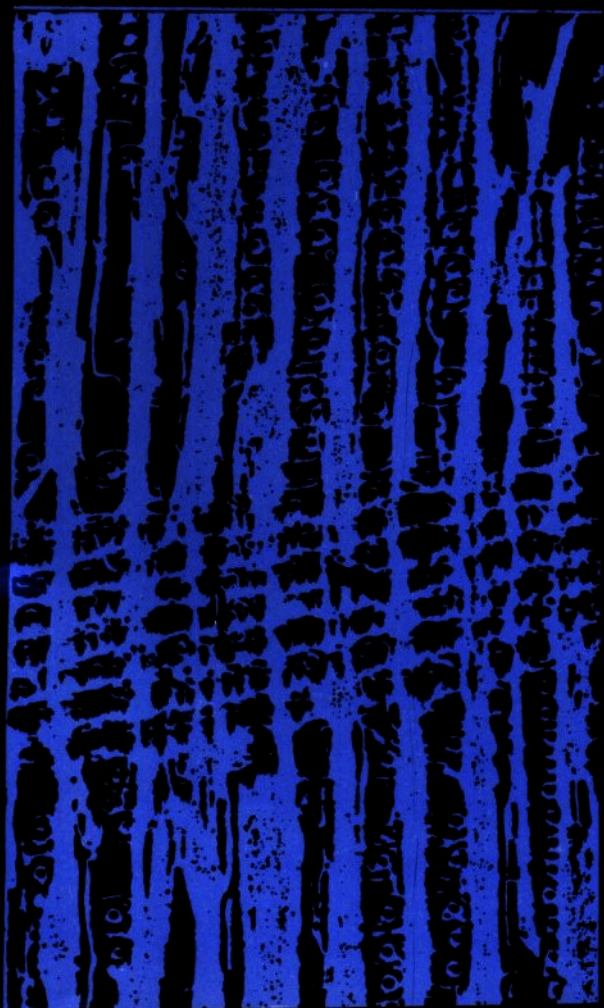


中国的煤层甲烷

COALBED METHANE IN CHINA



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 $50479.26 \times 10^8 \text{t}$ 。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 $30 \sim 35 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，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 $3.85 \times 10^8 \text{m}^3$ ，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，而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，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而降低，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提高，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 $30 \sim 35 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。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,得到西北大学祝总璋教授的指导;本单位王煦曾、潘振武、李明潮、张五倬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感谢。

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： $1\text{kg}/\text{cm}^2 = 9.80665 \times 10^4\text{Pa}$ ； $1\text{cal} = 4.1868\text{J}$ ； $1\text{mD} = 0.987 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

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，它们常呈高大的乔木，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，亦是我們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。

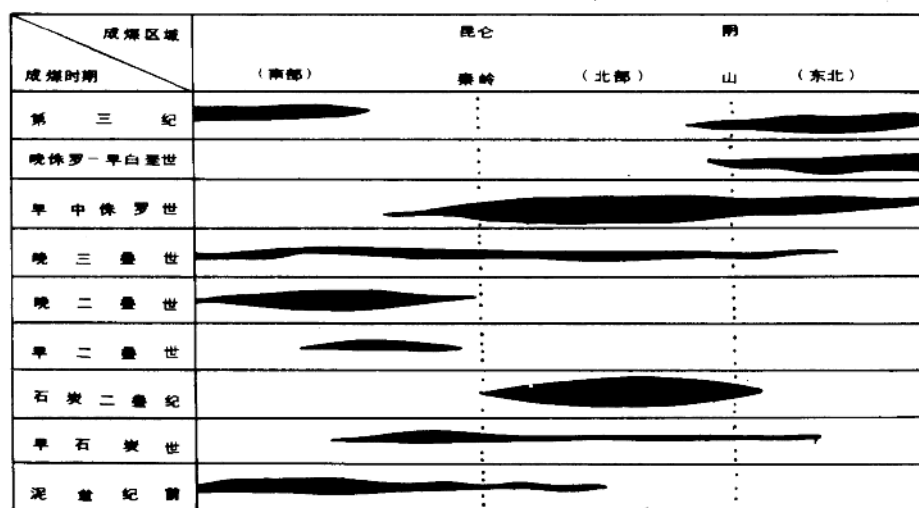
- 2、聚煤作用在时间和空间上有明显的迁移，如以昆仑山—秦岭、阴山为界，把我

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	大弄地组 [※] 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，井——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-穆稜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

我国陆相煤有 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, 由于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侯马—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	$\frac{55-76}{67}$	$\frac{53-76}{67}$	$\frac{30-54}{47}$	$\frac{60-80}{72}$	$\frac{48-60}{54}$	$\frac{70-82}{76}$	$\frac{68-79}{74}$	$\frac{75-82}{79}$	$\frac{70-85}{78}$	$\frac{64-74}{69}$	$\frac{64-66}{65}$
BJ	$\frac{6-12}{9}$	$\frac{3-11}{6}$	$\frac{10-13}{12}$	$\frac{6-8}{8}$	$\frac{7-9}{8}$	$\frac{5-9}{7}$	$\frac{10-11}{10}$	$\frac{3-7}{4}$	$\frac{2-5}{3}$	$\frac{6-11}{8}$	$\frac{3-7}{5}$
BS+S	$\frac{7-24}{14}$	$\frac{13-29}{21}$	$\frac{18-22}{20}$	$\frac{11-21}{17}$	$\frac{25-27}{26}$	$\frac{13-18}{16}$	$\frac{1-11}{6}$	$\frac{10-16}{13}$	$\frac{8-18}{14}$	$\frac{7-16}{12}$	$\frac{23-27}{25}$
W	$\frac{0-4.5}{1.0}$	$\frac{0-3.1}{1.2}$	$\frac{4-19}{12}$	0	$\frac{3-5}{4}$	0	0	$\frac{0-4.2}{2}$	$\frac{0-6}{2}$	$\frac{0.5-5}{3}$	0
M	$\frac{3-20}{8}$	$\frac{2-8}{5}$	$\frac{3-16}{9}$	$\frac{2-8}{3}$	$\frac{2-13}{8}$	$\frac{2-8}{5}$	9	$\frac{2-3}{2}$	$\frac{1.5-5.8}{3}$	$\frac{4-12}{8}$	$\frac{4-6}{5}$
$R_{\max}^0$	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； $R_{\max}^0$ —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%，只有山西大同鹅毛口、保德，河北承德老爷庙、柳江夏峪，内蒙古大青山、桌子山、乌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（内蒙古准格尔和辽宁西

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	沁池 平顶山	鲁西	两淮	北京 唐山	浑江 红阳
J	68	$\frac{50-54}{52}$	$\frac{37-55}{48}$	$\frac{34-53}{44}$	$\frac{40-70}{50}$	$\frac{42-62}{54}$	$\frac{44-63}{52}$	$\frac{51-69}{59}$	51	$\frac{55-64}{58}$	$\frac{57-66}{61}$
BJ	7	$\frac{18-21}{20}$	$\frac{8-9}{9}$	$\frac{4-8}{6}$	$\frac{8-30}{19}$	$\frac{4-13}{7}$	$\frac{3-7}{7}$	$\frac{2-8}{5}$	18	$\frac{3-18}{12}$	$\frac{5-9}{7}$
BS+S	15	17	$\frac{35-51}{43}$	28	$\frac{12-13}{13}$	$\frac{26-47}{33}$	$\frac{25-48}{35}$	$\frac{17-27}{24}$	18	$\frac{11-17}{13}$	$\frac{22-32}{28}$
W	0.7	$\frac{0.5-2}{1.0}$	0	$\frac{4-11}{8}$	0	$\frac{0-9}{2}$	$\frac{0-7}{2}$	$\frac{0-11}{7}$	9	$\frac{1-6}{4}$	0-2
M	9	$\frac{9-10}{10}$	$\frac{1-2}{2}$	$\frac{4-26}{15}$	0	$\frac{3-8}{5}$	$\frac{2-5}{4}$	$\frac{3-5}{4}$	5	$\frac{6-17}{13}$	3
R_{max}^0	1.140	1.062	$\frac{1.265}{1.723}$	$\frac{0.650}{0.790}$	$\frac{1.924}{2.697}$	$\frac{0.821}{1.931}$	$\frac{0.877}{1.519}$	$\frac{0.710}{0.904}$	0.717	$\frac{0.815}{1.173}$	$\frac{1.213}{1.230}$

(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太原组。

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%，与太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(萍乐拗陷)、黔西、川南等地均属此种类型; ②滨海—浅海型, 为一套滨海—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—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拗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

南方晚二叠世龙潭组煤的显微组分含量表

地点	滇 东				六 盘 水				涟源、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 _{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。沉积盆地大型波状拗陷，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—永仁一带，含煤性极好，其主要含煤层位为大芥地组，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拗陷处的 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—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
新疆边含煤区	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 _北 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拗陷，而是一系列以北东方向为主的狭长拗陷，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—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拗陷，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、甘青交境等地晚二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—拜城拗陷，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—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，极少形成具有一定规模的煤田。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