

文章编号: 1000-0550(2013)05-0757-16

盆山系统沉积学—兼论华北和塔里木地区研究实例^①

李 忠 徐建强 高 剑

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

摘 要 在地球科学领域盆山系统可以作为一种新的地质单元或整体进行研究。在评述国内外研究成果基础上,本文提出了盆山系统分类三原则:即板块构造单元(位置)、盆山形成演化的构造动力学体制、构造—古地理特征或区域源—汇构造—沉积属性,并由此将盆山系统划分为陆内、陆缘(陆洋)和洋内盆山系统三大类及下属十四个亚类。进而论述了盆山系统沉积学的研究体系,其中构造—地层单元与等时地层格架、物源示踪与源汇体系、综合沉积记录及古构造—古气候演变等三方面是研究基础,沉积体系(域)与综合构造—古地理是核心,而盆山演化动力学为学科目标。以华北东部陆内盆山系统为例,研究指出西伯利亚板块与华北—蒙古联合块体的碰撞隆升,形成了该区侏罗纪—早白垩世早期最显著的陆内山—盆系统,而苏鲁造山带碎屑物源影响甚微;以塔里木陆缘盆山系统为例,初步揭示了泥盆—石炭纪西南天山被动陆缘与东南天山弧相关陆缘盆山系统的差异记录。研究认为,为了深化盆山动力学研究,现阶段特别值得在物源示踪与源汇体系、综合沉积记录及古构造—古气候演变方面加强盆山系统沉积学工作。

关键词 盆山系统 沉积记录 源汇体系 构造—古地理 华北块体 塔里木块体

第一作者简介 李 忠 男 1964 年出生 博士 研究员 沉积学与盆地动力学研究方向 E-mail: lizhong@mail.igcas.ac.cn

中图分类号 P512.2 TE121.2 文献标志码 A

0 引言

山脉和盆地是沉积地壳演化的两个端元产物或两个基本地理—地质单元,又是一个密切关联的系统或有机整体。正因为如此,完整的沉积盆地动力学研究必须基于岩石圈尺度上的盆山系统分析,探索盆地演化、造山作用与深部过程三者之间的耦合关系已经成为现代地球动力学研究的前沿领域^[1~13]。近年来,特别是地震以及综合地球物理探测技术、同位素地球化学与年代学测试技术、以及计算技术的发展和运用,盆山系统的学科研究在新的层面上呈现出勃勃生机。另一方面沉积(充填)记录不仅在表征盆地形成演化,而且在重建造山带形成—改造过程方面具有独特性,因此沉积学成为研究盆山系统的重要基础学科之一,也是盆山系统分析中极为活跃的领域。在庆祝《沉积学报》创刊 30 周年暨第五届全国沉积学大会召开之际,应邀撰写此文,一则希望结合近期国内外研究进展对盆山系统沉积学的研究体系作一探讨和梳理,二则试图以作者研究的部分实例为基础分析盆山系统沉积学的重要科学问题及发展趋向。

1 盆山系统研究趋势与盆山系统类型

盆山系统是指任一地质历史时期具有成因关联的山脉和盆地构成的有机整体,即大型隆起剥蚀区与沉降充填区在构造、沉积和深部结构上的关联系统,它们往往可以通过盆山之间物质、能量和动量的输运和相互作用进一步加以刻画;换句话说,盆山系统可以通过构造、沉积、流体、深部岩石圈演化等领域开展研究。

盆山系统分析自上世纪 90 年代开始进入第一个高潮。以北美 Sevier 冲断带^[14~16]、欧洲 Alps 山^[17~20]、亚洲的喜马拉雅山^[21~24]为代表,多学科的盆山系统研究获得了极大的成功。值得一提的是,国际岩石圈计划(ILP)“沉积盆地成因”任务组曾对板块构造环境、地壳结构、地幔结构、岩石圈有效弹性厚度和屈服刚度包络面与沉积盆地形成演化的控制关系开展了多领域、多尺度的专题研究^[2,4,25~31],在应力与盆地演化、岩石圈流变与盆地形成、岩石圈深部过程的近地表显示等领域开展了广泛的国际合作,实现了多学科多方位开展盆山耦合研究的重要性与必要性^[11]。在此期间我国学者追踪国际对比研究计

^①国家自然科学基金项目(编号:41172096,40972085,40672083)资助
收稿日期:2013-07-31

划,也分别在华南^[32]、青藏^[33,34]、昆仑山^[35,36]、秦岭^[37]、大别山^[38-40]、燕山^[41-43]、龙门山^[44]以及天山^[45-48]等地区开展了盆山特别是陆内盆山系统研究,成果显著。

近十年来借助高精度地球物理探测技术、同位素地球化学与(低温)热年代学测试技术以及计算技术的发展和运用,盆山系统分析进入了一个新的发展阶段,其研究进展主要体现在不同盆山结合带的精细结构刻画、高精度综合物源体系解析和重建、多参数定量约束山—盆隆凹历史、盆山演化定量数值模拟等方面^[49-51]。学科研究呈现出勃勃生机。除定量数值模拟外,我国学者的盆山系统工作也比较全面地登上国际学术舞台或呈现全新的发展态势,这其中在青藏高原及邻区、塔里木盆地及邻区、华北盆地及邻区、四川盆地及邻区等盆山系统的研究成果尤其值得关注(参见文献^[52])。

回顾国内外研究历程,可以看到以往对盆地和造山带比较成熟的理论认识主要来自于各自独立的研究体系,而上世纪90年代开始的盆山相互作用或耦合(体系)分析,在一定程度上改变了这一现状。这种改变或其后效突出表现在三个方面:其一,造山带形成演化除了对造山带本身分析外还可以从相邻盆地中获得其他沉积充填记录的约束信息;其二,盆地形成演化除了对盆地本身研究外还可以从相邻造山带中获得其他动力学约束信息;其三,盆山系统可以作为一种新的地质单元或整体进行研究。

尽管如此,迄今为止尚无完整或确切的盆山系统分类提出。西方学者关注的重点是岩石圈尺度、板块构造或大陆构造体制下的盆山关系或相互作用问题,如以盆地研究和板块构造的结合为主线划分出离散、

汇聚、转换、板内、复合(hybrid)类型^[1];结合造山—造盆作用与板块构造位置可以归为陆岛、洋岛、陆—陆和陆—弧体系^[53];我国学者也以盆地研究体系^[54]为主线划分出冲断造山带与前陆盆地、伸展山岭与裂陷盆地、走滑造山带与走滑盆地等三类盆—岭耦合体系^[55];而根据构造应力体制还分出了引张、挤压、走滑引张、走滑挤压、垂直应力和冲击等6种盆山耦合类型^[56]。

鉴于盆—山在构造和沉积演化属性上的不可分割性,笔者认为盆山系统分类应综合考虑如下三原则:①板块构造单元(位置);②盆山形成演化的构造动力学体制;③构造—古地理特征或区域源—汇构造—沉积属性。为此本文综合给出了表1的盆山系统分类,并概括了十四个亚类的源—汇基本特征,供讨论。其中陆内盆山系统和洋内盆山系统总体以近源或中—近源沉积体系(域)为特征,而陆缘(陆洋)盆山系统比较复杂,近源和远源沉积体系(域)均有发育。

2 盆山系统沉积学的主要研究体系

盆山系统沉积学是以研究盆山系统为主要任务的沉积学分支,其科学内涵有二:其一,通过沉积作用分析,将山脉和盆地两个沉积地壳演化的端元产物合二为一;其二,理论上盆地充填产物是反映盆山演化最连续、最敏感的地质记录。近年来的盆山系统沉积学已经具有综合学科的地位或发展趋势,其研究体系一般由如下五个部分构成:构造—地层单元与等时地层格架、物源示踪与源汇体系、综合沉积记录及古构造—古气候演变、沉积体系(域)与综合构造—古地理、盆山演化动力学。

表1 盆山系统分类

Table 1 Basin-range system classification

类	亚类	源—汇特征	实例
陆内盆山系统	陆内伸展体系	近源,地势高差较小—中等	晚中生代华北
	陆内挠曲体系	近—中源,地势高差较大	新生代天山南缘,侏罗纪华北地区
	陆内走滑体系	近源,地势高差较小—中等	新生代伊兰—伊通
	陆内复合(转换)体系	复杂	新生代华北东部、准噶尔南缘
陆缘(陆洋)盆山系统	坳拉槽—裂谷体系	中—远源,地势高差较小—中等	早古生代满加尔
	陆缘离散体系	被动陆缘体系	寒武—奥陶纪塔里木、扬子
	前陆体系	远源及近源,地势高差中等—较大	新生代北阿尔卑斯,早中生代鄂尔多斯
洋内盆山系统	陆缘汇聚体系	陆—弧前体系	新生代台湾海岸山脉
	后陆体系	陆—弧后体系	早古生代祁连山,晚古生代华南
	陆缘转换体系	中—远源,地势高差较大	早中生代大别山北部、华北北缘
	洋内扩张体系	中—近源,地势高差较大	现代东南亚,早中生代郟庐带
洋内盆山系统	洋内碰撞体系	近源,地势高差较大	现代洋中脊与洋盆,古生代西准噶尔
	洋内转换体系	近源,地势高差较大	晚古生代东准噶尔
		?	现代大洋转换带(?),古生代准噶尔洋(?)

2.1 构造—地层单元与等时地层格架

构造—地层单元与等时地层格架是盆山系统沉积学的学科基础之一,但构造活动区和稳定区的沉积面貌迥异,研究内容各有特色。研究目标就是要划分构造—地层单元、厘定各单元中岩石地层单元的年代界限,特别是在盆地井下及邻区造山带构建沉积对比方案,客观认识沉积的序列、环境演变和结构关系,以期正确对比盆山等时地层沉积记录;另一方面就是要开展沉积地层与海平面变化对比,为识别沉积序列、层序格架的构造控制作用及其与物源供给、气候和造山过程的相互关系奠定时空基础。

对于构造稳定区,除了传统的生物地层以外,等时地层格架的建立应充分发挥同位素年代地层、磁性地层与地震剖面解析的结合,这在陆内盆山系统陆相红色地层研究中尤其重要。

由于同生期构造混杂和/或后期构造叠加作用,大多数造山带(构造活动区)地层剖面只能保留其演化的某些片段或者说难于辨认其原始的沉积序列,因此成为造山带沉积学研究的难题。特别是针对非史密斯地层这个问题,以往国内外均开展了大量研究,并逐步取得了多方面认识进展^[57-70]。一个有效的方法就是借助精细的地层古生物(如牙形石)研究,并结合构造几何学的归位分析和相序分析,在正常片段恢复基础上,建立比较长尺度的年代地层和沉积序列。当然由于造山带地层(特别是混杂岩区)的多样性和构造单元的复杂性,其研究难度和工作量巨大,对诸多造山带沉积序列的认识仍然问题重重,因此需要长期不懈的探索。

2.2 物源示踪与源汇体系

物源示踪与源汇体系是盆山系统沉积学的学科基础之二。碎屑沉积是沉积记录的重要组成部分,而碎屑物源示踪是衔接盆—山转换的关键,其中蕴涵着大量的造山带演化的地球动力学信息:①通过系统的碎屑矿物(重、轻矿物)、砾石的年代学谱系和地球化学分析,恢复和重建造山带的源区类型、年代与岩石构成^[71-73];②开展高分辨率重矿物分析(HRHMA),即通过稳定碎屑重矿物的标型特征、年代学和微区地球化学分析及其详细的物源示踪,可以厘定较为精确的造山带块体组成、构造框架与演化细节^[74-81];③碎屑热年代学研究,特别是结晶岩砾石中不同矿物(具有不同封闭温度)的热年代学、锆石等碎屑矿物裂变径迹的研究,为揭示山带隆升和剥蚀速率,认识古地貌演化与盆山构造关系提供了独特的定量信

息^[80,82-87];④做为源区类型、年代与岩石构造属性的主要定量判别分析手段,碎屑沉积岩岩石地球化学的配套参数,特别是微量、稀土元素和钨同位素模式年龄的分析与示踪近年来也得到广泛应用^[79,88-94]。上述通过物源示踪识别源汇体系的研究已经成为当今盆山系统沉积学的热点。

尽管如此,由于碎屑成因的复杂性,因此对碎屑沉积记录中地球动力学信息的提取和解释尚面临诸多难题,特别是在微量样品的分离、对比标准的选择和数值校正、复杂因素的分析与厘定方面。

2.3 综合沉积记录及古构造—古气候演变

综合沉积记录及古构造—古气候演变是盆山系统沉积学的学科基础之三。综合沉积记录包括沉积剖面(柱)中的颜色、岩性、岩相、古生物组合及生物相物源岩石与构造属性、各类碎屑组合与特征元素—同位素及化合物地球化学参数等指标及其对古构造—古气候的指示含义。

基本研究思路通过建立有年代学资料限定的综合沉积记录,提取古构造—古气候指标,建立综合沉积剖面,对比分析盆地充填与山带隆升—剥露过程及其区域变化,厘定高分辨率碎屑组构及其主控因素;结合相关地质、地球化学和地球物理资料,综合分析盆山分异与构造—沉积响应过程,深入探索构造变形、气候分异与山—盆演化的地球动力学机理,并借此阐明盆山构造类型和沉积充填模式,以及构造叠加改造特征。应该指出,近年来气候分异对前第四纪沉积记录及盆山演变的驱动机理已经受到愈来愈多的关注^[50-52]。

2.4 沉积体系(域)与综合构造—古地理

沉积体系(域)与综合构造—古地理是盆山系统沉积学的学科核心。在认识构造—地层单元与等时地层格架、物源示踪与源汇体系、综合沉积记录及古构造—古气候演变的基础上,解析沉积体系(域),结合相关地质、地球化学和地球物理资料重建构造—古地理。理论上,盆山构造类型往往存在空间分异,因此古地理变革复杂多变。对此该研究将特别注重考察时间(变革前后)和空间(分段)的不同,着眼于分析不同单元源—汇体系、沉积体系及其区域古地理的演变特征。与洋—陆转换、盆—山转换有关的沉积体系与古地理格架是研究的核心内容。研究难点显然是关键构造变革期前后等时单元的选取和古地理重建。因此,重要构造层界面划分与属性分析、古物源—古地势结合分析尤为重要。

与稳定区古地理的重建不一样,造山带古地理必须更多地与构造地质学密切结合,并关注一些极端的沉积作用分析和环境恢复,如深水沉积^[95~98]、大洋和火山沉积^[99,100]、俯冲带混杂堆积等^[58,101,102]。显然,由于造山带构造的活动性和体制演变的复杂性,加之认识程度限制,造山带沉积建造研究常常出现对已有沉积古地理模式的挑战。因此相关研究必须采用活动论思想,在多学科(构造、沉积、古生物、古地磁、火山岩、地球化学等)分析基础上,重建构造—古地理。

2.5 盆山演化动力学

盆山演化动力学是盆山系统沉积学的学科目标。构造变革、盆山转换和物源变迁、海平面变化等对沉积古地理展布和演化具有重要制约作用。因此,研究旨在沉积序列、源汇—沉积体系以及区域古地理演变分析基础上,结合该区地质、地球化学与地球物理等方面资料,解析原型盆地和造山作用,揭示隆凹速率和/或剥露—充填速率,重建盆山或洋陆转换关键过程,并探索其构造演化的动力学模式。值得一提的是,数值模拟已经或正在成为定量解析和重建盆山或洋陆转换动力学过程^[7,49~51]的热点研究领域。

上述五个方面内容构成了盆山系统沉积学的基础研究体系。值得一提的是,盆地是油气、煤、层控矿床等资源赋存的重要场所,也是人类栖息的主要空间,因此盆山系统沉积学在完整认识沉积—成岩型资源形成分布和环境演变等诸多领域具有广泛应用前景,也衍生出了一系列应用研究分支,如研究烃源岩、储集体、泥炭沼泽、层控矿床水文—气候环境系统与构造—古地理演变的关系等等,在此从略。

3 盆山系统沉积学研究实例

伴随古亚洲、特提斯和太平洋三大构造域的演化和相互作用,中国大陆由华北、扬子、塔里木、华夏等古陆经历多旋回裂解—拼合而成,并在此过程中发育和保存有诸多盆山系统。在中国北方,围绕大兴安岭、太行山、燕山—阴山、鲁西隆起、大别山、贺兰山、秦岭、祁连山、北山、天山、阿勒泰、昆仑山、阿尔金山等山系,围绕松辽、华北、渤海湾、周口—合肥、鄂尔多斯、南襄、走廊—阿拉善、柴达木、塔里木、准噶尔等盆地,也发育了一系列不同时代、不同类型、丰富多彩的盆山系统,是全球盆山系统沉积学重要的研究场所^[52]。

前已述及,自1990年代初期开始国内外学者有计划地开展了中国大陆盆山系统沉积学的研

究^[32,38,45,103~107],并已积累了不同程度的分析资料,提升了相关盆山系统的认知程度;然而,国内盆山系统的沉积学研究总体仍然处于初期阶段。近年来笔者对中国北方几个盆山系统开展了沉积学研究,尤其在物源示踪与源汇体系、综合沉积记录及古构造演变方面加强了工作,以求推进沉积体系(域)与综合构造—古地理、盆山演化成因动力学的研究进程。以下遴选华北、西北地区两个实例简要讨论有关研究进展及关键问题。

3.1 华北东部地区侏罗—白垩纪陆内盆山系统关键沉积记录

华北地区侏罗—白垩纪盆山系统是典型陆内盆山系统,因此也是近年来大陆动力学研究的热点地区。华北侏罗—白垩纪盆山系统的形成与北缘晚古生代至早中生代兴—蒙造山作用、南缘早中生代大别—苏鲁造山作用和北部中生代燕山造山作用息息相关。以往研究表明^[108~112],早中生代盆山系统构造以东西向为主,晚中生代—新生代岩石圈减薄或破坏对北东—北北东向盆—岭构造的形成演化产生了重要影响。然而,对于这一构造转折的盆山沉积演化细节(特别是侏罗纪)却知之甚少,长期争论颇多。为此,笔者等针对性开展了就华北东部地区(燕山、大别山、鲁西隆起和合肥盆地等)侏罗—白垩纪陆内盆山沉积学分析。其中针对处于关键部位、争议极大的华北中东部鲁西隆起中生代沉积记录,重点开展了侏罗系和下白垩统连续砂岩样品的碎屑物源示踪与源汇体系、综合沉积记录及古构造—古地理演变分析。

通过鲁西地区下—中侏罗统坊子组、中—上侏罗统三台组和下白垩统分水岭组冲积平原相、河流—三角洲相比较连续的砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素分析显示(图 1a),U-Pb 年龄中的古元古代—新太古代年龄与华北北缘出露基底年龄特征一致,显生宙年龄(252~393 Ma)记录的晚古生代岩浆活动均未发现于鲁西隆起及其邻近地区,而可以与大量出露于华北北缘及其北部的兴—蒙造山带的岩浆活动进行对比。上述砂岩中相当部分(40%以上)的显生宙碎屑锆石(150~324 Ma)具有正的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值同位素特征,也与兴—蒙造山带特征相似。而 A 型石榴石(原始数据见文献[113],在此从略)在坊子组向三台组、分水岭组沉积的演化过程中较明显的增强趋势,也指示源区华北北缘地势隆升增强,深部基底麻粒岩被更多的剥露出来。另一方面,碎屑锆石无新元古代和中—晚三叠世超高压变质年龄,说明侏罗纪—早白垩

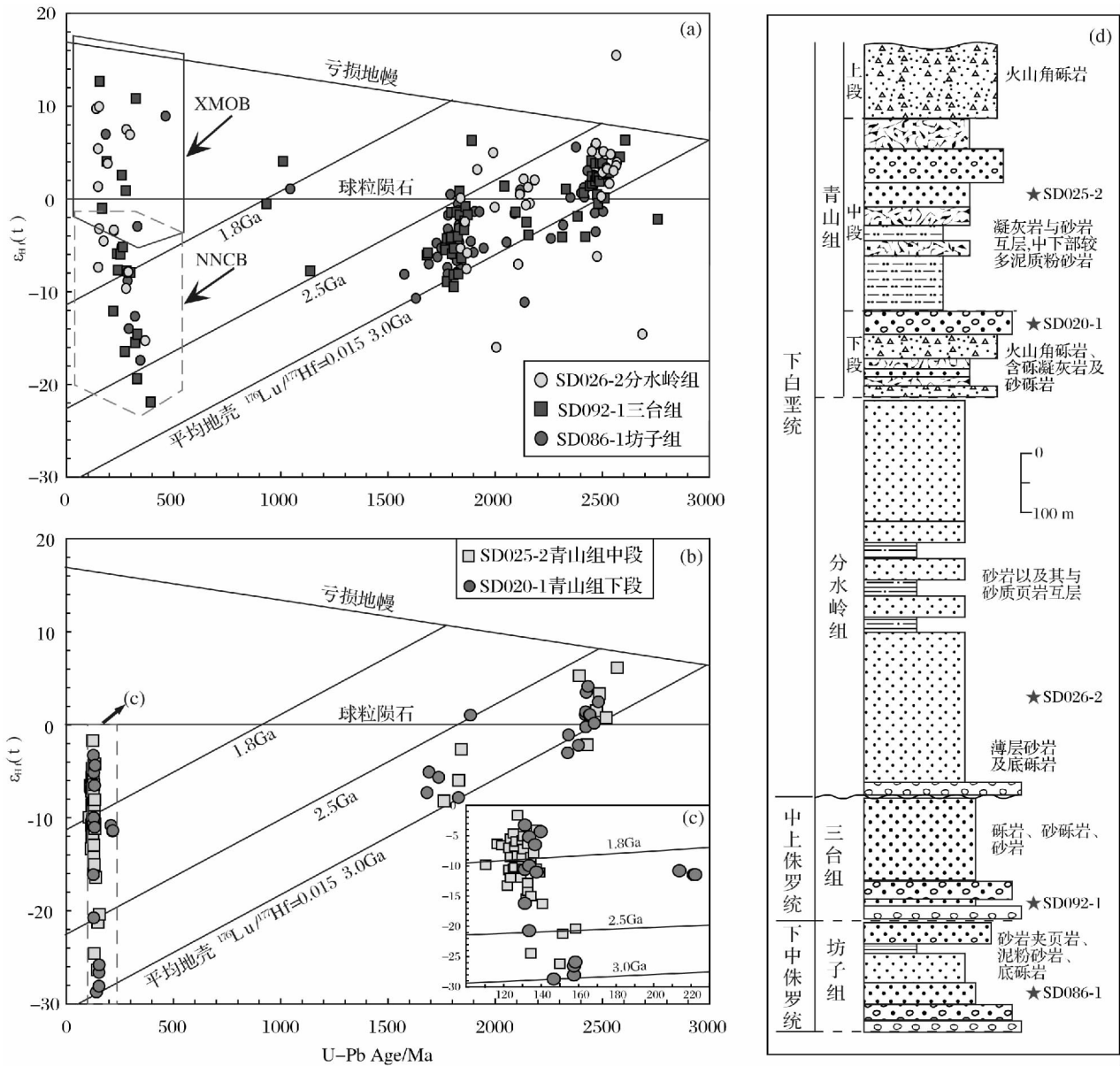


图 1 鲁西地区碎屑锆石 U-Pb 年龄与 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值散点图 (a ~ c) 及对应样品采集剖面 (d)

其中 (a) 据文献^[115] 修订; NNCB: 华北克拉通北缘, XMOB: 兴—蒙造山带

Fig. 1 A scatter diagram (a ~ c) showing U-Pb ages versus $\epsilon_{Hf}(t)$ values of detrital zircons in Luxi area, which sampling horizons are marked in (d)

世早期研究区与扬子板块及鲁西隆起东南部的苏鲁造山带物源无明显关系。

与上述不同, 青山组扇三角洲和湖泊相砂岩样品碎屑锆石的显生宙年龄主要由早白垩世年龄组成, 其 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值都为负值 (图 1b, c); 但该组样品同样也不存在表征扬子板块及苏鲁造山带的新元古代和中—晚三叠世年龄。考虑该时期近源沉积的环境特点^[114], 并结合碎屑石榴石化学成分分析资料 (原始数据见文献 [113], 在此从略) 对高级变基性岩和高

级麻粒岩相副变质岩物源的指示, 可以厘定青山组最主要的物源应来自华北克拉通内部或鲁西等周缘地区。

这一研究表明, 西伯利亚板块与华北—蒙古联合块体的碰撞隆升增强, 逐渐形成相对华北克拉通内部的高地势, 是该区侏罗纪—早白垩世早期 (约 136 Ma 前) 最显著的山—盆系统, 即华北北缘的高地势导致大量的剥蚀产物向南“梯级”运输, 并成为包括鲁西在内的华北克拉通内部主要碎屑物源的供给体系

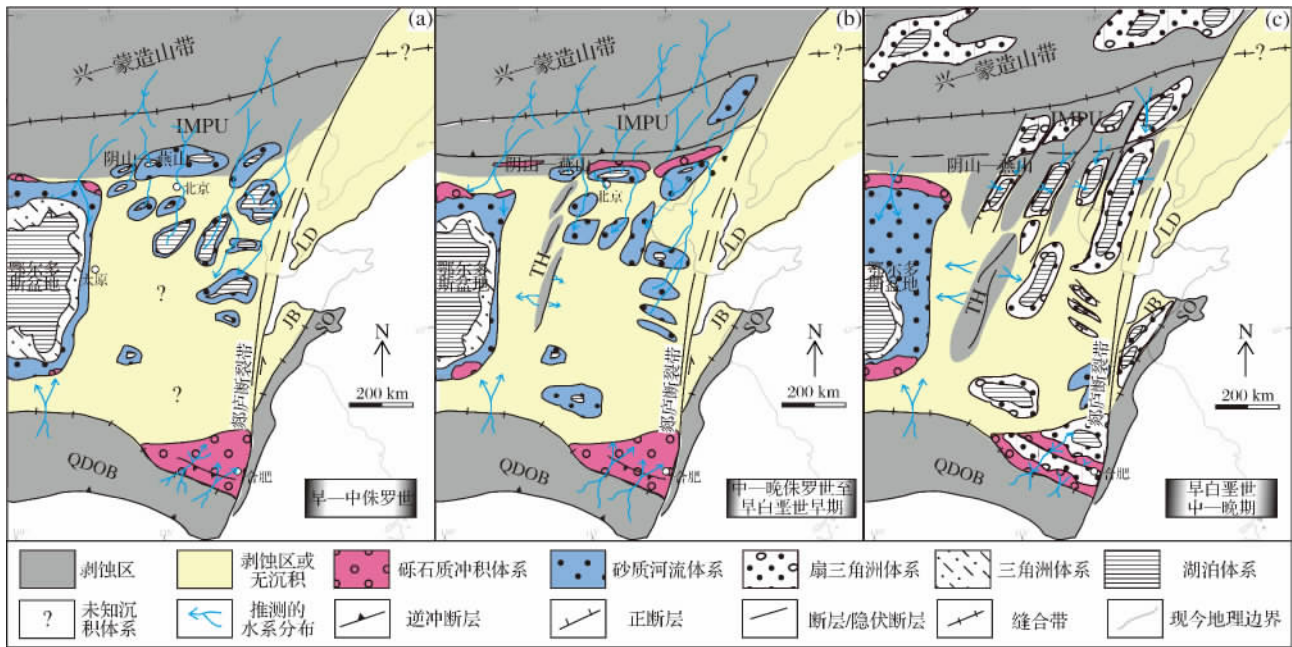


图2 华北东部中生代中晚期构造—古地理演化(据文献[114,115]修编)

Fig.2 The middle-late Mesozoic tectonic-paleogeographic evolution of eastern North China block (modified after references [114,115])

(图2)。此外苏鲁造山带碎屑物源直到白垩纪早期也未向西越过郯庐带而影响华北克拉通东部地区。这些研究结论完善或修订了前人有关燕山构造隆升转折时限^[116]、华北东部中生代中晚期“高原”存在与否^[117,118]、中生代盆地和造山构造类型^[119]等问题的认识,为构造—古地理重建提供了新的沉积学依据。

3.2 塔里木地区泥盆—石炭纪陆缘(陆洋)盆山系统关键沉积记录

对于塔里木盆地与北侧天山造山带所构成的巨型盆山体系,以往的研究业已认识到它是晚古生代多微板块拼合和增生作用^[104,120~127]及其后中—新生代

多期陆内造山作用^[47,84,86,104,128~132]的结果。主要基于岩浆—变质岩、构造及地层解析等不同学科研究,目前南天山洋最后闭合—碰撞造山时间有多种不同观点,即:晚泥盆—早石炭世、早—晚石炭世、中—晚二叠世、早—中三叠世等,而南天山洋闭合的俯冲极性则存在向南和向北两种完全对立的认识和不同的构造模式^[133~142]。为此需要深入补充或加强对构造演化具有敏感指示的塔里木北缘和南天山泥盆—石炭纪沉积记录暨陆缘(陆洋)盆山系统沉积学的研究。

南天山洋盆的早期记录赋存于构造混杂带或其支离破碎的“岩片”剖面之中(图3),因此厘定构造

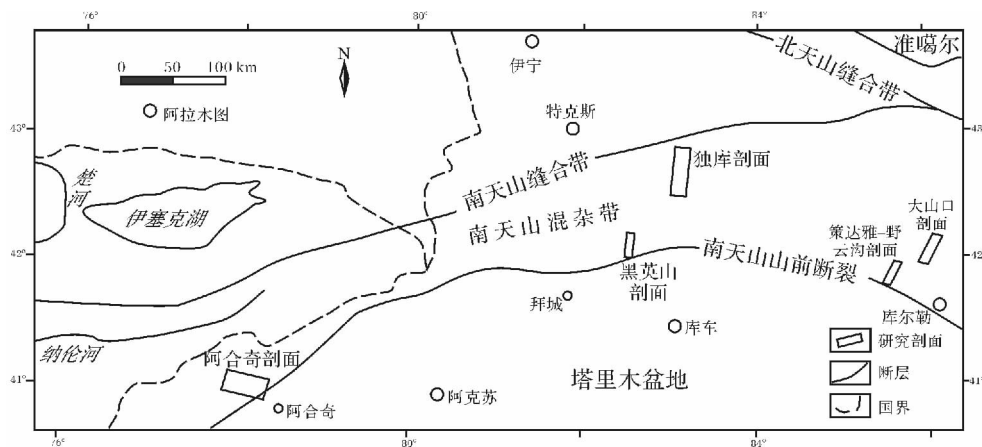


图3 南天山及周缘构造格架与研究剖面位置

Fig.3 Tectonic configuration of South Tianshan and its adjacent area, in which the studied profiles are labeled

年代地层		年龄 /Ma	阿合奇剖面		独库—黑英山剖面		策达雅—野云沟剖面		大山口剖面			
系	统		组	层	组	层	组	层	组	层		
石炭系	上统	399.9	喀拉恰尔组	喀拉恰尔组① <i>Triticites minimus</i> 蕨 <i>Quasifusulina cavexi</i> 艾克提克群③ <i>Fusulina</i> sp. <i>Fusulinella</i> sp.	康克林组 蕨 阿依里河组 阿依里河组① 艾克提克群③ <i>Schubertella</i> sp. <i>Pseudostaffella</i> sp. 野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	卡拉达坂组 蕨 <i>T. pcositatus</i> <i>Schellwien</i> <i>T. pseudosimplex</i> <i>Fusulinella</i> <i>paratonensis</i> <i>Profusulinella</i> sp.	卡拉达坂组 蕨 <i>T. pcositatus</i> <i>Schellwien</i> <i>T. pseudosimplex</i> <i>Fusulinella</i> <i>paratonensis</i> <i>Profusulinella</i> sp.	卡拉达坂组 蕨 <i>T. pcositatus</i> <i>Schellwien</i> <i>T. pseudosimplex</i> <i>Fusulinella</i> <i>paratonensis</i> <i>Profusulinella</i> sp.	卡拉达坂组 蕨 <i>T. pcositatus</i> <i>Schellwien</i> <i>T. pseudosimplex</i> <i>Fusulinella</i> <i>paratonensis</i> <i>Profusulinella</i> sp.	卡拉达坂组 蕨 <i>T. pcositatus</i> <i>Schellwien</i> <i>T. pseudosimplex</i> <i>Fusulinella</i> <i>paratonensis</i> <i>Profusulinella</i> sp.		
		328.3	艾克提克群② (HLQ-9) 乌帕塔尔坎群② 艾克提克群① (BDLP-20-4)	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	
	345.3	艾克提克群① Albaitella <i>paradoxa</i> Deflandre <i>A. undulata</i> Deflandre <i>Belowea variabilis</i> <i>A. sp. cf. A. deflandre</i> Gourmelon <i>Eostylodictya rota</i> <i>Entactinia variospion</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	
	359.2	乌帕塔尔坎群③ 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	
泥盆系	上统	374.5	乌帕塔尔坎群② 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫		
		385.3	乌帕塔尔坎群① 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫
	391.8	乌帕塔尔坎群③ 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫
	397.5	乌帕塔尔坎群① 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫
中统	407.0	乌帕塔尔坎群① 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	
	411.2	乌帕塔尔坎群① 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫
下统	416.0	乌帕塔尔坎群① 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	
	416.0	乌帕塔尔坎群① 放射虫 <i>Albaitella cf. A. deflandre</i> <i>Gourmelon</i> <i>A. sp. cf. A. undulata</i> <i>Deflandre</i> <i>A. sp. cf. A. paradoxa</i> <i>Deflandre</i>	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	野云沟组 野云沟组① 刺毛珊瑚① 双壁珊瑚① 库勒湖组 放射虫	

图 4 南天山泥盆—石炭纪古生物组合记录与年代地层格架厘定(标注样品号与图 5 对应)
注:①古生物资料转引自[61]评述的文献;②据李忠等, 2010. 注意图中对具有混杂堆积属性的岩石地层单元的降体(内部资料)
Fig. 4 The Devonian-Carboniferous biostratigraphic records and chronological stratigraphic framework in South Tianshan

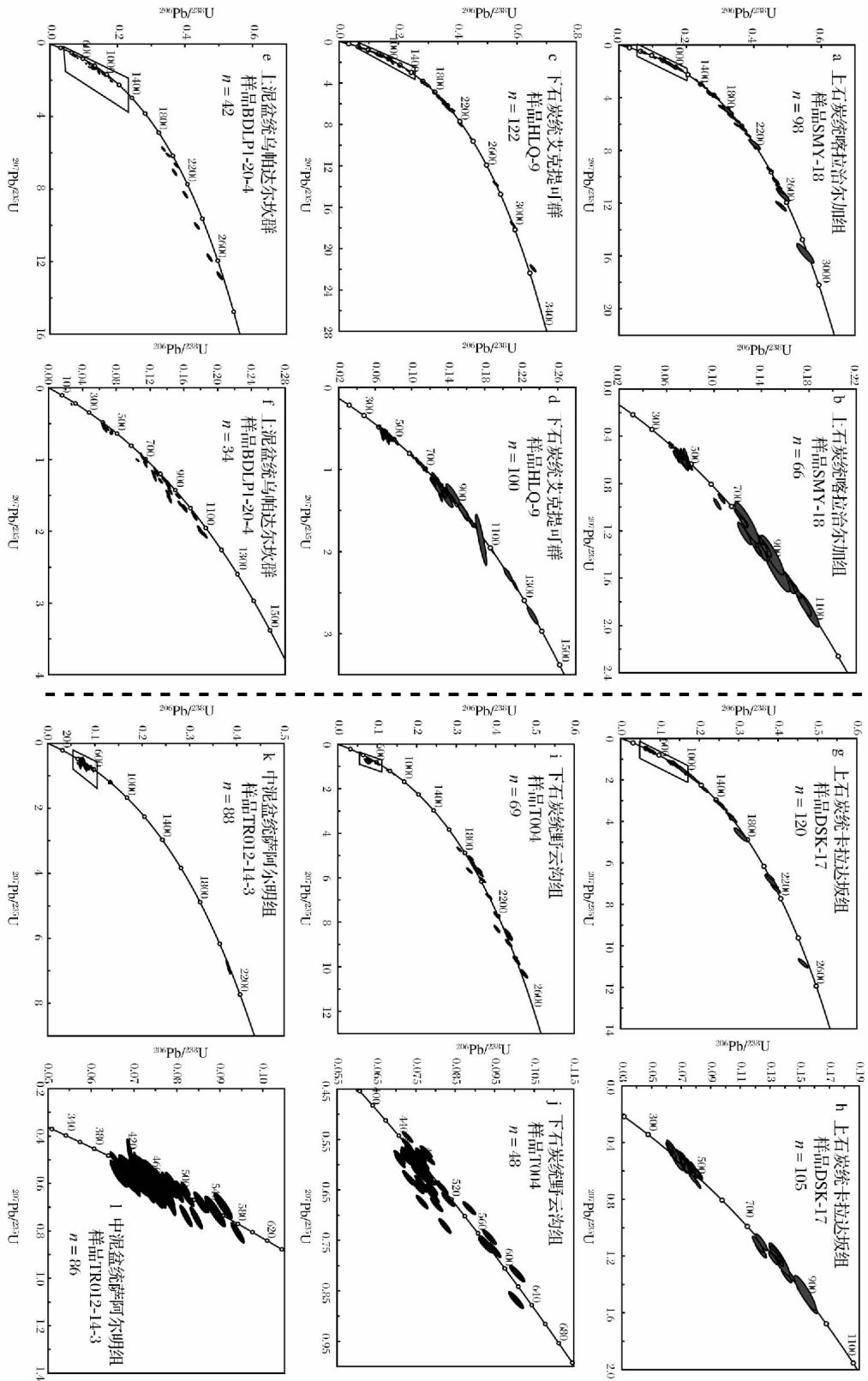


图5 南天山泥盆—石炭系碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和图对比
 (a~f) 西南天山阿合奇—乌什剖面; (g~l) 东南天山野云沟—策达雅和大山口剖面; 样品层位见图4标注
 between western and eastern South Tianshan

活动区南天山泥盆—石炭纪生物组合(特别是放射虫)记录的时空分异与地层格架是本研究的难题和重要基础之一。综合前人及作者的资料,特别是基于对混杂堆积中微体化石资料和岩石地层单元(或岩片)的解析,图4概括了南天山年代地层分析结果,显示放射虫发育层位主体集中于晚泥盆世—早石炭世,但由西南天山到东南天山放射虫发育顶界层位从维宪阶变为杜内阶,略有降低,可能说明南天山洋自东向西收缩关闭的格局。

以南天山中东部的野云沟—策达雅和大山口剖面为例,进一步的沉积序列研究显示,南天山东部中上泥盆统—下石炭统为构造混杂堆积,含一套中酸性和中—高K钙碱性火山岩系,且具有岛弧火山岩特点^①,其中从碎屑锆石U-Pb年代学中难于寻觅塔里木陆块的明显信息(图5k,l);而上石炭统则发育滨浅海相稳定构造沉积序列,碎屑锆石年龄虽然也主要集中在大约390~490 Ma,但来自塔里木陆块的锆石物源年龄信息(晚元古代750~850 Ma以及少量早元古—太古代年龄)显露(图5g,h),沉积物源格局发生改变,佐证了放射虫记录的南天山洋关闭事件。南天山西部以阿合奇以北的南天山剖面分析为代表,上泥盆统—下石炭统含有典型的大洋玄武岩、放射虫硅质岩和深水浊积岩混杂组合;上石炭统则为一套浅海和滨岸碎屑岩或混积岩构成的稳定陆缘沉积。比较东南天山,该区碎屑锆石U-Pb年龄主峰除集中在400~500 Ma以外,前寒武纪750~850 Ma、900~1100 Ma碎屑锆石显著增加,从上泥盆统—下石炭统到上石炭统变化不大(图5a-f),其物源与塔里木陆块密切相关。换句话说,尽管放射虫资料说明早石炭纪早维宪期后南天山洋已经关闭,但直到晚石炭世塔里木西北缘仍然延续了前石炭纪的沉积物源格局,并未记录到显著的南天山碰撞造山事件及其效应。

基于上述碎屑物源与岩相研究,以及综合生物古地理资料^[61],认识到西南天山与东南天山存在被动陆缘和弧相关陆缘盆山系统的差异地质记录。可能正是塔里木以南的古特提斯分支洋盆在早石炭世及其后的继续扩张,导致塔里木北移以及南天山洋和准噶尔—北天山区的古亚洲洋关闭,并于早石炭世晚期(或维宪期)—晚石炭世在南天山中东部和西部以不同构造动力学(极性)模式相继消亡。

显然,在陆内、陆缘(陆洋)等不同盆山系统的沉

积学研究体系中难点不一;但无论如何,等时地层格架、物源示踪与综合沉积记录及古构造—古气候演变等研究的基础地位不容动摇。现阶段由于原位同位素年代学技术和示踪技术的发展,在源汇体系、综合沉积记录及古构造—古气候演变等热点领域投入的必要性凸显;当然综合等时地层格架的研究也应加强,特别是在当下传统生物地层研究衰落的背景下,这一点尤其值得在陆缘(陆洋)盆山系统的构造活动区沉积记录和陆内盆山系统的红层沉积记录研究中强调。

4 主要认识

(1) 盆山系统作为一个整体单元是现代地球动力学研究的热点。综合考虑板块构造单元(位置)、盆山形成演化的构造动力学体制、构造—古地理特征或区域源—汇构造—沉积属性,可以将盆山系统划分出三大类、十四个亚类。其中陆内盆山系统和洋内盆山系统总体以近源或中—近源沉积体系(域)为特征,而陆缘(陆洋)盆山系统比较复杂,近源和远源沉积体系(域)均有发育。

(2) 盆山系统沉积学已经具有综合学科的地位或发展趋势,其研究体系一般由构造—地层单元与等时地层格架、物源示踪与源汇体系、综合沉积记录及古构造—古气候演变、沉积体系(域)与综合构造—古地理、盆山演化动力学等五个部分构成。前三部分是研究基础,在不同盆山系统中研究难点不一。

(3) 华北侏罗—白垩纪是典型的陆内盆山系统。重点对碎屑物源示踪与源汇体系的分析表明,西伯利亚板块与华北—蒙古联合块体的碰撞隆升增强,逐渐形成相对华北克拉通内部的高地势,是该区侏罗纪—早白垩世早期(约136 Ma前)最显著的山—盆系统;而苏鲁造山带碎屑物源直到白垩纪早期也未向西越过郯庐带影响华北克拉通东部地区盆地沉积。

(4) 塔里木北缘和南天山泥盆—石炭纪发育典型的陆缘(陆洋)盆山系统。基于碎屑物源与岩相以及生物古地理资料综合研究,初步揭示了西南天山被动陆缘与东南天山弧相关陆缘盆山系统的差异记录。提出由于塔里木以南的古特提斯分支洋盆扩张,导致南天山洋和准噶尔—北天山区的古亚洲洋关闭,并于早石炭世晚期(或维宪期)—晚石炭世在南天山中东部和西部以不同构造动力学(极性)模式相继消亡。

① 李忠等,2010,塔里木区块构造—岩相古地理研究与编图,中国石化科技报告(内部资料)

参考文献(References)

- 1 Dickinson W R ,Anderson R N ,Biddle K T. The dynamics of sedimentary basins [M]. USGC ,Washington DC: National Academy of Sciences. 1997:43
- 2 Cloetingh Sierd ,Sassi W ,Horvath F *et al.* Basin analysis and dynamics of sedimentary basin evolution [J]. *Sedimentary Geology* ,1993 ,86 (1) : 1-201
- 3 Cloetingh Sierd ,Matenco L ,Bada G *et al.* The evolution of the Carpathians-Pannonian system: interaction between neotectonics ,deep structure ,polyphase orogeny and sedimentary basins in a source to sink natural laboratory[J]. *Tectonophysics* ,2005 ,410(1) : 1-14
- 4 Cloetingh Sierd ,d'Argenio B ,Catalano R *et al.* Interplay of extension and compression in basin formation [J]. *Tectonophysics* ,1995 ,252 (1) : 1-454
- 5 刘和甫. 盆山耦合类型 [J]. *地学前缘* ,2000 ,7(4) : 469 [Liu Hefu. The type of Basin-range coupling [J]. *Earth Science Frontiers* ,2000 ,7(4) : 469]
- 6 李思田. 沉积盆地的动力学分析——盆地研究领域的主要趋向 [J]. *地学前缘* ,1995 ,2(3) : 1-8 [Li Sitian. Geodynamics of sedimentary basins——The main trend of basin research [J]. *Earth Science Frontiers* ,1995 ,2(3) : 1-8]
- 7 Roure Francois ,Cloetingh Sierd ,Scheck-Wenderoth Magdalena *et al.* Achievements and challenges in sedimentary basin dynamics: a review , in *New Frontiers in Integrated Solid Earth Sciences* [M]. Springer ,2010: 145-233
- 8 Neubauer Franz ,Cloetingh SAPL ,Dinu C *et al.* Tectonics of the Alpine-Carpathian-Pannonian region: introduction [J]. *Tectonophysics* ,1997 ,272(2) : 93-96
- 9 Peters Gwendolyn ,Buchmann Thies J ,Connolly Peter *et al.* Interplay between tectonic , fluvial and erosional processes along the Western Border Fault of the northern Upper Rhine Graben ,Germany [J]. *Tectonophysics* ,2005 ,406(1) : 39-66
- 10 Kuhlemann J ,Dunkl I ,Brügel A *et al.* From source terrains of the Eastern Alps to the Molasse Basin: Detrital record of non-steady-state exhumation [J]. *Tectonophysics* ,2006 ,413(3) : 301-316
- 11 王清晨 ,李忠. 盆山耦合与沉积盆地成因 [J]. *沉积学报* ,2003 ,21(1) : 24-30 [Wang Qingchen ,Li Zhong. Basin-orogen coupling and origin of sedimentary basins [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* ,2003 ,21(1) : 24-30]
- 12 王清晨 ,李忠 等. 库车—天山盆地系统与油气 [M]. 北京: 科学出版社 ,2007 [Wang Qingcheng ,Li Zhong ,*et al.* Kuqa depression-Tianshan basin-range system and its signification of oil-gas[M]. Beijing: Science Press ,2007]
- 13 Ingersoll R V ,Busby C J , eds. Tectonics of sedimentary basins. *Tectonics of Sedimentary Basins* ,ed. C J Busby and R V Ingersoll[M]. Blackwell Science: Cambridge ,1995:1-51
- 14 Heller Paul L ,Paola Chris. The paradox of Lower Cretaceous gravels and the initiation of thrusting in the Sevier orogenic belt ,United States Western Interior [J]. *Geological Society of America Bulletin* ,1989 ,101(6) : 864-875
- 15 Vandervoort Dirk S ,Schmitt James G. Cretaceous to early Tertiary paleogeography in the hinterland of the Sevier thrust belt ,east-central Nevada [J]. *Geology* ,1990 ,18(6) : 567-570
- 16 DeCelles Peter G ,Lawton Timothy F ,Mitra Gautam. Thrust timing , growth of structural culminations , and synorogenic sedimentation in the type Sevier orogenic belt , western United States [J]. *Geology* ,1995 ,23(8) : 699-702
- 17 Frisch Wolfgang ,Kuhlemann Joachim ,Dunkl István *et al.* Palinspastic reconstruction and topographic evolution of the Eastern Alps during late Tertiary tectonic extrusion [J]. *Tectonophysics* ,1998 ,297(1) : 1-15
- 18 Allen Philip A ,Crampton Sarah L ,Sinclair Hugh D. The inception and early evolution of the North Alpine Foreland Basin ,Switzerland [J]. *Basin Research* ,1991 ,3(3) : 143-163
- 19 Schlunegger Fritz ,Slingerl Rudy ,Matter Albert. Crustal thickening and crustal extension as controls on the evolution of the drainage network of the central Swiss Alps between 30 Ma and the present: constraints from the stratigraphy of the North Alpine Foreland Basin and the structural evolution of the Alps [J]. *Basin Research* ,1998 ,10 (2) : 197-212
- 20 Dunkl István ,Grasemann Bernhard ,Frisch Wolfgang. Thermal effects of exhumation of a metamorphic core complex on hanging wall syn-rift sediments: an example from the Rechnitz Window ,Eastern Alps [J]. *Tectonophysics* ,1998 ,297(1) : 31-50
- 21 Burbank D W ,Raynolds R G H. Stratigraphic keys to the timing of deformation: an example from the northwestern Himalayan foredeep [J]. *New perspective in basin analysis: New York* ,Springer-Verlag ,1988: 331-351
- 22 Brozovic Nicholas ,Burbank Douglas W. Dynamic fluvial systems and gravel progradation in the Himalayan foreland [J]. *Geological Society of America Bulletin* ,2000 ,112(3) : 394-412
- 23 DeCelles P G ,Gehrels G E ,Quade J *et al.* Neogene foreland basin deposits ,erosional unroofing ,and the kinematic history of the Himalayan fold-thrust belt , western Nepal [J]. *Geological Society of America Bulletin* ,1998 ,110(1) : 2-21
- 24 Leland J ,Reid M R ,Burbank D W *et al.* Incision and differential bedrock uplift along the Indus River near Nanga-Parbat ,Pakistan Himalaya , from ¹⁰Be and ²⁶Al exposure age dating of bedrock straths [J]. *Earth and Planetary Science Letters* ,1998 ,154(1-4) : 93-107
- 25 Cloetingh SAPL ,Ben-Avraham Z ,Sassi W *et al.* Dynamics of extensional basins and inversion tectonics [J]. *Tectonophysics* ,1996 266: 1-523
- 26 Cloetingh Sierd ,Burov Eugene B. Thermomechanical structure of European continental lithosphere: constraints from rheological profiles and EET estimates [J]. *Geophysical Journal International* ,1996 ,124(3) : 695-723
- 27 Cloetingh S ,Fernandez M ,Munoz J A *et al.* Structural controls on sedimentary basin evolution: introduction [J]. *Tectonophysics* ,1997 ,282(1-4) : 10-18
- 28 Cloetingh Sierd ,Catalano R ,D'Argenio B *et al.* Basin dynamics and basin fill: models and constraints [J]. *Tectonophysics* ,1999 ,315

- (1-4): 1-13
- 29 Cloetingh S, Marzo M, Munoz J, *et al.* Tectonics of sedimentary basins: from Crustal Structure to Basin Fill [J]. *Tectonophysics*, 2002, 340: 1-135
- 30 Stephenson Randell Alexander, Wilson M, De Boorder H, *et al.* EU-ROPROBE: Intraplate tectonics and basin dynamics of the Eastern European Platform [J]. *Tectonophysics*, 1996, 268(1): 1-309
- 31 Cloetingh Sierd, Boldreel L O, Larsen B T, *et al.* Tectonics of sedimentary basin formation [J]. *Tectonophysics*, 1998, 300(1): 1-387
- 32 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-236 [Liu Baojun, Xu Xiaosong, Pan Xingnan, *et al.* Evolution and mineralization of ancient mainland sedimentary earth crust of south region in China [M]. Beijing: Science Press, 1993: 1-236]
- 33 郑洪波, Butcher Katherine, Powell Chris. 新疆叶城晚新生代山前盆地演化与青藏高原北缘的隆升——I 地层学与岩石学证据 [J]. *沉积学报*, 2002, 20(2): 274-281 [Zheng Hongbo, Butcher Katherine, Powell Chris. Evolution of neogene foreland basin in Yecheng, Xinjiang, and uplift of northern Tibetan plateau—I stratigraphy and petrology [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 274-281]
- 34 王成善, 丁学林. 青藏高原隆升研究新进展综述 [J]. *地球科学进展*, 1998, 13(6): 526-532 [Wang Chengshan, Ding Xuelin. The new research in progress of Tibet Plateau uplift [J]. *Advances in Earth Science*, 1998, 13(6): 526-532]
- 35 高锐, 黄东定, 卢德源, 等. 横过西昆仑造山带与塔里木盆地结合带的深地震反射剖面 [J]. *科学通报*, 2000, 45(17): 1874-1879 [Gao Rui, Huang Dongding, Lu Deyuan, *et al.* Deep seismic reflection Profile across the juncture zone between the Tarim Basin and the West Kunlun Mountains [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(24): 2281-2286]
- 36 高锐, 肖序常, 刘训, 等. 新疆地学断面深地震反射剖面揭示的西昆仑—塔里木结合带岩石圈细结构 [J]. *地球学报*, 2001, 22(6): 547-552 [Gao Rui, Xiao Xuchang, Liu Xun, *et al.* Detail lithospheric structure of the contact zone of West Kunlun and Tarim revealed by deep seismic reflection profile along the Xinjiang Geotranssect [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22(6): 547-552]
- 37 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-855 [Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, *et al.* Qinling orogenic belt and continental dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-855]
- 38 李忠, 李任伟, 孙枢, 等. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分及其物源构造属性 [J]. *岩石学报*, 1999, 15(3): 438-445 [Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu, *et al.* Detrital Composition and Provenance Tectonic Attributes of Jurassic Sandstones, South Hefei Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(3): 438-445]
- 39 李忠, 李任伟, 孙枢. 大别山中生代构造演化: 来自盆地充填记录的启示 [J]. *地质通报*, 2002, 21(8-9): 547-553 [Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu. Mesozoic tectonic evolution of the Dabie Mountains: evidence from basin-fill records [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(8-9): 547-553]
- 40 刘少峰, 张国伟, 张宗清, 等. 合肥盆地花岗岩砾石的同位素年代学示踪 [J]. *科学通报*, 2001, 46(9): 748-753 [Liu Shaofeng, Zhang Guowei, Zhang Zongqing, *et al.* Isotope chronology trace of granite gravel in Hefei basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(20): 1716-1722]
- 41 王桂梁, 刘桂建, 邹海, 等. 华北地台北缘中生代盆—山的耦合转移及其动力学分析 [J]. *煤田地质与勘探*, 1999, 27(6): 14-17 [Wang Guiliang, Liu Guijian, Zou Hai, *et al.* Coupling and transition of the Mesozoic basin—mountain on the northern edge of north China platform and its dynamics analysis [J]. *Coal Geology & Exploration*, 1999, 27(6): 14-17]
- 42 和政军, 王宗起, 任纪舜. 华北北部侏罗纪大型推覆构造带前缘盆地沉积特征和成因机制初探 [J]. *地质科学*, 1999, 34(2): 186-195 [He Zhengjun, Wang Zongqi, Ren Jishun. A Preliminary research on sedimentary features and genetic mechanism of frontal basins before Jursaaic large-scale happen in the northern region of North China [J]. *Scientific Geologica Sinica*, 1999, 34(2): 186-195]
- 43 赵越, 崔盛芹, 郭涛, 等. 北京西山侏罗纪盆地演化及其构造意义 [J]. *地质通报*, 2002, 21(4-5): 211-217 [Zhao Yue, Cui Shengqin, Guo Tao, *et al.* Evolution of a Jurassic basin of the Western Hills, Beijing, North China and its tectonic implications [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4-5): 211-217]
- 44 Yong Li, Allen Philip A, Densmore Alexander L, *et al.* Evolution of the Longmen Shan foreland basin (western Sichuan, China) during the Late Triassic Indosinian orogeny [J]. *Basin Research*, 2003, 15(1): 117-138
- 45 高长林, 崔可锐, 钱一雄, 等. 天山微板块构造与塔北盆地 [M]. 北京: 地质出版社, 1995: 257-258 [Gao Changlin, Cui Kerui, Qian Yixiong, *et al.* Microplate Tectonics in the Tianshan and Northern Tarim Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 29-425]
- 46 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国, 等. 天山两侧前陆冲断系构造样式与前陆盆地演化 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 1994, 19(6): 727-741 [Liu Hefu, Liang Huishe, Cai Ligu, *et al.* Evolution and structural style of Tianshan and adjacent basins, northwestern China [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 1994, 19(6): 727-741]
- 47 卢华复, 贾东, 陈楚铭, 等. 库车新生代构造性质和变形时间 [J]. *地质前缘*, 1999, 6(4): 215-221 [Lu Huafu, Jia Dong, Chen Chuming, *et al.* Nature and timing of the Kuqa Cenozoic structures [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 215-221]
- 48 卢华复, 贾承造, 贾东, 等. 库车再生前陆盆地冲断构造楔特征 [J]. *高校地质学报*, 2001, 7(3): 257-271 [Lu Huafu, Jia Chengzao, Jia Dong, *et al.* Features of the thrust wedge of deformation belt in Kuqa rejuvenation foreland basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2001, 7(3): 257-271]
- 49 Cloetingh SAPL, Ziegler PA, Bogaard PJF, *et al.* TOPO-EUROPE: The geoscience of coupled deep Earth-surface processes [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 58(1): 1-118
- 50 Leeder Michael R. Tectonic sedimentology: sediment systems deciphering global to local tectonics [J]. *Sedimentology*, 2011, 58(1): 2-56

- 51 von Eynatten Hilmar ,Dunkl István. Assessing the sediment factory: The role of single grain analysis [J]. *Earth-Science Reviews* ,2012 , 115(1-2): 97-120
- 52 李忠. 中国的盆地动力学——21 世纪开初十年的主要研究进展及前沿 [J]. *矿物岩石地球化学通报* ,2013 ,32(3): 290-300 [Li Zhong. Sedimentary Basin Geodynamics in China: Advances and Frontiers during the First Decade of the 21th Century [J]. *Bulletin of Mineralogy ,Petrology and Geochemistry* ,2013 ,32(3): 290-300]
- 53 Bayer U ,Brink H J ,Gajewski D *et al.* , Characteristics of complex intracontinental sedimentary basins , in *Dynamics of Complex Intracontinental Basins* [M]. Springer. 2008: 2-13
- 54 Allen P A ,Allen John R. Basin analysis: Principles and applications [M]. Blackwell Scientific Publications: Oxford England and Boston , 1990
- 55 刘和甫. 盆地—山岭耦合体系与地球动力学机制 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)* ,2001 ,26(6): 581-596 [Liu Hefu. Geodynamic scenario of coupled basin and mountain system [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)* ,2001 ,26(6): 581-596]
- 56 李继亮,肖文交,闫臻. 盆山耦合与沉积作用 [J]. *沉积学报* , 2003 ,21(1): 52-60 [Li Jiliang ,Xiao Wenjiao ,Yan Zhen. Basin-Range Coupling and Its Sedimentation [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* ,2003 ,21(1): 52-60]
- 57 Hsu K Jinghua. Principles of melanges and their bearing on the Franciscan-Knoxville paradox [J]. *Geological Society of America Bulletin* ,1968 ,79(8): 1063-1074
- 58 Horton J Wright ,Drake Avery Ala ,Rankin Douglas W. Tectonostratigraphic terranes and their Paleozoic boundaries in the central and southern Appalachians [J]. *Geological Society of America Special Papers* ,1989 ,230: 213-246
- 59 Mueller Wulf ,Chown E H ,Sharma K N M *et al.* Paleogeographic and paleotectonic evolution of a basement-controlled Archean supracrustal sequence ,Chibougamau-Caopatina ,Quebec [J]. *The Journal of geology* ,1989: 399-420
- 60 吴浩若,张旗,周云生,等. 我国西藏首次发现席状岩墙群 [J]. *地质科学* ,1981 (1): 15 [Wu Haoruo ,Zhang Qi ,Zhou Yunsheng *et al.* A discover of the sheets dikes in Xizang(Tibet) ,China [J]. *Scientific Geologica Sinica* ,1981 (1): 15]
- 61 吴浩若,李忠. 南天山洋古地理及构造演化: 西南天山放射虫硅质岩与地层记录的再认识 [J]. *古地学报* ,2013 ,15(3): 293-304 [Wu Haoruo ,Li Zhong. Paleogeographic and tectonic evolution of South Tianshan Ocean: Re-examination of radiolarian cherts and stratigraphic record of southwestern Tianshan [J]. *Journal of Palaeogeography* ,2013 ,15(3): 293-304]
- 62 冯庆来,刘本培,方念乔. 造山带断片型地层层序恢复实例剖析 [J]. *地质科学* ,1997 ,32(3): 318-326 [Feng Qinglai ,Liu Benpei ,Fang Nianqiao. An example on succession reconstruction of thrust slice type stratigraphy in orogenic belt [J]. *Scientia Geologica Sinica* , 1997 ,32(3): 318-326]
- 63 冯庆来. 造山带区域地层学研究的思想和工作方法 [J]. *地质科技情报* ,1993 ,12(3): 51-56 [Feng Qinglai. Principles and methods for the regional stratigraphic studies of orogenic belts [J]. *Geological Science and Technology Information* ,1993 ,23(3): 51-56]
- 64 龚一鸣,杜远生,冯庆来,等. 造山带沉积地质与圈层耦合 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社,1996: 1-146 [Gong Yiming ,Du Yuan-sheng ,Feng Qinglai *et al.* Sedimentary geology in Orogen and interaction of different earth-spheres [M]. Wuhan: China University of Geoscience Publishing Press ,1996: 1-146]
- 65 殷鸿福,张克信. 中央造山带的演化及其特点 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)* ,1998 ,23(5): 437-442 [Yin Hongfu ,Zhang Kexin. Evolution and characteristics of the central orogenic belt [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)* ,1998 , 23(5): 437-442]
- 66 张克信,黄继春,殷鸿福,等. 放射虫等生物群在非史密斯地层研究中的应用——以东昆仑阿尼玛卿混杂岩带为例 [J]. *中国科学(D 辑): 地球科学* 1999 ,29(6): 542-550 [Zhang Kexin ,Huang Jichun ,Yin Hongfu *et al.* Application of radiolarians and other fossils in non-Smith strata [J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences* , 2000 ,43(4): 364-374]
- 67 舒良树,王玉净. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石 [J]. *地质论评* ,2003 ,49(4): 408-412 [Shu Liangshu ,Wang Yujing. Late Devonian-Early Carboniferous radiolarian fossils from siliceous rocks of the Kelameili ophiolite ,Xinjiang [J]. *Geological Review* ,2003 ,49(4): 408-412]
- 68 郭宪璞,王乃文,丁孝忠,等. 东昆仑造山带西段万宝沟岩群古近纪孢粉组合的发现及其地质意义 [J]. *中国科学(D 辑): 地球科学* ,2005 ,35(12): 1156-1164 [Guo Xianpu ,Wang Naiwen ,Ding Xiaozhong *et al.* Discovery of Paleogene palynological assemblages from the Wanbaogou Group-complex in western part of the Eastern Kunlun orogenic belt and its geological significance [J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences* ,2006 ,49(4): 358-367]
- 69 李曰俊,贾承造,郝杰,等. 东昆仑铁石达斯群发现放射虫动物群 [J]. *科学通报* ,2000 ,45(2): 205-208 [Li Yuejun ,Jia Chengzao , Hao Jie *et al.* Radiolarian fauna found from Tieshidas Group in East Kunlun [J]. *Chinese Science Bulletin* ,2000 ,45(10): 943-946]
- 70 李曰俊,杨海军,赵岩,等. 南天山区域大地构造与演化 [J]. *大地构造与成矿学* ,2009 ,33(1): 94-104 [Li Yuejun ,Yang Haijun , Zhao Yan *et al.* Tectonic framework and evolution of south Tianshan , NW China [J]. *Geotectonica et Metallogenia* ,2009 ,33(1): 94-104]
- 71 Weltje G J. Provenance and dispersal of sand-sized sediments: reconstruction of dispersal patterns and sources of sand-sized sediments by means of inverse modelling techniques [J]. *Geologica Ultraiectina* , 1994 ,121: 1-208
- 72 Von Eynatten Hilmar ,Barceló-Vidal Carles ,Pawlowsky-Glahn Vera. Composition and discrimination of sandstones: a statistical evaluation of different analytical methods [J]. *Journal of Sedimentary Research* , 2003 ,73(1): 47-57
- 73 李忠,李任伟,孙枢,等. 大别地块北缘侏罗系花岗岩类砾石的 Rb-Sr 年代学特征 [J]. *科学通报* ,2001 ,46(7): 582-585 [Li Zhong ,Li Renwei ,Sun Shu *et al.* Rb-Sr chronological characteristics of Jurassic granitoid gravels in north margin of Dabie Block , Central

- China [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(13): 1126-1129]
- 74 Morton Andrew C, Hallsworth Claire. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones [J]. Sedimentary Geology, 1994, 90(3-4): 241-256
- 75 Morton A, Allen M, Simmons M, et al. Provenance patterns in a neotectonic basin: Pliocene and Quaternary sediment supply to the South Caspian [J]. Basin Research, 2003, 15(3): 321-337
- 76 Mange-Rajetzky Maria A. Subdivision and correlation of monotonous sandstone sequences using high-resolution heavy mineral analysis, a case study: the Triassic of the Central Graben [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1995, 89(1): 23-30
- 77 Lihou Joanne C, Mange-Rajetzky Maria A. Provenance of the Sardona Flysch, eastern Swiss Alps: example of high-resolution heavy mineral analysis applied to an ultrastable assemblage [J]. Sedimentary Geology, 1996, 105(3): 141-157
- 78 Dewey John, Mange Maria. Petrography of Ordovician and Silurian sediments in the western Irish Caledonides: tracers of a short-lived Ordovician continent-arc collision orogeny and the evolution of the Laurentian Appalachian-Caledonian margin [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1999, 164(1): 55-107
- 79 McLennan Scott M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust [J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2001, 2(4)
- 80 Najman Yani. The detrital record of orogenesis: A review of approaches and techniques used in the Himalayan sedimentary basins [J]. Earth-Science Reviews, 2006, 74(1): 1-72
- 81 Bergman S, Högdahl K, Nironen M, et al. Timing of Palaeoproterozoic intra-orogenic sedimentation in the central Fennoscandian Shield: evidence from detrital zircon in metasandstone [J]. Precambrian Research, 2008, 161(3): 231-249
- 82 Carter Andy, Moss Steve J. Combined detrital-zircon fission-track and U-Pb dating: a new approach to understanding hinterland evolution [J]. Geology, 1999, 27(3): 235-238
- 83 Carter A, Bristow C S. Linking hinterland evolution and continental basin sedimentation by using detrital zircon thermochronology: a study of the Khorat Plateau Basin, eastern Thailand [J]. Basin Research, 2003, 15(2): 271-285
- 84 Dumitru Trevor A, Zhou Da, Chang Edmund Z, et al. Uplift, exhumation, and deformation in the Chinese Tian Shan [J]. Geological Society of America Memoirs, 2001, 194: 71-99
- 85 Bernet Matthias, Brandon Mark T, Garver John I, et al. Fundamentals of detrital zircon fission-track analysis for provenance and exhumation studies with examples from the European Alps [J]. Geological Society of America Special Publication, 2004, 378: 25-36
- 86 Li Zhong, Peng Shoutao. Detrital zircon geochronology and its provenance implications: responses to Jurassic through Neogene basin-range interactions along northern margin of the Tarim Basin, Northwest China [J]. Basin Research, 2010, 22(1): 126-138
- 87 Dörr Wolfgang, Fiala Jiří, Vejnar Z, et al. U-Pb zircon ages and structural development of metagranitoids of the Teplá crystalline complex: evidence for pervasive Cambrian plutonism within the Bohemian massif (Czech Republic) [J]. Geologische Rundschau, 1998, 87(1): 135-149
- 88 Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contributions to mineralogy and petrology, 1986, 92(2): 181-193
- 89 McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics [J]. Geological Society of America Special Papers, 1993, 284: 21-40
- 90 McLennan S M, Taylor S R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends [J]. The Journal of geology, 1991: 1-21
- 91 Roser B P, Cooper R A, Nathan S, et al. Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand [J]. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 1996, 39(1): 1-16
- 92 Roser B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data [J]. Chemical Geology, 1988, 67(1): 119-139
- 93 Zimmermann Udo, Bahlburg Heinrich. Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the southern Puna Basin, NW Argentina [J]. Sedimentology, 2003, 50(6): 1079-1104
- 94 Lev S M, Filer J K, Tomascak P. Orogenesis vs. diagenesis: Can we use organic-rich shales to interpret the tectonic evolution of a depositional basin? [J]. Earth-Science Reviews, 2008, 86(1): 1-14
- 95 Stow Dorrik A V, Mayall Mike. Deep-water sedimentary systems: new models for the 21st century [J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(2): 125-135
- 96 Stow Dorrik A V, Faugères Jean-Claude, Viana Adriano, et al. Fossil contourites: a critical review [J]. Sedimentary Geology, 1998, 115(1): 3-31
- 97 孟庆任, 渠洪杰, 胡健民. 西秦岭和松潘地体三叠系深水沉积 [J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007(S1): 209-223 [Meng QingRen, Qu HongJie, Hu JianMin. Triassic deep-marine sedimentation in the western Qinling and Songpan terrane [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2007, 50(2): 246-263]
- 98 晋慧娟, 李育慈. 西秦岭早三叠世深水碳酸盐岩沉积演化模式 [J]. 中国科学(B辑), 1994, 24(8): 890-896 [Jin Huijuan, Li Yuci. Sedimentary evolution models of Lower Triassic deep-water carbonates of west Qinling Mts [J]. Science China (Seri. B), 1994, 24(8): 890-896]
- 99 Bernoulli Daniel, Jenkyns Hugh C. Ancient oceans and continental margins of the Alpine-Mediterranean Tethys: Deciphering clues from Mesozoic pelagic sediments and ophiolites [J]. Sedimentology, 2009, 56(1): 149-190
- 100 Busby Cathy, Fackler Adams Benjamin, Mattinson James, et al. View of an intact oceanic arc, from surficial to mesozonal levels: Cretaceous Alisitos arc, Baja California [J]. Journal of volcanology and geothermal research, 2006, 149(1): 1-46
- 101 郭宪璞, 王乃文, 丁孝忠, 等. 东昆仑纳赤台岩群混杂堆积的古生物学证据及其地质意义 [J]. 地质论评, 2006, 52(3): 289-294

- [Guo Xianpu, Wang Naiwen, Ding Xiaozhong *et al.* Palaeontological Proof of the Naij Tal Group-Complex as Mélange Aggregation in the Eastern Kunlun Orogenic Belt and Its Geologic Significance [J]. *Geological Review*, 2006, 52(3): 289-294]
- 102 周志广, 梁定益, 刘文灿, 等. 藏南晚白垩世宗组巨型混杂堆积的特征及其地裂——地震成因论证 [J]. *地质论评*, 2006, 52(3): 314-320 [Zhou Zhiguang, Liang Dingyi, Liu Wencan, *et al.* Characters of Slumping Accumulation of Upper Cretaceous Zongzuo Formation and demonstrate its caused by large break-up and earthquakes, Southern Xizang (Tibet) [J]. *Geological Review*, 2006, 52(3): 314-320]
- 103 Hendrix Marc S, Graham Stephan A, Carroll Alan R *et al.* Sedimentary record and climatic implications of recurrent deformation in the Tian Shan: Evidence from Mesozoic strata of the north Tarim, south Junggar, and Turpan basins, northwest China [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1992, 104(1): 53-79
- 104 Graham S A, Hendrix M S, Wang L B *et al.* Collisional successor basins of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1993, 105(3): 323-344
- 105 许靖华, 孙枢, 王清晨, 等. 中国大地构造相图 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-455 [Xu Jinghua, Sun Shu, Wang Qingchen *et al.* Tectonic facies map of China [M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-155]
- 106 李任伟, 李忠, 江茂生, 等. 合肥盆地碎屑石榴石组成及其对源区恢复和地层对比的意义 [J]. *中国科学(D辑): 地球科学*, 2000, 30(增刊): 91-98 [Li Renwei, Li Zhong, Jiang Maosheng *et al.* Compositions of Jurassic detrital garnets in Hefei Basin and its implication to provenance reconstruction and stratigraphic correlation [J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 2000, 43(Suppl.): 167-177]
- 107 李继亮. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 1-315 [Li Jiliang. Researches on the sea and land lithospheric structure and evolution of the Southeast China [M]. Beijing: China Science and Technology Publishing, 1992: 1-315]
- 108 Davis Gregory A, Zheng Yadong, Wang Cong *et al.* eds. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China [M]. In: *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation*, ed. M S Hendrix and G A Davis. 2001, 194: Geological Society of America Memoirs. 171-197
- 109 邓晋福, 戴圣潜, 吴宗絮, 等. 大别造山带岩石学结构和热结构及其地质意义 [J]. *地质学报*, 2000, 74(3): 206-215 [Deng Jinfu, Dai Shengqian, Wu Zongxu *et al.* Petrological structure and thermal structure of the Dabie orogenic belt and its geological implications [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(3): 215-222]
- 110 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨 [J]. *地质前缘*, 2004, 11(3): 285-297 [Zhai Mingguo, Meng Qingren, Liu Jianming *et al.* Geological features of Mesozoic tectonic regime inversion in Eastern North China and implication for geodynamics [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 285-297]
- 111 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等. 燕山运动与东亚构造体制的转变 [J]. *地质前缘*, 2004, 11(3): 319-328 [Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Shuanhong *et al.* Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 319-328]
- 112 Davis G A, Cong W, Yadong Z *et al.* The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: New views on its intraplate contractional styles [J]. *Geology*, 1998, 26(1): 43-46
- 113 卜香萍, 石永红, 李忠. 鲁西隆起区晚中生代地层碎屑石榴石分析及物源区构造演化示踪 [J]. *沉积学报*, 2012, 30(6): 999-1009 [Bu Xiangping, Shi Yonghong, Li Zhong. Fragment Garnet Analysis and Tectonic Evolution of Its Provenance in Late Mesozoic Strata in the Luxi Uplift [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(6): 999-1009]
- 114 Li Z, Li Y, Zheng J P *et al.* Late Mesozoic tectonic transition of the eastern North China Craton: evidence from basin-fill records [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 2007, 280(1): 239-265
- 115 Xu J Q, Li Z, Shi Y H. Jurassic detrital zircon U-Pb and Hf isotopic geochronology of Luxi Uplift, eastern North China, and its provenance implications for tectonic-paleogeographic reconstruction [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, in press
- 116 Yang J H, Wu F Y, Shao J A *et al.* Constraints on the timing of uplift of the Yanshan Fold and Thrust Belt, North China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 246(3-4): 336-352
- 117 张旗, 钱青, 王二七, 等. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示 [J]. *地质科学*, 2001, 36(2): 248-255 [Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erqi, *et al.* An East China plateau in mid-late Yanshanian period: implication from adakites [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001, 36(2): 248-255]
- 118 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明 [M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1-50 [Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei *et al.* See tectonics of China from a global scale——A brief introduction to the tectonic map of China and adjacent areas [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1-50]
- 119 漆家福, 于福生, 陆克政, 等. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论 [J]. *地质前缘*, 2003, 10(特刊): 199-206 [Qi Jiafu, Yu Fusheng, Lu Kezheng *et al.* Conspectus on Mesozoic basins in Bohai Bay province [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(Suppl.): 199-206]
- 120 Allen M B, Windley B F, Zhang Chi. Palaeozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tien Shan, central Asia [J]. *Tectonophysics*, 1993, 220(1): 89-115
- 121 王作勋, 邱继易, 吕喜朝, 等. 天山多旋回构造演化及成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-217 [Wang Zuoxun, Wu Jiayi, Lü Xichao *et al.* Polycycle tectonic evolution of Tianshan and mineralization [M]. Beijing: Science Press, 1990: 1-217]

- 122 肖序常,汤耀庆,李锦轶,等. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1991: 1-29 [Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi, *et al.* Tectonic evolution of the southern margin of the Paleasian composite megasuture zone [M]. Beijing: Beijing Scientific and Technical Publishing House, 1991: 1-29]
- 123 刘本培,王自强,张传恒,等. 西南天山构造格局与演化 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996 [Liu Benpei, Wang Ziqiang, Zhang Chuanheng *et al.* Tectonic framework and evolution in south-west Tianshan mountains, China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996]
- 124 李锦轶,王克卓,李亚萍,等. 天山山脉地貌特征,地壳组成与地质演化 [J]. 地质通报, 2006, 25(8): 895-909 [Li Jinyi, Wang Kezhao, Li Yaping *et al.* Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(8): 895-909]
- 125 Coleman Robert G. Continental growth of northwest China [J]. Tectonics, 1989, 8(3): 621-635
- 126 Windley B F, Allen M B, Zhang C *et al.* Paleozoic accretion and Cenozoic reformation of the Chinese Tien Shan range, central Asia [J]. Geology, 1990, 18(2): 128-131
- 127 Windley B F, Alexiev D, Xiao W J *et al.* Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Journal of the Geological Society, 2007, 164(1): 31-47
- 128 Carroll A R, Graham S A, Hendrix M S *et al.* Late Paleozoic tectonic amalgamation of northwestern China: sedimentary record of the northern Tarim, northwestern Turpan, and southern Junggar basins [J]. Geological Society of America Bulletin, 1995, 107(5): 571-594
- 129 Carroll A R, Graham S A, Chang E Z *et al.* Sinian through Permian tectonostratigraphic evolution of the northwestern Tarim basin, China [J]. Memoirs-Geological Society of America, 2001: 47-70
- 130 Allen Mark B, Vincent Stephen J, Wheeler Paul J. Late Cenozoic tectonics of the Kepingtage thrust zone: Interactions of the Tien Shan and Tarim Basin, northwest China [J]. Tectonics, 1999, 18(4): 639-654
- 131 Zhou Da, Graham Stephan A, Chang Edmund Z *et al.* Paleozoic tectonic amalgamation of the Chinese Tien Shan: Evidence from a transect along the Dushanzi-Kuqa Highway [J]. Memoirs-Geological Society of America, 2001: 23-46
- 132 Li Zhong, Song Wenjie, Peng Shoutao *et al.* Mesozoic-Cenozoic tectonic relationships between the Kuqa subbasin and Tian Shan, northwest China: constraints from depositional records [J]. Sedimentary Geology, 2004, 172(3): 223-249
- 133 马瑞士,叶尚夫,王赐银,等. 东天山造山带构造格架和演化 [J]. 新疆地质科学, 1990 (2): 21-36 [Ma Ruishi, Ye Shangfu, Wang Ciyin *et al.* Framework and evolution in the East Tianshan Orogenic belt [J]. Geoscience of Xinjiang, 1990 (2): 21-36]
- 134 蔡东升,卢华复,贾东,等. 南天山古生代板块构造演化 [J]. 地质论评, 1995, 41(5): 432-443 [Cai Dongsheng, Lu Huafu, Jia Dong *et al.* Paleozoic plate tectonic evolution of southern Tianshan [J]. Geological Review, 1995, 41(5): 432-443]
- 135 Chen C, Lu H, Jia D *et al.* Closing history of the southern Tianshan oceanic basin, western China: an oblique collisional orogeny [J]. Tectonophysics, 1999, 302(1): 23-40
- 136 Xiao W, Windley B F, Badarch G *et al.* Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altai: implications for the growth of Central Asia [J]. Journal of the Geological Society, 2004, 161(3): 339-342
- 137 张立飞,艾永亮,李强,等. 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化 [J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1029-1038 [Zhang Lifei, Ai Yongliang, Li Qiang *et al.* The formation and tectonic evolution of UHP metamorphic belt in southwestern Tianshan, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(4): 1029-1038]
- 138 朱志新,李锦轶,董连慧,等. 新疆塔里木北缘色日牙克依拉克一带泥盆纪花岗岩侵入体的确定及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2008, 24(5): 971-976 [Zhu Zhixin, Li Jinyi, Dong Lianhui *et al.* Age determination and geological significance of Devonian granitic intrusions in Seriyakeyilake region, northern margin of Tarim basin, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(5): 971-976]
- 139 Charvet Jacques, Shu Liangshu S, Laurent-Charvet Sébastien. Paleozoic structural and geodynamic evolution of eastern Tianshan (NW China): welding of the Tarim and Junggar plates [J]. Episodes, 2007, 30(3): 162-186
- 140 Lin W, Faure M, Shi Y *et al.* Palaeozoic tectonics of the south-western Chinese Tianshan: new insights from a structural study of the high-pressure/low-temperature metamorphic belt [J]. International Journal of Earth Sciences, 2009, 98(6): 1259-1274
- 141 Wang B, Shu L, Faure M *et al.* Paleozoic tectonics of the southern Chinese Tianshan: Insights from structural, chronological and geochemical studies of the Heiyingshan ophiolitic mélange (NW China) [J]. Tectonophysics, 2011, 497(1): 85-104
- 142 夏林圻,张国伟,夏祖春,等. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束 [J]. 地质通报, 2002, 21(2): 55-62 [Xia Linqi, Zhang Guowei, Xia Zuchun *et al.* Constraints on the timing of opening and closing of the Tianshan Paleozoic oceanic basin: evidence from Sinian and Carboniferous volcanic rocks [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(2): 55-62]

Basin-Range System Sedimentology and Case Studies in North China and Tarim Areas , China

LI Zhong XU Jian-qiang GAO Jian

(Institute of Geology and Geophysics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100029)

Abstract: Basin-range system , as a new geological unit or entity , has been accepted and studied in geosciences. Based on reviews on the past research advances , three rules are brought forward for basin-range classification , which includes plate tectonic unit (location) , tectonic geodynamical regime , and paleogeographical or tectonic-sedimentary attributes of source-sink systems. There are three basin-range types , intracontinent , continent margin (continent-ocean) and intraocean , and further fourteen sub-types can be presented in the classification scheme. Then a research frame of basin-range system sedimentology is stated and discussed , in which the tectonic-stratigraphic unit and isochronal stratigraphic framework , provenance tracing and source-sink system , and integrated depositional records and paleotectonic-paleoclimatic evolution are three important research basises; and the depositional system (tract) and integrated tectonic-paleogeography is research core; and the basin-range evolution geodynamics is an subject target of basin-range system sedimentology. As a case study of intracontinent basin-range system in eastern North China , the research shows that the most prominent basin-range system occurred in north North China during Jurassic-early Early Cretaceous due to collision and uplift process between Siberia block and North China-Mongolia one. However , a coexistent source-sink system related to the Su-Lu orogen has weak influences on sedimentary paleogeography of the North China. As another case study of continent margin basin-range system in Tarim area , northwest China , the research basically reveals differential geological records , reflecting passive and arc-related continent margin basin-range systems , respectively coexisted between west South Tianshan and east one. Finally , in order to deepen the basin-range geodynamics , it is especially suggested to pay attention to academic researches of the provenance tracing and source-sink system and the integrated depositional records and paleotectonic-paleoclimatic evolution.

Key words: basin-range system; depositional record; source-sinksystem; tectonic-paleogeography; North China block; Tarim block