

稀土元素在剪切带中的含量变异及变异机制^{*}

——以胶南造山带北缘剪切带为例

周建波 胡克 申宁华 高游 孙加鹏

(长春科技大学地科系, 长春 130061)

关键词 稀土元素 含量变异 体积亏损 剪切带

摘要 剪切带内的构造岩在韧性变形前后其稀土元素的含量发生有规律的变异, 表现在随变形程度的增强, 各稀土元素的含量及 LREE、HREE、REE 总含量均明显增加, 而稀土配分模式不变。通过胶南造山带花岗质构造岩变形前后的等比分析, 稀土元素的含量增加主要是由于构造岩变形之后较大的体积亏损所引起; 并进一步根据含量变异与体积亏损之间的函数关系, 求得花岗岩变形改造为糜棱岩的体积亏损率为 14.5%, 改造为超糜棱岩的体积亏损率达 20%。

构造岩在韧性变形前后的常量及微量元素变异已被越来越多的地质研究^[1-3]所证实。但是构造岩在变形过程中稀土元素是否变异以及变异特征及变异机制等, 前人研究较少。

一般研究认为, 稀土元素在变质作用过程中不发生变化^[4]或变化极少^[5]。韧性变形作用往往伴随着变质作用; 但是, 变形作用与变质作用主要的区别是变形前后的构造岩存在体积的变化^[6], 而体积的变化势必会造成稀土元素含量的相对变异; 同时, 通过对比构造岩变形前后稀土元素的相对变异, 对研究韧性变形作用过程中的化学行为具有重要的指示意义。据此, 作者在围绕胶南造山带展开基金项目及 1:5 万诸城等八幅地质区调项目的专题研究过程中, 对胶南造山带剪切带中的构造岩进行了大量的分析测试, 并在此基础上对稀土元素在剪切带中的含量变异特征及变异机制进行了初步研究。

1 地质综述

胶南造山带是秦岭—大别—胶南造山带的重要组成部分。该造山带广泛发育韧性剪切带。具代表性的为胶南造山带北缘剪切带, 其西段称五莲—大景峪剪切带(图 1), 主体产出于晋宁期花岗岩(689—742Ma)^[6]之中, 由四条强变形带(糜棱岩及超糜棱岩)构成, 其间为弱变形岩石(初糜棱岩)及未变形岩石。糜棱岩中可见丰富多彩的宏观及微观构造标志^[7], 如压力影构造、“多米诺”骨牌构造、“云母鱼”构造等; 并出现大量的新相矿物如白云母、黝帘石、石英等; 主要造岩矿物中石英多已强烈动态重结晶, 构成流动状基质; 长石多以碎裂状为主, 构成糜棱岩的残斑, 云母类矿物多呈“云母鱼”状排列或绕长石残斑定向分布构成残斑拖尾构造。这些特征反映出胶南造山带主要组成岩石曾经历脆—韧性变形的改造作用。

* 国家自然科学基金资助项目(49472106)。

第一作者简介 周建波, 生于 1966 年。讲师, 理学博士, 主要从事构造地质学、地球动力学研究。

本文于 1997 年 9 月收到, 1997 年 10 月改回。

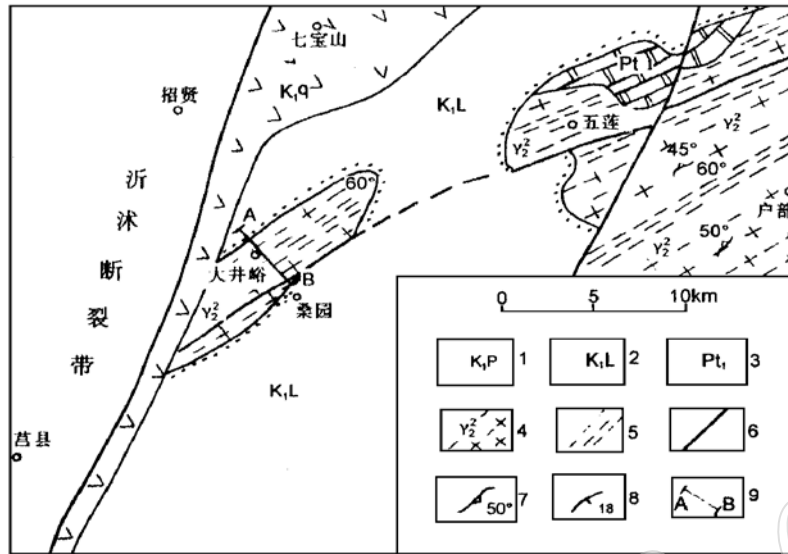


图1 胶南造山带北缘构造简图(据 1:5 万实测五莲, 诸城幅地质图简化)

Fig. 1 Schematic tectonic map of the northern margin of Jiaonan orogenic belt

1—早白垩世青山群; 2—早白垩世莱阳群; 3—早元古界五莲群; 4—晋宁期花岗岩; 5—韧性剪切带; 6—区域断裂; 7—区域片麻理; 8—糜棱叶理; 9—剖面位置

2 稀土元素的含量变异特征

为了研究不同变形强度构造岩中稀土元素的变异规律, 对胶南造山带北缘剪切带进行了系统的野外观察和室内分析。在此基础上, 测制了造山带北缘剪切带的构造剖面, 对剖面中段(图2)进行了原岩(弱片麻状二长花岗岩) 糜棱岩、超糜棱岩的稀土元素地球化学分析及对应的常量、微量元素岩石化学分析。其中稀土元素的测试用日本的 Vu300 测试仪, 采用化学计量学——光度分析法, 得出可靠性较好的测试数据(相对标准偏差 0.3—0.6), 其稀土元素的测试结果、构造岩样品的平均值及变异系数(Ci/Co) 见表1, 稀土参数特征见表

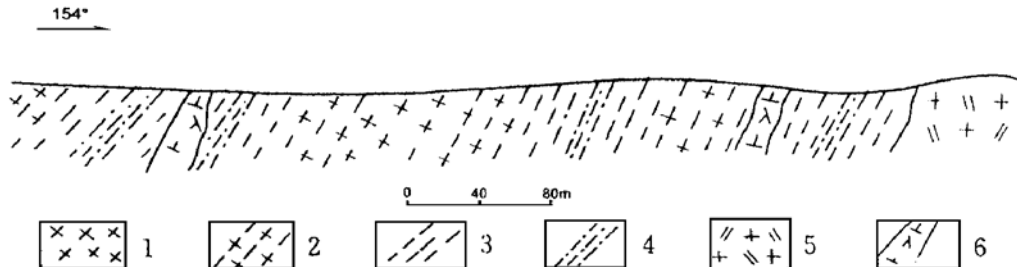


图2 胶南造山带北缘剪切带实测剖面(中段)图

Fig. 2 The measured section (central part) of the shear zone on the northern margin of Jiaonan orogenic belt

1—弱片麻状二长花岗岩; 2—初糜棱岩; 3—糜棱岩; 4—超糜棱岩; 5—弱片麻状二长岩; 6—花岗斑岩脉

2. 从测试数据及计算结果分析, 自未变形的二长花岗岩到变形强烈的糜棱岩、超糜棱岩, 稀土元素呈有规律的变化, 主要有以下几点: (1) REE, LREE, HREE 等明显增加, 各稀土元素 (Lu 除外) 的变异系数 (Ci/Co) 均大于 1, 说明在变形过程中各稀土元素含量及稀土总量均有一定的增加。(2) (La/Yb)_N, (La/Lu)_N, (Ce/Yb)_N 均大于 1, 配分曲线均为轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型; 且 LREE/HREE, Eu/Eu*, Ce/Ce* 变化不大; Eu 异常性质不变, 构造岩经王中刚等(1988) 等推荐的球粒陨石数据标准化(表 1), 显示其稀土配分模式不变。(3) (La/Sm)_N, (Gd/Yb)_N 均大于 1, 说明不同构造岩均为 LREE 富集而 HREE 亏损型。但随变形的增强(La/Sm)_N 相对增加, 而(Gd/Yb)_N 相对减小, 这表明随变形程度的增强其 LREE 和 HREE 的含量均有相对富集的趋势。

表 1 构造岩稀土元素测试、平均样品变异系数(Ci/Co)数据表(10⁻⁶)

Table 1 REE contents of tectonite and variation coefficients of average samples (Ci/Co)

构造岩	分析号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
二长花岗岩	JP- 12- 1	38.9	88.6	10.7	30.9	3.48	1.70	4.33	1.15	3.96	0.59	1.69	0.23	0.88	0.41	12.8
	JP- 18- 1	41.6	131	15.2	34.8	3.94	1.71	4.49	1.58	4.48	0.70	1.72	0.28	0.98	0.41	12.0
	JP- 10- 1	38.3	75.0	8.68	19.4	3.18	0.77	2.35	0.99	2.91	0.51	1.44	0.21	1.28	0.44	9.00
	平均(Co)	39.6	98.2	11.5	28.3	3.53	1.39	3.72	1.24	3.78	0.60	1.62	0.24	1.05	0.42	11.3
	Co 标准化	128	122	94.5	47.2	18.1	18.9	14.4	26.1	11.7	8.36	7.71	7.41	5.02	13.04	
糜棱岩	JP- 8- 4	43.6	106	12.3	30.2	3.44	1.29	4.22	1.03	4.29	0.69	1.64	0.25	0.92	0.31	11.5
	JP- 26- 1	49.9	137	16.9	37.0	4.17	1.64	4.25	1.74	4.99	0.80	1.94	0.28	1.68	0.50	12.2
	平均(C1)	46.8	121	14.2	33.6	3.96	1.47	4.44	1.39	4.64	0.75	1.78	0.27	1.30	0.41	11.85
	Ci/Co	1.18	1.23	1.23	1.19	1.12	1.06	1.19	1.12	1.22	1.25	1.24	1.13	1.23	0.98	1.05
	C1 标准化	151	150	116	56.0	20.3	20.0	17.1	29.3	14.4	10.5	8.48	8.33	6.22	12.73	
超糜棱岩	JP- 8- 2	55.0	170	17.1	34.8	4.44	1.64	3.41	1.12	3.94	0.69	1.56	0.24	2.07	0.36	9.64
	JP- 8- 3	60.4	129	13.8	29.4	4.05	0.93	3.65	1.38	4.20	0.88	2.42	0.26	2.49	0.42	14.8
	JP- 27- 1	53.8	137	16.2	32.4	4.72	1.22	3.86	1.21	5.39	0.85	1.73	0.23	1.96	0.31	11.7
	平均(C2)	56.4	145	15.7	32.2	4.40	1.26	3.64	1.24	4.51	0.81	1.90	0.24	2.17	0.36	12.1
	C2/Co	1.42	1.48	1.37	1.14	1.25	0.91	0.98	1.00	1.20	1.35	1.17	1.00	2.06	0.86	1.07
C2 标准化	182	180	129	53.7	22.6	17.1	14.1	26.1	14.0	11.3	9.04	7.41	10.4	11.18		

测试单位: 长春地质学院 测试中心 (1995)。

表 2 构造岩平均样品稀土元素参数特征表(样号, 单位同表 1)

Table 2 Characteristics of REE parameters of average tectonite samples

构造岩	样品数	REE	LREE	HREE	L/H	Eu/Eu*	Ce/Ce*	(La/Yb) _N	(La/Lu) _N	(Ce/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N
二长花岗岩	3	206.5	182.6	23.94	7.63	1.17	1.10	25.45	9.80	24.21	7.06	2.86
糜棱岩	2	248.3	221.7	26.62	8.33	1.07	1.12	24.27	11.86	24.07	7.43	2.75
超糜棱岩	3	282.0	255.0	26.97	9.45	1.01	1.21	17.50	15.42	17.31	8.05	1.36

有关构造岩在韧性变形过程中元素的变异, 前人曾进行了大量的研究, 可能的解释有两种, 第一种认为是在等体积条件下渗透流体作用引起元素发生迁移的结果^[6]; 另一种解释认为变形前后体积的变化是引起元素相对变异, 特别是惰性组分变异的主要原因^[2,3]。就

稀土元素而言,其多为不易迁移元素^[4,5],它们在变质变形过程中迁移较少;就研究区而言,其位于秦岭-大别-胶南造山带之内,由于长期陆-陆碰撞造山过程中的挤压应力,造成构造岩矿物颗粒之间的应力调整和矿物内部发生晶格位错、蠕变滑移等,进而导致变形之后的构造岩体积相对亏损和稀土元素含量的相对增加。同时研究区内构造岩随变形程度的增强,其轻、重稀土元素含量均明显增加,“浓缩”特征比较明显,应与韧性变形过程中构造岩体积的变化有关,因此,后一种解释与本文的前述特征相符,并为本文所采用。

3 稀土元素的含量变异与构造岩体积亏损的关系

本文参考了由 Grant(1986), O'hara(1988) 等归纳的等比分析方法,对原岩为花岗岩的构造岩(糜棱岩、超糜棱岩)分别进行了变形前后的稀土元素含量对比,进而针对不同变形强度构造岩的体积缩减与稀土元素含量增加之间的关系进行初步的讨论。

图 3-A 为糜棱岩变形前后的等比线图,通过原岩(片麻状二长花岗岩)与变形改造岩石(糜棱岩)的稀土元素在等比线图上投影,其绝对多数元素(La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho)的投影点均位于同一直线上,构成等比线;而另外的元素(Ce, Dy, Lu 等)也位于等比线附近,偏差极小。位于等比线上或靠近等比线的元素在变形前后没有迁移或迁移很少,元素含量的增加是由于构造岩韧性变形之后体积的亏损而相对产生的^[2,3]。因此与原岩相比糜棱岩稀土元素的含量变异应与其变形前后的体积变化有关,证明了糜棱岩中稀土各元素含量的增加是由于其遭受韧性变形作用改造之后体积的亏损引起的。

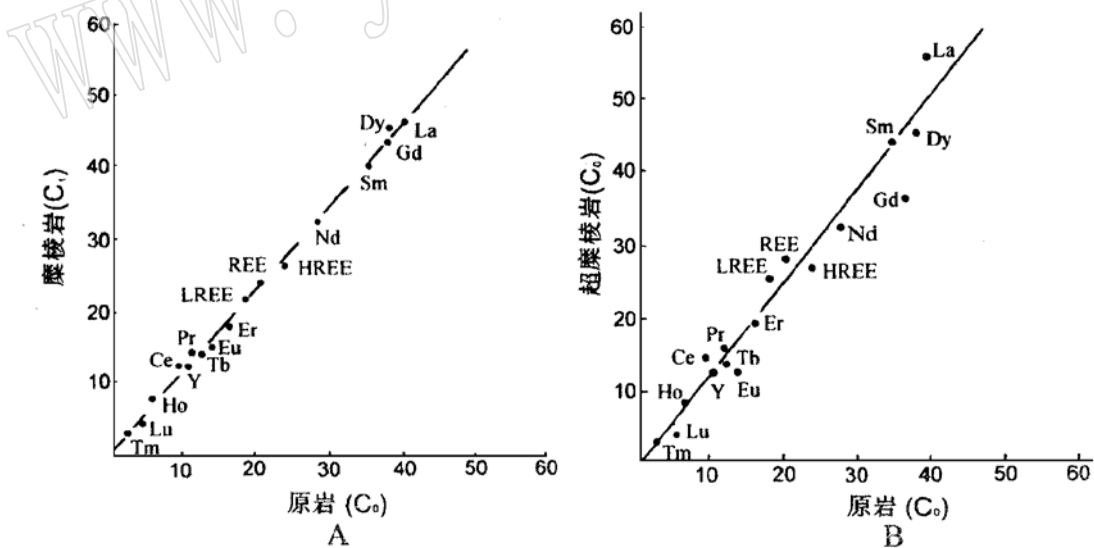


图 3 胶南造山带北缘剪切带构造岩等比线图

Fig. 3 Equal ratio map of the shear zone tectonite on the northern margin of Jiaonan orogenic belt

A—糜棱岩; B—超糜棱岩

(注 REE LREE HREE .Ce/10; Sm -Y × 10)

REE, LREE, HREE 的投影点均位于等比线上,进一步证明了糜棱岩中轻、重稀土元素

及稀土元素总量均未发生真正意义上的富集或亏损, 稀土元素总含量的增加也是由于构造岩体积的亏损造成的。

根据 O'hara(1988) 建立的体积变化公式 $C_i/C_o = 1/(1-V)$, (其中 C_i/C_o 为等比线斜率, V 为体积亏损率), 糜棱岩的等比线斜率为 1.17, 得体积亏损率为 14.5%, 即由花岗岩变形改造成花岗质糜棱岩其体积缩减达 14.5%。

超糜棱岩变形前后的等比线图见图 3-B, 由大多数元素(Sm, Er, Pr, Y, Ho, Tm) 的投影点构成等比线, 而一些元素(Nd, Tb) 也位于等比线附近, 说明这些稀土元素在韧性变形过程中基本未发生迁移, 其含量的增加是由于强韧性变形之后构造岩的较大体积亏损而相对引起的。

另外一些轻稀土元素(La, Ce) 及 REE, LREE 位于等比线之上, 重稀土元素(Dy, Gd, Lu) 及 HREE 等位于等比线之下, 这些元素在变形过程中应有一定数量的迁入或迁出, 并造成轻稀土元素的相对富集, 重稀土元素的相对亏损。这些特征反映出强变形岩石应处于开放体系中, 稀土元素随变形过程中的流体作用存在一定程度的迁移; 但整体偏离等比线的幅度不大, 说明超糜棱岩中稀土元素迁移较少, 其稀土元素含量的相对增加仍与构造岩变形之后较大的体积亏损有关。

根据上述的体积变化公式, 超糜棱岩的等比线斜率为 1.25, 求得体积亏损率(V) 为 20%。即由花岗岩强变形改造为超糜棱岩时其体积缩减达 20%。

4 几点认识

(1) 韧性剪切带内, 随变形程度的增强, 其稀土元素存在一定的含量变异, 如各稀土元素的含量增加, REE, LREE, HREE 的总量增加等; 但是稀土元素的配分模式不变, LREE/HREE 的比值变化不大, Eu/Eu^* , Ce/Ce^* 的异常形式不变, 整体反映具“浓缩”特征。

(2) 花岗质构造岩中稀土元素的含量变异主要由体积的变化而引起, 构造岩体积的较大亏损是造成其稀土元素含量相对增加的主要原因。同时在强变形岩石中, 存在少量稀土元素的迁入和迁出, 并导致轻稀土富集、重稀土亏损的分异作用。

(3) 由于稀土元素在变形过程中迁移较少, 据此可根据变形前后稀土元素的变异量与构造岩体积亏损之间的函数关系, 确定构造岩变形之后的体积亏损率, 胶南造山带北缘剪切带中花岗岩变形改造成糜棱岩的体积亏损率达 14.5%, 改造为超糜棱岩的体积亏损率可达 20%。

本文旨在提供有关稀土元素在剪切带中含量变异研究的一个实例, 以图稀土元素在剪切带构造岩的研究中得到进一步的应用。论文中参考了前人在相关领域的大量资料, 同时得到了长春地质学院胶南填图队、胶东-胶南基金项目全体同仁的大力协助, 在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- 1 Beach A. The interrelations of fluid transport, deformation, geochemistry and heat flow in early Proterozoic shear zones in the Lewisian complex. *Philosophical Transaction of The Royal Society of London A*, 1976, 280: 569—604.
- 2 Grant J A. The isocon diagram a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geol.*, 1986, 81: 1976—1982.
- 3 O'Hara K. Fluid flow and volume loss during mylonitization: an origin for phyllonite in an overthrust setting. North Carolina, U. S. A., *Tectonophysics*, 1988, 156(1): 21—36.
- 4 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1989, 211—289.
- 5 Muecke G K et al. Rare earth element geochemistry of regional metamorphic rocks, *Physics and Chemistry of the Earth*, 1979, II, 45—54.
- 6 钟增球, 索书田, 徐启东, 桐柏—大别造山带剪切带阵列的构造岩研究. *地质学报*, 1996, 70(4): 315—324.
- 7 胡克. 论五莲—青岛构造带. 见: 郯庐断裂中段地质. 吉林科技出版社, 1995, 258—264.
- 8 孙加鹏. 胶南隆起区韧性剪切带变形特征. 见: 郯庐断裂中段地质. 吉林科技出版社, 1995, 258—264.

Variation of REE Content in the Shear Zone and Its Mechanism
——**Exemplified by the Ductile Shear Zone on the Northern**
Margin of Jiaonan Orogenic Belt

Zhou Jianbo Hu Ke Shen Ninghua Gao You Sun Jiapeng
(Changchun University of Sciences and Technology, Changchun 130061)

Key words: REE; content variation; volume deficiency; shear zone

Abstract

The REE content of tectonic rocks in the shear zone shows regular variation in the deformation process. When the intensity of deformation becomes stronger, the contents of various rare earth elements and the contents of LREE, HREE and REE increase obviously, but the REE patterns remain unchanged. Through equal ratio analysis of granitic tectonic rocks before and after deformation in Jiaonan orogenic belt, the authors have reached the conclusion that the variation of REE results mainly from volume deficiency. According to the function relation between composition variation and volume deficiency, it is known that when granite changes into mylonite the volume deficiency ratio is 14.5%, and when granite changes into ultramylonite the volume deficiency ratio is 20%.