

煤系油气比分配控制因素 及其与大中型气田的关系

钟宁宁 陈恭洋 著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

煤系气油比分配控制因素及其 与大中型气田的关系

**Controls on the Distribution of Gas to Oil Ratio
in Coal – bearing Strata and Its Relation to
Middle – Large Sized Gas Accumulations**

钟宁宁 陈恭洋 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以地球化学研究与地质研究相结合、层序地层学研究与沉积学研究相结合、天然气地质研究与煤地质研究相结合的方法,针对我国重要含煤岩的建造与改造特点,借鉴和比较国外典型煤成烃盆地的实例,采用含油气系统的研究思路,对我国重要煤系进行了剖析研究。全书着重从成煤物质基础与生油气物质基础关系,煤系改造历史与油气生成、运移、聚集、保存条件演化的关系两个层次,分析了控制含煤岩系气油比分配的地球化学和地质规律及其与大中型气田的关系,并尝试半定量一定量地描述气油比的变化规律。

本书可供从事油气地质勘探及油气地球化学的科学工作者作用,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

煤系气油比分配控制因素及其与大中型气田的关系/钟宁宁等著.
北京:石油工业出版社,2002.9

ISBN 7-5021-3855-2

I. 煤…

II. 钟…

III. 煤系-可燃混合物浓度-研究

IV. P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 059976 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 1 插页 264 千字 印 1—1000

2002 年 9 月北京第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3855-2/TE·2797

定价: 25.00 元

前 言

从成因上讲,煤成油和煤成气都是煤系煤化作用的副产品。但是,人们除了在含煤盆地中发现了像乌连戈伊、格罗宁根这样上万亿立方米储量的大气田外,也在含煤盆地中找到了像吉普斯兰、马哈坎三角洲这样石油储量和天然气储量分别达十数亿吨和数千亿立方米的大油气田以及许许多多的中小型油气田。煤—油—气共生可能是含煤盆地的一种普遍现象,那么,含煤岩系在什么时候、怎样的条件下形成气藏?又是在什么时候、怎样的条件下形成油藏?这就是煤系成烃—成藏过程的气/油比分配问题,它涉及到含煤岩系建造和改造整个过程的各种地质地球化学作用。

为此,“九五”国家重点科技攻关项目“中国大中型气田勘探开发研究”设立了两项二级专题开展研究工作,专题题目分别为“煤系气/油比分配的控制因素及其与大中型气田关系”(编号 96-110-02-01-02)和“鄂尔多斯和塔里木盆地含煤建造特征与大中型气田关系”(编号 99-110-01-01-04)。有关控制煤系气/油比分配主要因素的研究,是试图从新的视角剖析煤成大中型形成的地质—地球化学规律;也是继“六五”、“七五”、“八五”国家科技攻关对煤成烃研究和勘探实践取得巨大成功之后,为有目的地发现煤成大中型气田提供系统的理论方法所进行的新的一轮科技攻关的组成部分。这对于进一步完善我国煤成气地质—地球化学理论和有针对性对含煤盆地进行油气勘探两个方面来说都有重要的意义。

本书是上述两个攻关专题的成果总结,它从归纳综合历年研究成果入手,以地球化学研究与地质研究相结合、层序地层学研究与沉积学研究相结合、天然气地质研究与煤地质研究相结合的方法,针对我国重要含煤岩的建造与改造特点,借鉴和比较国外典型煤成烃盆地的实例,采用含油气系统的思想方法,对我国重要煤系进行了剖析研究。本书着重从成煤物质基础与生油气物质基础关系,含煤建造特征与煤系烃源岩发生、发育特点的关系两个方面,讨论了煤系气/油比分配的地球化学和地质规律及其与大中型气田的关系。

煤系气/油比分配是多种地球化学和地质因素共同作用的结果。而煤成大中型气田的形成首先和含煤岩系的煤田地质特征有关。因此,对煤系气/油比控制因素的研究需要遵循“三个结合”的原则,即:地球化学研究与地质研究相结合、层序地层学研究与沉积学研究相结合、天然气地质研究与煤地质研究相结合。用这一原则来衡量,尽管本书的研究课题经过两个阶段将近 5 年的研究工作,笔者深感本书研究工作存在的最大问题仍然是地球化学研究和地质研究脱节的问题。这固然有笔者本人功力未到、难以驾驭这一重大学术问题的主观原因,但也不乏学科交叉、专业跨度大的客观困难。长期以来,地球化学研究偏重于油气生成及烃流体性质等方面细致入微的研究,而地质学研究则只注重对生—储—盖—运—保条件组合以及流体运聚空间格架的宏观研究,这种专业“隔阂”妨碍了对气/油比控制因素的深入认识。

笔者从本书研究过程得到的启发深信,要正确地认识煤系气/油比分配控制因素,真正揭示煤成大中型气田形成地球化学规律,以下若干具体问题需要在今后加以进一步研究:

- ①煤系有机质组成复杂性和显微组分组成特征及其与含煤岩系层序地层格架的关系;
- ②烃类流体在显微组分内和显微组分之间的分配机制,以及显微组分和煤系倾气倾油性

的快速定量评价技术和方法；

③含煤岩系沉积充填序列与天然气生成—运移—聚集条件的空间配置关系；

④含煤盆地构造—古地热—煤变质（有机质热演化）系统的历史事件与天然气生成—运移—聚集条件的时间配置关系；

⑤煤化作用条件对煤系生排烃特点及其及油气分异度的影响；

⑥烃类流体与含煤岩系异常流体压力体系的成因联系，以及烃类相态分离与异常流体压力的关系。

应该指出，运用地球化学研究紧密结合地质研究的方法探讨煤系气/油比分配控制因素，进而认识煤成大中型气田形成条件，绝非本书研究工作就可以达到的终极目标。提出上述问题和建议，一方面是作为数年研究工作的自我检讨，明确今后研究工作的方向，再接再厉；另一方面更是为后来者抛砖引玉，期望有志同道合者在本书研究工作基础上，更上一层楼。读评者若能从通篇粗陋的文字中披沙沥金，发现笔者企图融会油气地球化学、石油天然气地质学和煤地质学之长，贯通煤成大中型气田形成道理之苦心，善莫大焉。

钟宁宁

2002.9.4

目 录

绪论	(1)
第一章 从显微组分组成特征看煤系生成油气的物质基础	(5)
第一节 我国重要煤系的显微组分组成	(5)
一、西北侏罗纪煤系的显微组分组成	(6)
二、华北石炭—二叠纪煤系的显微组分组成	(8)
三、东北—内蒙古晚侏罗—早白垩世煤系的显微组分组成	(10)
四、南方晚古生代煤系的显微组分组成	(10)
五、西南地区晚古生代煤系和晚三叠世煤系的显微组分组成	(11)
六、第三纪煤系的显微组分组成	(11)
第二节 煤系显微组分组成的分布密度型式	(12)
一、国内外煤系烃源岩显微组分组成的比较	(12)
二、我国重要煤系显微组分组成的分布密度特征	(14)
第二章 煤系气/油比的初始分配特征	(18)
第一节 煤系显微组分热解油气产率及气/油比	(18)
一、油气生成的实验模拟	(18)
二、显微组分的热解失重率	(20)
三、显微组分热解的油气产率	(21)
第二节 煤系有机质的初始气/油比分配	(23)
一、显微组分的气/油比	(23)
二、煤系的初始气/油比分配	(25)
第三章 显微组分及煤系的倾气倾油性评价技术与方法	(30)
第一节 显微组分的激光荧光显微探针分析	(30)
一、激光微束微区分析方法和常规地球化学分析方法的比较	(30)
二、激光荧光显微探针的原理	(31)
三、激光荧光显微探针分析结果的表示	(33)
第二节 显微组分激光诱导荧光特性与气/油比分配关系	(35)
一、显微组分的激光荧光诱导特性	(36)
二、显微组分的激光诱导荧光特性与气/油比分配关系	(37)
第三节 煤系倾气倾油性评价	(38)
第四章 影响煤系倾气倾油性的地质因素	(42)
第一节 某些重要含煤岩系的层序地层格架剖析	(42)
一、华北石炭—二叠纪煤系	(42)
二、川西晚三叠世煤系	(44)
三、吐哈盆地侏罗纪煤系	(44)
四、准噶尔盆地早—中侏罗世煤系	(48)

五、鄂尔多斯盆地中侏罗世煤系	(50)
第二节 基准面变化类型与煤系倾气倾油性关系	(53)
第三节 生、储、盖、保诸因素对煤系气/油比分配的影响	(55)
一、生储配置的差异性对油气分异的影响	(55)
二、构造作用与气/油比再分配的关系	(63)
第五章 煤化作用过程的气/油比再分配规律	(67)
第一节 煤化程度与生排烃气/油比的关系	(67)
一、显微组分油气产率随热解温度的变化	(67)
二、煤系有机质油气产率随煤化程度的变化规律	(68)
第二节 有机岩物理性质演化对气/油比再分配的影响	(70)
一、影响油气释放的有机岩物理性质演化特征	(70)
二、显微组分沥青化作用的油气分异效应	(72)
三、显微组分生排烃阶段的耦合关系对气/油比分配的影响	(72)
第三节 Laser PY—GC/MS 技术研究沥青化作用过程中烃类物质在显微组分之间 再分配的初步尝试	(75)
一、分析原理和样品	(75)
二、分析结果及其解释	(77)
三、激光热裂解色谱/质谱技术尚待解决的问题	(79)
第四节 煤化作用进程对最终气/油比分配的影响	(80)
一、煤成大中型气田气/油比与煤系煤化程度的关系	(80)
二、不同倾气倾油性煤系对煤化作用响应差别的油气分异效应	(82)
第六章 影响煤系油气分异的动力因素	(84)
第一节 区域水动力条件对气/油比分配的影响	(84)
第二节 异常地层压力条件下煤系的油气分异	(86)
一、准噶尔盆地盆腹地区侏罗纪煤系异常压力与烃类成因相带预测	(86)
二、吐哈盆地侏罗纪煤系的温压系统与油气分异	(91)
三、川西地区中生代煤系异常高压与高气/油比气田形成关系	(96)
第七章 实例研究 (一): 鄂尔多斯盆地煤成大中型气田形成的物质基础	(102)
第一节 影响石炭—二叠纪煤系烃源岩发育的沉积建造特征	(102)
一、沉积相组成	(103)
二、高分辨率层序地层分析	(105)
三、含煤层段与地层层序的关系	(111)
第二节 含煤岩系显微组分组成特征	(112)
一、煤的岩石学特征及煤层形成环境	(112)
二、煤的显微组分组成	(114)
三、石炭—二叠系不同烃源岩的有机质生源物质	(116)
第三节 富有机质层段 (主要含煤段) 的发育规律	(117)
一、富煤区带展布特征与有效烃源岩的空间分布	(117)
二、含煤层段的基准面变化类型与煤系的倾气倾油性	(118)
第八章 实例研究 (二): 塔里木盆地库车坳陷煤成大中型气田形成的若干地质—地球	

化学因素分析	(121)
第一节 侏罗纪煤系的沉积建造特征.....	(121)
一、库车坳陷沉积体系与沉积相分析.....	(121)
二、沉积相、沉积体系的组合与高分辨率层序划分.....	(124)
第二节 侏罗纪煤系显微组分特征.....	(128)
一、侏罗纪煤系的显微组分特征.....	(128)
二、煤和煤系泥岩的显微组分组成.....	(128)
第三节 中生界烃源岩生烃特点与层序地层格架关系.....	(130)
一、岩石热解特征与沉积相、成因旋回的关系.....	(130)
二、可溶有机质族组成随沉积相（成因旋回）的变化规律.....	(131)
三、沉积相（成因相）对饱和烃化合物分布特点的影响.....	(134)
四、沉积相（成因相）对芳香烃化合物分布特点的影响.....	(137)
第四节 影响煤系烃源岩有效性的某些地质因素.....	(138)
一、侏罗纪煤系富煤区带展布特征.....	(138)
二、煤系异常高压与烃源岩有效性的关系.....	(139)
第五节 库车坳陷富气的地球化学原因.....	(144)
一、对库车坳陷富集天然气原因的不同认识.....	(144)
二、库车坳陷煤成烃物质基础.....	(146)
三、有机质演化对库车坳陷富气所起的作用.....	(148)
四、库车坳陷富气的地球化学原因.....	(151)
参考文献	(152)

绪 论

煤层是以高等植物来源物质为主的固体可燃有机矿产，而含煤岩系的细碎屑岩中还含有数量巨大的分散的高等植物成因的碎屑有机质。长期以来，固体可燃有机矿产（煤）和流体烃类矿床（油气）之间的关系吸引了国内外能源地质学界的广泛注意和不懈的研究。从人类开采煤炭资源过程中经常遇到的煤与瓦斯突出现象和 20 世纪 50 年代以来格罗宁根、西西伯利亚、库珀等大气田发现中，人们接受了“煤成气”的概念，甚至于曾一度认为煤和含煤岩系只与气体烃类矿床有联系，而不太可能形成具有商业价值的液态烃类聚集（Tissot 和 Welte, 1978）。但自 20 世纪 60 年代后期起，煤系与液态烃类矿床的关系一直就是有机地球化学和石油地球化学的热门话题之一，随着澳大利亚的吉普斯兰和库珀、印度尼西亚的马哈坎三角洲和加拿大的马更些一波弗特三角洲等油气田的发现及有关的煤成油地球化学研究的深入，人们才逐渐认识到“煤成油”概念的理论 and 现实意义。

20 世纪 80 年代以来，有关含煤岩系作为液态烃源岩的理论日新月异，寻找煤成油成为时尚，并且在勘探中屡见成效。今天，含煤盆地中煤—油—气三种不同相态的可燃有机矿床可以共存，而且具有密切的成因联系已成为共识。

从成因上讲，煤成油和煤成气都是煤系煤化作用的副产品。而总的说来，与典型的湖相烃源岩比较，煤和含煤岩系分散有机质是相对贫氢的，因而，在煤化作用过程中它所产生的主要是低分子量的烃类，尤其是甲烷和其他挥发性非烃化合物 CO_2 和 H_2O 。一般认为，与煤和含煤岩系巨大的固相有机物含量及其甲烷生成量相比，煤系生成重烃的潜力是有限的（Tissot 等，1984）。但是，人们除了在含煤盆地中发现了象乌连戈伊、格罗宁根这样上万亿立方米储量的大气田外，也在含煤盆地中找到了象吉普斯兰、马哈坎三角洲这样石油储量和天然气储量分别达十数亿吨和数千亿立方米的大油气田以及许许多多的中小型油气田。煤—油—气共生可能是含煤盆地的一种普遍现象，那么，含煤岩系在什么时候、怎样的条件下形成气藏？又是在什么时候、怎样的条件下形成油藏？这就是煤系成烃—成藏过程的气/油比分配问题，它涉及到含煤岩系建造和改造整个过程的各种地质地球化学作用。

一、国内外煤成气研究概况及发展趋势

尽管煤层与可燃有机气体共生是早已人所共知的事实，其历史几乎与人类开采煤炭资源的历史相当。但煤及煤系对于形成储集在煤层以外的天然气资源的重要性被提出来研究则迟至 20 世纪 40—50 年代。德国学者首先发现西北欧石炭纪煤系是工业气田的主要气源，并从煤化学、煤岩学角度说明煤可以生成足够量的气体，而形成大的工业气藏。自 1940 年代起，前苏联和欧洲的煤化学家、煤岩学家们深入研究了煤化作用过程的物质平衡和煤化作用的化学变化，揭示了煤化作用过程伴生气体的巨大资源潜力。50—60 年代欧洲和前苏联学者运用了煤化作用图、煤化学图对主要含煤层系进行资源评价，并指导煤成气资源勘探。50 年代末起，继荷兰发现格罗宁根大气田之后，在亚洲、大洋洲和北美的含煤盆地中相继发现了许多类似的大型气田。至 70 年代末，仅西西伯利亚北部和中欧盆地西部发现的煤成气储量就约占当时世界探明天然气储量的 $1/3$ 。据报道（戴金星等，2000），从全球范围来看，

大气田和天然气储量的 70%~80% 来自含煤岩系。

白垩系和二叠系分别占有世界天然气可采储量的 47.9% 和 23.8%，而它们正是地史上的两个重要聚煤期 (Fettweis, 1979)。这一事实表明，大型含煤盆地与大中型气田之间有着某种内在的必然联系。因此，重要的含煤岩系和大型含煤盆地一直是各国煤成气研究和勘探工作的主要对象。

国外的煤成气研究经历了由煤化学、地球化学研究为主到地质研究与地球化学研究并重的发展过程。早期煤化学对煤的元素组成变化以及不同煤岩组分在煤化作用过程中气体产率与产物特征的研究，奠定了煤成气研究的理论基础 (van Krevelen, 1961; Jüntgen 和 Karweil, 1966; Jüntgon 和 Klein, 1975)。20 世纪 60 年代以来，以 Teichmüller 为代表的煤岩学家对德国和欧洲石炭纪煤田的煤化作用问题进行了深入研究，从煤化作用实质和煤化作用特征等方面探讨了固体可燃矿产 (煤) 与流体矿床 (气田) 两类成矿体系的转化条件，广泛运用煤化作用图指导煤成气勘探，并取得明显效果，成果集中反映在《Inkohlung und Geothermik》一书 (1979 年出版)。70 年代至 80 年代初期，澳大利亚学者对 Cooper/Eromanga 盆地煤系的旋回沉积特征、古构造发育史、煤岩显微组分组成与生油气潜力的关系以及油气地球化学特征进行了全面的研究 (O'neil 等, 1990)，提供了一个煤成天然气聚集区带综合研究的典型实例，其烃源岩评价和气聚集带形成规律方面的理论和方法产生了较大影响。

前苏联学者的研究工作与欧美学者同步开展，并且有自己的理论体系和独特的工作方法。在对不同煤级煤的煤气发生率、天然气组分变化规律、温度—时间对煤系有机质成熟演化影响，特别是大气田形成的地质—地球化学条件的综合研究方面都胜于欧美学者。

20 世纪 80 年代以来，国外煤成气研究的理论基本处于停滞状态，而与此相反，有关煤系作为液态烃源岩层的理论却日趋成熟。因此，煤系倾气或倾油的形成转化条件、影响煤系油/气比原始和后期重新分配的因素等新的研究课题摆到人们面前。

我国的煤成气研究工作起步较晚，尽管煤—油—气共生现象早已人所周知，但煤系一直没有作为油气勘探的对象。20 世纪 70 年代末，受格罗宁根大气田和库珀盆地天然气聚集带发现的鼓舞，戴金星等率先在国内开展煤成气专题研究，经过对历年资料的综合研究，很快便形成含煤地层是我国天然气勘探新领域的新认识 (戴金星, 1980; 关士聪, 1981)。1983 年国家决定把“煤成气的开发和研究”列入“六五”国家重点科技攻关项目，由原石油部、原地矿部、原煤炭部和中国科学院联合攻关，从而揭开了我国煤成气研究的序幕。与此同时，徐永昌等 (1979)、沈平等 (1982, 1984) 和朱家蔚等 (1984) 开始研究四川盆地天然气田和文留气藏的气体同位素地球化学特征和天然气成因判识问题。

之后，“七五”、“八五”期间的天然气国家攻关项目中继续列入了煤成气的研究专题。从“六五”开始，以国家科技攻关项目为主，国家重点实验室资助课题、自然科学基金资助课题以及各有关油区自选课题为辅，完成了浩大的研究工作，取得令人瞩目的成果，已初步建立起中国煤成气地质学科 (戴金星等, 1992; 1997)。

我国的天然气地质研究与勘探长期落后于石油地质研究与勘探。近年来，天然气工业有了长足的进步，在某种程度上说，是得益于以煤成气为先导的天然气科技攻关。纵观 20 年来我国和含煤岩系有关的天然气的研究，在理论和实践两个方面都成就斐然。

理论方面：①对气聚集带、气聚集区、气聚集域研究具有国际领先水平，提出了中亚煤成气聚集域的观点 (戴金星, 1986; 1991; 戴金星等, 1997)，促成了 20 世纪 90 年代勘探及研究西北地区侏罗纪煤系煤成烃的高潮；②系统地研究了我国各时代煤系的石油有机地球

化学特征,极大的促进了我国有机地球化学学科的发展(傅家谟等,1990;黄第藩等,1995);③建立了我国煤成气判识参数体系(戴金星等,1993;徐永昌等,1994);④利用多种装置和不同温压条件模拟煤系烃源岩和煤显微组分的成烃过程,揭示了煤系烃源岩成烃机制和取得了资源评价的重要参数(傅家谟等,1990;程克明等,1989^①;黄第藩等,1995);⑤晚古生代煤系二次生烃作用的研究具有创造性,揭示了有机质多阶段生烃的实质。

实践方面:在煤成气地质理论指导下,有目的地开展了煤成气勘探工作,取得了显著效益。截至1998年底,预测我国煤成气资源潜量为 $5 \times 10^{12} \sim 15 \times 10^{12} \text{ m}^3$,新发现与含煤岩系有关的大中型气田25个。煤成气(不包括煤层甲烷)已占天然气探明储量的40%(傅诚德,1997)。近年来,鄂尔多斯盆地和塔里木盆地库车坳陷相继发现煤成大中型气田,改变了我国天然气资源分布格局,可以说,是煤成气开发的成果使我国天然气工业迈上了一个新的台阶。

如果说,我国煤成气研究起步初期在理论方面尚属学习消化国外理论阶段的话,那么,经过20年的科技攻关,而今已成赶超之势,并且开始探索与我国煤系特点相适应的成因理论和勘探方法,在煤成气聚集带研究、气体同位素判识煤成气、煤系烃源岩成烃模拟实验和烃源岩成烃演化与二次生烃等方面的成果都达到了国际先进水平。

但是,正如前面所指出,国内外的勘探实践都证实,含煤盆地中既有气态烃矿床,也不乏液态烃矿床。因而,在含煤盆地中找气或找油,到底孰为主?或者说,是否在某些含煤盆地应以找气为主,而在另一些盆地中应以找油为主这样的问题仍然困扰着人们。概括而言,当前煤成气研究存在的主要问题还是在理论和实践两个方面,一方面是现有理论有待进一步完善,诸如气聚集带与聚煤区带的关系、煤系气/油比分配的控制因素、煤系旋回沉积特征与天然气生成—运移—聚集条件的空间配置关系、煤系古构造—古地热—有机质变质(热演化)系统与天然气生成—运移—聚集条件的时间配置关系等等尚待深入研究。而另一方面是现有理论与实践勘探工作紧密结合的问题,勘探所获的煤成气储量,远未达到占预测资源量中的预期比例值。这本身也反映了现有理论在指导勘探方面仍然存在缺陷。具体而言,亟待解决的主要问题有:

①以往研究工作的切入点往往是一般的天然气地质概念,而针对我国幅员辽阔、聚煤大地构造环境多样化、聚煤时期多、不同煤系之间差别大的特点的宏观比较研究欠缺;

②对聚煤带与气聚集带关系的研究刚刚开始,有待深化对我国煤成气型气聚集带分布规律的认识,为煤成气勘探提供新的目标;

③煤成气地质研究需要与煤地质学研究、煤岩学研究进一步紧密结合,全面研究煤系的建造、改造特征及其对煤成大中型气田形成的影响;

④对影响煤系气/油比分配的因素有待于用含油气系统的思想方法,从生成运移聚集条件的时空配置关系方面深入研究;

⑤煤成气的资源探明率仍然很低,需要先进理论指导勘探,提高勘探成功率。

有关控制煤系气/油比分配主要因素的研究,是试图从新的视角剖析煤成大中型气田形成的地质—地球化学规律;也是继“六五”、“七五”、“八五”国家科技攻关对煤成烃研究和勘探实践取得巨大成功之后,为有目的地发现煤成大中型气田提供系统的理论方法所进行的

① 程克明、张文正等,1989,烃源岩成烃过程热压模拟实验研究,“七五”国家重点科技攻关专题研究成果(编号:75-54-01-05-05)。

新一轮科技攻关的组成部分。这对于进一步完善我国煤成气地质—地球化学理论和有针对性地对含煤盆地进行油气勘探两个方面来说都有重要的意义。

二、研究思路和主要内容

国家攻关项目赋予上述研究专题的主要研究任务是了解影响煤系气/油比分配的各种地球化学和地质因素及其与大中型气田的关系，着重探讨含煤岩系倾油性或倾气性的形成转化条件、影响含煤岩系气/油比原始和后期重新分配的因素。研究工作流程见图 1。

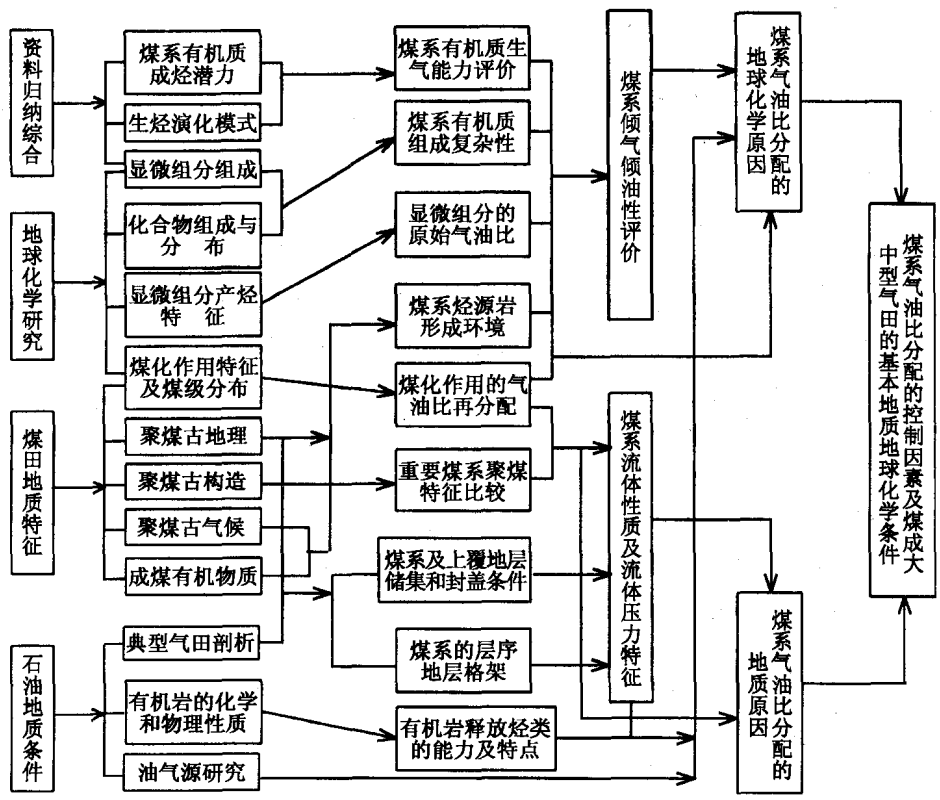


图 1 研究工作流程图

有效的烃源岩、储层、盖层的发育是含油气盆地中含油气系统形成的必备地质条件。其中，烃源岩是成藏系统中的核心，因此，研究工作首先着眼于含煤岩系有机质的原始气/油比分配特征，深入了解控制气/油比分配的地球化学原因。长期以来，油气地球化学家主要是从地球化学的角度、从宏观的生油层到微观的显微组分来研究烃源岩的生烃潜力和生烃属性，而对控制烃源岩沉积的环境因素讨论较少。将层序地层学的理论与方法与烃源岩地球化学研究相结合，是研究工作的主导思想之一。层序地层分析通过一个旋回式的、受成因要素控制的、成因上有联系的时间地层格架（层序）的建立，在等时的地层单元内对地层的分布模式、堆积样式、地层单元的几何形态和内部结构、沉积体系和沉积相的展布特征以及时空演化进行预测性研究，因此，能大大提高对烃源岩生烃潜力与生烃属性的准确理解，从宏观上对有效的烃源岩分布进行预测。

第一章 从显微组分组成特征看煤系生成油气的物质基础

煤成油气泛指煤及含煤岩系中分散的陆生高等植物来源的有机质，在煤化作用过程中生成的烃类流体。煤系属有机质高度富集的烃源岩系，总体而言，在任何时候其中都以Ⅲ型有机质为主。以往的研究表明，煤系作为烃源岩系，其最重要的特征之一是有有机质的非均质性（王铁冠等，1993；程克明等，1996；黄第藩等，1995；钟宁宁等，1998），无论是以 C、H、O 元素组成，还是用可溶有机质组成等化学分析方法，均不足以反映煤系有机质组成的非均质性。从煤岩学角度看，显微组分反映了煤系有机质的来源、生物先质、聚积转化环境和成熟演化历程。显微组分组成与分布恰如其分地体现了组成上非均质的生烃物质基础。

含煤岩系的形成与分布受古构造、古地理、古气候和古植物等多重因素的制约，其中地质历史时期的潮湿气候带的变迁和构造—沉积环境的变化直接影响聚煤场所的发生、展布及其持续时间。由于聚煤作用因素和含煤性的差异，我国煤系的空间分布呈东北、华北、西北、西南和华南五大聚煤区的格局。从煤系分布面积、聚煤量以及煤成天然气勘探前景来看，重要的煤系有东北晚侏罗—早白垩世煤系、华北石炭—二叠纪煤系，西北侏罗纪煤系、西南二叠纪和晚三叠世煤系、南方二叠纪煤系和沿海第三纪煤系。

第一节 我国重要煤系的显微组分组成

对我国不同煤系的 2600 多个煤样、700 多个泥岩样的显微组分分析表明，煤的显微组分组成平均为镜质组 68.5%、惰质组（惰性组）21.4%、壳质组 + 腐泥组 10.1%，而泥岩的显微组分组成平均为镜质组 57.1%、惰质组 14.1%、壳质组 + 腐泥组 28.3%（表 1—1），两者都反映出煤系有机质富含高等植物木质纤维组织生源物质的特点。从图 1—1 煤和泥岩显微组分组成统计结果的比较可以发现，煤中的镜质组含量高于泥岩，虽然其壳质组 + 腐泥组含量较低，但均值大于中位值，即数值分布呈左偏态，在分布众数的右侧仍有较多的数据次数，这与煤的岩类由腐殖煤向残殖煤和腐泥煤的过渡相应。煤系泥岩的壳质组 + 腐泥组含

表 1—1 我国重要煤系煤和泥岩显微组分组成统计结果

显微组分	岩类	样品数 (个)	均值 (%)	均值的 95% 置信区间	标准差	中位值	中位值的 95% 置信区间
镜质组	煤	2618	68.53	67.72~69.35	21.26	71.86	70.50~73.00
惰质组			21.37	20.68~22.06	18.01	17.26	16.12~18.00
壳质组 + 腐泥组			10.09	9.49~10.70	15.76	4.47	4.00~4.97
镜质组	泥岩	731	57.06	55.13~58.99	26.56	59.00	55.56~61.00
惰质组			14.12	12.95~15.29	16.16	9.00	6.20~10.00
壳质组 + 腐泥组			28.28	27.13~30.15	23.31	25.00	22.22~26.92

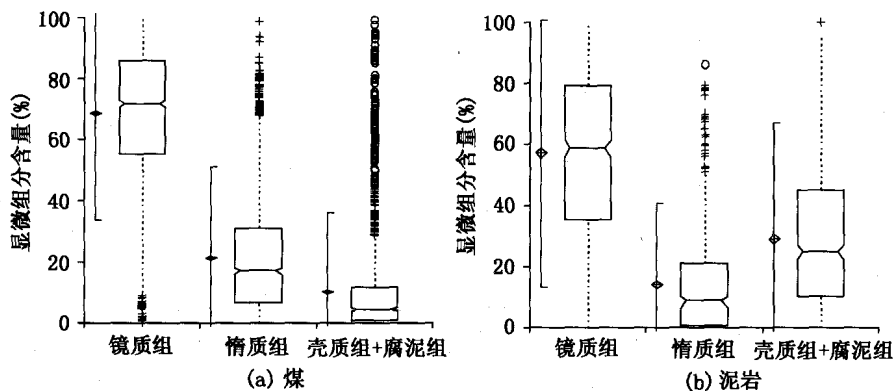


图 1—1 我国重要煤系煤和泥岩显微组分组成统计图

量明显高于煤，数据分布没有明显的偏态，但数据的标准差也大大高于煤，即泥岩的壳质组+腐泥组组成没有明显的众数（表 1—1），这与煤系泥岩沉积环境多样化（沼泽相、湖泊相、三角洲相及它们之间的各种过渡相带）以及其中显微组分生源物质多样化相联系。

由于聚煤条件的差异，不同煤系或不同煤盆地的显微组分组成有较大的差别，从而构成了不同的煤成油气聚集区带物质基础的特异性。

一、西北侏罗纪煤系的显微组分组成

西北侏罗纪煤系分布面积广泛，煤炭资源总量达 $2 \times 10^{12} \text{t}$ ，仅次于华北聚煤区，居全国第二位。该煤系属中亚—东亚巨型侏罗纪聚煤带的一部分，戴金星等（1986、1996）指出这一巨型聚煤带为巨型的煤成气聚集域，目前，我国境内的准噶尔、塔里木、吐哈三大盆地均已发现大中型煤成油气田，而小型油气藏和油气显示在其中的中小型侏罗纪煤盆地中也屡见不鲜。

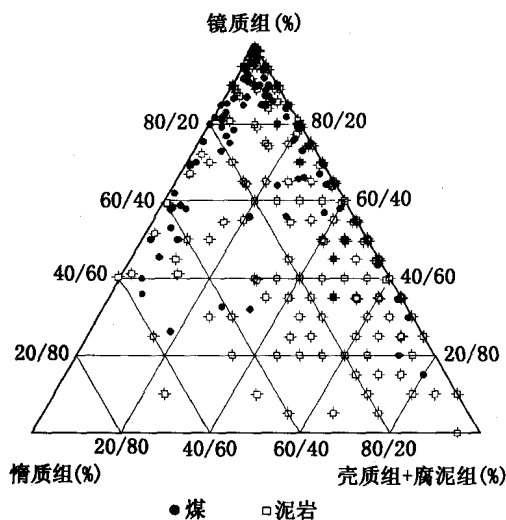


图 1—2 准噶尔盆地侏罗纪煤系显微组分组成

1. 准噶尔盆地

准噶尔盆地侏罗纪煤系和泥岩显微组分组成（镜质组—惰质组—“壳质组+腐泥组”）的均值分别为 78.4%—9.2%—12.4% 和 59.4%—8.6%—32.0%。煤中镜质组的分布范围为 15%~100%，惰质组的分布范围为 0~57%，壳质组+腐泥组的分布范围为 0~80%。数值分布有三个点群（图 1—2）其一为镜质组大于 70% 的点群，代表了大多数腐殖煤层的显微组分组成数值；其二为惰质组含量为 30%~60% 的点群，可能代表了西山窑组的富惰质组分煤分层；其三是壳质组+腐泥组含量大于 30% 的点群，代表了煤系中的腐泥煤和腐殖—腐泥煤的显微组分组成。泥岩中镜质组、惰质组和壳质组+腐泥组的分布范围分别为 0~

100%、0~65% 和 0~95%，其数值分布没有明显的密度中心（图 1—2）。壳质组+腐泥组和镜质组含量变化较大，表明煤系泥岩的多种沉积环境和多种有机质生源特点。

2. 吐哈盆地

关于吐哈盆地侏罗纪煤系的显微组分组成,以往有较多的论述(程克明等,1994;王铁冠等,1995;黄第藩等,1995;张鹏飞等,1997)。此处收集整理了近年来笔者和其他研究者先后完成的245个煤样和77个泥岩样品的显微组分分析资料,从统计结果看,煤的显微组分组成均值为74.0%—15.5%—10.7%(镜质组—惰质组—“壳质组+腐泥组”);泥岩的显微组分组成均值为50.1%—11.0%—38.9%。煤的数据分布集中为一个点群,明显表现出富镜质组和惰质组、贫壳质组+腐泥组的特征,壳质组+腐泥组含量一般不超过20%(图1—3)。泥岩的数值分布贫惰质组,而壳质组+腐泥组和镜质组含量变化较大。对泥岩而言,多数样品的壳质组+腐泥组含量超过20%,表明其沉积环境和生源物质组成可能与煤层有较大差异。

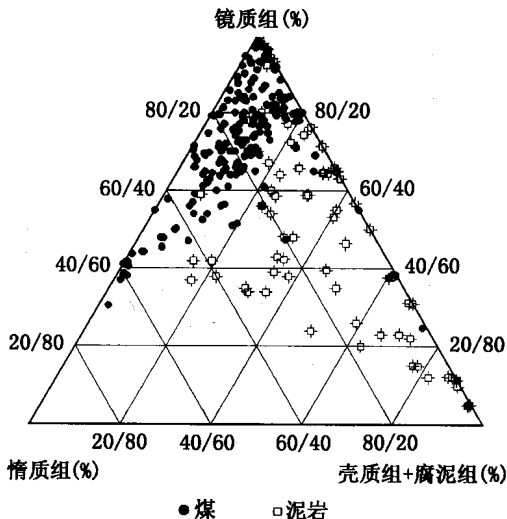


图1—3 吐哈盆地侏罗纪煤系显微组分组成

3. 塔里木盆地

塔里木盆地含煤地层包括侏罗系和三叠系,二者沉积环境相似,在层位划分上有一定难度,在此统称中生代煤系。中生代煤和煤系泥岩的显微组分组成有明显的差异,两者的组成均值分别为50.5%—45.7%—3.8%和46.1%—18.6%—34.7%,煤中十分缺乏壳质组+腐泥组。从数值分布图上看(图1—4),煤中的壳质组+腐泥组含量不超过10%,而惰质组分含量较高,数据呈靠近镜质组和惰质组单侧的条带状分布。泥岩中的惰质组分含量一般低于30%,壳质组+腐泥组含量较高,与吐哈盆地侏罗纪煤系相仿。库车坳陷侏罗纪煤系的显微组分组成特征将在第八章进一步论述。

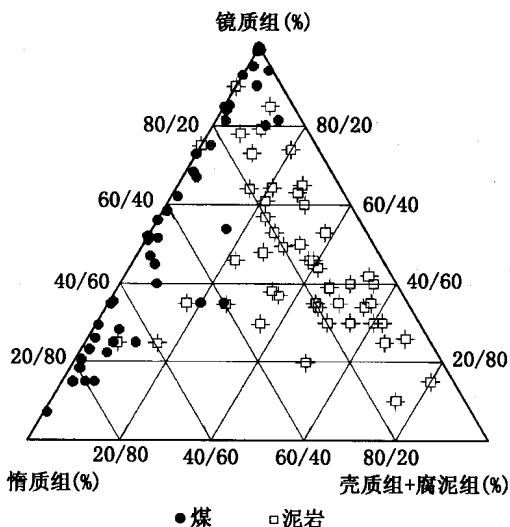


图1—4 塔里木盆地中生代煤系显微组分组成

4. 三塘湖盆地

三塘湖盆地的侏罗纪煤系(部分含煤层位可能属三叠系)显微组分组成与吐哈盆地有很大的相似性,煤和泥岩的显微组分均值分别为69.2%—15.5%—15.3%和55.8%—14.2%—29.9%。与吐哈盆地相比,煤中的惰质组含量略低,而较多数值分布在壳质组+腐泥组大于20%的区域(图1—5),这可能与煤系下部侏罗系八道湾组和三叠系小泉沟组中的煤与碳质泥岩之间的过渡岩类有关^①。泥岩中显微组分组成的分布同样比较离散,没有明显的密度中心。

① 钟宁宁、包建平、田时芸等,1995,新疆三塘湖盆地石油勘探地球化学综合研究及资源评价。

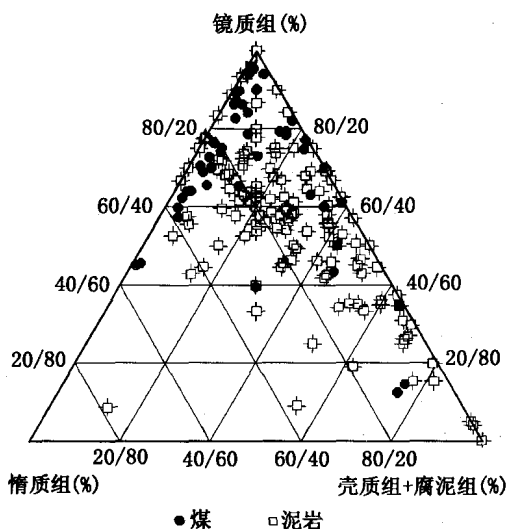
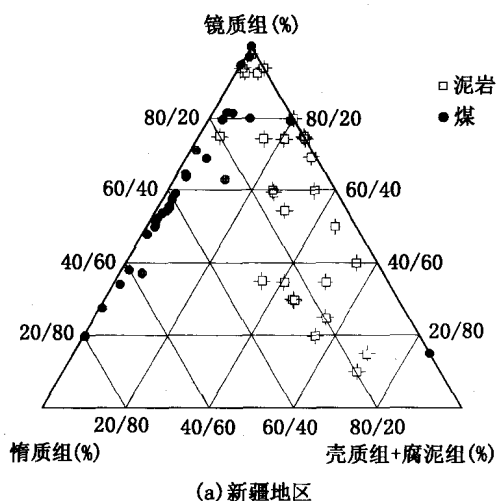


图 1—5 三塘湖盆地中生代煤系显微组分组成



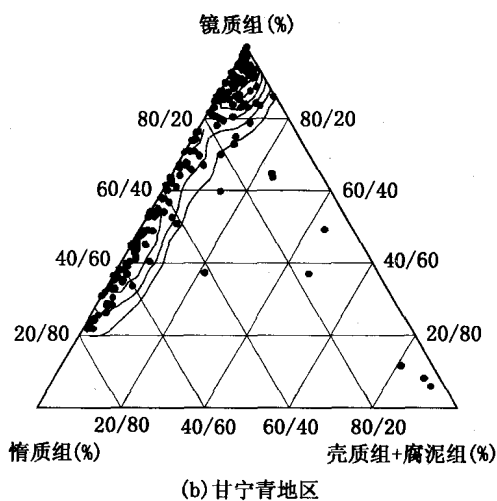
(a) 新疆地区

5. 其他中小型侏罗纪煤盆地

除上述四个大中型的侏罗纪煤盆地外，西北地区还有星罗棋布的中小型侏罗纪煤盆地，近年已陆续对其中多数盆地开展煤成烃研究工作和相应的勘探工作，并有所发现。

按照新疆和甘宁青两个不同的自然地理区域，分别统计了这两个区域内的侏罗纪中小型煤盆地的显微组分组成。由图 1—6 可见，这些中小型侏罗纪煤系煤的显微组成的数值分布情况与塔里木盆地的极为相似，都呈靠镜质组—惰质组一侧的窄长条带状点群分布，绝大多数煤样的壳质组+腐泥组含量小于 10%，而其中惰质组含量在 40% 以上的样品为数甚多。

新疆地区泥岩的显微组分组成均值为 61.9%—10.7%—27.4%（镜质组—惰质组—



(b) 甘宁青地区

图 1—6 西北地区中小型侏罗纪煤盆地显微组分组成

“壳质组+腐泥组”)。它的数值分布一如所有煤系泥岩，没有明显的密度中心，同样可能是沉积环境和生源多样化的结果。

二、华北石炭—二叠纪煤系的显微组分组成

华北石炭—二叠纪煤系属海陆交互相沉积，分布面积超过 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，是我国最重要的煤盆地，其西部的鄂尔多斯地块还叠覆有连续发育的三叠纪和侏罗纪煤系。整个华北聚煤区煤炭资源总量超过 $3.5 \times 10^{12} \text{ t}$ （莽东鸿，1994）。潜在的煤成烃有机母质的数量之巨，世所罕见。但是，迄今在华北地区发现的煤成油气的资源量与煤系中的有机质总量相比，仍仅为沧海一粟。

1. 华北东部地区

华北东部指鄂尔多斯盆地以东的石炭—二叠纪煤系分布区域。从该地区取得的 962 个煤

样和 104 个泥岩样品的显微组分组成统计分析结果表明, 煤的显微组分组成均值为 67.3%—22.7%—9.6% (镜质组—惰质组—“壳质组+腐泥组”), 大部分组成数据密集分布在镜质组 45%~100%、惰质组 0~50% 和“壳质组+腐泥组” 0~20% 的区域 (图 1—7)。但其中也不乏富含惰质组和壳质组+腐泥组的样品, 表明了煤种的多样性。

泥岩的显微组分组成均值为 38.4%—32.1%—29.5%, 与西北侏罗纪煤系泥岩相比, 它同样没有明显的数值分布密度中心, 而且分布范围更离散, 显微组分组成可以落在三角图上的任一区域 (图 1—7)。

2. 鄂尔多斯盆地

鄂尔多斯盆地的侏罗纪煤系也是中亚—东亚侏罗纪聚煤带的一部分, 因其坐落在华北聚煤区西部的稳定构造单元之上, 与下伏三叠系、石炭—二叠系构成多纪煤田, 因而将此多纪煤系一并考虑为整个盆地煤成烃的潜在的可能物质基础。

现有 306 个煤样和岩样的分析数据, 其中包含侏罗纪煤和石炭—二叠纪煤。这些煤样的显微组分组成分布见图 1—8, 不难发现中生代煤的显微组分组成与西北地区的多数侏罗纪煤系相似, 呈富镜质组和惰质组的带状点群分布, 壳质组+腐泥组含量很低。石炭—二叠系煤的显微组分组成基本散落在中生界煤的分布条带内, 但镜质组和“壳质组+腐泥组”含量略高, 惰质组含量略低。全盆地煤的显微组分组成均值为 51.2%—45.8%—3.1% (镜质组—惰质组—“壳质组+腐泥组”), 对此, 在第七章将作进一步的论述。

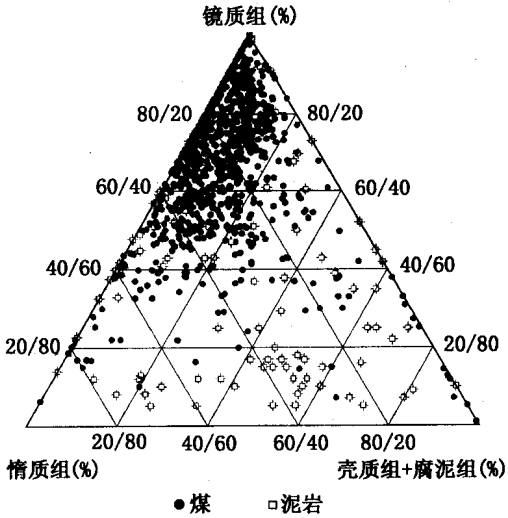


图 1—7 华北东部石炭—二叠纪煤系显微组分组成

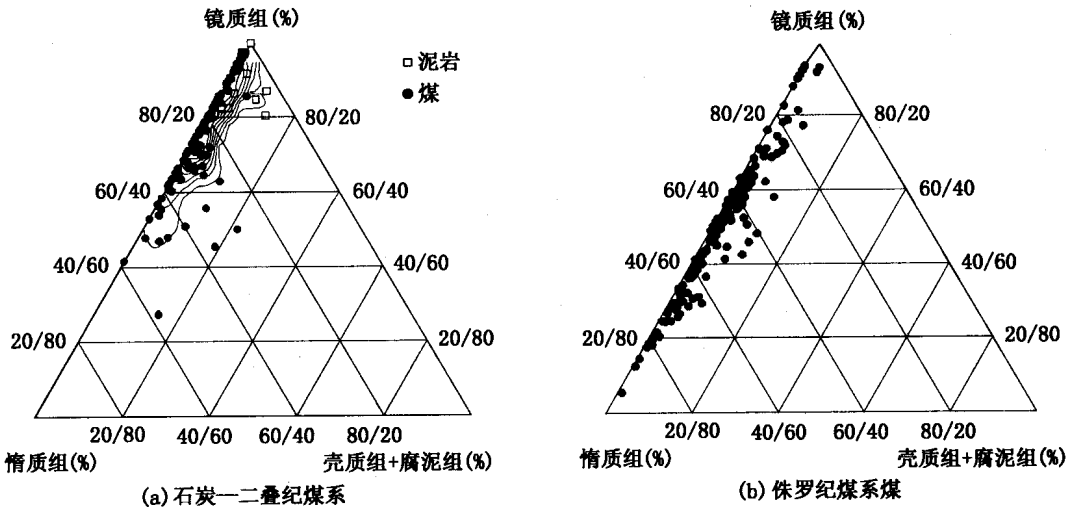


图 1—8 鄂尔多斯盆地石炭—二叠纪煤系和侏罗纪煤系显微组分组成