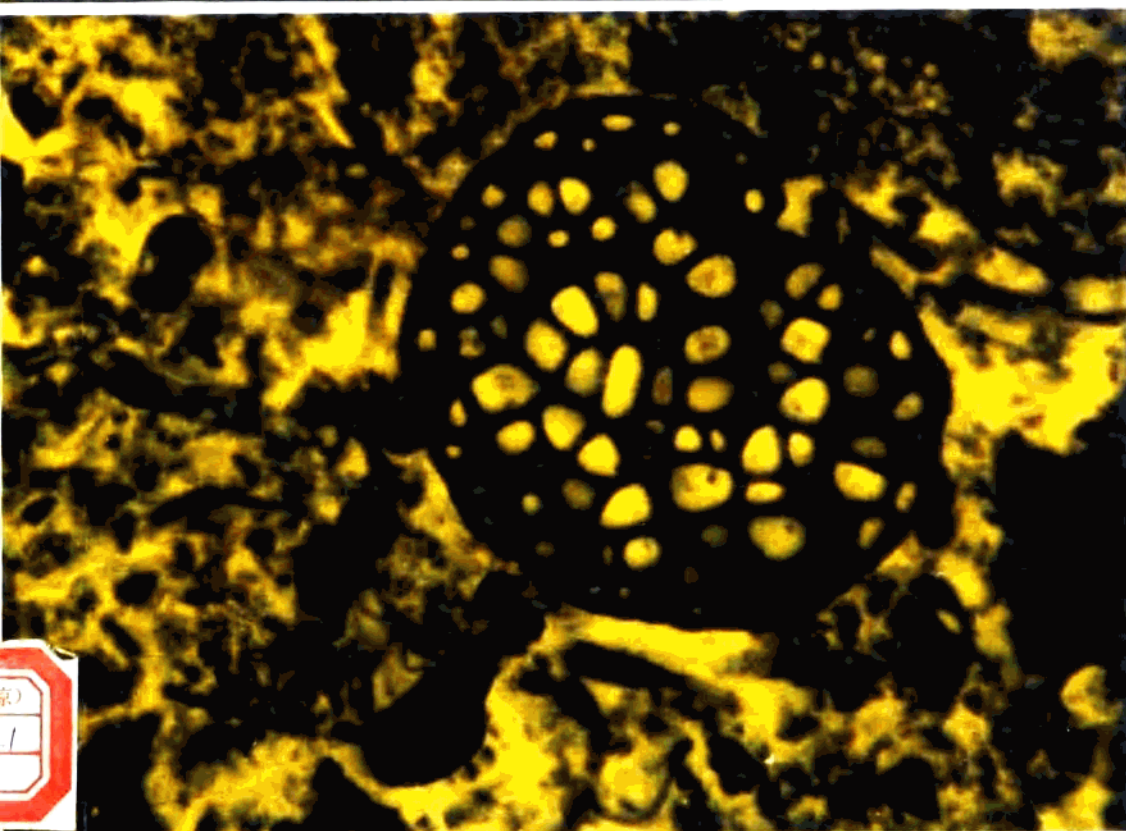


吐哈盆地 油气生成

程克明 主编

● PETROLEUM INDUSTRY PRESS ● PETROLEUM INDUSTRY PRESS ●



石油工业出版社

前 言

《吐哈盆地油气生成》一书是以研究吐哈盆地侏罗煤系有机质成烃为重点的科研成果，也是中国含煤盆地煤系有机质成烃的典型实例剖析。

煤系(Coal Measures)有机质成烃系指在一具聚煤盆地中，在特定环境下，在煤化作用及成岩作用过程中，煤及煤系泥岩内集中和分散的富氢有机组分生成一定数量的气态和液态烃类，其达到一定浓度后，在适宜的演化阶段和与之相匹配的构造作用条件下，在有利的储集和聚集范围内形成工业性的油气藏。

煤系有机质成烃的研究经历了曲折的发展过程。迄今，世界范围内越来越多的含煤盆地发现了具有工业价值的油气藏和油气田，人们对煤系有机质能够形成烃类的事实也不再怀疑，但对于在什么特定环境下的聚煤盆地即可形成工业性的油气藏？煤及煤系泥岩中已生烃类的排驱特点及其最有利的排驱时期等问题已成为当今油气地质学家关心的首要问题。

本书正是从吐哈聚煤盆地实际地质条件的剖析入手，以研究煤及煤系泥岩的生、排烃机制为重点，在剖析煤岩及煤系有机质各显微组分生烃演化特征的基础上，采用实验模拟与自然演化相结合，归纳了煤及煤系泥岩有机质的成烃演化规律及模式。进而结合吐哈盆地中、下侏罗统沉积和构造发展历史，研究煤及煤系泥岩的孔隙发育和分布特点，进一步揭示了煤系有机质成烃最有利的生、排时期。通过对该区中、下侏罗统油气成藏条件的剖析和勘探实践的验证，提出了煤系生烃具多阶段性和早期性，而从煤岩孔隙分布规律出发，煤系成油最有利的排驱时期又具早期排出的特点。这一认识是吐哈盆地中、下侏罗统煤系有机质生烃机制研究与油气藏形成分布规律研究与勘探实践相结合的实践总结。

本书的全部实际资料主要来源于笔者多年来对该区油气生成条件研究的实验分析。该书正是笔者及有关前人对该区油气生成研究的系统总结。

本书包括以下六个方面的内容：

1. 采用有机岩石学与有机地球化学相结合的多种综合分析手段，从油气生成条件研究入手，对该区二叠系、三叠系和侏罗系三套可能源岩进行了定性和定量的系统评价；
2. 系统的研究了吐哈盆地及其有关地区煤岩显微组分组成、光性特征、成烃主要贡献组分及产烃潜力；
3. 采用自然演化与热压模拟相结合，以煤岩显微组分单体演化规律为基础，系统地研究了煤的生烃机制和排烃特点，并根据吐哈盆地油气生成和排烃的主要时期，结合构造发展和圈闭的形成时期，分析和确定了本区煤成油藏形成的决定性因素；
4. 分区分层系地研究了本区原油和天然气的地球化学特征，进行了石油成因分类，系统地进行了煤系及非煤系源岩和原油的生物标记物特征研究。在此基础上，采用多种方法对该区油气来源进行了精细对比，提出了吐哈盆地主要油源来自中、下侏罗统煤系(包括煤岩及煤系泥岩)，煤岩成油是该区煤系成烃的重要特点之一，煤岩中基质镜质体及木栓质体是其成烃的主要贡献组分；
5. 在研究煤系沉积的地质条件及煤成烃的地球化学特征基础上，对煤系地层生烃潜力评价进行了多种方法及多种途径的探索，在此基础上，本书重点介绍了适用于含煤盆地生烃

潜力评价的“数字化积分法”及“热压模拟法”的方法原理及关键步骤,以期进一步阐明含煤盆地生烃潜力的评价必须结合煤系生烃特征及生烃模式进行;

6. 该书还介绍了煤系沉积盆地及非煤系湖相沉积盆地中源岩、煤、原油、沥青等物质中的微量元素组成特征、集散规律及其在追索沉积环境和油源对比等方面的应用。

全书包括前言和 1~8 章,各章执笔者如下:

前言,程克明;第一章,张朝富;第二章,赵长毅;第三章,程克明、陈建平、王志勇;第四章,苏爱国、李伟;第五章,姜春庆;第六章,程克明;第七章,刘晓薇;第八章,何忠华、李巧梅、程克明。全书由程克明统改编审完成。

我室煤成烃的研究工作是在黄第藩教授和王昌桂总地质师的指导下进行的,全书编写过程中,黄第藩教授、宋建国教授、李晋超教授给予了悉心的指导和大力支持,徐永昌教授、金奎励教授、钟宁宁副教授提供了宝贵的资料,我所绘图室的同志给予了大力的帮助,在此一并感谢。

目 录

第一章 地质概况.....	(1)
第一节 沉积构造发展简史.....	(1)
第二节 烃源岩的展布.....	(2)
第二章 吐哈盆地烃源岩的有机岩石学特征.....	(5)
第一节 显微组分组成特征.....	(5)
第二节 煤成烃有机岩石学特征与标志.....	(10)
第三节 显微组分沥青化作用与生油模式.....	(26)
第四节 煤孔隙分布特征及煤排烃效应.....	(29)
第三章 煤系地层成烃母质丰度、类型及热演化.....	(36)
第一节 有机质丰度.....	(36)
第二节 成烃母质类型.....	(57)
第三节 有机质的热演化特征.....	(64)
第四章 吐哈盆地油气及油田水地球化学特征.....	(85)
第一节 原油物性及地球化学特征.....	(85)
第二节 天然气性质及地球化学特征.....	(100)
第三节 油田水性质及变化规律.....	(114)
第五章 煤系源岩及其原油的生物标记化合物特征.....	(131)
第一节 生物标记化合物的特征.....	(132)
第二节 生物标记物的演化及区域分布特征.....	(143)
第六章 油气源对比.....	(143)
第一节 油源对比.....	(148)
第二节 气源对比.....	(163)
第七章 微量元素在泥质岩、煤和原油中的赋存形式及其集散规律.....	(170)
第一节 微量元素在原油中的赋存形式.....	(170)
第二节 煤成烃中微量元素的集散规律.....	(178)
第三节 微量元素在油源对比研究中的应用.....	(184)
第八章 煤系源岩生烃潜力定量评价方法研究.....	(186)
第一节 热压模拟法计算油气生成量.....	(187)
第二节 数字化积分法计算生烃量.....	(192)
参考文献.....	(195)
图版及图版说明.....	(200)

第一章 地质概况

第一节 沉积构造发展简史

吐鲁番—哈密盆地(以下简称吐哈盆地)位于准噶尔—巴尔喀什地槽褶皱带东部,是发育在该褶皱带上的一个山间复合地体。盆地东西长约 600km,南北宽约 60~130km,面积约 $4.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

盆地的发育与其边界构造作用密切相关。吐哈盆地北缘博格达山是晚古生代的陆间裂谷,连同西北缘喀拉乌成山隶属北天山褶皱带的一部分。南缘觉罗塔格山是晚古生代甘、青、藏板块同准—吐板块碰撞挤压的隆起带。东北缘沿着克拉麦里—斋桑—额尔斯地缝合线平行分布着几条古大洋岛弧的俯冲带,在巴里坤、哈尔里克山发育了海西中晚期的花岗岩侵入体(见图 1-1-1)。

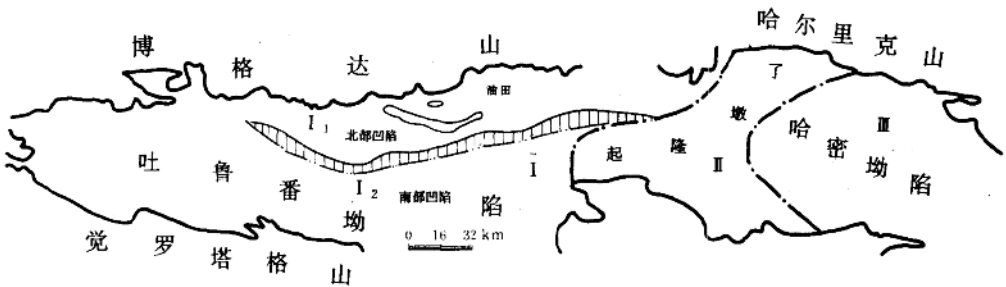


图 1-1-1 吐鲁番—哈密盆地构造分区图

吐哈盆地经历了拉张→闭合→造山的发育过程。

中寒武世前,准—吐板块为稳定的陆表海沉积,中寒武世准—吐板块从古新疆板块中分裂出来,博格达仍为陆表海沉积。

晚泥盆—早二叠世是博格达陆间裂谷形成和发育阶段。石炭纪的火山碎屑岩、凝灰岩、安山岩、硅质岩和碳酸盐岩构成了盆地的基底。

晚二叠世时,由于西伯利亚板块与准—吐板块的碰撞而产生持续向南的推挤,塔里木板块与准—吐板块的碰撞而产生向北挤压力,从而促使博格达陆间裂谷关闭。上二叠统下部发育一套以灰绿色为主的长石砂岩和凝灰岩,中上部发育一套有机质十分丰富的黑色页岩并夹油页岩(妖魔山),这是一套生烃潜力较大的源岩,并已证实是准噶尔盆地的主要烃源岩。

三叠纪早期,博格达区气候干燥,水体较浅,沉积速度大于沉降速度。三叠纪晚期,该区气候转为温湿,出现半深水湖相沉积。

侏罗纪早期,由于印支运动影响,了墩隆起继续遭受剥蚀,盆地汇水性增强,且水体变浅,沼泽发育。此时,博格达仍处于水下隆起,只是到中侏罗统三间房组沉积时期,由于燕山中期运动的影响,博格达山始由东南向西北渐次露出水面而继续抬升。

J_2 侏罗纪末期,博格达陆间裂谷全部露出水面,并将准噶尔与吐鲁番分隔成为两个盆地,从而使吐一哈盆地进入山间盆地的发展阶段。

吐哈盆地从晚古生代、中生代到新生代接受了厚达 9000m 的沉积,在上二叠统、中上三叠统和中下侏罗统均发育有良好的源岩,为该区油气的形成和聚集奠定了雄厚的物质基础。

第二节 烃源岩的展布

吐一哈盆地烃源岩主要有三类,即煤系、湖相泥岩和碳酸盐岩。碳酸盐岩类目前仅在台北凹陷二塘沟一带的地质露头剖面上发现,主要为晚石炭世的臭灰岩,厚度约 50m,其分布范围和规模还不清楚,故不作进一步讨论。煤系主要分布于中、下侏罗统。根据 40 多口井的钻井资料,地质露头剖面资料,地震反射层解释资料以及煤炭公司的资料,综合编制了二叠系(P)、三叠系(T)、侏罗系八道湾组(J_{1b})、三工河组(J_{1s})、西山窑组(J_{2x})、三间房组(J_{2s})、七克台组(J_{2q})等七层源岩厚度分布图。现将各层系源岩特征及展布详叙如下。

一、泥质岩类

1. 二叠系源岩

二叠系分上统及下统,烃源岩主要发育在上统。下统阿其克布拉克群(P_{1a})在吐鲁番坳陷为海陆过渡相沉积,是一套火山岩、火山碎屑岩、凝灰岩及硅质岩,厚约 110m;在哈密坳陷为灰绿、紫红色凝灰岩、灰绿色细砂岩及泥质粉砂岩,厚 77m。上二叠统由下而上分为四个组,即大河沿组(P_{2d})、塔尔朗组(P_{2t})、泉子街组(P_{2q})和梧桐沟组(P_{2w}),地层总厚度为 455~1165m。二叠系的烃源岩主要发育于该四组之中,为暗色泥岩。其分布范围较广(见图 1-2-1),除盆地南边缘暗色泥岩缺失外,由盆地中部向北缘逐渐增厚,厚度一般为 100~300m,分别在托克逊凹陷的大 1 井西北、台北凹陷的柯 6 井以西、十三间房车站西北和哈密坳陷四堡以北发育四个深凹区,也是生烃强度最大的分布区。据推测在塔 1 井西南的库木塔格沙漠内,也有一个源岩发育区。二叠系是一套较好的湖相沉积烃源岩,可能为托克逊凹陷和哈密坳陷的主力源岩层之一,也是台北凹陷开拓新的勘探领域的源岩层。

2. 三叠系源岩

三叠系烃源岩主要发育在中、上三叠统,下统自下而上韭菜园组(T_{1j})和烧房沟组(T_{1s})主要为河流相紫红色砾岩、砂岩和泥岩,为一套红色沉积,地层厚 194~928m。中、上三叠统自下而上的克拉玛依组(T_{2k})、黄山街组(T_{3hs})和郝家沟组(T_{3h})地层厚度为 375~646m,是烃源岩的主要发育层段。其源岩分布(见图 1-2-2)与二叠系基本相似,在台北和托克逊凹陷一般厚度为 50~200m,哈密坳陷最大厚度可达 600m。在托克逊凹陷盐 1 井附近,台北凹陷连木沁西北和十三间房西北,哈密坳陷的五堡东北等四个地区为中、上三叠统源岩发育区。

3. 侏罗系源岩

侏罗系烃源岩是吐哈盆地目前已获油气的主要源岩,以中、下侏罗统八道湾组和西山窑

组最为发育。中侏罗统上部七克台组(J_{2q})虽是一套生烃潜力较大、母质类型较好的湖相泥岩,但由于其成熟度较低,目前仅局部成熟,是一套具有潜力的源岩。三间房组和三工河组暗色泥岩不甚发育,生烃能力均较小。上侏罗统下部齐古组(J_{3q})岩性主要为棕红色粉砂质泥岩夹薄层粉砂岩和细砂岩,厚159~1300m,主要发育在台北凹陷,是该区良好的区域盖层,但该层组在托克逊凹陷和哈密凹陷大部分缺失。上侏罗统上部喀拉扎组(J_{3k})为河流相紫红色、灰白色砂岩、砾岩,厚50~80m,主要分布于火焰山一带。现将其源岩展布分述如下。

(1)八道湾组 该组暗色泥岩按有机碳含量可分为普通泥岩(有机碳含量为0.4%~6.0%)和高碳泥岩(有机碳含量为6%~25%)。高碳泥岩是一种生烃潜力很高的源岩,具纸状结构,呈薄层状分布,连续性较差,多分布于煤层附近及普通泥岩之中,高碳泥岩厚度一般为0~50m。 J_{1b} 暗色泥岩在盆地南缘热深1井—鄯善县—塔4井一线以南以东缺失,往盆地中部和北部逐渐增厚,最厚达200m以上(见图1-2-3)。在盆地东部,哈参1井、哈密市、西花园子、大南湖以东缺失。台北凹陷有三个暗色泥岩发育区,从而形成三个次级洼陷,即胜北次洼、丘东次洼及草湖次洼。生烃强度最大的为胜北次洼,托克逊凹陷是以胜北次洼为沉积中心而发展的。哈密凹陷以三堡1井和哈2井为沉积中心发育暗色泥岩。

(2)三工河组 暗色泥岩不甚发育,其分布范围(见图1-2-4)较八道湾组小,沿南草2井—鲁克沁—塔4井—五堡—哈参1井一线以南以东缺失;厚度一般仅20~60m,在盆地的托克逊、丘东—胜北和哈2井区等三个地区为暗色泥岩相对发育区。

(3)西山窑组(J_{2x}) 该组暗色泥岩的分布范围及厚度均较八道湾组大(见图1-2-5)。一般厚度为200~400m,哈密凹陷仅100~200m。托克逊凹陷、丘东次洼和草湖次洼的暗色泥岩都很发育。高碳泥岩亦较发育,其结构特征与八道湾组相同,厚度为0~60m,西山窑组是目前台北凹陷的主力源岩层之一。

(4)三间房组(J_{2s}) 该组暗色泥岩主要分布于台北凹陷(见图1-2-6),沿卡东1井—南单2井—连木沁—塔4井一线以南缺失。在哈参2—哈参1井以东缺失,台北凹陷暗色泥岩一般厚度为50~200m,托克逊凹陷和哈密凹陷有局部分布。

(5)七克台组(J_{2q}) 该组暗色泥岩是一套有机质丰度高,母质类型较好(主要为Ⅱ型)的半深水湖相泥岩。主要分布于台北凹陷的胜北次洼和丘东次洼(见图1-2-7),最大地层厚度可达200m,暗色泥岩厚达100m以上,其它地区均缺失。

二、煤岩类

煤是高等植物残体经过腐殖化、凝胶化及丝碳化等煤化作用转变而成的一种特殊岩石,本区主要形成于早、中侏罗世的湖沼相沉积环境中,即主要分布于下侏罗统的八道湾组和中侏罗统的西山窑组,本区高等植物主要为银杏、苏铁和松柏类。根据油源研究认为, J_{2x} 、 J_{1b} 这两套煤岩也是本区的主要源岩之一。现分述如下。

1. 八道湾组煤岩

该组煤岩主要分布在托克逊凹陷和台北凹陷,煤岩的厚度一般为20~60m,托克逊凹陷最厚达70m。哈密凹陷分布范围小而零星,且煤岩厚度也小,同时上覆盖层缺失,因此哈密凹陷形成较大的煤成烃油气田的可能性不大。

2. 西山窑组煤岩

该组煤岩主要分布于台北凹陷,厚度一般为20~60m,最厚达70m,煤岩累计厚度较八

道湾组大,是目前台北凹陷的主要源岩之一。托克逊凹陷往北煤岩较发育,在盐1井附近有一个富集区,但因上覆齐古组区域盖层缺失,对煤成烃的聚集十分不利。哈密坳陷该组煤岩并不发育,局部分布且厚度小,同样缺乏区域盖层,不可作为该坳陷的主力源岩层。

综上所述,吐哈盆地各层系源岩由于地质条件的差异,各凹(坳)陷的主力源岩亦不相同:

①台北凹陷:地层发育齐全,区域盖层(J_{3q})和局部盖层分布适中,中、下侏罗统的煤及煤系泥岩是该凹陷的主力源岩层;同时由于二叠系和三叠系埋藏深,可作为台北凹陷拓宽勘探领域的深部源岩。

②托克逊凹陷:地层发育不全,侏罗系源岩的区域性盖层(J_{3q})缺失,局部性盖层残缺不全。该凹陷的主力源岩应以上二叠统和三叠系为主。

③哈密坳陷:中上侏罗统缺失严重,二叠系和三叠系为该坳陷的主要源岩层系。

④值得提出的是,本区中、下侏罗统八道湾及西山窑组煤系地层中,在煤层的附近或煤系泥岩中分布连续性较差、厚度变化较大的一套高碳泥岩(有机碳含量一般为6%~25%),是一套平原沼泽向浅湖相过渡的泥质和粉砂质沉积物,水平层理十分发育,风化后呈褐色、灰褐色鳞片状或纸状,具弹性,似“毡子”,故人们称其为“毡子层”。这套沉积岩富含植物种子和动物化石(叶支介、双壳类、鱼等),是一套具较大潜力的烃源岩,深入研究其沉积环境、分布特征,深入进行其生烃潜力的定量研究和进行油源对比,对于进一步揭示煤系有机质成烃将提供丰富信息。

第二章 吐哈盆地烃源岩的有机岩石学特征

烃源岩中分散有机质丰度、类型、成熟演化是油气生成研究的基本条件,而源岩的有机岩石学特征亦是其生油潜力评价的基本内容。

应用有机岩石学研究源岩有机质生烃潜力的方法主要有两种。其一是源于孢粉学家所采用的透射光法,主要研究对象是经过提纯、富集有机质的干酪根;另一种方法则是从煤岩学演变而来,在反射光下(包括反射荧光和反射白光)对全岩光片进行有机显微组分的鉴定统计与光性测量。前一方法对有机质丰度低的源岩较有效,缺点是不能进行组分成因的研究;后一方法则恰以显微组分成因研究为特色,受到更多有机岩石学家的重视。目前倾向于两种方法的结合,进行透射光、反射白光和反射荧光的鉴定与测量,同时将有机地球化学与有机岩石学相结合对烃源岩有机质丰度、类型及成熟度进行研究,对其生烃潜力作出综合评价。

第一节 显微组分组成特征

一、显微组分分类

显微组分(maceral)是指在显微镜下能够识别的基本有机成分。其分类位置相当于无机岩分类中的矿物。它是有机岩石学评价源岩生烃潜力的物质基础。它或者是熟化了的植物残体,或者是其分解的产物。前者可以看出形态和结构,后者已辨认不出其原始形态。在国际煤岩学委员会(ICCP,1976)推荐的煤显微组分分类方案中,依相似成因和保存程度将煤显微组分划成三个组分组。主要源于植物木质素和纤维素的镜质组以其相对高的氧含量和中等反射率为特征,单宁、鞣质及细菌物质的代谢产物也参与了镜质组的形成;惰质组以高的反射率和高碳含量为特征;而低反射率并具荧光的壳质组主要源于如植物的孢子花粉、角质、木栓、树脂及植物油等的一些植物器官或组织,是一组富氢贫碳组分。

目前,源岩有机质分类尚未有统一的国际分类。造成这一状况的原因主要在于:客观上源岩有机质含量较煤要低得多,正确识别分散有机质中的组分远比煤要困难;主观上则由于尚未建立统一的分类原则。尽管国际有机岩石学委员会为此专门成立了分会组织,并取得了卓有成效的工作,但未见有成熟的统一分类出台。

国际上先后发表的较有影响的源岩有机质分类依研究方法可以分为两类。以全岩为研究对象的分类有 Teichmuller(1977),Alpern(1980)和 Robert(1981),而 Burgess(1974)提出的分类则建立在干酪根透射光观察的基础上。Senftle(1985)与 Mukhopadhyay(1985)试图建立全岩与干酪根统一的分类标准。在我国,肖贤明和金奎励(1990)所提出的分类,他们以全岩光片、干酪根薄片与光片为研究对象,采用透射光、反射白光和反射荧光综合研究方法,将全岩与干酪根有机组分分类统一起来,建立了我国陆相源岩分散有机质分类方案。

本文结合吐哈盆地侏罗煤系及二叠、三叠系烃源岩的特点,参照 ICCP 推荐的煤显微组分分类,建立了适合本区的显微组分分类,如表 2-1-1 所示。

分类原则主要包括显微组分的光性、生物先质与成因,采用透射光、反射白光与反射荧光综合研究方法,沿用煤显微组分术语,侧重成烃演化。

表 2-1-1 吐哈盆地烃源岩显微组分分类方案

显微组分组	显微组分	亚显微组分
镜质组	结构镜质体 无结构镜质体 碎屑镜质体	基质镜质体 均质镜质体 团块镜质体 胶质镜质体
惰质组	丝质体 半丝质体 粗粒体 碎屑惰质体	
壳质组	孢子体 角质体 树脂体 木栓质体 碎屑壳质体	大孢子体 小孢子体 薄壁角质体 厚壁角质体 木栓质体 A 木栓质体 B
腐泥组	藻类体 沥青质体	结构藻类体 层状藻类体
次生组分	渗出沥青体 微粒体 油滴	

二、显微组分特征

1. 镜质组 (Vitrinite group)

为本区源岩(尤其是煤中)的主要组分。其含量占总有机质的 40%~95%,一般煤中为 60%~80%。油浸反射光下呈不同色调的灰色至深灰色(图版 I-1; II-2,3,4)。镜质组分组中以无结构基质镜质体为主,见少量的结构镜质体。基质镜质体表面不均匀,在普通光学

显微镜下多以云雾状、团聚状的不均匀表面为特征,荧光显微镜下见有较多的分布在基质镜质体中的碎屑壳质体(图版 I-2,5),基质镜质体的初始荧光为褐色、褐红色,随辐照时间的增加,其荧光强度显著增强,荧光正变化。

与侏罗系煤中的镜质组面貌不同,二叠、三叠系及侏罗系湖相泥岩中的镜质体表现为盆地内微异地成因的特征,显微镜下以碎屑镜质体为主,见有呈浑圆形外貌或具氧化环的再循环成因镜质组颗粒,其反射率的离散度也很大。

2. 惰质组(Inertinite group)

惰质组以其高的反射而易于识别。本区惰质组含量在 0.4%~39%之间变化,一般为 10%~25%。盆地边缘煤中惰质组含量明显高于盆地内部。半丝质体含量较高是本区煤中惰质组的特点之一,一般在 10%左右,其反射率介于典型镜质体和丝质体之间,原始细胞结构隐约可见(图版 I-1; III-1)。

丝质体胞壁膨胀较强烈,有时可见较清晰的细胞结构。偶见微粒体、树脂体(?)充填其细胞腔中(图版 II-7,8,9)

粗粒体的反射率与半丝质体相当,在本区煤中多以基质形式出现,偶见呈椭圆形颗粒状形式出现的粗粒体。

由于成因的差异,碎屑惰质体反射率变化较大,为泥质岩中的主要惰性组分,呈细小的高反射散布于矿物基质中(图版 II-3)。

3. 壳质组(Liptinite group)

吐哈盆地壳质组含量在 0.8%~23%之间变化,一般为 5%~15%。主要由以下形态分子和碎屑壳质体构成。

(1)孢子体 主要为小孢子体。在一些微层中常密集出现,其形状为压扁的长条状、圆形或椭圆形。油浸反射光下具有深褐色的内反射,较强的黄色荧光(图版 I-1; III-2,3,4)。是构成本区壳质组分的主要形态分子之一。

(2)角质体 为成煤植物叶或茎的表皮角质层转变而来。呈细条带状平行层理分布,内缘大多平直无明显的锯齿。其含量变化较大,在某些井段成层出现,有时为壳质组分中的主要分子。其荧光颜色变化较大,从艳黄色至褐色,即使在同一样品中也经常能见到荧光颜色不一致的角质体,反映了成因上的差异(图版 III-5,6)。

(3)木栓质体 在煤中较常见,尤其在低演化阶段的样品中。按 ICCP 定义,是植物周皮中的木栓细胞差异栓化的形态结构,是木栓化的细胞壁,因其细胞腔中空或充填具荧光的鞣质物质而呈扁长方形(Stach 等,1982)。木栓质体在全区分布并不均匀,托克逊凹陷含量较高,有的井段可达 13%,普遍为 4%~6%,台北凹陷仅在二塘沟煤中鉴别出较高数量的木栓质体(8%),其它井区为 2%左右,哈密凹陷仅见有微量的木栓质体。

反射光下木栓质体呈深灰色至灰黑色,荧光显微镜下呈黄至微弱的褐色荧光。根据植物细胞结构保存程度,本区木栓质体可分为 A、B 两个亚类。木栓质体 A 原始植物细胞结构保存完好,呈典型的迭瓦状排列,一般 5~10 层,具强的黄色荧光。胞腔内充填镜质组分——团块镜质体(图版 IV-6,7);木栓质体 B 原始植物细胞结构已消失殆尽,具弱的褐色、黄色荧光(图版 IV-8,10; V-1,2,3,4)。

(4)树脂体 为来源于高等植物的树脂、树胶及树蜡等的分泌物。在本区样品中偶见,多以圆形、椭圆形等孤立颗粒存在。反射光下为深灰黑色并带褐色调内反射,一般具强的黄色

荧光(图版 V-7)。

(5)碎屑壳质体 泛指那些来源于壳质组或藻类体的碎屑。颗粒细小,普通光学显微镜下不能辨认植物组织器官结构,反射白光下辨认困难,主要依荧光显微镜加以识别。荧光颜色不均一,亦反映了母质来源的多样性。在煤中多分布在基质镜质体中,而在源岩中多分布在矿物沥青基质中(图版 I-2; V-7)。

4. 腐泥组(Sapropel group)

(1)藻类体 按形态与内部结构划分为结构藻类体和层状藻类体(ICCPC,1976)。分别相当于 Robert(1981)的显微藻类体和藻质体, Timofceev(1978)的结构藻类体和无结构藻类体,及 Cook(1982)的藻类体 A 与藻类体 B。结构藻类体是源于群体藻类或厚壁单细胞藻类,形态特征明显,具可辨认的内部结构(图版 VI-1)。层状藻类体具可辨认的层与不可辨的结构,可能由小的单细胞藻类或是薄壁群体浮游藻转化而来(Hutton,1987),是低等水生生物的降解产物(图版 VI-2)。在本区侏罗系八道湾及西山窑组的煤中很少见藻类体,在七克台组泥岩中分布较普遍,显示强的黄绿色荧光。

(2)沥青质体 以其无特定形状为特征。在垂直层理的切面上常呈线纹状或基质状态出现(图版 V-8,9)。Teichmüller(1974)依荧光特征将其分成三种类型:Ⅰ型有荧光且有荧光变化;Ⅱ型有荧光但无荧光变化;Ⅲ型不具荧光。在本区仅见Ⅰ、Ⅱ两种类型的沥青质体且以Ⅰ型为主,其丰度较低,在托克逊凹陷中、下侏罗统和台北凹陷中侏罗统七克台泥岩中分布较普遍。其成因认为是藻类、浮游生物等在细菌作用下的降解产物(Teichmüller,1974)。

5. 次生有机显微组分

次生有机组分是显微组分在热演化过程中形成的次生产物,它对研究显微组分的演化及指示生烃作用有着特殊的意义。该组分主要包括微粒体、渗出沥青体及油滴。其特征及分布特点将在下节详细论述。

以上是吐哈盆地源岩有机显微组分的光学特征。值得指出的是,在源岩中能見到大量的有机质与无机矿物混合构成的矿物沥青基质。反射白光下显示深褐色内反射,荧光显微镜下普遍具艳黄—褐色荧光。尽管它不属于有机显微组分范畴,但其生烃能力不可低估。如何评价源岩中矿物沥青基质的生烃潜能,将是今后有机岩石学需要解决的问题。

三、显微组分组成

在吐哈盆地三套可能源岩层系中,显微组分含量分布并不均一,尤以侏罗系源岩有机显微组分含量最高。以全岩体积计,有机显微组分在煤中占 55%~95%,平均为 85%,泥岩中为 2%~18%,平均为 7%。而在二叠系和三叠系泥岩中有机质仅分别占 2%~7%(平均 4%)和 1%~15%(平均 5%)。

有机岩石学分析表明,本区三套可能源岩不仅有有机显微组分含量不同,而且有机显微组分组成面貌也具有较大差异。图 2-1-1 直观地表明了三套可能源岩的组分组成特征。

1. 二叠系

其泥岩显微组分组成,镜质组含量为 40%~60%,惰质组和壳质组含量相当,约各占 20%,落在图 2-1-1 中 V 区。

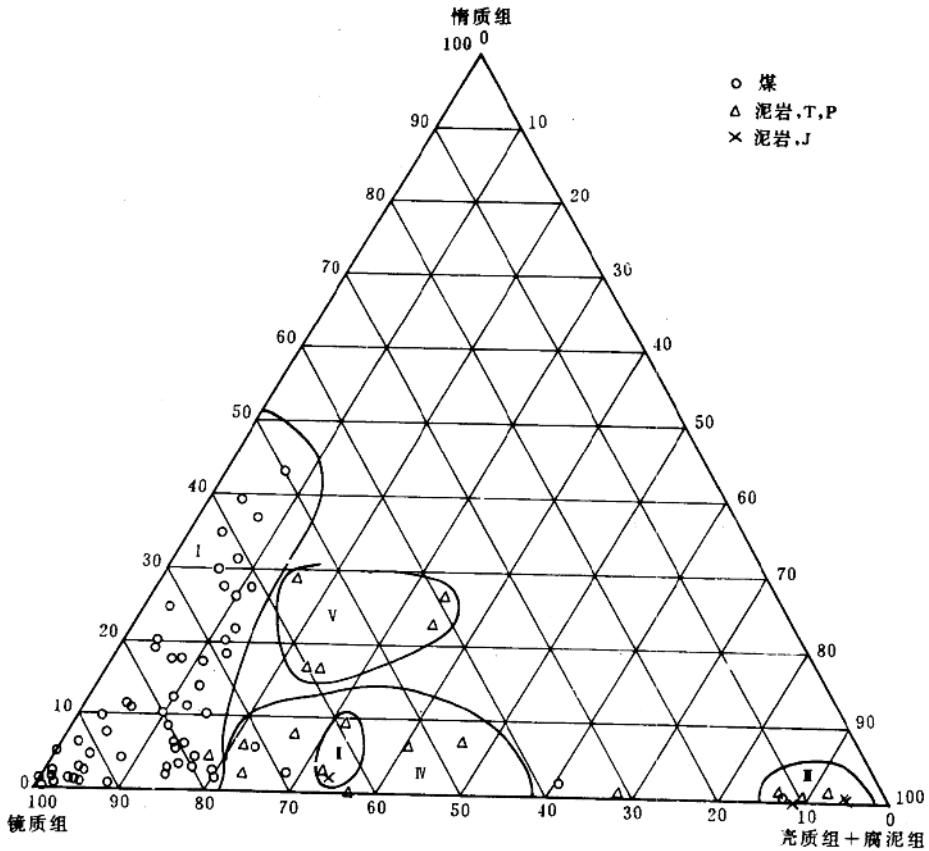


图 2-1-1 吐哈盆地烃源岩显微组分组成三角分布图

2. 三叠系

其泥岩显微组分组成以镜质体(40%~80%)和壳质体及藻质体(20%~50%)为主,贫惰质组分(<10%),为图 2-1-1 中的 N 区。

从表面上看,二叠、三叠系显微组分中富氢组分(壳质组)含量极高(达 20%~50%),但由于其有机显微组分占全岩体积百分比太低,因而壳质组分占全岩体积百分含量就更低。

另外,二叠系和三叠系泥岩中的镜质体以碎屑镜质体为主。

3. 侏罗系

由于侏罗系泥岩与煤中的显微组分组成有较大差别,故分述如下。

(1)侏罗系泥岩 亦有两种情况。一种为煤系中的泥岩,其镜质组含量与煤相当,但较富壳质组而贫惰质组。图 2-1-1 中的 II 区样品属于此种情况;另一种是中侏罗统七克台组的泥岩,以壳质组占绝对优势,部分样品含量可达 85%以上,其有机质占全岩体积的 2%,壳质

组分中主要由角质体、藻类体、沥青质体和树脂体组成,落入图 2-1-1 中的 III 区。

(2)侏罗系煤层 为图 2-1-1 中的 I 区。显微组分以镜质组为主,惰质组中以高含量的半丝质体为特征。镜质组分中以具暗褐色至棕色荧光的基质镜质体为主。壳质组分含量与其它地区煤相比并无特别之处,但富含木栓质体,角质体和孢子体也是其中主要形态分子。碎屑壳质体含量亦较高。

三套可能烃源岩有机显微组成的这种差异性,归因于有机质的植物群落、沉积环境、古地理与古构造的差异,因而决定了三套可能源岩成烃潜力的不同。

第二节 煤成烃有机岩石学特征与标志

随着荧光显微镜在有机岩石学中的广泛应用,以及人们对显微组分的进一步识别,尤其是对显微组分在热演化过程中演化历程的进一步认识,大多数有机岩石学家和地球化学家已接受这样的观点:煤不仅可作为生气源岩,而且可作为生油源岩,荧光显微镜技术的应用为煤成油研究提供了有力的岩石学证据。吐哈盆地侏罗系煤层广泛存在的煤成烃有机岩石学标志,为本区提供了煤成烃最直接的证据。

一、吐哈盆地煤成烃显微组分生烃标志

煤中显微组分在其成烃演化过程中发生了一系列变化,主要表现在光学性质的演变及新生组分的形成。

1. 显微组分生烃标志

(1)微粒体(micrinite) 反射光下呈强的反射色,直径 $1\mu\text{m}$ 左右。在本区煤中,尤其是三道岭和七克台等地煤中较常见。主要有两种产出形式,其一为充填于细胞腔中,另一种为条带状分布于基质镜质体组分中(图版 V-10)。

关于微粒体的成因,多数有机岩石学家认为是富氢组分生烃后的固体残余物。Teichmüller(1974)认为,富氢显微组分热演化过程中因歧化反应一方面导致似石油物质的形成,另一方面导致高反射固体残余产物即微粒体的产生。Cook 和 Struckmeyer(1986)的工作也证实了微粒体的次生性。Taylor 等(1987)结合透射电子显微镜与光学显微镜研究表明,微粒体是与类脂组或腐殖组有密切亲缘关系的较细颗粒的集合体。对于微粒体次生性更有说服力的证据则来自煤的热模拟实验。Khorasani 和 Michelsen(1991)的加水热解实验表明,抽提过的煤较未抽提煤其热解残渣中微粒化程度大大降低,这表明微粒体与富氢组分关系密切。对我国扎赉诺尔和黄县褐煤热模拟固体残渣的有机岩石学研究表明,富氢组分(如藻类体、富氢的基质镜质体等)在人工加热模拟实验中微粒化现象特别明显,证明微粒体是煤中富氢组分在热演化过程中的次生产物,出现在煤化作用的沥青化作用阶段,与煤中似石油产物的出现相伴生。

Shibaoka(1978)将微粒体归为原生组分。认为微粒体是由丝质体、半丝质体和其它低反射率的惰性碎片组成的,是充氧环境下的产物。Mackousky(1978)则将微粒体分为两种成因:即细胞壁和细胞质降解产物以及十分细小的惰质体碎屑。他们认为微粒体属于原生性质,其理由是既然微粒体是亚烟煤阶段(R_0 为 0.5%)以后煤的沥青化作用产物,在褐煤阶段沥青化作用尚未发生,有机质演化还处于未熟阶段,即没有达到生油门限,富氢显微组分的

歧化反应尚未进行,因而在褐煤中发现的微粒体当属原生性质。我们认为,煤的非均质性以及原始成煤植物与生物化学环境的差异性,决定了煤中各显微组分沥青化作用的非等时性,某些显微组分(如树脂体、木栓质体、基质镜质体等)在很低的演化阶段即发生了沥青化作用,与此相应,作为与富氢显微组分歧化反应相伴生的微粒体亦可在很低的成熟阶段产出。

(2) 渗出沥青体(exsudatinite) 虽然煤中产出类石油产物的现象由 Brooks 和 Smith (1969) 从化学角度首先提出,但更令人信服的证据却来源于煤岩学家引入荧光显微镜的研究以后(Teichmüller, 1974)。荧光显微镜下,在煤的内生裂隙和微孔隙中,发现有弱反射而强荧光的有机充填物,并且可看出是从某些富氢组分渗出的,这表明渗出沥青体是煤中似石油产物的轻质部分排出后所留下的重质沥青,是煤成油发生初次运移的显微光学标志。

在本区煤中可见到较多渗出沥青体,主要以裂隙充填物形式,或充填在镜质组的裂隙和细胞腔中(图版 I-7; II-1; VI-6),或充填在方解石脉中(图版 VI-3, 4, 5)。

(3) 油滴(Oildrop) 在紫外光辐照下,可以见到浅蓝绿色荧光的油状液体滴珠从镜质体裂隙中渗出,随激发时间的增加,油滴形态上不断扩大,直至沿微裂隙融合成串珠状。油滴反映了煤中液态烃的排出,它实际上是储集在镜质体基质孔隙中的液态烃受紫外光激发后渗出的(图版 VI-7),这更直观证明了煤成油过程的存在。

2. 显微组分光学性质演化的成烃证据

由于显微组分的荧光性质反映了物质的分子结构及其荧光分子的周围环境,所以显微组分的成烃演化必然反映在荧光性质的演化中。荧光显微镜在有机岩石学中的应用其作用不仅在于发现新生组分,更主要的是它揭示了煤中各显微组分的沥青化作用的不等时性,因此,荧光显微镜是描述煤中显微组分沥青化作用(即成烃作用)的有效工具。

目前描述显微组分荧光性质的主要参数有荧光谱最大荧光强度所对应的波长(λ_{max}), 荧光谱中 650nm 处相对荧光强度与 500nm 处相对荧光强度比值(即红绿商 Q 值), 及 546nm 处相对铀玻璃标样的荧光强度(I_{546})。显微组分荧光变异性质是近年广泛用于评价显微组分生烃性能的重要参数(Ottenjann, 1988)。赵长毅和金奎励(1992)依据煤结构研究的最新成果,运用分子轨道理论和能带理论,提出了显微组分的荧光机理与模式。其显微组分的荧光机理建立在煤显微组分二相结构即大分子网络相与分子游离相基础之上,指出分子游离相内生茈萘与生茈萘之间的能量转换效率及生茈萘与大分子网络相之间能量传递效率决定了显微组分的荧光性质。显微组分荧光的化学机制是分子能量在其不同轨道传递的过程中能量辐射跃迁与非辐射跃迁竞争的结果。生茈萘分布在分子游离相内,而大分子网络相起能量俘获的陷阱作用。显微组分分子结构内生茈萘之间的能量转换效率及生茈萘与大分子网络间能量传递效率均取决于分子游离相内脂族成分发育的程度。分子游离相内脂族成分发育,则生茈萘与生茈萘之间能量转换困难,生茈萘与大分子网络相之间的能量传递也难,因而导致强的荧光显示,这相当于低成熟阶段;随着成熟作用的增加,分子游离相内脂族成分的不断脱落,生茈萘之间的能量转换较易发生,与大分子网络之间能量传递也容易进行,能量被大分子网络俘获,非辐射跃迁几率增大,导致荧光强度减弱。生茈萘之间相互作用的结果使得荧光谱 λ_{max} 红移。通过激光光氧化实验,证明荧光变异存在三种机制:当分子游离相内脂族成分发育时,随着外部光辐射时间的增加,能量积累的结果改变了原来生茈萘与大分子网络相间的能量传递状态,非辐射跃迁几率下降,荧光效率增高,导致荧光正变异;而光氧化效应与温度效应则导致荧光负变异。图 2-2-1 为孢子体荧光模式与荧光机理图解。





成熟阶段 R_o (%)	模式图解	荧光机理	
		λ_{max} 与荧光强度	变异机理
<0.5		①生荧团数量多,共轭程度小; ②游离相内脂族成分大量发育及少而小的网络相导致生荧团之间及生荧团与大分子网络相间能量传递效率低	“游离”机理存在但不起作用,以温度效应和光氧化效应为主,负变异
0.5~0.9		①生荧团数量变少,共轭程度增大; ②分子游离相内脂族成分的不断脱落,导致生荧团数量变少,生荧团间及生荧团与大分子网络间能量传递与转换加剧,导致 λ_{max} 红移,I渐减弱	“游离”变异机理逐渐为主,温度效应和光氧化效应也存在。正变异
0.9~1.3		游离相内脂族成分的不发育导致生荧团之间及生荧团与大分子网络之间传能更强,I继续减弱, λ_{max} 更红移	“游离”效应逐渐减弱,以温度效应和光氧化效应为主,不显的荧光负变异
>1.3		游离相内脂族成分极不发育导致生荧团之间及生荧团与大分子网络之间能量传递非常容易,能量被大分子网络俘获,导致可见荧光消失	

图 2-2-1 孢子体荧光机理与模式图解

综上所述,显微组分最初的负变异是温度效应和光氧化效应综合作用的结果,此阶段所脱落的是大量的官能团和较小分子,而荧光强度正变异的出现则代表了较长分子脱落的开始,标志着该显微组分开始进入生油窗阶段;荧光正变异再次向负变异的转变则代表了分子游离相中脂肪成分大量脱落的结束;标志显微组分生油高峰的结束,显微组分可见荧光的消失则表明液态烃生成结束。因此显微组分的荧光性质可以反映热演化过程中显微组分烃类生成的特征。本区煤中基质镜质体、木栓质体荧光性质的演变表明其热演化过程中存在着烃

类的生成过程。

二、煤成烃主要显微组分

1. 基质镜质体

(1) 基质镜质体的光性演变特征 本区煤中基质镜质体普遍具荧光(图版 1-2, 4, 5, 6, 7), 随成熟度增加, 其荧光强度逐渐减弱, 荧光色由红褐色至暗褐色, 最大荧光波长 λ_{\max} 逐渐红移。至 R_o 为 0.7% 时, 其荧光强度已降至最小值, 随后又有所增强, 但这已属于次生荧光, 与原生荧光性质截然不同(图 2-2-2)。

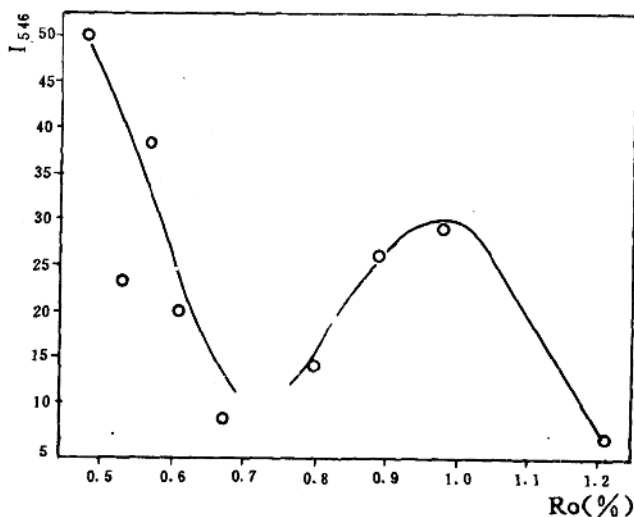


图 2-2-2 基质镜质体荧光强度与 R_o 关系

随成熟度增加, 基质镜质体荧光谱在 400~750 波长范围内由最初的三峰形(550nm, 640nm, 720nm)向单峰形演变(图 2-2-3), Q 值逐渐增大。

随荧光激发时间的增加, 基质镜质体的荧光性质发生较大变化, 荧光强度较初始荧光显著增强, 呈正荧光变化, 荧光谱前二峰显著增强, Q 值减小(图 2-2-4), 呈现明显蓝移。

基质镜质体荧光性质在 R_o 为 0.46%~0.70% 热演化阶段的演变表明, 基质镜质体分子结构中存在较多的脂族成分, 随热演化程度的增加, 其分子结构中脂链成分的逐渐脱落, 分子游离相内生荧团与大分子网络相间能量传递逐渐容易, 外部光辐射能量逐渐以非辐射跃迁形式被消耗, 导致荧光强度逐渐减弱, 荧光光谱红移。由于脂族成分的发育因而荧光变异性质以“游离”效应为主, 显示荧光正变异。在此演化阶段(R_o 为 0.46%~0.70%) 基质镜质体有大量液态烃生成。

(2) 基质镜质体生烃特征 尽管人们普遍认为煤的生油潜力主要取决于煤中壳质组的数量与组成(Tissot 和 Welte, 1984; Thompson 等, 1988), 但更深入的有机岩石学研究表明, 作为煤中主要成分的镜质组更应引起人们的重视, 尤其是镜质组本身极不均一的组成, 决定了其中某些显微组分可能成为煤成油的主要贡献者。Bertrand 等(1986)的研究结果表明, 煤中基质镜质体的数量与氢指数呈良好的正相关, 而壳质组的含量则与氢指数相关性较差。Smith 和 Cook(1984)认为吉普斯兰盆地许多石油除了来源于壳质组分外, 还来源于镜质组