中国的煤层甲烷



COALBED METHANE IN CHINA

封面设计　徐秦生
责任编辑　蒋辉民

ISBN 7-5369-1179-3/TD·8
定　价：620元

中国的煤层甲烷

张新民　张遂安　钟玲文
朱兆英　李　静　吕志发
编　著

陕西科学技术出版社

内 容 提 要

煤层甲烷是一种重要的能源及化工原料资源。本书深入阐述了煤层甲烷形成的主要条件，对中国煤层甲烷的赋存特征做了规律概括，并根据国内外发展状况及对全国甲烷资源量进行统一计算的成果，探讨了中国煤层甲烷的开发前景。

本书可供煤炭、石油天然气、地质矿产系统从事煤成气、煤田地质、矿井瓦斯地质等方面的研究、生产人员及有关院校的师生参考。

中国的煤层甲烷

张新民　张遂安　钟玲文
朱兆英　李　静　吕志发　编著

陕西科学技术出版社出版发行
（西安北大街131号）
煤炭科学研究总院西安分院印刷厂印刷
787×1092毫米　16开本　9.5印张　8插页　22万字
1991年12月第1版　1991年12月第1次印刷
印数：1—1,000
ISBN　7-5369-1179-3／TD·8
定　价：6.20元

前　言

煤层甲烷（我国又称煤层瓦斯，煤层气）是一种赋存于煤层及其邻近岩层之中的自生自储式的天然气．长期以来，天然气勘探工作者仅将煤层看作天然气的一种重要生气源岩，他们的目标只是寻找位于煤层之上的砂岩等常规储集岩中的煤成气；另一方面，煤层甲烷伴随着煤层的开采不断涌入煤矿坑道及向大气逸散，常常危及矿井安全和污染空气，因而被视为灾害．但是，在当今世界上，对煤层甲烷这种非常规天然气资源的看法，正发生着根本的观念性变化．许多工业发达国家不再单纯将瓦斯看作灾害，而看成是一种宝贵的能源资源．特别是在世界性能源危机冲击之后，这种观念上的转变更加明显．如苏联等国已将煤矿床看作"煤—甲烷"矿床，把甲烷视同煤一样进行开发利用；美国则已在地面以类似于常规天然气的方式开采煤层甲烷，将其输入天然气管道网出售，并逐渐形成了介于常规天然气工业和煤炭工业之间的工业门类—煤层甲烷工业．

我国是一个煤炭资源大国，煤系、煤层分布面积广泛，煤炭储量十分丰富，据有关资料①，全国煤炭资源总量为 50479.26×10^8t．丰富的煤炭资源中，蕴藏着非常可观的煤层甲烷．据测算，全国在埋深 2000m 以浅范围内，拥有的煤层甲烷总资源量约为 $30\sim35\times10^{12}m^3$，是全国煤成气资源量的 3 倍．另外，我国有 48%左右的煤矿矿井属高沼和煤与瓦斯（主要成分为甲烷）突出矿井，煤层甲烷成为影响矿井安全和煤炭生产的严重障碍．为解决安全问题，部分煤矿进行了瓦斯抽放利用．据统计资料，1987 年我国煤矿瓦斯抽放量为 $3.85\times10^8m^3$，居世界第 4 位；但相对煤炭产量而言，其抽出量的比例是极为低下的．

将丰富的煤层甲烷资源加以开发利用，不仅对改善我国能源结构、加速改变我国天然气工业的落后面貌，而且对减少煤矿瓦斯灾害和防止其对大气的污染，均具有重要意义．这一问题的现实性和迫切性已日益明显．

近年来，国家开始从资源角度重视对煤层甲烷的研究和利用，在"七五"国家科技攻关项目 54-01 中，列项对煤层甲烷资源开展专题研究，煤炭科学研究总院西安分院、淮南矿业学院和中国矿业大学参加这项研究工作．其中，"我国煤层甲烷的富集条件及资

① 《中国煤炭资源图集说明书》（送审稿），1985

源评价"专题，由煤炭科学研究总院西安分院承担．参加该专题研究的科研人员有：张新民、张遂安、钟玲文、朱兆英、李静、吕志发等6人；赵景斌、王强参加了早期的部分研究工作．

根据煤层甲烷的特性，科研人员从煤层甲烷的生成量、煤层的储集性能（孔隙度、吸附能力）、煤层顶底板的封闭能力、甲烷的水溶性能．后期构造运动对赋存条件的改造、煤层甲烷含量及其控制因素等方面入手，对一系列有关煤层甲烷生、储、保三个方面的基本条件，进行了系统分析研究，完成了大量试验、测试和典型矿区解剖工作．在此基础上，运用煤田地质学、天然气地质学、煤岩学、煤化学、构造地质学等多学科综合研究，提出了总的成果报告．

研究成果经54-01项目牵头单位---地质矿产部石油地质研究所组织，邀请地质、石油、煤炭系统的专家、学者，对成果进行了评审验收，受到很高的评价，质量被评为优秀．本书是在研究成果的基础上，结合专家评审意见进行了修改，并补充了某些新的内容后整理而成的．

本书主要对下述问题进行了较深入的系统论述．

1、通过对几个重点矿区的深入研究，不仅基本查明了影响各矿区煤层甲烷赋存的地质条件和甲烷富集状况及资源前景，面且对控制煤层甲烷含量变化的因素、甲烷可抽性研究方法、资源量计算及评价方法等，提供了典型实例，开拓了进一步研究的思路，起到了以点带面和指导面上工作的作用．

2、提出了煤层甲烷生、储能力类型的概念，根据煤的吸附能力和甲烷生成量的大小变化及其相对关系，在煤变质系列中将煤划分为少生中储、多生低储、多生高储、变生少储四种类型．煤的生、储能力类型不同，其含气性、甲烷抽放难易程度和矿井瓦斯涌出量等，均会有所区别．所有这些差异是煤化作用过程中煤有机质所发生的一系列物理、化学结构变化所造成的，具有深层次的内在原因．这种划分在理论上以及在煤层甲烷资源评价和矿井瓦斯预测等实用方面，均有重要意义．

3、在煤的吸附性能研究方面取得了实质性进展．①在全国范围内从褐煤到无烟煤按煤阶采样，系统进行等温高压吸附试验，试验样品涉及我国各主要聚煤期的不同煤岩特征的煤层，有较广泛的代表性．本项试验获得了一整套煤层甲烷吸附常数值，为煤层甲烷含量计算及资源评价提供了立足于我国自己煤样的系统实测数据，不仅满足了课题研究的需要，而且为进一步开展此项工作打下了基础．本项试验无论是系统性、代表性，还是实用性，在国内均属首例．②实验研究表明，煤对甲烷的吸附能力大小与煤变质程度不是呈单一正相关关系，而是呈复杂的折线关系．从长焰煤到肥煤，吸附能力随变质程度的增高面降低，至肥煤达到低谷；由肥煤至无烟煤2号，吸附能力随变质程度提高而增大，无烟煤2号的吸附能力，在整个变质系列中达到顶峰；随变质程度的进一步增高，煤的吸附能力急剧下降，无烟煤1号的吸附能力很低或基本不吸附．上述结论与国内外已报道的传统观点是不相同的．③通过对若干同一煤层中不同显微煤岩组分的煤样吸附试验结果的对比研究表明，各种煤岩组分的吸附能力是各不相同的，它们随煤化作用加深而变化的趋势也不相同．我们认为，在讨论显微煤岩组分对煤吸附能力的影响时，还须深入到亚组分一级进行分析，方能得出符合实际的认识．

4、系统的煤样压汞试验、电镜扫描、块煤光片观察表明：①煤的孔隙特征随煤变质程度的不同而变化，表征孔隙特征的有关参数（如孔面积、孔隙率、孔径分布等）变化的转折点，与煤化作用的四个跃变点基本吻合。这一成果可以圆满地解释吸附试验中所出现的一系列主要规律性现象，而它们又在煤内部的物理-化学结构的变化过程中，得到了统一的成因解释，因而具有普遍意义。②煤的有机显微组分对孔隙特征具有明显的影响。③不同构造应力场的作用对煤的孔渗性能的影响各不相同。通常，张性构造改善煤的孔渗性，而压性构造（特别是强烈揉皱）则降低煤的孔渗性。

5、系统进行了不同温度和压力条件下不同矿化度的水对甲烷的溶解能力实验，取得了一整套实验数据，为深入研究天然气的赋存状态、运移及水溶性气藏等问题，奠定了基础。此项研究填补了我国在这方面的空白；同时在矿化水的配制方面，包含了煤系地下水中常见的6种离子，使实验结果较苏联同类资料更接近于实际情况。

6、综合分析煤的生、储能力，煤层甲烷含量变化规律和矿井瓦斯特征等方面后，我们发现，煤层甲烷富集程度的主要受控因素是煤的变质程度和埋藏深度，在这个背景上叠加着后期构造变动和围岩特征等影响因素，使其复杂化。只有全面分析各地区具体的地质条件，才能有效地指导煤层甲烷的勘探与开发工作。在上述思想的指导下，根据实验数据和类比法，预测了深部甲烷含量值。

7、首次在煤炭系统应用蒙特卡洛法对煤层甲烷资源量进行了计算：全国煤层甲烷总资源量为 $30\sim35\times10^{12}m^3$。本次计算在方法、计算范围、参数选取、资料应用等方面均较以往的计算工作有所改进，计算结果的可信度较高。

8、对有关含煤区（地区）的煤层甲烷资源前景进行了分类评价，并从Ⅰ类远景区和Ⅱ类远景区中选择部分条件好的矿区，作为进一步开展工作时优先安排的对象。同时，对我国开发煤层甲烷资源的工作提出了建议。

在研究工作中，我们得到了地质矿产部石油地质研究所，韩城、乌鲁木齐、丰城、鸡西、抚顺、铜川、南桐、天府等矿务局，江西省煤田地质勘探公司及所属195队，新疆维吾尔自治区煤田地质勘探公司156队，以及各有关测试单位的大力支持与协助。在技术上，得到西北大学祝总琪教授的指导；本单位王煦曾、潘振武、李明潮、张五侪始终对专题研究工作给予关心和具体指导，并对研究报告提出了宝贵意见；何德长在古植物解剖学方面给予了重要的指导和帮助；贾松、江京会、高选政、杨杰协助参加了采样等工作；古素清、关馨等参加了图件清绘工作。在此一并表示衷心的谢忱。

参加本书撰写人员的具体分工如下：

0 前　言　张新民

1 我国煤层甲烷赋存的地质背景　张新民（1.1、1.2、1.4），钟玲文（1.2）、张遂安（1.3）

2 我国煤矿瓦斯基本特征　张遂安

3 煤层甲烷赋存的生、储、盖条件　张新民（3.1、3.5），吕志发（3.2、3.6），钟玲文（3.3），朱兆英、李静（3.4）

4 我国煤层甲烷的富集条件　张遂安（4.1--4.4），张新民（4.5）

5 煤层甲烷资源评价　张新民（5.1、5.2、5.4），李静（5.3）

6　我国煤层甲烷开发前景　张新民

7　结　语　张新民

李明潮对有关内容做了详细修改

全书由张新民进行统一串写定稿.

本书定稿前，经白清昭、缪奋、朱榔如、赵景斌等同志审阅，并提出了宝贵意见．定稿后经朱榔如高级工程师编审.

由于作者水平所限，以及时间和条件等方面的原因，书中必有不少错误和遗漏之处，衷心希望读者批评指正.

本书中出现的一些计量单位与法定计量单位的换算关系为：$1kg/cm^2=9.80665\times10^4Pa$；$1cal=4.1868J$；$1mD=0.987\times10^{-3}\mu m^2$.

目　　录

0 前　言 …… (1)
1 我国煤层甲烷赋存的地质背景 …… (1)
1.1 聚煤作用概述 …… (1)
1.2 主要成煤时代煤层的基本分析 …… (3)
1.3 煤田分布及构造特征 …… (14)
1.4 煤炭资源分布 …… (17)
2 我国煤矿瓦斯基本特征 …… (20)
2.1 瓦斯矿井分布 …… (20)
2.2 矿井瓦斯的涌出特征 …… (22)
2.3 矿井瓦斯的地化特征 …… (24)
3 煤层甲烷赋存的生、储、盖条件 …… (29)
3.1 煤层甲烷的生成及赋存状态 …… (29)
3.2 煤的孔隙特征及透气性 …… (36)
3.3 煤对甲烷的吸附能力 …… (52)
3.4 甲烷的水溶性 …… (68)
3.5 煤层甲烷生、储能力类型 …… (74)
3.6 煤层围岩的封闭性 …… (77)
4 我国煤层甲烷的富集条件 …… (82)
4.1 煤的变质程度 …… (82)
4.2 埋藏深度 …… (84)
4.3 地质构造条件 …… (86)
4.4 煤层顶底板条件 …… (91)
4.5 深部煤层甲烷含量预测 …… (93)
5 煤层甲烷资源评价 …… (96)
5.1 煤层甲烷资源量的级别划分 …… (96)
5.2 煤层甲烷资源量计算 …… (97)
5.3 资源量计算结果 …… (102)
5.4 主要远景区评价 …… (103)
6 我国煤层甲烷开发前景 …… (130)
6.1 我国煤矿瓦斯抽放利用概况 …… (130)

6.2 我国煤层甲烷的开发前景 …… (135)
7 结　　语 …… (138)
主要参考文献 …… (140)
英文摘要 …… (142)
图版及说明 …… (144)

1 我国煤层甲烷赋存的地质背景

煤层甲烷的存在并能形成一定规模的资源，其物质基础是煤系和煤层．煤系和煤层的发育富集程度、煤岩煤质特征、煤田分布及构造特征和煤炭资源条件等，从根本上决定了煤层甲烷的分布及资源前景．本章从地质背景的角度，对上述煤田地质的基本问题做一扼要分析，以便于随后章节的讨论．

1.1 聚煤作用概述

我国含煤地层很多，在地质历史上最早的成煤期为震旦纪晚期（王煦曾，1987），自此以后，各地质时代都有不同的聚煤作用发生．

煤层的形成，取决于成煤原始质料和成煤环境（古构造、古地理、古气候）两大因素．从成煤原始质料来看，在泥盆纪之前是菌藻类植物时代，它们主要由单细胞或多细胞构成丝状体或片状体，大多生活在水中．以此种菌藻类低等植物遗体为原始质料所形成的煤属腐泥煤类，在我国俗称"石煤"．泥盆纪后，开始出现陆生植物，除个别种类外，它们常呈高大的乔本，具有粗壮的茎和根，是重要的成煤质料．由高等植物遗体形成的煤属陆殖煤类，它具有重要的工业价值，构成我国煤炭资源的绝大部分，亦是我们进行煤层甲烷资源研究所要涉及的对象．

从成煤环境来看，由于大地构造条件不同，古地理景观的差异和古气候的变迁，以及它们在时间上和空间上的各种组合关系，于是在各地质时代形成了沉积类型、分布位置和含煤性及煤岩煤质特征等各不相同的众多含煤地层．

我国腐殖煤的成煤时代及含煤地层概况见表1-1．

综观我国聚煤作用及含煤地层的分布，可以归纳出如下特点：

1、我国具有聚煤作用开始早，成煤期多的特点。早在震旦纪晚期就有聚煤作用发生，以后各个地质时代均有含煤地层形成．但是在泥盆纪前的漫长地质年代内，只形成了"石煤"；泥盆纪以后才形成具有重要工业价值的陆殖煤，可划分为8个成煤期（见表1-1）．在这8个成煤期中，以石炭二叠纪，晚二叠世，早、中侏罗世，晚侏罗--早白垩世和第三纪的含煤地层最为重要．

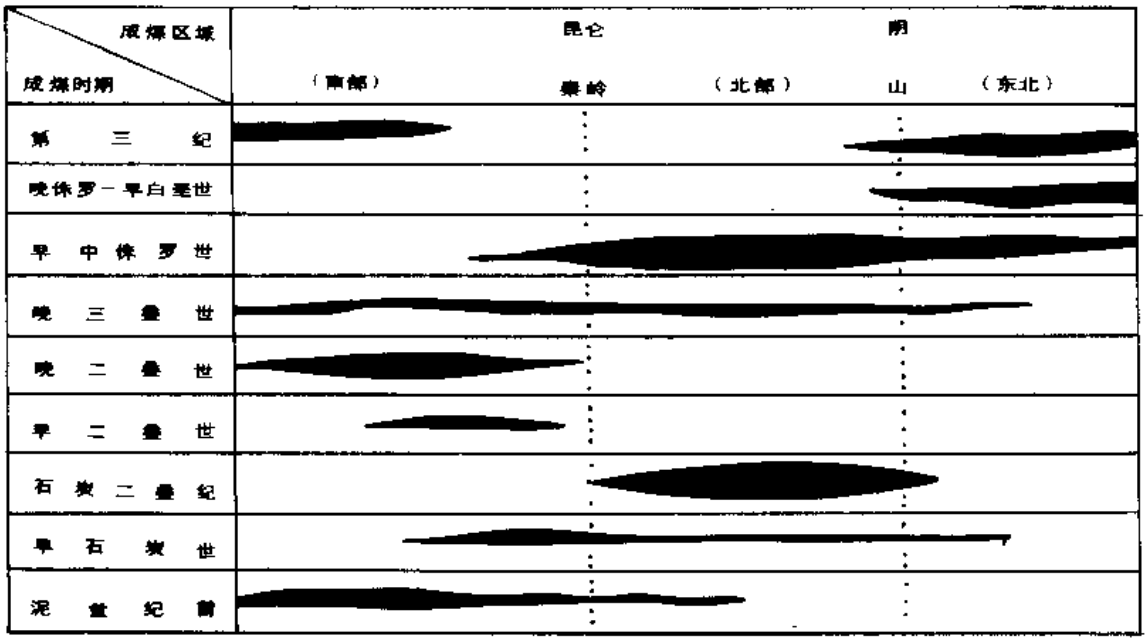
2、聚煤作用在时间和空间上有明显的迁移，如以昆仑山--秦岭、阴山为界，把我

表 1-1　　我国主要含煤地层名称一览表

成煤时期	含煤地层			备注
	南部	北部	东北部	
第三纪	小龙潭组#、河头组、那读组、长坡组、	黄县组	抚顺群#、珲春组	
晚侏罗-早白垩世			扎赉诺尔群※、霍林河组※、阜新组※、鸡西群※、鹤岗组	
早、中侏罗世	白田坝组、门口山组	延安组※、窑街组、西山窑组※、八道湾组#、大同组#、门头沟组	万宝组	
晚三叠世	大荞地组#火把冲组、须家河组、安源组	瓦窑堡组、塔里奇克组		
晚二叠世	龙潭组※、宣威组※			
早二叠世	梁山组			
石炭二叠纪		本溪组、太原组※、山西组※、下石盒子组#、上石盒子组、羊虎沟组		
早石炭世	测水组、梓山组			

※——重要含煤地区，　#——次要含煤地层

国分为南、北、东北三大部分（煤炭部全国煤田预测汇总组，1981），这种迁移现象就表现得很清楚（图1—1）。泥盆 纪 以前的"石煤"只分布在秦岭以南，主要集中于湘桂黔、浙皖赣、陕鄂川交界的三个地区。整个晚古生代，是我国最重要的聚煤阶段。早石



（据《中国煤田预测说明书》上册，1981）

图1-1 中国成煤期—区域关系图

（据全国煤田预测，1981）

炭世的聚煤作用仍主要发生在南方诸省，但在西北的河西走廊地区亦有该时期的含煤地层形成；中石炭世的聚煤作用转移到北方，而且从中石炭世到二叠纪，北方的聚煤作用是连续发生的，其范围之辽阔，持续时间之长，聚煤程度之高，在我国北方各聚煤期中均居首位。二叠纪是我国南方最重要的聚煤期，尤以龙潭组为代表的晚二叠煤系更为突出，几乎遍及江南诸省（区）和西南地区（包括云、贵、川和西藏）。进入中生代，聚煤作用的分异更趋明显。晚三叠世的聚煤范围很广，除东北地区及河南、山东外，其他省（区）皆有这一时期的含煤地层分布，但聚煤规模相对较小，资源量有限，仅局部具有重要意义。早、中侏罗世是我国成煤最丰富的一个时期，与晚三叠世相对，其聚煤作用明显向北转移，煤层主要发育在北方；东北地区开始有可采煤层形成，而广大南方只有一些极不稳定的薄煤层或煤线（秦岭地带的武都、两当、勉县稍好）。晚侏罗—早白垩世，我国广大地区基本上为干旱气候带所控制，聚煤作用的范围大大缩小，仅限于东北黑、吉、辽三省及内蒙古东部，形成这一地区最主要的含煤地层。新生代的聚煤作用主要发生在第三纪，其范围比晚侏罗--早白垩世有所扩大，北起黑龙江、南至海南岛、向西到云南、西藏，这是全球性第三纪环太平洋聚煤作用的一个组成部分（武汉地质学院煤田教研室，1981），煤炭资源主要集中在两个相互分割的地区内，即东北和华北北部，以及西南和中南南部。

3、从煤系形成的古地理环境来看，古生代的含煤地层以海陆交替相沉积为主，其次为浅海相沉积。中生代，南方晚三叠世含煤地层为滨海相、泻湖-海湾相、湖泊-沼泽相沉积；北方（包括东北）情况较复杂，晚三叠世和早、中侏罗世含煤地层均为内陆条件下的河、湖相沉积；而晚侏罗-早白垩世含煤地层在三江-穆棱河盆地为滨海冲积平原型沉积，其余地区则为内陆河、湖相沉积。第三纪含煤地层以陆相沉积为主，其含煤性也最好；在沿海地区，如下辽河坳陷、台湾及两广等地的第三纪地层中有海相夹层，但这类沉积中煤层发育不好。

1.2 主要成煤时代煤层的基本分析

我国陆殖煤有8个成煤期，但从经济价值来看，有4个重要成煤期，即石炭二叠纪，晚二叠世，早、中侏罗世和晚侏罗-早白垩世。这4个聚煤期煤炭储量之和占全国总储量的98%。从煤层甲烷资源前景角度考虑，晚三叠世和第三纪煤层也具有一定意义。因此，这6个聚煤期的煤层是我们进行煤层甲烷资源评价的对象。以下将分别从含煤性及煤岩煤质特征方面对这6个聚煤期的煤层做一简要分析。

1.2.1 石炭二叠纪煤层（北方）

1、煤层发育特征

石炭二叠纪是华北地区最为重要的聚煤期。含煤地层包括中石炭统本溪组，上石炭统太原组，下二叠统山西组、下石盒子组和上二叠统上石盒子组。

华北石炭二叠纪含煤地层总体上是一套海退沉积序列，其底部假整合于奥陶系风化面上，内部基本上为连续沉积。受海水进退程式和古气候带的影响，从浅海相、海陆交替相为主的沉积（本溪组），逐渐演化为以海陆交替相为主（太原组），近海的陆相（山西组）到以内陆干旱条件的陆相为主（上、下石盒子组）的沉积。聚煤作用在剖面上表现出下部（本溪组）和上部（上、下石盒子组）弱，而中部（太原组和山西组）强的总趋势；在平面上，随着时间的推移，表现出自北向南迁移，自西向东衰退的特征。

本溪组很少具工业价值的煤层，有1-3层薄煤层发育，仅在河北兴隆，山西宁乡等局部有可采煤层。

太原组在河南济源——山东兖州一线以北，煤层层数不多，但煤层总厚度大，普遍大于5m，大于10m的区域亦甚广泛，尤以晋西——陕北和保定——开平这两块煤层最富集，总厚度最大可达30m；上述界线以南，煤层层数变多，但总厚度减薄，普遍不到5m。在宁夏、古蒙古交境的贺兰山、桌子山地区，最厚可达23m。北端阴山地区的特点是煤层层数少，但厚度巨大，最厚处在大炭壕可达80m。

山西组在北方地区含煤情况变化不大，一般含煤3-7层，全区一般都有可采煤层发育，最厚处在阴山南侧，普遍在10m以上，其他广大地区多在5m左右。

下石盒子组沉积时，由子来自北方干旱气候带向南侵袭的影响，含煤区域主要限于山西候马——山东兖州一线以南地区，集中在鲁西南、豫东、苏北、皖北一带。从北到南，煤层厚度由1m逐渐增大到10m左右；富煤带（宿县一带）煤厚为8-10m。上述

地区之外，基本无煤层形成。

上石盒子组沉积时，干旱气候带继续南推，在郑州—徐州一线以北地区无聚煤作用发生，该线以南地区，聚煤作用由北向南逐渐增强。在淮南、淮北、平顶山等地，煤厚达 10m 或 10m 以上，最厚处河南确山可达 30m。煤层层数亦自北向南递增。

2、煤岩、煤质特征

太原组煤的显微组分以镜质组为主，并以大片状、色深的均匀基质体和镜质体占优势。惰质组中常见呈亮黄色突起高的惰质体，这些木质纤维形态分子的形态、轮廓相互间都较清晰。壳质组中以小孢子为主，角质体、大孢子、木栓体次之，罕见树脂体。组分含量变化见表 1-2 所示。镜质组含量一般为 60-80%，惰质组一般低于 25%，壳质组一般低于 5%；而鄂尔多斯东北部与大同宁武地区，壳质组含量较高，在 4-12% 之

表 1-2　　北方晚石炭世煤的显微组分含量表

地区 / 组分	甘肃 靖远	鄂尔多斯 西北部	鄂尔多斯 东北部	鄂尔多斯 东南部	大同 宁武	沁水 西部	沁水 东部	鲁西	徐淮	北京、唐山	浑江、红阳
J	55－76 / 67	53－76 / 67	30－54 / 47	60－80 / 72	48－60 / 54	70－82 / 76	68－79 / 74	75－82 / 79	70－85 / 78	64－74 / 69	64－66 / 65
BJ	6－12 / 9	3－11 / 6	10－13 / 12	6－8 / 8	7－9 / 8	5－9 / 7	10－11 / 10	3－7 / 4	2－5 / 3	6－11 / 8	3－7 / 5
BS+S	7－24 / 14	13－29 / 21	18－22 / 20	11－21 / 17	25－27 / 26	13－18 / 16	1－11 / 6	10－16 / 13	8－18 / 14	7－16 / 12	23－27 / 25
W	0－4.5 / 1.0	0－3.1 / 1.2	4－19 / 12	0	3－5 / 4	0	0	0－4.2 / 2	0－6 / 2	0.5－5 / 3	0
M	3－20 / 8	2－8 / 5	3－16 / 9	2－8 / 3	2－13 / 8	2－8 / 5	9	2－3 / 2	1.5－5.8 / 3	4－12 / 8	4－6 / 5
R^0_{max}	0.926 / 2.263	0.876 / 1.211	0.642 / 0.710	1.720 / 1.954	0.630 / 0.940	1.041 / 1.863	1.964 / 3.020	0.590 / 1.171	0.674 / 1.171	0.730 / 1.014	1.340

(J-镜质组；BJ-半镜质组；S-丝质组；BS-半丝质组；W-稳定组；M-矿物质；R^0_{max}--镜质组最大反射率，下同)

(据陈佩元研究整理资料)

间，镜质组含量却是全区最低的地区，为 47-54% 左右。

太原组绝大部分地区属海陆交替相沉积，煤中硫分普遍较高，达 2-5% 左右；而山西大同和京西一带，由于仅在初期有海浸，底部硫分常在 2-4% 左右，而中、上部煤层的硫分多小于 1%。煤中灰分一般低于 25%，只有山西太同鹅毛口、保德，河北承德老爷庙、柳江夏峪，内古蒙大青山、桌子山、鸟达部分矿区和宁夏线驼石等几个矿区，煤中灰分超过 30%。

煤的牌号一般从气煤到无烟煤均有，局部出现长焰煤（内蒙古淮格尔和辽宁西

部)．其中渭北、沁水盆地东部和南部、豫西、豫东、淮北等地煤变质程度高，多为贫煤、无烟煤，其余地区以中、低变质程度的烟煤为主．

山西组煤的显微组分虽以镜质组为主，但主要是以浅色的不均匀基质镜质体占优势，木质纤维形态分子中能见到木质体和结构镜质体．过渡组分多．惰质组为呈亮黄色的惰质体，突起高的少见．在淮南，壳质组含量高，主要是大、小孢子体．各种组分含量如表 1-3 所示．镜质组含量一般在 45-60%，惰质组含量为 13-43%，一般大于 25%，壳质组含量较高．

表 1-3　　北方山西组（P_{1s}）煤的显微组分含量表

地区 / 组分	甘肃靖远	鄂尔多斯东部	大青山、乌拉山	大同宁武	沁水东部	邢台焦作	淹池平顶山	鲁西	两淮	北京唐山	浑江红阳
J	68	50－54 / 52	37－55 / 48	34－53 / 44	40－70 / 50	42－62 / 54	44－63 / 52	51－69 / 59	51	55－64 / 58	57－66 / 61
BJ	7	18－21 / 20	8－9 / 9	4－8 / 6	8－30 / 19	4－13 / 7	3－7 / 7	2－8 / 5	18	3－18 / 12	5－9 / 7
BS+S	15	17	35－51 / 43	28	12－13 / 13	26－47 / 33	25－48 / 35	17－27 / 24	18	11－17 / 13	22－32 / 28
W	0.7	0.5－2 / 1.0	0	4－11 / 8	0	0－9 / 2	0－7 / 2	0－11 / 7	9	1－6 / 4	0-2
M	9	9－10 / 10	1－2 / 2	4－26 / 15	0	3－8 / 5	2－5 / 4	3－5 / 4	5	6－17 / 13	3
R^{o}_{max}	1.140	1.062	1.265 1.723	0.650 0.790	1.924 2.697	0.821 1.931	0.877 1.519	0.710 0.904	0.717	0.815 1.173	1.213 1.230

(据陈佩元研究整理资料)

对比表 1-2 和 1-3 可知，同一煤田内山西组煤的镜质组低于太原组，而半镜质组、惰质组、壳质组和矿物含量均高于大原组．

山西组多处于过渡相到陆相沉积环境，因此煤中硫分大多小于 1%，与大原组的高硫煤形成明显的对照；而煤中灰分通常稍高于太原组煤，一般在 15-30%之间．

山西组煤的煤化程度与太原组相近，但大部分比太原组煤稍低．煤的牌号从气煤到无烟煤均有．

上、下石盒子组煤的煤岩煤质特征相近，均以惰质组含量较高为特征，一般在 20-30%以上．由于石盒子期系陆相沉积，故煤中硫分一般不超过 1%；多为中灰煤．煤种为气煤—无烟煤，但以中、高变质的焦煤--无烟煤为主．

有关地区石炭二叠纪的含煤情况及煤种见表 1-4

表 1-4　　有关地区石炭二叠纪含煤情况一览表

含煤区名称	可采煤层数	可采煤层总厚（m）	煤层稳定性	主要煤种
鄂尔多斯盆东含煤区	6-11	11.63-17.75	较稳定-不稳定	肥煤-贫煤
桌贺含煤区	5-13	15.50-32.06	稳定-较稳定	气煤-无烟煤
北祁连含煤区	2-6	0.70-25.12	较稳定-不稳定	肥煤-无烟煤
靖远-景泰含煤区	6-25	0.46-31.61	较稳定-不稳定	气煤、肥煤、无烟煤

(据《中国煤资源图集说明书》资料改编)

1.2.2　晚二叠世煤层

1、煤层发育特征

以龙潭组为代表的晚二叠世含煤地层在我国南方最为重要,其分布范围遍及南方 12 个省(区)。绝大部分是在总体海进的序列中形成的海陆交替相含煤沉积，向古陆边缘地区（如康滇古陆东侧）逐渐过渡为陆相。由于海水进退频繁，面积广阔，古地理环境复杂，所以，不同地区有不同的岩相组合，大体可区分为三种类型（武汉地质学院煤田教研室，1981）。即①滨海型，为一套海陆交替相的碎屑岩型含煤地层。这种类型分布广泛，湘中、湘南、赣北（萍乐坳陷）、黔西、川南等地均属此种类型;②滨海一浅海型，为一套滨海一浅海相碳酸盐岩型含煤地层,剖面上石灰岩比例很大,其分布范围包括四川和贵州大部、湖北西部、云南东部和广西中部;③陆缘型，为一套陆相为主的碎屑岩型含煤地层，分布于康滇古陆和云开古陆边缘，可有少量的海相（或过渡相）夹层和砂、砾岩等粗碎屑岩沉积。

龙潭组的含煤性与古地理类型关系密切，以滨海型含煤性最好，滨海一浅海型次之，陆缘型基本不含可采煤层。总的来看，我国南方地区的西部（又称西南区）含煤性优于东部（又称东南区）。西南区以六（枝）盘（县）水（城）含煤区最好，含煤层数多达 20—40 层，可采 2—25 层，可采总厚度 1.76—42.88m，在整个南方地区各聚煤期中是首屈一指的；其次在川南的珙县、筠连一带也是一个富煤带。东南区的含煤情况以湖南、江西为最好，其次为福建、广东；其中又以自江西萍乐坳陷向西南延至湘中邵阳和湘东南郴州，再南到粤北曲仁一带更佳。这一地区含煤数层或十余层，可采者一般 1-9 层，可采总厚度为 0.5-14.0m。

2、煤岩、煤质特征

龙潭组的煤岩组分含量如表 1-5 所示。显微组分以镜质组为主，一般镜质组与半镜质组之和大于 70%。另外，东北部自苏浙皖交界的太湖地区起，向西南经江西乐平、丰城而至湖南宁乡、隆回一线以及西部的贵州水城、盘县和云南的宣威一带，煤中壳质组的含量较多，除小孢子、角质体、树脂体和大孢子外，主要是分解程度不同的树皮组织；在盘县一带腐解程度较深，树皮细胞组织已溶融不清，难以与凝胶化物质相区别；而乐平、长兴等地腐解较浅，树皮的细胞组织明显可见，煤中树皮体含量高达 30—50%；在滇东富源和川东南桐，还发现个别煤分层中的角质体占有机组分的 12-50%。这是区别于其他时代煤的显著特点。

表 1-5　　南方晚二迭世龙潭组煤的显微组分含量表

地点	滇　东				六　盘　水				连源、邵阳				丰　城	
组分 (%)	圭山	草场	富源	恩洪	山脚树	木冲沟	六枝	林东	新化	牛马司	煤炭坝	潭家山	丰城西	丰城东
J	79	68	57	69	59	56	57	69	69	50-60	54-60	66	62-72	23-42
BJ	5	7	2.2	9	6	6	8	8	9	5-10	2-4	8	9-15	5-12
BS+S	14	15	23	20	21	28	29	21	21	23-33	26-33	24	8-24	11-20
W	0.2	4.6	15	0.2	8	2.1	15	0.2	0	0.4-7	5	0	0	30-49
M	2.3	5.6	3.7	3.7	6	8.4	4.9	2.3	1.0	0.7-2.7 1.6	3	2	3-17 7.5	2-5 3.6
R^{o}_{max}	1.465	1.267	1.004	1.473	0.957	1.258	1.199	1.467	1.526	1.166 0.770	0.931 1.915	1.346	2.400 1.720	0.923 0.753

（据陈佩元研究整理资料）

南方晚二叠世煤系多属海陆交替相沉积，煤中含量在 2-5%之间．以浅海相为主的广西合山等地，硫分可高达 6-10%以上．灰分各地不一，苏浙皖一带为高灰煤，江西、湖北为中灰煤；湖南、广西以中高灰煤为主，有部分低灰煤；西南诸省多属中灰到高灰煤．

煤的牌号从气煤到无烟煤都有，其中无烟煤比例较多．如川南、黔中、湘南、广东、福建为大面积无烟煤分布区，而江西、浙江和湘中以及滇东、黔西和四川华蓥山地区多为气煤、肥煤、焦煤和瘦煤．

有关地区晚二叠世的含煤情况见表 1-6

1.2.3　晚三叠世煤层

1、煤层发育特征

我国晚三叠世聚煤作用发生的范围十分广阔，除东北及华北东部外，其他地区或多或少均有煤层形成，但聚煤作用程度不高．根据大地构造条件和沉积特征，可大致分为西南区、东南区和西北区 3 个区域．

西南区包括川、滇、黔、藏等省（区），位置处于古特提斯海的滨海地带．沉积盆地为大型波状坳陷，形成海陆交替相含煤地层．总的来看，该地区成煤欠佳，一般为薄煤层．但川滇交界处的渡口一永仁一带，含煤性极好，其主要含煤层位为大荞地组．厚 2260m，含煤 130 余层，横向变化大，不稳定，可采总厚 0.6—58.0m．其次为四川盆地，它是我国晚三叠世含煤地层赋存面积最大的一个含煤盆地，主要含煤地层是须家河组，其厚度由川西龙门山前深坳陷处的 2000m，向东逐渐变薄到川东一带均不足 400m，一般含可采煤层 10 余层，以薄煤层为主，单层厚度多小于 1m，但较稳定．聚煤相对富集的部位在川东达县一带，其次为川北的广元一旺苍一带．

表 1-6　　有关地区晚二叠世含煤情况一览表

含煤区名称	可采煤层数	可采煤层总厚(m)	煤层稳定性	主要煤种
苏浙皖边含煤区	1-6	0.4-6.0	较稳定、不稳定	贫煤、无烟煤
长江下游含煤区	1-3	0.5-2.6	较稳定	气煤、肥煤、无烟煤
浙赣边含煤区	0-4	0-3.9	不稳定、极不稳定	贫煤、无烟煤
萍乐含煤区	1-6	2.16-7.46	稳定、不稳定	气煤-无烟煤
川南-黔北含煤区	1-9	0.60-14.13	较稳定	无烟煤
六盘水含煤区	2-25	1.76-42.88	稳定、较稳定	焦煤、无烟煤
桂中北含煤区	3-5	0.5-4.3	较稳定	瘦煤、贫煤、无烟煤
川鄂湘边含煤区	1	0.4-1.0	不稳定	气煤、肥煤、贫煤、无烟煤
鄂赣边含煤区	0-3	0-2.82	较稳定、极不稳定	贫煤、无烟煤
雅乐含煤区	0-3	0-3.1	较稳定、不稳定	贫煤、无烟煤
华蓥山-永荣含煤区	1-9	0.71-13.6	较稳定	气煤、肥煤、焦煤、瘦煤
广旺含煤区	1	0.5-0.7	不稳定	肥煤、焦煤、贫煤、无烟煤

(据《中国煤炭资源图集》资料改编)

东南区包括湘、赣、粤、浙及苏南、皖南、鄂东南等地．该区濒临古太平洋，构造面貌与西南区有明显的不同，这里不是广阔的大型坳陷，而是一系列以北东方向为主的狭长坳陷，属新华夏系早期的构造型式．含煤地层虽属海陆交替型沉积，但具有典型海相夹层的地区很少，大部分地区为海湾一泻湖相沉积与陆相沉积交替．本区含煤性最好的地区是萍乐坳陷，含煤最多达 24 层，煤层总厚 30 m 多；一般可采煤层 6-9 层，可采总厚 3.0-9.6m．其次为湘中资兴一带，含可采和局部可采煤层 11 层，其中有两层厚度可达 2-5 m，其余在 1.2-1.8m 之间．

西北区包括我国华北西部及整个西北地区．在鄂尔多斯盆地、天山南北两侧、甘青交境等地晚三叠世煤系有大片分布，其余地区甚为零散，均为内陆盆地河湖相碎屑岩含煤地层．鄂尔多斯盆地晚三叠世含煤层位为延长群瓦窑堡组，含煤 10-20 层，多属薄煤层，可采和局部可采仅 1-3 层，位于剖面中、下部．塔里木盆地北缘库车一拜城坳陷，含煤地层为塔里奇克组，含可采煤层 1-13 层，可采总厚 1.0-33.7m．

2、煤岩、煤质特征

在西南区，显微煤岩组分以镜质组为主，四川一般在 70%左右，最高可达 95%；云南一般在 50-65%之间．惰质组在四川一般小于 10-20%，最高可达 38%；在云南一般含量为 20-40%．壳质组四川一般为 1%左右；云南一般为 4-10%．煤中灰分多在 15-20%之间，局部为低灰煤；硫分在 1%左右，多属低硫煤．在云南煤种以气煤一瘦煤为主，贫煤和无烟煤次之，长焰煤和弱粘煤较少。

东南区情况较为复杂，变化大。煤岩特征据江西新余花鼓山和萍乡高坑的资料，显微组分以镜质组为主，含量达 70.5–89.0%；半镜质组为 2.4–5.8%。惰质组含量为 6.2–17.4%。壳质组含量为 0.2–2.8%。煤多为高灰低硫煤。煤种多样，从气煤到无烟煤均有，其中福建地区煤变质程度较高，为高变质无烟煤。

西北区，在鄂尔多斯盆地瓦窑堡组煤的显微组分以镜质组为主（一般在 70%以上）；其次为惰质组；壳质组含量甚少。平均灰分为 22.8%，硫分变化于 0.5–5.11%之间。煤的牌号属气煤。在塔里木盆地北缘塔里奇克组煤的灰分在 2.23%—3.10%之间，硫分均小于 1%，煤种为气煤到焦煤。

晚三叠世含煤地层在各地的含煤情况及煤种见表 1–7。

表 1–7　　有关地区晚三叠世含煤情况一览表

含煤区名称	可采煤层数	可采煤层总厚(m)	煤层稳定性	主要煤种
塔北含煤区	1–13	1.0–33.7		气煤
鄂尔多斯盆中含煤区	1–2	0.7–1.5		气煤
广旺含煤区	1–3	0.3–5.36	较稳定	长焰煤—无烟煤
华蓥山—永荣含煤区	1–7	0.3–3.9	较稳定	气煤、肥煤、焦煤、瘦煤
雅乐含煤区	1–3	0.35–23.0		气煤、焦煤、无烟煤
渡口—楚雄含煤区	1–73	0.60–58.0	较稳定、不稳定	气煤、无烟煤
鄂中含煤区	0–7	0–10.59	不稳定、极不稳定	无烟煤
鄂赣边含煤区	1–3	0.13–6.04	较稳定、极不稳定	弱粘煤、瘦煤
川鄂湘边含煤区	0–2	0–2.0	较稳定、不稳定	弱粘煤、气煤、肥煤
川南—黔北含煤区	1–3	0.3–1.54		焦煤、瘦煤
萍乐含煤区	3–4	3.0–9.55	较稳定、不稳定	焦煤、瘦煤、贫煤、无烟煤
浙赣边含煤区	7	2.79	不稳定	焦煤、瘦煤、贫煤

（据《中国煤炭资源图集》资料改编）

1.2.4　早、中侏罗世煤层

1、煤层发育特征

早、中侏罗世是我国非常重要的一个成煤期，聚煤作用发生的范围比晚三叠世还广，几乎遍及全国，但各地区的聚煤规模却十分悬殊。昆仑山—秦岭以南地区，虽然含煤地层分布比较广阔，但含煤性非常差，煤层少而薄，且极不稳定，极少形成具一定规模的煤田。昆仑山—秦岭以北地区，是早、中侏罗世的主要聚煤区，这里分布有我国重要的大型煤盆地——准噶尔盆地及鄂尔多斯盆地。

我国北方早、中侏罗世含煤地层形成于规模和类型多样的内陆沉积盆地中，面积大者可达数万到数十万 km^2，如准噶尔、鄂尔多斯、吐（鲁番）—哈（密）等盆地；中等

规模的盆地从几百到几千 km^2，如大同、北京等盆地，有数十个之多；小型盆地如北票、坊子、义马等，则数量更多。盆地类型以波状坳陷为主。

各盆地的中、下侏罗统几乎都由砾岩、砂岩、泥岩、煤层等组成，不少盆地还有油页岩。在沉积时，各个盆地均为单独的沉积单元，岩性、岩相在空间上呈有规律的组合。由盆地边缘到中心，冲积-洪积相区，冲积-沼泽相区、湖泊-沼泽相区和湖泊相区依次递变，围绕盆地中心大致呈环带状分布。富煤带分布在冲积-沼泽相区和湖泊-沼泽相区；冲积-洪积相区和湖泊相区则很少含煤或基本不含煤。在大型波状坳陷盆地中，具有构造稳定，沉降与补偿比较均衡和适宜的成煤环境等有利因素，致使煤层在大范围内稳定发育，并常有厚煤层乃至巨厚煤层形成。这在准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地等处是非常突出的。例如准噶尔南缘的乌鲁木齐矿区，就有两层巨厚煤层（单层最大厚度达 52.91m），可采总厚度达 168.74m。鄂尔多斯盆地神府煤田的 2 号煤层，厚 3–12m，在数千 km^2 的范围内稳定发育。

2、煤岩、煤质特征

早、中侏罗世煤的煤岩、煤质变化较大，各地区煤层的显微煤岩组分含量见表 1-8。大多数地区，煤中惰质组含量高，一般在 25–40%之间，最高可达 60%；唯有东北地区惰质组含量一般不超过 10%。壳质组含量普遍较低，均小于 3%。

表 1-8　　早、中侏罗世煤岩显微组分含量表

地区 / 组分(%)	乌鲁木齐矿区		神木东胜 2 煤	彬长矿区	大同
	西山窑组下部	西山窑组上部			
J	50.05 – 67.45 / 57.98	85.90 – 93.77 / 90.49	35.90 – 71.10 / 57.30	13.8 – 29.5 / 21.3	38.37
BJ			2.20 – 11.70 / 6.18	5.4 – 15.1 / 9.3	9.03
BS+S	30.46 – 45.20 / 38.63	0.19 – 5.01 / 1.43	19.80 – 40.95 / 34.12	43.8 – 72.0 / 60.6	50.03
W	0.89 – 6.16 / 2.93	0.76 – 3.59 / 2.23	0 – 2.50 / 0.32	1.0 – 5.2 / 3.0	1.30
M	0.09 – 1.1 / 0.49	2.6 – 8.4 / 5.87	1.10 – 4.56 / 2.08	3.9 – 7.5 / 5.8	1.27
R^{o}_{max}	0.16–0.74	0.58–0.67	0.48–0.60	0.60	0.64–0.85

煤中灰分、硫分含量低，多为低—中灰煤，硫分大部小于 1%。尤以鄂尔多斯盆地神府煤田，以特低灰（5—10%）、特低硫（0.31—0.86%）的优质煤最为称著。

煤的变质程度普遍较低，大部分地区以长焰煤（包括弱粘煤和不粘煤）、气煤为

主，在个别地方（如甘肃天祝矿区、河南义马矿等）为褐煤；另外，在吐一哈盆地西端的艾维尔沟，青海的木里、热水等矿区，以中变质的肥煤、焦煤、瘦煤为主；在鄂尔多斯盆地西北部的贺兰地区，北祁连的九条岭，京西门头沟等地，为高变质的贫煤、无烟煤，甚至可以出现超高变质煤（无烟煤1号）。

早、中侏罗世在各地的含煤情况及煤种见表1-9。

表1-9　　有关地区早、中侏罗世含煤情况一览表

含煤区名称	可采煤层数	可采煤层总厚(m)	煤层稳定性	主要煤种
大兴安岭南缘含煤区	2-15	13.5-17.5	不稳定	焦煤-贫煤
鄂尔多斯盆中含煤区	2-13	6.0-32.0	较稳定	长焰煤、气煤
桌贺含煤区	9	16.0	-	长焰煤、贫煤
准南含煤区	2-43	8.65-162.75	较稳定	长焰煤、不粘煤
准北含煤区	7-25	6.5-14.0	较稳定	长焰煤、气煤
伊犁含煤区	3-23	9.0-80.9	较稳定	长烟煤、气煤
尤尔都斯含煤区	3	11.0	-	肥煤
塔北含煤区	1-20	2.0-25.0	较稳定	气煤
焉耆含煤区	5-11	8.0-25.22	-	长焰煤、气煤
阿尔金含煤区	3-7	5.0-65.0	-	气煤
吐-哈含煤区	2-30	1.07-119.44	较稳定	长焰煤、不粘煤、气煤
柴北含煤区		1.0-33.44	较稳定	长焰煤
北祁连含煤区	1-7	0.6-21.02	较稳定、不稳定	气煤、无烟煤
中祁连含煤区	1-13	2.04-57.05	较稳定、不稳定	焦煤、长焰煤、弱粘煤
靖远-景泰含煤区	1-7	5.16-37.73	稳定、较稳定	不粘煤

1.2.5　晚侏罗一早白垩世煤层

1、煤层发育特征

我国晚侏罗一早白垩世含煤地层集中分布在阴山山脉以北地区，包括黑、吉、辽三省及内蒙古东部。在阴山以南虽有零星分布，但含煤性太差，无开采价值。

晚侏罗一早白垩世，东北地区除三江一穆棱河一带外，均属内陆环境，分布着一系列NNE方向展布的断陷型沉积盆地，例如大兴安岭西坡的伊敏河、扎赉诺尔、霍林河、胜利、黑城子等，以及松辽盆地以南的元宝山、平庄、阜新等，都是著名的含煤盆地。这些盆地均为独立的沉积盆地，大多发育有同沉积盆缘断裂（一侧或两侧）。从同沉积盆缘断裂向盆地中心，依次发育冲积扇、扇三角洲及湖泊一沼泽相沉积．除盆缘长期发育冲积扇而不含煤层外，富煤带分布在扇三角洲及湖泊-沼泽相区，并常有巨厚

煤层形成，例如胜利盆地中部，发育有可采总厚度达239m的巨厚煤层，这在国内外都是罕见的。但这类盆地煤层不稳定，分岔、变薄现象非常普遍和频繁，煤化作用的程度很低，绝大多数为褐煤。

三江—穆棱河盆地为我国晚侏罗—白垩世唯一的近海型聚煤盆地，也是这一地质时代产出炼焦煤的主要区域，因而具有重要的经济地位。这一地区的主要含煤地层是城子河组和穆棱河组，为一套夹海相泥岩和碎屑岩的含煤岩系，属近海冲积平原沉积。煤层横向比较稳定，含煤50-55层，可采和局部可采14-21层，但单层厚度较小，以薄煤层为主。

2、煤岩、煤质特征

三江—穆棱河盆地的煤岩特征可以鸡西、双鸭山矿区为例（表1-10）。显微煤岩组分以镜质组为主，其含量（包括J和BJ）为77.2—90.2%，而惰质组含量（BS+S）一般小于10%，个别达21.5%，这是不同于早、中侏罗世煤的一个特点。壳质组含量一般小于2%，个别（四方台）较高，达9.0%。

表1-10　　鸡西、双鸭山矿区晚侏罗-早白垩世煤显微组分含量

矿区 / 组分(%)	鸡西张新 1-6B煤	鸡西张新 6C-8煤	鸡西滴道 九井17层	鸡西平岗 三坑15层	双鸭岑西 立井20层	双鸭集贤 立井9层	四方台 六井15层
J	72.0	88.8	76.2	87.4	82.6	81.0	83.8
BJ	5.2	2.3	5.7	2.8	5.6	6.4	2.6
BS+S	21.5	8.8	15.2	5.4	7.7	8.6	0.6
W	1.4	0.1	–	0.9	0.2	2.0	9.0
M	–	–	2.9	3.5	3.9	2.0	4.0
R^{o}_{max}	–	–	1.35	1.04	1.11	0.8	0.7

煤中灰分较高，一般在20-30%之间；但硫分很低，多小于0.5%。煤种从长焰到无烟煤均有，但以气煤最多，其次为焦煤和长焰煤；高变质的贫煤、无烟煤仅在勃利矿区有分布。

晚侏罗—早白垩世的含煤情况及煤种见表1-11。

表1-11　　有关地区晚侏罗-早白垩世含煤情况一览表

含煤区名称	可采煤层数	可采煤层总厚 (m)	煤层稳定性	主要煤种
三江-穆棱河含煤区	5-22	2.04-76.58	较稳定	气煤、焦煤
松辽南缘含煤区	1-14	0.5-16.89	较稳定	长焰煤、气煤
蛟河-辽源含煤区	5-10	0.6-43.26	不稳定	长焰煤、气煤
阜新-彰武含煤区	16	30.0	较稳定	长焰煤

（据《中国煤炭资源图集说明书》资料改编）

1.2.6 第三纪煤层

1、煤层发育特征

我国第三纪煤层分布在东北、华北东部和西南滇、桂、川等地，除辽宁抚顺盆地为烟煤外，其他各地均属褐煤。故这里仅介绍抚顺盆地的情况。

在抚顺盆地含煤地层是抚顺群，为一套陆相碎屑岩，含煤3-8层。其主要含煤层位为古城子组，位于其底部的主煤层为主要可采层，在盆地内普遍发育，比较稳定，总厚度0.6-200m，其中纯煤厚度0.6-130 m，平均50m。该煤层之上直接覆盖着厚48-190m的油页岩，区域上稳定发育，构成抚顺盆地煤层甲烷的良好盖层。

2、煤岩、煤质特征

抚顺盆地主煤层的显微煤岩组分含量如表1-12所示。从表中可知，该煤层以镜质组占绝对优势，含量达80-90%，而惰质组很少，仅2.3-4.6%；相对而言，壳质组含量较高，为4.3-6.8%。由于在部分煤分层中树脂体大量富集，形成"树脂煤"；亦有腐泥-腐殖煤和腐殖-腐泥煤夹层，俗称"煤精"。这样的煤岩组分特征，对低演化阶段煤层甲烷的大量生成是十分有利的。

表1-12　　抚顺第三纪煤显微组含量表

显微组分(%) / 井田	J	F	W	M
胜　利	79.01－88.10 83.07	1.15－3.31 2.28	3.30－5.34 4.28	6.21－13.4 10.36
老虎台	65.43－87.09 77.21	0.88－12.25 4.02	3.68－12.22 6.78	7.14－18 10.99
龙　凤	60.22－93.41 79.93	0.59－8.73 4.63	1.31－8.03 5.71	1.24－23 9.73

抚顺盆地主煤层属低灰（2.12-13.99%）特低硫（0.44-1.02%）煤。煤种属低变质的长焰煤—气煤。

1.3 煤田分布及构造特征

1.3.1 中国大地构造轮廓与煤田分布

自太古代发展至今,中国大地构造经历了复杂的不同发展阶段，各个地史时期分别有不同的构造轮廓（图1—2）。加里东运动后，泥盆纪出现了陆生植物，石炭纪开始形成了重要的成煤期．此时，塔里木地台、中朝地台、扬子地台等均已形成，祁连地槽、华南地槽经过加里东运动封闭形成褶皱系，前者与中朝地台、塔里木地台拼接，后者与扬子地台拼接在一起，经过不同程度的剥蚀夷平，分别形成了赋存重要煤炭资源的滨海型石炭纪和二叠纪含煤沉积。如华北的石炭二叠纪煤系，华南的晚二叠世龙潭组等．沉积在地槽区的石炭纪和二叠纪含煤地层，如秦岭地槽的杨山煤田，松潘三江地槽的乌

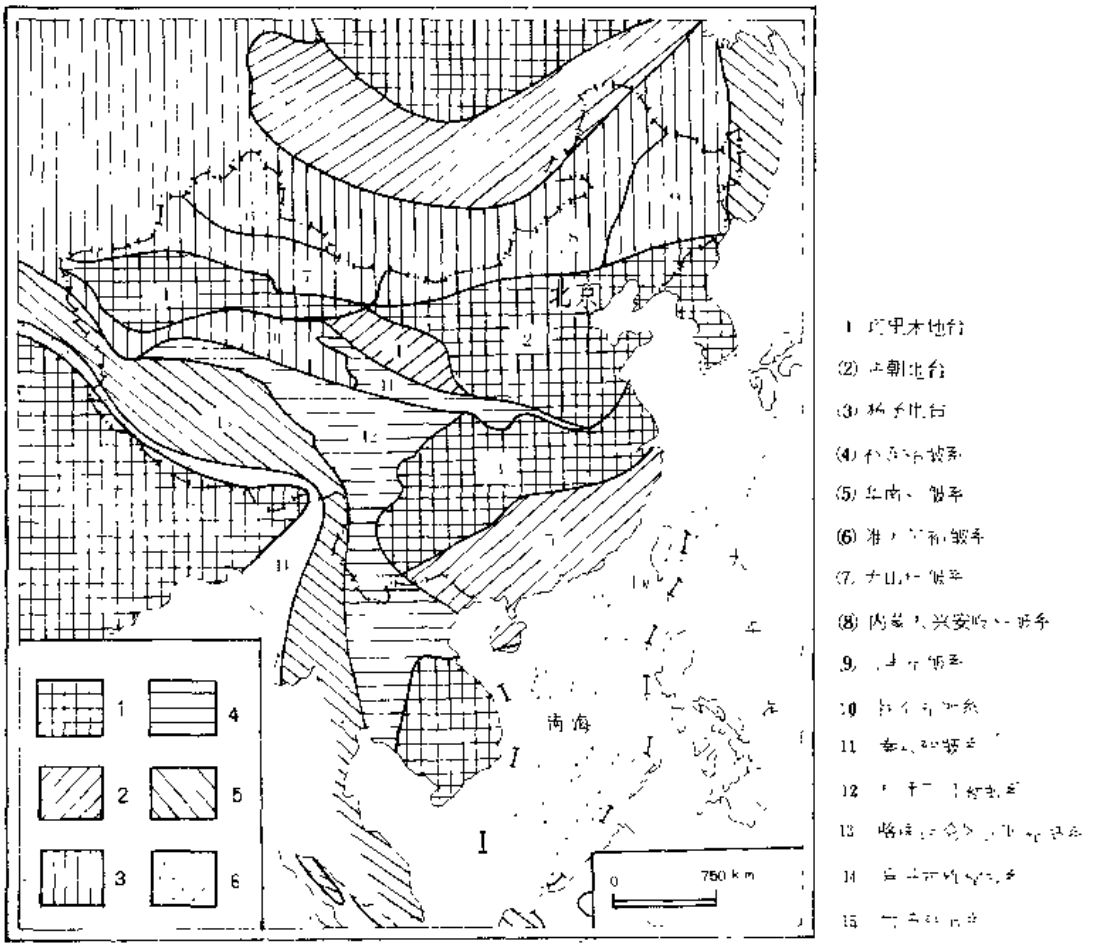


图 1-2　中国大地构造位置示意图

1—地台;2—加里东褶皱系;3—海西褶皱系;

4—印支褶皱系;5—燕山褶皱系;6—喜马拉雅褶皱系

丽煤田、昌都煤田，准噶尔地槽的石炭二叠纪的含煤沉积，均因地壳沉降速度过快，形成的煤层层数虽多，但较薄，经济价值较差。

海西运动结束后，原北方广大地区的地槽形成褶皱系，如昆仑褶皱系、天山褶皱系、准噶尔褶皱系、内蒙大兴安岭褶皱系、吉黑褶皱系等，进入了剥蚀、夷平时期。南方海西运动表现微弱。印支运动在南方非常重要，除秦岭地槽、松潘三江地槽封闭形成褶皱外，在华南广大的地台区均有所表现，川滇地区形成坳陷，东南部的湘、赣、粤、闽诸省形成指状断陷和坳陷，产生了晚三叠世含煤沉积。西北的鄂尔多斯地区也由此开始形成内陆坳陷盆地，发育含煤沉积。此时，准噶尔褶皱系、天山褶皱系等，经过一段时间的夷平，也已开始沉降，形成了准噶尔盆地和吐哈盆地中的含煤沉积。一般煤层发育尚好。喀喇昆仑、冈底斯地槽中的晚三叠世含煤沉积厚达 3000—4000m，煤层多而不稳定，如土门煤田。

燕山运动表现强烈，中、晚期除使喀喇昆仑、冈底斯地槽封闭外，旋回早期在西北地区表现最为突出，形成了准噶尔、吐—哈、塔里木、鄂尔多斯等以坳陷为主的早、中侏罗世大型含煤盆地，煤炭资源最为丰富。中小型盆地枚不胜数，从新疆的伊犁盆地到

甘青地区的木里、窑街，山西大同，河南义马，北京门头沟，直到山东的坊子煤田，都是很重要的煤产地．南方的早、中侏罗世含煤地层发育较差，分布另星，且范围很小．

燕山旋回晚期，在我国的华北东部和东北地区形成了一系列断陷和坳陷盆地．除三江平原一带为晚侏罗一早白垩世的海陆交替相含煤沉积外，其余均为陆相含煤沉积盆地．如海拉尔、霍林河、胜利、元宝山、阜新等煤田，煤层虽不稳定，但厚度巨大，都是大型的煤炭基地．

喜马拉雅运动除使喜马拉雅地槽和台湾地槽形成褶皱系外，在东北、华北、两广、云南和台湾等地，形成了断陷和坳陷盆地，沉积了新、老第三纪含煤地层．如东北的依兰、伊通、抚顺，华北的黄县，两广的茂名、百色，云南的昭通等煤田．台北煤田属地槽型沉积，地层厚度大，煤层薄，虽资源不甚丰富，但尚可开采利用．

1.3.2 煤田构造特征

由于煤田所处大地构造位置不同，所经历的构造变动不尽一致，因此，各煤田的构造形态有很大差异．对我国煤田起改造破坏作用的当以燕山运动和喜马拉雅运动为主，印支运动影响相对较小．总的趋势是时代越老的煤田，经历构造变动期次越多，构造越复杂．

我国煤田地质构造从大的方面讲是南方复杂，北方简单．

北方古生代煤田均分布在地台区．太行山以西的煤田构造一般为倾角平缓的褶皱，对开采极为有利．煤层甲烷含量主要取决于埋藏深度、变质程度和岩石的生、储、盖组合特征．太行山以东地区，在燕山运动晚期的断裂活动中形成断块构造，如太行山东麓、豫东、苏北、皖北和山东大部分煤田．一般说来，此类煤田煤层甲烷容易散失，甲烷风化带相对较深．在地台南北边缘的淮南、豫西、京东、开滦等煤田，由于南北方向的强烈挤压作用，除发育断块构造外，又有褶皱伴随着逆断层和逆掩断层乃致推覆体产生，构造复杂程度增高．煤层甲烷保存条件较好，含量较高．中生代煤田一般为宽缓的褶曲构造．向西由祁连山褶皱系中的煤田到新疆准噶尔煤田、天山褶皱系中的煤田，褶皱逐渐强烈，盆地边缘地层直立甚至倒转，同时还发育一些逆断层或逆掩断层．向东构造亦逐渐复杂，到三江一穆棱河盆地，煤田褶皱较紧闭，翼部发育成组的正断层和逆断层．中间地区也有个别构造复杂的煤田，如京西煤田斋堂矿区．煤层甲烷含量除一般较古生代煤田低以外，同时代煤田煤层甲烷含量是构造复杂煤田大于构造简单的煤田，可能是煤层受强烈挤压后其中的甲烷不易散失所致．

南方古生代煤田的褶皱构造最为发育，并伴有多种断裂．以江南古陆两侧最为典型，有的褶皱紧闭成为直立梳状褶曲，两翼被断层复杂化，如川东煤田．有的除褶皱本身紧闭外，其翼部还发育有次级褶曲，致使地层反复倒转，并使岩层和煤层产生流动变形，如湘中、湘东南、萍乐等煤田，是煤层甲烷赋存条件最复杂的矿区．常出现煤层甲烷局部富集；褶皱复杂和断裂发育地段，也是煤层甲烷最易发生突出的部位．除此之外，川南、黔西、滇东、浙北、皖南等地煤田的构造形态亦较复杂，煤层甲烷含量也很高．在粤北、湘南、苏南等地，还发育有大型的推覆构造，使煤田的构造形态进一步复杂化．中生代煤田除扬子地台边缘的川滇地区的煤田断裂构造较复杂，粤北、湘南地区的推覆构造对煤田破坏较严重外，其余大多数煤田均为较开阔的褶皱构造．

新生代煤田不论在南方还是北方，均为宽缓的向斜、单斜或较简单的断块构造，仅个别煤田的褶皱较为紧闭，翼部发育有冲断层，如抚顺煤田.

1.4 煤炭资源分布①

我国是世界上煤炭资源最丰富的国家之一．截止 1982 年底的资料（不包括台湾），全国探明储量已达 7674.0×10^8t，预测储量 42805.26×10^8t，煤炭资源总量为 50479.26×10^8t，居世界前列.

虽然我国煤炭资源非常丰富，但分布却很不平衡．从煤层甲烷资源评价角度，以下几个方面是值得注意的.

1.4.1 时间分布

从各地质时代所形成的煤炭资源来看，石炭纪（晚石炭世太原组）、二叠纪（早二叠世山西组、下石盒子组和晚二叠世上石盒子组、龙潭组）、侏罗纪（早、中侏罗世和晚侏罗世—早白垩世）这三个纪的煤炭储量分别占我国探明储量的 27.28%、30.28%和 38.84%，三者合计占全国探明储量的 96.40%．其他各聚煤期（华南早石炭世、早二叠世，全国的晚三叠世和第三纪）的储量不大，仅占全国探明储量的 3.60%．这样，我们针对 6 个聚煤期（除上述 4 个纪外，还包括晚三叠世和部分第三纪）进行煤层甲烷资源评价，基本上可以反映整体情况.

1.4.2 空间分布

从平面展布分析，根据煤炭储量丰度（单位面积内所拥有的煤炭资源量）的分布状况，可大致将我国划分为北、中、南 3 个带.

北部较富煤带：位于阴山以北，包括黑、吉、辽三省及内蒙古东部．本带含煤程度较高，约占全国煤炭总量的 8%．带内煤炭资源量较丰富的地区为大兴安岭西坡的海拉尔含煤区和胜利—霍林河含煤区，其次为三江—穆棱河含煤区及锦州—长春地区．上述地区储量丰度为 $5.00\sim10.00\times10^6$t／km^2 或 $1.000\sim5.000\times10^7$t／km^2．其他地区的储量丰度大都在 $1.00\sim5.00\times10^6$t／km^2 之间，而黑龙江省中、西部含煤丰度仅为 $5.0\sim10.0\times10^5$t／km^2.

中部富煤带：北以阿尔泰—阴山为界，南以塔里木盆地北缘—秦岭为界呈东西向展布的广大地区，包括华北、西北两大区的大部及山东、河南两省和苏、皖的部分地区．本带是我国含煤最为丰富的地区，约占全国总资源量的 86%．尤其以东部和西端更为丰富，含煤丰度都在 $5.00\sim10.00\times10^6$t／km^2 之间，局部地区高达 5.000×10^7t／km^2 以上．东部包括京、晋、冀、鲁、豫、陕、宁及苏北、皖北和内蒙古南部、甘肃东部等地；西端指新疆北部地区．介于其间的中部，包括甘肃、内蒙古西部和青海北部，含煤甚少，煤炭资源量仅占本带内总量的 1%，丰度在 5.0×10^5t／km^2 以下.

南部少煤带：该带位于塔里木盆地北缘—秦岭一线以南，包括江南 9 省（区）和

---

①本节主要依据《中国煤炭资源图集说明书》（煤炭科学研究院地质勘探分院编，1985）的资料编写.

云、贵、川、藏以及新疆和青海南部，地域辽阔，面积约占全国总面积的 1／2．但煤炭资源量很少，仅占全国煤炭总量的 6%左右．带内煤炭资源丰度较高的地区如贵州六盘水地区（范围较大）及桐梓，云南昭通、小龙潭、昆明、下关，四川重庆地区，江西萍乡、丰城，湖南涟邵、资兴等地，其丰度在 5.00～10.00×10^6t／km^2 之间；其余广大地区煤炭资源储量丰度均很低，一般在 5.0～10.0×10^5t／km^2 或 1.00–5.00×10^6t／km^2 之间；尤其是西藏、青海南部、川北、鄂北、苏南、皖南、浙江、福建东部、台湾及两广交境，煤炭储量丰度更低，均在 5.0×10^5t／km^2 以下。

1.4.3 煤的变质程度及其地理分布

从煤的变质程度来看，各变质阶段的煤均有分布，但比重相差很大。依 1982 年的统计资料，各变质阶段煤（按煤种大致归并）的储量所占比例如表 1–13 所示。

表 1–13　全国煤炭保有储量（1982 年底）按煤变质程度储量统计表

变质程度	未变质（褐煤）	低变质（长焰、弱粘不粘、气煤）	中变质（肥、焦煤）	中、高变质（瘦、贫、无烟煤）	情况不明（煤种未定）	总计
储量（×10^8t）	954.03	3079.59	667.02	1793.33	927.45	7421.41
占总储量比例(%)	12.86	41.50	8.99	24.16	12.5	100

由表 1–13 可以看出，我国低变质煤的储量最大，其次为中、高变质煤，两者合计占全国煤炭总储量的 65.66%，它们在形成我国煤层甲烷资源方面，具有极其重要的地位。中变质煤的比例最低，不到 9%。未变质的褐煤占 12.86%，其中储存着生物化学降解型煤层甲烷（生物气）。另外，尚有 12.5%的储量未确定煤种，有待进一步查明。

不同变质程度煤的地理分布状况如下。

未变质的褐煤分布很广，但比较集中的只有 3 个地区。内蒙古东部和黑龙江西北部，沉积盆地较大，含煤面积分布广，成煤时代为晚侏罗—早白垩世．东北东部及南部，成煤时期主要为第三纪。西南地区以云南为中心，向四周延伸到西藏、四川、贵州等，成煤期均为第三纪．

低变质程度的煤在我国大部分省（区）均有分布，但以西北、华北、东北比较集中，尤以新疆北部（包括准噶尔、伊犁、吐—哈、塔里木等大型盆地）、鄂尔多斯盆地、晋冀北部（大同、宁武、张家口、蔚县等地），含煤面积大而连续，储量丰富。

中变质煤在我国煤炭资源中所占比例不大，但分布广泛，常与相邻变质阶段的煤呈连过渡，且变化较大，很少大面积连片分布。仅在开滦、霍西、河东、水城、六枝等矿区有较大面积的分布。

中、高变质煤的资源量仅次于低变质阶段的煤．这类煤绝大多数集中分布在我国东部，即贺兰山—六盘山—龙门山—哀牢山以东地区。在京西、沁水、渭北、豫西、淮北、川南和黔北等地，都有大面积连片分布，煤炭资源量很大．它们相对集中的区域对

煤层甲烷的赋存是有利的．另外，湘中、赣北、闽西等地，由于受构造破坏和岩浆侵入等影响，多呈零散分布；在京西、赣北、闽西等地还有一部分超高变质的无烟煤．这些则是煤层甲烷赋存的不利之处。

1.4.4 资源埋藏深度

据全国煤田预测资料,埋深在 1000m 以浅的资源量占全国总量的 52.78%；1000～1500m 之间占全国总量的 22.29%；1500～2000m 之间占全国总量的 24.92%。可以看出，全国煤炭资源有 75%埋深小于 1500m，其中一半以上埋深小于 1000m，这对煤层甲烷资源的开发利用是有利的。

综上所述，我国聚煤作用的时、空演化及煤炭资源的分布状况，从根本上决定了全国煤层甲烷资源状况的基本格局（资源量大小、地理分布等）；对煤层甲烷资源评价和勘探开发部署等，具有重大影响。

2 我国煤矿瓦斯基本特征

矿井瓦斯是煤层甲烷的一种重要气显示。由于我国煤炭生产主要为井下开采，有不少矿井瓦斯大，突出严重。所以，矿井瓦斯是我国煤炭生产中面临的一个急待解决的问题；而且随着生产规模的不断扩大，矿井开采深度日益增加，问题会越来越严重。因此，揭示煤层甲烷的赋存规律与矿井瓦斯之间的关系，加强煤层甲烷的开发利用，变害为利，把资源开发与矿井瓦斯灾害防治结合起来，是我国煤层甲烷研究的一个重要方面。

2.1 瓦斯矿井分布

在长期的煤炭生产实践过程中，我国各级煤炭部门已在矿井瓦斯方面，积累了大量第一性资料；许多科研、教学单位围绕矿井瓦斯地质特征和瓦斯突出预测预报进行了大量研究工作。在此基础上，煤炭科学研究总院西安分院在"六·五"煤成气科技攻关研究中，曾对我国一些典型煤矿区、矿井的瓦斯地质特征进行了深入调查和研究（李明朝、张五侪主编，1990）；与此同时，由焦作矿业学院杨力生主持，有全国各矿务局和煤田地质单位参加的"中国煤矿瓦斯地质图"编制工作，系统地汇集了全国的资料。在这些工作的基础上，我们又作了一些必要的补充调查与分析。据中国煤矿瓦斯地质图编图组对我国 25 个省（区）的 1799 对大、中、小型矿井的资料统计，其中煤与瓦斯突出矿井① 249 对，占全国矿井总数的 14%；高沼矿井 486 对，占 27%；低沼矿井 1064 对，占 59%。可见我国高突矿井较多，达 735 对，约占全国矿井总数的 41%。

华南地区（川、黔、滇、湘、赣、桂、粤、闽、浙、鄂）的 978 对矿井中，突出矿井 173 对，高沼矿井 285 对，低沼矿井 520 对。高、突矿井比例较大，达 47%，高于全国平均数的 6%。

---

①据我国1980年颁布的《煤矿安全规程》规定：低沼矿井：矿井沼气相对涌出量 $\leq 10m^3/t \cdot d$；高沼矿井：矿井沼气相对涌出量 $> 10m^3/t \cdot d$；煤与瓦斯突出矿井：发生一次以上煤与瓦斯突出的矿井。

华北七省（区）（晋、冀、鲁、豫、苏、皖、内蒙古）的540对矿井中，煤与瓦斯突出矿井50对，高沼矿井114对，低沼矿井376对。高、突矿井仅占全区总数的30%。低于全国平均数的11%。高突矿井主要分布在唐山、宣化、峰峰、鹤壁、焦作、禹县、韩城、淮北、淮南等矿区。

东北三省（辽、吉、黑）的150对矿井中，煤与瓦斯突出矿井23对，高沼矿井76对，低沼矿井51对。高突矿井的比例66%，超过全国平均数的25%。高突矿井主要分布于鹤岗，双鸭山、营城、辽源、通化、抚顺、本溪、阜新、北票等矿区。

西北（陕、甘、宁、新、青）五省（区）的107对矿井中，煤与瓦斯突出矿井4对，高沼矿井11对，低沼矿井92对。可见西北五省（区）高突矿井的比例最低，比全国平均数低27%。

上述情况表明，我国矿井瓦斯分布的区域特征与煤炭资源量的分布正好相反，即华南、东北两区煤炭资源少，而高、突瓦斯矿井比重高；相反，华北和西北两区煤炭资源十分丰富，高突瓦斯矿井的比例却很低。这就使得瓦斯矿井分布的不均衡现象更为突出。这种情况之所以出现，我们认为主要原因是：

1.华南地区虽然煤炭资源缺乏，但煤的变质程度高，均为中、高变质阶段的烟煤和无烟煤，煤中甲烷含量高；同时华南地质构造非常复杂，煤田多呈束状褶皱带，不同时代，不同型式的构造互相复合联合，为瓦斯突出提供了有利的构造应力条件；再者本区经济发达，煤炭供求紧张，因而煤矿开发强度大，这在一定程度上也增加了高突瓦斯矿井的比重.

2.华北地区煤炭资源丰富，主要成煤期为石炭二叠纪和早、中侏罗世。其中早、中侏罗世煤变质程度较浅，除京西为无烟煤外，其余地区均为低变质阶段的长焰煤、气煤；煤中甲烷含量低，绝大部分为低沼矿井。石炭二叠纪煤变质程度较高，有大片无烟煤分布；在晋中南、豫西、峰峰、淮北等中、高变质煤分布的地区高突矿井较多。上述地区之外的石炭二叠纪煤田，煤变质程度较低，绝大部分为气、肥煤，局部可达焦、瘦煤，煤中甲烷含量不高。同时华北地区在燕山运动后大部分隆起，遭受侵蚀，使煤层甲烷大量释放；喜马拉雅运动，引起断块升降，煤系完整性进一步破坏；特别是山东东部的郯庐断裂带强烈活动，这些都不利于煤层甲烷的保存，致使山东境内几乎全为低沼矿井。

3.西北地区煤炭资源亦十分丰富，主要成煤期为早、中侏罗世，其次在渭北、贺兰山、河西走廊等地为石炭二叠纪煤系。有部分开采石炭二叠纪煤的矿井为高突瓦斯矿井。本区早、中侏罗世煤，除宁夏汝箕沟、青海热水、新疆艾维尔沟等少数地段为中、高变质程度外，其余广大地区均为低变质阶段的长焰煤、局部为气煤。这种煤，甲烷生成量少，含量低。西北地区早、中侏罗世煤田地质构造简单，煤层遭受构造破坏十分微弱，基本保持了原生状态；一般在聚煤盆地边缘受冲断层影响，使局地段内煤系产状变化大，直立或倒转（如乌鲁木齐矿区），煤层出露地表，使甲烷向大气逸散。加之区内煤田开发程度差，绝大部分矿井开采深度不大，多在300m以浅。凡此种种，都使得本区矿井瓦斯涌出量低，以低沼矿井占绝对优势.

4.东北地区的情况比较复杂，主要成煤期为晚侏罗一早白垩世，其次为石炭二叠纪

和第三纪．煤的变质程度普遍较低，大兴安岭西坡均为未变质的褐煤；整个东北地区的第三纪煤，除抚顺矿区为长焰煤、气煤外，余者亦皆为褐煤；这些产褐煤地区的矿井瓦斯涌出量少．在东北区的东部和南部，晚侏罗一早白垩世及石炭二叠纪煤系，变质程度较高，气、肥、焦、瘦煤均有，局部（七台河、本溪）可达无烟煤，甲烷含量较高；而且各种构造交叉复合，造成局部应力集中，煤体强度降低，致使矿井瓦斯涌出量大，煤与瓦斯突出频繁、强度较大．因而总体看，高、突瓦斯矿井比例高．

总之，我国煤矿瓦斯矿井分布的区域特征表现出南高北低，东高西低的基本格局．华南高、突矿井居多，东北，华北次之，西北五省（区）、山东、内蒙古则以低瓦斯矿井占绝对优势．

2.2 矿井瓦斯的涌出特征

据统计，我国有瓦斯涌出的矿井 1799 对．它们分布于全国 25 省（区）（见图 2—1），涉及 7 个成煤期（C_1、C—P、P_2、T_3、J_{1-2}、J_3—K_1、R）．从图 2—1 可以看出，

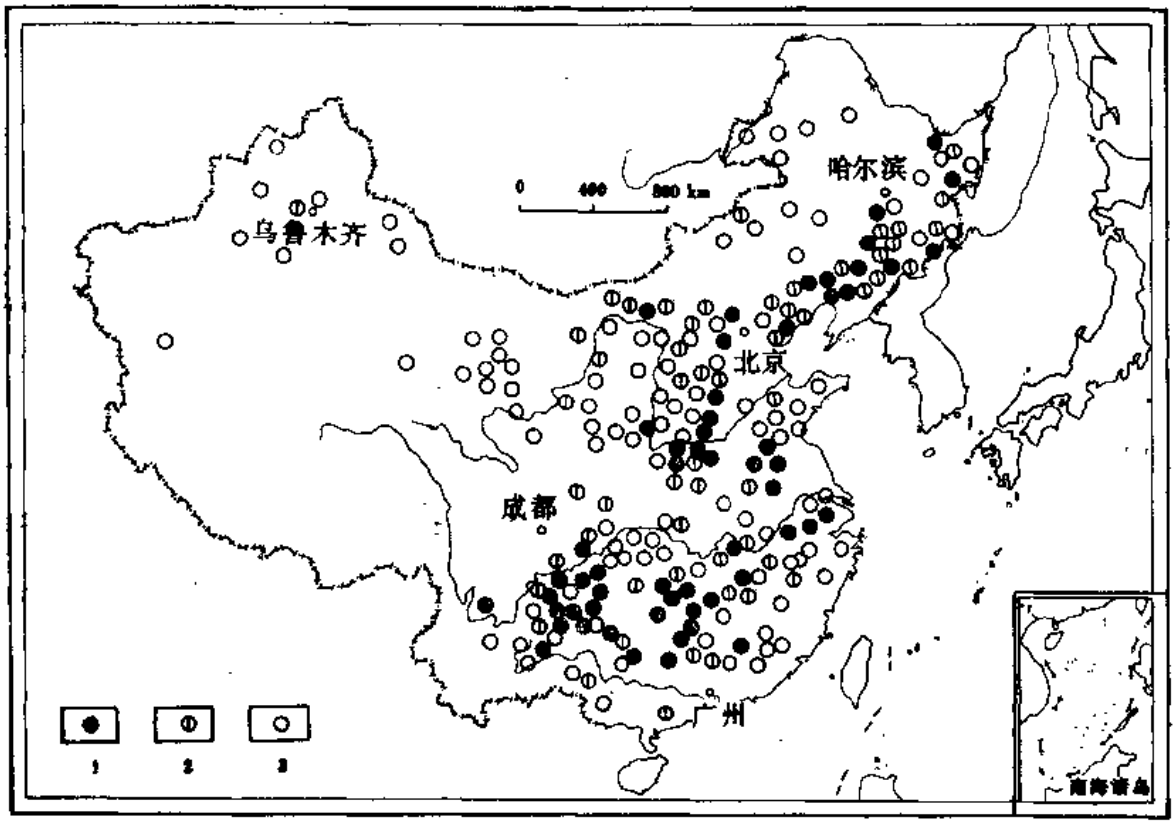


图 2—1 中国主要煤矿瓦斯等级分布示意图

（据张五侪等，1988）

1—突出矿井； 2—高沼矿井； 3—低沼矿井．

我国的高瓦斯矿井主要分布于东部，井且集中于大型隆起带的两侧，呈高瓦斯带出现．诸如鹤岗、双鸭山、鸡西与营城、辽源到抚顺、本溪高瓦斯带；峰峰、鹤壁至焦作高瓦斯带；豫西至徐淮高瓦斯带等．华南区的高突矿井多发生在晚二叠世煤系中，主要分布

于云、贵、川和湘、赣地区，即分布于江南隆起的西北和东南两侧的挤压应力比较集中的弧形褶皱带（张五侪等，1988）。

我国煤矿瓦斯涌出现象不仅普遍，且有许多矿井瓦斯涌出量很大，严重影响煤矿生产。据1985的全国统配与重点煤矿570对矿井的瓦斯鉴定资料①，高突矿井就有266对，占46.6%。570对矿井的瓦斯绝对涌出量共计达5971m^3/min，全年瓦斯涌出总量约为$31.4\times10^8m^3$，平均每对井为10.48m^3/min。其中大于15m^3/min的就有86对井，最大的为抚顺矿务局老虎台矿，矿井瓦斯涌出量达55.9m^3/min。

瓦斯涌出量的大小，一般与开采深度成正比。这与煤层甲烷含量随埋深增加而增加的规律相吻合。同时，开采深度增加意味着对煤层及其围岩揭露范围的增大，瓦斯的来源增多。各矿井统计资料表明，瓦斯涌出量增加梯度大于煤层甲烷含量增加梯度，这表明瓦斯除来自开采层外，还来自邻近煤层和开采区的邻近地段（李明朝、张五侪等，1990）。

对具体矿井而言，在地层倾角不大的厚煤层开采时，顶分层瓦斯涌出量比其它分层大。如抚顺矿区，主煤层平均厚50m，由上而下主要有三、四、五3个分层，其相对涌出量有明显的差别（表2—1）；新采水平的首采区瓦斯涌出量高于邻近其它后采的采区，也高于该水平的平均值。仍以抚顺为例，胜利矿−480m、−530m、−575m水平，首采区瓦斯涌出量分别为该水平平均值的106%、209%、128%。这一特点说明煤层甲烷在采煤过程中的运移是比较快的。

表2—1 抚顺老虎台矿各分层瓦斯涌出量表($m^3/t\cdot d$)

地 点	三分层	四分层	五分层
−506水平505区	21.26	11.00	11.11
−430水平部分工作面	12.51	8.6	7.0

我国煤矿的煤与瓦斯突出也是比较严重的。据焦作矿业学院瓦斯地质研究室对50年代至80年代的不完全统计，我国矿井发生煤与瓦斯突出近8000次，全国年突出频率可达260次。其中特大型突出（>1000t/次）54次，占全国总突出次数的1%；大型突出（500—1000t/次）957次，占12%；中型突出（100—500t/次）1405次，占13%；小型突出（<100t/次）5729次，占74%。从突出强度看，全国煤与瓦斯突出以中、小型突出为主，约占总突出次数的87%，大型、特大型突出占13%。

全国煤与瓦斯突出较严重的有：四川、江西、贵州、湖南、辽宁、广东、黑龙江、吉林、河南、山西、河北、安徽、江苏等省（见图2—2）。尤其是四川、贵州、江西、湖南四省最为严重，仅湖南省特大突出次数竟占全国特大型突出次数的一半以上；其次是河南、广东、辽宁、安徽四省。

①据李中成等(1988年)，煤矿瓦斯利用现状存在问题及今后发展方向。

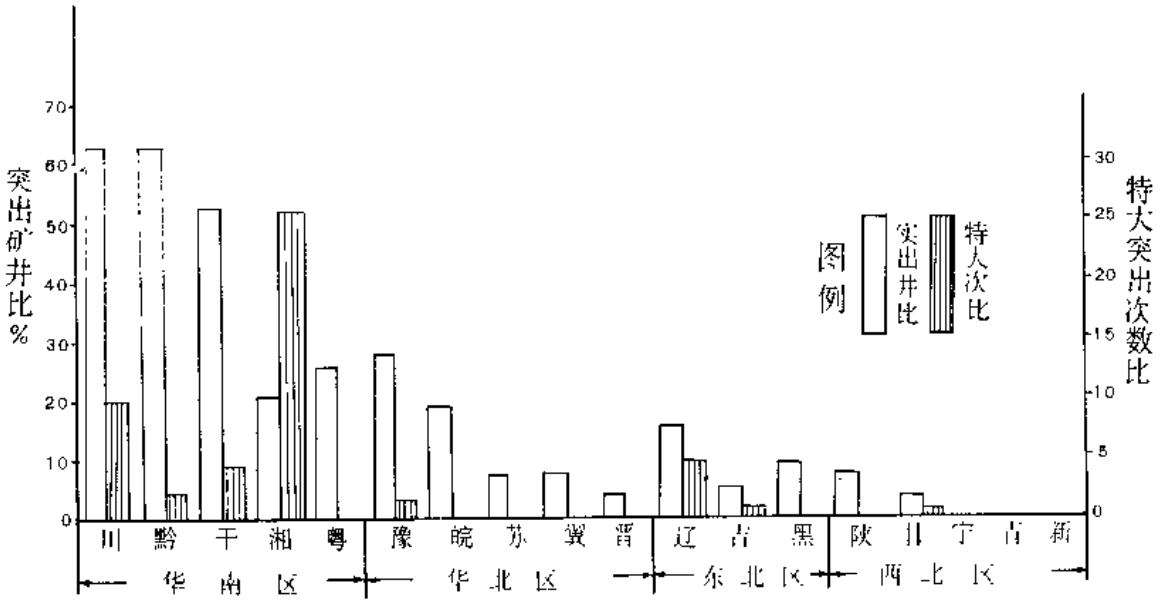


图 2—2 全国各省区突出矿井数比与特大突出次数比直方图(据焦作矿业学院，1987 年)

在上述诸省中，重点突出矿区有：四川的天府、南桐、中梁山、芙蓉；湖南的白沙、涟邵；贵州的六枝；江西的英岗岭、乐平、丰城、萍乡；浙江的长广；河南的焦作；山西的阳泉；河北的下花圈、开滦；安徽的淮南、淮北；辽宁的北票、抚顺；吉林的辽源；黑龙江的鸡西等.

研究表明，我国主要煤矿煤与瓦斯突出有如下特点：

1）高频低强，低频高强逆反规律普遍存在．煤与瓦斯突出是当应力平衡状态被破坏时煤与瓦斯的一种能量快速释放过程．释放的越集中，突出强度就越大，而发生的频率就低；反之亦然．

2）开始发生突出及特大型突出的深度浅．我国许多突出严重的矿井（尤其是南方）始突深度为 100 余米．湖南白沙矿及某些地方矿井（如郴州地区罗卜安矿、邵阳地区沙田矿等），始突深度仅为 50～80m．发生特大型突出的深度也比较浅，一般为 200—300m 左右．煤与瓦斯突出的始突压力约为 10kg / cm^2 左右．

3）我国特大型煤与瓦斯突出多发生在石门穿煤层过程中．全国发生的 50 余次特大型突出，90%发生在石门穿煤层过程．这一特点揭示了煤层顶底板的封闭作用．由于岩层抗压强度高，透气性低，煤与瓦斯的潜能得不到分散释放，因此，石门一旦穿过煤层，高压煤与瓦斯便突发性集中释放而大量、快速涌入巷道．

在全国发生的近 8000 次突出中，87%发生在掘进巷道时，回采过程中比较少．在掘进煤层巷道时很少发生大型突出，常以中、小型突出为主．

2.3 矿井瓦斯的地化特征

2.3.1 瓦斯的组成成分

矿井瓦斯是一种多成分的混合气体，主要是指来自煤体及其围岩，以及在煤矿生产过程中所产生的各种气体的总称，其主要成分是甲烷（CH_4）．

无论是钻孔解吸瓦斯气样还是瓦斯抽放钻孔孔口采样，以及井下所采煤样解吸气样测试结果均表明，矿井瓦斯主要组成有甲烷、二氧化碳、氮气、重烃气（见表 2—2）.

表 2–2　　瓦斯气体组分数据表

气样种类	采样地点	层位	深度 (m)	气体组分含量（%）				煤种
				CH_4	C_{2-5}	CO_2	N_2	
抽放煤层气	辽宁铁法大隆	J_3–K_1	330	93.02		1.14	5.74	气煤
	黑龙江鹤岗南山	J_3–K_1	281	66.55		0.1	33.41	气煤
	陕西宜君焦坪	J_{1-2}	710	80.15		4.36	15.49	气煤
	内蒙古包头河滩沟	J_{1-2}	261	79.46	4.75	0.1	15.63	焦煤
	江苏苏州渡村	P_2	514	97.65	0.34	1.44	0.75	气煤
	贵州水城江家寨	P_2	150	95.66	0.45	3.89		肥煤
	四川重庆天府	P_2	780	89.12	8.75	0.64	1.50	焦煤
	安徽淮北石台	P_1		79.03	14.03	5.85	0.03	焦煤
	河北唐山赵各庄矿	C_3	965	92.45		5.64	1.90	气煤
	山西阳泉五矿	C_3	482	82.06	0.01	0.79	17.05	无烟煤
	山西沁水永红矿	C_3	505	97.36		0.58	0.91	无烟煤
	湖南冷水江资江矿	C_1		82.08	0.20	1.08	16.84	无烟煤
解吸煤层气	辽宁抚顺老虎台	E		79.93		19.51	0.56	长焰煤
	安徽淮南谢一矿	P_1	450	73.45	0.12	1.61	24.82	气煤
	陕西韩城马家沟	C_3		92.98		2.72	4.29	贫煤

此外，还有少量的氢气、一氧化碳、硫化氢及氩气等稀有气体．甲烷往往是其主要的成分．然而，不同的矿井，不同的埋深，以及不同煤阶的差异均可使瓦斯成分出现较大差异．其中值得注意的是，瓦斯组分中甲烷和氮气含量互为消长关系．

2.3.2　瓦斯的深度分带

我国煤炭系统多年的瓦斯成分分析结果表明，随着埋深的变化，瓦斯的成分、含量及其性质也发生相应的变化．由浅而深可分为 4 带（据《矿井地质工作手册》，1986 年）：

1）.瓦斯风化带：

二氧化碳—氮气带：CO_2 20—10%、N_2 80～90%，无甲烷；

甲烷—氮气带：CH_4 < 50%、N_2 > 50%；

氮气—甲烷带：CH_4 50—70%、N_2 50—30%；

2）.瓦斯带（甲烷带）：CH_4 > 70%，其余为 N_2 和其它气体.

在瓦斯风化带内，瓦斯成分既包括煤成气产物，也包括空气和表生作用带生物及化学作用的产物．该带内甲烷含量较低，从煤层甲烷资源角度看没有实际意义．由于各煤田地质条件不同，瓦斯风化带的深度差异极大．浅者几十米深（如芙蓉矿区白皎矿约80—100m），深者可达 600m 以上（如淮南矿区煤层倾角大于 60° 的地段）．同时，在有古风化面的地区往往有古瓦斯风化带存在．如江西丰城矿区，在曲江向斜南翼古风化面附近就有古瓦斯风化带．它的存在对研究瓦斯成分、甲烷含量，甲烷资源评价等都是值得重视的问题.

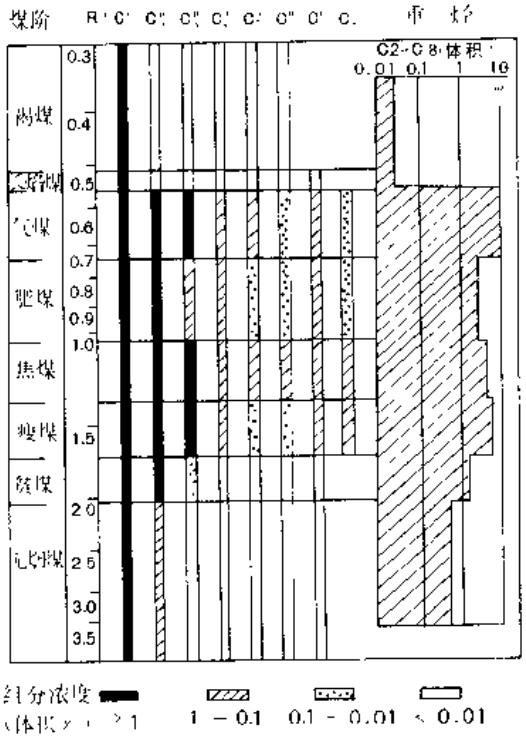


图 2－3　煤层烃类气体产出与煤阶关系图

（据煤科院抚顺所）

2.3.3　煤化阶段与煤层烃类气体组成的关系

热模拟生气实验表明，不同热演化阶段，煤所产生的烃类气体组成是不同的，尤其是长焰煤至瘦煤阶段生成的烃类气体成分最为复杂（李明朝、张五侪主编，1990），煤炭科学研究总院抚顺分院亦通过采集不同变质阶段煤层煤样取得了类似的结论（见图 2—3）①．可以看出，瓦斯中重烃气组分及其含量的多少，与煤的变质程度关系很大.

2.3.4　气体的解吸层次与煤层烃类气体组分

在解吸试验过程中，不同解吸层次的瓦斯成分不同．解吸试验分为 3 个层次，即：（1）常温真空解吸；（2）95℃ 恒温真空脱气和（3）煤样粉碎至 0.25mm 以下并加热至 95℃ 恒温真空脱气．根据江西丰城矿区各层次瓦斯成分的测试结果（表 2—3）表明，瓦斯中烃类气体组分变化有如下特征：

1）.常温真空解吸的瓦斯，各种烃类气体组分的含量随其碳数的增多而相对含量减少，即 $C_1^0 > C_2^0 > C_3^0 > C_4^0 > C_5^0$．其中甲烷和乙烷是瓦斯中的主要烃类气体.

2）.甲烷的相对含量随解吸层次的"深入"而下降．在常温真空解吸阶段，甲烷虽被大量解吸出来，但仍未能使甲烷相对含量大幅度降低，以致于 95℃ 恒温真空脱气阶段

①据煤炭科学研究院抚顺研究所、淮南矿业学院，1985，煤层烃类气体组分与煤岩煤化关系的研究，国家"六五"科技项关成果报告.

表 2—3　　丰城矿区解吸煤层气烃类组分

井田	样号	试验条件	烃类组成（%）					$\Sigma C_2^0—C_5^0$(%)
			CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	
曲江*	602 孔	常温真空	75·86	0·74	0·35	/	/	1·09
		95℃恒温	45·24	41·54	6·20	3·37	0·54	51·65
		95℃粉碎后	8·87	12·93	13·18	4·95	0·92	31·98
云庄*	604 孔	常温真空	81·8	0·96	0·06	/	/	1·02
		95℃恒温	67·38	13·40	2·75	0·97	/	17·12
		95℃粉碎后	4·18	4·32	5·77	6·05	/	16·14
尚庄	尚 1—1—2	95℃恒温	6·33	0·10	4·33	0·42	0·06	4·91
		95℃粉碎后	1·23	0·13	17·74	2·10	2·04	19·99
坪湖	坪瓦 B_4—1	95℃恒温	41·12	8·27	0·20	/	/	8·57
		95℃粉碎后	17·50	10·64	0·41	/	/	11·05
建新	建瓦 B_4—2	95℃恒温	22·93	7·79	4·93	0·62	0·22	13·56
		95℃粉碎后	8·67	5·33	0·36	1·70	/	7·39

* 江西 195 煤田地质队资料.

的气样中，甲烷相对含量仍较高．但以95℃恒温真空脱气之后，甲烷已所剩无几．故煤样粉碎后脱气所获气体中甲烷相对含量很低．

3）.重烃气体的解吸量与甲烷相反．在常温真空解吸条件下，重烃解吸量非常低，尤其是 C_3H_8、C_4H_{10} 以后的重烃气．95℃恒温脱气所解吸的气体中重烃相对含量增加，尤以乙烷增加幅度为大．粉碎后脱气，乙烷相对含量降低，而 C_3H_8、C_4H_{10} 和 C_5H_{12} 的相对含量增加．

这说明不同分子量的烃类气体的吸附能力是不同的，分子量越大吸附能力越强．

3 煤层甲烷赋存的生、储、盖条件

从天然气资源形成的生、储、运、保诸条件来看，煤层既是煤层甲烷的生气源岩，又是储集岩，煤层中的甲烷没有发生明显的运移聚集．这是我们探讨煤层甲烷的赋存规律及资源评价的基本出发点之一，也决定了煤层本身的生、储能力是我们研究的重点．本章根据大量实际资料和实验数据，着重探讨煤的孔隙特征及吸附性能，并结合生气能力，将煤（在热演化系列中）按甲烷生、储能力划分成不同类型；同时，对甲烷在水中的溶解度和煤层顶板的封闭性能进行讨论．从而为分析煤层甲烷富集条件和资源评价，提供了直接依据．

3.1 煤层甲烷的生成及赋存状态

3.1.1 煤有机质的热演化及甲烷的生成与存在

现今赋存于煤层中的甲烷，是成煤作用过程中有机质所生成的烃类气体，经运移、散失后仍然保留在煤层中的那部分天然气．它在有机成因天然气分类中所处的位置如表3-1所示．

表3-1　　有机成因天然气分类表

演化阶段	R^{o}_{max}(%)	腐殖型(母质以Ⅲ型为主)		腐泥型(母质以Ⅰ、Ⅱ型为主)
未成熟	＜0．5	腐殖型生物气		腐泥型生物气
成熟	0.5-1.3	煤层甲烷(煤层气)	煤成气(聚煤气)	热解气(伴生气)
高-过成熟	1.3-6.0			热裂解气(凝析气、干气)

煤是一种有机质（主要为腐殖型）高度富集的可燃有机岩．现代研究认为，煤有机质的基本结构单元，主要是带侧链官能团并含有杂原子的缩合芳香核体系．在煤化作用

过程，侧链官能团因断裂、分解而减少，芳香核环数目则不断增加，纵向堆砌加厚，排列有序化，从而造成有机质一系列物理的、化学的变化，形成不同性质的各类煤．这里有两点需要着重指出：其一是煤的物理性质的一系列变化；其二是烃类物质的生成．

由于芳香核的缩聚和侧链官能团脱落程度的不同，使煤的一些物理性质发生有规律的变化．一般认为，"年轻煤的大分子结构单元含有较小的核和较多的侧链及官能团，因此形成比较疏松的空间结构，其孔隙及比表面较大．中等变质的煤（肥煤和焦煤）含氧官能团少；芳核上的烷基侧链也减少；芳核增大，结构单元之间的桥链减少，结构致密，孔隙率低．年老煤的聚合环显著变大，结构逐渐有序化，向石墨靠近．由于收缩应力的增加，以致裂纹增多，孔隙率又开始增加"（陶著主编，1984）．上述一系列变化，直接控制着煤的孔隙特征及吸附性能的变化．

在芳香核缩合和侧链及官能团脱落分解过程中，伴随有大量烃气的生成，其中主要是甲烷．成煤作用各阶段形成甲烷气可由下列示意反应式表示①．

$$4C_{16}H_{18}O_5 \rightarrow C_{57}H_{56}O_{10}+4CO_2+3CH_4+2H_2O$$

泥炭　　褐煤

$$C_{57}H_{56}O_{10} \rightarrow C_{54}H_{42}O_5+CO_2+2CH_4+3H_2O$$

褐煤　　沥青煤

$$C_{15}H_{14}O \rightarrow C_{13}H_4+2CH_4+H_2O$$

烟煤　　无烟煤

煤的生烃机制及生气规模一直是人们十分关心的问题，它不但可以指导人们有效地进行油、气勘探，也是进行煤成气资源量计算的最基本参数．为此，我国不少单位在煤成气研究中，以干酪根热降解生气理论做指导，以低煤阶的煤及碳质泥岩为对象，进行了热模拟生烃试验，取得了一批有价值的实验成果．在此基础上，结合煤系地球化学资料，提出了煤系有机质成烃模式和煤气发生率实测数据（徐永昌等，1986；李明潮、张五侨主编，1990；以及地质矿产部石油地质研究所和石油勘探开发科学研究院，1985，"六五"国家科技攻关报告）．热模拟试验表明，在煤的热演化过程中出现两次甲烷生气突变，它与煤化作用过程中的煤化跃变有着密切的联系．第一次突变出现在长焰煤开始阶段（相当于 $R^{o}_{max}=0.6\%$），与第一煤化跃变相吻合；第二次生气突变出现在焦煤阶段后期（相当于 $R^{o}_{max}=1.7\%$），其特点是甲烷生成增量突然降低，相应煤中"腐殖凝胶基本上完成了脱水作用，水分和孔隙度都达到了最低值"（杨起、韩德馨主编，1979）．根据上述情况并结合煤系生气岩的地球化学和煤质资料，将煤系有机质的演化过程划分为三个阶段（张五侨等，1988）（参见图 4-1）：

1.未成熟阶段

本阶段指泥炭至褐煤阶段（$R^{o}_{max}<0.5\%$）．有机质在细菌和氧的生物化学作用下生成一定数量的 CO_2、H_2O 和 CH_4 等，所生成的烃类物质中，甲烷是最主要的成分，不含或极少含有重烃，属于干气，这种气一般称为生物气．总的来看，该阶段生气量小，

①据石油勘探开发科学研究院，1985，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，国家"六五"科技攻关成果报告．

加之褐煤埋藏浅，透气性好，甲烷不易被保存．故褐煤中的甲烷气（生物气）不在本书讨论之列，也未计算煤层甲烷资源量。

2.成熟阶段:

该阶段从长焰煤到瘦煤（$0.5\% < R^{o}_{max} < 1.9\%$），在热降解作用下，烃类物质大量生成．热模拟过程中，两次甲烷生气突变均出现在该阶段内，烃类气体组分仍以甲烷为主，甲烷增量在焦煤时达到最高值；但重烃含量明显增加，在焦煤和部分肥煤阶段是重烃产率最高的时期．这一阶段也是液态烃（油）的主要产出阶段．该阶段是煤层甲烷的主要生成阶段．其最大特点是油、气、重烃兼生并存，烃气属于湿气．

3.高成熟阶段:

本阶段为贫煤到无烟煤（$R^{o}_{max} > 1.9\%$），液态烃趋于消失，重烃产率也明显下降；由于有机质芳香化程度和苯环缩聚大大加强，大部分富氢侧链的脱落，加之先期生成的油、重烃在高温下裂解等，均可导致甲烷的生成．因此，在贫煤阶段再次出现一个甲烷增量的相对高峰．气体组分中甲烷占绝对优势．

表 3-2 汇集了我国热模拟试验的部分实测结果．各家数据虽然相差较大，但所反映的煤在热演化过程中生烃量的变化趋势都是一致的，即均符合上述煤系有机质生烃模式．

煤的生气量控制着低煤阶煤（气煤以前）的气含量．

另外，据王涵云、杨天宇对腐泥型干酪根所进行的热模拟实验成果，当实验温度达到 600℃（$R^{o}=4.08\%$）时，热解产物中重烃几乎全部消失，气体主要由甲烷和氢组成；当温度升高到 800℃（$R^{o}=5.32\%$）时，甲烷开始裂解为碳和氢，随温度升高到 1200℃（$R^{o}=6.45\%$）时，甲烷消失，最终产物为残碳和氢（包茨主编，1988）．虽然这项实验以腐泥型母质为对象，但由于在 600℃ 以后，其烃类产物几乎全为甲烷．因此我们认为，有关甲烷裂解和消失的现象，也可适用于高变质煤和超高变质煤的甲烷的生成与存在．

3.1.2 煤层甲烷的赋存状态

煤层中的甲烷以 3 种状态赋存，即吸附在煤孔隙的内表面上；以游离态分布在煤的孔隙和裂隙内；或溶解在煤层的地层水中．一般说来，煤化作用过程中生成的甲烷气体，首先满足吸附，然后是溶解和游离析出．在一定的温度和压力条件下，这 3 种状态的甲烷气处于统一的动态平衡体系中．另外，在一定条件下（低温高压），甲烷可以固态水化物的形态存在于煤中．但在自然界，这种条件是很难出现的，除非是永久冻土带(余申翰，1981)．在我们的研究领域中，这种情况是不存在的。

下面对甲烷在煤层中的 3 种存在状态分别予以讨论，以确定其对煤层甲烷总含量的影响．

1. 吸附甲烷

煤是一种多孔隙介质，其颗粒表面分子通过范德华力吸引周围气体分子，这是一种固体表面上进行的物理吸附过程．

对煤进行的高压等温吸附试验和压汞试验成果表明，煤的吸附容量随煤阶的变化与煤中半径为 18-500Å 之间的孔隙体积随煤阶的变化，这两者之间有很好的一致性．因

表3—2　　我国部分煤的热模拟试验煤气发生率数据表　（单位：m^3/t煤）

测试单位	变质阶段	未变质煤	低变质煤		中变质煤			高变质煤	
		褐　煤	长焰煤	气　煤	肥　煤	焦　煤	瘦　煤	贫　煤	无烟煤
煤炭科学研究院地质勘探分院*(1987年)	视煤气发生率		3–25	10–54	27–102	55–170	108–246	134–333	268–393
	煤气发生率	38–68△	41–93	48–122	65–170	93–238	146–314	172–401	306–461
石油开发研究院*(1985年)	视煤气发生率		4–31	7–58	26–108	48–176	86–230	114–321	168–390
	煤气发生率	38–68△	42–69	45–126	64–176	86–244	124–298	152–389	206–458
地质矿产部石油地质研究所(1985年)(舒兰褐煤)	视煤气发生率								
	煤气发生率	0.55	1.06	4.25	24.32	55.9	94.77	127.72	221.13
徐水昌等(1986年)(新疆乌苏褐煤)	视煤气发生率		2.49	22.92	53.04	113.57		183.34	325.23
	煤气发生率	1.61	4.10	24.53	54.65	115.18		184.95	326.84

* 为综合数据，△为引用国外文献数据。

此，可以接受苏联学者 N.B.维索茨基（1979）的观点．他认为，在半径小于 15Å，即与气体分子具有同一大小级别（气体分子直径从氢 2.18Å变化到丙烷的 4.9Å）的孔隙中，气体不形成吸附层，仅充满孔隙；吸附最有效的孔隙半径在 15–1000Å之间（N.B.维索茨基著，戴金星等译，1986）．压汞试验表明，煤中半径为 18–500Å之间的孔隙体积占总孔隙的 60–85%；若再加上半径为 500–1000Å的那部分孔隙，则这个比例就更大，从而使煤具有很大的内表面积．也就是说，煤的绝大部分孔隙都在维索茨基所指的对吸附最有效的孔径范围之内．因而，煤对气体有很高的吸附容量．

压力对吸附作用有明显的影响．试验表明，随着压力增加，煤吸附甲烷的量逐渐增大（图 3–1）．压力在 1–15kg／cm^2 范围内，吸附量随压力增加而增加的幅度较大；此

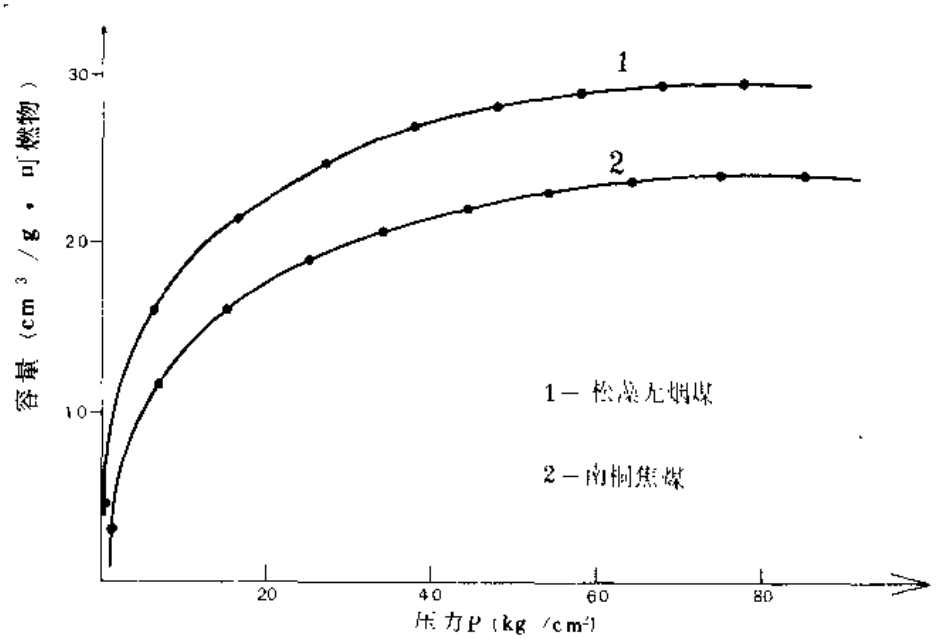


图 3–1　煤吸附甲烷容量与压力的关系
（据严映雍资料作图）

后，压力越高吸附量增加的幅度越小．当压力大于 40kg／cm^2 时，吸附量增加的幅度很小，增加量往往在小数点后的位数上变化；当压力达 60–80kg／cm^2 时，煤吸附量达到饱和值，往后即使压力增加，吸附量也不再增加．因此，在等温吸附过程中，煤的吸附作用满足连格缪尔方程，即

$$Q_x = \frac{abp}{1+bp} \qquad (3-1)$$

式中：

Q_x——吸附量，cm^3／g；

P——压力，kg／cm^2；

a、b——取决于煤质特征的吸附常数．

煤体温度和煤中水分含量对甲烷吸附量亦有明显影响．随着温度的升高煤的吸附量

下降，据煤的实验室研究资料，当压力为 10kg／cm² 时，温度从 25℃ 升高到 50℃，其吸附甲烷量约下降 4／9，压力为 100kg／cm² 时，相应下降 2／7（А.И.Кравцов、Л·Д·Лидин，宋健人译，1983）．由于煤中水分占据了孔隙的一部分内表面和容积，所以随着煤中水分的增加，其吸附甲烷量就减小．综合考虑煤质、压力、温度、水分等因素对吸附量的影响，可用下列公式计算纯煤（可燃物）吸附的甲烷量（Q_x）．

$$Q_x = \frac{abp}{1+bp} \cdot \frac{1}{1+0.17W^f} e^{n(t_s - t)} \qquad (3-2)$$

式中：

P——气体压力，kg／cm²；

a——实验温度下最大吸附量，cm³／g·可燃物；

b——取决于实验温度及煤质的系数，$(kg/cm^2)^{-1}$；

t_s——实验温度，一般选择 30℃；

t——煤体温度，℃；

W^f——煤样的分析基水分，%；

e——自然对数底；

$n = \frac{0.02}{0.993 + 0.007P}$．

2. 游离甲烷

煤的孔隙和裂隙中充满着处于游离状态的甲烷气，这部分气服从一般气体方程，并显现出气体压力，其数量取决于煤的孔隙体积、温度、气体压力和甲烷压缩系数，即

$$Q_y = \phi \cdot P \cdot K \qquad (3-3)$$

式中：

ϕ——煤的孔隙体积，cm³／g；

P——气体压力，kg／cm²；

K——甲烷压缩系数，$(kg/cm^2)^{-1}$．

3. 溶解甲烷

甲烷在水中有一定的溶解度，但与其他气体相比，甲烷的溶解度不大．例如，在 0℃ 和常压时，甲烷在水中的溶解度为 0.0551／l，而相同条件下乙烷为 0.0981／l，二氧化碳为 1.7131／l，硫化氢为 2.6701／l（据 В.А.Соколов，引自 N.B.维索茨基，1986）．即甲烷的溶解度为乙烷的 1／2 强，是二氧化碳的 1／30 和硫化氢的 1／48．根据我们所做的甲烷水溶性试验还表明，甲烷在水中的溶解度与压力和水的矿化度密切相关（详见 3.4）．

为了估计各种状态甲烷气对煤层甲烷总含量的影响程度，我们按前述理论公式，计算了实际煤样中各种状态的甲烷含量及其在总含量中所占的比例．计算的基本条件是：煤的各种参数均为实验室实测数据（表 3-3），甲烷气体压力按 P＝0.1h−20 计算（h 为

表3—3　　计算用煤样的实测数据表

煤样号	煤　层	吸附常数		水分(%)	煤的孔隙率 (cm^3/g)
		a	b		
048	平朔气煤	20.7017	0.0787	3.22	0.03089
001	韩城焦煤	16.7738	0.0900	0.66	0.01542
021	阳泉无烟煤三号	35.7399	0.1322	2.68	0.03020

煤层埋藏深度)，地温梯度按3℃／100m，恒温带温度以15℃计．甲烷的溶解度根据我们所进行的矿化度为2g／l的地层水的水溶试验成果（见表3—16），按内插法近似确定．计算结果见表3—4。

表3—4　不同深度下煤层中各种状态甲烷含量的计算值　(cm^3/g)

计算条件	深度(m)		500	1000	1500	2000
	温度(℃)		30	45	60	75
	气体压力 (kg/cm^2)		30	80	130	180
	甲烷压缩系数		1.036	1.089	1.060	1.176
	甲烷溶解度(l／l)		0.64	1.40	1.97	2.88
甲烷含量	气煤	吸　附	9.398／90.44	9.498／77.64	8.750／66.95	8.335／55.83
		游　离	0.962／9.27	2.690／21.99	4.256／32.57	6,536／43.69
		溶　解	0.021／0.20	0.045／0.37	0.063／0.48	0.093／0.62
		合　计	10.381／100	12.233／100	13.069／100	14.966／100
	焦煤	吸　附	10.719／95,68	10.615／88.70	9.730／81.99	9.227／73.76
		游　离	0.480／4.28	1.343／11.22	2.125／17.89	3.264／26.09
		溶　解	0.004／0.04	0.009／0.08	0.013／0.10	0.019／0.15
		合　计	11.203／100	11.967／100	11.868／100	12.510／100
	无烟煤三号	吸　附	19.610／95.35	18.462／87.37	16.683／79.83	15.717／70.84
		游　离	0.940／4.57	2.631／12.45	4.162／19.92	6.393／28.81
		溶　解	0.017／0.08	0.036／0.18	0.053／0.25	0.077／0.35
		合　计	20.567／100	21.131／100	20.898／100	22.187／100

从表中可以看出:

(1) 在不同深度的各种煤中，吸附状态甲烷均是煤中甲烷的主要部分，所占比例变化于 55.83— 95.68%之间．随着深度的增加，吸附甲烷的绝对含量和比例均有所下降．在1000m 以浅，其含量占煤层甲烷总量的80%以上．

(2) 煤中游离甲烷含量随深度近似成比例地增加，所占比重也逐渐上升，在2000m 处，气煤中所占的比重可达 43.69%．由于不同煤阶煤的孔隙发育程度不同，所以游离甲烷含量多少因煤阶而异，在低变质和高变质煤中含量较大,比例也高；中变质煤中含量最少，比例也最低．

(3) 由于甲烷在水中的溶解度较小，同时，煤层在地下原始状态（未受开采影响）时基本上是"干燥"的，水分含量很低．所以，煤中溶解状态的甲烷含量甚微，在各种情况下（限表中所列）其含量均不及煤中甲烷总含量的 1%．因此，这部分甲烷含量可以忽略不计．

(4) 此次计算游离甲烷含量时，采用的是煤的总孔隙容积，如果扣除分子级别的孔隙容积，那么，游离甲烷的含量和比例将低于表列数据．由于当甲烷压力超过50kg／cm 时，压力的增加对吸附量的影响很小，而游离甲烷却近似呈直线上升．而据国内外实测瓦斯压力资料分析，国内最高瓦斯压力为 81.5kg／cm^2（北票台吉一井)；国外虽有更高的实测值（例如苏联顿巴斯煤田在深 597m 处，瓦斯压力高达134kg／cm^2)，但属于局部地质构造异常区（于不凡等，1987)．所以，就一般地质条件而言，游离甲烷的含量和比例均达不到表中所列最高数值．

综上所述，在目前采矿所能达到的深度范围内（1500m 以浅)，煤中甲烷的主要部分呈吸附状态，总的来说，吸附甲烷决定了煤层甲烷总含量的水平．

3.2 煤的孔隙特征及透气性

与砂岩、碳酸盐岩等相比，煤作为一种储集层，具有孔隙率低、透气性差、微孔发育、内表面积大、有关参数变化范围大等特点．

煤中孔隙直径变化很大，大至微米级的裂隙，小到连氦分子（直径为 1.78Å）也无法通过的孔隙，相差达 5—6 个数量级．

针对煤中孔隙直径的大小，不同研究者从不同的目的和测试条件出发，提出了不同的分类（表 3—5)．其中影响最大的是 Girish (1987)和 B.B.霍 多特（1966）的分类．Girish 和 Dubinin 的分类是根据煤的等温吸附特性进行划分的，这一分类方案得到了国际理论和应用化学联合会（IUPAC）的承认（张永发、谢克昌，1989)．B.B.霍多特(1966）的分类是在工业吸附剂的基础上提出的（B.B.霍多特著，未士剑等译，1966)．他认为微孔构成煤的吸附容积，小孔构成瓦斯毛细凝结和扩散的区域，中孔构成瓦斯缓慢层流渗透的区域，而大孔构成剧烈层流渗透区域．因此，B.B.霍多特的分类对于研究煤层甲烷比较合适，本书采用这一分类．但与 B.B.霍多特的观点不同的是，我们认为小孔和部分中孔对煤的吸附作用也是十分重要的．

表3—5　　煤孔隙分类一览表

孔径 Å / 级别 / 研究者	微　孔	小　孔 (或过度孔)	中　孔	大　孔
B.B.霍多特(1966)	<100	100—1000	1000—10000	>10000
Gan 等(1972)	<12	—	12—300	>300
朱之培(1982)	<120	120300	—	>300
抚顺所(1985)	<80	80—1000	—	>1000
Girish 等(1987)	<8(亚微孔)	8—20(微孔)	20—500	>500
本　书	<100	100—1000	1000—10000	>10000

3.2.1　实验方法及样品

我们通过井下观察、块煤裂隙统计、电镜扫描、比表面测定、比重测定、氦密度测定、压汞试验等方法，从宏观到微观，从定性到定量，对煤的孔隙性能和特征进行了全面系统的研究.

压汞试验是在美国 Autometries 公司生产的 9200 型自动压汞仪上进行的，其可测孔隙半径为 18—1500000Å．该仪器对水银和膨胀计的压缩可进行自动校正．所测样品为全国主要煤系的不同变质阶段的煤样，测试样品为边长 2cm 的块体，以期使其接近于煤层的实际情况.

Zwietering 和 Van Krevelen 在 1954 年最先把压汞试验用于研究煤的孔径分布(D.W. Van Krevelen，1981)，之后许多研究者在这方面做了大量工作．但是大量的压汞试验表明，在压力大于某一定数值后（一般 105kg／cm^2），进汞量与施加压力成直线关系，许多研究者将其归因为煤、水银和膨胀计的压缩．现在已解决了水银和膨胀计的压缩问题，但煤的压缩现象至今难于解决．以前，人们通过高压下压汞曲线直线段的递增率，来近似做为煤的压缩率，但是正如 Friesen 等（1988）所指出的那样，在高压下的进汞是煤本身压缩和汞充填孔隙的综合效应，仅从压汞实验是无法将这两种效应区分开的（W. I. Friesen et al，1988）．这意味着以前的校正方法是无效的．这里需要指出的是，国外所进行的压汞试验煤样均以细小颗粒，而我们是在块煤样上进行测试的．两种样品的压汞曲线差别极大，如图 3—2 所示．细小颗粒煤样在压力小于 4.3kg／cm^2 时，进汞量大幅度增加，之后进汞量便与压力呈直线关系．而我们的实验表明，块煤样在较低压力下进汞极其微

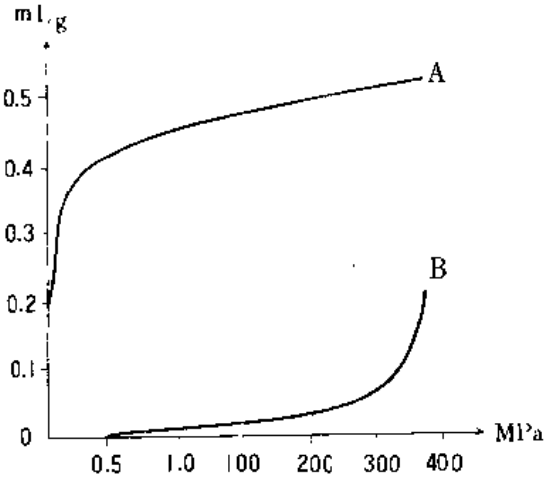


图　煤的压汞曲线　A 粉煤样　B 块煤样

弱，只有在高压下（一般100—400kg/cm²）才开始大量进汞，而且与压力并不呈直线关系（图3—2）。尽管所用的样品不一样，煤的压缩现象依然存在，和低温氮吸附实验结果相比，在相应孔隙区间内，压汞孔容值明显高于氮吸附孔容值，这说明在高压下，由压汞实验所得出的孔容值比实际情况可能偏大。尽管如此，本方法用于分析变化趋势还是可行的。

另外，除了常规方法测试煤的孔隙率外，我们还测定了煤的氦比重和水比重，并由此计算了煤的孔隙率（见表3—6），结果表明，煤的氦孔隙率值明显高于水孔隙率值。这是由于氦分子（直径1.78Å）小于水分子而造成的。

表3—6　煤样孔隙率不同测试方法结果的比较

样　品	反射率 R^{o}_{max}(%)	水孔隙率(%)	氦孔隙率(%)
Coal—2	0.55	9.09	10.99
Coal—3	1.16	2.39	3.20
JK—2	1.42	1.38	3.80
Coal—5	1.98	1.40	5.20
Coal—6	2.38	2.78	5.00
Coal—10	3.32	3.36	3.70

3.2.2 实验结果及分析

关于煤孔隙特征及其影响因素的系统研究不多见。Gan等（1972）研究过煤孔隙结构与煤变质程度的关系，但多数研究者主要从煤孔隙结构与煤的反应性和气化之间的关系进行研究。我们则是从煤的储集性能角度，分别从煤的变质程度、煤的有机显微组分、无机矿物组分、断裂作用的影响等4个方面来研究煤的孔隙特征。

1. 煤的变质程度与煤的孔隙特征

在煤化作用过程中，煤的孔隙率、孔容、孔面积及孔径分布等，均发生有规律的变化（见表3—7；图3—3、3—4、3—5）。根据各个参数的性质及其变化趋势，不难看出，孔容、大孔体积和中孔体积具有相似变化趋势；而孔面积、微孔体积、小孔体积和孔隙率的变化则基本一致。

从总的趋势看，孔容、大孔体积和中孔体积随变质程度的增高而降低。在 R^{o}_{max} 为0.50—0.67%的煤中，都大幅度降低，尤其是中孔体积基本上降至最低值；之后再也没有增加（见图3—4a）。与孔容和中孔体积变化特征不一样的是，大孔体积在 R^{o}_{max} 为1.0—1.5%之间的煤中，数值波动较大（见图3—4b），这显然是中等变质程度的煤中内生裂隙较为发育而又不均匀的缘故。

孔面积、微孔和小孔体积变化较为复杂。在 R_{max} 为0.5—1.0%的煤中，孔面积、微孔和小孔体积及孔隙率都急剧降低；到 R_{max} 为1.2—1.4%时，各个参数值均降至最低值。然后至 R_{max} =1.3—4.0%时，孔面积、微孔和小孔体积又开始回升；但当 R_{max} 1.4%时，上述各参数又开始降低（见图3—5b、c、d）。

扫描电镜下的观察表明，在低变质煤（R^{o}_{max}=0.5—0.9%）中，各种类型的孔隙都

表 3-7　　压汞试验测试结果

采样地区	煤层层位	煤层编号	R^{o}_{max} (%)	孔容 (ml / g)	孔面积 (m^2 / g)	孔隙体积 (%)			
						微孔	小孔	中孔	大孔
辽宁抚顺	E_{2f}	本组煤	0.52	0.0680	31.65	65.83	25.59	2.17	6.36
			0.52	0.1185	32.18	36.71	15.61	2.28	45.40
陕西焦坪	J_{1-2y}	4-2	0.54	0.0850	33.24	56.55	27.86	6.49	9.09
			0.54	0.1061	31.67	39.87	30.07	15.55	14.51
			0.54	0.0800	18.59	30.21	36.08	14.86	30.40
			0.54	0.0681	22.53	42.88	34.07	4.55	18.50
内蒙古准格尔	P_{1s}	6#	0.55	0.1023	37.95	52.88	29.81	8.02	9.29
			0.55	0.1157	47.51	57.82	27.40	4.93	9.85
新疆乌鲁木齐	J_{2x}	20#	0.62	0.1450	21.18	15.40	15.50	52.80	16.30
		45#	0.62	0.0430	18.30	63.60	21.90	6.00	8.50
			0.62	0.0580	20.27	52.10	24.30	13.40	11.20
			0.62	0.0670	20.93	45.70	31.60	8.30	14.40
山西镇城底	P_{1s}	2#	1.16	0.0404	13.71	44.80	30.20	7.18	17.82
黑龙江鸡西	J_{3c}	30#	1.17	0.0450	13.03	32.30	4.87	25.22	37.61
江西丰城	P_{2l}	B_4	1.40	0.0430	17.31	60.40	23.10	10.60	5.90
			1.40	0.0370	13.89	56.70	21.40	11.40	10.50
			1.40	0.0440	17.50	60.70	21.40	6.50	11.80

续 2

采样地区	煤层层位	煤层编号	R^{o}_{max} (%)	孔容 (ml/g)	孔面积 (m^2/g)	孔隙体积 (%)			
						微孔	小孔	中孔	大孔
江西丰城	P_{2l}	B_4	1.40	0.0460	16.0	54.10	20.10	7.60	18.40
			1.40	0.0380	14.24	56.50	21.70	9.80	12.20
			1.40	0.0400	15.38	58.00	21.30	9.90	10.80
				0.0530	13.87	39.40	15.00	14.60	31.00
				0.0470	17.28	57.80	20.20	9.60	12.40
				0.0490	16.44	52.00	18.40	8.40	21.20
				0.0420	16.84	60.70	21.00	8.90	9.40
黑龙江鸡西	J_{3c}	$17^{\#}$	1.42	0.0450	12.58	36.59	25.72	12.20	25.50
			1.42	0.054	13.42	32.54	21.51	5.33	40.63
			1.42	0.0280	10.82	50.35	30.28	5.28	14.08
			1.42	0.0260	10.11	51.16	31.40	5.04	12.40
			1.42	0.1234	11.38	10.45	18.23	53.65	17.67
江西丰城	P_{2l}	B_4	1.67	0.0230	9.34	61.80	18.03	8.59	11.40
山西太原	P_{1s}	$2^{\#}$	1.84	0.0463	15.63	44.71	26.57	7.13	21.60
陕西铜川	P_{1y}	$10^{\#}$	1.98	0.0330	11.54	46.04	26.83	3.96	23.17
四川南桐	P_{2l}	$6^{\#}$	1.91	0.0150	5.16	46.94	28.57	6.12	12.24
			1.91	0.0250	9.31	48.43	29.53	5.91	16.41
山西阳泉	P_{1s}	$3^{\#}$	2.30	0.0210	15.90	59.60	32.20	3.95	4.25
宁夏汝箕沟	J_{1-2y}	2−1	3.32	0.0300	12.27	55.18	34.11	4.01	6.69
北京门头沟	J_{1-2}	$14^{\#}$	7.10	0.0135	4.21	40.74	24.44	11.11	23.70

很丰富，其中粒间孔和植物胞腔孔占绝对优势（图版 1—1、2、3），长焰煤中可见到部分气孔．中等变质程度煤（R^{o}_{max}=0.9—1.9%）中，镜下可见到的孔隙大量减少．低变质煤中极为发育的粒间孔，在中等变质煤中已不常见，且其孔径大大减小，但却出现了较丰富的气孔．植物组织孔仍然是中等变质煤的主要孔隙类型（图版 1—6）．在高变质阶段（R^{o}_{max}=2.5—4.0%），镜下所见孔隙基本上和中等变质煤相同，但孔径变小（图版 2—3、4）．在高变质无烟煤中（R^{o}_{max}>4.0%），可见孔隙都极为稀少，且孔径很小．

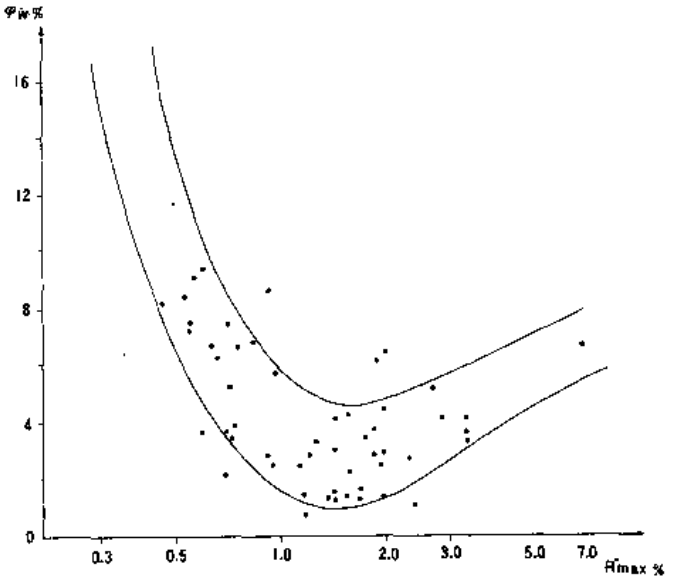


图 3—3　煤孔隙率与煤变质程度的关系

Φ_w—孔隙率；R^{o}_{max}—镜质体平均最大反射率

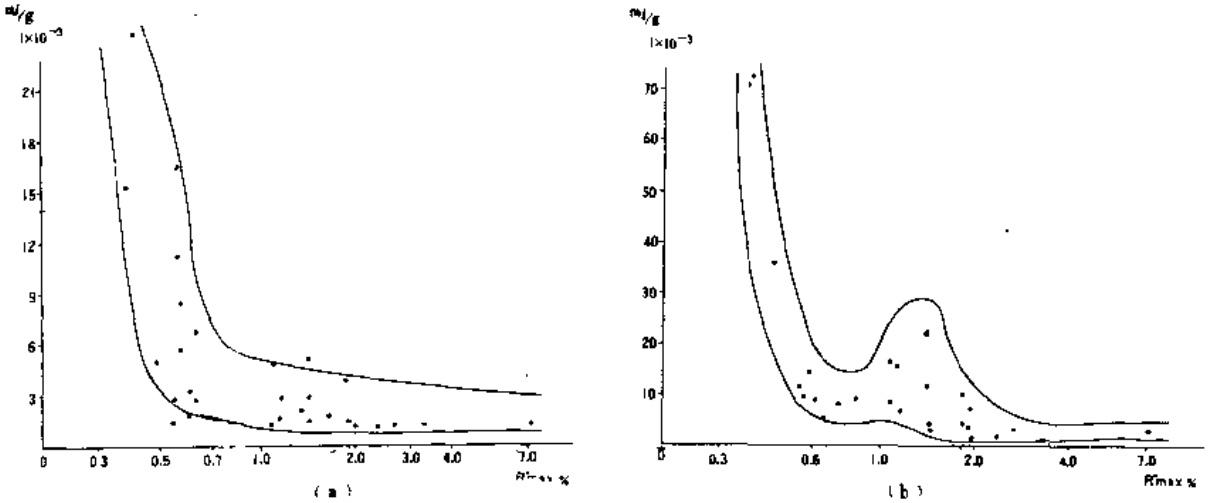


图 3—4　煤的变质程度与煤的孔隙结构

(a) 中孔；(b) 大孔

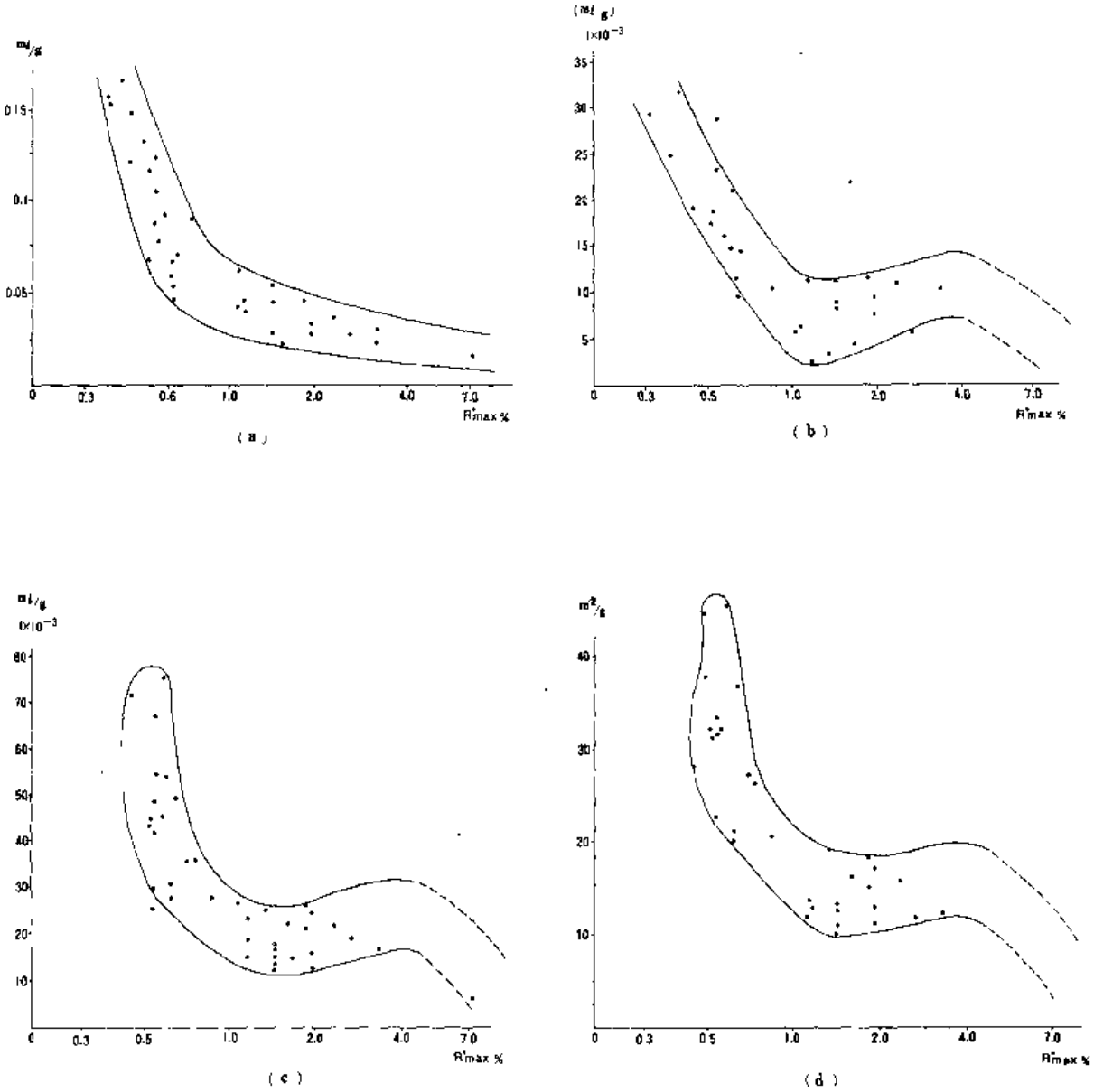


图 3—5　煤的变质程度与煤的孔隙特征

(a) 孔容; (b) 小孔; (c) 微孔; (c) 孔隙内表面积

当我们寻求煤的孔隙特征随变质程度而变化的原因时，首先看到上述孔面积、孔隙率、微孔、小孔、中孔和大孔体积等参数分布曲线的转折点与煤化作用 4 次煤化跃变基本相符．这说明煤的孔隙特征与煤的内部结构的变化，具有内在的成因联系．当煤的 $R^{o}_{max}<1.3\%$ 时，尤其是在 $R^{o}_{max}<0.9\%$ 的情况下，它为较疏松富水的有机岩，其孔隙特征主要受机械压实作用的控制．据 Oberlin(1980)研究，在该阶段煤的结构单元包含由 2—3 个芳环层构成的涡层状芳香叠片，每一芳环层由 5—10 个芳香族稠环组成（杨起主编，1987），涡层状芳香叠片的直径为 10—15Å，芳环叠片间的偏斜方位约 30°．此外，在该阶段，当碳含量由 75%增高至 87.0%时，芳碳率变化在 0.69—0.76 之间，芳

氢率变化于0.29—0.33之间（B.C.Friesen et al., 1982）．缩合芳香环指数仅从0.33增至0.39（D.W.Van Krevelen, 1981），这都说明，在该阶段煤的分子结构变化不大，主要表现为压实、脱水和亲水富氧基团的脱落．在该阶段早期（$R^{o}_{max}<0.6\%$），煤中芳环层细小而且是随机分布的，由大量的富氧官能团、富氧桥和脂肪族侧链联合和支撑，形成一种立体开放性结构。放在该阶段，煤中孔隙十分发育，尤其是粒间孔和植物组织孔十分丰富．但随煤化程度的增高，由于亲水富氧基团和侧链的迅速脱落以及上覆地层压力的作用，煤的孔隙率、大孔、中孔以及小孔和微孔体积都迅速降低；当$R^{o}_{max}=1.3\%$左右时，上述各参数值降到最低点．

当$R^{o}_{max}>1.3\%$时，煤的机械压实作用不再是控制孔隙特征的主要因素．Volborth等(1987)用快速中子活化分析(FNAA) 对煤中氧研究的结果表明，当碳含量达86.3—90.6%时，腐殖凝胶体基本上完成了脱水作用，富氧基团已基本全部脱落(A.Attsr et al., 1982)．这表明，压实作用在该阶段对煤的孔隙特征影响将会很微弱，而煤分子结构的变化，将成为控制煤孔隙特征的主要因素．事实上，在该阶段（$C^{r}=87-90.02\%$），芳碳率和芳氢率分别由0.76和0.33激增到0.86和0.53（B.C.Geistein et al., 1982），缩合芳环指数由原来的0.39猛增到0.55(D.W.Van Krevelen, 1981)．这就说明，在该阶段煤的分子结构发生了较大规模的变化．据Oberlin等人（1980）的研究，当R^{o}_{max}为1.8—2.0%时（约为贫煤阶段），煤的内部结构突然出现分子方向性．芳环叠片聚集成50—100Å大小的芳环束，叠片的面距减小，叠片间的偏斜方位也由原来的30°降为15°（杨起主编，1987）．煤内部结构的有序性导致了煤中微孔和小孔体积又开始增大，相应地煤的孔面积值亦有所增大．

当煤的$R^{o}_{max}>4.0\%$时，其内部结构进一步发生了突变．在碳含量仅增加2.1%的情况下，芳碳率和缩合芳香环指数分别由原来的0.86和0.55剧增到0.97和0.77(B.C.Geistein et al., 1982; D.W.Van Krevelen,1982)．Oberlin(1980)的研究进一步证实，在无烟煤和超无烟煤中出现了大小为300—600Å的扁平微孔．随着煤化程度的继续增高，相邻的微孔开始合并．半石墨化阶段，由于微孔的大规模合并，芳香叠片的直径突然增大到1000Å，同时，芳环叠片中的芳环层数目从2—3个增加到40个以上，此时涡层状结构消失．可以说，正是由于大规模的缩聚作用和相邻孔隙的合并导致了煤的孔容、微孔、小孔体积和孔面积的降低．但需要指出的是，由于基本结构单元的增大和裂隙的影响，煤中的大、中孔体积的相对量有可能增加（图3—8）．

根据上述讨论可将煤的孔隙特征概括为以下几种情况:

1) $R^{o}_{max}<0.5\%$（相当于褐煤阶段）时，以孔隙度、孔容、大孔和中孔体积较大，而微孔体积和孔隙内表面积相对较小为特征;

2) 当$0.5\%<R^{o}_{max}<1.3\%$（大致相当于长焰煤—肥阶段），以各种孔隙参数都随变质程度升高而急剧降低为特征．煤中孔隙以微孔和小孔为主，中孔和大孔体积较小，但变化很大，煤的孔径分布常出现双众数特征（图3—6、3—7）．

3)当$1.3<R^{o}_{max}<4.0\%$（大致相当于焦煤—无烟煤三号阶段），煤的孔隙度、孔面积、微孔和小孔体积均逐渐回升，但孔容、大孔和中孔体积仍持续下降．当$R^{o}_{max}>2.0\%$时，煤的中孔和大孔已微乎其微（图3—8a）．

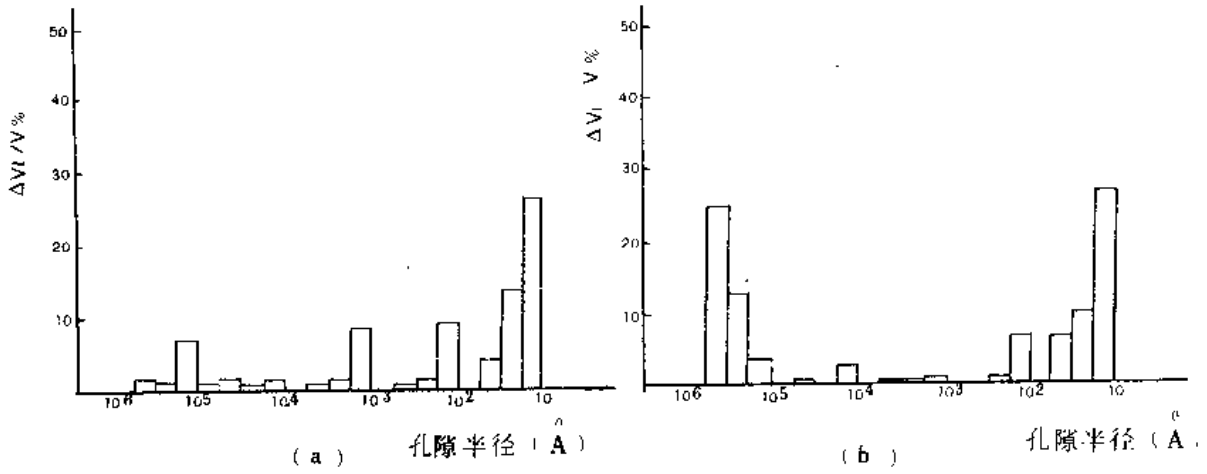


图 3—6　低变质煤的孔径分布

(a) 焦坪长焰煤;(b)　抚顺长焰煤

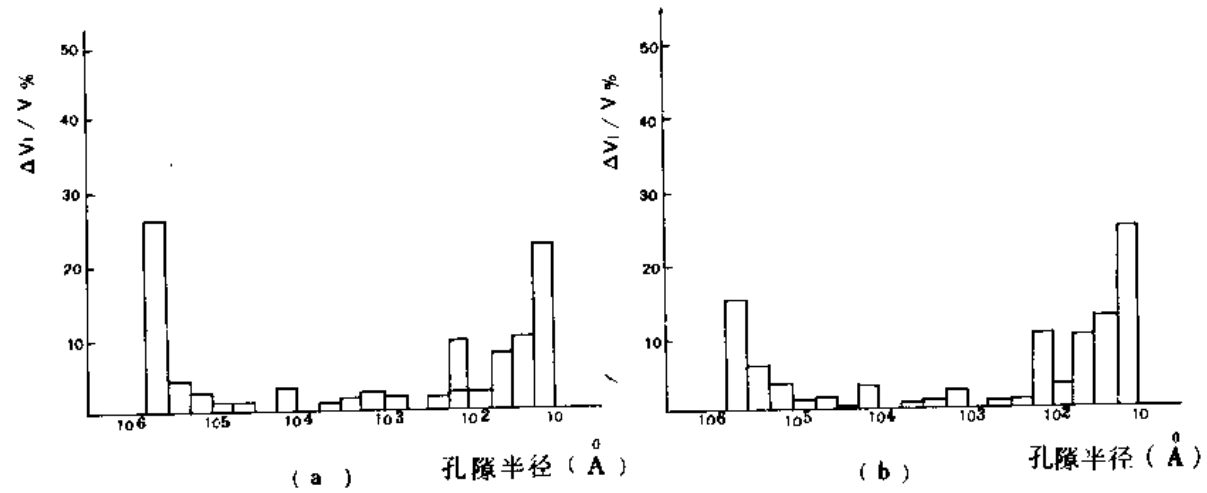


图 3—7　中变质煤的孔径分布

(a) 鸡西焦煤;(b)　鸡西肥煤

4) 在 $R^{o}_{max}>4\%$（相当于无烟煤二号以上阶段）时，煤的孔容，孔面积及各级别孔隙体积都随变质程度的增高而减少，但大孔和中孔体积的百分比却增大．这就是说，当 $R^{o}_{max}>4\%$ 时，煤中以微孔和小孔为主，但大孔和中孔也占一定比例，这与 $1.3<R^{o}_{max}<4.0\%$ 时的情况有所不同（图 3—8b）．

2. 有机显微组分与煤的孔隙特征

由于测定单一显微煤岩组分的孔隙参数难以实现，所以，我们采用同一煤层不同宏观煤岩类型的煤样进行压汞试验等工作，以探讨不同显微煤岩组分的孔隙特征，并排除煤变质程度等因素的影响．表 3—8 为部分测试成果．综合分析表明:

(1) 一般来说，惰质组的含量越高，煤的孔隙率越大，而且煤的孔隙率主要取决于

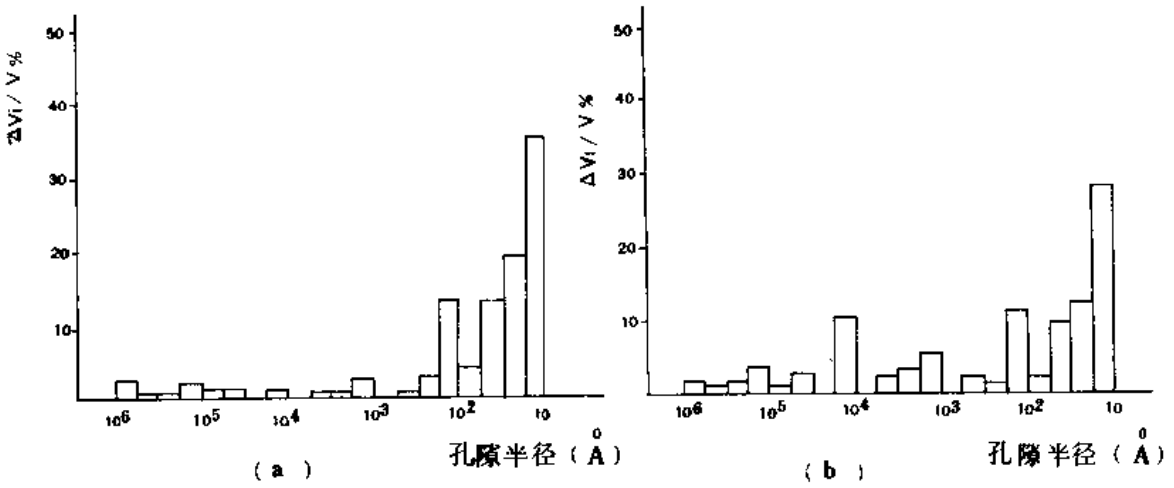


图 3—8　高变质煤的孔径分布

(a)　汝箕沟无烟煤；(b)　门头沟无烟煤

有结构且未被其他物质充填的惰质组组分（即表 3—8 中的 F_2）．例如乌鲁木齐矿区 43—45 号煤层（长焰煤阶段），光亮型煤中基本不含惰质组，其孔隙率最小，仅 2.22%；而暗淡型煤中惰质组含量高达 66.5%，相应孔隙率最大，为 7.14%，是光亮型煤的 3.2 倍；

(2) 惰质组中的孔隙以中孔和大孔为主，而镜质组则以小孔和微孔为主．仔细研究表 3—8 就会证实这种推断．对于焦坪煤，随着镜质组含量的降低，微孔的体积（绝对量）总体呈逐渐下降趋势（0.044 →0.042 →0.024 →0.029），乌鲁木齐煤的类似变化更为明显（0.031 →0.030 →0.027 →0.023）．由于孔隙内表面积的大小主要与微孔和小孔的发育程度有关，所以上述讨论就不难解释，为什么孔隙内表面积随镜质组的减少而降低．两个暗淡型煤样的内表面积变大与其中未被充填的丝质体含量高有关；

(3) 惰质组中胞腔未被其他物质充填的丝质体含量越高，煤的大孔和中孔体积愈大．这一现象至少在 $R^o_{max}<1.42\%$ 的煤中是一致的．对采自鸡西的丝炭（$R^o_{max}=1.42\%$）所做的压汞实验表明，中孔体积百分比高达 53.65%（总孔容 0.1234），大孔为 17.67%，而微孔和小孔体积百分比仅分别为 10.45%和 18.23%；

(4) 总孔容变化也比较大，相同变质程度的煤在其有机组分相同时，孔容也可相差 3 倍以上．从表 3—8 不难看出，孔容主要和胞腔未被充填的丝质体的含量有关，而和整个惰质组或镜质组的含量关系不大．

电子显微镜下观察表明，不同显微组分具有不同的孔隙特征．火焚丝质体的孔隙最为发育，不仅能看到保存完好的细胞腔和管胞（图版 1—6、2—7），面且可见丰富的纹孔、射线和胞间孔（图版 1—1、2）．其中胞腔和管胞的直径较大，变化在 3.71—17.5μm 之间，以 4—8μm 的最为常见．纹孔、射线和胞间孔孔径都比较小，直径一般在 2.38—1.76μm．相对而言，氧化丝质体和其它半丝质体的孔隙较少，面且孔径显著减小（图版 1—7、8），其孔径变化于 0.1—2.3μm 之间，一般为 0.2—0.9μm，即煤中大量出现的氧化丝质体和半丝质体是以中孔级别的孔隙为主的．这里需要注意的是，虽然惰质组性质比较稳定，在煤化作用过程中不容易发生变化，但是在较高温度和压力下，胞

表 3–8　　显微煤岩组分对煤孔隙特征的影响

煤层	宏观煤岩类型	反射率 (R°_{max}%)	孔隙率 (%)	孔容 (cm^3/g)	孔面积 (m^2/g)	孔隙体积百分比				有机显微组分(%)				
										V	F			L
						微孔	小孔	中孔	大孔		F1	F2	F3	
焦坪4–2煤	光亮煤	0.54	5.76	0.085	33.24	51.55	27.86	6.49	9.09	76.8	8.9	11.3	2.1	1.6
	半亮煤	0.54	7.53	0.1061	31.67	39.87	30.07	15.55	15.41	46.6	33.2	18.6	0.3	1.2
	半暗煤	0.54	4.76	0.0801	18.59	30.21	36.08	14.86	18.85	30.4	56.3	11.2	0.4	1.7
	暗淡煤	0.54	6.50	0.0681	22.57	42.88	34.07	4.55	18.50	15.7	72.9	10.4	1.4	0.5
乌鲁木齐43–45煤	光亮煤	0.61	2.22	0.067	20.93	45.7	31.6	8.3	14.4	98.7	0.4	—	—	0.9
	半亮煤	0.62	5.88	0.058	20.27	52.1	24.3	13.4	11.2	61.3	15.5	21.6	0.7	1.2
	半暗煤	0.62	6.57	0.043	18.30	63.6	21.9	6.0	8.5	43.4	41.3	12.3	0.3	2.7
	暗淡煤	0.62	7.14	0.145	21.18	15.4	15.5	52.8	16.3	31.0	36.0	30.5	—	2.6

注：V–镜质组，F–惰质组（F1–无结构丝质体、F2–胞腔未被充填的结构丝质体、F3–胞腔被充填的丝质体），L 壳质组.

腔被压缩成长轴垂直于压应力轴的扁平孔隙，进而孔隙消失而仅呈一条缝合线（图版2—3、4）。这意味着在高变质阶段，丝质体的孔隙会变少，孔径会变小。这一现象在汝箕沟和门头沟的煤中都很明显。镜质组中的孔隙也比较发育，它以气孔、粒间孔及矿物铸模孔等为主。气孔是煤化作用过程中镜质组生气的直接证据，其直径为0.1—10.4μm，以其圆滑的边缘而区别于粒间孔。此外，在镜质组中还常见内生裂隙（图版1—4、5），这种内生裂隙对煤层甲烷的赋存和运移都具有重要的意义。煤中孔隙最不发育的显微组分是壳质组，在木栓体、角质体、树脂体中很难见到孔隙（图版2—8）。

Harris和Yust（1976、1979）用透射电子显微镜对高挥发分烟煤的研究表明，镜质组具有最小的孔隙，直径为20—200Å，以扁平的孔隙为主；而惰质组是孔隙最丰富的显微组分，孔径为50—500Å；壳质组的孔隙最不发育（O.P.Mahajan,1982）。这与我们的研究结果基本相同，因此可以说，煤的显微组分对煤的孔隙特征具有显著的影响。

在三大组分中，惰质组的孔隙最为发育，孔径也比较大，常以中孔、大孔为主。镜质组的孔隙也比较发育，它具有较细的孔隙，以微孔和小孔为主。而壳质组的孔隙最不发育。

3. 矿物组分与煤的孔隙特征

虽然无机矿物组分在煤中的含量一般较低，但对煤的孔隙特征具有很大的影响。从表3—9中不难看出其有如下影响。

表3—9　　灰分与煤的孔隙特征

采样点	宏观煤岩类型	R^{o}_{max}(%)	孔隙度(%)	孔容(cm^3/g)	孔面积(m^2/g)	孔隙体积百分比				工业分析(%)	
						微孔	小孔	中孔	大孔	A^d	W^f
鸡西	光亮煤	1.42	1.40	0.045	12.58	36.59	25.72	12.20	25.50	13.35	0.73
	半亮煤	1.42	1.38	0.054	3.42	32.54	21.51	5.33	40.64	16.99	0.72
	半暗煤	1.42	3.07	0.028	10.82	50.35	30.28	5.28	14.08	28.94	0.81
	暗淡煤	1.42	4.24	0.026	10.11	51.16	31.40	5.04	12.40	33.89	0.81
抚顺	光亮煤	0.52	5.67	0.1185	32.18	36.71	15.61	2.28	45.40	6.40	10.3
	暗淡煤	0.52	8.53	0.068	31.65	65.83	25.59	2.17	6.36	38.56	8.55

(1) 矿物含量越高，煤的孔容和孔面积相应减少，尤其是孔容降低的幅度比较大，可减少1倍以上。

(2) 随着矿物含量的增高，煤中大孔和中孔的体积减小，尤其是大孔体积急剧减小。而微孔和小孔的体积虽有减小，但减小的幅度不大，相应地其体积百分比大幅度增加。这表明，煤中的矿物主要充填于大孔和中孔孔隙中，对微孔和小孔的影响不大。这

从孔面积的变化也可以看出.

煤中矿物主要是粘土矿物，其次是黄铁矿和碳酸盐岩．粘土矿物和黄铁矿往往呈各种同生形式出现，充填于丝炭胞腔和粒间孔隙中（图版 2—5、6、7），或以圆球状小包体充填于镜质组中和微裂隙中（图版 2—1、2）．这些充填于各类孔隙和裂隙中的矿物，无疑会大大降低煤中孔隙体积．由于粘土小包体的直径一般在 0.27—2.5μm，丝炭胞腔和裂缝直径都比较大，故孔隙体积的减小集中在大孔和中孔级别．

由上述讨论不难看出，随着煤的灰分增高，其微孔和小孔体积百分比增加，而大孔和中孔体积大幅度下降．这意味着高灰分煤的渗透性较差．

4. 断层对煤孔隙特征的影响

煤的孔隙特征不仅受内在因素（如变质程度、有机显微组分和矿物含量等）控制，而且与外部因素（如构造作用）也有很大的关系．为了研究断层对煤孔隙特征的影响，我们在江西丰城矿区从断层两侧不同距离的位置系统采集了样品，实验结果见表 3—10．可以看出，断层对煤层孔隙特征影响十分显著，具体表现在以下几个方面．

(1) 煤中大孔体积和总孔容从整体上看都随距断层距离的变小而增大．如在断层破坏较强烈处，煤的大孔体积百分比和孔容分别高达 31% 和 0.053cm^3/g，而受断层影响微弱处，煤的大孔体积百分比和孔容仅分别为 9.4% 和 0.042cm^3/g．这表明，正断层的破坏作用将导致煤中大孔和孔容，尤其是大孔体积的大幅度增加．

表 3—10　　断层对煤层孔隙特征的影响

煤样	采样位置(距断层面位置)(m)		孔容 (m^3/g)	孔面积 (m^2/g)	孔隙体积(%)				排驱压力 (Kg/cm^2)
					大孔	中孔	小孔	微孔	
丰城坪湖矿 B4 煤层	上盘	10	0.053	13.87	31.0	14.6	15.0	39.4	1.2
		20	0.047	17.28	12.4	9.6	20.2	57.8	175.5
	下盘	30	0.049	16.44	21.2	8.4	18.4	52.0	99.3
		40	0.042	16.84	9.4	8.9	21.0	60.7	252.7

(2) 煤层微孔体积和小孔体积百分比随着距断层面距离的减小而降低，中孔体积百分比降低不明显．表现在孔隙结构分布图上，受断层影响较强的煤其孔径呈典型的双众数分布，即大孔和微孔体积近于相等，而中孔和小孔体积百分比较低（图 3—9a）；而受断层影响微弱的煤其孔径呈典型的单众数分布，以微孔占绝对优势为特征（图 3—9b）．

(3) 在电镜下观察，随着逐渐接近断层面，煤体的破碎程度增大，裂隙组数增多，宽度增大，表现在煤的显微构造类型上，由距断层面较远处的初裂煤（图版 3—1），递变为显微角砾煤和显微碎斑煤（图版 3—3）．进一步放大可见颗粒由宽 0.6μm，长 8—14μm 的板状体组成（图版 3—2），板状体之间具有大量的空隙．很显然，这些空隙导

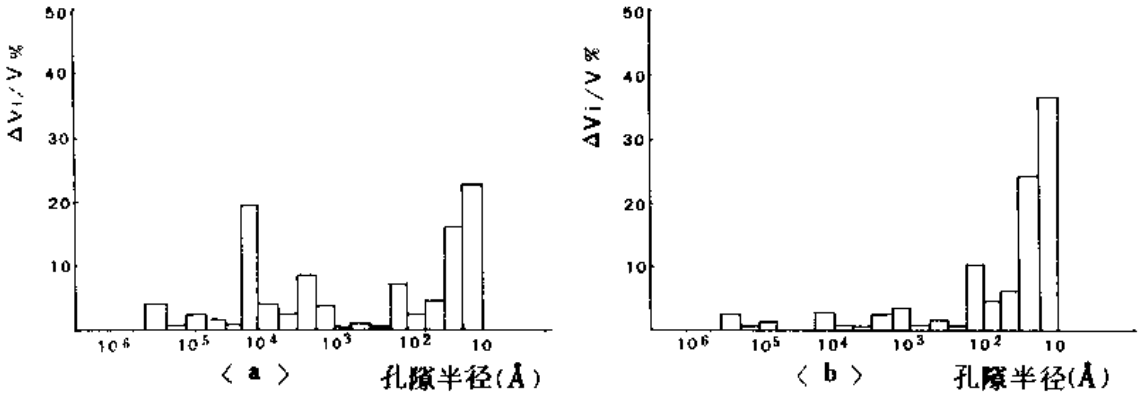


图 3—9 正断层附近煤孔隙结构特征

(a) 断层带; (b)远离断层带

致了断层面附近煤样的孔容和大孔体积增加. 同时，断层附近裂缝、大孔和孔容的增加，意味着煤层透气性将变好，气体更易在其中流动. 这一结论和矿井生产实践是一致的. 如图 3–10 所示，在正断层比较密集的地方,煤层的瓦斯涌出量都比较低. 在 F_{3-1}—F_{3-2} 断层带，瓦斯涌出量在 0.5m³/min 以下；而在其上、下盘分别为 0.5—1.0m³/min 以上. 这是张性断层导致煤层的裂缝和大孔增加，透气性变好的直接结果.

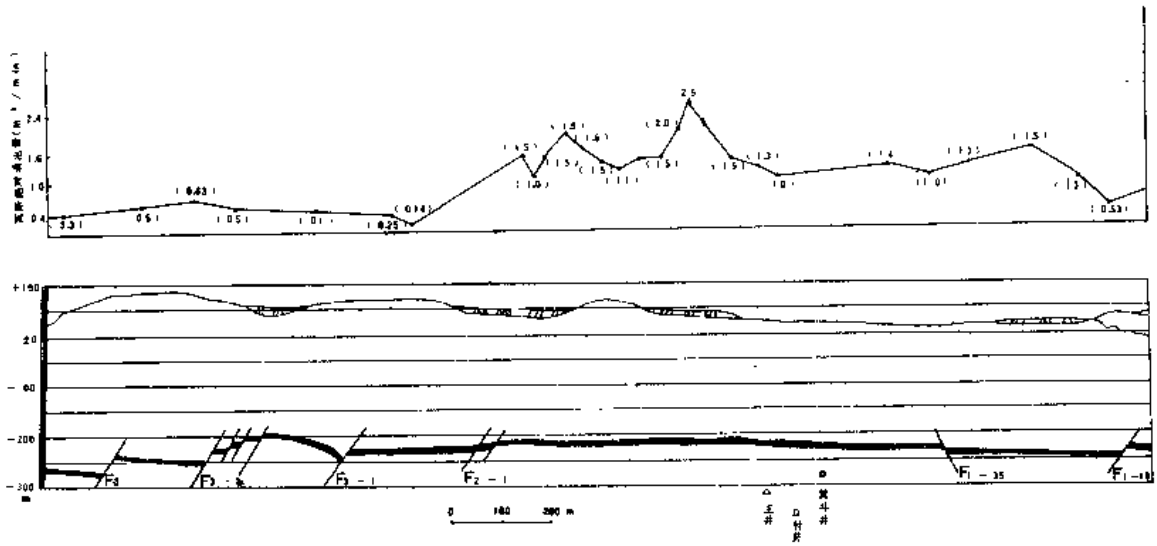


图 3—10 坪湖矿矿井瓦斯绝对涌出量与张性断层关系图

(据坪湖矿修改)

3.2.3 煤层的透气性

研究煤孔隙特征的目的除了弄清煤的储气空间和储气性能之外，还借以分析煤层的透气性能，并寻求间接研究煤层透气性的途径，达到评价煤层甲烷可抽性的目的.

煤层的透气性是对其渗透性的一个特殊限定，指气体沿煤体流动的难易程度．在现场，可以用实测煤层透气性系数的方法评价煤层甲烷可抽性．这里，我们从以下3个方面来分析煤层孔隙特征与透气性的关系．

(1) 煤体结构：煤体结构主要是指煤层经过地质构造变动所形成的结构特征．一般将煤层划分为原生结构、碎裂结构、碎粒结构和糜棱结构4种类型．不同结构类型的煤体，其透气性各不相同．例如丰城矿区东部的坪湖矿和建新矿，构造以张性断裂为主，煤层遭受破坏轻微，煤层层理清晰完整，煤层的原生结构构造明显可辨，相对来讲，甲烷易于抽放．而丰城矿区西部的尚庄一矿，由于强烈挤压作用使煤层破碎，遭受强裂揉皱，煤体呈鳞片状．同时，电子显微镜下发现，煤中存在大量由压性构造形成的粒度为0.06—1.0μm的"煤泥"，它们充填于孔隙之中．因此，甲烷沿煤层层理面运移受阻，从而致使尚庄一矿的甲烷抽放十分困难．

(2) 煤的孔隙结构及排驱压力：煤的孔隙结构决定了甲烷在煤中运移方式和难易程度，相应地决定了煤层甲烷的可抽性．通常认为"直径0.1—1μm的中孔构成了瓦斯缓慢流动的层流渗透区，直径1—100μm的大孔构成速度较快的层流渗透区，直径100μm以至更大的，肉眼可见的孔隙和裂隙构成层流及紊流的混合渗透区．这几部分孔隙构成了渗透容积，它在总孔隙中所占的比重越大，其渗透性能越好"（于不凡，1985）．

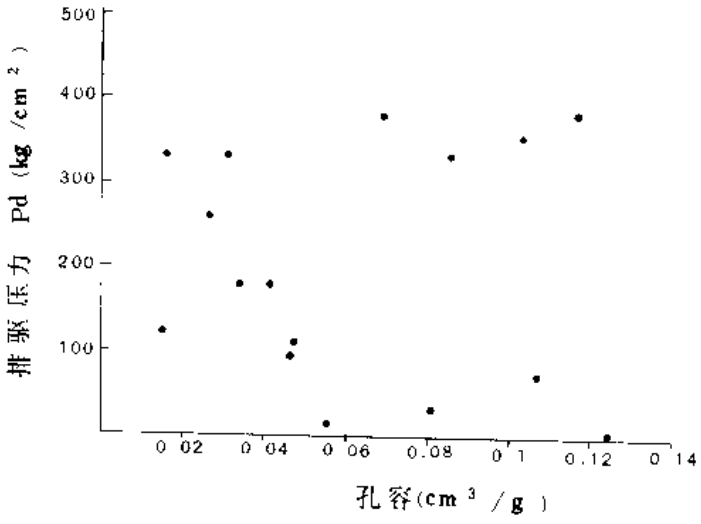


图3－11 排驱压力与煤孔容大小的关系

作为表征煤孔隙结构特征的重要参数之一的排驱压力是孔隙喉道大小的函数，粗喉道的孔隙系统具有较低的排驱压力；相反，细喉道的孔隙系统其排驱压力值相应较高．因此，我们可以根据排驱压力值大致了解煤层的透气性，从而对煤层的可抽性做出评价．从压汞试验结果来看，煤的排驱压力值差别很大，变化在0.07－384.43 kg／cm² 之间．为了找出排驱压力与其他孔隙结构参数之间的关系，我们进行了统计分析．从图3—11可以看出，排驱压力值虽然与总孔容有一定关系，但相关性并不显著．

煤样的排驱压力值与大孔和微孔表现出较好的相关性（图3—12、3—13a、c），而与中孔和小孔之间的关系不明显（图3—13b、d）．表3—11为江西丰城矿区B_4煤层孔隙结构参数与矿井瓦斯抽放率的实测值，它清楚地表明，由东向西（即从坪湖矿到尚庄一矿），煤中大孔体积减少，微孔体积增加，排驱压力由127.7kg／cm² 增大到252.7kg／cm²，相应地矿井瓦斯抽放率也变小．就是说，煤的孔喉特征与煤层甲烷的

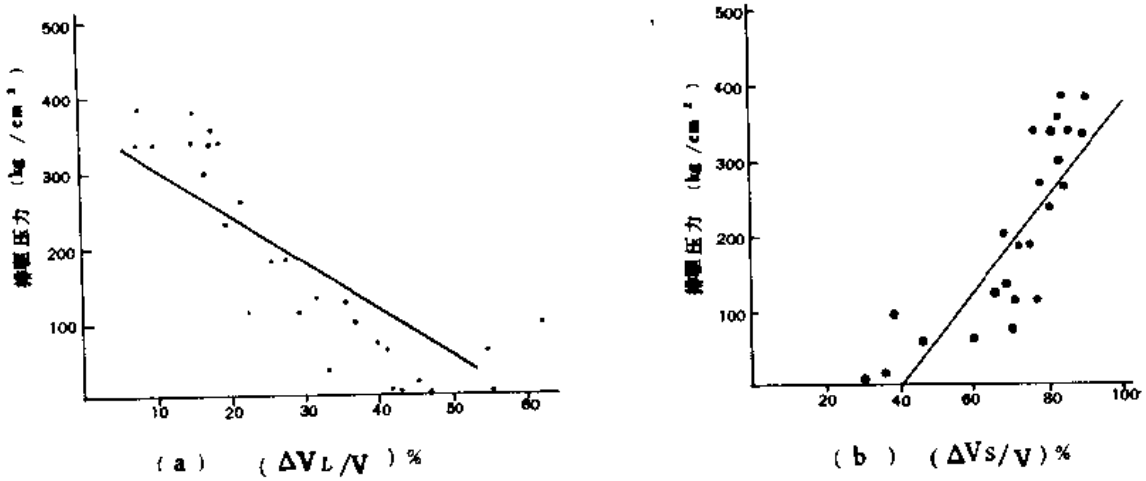


图 3—12 影响排驱压力的因素

(a) 孔径 $>10^3$ Å;(b) 孔径 $<10^3$ Å

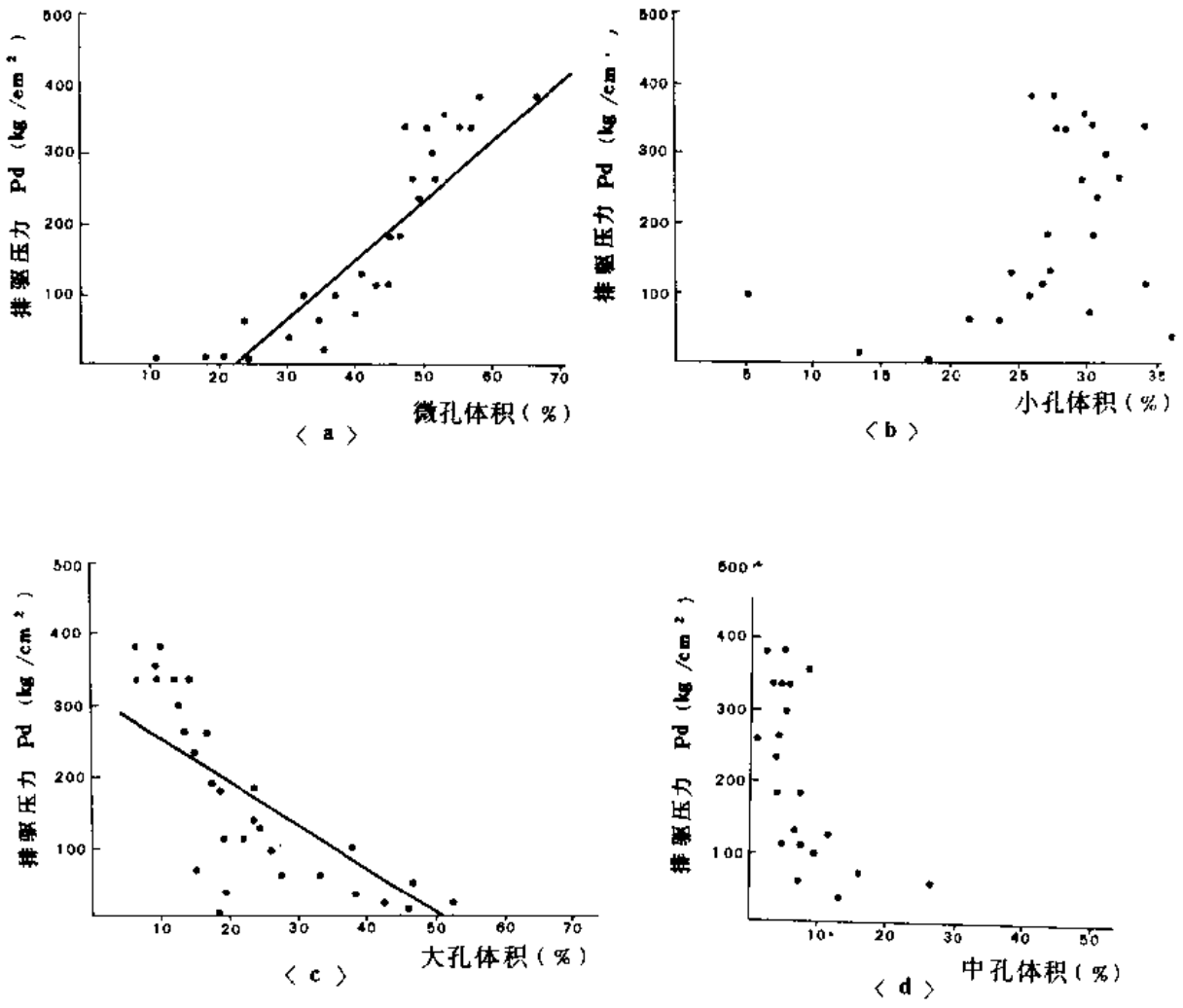


图 3—13 排驱压力值与孔隙结构的关系

可抽性密切相关，孔喉大的易抽。全国瓦斯抽放效果最好的辽宁抚顺矿区，之所以透气

表3—11　　江西丰城矿区 B_4 煤层孔隙结构与瓦斯抽放率

矿　井	孔容 (cm^3/g)	孔隙体积(%)				排驱压力 (kg/cm^2)	连通孔隙度 (%)	矿井抽放率 (%)
		大孔	中孔	小孔	微孔			
坪湖矿	0.04	18.4	9.8	18.8	52.9	127.70	5.30	34.84
建新矿	0.041	10.2	9.6	21.8	58.4	200.10	2.31	9.71
尚一矿	0.023	11.4	8.6	18.2	61.8	252.10	1.75	1.85

性系数和矿井抽放率都大大高于其他矿区，和煤中大孔体积百分比高（一般大于40%）有直接关系。

(3) 煤岩煤质特征：在前面讨论孔隙特征变化规律时，已指出煤变质程度、煤岩组分、煤的灰分的影响作用。同样，这些因素对煤的透气性亦产生重要的影响。概括起来就是：低变质程度煤（褐煤一气煤）孔隙率大，孔隙喉道粗，透气性最好（相对而言，下同）；中等变质的肥煤、焦煤透气性次之；中、高变质的瘦煤至无烟煤透气性较差。煤中惰质组（特别是胞腔未被充填的结构丝质体）含量越高，灰分越低，其透气性越好，反之则差。基于这一认识，综观我国的煤质特征，可知中、新生代各聚煤期的煤层变质程度较低，以褐煤一气煤为主，大都形成于内陆盆地，煤中惰质组含量普遍较高（一般在30%左右），如果煤的灰分低（鄂尔多斯、准噶尔、抚顺等盆地多在10%以下），则可形成矿井瓦斯抽放率高的煤矿区。

3.3　煤对甲烷的吸附能力

煤中甲烷主要以吸附状态存在，煤层甲烷含量取决于煤吸附甲烷的容量，所以，煤对甲烷的吸附能力，一直是人们所关心的问题。苏联学者对煤吸附甲烷的能力进行测定后，建立了甲烷吸附容量随变质程度增高而增长的一般规律（А.Л.Ъакалдина 著，宋健人译，1983），但得到的测点均很分散。在国内，煤炭科学研究总院抚顺分院和淮南矿业学院在"六五"煤成气科技攻关报告中指出，吸附能力与变质程度的关系看不出明显的规律性，总的趋势是变质程度高的无烟煤吸附能力大。他们测定甲烷吸附能力得到的测点亦比较分散。出现这种分散的原因，一是由于用挥发分作为煤变质程度的指标不尽完善；二是由煤的显微煤岩组分、还原程度、变质类型等不同而造成的。为了考察上述因素的影响，并取得一套系统的、我国自己煤样的吸附能力的实测数据，以便于在煤层甲烷资源远景评价及煤矿瓦斯预测工作中使用，我们进行了系统煤样的等温高压吸附试验。

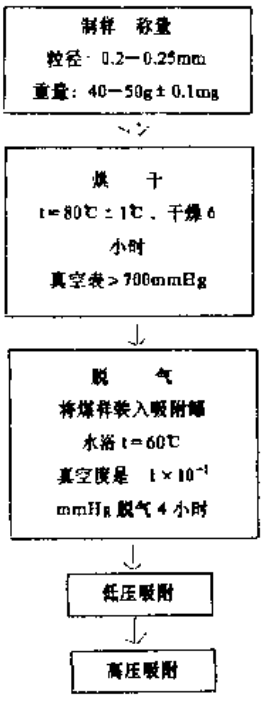
按含煤地层的古地理类型（近海型和大陆型），从褐煤到高变质无烟煤，系统采集了煤样，并在同一煤层中采取不同煤岩类型样。测试样品采自山西阳泉、平朔、西山、

古交、轩岗矿区，陕西韩城、铜川、焦坪矿区，黑龙江鸡西矿区，辽宁抚顺矿区，内蒙古准格尔矿区，新疆乌鲁木齐矿区，北京京西矿区，宁夏汝箕沟矿区，江西丰城、乐平矿区，四川南桐矿区，云南小龙潭矿区等 18 个矿区；涉及石炭二叠纪、晚二叠世、早、中侏罗世、晚侏罗一早白垩世、第三纪等我国主要聚煤期的 33 个可采煤层，共计 65 个样品．对全部样品做了相应的镜质组反射率测定，以 R^{o}_{max} 做为变质程度的指标，并进行显微煤岩组分定量和镜下组分分布特征的描述，以及煤的工业分析和真、假比重测定等多方面的系统测试工作．同时，煤的孔隙特征研究中，大部分压汞试验样品是吸附试验的平行样．

研究以大量系统的实测数据为基础，在探求影响煤本身吸附能力的各种因素、煤的吸附能力随煤变质程度变化的规律，不同显微组分对吸附能力的贡献大小，以及不同变质阶段中各显微组分吸附能力的变化等方面，取得了新的进展．同时，把吸附能力的差异深入到亚组分；查明了丝质体和木镜丝质体吸附能力大是由植物细胞壁中的纹孔、胞间孔、射线在煤中仍得以保存，而使内表面大所起的作用，证实了树皮煤的吸附能力在同等变质阶段的煤中最小．

3.3.1 高压容量法等温吸附试验

试验是由西安矿业学院通风教研室承担的，使用的仪器是煤炭科学研究总院重庆分院生产的容量法等温高压吸附试验装置．煤的吸附试验条件和工艺流程见图 3—14．将煤样粉碎成 60—80 目（0.2—0.25mm）后，取 50g 样品置于带压力表的高压容器（吸附缸）中，在 30℃ 恒温下，向吸附缸内充入不同压力（采用的表压力为 0—40Kg／cm^2）的甲烷气，测算出每一平衡压力下煤样对甲烷的吸附量，换算成单位重量煤（可燃物）的吸附量，即可得到该试验温度下的等温吸附曲线（图 3—15）。



3 — 14 吸附试验流程示意图

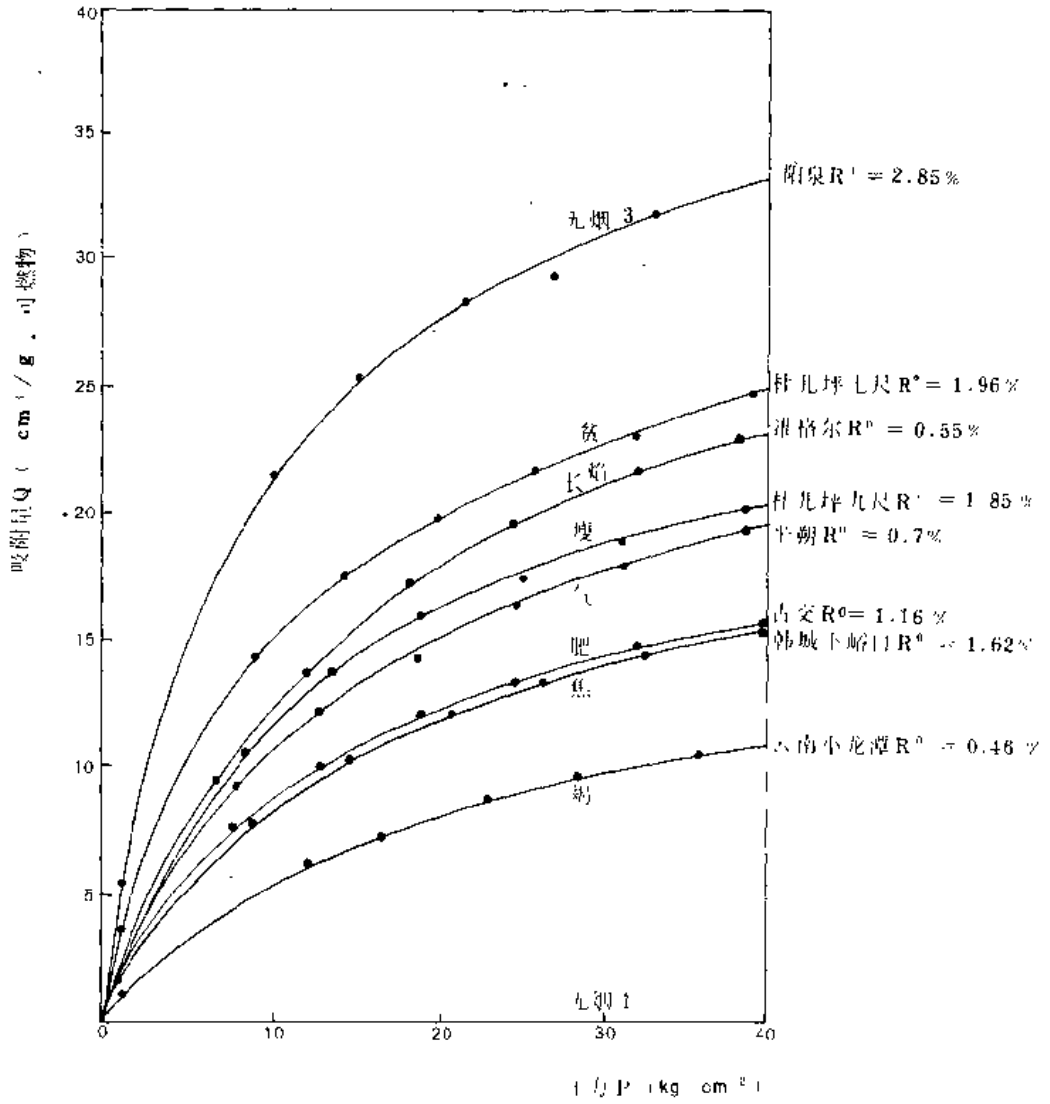


图 3—15　在试验温度为 30℃ 时煤的吸附量与变质程度和压力的关系

由于煤吸附与解吸甲烷是可逆的过程，所以，试验过程除常压下是直接测量煤的吸附量之外，其余压力下吸附量是测定甲烷解吸量而得到．当温度一定时，煤吸附甲烷与气体压力的关系符合连格缪尔公式（见 3.1.2.(1) 公式 3—1）．

根据等温吸附试验的实测数据和连格缪尔公式，用最小二乘法可以求出附常数 a、b 值．

试验所得数据如表 3—12 所示．

3.3.2　煤对甲烷的吸附能力及变化

将 65 个煤样的吸附试验结果作图（图 3—16），从图中可见，在 30℃ 温度下，煤的最大可能吸附量 a 值的变化范围很大，为 0—41.14cm^3／g.可燃物．其变化与煤的变质程度密切相关．但同一变质阶段或在同一层煤中，吸附量也有较宽的变化范围．这表明影响吸附量并非单一因素．根据各种因素的对比分析，我们认为，煤的吸附能力的大小，主要取决于煤的变质程度和煤岩物质成分．

表 3-12　　煤样等温(t＝30℃)吸附试验数据表

采样地区	煤层层位	煤层号	R^{o}_{max}(%)	有机显微组分含量(%)					工业分析(%)			孔隙率 $\Phi=\frac{d-r}{d}$(%)	吸附常数	
				镜质组	惰质组			壳质组	V^{r}	A^{g}	W^{r}		a	b
					Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ							
云南昭通	N_2^3		0.46	88.8	0.8	1.4	–	9.1	35.46	6.36	17.88	8.054	14.2322	0.07577
抚顺	E_{2f}	本组	0.52	98.1	0.7	–	–	1.2	37.76	6.40	10.30	5.674	33.0098	0.06324
抚顺	E_{2f}	本组	0.52	96.0	4.0	–	–	–	29.69	38.58	8.55	8.523	27.8198	0.06742
焦坪	J_{1-2y}	4-2	0.54	76.8	8.9	11.3	2.0	1.6	35.20	5.36	9.01	5.755	26.3960	0.07473
焦坪	J_{1-2y}	4-2	0.54	46.6	33.2	18.6	0.3	1.3	29.37	7.60	8.31	7.534	28.5749	0.06882
焦坪	J_{1-2y}	4-2	0.54	30.4	56.3	11.3	0.4	1.7	26.69	9.35	8.42	4.762	28.7925	0.06764
焦坪	J_{1-2y}	4-2	0.54	14.8	72.9	10.4	1.4	0.5	23.10	12.07	8.21	6.000	27.0899	0.07499
内蒙古准格尔	P_{1s}	6#	0.55	77.8	11.6	4.4	0.8	5.4	32.95	7.49	10.17	9.091	31.8133	0.06715
内蒙古准格尔	P_{1s}	6#	0.55	14.4	72.1	5.0	0.2	8.3	28.43	11.95	7.06	10.458	23.8737	0.08648
乌鲁木齐	J_{2x}	B_{24}	0.59	99.1	–	–	–	0.9	41.22	3.69	4.97	3.650	25.2358	0.09770
乌鲁木齐	J_{2x}	B_{1+2}	0.62	75.9	13.1	9.1	0.7	1.2	37.33	5.84	2.76	2.222	25.3074	0.09299
乌鲁木齐	J_{2x}	B_{1+2}	0.62	61.3	15.3	21.6	0.6	1.2	34.13	3.88	3.25	5.882	31.8661	0.08225
乌鲁木齐	J_{2x}	B_{1+2}	0.62	43.4	41.3	12.3	0.3	2.7	33.86	3.85	2.81	6.569	22.7220	0.09993
乌鲁木齐	J_{2x}	B_{1+2}	0.62	31.0	36.0	30.5	–	2.5	28.77	3.90	3.63	7.143	26.7230	0.09778
平朔	C_{3t}	9#	0.69	71.2	14.6	8.2	1.0	5.0	41.07	7.07	3.44	3.597	15.9612	0.09895

续 2

采样地区	煤层层位	煤层号	R^o_{max} (%)	有机显微组分含量(%)					工业分析(%)			孔隙率 $\Phi=\frac{d-r}{d}$ (%)	吸附常数	
				镜质组	惰质组			壳质组	V^t	A^g	W^f		a	b
					I	II	III							
平朔	C_{3t}	9#	0.69	29.2	46.8	8.9	0.8	14.3	36.27	8.13	3.19	2.113	21.2277	0.07599
平朔	P_{1s}	4#	0.70	94.5	1.0	0.3	—	4.2	39.59	8.28	4.91	3.597	26.3858	0.06972
平朔	P_{1s}	4#	0.70	29.0	62.2	1.1	5.5	2.2	21.68	37.91	3.22	5.405	20.7017	0.07870
乐平	P_{2l}	B_3	0.73	15.9	7.0	—	—	77.1	54.52	7.62	0.98	3.846	13.9080	0.06936
轩岗	C_{3t}	5#	0.91	62.5	25.2	8.3	0.3	3.7	37.98	12.01	1.09	2.877	17.7163	0.09420
轩岗	C_{3t}	5#	0.91	74.2	17.1	3.9	2.4	2.4	30.95	12.88	1.19	8.681	13.0373	0.15382
轩岗	P_{1s}	2#	0.95	78.9	10.3	5.6	—	5.2	37.90	4.33	1.56	2.290	14.2325	0.07724
轩岗	P_{1s}	2#	0.95	34.7	50.0	2.6	1.3	11.4	26.91	14.61	1.41	5.921	11.0521	0.11799
山西镇城底	P_{1s}	2#	1.16	78.5	15.7	0.7	3.3	1.8	29.34	5.49	0.69	2.290	20.5872	0.07730
鸡西	J_{3c}	30#	1.17	89.2	3.9	4.9	1.0	1.0	26.27	13.34	1.03	1.418	20.8456	0.07791
鸡西	J_{3c}	30#	1.17	81.9	7.0	8.5	0.9	1.7	23.52	18.52	0.96	0.699	21.7133	0.07799
山西古交	C_{3t}	8#	1.20	64.9	22.5	4.7	6.6	1.3	28.60	12.73	1.13	2.857	18.9841	0.07521
山西古交	C_{3t}	8#	1.20	52.8	31.3	1.2	12.9	1.8	28.05	13.51	0.88	2.878	16.2099	0.08639
丰城	P_{2l}	B_4	1.27	43.5	56.5	—	—	—	28.62	16.37	0.64	3.297	14.4322	0.14947
南桐	P_{2l}	4#	1.34	83.7	15.4	0.9	—	—	21.96	10.45	1.00	1.408	15.3182	0.08777

续 3

采样地区	煤层层位	煤层号	R^{o}_{max} (%)	有机显微组分含量(%)					工业分析(%)			孔隙率 $\Phi=\frac{d-r}{d}$ (%)	吸附常数	
				镜质组	惰质组			壳质组	V^{r}	A^{g}	W^{r}		a	b
					I	II	III							
鸡西	J_{3c}	17#	1.42	85.1	8.2	6.2	0.5	–	19.25	13.35	0.73	1.399	17.3123	0.08036
鸡西	J_{3c}	17#	1.42	74.1	14.0	11.7	0.2	–	17.74	16.99	0.72	1.379	18.0082	0.08356
鸡西	J_{3c}	17#	1.42	75.9	11.6	11.9	0.6	–	16.38	28.94	0.81	3.067	18.3141	0.11245
鸡西	J_{3c}	17#	1.42	80.0	11.0	8.5	0.5	–	15.46	33.89	0.81	4.242	17.4514	0.08095
南桐	P_2	4#	1.50	89.6	10.2	0.2	–	–	20.67	17.25	0.87	6.780	10.7242	0.11140
南桐	P_2	4#	1.50	86.2	12.9	0.9	–	–	21.17	11.45	0.78	1.408	18.2624	0.07499
山西西曲	P_{1s}	2#	1.52	83.3	9.4	6.0	1.3	–	28.80	4.17	1.07	2.290	21.9712	0.09003
山西西曲	P_{1s}	2#	1.52	78.3	17.6	0.4	2.8	0.9	22.43	31.01	0.72	4.348	14.8098	0.07984
陕西下峪口	P_{1s}	2#	1.62	67.0	30.4	2.4	0.2	–	19.07	10.22	0.72	2.857	20.5915	0.07181
陕西桑树坪	C_{3t}	11#	1.66	84.9	13.0	1.9	0.2	–	18.17	9.27	0.66	2.128	16.3378	0.09004
丰城	P_{21}	B_4	1.67	72.2	27.8	–	–	–	20.25	25.97	0.88	1.840	21.7484	0.08305
丰城	P_{21}	B_4	1.67	78.6	21.4	–	–	–	18.53	15.35	0.53	1.333	22.5891	0.09052
丰城	P_{21}	C_{23}	1.67	93.8	6.2	–	–	–	19.93	9.99	0.59	0.725	27.5216	0.07323
南桐	P_{21}	4#	1.71	84.8	14.4	0.8	–	–	15.45	9.14	0.84	3.448	13.1789	0.11040
铜川	P_{1y}	5#	1.72	88.7	10.9	0.2	0.2	–	15.91	6.65	1.04	12.179	17.5339	0.14041

续 4

采样地区	煤层层位	煤层号	R^o_{max} (%)	有机显微组分含量(%)					工业分析(%)			孔隙率 $\Phi=\frac{d-r}{d}$ (%)	吸附常数	
				镜质组	惰质组			壳质组	V^r	A^g	W^t		a	b
					I	II	III							
杜儿坪	C_{3t}		1.81	58.6	34.8	5.8	0.8	–	15.26	5.07	1.12	2.920	24.6380	0.10345
杜儿坪	C_{3t}		1.81	73.6	25.3	0.2	0.9	–	17.01	23.74	0.81	3.871	15.4490	0.09172
杜儿坪	P_{1s}	2#	1.85	64.1	21.9	13.6	0.4	–	15.92	5.74	1.14	2.963	27.3743	0.12031
杜儿坪	P_{1s}	2#	1.85	80.6	17.8	1.4	0.2	–	16.11	4.47	1.10	2.256	25.4830	0.09300
杜儿坪	P_{1s}	2#	1.85	56.5	39.6	2.2	1.6	–	13.28	16.50	1.34	4.516	23.4941	0.11064
南桐	P_{2l}	6#	1.91	90.0	8.5	1.3	0.2	–	12.87	13.56	0.82	8.176	18.0547	0.14098
南桐	P_{2l}	6#	1.91	91.0	6.6	1.6	0.8	–	13.81	19.53	0.73	2.500	18.4483	0.13161
杜儿坪	C_{3t}		1.96	92.7	2.9	4.0	0.4	–	14.97	6.41	1.23	2.963	29.8025	0.10741
铜川	C_{3t}	10#	1.98	83.4	13.4	3.0	0.2	–	12.89	9.65	0.68	1.399	20.9617	0.07222
阳泉	P_{1s}	3#	2.36	63.9	28.2	7.4	0.5	–	9.94	8.31	1.73	2.778	33.1571	0.12908
阳泉	P_{1s}	3#	2.36						15.79	39.68	1.17	1.149	25.4069	0.08794
阳泉	C_{3t}	15#	2.85	31.1	63.4	5.3	0.2	–	7.72	5.42	2.68	4.167	35.7399	0.13224
阳泉	C_{3t}	15#	2.85	58.7	31.9	9.4	–	–	9.62	10.97	2.01	3.497	36.4696	0.12767
阳泉	C_{3t}	15#	2.85	66.5	26.3	7.2	–	–	7.40	4.15	2.92	4.138	39.4764	0.12700
汝箕沟	J_{1-2}	2–1	3.32	11.2	88.8	–	–	–	8.37	7.57	1.08	3.356	30 7416	0.14122

续 5

采样地区	煤层层位	煤层号	R^0_{max} (%)	有机显微组分含量(%)					工业分析(%)			孔隙率 $\Phi=\frac{d-r}{d}$ (%)	吸附常数	
				镜质组	惰质组			壳质组	V^r	A^g	W^f		a	b
					I	II	III							
晋城	P_{1s}	$3^{\#}$	5.25	68.2	31.8	—	—	—	4.73	16.85	3.46	7.69	39.7656	0.16949
晋城	C_{3t}	$15^{\#}$	5.32	76.9	23.1	—	—	—	4.15	1.71	1.46	2.92	41.1400	0.15930
京西	J_{1y}	M_{14}	7.10	34.5	63.2	2.3	—	—	4.90	8.22	2.35	6.736	0	0
京西	J_{1y}	M_{14}	7.10	24.7	71.6	3.7	—	—	6.53	10.47	2.53	7.179	0	0
京西	C_{3t}		天 然 焦						6.69	19.56	0.66	13.333	0	0

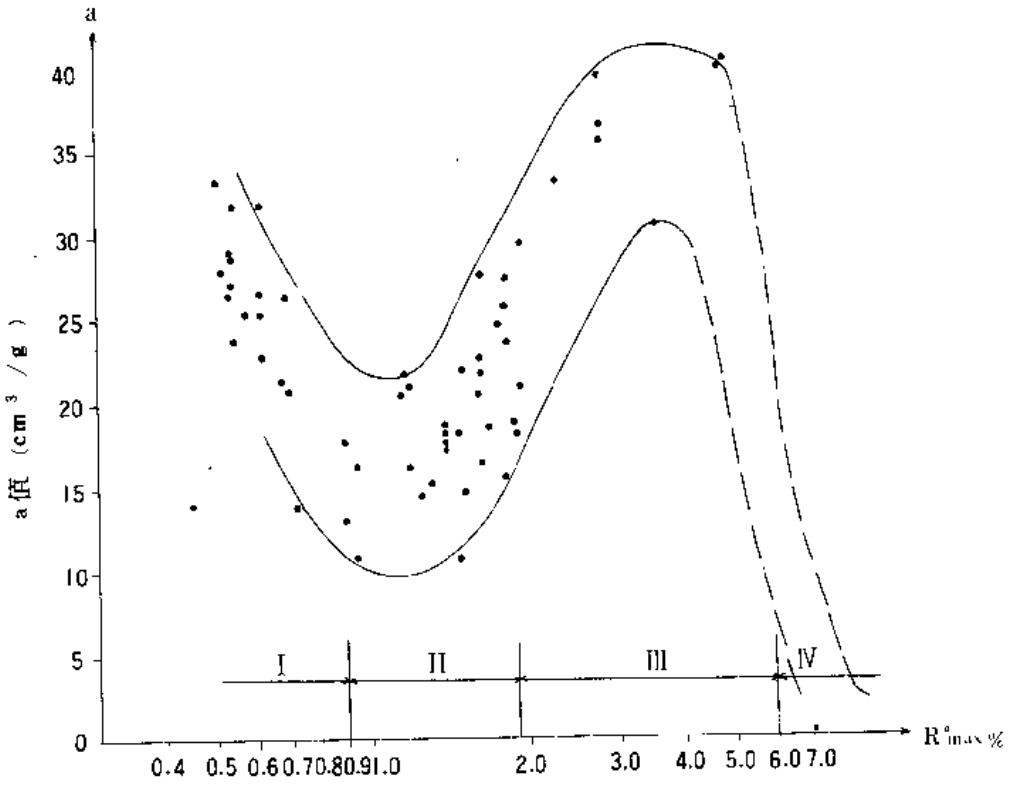


图 3—16　吸附常数 a 值与 R^{o}_{max} 的关系

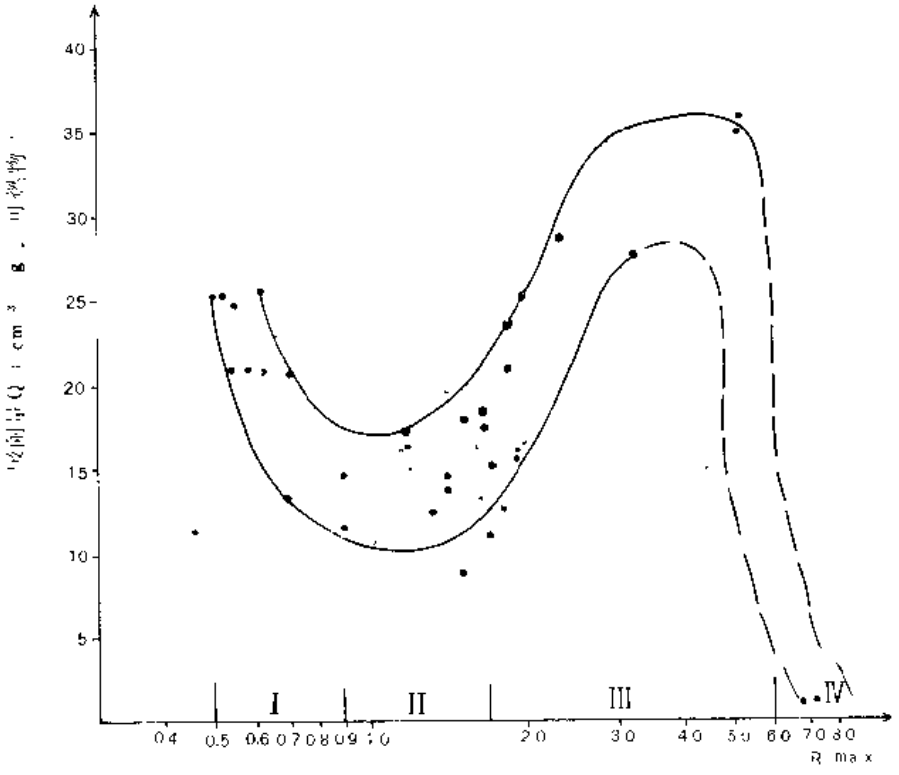


图 3—17　吸附量（P＝50kg／cm²）与变质程度的关系（镜质组含量＞60%）

1.煤变质程度的影响

为了研究煤的吸附量随变质程度而变化的规律，避免煤岩组分的影响，对所做的煤样进行了筛选，对镜质组含量大于60%的样品，从长焰煤到高变质无烟煤分9个变质阶段系统作图分析（图3—17）。对比图3—17和3—16可知，吸附容量（$P=50kg/cm^2$条件下）随变质程度而变化的趋势与吸附常数a值相同；但由于图3—17中去掉了镜质组含量<60%的样品，所以测点的分散程度减小。

从图3—17中看出，煤对甲烷的吸附量与变质阶段的关系不是呈单一的正相关，而是呈复杂的曲线关系。这一点与国内外已报道的研究成果明显不同。按照变化趋势，可将曲线分为4个区间来讨论。

Ⅰ.长焰煤、气煤区（$R^o_{max}=0.5—0.9\%$），随着变质程度的增高，曲线呈下降状，即吸附量减小。

Ⅱ.肥煤、焦煤区（$R^o_{max}=0.9—1.7\%$），曲线处于较低拐弯处，拐点在$R^o_{max}=1.3\%$左右（该拐点与煤的孔隙度随变质程度而变化的拐点大体相当，也是煤化作用的第二次煤化跃变点）吸附量处于相对较低状态。

Ⅲ.瘦煤、贫煤、无烟煤三号和无烟煤二号区（$R^o_{max}=1.7—6.0\%$），随着变质程度的增高，曲线呈上升状，到无烟煤二号（$R^o_{max}=5.0\%$左右），达到整个变质阶段的吸附顶峰。

Ⅳ.无烟煤一号区（$R^o_{max}>6.0\%$），由于无烟煤二号的样品很少，实际上只有一个变质程度（$R^o_{max}=5.0\%$）的煤样，其吸附性能反映不全面。根据有关资料推测，部分无烟煤二号（$R^o_{max}>5.0\%$以后）的吸附量低于无烟煤三号（详见后）。所以，该区的特点是随变质程度的增高，曲线急剧下降；当$R^o_{max}=7.10\%$时，煤的吸附量很小或基本不吸附。

各变质阶段煤的吸附甲烷量统计结果见表3—13，煤的吸附等温曲线随变质阶段和压力的变化关系见图3-15。

根据以上实测数据和作图分析，依各变质阶段煤对甲烷吸附量的大小按顺序归纳如下：无烟煤三号、二号>长焰煤、贫煤>气煤、瘦煤>肥煤、焦煤>无烟煤一号。

由于无烟煤的样品较少，转折部位不易确定，所以，关于无烟煤吸附能力的推断有必要进一步讨论。

在江西省，龙潭组煤层因变质分带而造成瓦斯分区的规律十分明显。中、低变质带多为低沼矿井，中、高变质带（焦煤—无烟煤三号）均为高沼矿井和煤与瓦斯突出矿井，超高（$R^o_{max}>6.0\%$）变质带为低沼矿井①（参见图5—13）。同时，在江西安福地区，龙潭组煤的变质阶段达无烟煤一号，观溪1号钻孔在616.80m处，实测甲烷含量为$3.53cm^3/g$.可燃物（气成分为$CH_4$49%，$N_2$47%，$CO_2$4%）②，是很低的。进而对我国一些无烟煤矿井的瓦斯等级进行了统计（表3—14）。结果表明，无烟煤三号的矿井几乎全为高沼矿，无烟煤二号的矿井高沼、低沼矿均有，而无烟煤一号的矿井无一例

①据王涛、黄文涛，1985，江西省煤田地质分析研究.

②据王涛（1989年4月）的通讯资料.

表3-13　　煤变质阶段与甲烷吸附量的关系

煤变质阶段	R°_{max} (%)	吸附常数		甲烷吸附量,Q (cm^3 / g.克燃物, P=50kg / cm^2)	样品数
		a	b		
褐　煤	<0.5	14.232	0.0758	11.260	1
长焰煤	0.50–0.70	25.236 – 33.010 28.421	0.06324 – 0.09778 0.0777	20.832 – 25.633 22.474	11
气　煤	0.70–0.90	15.961 – 26.386 21.069	0.06697 – 0.09895 0.0808	13.278 – 20.504 16.774	4
肥　煤	0.90–1.20	13.087 – 21.713 17.915	0.07521 – 0.15382 0.0900	11.305 – 17.282 14.480	9
焦　煤	1.20–1.70	10.724 – 27.522 18.360	0.07181 – 0.14947 0.0906	9.092 – 21.618 14.906	15
瘦　煤	1.70–1.90	13.179 – 27.374 21.022	0.09172 – 0.14041 0.1100	11.150 – 23.494 17.740	7
贫　煤	1.90–2.50	18.055 – 33.157 24.305	0.07222 – 0.14098 0.1115	15.812 – 28.709 20.462	6
无烟煤三号	2.50–4.0	30.7416 – 39.476 35.607	0.12700 – 0.14122 0.1320	26.928 – 34.105 30.902	4
无烟煤二号	4.00–6.00	39.7656 – 41.1400 40.403	0.15930 – 0.16949 0.1644	35.568 – 36.551 36.060	2
无烟煤一号	>6.00	0	0	0	3

表3—14　　无烟煤矿区矿井瓦斯等级统计表

矿区名称	变质阶段	挥发分%	R^{o}_{max}(%)	瓦斯等级	吸附常数	
辽宁本溪牛心台	无烟煤三号	5.62	—	高　沼	a	b
四川南桐打通	无烟煤三号	9.46	1.98	高　沼		
安徽淮北烈山	无烟煤三号	9.70	—	高　沼		
宁夏汝箕沟	无烟煤三号	5.75	—	高　沼	30.7416	0.1412
山西阳泉	无烟煤三号	7.08	—	高　沼	39.4764	0.1270
甘肃九条岭	无烟煤三号	9.84	2.20	低　沼		
湖南红卫矿	无烟煤三号	5.25	—		35.4506	0.1176
山西晋城王台铺	无烟煤二号	5.09	4.88	局部为高沼		
福建永定培丰	无烟煤二号	4.22	4.175	低　沼		
湖南金竹山	无烟煤二号	5.78	5.45	高　沼	42.0044	0.1331
福建龙岩田螺形	无烟煤一号	2.95	6.48	低　沼		
江西安福	无烟煤一号	1.96	7.007	低　沼		
福建永安加福	无烟煤一号	2.38–2.94	7.275–7.526	低　沼		
福建龙岩陆家地	无烟煤一号	2.45	8.588	低　沼		
福建大田上京	无烟煤一号	1.89	8.95	瓦斯含量0.24–0.57%低沼		
福建天湖山	无烟煤一号	0.75–1.50	11.09	低　沼		
京西大安山	无烟煤一号	4.45–5.67	11.58	低　沼	0	0

注：煤变质资料据煤炭部(1981)全国煤田预测报告

外的均属低沼矿井．这些事实证实了上面关于从无烟煤二号到无烟煤一号随煤变质程度增高其吸附能力急剧下降的推断．

苏联顿巴斯和卓尔斯克煤田煤层沼气含量的研究表明，半无烟煤（$R^{o}=2.5$—3.49%）和低变质无烟煤（$R^{o}=3.5$—4.49%），煤中沼气含量最大（40—50m^3/t）；中变质无烟煤（$R^{o}=4.5$—5.49%）瓦斯含量与埋藏深度关系不明显，表现为随着煤变质程度的增高瓦斯含量明显减小；超无烟煤（$R^{o}>5.5\%$）的特点是沼气含量很小，不存在任何增长的趋势，一般不超过2—3m^3/t，高变质无烟煤矿井，不论开采深度多大（深矿井开采深度900m），经常属于无沼气危险矿井（据于不凡等，1987）．这与上述

我国的情况基本一致.

以上无烟煤的瓦斯含量、矿井瓦斯等级与变质阶段的关系和孔隙度的变化趋势都与前所讨论无烟煤的吸附能力的变化是完全吻合的，这说明从无烟煤二号到无烟煤一号，吸附能力呈下降趋势是符合实际的.

由于煤对甲烷的吸附是一种发生在煤孔隙内表面上的一种物理过程，吸附能力受孔隙特征的控制，所以，煤的吸附能力随煤变质程度增高而出现的上述变化规律，是与煤孔隙特征的变化规律相一致的（见图 3—16 和图 3—5).

吸附常数 a 值变化曲线的转折点和孔隙特征参数（孔隙度、内表面积、小孔和微孔体积等）变化曲线的转折点，均与煤化作用中的相应煤化跃变点基本一致．这说明，本次实验所得到的煤对甲烷吸附能力随变质程度增高而变化的规律，是受煤化作用过程中有机质所发生的一系列物理一化学变化支配的，是由煤的基本结构单元和有机质分子结构这些深层次的变化决定的，因而具有一定的理论价值和普遍意义.

2.有机显微组分的影响

煤对甲烷吸附能力的大小，除了与变质程度有关外，还与煤本身物质成分有关．煤的三大有机显微组分中，镜质组是植物木质纤维素在还原条件下经凝胶化作用而形成的胶状物质；壳质组是成煤植物中化学稳定性强的部分（如孢子、花粉、木栓层、树脂、角质层等），在泥炭化和成岩阶段，几乎没有发生什么质的变化而保存在煤中的组分；惰质组是丝炭化作用的产物，在氧化条件下，植物遗体由于失去被氧化的原子团而脱氢、脱水，碳含量相对增加，经历了较大程度的芳烃化和缩合作用．各种组分所经历的变化不同，导致化学组成、分子结构和孔隙的差别．凝胶化作用和丝炭化作用不同，致使植物组织保存的程度不同．在煤变质过程中，各组分所产生的烃类物质、挥发性物质多少的不同，会造成孔隙发育程度的不同．由于显微组分存在以上差别，因而它们的吸附能力也各异.

组分的影响，只能在同一煤层或相同变质阶段煤中加以比较，尽量排除变质程度的干扰．在同一煤层中，根据显微组分（由于大部分煤中壳质组含量很少而不加讨论）含量选取成对煤样，或根据组分含量差别，将 3、4 个样组成一组进行讨论.

在所研究的煤样中，镜质组主要是无结构镜质体，结构镜质体的含量很少，所以在我们分析问题时，把所有镜质组都以无结构镜质体对待．在惰质组中，由于其结构的不同，对吸附能力影响较大，所以把惰质组分为：惰质组Ⅰ（指无结构丝质体，包括镜丝质体、碎屑丝质体、基质丝质体、粗粒体、微粒体和丝质浑圆体．见图版 4—1、4、5、6），惰质组Ⅱ（指具有胞腔结构而无充填物的丝质体，包括丝质体、木镜质体．见图版 4—2、7、8 和 5—1、2、3、6、7）和惰质组Ⅲ（指具有胞腔结构并被有机质或矿物质充填）．在显微煤岩组分定量时，对惰质组的 3 部分分别进行定量统计.

下面根据吸附量和显微组分含量的关系（见表 3—15）分几种情况加以讨论.

1）在惰质组，特别是惰质组Ⅱ的含量不高的情况下，镜质组含量越高吸附量越大．1、3、7 组样属于此种情况．准 6 半亮和准 6 暗两个样是同一层煤，准 6 半亮镜质组含量（77.8%）比准 6 暗多 63.4%，但惰质组Ⅰ含量后者却比前者多 60.5%，其他组

分相差不大．Q 值是准 6 半亮高于准 6 暗，说明镜质组含量高者吸附量大，惰质组 I 含量越多吸附量越小．3、7 组样与 1 组样存在相同情况．7 组样中惰质组主要是结构丝质体，但几乎所有的胞腔全被粘土矿物充填；镜质组中破碎的结构镜质体含量也较多，破碎残缺不全的胞腔亦被粘土矿物充填（见图版 4—3）．吸附量是随着镜质组含量的增高而增大．

表 3—15　　煤的有机显微组分与吸附能力的关系统计表

组号	煤样编号	R^{o}_{max} (%)	镜质组 (%)	惰质组(%)			壳质组 (%)	吸附常数 a	甲烷吸附量 Q* (cm^3／g、可燃物)
				I	II	III			
1	准 6 半亮	0.55	77.8	11.6	4.4	0.8	5.4	31.0	24.5
	准 6 暗	0.55	14.4	72.1	5.0	0.2	8.3	23.9	19.4
2	南大 B_{1+2}	0.62	75.9	13.1	9.1	0.7	1.2	25.3	20.8
	南大半亮	0.62	61.3	15.3	21.6	0.6	1.2	31.0	25.6
	南大半暗	0.62	43.4	41.3	12.3	0.3	2.7	22.7	18.9
	南大暗	0.62	31.0	36.0	30.5	—	2.5	26.7	22.2
3	平 4 亮	0.70	94.5	1.0	0.3	—	4.2	26.4	20.5
	平 4 暗	0.70	29.0	62.2	1.1	5.5	2.2	20.7	16.5
4	轩 2 亮	0.95	78.9	10.3	5.6	—	5.2	14.2	11.3
	轩 2 暗	0.95	34.7	50.0	2.6	1.3	11.4	11.1	9.5
5	顺 8 半亮	1.2	64.9	22.5	4.7	6.6	1.2	19.0	15.0
	顺 8 暗	1.2	52.1	31.3	1.2	12.9	1.0	16.2	13.2
6	西 2 亮	1.52	83.3	9.4	6.0	1.3	—	22.0	18.0
	西 2 暗	1.52	78.3	17.6	0.9	2.8	0.85	14.6	11.8
7	尚 3—C_{23}	1.67	93.8	—	—	6.2	—	27.5	21.6
	尚 B4 半暗	1.67	78.6	—	—	21.4	—	22.6	18.5
	尚 B4 暗	1.67	72.2	—	—	27.8	—	21.7	17.5
8	杜九尺细亮	1.85	80.6	17.8	1.4	0.2	—	25.5	21.0
	杜九尺亮	1.85	64.1	21.9	13.6	0.4	—	27.4	23.5
	杜九尺暗	1.85	56.5	39.6	2.3	1.6	—	23.5	19.0
9	阳 15 亮	2.85	66.5	26.3	7.2	—	—	39.5	34.1
	阳 15 半亮	2.85	58.7	31.9	9.4	—	—	36.5	31.5
	阳 15 半暗	2.85	31.1	63.4	5.3	0.2	—	35.7	31.0
10	乐 B_{3-1}	0.73	15.9	7.0	—	—	77.1	13.9	10.8

* Q 指压力为 50kg／cm^2 时的甲烷吸附量

2）具有胞腔结构且无充填物的丝质体含量越高吸附量越大．如2组样，Q值不但与组分含量有关，而且与亚组分的关系密切，南大半亮样的Q值大于其他3个样，其主要原因是惰质组Ⅱ（见图版4—1）含量比南大B_{1+2}样和南大半暗样高，虽比南大暗样的含量少，但镜质组的含量却大1倍．南大半亮样的镜质组含量比南大B_{1+2}少14.6%，但惰质组Ⅱ又多11.5%，说明惰质组Ⅱ的吸附能力比镜质组高．南大半暗样的Q值最低，是由于惰质组Ⅱ的含量少，虽比南大B_{1+2}样多3.2%，但镜质组的含量少32.5%．镜质组含量比南大暗多12.4%，但惰质组Ⅱ又少18.2%．4、5、6三组煤样有同样现象，它们的共同特点是Q值高者其镜质组和惰质组Ⅱ（见图版5—1、2）的含量都相对高．在8组样中，杜九尺亮样的Q值大于杜九尺细亮和杜九尺暗两个样，镜质组的含量虽比杜九尺细亮样少16.5%，但惰质组Ⅱ（见图版4—7、8）的含量即多12.2%，说明在瘦煤阶段，惰质组Ⅱ的吸附量仍大于镜质给的吸附量．

以上组分和亚组分的比较说明，吸附能力是：惰质组Ⅱ＞镜质组＞惰质组Ⅰ和惰质组Ⅲ．

3）9组样的Q值是随着镜质组（见图版5—4）含量的增加而增大，随惰质组Ⅰ含量的增加而减小．虽然阳15半亮样惰质组Ⅱ（见图版5—3）的含量大于阳15亮样，但Q值仍低于后者，说明在无烟煤三号变质阶段，煤的吸附能力主要取决于镜质组含量．

4）在3大组分中，壳质组的吸附能力最低．乐平树皮煤（乐B_{3-1}样）$R^{o}_{max}=0.73\%$，树皮含量达77.1%（见图版5—8），其次是镜质组和惰质组Ⅰ．该样的Q值10.8cm^3/g.可燃物，与变质程度大体相当的煤相比，如平9亮煤样（$R^{o}_{max}=0.69\%$，镜质组含量71.3%）和平4亮煤样（$R^{o}_{max}=0.70\%$，镜质组含量94.5%）的平均Q值为16.8cm^3/g.可燃物，平9暗样（$R^{o}_{max}=0.69\%$，惰质组含量56.5%）和平4暗样（$R^{o}_{max}=0.70\%$，惰质组含量68.8%）的平均Q值为16.65cm^3/g.可燃物，均比较小，说明树皮体的吸附能力低于镜质组和惰质组．

5）天然焦对甲烷不吸附．杨坨五槽样经显微镜下鉴定是天然焦．可熔组分（镜质组）经过分解、熔融，再凝聚成细、中、粗粒状镶嵌结构；非可熔组分（惰质组）仍保留原有的形态．由于镜下未见到镜质组而未能测取R^{o}_{max}值，据惰质组的光学特性及相邻煤的变质程度，很可能相当于无烟煤一号．该样吸附试验的结果是对甲烷不产生吸附．

此外，矿物含量高的煤样，吸附量偏低，虽然吸附量是指可燃基，但矿物不只占有一定重量，而煤中的孔隙如被矿物充填，孔隙减小．而煤的吸附主要是孔隙的内表面的作用，因此，吸附能力相应要偏低．

综上所述可以得出：①在长焰煤—瘦煤变质阶段中，不同显微组分的吸附能力是惰质组Ⅱ＞镜质组＞惰质组Ⅰ和惰质组Ⅲ＞树皮体；②在无烟煤三号变质阶段中，显微组分的吸附能力是镜质组＞惰质组．

关于显微组分对吸附能力的影响关系，苏联А.Л.Ъакалдина(1980)认为，常压下长焰煤—肥煤随着煤中惰质组的增加吸附能力提高；焦煤阶段镜质组和惰质组的吸附能力相同；瘦煤和贫煤阶段吸附能力取决于镜质组（А.Л.Ъакалдина 著，宋健人译，

1983)．煤炭科学研究总院抚顺分院和淮南矿业学院（1985）在"煤层烃类气体组分与煤岩煤化关系的研究"报告中则认为，煤（$R^{o}_{max}=0.82\%$）的甲烷吸附量随着煤中镜质体含量增加而增大．显然，我们的实验结果和认识与他们是不相同的．

组分或亚组分吸附能力的这些变化，可以从吸附剂本身的孔隙和内表面积大小的变化中得到解释．丝质体和木镜丝质体是植物木质部经丝炭化作用转变而形成，虽经脱水、脱氢，使碳化程度增高，但不象无结构镜质体改变了木质结构成为胶状物．丝质体的细胞结构保存很好，细胞壁保存原来厚度或稍有膨胀，胞腔清晰，但易破碎成次生星状，具弧状结构，这种亚组分在新疆乌鲁木齐矿区煤样中较典型．木镜丝质体细胞强烈膨胀，胞腔缩小．原始植物的管胞壁周围分布着大量的纹孔（成俊卿编，1985）（见图版 6—1、2、3、4、5、6 和图版 7—1），纹孔具纹孔腔（见图版 7—3、4 和 3—6），纹孔腔的大小在图版 7—4 纹孔膜上显示出白色圈，其最大直径为 21μm，纹孔腔的厚度为 2μm（见图版 7—3）．从图版 6—7、8、9 可见射线上具有很多纹孔，射线纹孔腔及大小见图版 5—6．纹孔不但有空腔，而且有纹孔道．腔和道均构成吸附场所．每个纹孔层的厚度仅 4—5μm，管胞壁是由若干个 4—5μm 的纹孔层构成．我们可以想象，管胞壁中的吸附类似于海绵．原始植物中的纹孔在煤中的结构丝质体和结构镜质体中，仍得到很好的保存（以上图版中的照片均为煤中拍摄），在乌鲁木齐 B_{1+2} 煤层（$R^{o}_{max}=0.62\%$）、焦坪 4—2 煤层（$R^{o}_{max}=0.55\%$）、河南义马早、中侏罗世煤、准格尔 6 号煤层（$R^{o}_{max}=0.55\%$）、鸡西 17 号煤层（$R^{o}_{max}=1.42\%$）中，均发现管胞壁上的纹孔在煤中得以保存（图版 5—6、图版 6、图版 7）．纹孔以及射线、胞腔、胞间孔等的存在，造成大量的吸附空间，因此，结构丝质体和结构镜质体的吸附能力大，这也是惰质组Ⅱ及弱还原煤吸附能力大的原因所在．

镜质组（指无结构镜质体）是在凝胶化作用下形成胶体状物质，植物细胞结构完全被破坏．但镜质组含有比丝质体和木镜丝质体多的易挥发物质（见表 3—16），同等变质阶段，镜质组的挥发分比惰质组高，氢、氮的含量也是如此，但碳含量比惰质组低．从长焰煤到贫煤，镜质组挥发分由 39.6%减少到 9.6%，差值 30%，而惰质组从长焰煤到瘦煤挥发分从 21.1%减少到 8.2%，差值 12.9%．在煤变质过程中，这些易挥发物质的逸出，导致镜质组的微孔隙不断增加，在瘦煤变质阶段之前，镜质组孔隙和内表面增加值小于丝质体和木镜丝质体所具有的孔隙和内表面积，所以吸附能力小于丝质体和木镜丝质体．到无烟煤一号变质阶段，镜质组中更多的挥发物质逸出，这时的孔隙和内表面积大于丝质体和木镜丝质体．因丝质体和木镜丝质体虽有纹孔，但由于在泥炭化作用阶段已有较高的碳化程度，在煤变质过程中易挥发性物质逸出较镜质组少，因而镜质组的吸附量在该阶段大于丝质体和木镜丝质体．

无结构丝质体（惰质组Ⅰ）和胞腔被充填的丝质体（惰质组Ⅲ）比惰质组Ⅱ和镜质组的吸附量低的主要原因：一是碳化程度高，二是缺少纹孔，三是胞腔被矿物充填．

树皮体的吸附能力低于镜质组和惰质组，是由于树皮组织不具有木质部的胞腔和纹孔．树皮体的植物组织是成煤植物的木栓层部分，木栓质将植物的木栓组织浸透，以提高防腐能力，其化学性质稳定，在泥炭化作用阶段得以较完整的保存．但在煤变质过程

中，树皮体是活性物质，遇热易发生变化，它的变化较镜质组和惰质组快．我们研究的乐平 B_3 树皮煤（$R^0_{max}=0.73\%$），由于降解而产生的孔隙和内表面仍小于镜质组和惰质组，因而吸附能力低．随着变质程度的增高，树皮体吸附能力会相应提高．它的吸附能力在高变质烟煤中与镜质组和惰质组的关系如何，有待今后进一步研究．

通过树皮煤的研究可以推测，壳质组中其他组分的吸附能力很可能与树皮体相当．

表3—16　　镜质组与惰质组化学性质对比一览表

变质阶段	镜质组						惰质组					
	V%	Q	d.g/cm	C	H	N	V%	Q	d.g/cm	C	H	N
Д	32.5	7630	1.38	70.1	4.9	1.8	10.2	8270	1.52	91.9	2.9	0.7
Д	39.6	7610	1.33	77.6	5.1	1.8	21.1		1.49	87.5	3.7	0.5
Г	20.9	8090	1.34	83.2	5.1	2.0	13.9		1.48	91.0	3.1	0.8
Г	37.3	8180	1.27	82.8	5.4	1.7	10.4	8400	1.49	92.9	3.1	0.5
Ж	27.7	8380	1.30	86.6	5.0	1.8	10.6	8410	1.50	92.8	2.9	0.5
Ж	34.6	8540	1.25	85.7	5.3	1.7	9.3	8550	1.52	93.9	3.0	0.5
К	20.0	8660	1.29	88.9	4.9	1.8	6.0	8490	1.50	94.5	2.8	0.4
К	24.0	8660	1.27	88.5	5.0	1.8	6.2	8640	1.49	95.0	3.0	0.4
ПС	13.1	8680	1.31	90.2	4.5	2.0	8.7	8410	1.45	93.7	2.8	0.5
ПС	14.9	8740	1.28	90.2	4.7	1.8	8.2	8470	1.46	93.8	3.0	0.6
Т	9.4	8740	1.33	91.2	4.3	1.9						
Т	9.6	8720	1.31	91.4	4.3	1.8						

（引自《苏联煤岩学》，1986）

3.4　甲烷的水溶性

水溶性甲烷是煤层中甲烷的一种存在状态,其含量的多少取决于甲烷在水中的溶解度和地下的温度、压力条件．有关甲烷在水中的溶解能力，60 年代苏联学者曾进行过较系统的实验（N.B.维索茨基著，戴金星等译，1986），为了深入研究煤层甲烷的赋存状态、水溶赋存量，以及水溶作用对甲烷运移的影响等一系列问题，我们开展了甲烷水溶性实验工作．

3.4.1　甲烷水溶性实验

甲烷水溶实验在长庆石油开发研究院的地层原油物性测试仪上进行的，选取了 20℃、40℃、60℃、80℃4 个温度点，10、20、30、50、70、100、150kg／cm^2 的 7 个压力点和 0、0.5、1.05、2、6、30、60g／l 7 种不同矿化度的水进行了系统实验．水溶液的配制主要参考我国含煤地层水中含的主要 6 大离子（K^++Na^+、Ca^{++}、Mg^{++}、Cl^-、SO_4^{--}、HCO_3^-）配制．本次实验的条件较苏联学者（采用单一的 NaCl 水溶液）的实验，更接近实际地质情况，因而具有实用意义。

实验方法是在真空 PVT 筒内装满一定矿化度的水，给出一组温度、压力条件后，经充气、搅拌，使气与水充分接触混合，直至使甲烷溶解达到饱和状态．尔后在保持该压力不变的条件下（保持有气顶存在），排放溶有甲烷的液体，在实验室的温度、压力条件下，使甲烷解析出来，经计量而求出甲烷的溶解度．

3.4.2 水对甲烷的溶解能力

系统的甲烷水溶实验结果（表 3—17）表明，水对甲烷气具有一定的溶解能力，一般为每升水可溶解零点几升到几升甲烷气．甲烷之所以能溶于水，主要是因为当具有永久偶极的水分子（偶极距为 1.84×10^{-18}esu·cm）与非极性甲烷分子相遇且充分靠近时，水分子的电极对甲烷分子发生诱导作用，致使甲烷分子中原子核和电子云产生相对位移（成都地质学院编，1978）．结果甲烷分子变形，正负电荷重心偏离而形成诱导偶极．同性极相互排斥，异性极相互吸引，使甲烷分子与水分子成为异极相邻状态结合在一起．但由于甲烷分子具有特殊的四面体分子构型，性质较为稳定，极性水分子的诱导作用使其原子核与电子云产生的相对位移小，诱导偶极的极性很弱．因此，在宏观上表现为甲烷在水中的溶解度很低．

甲烷分子与水分子接触碰撞是溶解的先决条件，但并非每次碰撞溶解过程都能完成，只有少数自身动能较低的甲烷分子与水分子发生有效碰撞后，溶解作用才能发生．因此，水对甲烷气的溶解能力是温度、压力、矿化度等相关因素的函数．

1.压力增大溶解度增大

甲烷水溶实验表明，在一定的温度、矿化度条件下，在本次实验的 28 种状态，甲烷在水中的溶解度均随压力的升高而增大，两者呈线性关系（图 3—18）．溶解度（D）与压力（P）之间的相关关系，可用一次函数 $D=aP+b(P>0)$表示，各种状态的相关系数均大于 0.95．上式中的 a 为反映溶解度变化率大小的参数（即相关直线的斜率）．在特定的矿化度和温度条件下，a 是个常数．但在不同矿化度或（和）不同的温度条件下，则为变数．以矿化度为 30g／l 的状态为例，温度在 20℃、40℃、60℃、80℃时，a 值分别为 0.022、0.015、0.011、0.012．其中以 20℃时的溶解度随压力变化最快．这充分说明，压力对甲烷气溶解度的影响，在低温时比较显著，随着温度的升高，压力的作用逐渐降低．

这一规律是溶解机理的具体体现，当压力增大时甲烷气被压缩，单位体积内能与极性水分子发生有效碰撞的甲烷分子数相应增多，因而甲烷气溶解度增大．但温度升高，增大了甲烷分子的动能，降低了甲烷分子与水分子异极吸引的能力．因此，随着温度的升高，压力的作用就降低了．

2.温度对甲烷溶解度的影响

温度对甲烷溶解度的影响是复杂的．实验证明，溶解度与温度的关系不是象苏联学者所说的那样呈简单的随温度升高而溶解度降低的线性关系（N.B.维索茨基著，戴金星等译，1986），而是一种呈波浪式的曲线关系（图 3—19）．温度的影响具有两重性：一方面，温度升高导致甲烷分子动能增加，降低了甲烷分子与水分子的吸引能力，从而降低了甲烷的溶解度．另一方面，随着温度的升高，不但加速了甲烷分子的热运动，使在溶解作用界面的甲烷分子进入溶液的机率增多；同时加快了甲烷分子从界面向溶液中

表3—17　不同温度、压力和不同矿化度下，水对甲烷的溶解度（l／l）

水的条件矿化度(g／l)	温度℃	压力 (kg／cm²)						
		10	20	30	50	70	100	150
蒸馏水	20	0.43	0.51	0.94	1.53	1.83	2.45	3.11
	40	0.43	0.51	0.89	1.29	1.65	2.12	2.88
	60	0.47	0.60	0.93	1.29	1.63	2.12	2.69
	80	0.46	0.74	0.91	1.33	1.59	2.04	2.42
0.5	20	0.21	0.63	1.04	1.42	1.97	2.38	2.83
	40	0.22	0.45	0.75	1.29	1.61	2.26	2.17
	60	0.35	0.58	0.75	1.03	1.34	1.74	2.38
	80	0.58	0.87	0.97	1.30	1.53	2.05	2.50
1.05	20	0.15	0.44	0.72	1.24	1.60	2.18	2.73
	40	0.21	0.43	0.63	1.15	1.43	2.02	2.57
	60	0.31	0.56	0.68	1,03	1.39	1.84	2.54
	80	0.45	0.89	1.08	1,31	1.50	2.06	2.63
2	20	0.05	0.37	0.67	1.14	1.60	2.00	2.05
	40	0.22	0.38	0.60	0.97	1.34	1.52	2.02
	60	0.31	0.49	0.74	1.07	1.35	1.75	2.29
	80	0.50	0.71	0.83	1.28	1.54	1.78	2.47
6	20	0.10	0.34	0.70	1.23	1.57	2.05	2.52
	40	0.22	0.36	0.64	0.99	1.35	1.74	2.25
	60	0.32	0.56	0.79	1.10	1.43	1.90	2.26
	80	0.64	0.86	1.05	1.42	1.76	2.20	2.36
30	20	0.13	0.24	0.60	1.03	1.43	1.84	1.98
	40	0.20	0.39	0.60	0.92	1.30	1.61	1.79
	60	0.25	0.58	0.74	0.98	1.29	1.64	1.90
	80	0.51	0.83	0.92	1.31	1.42	1.95	2.31
60	20	0.10	0.28	0.33	0.90	1.12	1.47	1.96
	40	0.20	0.32	0.47	0.73	1.02	1.32	1.60
	60	0.22	0.50	0.64	0.88	1.12	1.53	1.76
	80	0.46	0.84	0.89	1.14	1.56	1.64	1.97

扩散的速度，使甲烷分子与极性水分子碰撞的机率增大，从而增大了甲烷的溶解度。因此，在一定的压力和矿化度条件下，溶解度与温度的关系呈负向抛物线特征（见图3—19）。从图上这组不同矿化度的DT等压曲线族看，温度对甲烷溶解度的影响表现为两个阶段：

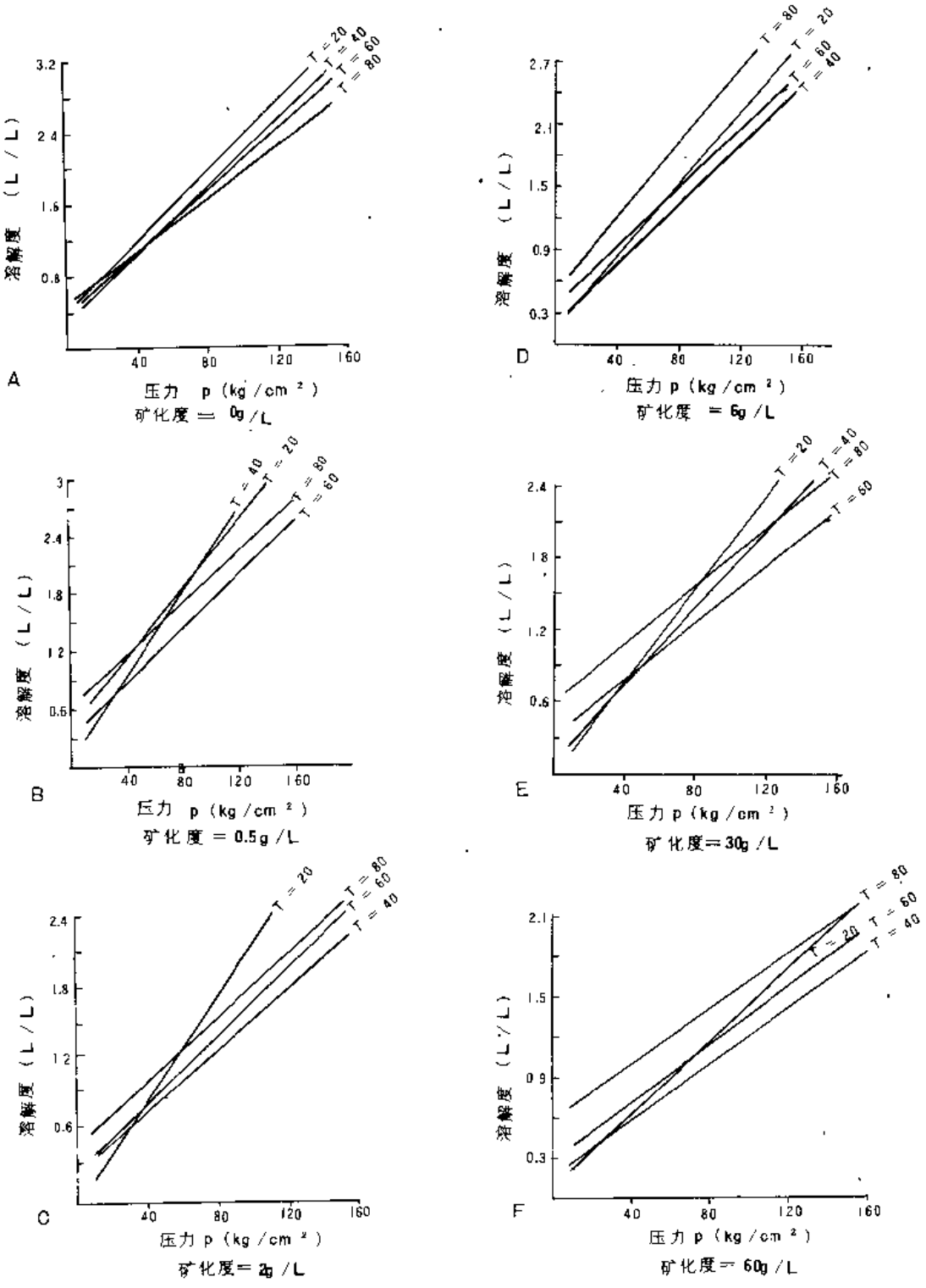


图 3—18　溶解度随压力变化趋势图

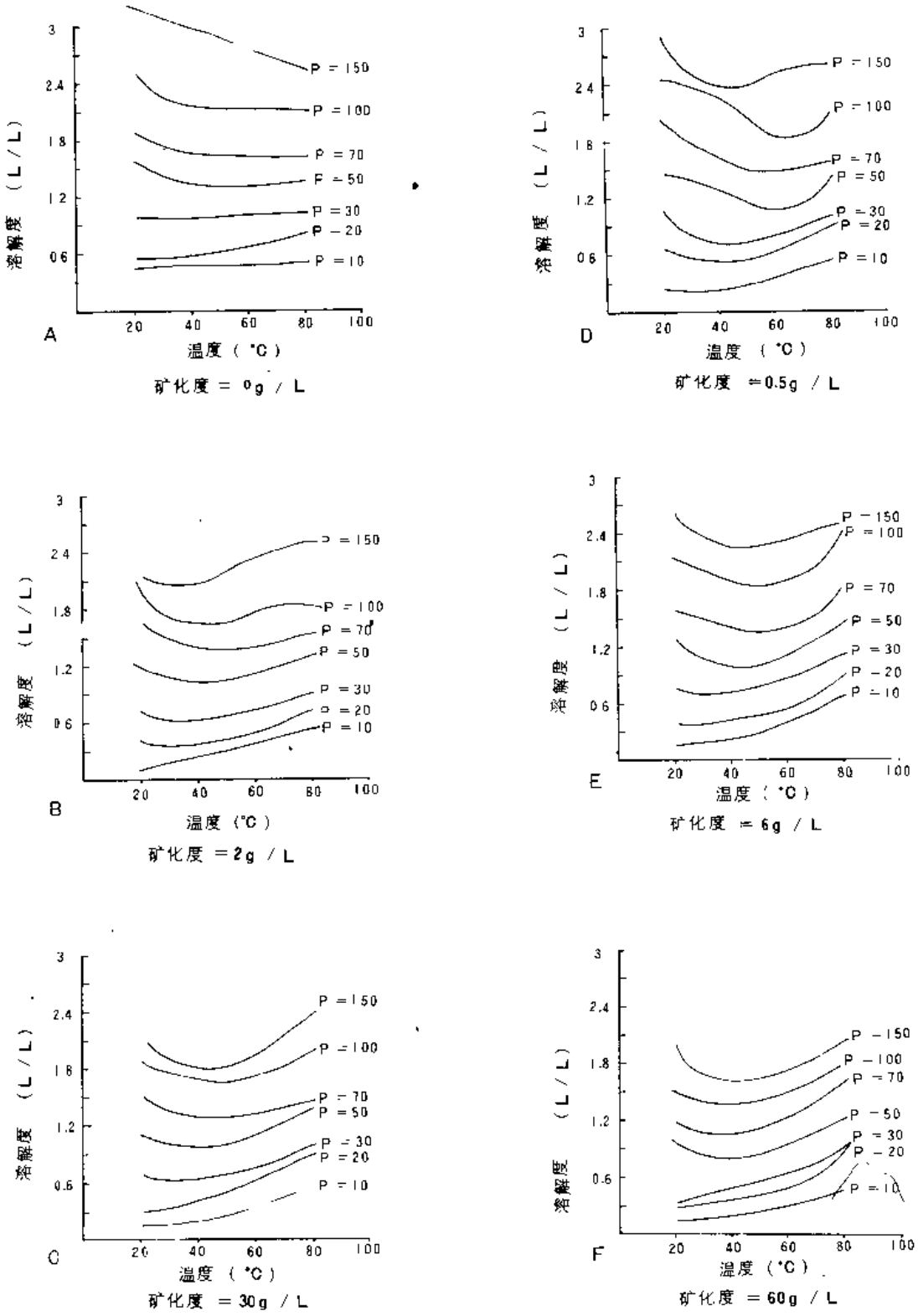


图 3—19　溶解度与温度变化关系趋势图

(1) 低温情况下（40至50℃以下），在一定的压力和矿化度条件下，随着温度的升高溶解度降低，在40—50℃范围内，甲烷在水中的溶解度最低．这个最低谷位置，随着压力的增高有向高温方向偏移的趋势．同时随着压力的增高，这一低谷有加剧的趋势．说明温度作用的两重性在此范围内第一方面起了主导作用．

(2) 在高温情况下，随着温度的升高溶解度又开始回升，甚至表现为波浪线（见图3—19B，矿化度为2g／l，压力为100kg／cm^2的DT等压曲线）．这一现象说明了温度两重性的作用．

此处所指高温、低温是针对煤层赋存条件的实际情况．

甲烷气在水中溶解度与温度的关系曲线形态，同烃类气体在油中的溶解度与温度的关系曲线形态相类似．这种现象的根本原因在于温度的影响，仅改变了甲烷溶解作用的物理条件，因此，其影响不如压力那样明显．

3.溶解度与矿化度的关系

实验结果表明，当温度、压力固定时，甲烷在水中的溶解度，随着水的矿化度增高而出现总体降低的趋势．但正如图3—20所示，矿化度在2—6g／l的范围内，出现了回升现象．也就是说，在不同矿化度变化区间，甲烷在水中的溶解度变化有一定差异．

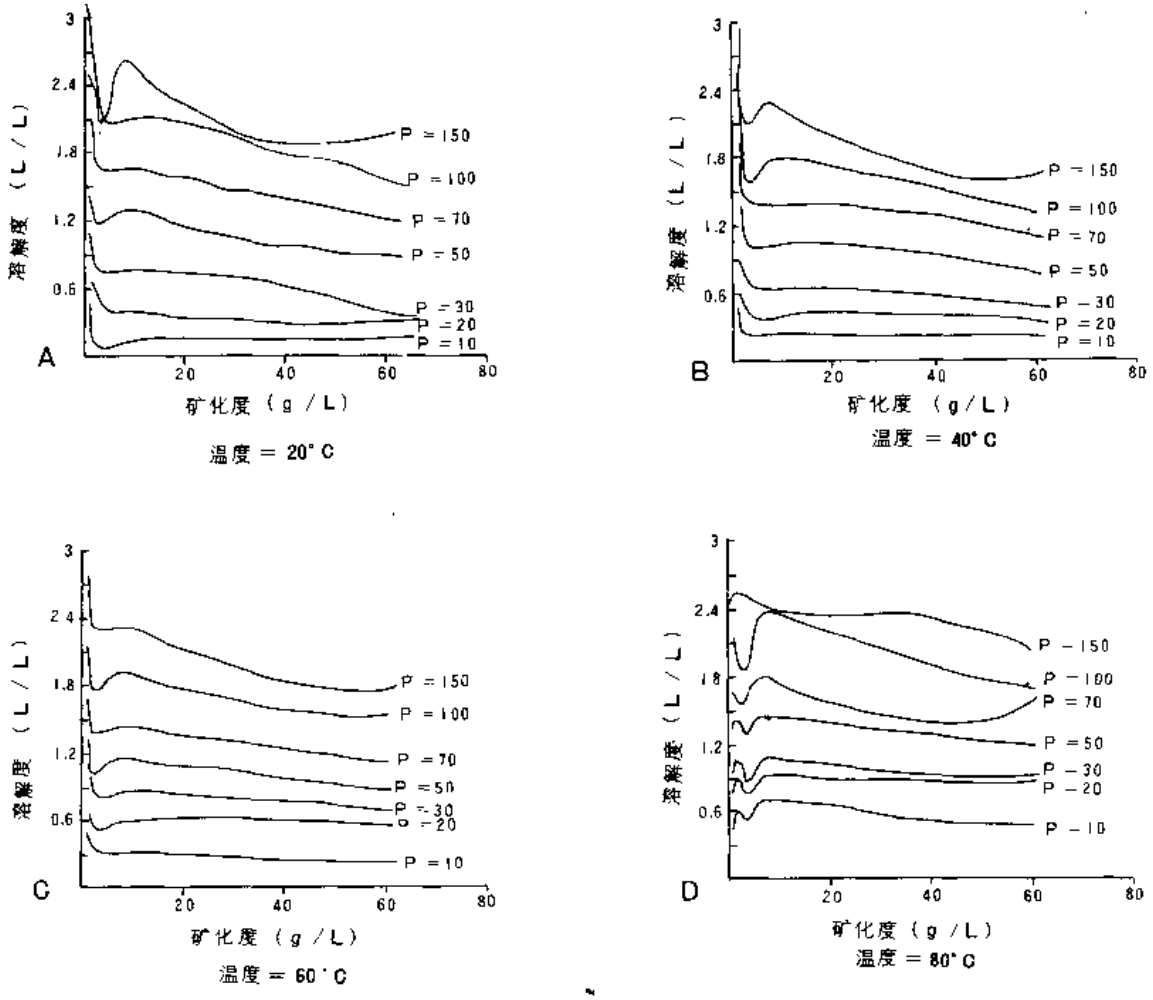


图3—20 溶解度与水的矿化度关系曲线图

(1) 当矿化度在0—2g／l范围内，甲烷溶解度随矿化度的增加而显著降低．例如当t＝20℃，P＝150kg／cm^2时，溶解度平均变化梯度为矿化度每增加1g／l溶解度降低0.54l／l．在一定的温度条件下，同族溶解度—矿化度关系曲线随着压力的降低，溶解度平均变化梯度增大（绝对值减小）．如当t＝40℃时，压力为150、50、10kg／cm^2的情况下，溶解度相对于矿化度的平均变化梯度为，矿化度每增加1g／l，溶解度分别降低0.76、0.16、0.08l／l．

(2) 当矿化度变化在2—6g／l时，甲烷溶解度随矿化度的增大有回升趋势．以t＝20℃，P＝150kg／cm^2为例，矿化度每增加1g／l，溶解度便增加0.12l／l．当然个别曲线亦有随矿化度增大而溶解度继续降低的情况，但变化幅度很小．

(3) 当矿化度大于6g／l时，溶解度随矿化度的增加呈降低的趋势．而且同族曲线随压力降低而溶解度相对矿化度的平均变化梯度减小．

这种现象的出现决定于矿化水中的离子作用．这可以用"相似相溶"原理来说明．"相似相溶"原理是物质溶解性能中的一个经验规律，其本质是结构相似的分子之间的作用力，比结构完全不同的分子之间的作用力强．所以，当水中含有K^++Na^+、Ca^+、Mg^{++}、Cl^-、SO_4^{--}、HCO_3^-等离子时，极性水分子首先满足含有上述阴阳离子的物质溶解．因此低矿化度水（矿化度小于2g／l左右），随着矿化度的增加甲烷溶解度急剧降低．但随着离子浓度增加（矿化度增大）到一定程度，离子间的相互牵制作用增强，以致于使甲烷溶解度有所回升．但随着矿化度的大幅度增加，离子浓度愈来愈大，离子占绝对优势．根据"相似相溶"原理势必导致甲烷溶解度随矿化度增加而降低．

综上所述，影响水对甲烷溶解能力的因素是多方面的，温度的变化改变着溶解作用的外部条件，作用复杂，具有两重性；压力的变化对甲烷的溶解作用的影响表现为物理的（条件改变）和化学的（改变了气体浓度，使溶解作用和解析作用这一动态平衡过程失去平衡而偏向一边）两个方面，所以影响较为明显；水的矿化度的不同决定了水的化学性质，因而导致不同的溶解度．同时水中不同离子的作用也是不可忽视的因素．另一方面，试验所用气体为采自天然气井的气样，虽经处理除去了CO_2，但气样中仍有1.17%的重烃气和0.81%的空气（H_2、N_2、H_e），也会不同程度干扰实验结果．

从以上讨论不难看出，甲烷在水中的溶解作用是一个动态平衡过程．换言之，溶解和解析是可逆过程．压力增大，甲烷溶解度增大；压力降低，水中的甲烷溶解度降低，甲烷从水中析出．温度和（或）矿化度的改变，均会导致甲烷在水中的溶解度改变．

3.5 煤层甲烷生、储能力类型

煤层含气的潜力既受煤层储集性能（孔隙特征、吸附性）的控制，又受煤层生成的甲烷量所制约．对具体某一煤层来说，在外部条件具备的情况下（主要指有适当的封闭条件）要使煤层中含有一定数量（煤的储气容积）的甲烷，就必须要求煤层甲烷的生成量不低于此数值．若生气量低于此数值，则煤的储气容积可视为未被气体充满，即出现一部分无效容积；只有当生气量大于此值时，甲烷才能充满含气容积，并以游离态向外运移．这是煤层甲烷为一种自生自储式的非常规天然气的自身特点所决定的．

在上面几节讨论煤层甲烷的生成和煤的储集性能的过程中，我们发现影响煤层甲烷的生成和储集的，除了煤岩、煤质之外，起决定作用的因素是煤化作用进行的程度（即决定于煤阶）。煤矿生产和煤田地质勘探的实践也表明，矿井瓦斯涌出量和煤层甲烷含量都与煤的变质程度密切相关。这些情况就给我们提供了从甲烷的生成和煤对甲烷的储集能力出发，将煤在煤化作用系列中划分为不同的生、储能力类型的客观基础。

由于煤层中甲烷主要以吸附状态存在，而吸附常数 a 值就代表煤的最大可能吸附容量。所以，我们依据甲烷生成量与 a 值相对大小关系（图 3—21），以及甲烷的裂解与消亡现象，首先将煤划分成少生、多生和变生 3 大类。即大致在气煤以前的煤阶，甲烷生成量小于煤的最大吸附量；这时煤的生气量对煤层甲烷含量具有明显的控制作用。肥煤以后的各煤阶，甲烷生成量大于煤的最大吸附容量，此时煤层甲烷含量与生气量没有什么相关性，而主要取决于煤的吸附能力和孔隙度（见图 3—21）。到无烟煤一号，原生甲烷已裂解消亡。然后，按照最大吸附容量值 a 的变化趋势，并考虑与现行煤阶划分相互配合，将煤划分成储集能力的高、中、低、少 4 个级别；再与生气量类别相匹配，最后划分成少生中储、多生低储、多生高储和变生少储四种生、储能力类型（见表 3—18）。

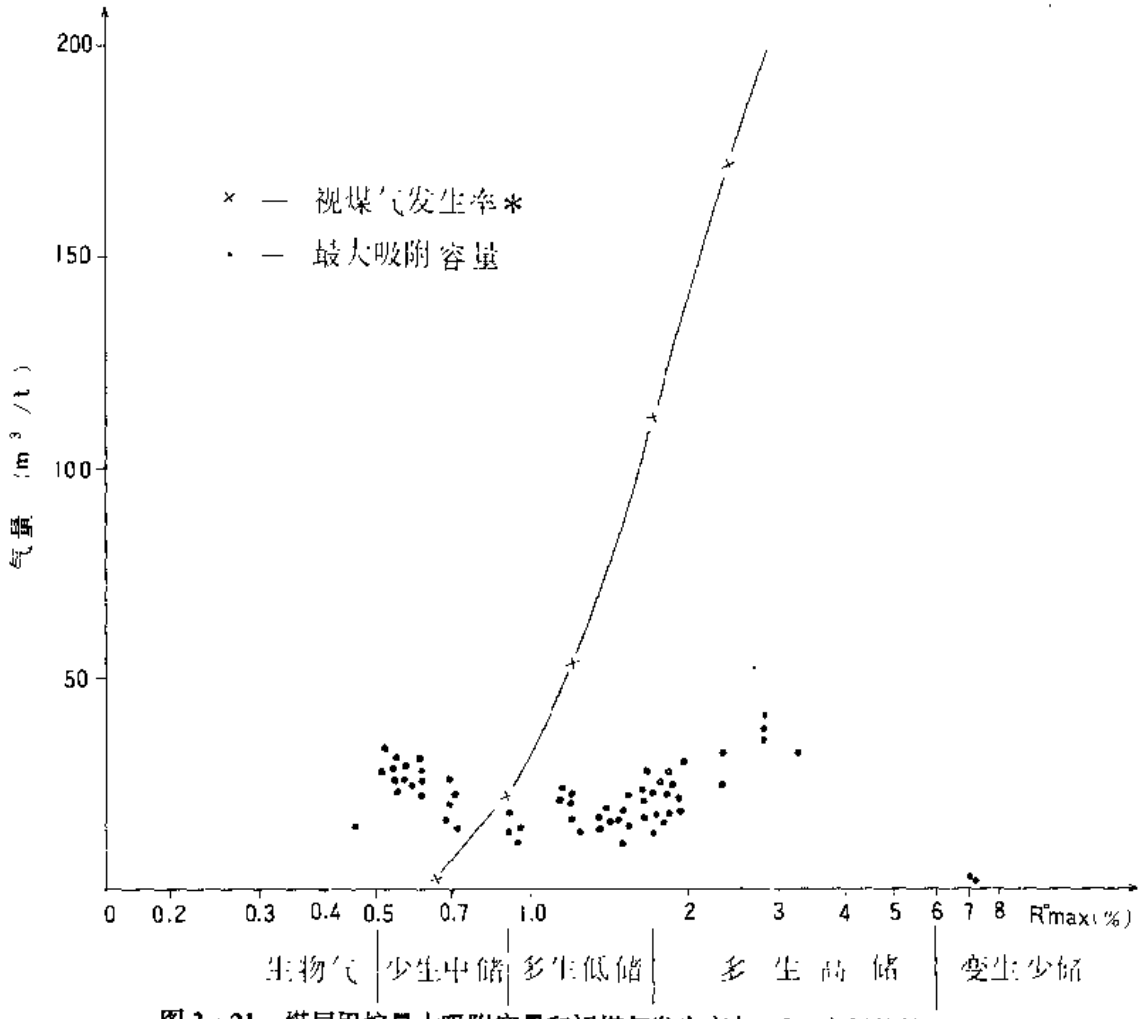


图 3—21　煤层甲烷最大吸附容量和视煤气发生率与 R^{o}_{max} 之间的关系

(图中 * 据徐永昌 1986 年的资料)

表 3-18　　煤层甲烷生、储能力类型及与煤质阶段的关系

变质程度	变质阶段（按镜质组反射率）			相应变质阶段煤的牌号			甲烷生、存特征		最大吸附容量 (ml/g) 0 10 20 30 40	生、储能力类型		矿区（或矿）实例
				名称	代号	R^o_{max}(%)	阶段	特征		类型	简要评价※※	
未变质煤	褐煤	0 阶段		褐煤	HM	<0.50	生物降解	生物气			属生物气，很少能保存下来	
低变质煤	烟煤	Ⅰ阶段		长焰煤	CY	0.50～0.65	热解	贫气		少生中储	生气量小于最大吸附容量，吸附能力中等，孔隙度最大，煤层透气最好	抚顺 包头
		Ⅱ阶段		气煤	QM	0.65～0.90						
中变质煤		Ⅲ阶段		肥煤	FM	0.90～1.20		大量生气		多生低储	生气量大于最大吸附容量，吸附能力低，孔隙度很小，但内生裂隙最发育，脆度大，煤层透气性较好	丰城 南桐矿 峰峰二矿
		Ⅳ阶段		焦煤	JM	1.20～1.70						
		Ⅴ阶段		瘦煤	SM	1.70～1.90						
高变质煤		Ⅵ阶段		贫煤	PM	1.90～2.50				多生高储	生气量大于最大吸附容量，吸附能力高，孔隙度较小，内生裂隙不发育，脆度小，煤层透气性较差	阳泉 松藻 晋城
	无烟煤	Ⅶ阶段	Ⅶ—1	无烟煤三号	WY_3	2.50～4.00						
			Ⅶ—2	无烟煤二号	WY_2	4.00～6.00	变生	甲烷裂解※				
超高变质煤	超无烟煤		Ⅶ—3	无烟煤一号	WY_1	6.45—>6.00		甲烷消亡※		变生少储	甲烷裂解成碳和氢，基本不吸附，孔隙度很小，均为低沼矿井，煤层属非储气岩	京西门头沟

※　——据王涵云、杨天宇（1984），（引自包茨主编《天然气地质学》，1988）。

※※ ——有关评价均系相对而言。

3.5.1 少生中储类

此类包括相当于长焰煤至气煤的各种煤．此种类型的煤由于热演化程度较低，生气量有限，小于自身的最大可能吸附容量．它的吸附能力高于肥煤和焦煤而低于瘦煤和贫煤．由于演化程度低，所以煤的孔隙发育，孔隙度高．．且连通性好，故煤层甲烷可抽性最好（相对而言，下同）．以抚顺，包头等矿区为典型代表．

3.5.2 多生低储类

此类包括肥煤、焦煤和瘦煤．从肥煤开始，煤的生气量大于最大吸附容量，所以煤层甲烷含量不再受生气量的控制．此阶段煤的孔隙度和吸附能力在煤中是最低的，所以煤中甲烷含量和可抽性均受到限制．如丰城矿区，南桐矿、峰峰二矿等．

3.5.3 多生高储类

此类包括贫煤、无烟煤三号和二号各种煤．煤演化到此阶段，其累计生气量很大，除充满煤层本身的储集空间外，并有大量气体向外运移．这类煤的吸附能力很强，尤其是无烟煤三号；煤的孔隙度也比焦煤和肥煤阶段高，但仍比长焰煤和气煤低．开采这类煤的矿井绝大多数属于高沼矿井；甲烷可抽性较差．代表性矿区如阳泉、韩城、松藻等．

3.5.4 变生少储类

该类型只有无烟煤一号．煤的有机质演化到该阶段，原生甲烷已消失，碳网渐趋石墨化，煤中孔隙极少．吸附试验表明，此种煤基本上对甲烷不吸附．开采此种煤的矿井全为低沼矿（详见表 3—14）．此类煤中甲烷含量很低，故资源意义不大，已属非储气岩．典型矿区为京西门头沟矿．

从上述分析可以看出，不同生、储类型煤的孔隙发育程度、吸附能力、甲烷生成量的不同，导致了煤层甲烷含量、赋存状态以及由煤层原始透气性的差异而引起的甲烷抽放难易程度的不同．而所有这些差异，是煤化作用过程中煤有机质所发生的一系列物理-化学结构变化造成的，具有深层次的内在原因．显然，煤层甲烷生、储能力类型的划分，有助于对煤层的含气性预测，进而为煤层甲烷资源评价和煤矿矿井安全服务，因而在理论和实用上均具有重要的意义．

另外，由于煤的煤岩组分、煤质变化、甚至局部的构造影响等，对煤的生气能力、吸附性能、孔隙特征等具有一定制约，致使上述情况复杂化．因而，在实际运用生、储能力类型时，还需要结合研究区的地质构造情况和煤本身特征等，进行具体分析．

3.6 煤层围岩的封团性

用岩性、厚度、埋深等对围岩进行定性评价的方法，已逐步由用孔隙结构概念进行定量评价所代替，但至今对天然气盖层的评价尚无统一的标准．我们进行煤层甲烷围岩封团性能评价时，主要参考地质矿产部石油地质中心实验室的研究成果（表 3—19）．

表3—19　　不同岩性盖层性能参数及其分级

等级	岩　性	孔隙度(%)	孔隙集中		比表面(m^2/g)	孔隙流体能(J/g)	突破压力(kg/cm^2)	突破时间(a/m)	遮盖系数(%)
			范围(nm)	百分比					
Ⅰ	铝土岩	5.21	2–4	54	18.3	1.26	159.8	44.3	1452
Ⅱ	泥　岩	2.05	1.6–3.1	55.7	8	0.60	99.0	17	980
Ⅲ	粉砂质泥岩	1.14	1.6–4	54.6	7.1	0.49	88.3	13.6	801
Ⅳ	泥灰岩	1.62	2–5	53.5	0.58	0.04	76.5	10	693
Ⅴ	生物碎屑灰岩	0.86	4–10	68	0.59	0.04	36.8*	2.3*	335*
Ⅵ	细砂岩	1.42	2–6.3	50.6	0.27	0.02	6.2*	0.55*	56*
备注	(1)计算突破时间以岩层厚度为1m计算; (2)遮盖系数以闭合度为100m计算; * 取自压汞资料.								

根据岩性及孔隙结构特征，可将我国主要煤层的围岩分为油页岩型、泥岩型、砂泥岩互层型、石灰岩型和砂岩型5种类型．以下分别做一概述．

3.6.1　油页岩型

油页岩型围岩在我国煤系中多见于西北、东北、两广和云南的中、新生代煤田，这种围岩的封团性能极为良好，其分布稳定，延伸范围大，岩性致密坚硬．如在抚顺煤田，油页岩直接覆盖于主要煤层上（图3—22），油页岩孔隙度为3.09—6.37%，但含水和含油率都比较高，平均含油率达5—6%，水和油充满了孔隙空间，致使岩石渗透率很低（0.10×10^{-7}mD），排驱压力均大于60kg/cm^2，对下伏煤层中的甲烷起到了良好的封团作用．抚顺煤田煤的变质程度较低（$R^{o}_{max}=0.52$—0.76%），但瓦斯含量高达7.91—16.83m^3/t，平均11.20m^3/t，并且出现频繁瓦斯突出，都和其上油页岩的良好封团性能有关．

这种类型仅出现于中、新生代不断沉降和扩张的陆相湖盆沉积地层中．

3.6.2　泥岩型

泥岩是煤层最常见的一种围岩，它通常具有良好的封闭性能，具有较高的突破压力．据长庆石油勘探研究院研究，在裂缝不发育的条件下，泥质含量大于40%的泥岩和泥质粉砂岩的岩体渗透率变化范围为10^{-4}—10^{-6}mD，具有良好的封闭性．我国许多以泥岩为围岩的煤田，其煤层甲烷含量都比较高，并且大都是煤与瓦斯突出矿井，如丰城（图3—23）、淮南、淮北、北票等．

这类围岩广泛分布于各类地层中，尤以下三角洲平原、泻湖海湾、潮坪、沉降型湖盆等沉积中最为常见，也最稳定．

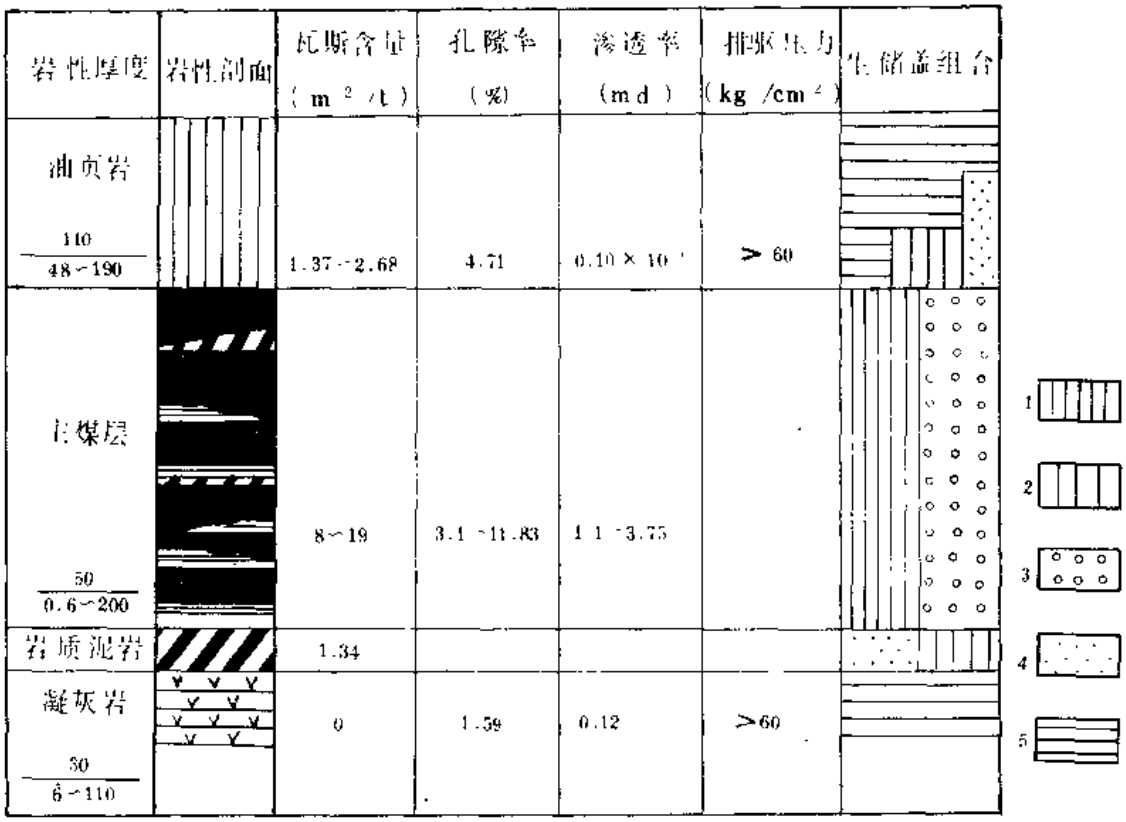


图 3—22　抚顺煤田生储盖组合柱状图

1—主生气层；2—次要生气层；3—主储气层；4—次要储气层；5—盖层

3.6.3　砂泥岩互层型

砂泥岩互层做为煤层的顶、底板也是比较常见的，它由多韵律的砂岩和泥岩频繁互层组成，横向岩性变化较大，多相变为砂岩和泥岩．故它对煤层甲烷的封闭能力不如前两类。

这种类型的围岩常出现于陆相冲积平原及较为稳定的湖沼相沉积的煤系中。图 3—24 是新疆乌鲁木齐矿区早、中侏罗世煤系煤成气生、储、盖柱状剖面图，反映了这类围岩的一般特征。

3.6.4　石灰岩型

煤系中出现的灰岩主要是生物碎屑泥晶灰岩、含生物碎屑泥晶灰岩及泥灰岩，其孔隙度绝大多数小于 1%，渗透率一般小于 0.01mD，但是具有裂缝的灰岩其孔隙度可达 4%，渗透率可达 2mD，排驱压力低于 16kg／cm²①．因此，对于灰岩型围岩进一步又可以分为两类：第一类是指在构造运动不强烈地区的灰岩，其裂隙、溶洞均不发育，具有一定的封闭能力，如焦作、开滦等；第二类灰岩的裂隙和岩溶均较发育，导致其封闭能力大大降低。如在阳泉矿区，山西组煤层围岩由泥岩组成，而太原组煤层围岩由灰岩

①据煤炭科学院地质勘探分院,沁水煤田煤成气规律及资源评价,1986

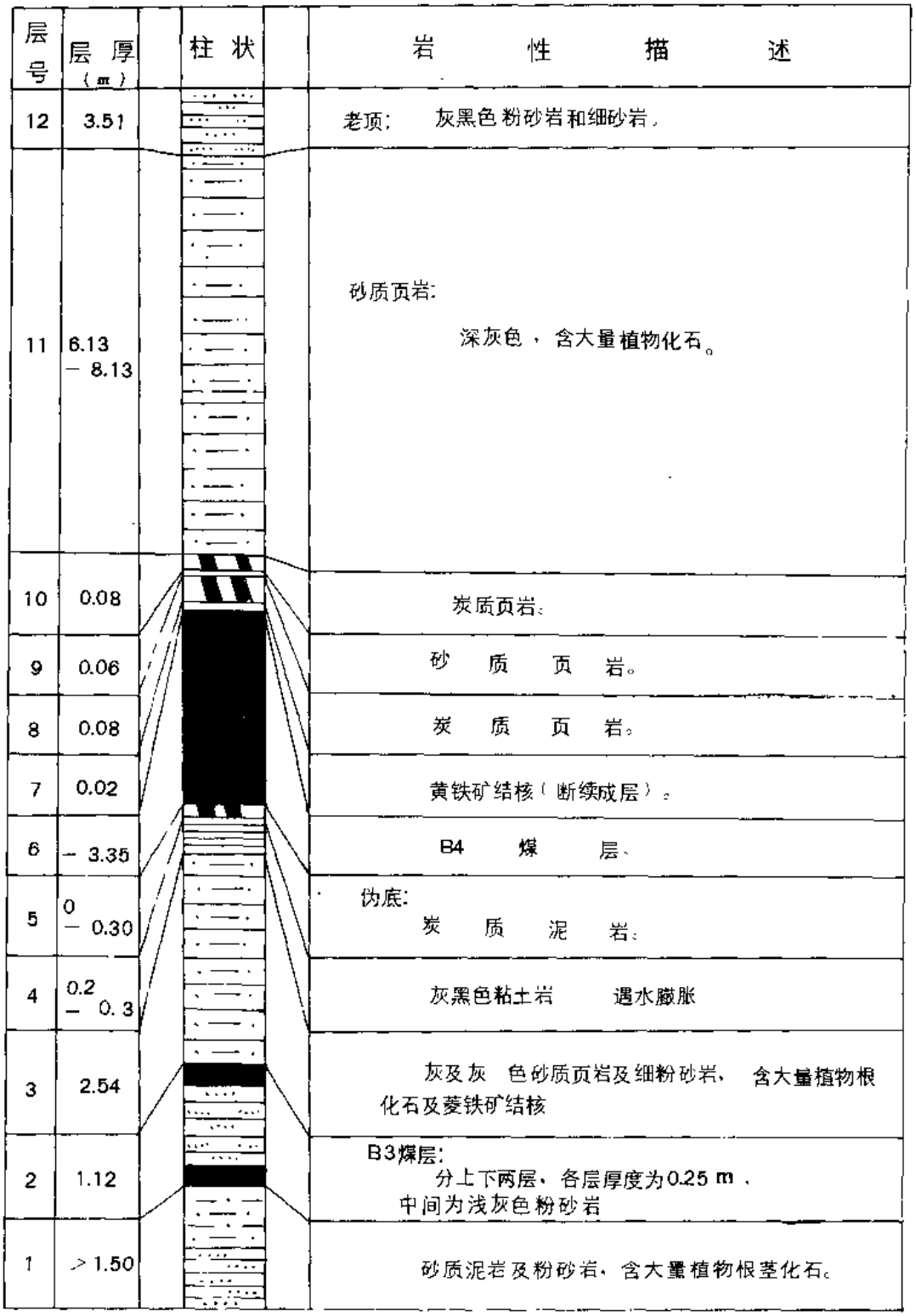


图 3—23 丰城煤田 B_4 煤层顶底板岩性柱状图

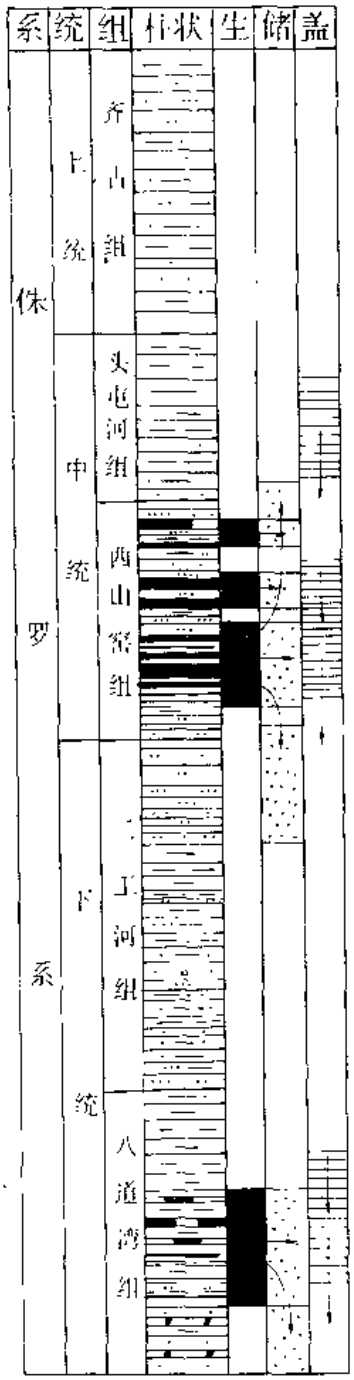


图 3-14 乌鲁木齐矿区生储盖柱状剖面图(据新疆地质矿产局九队修改)

↘ 气体运移方向

↓ 盖层封闭层位

组成，由于下部灰岩的裂缝、岩溶较发育，封闭能力差，导致了煤层瓦斯压力梯度在进入太原组以后呈递减的现象．在南桐矿区红岩煤矿和砚石台矿，岩溶十分发育，茅口灰岩为煤层顶板（因褶皱使地层倒转），煤中甲烷得到释放，因而煤层甲烷含量小，这两个矿是南桐矿区少有的未发生过瓦斯突出的矿井。

该类型主要分布于我国北方石炭二叠纪和南方晚二叠世海陆交替相煤系中．

3.6.5 砂岩型

砂岩型围岩在横向上最不稳定，往往很快相变为砂泥岩互层和泥岩等．该类型围岩对煤层甲烷的封闭能力很差，且往往与煤层一起构成甲烷的储气层．如焦坪矿区，煤层顶板砂质泥岩—细砂岩的孔隙度为 1.21—3.06%，渗透率为 0.21—2.31mD,排驱压力值比较低，为 1.2—8.3kg／cm^2．底板粉砂岩孔隙度 1.21—1.73%，渗透率变化于 0.09—2.30mD 之间，排驱压力值也仅为 1.2—4.21kg／$cm^2$①，大大低于煤层的排驱压力．围岩较好的渗透性和储集性，使得煤层中的甲烷运移至顶板砂岩中，煤层甲烷含量最高仅达 4.56m^3／t．钻孔实测数据和生产矿井瓦斯涌出量统计资料表明，矿井瓦斯 75%来自围岩，仅 25%来自煤层．可见这类砂岩并不构成对煤层甲烷的有效封盖，实际上它与煤层一起构成统一的煤层甲烷含气层（或称含气岩体）。

另外，当砂岩的孔隙度等储集条件降低，成为超低孔渗的致密砂岩时，对油气可具有一定的遮挡作用，从而形成一些小型岩性遮挡油气藏；如四川盆地川中遂南岩性气藏就属于这种类型②；同样，煤系中也有这类致密砂岩做煤层顶板的情况，可对煤层甲烷起到封盖作用．

①据煤炭科学院地质勘探分院,焦坪矿瓦斯地质特征，1986.

②据地质矿产部石油地质研究所等，1985，中国煤成气形成赋存条件及资源评价，"六五"国家科技攻关报告.

4 我国煤层甲烷的富集条件

考虑到煤层甲烷是一种自生自储式天然气资源，它的富集特点与常规天然气有所不同，它基本上没有大规模的二次运移和聚集过程．因此，它的富集程度主要取决于煤层生气量的大小，煤层储集空间的发育程度和保存条件的优劣，以及这三者的配置关系．

煤层甲烷的富集程度可直接用煤层甲烷含量来定量描述．煤层甲烷含量是指地下煤层在自然条件下单位重量煤中所含有的甲烷（CH_4）量，其单位为 m^3/t．为便于对比和讨论，在实验室测定工作中，用单位重量纯煤（无水无灰基）中所含有的甲烷量为煤的甲烷含量，其单位为 $cm^3/g \cdot$ 可燃物．前者用于资源量计算，后者多在理论研究中使用．我们把煤层甲烷含量高的区块或层位，理解为煤层甲烷较为富集，含量较低的为不富集．由于煤层甲烷分布的不均衡性，所以煤层甲烷含量的变化也较大；不同煤田，或同一煤田不同井田，甚至同一井田不同采区，其煤层甲烷含量都会有很大的差别．造成这种现象的原因很多，如成煤物质、煤层厚度、变质程度、孔隙发育程度、顶底板的封闭性能、地质构造特征、煤层埋藏深度，以及后期地质改造作用的强弱等．根据本书第三章所阐述的煤层甲烷赋存的生、储、盖条件，以及煤矿瓦斯地质特征，我们认为控制煤层甲烷含量的主要地质因素是煤的变质程度、埋藏深度、地质构造条件和顶底板封闭条件．

4.1 煤的变质程度

煤样热模拟生气试验，不同变质程度的煤的孔隙度、孔隙结构和煤对甲烷的吸附试验等项研究表明，煤的变质程度是决定煤层甲烷的生成、储集的主导因素(见图 4—1)．这就是说，煤的变质程度对煤层甲烷含量的影响是多方面的．热模拟生气试验表明：随着煤变质程度的增高，累计生气量不断增加，这从气源角度影响煤层甲烷的含量．典型的实例如新疆乌鲁木齐矿区，煤层可储集甲烷的能力很大，但由于变质程度低、生气量少而煤层甲烷含量较低．另一方面煤的变质程度对煤的孔渗性、吸附能力等都起到了控制作用．随着变质程度由褐煤到无烟煤阶段的演化，煤的孔隙度在由褐煤到肥煤之间逐渐降低，长焰煤阶段为 16%左右，到肥煤阶段降至最小（约为 2%左右），尔后又逐渐变大到年青无烟煤三号的 9%左右，由此往后又逐渐减小．相应地煤的吸附能力亦由开始大，肥、焦煤阶段降到最低，之后增加，又减小，直至超无烟煤基本不吸附．这将从

煤的储集性能方面控制着煤层甲烷含量。由此可见，煤的变质程度从生气和储集两个方面控制煤层甲烷含量。

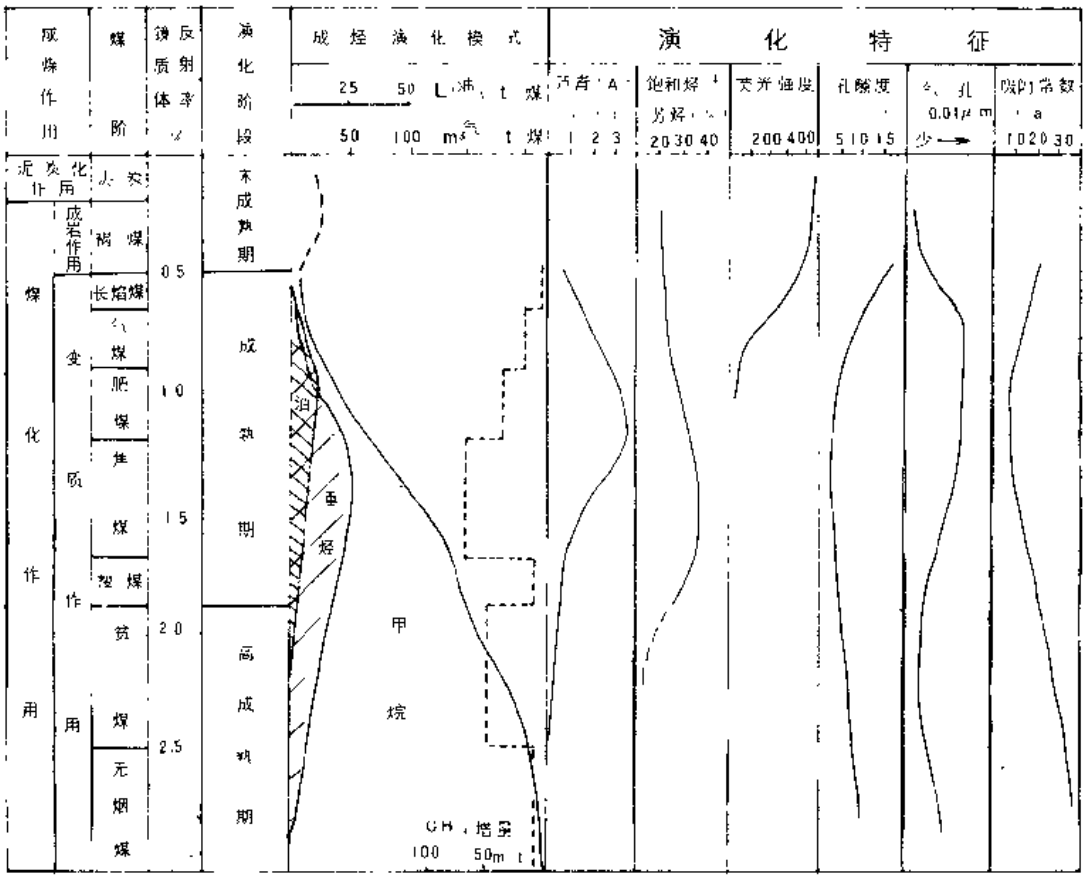


图 4-1　煤的成烃模式和有关演化特征

（据《中国主要煤田浅层煤成气》1990）

从矿井瓦斯来看，我国绝大多数高瓦斯矿井分布于高变质的贫煤、无烟煤区中（超高变质的超无烟煤除外），而低变质煤田内高瓦斯矿井所占比例相对较低。我国华北地区是煤变质程度差异较大的地区，所以煤层甲烷含量和矿井瓦斯等级也相差较大。如山东的鲁中煤田，石炭二叠纪煤变质达到气、肥煤阶段，煤层甲烷含量很低，平均为 4.37m³／t，在这些低变质区几乎没有高沼矿井（这当然还有构造等方面的原因，但煤变质程度低无疑起着主导作用）。而象沁水、太行山东麓、焦作等煤田的石炭二叠纪煤变质程度普遍较高。以贫煤、无烟煤居多，所以这些煤田的煤层甲烷含量也较高，绝大部分矿井为高沼矿井。我国南方诸省的古生代煤变质程度普遍较高，所以，除一些保存条件较差的孤立的区块外，煤层甲烷含量一般都较高，是我国高沼矿井最多的地区。西北地区因煤变质程度普遍较低，现采矿井属高沼矿井者甚少。在福建永安、龙岩、天湖山等地，江西安福、北京门头沟等超无烟煤矿区，煤层甲烷含量很低，一般不超过 2-3cm³／g·可燃物，所有矿井均属低沼矿井（详见表 3-12）。上述事实可以充分说明煤的变质程度对煤层甲烷含量有决定性的影响。

综合分析表明，在类似的保存条件下，只要不是遭到大规模的构造等作用的破坏，从长焰煤到无烟煤，总体趋势是煤层甲烷含量随着变质程度的增高而增高。在一个矿区

也有这种现象，如辽宁的红阳煤田，尽管煤层被破坏成断块状，但是煤层甲烷含量随着煤变质程度的增高而增加的趋势，仍然表现得相当明显（见图 4-2）。

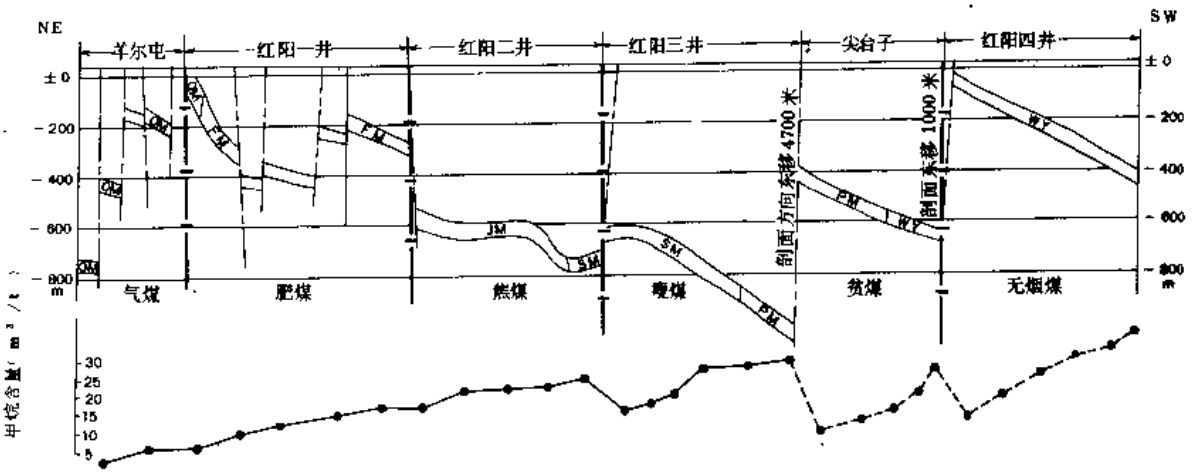


图 4-2　辽宁红阳煤田煤化程度与甲烷含量走向剖面示意图

（据东北内蒙古煤炭工业联合公司煤田地质局 103 勘探队，1985 年）

4.2　埋藏深度

煤层的埋藏深度是煤层甲烷富集的又一个重要控制因素．一般情况下，随着埋深的增加煤层甲烷含量也在增加，但并非简单的线性关系．决定煤层甲烷含量与埋深呈正相关关系的主要内在因素有三个方面．

一是随着埋深加大，煤层甲烷的压力（气体压力）增大，封闭条件也相对变好．煤对甲烷的吸附量在一定压力值范围内显著增加．因此，在同等储集条件下，造成深部煤层甲烷含量大于浅部．

在煤层埋深很大（相对我们所涉及的 1500–2000m 深度而言，下同）的煤田，同一变质阶段的煤层在相似的保存条件下，浅部煤层甲烷含量随着深度而变化的梯度较大；往深部这种梯度逐渐减小，直到一定深度后甲烷含量基本不再变化．这一规律与煤吸附甲烷量随气体压力而变化的规律相一致．图 4—3 表示鸡西矿区荣华井田煤层甲烷含量

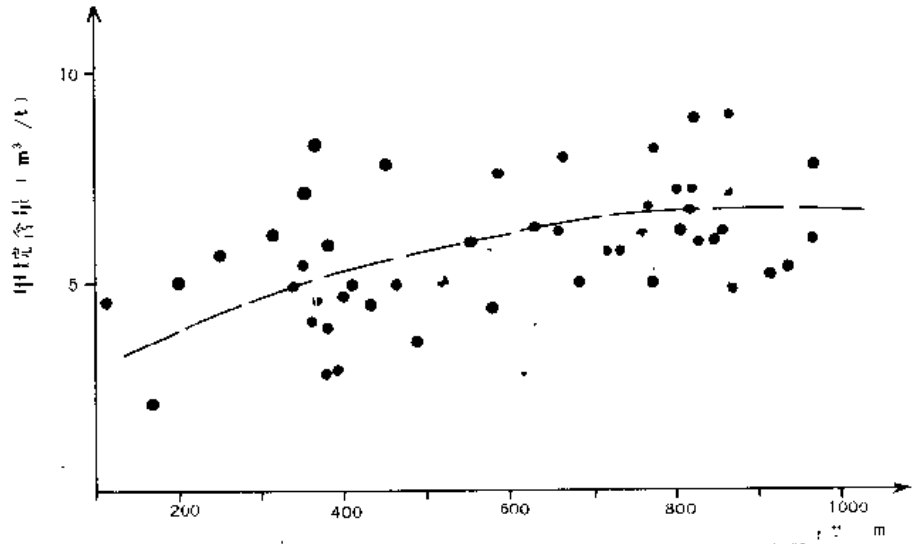


图 4-3　鸡西矿区荣华精查区煤层甲烷含量与深度关系图

随埋深变化而变化的情况．该井田大多为长焰煤、气煤（V^{daf} 一般为 31–37%）．在 600m 以浅范围内，甲烷含量随深度有较明显的增加；600–800m 则增加很不明显，到 900m 后即不再增加．淮南矿区也有类似特点．另外，苏联、美国①等国外学者对本国实例的研究都得出类似的规律．造成这一现象的原因是：首先，由于煤中吸附甲烷量从总体上决定了煤层甲烷含量，所以煤层甲烷含量随深度增加而变化的规律与煤层吸附甲烷量随气体压力（与深度成正相关）而变化的规律相一致；这从一个侧面也说明了煤中甲烷以吸附状态为主．其次，往深部，由于温度的升高所导致吸附甲烷量减少的效应可能与由于气体压力增高所引起的煤中游离甲烷量增加的效应互相抵消．这就势必使煤层甲烷含量不可能无止境地随深度的增加面增大．

二是浅部甲烷逸散的影响．我国众多的沉降抬升型煤田（李明潮、张五侪主编，1990），其浅部往往由于煤层遭受剥蚀而使煤层甲烷大量散失．之后由于浓度差和压力差的作用而引起深部甲烷的重新分布．因而往往使埋深与含量的关系曲线出现从浅部到深部，由无到有、由小到大的变化趋势，在某一深度内出现甲烷含量变化梯度特别大，而更深部位梯度又往往变缓（如图 4–4），或趋于稳定．

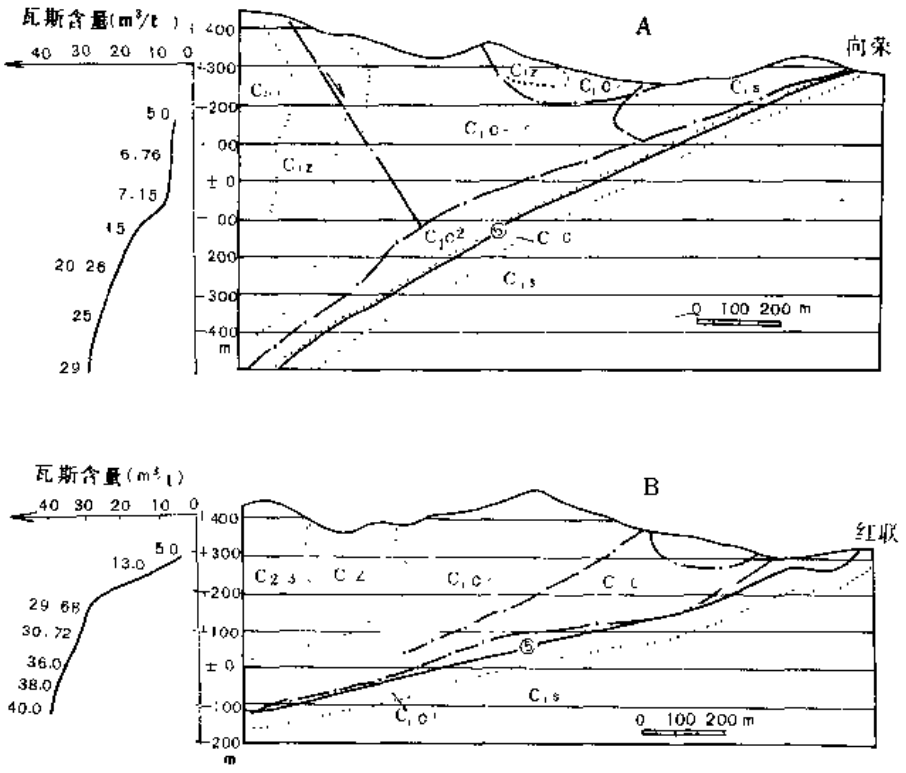


图 4–4　湖南渣渡矿区瓦斯含量与煤层埋藏深度关系（据湖南省煤炭研究所，1985）

①. C.T.Rightmire 1984年著，杨登维，1986年译，煤层甲烷资源，油气地质译丛，1986年第一期．

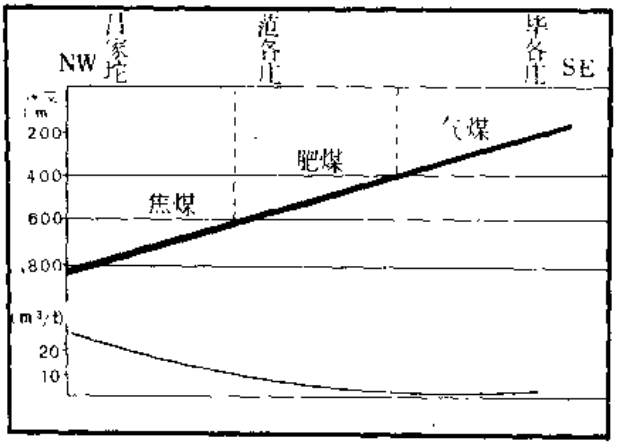


图 4-5 开滦煤田开平向斜东翼 5 号煤层的埋深、煤种与煤层甲烷含量关系图（据焦作矿业学院，1987 年）

煤层甲烷含量与深度正相关的第三个原因是，随着埋深增加，往往出现煤的变质程度增高的情况．这种情况下由于压力和变质程度双重作用的结果，使煤层甲烷含量随埋深增大而增加的规律更加显著．在开滦矿区（见图 4-5）和韩城矿区均有此种情况。

在我国众多的煤田中，辽宁红阳煤田煤层甲烷含量的变化规律充分表现出含量与埋深、变质程度及构造的关系（参见图 4-2）．此例充分说明了埋深对甲烷含量的控制是通过内因煤变质和外因气体压力综合作用的结果。

另一值得强调的问题是古风化面对上述规律的影响．我们解剖江西丰城矿区时发现，在曲江向斜南翼位于 B_4 煤层甲烷古风化带内的 907 孔，煤层甲烷含量仅为 1.59m^3／t·可燃物（采样深度为 613.86m）；2501 孔在 835.90m 深处所采样品的煤层甲烷含量也只不过是 2.36m^3／t·可燃物．古风化面的存在表明地史时期曾强烈抬升剥蚀过、曾有大量的甲烷被散失．所以丰城矿区曲江向斜南翼 B_4 煤层甲烷含量与现今埋深之间的关系不明显，而与古风化面以下的深度密切相关．这种现象具有一定的普遍意义，必须予以重视．苏联、英国等国亦有过类似报导（D.P.Creedy，1988）．由于古风化面的存在使含量与埋深的关系发生变化，相当于将含量-深度曲线向下平移了一段距离，而此段距离等于古风化面的埋深．

4.3 地质构造条件

地质构造对煤层甲烷含量的控制是间接的，也是复杂的．它包括地质发展史、构造热演化史和构造形态特征，以及构造应力状态、边界条件等因素对煤层甲烷含量的影响．

4.3.1 后期构造发展对保存条件的改造

地史时期煤层所生成的甲烷气能否被保存下来主要取决于煤层是否遭受到构造变动的破坏及其破坏的程度．以江西丰城为例，其主要含气煤层 B_4 煤层经历的后期构造运动主要有印支、燕山、喜马拉雅等三次大的构造运动，它们均不同程度地对煤层甲烷的赋存条件起到了改造作用．研究表明，主要有以下几方面的表现．

1.抬升剥蚀作用对赋存条件的影响

由上述三次大的抬升，导致了丰城矿区煤层甲烷赋存条件遭到了较大程度的改造．抬升作用使这个地区煤系上覆地层遭受了强烈的剥蚀，造成煤层埋深变浅．于是煤化作用和生气过程基本停止．

构造运动的结果，导致了向斜的形成和抬升剥蚀作用的发生，改变了煤层原有的产

出状态，使地层倾角变大，煤层出露地表（图 4-6）．从而将原来的"封闭"式体系变为

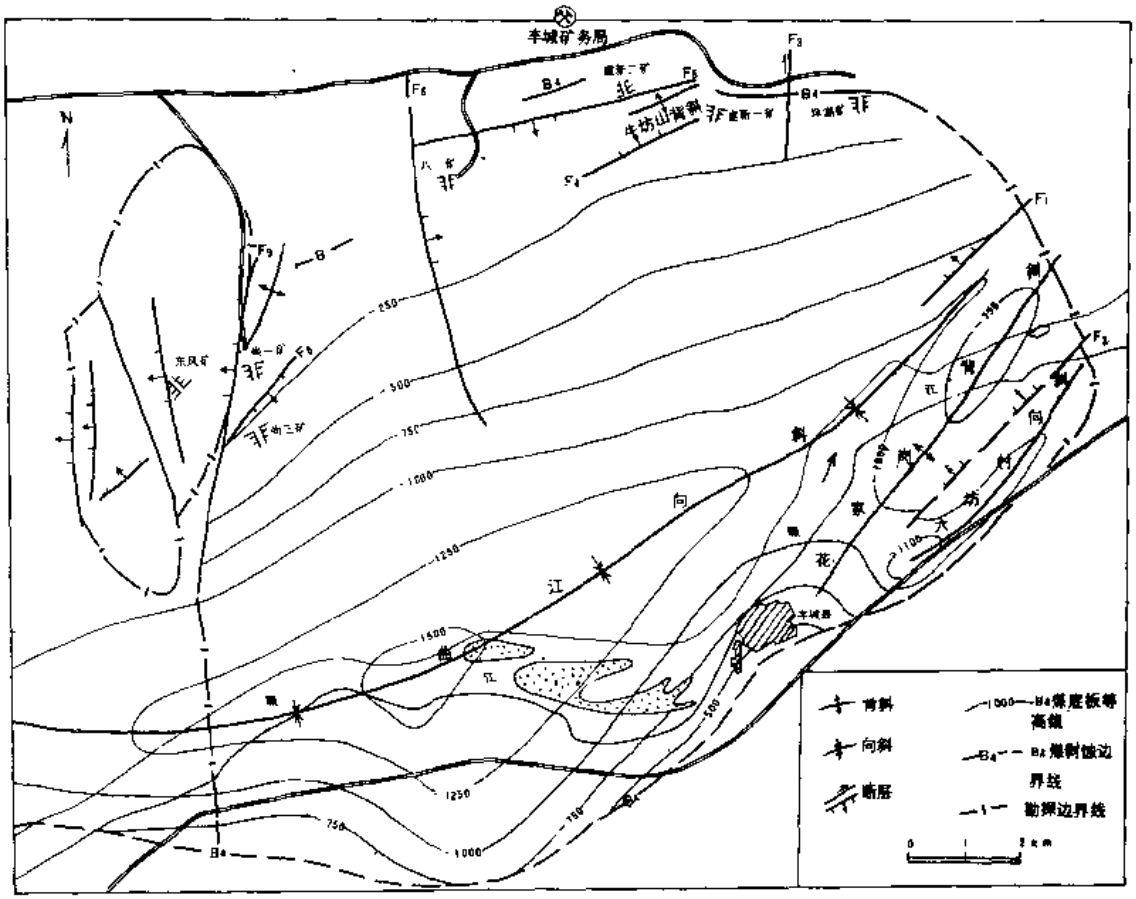


图 4-6　江西丰城矿区构造纲要图

"半封闭"式体系．煤层露出地表使甲烷大量散失（这种散失有古散失也有现今散失），现今瓦斯风化带和古瓦斯风化带的存在记录了这一过程．

煤层甲烷的散失，随之而出现了煤层甲烷的压力差和浓度差，这将促使煤层甲烷顺层朝煤层露头方向运移．运移的结果使煤层甲烷进一步散失．

鉴于上述原因，我们认为，抬升剥蚀作用破坏了煤层甲烷的保存条件，是煤层甲烷富集的不利因素。

2.后期构造发展对煤层储集性能的改造

丰城矿区是萍乐坳陷中部的转折段，它与其西侧毗邻的泉港找煤区构成一个轴线向南突出的弧形向斜．这种"半月舟"形的构造特征主要是由于中生代以来的后期构造发展所形成．印支运动时期，本区受 NW 向和 NE 向两个方向构造应力的挤压，在丰城矿区西段（弧形向斜中段）尚庄--东神岭一带形成了强烈构造挤压带．燕山运动在 NWW 向挤压应力作用下，进一步加剧了上述地区的挤压变形．

由于上述构造应力场的差异，使丰城矿区 B_4 煤层的储集性能发生了一系列的变化，尤其在曲江向斜的北翼更为明显．通过对北翼矿井的井下观察、采样分析、测试及

鉴定等工作，均证明后期构造对煤层的煤体结构、显微裂隙、煤的孔隙特征和煤层的透气性能等均有不同程度的改造.

井下观察发现，在生产矿井中，由东向西构造对 B_4 煤层的破坏程度由弱到强．东部的坪湖矿和建新矿，B_4 煤层呈原始层状构造，西部的尚庄一矿 B_4 煤层被强烈挤压破坏，形成构造煤．从煤体结构分类来看，坪湖矿为原生结构，尚庄一矿则为碎粒结构及糜棱结构．显微镜下和电镜扫描所发现的显微裂隙是由东到西，由多到少．这些都进一步证明，该区北翼浅部在地史时期遭受的构造应力是东张西压，东以脆性变形为特征，西以塑性变形为主导.

后期构造的发展不仅改变了宏观特征，微观的储集性能也受到一定的影响．从坪湖、建新、尚庄一矿煤样的压汞实验结果看，孔容（进汞量）从东到西、由大变小，坪湖矿为 0.047ml／g，建新矿是 0.041ml／g，而尚庄一矿仅为 0.023ml／g；坪湖矿 B_4 煤层的孔容约为尚庄一矿的两倍．排驱压力亦有相应的变化趋势，从东至西排驱压力由坪湖矿的 127.7kg／cm^2 增大到尚庄一矿的 252.7kg／cm^2．B_4 煤层的孔喉半径也有着类似的趋势.

此项实验结果不难说明，丰城矿区同一水平瓦斯涌出量由东向西依次增大，瓦斯抽放难易程度从东至西由易变难。东部的坪湖矿和建新矿，B_4 煤层呈原生结构、孔容大、孔喉半径大，显微裂隙发育（且以张性为主），所以煤的透气性好，尤其是具有良好的顺层运移的条件．因此，矿井瓦斯涌出量稳定，易于抽放．而西部的尚庄一矿却是另一种情况，煤体为碎粒结构，由于强烈挤压而发生塑性揉皱，颗粒间空隙被微粒状的"煤泥"物质充填．导致孔容变小，孔喉半径小，连通性差．所以，矿井瓦斯涌出量不稳定，相应地瓦斯抽放也十分困难，以致于基本上无法抽放．这说明，构造发育的煤层透气性不一定就好．这与一般认为构造导致大量裂隙产生，从而改善了煤的透气性的认识是不完全一致的．我们认为，在张应力作用下，构造发育将会导致煤的透气性变好；但在压应力作用下，则不一定会改善煤的透气性，往往相反，会使透气性变差．同时可以看出，透气性差的煤层可能更容易突出，尤其是遭受了强烈挤压作用的构造煤.

3.断裂作用对煤层甲烷赋存条件的影响

断裂的影响是多方面的，它不仅对煤层的完整性和煤层甲烷的封闭条件，而且对煤体结构、显微特征和煤的孔渗性均有不同程度的影响．对江西丰城矿区坪湖矿 F_{3-2} 断层附近系统地采样测试研究后取得了较为令人信服的结果（详见 3.2）．研究表明，在张性断裂影响范围内，距断层越近，煤体的破碎程度越高，裂隙组数越多，宽度越大．表现在显微构造煤类型上，由距断层较近的初裂煤递变为断裂附近的显微角砾煤和显微碎斑煤．裂隙的力学性质也呈现出距断裂较远处以张性和张扭性为特征，再近者出现大量张扭性裂隙，裂隙往往呈"X"型出现．在断裂带附近裂隙又几乎全是张性的．裂隙宽度也随裂隙力学性质的变化，由远而近依次为小→大→较小→最大．断裂对煤的孔隙结构影响也十分显著．从整体上看，煤的孔容，连通孔隙度等都随着距断层面距离的变化而增大，煤的排驱压力相应大幅度降低．正断层导致煤的大孔增多，小孔相对量降低，对微孔无实质性影响（见表 3-9）.

总而言之，后期断裂，褶曲的产生对煤层的储集性能，渗透性及保存条件都有一定

的影响．同时，不同力学性质的断裂对煤层的储集性能等条件的影响也是不同的．

4.3.2 煤田构造对煤层甲烷含量的控制

我国大陆的五大聚煤区，即东北区、华北区、华南区、西北区和滇藏区，大致与一级构造单元相当，由于其构造特征不同，煤层甲烷的富集程度差异甚大．

二级构造单元基本控制了煤层甲烷的富集带，如太行山隆起带两侧等，由于各自地质发展史和构造特征的不同，决定了它们之间的甲烷含量亦存在相对差异．同一煤田或同一矿区、不同的构造部位，其煤层甲烷含量也相差甚远．因此，不同级别的构造对煤层甲烷含量具有典型的逐级控制作用．但最直接的还应是煤田内的构造对含量的影响．下面按向斜、背斜、断裂及构造应力等四方面探讨他们对煤层甲烷含量的影响．

1.向斜构造

我国的向斜煤田及煤田内的向斜构造是极为普遍的，因此，研究向斜构造对煤层甲烷含量的控制作用尤为重要．我们在"六·五"煤成气攻关研究中，曾对沁水、开滦、抚顺等向斜煤田及芙蓉、阳泉等矿区做了详细分析研究，在此基础上，我们对江西丰城矿区（也属向斜煤田）作了专门解剖．研究发现，向斜的不同构造部位煤层甲烷含量有明显不同．一般情况是向斜两翼含量低于向斜翘起端（就同等埋深而言），在向斜的内部，若无向斜形成后的继续生气条件，往往向斜轴部埋藏最深处的煤层甲烷含量并不一定就最高．如丰城矿区，曲江向斜为矿区的主体构造，在向斜的南翼（为一剥蚀后的残存翼）B_4煤层甲烷含量很低．向斜北翼B_4煤层甲烷含量平均为$10m^3/t$·可燃物左右，而向斜北翼的东段翘起端，B_4煤层的甲烷含量最高达$25.3m^3/t$·可燃物．有趣的是，在该翘起端沿向斜轴方向依次有602孔（1148.50m），3-3孔（864m），1901孔(877m）和18·1901孔（718m）等4个钻孔，B_4煤层的甲烷含量依次为6.76、9.11、14.00和$16.91m^3/t$·可燃物．这种现象出现的原因可能是由于甲烷运移的结果．甲烷气在浮力、压力差等动力驱动下，向上运移及顺层向上运移的总体趋势不可避免地使向斜轴部的煤层甲烷向浅部运移，在再无气源补充条件下，自然就会导致向斜轴部煤层甲烷越来越少．而在向斜翼部的转折带和翘起端，因煤层甲烷含量往往还没达到该深度的最大容量，这些部位的甲烷虽然也在不停地向上运移，但有向斜轴部的甲烷不断运移上来给予补尝，从而形成上述结果．

上述特点在我国向斜型煤田是较为普遍的，尤其在南方．在北方，山西沁水煤田也很典型．在沁水向斜的东、西两翼，密布的煤田详精查勘探钻孔均无任何气显示，煤层甲烷含量也极低；但在沁水向斜的两端，煤层甲烷含量都很高，尤以阳泉矿区高沼矿井最为著名．

2.背斜构造

为了研究背斜构造及向斜与背斜过渡带对煤层甲烷含量的影响，我们对四川南桐矿区进行了分析．结果表明，矿区内较大的背斜构造，往往由于轴部张性断裂的发育而造成煤层甲烷的散失，所以背斜顶部煤层甲烷含量相对翼部要低（未被破坏的背斜除外）．南桐矿区是一个老矿区，煤层甲烷含量实测资料很少，但有较系统的实测瓦斯压力资料．因而对同一煤层，可以从瓦斯压力资料来分析煤层甲烷含量的变化趋势．如图4-7所示，乌龟山背斜的北段接近轴部的瓦斯压力要远低于背斜南段翼部的瓦斯压力；

向　　瓦斯压力高点主要集中于向斜的过度带（扭折带）及

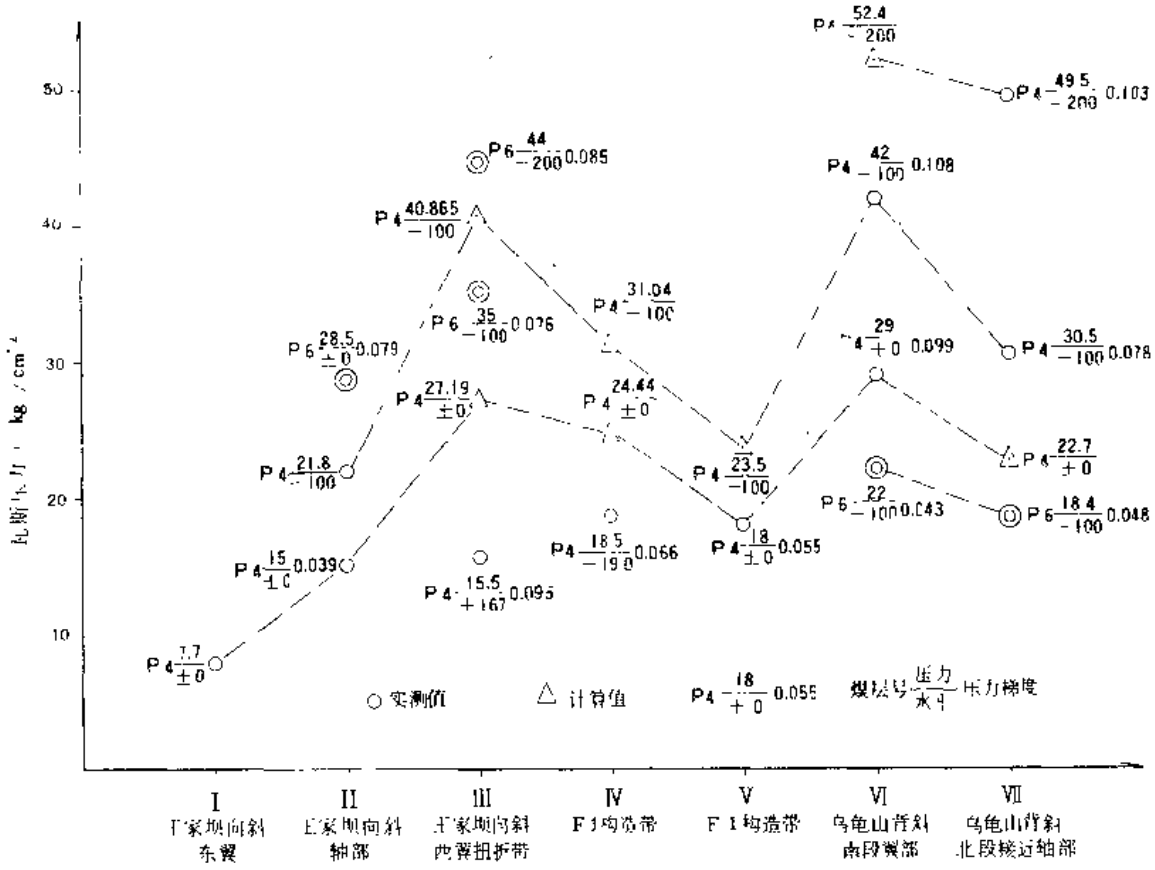


图 4-7　四川南桐矿区南桐矿瓦斯压力分布示意图(据彭立世，1988 年)

背斜翼部．我们认为，对于背斜构造而言，其完整性是控制煤层甲烷含量的关键．也就是说，在分析向斜或背斜构造对煤层甲烷含量的控制作用时，一定要与断裂发育程度及其力学性质结合起来综合分析．

次级的局部构造，如隆起或鼻状构造等较小的正向构造，往往因无顶部的张性断裂而在多数情况下为煤层甲烷富集区．陕西韩城矿区就有类似情况．

3.断裂构造

大量的实例证明，断层对煤层甲烷含量的影响是明显的，几乎所有矿区都不同程度的有所表现．由于断层的规模大小和断层的性质不同，则对煤层甲烷含量影响也不同．以陕西蒲白矿区为例，据赵景斌等编写的资料，断距大于 50m 的断层，矿井瓦斯涌出量的高峰值位于距断层 500m 处，而断距在 15-50m 之间的断层，矿井瓦斯涌出量的高峰值位于距断层 200m 处．在断层面处矿井瓦斯涌出量为低值（图 4-8）．当两断层相交时，在交点处瓦斯涌出量出现低值．

然而，中、小型断层的影响另有特色．如陕西铜川矿区中、小型断层极为发育，走向多为北东向，少许为北西向，这些断层绝大多数为开放型，造成该矿区煤层甲烷含量普遍较低．

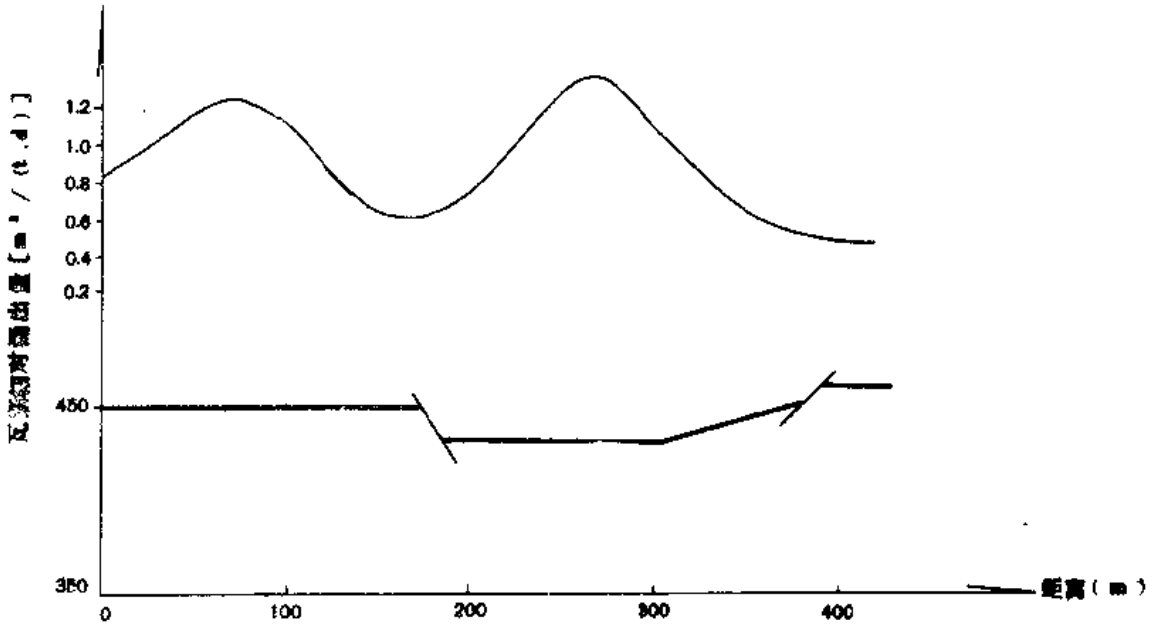


图 4-8 陕西省蒲白矿区白水矿一三采区瓦斯涌出量与断层关系图.

实例说明，断层对煤层甲烷的控制作用不仅仅表现为不利的一面；而压性、压扭性断层则往往导致断层附近煤层甲烷含量的增高；如靖远矿区四采区 264 工作面，处于刀楞山断层下盘，并伴随着次级断层的复杂化，是应力集中之处，故相对瓦斯涌出量高达 $51m^3/t \cdot d$.

4.构造应力

一般说来，构造应力是通过影响煤的储集性能、封闭条件和瓦斯压力等方面间接地影响着煤层甲烷含量，但这种影响往往是相当明显的．如四川南桐矿区，不仅地史时期受强烈挤压而褶皱，而且据南桐矿务局、中国科学院、重庆大学等单位对现今地应力测定，地应力仍很大，该矿区为我国著名的高沼矿区．面以断块式单斜构造为主要型式的鲁中、鲁西煤田，构造应力显示张性特征，煤层甲烷含量极低．因此，在探讨煤层甲烷富集条件时，构造应力也是不可轻视的因素。

4.4 煤层顶底板条件

4.4.1 煤层顶底板封闭能力与煤层甲烷含量

煤层顶、底板的封闭性能是控制煤层甲烷含量的主要因素之一．但是，绝对封闭的顶底板是不存在的，在有气体压力差和浓度差的情况下，煤层甲烷仍会以一定的速度向周围扩散．因而，煤层的顶底板势必含有一定量的甲烷，同时有一含量梯度．这个梯度越小，顶底板甲烷含量越低，其封闭性越好；反之，梯度越大，含量越高，其封闭性越差．因此，通过测定顶底板岩层中的甲烷含量，亦可以从一个侧面研究煤层顶底板对煤层甲烷含量的控制作用．

以四川南桐矿区为例，煤层与顶底板岩层内的甲烷含量呈显著的负相关（表 4-1）。顶、底板岩层中甲烷含量高时，煤层中的甲烷含量就低；反之则高．如南桐的

表 4-1　　四川南桐矿区鱼田堡-东林煤矿延伸勘探区煤层及顶底板甲烷含量一览表

孔号	孔深(m)	层　位	甲烷含量(m^3/t)
903 孔	858.63	K_3 顶板泥质粉砂岩	1.49
	862.53	K_3 煤层	8.62
	863.83	K_3 底板砂质泥岩	0.018
	904.74	K_1 顶板泥岩	0.56
	905.44	K_1 顶板泥岩　（2）	0.63
	907.23	K_1 顶板泥岩	0.83
	909.54	K_1 煤层	6.25
	909.89	K_1 底板铝质泥岩	0.87
	911.54	K_1 底板铝质泥岩	0.07
905 孔	762.55	K_3 顶板泥质粉砂岩	0.015
	766.39	K_3 煤层	17.38
	769.99	K_3 底板粘土岩	0.057

K_3 煤层与 K_1 煤层相比，K_1 煤层顶底板岩层中甲烷含量高于 K_3 煤层的顶底板，因此 K_3 煤层甲烷含量明显较 K_1 煤层高．同是 K_3 煤层，903 孔的顶底板甲烷含量远远高于 905 孔，所以 905 孔 K_3 煤层甲烷含量就明显高于 903 孔的 K_3 煤层．同时还可以发现，同一顶板或底板（如 903 孔的 K_1 煤层的顶、底板），距煤层越远甲烷含量越低，其含量梯度差异较大．这些实例说明了煤层顶底板的封闭性能与煤层甲烷含量的关系．

煤层顶底板岩石对甲烷吸附量的大小，对煤层中甲烷的储集、保存和运移均有一定的影响．湖南省煤炭研究所 1982 年对湖南马田矿区艾和山井及金竹山矿区一平峒、土株井等地的岩样进行了系统测试研究，结果表明，以粘土矿物为主要成分，含少量有机物质的泥岩对甲烷的吸附能力最强，每吨最大吸附甲烷量为 10.4045-11.5370m^3；石英细粉砂岩次之，每吨最大吸附量为 7.0218m^3；胶结物为泥质及粘土矿物的长石-石英细砂岩最低，每吨最大吸附量为 4.6904$m^3$①．因此，根据煤层顶底板的岩石类型，可以了解其封闭能力及对煤层甲烷含量的影响．

4.4.2　顶底板的构造发育程度与煤层甲烷含量

在煤层顶底板控制煤层甲烷含量的诸影响因素中，顶底板的构造发育程度，尤其是断层、裂隙等构造是至关重要的．

现以江西丰城矿区为例加以说明．该矿区有两个煤组，即龙潭组下含煤段 B 煤组和上含煤段 C 煤组．其中 C 煤组煤层甲烷含量很低，一般在 0-1.004m^3/t．即使在该

①据湖南省煤炭研究所，1982所，煤与瓦斯突出的机理与预测预报的研究．

区的深部，也仅仅为 0.53m³／t．而 B 煤组煤层甲烷含量就较高，其主要可采煤层 B_4 煤层甲烷含量一般为 10m³／t 左右，深部最大含量可达 25.3m³／t．造成这种悬殊差异的主要原因是：大量的勘探资料和煤矿生产资料均证实，上含煤段所遭受的构造破坏较下含煤段强烈．C 煤组的煤层顶底板断裂裂隙发育，B 煤组则不发育．因此，对 C 煤组来讲，顶底板的封闭条件要远远差于 B 煤组，所以煤层甲烷含量 C 煤组低于 B 煤组．同时 B_4 煤层，其顶底板构造发育程度的不同，煤层甲烷含量也有较大差异，以建新矿为例，西部有一断距达 150m 的 F_5 断层及其伴生断裂，形成宽约 87–200m 的断裂带，从而导致了煤层甲烷的散失．相反，在矿井东部断裂较少，断距也较小（一般均小于 30m），可以推测这种小断层对煤层顶底板封闭性能的影响只能是局部的．建新矿这种构造裂隙东少西多的特征与 B_4 煤层甲烷含量东高西低的相互对应关系，表明了煤层顶底板断裂发育程度越高，煤层甲烷含量越低．

综上所述，煤层顶底板的封闭性能好坏是控制煤层甲烷含量的客观条件之一．这一影响将随着煤层顶底板岩性、物性和构造发育程度的不同而有所不同．

4.5 深部煤层甲烷含量预测

甲烷含量是煤层含气性的定量指标，它是计算煤层甲烷资源量，预测煤矿井下瓦斯涌出量等工作的最重要的基本数据．

测定煤层甲烷含量的常用方法有解吸法和间接计算法两种。由于解吸法的局限性，对深部煤层甲烷含量的预测，我们主要采用间接计算法，其次为类比推断．根据目前的研究程度和认识水平，我们在预测时主要考虑了下列几个方面的问题：

1.在一定深度范围内，随着埋藏深度的增加，煤层甲烷含量逐渐增大；超过一定深度，甲烷含量就不再有明显变化，而趋于稳定．其具体界线，据苏联有关学者 М.Л.Левенштеин 等人的研究，在甲烷风化带以下 500–700m（М.Л.Левенштеин 等，1984）；英国斯克顿（Skelton）煤田这一界线在 800–900m（D.P.Creedy，1988）；我国鸡西煤田的界线在垂深 900m 左右（图 4–3），淮南矿区的界线大约在垂深 900–1100m（可能包含煤变质程度的因素）；综合考虑，我们认为这一界线大致为由地表（或古地表）起算的垂深 800–1000m 之间．

2.低煤阶煤层的甲烷含量主要受生气量控制，因而对少生中储类型的煤（长焰煤、气煤），在没有实测瓦斯压力的情况下，不宜用间接法计算．依据上述，对长焰煤我们按与乌鲁木齐矿区的资料推断，以 5–6cm³／g·可燃物为其在 1000m 以下的含量值．同样，据鸡西矿区荣华井田的资料，以 7–8cm³／g·可燃物为气煤在 1000m 以下的含量值．

3.肥煤以上各煤阶煤层甲烷含量主要受煤的储集性能（孔隙度、吸附能力）的控制，随煤的变质阶段而异．我们根据实验结果，以各煤阶样品实测的孔隙度（Φ）、吸附常数（a、b 值）的平均值代表该煤阶煤的储集性能（表 4–2），代入相应的公式进行计算．

表4-2　　几种不同变质阶段的煤在1000米以下甲烷含量计算表

煤变质程度		水份 W^r (%)	孔隙度 cm^3/g	吸附常数		甲烷含量(m^3/t·可燃物)			备注
煤阶	R^o_{max}(%)			a	b	合计	游离	吸附	
肥煤	0.90–1.20	0.66	0.0292	17.915	0.0900	14.20	2.54	11.66	
焦煤	1.20–1.70	0.43	0.0287	18.360	0.0906	14.89	2.50	12.39	
瘦煤	1.70–1.90	0.53	0.0354	21.022	0.1100	17.35	3.08	14.27	t=45℃
贫煤	1.90–2.50	0.56	0.0364	24.305	0.1115	19.62	3.17	16.45	P=80 kg/cm^2
无烟煤三号	2.50–4.00	1.00	0.0375	35.607	0.1320	26.19	3.27	22.92	K=1.089
无烟煤二号	4.00–6.00	1.00		–	–				
无烟煤一号	>6.00	1.00		0	0				

注：　K——在压力为80Kg/cm^2，温度在45℃的情况下甲烷的压缩系数.

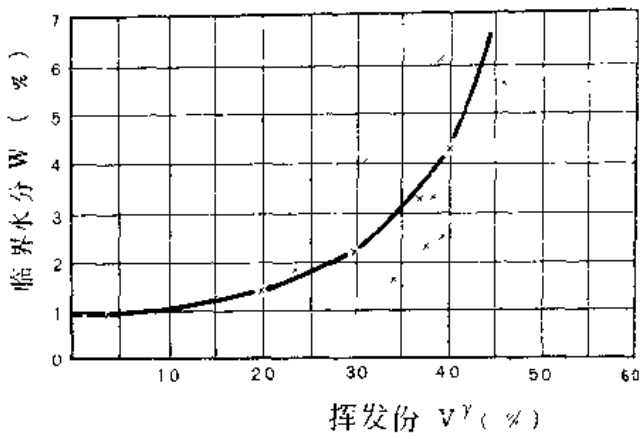


图4—9　煤的临界水份与变质程度的关系

4.在实验室中是测定干燥煤样的吸附常数值，但自然界煤是含有一定水分的．由于水占据了煤的部分孔隙空间和吸附表面，从而降低了煤的储气容积．国外的研究表明，煤吸附甲烷的量随着水分的增加而降低．但是在水分达到某一临界值后，水分的增加将不再影响煤层的甲烷吸附量(据煤科总院重庆分院《突出煤层瓦斯容量及几个特点的研究》)，不同变质程度煤的临界水分值如图4-9所示．煤中水分随煤的变质程度而变化的情况见表4-3．从图4-9和表4-3可以推论，煤的甲烷吸附量受水影响而降低的量，在低变质程度的煤比高变质程度煤要大得多．综合分析，确定了影响煤的甲烷吸附量的有效水分含量（见表4-2）参与计算．

表4-3　　不同变质程度煤中水分

变质阶段	褐煤	长焰煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
水分 (W^r%)	9.21	7.46	1.85	0.66	0.43	0.53	0.56	1.49

(引自《煤田地质学》上册、1979)

5.关于煤体温度和气体压力的确定及其对煤层甲烷含量的影响详见第三章第一节(3.1)的论述．

6.对于超高变质的无烟煤一号（R^o_{max}>6.00%），由于实测的吸附常数值为零，故无法进行计算．但无烟煤一号矿井无一例外的均为低沼矿井，煤层甲烷含量基本与埋藏

深度无关，保持在一个很低的水平上。江西安福观溪井田龙潭组煤层 V^r 为 3.16%，属超无烟煤类，在孔深 616.80m 处甲烷含量为 3.53cm³／g·可燃物；苏联的超高变质无烟煤（$R^o_{max}>5.5\%$）甲烷含量值不超过 1.6–2.8cm³／g·可燃物，而且不存在任何增长的趋势（М.Л.Левенштейн 等，1984）。有鉴于此，我们认为无烟煤一号的甲烷含量不超过 3–4cm³／g·可燃物，一般可取 2–3cm³／g·可燃物，而且基本与深度无关。

1.综合上述各点，对于从低变质的长焰煤到超高变质的无烟煤一号的变质系列，确定了深部水平（1000m 以下）煤层甲烷含量的预测值，具体见表 4–4。这组数据绝大部分是以大量煤样的实测储集性能参数（孔隙度、吸附常数 a、b 值）为基础的，这些煤样采自我国各主要成煤期的不同煤田内，具有较广泛的代表性。因而表 4–4 所列数值，不仅可以用于计算煤层甲烷资源量，也可以在开采深部水平煤层的地区预测矿井瓦斯涌出量时，做为煤层甲烷含量的平均值来使用。

表 4–4　　不同煤阶煤层甲烷含量预测值(埋深 1000m 以下)

煤变质程度		甲烷含量 (cm³／g·可燃物)	备　注
煤　阶	R^o_{max} (%)		
长焰煤	0.5–0.65	5–6	据淮南煤田推断
气　煤	0.65–0.90	7–8	参照鸡西煤田
肥　煤	0.90–1.20	14.2	计算值
焦　煤	1.20–1.70	14.89	计算值
瘦　煤	1.70–1.90	17.35	计算值
贫　煤	1.90–2.50	19.62	计算值
无烟煤三号	2.50–4.00	26.19	计算值
无烟煤二号	4.00–6.00	25–30	估计值
无烟煤一号	>6.00	2–3	参照江西安福、苏联顿巴斯煤田

5 煤层甲烷资源评价

煤层甲烷是天然气的一种储集类型，属非常规天然气．因此，煤层甲烷资源量的含义应与天然气资源量的含义相一致，是指赋存于地下煤层及其附近岩石中的在目前和将来的技术经济条件下具有开采价值的甲烷总量．从煤层甲烷的赋存情况，实际开采利用价值等角度，并结合我国煤炭资源量计算的实际情况，在本次煤层甲烷资源评价时，我们只考虑了可采煤层中的甲烷资源量，而不考虑煤层顶底板及不可采煤层中的甲烷量．这种处理与美国等国家的做法基本一致（美国是将具有甲烷勘探意义的煤层规定为单层厚度不小于0.6m的煤层）①．

5.1 煤层甲烷资源量级别的划分

不同类型和不同级别的矿产储量是一个与地质认识、技术经济相关的变数，可做为编制不同勘探开发阶段规划方案的依据．当前国家储委虽然已制定了《天然气储量规范》，但是煤层甲烷属于非常规天然气，在上述规范中未能包括．

煤层甲烷资源状况主要受煤层发育、赋存条件及储量大小等因素的控制．所以，在目前尚未正式开展煤层甲烷勘探之前，考虑煤层甲烷资源量级别时，可以与煤炭储量的级别相联系．根据地质勘探程度和研究水平，我国煤炭储量分为探明储量（A+B+C+D级）和预测储量两部分，其中探明储量中的A+B+C级又称为工业储量．从全国范围的资源评价出发，煤炭储量可作为划分煤层甲烷资源量级别的一项重要标准．另一方面，煤层甲烷做为一种能源资源，当前我们的研究程度和认识水平还比较低，至今我国尚未进行过专门的煤层甲烷勘探及开采，只在部分煤矿井下进行以安全为目的的瓦斯抽放和利用工作．

根据上述情况，为了配合全国天然气资源评价和预测，我们参照《天然气储量规范》和煤炭储量分类，暂将煤层甲烷资源量划分为三级（表5-1）．

1.探明储量：系指在已获工业储量（A+B+C级）的煤层中，已查明甲烷分布规律

①据杨登维编，1987，煤层甲烷是一种新的非常规能源．

和控制因素，并已进行甲烷开发利用或正在进行开发试验的煤层甲烷储量.

2.预测储量：指探明储量（A+B+C+D 级）的煤层中，初步查明甲烷分布规律及控制因素的煤层甲烷储量.

3.远景资源量：是指预测了资源量的煤层中的甲烷量.

探明储量、预测储量和远景资源量之和为煤层甲烷总资源量.

表 5-1　　煤层甲烷资源量级别划分对照表

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">全国储委
《天然气储量规范》
(1987.2)</td><td colspan="3">探明储量</td><td rowspan="2">控制储量</td><td rowspan="2">预测储量</td><td colspan="2">远景资源量</td></tr>
<tr><td>已开发</td><td>未开发</td><td>基本探明</td><td>潜在</td><td>推测</td></tr>
<tr><td rowspan="3">54-01
办公室
(1988)</td><td>煤层甲烷</td><td></td><td></td><td>探明储量</td><td colspan="2">预测储量</td><td colspan="2">远景资源量</td></tr>
<tr><td rowspan="2">计算所用煤炭储量</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">探明储量
(A+B 级)</td><td colspan="2" rowspan="2">探明储量
(A+B+C
+D 级)</td><td>潜在</td><td>推测</td></tr>
<tr><td colspan="2">预测储量</td></tr>
<tr><td rowspan="2">本书</td><td>煤层甲烷</td><td></td><td></td><td>探明储量</td><td colspan="2">预测储量</td><td colspan="2" rowspan="2">远景资源量</td></tr>
<tr><td>计算所用煤炭储量</td><td></td><td></td><td>工业储量
(A+B+C 级)</td><td colspan="2">探明储量
(A+B+C
+D 级)</td></tr>
</table>

5.2　煤层甲烷资源量计算

5.2.1　计算范围及块段划分

根据 54-01 项目的总要求，本次煤层甲烷资源计算的区域是：凡是 54-01 总课题需要计算天然气资源量的盆地（地区）内的长焰煤以上变质阶段的含煤区均在计算之列；另外还增加了湘中南地区。共计 23 个盆地（地区）、60 个含煤区（以全国煤田预测划分的范围和命名为准），具体分布如图 5-1 所示。计算的最大深度，北方为垂深 2000m；南方为 1500m，个别含煤区（川南-黔北、六盘水）达 2000m。

在我国地史上共有 8 个陆殖煤成煤期，即早石炭世、石炭二叠纪、早二叠世、晚二叠世、晚三叠世、早、中侏罗世、晚侏罗-早白垩世和第三纪。其中，以测水组为代表

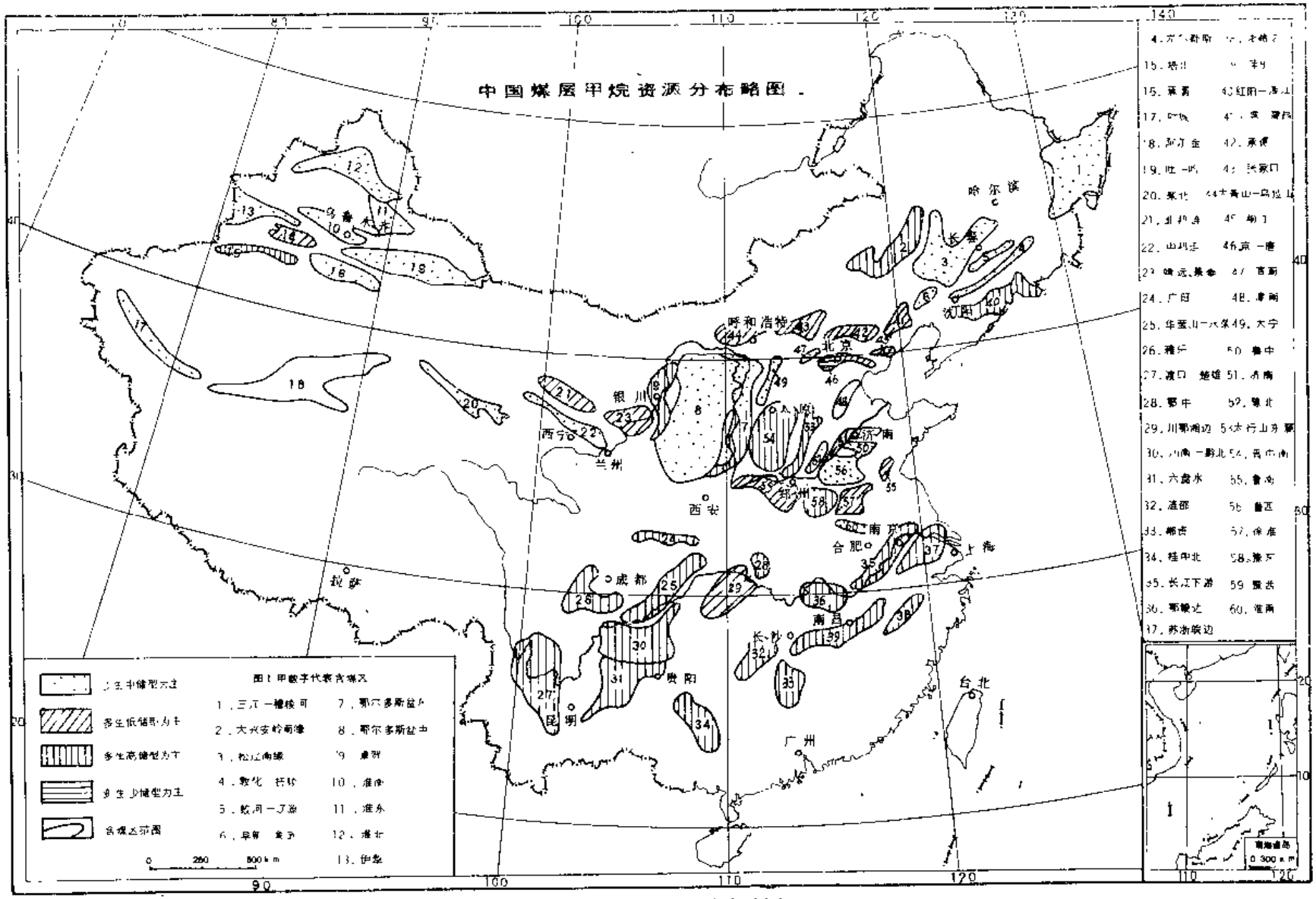


图 5-1　中国煤层甲烷资源分布略图

的南方早石炭世和以梁山组为代表的南方早二叠世煤系，因含煤地层分布面积有限，含煤性普遍较差，煤层多赋存在一些孤立的面积很小的区域内，且埋藏较浅，煤层中所含的甲烷基本不具资源价值，故未计算它们的煤层甲烷资源量，只对其余 6 个成煤期的煤层甲烷资源量进行计算。

具体计算时，我们以含煤区内的一个煤系为基本计算单元。在基本计算单元内，以煤层甲烷资源量级别（分为探明储量、预测储量、远景资源量）和煤层埋藏深度（分为 1000m 以浅，1000–1500m 和 1500–2000m 三个界限）为依据划分块段，用蒙特卡洛模拟法分别计算各块段，各基本计算单元和各含煤区的煤层甲烷资源量，然后用算术加法计算出各个盆地（地区）的资源量。整个计算系统如图 5–2 所示。

煤层甲烷资源量计算系统示意图

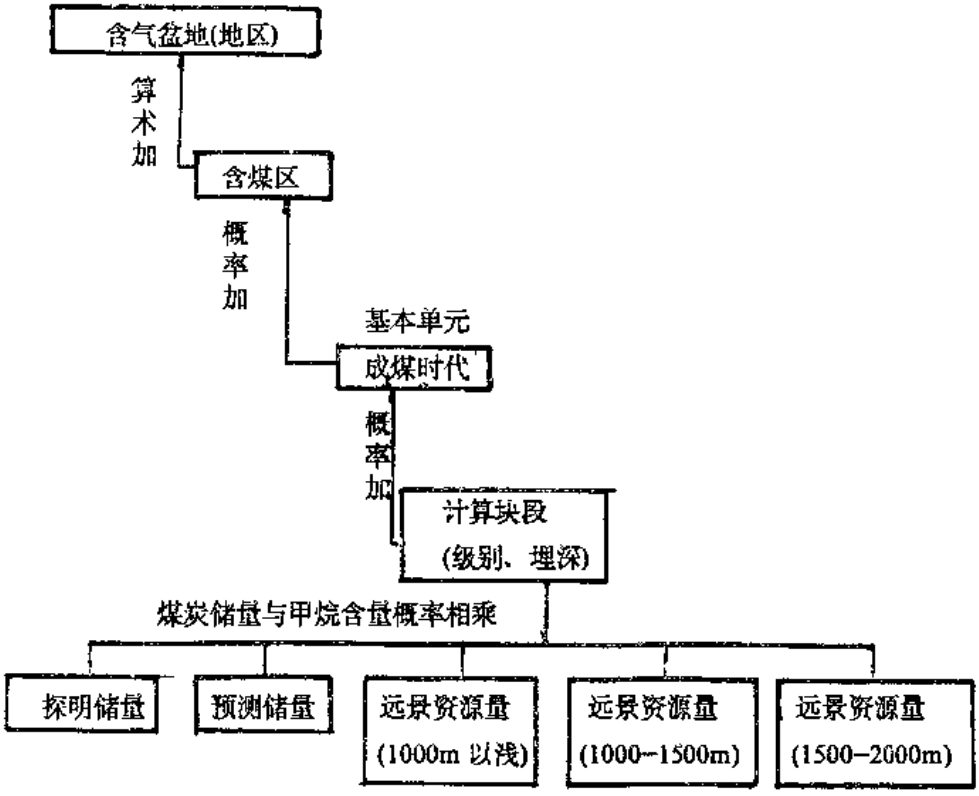


图 5–2　煤层甲烷资源量计算系统示意图

5.2.2　计算方法

我们采用容积法（甲烷含量法）进行计算，即煤层甲烷资源量等于煤炭储量乘以煤层甲烷含量。基本公式是：

$$Q_i = M_i \times q_i \qquad (5-1)$$

式中：Q_i—第 i 个块段的煤层甲烷资源量，m^3；

M_i—第 i 个块段内煤炭储量，t；

q_i—第 i 个块段煤层甲烷含量，m^3/t。

一个计算单元（含煤区）的煤层甲烷资源总量（Q）为各块段（单元）资源量（Q_i）之和，即：

$$Q = \sum_{i=1}^{n} Q_i \qquad (5-2)$$

其中：n 代表单元内的块段个数。

对于具有一定面积范围的块段来说，公式（5-1）中的煤炭储量为一常量，而煤层甲烷含量（q_i）则是一个有一定取值范围的随机变量。

依据公式（5-1）和（5-2），我们编写了蒙特卡洛法计算煤层甲烷资源量的软件系统，应用 IBM 微机进行计算、作图和打印，求得每个块段的甲烷储量和含煤区的甲烷总资源量及不同级别、不同水平的资源量。根据实有煤层甲烷含量数据，求出甲烷含量的分布函数。将煤层甲烷含量（q_i）的分布函数和煤炭储量（M_i）进行概率相乘，得出块段煤层甲烷储量或资源量（Q_i）的分布函数（图 5-3）。将各块段的储量分布函数进行概率累加，即得出含煤区的煤层甲烷总资源量（Q）的分布函数（图 5-4）。

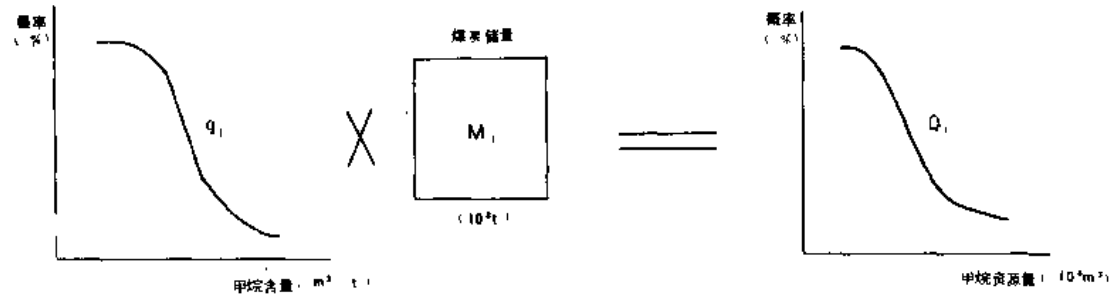


图 5-3 计算煤层甲烷资源量方法示意图

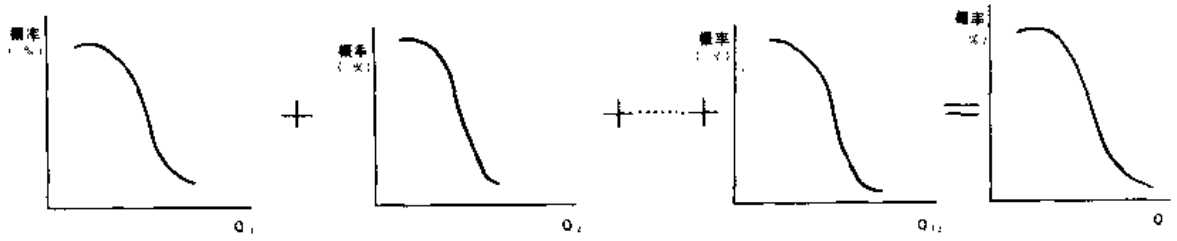


图 5-4 煤层甲烷总资源量计算方法示意图

用蒙特卡洛法计算煤层甲烷资源量，需求出煤层甲烷含量数据的分布函数。但许多情况下，一个块段内的甲烷含量数据个数均不能满足大子样（数据个数大于 30-40）的要求。若能确定煤层甲烷含量的分布概型，就可以充分利用现有资料所提供的信息进行计算。为此，我们对陕西省韩城矿区的煤层甲烷含量数据进行了统计分析。结果表明，在一定的面积范围内，煤层甲烷含量为近似服从正态分布的随机变量（如图 5—5 所

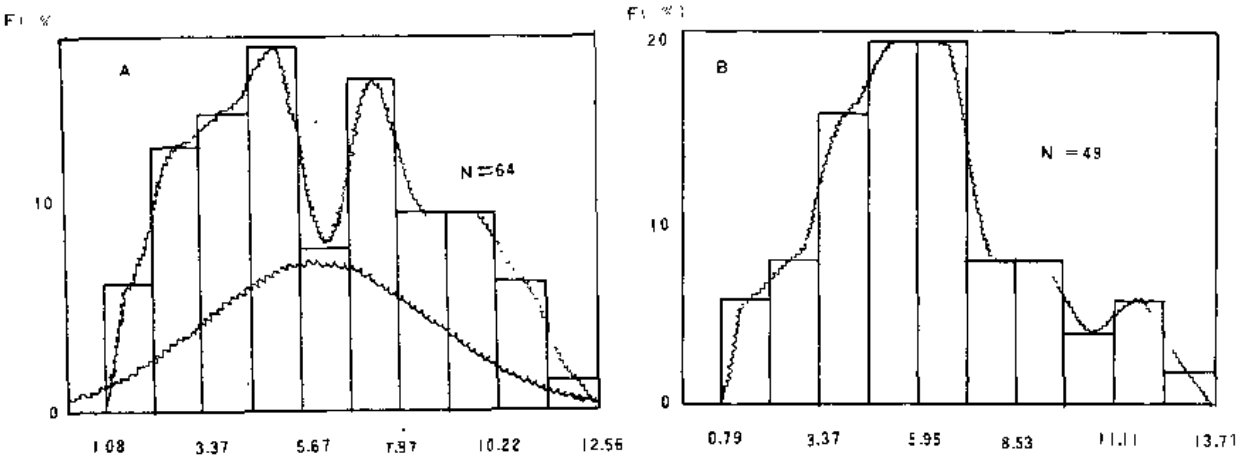


图 5-5 陕西省韩城矿区煤层甲烷含量分布直方图

A——北部; B——南部

示，图中圆滑线为理论正态分布曲线)。我们认为，韩城矿区的结论具有一定的普遍意义。通常认为，一个变量之所以呈正态分布，是因为它"是由许多微小随机因素综合作用的结果。所谓微小因素，就是说没有一个因素是突出显著的"（赵鹏大等，1981年)。概率论的中心极限定理可以说明这一点。该定理指出：设

$$P=\sum_{i=1}^{n}P_i$$

P_i 为独立的起伏不显著的对总体作用非常小的随机变量；则当 $n\to\infty$ 时，P 服从正态分布或渐近正态分布。我们知道，影响煤层甲烷含量的因素很多，诸如：瓦斯压力、煤体温度、煤变质程度、煤岩组分、煤层形成环境、煤的孔隙结构、煤的灰分、水分、测量误差等等。各因素中又包括许多具体情况，例如瓦斯压力就与煤层埋藏深度、构造部位、煤层顶底板岩层的封闭性能等有关。在一定面积范围内，上述诸因素和情况都是随机发生的，均系独立地影响着煤层甲烷含量及其变化，且没有明显的主次之分。换言之，诸因素符合中心极限定理关于各独立的微小随机变量的条件。即从理论上讲，可以认为煤层甲烷含量数据为近似服从正态分布的随机变量。

确认了煤层甲烷含量的分布概型后，对于数据点少于 30 个的块段，求出原始数据的平均值 x 和标准差 u，并以正态分布 N（x、u^2）为该区块内煤层甲烷含量的分布函数，进行甲烷资源量计算。

5.2.3 参数确定

本次煤层甲烷资源量计算的最小单元，是以资源量级别和煤层埋藏深度为界限而划分的计算块段（见图 5-2)。所谓参数确定，就是确定各个块段内的煤炭储量和煤层甲烷含量。

1.煤炭储量

我们以煤炭科学研究院地质勘探分院编的《中国煤炭资源图集说明书》（送审稿）(1985 年)（以下简称《图集》）所提供的各含煤区的煤炭储量数据（截止到 1982 年

底）为基础，从1982年全国矿产储量平衡表上统计出有关含煤区分时代的保有储量及褐煤的保有储量，并结合煤炭部《中华人民共和国煤田预测》（1981）的资料，计算和确定各块段内的煤炭储量。具体原则是：

(1)《图集》中有关各含煤区的煤炭探明储量、预测储量和总储量数据是基准，起控制平衡作用；

(2) 对于探明储量部分，凡属单一煤系又无褐煤的含煤区，直接选取《图集》的数据；其他各含煤区，应从《图集》的数据中减去不计算煤层甲烷资源量的煤炭储量（即褐煤，南方的早石炭世、早二叠世和早侏罗世煤系）；

(3) 对于预测储量部分，考虑到近年来我国煤田地质勘探绝大部分仍在1000m以浅范围内进行，使部分1000m以浅的原预测储量升级为探明储量，从而引起预测储量的变动。所以，对1000—1500m和1500—2000m两类块段，选取全国煤田预测（1981年）的数据，从《图集》的预测储量数据中减去这两类块段的值，即为1000m以浅的预测储量。

2.煤层甲烷含量

(1) 对于1000m以浅的块段，尽量收集各种实测数据，主要是钻孔煤心解吸法，其次为集气法；少数为根据实测瓦斯压力值用间接法计算的值。对于1000m以浅的煤田预测区、老矿区等没有实测甲烷含量数据的块段则采用与相邻块段（或含煤区）类比的方法确定。

(2) 对于1000m以深的块段，根据第四章第五节（4.5）的理由，采用预测值。依据块段内煤的变质阶段，从表4—4中选取相应的值。

(3) 由于实测的和预测的煤层甲烷含量均为可燃物（无水、无灰基）的甲烷含量（$q_{燃}$），所以应在统一折算成实际煤层的甲烷含量（$q_{煤}$）后方能代入公式（5—1）中进行计算。两者的折算关系为：

$$q_{煤} = q_{燃} \times (100 - W^f - A^f) / 100 \qquad (5-3)$$

式中：W^f——煤的水分含量，%；

A^f——煤的灰分含量，%。

5.3 资源量计算结果

应用蒙特卡洛法，对全国23个含油气盆地（地区）中的60个含煤区统一进行了煤层甲烷资源量计算。

结果表明，我国埋深2000m以浅范围内，拥有煤层甲烷总资源量30—35×$10^{12}m^3$。其中煤层甲烷总资源量大于$1\times10^{12}m^3$的盆地（地区）有：鄂尔多斯盆地、沁水盆地、北华北盆地、南华北盆地、吐—哈盆地、准噶尔盆地、滇黔桂（包括川南）地区。它们都是我国煤炭资源最丰富的地区。

比较而言，本次煤层甲烷资源量计算在以下几方面，工作深入了一步：

1.计算范围比较合理。

本次煤层甲烷资源量计算，没有包括褐煤和福建、广东、西藏等省（区）的煤田，

南方早石炭世、早二叠世和早侏罗世的煤系，煤层顶、底板等范畴，这些范畴，或因甲烷含量低，或因煤层发育差，分布零散，埋藏浅等，没有实际意义上的资源价值，所以，不计它们的煤层甲烷资源量是合理的。

2.煤炭储量数据新

计算中采用的煤炭储量，系截止 1982 年底的煤炭储量数据（探明储量和预测储量均如此），这是目前全国完整的最新统计资料。

3.煤层甲烷含量取值较为科学

甲烷含量是计算资源量的关键性参数，它选取的是否合理，直接影响着计算结果的可信程度。我们对甲烷含量的取值，是基于对甲烷含量变化规律的深入研究（主要受控于煤变质程度和煤层埋藏深度）和煤的储集能力参数（孔隙度、吸附常数 a、b 值）实验之上的。并结合实际资料分析，以 1000m 深度为界，1000m 以浅采用实测的甲烷含量值，1000m 以深按煤变质阶段采用理论预测值，这就避免了以浅部甲烷含量的平均值来代替深部甲烷含量的不合理做法。

4.资源量计算方法先进

首次将蒙特卡洛法引入煤炭系统进行资源评价。以往甲烷资源评价工作中，都将煤层甲烷含量视作常量，因而资源量计算结果是点估计值。事实上，甲烷含量是一个随机变量，它满足一定的分布规律。蒙特卡洛模拟方法以甲烷含量的分布函数参加计算，给出不同置信度（概率）的甲烷资源量的大小。因而计算结果所提供的信息更为丰富。

5.4 主要远景区评价

本节将对我国煤层甲烷开发有利的含煤区或典型矿区进行评价。我们主要通过以下方面进行。

1.煤层发育富集程度

煤层集生气岩、储集岩和产气层三位一体，是甲烷富集的物质基础。因而煤层发育程度是甲烷资源评价的基础。

2.甲烷赋存条件

包括煤的变质程度（它控制着甲烷的生气量和煤层的储集性能）、煤层埋藏深度、围岩封闭能力、地质发展史及构造形态。这些是决定资源前景的重要因素。

3.资源状况

指资源量大小及级别，有量和质的含义。

4.矿井瓦斯及抽放利用状况

矿井瓦斯是煤层甲烷的气显示，在一定程度上可反映煤层甲烷的可抽性能及开发利用的效果。

5.经济与地理因素

5.4.1 三江-穆棱河含煤区

1.概况

三江-穆棱河含煤区位于黑龙江省东部，三江平原的牡丹江以东区域。东西长

200km，南北宽 250km、面积约 $5\times10^4km^2$．这里发育有晚侏罗-早白垩世和早第三纪两套含煤地层，其中晚侏罗-早白垩世煤系为本次评价对象．

该区的主体为三江-穆棱河聚煤盆地，另外，还包括西北侧的鹤岗煤盆地．三江-穆棱河盆地于晚侏罗-早白垩世发育了一套海陆交互相煤系，成煤古地理环境为滨海冲积平原．在密山-宝清一线以西地区，以陆相为主，仅下部夹有含双壳类化石的过渡相层，称鸡西群，含煤性好；向东到虎林、密山地区，海相层和过渡相层增多，含煤性变差，称龙爪沟群．在鸡西群发育的地方，分布着鸡西、双鸭山、勃利、集贤、双桦等煤田，为我国东北地区最重要的炼焦煤产地．鸡西群不整合于元古界片麻岩或海西期花岗岩系之上，龙爪沟群不整合于石炭二叠纪浅变质岩系之上，煤系之上不整合覆盖着下白垩统桦山组，为一套棕色、灰绿色玄武岩、安山岩夹砂、砾岩沉积．

2.煤层发育状况

鸡西群厚度一般 1300-1600m，自下而上分为滴道组、城子河组和穆棱组．滴道组为火山岩沉积岩互层夹薄煤层；城子河组和穆棱组为主要含煤层位，一般含煤 50 余层，在勃利煤田多达 100 余层；其中可采煤层 5-22 层，单层厚度多在 2m 以内，可采总厚度 2.04-76.58m．

岩相古地理和古构造分析表明，区内各煤田的含煤岩系沉积于一波状坳陷中．聚煤盆地总体沿 NNE 方向展布，总的古地理景观为近海冲积平原．但在短暂海泛时可形成泻湖、海湾．故其岩性总体较细，且延展稳定；仅在盆地西部沉积物变粗，接近边缘相，煤系厚度变小．煤层发育于三角平原及泻湖-海湾地带，因而区域上比较稳定．富煤带的方向与盆地的长轴和岩相带的方向基本一致，为 NNE 向（图 5-6）．以盆地西部的鸡西、勃利、双鸭山等煤田含煤性最好．向西由于靠近盆地边缘使煤层变薄尖灭；向东临近海域，含煤性亦变差．

西北侧的鹤岗盆地为一断陷型聚煤盆地，面积很小，仅 $750km^2$．含煤地层为石头庙子组和石河子组，总厚 1550m；其时代与鸡西群相当．成煤古地理类型为内陆山间湖盆型．共含煤 18-36 层，其中可采层 24 层，可采总厚度 103m，有巨厚煤层发育．

3.煤层甲烷赋存条件

(1) 以少生中储和多生低储为主的生、储类型

区内煤层变质程度总的来说较低，煤种虽然从长焰煤到无烟煤都有分布，但以中、低变质程度的气煤、焦煤为主，贫煤、无烟煤仅在勃利煤田有少量分布．从剖面上看，穆棱组煤层以气煤为主，城子河组煤层变质程度较高，以焦煤、瘦煤为主．这说明，本区煤层甲烷的生、储能力大多属于低-中等水平．

(2) 以断裂为主的构造特征

聚煤盆地在成煤以后，至早白垩世末，在区域上受南北向挤压的作用下发生构造变形．构造变动以断裂为主，褶皱次之．大致以勃利-兴凯为界，以北为勃利弧形构造体系，一系列压性和压扭性断层呈弧形展开，弧顶附近有大致呈放射状的横张断裂或扭性断裂与之相交；以南的鸡西煤田，区域性东西向构造比较发育，有一系列走向近东西的逆冲断层和宽缓褶皱（图 5—7）．由于断裂大都由南向北逆冲，并成叠瓦状，所以，含

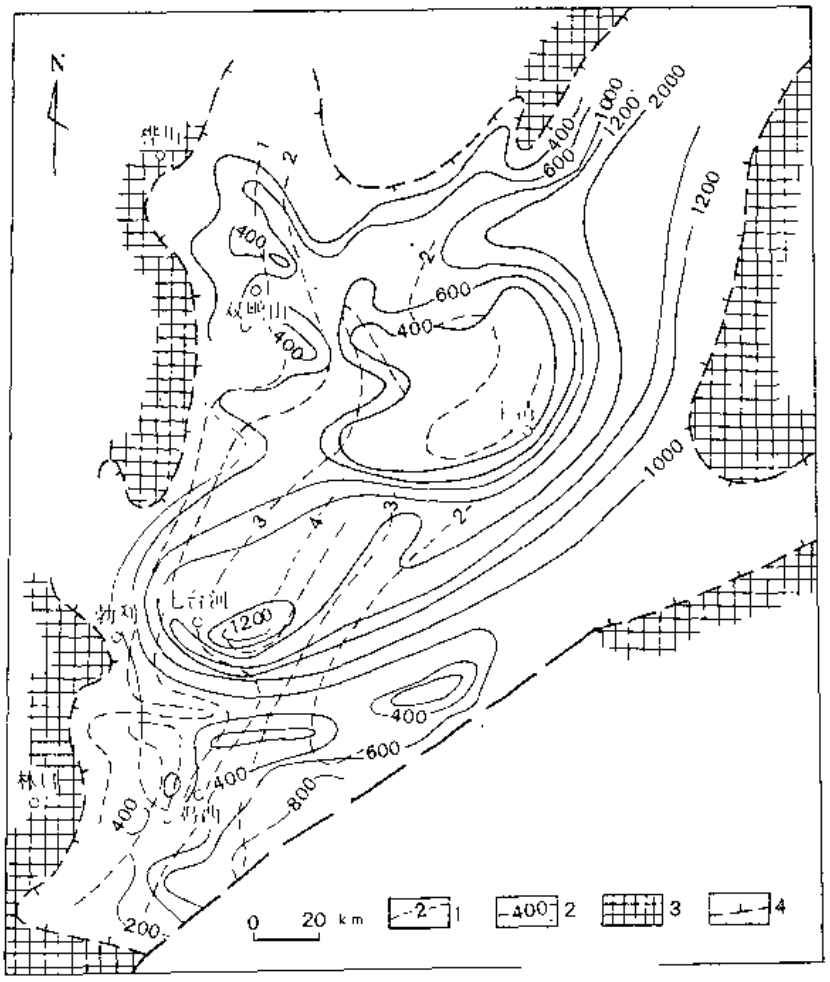


图 5-6 三江-穆棱河盆地晚侏罗世城子河组等厚线和含煤性图

(引自《中国煤田地质学》下册,1980)

1—煤层厚度级等值线(1—4 表示由薄→厚); 2—城子河组等厚线; 3—古陆; 4—城子河组沉积边界

煤地层皆保存于弧形逆冲断层的北侧，成为北翼宽缓，南翼窄陡的不对称向斜．在被断层切割的区块及大向斜的翼部，常发育一些小型短轴背向斜．

在南端的鸡西矿区，由于东西向麻山-平阳断层的逆冲作用，使矿区南部条带被抬升，煤系及上覆地层的剥蚀程度比北部条带强烈，煤层埋藏深度小于北部（图 5-8）．从而导致北部 6 对矿井的相对瓦斯涌出量较高，为 16.14m^3／t·d，南部的 6 对矿井较低，为 9.07m^3／t·d，即北部是南部的 1.69 倍（据鸡西矿务局资料，1984 年）．

(3) 煤层甲烷含量

我们在区内的鸡西煤田采集煤样进行吸附试验，其中 4 个样品为焦煤，2 个样品为肥煤，甲烷最大吸附容量（a 值）为 17.31-21.71cm^3／g·可燃物，平均 a 值为 18.94cm^3／g·可燃物，b 值为 0.0855；其吸附能力是低的．瓦斯风化带深度 120-150m (滴道矿)．实测瓦斯压力在 10-60kg／cm^2 之间变化，一般为 40-55kg／cm^2（测压深

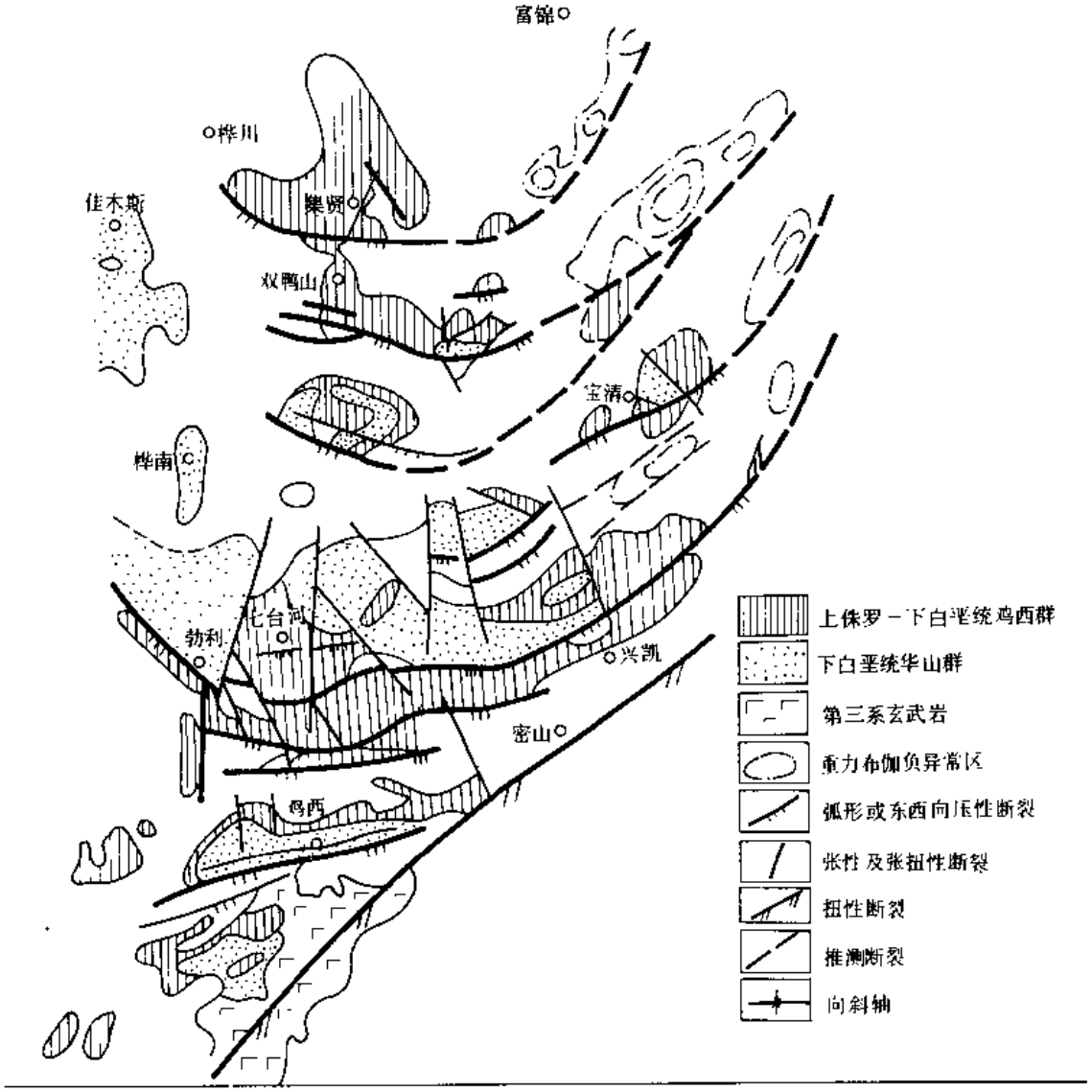


图 5-7　三江—穆棱河盆地构造体系与煤田分布示意图

(据《东北区煤田预测报告》补充、改编)

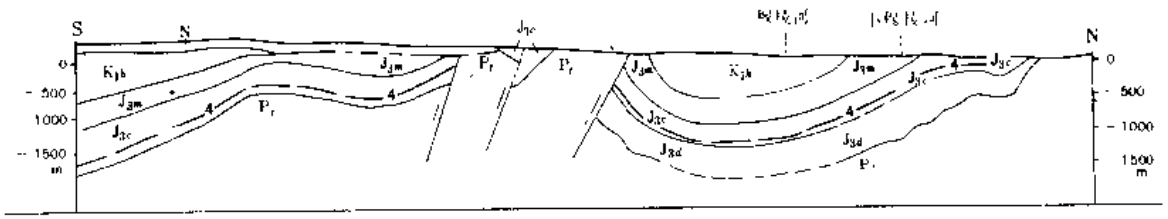


图 5-8　鸡西煤田地质剖面图

度在 548–740m 范围内，均为城子河组煤层），属正常压力值范围．以压力 50kg／cm^2，考虑煤中水分影响和游离气量，经计算，煤层甲烷含量为 13.512（吸附）+0.771（游离）＝14.283cm^3／g·可燃物。

另外，在鸡西矿区荣华井田，用钻孔煤心解吸法测定了甲烷含量，根据 63 个合格样品的测定资料，在采样深度为 110–965m 范围内，甲烷含量值在 2.2–9.02cm^3／g·可燃物之间变化，一般为 5–7cm^3／g·可燃物，明显低于上述计算值．其原因可能为：荣华井田煤层变质程度较低，V^{daf} 一般为 33–37%，少数 28–31%，即绝大部分属长焰煤、气煤，少数为肥煤，生气量少，故甲烷含量低．另外，直接法和间接法两种方法之间的差异也是存在的。

4.资源量预测

我们将本含煤区划分为 4 个块段，其甲烷资源量分为最大值、最小值和中值（分别指概率为 5%、95%和 50%的资源量，下同）列于表 5–2 中。

表 5–2　　三江––穆棱河含煤区煤层甲烷资源量表

项　　目	甲烷资源量　(10^8m^3)		
	最小值 (95%概率)	中值 (50%概率)	最大值 (5%概率)
预 测 储 量	305.09	611.78	1278.21
远 景 资 源 量	2826.86	3308.10	4155.97
煤层甲烷总资源量	3393.67	4010.89	4887.61

5.矿井瓦斯

在含煤区范围内，有鸡西、七台河、双鸭山、鹤岗 4 个统配矿务局进行煤炭生产，共计生产能力 3232×10^4t／y．其中高沼和突出矿井的生产能力 1672×10^4t／y，占总生产能力的一半多．这 4 个矿务局中，只有鸡西和鹤岗进行瓦斯抽放，共有瓦斯抽放站 5 个，抽放泵 9 台，年抽放量为 $500–812\times10^4m^3$．鸡西矿务局有 4 个抽放站，7 台抽放泵；其中滴道矿的抽放率为 14–17%，抽出的瓦斯曾用来制碳黑和烧锅炉，后因抽放量不稳定而停止利用．其余抽放矿井均全部排空。

虽然本区煤层多属低、中变质程度烟煤，煤层甲烷的生、储能力较低；加之断裂构造对煤层的破坏较为强烈，致使煤层中甲烷含量不高．但区内煤层系近海冲积平原环境中形成，分布广泛而稳定；煤层多，储量大．全区拥有煤层甲烷总资源量 $4010.89\times10^8m^3$，为甲烷的开发利用提供了雄厚的物质基础．考虑到本区为东北最重要的大型优质炼焦煤生产基地，尽量减少矿区自用煤，节约炼焦煤资源，具有明显的经济意义；加之区内已有一定的瓦斯抽放基础；因此，三江–穆棱河含煤区煤层甲烷开发利用前景是好的。

5.4.2 抚顺煤田

1.概况

抚顺煤田位于辽宁省抚顺市南郊，呈东西向展布，走向长 18km，南北宽约 2.5km，面积仅 36km^2. 面积虽小，但该煤田煤层甲烷的生、储、保条件十分优越，矿井瓦斯的研究和开发程度又是我国最高的地区；煤层透气性良好，瓦斯易于抽放. 目

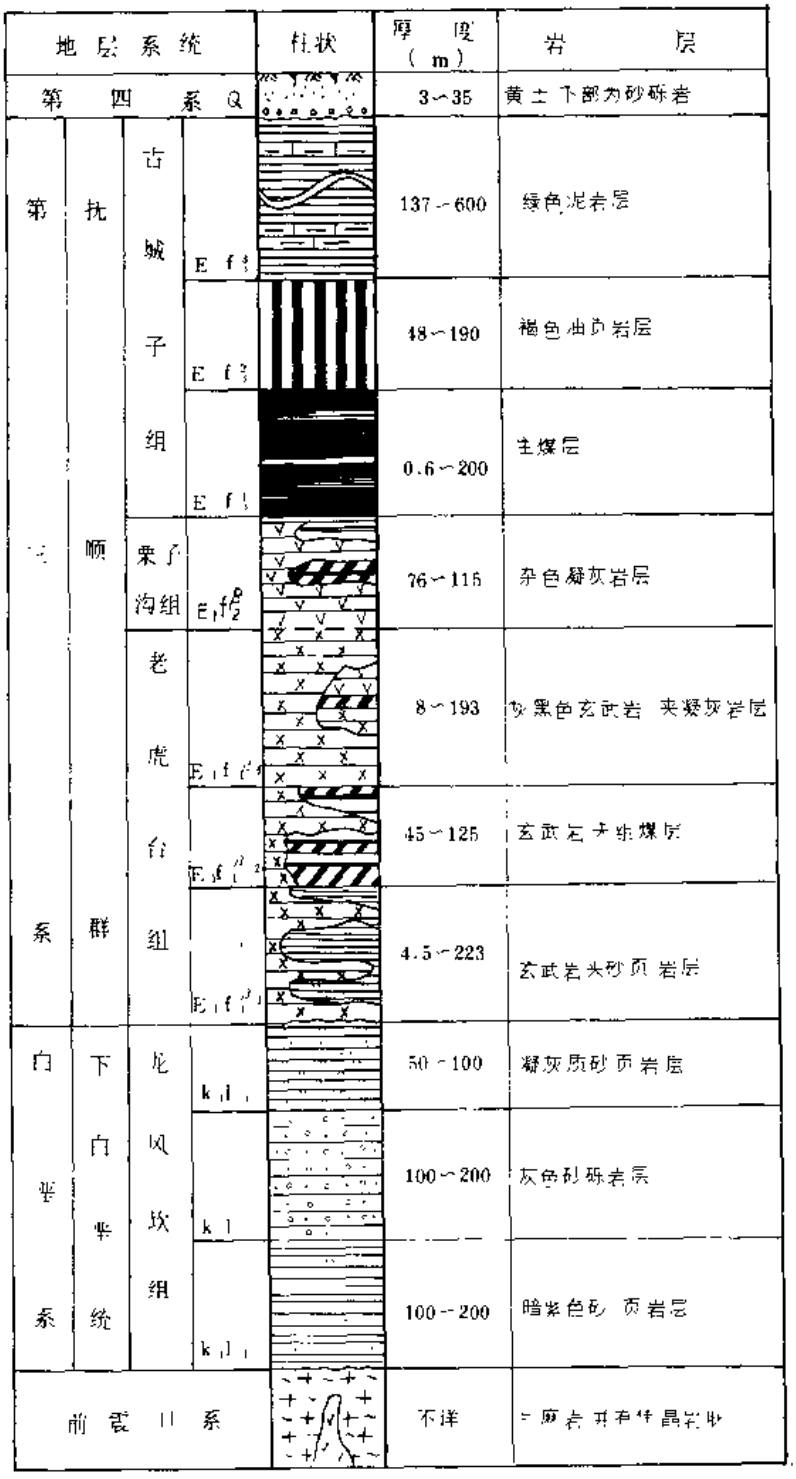


图 5-9 抚顺煤田地层综合柱状图

前，抚顺矿区每年从井下抽出瓦斯（甲烷）$1.08\times10^8m^3$，约占全国总抽放量的32%，位于全国之首．其中老虎台矿抽出量$144.5m^3/min$，为世界所罕见．因此，一向为人们所关注．

抚顺煤田的含煤地层为古新—始新统抚顺群．上覆第四系，下伏白垩系．煤系与上、下地层均为不整合接触；白垩系之下为构成盆地基底的前震旦系花岗片麻岩．抚顺群厚880–1050m，自下而上划分为老虎台、栗子沟和古城子三个组（图5–9）．

2.煤层发育特征

抚顺群含可采和局部可采煤层3层，即A组煤层，B组煤层和主煤层．A、B组煤层沉积于火山喷发间歇期，沉积环境不稳定，煤层变化大．以下主要讨论主煤层．

主煤层又称本煤层，它聚积于抚顺群沉积的中期，当时火山活动渐趋微弱，构造活动比较稳定，泥炭沼泽得以长时间维持，故堆积了巨厚的泥炭层．主煤层为由5–38个自然分层组成的复杂结构的巨厚煤层，全层最大厚度达134m，平均50 m，是煤田内甲烷储集的主要场所．它向东、向北变薄尖灭．富煤带方向与盆地长轴和地层等厚线方向一致，呈东西展布（图5–10）；在盆地西端及中段偏东处有两个富煤中心，煤厚分别在

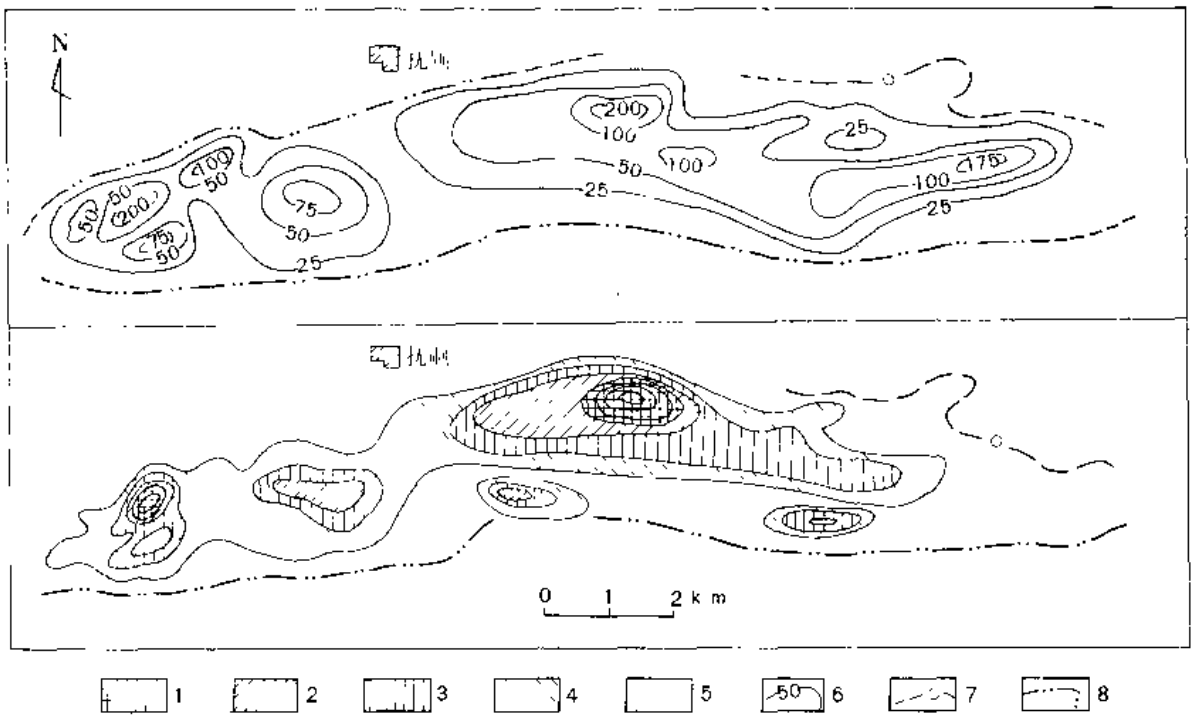


图5–10　抚顺煤田主含煤段和主煤层厚度变化图

（引自《中国煤田地质学》下册，1980）

1—煤厚大于80m；　2—60–80m；　3—40–60m；　4—20–40m；　5—煤厚小于20m；

6—主煤层含煤段等厚线；　7—煤层和含煤段沉积尖灭线；　8—煤层和含煤段剥蚀零线．

60m和80m以上．煤层的成带富集导致煤层甲烷资源量的高度集中．

3.煤层甲烷赋存条件

(1) 少生中储的生储类型

抚顺煤田形成时代为第三纪，因其位于郯庐断裂带附近，地温梯度高，为3.6-4.57℃／100m（杨起，韩德馨主编，1979），明显高于3℃／100m的平均值．因此，煤化作用程度较高，主煤层的镜质组最大反射率R^0_{max}为0.525-0.760%，达到了长焰煤、气煤阶段，从而具有一定的热解生气能力．从煤岩组成来看，在有机质中，镜质组的平均含量为90.37%；壳质组为6.09%，惰质组仅占3.53%．如此低的惰质组含量在我国中、新生代陆相煤层是十分少见的；极高的镜质组含量和较高的壳质组对低演化阶段烃气的生成是较为有利的．

长焰煤、气煤阶段煤的储集能力高于肥、焦煤阶段，而低于瘦煤、无烟煤阶段．两个样品实测吸附常数a为27.82-33.00，b为0.063-0.067，表明吸附能力是较高的，孔隙度为3.10-11.83%，平均5.61%（10个样平均值），这对煤而言也是较高的．从孔径分布来看，大于100Å的孔隙体积占67.0-79.6%，这样就十分有利于煤中甲烷的运移．据抚顺煤田实测的煤层透气性系数，变化于0.31-1.50m^2／atm·d之间，相当于渗透率为0.775-3.75mD．与国内其它煤田相比，抚顺煤田的渗透率要大1-3个数量级，是唯一渗透率大于1mD的煤田（见表5-3），甲烷可抽性极佳．

表5-3　　我国部分矿区煤层透气性系数

矿井名称	透气性系数 (m^2／atm·d)	渗透率 (mD)
抚顺龙凤矿	1.4-1.5	3.50-3.75
抚顺龙凤矿东部	0.504	1.25
抚顺老虎台矿	0.434	1.085
抚顺胜利矿	0.310-0.392	0.775-0.98
包头河滩沟矿	0.113-0.174	0.2825-0.4350
焦作朱村矿	0.036-0.0055	0.09-0.0138
鹤壁六矿	0.012-0.018	0.03-0.045
重庆中梁山矿	0.00897	0.0224
北票冠山矿	0.00086-0.0023	0.00215-0.00575
丰城建新矿	0.00075	0.00188
湖南红卫矿	0.000474	0.00119
天府磨心坡矿	0.000034-0.000038	0.000085-0.000095

综上所述，可知抚顺矿区本煤层甲烷生气能力较小，但储集性能优良，渗透性很好.

(2) 良好的盖层封闭条件

主煤层直接顶板为浅褐色油页岩，其岩性致密坚硬，虽具一定孔隙度(3.09-6.37%)，但水分含量高，平均含油率为5-6%，水和油充填了孔隙空间．所测得的排驱压力极高，均大于60kg／cm^2，因而在自然状态及无构造破坏的情况下，是天然气的良好盖层，仅次于膏盐层．在煤系中，特别是对煤层甲烷这种低压非常规天然气藏来说，油页岩具有最好的封闭性能．这层油页岩厚48-190m（图5-9)，在煤田范围内比主煤层分布更加广泛稳定，是极好的区域性盖层．在油页岩之上为厚137—600m的绿色泥岩层，以团块状泥岩为主，夹薄层砂岩，泥灰岩，属湖泊相沉积，亦属良好的封闭层.

另外，煤层底极为凝灰岩，分布较普遍稳定，孔隙度小，属非渗透岩石，对甲烷也起到封闭作用.

(3) 有利的构造保存条件

抚顺煤盆地的聚煤沉积结束于始新世末期或渐新世初期的构造运动．在近南北向挤压作用下，含煤地层形成了北翼被逆冲断层切割的不对称向斜构造．断层上盘煤系被剥蚀殆尽，仅存于断层下盘．煤系厚度分析表明，在煤系沉积期间，盆地已具向斜雏形，现今构造是在原向斜基础上经加强而形成的，即抚顺煤田为一北翼被破坏的同沉积向斜构造．在煤田内部发育一系列走向和斜交断层，其中落差大于30m的有27条，这些断层均为正断层，属张性或张扭性．从整体来看，向斜构造使煤层深埋地下，区内向斜轴部煤层最大埋深1300m；在上部油页岩和绿色泥岩层的封盖下，有利于甲烷的保存．除煤田边界处的逆断层落差较大，出露于第四系覆盖层下外，其余断层落差大多在100m以内，多止于绿色泥岩或油页岩层内，对甲烷的逸散作用不大；相反，断裂活动使煤的裂隙较为发育，这也许是本区煤层透气性良好的原因之一.

(4) 煤层甲烷含量

根据抚顺矿务局与煤炭科学研究总院抚顺分院所做的吸附试验和井下瓦斯压力实测结果，计算出老虎台矿－630m水平（埋深约660m）主煤层甲烷含量为9.11—24.53m^3／t，平均13.31m^3／t．其中吸附量平均12.09m^3／t，占总量的97%．游离量平均0.41m^3／t，占总量的3%．1978—1983年间，煤炭科学研究总院抚顺分院在龙凤井田用钻孔煤心解吸法测定主煤层甲烷含量共14个数据，变化于7.8-16.6m^3／t之间．按变化趋势来看，在埋深554-571m段，平均含量为9.64m^3／t，埋深591-621m段，平均含量为11.29m^3／t，埋深676-687m段，平均含量为8.00m^3／t；分布于埋深554-687m范围内的14个数据平均含量为9.85m^3／t．比计算结果偏低.

就解吸法测定的结果来看，抚顺煤田埋深660m附近的煤层甲烷含量(9.85m^3／t)，高于与其变质程度相近的鸡西荣华井田（在550-700m埋深范围内平均6m^3／t）和乌鲁木齐矿区（在埋深500m上下平均甲烷含量为5.86m^3／t)．究其原因，虽然与抚顺煤田的煤岩组成有利于在低演化阶段大量生气有关，而我们认为更重要的原

因是其甲烷的保存条件更为优越.

4.资源量计算

抚顺煤田的地质勘探工作早已结束，目前已进入中、后期开采阶段．煤田范围内全部为探明煤炭储量．截止 1985 年底，3 个井工开采的龙凤矿、老虎台矿、胜利矿的现采水平及其深部保有地质储量为 5.66×10^8t，即为我们计算煤层甲烷资源量的范围（图 5–11）.

多年来生产及科研部门对抚顺煤田煤层和岩层的物性、甲烷含量及分布规律进行了大量深入研究，区内甲烷赋存状况基本清楚；矿区内瓦斯抽放利用工作已有 30 年以上的历史，积累了丰富的经验，并获得了明显的经济、社会效益．故本次计算为煤层甲烷探明储量，也是唯一具探明储量的区块．计算结果见图 5–11 之附表.

5.矿井瓦斯

抚顺煤田的 3 个井工开采矿井全部为高沼和煤与瓦斯突出矿井．矿井绝对瓦斯涌出量为 26.4–187.0m^3／min，相对瓦斯涌出量 8.9–56.6m^3／t·d（包括风排量和抽出量）.

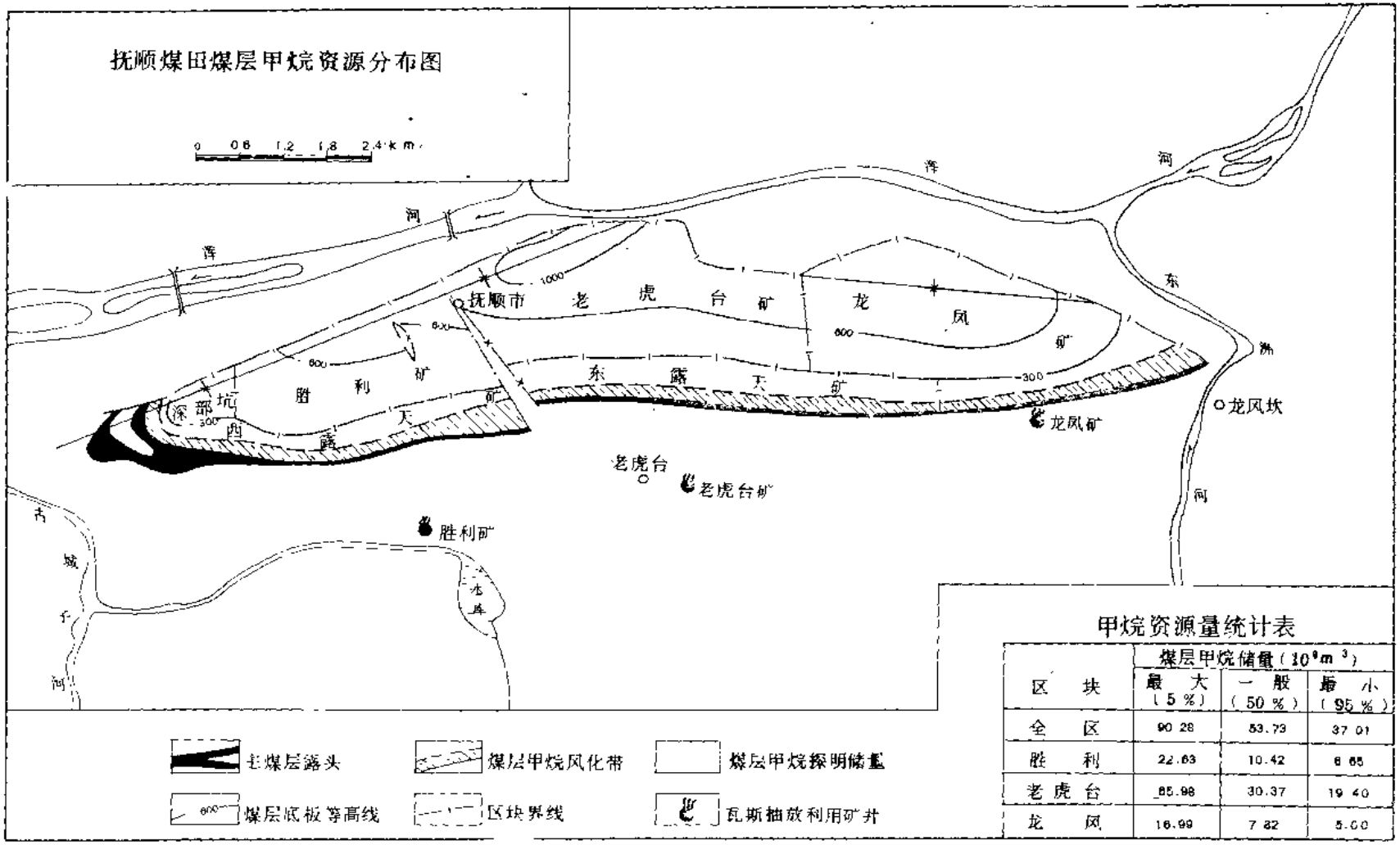
自 1952 年开始，各井工矿先后进行了瓦斯抽放利用工作，对保证矿井安全生产和利用煤层甲烷资源起到了重大作用．目前，矿区共建有 7 个抽放站、16 台抽放泵，年抽放量 $1.08\times10^8m^3$．抽出的瓦斯大部分供居民使用，少量用来生产甲醛和烧工业锅炉，利用率为 98–100%.

上述分析表明，抚顺煤田无疑是开发利用煤层甲烷的非常理想的地区．唯所憾者，煤田范围有限，煤层甲烷资源量不大，按目前的抽放工艺和抽放水平，保有煤层甲烷储量服务年限为 20 余年。象抚顺这种生、储、保相互配合良好的煤田或矿区，至今在我国其他地区尚未发现.

5.4.3 开平煤田

开平煤田位于河北省唐山市及丰南县、丰润县境内．煤田的主体构造为开平向斜，呈北东向延展，走向长约 50km，宽 12km，面积约 600km^2．它在向斜东北端抬升封闭，西南端开口呈半封闭性的构造盆地．现有生产矿井 8 对，是我国重要的炼焦煤生产基地之一．开平煤田的含煤地层为石炭二叠纪，共含煤 21 层，煤层总厚度达 30m．煤种为气、肥煤，深部为焦煤，煤层甲烷生储类型属少生中储和多生低储型．丰富的煤炭资源和有利的生储类型，为煤层甲烷的赋存和开发提供了雄厚的物质基础．实测煤层甲烷含量变化于 1.3–19.05m^3／t，平均 8.40m^3／t．煤田内埋深 1500m 以浅的煤层甲烷资源量 $722\times10^8m^3$.

开平煤田内煤层多而稳定，煤层甲烷资源量丰富，甲烷可抽性能较好，又兼位于经济发达的京津唐三角地带；因而大规模开发本区的煤层甲烷资源具有十分重要的意义．煤田内现有 3 对高沼及煤与瓦斯突出矿井，均建立了矿井瓦斯抽放站，共有抽放站 6 个，抽放泵 14 台，年抽放量 $800\times10^4m^3$（1989 年），供 8000 户居民使用．地矿部华北石油地质局曾在开平向斜西北翼钻了两口试验井（唐 4、唐 5），进行从地面开采煤层甲烷的勘探测试，此项试验虽因种种原因而没有取得满意结果，但已做的工作仍十分有意



甲烷资源量统计表

区块	煤层甲烷储量（$10^9 m^3$）		
	最大（5%）	一般（50%）	最小（95%）
全区	90.28	53.79	37.01
胜利	22.63	10.42	6.65
老虎台	85.98	30.37	19.40
龙凤	16.99	7.82	5.00

图5—11 抚顺煤田煤层甲烷资源分布图

义。目前能源部正在积极论证，准备引进美国有关技术，在本区进行开发煤层甲烷的试点。这里可望成为我国从地面开采煤甲烷资源的突破点，人们对此正翘首以待。

5.4.4 鄂尔多斯盆东含煤区

盆东含煤区位于黄河两岸，地跨陕、晋、内蒙古三省（区）。自南而北包括渭北、河东、吴（堡）府（古）、准格尔等4大煤田，含煤地层均为石炭二叠纪煤系，其沉积特征与整个华北地区基本相似。近年来在这个地区发现许多煤成气显示井，其中吴堡地区有6口井产甲烷气（甲烷含量70–90%），产气层属石盒子组和太原组的不同层位砂岩，或可能直接产自煤层（即属煤层甲烷）①。因而引起人们的关注。

含煤区的构造位置属于鄂尔多斯盆地南缘及东缘的渭北挠褶带和晋西挠褶带，以及伊盟断隆带东段（准格尔煤田）的范围；除渭北、河东、吴堡煤田的东南及东部边缘地带断裂比较发育，地层倾角较陡外，其余部分构造简单，地层平缓。煤阶从长焰煤到无烟煤皆有，从北到南，逐渐由低变高；西南段的渭北煤田，煤阶为瘦煤至无烟煤，且从浅部（东南侧）到深部（西北侧）煤变质表现出明显的水平分带。从煤层甲烷的赋存条件来看，河东煤田及渭北煤田较好；尤其是渭北煤田的韩城矿区，煤田开发程度高，矿井瓦斯大，又毗邻经济发达的关中平原，因而煤层甲烷资源的开发前景良好。

5.4.5 晋中南含煤区

晋中南含煤区包括西山、霍西、沁水三个煤田，南北长约290km，东西宽约150km，含煤总面积$4.2\times10^4km^2$，是我国著名的重要煤炭生产基地。含煤地层为石炭二叠纪煤系，主要含煤层位为太原组和山西组，煤层数目多而稳定。含煤区内煤阶从气煤到无烟煤都有，但以高变质的烟煤为主，是无烟煤储量最多、分布面积最大的含煤区。自西向东变质程度逐渐增高。煤层甲烷生储类型在西山煤田和霍西煤田属多生低储型，沁水煤田为多生高储类型，对煤层甲烷的赋存是有利的。煤层中甲烷含量高，矿井瓦斯涌出量大，其中阳泉、晋城、西山是有名的高沼矿区。

本区煤炭储量丰富，煤层甲烷资源量巨大。目前在阳泉、西山均已开展矿井瓦斯抽放和利用工作，但沁水煤田的煤变质程度高，均达无烟煤阶段，特别是晋城一带已达无烟煤二号。根据美国的经验，从目前的技术条件这对地面开采煤层甲烷资源是不利的。

5.4.6 豫西含煤区

豫西含煤区主要分布于河南省境内黄河以南，京广铁路以东，风凌渡–漯河以北的三角形地区。除西北角的义马矿区发育有中、下侏罗统的煤层外，其余皆为石炭二叠纪煤系。石炭二叠纪的主要含煤层位为山西组和上石盒子组，太原组和下石盒子组含煤较少；共计含煤13–40层，可采总厚度12–18m。区内东西向褶皱和断裂发育，向斜部位煤系保存良好，而分布较密的正断层和逆断层形成许多地垒、地堑和阶梯状构造，破坏了含煤地层的完整性。煤变质程度表现出北高南低的趋势。新郑–伊川以北为贫煤、无烟煤，属多生高储类型；禹县、许昌一带为瘦煤；汝阳、平顶山一带为气煤–焦煤，属

---

①地质矿产部石油地质研究所等，1985，中国煤成气赋存条件及资源评价。

少生中储和多生低储类型，对煤层甲烷的赋存和开采十分有利．区内的平顶山、新密、义马矿区均有高沼和煤与瓦斯突出矿井，并开展矿井瓦斯抽放工作．

本区煤层层数多，厚度大；煤变质程度较高，煤层甲烷含量高，资源丰富，开发前景良好．尤其是南部的平顶山矿区，是我国中南地区最主要的炼焦煤生产基地，煤田开发程度较高．有可采和局部可采煤层 10 层，可采总厚度 18m 左右，煤阶为气煤和肥煤，煤层甲烷含量较高，可抽性能好．矿区的总体构造为一复式向斜，次级背斜及高角度正断层比较发育，这种构造特征既有利于煤层甲烷的保存，又可局部改善煤层的透气性能．因此，平顶山矿区是开采煤层甲烷资源的有利地区．

5.4.7 徐淮含煤区

徐淮含煤区地跨皖北、苏北、豫东南和鲁南，但主体为江苏的徐州煤田和安徽的淮北煤田．含煤地层为石炭二叠纪煤系，可采煤层产于下石盒子组和山西组，太原组只含少数局部可采煤层．共计含煤 13–16 层，其中可采和局部可采 3–14 层，可采煤层总厚 3–31m．煤层分布比较稳定．区内构造比较复杂，在徐州–宿县一带，由背、向斜相间排列的复式褶曲及一系列纵向断裂组成；向斜相对宽缓，断层比较密集，多成组出现．区内岩浆岩对煤层破坏比较严重，多呈岩床和岩脉状贯入煤系和煤层中，往往破坏煤层结构和煤层的稳定性，使煤层变质程度增高，并出现天然焦．本区煤阶从气煤到无烟煤均有，北部徐州一带主要为气、肥煤，中部的永城–淮北一带主要为瘦–无烟煤，南部的涡阳–宿县一带以焦煤和肥煤为主．煤层甲烷生储类型绝大部分为多生低储和多生高储型，对甲烷的赋存是有利的．

本区煤层发育状况好，煤层甲烷资源量大，这为甲烷资源的开发提供了雄厚的物质基础．在选区时要十分注意岩浆岩对煤层的吞蚀破坏和断层对煤层的切割，其次是煤的生储能力类型；综合考虑，以南部的临涣、宿县区的条件比较优越．

5.4.8 淮南含煤区

淮南含煤区位于安徽省淮北平原南部，淮河中游两岸；东西延展达 180km，南北宽约 20km，面积约 3600km^2．是华东地区重要的煤炭基地．含煤地层为二叠纪的山西组、下石盒子组和上石盒子组；煤层总数 25–42 层，其中可采煤层 9–18 层，可采厚度累计 20–36m．淮南煤田为一北西向的对冲构造盆地，南北两翼发育一系列逆冲断层；盆地内由一系列宽缓的背、向斜组成一个复向斜构造；在复向斜内，发育走向逆冲、逆掩断层和 NNE 向横切正断层，对煤层破坏较大．区内岩浆岩不发育，仅在上窑、潘集等地对煤层有局部吞蚀．煤阶多为气煤，深部可达焦煤阶段；甲烷生储能力类型属少生中储型，虽生气量不多，但储气性能好，这对甲烷的开采十分有利．实测煤层甲烷含量为 3–16.5m^3／t，一般 7–12m^3／t，主要受埋藏深度和构造条件的控制．区内高沼和煤与瓦斯突出矿井多，矿井瓦斯抽放利用工作已有 20 多年的历史．

淮南含煤区煤层层数多而稳定，单层厚度较大，煤炭储量本富；煤层中蕴藏的甲烷资源量十分巨大，仅埋深 1000m 以浅范围内即多达 2×10^{11}m^3；甲烷可抽性能良好，实测煤层透气性系数是淮北、天府、阳泉等矿区的 10–100 倍．同时，本区地处我国东部工业发达地带的腹部．因此淮南含煤区是开发煤层甲烷资源十分理想的地区．

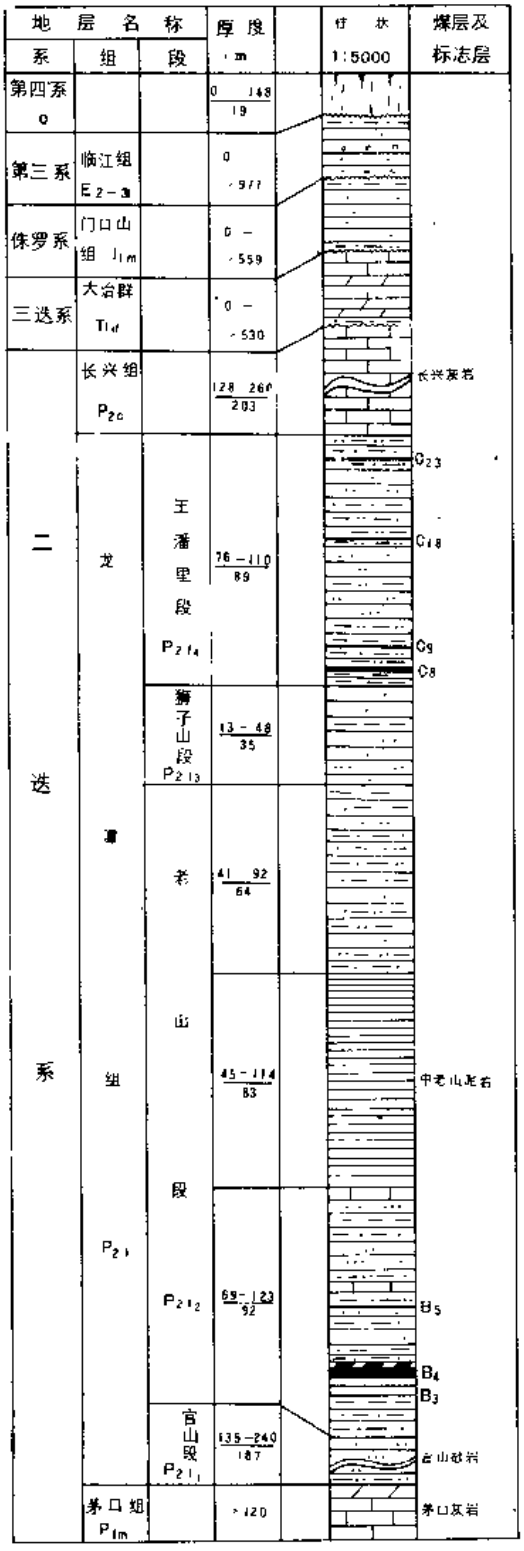


图 5-12 江西丰城矿区地层综合柱状图

5.4.9 萍乐含煤区

1.概况

萍乐含煤区主体为江西萍（乡）乐（平）坳陷带，另外包括湖南的醴陵-浏阳地区．这一坳陷带的西端呈NNE向，由萍乡到宜春段为NE45°，宜春新余间向南偏转为NE80°，再往东新余至乐平间又转折为NE45°，总体略呈反"S"形展布．从地质力学的观点分析，这是新华夏系、东西向构造以及华夏系构造复合叠加的结果．

这一地带以煤种多样，煤炭储量较丰富为特点，是我国江南地区重要的煤炭生产基地之一．特别是中部的丰城矿区，地质构造十分简单，为一宽缓的不对称向斜，断层稀少，是我国南方少有的构造简单类型煤田．

2.煤层发育特征

萍乐含煤区共有4套煤系，即早石炭世测水组（梓山组）、晚二叠世龙潭组、晚三叠世安源组及早侏罗世门口山组．其中以龙潭组和安源组含煤性较好，有较大面积的连续分布，是本次评价的对象．

龙潭组在整个含煤区内均有分布，地层厚度一般在500m左右．在丰城矿区（图5-12）龙潭组可划分为4个岩性段，其中3个为含煤段．即官山段，含煤1-2层，俗称"A煤组"，基本不可采，无工业价值；老山段，含煤2-7层，其中可采和局部可采2-4层，俗称"B煤组"，为主要含煤层段；王潘里段，在赣中、南地区含煤0-15层，可采和局部可采1-3层，俗称"C煤组"；王潘里段在赣中地区（高安—万载一带）变为浅海相硅质灰岩，不含煤层．各可采煤层单层厚度不大，一般1-2m；以B煤组的B_4煤层发育最好，0-4.14m，平均2.0m，大范围内稳定，其富煤带分布于乐平、丰城、分宜一带．

安源组分布比较零散，仅在余干县、丰城的攸洛地区和萍乡矿区内有较大面积的连片分布，厚度600-1000m，具有东薄西厚的总趋势．在萍乡矿区，安源组自上而下划分为紫家冲段、三家冲段、三丘田段．其中紫家冲段和三丘田段为含煤段，共含煤5-21层，可采和局部可采3-5层，可采总厚度为5.9-31.74m．煤层以层数多，总厚度大而单层厚度一般较小，

结构复杂，稳定性差为特征。

3.煤层甲烷赋存条件

(1) 煤的变质程度

区内龙潭组的煤种齐全，从气煤到无烟煤一号皆有分布。煤变质程度的总趋势是东北部低而西南部高（图 5-13）。萍乐含煤区安源组煤层变质程度受火成岩影响很大，在未受燕山期火成岩影响的地方为肥煤-贫煤；在火成岩以岩床、岩脉等形式侵入的地区，煤种以无烟煤为主，局部变为天然焦。

(2) 不整合面及构造形态的影响

本区含煤地层（龙潭组、安源组）形成后，受印支、燕山和喜马拉雅运动的影响，不仅使地层发生了强烈的变形，而且还形成了几个不整合面。印支运动表现为不均衡的抬升，致使下侏罗统不整合于三叠系及二叠系之上，但仍与其下地层大致呈协调褶皱，形成了构造叠合面貌（图 5-14）。

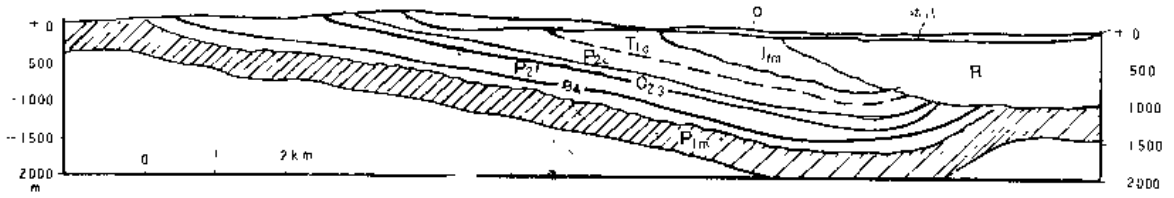


图 5-14 丰城矿区横向地质剖面图

燕山运动对本区有明显的改造作用，地层发生褶皱和抬升剥蚀，并使白垩纪地层不整合于下侏罗统和上三叠统安源组之上（图 5-15）。继燕山运动的强烈抬升剥蚀之后，

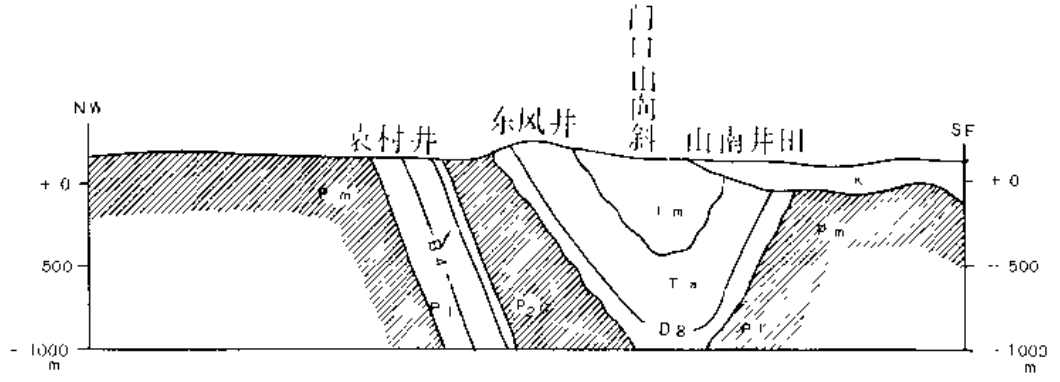


图 5-15 新余门口山向斜构造剖面图

喜马拉雅运动早期，地壳又复沉降而形成了第三纪盆地，其红色碎屑岩巨厚沉积不整合覆盖于不同时代的老地层之上（见图 5-14）。不整合的存在对煤层甲烷的赋存有很大影响，尤其是白垩系底界的不整合面使安源组煤层中的甲烷及第三系底界的不整合面使龙潭组煤层中的甲烷大量逸散，分别形成古煤层甲烷风化带。

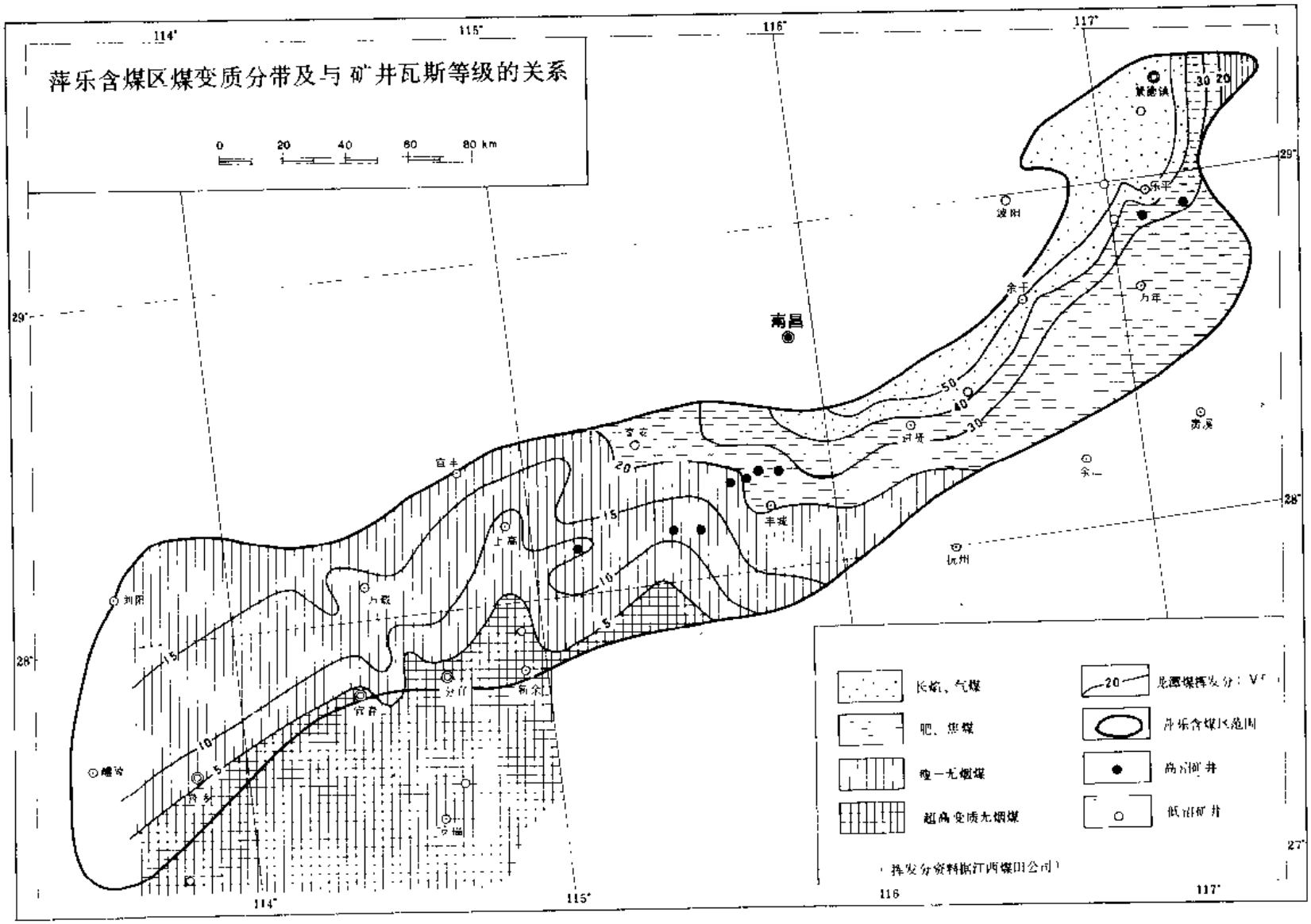


图 5-13　萍乐含煤区煤变质分带及与矿井瓦斯等级的关系

萍乐含煤区的地质构造十分复杂。其主要构造形迹是一系列与前述反"S"形相一致的近于平行的复式褶皱、逆冲断层及辉绿岩脉条带和与之直交的 NW-NWW 向张断裂。这些构造形迹对本区煤层甲烷的影响也是千姿百态的。综合江西省瓦斯地质编图组的资料和我们所收集的资料，其主要表现在以下方面：

①帚状构造的收敛部位有利于甲烷保存和局部富集：萍乡青山帚状构造由一系列的压扭性断裂和褶曲轴组成，在萍乡青山、巨源一带收敛，向南撒开。位于收敛处的青山和巨源矿均为高沼突出矿井。

②弧形构造前弧的凹侧部位有利于甲烷保存：丰城矿区为一总体呈近东西展布的弧形向斜构造。该向斜东段坪湖矿和建新矿地层走向为 NE 向；中部的八一矿地层走向近于 EW 向，位于弧顶的内侧；由此向西地层走向变为 NW 向；总体上组成一个弧顶向南突出的弧形构造。位于前弧凹侧部位的八一矿和尚庄一矿的瓦斯涌出量较大，透气性很差（瓦斯抽放困难，抽出率低），煤与瓦斯突出强度较大，与东翼的坪湖矿和建新矿形成明显对照（见表 5-4）。在高安矿区的新华、八景矿亦有类似情况。

表 5-4　　弧形构造不同部位的矿井瓦斯特征

构造部位	矿井	相对瓦斯涌出量 ($m^3/t \cdot d$)	累计突出煤量 (t)	矿井瓦斯抽放率 (%)
东翼	坪湖矿	27.55	148.6	17.55-34.80
	建新矿	24.64	231.0	9.71-12.65
前弧凹侧	八一矿	26.36	252.0	5.32-10.92
	尚庄一矿	42.16	200.0	0.9-1.85

③逆掩断层的下盘甲烷易于保存：在高安至分宜一线有一系列的不对称的直立或倒转紧闭褶曲及低角度逆掩断层。这种断层结构面本身为封闭性，再加之由于逆冲作用将透气性差的岩层推复到煤层之上，使煤中的甲烷得以良好的保存（图 5-16）。如新余皇

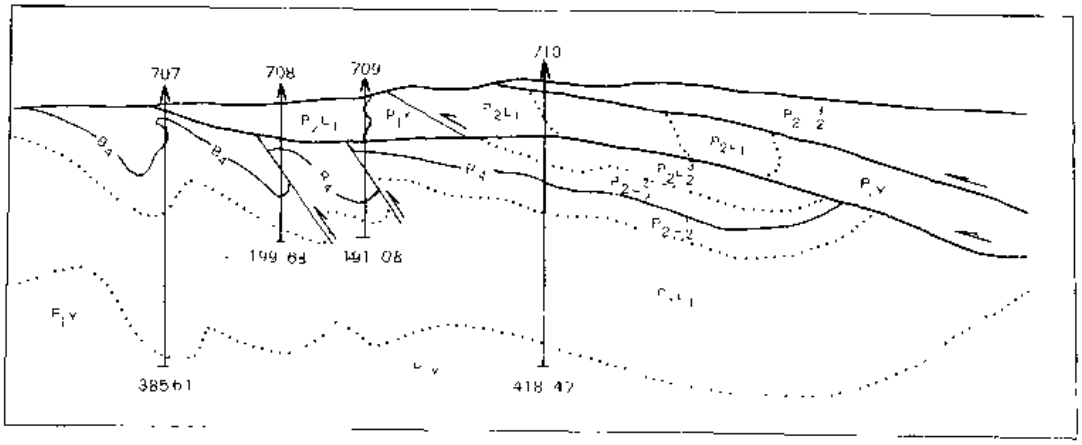


图 5-16　江西新余皇化井田地质构造剖面　　(据江西省煤田地勘公司)

化一带乌井矿为低沼矿，相对瓦斯涌出量为 9.09m^3／t·d；而位于逆掩断层下盘的下陂井田煤田勘探钻孔在 137m 处采样测得甲烷含量为 13.51m^3／t，是相当高的.

④多字型构造分布区不利于甲烷保存：'乐平、进贤间发育有一系列 NE 向褶曲及与褶曲走向平行的压性断裂，同时又发育了一组与之近于垂直，走向呈 NW 向的张性断裂，在平面上构成一多字型构造．由于各种断裂特别是张性断裂的发育，一方面使地应力得以释放，另一方面又使煤层中的甲烷沿张性断裂大量逸散．再加上煤变质程度的因素，从面在该区域内形成了特征明显的乐平—进贤间低瓦斯区（见图 5-13）.

(3) 盖层条件

区内龙潭组为海陆交互相含煤岩系，"B 煤组"之上的中老山亚段，由沉积于泻湖-海湾环境的泥质岩组成，平均厚度 82.79m（见图 5-12），岩性细腻致密，透气性极差，区域上发育分布稳定，是煤层甲烷良好的区域性盖层．相比之下，"C 煤组"之上为长兴石灰岩，因岩溶、裂隙发育，地下水活动强烈，对气体的封闭能力很差，所以"C 煤组"的甲烷含量大大低于"B 煤组".

安源组亦属海陆交互相煤系，剖面中砂岩、砾岩等粗碎屑岩比例较高．其中三家冲段海湾相沉积，由钙质粉砂岩和泥岩组成，夹薄层砂岩,一般厚度 60—250m．对其下的紫家冲段煤层而言可做为区域性盖层．三丘田段之上不整合覆盖着下侏罗统门口山组砂、砾岩层，不利于甲烷保存．总之，安源组沉积变化较大，岩层稳定性较差，加之岩性较粗，其顶部为不整合面，故其封盖条件不及龙潭组煤层.

(4) 煤层甲烷含量

由于本区煤种多样，构造复杂，盖层条件差异悬殊，致使煤层甲烷含量变化很大．根据钻孔解吸法资料分析总的趋势是：①安源组煤层甲烷含量较低，一般为 8-11cm^3／g·可燃物（萍乡青山矿 783 钻孔）；龙潭组较高，一般为 10-15cm^3／g·可燃物，最高达 35.67cm^3／g·可燃物（花鼓山矿区袁村井田 503 钻孔）；②在龙潭组内部，"B 煤组"甲烷含量明显高于"C 组"；例如：丰城矿区，"C 煤组"煤层甲烷含量一般 0.02-1.00cm^3／g·可燃物，平均仅 0.38cm^3／g·可燃物，而"B 煤组"一般 1.59-25.30cm^3／g·可燃物，平均达 10cm^3／g·可燃物；③随着煤的变质程度增高，甲烷含量发生有规律的变化；在肥、焦煤至无烟煤 3 号之间，随着煤的变质程度增高，甲烷含量由 5.02-6.20cm^3／g·可燃物（丰城曲江井田，焦煤）变大到 9.31-12.42cm^3／g·可燃物（高安矿区太阳井田，贫煤），最高达 32.22-35.67cm^3／g·可燃物（花鼓山矿区袁村井田，无烟煤三号）．从无烟煤二号至更高变质阶段，甲烷含量又急剧下降，例如：安福县枫田井田无烟煤一号（V^r = 3.16%）甲烷含量仅 3.53cm^3／g·可燃物（据王涛通讯资料，1989 年）.

4.资源量预测

本次对含煤区内的安源组和龙潭组分别计算了煤层甲烷资源量，共划分为 6 个块段（安源组和龙潭组各 3 个）计算，结果见表 5-5

5.矿井瓦斯

萍乐含煤区内煤田勘探和开发程度较高．江西省的所有统配矿务局（萍乡矿务局、丰城矿务局，英岗岭矿务局）和绝大部分重点省属煤矿（如乐平矿区、花鼓山矿区等）

表 5-5　　萍乐含煤区煤层甲烷资源量预测表

项　目	甲烷资源量　(10^8m^3)		
	最小值 (95%概率)	中值 (50%概率)	最大值 (5%概率)
预测储量	41.92	109.05	262.12
远景资源量	219.61	305.22	481.18
煤层甲烷总资源量	301.81	343.64	664.25

均分布在该含煤区内，共有省属以上矿井 35 对，生产能力 $808\times10^4t/y$．其中 20 对属高沼矿井，大部分集中在丰城、英岗岭矿区．矿井瓦斯涌出量具有明显区域性：萍乡矿区西部，分宜-丰城地区，乐平矿区东端涌山桥一带这三个区间为高沼矿井集中分布的地区；进贤-余干一带均为低沼矿井．在一个地区内也有明显差异，例如：分宜-丰城地区，其西部的胜利、新华、英岗岭矿瓦斯涌出量大，瓦斯突出频繁、强度大；而东部的八景、尚庄一矿、建新、坪湖等瓦斯涌出量较低，瓦斯突出次数少，强度小．

目前区内的 3 个统配矿务局和 1 个省属矿区（乐平矿区）开展瓦斯抽放工作，集中了江西省内所有抽放设施．共有瓦斯抽放站 8 个，抽放泵 27 台．年抽放量（1984 年）$675.8\times10^4m^3$（纯甲烷），其中以丰城矿务局抽放情况最好，抽出量最大，为 $555\times10^4m^3/y$，约占江西省抽放总量的 80%；英岗岭矿务局由于煤层可抽性极差，年抽放量仅 $0.45\text{-}0.5\times10^4m^3$，基本处于停顿状态．这些抽放矿井中，只有丰城矿务局的坪湖矿、建新和乐平矿区的涌山矿这三个抽放站开展了瓦斯利用．丰城矿务局的用户目前已达 5700 户，年供气量 $498.6\times10^4m^3$；涌山矿用户 120 户，年供气量 $18.2\times10^4m^3$．其余抽放站抽出的甲烷全部排空．

上述分析表明，本区煤层甲烷资源量较丰富，具有一定前景．但甲烷资源分布很不均衡，区域性差异很大，且煤层甲烷的赋存及可抽性受地质构造条件的明显制约．因此，应选择有利地段开展工作，其中萍乡矿区西部的安源组，杨桥矿区的龙潭组，丰城矿区东段的龙潭组“B 煤组”，乐平矿区东端的安源组都是比较有利的区段．尤以丰城矿区东段煤炭储量丰富，地质构造十分简单，瓦斯抽放利用效果明显，是江南地区近期开展甲烷资源开发试点工作的最理想选区．

5.4.10　重庆地区

1.概况

重庆为西南工业重镇，地处长江、嘉陵江汇合处，成渝、襄渝、川黔三大铁路干线亦在这里交会，水、陆交通均十分便利．因此，重庆便成为西南的经济中心和交通枢纽，对能源的需求是十分巨大的．天府、中梁山、南桐、松藻 4 个统配矿务局分布在四川重庆市的南北，行政区划均属重庆市管辖．

本区的煤炭产量约占四川全省总产量的一半．主要生产炼焦用煤，是省内重要的炼焦煤生产基地之一，直接关系着重庆钢铁公司的钢铁生产；同时也生产无烟煤．这里是

全国有名的高沼矿井和煤与瓦斯突出矿井集中的地带。4个矿务局的各矿井都属高沼突出矿井．我国最大的一次瓦斯突出（突出强度为12780t）就发生在天府矿务局三汇一矿。多年来生产、科研、教学单位在这个地区开展了大量研究和试验工作，积累了丰富资料。

区内的煤系主要为晚二叠世龙潭组，前述4个统配矿务局均开采龙潭组煤层．其次为晚三叠世须家河组，但它分布较零散，储量小，目前仅有地方小煤矿进行开采（图5-17）．除4个矿务局外，区内还有许多小煤矿开采龙潭组煤层，但或因煤系分布零散，或因矿井规模小，煤层甲烷的资源意义不大．因此，我们在这里只评价4个统配矿务局范围内龙潭组的煤层甲烷资源。

2.龙潭组煤层发育状况

本区龙潭组为海陆交互相煤系，剖面中海相层占相当比重．煤系厚87-183m，一般100-150m左右，由铝土岩、石灰岩、泥岩、砂岩及煤层组成．含煤5-15层，可采及局部可采者2-9层，可采煤层均位于煤系剖面的下部和中部。

在中梁山、天府及更北地区，由南向北龙潭组可采层数逐渐减少，由南部的9层减少到北部的1层，相应可采煤层总厚度由9.51m减少到1-2m。其中的大连子煤层（又称K_2煤层）最为稳定，可采范围南北长度可达150Km．

位于重庆市东南的南桐煤田，由南部松藻向东北方向到南桐、南川及涪陵一带，可采层数分别为4-6层，2-3层和1层，相应可采总厚度分别为3.87-7.77m，3.8-4.7m和0.5-2m，呈现出南厚北薄的有规律变化。其中位于煤系底部的楼板洞煤层（又称K_1煤层）沿走向可采长度达100km，亦表现出相当大的稳定性。

3.煤层甲烷赋存条件

(1) 以多生高储为主的生、储类型

区内煤的变质程度较高，出现的最低煤阶为肥煤，但分布范围及储量均有限（仅在南桐矿务局的红岩矿和砚石台矿有分布），绝大部分在焦煤以上，均达到大量生气阶段．在松藻矿务局全部为无烟煤三号（V^r为8-9.8%），其余3个矿务局均以焦煤、瘦煤为主，其次为贫煤，仅在南桐矿务局有少量肥煤．这对煤层甲烷的大量生成和储集都是十分有利的．由于煤变质程度较高，煤的孔隙度低，透气性差（参见表5-3），是其不利之处。

(2) 良好的保存条件

龙潭煤系是在海进序列中形成的，煤系内部厚层泻湖-海湾相泥岩和浅海相碳酸盐岩很发育，且普遍稳定；同时灰岩中一般硅质及泥质较多，坚硬呈块状，岩溶不发育．因此，泥岩和灰岩是龙潭组煤层甲烷的良好盖层。煤系之上覆盖晚二叠世长兴至晚侏罗世篷莱镇组的巨厚地层，累计地层厚度4700m（川南地区），其中除中三叠统雷口坡组与上三叠统须家河组之间有一短暂的沉积间断外，其余均为整合接触．这表明煤系沉积之后一直到白垩纪之前，地壳基本上处于不断下降并接受沉积的状态，直至燕山运动才使本区发生抬升和褶皱变形．另外，煤系之上除直接覆盖有60m左右的长兴石灰岩外，再上为厚310m左右的飞仙关页岩，区域上非常稳定，是天然气的良好盖层．显

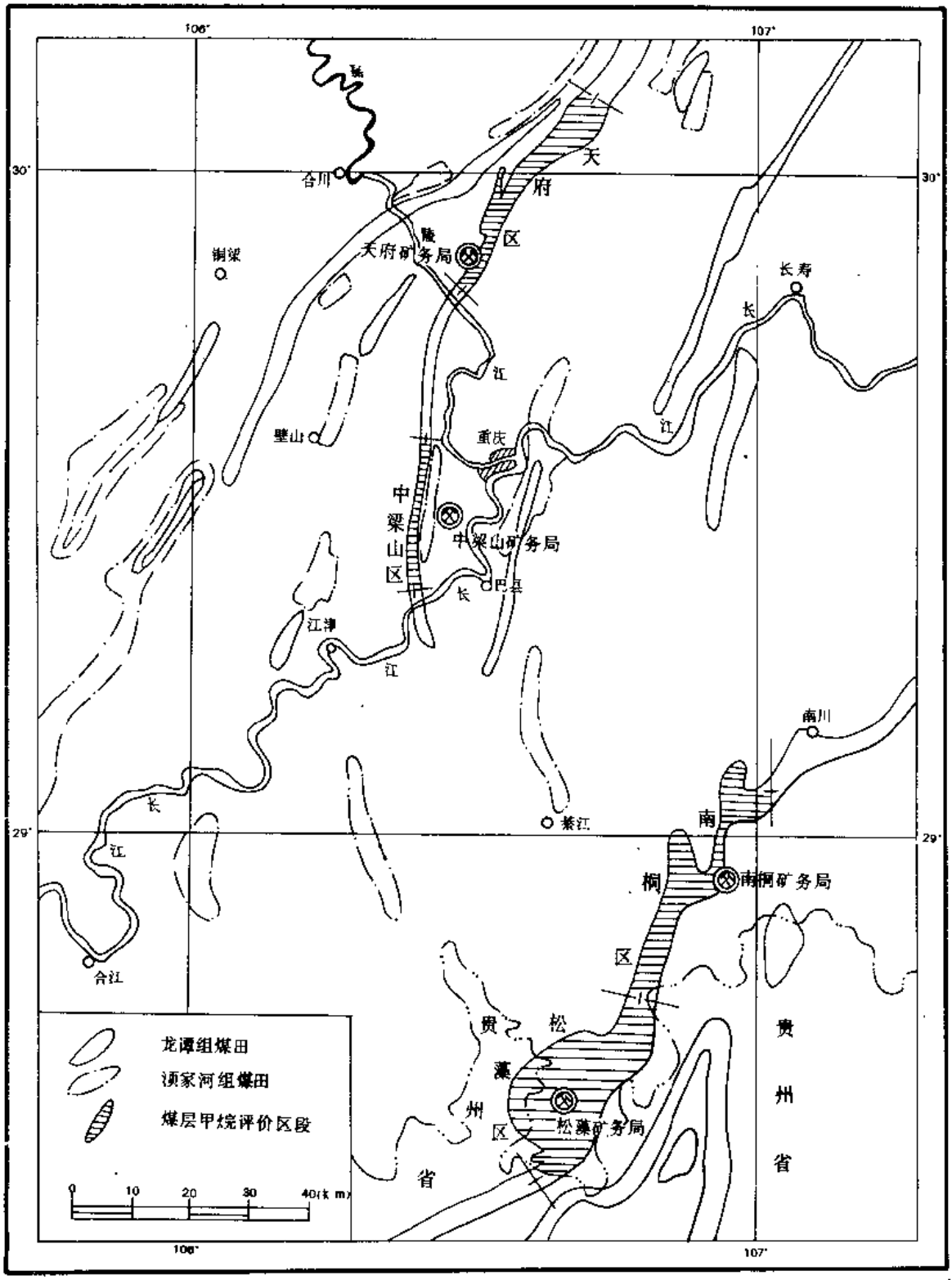


图 5-17　重庆地区煤田煤矿分布简图

然，这些条件都十分有利于煤层甲烷的大量生成和良好保存.

(3) 以褶曲为主的构造特征

本区在区域构造上隶属于川黔南北向构造带的贵阳至重庆褶皱带，北段与新华夏体系复合（中国地质科学院地质力学研究所编图组，1978），其主体构造为走向近南北的单式褶皱或复式褶皱以及与褶曲轴基本平行的逆掩（冲）断层。

天府、中梁山矿务局各矿井分布在观音峡背斜的两翼。该背斜轴面直立，两翼倾角很陡，逆冲断层发育。位于背斜南段的中梁山矿区，背斜轴部煤层未出露地表，其上有透气性很小的岩层覆盖，所以对甲烷的保存十分有利（图5-18）。

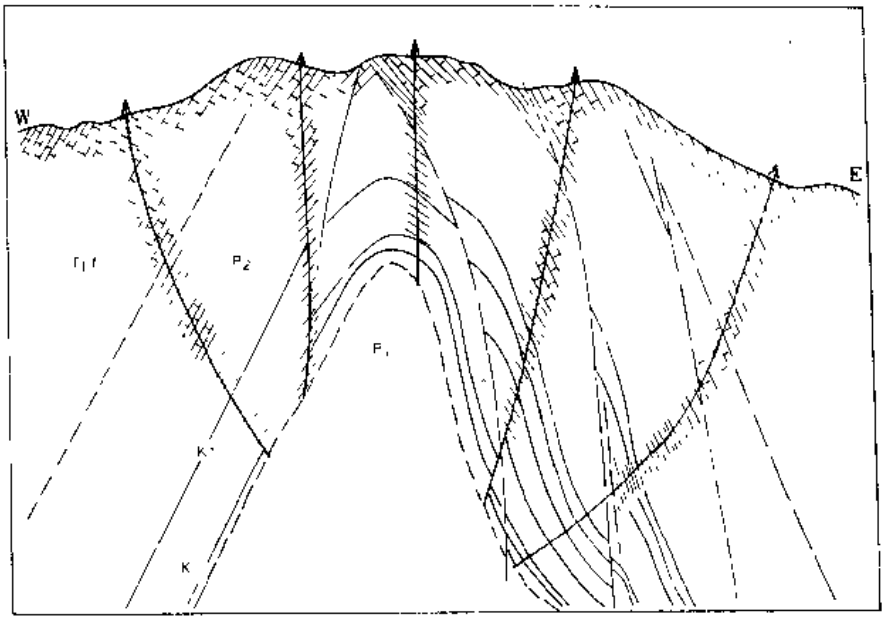


图5-18　中梁山地区地质剖面图

南桐矿区为复式褶皱和伴生的逆冲断层，主体为南桐背斜，八面山向斜，鲜家坪背斜和丛林沟向斜以及沿两背斜轴部延展的逆冲断层。背斜紧闭，向斜宽缓，呈"隔档式"。一般说来，背斜区甲烷的保存条件较向斜区差。致使分布在背斜上的南桐煤矿二井，砚石台矿和红岩煤矿的矿井瓦斯涌出量较小；而分布在向斜区的南桐煤矿一井，鱼田堡矿，东林煤矿的矿井瓦斯涌出量明显增加，突出强度高。

松藻矿区基本上为一单斜构造，在此背景上发育有次级宽缓小褶曲。除露头部分煤层倾角较大外，地下倾角平缓。断层稀少（图5-19）。在地表切割不深的地段，甲烷保存良好。

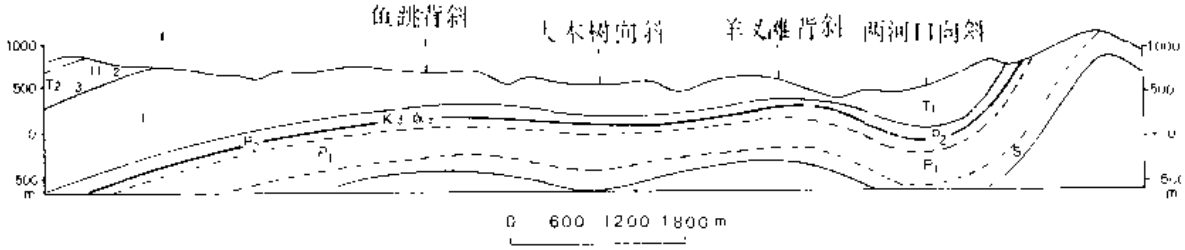


图5-19　松藻矿区地质剖面图

(4) 煤层甲烷含量

钻孔解吸法测得的甲烷含量：南桐矿区鱼田堡-东林煤矿延伸勘探钻孔，在孔深590.51~909.54m 范围内，甲烷含量变化在 6.99~20.67cm^3/g·可燃物之间，13 个采样点的平均值为 12.89cm^3/g·可燃物。煤的变质阶段相当于瘦煤和贫煤，在试验范围内，甲烷含量随深度变化的趋势不明显。

本区在生产过程中，实测了大量瓦斯压力，见表 5-6、表 5-7 和图 4-6。从实测结果可知，本区煤层瓦斯压力在总体随深度增加而变大的背景上，有一定的变化幅度；另

表 5-6　　南桐矿务局鱼田堡煤矿瓦斯压力测定结果

测 压 点	煤层	瓦斯压力 (P) (kg/cm^2)	垂深 (H) (m)	P∶H
1303 西二石门	4	23.5	396	0.059
1405 钻场	4	29.0	400	0.073
2302 石门	4	36.5	475	0.073
2601 钻场	4	50.5	350	0.144
2601 钻场	4	61	350	0.174
2601 西二石门	4	52	380	0.137
2601 西二石门	4	65	380	0.171
-34 标高石门	6	46.7	516	0.091
-100 水平主石门	6	30.0	437	0.069
-100 水平西二石门	6	34.7	525	0.066
-100 水平东三石门	6	35,7	445	0.080
+25 标高钻场	6	54.4	430	0.127
+25 标高钻场	6	62	430	0.144

一个特点是压力值偏高，高于静水压力（P/H>0.1）的测点屡见不鲜，属瓦斯压力异常现象。这类测点大都出现在构造转折带，显然与本区以挤压构造应力场为主的地应力状态有关。

近年来，南桐矿务局在一些实测瓦斯压力点采取煤样，测定吸附常数 a、b 值和煤的孔隙度，用间接法计算了甲烷含量，13 个计算点（不同煤层、水平、区段）的结果表明，含量在 8.57~16.0cm^3/g·可燃物之间变化，平均为 12.13cm^3/g·可燃物。稍低于钻孔煤心解吸法测定的结果。天府矿务局也做过类似计算，甲烷含量为 6.40~24.5cm^3/g·可燃物，平均为 15.10cm^3/g·可燃物。

表 5-7　　天府矿务局磨心坡井田煤层瓦斯压力测定结果

测点水平	+110m		-10m(垂深 650m)								
地　点			中　段						北 段		
	石	CC_1	主	C_1	C_3	C_7	C_8	C_{14}	C_0	C_3	C_4
瓦斯压力 (kg/cm^2)	42	43	68	74	72	65	70	79	69	80	78
压力：垂深	0.08	0.08	0.16	0.11	0.11	0.10	0.17	0.12	0.11	0.12	0.12

4.资源量预测

在评价范围内，对煤层甲烷资源量分矿务局、分级别进行了计算，其结果列于表 5-8 中。

表 5-8　　重庆地区煤层甲烷资源量预测表

项　目	甲　烷　资　源　量　(10^8m^3)														
	天府矿务局			中梁山矿务局			南桐矿务局			松藻矿务局			全 地 区		
	最小值	中　值	最大值	最小值	中　值	最大值	最小值	中　值	最大值	最小值	中　值	最大值	最小值	中　值	最大值
预测储量	5.9	25.3	61.7	1.8	7.8	19.0	4.19	16.15	68.9	15.3	59.1	251.8	60.4	124.6	313.4
远景资源量	60.0	81.1	120.4	85.0	108.1	150.5	62.7	72.9	112.6	155.5	188.1	319.7	402.0	469.4	601.0
总资源量	71.6	113.6	159.3	90.2	118.5	159.7	72.6	93.9	161.2	190.4	264.6	496.9	502.0	605.4	885.0

注：最小值、中值、最大值分别指概率为 95%、50%和 5%的资源量值。

5.矿井瓦斯及抽放利用

区内 4 个统配矿务局，1988 年共有生产矿井 20 对，在建矿井 1 对（松藻新建矿），全部为高沼矿井，且大部分为煤与瓦斯突出矿井；矿井相对瓦斯涌出量最高达 $87.68m^3/t\cdot d$，一般为 $30-50m^3/t\cdot d$（详见表 5-9）。可见区内煤层甲烷含量是高的，矿井瓦斯灾害是严重的。

60 年代起，出于矿井安全生产的目的，本区就开始进行矿井瓦斯抽放，且曾经将抽出的部分瓦斯用于集体取暖和制造碳黑，其后中断。进入 80 年代，本区瓦斯抽放利用工作有所发展。目前，区内共有 15 对矿井进行瓦斯抽放，抽放站 17 个，抽放泵 55 台，年抽放量 $6929.14\times10^4m^3$（1984 年）（见表 5-10）；矿井抽放率一般为 25-30%左右，有的矿井高达 43.8%（中梁山煤矿）。自 1983 年以来，大部分抽放矿井将抽出瓦斯加以利用，主要是供居民生活使用，少量用于生产碳黑。到 1988 年，天府矿务局已发展到用户 5277 户（不包括托儿所、单身职工宿舍、机关、学校、医院等），年生产碳黑 300t 余，碳黑售价为 1900-2780 元/t，利用率达 40.0-42.37%。

表 5-9　　重庆地区生产矿井基本情况一览表

局、矿名称	生产能力 (10^4t/y)	煤　种	相对瓦斯涌出量 (m^3/t·d)	瓦斯等级	保有储量 $\times10^4$t (1985 年底)
天府矿务局	200				29327.7
磨心坡矿	35	焦煤	60.20	高、突	
刘家沟矿	30	焦煤	87.68	高、突	
杨柳坝矿	15	焦煤	44.72	高、突	
三汇一矿	30	瘦煤	23.13	高、突	
三汇二矿	60	瘦煤		高、突	
三汇三矿	30	瘦煤	44.99	高、突	
中梁山矿务局	80				9025.7
南矿	40	焦煤	60.0	高、突	
北矿	40	焦煤	86.12	高、突	
南桐矿务局	225				24922.1
南桐矿	60	焦煤、瘦煤	65.20	高、突	
鱼田堡矿	45	焦煤、瘦煤	43.77	高、突	
东林矿	30	焦煤、瘦煤	22.21	高、突	
砚石台矿	45	肥煤、焦煤	17.08	高	
红岩矿	45	焦煤	12.75	高	
松藻矿务局	261		49.95		91104.5
松藻矿	66	无烟煤		高、突	
打通一矿	60	无烟煤		高、突	
打通二矿	45	无烟煤		高、突	
石壕矿	90	无烟煤		高、突	

（据《中国主要煤矿矿区图集》，1988）

上述分析表明，重庆地区位于以江津为中心的富煤盆地的东部，煤层发育良好，厚度大，主要煤层大范围内稳定可采，煤炭储量比较丰富，且相对集中。煤层均为中、高变质阶段的烟煤及无烟煤，煤层甲烷生、储性能良好，甲烷含量高，总资源量大。这里又是我国有名的高沼和煤与瓦斯突出矿井集中分布的地区，吨煤瓦斯涌出量最高可达

87.68m³（天府矿务局刘家沟）．矿井瓦斯工作及研究程度较高，瓦斯抽放利用成效显著，年抽放量达 6929.16×10⁴m³，仅次于抚顺和阳泉矿区，居全国第三位．又兼本区矿井分布在西南经济、交通之中心—重庆市附近，经济地理位置优越．凡此种种，均显现出本区煤层甲烷资源具有良好的开发利用前景．

表 5-10　　重庆地区煤矿瓦斯抽放、利用情况统计表

矿　区	矿井数（对）	抽放站（个）	抽放泵（台）	抽放量（m³/min）	甲烷浓度（%）	抽放、利用量　(10^4m^3)				
						1983 年	1984 年	1985 年	1986 年	1987 年
天府矿务局	4	4	12	37.12	50-56	766.27 26.15	1161.73 168.32	1218.46 431.83	1048.70 536.24	1590.35 682.92
中梁山矿务局	2	2	9	42.59	48-51	2040.0	2238.0 45.9	1883.0	1944.0	2111.0
南桐矿务局	4	4	12	29.84	48-60	484.02	703.43 346.4	723.13	1108.2	1208.46 476.23
松藻矿务局	5	7	22	62.75	34-75	1882.0	2826.0 1110.5	3409.0	2979.0	3548.0
合　计	15	17	55	172.30			6929.2 1671.1			

注：表内分子为抽放量，分母为利用量．

5.4.11　六盘水含煤区

六盘水含煤区位于我国西南贵州和云南两省境内，包括贵州省的六枝、盘江、水城、织金、贵阳等 6 个煤田，云南省的恩洪、圭山等 2 个煤田及滇黔交界处的宣威煤田．这里主要含煤地层为晚二叠世宣威组（龙潭组），是云、贵、川晚二叠世含煤沉积之富煤带，含煤层数最多可达 70 余层，可采总厚度最大可达 43m．煤种从气肥到无烟煤均有，但贫煤、无烟煤绝大部分分布于织金煤田及六枝煤田的东南部；煤层甲烷生、储类型以多生低储为主，其次为多生高储型．煤层甲烷含量平均为 10-12m³/t．钻孔气显示多，据地矿部 05 工程处资料，截止 1984 年仅贵州省境内已在宣威组（龙潭组）中收集到以钻孔煤层甲烷为主的气显示就有 107 个．六枝、盘江、水城、林东等矿区的煤矿均为高沼气矿井．因此，对六盘水含煤区的煤成气（主要为煤层甲烷）前景各有关方面的评价都是相当高的．

本区煤层甲烷资源量情况列于表 5-11 之中．本区煤炭储量丰富，煤层甲烷资源量巨大，开发利用前景良好．

表 5-11　　六盘水含煤区煤层甲烷资源量预测表

项　目	甲烷资源量　(10^8m^3)		
	最小值 (95%概率)	中　值 (50%概率)	最大值 (5%概率)
预测储量	675.09	1694.67	2726.75
远景资源量	6426.27	11656.33	19367.28
煤层甲烷总资源量	8083	13340.73	21149.80

6 我国煤层甲开发前景

我国煤层甲烷开发利用的前景是人们十分关心的问题。就现状而言，在我国与煤层甲烷资源打交道的主要部门是煤矿；其次煤田勘探、煤矿设计等单位也有所涉及。煤层甲烷是煤矿矿井瓦斯的主要成分，对煤矿生产，它是制约矿井通风系统、危及矿井安全的有害气体；但从另一方面来看，煤层甲烷又是一种方便、洁净、高效的能源。在我国煤矿生产实践中，特别是高沼突出矿井，从安全生产的角度，对煤层甲烷进行抽放，将其一部分进行利用，已取得了明显的社会、经济效益。本章首先对我国煤矿矿井瓦斯抽放利用的实践加以回顾，然后结合资源量计算成果及资源评价，探讨我国煤层甲烷资源的开发利用前景。

6.1 我国煤矿瓦斯抽放利用概况

对于我国煤矿瓦斯抽放利用的基本情况，原煤炭工业部加工利用局委托煤炭科学研究总院经济所、西安分院地质所、抚顺分院瓦斯所等三个单位，于 1985 年以统一的内容、指标、格式，首次在全国范围内进行了调查，并于 1986 年上半年提出了《关于矿井瓦斯开发利用的调查报告》。1987 年，受国家计委燃动局的委托，在原煤炭部技术发展司的指导下，煤炭科学研究总院西安分院地质所对我国瓦斯抽放利用的第一大户——辽宁抚顺矿区进行了重点调查，并提出了相应报告。这些资料基本勾画出了全国煤矿瓦斯抽放利用工作的轮廓，是迄今为止有关这一问题最系统、最全面的资料。我们在上述工作的基础上，结合新近掌握的有关资料，对全国矿井瓦斯抽放利用的主要情况概括如下。

6.1.1 抽放目的和效果

至 1984 年末，我国有高沼、突出矿井的局（矿）共计 68 个，矿井 290 对。全国共有 108 对矿井进行瓦斯抽放，这些抽放矿井按矿井瓦斯等级的分布状况如表 6-1 所示。从表中可知，抽放矿井主要是高沼兼突出矿井，共计 101 对，占抽放矿井的 93.5%；其次为低沼突出矿井，共 4 对，占 3.7%；低沼矿井仅 3 对，只占 2.8%。可见瓦斯抽放的针对性是很强的，其目的主要是为了解决高沼、突出矿井的瓦斯灾害问题，

确保矿井生产安全，即属安全型抽放．值得指出的是，近年来由于人们对矿井瓦斯的认识开始有了根本性的改变，由过去的有害气体转变为现在的能源财富，并逐渐尝到了利用矿井瓦斯的"甜头"，加之国家有关部门的重视，所以不少煤矿企业在保证矿井安全的前提下，将瓦斯抽放利用进行统一规划，逐渐由"安全型"抽放向"安全-利用型"抽放转变．

表6-1　　抽放矿井分布状况

矿井瓦斯涌出量 (m^3/min)	高沼、突出矿井（对）	高沼矿井（对）	低沼突出矿井（对）	低沼矿井（对）
>50	8	7		
50-30	14	4	2	
30-15	28	9	1	1
<15	28	3	1	2
计	78	23	4	3

（据《关于矿井瓦斯开发利用的调查报告》改编）

一般用矿井瓦斯抽放率和吨煤瓦斯抽出量等做为技术指标来衡量一个矿井的瓦斯抽放效果．矿井瓦斯抽放率（η）等于矿井抽出的瓦斯量（$Q_{抽}$）除以矿井瓦斯总排放量（包括风排瓦斯 $Q_{风}$和抽出瓦斯 $Q_{抽}$之和），即

$$\eta = \frac{Q_{抽}}{Q_{抽} + Q_{风}} \times 100\% \qquad (6-1)$$

据调查资料，全国抽放矿井全年风排瓦斯量为 $140185\times10^4 m^3$，抽出瓦斯量为 $33804\times10^4 m^3$，则总瓦斯抽放率为19.43%，其中抽放效果良好，抽放率大于30%的矿井占总抽放矿井的5.7%；抽放率在30-20%的占20.4%，20-10%的占27.3%，抽放率小于10%的矿井占46%．目前，我国抽放率最高的矿井是抚顺矿区老虎台矿，为58.5%；而抽放率低的矿井（如萍乡巨源矿等）则不足1%．可见，我国将近有74%的矿井瓦斯抽放率不到20%，而且相差很悬殊．总的水平是低的．从全国范围来说，抽放矿井平均吨煤瓦斯抽放量为 $5.53m^3/t$，其中最高的是重庆中梁山煤矿，为 $30.65m^3/t$，最低为江西的英岗岭煤矿，仅 $0.01m^3/t$，差别也十分悬殊．

6.1.2　抽放方法

由于矿山地质条件、开采技术条件和煤层甲烷含量等情况差别甚大，所以各矿井抽放瓦斯的方法也各不相同．目前，我国在井下采用的抽放方法大致可分为本层抽放、邻近层抽放和采空区抽放三种．另外在地面也进行过钻孔抽放的试验工作．

1.本层抽放：

本层抽放是指抽放工程（巷道、钻场、钻孔，下同）主要布设在被抽放煤层当中．其抽放钻孔又可分为穿层（如抚顺矿区、图6-1）和顺层（如丰城矿区、图6-2）两种布孔方式．这种抽放方式最适应于没有煤与瓦斯突出危险的矿井或区段．全国采用本层

抽放的矿井共有 57 对，其抽出量占总量的 42%.

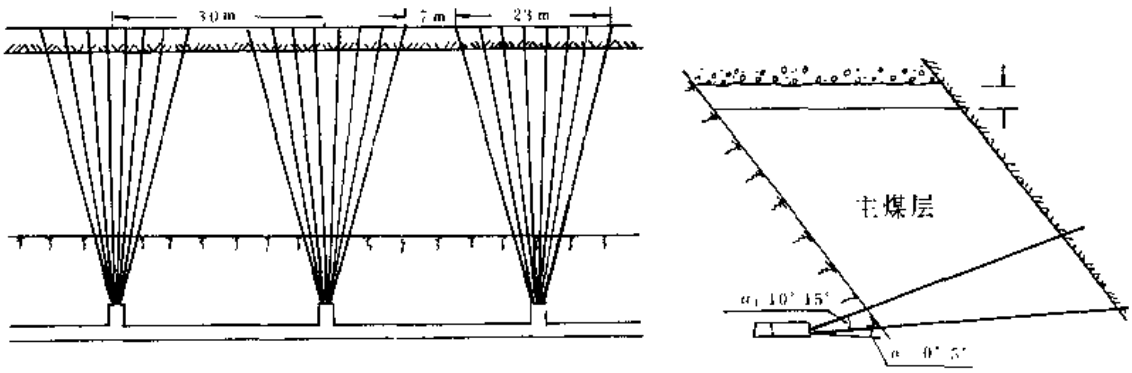


图 6-1　抚顺矿区钻孔抽放主煤层瓦斯示意图

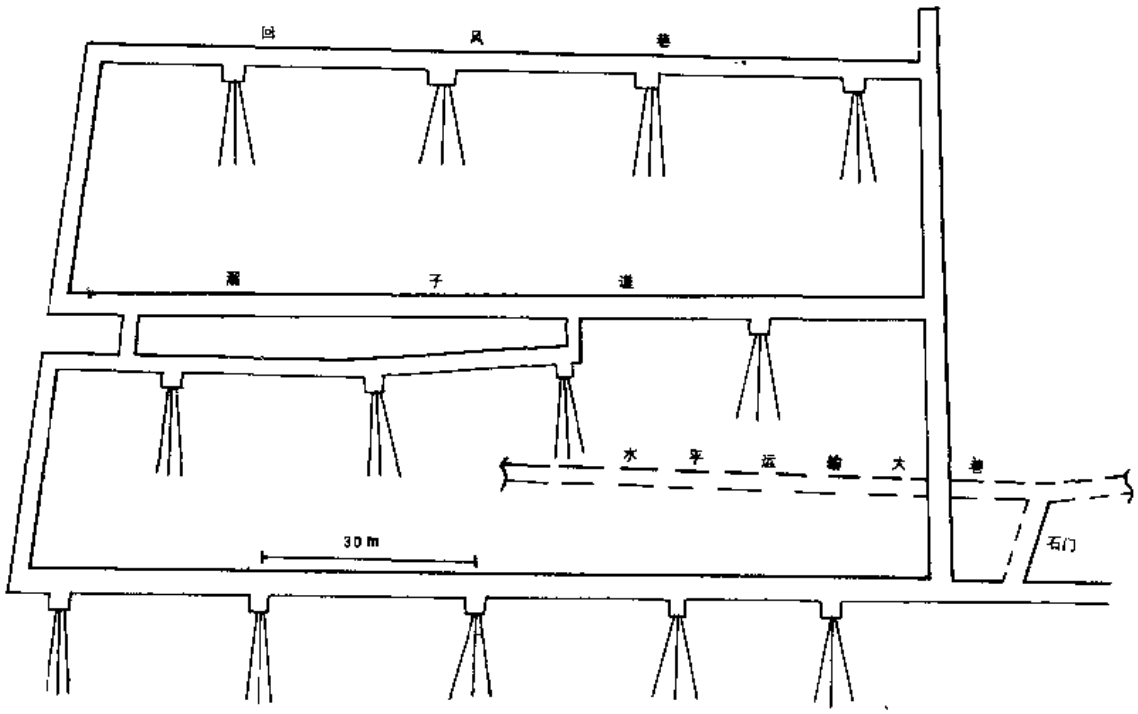


图 6-2　丰城矿区瓦斯抽放钻孔布置示意图

2.邻近层抽放

在多煤层地区，特别是开采具有煤与瓦斯突出危险的近距离煤层群时，瓦斯抽放巷道及钻场布设在非突出煤层之中或邻近的岩层中，钻孔穿过岩柱进入被抽放煤层进行瓦斯抽放．阳泉矿区、天府矿区、南桐矿区、松藻矿区等都是采用这种抽放方法的．其中南桐矿区的抽放工程布置方式，如图 6-3 所示．

邻近层抽放方法多与开采解放层的采煤工艺相配合，由于解放层开采而卸压，煤层的透气性大大提高，使煤层瓦斯容易向抽放钻孔中流动，所以这种方法的抽放效果较好．使用这种抽放方法的矿井共 43 对，数量低于本层抽放的矿井，但抽出的瓦斯量却

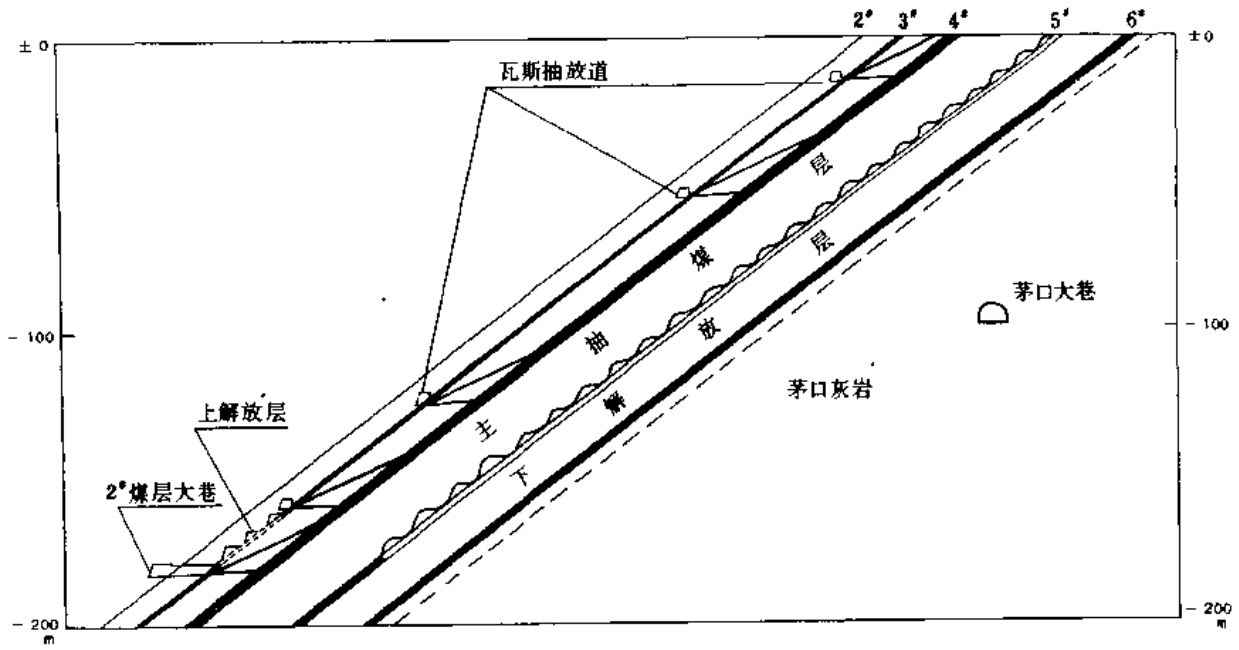


图 6-3　重庆南桐煤矿瓦斯抽放工程布置方式图

占总量的 53.0%，高于本层抽放矿井．这从一个侧面说明了其优越性；但最大缺陷是工程量大，投资多．

3.采空区抽放

采区（或矿井）采煤结束后，残留煤、煤柱和卸压后的邻近煤层中，仍含有相当数量的瓦斯，可将有关采区或巷道封闭后进行抽放．在抚顺、阳泉、丰城、松藻等矿区均进行过采空区抽放．

6.1.3　抽放量及利用量

我国瓦斯抽放工作，无论是抽放井数，还是抽放量，总趋势是逐年增加的．从 1977 到 1987 年的 10 年间，抽放矿井数由 58 对增加到 110 对，将近增长了一倍；年抽放量由 $23200\times10^4m^3$，增加到 $35800\times10^4m^3$，增长了 54%（见表 6-2）．

表 6-2　　我国瓦斯抽放情况统计简表

抽放情况 / 年度	抽放矿井数(对)	年抽放量(10^4m^3)
1977	58	23200
1978	63	26300
1979	83	24800
1980	102	30000
1982	126	32600
1984	108	33900
1987	110	35800

1952 年抚顺矿区将抽出的瓦斯进行利用，开创了我国利用矿井瓦斯的历史．30 多年来我国瓦斯利用工作有所发展，但极为缓慢．至 1984 年，全国利用瓦斯的矿井 46 对，利用总量为 $2.23\times10^8m^3$，利用率为 66%．与 1980 年相比，利用矿井数及利用总量分别增加了 31.4%和 26.0%．全国利用量最大的是抚顺矿区，为 $10652\times10^4m^3$，利用率为 98．6%；其次是阳泉矿区，为 $6842\times10^4m^3$，利用率为 75%．

6.1.4 与国外的差距

在矿井瓦斯抽放利用方面，我们与国外相比较，主要有两方面的差距:

其一是认识上的差距．"在 60 年代以前，所有国家都只把瓦斯抽放当做解决生产安全的手段，将抽出的瓦斯当成'废物'而丢掉．一些工业发达国家经过能源危机冲击后，逐步认识到开发利用矿井瓦斯对补充能源供应的重大现实意义和战略意义．如苏联等国，已经把煤矿床看作'煤-瓦斯'矿床，把瓦斯视同煤一样进行开发利用"①．由于一些发达国家对矿井瓦斯在认识上有了根本性的转变，因而开发利用工作发展很快．而我国对此尚未给予足够重视，目前仍然将瓦斯抽放作为解决生产安全问题的技术手段，仅处于由"安全型"抽放向"安全-利用型"抽放转变的起步阶段．只有迅速实现认识上的转变，才能促进我国煤层甲烷资源开发利用工作的发展．

其二是抽放规模小、抽放率低．据 1987 年的统计资料（表 6-3）②，世界瓦斯总抽放量达 $52.57\times10^8m^3$，我国为 $3.58\times10^8m^3$，居第四位，占全世界总量的 6.81%．而 1987 年我国产煤 9.28×10^8t，占全世界总量的 20%，居第二位③．两相比较，我国的瓦

表 6-3　1987 年世界一些国家的矿井瓦斯抽放量和煤炭产量对比表

国　家	瓦斯抽放量 (10^4m^3)	占世界抽放量 (%)	煤炭产量 (10^6t)	占世界产量 (%)
苏　联	21.20	40.33	760.0	16.43
西　德	7.00	13.32	191.4	4.14
英　国	5.10	9.70	104.4	2.26
中　国	3.58	6.81	928.0	20.06
法　国	3.00	5.71	15.7	0.34
捷　克	2.65	5.04	127.1	2.75
日　本	2.25	4.28	13.1	0.28
全世界	52.57		4626.0	

①引自煤炭工业部，1986，《关于矿井瓦斯开发利用的调查报告》．

②据李中成，1988，《煤矿瓦斯利用现状，存在问题及今后发展方向》，全国"能源资源综全利用"座谈会资料．

③据《能源政策研究通讯》，1988，第8期．

斯抽放量过小，与煤炭生产状况极不相称。另外，我国的瓦斯抽放率比世界大多数产煤国都低，如表 6-4 所示。大多数国家瓦斯抽放率已达到 40%，而我国在 1980 年只有 15%，到 1984 年虽有所提高，但只有 19.43%，不及别国的一半。产生这种差距的直接原因是由于抽放方法、抽放设备、技术、管理水平等方面，跟不上生产实际发展的需要。

表 6-4　　主要产煤国家瓦斯抽放率(%)

国　家	苏　联		西　德		英　国		日　本		波　兰		中　国	
年　度	1979	1981	1979	1981	1976	1981	1974	1981	1979	1980	1979	1980
抽放率	50	–	46	44	60	25	38	43	46	–	–	15

6.2　我国煤层甲烷的开发前景

6.2.1　前景预测

对于我国煤层甲烷的开发前景，我们认为是良好的。其理由如下：

1.巨大的资源量

经统一计算，我国在埋深 2000m 以浅范围内，拥有的煤层甲烷总资源量为 30–35 $\times 10^{12}m^3$。而我国天然气（不含煤层甲烷）的总资源量为 $33.11\times10^{12}m^3$（其中煤成气为 $11\times10^{12}m^3$）①。这就是说，我国垂深 2000m 以内的煤层甲烷总资源量是煤成气的三倍，比各类天然气资源量的总和还要多。这一简单的对比，充分说明了我国煤层甲烷资源总量是十分巨大的。开发这一巨大资源，可以为改善我国能源结构、缓解天然气储量和产量低的局面开辟一个新的领域。

2.优质的能源

煤层甲烷是一种洁净、方便、高效的能源。甲烷的发热量为 7978–8869 $\times 10^3cal/m^3$（15℃）。按热值计算，大致 $1000m^3$ 甲烷相当于 1t 标准煤，但烧甲烷气比烧煤炭热效率高。有关专家测定，$250m^3$ 甲烷即可顶替 1t 标准煤。我国 1984 年共利用煤层甲烷 $2.23\times10^8m^3$，相当于 89.3×10^4t 标准煤②。同时甲烷燃烧充分、无污染、洁净、使用方便，很受居民欢迎。另外，它还可以用来烧锅炉、烧窑，并用于瓦斯发动机和瓦斯涡轮机。因面，煤层甲烷是一种很理想的优质能源。除此而外，还可用作化工原料，生产氨、肥料、炸药、合成燃料等产品。

3.廉价的天然气资源

---

①据戚厚发，1989，《我国天然气资源潜力及勘探方向讨论》，第二次天然气资源量计算方法研究讨论会资料。

②据煤炭部，1986，《关于矿井瓦斯开发利用的调查报告》

目前美国已在科罗拉多州的圣胡安盆地和阿拉巴马州的沃里奥盆地建成两个以开采煤层甲烷为目标的天然气田，进行工业性生产；正在建设的还有五、六个．在圣胡安盆地，单井甲烷气产量可达 $20\times10^4m^3/d$；沃里奥盆地，单井产量为 $0.5-0.6\times10^4m^3/d$；其甲烷气的成本分别为 0.01 美元／m^3 和 0.04 美元／m^3，利润率可达 59%．与常规天然气相比，煤层甲烷具有埋藏浅、为层状矿床不受构造圈闭的限制；成功率高（美国煤层甲烷勘探的成功率为 90–95%，而常规天然气的成功率仅 15%），勘探和钻井成本费用低等优点．如果考虑到因采出煤层甲烷而消除（或减少）了今后采煤的瓦斯灾害等因素，则成本更为低廉．

4.变害为利，取利除害

前已述及，煤层甲烷是煤矿生产的有害气体，目前我国有 110 对矿井从安全生产的角度，在采矿过程中将部分甲烷抽出地表，1987 年的抽放量达 $3.58\times10^8m^3$．并将抽出的部分甲烷气来供应居民，制造碳黑、甲醛等．瓦斯抽放利用，不仅降低了矿井瓦斯涌出量，改善了矿井安全条件；而且变害为利，获得了经济收入，方便人民生活、节约了能源，减少了环境污染，经济效益和社会效益是明显的．

井下"安全型"抽放，虽有其针对性和及时性强等优点．但对甲烷资源的回收利用率太低（全国抽放率不到 20%，利用率 66%，则粗算甲烷资源回收利用率仅 13.2%）；井下作业，安全条件和劳动条件差，灵活性小，效果并不是很理想的．随着矿井向深部延伸，受煤层甲烷含量随煤层埋深增加而变大的规律控制，矿井甲烷涌出量不断增大，抽放工作将变得更加困难．而地面开采煤层甲烷则可克服上述不足之处，且既充分利用了优质廉价能源，又对煤层瓦斯"釜底抽薪"，从根本上解除了矿井瓦斯灾害的隐患．

因此，从矿井安全、环境保护、能源利用三方面来看，均体现出开发煤层甲烷的现实性和迫切性．

5.可以增加我国天然气产量

虽然煤层渗透性差，气体压力低，甲烷在煤中的流动速度不大，目前人们对煤层甲烷的经济价值尚有怀疑．但是，据美国等国家最近的实际开发工作表明，采用新的钻井和工程技术，开采煤层甲烷气是十分经济的．同时我国天然气产量很少，经多年工作，到 1987 年天然气产量才达到 $138.7\times10^8m^3$，在当年的能源生产结构中的比例仅 2.1%，大大低于世界平均水平．如能积极研制（或引进）有关技术和设备，并在 3–5 年内建成 3–4 个煤层甲烷气田，按每个气田平均年产量 $4\times10^8m^3$（美国沃里奥盆地 1987 年生产煤层甲烷 $4.8\times10^8m^3$，圣胡安盆地 1988 年产量为 $5.0\times10^8m^3$）计算，则每年可生产甲烷气 $12–16\times10^8m^3$，即相当于我国 1987 年天然气产量的 10%．这无疑会对我国天然气工业的发展起到一个很大的促进作用．

6.2.2 选区意见

通过对我国煤层甲烷富集条件的系统研究和资源评价，以含煤区为单位，在综合考虑煤层发育富集程度、甲烷赋存条件、甲烷资源量大小、区内矿井瓦斯及抽放利用状况、所在区域的经济发展水平等因素的基础上，对各含煤区煤层甲烷资源远景进行分类：

Ⅰ类远景区，为各方面条件均优越，可供近期勘探开发的含煤区．如三江–穆棱

河、敦化-抚顺、浑江-红阳、鄂尔多斯盆东、晋中南、豫西、徐淮、淮南、萍乐、川南-黔北、六盘水等11个含煤区。

Ⅱ类远景区，为资源条件好、但经济条件差，或资源条件较差的含煤区，可做为后备基地。如松辽盆地南缘、阜新-彰武、北票-建昌、承德、柳江、京-唐、大宁、津南、豫北、豫东、鄂尔多斯盆中、太行山东麓、桌贺、伊犁、吐-哈、淮南、淮东、华蓥山-永荣、涟邵、郴资、桂中北等21个含煤区。

其余各含煤区属Ⅲ类远景区，其煤层甲烷暂无开发利用价值。

在Ⅰ、Ⅱ类远景区内，以煤矿区为单位，选择了23个优选矿区，可做为今后进行煤层甲烷资源开发时优先考虑的对象，它们是：鸡西、双鸭山、七台河、抚顺、开滦、韩城、乡宁、焦坪、平顶山、淮北、淮南、天府、中梁山、南桐、松藻、芙蓉、乐平、丰城、萍乡、涟邵、六枝、盘县、水城等。这些优选矿区均位于我国东部经济发达地带和中部较发达地带内。开发利用这些煤矿区的煤层甲烷资源，具有重要的社会-经济价值。其中开滦、韩城、淮南、平顶山、松藻等矿区可以做为近期内开发工作的试点区。

7 结　语

煤层甲烷资源的开发利用是一个新的领域．从国际上看，开发利用煤层甲烷资源的热潮方兴未艾．我国则还未起步，随着国民经济的日益发展，对能源的需求必将日趋迫切，因此开发煤层甲烷这种廉价资源很有发展前途．我们从地质及资源评价方面所做的工作只是初步的，有待于深入和系统化．现对今后的工作提出几点建议，以此做为本书的结束语．

1.要重视煤层甲烷的开发研究工作

长期以来，我国的能源生产和消费构成中，油气仅占 20–23%，煤炭占绝对优势，其比重在 72%以上；而天然气的比重则更小，一般均小于 3%．在世界范围内，情况正好相反，油气占 58–65%，煤炭仅占 30–34%．与世界各国相比，我国的天然气消费太少．这种格局，严重影响着我国的生产发展及人民物质文化生活水平的提高．造成这种局面的根本原因是我国的能源资源条件．按国内能源矿产（煤、石油、天然气）总热值估算，煤占 96%，油气仅占 4%左右．我国所发现的常规天然气田绝大多数为小型，少数属中型气田；迄今为止我国陆上尚未发现一个堪称大型的天然气田．而且已发现的天然气田大都在 3000m 以下，2000m 以浅很少．在这种国情条件下，急需开拓我国的非常规天然气领域．其中煤层甲烷以其巨大的资源量、埋藏浅、分布广、勘探成功率高、费用低等优势展示出巨大的前景，在我国浅层天然气资源中具有举足轻重的地位．更何况还有煤矿瓦斯灾害这样一个不容回避且急待解决的重大问题．国家和有关部门对煤层甲烷资源的开发利用应给予必要的重视．而开发煤层甲烷是个涉及多学科的复杂的系统工程，国家在"八五"期间及今后一段时间内应统一组织、联合攻关，以加快对煤层甲烷的研究和开发利用工作的步伐．

2.加强地区性研究

煤层甲烷未经明显的运移聚集，甲烷赋存的局部性影响因素很多，变化复杂，因而导致煤层含气性的不均衡．在已基本掌握了全国煤层甲烷资源"家底"的基础上，今后应加强矿区一级的煤层甲烷赋存条件的综合性研究，以具体指导煤层甲烷资源的勘探开发工作．

3.开展煤层甲烷的综合地质研究、为资源开发和矿井安全服务

煤层甲烷气的研究，应将资源开发利用和煤矿安全生产统一进行部署，对煤田地质背景、煤层及围岩的发育赋存特征和生气能力、煤层的储气性能、煤层甲烷含量及变化规律、围岩的封闭能力、煤层的原始气体压力等方面进行综合研究，以期阐明煤田内甲烷赋存的规律，并进行煤层甲烷资源量预测．使该项研究贯穿于煤田勘探、资源开发、煤矿生产等工作环节中，从而正确评价资源前景，准确预测新区矿井瓦斯地质特征，进行甲烷资源开发可行性论证．

4.进行地面开采的经济合理性分析及开发技术的研究

由于我国目前的矿井瓦斯抽放利用工程都是安全为目的，因而没有专门瓦斯抽放成本方面的核算资料，现行常用的 0 03 元 / m^3 售价是一种福利性质的价格，根本不能反映实际的生产成本和价值．同时，采用地面开采煤层甲烷技术的经济效益，除了出售甲烷的直接收益外，还应包括因减少了矿井瓦斯涌出量面节省下来的通风、安全、采矿工程等方面的费用．这两方面的经济分析，是对一个地区进行煤层甲烷前景预测和决策分析的必不可少的基本参数．而这方面的研究目前我们基本上还是一个空白．另外，地面开采的钻井、完井及提高煤层的渗透性等工艺技术，这方面与常规天然气既有相同之处，又有许多特殊性，应进行专门的工艺技术研究和试验工作，以及专用设备的研制．美国在这一领域已取得了重要进展，并初步建立起煤层甲烷工业系统．因此，我国在煤层甲烷资源开发利用中，在立足国内、自力更生的基础上，还应吸收和引进美国的先进技术和设备，以加快我们的工作步伐，尽快赶上发达国家的水平．

主 要 参 考 文 献

B.B 霍多特著，宋士钊等译，1966，煤与瓦斯突出，煤炭工业出版社．

中国地质科学院地质力学研究所编图组，1978，中国主要构造体系，地质出版社．

成都地质学院编，1978，普通化学（上册），人民教育出版社．

武汉地质学院煤田教研室，1979，煤田地质学（上册），地质出版社．

杨起、韩德馨主编，1980，中国煤田地质学（下册），煤炭工业出版社．

余申翰，1981，煤层内瓦斯赋存形态，煤炭学报，1981 年第 2 期．

武汉地质学院煤田教研室，1981，煤田地质学（下册），地质出版社．

赵鹏大等，1981，矿床统计预测，武汉地质学院．

煤炭部全国煤田预测汇总组，1981，中华人民共和国煤田预测．

А.И.Кравцов、Г.Д.Лидин 著，宋健人译，1983，煤层及围岩含气形式，煤成气译文专辑．

А.Л.Бакалдина 著，宋健人译，1983，煤岩成分对煤吸附甲烷容量及其天然含甲烷量的影响，石油地质论文集，煤成气译文专集。

陶著主编，1984，煤化学，冶金工业出版社。

于不凡，1985，煤和瓦斯突出机理，煤炭工业出版社。

成俊卿编，1985，木材学，中国林业出版社。

徐永昌等，1986，煤系有机质热模拟产物的化学特征及地质意义，兰州地质研究所生物、气体地球化学开放研究实验室研究年报（1986），甘肃科学技术出版社。

И.В.维索茨基著，戴金星等译，1986，天然气地质学，石油工业出版社。

于不凡等，1987，煤矿瓦斯防治技术，中国经济出版社。

王煦曾，1987，中国的成煤期，煤炭科学研究院地质勘探分院文集（1987），陕西人民出版社。

杨起主编，1987，煤地质学进展，科学出版社。

包茨主编，1988，天然气地质学，科学出版社。

张五侪等，1988，中国主要煤田浅层煤成气资源远景，天然气工业，1988 年第 2 期。

张永发、谢克昌，1989，煤和煤焦孔隙结构特征及其模拟，煤岩综合利用，1989 年第 1 期。

李明潮、张五侪主编，1990，中国主要煤田的浅层煤成气，科学出版社。

D.W.Van Krevelen,1981,Coal—typology,Chemistry physics Constitution, Elsevier Scientific publishing Company.

A.Attar et al., 1982, Functional group and heteroatoms in coal, in Coal structre,R.A.Meryers ed. Academic press.

B.C.Geistein et al., 1982, Aromaticity in coal, in Coal Structure,R.A. Meyers ed. Academic press.

O.P. Mahajan, 1982, Coal porosity, in Coal Structuer,R.A.Meyers ed. Academic press.

D.P.Creedy, 1988, Geological Controls on the formation and distribution of gas in British Coal measure strata,International Journal of Coal Geology, 10(1988).

W.I.Friesen et al., 1988,Mercury Porosimetry of Coals pore Volume distribution and Compressiblity, Fuel, 1988, Vol.67.

М.Л.Левенштейн、Г.Б.Яновская,1984,Количественные связи метаноносности угольных пластов с их метаморфизмом, Разведка и охрана недр 1984–6.

Coal Bed Methane in China

(abstract)

Coal bed methane is a type of non–conventional natural gas,which coal acts both as the source rock and as the reservoir.Based on abundant data,both factual and experimental,and guided by the principles of natural gas geology and coal geology,the authors have studied the accumulation conditions and distribution of coal bed methane sysmatically,evaluated the prospect of coal bed methane exploration and development in China.

Approximately 90 percent of the coal bed methane is stored in coal in adsorbed state.According to storage capacity and the amount of methane generated,we can divide coal into following four cafegories:1).the amount of methane generated is small while the storage capacity is medium,2).methane generating ability is high,but storage capacity is low,3).methane generating ability and storage capacity are both high,4).methane generating ability is variable,the storage capacity is few.Each category differs from another in adsorbability,permeability and amount of gas possibly released from coal mine.All those are caused by coalification,which evolves a series of physical and chemical changes.

Isothermal adsorption experiments indicate that the adsoubability of coal is not simply in direct proportion to coal rank, as traditionally thought, but a complex curve. From high flame coal to fat coal, the adsorbability of coal decreases with increasing rank,with the fat coal having the least adsorbability .The adsorbability of coal increases with incresing rank from fat coal to anthracite–2, and reaches maximum once coalitication anthacire–2 stage.But afterwards,the adsorbability of coal decreases sharply with increasing rank,with anthracite–1 having basically no adsorbability.In addition,different materals have different adsorbability and their relationships to coal rank is also different from eath other.

The characteristics of coal porosity change with changing rank,the relationships between rank and parameters charactorizing coal pore,such as internal surface area;porosity;pore size distribution;etc,assume complex curves.The break points of the curves are roughly the same as that of "coalification jump" in coalification process. Besides,the constituents of coal also have significant influences on the characteristics of coal

pore.In addition, different stress fieids act differentiy on the porosity and permeability of coal. In general,tessile structure improves the permeability while compressive structure reduces the permeability of coal.

The experiment using PVT method indicates that the amount of methane dissolved in water is controlled mainly by pressure, temperature and salinity of water.But generally ,the amount of methane dissolved in water is very small.

The accumlation of coal bed methane is mainly controlled by coal rank and depth, structure and surrounding strata also play a role. So in a given area,only after comprehensive analysis of geological conditions of coal bed methane,can we direct its exploration and development effectually.

Using Monte Carlo method, the amount of coal bed methane resource has been calculated, the total amount is about $30-35\times 10^{12}m^3$, which means that China is one of the richest countries in coal bed methane resource.

The coal bed methane resource is vast and relatively concentrated, the tapping of this low cost energy resource in China is not only economically profitable but also good to coal mine safety and environmental protection .

图 版 说 明

图 版 1

1. 丝质体胞腔及胞间孔，×1000，准格尔纳林沟矿山西组 6 号煤，$R^{o}_{max}=0.55\%$

2. 丝质体胞腔，纹孔及胞腔中充填的次生高岭石，×600，准格尔纳林沟矿山西组 6 号煤，$R^{o}_{max}=0.55\%$。

3. 粒间孔，×2000，准格尔纳林沟矿山西组 6 号煤，$R^{o}_{max}=0.55\%$。

4. 基质中的气孔群，×1000，铜川三里洞山西组 10 号煤，$R^{o}_{max}=1.98\%$。

5. 均质镜质体中的气孔及内生裂隙，×3000，南桐矿龙潭组 6 号煤，$R^{o}_{max}=1.91\%$。

6. 丝质体胞腔孔，×720，鸡西侏罗纪煤，$R^{o}_{max}=1.42\%$。

7. 半丝质体中残留的植物组织孔，×1000，焦坪延安组 4-2 煤，$R^{o}_{max}=0.54\%$。

8. 半丝质体中残留的植物组织孔，×2000，焦坪延安组 4-2 煤，$R^{o}_{max}=0.54\%$。

图 版 2

1. 铸模孔，×1800，铜川三里洞山西组 10 号煤，$R^{o}_{max}=1.98\%$

2. 铸模孔，×1800，焦坪延安组 4-2 煤，$R^{o}_{max}=0.54\%$。

3. 丝质体中残留的植物组织孔，×480，宁夏汝箕沟延安组，$R^{o}_{max}=3.32\%$

4. 成缝合线接触的丝质体，×1600，宁夏汝箕沟延安组，$R^{o}_{max}=3.32\%$。

5. 胞腔被粘土矿充填的丝质体，×1000，内蒙古准格尔山西组 6 号煤，$R^{o}_{max}=0.52\%$。

6. 胞腔被粘土矿物几乎全部充填的丝质体，×1000，鸡西侏罗纪 17 号煤，$R^{o}_{max}=1.42\%$。

7. 丝质体胞腔、胞管及其部分充填，×720，山西阳泉。

8. 树皮体的特征，×1200，江西乐平龙潭组树皮煤，$R^{o}_{max}=0.73\%$。

图　版　3

1. 张扭性裂隙，距断层 30m×200。江西丰城龙潭级 B_4 煤层，$R^{o}_{max}=1.27\%$。

2. 图版 3–3 的放大，可见部份颗粒破碎成板状体，距断层 10m，×5400。

3. 显微碎斑煤，较大颗粒具镶嵌结构，距断层 10m，×2600。江西丰城龙潭组 B_4 煤层，$R^{o}_{max}=1.27\%$。

4. 结构镜质体，×451，抚顺本组煤，$R^{o}_{max}=0.52\%$。

5. 结构镜质体，×720，抚顺本组煤，$R^{o}_{max}=0.52\%$。

6. 弦切面上射线孔，×720，扫描电镜、陕西焦坪延安组 4–2 煤，长焰煤。

图　版　4

1. 无结构丝质体及分布，×411，乌鲁木齐，西山窑组 45 号煤，$R^{o}_{max}=0.62\%$。

2. 丝质体（胞腔无充填物），×180，乌鲁木齐，西山窑组 45 号煤，$R^{o}_{max}=0.61\%$。

3. 结构镜质体，破碎，残缺不全的胞腔完全被粘土矿物充填。×451，江西丰城龙潭组 B_4 煤，$R^{o}_{max}=1.67\%$。

4. 均质镜质体及基质镜质体、无结构丝质体和粘土矿物的分布，×281，鸡西 17 号煤，$R^{o}_{max}=1.42\%$。

5. 微三合煤，×323，山西轩岗。山西组 2 号煤，$R^{o}_{max}=0.95\%$。

6. 无结构丝质体，壳质组和基质镜质体分布，×323，山西轩岗太原组 5 号煤。

7. 丝质体，×450，山西杜儿坪矿九尺煤，$R^{o}_{max}=1.85\%$。

8. 半丝质体，×510，山西杜儿坪矿山西组九尺煤，$R^{o}_{max}=1.85\%$。

图　版　5

1. 丝质体，×281，山西古交山西组 8 号煤，$R^{o}_{max}=1.20\%$。

2. 丝质体，×450，山西古交山西组 2 号煤，$R^{o}_{max}=1.52\%$。

3. 半丝质体，×379．阳泉太原组 15 号煤，$R^{o}_{max}=2.85\%$。

4. 均质镜质体，×563，阳泉太原组 15 号煤 $R^{o}_{max}=2.85\%$。

5. 均质镜质体上有平行层理的短裂纹，×352，门头沟矿窑坡组下段二槽煤，$R^{o}_{max}=7.1\%$。

6. 丝质体，×394，门头沟矿窑坡组下段二槽煤，$R^{o}_{max}=7.1\%$。

7. 丝质体，×450，宁夏汝箕沟延安组 2-1 号煤，$R^{o}_{max}=3.32\%$。

8. 树皮体，×180，江西乐平龙潭组 B_3 煤，$R^{o}_{max}=0.73\%$。

图　版　6

1. 丝质体管胞壁上纹孔，透射光，×108，河南义马早、中侏罗世长焰煤。

2. 同上。

3. 丝质体管胞壁上纹孔，透射光，×108，陕西焦坪早、中侏罗世长焰煤。

4. 丝质体管胞壁上纹孔，透射光，×220，乌鲁木齐，西山窑组 45 号煤，$R^{o}_{max}=0.62\%$。

5. 同 4。

6. 同 3。

7. 交叉场纹孔腔，×206，透光，河南义马早、中侏罗世长焰煤。

8. 交叉场纹孔，×480，扫描电镜，陕西焦坪早、中侏罗世长焰煤。

9. 交叉场纹孔腔（图板 8#纹孔放大），×1500。

图　版　7

1. 径切面上的纹孔，×400，扫描电镜，陕西焦坪延安组 4-2 煤，长焰煤。

2. 弦切面上的纹孔，×860，扫描电镜，陕西焦坪延安组 4-2 煤，长焰煤。

3. 胞壁纹孔和弦切面上纹孔，×2600，扫描电镜，陕西焦坪延安组 4-2 煤，长焰煤。

4. 径切面上纹孔（1 号纹孔的放大），×2000。