

大别造山带毗邻新生代盆地物质平衡分析

王利,周祖翼,丁汝鑫

同济大学海洋地质国家重点实验室,上海,200092

内容提要:沉积盆地的地层往往保留着源区构造演化的重要信息。本文利用物质平衡的方法,通过大别山周边十个沉积盆地的新生界地层信息,计算这些盆地中沉积物的堆积量和堆积速率,研究了新生代以来大别山的剥蚀过程和剥蚀速率。结果显示,大别造山带毗邻盆地在第四纪、新近纪和古近纪的平均总堆积速率分别为 $9.85 \times 10^5 \sim 1.96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 、 $4.48 \times 10^5 \sim 8.27 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $1.62 \times 10^6 \sim 2.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。十个盆地的大部分沉积物源自大别山,且大别山的大部分剥蚀物被沉积到了这十个盆地中。在估算中,我们假设这两个“大部分”在量上相等,即等效于盆地的沉积物全部源于大别山,且大别山的剥蚀物全部沉积于所计算的盆地之中,则大别造山带在新生代的平均剥蚀厚度为 2.1~2.95km,平均剥蚀速率为 32~49mm/ka。新生代以来大别造山带剥露速率与剥蚀速率相近,表明大别造山带在新生代已经总体处于剥露稳态。

关键词:新生代;大别造山带;物质平衡;剥蚀

造山带一般是由大陆岩石圈的碰撞形成的。碰撞可能导致地壳加厚、均衡隆升以及剥蚀等一系列过程。从造山带剥蚀下来的物质往往被搬运至造山带周边沉积下来,形成一系列的沉积盆地。因此,沉积盆地的地层也保留了造山带演化的重要信息,对造山带周边盆地沉积地层的研究可以达到恢复和重建造山带历史的目的。20 世纪 90 年代以来,盆地与造山带的耦合及其盆地充填历史对造山带的响应,成为地学界的一个热点研究领域。

作为盆地剥蚀—充填耦合的一种重要手段, Hay et al. (1989) 提出了基于物质平衡的古地形再造方法,即在给定的时间间隔内,作用在研究区表面的构造、侵蚀和沉积过程造成的沉积物的侵蚀总量与沉积总量之间的质量守恒。物质平衡方法提出以后,在国内外有着较为广泛的应用 (Kuhlemann et al., 2002; 王国芝等, 1999)。

1 地质背景

大别造山带是扬子板块与华北板块之间的碰撞造山带,由于高压—超高压变质岩的大规模出露而举世瞩目,在大别造山带周边分布有一系列中—新生代沉积盆地 (图 1)。目前对于大别造山带的大陆碰撞、俯冲和造山作用已经有了较为深入的研究

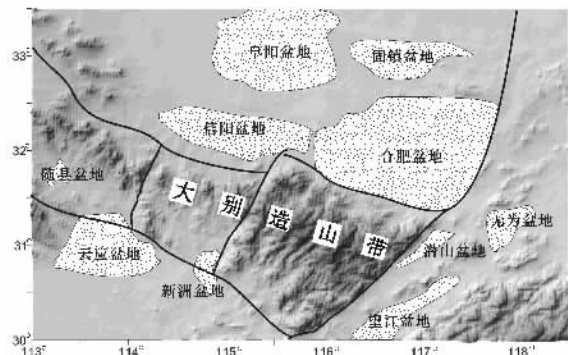


图 1 大别造山带毗邻新生代盆地地理位置示意图

Fig. 1 Sketch map of the Dabie orogen and its adjacent Cenozoic sedimentary basins

和认识 (Hacker et al., 1998; 王清晨等, 2002; 从柏林等, 1999)。对于新生代以前沉积盆地沉积充填特征与造山带源区物质之间的耦合关系,前人已有较多述及 (徐春华等, 2002; 徐树桐等, 2001; Li et al., 2005; 李忠等, 2000, 2002; 李双应等, 2002); 但是对于新生代以来大别山的构造演化及其与毗邻盆地的剥蚀—充填耦合的关系却较少涉及。本文立足于盆地的新生代沉积地层记录,利用物质平衡的方法,试

注:本文为国家自然科学基金资助项目 (批准号 40572075, 40321603) 的成果。

收稿日期: 2006-09-26; 改回日期: 2006-12-22; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 王利, 男, 1982 年生。博士研究生。主要从事构造地质、盆地分析等方面研究。通讯地址: 200092, 上海市四平路 1239 号同济大学海洋楼 519; 电话: 021-65989035; Email: li03@sina.com。

图通过恢复大别山毗邻盆地沉积量来研究新生代以来大别造山带的剥蚀过程和剥蚀速率。

2 原理和方法

在本文中,我们运用了 Hay 等(1989)提出的质量平衡法,根据沉积盆地中计算得到的沉积物量按时间将沉积物剥离,并将这部分剥离的沉积物恢复到物源区去。在这两个过程中需要考虑到均衡校正、脱压实校正、古水深校正、海平面校正、热沉降校正,并在物源区古高度恢复中进行碎屑沉积平衡校正。

在分析过程中,我们分别计算了大别山周边 10 个主要盆地的沉积补偿。具体的方法是:首先获得各个盆地详细的地层资料;对于每套地层沉积的物质量,我们通过标准孔隙度—深度曲线求得其中的颗粒质量,这也就是从源区剥蚀到该盆地的物质质量,然后由密度—体积的关系我们就能得到源区剥蚀到这个盆地的物质的体积。为了取得剥蚀历史较好的时间分辨率,我们把新生代以来各个盆地的地层按年代分为三个地层单元:第四系(0~1.81Ma)、新近系(1.81~23.03Ma)和古近系(23.03~65.5Ma)。

颗粒密度是沉积物重要的物理性质之一,它不随深度变化而变化,基本上是一个常量,公认的颗粒密度值为 $\rho = 2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。孔隙度是埋藏深度的函数,与时间无关。在正常压实情况下,一般假设孔隙度与深度满足以下指数关系:

$$\varphi(x) = \varphi_0 e^{-cx} \tag{1}$$

其中 $\varphi(x)$ 是深度 x 处的岩石孔隙度; φ_0 为深度为 0 时的孔隙度; c 为压实常数。

大别造山带毗邻新生代盆地主要以湖相、河流相碎屑岩沉积为主,沉积物以砂岩和泥岩为主体,因此我们使用了适合砂泥岩的标准孔隙度—深度公式:取 $\varphi_0 = 0.55, c = 0.36$ 。

这样用颗粒密度 ρ 计算在 Δt 时间内沉积在某一盆地的总质量的公式为:

$$M(\Delta t) = \left\{ \int_{x_1}^{x_2} \rho [1 - \varphi(x)] dx \right\} \times S_{\text{沉积面积}} \tag{2}$$

x_1 和 x_2 分别为在 Δt 时间内在盆地中沉积的上界和下界。

则计算在 Δt 时间内沉积在某一盆地的总体积的公式为:

$$V(\Delta t) = M(\Delta t) / \rho_{\text{源区}} \tag{3}$$

$\rho_{\text{源区}}$ 取 $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

在 Δt 时间内源区物质被剥蚀到某一盆地的平均速率的公式为:

$$a = V(\Delta t) / \Delta t \tag{4}$$

将源区物质被剥蚀到各个盆地的平均速率累加起来,就可以得到整个源区的剥蚀速率。

3 数据和计算

本文计算的 10 个大别山毗邻盆地包括合肥盆地、信阳盆地、阜阳盆地(周口盆地东部)、固镇盆地、潜山盆地、无为盆地、望江盆地、新洲盆地、云应盆地和随县盆地(图 1)。

在计算中,我们假设每个计算单元里沉积速率是相等的,并且沉积在盆地所计算的范围内是均匀的。由于部分研究盆地内部出现不整合面,接受剥蚀,因此要想比较精确地反映剥蚀速率的变化,需要对某些盆地剥蚀的厚度进行补偿。本文采用的是 1000m 的平均剥蚀厚度(薛爱民等,1999)。

沉积相和古水深是回剥计算中需要考虑的一个重要方面。本文结合区域地质资料、区域构造背景以及典型盆地的沉积相剖析后认为,大别造山带毗邻新生代盆地发育的沉积相主要为冲积扇相、河流

表 1 大别造山带毗邻沉积盆地新生代以来地层最大厚度和最小厚度
Table 1 Maximum and minium strata thickness in the Cenozoic basins surrounding the Dabie orogen

盆地名称	沉积面积 (km ²)	最大沉积厚度(m)				最小沉积厚度(m)			
		第四纪	新近纪	古近纪	补偿厚度	第四纪	新近纪	古近纪	补偿厚度
合肥盆地	24000 ^①	100	1000	3483	1000	20	420	2067	1000
信阳盆地	4350	100	1000	3483	1000	20	420	2200	1000
潜山盆地	2400	0	0	2607		0	0	1752	
新洲盆地	3100	80	900	0		80	300	0	
云应盆地	4400	150	900	2600		100	600	2600	
随县盆地	1300	80	900	0		80	300	0	
阜阳盆地	10000	270	1364	2156	1000	210	1048	1536	1000
固镇盆地	5900	577		0	1000	85		0	1000
无为盆地	2500	124	0	538.5		124	0	538.5	
望江盆地	5700	80	0	2599		3.5	0	1311	

注: ① 在合肥盆地,由于古近系地层只在部分地区存在,为了提高可信度,不能按照全盆地的面积计算,而应使用实际的沉积面积:新近纪为 2000km²,古近纪为 3600km²。

表 2 大别造山带毗邻新生代盆地的最大、最小堆积量和
各时间单元内最大、最小堆积速率

Table 2 Maxium and minimum quantity and rate of the Sedimentation
in each Cenozoic basin adjacent to the Dabie orogen

盆地	最大堆积量 ($\times 10^9 \text{ m}^3$)	最大堆积速率($\times 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$)			最小堆积量 ($\times 10^9 \text{ m}^3$)	最小堆积速率($\times 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$)		
		第四纪	新近纪	古近纪		第四纪	新近纪	古近纪
合肥盆地	30000	610	52	660	22000	120	20	480
信阳盆地	19000	110	110	400	11000	22	42	230
潜山盆地	4000	0	0	90	2500	0	0	58
新洲盆地	1600	63	71	0	570	63	22	0
云应盆地	11000	170	100	210	9900	110	65	190
随县盆地	680	26	30	0	240	26	9.1	0
阜阳盆地	36000	710	390	620	27000	550	280	470
固镇盆地	5400	74	74	87	3500	10	10	77
无为盆地	850	79	0	17	850	79	0	17
望江盆地	9800	120	0	230	4200	5	0	99
总量	118000	1962	827	2314	82000	985	448.1	1621

相和湖泊相并以河流相最为发育,因此可以忽略古水深对盆地沉积量和沉积速率的影响(陈建平等, 2003)。

在实际情况下,每个盆地内各时段地层的厚度并不一致。因此,为了对剥蚀量和剥蚀速率进行更好的对比和约束,本文在统计资料时按照地层的厚度范围,分别计算了每个盆地各个时间阶段内沉积物质的最大量和最小量(表 1)(江汉油田石油地质志编写组,1991;苏浙皖闽油气区石油地质志编写

组,1991)。

由上述盆地的地理分布可见,这些盆地全部都分布在大别山周边,除了少数盆地外都与大别山相邻,并受大别山的构造控制。同样,这 10 个盆地也囊括了大别山周边的主要沉积单元。显然,十个盆地的大部分沉积物来自大别山,且大别山的大部分剥蚀物被沉积到了这十个盆地中。其中,两个定性的“大部分”可能存在量的差别,在实际估算中,我们假设这两个“大部分”在量上相等,这样就等效于盆地的沉积物全部源于大别山,且大别山的剥

蚀物全部沉积于所计算的盆地之中。

将上述原始数据经过程序运算,我们可以得到各个盆地接受的沉积总量和堆积速率(表 2)以及堆积速率图(图 2,3)。结果显示,新生代以来大别造山带毗邻盆地接受沉积的总量共计为 $8.2 \times 10^{13} \sim 1.18 \times 10^{14} \text{ m}^3$ 。三个时间单元内盆地的总堆积速率分别为:第四纪 $9.85 \times 10^5 \sim 1.96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;新近纪 $4.48 \times 10^5 \sim 8.27 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$;古近纪 1.62×10^6

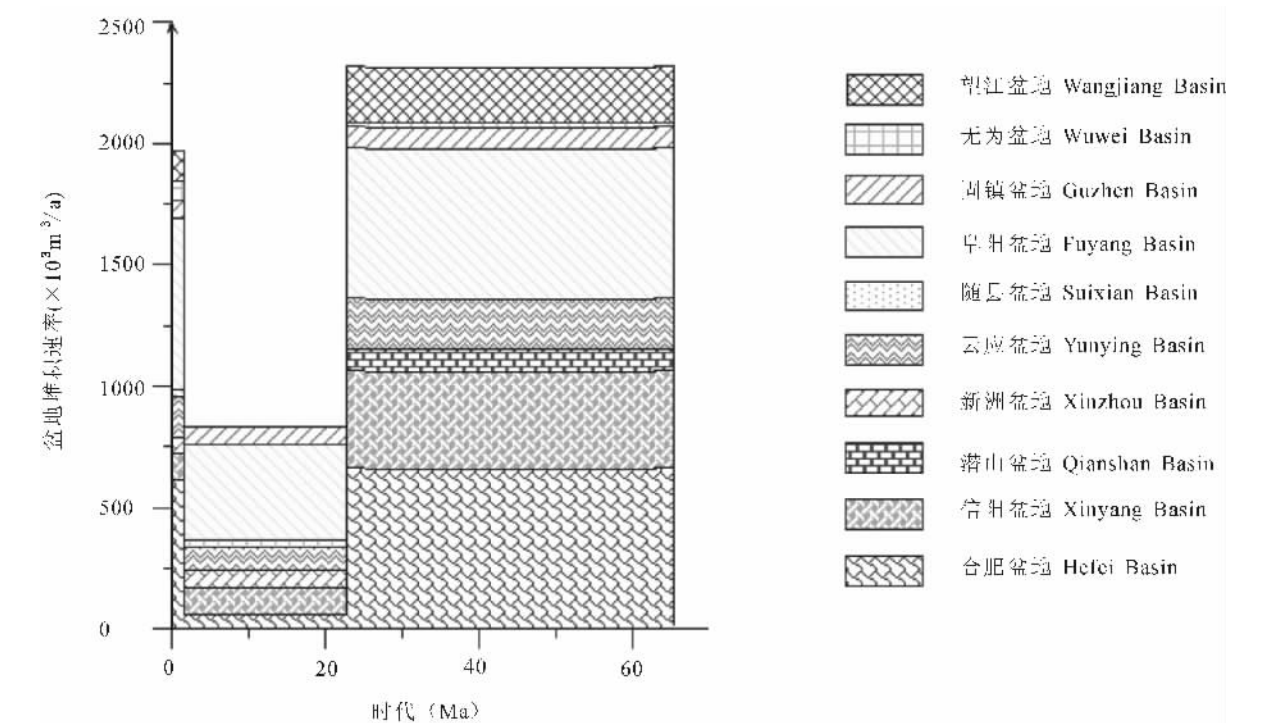


图 2 大别造山带毗邻新生代盆地最大平均堆积速率
Fig. 2 The maximum average sediment rate in the Cenozoic basins adjacent to the Dabie orogen

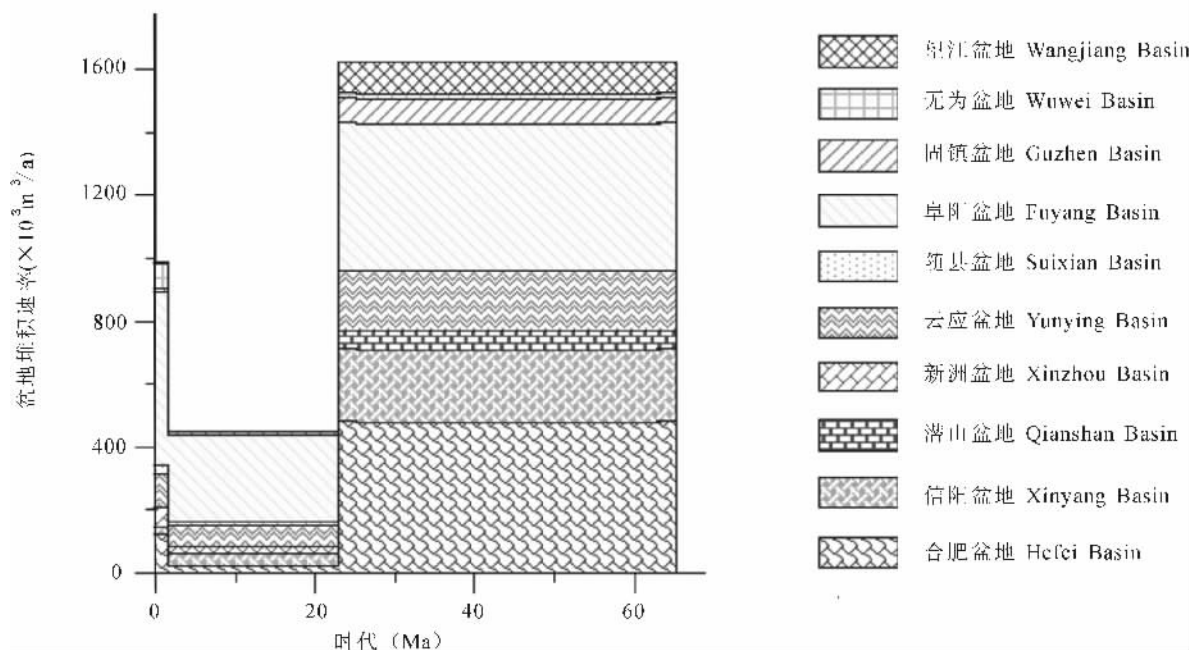


图 3 大别造山带毗邻新生代盆地最小平均堆积速率

Fig. 3 The minimum average sediment rate in the Cenozoic basins adjacent to the Dabie orogen

~ $2.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

4 结论和讨论

在求得大别造山带毗邻盆地的堆积量及堆积速率的基础上,为了进一步探讨这些盆地与大别造山带在新生代期间的沉积—剥蚀耦合关系,我们根据前文假设,认为这些盆地中的沉积物全部来自面积约为 40000 km^2 的大别造山带,则可以分别计算大别造山带新生代以来的剥蚀速率和剥蚀厚度。

(1) 剥蚀速率。根据公式 3,可以求出大别造山带在古近纪、新近纪和第四纪的平均剥蚀速率分别为 $41 \sim 58 \text{ mm/ka}$ 、 $11 \sim 21 \text{ mm/ka}$ 和 $25 \sim 49 \text{ mm/ka}$,整个新生代的平均剥蚀速率为 $32 \sim 49 \text{ mm/ka}$ 。丁汝鑫等(2006)根据低温年代学数据所求得的大别造山带中生代以来的平均剥蚀速率为 $40 \sim 70 \text{ mm/ka}$ 。岩石剥蚀作用可能与剥蚀作用有关,而构造伸展也可能导致岩石迅速剥蚀。盆地沉积物反映的源区平均剥蚀速率与源区基岩所反映的平均剥蚀速率相近,表明大别造山带在新生代已达到剥蚀稳态(steady-state)(Willett et al., 2002),大别造山带的演化已经处于成熟期。另一方面,考虑到大别造山带在新生代处于造山期以后,剥蚀速率和剥蚀速率相近也表明大别山毗邻新生代盆地的沉积物大致来源于大别造山带的假设基本上是成立的。

(2) 剥蚀厚度。根据剥蚀量和源区面积可计算出大别造山带新生代以来被剥蚀的厚度为 $2.1 \sim$

2.95 km 。Braun 等(2005)研究认为大别造山带当前地形比 $60 \sim 80 \text{ Ma}$ 前低 $2.5 \sim 4.5$ 倍。大别造山带当前的平均高度约为 0.8 km ,按照 Braun 的推算,中生代末大别山的平均高度为 $2 \sim 3.6 \text{ km}$,由于剥蚀速率与剥蚀速率相近,因此这意味着新生代以来的剥蚀厚度为 $1.2 \sim 2.8 \text{ km}$,与本文估算相近。

需要指出,由于研究程度较低,大别山毗邻新生代沉积厚度资料本身存在一定误差,同时各时段地层厚度在各个盆地范围内也不可能是均一的,因此本文对各沉积盆地堆积速率和堆积量的计算只能是大概的,与源区基岩研究反应的剥蚀速率的比较只能说是初步证实了前述假设,即大别山毗邻盆地的物源主要来自于大别造山带。

根据上述讨论,本文得出以下初步结论:① 大别造山带毗邻新生代盆地在第四纪、新近纪和古近纪的平均总堆积速率分别为 $9.85 \times 10^5 \sim 1.96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 、 $4.48 \times 10^5 \sim 8.27 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $1.62 \times 10^6 \sim 2.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。② 大别山毗邻新生代盆地的沉积物大致来源于大别造山带。大别造山带在新生代的剥蚀厚度为 $2.1 \sim 2.95 \text{ km}$,平均剥蚀速率为 $32 \sim 49 \text{ mm/ka}$ 。③ 大别造山带新生代以来的剥蚀速率与剥蚀速率相近,表明造山带在整个新生代时段已处于剥蚀稳态(steady-state)。

参 考 文 献 / References

陈建平,钟建华,饶孟余,冀国盛. 2003. 合肥盆地中、新生代沉积相初步研究. 沉积与特提斯地质, 23(2): 48~53.

从柏林,王清晨. 1999. 大别山—苏鲁超高压变质带研究的最新进展. 科学通报, 44(11): 1127~1141.

丁汝鑫,周祖翼,许长海,刘玉柱,程昊,徐斐. 2006. 大别山区域低温剥露作用:基于(U-Th)/He 和裂变径迹年代学数据的模拟. 中国科学(D 辑), 36(8): 689~697.

江汉油田石油地质志编写组. 1991. 中国石油地质志(卷 9). 北京:石油工业出版社.

李双应,王道轩,刘因,岳书仓,孟庆任,李任伟,杨建,范裕. 2002. 大别造山带北缘中生代冲积体系对源区构造的沉积响应. 地质通报, 21(8~9): 542~546.

李忠,孙枢,李任伟,江茂生. 2000. 合肥盆地中生代充填系列及其对大别造山作用的指示. 中国科学(D 辑), 30(3): 256~263.

李忠,李任伟,孙枢,张雯华. 2002. 大别山南麓中生代盆地充填记录对造山运动属性的反映. 中国科学(D 辑), 32(6): 470~478.

苏浙皖闽油气区石油地质志编写组. 1991. 中国石油地质志(卷 8). 北京:石油工业出版社.

汤加富,周存亨,侯明金,高天山,钱存超,荆延仁. 2003. 大别山及邻区地质构造特征与形成演化——地幔差速环流与陆内多期造山. 北京:地质出版社.

王国芝,王成善,刘登中,刘树根. 1999. 滇西高原第四纪以来的隆升和剥蚀. 海洋地质与第四纪地质, 19(4): 67~74.

王清晨,林伟. 2002. 大别山碰撞造山带的地球动力学. 地学前缘, 9(4): 257~265.

徐树桐,刘贻灿,吴维平,江来利. 2001. 大别山造山带研究的主要进展及存在问题. 自然科学进展, 11(8): 796~803.

徐春华,邱连贵,雷敏,李学田. 2002. 合肥盆地沉积构造样式与大别

造山带的演化历史. 沉积与特提斯地质, 22(2): 91~98.

薛爱民,金维浚,袁学诚. 1999. 大别山北缘合肥盆地中、新生代构造演化. 高校地质学报, 5(2): 158~163.

Braun J, Robert X. 2005. Constraints on the rate of post-orogenic erosional decay from low-temperature thermochronological data: application to the Dabie Shan(Dabie Mountain), China. Earth Surface Process and Landforms, 30: 1203~1225.

Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, Ireland T, Walker D, Dong S W. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling—Dabie Orogen, China. Earth and Planetary Science Letters, 161: 215~230.

Hay W W, Shaw C A, Wold C. 1989. Mass-Balanced paleogeographic reconstruction. Geologische Rundschau, 78(1): 207~242.

Kuhlemann J, Frisch W, Szekely B, Dunkl I, Kazmer M. 2002. Post-collisional sediment budget history of the Alps: tectonic versus climatic control. International Journal of Earth Sciences, 91: 818~837.

Li R W, Wan Y S, Cheng Z Y, Zhou J X, Li S Y, Jin F Q, Meng Q R, Li Z, Jiang M S. 2005. Provenance of Jurassic sediments in the Hefei Basin, east-central China and the contribution of high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Dabie Shan(Dabie Mountain). Earth and Planetary Science Letters, 231: 279~294.

Willett S D, Brandon M T. 2002. On steady state in mountain belts. Geology, 30(2): 175~178.

Mass Balance Analysis of the Dabie Orogenic Belt and Its Adjacent Cenozoic Sedimentary Basins

WANG Li, ZHOU Zuyi, DING Ruxin

State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, 200092

Abstract

Sedimentary records from adjacent basins can provide valuable information about evolution of orogenic belt. Mass balance analysis is an effective way for the estimation of provenance erosion and basin accumulation. Ten Cenozoic sedimentary basins adjacent to Dabie orogen are analyzed in this study. According to the mass balance principle, the solid volumes of erosion material from orogen equal to the solid volumes of sediments accumulated in basins. Based on strata information such as thickness, area and porosity, the sedimentary volumes for the ten sedimentary basins are calculated by considering factors such as compaction, basin erosion depth and changes in sediment area. At last, the calculated volumes are re-compacted to a porosity equivalent to the source rock. The sediment volumes are separated into three stratigraphic units (i. e. , Quaternary, Neogene and Paleogene) to achieve better time resolution. The results show that the average sediment accumulation rate into the ten basins in Quaternary, Neogene and Paleogene are $9.85 \times 10^5 \sim 1.96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, $4.48 \times 10^5 \sim 8.27 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ and $1.62 \times 10^6 \sim 2.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$. Considering the coupling relations between Dabie orogen and its adjacent Cenozoic basins, we assume that all the sediments are from the Dabie orogen and all the material eroded from Dabie orogen are deposited in the ten basins. Then the average eroded depth of Dabie orogen since Cenozoic is 2.1~2.95km. The average erosion rate is 32~49mm/ka in Cenozoic. The erosion rate of Dabie orogen is approximately equivalent to the exhumation rate based on low temperature thermalchronological data, showing that the Dabie orogen has reached the steady state in Cenozoic.

Key words: Cenozoic; Dabie orogen; mass balance; erosion

