

# 大别造山带北部石竹河片麻岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义\*

谢智<sup>1</sup> 陈江峰<sup>1</sup> 张巽<sup>1</sup> 高天山<sup>2</sup> 戴圣潜<sup>2</sup> 周泰禧<sup>1</sup> 李惠民<sup>3</sup>

1. 中国科学技术大学地球和空间科学系化学地球动力学研究实验室, 合肥 230026;

2. 安徽省地质调查院, 合肥 230001; 3. 天津地质矿产研究所, 天津 300170.

1. *Laboratory for Chemical Geodynamics, Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;*

2. *Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China;*

3. *Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Tianjin 300170, China*

2000-09-25 收稿, 2000-10-27 改回.

XIE Zhi, CHEN JianFeng, ZHANG Xun, GAO TianShan, DAI ShengQian, ZHOU TaiXi and LI HuiMin. 2001. Zircon U-Pb dating of gneiss from Shizhuhe in North Dabie and its geologic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 139—144

**Abstract** The zircon U-Pb age of a monzogneiss from Shizhuhe in North Dabie was dated. The results indicate that the protolith of the gneiss was formed at  $707 \pm 42$ Ma, and the rock underwent metamorphism at  $229 \pm 18$ Ma. The ages suggest that the Indosinian metamorphism of the Dabie orogen affected not only the metamorphic rocks in South Dabie, and also some rocks in North Dabie. The gneiss with Indosinian metamorphic age, the occurrence of eclogites and eclogite-facies relics in North Dabie suggest that North Dabie was a part of the subducted block as the South Dabie. The suture line between North China Block and Yangtze Block may be in the north of Dabie orogen.

**Key words** Gneiss, Zircon U-Pb dating, Ultra-high pressure metamorphism, Indosinian, Dabie orogenic belt

**摘要** 大别造山带北部石竹河二长片麻岩的锆石 U-Pb 年龄测定结果表明,其原岩形成时代为  $707 \pm 42$ Ma,在  $229 \pm 18$ Ma 曾受到高温变质作用。这一结果表明印支期变质作用不仅反映在大别造山带南部的变质岩中,而且造山带北部的部分变质岩也保存了这一重要记录。大别造山带北部存在印支期变质年龄的片麻岩、榴辉岩或残留相表明,该地块与造山带南部一样是印支期板块俯冲碰撞中俯冲板块的一部分。华北和扬子板块的碰撞缝合线可能位于大别造山带的北侧。

**关键词** 片麻岩; 锆石 U-Pb 定年; 超高压变质; 印支期; 大别造山带

中图法分类号 P597.3; P588.345

## 1 前言

大别-苏鲁造山带为华北板块和扬子板块印支期碰撞造山的产物,大别造山带从北到南分别为北淮阳复理石带、北大别杂岩带、超高压变质带和宿松变质带 (Cong *et al.*, 1994; Dong *et al.*, 1998; Liou *et al.*, 1995),有时也将超高压变质带和宿松变质带合称为南大别变质带。

目前普遍的观点认为大别造山带北部与超高压变质带在岩石学和地球化学上有明显的差别 (Dong *et al.*, 1998;

Chen and Jahn, 1998; Liou *et al.*, 1995; 李曙光等, 1994; 谢智等, 1996)。如北大别杂岩带以 TTG 片麻岩为主 (Zhai *et al.*, 1994),超高压变质带以花岗片麻岩为主;基性超基性岩分布限于北大别杂岩带,而榴辉岩等超高压变质岩主要分布于超高压变质带中;北大别变质带中除了在饶拔寨和高坝岩的石榴辉石岩中获得印支期的年龄外 (李曙光等, 1989),很少印支期年龄记录的报导,而超高压变质带中有大量印支期变质年龄的记录;大别北部和南部的冷却历史也不相同。

一些作者认为北大别杂岩带中 TTG 片麻岩是晚中生代侵入的岩浆杂岩 (Xue *et al.*, 1997; Hacker *et al.*, 1998),

\* 国家自然科学基金(No. 49794042)和前地矿部重大基础项目(No. 951102-3-2)资助项目。

第一作者简介: 谢智, 男, 1969 年生, 博士, 讲师, 地球化学专业。E-mail: xzie@ustc.edu.cn

但多数研究者认为其原岩形成于晋宁期岩浆活动,受到燕山期构造热事件的强烈影响(刘贻灿等,1999;Xie *et al.*, 1998)。大别造山带南部高压超高压片麻岩的定年结果表明,其原岩形成时代为晋宁期,在印支期(约 220~245Ma)经受了超高压变质作用(李曙光等,1997;Ames *et al.*, 1996; Rowley *et al.*, 1997; Li *et al.*, 2000)。

最近在大别造山带北部的填图工作发现大别造山带北部存在榴辉岩,其变质演化阶段与大别南部的榴辉岩可以对比(Wei *et al.*, 1998; Tsai and Liou, 2000; Xu *et al.*, 2000);在大别造山带北部石竹河-大山坑一带的片麻岩的锆石蒸发法年龄为 220Ma 左右(汤加富,个人交流),与超高压地块中超高压岩石的峰期变质时代一致。这些发现对目前为较多人接受的南、北大别的区分提出了挑战。大别造山带北部榴辉岩的成因目前仍处于争论阶段,但这些榴辉岩的发现可能会模糊南、北大别的分界,并迫使研究人员重新认识大别造山带的构造格局。本文对大别造山带北部石竹河地区片麻岩的锆石 U-Pb 年代学研究结果支持这种论点。

## 2 地质背景与样品

大别造山带为中国东部重要的地质和地理分界,由于其中超高压变质的岩石和矿物的发现,使之成为地质研究的热点地区之一。Cong *et al.* (1994)、Zhang *et al.* (1996)和 Dong *et al.* (1998)认为北大别杂岩带与超高压变质带之间的五河-水吼断裂为碰撞缝合线,北大别杂岩带为仰冲盘,通常以晓天-磨子潭断裂作为北大别变质杂岩的北界。Hacker *et al.* (1998)认为碰撞缝合线应位于北大别杂岩带北缘。北大别杂岩带中正片麻岩占整个杂岩体体积的 80% (郑祥身等,1999),经历了角闪岩相变质作用,局部地区变质相达到麻粒岩相。

在大别造山带北部潜山县的石竹河地区,分布一套变质变形的岩浆侵入体,岩性组合为片麻状花岗岩、二长花岗片

麻岩等(图 1),侵入于北大别杂岩带的表壳岩中,并被燕山晚期未变形花岗岩侵入。样品 DB454 的位置接近大山坑。

根据野外观察和镜下薄片研究,DB454 为二长花岗片麻岩,片麻状构造,粒状变晶结构,主要矿物组合为条纹长石(35%)、斜长石(35%)、石英(20%)和少量的黑云母(绿泥石化)及锆石、磷灰石、不透明矿物。矿物曾受到较强的动力变质作用影响,片状矿物呈定向排列,石英有压碎和强烈的波状消光。

## 3 分析方法与结果

在本文中,采用颗粒锆石同位素稀释法进行年龄测定。样品破碎、锆石分选、化学分离和质谱测定均由天津地质矿产研究所同位素室完成。化学分离采用改进的 Krough (1973)的流程,质谱计为 VG-354 (加 Delay 放大器),使用  $^{205}\text{Pb}+^{235}\text{U}$  混合稀释剂。扣除的普通 Pb 同位素组成取大别造山带中生代岩浆岩的平均组成(张理刚等,1995)。其中  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  结果已对实验空白和稀释剂做过校正,U-Pb 同位素分析结果列于表 1。数据处理和作图采用 Ludwig 提供的 PBDAT 和 ISOPLOT 程序(Ludwig, 1994; 个人交流)。分析过程中 Pb 的本底为 30pg,U 的本底为 1pg。样品 DB454 共测定了 9 个点,除了 2 和 3 点外,均为长柱状锆石,且纯净透明,反映这些锆石是岩浆成因。根据表 1 中的数据,测定的 9 个点中,除了 2 和 6 外,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比值均高于 700,甚至接近 5000,表明这些数据结果受普通 Pb 的影响较小,年龄结果可靠(Zheng, 1992)。为清楚地表现下交点年龄,这里采用  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  谐和图(Tere and Wasserburg, 1972),在图上(图 2),这些点构成一条很好的不一致线,给出下交点年龄  $229\pm 18\text{Ma}$ ;上交点年龄  $707\pm 42\text{Ma}$ 。根据这个结果,可以推测上交点年龄代表其原岩形成时代,而下交点年龄反映其后期所经历的地质事件。

表 1 石竹河二长片麻岩(DB454)锆石 U-Pb 测定及计算结果

Table 1 The results of zircon U-Pb dating of the Shizhuhe gneiss (DB454)

样号	锆石特征*	质量** ( $\mu\text{g}$ )	浓度		普通 Pb (pg)	同位素原子比 <sup>+</sup>				表面年龄 (Ma)		
			Pb ( $\mu\text{g/g}$ )	U ( $\mu\text{g/g}$ )		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (2 $\sigma$ )	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (2 $\sigma$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (2 $\sigma$ )	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (2 $\sigma$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ( $\pm$ )	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ( $\pm$ )	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ( $\pm$ )
1	ly,t,l	15	44	832	7.7	4982(59)	.0546(6)	.0502(6)	.3785(64)	316(4)	326(6)	398(4)
2	ly,t,s	10	24	469	61	204.4(7.3)	.0527(22)	.0399(14)	.2903(168)	252(15)	259(15)	318(13)
3	ly,t,s	10	30	731	15	1270(30)	.0534(12)	.0418(10)	.3079(105)	264(6)	273(9)	346(8)
4	y,t,l	30	31	470	20	2715(24)	.0587(4)	.0628(5)	.5086(58)	393(3)	417(5)	557(4)
5	y,t,l	20	32	347	46	773.8(9.9)	.0604(7)	.0827(11)	.6885(124)	512(7)	532(10)	618(7)
6	y,t,l	20	57	734	130	504.0(7.7)	.0591(12)	.0683(10)	.5561(145)	426(6)	449(12)	570(12)
7	ly,t,l	20	47	597	30	1795(16)	.0598(4)	.0720(6)	.5938(69)	448(4)	473(6)	595(4)
8	ly,t,l	20	30	443	14	2449(31)	.0583(7)	.0633(8)	.5095(94)	396(5)	418(8)	542(6)
9	ly,t,n	15	30	419	2	10731(186)	.0590(9)	.0662(12)	.5386(128)	413(7)	438(10)	568(8)

\* ly,浅黄色; y,黄色; t,透明; l,长柱状(长宽比约 2~2.5:1); S,短柱状(长宽比 1:1); n,针状

\*\* 为估计值 +括弧内为误差

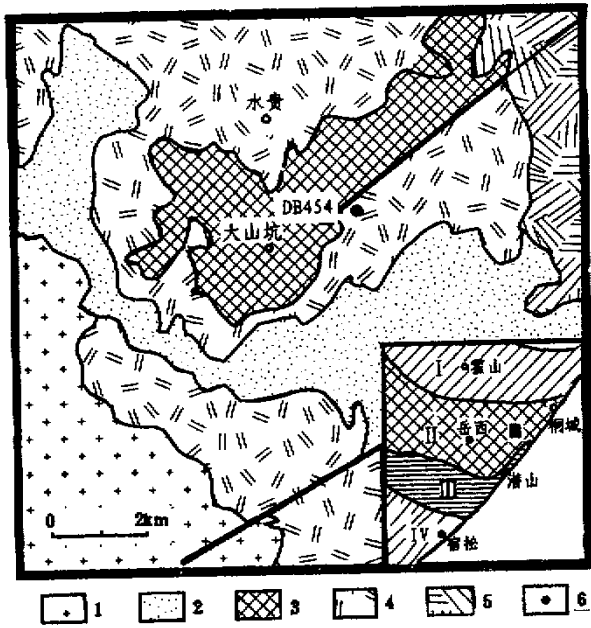


图 1 石竹河地区地质略图及采样点位置

1. 燕山晚期花岗岩; 2. 似斑状花岗岩; 3. 弱片麻状花岗岩;  
4. 二长花岗质片麻岩; 5. 辉长岩; 6. 采样点。

插图为大别造山带岩石-构造单元划分简图

I. 北淮阳复理石带; II. 北大别杂岩带; III. 超高压变质带;  
IV. 宿松变质带

Fig. 1 The geologic sketch of the Shizhuhe area and the sampling location

## 4 讨论

大别造山带南部超高压变质岩的峰期变质时代为印支期已为较多的研究人员所接受。Li *et al.* (2000) 认为超高压变质时代很可能为  $226 \pm 3$  Ma。一般认为, 超高压岩石在经历洋壳俯冲、陆壳俯冲和陆陆碰撞, 俯冲到地下 100 km 深度, 经历超高压变质作用后, 快速折返回到地壳水平。最近的研究工作表明, 在大别造山带南部的超高压变质带中, 不仅榴辉岩和副片麻岩经历了超高压变质作用, 区域花岗片麻岩也曾经历超高压变质作用 (Carswell *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2000)。Ye *et al.* (2000) 在苏鲁地区的研究结果也表明, 该地区区域花岗片麻岩也曾遭受超高压变质作用的影响。在大别造山带南部大面积分布的区域片麻岩的锆石 U-Pb 定年结果表明, 其原岩形成时代范围为 600~800 Ma, 由于受到印支期超高压变质作用的影响, 给出不一致曲线的下交点年龄为 220~230 Ma 左右 (Hacker *et al.*, 1998; Rowley *et al.*, 1997; 谢智, 1998<sup>①</sup>)。

在俯冲-折返模式中, 大别造山带南部为俯冲块体, 北大

别地块为仰冲盘。北部的岩石中没有超高压变质作用的印记, 却表现出普遍而强烈的燕山晚期岩浆活动的记录 (Xue *et al.*, 1997; Hacker *et al.*, 1998)。

在大别造山带北部, 早有印支期变质年龄的报导, 李曙光等 (1989) 获得造山带北部饶拔寨 C 型榴辉岩的 Sm-Nd 矿物内部等时线年龄  $244 \pm 6$  Ma, 证明其经历了印支期变质作用。Wei *et al.* (1998) 在大别造山带北部发现了榴辉岩滚石, 已经给出了一个信号, 即大别造山带北部也存在超高压变质岩石。嗣后, Xu *et al.* (2000) 和 Tsai and Liou *et al.* (2000) 陆续在北大别杂岩带中鉴定出榴辉岩及其残留体。对大别造山带北部的榴辉岩的 Sm-Nd 定年结果表明, 它们的峰期变质时代与分布在南部的超高压变质岩是一致的, 其岩石学和地球化学特征也是相似的 (刘贻灿, 2000<sup>②</sup>), 这些榴辉岩中迄今尚未发现柯石英等超高压变质矿物。此外, 刘贻灿也观测到在大别北部英云闪长质片麻岩中锆石有 226 Ma 的年龄<sup>②</sup>。这些年龄结果表明, 大别造山带北部的正片麻岩也受到印支期变质作用的影响。而根据 Dong *et al.* (1998) 和 Liou *et al.* (1995) 的模式, 华北和扬子两地块碰撞的缝合线位置是五河-水吼断裂。既然在大别造山带北部也发现与南部相当的印支期变质的榴辉岩及区域片麻岩, 可以推测, 大别造山带北部和南部一样是俯冲板块的一部分, 碰撞缝合线的位置应比原先的假设向北推移, 这一观点似与 Okay *et al.* (1993)、Hacker *et al.* (1998)、Tsai and Liou (2000) 以及徐树桐等 (1992) 的观点一致。但已有的地球化学和岩石学结果仍表明, 大别造山带北部和南部有显著差别, 如两者的钕同位素模式年龄、岩石组合、物质来源和冷却历史等都不相同。因此, 关于在扬子板块向北俯冲时二者的关系, 仍需要作更多的研究工作。

现今, 在大别造山带南部, 有很多保存印支期变质年龄的超高压变质岩出露, 而在造山带北部, 只有一条呈近东西向不连续分布的印支期榴辉岩和区域片麻岩出露。无论采用“外来”模式或“就地”模式, 榴辉岩和超高压岩石成岩片、透镜体等被包裹在区域片麻岩中是不争的事实。这种分布特征表明造山带北部和南部在超高压岩石折返后, 可能曾经遭受了不同程度的剥蚀。此外造山带北部强烈的燕山晚期岩浆活动也可能使部分曾经历超高压变质作用的岩石的同位素体系受到显著改造。这可以部分地解释为什么北大别杂岩带中常常缺乏印支期超高压变质作用的年代学记录。而石竹河片麻岩的约 230 Ma 的锆石 U-Pb 年代学记录说明此片麻岩的 U-Pb 体系在燕山晚期强烈岩浆活动中受没有到改造。在造山带北部岳西石关的花岗片麻岩样品 DB123 的锆石 U-Pb 年龄数据中 (谢智等, 待刊), 既有接近谐和的印支期年龄,

① 谢智, 1998. 大别-苏鲁造山带岩石的锆石 U-Pb 年龄. [博士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学。

② 刘贻灿, 2000. 大别山北部榴辉岩的岩石学、地球化学和同位素年代学研究. [博士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学。

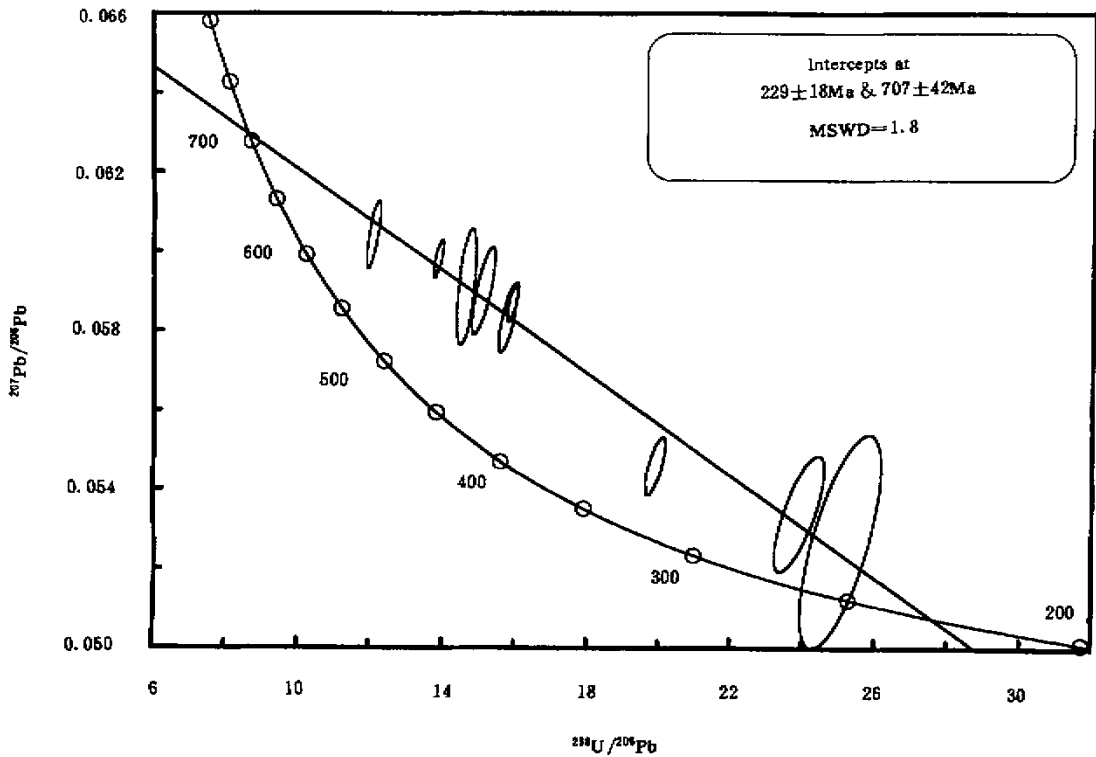


图 2 片麻岩样品 DB454 的锆石 U-Pb 谐和曲线图

Fig. 2 The zircon U-Pb concordia of gneiss sample DB454

也有接近谐和的燕山期年龄,甚至有部分具元古代年龄的锆石,但这些数据点不能构成好的等时线,表明该样品受到燕山晚期热事件的改造并不彻底,仍有部分较老的年龄信息残留。由此可见,北大别杂岩带中 TTG 片麻岩的同位素体系并非象以前认识那样都在燕山晚期岩浆活动中彻底重置,许多样品仍可能保存了 130Ma 以前的年龄记录。

## 5 结论

大别造山带北部石竹河地区的正片麻岩给出可靠的锆石 U-Pb 年龄,反映该岩石也曾受到印支期超高压变质作用的影响,而且这一年龄记录未受到后来燕山晚期岩浆活动的扰动,较好地保存下来。这一数据表明大别造山带北部的 TTG 片麻岩并非前人认为是燕山晚期侵位形成的,其原岩形成时代应为晋宁期。大别造山带北部存在印支期变质年龄的片麻岩、榴辉岩或残留相表明,该地块与造山带南部一样是印支期板块俯冲碰撞中俯冲板块的一部分。

致谢 本文在成文过程中,承蒙常印佛院士、郑永飞教授、李曙光教授、唐永成高工、汤加富高工、董树文博士深入讨

论,并提出宝贵的修改意见;论文承蒙翟明国研究员和李曙光教授审阅,特此致谢。另外,本研究在野外采样中得到安徽省地调院汤加富高工的大力协助;在样品年龄测定中得到天津地矿所周红英女士的帮助,在此表示衷心感谢。

## References

- Ames L, Zhou G Z and Xiong B C. 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, central China. *Tectonics*, 15: 472-489
- Carswell D A, Wilson R N and Zhai Ma. 2000. Metamorphic evolution, mineral chemistry and thermobarometry of schists and orthogneisses hosting ultra-high pressure eclogites in the Dabieshan of central China. *Lithos*, 52: 121-155
- Chen JF. and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 284: 101-133
- Cong BL, Wang QC, Zhai MG, *et al.* 1994. UHP metamorphic rocks in the Dabie-Sulu region, China: Their formation and exhumation. *The Island Arc*, 3:135-150
- Dong SW, Chen JF and Huang DZ. 1998. Differential exhumation of

- tectonic units and ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie Mountains, China. *The Island Arc*, 7: 173–185
- Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, Ireland T, Walker D and Dong SW. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 161: 215–230
- Krogh T E. 1973. A low contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37: 485–494
- Li SG, Hart S R, Zheng SG, Guo AL, Liu DL and Zhang GW. 1989. Timing of collision between the north and south China blocks — The Sm-Nd isotopic age evidence. *Science in China (series B)*, 32: 1391–1400 (in Chinese)
- Li SG, Liu DL, Chen YZ and Zhang ZQ. 1994. The Nd isotope composition in crustal margin of Yangtze Block and its geological significance. *Geochimica*, 23(supplement): 10–16 (in Chinese)
- Li SG, Li HM, Chen YZ, Xiao YL and Liu DL. 1997. The UHP metamorphic geochronology of Dabie Mountain-Sulu terrain-II. zircon U-Pb isotope system. *Science in China (series D)*, 27: 200–206 (in Chinese)
- Li SG, Jagoutz E, Chen YZ and Li QL. 2000. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, Central China. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64(6): 1077–1093
- Liu YC, Xu ST, Jiang LL, Chen GB, Wu WP and Su W. 1999. Petrologic-geochemical characteristics and paleo-tectonic significance of the inter-mediate-acid gneisses from the metamorphosed mafic-ultramafic belt in the northern Dabie Mountains. *Geotectonica et Metallogenia*, 23(3): 222–229 (in Chinese with English abstract)
- Liou J G, Wang Qc, Zhai Ma, Zhang RY and Cong BL. 1995. Ultrahigh-P metamorphic rocks and their associated lithologies from the Dabie mountains, Central China: A field trip guide to the 3rd international eclogite field symposium. *Chinese Science Bulletin*, 40(supplement): 1–40
- Ludwig K R. 1994. Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic-isoplot date version 2.75. USGS open-file report 91–445
- Okay AL, Sengor AMC and Satir M. 1993. Tectonics of an ultrahigh-pressure metamorphic terrane: the Dabie Shan/Tongbai Shan orogen, China. *Tectonics*, 12: 1320–1334
- Rowley D B, Xue F, Tucker R D, Peng ZX, Baker J and Davis A. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and protolith orthogneisses from the eastern Dabie Shan: U/Pb zircon geochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 151: 191–203
- Tera F and Wasserburg G J. 1972. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 14: 281–304
- Tsai CH and Liou J G. 2000. Eclogite-facies relics and inferred ultrahigh-pressure metamorphism in the North Dabie Complex, central-eastern China. *American Mineralogist*, 85: 1–8
- Wei CJ, Shan ZG, Zhang LF, Wang SG, Chang ZG. 1998. Determination and geological significance of the eclogites from the northern Dabie Mountains, central China. *Chinese Science Bulletin*, 43(3): 253–256
- Xie Z, Chen JF, Zhou TX and Zhang X. 1996. Nd Isotopic compositions of metamorphic and granitic rocks from Dabie orogen and their geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 12(3): 401–408 (in Chinese with English abstract)
- Xie Z, Chen JF, Zhou TX, Li HM, Zuo YC and Zhou HY. 1998. U-Pb zircon ages of the rocks in the North Dabie Terrain, China. *Scientia Geologica Sinica (oversea edition)*, 7(4): 501–511
- Xie Z, Wang ZR, Zhen YF, Chen JF, Zhang X. 2001. The mineral O isotopic equilibrium of Zhubuyuan granite and gneiss in the North Dabie Mountains and the Rb-Sr geochronologic affection. *Geochimica*, 30(1): in press (in Chinese with English abstract)
- Xu ST, Jiang LL, Liu YC and Zhang Y. 1992. Tectonic framework and evolution of the Dabie mountains in Anhui, eastern China. *Acta Geologica Sinica*, 5: 221–238 (in Chinese with English abstract)
- Xu S, Liu Yc, Su W *et al.* 2000. Discovery of the eclogite and its petrography in the Northern Dabie Mountain. *Chinese Science Bulletin*, 45(3): 273–278
- Xue F, Rowley D B, Tucker R D and Peng ZX. 1997. U-Pb zircon ages of granitoid rocks in the north Dabie Complex, eastern Dabie Shan, China. *The Journal of Geology*, 105: 744–753
- Ye K, Yao YP, Katayama I, Cong BL, Wang QC and Maruyamas. 2000. Large areal extent of ultrahigh-pressure metamorphism in the Sulu ultrahigh-pressure terrane of East China: new implications from coesite and omphacite inclusions in zircon granitic gneiss. *Lithos*, 52: 157–164
- Zhai MG, Cong BL, Zhang Q, and Wang Qc. 1994. The northern Dabieshan terrain: a possible Andean-type Arc. *International Geology Review*, 36: 867–883
- Zhang LG *et al.* 1995. Block geology of eastern Asia lithosphere-isotope geochemistry and dynamics of upper mantle, basement and granites. Beijing: Science Press. 56 (in Chinese)
- Zhang R Y, Liou J G and Tsai C H. 1996. Petrogenesis of a high-temperature metamorphic terrane: a new tectonic interpretation for the north Dabieshan, central China. *Journal of Metamorphic Geology*, 14: 319–333
- Zheng XS, Jin CW, Zhai MG and Shi YH. 1999. Petrochemistry and tectonic background of the gray gneisses in north Dabie terrane. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 350–358 (in Chinese with English abstract)
- Zheng YF. 1992. The three-dimensional U-Pb method: Generalized models and implications for U-Pb two-stage systematics. *Chemical Geology*, 100: 3–18

#### 附中文参考文献

李曙光, Hart S R, 郑双根, 郭安林, 刘德良, 张国伟. 1989. 中国华

- 北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据. 中国科学, B 辑, 32: 1391—1400
- 李曙光, 刘德良, 陈移之, 张宗清. 1994. 扬子陆块北缘地壳的钕同位素组成及其构造意义. 地球化学. 23(增刊): 10—16
- 李曙光, 李惠民, 陈移之, 肖益林, 刘德良. 1997. 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学——II. 锆石 U-Pb 同位素体系. 中国科学(D 辑). 27(3): 200—206
- 刘贻灿, 徐树桐, 江来利, 陈冠宝, 吴维平, 苏文. 1999. 大别山北部中酸性片麻岩的岩石地球化学特征及其古大地构造意义, 大地构造与成矿学. 23(3): 222—229
- 谢智, 陈江峰, 周泰禧, 张巽. 1996. 大别造山带变质岩和花岗岩的钕同位素组成及其地质意义. 岩石学报. 12(3): 401—408
- 谢智, 王峥嵘, 郑永飞, 陈江峰, 张巽. 2001 北大别主簿源花岗岩和片麻岩矿物的氧同位素平衡及其年代学效应, 地球化学, 30(1): 印刷中
- 徐树桐, 江来利, 刘贻灿, 张勇. 1992. 大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程. 地质学报. 66(1): 1—14
- 张理刚等. 1995. 东亚岩石圈块体地质——上地幔、基底和花岗岩同位素地球化学及其动力学. 北京: 科学出版社. pp56.
- 郑祥身, 金成伟, 翟明国, 石永红. 1999. 北大别灰色片麻岩的岩石化学特征及大地构造背景. 岩石学报 15(3): 350—358