文章编号:0258-7106 (2002) 02-0179-08

中国新生代成矿作用的惰性气体同位素研究与动力学背景*

王登红[1] 余金杰[1] 杨建民[1] 闫升好[1] 薛春纪[2] 陈毓川[3]
(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 10037;2 长安大学,陕西 西安 710054;3 中国地质科学院,北京 100037)

摘 要 通过对中国不同类型的、与新生代成矿作用有关的地质样品的惰性气体同位素组成研究,揭示出在不同地区新生代地幔流体广泛地参与了不同类型的成矿作用的规律。壳幔相互作用在宏观上控制了成矿作用的发生,但在早第三纪和晚第三纪刚开始时,地幔脱气作用表现得更为显著,25 Ma 可能是一个重要的转折点。虽然不同部位或地段中记录的惰性气体同位素组成有时相对均一,有时变化很大,但无疑深大断裂带是幔源气体逸出的重要通道,也是控制新生代成矿作用的重要构造部位。

关键词 新生代 地幔脱气 惰性气体同位素 成矿动力学 25 Ma
中图分类号: P597; P611 **文献标识码**: A

惰性气体同位素测试作为一种新方法在探讨地球演化、地幔脱气、构造背景、流体运移及成岩成矿物质来源等方面具有广泛的用途(王登红等,1996),近年来也开始运用于成矿学的研究,但由于成矿过程的复杂性、成矿物质的多源性,加之目前积累的资料还不充分,因此总体上还处于探索阶段。尽管如此,惰性气体作为流体的组成部分,又因其"惰性"的本质,仍然是示踪成矿物质来源的重要途径,对它的应用已经开始从对火山喷气活动和油气来源的研究(王先彬等,1993;刘文汇等,1993;徐永昌等,1990;1994)扩展到对固体矿床的研究。如,氦同位素的研究表明,我国哀牢山—金沙江富碱侵入岩带中的金矿(胡瑞忠等,1999)及斑岩铜矿(胡瑞忠等,1997;1998)、郯庐断裂南延连云山大断裂上的万古金矿(Mao et al.,2002)、阿尔泰造山带中的可可托海伟晶岩脉(王登红等,1998;2001)、四川大水沟和河北东坪碲矿(毛景文等,2000)等不同构造带中的不同类型的矿床均有幔源流体的参与;国外如墨西哥的新生代浅成低温热液矿床(Simmons,et al.,1988)、韩国的 Dae Hwa 钨钼矿床、苏格兰与 I 型花岗岩有关的金矿和铅锌矿也有幔源流体的参与(Stuart et al.,1995)。但并非所有的矿床都如此,如英国奔宁山脉北部与 S 型花岗岩有关的铅锌矿就没有幔源气体参与的迹象(Stuart et al.,1992),我国阿尔泰元古宇变质岩地层中的含铜石英脉型矿化也没有幔源流体显示(王登红等,1998;2001)。

考虑到天然样品中氦的同位素组成实际上是各种来源的气体及核过程产物和分馏效应的混合作用结果,放射性元素的衰变将提供大量的^4He,并且是一个历史的积累,为此,本文主要利用与新生代成矿作用有关的样品来进行研究。前人对哀牢山成矿带的铜、金矿床的氦、氩同位素研究表明,新生代成矿流体有相当一部分来自地幔,那么,其他地区是否也有此特点呢?其所揭示的成矿动力学背景又如何呢?本文将对此进行探讨。

1 矿床概况及样品特征

本文的主要研究对象是分布在我国不同成矿带中的不同类型的新生代矿床,其中,大麻坪橄榄石矿床和张(张家口)北新第三纪与玄武岩有关的幔源宝石矿床中,由橄榄石、顽火辉石、普通辉石和铬透辉石等巨晶矿物组成的地幔包体随着玄武岩的喷发而直接被带到地表。富湾银矿和西樵山银矿均位于广东三水盆地中,前者形成于 66 ~ 65 Ma 前(梁华英等,2000;伍广宇等,2001),后者赋存于第三纪粗面

* 本文得到国家 973 项目(G1999043203 课题)和地质大调查项目(K1.4-3-4 专题)及国家计委专项资助
第一作者简介 王登红,男,1967 年生,研究员,博士,主要从事矿床学研究。
收稿日期 2002-01-06;改回日期 2002-04-01。李 岩编辑。

岩之中,形成于 40 ~ 50 Ma 前;紫洞玄武岩也位于三水盆地中,但未见矿化;茶山铅锌矿位于三水盆地外围,但矿脉切割了白垩系地层。牦牛坪稀土矿床是我国第二、世界第三大的轻稀土矿床,位于扬子地台西缘龙门山造山带中,与新第三纪的碱性岩浆活动有关,形成于 22.4 Ma 前后(袁忠信等,1995)。农戈山脉状铅锌矿床产于折多山新生代花岗岩(12.6 ~ 6.3 Ma,许志琴等,1992)之中,并受到鲜水河剪切带的控制。偏岩子金矿产于折多山花岗岩的东北侧外接触带中,属于氟镁石型,约形成于 10 Ma 前(罗鸿书等,1987)。金顶铅锌矿是我国最大的铅锌矿,位于三江构造带兰坪—思茅盆地北部,形成于早第三纪(薛春纪等,2001)。白秧坪银多金属矿床也位于兰坪—思茅盆地中,矿体呈脉状产出,但矿物组合不同于金顶矿床,该矿床形成于 60.94 ~ 62.78 Ma 前(王登红等,2001)。姚安金矿位于滇中中新生代盆地,属于镜铁矿型,与 67.9 ~ 30.0 Ma 期间的碱性岩浆活动(胡祥昭等,1997)有关。

2 分析与结果

从不同矿床中挑选了单矿物及全岩固体样品进行氦同位素测试,部分样品还测试了氩、氖和氙的同位素组成。样品测试由中国地质科学院矿产资源研究所惰性气体同位素实验室完成。所用设备为乌克兰生产的 MI-1201IG 型惰性气体质谱仪,测试方法参见有关文献(毛景文等,1997;李延河等,1997;2001),结果列于表 1 和图 1。

表 1 和图 1 显示,中国新生代矿床及有关岩石的 He 含量(主要是 ^{4}He)变化较大,^{4}He 一般变化于 $10^{-8} \sim 10^{-5}$ cm^{3}STP/g,这一范围也是世界上新生代火成岩的范围(王先彬,1989),^{3}He 变化于 $10^{-14} \sim 10^{-12}$ cm^{3}STP/g,^{3}He/^{4}He 比值变化于 $10^{-8} \sim 10^{-5}$ 之间,在图 1 中位于地幔端元与地壳端元之间靠近地幔的一侧。同一矿区不同样品之间的氦同位素组成一般变化不大,在图 1 中具有相对集中的分布区域,如金顶的闪锌矿、黄铁矿和天青石的 ^{4}He 含量及 ^{3}He/^{4}He 比值都比较一致;但不同矿区的区别还是明显的,如金顶的 ^{3}He/^{4}He 比值多数小于 10^{-6},而白秧坪多数大于 10^{-6}。只有少数矿区如牦牛坪的 ^{3}He、^{4}He 含量及 ^{3}He/^{4}He 比值变化很大。

不同矿区的氖同位素比值变化不大,但 Ne 含量(主要是 ^{20}Ne)变化很大,其中 ^{20}Ne 含量从 $0.02 \times 10^{-7} \sim 2.29 \times 10^{-7}$ cm^{3}STP/g,这一范围也是世界上新生代火山岩的主要范围(王先彬,1989)。牦牛坪明显高于金顶和白秧坪。

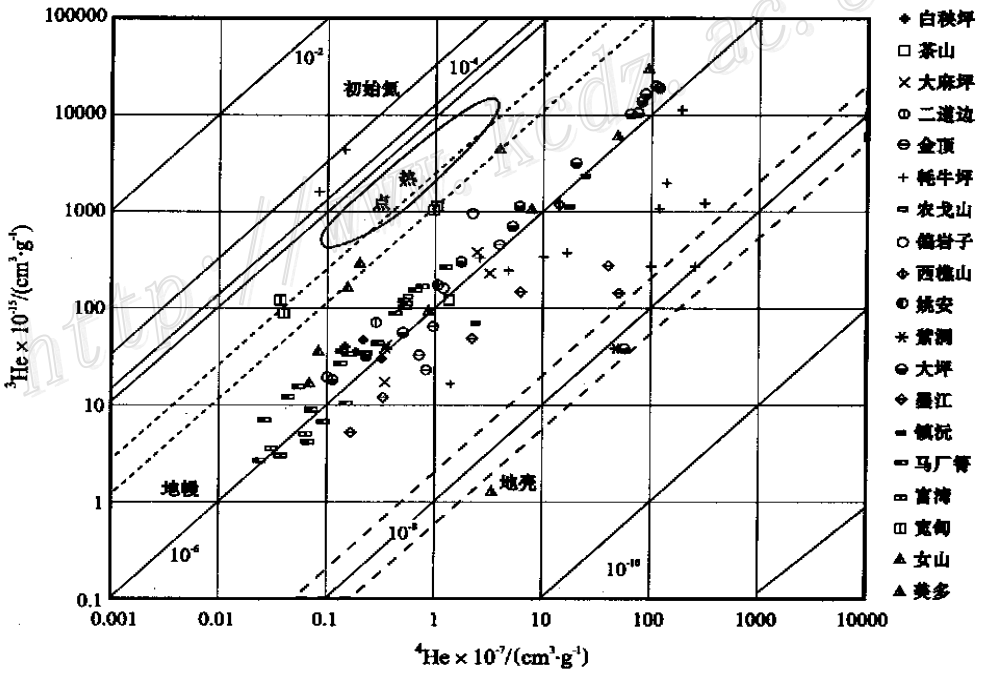


图 1 新生代岩石、矿物样品的氦同位素组成

(底图据 Mamyrin et al., 1984。除表 1 数据外,其余数据引自胡瑞忠等,1997;1998;1999;余金杰,2001;李延河等,2001)

Fig. 1 Helium isotopic composition of Cenozoic rock and mineral samples

表 1　中国部分新生代矿床的氦、氩气体同位素组成

Table 1　Isotopic composition of He and Ar of samples from Cenozoic deposits in China

样　号	样　品	采样地点	$^3He/^4He$ ($\times10^{-8}$)	$^4He\times10^{-7}$/($cm^3\cdot STP\cdot g^{-1}$)	$^{40}Ar/^{36}Ar$	$^{40}Ar/^{38}Ar$	$^{36}Ar/^{38}Ar$	$^{40}Ar\times10^{-7}$/($cm^3\cdot STP\cdot g^{-1}$)
MN-1-2	碳酸岩	牦牛坪	14.6	136	未测	未测	未测	未测
MN-3-13	英碱正长岩	牦牛坪	1.08	254	未测	未测	未测	未测
MN-37	铁闪石	牦牛坪	61.4	186	未测	未测	未测	未测
MN-H	煌斑岩	牦牛坪	2.65	101	未测	未测	未测	未测
MN-Q	石英	牦牛坪	19 500	0.0835	未测	未测	未测	未测
MN-Q	石英	牦牛坪	30 000	0.143	未测	未测	未测	未测
ZD-1	玄武岩	紫洞	0.8	48.3	484	2 377	4.9	1 790
ZD-2	玄武岩	紫洞	0.7	56.1	330	1 754	5.3	190
CS	闪锌矿	茶山	94.1	1.3	324	1 674	5.2	80
XQS	粗面岩型银矿石	西樵山	81.1	14.2	436	2166	5.0	>1 000
PYZ-6	硫锑铅矿	偏岩子	135	1.2	312	1 713	5.5	1.87
PYZ-10	硫锑铅矿	偏岩子	432	2.2	369	2 027	5.5	9.83
PYZ-14	方铅矿	偏岩子	197	0.1	未测出	未测出	未测出	微量
NGS-3	方铅矿	农戈山	^3He微量	微量	329	1 686	5.1	1.22
NGS-20	方铅矿	农戈山	259	0.5	312	1 731	5.5	2.82
MN-Y1-3	石英	牦牛坪	^3He微量	0.3	360	1951	5.4	10.28
MN-Y1 W	石英	牦牛坪	12	1.4	383	2 068	5.4	33.61
MN-Y1-1	石英	牦牛坪	34	9.9	未测	未测	未测	未测
MN-Y1-2	石英	牦牛坪	53	4.7	未测	未测	未测	未测
MN-Y1-4	石英	牦牛坪	23	16.1	未测	未测	未测	未测
MN-Y2	萤石	牦牛坪	9.5	116	未测	未测	未测	未测
MN-Y3	萤石	牦牛坪	4.0	309	未测	未测	未测	未测
9-110-8	石英	牦牛坪	128	2.6	未测	未测	未测	未测
YA-7	镜铁矿	姚安	165	1.07	304	1 621	5.3	0.98
XSG-中	方解石	小算沟	未测出	He 微量	284	1 578	5.5	2.73
XSG-下	石英	小算沟	未测出	He 微量	未测	未测	未测	未测
DMP01	橄榄石	大麻坪	117	0.36	294	1 528	5.2	2.05
DMP-02	橄榄石	大麻坪	149	2.49	未测	未测	未测	未测
DMP-ENl	顽火辉石	大麻坪	98	0.37	440	2 318	5.3	1.28
DMP-Al	普通辉石	大麻坪	52	0.34	未测	未测	未测	未测
DMP-Crl	铬透辉石	大麻坪	72	3.18	341	1 775	5.2	6.02
EDB-CCr	铬透辉石	二道边	248	0.28	未测	未测	未测	未测
JYS-3	天青石	金顶	66.7	0.958	未测出	未测出	未测出	未测出
XP-2	重晶石+方解石	金顶	114	39.7	296	1 714	5.82	535.0
BC-3	黄铁矿	金顶	46.3	0.703	299	1 628	5.45	30.0
KZJ-3	闪锌矿	金顶	27.0	0.841	305	1 660	5.46	27.0
DZY-1	重晶石	白秧坪	98.1	0.313	295	1 579	5.35	23.0
DZY-11	天青石(400 ℃)	白秧坪	218	0.214	305	1 636	5.36	91.0
DZY-11	天青石(550 ℃)	白秧坪	274	0.148	290	1 631	5.62	21.4
DZY-11	天青石(800 ℃)	白秧坪	190	0.185	未测	未测	未测	未测

不同地区样品中 Ar(主要是^{40}Ar)的含量除了广东三水盆地紫洞玄武岩含量较高外,其他地区相差不大,^{40}Ar 含量一般变化于 $10^{-7}\sim30\times10^{-7}$ cm^3STP/g,^{36}Ar的含量变化于 $0.001\times10^{-7}\sim3.698\times10^{-7}$ cm^3STP/g,也与火成岩的^{36}Ar浓度一致(王先彬,1989),并与^{40}Ar呈正相关。

氙的同位素组成在金顶和白秧坪矿区变化不大,如^{130}Xe的浓度与幔源岩石($10^{-12}\sim10^{-13}$ cm^3STP/g,Ozima et al.,1980)非常接近,而与沉积岩($10^{-11}\sim10^{-8}$ cm^3STP/g,Ozima et al.,1980)或海水及海底喷气($10^{-11}\sim10^{-7}$ cm^3STP/g,Ozima et al.,1980)差别显著。

3　讨论与结论

3.1　岩、矿石的物质来源及源区特征

总体上,$^3He/^4He$比值显示出的新生代成矿过程中均或多或少地有地幔氦的参与,体现了壳幔相互

http://www.kcdz.ac.cn/

作用对于成矿作用的宏观制约意义。不同地区样品的$^{4}He/^{20}Ne$比值虽然变化较大,但均远大于大气特征值(0.288,Ballentine et al.,1992),表明大气氦的影响可以不计,反映了新生代的内生成矿作用主要局限于岩石圈范围而不涉及到水圈与大气圈。不论是盆地中还是造山带中的矿床,也不论是何矿种或何种类型的矿床,地幔的贡献似乎是更具共性的特点。对于有争议的矿床,如金顶铅锌矿,胡瑞忠等(1998)给出的黄铁矿氦同位素资料反映没有幔源流体参与,本文给出的氦同位素资料却显示有地幔流体参与,进一步测定氖和氩的同位素组成(表2,表3),仍然显示有地幔物质参与(图2,图3),这与大量铅同位素资料反映成矿物质来自地幔的结论是一致的。图2、图3还表明金顶与白秧坪的氖及氩同位素组成相似,并与幔源岩石相似,而与沉积物或喷气、温泉显著不同。当然,成矿流体往往是一种复杂的混源流体,有幔源氦和铅的加入,但这并不等于其他物质如铁和硫等也来自同一源区。

3.2 成矿环境与动力学过程

虽然从总体上可以看出,整个新生代的成矿过程伴随有明显的地幔脱气,但不同的地质阶段、不同的地区,地幔脱气的程度是不同的。图4显示,老第三纪与新第三纪的地幔脱气行为有所不同,大致以25 Ma为界,25 Ma以前,从早到晚,$^{3}He/^{4}He$比值是逐渐减小的;25 Ma以后,从早到晚,$^{3}He/^{4}He$比值则是显著增加的。这可能意味着每一个大的地质历史旋回的初期均有较明显的地幔脱气,或者说地幔处于"不安分"状态,随着时间的推移,地幔趋于"安定",从地幔中释放的气体趋于减少,$^{3}He/^{4}He$值也趋于降低。这与油气盆地中幔源氦的渗漏情况是一致的,即在新生盆地中往往聚集了大量的幔源氦,而稳定地区或"老盆地"中的氦主要为地壳来源。位于中

表2 部分矿区样品的氖同位素组成

Table 2 Neon isotopic composition of samples from some ore districts in China

样 号	样 品	采样地点	$^{20}Ne/^{21}Ne$	$^{20}Ne/^{22}Ne$	$^{21}Ne/^{22}Ne$	$^{20}Ne\times10^{-7}/(cm^3\cdot STP\cdot g^{-1})$	$^{4}He/^{20}Ne$
MN-Y1-1	石英	牦牛坪	342	10.00	0.029	1.99	4.97
MN-Y1-2	石英	牦牛坪	324	9.17	0.028	1.70	2.76
MN-Y1-4	石英	牦牛坪	342	9.91	0.029	2.29	7.03
MN-Y2	萤石	牦牛坪	344	10.03	0.029	1.22	95.1
9-110-8	石英	牦牛坪	343	10.01	0.029	1.52	1.71
ZD-1	玄武岩	紫洞	343	9.6	0.027	0.055	878
ZD-2	玄武岩	紫洞	304	8.4	0.029	0.020	2 805
XQS	粗面岩型银矿石	西樵山	316	9.2	0.030	0.040	355
JYS-3	天青石	金顶	354	10.57	0.030	0.108	8.87
XP-2	重晶石+方解石	金顶	354	10.82	0.030	1.910	2.08
BC-3	黄铁矿	金顶	356	10.62	0.030	0.038	18.5
KZJ-3	闪锌矿	金顶	366	10.72	0.030	0.043	19.6
DZY-1	重晶石	白秧坪	346	10.58	0.030	0.025	12.5
DZY-11	天青石(400℃)	白秧坪	423	10.83	0.027	0.042	5.1
DZY-11	天青石(550℃)	白秧坪	350	10.57	0.030	0.039	3.79
DZY-11	天青石(800℃)	白秧坪	351	10.45	0.029	0.060	3.08

表3 金顶和白秧坪矿区的氙同位素组成

Table 3 Xenon isotopic compositon of samples from the Jinding and the Baiyangping ore districts

样 号	矿 物	矿区	$^{136}Xe/^{129}Xe$	$^{136}Xe/^{130}Xe$	$^{129}Xe/^{130}Xe$	$^{136}Xe\times10^{-13}/(cm^3\cdot STP\cdot g^{-1})$	$^{130}Xe\times10^{-13}/(cm^3\cdot STP\cdot g^{-1})$	$^{129}Xe\times10^{-13}/(cm^3\cdot STP\cdot g^{-1})$
DZY-1	重晶石	白秧坪	0.34	2.51	6.84	5.36	2.14	15.8
XP-2	重晶石+方解石	金顶	0.37	2.28	5.84	19.5	8.55	52.7
BC-3	黄铁矿	金顶	0.32	2.19	6.86	8.03	3.67	25.1
KZJ-3	闪锌矿	金顶	0.33	2.19	6.61	14.5	6.62	43.9
DZY-11	天青石(400℃)	白秧坪	0.33	2.08	6.52	16.9	8.13	51.2
DZY-11	天青石(550℃)	白秧坪	0.33	2.08	6.31	3.63	1.75	11.0

http://www.kcdz.ac.cn/

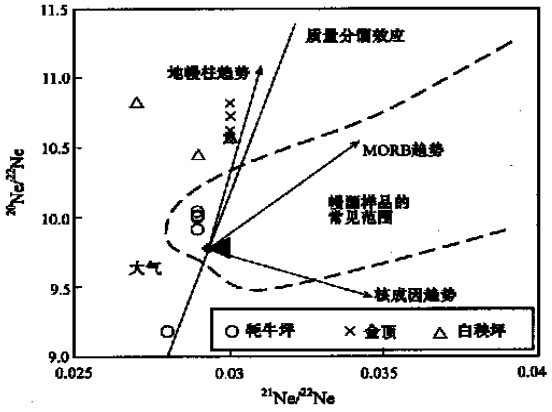


图 2　金顶和白秧坪样品的氖同位素组成(底图据 Marty ,1997 ; Matsumoto et al . ,1989)

Fig . 2　Neon isotopic compositon of samples from the Jinding and the Baiyangping ore districts

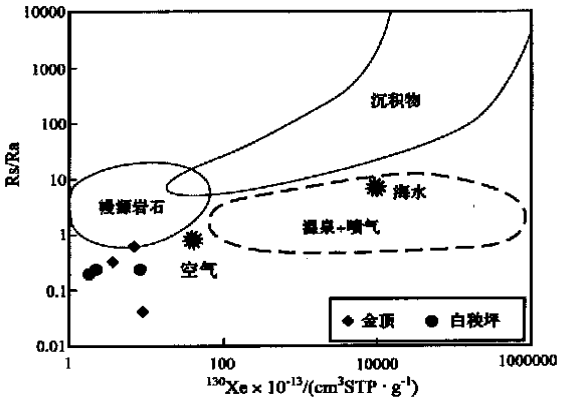


图 3　金顶和白秧坪样品的^{130}Xe- Rs/ Ra 图解(底图据 Ozima 等 , 1980)

Rs = (^{130}Xe/^{36}Ar)$_{样品}$, Ra = (^{130}Xe/^{36}Ar)$_{空气}$

Fig . 3　^{130}Xe- Rs/ Ra diagram of samples from the Jinding and the Baiyangping ore districts

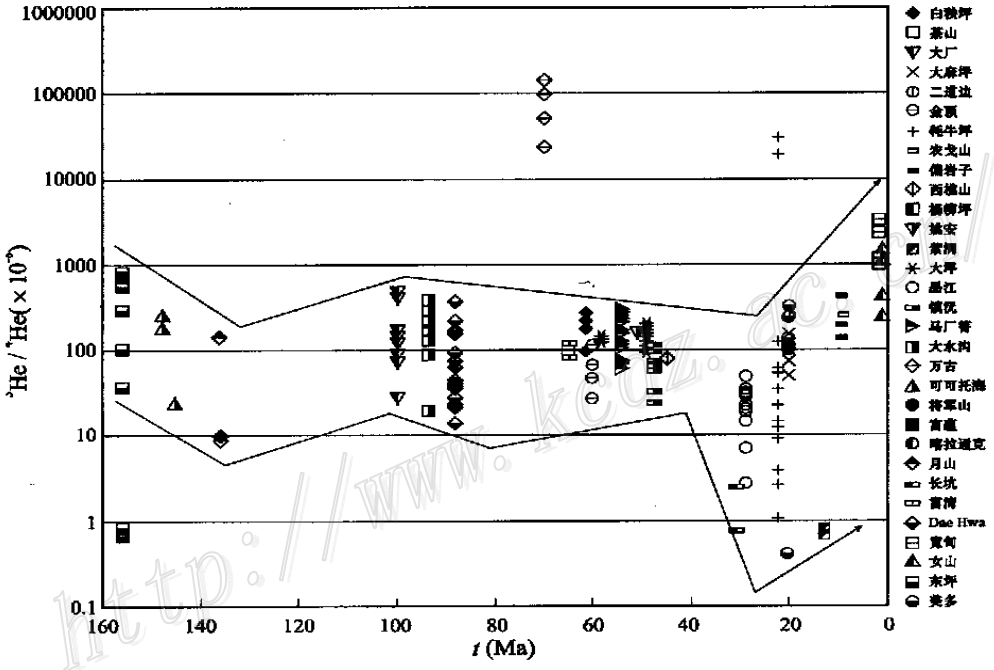


图 4　部分中国新生代矿床的^{3}He/^{4}He值随时间变化图

除表 1 数据外 ,其余数据引自周涛发等 , 2001 ; 王登红等 ,1999 ; 毛景文等 ,1997 ; 2000 ; 2001 ; 胡瑞忠等 ,1997 ; 1998 ; 1999 ; 孙晓明等 ,1998 ;Stuart et al . ,1995 ;余金杰 ,2001 ; 李延河等 ,2001

Fig . 4　Variation of ^{3}He/^{4}He ratio with time in various Cenozoic ore deposits

国中部四川盆地、百色盆地和鄂尔多斯盆地中的天然气的^{3}He/^{4}He比值为 10^{-8} ,比中国东部新生代盆地低两个数量级(徐永昌等 ,1994 ;汪洋 ,1999) 。因此 ,幔源 He 的异常可能是地幔物质趋于活动的一种征兆 。

大规模的断裂活动带往往是地幔气体上升的重要通道 ,这在鲜水河断裂带和哀牢山—红河断裂带中均有显示 。位于鲜水河断裂带上的偏岩子金矿和农戈山铅锌矿 ,虽然类型不同 ,但^{3}He/^{4}He比值和^{3}He ,^{4}He的含量比较接近(表 1) ;而元阳大坪、墨江

金厂和镇沅老王寨金矿的情况则有所不同,虽然三者均位于哀牢山成矿带中,但大坪金矿成矿流体的$^3He/^4He$比值比金厂和老王寨之高出一个数量级(胡瑞忠等,1999)。这也反映了地幔脱气的非均匀性和复杂性。

3.3 与中生代构造演化及成矿作用的关系

除青藏高原及其周边地区外,中生代以来中国大陆基本上连为一体而进入大陆成矿作用阶段(Chen et al.,2000)。其中,新生代的成矿作用与中生代的成矿作用具有一定的继承性(Wang et al.,2000),这种继承性在图 4 中也有所反映,即随着时间的推移,^3He,^4He含量及比值具有逐渐减小的趋势,直到 25 Ma 又开始升高。俄罗斯地台在其形成过程中,不同岩石的氦同位素组成也有类似的变化,随着时间的推移,从地幔中跑出来的气体越来越少。这反映了地幔的逐渐稳定与大陆的稳定是一致的。新生代以来,中国西南部 25 Ma 以前正是洋壳和盆地先后消失或褶皱形成的阶段,25 Ma 以后则强烈隆升并形成世界屋脊。中国东部一系列新生代盆地的形成实际上意味着大陆开始变得不稳定(趋于裂谷化),因而,同样来自地幔,但新生代玄武岩中幔源包体记录的$^3He/^4He$比值(李延河等,2001)比新生代以前榴辉岩的$^3He/^4He$比值(李延河等,1997;孙明良等,1997)要高出至少一个数量级。

References

Ballentine C J and O'Nions R K. 1992. The nature of mantle neon contributions to Vienna Basin hydrocarbon reservoirs[J]. Earth and Planetary Sci. Lett., 113(4): 553~567.

Chen Y C, Xu J, Wang D H, et al. 2000. The Mesozoic-Cenozoic minerogenic pattern in the continent of China[J]. Acta Geologica Sinica, 74(3): 439~446.

Hu R Z, Bi X W, Turner G, et al. 1997. Helium and argon isotopic systematics in pyrite fluid inclusions of Machangqing copper deposit[J]. Sci. in China(series D), 27(6): 503~508 (in Chinese with English abstract).

Hu R Z, Bi X W, Turner G, et al. 1998. Helium and argon isotopic composition of several deposits in China[J]. Mineral Deposits, 17(supp.): 803~804 (in Chinese).

Hu R Z, Bi X W, Tumer G, et al. 1999. Helium and argon isotope of the ore-forming fluids in Ailaoshan metallogenic belt[J]. Sci. in China(series D), 29(4): 321~330 (in Chinese with English abstract).

Hu X Z and Huang Z. 1997. The petrology and petrogenesis of the Yangzi platform western margin's alkali-rich granite porphyry[J]. Geotectonica et Metallogenia, 21(2): 173~180 (in Chinese with English abstract).

Li Y H, Li J C, Song H B, et al. 1997. He isotope of eclogite from the Dabie and Su-Lu region and its implication[J]. Acta Geoscientia Sinica, 18(supp.): 77~79 (in Chinese).

Li Y H, Li J C, Song H B, et al. 2001. Helium isotope of mantle-derived inclusions and high pressure megacrysts from Cenozoic basalt in Eastern China[J]. Sci. in China (series D), 31(8): 641~647 (in Chinese with English abstract)

Liang H Y, Wang X Z, Cheng J P, et al. 2000. Rb-Sr dating and genesis of Changkeng-Fuwan superlarge silver deposit in west Guangdong[J]. Scientia Geologica Sinica, 35(1): 47~54 (in Chinese with English abstract).

Liu W H and Xu Y C. 1993. Significance of the isotopic composition of He and Ar in natural gases[J]. Chinese Sci. Bull., 38(9): 818~821 (in Chinese with English abstract).

Luo H S, Mao Y Y, Lu Y, et al. 1987. The belonsite gold deposit in Kangding, Sichuan Province[M]. Chengdu: Sichuan Press of Sci. and Techn. 172p (in Chinese).

Mamyrin B A and Tolstikhin I N. 1984. Helium isotopes in nature[M]. Amsterdam. 273p.

Mao J W and Wei J X. 2000. Helium and argon isotopic components of fluid inclusions and tracing to the source of metallogenic fluids in the Dashuigou tellurium deposits of Sichuan Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 21(1): 58~61 (in Chinese with English abstract).

Mao J W and Li Y Q. 2001. Fluid inclusions of the Dongping gold telluride deposit in Hebei Province, China: Involvement of mantle fluid in metallogenesis[J]. Mineral Deposits, 20(1): 23~36 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Kerrich R, Li H Y, et al. 2002. High $^3He/^4He$ ratios in the Wangu gold deposit, Hunan Province, China: Implications for mantle fluids along Tanlu deep fault zone[J]. Geoch. J., 36(3) (in press).

Marty B. 1997. Neon signs mark Australian plume[J]. Nature, 388: 127~129.

Matsumoto T, Hoda M and Mcdougall I. 1989. Plume-like neon in metasomatics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[A]. In: Saunders A D and Norry M J, ed. Magmatism in the ocean basins[C]. London: Lond. Pub. 115~157.

Ozima M and Podosek F A. 1980. Mantle-crust material interaction from the rare gas viewpoint[J]. Proc. Japan Acad (Series B), 56: 260~262.

Simmons S F, Gemmell J B and Sawkins F J. 1988. The Santo Nino silver-lead-zinc vein, Fresnillo District, Zacatecas, Mexico: Part II. Physical and chemical nature of ore-forming solutions[J]. Econ. Geol., 83: 1619~1641.

Stuart F M and Turner G. 1992. Abundance and isotopic composition of the noble gases in fluid inclusions[J]. Chem. Geol., 101: 97~111.

Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, et al. 1995. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralization, South Korea[J]. Geochimica et Comsmochimica Acta, 59(22): 4663~

http://www.kcda.ac.cn/

4673.

Sun M L, Ye X R and Du J G. 1997. He and Ar isotope compositions in the minerals seperated from Dabie eclogites[J]. Acta Geoscientia sinica, 118(supp.): 80 ~ 82 (in Chinese).

Sun X M, Norman D I, Sun K, et al. 1998. N_2-Ar-He tracing systematics of the ore-forming fluids in Changkeng large gold and silver deposit, Guangdong Province[J]. Mineral Deposits, 17(supp.): 315 ~ 318 (in Chinese with English abstract).

Wang D H and Mao J W. 1996. Advances in the studies of helium isotopes geology[J]. Geol. Sci. and Technol. Inf., 15(2): 51 ~ 56 (in Chinese with English abstract).

Wang D H, Chen Y C, Li H Y, et al. 1998. Helium istopic study on mantle degassing in the Altay orogenic zone[J]. Chinese Sci. Bull., 43(23): 2541 ~ 2543 (in Chinese with English abstract).

Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, et al. 1999. Helium isotopic study on mantle degassing in the Altay orogenic zone, China[J]. Chinese Sci. Bull., 44(11): 1050 ~ 1053.

Wang D H, Chen Y C, Xu J, et al. 2000. Cenozoic Metallogeny in China, as a key to past mineralization and a clue to future prospecting [J]. Acta Geologica Sinica, 74(3): 478 ~ 484 (in Chinese with English abstract).

Wang D H, Chen Y C and Xu Z G. 2001. Argon istopic study of rock and ore from the Altay orogenic belt[J]. J. of Changchun Univ. of Sci. and Techn., 31(2): 110 ~ 116 (in Chinese with English abstract).

Wang D H, Yang J M, Xue C J, et al. 2001. Isotopic geochronology constraints on the gold mineralization of Himalayan in the Sanjiang (Lancangjiang-Nujiang-Jinshajiang)-Daduhe region, southwestern China. In: Chen Y C and Wang D H, ed. Study on Himalayan endogenic mineralization[C]. Beijing: Seismological Press. 84 ~ 87 (in Chinese with English abstract).

Wang X B. 1989. Isotopic geochemistry and cosmochemistry of the noble gases[M]. Beijing: Sci. Press. 451p (in Chinese).

Wang X B, Xu S, Chen J F, et al. 1993. Gas composition and helium isotope of the hotsprings in Tengchong volcanic field[J]. Chinese Sci. Bull., 38(9): 814 ~ 817 (in Chinese with English abstract).

Wang Y. 1999. A study on mantle heat flow of continental area of China by helium isotope ratio of the underground fluid[J]. Acta Geoscientia Sinica, 29(supp.): 315 ~ 318 (in Chinese).

Wu G Y, Liang W, Wei L, et al. 2001. Geology feature and isotope dating of Himalayan endogenetic mineralization in the Sanshui basin and its west margin, Guangdong Province[A]. In: Chen Y C and Wang D H, ed. Study on Himalayan endogenic mineralization[C]. Beijing: Seismological Press. 117 ~ 129 (in Chinese with English abstract).

Xu Y C, Shen P, Tao M X, et al. 1990. Industrial accumulation of mantle-derived helium along the Tancheng-Lujiang large fault belt [J]. Chinese Sci. Bull., 35(12): 932 ~ 935 (in Chinese with English abstract).

Xu Y C, Shen P, Tao M X, et al. 1994. Distribution of Helium isotope in the natural gases of petroleum and gas basins, China[J]. Chinese Sci. Bull., 39(16): 1505 ~ 1508 (in Chinese with English abstract).

Xu Z Q, Hou L W, Wang Z X, et al. 1992. Orogenic processes of the Songpan-Garze orogenic belt of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 190p (in Chinese).

Xue C J, Yang J M, Chen Y C, et al. 2001. Copper-silver multimetallogenic characteristics of Baiyangping, Lanping[A]. In: Chen Y C and Wang D H, ed. Study on Himalayan endogenic mineralization [C]. Beijing: Seismological Press. 69 ~ 83 (in Chinese with English abstract).

Yu J J. 2001. Mineralization of antimony metallogenic zone in northern Tibet and a simple comparison of antimony metallogenic zones in northern Tibet and south Tibet〔Ph. D dissertation〕[D]. CAGS (in Chinese).

Yuan Z X, Shi Z M, Bai G, et al. 1995. The Moniuping rare earth ore deposit, Mianning County, Sichuan Province[M]. Beijing: Seismological Press. 150p (in Chinese).

Zhou T F, Yuan F, Yue S C, et al. 2001. Silicon, helium and neon isotopic composition of Yueshan ore field, Anhui Province[J]. Bull. of Min. Petr. and Geochem. 20(4): 385 ~ 387 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

胡瑞忠，毕献武，Turner G，等. 1997. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系[J]. 中国科学(D辑)，27(6)：503 ~ 508.

胡瑞忠，毕献武，Turner G，等. 1998. 中国若干固体矿床氦、氩同位素研究[J]. 矿床地质，17(增刊)：803 ~ 804.

胡瑞忠，毕献武，Turner G，等. 1999. 哀牢山金矿带金成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学[J]. 中国科学(D辑)，29(4)：321 ~ 330.

胡祥昭，黄　震. 1997. 扬子地台西缘富碱花岗斑岩特征及成因探讨[J]. 大地构造与成矿学，21(2)：173 ~ 180.

李延河，李金城，宋鹤彬，等. 1997. 大别-苏鲁地区榴辉岩的 He 同位素特征及其地质意义[J]. 地球学报，18(增刊)：77 ~ 79.

李延河，李金城，宋鹤彬，等. 2001. 中国东部新生代玄武岩中幔源包体和高压巨晶的氦同位素研究[J]. 中国科学(D辑)，31(8)：641 ~ 647.

梁华英，王秀璋，程景平，等. 广东长坑-富湾超大型独立银矿床 Rb-Sr 定年及形成分析[J]. 地质科学，2000，35(1)：47 ~ 54.

刘文汇，徐永昌. 1993. 天然气中氦氩同位素组成的意义[J]. 科学通报，38(9)：818 ~ 821.

罗鸿书，毛玉元，陆　彦，等. 1987. 康定氟镁石金矿[M]. 成都：四川科学技术出版社. 172 页.

毛景文，魏家秀. 2000. 大水沟碲矿床流体包裹体的 He、Ar 同位素组成及其示踪成矿流体的来源[J]. 地球学报，21(1)：58 ~ 61.

毛景文，李荫清. 2001. 河北省东坪碲化物金矿床流体包裹体研究：地幔流体与成矿关系[J]. 矿床地质，20(1)：23 ~ 36.

孙明良，叶先仁，杜建国. 1997. 大别山榴辉岩的单矿物中 He、Ar 同位素特征[J]. 地球学报，18(增刊)：80 ~ 82.

孙晓明，Norman D I，孙　凯，等. 1998. 长坑大型金银矿成矿流体 N_2-Ar-He 示踪体系[J]. 矿床地质，17(增刊)：315 ~ 318.

汪　洋. 1999. 利用地下流体 He 同位素比值资料研究中国大陆地幔

热流[J]. 地球学报, 20(增刊): 48~50.
王登红, 毛景文. 1996. 氦同位素地质研究进展[J]. 地质科技情报, 15(2): 51~56.
王登红, 陈毓川, 李红阳, 等. 1998. 阿尔泰造山带地幔脱气的氦同位素研究[J]. 科学通报, 43(23): 2541~2543.
王登红, 陈毓川, 徐志刚. 2001. 阿尔泰造山过程中成岩成矿的氩同位素研究[J]. 长春科技大学学报, 31(2): 110~116.
王登红, 杨建民, 薛春纪, 等. 2001. 西南三江-大渡河地区喜马拉雅期金成矿作用的同位素年代学依据[A]. 见: 陈毓川, 王登红, 主编. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[C]. 北京: 地震出版社. 84~87.
王先彬. 1989. 稀有气体同位素地球化学和宇宙化学[M]. 北京: 科学出版社. 451 页.
王先彬, 徐 胜, 陈践发, 等. 1993. 腾冲火山岩区温泉气体组分和氦同位素组成特征[J]. 科学通报, 38(9): 814~817.
伍广宇, 梁 伟, 魏 琳, 等. 2001. 广东省三水盆地及西缘喜马拉雅期内生成矿的地质特征与同位素年代学证据[A]. 见: 陈毓川, 王登红, 主编. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[C]. 北京: 地震出版社. 117~129.
徐永昌, 沈 平, 陶明信, 等. 1990. 幔源氦的工业储集和郯庐大断裂带[J]. 科学通报, 35(12): 932~935.
徐永昌, 沈 平, 陶明信, 等. 1994. 中国含油气盆地天然气中氦同位素分布[J]. 科学通报, 39(16): 1505~1508.
许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等. 1992. 松潘-甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社.
薛春纪, 杨建民, 陈毓川, 等. 2001. 兰坪白秧坪 Cu-Ag-Co 多金属成矿学特征[A]. 见: 陈毓川, 王登红, 主编. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[C]. 北京: 地震出版社. 69~83.
余金杰. 2001. 藏北锑矿带矿床地质特征及与藏南锑矿带粗略对比〔博士论文〕[D]. 指导教师: 陈毓川. 中国地质科学院.
袁忠信, 施泽民, 白 鸽, 等. 1995. 四川冕宁牦牛坪稀土矿床[M]. 北京: 地震出版社. 150 页.
周涛发, 袁 峰, 岳书仓, 等. 2001. 安徽月山矿田硅、氦、氖同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 385~387.

Inert Gas Isotopic Studies and Dynamic Background of Cenozoic Ore-forming Process in China

Wang Denghong[1], Yu Jinjie[1], Yang Jianmin[1], Yan Shenghao[1], Xue Chunji[2], Chen Yuchuan[3]
(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Based on studies of isotopic composition of inert gases in geological samples related to different types of Cenozoic ore-forming processes in China, the authors have revealed that Cenozoic mantle fluids must have extensively taken part in different types of ore-forming processes. The interaction between the crust and the mantle controlled the ore-forming process on the whole; nevertheless, at the beginning of Paleogene and that of Neogene, the gas-releasing action of the mantle was especially remarkable, and 25 Ma seems to have been an important turning point. Although isotopic compositions of inert gases recorded in different positions and different sections could either be relatively uniform or vary considerably, the great deep fault belt was undoubtedly an important channelway for the release of gases and also served as an important tectonic position controlling the Cenozoic ore-forming process.

Key words: Cenozoic, gas-releasing action of the mantle, inert gas isotopes, metallogenic mechanics, 25 Ma

http://www.kcdz.ac.cn/