

沙漠气候

李江风 编著

气象出版社



资助单位：中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所
中国气象局国家气候中心
中国科学院新疆分院生态与地理研究所
阜康荒漠生态实验站
塔克拉玛干沙漠综合考察队

沙漠气候

李江风 编著



气象出版社

内 容 简 介

沙漠气候是沙漠环境形成的最重要的要素之一。现在的沙漠气候是通过地质时期及历史时期演变而来的。沙漠所特有的气候是人类活动的丰富资源,但同时也会带来灾害,如沙尘暴、热浪及洪水。本书集世界各国沙漠气候资料、有关论著,以塔克拉玛干腹地一些特殊气候项目观测和野外观测资料为基础撰写成的,它是沙漠大气候和小气候相融合的著作,全书共分为七章,第一章绪论,第二章至第五章为沙漠气候和风积(蚀)地貌形成原因,第六章和第七章为沙漠气候要素的分布、特征和规律性。在撰写中,不仅吸取有关沙漠风沙理论和实验资料,吸取中外一些经典著作的理论和观点,以系统阐明它们的作用,与此同时,还以极其丰富的观测和试验资料加以论证。

本书可作为气象、农林、水利、环境等部门的科研人员和业务人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

沙漠气候/李江风编著. —北京:气象出版社,2002.6
ISBN 7-5029-3389-1

I. 沙... II. 李... III. 沙漠-气候-研究 IV. P462.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 035668 号

沙漠气候

李江风 编著

责任编辑:顾仁俭 吴晓鹏 终审:黄润恒 周诗健

封面设计:刘兰慧 责任技编:王丽梅 责任校对:王丽梅

气象出版社 出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮政编码:100081)

北京怀柔奥隆印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:12.375 字数:317千字

2002年6月第1版 2002年6月第1次印刷

印数:0001~1000 定价:25.00元

序 一

作者李江风早年毕业于南京大学气象系气候专业(现改为大气科学系天气气候专业),四十余年来在应用气候与理论气候的研究中贡献显著,尤其他的近著《沙漠气候》不仅是我国的开创性专著,更是气候学的发展。在我 1959 年出版的《气候学原理》中只认为沙漠气候是气候型的一种,用不到一页的篇幅加以叙述而已,而作者却把沙漠气候发展成共有七章的伟著。

塔克拉玛干沙漠号称死亡之海,一般只可泛论,难以深入研究。作者却能在 1987 年率有关人员,不惧艰险,深入流动性沙漠腹地,实测多种有关沙漠气候资料,更由作者理论分析所测资料,兼顾世界其他沙漠,总结出开创性的沙漠气候,实为难能可贵。

我国近来沙漠气候影响逐渐加剧,沙漠化地区不断扩大,以致沙尘暴不仅频繁,更远飘江淮或更远。当务之急,不但要研究治沙防沙的综合性对策,更应提高沙漠气候的理论。本书的目的就是提高沙漠气候的理论研究,又提供治沙防沙的资料。

么枕生

2001 年 3 月 20 日

序 二

沙漠气候是沙漠环境形成的最重要的要素之一。现在的沙漠气候是通过地质时期及历史时期演变而来的。沙漠所特有的气候是人类活动的丰富资源,但同时也会带来灾害,如沙尘暴、热浪及洪水。在地球上的沙漠、半沙漠地区,气候与那里居住的人们生活息息相关,“利”和“害”两面关系伴随而来,今后还将继续下去。

不仅如此,近年来的沙漠、半沙漠地区的问题不仅影响本地区,而且超越了地区界限甚至国境,成为全球性问题。例如,正是作为地球环境问题的沙漠化问题,把世界各地人民的生活关连在一起,成为地球上所有的人都不得不思考和寻求对策的课题。

沙漠气候学是提供基础科学知识的极其重要的学科。它是为建立干旱、沙尘暴、热浪等灾害对策;进而为绿洲农业和经济活动、绿洲间的通信和交通;甚至为地区高层次生产活动的规划与对策及其实施所不可缺少的最重要的科学知识。

中国的沙漠气候学研究已有较长的历史,在世界上来看也是在发展着的。在这些研究中,李江风先生以塔克拉玛干沙漠为中心的研究,有很多的成果,他的贡献得到了很高的评价。作者自1990年以来,以塔克拉玛干沙漠为中心作了一些沙漠气候学的研究。1997年出版了300多页的《中国的沙漠化》一书。在此书中,介绍了李江风先生的很多研究成果,日本的研究者都很了解。李先生的业绩,不仅为日本学者而且为全世界的研究者提供参考。

在流动沙漠地区进行长期间的观测,过去由于其困难性而没能搞过。但是,沙漠化问题是一个长年累月的积累现象。而与沙尘暴的发生次数、强度等的长期变动相关的知识是我们研究进展的重要情报。这些系统的观测和分析结果,必将为全世界的研究作出贡献。

今天,中国正为西部的经济发展而努力。但是,干旱地区和半干旱地区的环境是恶劣的。笔者确信,本书将为克服沙漠环境不利因素、利用气候资源、开发西北作出很大的贡献。

吉野正敏

筑波大学名誉教授

日本沙漠学会会长

2000年6月10日

前 言

沙漠和沙漠气候,是当代具有诱惑力的研究领域。这不仅是它的广袤、险阻和鲜为人知的面纱,也不仅是世界文明古国文化发源之地,且是它在地质、历史久远的岁月中,沉积着瑰玮的资源财富,成为经济战场上竞争的目标。

地球上干旱面积占 52% 以上,其中沙漠面积可占 15%。干旱区、沙漠区,在历史上是孤苦死寂之区,生态脆弱,旱魃霸据,降水稀少,沙暴频起,由于人类的活动,加剧了沙漠气候沙漠环境恶化,它成为沙漠化土地滋生、蔓延最敏感地区,在它的后面,还蕴生着许多隐患,给人类生存带来了严峻问题。这是为撰写沙漠气候启迪的第一动机。

在世界各大沙漠中,塔克拉玛干沙漠最神秘,奇特、千变万化的风积风蚀地貌、苍劲雄姿的沙丘、俏丽的沙纹沙波,这是神工鬼斧的魅力。有巨响的黑风暴、缕缕飘沙、能使脚板烙成水泡的高温、能使裸肤脱皮的强辐射、挖沙 3m,不见湿沙,水是生命中最宝贵的财富。许多古今中外的探险家付出巨大的代价,便证实了“死亡之海”——塔克拉玛干沙漠被演绎为“进去出不来”的真正性。

1983 年起,中国石油勘探队伍,驰骋于浩瀚的沙海中,在探明石油储存方面获得重大突破。1987 年国家领导人视察了塔里木油田勘探工作,并提出利用石油勘探条件,组织塔克拉玛干沙漠综合考察的设想,在国家科学技术委员会统筹下,在中国科学院、有关部局和新疆人民政府的支持下,考察队成立了,气象专业组于 1987 年 11 月率先进入塔克拉玛干沙漠腹地满西一井,并得到新疆沙漠经理部(塔里木石油勘探指挥部前身)大力支持,建立了我国第一个沙漠气象站,1989 年又在塔中 1 井建立又一气象站,通过 5 年的气象常规观测、各种试验、太阳辐射观测、不同沙丘形态形成和观测,得到了大量的新资料,形成了新的观点、新的结论,对塔克拉玛干沙漠气候认识上有了新的飞跃和升华。在此考察基础上,作者撰写了《塔克拉玛干天气气候》一本 120 万字专著,由科学出版社 1995 年刊出样本,最遗憾的是由于资金不足,至今未能正式出版。塔克拉玛干沙漠许多的气象观测积累了大量资料,为了不使它“囚禁”,经多方支持恳助,以服务于沙漠区的开发利用,这是撰写《沙漠气候》另一动机。

中国政府于 2000 年对中国西部实施大开发的战略,对农牧业、生态、工交企业等结构大调整,也就是满足当代可持续发展需要,留下一个永续资源环境。新、甘、宁、陕、青、蒙内蒙古等沙漠面积占全国沙漠 3/4 以上,其中新疆沙漠面积占 55% 以上。新疆沙漠区,不仅是油气及其它矿产资源的基地,也是中国棉花基地。沙漠气候为工农产业、为改善生态环境、合理利用和开发资源服务,是大势所趋,迫在眉睫。鉴此,《塔克拉玛干沙漠天气气候》一书尚未正式出版,特撰写《沙漠气候》一书,这是撰写该书又一思想所促使。

几年前,尚未看到撰写《沙漠气候》系统性的专著,在我国仅有耿宽宏先生撰写《中国沙区气候》,为了填补这一空白,仅收集世界沙漠区域部分资料,犹显不足,有待今后沙漠气象研究者进行填补和修正。

本书集世界各国沙漠气候资料、有关论著,以塔克拉玛干腹地一些特殊气候项目观测和野外观测资料为基础撰写成的,它是沙漠大气候和小气候相融合的著作,全书共分为七章,第一章绪论,第二章至第五章为沙漠气候和风积(蚀)地貌形成原因,第六章和第七章为沙漠气候要素的分布、特征和规律性。在撰写中,不仅吸取有关沙漠风沙理论和实验资料,吸取中外一些经

典著作的理论和观点,以系统阐明它们的作用。与此同时,还以极其丰富的观测和试验资料加以论证。

本书的撰写,应该是集体劳动结晶。在严酷风沙环境中,很多同志付出大量的辛勤劳动,冒着少水缺水的危难,进行夜以继日监测,取得大量的沙漠腹地资料。为该书进行大量统计校核工作的主要同志有:何清、胡列群、高放生、卜生明、李民、郑显扬、邵峰、袁玉江、赵景峰、赵元杰、雷加强、蒋玉贤、傅玮东等。此外,还得到沙漠综合考察队夏训诚、董光荣队长,塔里木石油勘探指挥部王秋明、罗春熙、钟健民、李晓萍,新疆气象局张家宝局长、徐龔慧局长、帕尔哈特副局长,还有新疆气象研究所张学文、郑国光、徐吉庆、蔡承侠等有关领导的支持,才得以完成。为该书出版,协助资金或在课题中支持的单位和个人有:中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所(原新疆气象所)和新疆气象局科教处季红岩、王珍处长,中国气象局国家气候中心和张德二研究员,中国科学院兰州冰川研究所陈拓博士,中国科学院新疆分院生态与地理研究所宋郁东所长和科技处崔望诚、尹竞原处长,中国科学院阜康荒漠生态站季方、马健站长,新疆沙漠气象研究所袁玉江研究员、何清副研究员,还有李崇舜、樊自立、周兴佳等等专家,一并致以崇高的敬意!

在此,更要感谢为该书作序的尊师。著名的气候学家么枕生教授,年已九旬有三;吉野正敏教授,年近八旬。么枕生先生不仅是气候学的前辈和奠基人之一,有着渊博、深邃的学术水平,至今在人生道路上仍然孜孜不倦,撰写专著、文章,为之敬慕和瞻望,为人师表,受益匪浅。吉野正敏先生,1993、1999年两次倡导了中日大型沙漠考察和研究工作,在新疆做了大量工作,在同行中树立了楷模。

当今,中国正向西部大开发进军,在开发西部几代人中,我们有幸作为开发先锋,我们充分相信,在中国政府领导下,“死亡之海”会变成“希望之海”、“资源之海”、“绿洲之海”、“富饶之海”,同时也真挚希望世界各沙漠区,为沙漠和沙漠气象工作的专家,克服沙漠不利环境,利用气候资源,使沙漠变成为“绿洲富饶之海”。

本书限于水平,定有很多缺点错误,敬请指正。

作者

2001年2月于乌鲁木齐

目 录

序一

序二

前言

第一章 绪论	(1)
§1 干旱区和沙漠区	(1)
§2 现代沙漠气候的成因	(5)
§3 沙漠气候学研究的内容与发展	(5)
第二章 环流和沙漠形成	(10)
§1 环流和沙漠形成的概念	(10)
§2 冷洋流和局地环流对沙漠形成的作用	(14)
§3 气流辐合线和经纬向环流对沙漠的影响	(19)
§4 古环流和古沙漠的形成	(23)
第三章 风沙运动	(28)
§1 近地层风沙基本特征	(28)
§2 风沙流和结构特征	(37)
第四章 风速风向蚀积形态和沙尘暴	(44)
§1 中尺度环流对沙丘蚀积形态作用	(44)
§2 小尺度环流对沙漠积蚀小地形的影响	(62)
§3 大尺度环流对沙尘暴的作用	(71)
第五章 太阳辐射、辐射平衡、热量平衡	(79)
§1 太阳辐射	(79)
§2 有效辐射和辐射平衡	(104)
§3 热量平衡	(110)
第六章 沙漠温度	(114)
§1 气温的分布	(114)
§2 气温较差	(123)
§3 极值和界限温度	(127)
§4 沙漠地表沙层温度	(131)
§5 蚀积地貌形态沙层温度	(138)
§6 垂直地温与地温极值	(145)
第七章 水 分	(148)
§1 沙漠降水	(148)
§2 沙漠湿度	(177)

参考文献

CONTENTS

Preface one

Preface two

Foreword

Chapter One Introduction

- § 1 Drought region and desert region
- § 2 Causes for the modern desert climate
- § 3 Research and development of desert climatology

Chapter Two The action of circulation on the formation of desert

- § 1 Fundamentals for circulation and the formation of desert
- § 2 Effects of cold current and local circulation on desert formation
- § 3 The effect of the convergence line of air stream and the meridional and zonal circulations on desert
- § 4 The formation of paleo-circulation and paleo-desert

Chapter Three The movement of sand blown by winds

- § 1 The basic characteristics of sand blown by winds in surface layer
- § 2 The current of sand blown by winds and its structural characteristics

Chapter Four The erosion and deposition pattern by wind velocity and wind direction and sandstorms

- § 1 The action of mesoscale circulations on the erosion and deposition pattern
- § 2 The effect of microscale circulations on erosion and deposition of desert on microscale topography
- § 3 The action of large-scale circulations on sandstorms

Chapter Five Solar radiation, radiation balance and heat balance

- § 1 Solar radiation
- § 2 The effective radiation and radiation balance
- § 3 Heat balance

Chapter Six Temperature over deserts

- § 1 Distribution of air temperature
- § 2 Range of air temperature
- § 3 Extremes and critical temperature
- § 4 Sand layer temperature on desert surface
- § 5 The pattern of erosion and deposition geomorphology and temperature variation of sand layer
- § 6 Vertical distribution and extreme values of soil temperature

Chapter Seven The moisture

- § 1 Precipitation in deserts
- § 2 Humidity in deserts

References

第一章 绪 论

§ 1 干旱区和沙漠区

一、干旱区的定义与划分方法

(一) 干旱区的定义

在地球陆地区域内,形成气候的干旱(一般是指降水量少,年降水量小于蒸发量),不能正常地维持一般作物或植物的生长的地区,并有潜在的沙漠化的威胁。

广义的干旱区则包括极端干旱区、干旱区、半干旱区三种基本类型。但是干旱区的范围和界限,迄今为止,还没有统一的认识。其原因之一,是由于划分世界干旱区方法不一,其中气候方法认为是最重要的。然而,由于气候方法所取的气候要素、气候指标、气候因素不同,又产生不同的界限和范围。不过,争论较多的只是在干旱半干旱界限值和极端干旱界限以及植被的景观性有差异,这还需要进行深入的研究。

(二) 气候区划分方法

1. 单一气候要素方法

年降水量划分法:斯托恩(R. O. Stone, 1967)提出年雨量不足 6in(约 150mm)者定义为干旱地区,12~16in(约 300~400mm)^[1]定义为半干旱地区。联合国教科文组织(UNESCO, 1955)则采用雨量不足 10in(约 250mm)的地区划为“干旱”,10~20in(约 250~500mm)的地区划为“半干旱”(有人认为 500mm,巴西^[8]则以 700mm 可作为半干旱地区上限)。

著名的气象学家竺可桢早年曾指出^[2,4]:年降水量 400mm 等值线,是森林和草原的分界线。美国则以 400mm 降水量作为不能发展正常农业生产的界限^[3],不足 400mm 降水量主要的是灌溉地旱作物和天然牧场。由此知,400mm 降水量可作为半旱区与半湿润区界线。若仅用降水量进行划分它,不能真实反映该区域的干湿地区。例如^[1]耶路撒冷的年降水量为 600mm,应属于半湿润地区,但它却有 6 个月的时间是十分干旱的,只能划为半干旱区,伦敦年降水量为 620mm,与耶路撒冷几乎相等,但它却为湿润气候。

2. 综合指数法

1) 干燥指数 K 值法

中国科学院于 1954 年组织自然区划工作^[5],中国气候区划是其中一个项目。于 1959 年完成。主要考虑农牧业分布界限问题,热带经济作物栽培区域问题。采用热量与水分两项指标,即根据苏联 Г. Г. Селянинов 的经验公式计算的:

$$K = \frac{E}{r} = \frac{0.16 \sum t (\geq 10^{\circ}\text{C 稳定期})}{r (\geq 10^{\circ}\text{C 期内})} \quad (1)$$

式中 K 为干燥指数, E 为可能最大蒸发量,是用 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 稳定期中的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 ($\sum t$) 乘以 0.16 经验系数, r 为降水量 ($\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期内的)。其干燥指数: (1) ≤ 0.99 湿润、森林区; (2) $1.00 \sim 1.49$

半湿润区,森林草原;(3)1.50~3.99 半干旱,草甸、草原、荒漠草原;(4) ≥ 4.00 干旱,荒漠区。

2) 干燥度法

1979 年地图出版社出版的《中华人民共和国气候图集》中,中国气象局中国气候区划由钱纪良、林之光完成^[6],根据

$$\text{干燥度} = \frac{E}{P} = \frac{\text{最大可能蒸发量}}{\text{年降水量}}$$

得出,A: ≤ 0.99 湿润,B:1.00~1.49 亚湿润,C:1.50~1.99 亚干旱,D: ≥ 2.00 干旱。

《中国自然地理》一书中中国气候区划,具体工作由陈咸吉、林振跃等完成^[7],结果有 A: < 1.0 湿润,B:1.0~1.6 亚湿润,C:1.6~3.5 草原,D:3.5~16.0 干旱,E: > 16.0 极端干旱。该区划对青藏高原其指标又加以更改,C:1.6~5.0 亚干旱,D:5.0~15.0 干旱,E: > 15.0 极干旱(荒漠戈壁)。这是考虑西藏的具体情况而改变的。这种划法,和《新疆气候》^[13]气候区相近。

3) 干旱指数法(辐射平衡法)^[2]

干旱指数是前苏联学者布德科(M. H. БУДКО)1958 年提出的辐射指数,亦即 1969 年被莱托(Lettav)称之为干燥度比率。即

$$D = \frac{R}{LP} = \frac{\text{地面年平均辐射平衡}}{L(\text{水蒸发潜热}) \cdot P(\text{平均年降水量})}$$

布德科提出 > 3.4 为沙漠,2.3~3.4 半沙漠;1.1~2.3 草原或热带草原。同时,对 D 值又作了沙漠区沙漠化的说明:当 $D > 10$,为真正沙漠区;发生在地下水或河沿处造成的小块绿洲 7~10;沙漠边缘、大量牲畜放牧区 2~7。

3. 景观方法

依据植被、土壤、水文条件进行划分。

二、沙漠区的气候定义

1. 沙漠与荒漠的区分

沙漠中国古代称瀚海或大漠,维吾尔语称“库姆”,蒙古语称“戈壁”,阿拉伯语称“厄格”(Erg),中国古书上称沙漠为沙河,沙丘为“地乳”^[9],也有称大流沙为沙碛。

荒漠(desert)是指气候干旱^[1],降水稀少、变率大,植被稀疏低矮、土地贫瘠的自然带,其意味“荒凉”之地。荒漠有石质、砾质和沙质之分。石质和砾质的荒漠平地称为戈壁,而沙质荒漠才为沙漠(Sandy desert)。在荒漠地带的干草原地带,也有不少面积为沙丘覆盖,这就是通常说的沙地。一般泛称之“漠沙”。

沙漠下垫面为粒状物。一般沙子粒径据 B. A. 拜格诺(Bagnold)定义为^[10]:粒径下限值即沙粒最终沉速小于平均地面风向上旋涡流速;粒径上限值即风的直接压力或其它运动中的颗粒冲击都不能移动在地面上的颗粒时。据实验,粒径一般为 0.3~0.15mm 间。在和田河^[11]流域区,细沙在 0.125~0.063mm 间,粉沙 $< 0.063\text{mm}$,其极细沙比例较大,由此,浮尘天气较多。

耿宽宏在进行沙区气候区划^[12]指出,为提供工农牧业“分而用之”、“分而治之”、“分而建设之”开发方针;在制定指标时,增加风沙运动这一指标,充分表明沙区气候区划的特性。此外,他在大区气候指标,采用水分干燥度指标,作出极端干旱荒漠区 $K > 32$ 的一个突破,表明沙漠气候的特征,并非类同其它区划 $K > 4.0$, $K > 16.0$ 作为极端干旱气候区的标准指标。在新疆气候区划中^[13],曾采用 $K > 20$ 作为极端干旱气候区的划分。对此,也有人提出异议。作者认为,中国土地面积大,类型复杂,采用统一指标,表示极端干旱区域气候,其优点在于大区域中,可

作统一的比较,但其缺点往往在于在大区域中,失去更小区域的特殊性,由此,沙漠区的 K 值^[13]相差几十倍、几百倍者很多,例如和田 $K \geq 27.7$,淖毛湖 73.3,吐鲁番竟达 383.8 以上。同为极端干旱区,其差别甚大。

三、世界干旱区及沙漠区分布

世界干旱地区总面积为 4800 多万平方千米,约占全球面积的 1/3,见表 1.1。这一估算与桑茨(Shantz,1956)根据植被分类型划分的世界干旱地区的面积(46 750000km²),及占全球陆地面积的百分比(32%)的数值十分相近。

表 1.1 各地区的干旱区面积^[17](km²)

地区	总面积	半干旱区		干旱区		极端干旱区		全部干旱区	
		面积	%	面积	%	面积	%	面积	%
北美洲	21280000	2340800	11.0	1489600	7.0	425600	2.0	4256000	20.0
中南美洲	18637000	1602360	9.5	1420400	8.0	355100	2.0	3377860	19.5
非洲	29797000	5546490	18.5	7325560	24.5	4527240	15.0	17309290	58.0
亚洲	42365000	6354750	15.0	8049350	19.0	1270950	3.0	15675050	37.0
澳洲	7703850	2234120	29.0	3928960	51.0	0	0	6163080	80.0
欧洲	10032100	752500	7.5	200500	2.0	0	0	953000	9.5
合计	129814950	13741020	14.5	22414370	17.0	6578890	5.0	47734280	36.5
其他陆地*	23418050	0	0	0	0	0	0	0	0
陆地合计	153233000	18741020	12.2	22414370	14.6	6578890	4.2	47734280	31.0

* 格陵兰、北极、印度尼西亚、新西兰、南极、大洋洲岛屿等。

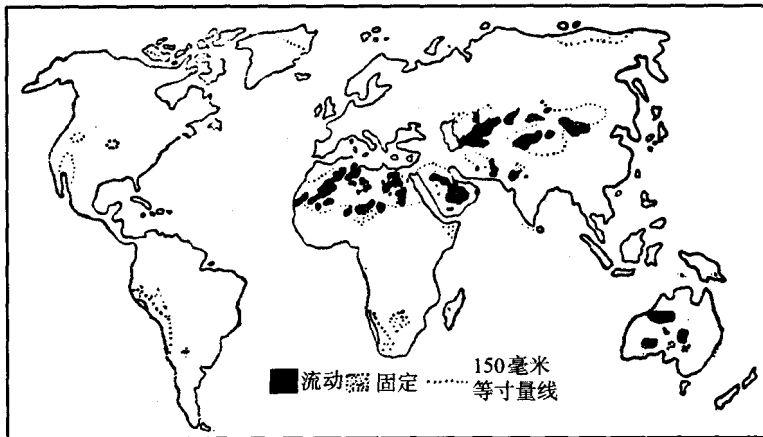


图 1.1 世界主要沙漠分布图[据库克(Cooke)、沃伦(Worren),1973]^{[1][14]}

从表 1.1 及图 1.1 知,全世界干旱区和沙漠区集中在六个大区域内,即北非、亚洲中部、西南非、北美中西部、南美的西南部、澳大利亚。即从 10°N 附近向东北延伸至 55°N 附近,形成一个几乎连绵不断辽阔的干旱沙漠区^[15,16],占世界干旱区和沙漠区的 67%,主要集中在非洲、中亚和中国。

中国干旱区和半干旱区在世界主要国家里,占第四位,极端干旱区排至第六位;而沙漠区之大,则跃居第三位,除澳大利亚、沙特阿拉伯外,就是中国。

中国是世界上干旱区和沙漠区分布最多的国家之一,仅次于澳大利亚。中国干旱、半干旱、极端干旱、沙漠区,主要分布在北方,呈一弧形沙漠带,绵亘中国的西北、华北、东北西部三北地

区(见图 1.2)。这弧形带南北宽^[16]600km,东西长 4000km,面积有 71 万多平方千米。在沙漠面积中,干旱区的沙质荒漠约 60 万 km²,占 84.5%,主要的分布在新疆、甘肃、青海、宁夏、内蒙古西部;半干旱区(干草原)的沙地为 11 万 km²,占 15.5%,主要的分布在内蒙古东部,陕西北部、以及辽宁、吉林和黑龙江三省的西部等地。

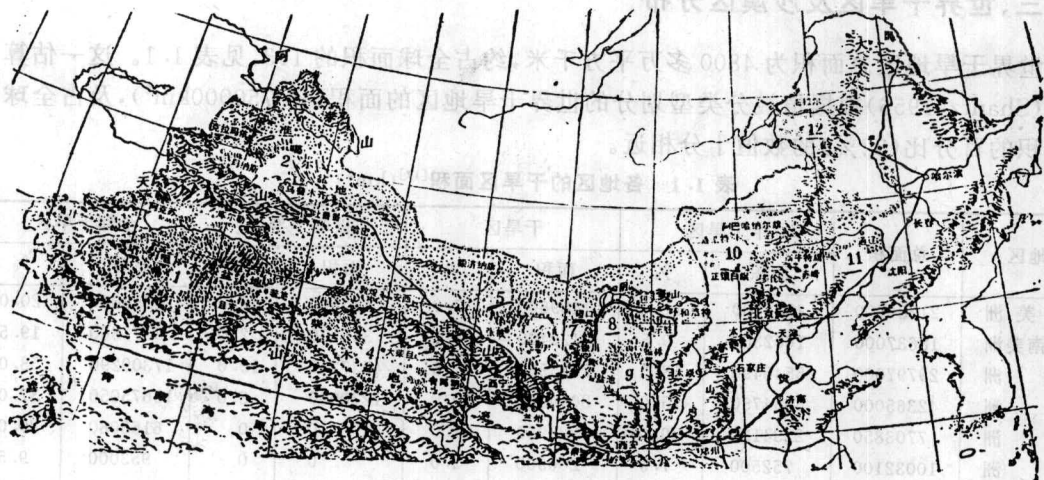


图 1.2 中国沙漠分布图(摘自文献[1])

(1. 塔克拉玛干沙漠;2. 古尔班通古特沙漠;3. 库姆塔格沙漠;4. 柴达木盆地的沙漠;5. 巴丹吉林沙漠;6. 腾格里沙漠;7. 乌兰布和沙漠;8. 库布齐沙漠;9. 毛乌素沙地;10. 浑善达克沙地;11. 科尔沁沙地;12. 呼伦贝尔沙地)

从图 1.2 和表 1.2 知,在中国沙漠区域中,新疆沙漠面积占第一位,不完全统计,在表 1.2 中前三名沙漠总面积为 40.92 万 km²,是全国其余沙漠面积的 1.63 倍,占全国沙漠面积的 62%,值得指出的是,塔克拉玛干沙漠面积为 33.76 万 km²,为世界第二大沙漠。从某种意义上讲,研究塔克拉玛干沙漠的气候,具有沙漠的代表性。

表 1.2 中国各个主要沙漠的地理位置和面积

沙漠名称	地理位置	海拔 (m)	面积 ^[16] (万 km ²)
塔克拉玛干沙漠	新疆塔里木盆地	840~1200	33.76
古尔班通古特沙漠	新疆准噶尔盆地	300~600	4.88
库姆塔格沙漠	新疆东部、甘肃西部;罗布泊低地南部,阿尔金山北部	1000~1200	2.28
柴达木盆地沙漠 (包括风蚀地)	青海柴达木盆地	2600~3400	3.49
巴丹吉林沙漠	内蒙古阿拉善高原西部	1300~1800	4.43
腾格里沙漠	内蒙古阿拉善高原东南部	1400~1600	4.27
乌兰布和沙漠	内蒙古阿拉善高原东北部、黄河河套平原西南部	1000	0.99
库布齐沙漠	内蒙古鄂尔多斯高原北部、黄河河套平原以南	1000~1200	1.61
毛乌素沙地	内蒙古鄂尔多斯高原中南部和陕西北部	1300~1600	3.21
浑善达克 (小腾格里)沙地	内蒙古高原东部的锡林郭勒盟南部和昭乌达盟西北部	1200	2.14
科尔沁沙地	东北平原西部的西辽河下游	100~300	4.23
呼伦贝尔沙地	内蒙古东北部的呼伦贝尔高原	600	0.72

§ 2 现代沙漠气候的成因

现代沙漠气候的成因,是依据了该地区的地理条件、气团的控制、大气运动的热力和动力性质,还有沿海的洋流作用等因素,致使该区域降水量减少,长期处于干旱状态下。在这一节里,只能概括地从沙漠形成的物理原因作一概述,至于其它形成原因,例如地质时期沙漠形成等,我们将在其它章节内论述。

一、副热带下沉气流作用

由于地球的空气运动,形成大气环流,在南北半球副热带纬度上,形成宽阔强大的下沉气流的运动,在这种纬度带上,即形成东西向的纬度沙漠带,约在 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 附近纬圈上。

但应指出,在副热带纬圈上,有些区域并不是沙漠区,也不是干旱区,例如中国东部沿海和其东部内陆,多为半干旱或湿润区。这主要在中国东部,夏半年是季风区域,太平洋副热带高压,由海岸线北上,带有大量水汽,加以陆地温度高,形成不稳定的上升气流,使大量水汽抬升凝结产生大量降水。

二、局地下沉气流

局地下沉气流是由于山脉、高原和其它影响气流运行而产生持续下沉运动的特殊地形区域。有的处于中纬度地带与西风交割处。这种情况较多,例如北美西部、中亚山区等。

三、辐合上升力不足

在有一定的水汽量经过该区域上空,但由于地表面热力作用不强,产生辐合抬升力差,空气中的水汽不能抬升到水汽的凝结高度,水汽不能凝结为水滴,产生大气降水,致使该区域产生干旱或形成沙漠区。

可以认为,一个地区,虽有较多的水汽流过上空,或停滞在高空,空气虽然是潮湿的,但要使其饱和,尚需一定的热力辐合作用,才能将该区域湿空气水汽,化为水滴降落地面上。地中海夏季干旱少雨,尽管空气中的水分并不缺少,但是缺乏热力辐合抬升的作用力,含有一定水汽量的气团和天气系统,也不能产生降水。在一些沿海区域,形成海岸线内的大片沙漠,虽然离海近,空气水汽量较多,但由于海水下面冷水上翻,使附近沿海岸的海面和陆面为冷空气层的垫面,气层十分稳定,即有外来的暖湿空气入侵,缺乏上升辐合力抬升,暖空气中的水汽不能冷却凝结产生降水。这是沿海内区域沙漠形成的主要原因。

四、大气中水汽量很少不能产生饱和水汽

在天气系统中,空气水汽量很少,或者在运行的过程中,大部分的水汽在沿途丢失,产生降水,而后长途跋涉,无水汽补充,形成干燥的气团和天气系统,由此,就必然不会形成降水。

§ 3 沙漠气候学研究的内容与发展

沙漠气候学是一门有重大理论价值和实用意义的科学。它具有独特的气候学特点和独特的气候规律性,且不能为一般气候学所括属,特别在下垫面贴地层要素分布上,具有沙漠本质

属性,又由于沙丘的形态不同,且又具有山地气候研究的内容和特点。沙丘在移动,风沙在近地层又形成风沙运动的风蚀、风积一支学科;风沙在大气中运行,即形成沙暴、黑风暴、白风暴、尘暴、扬沙、尘卷风、浮尘等天气现象,这又是具有理论性和应用性的沙漠气候的一个分支学科。

因此,沙漠气候学从形成的理论和应用前途来看,其研究内容极其广泛,大致由以下几方面组成:

一、沙漠气候的理论研究

(一)沙漠起源、演化、形成与发展过程

沙漠是气候的产物。大片沙漠带的形成应追溯到地质时代,至少具备有三个条件:(1)具备大片的陆地;(2)全球的气候有了分带性^{[15,16][18~21]}; (3)具有旱燥气候的产物。至今,沙漠起源、形成还有着争议,但有几个问题,可明确提出。在二叠纪期,世界上气候分带性是很明显的,Robnson 上二叠纪图^[14]得出广大的热带内陆区有干燥气候。早中三叠纪为地史上著名的干旱气候广布区^[15]。侏罗纪后期,欧亚大陆干燥气候带又呈现出来,白垩纪是干燥气候带的继续发展时期,白垩纪末期达到最大发展^[15,18,19,20],中西费尔干、塔吉尔、帕米尔、昆仑山地区,已具有真正的沙漠和半沙漠性质,由此向西南延伸直到西奈半岛,进入阿拉伯沙漠。

第三纪始新世部分时期和渐新世^[19],西太平洋及印度洋中 20°N~20°S 之间的洋域,平均温度为 33~37℃且两极无冰。在阿拉斯加和西伯利亚的箭石(大生物化石)中氧同位素测定结果,白垩纪后期北半球高纬度洋面水温为 14~16℃。

从上述看出,沙漠的孕育期、形成期、发育期(盛期),这种阶段性的演化,应是经历了几个地质时期,最后至白垩纪后期,形成全球的沙漠带。但沙漠研究者部分人认为在第三纪初期更为适宜,这是一个分歧点。沙漠研究者尚未十分确切的沙漠的萌生期的气候分带的作用,在这段时期内,应是形成沙漠物质的初级阶段。虽然其间有着湿润期,但砂粒性的物质是存在着,这是另一种看法和不同观点。第三种争议是形成沙漠是白垩纪或第三纪的分歧。这一分歧,1997 年已被兰州沙漠所董光荣等^[22]认证,白垩纪为沙漠带的形成期。(曾获中国科学院自然科学一等奖)。

(二)不同地理条件形成的沙漠类型

1. 冷热沙漠

由于地理纬度不同,一般在热带、副热带地区形成的沙漠,由于年气温高,少云高温,通常称为热性沙漠,约在 30°S~30°N 之间。在温带形成的沙漠,由于年气温较低,内陆中心呈盆地地形,通常称为冷性沙漠^[8],约在 30°~50°南北纬度之间。

2. 干湿沙漠

干湿沙漠的形成,是由于地理位置不同而产生的。在沿海岸区形成沙漠,由于近海岸,湿度大,多成雾,也称雾沙漠。在大陆腹地,水汽含量少,空气十分干燥,降水量少,即称干沙漠。

(三)动力作用对沙漠影响

1. 反气旋和气旋对沙漠形成作用

1) 反气旋的作用力

从气候学观点探讨沙漠形成的作用力,主要是反气旋的作用。一是大气环流的作用;二是局地地形产生下沉增温气流。

2) 气旋性的作用力

在印度半岛西北部干燥气候区,降水量不足 250mm,沙漠的位置,正处在低压中心区附

近,这是令人费解的,若详细剖析其成因,有来自东、北、东北和西南方向来的干燥气流所致。虽在气旋低压范畴内,大气低层有强烈上升辐合运动,但空气层中的水汽不足以产生凝结为水滴,以致产生的降水很微弱,详见第二章第一节三。

2. 动力作用对沙丘形态的形成和迁移

对沙丘的形成和推移的动力,主要决定于近地层的风速和风向。风速是推移作用力的速度,风向是决定于沙丘形成的形态。根据沙丘的形态,可分为以下三种类型^[36]:

1) 横向沙丘形态的运动

新月沙丘和沙丘链是横向沙丘形态中最基本最普遍的形态。其形成风向为主导风向或两个相反方向风在不同季节作用下形成的。单一主导风向作用的地区,主风向和起沙风的年合成风向是基本一致的。也就是风向与沙丘脊线垂直方向(沙丘轴向)之间偏角很小。

由图 1.3 知,一般风速,不能吹动陡坡(33°)砂粒沿斜坡上移。



图 1.3 反向风作用下新月形沙丘移动^[1]

(图中:(1)原沙丘;(2)新沙丘)

在东南东反向风作用下,沙丘不但没有前进,反而后退(向 NW 方),而丘顶风速大,使原来顶部吹蚀,而在 NW 方建立(堆积)一个新的丘脊。

2) 纵向沙丘形态的运动

纵向沙丘系统中,经常产生单侧气流和侧向沙子的搬运。拜格诺(1941)提出合成风说^[10],他认为纵向沙丘是在两种风向呈锐角且斜交情况下形成的。兹纳门斯基(1955)、吴正(1962)、陈治平(1965)发现:确认沙垄是由两个锐角相交风向(两者交角 40°~60°)作用而成的,并沿着合成风向延伸。此假说之缺点是不能圆满解释纵向沙丘间有规律的间距。

盛行风说:纵向沙丘伸展方向与盛行风向平行,并以此解释纵向沙丘的起源。马迪根(C. T. Madigan, 1936)指出^[1]:纵向沙丘是强劲盛行风的地方,靠沙粒条带状沉积。并总结为:(1)与当地信风相一致;(2)沙丘排列顺海岸线方向;(3)依盛行风方向排列而成。

3) 多风向作用的沙丘形态与迁移

金字塔是多风向作用下典型的沙丘类型^[1,9,18]。(1)在各方向的风力作用较为均衡,但其风向并不是在同时出现,具有一定季节和时间性;(2)处于近山地带,尤其处于山地迎风面;(3)下伏地面有台地或残余丘岗存在。例如塔克拉玛干沙漠南缘民丰,非常标准。

3. 风沙运动

1) 近地层风的性质和运动形式

边界层厚度大致从地面至 600~1000m 高度。近地面空气薄层称为贴地层,从 0~100m,其厚度规定不尽相同(见图 1.4)。一般近地层产生风沙流,风沙流结构、运动性质、输沙率,沙丘的形态变化等等,都在该层中产生,并有着很深的基础理论和实验研究技术理论基础^[10,23]。

2) 大气上部摩擦层风沙运动

该层一般指 100~1000m 间,在该层发展的风沙运动,一般有强扬沙、沙尘暴、浮尘三种天气现象。其运行空间高度:强扬沙一般在 100m 以下,沙尘暴一般在 1000m 以下,强对流辐合性沙暴可达 1000m 以上,浮尘可达 3000~4000m 之多。最强烈的是沙尘暴,其风速一般 20~

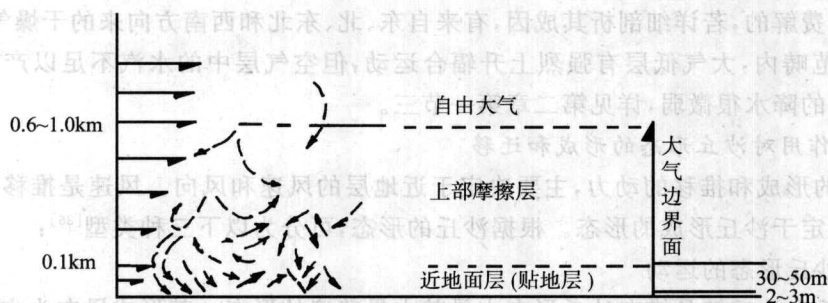


图 1.4 大气边界层示意图(据 Л. П. 莱赫特曼, 1973, 改绘, 2001 改绘)

30m/s。

(四) 气候变化对沙漠的作用

气候, 始终处于自然界中在运动和变化着的自然现象。从地质时代、历史时期至现今, 都有着冷暖交替、干湿相易, 是地球气候史演变的基本特征。

气候的变化, 而并非依据气候本身的变化, 而是受到其它自然界的因素而约制。从现今气候变化发展过程中, 都证明了气候的变化, 不仅仅是与气象学、地理学、环境学有关, 而且与地质学、生物学、水文学、海洋学、天文学、太阳学、考古学、历史学有着极密切关系, 提供了气候变化的丰富的证据, 因此, 作为气候变化对沙漠的作用, 也有着这种关系和演化的历程。

从另一种角度出发, 认为沙漠化, 是自然的演化, 而在人类活动影响下, 也能将草原、草地、森林、绿洲、湖泊等演变为沙漠, 其例不可胜举。中国清政府以“移民养地”、“移民实边”之名, 仅光绪三十三年(1907 年)一年中, 在科尔沁右翼中旗放荒 8 万余垧^[1], 由于垦地瘠薄, 灌溉施肥不够, 由此产生沙化。前苏联从 1950 年代(1954 年)在哈萨克、西伯利亚、乌拉尔等地至 1963 年止, 十年垦荒面积 6000 万 hm^2 , 1960 年 3、4 月二次刮起黑风暴, 席卷俄罗斯大平原广大地区, 使春季垦荒地受灾达 400 万 hm^2 以上。在中美、南美洲也有着类似情况发生。

人类的活动, 特别是今后人类活动, 对局地气候、区域气候, 甚至最终对全球气候的影响, 绝不可轻视。人类活动, 必须在人类生存中, 去努力实现一种好的环境目标而奋斗。但当人类在自然的干扰抑或政治的干预, 他的行为, 对气候向着恶化气候环境沙漠化的方向发展, 必须引起各国政府的高度重视。

(五) 沙丘的局地环流

沙丘间局地环流应是风沙运动和近地面小气候的交叉学科, 目前, 这项研究, 还没有得到发展。它是在大环流影响下, 形成了不同的风蚀、风积的沙丘地貌形态, 由此, 构成了局地小环流, 而后形成丘地、丘间的千姿百态的沙纹、沙波等, 它的变化, 将随着小环流尺度、强度、频度而变化。

研究沙丘局地环流应有以下几方面内容:

(1) 形成沙丘局地环流的机理和尺度。

(2) 局地环流对沙丘表面产生不同形态的力的作用。其中微观风积、风蚀地貌风沙运动形式、风向、风速、阻力、粘滞性等, 这是基础性的研究, 也是应用技术性的研究。微观性的研究较少, 或仅限于实验室内实验的理论性的研究。

(3) 风沙局地环流观测与实验:

① 风沙局地环流观测: 作者认为, 必须在小地形条件下, 对沙波、沙纹进行的观测有: A. 沙粒运动状况; B. 风速对波纹阻力; C. 风向风速对沙波、沙纹产生沙脊谷作用力; D. 形成沙纹