

文章编号: 1000-0550(2003)01-0024-07

# 盆山耦合与沉积盆地成因<sup>①</sup>

王清晨 李 忠

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

**摘 要** 我国的沉积盆地成因研究主要遵循盆山耦合的研究思路进行,关注重点为盆山体系的构造、沉积和深部结构上的耦合现象。构造耦合研究是指盆山结合带的统一变形特征,沉积耦合研究是通过沉积响应去重塑盆山耦合过程及相邻造山带的演化过程,深部结构耦合的重点是研究盆山体系在岩石圈尺度的动力学统一性。国际上相应领域的研究重点为岩石圈深部过程与近地表构造过程的耦合。国内外研究既有相同之处,又有差异之处。建议在未来的沉积盆地成因研究中更加开阔思路,采用天然实验室的工作模式,进行多学科综合研究。

**关键词** 盆山耦合 盆地成因 国际岩石圈计划

**第一作者简介** 王清晨 男 1950年出生 博士 研究员 岩石学和大地构造

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 从“中国型盆地”谈起

沉积盆地充填物中不仅蕴藏了丰富的矿产和能源资源,而且记录了地球演化过程的丰富信息,因此沉积盆地的研究一直倍受关注。20世纪60年代以来,人们把盆地的形成与板块运动密切联系起来。20世纪80年代,“Chinese-type basins(中国型盆地)”一词出现在地质文献中。Bally和Snelson<sup>[1]</sup>把“中国型盆地”列为缝合带周缘盆地(perisutural basins)中的一种特殊类型,认为是因挤压或巨型缝合带活动而在板块内部远端断块处形成的。同时命名的还有西地中海型(W. Mediterranean-type),潘能型(Pannonian-type)等盆地类型。但Klein<sup>[2]</sup>提出,盆地的成因类型不应以地方性名称命名,因为其中一些盆地的真正成因尚不清楚。

进入90年代后,沉积盆地研究在国内外蓬勃开展。国际岩石圈计划(ILP)于1990年在“大陆岩石圈”领域中设立了“沉积盆地成因”任务组。该任务组的最初宗旨是通过观测和建模的密切合作来开发新一代盆地模型<sup>[3]</sup>,对“应力与盆地演化”<sup>[4]</sup>、“岩石圈流变与盆地形成”<sup>[5]</sup>、“岩石圈深部过程的近地表显示”<sup>[6]</sup>等专题进行了国际合作研究。在研究过程中,多学科多方位合作的重要性与必要性日益突出,该任务组开始了与ALCAPA计划项目<sup>[7]</sup>及EUROPROBE计划项目<sup>[8]</sup>的密切合作。1998~2000年期间,该任务组的研究重点研究转移到“岩石圈深部过程与近地表构造过程耦合的精细构造”研究方面,并对盆地的新构造投注了极大

兴趣<sup>[9]</sup>。

与此同时,其它一些国际或地质大国的学术组织也对沉积盆地成因进行了成果总结或新计划的制定。沉积盆地与大地构造经常作为一些重要地学会议的重要研讨主题;美国科学基金会地球科学部制定的“1990~2020年大陆动力学计划(1989)”中,16个主要研究问题中有8个与沉积盆地有关<sup>[10]</sup>;伦敦地质学会出版了《欧洲西部新生代前陆盆地》<sup>[11]</sup>。

我国的沉积盆地研究在80年代初尚无大型研究计划,但对盆地形成与大地构造的关系已十分重视<sup>[12]</sup>,尤其是对含油气盆地的研究成果开始涌现<sup>[13,14]</sup>。进入90年代,国家自然科学基金委员会及一些部委开始组织相关研究,尤其是一批与油气资源相关的沉积盆地大型研究项目相继启动,如国家级科技攻关项目“塔里木盆地油气资源(1991~1995)”,“库车前陆盆地构造解释和油气勘探方向(1996~2000)”,国家重点基础研究发展规划(973)项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测(1999~2003)”。迈入新世纪,国家自然科学基金委员会把盆山构造体系研究列为“十五”优先资助领域<sup>[15]</sup>。

我国学者在研究过程中逐步注意到盆山耦合现象,日益感到有必要把盆地演化与造山带演化联系起来进行研究<sup>[16,17]</sup>,一批研究实例应运而生<sup>[18-26]</sup>。新千年伊始,研究盆山耦合的论文更如雨后春笋<sup>[27-29]</sup>。尽管目前尚无确切的盆山耦合定义,但从过去十几年的研究重点来看,盆山耦合主要是指冲断造山带与前陆

① 国家重点基础研究发展规划(973)项目 G1999043303课题资助。  
收稿日期: 2002-10-10 收修稿日期: 2003-01-10

盆地、伸展山岭与裂陷盆地及走滑造山带与走滑盆地在构造、沉积和深部结构上的耦合现象<sup>[30-32]</sup>。

比较上述国内外研究,二者侧重点虽各有不同,但主要研究兴趣与热点基本一致,这是由盆山体系自身客观特性所决定的,同时也印证了,地质科学理论是没有国界的,不宜强调其地方性特色。

## 2 盆山构造耦合

曾被国外学者称为“中国型盆地”的我国西北诸盆地的盆山耦合构造现象得到深入研究,尤其是天山与其南北两侧的库车和乌鲁木齐盆地的耦合现象。卢华复等<sup>[21,22]</sup>把塔里木盆地北部的库车构造带与南天山造山带的构造联系起来,自北而南区分出若干构造单元,并按断层相关褶皱理论方法<sup>[33,34]</sup>识别出断层转折褶皱、断层传播褶皱、滑脱褶皱等多种典型地壳缩短构造。他们的研究表明:(1)库车构造带的底部逆冲断层向南变浅,堆叠逆冲岩席向南变薄,总体上形成一个向南的逆冲构造楔;(2)变形作用向南变新(从 25 Ma 到 1.8 Ma) 他们进一步指出,在库车变形期间,附近并没有板块俯冲发生,因此,库车构造是印藏板块碰撞的内陆构造响应,应属二叠纪前陆盆地复活而成的再生前陆盆地变形带。这一认识在国内基本取得共识。

乌鲁木齐盆地位于准噶尔盆地南缘,与北天山相邻。刘和甫等<sup>[19]</sup>提出,新第三纪时天山再度隆起成山,成为再生造山带,乌鲁木齐盆地为再生前陆盆地,并将盆山耦合带自南而北划分为 4 个背斜构造带。这些背斜带多为长轴背斜,平面上呈东西向展布,自南而北呈雁行状排列。其变形分为两期,早期为楔冲作用,产生推覆构造和冲断层,使造山带前锋不断向前陆盆地推进,晚期由于造山带上升产生重力作用,形成滑覆构造和正断层。此外,川西前陆盆地与龙门山造山带的构造耦合<sup>[20]</sup>、鄂尔多斯前陆盆地与其周缘造山带的构造耦合<sup>[18]</sup>、伊犁盆地与天山造山带的构造耦合<sup>[23]</sup>等也都得到深入研究。它们均处于挤压环境,前陆盆地的沉降及褶皱-冲断带的发育是由造山带构造楔推进作用发动的。拉张环境盆山构造耦合关系主要见于我国东部的中、新生代伸展构造体系,包括松辽盆地与大兴安岭、华北盆地与太行山等,其研究实例以渤海湾新生代盆地为代表。陆克政等<sup>[35]</sup>对渤海湾盆地的研究表明,伸展盆地的构造样式主要取决于盆地基底主断层的几何学和运动学特征的控制,可划分出四种盆地结构,即由非旋转平面式正断层控制的地堑,由旋转平面式正断层控制的多米诺式半地堑,由铲式正断层控制的滚动半地堑和由坡坪式正断层控制的复式半地堑。虽然我国东部盆山(岭)关系早已受到注目,但人们更多地是

在关注其动力学成因机制<sup>[32,36]</sup>,探索岩石圈深部过程与近地表构造(盆地)演化的耦合关系,目前已提出的机制主要有变质核杂岩隆升作用、地幔对流与底辟作用、拆层作用等三种<sup>[28]</sup>。

走滑造山带与走滑盆地的研究实例以阿尔金断层带伴生的柴达木盆地西部拗陷为代表。刘和甫等<sup>[30]</sup>认为,阿尔金断裂是始新世时转化为走滑断裂的,其走滑挤压形成正花状构造,并造成两侧塔里木盆地和柴达木盆地的迅速沉降,阿尔金东南侧的走滑冲断使柴达木盆地第三纪沉积中心自西北向东南方向迁移,并形成雁列褶皱或反 S 型构造。根据走滑盆地的走滑断层弯曲度、离散度和聚合度可进一步划分为走滑伸展盆地(包括拉分盆地或走滑-裂陷盆地),走滑挤压盆地(包括走滑挠曲盆地或走滑前陆盆地),走滑旋转盆地等三类<sup>[28]</sup>。

## 3 盆山沉积耦合

盆山沉积耦合研究主要关注了沉积盆地对相邻造山带的沉积响应关系,即通过沉积响应去重塑盆山耦合过程及相邻造山带的演化。

对盆山耦合过程的沉积响应研究较多地集中在挤压造山带楔状体向盆内推进过程的响应。如王清晨等<sup>[37]</sup>对赣北安源煤系盆地的研究表明,华南造山带向北西方向的阶段性推复造成了近源沉积相带向盆地内部的迁移,同时使砾岩和砂岩的碎屑物成分发生旋回性变化,每一旋回都表现出不稳定组分(千枚岩砾石等)逐渐减少,稳定组分(石英脉砾石等)逐渐增多的趋势。李勇等<sup>[23]</sup>对龙门山前陆盆地的研究表明,自中三叠世以来的地层可识别出 6 个构造层序,所发育的 11 个砾岩楔状体是对龙门山冲断带多次逆冲推复事件的响应,这些砾岩楔状体有向盆地内迁移的趋势。他们对砾岩和砂岩碎屑物成分的详细研究还进一步揭示出,在推复过程中,前陆盆地的早中侏罗世近山沉积在晚侏罗世后卷入推复体,成为新的盆地物源,暗示了冲断带向盆内的迁移。关于走滑盆地与走滑造山带的沉积响应以及伸展盆地对伸展山岭的沉积响应,以往的研究多局限在通过沉积时代来确定控盆断裂的活动时间方面,如对于郟庐断裂和哀牢山断裂与相关盆地的研究<sup>[30,38,39]</sup>。

通过沉积盆地的碎屑物成分进行造山带揭顶历史的恢复研究主要是围绕挤压造山带的前陆盆地开展的,尤以大别山北侧合肥盆地的研究最具特色。大别山因超高压变质岩的发现而受到国际瞩目,而研究超高压变质岩折返过程与动力学的需要使合肥盆地成为热点研究区。对大别造山带与合肥盆地的地质、地球物

理、地球化学的综合研究<sup>[24]</sup>表明,大别造山带是中生代碰撞造山作用的产物,合肥盆地是在这一造山带隆起时形成的,经历了凹陷-断陷-构造反转等阶段。李忠等<sup>[26]</sup>根据合肥盆地侏罗系古水流方向和砂岩碎屑组成研究指出,合肥盆地南部侏罗系物源主要来自南侧的大别山造山带,主要物源类型经历了下-中侏罗统的“再旋回造山带”类型向上侏罗统的“岩浆弧”类型的复杂演变;他们进一步通过大别山南、北盆山沉积耦合关系的对比对造山历史进行反演研究<sup>[40]</sup>,指出中生代南大别山源区剥露深度浅于北大别单元,大规模隆升剥露的时间也明显滞后于北大别。李任伟等<sup>[41]</sup>对合肥盆地侏罗系砾岩中的大理岩砾石进行了碳、氧同位素分析,通过与大别山出露的超高压大理岩的碳、氧同位素组成<sup>[42, 43]</sup>进行对比,发现二者有显著区别,并据此提出侏罗系大理岩砾石的来源区不是超高压变质岩,而是在大别山造山带早期抬升时被剥蚀掉的层位。刘少峰等<sup>[44]</sup>对合肥盆地侏罗系砾岩中花岗岩砾石的同位素年代学进行研究,在其中发现了年龄值为 214 Ma 的花岗岩,表明大别山确曾发育了同碰撞花岗岩,但早已剥蚀殆尽。王道轩等<sup>[45]</sup>在合肥盆地上侏罗统砾岩中发现了榴辉岩砾石,从而界定了大别山高压-超高压变质岩在晚侏罗世之前就已折返出露地表。

应该指出,自 20 世纪 80 年代特别是 90 年代以来,围绕新生代青藏高原隆升这一国际热点,我国及国外学者还开展了大量沉积学的研究<sup>[27, 46-49]</sup>。这些工作大多以建立高精度的磁性年代地层框架为基础,通过盆地中连续剖面的碎屑沉积物粒度、碎屑矿物组成、沉积速率以及层序结构等信息的提取,对高原隆升过程及其细节进行直接反演和恢复,从而揭示区域构造特别是造山带形成演化对环境演变的制约机理。从理论上讲,上述成果在我国盆山沉积耦合研究领域应占有重要地位,其中一些工作还具有开拓性;只不过他们早期有关盆山沉积耦合的研究大多以探讨气候环境变化为目标,因此不大为以探索固体地球构造演变基本规律为己任的多数地质学者的注意。

## 4 盆山体系的深部结构

以岩石圈形成、演化和动力学为研究目标的全球地学断面(GGT)计划的执行帮助人们深入认识了盆山体系的深部结构。到 1998 年为止,我国已经完成了 10 条地学断面<sup>[50]</sup>。杨宝俊等<sup>[50]</sup>通过对这 10 条地学断面的综合分析认为,以大兴安岭-太行山-武陵山重力梯级带为界,两侧盆地具有不同的地球物理特征。梯级带以西发育了四川盆地、鄂尔多斯、塔里木、准噶尔、柴达木等盆地。它们的重力场形态反映了盆地具有高

密度的核部或者基底隆起,呈刚性,在构造中不易形变,而其周边介质则易于形变。在航磁异常上主要表现为团状强磁场区,与四周变化剧烈的 NW 向线性异常形成对比,表明这些盆地基底不是周围山区基底的延伸,而是一个较硬且具有强磁性的结晶岩块。这类古陆壳块稳定盆地区的居里面深度一般为 40~50 km,盆地热流值较低,可称为“冷盆地”。梯级带以东发育有松辽、渤海湾、南黄海等盆地。它们的重力场形态多表现为一些小块零星的局部重力异常,并具有一定的走向。例如,渤海湾盆地以宽大的高值正磁异常与宽缓负磁场区交替分布(以正磁异常为主)为特征,走向以 NE 为主,磁异常梯度的变化反映了古老结晶基底的起伏。渤海湾盆地布格异常亦呈高低交替状排列,走向 NNE,与结晶基底的起伏有良好的对应关系。除去沉积层重力效应后,该盆地呈现出平衡的正布格异常,反映莫霍面上隆的影响。这些中、新生代盆地断坳区居里面深约 36~40 km,盆地热流值较高,特别是基底顶面及深断裂带处更为明显,可称之为“热盆地”。关于梯级带两侧盆地地球物理性质不同的原因,有一种观点认为,梯级带西侧的盆地是构造运动与均衡调整相抗衡的结果,而梯级带东侧均衡调整对于盆地的形成起重要作用<sup>[51]</sup>。

进入新千年后,一些聚焦于盆山体系动力学的地球物理调查项目开始取得初步成果。例如,新疆地学断面的完成揭示了塔里木盆地与其南北两侧造山带耦合部位的深部结构<sup>[52-54]</sup>。新疆地学断面北起阿尔泰的布尔津,南到西昆仑的泉水沟,全长约 2 000 km,横过西昆仑-塔里木的深地震反射剖面揭露出盆山结合部位地壳与上地幔顶部的精细结构,发现了塔里木岩石圈下部南倾、西昆仑山岩石圈下部北倾的强反射特征,它们相向倾斜、相互交织,构成了塔里木岩石圈挤入到西昆仑北带之下,与青藏高原西北缘岩石圈相碰撞的图像。深地震反射剖面还揭示出,西昆仑山与塔里木盆地在岩石圈尺度呈“V”型的盆山耦合关系,代表了陆-陆碰撞变形过程的一种样式<sup>[53]</sup>。横过准噶尔-天山-塔里木的深地震反射剖面<sup>[54]</sup>揭露出,中天山与北天山地体并没有明显山根,且与准噶尔盆地成为一整体。值得注意的是准噶尔盆地与天山构造带下的 28~35 km 深处有一低密度层(2.53~2.65 g/cm<sup>3</sup>),自准噶尔盆至天山构造带内的大多数断裂向下延伸都没有切穿该低密度层(低速层),只有中天山南缘断裂切割了整个地壳,向莫霍面下延伸,表明作为塔里木板块一部分的南天山的向北俯冲。新疆地学断面还揭示出,塔里木盆地地壳成层性要优于其南北两侧相邻的造山带,且没有低密度层存在。在盆地内靠近塔中隆起处有一莫霍

面隆起,使塔里木的地壳结构在南北方向上呈一南陡北缓、中部隆起的不对称的“拱形”。这表明刚性的塔里木板块受南北两侧板块挤压,从而造成了这种地壳的弯曲<sup>[52-54]</sup>。

## 5 沉积盆地成因研究浅析

如前所述,我国在盆山耦合研究方面基本可以与国际接轨。当然,若与国外沉积盆地成因研究现状做一比较分析,我们仍能找到自己的差距和不足。这里仅就笔者所知谈些一管之见。

首先,国际上并无“盆山耦合”的提法,而是关注“岩石圈深部过程与近地表构造过程耦合(coupling of lithosphere and near-surface processes)”。国际岩石圈计划第 III-2 任务组后期的工作重点就是去认知岩石圈深部过程与近地表构造过程耦合的精细构造<sup>[9]</sup>。这种表述的不同可能是因我们使用象形文字的中国人与使用拼音文字的欧美人思维方式有别而造成的。我们看到山和盆,立即转化成文字,然后再由表及里,深入思考。而欧美人没有这种文字便利,只好一开始就去思考,于是,找出若干盆地沉降的机制(表 1)<sup>[10, 55]</sup>。文化差异无可厚非,只要思考深度相同,当应殊途同归。然而,由于我们有了象形文字的中间环节,有时会不自觉地走向“形而上”,两眼只盯住山和盆,却忽视了岩石圈尺度的构造过程。在这方面,我国东部拉张型盆地的研究走在了前边。例如,对松辽盆地和渤海湾盆地的成因研究很早就注意到该区上地幔的活动<sup>[36, 56, 57]</sup>。但我国西部盆地的成因研究仍待深入。例如天山与其两侧盆地的成因,人们早就意识到其特殊性,并命名为“再生前陆盆地”<sup>[19, 21, 22, 35]</sup>。那么,这种盆地的成因也与典型前陆盆地一样,是由地壳和岩石圈的构造负载引起的吗?令人欣喜是,关于我国挤压型和走滑型盆山体系的深层次动力学成因已经受到关注<sup>[28]</sup>,相信不久会有高水平成果涌现。

表 1 盆地沉降机制(据 Ingersoll & Busby<sup>[55]</sup>; Dickinson et al.<sup>[10]</sup>)

Table 1 Mechanisms of Basin Subsidence

- 1) 伸展作用、剥蚀或岩浆房萎缩导致的地壳减薄;
- 2) 下地壳和上地幔的冷却;
- 3) 地壳和岩石圈的沉积和火山物质负载;
- 4) 地壳和岩石圈的构造负载;
- 5) 岩石圈板底垫托作用导致的地壳下负载作用;
- 6) 因岩石圈下潜而导致软流圈的流动;
- 7) 高压相变导致的地壳密度增大。

其次,与国外高水平盆地分析论文相比,我们的切入点似乎少了些。例如,国际上近几年对拉张型盆地的研究包括了由裂谷盆地沉积物再造、裂谷肩部组成与

古地貌<sup>[58]</sup>,探讨拉张过程中盆地的几何形态与盆地基底垂向运动<sup>[59]</sup>;对挤压型盆地的研究包括了对造山带整体几何学的再造<sup>[60]</sup>,盆地充填序列沿造山带走向的变化<sup>[61]</sup>,构造活动对盆地水动力体系的控制,以及盆地地貌与汇水型式的耦合等<sup>[9]</sup>。“应力与盆地演化”是国际上的研究重点之一<sup>[4]</sup>。受现代全球应力场研究的启发,人们开始注意盆地形成时的古应力场状态,进而研究岩石圈的应力场演化。这一研究是建立在运动学标志的野外调查基础之上的,而断层滑动分析(fault-slip analysis)与古应力再造技术<sup>[62, 63]</sup>使该研究成为热点之一。

“岩石圈流变与盆地形成”是国际上另一研究重点<sup>[5]</sup>,这一研究主要是进行盆地成因模拟。在研究中由岩石力学资料外推,建立了强度包络面概念,并结合热状态,提出岩石圈结构模型<sup>[64]</sup>,模拟中所使用的模型有弹性模型、粘-弹性模型及韧-脆性流变模型。动力学模拟更多是针对拉张型盆地开展的,在裂前流变、岩石圈细颈化深度、盆内断块掀斜、盆地构造-热体制<sup>[65-68]</sup>等方面取得了成果。

再有,在美国大陆动力学研究计划的启发下,天然实验室(natural laboratories)的研究途径得到广泛认可。科学家们选取一个理想的地区,开展多学科综合性研究,被认为是一个行之有效的研究模式。在欧洲,前述 80 年代成因尚不清的西地中海盆地和潘能盆地等都被选为天然实验室,取得了丰硕的研究成果<sup>[66, 69]</sup>。相比之下,国内对盆地个例的研究还有待深入。令人高兴的是,天然实验室的工作模式在国内已经受到重视,新的成果即将问世。

## 6 结语

笔者曾在叶连俊先生指导下学习沉积盆地分析,后来又转向造山带研究。今值先生九十华诞之际,应邀撰此短文,对盆山耦合与盆地成因研究谈一点认识,深感荣幸,并衷心祈祝先生寿辰快乐。此文发表之时,又迎来《沉积学报》创刊 20 周年喜庆,谨此表示热烈祝贺。需要强调的是,本文并不是对盆地成因研究的全面综述,因此许多方面并未涉及,如盆地反转构造研究,盆地流体研究,原型盆地与叠合盆地演化研究以及盆地模拟研究等。在谈及国外盆地成因研究时,只是想开阔一下思路,绝无意鼓吹盲目效仿。把我们中国的沉积盆地纳入到全球构造中去,让我们中国科学家的声音在国际学术舞台上更宏亮些,这就是本文的初衷。文中谬误之处敬请指正。

致谢:感谢肖文交博士在文献收集和整理中付出的极大努力。

## 参考文献 (References)

- 1 Bally A W, Snelson S. Realms of subsidence[A]. In: A D Miall ed. Facts and principles of world petroleum occurrence[C]. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 6, 1980. 9~ 94.
- 2 Klein G deV. Current aspects of basin analysis[J]. Sedimentary Geology, 1987, 50: 95~ 118.
- 3 Cloetingh S, Sassi W, Horvath F, *et al.* Basin analysis and dynamics of sedimentary basin evolution[J]. Sediment Geol, 1993, 86: 1~ 201.
- 4 Zoback M D, Stephenson R A, Cloetingh S, *et al.* Stresses in the lithosphere and sedimentary basin formation[J]. Tectonophysics, 1993, 226: 1~ 13.
- 5 Vilotte J P, Melosh J, Sassi W, *et al.* Lithosphere rheology and sedimentary basins[J]. Tectonophysics, 1993, 226: 89~ 95.
- 6 Quinlan G, Walsh J, Sassi W, *et al.* Relationship between deeper lithospheric processes and near-surface tectonics of basins [J]. Tectonophysics, 1993, 226: 217~ 225.
- 7 Nebauer F, Cloetingh S, Dinu C, *et al.* Tectonics of the Alpine-Carpathian-Pannonian region II [J]. Tectonophysics, 1997, 272: 99~ 333.
- 8 Stephenson R A, Wilson M, De Boorder H, *et al.* EUROPROBE Intraplate tectonics and basin dynamics of the Eastern European platform[J]. Tectonophysics, 1996, 268: 1~ 309.
- 9 Cloetingh S, Fernandez M, Munoz J A, *et al.* Structural controls on sedimentary basin evolution - introduction[J]. Tectonophysics, 1997, 282: 10~ 18.
- 10 Dickinson W, Anderson R N, Biddle K T, *et al.* The Dynamics of Sedimentary Basins[J]. USGC, Washington D. C.: National Academy of Sciences, 1997. 43.
- 11 Masclé A, Puigdefabregas C, Luterbacher H P, *et al.* Cenozoic Foreland Basins of Western Europe[C]. Geological Society, London, Special Publication London Geological Society Publishing House, 1999.
- 12 叶连俊, 孙枢. 沉积盆地的分类 [J]. 石油学报, 1980, 1(3): 1~ 6 [Ye Lianjun and Sun Su. Classification of sedimentary basins[J]. Acta Petrolei Sinica, 1980, 1(3): 1~ 6].
- 13 朱夏主编. 中国中生代盆地构造和演化 [M]. 北京: 科学出版社, 1983, 230 [Zhu Xia ed. Structure and Evolution of Mesozoic and Cenozoic Basins in China[M]. Beijing: Science Press, 1983. 230].
- 14 中国含油气区构造特征编委会. 中国含油气区构造特征 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1989. 320 [Editorial Committee of Structural Features of Oil and Gas bearing areas in China ed. Structural Features of Oil and Gas bearing areas in China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1989. 320].
- 15 国家自然科学基金委员会地球科学部. 21世纪初地球科学战略重点 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2002. 159 [Department of Earth Sciences, NSFC, ed. Strategy of the Earth Science in the Beginning of the 21st Century[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2002. 159].
- 16 李思田. 沉积盆地的动力学分析 [J]. 地学前缘, 1995, 2(3- 4): 1~ 8 [Li Sitian. Geodynamics of Sedimentary Basins[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3- 4): 1~ 8].
- 17 牛树银, 孙爱群, 白文吉. 造山带与相邻盆地间物质的横向迁移 [J]. 地学前缘, 1995, 2(1- 2): 85~ 92 [Niu S, Sun A, Bai W. Lateral migration of the lithospheric material between orogenic zones and adjacent basins [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(1- 2): 85~ 92].
- 18 王玉新. 鄂尔多斯西缘褶皱- 冲断带及其前陆盆地的形成与演变 [D]. 北京: 中国地质大学, 1991 [Wang Yuxin. Formation and Deformation of the Foreland Fold-Thrust belt in the Western Ordos [D]. Beijing: China University of Geosciences, 1991].
- 19 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, 1994, 19(6): 727~ 741 [Liu H, Liang H, Cai L, *et al.* Foreland thrust system and basin evolution on both sides of the Tianshan Mountains [J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 1994, 19(6): 727~ 741].
- 20 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国等. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化 [J]. 地质学报, 1994, 68(2): 101~ 118 [Liu H, Liang H, Cai L, *et al.* Foreland thrust system and basin evolution of the Longmenshan, Western Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(2): 101~ 118].
- 21 Lu H, Jia D, Chen C, *et al.* Rejuvenation of the Kuqa foreland basin, northern flank of the Tarim Basin, Northern China [J]. International Geological Review, 1994, 36: 1151~ 1158.
- 22 卢华复, 贾东, 陈楚铭等. 库车新生代构造性质和变形时间 [J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 215~ 221 [Lu H, Jia D, Chen C, *et al.* Nature and timing of the Kuqa Cenozoic structures [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(4): 215~ 221].
- 23 李勇, 曾允孚. 龙门山逆冲推覆作用的地层标识 [J]. 成都理工学院学报, 1995, 22(2): 1~ 10 [Li Y, Zeng Y. Stratigraphic signatures to thrusting of the Longmen Mountains thrust belt [J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 1995, 22(2): 1~ 10].
- 24 王清晨, 从柏林, 马力. 大别山造山带与合肥盆地的构造耦合 [J]. 科学通报, 1997, 42: 575~ 580 [Wang Q, Cong B, Ma L. Structural coupling of the Dabie Orogen with Hefei Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42, 575~ 580].
- 25 张国伟, 李三忠, 刘俊霞等. 新疆伊犁盆地的构造特征与形成演化 [J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 203~ 214 [Zhang G, Li S, Liu J, *et al.* Structural feature and evolution of Yili basin, Xinjiang [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(4): 203~ 214].
- 26 李忠, 李任伟, 孙枢等. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑成分及其物源构造属性 [J]. 岩石学报, 1999, 15(3): 438~ 445 [Li Z, Li R, Sun S, *et al.* Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstone, south Hefei basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(3): 438~ 445].
- 27 郑洪波, Butcher K, Powell, C. 新疆叶城晚新生代山前盆地演化与青藏高原北缘的隆升 [J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 274~ 281 [Zheng H, Butcher K, Powell C. Evolution of Neogene foreland basin in Yecheng, Xinjiang, and uplift of Northern Tibetan Plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 274~ 281].
- 28 刘和甫. 盆地- 山岭耦合体系与地球动力学机制 [J]. 地球科学, 2001, 26(6): 581~ 596 [Liu Hefu, Geodynamic scenario of coupled basin and mountain system [J]. Earth Science, 2001, 26(6): 581~ 596].

- 29 汪泽成, 刘和甫, 熊宝贤等. 从前陆盆地充填地层分析盆山耦合关系 [J]. 地球科学, 2001, 26(1): 33~ 39 [Wang Z, Liu H, Xiong B, *et al.* Basin-Mountain coupling analysis from filling stratigraphy of foreland basin<sup>[1]</sup> Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(1): 33~ 39]
- 30 刘和甫, 夏义平, 殷进垠等. 走滑造山带与盆地耦合机制 [J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 121~ 132 [Li H, Xia Y, Yin J, *et al.* Coupling mechanism of strike-slip orogen and basin [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 121~ 132]
- 31 刘和甫, 汪泽成, 熊宝贤等. 中国中西部中生代前陆盆地与挤压造山带耦合分析 [J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 55~ 72 [Liu H, Wang Z, Xiong B, *et al.* Coupling analysis of Mesozoic-Cenozoic foreland basin and mountain system in Central and Western China [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 55~ 72]
- 32 刘和甫, 梁慧社, 李晓清等. 中国东部中生代裂陷盆地与伸展山岭耦合机制 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 477~ 486 [Liu H, Liang H, Li X, *et al.* The coupling mechanisms of Mesozoic-Cenozoic rift basins and extensional mountain system eastern China [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 477~ 486]
- 33 Suppe J. Geometry and kinematics of fault bend folding [J]. Amer J Sci. 1983, 283 684~ 721.
- 34 Suppe J, Medwedeff D A. Geometry and kinematics of fault propagation folding [J]. Ecologiae Geol Helv, 1990, 83(3): 409~ 454
- 35 陆克政, 漆家福, 戴俊生等. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1997, 251 [Lu K, Qi J, Dai J, *et al.* Tectonic model of Cenozoic petroliferous basin Bohai Bay province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 251]
- 36 马杏垣, 刘和甫, 王维襄. 中国东部中生代裂陷作用和伸展构造 [J]. 地质学报, 1983, 57(1): 22~ 32 [Ma X, Liu H, Wang W. Mesozoic-Cenozoic rifting and extension in Eastern China [J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(1): 22~ 32]
- 37 王清晨, 彭海波, 孙枢. 赣北安源煤系沉积对构造活动的响应 [J]. 地质科学, 1991, 1991, (3): 231~ 238 [Wang Q, Peng H, Sun S. Tectonic-sedimentation response of the Anyuan coal series, North Jiangxi [J]. Scientia Geologica Sinica, 1991, (3): 231~ 238]
- 38 徐嘉炜. 论走滑断层作用的几个主要问题 [J]. 地学前缘, 1995, 2(1-2): 125~ 136 [Xu J. Some major problems on strike-slip faulting [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(1-2): 125~ 136]
- 39 朱光, 王道轩, 刘国生等. 郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景 [J]. 地质科学, 2001, 36(3): 269~ 278 [Zhu G, Wang D, Liu G. Extensional activities along the Tan-Lu Fault Zone and its geodynamic setting [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(3): 269~ 278]
- 40 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 Z, Li R, Sun S. Mesozoic tectonic evolution of Dabie Mountains: Evidences from basin-fill records [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(8-9): 547~ 553]
- 41 李任伟, 江茂生, 李忠等. 大别山北麓侏罗系大理石砾石的碳-氧同位素组成及地质意义 [J]. 岩石学报, 1999, 15(4): 623~ 629 [Li R, Jiang M, Li Z, *et al.* Carbon and oxygen isotopic compositions of the marble conglomerates of Jurassic age in the northern margin of Dabie Mountains, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(4): 623~ 629]
- 42 郑永飞, 傅斌, 龚冰等. 大别山与榴辉岩共生大理岩的碳同位素异常 [J]. 科学通报, 1998, 42: 2316~ 2320 [Zheng Y, Fu B, Gong B, *et al.* Carbon isotope anomaly in marbles associated with eclogites from the Dabie Mountains in China [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 42: 2316~ 2320]
- 43 王清晨, Rumble D. 中国大别山双河超高压变质大理岩的氧、碳同位素 [J]. 中国科学 (D辑), 1999, 29(3): 214~ 221 [Wang Q, Rumble D. Oxygen and carbon isotope composition from the UHP Shuanghe marbles, Dabie Mountains, China [J]. Science in China (Series D), 1999, 29(3): 214~ 221]
- 44 刘少峰, 张国伟, 张宗清等. 合肥盆地花岗岩砾石同位素年代学示踪 [J]. 科学通报, 2001, 46(9): 477~ 486 [Liu S, Zhang G, Zhang Z. Isotope chronological trace of granite gravel in Hefei Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(9): 477~ 486]
- 45 王道轩, 刘因, 李双应等. 大别超高压变质岩折返至地表的时间下限: 大别山北麓晚侏罗世砾岩中发现榴辉岩砾石 [J]. 科学通报, 2001, 46(14): 1216~ 1220 [Wang D, Liu Y, Li S. Lower time limit on the UHPM rock exhumation: Discovery of eclogite pebbles in the Late Jurassic conglomerates from the northern foot of the Dabie Mountains, eastern China [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(14): 1216~ 1220]
- 46 Zhang P, Molnar P, Downs W R. Increased sedimentation rates and grain sizes  $2 \pm 4$  Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates [J]. Nature, 2002, 410 891~ 897.
- 47 Rea D K. Delivery of Himalayan sediment to the northern Indian Ocean and its relation to global climate, sea level, uplift, and seawater strontium [J]. Geophys Monogr, 1992, 70 387~ 402.
- 48 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究 [J]. 科学通报, 1998, 13(15): 1569~ 1574 [Li J, Fang X. A research on uplift of the Tibetan plateau and environment change [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 13(15): 1569~ 1574]
- 49 宋春晖, 孙淑荣, 方小敏等. 酒西盆地晚新生代沉积物重矿物分析与高原北部隆升 [J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 552~ 559 [Song C, Sun S, Fang X, *et al.* Analysis of tectonic uplift and heavy minerals of sediments on Juxi basin in the northern margin of Tibetan plateau since the Late Cenozoic [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 552~ 559]
- 50 杨士俊, 张兴洲, 孟令顺等. 中国大陆岩石圈结构篱笆图及其说明—10条 GGT 地球物理资料 [J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(4): 385~ 390 [Yang B, Zhang X, Meng L, *et al.* Fence diagram of lithosphere structure of China continent and its explanation—by using geophysical data of 10 GGTs [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2001, 31(4): 385~ 390]
- 51 殷秀华, 刘占坡, 武翼新等. 青藏—蒙古高原东缘构造过渡带的布格重力场特征及地壳上地幔结构 [J]. 地震地质, 1988, 10(4): 143~ 149 [Yin X, Liu Z, Wu W, *et al.* Bouguer field and structure of the crust-mantle around the Tibet—East Mongolia Plateau transition zone [J]. Seismology and Geology, 1988, 10(4): 143~ 149]
- 52 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 R, Huang D, Lu D, *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(17): 1874~1879]
- 53 高锐,肖序常,刘训等. 新疆地质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 R, Xiao X, Liu X, *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]
- 54 贺日政,高锐,李秋生等. 新疆天山(独山子)-西昆仑(泉水沟)地质断面地震与重力联合反演地壳构造特征 [J]. 地球学报, 2001, 22(6): 553~558[He R, Gao R, Li Q, *et al.* Corridor gravity fields and crustal density structures in Tianshan (Dushanzi) - West Kunlun (Quanshuigou) GGT[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(6), 553~558]
- 55 Ingersoll R V, Busby C J. Tectonic of sedimentary basins [A]. In C J Busby and R V Ingersoll, eds. Tectonics of Sedimentary Basins[C]. Cambridge: Blackwell Science, 1995, 1~51.
- 56 陈昌明,黄家宽,陈景山等. 第三纪渤海裂谷系的构造沉积演化特征 [A]. 见:朱夏主编. 中国中生代盆地构造和演化 [C]. 北京: 科学出版社, 1983, 114~120 [Chen C, Huang J, Chen J, *et al.* Tectono-sedimentation evolution of the Tertiary Bohai rift system [A]. In Zhu Xia ed. Structure and Evolution of Mesozoic and Cenozoic Basins in China[C]. Beijing: Science Press, 1983, 114~120]
- 57 杨继良. 松辽断拗盆地的地质结构与油气 [A]. 见:朱夏主编. 中国中生代盆地构造和演化 [C]. 北京: 科学出版社, 1983, 187~197 [Yang J. Structure and oil-gas in the Songliao Basin [A]. In Zhu Xia ed. Structure and Evolution of Mesozoic and Cenozoic Basins in China[C]. Beijing: Science Press, 1983, 187~197]
- 58 Van der, Beek P A, Cloetingh S, Andriessen P A M. Mechanisms of extensional basin formation and vertical motions at rift flanks: constraints from tectonic modeling and fission track thermochronology [J]. Earth Planet Sci Lett, 1994, 121: 417~433
- 59 Zeyen H, Negredo A, Fernandez M. Extension with lateral material accommodation [J]. Tectonophysics, 1996, 266: 121~137.
- 60 Roure F, Choukroune P, Polino R. Deep seismic reflection data and new insights on the bulk geometry of mountain ranges C R Acad [J]. Sci Paris Ser Iia, 1996, 322: 345~359
- 61 Castle J W. Foreland-basin sequence response to collisional tectonism [J]. GSA Bulletin, 2001, 113: 801~812.
- 62 Angelier J. Tectonic analysis of fault slip data sets [J]. Journal of Geophysical Research, 1984, 89(B7), 5835~5848.
- 63 Angelier J. Fault slip analysis and palaeostress reconstruction [A]. In Hancock P L, ed. Continental Deformation [C]. Pergamon Press, Oxford, 1994, 53~100
- 64 Cloetingh S, Burv E. Thermomechanical structure of European continental lithosphere: constraints from rheological profiles and EET estimates [J]. Geophys J Int, 1996, 124: 695~723.
- 65 Bassi G. Relative importance of strain rate and rheology for the mode of continental extension [J]. Geophys J Int, 1995, 122: 195~210.
- 66 Cloetingh S, d'Argenio B, Catalano R, *et al.* Interplay of extension and compression in basin formation [J]. Tectonophysics 1995, 252: 1~484.
- 67 Ter Voorde M, Cloetingh S. Numerical modeling of extension in faulted crust: effects of localized and regional deformation on basin stratigraphy [A]. In Buchanan P G, Nieuwland D A, eds. Modern developments in structural interpretation, validation and modeling [C]. Geol Soc London Spec Publ, 1996, 99: 283~296.
- 68 Badescu D. Tectono-thermal regimes and lithosphere behaviour in the External Dacides in the Upper Triassic and Jurassic Tethyan opening (Romanian Carpathians) [J]. Tectonophysics, 1997, 282: 167~188
- 69 Cloetingh S, Ben Avraham Z, Sassi W, *et al.* Dynamics of extensional basins and inversion tectonics [J]. Tectonophysics, 1996, 266: 1~523

## Basin-Orogen Coupling and Origin of Sedimentary Basins

WANG Qing-chen LI Zhong

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

**Abstract** The study on origin of sedimentary basins in China followed approach of basin-orogen (range) coupling, including the structural and sedimentary coupling, as well as coupling in deep structure. The structural coupling can be revealed with deformation in the place at which basin and orogen (range) are jointed. The sedimentary coupling implies the tectonic-sedimentary responses that could reconstruct the orogenic process. The coupling in deep structure focuses on lithosphere dynamics revealed by deep structures. Parallel to this, international study on origin of sedimentary basins concentrated on coupling of lithosphere and near-surface processes. Keeping open eyes, integrating different approaches, and co-working in natural laboratories are all important in the future research on sedimentary basins.

**Key words** basin-orogen coupling, origin of sedimentary basins, International Lithosphere Program