

49-52

超高压变质作用与成矿

p588.3

从柏林 王清晨

p612

(中国科学院地质研究所·北京·100029)



第一作者学术简历 中科院地质研究所研究员, 博士生导师。上海人, 男, 1939 年 6 月生。北京大学地质系毕业后, 先后从事中国东部中生代火山岩, 地幔岩包体, 大陆裂谷, 太古代麻粒岩, 古特提斯洋以及高压和超高压变质岩研究, 在国内外发表了 5 部专著和上百篇论文, 对我国开创岩石大地构造学及发展成因岩石学研究起了重要作用。“六五”以来一直是中科院或国家自然科学基金重点项目主持人。主持的两个项目分别获得中国科学院科技进步奖一等奖和自然科学奖一等奖。1994 年获得国家级有突出贡献的中青年科学家称号。

摘要 超高压变质作用是指在地温梯度小于 10 C/km 条件下发生的高于“石英-柯石英”相变线压力的变质作用, 一般发生在陆-陆碰撞造山带深部。由于其生成条件特殊, 超高压变质岩中存在着金刚石、硬玉、蓝晶石及金红石等潜在的矿产资源。

关键词 超高压变质岩, 碰撞造山带, 潜在矿产资源

变质作用, 成矿

1984 年, 法国科学家萧邦首次在意大利道拉玛亚地块的陆壳变质岩中发现了柯石英^[1], 其后的十余年间, 已在瑞士、挪威、哈萨克斯坦、加拿大、以及我国找到了含柯石英和金刚石的超高压变质岩。受篇幅所限, 本文仅对超高压变质岩作简要介绍, 并对这一研究的科学意义和潜在的经济意义作些讨论。

带才能实现。因此, 目前所发现的超高压变质岩均产于陆-陆碰撞造山带中也就不难解释了。

1 超高压变质作用简述

世界上超高压变质岩 $P-T-t$ 轨迹的研究表明, 陆壳物质在碰撞造山带中可被带到地下 100km 以下的深处受到 28~40kbar 的超高压变质作用, 然后又很快折返到浅部地壳中。这从变质岩石学角度暗示了陆-陆碰撞造山是一个涉及到地幔深度的地球动力学过程。可以说, 超高压变质岩为人类认知地球深部的动力学过程提供了一个不可多得的天然窗口。对其进行研究无疑会深化对碰撞造山带深部作用过程的认识, 修正与扩充传统的地球动力学观。正因为如此, 一场世界性超高压变质作用的研究热潮才得以形成。国际岩石圈计划于 1993 年设立了由我国科学家主持的第 II-6 任务组, 第三届国际榴辉岩野外学术讨论会于 1995 年在我国大别山

超高压变质作用是指在地温梯度小于 10 C/km 条件下发生的高于“石英=柯石英”相变线压力 ($P > 28\text{kbar}/T = 800\text{C}$) 的变质作用(图 1)。在这一超高压变质 $P-T$ 域中, 可生成柯石英、金刚石、 MgMgAl -绿帘石、艾伦堡石等特征矿物, 石榴石、硬玉、特别是滑石、蓝闪石、多硅白云母、镁十字石、黝帘石/绿帘石等含水矿物均可稳定存在^[7,5]。这样高的压力和这样低的地温梯度只有在俯冲

本文 1996 年 8 月收到, 范若芬编辑。

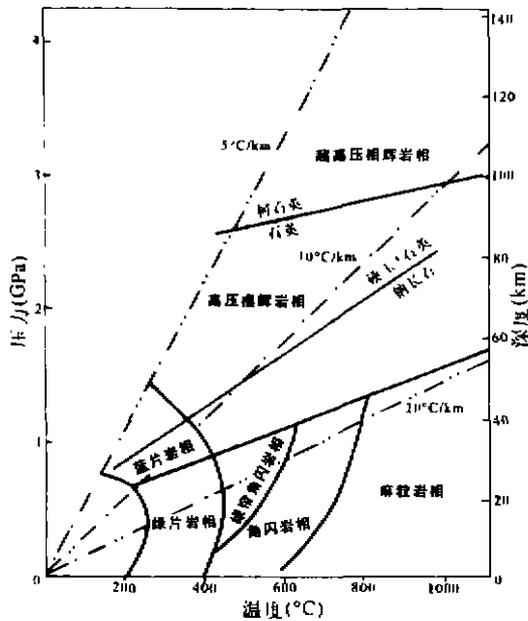


图1 超高压变质作用的P-T域
举行,这些都表明我国在这一研究领域中已处于领先地位。

2 超高压变质岩的主要类型

目前世界上所发现的超高压变质岩带中,以我国大别山—苏鲁地区发现的超高压变质岩带(图2)规模最大、种类最多、出露最好,已发现了含柯石英或金刚石的榴辉岩、硬玉石英岩、大理岩和变泥质岩等^[1,3,6,12,18,23,4,5,11]。详细的岩石学和矿物学研究表明,这些岩石都经历了复杂的多期变质作用,以我国大别山超高压变质岩为例,已区分出4期变质矿物组合(见下表)。

前榴辉岩阶段矿物组合仅呈包体存在于石榴石中,而退变质阶段的矿物多呈后生合晶状态产出。形成各阶段矿物组合的P-T条件分别为:前榴辉岩阶段,6~8kbar和450~500°C;柯石英榴辉岩阶段,27~40kbar和700~900°C;石英榴辉岩阶段,12~24kbar和600~700°C;退变质阶段,以角闪岩相叠加变质为主,4kbar左右和400±50°C,局部(如山东威海)叠加了麻粒岩相变质,10kbar左右和840±50°C。

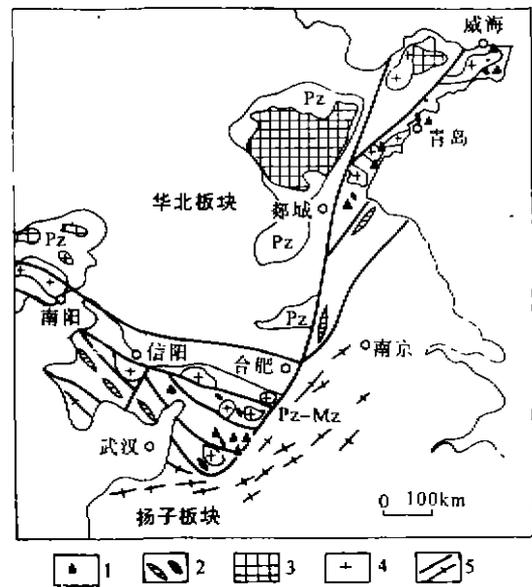


图2 超高压变质岩分布范围
Pz—Mz—古生界至中生界;Pz—古三系;1—柯石英榴辉岩;2—蓝片岩/超镁铁质岩;3—前寒武纪基底;4—中生代花岗岩;5—断裂和褶皱

同位素年代学研究表明,超高压变质作用均发生于陆—陆碰撞过程中。我国大别山超高压变质岩P-T-t轨迹的研究^[2,4,5]表明,在扬子板块与中朝板块于三叠纪碰撞时,陆壳物质曾被带到地下100km以下的深处受到28~40kbar的超高压变质作用,然后又很快折返到浅部地壳中。

3 超高压变质岩与潜在的矿产资源

超高压变质岩是在极为特殊的变质条件下形成的,在世界上的产地亦有限,迄今为止,尚未见有关超高压变质矿产的报道。不过,这并不意味着超高压变质岩中没有孕育着矿产资源。恰恰相反,根据笔者掌握的情况推断,超高压变质岩中存在潜在的矿产资源。

金刚石:目前已在3个超高压变质岩产地发现了金刚石,即哈萨克斯坦的科克其塔夫、我国的大别山、挪威西部片麻岩区。已发现的金刚石均呈微粒包体产在石榴石和锆石中,最大的金刚石粒径为700μ。金刚石是碳

的高压相, 形成压力大于 35kbar, 在超高压变质条件下, 只要原岩中有自由碳存在, 就可形成金刚石。即便含量很低, 但仍有可能在砂矿中富集, 例如哈萨克斯坦的含金刚石片麻岩就是先在砂矿中发现金刚石才找到的。

硬玉: 钠长石在高压变质条件下会分解成硬玉—柯石英, 纯硬玉无疑可作为宝石开采。遗憾的是, 虽然在所有的超高压变质岩中都有硬玉组分, 但多作为绿辉石中的一个端元组分存在, 独立产出的纯硬玉尚未见报道。不过, 目前已在我国的大别山和意大利的道拉玛亚地块发现了硬玉组分高达 85% 的硬玉, 进一步发现纯硬玉不无可能。

蓝晶石: 蓝晶石曾被作为典型的中压变质矿物, 现已被证实可出现在超高压变质矿

物组合中, 如镁铝榴石+蓝晶石—柯石英, 镁铝榴石—蓝晶石+滑石, 蓝晶石+硬绿泥石等。我国的江苏东海有超高压变质成因的蓝晶石石英岩产出, 其中的蓝晶石局部富集成矿, 已有小规模开采。

金红石: 在许多超高压变质岩(包括榴辉岩和变泥质岩)中都可见到金红石, 虽然含量不多, 但却是超高压变质矿物组合的重要成分, 在退变质过程中往往变成钛铁矿或富铝榭石。在我国的苏鲁地区, 已发现了不少金红石矿点, 有希望找到具工业价值的矿床。

此外, 在超高压变质岩中还有可能发现滑石和多硅白云母等非金属矿产, 以及作为宝石产出的石榴石和红刚玉。

大别山超高压变质岩的矿物组合

岩性	原岩岩性阶段	石榴英榴石岩阶段	石英榴辉岩阶段	退变阶段
榴辉岩	1. Kfs + Tr + Qtz + Pl + Rst 2. Phn + Bar	1. Grt + Omp + Ky + Coe + Phn ± Il 2. Grt + Omp + Coe + Dnm → Phn	1. Bar + Epi + Pg + Qtz 2. Grt + Omp + Qtz	1. Amp + Ab + Mrg + Qtz ± Cpx 2. Amp + Di + Ab + Qtz
变质超绿闪岩		Ol ± En + Di + Grt + Mgs + Tr + Cl		Ol + Ilm ± En + Tr + Dol
片麻岩		Grt + Omp, Di + Phn + Arg + Lc + Epi + Coe + Rut		Tr + Epi + Bio + Ttn + Pl + Chl
纯石英岩		Id + Coe		Ab + Qtz
金红石岩		Grt + Rut + Coe	Grt + Ttn + Ky	Pl + Amp

摘自潘岳和吴作林, 1993。

Ab—钠长石; Amp—绿帘石; Arg—文石; Bar—蓝晶石; Bio—碧玺; Chl—绿泥石; Cpx—单斜辉石; Coe—柯石英; Di—透辉石; Dnm—金刚石; Dol—白云石; En—顽火辉石; Epi—绿帘石; Grt—石榴石; Ilm—钛铁矿; Id—硬玉; Ky—蓝晶石; Kfs—钾长石; Mgs—菱镁矿; Mrg—白云母; Ol—橄榄石; Omp—绿辉石; Pg—角闪石; Phn—硬硅灰石; Pl—斜长石; Qtz—石英; Rut—金红石; Tar—绿帘石; Tr—Cl—斜方晶磷灰石; Tl—透闪石; Tr—透闪石; Ttn—磷灰石。

4 结语

近几年国内外对超高压变质岩的研究方兴未艾, 美、日、德、法、意、俄、上、韩等国科学家纷纷与我们建立了合作关系, 对大别山和苏鲁地区的超高压变质岩带开展研究, 我国

国家自然科学基金委员会在“八五”期间对这一研究领域给予了强化性支持, 并已将其列为“九五”重点研究项目。我国科学家占据了“天时、地利、人和”的优势, 有理由相信, 我国将在超高压变质岩及相关矿产的研究方面取得更大的进展。

本文所概括的资料主要为笔者所领导的国家自然科学基金重点项目“大别山、苏北、胶东南超高压变质作用及其大地构造意义”，参加该项目的科学家来自中国科学院地质研究所、国家地震局地质研究所、南京大学、中国科技大学、中国地质大学、安徽省地质科学研究所等单位，美国、日本、法国、英国等国的科学家也参加了合作，谨向他们致以由衷的感谢。

参考文献

- 1 Chopin C. Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the western Alps; a first record and some consequences. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1984, 86, 107~118.
- 2 Cong B, Zhai M, Carswell D A, Wilson R H, Wang Q, Zhao Z and Windley B F. Petrogenesis of ultrahigh-pressure rocks and their country rocks in Shuanghe of Dabie Mountains, Central China. *European Journal of Mineralogy*. 1995, (7); 119~138.
- 3 Cong B and Wang Q. Ultra-high-pressure metamorphic rocks in China. *Episodes*. 1995, 18, 91~94.
- 4 Cong B, Wang Q, Zhai M, Zhang R, Zhao Z and Ye K. Ultra-high pressure metamorphic rocks in the Dabie-Su-Luregion, China. Their formation and exhumation. *The Island arc*. 1995, 3, 135~150.
- 5 Liou J G, Wang Q, Zhang R, Zhai M and Cong B. Ultrahigh-pressure metamorphic rocks and their associated lithologies from the Dabie Mountains, central China; A field trip guide to the 3rd International Eclogite Field Symposium. *Chinese Science Bulletin*, 10: Supplement, 1995, 1~71.
- 6 Okay A I, Xu S & Sengr A M C. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. *European Journal of Mineralogy*, 1989, 1, 595~598.
- 7 Schreyer W. Experimental studies on metamorphism of crustal rocks under mantle pressures. *Mineralogical Magazine*. 1988, 52, 1~26.
- 8 Wang Q, Ishiwatari A, Zhao Z, Hirajima T, Hiramatsu N, Enami M, Zhai M, Li J and Cong B. Coesite-bearing granulite retrograded from eclogite in Weihai, Eastern China. *European Journal Mineralogy*, 1993, 5, 141~153.
- 9 Wang X, Liou J G. Ultrahigh-pressure metamorphism of carbonate rocks in the Dabie Mountains, central China. *Journal of Metamorphic Geology*, 1993, 11, 575~588.
- 10 Xu S, Okay A I, Ji S, Sengör A M C, Su W, Liu Y Z, Jiang L. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 1992, 256, 80~82.
- 11 岑树桐, 刘贻灿, 江来利, 苏文, 季寿元. 大别山的构造格局和演化, 北京: 科学出版社, 1994, 175.
- 12 王清晨, 从柏林. 大别山超高压变质岩的地球动力学意义, 北京: 中国科学(D辑), 1996, 26(3): 271~276.
- 13 Wang X, Liou J G, Mao H K. Coesite-bearing eclogites from the Dabie Mountains in central China. *Geology*, 1989, 17, 1085~1088.

ULTRAHIGH-PRESSURE METAMORPHISM AND FORMATION OF MINERAL RESOURCES

Cong Bolin, Wang Qingchen

Ultrahigh-pressure (UHP) metamorphism is characterized by both low T/P gradient (about 10°C/km or less) and $P-T$ regime higher than quartz-coesite equilibrium. UHP rocks have been reported so far all from continent-continent collision zones. During the UHP metamorphism, mineral resources, such as diamond, jadeite, kyanite, and rutile, might form.

Key words UHP rocks, collisional orogenic belt, potential mineral resources