

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

地壳演化过程中铬铝云母标型性探讨

鲁安怀 陈光远

(中国地质大学,北京)

内容提要 对于早期地壳性质及晚期地壳演化的研究一直是地质学界关注的课题,本文将矿物系统发生史研究为指导,通过详细研究全球范围内103个(包括笔者完成的42个样品)铬铝云母样品在地壳中的分布规律及其化学成分和矿物种标型特征时空演化规律,认为早期地壳中幔源物质铬与壳源物质铝交互作用导致铬铝云母的形成,从而为认识早期地壳具有硅铝质组成提供了佐证。在晚期地壳演化尤其是成矿作用方面,提出了铬铝云母标型性特征,确立了铬铝云母在自然历史中固有的位置和作用。

关键词 铬铝云母 标型性 矿物系统发生史 地壳演化 成矿作用

铬在地球及其各圈层中的丰度显示,地幔中铬的含量最高,因此铬被称为地幔型元素。但与铁、镍相反,铬不向地核集中。铬在陨石中分布也有类似的现象,石陨石中含铬最高,因此,铬元素具亲氧性。在地壳各类火成岩中,铬在超基性岩中含量最高、基性岩中次之、中酸性岩中含量最低。铬在沉积岩中含量一般都比较低,但在黑色页岩中产生明显的浓集,在石油和煤中有时也出现铬的高含量。一般在正变质岩中铬含量较副变质岩中的高。铬的上述分布特点为研究含铬矿物的时空演化规律奠定了物质基础。

云母族矿物在成岩成矿作用中分布广泛。尤其是幔源物质铬与壳源物质铝交互作用的产物铬铝云母亚族矿物可稳定存在于太古宙早期砾岩层与石英岩层中,其形成年龄在南非和我国冀东均达3.5Ga以上。在以后的地壳演化过程中所形成的太古宙晚期和元古宙结晶基底、古生代台缘造山及中生代台内重熔活动中,均有铬铝云母产出。

很明显,随着地壳的早期发生、晚期改造以及壳幔交互作用的进行,幔源物质铬在不同地质时期及不同地质体中丰度有所不同。作为铬元素的主要赋存矿物——铬铝云母及其标型特征所揭示的形成环境,可提供地壳演化的信息。

1 铬铝云母化学成分时间演化

在地壳中铬铝云母形成历史跨度较大,从太古宙早期的 $3804 \pm 5\text{Ma}^{[1]}$ 到中生代晚期的 $71.86\text{Ma}^{[2]}$,几乎经历了地壳早期发生到地壳晚期改造的全过程。全球各地不同地质时期及不同产状的铬铝云母化学成分列于表1。

由图1可看出,在元古宙形成的铬铝云母中 Cr_2O_3 含量有一高峰期,变化范围为7.67%—24.63%,平均为13.75%;相应 Al_2O_3 含量为一低谷期,变化范围为11.79%—30.10%,平均为21.51%。古生代及中生代早期形成的铬铝云母 Cr_2O_3 含量相对也较高,而其他各时代铬含量

表 1 铬铝云母化学成分时间演化
Table 1 Temporal evolution of the chemical compositions of aluminio-chromian mica

时代	No.	样品数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	FeO	MgO	CoO	NiO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量	
中生代	1	29	59.35-46.73	1.23-0.00	35.45-23.80	2.00-0.15	0.17-0.00	5.92-1.15	2.67-0.03	0.28-0.00	0.30-0.00	0.21-0.00	0.37-0.00	0.66-0.00	11.37-6.42	98.18-91.57	
			49.45	0.29	30.57	0.45	0.08	2.52	1.27	0.17	0.05	0.12	0.05	0.08	0.14	9.50	94.69
			50.96-45.97	2.23-0.36	32.89-25.19	4.81-0.80	0.12-0.00	4.70-0.86	2.38-0.09	0.13-0.00	0.08-0.00	0.05-0.00	0.08-0.00	0.38-0.01	1.03-0.24	10.88-6.89	96.01-92.33
中生代	2	5	47.79	1.23	29.51	2.19	0.05	2.95	1.47	0.04	0.02	0.04	0.23	0.45	8.53	94.5	
			55.62-51.36	0.14-0.00	28.14-21.26	7.48-0.66	0.24-0.02	0.94-0.55	5.57-2.20	0.08-0.00	0.03-0.00	0.37-0.00	0.03-0.00	0.21-0.00	0.76-0.24	6.79-5.40	95.49-92.22
			53.29	0.09	25.91	2.78	0.13	0.79	3.42	0.02	0.02	0.23	0.02	0.08	0.43	6.46	93.65
古生代	3	5	48.50-44.26	0.94-0.00	33.51-24.47	7.90-0.69		1.35-0.39	2.44-0.90		1.11-0.00	0.13-0.00	0.22-0.00	0.44-0.00	11.78-7.45	96.36-94.94	
			46.61	0.38	29.81	4.83		0.71	1.56		0.02	0.46	0.02	0.07	0.14	10.69	95.14
			47.76-42.20	0.49-0.12	30.10-11.79	24.63-7.67	1.72-0.00	2.36-0.00	5.88-0.31		0.18-0.00			0.15-0.00		10.89-8.79	90.11-97.84
元古宙	4	27	43.31	0.20	21.51	13.75	0.39	0.68	2.23		0.17-0.00	0.04	0.08-0.02	0.78-0.56	10.63-7.22	93.40-92.57	
			48.31-46.18	0.50-0.18	31.79-30.41	1.86-1.04	0.25-0.00	2.02-1.36	1.64-1.14					0.04	0.70	9.62	93.39
			46.79	0.36	31.15	1.29	0.06	1.62	1.40						0.47	7.50	97.43-94.67 ^②
晚期	5	4	46.39-41.64	5.84-0.73	32.61-27.56	6.39-0.63		0.80	2.17						8.93-6.57	96.18	
			43.79	1.76	30.51	2.73										7.50	96.18
			45.28-39.25	1.41-0.66	37.08-33.48	3.7-0.31		0.74-0.00	1.09-0.06					0.11-0.00	1.45-0.96	9.9-5.68	92.92-94.95 ^③
早中期	6	6	43.97	0.76	34.65	1.46		0.40	0.62				0.04	1.21	8.80	94.17	
			45.90-43.5	2.1-0.8	33.5-31.7	4.0-1.00		2.30-0.00	0.90-0.01					0.3-0.00	1.10-0.60	10.7-9.30	95.30-93.52
			45.02	1.35	32.67	1.81		1.91	0.69					0.01	0.72	10.18	94.36

注: 1—胶东^[3]; 2—胶东及冀东^[3]; 加拿大^[4]; 3—墨江^[5]; 4—加拿大^[5]; 5—南阳^[3,6,①]; ①蒋楠·河南南阳独山玉成因矿物学研究及玉石评价·北京大学硕士论文, 1993; 5—芬兰^[7]; 6—弓长岭^[3,8]; 7—加拿大^[9]; 8—南非, 津巴布韦^[10]; 9—美国^[11], 巴西^[12], 冀东^[3,13]。

②含 BaO 为 10.31-3.04。③含 BaO 为 10.32-0.73。
④含 BaO 为 6.45。⑤含 BaO 为 2.26。

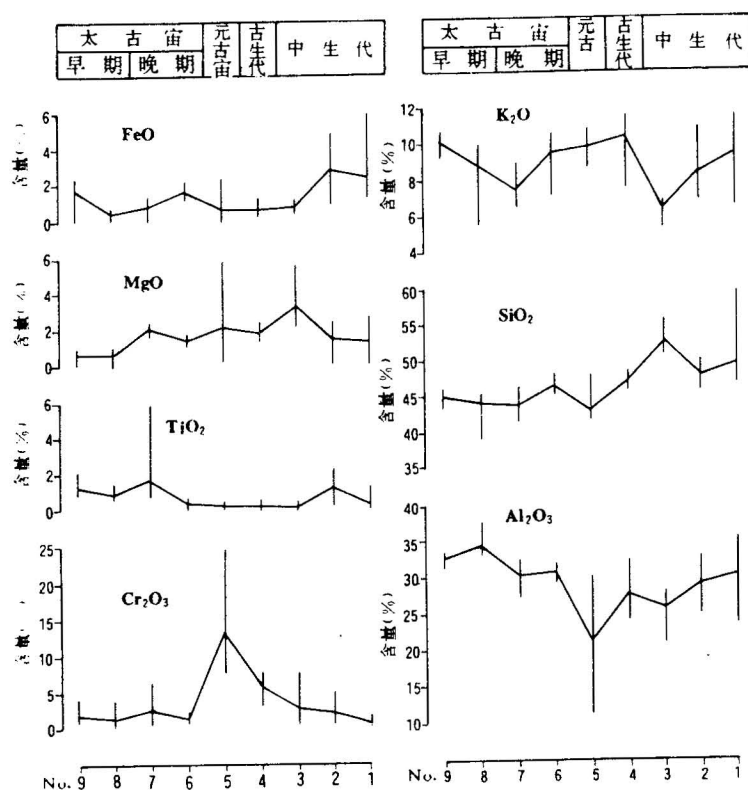


图1 铬铝云母化学成分时间演化
(图中编号同表1)

Fig. 1 Temporal evolution of chemical compositions
of aluminio-chromian mica

(No. corresponding to the one in Table 1)

体中Si含量、八面体中Cr含量及层间K含量随时间演化规律较明显,其标型意义将在下面作进一步阐述。

2 铬铝云母矿物种时空演化

铬铝云母与镁铁云母相当,在云母族中均属于亚族位置。铬铝云母亚族是由过去的白云母亚族新扩建的^[14]。该亚族中除Al端员——白云母及Cr端员——铬云母外,还存在一系列的中间成员,按其晶体化学分类原则并结合自然分类方法^[3],在地壳中目前被发现的含铬种属如表2所示,其系统发生史总结于图2中。

在早期地壳发生阶段即原始陆核形成期,碎屑沉积变质成因的含铬种属主要是铬白云母和含铬白云母,产于石英岩或石英砾岩中。在新西兰^[4]、芬兰^[4]、挪威^[15]、德国^[15]、美国^[11,16]、巴西^[12]、南非^[10]、我国冀东^[13]等地太古宇中先后发现过石英岩层位中的含铬种属,并对其进行了研究。由于其空间分布如此广泛而时间演化又仅限于太古宙,故在国内外常常视其为太古宙地层标志层位。此外,铬白云母-刚玉组合及含铬白云母-蓝晶石组合分别在津巴布韦和南非太

较低。

铬铝云母中SiO₂含量在太古宙晚期及中生代早期出现两个峰值,分别为46.79%和53.29%。在元古宙其含量最低,为43.31%;中生代晚期也有增高的趋势,达49.45%,但变化较大。总体上中生代铬铝云母中SiO₂含量普遍较高。

铬铝云母中K₂O含量与SiO₂含量负相关性明显。即在太古宙晚期及中生代出现K₂O低谷期,在中生代含量尤其低。这一方面由于铬铝云母四面体中Si含量较高时,使得替代Si的Al数量减少,导致层间补偿电荷平衡的K便有所减少;另一方面大量的K被H₃O⁺替代,也可造成K含量降低,为水热蚀变的反映。

铬铝云母中的FeO含量在中生代有增高的趋势,且变化性增强。MgO与Cr₂O₃含量变化较一致,主要体现在元古宙和中生代早期。

总体来看,铬铝云母四面

古宙地层中出现^[10]。

表 2 铬铝云母在地壳中分布

Table 2 Distribution of aluminio-chromian mica in the crust

时代	No.	铝铬云母	铬铝云母	铬白云母	含铬白云母	铬绢云母	含铬绢云母	铬多硅绢云母	含铬多硅绢云母	产 状
中生代	1						90%	29%	80%	I型花岗岩类金矿床
	2				10%	18%	5%	14%	13%	结晶基底金矿床
	3					9%	5%	57%	7%	蛇绿岩套 超基性岩金镍矿床
古生代	4					73%				超基性岩玉石矿床
元古宙	5	100%	100%	21%						块状硫化物矿床
太古宙	晚期	6			4%	10%				绿岩带 BIF型铁矿床
		7			29%	20%			层控型金矿床	
	早期	8			13%	50%				蓝晶石刚玉片岩
		9			33%	10%				石英岩
总计		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		

注:编号同表 1。

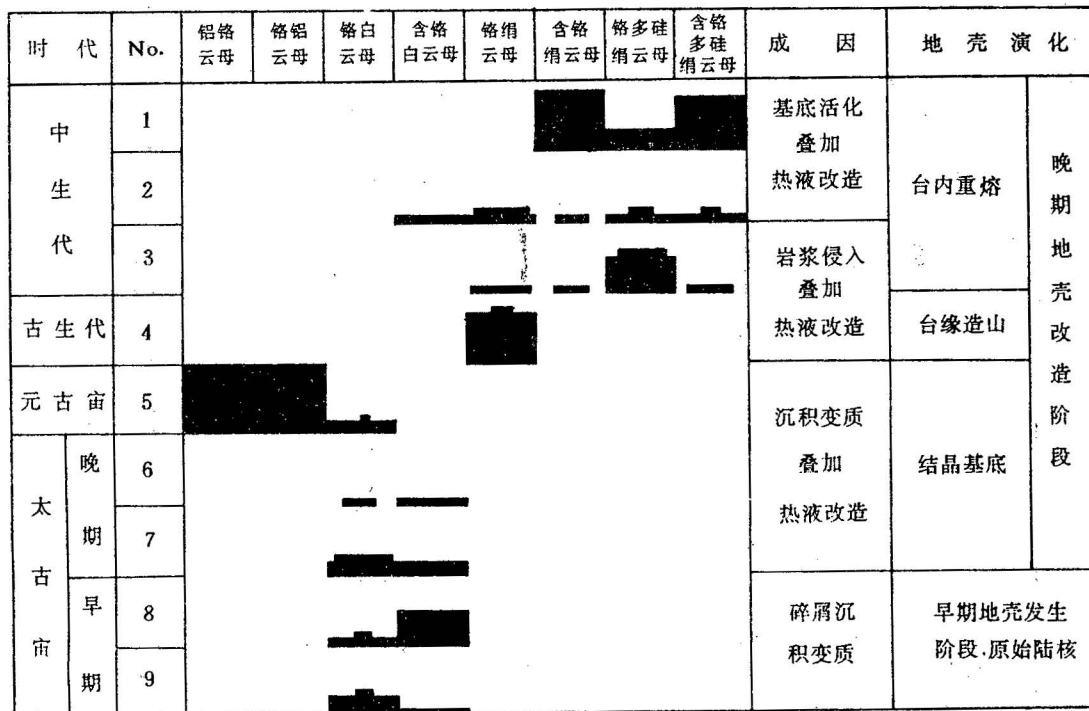


图 2 铬铝云母系统发生史与地壳演化

Fig. 2 Relationship between phylogeny of aluminio-chromian mica and crustal evolution

在晚期地壳改造阶段的早期即结晶基底形成期,也就是绿岩带形成期,沉积变质叠加热液改造成因的含铬种属除铬白云母和含铬白云母外,还出现铬铝云母及铝铬云母。如在加拿大层控型赫姆洛金矿^[9]、国内外条带状硅铁建造型铁矿^[8]等均形成于太古宙晚期。在芬兰元古宙沉积变质岩及其中块状 Co、Cu、Zn 硫化物矿床中大量出现富铬种属。

在晚期地壳改造阶段的中期,即台缘造山蛇绿岩套形成期,基性、超基性岩浆侵入叠加热液改造成因的含铬种属主要是铬绢云母、铬多硅绢云母,包括少量的含铬绢云母和含铬多硅绢云母。

在晚期地壳改造阶段的后期,即台内重熔 I 型花岗岩类形成期,中酸性岩浆侵入叠加热液改造成因的含铬种属以含铬绢云母和含铬多硅绢云母为主,出现少量铬多硅绢云母。

3 铬铝云母标型性与地壳演化关系探讨

3.1 早期地壳性质

太古宙早期形成且具全球性分布的碎屑沉积变质成因的含铬白云母和铬白云母-石英岩或砾岩、蓝晶石-刚玉片岩的产出,为认识早期地壳性质提供了重要线索。

我国冀东地区曹庄群中铬白云母-石英岩具典型意义,其中锆石 U-Pb 同位素年龄达 $3804 \pm 5\text{Ma}^{[1]}$ 。铬白云母-石英岩矿物组合主要是石英、铬白云母、铬尖晶石、夕线石,副矿物有金红石、钛铁矿及锆石,并经历了高角闪岩相-低麻粒岩相的高级变质作用。其全岩及石英氧同位素值远低于太古宙化学沉积硅铁建造中燧石层;其稀土分配模式属轻稀土型,具明显的负钕异常,与太古宙花岗质岩石的稀土特征类似^[13],因此具碎屑沉积特征。

显然,铬铝云母中铬来源于原始地壳中幔源镁铁质岩、超镁铁质岩的喷发或侵入活动,其中铝包括硅则来源于原始地壳中碎屑沉积物。在变质作用过程中,幔源物质铬与壳源物质铝和硅交互作用,导致铬铝云母亚族中含铬白云母及铬白云母的形成。据此可以认为早期地壳性质应为硅铝质。正是这种壳幔交互作用的广泛性,使早期硅铝质地壳很难被保存,局部地区如格陵兰等地即使出现这种早期硅铝质地壳,也受到了壳幔交互作用的影响。

3.2 地壳演化

太古宙和元古宙形成的铬铝云母矿物种粒径均 $>0.1\text{mm}$,片大粒粗;而古生代和中生代形成的铬铝云母矿物种粒径往往 $<0.1\text{mm}$,片小粒细。云母矿物粒径与其形成温度、压力密切相关,反映了前者温度、压力较高,是高级变质作用的产物;而后者温压较低,为水热蚀变作用的产物。此表明地壳演化过程中温压条件是逐渐降低的。

铬铝云母中多硅种属大量出现于中生代,即其四面体中 Si 含量是随地壳演化不断增加的。这反映了在地壳后期改造过程中硅的活动较强,与地壳物质成分演化现象一致,是地壳成熟度增高的显示。

铬铝云母八面体中 Cr 含量在太古宙和中生代时期基本相当,Ti、Mg 等组分分布也具此规律。大量地质资料表明中生代时期形成的花岗岩类往往是太古宙结晶基底活化的产物。因此可以认为,晚期地壳改造就物质成分而言基本上继承了结晶基底的特征。

在元古宙、古生代及中生代早期分别出现过铬铝云母中 Cr_2O_3 含量峰值,也包括 MgO 含量,这些幔源组分异常表现,是结晶基底中 Cr、Mg 在构造、岩浆、热液联合作用下得已浓集的结果。尤其是部分 Cr、Mg 直接来源于基性、超基性侵入体,与这段地质时期大量出现的蛇绿岩套有关。在全球范围内,该时期形成的铬铝云母主要沿着板块、陆块缝合线带状产出,显然是地

壳运动强烈的标志之一。

3.3 成矿作用

成矿作用是成岩作用的特殊形式,成岩成矿作用是地壳演化到一定阶段的产物。纵观地质历史,成矿作用主要集中在某几个时期。如金矿床虽然可形成于从太古宙到新生代、从稳定陆块到活动边缘和各种类型岩石中,但成矿高峰期却是前寒武纪含金绿岩带及中生代板块活动成矿期,显然与地质历史上这两个重要的构造岩浆剧烈活动时期有关。

铬铝云母四面体中 Si 及层间 K 含量这一化学成分标型性揭示,在中生代 Si 含量出现极大值,在太古宙晚期也有峰值的显示,反映这两个地质时期硅化作用程度较高。相应地, K 含量却出现低谷峰,暗示水含量高,水是矿化剂的重要组成部分,反映水热蚀变程度较高。硅化、水热蚀变等热液蚀变作用正是导致大量矿产资源的形成,此与上述全球性矿产资源时间分布规律是较一致的,尤其与金矿化时间演化十分吻合。

铬铝云母矿物种也显示,多硅种属仅限于中生代,反映中生代硅化作用较强。其中与基底活化有关的金矿床中铬铝云母八面体中 Cr 含量较低,此由于原始矿源层经过中介矿源岩,过渡到金矿化阶段,为物质成分继承性关系所导致。而与蛇绿岩套中岩浆侵入有关的金、镍矿床及玉石矿床中铬铝云母八面体中 Cr 含量有所提高,显然与幔源物质直接加入有关。进一步还可判别,当铬铝云母四面体中 Si 含量较高时,出现金、镍矿化;当 Si 含量较低时,出现玉石矿化。也就是说,金、镍矿化较玉石矿化具有较强的硅化蚀变作用。

综上所述,以自然历史为线索,追溯从早期地壳发生到晚期地壳改造、从成岩到成矿的地质作用过程中的铬铝云母矿物学表现,可以认为铬铝云母系统发生史基本能够反映地壳演化史,铬铝云母标型性对于地壳演化过程具有较好的示踪作用。此为认识铬铝云母在自然历史中固有的位置和作用,并将矿物学研究置于区域地质时空演化研究之中,以反映成岩成矿作用特征等,具有一定的理论和实际意义。

参 考 文 献

- 1 Liu D Y, Nutman A P, Compston W, Wu J S, Shen Q H. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton. *Geology*, 1992, 20: 339—342.
- 2 吕古贤, 孔庆存. 胶东玲珑—焦家式金矿地质. 北京: 科学出版社, 1993.
- 3 鲁安怀, 陈光远. 铬铝云母成因矿物学兼论焦家式金矿床成因与找矿. 北京: 地质出版社, 1995.
- 4 Whitmore D R E, Bery L G, Hawley J E. Chrome micas. *Am. Miner.*, 1946, 31: 1—21.
- 5 Chao F, Farrow C M, Leake B E. Polydymite and chrome-rich fuchsite in Virginite from Baie Verte, Newfoundland. *Mineral. Mag.*, 1986, 50(358): 723—724.
- 6 张建洪, 李朝晖, 汪雪芳. 南阳独山玉的矿物学研究. *宝石*, 1987, 1(1): 1—10.
- 7 Treloar P J. Chromian muscovites and epidotes from Outokumpu, Finland. *Mineral. Mag.*, 1987, 51: 593—599.
- 8 陈光远, 孙岱生. 弓长岭铁矿成因矿物学. 铬白云母. *矿物岩石*, 1984, 4(2): 131—133.
- 9 Pan Y M, Fleet M E. Barian feldspar and barian-chromian muscovite from the Hemlo area, Ontario. *Can. Mineral.*, 1991, 39: 481—498.
- 10 Schreyer W, Werdning G, Abraham K. Corundum-fuchsite rocks in Greenstone belts of Southern Africa: petrology, geochemistry and possible origin. *J. Petrology*, 1981, 22: 191—231.
- 11 Clifford T N. Fuchsite from a Silurian(?) quartz conglomerate, Acworth Township, New Hampshire. *Am. Miner.*, 1957, 42: 566—567.
- 12 Leo G W, Rose Jr. H J, Warr J J. Chromian muscovite from the Serra de Jacobina, Bahia, Brazil. *Am. Miner.*, 1965, 50: 392—402.

- 13 阎月华,李万兵. 曹庄群中几种少见岩石及其地质意义. 岩石学报,1991,(2):19—27.
- 14 鲁安怀,陈光远. 云母族中白云母亚族扩展为铬铝云母亚族. 地质论评,1995,41(3):272—276.
- 15 Froelich F. Beitrag zur geochemie des chroms. Geochim. Cosmochim. Acta,1960,20:215—240.
- 16 Dietrich R V. Chromian muscovite from Baker Mountain, Virginia. Am. Miner. ,1958,43:162—165.

TYPOMORPHISM OF ALUMINO-CHROMIAN MICA IN CRUSTAL EVOLUTION

Lu Anhuai and Chen Guangyuan

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

This paper deals with the typomorphism of alumino-chromian micas from the view-point of mineralogical phylogeny. The authors have investigated the early origin and late evolution of the crust based on 103 samples from different part of the world including 42 Chinese samples analyzed by the authors. The features point to the conclusion that the elements Cr and Al are rich in mantle-derived rocks and crust-derived rocks respectively. Alumino-chromian micas are mainly generated by the crust-mantle interaction in the earlier geological times or related to remobilization in crystalline basement in the later geological time and sometimes occur in altered ultrabasic rocks in ophiolites. The characteristics of evolution of alumino-chromian micas will be helpful to recognize the geological history from early origin to late evolution of the crust, especially the ore formation. The position of alumino-chromian micas in geological history is also affirmed.

Key words: alumino-chromian mica, typomorphism, mineralogical phylogeny, crust evolution, ore formation

作 者 简 介

鲁安怀,男,生于1962年8月。1984年毕业于北京大学地质系岩矿及地球化学专业,1993年获中国地质大学(北京)博士学位(在职)。现为中国地质大学(北京)副教授,从事矿物学及其应用研究。通讯地址:北京市海淀区学院路29号中国地质大学材料科学系,邮政编码:100083。
