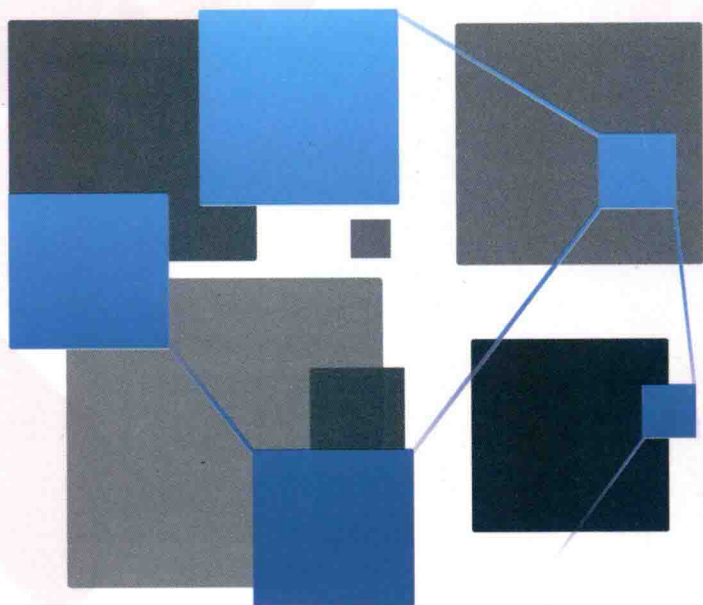


国家自然科学基金资助项目 (41702167)
江苏省自然科学基金资助项目 (BK20160243)
江苏高校优势学科建设工程资助项目

Dimei Jiemei Shengting Jiegou Yanhua Tezheng Ji Shengtingshi Moni

低煤阶煤生烃结构演化特征及 生烃史模拟

李伍 朱炎铭 马丽 著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金资助项目(41702167)

江苏省自然科学基金资助项目(BK20160243)

江苏高校优势学科建设工程资助项目

低煤阶煤生烃结构演化 特征及生烃史模拟

李 伍 朱炎铭 马 丽 著



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书选取依兰第三煤矿古近系达连河组煤层为研究对象,该煤层具有煤层厚度大,煤质条件好,煤层发育集中等特点。根据煤化作用的理论,处于长焰煤阶段的煤具有良好的生气条件,本次研究通过封闭体系下的黄金管热模拟实验,得到不同温度的烃与非烃产率特征,并通过生烃动力学计算得到产物的动力学参数。选段分峰拟合,获取煤样的结构参数,运用煤样的结构参数进一步分析不同变质程度煤之间的化学结构特性规律。最后,利用 Petromod 盆地模拟软件,结合古地温、古水深等相关地质参数对依兰煤田进行生烃史、热史、成熟度史、埋藏史的模拟。利用收集所得依兰第三煤矿古近系达连河组中煤层煤储层特征与地质构造背景,分析了现今瓦斯分布状况,发现现今由于依兰第三煤矿为露天煤矿,存在煤层露头、井田正断层发育、水文地质条件以及采动影响,原始生成瓦斯气体不同程度的富集和逸散,导致现今瓦斯分布发生很大变化。

图书在版编目(CIP)数据

低煤阶煤生烃结构演化特征及生烃史模拟/李伍,朱炎铭,马丽著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2019. 3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4328 - 7

I. ①低… II. ①李… ②朱… ③马… III. ①煤—分子结构—研究 IV. ①TQ530

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 006838 号

书 名 低煤阶煤生烃结构演化特征及生烃史模拟

著 者 李 伍 朱炎铭 马 丽

责任编辑 周 红

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83884103 83885105

出版服务 (0516)83995789 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州市今日彩色印刷有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 8.5 字数 153 千字

版次印次 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

定 价 48.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

依兰第三煤矿达连河组中煤层煤为Ⅲ型干酪根,隶属低煤阶,具有很大生烃潜力,且产物中气态烃产率比较高。本书依托国家自然科学基金青年科学基金项目(41702167)和江苏省自然科学基金项目(BK20160243),以该煤层为研究对象,使用傅立叶红外光谱、黄金管热模拟实验、Petromod模拟技术,针对低煤阶煤的生烃结构演化特征和生烃史进行研究,主要取得了以下研究成果:

(1) 慢速升温生烃率大于快速升温,通过动力学参数的计算得到:慢速升温官能团减少速率大于快速升温。通过气态烃产率的对比,认为分子侧链脱落顺序为 C_5 、 C_4 、 C_3 、 C_2 ;通过对活化能分布的对比,认为大分子发生反应的顺序可能为大分子碎裂得到 C_{6-14} ,之后脱落侧链得到 C_{2-5} ,最后官能团脱落得到 CH_4 。

(2) 低温阶段 CH_4 来源于解析出的游离气和吸附气、甲氧基中甲基的脱落;中间阶段 CH_4 来源于长链烷烃类的二次热解;高温阶段, CH_4 来源于甲苯热解。

(3) 对样品的红外光谱曲线进行平滑绘图对比,选段分峰拟合,获取煤样的结构参数,运用煤样的结构参数进一步分析不

同变质程度煤之间的化学结构特性规律。

(4) 对依兰第三煤矿达连河组中煤层煤生烃演化史进行模拟,得到依兰第三煤矿达连河组中煤层煤的最大镜质组反射率为 0.73%,结合依兰第三煤矿达连河组中煤层煤层底板等高线与镜质组反射率的关系、镜质组反射率与生成瓦斯量关系,得到初始生成瓦斯含量等值线图。

全书共分为八章,第一章介绍了相关领域研究成果及现状,第二、三章介绍了地质背景、样品与实验,第四章着重介绍了低煤阶生烃特征,第五章介绍了低煤阶生烃动力学分析,第六章介绍了低煤阶结构演化规律,第七章在前面章节的基础上对煤生烃史进行模拟,第八章对研究结论进行总结。

本书的研究工作得到了中国科学院广州地球化学研究所刘金钟教授和中国矿业大学现代分析与计算中心路遥老师的帮助和指导,感谢中国矿业大学资源学院相关教授和研究生提供帮助。感谢马丽所在单位汾西矿业集团公司的支持,谨向以上给予帮助的单位和个人表示诚挚的感谢。

最后,由于著者水平所限,书中不足之处在所难免,敬请专家、同行和广大读者批评指正。

著 者

2018 年 12 月

第一章 绪论	1
第一节 煤生烃特征研究现状	2
第二节 热模拟实验研究现状	5
第三节 生烃动力学研究现状	10
第二章 地质背景	15
第一节 构造背景	15
第二节 含煤地层和煤层	22
第三章 样品与实验	31
第一节 实验样品	31
第二节 实验装置	32
第三节 实验方案与流程	34
第四章 低煤阶煤生烃特征	38
第一节 产烃率变化特征	38
第二节 非烃类气体产率变化特征	48
第三节 热模拟过程生烃影响因素分析	52
第五章 低煤阶煤生烃动力学分析	53
第一节 总烃动力学参数	53

第二节	CH ₄ 动力学参数	60
第三节	热模拟生烃动力学参数分析	63
第六章	低煤阶煤结构演化规律	68
第一节	不同煤样化学结构对比分析	68
第二节	煤样红外光谱的分峰拟合	72
第三节	热模拟过程煤大分子结构的变化	92
第七章	煤系生烃史恢复模拟	93
第一节	依兰煤田沉积埋藏史与热史恢复	93
第二节	依兰第三煤矿井田有机质成熟史和生烃史恢复	98
第三节	依兰第三煤矿达连河组煤层瓦斯含量恢复	101
第四节	依兰第三煤矿煤层瓦斯演化因素影响	107
第五节	依兰第三煤矿瓦斯分布现状	111
第八章	结论	113
参考文献	115

第一章 绪 论

煤炭是世界能源的重要组成部分,煤炭的开采伴随着越来越多的地质问题,如土地沉陷、地下水污染等;同时煤炭的燃烧,也带来了严重的环境污染,如雾霾;煤炭又是不可再生能源,煤炭的消费也带来了资源的枯竭。煤层气作为一种可替代的清洁能源,在全球能源消费结构中所占的比例越来越大。煤是生成煤层气重要的母质,所以研究煤的生烃作用,对于充分利用煤炭资源与有效地开发清洁能源有着重要的意义。

煤属于有机质高度富集的特殊沉积地层,其生烃与排烃的行为可能与其他类型有机质有差异。掌握煤系源岩的生烃潜力和生烃特征,将有助于对油气资源进行准确评价,同时对预防瓦斯突出有着指导意义。

从泥炭到无烟煤的演化过程都有烃类气体的生成,而且不同煤系源岩生气的动力学参数也有差异,同时由于沉积环境不同,有机质组成不同,成烃特征也不同。而低煤阶煤占我国煤炭储量的 50%左右,研究低煤阶煤热解特征及其产物生成机理对于深入理解煤成烃的行为有指导作用。从分子水平上来说,低煤阶煤由于其结构单元较小,含有丰富的各种侧链及官能团结构,也是煤分子工程学科的良好研究对象(周志玲, 2010)。作为研究有机质生烃最有效的手段,模拟实验可以再现地下煤系源岩的热演化过程,通过对产物和固体样品结构详细地定量和定性分析,不仅可以得到煤系源岩的生烃量,还可以了解其生气机制(毛榕, 2013)。有机质成烃动力学是定量评价煤系源岩成烃潜力的重要方法之一,因此有必要通过热模拟实验来建立实际地质条件下煤系源岩的生烃模型,对低煤阶煤系源岩的生气特征进行更细致和深入的认识,评价

天然气的真实潜力。

鉴于上述需求和研究背景,本次研究采用有机地球化学、煤岩学、煤田地质学、煤化学、数值模拟技术相结合的思路与方法,选择依兰煤矿古近系达连河组中煤层煤作为研究对象。该煤层长焰煤和肥煤较为发育,属于低煤阶煤,具有一定的生烃潜力,其在煤层气的生成中发挥着重要作用。因此研究煤生烃的过程具有理论和现实意义。利用封闭体系黄金管升温热解模拟实验,通过生烃动力学计算,获得煤的主要生烃阶段和生烃特征,探讨不同演化程度和不同显微组分的化学结构对煤生烃潜力的影响,比较其动力学参数,建立动力学模型,探讨其生气机制,从有机地球化学角度揭示煤成烃反应机理,丰富煤成烃理论。

第一节 煤生烃特征研究现状

为了得到低煤阶煤生烃特征,判识天然气具体成因,计算煤在特定地质条件下的生烃量,国内外学者基于煤生烃产率特征、热模拟实验和动力学计算做了大量研究。

一、煤生烃特征

煤生烃泛指有机质在煤化作用过程中,形成天然气或石油的过程。煤中有机质分为腐泥型有机质和腐殖型有机质,腐泥型为Ⅰ、Ⅱ型干酪根,腐殖型为Ⅲ型干酪根。腐泥型母质主要形成未成熟-低成熟油,腐殖型母质利于形成过渡带气(王昌贵等,1996)。由于干酪根中不同显微组分的来源和组成不同,其生烃特征具有明显的差异,因此对于干酪根显微组分的研究具有重要的意义。煤中主要显微组分的生烃能力按如下顺序排列:壳质组>镜质组>惰质组(钱门辉,2010)。Petersen等通过对具有相同氢指数的两个不同煤样的核磁分析发现,具有相对较高 $-\text{CH}_3$ 基团的煤更倾向于生气,具有较高 $-\text{CH}_2-$ 基团的煤则具有更高的生油潜力(毛榕,2012)。不同环境形成的腐殖煤的主要差别体现在富氢镜质组(特别是基质镜质体)的生烃贡献上(向龙,2015)。

在生烃过程中,腐泥型和腐殖型有机质均表现出,在未成熟阶段成烃

潜量较低,在成熟阶段达到高峰,到高熟阶段降低。在腐殖型系列中表现为,在未成熟阶段($R_o < 0.5\%$),成烃潜量随成熟度增大而降低;进入成熟阶段($0.5\% \sim 1.3\%$)后,成烃潜量先随着成熟度增大而迅速升高,到 $R_o = 1\%$ 附近达到最高,随后随着成熟度增大而迅速降低;到高成熟阶段($R_o > 1.3\%$),总体上生烃潜量随着成熟度增大而降低[图 1-1(a)]。在腐泥型中表现为,在未成熟阶段,成烃潜量随着成熟度增大而增大;到成熟阶段,生烃潜量达到峰值,其中 R_o 在 $0.6\% \sim 0.8\%$ 之间达到最大,随后随着成熟度增大生烃潜量降低;到高熟阶段,成烃潜量随着成熟度增大表现为降低[图 1-1(b)]。

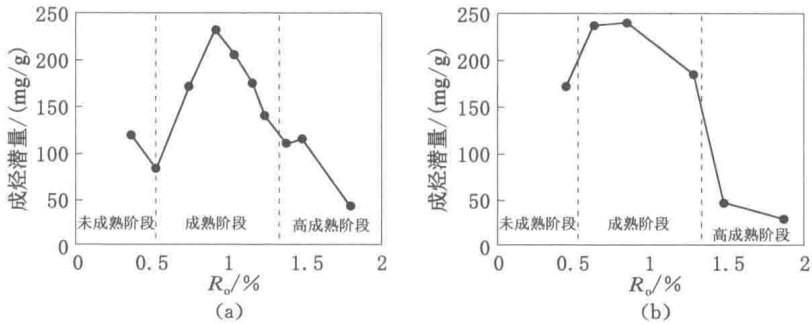


图 1-1 腐殖型、腐泥型系列原始样品热解特征(据秦勇,2001,修改)

(a) 腐殖型系列原始样品热解特征;(b) 腐泥型系列原始样品热解特征

李荣西和金奎励(1998)通过加水热模拟实验对我国胜利油田附近的石炭系太原组亮褐煤生烃潜力进行研究得到:液态烃大量生成和排出始于 $R_o = 0.76\%$ ($290\text{ }^\circ\text{C}$),在 $R_o = 1.18\%$ ($320\text{ }^\circ\text{C}$)时达到峰值;气态烃大量生成和排出始于 $R_o = 1.18\%$,直到 $R_o = 1.53\%$ ($320\text{ }^\circ\text{C}$)继续增加。肖芝华(2009)采用开放体系下进行的全岩热模拟实验,对塔里木盆地侏罗系的煤系烃源岩开展了产气率变化特征的研究,得到:煤系源岩的产气下限为 $R_o = 2.4\%$,在 R_o 小于 1.0% 或 1.2% 时,煤型烃源岩产气率非常低,一般不到总产气量的 $5\% \sim 10\%$,有时甚至更低,煤型烃源岩大量产气阶段一般始于为 $R_o = 1.2\%$,在 2.4% 之前这段演化期间产气量很大,一般占总产气量的 85% 以上,但在 $R_o = 2.2\%$ 或 $R_o > 2.4\%$ 后,煤型烃源岩产气

量很低,一般不到 5%~10%。

李伍等(2013)应用傅立叶变换红外光谱、热解气相色谱对低煤阶煤生烃过程中有机质结构演化进行表征,剖析了人工热演化过程中气态烃产率,解析了煤结构官能团的变化规律,揭示了低煤阶煤生烃与结构演化的耦合机理,结果表明:煤热模拟产物主要为气态烃 $C_1 \sim C_5$, 甲烷生成瞬时产率包含四个峰值;低煤阶煤化学结构中含氧官能团和烷基侧链随煤化程度的增高以不同的速度发生脱落,随煤阶的增加,其芳构化程度增大。宋昱等(2015)以东胜煤田色拉一号井田 2 号煤层长焰煤为研究对象,研究得到:镜煤中羧基随热解温度升高显著减少;热解作用促使以端基形式连接在脂肪链或脂肪环结构氧上的甲基和亚甲基首先脱去,且在温度高于 350 °C 后基本稳定;东胜长焰煤中含氧官能团化学活性顺序为: $[COOH] > [R-O] > [Ar-O-Ar, Ar-O-C, C-O-C] > [C=O]$ 。

二、煤成烃产物

在煤中有机质演化过程中,所产生的演化产物有固体的沥青、微粒体、石油烃类、液态的原油和气态的天然气。天然气的主要组成为气态烃($C_1 \sim C_4$)、非烃类气体的常见气和微量气。气态烃由甲烷和重烃气组成,其主要成分甲烷的含量在 99.5%~30.8% 之间;重烃气是碳数大于 2 的气态烃所构成的天然气。常见气有氮气、二氧化碳、硫化氢、氢气、一氧化碳、二氧化硫、汞气等。微量气有氦气、氖气、氩气、氙气、氡气等。液态的原油主要组成为液态烃($C_5 \sim C_{15}$)和一些非烃化合物;其中烃类包括饱和烃(链烷烃和环烷烃)和芳香烃(单环的有苯及其同系物,多环的有联苯、三苯基甲烷,稠环的有萘、蒽、菲等);非烃化合物包括含氧化合物(胶质、沥青质和石油酸)、含硫化合物(硫化氢、硫醇、硫醚、二硫化物、含硫杂环化合物等)、含氮化合物(吡啶)。固态物质主要为固态烃($>C_{15}$) (陈家良等,2004)。

其中腐殖型有机质在生烃过程中形成的正烷烃以气($<C_5$)为主,油为辅。正烷烃中,又以小分子量的轻烃($C_6 \sim C_{14}$)为主,中等相对分子质量的烃($C_{15} \sim C_{21}$)次之,大分子量的重烃($>C_{22}$)含量极低。腐泥型系列正烷烃中的液态烃远远多于腐殖型。腐泥型有机质热解芳香烃的主要成

分是甲苯,萘的含量相对较低。腐殖型有机质未成熟样品热解芳香烃的主要成分是二环的萘和甲苯,但萘的产率在热模拟温度低于 430 °C 时远高于甲苯和其他芳香烃,在 430 °C 以后低于甲苯。在成熟早期-中期的样品,当热模拟温度低于 450 °C 时,苯和二甲苯是构成芳香烃的主要成分,但 450 °C 以后苯、甲苯、二甲苯和萘的含量几乎相等。成熟度在中期-晚期时的样品,整个热模拟过程均以甲苯和二甲苯为主,随着起始成熟度增高,由甲苯比例相对较高逐步转变为二甲苯比例相对较高。在起始成熟度达“生油死线”以后,上述 4 类热解芳烃组分的产率仅有微弱差异(秦勇等,2001)。

三、地质影响因素

煤成烃的过程主要表现在有机质的演化过程中,而受热温度、受热时间、演化压力是控制有机质演化特征的三个地质因素。在其他地质条件相近的情况下,沉积有机质随着受热温度的增高其演化程度增大,生烃量增大;沉积有机质的演化程度也因受热速率不同而不同,比如短时高温或长时低温条件下,可以使有机质达到同样的演化效果;受热温度和构造历史及其控制下的古地热场有关。在其他地质条件相近的情况下,沉积有机质随着受热时间的增加其演化程度增大;在受热温度达不到临界活化能时,时间效应不明显。静压力对有机质演化的影响比较小。

第二节 热模拟实验研究现状

热模拟实验作为研究有机母质转化生烃最直接、有效的方法,它不仅确定有机母质转化生烃的组分、数量,而且还可以揭示这一转化过程中各种组分产出特征的变化规律及其之间的相互关系(钱门辉,2010)。

一、热模拟实验发展历史

热模拟实验的发展历史如图 1-2 所示。热模拟最早可追溯到 18 世纪末期的鱼油加热实验,20 世纪 50~60 年代开始采用绿河页岩等地质样品开展热模拟实验(侯读杰,1990)。20 世纪 60~70 年代采用醇、醋和

叶绿素等纯化学化合物开展了大量的模拟实验(姜峰等,1996),随后开展了煤热解和演化的研究,20世纪80年代以后模拟实验装置不断改进、分析测试手段明显提高,根据研究目的和实际地质条件采用不同的实验设备开展不同温度、压力及时间条件下的干酪根、全岩、抽提物、沥青、原油等各类样品的模拟实验(汤庆艳等,2013)。

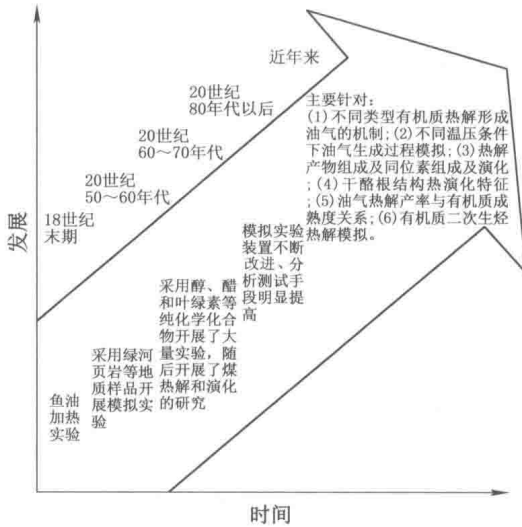


图 1-2 热模拟实验发展历史

天然气生成的模拟实验是油气生成模拟实验的重要组成部分,最近的发展方向是以分子级生烃动力学模拟实验为基础,结合色谱同位素比值质谱(GC-RIMS)测定,根据盆地气源岩埋藏史,来对天然气组分和同位素进行定量预测(Ungerer, et al, 1987; Tang, et al, 2000; Cramer, et al, 2001; 熊永强等, 2001, 2002, 2004; 张海祖, 2005)。当今热模拟实验的研究主要内容如下:① 不同类型有机质热解形成油气的机制;② 不同温压条件下油气生成过程模拟;③ 热解产物化学及同位素组成及演化;④ 干酪根结构热演化特征;⑤ 油气热解产率与有机质成熟度的关系;⑥ 有机质二次裂解生烃模拟(汤庆艳等, 2013)。未来的生烃模拟实验应该注重以下几个方面研究:① 天然气二次裂解动力学模拟研究;② 围压控制

下烃源岩排烃效率的高温高压模拟研究;③ 高温高压下有机质、地层水和矿物质相互作用以及孔隙发育条件下的模拟研究;④ 高温高压下油气形成与流体相态和流体流动性模拟研究;⑤ 有机质转化与岩石机械破碎强度的模拟研究(胡晓庆,2009)。进行热模拟实验的关键在于选择有代表性的初始样品,合适的样品容器、设备装置,适宜的温度、压力、水介质以及矿物质条件(汤庆艳等,2013)。

二、热模拟实验样品

热模拟实验样品的准确选择是实验结果外推到地质实际的关键。根据实验目的和解决问题的角度不同,选用不同类型的实验起始样品,包括标准化合物和地质样品两大类。

标准化合物包括正构烷烃类、环烷烃类、芳香烃类、脂肪酸、醛、氨基酸等;其热模拟实验结果可用于探讨油气烃类高温二次裂解生气过程、特征及碳同位素分馏机理(张海祖等,2006)。地质样品包括现代淤泥及沉积物、不同类型的烃源岩及抽提物、干酪根、原油和沥青等。不同类型的模拟起始地质样品可揭示不同的有机质生烃过程。全岩样品作为沉积盆地烃源岩自然组成的代表,可模拟揭示烃源岩的生烃、演化过程及热解产物的变化规律(邹艳荣等,2004)。抽提物单一显微组分模拟实验可了解不同显微组分对生烃的贡献以及生烃潜力和生烃过程;干酪根样品模拟实验排除了矿物和流体等介质对其热解的影响,可研究有机质在无催化条件下生烃与演化过程,定量确定热解产物的变化及其与反应物的质量平衡。另外,有机质含量较低的全岩样品需要量较大,由于实验条件的限制,可提取干酪根进行模拟实验,使测定的组分更详细,数据更准确。

自然界中有机质的演化均是在岩石中进行的,全岩样品热模拟实验比干酪根更加接近研究区的地质实际(耿新华等,2005)。热模拟实验的初始样品应具有适当的成熟度,一般来说,应该选用成熟度低、有机质剪度高,并且有机质类型具有代表性的样品(邹艳荣等,2004)。所以在本书中选取了低煤阶煤样作为样品进行试验。

三、热模拟实验装置

热模拟实验体系可分为开放体系、半封闭体系和封闭体系三种。其

中开放体系热解产物依靠自身的压力不断从反应区中排出泄压,其产物具有随产随排的特点,热解装置可以做到快速排出产物,并能排除热解产物进行二次分解过程,但不能进行加压、加水,不能很好地模拟实际地质条件。常见的开放系统有 Rock-Eval 热解仪、热重仪、热解气相色谱仪(Py-Gc)、热解气相色谱质谱仪(Py-Gc-MS)等(张海祖,2005)。Rock-Eval 热解仪是确定有机质生烃潜力和成熟度的有效实验设备,样品用量少,在开放、无水和低压条件下热解产物实时排出、所有烃类产物(包括 $C_6 \sim C_{13}$ 轻质组分)在线高精度计量,可用于建立和确定有机质初次裂解成烃的化学动力学模型;岩石 Rock-Eval 热解分析在烃源岩生烃潜力和热演化程度评价、干酪根产烃量及石油~天然气生成动力学参数计算等方面提供了快速手段(汤庆艳等,2013)。热解-气相色谱-同位素质谱联用仪是开放体系下热模拟实验最为系统的设备。通过载气将热解室中样品热解生成的气体直接带到气相色谱仪和同位素质谱仪,在线分析热解气体的化学及同位素组成等地球化学特征(汤庆艳等,2013)。但是由于在自然地质条件下不能找到对应的热解产物,目前并不是模拟烃类生成的理想设备(卢家烂,1995)。

半封闭系统的热解系统与产物收集系统相连,可最大限度地降低热解产物的损失,利用热解产物形成的体积膨胀将热解产物带出热解容器,收集系统收集后对气/液产物进行分析,确定热解温度与热解产物间的关系。半封闭系统热解实验多用于单温度点或者恒温热解模拟,不适用于连续热解或生烃动力学研究(汤庆艳等,2013)。

封闭系统热解产物一般经富集后进入分析系统进行定性或定量分析,分析系统常与收集系统相连可以降低热解产物的损失。封闭系统无论是有机碳含量(TOC)和 H/C、O/C 的变化,还是碳优势指数(CPI)、芳烃、饱和烃产物等,均与自然演化产物相近。封闭体系可模拟确定热解生烃中温度、压力、水介质及矿物质对生烃过程的影响,同时可开展含水热解实验,其最大优点是可模拟烃源岩的最大生气量,但由于生成的液态组分无法排出体系,在高温条件下液态烃与重烃气体组分会发生二次裂解(汤庆艳等,2013)。常见的封闭系统有真空玻璃管、高温高压水热体系实

验装置、MSSV 体系和黄金管限定体系(张海祖,2005)。MSSV 和黄金管限定体系热解实验于 20 世纪 90 年代初兴起,目前仍然是封闭体系下天然气生成最常用的模拟实验手段。近期中外学者通过上述两种实验体系的实验模拟,应用化学动力学模型,结合具体的盆地热史资料,对天然气化学组成和碳同位素组成进行了十分有效地预测(tang et al,2000;熊永强等,2001;Dieckmann et al,2004;张海祖,2005)。

本书研究的地层依兰煤矿古近系达连河组中煤层底部为海西期花岗岩,局部为深灰色大套泥岩,界面之上为灰色厚层砂砾岩及薄层泥岩,具有封闭系统的特点。再考虑到地质模拟压力的可控性,采用封闭系统,采用黄金管热模拟实验进行分析。

黄金管热模拟实验是中科院广州地球化学研究所与美国加州理工学院能源与环境研究中心合作设计和开发的,是近年来国际上比较流行的密闭体系热模拟实验方法,它的突出优点是利用金管良好的可塑性对实验压力进行灵活设置和调控,而所施加的压力正是研究所需的流体压(王民,2010)。金管实验目前已应用于很多方面。郭春萍(2006)应用金管实验进行了原油裂解成气的模拟,研究成烃过程和成烃产物特征,并分析了温度和压力对油成气转化率的影响,进行了油成气动力学的研究,从而进行了塔东地区古油藏的裂解成气评价。吴艳艳(2011)在研究煤层气生成过程中的矿物/金属元素催化作用中,利用金管实验,通过在样品中添加不同的催化剂,进行了不同升温条件下的生气模拟对比实验。毛榕(2012)基于金管热模拟实验过程中液体和气体产物的详细定量分析以及固体样品的详细的元素和核磁等分析,对不同类型煤系源岩的生烃特征、煤的生气潜力和生气时限等问题进行了深入的探讨和研究。王民(2011)用金管实验来研究地质条件下有机质和原油裂解成气的过程及其成气动力学行为,具体为松辽盆地深层煤岩、泥岩、不同类型原油进行生烃模拟。孙萌萌(2015)对 2 个 I 型有机质干酪根样品在黄金管体系中采用常规连续加热和分步阶段加热的方法进行了生烃模拟实验,对 2 种实验条件下生成原油和气体的分析对比、实验结果进行地质推演。

第三节 生烃动力学研究现状

一、动力学研究历程

煤生烃动力学研究在认识煤源岩成烃规律方面有长足发展,并在煤源岩评价中初见成效。有机质生烃动力学的研究到目前已经经历了起步、发展与再认识阶段,如图 1-3 所示。其中 20 世纪 90 年代之前其特点主要是动力学模型的建立和参数的优化求取;20 世纪 90 年代主要是有机质成油、成气及油成气的机理、特征描述以及在油气资源评价中的广泛应用;近年来则主要是单个化合物成烃动力学(分子级别)研究以及动力学参数的不确定性对地质应用结果影响的研究(王民,2010);有的学者利用动力学进行了催化裂解的研究,同样将其广泛应用于含油气盆地烃源岩评价与勘探。

关于煤系源岩的生烃特征、生气量、生气机理等方面,国内外学者利用不同研究手段或方法开展了大量详尽和深入的研究。金强等(1986)在

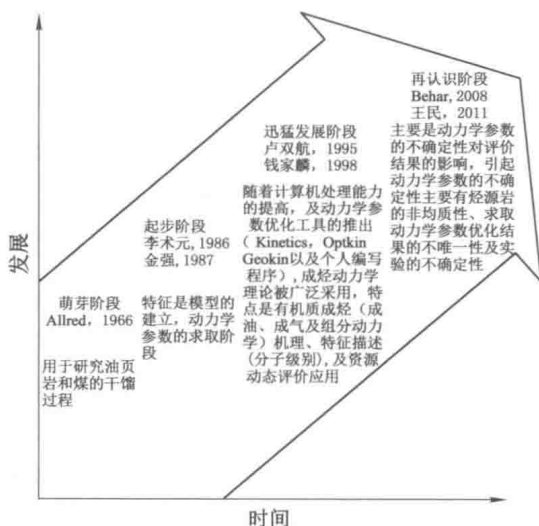


图 1-3 动力学发展过程(王民,2010,修改)