

东秦岭西坝花岗岩体及其脉岩的地球化学特征

张成立¹, 罗静兰¹, 李 森¹, 王 煜²

(1. 西北大学 大陆动力学教育部重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 陕西咸阳市勘察测绘研究院, 陕西 咸阳 712000)

摘要:通过秦岭西坝花岗岩体及邻区脉岩体的岩石学、地球化学研究,探讨了秦岭造山带中生代期间由全面碰撞转入陆内造山的深部动力学过程。研究表明:西坝花岗岩体及花岗斑岩脉具类似于埃达克质岩高 Sr(Ba), 低 Y 和 Yb, 以及高 Sr/Y, La/Yb, Eu 异常微弱的地球化学特征, 反映其形成于地壳厚度增大的地质背景; 闪长玢岩脉代表地壳减薄背景的产物。它们的形成指示秦岭造山带印支晚期到燕山早期地壳增厚, 嗣后发生下地壳折沉的重要转换过程。

关键词:西坝花岗岩; 斑岩脉; 地球化学; 地壳增厚; 东秦岭

中图分类号: P588.121 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-274 X (2002)04-0384-05

秦岭造山带历经长期复杂演化于中三叠世由其南、北两侧的华北、扬子两大板块最终碰撞造山, 而后转入陆内造山作用阶段^[1,2]。伴随这一过程, 在东秦岭西部的陕西商州市以西发育大量印支期复式花岗岩体群, 成为秦岭造山带碰撞造山向陆内造山作用转换过程最直接的物质记录。研究这些岩浆侵入体, 可为揭示这一构造转换过程及其深部动力学过程提供重要证据。本文通过该岩浆活动的产物西坝花岗岩体及其邻区中酸性脉岩体的岩石、地球化学特征的研究, 对该过程作一探讨。

1 岩体地质概况及岩石学特征

西坝花岗岩体出露于南秦岭构造带陕西境内太白县和留坝县交界的西坝—太白河地区, 呈透镜状, 沿 NW 向展布, 为一侵入于晚古生代地层内的复式花岗岩体。该区的脉体集中分布于西坝花岗岩体内西端及西北部地层内, 以花岗斑岩脉和闪长玢岩脉最为多见。花岗斑岩脉体一般宽 5~30 m, 长 50~1 000 m, 明显受区域构造线控制, 沿 NWW 向分布。闪长玢岩脉除在岩体内少量发育外, 集中出现在

西坝岩体西北部的二里河地区, 多顺 NE 向断裂或节理侵入, 并见有切穿花岗斑岩脉的现象。

西坝岩体由狮子岭和太白河两个序列构成。狮子岭序列岩石以偏酸性为主, 主体由花岗闪长岩和黑云母花岗岩组成, 其次有二长花岗岩出现。太白河序列相对偏基性, 以石英闪长岩为主。狮子岭序列占据岩体主体 80%, 岩石矿物组合为钾长石(25%~40%)、斜长石(15%~35%; An=22~23)、石英(15%~30%)和黑云母(<10%), 并出现有角闪石(5%~8%)矿物。花岗斑岩体为浅色花岗岩, 具斑状结构, 斑晶为更长石(5%)及少量石英(3.5%)和钾长石(2%), 基质主要为细小长英质矿物。闪长玢岩脉呈深灰色, 斑状结构, 斑晶主要为斜长石和黑云母, 基质具显微半自形粒状结构, 粒度<0.1 mm, 由斜长石和少量黑云母、石英等组成, 此外有微量磷灰石和金属矿物。

2 地球化学特征

2.1 主元素

西坝岩体狮子岭序列岩石的 $w(\text{SiO}_2) =$

收稿日期: 2001-12-26

基金项目: 教育部高等学校骨干教师资助项目[教技司(2000)143号]; 西部高等学校访问学者项目; 陕西省自然科学基金资助项目(97D05)

作者简介: 张成立(1956-), 男, 河南滑县人, 西北大学副教授, 从事岩石学及地球化学研究。

63.32%~71.63%, $Na_2O/K_2O = 0.84 \sim 1.49$, $w(K_2O+Na_2O) = 6.36\% \sim 8.54\%$, $w(Al_2O_3) = 14.72\% \sim 17.15\%$, $w(MgO) = 0.49\% \sim 2.85\%$, $w(CaO) = 1.61\% \sim 4.51\%$ 。太白河序列的 $w(SiO_2) = 53.38\% \sim 62.78\%$, $w(K_2O+Na_2O) = 4.32\% \sim 7.31\%$, $Na_2O/K_2O = 0.75 \sim 2.61$, $w(Al_2O_3) = 14.18\% \sim 16.86\%$, $w(MgO) = 3.12\% \sim 7.21\%$, $w(CaO) = 3.98\% \sim 8.59\%$ 。花岗斑岩的 $w(SiO_2) = 74.13\% \sim 74.81\%$, $w(K_2O+Na_2O) = 7.62\% \sim 7.92\%$, $Na_2O/K_2O = 0.90 \sim 1.02$, $w(Al_2O_3) = 13.68\% \sim 14.27\%$, $w(MgO) = 0.07\% \sim 0.12\%$, $w(CaO) = 0.61\% \sim 0.95\%$ 。闪长玢岩脉的 $w(SiO_2) = 48.24\% \sim 57.92\%$, $w(K_2O+Na_2O) = 2.55\% \sim 6.03\%$, $Na_2O/K_2O = 1.87 \sim 6.29$, $w(Al_2O_3) = 11.83\% \sim 15.5\%$, $w(MgO) = 3.33\% \sim 11.09\%$, $w(CaO) = 4.97\% \sim 8.19\%$ 。因此,西坝岩体的化学成分具 I 型花岗岩成分变化大的特征。其中:狮子岭序列岩石硅高,变化大,富钠,高铝,低镁;太白河序列岩石偏基性,硅、碱低,钙、镁高;花岗斑岩则硅高,钠、铝和镁低;闪长玢岩脉显示了碱低,钠高,铝低,钙、镁高的特征。

2.2 稀土元素及微量元素

西坝岩体及脉岩类岩石均呈现轻、重稀土高度

分馏,并具微弱铈异常的右倾稀土谱型(见图 1)。但是,西坝岩体岩石稀土总量(狮子岭序列与太白河序列 ΣREE 分别为 $104 \times 10^{-6} \sim 185 \times 10^{-6}$ 和 $102.92 \times 10^{-6} \sim 167.14 \times 10^{-6}$) 明显高于花岗斑岩脉 ($\Sigma REE = 88.11 \times 10^{-6} \sim 104.37 \times 10^{-6}$),轻、重稀土分馏 ((La/Yb)_N 分别为 14.5~29.0 和 8.28~29.02),弱于花岗斑岩脉 ((La/Yb)_N = 174.32~221.26),Eu 异常 (δEu 分别为 0.68~1.41 和 0.76~1.41),较花岗斑岩明显 ($\delta Eu = 0.97 \sim 1.15$)。花岗斑岩脉低的稀土总量和轻、重稀土强烈分馏表明,花岗斑岩脉体与西坝花岗岩体非同源岩浆演化的产物。但是,它们共同的特征是轻、重稀土高度分馏,重稀土元素高度贫化,指示形成岩浆源区的残留物存在与熔体相平衡的石榴石矿物,轻、重稀土分馏程度的明显差异暗示二者熔融源区残余相中石榴石矿物含量不同。闪长玢岩脉的 $\Sigma REE = 119.19 \times 10^{-6} \sim 221.61 \times 10^{-6}$, (La/Yb)_N = 14.91~27.50, $\delta Eu = 0.95 \sim 1.11$ 。尽管闪长玢岩脉的稀土谱型(见图 1)和轻、重稀土分馏程度与西坝花岗岩相似,但其很高的稀土总量和弱 Eu 异常表明该岩脉与西坝花岗岩体及花岗斑岩脉绝非同源岩浆的演化产物,其形成过程也不尽相同。

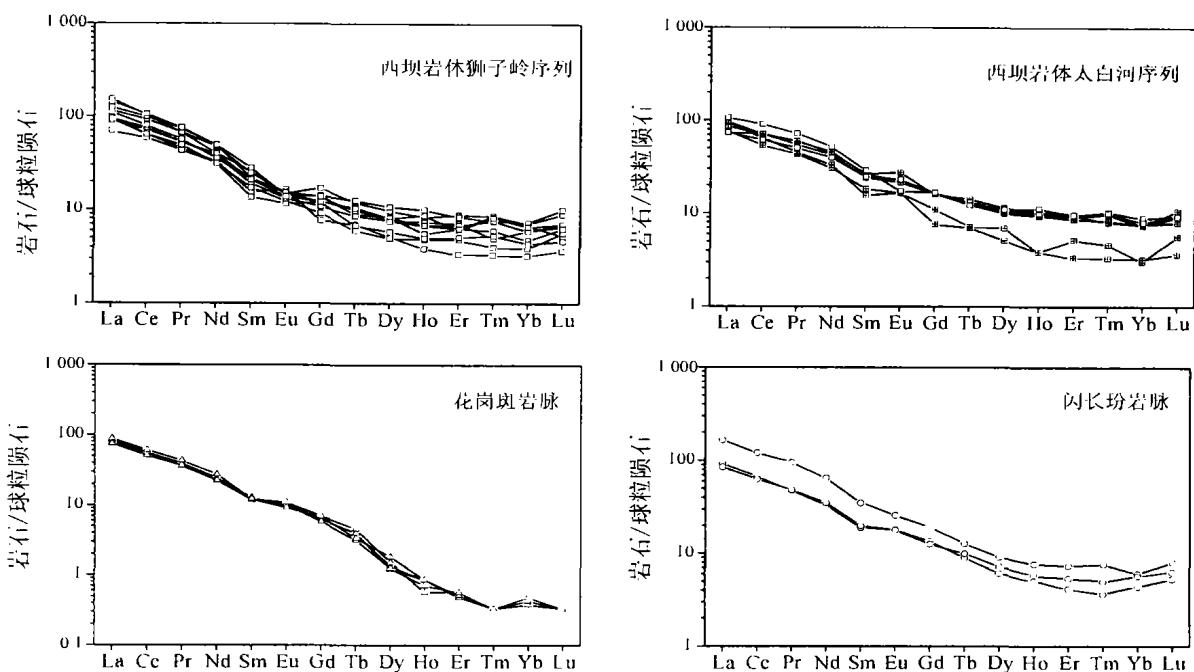


图 1 西坝岩体及脉岩稀土元素稀土模式

Fig. 1 Chondrite-normalized REE patterns for Xiba granite, porphyry and porphyrite

西坝岩体及邻区脉岩类的微量元素均显示相对一致的富集 LILE, 贫 HFSE, 并具 Sr(或 Ba)的峰,

Nb, Ti 成谷的特征(见图 2)。但是,花岗斑岩体岩石的 Y, Yb 及 Ti 等元素更为亏损(见图 2),表明花岗

斑岩脉源区的残余石榴石矿物含量更高,而且岩浆演化过程发生有 Fe-Ti 氧化物等富 Ti 矿物,而无

(或微量)斜长石矿物相的结晶分离作用。

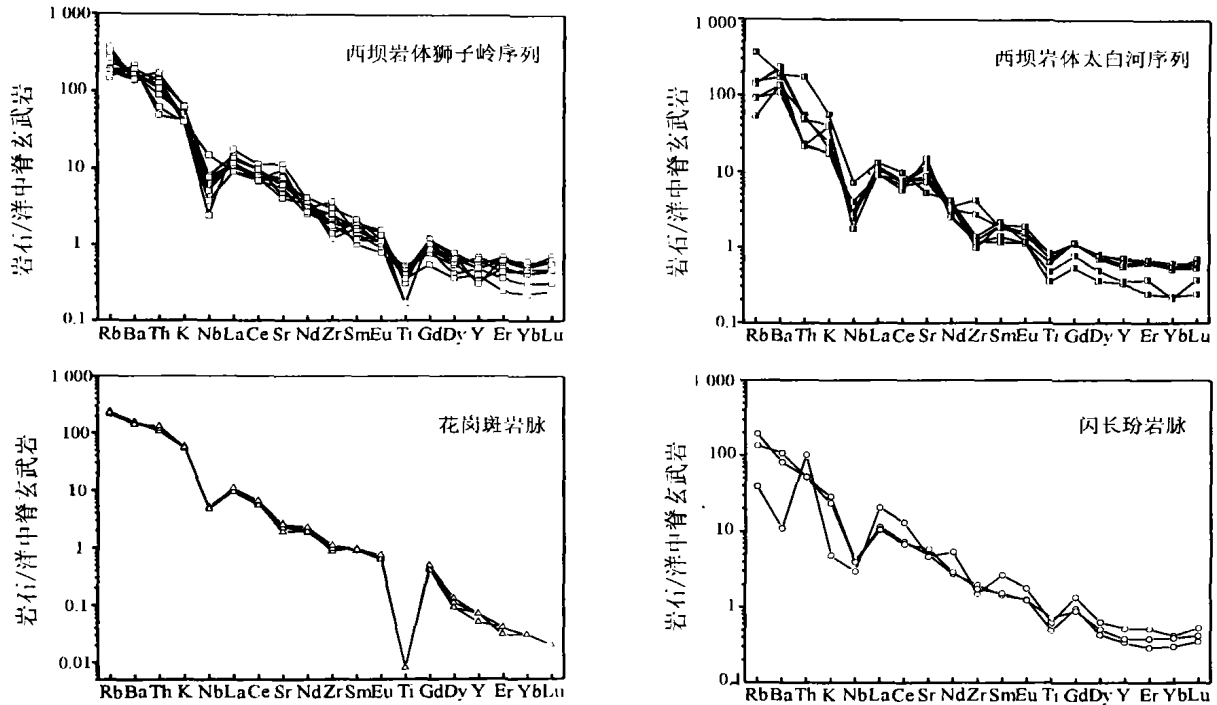


图 2 微量元素的 MORB 标准化图

Fig. 2 MORB-normalized patterns for Xiba granite and granite, porphyry and porphyrite

3 讨论

西坝岩体岩石及脉岩类均显示高 Sr(Ba)、低 Y

和 Yb,以及高 Sr/Y,La/Yb, Eu 异常微弱(见表 1)的特征,并以西坝花岗岩和花岗斑岩脉最为明显,一定程度上与埃达克岩(Adakite)或高 Ba, Sr 花岗岩地球化学特征相类似^[3~9]。

表 1 西坝花岗岩体及脉岩和埃达克岩地球化学特征值

Tab. 1 Geochemical values of Xiba granite, porphyry dykes and adakites

地化参数	狮子岭序列	太白河序列	花岗斑岩	闪长玢岩	埃达克岩
w(Si ₂ O)/%	63.32~71.63	53.38~62.78	74.13~74.81	48.24~57.92	≥56.00
w(Al ₂ O ₃)/%	14.72~17.15	14.18~16.86	13.68~14.01	11.83~15.50	≥15.00(很少<15.0)
Na ₂ O/K ₂ O	0.84~1.49	0.75~2.61	0.90~1.02	1.87~6.29	>2.00
w(MgO)/%	0.49~2.85	3.12~7.21	0.07~0.12	3.33~11.09	<3.00(很少>6.00)
Y/10 ⁻⁶	8.45~19.12	9.36~20.18	1.38~1.94	9.43~14.59	≤18.00
Yb/10 ⁻⁶	0.68~1.54	0.64~1.87	0.08~0.10	0.92~1.27	≤1.90
Sr/10 ⁻⁶	372.68~1 025.1	478.21~1 362.1	170~238	454.5~541.66	>400(很少<400)
Sr/Y	25.86~109.52	23.70~138.57	102.58~128.65	31.58~51.59	≥20.0~40.0
La/Yb	21.37~42.84	12.23~42.84	257.33~326.63	22.02~40.60	≥10.0
Eu/Eu*	0.68~1.41	0.76~1.41	0.97~1.15	0.95~1.11	正或微弱负异常

注:埃达克岩参数数据文献[3]。

埃达克岩明显亏损 HREE、富 Al 和 Sr,是由于年轻(≤25Ma)而热的板片俯冲至 75~80 km 深度发生熔融,在熔融残余相中残留有石榴石无(或少

有)斜长石产生的埃达克质岩浆的结晶产物^[3~5,10]。因此,生成埃达克岩浆或类似于该特征岩浆的被熔融物质,必须处于很大的深度并达到一定的热状态,

是它们形成的必要条件。显然,除洋壳俯冲作用可获得这一条件外,大陆板块碰撞(抑或是其他地质作用)造成的地壳增厚,都可为类似于埃达克质岩浆的形成创造有利条件^[7~9,11~13]。而且,当埃达克质岩浆被抽取后,含有大量石榴石残留矿物相的石榴石麻粒岩或榴辉岩残留体便趋于下沉,进而导致岩石圈拆沉作用的发生^[14~16]。

东秦岭西坝岩体和花岗斑岩脉所反映的类似于埃达克质岩的轻、重稀土强烈分馏,重稀土贫化,无或微弱 Eu 异常,表明其熔融残余相内含有大量的石榴石矿物,暗示它们有基本相同的形成背景,即形成这些岩体的源区都曾达到很大的深度。但是,由它们的重稀土亏损程度和稀土谱型及 MORB 标准化蛛网图的较大差异(见图 2),指示它们的形成深度不尽相同。另一方面,这些岩石与埃达克岩不同的是,相对钠低、钾略高,表明它们的源区可能主要来自大陆下地壳物质,而非洋壳熔融物。因此,这些岩体的出现,可能暗示着它们形成时秦岭造山带地壳厚度已明显增厚,且不同岩体代表了它们形成时的地壳厚度不同。现已获得的西坝岩体形成年龄为 201.2 ± 3.3 Ma(锆石 U-Pb 定年,张宗清私人通信),闪长玢岩脉的形成年龄为 181.77 Ma^[17]。花岗

斑岩体由其明显侵入西坝花岗岩体内,同时被闪长玢岩脉所贯入,显然形成于两次岩浆活动之间。根据区域地质分析,这些岩浆活动的发生正值秦岭造山带于中三叠世最终发生碰撞造山而后转入板内活动的重要转折时期^[2],它们的形成无疑反映了这一重要地质作用的过程,代表了华南、华北两大板块主碰撞造山地壳增厚背景下下部地壳熔融后的侵入产物。西坝岩体的形成,代表了碰撞造山后秦岭地区地壳厚度明显增厚,花岗斑岩脉的出现表明该时期地壳厚度达到最大,这些岩浆作用的发生证明了秦岭造山带印支晚期到燕山早期地壳渐次增厚的过程。由于该区闪长玢岩脉地球化学特征与埃达克质岩相差较大,这期岩浆的形成应反映地壳厚度已明显减薄。这可能与此前区内类似埃达克质岩浆活动形成过程残余的大比重熔融残留物(含大量石榴石矿物相),与岩石圈地幔一同被拆沉进入到软流圈地幔致使地幔物质上涌的岩浆作用相关。因此,秦岭地区在印支晚期到燕山早期地壳厚度达到最大后,嗣后该区曾发生了下地壳拆沉作用。这一重大地质事件的发生,在秦岭造山带东部的大别造山带已得到证明^[18]。

参考文献:

- [1] 张国伟,孟庆仁,赖绍聪,等. 秦岭造山带的结构与构造[J]. 中国科学(D辑),1995,25(9):994-1 003.
- [2] 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. 421-558.
- [3] DEFANT M J, DRUMMOND M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. Nature, 1990, 347:662-665.
- [4] DRUMMOND M S, DEFANT M J. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting. Archean to modern comparisons[J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95:21 503-21 521.
- [5] PEACOCK S M, RUSHMER T, THOMPSON A B. Partial melting of subducting oceanic crust[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1994, 121:227-244.
- [6] TARNEY J, JONES C E. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth modes[J]. J Geol Soc London, 1994, 151:855-868.
- [7] 张旗,王焰,钱青,等. 中国东部中生代埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 2001, 17:236-244.
- [8] 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.
- [9] 王强,许继峰,赵振华. 一种新的火成岩——埃达克岩的研究综述[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2):201-208.
- [10] 王焰,张旗,钱青,等. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质科学, 2000, 35(2):251-256.
- [11] ATHERTON M P, PETFORD N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. Nature, 1993, 362:144-146.
- [12] PETFORD N, ATHERTON M. Na-rich partial melts from newly underplated basalts crust: the cordillera blanca batholith, peru[J]. J Petrology, 1996, 37:1 491-1 521.
- [13] SAJONA F G, MAURY R C, PUBELLIER M, et al. Magmatic source enrichment by slab-derived melts in a young post-collision setting, central Mindanao (Philippines)[J]. Lithos, 2000, 54:173-206.
- [14] SACKS P E, SECOR D T J. Delamination in collisional orogens [J]. Geology, 1990, 18:999-1 002.
- [15] KAY R W, KAY S M. Delamination and delamination magmatism [J]. Tectonophysics, 1993, 219:177-189.

- [16] 高山,金振民. 拆沉作用及其壳-幔演化动力学意义[J]. 地质科技情报, 1997, 16(1): 1-9.
- [17] 卢纪英,李作华,张复新,等. 秦岭板块金矿床[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2001. 65-108.
- [18] 高山,张本仁,金振民. 秦岭-大别造山带下地壳拆沉作用[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(6): 532-541.

(编辑 张银玲)

Geochemical characteristics and geological significance of Xiba granite, porphyry and porphyrite in East Qinling

ZHANG Cheng-li¹, LUO Jing-lan¹, LI Miao¹, WANG Yu²

(1. The Key Laboratory of Continental Dynamics, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an 710069, China;
2. Exploration Institute in Xianyang City, Xianyang 712000, China)

Abstract: Based on the detail studies on the petrology and geochemistry of Xiba granite body and porphyry in East Qinling, the deep dynamical process from final collision to orogeny within continent for the Qinling orogenic belt in the Mesozoic has been discussed. The rocks from Xiba granite and granitic porphyry are geochemically characterized by adakite-like rocks with high Sr(Ba) and ratios of Sr/Y, La/Yb as well as low Y, Yb. They are strongly depleted in heavy REE with high ratios La_N/Yb_N of and slightly negative or positive Eu anomaly, indicating that they were melted from materials of the lower crust under the thickening crust resulted from collision between North China and Yangtze plates during the Mesozoic. Of these, the HREE of granitic porphyry are more depleted than that of Xiba granite, showing that the thickness of the crust was much thicker when they formed and being representatives of melted products under the thickening crust of lower crust during the collision between North China and Yangtze plates in the late Indosinian and early Yanshanian. In contrast, the dioritic porphyrite has much different geochemistry, representing the production derived from mantle under the thinning crust due to the delamination resulted from the formation of former magmas. Therefore, the dioritic porphyrite gives a evidence that there was a delamination of lower crust after main collision in Qinling orogeny during early Yanshanian.

Key words: Xiba granite; porphyry; geochemistry; thickening crust; East Qinling

· 学术动态 ·

秦岭勉略构造带研究取得创新成果

由中国科学院院士、我校地质学系张国伟教授主持的国家自然科学基金重点项目“秦岭勉略构造带的组成、演化及其动力学特征”研究,经4年协力攻关,取得了重要的创新成果,日前在京通过了专家组的结题验收。

4年来,项目组在大量实际调研和综合测试分析与理论概括总结研究的基础上,从中国大陆地质实际及其关键重要区域构造问题出发,在当代地学发展前沿领域的大陆动力学和中国大陆地质研究中取得了一系列创新性的成果,主要表现在:一是建立了勉略构造带现今三维构造几何学框架模型。二是恢复重建和确定了晚古生带—中生代初秦岭-大别南缘勉略古次生有限洋盆从扩张打开到俯冲碰撞造山形成缝合带的形成演化过程,并依据地质、地球化学属性、特征与区域广泛对比研究判定其为东古特提斯洋域的构造组成部分和北缘分支洋盆。对中国大陆构造和大陆动力学研究具有重要意义。三是深入探讨了中国大陆地质与大陆动力学基本问题。研究认为勉略带在碰撞造山之后,遭受强烈陆内构造叠加改造,成为中国大陆构造中横贯东西、划分南北的突出大陆俯冲带与陆内构造变形带,东连大别超高压带、西跨青藏高原,成为中国大陆东、西部构造分异变化的连接纽带,是研究揭示中国大陆东、西深部地幔动力学调整与陆壳地质构造差异演化的得天独厚的天然实验室和研究基地,具有丰富的大陆动力学探索研究信息。目前该项目已累计发表论文62篇,其中国内核心刊物46篇,SCI收录19篇,专著1部。

(高立勋)