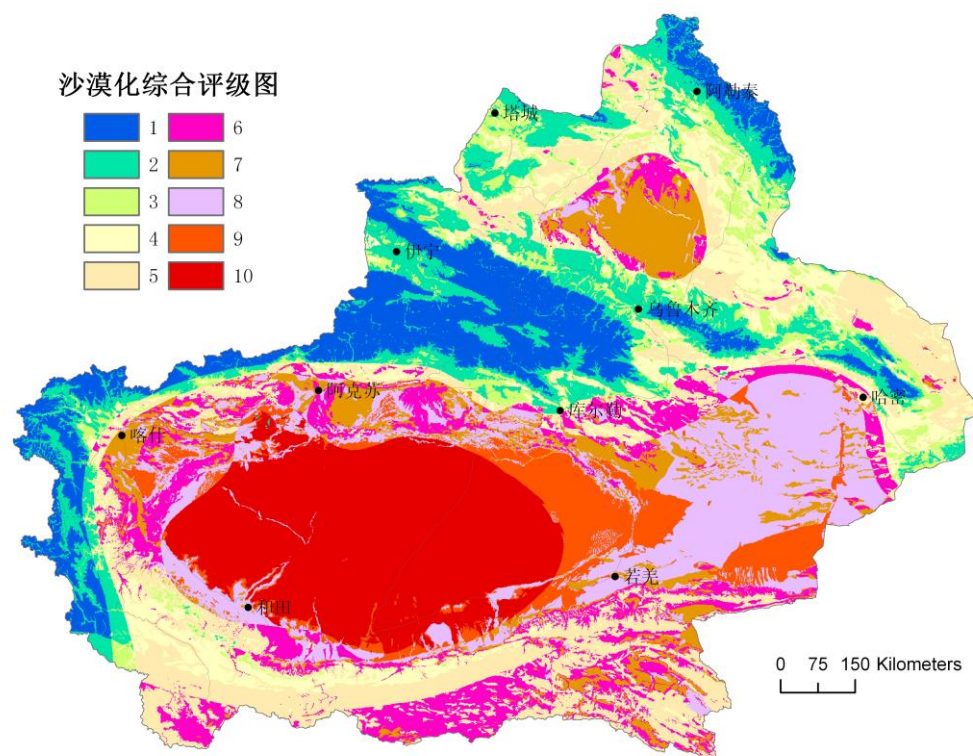


图 3-18 沙漠化综合评级图（1）

Fig.3-18 Map of sandy desertification comprehensive rating index (1)

修订方法是，如果两个相邻的初拟区划单位的综合评级结果相近，并且所属自然地理单元一致或可以合并，沙漠化主导因子、耕居地人口密度及人口耕居地比重和分级大致相同，则应将二区划单位加以合并；如果同一初拟区划单位内出现综合评级结果明显不同的情况，则一般要将该初拟区划单位进行分割。对于沙漠化综合评级相同，但耕居地人口密度及人口耕居地比重和分级显著不同的区域，一般也要进行分割。

区划界线以自然地理单元界线或土地覆被类型界线（据遥感影像）为主。根据需求和具体情形，当自然地理单元界线与综合评级结果界线不相吻合但相差不大时，可选择依自然地理单元界线或评级界线作为区划单位界线。特殊情况下，当自然地理单元界线不易确定，而评级界线又与县级行政区划界线较为接近时，也可直接采用县级行政区划界线作为沙漠化防治区划单位界线。

为便于防沙治沙实践应用，三级区划单位的名称中均包含对沙漠化危害或危险程度的评价结论以及对防治重要性的评价。对人类活动暂时极少涉足的一些沙漠化区域，名称中则只包含对该区域沙漠化程度的评价。

为对各区域沙漠化危害或危险程度以及防治重要性给出评价结论，计算了各区划单位内沙漠化综合评级指数的平均值。计算方法是，以区划单位内各级沙漠化指数的面积与该区划单位总面积的比值作为权重，分别与相对应的评级指数值相乘，然后加总，即

得到该区划单位的平均评级值。根据平均评级值以及所涉各区划单位的实际沙漠化状况,将值域为 1.84926–9.85258 的平均评级值分为 4 级:小于等于 3.5 的区域为沙漠化无或轻微危害、无或轻微风险;大于 3.5 且小于 5 的区域为沙漠化轻度危害或轻度风险,但如果区域沙漠化主导因子为大风,或区域属于山地或山间盆地,则评为沙漠化轻微危害或轻微风险;大于 5 且小于等于 8.5 的区域属沙漠化中度危害或中度风险,但如果区域属于山地或山间盆地,或沙漠化主导因子为大风,则评为沙漠化轻度危害或轻度风险;大于 8.5 者为沙漠化重度危害或重度风险。至于沙漠化防治策略方面的自然保护、一般防治、重要防治、重点防治等的判定,除参考沙漠化危害程度评级结果外,还参考耕居地人口密度和人口耕居地比重和,以及对各区域现实危害状况的了解和认识。在沙漠化危害评级相同的情况下,人口或耕地众多、社会经济地位重要的区域与人口与耕地稀少、社会经济地位相对次要的区域可能会分别归为重点防治区和一般防治区。

3.4 新疆沙漠化防治区划方案

3.4.1 区划方案

经过上述区划过程,最终将全疆划分为 2 个一级区,7 个二级区和 22 个三级区。详见表 3-14、图 3-19、图 3-20。(图 3-20 显示沙漠化综合评级图叠加区划界线后的情形。)

区划各相关成果表格数据见附录 A 表 A-1 至表 A-13。

3.4.2 区划结果分析

(1) 就全疆范围而言,沙漠化无或轻微危害的区域面积略多于轻度及轻度以上危害的区域。前者包括有 10 个三级区,面积占全疆的 53.62%,并以山地区域的三级区为主,占到沙漠化无或轻微危害区域面积的 91.52%。轻度、中度和重度危害区有 9 个三级区,面积占全疆的 26.80%。其中中度和重度危害区 5 个,均位于南疆塔里木盆地亚区,面积占全疆的 15.88% (表 3-15)。

(2) 一般、重要、重点防治区等需要采取普遍防治措施的三级区有 13 个,面积占全疆的 28.78%,均位于平原、较大的山间盆地、小片沙漠或大沙漠的边缘,全疆绝大多数绿洲均分布于这些区域。其中,重要防治区和重点防治区有 8 个,面积占全疆的

24.23%，主要分布在南疆（6个）（表3-16）。

（3）从面积上讲，山区和大沙漠内部等不需要采取普遍防治措施的区域占多数，涉及9个三级区，总面积占到全疆的71.22%。虽然这些区域沙漠化危害或威胁轻重不一，但在总体防治策略上均以自然保护为主，仅在某些道路沿线、重要生产设施或居民点周围等局部区域需要适当采取人工防治措施。

表 3-14 新疆沙漠化防治区划方案

Tab.3-14 Regionalization scheme of sandy desertification preventing and controlling in Xinjiang

一级区 First level region	二级区 Second level region	三级区 Third level region	小区编号 Codes	面积 Area (km ²)
北疆温带干旱半干旱沙漠化和潜在沙漠化防治区	准噶尔盆地亚区	准噶尔盆地西缘沙漠化轻微危害—一般防治小区	4	20888
		准噶尔盆地南缘沙漠化轻度危害—重点防治小区	7	57864
		准噶尔盆地北部沙漠化轻度危害—重要防治小区	1	26867
		古尔班通古特沙漠内部中度沙漠化—自然保护与人工局部防治小区	3	62444
		三塘湖—淖毛湖盆地沙漠化轻微危害—一般防治小区	10	28638
	阿尔泰山及准东丘陵亚区	阿尔泰山及准东丘陵沙漠化无或轻微危害—自然保护小区	2	76410
	准噶尔西部山地亚区	塔城盆地沙漠化轻微危害—一般防治小区	6	8015
		准噶尔西部山地沙漠化无或轻微危害—自然保护小区	5	30206
	天山北坡亚区	天山北坡山地沙漠化无或轻微危害—自然保护小区	9	136957
		伊犁谷地西部沙漠化轻微危害—一般防治小区	8	6140
南疆暖温带极端干旱沙漠化和潜在沙漠化防治区	塔里木盆地亚区	喀什噶尔河—叶尔羌河流域沙漠化中度危害—重点防治小区	16	46934
		塔里木盆地南缘沙漠化重度危害—重点防治小区	18	77784
		塔克拉玛干沙漠东缘沙漠化中度危害—重要防治小区	19	52512
		塔里木盆地北缘沙漠化中度危害—重要防治小区	14	72113
		罗布洼地—库姆塔格沙漠沙漠化轻度危害—自然保护小区	20	42088
		塔克拉玛干沙漠内部重度沙漠化—人工局部防治小区	17	225934
		柯坪—图木舒克区域沙漠化重度危害—重点防治小区	15	11092
		焉耆盆地沙漠化轻微危害—一般防治小区	13	10914
	天山南坡亚区	吐鲁番—哈密盆地沙漠化轻度危害—重要防治小区	11	52222
		天山南坡山地丘陵沙漠化无或轻微危害—自然保护小区	12	257300
	昆仑—阿尔金山亚区	昆仑—阿尔金山沙漠化无或轻微危害—自然保护小区	21	304052
		库木库里轻度沙漠化—自然保护小区	22	32765

表 3-15 区划结果分析表（1）

Tab.3-15 Analysis of the regionalization scheme(1)

三级区数目		面积(km ²)	占全疆面积比例(%)
Amount of third level regions		Area(km ²)	Proportion(%)
无或轻微危害区	10	879520	53.62
轻度危害区	4	179041	10.92
中度危害区	3	171559	10.46
重度危害区	2	88876	5.42
其它	3	321143	19.58
全疆	22	1640139	100.00

（其它：指古尔班通古特沙漠内部、塔克拉玛干沙漠内部及库木库里地区。）

表 3-16 区划结果分析表（2）

Tab.3-16 Analysis of the regionalization scheme(2)

三级区数目		面积(km ²)	占全疆面积比例(%)
Amount of third level regions		Area(km ²)	Proportion(%)
一般防治区	5	74595	4.55
重要防治区	4	203714	12.42
重点防治区	4	193674	11.81
其它	9	1168156	71.22
全疆	22	1640139	100.00

（其它：指山区及古尔班通古特沙漠内部、塔克拉玛干沙漠内部、库木库里地区等以自然保护为主或仅局部采取人工防治措施的区域。）

新疆沙漠化防治区划图

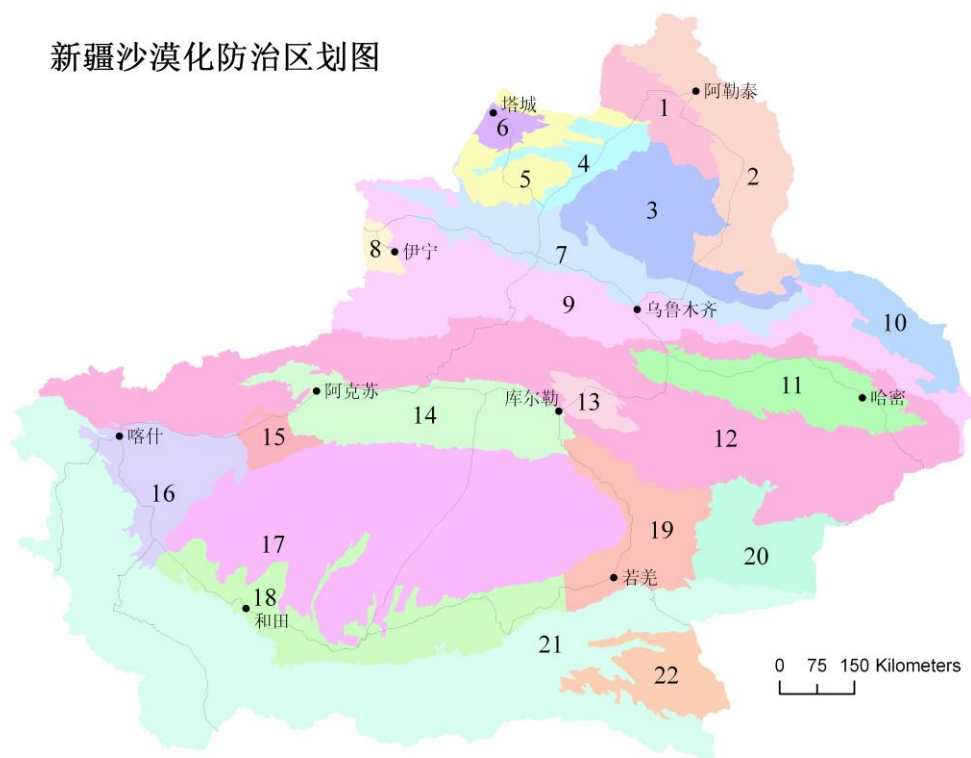


图 3-19 新疆沙漠化防治区划图（三级区）（各分区编号及含义见表 3-14）

Fig.3-19 Map of sandy desertification preventing and controlling regionalization of Xinjiang (third level)

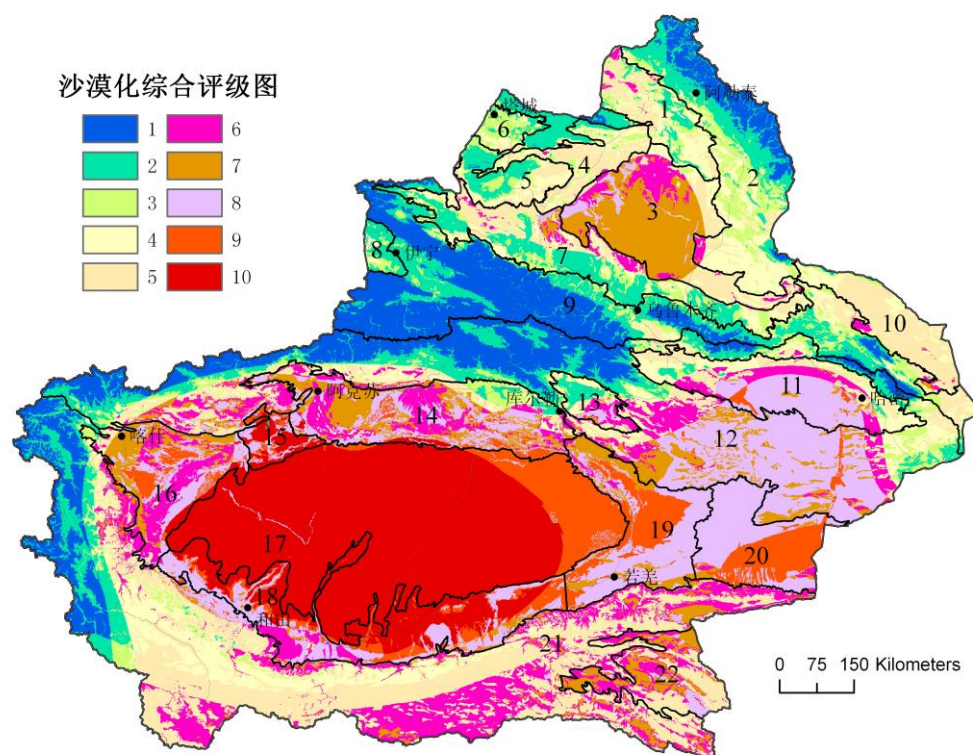


图 3-20 沙漠化综合评级图（2）

Fig.3-20 Map of sandy desertification comprehensive rating index (2)

3.4.3 分区概述

各区的简要情况如下^[150, 192-196, 200, 201, 207, 209-220]：

3.4.3.1 北疆温带干旱半干旱沙漠化和潜在沙漠化防治区

本区位于天山山脊线以北，由阿尔泰山及准东丘陵、准噶尔盆地、准噶尔西部山地和天山北坡 4 个亚区组成。属温带干旱半干旱气候，绝大部分区域年降水量在 100 mm 以上，并且除三塘湖-淖毛湖盆地和克拉玛依部分地区外，其余区域一般均具有一定数量的天然雨养植被。本区风沙危害相对较轻，区域内的沙漠以固定半固定类型为主，开展沙漠化防治相对较易。

本区农林牧业用地面积所占份额巨大，工业经济也有相当大规模，自治区经济相对最发达的区域-天山北坡经济带位于本区，做好沙漠化防治工作意义十分重大。由于本区绝大部分区域均具有一定的生态自然修复能力，因此，防治战略上应以保护自然植被为主、人工辅助恢复植被为辅。

(1) 准噶尔盆地亚区

本亚区是北疆绿洲的主要分布区，并分布有较大面积的沙漠，是北疆开展沙漠化防治的主要区域。共分 5 个三级区：

① 准噶尔盆地西缘沙漠化轻微危害-一般防治小区

包括托里县、和布克赛尔县的平原地区以及克拉玛依市的大部分市区，主风向为偏西风，土地覆被以荒漠草原和荒漠为主，次为砾质戈壁。该区沙漠化综合评级以 4-5 级为主，平均值为 4.29，属沙漠化轻微危害区域，主要沙漠化因子是大风，其年大风日数多在 50-70 d，属于大风相对较多区域，在防治上主要需采取与防风相关的一些措施。

② 准噶尔盆地南缘沙漠化轻度危害-重点防治小区

包括西起博州温泉县、东至昌吉州木垒县在内的沿天山北麓的众多县市，自治区首府乌鲁木齐市也在此区内。本区人口、耕地密集，经济相对发达，是新疆社会经济地位最为重要的区域。本小区位于古尔班通古特沙漠南缘，全区主风向为偏西、偏北风，西部有阿拉山口和艾比湖，主要面临古尔班通古特沙漠沙丘活化南侵及阿拉山口大风造成艾比湖大面积干涸湖底风蚀和引发强沙尘天气的威胁。本区沙漠化综合评级以 2-5 级为主，平均值为 3.61，属轻度危害，艾比湖东南及东侧临近区域、莫索湾垦区等局部区域可近中度。本区沙漠化虽属轻度危害，但因人口众多，经济密集，沙漠化危害引起的影响范围广、程度深，因此划为重点防治小区，以对沙漠化实施更为严格的监控和防治。

防治措施上仍以保护自然植被和加强绿洲防护林建设为主,局部沙漠化严重区域需要采取人工手段辅助恢复或增加自然植被。

③ 准噶尔盆地北部沙漠化轻度危害-重要防治小区

本区包括阿勒泰地区乌伦古河流域中下游及其以北、富蕴县以西各县的平原地区,各县均有小面积沙漠分布,主风向为偏西风。福海以北湖滨地带分布着众多干河道,河床宽浅,经风力吹扬,河流沉积物堆积形成沙丘。沙丘上长有怪柳、梭梭等荒漠植物。由于自然和人为因素影响,植被遭到破坏,固定沙丘活化,沙漠扩展,东部耕作区沙化严重,农田与公路部分遭沙埋。吉木乃、哈巴河、布尔津三县位于国境西北角,分布有吉哈布沙漠,沙漠与绿洲间或分布,多为固定和半固定沙丘,生长着怪柳、梭梭等荒漠灌木,受当地传统的畜牧业影响,荒漠植被遭到一定程度的破坏,对风口下游区域影响较大。全区沙漠化综合评级以 2-5 级为主,平均值为 3.96,属于轻度危害。该区沙漠化现状对农牧区生产生活直接影响较大,属重要防治区域。防治上应采取自然保护与人工措施并重的方式,增加或恢复植被。本区西部大风日数偏多,需加强防风林建设。

④ 古尔班通古特沙漠内部中度沙漠化-自然保护与人工局部防治小区

本区为古尔班通古特沙漠的核心分布区,主风向为偏西、偏北风。地表以固定半固定沙丘为主,沙丘形态主要为垄状和树枝状沙垄,沙漠南缘有蜂窝状和梁窝状沙丘分布。植被主要有梭梭、白梭梭、蛇麻黄、花棒、苦艾蒿、白蒿、蒙古沙拐枣以及多种短命植物。沙漠化综合评级以 5-7 级为主,平均值为 6.28,属中度沙漠化。本区传统上为冬牧场,随着石油开采、修建跨流域调水渠道等人为活动的逐渐增多,沙漠原生环境遭到一定程度的影响和破坏。宜进一步加强自然植被保护力度,对局部破坏严重区域可采取人工辅助措施加以恢复或改善。

⑤ 三塘湖-淖毛湖盆地沙漠化轻微危害-一般防治小区

本区位于东疆巴里坤县及伊吾县的北部,主风向为偏西、偏北风,地表主要为低植被盖度的或几近裸露的砾质戈壁,区内绿洲面积狭小、分散,人口稀少,主要沙漠化因子为大风,年大风日数多在 70 d 以上,三塘湖年大风日数可达 115 d。本区综合沙漠化评级 4-5 级为主,平均值为 4.74,属沙漠化轻微危害。主要的一般性防治措施是加强绿洲农田防风林建设。

(2) 阿尔泰山及准东丘陵亚区

本亚区包括阿尔泰山、北塔山及卡拉麦里山地区,以山地、丘陵为主,间有小面积的山间盆地、谷地。中高山区降水较多,分布着森林和草原,植被盖度较大,基本上无

沙漠化之忧，但应注意植被保护，防止过牧。低山丘陵区特别是部分山间盆地有一定的沙漠化危险，且局部已有少量的沙地存在。但因降水相对较多，植被盖度多可达到10%~30%，加之山地地形条件限制，沙漠化过程总体上仍属微弱。沙漠化综合评级主要为1~4级，平均值为2.67，属沙漠化无或轻微危害区域。防治策略以自然保护为主，目前情况下通常不必采取主动防治措施。

本区仅分出1个三级区：阿尔泰山及准东丘陵沙漠化无或轻微危害-自然保护小区。

（3）准噶尔西部山地亚区

本亚区包括巴尔鲁克山、玛依力山、加依尔山、赛米斯台山、塔尔巴哈台山等准噶尔西部山地以及山间盆地-塔城盆地。中高山区遍布草原，并有少量森林灌丛分布，植被盖度较好，几无沙漠化之忧。低山区为荒漠草原植被，一般也有10%以上的盖度，且由于地处多风区域，通常情况下难以出现积沙。盆地内降水可达300 mm上下，天然与人工绿洲面积分布较广，植被盖度较好。但因大风日数相对较多，如不做好植被保护，仍有沙化之忧，因此在保护好自然植被、防止过牧的同时，尚需采取一定的人工防护措施，主要是保持和完善绿洲防护林网体系。本区沙漠化总体上属于无或轻微水平。

本区分为2个三级区：

① 塔城盆地沙漠化轻微危害-一般防治小区

本小区包括了塔城、额敏、裕民、托里四县市位于盆地内的部分。人口和耕地较多，耕地质量较好。主风向为偏西风。沙漠化综合评价以2~4级为主，平均值为3.12，属沙漠化轻微危害。防治方面在做好天然植被保护的同时，农田区需保持和加强防风体系建设，防止风蚀。

② 准噶尔西部山地沙漠化无或轻微危害-自然保护小区

本小区沙漠化综合评级以2~5级为主，其中2级占到52.25%的面积比例，全区平均值则为2.86，属沙漠化无或轻微危害区域。土地利用以放牧为主，沙漠化防治策略上以注重植被保护为主，防止过牧。

（4）天山北坡亚区

本亚区自然条件与阿尔泰山相似，西部的降水条件比后者还要优越些。山地森林、草原广布，植被盖度较好，几无沙化之忧。山间盆地、谷地植被覆盖状况一般也较好，仅在伊犁谷地西部有少量沙漠化土地分布。本亚区划分2个三级区：

① 伊犁谷地西部沙漠化轻微危害-一般防治小区

位于霍城县和察布查尔县的低山带及平原地区，多偏西风和山谷风。霍城县西南部

有塔克莫乎尔和巴基泰两片沙漠，察布查尔县沿伊犁河岸边也有少量沙漠化土地分布，均为固定半固定类型。两县低山带多分布黄土，地势平缓处有部分旱作农业，受降雨及黄土土质影响，存在水土流失问题。本小区沙漠化综合评级以 2-4 级为主，其中 2 级占到 65.64%的面积比例，全区平均值为 2.44，沙漠化危害总体轻微，仅需对绿洲采取通常的防护林网建设措施即可，一般不必采取额外的沙漠化主动防治措施。

②天山北坡山地沙漠化无或轻微危害-自然保护小区

本小区地域范围跨度较大，从西至东约跨越 1300 km，区内沙漠化状况存在一定程度的分异，沙漠化综合评级从 1-7 级均有，但相对集中于 1-3 级，三者合计占到 89.44%，全区平均值则为 1.85，属沙漠化无或轻微危害区域。防治策略上以自然保护为主，山区草场应注意植被保护，防止过牧。通常不必采取其它主动防治措施。少数位于风口附近的小型山间盆地，如柴窝铺-盐湖盆地，需要采取适当加大防风体系建设力度的措施，以防控风蚀。

3.4.3.2 南疆暖温带极端干旱沙漠化和潜在沙漠化防治区

本区位于天山山脊线以南，由塔里木盆地、天山南坡和昆仑-阿尔金山 3 个亚区组成。属暖温带极端干旱气候，平原区多数区域年降水量在 50 mm 以下，天然植被多靠地表水或地下水维持生存，平原区降水对植被生存基本无意义。区域内沙漠面积广大，并以流动类型占绝对优势，除山区外，多数区域风沙危害严重，沙漠化防治任务繁重，难度较大。

本区社会经济总体相对落后，但绿洲人口密集，贫困人口集中，搞好沙漠化防治对于脱贫解困、实现可持续发展意义重大。本区生态自然修复能力微弱，沙漠化防治应以人工主动干预和保护自然植被并重。

(1) 塔里木盆地亚区

本亚区分布有塔克拉玛干和库姆塔格两大流动沙漠，沙漠面积广大。沿盆地边缘分布有众多绿洲。盆地内降水稀少，绿洲以外的区域植被稀疏。沙尘天气多发，沙丘移动活跃，沙漠化危害严重。共分 7 个三级区：

① 喀什噶尔河-叶尔羌河流域沙漠化中度危害-重点防治小区

本小区位于塔里木盆地西缘，处于托克拉克沙漠、布古里沙漠及塔克拉玛干沙漠的夹峙之下，边缘以灌丛沙丘为主，叶尔羌河流域还分布有大量的胡杨和柽柳，但受自然和人为因素影响，天然植被遭到一定破坏，绿洲受到沙漠的夹击危害。本区主风向为偏

西风，东北部伽师东部至巴楚一带盛行北风、东北风，东南部莎车、叶城地区偏南风也较多。沙漠化综合评级为 6-10 级，平均值达 7.26 级，属中度危害。本区包括了喀什地区的主要市县以及克州的部分区域，绿洲人口密集，其沙漠化问题需大力采取各种人工主动干预手段加以重点防治。

② 塔里木盆地南缘沙漠化重度危害-重点防治小区

包括塔克拉玛干沙漠南缘的和田地区以及巴州的且末县，西部皮山-策勒一线盛行偏西风，中部于田至民丰一线多西北风和东北风，东部且末地区多偏东风。这里是塔里木盆地西北风向和东北风向的汇集区域，沙漠南向移动的威胁巨大，沙尘天气强度之大、频数之多均居全疆之最。沙漠化综合评级以 8-10 级为主，全区的平均值达 8.90 级，属重度危害。本区人工绿洲与流动沙漠之间的天然灌草带由于历史原因已大为减少，许多地方流动沙丘与绿洲农田直接毗邻，给绿洲边缘农牧业生产与人民生活带来直接危害。本区贫困人口众多，特别是中西部区域绿洲人口十分密集，是全疆沙漠化防治重中之重的地区，亟需大力采取人工干预手段加以防治。

③ 塔克拉玛干沙漠东缘沙漠化中度危害-重要防治小区

包括若羌县位于阿尔金山北麓西部的区域以及尉犁县境内的塔里木河下游地区，主风向为偏东风。该区位于库鲁克沙漠西缘和塔克拉玛干沙漠的东缘，处于库鲁克沙漠的下风向，主要遭受该沙漠的直接危害。本小区沙漠化综合评级以 8、9 级为主，平均值为 8.12，属中度危害。本区人口及耕地面积虽相对较少，但因位处国道 218 线和 315 线的途径之地，地理位置重要，故仍属于沙漠化重要防治地区。

④ 塔里木盆地北缘沙漠化中度危害-重要防治小区

主要包括塔里木河中游沿岸地区，包括西至阿克苏地区的阿瓦提县、东至巴州尉犁县的带状区域，西部多偏西风，中部库车一带多偏北风，东部多偏北、偏东风。本小区紧接塔克拉玛干沙漠北缘，小区内其它地方也分布着一些片状沙地，沙地类型以固定半固定为主。由于上游截流、来水减少，导致塔里木河沿岸的胡杨、柽柳等荒漠植被面临死亡威胁，并使地表植被破坏后就地起沙的情况逐渐增多。本小区沙漠化综合评级以 6-8 级为主，平均值为 6.70，属中度危害。本区人口和绿洲众多，属沙漠化重要防治地区。

⑤ 罗布洼地-库姆塔格沙漠沙漠化轻度危害-自然保护小区

本小区位于塔里木盆地东部，地处南疆东部倒灌东风区的上风向，全年盛行偏东风。地表以沙漠、盐壳及砾质戈壁为主，除阿奇克谷地的少部分区域外，其余绝大部分区域

植被盖度极低，几无植被。除近年罗布泊干涸湖区有盐矿开采、区域东北缘雅丹分布区有旅游活动开展以外，基本上仍为半无人区状态。区域东部为野骆驼自然保护区。本区沙漠化综合评级以 8-9 级为主，平均值达 8.31，但由于本区人类活动稀少，沙漠化对人类活动的影响并不显著，因此列为轻度危害区。由于水资源极其缺乏，沙漠化防治暂只能以自然保护为主，尚无力亦不必采取人工主动防治措施。

⑥ 塔克拉玛干沙漠内部重度沙漠化-人工局部防治小区

本小区位于塔里木盆地的中心地带，为塔克拉玛干沙漠除去周围边缘区域外的内部主体区，从西至东盛行风向由偏西渐次向偏北、偏东方向转变。除和田河下游沿岸外，地表几乎全为裸露的流动沙丘（地），受盛行风向影响，沙丘均向南移动。塔克拉玛干沙漠是世界第二大流动性沙漠，也是我国最大的流动性沙漠，沙漠自然环境严酷，气候极端干旱，年降水量在 30 mm 以下，沙尘暴等沙尘天气强度大、频率高。除和田河流域外，地表水极度缺乏，地下水虽大多埋深较浅，但基本均为 3 g / l 以上乃至 10g / l 以上的高矿化度水质。广阔的沙漠区域可随沙漠地貌的不同而划分出东部高大沙山区、中部复合纵向沙垄区、北部复合穹状沙丘区、西北部鱼鳞状沙丘区等多个区域，各个区域的沙漠化发生条件、发展状况、风沙活动特征也均有所差异。上世纪八十年代以来，随着沙漠区石油资源开采活动的逐步增多以及塔中沙漠公路的开通，本小区内的人类活动开始逐步增多，沙漠化危害的影响问题也随之产生。本区沙漠化综合评级以 9-10 级为主，平均值为 9.85，属重度沙漠化地区，但因人类活动范围仍相对十分有限，水资源等生态恢复条件奇缺，故在可预见的未来对其沙漠化危害仍然只能采取类似目前建设沙漠公路防护林的形式进行人工局部防治。

⑦ 柯坪-图木舒克区域沙漠化重度危害-重点防治小区

本小区包括柯坪县的平原地区、图木舒克市附近地区以及阿瓦提县和阿克苏市位于叶尔羌河流域下游的部分地区，多偏西、偏北风。本区多固定半固定沙地，但受地形及局部流场的影响，沙暴天气多发，柯坪年沙暴日数达 31 d，为全疆仅次于民丰（36 d）的沙暴第二高发区，因此受沙漠化危害影响严重。本区沙漠化综合评级以 8-10 级为主，平均值达 9.21，属重度危害，虽然本区人口和耕地在全疆所占比例不高，但由于对当地人民的生产生活影响重大，并且图木舒克市是兵团重要的新兴城市，因此将本区划为重点防治小区。

（2）天山南坡亚区

本亚区与北疆的山地区类似，只是降水和植被条件远不如北疆山地，山地森林面积

大为缩减,已极少成带,山地荒漠及荒漠草原的海拔上限向上大为提高。植被盖度以中低盖度为主,东部库鲁克塔格地区更是多为几无植被覆盖的裸露地区。与北疆情况类似,山地人类活动多以放牧为主。与北疆不同的是,受干旱气候及塔里木盆地内部各大沙漠的影响,本区山间盆地、谷地的沙漠化发生几率大为增加,在哈拉峻盆地、焉耆盆地、吐哈盆地等地均可见到规模相对较小的沙漠分布。共分为 3 个三级区:

①焉耆盆地沙漠化轻微危害-一般防治小区

本区包括焉耆盆地内的和静、和硕、焉耆、博湖诸县的平原地区,多偏西、偏北风。盆地底部为博斯腾湖,湖的北、西两侧为绿洲,南侧为阿克别勒库姆沙漠。绿洲区内部分布有零星的沙漠化土地。为防治沙漠化土地扩展,绿洲区需要采取一些相应的防治措施。由于这些沙化土地多为绿洲所包围,且绿洲区水源丰富、便利,因此防治相对容易。本区沙漠化综合评级以 2、4、5、6 级为主,平均值为 4.53,这主要是由于阿克别勒库姆沙漠对此均值的影响,由于阿克别勒库姆沙漠位处区内盛行风向-偏北、偏西风的下风向,并且有博斯腾湖相隔,对绿洲区实际上基本没有威胁,而为避免分区过于琐碎又不宜将该区再行细分,因此仍将本区评为沙漠化轻微危害区。

②吐鲁番-哈密盆地沙漠化轻度危害-重要防治小区

本小区包括吐鲁番地区及哈密市位于吐哈盆地内的平原区域,西部多偏西风,中部多偏北风,东部则多偏东风。区内分布有鄯善库姆塔格沙漠,除此及绿洲以外,其余多为砾质戈壁,植被极为稀少。本区气候极端干旱,降水极少,可利用的水资源数量十分有限。区内多大风,分布有新疆著名的“三十里风区”和“百里风区”,大风对兰新铁路和 312 国道造成严重威胁。本区沙漠化综合评级以 4、5、6 及 8 级为主,平均值为 6.05,由于本区沙漠化主导因子为大风,因此评为沙漠化轻度危害。由于区内人口密集,且有兰新铁路和 312 国道经过,因此归为沙漠化的重要防治区域。防治策略应以建设人工防风体系为主。

③天山南坡山地丘陵沙漠化无或轻微危害-自然保护小区

本小区范围跨度大,从西至东,绵延约 1800 km,包括了除焉耆盆地和吐哈盆地以外的天山南坡所有其它区域,海拔高度从数百米到七千多米,因此区域内部沙漠化状况差异较大,沙漠化综合评级从 1-10 级均有分布,平均值为 4.50。但由于本区沙漠化土地分布零星,面积较小,沙漠化危险或危害总体轻微,加之总体上属于人类活动较少、人为干预能力受限的山地区域,采取的沙漠化防治策略相对一致和单一,因此仍归为同一三级区,并评级为沙漠化无或轻微危害。沙漠化防治以自然保护为主,仅在局部个别

盆地绿洲区域可视需要采取一定的主动干预措施，且一般也以防风措施为主。

（3）昆仑-阿尔金山亚区

本亚区包括帕米尔高原东部、昆仑山、阿尔金山、喀喇昆仑山以及青藏高原中位于新疆境内的部分。本区平均海拔高，地势高寒，气候干旱，降水及植被条件较之天山南坡进一步降低，高寒荒漠和裸岩石山占据着近 60%的面积。本区绝大部分区域人类活动稀少，无人区占据着相当大的范围。本区沙漠分布面积不多，但大风及沙尘天气较多。分为 2 个三级区：

① 库木库里轻度沙漠化-自然保护小区

位于新疆东南部，大部海拔在 3500 m 以上，最低海拔也在 2500 m 以上。由阿其克库勒和阿牙克库木库勒两个湖盆以及托格拉萨依河谷组成。区内分布有面积不大的数片沙漠。区内植被盖度较高，高寒草原、草甸、沼泽及高寒荒漠草原所占面积比例超过了 50%。沙漠化综合评级以 5-8 级为主，平均值为 6.07，属中度沙漠化风险区域。鉴于其沙漠面积所占比例仅为 6%，因此判为轻度沙漠化区域。本区大部分位于阿尔金山自然保护区范围内^[211]，沙漠化防治策略为纯自然保护，在可预见的将来暂不需采取任何人为干预措施。

② 昆仑-阿尔金山沙漠化无或轻微危害-自然保护小区

为昆仑-阿尔金山除库木库里地区以外的其它区域。沙漠化土地分布更为罕少。由于与天山南坡类似，从西至东跨越范围很大，因此区内沙漠化状况也存在一定程度的分异。沙漠化综合评级从 1-9 级均有，相对集中于 4、5、6 这三个级别，三者合计占到 74.54%的面积。沙漠化综合评级平均值为 4.62，属于沙漠化轻微危害或轻微风险区域。防治策略以自然保护为主，部分区域有放牧活动，应注意防止过牧，少数有人类居住和活动的河谷地区可能需视具体情形采取一些防风措施。

第四章 新疆沙漠化分区防治技术与模式

4.1 新疆沙漠化防治的指导思想、战略思路与对策

4.1.1 指导思想

充分认识新疆防沙治沙工作在国家生态安全体系中占有的重要地位，以科学发展观统领防沙治沙工作的全局。坚持预防为主、科学治理、合理利用的方针，遵循自然、经济和社会发展规划，保护和治理并重，大力推进生态建设重点工程，实行人工治理与自然修复相结合，生物措施与工程措施相结合，区域防治与重点防治相结合，合理开发利用水资源，各有关部门密切配合，采取封、飞、造和小流域综合治理等手段，建立和巩固以林草植被为主体的稳定的沙区生态安全体系，尽快使仍在扩展地区的土地沙化趋势得到遏制，使已治理地区的建设成果得到巩固，使广大沙区的生态状况明显改善。同时，在防沙治沙中，大力推广生态经济型建设模式，积极调整产业结构，培育资源，发展产业，促进沙区农牧民脱贫致富，促进全区生态、经济和社会协调发展。

4.1.2 战略思路与对策

根据新疆沙化土地现状，因害设防，以保护为主，采取生物治沙和非生物治沙相结合的治理措施，抑制流沙侵袭、遏制沙化土地扩展，保护和恢复现有天然荒漠植被。将目前不具备治理条件和具有特殊生态保护价值且相对集中连片的沙化土地划定为封禁保护区，实行严格的封禁保护；在沙漠前沿建设乔灌草、带片网状的防风阻沙林草带，阻止流沙扩展，在绿洲外围建设以防风、固沙、减灾为主要目的的大型综合防护林体系；在重点设防地段营造大型防沙固沙林带，阻止流沙移动；在铁路、公路沿线结合地形、气候条件，营造乔、灌混交的护路林带；在河谷地带实施综合治理。合理调配水资源，保障生态用水。改变畜牧业生产方式，防止草场退化。改变能源结构，解决燃料不足。调整产业结构，优化土地利用格局，发展地方经济。控制人口增长，实行生态移民。通过这些措施使治理区生态得到极大改善，促进区域社会经济可持续发展。

4.2 新疆沙漠化分区防治技术与模式

4.2.1 新疆沙漠化防治适用技术与模式

经过科研工作者及身处防沙治沙第一线干部群众的数十年探索与实践,在疆内及国内已经形成了不少的沙漠化防治技术与模式,多年来为我国及疆内的沙漠化防治工作提供了强有力的科技支持。本文对这些技术与模式进行分析、归纳和汇总,提出了适用于新疆的生物、非生物防治技术及 22 项专项和综合性技术与模式。详见附录 B^[226-235]。

4.2.2 新疆沙漠化分区适用防治技术与模式

根据新疆沙漠化防治的指导思想、战略思路与对策,结合沙漠化防治区划各分区的具体特点及各种沙漠化防治技术与模式的适用条件,提出各分区的适用防治技术与模式如下^[150,192-196, 200, 201, 207,209-220, 226-240]:

4.2.2.1 北疆温带干旱半干旱沙漠化和潜在沙漠化防治区

防沙治沙的重点是通过封育保护以灌木、多年生超旱生草本、蒿类为主的天然荒漠植被,封禁保护固定半固定沙地植被;在绿洲外围营造以防风、固沙、减灾为主要功能的骨干防护林带,保障绿洲生态安全;在重要交通干线、城镇及工矿周围营造带片网、多树种相结合的生物防护屏障。

(1) 准噶尔盆地亚区

①准噶尔盆地西缘沙漠化轻微危害-一般防治小区

本区主要问题是大风偏多,适用防治技术或模式主要有:农田防护林营造技术,营造大型防风阻沙基干林带模式,旱作农田免耕、留茬抗风蚀技术,林农间作(发展特色林果业)、林草间作模式(发展人工牧草基地)。本区水资源较少,为节约出更多的水资源用于生态林建设并提高造林成活率和保存率,尚应推广抗旱集水保墒整地技术、喷滴灌等旱作节水技术以及节水灌溉造林模式。

②准噶尔盆地南缘沙漠化轻度危害-重点防治小区

本区主要问题是西部临近阿拉山口地区大风多,中东部局部沙漠边缘地区因受过去人类活动过度干扰而出现沙丘活化南侵威胁。绿洲内部及边缘有较多的盐碱地,并有一些零星沙丘沙地。沙漠南缘时有鼠害威胁。本区人口、经济密集,农业较发达,水资源

供需相对紧张。但本区天然降水较多，生态自然修复能力较强。防治重点是保护好沙漠前沿荒漠植被，在农区外围沙漠前沿营造大型防沙治沙基干林带，在绿洲外围飞播造林种草，阻止沙漠南移。本区适用防治技术或模式主要是：营造大型防风阻沙基干林带技术，旱作农田免耕、留茬抗风蚀技术；节水灌溉造林模式，无灌溉造林模式，封沙育林育草模式，飞播造林技术，零星沙丘沙地造林固沙技术，抗旱集水保墒整地技术，梭梭更新复壮技术模式，旱作节水技术，盐碱地造林技术，特色药用植物种植模式（梭梭接种大芸），林农间作（特色林果业）、林草间作模式（发展人工牧草基地），森林病虫害综合防治技术等。

③准噶尔盆地北部沙漠化轻度危害-重要防治小区

本区的问题是大风较多，荒漠草场受过牧威胁。防治重点是保护和恢复天然植被。主要适用防治技术或模式有：封沙育林育草模式，抗旱集水保墒整地技术，旱作农田免耕、留茬抗风蚀技术；营造防风阻沙基干林带技术，轮牧、休牧技术，旱作节水技术，林农间作（特色小浆果）、林草间作模式（人工牧草基地），节水灌溉造林模式等。

④古尔班通古特沙漠内部中度沙漠化-自然保护与人工局部防治小区

本区位于沙漠核心地带，除有油气开采活动及放牧活动外，其它人类活动很少。适用防治技术或模式主要是：建立封禁保护区，封沙育林育草模式，轮牧、休牧技术，荒漠化监测与评价技术。

⑤三塘湖-淖毛湖盆地沙漠化轻微危害-一般防治小区

本区绿洲狭小，面积不多，主要问题是大风多，水资源少。适用防治技术或模式主要是：旱作农田免耕、留茬抗风蚀技术；营造防风阻沙基干林带技术，旱作节水技术，林农间作、林草间作模式（人工牧草基地），节水灌溉造林模式等。

(2) 阿尔泰山及准东丘陵亚区

阿尔泰山及准东丘陵沙漠化无或轻微危害-自然保护小区

防沙治沙的重点是合理利用草场资源，防止过牧。适用防治技术或模式主要是轮牧、休牧技术。

(3) 准噶尔西部山地亚区

①塔城盆地沙漠化轻微危害-一般防治小区

本区大风稍多，盆地中部额敏河沿岸低地有沙漠化土地间或分布。防治重点是大力保护盆地内的天然植被，建设好农区防护林网。适用防治技术或模式主要是旱作农田免耕、留茬抗风蚀技术；营造防风阻沙基干林带技术，农田防护林营造技术，封禁技术，

轮牧、休牧技术，林农间作（特色小浆果），林草间作（人工牧草基地）。

②准噶尔西部山地沙漠化无或轻微危害-自然保护区

防沙治沙的重点是合理利用草场资源，防止过牧。适用防治技术或模式主要是轮牧、休牧技术。

（4）天山北坡亚区

①天山北坡山地沙漠化无或轻微危害-自然保护区

防沙治沙的重点是合理利用草场资源，防止过牧。适用防治技术或模式主要是轮牧、休牧技术。

②伊犁谷地西部沙漠化轻微危害-一般防治小区

本区有小片固定半固定沙漠分布，需注意防止其活化。适用防治技术或模式主要是封沙育林育草模式和农田防护林营造技术，林农间作（发展特色小浆果），林草间作（发展人工牧草基地）。

4.2.2.2 南疆暖温带极端干旱沙漠化和潜在沙漠化防治区

防沙治沙的重点是通过封育保护、引洪灌溉、合理分配农林牧用水等措施拯救塔里木河流域的天然荒漠植被；通过人工种草、建立封禁保护区、封沙育林育草，在绿洲外围营造乔灌草结合的防护林网，阻止沙漠扩大、迁移。

（1）塔里木盆地亚区

①喀什噶尔河-叶尔羌河流域沙漠化中度危害-重点防治小区

本区人均耕地资源少，贫困人口较多，脱贫致富、发展经济要求迫切。沙漠化防治重点是积极发展林果业，减少对荒漠植被的人为干扰，通过封育保护及人工造林措施扩大荒漠植被面积（新疆防沙治沙规划），以减轻沙漠化危害和威胁。适用防治技术或模式主要是：封沙育林育草模式，引洪（闲水）灌溉造林模式，流动沙漠区流沙固定模式，节水灌溉造林模式，胡杨复壮模式，沙地设施农业技术，发展名优经济林（特色林果业）及特色药用植物种植模式（红柳接种大芸），林农间作模式，旱作节水技术，沙区能源开发技术（发展沼气及薪炭林）等。

②塔里木盆地南缘沙漠化重度危害-重点防治小区

本区人均耕地少，贫困人口集中，能源缺乏，生态用水相对短缺，沙漠化危害严重，发展经济和防治沙漠化要求十分迫切。防治重点是采取封沙育林育草与人工造林相结合的措施，在农区外围沙漠前沿营造大型绿洲防护屏障，阻止风沙威胁绿洲。适用防治技术或模式主要是：和田-策勒模式，窄林带、小网格农田防护林营建技术，封沙育林育

草模式，引洪（闲水）灌溉造林模式，流动沙漠区流沙固定模式，节水灌溉造林模式，胡杨复壮模式，沙地设施农业技术，发展名优经济林（特色林果业）及特色药用植物种植模式（红柳接种大芸），林农间作模式，旱作节水技术，沙区能源开发技术（发展沼气及薪炭林）等。

③塔克拉玛干沙漠东缘沙漠化中度危害-重要防治小区

本区因处于库鲁克沙漠下风向，主要受该沙漠危害影响。防治重点是通过封育和引洪灌溉措施保护和恢复塔里木河下游和车尔臣河下游的天然植被资源，结合人工造林，在绿洲外围建立绿色防护屏障。适用防治技术或模式主要有：和田-策勒模式，封沙育林育草模式，引洪（闲水）灌溉造林模式，流动沙漠区流沙固定模式，节水灌溉造林模式，胡杨复壮模式，发展名优经济林模式（特色林果业），林农间作模式，旱作节水技术，沙区能源开发技术（发展沼气及薪炭林）等。

④塔里木盆地北缘沙漠化中度危害-重要防治小区

本区主要问题是由于水资源分配不合理，生态用水减少，导致塔里木河流域的天然荒漠植被出现退化或消亡危险，就地起沙问题凸显，进而威胁到其附近绿洲的生态安全。防治重点是通过封育保护、引洪灌溉、合理分配水资源等措施保护和拯救天然荒漠植被。适用防治技术或模式主要有：封沙育林育草模式，引洪（闲水）灌溉造林模式，节水灌溉造林模式，胡杨复壮模式，林农间作、林草间作模式，林农草复合治沙模式，发展名优经济林模式（特色林果业），旱作节水技术，农田防护林营造技术，零星沙丘沙地造林固沙技术，沙区能源开发技术（发展沼气及薪炭林）等。

⑤罗布洼地-库姆塔格沙漠沙漠化轻度危害-自然保护小区

本区水资源奇缺。目前除罗布泊钾盐开采活动外，其它人类活动很少。防治重点是对部分区段的道路交通设施进行必要的防护，并保护好罗布泊野骆驼自然保护区的自然环境。适用防治技术或模式是：机械沙障防沙技术。

⑥塔克拉玛干沙漠内部重度沙漠化-人工局部防治小区

本区为沙漠核心区域，几乎全为流动沙地。淡水资源奇缺。目前除油气开采及轮台-民丰和阿拉尔-和田两条沙漠公路外，人类活动很少。防治重点是确保沙漠公路畅通及油气开采设施的安全运行。适用防治技术或模式是：绿色廊道建设模式，沙漠地区公路边坡防护及防风固沙技术，机械沙障、化学固沙等非生物防治技术，咸水灌溉技术。

⑦柯坪-图木舒克区域沙漠化重度危害-重点防治小区

本区地处喀什噶尔河和叶尔羌河下游，受上游截流影响，天然荒漠植被退化明显，

沙尘天气危害严重。防治重点是采取封育、引洪灌溉及人工造林措施恢复和扩大荒漠植被面积。适用防治技术或模式有：封沙育林育草模式，引洪（闲水）灌溉造林模式，流动沙漠区流沙固定模式，节水灌溉造林模式，胡杨复壮模式，沙地设施农业技术，发展名优经济林（特色林果业）及特色药用植物种植模式（中药及特色维药），林农、林草间作模式，旱作节水技术，营造防风阻沙基干林带技术，农田防护林营造技术，沙区能源开发技术（发展沼气及薪炭林）等。

（2）天山南坡亚区

①焉耆盆地沙漠化轻微危害-一般防治小区

本区绿洲内部有零星沙漠化土地。博斯腾湖南岸的阿克别勒库姆沙漠虽为流动沙漠，但对绿洲区基本无威胁，目前有沙漠旅游活动开展。本区防治重点是防止绿洲区的沙漠化土地扩大和危害周边区域。主要适用防治技术或模式是：农田防护林营造技术，零星沙丘沙地造林固沙技术，发展名优经济林模式（特色林果业），沙区能源开发技术（发展沼气及薪炭林）。

②吐鲁番-哈密盆地沙漠化轻度危害-重要防治小区

本区水资源少，戈壁面积广阔，绿洲以外区域植被极其稀少。所受主要威胁是大风。绿洲区及其附近有零星沙漠化土地。防治重点是加强防风体系建设。主要适用防治技术或模式有：营造防风阻沙基干林带技术，农田防护林营造技术，零星沙丘沙地造林固沙技术，机械沙障防沙技术，引洪（闲水）灌溉造林模式，节水灌溉造林模式，旱作节水技术，发展名优经济林模式（特色林果业），沙区能源开发技术（发展沼气及薪炭林）。

③天山南坡山地丘陵沙漠化无或轻微危害-自然保护小区

本区主要需防止草场过牧，山间盆地的绿洲区需完善防护林体系建设。主要适用防治技术或模式有：封禁、封育技术，轮牧、休牧技术，农田防护林营造技术，节水灌溉造林模式，旱作节水技术。

（3）昆仑-阿尔金山亚区

①昆仑-阿尔金山沙漠化无或轻微危害-自然保护小区

本区防沙治沙的重点是合理利用草场资源，防止过牧。适用防治技术或模式主要是轮牧、休牧技术。

②库木库里轻度沙漠化-自然保护小区

本区基本为无人区，防治重点是加强阿尔金山保护区的管理，保护好区内自然生态环境。暂无适用防治技术或模式。

第五章 结论与讨论

5.1 结论

(1) 根据大地貌单元,在全国一级区划的基础上,对新疆的沙漠化防治作出了二级区划,划分出 7 个二级区。

(2) 根据全疆沙漠化综合评价及其他辅助指标,运用沙尘天气指数、土地覆被指数、植被盖度指数、大风指数和海拔高程指数,在二级区划的基础上,进行三级区划,得出了新疆沙漠化防治三级区划方案,将全疆划分为 22 个三级区。

(3) 提出了适用于新疆的生物、非生物防治技术及 22 项专项和综合性技术与模式。

(4) 通过二、三级区的划分,对全疆的沙漠化状况做出了较为符合实际的综合性评价,为实现新疆沙漠化科学防治提供了可供参考的依据。

5.2 讨论

区划指标和区划方法是区划工作的关键。前人的类似工作或是主要依赖定性描述,缺乏定量依据,或是一些区划指标有较强的区域适用性及资料可获取性等限制^[48,50,85-92]。新疆沙漠化防治区划工作的实践检验表明,沙尘天气指数、土地覆被指数、植被盖度指数、大风指数和海拔高程指数可以较好地反映沙漠化的发生发展条件或危害程度,且资料获取相对较易,作为沙漠化防治区划的指标是适用的,并且也可用于沙漠化危险度与危害程度的综合评价。另外,耕居地人口密度和人口耕居地比重和这两个指标用于反映人口压力和沙漠化控制重要性也是合适的。

本文提出的区划方案对于促进新疆更为科学地开展防沙治沙实践具有积极的参考意义。同时,本区划的指标体系和区划方法对于我国其它干旱地区的沙漠化防治区划工作也具有借鉴意义。此外,本区划也可为相关领域人士全面、正确掌握和了解新疆沙漠化威胁、危害的现状提供有益的参考。

5.3 展望

限于作者的学术水平以及资料和研究手段的局限，本文提出的区划方法、方案以及防治建议都还可能有值得商榷的地方，希望能为今后更为完善的类似工作起到抛砖引玉的作用。

参考文献

- [1]A Aubréville. A Chevalier Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Sociétés d'éditions géographiques[M].Paris:maritimes et coloniales,1949.
- [2]Le Houérou H N. La désertisation du Sahara septentrional et des steppes limitrophes.Annales Algériennes de Géographie,1968,6:2-27.
- [3]UNCCD.Ecological change and desertification,background document,1977.
- [4]Ahmed Y J,Kassas M. Desertification: Financial support for the biosphere[M].London :Hodder & Stroughton and UNEP,1987,187.
- [5]Agnew C T, Warren A. The sand trap[A]. In: Hatton J, Plouffe P B(Eds.), The Culture of Science[C]. New York:Macmillan,1993,517-525,633.
- [6]UNEP.Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of action to combat desertification[R].United Nations Environment Programme,Nairobi,Kenya,1992.
- [7]UNCCD.United Nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification,particularly in Africa,1994.
- [8]张煜星,孙司衡.《联合国防治荒漠化公约》的荒漠化土地范畴.中国沙漠,1998,18(2): 188-192。
- [9]王礼先.全球荒漠化防治现状及发展趋势.世界林业研究,1994,7(1):10-17。
- [10]董光荣,申建友,金炯,等.关于荒漠化与沙漠化的概念[J].干旱区地理,1988, 11(1):58-61。
- [11]朱震达.中国土地沙漠化的概念、成因与防治[J].第四纪研究,1998,18(2):145-155。
- [12]周劲松,濮励杰.荒漠化概念及其实践意义议[J].中国沙漠,1996,16(2):191-195。
- [13]何绍芬.荒漠化、沙漠化定义的内涵、外延及在我国的实质内容[J].内蒙古林业科技, 1997,(1):15-18。
- [14]马世威,高永.荒漠化与沙漠化概念的争议及学术意义[J].内蒙古林学院学报, 1998,20(1):64-69。
- [15]董玉祥.荒漠化与沙漠化[J].科技术语研究,2000,2(4):18-21。
- [16]卢琦,杨有林,贾晓霞.全球履行《联合国防治荒漠化公约》的进程评述[J].世界林业研究,2001,14(4):1-10。
- [17]朱震达.沙漠化及其防治.中国自然保护文集[M].北京:中国环境科学出版社,1989。
- [18]朱震达,陈广庭,等.中国土地沙质荒漠化[M].北京:科学出版社,1994。

- [19]吴正.浅议我国北方地区的沙漠化问题[J].地理学报,1991,46(3):266-276。
- [20]吴正,钟德才.中国北方地区沙漠化的现状与趋势之窥见[J].中国沙漠,1993, 13(1):21-27。
- [21]夏训诚,李崇舜.关于沙漠化机制的研究[J].干旱区研究,1993,10(1):1-14。
- [22]陈隆亨.鄂尔多斯西部地区土地荒漠化退化及其防治研究:以公卡汗苏木为例[J].干旱区资源与环境,1994, 8(1):62-71。
- [23]Charney J G,Stone P H,Quirk W J.Drought in Sahara:A biogeophysical feed back mechanism [J].Science,1975,187:434-435.
- [24]Charney J G,Quirk W T,Chow S H,et al.A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions[J].Journal of Atmospheric Science,1977,34:1366-1385.
- [25]Sud Y C,Fennessy M A.A study of the influence of surface Albedo on July circulation in semiarid regions using the GLAS GCM[J].Journal of Climatology,1982,2:105-125.
- [26]Anthes.Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative in semi—arid regions[J].J Clima Appli Meteorol,1984,23(4):541-551.
- [27]Nobre C A,Sellers P J,Shkla J.Amazonian deforestation and regional climate change[J].J.Climate,1991,4: 957-988.
- [28]Wright I R,Gash J H C,Da Rocha H R.Dry season micrometeorology of central Amazonian range land[J]. Q.J.R.Meteorol.Soc,1992,118:1083-1099.
- [29]Phillips.Biophysical feedbacks and risks of desertification[J].Annals of the Association of American Geographers,1993,83:630-640.
- [30]Trevor J Hobbs, Ashley D Sparrow, Joe J Landsberg. A model of soil moisture balance and herbage growth in the arid rangelands of central Australia[J]. Journal of Arid Environments, 1994,28:281–298.
- [31]Nevin A Bryant, Lee F Johnson, Anthony J Brazel,et al.Measuring the effect of overgrazing in the Sonoran Desert[J]. Climatic Change, 1990,17:243-264
- [32]Sala O E, Lauenroth W K and Golluscio R A. Plant functional types in temperate semi-arid regions[A]. In: Smith T M, Shugart H H and Woodward F I (Ed.), Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change[C]. New York:Cambridge University Press,1997,217–233.
- [33]Tucker C J,Dregne H E,Morton S R.Expansion and contraction of Sahara desert from 1980 to 1990 [J]. Science, 1991, 253:299-301.
- [34]Tucker C J, Newcomb W W, Dregne H E. AVHRR data sets for determination of desert spatial extent[J]. International Journal of Remote Sensing,1994,15(17):3547–3565.

- [35]Tucker C J,et al.Desertification,aridity and vegetation:a case study in Sahel, west Africa[J].
Meteorological Science and Technology,2000,2:41-46.
- [36]Ludwig J A. Primary production variability in desert ecosystems[A]. In: Whitford, W.G. (Ed.), Pattern
and Process in Desert Ecosystems[C]. Albuquerque:University of New Mexico Press, 1986 ,5–17.
- [37]Ringrose S,Matheson W,Tempest F,et al.The development and causes of Rallge Degradation Features in
Southeast Botswana using Multi—temporal Landsat MSS Imagery[J].Photogrammetric Engineering and
Remote Sensing,1990,56(9):1253-1262.
- [38]Del Valle H F , Elissalde N O ,Gagliardini D A,et al. Status of desertification in the Patagonian region:
Assessment and mapping from satellite imagery[J].Arid Land Research and Management,
1998,12(2):95–121.
- [39]Tripathy G K,Ghosh T K,Shah S D.Monitoring of desertification process in Karanataka State of India
using multi-temporal remote sensing and ancillary information using GIS[J].International Journal of
Remote Sensing,1996,17(12):2243-2257.
- [40]Milich L,Weiss E.GAC NDVI interannual Coefficient of Variation(CoV)images:ground truth sampling
of the Sahel along north-south transects[J].International Journal of Remote Sensing,2000,21:235-260.
- [41]CCICCD.China country paper to combat desertification[M].Beijing:China Forestry Publishing House,
1996.18-31.
- [42]刘连友.区域风沙蚀积量和蚀积强度初步研究—以晋陕蒙接壤区为例[J].地理学报, 1999,54(1):
59-68。
- [43]韩致文,王涛,董治宝,等.风沙危害防治的主要工程措施及其机理[J].地理科学进展, 2004,23(1):
13-21。
- [44]朱震达,赵兴梁,等.治沙工程学[M].北京:科学出版社,1998。
- [45]董光荣等.中国沙漠形成演化气候变化与沙漠化研究[M].北京:海洋出版社,2002。
- [46]李胜功,原圆芳信.不同放牧压力下草地微气象的变化与草地荒漠化的发生[J].生态学报,1999,19(5):
697-704。
- [47]孙鹏森,刘世荣.鄂尔多斯地区两种典型沙质荒漠化阶段微气象特征的比较研究[J].林业科学,
2003,39(4):9—15。
- [48]朱震达,刘恕.中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划[M].北京:中国林业出版社, 1981。
- [49]刘纪远.中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M].北京:中国科学技术出版社,1996。
- [50]董光荣.青海共和盆地土地沙漠化与防治途径[M].北京:科学出版社,1993。

- [51]慈龙骏.全球变化对我国荒漠化的影响[J].自然资源学报,1994,9(4):289-303。
- [52]慈龙骏,杨晓晖.荒漠化与气候变化间反馈机制研究进展[J].生态学报,2004,24(4):755-760。
- [53]王涛,吴薇,王熙章.沙质荒漠化的遥感监测与评估——以中国北方沙质荒漠化区内的实践为例[J].第四纪研究,1998(2):108—118。
- [54]杨宝珍,刘志茂.油蒿(*Artemisia ordosica*)的蒸腾作用及其群落的水分状况[J].植物生态学报,1994,18(2):161-170。
- [55]王庆锁,董学军.油蒿群落不同演替阶段某些群落特征的研究[J].植物生态学报,1997,21(6):531-538。
- [56]黄兆华.鄂尔多斯高原草原沙漠化过程中植被量与质的演变[J].国外畜牧学——草原与牧草,1997,(3):13-15。
- [57]刘玉平,慈龙骏.毛乌素沙地草场荒漠化评价的指标体系[J].中国沙漠,1998,18(4):366-371。
- [58]王涛,朱震达.中国北方沙漠化的若干问题[J].第四纪研究,2001,21(1):56-65。
- [59]石庆辉.腾格里沙漠东南缘沙坡头地段铁路北侧人工植被演替动态[A].沙坡头沙漠试验研究站年报(1991—1992)[C].1993。
- [60]程晓莉,安树青,陈兴龙等.鄂尔多斯草地荒漠化过程与植被生物量变迁的关系[J].林业科学,2001,37(2):13-20。
- [61]常学礼,赵爱芬.景观格局在沙漠化研究中的作用[J].中国沙漠,1998,18(3):210-214。
- [62]吴波.沙质荒漠化土地景观分类与制图——以毛乌素沙地为例[J].植物生态学报,2000,24(1):52-57。
- [63]陈玉福,董鸣.鄂尔多斯高原沙地草地荒漠化景观现状的定量分析[J].环境科学,2002,23(1):87—91。
- [64]周瑞莲,王海鸥,赵哈林.不同类型沙地植物保护酶系统对干旱、高温胁迫的响应[J].中国沙漠,1999,19(1):49-54。
- [65]周瑞莲,王海鸥.在干旱、高温胁迫中沙生植物抗脱水性与膜脂过氧化关系的研究[J].中国沙漠,1999,19(1):59-64。
- [66]周智彬,徐新文,杨兰英.三种固沙植物对高温胁迫的生理响应及其抗热性研究[J].干旱区地理,2005,28(6):824-830。
- [67]赵文智,何志斌,李志刚.草原农垦区土地沙质荒漠化过程的生物学机制[J].地球科学进展,2003,18(2):257—262。
- [68]于云江,辛越勇,刘家琮,等.风和风沙流对不同固沙植物生理状况的影响[J].植物学报,1998,40(10):962—968。
- [69]赵哈林,黄学文.科尔沁沙地农田沙漠化机理研究(IV):农田风蚀沙化的原因、规律、机理[A].奈曼站

- 论文集(1)[C].兰州:甘肃科学技术出版社,1993。
- [70]赵哈林,刘新民,李胜功,等.科尔沁沙地脆弱生态环境的基本属性特征和成因分析[J].中国沙漠,1998, 18(Supp.2):10-17。
- [71]赵哈林,赵学勇,张铜会,等.放牧胁迫下沙质草地植被的受损过程[J].生态学报,2003, 23(8):1505-1511。
- [72]张铜会,赵哈林,赵学勇,等.科尔沁沙地玉米耗水规律初探[J].中国沙漠,1999, 19(Supp.1):137—139。
- [73]吕桂芬.科尔沁沙地土壤微生物区系季节动态的初步研究[J].中国沙漠,1999, 19(Supp.1):107—109。
- [74]张继贤.沙坡头地区防护林体系建立过程中区域生态环境的变化特点[A].中科院沙坡头站年报 (1991-1992)[C].兰州:甘肃科技出版社,1993。
- [75]段争虎,刘新明.中国土地沙漠化对大气 CO₂ 含量的影响[J].干旱区资源与环境,1996,10(2):89-94。
- [76]阎德仁,武智双.沙质荒漠化土壤生态恢复研究展望[J].内蒙古林业科技,1998,(增刊): 58—61。
- [77]赵文智,刘志民,程国栋.土地沙质荒漠化过程的土壤分形特征[J].土壤学报,2002,39(5):877-881。
- [78]关文彬,曾德慧,姜凤岐.中国东北西部地区沙质荒漠化过程与植被动态关系的生态学研究:植被的分类[J].应用生态学报,2000,11(6):907—911。
- [79]刘新民,赵哈林.科尔沁沙地生态环境综合整治研究[M].兰州:甘肃科学技术出版社, 1993。
- [80]肖洪浪,李福兴.中国沙漠和沙地的资源优势与农业发展[J].中国沙漠,1999, 19(3):199-205。
- [81]高前兆,史胜生,温培安,等.中国西北干旱地区的水资源[J].中国沙漠,1992,12(4): 1-12。
- [82]陈隆亨,李福兴,邸醒民.我国风沙土系统分类[J].中国沙漠,1993,13(4):6-13。
- [83]李福兴.河西走廊绿洲灌溉淤土的初步研究[A].绿洲建设的理论与实践[C].呼和浩特:干旱区资源与环境杂志社,1995。
- [84]聂浩刚,王岷,孙虎,等.近10年来沙漠—黄土边界带荒漠化土地动态分析—以陕北榆林地区为例[J].中国地质,2005,38(2):86—93。
- [85]王涛,王熙章,吴薇.中国沙漠化灾害区划[A].王劲峰等.中国自然灾害区划[C].北京:中国科学技术出版社,1995,110-130。
- [86]董玉祥.中国沙漠化危险度评价与发展趋势分析[J].中国沙漠,1996,16(2):127-131。
- [87]董玉祥.中国北方沙漠化灾害危险度分区评价[J].地理学报,1997,52(2):146-153。
- [88]张胜邦,陈俊明.青海省防治沙漠化区划研究[J].中国沙漠,1998,18(3):283-288。
- [89]李森,董玉祥,董光荣,等.青藏高原土地沙漠化区划[J].中国沙漠,2001,21(4): 418-427。
- [90]马增旺,陈启忠,贾淑英,等.河北省沙漠化土地治理类型区划分与适应植物选择[J].河北林业科技, 2001,(3):17-20。

- [91]王涛,薛娴,吴薇,等.中国北方沙漠化土地防治区划(纲要)[J].中国沙漠,2005,25(6): 816-822。
- [92]吴波,李晓松,刘文,等.京津风沙源工程区沙漠化防治区划与治理对策研究[J].林业科学, 2006,42(10):65-70。
- [93]李滨生.治沙造林学[M].北京:中国林业出版社,1990。
- [94]朱震达.中国北方沙漠化现状及发展趋势[J].中国沙漠,1985,5(3):3-11。
- [95]寿伟权.为对抗世界沙漠化培养人才的继续教育[J].中国沙漠,1989,9(1):14-18。
- [96]朱震达.30 年来中国沙漠研究的进展[J].地理学报,1979,34(4):305-314。
- [97]朱震达.中国沙漠化研究的进展[J].中国沙漠,1989,9(1):1-13。
- [98]王涛.中国沙漠科学的五十年[J].中国沙漠,2005,25(2):145-165。
- [99]吴正.中国风沙地貌学研究的新进展—庆贺黄秉维教授 80 华诞[J].地理研究, 1993,12(1):10-17。
- [100]王涛,赵哈林,肖洪浪.中国沙漠化研究的进展[J].中国沙漠,1999,19(4):299-311。
- [101]王涛,朱震达.中国沙漠化研究[J].中国生态农业学报,2001,9(2):7—12。
- [102]朱震达,刘恕,邸醒民.中国的沙漠化及其治理[M].北京:科学出版社,1989。
- [103]朱震达,吴正,刘恕.中国沙漠概论(修订版)[M].北京:科学出版社,1980,1—7。
- [104]朱震达,吴正,刘恕,等.中国沙漠概论(修订版)[M].北京:科学出版社,1980。
- [105]卢琦等.中国治沙启示录[M].北京:科学出版社,2004。
- [106]卢琦主编.中国沙情[M].北京:开明出版社,2000。
- [107]王涛主编.中国沙漠与沙漠化[M].石家庄:河北科学技术出版社,2002。
- [108]朱俊凤,朱震达,等.中国沙漠化防治[M].北京:中国林业出版社,1999。
- [109]慈龙骏等.中国的荒漠化及其防治[M].北京:高等教育出版社,2005。
- [110]张奎壁,邹受益主编.治沙原理与技术[M].北京:中国林业出版社,1990。
- [111]卢琦.荒漠化防治与生态良好[J].世界林业研究,2001,14(6):33—40。
- [112]卢琦,杨有林,吴波.21 世纪荒漠化研究与治理方略[J].中国农业科技导报, 2000,(1):47—53。
- [113]李福兴.全球荒漠化现状和我国荒漠化研究的动向[J].水土保持研究,1996,3(4):103—110。
- [114]中国科学院治沙队.治沙研究(第三号)[M].北京:科学出版社,1962。
- [115]慈龙骏,刘玉平.人口增长对荒漠化的驱动作用[J].干旱区资源与环境,2000,14(1):28—33。
- [116]张煜星.论荒漠与荒漠化程度评价[J].干旱区研究,1996,13(2):77-80。
- [117]王岷,岳乐平,李智佩,等.对荒漠化综合研究中一些基本问题的初步探讨[J].西北地质, 2001, 34(1):10—17。
- [118]王一谋.彩色红外航空像片解译方法在现代沙漠化环境监测中的应用[J].中国沙漠, 1988,6(4):

- 47-55。
- [119]曾永年,冯兆东.沙质荒漠化遥感监测与环境影响研究进展[J].山地学报,2005,24(2): 218—227。
- [120]高会军,谭克龙,姜琦刚,等.“3S”技术在沙质荒漠化土地动态监测中的应用[J].地质灾害与环境,2005,16(2):182—185。
- [121]高会军,李小强,张峰.青海湖地区生态环境动态变化遥感监测[J].中国地质灾害与防治学报,2005,16(3):100-103。
- [122]高会军,姜琦刚,霍晓斌.陕北长城沿线沙质荒漠化遥感研究[J].自然资源学报,2005,20(3):471—473。
- [123]高会军,姜琦刚,霍晓斌.中国北方沙质荒漠化土地动态变化遥感分析[J].灾害学,2005,20(3):36—40。
- [124]康国定,冯学智,吴薇.中国北方农牧交错区沙质荒漠化灾害监测评价模型[J].南京大学学报(自然科学),2003,39(1):97-105。
- [125]高尚武,王葆芳,朱灵益,等.中国沙质荒漠化土地监测评价指标体系[J].林业科学,1998,34(2):1—10。
- [126]高志海,魏怀东,丁峰.TM 影像荒漠化土地特征信息的提取[J].中国沙漠,1998,18(增刊1):42-45。
- [127]吴薇,王熙章,姚发芬.毛乌素沙地沙质荒漠化的遥感监测[J].中国沙漠,17(4): 415-420。
- [128]李宝林,周成虎.东北平原西部沙地沙质荒漠化的遥感监测研究[J].遥感学报,2002, 6(2):117—122。
- [129]贺大良.风沙地貌形成机制的几个问题[J].中国沙漠,1985,5(1):33-37。
- [130]王涛主编,中国沙漠与沙漠化图(1 : 400万),中国地图出版社,2005。
- [131]刘彦随.陕北长城沿线地区土地退化态势分析[J].地理学报,2002,57(4):443-450。
- [132]吴薇,王熙章,姚发芬.毛乌素沙地沙漠化的遥感监测[J].中国沙漠,1997,17(4): 415-420。
- [133]牛宝茹.基于遥感信息的沙漠化灾害程度定量提取研究[J].灾害学,2005,20(1): 18-21。
- [134]高尚武,王葆芳,朱灵益,等. 中国沙质荒漠化土地检测评价指标体系[J].林业科学, 1998,34(2):1-10。
- [135]王思远,刘纪远,张增祥,等.中国土地利用时空特征分析[J].地理学报,2001,56(6): 631-639。
- [136]吕子君,卢欣石.甘肃河西走廊草地沙质荒漠化监测与治理对策[J].江西农业大学学报, 2005, 27(3):365-370。
- [137]高会军,康高峰,姜琦刚,等.基于遥感技术的中国北方沙质荒漠化防治建议[J].地质灾害与环境保护, 2006,17(1):17-20。
- [138]程晓莉,安树青,陈兴龙,等.鄂尔多斯草地荒漠化过程与植被生物量变迁的关系[J].林业科学, 2001,37(2):13—20。
- [139]赵丽娅,赵哈林.我国沙漠化过程中的植被演替研究概述[J].中国沙漠,2000,20(增刊):7—14。
- [140]蒋齐,李生宝,范聪.宁夏土地沙质荒漠化及其防治对策[J].干旱区资源与环境,1999, 13(2):54—61。
- [141]姜琦刚,高会军.近 30 年来北方农牧交错带沙质荒漠化动态变化[J].世界地质,2005,24(4):373—

- 377。
- [142]陈国雄,张志谦,吴祖荣.沙漠腹地盐水灌溉条件下人工草地建植技术初探[J].草业科学,1996,13(2):40—44。
- [143]张新时.毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式[J].植物生态学报,1994,18(1):1—16。
- [144]刘康,赵麦焕,马乃喜,等.宝塔区生态环境特征及其生态建设研究[J].水土保持通报,2002,22(1):68—71,75。
- [145]郝慧梅,任志远.方农牧交错带县域经济可持续发展模式实证研究—以固阳县为例[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):134—137,159。
- [146]田永清.不同地貌类型旱坡地综合治理标准与开发利用模式探讨[J].四川环境,2003,22(5):52—54。
- [147]石承苍,雍国玮.长江上游干热干旱河谷生态环境现状及生态环境重建的对策[J].西南农业学报,2001,14(4):114—118。
- [148]周廷刚,张其良.长江上游水土流失成因及治理模式研究——以重庆市城口县为例[J].长江流域与环境,2004,13(1):89—93。
- [149]祝列克主编.中国荒漠化和沙化动态研究.北京:中国农业出版社,2006。
- [150]朱震达,陈治平,吴正,等.塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究[M].北京:科学出版社,1981。
- [151]吴正.塔克拉玛干沙漠成因的探讨[J].地理学报,1981,36(3):280-291。
- [152]沈竟琪,高前兆,胡智育.塔里木盆地南部历史时期沙漠化的初步研究[J].中国沙漠,1982,2(1):21-28。
- [153]李保生,凌裕泉,陆锦华,等.新疆普鲁地区的风成沙与塔克拉玛干沙漠南缘的变迁[J].中国沙漠,1986,6(4):39-46。
- [154]王涛.塔里木河下游阿拉干地区沙漠化过程及其预测[J].中国沙漠,1986,6(2):16-26。
- [155]朱震达.塔克拉玛干沙漠地区沙漠化过程及其发展趋势[J].中国沙漠,1987, 7(3):16-28。
- [156]刘家琼,邱国玉,石庆辉,等.塔克拉玛干沙漠耐旱、耐盐植物种的选择.生态学杂志, 1994,13(3):21-24。
- [157]李志忠,关有志.塔克拉玛干沙漠腹地纵向沙垄的粒度分布特征[J].干旱区研究,1996,13(2):37-43。
- [158]韩致文,董治宝等.塔克拉玛干沙漠风沙运动若干特征观测研究[J].中国科学(D 辑),2003,33(3):255-263。
- [159]王训明,董治宝,屈建军等.塔克拉玛干沙漠简单线形沙丘形态—动力学过程研究[J].中国沙

- 漠,2003,23(3):257-262。
- [160]王雪芹,赵从举.古尔班通古特沙漠工程防护体系内的蚀积变化与植被的自然恢复[J].干旱区地理,2002,25(3):201-207。
- [161]王雪芹,李丙文,张元明.古尔班通古特沙漠沙垄表面的稳定性与顶部流动带的形成[J].中国沙漠,2003,23(2):126-131。
- [162]王雪芹,雷加强,蒋进等.古尔班通古特沙漠风沙活动特征与线形工程安全研究[J].干旱区地理,2003,26(2):143-149。
- [163]王雪芹,王涛,蒋进等.古尔班通古特沙漠南部沙面稳定性研究[J].中国科学(D 辑),2004,34(8):763-768。
- [164]李生字,雷加强.古尔班通古特沙漠公路扰动带植被恢复研究[J].新疆环境保护,2002,24(1):1-7。
- [165]屈建军,左国朝,张克存,等.库姆塔格沙漠形成演化与区域新构造运动关系研究[J].干旱区地理,2005,28(4):424-428。
- [166]杨怀仁等.第四纪冰期气候对黄土沙漠的影响[A],新疆第四纪地质及冰川地质论文选集[C].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1979。
- [167]徐海量,陈亚宁.塔里木河下游荒漠化多元回归模型分析[J].干旱区资源与环境,2003,17(4):78-82。
- [168]夏训诚,陈广庭,李崇舜,等.塔里木沙漠石油公路工程技术研究[J].中国沙漠,1995,15(1):1-9。
- [169]王训明,陈广庭.塔里木沙漠公路沿线机械防沙体系效益评价及防沙带合理宽度的初步探讨[J].干旱区资源与环境,1997,11(4):28-35。
- [170]徐新文,胡玉坤,潘伯荣.塔里木沙漠公路防沙体系的防护效益[J].干旱区研究,1998,15(1):21-26。
- [171]王雪芹,雷加强,等.塔里木沙漠公路风沙危害分异规律研究[J].中国沙漠,2000,20(4):438-442。
- [172]黄强,雷加强,王雪芹.塔里木沙漠公路不同地貌部位的高立式沙障阻沙特征[J].干旱区地理,2000,23(3):227-232。
- [173]徐新文,李丙文,周智彬,等.塔中沙漠基地路生物防沙技术示范[J].土壤通报,2001,32(专):112-114。
- [174]雷加强,王雪芹,王德.塔里木沙漠公路风沙危害形成研究[J].干旱区研究,2003,20(1):1-6。
- [175]韩致文,王涛等.塔克拉玛干沙漠公路风沙危害与防治[J].地理学报,2003,58(2):201-208。
- [176]王德,雷加强,徐俊荣等.塔中一号公路防沙体系不同地貌部位风沙危害差异研究[J].干旱区资源与环境,2004,18(5):29-33。
- [177]李生字,王德,雷加强.塔克拉玛干沙漠腹地路面沙害的空间分布研究[J].干旱区地理,2005,28(1):93-97。
- [178]相建民,李生字,买光荣,等.塔里木公路防护林生态工程营建与维护[J].水土保持通报,2006,26(5):

39-42。

- [179]周智彬,李培军,徐新文,等.塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地对沙地盐分时空分布的影响[J].水土保持学报,2002,16(2):16-19。
- [180]李红忠,李生字,雷加强,等.塔克拉玛干沙漠不同矿化度水灌溉造林试验研究[J].干旱区地理,2005,28(3):305-310。
- [181]李生字,李红忠,雷加强,等.塔克拉玛干沙漠高矿化度水灌溉苗木地下生物量研究[J].西北植物学报,2005,25(5):999-1006。
- [182]王晓静,徐新文,雷加强,等.咸水滴灌下林带的盐结皮时空分布规律[J].干旱区研究,2006,23(3):399-404。
- [183]丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,熊黑钢等.塔里木盆地南缘绿洲荒漠化动态变化遥感研究——以策勒县为例[J].遥感学报,2002,6(1):56-62。
- [184]孙涛,李纪人,杜龙江.塔里木河下游应急输水前后生态变化遥感监测分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2004,2(3):179-183。
- [185]王雪芹,张元明,张伟民,等.古尔班通古特沙漠生物结皮对地表风蚀作用影响的风洞实验[J].冰川冻土,2004,26(5):632-638。
- [186]王雪芹,蒋进,雷加强,等.古尔班通古特沙漠短命植物分布及其沙面稳定意义[J].地理学报,2003,58(4):598-605。
- [187]段争虎,何兴东,赵爱国,等.塔克拉玛干沙漠腹地植物固沙灌溉制度初步研究[J].干旱区资源与环境,2001,15(4):75-79。
- [188]胡玉昆,徐新文,潘伯荣.塔克拉玛干沙漠腹地不同灌溉形式(投入)生物防护林建设效果分析[J].干旱区资源与环境,2002,16(2):45-49。
- [189]钱亦兵,吴兆宁,张立运,等.准噶尔南部沙尘暴发生的地表条件研究[J].干旱区地理,2004,27(4):540-542。
- [190]钱亦兵,吴兆宁,杨青,等.新疆准噶尔盆地沙尘天气的地表环境判别[J].地理学报,2005,60(6):981-990。
- [191]塔西甫拉提·特依拜主编.塔里木盆地南部生态环境演变研究[M].乌鲁木齐:新疆大学出版社,2001。
- [192]周兴佳,李崇舜,钱亦兵.新疆喀什、和田地区绿洲沙害及其防治[J].自然资源,1989(4):24-31。
- [193]夏训诚,李崇舜,周兴佳,等.新疆沙漠化与风沙灾害治理[M].北京:科学出版社,1991。
- [194]张立运,夏阳.塔克拉玛干沙漠南缘生态环境的特点及治理问题[J].干旱区资源与环境,1994,

8(1):72-79。

- [195]潘伯荣,李崇舜,刘文江.新疆沙漠与风沙灾害治理研究[J].中国生态农业学报,2001, 9(3):19-21。
- [196]袁方策,毛德华,杨发相,赵兴有,等.新疆地貌概论[M].北京:气象出版社,1994。
- [197](英)A 高迪.环境变迁[M].北京:海洋出版社,1981。
- [198]吴正.风沙地貌学[M].北京:科学出版社,1987。
- [199]施雅风主编.中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M].北京:气象出版社,2003。
- [200]艾努瓦尔等.新疆生态功能区划[M].乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2005。
- [201]杨利普.新疆综合自然区划概要[M].北京:科学出版社,1987。
- [202]萨莫依洛夫.自然区划方法论[M].北京:科学出版社,1957。
- [203]董玉祥,刘毅华.土地沙漠化监测指标体系的探讨[J].干旱环境监测,1992,6(3): 179-182。
- [204]董玉祥,刘毅华.国外沙漠化监测评价指标与分级标准[J].干旱环境监测,1992,6(4): 234-237,241。
- [205]董玉祥,刘毅华.试论沙漠化灾害危险度评价因子体系[J].灾害学,1994,9(1):8-12。
- [206]董玉祥.沙漠化危险度评价模型初探[J].地理科学,1995,15(1):24-29。
- [207]徐德源主编.新疆农业气候资源及区划[M].北京:气象出版社,1989。
- [208]贺大良.输沙量与风速关系的几个问题[J].中国沙漠,1993,13(2):14-18。
- [209]胡汝骥主编.中国天山自然地理[M].北京:中国环境科学出版社,2004。
- [210]新疆荒地资源综合考察队.新疆重点地区荒地资源合理利用[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1985。
- [211]新疆地理学会.新疆地理手册[M].乌鲁木齐,新疆人民出版社,1993。
- [212]赵松乔主编.中国干旱地区自然地理[M].北京:科学出版社,1985。
- [213]李江风.沙漠气候[M].北京:气象出版社,2001。
- [214]耿宽宏.中国沙区的气候[M].北京:科学出版社,1986。
- [215]中国科学院新疆分院罗布泊综合科学考察队.罗布泊科学考察与研究[M].北京:科学出版社,1987。
- [216]中国石油天然气总公司塔里木石油勘探开发指挥部.塔里木沙漠石油公路[M].北京:石油工业出版社,1996。
- [217]中国科学院塔克拉玛干沙漠综合科学考察队.塔克拉玛干沙漠地区水资源评价与利用[M].北京:科学出版社,1993。
- [218]郭西万,董新光,姜毅,等.新疆准噶尔盆地油田区地下水及其利用[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2000。

- [219]Wu Xiuqin, Cai Yunlong. Land cover changes and landscape dynamics assessment in lower reaches of Tarim river in China[J].Chinese Geographical Science,2003, 14(1):28-33.
- [220]樊自立,徐曼,马英杰,等.历史时期西北干旱区生态环境演变规律和驱动力[J].干旱区地理,2005, 28(6):723-728。
- [221]中国气象局.中国灾害性天气气候图集[M].北京:气象出版社,2007。
- [222]《中华人民共和国气候图集》编委会.中华人民共和国气候图集[M].北京:气象出版社, 2002。
- [223]新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴(2001)[M].北京:中国统计出版社,2001。
- [224]郭明杰,魏然,王进.特尔菲法简介[J].经营管理者,1999,(6):39-40。
- [225]岳健,杨发相,罗格平,等.调试法——一种农用土地适宜性评价中确定参评因子权重的方法[J].干旱区地理,2004,27(3):332-337。
- [226]胡孟春,贺昭和.西部沙漠化防治技术与模式[J].中国生态农业学报,2001,9(3): 12-14。
- [227]孙洪祥等.干旱区造林[M].北京:中国林业出版社,1989。
- [228]国家林业局科学技术司.防沙治沙实用技术[M].北京:中国林业出版社,2002。
- [229]国家林业局.西部地区林业生态建设与治理模式[M].北京:中国林业出版社,2000。
- [230]孙保平等.荒漠化防治工程学[M].北京:中国林业出版社,2000。
- [231]国家林业局防治荒漠化管理中心.中国防沙治沙实用技术与模式[M].北京:中国环境科学出版社, 2002。
- [232]中国治沙暨沙业学会.中国西部地区生态环境建设研究[M].北京:海洋出版社,2001。
- [233]国家林业局.全国林业生态建设与治理模式[M].北京:中国林业出版社,2002。
- [234]李周为,陆宗义主编.新疆特色农业资源产业化[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2001。
- [235]中国治沙暨沙产业学会.中国治沙暨沙产业学会论文集[M].北京:北京师范大学出版社, 1995。
- [236]刘拓,张克斌,林琼.中国土地沙漠化防治策略[M].北京:中国林业出版社,2006。
- [237]新疆维吾尔自治区林业厅.绿色的呼唤[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1998。
- [238]樊自立,胡文康,季方,等.新疆生态环境问题及保护治理[J].干旱区地理,2000, 23(4):298—303。
- [239]李刚,王东.准噶尔盆地荒漠生态系统的复原与保护利用初探[J].新疆环境保护, 1998,20(4):15-19。
- [240]杨健,华贵翁.新疆土地荒漠化及其防治对策[J].生态学杂志,2000,19(3):57-60。

附录 A 区划成果表格

表 A-1 各参评指数分级面积统计表

Tab.1 Area of grades of involved indices

沙尘天气指数分级分布 Distribution of sand-dust weather index		大风指数分级分布 Distribution of gale index		土地覆被指数分级分布 Distribution of land cover index	
分级 Grades	面积 Area (km ²)	分级 Grades	面积 Area (km ²)	分级 Grades	面积 Area (km ²)
1	590396	1	536450	1	385478
2	135407	2	746543	2	688656
3	634649	3	181439	3	124690
4	210036	4	162928	4	164189
5	69651	5	12779	5	277126

海拔高程指数分级分布 Distribution of elevation index		植被盖度指数分级分布 Distribution of vegetation cover index		地貌类型分级分布 Distribution of landform classes	
分级 Grades	面积 Area (km ²)	分级 Grades	面积 Area (km ²)	分级 Grades	面积 Area (km ²)
1	301360	1	92272	1	624704
2	143663	2	255462	2	584459
3	224773	3	305520	3	430976
4	970343	4	986885		

表 A-2 沙漠化综合评级面积

Tab.2 Area of grades of sandy desertification comprehensive rating index

分 级 Grades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
面 积 (km ²)	170098	170525	89683	136647	259322	159602	121630	200160	92497	239975

表 A-3 人口耕居地比重和与耕居地人口密度分级分布

Tab.3 Area of grades of sum of population proprtion and farmland-residence proprtion (SPPFRP) and of population density of farmland-residence (PDFR)

人口耕居地比重和分级分布 Distribution of SPPFRP		耕居地人口密度分级分布 Distribution of PDFR	
分级 Grades	面积 Area (km ²)	分级 Grades	面积 Area (km ²)
0	1577575	0	1577575
1	6538	1	32021
2	18660	2	21925
3	31819	3	5891
4	5547	4	2727

表 A-4 沙漠化防治区划各分区大风指数分级及面积

Tab.4 Area of grades of gale index in third level regions of XinJiang desertification preventing and controlling Regionalization (XJR)

分区号	分级及面积 Grades and area (km ²)					面积总计
Codes	1	2	3	4	5	Total area (km ²)
1		13095	13772			26867
2	1221	69588	5601			76410
3		56096	6348			62444
4		65	19507	1233	83	20888
5			20240	5422	4544	30206
6			7202	742	71	8015
7	10539	36539	6789	2462	1535	57864
8	6140					6140
9	51019	62712	18981	2913	1332	136957
10		3492	4998	16780	3368	28638
11		46956	3720	1241	305	52222
12	27876	216800	6789	4294	1541	257300
13	677	10237				10914
14	61321	10792				72113
15	8729	2363				11092
16	37309	9625				46934
17	225686	248				225934
18	65259	12525				77784
19	15811	36467	234			52512
20		37390	4698			42088
21	24863	121553	62560	95076		304052
22				32765		32765
总计	536450	746543	181439	162928	12779	1640139

表 A-5 沙漠化防治区划各分区土地覆被指数分级及面积

Tab.5 Area of grades of land cover index in third level regions of XJR

分区号	分级及面积 Grades and area (km ²)					面积总计
Codes	1	2	3	4	5	Total area (km ²)
1	183	8330	11352	5839	1163	26867
2	32161	30361	12420	1466	2	76410
3	8	3806	12176	45575	879	62444
4	173	10103	10057	555		20888
5	16138	12046	2022			30206
6	25	6282	1708			8015
7	19	28758	21407	7642	38	57864
8	227	3860	1576	477		6140
9	79364	47602	9917	38	36	136957

(续上)

10	2711	24305	1187	435		28638
11	561	44287	3548	1790	2036	52222
12	97242	147953	10236	946	923	257300
13	99	8946	642	365	862	10914
14	14	46148	874	17004	8073	72113
15	148	4379	79	5931	555	11092
16	229	28159	377	10863	7306	46934
17	395	345	643	21899	202652	225934
18	21	24170	1149	31703	20741	77784
19	16	30529	42	5976	15949	52512
20	855	23728	220	3462	13823	42088
21	149279	138357	14436	1567	413	304052
22	5610	16202	8622	656	1675	32765
总计	385478	688656	124690	164189	277126	1640139

表 A-6 沙漠化防治区划各分区海拔高程指数分级及面积
Tab.6 Area of grades of elevation index in third level regions of XJR

分区号 Codes	分级及面积 Grades and area (km ²)				面积总计 Total area (km ²)
	1	2	3	4	
1			5	26862	26867
2	26	8822	19048	48514	76410
3				62444	62444
4		3	1688	19197	20888
5	29	861	13372	15944	30206
6				8015	8015
7		16	672	57176	57864
8			13	6127	6140
9	13795	30045	52273	40844	136957
10		59	1855	26724	28638
11		4	1702	50516	52222
12	25706	47899	69323	114372	257300
13			199	10715	10914
14			1515	70598	72113
15			39	11053	11092
16			4491	42443	46934
17			234	225700	225934
18	11	1851	26075	49847	77784
19		23	2151	50338	52512
20		205	9266	32617	42088
21	231326	51577	20852	297	304052
22	30467	2298			32765
总计	301360	143663	224773	970343	1640139

表 A-7 沙漠化防治区划各分区植被盖度指数分级及面积

Tab.7 Area of grades of vegetation cover index in third level regions of XJR

分区号 Codes	分级及面积 Grades and area (km ²)				面积总计 Total area (km ²)
	1	2	3	4	
1	1399	10628	13251	1589	26867
2	13317	24697	24036	14360	76410
3		1368	54083	6993	62444
4	154	7268	8325	5141	20888
5	7946	15735	5117	1408	30206
6	1542	6442	31		8015
7	8237	29378	16368	3881	57864
8	1464	4415	261		6140
9	45855	51566	20860	18676	136957
10	13	184	1029	27412	28638
11	213	3744	4330	43935	52222
12	9801	43358	51148	152993	257300
13	591	3112	1681	5530	10914
14	1417	21459	16698	32539	72113
15		1249	2120	7723	11092
16	168	16943	9568	20255	46934
17			132	225802	225934
18	152	5258	11432	60942	77784
19		1315	4256	46941	52512
20			379	41709	42088
21	3	6941	49800	247308	304052
22		402	10615	21748	32765
总计	92272	255462	305520	986885	1640139

表 A-8 沙漠化防治区划各分区地貌类型分级及面积

Tab.8 Area of grades of landform types in third level regions of XJR

分区号 Codes	分级及面积 Grades and area (km ²)			面积总计 Total area (km ²)
	1	2	3	
1	2289	19241	5337	26867
2	53651	22608	151	76410
3	763	19163	42518	62444
4	2658	17664	566	20888
5	25911	4295		30206
6	313	7702		8015
7	1201	49191	7472	57864
8	947	4844	349	6140
9	108286	28608	63	136957
10	6110	22394	134	28638

(续上)

11	4991	41816	5415	52222
12	162726	93479	1095	257300
13	217	9789	908	10914
14	667	48314	23132	72113
15	196	4536	6360	11092
16	745	28960	17229	46934
17	1147	1607	223180	225934
18	723	27934	49127	77784
19	148	24625	27739	52512
20	1319	23791	16978	42088
21	242298	60338	1416	304052
22	7398	23560	1807	32765
总计	624704	584459	430976	1640139

表 A-9 沙漠化防治区划各分区沙尘天气指数分级及面积

Tab.9 Area of grades of sand-dust weather index in third level regions of XJR

分区号 Codes	分级及面积 Grades and area (km ²)					面积总计 Total area (km ²)
	1	2	3	4	5	
1	26837	30				26867
2	75187	1223				76410
3	16716	45728				62444
4	20815	73				20888
5	30206					30206
6	8015					8015
7	47839	10025				57864
8	6140					6140
9	136957					136957
10	28638					28638
11	19160	13532	19530			52222
12	117224	35845	102575	1404	252	257300
13	4956	5958				10914
14	7259	8657	52878	3319		72113
15			19	8878	2195	11092
16	904	1474	39893	4663		46934
17			31025	143153	51756	225934
18			18932	43404	15448	77784
19		62	52450			52512
20			42088			42088
21	43543	12800	242494	5215		304052
22			32765			32765
总计	590396	135407	634649	210036	69651	1640139

表 A-10 沙漠化防治区划各分区沙漠化综合评级分级及面积

Tab.10 Area of grades of sandy desertification comprehensive rating index in third level regions of XJR

分区号	分级及面积 Grades and area (km ²)										面积总计
Codes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total area (km ²)
1		3572	4702	8939	8610	1010	34				26867
2	17105	20339	14865	19800	3190	956	151	4			76410
3			701	4837	11355	8675	33079	3797			62444
4	1	1111	3058	5646	10858	190	13	11			20888
5	709	15781	4559	5218	3938	1					30206
6		1455	4471	1757	332						8015
7	20	18958	10290	10490	12954	3333	1394	425			57864
8	54	4030	1372	665	19						6140
9	70970	37713	13808	7101	7174	162	29				136957
10	29	260	1292	5371	20503	880	303				28638
11		1757	1594	9814	9499	7766	1166	19326	1300		52222
12	54403	37158	16609	17396	26368	22608	21580	58841	2131	206	257300
13		2671	876	1551	1965	2538	297	1016			10914
14		1971	3542	1572	4991	16252	18065	19575	4553	1592	72113
15		87			1	18	3	2962	2106	5915	11092
16		124	662	353	1508	12282	11165	12445	5741	2654	46934
17							70	1514	30070	194280	225934
18				1	347	5157	2469	21646	12836	35328	77784
19					23	957	8546	25942	17044		52512
20						863	1171	23958	16096		42088
21	26807	23538	7282	36105	123939	66599	12803	6513	466		304052
22				31	11748	9355	9292	2185	154		32765
总计	170098	170525	89683	136647	259322	159602	121630	200160	92497	239975	1640139

表 A-11 沙漠化防治区划各分区耕居地人口密度分级面积

Tab.11 Area of grades of population density of farmland-residence in third level regions of XJR

分区号	分级及面积 Grades and area (km ²)					面积总计
Codes	0	1	2	3	4	Total area (km ²)
1	24933	1626	308			26867
2	75781	106	523			76410
3	62442	2				62444
4	20312		304	272		20888
5	29751	454	1			30206

(续上)

6	4364	3578	73			8015
7	42427	10123	3988	340	986	57864
8	3818	1014	1307		1	6140
9	129377	2863	3660	1	1056	136957
10	28594	6	38			28638
11	50368		236	1618		52222
12	255941	1124	87	148		257300
13	9068	1299	534	13		10914
14	62017	7405	1870	821		72113
15	10411	582	99			11092
16	36640	1390	8150	685	69	46934
17	225934					225934
18	74770		555	1872	587	77784
19	51949	449	114			52512
20	42088					42088
21	303825		78	121	28	304052
22	32765					32765
总计	1577575	32021	21925	5891	2727	1640139

表 A-12 沙漠化防治区划各分区人口耕居地比重和分级面积

Tab.12 Area of grades of sum of population propotion and farmland-residence propotion in third level

regions of XJR

分区号 Codes	分级及面积 Grades and area (km ²)					面积总计 Total area (km ²)
	0	1	2	3	4	
1	24933	841	1093			26867
2	75781	376	243	10		76410
3	62442	2				62444
4	20312	304	272			20888
5	29751	318	14	123		30206
6	4364	442	2	3207		8015
7	42427	834	3871	10225	507	57864
8	3818		1014	1308		6140
9	129377	600	1981	4162	837	136957
10	28594	44				28638
11	50368	233	907	714		52222
12	255941	91	1183	84	1	257300
13	9068	712	1121	13		10914
14	62017	434	2526	4693	2443	72113
15	10411	99		533	49	11092

(续上)

16	36640	480	2664	5445	1705	46934
17	225934					225934
18	74770	552	1213	1249		77784
19	51949	114	449			52512
20	42088					42088
21	303825	62	107	53	5	304052
22	32765					32765
总计	1577575	6538	18660	31819	5547	1640139

表 A-13 沙漠化防治区划各分区沙漠化综合评价各评级面积占本分区总面积比例 (×100%) 及各分区评级平均值

Tab.13 Proportion of area of each grade of Sandy Desertification Comprehensive Rating Index (SDCRI) accounting for the area of corresponding third level region and mean SDCRI of each third level region

分区号 Codes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	评级平均值 Aver- age rating index
1	0.00000	0.13295	0.17501	0.33271	0.32047	0.03759	0.00127	0.00000	0.00000	0.00000	3.95854
2	0.22386	0.26618	0.19454	0.25913	0.04175	0.01251	0.00198	0.00005	0.00000	0.00000	2.67443
3	0.00000	0.00000	0.01123	0.07746	0.18184	0.13892	0.52974	0.06081	0.00000	0.00000	6.28091
4	0.00005	0.05319	0.14640	0.27030	0.51982	0.00910	0.00062	0.00053	0.00000	0.00000	4.28907
5	0.02347	0.52245	0.15093	0.17275	0.13037	0.00003	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	2.86420
6	0.00000	0.18154	0.55783	0.21921	0.04142	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	3.12052
7	0.00035	0.32763	0.17783	0.18129	0.22387	0.05760	0.02409	0.00734	0.00000	0.00000	3.60660
8	0.00879	0.65635	0.22345	0.10831	0.00309	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	2.44055
9	0.51819	0.27536	0.10082	0.05185	0.05238	0.00118	0.00021	0.00000	0.00000	0.00000	1.84926
10	0.00101	0.00908	0.04511	0.18755	0.71594	0.03073	0.01058	0.00000	0.00000	0.00000	4.74282
11	0.00000	0.03364	0.03052	0.18793	0.18190	0.14871	0.02233	0.37007	0.02489	0.00000	6.05325
12	0.21144	0.14442	0.06455	0.06761	0.10248	0.08787	0.08387	0.22869	0.00828	0.00080	4.50309
13	0.00000	0.24473	0.08026	0.14211	0.18004	0.23255	0.02721	0.09309	0.00000	0.00000	4.52941
14	0.00000	0.02733	0.04912	0.02180	0.06921	0.22537	0.25051	0.27145	0.06314	0.02208	6.70164
15	0.00000	0.00784	0.00000	0.00000	0.00009	0.00162	0.00027	0.26704	0.18987	0.53327	9.20555
16	0.00000	0.00264	0.01410	0.00752	0.03213	0.26169	0.23789	0.26516	0.12232	0.05655	7.26131
17	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00031	0.00670	0.13309	0.85990	9.85258
18	0.00000	0.00000	0.00000	0.00001	0.00446	0.06630	0.03174	0.27828	0.16502	0.45418	8.89561
19	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00044	0.01822	0.16274	0.49402	0.32457	0.00000	8.12406
20	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02050	0.02782	0.56924	0.38244	0.00000	8.31361
21	0.08817	0.07741	0.02395	0.11875	0.40762	0.21904	0.04211	0.02142	0.00153	0.00000	4.62209
22	0.00000	0.00000	0.00000	0.00095	0.35855	0.28552	0.28360	0.06669	0.00470	0.00000	6.07062
总计	0.10371	0.10397	0.05468	0.08331	0.15811	0.09731	0.07416	0.12204	0.05640	0.14631	5.64947

附录 B 新疆沙漠化适用防治技术与模式

1 基本技术

1.1 生物防治技术

指利用生物体的特性,通过增加地表覆盖以减少风蚀,或增加地表粗糙度以阻挡或削弱风力,从而达到防止就地起沙或阻挡外部流沙入侵的沙漠化防治技术。

(1) 植物种选育技术

因地制宜地选择乔灌草种,遵循宜乔则乔、宜灌则灌、宜草则草的原则,综合应用乔灌草结合、针阔混交,以求达到树种多样、群落稳定,生态功能、经济功能与景观效果整体优化的整治目标。具体技术有优良树种(品种)引种繁育技术、容器苗多季造林技术、固沙种苗产业化繁育技术,固沙植物种质资源库建立、保存技术等。

(2) 种植技术

植树造林是防治沙漠化、改造利用沙漠化土地的根本途径。造林固沙可分为营造防风固沙林、护牧林和农田防护林。在流沙地外围除采取封育措施外,还要营造防风固沙林,对于流动沙丘采用“前挡后拉”的措施造林治沙,对于沙化的草原和农田要营造护牧林和农田防护林。

根据种植时间可以分为:春季造林和秋季造林

根据种植方式可以分为:直播(条播,穴播,撒播)造林、植苗造林、扦插造林、压条造林、截干造林、高杆造林、飞播造林等。

① 直播造林

直播是把种子直接播于沙地的一种建立植被的方法。直播技术主要包括选择适宜的种子、播期、深度等。直播深度根据种子大小而定,通常 2-4 cm。为防鼠、兔、虫、鸟危害,播前对种子要进行药剂处理,同时考虑到风蚀、沙埋等因子,可增大播种量。直播是建立人工植被成本低、收效大的治沙技术。在丘间地及平地上可直接播种,在流动沙丘上要先设置机械沙障后才可直播。直播有条播和穴播两种方式。

条播:在全面整地或带状整地的造林地上作单行撒播、点播或带状撒播、点播、适宜于采伐迹地更新和次生林改造,也可用于水土流失地区的灌木树种造林。

穴播：按一定穴距，在整好地的造林地或未经整地的造林地上挖穴播种，大粒种子可单粒点播，种子播深 5—8 cm；中粒种子每穴可 2—4 粒，种子播深 2—5 cm；小粒种子可多粒点播（簇播），种子播深 1—2 cm。秋季播种宜深，春季宜浅。

② 植苗造林

对苗木的选择包括以下几方面：

- a：苗木粗壮而直，有一定高度，上下均匀，无图章现象，枝叶繁茂，色泽正常；
- b：根系发达，主根短而直，侧根和须根多且具有一定长度；
- c：苗木的茎、根比值小，而苗木的重量大；d：无病虫害和机械损伤。

③ 扦插造林

使用扦插技术主要包括以下几个步骤：

- a：选择优质插穗；
- b：整地；
- c：扦插前处理插穗；
- d：扦插前灌水；
- e：抚育管理

采用该技术要求将插穗扦插在水线以下 1-2 cm。

④ 压条造林

- a：枝条的选择，选择好的母树，其次选择充分木质化的枝条
- b：抹芽：凡是双芽的根据去弱留强的原则，只留一株
- c：松土除草

在沙区造林的技术关键：a 要适时早栽，早春气温低，土壤湿润，采用顶凌栽植是抗旱植树的重要措施，一般在 4 月上旬。b 深栽实踩，多埋少露，这是抗旱造林的技术关键，通常栽植深度 ≥ 50 cm，高杆造林深达 80-150 cm，深栽多埋可以扩大根系吸收水分范围，地上少露可以减少树苗成活发芽阶段的水份蒸腾。实踩可以避免漏风使根系干燥，根与土壤紧密结合有利于毛管水不断上升，为苗木根系吸收利用。c 苗根浸水，可以补偿苗木本身在起苗、运苗过程中失掉的水份，能维持苗木本身的水分与茎叶蒸腾，促进苗木提早萌动，生根发芽，缩短栽植后的缓苗期，使其迅速生长发育，近几年来生根粉、吸水剂等用于沙地造林中，效果明显。

沙地造林方式可采用“大穴高杆深埋围栏”四位一体的造林配套技术模式。a 丘间地及沙丘背风坡中下部以实生苗深栽造林技术模式；b 沙丘的迎风坡和难以生物固沙的部

位,采取先建立机械沙障后实行直播造林的技术模式; c 背风坡或低缓的迎风坡实行插干造林技术模式; d 坡度较缓的背风坡和沙障方格内实行容器苗造林; e 推广土壤改良保湿。

(3) 灌溉技术

根据灌溉方式,可以分为滴灌、喷灌、渗灌、沟灌、冬灌、无灌溉、引洪灌溉、保水剂等,在实际操作过程中,可根据需要,因地制宜选择适合的灌溉方式。

1.2 非生物防治技术

指使用某些物质材料,设置障碍物或采取一定的工程设施,来达到防沙治沙目的的技术,主要包括机械沙障、化学固沙、风力拉沙等。

(1) 机械沙障防沙技术

机械沙障是采用柴草、泥炭、粘土、砾石、盐块等材料,设置在沙面上,在地表组成干扰风沙流运行的障碍,通过改变下垫面性质,增加地面粗糙程度转化风沙运动条件,以控制或促进风沙运动状况,改变蚀积规律,达到流动沙丘的固定或阻挡流沙的目的,因而广泛应用于流沙固定,阻止沙丘前移。

机械沙障在防沙中的地位及作用是极其重要的,是植物措施无法取代的。特别是流沙严重危害的交通线、重要工矿基地、农田和居民点等地区,设置机械沙障治沙是必不可少的。在自然条件恶劣的地区,沙障是防沙的主要措施,在自然条件较好的地区,沙障是植物防沙的前提和必要条件。在干旱的流沙上栽种植物,首先要用沙障固定流沙,否则因风蚀而植物难以成活。沙障可为植物成活、生长创造有利条件。在治沙过程中常采用机械沙障与植物治沙相结合的措施,以达到迅速而彻底治理流沙的目的。通过多年来我国治沙生产实践的总结表明,机械沙障对植物治沙起辅助作用,前者是手段,后者是目的,二者相辅相成、缺一不可的,处于平等地位,发挥着同等重要的地位。

沙障的设置,在迎风坡上要主风向垂直,高度一般 20-40 cm,采用行列式或格状设置,沙障间距依沙面坡度和沙障而定,多采用 2-4 m 的障间距。

按沙障的高度,可以分为高立式沙障、低立式沙障、平铺式沙障;按孔隙度划分,可以分为透风结构沙障、不透风结构沙障;按沙障的配置形式划分,可以分为行列式沙障、格状式沙障。运用沙障防沙技术应该注意的几项技术指标的问题:① 沙障孔隙度② 沙障高度③ 沙障的间距④ 沙障的方向。

草方格沙障是用麦草、稻草、芦苇等材料,直接插入沙层内,直立于沙面上,呈方

格状的半隐蔽式沙障。草方格沙障的规格：草方格沙障的规格就是草带间距尺寸，要根据地区风力大小而定。在单风向地区可以垂直风向设置带状草方格沙障；在风向随季节变化不定的地区，要扎制格状的草方格沙障。草方格沙障有不同规格，从固沙效果看，规格越小越好，规格越大越便宜。实践证明，在地形起伏不大的沙面上 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ 草方格最为合理，在风能较小的平坦沙地可以灵活地放大草方格规格，在迎风坡，因地形的倾斜，沿等高线的草带要加密，原则上 $L \leq h/\sin\alpha$ (L 为草带间距， h 为草的出露高度， α 为地形坡度)。此外，扎制草方格不是用草量越多越好，而是使草带的疏透度控制在 0.5 左右为宜，可以大大提高草方格的效益，降低成本。草方格沙障的植护方法：用麦秸草、稻草扎制草方格前需在材料上洒一些水，使之湿润，可以提高材料的柔性，以免扎制时折断；芦苇在扎制前要碾压，目的是将管状的芦苇压劈，改变为柔性材料。扎制前将材料切成 60 cm 长的段，在地面上划出计划好的网格位置线，沿线整齐地平铺麦秸等扎制材料，扎制材料要垂直“线”排放，并置中间位置于线上，用钝刃平头铁锹(防止切断材料)在草中部用力将其对折压入沙层内 12-15 cm，出露高度 13-15 cm(偏差为 ± 2 cm)，顶部宽度 5-6 cm，再用脚将草带两侧的沙踩实，并用铁锹或刮沙板将中间的沙向草带下刮一刮，使草方格提前形成碟形凹槽，有利于沙障内地面稳定。草方格沙障每 10 m 布设一条“Z”形防火通道，宽度 1 m，通道内不埋设麦秸草。

高立式栅栏一般就地取材，用高秆作物如芦苇、灌木枝条、玉米、高粱秆等制成笆块，钉在木桩上，制成栅栏，埋入沙层约 50 cm，外露 1—1.2 m 高度为宜。一般用于草方格沙障外缘，也可用于流沙危害严重的农田、渠道交通线等地段。

尼龙网膜栅栏，阻沙拦沙效果比较明显。尼龙网膜栅栏一般布设成三角形结构，其三个边与三个对应的主风方向有较大夹角，与相应的次风向夹角很小或近于平行，这样即可在主风方向上阻拦流沙，又可在次主风方向上形成导纱功能。尼龙网膜栅栏设计一般应根据风向、风力流沙来量、栅栏树立位置等各种指标函数来设计。

上述几种工程措施一般用于沙源丰富、流沙危害严重又没有水源保证，但又非治不可，且尚不具备生物措施的地方，如南疆铁路、公路通过的流沙地带等均已采用此种方法，防风阻沙效果十分明显。另外，在具备水利条件的地方，利用水作动力，引水拉沙，治沙造田，种树种草，此法在民丰县、策勒县、且末县均已采用洪水拉沙，效果很明显。

(2) 化学固沙技术

该技术是在流动沙地上通过喷洒化学胶结物质，使其在沙地表面形成有一定强度的保护壳，隔开气流对沙面的直接作用，提高沙面抗风蚀性能，达到固定流沙的目的。

按化学固沙物质的种类和组成划分,可以分为:沥青乳液固沙、沥青化合物固沙、油一胶乳固沙、泥炭胶固沙、沙粒结块固沙、草浆黑液合成剂固沙,等。

(3) 化学固沙与机械固沙(草方格)相结合

化学固沙剂喷洒在沙障间的方格内,胶结了地表的沙粒,防止了沙粒在障间的流动,从而避免了沙子对沙障的掩埋;机械沙障降低了风速,减小了对化学固沙胶结层的风蚀。同时,固沙剂喷洒在沙障及其边缘,减缓了麦秸腐烂的速度,延长了机械固沙的寿命。二者的结合不仅提高了固沙效果,而且延长了使用年限。在麦秸用量减半(把 $1\times 1\text{ m}$ 的方格变为 $2\times 2\text{ m}$ 的)和固沙剂材料用量减半的情况下,得到了更好的固沙效果。

(4) 生物、化学、机械复合固沙

此技术的工作原理是:降低植被密度,控制其覆盖度在 20% 以下,而且采取带状栽植,降低固沙植被的水分消耗;同时在植被带的带间以化学固沙材料固定沙面,兼作集雨坡面;麦秸机械沙障则仅仅用于植被带栽植前后的临时防护和化学固沙带最外面的边缘加固。这样的配置和设计,相当于使植被带实际得到的降雨量增大了 3-4 倍。保证了固沙植被的持续稳定。而沙生植物的防风作用有效地保护了化学固沙结皮层免于破损。三者的有机结合能够保证整个防风固沙体系的持续稳定。

2 专项及综合性技术与模式

(1) 封禁技术

封禁指禁止一切人畜活动,建立封禁保护区,以消除人为活动对沙漠化土地的干扰和破坏,延缓或降低沙漠化的活动强度和发展势头。植物群落被封禁后,恢复的原动力来源于植物生态系统演替。

(2) 封育技术

封沙育林育草是在植被遭到破坏的地段上,建立防护设施,严防人畜破坏,为天然植物提供休养生息、滋生繁衍的条件,使植被逐渐恢复,具体步骤如下:

- ① 规划封育范围,按需要和地区而定,一般在荒漠绿洲接壤和封育带,宽度应为 300-500 m,沙源丰富,风沙活动强烈地区,封育宽度加大,反之则可缩小。
- ② 建立防护设施,为防牲畜进入,在划定的封育区边界上建立防护设施,如铁丝网围栏、垒土墙、挖深沟等,目前柴达木盆地多用铁丝网围栏,成本在每米 10 元左右。
- ③ 制定封育条例,封育初期植被尚未恢复到足以控制流沙时,禁止一切放牧、樵采等

活动，以后随着植被恢复则可适当进行划区轮牧和樵采等活动。

④ 有条件时灌水，绿洲边缘的封育带应利用农田余水灌沙，其他有水源条件的封育区，适当进行灌水，以加速植被恢复、固定流沙。

封沙育林育草，培育灌草带模式

在绿洲边缘临近沙漠戈壁前沿地带，一般为原生植被带，这些地区由于绿洲灌溉常有余水渗入边缘及洪水泄漫水，水分条件较好，自然繁衍了大片的稀疏乔灌草带，如胡杨、怪柳、梭梭、骆驼刺、沙拐枣、白刺及蒿类等，这些植被虽稀疏，但都有接种繁衍能力，每年夏季 7—8 月洪水来临之际，也正是种子成熟下落之时，此时，发动群众，开渠堵坝，引洪灌溉，加强管理，会有大片种子生根发芽成活成林，形成大片稳定的乔灌草混生的植被带，有效地遏制流沙的扩展。此法简单易行，投资少、见效快，是扩大林草植被的有效方法。

主要技术措施：

① 确定封育地段及面积

选择有植物繁育条件（落种条件、结实条件、产株、育株、萌蘖苗、根蘖苗、根茎苗，洪水与落种同步等），远离村庄、人畜活动较少，有植物生长的气候条件（如有地下水、地表水或天然降水的补给）的地段。年均降水量 100 mm 以下、沙丘高大的流沙区和重度风蚀的风沙口不宜进行封育。封育面积应取决于需要与可能。

② 封育时间

视植被的恢复程度而定，以植被达到可再利用状态为宜。流沙大致需要两三年。退化程度的不同草场需要不同封禁时间，有的需要一年至半年，有的只需要几个月。

③ 保护及管理

深入宣传，提高群众认识；建立护林组织，设专人常年管护；实施保护措施，必要地段设置围栏；封育区边缘设立醒目标志。对封育区进行必要的管理，如防治病害、虫害、鼠害，移密补稀，补播等。

④ 合理利用

植被恢复到可利用的程度时，即可有组织有计划进行适度利用，决不可再度强度掠夺利用。必须认识，封育具有实效性。要抓住植物恢复的有利时机和条件。

本模式适用于北方有植被生长恢复条件的干旱区和半干旱区，已在和田、喀什、巴州等地普遍采用，取得良好效果。

(3) 飞播造林技术

飞播造林是运用森林天然下种更新原理，遵循生物学和森林生态学的基本规律，将人工促进天然更新和人工更新相结合的一种造林方式。分为四个阶段：

- ① 宜林荒地植物群落阶段，即从飞播种子落地到飞播林快速生长的阶段飞播林处于种苗期，抗干扰能力差，苗木的存活依赖于荒地植物群落提供的生存环境。
- ② 复杂群落阶段，即从飞播林快速生长至郁闭前的阶段。此阶段飞播林处于个体生长阶段，树高、胸径生长迅速，飞播林与宜林荒地植物形成复杂群落，争夺营养空间激烈。
- ③ 顶级群落阶段，即从飞播林林分郁闭后至成熟的阶段 此阶段随着飞播林逐渐郁闭，群落发展为由飞播林主导的顶极阶段，宜林荒地植物退居第 2 层次。
- ④ 更新阶段，即林木转入生殖生长后的阶段。此阶段林木间的竞争分化和林分的稀疏已缓和或基本停止，飞播林开花、结实、更新。

(4) 荒漠人工造林技术与模式

①引洪（闲水）灌溉造林模式

夏季开沟引洪淤泥直播造林技术

此办法用于无种源的沙滩盐碱地带，夏季洪水来临前，发动当地群众采集怪柳种子，采用畜力、机械在沙滩碱滩地带每隔 25—30 m 开挖一条 60×60 cm 的深沟，然后引洪灌溉淤泥，待沟洪水下落后，沿沟两侧方向撒播怪柳种子，因夏季气温高，光照充足，种子落地很快生根发芽成活成林，第二年怪柳本身种子成熟落地，夏季再次引洪灌溉，又有一批种子成熟落地生根发芽成活，如此反复，逐年扩大，即可形成大片的怪柳林地。喀什地区的伽师县采用此法，已扩大林地超过 6.67 万 hm^2 。

此外，还有策勒绿洲夏季造林的模式，是利用洪水直播树种，秋季长成小苗后，来年春季生长成林。吐鲁番地区则利用坎儿井冬闲水冬灌，进行沙荒造林。

②节水灌溉造林模式

滴灌节水造林模式

以井灌为水源的干旱区造林治沙，在应用滴灌节水灌溉技术时，必须要对水源平衡、首部工程、管网系统的布局等进行专门的规划设计，根据治沙的目的，选择相应的灌草树种。

主要技术措施：

a 水源平衡：根据单井出水量（ m^3/h ）和水的利用率，按成林时最热月份单位面积日耗水量（ mm/d ）或单株日耗水量（ $\text{mm}/\text{株}\cdot\text{d}$ ），涉及灌溉量、灌溉周期和轮灌区。

b 首部工程：主要由水泵、过滤系统和施肥罐三部分组成。水泵扬程的选定，经管网系统的水力学计算后，能满足最不利的一条毛管滴头所需要的工作压力即可。井灌区的过滤系统，一般经离心和筛网两级过滤即可。施肥罐可根据单井出水量和轮灌区面积，选择相应容量规格的施肥罐。

c 管网系统布局：滴灌系统的管网，一般由主管、支管和毛管三级管网构成，毛管垂直于支管，支管垂直于主管。对于高大沙丘，毛管应按等高线设置。

d 树种选择和株行距：防沙阻沙林带的营造一般多用耐高温、耐干旱、抗风蚀、耐沙埋的乔灌木树种，如怪柳、沙拐枣、梭梭、沙枣和胡杨等。行距 2—3 m，株距 1.5 m。

在干旱地区的流动和半流动沙丘沙地，以井灌为主的绿洲以及道路、输水干渠等的防沙阻沙中广泛应用。

灌溉节水梭梭造林模式

在干旱地区一些水资源十分短缺，但有冬闲水或夏季洪水可利用的特定区域，每年只需要灌溉一次，即可成功营造超旱生小乔木梭梭林的造林模式。这种模式是改造沙荒地，扩大绿地面积，改善生态环境的一项行之有效的途径。

梭梭是极抗旱的超旱生小乔木，主根发达，沙地萎蔫系数 1.5%，生态适应幅度宽，可适应沙土荒地等多种立地条件，只要每年保证一次灌溉，补充土壤水分，就可正常发育生长。

主要技术措施：整地开沟、灌溉、苗木选择、缝隙造林、冬灌补植、病虫害监测防治等。

本模式适用于有冬闲水或夏季洪水可利用的地区。

③无灌溉造林模式

准噶尔盆地沙漠前沿带无灌溉造林模式

无灌溉造林模式是准噶尔盆地南缘荒漠前沿地带治理沙漠的主要形式。准噶尔盆地南缘梭梭无灌溉造林旨在恢复因自然、人类不当经济活动导致的荒漠植被退化，固定活化沙丘，遏制荒漠化扩大的趋势。

该模式的主要特点：减少水资源消耗；生产费用低，投资少，操作性强，见效快；抚育管理简单，稳定性强，一次造林，长期受益。因此该模式适宜在条件相似的地区进行广泛推广。

适用范围：本技术模式已在准噶尔盆地沙漠前沿带的相关县市推广应用。可在全国

类似的干旱荒漠区广泛应用。

主要措施包括造林地选择、沙障设立、造林季节（春秋两季皆可）选择、苗木质量控制、造林配置、造林技术、补植等几个方面。

辅助措施：设立围栏，防止牲畜破坏幼林。

（5）轮牧、休牧技术

涉及轮牧面积计算、草原载畜量估算、轮牧小区确定、轮牧草原基础设施设计和建设、轮牧管理等若干方面。轮牧设计的主要技术参数有草地类型、放牧频率、小区放牧天数、轮牧周期等。轮牧、休牧技术是应用于牧草场、防止草场退化的主要技术措施。

（6）土壤风蚀防治技术

包括风沙土生物土壤改良技术，农田防护林营造技术，窄林带、小网格农田防护林营建技术，牧场护牧林的配置及营建技术，旱作农田免耕、留茬抗风蚀技术，营造大型防风阻沙基干林带技术等。

①农田防护林营造技术

建立高标准、高质量的农田防护林网，旨在防止或减轻风沙危害，改善农田小气候，防止干热风 and 土地盐渍化。实践证明，在完整的农田林网保护下，正常年份农作物可增产 15—20%，灾害年份可增产 40—60%。

农田林网的防护效能高低与林网结构、树种选择、布局设计、覆盖度高低等有密切关系。在南疆各地比较理想的模式是“窄林带、小网格”，条田面积一般为 $16.67-20 \text{ hm}^2$ 为宜，风沙危害严重地区可控制在 $10-13.33 \text{ hm}^2$ 。主林带方向与主害风向垂直或形成不超过 45° 夹角。主林带一般由 4—6 行树组成，带间距为 250—300 m；副林带垂直与主林带，一般为 2—4 行树组成，风沙危害地区可增加到 6—8 行。林带结构通常选择通风结构和疏透结构为宜。树种一般为新疆杨、钻天杨、榆树、沙枣等。为优化林网结构，提高经济效益，在林网向阳面和毛渠上配置经济林树种，如桑、石榴、红枣、葡萄等，在条田的主干道向阳面配置核桃等，实行符合经营、林网覆盖度一般为 10%—12%，风沙严重地区和新垦农田可增加到 15%。目前，南疆各地 42 个县市和兵团所有农垦团场的基本耕地均已实现林网化，但有些县市和团场农田林网标准不高，树种单一，结构不合理，还有缺带断行等，防护功能低下，还需进一步完善提高。

②“窄林带、小网格”农田防护林模式

本模式主要技术措施为：a 配置：沿主风向垂直、平行分别配置主、副林带，主林带间距 200-250 m，副林带间距 400-600 m，当主林带无法与主风向垂直时，其夹角不

得小于 45° ；主林带为林带（4 行）+道路（6 m）+林带（4 行），株行距为 1×1.5 m；副林带为林带（2 行）+道路（3.8 m）+林带（2 行）+水渠（高于地面），株行距为 1×1.5 m；造林树种主要为新疆杨、银白杨、杂交杨、沙枣、白柳，林带多为新疆杨纯林，少量新疆杨、沙枣混交（配置在绿洲边缘）或新疆杨、白柳混交（配置在渠边）。b 苗木质量：新疆杨采用树高 2.5–3 m、地径 1.5 cm 以上的 2 年生扦插壮苗造林。c 整地造林：为减少沙打沙割和大气干旱抽稍，提高造林成活率，当年整地当年造林，造林后截干（高度 1.5–1.8 m），用农膜包扎。d 灌溉：造林后抢灌头水、紧跟二水，灌溉定额 $7500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a。e 幼林抚育：1–3 年幼林修枝高度不超过树高的三分之一，间作小麦、蔬菜和瓜类或每年松土锄草 1–2 次，以提高土壤的保墒蓄水能力，减少水资源的浪费。f 病虫害防治：生物、化学防治结合。g 间伐更新：4–5 年隔株间伐，15–20 年轮伐更新。

③营造大型防风阻沙基干林带技术

大型防风阻沙林带主要用于农区外围、绿洲边缘与沙漠戈壁风蚀地相毗邻的地带，旨在防止流沙入侵绿洲和减弱沙尘暴的侵害。具体做法：根据当地的风向、沙源及危害程度，按照“因地制宜、因害设防”的原则，结合水土开发项目，沿绿洲边沿可营造单带式、多带式和网片带、乔灌草混为一体的大型防风阻沙林带。林带结构一般选择紧密式结构，配置方法，外缘为灌草带，内缘为多行混交高大乔木。树种应选择抗风耐旱耐碱寿命较长的树种，在塔里木盆地乔木应以新疆杨、银白杨、榆树、沙枣、白柳、胡杨等为主。灌木应以梭梭、怪柳、沙拐枣、酸刺、柠条、花棒等为主，草类应以苜蓿、蒿类、碱茅、鹿角草、骆驼刺等。带宽一般为 30–50 m，风沙危害严重地区可增宽到 80–100 m。如和田地区洛浦县采用此法，在农区外围沿周边营造了宽 30–50 m，长达 156 km 的大型防风阻沙林带。策勒县在五大风口地带，营造窄林带、多带式林带，在沙丘沙地风口地带每隔 225 m 营造一条窄林带，带间种植苜蓿和豆类，已收复沙漠化土地 2 千余 hm^2 ，新辟农田 0.1 万 hm^2 ，收到了良好的效果。

（7）流动沙漠区流沙固定模式

针对流动沙丘流动性大和造林困难的特点，顺序采取布设沙障、种草、栽植灌木的治理措施。选用萌蘖性强的灌木树种进行高密度植苗造林，先期形成活体沙障，后期再行造林、种草，逐步构建结构复杂、生物多样性、生产力高的植物群落类型的流沙治理模式。主要技术措施包括以下 2 方面：

①树种选择：选用萌蘖能力强、经济价值高的优良沙生灌木营造活沙障。

②对流动沙丘、平缓沙地、风蚀坑采取不同的治理方式。

7 m 以上高大沙丘的治理：流动沙丘顶部暂不植树，待风力削平丘顶后再行治理。迎风坡中下部，先设置草方格沙障或者生物沙障，栽植梭梭、怪柳等灌木树种。沙丘背风坡中下部栽植耐沙埋的沙拐枣等灌木。

3—7 m 高流动沙丘的治理：造林固沙时同样要先空留出沙丘顶部。在沙丘迎风坡的中下部，先布设机械沙障或者沿沙丘等高线栽植抗逆行强的灌木树种。种植灌木 3—5 年后，对灌木进行分带平茬。

平缓流动沙地的治理：垂直主风方向扎设草方格沙障或者是布设沙拐枣、梭梭、怪柳等生物沙障。

风蚀坑的治理：对于地下水埋藏较深的干风蚀坑，应垂直于主风方向带状铺草压沙，障间栽植抗逆行强的灌木。对于地下水埋藏浅的低湿风蚀坑，应带状栽植耐盐碱性的灌木树种。

管护：造林后的 3—5 年严禁人畜破坏。

造林种草：沙地固定后，网格内可以进一步栽种其它灌木，也可栽种牧草。

本模式适宜地区是半干旱区的流动沙丘、平缓流动沙地以及风蚀坑。

（8）零星沙丘沙地造林固沙技术

分布在绿洲边缘和绿洲内部的零星沙丘沙地，在风力作用下往往左右摆动，前移堆积，压埋农田、渠道、居民点，危害极大。防止绿洲边缘及内部零星沙丘沙地危害，是造林固沙的重点。目前，南疆各地结合水土开发的具体做法，一是以一个乡或几个乡为单元，发动群众搬沙平地，将绿洲内部或绿洲边缘的小型沙丘、中型沙丘，采用人工、畜力、机械等手段搬沙造田，兴修水利，渠林路配套，开辟新农田，然后根据土地的差异性和适宜性，宜农则农，宜林果则林果，宜草则草，这样即改造收复了沙漠化土地，又开辟了新农田。和田地区的和田县吾宗肖、墨玉县的喀尔赛和雅瓦乡、策勒县的策勒镇等地采用此种方法，已收复沙漠化土地 1.33 余万 hm^2 ，新辟农田 1 万余 hm^2 ，收到了良好的治理效果。此外，疆内及国内其它一些地区对零星沙丘沙地采用的“前挡后拉”法也是固定此类沙丘的有效办法。

（9）抗旱集水保墒整地技术

应用鱼鳞坑、水平沟，戈壁滩秋冬季开沟整地蓄水保墒、春季挖穴造林等抗旱集水和保墒整地技术，可使地表径流水尽可能多的存储于树穴中，提高造林成活率和保存率。

（10）梭梭更新复壮技术模式

梭梭为新疆准噶尔盆地所在的古尔班通古特沙漠的建群树种和固沙先锋植物,具有耐干旱、耐盐碱、抗风沙、生长迅速等特点的防沙治沙功能。梭梭更新复壮技术模式是经过新疆林业工作人员、科研工作者多年的实践、研究和总结加以完善的,目前在新疆不同生态区域已表现出良好的造林效果。根据造林地的气候、土壤和环境条件,主要可采用的更新复壮技术有:封育技术、无灌溉造林技术、迳流集水造林技术、直播造林技术。此模式能够防风阻沙,增加林覆盖率,改善新疆的生态环境。

梭梭更新复壮技术模式主要在绿洲内部或边沿的活化沙丘、退化的梭梭天然林分实施。

(11) 胡杨复壮模式

胡杨时各抗逆性极强的乔木树种,但必须依赖地下水的补给才能正常生长发育,利用其根蘖能力强,种子成熟期与塔里木河洪峰同步的生物生态学特性,引洪灌溉促进胡杨林更新复壮。

主要技术措施:

①引洪灌溉,在胡杨林区开挖羽毛状人工渠,引洪灌溉,使地下水位上升到 5m 以内。

②开沟断根,在早春或深秋,距大树 7—10 m,用机引灌木犁开沟或人工开沟,沟深 0.5—0.7 m,宽 0.3—0.4 m 以切割胡杨水平根,当年或翌春就会萌蘖新的植株。

③人工辅助撒种,在缺乏种源的胡杨衰败林地或残次林地,在引种灌溉时,可在渠道进水口处,用人工敲打胡杨结果枝,使种子落于水面,或渠道水线撒播种子。

④种植经济植物,为充分发挥林区水土资源的生产潜力,经引洪灌溉后,可在林区平坦地段栽植甘草、麻黄等的经济植物。甘草用 1 年生苗栽植,行距 0.8—1.0 m,株距 0.3—0.5 m,麻黄直播,行距 0.3—0.4 m。

该模式适用于塔里木河流域的胡杨区。

(12) 旱作节水技术

水资源匮乏,是制约荒漠化地区各项事业发展的主要难题。在新疆,也同样是如此,水资源的相对匮乏常常使得生态用水被农业这个用水大户挤占而难以得到保证,因此,引进和开发节水技术,发展节水灌溉农业就显得至关重要。

常用的节水灌溉技术有渠道防渗、低压管道输水、喷灌、滴灌、微喷灌、渗灌、田间节水等。喷灌和微灌技术突破了传统地面灌溉方法的局限性,使灌溉质量不再受地形、土壤等条件的影响,灌水时间、灌水部位、灌水均匀度、灌水定额等能比较自如地控制,

做到精确灌溉。它不但大幅度提高灌溉水利用率，还能更好地与机械化作业程度很高的现代农业相配合，代表了现代灌溉的发展趋势。渠道防渗、管道输水这两项工程技术是提高输水效率的有效措施，是水泥、塑料高分子新材料在农田水利工程中大量应用的体现。工厂化生产预制混凝土防渗构件以及塑料管道管件，可加快施工进度，提高工程质量，还能减少渠道占地，减少清淤维护工作量，降低灌溉排水成本；美化农田环境，有利节水的普及，经济和社会效益显著。

节水灌溉技术比之传统灌溉方式具有诸多优点，尤其是节水效能十分可观。以喷灌为例，喷灌比地面灌可提高产量 15%—25%；灌水均匀度一般可达到 80%—85%，水的有效利用率为 80% 以上，用水量比地面灌溉可节省 36%—50%；喷灌可用于各种类型的土壤和作物，受地形条件的限制小；可以提高工效 20—30 倍；可提高耕地利用率 7%—15%。

（13）咸水灌溉技术

塔里木沙漠公路防护林采用 3 克/升以上的高矿化度咸水灌溉，获得了成功。据研究结果显示^[166]，梭梭柴和盐穗木在灌溉水矿化度为 28 克/升的条件下，在流动风沙土上的存活率仍均能达到 85% 以上。这对于在淡水奇缺的沙漠地区利用当地的地下咸水资源开展生态建设意义重大。

（14）盐碱地造林技术

盐渍化土地在新疆分布广、面积大、危害严重，在许多地方，盐碱地与沙漠化土地相伴分布，治理和改造盐碱地对于遏制沙漠化发展具有重要意义，是防沙治沙的重要内容。盐渍化尤其是次生盐渍化的产生是随着土壤蒸发，含盐水分上升而发生发展的，因此，防止盐渍化，从根本上讲就是增加林草植被面积，提高覆盖度，减弱土壤蒸发，是治盐治碱、改良土壤的有效途径。盐碱地造林办法，一是平整土地，根据不同地形地段，可采用小畦整平，开沟整平，筑坝做畦，V 字形整地等。而是灌水洗盐压碱，可根据土壤含盐的成分、气候、地下水位高低等因素，掌握好洗盐季节，一般选在水源丰富，地下水位较低，气温较高季节为宜。其方法，在平整好的土地上分次灌水，洗盐压碱。目前南疆各地普遍采用的经济有效方法是种稻压碱，效果十分显著。此外，还可挖排水沟，碱地压沙，掏碱换土及开沟蓄沙等均能降低土壤盐分。三是选择抗盐耐碱的树种和草种，如新疆杨、银白杨、胡杨、白柳、沙枣、白榆、小叶白蜡以及桑、枣、紫穗槐、柽柳等，适宜的盐生植物有盐爪爪、碱茅、盐角草、骆驼刺等，只要把造林地平整好，洗盐压碱等得法，树种选择适当，造林必能取得成功。

（15）荒漠绿洲防护体系建设模式

绿洲保护是干旱区生态建设根本任务，应利用绿洲水分条件相对较好的特点，引洪灌溉，进行封育、保护和营造多层次的防风固沙林体系，阻沙与防风结合，层层设防，保护沙漠绿洲。在农田防护林营造的同时，选择适生的经济树种与果树营建生态经济型防护林。

主要技术措施：

①营建引洪封育、保护区

在风沙前沿、戈壁荒漠和三滩（碱滩、河滩、沙滩）荒地上引洪封育，封禁保护、恢复发展以胡杨、柽柳、梭梭等为主的天然荒漠植被，巩固和扩大绿洲，形成保护绿洲农田的第一道防护屏障，以遏制流沙侵移。

②营建大型环绿洲防风固沙体系

在绿洲边缘与沙漠衔接部营造乔灌草、带片网、多林种、多树种相结合的防风固沙体系。规划建设大型基干林带，并在基干林带的外围建设 10—15 km 宽的荒漠植被保护带，形成内有防风固沙基干林带，外有草灌保护带的第二道绿色防线。

③营建窄林带、小网格的农田防护林网

在绿洲内部的条田上，营建高标准的农田防护林网。

④营建经济林

在原有的防护林基础上进行更新时，栽植 1—2 行的经济树种，如核桃、杏、红枣等，可增加林带的经济效益，或利用已实现农田林网化绿洲的田间机耕道营建葡萄长廊。

本模式适用于干旱区荒漠绿洲，如塔里木盆地及吐哈盆地绿洲。

和田模式

和田位于新疆塔克拉玛干沙漠西南边缘，以绿洲为中心建立综合防沙体系，兴修水利，节水灌溉，并采取固定流动沙丘的办法，治沙效果明显，有效遏制了流沙对绿洲的侵袭，扭转了塔克拉玛干沙漠南缘地区沙进人退的趋势。这一成就获得联合国环境规划署“全球土地退化与荒漠化控制成功经验奖”，也开创了向沙漠要地的先河。和田模式适合极端干旱区地区的荒漠化防治。其主要措施包括：兴修水利，节水灌溉；建立完整的防风沙体系。包括绿洲内部多道窄带护田林网和环绕绿洲边缘的防风沙基干林带；固定和平整零星沙丘；引洪淤灌沙地，发展林草植被；林棉间作，林农间作；发展长绒棉、葡萄、桃、杏、核桃、桑葚等名优经济植物。

和田地区沙漠化治理以和田县、策勒县为代表。和田县沙漠化防治的基本途径是以

绿洲为中心建立防护体系，同时合理利用内陆河的水资源，使绿洲生态系统稳定。其主要防治措施是充分利用玉龙喀什河、喀拉喀什河的水资源，建成以引水总干渠、各级渠道、中小水库配套的灌溉渠系，采取渠道防渗、渠路、造林综合措施；在绿洲外围固定、半固定沙丘采取封育、引洪淤灌，保护、恢复植被，环绿洲建立 100-300 m 宽、长 358 km 的防风沙基干林。在绿洲内部营建窄林带、小网格的护田林网；在绿洲中流动沙丘的丘间低地引洪淤灌，营造片林，丘顶设置沙障，固定流沙，通过这些措施治理沙漠化使生态环境发生很大变化，在林网保护下农田风速降低了 25%，风沙流中含沙量减少 40%-60%。上世纪 90 年代与 70 年代相比，该县粮、棉、油总产量分别增长了 1.17 倍、1.16 倍和 2.31 倍，粮食单产提高了 3.3 倍，人均收入增长了 7.5 倍。策勒县防治沙漠化的主要措施是草、灌、乔配置，带、片、网、线结合，田、水、路综合治理，形成以生物措施为主、工程措施为辅的综合防护体系。在绿洲外围营建 4 带一体的防护体系，最外带修建 50-100m 宽的拦沙河，切断沙漠与绿洲的联系，沙漠流沙沉积于沙河中，洪水期被水冲走，第 2 带营建 3000 m 灌草带，第 3 带营建 500 m 人工灌木林，内带营建 1000 m 防沙林网；在沙瓦克、热瓦克等 5 大风口引洪淤灌，使流沙上先锋植物繁衍滋生，固定流沙，同时辅以机械沙障固沙。这些措施的实施取得了显著的生态效益、经济效益和社会效益，与空旷无防护区相比，灌草带、灌木林带风速降低 26.4%，防护林网风速降低 65.5%，防护体系阻沙效果明显，输沙量减少 90%，土壤粘粒含量、持水量、有机质含量增加，策勒乡 38 个村农牧业稳产高产，恢复耕地 667 hm²，人均收入增加 2.5 倍，粮食总产量增加 1.4 倍。

（16）绿色廊道建设模式

绿色廊道造林模式是指在道路两侧补植自然封育带，布设沙障，通过造林营建乔、灌、草结合的绿色廊道防沙体系建设。在道路的上风方向远离道路的地段设置高立式沙障，阻沙、聚沙成堤，阻止沙丘前移；在近道路两侧营造有机械沙障保护下的植物固沙带，全面固沙。以固为主，固、阻、输结合，保护道路免受风沙危害。

主要技术措施：

- ① 建立以阻沙栅栏、草方格为主的“阻固”结合的机械防沙体系。
- ② 采用滴灌、渗灌等先进灌溉技术，用咸水灌溉，培育耐旱耐盐的植物，在道路两侧建立绿色廊道。
- ③ 注意事项：设置高立式沙障（栅栏）是必不可少的先行措施；引进适宜固沙造林的植物进行造林，选择合适的配置。主要的植物种有怪柳（13 个种），沙拐枣（6 个

种), 梭梭柴、蒙古沙冬青和沙木蓼等 22 种灌木, 灰杨、沙枣、白榆 3 种乔木, 盐生草、沙蔗茅、大颖三芒草 3 种草本植物等。

本模式适用于沙漠和沙漠腹地道路、输水干渠的防沙及绿化。

与此模式同类的还有“沙漠地区公路边坡防护及防风固沙技术”等。

(17) 沙区资源利用与生态产业发展模式

新疆沙区不仅蕴藏着丰富的石油、天然气等矿产资源和丰富的沙物质资源, 而且拥有极丰富的光、热资源以及辽阔的沙地资源和上百种沙地特有生物资源。在科技进步的推动下, 沙区农、林、牧等各项产业的生产水平正在不断地抬升, 可以预料, 未来在有更多更高更新的科技成果渗入沙区开发的情况下, 沙区的各项资源潜力将会更加充分地得以发挥, 并产生出巨大的效益。

目前新疆沙区生态产业发展模式主要有:

① 林农间作

核桃农林间作

暖温带极端干旱区人多地少的老绿洲, 在农田毛渠上栽植或田间高密度栽植核桃, 实行农林复合经营。在风蚀沙化中、低产田实施核桃农林复合经营, 可有效改善农田生态环境, 降低风沙灾害, 提高土地、水肥和光能利用率, 提高土地生产力和单位面积产值, 增加农民收入。本模式主要技术措施为:

a 配置: 有两种类型, 一是毛渠型, 将田间的临时性毛渠改为固定毛渠, 在毛渠中定植 1 行核桃树, 70 株/ hm^2 ; 二是密植型, 在田间片状栽植, 500 株/ hm^2 。

b 选用良种及合理搭配授粉树种: 毛渠行状栽植, 选用树体稍高大、既是主栽品种又互为授粉树的扎 343+新温 2, 或扎 343+新丰; 片状栽植, 选用树体稍矮小、既是主栽品种又互为授粉树的温 185+新 2 等。

c 建立良种采穗圃: 根据乡村规划种植面积, 就近建立规模不等的良种采穗圃。

d 选用壮苗造林: 为降低生产成本, 提高造林成活率, 第一年栽植苗高 1.2 m、地径 1.5cm 以上, 根幅 30 cm 以上的 2 年生实生壮苗造林。

e 造林: 造林的季节春秋皆宜, 开沟挖穴栽植, 每株施腐熟农家肥 1kg。

f 嫁接良种: 造林成活后, 第二年春、夏进行枝接或芽接; 嫁接成活后, 及时松绑和抹除实生苗的萌条。

g 加强树体和土壤的管理: 整形修剪和水肥管理; 嫁接第 2 年开始量结果, 第 3 年株产 150-200 g, 8-15 年株产 12-30 kg。

林棉间作

根据气候异常多变的实际情况,为不同土质条件、不同品种和不同类别的苗情灵活设定因苗而管、分类指导、促控结合的田管方法实施林棉间作。

②林草间作

这是林牧结合、互相促进的一种良好方式。例如,奇台县退耕还林地林草间作面积达 0.4 万 hm^2 ,林间种植了苜蓿、红豆草等为主的优质牧草,促进了全县农区畜牧业的发展,农区牲畜饲养量由 2001 年的 80 万头增长到了 2004 年的 110 万头。

③发展名优经济林

新疆经济型防护林体系已在新疆普遍应用推广,目前,一批核桃、巴旦杏、红枣、石榴及阿月浑子等具有新疆特色的名优特干、鲜果经济林,已成为新疆农村经济发展的支柱产业之一。

特色药用植物种植模式

利用怪柳、梭梭接种肉苁蓉治理沙地模式

怪柳、梭梭分别是新疆塔里木盆地和准噶尔盆地沙化土地的重要建群树种,同时两大荒漠树种的根部又可作为寄生肉苁蓉的寄主。肉苁蓉是珍贵的沙生药用植物,素有“沙漠人参”之美称。在极端干旱区,可利用绿洲灌溉之利,在沙化土地上营造怪柳、梭梭,并在其根部接种大芸(管花肉苁蓉)。怪柳、梭梭接种大芸旨在恢复因自然、人为因素导致的荒漠植被退化,固定活化沙丘,依托区域特色资源,构建生态、经济效益兼优的土地退化治理模式,开拓沙区人民脱贫致富的途径。利用怪柳、梭梭接种肉苁蓉治理沙地模式现已成为新疆各族人民防沙治沙、可持续巩固治理沙地成果和实现沙产业效益的主要手段之一。

①怪柳接种大芸

采用节水灌溉技术(沟灌、滴灌),造林成活率达 80%以上,保存率达 90%以上;采用种子纸接种大芸,接种率可达 50—85%;造林接种 3-5 年后,大芸年产量(鲜重) 750—3000 kg/hm^2 ,年产值 11250-54000 元/ hm^2 。主要技术环节包括:

- a 选择造林地:具备灌溉之利的平缓沙地或弃耕地。
- b 建设渠、路:修建引水渠系(或打井安装滴灌系统),建简易路面。
- c 整地开沟:平整局部起伏的小沙丘;沟宽 2 m,深 30—40 cm,长度 50—150 m 不等,沟间距 4m。
- d 造林季节:春秋两季皆可。

e 苗木：采用一年生怪柳扦插苗、或二年生播种苗。

f 大芸种子纸制备：在 30×10 cm 的废报纸上胶粘约 100-200 粒大芸种子

g 造林配置：每沟栽植 2 行怪柳，株行距 0.5×1 m。

h 栽苗接种：在种植沟中深挖 60—70 cm 栽植怪柳，于红柳根部放一张种子纸，种子纸与地平面呈 45°，在造林的次年接种大芸效果更佳。

i 抚育管理：年灌溉 3-4 次，灌溉定额 4500—5250 m³/hm²·a（沟灌）。

j 病、虫、鼠害防治：采用生物防治措施。

② 梭梭接种大芸

包括梭梭人工培育技术和肉苁蓉接种技术。

梭梭人工培育包括采种、育苗、栽植技术、抚育管理、病虫鼠害防治等几个方面。培育方法可分为两种：分别为种子育苗和容器育苗，然后进行大面积人工造林，一般采用种子育苗。

肉苁蓉接种技术涉及采种、接种时间与接种地土壤、接种方法、抚育管理与病虫害防治、采挖等几个方面。采挖又分直接采挖、去头埋藏、晾晒等环节。

（18）沙地设施农业技术

这是充分利用沙漠地区的光热资源优势，发展沙产业的有效途径。宁夏中卫市就研究出以草砖为墙体材料，以番茄、辣椒、甜瓜、乳瓜、茄子等为主要产品品种，水肥一体化的沙漠温棚配套生产技术，在腾格里沙漠边缘开垦沙地，建设“沙漠温棚”，平均每棚收益达 7000 元，经济效益十分可观。

（19）林农草复合治沙模式

将林木和粮食、果、药、草、经济作物等种植在同一土地范围内，相互作用，相互促进，是一个具有生态效益与经济效益的多功能复合生产体系。

主要技术措施：

a 模式应用的前提，治沙造林后的成林郁闭度必须大于 0.2。

b 在有灌溉条件的沙地，营造以杨树为主的阔叶速生丰产林，两行一带，带距最大 25 m，株行距 2 m×2 m 或 3 m×3 m，最小密度 375 株/hm² 或 240 株/hm²；在无灌溉条件的沙地，营造以杨树为主的阔叶防护用材林，也采取两行一带形式造林，带距最大 15 m，株行距 2 m×2 m 或 3 m×3 m，最小密度 495 株/hm² 或 300 株/hm²；营造以沙生灌木为主的灌木防护林薪炭林或灌木防护经济林，树种以梭梭、怪柳、沙拐枣等为宜，带状造林，林带至少 4 行，株行距 1.5 m×1.5 m 或 2 m×1.5 m，间种带宽最大 12 m。

c 平缓沙地造林时可进行穴状整地

营造阔叶乔木林的整地规格为 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ ，灌木造林的整地规格为 $0.6\text{ m} \times 0.6\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ ，随整随造。

d 营造杨树丰产林，要求选用苗高 2.5 m 、胸径 2.5 cm 以上的健壮大苗，一般应为三根三干或三根二干苗，灌木选用 1 年生合格苗木。

e 可根据实际情况选粮食作物、豆类作物、经济作物以及优质饲料等进行间种。在造林的后的前 3 年，选用的植物最好是带根瘤菌的当年生或多年生草本，实行林草间作。

该模式适宜于半干旱地区水土条件较好的平缓沙地，或沙丘低矮稀疏、丘间地开阔平坦的沙地，以及引洪淤灌后的沙地和沿河沙地。

（20）森林病虫鼠害综合防治技术

沙区荒漠植被也时刻面临病虫鼠害的威胁，为确保沙漠化防治成果安全，必须加强害情监测和害情防治。森林病虫鼠害综合防治技术主要包括害情监测、生态控制、天敌控制、物理防治、化学防治、生物药剂防治等几个方面。

（21）荒漠化监测与评价技术体系

荒漠化监测评技术体系是通过地面监测、航空航天监测以及分析研究，达到既掌握荒漠化发展和逆转的动态规律及其防治效果、又预测其发展趋势的综合技术体系。该体系主要包括地面的微地貌景观、植被、土壤、土地利用结构，水资源及其利用状况、生产力等的观测和“3S”（卫星遥感、全球卫星定位、地理信息系统）理论与技术的应用。

（22）沙区能源开发技术

新疆沙区特别是南疆沙区沙漠边缘的绿洲农区煤炭等化石燃料十分缺乏，长久以来主要依靠砍伐薪柴来提供日常生活能源，对绿洲边缘的荒漠的荒漠植被造成了巨大的压力。应逐步推广普及沼气、太阳能、风能等技术的利用，为不断巩固防沙治沙工作成果创造条件。

在读期间的学术研究

1.参加的科研项目

(1) 2004 年,组织参加了新疆第三次荒漠化与沙化监测技术研究,综合运用 3S 技术、网络传输、多媒体等现代信息技术,制定和完善了监测与评价网络体系,建立了一套完善的荒漠化和沙化土地地理信息管理系统,实现了管理信息统计、查询、核实、对比等工作的自动化。

(2) 2005 年,组织参与编制了《新疆准噶尔盆地南缘防沙治沙和艾比湖流域防沙治沙规划》,已报国家林业局。

(3) 2006 年,组织参与编制了《新疆防沙治沙规划》(2006-2010 年)、《新疆国家级沙化土地封禁保护区规划》、《全国重点地区防沙治沙工程建设规划》(新疆部分)、《联合国环境署/全球环境基金中国新疆西北地区土地退化综合防治项目概念书》;以上都已报国家林业局。

(4) 2006 年,参与中国林业科学研究院林业研究所“新疆活化沙丘的固定与绿洲防风固沙体系构建技术与试验示范”课题研究,专题负责人:贾志清,通过优良固沙植物材料筛选与繁育技术,基于咸水与水分高效利用的生物固沙与植被恢复技术,为干旱区提供防沙治沙示范样板,建立干旱区防护体系优化结构模式及其理论基础。

(5) 2006 年,参与中国林科院《沙漠化发生规律及其综合防治模式研究》项目研究,慈龙骏主持,首次揭示了我国沙漠化发生规律,并针对不同类型建立了区域综合防治模式,荣获 2006 年度国家科技进步二等奖。作为新疆项目区的负责人,为项目提供大量科学完整的一手基础实验数据。

(6) 2007 年,组织参与编制了《新疆维吾尔自治区重点地区防沙治沙工程建设规划》(2007-2015 年);已报国家林业局。

(7) 2007 年,参与新疆维吾尔自治区人民政府《关于新疆防沙治沙政策与机制的研究》课题研究,是主要的组织者和负责人之一,针对新疆沙化土地面积大、沙化类型多及治理任务重等特点和实际,提出了创立自治区防沙治沙基金、沙区实行移民和国家收购绿地、实行长期生态补偿等政策和机制建议。此课题荣获新疆维吾尔自治区人民政府 2007 年度调研课题三等奖。

(8) 2008 年, 组织参与编制了《新疆维吾尔自治区环塔里木盆地防沙治沙一期工程规划建设规划》(2007-2015 年)、《新疆维吾尔自治区准噶尔盆地南缘防沙治沙工程一期建设规划》, 已上报国务院。

2.发表文章情况

(1) 阿力木江.新疆沙漠化现状及其防治对策.新疆林业, 2006 年, (2)

(2) 阿力木江. 关于新疆防沙治沙政策与机制的研究.新疆维吾尔自治区政府政策研究汇编, 2007

(3) 阿力木江, 蓝利, 程红梅.新疆皮山地区土地荒漠化动态遥感研究.水土保持通报, 2009 年, 已接受, 待刊

(4) 阿力木江, 蓝利.新疆沙漠化防治区划.干旱区地理, 2009 年, 已接受, 待刊

致谢

衷心感谢我的导师卢琦老师和吴波老师这些年来的悉心培养和关怀！

感谢中国林科院及研究生院慈龙骏、孟平、杨茂瑞、王冬、王徽、白登忠、杨洪国、张金玉、贾志清、王学全、杨文斌、苏志珠、褚建民，北京林业大学朱金兆、孙保平、赵廷宁等有关领导、老师和同学的热心指导和帮助！

感谢各参考文献作者为本文写作提供的宝贵基础，感谢他们的辛勤工作！

感谢盲审专家提出的宝贵意见！

论文写作过程中还得到新疆大学潘晓玲、海米提，新疆林业科学院李宏、刘康，新疆林业厅朱伯江、戴君峰，中科院新疆生态与地理研究所雷加强、穆桂金、杨发相、王晓静、岳健，新疆林业勘察设计院李毅，新疆国土资源信息中心蓝利等许多朋友的大力支持和帮助，在此一并表示最诚挚的感谢！

最后，要特别感谢我的家人一直以来对我的宝贵支持！

2009 年 7 月于北京