致谢 作者对秦耀东和熊顺贵提供的土壤容重与导水率测定仪器和技术指导，刘 英、杜丽芳、胡克林的协助，李韵珠、曹一平、秦耀东、李保国、陆景陵、韩湘玲、崔之久及两位评审者提出的修改意见和中国农业大学科学园、园艺系和土壤与水科学系提供的工作方便，一并表示感谢. 本工作为农业部重点科研计划(批准号：97Z02-09)资助项目.

参 考 文 献

1 孙耀邦，主编. 土壤耕作技术与应用. 北京：中国农业出版社，1996. 51～61，111～115
2 王树安，刘兴海，金连胜. 冬小麦抗逆栽培技术原理的研究Ⅰ. 打破犁底层对小麦根系发育和抗逆性的影响. 华北农学报，1986，1：37～44
13 Lowery B，Schuler R T. Temporal effects of subsoil compaction on soil strength and plant growth. Soil Sci Soc Am J，1991，55：216～223
4 Davies D B，Eagle D J，Finney J B. Soil Management，5th ed. England：Farming Press，1993. 157～194
5 姚贤良，程云生，编著. 土壤物理学. 北京：农业出版社，1986. 59～61，494～502
6 Larson W E，Allmaras R R. Management factors and natural forces as related to compaction. In：Barnes K K，et al eds. Compaction of Agricultural Soils. St Joseph：ASAE，1971，367～427
7 高以信，鲍新奎. 青藏高原土壤冻融过程对土壤性状的影响及其在系统分类中的意义. 土壤学报，1995，32(6)：167～176
8 Krumbach A W Jr，White D P. Moisture，pore space，and bulk density changes in frozen soil. Soil Sci Soc Am Proc，1964，28：422～425
9 Voorhees W B. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviation wheel-induced soil compaction. Soil Sci Soc Am J，1983，47：129～133
10 Gameda S，Raghavan G S V，McKyes E，et al. Subsoil compaction in a clay soil. Ⅱ. Natural alleviation. Soil & Tillage Research，1987，10：123～130
11 赵其国，王浩清，顾国安. 中国的冻土. 土壤学报，1993，30：341～354
12 华 孟，王 坚，主编. 土壤物理学. 北京：北京农业大学出版社，1993. 74～105，155～176，280～283
13 王家澄，徐学祖，王玉杰. 单向冻结时土颗粒位移的热筛效应及对流迁移. 冰川冻土，1996，18：252～255

(1998-04-29 收稿，1998-08-20 收修改稿)

阿尔泰造山带地幔脱气的氦同位素研究

王登红① 陈毓川② 李红阳② 徐志刚① 李天德③
(①中国地质科学院矿床地质研究所，北京 100037；②中国地质科学院，北京 100037；
③新疆地质矿产研究所，乌鲁木齐 830000)

摘要 在洋中脊和陆内拉张盆地环境中常见地幔脱气的现象，但造山带的情况较复杂. 通过阿尔泰造山带不同类型岩石和矿石样品的氦同位素研究，发现岩石和矿石的$^3He/^4He$比值可高达2.54×10^{-6}，从而认为造山带同样存在地幔脱气，并且对造山带中矿床的形成具有重要意义.

关键词 造山带 地幔脱气 氦同位素

近年来国内、外关于地幔脱气的研究取得了不少新进展，除了海底洋中脊、洋岛及大陆溢

流玄武岩等地幔柱作用地区存在显著的地幔脱气现象外，大陆上的深大断裂及一些油气盆地中也有地幔脱气的种种迹象[1~3]. 这方面，氦同位素的研究提供了有利的依据. 那么，在造山带中是否也有地幔脱气作用呢？它对造山过程有何影响呢？与成矿物质来源之间又有什么联系呢？本文将根据对阿尔泰造山带固体岩石、矿石样品的氦同位素研究，探讨造山过程中地幔脱气的可能影响及其与成矿的关系.

1 取样位置及样品特点

本文所用样品均采自阿尔泰造山带，其中可可托海矿区 5 个，分别为辉石伟晶岩、绿柱石伟晶岩、闪长岩、辉绿岩和石榴石辉长岩，其他地区 3 个，分别为将军山天河石花岗岩、富蕴县城西南元古宇变质岩地层中的含铜石英脉和喀拉通克铜镍硫化物矿床中的富铜镍矿石. 除了含铜石英脉可能形成于加里东期、将军山花岗岩形成于印支-燕山期外，其余样品均为海西期造山过程中的产物. 另外，辉石伟晶岩(俗称黑色伟晶岩)产于可可托海矿区外围基性侵入岩中，绿柱石伟晶岩(俗称白色伟晶岩)产于花岗岩体附近.

2 分析方法及结果

采用全岩、矿石固体样品进行氦同位素测试(下文对比资料也全用固体样品资料)，分析方法可参见有关文献[4, 5]. 所用设备为乌克兰生产的 MI-1201IG 惰性气体质谱仪，其中^{4}He 用法拉第杯接收，^{3}He 用电子倍增器接收. 倍增器的分辨率调至 760(最高可达 1 300)，使^{3}He 和^{4}He 的分辨率、灵敏度均达到最佳.^{3}He 与 HD 峰可完全分开，无需 HD 校正. 工业标准为北京大气，其^{3}He/^{4}He 比值为 1.40×10^{-6}.^{3}He,^{4}He 的空白值各为 8×10^{-15} cm^{3}STP 和 8×10^{-10} cm^{3}STP. 样品测量精度为 1%～5%. 结果列入表 1 和图 1.

表 1 阿尔泰造山带岩石、矿石样品的氦同位素分析结果[a)]

样品	图 1 中符号	样号	$^4He\times10^{-6}/cm^3\cdot g^{-1}$	$^3He\times10^{-12}/cm^3\cdot g^{-1}$	$^3He/^4He(\times10^{-6})$
可可托海辉石伟晶岩	■	K3-2	28.78	51.66	1.795
可可托海绿柱石伟晶岩	□	K3-1	32.40	82.30	2.540
将军山花岗岩	✚	78-9	11.10	0.246 4	0.022
富蕴南含铜石英脉	☆	85-23	1.697	0.162 4	0.096
可可托海闪长岩	⊙	KK20-13	41.84	5.819 9	0.139
可可托海辉绿岩	○	729-13	71.60	18.258	0.255
可可托海石榴石辉长岩	●	7264	137.90	33.096	0.240
喀拉通克铜镍矿石	★	73317K	0.404 7	1.596 5	3.945

a) 中国地质科学院矿床地质研究所惰性气体同位素实验室宋鹤彬、李延河、李金诚测定

3 讨论

从表 1 和图 1 可以看出，阿尔泰造山带中不同地区不同性质的全岩、矿石样品具有显著不同的氦同位素组成. 其中，可可托海地区的伟晶岩无论其产状和物质组成如何，都具有最高的^{3}He 含量和^{3}He/^{4}He 比值(1.795×10^{-6}～2.540×10^{-6})，而且，^{3}He/^{4}He比值与喀拉通克铜镍硫化物矿石(3.945×10^{-6})属于同一数量级，表明它们可能来自于同一源区. 这一认识与传统的关于伟晶岩成矿的概念有较大的出入，也意味着对伟晶岩成矿问题需要深入研究. 考虑到地壳中放射性成因^{4}He 的可能加入，实际上伟晶岩样品刚形成时的^{3}He/^{4}He 比值要大于现今实测值，即样品具有过量的^{3}He，如此高的^{3}He 是地幔脱气的有利证据[1,3].

可可托海地区辉绿岩、辉长岩及闪长岩的^{3}He/^{4}He 比值变化在 1.39×10^{-7}～$2.55\times$

10^{-7}，属于同一数量级，^3He 及 ^4He 的含量也较为接近，应该属于同一来源，这与其地质特征是一致的．它们的 $^3He/^4He$ 比值比伟晶岩样品低一个数量级，意味着含矿伟晶岩的起源深度可能比基性岩还深．也就是说，辉绿岩等基性、超基性岩起源于上地幔（可可托海辉绿岩的 $\varepsilon_{Nd}(T) = -2.2$[1]）或亏损地幔[6]，那么铜镍矿石及伟晶岩矿床的成矿元素与氦一样可能来自于下地幔，类似于西伯利亚等地的铜镍矿石[7]．实际上，下地幔来源的岩浆或含矿流体在上升过程中，不可避免地受到低 $^3He/^4He$ 比值的地壳物质的混染，从而使样品的测试值低于初始值．

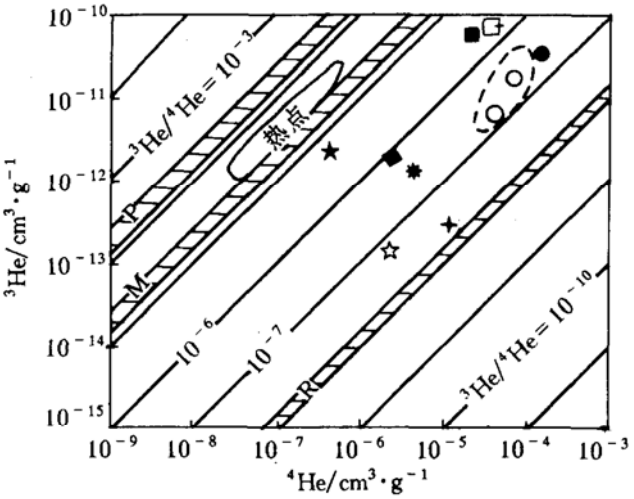


图 1　阿尔泰岩石、矿石的氦同位素组成（图例见表 1）
图中虚线圈内为科拉半岛超基性岩分布范围，◆ 为东非裂谷带年轻火山岩平均值，* 为东西伯利亚金刚石平均值，参见文献[1]．P 为初始氦，M 为地幔氦，R 为地壳氦

富蕴县城附近元古宇地层中的变质含铜石英脉和阿尔泰市附近将军山的碱性花岗岩具有最低的 ^3He 与 ^4He 含量及最小的 $^3He/^4He$ 比值，在图 1 中接近于地壳水平，但地质意义不完全相同．形成于中生代的将军山花岗岩可能是元古宇地层重熔的产物，而含铜石英脉虽然形成早（可能长期受到地壳放射性的 ^4He 显著叠加、累积），但 $^3He/^4He$ 比值（9.57×10^{-8}）比相近时代的东欧地台稳定区（$0.55\times10^{-8}\sim4.96\times10^{-8}$）要高得多，甚至比活化区（$6.82\times10^{-8}$）[1, 3]还高，接近于可可托海的闪长岩，表明样品中仍然保留有幔源氦或深源流体成矿的痕迹．

高 Li 的样品无疑具有较高的 $^3He/^4He$ 比值[1, 8]，而可可托海正是一个富锂的矿区，那么，可可托海地区全岩、矿石样品的高 $^3He/^4He$ 比值是否由 Li 衰变引起呢？根据实验和统计，锂辉石矿物的 $^3He/^4He$ 比值可以接近于 10^{-5}，平均 3.7×10^{-6}．但 Li 含量在 $1\,000\times10^{-6}\sim10\,000\times10^{-6}$ 的样品 $^3He/^4He$ 比值接近于 10^{-7}，达不到 10^{-6} 的程度[1]．与可可托海基性岩形成时间相近的西伯利亚绿柱石的 $^3He/^4He$ 比值为 $0.18\times10^{-6}\sim0.25\times10^{-6}$[1]，也明显低于可可托海的样品（表 1）．由图 1 可见，可可托海基性岩的氦同位素含量及组成与科拉（Kola）半岛的超基性岩相似，但科拉半岛绿柱石的 $^3He/^4He$ 比值仅为 $0.11\times10^{-6}\sim0.33\times10^{-6}$[1]．由此可见，仅仅由 Li 衰变还不足以引起可可托海地区伟晶岩中如此高的 $^3He/^4He$ 比值．过量的 ^3He 很可能来源于地幔．

阿尔泰地区地壳中存在较高的放射性元素，放射性成因 ^4He 可能已经降低了全岩、矿石的 $^3He/^4He$ 比值．尽管如此，各类样品仍然显示很高的 $^3He/^4He$ 比值及 ^3He 的过量，其原因跟地幔脱气有关．

上述资料表明造山过程中同样可以出现地幔脱气．阿尔泰海西期造山运动不只是板块的简单碰撞俯冲，还应该有地幔物质的底侵增生．实际上，阿尔泰造山带中基性、超基性岩体虽

1）陈毓川等．阿尔泰黄金有色金属开发区成矿地质条件与矿产资源评价研究（国家 305 项目课题报告），1995

然面积不大,但从东向西各地均有出露(如可可托海、吐尔洪、库威、将军山、哈巴河等地),而且与花岗岩构成双峰式侵入岩组合,缺乏典型的安山质火山岩和侵入岩. 对于伟晶岩矿床中的稀有金属元素,一般认为来自于地壳,但本文资料显示了幔源的可能性. 这跟地质特征完全一致,阿尔泰的几个大型、超大型稀有金属矿床都跟基性超基性岩体影形相随,或直接产于基性岩体之中(如可可托海),或围绕基性岩密集分布(库威). 国外对钨钼矿床流体包裹体进行He-Ar同位素研究,也证明稀有金属可能来自于地幔[8].

致谢 本工作为国家305项目915-01-02专题和地质行业基金青年基金9612专题的部分成果.

参 考 文 献

1 Mamyrin B A, Tolstikhin I N. Helium isotopes in nature, Amsterdam, 1984. 273
2 徐永昌,沈 平,陶明信,等.幔源氦的工业储集和郯庐大断裂带.科学通报, 1990, 35(12): 932~935
3 王登红,毛景文.氦同位素地质研究进展.地质科技情报, 1996(15): 51~56
4 李延河,宋鹤彬,李金城,等.太平洋中部多金属结核与海底热液活动的关系.科学通报, 1997, 42(19): 2 084~2 086
5 毛景文,李延河,李红艳,等.湖南万古金矿床地幔流体成矿的氦同位素证据.地质论评, 1997, 43(6): 646~649
6 王润民,赵昌龙.新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床.北京:地质出版社,1991
7 Renne P R, Basu A R. Rapid eruption of the Siberian Trap flood basalts at the permo-Trassic boundary. Science, 1991, 253: 176~179
8 Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, et al. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralization, Soth Korea. Geochim Cosmochim Acta, 1995, 22: 4 663~4 673

(1998-04-13收稿,1998-06-16收修改稿)

西南天山早白垩世火山岩中发现地幔和下地壳捕虏体

韩宝福 王学潮 何国琦 吴泰然 李茂松 刘玉琳 王式光
(北京大学地质学系,北京 100871)

摘要 在中国西南天山托云地区早白垩世火山岩中存在地幔和下地壳捕虏体,火山岩的年龄为123~101 Ma. 地幔捕虏体既有钛角闪石和韭闪石、长石、云母及辉石等矿物巨晶,也有橄榄岩、辉石岩、角闪石岩和云母岩等岩石碎块. 下地壳捕虏体主要是条带状和块状的麻粒岩,火山岩是板内岩浆活动的产物. 含水矿物巨晶和地幔岩石碎块中存在含水矿物,表明发生过强烈的地幔交代作用. 毫无疑问,这一发现对于研究西南天山的壳-幔结构、深部地球动力学背景及与邻区地质对比研究具有重要意义.

关键词 地幔 下地壳 捕虏体 巨晶 火山岩 早白垩世 天山

由幔源岩浆带到地球表面的地幔和下地壳捕虏体,是研究地球的壳-幔结构和深部地球动