


# 中国沙漠形成演化 气候变化与沙漠化研究

董光荣 等 著

 海洋出版社

## 内 容 提 要

本书是董光荣研究集体 20 余年来从事我国内陆沙漠和沙漠化研究的部分成果,共收入论文 91 篇。内容可分五部分:1. 沙漠地区沉积记录及其反映的古环境;2. 沙漠形成演化与气候变化和新构造运动的关系;3. 风沙地貌与风沙物理;4. 沙漠化过程、成因、影响与发展趋势;5. 沙漠化防治研究。内容丰富、资料翔实、观点新颖。对认识中国沙漠和沙漠化演变过程及其与全球变化、青藏高原隆升和人类不合理开发活动的关系,以及采取正确的途径、对策和措施防治沙漠化具有重要意义。

本书可供自然地理、地貌、第四纪、防沙治沙和生态保护等科技工作者和有关院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国沙漠形成演化气候变化与沙漠化研究/董光荣等著. —北京:海洋出版社, 2002. 10

ISBN 7-5027-3585-2

I. 中… II. 董… III. ①沙漠化-研究-中国②气候变化-研究-中国③防沙-研究-中国④沙漠治理-研究-中国 IV. P942. 073

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 065923 号

责任编辑:金 炯

责任印制:王兴新

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

兰州中科印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月兰州第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:46.5

字数:1074 千字 印数:1~1500 册

定价:95.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换



**董光荣**,男,汉族,1936年2月16日生于江苏省宜兴市。1960年7月毕业于北京大学地质地理系自然地理专业,1962年9月在该系地貌专业海岸动力地貌研究生肄业。1962年以来先后在中国科学院地理研究所、兰州冰川冻土沙漠研究所、兰州沙漠研究所工作。1999年7月开始在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所工作,任研究员、博士生导师。1973年以前主要从事现代冰川研究。曾任冰川气候组副组长和所计划组组长等职。1974年迄今一直从事沙漠研究。曾任沙漠第四纪研究组组长、风沙地貌与第四纪研究室主任、风沙物理与沙漠环境实验室负责人、沙漠研究所所学术委员会主任、中国第四纪委员会委员、中国地理学会地貌与第四纪专业委员会委员、中国地质学会第四纪专业委员会委员、甘肃省地理学会理事、甘肃省古生物学会副理事长、《地球科学进展》编委、《中国沙漠》副主编等。现任中国科学院地球环境研究所客座研究员、国家林业局西部地区生态环境建设专家咨询委员会委员、中国地质灾害研究会理事、西藏自治区国土开发研究所客座研究员、甘肃省力学学会岩土力学专业委员会委员,《第四纪研究》、《中国沙漠》、《干旱区资源与环境》编委等。

## 前 言

沙漠和沙地,是中国北方特别是西北、华北北部和东北西部地区自然环境的重要组成部分。在这个区域内:一方面存在一定的生物、水土资源和丰富的光热、风力、矿产资源可供开发利用;另一方面又存在风沙和沙尘暴危害,严重制约该区生产建设的发展和人民生活水平的提高,对中国北方甚至东南沿海地区的大气也造成粉尘污染。

如何防治沙区的风沙和沙尘暴危害,使生态环境逐步改善,一直是沙漠科学工作的长期宿愿。要达到这一目标,不仅要研究现代沙漠的类型、分布与面积,而且要研究沙漠的形成演变规律、成因机制和未来的发展趋势,更要研究防治风沙和沙尘暴危害的途径、对策和措施。

从20世纪50年代后期开始的中国沙漠研究工作,都是围绕这些研究内容进行的。至1974年初,本人步入沙漠科学研究行列时,前人已在现代沙漠类型、分布、面积,现代风沙过程和活动规律以及防治措施等方面做了大量研究工作,取得令人瞩目的成就。但是,对中国沙漠的形成演变过程特别是地质历史时期形成演变过程的研究,相对薄弱,以致在中国沙漠尤其是贺兰山以东沙地的形成时代和成因上产生明显分歧。为了改变这种状况,中国沙漠研究奠基人朱震达研究员和著名风沙地貌学家吴正教授于1978年底正式研究决定,委托我主持,组成一个研究集体,把中国地质历史时期沙漠形成演变研究工作尽快开展起来。

我们根据沙漠是地表风成砂质沉积物覆盖的荒漠,只要它在某个地区某个时期存在,一般都会在相应地层中留有痕迹的思路,采用野外调查含古风成砂地层剖面 and 系统采样,通过粒度、沉积构造和颗粒微形态测试分析确定古风成砂特征,通过古地磁、热释光和 $^{14}\text{C}$ 等年代测定或与已知年代相关地层对比确定古风成砂形成时代,通过对地层中的孢粉、脊椎动物化石、地球化学元素、重矿物、粘土矿物的分析和磁化率测定等确定古风成砂沉积的气候和环境,通过与新构造运动、冰期气候波动和人类活动的综合对比确定古风成砂出现的动因等第四纪地质研究方法,对中国毛乌素、科尔沁、浑善达克、青海共和等沙地,塔克拉玛干、巴丹吉林、腾格里、古尔班通古特等沙漠,以及整个北方沙漠、沙地的形成演变问题,进行了比较广泛而又系统的研究。

研究沙漠形成演变,涉及三个层次和三个学科问题:一是从宏观上研究沙漠的出现、扩展和固定、缩小,与全球或区域气候特别是干湿变化的关系,属于沙漠第四纪地质问题;二是从中观上研究,在干旱气候条件下风与含沙固定地表相互作用产生的风蚀、搬运、堆积和粉尘吹扬等过程及其形态发育,以及在湿润气候条件下各种不同形态和规模的流动沙丘变为半流动、半固定和固定沙丘的过程与机制,主要是风沙地貌学问题;三是从微观上研究流动沙床上单颗粒砂或群集沙起动受力机制、运动速度、分布高度、轨迹以及冲击能量等,属风沙物理学问题。为了比较全面地了解沙漠形成演变规律,在研究地质历史时期沙漠形成演变过程中,采用野外调查、观测与风洞模拟相结合等风沙地貌和风沙物理的研究方法,对后两个层次的问题也作了某些探索。

20世纪后期,人们为世界经济、科技的巨大发展感到欢欣鼓舞和骄傲的同时,也为自己生存环境的严重恶化而深感忧虑。主要集中于三个各有侧重又相互联系的问题上:一是随着人为排放的 $\text{CO}_2$ 等温室气体增加,全球气候正在变暖,并将引起两极冰川融化,海面上升,陆地气候和环境一系列重大变化;二是由于人口迅速增加,大量开垦土地,使土壤风蚀、水蚀和盐渍化过程增强,全球土地荒漠化已愈演愈烈;三是因为长期过度砍伐植被特别是森林,过度捕猎动物,全球生物多样性已经并将继续丧失。为解决人类面临的这三

个环境问题,国内外学者提出全球变化、荒漠化和生物多样性研究三大前沿课题。作为沙漠科学工作者对这些理应高度关注,积极参与。从自身研究岗位出发,一方面在全球变化上,从沙漠是干旱气候的产物角度,着重研究过去全球变化(主要末次间冰期以来的气候冷暖变化)对沙区气候干湿变化的影响,沙漠流动与固定的时空变化规律,以及在全球变暖条件下沙区气候干湿变化的可能响应及其对沙漠流动与固定的可能影响;另一方面在荒漠化上,侧重于风蚀荒漠化又称沙质荒漠化(简称沙漠化)领域。为了正确认识现代沙漠化现象,从现代沙漠化是沙漠形成演变的最新一幕角度,研究了沙漠化的实质、影响、过程、成因和发展趋势等一系列理论问题。为了有效地防治沙漠化,还对青海共和盆地特别是龙羊峡库区,西藏自治区特别是“一江两河”和阿里狮泉河镇、噶尔镇,甘肃敦煌莫高窟,新疆自治区吐鲁番绿洲,黑河下游额济纳绿洲等地以及全国沙漠化和风沙危害的现状、成因及其防治途径、对策和措施进行了广泛研究,有的并作了防治规划和设计。

经过 20 多年的艰苦奋斗,我们研究集体先后合作出版专著 9 部,发表学术论文 200 余篇;获中国科学院自然科学奖一等奖 1 项、国家科技进步奖三等奖 1 项、省部级科技进步奖一、二、三等奖各 1 项;也锻炼成长了一批优秀科研人材,其中晋升为研究员(教授)11 名,培养博士、硕士研究生 25 名。现在本人也于 2001 年 3 月退休。

为了不忘研究集体在这段时间团结合作的成果,方便有兴趣的研究人员查阅参考,审视过去研究之不足,把沙漠科学有关问题继续更好地研究下去,特将以往在国内期刊、集刊等刊物上公开发表的部分合作论文汇编成本书。定名为《中国沙漠形成演化气候变化与沙漠化研究》。被选入的论文共 91 篇。按内容大致可分:1. 沙漠地区沉积记录及其反映的古环境;2. 沙漠形成演化与气候变化和新构造运动的关系;3. 风沙地貌与风沙物理;4. 沙漠化过程、成因、影响与发展趋势;5. 沙漠化防治研究。

本书所选论文系不同时期不同作者的作品,编辑时基本保留各论文原样,仅对部分照片和英文摘要作了删节,把各篇论文作者移至第一页下方,并加注原文发表刊物、年份和页码。

回顾过去,在中国沙漠形成演化、气候变化与沙漠化研究上能取得一些进展,首先是得到刘东生、施雅风、贾兰坡、王永焱、王乃樑、安芷生、李吉均等先生的多年关怀、指导和帮助,也与中国科学院兰州沙漠研究所、寒区旱区环境与工程研究所的领导,中国科学院地球环境研究所、地质研究所和兰州大学地理系等兄弟单位的大力支持,中国科学院资环局、国家自然科学基金会和国家林业局的多方扶持,分不开。本书的出版,得到中国科学院寒区旱区环境与工程研究所风沙物理与工程实验室王涛、董治宝、屈建军、靳鹤龄等研究员,北京师范大学资源科学研究所高尚玉、邹学勇教授,中国气象局新疆沙漠气象研究所魏文寿研究员的经费资助;《中国沙漠》编辑部和海洋出版社驻兰办事处的金炯先生、孙良英、郝美玲女士以及苏志珠和陈惠忠同志在编辑出版上付出了大量辛勤劳动。在此一并表示崇高的敬意和衷心的感谢。

本书作者水平有限,文中差错难免,恳请读者不吝批评指正。

贾兰坡

2002 年 9 月于兰州

# 目 次

前 言 .....	(1)
-----------	-----

## 1 沙漠地区沉积记录及其反映的古环境

鄂尔多斯高原第四纪古风成沙的发现及其意义 .....	(3)
腾格里沙漠东南缘晚第三纪古风成砂及其环境 .....	(7)
塔克拉玛干南缘新生代古风成砂 .....	(13)
鄂尔多斯白垩系沙丘岩的发现 .....	(19)
试论戈壁面及指相意义 .....	(23)
鄂尔多斯高原晚更新世以来的古冰缘现象及其与风成沙和黄土的关系 .....	(29)
昆仑山、阿尔金山北麓石膏多边形及其所反映的古环境 .....	(45)
晚冰期以来毛乌素沙漠环境特征的湖沼相沉积记录 .....	(51)
试论内蒙古萨拉乌苏河沿岸马兰黄土与萨拉乌苏组地层的关系及其环境演化 .....	(58)
陕西北部榆林第四纪地层剖面的粒度分析与讨论 .....	(82)
塔克拉玛干沙漠及其以南风成相带划分和认识 .....	(89)
中国西北地区晚第三纪末古风向重大变化的两例证据 .....	(97)
巴丹吉林沙漠更新世古风向变化及环境意义 .....	(101)
萨拉乌苏河第四纪地层中化学元素的迁移和聚集与古气候的关系 .....	(107)
萨拉乌苏河地区地层中 $\text{CaCO}_3$ 和易溶盐含量变化与气候环境 .....	(114)
微量元素记录的化学风化和气候变化——以巴丹吉林沙漠查格勒布鲁剖面为例 .....	(121)
萨拉乌苏河地区第四纪地层中的矿物成分与气候环境 .....	(128)
萨拉乌苏河地区晚更新世以来的孢粉组合及其反映的古植被和古气候 .....	(134)

## 2 沙漠形成演化与气候变化和新构造运动的关系

150 ka 以来中国北方沙漠、沙地演化和气候变化 .....	(141)
毛乌素沙漠的形成、演变和成因问题 .....	(151)
全新世中国季风区西北缘沙漠演化初步研究 .....	(162)
浑善达克沙地的形成时代与成因初步研究 .....	(169)
腾格里沙漠东南缘沙漠演化的初步研究 .....	(174)
晚更新世以来巴丹吉林南缘地区沙漠演化 .....	(180)
末次冰期以来塔里木盆地沙漠、黄土的沉积环境与演化 .....	(188)
全新世古尔班通古特沙漠演化和气候变化 .....	(196)

0.8 Ma BP 以来西藏雅鲁藏布江中游地区沙地演化和气候变化 .....	(204)
中国沙区晚第四纪以来的气候变化 .....	(212)
末次间冰期以来我国东部沙区的古季风变迁 .....	(233)
末次间冰期以来沙漠-黄土边界带移动与气候变化 .....	(241)
全新世沙漠-黄土边界带空间格局的重建 .....	(248)
晚更新世萨拉乌苏组时代的新认识 .....	(256)
“河套东南角理想剖面”的新近研究 .....	(260)
查格勒布鲁剖面——晚更新世以来东亚季风进退的地层记录 .....	(269)
我国极端干旱区边缘阿羌砂尘堆积剖面的地质时代 .....	(277)
塔克拉玛干沙漠腹地晚冰期以来的环境与气候变化 .....	(287)
新疆伊犁地区末次冰期气候的不稳定性 .....	(294)
800 ka BP 来西藏“一江两河”中游地区的气候与西南季风变化 .....	(299)
130 ka 来陕北黄土高原北部的气候变迁 .....	(303)
地质时期的 CO <sub>2</sub> 及其温室效应 .....	(310)
我国北方沙区气候变化对全球变暖的响应 .....	(316)
要重视全球变化对我国北方沙区可能影响的研究 .....	(325)
新构造运动在塔里木盆地演化中作用 .....	(329)
麻扎塔格山隆起的时代、形式、幅度及意义 .....	(334)
沙坡头地区黄河阶地发育与地貌演化 .....	(341)
中国沙漠形成、演化与青藏高原隆升的关系 .....	(348)

### 3 风沙地貌与风沙物理

腾格里沙漠东南缘格状沙丘的形态-动力学研究 .....	(365)
雅鲁藏布江河谷风沙地貌形成机制与发育模式 .....	(372)
巴丹吉林沙漠沙山发育与环境演变研究 .....	(381)
试论干旱区河流在沙漠地貌发育中的作用——以塔克拉玛干沙漠和田河流域为例 .....	(388)
关于土壤风蚀风洞模拟实验的某些结果 .....	(397)
影响土壤风蚀主要因素的风洞实验研究 .....	(402)
关于人为地表结构破损与土壤风蚀关系的定量研究 .....	(410)
植被对风沙土风蚀作用的影响 .....	(415)
<sup>137</sup> Cs 法测定青藏高原土壤风蚀的初步结果 .....	(422)
干草原地区土壤 <sup>137</sup> Cs 沉积特征 .....	(428)
用风洞实验方法计算土壤风蚀量的时距问题 .....	(436)
土壤风蚀容忍量(T 值)研究的现状与问题 .....	(440)
气流中跃移颗粒的受力分析 .....	(445)
风沙流结构中起跃沙粒垂直初速度分布函数 .....	(450)
风沙流中跃移沙粒轨迹参数分析 .....	(454)

风沙流能量的实验计算·····	(459)
塔里木盆地大气降尘初步观测研究·····	(463)
2000年春季中国北方沙尘暴天气气候成因研究·····	(469)

## 4 沙漠化过程、成因、影响与发展趋势

关于“荒漠化”与“沙漠化”的概念·····	(479)
试论全球气候变化与沙漠化的关系·····	(483)
晚更新世初以来我国陆生生态系统的沙漠化过程及其成因·····	(490)
中国北方半干旱和半湿润地区沙漠化的成因·····	(501)
科尔沁沙地沙漠化的几个问题·····	(508)
末次冰期以来贵南沙地土地沙漠化与气候变化的关系·····	(517)
沙漠化与土壤物质含量变化·····	(524)
共和盆地草原沙漠化的正、逆过程与植被演替规律·····	(533)
古尔班通古特沙漠的辐射热量交换·····	(542)
沙漠化扩展对区域气候影响的数值模拟研究·····	(549)
沙区绿化对区域气候影响的数值模拟研究·····	(555)
我国土地沙漠化的分布与危害·····	(560)
我国北方地区现代自然沙漠化过程的可能发展趋势·····	(569)
西藏“一江两河”中部流域地区土地沙漠化的成因与发展趋势·····	(578)
雅鲁藏布江流域土地沙漠化现状与成因初步研究——兼论人为因素在沙漠化中的作用·····	(588)
利用遥感信息决策树方法分层提取荒漠化土地类型的研究探讨·····	(596)
西藏沙漠化普查的遥感手段及其成图精度估算·····	(602)

## 5 沙漠化防治研究

我国荒漠化现状、成因与防治对策·····	(611)
青海共和盆地土地沙漠化及其防治·····	(630)
共和盆地发展生态农业的必要性和可能性的初步研究·····	(642)
共和盆地草场资源及其合理利用途径·····	(652)
西藏土地风沙化问题的研究·····	(668)
黑河下游额济纳绿洲环境退化及综合治理·····	(677)
吐鲁番风沙防治与戈壁改造利用·····	(684)
敦煌莫高窟的风沙危害与防治问题·····	(691)
龙羊峡水库年进库风沙量及其对库区的影响·····	(699)
狮泉河镇风沙整治第一期工程设计·····	(714)
董光荣研究集体论著目录·····	(723)



# 1

沙漠地区沉积记录及其  
反映的古环境



# 鄂尔多斯高原第四纪古风成沙的发现及其意义

第四纪古风成沙,是指现代风成沙出现以前的第四纪期间,由风的地质作用所形成的沙质沉积物。国外对第四纪古风成沙(或古沙丘,又称化石沙丘)已有较多研究<sup>[1,2]</sup>,国内不少地方亦屡有发现。鄂尔多斯高原(图1)是其中很早以来有过不同程度发现的地区<sup>[3~7]</sup>,但系统研究尚少。

为探讨这一问题,作者近年来对该区进行了广泛调查。在黄河沿至长城边的整个鄂尔多斯高原地区再次发现大片包括早更新统至全新统的古风成沙。

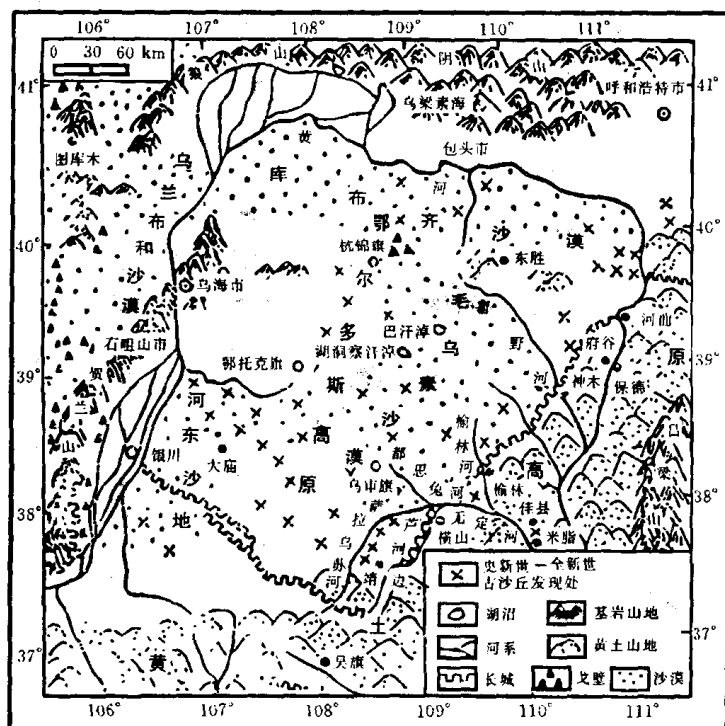


图1 鄂尔多斯高原位置及第四纪古风成沙发现地点

## 一、古风成沙的分布、类型和形态

第四纪古风成沙在区内西南部、北部黄河沿和东南部洼地,中西部干燥剥蚀高地和黄土丘陵等地貌单元上都有分布。按保存状态分两种类型:一是被较新沉积物覆盖于地面

· 董光荣,李保生,高尚玉,吴正,邵亚军。原载《科学通报》,1983年,第16期:998~1001页。本书选辑时删去4帧照片。

以下地层中,原始状态、结构相对完整的埋藏古风成沙;二是直接露于地表,形态、结构受到后期某种程度破坏的残留古风成沙。二者在同一地区往往同时存在。相对而言,埋藏古风成沙主要见于黄土丘陵和洼地河谷、滩地,在干燥剥蚀高地及其向洼地延伸的低梁地顶部的平坦地、低凹区也有分布,但以第四纪沉积广厚、沟谷深切的黄土丘陵区含古风成沙的天然露头最多最好。据观察,这一带埋藏古风成沙的分布地点和层位各地不尽相同,但在黄土沉积的各个主要层位均断续可见。以陕北榆林地区所见古风成沙地层剖面较为完整、清楚。根据黄土岩性、古土壤特征和剥蚀面等标志,自上而下,分为全新统、晚更新统、中更新统上下部、早更新统五组含风成沙地层,并可与陕西洛川剖面对比<sup>[8]</sup>(图2)。埋藏古风成沙在黄土地层中通常以细沙和沙壤土夹层形态出现,在横、纵向展布上不连续,与黄土、粉沙壤土构成互为间层的沉积系列。

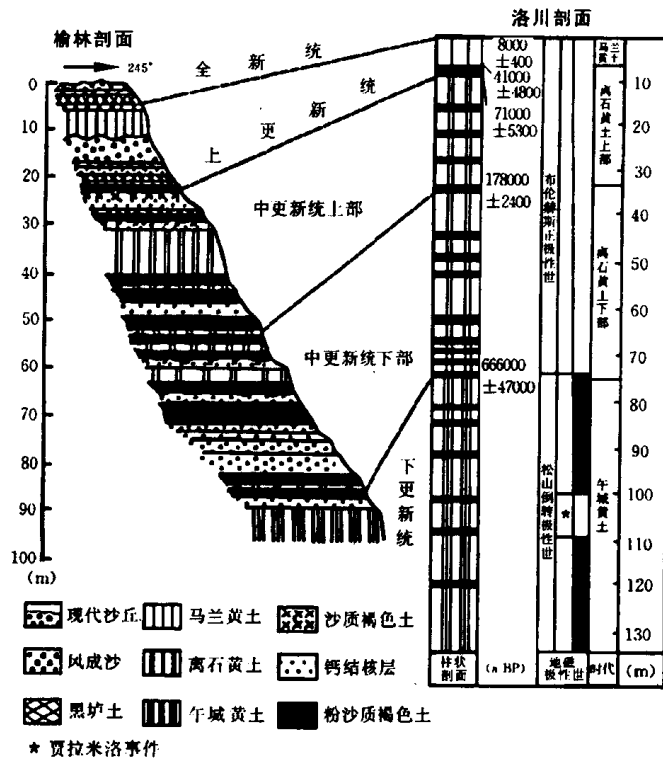


图2 榆林含古风成沙地层与洛川黄土地层剖面对比图

埋藏古风成沙所处层位不同,岩性也有差异:全新统细沙层为灰黄或暗灰黄色,结构松散,不含钙结核;沙壤土层系沙质黑垆土,质地粗松,中下部含白色假菌丝和钙膜,一般不含钙结核。晚更新统马兰黄土中的细沙层为黄或深黄色,结构松散至稍紧实,极少含零散小钙结核;沙壤土层为黑垆土型古土壤,有时略发红,质地紧实或稍硬,中下部含较多假菌丝、钙膜及土状小钙结核。中更新统离石黄土至早更新统上部午城黄土中的细沙层为棕黄或微红色,常见灰黑色铁锰斑点,结构松散至较硬,有时在底部或交错层理间含较大、较硬的钙结核或钙片和钙板;沙壤土层系沙质褐色土型古土壤,多见黑色铁锰斑点和草本根管,质地较硬或坚硬,在底部往往含较多大钙结核甚至形成钙结核层;老黄土时代愈老,内含细沙和沙质褐色土颜色愈红,铁锰斑点愈黑愈多,结构愈紧实坚硬,钙结核和钙片愈多愈大愈密。

残留古风成沙在受侵蚀的黄土丘陵、洼地剥蚀梁地的斜坡上较常见,在受风蚀的洼地

河谷、滩地和中西部干燥剥蚀高地的低洼地里零星分布。一般以单个或成群的蚀余沙丘和沙壤土墩形态出现,与周围相关的地层基本断开,在其下风向地表或沟槽中形成新的沙质沉积物。见到的蚀余沙丘以中-早更新统居多,晚更新统较少,表面多少已有一定程度蚀低、切割,颗粒粗化甚至布满灰黑色铁锰膜的钙结核、钙片等残积物;蚀余沙壤土以沙质黑垆土最多,沙质褐色土少见,剖面色泽变浅,发生层次模糊。这是残留古风成沙由相应地层中的埋藏古风成沙被剥蚀出来之后,又经历了风化、剥蚀作用的缘故。

## 二、古风成沙的沉积特征与指相性质

不同地点和不同层位的古风成沙,具有风成沙质沉积物的共同特征,以埋藏细沙层最为醒目:①细沙层在黄土中既分布于低洼沟谷,也见于稍高的平缓斜坡与梁峁平坦地段。②细沙层的堆积形态,有些是沿黄土地形面延展的、厚几厘米至数米的平沙层,但以平底透镜状沙质小丘占绝大多数,有时二者交替重复出现。沙质小丘高度介于1~5 m之间,个别达20多米;水平延伸距离几米至30多米,有的在50~100 m以上;高度由顶部至两坡侧逐渐降低,直至尖灭于黄土层之间。③沙层中有时见到明显的风成层理。以由极薄(厚度小于或等于1~2 mm)的加积纹层构成的水平层理最多,同时见有前积纹层厚几毫米至数厘米、倾角 $24^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 、倾向东南的平板状或楔形交错层理,和由加积纹层与前积纹层组成的水平-交错层理。④沙体机械组成以细沙和极细沙为主,粉沙、粘土以及中粗沙极少,不含砾石和粘土碎块等混杂物,颗粒分选较均匀,由细沙层至黄土粒级一般由粗到细逐渐过渡。⑤碎屑矿物成分与黄土相似——以石英、长石等轻矿物占绝对优势,角闪石、绿帘石、石榴子石等重矿物只占很小比例。⑥石英沙粒形态多为次棱至次圆形,尖棱形、棱角形和滚圆形极少;颗粒表面常有红褐色铁质氧化膜,脏而无光,并具毛玻璃化痕迹和由机械破碎引起的裂纹及沙暴撞击而形成的麻点、碟形坑。此外,在沙层里还偶见遭受风蚀的钙结核、鸵鸟蛋片和被沙埋的成窝无损的鸟蛋、鼠穴以及类似锦鸡儿的钙化木。这些特征与该区地表现代风成流沙十分相近。表明细沙层系风成古流动沙丘、草丛或灌丛沙堆以及平沙地,主要搬运营力仍是与今日类似的西北风系。

沙壤土(不论是沙质黑垆土还是沙质褐色土)因在横纵向上与新老黄土的粉沙壤土(粉沙质黑垆土和褐色土)处于相同(发生)层位,理化性质类似,应属同一类型古土壤。所不同的仅前二者出现于以古流沙为成土母质的一定区段,土壤剖面中依旧保留细沙成分较多、石英颗粒表面具麻坑和加积纹层等风成沙质沉积的许多特征。这与目前该区地表正在生草成壤的半固定和固定沙地极为相似。表明沙壤土实质上是不同地质时期的古流沙经过较强生草成壤过程形成的固定、半固定沙地。

## 三、问题讨论

综上所述,可作如下讨论:

(1)由本区多次特别是这一次在现代风成沙之下早更新统至全新统地层发现古风成沙,且以流动沙丘与半固定、固定沙地多种形态存在的这些事实,不仅证明鄂尔多斯高原沙漠不是人类历史时期才有的,而是从早更新世后期到现在就已断续存在;而且还表明其

演变方式也不是往单一流沙方向发展,中间经历了一系列流沙⇌半固定、固定沙地的正、逆演变过程。人类历史时期以来的土地沙漠化只是该区沙漠长期演变过程中最新、最近的一幕<sup>①</sup>。这为研究鄂尔多斯高原的沙漠及沙漠化形成时代和演变模式提供了确凿的地层证据。

(2)由本区不同黄土层位均发现古风成沙以及沙质古土壤和粉沙质古土壤同层的事实,同样表明在黄土高原西北边缘区的风成黄土与沙漠无论在纵向或横向上都是犬牙交错的逐步过渡的相变关系,其东南部黄土的沉积或间断同西北部流沙的出现或固定基本同步。这为深入揭示黄土发育与沙漠发展之间的成因、时代和物源联系,提供了一个重要佐证。

(3)由本区第四纪地层剖面中发现早更新统风成沙和黄土、细沙、古土壤互层的沉积系列,以及自下而上古土壤层变少、淋溶作用减弱等现象可以看出,本区至少从早更新世后期开始气候已明显朝干冷方向发展,至今已历经干冷多风的干旱荒漠和半荒漠、半干旱草原与暖湿森林草原,温凉草甸草原或灌丛草原环境的多次更替,其总趋势似乎是气候愈来愈干冷,变化周期越来越短。这反映第三纪末、第四纪初以来,随着青藏高原及其外围山地的隆起和扩展,至少在早更新世后期以后本区基本上处于蒙古高压和海洋季风边缘区过渡带位置,但多次受到北半球冰期间冰期气候波动导致的气候带位置移动的影响。本区流沙再起与蔓延,即土地沙漠化,人类不合理经济活动(滥垦、滥牧、滥伐)固然是重要因素,但只是加速、加剧的助长因素,而不是决定因素,根本原因还是全新世新冰期、小冰期以及最近时期的干冷气候波动所致。这与黄土堆积所显示的自然环境演变<sup>[9]</sup>、深海沉积物的氧同位素记录和70万年来35°N地区天文辐射冬半年总量变化<sup>[10]</sup>,以及我国冰期气候波动的研究结论<sup>[11,12]</sup>大体吻合。这对进一步探索该区古地理环境尤其是古气候变迁的成因、机制、模式及其与沙漠和沙漠化的关系,进而预测预报其发展趋势,为合理安排当地生产建设与沙漠化土地整治工作提供科学依据,也具有一定参考意义。

致谢:本文承施雅风和王乃梁教授指导、审阅,祝国存、李伟民、高有广等帮助清绘插图和洗印照片,在此一并致以衷心感谢。

## 参 考 文 献

- 1 (英)A.高迪.环境变迁.北京:海洋出版社,1981.89~114.
- 2 铃木秀夫.冰河期の气候.古今书院,1977.20~79.
- 3 Г.Е.梁布兴,В.А.奥勃鲁契夫院士.地质学报,1958,38(3):297.
- 4 德日进,杨钟健.地质专报甲种第8号.农矿部地质调查所,国立北平研究院地质学研究所,1930.9.
- 5 严钦尚.地理知识,1954,8:221.
- 6 王永森.中国第四纪研究,1958,1(2):37~38.
- 7 刘东生等.黄河中游黄土.北京:科学出版社,1964.66~94.
- 8 刘东生,安芷生等.科学通报,1978,23(1):2.
- 9 卢滨涛,安芷生.科学通报,1979,24(5):221~224.
- 10 徐钦琦等.科学通报,1981,23(19):1189~1191.
- 11 施雅风等.冰川冻土,1979,6:6~10.
- 12 张家诚等.气候变迁及其原因.北京:科学出版社,1976.31~83.

<sup>①</sup> 现代风成沙之下的沙质黑垆土,经黎兴国等用<sup>14</sup>C测年,形成于3 200±230年前。

# 腾格里沙漠东南缘晚第三纪 古风成砂及其环境

**提 要:** 通过对地层、沉积构造、粒度、石英砂表面微结构及动物群、孢粉组合的分析表明,晚第三纪期间腾格里沙漠东南缘及附近地区曾呈现类似现代风沙迁移、堆积的风沙地貌过程。当时气候炎热干旱,干湿季变化明显,生物气候带为亚热带疏林草原甚至荒漠草原。

**关键词:** 晚第三纪;古风成砂;亚热带疏林草原

沙漠是全球环境的重要组成部分,沙漠的变迁反映了全球气候环境的重大变化。因此,对沙漠沉积系统的研究是重建沙区古环境,进而探讨全球性气候环境的重要基础工作。近几十年,随着干旱区第四纪研究工作的开展,在全球许多沙漠地区及其边缘地带,陆续发现了新生代的沙漠沉积物,其中以第四纪的沙漠沉积物发现较多,第三纪的沙漠沉积物则较少。第三纪的沙漠沉积物国外仅见于美国佛罗里达州<sup>[1]</sup>、印度拉贾斯坦沙漠<sup>[1]</sup>和西南非洲的纳米布沙漠<sup>[2]</sup>等地。我国已确认的是兰州“安宁砂”<sup>[3]</sup>,以及西安、山西一带的同期风成红土<sup>[4]</sup>。

作者近年对处于干旱荒漠草原地带的腾格里沙漠东南缘进行了野外调查,结合室内粒度、扫描电镜分析,确认了部分晚第三纪沙漠沉积物。这些沙漠沉积物的发现<sup>[1]</sup>,为晚第三纪时期中国北方出现的风沙沉积环境提出了新的证据。

## 一、古风成砂的分布和类型

腾格里沙漠东南缘的晚第三纪古风成砂主要分布于香山北麓中卫南山台子、贺兰山东麓青铜峡砂石墩及沙漠腹地通湖山南麓一带(图 1)。按其地貌特征大致分为两类:第一类为沙丘相古风成砂,即古风成砂具有明显的沙丘形态,发育完好的迎风坡、背风坡,部分风成层理构造(图 2-a);第二类为山麓相古风成砂,即风成砂受山麓洪流的侵袭,破坏了原始的风成沉积特征,形成类似风水两相的形态特征(图 2-b,c)。

## 二、古风成砂的沉积特征

上述不同地点、不同层位的晚第三纪古风成砂除砂色为桔红色或棕红色外,其沉积特征部分或全部类似于现代沙漠沉积物的沉积特征:①地貌上呈现出一系列浑圆状,波状地形。其单个形态可区别出相对平缓的迎风坡和相对陡的背风坡,如青铜峡砂石墩古沙丘迎风坡倾向东北,古沙丘脊线呈西北至东南走向,系主要受东北风作用形成的;②地层剖

• 闫满存,董光荣,陶贞,涂真。原载《中国沙漠》,1992年,第12卷,第3期:10~15页。

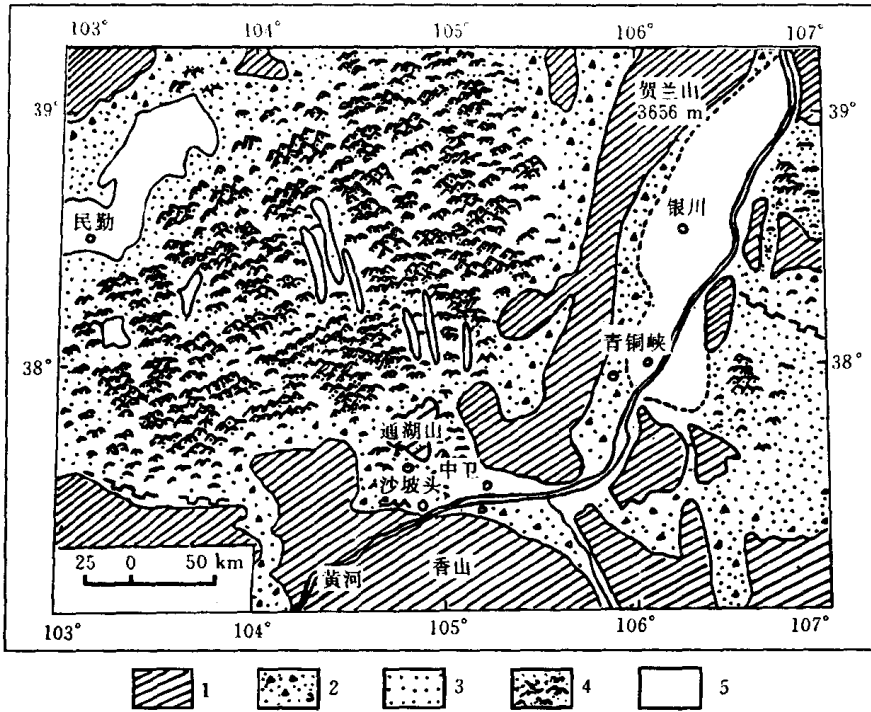


图1 晚第三纪古风成砂的分布地点

1. 山地; 2. 洪积平原; 3. 沙地; 4. 格状沙丘; 5. 冲积平原或湖滩

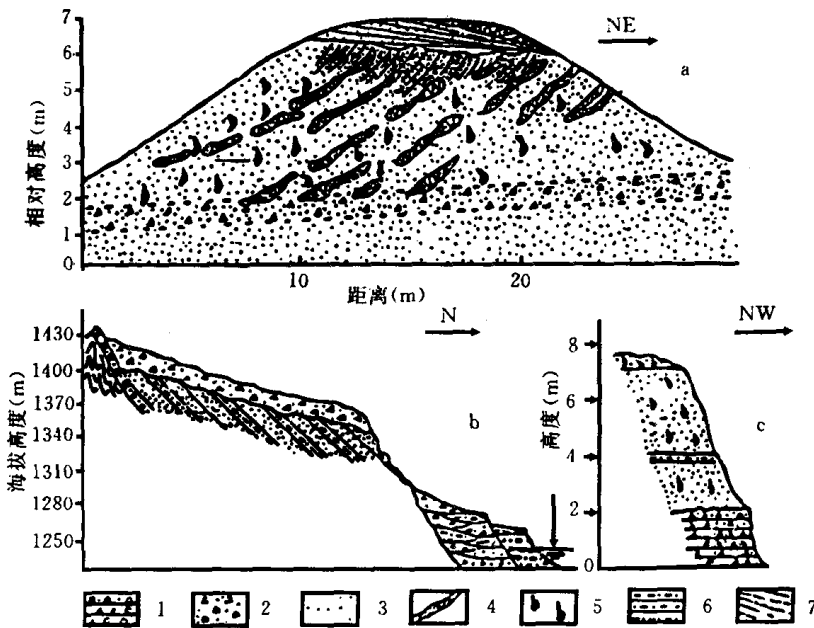


图2 晚第三纪古风成砂剖面

a. 青铜峡砂石墩; b. 中卫南山台子; c. 通湖山南麓

1. 砾岩; 2. 砾石; 3. 古风成砂; 4. 钙结层; 5. 钙结核; 6. 粘土层; 7. 前积层

面中可见风成加积纹层和前积纹层。前积纹层最大倾角达 $30^\circ$ ,接近现代沙丘的休止角。古沙丘前积层倾向主要为西南和东北向,表明其时盛行风为东北风,西南风次之;③强钙化作用,主要表现为具有较多的钙积层、钙结核和钙质根管。钙积层厚度 $10\sim 30\text{ cm}$ ,最厚超过 $1\text{ m}$ ,沿层面发育,往往不连续,有时褶曲。钙结核呈棒状、树枝状,切面为同心圆状,直径 $2\sim 5\text{ cm}$ 者居多,长轴与层面直交或斜交。钙积层与钙结核是干旱、半干旱地区土壤发生层的组成部分,多发育于土壤发生层的下部;钙质根管直径 $1\sim 2\text{ cm}$ ,在古沙丘中分布集中,它的出现是灌丛沙丘发育的一种直接、可靠的标志<sup>[5]</sup>;④粒度组成与

面中可见风成加积纹层和前积纹层。前积纹层最大倾角达 $30^\circ$ ,接近现代沙丘的休止角。古沙丘前积层倾向主要为西南和东北向,表明其时盛行风为东北风,西南风次之;③强钙化作用,主要表现为具有较多的钙积层、钙结核和钙质根管。钙积层厚度 $10\sim 30\text{ cm}$ ,最厚超过 $1\text{ m}$ ,沿层面发育,往往不连续,有时褶曲。钙结核呈棒状、树枝状,切面为同心圆状,直径 $2\sim 5\text{ cm}$ 者居多,长轴与层面直交或斜交。钙积层与钙结核是干旱、半干旱地区土壤发生层的组成部分,多发育于土壤发生层的下部;钙质根管直径 $1\sim 2\text{ cm}$ ,在古沙丘中分布集中,它的出现是灌丛沙丘发育的一种直接、可靠的标志<sup>[5]</sup>;④粒度组成与



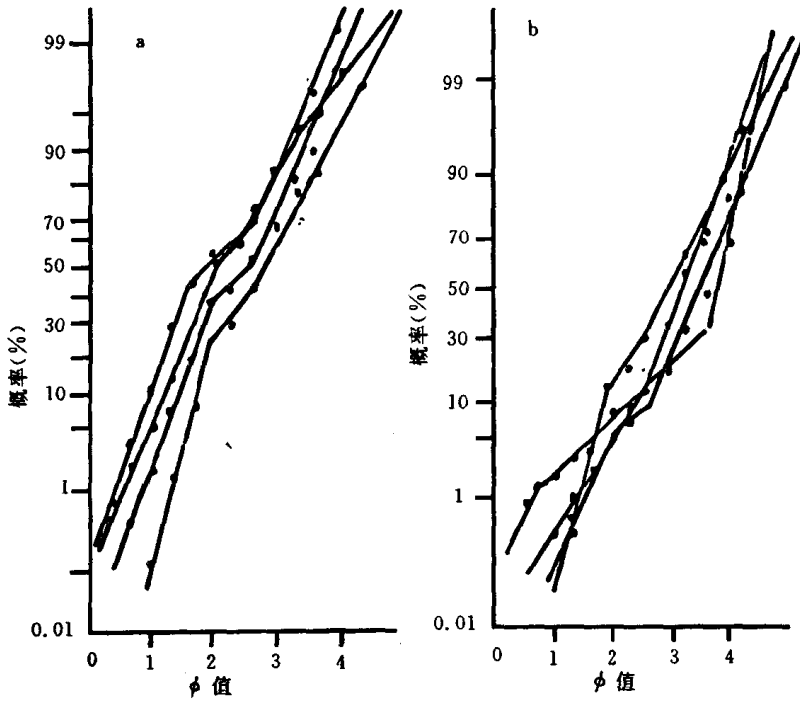


图3 古风成砂粒度概率累积曲线  
a. 青铜峡砂石墩; b. 中卫南山台子

本区及邻区现代风成沙基本相近。古风成砂粒度概率累积曲线可分为两类：第一类为跃移推移型，即曲线由跃移、推移二组份构成，其中跃移组份在 $2.5 \sim 4 \phi$ 之间，含量约占80%，线段斜率 $65^\circ \sim 85^\circ$ ，分选好；推移组份占15%，分选中等，跃移与推移组份的分界点在 $2.5 \phi$ 处(图3-a)；第二类为双跃移型，即曲线由跃移单组份构成，其中粗段占35%，细段占55%，二者分界点在 $2 \phi$ 处，线段斜率为 $70^\circ \sim 85^\circ$ ，分选良好(图3-b)。比较晚第三纪古风成砂与现代内陆沙丘

的粒度参数散点图，第一类古风成砂的粒度中值与腾格里沙漠东南缘沙坡头的流沙接近，均变化于 $3 \sim 3.5 \phi$ 之间；第二类古风成砂的中值则与巴丹吉林沙漠南缘沙山沙相近，在 $2 \sim 3 \phi$ 之间，其分选不如内陆沙丘沙，为好至中，偏度分异不甚明显，在近对称附近，峰态为中峰至宽峰(图4)；⑤古风成砂石英颗粒表面普遍不同程度地赋予了高能风成环境的典型结构特征。在扫描电镜下颗粒呈次圆、次棱角状，可见明显的碟形坑、翻卷薄片、磨损圆化、麻面、毛玻璃化和 $\text{SiO}_2$ 的溶蚀与沉淀等多种风成痕迹与特征(照片1~6)。

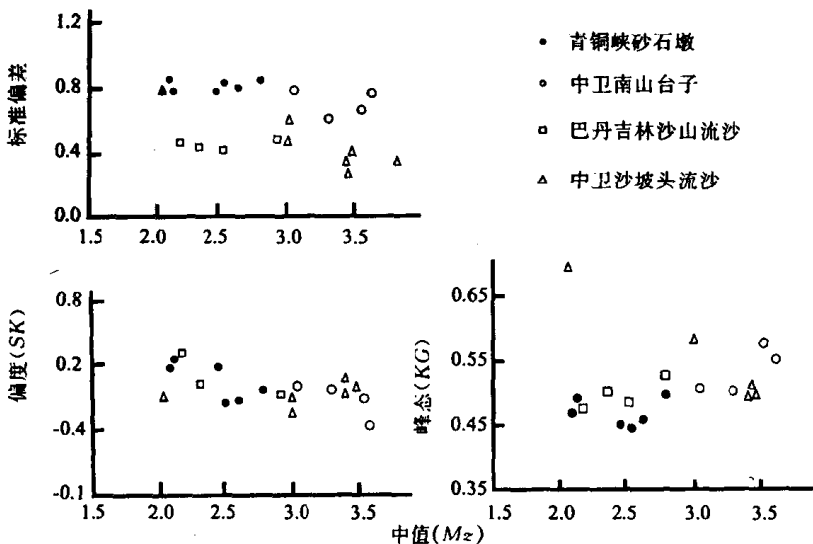


图4 古风成砂与现代流沙粒度参数散点图