

李志忠,靳建辉,刘瑞,等.古尔班通古特沙漠风沙地貌研究进展评述[J].中国沙漠,2022,42(1):41-47.

古尔班通古特沙漠风沙地貌研究进展评述

李志忠^{ab},靳建辉^{ab},刘瑞^b,解锡豪^b,邹晓君^b,马运强^b,谭典佳^b

(福建师范大学 a.湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, b.地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: 古尔班通古特沙漠是中国最大的固定、半固定沙漠,也是中国境内受西风环流影响最明显的沙漠之一。本文简介古尔班通古特沙漠风沙地貌的研究历史,综述区域风况和输沙势特征、主要沙丘类型分布格局、风沙物质来源、沙丘粒度特征、沙漠环境演变和纵向沙垄发育模式以及现代沙丘动态变化等方面的研究进展,指出研究中存在的问题并展望未来研究方向。

关键词: 古尔班通古特沙漠; 输沙势; 沙物质来源; 纵向沙垄; 沙漠演化模式; 研究进展

文章编号: 1000-694X(2022)01-041-07

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00186

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

0 引言

古尔班通古特沙漠深居中亚腹地,位于新疆北部准噶尔盆地的中央,是中国境内受西风环流影响最为明显的沙漠,也是中国唯一以固定、半固定沙丘占绝对优势的沙漠。该沙漠主要由东部霍景涅里辛沙漠、中部德佐索腾艾里松沙漠、西部索布古尔布格莱沙漠和三个泉干谷以北的阔布北-阿克库姆沙漠等4片沙漠组成。根据1998年^[1]、2013年^[2]两期野外调查、遥感影像判读和制图综合分析,古尔班通古特沙漠面积达到5.113万km²和5.63万km²,两期统计面积均位列中国第二大沙漠。

古尔班通古特沙漠是欧亚丝绸之路北疆段和天山北坡经济带北部的重要生态屏障,沙漠地下蕴藏着丰富的油气资源,为中国区域社会经济发展的战略能源基地之一。20世纪50年代以来,在中国几代风沙科技工作者探索创新和艰苦攻关下,古尔班通古特沙漠风沙地貌研究取得了显著进展。本文在简述区域风沙地貌研究历史的基础上,重点综述古尔班通古特沙漠风况和输沙势特征、主要沙丘类型及其分布格局、风沙物质来源和沙丘粒度特征、沙漠环境演变和纵向沙垄发育模式以及现代沙丘动态等方面的研究进展,指出当前研究中存在的问题并展望未来研究方向。

1 区域风沙地貌研究简史

在20世纪50年代以前,关于古尔班通古特沙漠风沙地貌仅有前苏联学者的零星考察报道。50年代以来,中国研究者对古尔班通古特沙漠逐步开展了深入研究。1951年新疆石油管理局在准噶尔盆地进行了以寻找储油构造为主的地质勘探,同时对风沙地貌作了简要描述,随后开展的1:6万航空测量为古尔班通古特沙漠地貌研究提供了有价值的资料。

1956—1959年,中国科学院新疆综合考察队先后对准噶尔盆地和古尔班通古特沙漠进行了地貌和第四纪地质调查。1959年中国科学院治沙队组织综合考察,3次纵穿古尔班通古特沙漠,随后以报告和论文的形式提出沙漠改造和利用的初步意见^[3-4],使人们第一次较完整地认识了古尔班通古特沙漠的自然环境、风成沙丘类型与分布格局以及主要沙丘类型的成因^[5-6]。1978年中国科学院新疆综合考察队等编著出版了《新疆地貌》^[7],其中第十七章新疆风沙地貌介绍了古尔班通古特沙漠的基本特征,讨论了树枝状沙垄等代表性沙丘类型的成因和演化过程。以上风沙地貌学综合考察成果,为改造治理和开发利用古尔班通古特沙漠提供了科学资料和依据。

收稿日期:2021-03-05; 改回日期:2021-03-28

资助项目:国家自然科学基金项目(42071011)

作者简介:李志忠(1962—),男,四川绵阳人,博士,教授,研究方向为风沙地貌与环境演变。E-mail: lizz@fjnu.edu.cn

20世纪80年代以来,在国家 and 新疆各级各类科技发展计划、水土资源开发利用和防沙治沙工程项目的支持下,中国风沙科技工作者围绕古尔班通古特沙漠第四纪环境演变、纵向沙垄稳定性、风沙输移特征、土地沙漠化防沙等问题展开了一系列野外考察、定位半定位观测、采集沙样实验和遥感影像综合分析研究,在区域沙漠演变模式、沙物质特征、风沙活动规律和沙丘分布格局方面取得一系列研究进展^[8-16]。

1960年在古尔班通古特沙漠西南部建立的莫索湾站,初期以研究沙漠自然演变趋势和沙漠化防治为主要方向,2007年成为国家荒漠-绿洲生态建设工程技术研究中心的科研基地,在继续观测沙漠自然环境和风沙灾害状况的同时,莫索湾站将重点逐渐转移到研究沙漠与危害治理的技术和方法上。1987年位于沙漠东南边缘的阜康荒漠生态系统观测试验站建站,2006年成为荒漠生态国家野外科学观测研究站,主要对区域荒漠生态、环境的变化趋势进行监测、研究、评价和预报,并围绕全球变化与荒漠生态系统的相互关系开展研究工作。这两个野外站长期连续观测的气候生态数据,为区域风沙地貌学研究提供了重要的基础科学资料。

2 风力作用与输沙势特征

在盆地尺度上,位于准噶尔盆地腹地的古尔班通古特沙漠冬季在西伯利亚-蒙古高压控制下,东北部、中部盛行东北风,西部和南缘盛行西北风和偏西风。夏季在副热带高压影响下的西风气流从准噶尔界山各山口和峡谷(阿拉山口、托里风口和额尔齐斯河谷)进入盆地,多有西北风和近西风的性质^[5,7]。

研究发现,古尔班通古特沙漠周围和内部风力状况差异显著^[5,7,15,17]。在额尔齐斯河谷地、老风口和艾比湖谷地中盛行西风,因此在盆地西部西北风的影响远超东北风系,沙垄走向呈北北西-南南东或北西-南东走向,沙垄两坡表现为明显不对称形态;至盆地东北部西风减弱东北风相对增强,表现在沙垄两坡较为对称并呈南北向排列。依据2001年4月至2005年4月在沙漠北部、中部和南部野外风沙气象观测站资料,沙漠北部和中部全年盛行北风和东北偏北风,这是沙漠北部和中部纵向沙垄形成的主要原因;沙漠南部常见的蜂窝状沙丘和梁窝

状沙垄,主要由于从艾比湖谷地进入的西风受到天山北坡山谷风以及盆地西北部南下气流遭遇天山北坡的抑制涡动作用所致^[5,7]。

根据周边气象台站1961—2001年风况资料分析,古尔班通古特沙漠合成输沙势(RDP)的四季和年变化趋于波动减小, RDP/DP (方向变率指数)东部较大,中部、天山中部和北麓平原一带为0.6—0.7,西部、西北部有两个低值中心,东北部为0.7—0.8,方向以偏东南、东居多^[17]。另据沙漠东南缘阜康生态站2002年^[14]、沙漠腹地2个气象站2003—2006年^[18]及周边8个国家基准气象站2020年风况资料分析,盆地北部和西部站点输沙势高达500—900 VU,沙漠中部20—30 VU,而盆地南部各站点低至5—7 VU。即,从盆地北部、西北部和西部,向沙漠中部和南部边缘,区域风能类型由高能风况过渡为低能风况。

研究表明,沙漠周边起沙风主要发生在4—9月,以4、5、6月最为集中^[14],主风向依次为WNW、W、NW、WSW等。沙漠中部全年起沙风出现频率为0.25%,以东北风和西北风为主;南部起沙风频率为0.11%,以西北风和西南风为主。中部合成输沙方向(RDD)为197.0°,方向变率指数为0.56;南部地区总输沙势(DP)为29.8 VU,合成输沙势(RDP)为16.3 VU,合成输沙方向(RDD)为108.4°,方向变率指数为0.65。沙漠中部受东北风和西北风的影响,与之相应的地面沙垄长而直,基本沿合成输沙方向延伸;沙漠南部受天山山脉的影响,主导风向转为西北和西南风,与之相应的地面沙垄开始向东偏转,并出现了副梁^[18]。

3 主要沙丘形态特征、分布格局和发育模式

由表1可见,古尔班通古特沙漠以固定半固定沙丘类型为主,同时有部分流动沙丘类型,总体上看沙丘类型是复杂多样的,同时因各个研究者依据的沙丘分类原则和指标体系不同,对同一种沙丘类型的命名存在一定的差异。其中,纵向沙垄(线形沙丘)是最主要的沙丘形态,占固定、半固定沙丘总面积的80%以上。一般由北部往沙漠中心,沙垄高度增加,密度也加大。沙垄的走向受风向的影响,在沙漠北部和中部近于南北方向(偏西),而在东北部有北偏东走向,呈曲线形条带状分布;到沙漠西

表 1 古尔班通古特沙漠沙丘类型
Table 1 Dune types in Gurbantunggut Desert

作者/年份	沙丘类型
吴正/1962 ^[5]	纵向沙垄, 沙垄蜂窝状沙丘, 蜂窝状沙丘, 梁窝状沙丘, 固定的新月形沙丘, 横向沙垄, 抛物线沙丘, 复合的沙垄, 金字塔沙丘, 吹扬具流沙分布的灌丛沙丘, 灌丛沙丘及薄层沙地, 裸露的新月形沙丘及新月形沙丘链
陈治平/1963 ^[6]	树枝状沙垄、沙垄, 蜂窝状沙丘, 沙垄-蜂窝状沙丘, 垄状沙链, 梁窝状沙丘、沙堆, 新月形沙丘及沙丘链
中国科学院新疆综合考察队等/1978 ^[7]	纵向树枝状沙垄, 蜂窝状沙丘, 新月形沙丘及沙丘链, 垄状沙链, 垄状-蜂窝状沙丘
朱震达等/1980 ^[19]	流动沙丘: 新月形沙丘及沙丘链, 格状沙丘链, 金字塔沙丘, 复合型链状沙丘; 半固定沙丘: 沙垄及树枝状沙垄, 蜂窝状沙垄, 蜂窝状沙丘, 复合型沙垄, 灌丛沙丘; 固定沙丘: 沙垄及灌丛沙堆
王雪芹等/2003 ^[11]	流动沙丘(沙山): 新月形沙丘及沙丘链, 格状沙丘链, 金字塔沙丘, 复合型链状沙丘; 半固定沙丘: 沙垄及树枝状沙垄, 蜂窝状沙垄, 蜂窝状沙丘, 复合型沙垄, 灌丛沙丘; 固定沙丘: 沙垄及灌丛沙堆
程维明等/2018 ^[16]	平沙地, 缓起伏沙地, 沙垄, 草灌丛沙堆, 梁窝状沙丘, 蜂窝状沙丘, 蜂窝状沙垄, 树枝状沙垄, 新月形沙丘和沙丘链, 格状沙丘和沙丘链, 线状沙丘, 星状沙丘和沙丘链, 复合型沙垄, 星状沙垄

部和南部则呈西北西-东南东走向,甚至近乎东西向排列,断续分布。因而,就整个沙漠的沙垄排列而言,具有由北部至东南部发生巨大的弧形转折现象^[5,7,16,18-21]。

吴正^[5]发现,当从西部和西北部进入的大风到盆地中逐渐转为北北西风和北风,沙丘呈南北走向,东部气流为北西西向,沙丘走向转为西北-东南向,在双向风作用下,由吹扬风沙、沿着合成风向堆积风沙形成纵向沙垄。中国科学院新疆综合考察队等^[7]认为,区域纵向沙垄系由垄状沙链演变而来,垄状沙链又是在灌丛沙丘的基础上发展起来的。在沙漠中南部发育的复合型沙垄,在近于南北走向的蜂窝状沙丘组成的沙垄两侧分布着一系列与主沙垄几乎垂直的次一级的低矮沙垄。Li等^[22]在沙漠东南部采用探地雷达探测分析了纵向沙垄的沉积构造,发现沉积构造总体表现为垂向加积的增长模式。但是由于这项研究是以两坡大致对称的纵向沙垄为研究材料,因此难以反映沙漠西部和南部常见的两坡不对称的纵向沙垄发育模式。

除纵向沙垄外,在沙漠西南部的莫索湾地区和玛纳斯河流域,分布有梁窝状沙丘,沙丘高度 10—30 m;沙漠中南部则发育有较高大的半固定沙垄-蜂窝状沙丘和蜂窝状沙丘,以及特殊类型的复合型沙垄,近似于“山”形分布。其中,梁窝状沙丘是由密集的新月形沙丘或沙丘链被植物固定或半固定而成,沙垄-蜂窝状沙丘为格状沙丘的固定半固定形态,由纵横交叉的沙丘组成,平面形态呈格网状;

蜂窝状沙丘缺乏固定方向的沙梁,为中间低而四周以无一定方向的沙梁所组成的圆形或椭圆形的沙窝地形;复合型沙垄的形态特征是,在高大的近于南北走向的、由蜂窝状沙丘组成的沙垄两侧分布着一系列与主沙垄几乎垂直的次一级的低矮沙垄,东部纵向沙垄最典型并呈现不同的复杂程度。这些沙丘或沙垄的高度多为 30—50 m,甚至超过 70 m^[5,7,18-19,21]。

4 沙漠物质来源与沙丘粒度特征

古尔班通古特沙漠所处的准噶尔盆地是一个三面被海西、加里东褶皱山系所围绕的巨大山间盆地,东北为阿尔泰山褶皱带,西北为准噶尔界山褶皱带,南为天山褶皱带。受到海西构造运动、喜马拉雅构造运动的影响,尤其是受到新近纪以来新构造运动的控制,准噶尔盆地的整个地势向西、西北缓倾,东部最高部分海拔在 1 000 m 左右(奇台附近),西部最低仅 189 m(艾比湖面),西北部亦多为 250—400 m。这种受大地构造制约所造成的地势特征,影响了整个盆地水系的分布和沉积性质。盆地外围接近山麓的地带为较宽广的山前洪积倾斜平原,其内侧逐渐为一巨大冲积平原所代替,而在盆地的西部和西北部最低洼的地域则分布着湖积平原。这些洪积、冲积和湖积平原巨厚的第四纪沉积沙层,为古尔班通古特沙漠的形成提供了丰富的沙源^[7,19,23]。

由于准噶尔盆地内广泛而巨厚的沉积层与盆地目前的水网分布不相适应,现代河流的流程和水

量都不足以在短期内携带大规模的河流沉积物进入盆地,而应当是第四纪气候湿润时期发育的河流所致,因此,吴正^[5]认为古尔班通古特沙漠沙来源的主体是古代的河流冲积物。从沙漠各个区域自生矿物种类和矿物组合分析,钱亦兵等^[15]认为古尔班通古特沙漠沙来源具有多源性,从整体来看,在准噶尔盆地的搬运-沉积过程中,来自周围山系的各类碎屑是主要物源,盆地内台原高地的基岩风化剥蚀产物也有重要贡献^[15]。沙漠各区域之间的沙物质组成特征因地而异,但在同一区域内不同类型的沙,如沙丘沙和丘间地沙物质组成之间却较为相似,证实了朱震达等^[19]“就地起沙”形成沙丘的主流成因,即沙丘沙主要来源于下伏沙。但沙丘沙和下伏沙二者之间的重矿物组合特征、矿物成分分散度和 Q/F 比值等参数存在一定差异,表明在下伏沙向沙丘沙的演化过程中存在着风营力的“掺杂”改造作用^[15]。此外,气候、植被及其他地理条件对风营力改造作用有明显的影 响。因此,沙丘沙比下伏沙具有更为广泛的物源^[15,24-25]。

从沙物质粒度组成看,在沙漠中部以北,大部分沙丘表层沙的平均粒径大于0.25 mm,大于0.50 mm的也很广泛^[24]。由北向南,中、粗沙和极粗沙含量明显减少,极细沙和细沙含量显著增加,表现为北部粗、南部细的特征。沙漠中部和南部沙垄表面以中沙和细沙为主,属于风力有效作用的粒径范围^[14]。从分选系数看,沙漠北部沙漠沙分选性总体较差,中部和南部沙垄顶部分选性较好,垄坡和垄间地分选性属中等。在沙漠东西方向上,早期调查认为沙漠沙的粒度组成和分选系数等粒度参数变化不大^[15,26],最近研究发现沙漠西部沙物质的分选性较其他区域好,东部沙物质的分选较差^[27]。

研究表明,从垄间地向垄坡、再向垄顶,沙物质平均粒径由细变粗、分选性由差变好^[15,26]。这种分布规律与Lancaster^[28]和Livingstone等^[29]对比世界不同沙漠区纵向沙垄(垄)表面粒度分布模式后归纳的第一类相同。沙垄坡顶的中沙含量最多,迎风坡丘间地粗沙含量高于背风坡丘间地,迎风坡坡脚的细沙和中沙含量远高于背风坡坡脚^[27]。

5 区域气候变迁、沙漠演化和沙丘动态变化

天山北坡海拔700—2 400 m间不同高度地貌面上分布的大片风成黄土是古尔班通古特沙漠的

同源异相沉积,方小敏等^[30]、史正涛等^[31-32]根据这些黄土高分辨率粒度古气候记录和古地磁测定结果推测,准噶尔盆地极端干旱气候和现代古尔班通古特沙漠雏形最迟大致在800 ka前形成,在650 ka和500 ka年前分别有两次显著的干旱化增强和沙漠扩大。黄强等^[33]对沙漠南部垄间洼地钻孔剖面样品进行粒度、矿物全量、微量元素含量和孢粉的综合分析并测定了热释光年代,表明晚更新世晚期气候相对寒冷并有两次气候偏湿波动,全新世时期以温暖干旱为主,在全新世中期有一次明显的气候偏湿波动。Li等^[22]以OSL测年建立时间标尺,对沙漠东南部纵向沙垄和垄间地沉积剖面进行探地雷达图像、风沙中值粒径和磁化率指标的综合分析,认为18.3 ka以来的沙漠气候变化可以划分为5个阶段,其中18.3—10.4 ka气候的不稳定性与南部山区冰川融水进入沙漠事件有关,全新世大暖期峰值期为8.5 ka,结束于3.6 ka,2.5 ka以来为沙丘快速扩张发育时期。

依据中国北方沙漠沙地的地层沉积相以及古脊椎、孢粉、粒度、化学元素、矿物、磁化率等代用指标对比分析,董光荣等^[9]认为古尔班通古特沙漠演化和气候变化与中国东部沙区相似,晚更新世早期(150—70 ka BP)沙漠的逆过程和气候的暖湿程度稍低,后期(70—10 ka BP)沙地活化、流沙扩展和气候干冷,全新世时期(10 ka BP以来)为流沙固定、沙漠缩小的逆过程时期和气候温凉湿润时期。这与东部沙区几经沙漠正、逆过程和气候干冷、温湿相交替的波动式发展过程一致。陈惠中等^[34]报道了沙漠西南莫索湾沙垄由古风成沙-砂质古土壤-弱砂质古土壤-枯枝落叶层互层的地层剖面,其底部风砂层的热释光年代为 10.76 ± 0.33 ka BP,剖面粒度、化学元素及 CaCO_3 含量等古气候代用指标的同步变化反映了随着气候变化沙丘活动程度也出现相应变化,表明全新世以来区域气候演化呈现温湿(凉湿)、冷干波动和沙漠的正、逆过程变化,进一步肯定研究区与全球气候变化及中国东部季风区沙漠演化模式具有良好的一致性。

杨小平等^[35]发现,在30 ka BP前后中国西北沙漠地区雨量较高、气候较湿润,这些普遍存在的湿润气候事件应是西风环流加强的标志。Lu等^[2]综合中国北方沙区100个地层剖面并集成400个光释光年代数据,结合剖面样品粒度、磁化率和有机质

含量变化的综合分析,认为古尔班通古特沙漠和中国北方其他沙漠沙地的演化特点一致,在末次盛冰期(LGM, 26—16 ka)沙漠面积扩大了10%—20%,而全新世适宜期(HO, 9—5 ka)沙漠面积减少了5%—20%。但与中国北方其他沙漠沙地比较,在以上特征时期古尔班通古特沙漠演化的地层记录和绝对测年资料很少^[36],这与中国第二大沙漠的地位很不相称,在一定程度上影响到我们对区域沙漠演化的时空格局及其驱动机制的认识。

根据古尔班通古特沙漠沙垄和复合型沙垄的形态特征、分布格局和绝对年龄,焦新等^[37]提出区域沙垄的发育可以划分为3个期次,时代分别为中更新世晚期、晚更新世和全新世。在古尔班通古特沙漠中北部广泛分布覆盖细砾粗砂的蚀余沙丘,王贵勇等^[25]认为是第四纪地质(冰期)时期强劲风力条件下形成的,进入全新世相对暖期后,本区的风力强度减弱,沙漠的“准稳定态”是蚀余沙丘与现代较弱风力动态平衡的结果。

关于现代固定、半固定沙丘的成因,多数研究认为是在区域降水季节变化小、冬季地表被积雪覆盖、春季有悬湿砂层存在、丘间地和背风坡的植被盖度高、沙丘表层微弱发育土壤、沙物质粒度较粗等因素的综合影响下,古尔班通古特沙漠广泛发育以固定和半固定沙丘为主的沙丘类型^[4-7,13-14,19,38]。

研究表明,古尔班通古特沙漠沙垄沙面的活动性,以春季变化最大,冬季因积雪保护地表、风力很弱,沙垄稳定不变,沙面总体活动值与输沙势在季节变化上具有相对一致的变化趋势。在沙物质的机械组成、沙层水分条件、土壤植被状况和生物结皮等下垫面因素的综合影响下,沙面活动还具有明显的垂直变化特点,具体表现为纵向沙垄基部和中下部固定,风沙活动区域仅存在于沙垄顶部流动带和两坡上部,沙垄顶部10—40 m宽的范围是输沙率和活动性最强的区域^[10-12,14,39]。对沙垄表面风速变化的实地观测表明,平均风速沿迎风坡逐渐增大,至垄顶达到最大,在背风坡中上部剧烈降低,随后又缓慢恢复,且随着入射角的增大,平均风速在沙垄表面的变化幅度也在增大^[40]。

6 研究展望

综上所述,20世纪50年代以来,古尔班通古特沙漠风沙地貌研究取得了长足进展,但相较中国北

方其他沙漠沙地,研究程度总体上比较薄弱。以往研究中的薄弱环节和未来研究的主要内容应包括以下几个方面:

由于古尔班通古特沙漠自然地理环境的特殊性,植被和积雪覆盖的季节变化大,加上第四纪气候变化形成的风蚀残余沙丘与现代风沙环境动态平衡等因素的影响,区域沙垄沙丘形态呈现复杂多样的特点,沙丘类型划分尚不统一,不利于在理论输沙势模式下探讨不同类型沙丘的发育机制。在输沙势与风成沙丘分类的理论框架指导下,对比世界其他固定半固定沙漠沙丘开展本区沙丘类型划分研究,这是探索区域沙漠演化模式、沙丘发育过程的基础。

在古尔班通古特沙漠南部常见的蜂窝状沙丘、梁窝状沙垄(格状沙丘链)以及沙垄-蜂窝状沙丘等复合型沙丘,它们的主梁和副梁坡度坡长大多具有不对称特点,在风营力作用以及植被和积雪覆盖季节变化影响下的形态动力学特征尚属空白。依托沙漠南部的莫索湾站和阜康站等野外站,参考前人在沙漠腹地对纵向沙垄风沙活动的观测研究成果,适时监测复合型沙丘表面风沙活动的季节变化特征、探测研究沙丘内部沉积构造,这是阐明复合型沙丘形态动力学特征及其成因的重要内容。

纵向沙垄(线形沙丘)在世界各沙漠中广泛分布,为风沙地貌学研究的重点沙丘类型之一。在古尔班通古特沙漠南部广泛分布有植被覆盖的纵向沙垄,自西向东沙垄两侧坡度和坡长由很不对称演变为比较对称,初步探测发现这些沙垄的沉积构造在东西方向上也有明显变化,西部沙垄沉积构造的组合形态不同于东部沙垄的垂向加积模式,其成因和年代学特征尚待探讨。选取沙漠南部东西部不同形态特征的沙垄,采用探地雷达探测沉积构造、钻孔采集光释光测年样品,结合风沙活动代用指标进行综合分析,应当是探索沙垄沉积构造空间变化特征、阐明沙漠南部不同形态沙垄发育模式的重要方面。

虽然已有研究给出了第四纪以来古尔班通古特沙漠演化过程的基本轮廓,例如中更新世以来沙漠持续发展扩大、在末次冰期干冷期沙漠范围扩张、全新世暖湿期沙漠范围收缩,但因该沙漠周边的物源条件、地貌特征和动力条件差异较大,沙漠扩张和收缩变化的时间序列和空间格局十分模糊。通过广泛收集沙漠边缘和内部不同时间尺度的风

沙地层剖面、加强地层序列的绝对年代测年研究,是弥补这一薄弱环节的重要途径。

古尔班通古特沙漠南部的天山北坡经济带,是欧亚大陆丝绸之路经济带的重要组成部分,对全疆经济发展起着重要的带动、辐射和示范作用。在未来全球气候变化背景下,古尔班通古特沙漠的稳定性成为保障区域生态环境安全、促进区域可持续发展的重要因素。因此,区域风沙地貌研究应继续面向国家发展战略需求,在进一步加强沙漠演变模式等基础理论研究的同时,未来应持续开展沙漠化发展趋势的监测评估研究。

参考文献:

- [1] 钟德才. 中国沙漠动态演化[M]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1998: 118-192.
- [2] Lu H Y, Yi S W, Xu Z W, et al. Chinese deserts and sand fields in Last Glacial Maximum and Holocene Optimum [M]//Chinese Science Bulletin, 2013, 58(23): 2775-2783.
- [3] 胡适之, 芦云亭, 吴正, 等. 新疆准噶尔盆地沙漠考察[M]//治沙研究(第3号). 北京: 科学出版社, 1962: 43-64.
- [4] 郑度. 准噶尔沙漠植被与环境的关系[C]//中国科学院治沙队第一次学术报告文集(自然地理). 北京: 科学出版社, 1962: 327-341.
- [5] 吴正. 准噶尔盆地沙漠地貌发育的基本特征[C]//中国地理学会. 1960年全国地理学术会议论文选集(地貌). 北京: 科学出版社, 1962: 196-220.
- [6] 陈治平. 准噶尔盆地古尔班通古特沙漠的基本特征[M]//地理集刊(第5号). 北京: 科学出版社, 1963.
- [7] 中国科学院新疆综合考察队, 等. 新疆地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [8] 王涛. 中国沙漠与沙漠化[M]. 石家庄: 河北科技出版社, 2003: 641-648.
- [9] 董光荣, 陈惠中, 王贵勇, 等. 150 ka以来中国北方沙漠、沙地演化和气候变化[J]. 中国科学B辑, 1995, 25(12): 1303-1312.
- [10] 王雪芹, 雷加强. 古尔班通古特沙漠半固定沙垄沙面的蚀积特征[J]. 干旱区研究, 1998, 15(1): 35-39.
- [11] 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): 143-150.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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: 地球科学, 2004, 34(8): 763-768.
- [15] 钱亦兵, 吴兆宁, 等. 古尔班通古特沙漠环境研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [16] 程维明, 包安明, 柴慧霞, 等. 新疆地貌格局及其效应[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [17] 李红军, 何清, 杨青. 近40 a新疆输沙势的分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 46-50.
- [18] 郭洪旭, 王雪芹, 蒋进, 等. 古尔班通古特沙漠腹地输沙风能及地貌学意义[J]. 干旱区研究, 2011, 28(4): 580-585.
- [19] 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 81-83.
- [20] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [21] 吴正. 中国沙漠及其治理[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [22] Li S H, Fan A. OSL chronology of sand deposits and climate change of last 18 ka in Gurbantunggut Desert, northwest China [J]. Journal of Quaternary Science, 2011, 26(8): 813-818.
- [23] 何登发, 张磊, 吴松涛, 等. 准噶尔盆地构造演化阶段及其特征[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 845-861.
- [24] 钱亦兵, 周兴佳, 李崇舜, 等. 准噶尔盆地沙漠沙矿物组成的多源性[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 182-187.
- [25] 王贵勇, 哈斯. 古尔班通古特沙漠蚀余沙丘的发现及其意义[J]. 第四纪研究, 2002, 22(3): 294.
- [26] 钱亦兵, 周兴佳, 吴兆宁. 准噶尔盆地沙物质粒度特征研究[J]. 干旱区研究, 2000, 17(2): 34-40.
- [27] 朱春鸣, 董治宝, 刘铮瑶, 等. 古尔班通古特沙漠树枝状沙丘沉积物粒度和微形态特征的空间分异[J]. 中国沙漠, 2021, 41(2): 9-18.
- [28] Lancaster N. Grain-size characteristics of Namib desert linear dunes[J]. Sedimentary, 1981, 28(1): 115-122.
- [29] Livingstone I, Bullard J E, Wiggs G F S, et al. Grain-size variation on dunes in the southwest Kalahari, Southern Africa [J]. Journal of Sedimentary Research, 1999, 69(3): 546-552.
- [30] 方小敏, 史正涛, 杨胜利, 等. 天山黄土和古尔班通古特沙漠发育及北疆干旱化[J]. 科学通报, 2002, 47(7): 540-545.
- [31] 史正涛, 宋友桂, 安芷生. 天山黄土记录的古尔班通古特沙漠形成演化[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 675-679.
- [32] 史正涛, 方小敏, 宋友桂, 等. 天山北坡黄土记录的中更新世以来干旱化过程[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(3): 109-114.
- [33] 黄强, 周兴佳. 晚更新世晚期以来古尔班通古特沙漠南部的气候环境演化[J]. 干旱区地理, 2000, 23(1): 55-60.
- [34] 陈惠中, 金炯, 董光荣. 全新世古尔班通古特沙漠演化和气候变化[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 333-339.
- [35] 杨小平, 刘东生. 距今30 ka前后我国西北沙漠地区古环境[J]. 第四纪研究, 2003, 23(1): 25-30.
- [36] Li H W, Yang X P. Spatial and temporal patterns of aeolian activities in the desert belt of northern China revealed by dune chronologies[J]. Quaternary International, 2016, 410: 58-68.
- [37] 焦新, 谢宏, 苏庆荣. 古尔班通古特沙漠沙垄期次研究[J]. 干旱区研究, 1995, 12(2): 51-53.
- [38] 季方, 叶玮, 魏文寿. 古尔班通古特沙漠固定与半固定沙丘成因初探[J]. 干旱区地理, 2000, 23(1): 32-36.
- [39] 郭洪旭, 王雪芹, 盖世广, 等. 古尔班通古特沙漠腹地半固定沙垄顶部风沙运动规律[J]. 干旱区地理, 2010, 33(6): 954-961.
- [40] 胡永锋, 王雪芹, 郭洪旭, 等. 古尔班通古特沙漠半固定沙垄表面风的脉动特征[J]. 中国沙漠, 2011, 31(2): 393-399.

Review and prospect of aeolian geomorphology research in Gurbantunggut Desert, China

Li Zhizhong^{ab}, Jin Jianhui^{ab}, Liu Rui^b, Xie Xihao^b, Zou Xiaojun^b, Ma Yunqiang^b, Tan Dianjia^b

(a.State Key Laboratory for Subtropical Mountain Ecology / b.School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Gurbantunggut Desert is the largest fixed and semi-fixed desert in China, and it is also one of the deserts in China most obviously affected by westerly circulation. A lot of progress on aeolian geomorphology researches have been made in Gurbantunggut Deserts since 1950s. This paper briefly summarized history in aeolian geomorphology research of the desert, and reviewed several progress in aeolian geomorphology on the desert, such as wind conditions and sand drift potential characteristics, distribution pattern of main dune types, material sources of the desert sand, granularity characteristics of dune sands, desert environment evolution, the longitudinal dune development pattern and modern dune dynamics, etc, and points out the problems existing in the research and looking forward to the future research direction.

Key words: Gurbantunggut Desert; drift potential; desert sands; longitudinal dune; evolution model of the desert; research progress