

我国有机地球化学研究的进展及其 在油气勘探中的应用

傅 家 谟

(中国科学院地球化学研究所广州分部)



我国有机地球化学是解放后从无到有发展起来的, 60年代以前还没有有机地球化学的专门研究机构。随着我国石油工业的发展, 石油部和地质部石油局所属的一些部门, 以及有关院校, 开展了生油岩研究。这些单位曾采用沥青A、沥青A的族组成和元素组成等有机地球化学指标, 广泛研究了我国各油区、各层位(震旦系至第三系)的生油岩, 积累了大量分析资料。当时的石油部北京石油科学研究所和地质部上海中心实验室有着较好的设备条件和技术力量, 在生油岩研究方面做了大量工作, 总结了我国陆相泥质生油岩的许多规律性认识, 并且成功地在石油勘探中推广应用。此外, 各油田和普查大队的实验室也取得了一定的研究成果。

由于大庆等大型陆相油田的相继发现与开发, 我国在陆相生油理论方面做出了极其重大的贡献。围绕陆相生油理论, 中国科学院兰州地质研究所与有关单位协作, 开展了我国某些浅水湖泊现代沉积物的有机地球化学研究, 在总结大量资料的基础上, 于1979年出版了《青海湖综合考察报告》。该报告根据现代陆相湖泊沉积物中沥青的形成, 论证了地质历史中陆相盆地的石油成因问题。北京石油科学研究所则在60年代初就采用了一些重要的有机地球化学新指标, 如卟啉、氨基酸等。

60年代末70年代初, 中国科学院地球化学研究所筹建起我国第一个较完整的有机地球化学实验室, 先后采用了气相色谱、红外、顺磁共振、裂解色谱、色谱-质谱及高温高压模拟实验等技术, 在引进和扩大各项有机地球化学新指标, 以及在石油演化、碳酸盐岩生油与吉林陨石有机质的研究等方面做了一定工作, 并出版了我国第一本有机地球化学专著(1982), 对我国有机地球化学的发展起了一定的推动作用。

近20年来, 我国有机地球化学研究及其在油气勘探中的应用取得了突飞猛进的发展, 成立了全国性的专业组织, 召开了3届全国性有机地球化学学术会议(1982, 1984, 1986), 1987年在广州召开了全国青年有机地球化学家学术讨论会, 1988年在北京召开了第二届亚非石油地球化学及勘探会议, 还组织了其他有关的专业性会议, 出版了或正在

出版一系列高水平的有机地球化学和石油地球化学专著、论文集、年报等,在国内外刊物上发表了大量研究成果。这些成果在我国石油勘探与评价中发挥了明显效益。一些重要领域如陆相生油理论、分子有机地球化学等方面的研究与应用水平,已进入国际先进行列。

我国有机地球化学研究及其在油气勘探评价方面取得的成就,主要表现在以下几方面:

一、陆相生油理论及其在油气勘探评价中的应用

随着我国陆相原油的勘探与开发,陆相生油理论研究中广泛采用了有机地球化学的现代理论与先进方法,开展了大量实验研究与理论研究。

(一) 现代陆相沉积物的有机地球化学对比研究

有机地球化学工作者将今论古,开展了我国一些大型现代湖泊(如青海湖、云南断陷湖盆)沉积物的有机地球化学研究。《青海湖综合考察报告》(1979)早已出版,贝丰等有关云南断陷湖现代沉积物有机地球化学研究的成果正在出版中。

(二) 陆相生油岩成烃机理的研究

针对我国陆相沉积盆地不同的生油岩类型,开展了大量实验室模拟研究,模拟陆相生油岩的成烃机理,有机质的热演化及成烃机理,以及石油的原生运移机理。在我国较早进行热模拟研究的有中国科学院地球化学研究所、四川石油管理局研究院王涵云和杨天宇、胜利油田地质科学研究所王新洲等。杨文宽、邬立言等则在应用数学和热解法模拟干酪根成烃方面做出了可喜的研究成果。

(三) 含油盆地生油岩综合评价

近十多年来,我国各油田采用有机地球化学现代理论与方法,对陆相盆地生油岩有机质的类型与热演化进行了广泛的综合研究,并成功地应用于指导油气勘探。率先开展研究并取得显著成绩的有胜利油田地质科学研究所(周光甲、洪志华等)、华北油田石油勘探开发研究院(梁狄刚等)、大庆油田石油勘探开发研究院(杨万里、李永康、高瑞祺等)以及新疆石油管理局勘探开发研究院(杨斌、范光华等)。

(四) 未成熟原油和膏盐相生油理论的研究

近年来在我国一些陆相沉积岩中相继发现了低成熟和未成熟原油,并开展了相应的研究,例如济阳坳陷低成熟原油的研究(史继扬等,1982;周光甲,1988),以及潜江凹陷膏盐相中未成熟原油的研究(傅家谟等,1985;江继纲等,1988)。

在陆相生油研究方面,还发表了一系列重要专著。继中国科学院兰州地质研究所在60年代出版了第一本陆相生油专著之后,80年代以来又陆续出版了几本陆相生油理论方面的重要专著,对我国陆相生油理论进行了全面总结,例如《中国陆相油气生成》(石油勘探开发科学研究所地质研究所,1982),《陆相有机质演化和成烃机理》(黄第藩等,1984),《松辽盆地陆相油气生成运移和聚集》(杨万里等,1985),《油气地球化学》(王启军、陈建瑜,1988)。

二、海相碳酸盐岩生油研究

碳酸盐岩在我国分布十分广泛,尤其是东部地区,大面积分布的海相晚元古代至三叠纪碳酸盐岩地层的累计厚度超过10km。此外,我国西部新疆地区石炭系—三叠系和第三系海相层系中也含有碳酸盐岩。在这些以碳酸盐岩为主的海相沉积盆地内,不仅广泛产出油、气苗,而且已发现许多属于原生成因的工业油、气藏。针对这套海相碳酸盐岩地层、尤其是南方碳酸盐岩地层具有有机质含量低、热演化程度高的特征,从60年代末开始,四川石油管理局、地质矿产部石油地质综合大队(杨学权、陈丕济等)、中国科学院地球化学研究所以及以后的地质矿产部石油地质中心实验室(张义纲等),首先采用有机地球化学的先进方法,广泛深入地研究了碳酸盐岩生油与碳酸盐岩地层生油评价等有关问题。

(一) 碳酸盐岩生油潜力

人们普遍认为碳酸盐岩可以生油,但是否能形成工业油气藏,则有着不同的认识。1980年底于美国休斯敦召开的碳酸盐岩地球化学与生油潜力会议着重讨论了这一问题,会上列举了一些确属来源于碳酸盐岩生油层的工业油气藏。我国也有这种典型例子,如川南二叠系天然气藏。川南产出大量天然气和少量原油,地质、地球化学资料证明,这些产层的天然气和少量原油可能直接来源于碳酸盐岩地层(傅家谟,1979;黄籍中,1981)。

(二) 碳酸盐生油岩地球化学特征

我国海相碳酸盐生油岩的主要特征是有机质丰度低而转化率高,分散有机质以三种不同形式存在(傅家谟、贾蓉芬,1985),有机质热演化程度普遍较高。

碳酸盐岩分散有机质的三种主要存在形式是吸附有机质、晶包有机质(周中毅、叶继逊等,1983)和包裹体有机质。研究表明,吸附有机质与晶包有机质有可能在碳酸盐岩生油方面做出重要贡献,而包裹体有机质可能主要形成于油气运移(包括原生运移和次生运移)与聚集的过程中。

海相碳酸盐岩地层,尤其是南方上元古界—三叠系碳酸盐岩,有机质的热演化程度普遍偏高,多已处于油气演化的晚期阶段,接近或超过原油演化的下限。高演化阶段呈现之特殊现象有:热变固体沥青,与之共生的层控矿床,以及热降解轻质油。

(三) 碳酸盐生油岩评价

从我国海相碳酸盐岩特点来看,碳酸盐岩生油岩评价的关键不在于有机质或干酪根类型,而在于有机质的丰度。因此,多年来许多研究者对碳酸盐岩有机质丰度低的原因进行了深入探讨,提出了有机质在早期成岩过程中发生丢失、在热演化过程中有损失等论点,并从而提出了我国碳酸盐岩生油岩评价的有机质丰度下限标准(陈丕济等,1986;郝石生等,1983)和沉积相成岩相标准(傅家谟、刘德汉,1982)。我国学者在这方面的认识是与国外地球化学家的研究结果基本上一致的(Palacas, 1984)。

(四) 碳酸盐岩油气藏评价

由于海相碳酸盐岩有机质热演化程度高,不能采用常规的有机地球化学指标进行评

价,因而提出了一些新的评价指标,如热变固体沥青(刘德汉等,1982)、包裹体烃类(施继锡等,1987)以及与有机质共生的层控矿床。涂光炽(1982,1984,1988)曾对比研究了活泼元素成因与油气成因的相似性,指出某些层控矿床可以作为油气藏的评价标志。这方面的成果有麻江古油藏研究(韩世庆等,1982)、丹寨汞金矿与麻江古油藏关系研究(陈庆年等,1987)以及铜凤汞矿-古油藏的发现与研究(傅家谟、刘德汉,1983)等。

(五)碳酸盐岩地层区域评价

在石油地球化学中,主要依据生油层的发育、展布与有机质的热演化等进行区域远景评价。根据我国南方海相碳酸盐岩地区热演化的大量研究资料,傅家谟、史继扬(1975,1977)提出了油气演化的下限,并指出我国南方海相碳酸盐岩地区应以找气为主,找油为辅。在某些热演化程度较低的碳酸盐岩地区或层系,则有可能找到原油,如江苏句容地区三叠系产出的轻质油(尚慧芸、徐伟民,1984)等。采用有效的热变指标(如固体沥青的反射率、碳酸盐岩有机质的 T_{max} 等),可以分层系编制有机质的成熟度分区图或热演化分区图(刘宝泉、贾蓉芬等,1985)。应用热演化分区图,就有可能预测目的地区或目的层系的主要远景是天然气还是石油。

最近傅家谟、贾蓉芬、刘德汉和施继锡(1989)汇集了我国二十多年来石油地球化学工作者的研究成果,编写了《碳酸岩有机地球化学》专著。

三、煤成烃地球化学

煤成烃是指煤系有机质(包括煤层有机质与煤系沉积岩分散有机质)在成煤过程或热演化过程中形成的碳氢化合物。这种碳氢化合物可以是气态的,也可以是液态的。

(一)煤成气地球化学

我国煤成气研究起步较晚。70年代末北京石油勘探开发科学研究院等率先开展煤成气专题研究,并提出煤系是我国天然气勘探的新领域(戴金星,1980)。70年代至80年代初,研究了四川天然气田和文留煤成气藏等的同位素和稀有气体组成特征以及天然气的成因判识(徐永昌等,1979;沈平等,1984;朱家蔚等,1984)。

1983年,国家正式将“煤成气的开发研究”列入“六五”科技攻关重点项目,从而开创了我国煤成气地质、地球化学系统研究新的重要时期。

在煤成气地球化学方面,北京石油勘探开发科学研究院(戴金星、戚厚发等)、中国科学院兰州地质研究所(徐永昌等)、地球化学研究所(刘德汉、傅家谟等)、地质矿产部石油地质中心实验室(张义纲等)、石油地质综合大队(刘厚仁)、石油地质研究所(焦守谔等)、长庆油田勘探开发研究院(陈安定等)和煤炭科学研究院抚顺研究所等单位,做了大量实验研究工作,在煤成气勘探开发和理论研究两方面都取得了重要进展。

在煤成气地球化学特征和判别指标研究方面,除发展了国外已有的如碳、氢同位素和汞的丰度等主要指标外,还提出了凝析油的同位素、甲烷系同位素、苯指数等11项指标,从不同的地球化学体系论述了油型气、煤成气的鉴别。

采用热模拟实验和矿井煤层甲烷实测等方法,系统地研究了煤系有机质的成气特征和产气率。在模拟实验方面,采用不同褐煤样、不同显微煤岩组分样品以及特种煤样,

系统研究了煤成气的产气率和产物的特征,取得了许多重要的、新的认识。

(二) 煤成油地球化学

在我国陆相石油地球化学特别是原油生物标志物组成研究方面,发现某些原油含有丰富的陆源三萜烷。这表明陆源高等植物的母质输入占有重要比例,某些原油有可能为Ⅲ型干酪根生成(王忠然等,1983;卢松年等,1987;傅家谟、盛国英,1986;梅博文,1986)。

近年来,地球化学研究所在开展煤成气地球化学研究的同时,重视了我国煤成油母质——某些富氢特种煤,如云南泥炭藓褐煤(傅家谟等,1987;陆杰等,1987,1988)和富氢煤岩显微组分(傅家谟等,1987)的热模拟成油,以及可溶有机质烷烃馏分与芳烃馏分的生物标志物组成特征等的研究。

煤成气开发攻关课题综合研究的成果已由石油部、地质矿产部等有关单位系统总结,即将公开出版。此外,中国科学院地球化学研究所还编写了《煤成烃地球化学》专著(傅家谟、刘德汉、盛国英等),即将出版。

四、分子有机地球化学研究

70年代,由于商业性色谱-质谱-计算机联机的普及,不仅可鉴定个别生物标志物及其结构,还能对同系物中不同立体构型和各种化合物进行半定量、定量研究,从而为可燃矿产成因与评价提供了大量行之有效的信息和指标。

我国在现代分子有机地球化学研究上起步较晚。70年代末,中国科学院地球化学研究所、北京石油化工研究院分别采用国产色谱-质谱仪和进口色谱-质谱-电子计算机,开展了生物标志物的初步研究工作。80年代初,石油部、地质矿产部和中国科学院的许多有机地球化学实验室都引进了C-GC-MS以及C-GC-MS-MS仪器,从而使我国分子有机地球化学研究呈现出可喜的局面,在短短七八年内从无到有,发展成为我国有机地球化学的一个极其活跃的分支领域。不仅在新的生物标志物(如各种陆源萜类烃、含硫化合物)的检出、生物标志物的定性定量技术等基础研究方面,而且在应用生物标志物进行陆相油气勘探评价方面,积累了大量资料,取得了长足的进展。1986年,中国科学院有机地球化学开放研究实验室在贵阳召开的生物标志物与干酪根进展学术会议上,著名生物标志物专家P.Schenck教授、B.R.T.Semoneit教授和J.Connan博士等都对我国生物标志物研究方面取得的进展,给予了高度的评价。

汪燮卿等(1979)和曾宪章等(1979)在我国率先采用C-GC-MS仪研究了华北油田陆相生油岩和原油中的甾烷、萜烷。1982年,史继扬等应用生物标志化合物探讨了沾化凹陷生油岩与原油的成熟度、原油对比与油源对比等问题,汪本善等(1975)则应用正烷烃较早研究了原油运移机理。

80年代以来,生物标志化合物的研究及其在油气勘探中的应用得到广泛发展。生物标志物被应用于探讨有机质类型和有机相、成熟度以及原油对比和油源对比。华北油田勘探开发研究院、新疆石油管理局勘探开发研究院以及北京石油勘探开发科学研究院等,在这方面做了大量工作。

对我国不同类型生油岩和原油中生物标志化合物的组成也有较多研究,如探讨了生

物标志化合物组成与沉积相、生物输入源等的关系(尚慧芸、姜乃煌, 1983; 范璞等, 1985; 李任伟等, 1988; 王铁冠等, 1988; 罗斌杰等, 1989; 傅家谟、盛国英, 1989)。

在我国丰富的陆相生油岩和原油中发现和检出了许多新生物标志化合物, 取得了丰富多彩的成果。例如碳酸盐岩和陆相生油岩中红色素的发现(盛国英、傅家谟, 1984)、茂名油页岩中丛粒藻类烃标志化合物的研究(傅家谟等, 1985)、准噶尔盆地原油中降解甾烷的发现(蒋助生, 1987)、盐湖相生油岩和原油中有机含硫化合物和脱羟基维生素E等化合物的检出(盛国英等, 1986, 1987)等。此外, 在陆源高等植物输入的标志化合物研究方面也显特色, 如奥利烷、芒柄花根烷、 γ -羽扇烷、螺旋甾烷等五环三萜类化合物的研究(曾宪章等, 1979; 姜乃煌等, 1984)。

曾宪章等还根据近年来陆相生油岩和原油中生物标志化合物研究所取得的丰富资料, 编写了我国第一部有关生物标志物的专著《中国陆相原油和生油岩中的生物标志化合物》(即将出版)。

本文对我国建国以来有机地球化学研究及在油气勘探中应用情况做了一个简要的回顾。由于编写时间仓促, 难免有遗漏和不妥之处。