

# 地貌过程研究回顾与展望

师长兴, 许炯心, 蔡强国, 景 可, 李炳元,  
房金福, 齐德利, 王随继, 闫云霞

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 地貌学是现代地理科学的一个重要分支学科。本文对中国科学院地理科学与资源研究所建所以来在地貌研究领域的主要研究成果进行了综述, 包括河流地貌、黄土高原与坡地地貌、青藏高原及南极地貌与第四纪、喀斯特与旅游地貌、地貌实验与模拟、地貌制图共六个方面, 对地理资源所地貌研究团队目前的研究方向进行了介绍, 并就提高地理资源所地貌研究在学科发展和服务国家建设中的作用提出了建议。

**关键词:** 河流地貌; 坡地地貌; 冰川地貌; 喀斯特地貌; 区域地貌; 应用地貌

**文章编号:** 1000-0585(2010)09-1546-15

地貌学研究地球表面形态特征与格局及其发生、演化的过程与原因, 既关注陆地表面也涉及大洋海底的形态及其塑造过程。地貌是大气圈、水圈、岩石圈界面上物质迁移、循环和能量传输、转化过程的结果, 也是圈层界面过程信息的主要载体, 因此地貌学在以地表过程为主要研究对象的现代地理科学中是一个重要的分支学科。地貌作为地理环境中最重要的因素之一, 与人类生产和生活有着密切的关系, 因此地貌学在社会经济建设中起着其他学科不可替代的作用。正因为地貌学在科学和社会发展上的重要性, 20 世纪 50 年代中国科学院地理研究所建所初期, 就将地貌研究室设置为全所六个研究室之一。半个多世纪, 我所在地貌学的基础理论研究与应用研究上都取得了丰硕的成果, 为我国大江大河治理、水土流失防治、农业发展、交通建设以及自然资源合理利用和环境综合整治等诸多方面提供了重要的科学依据。

## 1 发展过程

中科院地理所成立初期, 所内地貌研究力量是自然地理组的骨干。1958 年地貌室成立后, 研究力量不断发展, 曾形成地理所最大的研究室。为方便开展不同地貌学科和不同地区地貌研究, 并随着学科发展和国家经济建设需要不断进行调整, 曾先后设置了河流地貌、风沙和黄土地貌、构造地貌、平原地貌、坡地地貌、喀斯特地貌、区域地貌等研究组, 这种分科分区开展地貌研究的组织形式持续到 1985 年前后被课题组所取代。我所拥有全国最大的一支地貌研究团队, 地貌研究领域也涵盖了地貌学的主要方面, 涉及河流地貌、河口海岸地貌、风沙地貌、黄土地貌、构造地貌、喀斯特地貌、冰川地貌、地貌区划与制图、应用地貌以及包括黄土高原、华北平原、青藏高原、西南岩溶区、南极等区域地

**收稿日期:** 2010-06-60; **修订日期:** 2010-07-20

**基金项目:** 中国科学院地理科学与资源研究所 2009 年度自主部署创新项目 (200904004)

**作者简介:** 师长兴 (1963-), 男, 河北正定人, 研究员。主要从事河流地貌、流域物质迁移与环境变化研究。

E-mail: shicx@igsrr.ac.cn

貌等领域的理论、方法与实践问题。

不论是早期承担国家任务分组进行研究，还是后期自主申请科研课题，我所地貌学者在地貌学科发展和服务国家需求上都作了大量工作。早期我所的地貌研究主要结合在地理考察和为国家建设服务的专项考察中，如新中国成立前的嘉陵江流域地理考察、西北史地考察、青甘考察、大巴山东段地理考察、长江三峡水库淹没损失考察，建国后的成一渝、成一昆等铁路选线、汉水流域考察，黄泛区调查，以及黄土高原水土流失调查、长江上游河谷地貌和南水北调考察等，并组织和领导全国地貌工作者，完成了中国地貌区划工作。地貌室成立后，承担和开展了长江上游河谷地貌与中下游河床演变、渭河下游与黄河下游河流地貌、喀斯特水库渗漏与喀斯特地貌旅游、黄淮海农业地貌条件评价和地貌区划、西藏、南极与黄土高原地区综合科学考察、地貌制图、国家重大自然科学基金“黄河流域环境演变与水沙运行规律”、国家攀登计划项目和中科院重大基础项目“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”的课题、国家“八五”科技攻关项目课题“黄河流域灾害环境演变趋势及治理对策”、国家自然科学基金与水利部联合资助重大基金项目课题“流域系统中泥沙产生与致灾机理研究”、国家自然科学基金重点项目“东北黑土区土壤侵蚀机理与土地退化预警”、“基于气候—地貌—土壤—植被耦合关系的黄河中游侵蚀过程”，以及国家下达、部门委托、国际合作、自然科学基金等约 200 个科考、科研、规划、制图项目与生产任务。研究成果获得国家以及省部级科技大奖几十项。如我所主持的项目“黄淮海农业地貌条件评价和地貌区划”成果 1987 年获中国科学院科技进步特等奖，1988 年获国家科委科技进步二等奖，“黄河流域环境演变与水沙运行规律”研究成果 1995 年获中国科学院自然科学一等奖，《黄淮海平原地貌图（1：50 万）》1987 年获中国科学院科技进步特等奖，是 1988 年国家科委科技进步二等奖项目的组成部分；《西藏地貌》、《长江中下游河床演变》、《南极维斯特福德丘陵区晚第四纪地质和地貌研究》、《河流地貌概论》、《应用河流地貌实验与模拟研究》、《黄河下游河流地貌》先后分别获得中国科学院自然科学或科技进步二等奖；“水利水电建设中喀斯特渗漏问题”研究成果 1987 年获国家优秀勘察奖、广西壮族自治区科技进步一等奖；《青海省地貌图（1：100 万）》1990 年获青海省科学技术进步奖二等奖，1991 年获国家科学技术进步奖三等奖；“中国—加拿大合作研究”主要成果 2003 年获山西省科技进步二等奖（第二名）；“黄河水沙过程变异及河道的复杂响应”2006 年获水利部大禹水利科学技术奖一等奖，2007 年获国家科学技术进步奖二等奖（第三名和第六名）；《青藏高原第四纪冰川遗迹分布图（1：300 万）》是 2008 年国家自然科学奖二等奖项目的组成部分。

随着科学技术的不断进步和科学研究的逐步深入，地貌学从早期的形态描述和定性分析逐渐发展到量化的过程研究。相对国际地貌学研究，我国的地貌研究起步较晚，但也因此起点较高。我所地貌研究从其开展初期就十分重视地貌野外考察、定位观测和实验室分析与模拟的密切结合。从上世纪 50 年代，在地貌室创始人沈玉昌先生领导下，曾相继建立了流水地貌实验室、坡地实验室、孢粉实验室、沉积物实验室、 $^{14}\text{C}$  实验室。其中流水地貌实验不仅可以进行一般的河床演变实验，而且可以进行地壳构造运动作用下的河型转化实验；坡地实验室可以开展不同人工降雨条件和下垫面下坡地侵蚀、堆积过程的实验研究；沉积物实验室可以进行松散沉积物的粒度分析、碎屑矿物分析、粘土矿物分析、化学分析等分析测试；孢粉实验室、 $^{14}\text{C}$  实验室都属国内一流水平，其中  $^{14}\text{C}$  实验室在第三届  $^{14}\text{C}$  国际互校考核中考核成绩名列前茅，达到国际先进水平。这些实验室为研究第四纪

环境变迁、地貌过程变化提供了重要手段,成为地貌创新研究的重要保障。除此之外,在我国不同自然带如华南热带、华中亚热带、黄土高原半干旱、干旱带、华北半干旱带、东北黑土地地区曾建立了可以展开野外流水地貌实验的基地,如长江三峡库区紫色土地区、花岗岩地区,张家口地区以及东北黑土地地区的野外试验观测站。在野外模拟实验方面,配备了完善的模拟降雨设备,包括各种模拟降雨机。研究中还充分利用现代技术,如3S技术、 $^{137}\text{Cs}$ 技术、GIS及其他分析计算手段。正是在高水平的实验和分析、测试、计算、模拟手段的支持下,地貌研究产生了一批批高水平的成果。

我所在地貌学上强大的研究力量和丰硕的研究成果使我所的地貌研究诸多方面长期在全国起到了引领作用,并且不断派出骨干力量建立或充实地区性的科研单位。然而近十余年来兄弟科研单位逐渐发展,形成研究特色地貌过程的优势力量时,我所地貌研究则出现人才流失、实验设备老化等问题,并在世纪之交所团队整合中并入其他研究室。但我所地貌学工作者仍然坚持在科研岗位上,继续展开理论和应用地貌研究工作,不断有创新成果产出。在这一基础上,2009年初恢复组建了地貌与流域过程研究室。新的研究室集中了研究所主要的地貌研究力量,特别是在河流过程、坡地过程与喀斯特过程等方面的研究力量,必将成为促进我国地貌学发展的一支重要研究团队。

## 2 主要研究成果

### 2.1 河流地貌

20世纪70年代以前,我所河流地貌研究主要偏重于河谷地貌发育史、河流地貌与地质构造的关系方面,代表性成果为沈玉昌等撰写的专著《长江上游河谷地貌》。书中指出,长江三峡远在第三纪初已经形成,是长江从隆起的夷平面上下切而形成的<sup>[1]</sup>。长江上游金沙江在石鼓附近的大拐弯系受两组共轭地质构造所控制,而非河流袭夺的结果<sup>[2]</sup>。70年代末,我所河流地貌研究转向以河床地貌研究为主,《渭河下游河流地貌》、《长江中下游河道特性及其演变》、《黄河下游河流地貌》3本专著系统地反映了80年代我所在河床过程方面的研究成果<sup>[3~5]</sup>。沈玉昌、龚国元在专著《河流地貌概论》中,将现代河床过程的基本规律概括为:水流与河床相互制约、河床变形的滞后现象、泥沙运动是水流相互作用的纽带、河床自动调节作用、平衡条件下河床几何形态与水流泥沙及边界条件之间具有函数关系等<sup>[6]</sup>。

河型的研究是我所河流地貌最活跃的领域之一。沈玉昌等在比较前人分类方案得失的基础上提出了新的河型分类方案,即将单汉和多汉作为第一级分类,单汉之下再分为顺直微弯和弯曲两种河型,多汉之下则分为两汉和复汉两种河型,并讨论了它们的形成条件<sup>[6]</sup>。阐述了河岸与河床的相对可动性对河型发育的影响,认为这种作用实际上是基于一种河流选择性调整的机理,它决定了河床究竟采取何种方式来减少自己的能量消耗,因而有不同的河型出现<sup>[7]</sup>。在渭河下游,研究了控制河型空间变化的临界条件,提出了河型转化时床沙中粉砂、粘土含量及河宽的临界值<sup>[3]</sup>。在黄土高原,发现了年均含沙量在 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 以上的冲积性曲流河床,用高含沙水流的特殊能耗性质对其形成机理进行了解释,并将其命名为高含沙曲流<sup>[8]</sup>。对以长江为代表的江心洲河型的形成机理进行了系统深入的研究,指出了分汉河型形成的基本条件,一是在江心出现泥沙堆积,二是堆积下来的泥沙要取得相对稳定,这又依赖于合适的地质地貌条件、河床边界条件和水文泥沙条件的相互配合<sup>[9]</sup>。在建立砂质河流和砾石河流河型的统一判别模式方面进行了尝试,利用包括

国内外河流的大样本，基于能耗率、水流剪切力等水力学变量和河床约束性的指标，首次建立了砂质河流和砾石河流河型的统一判别模式<sup>[10]</sup>。近年来在山地河流水力几何形态关系、河型转化和不同河型的沉积特征等方面取得了新的进展<sup>[11~14]</sup>。

将高含沙水流运动的力学理论应用于中国多沙河流地貌的研究，在国际上开辟了以高含沙水流原理研究多泥沙河流地貌过程的新领域。提出了高含沙水流侵蚀的概念<sup>[15]</sup>，研究了高含沙水流的时间变化<sup>[16]</sup>，发现了宽变幅水沙两相流冲淤过程中的两个冲淤临界值<sup>[17]</sup>。揭示了天然河道挟沙水流的复杂的力学行为，发现了冲积河流河床形态和河型随含沙量变化的复杂图形，对河型随含沙量变化的传统理论进行了修正，使之更加完善<sup>[18]</sup>。

在国际上首次提出了多营力地貌过程新概念，系统地展开了风沙-黄土转换带多营力侵蚀过程的研究，包括风沙-黄土转换带中的多营力作用、多营力侵蚀-输沙体系、沙尘暴对流水侵蚀-输移过程的影响，开辟了多营力地貌过程研究的新领域。提出了风力-水力两相作用下的侵蚀产沙过程模式，为多沙粗沙区的高强度产沙机理提出了新的解释<sup>[19]</sup>。研究了风水两相作用对高含沙水流的影响，提出一个简单的“运载工具”模式来描述高含沙水流的形成特性，为黄河多沙粗沙区高含沙水流的成因提出了新的解释<sup>[20]</sup>。

对于黄河流域系统中的侵蚀、泥沙输移和沉积过程进行了系统而深入研究。提出黄河中游多沙粗沙区极端侵蚀模数新概念，并拟合出极端侵蚀模数与林草以及与林木覆盖度之间的定量函数关系，计算出极端侵蚀模数的临界植被覆盖度<sup>[21]</sup>。研究发现无定河流域风沙区和黄土丘陵沟壑区河流的产流模数基本相近，但产沙模数却非常悬殊，前者的产沙模数很小，而后的很大<sup>[22]</sup>。对于黄河流域不同水沙来源区对下游河道淤积的影响进行了定量估算，表明来自多沙粗沙区的每 1t 泥沙，淤积在黄河下游河道的为 0.455t；而来自多沙细沙区的每 1t 泥沙，淤积在黄河下游河道的仅为 0.154t<sup>[23]</sup>。对于黄河流域侵蚀产沙的尺度效应进行了研究，发现了产沙模数与流域面积之间的非线性关系<sup>[24]</sup>；根据产沙模数随流域面积变化的区域差异，对黄土高原地区产沙模数的尺度效应进行了分区，针对不同类型建立了相应的校正方程，编制了黄土高原地区消除尺度效应影响的产沙模数图<sup>[25]</sup>。建立模型，定量估算了黄河下游沿程淤积与溯源淤积对比关系随时间的变化，弄清了黄河下游长期淤积的原因<sup>[26]</sup>。分析计算了黄河下游河槽平衡输沙横剖面，得出以显著减小黄河下游河槽淤积为目的的多级河槽形态<sup>[27]</sup>；分析了黄河三角洲沉积物压实沉降所可能产生的地面沉降量和过程<sup>[28]</sup>。研究了黄河河口河道形态调整机理，揭示了影响河槽横断面形态自动调整的主要矛盾，提出河口河道治理的一种方法<sup>[29]</sup>。阐明了黄河三角洲造陆过程对于夏季风强度变化的响应<sup>[30]</sup>。得到了 13000 年以来黄河下游沉积速率随时间变化的曲线，发现了黄河下游沉积速率发生的 4 次突变<sup>[31,32]</sup>。基于大量沉积剖面与沉积物定年数据以及其他相关资料分析，定量重建了全新世以来多时间尺度下的黄河流域的泥沙通量，确定了人类活动对黄河流域产沙的贡献率<sup>[33~36]</sup>。

此外，利用大量水文泥沙、气象、遥感数据，研究揭示了长江上游侵蚀产沙的独特尺度效应和阶段性变化及其主要控制因素<sup>[37,38]</sup>。利用滇西山地河流河道形态指数统计关系，揭示了构造作为主控因素的滇西怒江、澜沧江和金沙江演变的相似性<sup>[39]</sup>、澜沧江上下两段演变的分异性<sup>[40]</sup>，分析了滇西三江分水岭间横断面及纵剖面演化特点及分布规律<sup>[41]</sup>。

## 2.2 黄土高原与坡地地貌

上世纪 50 年代，黄秉维先生、罗来兴先生等就对黄土高原进行了大范围的实地野外考察，摸清了黄土高原黄土地貌类型基本格架、发育规律和黄土地貌的空间分布规律，开

创了黄土高原典型小流域水土流失治理规划研究。黄秉维先生编制的黄河中游流域土壤侵蚀分区图<sup>[42]</sup>，至今还是在黄土高原地区进行土壤侵蚀研究和水土保持治理的重要依据。罗来兴先生在黄土高原通过实地考察总结出的“羊道侵蚀”“道路侵蚀”以及细沟侵蚀规律，土壤侵蚀沿坡长的变化规律等，至今已经成为这些方面研究的经典，仍然是当前有待深入研究的热点领域<sup>[43]</sup>。

从上世纪 60 年代，开始了坡面侵蚀定位观测和侵蚀机理的试验研究，为土壤侵蚀规律定量研究奠定了基础。在黄秉维先生和沈玉昌先生支持下创建室内人工降雨坡面过程实验室，80 年代完成了室内人工降雨坡面实验室建设，并开展了坡面侵蚀机理和坡面养分流失规律的试验研究，完成了国际合作研究项目，国家基金委的重大研究项目、重点研究项目、面上基金项目，中国科学院方向性研究项目以及大量的横向合作研究项目的实验研究任务<sup>[44]</sup>。

上世纪 80 年代，在探讨黄河中游黄土丘陵地区坡地侵蚀发育规律基础上<sup>[45]</sup>，依据黄土高原的实际观测数据，全面地总结了黄土高原的土壤侵蚀和治理的研究成果，阐述了侵蚀强度及其时空变化，分析了影响侵蚀因素在侵蚀发展过程中的作用，探讨了沟间地和沟谷地的侵蚀过程<sup>[46]</sup>，以上研究成果目前已经成为黄土高原侵蚀过程研究和水土保持治理的经典依据，并在 1989 年获得了中国科学院科技进步二等奖。

对于黄土高原侵蚀产沙的热点问题形成了独自观点，对前人提出的“多沙粗沙区”给出科学的内涵，并研究出“多沙粗沙区”范围界定指标和结果<sup>[47]</sup>，运用“侵蚀—沉积”相关原理研究了黄土高原自然侵蚀与人为加速侵蚀量，运用“综合自然地理学”知识探讨了黄土高原土壤侵蚀时空分布的原因，从地貌学观点对黄河泥沙由来和过程、泥沙来源、泥沙输移及泥沙在下游的淤积形式等方面给出独到的见解<sup>[48]</sup>，全面地总结了黄土高原侵蚀产沙、泥沙输移和沉积过程研究成果<sup>[49]</sup>。

完成了四项分别由加拿大国际发展署（CIDA）和加拿大国际发展研究中心（IDRC）资助的中国加拿大合作研究项目。坡面土壤侵蚀规律研究是我所长期与加拿大多伦多大学，萨斯卡川大学合作研究重点领域，在降雨击溅侵蚀，坡耕地土壤表土结皮以及细沟侵蚀方面的研究在国内处于领先地位。我所在坡面侵蚀规律的相关研究先后五次获得国家基金委的面上项目支持，研究成果很好揭示了坡面侵蚀规律<sup>[50]</sup>，为构建坡面侵蚀模型和水土保持治理提供了重要依据<sup>[44]</sup>。论文“坡面细沟侵蚀发生临界条件研究”<sup>[51]</sup>获得了钱宁泥沙科学基金会颁发的第 4 届钱宁泥沙科学优秀论文奖。我所在黄土丘陵沟壑区洞穴侵蚀和重力侵蚀对小流域的侵蚀产沙方面有重要的贡献，作为研究难点，我所在这两个领域的研究成果在国内外一直居于领先水平<sup>[52]</sup>。在国家基金委重点基金项目支持下，我所在东北黑土地的坡地侵蚀规律研究很好揭示了细沟侵蚀在坡地发育中的作用<sup>[53]</sup>。

我所与加拿大多伦多大学合作，构建了黄土高原丘陵沟壑区的小流域侵蚀产沙模型。其坡面子模型充分考虑了我所坡面土壤侵蚀规律成果，建立了坡面发生细沟侵蚀的判别计算公式，是一个有很好物理意义的坡面降雨径流侵蚀模型；沟道子模型引入了泥沙输移比计算；沟坡子模型考虑了重力侵蚀和洞穴侵蚀对流域产沙的影响，得到国内外同行们的认可<sup>[54]</sup>。相关研究成果“黄土高原侵蚀产沙实验研究与模拟”获中国科学院自然科学二等奖。现在正在完成的“岔巴沟流域次暴雨产沙经验模型研发”是黄委会组织的数字黄土高原水土流失数学模型的重要组成部分。与加拿大多伦多大学环境研究所共同构建、开发了“土壤侵蚀管理信息系统（SEMGIS）”，在地理信息系统支持下，建立了由流域侵蚀产沙

模型、生产潜力模型和经济效益分析模型组成的小流域土壤侵蚀管理信息系统，并在山西省的汾河上游几个县得到了广泛的推广应用。还利用航空摄影测量和 GIS 技术探讨了晋西王家沟典型小流域土壤侵蚀和地貌演化规律。该项目获得了山西省科技厅科技进步二等奖。在国内比较早的开展了流域侵蚀产沙模型的尺度转换研究，系统总结了侵蚀产沙尺度转换的类型和理论方法，构建了考虑流域尺度的岔巴沟流域次暴雨产沙的统计模型，得到了考虑流域尺度影响的岔巴沟流域次暴雨泥沙输移比表达式，流域径流过程、侵蚀产沙过程、水沙关系随尺度变化的规律<sup>[55]</sup>。

黄秉维先生提出的坡地改良利用研究多年来一直是我所的重要研究领域<sup>[56]</sup>。在国家自然科学基金重点项目支持下完成了对三峡库区和张家口地区的坡地改良利用研究，优选了适宜的植物篱品种，探讨了合适的植物篱间距和行距，揭示了植物篱防治坡面细沟侵蚀的机理，阐述了紫色土和北方土石山区的坡地地貌发育规律。在承担河北省科委“九五”研究项目过程中，我所推广应用了已经取得的坡地改良利用研究成果，于 2002 年，2003 年两次获河北省科技厅颁发的河北省山区创业二等奖。与香港中文大学地理系两次共同承担香港特区政府研究资助局拨款资助研究项目，深入研究了植物篱在紫色土地区防止水土流失的规律<sup>[57]</sup>。

研究表明，在植被生长主要依赖天然降雨的黄土高原，生物措施（植被类型）要与自然带相适应，应根据植被恢复度和植被生态需水适应性系数来进行宏观植被的恢复与实施。它是目前在不断增长的人口压力下，进行水土保持，解决好经济发展与环境保护、造林种草与植被类型的自然适应性、以及控制泥沙作用中生物措施与工程措施合理布局等诸多矛盾的关键所在<sup>[58]</sup>。高含沙水流的发育及其在空间尺度上的变化研究是黄土丘陵沟壑区防治土壤侵蚀产沙的重要理论举措<sup>[59]</sup>。次洪总水总沙关系可以用最简单的比例函数来表示，而且比例系数就是流量含沙量关系中的稳定值。植被减沙机制随空间尺度的变异：在坡面，植被不仅通过减水来减沙，而且也通过改变水沙关系来减沙，导致减沙率大于减水率；在流域尺度，由于植被难以有效控制黄土丘陵沟壑区的重力侵蚀，也难以改变高含沙水流的输沙能力，因此不会改变流域出口的水沙关系，仅通过减水来减沙，导致减沙率接近减水率，因此在建立研究区流域产沙模型的时候，如果选择径流而不是降雨特性作为模型的自变量，模型中可不必考虑植被等坡面治理措施因素造成的下垫面情况的改变<sup>[60]</sup>。

### 2.3 青藏高原及南极地貌与第四纪

青藏高原是全球海拔最高的一个独特地域单元。它在近几百万年以来的强烈隆起对高原本身和毗邻地区乃至全球的环境变化都有深刻影响。20 世纪 50 年代地貌研究室成立以来，一直重视该地区的地貌与第四纪研究，先后参与了中央和地方科研和生产部门组织的对青藏高原的一系列科学考察和调查，承担了“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”（1993~1997）、《青藏高原隆起与环境变化重大事件研究》（1997~2000）等国家重大项目课题。在青藏高原地貌特征分异、第四纪高原隆升与环境变化等研究领域取得了许多重要的进展。出版了《西藏地貌》、《西藏第四纪地质》、《喀喇昆仑山—昆仑山地区晚新生代环境变化》、《青海可可西里地区自然环境》、《南迦巴瓦峰地区自然地理与自然资源》、《青藏高原晚新生代隆升与环境演化》等专著<sup>[61~66]</sup>和大量论文，主编了青藏高原地貌图、西藏地貌图、西藏第四纪地质图、青海省地貌图和青藏高原第四纪冰川遗迹分布图等大量图件。研究成果系统论述了青藏高原地貌特征、分异、形成与演化以及环境变迁等问题。探讨了青藏高原隆起时代、幅度和形式<sup>[61,62,67]</sup>。利用上世纪二期青藏公路沿线精密水准测

量证实高原现代抬升速率平均为 5.8mm/a, 并且从北向南增加<sup>[68]</sup>。编制的“青藏高原第四纪冰川遗迹分布图”从整体上展示了青藏高原第四纪时期冰川分布范围、冰川的类型、规模、性质、演化历史和高原隆起的关系。否定了青藏高原第四纪大冰盖观点, 在国内外会议上受到有关专家的重视与好评<sup>[69]</sup>。发现“亚洲寒旱核心”形成于 15 万年前, 并且距今 5 万~2.5 万年该区特别暖湿<sup>[65]</sup>。揭示了高原湖泊与河流沉积及地貌演变, 指出中新世晚期至早更新世为高原现代水系格局基本形成时期, 之后随着高原的隆起, 边缘河流溯源侵蚀先后切割和疏干了一些湖泊, 晚更新世以来, 高原内部干旱化导致湖泊萎缩, 进入成盐期, 促使外流水系向内流水系转化<sup>[70]</sup>。发现在高原上保留的最高湖面大多发生在 40~25kaBP<sup>[71]</sup>, 高原北缘湖泊在 18 kaBP 前后发生上升扩张<sup>[72]</sup>, 并在 12kaBP 前后末次盛冰期后冰消期存在湖面升高和盐湖淡水化事件<sup>[73]</sup>。在世界上海拔最高 (4840m)、距海遥远的青藏高原西北部甜水海东南面钻孔和地表湖相沉积中首次发现晚第四纪有孔虫化石<sup>[74]</sup>。发现藏南沉错湖区 2 万年来的温度变化与高原其他地区和格陵兰冰芯记录具有较好的一致性<sup>[75]</sup>。

自 1980 年始, 特别是 1985 年我国长城站、中山站建成后, 我所曾多次派人赴南极洲参加野外考察, 对南极洲自然环境的形成与演化、第四纪沉积、冰缘地貌、极地风化作用、微体古生物等方面进行了广泛的研究, 发表《南极维斯特福尔德丘陵区晚第四纪地质和地貌研究》、《中国南极长城站地区 (菲尔德斯半岛) 地貌与沉积》<sup>[76, 77]</sup> 等专著及一系列的论文和报告。研究认为大约 3500 万年前南极大陆与南美洲完全分离, 气候急剧变冷, 逐渐发展形成统一的大冰盖, 其中末次冰期最盛时期 (18 000BP) 南极冰盖范围最大; 在全新世高温期, 南极沿海地区普遍发生较大规模海侵<sup>[78]</sup>。实证了距今 3000 多年以来南北半球的气候变化是同步的<sup>[79]</sup>。发现全新世冰退后地壳存在明显的均衡补偿抬升, 南极乔治王岛现代地壳上升速率为 6~10mm/a<sup>[80]</sup>。揭示了南极地区的冰缘地貌存在极地大陆型和极地海洋型两种类型, 其中前者分布于南极大陆沿岸无冰区, 冰缘作用以冰劈和冻胀为主, 冰缘地貌单一, 发展过程较慢; 后者主要分布于南极半岛及沿海岛屿, 冰缘作用以冰胀和冰融为主, 冰缘地貌类型多, 发展快<sup>[81]</sup>。发现在南极多年冻土区弱化学风化作用下形成了不同类型的风化壳<sup>[82]</sup>。在西南极乔治王岛菲尔德斯半岛北部, 高出现代海面 28~29.5 m 西施河谷内, 首次发现含有较丰富的海相生物化石的晚更新世浅海相沉积<sup>[83]</sup>。

#### 2.4 喀斯特与旅游地貌

1972 年, 我所地貌室设置喀斯特地貌研究组。研究组主动借鉴国外先进技术, 并自主完善和创新改进, 紧密结合国家和地方水利水电工程、厂矿道路建设、区域旅游开发等生产实践, 不断深入研究喀斯特地貌地球物理化学过程, 探索喀斯特地貌发育演化规律, 先后承担并完成了国家和地方重大科研项目 20 多项, 出版著作 10 多部, 发表相关论文 100 多篇。

研究组在中国喀斯特洞穴发育的区域分异、地带性因素、洞穴成因与溶蚀作用、洞穴发育双酸模式、碳酸盐岩表层硬度、喀斯特溶蚀强度分析与估算、表层喀斯特发育与生态系统关系、喀斯特地貌系统对气候响应过程模型等方面展开了广泛和深入研究<sup>[84~89]</sup>。发现了碱性钙溶液吸收 CO<sub>2</sub> 化学动力学机理, 建立了碳酸水与硫酸水双成因洞穴发育的双酸模式, 弄清了生物对土壤 CO<sub>2</sub> 贡献及土壤 CO<sub>2</sub> 对皮下带表层喀斯特过程的驱动作用, 揭示了岩石表面生态及其对岩石表面色彩与石林溶蚀形态形成的作用, 构建了溶蚀对降水、气温等的复杂响应过程模型等, 丰富了喀斯特地貌基础理论。

针对喀斯特地区的水库渗漏、电站安全以及地下水的开发利用等方面, 研究组做了卓有成效的应用研究工作。如成功解决了红水河第一级水电枢纽大化水库以及岩滩水电枢纽库区的喀斯特渗漏问题<sup>[90]</sup>、完成了北京牛口峪水库北方喀斯特悬托谷的防渗工程<sup>[91]</sup>, 分析了贵州独山南部、德江、普定以及大连金州、河北曲阳等喀斯特地下水开发利用等<sup>[92]</sup>。针对红水河流域环境地质综合评价国家任务, 先后完成了“红水河流域环境喀斯特研究”报告及其专题地貌图<sup>[93]</sup>。随着区域研究积累, 还进行了中国喀斯特地貌连片综合研究<sup>[94]</sup>。

在喀斯特地貌的基础和应用研究过程中, 研究组很早就引进并改进国外先进技术, 在具体的研究中又自己发明创造了各种新技术和手段。如应用染色石孢子和萤光素示踪法, 进行不同季节喀斯特地下水通道的示踪试验, 成功地断定不会跨越地下分水岭向邻谷渗漏, 完成了水库建设可行性论证方案<sup>[95]</sup>。首创并应用“洼地分析法”, 利用与地下水联系密切的地面洼地走势, 在室内绘出喀斯特地下通道大体平面分布, 指导实地调查和洞穴探测<sup>[96,97]</sup>。使用环境同位素示踪分析, 查清了渗漏因素与途径, 制定了多层次水库防渗方案<sup>[98]</sup>。此外, 该研究组还首先将航空红外遥感技术应用到探测岩溶的试验中, 取得了良好的示范效果。

我所最早涉足旅游地貌等应用研究领域是喀斯特地貌研究组。该研究组从上世纪 80 年代就开始了旅游洞穴的应用研究, 在洞穴稳定性以及喀斯特景观旅游资源评价等方面做了很多首创性的工作。先后完成了浙江瑶琳洞、河北临城白云洞、云南弥勒白龙洞、福建龙岩龙硿洞、路南石林景观等典型喀斯特景观的形成、发育、演化及其景观评价的调查论证科研报告<sup>[99~102]</sup>。这些成果很大程度上指导了岩溶洞穴、喀斯特地貌景观的旅游开发和保护。1997~2004 年组织的云南石林与国外剑状喀斯特对比、云南石林和贵州荔波峰林及重庆武龙芙蓉洞一天坑喀斯特捆绑式“中国南方喀斯特”申请世界自然遗产名录论证报告, 为成功申遗奠定了坚实基础<sup>[103]</sup>。随着旅游业的发展, 业界对旅游资源的调查、分类、评价等提出了更加准确和科学的要求, 上世纪 90 年代以来, 地貌室科研人员又积极参与国家旅游标准化研究和国家标准起草工作, 完成了多项与旅游地貌紧密相关的国家标准<sup>[104~106]</sup>。

## 2.5 地貌实验与模拟

我所河流地貌实验室创建于 20 世纪 60 年代, 拥有能够模拟地壳构造运动的抬升装置, 居于全国领先地位。1970~1990 年, 我所在河流地貌实验方面进行了一系列有价值的水槽实验工作, 包括弯曲河流、分汊河流、游荡性河流的形成演变过程及其控制因素的探讨。通过构造运动对河型影响研究, 揭示了由于地壳构造运动以及由此而导致输沙特性变化所引起的不同河型转化和发育规律<sup>[107,108]</sup>。结合长江中下游分汊河道的研究, 对于江心洲河型进行实验模拟, 表明节点(即束窄段)长度和间距(即宽河段长度)对形成江心洲有明显影响。当展宽段与束窄段的河宽比大于 2、长度比大于 6 时, 有利于江心洲的发育, 与野外观察到的情形一致<sup>[109]</sup>。研究了河漫滩物质结构对曲流发育的影响<sup>[110]</sup>, 以高岭土与细砂混合后作为二元结构上层物质, 以砂为下层物质, 塑造成了弯曲系数达 2.35 的真正曲流<sup>[111]</sup>。在水库修建后河流再造床过程的模拟试验方面, 首次将系统复杂响应原理用于水库下游河床演变, 建立了水库下游河床演变的复杂响应模式<sup>[112]</sup>, 对沿用 30 余年的 S. A. Schumm 提出的河床变形预报模式进行了修正, 提出了改进模式<sup>[113]</sup>。运用过程响应模型实验方法, 分析了游荡河型发育过程中的时空演变过程, 实验验证了其时空演替过程可以相互替代, 为空代时假说提供了新的证据<sup>[114]</sup>。这些水槽实验模型包括自然模型



和比尺模型两大类,其初始模型河道都设计为顺直河道。关于网状河流的实验研究有别于上述各实验<sup>[115]</sup>,通过对洪水决口后流水在洪泛区的漫流、逐渐归并为几条相互连通的河道的过程模拟,再现了网状河流河道和河间地的形成过程,水槽实验模拟的网状河流与自然界的网状河流具有诸多共性,从而揭示了天然网状河流的形成原因之一,即通过决口形成的过程及机理。河流地貌实验室关于弯曲河流的水槽模拟实验工作,在国际上具有较大的影响。此外,关于分汊河流以及网状河流形成演变的水槽模拟实验工作具有开创性。

1970年代末,我所建成坡地地貌实验室,展开了与坡地水蚀过程及机理方面的室内模拟实验工作,探讨了坡度对坡面产流、产沙过程的影响<sup>[116]</sup>,植被对降雨溅蚀以及降雨特性对溅蚀的影响<sup>[117,118]</sup>,另外,通过模拟实验研究探讨了表土结皮在溅蚀及坡面侵蚀过程中的作用<sup>[119]</sup>。这些模拟实验工作对坡面侵蚀的相关影响因素进行了多样化的细致分析,产生了一系列研究成果,对于土壤侵蚀规律的探寻及防治具有重要的指导作用。

利用相似性原理,在均质人工集水流域中给定雨强的条件下开展了流域地貌发育演变的实验研究工作<sup>[120]</sup>,结果表明,随着时间的推移,沟道数目及其长度由少到多,而后又逐渐减少;流域地面高程不断侵蚀降低,并且在时空分布上是不均匀的。纵向上,流域中下游侵蚀速率较上游的大,呈现溯源发展的趋势;横向上,中线侵蚀速率最大并向两侧递减;纵横比降随时间而降低。进一步研究发现<sup>[121]</sup>,产沙过程的振荡性、衰减率随物质变粗而加强,水系河道数目随物质变细而增多,河道随物质变细拉长,分数维值与产沙间是不对称双曲线的非线性关系。曲线的递变率绝对值随时间推移和物质变细而变小,体现状况代替时间特征。

## 2.6 地貌制图

区域地貌研究一方面是地貌研究基础,也是服务社会经济建设进行区域规划的基础,而地貌分类与地貌制图又是深入区域地貌研究的基础。因此地貌室十分重视区域地貌与地貌制图研究,开展了大量这方面的研究工作。主要包括:其一,上世纪50~60年代由地理所牵头,组织全国多个兄弟单位共同完成了中国地貌区划。在《中国地貌区划》编制中,在系统研究全国地貌类型的分布、形态和形成的基础上确定地貌区划原则与方法,对全国地貌进行分区并作了详细的描述<sup>[122,123]</sup>。其次,与区域自然资源开发和环境综合治理工作相结合,研究编制了大量部门地貌图和专题应用地貌图。如1:50万黄淮海平原地貌图、1:10万北京农业地貌图、黄土高原水土流失与水土保持图、封丘县1:5万农业地貌类型图、新乡地区1:20万的农业地貌类型图、酒泉专区1:50万地貌类型图、塔克拉玛干沙漠地貌图(1:1500000)、红水河流域喀斯特与地貌图(1:500000)、黄土高原地区1:50万侵蚀强度和侵蚀类型图、青藏高原第四纪冰川遗迹分布图(1:3000000)、中国第四纪冰川图(1:5000000)等。还有区域图和地貌专著中所附的普通地貌图,如:1:100万青海地貌图,《新疆地貌》中1:250万新疆地貌图、《西藏地貌》中1:250万西藏地貌图、《青海可可西里地区自然环境》中1:100万青海可可西里地区地貌图以及我国20世纪60年代和90年代国家自然图集中都承编了地貌图、地貌区划图和典型地区地貌图等。其三,主持了全国地貌图制图。包括上世纪80年代编制的15幅1:100万的中国地貌图(其中地貌室承编了北京幅、西宁幅地貌图)及地貌制图规范的制定和1:400万中国地貌图<sup>[124,125]</sup>。其中编制1:100万中国地貌图前后历时10年,全国60多个单位的300多位专业人员参加了工作。1:100万地貌图图例系统以地貌形态成因为基本原则,注重外营力地貌表示,客观地反映中国地貌规律,便于生产上应用,在国际地

貌制图中也很有特色。《中国 1:100 万地貌图制图规范(试行)》<sup>[126]</sup>对中国 1:100 万地貌图的性质、内容、图例系统、成图精度要求和编制工艺方法等方面内容作了统一规定,对地貌类型的划分进行详细论述,在我国地理与环境制图中尚属首次,在国际上也属少见,可以说是我国地貌制图研究中科学化规范化的里程碑<sup>[127]</sup>。1:400 万中国地貌图通过划分成因形态类型以及多级多层次符号和图斑的地貌组合表达方式,表示出中国多样的地貌类型、复杂的组合规律及其区域分异,清楚揭示了我国地貌的区域变化特征、地貌营力的空间变异规律和地貌演化过程。

2000 年以来,地貌制图以卫星遥感影像的使用和计算机技术支持下的数字制图为特征。中国科学院地理科学与资源研究所主持编制了《中华人民共和国地貌图集(1:100 万)》,于 2009 年出版。该图由中国 1:100 万地貌专题类型图、地貌晕染图(1:200 万)、Landset TM/ETM 卫星遥感影像图(1:200 万)及地貌特征说明四部分组成,形成 74 幅地貌图,实现了制图内容和表现形式的创新<sup>[128]</sup>,获 2009 年国家科技进步二等奖。

### 3 现状与展望

目前我所地貌研究力量主要在地貌与流域过程研究室,研究室在职人员 13 人,其中研究员 4 人,副研究员 2 人,助理研究员 6 人,工程师 1 人。现有在读博士生 6 人,硕士研究生 3 人。研究室在成立之初设置的研究方向或领域包括:(1)坡地过程与坡地改良利用、(2)流域侵蚀产沙与治理;(3)河流水沙地貌过程;(4)河口陆海相互作用;(5)地貌系统动力学模拟;(6)喀斯特地貌与水化学过程;(7)区域地貌与应用地貌。围绕上述研究方向,我室科研人员积极申请科研课题,目前地貌与流域过程研究室科研人员承担的在研课题包括国家重点基础研究发展计划 973 项目课题 1 项、专题 1 项、水利部社会公益性项目课题以及国家自然科学基金、中科院院长奖获得者科研启动专项等计 20 余项。在这些项目的支撑下,重点开展研究流域产流产沙和泥沙的输移过程,将主要解决和回答的重要科学问题包括:(1)流域侵蚀产沙区域分异及其与自然地理背景的关系、流域侵蚀产沙尺度效应与模型、细沟侵蚀过程模拟、流域水土流失综合调控原理与治理范式;(2)黄河流域水沙系统的相互作用与调控机理、典型河段河床演变与河型转化、重点泥沙汇沉积历史及其功能;(3)黄河中游水资源变化对气候变化和人类活动的响应。

作为地球科学前缘一个充满活力的研究领域,国际上地貌学研究近年来一直保持着蓬勃的发展势头,1989 年成立的国际地貌学家联合会每四年召开一次国际地貌学大会,另外还有大量的区域性会议及不定期的专题性学术会议。在我国,虽然上世纪 90 年代因大学地貌专业取消、人才流失以及经费缺乏等原因,地貌学研究发展低迷,但是近年来随着社会经济的发展,国家对水土资源的可持续开发利用,以及灾害防治和环境保护的需求持续增长,在资源开发利用、土地退化整治、生态环境建设、江河洪水泥沙灾害防治等领域可以发挥巨大作用的地貌过程研究重新受到了重视,地貌过程研究正在逐渐走出低谷,不断发展。我们应充分利用这一大好形势,加快发展我所的地貌过程研究,积极服务国家需求和促进科学进步,为此我所将在以下三个方面积极努力:(1)加强人才队伍建设。组建一支高水平、高效率的研究队伍,建成由学术指导、研究骨干、国外客座研究员,流动人员(博士后、研究生、访问学者)组成,可以展开地貌学、沉积学、土壤侵蚀学、泥沙运动学、河床演变学、河口海岸学、喀斯特地貌学、旅游地貌、区域地貌等多学科的研究队伍。注重青年人才的选拔、培养和引进。为学生、博士后和青年研究人员提供较多的国

际合作与交流的机会。密切与其他研究室的合作与联系,促进学科交叉融合。(2) 加强科研能力建设。一是加强实验室建设,提升实验研究能力。正在建设的水循环与地表过程物理模拟实验室中的坡地与河流、河口部分,在设计思路上具有高起点,采用了国内外先进的模拟观测技术,将极大的提升我所在流水地貌试验方面的科研能力。该实验室可以模拟坡面径流、侵蚀过程、流域水循环与地表物质输移过程、河流过程、河口地貌过程,可以进行地表径流与入渗、侵蚀产沙与坡面地貌发育的组合实验。不仅可以展开各种流水过程的实验研究,而且可以对流域水循环、泥沙运移和地貌演变过程相互耦合问题进行观测分析。二是提升野外观测和野外实验研究能力。为了加强野外观测手段,研究室需要购置一批用于野外的包括水流、泥沙、溶解质、沉积物采样、测量、分析仪器和进行高精度的过程观测仪器。三是建立基于 3S 技术的大江大河数字流域平台,提升对于流水地貌过程进行数学模拟的能力,开发流域泥沙运移和地貌演变模拟模型。(3) 加强学科发展。在我所地貌研究已形成的深厚基础上,开展流水作用下的地表物质迁移过程及其对资源、环境可持续性的影响,自然与人为因素影响下流域系统的耦合、响应、演化与功能调控,以及不同时空尺度下陆地地貌过程、格局、演化及其对环境变化的响应研究,在一些重要的地貌学理论和实践问题上取得突破。以此保持我所在坡地地貌、河流地貌学科的国内领先地位,进一步扩大国际影响,跻身国际坡地地貌、河流地貌学科的先进行列,同时加强喀斯特地貌、旅游地貌以及区域地貌的发展。通过上述三个方面的建设,极大地提高我所地貌研究在解决重大科学问题和满足国家重大需求的能力,为我所成为国际著名的地理研究机构作出贡献。

### 参考文献:

- [1] 沈玉昌. 长江上游河谷地貌. 北京:科学出版社,1965.
- [2] 沈玉昌,杨逸畴. 滇西金沙江袭夺问题的新探讨. 地理学报,1963,29(2): 87~104.
- [3] 中国科学院地理科学与资源研究所渭河研究组. 渭河下游河流地貌. 北京:科学出版社,1983.
- [4] 中国科学院地理研究所,长江水利水电科学院,长江航道局规划设计研究所. 长江下游河道特性及其演变. 北京:科学出版社,1985.
- [5] 叶青超,陆中臣,杨毅芬,等. 黄河下游河流地貌. 北京:科学出版社,1990.
- [6] 沈玉昌,龚国元. 河流地貌概论. 北京:科学出版社,1986.
- [7] 尤联元,洪笑天,陈志清. 影响河型发育几个主要因素的初步探讨. 见:第二届河流泥沙国际学术讨论会论文集(中国南京). 北京:水利水电出版社,1983. 662~672.
- [8] 许炯心. 高含沙型曲流河床的形成机理. 科学通报,1989, 34(21): 1649~1651.
- [9] 尤联元. 分汊型河床的形成与演变. 地理研究,1984, 3(4):12~24.
- [10] Xu Jiongxin. Discrimination of channel patterns for gravel-and sand-bed rivers. Zeitschrift fur Geomorphologie, 2008, 52(4): 503~523.
- [11] 王随继,魏全伟,谭利华,等. 山地河流的河相关系及其变化趋势分析——以怒江、澜沧江和金沙江云南河段为例. 山地学报,2009,27(1): 5~13.
- [12] Wang Suiji, Chen Zhongyuan, Smith Derald G. Anastomosing river system along the middle Yangtze River Basin, Southern China. Catena, 2005, 60(2): 147~163.
- [13] 王随继. 黄河下游不同河型河道的水沙效应及演变趋势分析. 沉积学报,2009, 27(6): 1163~1171.
- [14] 王随继. 黄河下游辫状、弯曲和顺直河段间沉积动力特征比较. 沉积学报,2010, 28(2):307~313.
- [15] Xu Jiongxin. Erosion caused by hyperconcentrated flow on the Loess Plateau of China. Catena, 1999, 36: 1~19.
- [16] 闫云霞,许炯心,廖建华,等. 黄土高原多沙粗沙区高含沙水流发生频率的时间变化. 泥沙研究,2007,(4):27

- ~33.
- [17] Xu Jiongxin. Double thresholds in scour-fill processes and some implications in channel adjustment. *Geomorphology*, 2004, 57: 321~330.
- [18] 许炯心. 河型对含沙量空间变异的响应及其临界现象. *中国科学(D辑)*, 1997, 27(6): 548~553.
- [19] 许炯心. 黄河中游多沙粗沙区的风水两相侵蚀产沙过程. *中国科学(D辑)*, 2000, 30(5): 540~548.
- [20] 许炯心. 风水两相作用对黄河流域高含沙水流的影响. *中国科学(D辑)*, 2005, 35(9): 899~906.
- [21] 王随继. 黄河中游多沙粗沙区侵蚀产沙与植被相互作用的临界现象. *水土保持学报*, 2004, 18(4): 20~23.
- [22] 王随继. 无定河流域不同地貌区水沙过程对比. *地理研究*, 2007, 26(3): 508~517.
- [23] 许炯心. 黄河上中游产水产沙系统与下游河道沉积系统的耦合关系. *地理学报*, 1997, 52(5): 421~429.
- [24] Xu Jiongxin, Yan Yunxia. Scale effect on specific sediment yield in the Yellow River basin and some geomorphological implications. *Journal of Hydrology*, 2005, 307(1-4): 219~232.
- [25] 闫云霞, 许炯心. 黄土高原侵蚀产沙的尺度效应研究初探. *中国科学(D辑)*, 2006, 36(8): 767~776.
- [26] Shi C X. Causes for continuous siltation of the lower Yellow River. *Geomorphology*, 2005, 68: 213~223.
- [27] 师长兴, 许炯心. 黄河下游河槽横断面调整规律及治理方式探讨. *地理研究*, 1997, 16(2): 57~64.
- [28] Shi C X, Zhang D, You L Y, *et al.* Land subsidence as a result of sediment consolidation in the Yellow River delta. *Journal of Coastal Research*, 2007, 23(1): 173~181.
- [29] Shi C X, Zhang D. Processes and mechanisms of dynamic channel adjustment to delta progradation: The case of the mouth channel of the Yellow River, China. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2003, 28: 609~624.
- [30] Xu Jiongxin. Response of land accretion of the Yellow River delta to global climate change and human activity. *Quaternary International*, 2008, 186: 4~11.
- [31] Xu Jiongxin. Naturally and anthropogenically accelerated sedimentation in the lower Yellow River, China, over the past 13000 years. *Geografiska Annaler*, 1998, 80A(1): 67~78.
- [32] 许炯心. 黄河下游 2300 年以来沉积速率的变化. *地理学报*, 2003, 58(2): 247~254.
- [33] Shi C X, Zhang D, You L Y. Changes in sediment yield of the Yellow River basin of China during the Holocene. *Geomorphology*, 2002, 46: 267~283.
- [34] 师长兴. 1855 年以来黄河泥沙输移系统的泥沙淤积分布分析. *泥沙研究*, 2003, (2): 1~6.
- [35] Shi C X, Zhang D D, You L Y. Sediment budget of the Yellow River delta, China: The importance of dry bulk density and implications to understanding of sediment dispersal. *Marine Geology*, 2003, 199(1-2): 13~25.
- [36] 师长兴, 徐加强, 郭立鹏, 等. 近 2600 年来黄河下游沉积量和上中游产沙量变化过程. *第四纪研究*, 2009, 29(1): 116~125.
- [37] 师长兴. 长江上游输沙尺度效应研究. *地理研究*, 2008, 27(4): 800~810.
- [38] 师长兴, 杜俊. 长江上游输沙量阶段性变化和原因分析. *泥沙研究*, 2009, (4): 17~24.
- [39] Wang Suiji, Wu Shaohong, He Daming, *et al.* Comparability in geomorphic evolution among the three rivers in the northern longitudinal range-gorge region: evidence of statistic relationships between geomorphic parameters and analyses of cause of formation. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(Supp): 39~49.
- [40] Wang Suiji, Wu Shaohong, Dai Erfu. Statistical relationships between geomorphic parameters: a case study of the Yunnan reach of the Lancangjiang River in southwestern China. *International Journal of Sediment Research*, 2007, 22(2): 131~141.
- [41] 闵石头, 王随继. 纵向岭谷区河谷形态特征、发育规律及成因. *山地学报*, 2007, 25(5): 524~533.
- [42] 黄秉维. 编制黄河中游流域土壤侵蚀分区图的经验教训. *科学通报*, 1955, (12): 15~21.
- [43] 罗来兴, 等. 黄河中游黄土区沟道流域侵蚀地貌及其对水土保持关系论丛. 北京: 科学出版社, 1958.
- [44] 蔡强国, 王贵平, 陈永宗. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟. 北京: 科学出版社, 1998.
- [45] 陈永宗. 黄河中游黄土丘陵地区坡地的侵蚀发育. *地理集刊*, 第 10 号. 北京: 科学出版社, 1976. 44~47.
- [46] 陈永宗, 景可, 蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理. 北京: 科学出版社, 1988 年.
- [47] 景可, 陈浩. 黄河中游粗沙区的范围、数量及其基岩产沙的研究. *科学通报*, 1986, 31(12): 927~931.
- [48] 景可, 卢金发, 梁季阳, 等. 黄河中游侵蚀环境特征和变化趋势. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.
- [49] 景可, 陈永宗, 李凤新. 黄河泥沙与环境. 北京: 科学出版社, 1993.
- [50] Fan Y, Lei T, Shainberg I, Cai Q. Wetting rate and rain depth effects on crust strength and micromorphology. *Soil*

- Science Society of America Journal, 2008, 72(6):1604~1610.
- [51] 蔡强国. 坡面细沟侵蚀发生临界条件研究. 泥沙研究, 1995, (1): 52~59.
- [52] Zhu T X, Luk S H, Cai Q G. Tunnel erosion and sediment production in the hilly loess region, North China. Journal of Hydrology, 2002, 257: 78~90.
- [53] Cui Ming, Cai Qianguo, Zhu Axing, *et al.* Characteristics of the change of soil erosion along a long slope of gentle hilly black soil region in Northeast China. Journal of Geographical Sciences, 2007, 17(3): 375~383.
- [54] 蔡强国, 陆兆熊, 王贵平. 黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型. 地理学报, 1996, 51(2): 108~117.
- [55] 刘纪根, 蔡强国, 刘前进, 等. 流域侵蚀产沙过程随尺度变化规律研究. 泥沙研究, 2005, (4): 7~13.
- [56] 黄秉维. 华南坡地利用与改良, 重要性与可行性. 地理研究, 1987, 6(4): 1~14.
- [57] Sai leung NG, Cai Q G, Ding S W, *et al.* Effects of contour hedgerows on water and soil conservation, crop productivity and nutrient budget for slope farmland in the Three Gorges Region (TGR) of China. Agroforestry Systems, 2008, 174: 279~291.
- [58] Chen H, Cai Q G. The impact of hillslope vegetation restoration on gully erosion induced sediment yield. Science in China(Ser. D Earth Science), 2006, 49(2): 1976~1992.
- [59] Fang H Y, Cai Q G, Chen H, *et al.* Temporal changes in suspended sediment transport in a gullied loess basin; the lower Chabagou Creek on the Loess Plateau in China. Earth Surface Processes and Landform, 2008, 33: 1977~1992.
- [60] Zheng M G, Cai Q G, Cheng Q J. Modelling the runoff-sediment yield relationship using a proportional function in hilly areas of the Loess Plateau, North China. Geomorphology, 2008, 93: 288~301.
- [61] 杨逸畴, 李炳元主编. 西藏地貌. 北京: 科学出版社, 1983.
- [62] 李炳元, 王富葆主编. 西藏第四纪地质. 北京: 科学出版社, 1983.
- [63] 李炳元, 顾国安, 李树德, 等. 青海可可西里地区自然环境. 北京: 科学出版社, 1996.
- [64] 施雅风, 李吉均, 李炳元主编. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化. 广州: 广东科技出版社, 1997.
- [65] 张青松, 李炳元主编. 喀喇昆仑山—昆仑山地区晚新生代环境变化. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
- [66] 中国科学院登山科学考察队. 南迦巴瓦峰地区自然地理与自然资源. 北京: 科学出版社, 1996.
- [67] 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆起时代、幅度和形式的探讨. 中国科学, 1979, (6): 608~616.
- [68] 张青松, 周耀飞, 陆祥顺, 等. 现代青藏高原上升速度问题. 科学通报, 1991, 36(7): 529~531.
- [69] 李炳元, 李吉均主编. 《青藏高原第四纪冰川遗迹分布图》(1: 300 万). 北京: 科学出版社, 1991.
- [70] 李炳元. 羌塘高原北部湖泊演化初步探讨. 见: 青藏高原形成演化、环境变迁和生态系统研究, 北京: 科学出版社, 1995. 261~266.
- [71] 李炳元. 青藏高原大湖期. 地理学报, 2000, 55(2): 174~182.
- [72] 李栓科, 李世杰. 青藏高原北缘末次冰期最盛时期的湖侵及其原因. 冰川冻土, 1991, 13(4): 299~306.
- [73] 李炳元, 王苏民, 朱立平, 等. 12kaBP 前后青藏高原湖泊环境. 中国科学(D 辑), 2001, 31(增刊): 258~263.
- [74] 李元芳, 李炳元, 王国, 等. 青藏高原甜水海地区第四纪有孔虫化石. 科学通报, 1997, 42(7): 740~742.
- [75] 朱立平, 王君波, 陈玲, 等. 藏南沉错湖泊沉积多指标揭示的 2 万年以来环境变化. 地理学报, 2004, 59(4): 514~524.
- [76] 张青松. 南极维斯特福德丘陵地区晚第四纪地质和地貌研究; 南极科学考察论文集, 北京: 科学出版社, 1985.
- [77] 谢又予, 等. 中国南极长城站地区(菲尔德斯半岛)地貌与沉积. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [78] 张青松. 第三纪前的南极古地理与南极冰盖. 南极研究, 1988, 1(1): 3~10.
- [79] 谢又予, 关平, 杨绍晋, 等. 南极中国长城站地区西湖沉积物的地球化学行为与环境. 中国科学(D 辑), 1991, 21(3): 321~330.
- [80] 谢又予, 崔之久. 南极乔治王岛末次冰期以来的环境事件. 第四纪研究, 1990, 10(3): 272~281.
- [81] 张青松. 南极洲维斯特福德丘陵与菲尔德斯半岛冰缘地貌的比较研究. 南极研究, 1990, 2(1): 1~9.
- [82] 谢又予. 论南极多年冻土区的化学风化作用—以中国长城站—澳大利亚凯西站和戴维斯站地区为例. 南极研究, 1988, 1(2): 8~14.
- [83] Li B Y, Li Y F, Zhao Y, *et al.* The Late Pleistocene shallow-water marine sediments in the Fildes Peninsula. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(21): 1823~1828.
- [84] 陈治平. 中国喀斯特地带性因素初探. 见喀斯特地貌与洞穴. 北京: 科学出版社, 1985. 1~8.
- [85] 宋林华, 王静, 林钧枢, 等. 福建龙岩龙腔洞发育双酸模式. 地理科学进展, 2003, 22(5): 524~531.
- [86] 梁福源, 宋林华, 王富昌, 等. 路南石林地区土壤空气中 CO<sub>2</sub> 浓度分布规律与土下溶蚀形态研究. 中国岩溶,

- 2000, 19(2):180~187.
- [87] 田友萍, 张捷, 宋林华, 等. 气生藻类在云南石林景观形成中的作用. 中国科学(D辑), 2004, 34(1):75~88.
- [88] 房金福, 宋林华, 张耀光. 碳酸盐岩表层硬度的研究. 中国岩溶, 1985, 4(4):341~348.
- [89] 李矩章, 林钧枢, 房金福. 喀斯特溶蚀强度分析与估算. 地理研究, 1994, 13(3):90~97.
- [90] 朱景郊, 林钧枢, 张耀光. 广西大化水库库区喀斯特地形和渗漏分析. 地理科学, 1982, 2(4):337~348.
- [91] 宋林华, 房金福, 王长富. 北京牛口峪污水水库喀斯特渗漏问题研究. 云南地理环境研究, 1989, 1(2):70~79.
- [92] 张耀光, 宋林华, 房金福. 黔北德江县喀斯特地区水资源开发可能性的探讨. 资源科学, 1985, 7(4):53~77.
- [93] 房金福, 林钧枢, 李矩章, 等. 喀斯特区现代溶蚀强度与环境的研究——以红水河流域为例. 地理学报, 1993, 48(2):122~130.
- [94] 林钧枢, 张耀光, 黄云麟. 华东喀斯特地貌发育过程与古地理背景. 地理研究, 1986, 5(4):58~67.
- [95] 朱景郊, 林钧枢, 张耀光. 岩溶地下河示踪试验初步探讨. 见:中国地理学会 1977 年地貌学术讨论会文集. 北京:科学出版社, 1981.
- [96] 陈治平. 预测岩溶地下水系的洼地分析法, 1978.
- [97] 宋林华, 房金福, 邓自民, 等. 喀斯特洼地的分形特性研究. 地理研究, 1995, 14(1):8~16.
- [98] 宋林华, 房金福, 张仲禄, 等. 北京牛口峪地区稳定同位素水文地质研究. 中国岩溶, 1987, 6(2):93~100.
- [99] 宋林华, 杨蓉蓉, 林钧枢, 等. 浙江瑶琳洞风化碳酸钙景观复生试验. 地理研究, 1999, 18(2):199~206.
- [100] 宋林华, 睢树春, 陈岗岭, 等. 河北临城白云洞洞积石形成与风化现象研究. 地理学与国土研究, 2000, 16(3):68~74.
- [101] 宋林华, 王富昌, 李忠德, 等. 21 世纪的石林旅游业. 中国岩溶, 2001, 22(2):101~105.
- [102] 宋林华. 喀斯特与洞穴风景旅游资源研究. 北京:地震出版社, 1994. 118~125.
- [103] 宋林华, 陶洪林. 加强科学研究, 加速我国喀斯特世界遗产申报——参加 IUCN 亚太地区喀斯特生态系统与世界遗产论坛的总结. 中国岩溶, 2001, 20(3):241~246.
- [104] 国家旅游局资源开发司, 中国科学院地理研究所. 中国旅游资源普查规范. 北京:中国旅游出版社, 1993.
- [105] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T17775—1999, GB/T17775-2003 旅游区(点)质量等级划分与评定. 1999-10-10, 2003-02-24.
- [106] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T18972-2003 旅游资源分类、调查与评价, 中华人民共和国国家标准. 2003-2-24.
- [107] 洪笑天, 等. 地壳升降运动对河型影响的实验研究. 见:地理集刊(16). 北京:科学出版社, 1985. 38~52.
- [108] 蔡强国. 地壳构造运动对河型转化影响的实验研究. 地理研究, 1982, 1(3):21~31.
- [109] 中国科学院地理研究所地貌室长江实验小组. 长江中下游分叉河道演变的实验研究. 地理学报, 1978, 32(2):46~59.
- [110] 金德生. 边界条件对曲流发育影响的过程响应模型实验研究. 地理研究, 1986, 5(3):12~21.
- [111] Jin Desheng, Schumm S A. A new technique for modeling river morphology. In: Gardiner V. International Geomorphology, 1986, Part 1. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1987.
- [112] 许炯心. 汉江丹江口水库下游河床调整过程中的复杂响应. 科学通报, 1989, 34(6):450~452.
- [113] Xu Jiongxin. Conceptual model for predicting the tendency of alluvial channel adjustment induced by human activities. Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (Supp): 51~56.
- [114] 张欧阳, 金德生, 陈浩. 游荡河型造床实验过程中河型的时空演替和复杂响应现象. 地理研究, 2000, 19(2):180~188.
- [115] 王随继, 薄俊丽. 网状河流多重河道形成过程的实验模拟. 地理科学进展, 2004, 23(3):34~42.
- [116] 陈浩, 蔡强国. 坡度影响坡面产流产沙过程的实验研究. 见:陈永宗. 黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究论文集. 北京:气象出版社, 1989. 27~40.
- [117] 蔡强国, 陈浩. 植被覆盖对降雨溅蚀的影响. 见:陈永宗. 黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究论文集. 北京:气象出版社, 1989. 41~47.
- [118] 蔡强国, 陈浩. 降雨特性对溅蚀影响的初步试验研究. 中国水土保持, 1986, (6):30~33.
- [119] 蔡强国, 陈浩. 表土结皮在溅蚀和坡面侵蚀过程中的作用. 见:陈永宗. 黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究论文集. 北京:气象出版社, 1989. 57~64.
- [120] 金德生, 郭庆伍. 均质流域地貌发育过程实验研究. 见:金德生. 地貌实验与模拟. 北京:地震出版社, 1995. 79

~101.

- [121] 金德生, 陈浩, 郭庆伍. 流域物质与水系及产沙间非线性关系实验研究. 地理学报, 2000, 55(4): 439~448.
- [122] 沈玉昌主编. 中国地貌区划(初稿). 北京: 科学出版社, 1959.
- [123] 沈玉昌, 苏时雨, 尹泽生. 中国地貌分类—区划与制图研究工作的回顾与展望. 地理科学, 1982, 2(2): 97~106.
- [124] 中国科学院地理研究所. 中国 1: 1000 000 地貌图(北京幅、齐齐哈尔幅、呼和浩特幅、西宁幅、兰州幅、太原幅、旅大幅、西安幅、南京幅、成都幅、武汉幅、上海幅、大理幅、衡阳幅、海南岛幅). 北京: 科学出版社, 1987.
- [125] 李炳元, 李钜章. 中国地貌图(包括毗邻海域)(1: 4000 000). 北京: 科学出版社, 1994.
- [126] 中国科学院地理研究所. 中国 1: 1000 000 地貌图制图规范(试行). 北京: 科学出版社, 1987.
- [127] 苏时雨, 李钜章. 地貌制图. 北京: 测绘出版社, 1999. 35~55.
- [128] 中华人民共和国地貌图集编委会, 中国科学院地理科学与资源研究所. 《中华人民共和国地貌图集(1: 100 万)》. 北京: 科学出版社, 2009.

## Retrospect and prospect of geomorphology in IGSNRR, CAS

SHI Chang-xing, XU Jiong-xin, CAI Qiang-guo, JING Ke,  
LI Bing-yuan, FANG Jin-fu, QI De-li, WANG Sui-ji, YAN Yun-xia  
(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Geomorphology has been a main subject of the modern geography, and it has been regarded as one of the mainstay subjects in the Institute of Geography (now, the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research), CAS. The studies done by the geomorphologists in the institute have made a great contribution to national economic construction as well as to the knowledge of geomorphology. This article makes a general review on the main progress in geomorphology made by the geomorphologists in the institute since the institute was founded, including the progress in the fields of fluvial geomorphology, Loess Plateau and slope geomorphology, Tibet and Antarctic landforms and Quaternary, karst and tourism geomorphology, experiments and simulations of landform processes, and cartography of landforms. The existing Department of Geomorphology and Watershed Processes in the institute focuses on studies of slope processes and slope reclamation, sediment erosion and control in watersheds, sediment transport and river channel changes, land-ocean interactions in estuaries, Simulation of dynamic landform systems, karst landform and hydrochemical processes, regional and applied geomorphology. Some suggestions are proposed for improving the roles of the department in developing the geomorphologic sciences and serving the national economic construction.

**Key words:** fluvial geomorphology; slope geomorphology; glacial geomorphology; karst geomorphology; regional geomorphology; applied geomorphology