

张景廉 著

二论石油的无机成因

ERLUN SHIYOU DE WUJI CHENGYIN

130.1

石油工业出版社

二论石油的无机成因

张景廉 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是《论石油的无机成因》一书的续篇。第一篇对油气成因研究的进展进行了评述。第二篇论述了石油可以是多种成因的。第三篇讨论了克拉2气田、威远气田、普光气田、鄂尔多斯古生界天然气与中生界原油、松辽盆地火山岩天然气等的成因,并对煤成气、天然气水合物、生物成因气等提出了质疑。第四篇论述了森林大火、地震、地球气候变暖可能与无机油气有关,并认为油气是可以再生的。

本书可作为油气地质、地球化学专业的科研人员及大专院校的高年级学生、研究生学习参考,对环境科学工作者也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

二论石油的无机成因/张景廉著.
北京:石油工业出版社,2014.8
ISBN 978-7-5183-0253-6

I. 二…

II. 张…

III. 无机生油-研究

IV. P618.130.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第148343号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:16.25

字数:416千字

定价:60.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《二论石油的无机成因》

主要研究人员

杜乐天 朱炳泉 张虎权 卫平生 方乐华

吕锡敏 陈启林 李相博 倪祥龙 马新民

张平中 吴五同 崔永强 张 宁 范天来

前言

《论石油的无机成因》(石油工业出版社, 2001)一书出版至今已 10 年, 在此期间, 国内油气地质界召开了几次很重要的关于油气成因讨论的学术会议。

(1) 根据温家宝总理的批示精神, 2004 年 1 月 16 日在北京塔里木宾馆, 中国工程院翟光明院士主持了一个无机成因油气学术讨论会, 专门听取了张景廉所作的“油气无机成因的理论与实践”的报告, 国内 20 位知名石油地质专家、学者参加了讨论会。

(2) 2005 年 10 月在北京召开的第 265 次香山科学会议, 会议的主题是: 非生物(无机)油气的形成与资源前景。戴金星、王先彬、吕功煊被聘请担任本次会议执行主席, 并分别作了主题评述报告; 张景廉、郭占谦、杜乐天、妥进才等分别作了中心议题报告。他们的报告收录于《天然气地球科学》杂志 2006 年 17 卷 1 期中。会议认为, 这是一次拓展油气资源勘探领域的前瞻性科学会议: ①我国无机油气资源具有良好的勘探前景, 有重要的实践意义; ②油气无机成因的现代概念已经形成, 近年来油气无机成因理论已开始应用于油气勘探实践; ③会议上传统、经典的地学研究与化学物理、理论物理、宇宙化学、实验地球化学等现代科学的交叉与融合, 有力地推动了油气无机成因理论的发展。

(3) 2007 年 8 月在青岛召开的由牟书令、金之钧主持的“中国石化无机成因天然气学术研讨会”。牟书令、金之钧邀请了杜乐天、王先彬、张景廉等作专题报告。

(4) 2008 年 10 月在北京召开了由中国石油勘探开发研究院主办的“深部地质过程、地球排气与油气资源”学术研讨会, 这次研讨会由中国地球物理学会、中国石油学会、中国地震学会、中国矿物岩石地球化学学会四单位联合发起。

(5) 2008 年, 北京石油学会发起并组织了在北京高校的 4 场幔源油气学术报告会。李扬鉴教授、崔永强博士作了专题报告。

在国外也召开了几次重要的关于无机油气的学术会议。

(1) 2002 年 5 月在莫斯科召开的“地球排气作用: 地球动力学、地球流体、石油和天然气”学术报告会。俄罗斯科学院应用地球物理学科学研究所 A. H. 德米特里耶夫斯基和 S. M. 瓦里亚耶夫编辑、出版了《地球排气作用: 地球动力学、地球流体、石油和天然气》论文集。该论文集于 2008 年出版了中译本。论文集收录了 389 名学者的 202 篇论文摘要。需要指出的是, 在 2000 年以前, T. H. 克鲁泡特金院士曾在 1976 年、1985 年、1991 年先后主持了 3 次全俄“地球排气与大地构造”学术会议, 其中第二届、第三届“地球排气与大地构造”的论文集(摘要)的中译本也于 2003 年出版。该中译本收录了 476 人的 312 篇论文摘要。俄罗斯等独联体的学者认为石油天然气的成因与地球排气作用有关。

(2) 2005 年 6 月在加拿大卡尔加里召开了一个以油气成因为主题的 Hedberg 研讨会, 与每年一次的 AAPG 大会合并成一个研讨会。这次会议是由 M. Malbauty 提议召开的。在这次研讨会上, 有 8 份报告论述了油气无机成因的资料和证据, 另有 6 份报告论述了石油的有机论。会议集中讨论了最常被引证的无机成因机理是: ①地幔的脱气和低相对分子质量烃类的聚合作用; ②超基性岩石的蛇纹石化作用与费-托反应生成油气。会议认为, 石油的生成

模式很重要,因为它涉及勘探的重点(位置和深度)以及油气资源的规模。

Katz 等在 2008 年的《AAPG》第 92 卷第 5 期对这次会议作了评述。Katz 等认为,石油形成的无机成因论学派与有机成因论学派也存在某些相同点(尽管相同点很少),但也使与会者改变了他们各自的观点,不管怎样,这次会议交流了信息,是一次有意义的学术活动。

参加这次研讨会的主要是来自欧美的一些公司、大学、研究单位及独立咨询公司,也有来自俄罗斯及其他独联体的代表,如俄罗斯科学院油气问题研究所、鲁克石油公司、乌克兰国家科学院等,这些代表均支持无机论。这次会议没有中国的代表参加。

总之,无机成因油气已引起了国内外越来越多的学者的关注。笔者在这 10 年期间也陆续写了 60 多篇论文深入讨论了油气的无机成因。本书收录的是关于油气成因讨论、争论的论文。从中可以看出笔者对一些传统观念与思想的反思,并可以看到无机成因油气研究正向纵深发展。关于无机油气成因论用于指导勘探实践的论文将另外编辑出版。

时任北京中国科学技术大学校长的郭沫若在为《中国科学技术大学学报》写的发刊词(1965 年第 1 卷第 1 期)中说:“独创的理论,起初总是占少数的,不然何以成为‘独创’呢?但尽管少数,甚至于只是‘独’——只此一家,它都能够说服众人而压倒多数。”

另据凤凰网(2010 年 9 月 14 日)报道,1965 年 6 月 20 日毛泽东主席在上海约见刘大杰和周谷城说:“摩尔根学派可以研究,米丘林、李森科学派也可以研究,为什么只许搞一派?”(原定约见生物学家谈家桢,未到),还说:“做学问一定要找对立面……有对立有斗争才有发展。”

本书第一篇“无机油气成因研究进展与争论”收录了 7 篇论文。

第二篇“石油是可以多种成因的”,收录了笔者与朱炳泉等合作撰写的、在《*Geochemica et Cosmochimica Acta*》发表的论文,该文根据 Pb、Sr 和 Nd 同位素资料论述了壳幔相互作用特别是地幔流体对油气生成的影响。

第三篇“油气有机成因论质疑”收录了 13 篇论文。

第四篇“森林大火、地震、地球气候变暖与无机油气关系”共收录了 9 篇论文。

这些文章大多为《论石油的无机成因》一书出版后笔者所撰写的。它们分别被发表于《新疆石油地质》、《海洋石油》、《天然气工业》、《石油科技论坛》、《石油学报》、《石油勘探与开发》、《*Geochimica et Cosmochimica Acta*》、《海相油气地质》、《岩性油气藏》、《地球科学进展》、《石油实验地质》、《天然气地球科学》、《中国矿业报》、《地学前缘》、《西北地震学报》、《中国科学院院刊》等刊物。

在此,笔者要特别感谢原中国石油天然气总公司西北地质所刘全新所长,对我撰写、出版《辽河断陷原油生成环境与演化》、《论石油的无机成因》和《二论石油的无机成因》所提供的支持与帮助。作为一名勘探地球物理学家,刘所长对油气无机成因学说表现了极大的宽容、理解与支持。

在本书整理、编纂过程中,中国石油勘探开发研究院西北分院的易定红高级工程师、兰州大学资源环境学院范天来硕士给予了很大帮助,在此一并表示感谢。

张景廉

2013 年 12 月 23 日

目 录

第一篇 无机油气成因研究进展与争论

油气无机成因学说的新进展	(3)
关于无机生油理论的思考	(10)
关于石油成因理论的争鸣	(15)
非生物(无机)成因油气基础科学问题	(23)
再谈油气成因和拓宽勘探领域问题	(30)
关于油气成因的辩论——与王兰生先生商榷	(37)
天体演化与地球的无机烃——卡西尼号飞船带给我们的启示	(44)

第二篇 石油是可以多种成因的

Pb, Sr and Nd Isotopic Features in Organic Matter from China and their Implications for Petroleum Generation and Migration	(55)
---	------

第三篇 油气有机成因论质疑

克拉2大气田成因讨论	(85)
天然气水合物成因探讨及中国海域勘探前景	(91)
也谈威远气田的气源——与戴金星院士商榷	(98)
实话实说我国油气资源现状	(103)
煤层气成因研究	(110)
柴达木盆地第四系生物成因气质疑	(116)
普光气田的天然气可能是无机成因的	(127)
海相、陆相油气及其成因概述	(135)
鄂尔多斯盆地深部地壳构造特征与油气成藏	(143)
松辽盆地天然气成因探讨	(153)
油气“倒灌”论质疑	(162)
汝箕沟煤矿的热液活动与煤炭成因	(172)
关于沉积盆地分类与油气成因的新观点	(178)

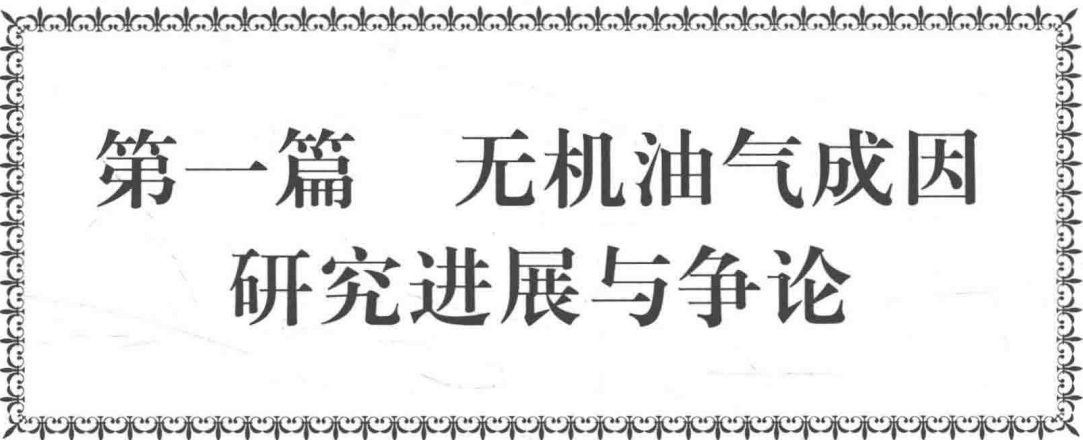
第四篇 森林大火、地震、地球气候变暖与无机油气关系

阿尔山森林大火兴许天然气作怪	(187)
森林大火后的思考	(189)
瓦斯爆炸、森林大火、地震及其他	(191)
人类活动与地球排气作用孰主孰次	(193)

松潘—甘孜褶皱带的深部地壳构造特征及油气前景	(195)
汶川大地震与中地壳低速、高导层的成因关系初探	(202)
再论汶川大地震与深部气体的关系——汶川地震2周年祭	(212)
地球温室气体 (CO ₂ 和 CH ₄) 来源别解	(220)
油气是可以再生的 (代后记)	(235)

附 录

附录1 张景廉论文、论著目录	(243)
附录2 《论石油的无机成因》勘误表	(251)



第一篇 无机油气成因 研究进展与争论

油气无机成因学说的新进展*

张景廉¹ 张平中^{1,2} 吕锡敏¹

关银录¹ 廖天纯¹ 张正刚¹ 王爱勤³

(1. 中国石油天然气总公司西北地质研究所, 甘肃兰州 730020;

2. 中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室, 甘肃兰州 730000;

3. 中国科学院兰州化学物理研究所, 甘肃兰州 730000)

摘 要:介绍了油气无机成因学说的新发展, 主要是目前在西方、俄罗斯等影响较大的关于无机生油气的几个学派以及在中国的一些学派。其中之一是 Gold 的地幔脱气理论, 之二是费—托地质合成理论。

关键词:油气; 形成机理; 干酪根; 幔源非生物成因; 费—托合成

近一二十年来, 非生物(无机)生油气学说得到了发展。随着石油勘探的深入与发展, 干酪根热降解理论面临越来越大的挑战; 而宇宙化学与地球形成的新学说, 板块构造学说的发展及应用, 地壳超深钻探的不断实践, 同位素地球化学(特别是 Pb、Sr、Nd 固体同位素)研究的深入, 均为油气形成机理提供了许多新的信息和思路。

笔者从非生物(无机)生油气的观点出发, 阐述目前影响较大的非生物(无机)生油气的几个学派。其中之一是 Gold^[1-3]的地幔脱气理论; 其中之一是费—托(Fischer-Tropsch)地质合成理论, 这中间又有两个学派, 一是以俄罗斯学者萨尔基索夫、沃里沃夫斯基为代表的“超基性岩底辟说”^[4], 二是 Szatmari^[5,6]的板块构造地质背景下的费—托合成说。

1 地幔脱气说

1.1 Gold 理论

Gold 等^[1-3]依据太阳系、地球形成演化的模型, 认为地球深部存在着大量的甲烷及其他非烃资源, 这些甲烷在地球形成时就已存在, 大量还原状态的碳是在地壳深部被加热而释放出来的。经过地质历史时期的种种变化, 这些甲烷向上运移, 并大量聚集在地壳深度 15km 左右的地带, 形成无机成因的油气藏。根据地球演化理论, 大约在距今 3500Ma, 由地幔物质脱气作用形成的大气圈是还原性的, 当时没有游离氧, 但有甲烷等。当地球开始凝聚时, 原始大气中的甲烷等气体作为“化石”保留在上地幔和地壳深部。当存在地幔柱(super-plumes)并有深大断裂(裂谷)时, 这些甲烷气便可通过断裂、火山活动或在地壳运动

* 本文曾发表在《地球科学进展》1998 年第 13 卷第 1 期。

(加里东运动、海西运动)中释放。显然,这种释放过程贯穿整个地质时期,但它有几个主要释放期。由地幔脱气作用释放出来的气体,大部分被逸散到大气中,仅有部分形成了天然气藏。就目前来说,这种气藏多与沉积岩层有关;但是,火山岩气藏正越来越多地被发现。还有一个问题,这些深源气也可能与有机成因气相混合。东太平洋海隆、红海、冰岛,中国五大连池、云南腾冲等火山区均有这类成因的天然气。

Gold 认为,大陆板块边缘褶皱带、大型地壳裂谷、地震活动带、活火山或死火山附近,以及已查明富集油气的线性带的外延部位均是油气概率极高的地区。

如前所述,来自地幔的烃,可以进入到大气圈中,也可运移到沉积储层,也可运移到火成岩、变质岩中,更可以进入水圈。北极地区大量气水合物的发现正是甲烷等烃类气体向上运移而形成的类冰态化合物。Gold 还探讨了深部甲烷气体向上运移的力学过程。

著名天体学家 Ahrens (1994) 在论述地球起源时明确指出:地球是吸积形成的,被吸积的物质是冷却的,因此,它们保留了相当一部分挥发分(水、甲烷、氨和稀有气体等)。

1.2 幔汁说

幔汁说由杜乐天所倡导。杜乐天通过对地幔流体及软流层地球化学的多年系统的深入研究,在 1987 年提出幔汁说的基础上,于 1993 年提出了地球有 5 个气圈的新假设^[7]。该假设认为:地球是一个充气的球,它内部存在压力极大、而且温度和密度都很高的气体,这些气体构成了从地球表面一直到地核的至少 5 个气圈。其中地壳气圈(即气圈,位于地壳 8~10km 以下)对于人类具有重大的意义,它蕴藏着可供人类大规模开发利用的巨大天然气资源^[8]。

1.3 幔源油气

苏联科学院地质研究所极重视地球深源气的研究,根据他们的理论以及实验模拟,并从大量的地球化学资料,论证了在强还原条件下形成的深源气是氢气、各种烃类气及硫化氢。他们认为,在上地幔这种特有的温度和压力条件下,液—气相是氢和烃的巨大储气库。地球深源气向地壳表层运移的氢和甲烷的脱气过程受构造控制:深断裂带、裂谷、地堑、拗拉谷挠折—断层带等均是深源气垂直运移的通道,即“脱气作用管”。根据热力学计算,在压力为 65MPa,温度为 1700℃ 的条件下模拟表明,高压一方面可使烃类热分解得以抑制,另一方面则促使烃类的环化、聚合作用和凝析作用,从而向高分子的烃类演化,这为深源气合成油提供了实验依据。

事实上,这种深源气理论已用于指导超深井的勘探。苏联制定了 11 个地区的超深井规划,来验证地球深源气。目前已有 5 口超深井在开钻,其中波罗的海地盾科拉半岛上的 SG-3 井,自 1975 年 5 月开工以后,到 1983 年 12 月,钻至 12066m,成为世界上最深的井,该井在 7000m 深处的太古宇科拉群的片麻岩和角闪岩中,发现了沥青包裹体和高浓度 H_2 、 CH_4 、He、 N_2 及卤水,确实证明了地壳深处有非生物成因的甲烷等。

1.4 陨石和行星中的烃类

陨石中普遍发现了很多有机化合物。这里只引录我国宁强碳质球粒陨石中的有机化合物。色质分析表明,其中有正构烷烃、烯烃、异构烷烃、芳香烃、酮等,尤其发现了被称为典型的生物成因的姥鲛烷和植烷。这些有机化合物,特别是正烷烃,极像生油岩干酪根热解

后的产物；反复的实验表明，这不是污染的^[9]。

最富有生物特征的姥鲛烷和植烷，不仅在碳质球粒陨石中被发现，而且也出现在瑞典锡利延地区的 Stenborg 1 号超深井的原油中。

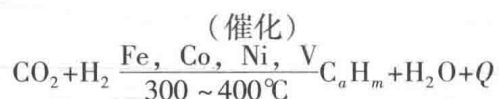
我们知道，木星、土星、天王星、海王星的大气圈中有大量甲烷和其他烃类气体；土星的大卫星 Titan 在其大气圈中也有甲烷和乙烷。海王星的卫星 Tritan 在其表面有烃和水冰的混合物；冥王星表面的反射为焦油（tar）；近年来根据宇宙飞船观察，哈雷彗星核的表面也可解释成焦油；与天然石油中相似的、复杂的 Polycyclic 烃类分子是星际尘埃颗粒的主要组分，银河系的分子云中所确认的气体中，烃是最主要的。以前人们相信，地球初始时是热的熔融体。今天，地球演化史表明，当初它是冷的。因此，当如碳质球粒陨石这样的物质在吸积过程中所固有的 CO、H₂、CO₂、CH₄、H₂O 等，可经过费—托反应或 Urey-Muller 反应合成有机化合物，这种烃类化合物可以保持下来。

安藤直行^[10]早在 1971 年就曾提到，阿波罗 11 号、12 号带回的月岩样品中检测到氨基酸、脱氧核糖核酸之类的有机物存在，并预言石油的有机成因与无机成因说的争论将再次活跃起来，还认为有可能会建立石油成因的宇宙论。

2 费—托地质合成说

2.1 俄罗斯学者的“超基性岩底辟说”

俄罗斯学者卡罗斯、萨尔基索夫等（1986）根据大量折射波、反射波、转换波的研究和分析，提出地壳结晶基底非层状特征的新概念模型。尔后，沃里沃夫斯基提出了陆壳岩浆潜入式增长的超基性蛇纹岩底辟说。他们认为，陆壳的结晶部分不全是由高变质的层状结晶岩所构成，即在花岗岩（花岗片麻岩）与玄武岩中间夹有可塑性的超基性蛇纹岩。在地壳发展早期是双层结构，后来由于可塑性的超基性岩的挤入使上下层分离，并发生破裂，即所谓的“超基性蛇纹岩底辟说”。这种超基性岩在地球物理上的显著特点是低速、高导性。根据上述机理，上层的花岗岩（花岗片麻岩）呈不连续的断块似乎飘浮在这层超基性岩上。地幔脱气生成的 CO₂、CO、H₂ 沿玄武岩的破裂带上升到超基性的蛇纹岩带，发生了著名的费—托合成反应：



费—托合成的烃类伴随着岩浆活动（如火山喷发）沿花岗岩缺失的“通道”上升，并运移到储层形成油气藏。

这样一来，我们可以形象地称：（1）蛇纹石化超基性岩是油气生成的“发生器”，油气的费—托合成反应便在此带发生；（2）沉积盆地由于有孔隙好的砂岩、白云岩等，成为油气的“存储器”；（3）上地幔是油气生成的“原料库”。这三者缺一不可，但必须有“通道”相互连通。这是目前对地壳结构的新的认识，从而为油气非生物（无机）生成理论注入了新的活力，使非生物（无机）成因论摆脱了“烃类无法存在于上地幔的高温条件”的困境。

沃里沃夫斯基^[4]研究了上述陆壳结构与含油气盆地的关系，特别是研究了世界 9 个大

型、超大型含油气盆地的结构、地球物理参数,发现这些大型、超大型含油气盆地的沉积层均直接与蛇纹石化超基性岩或玄武岩接触而缺失花岗岩,他把这种盆地称为“缺花岗岩型盆地”,并认为凡底部缺失花岗岩的盆地,均蕴藏着巨大的油气资源。

2.2 板块构造与费—托地质合成

费—托地质合成反应能否在地质条件下实现,困难主要在于催化剂、 H_2 和 CO_2 的来源问题。

事实上,早在 1963 年,伦敦皇家学会主席、著名化学家 Robinson^[11,12] 就注意到原油中正构烷烃的分布与费—托合成“临氢重整”油中的相同。据此,他认为,地球上原始石油可能是在 20 亿年前通过费—托合成反应而生成,只是以后反复经受了“临氢重整”作用,同时加入了数量日益增加的生物物质。

Friedel 等^[13,14] 也发现,费—托合成反应的两个参数(链增长概率和链分支概率)能准确预测沙特阿拉伯一种原油中间分异物体的丰度。这表明,这种原油是费—托合成而生成,而不是化石有机质热解的产物。

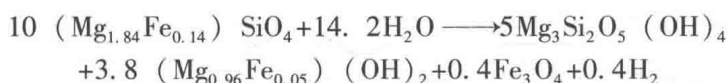
Studier 等^[15-17] 证实了在实验室进行费—托合成,然后重新加热,使合成油发生链烷烃到芳香烃的部分转化,就能重现碳质球粒陨石中所观察到的那种烃类成分,即低碳数烃以苯和甲苯为主,高碳数烃以脂族烃为主。

Lancet 等^[18] 指出,碳质球粒陨石中烃类与碳酸盐矿物之间碳同位素分布的巨大差异,可以通过费—托合成反应而再现;而碳质球粒陨石中可溶性有机质的 $\delta^{13}C$ 却与原油的 $\delta^{13}C$ 值十分相近。

化学家的上述真知灼见没有引起石油地质学家、地球化学家的注意和重视。直到 20 世纪 80 年代,阿曼蛇绿岩带橄榄岩的蛇纹石化生成大量氢的现象已在地质考察中观察到^[19],而地下钻探、实验研究也均证实了这一现象,地质学家才开始重新审视费—托合成反应的石油地质意义^[5,6]。

2.2.1 超铁镁岩的蛇纹石化及其逆反应脱蛇纹石化均是氢的地质来源

自然界常见到超铁镁岩的蛇纹石化,伴随蛇纹石化过程有氢气放出,其反应方程是:



Janecky 和 Seyfried (1986) 用海水对大洋橄榄岩作了蛇纹石化的模拟实验,温度在 200℃ 和 300℃,压力为 50MPa (没有 CO_2),结果有磁铁矿沉淀和氢气生成。

上述反应是可逆的,即如果蛇纹石与水镁石反应,则可生成橄榄石、磁铁矿、水和氢气。这个反应即所谓脱蛇纹石化作用。

因此,只要地壳上发生超铁镁岩的蛇纹石化及其逆反应脱蛇纹石化,便可产生大量的氢,而大洋中脊、板块俯冲带、裂谷则都是超铁镁岩蚀变生氢的有利场所。

2.2.2 CO_2 来源

蛇绿岩、科马提岩等超铁镁岩经常有白云石、菱镁矿等碳酸盐矿物共生,在蛇纹石化过程中,这些碳酸盐矿物有可能部分或完全离解脱碳生成 CO_2 。板块俯冲、岩浆侵入、裂谷等地质背景均适宜 CO_2 的排放,这部分 CO_2 可按费—托合成原理转化成烃类。

2.2.3 催化剂

研究表明,在费—托合成反应中,不仅金属铁有催化活性,离子化(氧化)的铁有与

金属铁一样的催化活性。在合成过程中由于 CO_2 的离解, 表层磁铁矿会不断氧化成赤铁矿; 同时在氢的作用下, 它又重新还原成磁铁矿。研究还表明, 在 500°C 的温度下, 氧化铁可以与它的承载物 (氧化硅或氧化铝) 变换阳离子, 即铁离子进入了承载晶格比较稳定的位置, 因而获得了良好的催化活性。由此推测铁硅酸盐可能也是费—托合成反应的活跃催化剂, 而磁铁矿、赤铁矿、铁硅酸盐都是地壳中常见的矿物, 完全可以满足费—托合成反应的需要。

2.2.4 费—托地质合成的可能性讨论

在大陆岩石圈中, 不是所有地方均可产生费—托合成的。如前所述, 需有蛇纹石化产生氢、脱碳作用生成 CO_2 , 还有费—托反应所需的 500°C 以下的温度。尽管条件比较苛刻, 我们还是有可能找到具备这些条件的部位。目前看来, 最适宜的部位是, 俯冲板块的接触带、蛇绿岩推覆体中、裂谷作用所薄化的地壳中, 具体地说, 这种俯冲沉积岩含大量碳酸盐, 而蛇绿岩仰冲到陆架碳酸盐之上。俯冲碳酸盐沉积物中所排出的水和脱碳作用所生成的 CO_2 , 将沿着上覆的地幔岩石圈及蛇绿岩的底面, 为蛇纹石化 H_2O 、 CO_2 的还原以及烃类的合成创造良好条件。此类大型推覆体本身的质量, 可能有助于把所产生的流体向克拉通内部驱赶^[5,6]。

Klemme^[20]曾作过统计, 发现世界油气的一半以上与板块俯冲及其相联系的各种断裂有关, 并注意到, 在这些断裂发现大油气田的机会更多。例如, 加拿大近海北美东部、中部、西部、北海及沙特阿拉伯等含油气盆地的基底均存在与板块俯冲作用有关的深大断裂。Szatmari^[6]还提出了费—托地质合成石油的一般模式。

拥有世界近三分之二油气储量的波斯湾地区, 就分布在被推覆到陆架碳酸盐岩之上的扎格罗斯 (Zagros) 碰撞带的蛇绿岩附近。加利福尼亚相当丰富的石油储量, 也与海岸山脉的蛇绿岩在含有碳酸盐岩块体的弗朗西斯混杂岩之上的推覆有关^[6]。

2.3 原油与费—托合成油在成分、性质上的比较

目前已经查明, 费—托合成油的成分与性质几乎与原油完全一致。

(1) 它们都是数量庞大的烃类化合物的混合物, 原油中正构烷烃、异构烷烃的分布, 符合费—托合成反应的链增长概率和链分支概率。

(2) 它们均有不同比例的气体、汽油、柴油及蜡质组分, 比例不同常取决于合成时的条件。如当温度为 $220 \sim 240^\circ\text{C}$, 压力为 2.6 MPa , 在固定床 (fixed-bed) 作催化合成, 则产物中汽油占 32% 、柴油占 21% 、蜡质占 47% ; 而当温度为 $320 \sim 330^\circ\text{C}$, 压力为 2.2 MPa , 在夹带床 (entrained-bed) 作催化合成, 此时产物中汽油的馏分增加到 70% 。总的来讲: ①提高温度, 使合成烃类变轻 (富 CH_4)、支链增多; ②提高压力, 则使烃类变重 (油质、蜡质多), 支链减少饱和度则增大, 烯烃与烷烃的比重下降; ③合成原料中 H_2 与 CO 的比值, 催化剂的性质均可改变合成产物的组成, 若进料中 H_2/CO 比值大, 使烃变轻, 支链增多, 饱和度大。

(3) 在天然原油与合成石油两种油中, 饱和脂族烃 (正构烷烃和异构烷烃) 均占了一半; 另一半在原油中是环烃, 即环烷烃加少量芳香烃, 而在合成石油中是烯烃, 不过通过环化和加环作用, 可以生成少量的环烷烃和芳香烃。

(4) 碳同位素, 两种油均相对富 ^{12}C , 具有相似的同位素分馏效应。实验证明, 费—托合成中碳同位素的分馏取决于温度及合成反应的完善程度。相对于与烃类同时生成的 CO_2 而言, C_{2+} 烃的 $\delta^{13}\text{C} = -6.5\text{‰}$ (127°C), 而温度提高到 277°C 时, $\delta^{13}\text{C} = -0.20\text{‰}$ 。相对于合

成时使用的 CO_2 而言, 生成的 C_{2+} 烃的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在合成开始时为 -0.25‰ , 在结束时则为 -0.14‰ , 看来不能仅仅依据碳同位素来判断是生物成因的或无机合成的油气^①。

(5) 石油中硫含量取决于参与蛇纹石化水中硫酸盐的含量。

(6) 原油中的 V、Ni。蛇纹石化橄榄岩是 V、Ni 的来源, 它与有机化合物能形成十分稳定的有机络合物。

(7) 石油中含蜡量。低硫高蜡油可以在缺硫条件下由费—托合成, 由于硫的缺失, 提高了催化剂效率, 链增长概率大大提高。

(8) 原油中生物标志化合物是后来进入烃类流体的, 即在费—托合成油向上运移过程中“捕获”的。而卟啉, 曾作为生物成因的重要证据之一, 是可以由无机化合物合成的, 陨石中也发现了卟啉。

从上述讨论中可以看出, 费—托合成原油不仅在理论上、工业生产中是可行的, 在地质条件下也是完全可能的。

参 考 文 献

- [1] Gold T, Soter S. A biogenic methane and the origin of petroleum. *Energy Exploration and Exploration*. 1982, 1 (2): 89-104.
- [2] Gold T. Contribution to the Theory of an Obiogenic Origin of Methane and Other Terrestrial Hydrocarbons. *Proceedings of the International Geological Congress*, 1984, 13: 413-442.
- [3] Gold T. The Origin of Methane in the Crust of the Earth. *The Future of Energy Gases*, US Geological Survey Professional Paper, 1993, 1570: 57-80.
- [4] 沃里沃夫斯基 B C. 世界最大含油气盆地. 任俞, 译, 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [5] Szatmari P. Plate Tectonic Control of Synthetic Oil Formation. *Oil & Gas Journal*, 1986, 84: 67-69.
- [6] Szatmari P. Petroleum Formation by Fischer-Tropsch Synthesis in Plate Tectonics. *AAPG Bull.*, 1989, 73 (8): 989-998.
- [7] 杜乐天. 地球五个气圈的氢烃资源. *铀矿地质*, 1993, 5: 257-264.
- [8] 杜乐天. 烃碱流体地球化学原理. 北京: 科学出版社, 1996, 438.
- [9] 史继扬, 王道德, 向明菊, 等. 宁强碳质球粒陨石可溶有机质初步研究. *地球化学*, 1992, 21 (1): 34-40.
- [10] 安藤直行. 石油和同位素地质学——关于石油成因的同位素技术, 石油地质学译文集 (第三集). 北京: 科学出版社, 1976: 276-282.
- [11] Robinson R. Duplex Origin of Petroleum. *Nature*. 1963, 199: 113-114.
- [12] Robinson R. The Origin of Petroleum. *Nature*, 1966, 212: 1291-1295.
- [13] Friedel R A, Sharkey Jr A G, Alkanes in Natural and Synthetic Petroleum. Comparison of Calculated and Actual Composition. *Science*, 1963, 124: 1203-1205.
- [14] Friedel R A, Sharkey Jr A G. Similar Compositions of Alkanes from Coal. Petroleum, Natural Gas and Fischer-Tropsch Product, Calculation of Isomers. US Bureau of Mines Report of Investigation, 1968, Rt. 7122. 109.
- [15] Studier M H, Hayatsu R, Anders E. Organic Compounds in Carbonaceous Chondrites. *Science*, 1965, 149: 1455-1459.

① 张景廉等, 碳同位素与油气物源示踪, 地质地球化学, 1998。

- [16] Studier M H, Hayatsu R, Anders E. Origin of Organic Matter in Early Solar System – I Hydrocarbons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1968, 32: 151–173.
- [17] Studier M H, Hayatsu R, Anders E. Origin of Organic Matter in Early Solar System– V. Further Studies of Meteorite Hydrocarbons and Discussions of their Origin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1972, 36: 189–215.
- [18] Lancet M, Anders E. Carbon Isotope Fractionation in the Fischer–Tropsch Synthesis and in Meteorites. *Science*, 1970, 170: 980–982.
- [19] Neal C, Stanger G. Hydrogen Generation from Mantle Source Rocks in Oman. *Earth Planetary Science Letters*, 1983, 66: 315–320.
- [20] Klemme H O. Petroleum Basin–classification, and Characteristics. *Journal of Petroleum Geology*, 1980, 3: 187–203.