

# 山地环境系统研究新框架

钟祥浩<sup>1</sup>, 熊尚发<sup>2</sup>

(1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘 要:** 20世纪80年代, 地球系统科学概念开始出现, 同时期全球变化研究迅速展开, 可持续发展理念提出并获得广泛认同, 这些都为山地环境系统研究提供了新的发展契机。当前, 全球山地环境系统研究面临两大问题: 山地环境变化和山区发展挑战。国际上围绕山地环境系统研究, 逐渐形成若干清晰的主题, 包括山地构造地貌和山地气候地貌, 山地灾害在山地环境演化过程中的作用, 山地(及流域)环境系统生物地球化学循环, 山地全球变化和人类活动的影响与适应等。对于我国山地研究来说, 核心科学问题是: 我国山地环境系统是如何响应不同时间尺度全球变化和日益加剧的人类活动的影响? 在此背景下如何构筑我国山区可持续发展的根本战略和支撑战略? 对此核心问题的全面深入研究, 将有望使我国山地环境研究水平提高到一个新的更高层次, 并占据国际山地研究领域不可替代的重要位置。为此, 我们提出, 以我国山地环境大断面研究为抓手, 以梯度格局、系统关联和区域差异等为研究切入点, 在山地环境系统的格局、干扰、过程、响应和适应研究等方面有所突破, 促成我国山地环境系统研究新框架的形成, 为世界山地研究做出我们应有的贡献。

**关键词:** 山地环境系统; 全球变化; 可持续发展; 山地环境大断面

**中图分类号:** X144

**文献标识码:** A

山地环境系统是地球表层系统的重要组成部分。山地环境系统研究正面临范式(paradigm)转型的关键时期。促成这一转型的学术背景有三个方面, 就是20世纪80年代以来相继出现的地球系统科学概念<sup>[1]</sup>, 全球变化研究<sup>[2]</sup>和可持续发展理念<sup>[3]</sup>。地球系统科学强调<sup>[1]</sup>将地球各圈层作为一个整体, 以各圈层相互作用及其机制为研究对象和目标。全球变化研究关注地球系统的动态过程, 通过研究不同时间尺度地球系统的动态过程来了解各圈层相互作用的机制<sup>[2]</sup>。可持续发展理念倡导人与环境的协调, 强调当前经济社会发展不应以牺牲未来环境质量和发展潜力为代价<sup>[3]</sup>。山地环境系统<sup>[4]</sup>作为地球表层系统中一个极端复杂的动态系统和环境脆弱地区, 是建构地球系统科学理论框架的重要研究基地, 也是全球变化研究和可持续发展战略研究的天然实验室。

当前, 山地环境系统研究面临两个重大问题<sup>[5]</sup>: 山地环境变化和山区发展挑战。这两个问题的产生是与山地环境的独特性密切相关的。山地环境的高能态, 导致坡面不稳定性 and 地质循环、生物地球化学循环与山地水文变化的快速、易变性, 以及山地土壤和山地生态系统的脆弱性; 山地环境的立体地带性, 使得山地生态系统 and 环境要素分布呈现梯度变化, 加上山地地貌、景观生态、生物地理的碎裂化和多样性特征, 由此在局地就能形成浓缩的各类环境和生态系统类型, 对环境变化的响应呈现多样、复杂性特征; 山地环境的影响外延性, 可以通过反照率、气流阻隔、硅酸盐岩的风化影响大气环流、大气化学和大气圈热平衡, 通过河流和冰川影响水圈、冰冻圈, 通过剥蚀和沉积影响海洋化学、全球沉积格局和地壳均衡, 尤其是对流域下游的影响, 更是直接而且重大; 山地环境的空间阻隔性, 影响人类活动方

收稿日期(Received date): 2010-03-18.

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划课题“青藏高原生态安全屏障评价体系建设”(2007BAC06B08)。[Supported by Study on Assessment Systems of Ecological Security Shelter of the Tibet Plateau (No. 2007BAC06B08).]

作者简介(Biography): 钟祥浩(1942-), 男(汉族), 广东五华人, 研究员。主要从事山地环境与生态研究。[Zhong Xianghao (1942-), male research professor, engaged in the research of mountain environment and ecology.]

式、格局和经济社会发展进程。由于山地环境的敏感性,全球变化在山区往往最易被感知,影响也最显著<sup>[6]</sup>。由于山地的阻隔性,山地环境的脆弱性,山区往往成为一个国家或地区经济社会发展的瓶颈和掣肘。

山地环境始终是地球科学关注的重要课题,地球科学领域一些重要的假说或范式也与山地研究相关。W. M. Davis<sup>[7]</sup>和 W. Penck<sup>[8]</sup>等人的地貌旋回模式主要解释山地地貌形成和演化的过程; A. Humboldt<sup>[9]</sup>关于垂直地带性的认识成为理解山地环境特征与变化的关键范式; Ruddiman - Raymo 抬升 - 风化假说<sup>[10]</sup>和 Mohar 侵蚀反馈假说<sup>[11]</sup>虽然争论不断,却为山地高原环境变化与古全球变化研究提供了新的概念框架;有关南北半球山地冰期的认识(如 Younger Dryas 时期的冰碛年代学<sup>[12]</sup>)也为检验第四纪气候变化机制假说提供了重要材料。山地为地学研究者提供了一个梯度环境,一个相互作用的环境,一个环境系统。当前山地环境系统研究面对的两大问题再一次将山地研究置于地球科学领域的一个关键位置。

近几十年尤其是近 30 年来,国际社会和学术界对山地环境的关注日益凸显<sup>[5]</sup>。早在 1952 年,欧洲就资助成立了一个阿尔卑斯保护国际委员会 (Commission Internationale pour la Protection des Alpes, 简称 CIPRA), 以保护阿尔卑斯的文化和自然多样性。1980 年,在联合国教科文组织和联合国大学的共同资助下,成立了国际山地学会 (International Mountain Society, 简称 MS)。1983 年,国际山地综合发展中心 (International Centre for Integrated Mountain Development, 简称 ICIMOD) 在尼泊尔首都加德满都成立。1997 年,21 世纪议程中制定了全球山地纲要 (Global Mountain Program, 简称 GMP)。2001 年,为明确山地全球变化的后果,强化山地全球变化研究领域的多学科合作,山地研究倡议 (Mountain Research Initiative, 简称 MRI) 项目<sup>[6]</sup>由 HDP (International Human Dimensions Program on Global Environmental Change) 和 GBP (International Geosphere - Biosphere Program) 联合发起。2002 年,山地伙伴计划 (Mountain Partnership) 在约翰内斯堡的可持续发展世界峰会上发起,48 个国家、15 个国际组织和 88 个团体成为其成员。与此同时,有关山地环境系统的研究和认识也取得长足进展,新的研究范式隐约可见,若干研究主题已经跃然而出。1998 年,钟祥

浩<sup>[4]</sup>提出要加强以山地环境系统为对象的山地环境学研究,强调了山地自然环境系统与山区社会经济系统之间相互依存关系及其调控途径研究的重要性。这是山地环境系统研究的初步框架。

现在已经认识到,山地环境系统是一个历史片段,只有深入了解其形成演化过程,才能更好地理解山地环境的现代过程;山地环境系统也是一个充斥干扰过程、动态过程和响应过程的体系,理解山地环境系统中的干扰、动态和响应过程与机理,是认识山地环境系统的基础;山地环境系统还是一个适应例证,人类活动如何适应山地环境变化,山区发展如何适应全球化冲击,是山地可持续发展战略研究无法绕开的课题。

## 1 国际山地环境系统研究的若干主题

### 1.1 山地构造地貌与晚新生代以来山地气候地貌形成演化

晚新生代形成的山地构造地貌构成了全球山地环境系统大格局的本底<sup>[13]</sup>。对于区域尺度或局地来说,山地地貌则控制了山地环境的基本构架,也是山地环境演化特征和山地不稳定性的“边界条件”。山地构造地貌和气候地貌是近期地貌学中发展最快的分支。山地地貌学中比较活跃的领域包括历史山地地貌学,功能山地地貌学和应用山地地貌学<sup>[14]</sup>。近期研究已经揭示,构造尺度上,山地地形通过影响硅酸盐岩的风化,控制全球碳循环,影响地球气候,是气候变化的重要驱动因素之一<sup>[15]</sup>;从轨道尺度和短尺度来看,山地则经历了变幅最大的气候波动,是气候变化影响最为强烈的地区之一<sup>[16]</sup>。现今全球地貌是晚新生代以来构造变动和末次冰期冰川作用改造的产物<sup>[13-16]</sup>,其中,构造变动提供了山地地貌的基本格局,气候变化则对山地地貌进行了程度不同的改造。构造地貌过程是“立”,气候地貌过程是“破”,二者相互作用,互为反馈,成就山地地貌动态变化的历史。

目前山地构造地貌和气候地貌研究在地貌定年、古地震学、抬升与侵蚀速率估算等多方面进展都很迅速<sup>[17-18]</sup>,在古地貌学(如地形古高度估算)、山地地形对不同时期全球和区域气候影响的 GCM (General Circulation Models) 模拟<sup>[15]</sup>方面,也都取得了重要的新认识。此外,当前和未来全球变化对山地冰川、冰缘地貌演化的影响,也是山地地貌研究的

热点问题<sup>[14]</sup>。

### 1.2 山地环境变化过程中山地灾害的作用和意义

山地灾害包括崩塌、滑坡、泥石流和雪崩、山洪等山地特有的灾害,是一种在一定地质基础上的地貌-气候相互作用的灾害,是对山地高地应力和高能态环境的一种自组织调节过程。在山地环境格局形成和演化过程中,山地灾害起着关键的“干扰”作用<sup>[19]</sup>,各种山地灾害对不同时间尺度和空间尺度的山地环境系统结构、功能和山区社会经济都有非常大的影响。

目前,山地灾害研究的几个重点<sup>[14, 19]</sup>包括:全球变化下山地灾害的响应,需要从山地古环境记录中分辨山地灾害事件<sup>[19]</sup>,联系过去气候变化与山地灾害发生的关系,判别现代山地灾害发生的机制,评估未来气候变化下山地灾害发生的可能性和危险度;人类不当行为引发山地灾害的机制,研究山地灾害发生与人类活动方式、强度的关联,评估人类活动与自然过程在山地灾害发生过程中的重要性<sup>[14]</sup>;人类抵御、适应山地灾害的能力建设,这是山区可持续发展能力建设的重要方面。

### 1.3 山地环境系统的生物地球化学循环

山地环境系统生物地球化学循环是流域生物地球化学循环的重要组成部分。山地地势起伏大,坡度陡,其生物地球化学循环具有循环速率快、强度大的特征,相对于地势低平的厚层风化壳分布区,属风化的动能受限(kinetically-limited)区域<sup>[15]</sup>。比如,从亚马孙河流入大西洋的化学离子 80% 来自于占流域面积仅 10% 的安第斯山区,而占流域面积 90% 的亚马孙热带雨林低地仅贡献了 20% 的风化产物<sup>[20]</sup>。从全球来看,碎屑沉积物释放速率与大陆平均海拔有一个线性相关关系<sup>[21]</sup>,而大陆物理风化的速率与化学风化速率又存在高度相关性<sup>[22]</sup>。发育于青藏高原东部、南部和安第斯山脉的大河在全球陆地生物地球化学循环中占据了统治地位<sup>[23]</sup>。

目前,有关山地环境系统生物地球化学循环研究的重点<sup>[24-26]</sup>,包括:山地环境中物理、化学风化特征,尤其是山地生物地球化学循环的梯度特征及其影响和控制机制;不同流域环境下的山地生物地球化学循环特征比较,以评估影响化学风化的环境、生态因子和关联特征;全球山地生物地球化学循环的重要性评估,以明确山地化学风化在全球碳循环中的作用;气候变化下山地生物地球化学循环的变化响应,这包括地史时期山地对于全球风化、碳循环的

影响评估模拟,以及不同人类活动强度下生物地球化学循环的变化等研究。

### 1.4 山地全球变化:山地环境变化及其对全球变化的响应与指示

晚更新世以来,山地生态和环境系统发生了很大变化,这在很多地质记录中都有体现<sup>[27]</sup>。山地冰川从未次冰盛期开始逐步萎缩,在很多山区留下冰碛物。冰期时,山地植物带整体下移,形成下降的山地垂直带,冰后期,植物带又逐步上升,形成现今山地垂直带的格局<sup>[28]</sup>。在一些山地还发现全新世大暖期林线上升的证据<sup>[29]</sup>,为研究未来气候变化下山地生态和环境变化提供了可供类比的素材。当前山地受到全球变暖的广泛影响<sup>[6]</sup>,气候变化的极端性、快速性和突变性变化,山地灾害、山地冰冻圈、山地水循环、山地生态系统和山地土壤也都出现不同程度的响应行为,表现为过程速率加快,而人类活动对山地环境变化的影响由来已久,这些都使得山地全球变化成为一个现实且迫切的问题。

山地全球变化研究包括山地古全球变化和山地现代过程两个方面<sup>[27, 30, 31]</sup>。山地古全球变化通过各种地质记录、生物记录和合适的定年技术,恢复不同时期(主要是冰期和全新世)山地环境和生态系统的面貌,了解山地环境和生态系统对于气候变化的响应特征和速率,为评估未来气候变化对山地生态与环境系统的影响提供必要的理论认识和相似型。山地现代过程包括山地气候变化(含极端气候事件)的观测,山地冰冻圈、山地灾害、山地水循环、山地土壤、山地生物地球化学循环、山地生态系统(包括陆生生态系统和淡水生态系统)和生物多样性变化的监测与研究。山地全球变化研究需要将山地古全球变化研究与山地现代过程研究相结合,通过模拟研究,联通有关山地全球变化的概念性认识与实时性观测,打通地质记录与现代记录之间的“代沟”。

### 1.5 人类活动对山地环境变化的影响与适应

人类活动对山地环境造成压力的机制主要源于两个方面<sup>[32]</sup>,即人口增长和经济增长对资源、空间和服务的需求。目前人类活动已经成为山地环境变化的重要驱动因素,在一些区域甚至成为主要因素。受自然变化和人为影响,山地环境变化已经或正在对山地农牧业、山地旅游业、山地人群健康、山地水资源、山区城镇与交通安全构成威胁<sup>[30]</sup>。同时,山区都面临发展问题,面对经济全球化和产业梯度转

移的冲击, 社会和文化发展的挑战, 人口增长的压力, 针对不同发展程度区域制定合适可行的山区发展战略, 是山区发展研究的重大课题。如何评估山地环境变化对山区社会经济的影响, 如何制定山地环境变化的适应战略和政策, 如何在山区可持续发展和山地环境保护之间找到平衡点, 是诸多山地研究项目关注的核心问题<sup>[33]</sup>。

目前研究重点包括: 历史时期和现代人类活动对山地环境的影响; 现代山地生态系统变化、恢复与山地生态安全体系建设; 山地灾害防控与适应能力建设; 山地环境变化下的人类适应行为与山地生态经济建设; 山区可持续发展与山地人口压力调控与经济增长方式调控等。

## 2 我国山地环境系统研究的核心科学问题

广义山地概念包括丘陵、山地和高原。我国山地面积辽阔, 约占全国国土面积的  $2/3$ <sup>[34]</sup>。山地是具有自然和人文属性的一种特殊地域, 从人文属性考虑, 山地与山区概念类同。从全球角度来看, 我国山地环境具有显著的特征<sup>[34]</sup>。首先是年轻山地占优, 新生代经历隆升或变形的山体占据我国高海拔区域的主体<sup>[35]</sup>, 这导致山地的地质、地貌不稳定性强, 而且不同地质年代的山地广布, 使得我国山地地貌类型丰富, 各个地貌发育阶段的山地均有分布。其次我国山地气候主要受季风系统 (印度季风和东南季风) 控制<sup>[36]</sup>, 山地气候的季节变化、年际变化大, 气候不稳定性强。我国地处亚热带纬度上的山地面积广阔, 同时还有大面积的干旱-高寒型山地, 山地气候类型多样, 受全球性变化影响强, 对气候变化的敏感性高。此外, 我国山区人类活动历史悠久、强烈, 而且存在梯度性 (时间上和强度上) 推进特征<sup>[37]</sup>, 山地民族、宗教和文化类型多样。

我国山地环境的主导性和独特性, 决定了我国山地环境系统研究的重要性和不可替代性。那么, 我国山地环境系统研究的核心科学问题是什么? 相对于世界多数山地, 我国山地对气候和环境变化的敏感性、脆弱性更高, 人类活动影响更大, 山区对于国家可持续发展更为关键, 因而我们迫切需要了解全球变化下山地环境的响应, 需要了解人类活动对山地环境变化的可能影响, 需要了解如何应对山区发展的挑战。由此, 我们认为, 对于当前我国山地环

境研究来说, 核心科学问题是: 我国山地环境系统是如何响应不同时间尺度全球变化和日益加剧的人类活动的影响? 在此背景下如何构筑我国山区可持续发展的根本战略和支撑战略?

提出这一核心科学问题的理由有几点。从重要性来看, 这一问题涉及范围广, 意义重大而且迫切; 从问题的关键性来看, 这一核心问题统领许多相关研究领域, 不但与山地环境格局和变化研究密切相关, 而且与山地灾害、山区发展研究密切相关; 从问题的前沿性来看, 山地环境系统对全球变化的响应及山区可持续发展是国际山地科学前沿研究领域, 也是多山国家经济社会发展面临的重大现实课题。由于我国山地环境具有很强的区域代表性和独特性, 研究我国山地环境系统对全球变化的响应和可持续发展战略也将对世界山地科学发展做出不可或缺的贡献。

山地环境系统如何响应全球变化和人类活动的影响, 与在此背景下如何构筑我国山区可持续发展战略是一个问题的两个方面。只有在深入研究我国山地环境系统特征、格局和变化的基础上, 才能更好地构筑我国山区可持续发展战略。另一方面, 只有着眼于山区可持续发展的国家战略需求, 山地环境系统研究才能找到理论和应用结合的契机。山地环境系统研究特别关注区域差异性、梯度性、山地环境变化的系统性和人地关系协调性, 这些对于山区可持续发展战略研究都是至关重要的。我们只有全面考虑我国广大山区的区域差异, 考虑从大陆尺度到局地尺度的环境和经济社会发展水平的梯度性特征, 考虑山地环境变化和山区发展的系统性, 才有可能提出中国山区发展的根本战略。同时, 构筑我国山区可持续发展的支撑战略, 包括山地灾害预防、山区人口发展、山区社会与文化发展、山区经济发展及山区生态安全建设等战略, 也有待于对我国山地环境系统的深入、切实研究。

## 3 山地环境大断面研究

为了回答我国山地环境系统如何响应全球变化, 及如何构筑我国山区可持续发展战略的问题, 需要对我国山地环境系统进行全面、系统性的研究。为此, 我们提出山地环境大断面的研究构想。这个构想是, 通过贯穿我国地貌 3 级阶梯的东西向断面, 贯穿热带山地-寒温带山地的南北断面, 和贯穿湿

润气候基带山地和干旱气候基带山地的青藏-西北断面等 3 条大断面,选择代表性地点,系统研究我国山地环境系统格局、变化和山区可持续发展战略。

为什么要提出山地环境大断面研究构想?首先,我国山地环境系统存在大陆尺度的系统大格局,包括地貌 3 级阶梯、季风区与干旱区差异,以及从热带到寒温带的地带性差异<sup>[36]</sup>,3 条断面研究可以紧紧抓住地貌大格局和气候(温、湿)大格局对山地环境的总体影响,并有效整合山地环境的梯度性、区域差异性和系统性的研究。其次,我国山地环境极端复杂多样,山地环境特征与山区经济发展水平、社会、文化发展状况存在紧密的关联甚至耦合,断面研究将可以系统地考察山地环境与山区发展的关联特征,为构筑我国山区发展根本战略提供切实思路。此外,过去的研究表明,通过局地区域或零星个案研究,已很难达到对山地环境变化和山区发展战略的完整理解,必须对全国范围的代表性山地区域进行系统研究,才有望获得符合我国山地环境和山区发展实际的关键认识。

作为一个大陆尺度的系统研究,山地环境大断面研究应该包括山地环境系统格局、山地灾害及其影响格局、山地环境变化(过程及响应)格局、山区人类活动和社会经济发展格局以及山区可持续发展战略构架(根本战略和支柱战略)等系列内容。以断面上各地带代表性的中、小流域为基本研究单元,点、面、断面互为呼应,表层过程研究与遥感空间研究相结合,区域或局地的深入研究和全球对比研究相结合,地貌、气候、植被等自然地理要素研究与生物地球化学循环研究相结合,高地与低地研究相结合,环境变化与发展研究相结合。从大陆尺度到单个山体尺度的梯度格局(包括气候梯度,生态梯度,人类活动强度和经济发展水平的梯度等),从山地到低地的系统关联(包括生态影响,水循环关联,生物地球化学循环上的关联,经济联系和文化联系等)以及不同空间尺度的区域差异,是山地环境大断面研究的切入点和断面综合的关键线索。山地环境系统的格局、干扰、过程、响应和适应等则是贯穿始终的主题。

3 条山地环境大断面各有其关键科学问题。贯穿我国地貌 3 级阶梯的东西向断面,动力地貌过程及其梯度变化是我们关注的重点,全球变化带来的山地动力地貌过程强度、速率和幅度变化,尤其是山地灾害及其他坡面过程在不同区域的响应,以及如

何针对经济发展水平东-中-西梯度格局,实现不同山区的可持续发展,是这条断面需要研究的关键科学问题。贯穿热带山地-寒温带山地的南北断面是我国生物资源主要分布区,是全球陆地重要碳汇<sup>[38]</sup>,水热配置的纬度地带性变化是背景,研究不同纬度带山地环境对全球变化的不同响应特征,以及不同地带山区可持续发展如何因地制宜、人类社会如何适应气候变化,如何大力发展生物能源和生物固碳建设等,是这条断面需要研究的主要方面。贯穿湿润气候基带山地和干旱气候基带山地的青藏-西北断面,山地和流域水循环对全球变化的响应是核心科学问题,而如何应对这个问题,发展节水型循环经济,则是这一地区可持续发展战略研究的重心。

山地环境大断面研究对我国山地科学发展和世界山地研究具有重要意义。我国山地环境大格局由地貌 3 级阶梯、季风区与干旱区以及从热带到寒温带的地带性控制。从全球角度看,山地环境包含如此完整的大陆尺度格局的实属罕见。同时,我国山区经济正处于重要的转型时期,山区发展问题在世界上具有独特的示范性意义,而山区发展现状与山地环境大格局存在紧密关联。山地环境大断面研究正是依据这一大格局,对我国山地进行多向切片式研究,以把握我国山地环境格局、变化和山地发展格局的关键事实,以此对我国山地环境系统和山区发展战略进行解析和综合。这将大大拓宽我国山地科学发展的思路,提升我国山地科学在世界山地学术界的地位,也将对世界山地研究和发展做出重要且不可替代的贡献。

## 4 结语

世界山地科学研究面临的山地环境变化和山区发展挑战问题,预示着山地环境系统研究的范式转型已经开始。在地球系统科学概念、全球变化研究和可持续发展思路的引领下,山地科学研究将进入一个新的发展阶段。我国山地面积广大,山地环境类型多样,山区发展问题紧迫,在世界山地科学发展的背景下,我国山地环境系统研究应该也是有所为的。

对于山地环境系统研究,我们有这样的几个理念:

第一,山地环境相对其他地理区域,在响应全球

变化和人类活动影响方面更敏感,更脆弱,更易受气候变化和灾害性事件的冲击,山区发展相对于其他地貌区域更需强调可持续性和对环境的影响。

第二,山地环境格局和山区发展格局是相互关联、密不可分的,是一个问题的两个方面,山区发展格局在很大程度上受山地环境格局的控制,而山地环境格局也在相当程度上受山区发展格局的影响和冲击;

第三,中国山地环境大格局是地貌上的阶梯格局、气候上的地带性格局和季风-干旱区格局的梯度组合结果,在全球范围内是独特的,山地环境研究和山区发展研究都要着眼于这个大格局;

第四,中国山区发展具有世界范围的独特性和示范意义,代表着经济崛起阶段国家的山区发展路径,极有可能从中总结出一些有代表性的问题,甚至是代表发展中区域的山区发展模式-中国模式。

我们的结论是:

山地环境和发展研究是地球科学领域重大而迫切的课题;

山地研究的核心科学问题是:我国山地环境系统是如何响应全球变化和人类活动影响的?在此背景下如何构筑我国山区可持续发展的根本战略和支撑战略?

需要通过山地环境大断面研究来抓住我国山地环境变化和山区发展研究的核心问题和切入点。

## 参考文献 (References)

- [1] Earth System Science Committee. Earth System Science: A Closer View [M]. Washington, D. C.: NASA Advisory Council, 1988: 1~205
- [2] Keith D. Alverson, Raymond S. Bradley, Thomas E. Pedersen (eds.). Paleoclimate, Global Change and the Future [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2003: 1~220
- [3] World Commission on Environment and Development. Our Common Future [M]. Oxford: Oxford University Press, 1987: 1~43
- [4] Zhong Xinghao. A new science——Mountain-Environmentology [J]. *Mountain Research*, 1998, 16 (2): 81~84 [钟祥浩. 山地研究的一个新方向——山地环境学 [J]. *山地研究* (现山地学报), 1998, 16 (2): 81~84]
- [5] UNEP World Conservation Monitoring Centre. Mountain Watch 2002 [M]. Cambridge: UNEP World Conservation Monitoring Centre, 2002: 1~80
- [6] Alfred Becker, Harald Bugmann (eds.). Global Change and Mountain Regions——The Mountain Research Initiative [R]. GBP Secretariat, Royal Swedish Academy of Sciences, 2001: 1~86
- [7] William M. Davis. The geographical cycle [J]. *The Geographical Journal*, 1899, 14 (5): 481~504
- [8] Walther Penck. Morphological analysis of land forms: a contribution to physical geology [M]. London: Macmillan and Co., 1953: 1~429
- [9] Alexander von Humboldt. Essai sur la Géographie des plantes [M]. Paris: Librairie Chez Levrault-Schoell et Compagnie, 1805: 1~155
- [10] Maureen E. Raymo, William F. Ruddiman, Philip N. Froelich. Influence of late Cenozoic mountain building on ocean geochemical cycles [J]. *Geology*, 1988, 16 (7): 649~653
- [11] Peter Molnar, Philip England. Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climate change: chicken or egg? [J]. *Nature*, 1990, 346: 29~34
- [12] Peter U. Clark, Patrick J. Bartlein. Correlation of late Pleistocene glaciation in the western United States with North Atlantic Heinrich events [J]. *Geology*, 1995, 23 (6): 483~486
- [13] Michael A. Summerfield. Geomorphology and Global Tectonics [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2000: 1~367
- [14] Philip N. Owens, Olav Skjæmaker (eds.). Mountain Geomorphology [M]. London: Edward Arnold, 2004: 1~313
- [15] William F. Ruddiman (ed.). Tectonic Uplift and Climate Change [M]. New York: Plenum Press, 1997: 1~535
- [16] Arthur L. Blum. Geomorphology: A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms [M], third edition. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998: 1~482
- [17] Douglas W. Burbank, Robert S. Anderson. Tectonic Geomorphology [M]. Mahler: Blackwell Science, 2001: 1~274
- [18] Mateo Gutierrez. Climatic Geomorphology [M]. Amsterdam: Elsevier B. V., 2005: 1~760
- [19] R. M. Chenes, J. Jakeways, H. Fairbank *et al.* (eds.). Landslides and Climate Change [M]. London: Taylor & Francis, 2007: 1~514
- [20] R. F. Stallard, J. E. Edmond. Geochemistry of the Amazon: the influence of the geology and weathering environments on the dissolved load [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1983, 88 (C14): 9671~9688
- [21] E. Ahnert. Functional relationships between denudation, relief and uplift in large mid-latitude drainage basins [J]. *American Journal of Science*, 1970, 268: 243~263
- [22] R. Millot, J. Gaillardet, B. Dupré, *et al.* The global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: new insights from rivers of the Canadian Shield [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196: 83~98
- [23] J. D. Milliman. Fluvial sediment in coastal seas: flux and fate [J]. *Nature and Resources*, 1990, 26: 12~22
- [24] Suzanne P. Anderson, Alex E. Blum. Controls on chemical weathering: small and large-scale perspectives [J]. *Chemical Geology*, 2003, 202: 191~193
- [25] Bernard Dupré, Céline Dessert, Priscia Oliveira *et al.* River, chemical weathering and Earth's climate [J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2003, 335: 1141~1160
- [26] A. Joshua West, Albert Galy, Mike Bickle. Tectonic and climatic controls on silicate weathering [J]. *Earth and Planetary Science*

- Letters* 2005, 235: 211~228
- [27] Martin Beniston. Environmental Change in Mountains and Uplands [M]. London: Arnold, 2000: 1~172
- [28] John Flenley. The Equatorial Rain Forest: a geological history [M]. London: Butterworths, 1979: 1~162
- [29] G. M. MacDonald, A. A. Velichko, C. V. Kremenetski *et al*. Holocene treeline history and climate change across northern Eurasia [J]. *Quaternary Research*, 2000, 53: 302~311
- [30] Uli M. Huber, Harald K. M. Bugnann, Mel A. Reasoner (eds.). Global Change and Mountain Regions: A Overview of Current Knowledge [M]. Dordrecht: Springer, 2005: 1~650
- [31] Martin Beniston. Climatic change in mountain regions: A review of possible impacts [J]. *Climatic Change*, 2003, 59: 5~31
- [32] Ramola Parish. Mountain Environments [M]. Harlow: Prentice Education, 2002: 1~348
- [33] Martin F. Price (ed.). Mountain Area Research and Management [M]. London: Earthscan, 2007: 1~302
- [34] Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS. Mountainology and Mountain Research in China [M]. Chengdu: Sichuan Science & Technology Press, 2000: 1~327 [中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所. 山地学概论与中国山地研究 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2000: 1~327]
- [35] Cheng Yuqi (ed.). An Outline of Geology in China [M]. Beijing: Geological Press, 1994: 1~517 [程裕祺主编. 中国区域地质概论 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1~517]
- [36] The Editing Committee of Physical Geography in China sponsored by Chinese Academy of Sciences. Physical Geography in China: A General Treatise [M]. Beijing: Science Press, 1985: 1~413 [中国科学院中国自然地理编辑委员会. 中国自然地理总论 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 1~413]
- [37] Zou Yilin. A Brief Summary of Chinese Historical Geography [M]. Fuzhou: Fujian People's Press, 1993: 1~243 [邹逸麟. 中国历史地理概述 [M]. 福州: 福建人民出版社, 1993: 1~243]
- [38] Yu Guihui (ed.). Global Change, Carbon Cycle and Storage in Terrestrial Ecosystem [M]. Beijing: Meteorological Press, 2003: 1~460 [于贵瑞主编. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳累积 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 1~460]

## A New Framework for the Study of Mountain Environment System

ZHONG Xianghao<sup>1</sup>, XIONG Shangfa<sup>2</sup>

(1 *Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;*

2 *Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China*)

**Abstract** The last several decades witnessed the emergence and international recognition of the concept of Earth System Sciences and Sustainable Development, as well as the rapid development within the researches of Global Change. It is in this period the mountain environment of the world has been stressed by two major challenges: the mountain environment change and the mountain sustainable development. Aimed to the study of mountain environment system, major progresses have been made in several themes, including mountain tectonic geomorphology, mountain climatic geomorphology, mountain hazards, biogeochemical cycles in mountain-river valley systems, mountain global change and human impact/adaptation. In this context, the mountain environment studies in China should be focused on the key problems that how the mountain environments in China response to the global change and human impact and how to figure out the sustainable development strategies for the mountain regions in China. Here we propose to initiate a research program of Chinese Mountain Environment Transects (CMET), to improve the understanding of the pattern, disturbance, processes, responses and adaptation in mountain environment-human society system, by exploring the gradient patterns, inter-relationships between systems and regional heterogeneity. This program will advance the knowledge of regional mountain environment changes, promote the mountain sustainable development, and contribute to reconstruct a new framework for the study of mountain environment system in China.

**Key words** mountain environment system; global change; sustainable development; Chinese Mountain Environment Transects (CMET)