

我国煤系的气油地球化学特征、 煤成气藏形成条件及资源评价

戴金星 戚厚发 王少昌 宋岩 关德师 许化政 著



石油工业出版社

我国煤系的气油地球化学特征、 煤成气藏形成条件及资源评价

戴金星 戚厚发 王少昌 宋 岩 关德师 许化政 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书属国家“六五”科技攻关成果“煤成气的开发研究”之一。书中主要阐述了煤、煤系泥岩及其烃类的有机地球化学特征，给出了我国煤系气的甲烷碳同位素与成熟度之间的回归方程，提出了一套鉴别煤成气的综合性指标，对我国主要含煤盆地煤成气资源进行了预测和评价，这些成果在今天看来都一一得到了验证。

本书可供从事天然气地质研究的科技工作者、相关专业的科研管理者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

我国煤系的气油地球化学特征、煤成气
藏形成条件及资源评价/戴金星等著.

北京:石油工业出版社,2001.11

ISBN 7-5021-3594-4

I. 我…

II. 戴…

III. 煤系-油气聚集-地球化学因素-研究

IV. P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 080613 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)

河北省地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 270 千字 印 1—1000

2001 年 11 月北京第 1 版 2001 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN7-5021-3594-4/TE·2647

定价: 25.00 元

序 一

煤成气或煤成烃理论在 20 世纪中、下叶建立和完善。40 年代德国学者指出煤系可作为商业气田的源岩，创造了纯朴的煤成气理论；60 年代澳大利亚学者提出煤中壳质组可形成商业油藏，奠定了煤成油理论的基础；70 年代我国学者戴金星发表了“成煤作用中形成的天然气和石油”，阐明了煤系成烃总规律以气为主，以油为辅，建立了成熟的煤成气（烃）理论。

“我国煤系的气、油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价”，是我国第一批（“六五”）科技攻关“煤成气的开发研究”项目的一个重要专题的成果，完成于 1985 年。该成果作为项目的核心由于在理论上创新开拓、在生产上为开辟我国煤成气勘探新领域提供科学依据，实现了我国“六五”探明天然气储量比“五五”的翻一番，因此，1987 年获得国家科技进步一等奖。由于种种原因，该成果当时未正式出版。16 年后的今天，实践证明其有重要的创新性和科学的预测性。

该项成果的重要创新性是阐述了煤系成烃的总规律以气为主、以油为辅，即使在长焰煤至前焦煤（相当于生油窗）阶段也以成气为主、成油为辅，而且油又以轻质油和凝析油为主，发展和完善了煤成烃理论。腐殖型有机质整个成烃过程以成气为主，腐泥型有机质在未成熟和过熟阶段以成气为主，在生油窗阶段以成油为主，成气为辅。两类有机质成烃模式是不同的。煤系以腐殖型有机质为主，因而应以成气为主，成油为辅。22 年勘探煤成气，使我国探明天然气储量中 61% 是煤成气，这是这一学术观点的有力证明。

仔细阅读本书，可以清晰看出该项成果科学的预测性。如今我国探明储量 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上的最大的 5 个大气田，均在 16 年前该项成果确定的预测区内，当时就指出了位置、气的类型（煤成气）和主要目的层埋藏深度。例如，从图 3-10 和图 3-40 可以看到当时对远景区的预测；在文字评述鄂尔多斯盆地中指出“鄂托克旗-乌审旗-榆林一带”、“定边、安边、靖边至绥德一带”主要目的层埋深“3000~5000m”和“3000~4000m”。从地理位置、气的类型和目的层深度在 16 年前提出预测而今天已被勘探完全证实。

该项成果今日出版已成为 16 年来煤成气勘探史实，证明了煤成气理论的重要性和实践的意义。当煤成气理论在我国出现时，煤成气储量不足全国天然气储量的 1/10，而今天占 6/10；那时没有大气田，而现今发现了 21 个大气田，其中 7 个最大的都是煤成气田。这些均说明要检验一个地质理论正确与否及其实践意义要用较长时间。

在《我国煤系的气油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价》一书出版之前，我看到了戴金星院士等的原稿。读后深感他们关于煤成气的理论经受了时间的考验，已经结出了重大经济社会效益的果实，真是可喜可贺。现在这本书即将出版，这是一本煤成气（烃）理论的重要专著。尽管是 16 年后才正式出版，但今天还不失其理论和实践意义，推荐有关专业人员读一读，定会受益匪浅。

孫 枢

序 二

《我国煤系的气油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价》这本著作是“六五”国家科技攻关项目“煤成气的开发研究”的核心专题成果之一。经过近 20 年的不断研究和勘探实践检验，证明它所提出的学术观点是正确的，指出的有利勘探地区中有的已发现大气田，这是一项学术水平很高、有很好生产指导价值的科研成果。今天付之正式出版，对煤成气的理论研究、我国煤成气资源评价，以及在扩大我国天然气勘探新领域会起到积极作用。

该书在我国最先系统地总结出煤系地层气油的生成和演化的地球化学特征。当时提出的煤成气鉴别标志和煤气发生率参数被广泛应用至今。该书系统总结出中国已发现的煤成气藏类型、形成条件与富集因素，特别是对我国主要含煤盆地的煤成气资源前景和勘探方向作了全面的评价和预测，其中一些有利地区现已发现大气田。如鄂尔多斯盆地，在 80 年代以前以找油为主。本书作者戴金星院士通过煤成气研究，指出该盆地煤成气勘探的良好前景。在本书中，又进一步具体预测了最有利的勘探区。又如本书中预测的库车地区克依构造带等有利勘探区，现都已发现大气田。所以，本书正式出版，对我国天然气勘探工作有重要的指导意义。

20 世纪 70 年代，我国石油地质家对煤成气还不很了解，只有少数学者开展专门研究。1987 年第一次全国油气评价预测时，曾预测我国煤成气的资源量有 $10.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，当时对此还有不同认识和疑虑。经过近 20 年的研究和勘探，目前煤成气已被广大石油地质家所重视，对煤成气的理论认识也有了新的发展，煤成气已成为我国重要的天然气资源之一，列入我国天然气开发规划。本书出版的主要含义，还在于石油地质学和油气勘探工作的发展需要创新，要不断发展新理论，提出新思路，开阔新领域，我国的石油、天然气事业才能不断发展。



2001. 11. 7

正式出版前言

近年来，我国天然气勘探捷报频传。绿色能源天然气离生活越来越近，对环境的改善作用越来越大，受到国家的重视越来越多。今年元月 21 日《人民日报》以“内蒙古发现特大型气田”为题报导：苏里格特大型气田目前已探明储量 $2204 \times 10^8 \text{m}^3$ ，地质储量规模达 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上，并附有该气田的位置示意图。作为从事天然气研究和勘探 30 年的我，被此惊人消息陶醉、鼓舞，反覆几次阅读报导，仔细观察气田位置图。苏里格气田位置示意图特别引起我的注目和回忆。记得 16 年前我国第一批国家重点科技攻关项目之一“煤成气的开发研究”快要结题验收了，笔者和戚厚发负责的“我国煤系的气、油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价”专题要对主要含煤盆地进行资源评价，其中鄂尔多斯盆地是排在第一个要重点评价的，大家特别认真和仔细，共同讨论勘探有利区，反复推敲排比，最后选出 3 个地质勘探重点区，即一竖一横一块（图 3-10）。凭着记忆觉得“一竖”位置与《人民日报》上苏里格特大型气田位置示意图相当。为此，我再次阅读 1985 年 11 月内部印刷的“我国煤系的气、油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价”报告，把其中图 3-10 与《人民日报》示意图作了对比，确实，当时预测“一竖”的地质勘探重点区范围北起乌审旗、南至靖边，不仅包括目前发现的苏里格特大型气田，还囊括了乌审旗大气田和靖边（中部）大气田的大部分。还记得去年在塔里木盆地发现对“西气东输”工程起推动和促进作用的克拉 2 大气田后，我也查对过克拉 2 大气田的位置，证明该专题作过科学的预测（图 3-40）。

十六年时间对于天然气勘探并不短暂。“煤成气的开发研究”项目的核心专题之一的“我国煤系的气、油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价”，十六年间得到了实践的证实，说明此项研究对于天然气勘探具有重要的指导意义。同时，该成果中有关煤系成烃以气为主，以油为辅和煤成气鉴别的系列指标诸成果，实践检验有重要理论意义。为此，我和该专题的主要人员戚厚发、王少昌和宋岩教授商量，是否正式出版该成果，大家一致同意。同时商定保持原有风貌，书名、内容均按原专题报告。笔者与戚厚发对报告又进行了审校，仅对原排版（铅字排版）个别文字和数字的错误、个别图件中细小漏错作了修改，把参考文献原为文献顺序码改为目前书籍要求的直接引用法。

参加该专题的研究人员除作者们外，还有甘利灯、张志伟和傅金华；参加单位除上述人员单位外，还有四川石油管理局、华北石油管理局、河南石油勘探开发公司、石油工业部石油地球物理勘探局、南海西部石油公司和安徽省石油勘探公司。

希望本书的正式出版，能为我国快速发展的天然气工业添砖加瓦、再起微薄的作用，并祝愿我国早日成为天然气大国。

戴金星

2001 年 11 月 1 日于北京

前 言

煤成气是天然气的重要组成部分，也是我国天然气勘探潜力很大的新领域。

我国专题性的煤成气研究工作始于 1978 年，石油工业部石油勘探开发科学研究院较早地开展了这项在我国油气勘探史上具有重要意义的科研工作。与此同时，四川石油管理局与中原油田也于 1978—1979 年先后开始了地区性煤成气研究，从 1980 年开始，石油工业部许多单位展开煤成气研究、资源评价和有目的的勘探工作。

本世纪 40 年代，德国学者就提出煤系能生成天然气，并可能形成气田，又以此观点进行勘探。五六十年代，苏联和澳大利亚对煤系展开资源评价，指出煤系是好的气源岩，同时应用这些成果去勘探，获得了较好的效果。过去，我国部分学者也曾注意到煤油共生与煤系中的油气显示，但未进行系统深入地研究，而一些石油地质学家曾认为煤系不是烃源岩，不能作为油气勘探的对象。1978 年至 1979 年初，笔者综合我国在过去油气勘探与煤田勘探中获得的大量资料，发现我国煤系中普遍存在油气显示，并见到了工业性油气流和气田，因此，提出了煤系也是油气源岩，但煤系的特征是成气为主，在一定条件下也可形成少量煤成油。同时指出四川盆地、鄂尔多斯盆地、华北盆地、准噶尔盆地和楚雄盆地是我国勘探煤成气的有利地区。这些研究工作对我国煤成气的研究、资源评价与勘探作出了贡献。

1981 年开始，国家计委、经委和科委多次召开了研究加速发展我国天然气可行性的座谈会，在会上我们提供了大量论证材料与报告。1981 年底，石油工业部提出了由石油勘探开发科学研究院编写“煤成气概况”，建议开展我国煤成气的勘探，受到了党和国家领导人的重视。1983 年中期国家决定把“煤成气的开发研究”列入“六五”期间 38 项重点科技攻关项目之一，石油工业部、地质矿产部、煤炭部、中国科学院所属有关单位分别承担了该项目的任务。从此，我国规模较大的煤成气研究和勘探工作展开了。

煤成气是腐殖型含煤地层（以下简称为含煤地层，若为腐泥型含煤地层则不简称）在成煤作用中形成的天然气之简称。形成煤成气的母质，既包括煤层和泥炭，也包括煤系泥质岩中以腐殖型为主的分散有机物。由于其生气母质是腐殖型的，故也有称之为腐殖气，近来还有称其为“煤系气”和“煤型气”，这些名称基本上是同义词。

煤成气在世界和一些国家天然气工业中起着举足轻重的作用。至本世纪 80 年代初，世界上探明天然气储量在 $1 \times 10^{12} \text{m}^3$ 以上的 14 个超大型气田中煤成气气田有 8 个，其气储量共计 $24.86 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，约占 14 个超大型气田总储量的 62%。一些含煤盆地发育、煤炭资源丰富的国家，煤成气在天然气工业中显示出重要的作用。苏联有大约 65% 的天然气资源与含煤地层有关；中欧盆地西部的荷兰和联邦德国探明天然气的储量中煤成气分别占 90% 以上和 93%；煤成气藏盆地占全国沉积盆地三分之一的澳大利亚，1983 年天然气产量中煤成气占 90%。

我国煤炭资源丰富，含煤地层分布面积大，多旋回的隐埋大型含煤盆地多等有利条件，为煤成气的形成与富集提供了良好的地质基础，预示了我国煤成气资源的巨大潜力。为了改变我国长期以来油气储量和产量比例的不合理，改变天然气储量与产量落后的局面，加强煤成气研究、勘探与开发是重要的一环。因此，国家把“煤成气的开发研究”作为重大科技攻关项目，是及时和非常必要的。

目前，石油工业部担任煤成气专题研究和资源评价的有 10 个单位（比与国家签订合同的单位增加了三个），投入了大量的研究力量。三年来，在勘探方面，投入钻井 88 个台/年，地震队 107 个队/年，采用三维地震、横波地震、亮点技术，与优选参数钻井等先进勘探手

段、方法与新工艺，在 8 个盆地（四川、华北、鄂尔多斯、松辽、琼东南、苏北、准噶尔和楚雄）开展煤成气勘探，使煤成气储量不断增长。

1983—1985 年三年攻关期内，发现与证实了 12 个煤成气藏（田）和 4 个含气构造，探明与证实新的煤成气地质储量 $1335 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，使煤成气勘探有了重大突破，并且是我国历来天然气勘探中取得最好勘探效果的时期。其中探明的我国目前最大的气田——崖 13-1 煤成气田，含气面积 53.87 km^2 ，煤成气地质储量 $911.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。苏桥煤成油气田的发现，为向北京供输天然气提供了资源保证，为改变首都民用燃料结构和美化首都环境将起一定的作用。

在“煤成气的开发研究”中，我们担任“我国煤系的气、油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价”专题（合同编号：18-1-14）。任务是：①我国煤系气、油生成的地球化学特征，包括确定煤系气、油生成演化的地球化学特征，提出测定煤成气和油型气的一些鉴别标准，系统测定煤气发生率；②我国主要煤成气盆地气藏形成条件及资源评价。

根据任务的要求，三年来，共取了 930 个岩样和煤样、572 个气样、149 个油样，进行了有机碳、氯仿抽提物及其族组分、红外光谱、气相色谱、质谱、热解色谱、干酪根、元素组成、煤岩组分鉴定、煤岩组分分离、荧光光谱，碳同位素、X 衍射、电子扫描，电子探针、常规气组分、天然气汞含量、压汞试验、渗透率、孔隙度、孔隙结构、煤与煤系泥岩热模拟试验、阴极发光等 29 个项目的实验分析，同时利用了大量钻井和野外地质资料与地震成果，在 4.5 万多个化验数据的基础上，进行了综合归纳，并且应用计算机对部分地球化学数据处理、作图与进行资源量预测（300 机时）。

本报告第一章大部分分析资料与成果是由石油工业部石油勘探开发科学研究院完成的，第二、第三章主要综合了有关油田，特别是四川石油管理局、长庆油田、中原油田和华北油田大量实际资料和成果。

主要研究成果与认识：

1. 从 10 个方面研究了我国煤、煤系泥岩及其烃类有机地球化学特征，及其随成煤作用加深而变化的某些规律性。这样较全面广泛地研究煤系及其烃类有关的有机地球化学特征，在国内尚属开始，它将对我国煤系烃类有机地球化学形成和发展起一定作用。

2. 根据大量实测 $\delta^{13}\text{C}_1$ 和 R_o 组成资料，综合研究导出了我国的煤成气 ($\delta^{13}\text{C}_1 = 14.1254 \lg R_o - 34.3922$) 和油型气 ($\delta^{13}\text{C}_1 = 15.8015 \lg R_o - 42.2061$) $\delta^{13}\text{C}_1 - R_o$ 关系回归方程，这个定量指标为较可靠鉴定我国煤成气提供了一个重要基础。

3. 提出了一套鉴别煤成气的综合指标。比国外一般仅从天然气组分及其有关同位素研究寻找鉴别指标有了很大发展。1983 年我们初步提出要把气源岩及其衍生物作为一个有机整体研究，寻找鉴别指标，从而扩大了指标项目和范畴。经过几年研究与完善，提出了 $\delta^{13}\text{C}_1 - R_o$ 、 $\delta^{13}\text{C}_1 - \delta^{13}\text{C}_2 - \delta^{13}\text{C}_3$ 组合关系，气源岩及其衍生物碳同位素系列对比，气源岩 R_o 为 0.5% ~ 1.35% 阶段内油气产量能量比，低成熟度凝析油与凝析油及其族组分碳同位素等 8 个组合性指标，这是鉴别煤成气的重要综合指标。

4. 用大量煤和煤系泥岩，以不同试验装置取得了大量数据，归纳出来了全煤和煤系泥岩的煤气发生率和泥岩产气率，为我国含煤盆地资源评价提供了一项重要参数。

5. 对我国煤成气藏的类型、形成条件和富气特征进行了研究，这将有助于提高我国煤成气藏的勘探效率。同时对我国主要含煤盆地煤成气资源进行预测和评价，就 11 个盆地评价成果，资源量达 $11.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ （中值）；与此同时指出了勘探煤成气 11 个有利区带，这些工作为探明更多的煤成气储量不仅提供了理论依据并指出了方向。

目 录

第一章 煤成气的地质地球化学基础·····	(1)
第一节 我国含煤地层发育概况·····	(1)
第二节 含煤地层有机地球化学特征·····	(4)
第三节 煤成气地球化学特征·····	(20)
第四节 煤成油地球化学特征·····	(29)
第五节 煤和煤系泥岩热模拟实验·····	(36)
第六节 鉴别煤成气的指标·····	(45)
第七节 煤系有机质成烃机制及模式·····	(62)
第二章 我国煤成气藏类型、形成和富集·····	(66)
第一节 我国煤成气藏类型和重要气藏(田)剖析·····	(67)
第二节 我国煤成气藏的形成和富集·····	(81)
第三章 我国主要含煤盆地煤成气资源评价·····	(86)
第一节 区域煤成气资源量计算方法·····	(86)
第二节 主要含煤盆地煤成气资源评价·····	(89)
第三节 主要含煤盆地煤成气远景排队及重点探区的选择·····	(151)
第四章 关于“七五”期间煤成气勘探和研究工作的建议·····	(155)
后记·····	(157)
参考文献·····	(158)

**Geochemical Features of Hydrocarbon from Coal – measure,
Formation and Resource Evaluation of Coal – formed Gas Reservoir
in China**
Dai Jinxing Qi Houfa et al.
Contents

Preface1

Preface2

Introduction for publishing

Introduction

Chapter 1 General geology and geochemistry of coal-formed gas

1 Development of coal-bearing strata in China

2 Organic geochemical characteristics of coal-bearing strata

3 Geochemical characteristics of coal-formed gas

4 Geochemical characteristics of coal-formed oil

5 Thermal simulation of coal and mudstone from coal-measure

6 Indices for distinguishing coal-formed gas

7 Mechanics and model of hydrocarbon generation of organic matter in coal – measure

Chapter 2 Classification formation and occurrence of coal-formed gas reservoirs in China

1 Classification and case study of coal-formed gas reservoirs

2 Formation and occurrence of coal-formed gas reservoirs

Chapter 3 Resource evaluation of coal-formed gas in the main coal-bearing basins in China

1 Evaluation method of regional resource of coal-formed gas

2 Resource evaluation of coal-formed gas in main coal-bearing basins

3 Prospect and focal target of coal-formed gas in main coal-bearing basins

Chapter 4 Proposal concerning the study on coal-formed gas exploration in the seventh five-year-plan

Postscript

Conferences

第一章 煤成气的地质地球化学基础

第一节 我国含煤地层发育概况

关于我国含煤地层的分布面积，各家评价角度不同，数据不一。煤炭工业部地质局(1982)认为，具有远景的含煤面积约 $90 \times 10^4 \text{km}^2$ ；地质矿产部石油地质研究所统计我国陆地、大陆架上 20 个面积大于 $1 \times 10^4 \text{km}^2$ 的含煤盆地面积总计 $115 \times 10^4 \text{km}^2$ ；据我们统计，我国陆上有 40 个面积大于 $1 \times 10^4 \text{km}^2$ 的含煤盆地，其中 10 个经资源评价的总面积为 $104 \times 10^4 \text{km}^2$ 。按煤炭资源，我国已探明煤储量 $7900 \times 10^8 \text{t}$ ，位居世界前列，煤炭部预测深度小于 2000m 煤的储量为 $44927 \times 10^8 \text{t}$ ^①。尤其重要的是，我国成煤期多，大型隐伏含煤盆地多，且煤系厚度大。所有这些构成了我国煤成气资源的坚实基础，为煤成气勘探研究工作提供了非常广阔的领域。

我国地质历史中，除泥盆纪前腐泥煤（石煤）外，腐殖煤有八个成煤期（图 1-1），以下分别按成煤期作一简述（叶连俊等，1983；王鸿祯，1979）。

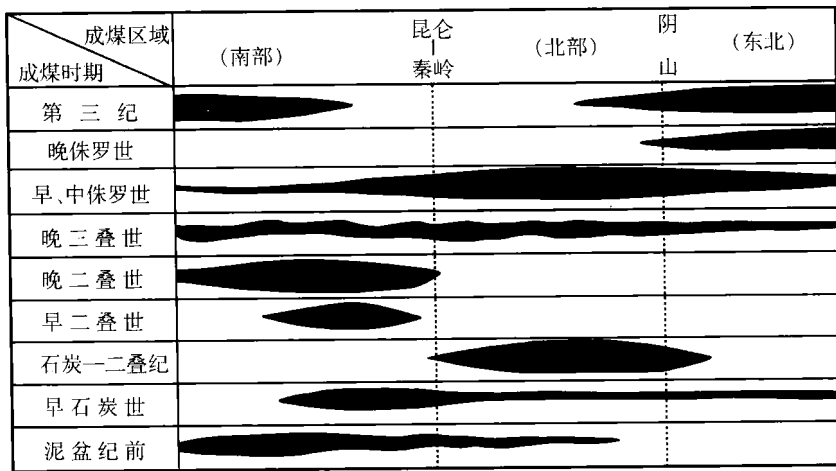


图 1-1 中国成煤时期一区域分布示意图

一、早石炭世含煤地层

早石炭世含煤地层主要分布在我国南方。早石炭世晚期，短暂的海侵在雪峰、江南、武夷、华夏古陆边缘滨海地带形成海陆交替相的含煤建造，厚 26 ~ 220m，广泛分布于滇东（万寿山段）、黔南（旧司组）、桂北（寺门段）、湘中、粤北、赣西（测水组）、浙西（叶家塘组）等地，而粤东（忠信组）、闽西（林地组）、赣东北、鄂南及苏皖南部一带（高骊山组）含煤性差。

此外，武汉—松兹一带、陕西商县—山阳一带、四川龙门山区、甘肃、青海、新疆广大

① 煤炭工业部，1981，中华人民共和国煤田预测说明书。

范围内也有零星分布。

二、石炭一二叠纪含煤地层

为我国北方重要的含煤地层，纵向上包括两个系、四个统。分布于昆仑—秦岭、天山—阴山两条巨型东西向古陆之间的广大地区。与其大致相同的中纬度带内，世界上不少地区在晚古生代也有成煤作用。该套煤系尽管各地岩性变化较大，但区域上基本可对比（表 1-1）。

表 1-1 中国北方石炭一二叠纪含煤地层划分对比表

系	统	华北	内蒙大青山	甘肃河西走廊
二叠系	上统	上石盒子组	上石叶湾组	窑沟群
	下统	下石盒子组	下石叶湾组	大黄沟组
		山西组	杂怀沟组	山西组
石炭系	上统	太原组	栓马桩组	太原组
	中统	本溪组		

中石炭世本溪组（羊虎沟群）：中石炭世沉积时华北地台是一个向东倾的海盆，乌兰格—庆阳古陆梁分隔了华北、祁连二海（图 1-2），分属两种不同沉积类型。

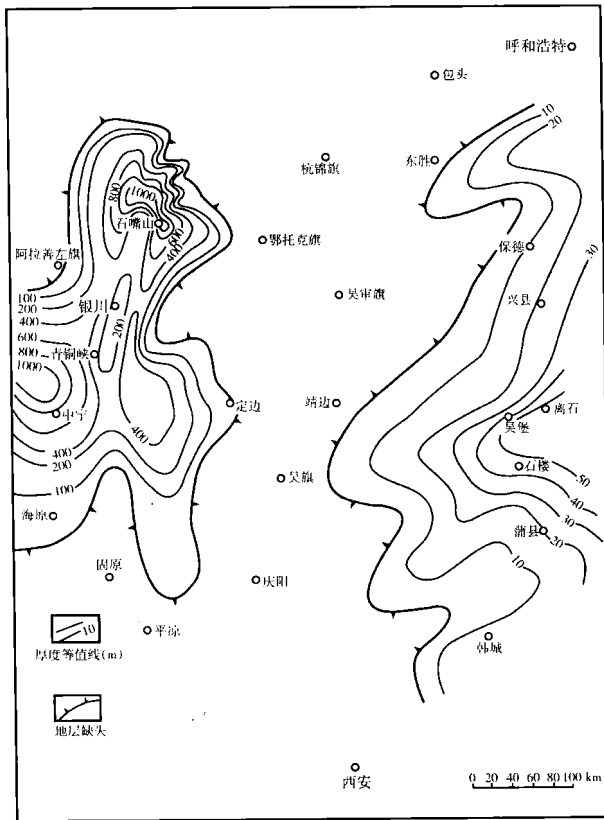


图 1-2 鄂尔多斯地区中石炭统厚度等值线图

不同的沉积环境。煤层北部层少而厚，南部层多而薄。当时乌兰格尔古陆梁已成水下隆起，但仍展现了华北晚石炭世北高南低、西隆东洼的构造格局。北部大青山南缘发育了栓马桩煤系（下部包括中石炭统上部沉积）。

东部华北海沉积了地台型海陆交替相含煤建造，称本溪组，以假整合或角度不整合覆于中奥陶统夷平面上，沉积受古地貌控制，围绕阴山、秦岭二古陆沉积较粗。在辽宁太子河地区沉积厚 145m，向西部减薄至 20m 以下，该组含煤性差，夹 1~3 层煤线。

西部祁连海沉积了羊虎沟群，属过渡型海湾—潟湖、滨浅海沼泽相含煤岩系，一般不整合于奥陶系、寒武系、震旦系之上，在宁夏地区乌达、韦洲及碱沟山等几个拗陷其厚度为 1000~2500m，含煤 5~20 层，在南北的秦岭、阴山古陆边缘厚度不足百米。由东向西区域性成煤期地层时代变老，在甘肃有臭牛沟组，在柴达木盆地北缘有克鲁克群，在准噶尔盆地卡拉岗组亦含煤。

晚石炭世太原组：为晚古生代的主要含煤地层，连续沉积于本溪组（羊虎沟群）之上。华北地区自北而南可分出滨海冲积平原、滨海平原及滨海浅海等几种不

西部乌达韦洲及甘肃天水附近沉积拗陷本组厚 400 ~ 700m。

二叠纪为过渡相到陆相成煤环境。下二叠统山西组连续沉积在太原组之上，在南北的秦岭、阴山古陆边缘超覆于老地层之上。沉积中心移至阴山古陆南缘形成聚煤拗陷，冲积平原相和河流沼泽相相互交替，形成的煤层厚度大、层数少、准噶尔旗、大同、京西煤层单层厚达 20m。华北地台东及东南二隅的复州湾、江苏西北一带，海水时进时退，煤系形成于潟湖、海湾环境，组成近东西向富煤带。山西组沉积厚度一般为 40 ~ 130m，最厚可达 160m。

早二叠世下石盒子组基本为陆相沉积。华北地台西北高、东南低，沉积了一套干旱环境下的碎屑岩含煤建造，仅在淮北宿县—涡阳一线以南局部地区有滨海三角洲相沉积环境。晚二叠世上石盒子组成煤环境南移至 34°30' 以南。本组厚度变化大，一般为 200 ~ 500 米，最厚可达 700m。

三、早二叠世含煤地层

早二叠世含煤建造主要分布在我国南方，有梁山组及童子岩组两套含煤地层。梁山组的分布范围大致在秦岭—大别山以南、岷山—贡嘎山—哀牢山以东、南盘江—衡山—幕阜山—黄山西北，遍布湘西、湖北、黔东（黔阳组）、鄂西（马鞍山组）、鄂东南（麻土坡组）、四川（铜矿溪组）、滇北（矿山段）、滇中（倒石头段）、皖南（牌楼组）、浙北（栖霞底部煤组）等十一个省区。

梁山组属海陆交替相含煤沉积，是沿武陵、江南、武夷、云开、华夏古陆边缘在海进序列中形成的，并以滨海相沉积为主，该组向上直接过渡为下二叠统栖霞组灰岩。在湘西、湘北，这套煤系一般由石英砂岩夹砂质页岩和煤层组成，其它地区一般由砂、页岩夹煤线或薄煤层组成。梁山组厚度一般为 20 ~ 30m，个别地区较厚，最厚可达 300m（黔滇交界及昆明北）。

四、晚二叠世含煤地层

在秦岭—大别山以及皖中、苏北以南各省区广泛分布有晚二叠世煤系。含煤层段为海陆交替相或近海陆相沉积，这套煤系区域上差别较大，可分为四个区。

东南区，包括安庆—南昌—长沙—桂林—凭祥一线以东地区。此区上二叠统有明显三分性：即上部长兴组、中部龙潭组主要含煤部分和下部文笔山组或龙潭组下部不含煤段。

鄂桂区，上二叠统为一套石灰岩，仅底部由铝土岩、角砾岩、粉砂岩、页岩及煤层组成。

川黔区，以灌县—营山—贵阳—丘北一线与鄂桂区分界。上部长兴组（大隆组）灰岩段厚度不大（几十米至百余米），下部龙潭组（吴家坪组）较厚（贵州织金附近厚 297m），由海陆交替相碎屑岩和煤层、薄层灰岩组成。

滇西区，在川黔、滇东叫宣威组，在滇西称墨泥哨组。含煤性一般较差，有些地方上部缺失长兴组。

五、晚三叠世含煤地层

中生代以来剧烈频繁的构造运动，把晚古生代巨型含煤盆地分割成一系列大、小不等的盆地。由华南经华北至东北，成煤期逐渐变新，依次为三叠世、早中侏罗世和晚侏罗世。

晚三叠世含煤地层分布于天山—阴山以南，大致以秦岭—昆仑山分界，沉积环境呈“南海北陆”分异。

秦岭—昆仑山以北地区，塔里木的塔里齐克组、准噶尔—吐鲁番的郝家沟组、鄂尔多斯的瓦窑堡组、吉林东部的北山组等，皆为山前湖盆或近海湖盆环境下形成的煤系。西厚东

薄, 200~2500m。秦岭—昆仑山之南, 湘赣的安源组、粤东北的良口群、闽浙的焦坑组和乌灶组、鄂西的沙镇溪组、四川的须家河组、云南的大养池组和干海子组、滇东黔西南的火把冲组和西藏东部的土门格拉组及巴贡群等皆形成于滨海—海湾—潟湖—海湾或滨海湖盆环境, 厚度为 125~1513m, 总的变化趋势是由西向东减薄。

六、早中侏罗世含煤地层

侏罗纪时, 由于晚三叠世印支运动引起的大规模海退, 使我国南部除台湾、湘粤一带早期有短暂的海侵外, 结束了南海北陆的局面。当时由于北半球潮湿气候带的北移, 成煤作用主要发生在西北和华北地区, 且以内陆山间盆地成煤为其特点。

按古构造、古地理特征, 侏罗纪含煤盆地可分为拗陷型和断陷型两种类型。拗陷型盆地主要分布于西北地区, 著名的有准噶尔、塔里木、吐鲁番、鄂尔多斯等大型含煤盆地, 煤系一般厚 400~1600m。断陷盆地主要分布在我国东部和东北地区, 含煤盆地面积一般较小, 煤系厚度一般为 1500~1700m。

七、晚侏罗世含煤地层

集中分布于内蒙东部和东北地区, 多为断陷型内陆山间盆地或山间谷地, 以盆地面积小、煤系厚度大为特征, 含煤建造主要在上侏罗统中上部位, 下部以火山岩建造为主, 仅在高部位有可采煤层。

主要有阜新、铁岭、海拉尔、伊兰伊通、元宝山、胜利等含煤盆地。

八、第三纪含煤地层

为我国主要含煤地层之一, 分布很不均衡, 陆上可分为南北两大含煤区。北区主要分布在华北吕梁山以东和东北地区, 其中大兴安岭以东地区最发育, 成煤期以早第三纪为主。南区主要分布在西南、华南南部、西藏和台湾, 成煤期主要在晚第三纪。此外, 我国大陆架上东海、南海也有含煤区带, 且是东亚第三系含煤带的一部分。

显然, 各成煤期发育强弱、煤系的空间分布格局、煤系厚薄、岩相变化特征与其埋藏及侵蚀程度, 对煤成气资源评价、勘探地区选择和煤成气藏形成及富集条件均有重要的意义。

第二节 含煤地层有机地球化学特征

含煤地层含有丰富的与一般(正常)生油岩迥然不同的有机母质, 对其研究还较薄弱。为了获得含煤地层生烃特征和生烃潜力如何的信息, 我们先后在 16 个省区三十多个煤矿(阳泉、抚顺、唐山、焦作、石嘴山、铜川、丰城、中梁山等)和任丘、东濮、大港、胜利、长庆、四川、云南、松辽、新疆、琼东南和柴达木油气田分布区或盆地采集大量煤、岩样品和油气样品, 分别进行了 29 项分析测定。在上述分析获得大量实际资料的基础上, 经过综合研究, 对含煤地层原始有机质组成、地球化学特征和生气机理有了较为系统的认识, 并证实它具有较大的生气潜力, 成煤作用中期可形成适量的煤成油。

一、有机质丰度高, 生油潜力低

1. 有机碳

据实验数据统计, 煤系有机碳含量普遍较高。煤一般在 60%~80%, 如鄂尔多斯盆地石炭—二叠系煤为 27.38%~79.75%, 平均为 64.11%; 华北盆地石炭—二叠系煤为 24.16%~99.02%, 平均为 66.3%。煤系中暗色泥岩有机碳含量平均在 1.5%~3%之间, 如鄂尔多斯盆地和华北盆地石炭—二叠系煤系中暗色泥岩有机碳含量分别为 1.83%和 1.94% (表 1-2)。

表 1-2 我国煤系有机质丰度及转化系数表

地区	层位	岩性	有机碳 (%)	氯仿沥青“A” (%)	氯仿沥青“A” / 有机碳 (mg/g)	烃/有机碳 (mg/g)
东濮凹陷	沙河街组	生油岩	1.2	0.14	117	64.4
华北盆地	石炭 — 二叠系	煤	$\frac{24.16 \sim 99.02^{\text{①}}}{66.3 (31)}$	$\frac{0.0055 \sim 3.7846}{1.26 (22)}$	19.0	4.54
		暗色泥岩	$\frac{0.05 \sim 21.3}{1.94 (343)}$	$\frac{0.0011 \sim 0.6058}{0.0664 (115)}$	34.2	15.3
鄂尔多斯盆地	石炭 — 二叠系	煤	$\frac{27.38 \sim 79.75}{64.11 (68)}$	$\frac{0.8204 \sim 1.2847}{1.1037 (32)}$	17.2	5.08
		暗色泥岩	$\frac{1.37 \sim 2.07}{1.83 (197)}$	$\frac{0.0378 \sim 0.0964}{0.0775 (228)}$	42.3	17.0
四川盆地	香溪群	煤		$\frac{0.168 \sim 1.431}{0.571 (18)}$		
		暗色泥岩	$\frac{0.05 \sim 10.064}{1.588 (554)}$	$\frac{0.005 \sim 0.495}{0.0914 (226)}$	47.8	21.4
琼东南盆地	下第三系	煤	35.48 (4)	1.261 (2)	35.5	19.2
		暗色泥岩	$\frac{0.34 \sim 3.30}{1.26 (104)}$	$\frac{0.0432 \sim 0.1908}{0.059 (31)}$	46.8	28.56
兖州	山西组	煤	60.03	3.3931	56	8.3
湖南	龙潭组	煤	69.76	0.4338	6.2	1.2

①分子为范围值，分母为平均值，括号内为样品数。

煤中有机碳丰度除了受原始沉积因素影响外，也与煤的变质程度密切相关。随煤的变质程度增加，其有机质芳核缩聚程度逐渐增高，碳的富集程度也相应增高，因而，反映在有机碳含量上，可由泥炭的 20% 以下增高到无烟煤的 80% ~ 90% 左右。

2. 氯仿沥青“A”

煤系中氯仿抽提物含量变化较大，暗色泥岩为 0.0011% ~ 0.6058%；煤为 0.01% ~ 7% (浙江长兴东风岭煤矿氯仿沥青“A”为 7.1683%)。随着成煤作用的加深，煤的氯仿沥青“A”含量有从小变大复而变小的特征。褐煤其含量较低，中变质程度的煤种如气煤—肥煤，常常有较高的氯仿沥青“A”含量，在 1% ~ 3.5% 范围内，约为正常生油岩的 10 ~ 30 倍。随着变质程度的继续增高，其含量开始递减 (图 1-3)。

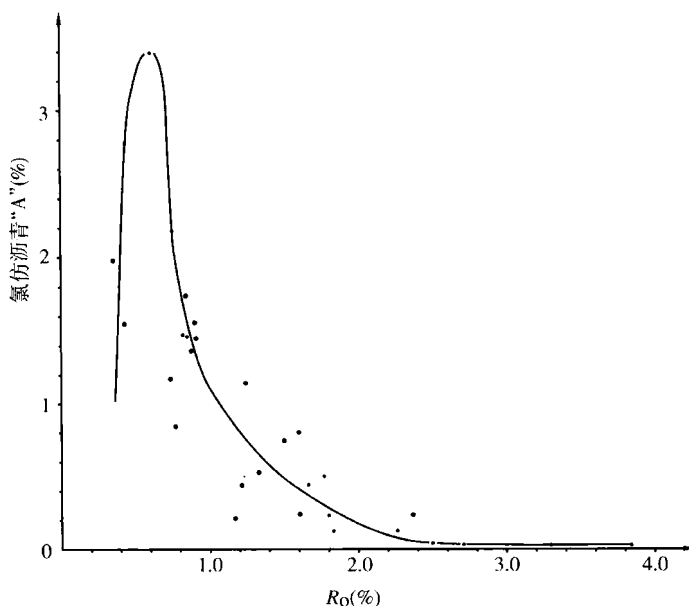


图 1-3 煤中氯仿沥青“A”含量与 R 关系图

3. 生油效率

一般常用单位有机碳的氯仿沥青“A”含量(氯仿沥青“A”/有机碳)和烃转化率(烃/有机碳)表示母岩有机质向烃类转化的程度。在地质条件下,由于初期生成的烃分子与母质的亲和能力,不能脱离母体而运移出来,被吸附在有机母质的表面。随着烃分子的继续生成和逐渐积累,当达到一定的成熟度时,才可能发生初次运移。

我国陆相生油岩下限标准约为每克有机碳 40mg 氯仿沥青“A”和 20mg 烃(黄第藩, 1982)。T.G. 鲍威尔(1978)、麦考利夫(1979)等人实验确定的门限值大约为每克有机碳 20~30mg 烃。他们实测了世界一些地区石炭—二叠系煤的产烃能力,每克有机碳的产烃率经常低于 10mg,很少超过 20mg^①。从表 1-2 可以看出,我国石炭—二叠系煤的氯仿沥青“A”/有机碳为 6.2~56mg/g,许多在 20mg/g 以下;烃/有机碳在 1.2~19.2mg/g;暗色泥岩的氯仿沥青“A”/有机碳在 34.2~47.8mg/g,烃/有机碳在 15.3~28.56mg/g,一般都不够差生油岩的指标范围。即是说,尽管煤系有机质含量较高,但其向石油的转化能力一般却很差。这是由于煤系有机质的内部结构不同于一般生油岩,它是由带有短侧链的芳核结构组成,这就决定了煤系有机质在热降解过程中主要生成小分子的烃类物质,而生成很少量的液态烃。

二、族组分以沥青质为主

从表 1-3 煤系氯仿沥青“A”族组分测定结果可看出下列特点。

表 1-3 我国煤系氯仿沥青“A”族组分数据表

地区和煤系 煤系样品	族组分	层位	饱和烃 (%)	芳香烃 (%)	非烃 (%)	沥青质 (%)	饱和烃/ 芳香烃	沥青质/ 非烃	非烃+沥青质/ 总烃
华北	煤	C—P	1.65 ~ 21.42 7.67 (14)	4.94 ~ 24.02 16.23 (14)	9.18 ~ 33.73 20.54 (14)	37.52 ~ 35.80 55.56 (14)	0.47 (14)	2.70 (14)	3.18 (14)
		泥岩	C—P	5.67 ~ 53.27 21.87 (35)	4.39 ~ 50.94 20.04 (35)	9.89 ~ 48.81 29.48 (35)	7.92 ~ 71.55 28.61 (35)	1.09 (35)	0.97 (35)
鄂尔多斯	煤	C—P	2.05 ~ 23.18 6.45 (25)	11.15 ~ 33.11 23.04 (25)	30.13 ~ 69.66 49.52 (25)	9.90 ~ 31.34 21.0 (25)	0.28 (25)	0.42 (25)	2.4 (25)
		泥岩	C—P	3.15 ~ 53.79 18.5 (112)	4.10 ~ 37.69 21.6 (112)	7.96 ~ 62.75 38.9 (112)	2.25 ~ 51.23 21.0 (112)	0.86 (112)	0.54 (112)
四川	煤	香溪群	6.75 ~ 26.55 14.39 (16)	12.08 ~ 30.88 23.08 (16)	4.64 ~ 33.1 16.76 (16)	36.05 ~ 64.43 45.1 (16)	0.62 (16)	2.60 (16)	1.65 (16)
		泥岩	香溪群	1.68 ~ 57.08 16.89 (410)	1.03 ~ 38.41 20.34 (410)	4.26 ~ 61.2 20.44 (410)	3.75 ~ 76.21 42.58 (410)	0.83 (410)	2.08 (410)
黔东南	煤	崖城组	22.0 (1)	32.0 (1)	16.0 (1)	30.0 (1)	0.68 (1)	1.88 (1)	0.85 (1)
		泥岩	33.0 ~ 49.0 39.0 (3)	16.0 ~ 27.0 22.0 (3)	18.0 ~ 26.0 22.0 (3)	9.0 ~ 22.0 17.0 (3)	17.7 (3)	0.77 (3)	0.63 (3)
浙江 江西 湖北	煤	龙潭组	8.07	12.16	20.16	53.64	0.66	0.38	3.65
		乐平煤系	2.08	9.49	20.02	60.49	0.21	0.33	6.96
山西 云南 太原 西山	煤	山西组	4.64	8.18	18.94	63.48	0.57	0.30	6.43
		一平浪组	6.98	3.68	8.81	71.80	1.89	0.12	7.56
		太原组	1.71	9.02	13.85	73.28	0.19	0.19	8.12

①饱和烃含量低。煤的饱和烃含量变化为 1.71%~22.0%,一般低于 10%,暗色泥岩的为 16.89%~39.0%。

① T.G. 鲍威尔,陆相有机质生烃概念的发展,北京国际石油地质会议,1984年9月。

②芳香烃含量相对较高。煤为 3.68% ~ 32.0%，绝大多数大于 10%，暗色泥岩为 20.04% ~ 22.0%。饱和烃/芳香烃，煤的为 0.19% ~ 1.89%，绝大多数小于 0.7%，暗色泥岩的为 0.83% ~ 1.77%，而一般生油岩的饱和烃/芳香烃则大于 4，与煤系的差别十分明显。

③煤和暗色泥岩的非烃含量在 8.81% ~ 49.52%之间，与正常生油岩中的非烃含量相近。

④沥青质含量高，一般在 50% 以上。煤的在 21.0% ~ 73.28%之间，暗色泥岩在 17.0% ~ 42.58%之间。

根据不同变质程度的煤样分析数据做出族组分与其演化程度关系图（图 1-4）。从该图可以看出，无论煤的变质程度如何，其氯仿沥青“*A*”各族组分含量基本具有这样一个规律，即：沥青质 > 非烃 > 芳香烃 > 饱和烃。

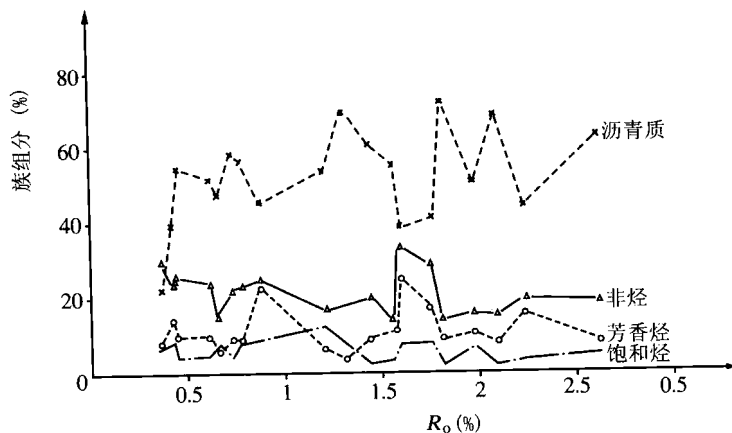


图 1-4 煤的氯仿沥青“*A*”族组分与其演化程度关系图

由此看来，煤系与正常生油岩的氯仿沥青“*A*”族组分具有完全不同的特点。煤系以高含沥青质为特点，正常生油岩以高含饱和烃为特点。从氯仿沥青“*A*”族组分三角图上（图 1-5

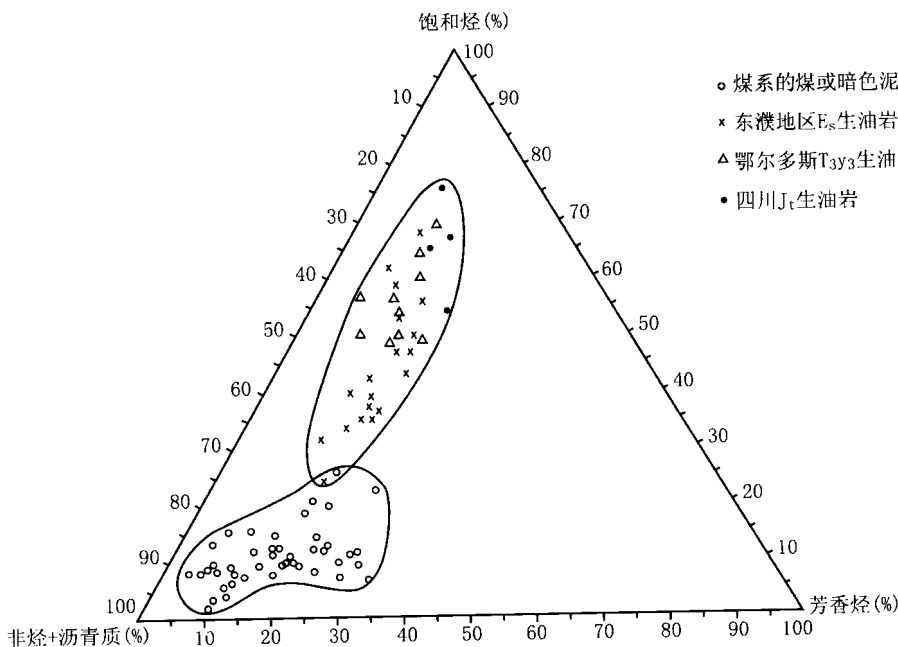


图 1-5 氯仿沥青“*A*”族组分三角图