

风沙地貌学

吴正编著



科学出版社

风沙地貌学

吴正编者

科学出版社

1987

内 容 简 介

本书是作者多年从事沙漠地貌研究，并引用了国内外最新研究成果所写成的一本基础理论著作。它比较系统地介绍了有关风沙地貌学的主要研究内容和研究的基本方法。全书共七章，按内容可分三部分：第一部分，详细介绍了风沙运动的性质，各种风成地貌形态的形成发育和分布规律，以及风成沙沉积物的特征；第二部分，介绍了沙漠和沙漠化的成因，治理沙害的原则与措施；第三部分，扼要地介绍了风沙地貌研究的主要方法。全书基本上反映出目前国内外风沙地貌研究的面貌。书中附有 100 多幅插图和照片。

本书可供从事干旱地区及沙漠研究工作的地理、地质、林业、土壤、自然保护与道路建设等方面的科技工作者以及高等院校有关专业师生参考。

风 沙 地 貌 学

吴 正 编 著

责任编辑：吴三保

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 10 月 第 一 版 开本：850×1168 1/32

1987 年 10 月 第 一 次 印 刷 印张：1b 1/8

印数：精 1—700 插页：精 2

平 1—1,400 字数：265,000

统一书号：13031·3906

本社书号：4169·13—13

定 价： 布 脊 精 装 4.00 元
平 装 3.20 元

前 言

风沙地貌学主要阐述风沙运动和风成地貌形态的形成发育及分布规律,是沙漠和沙漠化研究的一门应用基础学科。

在世界范围内,干旱地区(广义的,包括半干旱区在内)的分布总面积达 4800 万平方公里,约占地球陆地面积 1/3。其中沙漠面积有 600 多万平方公里,且发展速度非常迅速。根据联合国材料,沙漠的扩展和沙漠化威胁着地球上 6.8 亿人口(占 16%)的生活。撒哈拉沙漠最近半个世纪以来,已向南扩大了 65 万平方公里;印度和巴基斯坦的塔尔沙漠在最近 5 年中每年约有 1.3 万公顷的肥沃土地沦为沙漠;六十年代以来的干旱导致南美的阿塔卡马沙漠每年以 1.6—3.2 公里的速度推进。流沙的蔓延,沙漠的不断扩张,已造成对人类的严重威胁。

在我国,随着沙漠地区越来越大的工业与农业开发,防止土地沙漠化、保护工程建筑物不受流沙侵袭等问题也愈来愈显得重要。为了制订经济而行之有效的防治流沙和土地沙漠化的措施,都需要有阐明风沙运动和风成地貌形态形成、发育规律的风沙地貌学理论作为指导。

由于风沙地貌学在理论上和生产实践上都具有重要意义,因此,日益受到有关干旱区及沙漠的科学研究机构和生产部门的重视。近年来,在我国高等院校的地理、林业等学系中,也先后提出了开设风沙地貌学课程的要求。为此,作者在 1984 年曾为南京大学地理系的地貌与第四纪地质专业同学和部分进修教师讲授了这一课程,并编出了《风成地貌概论》讲义。鉴于国内外迄今还没有一本系统的风沙地貌学著作出版,为了满足广大从事干旱区和沙漠研究的工作者,以及高等院校有关专业的师生在科研、生产和教学上的需要,兹将原讲义比较系统地加以修改和补充,草成拙著公

开出版。

此书之成，是和赵松乔教授的鼓励和支持分不开的。在本书编写过程中，王丽琳、刘世建和邹本功等同志曾协助搜集资料，付出了辛勤劳动；曾迪鸣同志在照片洗印，邢铮等同志在清绘插图方面给予了很大帮助。在此一并表示衷心感谢。

因时间仓促，又限于作者的水平，本书遗误必多，敬请读者不吝批评指正。

编著者

1985年11月于广州石牌

目 录

第一章 引论	1
第一节 干旱地区与沙漠的地理分布.....	2
一、干旱地区的定义和分类.....	2
二、沙漠与荒漠.....	4
三、世界干旱区及沙漠的分布.....	6
第二节 风沙地貌学研究的内容.....	10
第三节 风沙地貌学研究的现状.....	11
第二章 风沙运动	18
第一节 近地层风的性质.....	18
一、近地层风的紊动.....	20
二、风速沿高程的分布.....	22
第二节 风沙流及其结构.....	29
一、沙粒的起动.....	30
二、沙粒在气流中运动的性质.....	39
三、风沙流的结构特征.....	56
第三节 风沙流的固体流量.....	62
一、输沙率的计算.....	62
二、输沙率的野外测定.....	67
第三章 风蚀地貌	69
第一节 风蚀作用.....	69
一、吹蚀和磨蚀作用.....	69
二、影响风蚀强度的因素.....	70
三、风蚀强度的确定.....	71
第二节 风蚀地貌形态发育.....	73
一、小型风蚀形态.....	73
二、大中型风蚀形态.....	76
第四章 风积地貌	87

第一节	风沙堆积作用	87
第二节	风成床面形态体系	89
第三节	沙波	91
一、	沙纹	91
二、	沙脊	95
三、	沙条	97
第四节	沙丘的形态特征及其形成发育	98
一、	沙丘形态的群体分布性质	98
二、	各种沙丘的形态特征和分布	101
三、	各种沙丘形态的成因	127
第五节	沙丘的分类	141
第六节	沙丘的移动	145
一、	各基本类型沙丘形态的运动过程和动力学特征	145
二、	沙丘移动的性质和强度	153
第五章	风成沙沉积物	167
第一节	风成沙的特征	167
一、	风成沙的粒度成分和形态特征	167
二、	风成沙的矿物成分和沙色	183
三、	风成沙的化学成分和可溶盐	189
第二节	风成沙沉积物的内部构造	194
一、	沙丘内部构造的共同特征	195
二、	各种沙丘构造的区别	199
第六章	沙漠的形成与演变	210
第一节	沙漠的成因	210
一、	干燥的气候	210
二、	丰富的沙漠沙来源	217
第二节	沙漠发育的模式	224
第三节	沙漠的变迁	228
一、	沙漠的年龄	228
二、	沙漠变动的历史	231
第四节	沙漠化	237
一、	沙漠化的概念	237

二、沙漠化的成因	242
第五节 防治沙漠化的原理和方法	250
一、防治沙漠化的主要原则	250
二、治理沙害的措施	251
第七章 风沙地貌研究的方法	266
第一节 野外调查与定位观测	266
一、野外调查的内容和方法	266
二、野外定位和半定位观测	273
第二节 室内分析研究	279
一、风成沙沉积物室内研究方法	279
二、风沙地貌动力学研究中风的资料整理方法	295
第三节 风洞模拟实验	297
一、风洞模拟实验的内容	298
二、相似条件与实验方法	299
第四节 遥感技术在风沙地貌研究中的应用	303
一、航空象片的风沙地貌解译	304
二、卫星象片的风沙地貌解译	309
参考文献	313

第一章 引 论

风吹扬地表沙粒，形成风沙流。风与风沙流对地表物质的吹蚀、搬运和堆积作用，称为风沙作用；在风沙作用过程中所形成的地貌，称风成地貌。

风成地貌主要分布在干旱地区，特别是其中的沙漠。那里日照强、昼夜气温剧变，物理风化盛行(岩石发生热力崩解碎裂是在水、特别是凝结水参与促进下进行的)；降水少、变率大而又集中，蒸发强烈，年蒸发量常数倍，甚至数百倍于降水量；地表径流贫乏，流水作用微弱；植被稀疏矮小或没有植被；疏松的沙质地表裸露，特别是风大而频繁。所以，风就成为塑造干旱区地貌的主要营力，风沙作用强烈，风成地貌特别发育(照片 1-1)。

当然，风沙作用和风成地貌并不局限于干旱地区，在半干旱区和大陆性冰川外缘(冰缘区)，甚至在湿润气候区的植被稀少的沙



照片 1-1 巴丹吉林沙漠中连绵起伏的高大沙丘
(中国科学院兰州沙漠研究所供稿)

质海岸、湖岸和河岸,也都可出现。例如,在法国西南濒大西洋比斯开湾的朗德海岸,沿海岸分布的沙丘带宽度达10公里,沙丘的高度可达90米。在我国冀东沿海的秦皇岛与北戴河之间以及洋河口与滦河口之间,也分布有连绵的海岸沙丘,高度在20—40米之间。近年来考察发现,在西藏雅鲁藏布江中上游广坦的河谷平原上,河岸沙丘发育也很普遍和典型,沙丘低者十余米,高者可达60—80米(照1-2)。



照片 1-2 雅鲁藏布江中游河谷沙丘(杨逸畴摄)

第一节 干旱地区与沙漠的地理分布

一、干旱地区的定义和分类

干旱地区(arid area)一般是指降雨少,年降雨量小于年蒸发量,因而“缺水”,不能正常地维持一般作物或植物生长的地区。

广义的干旱地区包括极端干旱、干旱和半干旱三个类型。然而,关于干旱地区的范围和界限,迄今还缺乏一致的认识。目前,划分世界干旱地区的方法很多,根据气候,土壤,植被,地貌指标划分的都有。在各种方法中,气候方法是最重要的。传统使用的简

便气候方法是单纯以年降雨量来划分。斯托恩 (R. O. Stone, 1967) 提出年雨量不足6英寸(约合 150 毫米)者定义为干旱地区, 12—16英寸(约合 300—400 毫米¹⁾)定义为半干旱地区。联合国教科文组织 (UNESCO, 1955) 则采用把雨量不足 10 英寸 (250 毫米)的地区划为“干旱”, 10—20 英寸(约合 250—500 毫米)的地区划为“半干旱”(有人认为 500 毫米可作为夏季降雨地区的上限, 冬季降雨地区可采用 250 或 300 毫米)。但是,实际上单用年降雨量来划分并非可靠。因为年降雨量相等而季节分配不同,效果就不同。比如,耶路撒冷的年降雨量为 600 毫米,本应属于半湿润地区,但事实上有 6 个月是十分干旱的,只能划为半干旱地区;伦敦的年降雨量为 620 毫米,与耶路撒冷几乎相等,但事实上全年都是湿润气候,属于湿润地区。

中国科学院自然区划工作委员会(1959)采用干燥度作为划分的指标,即 $A = E/r = 0.16\Sigma t/r$ 。A 为干燥度, E 为可能蒸发量 ($=0.16\Sigma t$), Σt 为 10℃ 以上积温, r 为同时期的降水量。当一个地区的干燥度 > 2.0 为干旱地区;干燥度 = 1.5—2.0 则属半干旱地区。

目前,在国外最广泛采用的是梅格斯 (P. Meigs, 1953) 专门对干旱地区进行的气候分类。他是用年降水量 P 与年可能蒸散量 ETP 的关系表示,即用湿润系数(或干旱指数)来划分干旱地区的界线。即

$$\text{湿润系数} = \frac{P}{ETP} = \frac{\text{年降水量}}{\text{年可能蒸散量}}$$

蒸散是用彭曼 (H. L. Penmen) 方法来计算的,考虑了大气湿度、风和太阳辐射。梅格斯确定的干旱地区界线的划分标准为:

(1) 极端干旱——湿润系数 < 0.03, 可能全年完全无雨, 或

1) 本书所引用资料,其单位按原出处保留。它们与 SI 单位制的换算关系为: 1 英寸 = 0.0254 米 (m); 1 英尺 = 0.3048 米 (m); 1 磅 = 0.453592 千克 (kg); 1 公顷 = 10⁴ 平方米 (m²); 千克力·秒/米² (动力粘度 μ) = 9.8066s (帕[斯卡]秒) (Pa·s); 等等。

多年无雨；

(2) 干旱——湿润系数在 0.03—0.20 之间；

(3) 半干旱——湿润系数在 0.20—0.50 之间。

梅格斯除了这个基本分类外，还根据雨季把气候区划分为夏季降雨的、冬季降雨的和无一定明显雨季的。同时，又根据气温分为夏季温和的或者酷热的，冬季也有相似的区分。梅格斯的分类系统见表 1-1。

表 1-1 梅格斯的干旱地区分类系统*

湿润系数	雨 季			气 温 (°C)								
	冬 c	夏 b	全年 a	冬 温				夏 温				
				0—10	10—20	20—30	>30	0—10	10—20	20—30	>30	
				1	2	3	4	1	2	3	4	
E 极端干旱												
A 干 旱	×			×							×	
S 半干旱												

* 表中气候区用大写英文字母表示，小写字母表示雨季，其后两个数字——第一个代表冬季气温，第二个代表夏季气温数值。例如，Ac 13（即表上注明×）代表冬季降雨的干旱气候，非常冷的冬季和热的夏季。这类气候区见于伊朗西部。

二、沙漠与荒漠

沙漠又称旱海或大漠，维吾尔语叫“库姆”，蒙古语称“戈壁”，阿拉伯语为“厄格”（Erg）。在中国古书上有的称沙漠为沙河，也有的称为大流沙或沙碛。这里不难看出，人们把沙漠和荒漠这两个不同的概念混为一谈了。

荒漠（desert）是指气候干旱，降雨稀少且多变，植被稀疏低矮，土地贫瘠的自然地带，意为“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，而沙质的荒漠才为沙漠（sandy desert）。此外，在荒漠地带以外的干草原地带，也有

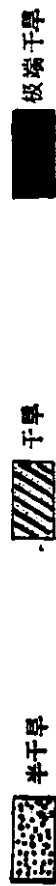
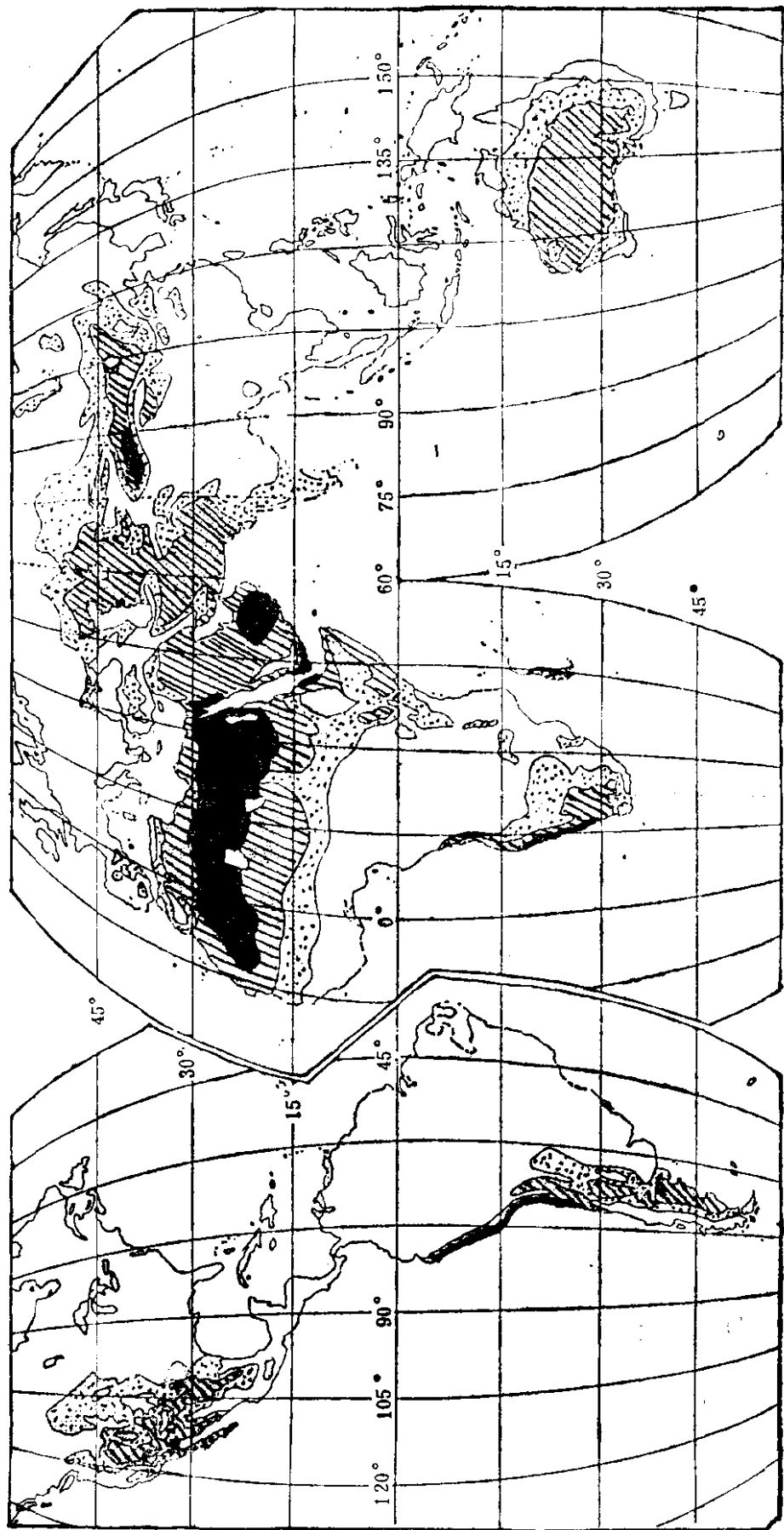


图 1-1 世界干旱地区分布图(据梅格斯, 1953; 引自 UNESCO, 1976)

不少面积被沙丘所覆盖,这就是通常所说的沙地。但因其性质(尤其在地貌上)与沙质荒漠相类似,一般习惯上也泛称为“沙漠”。如我国的毛乌素沙地(沙漠)、科尔沁沙地(沙漠)等。

一般来说,荒漠被认为包括极端干旱和干旱地区(即狭义的干旱地区),而干草原属半干旱地区;沙漠则是其中地表以沙质为主,有大片沙丘覆盖的区域。

三、世界干旱区及沙漠的分布

根据梅格斯的气候分类,全世界干旱地区的分布如图 1-1 所示。干旱地区的总面积为 4800 多万平方公里,约占全球陆地面积的 1/3 (表 1-2)。这一估算与香茨 (Shantz, 1956) 根据植被类型划分的世界干旱地区的面积 (46,750,000 平方公里),及其占全球陆地面积的百分比(32%)的数值十分接近。

表 1-2 按气候分类的世界干旱地区面积*

干旱分类	面 积 (平方公里)	占全球陆地面积 (%)
半干旱	21,243,000	14.5
干旱	21,803,000	14.8
极端干旱	5,812,000	4
共 计	48,858,000	33.3

* 引自 H. E. Dregne: 世界干旱区的划分,干旱区地理,第 8 卷第 1 期,1985 年。

图 1-2 为世界主要沙漠的分布图,沙漠总面积约 600 多万平方公里(表 1-3)。

从图 1-1 和图 1-2 可以看出,全世界干旱地区和沙漠,集中分布于六个大区域,即北非、亚洲中部、西南非、北美中西部、南美西南部和澳大利亚。其中自北非的撒哈拉,经过西南亚的阿拉伯,印度西北部,苏联中亚至我国的西北和内蒙古,即从北纬 10° 附近向东北一直延伸到北纬 55° 附近,形成一个几乎连绵不断的辽阔的干旱沙漠区,占世界干旱区及沙漠总面积的 67%。

表 1-3 世界主要国家和地区干旱区及沙漠分布面积*

国家或地区	类别	半干旱 (公里 ²)	干旱 (公里 ²)	极端干旱 (公里 ²)	沙漠 (公里 ²)	主要沙漠
中国		1,984,000	1,152,000	422,000	712,900	塔克拉玛干沙漠
巴基斯坦		118,500	632,000	—	117,858	塔尔沙漠西部
印度		1,044,000	352,000	—	146,826	塔尔沙漠东部
伊朗		400,000	1,133,000	—	10,500	卢特沙漠
沙特阿拉伯		50,800	1,724,000	524,000	862,272	鲁卜哈利沙漠
埃及		—	107,000	853,000	125,608	利比亚沙漠东部
利比亚		5,000	90,000	1,665,000	283,740	利比亚沙漠
阿尔及利亚		181,000	200,000	2,000,000	564,867	西大沙漠和东大沙漠
苏丹		1,003,000	974,000	527,000	66,785	
澳大利亚		2,509,000	3,720,000	—	1,136,000	大沙漠、维多利亚沙漠和吉布森沙漠
美国		2,041,000	959,000	29,000	8,600	莫哈维沙漠
苏联		3,314,000	2,200,000	—	634,178	卡拉库姆和克齐尔库姆

* 引自黄重生统计资料, 1970.

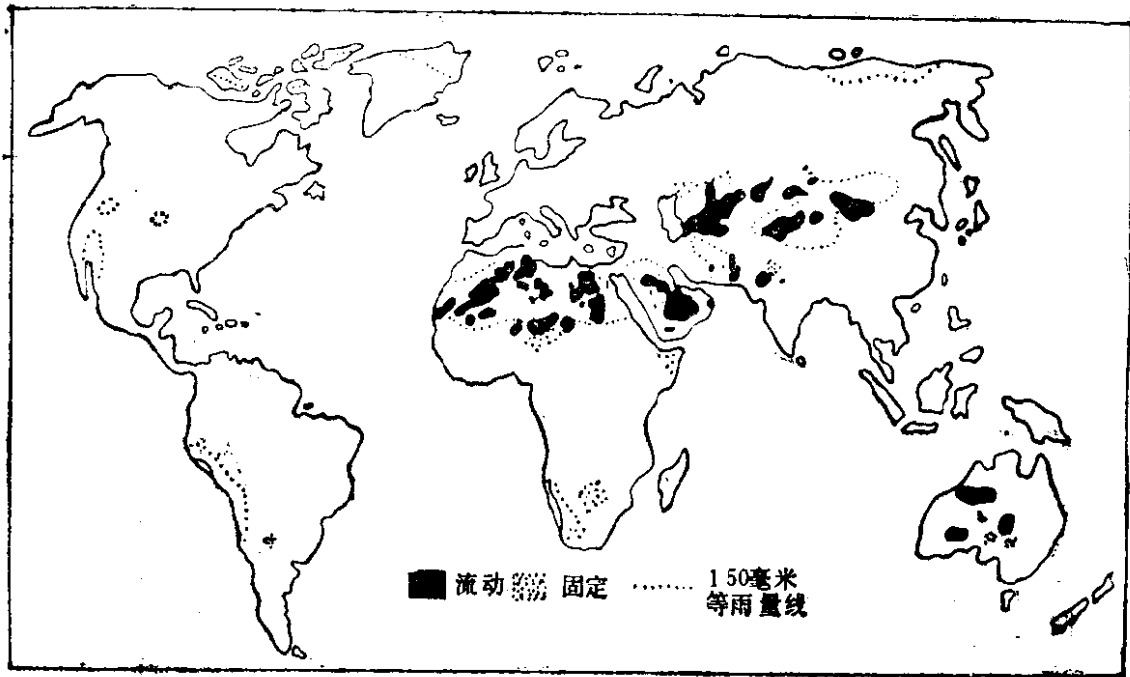


图 1-2 世界主要沙漠分布图[据库克 (Cooke) 和沃伦 (Warren), 1973]

表 1-4 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 (米)	面积 (万平方公里)
塔克拉玛干沙漠	新疆塔里木盆地	840—1,200	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	1,000—1,200	2.28
柴达木盆地沙漠 (包括风蚀地)	青海柴达木盆地	2,600—3,400	3.49
巴丹吉林沙漠	内蒙古阿拉善高原西部	1,300—1,800	4.43
腾格里沙漠	内蒙古阿拉善高原东南部	1,400—1,600	4.27
乌兰布和沙漠	内蒙古阿拉善高原东北部、黄河后套平原西南部	1,000	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	1,000—1,200	1.61
毛乌素沙地	内蒙古鄂尔多斯高原中南部和陕西北部	1,300—1,600	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	1,200	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平原	600	0.72

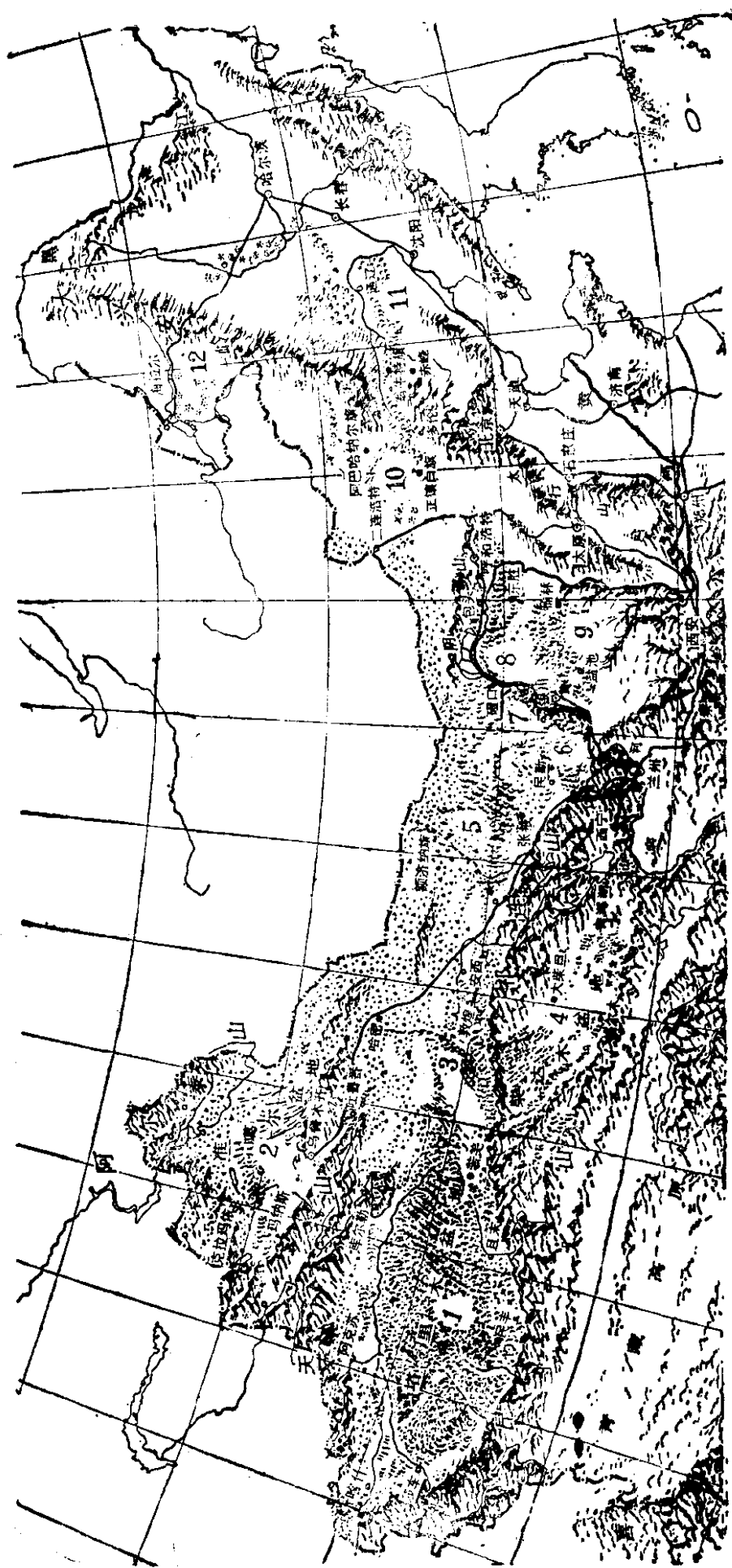


图 1-3 中国沙漠分布图

- 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. 毛乌素沙漠; 10. 浑善达克沙地; 11. 科尔沁沙地; 12. 呼伦贝尔沙地