

有机地球化学进展

傅家谟*

(地球化学研究所广州分部)

【提要】 有机地球化学是对基础研究和生产实际都有重要影响的地球化学的分支学科。本文简要评述了该学科在基础研究领域和应用研究领域所取得的进展,并提出了加强我国有机地球化学发展的期望。

有机地球化学是一门新兴边缘学科,是地球化学的一个重要分支,它主要研究天然产出有机质的组成、结构和性质及它们在地质体中的分布、转化和参与地质营力的作用等。它与能源、矿产资源、海洋、环境和生命科学等重大生产问题或基础理论课题有着十分密切的联系,因而具有强大的生命力。

一、有机地球化学的基础研究领域

当前有机地球化学的基础研究主要集中于以下几个方面:探讨整个地质体中有机质的成因与演化模式,包括有机质的演化模式与有机碳的演化模式;生物标志化合物的成因研究,即分子有机地球化学;干酪根的结构与性质;有机质的同位素组成、分馏与成因等。

(一) 有机质演化

有机质的演化是指生物死亡埋藏后,有机体的生物降解以及有机大分子的热降解与聚合,并最终转化为甲烷、水、二氧化碳和石墨等无机物的演化全过程。现已建立起初步的有机质演化模式。这一模式已为石油成因的现代观点奠定了理论基础。

(二) 有机碳演化(前生期化学演化与古生物化学)

有机碳演化是指天体演化,包括地球演化过程中无机物质,如甲烷、水、二氧化碳和氨等逐步演化产生简单有机化合物和生物大分子的过程,以及在生物圈出现后,这些有机质的进一步演化。前一部分属于前生期化学演化,许多有机地球化学家正在从事这一研究,主要研究天体物质(月岩与陨石,包括我国吉林陨石以及地球古老岩石)中的有机化合物,模拟天体(包括地球)早期演化环境条件下的合成实验,如著名的 Miller-Urey 模型实验。由于前生期化学演化的研究,生命科学已进入到一个崭新的阶段。而生物出现后的演化研究主要属于分子古生物学或古生物化学的范畴,目前开展得较差,但却十分重要,它很可能是解决生物进化机理以及生物与环境关系问题的重要途径之一。

(三) 分子有机地球化学

分子有机地球化学是上述理论研究以及有机地球化学应用研究的基础,是目前最受重视

* 中国科学院学部委员,有机地球化学国家重点实验室主任。

而又取得较大进展的领域之一。分子有机地球化学的研究内容很广泛,包括在石油、天然气、油页岩、煤、金属矿床有机质、现代沉积物以及大气、水、土壤样品中检出的各类生物标志化合物及其地球化学意义的研究。新生物标志物的结构与成因、演化研究,包括它们的分离、纯化和确认的技术,以至标样合成和新的分子有机地球化学参数的探讨等。例如最近几年发现的含硫等杂环化合物的起源、演化及有机地球化学指标研究等。

(四) 干酪根与煤的结构及性质

干酪根与煤的结构与性质的研究十分重要,例如通过不同母质类型干酪根的物理性质与热解产物的研究,特别是高等植物母质来源的 III 型干酪根与煤的结构性质的研究,可以进一步较深入地发展陆相生油理论与煤成烃理论。

(五) 同位素有机地球化学

目前,有机地球化学研究的一个重要进展是采用有机同位素质谱法研究个别有机化合物的同位素比值,从而探讨天然有机物质以及石油、天然气等能源资源的成因与演化。在这方面,国际上几个著名研究机构,如美国的卡内基研究所、英国剑桥大学和美国印第安那大学等有关实验室,曾研究氨基酸、卟啉和烃类等单个化合物的碳、氢、氮同位素比值,并发展了有机气相色谱一同位素质谱技术。这项技术将特别有助于研究成熟度高的有机质,如天然气、凝析油、过成熟生油岩和黑色页岩等的有机质,用于原油对比、油源对比、油气运移、天然气判识与气源岩对比等 GC-IRMS 仪的出现还将把分子有机地球化学的基础研究推进到一个崭新的阶段。

二、有机地球化学的应用研究领域

(一) 石油有机地球化学

由于有机地球化学的深入研究,石油有机成因的理论取得了重大的进展,特别重要的是石油成因理论的这种深刻变化已大大促进了石油资源的远景评价与地质勘探工作。有机地球化学已被视为石油勘探的三大学科(地球物理学、石油地质学与有机地球化学)支柱之一。当前在我国油气勘探中,煤成烃(煤成气、煤成油)和高成熟海相地层油气成因评价研究十分重要。较为薄弱的方面是烃类运移和盆地模拟。烃类运移的研究,特别是石油在生油岩中初次运移的机理及运移排烃效率的研究是当前石油成因理论中十分关键而又较为落后的一环,它直接关系到石油勘探特别是生油量计算问题。采用实验模拟与天然生油岩排烃剖面对比的方法,进行排出烃类的各种分子有机地球化学参数对比研究,并研究排烃后生油岩中各种有机岩石学等物理化学参数的变化,最后采用各种参数的综合数学模拟研究,可以有效地探讨石油初次运移机理与标志。

(二) 沉积有机地球化学(海洋与湖沼有机地球化学)

生物标志化合物的发现和研究也为沉积岩的成因与海洋沉积物的研究开辟了新的途径,在判别沉积环境(海相和陆相)、物质来源(陆地植物来源和水生生物来源)及早期成岩作用等方面,已提出了许多新指标:如指示陆源有机质的萜、酚醛、一元羧酸,指示盐化盆地相的正烷烃偶奇优势、植烷优势和有机硫化物,指示强还原环境的甾醇,指示成岩作用的岩卟啉等以及它们的立体异构体参数等。同时海洋沉积物有机质的研究,也为有机地球化学,特别是石油

与天然气成因的研究提供了重要的基础。因此,有机地球化学已经成为海洋科学的重要组成部分之一,如著名的深海钻控工程(DSDP)近20年来就一直在进行着海洋沉积物的有机地球化学研究。

(三) 矿床有机地球化学

铁、锰、磷、铝等沉积矿床在成因上与有机质有着十分密切的联系。成矿元素从母岩中风化、迁移,以及在水盆地内的沉积过程中,有机质,尤其是腐殖酸起了重要的作用。同时有机质在沉积矿床成岩改造过程中也起了积极的作用。从层状铅、锌矿的矿石与脉石矿物的包裹体中已发现石油烃类和脂肪酸等有机化合物。通过金属-氨基酸络合物的加热试验又获得了各种类似天然产出的金属硫化物。因而提出了这类矿床由类似油田卤水的成矿母液改造形成的观点。1980年11月在美国华盛顿召开了第一次金属矿床有机地球化学的国际讨论会。1989年华盛顿第28届国际地质大会、1990年英国诺廷汉第13届国际沉积大会和1992年京都第29届国际地质大会上,生物成矿作用和有机成矿作用研究都已成为重要的议题,受到国内外专家的关注。

(四) 环境有机地球化学

有机地球化学应用的另一重要领域是环境科学。通过研究现代沉积物和大气飘尘中广泛分布的类脂化合物,特别是稠环芳烃(PAH),如苯、萘、菲、荧蒹、芘等化合物及其衍生物,可以深入了解因能源开发利用引起的有机污染物的成因与输入源。环境有机地球化学的一个重要方面是通过研究第四纪冰期及间冰期沉积物,如大洋沉积物、湖泊沉积物和黄土沉积物中的有机物,有可能提供几十万年以来全球气候变化、生物输入和沉积环境等多方面的信息。例如最近英国著名分子有机地球化学家 G. Eglinton 教授的实验室通过研究不饱和长链酮,建立了 U_{57} 古温度指标,并成功地应用于测定十几万年以来大洋沉积物古温度的变化;美国印第安那大学 J. Hays 教授的实验室最近在研究类脂物中单个化合物的 $\delta^{13}C$ 同位素时,提出了测定古大气二氧化碳浓度的新指标(古压力计)等。

有机地球化学是一门新兴边缘学科,有着广泛的应用前景。积极开展这一领域的研究将对油气勘探、金属成矿和环境科学(化石燃料污染以及全球环境变化)研究等方面发挥巨大的作用。

我国有机地球化学起步虽晚,但十多年来发展十分迅速,国内已经形成了一支相当规模的科技队伍,建立了一批具有先进装备的实验室,包括有机地球化学国家重点实验室,已经在我国油气勘探中发挥了重要的作用,在某些基础研究,如分子有机地球化学方面也已开始步入世界先进行列。建议国家有关部门重视并组织好这批力量,以期为我国国民经济建设和科学研究走向世界做出应有的贡献。