

北京大学地貌第四纪学科的创建与发展

莫多闻,周力平,刘耕年,李有利,夏正楷,张家富,李宜垠

(北京大学城市与环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室,北京 100871)

摘要: 1952年全国高校院系调整后,新建的北京大学地质地理系开始了地貌与第四纪方面的教学和研究,标志着北大地貌第四纪学科的建立。65年来,在新构造活动与构造地貌、气候地貌与沉积、流水地貌与沉积、沉积相与比较沉积学、遥感与地理信息系统、第四纪地层与年代学、第四纪气候与环境变迁、海洋地球化学过程与环境演变、环境考古与古代人地关系研究等方面取得了丰硕成果,在一些领域发挥了创新与引领作用,解决了一系列国家建设中面临的问题,为中国地貌第四纪科学的发展做出了重要贡献。在地理学多元化发展的新形势下,北大地貌第四纪学科发展与科学研究将以地球系统科学的视角,加强地貌学与自然地理学各分支以及地球科学其他领域的交叉与融合,深化不同宏观时空尺度演化与现代过程关联的研究、以及影响地貌演化的地球系统各要素及相互作用研究,系统展开气候变化、环境演变与地貌过程的模拟研究,加强地貌第四纪理论研究和新技术新方法的发展与应用,推动中国地貌第四纪科学向更高水平发展。

关键词: 北京大学;地貌学;第四纪科学;创建与发展;成果与创新

DOI: 10.11821/dlxb201711005

1 北大地貌与第四纪学科的创建与发展

1952年以前,始建于1909年的北京大学(简称北大)地质系,曾经大师云集,其中一些地质学家曾研究过中国的地形发育。1952年全国院系调整,原北京大学地质系整体合并到新建的北京地质学院。北京大学新建地质地理系,当时在清华大学地质系中从事地貌学方面教学与研究的王乃樑、刘心务、潘德扬等随同该系其他教师来到北大从事地貌学与第四纪地质学方面的教学研究工作。1953年曹家欣、江美球加入,韩慕康、欧阳青毕业留校,其后有崔之久、周慧祥、杨景春、田昭一陆续加入。1961年承继成从前苏联留学回国来校,任明达、马蔼乃、徐海鹏毕业留校。1955年成立地貌教研室,王乃樑任主任。同年在自然地理学专业中设立地貌学专门化,并开始招收研究生,同时招收以培养高校地貌学骨干教师为目标的进修生。1956年成立地貌专业,此为中国高等学校中设立的第一个地貌专业。至60年代初,北大地貌与第四纪学科已具有一支相当有实力的教学与研究队伍。

20世纪50年代,北大同全国一样,大力学习和借鉴前苏联的学科体系和研究模式,北大学者翻译了许多苏联重要的地貌学研究文章和著作。1956年苏联专家列别捷夫来北大地貌教研室讲授课程、合带研究生和学生野外实习,曾科维奇院士来华讲授海岸地貌课程,苏联传统的影响盛行。另一方面,王乃樑留学法国,其学术背景有较浓的欧美传

收稿日期: 2017-10-20; 修订日期: 2017-11-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171006) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41171006]

作者简介: 莫多闻(1955-), 男, 教授, 中国地理学会会员(S110004190H), 主要从事地貌、第四纪研究。

E-mail: dmo@urban.pku.edu.cn

统。其他学者也有很好的英文功底,在教学和研究中亦同样十分重视、学习和吸收欧美地貌学思想、理论与方法。这对中国地貌学的正确发展产生了深远影响。

北大地貌第四纪学科创建之初,在学科建设和人才培养方面即形成了许多特色。如:①重视地貌过程相关沉积特征的研究分析,为此率先开设了当时称之为“相学”的沉积学课程。20世纪60年代初建立起沉积分析实验室,通过实验分析获取丰富的沉积特征信息,使地貌过程相关沉积的研究提升到更高水平;②既重视新构造活动对地貌形成演化的控制或影响作用,也重视外力地貌过程机理的研究,由此而发展起来的北大构造地貌学、气候地貌学等研究方向成为中国地貌学中的显著优势领域;③将地貌学研究和第四纪地质学研究紧密结合,既解决了地貌形成与演化同第四纪环境变化的关系问题,也促进了北大地貌学和第四纪地质学的共同发展;④重视数理化等自然科学以及地质学、地球物理学对于地貌第四纪学科的基础作用,不断引进相关学科的理论和方法提高地貌第四纪学科的科学水平;⑤重视对学生进行野外观察分析能力的培养,建立起山西大同地貌学野外教学实习基地(90年代又增加了河北秦皇岛地区以海岸带地貌为主的实习),并编写有相关讲义^[1]。这些特点促进了北大地貌第四纪学科的快速发展,也对全国地貌学发展产生了重要影响。

20世纪70年代后期,北大地貌学者较早将遥感和计算机技术应用于地貌学研究,促进了北大乃至全国遥感与地理信息系统学科的诞生与发展。同一时期,同本校考古系联合建立教育部第四纪年代学重点实验室,80年代与物理系合作率先建立加速器碳十四年代实验室,2004年又首次引进了用于年代测定和碳循环研究的小型加速器质谱仪。80年代末期,具有雄厚水利学背景的倪晋仁加入,使北大动力地貌学发展到更高水平。也是这一时期开始,北大学者将地貌第四纪研究同考古学研究结合,促进了中国环境考古学的发展,拓展了地貌第四纪科学研究自然环境演变同人类文明发展历史关系的新领域。1999年,已在国外取得出色成绩的周力平加入,使得北大第四纪地层与年代学、第四纪环境与全球变化、海洋地球化学等领域进入快速发展时期。在已有实验室基础上,先后建立了新的释光测年、沉积物反射光谱、环境磁学、生物遗存、宇宙成因核素、分子有机地球化学和水同位素分析等实验室。

2 主要学术成就

65年来,北大学者勤奋努力,勇于开拓创新。研究领域涵盖了地貌第四纪学科的大部分领域,在许多方面取得了突出成就,在国内外产生了重要影响。某些方面引领了中国地貌第四纪科学的创新与发展。

2.1 新构造活动与构造地貌学及其应用

20世纪50年代,北大师生即已开展了大量的新构造与构造地貌学研究。1964年,国家科委指定由王乃樑教授负责在北京大学地貌教研室成立新构造研究组,研究中国新构造运动的表现、差异性及其同地貌形成发展的关系,并研究新构造运动类型、断裂与新构造活动关系、新构造运动和地震关系等理论和实际问题。

2.1.1 新构造活动同地貌发育关系 20世纪50年代研究了北京地区南口冲积扇发育同新构造活动和气候变化的关系^[2]、甘肃东部泾河河流地貌及相邻水系的演化同新构造活动的关系^[3]、以及太行山东麓、川西、长江三峡等地^[4]河流地貌同新构造活动的关系。在山西地堑系诸盆地中研究河流地貌、湖泊地貌、火山地貌及区域地貌等的形成与演化历史同新构造活动的关系^[5-8]。之后,河流、湖泊的形成演化历史同新构造活动关系成为研究重

点,研究地区包括长江^[9]、黄河及一些主要支流^[4, 10]、以及其他一些新构造活跃且对地貌发育影响显著的流域或地区,如海河流域^[7, 11]、内蒙^[12]、河西走廊^[13]、天山北麓^[14]、河北平原^[15]和云南等地^[16]。海岸地貌发育同新构造活动的关系也进行了较多研究^[17]。

断层活动是引起地块差异抬升、地貌发育和变形的主要活动构造因素。20世纪50年代以来,对北京军都山山麓^[2]、六盘山东麓^[3]、大同盆地六棱山北麓^[6]、秦岭北麓^[18]、太行山东麓^[19]、吕梁山东麓^[10]、祁连山北麓^[13]、天山北麓^[20]、中条山北麓^[21]等一些山麓带断层的性质、新生代活动历史及其对山地抬升、盆地或平原下陷、山前构造地貌变形等构造地貌发育的机制和演变历史进行了大量研究。对青藏高原夷平面发育与高原隆升历史进行了较多研究^[22],发现了对青藏高原地貌演化及东亚环境至关重要的“昆仑—黄河运动”构造活动事件^[23]。

2.1.2 区域构造地貌学 区域构造地貌是构造地貌学研究的核心领域。20世纪50年代以来,北大学者研究了北京南口山前平原地貌与第四纪沉积物特征同新构造运动的关系^[2]。研究了中国北部和东北部构造地貌发育同第四纪构造应力状态的关系,提出构造活动特征和地貌发育关系的三种典型模式^[24]。在多年研究基础上,深入研究了山西地堑系区域构造体系和新构造活动特征、各区域新生代沉积与气候变化历史、各区域地貌特征与形成演化历史基础上,揭示了山西地堑系新构造活动的方式、速率、历史变化、应力场和动力机制及其对各种地貌类型形成和演变的影响或控制作用^[10]。区域构造地貌最具代表性的成果是运用李四光地质力学理论和板块构造理论等大地构造学说,根据构造体系和大型山脉走向,将中国全境的构造地貌划分为5个大区、27个构造地貌区,结合大量地质和地球物理研究资料,对各区域构造地貌特征及形成演化历史进行了系统研究与阐释^[4, 25-26]。

2.1.3 新构造活动与建设工程安全和地震危险性 构造地貌研究是揭示区域活动断层分布与断层活动性特征的重要方法,因而既是研究和评估建设工程地基稳定性的重要途径,也是预测地震发生危险性的重要方法。20世纪50-60年代初,北大师生参加了长江三峡、三门峡库区、黄壁庄水库等地的新构造与地貌第四纪地质研究,为这些水库的设计和建设提供了科学依据。1966年邢台地震以后,开展了为地震长期预报服务的活动构造研究。如参加邢台地震、通海地震^[27]、昭通地震、海城地震、龙陵地震、平武地震^[28]、唐山地震等大地震的现场调查与活动构造研究,参加北京地区^[11, 29]和山西临汾地区地震会战的研究。并调查研究了河南北部^[30]、云南西部^[31]、辽西地区^[17]、大连半岛^[32]等地区的新构造活动与区域安全、地震地质特征与地震危险性。2008年汶川地震后,赴现场进行了震后地震地貌考察。之后,承担了多项中国地震活动断层探查项目,负责山西中条山北麓断裂、云南石屏—建水断裂、甘肃祁连山北麓民乐—大马营断裂等1:5万活断层填图研究任务,根据地貌变形精确测量与地貌和地层的绝对年龄测定,开展断层活动事件(古地震)、幅度、速率、复发周期、活动习性等定量活动构造地貌学研究^[33-34]。

2.1.4 新构造与构造地貌学理论与方法发展 新构造与构造地貌学研究的早期,主要依赖于对地貌现象和构造活动形迹的野外考察。20世纪50年代以来,在新生代沉积的深入研究基础上,获取新构造活动和地貌演化历史更充分的过程和历史证据。70年代以来运用李四光地质力学理论、板块构造等大地构造学说来解释构造活动的动力机制以及宏观构造格局的形成与演化历史^[4, 25-26]。利用地球物理探测方法和有关成果,将新构造与构造地貌研究同地球深部过程的研究结合。应用高精度测量技术,获取活动断层或活动地块运动方向、速率和时空变化定量数据。利用震源机制解、地应力测量等揭示现代构造活动同地壳应力场的关系^[24, 35]。利用遥感资料了解区域构造格局、断层分布和新构造活动的空间差异^[27]。利用DEM数据的计算机分析快速获取区域地形特征及其对构造活动特征的

响应^[36]。应用计算机辅助的构造地貌制图、构造地貌演化数字模型等研究^[37]。跨活动断层剖面开挖和深入研究,获取全新世或历史时期构造活动事件和古地震事件发生的历史和规模^[33]。20世纪50年代即介绍了构造地貌学有关理论^[4],近年来又综合半个多世纪的研究实践和国内外新进展,出版专著系统论述构造地貌学理论、方法和国内外典型案例^[38]。

2.2 气候地貌与沉积

20世纪50年代以来,在青藏高原和亚洲的主要高山地区,南极、北极和国外一些寒冷气候地区开展了大量科学研究。在取得学术成果的同时,为国家相关地区水资源开发、山地灾害防治等提供科学依据。70年代参加了青藏高原冻土分布调查、南水北调西线选线、青藏铁路选线等国家重大项目研究。

2.2.1 冰川地貌与沉积 20世纪50年代后期开始对青藏高原冰川地貌进行研究,通过详细描述贡嘎山的冰面裂隙、融水沟槽、冰面湖、冰洞、冰川纵横剖面等现代冰川地貌和冰川作用形成的角峰、侧碛垄、中碛垄和终碛垄等地貌,发表了中国第一篇关于现代冰川和冰川地貌的研究成果^[39]。发现青藏高原西北缘慕士塔格—公格尔峰的现代冰川西坡比东坡发育,而第四纪冰期时东坡比西坡发育,由此首次提出第四纪以来中国西北气候越来越干的见解^[40]。一直重视对冰川地貌过程与相关沉积的研究,如1957年对贡嘎山现代冰川的冰碛物及冰水沉积的科学考察^[39],1964年对古冰川覆盖类型与冰碛物、冰水沉积物关系研究^[41]。对青藏高原冰川侵蚀地貌发育的基本特征进行深入研究,阐明冰川的地质地貌作用同冰川水热条件及冰川物理性质之间的关系^[42]。80年代以后,研究区域遍布整个青藏高原及东亚高山,1987-1990年参加中国第四、五、六次南极考察,在中国南极长城站所在的南设得兰群岛乔治王岛菲尔德斯半岛展开冰川地貌研究,取得冰川地貌特征、过程、沉积、冰期年代学,以及中国中低纬高山高原冰川演化的气候-构造驱动机制等系列成果,在国内外有着广泛的影响^[43-46]。崔之久教授作为主要贡献者之一的“中国第四纪冰川与环境变化研究”获2008年度国家自然科学二等奖。

2.2.2 冰缘地貌 冰缘地貌研究始自1957年^[39],在青藏高原、天山、长白山、大小兴安岭、五台山、太白山等地开展冰缘地貌研究至今。20世纪80年代以来紧随国际冰缘地貌研究动态,分别在天山、长白山、大兴安岭、南极长城站设置了多处冰缘地貌过程定位观测点,取得对石冰川、泥流舌、寒冻风化、热融喀斯特的运动速度、内部结构、发育条件等系列成果^[47-50]。在冰缘地貌理论探讨方面,根据冰缘地貌的类型分布和发育条件,将青藏高原划分为海洋型、亚大陆型及大陆型三种冰缘地貌类型区,提出不同类型区各自具有的冰缘地貌垂直带谱和同一冰缘现象的发育高度随纬度变化的“纬度坡降值”,并指出冰缘地貌也明显地受纬度地带性控制^[51]。对华北、东北晚更新世以来冰缘环境重建^[52],对青藏高原末次盛冰期和全新世大暖期多年冻土分布重建^[53],以及在天山等地开展的冰冻圈过程及灾害研究服务于山区减灾防灾和工程建设等工作等均系重要的学术贡献^[54]。

2.2.3 古岩溶、风化壳与夷平面 古岩溶研究始于上世纪中叶参加青藏高原考察期间^[55-56]。20世纪90年代,在国家“八五”、“九五”攀登计划及973青藏高原项目支持下,北大师生对青藏高原及其东邻地区古岩溶进行了持久的调查和研究,对覆盖型岩溶、红色风化壳与夷平面之间的关系进行了深入细致的多尺度对比分析。基于岩溶地貌夷平的独特性提出“岩溶双层夷平面”理论,揭示了岩溶区夷平面与风化壳的关系。依据古岩溶洞穴中次生方解石晶体裂变径迹测年揭示青藏高原10-20 Ma存在的夷平期^[57]。从地貌演化角度提出覆盖型岩溶及其红色风化壳发育的两阶段模式,合理解释了区域岩溶红色风化壳特征和覆盖型岩溶的演化过程。提出了岩溶夷平面解体与高原隆升之间的耦合模式,为进一步论证青藏高原隆升幅度和速率提供了理论依据^[58-60]。

2.2.4 昆仑—黄河运动及其对东亚气候变化的影响 对昆仑山垭口盆地及周边的地貌、构造、沉积相、地层及其生物组合特征进行了细致的分析,发现该区在距今 1.1 Ma 开始至 0.7 Ma 前后发生了一次先是大面积抬升,后是突发性断块隆起与沉陷的构造运动,这次构造运动具有阶段性,可分为序幕、主幕和续幕,后期具有发生突然,抬升幅度大的特点,青藏高原由此上升到临界高度 3000 m 以上,导致高原第四纪以来最大冰期的发生,这次构造运动被命名为“昆仑—黄河运动”^[22-23, 61]。“昆仑—黄河运动”把青藏高原推上了一个临界高度,基本形成了中国自然地理的现代格局:青藏高原进入冰冻圈,并进而影响大气环流型式,形成了东亚季风的现代格局;冬季风加强和夏季风减弱使得中国北方干旱化加剧,沙漠面积扩大,湖泊消退;亚热带植物从秦岭以北南撤到南方;黄土堆积范围得到扩展,黄土堆积速度加快,现代黄土空间分布格局基本形成。“昆仑—黄河运动”对亚洲乃至全球的环境也产生了强烈的影响。

2.3 泥石流、崩塌滑坡与混杂堆积相

20 世纪 70 年代以来,围绕同地貌过程关系密切的泥石流、崩塌滑坡等自然灾害的过程机理和防灾对策等开展了较为广泛的研究。

2.3.1 泥石流地貌、沉积、动力机制与灾害风险评价 在云南、贵州、川西、陇南、陕西等山地,黄土高原和华北的太行山、燕山等山地、辽宁、华东、华南等山地开展了广泛的泥石流过程、地貌与沉积的研究^[62-68]。以现代泥石流研究为主,兼及更新世和全新世发育的古代泥石流。研究了各地泥石流沟地貌、气候、岩性等特征同泥石流过程及类型的关系,泥石流类型同泥石流沉积特征及沉积地貌的关系,揭示了中国各地环境特征的差异与泥石流类型分布的关系。在深入研究固液两相流基本理论^[69]基础上,提出应用固液两相流理论来研究泥石流的动力学过程。在对泥石流运动特性进行深入分析基础上,提出了泥石流动力学基本方程^[70]和泥石流结构两相流模型,并进行了理论与应用研究^[71-72]。泥石流风险评价是制定科学合理减灾防灾对策和措施的前提。泥石流发生的危险性评估包括泥石流发生的概率和规模,可以通过相关区域的地貌、气候、构造、岩性条件、泥石流发生历史等指标进行评价。单沟或区域泥石流易损度取决于该地区生命财产价值的大小和密度,以及其他如生态、社会等因素,也取决于该地区现有抗灾能力建设等情况。在深入分析研究基础上,分别提出了单沟和区域的泥石流危险度、易损度、风险度等的预测评价方法和模型,并进行了大量的实际应用研究^[73-75]。

2.3.2 崩塌、滑坡与沉积特征 20 世纪 50 年代,对有关坡地地貌过程和沉积进行过系统介绍和讨论^[4];70 年代开展了太焦铁路沿线新生代地层和滑坡危险性研究^[76];80 年代研究证明川西九寨沟部分海子形成于古崩塌体堵塞河流而成,而崩塌的发生同地质构造背景和古地震事件有关^[77]。对金沙江上游雪隆囊古滑坡堰塞湖和溃坝堆积体的地貌和沉积特征的研究,揭示出古地震事件导致了大规模滑坡和堰塞湖、堰塞湖溃坝后形成巨大的溃坝堆积体,并提出溃坝堆积相的鉴别标志^[78]。研究了长白山二道白河源区的倒石堆发育特征^[48]和天山乌鲁木齐河源区冰缘环境下雪崩型和崩落型倒石堆的沉积特征^[79]。研究了陕西、甘肃等地古崩塌性滑坡体沉积特征和形成过程,对滑坡体沉积进行了平面相带划分或垂直层序划分,揭示出地震或暴雨引发形成的滑坡体地貌和沉积特征的差异^[80]。

2.3.3 混杂堆积相 随着古冰川、冰缘沉积,崩塌、滑坡沉积及各种类型坡积物,泥石流沉积,堰塞湖溃坝沉积等研究的深入,发现这些不同成因类型的沉积物都具有物质粗疏、大小混杂、层理不明显等共同特征,如何区别这些沉积物的成因类型至今仍是较为困难的问题。为此,北大学者通过对这类地貌过程与沉积的比较研究(包括不同过程、不同环境条件、现代与古代过程的对比),加强了对崩塌、泥石流、滑坡、坡积物、溃坝

堆积等沉积物结构、构造、形成条件以及混杂堆积物的识别研究^[65, 81-82],建立了泥石流、冰川沉积相模式与沉积体系^[68, 83]。2013年出版的《混杂堆积与环境》一书,对混杂堆积的基本特征、动力过程、环境条件进行了系统阐述,对坡地、冰川、蚀余、泥石流、滑坡、溃坝、崩塌等外力混杂堆积,构造混杂岩、震积岩、火山碎屑岩、等内力混杂堆积(岩),以及星际撞击岩、人工混杂堆积进行了深入探究,最后给出混杂堆积的成因判别原则和方法、判别标志。这本巨著凝聚了崔之久教授及其研究团队数十年研究心血,是国内外第一本对混杂堆积与环境的系统总结^[83]。

2.4 河流、湖泊、海岸地貌与沉积

2.4.1 河流地貌与沉积 第四纪河流地貌演化和现代河流过程研究是北大重点研究领域之一。20世纪50年代参加三峡及长江流域河谷地貌研究,发现三峡地区高出河面近千米之上的夷平面上有很好的河流相砾石分布^[76],根据长江沿岸最老阶地沉积的时代推测在第三纪晚期长江就可能是上下游贯通的大河^[25]。50-60年代,研究了山西地堑系诸盆地、黄河中游干流及部分支流的河谷地貌演化同新构造活动、第四纪气候变化的关系^[5-8]。提出黄河中游干流段及其一些主要支流的流路在早到上新世以前就已确立的观点^[84]。80年代以来,在华北、西北等广大地区开展了大量研究^[10-11, 14-16, 18],关于河流阶地与河流地貌演化同新构造运动和气候变化的关系研究较多^[14-16, 38, 85-86],对黄河中下游晚更新世以来河流阶地沉积物的精细定年,厘定了黄河阶地形成年代、河流下切速率以及鄂尔多斯高原的抬升速率^[87-88]。50年代提出河流阶地特征同河流发育阶段和新构造运动关系的多种模式^[4],近年来根据大量研究实践,总结出河流阶地发育同新构造活动关系的系统模式^[38]。80年代系统研究和介绍了流域数学模型和定量统计方法^[89]。20世纪末以来,针对黄河中游粗泥沙来源^[90]、河流流量同气候的关系^[91]、河流地貌同地下水的关系^[92]、河流元素迁移过程^[93]、历史洪水事件对人类社会的影响等问题也开展了较多研究^[94]。

河流现代过程研究方面,20世纪60年代实地考察研究了三门峡建坝后黄河下游河道的演变趋势^[76];90年代以来开展了较多现代河流地貌和水沙过程及动力学机制的研究。如分析各种悬移质输沙率计算模式基础上,给出一种简单实用的计算方法^[95]。分析各种河型理论后发现:河流总是表现为一定的周期性(无论宏观或微观)、以及在一定时期内向着某一稳定状态发展的趋向性^[96]。发现弯曲河型与稳定江心洲河型在水沙过程和河道演变方面具有很大的相似性,但形成和维持江心洲河型的泥沙含量变化范围比弯曲河型小得多^[97]。在系统研究的基础上,出版了《河流动力地貌学》^[98]、《动力地貌学概论》^[99]等著作。1998年以来,主持了现代河流地貌、水沙过程及环境影响方面的国家自然科学基金委重大项目和国家973项目课题,在学界产生了广泛影响。

冲积扇地貌是流水地貌的一个重要方面。20世纪80年代以来,在华北和西北的广大地区对冲积扇地貌特征、演化历史及其同盆地基底构造、新构造活动、流域特征、气候变化等的关系进行了较多研究^[100-102]。并研究了冲积扇地貌和沉积特征同水文地质、土地利用等的关系^[100, 103],亦研究了古代冲积扇沉积同油气富集的关系^[104]。

2.4.2 湖泊地貌与沉积 20世纪50-60年代,对山西地堑系和环鄂尔多斯诸多断陷盆地新生代湖泊演化的研究结果表明^[5-6, 8, 10],华北断陷盆地的湖泊发育可早至上新世之前,晚的可以延续到现代。构造活动是新生代断陷盆地湖泊形成与演化的主要控制因素,气候变化影响了湖泊范围与水位高低。内蒙达赉湖^[12]的研究结果表明,湖泊形成和长时间尺度变迁同地质构造特征关系较大,60年代的湖面上升则主要由于气候变化,降水增加和冻层融化导致地下水补给增加所致。80年代以来继续深化对华北地区新生代断陷湖泊演化历史研究^[10, 105-106],对湖泊变迁和兴衰演化、以及水位、水化学特征变化等同构造和气候

的关系进行了深入分析和揭示。发现和分析了泥河湾盆地末次间冰期形成的湖相叠层石及其所代表的水文环境及气候意义^[107]。并且将研究范围扩展到全国其他地区,如研究了云南杞麓湖、龙街盆地、点苍山冰川湖泊、新疆玛纳斯湖等的演变同气候变迁和新构造活动的关系^[30, 108-110]。洞庭湖晚更新世以来的水文特征变化同构造活动、海面变化、入湖水沙过程及人类活动的关系^[111]。20世纪晚期以来,开展了较多关于湖泊沉积记录的环境演变研究,如关于山西榆社盆地湖相纹泥的环境记录研究^[112]、泥河湾盆地末次间冰期气候变化的氧碳同位素记录^[113]、岱海湖泊沉积物中石膏记录所反映的湖泊水文状况波动^[114]等。现代湖泊演变趋势同防洪形势的关系亦有所讨论^[115]。

2.4.3 海岸地貌与沉积 20世纪50年代研究渤海西部海岸泥沙运移规律,证明黄河、滦河泥沙对天津新港淤积没有直接影响。80-90年代研究了从辽宁到海南多处海岸带阶地及海岸地貌发育同新构造活动的关系^[17, 32]、山东半岛海岸地貌特征与内外营力过程^[116]。70年代后期较早开展海岸带遥感应用研究^[117],并编撰出版了中国海岸带遥感方面较早的一本专著^[118],系统介绍了海岸带遥感方面的理论、技术和应用实例。研究和分析了渤海湾西岸的海进现象,海岸带侵蚀发生的自然和人为原因,提出系列海岸带环境保护措施^[119-120]。90年代以来对海面上升趋势背景下中国海岸带平原地区面临的风险与影响范围、对策等问题进行了研究^[121],对珠江三角洲地区海岸带演变、围垦趋势亦进行了分析研究^[122]。

2.5 地貌制图

北大是国内最早开展地貌制图教学和研究的单位之一,20世纪50年代就开始参考A. N.斯皮里顿诺夫编制的《地貌制图学》为学生讲授地貌制图的意义、原则和方法,以及图面表现等内容,并编写了有关讲义。其中《地貌制图的理论和方法问题》一文^①,最早系统介绍了国际上有关理论与方法。80年代,王乃樑出任“中国1:1000000地貌图编辑委员会”副主任,北大学者参与了全国百万分之一地貌图的研究与编制工作,包括制图规范和地貌分类系统的制定。如期完成了太原幅的编制任务。该图吸收了当时国内外地貌制图的经验,突出了形态成因的地貌分类原则,加强构造地貌在地貌制图中的表现,汇集区域地貌的研究成果,用专业地图的形式,系统表达了区域地貌的形态、物质组成、成因、发展变化及其空间分布规律。70年代以来还进行了较多遥感解译制图、计算机辅助制图和计算机自动成图等方面的研究和实验^[4, 123]。

2.6 沉积学研究与应用

沉积学与沉积相研究,既是沉积岩石学与沉积矿床研究的主要基础,也是地貌过程与新生代地貌历史演化、新构造活动历史、第四纪地质学和第四纪环境研究的重要基础。20世纪50年代即阐释了沉积研究应用于地貌学研究的理论与方法^[4, 124]。率先开设“相学”等课程,为北大和其他高校培养人才,创设“沉积地貌学”和“比较沉积学”等新的研究方向,对促进北大乃至全国地貌学的发展产生了十分重要的作用。80年代编撰出版《现代沉积环境概论》^[125],系统阐释沉积特征与沉积相研究的基础知识、陆地和海洋各种外动力过程及其所形成的沉积地貌和沉积相特征、沉积相与沉积环境研究方法(包括野外研究、实验室分析、数据分析整理及各种相关数理统计方法)。

20世纪50年代以来,将沉积学方法应用于地貌与第四纪地质学研究取得学术成果的同时,也应用于解决各种实际问题。如50年代开展淤泥质平原海岸的海港选址与防淤、内陆和海滨砂矿床调查等研究;70年代参加河北黑龙港地区和内蒙腰坝绿洲地下水开发研究。1979年北大教师赴新疆克拉玛依油田举办沉积相讲习班。此后陆续承担了新疆克拉玛依、吐哈、甘肃玉门、青海等油田的勘探开发沉积相研究任务,将现代沉积相理论

① 潘德扬. 地貌制图的理论和方法问题. 北京大学地质地理系, 1961. (内部刊印)

与油田储层沉积相进行比较研究,对油气储层作出准确预测和评价。既为中国油气生产做出贡献,也形成了一系列理论方法与技术成果^[126-128]。

2.7 遥感与地理信息系统研究与应用

20世纪70年代国际上遥感技术应用和地理信息系统技术先后快速发展起来,北大地貌学科的教师在全国较早开展了相关研究和人才培养。由于遥感与地理信息系统技术可以广泛应用于许多学科及国民经济部门,地貌教研室的潘德扬、承继成、马蔼乃等转向专门从事遥感与地理信息系统技术开发与应用研究,很快成立新的教研室,后来同校内其他教师一起成立北京大学遥感与地理信息系统研究所,为中国遥感与地理信息系统学科的创建与发展做出了重大贡献。同时,北大学者率先将遥感与地理信息系统技术应用于地貌学研究,取得了系列重要成果。如遥感技术应用于海岸带沉积过程和海岸地貌研究^[117-118],遥感影像解译辅助地貌制图^[123],遥感方法应用于新构造活动与构造地貌研究等^[27]。综合运用遥感信息、DEM数据和地理信息系统技术,构建地貌信息系统,进行地貌特征分析、地貌制图、地貌模型分析与地貌过程模拟等研究^[4, 36-37]。

2.8 第四纪地层、沉积环境与年代学

第四纪地层、沉积环境与年代学研究是第四纪科学与地貌演化历史研究的主要基础。20世纪50-60年代,第四纪地层与沉积特征的研究往往同新构造和地貌演化历史研究并重,研究了华北断陷盆地、山陕黄河峡谷段的新生代地层、新构造活动与地貌演化^[2, 5-8, 18, 76]。70年代的《第四纪地质学》讲义和1983年出版的《第四纪地质学》^[129],全面介绍了第四纪地质学理论、研究方法和国内外动态。70年代以后,第四纪地层与沉积研究侧重于揭示沉积环境和气候变化历史。如通过河北平原南宫地区全新统的研究,揭示了河湖相沉积特征、分布及其同水文地质的关系^[76]。对山西太谷榆社武乡一带新生代地层的系统研究,建立区域地层序列,阐明各时代地层的沉积环境及气候变化历史^[130-131]。系统研究了晋东南地区的黄土地层、成因、沉积时代及其气候意义^[132-133]。研究了云南龙街盆地上新世以来新生代地层的沉积环境与气候变化历史^[109],以及山东庙岛群岛红色风化壳、棕红土成因及其古气候意义^[134]。

释光技术是地貌第四纪应用广泛的测年方法,北大近20年来在释光测年技术改进和新方法探索方面,获得了与国际上同步快速的发展。如在原有多片再生剂量法基础上,提出了灵敏度校正多片再生剂量法,消除了一些测量中间步骤对测年结果的影响,该方法已在释光测年领域得到广泛应用^[135]。应用分步辐照法,通过对辐照周期和加热强度等参数的优化,克服了黄土高原西北部细粒石英年代低估的现象^[136]。提出了河流堆积物释光信号晒退颗粒选择的测量方法和技术^[137]。在长石红外激发后红外释光测年方面,发现该方法使用的较强热处理步骤可诱发次生释光信号,深入研究该信号对等效剂量、剂量响应、剂量恢复的影响后,提出了减小或消除该效应的改进方法^[138],得到国际同行的重视。发现单颗粒钾长石的释光性质及其再生剂量法不仅可以测量较老的样品及对样品的晒退情况进行判定,且其红外后红外释光信号不需要进行异常衰退校正^[139]。通过对不同地点不同层位末次冰期黄土细粒和中粒石英进行单片和多片再生剂量法测年实验,揭示了石英释光特性的空间差异,明确了石英蓝光释光信号的可靠测年上限,细粒石英单片再生法年代相比中粒石英有系统低估趋势^[140-141]。

系统开展了释光技术作为物源示踪方法的研究,并应用到沙漠、深海和海滩的研究中。通过测量中国主要沙漠粗粒石英热释光和光释光信号灵敏度,发现可以根据东西部沙漠石英释光灵敏度和石英矿物晶体缺陷的差别,揭示沙漠物质的形成和搬运沉积历史^[141-143]。通过对南海周围河流和南海表层沉积物多种粒级石英的系统研究,发现各河流

表层沉积物的细粒石英灵敏度差异显著,同一河流/区域内样品的灵敏度接近,据此可以判断南海不同区域表层沉积物的来源,这是石英释光灵敏度方法在海洋沉积源—汇研究中的首次应用^②。对采自中国及世界各大洲多处现代海滩的粗粒石英释光性质进行的系统测量,为认识石英释光灵敏度差异的物理机制打下了基础。

1991年北京举行的第十三届国际第四纪大会之前,在北大举办了国际第四纪大会历史上首次“国际第四纪科学研究讲习班”。2008年在北大举行了“第12届国际释光和电子自旋共振大会”,这是该系列会议第一次在亚洲国家举行。

2.9 黄土地层、沉积过程与黄土地貌

中国是世界上黄土沉积厚度最大、分布最广,黄土地貌最典型的国家,以刘东生为代表的中国第四纪学者将中国黄土研究推向了国际第四纪科学的最前沿。北大学者在黄土研究领域亦做出了重要贡献。20世纪50年代对黄土的风成成因和物质来源给出了初步的科学证明^[84],1958年出版中国黄土研究的第一本专著^[144],全面综述了此前国内外主要黄土研究文献,编绘了中国及世界各大洲的黄土分布简图,研究和介绍了中国黄土的分布、厚度和产状,黄土的颗粒、矿物、化学、钙结核和古土壤等物质组成特征,以及空隙、节理、沉陷性等各种特性,分析研究了黄土地貌形成营力和塬梁峁及各种沟壑地貌特征和成因,并讨论了黄土物质的成因等问题。

20世纪70年代以后系统研究了晋东南地区的黄土地层、沉积特征及古气候意义^[132-133],研究了山东庙岛群岛的黄土分布和地层时代,辨识出该地黄土包含远源和近源两种粉尘^[145-146],泥河湾湖盆水下黄土堆积及其古气候意义^[147],山西离石丰义剖面2.50 Ma B.P.前后红粘土转变为黄土沉积所代表的气候事件^[148],对新西兰黄土和中国黄土进行了对比研究^[149]。在比较中欧、中亚和中国黄土地层的布容/松山界线研究基础上,提出将古地磁研究与黄土中宇宙成因核素测量相结合来正确认识黄土古地磁极性界线地层学意义的新思路^[150],发现中国黄土中松山/高斯地磁极性事件存在数米的信号锁定位移^[151],为建立更加精确的欧亚黄土地层年代框架奠定了基础。80年代后期研究了山西静乐剖面的上新世红粘土沉积及沉积环境,明确提出了典型静乐红粘土的风成成因问题^[152]。通过对山西保德多个晚第三纪红粘土古地磁等的研究结果,证明原认为属于上新世晚期的静乐红土沉积时代延续了整个上新世,而原属于上新世早期的保德红土则属于中新世^[151]。

20世纪90年代,用水槽模型利用人工降雨方法对黄土坡面的侵蚀产沙过程和坡面形态变化过程进行了实验研究^[153-154]。利用1958-1988年间黄河中游河口至龙门区间各测站实测资料,对黄河中游水土保持措施导致输入黄河干支流泥沙的粒径变化和减沙效益进行了分析研究^[155-156]。根据地质记录研究了黄土高原第四纪期间的水土流失基本规律^[157]。

2.10 第四纪古气候与环境变迁

20世纪50年代以来的地貌第四纪研究大部分涉及了古气候和环境变迁的讨论。70年代后期编写的第四纪地质学讲义和之后出版的《第四纪地质学》^[129]系统介绍了国内外第四纪古气候与环境变化研究方法和重要成果,对中国第四纪气候特征和演变历史进行了分析,讨论了太阳活动、地球轨道等对气候变化和冰期间冰期变化的影响,从行星风系、海陆分布、青藏高原隆升等角度讨论了东亚地区第四纪期间气候的形成及其对中国气候变化的控制作用,明确提出了中国第四纪古气候以季风演化为特征的观点^[76]。70年代以后,在全国许多地区运用地貌、第四纪沉积、动植物化石、微体、孢粉、碳氧同位素、磁化率等许多环境研究方法和古气候代用指标进行古气候和环境变迁研究。如河北

② Liu N, Zhou L, Liu Z, et al. Provenance characterization of surface sediments in the South China Sea and from surrounding rivers by luminescence sensitivity of quartz. *Marine Geology*. (submitted)

阳原泥河湾地区气候与环境变化历史研究^[105, 107, 113, 147, 158], 晋东南、云南龙街盆地、山东半岛等地晚新生代的气候变化历史^[131, 109, 134], 山西地堑系诸盆地的气候与环境演变历史^[10]。1997年出版《第四纪环境》^[159], 全面介绍了国内外第四纪环境研究方面的新进展。

20世纪90年代后期以来, 为夯实古环境重建的基础, 系统开展了表土花粉对植被及人类活动指示意义的研究, 提出了森林区和草原区人类活动影响下花粉谱变化模式^[160-161], 估算了中国北方常见树种和草本植物花粉的相对产量(RPP), 发现中国北方优势树种的RPP与欧洲明显不同^[162], 蒿属和藜科植物的RPP在不同地区差异明显^[162-163], 不仅为景观尺度古植被定量重建提供了关键参数, 而且对传粉生物学具有重要意义。为了更好了解火干扰影响下的植被演化过程, 系统开展了炭屑作为火代用指标的可靠性研究, 为深化多指标第四纪古生态研究打下了基础^[164-165]。基于现代过程重建的大兴安岭、西辽河流域、长江中下游等地区全新世植被—气候—火—人类活动历史, 阐述了几千年的气候变化和人类活动对景观的影响^[166-169]。将花粉技术应用于现代环境与健康研究, 在北京市不同环路上设置花粉监测站进行长期监测, 结合气象观测和植物物候等数据, 通过观测模型和过程模型相结合, 探明了北京城区和郊区的气传致敏花粉的来源和传播路径^③。近年来还与物理系合作开展了土壤—生物—大气碳循环研究^[170-171]。

2.11 海洋地球化学过程与环境演变

21世纪初10年末期开始, 第四纪研究开始向海洋扩展, 多次参加了南海和印度洋的综合考察航次, 开展了具有特色的全水柱海水多种同位素的研究, 已完成南海大部分海域、西太平洋和东北印度洋部分海域海水的放射性碳、氢氧稳定同位素测量。海水溶解无机碳中放射性碳测量前的样品制备是一项关键性的工作, 为此发展出顶部空间气体提取海水样品中二氧化碳的新方法, 制样效率和测量精度显著提高, 此方法在海洋碳循环和海洋环流研究中有广泛应用前景^[172]。系统测量南海深层海水放射性碳同位素不仅为全面深化对吕宋海峡的垂直混合和南海深层环流过程的认识提供了新的视角, 而且对利用核爆放射性碳信号进行南海海气交换研究提供了新的工具。继发现南海核爆放射性碳向下渗透深度达约500~650 m之后, 结合南海上空大气中的放射性碳测量, 发现南海已经成为核爆放射性碳的源^[172]。通过对中国七条科考船进行系统的放射性碳污染调查, 发现大部分海水取样及实验室区域受到放射性碳标记物污染水平都很低, 对今后利用中国的船舶进行海水碳同位素取样工作具有重要参考价值^④。

利用基于波长扫描光腔衰荡光谱技术同位素分析仪, 对2013-2016年在南海、西太平洋与吕宋海峡等海域多个航次采集的海水进行了氢氧稳定同位素(δD 和 $\delta^{18}O$)测量, 结合海水温度、盐度、位势密度等水文参数与海水高度异常与南海表层流场数据, 获得了南海和西太平洋不同水团的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值的平面与剖面分布特征。不仅成功应用同位素方法刻画了南海水团的来源, 勾画了不同季节不同深度黑潮入侵南海的范围, 而且揭示了地形和上涌等物理限制和海洋过程引起的局部海流活动现象, 还首次用同位素分析方法证实了吕宋海峡附近水体的“三明治”垂向结构, 揭示了吕宋海峡不同季节中层水输送的详细分层信息^⑤。

簇重同位素是近十余年发展极为迅速的同位素地球化学技术,北京大学是国内第一个参与相关实验研究的单位^[173]。在簇重同位素发展初期,通过国际合作,参与了解决若干关键问题、改进测量技术的研究,确定了造成簇重同位素测量系统的“非线性”原因,提出了新的背景扫描方法对气体样品进行正确的背景校正,以完全消除原来测量系统的“非线性”问题^[174]。提出了长积分双路进样测量簇重同位素的新方法,通过分别测定样品和工作气体,改进了需对样品进行压力平衡和样品—工作气体反复切换的传统稳定同位素的测量方法,大大降低了测量所需样品量,实现了小样品量的高稳定性、高精度和准确度的测量^[175],为该技术在第四纪高分辨率气候重建中的应用奠定了基础;在应用方面,完成了南海两种浮游有孔虫样品簇重同位素的测试,根据重建温度和氧同位素估算了南海海水的氧同位素。

21世纪初10年末期建立有机地球化学实验室,利用生物标志物 and 同位素指标研究第四纪环境和气候变化,以及陆架边缘海的生物地球化学过程。参与了新型海冰标志物指标IP25的全球比对工作^[176]。通过研究黄河河道、河口和渤海中微生物标志物GDGTs分布,明确了TEX₈₆、MBT/CBT、BIT等指标在黄河控制海区指示海水温度、陆地气温和土壤有机碳来源的潜力^[177-179],重建了渤海末次冰期以来的环境演化,揭示了黄河中下游流域全新世暖期出现在距今约6000-3800年间^[177]。利用分解袋模拟实验揭示了凋落物分解过程对植物正构烷烃及其单体碳同位素的影响^[180]。利用生物标志物指标TEX₈₆恢复了过去2700年来南冲绳海槽表层水温的高分辨率曲线,发现在过去2000年里冲绳海槽曾出现过数次暖期,1850年小冰期后海槽水温明显上升,但20世纪的升温并未超过中世纪暖期^[181]。

2.12 环境考古与古代人地关系

20世纪80年代末期以来,地貌第四纪学科同考古学研究结合,开展环境考古学研究,在探索和揭示古代自然环境及其演变同史前及历史时期人类社会演化关系方面取得系列成果。在许多重要考古遗址发掘报告中撰写相关环境考古内容外,还发表了系列研究论文。如关于不同地区晚更新世以来气候变化、地貌与水文、动植物等自然环境特征及其演变同古代人类历史演化的关系^[182-186, 166-169],古代洪水、地震等自然灾害对当地人类社会影响的研究等^[187-188]。不仅对古代人类文化发达地区进行了大量研究,也涉及了如新疆罗布泊这样的人迹罕至地区^[189]。在大量研究基础上对中国主要区域文化类型形成与演化的环境背景进行了全面分析^[190]。围绕古代人类社会发展的系列重大问题,对中国南北方多个旧石器考古遗址和古人类地点的沉积物进行了测年,为解决东亚地区石器技术演化序列与年代、农业起源和区域地貌演化等重要学术问题提供关键的年代学数据^[191-194]。对许昌灵井遗址沉积物多种方法的释光测年比较研究,确定‘许昌人’头盖骨所处地层年龄为10.5~12.5万年,为揭示华北地区晚更新世早期人类形态演化模式做出了重要贡献^[195]。研究了旧石器时期人类狩猎采集、迁移和栖息地的环境背景^[196],揭示了中国农业起源与新旧石器转变过程、古代先民生计模式、聚落分布与兴废历史同自然环境及其变化之间的关系^[197-202],发现早在5000多年前西辽河流域就有荞麦种植,距今2600-2900年的气候干旱事件对中国畜牧业文化的发生、发展有着重要影响^[167]。90年代后期以来,北大学者主持了中国重大科技工程项目“夏商周断代工程”和“中华文明探源工程”预研究和一至四期环境考古研究,对中华文明起源与发展的道路、模式等重大问题,从人地关系机制方面给出了初步科学解释^[203]。出版了系统介绍环境考古学理论与研究案例的专著^[204]。2002年以来,先后主办四届全国环境考古学会议,出版了3部文集,为促进中国环境考古学的发展作出了重要贡献。

3 未来展望

北大地貌第四纪学科在今后发展中将坚持地球系统科学思想,加强地貌第四纪科学内部不同领域之间、地貌第四纪科学同地球科学及其他自然科学之间的密切结合,加强陆地与海洋、宏观与微观、长时间尺度演化历史与现代过程、野外研究同室内实验与模拟、基础研究与实际应用、地貌第四纪环境研究与人类历史演化等多方面的结合研究,在科学研究和人才培养方面做出新的成绩。

充分利用不断积累的新构造研究成果深化构造地貌学研究的同时,充分发挥构造地貌在构造活动性研究中的特殊作用。充分利用各种不断发展的精确测量技术、国家地壳运动观测网络数据,结合地球物理研究资料,不断提高构造地貌研究的定量水平和科学水平。进一步加强活动构造和古地震事件研究,为国家和区域地震危险性预测评价做出更多贡献。

加强冰川冰缘地貌和沉积特征的微观分析研究和精确年代测定、近代过程的分析研究和现代过程的定量观测,提高冰川冰缘地貌演化历史机理和发育过程的动力学研究水平。加强气候变化对地貌发育过程的机制研究的同时,通过地貌与沉积特征演化反演气候变化历史,为全球气候变化研究提供更多气候地貌研究证据。

将流域环境控制因素、内外动力过程同河流动力学研究相结合,系统研究流域侵蚀、水沙产输、河道演变、沉积地貌发育,加强流水地貌研究创新的同时,为水土流失、河道侵蚀、洪水等与流水地貌相关的灾害防治及水利工程建设提供科学依据。加强河流早期起源历史与宏观区域地貌演化关系、全新世及历史时期河流地貌演化同人类活动相互关系等重大问题的研究。

在深化认识陆地与海洋环境现代过程的基础上,采用物理、化学和生物手段,在第四纪年代、地表过程和古环境重建方面进行探索,在中国黄土地层年代学、黄土高原的地貌演化历史、多种同位素方法示踪碳循环与地球系统变化、海陆研究对比、关键考古地点年代测定、景观尺度定量植被重建与古气候、古海洋地球化学指标的发展等研究方面取得较大进展。

在古代人类生存环境系统重建基础上,揭示人类社会演化同自然环境的关系。为解决人类起源与演化、农业起源与新旧石器过渡、文明起源与发展、人类文化特征的形成与兴衰演化同自然环境的关系等重大问题做出贡献。逐步建立环境考古学理论与方法体系,促进中国环境考古学的快速发展,同时为国家文明传承与创新战略实施发挥地貌第四纪学科的作用。

加大人才培养和队伍建设力度,重视学科交叉,不断拓展研究领域,服务国家重大需求。加强理论与方法创新,为中国地貌第四纪科学在国际学术界逐步实现由“跟踪”向“引领”的进步做出贡献。

参考文献(References)

- [1] Zheng Gongwang, Xia Zhengkai, Mo Duowen, et al. Guide of Field Training for Geomorphology. Beijing: Peking University Press, 2005. [郑公望, 夏正楷, 莫多闻, 等. 地貌学野外实习指导. 北京: 北京大学出版社, 2005.]
- [2] Wang Nailiang, Pan Deyang. Some geomorphological features and lithologic characteristics of the piedmont area of Nankou Mountain revealing neo-tectonic movements and climate changes during the Plio-Quaternary times. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1956, 2(3): 377-401. [王乃樑, 潘德扬. 南口山前平原地貌与第四纪沉积物特征及其对于新构造运动与气候变迁的反映. 北京大学学报(自然科学版), 1956, 2(3): 377-401.]
- [3] Wang Nailiang. Some materials on the neotectonic movements in eastern Gansu//Division of Earth Sciences, Chinese Academy of Sciences. The transcript of talks in the first symposium on Neotectonics in Chinese Academy of Sciences.

- Beijing: Science Press, 1957: 160-163. [王乃樑. 有关甘肃东部(陇东)新构造运动的一些材料//中国科学院地学部. 中国科学院第一次新构造运动座谈会发言记录. 北京: 科学出版社, 1957: 160-163.]
- [4] Editorial Board of Selected Works of Wang Nailiang, College of Environmental Sciences at Peking University. Selected Works of Wang Nailiang. Beijing: Xueyuan Press, 2006. [北京大学环境学院王乃樑文集编辑组. 王乃樑文集. 北京: 学苑出版社, 2006.]
- [5] Cao Jiaxin. Neotectonic and volcanic activities in Southeastern Datong Basin, Shanxi, China. *Quaternaria Sinica*, 1959, 2(2): 60-68. [曹家欣. 大同盆地东南部的新构造运动与火山活动. 中国第四纪研究, 1959, 2(2): 60-68.]
- [6] Yang Jingchun. Landform and Quaternary geology in Eastern Datong Basin, Shanxi, China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 1961(1): 87-100. [杨景春. 大同盆地东部地貌与第四纪地质. 北京大学学报(自然科学版), 1961(1): 87-100.]
- [7] Yang Jingchun. The relationship between the formation, development of Huailai Basin, river evolution and neotectonic movement, Hebei, China. *Quaternaria Sinica*, 1961, 4(2): 93-104. [杨景春. 怀来盆地的形成、发展、古河道演变与新构造运动的关系. 中国第四纪研究, 1961, 4(2): 93-104.]
- [8] Wang Nailiang. Lithologic characteristics of the Sanmenian Series and its relationship with neotectonic movements// Chinese Association for Quaternary Research. Proceedings of the Sanmenxia Quaternary Geology Conference. Beijing: Science Press, 1959: 73-76. [王乃樑. 三门系地层的岩性特征及其与新构造运动的关系//中国第四纪研究委员会. 三门峡第四纪地质会议文集. 北京: 科学出版社, 1959: 73-76.]
- [9] Lai Hongzhou, Mo Duowen. Influences of the tectonics subsidence and the siltation on flood disaster prevention situation in the region of Dongting Lake. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 574-580. [来红州, 莫多闻. 构造沉降和泥沙淤积对洞庭湖区防洪形势的影响. 地理学报, 2004, 59(4): 574-580.]
- [10] Wang Nailiang, Yang Jingchun, Xia Zhengkai, et al. The Cenozoic Sediments and Tectonic Geomorphology in the Shanxi Graben System. Beijing: Science Press, 1996. [王乃樑, 杨景春, 夏正楷, 等. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌. 北京: 科学出版社, 1996.]
- [11] Wang Nailiang, Yang Jingchun, Xu Haipeng, et al. The paleochannel evolution of Yongding River and its relationship with Holocene tectonic movements on the piedmont area of Xishan Mountain, Beijing//Chinese Association for Quaternary Research. Proceedings of the 3rd Quaternary Science Conference. Beijing: Science Press, 1982: 179-183. [王乃樑, 杨景春, 徐海鹏, 等. 北京西山山前平原永定河古河道迁移、变形及其和全新世构造活动的关系//中国第四纪研究委员会. 第三届全国第四纪学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 1982: 179-183.]
- [12] Wang Nailiang, Guo Shaoli, Yang Xushan. The preliminary analysis of the formation and evolution of the Dalai Lake in Hulunbuir//Geographical Society of China. Selected Works from the Conference on Arid Land Geography. Beijing: Science Press, 1966: 151-156. [王乃樑, 郭绍礼, 杨绪山. 呼伦贝尔盟达赉湖的形成及其变迁的初步分析//中国地理学会. 干旱区地理学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 1966: 151-156.]
- [13] Li Youli, Yang Jingchun, Duan Fengjun, et al. Impact of tectonics on alluvial landforms in the Hexi Corridor, Northwest China. *Geomorphology*, 1998, 28(3/4): 299-308.
- [14] Li Youli, Si Supei, Lu Shenhua, et al. Tectonic and climatic controls on the development of the Kuitun River terraces in the northern piedmont of Tianshan Mountains. *Quaternary Sciences*, 2012, 32(5): 880-890. [李有利, 司苏沛, 吕胜华, 等. 构造运动和气候变化对天山北麓奎屯河阶地发育的影响作用. 第四纪研究, 2012, 32(5): 880-890.]
- [15] Wang Ruobai, Guo Liangqian, Han Mukang, et al. Relations of drainage density to the hidden active tectonics in the Hebei Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 284-292. [王若柏, 郭良迁, 韩慕康, 等. 河北平原水系密度与隐伏活动构造的关系. 地理学报, 2002, 57(3): 284-292.]
- [16] Wang Yiran, Li Youli, Si Supei, et al. The geometrical characteristics of offset streams and the Shiping-Jianshui fault activity. *Quaternary Sciences*, 2015, 35(1): 100-108. [王怡然, 李有利, 司苏沛, 等. 石屏-建水断裂水平错断河流的几何特征与断层活动性研究. 第四纪研究, 2015, 35(1): 100-108.]
- [17] Han Mukang, Xia Huaikuang, Zhang Xianze, et al. The coastal terraces, neotectonic movement, and seismic risk in Western Liaoning, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 1983, 5(6): 743-752. [韩慕康, 夏怀宽, 张先泽, 等. 辽西地区海滨阶地、新构造运动与地震危险程度. 海洋学报, 1983, 5(6): 743-752.]
- [18] Wang Nailiang, Cao Jiaxin, Qian Zonglin. The geomorphic structure and evolutionary history of middle Bahe River valley in Lantian region of Shannxi//Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology. Proceedings of On-the-spot Meeting of Cenozoic in Lantian, Shaanxi. Beijing: Science Press, 1966: 75-88. [王乃樑, 曹家欣, 钱宗麟. 陕西蓝田地区灞河中游地貌结构及其发育历史//中国科学院古脊椎动物与古人类研究所. 陕西蓝田新生界现场会议论文集. 北京: 科学出版社, 1966: 75-88.]

- [19] Wang Nailiang, Han Mukang, Zhu Zhijie, et al. Cenozoic sedimentary facies and landforms near the valley mouth of the Hutuo River along the eastern piedmont of Mountain Taihangshan. *Quaternaria Sinica*, 1985, 6(1): 44-59. [王乃樑, 韩慕康, 朱之杰, 等. 太行山东麓滹沱河出山处新生代沉积相与地貌结构. *中国第四纪研究*, 1985, 6(1): 44-59.]
- [20] Shi X, Li Y, Yang J. Response of Manasi River fluvial landforms to tectonic movement, at the north flank of the Tianshan Mountains, China. *Geoscience Journal*, 2010, 14(3): 301-312.
- [21] Miao Deyu, Li Youli, Lv Shenghua, et al. Neotectonic activity in Xiaxian Segment of the North Zhongtiao Mountain fault zone, Shanxi. *Geographic Research*, 2014, 33(4): 665-673. [苗德雨, 李有利, 吕胜华, 等. 山西中条山北麓断裂夏县段新构造运动. *地理研究*, 2014, 33(4): 665-673.]
- [22] Cui Z, Gao Q, Liu G, et al. Planation surfaces, palaeokarst and uplift of Xizang (Tibet) Plateau. *Science China Earth Sciences*, 1996, 39(4): 391-401.
- [23] Cui Z, Wu Y, Liu G. Discovery and character of the Kunlun-Yellow River Movement. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(10): 834-837.
- [24] Yang Jingchun. Relationship between morphotectonic evolution and Quaternary tectonic stress state in north and northeastern China. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(3): 218-228. [杨景春. 中国北部和东北部构造地貌发育和第四纪构造应力状态的关系. *地理学报*, 1983, 38(3): 218-228.]
- [25] Wang Nailiang. Tectonic Geomorphology//Editorial Board of Physical Geography of China. Volume of Geomorphology, Physical Geography of China. Beijing: Science Press, 1980: 11-61. [王乃樑. 构造地貌//中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理·地貌. 北京: 科学出版社, 1980: 11-61.]
- [26] Yang Jinchun. Tectonic Geomorphology//You Lianyun, Yangjingchun. Geomorphology of China. Beijing: Science Press, 2013: 20-92. [杨景春. 构造地貌//尤联元, 杨景春 主编. 中国地貌. 北京: 科学出版社, 2013: 20-92.]
- [27] Han Mukang, Chai Tianjun, Li Zhaoxian. Morphotectonic features of the Tonghai earthquake region, Yunnan Province. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 41-57. [韩慕康, 柴天俊, 李兆祥. 云南通海震区的构造地貌特征. *地理学报*, 1983, 38(1): 41-57.]
- [28] Yang Jingchun, Deng Tiangang, Wang Yuanhai, et al. The Quaternary tectonic stress states over up-stream area of the Min Jiang River in Sichuan and its relation to earthquake. *Seismology and Geology*, 1979, 1(3): 68-75. [杨景春, 邓天岗, 王元海, 等. 岷江上游地区第四纪构造应力状态及其与地震的关系. *地震地质*, 1979, 1(3): 68-75.]
- [29] Yang Jingchun, Lin Weifan, Jiang Ming, et al. Recent tectonic movement of the Babaoshan fault near Beijing and its relation to earthquake occurrence. *Acta Seismologica Sinica*, 1981, 3(4): 390-398. [杨景春, 林伟凡, 蒋铭, 等. 北京八宝山断裂近期构造活动及其和地震的关系. *地震学报*, 1981, 3(4): 390-398.]
- [30] Han Mukang, Zhao Jingzhen. Seismotectonic characteristic of Tangyin Graben, Henan Province, and its earthquake risk. *Seismology and Geology*, 1980, 2(4): 47-60. [韩慕康, 赵景珍. 河南汤阴地堑的地震地质特征与地震危险性. *地震地质*, 1980, 2(4): 47-60.]
- [31] Han Mukang, Chai Tianjun, Dong Xingquan, et al. The seismological features in the Yongsheng earthquakes region, western Yunnan. *Journal of Seismological Research*, 1981, 4(1): 37-45. [韩慕康, 柴天俊, 董兴权, 等. 滇西永胜地区地震地质特征. *地震研究*, 1981, 4(1): 37-45.]
- [32] Liu Guohai, Han Mukang, Fu Mingzuo, et al. Geomorphology, neotectonic movements and safety degree of the city on the Dalian Peninsula, Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(3): 227-234. [刘国海, 韩慕康, 傅命佐, 等. 大连半岛地貌、新构造运动与市区安全性. *地理学报*, 1993, 48(3): 227-234.]
- [33] Lv S, Li Y, Wang Y, et al. The Holocene paleoseismic activity of the North Zhongtiaoshan Faults in Shanxi Province, China. *Tectonophysics*, 2014, 623: 67-82.
- [34] Xiong J, Li Y, Zhong Y, et al. Paleomagnetism of the Jianshui basin in Yunnan, SW China, and geomorphological evolution of the Yunnan Plateau since the Neogene. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 123: 67-77.
- [35] Han Mukang, Zhu Shilong, Zhao Jingzhen, et al. Geomorphic expression of tectonic stress field in the southern section of the eastern piedmont fault zone of Taihangshan Mountain. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(4): 348-359. [韩慕康, 朱世龙, 赵景珍, 等. 太行山东麓断裂带南段第四纪构造应力场的地貌表现. *地理学报*, 1983, 38(4): 348-359.]
- [36] Zhao Hongzhuang, Li Youli, Yang Jingchun, et al. Geomorphology characteristic and tectonic response of the northern Tianshan represented by hypsometric integral. *Journal of Mountain Science*, 2009, 27(3): 285-292. [赵洪壮, 李有利, 杨景春, 等. 天山北麓流域面积高度积分特征及其构造意义. *山地学报*, 2009, 27(3): 285-292.]
- [37] Qiu Zhuli, Li Youli, Nan Feng. Models for gulch of tectonic origin and visualization. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2007, 27(3): 128-132. [邱祝礼, 李有利, 南峰. 构造成因的沟谷建模及可视化. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(3): 128-132.]

- [38] Yang Jingchun, Li Youli. Active Tectonic Geomorphology. Beijing: Peking University Press, 2011. [杨景春, 李有利. 活动构造地貌学. 北京: 北京大学出版社, 2011]
- [39] Cui Zhijiu. Preliminary observation of the modern glacier in Gongga Mountain. *Acta Geographica Sinica*, 1958, 24(3): 318-338. [崔之久. 贡嘎山现代冰川的初步观测. 地理学报, 1958, 24(3): 318-338.]
- [40] Cui Zhijiu. Characteristics of the Muztag- Kongur glacier and its development and utilization conditions. *Acta Geographica Sinica*, 1960, 35(2): 137-148. [崔之久. 慕士塔格-公格尔冰川的某些特点及其开发利用的条件. 地理学报, 1960, 35(2): 137-148.]
- [41] Cui Zhijiu. On the problem of Pleistocene ice-cover patterns in west China. *Acta Geologica Sinica*, 1964, 44(2): 229-245. [崔之久. 关于中国西部第四纪冰川覆盖类型问题. 地质学报. 1964. 44(2): 229-245.]
- [42] Cui Zhijiu. Essential feature of the development of glacial landforms on Qinghai-Xizang Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 1980, 26(1): 35-44. [崔之久. 青藏高原(及其邻近山地)冰川侵蚀地貌发育的基本特征与影响因素. 地理学报, 1980, 26(1): 35-44.]
- [43] Cui Zhijiu, Yang Chienfu, Liu Gengnian, et al. The Quaternary glaciation of Shesan Mountain in Taiwan and glacial classification in monsoon areas. *Quaternary International*, 2002, 97(8): 147-153.
- [44] Liu Gengnian, Li Yingkui, Chen Yixin, et al. Glacial landform chronology and environment reconstruction of Perku Gangri, Himalayas. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, 33(5): 959-970. [刘耕年, Li Yingkui, 陈艺鑫, 等. 喜马拉雅山佩枯岗日冰川地貌的年代学, 平衡线高度和气候研究. 冰川冻土, 2011, 33(5): 959-970.]
- [45] Chen Y, Li Y, Wang Y, et al. Late Quaternary glacial history of the Karlik Range, easternmost Tian Shan, derived from ^{10}Be surface exposure and optically stimulated luminescence datings. *Quaternary Science Reviews*, 2015, 115: 17-27.
- [46] Yang Jianqiang, Cui Zhijiu, Yi Chaolu, et al. Glacial lacustrine sediment's response to climate change since Holocene in Diancang Mountain. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 525-233. [杨建强, 崔之久, 易朝露, 等. 云南点苍山全新世以来的冰川湖泊沉积. 地理学报, 2004, 59(4), 525-233.]
- [47] Cui Zhijiu, Xiong Heigang, Liu Gengnian, et al. Landform Processes and Sedimentary Features on the Cryosphere of the Central Tianshan Mountains. Shijiazhuang: Hebei Science & Technology Publishing House, 1998. [崔之久, 熊黑钢, 刘耕年, 等. 中天山冰冻圈地貌过程与沉积特征. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1998.]
- [48] Song Changqing, Cui Zhijiu. The characteristics of Talus at the head of the Erdaobai River from the Changbai Mountain. *Journal of Mountain Science*, 1992, 10(3): 27-32. [宋长青, 崔之久. 长白山二道白河源区倒石堆发育特征. 山地学报, 1992, 10(3): 27-32.]
- [49] Xiong Heigang, Cui Zhijiu. Field observation and research of sorted circle mechanism in subantarctica periglacial environment, Antarctica. *Antarctic Research*, 1991, 3(4). [熊黑钢, 崔之久. 南极亚极地冰缘环境中分选环形成机制的观测与研究. 南极研究, 1991, 3(4).]
- [50] Li C, Chen Y, Nie Y, et al. Global warming accelerates the upfreezing of permafrost in arid middle Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(31): 3806-3814.
- [51] Cui Zhijiu. Basic characteristics of periglacial landforms in the Qinghai-Xizang Plateau. *Scientia Sinica*, 1982, 25(1): 79-95.
- [52] Zhao L, Jin H, Li C, et al. The extent of permafrost in China during the Local Last Glacial Maximum (LLGM). *Boreas*, 2014, 43(3): 688-698.
- [53] Jiao Shihui, Wang Lingyue, Sun Caiqi, et al. Discussion about the variation of permafrost boundary in last glacial maximum and Holocene Megathermal, Tibetan Plateau. *Quaternary Sciences*, 2015, 35(1): 1-11. [焦世晖, 王凌越, 孙才奇, 等. 青藏高原末次盛冰期和全新世大暖期多年冻土边界变化的探讨. 第四纪研究, 2015, 35(1): 1-11.]
- [54] Xiong Heigang, Liu Gengnian, Cui Zhijiu, et al. Environmental condition and process of the catastrophic debris flow in Tianshan Mountains. *Scientia Geographica Sinica*, 1997, 17(3): 243-247. [熊黑钢, 刘耕年, 崔之久, 等. 天山泥石流灾害的形成条件和过程特点. 地理科学, 1997, 17(3): 243-247.]
- [55] Cui Zhijiu, Zheng Benxing. Karst in the Everest region//Scientific Expedition Report on the Mt. Everest Region (1966-1968): Modern Glaciers and Meomorphology. Beijing: Science Press, 1975: 169-179. [崔之久, 郑本兴. 珠穆朗玛峰地区的喀斯特//珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966-1968): 现代冰川与地貌. 北京: 科学出版社, 1975: 169-179.]
- [56] Cui Zhijiu. Paleokarst and uplift of Tibetan Plateau//Problems of the Period, Amplitude, and Type of the Uplift of the Tibetan Plateau. Beijing: Science Press, 1981: 40-51. [崔之久. 古岩溶与青藏高原抬升//青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题. 北京: 科学出版社, 1981: 40-51.]
- [57] Cui Zhijiu, Hong Yun, Chen Huailu. Progress in paleokarst in the Qinghai-Tibetan Plateau//The Formation Evolution, Environmental Variance, and Ecosystem Research in Qinghai-Tibet Plateau. Beijing: Science Press, 1995: 120-125. [崔

- 之久, 洪云, 陈怀录. 青藏高原古岩溶研究的新进展//青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1995: 120-125.]
- [58] Cui Z, Gao Q, Liu G, et al. The initial elevation of palaeokarst and planation surfaces on Tibet Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(11): 934-939.
- [59] Cui Z, Li D, Feng J, et al. The covered karst, weathering crust and karst (double level) planation surface. *Science China Earth Sciences*, 2002, 45(4): 366-380.
- [60] Li Dewen, Cui Zhijiu, Liu Gengnian, et al. Formation and evolution of karst weathering crust limestone and its cyclic significance. *Carsologica Sinica*, 2001, 20(3): 183-188. [李德文, 崔之久, 刘耕年, 等. 岩溶风化壳形成演化及其循环意义. *中国岩溶*, 2001, 20(3): 183-188.]
- [61] Cui Z, Wu Y, Liu G, et al. On Kunlun-Yellow River movement. *Science China Earth Sciences*, 1998, 41(6): 592-600.
- [62] Tian Zhaoyi, Xu Haipeng, Zeng Siwei. Accumulation landform and sediment characteristics of viscous debris flow. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1985, 1: 30-35. [田昭一, 徐海鹏, 曾思伟. 粘性泥石流的堆积地貌及沉积物的特征. *水土保持通报*, 1985, 1: 30-35.]
- [63] Tian Zhaoyi, Xu Haipeng, Zeng Siwei. Debris flow fan. *Journal of Railway Engineering Society*, 1986, 4: 109-111. [田昭一, 徐海鹏, 曾思伟. 泥石流扇. *铁道工程学报*. 1986, 4: 109-111.]
- [64] Cui Zhijiu. Preliminary study on types, macroscopic characteristics and genesis-mechanism of debris flow deposit. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1986, 4(2): 69-80. [崔之久. 初探沟谷泥石流及其扇形地的沉积类型、宏观特征与形成机制. *沉积学报*, 1986, 4(2): 69-80.]
- [65] Cui Zhijiu, Xiong Heigang. A facies model of debris flow. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(3): 187-192. [崔之久, 熊黑钢. 泥石流沉积相模式. *沉积学报*, 1990, 8(3): 128-140.]
- [66] Wei Yongming. An analysis on the genesis of debris flow in the northern mountains of Beijing city in 1991 and the measures against the disasters. *Mountain Research*, 1993, 11(3): 187-192. [魏永明. 1991年北京北部山区泥石流成因及防灾对策. *山地研究*, 1993, 11(3): 187-192.]
- [67] Liu Gengnian, Cui Zhijiu, Wang Xiaohui. Sedimentary macrostructures of debris flows and their formation mechanism. *Geological Review*, 1995, 41(2): 159-165. [刘耕年, 崔之久, 王晓晖. 泥石流的宏观沉积构造与形成机理. *地质论评*, 1995, 41(2): 159-165.]
- [68] Cui Zhijiu, et al. *Sedimentary Environment and Debris Flow Deposits*, Beijing: China Ocean Press, 1996. [崔之久, 等. 泥石流沉积与环境. 北京: 海洋出版社, 1996.]
- [69] Ni Jinren, Wang Guangqian, Zhang Hongwu. *Basic Theories for Solid-liquid Two-phase Flow and Their Recent Applications*. Beijing: Science Press, 1991. [倪晋仁, 王光谦, 张红武. 固液两相流基本理论及其最新应用. 北京: 科学出版社, 1991.]
- [70] Wang Guangqian, Ni Jinren. Dynamic equations for debris flow. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39(24): 2056-2062.
- [71] Ni Jinren, Wang Guangqian. Conceptual two-phase flow model of debris flow: I. Theory. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(1): 66-76. [倪晋仁, 王光谦. 泥石流的结构两相流模型: I. 理论. *地理学报*, 1998, 53(1): 66-76.]
- [72] Ni Jinren, Wang Guangqian, Xiong Yuwu, et al. Conceptual two-phase flow model of debris flow: II. Application. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(1): 77-85. [倪晋仁, 王光谦, 熊育武, 等. 泥石流的结构两相流模型: II. 应用. *地理学报*, 1998, 53(1): 77-85.]
- [73] Liu Xilin, Mo Duowen. The basic topics of prediction and forecast for geomorphic hazards: Taking debris flow as an example. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(2): 150-156. [刘希林, 莫多闻. 地貌灾害预测预报的基本问题: 以泥石流预测预报为例. *山地学报*, 2001, 19(2): 150-156.]
- [74] Liu Xilin, Mo Duowen. Site-specific flow vulnerability assessment. *Geographical Research*, 2002, 21(5): 569-577. [刘希林, 莫多闻. 泥石流易损度评价. *地理研究*, 2002, 21(5): 569-577.]
- [75] Liu Xilin, Mo Duowen. *Risk Assessment on Debris Flow*. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press; Urumqi: Xinjiang Science Technology and Health Press, 2003. [刘希林、莫多闻. 泥石流风险评价. 成都: 四川科学技术出版社; 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2003.]
- [76] Editing Group for Cao Jiaxin's papers. *Collection of Cao Jiaxin's Papers*. Beijing: Geology Press, 2008. [曹家欣文集编辑小组. 曹家欣文集. 北京: 地质出版社, 2008.]
- [77] Wang Jingrong, Tian Zhaoyi, Zeng Siwei. The history, reality and future of collapse and debris flow in Jiuzhaigou. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1985(1): 73-75. [王景荣, 田昭一, 曾思伟. 九寨沟崩塌和泥石流的历史、现实和未来. *水土保持通报*, 1985(1): 73-75.]
- [78] Chen Jian, Cui Zhijiu. Discovery of outburst deposits induced by the Xuelongnang paleolandslide-dammed lake in the

- upper Jinsha River, China and its environmental and hazard significance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33(2): 275-284. [陈剑, 崔之久. 金沙江上游雪隆囊古滑坡堰塞湖溃坝堆积体的发现及其环境与灾害意义. *沉积学报*, 2015, 33(2): 275-284.]
- [79] Cui Zhijiu, Xiong Heigang, Liu Gengnian. Observation on periglacial mass movement in the head area of Urumqi River and Laerdong Pass, Tianshan Mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1993, 15(2): 199-206. [崔之久, 熊黑钢, 刘耕年. 天山乌鲁木齐河源区及拉尔敦达坂冰缘块体运动观测研究. *冰川冻土*, 1993, 15(2): 199-206.]
- [80] Nan Ling, Cui Zhijiu. The depositional characteristics and generative environment of paleo-rock avalanche in Wudu County, Gansu Province. *Acta sedimentologica Sinica*, 2001, 19(3): 351-356. [南凌, 崔之久. 甘肃武都古崩滑堆积体的沉积特征及其形成环境. *沉积学报*, 2001, 19(3): 351-356.]
- [81] Cui Zhijiu, Xiong Heigang. The sedimentary facies model and characteristics of mountain glacier. *Quaternary Sciences*, 1989, 9(3): 254-266. [崔之久, 熊黑钢. 山地冰川沉积相模式与特征. *第四纪研究*, 1989, 9(3): 254-266.]
- [82] Yi C, Cui Z. Subglacial deformation: evidence from microfabric studies of particles and voids in till from the upper Urumqi River valley, Tien Shan, China. *Journal of Glaciology*, 2001, 47(159): 607-612.
- [83] Cui Zhijiu, et al. *Diamicton and Environment*. Shijiazhuang: Hebei Science & Technology Press, 2013. [崔之久, 等. 混杂堆积与环境. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2013.]
- [84] Wang Nailiang. Comments on Mr. Zhang Bosheng's article "Illustrating the Yellow River channel evolution from Loess Line". *Chinese Science Bulletin*, 1956, 1(7): 67-72. [王乃樑. 对于张伯声先生“从黄土线说明黄河河道的发育”一文的意见. *科学通报*, 1956, 1(7): 67-72.]
- [85] Yang Jingchun, Tan Lihua, Li Youli, et al. River terraces and tectonic evolution at north margin of the Qilian Mountains. *Quaternary Sciences*, 1998, 18(3): 229-237. [杨景春, 谭利华, 李有利, 等. 祁连山北麓河流阶地与新构造演化. *第四纪研究*, 1998, 18(3): 229-237.]
- [86] Lv Honghua, Li Youli, Nan Feng, et al. Sequences and ages of fluvial terraces along the northern piedmont of the Tianshan Mountains. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(1): 63-74. [吕红华, 李有利, 南峰, 等. 天山北麓河流阶地序列及形成年代. *地理学报*, 2008, 63(1): 63-74.]
- [87] Zhang J, Qiu W, Li R, et al. The evolution of a terrace sequence along the Yellow River (Huanghe) in Hequ, Shanxi, China, as inferred from optical dating. *Geomorphology*, 2009, 109(1/2): 54-65.
- [88] Meng Y, Zhang J, Qiu W, et al. Optical dating of the Yellow River terraces in the Mengjin area (China): First results. *Quaternary Geochronology*, 2015, 30: 219-225.
- [89] Cheng Jicheng, Jiang Meiqiu. *Mathematical Model of Watershed Geomorphology*. Beijing: Science Press, 1986. [承继成, 江美球. *流域地貌数学模型*. 北京: 科学出版社, 1986.]
- [90] Han Peng, Ni Jinren. Sources of coarse sediment in middle reach of the Yellow River. *Journal of Sediment Research*, 1997(3): 48-56. [韩鹏, 倪晋仁. 黄河中游粗泥沙来源探析. *泥沙研究*, 1997(3): 48-56.]
- [91] Xu Suning, Yang Jingchun, Li Youli. Fluctuations of discharge rate of Manas River and its response to climatic changes during the recently 50 years. *Geography and Geo-information Science*, 2004, 20(6): 65-68. [徐素宁, 杨景春, 李有利. 近50 a来玛纳斯河流量变化及对气候变化的响应. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(6): 65-68.]
- [92] Shi Xingmin, Yang Jingchun, Li Youli, et al. The relation between groundwater and landform in the Manasi River Valley. *Geography and Geo-Information Science*, 2004, 20(3): 56-60. [史兴民, 杨景春, 李有利, 等. 玛纳斯河流域地貌与地下水的关系. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(3): 56-60.]
- [93] Mao L, Mo D, Yang J, et al. Concentration and pollution assessment of hazardous metal elements in sediments of the Xiangjiang River. China. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2013, 295(1): 513-521.
- [94] Xia Zhengkai, Yang Xiaoyan. Preliminary study of the flood events about 4 ka B.P. in north China. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(6): 667-674. [夏正楷, 杨晓燕. 我国北方4 ka B.P. 前后异常洪水事件的初步研究. *第四纪研究*, 2003, 23(6): 667-674.]
- [95] Ni Jinren. Calculation models for the suspended sediment transport rate. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1990, 8: 10-19. [倪晋仁. 关于悬移质输沙率计算模式的探讨. *水利学报*, 1990, 8: 10-19.]
- [96] Ni Jinren, Zhang Ren. Theories on the cause of channel pattern formation. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 46(3): 366-372. [倪晋仁, 张仁. 河型成因的各种理论及其间关系. *地理学报*, 1991, 46(3): 366-372.]
- [97] Ni Jinren, Zhang Ren. The relationships between the patterns of meandering and anabranching rivers. *Geographical Research*, 1991, 10(2): 68-75. [倪晋仁, 张仁. 弯曲河型与稳定江心洲河型的关系. *地理研究*, 1991, 10(2): 68-75.]
- [98] Ni Jinren, Ma Ainai. *Fluvial Dynamic Geomorphology*. Beijing: Peking University Press, 1997. [倪晋仁, 马蔼乃. *河流动力地貌学*. 北京: 北京大学出版社, 1997.]

- [99] Ma Ainai. The introduction to dynamic geomorphology//Groundwork of Artificial Architecture: Geomorphology Enviroment. Beijing: Higher Education Press, 2008. [马蔼乃. 动力地貌学概论//人工建筑的地基: 地貌环境. 北京: 高等教育出版社, 2008.]
- [100] Ren Mingda, Zhang Yingquan, Sang Zhida, et al. Basement structure, sedimentary facies and hydrogeological conditions of the Daishian Unsymmetrical Graben Basin. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1982, 1: 118-129. [任明达, 张英泉, 桑志达, 等. 山西代县不对称地堑盆地的基底构造、沉积岩相和水文地质条件. 北京大学学报(自然科学版), 1982, 1: 118-129.]
- [101] Zhu Z, Mo D. River features on alluvial fans in Northwest China. *International Journal of Sediment Research*, 1999, 14 (2): 339-344.
- [102] Lu H, Burbank D W, Li Y. Alluvial sequence in the north piedmont of the Chinese Tian Shan over the past 550 kyr and its relationship to climate change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010, 285(3/4): 343-353.
- [103] Li Xinpou, Mo Duowen, Zhu Zhongli. Comparison between agricultural land on alluvial fans at Qilian Mountain, Helan Mountain and Lvliang Mountain regions. *Geographical Research*, 2006, 25(6): 985-993. [李新坡, 莫多闻, 朱忠礼. 祁连山、贺兰山与吕梁山山前冲积扇上的农地对比. 地理研究, 2006, 25(6): 985-993.]
- [104] Ren Mingda. Comparative sedimentology of alluvial fans: The rule of enrichment of oil-gas and groundwater. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1983, 1(4): 78-91. [任明达. 冲积扇比较沉积学: 地下水和油气的富集规律. 沉积学报, 1983, 1(4): 78-91.]
- [105] Xia Zhengkai. The study of the change of ancient lake shore in the Datong-Yangyuan Basin. *Geographical Research*, 1992, 11(2): 52-59. [夏正楷. 大同-阳原盆地古泥河湾湖的岸线变化. 地理研究, 1992, 11(2): 52-59.]
- [106] Li Youli, Yang Jingchun. Environmental evolution of Yuncheng Saline Lake (Shanxi, China). *Geographical Research*, 1994, 13(1): 70-75. [李有利, 杨景春. 运城盐湖沉积环境演化. 地理研究, 1994, 13(1): 70-75.]
- [107] Xia Z, Zhang Y, Yang D, et al. Stromatolites discovered in Nihewan Formation and their paleoenvironment. *Science China Chemistry*, 1994, 37(5): 634-640.
- [108] Han Mukang, Chai Tianjun, Dong Xingquan. The Holocene migration of the Qilu Lake in southern Yunnan and its relations to the neotectonic movements in the Tonghai earthquake area. *Geological Review*, 1981, 27(6): 491-496. [韩慕康, 柴天俊, 董兴权. 云南南部杞麓湖的全新世变迁及其与通海震区新构造运动的关系. 地质论评, 1981, 27(6): 491-496.]
- [109] Lv Jinfu, Cao Jiaxin. Quaternary sediments and environmental evolution of the Longjie Basin, Yunnan Province. *Quaternary Sciences*, 1992, 12(3): 216-223. [吕金福, 曹家欣. 云南龙街盆地第四纪沉积及环境演化. 第四纪研究, 1992, 12(3): 216-223.]
- [110] Shi Xingmin, Li Youli, Yang Jingchun. Climatic and tectonic analysis of Manas Lake changes. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(2): 266-271. [史兴民, 李有利, 杨景春. 新疆玛纳斯湖变迁的气候和构造分析. 地理科学, 2008, 28 (2): 266-271.]
- [111] Lai Hongzhou, Mo Duowen, Su Cheng. Discussion on the evolutionary trend of Lake Dongting. *Geographical Research*, 2004, 23(1): 78-86. [来红洲, 莫多闻, 苏成. 洞庭湖演变趋势探讨. 地理研究, 2004, 23(1): 78-86.]
- [112] Cao Jiaxin, Huang Runhua, Shi Ning, et al. Late Pliocene lacustrine varves and its environmental information and time mark record. *Quaternary Sciences*, 1998, 18(4): 351-359. [曹家欣, 黄润华, 石宁, 等. 上新世湖相纹泥及其环境信息与时间标尺记录. 第四纪研究, 1998, 18(4): 351-359.]
- [113] Xia Zhengkai, Han Junqing, Jin Deqiu, et al. The records of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ for climate changes in Nihewan Basin during the last interglacial. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1998, 34(1): 119-124. [夏正楷, 韩军青, 金德秋, 等. 泥河湾盆地末次间冰期气候变化的氧碳同位素记录. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(1): 119-124.]
- [114] Liu Feng, Zhou Liping. Occurrence of gypsum in the cored sediments from Daihai Lake. *Quaternary Sciences*, 2009, 29 (5): 1009-1011. [刘峰, 周力平. 岱海湖泊沉积物中的石膏记录. 第四纪研究, 2009, 29(5): 1009-1011.]
- [115] Lai H, Mo D. The influences of the tectonic subsidence and the siltation on the situation of preventing flood disasters in the Dongting Lake Area. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(2): 226-234.
- [116] Cao Jiaxin. Geomorphic features of Shandong Island archipelago and Penglai coast. *Acta Oceanologica Sinica*, 1989, 11 (5): 602-610. [曹家欣. 山东庙岛列岛与蓬莱沿岸地貌. 海洋学报, 1989, 11(5): 602-610.]
- [117] Ren Mingda. Interpretation of landsat imagery of coastal zones. *Acta Oceanologica Sinica*, 1980, 2(4): 56-70. [任明达, 陆地卫星相片的海岸带解译. 海洋学报, 1980, 2(4): 56-70.]
- [118] Ren Mingda, Lv Sihua, Zhang Xuding. *Satellite Remote Sensing Interpretation of the Chinese Coast*. Beijing: China Ocean Press, 1996. [任明达, 吕斯骅, 张绪定. 中国海岸卫星遥感解译. 北京: 海洋出版社, 1990.]

- [119] Ren Mingda, Li Shuluan, Xu Haipeng. The analysis of modern marine phenomenon in Bohai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1988, 10(1): 67-75. [任明达, 李淑鸾, 徐海鹏. 渤海现代海进现象剖析. 海洋学报, 1988, 10(1): 67-75.]
- [120] Xu Haipeng, Ren Mingda, Kong Fande. Holocene geomorphic evolution and problem of protection of the Qinhuangdao coastal belt of China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1991(6): 747-757. [徐海鹏, 任明达, 孔繁德. 秦皇岛全新世海岸的演化和现代海岸的保护. 北京大学学报(自然科学版), 1991, 27(6): 747-757.]
- [121] Han Mukang, Noubu Mimura, Yasushi Hosokawa, et al. Vulnerability assessment of coastal plain west of Bohai Sea, north China, to sea level rise. *Scientia Geographica Sinica*, 1994, 49(2): 107-116. [韩慕康, 三村信男, 细川恭史, 等. 渤海西岸平原海平面上升危害性评估. 地理学报, 1994, 49(2): 107-116.]
- [122] Liu Yuefeng, Han Mukang, Wu Lun, et al. Recent evolution of outlets in Zhujiang River delta and the Prospect for land reclamation. *Scientia Geographica Sinica*, 1998, 53(6): 492-500. [刘岳峰, 韩慕康, 邬伦, 等. 珠江三角洲口门区近期演变与围垦远景分析. 地理学报, 1998, 53(6): 492-500.]
- [123] Wang Nailiang, Fan Xinqi, Gao Qijiang, et al. The preliminary mapping experience of visual interpretation of 1/500000 landform maps using Landsat images: a case study on the landform map in Taiyuan, Shanxi Province. *Shanxi Soil and Water Conservation*, 1982(1): 45-52. [王乃樑, 范心圻, 高起江, 等. 利用陆地卫星象片目视解译 1/50 万地貌类型图制图的初步经验: 以山西省太原幅地貌类型图为例. 山西水土保持, 1982(1): 45-52.]
- [124] Wang Nailiang. The application of some sedimentological methods in regional geomorphic studies. *Acta Geographica Sinica*, 1955, 21(1): 53-61. [王乃樑. 一些沉积方法在区域地形研究中的应用. 地理学报, 1955, 21(1): 53-61.]
- [125] Ren Mingda, Wang Nailiang. *An Introduction to Modern Sedimentary Environment*. Beijing: Science Press, 1981. [任明达, 王乃樑. 现代沉积环境概论. 北京: 科学出版社, 1981.]
- [126] Ren M, Xu H, Pan M, et al. Modal analysis and development of low-permeability massive sandstone reservoirs: Case study of M-reservoir, Laojunmiao Oilfield, Yumen, Gansu Province. *Chinese Science Bulletin*, 1989, 34 (21): 1806-1810.
- [127] Xu Jianhong, Feng Jianfeng, Ren Mingda. Inter-Well prediction for permeability: An application of spline. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1994, 30(1): 116-121. [徐建红, 冯建峰, 任明达. 井间物性预报的一种尝试: 样条函数法的应用. 北京大学学报(自然科学版), 1994, 30(1): 116-121.]
- [128] Lv Honghua, Xia Zhengkai, Jiang Bo, et al. Application of mathematical geology methods to analysis of the sedimentary facies of sandstone reservoir: an example of the reservoir of the Neogene in Huatugou Oilfield, Qaidam Basin, 2006, 42(2): 462-471. [吕红华, 夏正楷, 江波, 等. 数学地质方法在储层沉积相分析中的应用: 以柴达木盆地花土沟油田新近系砂岩储层为例. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 42(2): 462-471.]
- [129] Cao Jiaxin. *Quaternary Geology*. Beijing: Commercial Press, 1983. [曹家欣, 第四纪地质. 北京: 商务印书馆, 1983.]
- [130] Cao Jiaxin, Wang Nailiang, Cui Haiting, et al. The preliminary study on the Late Cenozoic stratigraphy and depositional environment in the areas of Taigu, Yushe and Wuxiang, Shanxi. *Quaternary Sciences*, 1980, 5(1): 77-86. [曹家欣, 王乃樑, 崔海亭, 等. 山西太谷榆社武乡一带晚新生代地层与沉积环境的初步研究. 第四纪研究, 1980, 5(1): 77-86.]
- [131] Cao Jiaxin, Cui Haining. Research of Pliocene flora and paleoenvironment of Yushe basin on Shanxi plateau. *Scientia Geologica Sinica*, 1989(4): 369-375. [曹家欣, 崔海亭. 山西榆社盆地上新世植物群及其环境意义. 地质科学, 1989 (4): 369-376.]
- [132] Cao Jiaxin, Wu Ruijin. The origin and age of the red loam in S. E. Shansi Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1984(5): 88-96. [曹家欣, 吴瑞金. 晋东南“R”红土的成因与时代. 北京大学学报(自然科学版), 1984(5): 88-96.]
- [133] Cao Jiaxin, Shi Ning, Zhang Jianzhong. A study of loess in southeastern Shanxi, China. *Quaternary Sciences*, 1995(2): 123-129. [曹家欣, 石宁, 张建新. 晋东南黄土. 第四纪研究, 1995(2): 123-129.]
- [134] Cao Jiaxin, Yan Run'e, Wang Huan. Red weathering crust and brown-red soil and implication for paleoclimate in Miaodao island, Shandong province. *Science China Chemistry*, 1994, 24(2): 216-224. [曹家欣, 严润娥, 王欢. 山东庙岛群岛的红色风化壳与棕红土及其古气候意义. 中国科学(化学), 1994, 24(2): 216-224.]
- [135] Zhou L, Shackleton N J. Photon-stimulated luminescence of quartz from loess and effects of sensitivity change on paleodose determination. *Quaternary Science Reviews*, 2001, 20(5-9): 853-857.
- [136] Qin J, Zhou L. Stepped-irradiation SAR: A viable approach to circumvent OSL equivalent dose underestimation in last glacial loess of northwestern China. *Radiation Measurements*, 2009, 44(5): 417-422.
- [137] Zhang J, Zhou L, Yue S. Dating fluvial sediments by optically stimulated luminescence: Selection of equivalent doses for age calculation. *Quaternary Science Reviews*, 2003, 22(10-13): 1123-1129.
- [138] Qin J, Zhou L. Effects of thermally transferred signals in the post-IR IRSL SAR protocol. *Radiation Measurements*,

- 2012, 47(9): 710-715.
- [139] Nian X, Bailey R M, Zhou L. Investigations of the post-IR IRSL protocol applied to single K-feldspar grains from fluvial sediment samples. *Radiation Measurements*, 2012, 47(9): 703-709.
- [140] Zhou L, Qin J. Luminescence ages for the onset of last glacial dust accumulation across loess regions in China. Abstract for 13th International Luminescence and ESR Dating Conference, Torun, Poland, 2011.
- [141] Qiu F, Zhou L. A new luminescence chronology for the Mangshan loess-palaeosol sequence on the southern bank of the Yellow River in Henan, central China. *Quaternary Geochronology*, 2015(30): 24-33.
- [142] Zheng C, Zhou L, Qin J. Difference in luminescence sensitivity of coarse-grained quartz from deserts of northern China. *Radiation Measurements*, 2009(44): 534-537.
- [143] Zheng Chenxin, Zhou Liping. Further investigations of quartz luminescence signals as a tool for dust source tracing. *Quaternary Sciences*, 2012, 32(5): 1036-1045. [郑辰鑫, 周力平. 石英释光信号作为粉尘源示踪手段的再研究. 第四纪研究, 2012, 32(5): 1036-1045.]
- [144] Pan Deyang. Loess. Beijing: Geological Publishing House, 1958. [潘德扬, 黄土. 北京: 地质出版社, 1958.]
- [145] Cao J, Li P, Shi N. Study on the loess of Miaodao Islands in Shandong Province. *Science China Chemistry*, 1988, 31(1): 120-128.
- [146] Cao Jiaxin, Liu Gengnian, Shi Ning, et al. Holocene loess of Miaodao island in Shandong. *Quaternary Sciences*, 1993, 13(1): 25-33. [曹家欣, 刘耕年, 石宁, 等. 山东庙岛群岛全新世黄土. 第四纪研究, 1993(1): 25-35.]
- [147] Xia Zhengkai. Underwater loess and paleoclimate. *Acta Geographica Sinica*, 1992, 47(1): 58-65. [夏正楷. 泥河湾盆地的水下黄土堆积及其古气候意义. 地理学报, 1992, 47(1): 58-66.]
- [148] Xia Z, Cao J, Luo Y, et al. Variation of stable isotopic composition and relationship to climatic changes around 2.5Ma B.P. on Fengyi Section. Lishi County of Shanxi Province. *Chinese Science bulletin*, 1996, 41(2): 138-141.
- [149] Xia Zhengkai, Bruce J G, Crozier M J. Comparative study of New Zealand loess with China loess. *Acta Geographica Sinica*, 1993(4): 337-347. [夏正楷, Bruce J G, Crozier M J. 新西兰黄土和中国黄土的对比研究. 地理学报, 1993, 48(4): 337-347.]
- [150] Zhou Liping, Shackleton N J, Dodonov A E. Stratigraphical interpretation of geomagnetic polarity boundaries in Eurasian loess. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(2): 196-202. [周力平, Shackleton N J, Dodonov A E. 欧亚黄土中古地磁极性界线的地层学解释. 第四纪研究, 2000, 20(2): 196-202.]
- [151] Zhu Y, Zhou L, Mo D, et al. A new magnetostratigraphic framework for late Neogene Hipparion Red Clay in the eastern Loess Plateau of China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008, 268(1/2): 47-57.
- [152] Mo D, Derbyshire E. The depositional environment of the late Pliocene "red clay", Jingle Basin, Shanxi Province, China. *Sedimentary Geology*, 1991(70): 33-40.
- [153] Xu Weiqun, Ni Jinren, Xu Haipeng, et al. Experimental study on erosion process over loess slopes. I. Surface flow and sediment transport. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995(3): 9-18. [徐为群, 倪晋仁, 徐海鹏, 等. 黄土坡面侵蚀过程实验研究: I. 产流产沙过程. 水土保持学报, 1995(3): 9-18.]
- [154] Xu Weiqun, Ni Jinren, Xu Haipeng, et al. Experimental study on erosion process over loess slopes. II. Surface flow and sediment transport. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995(4): 19-28. [徐为群, 倪晋仁, 徐海鹏, 等. 黄土坡面侵蚀过程实验研究: II. 坡面形态过程. 水土保持学报, 1995, 9(4): 19-28.]
- [155] Ni Jinren, Han Peng, Zhang Ren. Variations of sediment characteristics in the middle reach of Yellow River with respect to regional water-and-soil conservations: I. Sediment size distributions. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(1): 1-9. [倪晋仁, 韩鹏, 张仁. 黄河中游水土保持措施对入黄干支流泥沙特性的影响: I. 泥沙粒径变化. 自然资源学报, 1997, 12(1): 1-9.]
- [156] Ni Jinren, Han Peng, Wang Guangqian, et al. Variations of sediment characteristics in the middle reach of Yellow River with respect to regional water and soil conservations: II. Benefit analysis of reducing the sediment. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 126-132. [倪晋仁, 韩鹏, 王光谦, 等. 黄河中游水土保持措施对入黄干支流泥沙特性的影响: II. 减沙效益分析. 自然资源学报, 1997, 12(2): 126-132.]
- [157] Xia Zhengkai. The records of Quaternary soil erosion in the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 1999, 6(4): 49-53. [夏正楷. 黄土高原第四纪期间水土流失的地质记录和基本规律. 水土保持研究, 1999, 6(4): 49-53.]
- [158] Xia Zhengkai, Lin Xiqing. On paleogeography of the Nihewan Basic during the accumulation of Nihewan Series. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1984, 4(3): 101-110. [夏正楷, 刘锡清. 泥河湾层古地理环境的初步认识. 海洋地质与第四纪地质, 1984, 4(3): 101-110.]
- [159] Xia Zhengkai. *Quaternary Environments*. Beijing: Peking University Press, 1979. [夏正楷. 第四纪环境学. 北京: 北京

大学出版社, 1997.]

- [160] Li Y, Zhang X, Zhou G. The quantitative relationships between vegetation and several common pollen taxa in surface soil from the north of China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(16): 1519-1523.
- [161] Li Yiyin, Zhang Xinshi, Zhou Guangsheng. Study of quantitative relationships between vegetation and pollen in surface samples in the eastern forest area of Northeast China transect. *Botany Gazette*, 2000, 42(1): 81-88. [李宜垠, 张新时, 周广胜. 中国东北样带(NECT)东部森林区的植被与表土花粉的定量关系研究. *植物学报*, 2000, 42(1): 81-88.]
- [162] He Fei, Li Yiyin, Wu Jing, et al. A comparison of relative pollen productivity from forest steppe, typical steppe and desert steppe in Inner Mongolia. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(31): 3388-3400. [何飞, 李宜垠, 伍婧, 等. 内蒙古森林草原—典型草原—荒漠草原的相对花粉产量对比研究. *科学通报*, 2016, 61(31): 3388-3400.]
- [163] Li Y, Nielsen A B, Zhao X, et al. Pollen production estimates (PPEs) and fall speeds for major tree taxa and relevant source areas of pollen (RSAP) in Changbai Mountain, northeastern China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2015, 216: 92-100.
- [164] Li Yiyin, Hou Shufang, Zhao Pengfei. Comparison of different quantification methods for microfossil charcoal concentration and the implication for human activities. *Quaternary Sciences*, 2010, 30(2): 347-354. [李宜垠, 侯树芳, 赵鹏飞. 微炭屑的几种统计方法比较及其对人类活动的指示意义. *第四纪研究*, 2010, 30(2): 347-354.]
- [165] Li Y, Xu X, Zhao P. Post-fire dispersal characteristics of charcoal particles in the Daxing'an Mountains of north-east China and their implications for reconstructing past fire activities. *International Journal of Wildland Fire*, 2017, 26(1): 46-57.
- [166] Li Y, Wu J, Hou S. Paleoecological records of environmental change and cultural development from the Liangzhu and Qujialing archaeological sites in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Quaternary International*, 2010, 227 (1): 29-37.
- [167] Li Y, Willis K J, Zhou L, et al. The impact of ancient civilization on the northeastern Chinese landscape: Palaeoecological evidence from the Western Liaohe River Basin, Inner Mongolia. *Holocene*, 2006, 16(8): 1109.
- [168] Li Yiyin, Zhao Fengming, Li Shuicheng, et al. Palaeovegetation and palaeoenvironment based on pollen analysis at the Zhongba salt production archaeological site, South West China. *Quaternary Sciences*, 2011, 31(4): 730-735. [李宜垠, 赵凤鸣, 李水城, 等. 中坝制盐遗址的孢粉分析与古植被、古环境. *第四纪研究*, 2011, 31(4): 730-735.]
- [169] Cui Haiting, Li Yiyin, Hu Jinming, et al. Vegetation reconstruction of Bronze Age by using microscopic structure of charcoals. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(23): 2014-2017. [崔海亭, 李宜垠, 胡金明, 等. 利用炭屑显微结构复原青铜时代植被. *科学通报*, 2002, 47(19): 1504-1508.]
- [170] Tan W, Zhou L, Liu K. Soil aggregate fraction-based ^{14}C analysis and its application in the study of soil organic carbon turnover under forests of different ages. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(16): 1936-1947.
- [171] Xi X, Ding X, Fu D, et al. $\delta^{14}\text{C}$ level of annual plants and fossil fuel derived CO_2 distribution across different regions of China. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2013, 294: 515-519.
- [172] Gao P, Xu X, Zhou L, et al. Rapid sample preparation of dissolved inorganic carbon in natural waters using a headspace- extraction approach for radiocarbon analysis by accelerator mass spectrometry. *Limnology and Oceanography Methods*, 2014, 12(4): 172-188.
- [173] Grauel A L, Schmid T W, Hu B, et al. Calibration and application of the 'clumped isotope' thermometer for foraminifera for high-resolution climate reconstructions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2013, 108(1): 125-140.
- [174] Bernasconi S M, Hu B, Wacker U, et al. Background effects on Faraday collectors in gas-source mass spectrometry and implications for clumped isotope measurements. *Rapid Communications in Mass Spectrometry Rcm*, 2013, 27(5): 603-612.
- [175] Hu B, Radke J, Schlüter H J, et al. A modified procedure for gas-source isotope ratio mass spectrometry: the long-integration dual-inlet (LIDI) methodology and implications for clumped isotope measurements. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2014, 28(13): 1413-1425.
- [176] Belt S T, Brown T A, Ampel L, et al. An inter-laboratory investigation of the Arctic sea ice biomarker proxy IP25 in marine sediments: key outcomes and recommendations. *Climate of the Past Discussions*, 2014, 9(5): 5263-5298.
- [177] Sun D, Tan W, Pei Y, et al. Late Quaternary environmental change of Yellow River Basin: An organic geochemical record in Bohai Sea (North China). *Organic Geochemistry*, 2011, 42(6): 575-585.
- [178] Wu W, Zhao L, Pei Y, et al. Variability of tetraether lipids in Yellow River-dominated continental margin during the past eight decades: Implications for organic matter sources and river channel shifts. *Organic Geochemistry*, 2013, 60(7): 33-39.
- [179] Wu W, Ruan J, Ding S, et al. Source and distribution of glycerol dialkyl glycerol tetraethers along lower Yellow River-estuary-coast transect. *Marine Chemistry*, 2014, 158(1): 17-26.
- [180] Wang G, Zhang L, Zhang X, et al. Chemical and carbon isotopic dynamics of grass organic matter during litter

- decompositions: A litterbag experiment. *Organic Geochemistry*, 2014, 69(2): 106-113.
- [181] Wu W, Tan W, Zhou L, et al. Sea surface temperature variability in southern Okinawa Trough during last 2700 years. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39(14): 36-57.
- [182] Mo Duowen, Li Fei, Li Shuicheng, et al. A preliminary study on the paleoenvironment of the middle Holocene in the Hulu River area in Gansu Province and its effects on human activity. *Journal of Geographical*, 1996(1): 59-69. [莫多闻, 李非, 李水城, 等. 甘肃葫芦河流域中全新世环境演化及其对人类活动的影响. *地理学报*, 1996(1): 59-69.]
- [183] Xia Zhengkai, Chen Ge, Zheng Gongwang, et al. Climate background of the evolution from Paleolithic to Neolithic cultural transition during the last deglaciation in the middle reaches of the Yellow River. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(1): 71-75. [夏正楷, 陈戈, 郑公望, 等. 黄河中游地区末次冰消期新旧石器文化过渡的气候背景. *科学通报*, 2001, 46(14): 1204-1208.]
- [184] Xia Zhengkai, Deng Hui, Wu Honglin. Geomorphologic background of the prehistoric cultural evolution in the Xar Moron River Basin, Inner Mongolia. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(3): 329-336. [夏正楷, 邓辉, 武弘麟. 内蒙古拉木伦河流域考古文化演变的地貌背景分析. *地理学报*, 2000, 55(3): 329-336.]
- [185] Li M, Mo D, Mao L, et al. Paleosalinity in the Tianluoshan site and the correlation between the Hemudu culture and its environmental background. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 20(3): 441-454.
- [186] Liang Liang, Xia Zhengkai, Liu Decheng. Reconstruction of the paleoenvironment in Central North China during 5000-4000 a B.P.: Evidence from mollusks fossils. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*. 2003, 39(4): 532-537. [梁亮, 夏正楷, 刘德成. 中原地区距今 5000-4000 年间古环境重建的软体动物化石证据. *北京大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(4): 532-537.]
- [187] Xia Zhengkai, Wang Zanhong, Zhao Qingchun. Extreme flood events and climate change around 3500 a B.P. in the Central Plains of China. *Science China: Earth Sciences*, 2004, 47(7): 599-606. [夏正楷, 王赞红, 赵青春. 我国中原地区 3500 a BP 前后的异常洪水事件及其气候背景. *中国科学(地球科学)*, 2003, 33(9): 881-888.]
- [188] Yang X, Xia Z, Ye M. Prehistoric disasters at Lajia Site, Qinghai, China. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(17): 1877-1881. [夏正楷, 杨晓燕, 叶茂林. 青海喇家遗址史前灾难事件. *科学通报*, 2003, 48(11): 1200-1204.]
- [189] Zhang Y, Mo D, Hu K, et al. Holocene environmental changes around Xiaohe Cemetery and its effects on human occupation, Xinjiang, China. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(6): 752-768.
- [190] Mo D, Zhao Z, Xu J, et al. Holocene environmental changes and the evolution of the Neolithic Cultures in China// *Landscapes and Societies*. Springer Netherlands, 2011: 299-319.
- [191] Zhang J, Huang W, Yuan B, et al. Optically stimulated luminescence dating of cave deposits at the Xiaogushan prehistoric site, northeastern China. *Journal of Human Evolution*, 2010, 59(5): 514.
- [192] Zhang J, Wang X, Qiu W, et al. The paleolithic site of Longwangchan in the middle Yellow River, China: Chronology, paleoenvironment and implications. *Journal of Archaeological Science*, 2011, 38(7): 1537-1550.
- [193] Nian X, Gao X, Zhou L. Chronological studies of Shuidonggou (SDG) Locality 1 and their significance for archaeology. *Quaternary International*, 2014, 347, 5-11.
- [194] Nian X, Gao X, Xie F, et al. Chronology of the Youfang site and its implications for the emergence of microblade technology in North China. *Quatern. Int.*, 2014, 347, 113-121.
- [195] Li Z, Wu X, Zhou L, et al. Late Pleistocene archaic human crania from Xuchang, China. *Science*, 2017, 355: 969-972.
- [196] Xia Zhengkai, Liu Decheng, Wang Youping, et al. Environmental background of human activities during MIS 3 stage recorded in the Zhijidong Cave site, Zhengzhou. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(1): 96-102. [夏正楷, 刘德成, 王幼平, 等. 郑州织机洞遗址 MIS 3 阶段古人类活动的环境背景. *第四纪研究*, 2008, 28(1): 96-102.]
- [197] Xia Z, Chen F, Chen G, et al. Environmental background of evolution from the Paleolithic to Neolithic culture in Nihewan Basin, North China. *Science China Earth Sciences*, 2001, 44(9): 779-788.
- [198] Ren X, Lemoine X, Mo D, et al. Foothills and intermountain basins: Does China's fertile arc have "Hilly Flanks"? *Quaternary International*, 2016, 426: 86-96.
- [199] Zhang Xiaohu, Xia Zhengkai, Yang Xiaoyan, et al. Different response models of prehistoric economy to 4 ka B.P. climate event in the reaches of Huang River. *Quaternary Science*, 2008, 28(6): 1061-1069. [张小虎, 夏正楷, 杨晓燕, 等. 黄河流域史前经济形态对 4 ka B.P. 气候事件的响应. *第四纪研究*, 2008, 28(6): 1061-1069.]
- [200] Mo Duowen, Yang Xiaoyan, Wang Hui, et al. Study on the environmental background of Niuheliang site, Hongshan culture, and the relationship between ancient man and environment. *Quaternary Science*, 2002, 22(2): 174-181. [莫多闻, 杨晓燕, 王辉, 等. 红山文化牛河梁遗址形成的环境背景与人地关系研究. *第四纪研究*, 2002, 22(2): 174-181.]
- [201] Guo Y, Mo D, Mao L, et al. Settlement distribution and its relationship with environmental changes from the Paleolithic to Shang-Zhou period in Liyang Plain, China. *Quaternary International*, 321 (2014): 29-36.

- [202] Li T, Mo D, Kidder T, et al. Holocene environmental change and its influence on the prehistoric culture evolution and the formation of the Taosi site in Linfen basin, Shanxi province, China. *Quaternary International*, 2014, 349: 402-408.
- [203] Department of Science and Technology for Social Development, Ministry of Science and Technology, Department of Museum and Social Relics, State Administration of Cultural Heritage. The Collected Papers of the National Key Project on Origin of the Chinese Civilization (the First Volume on Environment). Beijing: Science Press, 2009. [科技部社会发展科技司, 国家文物局博物馆与社会文物司. 中华文明探源工程文集·环境卷(I). 科学出版社, 2009.]
- [204] Xia Zhengkai, *Environmental Archaeology: Principles and Practice*. Beijing, Peking University Press, 2012: 339. [夏正楷, 环境考古学: 理论与实践. 北京: 北京大学出版社, 2012: 339.]

Establishment and development of geomorphology and Quaternary sciences at Peking University

MO Duowen, ZHOU Liping, LIU Gengnian, LI Youli,

XIA Zhengkai, ZHANG Jiafu, LI Yiyin

(MOE Laboratory for Earth Surface Processes, College of Urban and Environmental Sciences,
Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: As a result of the reorganization of the universities and academic departments in 1952, Peking University set up the Department of Geology and Geography and started the teaching and research in Geomorphology and Quaternary science. This marked the establishment of the discipline of Geomorphology and Quaternary at Peking University. Over the past 65 years, great achievements have been made in the fields such as neotectonic activity and tectonic geomorphology, climatic geomorphology, fluvial geomorphology and sedimentology, sedimentary facies and comparative sedimentology, remote sensing and geographical information system, Quaternary stratigraphy and chronology, Quaternary climate and environmental change, marine geochemical processes and environmental evolution, and environmental archaeology and past human-environment interaction. These progresses have not only played an innovative and leading role in some of the related research areas, but also helped to solve a series of practical problems in the national economic development, thus representing great contribution to the development of Geomorphology and Quaternary science in China.

With the increasing diversification in the field of geography, the discipline development and scientific research of Geomorphology and Quaternary Science in Peking University will strengthen integration with all branches of physical geography and other fields of Earth Science within the framework of Earth System Science. To contribute more to the development of Geomorphology and Quaternary Science in China, particular emphasis will be put on the research on the links between the geomorphological evolution of different macroscopic spatio-temporal scales and the modern processes, and on the understanding of complex impacts of various components of the earth system on the evolution of geomorphology. Systematic simulation and numerical modeling on the climate change, environmental evolution and geomorphologic processes will be developed. Both theoretical research and the development and application of new technology in Geomorphology and Quaternary Science will be strengthened.

Keywords: Peking University; geomorphology; Quaternary Science; establishment and development; achievement and innovation