

文章编号:0253-9985(2010)03-0265-06

我国有机地球化学研究现状、发展方向和展望

——第十二届全国有机地球化学学术会议部分总结

张水昌

(中国石油天然气股份有限公司 勘探开发研究院 实验研究中心,北京 100083)

摘要:我国有机地球化学经过近30年的不断发展,已经从油气勘探领域拓展到了煤、生物、环境和气候几大主要研究领域,为我国国民经济发展和社会进步作出了重要贡献,充分显示了其强大的生命力。第十二届全国有机地球化学学术会议在深部烃类流体性质研究、致密砂岩气和页岩气成藏、持久性有机污染物生化特征等方面取得了突出进展,进一步明确了学科发展方向。今后一段时期,①高有机质丰度沉积物形成和空间展布的分析 and 预测技术,②发展地球化学与地质一体化研究模型,③有机、无机相互作用及烃类矿床的次生蚀变和改造作用,④各种成因天然气的生成机理、资源潜力和分布预测,以及⑤环境、煤、生物地球化学,将成为中国未来有机地球化学的研究重点。大会提出:①要重视实验数据的重复性、实验方法的可信性、实验结果的可对比性;②针对中国科技发展的需要,我国有机地球化学的发展应该紧跟国际研究热点,加强创新力度,促进多学科交叉,走出一条有机地球化学与地质学的综合研究之路,并在未来非常规天然气勘探开发过程中大有作为。

关键词:发展方向;展望;研究现状;有机地球化学;中国

中图分类号:P593

文献标识码:A

Status, trend and outlook of organic geochemistry research in China

—a summary of the Twelfth National Conference on Organic Geochemistry

Zhang Shuichang

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

Abstract: Nearly 30 years of development has expanded the research scope of the organic geochemistry in China from the petroleum exploration to key research domains such as coal, biology, environment and climate. Its great contribution to the economic growth and social advancement of the country has showed its strong vitality. In the Twelfth National Conference on Organic Geochemistry, breakthrough has been made in the researches of deep hydrocarbon fluid properties, tight sand gas and shale gas reservoiring, biochemical characters of permanent organic pollutes, etc. The direction for the discipline is therefore further clarified. At present and for a period of time to come, the research of the discipline would be focused on ① technologies for analyzing and predicting the formation and distribution of organic-rich sediments; ② the development of models that integrate geochemistry with geology; ③ the interaction of nonorganic and organic matters as well as the secondary alteration and transformation of hydrocarbon-bearing deposits; ④ the mechanism, potential, and distribution of natural gas with different origins; and ⑤ the geochemistry of environment, coal, and biology. The conference proposes that ① stress should be put on the repeatability of experimental data, the reliability of experimental methods and the comparability of experimental results; and ② that the geochemistry research in China should follow closely the international lead, be more creative, blaze a trail for a integrated research of organic geochemistry and geology, and play

收稿日期:2010-05-05。

作者简介:张水昌(1961—),男,教授级高级工程师、博士生导师,有机地球化学。

a key role in exploration and production of non-conventional gas.

Keywords: development direction, outlook, status of research, organic geochemistry, China

20 世纪 30 年代,德国有机化学家 Alfred Treibs 首次从石油、煤和页岩等沉积物中分离和鉴定出了金属卟啉色素,成为油气有机成因学说的重要佐证,开启了有机地球化学的学科研究阶段,同时也见证了有机地球化学与油气工业的渊源。经历了 70 多年的发展,有机地球化学现已发展为一门新兴的、成熟的边缘交叉学科,并且拥有众多分支学科和不同的研究方向,不仅对国际性地学、化学、生物学的基础科学研究作出了贡献,而且对全球的经济生活,特别是在油气勘探开发和环境监测保护方面,发挥着重要作用,已成为非常活跃的科学研究领域。

我国自从 1981 年由傅家谟院士发起,在贵阳召开第一届全国有机地球化学学术会议以来,在黄第藩教授和梁狄刚教授前、后两任学组组长的组织倡导下,全国有机地球化学学术会议每两到三年举行一次,至今已坚持了 12 届,为我国国民经济和社会发展作出了重要贡献,充分显示了我国有机地球化学学科具有强大的生命力。

2009 年,全球原油减产,石油剩余探明可采储量增幅降低,而全球天然气剩余探明可采储量增幅达 5.7%;尤其是非常规天然气产量增长迅猛,接近天然气总产量的 10%。北美页岩气、致密砂岩气、墨西哥湾深水油气以及稠油、油砂等非常规油气成为油气工业未来的接替领域,世界油气工业呈现出油气勘探开发以天然气为主导、常规油气与非常规油气并存互补的格局。与此同时,随着能源开发能力和强度的提高及消费需求量的不断攀升,温室气体排放、地下水污染以及海上油气开发对海洋生态系统的破坏等环境问题令人堪忧。这些都引起了全球有机地球化学界的极大关注,成为竞相研究的热点。

我国非常规油气资源极为丰富,非常规天然气资源总量超过 $150 \times 10^{12} \text{ m}^3$,其中煤层气和页岩气资源量达 $67 \times 10^{12} \text{ m}^3$,南海天然气水合物资源量超过 $60 \times 10^{12} \text{ m}^3$,潜力巨大。顺应 21 世纪低碳经济的大潮流,在第十二届全国有机地球化学学术会议上,我国油气地球化学界的专家学者将更多的关注投向了分子地球化学定量和精细分析、页岩气产量的主控因素、重油流体特征和深水原

油流动性预测等方面的研究,并着力开发模拟生烃体系中生物或催化作用的新技术,建立综合石油地质与地球化学整体模拟非常规油气聚集的新方法。研究内容除了大会主题“海相油气勘探地球化学”和“天然气地球化学”之外,还涉及了煤、生物、同位素、环境地球化学及新技术新方法等 5 个方面,为我国有机地球化学的发展指明了方向。

1 第十二届全国有机地球化学学术会议概况

本届学术会议在中国石油学会石油地质专业委员会、中国地质学会石油地质专业委员会和中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会的联合主办和共同努力下,加深了学术交流,促进了学科交叉,明确了发展方向,而且涌现出一批高水平的研究成果。

1) 规模大

参加这次会议的有来自三大国家石油公司、高等院校、科学院、企事业单位的科研院所及国外研究机构共 89 个单位的 366 名代表,是历次参会单位和人数最多的一届,充分反映出我国有机地球化学学科的蓬勃兴旺,反映出我国有机地球化学同行参与学科交流的高涨热情,显示出我国有机地球化学研究队伍巨大的凝聚力。

2) 成果多

会议共收到学术论文摘要 436 篇,内容涉及烃源岩地球化学、油气生成地球化学、成藏地球化学、天然气地球化学和煤、生物、储层、环境地球化学以及地球化学新技术新方法等。会议进行了 29 个大会报告,还分 6 个组就 6 个专题进行了 133 个分组报告。

3) 水平高

本次会议给我们一个强烈的感觉是:无论是老一辈学者的学术报告,还是中青年学者的报告,他们针对研究领域中的某一学术问题,或者勘探生产中的具体难点,进行了细致、深入的研究和探索,实验室工作和基础研究更加深入,成果水平给人强烈的冲击力。一批国家及部门不同层面重大项目的创新性成果,涉及地化研究的热点和难点

问题,相当一部分研究成果处于国际前沿。

4) 主题突出

这次会议是在我国能源需求形式严峻、油气勘探取得重大进展的大好形势下召开的,会议的主题是“海相油气勘探地球化学”和“天然气地球化学”。许多学者对海相地层油气生成、成藏和天然气地球化学研究提出了许多新观点、新思路、新方法和新领域,开阔了我们的眼界,对海相和天然气领域地球化学的发展将起重要的指导作用。

5) 应用性强

来自生产一线的报告,以大量的分析数据与丰富的地质构造图件相结合,瞄准勘探中的难题,显示出地球化学研究在油气勘探中不可替代的重要作用。高校和中科院系统的学者从不同盆地的地质特点入手,深刻论述了油气勘探新领域中地球化学研究的作用。许多报告既有实例分析,也有机理机制研究,既有热点地区新理论,也有成熟老区新认识,内容之广泛,研究之深入,充分显示了近几年来几乎所有油气勘探的重大发现都有出色的地球化学研究成果,为有机地球化学学科增添了新鲜活力和“第一生产力”的浓厚色彩。

6) 中青年地球化学家脱颖而出

这次会议上,中青年地球化学家的报告占全部报告的70%左右。从会上的报告中可以看出,他们朝气蓬勃,最少保守思想,逐渐成为我国有机地化界的主力。

7) 学术空气活跃

沙龙形式是体现学术民主的最好平台。“叠合盆地油气成藏地球化学”学术沙龙,围绕塔里木盆地油源与成藏两个主题,不同单位新、老专家各抒己见,展开了充分的讨论,充分体现了学术面前人人平等的学术民主氛围。“天然气地球化学与成藏”学术沙龙,围绕不同成因的天然气,包括有机气、无机气、深盆气、页岩气、致密砂岩气等连续气藏以及在重点勘探领域的应用等,开展了广泛的讨论,尤其是对低熟气的生成及潜力规模、与生物气的区分以及TSR(硫酸盐热化学还原反应)等方面的讨论十分热烈。“东部断陷盆地油气成藏地球化学”学术沙龙,重点围绕不同资源评价方法关键参数的求取、评价结果的可信度、生排烃效率、油气地球化学与石油地质如何更好地结合、实验数据如何有效推至地质体、如何强化地球化学的预测性等多方面的问题,开展了深入、广泛的

讨论。

这次会议的不足之处是:

1) 油气地球化学成果多了些,环境、煤、生物地球化学方面的成果少了些,多偏重于经济意义比较重大的油气领域,少了对环境、气候、生物等对社会人类生存环境有重大意义的领域。

2) 常规地球化学成果多了些,引领学科发展、跟踪国际学术前沿的成果少了些;

3) 实例解剖多了些,机理机制等基础性的、原创性的研究少了些;

4) 数据堆砌多了些,放在精确的地质格架中的分析、引经据典的论证少了些;

5) 大会报告中青年人多了些,年轻人少了些。

2 我国有机地球化学研究工作展望和努力方向

2.1 高有机质丰度沉积物形成和空间展布的分析 and 预测技术

无论是近海海域,还是成熟盆地,在叠合盆地中下部,这种预测都十分重要,它是寻找富油气凹陷的关键技术。除了应用传统的TOC, Rock-Eval, VR₂和生物标记化合物参数以外,通过复杂的三维盆地模拟,结合脂肪烃或特定生物标记化合物的单体稳定碳同位素,利用化学计量中决策树的聚类分析,能够加深对烃源岩的有机相或高有机质丰度沉积相的不稳定性以及混源油组成的认识等。例如美国著名的绿河页岩,尽管已经是研究最多的油页岩,但是对于这套独一无二的富有机质沉积物的来源仍然还有一些问题。作为有机质丰富的湖相盆地的页岩,绿河页岩沉积物在平面上呈现出高度的多相性,它随环境的变化而发生迅速的变化,所以湖相沉积物能够很好地记录沉积过程的细微变化。对这种非均质的湖相剖面样品进行精细的实验室分析,能够了解湖相沉积过程和环境的变化。所以,对绿河页岩烃源岩的研究仍然意义很大,也是长期以来不少著名学者坚持研究的重要原因。因此,对于我国中西部叠合盆地烃源岩多发育“等时异相”的特点,加强对高有机质丰度沉积物形成和空间展布的分析 and 预测,不仅将提升传统含油气系统的认识,而且对于非常规油气的聚集机理研究也能够提供准确的基

础资料。

2.2 发展地球化学与地质一体化研究模型

油气生成与成藏过程重建的定量描述,尤其是盆地模拟技术与地球化学的密切结合,近年来有很大发展。美国联邦地质调查局能源科学中心 Geoffrey 博士通过将实验室校正的生气过程碳同位素分馏模型与地质模型相结合,建立了三维盆地模型,发现了盆地演化过程中的稳定碳同位素分馏效应比实验室模拟的结果更加强烈,并运用这项认识解决了 Piceance 盆地的致密砂岩气和 Woodford 页岩气等非常规天然气成藏过程研究中的许多相关问题。由此,美国地质调查局建立了天然气生成动力学数据库,并将这种地球化学与地质一体化模型从碳同位素成功拓展到氢和氦同位素的应用当中。

肖贤明研究员曾提出,盆地模拟与地质的结合可以使我们的研究上一个档次。尤其对于成熟探区而言,详细掌握储层演化过程、油气充注历史、油气来源信息与混合情况,对于提高油气产量十分重要。我国天然气在油气资源当中占有重要地位,通过系统分析天然气组分中稳定碳同位素以及相关泥岩和页岩中游离和吸附的天然气中碳同位素的实时变化特征,已经建立了与天然气碳同位素有关的地球化学模型,分别解决天然气混合来源识别及定量评价混合比例等问题。倘若整合地球化学与地质模型,可以进一步预测泥岩、页岩的孔渗特征及与天然气产能趋势有关的很多勘探开发问题。

2.3 有机、无机相互作用及烃类矿床的次生蚀变和改造作用

油气资源从生成到聚集成藏,大多发生多种类型的地球化学作用,经历复杂的次生变化过程。因此,科学识别和评价油气的次生改造作用,钻前准确预测油气的性质,对于降低勘探风险具有重要的意义。埃克森美孚石油公司专家 Clifford C. Walters 开发了石油品质模拟程序(PQS),来预测油气品质及数量和油气的演化历史等,基本代表了该领域的最新成果。PQS 的基本前提是储油岩中的油气化合物产生一系列物理、化学和生物过程而发生改变,而这些过程可以在一个统一的体系下来模拟。需要模拟的变形过程包括沥青质沉

淀、生物降解、热裂解和热化学硫化反应以及气洗作用。

目前,我国已经建立了一批国际先进的有机地球化学实验室,完全具备开展分子地球化学精细测试与定量分析的仪器条件。下一步,还需要加强先进仪器的开发和应用,顺应国际上从“石油组”的概念出发,利用原油中庞大的分子级信息反映油气性质的成因,就像生物的基因组合控制性状表达一样,可以帮助我们判识页岩和煤层生物气、页岩和焦沥青裂解气等非常规油气的母质类型,用来开展生物降解稠油和储层中流体地球化学特征研究等。这方面的研究很有可能开启油气地球化学直接从分子范围探讨“油气基因”信息的新时代,进而开展油气次生蚀变作用以及推算流体特性和相态变化的油气开发研究。

2.4 各种成因天然气的生成机理、资源潜力和分布预测

目前,世界油气勘探开发呈现出精细化和非常规性等特点,未来发展低碳经济也对能源结构提出了更高的要求。在这样的背景下,全球非常规天然气发展迅猛。页岩气、生物气、晚期裂解气以及混合气的研究举足轻重,尤其是生物气生烃模拟研究成为当前研究的重要领域,并且许多工作把实验和地质有效结合起来,都获得了卓有成效的成果。传统的研究方法是通过人工培养基的实验方法,而不能真正代表地质条件下天然气的生成速率。C. Clayton 等提出一种新方法,基于混合培养基生成即微生物产烃效率来模拟生物气的生成,同时还需要考虑天然气在干酪根中的吸附量和在孔隙水中的溶解量以及天然气的散失量等因素,这样就可以模拟生物气的生成剖面、最大的生成速率等参数。这对于科学评价中国生物气的分布和资源量具有重要的借鉴意义。

另外,页岩气是一种热成因或者生物成因的自源性烃类气体资源,它蕴藏于中细粒、富含有机质的低渗透性岩层中,一般发生在自由、吸附和溶解状态下。页岩气的产量受复杂因素影响,主要体现在气源特征、成岩作用、有机-无机组成、气体储层特征、孔隙压力、诱导封闭类型、流体的湿润性和饱和度等。大量特征数据的有效分析对于提高页岩气的采出量至关重要。通过可视化技术集成上述多种系统对页岩气体系进行精确的表征和

分类,能够有效地说明在特定地质环境下提高页岩气采收率的主控因素。我国页岩气的资源远景已经被人们逐渐认识,并且这一远景潜力还将随着一些因素的研究逐渐升高,比如断裂、易变的岩相或者紧临油页岩的地层等。随着页岩气在世界范围内研究的加强,预计我国很快也将进入页岩气时代。

2.5 环境、煤、生物地球化学

环境有机地球化学是环境地学和有机地球化学的一个重要分支研究领域,主要研究地表环境中有机物质(含有机污染物)的来源、迁移、转化与归宿,以及有关的全球性和区域局部性环境问题。我国环境地球化学的先导傅家谟院士指出,环境有机地球化学着重研究有机污染物,尤其是有毒有害难降解有机化合物在表生作用带的机制,它们与无机矿物、金属元素和大分子有机物的相互作用等,同时也要研究探讨古气候、古环境与全球变化。目前,分子有机地球化学的发展为环境有机地球化学研究提供了重要的追踪手段——环境标志化合物。将来,环境有机地球化学还要为环境恢复和治理提供新的重要补充手段,不仅研究表征有机污染物的环境行为和毒性机理,还需要解释生态环境的地球化学过程,促进生态环境的合理演替。

研究发现,煤层吸附的大量天然气中存在生物作用的天然气,并且经历氧化作用的煤层更容易被产甲烷菌所利用。煤的有机质组分中只有少部分可以被微生物改造和降解,因此煤岩组成为影响产生煤层生物气的主控因素。未来,微生物产甲烷的动力学研究将成为煤层气成因研究的重要方向,并通过这项研究加深对原油生物降解的对比研究和认识。中国含煤盆地众多,煤系地层分布广泛,因此加强煤中产甲烷菌生烃动力学方面的研究,能够大幅提高煤层天然气的产量。

另外,Glombitza 报道了低熟煤可作为深处微生物的养料。为了研究不同成熟度富有机碳岩石为深部微生物排放低分子量培养基的潜力,用一种碱性酯分裂技术确定油源母质中低分子量有机酸的数量。结果显示,煤层提供的低分子量有机酸在成岩作用和早期成岩后期足够微生物维持生命;在持续的成熟过程中,早期成岩阶段酯醇约束作用迅速退化,作为陆生植物有机物供给的代表,

长链脂肪酸数量(C_{20} — C_{30})在成岩作用和早期成岩后作用过程中不断减少。这些认识对探索深部生物群如何存活提供了很好的参考,对于中国拓展生物气勘探范围和领域产生了重要的启示。

2.6 重视实验数据的重复性、实验方法的可信性、实验结果的可对比性

实验室和测试分析技术是有机地球化学的“生命线”,新技术、新方法的开发和应用是推动有机地球化学革新的“必由之路”。目前,在国内有机地球化学界百家争鸣、蓬勃发展的同时,还需要清醒地认识到,面对复杂的地质条件和实验结果的多解性,很多研究者不免出现把先验认识强加在了实验前处理和测试分析当中,造成了实验结果不能对比,解释和认识过程中各执一词、争论不休。因此,有机地球化学未来的发展当中,必须把实验数据的重复性、实验方法的可信性、实验结果的可对比性放到十分重要的地位,尤其是在新方法和新技术的使用方面,更需要加快标准化建设,确保有机地球化学将来的发展得到更多国际同行的认可,真正达到世界先进水平。

3 几点希望

3.1 跟踪国际研究热点

随着全球对能源需求的不断增加,对于提高非常规油气的开发水平以及探索和评估石油的接替资源提出了新的要求。面对未来油气勘探开发的发展格局,油气地球化学通过研发高分辨率、高灵敏度的科学技术,向分子级化合物定量和单体烃同位素测量的方向不断发展,为科学地精细评价资源潜力、建立完善的成藏系统模型及准确预测油气产量提供强有力的技术支撑,并围绕非常规油气勘探和开发难题积极开展了富有挑战性、创新性的储层流体性质研究,成为国际有机地球化学界研究的热点。

比如像三维盆地模拟这种在国外非常活跃、可以用来预测石油生成的时向、储量、运移路径和聚集的三维可视化技术,在我们这次会上此类报告则嫌太少。盆地模拟与地质的结合,可以使我们的研究上一个档次。国外有研究报道,天然气产率和同位素动力学算法同盆地模拟(三位一体)

相结合,可以确定烃源岩的生气区域,以及在勘探区和远景区域的聚集史。我国很多地区天然气的来源是否为多种不同成熟度的烃源岩混合成因气,或者为生物气,认识一直存有争议。加强盆地模拟与地质研究的结合,有助于我们从地质热史多样性的角度认识天然气碳同位素值的特殊性和多变性,并且可以直接由烃源岩和累积气体聚集史的图位进行定量分析,并揭示气体组成和同位素值的成因。

在评估重油的勘探远景方面,储层流体地球化学的应用已经初见成效。传统的盆地正演模型存在预测误差,例如生物活性破坏了石油组成和流体特性的梯度(Latar等,2006,2008),给流体性质预测造成干扰。因此,有研究提出了根据圈闭原油组分特征与现今流体性质梯度直接确定油气充注年代的新方法。对于盆地模拟方法的开发,不仅要用来预测油气生成的时间和产量,还应该重视预测油气的很多地球化学及物理性质。尤其对于深水油气勘探开发,更需要在钻前预测原油的流动性,为优化开发方案提供技术参考。这些都将成为我们未来研究的重点。

3.2 加大创新力度

地球化学说到底是一门实验学科,任何重要成果的取得都要立足于技术的进步。首先,是分析技术上要有创新。从这次会议上展示的成果来看,凡是技术含量高、实验数据充分并得到合理解释的成果,都获得了很高的评价。地球化学是提供油气生成聚集过程证据的有效手段,是其他学科不能比拟的,但我们的研究者在这方面显得不够严谨,证据不够充分。

其次,是要深入研究和解决中国自己遇到的特殊地球化学问题,针对中国的地质特点,不断探索油气生成和成藏的机理,如原油生物降解机理以及降解成气机理、深层和浅层天然气形成机理及预测、硫酸盐热化学还原反应(TSR)机制、高温/高压条件下的油气生成与保存及不可动用稠油的气化机制等。

3.3 促进多学科交叉

在许多西方石油公司,地球化学家常被称为石油系统分析家,地球化学家常和地球物理学家、

盆地模拟专家一起协作,形成一个完整的工作团队,这样往往可以使一个盆地的油气资源得到一个更为接近真实的评价。由于21世纪的勘探和开采会变得更加困难,搞地球化学的首先要懂地质,懂点层序地层、沉积相、岩石物理、构造运动、地应力、温压系统,要学点地震和测井,同时还要有扎实的化学、生物学、物理化学等方面的基础知识。在这次会议上,我们非常可喜地看到,已有一些报告展示了多学科的交叉,比如生物气的成因研究等。在强化油气地球化学研究的同时,还应该多吸收其他领域的研究成果,比如环境、煤、生物、土壤化学等领域。

3.4 提升地质-地球化学综合研究能力

国际上有机地球化学研究先进的国家,都在朝着综合研究的方向发展。我们有世界上最庞大的地球化学研究队伍,我们有条件也应该出一批国际领先的研究成果。在识别不同成因天然气来源方面,美国能源研究中心研发的GOR-Isotopes™模型是建立在生烃热模拟数据的基础上,根据生烃动力学得到的地质演化过程中乙烷碳同位素的变化曲线来计算天然气生成的时间和温度,识别天然气成因,并预测油气产量、天然气同位素分馏效应以及气油比范围等参数,为油气开发提供重要的油气藏特征参数。将地球化学研究与地质认识有机地结合在一起,特别有助于勘探家们正确认识油气充注历史和保存条件等。在解决天然气藏复杂地质问题方面,如果能将地球化学分析数据整合在三维地质模型的新程序中,用来预测和输出勘探区内的气油比(GOR)、原油密度(API)以及粘度等流体特征的平面分布图,定量评价多种成因天然气的混合比例,就能更加体现出地球化学分析数据的宝贵价值。

在未来非常规天然气的勘探开发过程中,地质与地球化学的综合研究也大有可为。地球化学数据在区分吸附气和游离气、天然气成因类型和成熟度方面具有得天独厚的优势,如果紧密结合地震反演、构造演化等研究方法,则能够更加科学地开展预测页岩气和泥岩气储层孔渗特征以及天然气产能变化趋势等多方面的天然气藏评价和分析研究。

(下转第276页)

5 主要认识和结论

1) 通过对塔北隆起天然气轻烃组分特征分析,认为该区存在腐泥型、腐殖型和混合型天然气;腐殖型天然气主要分布在轮台断隆,腐泥型天然气主要分布在轮台大断裂以南,混合型天然气主要分布在轮台大断裂附近。

2) 塔北隆起天然气多处于成熟-高成熟演化阶段。通过甲烷碳同位素与轻烃参数反映的成熟度特征对比认为该区天然气存在一期和多期成藏两种模式。

3) 塔北隆起西段 iC_4/nC_4 、苯/正己烷和苯/环己烷的变化特征表明天然气以自库车坳陷经羊塔克断裂带向英买 7 断裂带方向运移,且轻烃的运移方式为水溶相。

参 考 文 献

1 戴金星,裴锡古,戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京:石油工业出版社,1992. 75~80
2 胡国艺,李剑,李谨,等. 判识天然气成因的轻烃指标探讨[J]. 中国科学(D辑,地球科学),2007,37(增刊II):111~117
3 Mango F D. An invariance in the isoheptanes of petroleum[J]. Science,1987,273: 514~517
4 Mango F D. The light hydrocarbons in petroleum:A critical review [J]. Organic Geochemistry,1997,26(7/8):417~440
5 张林晔,李钜源,李祥臣,等. 细菌降解气轻烃组成及气源对比[J]. 石油实验地质,1996,18(1):88~95
6 谢增业,杨威,胡国艺,等. 四川盆地天然气轻烃组成特征及其应用[J]. 天然气地球科学,2007,18(5):720~725

7 苗忠英,张秋茶,陈践发,等. 英买力地区天然气地球化学特征[J]. 天然气工业,2008,28(6):40~43
8 李小地,张光亚,田作基,等. 塔里木盆地油气系统与油气分布规律[M]. 北京:地质出版社,2000. 16~26
9 戴金星. 利用轻烃鉴别煤成气和油型气[J]. 石油勘探与开发,1993,20(5):26~32
10 胡惕麟,戈葆雄,张义纲,等. 源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用[J]. 石油实验地质,1990,12(4):375~393
11 Thompson K F M. Light hydrocarbons in subsurface sediments[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1979,43(5):657~672
12 Thompson K F M. Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons [J]. Geochim et Cosmochim Acta,1983,47(2):303~316
13 程克明,金伟明,向忠华,等. 陆相原油及凝析油的轻烃单体烃组成特征及地质意义[J]. 石油勘探与开发,1987,14(1):33~34
14 梁狄刚,陈建平,张宝民,等. 塔里木盆地库车坳陷陆相油气的生成[M]. 北京:石油工业出版社,2004. 108~118
15 Price L C. Aqueous solubility of petroleum as applied to its origin and primary migration[J]. AAPG Bulletin,1976,60(2):213~244
16 王廷栋,杨远聪. 地质色层作用与川中上三叠统天然气的运移[J]. 天然气工业,1986,6(1):15~20
17 兰晓东,朱炎铭,冉启贵,等. 塔东地区天然气地球化学特征及运聚探讨[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):324~328
18 郝石生,黄志龙,高耀斌. 轻烃扩散系数的研究及天然气运聚动平衡原理[J]. 石油学报,1991(12):17~24
19 李广之,吴向华. 异构比 ϕ_{iC_4}/ϕ_{nC_4} 和 ϕ_{iC_5}/ϕ_{nC_5} 的石油地质意义[J]. 物探与化探,2002,26(2):135~139
20 朱怀平,程同锦,李武,等. 塔北地区甲烷碳同位素特征与烃类运移方式[J]. 石油与天然气地质,2005,26(4):450~453

(编辑 高 岩)

(上接第 270 页)

4 结束语

我国有机地球化学研究领域还存在着大量的问题没有解决。无论是油气领域还是环境、生物等领域,无论是东部成熟盆地的勘探还是中西部叠合盆地中下部的勘探,无论是油还是气,无论是深层还是浅层,都还存在着许多与油气生成与成藏相关的问题。而我国有机地球化学界之所以还有这样大的凝聚力,学术空气这样活跃,出了这么多成果,就是因为这支队伍有很强烈的科学探索、发展技术、解决生产难题、振兴油气工业、发展有机地球化学学科的责任感。从大家展示的这

许多研究成果的背后可以看出我国有机地化界的一种精神,那就是团结、和谐、奋发、向上的精神。这种精神将继续激励我们一代又一代地球化学工作者勇往直前。

总而言之,这次学术会议是 21 世纪初对我国有机地球化学学科发展的一次大检阅,展示的成果琳琅满目、丰富多彩。正像学术委员会主任梁狄刚教授所说,这次会议我们“收获了知识,收获了成果,收获了友谊,收获了团结”;也如组委会主任王招明教授所说,这次会议真正成为了“交流认识成果,共同促进提高”的平台。

(编辑 李 军)