

西安科技大学

硕士学位论文

焦坪矿区 4~(-2) 号煤层瓦斯赋存规律研究

Study on Gas Occurrence Regularity of No.4~(-2) Coal Seam in

Jiao Ping Mining Area

专业名称: 安全技术及工程

作者姓名: 马正恒

指导老师: 李树刚; 许满贵

**Subject : Study on Gas Occurrence Regularity of No. 4⁻² Coal Seam in
Jiao Ping Mining Area**

Specialty : Safety Technology and Engineering

Name : Ma Zhengheng (Signature) _____

Instructor : Li Shugang (Signature) _____

Xu Mangui (Signature) _____

ABSTRACT

Jiaoping mining area is a rare mining area of China in which coal、oil and gas associate, the large amount of coal gas emission which have a large fluctuation range with the conducting of coal mining activities becomes the main factor that restricts mine safety and efficient production. Studying 4⁻² coal gas' storage characteristic from the point of gas geology is important guarantee of gas controlling of the mining area.

Through analyzing physical parameters of coal seam and its surrounding rock、gas materials from production and test, studied the basic characteristics of mining area of southern Jiaoping (Chenjiashan and Xiashijie) about gas occurrence. According to regional tectonic evolution theory, studied the control law of structure and its evolution to gas occurrence. It is concluded that: (1)Gas distribution is obviously consistent with the main fold distribution in this area; (2)Syncline axis part have higher gas content, while anticline is opposite; (3)Mining area located in the Ordos Basin which is a stability rigid block, to some extent offsets the effect of structural changes, that's why the main construction in this area is relief-fold, but multi-period structural changes made small faults, fissures developed over the region; (4)Roof rock stratum of coal seam lead to that immediate roof can not form an effective seal on the coal seam, meanwhile made main roof become good gas layer. Seam、immediate roof and main roof constitute a unity gas-bearing reservoir.

On this basis, analyzed the actual condition of mining area using grey association theory, and finally got the relevant degree and relational series between each factor and coal gas content. Determined the main factors affecting coal-bed gas content, There are: oil intensity of the roof of coal seam、the thickness of coal measure above the roof of coal seam and sandstone under Zhiluo Formation which reflects sedimentary sequences, also the sandstone

and mudstone ratio of the coal-bed top which reflects variation of depositional environment.

Applying the method of Geographic Information Systems to forecast coal gas content and its distribution of mining area. Combined layers stacking technology of GIS and fuzzy mathematics evaluation method, establish coal seam gas content forecast method based on GIS. First, establish fuzzy evaluation system based on the idea of fuzzy mathematics, achieve processing of data and building database, and then integrate layers stacking technique into the evaluation system, establish GIS evaluation system of coal seam gas content. Finally, complete the forecast to coal gas content and distribution of the study area.

Key words: JiaoPing mining Gas occurrence Tectonic control Layers stacking

Thesis : Application Study

目 录

1 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 研究现状及发展趋势.....	2
1.2.1 国内外瓦斯赋存研究现状及发展趋势.....	2
1.2.2 瓦斯含量预测研究.....	4
1.3 研究区研究现状及存在的问题.....	5
1.4 本文的研究内容、研究目标及技术路线.....	6
1.4.1 研究内容.....	6
1.4.2 研究目标.....	6
1.4.3 技术路线.....	7
2 煤层瓦斯赋存研究.....	8
2.1 煤层瓦斯的生成机理分析.....	8
2.2 煤体赋存特性分析.....	9
2.2.1 煤层的空隙特征.....	9
2.2.2 煤体的吸附和解吸特性.....	12
2.3 煤层瓦斯的扩散和渗流机理分析.....	17
2.3.1 煤层瓦斯的扩散特性.....	17
2.3.2 煤层瓦斯的渗流特性.....	18
2.3.3 4 ⁻² 号煤层瓦斯运移特性.....	18
2.4 本章小结.....	19
3 焦坪矿区瓦斯地质特征分析.....	21
3.1 矿区概况.....	21
3.2 矿区地质.....	22
3.2.1 地层.....	22
3.2.2 煤系地层.....	24
3.2.3 煤层及煤质.....	24
3.2.4 构造.....	27
3.2.5 煤层顶底板及围岩含油性.....	29
3.3 矿区大地构造位置及构造演化特征.....	31

3.3.1 地理位置简介	31
3.3.2 大地构造位置	32
3.3.3 地层层序及构造演化特征	32
3.3.4 矿区构造及分布演化特征	34
3.3.5 构造演化对矿区瓦斯赋存的影响分析	35
3.4 本章小结	36
4 焦坪矿区 4 ² 号煤层瓦斯含量主控因素分析	37
4.1 影响煤层瓦斯含量的主要因素概述	37
4.1.1 煤储层地质特征	37
4.1.2 煤储层物性特征	38
4.1.3 煤层瓦斯封盖特性	39
4.2 研究区煤层瓦斯含量影响因素及量化研究	41
4.3 研究区煤层瓦斯含量主控因素分析	43
4.3.1 灰色关联分析方法的基本思想	44
4.3.2 灰色关联分析步骤	44
4.3.3 煤层瓦斯含量主控因素分析	46
4.4 本章小结	47
5 基于GIS的煤层瓦斯含量及分布预测	48
5.1 Mapinfo简介	48
5.2 矿区范围底图制作	49
5.3 煤层瓦斯含量及分布预测的模糊综合评判体系	55
5.4 各评价因素参数函数和权重系数的确定	56
5.4.1 获取评价参数特征值的原则和方法	56
5.4.2 各因素隶属度函数的确定	57
5.4.3 对评价参数相对重要性权重排序	58
5.5 地理信息系统下评价的实现	59
5.5.1 资料的收集、预处理及数据建库	59
5.5.2 图层叠加分析	59
5.6 本章小结	63
6 结论	64
6.1 主要结论	64
6.2 论文后续工作的展望	65
致 谢	66
参考文献	67
附 录	71

1 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

煤炭是我国的主体能源，与经济社会建设、人民生活息息相关。国家《能源中长期发展规划纲要（2004~2020 年）》已确定，我国将“坚持以煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展的能源战略”。煤炭工业的健康、稳定、持续发展是关系到国家能源安全的重大问题。然而，随着矿井开采强度和深度的增加，煤矿重特大瓦斯事故频频发生，给人民生命和国家财产造成重大损失。而瓦斯在造成灾害的同时，又是一种优质能源。煤层瓦斯是集利与害于一身的矛盾体。

一方面，瓦斯属于影响煤矿安全生产的头号杀手。由于其无形性、隐蔽性、赋存与涌出的复杂性及治理上的高难度，长期以来一直是制约煤矿安全生产和煤炭工业发展的重要瓶颈。经济快速发展对煤炭的需求迅速膨胀，但煤的产量愈高、采深越大，瓦斯灾害的威胁也会相应增大^[1]。近年来，矿井开采深度以每年近 20m 的速度向深部延伸，瓦斯灾害也随之增加。产量需求激增、自然条件恶化，使得本已十分脆弱的煤炭工业灾害事故接连不断的发生，甚至越来越严重，这与“以人为本，建立和谐社会”的国家方针极不协调。另外，随着产业结构的调整，煤炭生产正朝着高效集约化的方向发展，瓦斯、煤尘爆炸及煤与瓦斯突出等灾害已成为制约高效集约化开采最重要的因素。

另一方面，随着常规天然气的日益减少，煤层瓦斯等非常规天然气资源的勘探开发日益受到人们关注。瓦斯本身是一种洁净、高效、污染低的优质能源，可作为民用和工业燃料或用于发电，还可用于生产炭黑、甲醛、化肥和其他工业品。按热值计算，1000m³ 瓦斯约相当于 1t 标准煤所产生的热量^[2]。据估算，我国埋藏 2000m 以内瓦斯资源量约为 3.146×10¹³m³，占世界的 13% 左右^[3]。另外，甲烷是温室气体之一，以原子为基准甲烷的加热效应是 CO₂ 的 25~30 倍，甲烷排入大气对臭氧层的破坏能力是 CO₂ 的 7 倍^[4]。开发利用煤层瓦斯，减少向大气中排放，对减少空气污染、保护大气环境具有重要意义。

20 世纪 90 年代末至今，我国煤炭开采力度逐步增大，煤层瓦斯的赋存和分布情况越来越复杂，瓦斯灾害出现的频率也愈来愈高。据统计，全国 620 处重点煤矿中，高瓦斯矿井和煤与瓦斯突出矿井所占的比重为 47.2%^[5]。

陕西省煤炭资源丰富，储量仅次于山西、内蒙古，居全国第三位，总体上资源赋存和开采条件较好，但局部地区地质条件复杂，瓦斯危害严重^[6]。从地域分布看，大部分瓦斯事故发生在铜川北区和渭南的韩城矿区，其次就是黄陵矿区、彬长矿区和子长矿区。

铜川、旬邑、黄陵、子长等矿区存在油气共生灾害，一些低瓦斯煤矿也发生过多起死亡 10 人以上的重特大瓦斯爆炸事故^[5]。

作为陕西省国有煤炭工业基地之一的焦坪矿区就是瓦斯事故频发的高瓦斯矿区。该区煤层顶、底板还含有油和气，属全国少见的煤、油、气共生矿区。绝大部分煤层属易自然发火煤层，发火期一般 3~6 个月，最短的只有 24 天^[7]。矿井瓦斯涌出量大、变化大，是影响矿井安全生产的最主要因素。该区现有 4 个国有重点矿井，为设计能力年 450 万吨的大型矿区。由于煤层巨厚，含气量大，顶底板围岩又含有大量油气，瓦斯问题十分突出，先后于 2001 与 2004 年发生两起特大瓦斯爆炸事故，造成重大人员伤亡。随着开采强度加大、开采深度加深，瓦斯灾害呈现出强劲上升趋势。

1.1.2 研究意义

从历年事故发生的情况看，瓦斯地质工作滞后，瓦斯赋存规律不清，不能制定针对性的防治对策，是导致灾害的根本原因。特别是，焦坪矿区高瓦斯易自燃油气共生坚硬厚煤层瓦斯赋存规律不清，加之开采过程中叠加油气逸出，使得灾害机理更趋复杂，灾害程度更加严重。

从瓦斯地质角度，研究煤层瓦斯的形成、赋存特征，进而定性定量预测瓦斯涌出量，是预防瓦斯事故的重要手段之一。大量实践证明，瓦斯事故是可以预防的。从地质角度探索瓦斯赋存规律，研究瓦斯的超前预测预报技术，既是瓦斯地质学的主攻方向，又是煤矿企业迫切需要解决的重要课题。尤其对已经发生了两次特大瓦斯爆炸事故的焦坪矿区来说，选择该课题进行研究并取得突破，将对指导煤矿有针对性的制定防灾措施，防止重大瓦斯事故的再次发生，有着重大的理论和现实意义。

1.2 研究现状及发展趋势

1.2.1 国内外瓦斯赋存研究现状及发展趋势

长期煤矿生产实践中，人们逐渐认识到煤矿瓦斯的赋存及分布与地质因素有密切关系，于是，开始利用地质观点研究瓦斯问题。瓦斯地质工作随着长期煤矿生产实践的总结和分析而开展起来。

煤层瓦斯是地质作用的产物，它的生成、运移、赋存和富集，与地质条件密切相关。瓦斯地质学把瓦斯研究和地质研究密切结合起来，运用地质学的基本原理和方法以及煤矿开采方面的技术理论，研究瓦斯的赋存条件、运移和分布规律以及矿井瓦斯动力现象。研究的主要内容包括：瓦斯的形成和运移、瓦斯赋存的地质条件、煤与瓦斯突出的地质条件、瓦斯危险性预测^[11]，其中瓦斯危险性预测又包括瓦斯含量预测、瓦斯涌出量预测和瓦斯突出预测 3 个方面。前三项研究是第四项研究——瓦斯危险性预测的基础。

1.2.1.1 国外研究现状

国外以前苏联、法国、英国、澳大利亚等对瓦斯地质方面的研究较为详细。法国早在 1914 年就设立了“防治煤与瓦斯突出的专门委员会”，从地质角度研究瓦斯的分布规律，防治突出。前苏联自 50 年代就开始了瓦斯地质的研究，于 1951 年设立了“防止煤和瓦斯突出中央委员会”，研究指出：煤层瓦斯受地质因素控制^[12,13]，分布不均匀，与构造复杂程度、煤层围岩、变质程度等有关。

英国的David P.提出在煤系地层中，地质构造为煤层瓦斯赋存及分布的主要影响因素^[14]，建议加强构造演化与瓦斯地质规律的研究。澳大利亚的Jshherd (1981)^[15]对地质构造与瓦斯突出的关系也作了广泛的研究。

Bibler CJ等学者^[16]在研究全球范围的瓦斯涌出现象时，指出矿区构造运动不仅影响煤层瓦斯的生成条件，而且影响其保存条件。英国的Frodsham K等人^[17]认为在构造的挤压、剪切作用下，煤层结构破坏，形成发育广泛的构造煤，为瓦斯富集提供了载体。Huoyin Li等人^[18]通过模拟试验证实了构造煤是瓦斯的富集体，并指出构造煤广泛发育于煤田中地质构造集中地带。

1.2.1.2 国内研究现状

我国对瓦斯赋存与分布的研究更为广泛。早在上个世纪 60 年代，抚顺煤矿安全研究所就开始了瓦斯赋存地质条件的研究，指出构造对瓦斯赋存具有控制作用。20 世纪 70 年代中后期较为系统地开展了瓦斯地质研究，到 80 年代得到较大发展，科研单位与大专院校联合攻关，在瓦斯形成、运移、赋集及突出等方面取得了一批重要成果与认识。80 年代，焦作矿院杨力生（1983）领导的瓦斯地质编图工作是全国范围内对瓦斯地质研究的普及；瓦斯区域论的提出（1990）标志着地质条件对瓦斯赋存控制理论的形成，阐述了瓦斯含量及突出受地质因素制约，具有不均衡性、分区分带性。

20 世纪 90 年代末至今，人们在研究瓦斯突出的机理和防治措施时，注意力集中到了构造煤上。张祖银（1992）对我国瓦斯地质规律的研究指出，煤层中的高瓦斯是突出的物质基础，构造煤发育则是突出的必要条件，压性和压扭性构造有助于构造煤的形成和高压瓦斯的聚积，是导致突出的重要因素。张子敏、张玉贵（2005）提出：煤层瓦斯含量高是瓦斯突出发生的基础；煤体结构破坏是发生瓦斯突出的必要条件；构造应力相对集中地带是瓦斯突出发生的主要位置；压性、压扭性构造是发生煤与瓦斯突出的有利地带等观点^[1]。张子敏（2006）在其博士论文中提出：构造煤的分布受地质构造逐级控制，强挤压剪切构造破坏带、高应力区是煤与瓦斯突出灾害发生的背景环境，高能瓦斯和构造煤是煤与瓦斯突出的控制因素。并尝试引入力化学理论与方法研究构造煤，第一次明确地提出构造煤是煤受力化学作用的产物。认为力化学作用不仅加速煤变质过程，而且加速烃的转化，有利于低分子化合物和瓦斯的富集^[19]。瓦斯分布与构造煤的形成密切相关，又与煤层形成之后各种地质变化和构造变动密切相关。

根据不同矿区及同一矿井不同地段瓦斯分布不均匀的现象,周克友在文献^[20]中论述了瓦斯的分布与地质构造的关系,指出高瓦斯矿井和低瓦斯矿井都存在预防瓦斯事故的问题。王生全等^[21]通过分析构造与煤层瓦斯含量、涌出量及煤与瓦斯突出之间的关系,总结出构造控气的四种类型。张国辉等^[22]采用地质动力区划方法,分析了淮南煤田瓦斯赋存状态与区域地质构造的关系,认为淮南煤田地处两个相交的凹地区域,决定了其富含瓦斯,由于煤田处于长期沉降,具备了瓦斯突出的地质动力条件。刘红军通过对长平矿区的区域地质条件^[23]的分析,结合井下采掘过程中揭露的地质构造及采掘工作面瓦斯涌出情况,总结了构造特征与瓦斯赋存之间的关系。

不同的构造形态的性质和成因不同,对瓦斯的控制作用也会不同。康继武^[24]从褶皱变形与瓦斯聚集的关系出发,提出褶皱控气的4种基本类型,从理论上解释了褶皱轴部具有聚集和逸散瓦斯双重性的原因,为褶皱发育区进行瓦斯灾害预测提供了依据。宋荣俊等^[25]在研究断裂构造对刘桥二矿瓦斯分布的控制作用时指出,张扭性断层及压扭性逆断层对瓦斯的储存分别起一定的释放和封闭作用,瓦斯在小型断裂附近易于集聚。宋三胜等^[26]根据生产实践中揭露的构造资料,结合瓦斯监测资料,分析了瓦斯涌出与构造的关系,探讨了中小断层构造控制瓦斯的规律,论述了中小断层构造与工作面瓦斯涌出的关系,为矿井安全生产及瓦斯治理提供了基础和依据。另外,影响瓦斯赋存地质构造的探测技术已比较成熟,主要有红外线^[27]和地质雷达^[28]两种探测方法。在对煤层物性的研究方面,广泛采用氦比重法、扫描电镜(SEM)、压汞法及低温液氮吸附法来研究煤中孔隙大小、形态及结构,取得了比较理想的效果。

国内外瓦斯灾害防治实践表明,只有掌握了煤层瓦斯赋存规律,才能制定行之有效的瓦斯治理和开发利用方案。从而达到防治瓦斯灾害的目的,同时,将煤层瓦斯作为一种新兴能源加以充分利用,保护人民生命和国家财产安全。

可以看出:国内外煤层瓦斯问题的研究多处于定性阶段,但在随着各学科的飞速发展,大多数学者越来越倾向于结合众多前沿学科对瓦斯问题做更为深入的研究,并且愈来愈集中到瓦斯危险性预测方面。将现代数学、力学、计算机和非线性科学等广泛的应用于对瓦斯问题的研究,从单因素分析转向了综合指标控制分析研究;从因素分析转向了机理研究;从宏观转向了微观、超微观研究,已初步进入了量化研究阶段。

1.2.2 瓦斯含量预测研究

现在开采深度内(1000~1200m),煤层中大部分瓦斯(70%~95%)处于吸附状态,少部分在煤孔隙中处于游离状态,另外有极少数处于溶解状态。

煤层瓦斯含量是计算瓦斯储量及瓦斯涌出量、实现瓦斯抽采的基础,也是预测瓦斯突出危险性的重要参数。未开采煤层瓦斯含量及影响因素研究,是煤矿安全生产的基础研究工作。由于地质条件的复杂性,煤层中某一点的瓦斯含量是该点多种地质因素综合

影响的结果^[29,30]。同一井田范围内,同一煤层的瓦斯含量往往变化较大,且经常出现突变,正是因为如此,对煤层瓦斯含量的预测才显得尤其重要。

目前瓦斯含量的预测主要有两种方法,一是通过煤样的兰氏体积与兰氏压力,利用储层瓦斯压力,根据Langmuir方程推算煤层瓦斯含量^[30];二是对影响瓦斯含量的因素进行系统分析,找到主控因素,借助于数学方法建立煤层瓦斯含量预测模型,从而对未采区瓦斯含量及分布进行预测^[31]。常用的瓦斯含量预测方法有瓦斯梯度法、多元回归分析法以及神经网络方法等,目前以瓦斯含量与煤层埋深之间的一元线性预测模型最多。

1.3 研究区研究现状及存在的问题

本区大规模地质调查始于1957年,1969年贺兰山煤田地质局190队、原西北煤田地质局第二地质队、194煤田地质队先后进行过不同程度的地质勘探工作,并提交精查地质报告,1975年提交补充精查地质报告;1989~1993年铜川矿务局地质勘探公司对矿区深部开展了延伸水平地质勘探,主要以获取煤层变化资料、计算地质储量为目的,并未对煤系地层瓦斯及其含油气情况做专题研究。1982年陕煤科技创刊号上发表的“焦坪矿区油气赋存情况调查分析”一文,对矿区油气赋存情况做了初步总结分析^[32];1988年为配合全国瓦斯地质编图工作,矿区首次开展了瓦斯地质研究,编写了瓦斯地质说明书,对瓦斯赋存与涌出规律做了总结;1995年铜川矿务局地测处孔令义发表了“焦坪矿区瓦斯地质因素的探讨”,对瓦斯赋存与涌出的地质因素进行了定性分析^[33];舒新前,姚素平等于1999年发表了“焦坪煤的煤岩组分及其特征”,对矿区进行了系统的煤岩、煤质及有机岩石学研究^[34];1997年西安科技大学米敬奎完成了“陈家山井田煤层气及利用前景研究”硕士论文,并于1999年发表了“陈家山煤层气的可利用性研究”,对陈家山煤层瓦斯赋存条件进行了分析研究,并对煤层瓦斯资源利用前景做了评价^[35];1997年陈建平发表了“鄂尔多斯盆地东南缘煤矿侏罗系原油油源”,提出了侏罗系原油来自三叠系的观点^[36];1998年,郭黔杰发表了“焦坪侏罗纪煤系及其油气展布”^[37],提出侏罗系原油与煤系有关;2003年肖永福等人发表的“焦坪矿区油气赋存规律研究”^[38],总结了矿区油气赋存规律;2003年王生全发表了“煤油气共生矿井的瓦斯地质及其安全开采技术”,分析了井田及采面的瓦斯涌出来源,提出工作面安全开采的瓦斯治理方案^[39];2006年王生全完成“焦坪南部煤油气共生矿区的瓦斯地质特征及瓦斯预测研究”硕士论文^[40],较为全面的分析了矿区瓦斯地质特征及油气来源,并采用灰色理论建模,对矿井瓦斯含量及涌出量进行了预测。2007年封华等发表了“焦坪矿区油气伴生特性及其对瓦斯爆炸极限的影响”^[41],得出矿区瓦斯爆炸极限的变化趋势;2009年王坤通过其硕士论文“焦坪矿区瓦斯赋存特征与抽放方法研究”^[42]对矿区两个生产矿井进行煤岩实验分析,认为矿区煤层瓦斯具有可抽放性。

尽管研究区地质、采矿工作开展较早,并有许多研究人员及现场技术人员对矿区瓦

斯与油气开展过不少的研究与治理工作，但长期以来对于瓦斯问题并未找到切实可行的解决之道。以往的研究尚存在着以下不足：

(1) 众所周知，现今的煤层瓦斯赋存状态是含煤地层经过多次构造运动作用的结果，瓦斯赋存构造逐级控制理论已为大家所接受。运用区域构造演化理论，搞清矿区所在大地构造位置及构造演化史，是认清矿区瓦斯赋存规律的前提。

(2) 以往对瓦斯含量的预测以数学方法为主，且缺乏高精度的定量预测模型。而且地学信息类型繁多，数量庞大，如何去伪存真、去粗取精，最大限度地保护和利用这些信息资源是需要解决的另一问题。

1.4 本文的研究内容、研究目标及技术路线

1.4.1 研究内容

(1) 在对煤层瓦斯赋存理论总结学习的基础上，结合矿区煤岩层物性参数及生产、实验测定瓦斯资料，分析陈家山井田及下石节井田瓦斯赋存的基本特征。

(2) 区域构造演化理论对矿井地质构造及演化进行分析，研究构造体系及其演化对瓦斯赋存及分布的影响。

(3) 在掌握矿区基本地质特征的基础上，研究煤厚、埋深、含油强度等条件对煤层瓦斯赋存的影响，分析影响瓦斯含量的因素并确定主要控制因素。

(4) 根据获得资料，通过 GIS 平台对研究区瓦斯含量及分布情况进行分析预测。

1.4.2 研究目标

现今的煤层瓦斯赋存情况取决于瓦斯向地表运移的条件及瓦斯的储集性能，即煤岩层透气及储气性。构造运动的结果是原生煤层瓦斯的赋存情况和运移条件发生很大变化：一方面，构造运动破坏了原生煤体结构，使得颗粒破碎，比表面积增大，瓦斯吸附性能增强，为瓦斯的保存和运移提供了条件；另一方面，构造运动破坏围岩结构，构造裂隙发育，瓦斯的扩散速度、渗透性能加强，有利于瓦斯的逸散^[43]。

基于以上原理，本文以瓦斯地质观点为指导，从分析矿区煤层瓦斯形成条件、赋存特征入手，评价瓦斯的生、储、盖、渗性能；运用区域构造演化理论，查明矿区地质构造及其演化特征对瓦斯赋存的控制作用；研究矿区瓦斯含量的主控因素；采用模糊数学的评价方法，借助于地理信息系统，在 mapinfo 下进行图层叠加分析，实现对研究区瓦斯含量及分布的预测。

1.4.3 技术路线

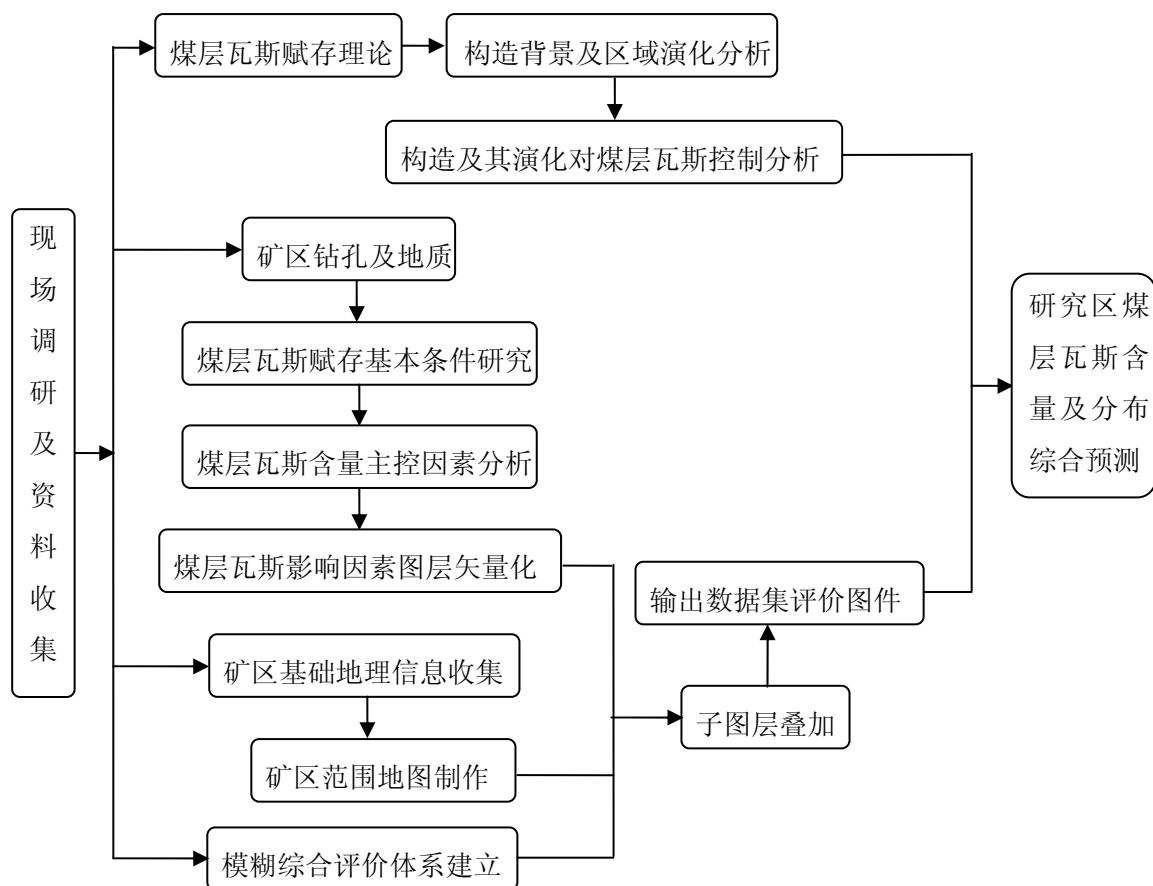


图 1.1 技术路线图

2 煤层瓦斯赋存研究

煤层瓦斯为自生自储型非常规天然气资源，煤储层不同于常规石油天然气储层，具有许多独有的特点。对瓦斯赋存规律的研究不能照搬常规油气藏的理论和方法，需要建立适合于煤储层特性的理论和方法。为此，首先必须搞清楚煤层瓦斯的生成、储集及运移等机理。

2.1 煤层瓦斯的生成机理分析

据前人研究，矿井瓦斯主要来源于煤层和煤系地层，是煤化作用的伴生产物。在整个煤化作用过程中，瓦斯伴随着煤的形成而生成，并通过一定的状态保存于煤层及其围岩中。从植物遗体到无烟煤的成煤过程中，每生成 1t 煤可伴生 100m^3 以上的瓦斯。煤是由高等植物遗体经过泥炭化作用和煤化作用转变而成的固体可燃有机岩。当泥炭被其它沉积物覆盖时，泥炭化作用结束，随之在温度和压力作用下，发生煤化作用。从煤化作用的结果来看，形成了两种产物：(1) 泥炭转变为固态残留物-褐煤、烟煤和无烟煤；(2) 植物中 C、H、O 等元素在温度和压力的共同作用下形成水和气体挥发性物质^[44]，如图 2.1 所示。根据煤的化学组成和物理结构在煤化过程中的变化，煤化作用的深浅程度可用煤级来表示。

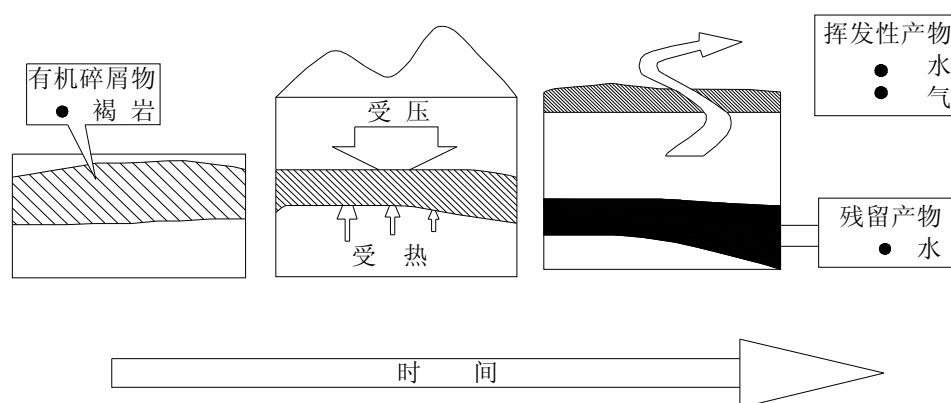
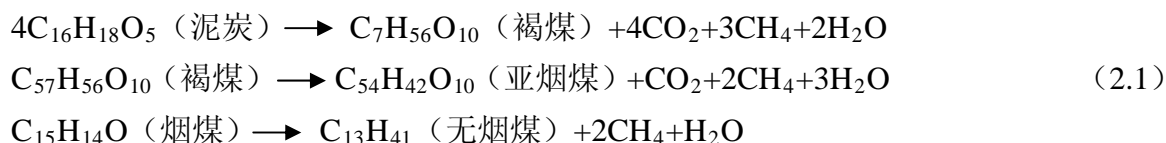


图 2.1 煤化作用及产物（据黄军城，1990 修改）

从分子角度分析，煤中有机质的基本结构单元主要是带有短侧链和杂原子的官能团，如羧基（ $-\text{COOH}$ ），羟基（ $-\text{OH}$ ），甲氧基（ $-\text{OCH}_3$ ）的缩合芳香核体系，碳原子主要集中在芳香稠环中。稠环芳核由于有牢固的键能结合力，因而具有较高的稳定性，而侧链基团与稠环之间的结合力相对较弱。在煤化作用过程中，煤中有机质在温度、压力作用下，芳香核环数目不断增强，侧链逐渐减少、缩短，官能团减少，芳香核环数不断增加，结构单元不断增大，纵向堆砌加厚，排列有序化^[45,46]，相应地碳含量和镜质组反

射率逐渐增高。同时，断裂下来的官能团和侧链生成 CH_4 、 CO_2 和 H_2O 等挥发性物质以及少量重烃，成煤各阶段形成的 CH_4 可用反应式 2.1^[47]表示：



从式中可以看出，整个煤化作用过程中都有烃类气体产出，该过程有机物分解，脱出甲基侧链和含氧官能团，生成煤层瓦斯。随着煤化作用的加深，由泥炭变质到无烟煤，有机质进行脱氧去氢富碳的芳核缩合反应。煤的变质程度越大，生成的瓦斯量也就越多。根据热模拟实验和煤系地球化学分析资料，可以将煤系有机物的演化过程划分为两个阶段^[47]：（1）泥炭-木质褐煤-亚烟煤-中挥发分烟煤（相当于我国的长焰煤-瘦煤（ $0.5\% < R_{\max} < 1.9\%$ ））阶段，此为成熟阶段，热成因甲烷增量达到最大值，重烃产率也达到高峰期。为热成因甲烷生成的主要阶段；（2）半无烟煤-无烟煤-超无烟煤（相当于我国的贫煤和无烟煤（ $R_{\max} > 1.9\%$ ））阶段，此为过成熟阶段，由于有机质构化程度和苯环缩聚大大加强，大部分富氧侧链脱落，加之前期生成的大分子烃类在高温下裂解，都形成甲烷，因此，甲烷是此阶段的主要产物。

许多研究者对不同煤种的产气量进行估算，预计从褐煤到无烟煤演化过程中，每吨煤可生成约 $160\sim 400\text{m}^3$ 瓦斯气体^[48]，但现今的煤岩层中仅 10% 左右得以保存。一方面由于煤层本身储集瓦斯能力有限；另一方面，瓦斯以压力气体的形式存在于煤岩层中的，经过漫长的地质年代，大部分都逸散了。

2.2 煤体赋存特性分析

2.2.1 煤层的空隙特征

煤是由缩合芳环通过三维空间交联而成的大分子结构有机岩，具有双孔隙结构、比表面积大和可自发吸附气体的特征。成煤过程中，在生物作用和热作用下，煤释放出大量的甲烷和其他气体，同时，煤基质表面又可吸附大量的甲烷和其他气体。因此，煤既是气源岩也是储集岩，又是煤层瓦斯运移通道，这是煤层瓦斯和常规天然气最根本区别。

从微观角度来看，煤层属于裂隙-孔隙型储层。一方面，煤作为一种固态胶体，具有胶体属性，内部存在许多极细微的毛细管和孔隙；同时，煤在地史中由于受到各种构造应力的作用，形成了大小不一的裂隙。

2.2.1.1 煤体微结构特性的主要影响因素

煤的空隙特性与煤变质程度、地质破坏情况和地应力大小等有关^[49]。

（1）煤变质程度：从长焰煤、气煤、肥煤、焦煤到瘦煤的变质过程中，随着煤化程度的加深，煤的总孔隙逐渐减小，到焦煤、瘦煤时达最低值；而后又从贫煤、半无烟

煤到无烟煤，随煤化程度的加深，总孔隙又逐渐增加，至无烟煤时达到最大。但煤中微孔体积则随着煤化变质程度的增加而增长。

(2) 煤体破坏情况：煤体破坏程度对煤中大孔和中孔有较大影响，但对微孔影响甚微。一般而言，煤的渗透容积主要由中孔和大孔组成，煤的破坏程度越高，渗透容积相应的会越大。

(3) 地应力：张应力可使裂隙张开，从而引起渗透容积增大，张应力越高，渗透容积增长越多，即孔隙率越大；而与此相反，压应力则可使渗透容积缩小，压应力越大，煤体渗透容积缩小的就越多，即孔隙率越小。

2.2.1.2 煤层的孔隙特征

煤中的孔隙，根据成因可分为原生孔隙和次生孔隙。其中，原生孔隙可进一步分为残留植物细胞腔孔和原生粒间孔；次生孔隙可进一步分为气孔、次生粒间孔和铸模孔。残留植物细胞腔孔是原有的植物组织经泥炭化作用和煤化作用后残留的部分细胞腔，如丝质体、半丝质体和机构镜质体中的细胞腔，直径约 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2} \text{mm}$ ；原生粒间孔则是成煤物质颗粒之间的孔隙，随着煤化程度加深而逐渐减少；气孔是在煤化作用过程中因甲烷等气体逸出而流下来的孔隙，直径一般 $1 \times 10^{-3} \text{mm}$ ，形状为圆形、椭圆形，分布无规律，多成群出现。

煤中孔隙的大小相差很大，最小的连氮分子（直径为 1.78\AA ）都无法通过。目前 B.B. 霍多特的十进制划分方案在国内应用最为广泛，其对煤中孔隙分为以下几类：大孔（ $>1000\text{nm}$ ），以管状和板状为主，是气体强烈层流渗透区域；中孔（ $1000 \sim 100\text{nm}$ ）以板状、管状为主，间有不平行板状孔隙，是气体缓慢层流渗透区域；小孔（ $100 \sim 10\text{nm}$ ）以不平行的板状为主，有一部分墨水瓶状孔隙，是气体毛细凝结和扩散的空间；微孔（ $<10\text{nm}$ ）多具有的墨水瓶状孔隙，构成煤的吸附容积。微孔发育的煤往往吸附能力较强，大孔发育的煤则渗透性好。

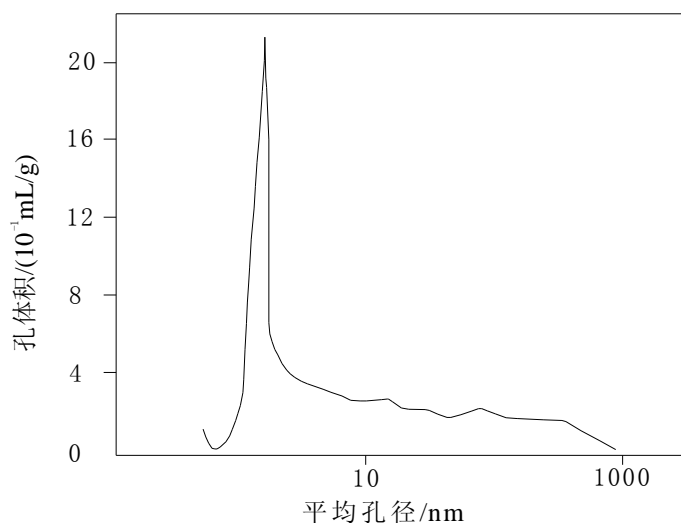


图 2.2 孔径分布曲线（据米敬奎，1991）

4²号煤层的孔径测试显示,煤中的小孔、微孔占大多数,约60~70%左右,平均孔径10nm以下,优势范围为3~4.5nm,中值半径为7.2nm,大孔约占15%,中孔、大孔约占30~40%,其平均孔径分布曲线如图2.2所示。据煤科总院西安分院与铜川矿务局煤研所1987年在210轨中向煤层打钻进行的瓦斯抽放工业性试验采样测试,4²号煤层总孔隙度在10.67~11.18%间,连通孔隙度(用高压煤油饱和法测定)为6.03~6.24%,连通孔隙度与总孔隙度之比为56~57%。尽管煤层大部分孔隙是相互连通的,有利于瓦斯渗透运移,但作为储层来看,总的连通孔隙度还是很低。

2.2.1.3 煤层的裂隙特征

煤中除了有大量孔隙外,还发育有裂隙。裂隙是煤化过程和后期改造中主要受构造应力作用而形成的破裂现象。煤层受构造应力作用发生破裂,形成裂隙网络,构成煤层瓦斯渗流通道。但当煤层遭受过于强烈的构造动力作用,破碎成粒状、块状、粉状或糜棱状时,已形成的裂隙网络就会被破坏乃至消失。

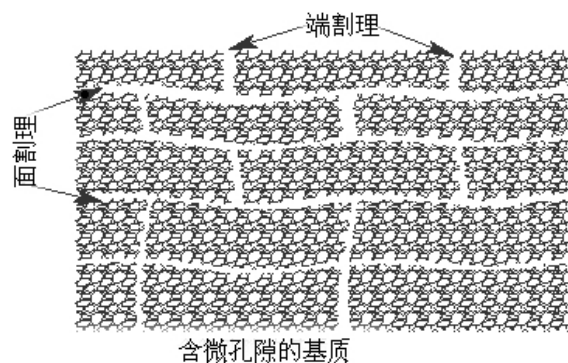


图 2.3 煤体中的裂隙

煤中裂隙按倾角大体可分为两类:(1)垂直或近于垂直的两组,通常沿走向相互垂直的两组较发育的一组称为面割理,另外一组称为端割理,如图2.3所示;(2)斜交煤层层面,有学者称其为剪裂隙,一般在煤化作用过程中、褶皱前期形成,主要为区域构造应力场作用下形成的区域裂隙。

煤中裂隙有大有小,有的贯穿整个煤层,有的分布于煤层中,有的仅发育于镜煤条带中。不同规模的裂隙,导流能力不同,对煤储层渗透率的贡献亦不相同。煤中裂隙的发育程度,通常以频率或间距来衡量。据研究显示,煤中裂隙的间距为毫米-米级,变化很大,受煤级、煤岩组成、厚度、沉积压实、构造作用强度及方式等多种因素综合影响,相同地质条件下主要受煤级影响。煤中裂隙的走向在平面上往往呈现一定的分布规律,煤中不同方向裂隙相互交织,构成煤层的裂隙网络。在简单构造背景下,形成的裂隙网络规整、简单。但在复杂构造背景下,由于受多期构造作用改造,各期形成的煤中裂隙叠加在一起,构成的裂隙网络复杂、不规则。

4²号煤层中发育着两类裂隙:(1)内生裂隙(割理)。呈矩形网络状,主要有NE与

NW向两组，NE向裂隙占优势，为面割理，NW向为端割理。NW向割理一般不切穿NE向，区内裂隙发育与主体构造方向一致。据井下煤壁测量，4⁻²号煤层面割理密度1.5~2.2条/cm，宽度0.1mm，高度3cm。端割理发育稀疏，局部有方解石充填。从割理发育的部位看，主要在亮煤、镜煤中，暗煤中很少有发育，从割理发育程度看，高于渗透性很差的渭北石炭-二叠纪煤层，但密度与宽度均低于我国地面煤层瓦斯抽放条件较好的煤层；

(2) 构造裂隙。方向以NE向为主，次为NW向，裂隙切穿煤层顶底板或夹矸层，延伸不远，密度2~3条/5cm，裂隙有矿物质充填，一般只发育在煤层上部。

从室内煤样的孔径、孔隙度测量结果分析，构成主要渗透通道的中孔、大孔孔径体积仅占30%左右，连通孔隙度平均6%，井下实测煤层透气性系数为 $0.06\text{m}^2/\text{at}^2 \cdot \text{d}$ ，与目前国内公认的渗透率高，井下抽放性好的抚顺矿区第三纪煤层相比，低1~2个数量级，表明煤层渗透性较低，但与全国大多数C-P纪煤田及同时代煤田相比，渗透性不算太低。

2.2.2 煤体的吸附和解吸特性

2.2.2.1 煤层瓦斯的吸附特性

煤层瓦斯有三种基本赋存形式：吸附状态、游离状态和溶解状态，三种状态处在一个动态平衡过程中，其中以吸附状态为主，可占总量的70~95%，游离状态约占10~20%，溶解状态极小。它们所占的具体比例取决于煤的变质程度、埋深等。

(1) 吸附状态

煤的内表面上分子的吸附力，一部分指向煤体内部，并达到饱和状态；另一部分指向自由空间，没有饱和，从而在煤的表面产生吸附场，吸附周围的气体分子，是一种物理吸附，具有可逆性。

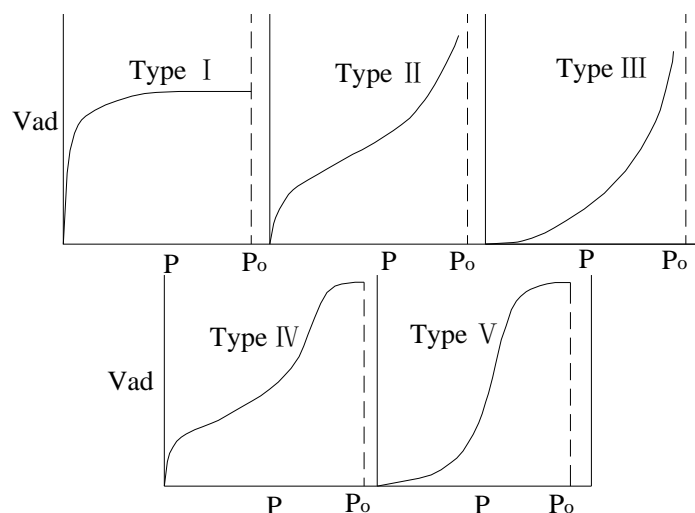


图 2.4 BET 等温吸附曲线五种主要类型

煤对甲烷的吸附一般可用Langmuir等温吸附方程来描述，但Bunauer (1945) 认为，

吸附等温线并非都是Langmuir型的，有五种主要类型^[50]，如图 2.4 所示，Langmuir型仅相当于其中的一种类型。

甲烷吸附在煤基质的内表面上，吸附量与瓦斯的压力 P 和温度 T 有关。煤对气体的吸附属单分子层吸附，温度恒定时，吸附量与煤层瓦斯储层中的压力呈非线性函数关系，用 Langmuir 等温吸附方程来描述，如式 2.2 所示。

$$W_2 = \frac{abp}{1+bp} \quad (2.2)$$

式中， a ， b 为朗缪尔等温吸附常数， a 表示给定温度下，单位质量固体的极限吸附量，对煤体瓦斯而言，一般为 $10\sim 60\text{m}^3/\text{t}$ ， b 值一般为 $0.5\sim 5\text{MPa}^{-1}$ 。式 2.2 中，温度一定时，为等温吸附，所形成的关系曲线为等温吸附曲线；当压力一定时，为等压吸附，所形成的关系曲线为等压吸附曲线。

a ， b 值可由实验室测得。一般情况下， b 值很小，故在瓦斯压力不大时，吸附瓦斯与瓦斯压力几乎成正比关系。可以看出： P 越大，吸附量 W_2 就越大，越利于煤层瓦斯的吸附聚集。随着压力降低，甲烷解吸，并释放出来。

一定条件下被吸附的气体分子与煤的内表面脱离（解吸），转为游离状态。深部煤层中，当瓦斯压力较高时，煤岩层孔隙中所含的瓦斯量往往可以达到相当大的值。煤层瓦斯还可以溶解于地下水中，形成溶解气，但数量极少。

随着煤化作用的加深，甲烷在压力的作用下以单分子聚合形成单分子层，并且紧密吸附在煤基内表面，这种吸附的甲烷分子层可以扩大孔隙，同时部分甲烷分子进入煤基质后可形成新的孔隙。

在平衡水分条件下，我国煤的Langmuir体积(V_L)为 $7.35\sim 57.87\text{cm}^3/\text{g}\cdot\text{daf}$ ，Langmuir压力(P_L)为 $1.11\sim 10.25\text{MPa}$ 。其大小主要受煤级影响（张群，1999）。即Langmuir体积(V_L)随煤级的增加而增大，Langmuir压力(P_L)首先随煤级增大而快速减少，之后缓慢增加。

按照Langmuir体积(V_L)的变化，可将煤的储存瓦斯能力分为 4 个阶段：① 低储阶段。对应于煤的低变质阶段 ($0.5\%\leq R_{\max}<0.9\%$)，即长焰煤-气煤，煤的吸附能力低，储气能力低；② 中储阶段。为煤的中变质阶段 ($0.9\%\leq R_{\max}<1.9\%$)，即肥煤-瘦煤，吸附能力中等，储气能力中等；③ 高储阶段。为煤的高变质阶段 ($1.9\%\leq R_{\max}<6.0\%$) 即贫煤-无烟煤，煤的吸附能力高，储气能力高；④ 少储阶段。是煤的超高变质阶段 ($R_{\max}>6.0\%$)，基本不吸附，储集瓦斯能力很小。

(2) 游离状态

游离状态下，煤层瓦斯以自由气体状态存在于煤的孔隙中，可以自由运动。这种赋存状态的气体符合气体状态方程。对理想气体而言，其状态方程如式 2.3 所示。

$$PV = \frac{M}{\mu} \cdot RT \quad (2.3)$$

式中：V—气体体积， cm^3 ；

M—气体质量，kg；

μ —摩尔质量， kg/mol ；

T—绝对温度，K。

对于有些气体（如 H_2 、 O_2 、 N_2 等），其P、T、V满足理想气体状态方程。其它许多气体却不能用上式描述，如 CO_2 、 CH_4 等，而是满足真实气体状态方程，即范德华方程，如式 2.4 所示。

$$\left(P + \frac{M^2 a}{\mu^2 V^2} \right) \left(V - \frac{M}{\mu} b \right) = \frac{M}{\mu} \cdot RT \quad (2.4)$$

式中 a、b 皆为常数，可由实验求得。

为方便起见，实际应用中常引入气体的压缩因子 Z，因此式 2.4 可改为：

$$PV = ZnR \quad (2.5)$$

其中，mol 数 $n = M/\mu$ 。

对压缩因子 Z 可定义为：在给定温度、压力条件下，真实气体所占体积（ V_T ）与相同条件下理想气体（ V_I ）所占体积之比，见式 2.6。

$$Z = v_1/v_2 \quad (2.6)$$

也可用压缩系数表示气体体积随压力的变化率，即通过对上式微分，得到式 2.7。

$$C_g = -\frac{dV_g}{V_g dP} = -\frac{1}{P} = -\frac{dZ}{Z dP} \quad (2.7)$$

Z 是压力和温度的函数，可根据等温 Z-P 图求得 C_g 值。

(3) 溶解状态

煤层瓦斯储集大多处于饱水环境，一定的压力条件下必定有一部分煤层瓦斯溶解于水，但溶解度相对较小，一般每升水中可溶解零点几到几升甲烷。其溶解度可用亨利定律描述，如式 2.8 所示。一定温度条件下，气体在液体中的溶解度与压力成正比。

$$F = KcC_b \text{ 或者 } C_b = P_b/Kc = KC \cdot P_b \quad (2.8)$$

式中： P_b —气体在液体上方的蒸汽平衡分压（Pa）；

C_b —气体在水中的溶解度（ mol/m ）；

Kc —亨利常数，取决于气体的成分和温度；

K—溶解系数。

2.2.2.2 煤层瓦斯解吸特性

解吸是由于影响吸附-解吸平衡的条件发生变化，吸附气体转化为游离态而脱离吸附体系，吸附-解吸动态平衡体系中吸附量减少的一个过程。绝大部分瓦斯以物理吸附

的形式赋存于煤的基质空隙中，当煤储层压力降至临界解吸压力以下时，煤层瓦斯即开始解吸，由吸附态转化为游离态或溶解态。煤层微孔隙表面上气体开始解吸时的压力称为临界解吸压力，如图 2.5 所示。

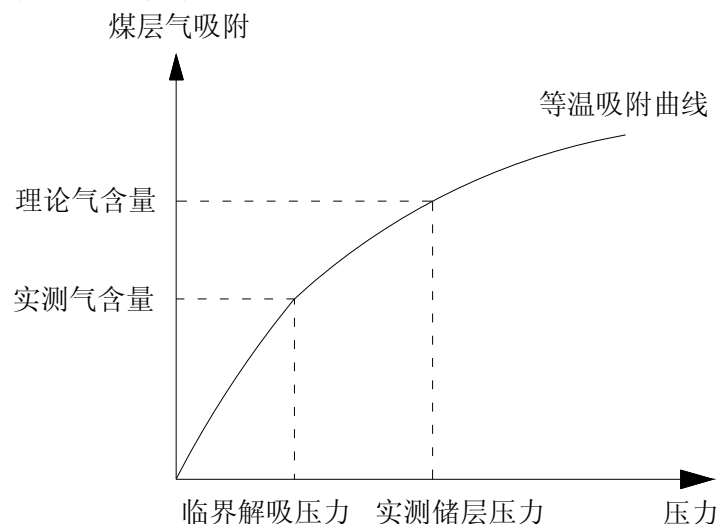


图 2.5 煤的解吸压力与等温吸附曲线示意图

而在现实情况下，含气饱和度与煤层瓦斯解吸也有着直接的关系。煤的含气饱和度越大，其对应含气量在吸附曲线上越对应接近实测储层压力，其临界解吸压力也就越大，当压力降低时，则越有利于煤层瓦斯解吸。煤储层压力也受煤层埋藏深度的影响，一般来说，埋深越大煤储层压力也越大。

近年来，对煤吸附多元混合气体研究指出：多元气体吸附时，每种气体不是独立的，它们之间存在着吸附位的竞争，瓦斯组分的吸附能力由大到小依次为 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 、 N_2 。二元气体的吸附等温线总是介于吸附能力强的气体和吸附能力弱的气体之间，组成的百分比不同，所得的等温线也不同。煤体对由 CO_2 与 CH_4 、 CH_4 与 N_2 组成的混合气体及 CO_2 、 CH_4 、 N_2 的吸附性强弱顺序依次为： $\text{CO}_2 > \text{CO}_2 + \text{CH}_4 > \text{CH}_4 > \text{CH}_4 + \text{N}_2 > \text{N}_2$ 。

总的来说，多元气体的吸附是通过吸附位的竞争来进行的，吸附竞争力的强弱与吸附质分子的极性有明显的关系，吸附和解吸具有可逆性。

2.2.2.3 矿区煤层瓦斯吸附-解吸特性

(1) 吸附性能。兰氏体积是衡量煤岩吸附性能的量度，它反映了煤体的最大吸附能力。兰氏压力是影响吸附等温线形态的参数，是指吸附量达到1/2兰氏体积时所对应的压力值，该指标反映煤层瓦斯解吸的难易程度，值越高，煤层中吸附态气体脱附就越容易。表2.1为陈家山矿06年地面施工瓦斯参数并取煤样进行的等温吸附试验结果。

测试结果表明，4⁻²号煤层兰氏体积为9.17~14.94m³/t（可燃质），兰氏压力为2.88~5.14Mpa。按照依据兰氏体积与兰氏压力进行的煤层气选区评价，见表2.2，4⁻²号煤层吸附性能均属Ⅱ类中等类型。

表 2.1 煤样等温吸附实验数据

样品编号	煤层号	实验参数	兰氏体积V _L (m ³ /t)	兰氏压力P _L (Mpa)	备注
		可燃质	9.93	2.61	
4 ⁻² (1~2)	4 ⁻² 号	原煤	6.70	2.88	t=19℃
		可燃质	9.17	2.88	
4 ⁻² (3~4)	4 ⁻² 号	原煤	5.81	3.99	
		可燃质	10.27	3.99	
4 ⁻² (5、7)	4 ⁻² 号	原煤	9.32	5.14	
		可燃质	14.94	5.14	
Langmuir方程			V=V _L P/(P _L +P)		

表 2.2 煤岩层吸附性能级别划分表

级别	兰氏体积 V_L (m^3/t)	兰氏压力 P_L (Mpa)	特征
I	>20	>3	好
II	10~20	1.5~3	中
III	<10	<1.5	差

(2) 解吸性能。煤储层解吸性能可用解吸量和解吸速率予以衡量。解吸总量由阶段解吸量组成，解吸速率一般采用吸附时间定量表示，它们直接影响煤储层的含气性，并受吸附性、渗透性等诸多地质因素的制约。

表 2.3 陈家山煤矿地面瓦斯抽放参数并煤层解吸总量百分比

煤层编号	样品编号	采样深度 (m)	采样厚度 (m)	占气体总量百分比%		
				损失量	解吸量	残余量
	1	569.70~570.00	0.30	6.92	92.64	0.45
	2	570.00~570.24	0.24	4.32	95.24	0.44
	3	575.905~76.10	0.20	4.71	94.65	0.64
	4	576.10~576.30	0.20	3.04	96.50	.047
	5	576.60~576.90	0.30	2.32	97.48	0.20
	6	577.80~578.10	0.30	4.29	95.41	0.30
	7	580.405~580.70	0.30	5.69	93.93	0.38
	平均			4.47	95.12	0.41

① 煤层瓦斯解吸量。煤芯样总解吸量由三部分组成，即损失量、自然解吸量（解

吸至一周内每天小于 $10\text{cm}^3/\text{g}$ 时的解吸数量)和残余气量。其中损失量、解吸量之和与总气量之比,称为解吸率。从表2.3可以看出,各样品均以自然解吸气占主体,平均在95%以上,次为损失气和残余气。煤层平均解吸率为99.59%。

② 吸附时间。由煤样解吸实验取得,是指实测气体体积累计达到63%时所需要的时间。根据吸附时间定义,用内插法计算各煤层吸附时间为4.09~7.82天。

2.3 煤层瓦斯的扩散和渗流机理分析

研究煤层瓦斯赋存必然要涉及瓦斯运移。这是因为:从瓦斯的生成、聚集到最终的散失这一过程来看,运移是贯穿全过程的纽带。由运移导致的瓦斯逸散是绝对的和持续的,而发生在运移过程中的瓦斯聚集,在时间上是短暂的、在空间上是局部的、在数量上是少量的。煤层瓦斯的聚集是相对的和有条件的,而运移的发生则是必然的,扩散和渗流是煤层瓦斯运移的主要方式。

2.3.1 煤层瓦斯的扩散特性

扩散是流体分子在浓度梯度驱动下由高浓度向低浓度区随机流动的过程,如图 2.6 所示。煤层瓦斯穿过煤基质和微孔的扩散是菲克型扩散(分子之间的相互作用)、可怒森扩散(分子和孔隙壁之间的相互作用)和表面扩散(吸附的类液体状甲烷薄膜沿微孔隙壁的转移)共同作用的结果^[50]。

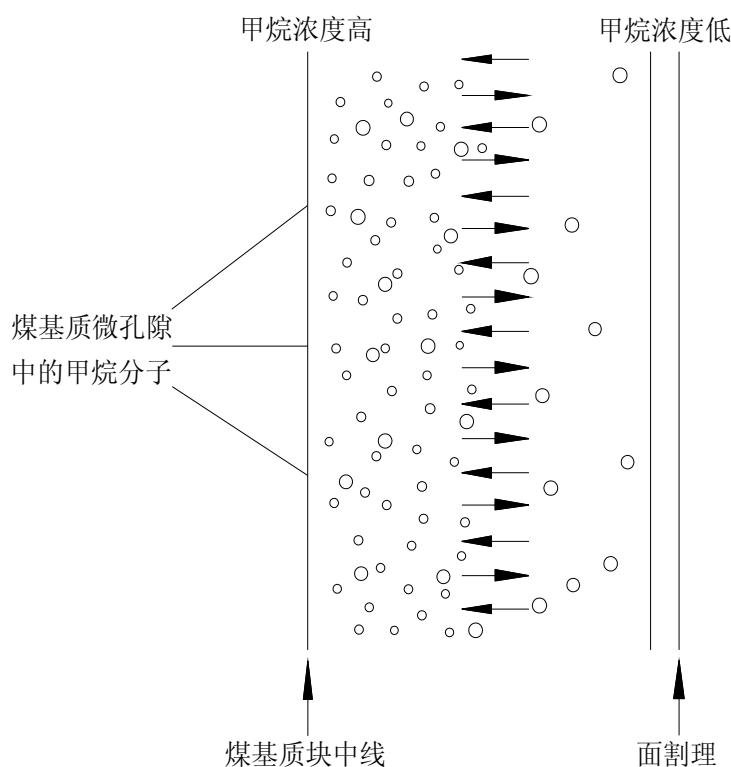


图 2.6 煤基质中甲烷分子扩散示意图

在微孔隙系统内的扩散过程，一般用菲克(Fick)定律，式 2.9 来描述。

$$d_m = -D \frac{dc}{dl} dt \quad (2.9)$$

式中： d_m —扩散量 (m^3/m^2)；

D —为气体扩散系数(m^2/s)；

dc/dl —为气体浓度梯度 ($m^3/(m^3 \cdot m)$)；

dt —时间 (s)；

负号表示扩散发生方向与浓度增加方向相反。

2.3.2 煤层瓦斯的渗流特性

煤层瓦斯渗流的主要通道为煤岩中裂隙，按一定方向做层流流动，其流动符合达西定律。在压力梯度作用下，煤层瓦斯沿压力降低煤层是气-水两相共存，气、水以各自独立的相态混相流动，其流速与各自的有效渗透率成正比。有效渗透率是气、水共存时煤通过每一相流体的能力。相对渗透率是每一相流体的有效渗透率与煤层绝对渗透率的比值。在实际工作中常用相对渗透率。气、水两相的渗流定律，如式 2.10，2.11 所示。

$$V_g = \frac{K_g \Delta P_g}{\mu_g L} = \frac{KK_{rg} \Delta P_g}{\mu_g L} \quad (2.10)$$

$$V_w = \frac{K_w \Delta P_w}{\mu_w L} = \frac{KK_{rw} \Delta P_w}{\mu_w L} \quad (2.11)$$

式中： V_g 、 V_w —气水两相的渗流速度；

μ_g 、 μ_w —气水两相的渗流粘度($Pa \cdot s$)；

ΔP_g 、 ΔP_w —气水两相的压差(MPa)；

L —渗流距离(m)；

K —绝对渗透率(μm^2)；

K_{rg} 、 K_{rw} —气水两相的相对渗透率(μm^2)。

煤储层中流体的流量与储层绝对渗透率、相对渗透率、储层压力成正比例关系。

2.3.3 4⁻²号煤层瓦斯运移特性

4⁻²号煤层直接顶以粉砂岩、砂质泥岩夹薄煤层组合为主，局部相变为细砂岩或中粗粒砂岩，厚度一般2~4m，裂隙发育，老顶为中粒砂岩（俗称小街砂岩），局部相变为粉砂岩，厚0.9~40.66m，平均8m。煤层直接底板为炭质泥岩、含铝质泥岩，次为粉砂岩、细砂岩等，厚0.10~19.01m，一般4~8m，质软、疏松、易碎、遇水易膨胀。

根据资料，对4⁻²号煤层围岩渗透性能通过测定岩样气体渗透率、连通孔隙率和排驱压力进行定量评价，成果如表2.4所示。

表 2.4 4²号煤层围岩渗透性参数

层位	岩性	连通孔隙率%	气体渗透率 $\times 10^{-3}\mu\text{m}$	透气性系数 $\text{m}^2/\text{at}^2 \cdot \text{d}$	排驱压力MPa
直接顶	砂质泥岩	3.06	0.21	0.088	1.2
直接顶	粉砂岩	1.21	2.31	0.970	0.83
老顶	粗砂岩	11.88~15.82	26.5~12.9	11.12~5.418	
老顶	中砂岩	11.57	8.75	3.675	
直接底	粉砂岩	1.21~1.73	0.09~2.30	0.504~0.176	1.2~0.42

由表中可以看出，直接顶砂质泥岩-细砂岩虽然具有很低的孔隙度，但却有高的渗透率及低的排驱压力，不利于瓦斯的保存。直接底虽多为泥岩，但裂隙发育、破碎，不利于瓦斯保存。通过对粉砂岩的取样测试，其渗透率高，排驱压力低，均大大低于煤层的排驱压力。根据刘焕杰等人提出的以围岩岩性、厚度、裂隙发育程度及渗透率大小划分煤层顶底板封盖能力的方案，见表2.5，4²号煤层围岩封闭性较差。位于煤层直接顶之上的老顶粗砂岩和中粒砂岩比起直接顶具有更高的连通孔隙度，易于气体流动，具有大量瓦斯储集空间及较高的气体渗透率。正是由于围岩具有较好的渗透性及老顶的储集性，使得煤层中的瓦斯运移到了老顶砂岩中。实测煤层瓦斯平均含量仅 $2.98\text{m}^3/\text{t}$ ，而顶板砂岩含气量却高达 $6\text{m}^3/\text{m}^3$ 。钻孔实测数据和生产矿井瓦斯涌出量统计资料也表明，矿井瓦斯75%来自围岩，仅25%来自煤层。可以看出：直接顶并不能对煤层形成有效封盖，但实际上，它与煤层及老顶一起构成了统一的煤层瓦斯含气层。

表 2.5 煤层顶底板封盖能力分类（据刘焕杰，1998）

岩性	厚度(m)	裂隙发育程度	渗透率 ($\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$)	封盖性能
泥质岩，砂质泥岩，灰岩	>5	差	$<10^{-3}$	好
砂质泥页岩，泥质粉砂岩，灰岩	>2	中等	$<10^{-2}$	中
粉砂岩，砂岩，灰岩		好	$<10^{-1}$	差

2.4 本章小结

本章从瓦斯基础理论学习开始，对涉及煤层瓦斯赋存的瓦斯生成、储集、吸附解吸、扩散、渗透等机理，进行了系统的学习、总结和概括，结合实际，对矿区瓦斯赋存情况作了一定的分析。

从成因及赋存情况看，煤层瓦斯是成煤过程中的伴生产物，由于煤的特殊结构而大量赋存其中，煤层既是瓦斯的生成源岩，又是其储集层，煤层瓦斯与煤层本身具有十分紧密的共生、共储特性。4²号煤层瓦斯赋存具有以下特点：

(1) 平均孔隙度为6%，以小孔、微孔为主，发育有NE与NW向两组割理，并以NE向占优，割理与矿区主体构造方向一致。从发育的层位看，割理主要在亮煤、镜煤中发育，暗煤中很少，从发育的程度看，高于渗透性很差的渭北石炭-二叠纪煤田煤层，

但密度与宽度均低于我国地面煤层瓦斯抽放条件较好的煤层。

(2) 煤层兰氏体积为 $9.17\sim 14.94\text{m}^3/\text{t}$ (可燃质), 兰氏压力为 $2.88\sim 5.14\text{Mpa}$; 吸附性能力属 II 类中等类型; 平均解吸率为 99.59%, 吸附时间 4.09~7.82 天。

(3) 煤层直接顶砂质泥岩-细砂岩虽然具有很低的孔隙度, 却有着高的渗透率及低的排驱压力, 不利于瓦斯的保存。直接底多为泥岩, 但裂隙发育、破碎, 不利于瓦斯保存, 围岩封闭性较差。但老顶砂岩具有很强的储气性, 矿井瓦斯 75% 来自围岩, 仅 25% 来自煤层。煤层与直接顶及老顶一起构成了统一的含气层。

3 焦坪矿区瓦斯地质特征分析

焦坪矿区煤层顶、底板均含有油和气,属国内少见的煤、油、气共生矿区,分布有陈家山、下石节两个高瓦斯矿井,玉华矿为低瓦斯矿井,但按高瓦斯矿井管理。由于地质因素复杂,该区瓦斯灾害频繁发生,给人民生命和煤矿生产带来了巨大的灾难与损失。本文主要针对陈家山及下石节这两个高瓦斯矿井进行。

3.1 矿区概况

焦坪矿区属黄陇侏罗纪煤田的一部分,位于该煤田东部。地处铜川市西北 37km,地理坐标为东经 $108^{\circ} 35' \sim 109^{\circ} 00'$ 、北纬 $35^{\circ} 10' \sim 35^{\circ} 30'$,东以煤层露头为界,西至马栏、转角与彬县矿区相邻,南抵庙湾,北隔建庄隆起与店头矿区毗邻,南北长 26.5km,东西宽 3km,面积约 103.1km^2 。自南而北分布有陈家山矿、下石节矿、崔家沟矿及玉华矿四对国有煤矿。矿区交通方便,有陇海线经由咸铜线和梅七支线延伸到矿区,同时与附近的市县均有公路相通,如图 3.1 所示。

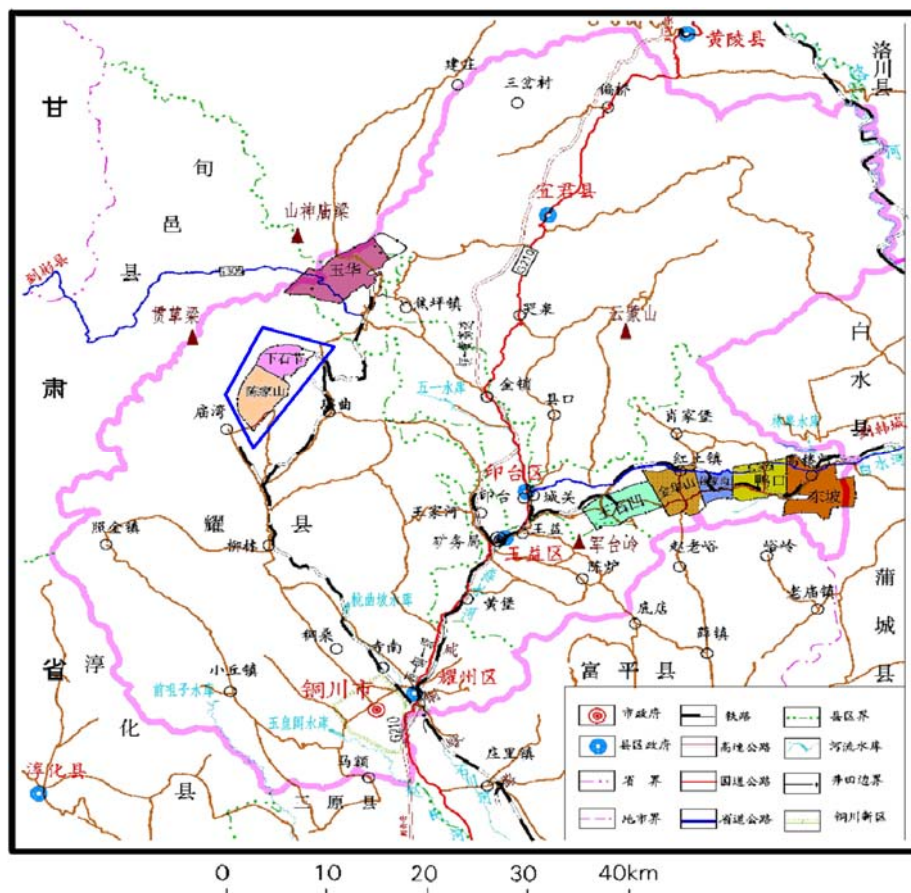


图 3.1 焦坪矿区地理位置图

陈家山井田和下石节井田采矿权范围内煤层赋存浅, 开发条件好, 主采侏罗系延安组 4⁻²号煤层, 两矿实际生产能力均在 150 万吨以上。陈家山矿开采方式为平峒、盘区及石门开拓; 采煤方法为走向长臂、倾斜分层或一次采全高采煤法, 以+980m水平标高为界, 分两个水平开采。下石节矿采用平峒、斜井阶段式开拓; 采煤方法为走向长臂、倾斜分层, 全部垮落及倾斜长臂放顶煤采煤法。目前开采范围为+1000m水平以上煤层。

3.2 矿区地质

3.2.1 地层

矿区为中生代侏罗纪陆相半隐伏式煤田。根据钻探和井巷揭露资料, 井田内地层由老到新为上三叠统永坪组 (T_{3y}), 下侏罗统富县组 (J_{1f}), 中侏罗统延安组 (J_{2y}), 中侏罗统直罗组 (J_{2z}), 下白垩统 (K_1) 及第四系 (Q), 如图 3.2 所示。现分述如下^[51,52]:

(1) 上三叠统永坪组 (T_{3y})

岩性为灰色、深灰色粉砂岩、细砂岩、泥岩互层, 局部夹薄煤层。厚约 1119~1639m, 自下而上分为长 10~长 1 段 10 层段, 由于风化剥蚀, 缺失长 1~长 3 段地层。延长组在矿区内仅零星出露于东南边缘, 构成黄陇煤田含煤建造的基底。区内勘探钻孔仅揭穿其表层 10~30m。由于本组地层在长 7 段发育有良好的生油岩 (张家滩页岩), 在长 8、长 6 段发育有储集层, 储油条件较好, 成为延长, 长庆两大油气田的重要产油层。

(2) 下侏罗统富县组 (J_{1f})

与下伏地层假整合接触, 为三叠系后形成的谷底或小凹地的补偿性沉积。岩性为砂质泥岩、紫杂色花斑泥岩, 局部相变为黑色泥岩, 团块状, 具滑面, 有鲕状结核。偶而夹灰色细砂岩, 致密较硬。组内厚度 0~31.64m, 变化较大, 平均厚度 9.2m。

(3) 中侏罗统延安组 (J_{2y})

连续沉积于富县组之上, 为主要含煤地层, 赋存有 1、2、3、4 煤组。岩性主要为炭质泥岩与粉砂岩, 含植物化石、黄铁矿结核和四个煤组。西部薄东部厚, 背斜区薄, 向斜区厚。厚度 15.91~158.95m, 平均厚 74.33m。稳定可采煤层为 4⁻²煤层。3⁻²号和 4⁻¹号煤层局部可采, 1、2 号为不可采煤层。

(4) 中侏罗统直罗组 (J_{2z})

岩性为紫红色粉砂岩与灰紫、灰绿、杂色粗砂岩互层, 粒度自下而上由粗变细, 底部为含砾粗砂岩, 胶结松散, 局部含油, 厚度 4.96~113.35m, 平均厚 54.37m, 向斜区厚, 背斜区薄。在上石节, 草滩, 衣食村一带最厚。

(5) 下白垩统宜君组 (K_{1y})

岩性为紫杂色砾岩, 局部相变为含砾粗砂岩, 砾石成分多为石灰岩, 次为石英岩及其它岩屑, 泥钙质胶结, 砾径一般 30~50mm。本组厚度为 1.54~60.01m, 平均厚 15.76m。

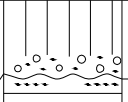
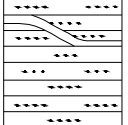
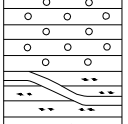
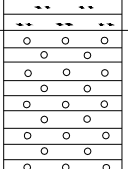
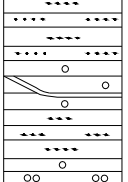
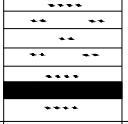
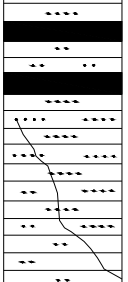
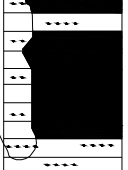



时代					柱状 1 : 1000	厚度 (m)	透气性		
界	系	统	组	段			高	中	低
新生界 K _z	第四系 Q					0-43 4			
中生界	白垩系 K	下白垩统 K ₁	志丹群 K _{1z}	华池河段		356			
				洛河段		32-270 105			
				宜君段		1.5-45 18			
	侏罗系 J	中侏罗统 J ₂	直罗组 J _{2z}			5-118 65			
				上段		0-36 15-20 1号			
				中段		2号 3号 0-71 35-40			
		下侏罗统 J ₁	富县组 J _{1f}	下段		4 ⁻¹ 号 4 ⁻² 号 0-89 15-25			
						0-72 10			
									
	三叠系 T	上三叠统 T ₃	延长组 T _{3y}			不详			

图 3.2 矿区瓦斯地质综合柱状图

(6) 下白垩统洛河组 (K_{IL})

由紫杂色砾岩和砖红色砂岩组成, 上部岩性以巨厚层状紫杂色砾岩为主, 夹厚层状砂砾岩。砾岩成份多为石灰岩, 次为石英岩及其它, 砾径 50~100mm, 夹厚层状砾岩或砂砾岩, 砂岩具大型斜层理, 泥质胶结, 一般厚 200m。

(7) 下白垩统华池环河组 (K_{Ih})

灰紫色、杂色粉砂岩及细砂岩, 仅在山梁残存, 最大残存厚度 187.64m。

(8) 第四系 (Q)

岩性为表土、黄土砾石层, 下部间或夹杂有钙质结核数层。不整合覆盖于其它时代岩层之上, 山梁顶部一般为黄土, 山坡多为腐植土, 河谷地带常发育卵石层, 厚度为 0~49m, 一般在 10m 以下。

3.2.2 煤系地层

中下侏罗统延安组为本区煤系地层, 其沉积厚度受基底构造控制。从富县组起, 随时间的推移, 沉积基底逐渐夷平。按沉积旋迴结构及含煤特征分为上、中、下三段。

下段: 为本区的主要含煤层段, 含 4 号可采煤层组。由沼泽相、湖泊相组成, 具有一个沉积旋迴结构。岩性主要为炭质泥岩、煤层、砂质泥岩及粉砂岩, 厚 15~25m。在古河床发育范围内则为一套 50~60m 厚的灰白色中粗粒砂岩或砾岩。

中段: 为本区次要含煤段, 含局部可采的 2、3 号煤层。由河床相、河漫相、沼泽相及湖泊相组成, 具有两个沉积旋迴结构, 岩性主要由灰白色、灰色中粗粒砂岩 (或砂砾岩), 细砂岩及粉砂岩组成。中粗粒砂岩成分以石英、长石为主, 含黄铁矿结核, 煤屑或煤线, 分选性、滚圆度均差, 钙泥质胶结, 局部含油, 位于各旋迴底部。粉砂岩、细砂岩则位于旋迴上部。本段厚度为 0~71m, 一般厚 35~40m。

上段: 本区次要含煤段, 含有不可采的 1 号煤层。以河床相、河漫相与湖泊相为主, 具有两个旋迴结构。岩性由各种粒度的砂岩与泥岩组成。上部夹条带状紫灰色泥岩, 富含绿色、棕色泥岩碎块, 旋迴底部中粗粒砂岩不稳定, 常相变为粉细砂岩。本段厚度为 0~36m, 一般厚 15~20m。

3.2.3 煤层及煤质

3.2.3.1 煤层

本区延安组共含 1、2、3、4 号四个煤层 (组), 煤层总厚 10~20m, 最厚处可达 40 余米, 一般 14m 左右, 含煤系数 0.19。4²号煤层全区可采, 为主采煤层, 4¹号和 3²号煤层局部可采, 其余均为不可采煤层, 见表 3.1。

4²号煤层全区可采, 为结构复杂的较稳定煤层, 煤厚 0~34.88m, 一般厚 8~12m, 厚度较稳定, 除矿区边部变薄以至尖灭外, 其内尚未发现不可采地段, 煤层最大埋深

68.40m，一般埋深 300~500m，如图 3.3 所示。

表 3.1 煤层特征表

煤层号	煤层厚度	夹矸层数	层间距（m）	标志层	稳定层	可采程度
	最小~最大 一般（m）					
1 号	0~0.30 0.10	无	10~12	顶为紫色泥岩		不可采
2 号	0~1.22 0.20	无	20			不可采
3 ⁻² 号	0~6.29 1.50	1~5	30	底为黑条砂岩	极不稳定	局部可采
4 ⁻¹ 号	0~5.86 0.65	1~2	2	顶为小街砂岩	极不稳定	局部可采
4 ⁻² 号	0~34.88 8~12	2~5	2		较稳定	主要可采
4 ⁻² 号下	0~3.75 0.45	1~3		底为花斑泥岩		不可采

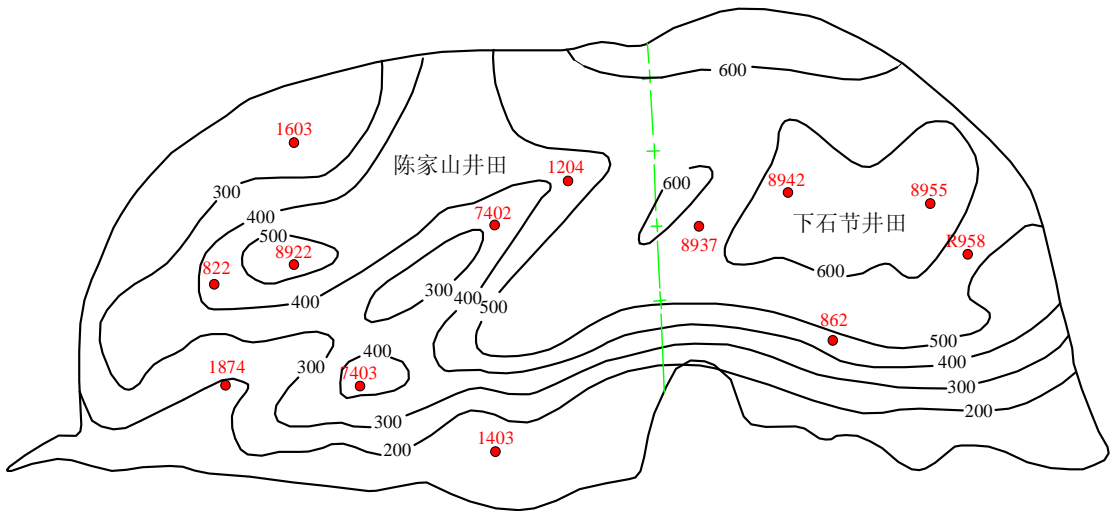


图 3.3 4⁻²号煤层埋深等值线图

煤层厚度总体变化趋势是中浅部厚、深部薄、东部厚、西部薄、向斜厚、背斜薄，与煤系地层厚度变化一致，图 3.4 为延安组地层等厚线图。煤厚这种变化规律主要受沉

积时期古地形及地壳不均衡沉降运动所控制，在古隆起带，煤层变薄乃至尖灭，如七木桥背斜无煤区，而在古隆起带之间的凹陷带，煤层沉积较厚，一般在 10m 以上，最厚者在草滩村附近，可达 34m。

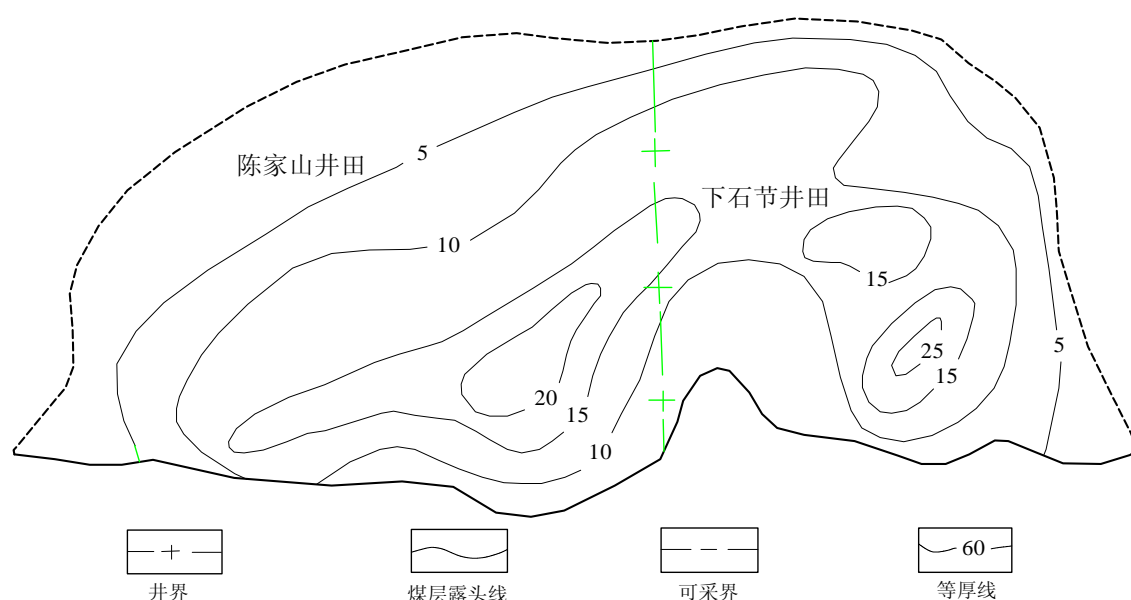


图 3.4 4⁻²号延安组二、三段地层等厚线图

3.2.3.2 煤质

(1) 4⁻²号煤物理性质及煤岩特征

① 物理性质

黑色-浅黑色，条痕为深棕色-棕黑色，沥青及玻璃光泽，贝壳状、参差状及阶梯状断口，中宽条带状结构，似层状及层状构造，质脆易碎，内生裂隙及外生裂隙发育，外生裂隙常充填有方解石细脉或石膏薄膜，局部含有黄铁矿结核。

② 宏观煤岩类型及显微组分

宏观煤岩类型：为半亮型及暗淡型煤，主要以暗淡型为主，其上部以半亮型及半暗型为主，次为光亮型并夹有丝炭薄层，下部为半暗型及暗淡型煤。坚硬无光泽，灰分增高，裂隙不太发育，与底板炭质泥岩为过渡关系。

表 3.2 煤岩显微组分含量极值表（单位：%）

	镜质组	半镜质组	丝质加半丝质组	稳定组	反射率
煤层号	极值	极值	极值	极值	极值
	平均	平均	平均	平均	平均
4 ⁻²	16.90~62.20	0.90~5.10	23.10~66.90	0.80~5.50	0.51~0.59
	40.67	3.50	48.30	2.3	0.55

显微组分：煤层中丝质组加半丝质组含量较高，镜质组、半镜质组含量较低，见表

3.2。煤中矿物质主要为碳酸盐类（方解石细脉及石膏薄层），粘土矿物及硫化物（硫化物主要是呈星点状及浸染状分布的黄铁矿）。

（2）4²号煤化学性质

表 3.3 为煤层煤质分析成果表，从中可以看出，挥发份值不超过 37%，粘结指数一般为零，属不粘煤（BN）。结合煤的物理性质、反射率测定，参照中国煤炭分类国家标准，4²号煤层的变质程度属烟煤的初期变质阶段。

4²号煤为中灰、低硫、低磷煤，灰分在剖面上由上到下增高，平面上由浅部到深部增高，煤灰软化温度 $T_2=1221^{\circ}\text{C}$ ，为低熔灰分。同时该煤层具自燃发火性，发火期 3~6 个月，最短 24 天。通过低温干馏试验，4²号煤层含油率 7.77%，为富油煤。

表 3.3 煤质分析成果表

煤 层 号	工业分析						
	Mad	Ad	Vdaf	St · d	Qnet · d	Pd	
	%	%	%	%	Mj/kg	%	
	<u>2.62~6.85</u>	<u>10.31~36.51</u>	<u>29.08~39.94</u>	<u>0.13~2.03</u>	<u>20.3~28.14</u>	<u>0.006~0.0593</u>	
	4.70	19.79	35.39	0.93	25.20	0.0275	
4 ²	元素分析				煤中各种硫		
	C, daf (%)	H, daf (%)	N, daf (%)	O, daf (%)	Ss, d (%)	Sp, d (%)	So, d (%)
	<u>55.88-83.38</u>	<u>3.38-5.32</u>	<u>0.59-1.04</u>	<u>8.37-12.58</u>	<u>0.01-0.055</u>	<u>0.02-1.42</u>	<u>0.02-1.06</u>
	79.16	4.78	0.87	10.68	0.027	0.446	0.325
	煤灰熔融性 (℃)						
	T ₁ 变形温度		T ₂ 软化温度		T ₃ 溶化温度		
	<u>1120-1270</u>		<u>1120-1300</u>		<u>1129-1335</u>		
	1188		1221		1265		

3.2.4 构造

矿区地处祁吕贺山字型构造前弧东翼内侧，鄂尔多斯台向斜南缘渭北翘起斜坡上。整体上看，侏罗纪及上下地层均呈倾向北西的单斜构造。延安组底面标高从矿区东南缘的+1400m，向西北方向降低至+700m 以下。浅部局部及急倾斜带上地层倾角可达 20~30°，深部则减缓至 10° 以下，一般 3~5°。地史上区内经历过多期构造运动，导致无论沿地层走向还是倾向均呈现出多个明显的宽缓背向斜，方向以北东和北西为主，这两个方向的褶皱对煤系地层的沉积起到了重要的控制作用，见图 3.5。

北东向褶皱主要有：三关庙-蒙家店隆起，新民村向斜，后村背斜，龙玉华向斜，清水沟背斜，新村向斜等；北西向褶皱主要有：衣食村向斜，杠树崂背斜，七木桥背斜，

杏树坪向斜，土谷梁背斜，桃花洞向斜，阳沟背斜，东背塔向斜，葛条金背斜等。

矿区内断裂不甚发育，落差超过 10m 的大中型断层不到 3 条，煤矿生产中所揭露的断层多为小型断裂构造，落差一般小于 3m，仅个别达 5~10m，且基本为正断层，它们主要集中在煤层变化带和煤层沉积较厚部位，具有浅部较发育，往深部减少的趋势，断层走向多为北东、北西向。这些断层虽然落差较小，但对生产仍有一定的影响。

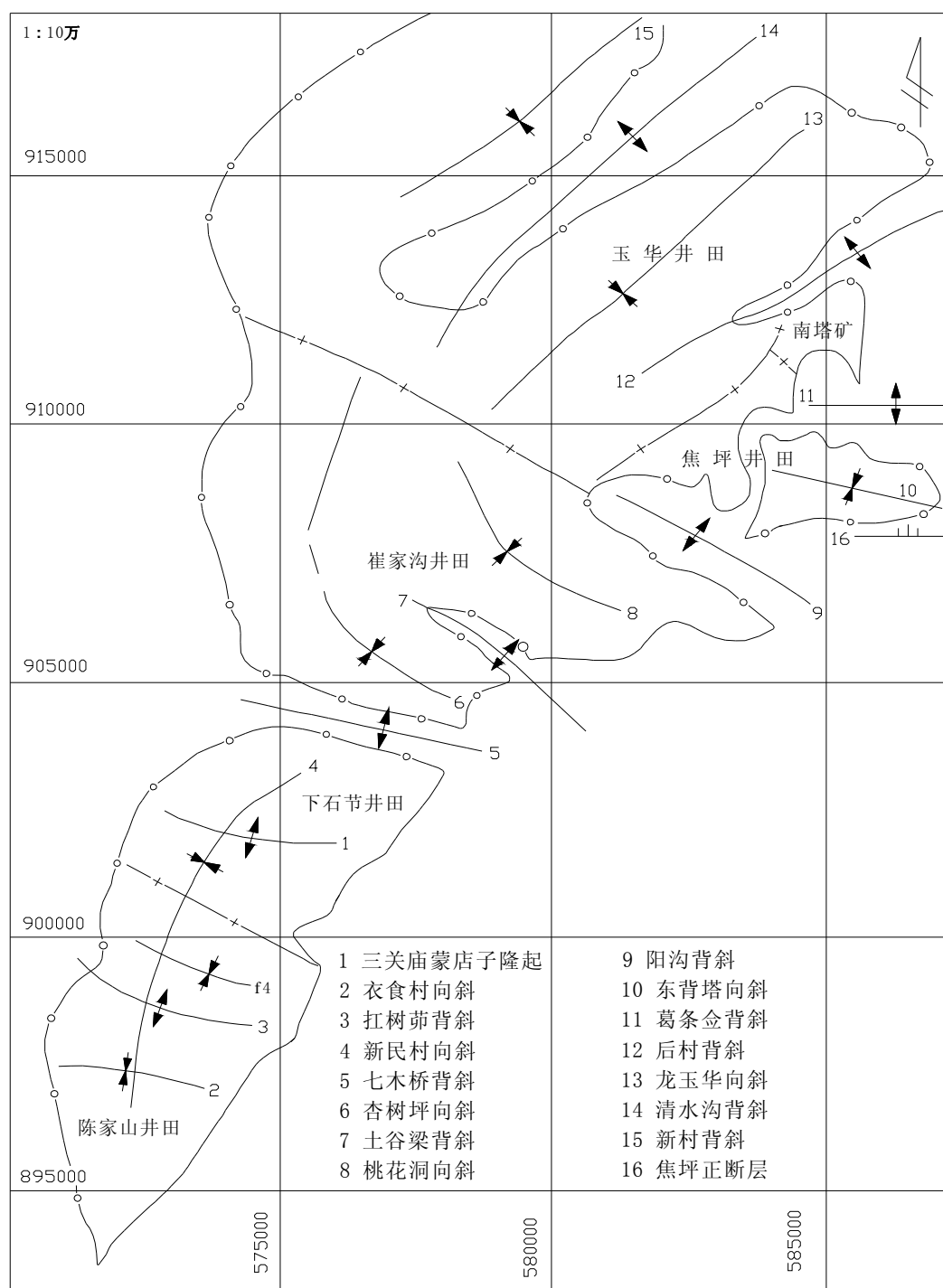


图 3.5 焦坪矿区构造纲要图

矿区的北东与北西向构造相互交织成网，构成典型的斜向交织构造，其发育具有明显的长期性与继承性，表现为海西-印支旋迴期已存在。燕山旋迴早期，同沉积褶皱的性质十分明显，它们对延安组地层的形成与赋存，起到了重要的控制作用。晚燕山运动使北东向褶皱强化而居主导地位，由于受逆时针方向的扭动作用，从区域范围看，北东向构造呈明显斜列型，而北西向构造受到燕山运动逆时针扭动的影响趋于北西西向。

3.2.5 煤层顶底板及围岩含油性

研究区属典型的煤油气共生矿区，位于长庆油田南缘，煤系地层位于产油层延长组之上，有四个含油层（顶板3个、底板1个），使得煤层顶底板砂岩也富含油气^[53]。

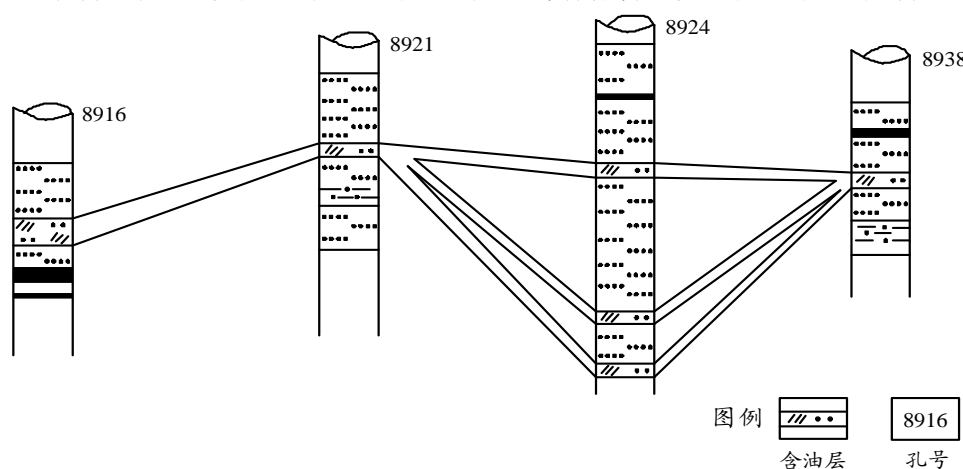


图 3.6 矿区含油层对比图

该区煤系地层为由泥岩组成的河湖相沉积，砂泥岩的比为 2:1，砂岩含量高，岩性纵横向变化大，煤系地层中多层含油。陈家山及下石节的 135 个钻孔中，有 91 个不同程度上有油气显示，占全部钻孔的 67%，均位于侏罗系安定组、直罗组、延安组及三叠系的延长组四套地层内。煤系地层虽多层含油，但含油连续性差，多为透镜状，有倾之消失的特点，如图 3.6 所示，且各层含油饱和度均小于 35%，达不到工业油流。根据其含油情况，油气显示分为五级，即大量、较多、含油、少量、微量，见图 3.7、表 3.4。

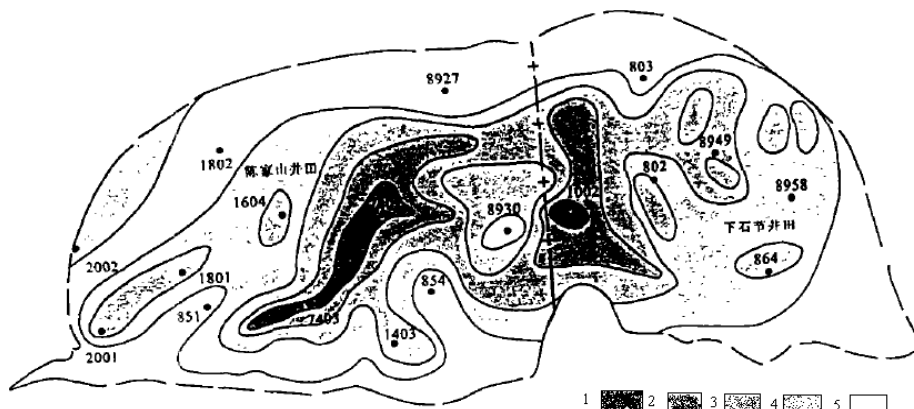


图 3.7 煤系含油强度分布图（据王生全，2006）

表 3.4 含油级别划分表

含油级别	含油特征
微量级 (I)	肉眼看不出油迹, 但有油味
少量级 (II)	岩芯斑状或条带状含油, 但表面呈油侵状, 但不渗出
含油级 (III)	岩芯不均匀含油, 含油面积在 70% 以上, 表面有油渗出, 但不滴落
较多级 (IV)	岩芯全部均匀较饱满含油, 有少量油珠滴落
大量级 (V)	岩芯全部均匀饱满含油, 有大量油珠滴落

矿区的油气分布与煤层有密切关系。该矿区油气显示主要分布于聚煤中心带煤层的上、下部砂岩层中, 特别是煤层上部的延安组和直罗组砂岩层, 有时也见于白垩系砂岩, 而煤层不发育、构造圈闭良好的七木背斜轴部则无油气显示。

矿区钻孔的含油砂岩样物性分析结果见表 3.5。由表可知, 各含油层均属低产油层, 达不到工业油流, 含油饱和度平均为: 延长组含油层 35.2%, 富县组 36.4%, 延安组 17.83%, 直罗组 8.55%, 含油层物性条件均较差, 且分布不均匀, 含油砂岩的孔隙率平均小于 15%, 渗透率平均低于 10md, 属低渗透油层。

矿区各含油层的具体情况如下:

(1) 三叠系延长组含油层

位于延长组四段。钻孔仅揭露其表部 10m 左右, 故矿区仅有 8 个钻孔见油气显示, 含油级为斑状~不均匀含油岩层, 个别为大量含油级。岩性为中、细粒砂岩, 含油面积约 6km²。由于矿井大巷和主要开拓巷道均布置在三叠系岩层中, 因而在平峒和开拓巷道掘进过程中曾多次发生油气从裂隙中涌出、喷出及燃烧爆炸事故, 给安全生产带来一定的影响。

(2) 侏罗系富县组含油层

有 7 个钻孔见油气显示, 含油级别为斑状~不均匀级, 含油岩层岩性为花斑泥岩中的中细粒砂岩透镜体。

(3) 侏罗系延安组含油层

有 54 个钻孔见油气显示(陈家山井田 33 个, 下石节井田 21 个), 占全部钻孔的 40%, 含油面积约 10km²。含油层位主要为 4 号煤层老顶小街砂岩, 其次为 3 号煤层上、下的黑条砂岩。含油多为斑状和不均匀状, 以 2~3 级为主, 少部分为大量、较多含油级或微量含油级。矿井生产中曾多次发生油沿顶板裂隙中涌出, 淋出或滴出现象。

(4) 侏罗系直罗组含油层

共有 52 个钻孔见油气显示, 占全部钻孔的 38.5%, 含油面积约 7.0km², 大多集中在陈家山矿。主要含油层为直罗组底部含砾砂岩, 次为中部的粗砂岩。主要为斑状~不均匀含油级, 少量钻孔为微含油级及大量或较多含油级。

表 3.5 钻孔含油层物性测试成果表

采样 钻孔	采样深度 (m)	层 位	岩性	渗透率 (md)	油水饱和度(%)		孔隙率 (%)	比重
					油	水		
8929	575.0~575.50	T _{3y}	砂质泥岩	0.907	36.8	4.75	14.6	2.25
	575.0~575.50		砂质泥岩	0.145	33.6	16.2	10.7	2.34
平均	558.38~559.08			0.526	35.2	10.48	12.65	2.3
8929	558.38~559.08	T _{1f}	中粒细砂岩	2.77	33.3	19.9	16.8	2.20
			中粒细砂岩	1.29	39.5	19.2	12.3	2.32
平均				2.03	36.4	19.6	14.6	2.26
8924	445.23~445.43	J ₁₋₂ y	含砾粗砂岩	9.31	8.17	5.49	13.50	2.30
	445.80~445.9		粗砂岩	14.0	13.4	3.37	14.80	2.25
	464.50~464.7		中粗砂岩	3.65	12.1	4.58	15.20	2.27
	464.70~464.9		中粗砂岩	3.84	15.9	2.62	15.60	2.26
	473.40~478.6		粗砂岩	6.98	23.1	4.46	12.5	2.25
	473.70~473.9		粗砂岩	0.063	21.0	7.81	9.32	2.45
	421.80~422.5		中细粒矿岩	9.83	12.2	32.0	13.8	2.33
	217.04~219.54		中粗砂岩	6.45	24.9	18.6	14.6	2.27
8915	204.90~205.6		中粗粒砂岩	1.89	15.8	8.90	13.7	2.29
8916	426.62~426.82		粗砂岩	16.5	24.0	26.3	15.3	2.20
	427.32~427.52		粗砂岩	29.9	25.6	44.4	13.8	2.25
平均				9.33	17.83	14.41	13.83	2.29
8926	543.40~543.6		含砾粗砂岩	11.0	13.8	10.3	14.5	2.28
	543.32~544.0		含砾粗砂岩	10.9	10.9	12.1	12.5	2.31
8917	393.44~394.2	J _{2z}	中粗砾砂岩	5.92	20.9	29.7	15.8	2.22
	404.50~407.0		含砾粗砂岩	10.4	0.1	54.4	14.7	2.27
8910	437.73~439.93		含砾粗砂岩	6.24	2.0	3.0	14.4	2.27
平均				8.64	8.55	18.42	14.52	2.27

3.3 矿区大地构造位置及构造演化特征

3.3.1 地理位置简介

焦坪矿区是一个煤炭地质区域概念，地处陕西省铜川市西北。矿区属于北东-南西向延展近 300km 的侏罗纪黄陇煤田的一部分，位于该煤田东北部，东以煤层露头为界，西至马栏、转角与彬县矿区相邻，南抵庙湾，北隔建庄隆起与店头矿区毗邻。

3.3.2 大地构造位置

矿区位于鄂尔多斯盆地南缘。鄂尔多斯盆地是地质学上的名称，它是华北古大陆的重要组成部分。指阴山以南，秦岭以北，贺兰山以东，吕梁山以西的广大沙漠草原和黄土高原区，尽管鄂尔多斯现在为黄土高原组成部分，但是从基岩的角度看为中生代盆地。

鄂尔多斯是一个由古生代地台和中新生代内陆拗陷叠合而成的克拉通盆地，是我国第二大沉积盆地，沉积厚度达 5000m，由上古生界碳酸岩盐、海陆过渡煤系地层和中生代内陆拗陷河湖体系三套沉积盖层组成。盆地自下而上发育有石炭-二叠纪、三叠纪及侏罗纪三套含煤岩系，是世界十大含煤盆地之一。并且煤系长期深埋地下，具有良好的生气、储气条件。

3.3.3 地层层序及构造演化特征

根据鄂尔多斯盆地形成后区域古构造应力-应变场演化历史及矿区构造行迹的类型、延伸方向、地层之间接触关系等，可将本区主要构造演化分为印支期、燕山期和喜山期三个阶段，相对应的有三期古构造应力场，如图 3.8 所示。

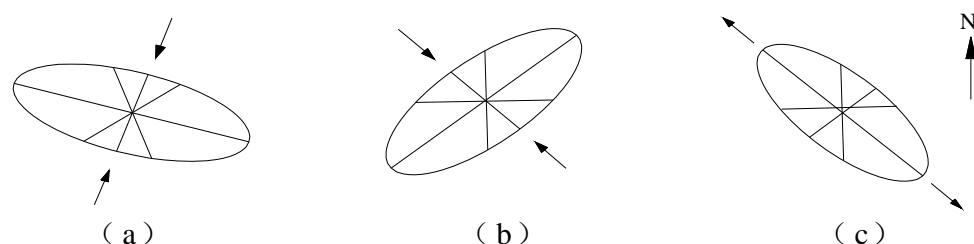


图 3.8 区域古构造应力-应变场演化示意图

(a) — $P_z \sim T_3$ (b) — T_3 晚期 $\sim E_1$ (c) — E_2 以来

(1) 古生代沉积及构造演化

从沉积环境来看，华北地区下奥陶纪之前为海相沉积，下奥陶纪为灰岩沉积、浅海相沉积环境。之后上升为古大陆，上奥陶纪、志留纪和泥盆纪遭受风化剥蚀，均无沉积。经过约 1 亿年，植物开始出现，石炭纪时已有了相当的规模，此时为陆相环境。

整个北方于石炭-二叠纪时形成巨形沉积盆地。沉积层序基本为本溪组 (C_{2b})—太原组 (C_{3t})—山西组 (P_{1s})—下石盒子组 (P_{1sh})—上石盒子组 (P_{2sh})—石千峰组 (P_{2s})。从太原组 (C_{3t}) 开始，第一次出现了大的聚煤运动。

晚石炭纪，华北盆地出现河流、湖泊，开始有沉积物生成，但表现为近海。太原组 (C_{3t}) 既含煤，又含有石灰岩，为海陆交互相。到二叠纪，海水从北向南退去，山西组 (P_{1s}) 完全变成陆相。石炭纪-二叠纪碎屑岩夹石灰岩沉积，且越往上颜色越深，此时气候变得炎热干旱，聚煤期消失。

太原组 (C_{3t}) 以稳定的石英砂岩为主, 说明大地构造稳定。到下石盒子组 (P_{1sh}) 岩屑越来越多, 沉积环境动荡, 大地构造从稳定到活跃。发生海西运动, 华北板块与西伯利亚板块拼合。

(2) 中生代沉积及构造演化

进入中生代时, 鄂尔多斯盆地是以延安为中心的 inland 湖泊, 现在的焦坪地区为滨湖地带。此湖泊从三叠纪 T 开始下降, 纸坊组、延长群、铜川组为砂泥岩互层, 共分为五段。最上为瓦窑堡煤系, 下面为生油层, 最下为储油层。下面出现生油层说明为浅湖相, 上面含煤说明发生湖退。上三叠纪 (T_3) 到下侏罗纪 (J_1) 无沉积, 发生剥蚀, 此时鄂尔多斯盆地上升为黄土高原的一部分。下侏罗纪 (J_1) 晚期又下降, 沉积物为富县组花斑泥岩, 为古风化壳沉积, 主要分布在低洼地区, 在河谷带可相变为砾岩。接下来鄂尔多斯盆地又开始整体沉降, 出现延安组。此时, 全球第二次大的聚煤作用开始。研究区煤层就是在这一时期形成的。

延安组之上沉积有直罗组 (J_{2z})、安定组 (J_{2a}) 沉积。中侏罗纪 (J_2) 末期, 地壳又一次整体上升, 上侏罗纪 (J_3) 时为陆相, 无沉积, 上侏罗纪 (J_3) 地层在此缺失。

早白垩纪 (K_1) 时又开始下沉, 沉积有宜君砾岩, 上为洛河砂岩, 其上又有以石灰岩为主的凤凰山砾岩。宜君砾岩、洛河砂岩、凤凰山砾岩都不是水平岩层, 他们之间的接触关系为角度不整合关系。此后, 地壳再次上升, 到晚白垩纪, 无沉积, 地层缺失。

晚三叠世末发生的印支运动, 是鄂尔多斯沉积盆地形成以来经历的第一次区域构造变动。动力作用路线为北北东向, 以挤压为主。在矿区形成了北西向与北东向两组共轭交角较大的节理, 遭受风化剥蚀后, 形成了一系列北东、北西向古地形地貌。印支运动对本区侏罗纪煤层及瓦斯的控制在于形成聚煤古环境, 进而影响煤层瓦斯赋存。

侏罗纪末至白垩纪初发生了对本区影响巨大的燕山运动。早燕山运动继承了印支期古地形条件, 形成北东及北西向同沉积构造。早白垩世末发生了强烈的晚燕山运动, 造成盆地沉积作用终止。此期构造变动剧烈, 应力场的以南东-北西向为主。此时, 研究区成为区域应力的集中带, 侧挤强烈, 同时又受区域左行扭动作用的影响, 使得盆地东南缘抬升, 西北部沉降, 形成单斜构造, 而且挤压使原北东向同期构造得到继承性加强, 同时还产生了北西向的张节理与近东西、南北向的两组共轭剪节理。此期的构造作用强, 区内的主要构造格架主要完成于这一时期。

(3) 新生代沉积及构造演化

白垩纪及之前的岩层都称为基岩, 在此之后第三纪、第四纪为松散层沉积。第三纪以上的沉积物无明显成岩作用, 称为沉积层。

第三纪中晚期的喜山运动使挤压方向由燕山期的 NW 向转变为 NE 向, 盆地南部主要表现 NW-SE 向的伸展运动, 在这一应力场长期作用下, 区内燕山期形成的各种构造形迹受到不同程度的牵动而开启, 向张性演化, 在矿区也产生了北东向张性断层。

侏罗纪(J)、白垩纪(K)时,在印支、燕山运动的挤压力作用下,多形成逆断层。早白垩纪(K_1)时渭河地堑不存在,晚白垩纪(K_3)出现的喜山运动使得鄂尔多斯盆地挤压应力消失,以拉应力为主,表现为渭河地堑。盆地北边为河套地堑,西边为银川地堑,南边为汾渭地堑。地堑为正断层的组合形式,此区断裂以正断层为主。

3.3.4 矿区构造及分布演化特征

区内断层不甚发育,且基本为正断层,它们主要集中在煤层变化带和煤层沉积较厚部位,具有在矿区浅部较为发育,往深部逐渐减少的趋势。断层走向多为北东、北西向,平面上多呈雁行状和扫帚状排列,剖面上长呈阶梯状。

区内其构造形态整体上为一波状起伏的单斜构造,其上发育了一系列北东和北西西向的褶皱构造,二者相互交织,是本区最主要的构造行迹。

(1) 东北向褶皱构造的同期性与继承性

矿区北东向的褶皱构造自南而北主要有:三关庙子背斜,新民村向斜,四郎庙背斜,玉华川向斜,后村背斜,龙玉华向斜,清水沟背斜等。其同期构造的性质很明显。据资料分析,该区不仅出现了延安组对富县组、以及延安组上部对下部地层的沉积超覆,而且也存在直罗组对延安组的超覆。这些现象说明,北东向的同期褶皱是逐步加强的,随着沉积作用的发展,坳陷(向斜)范围不断扩大,相邻隆起(背斜)范围不断缩小。由于同时受到逆时针方向扭动作用的影响,各期的沉积中心依次向西北方向迁移,造成坳陷的东南翼较大,西北翼较小,甚至产生弧顶微向西北的弯曲现象。

(2) 北西向褶皱构造的同期性与继承性

尽管北东向褶皱在矿区居于主导地位,但从图 3.5 中可以看出,北西向褶皱仍然是非常明显的。矿区北西向的褶皱构造自南向北主要有:衣食村向斜,杠树岭背斜,七木桥背斜,杏树坪向斜,土谷梁背斜,桃花洞向斜,阳沟背斜,东背塔向斜等。分析延安组和富县组的厚度及岩相相关资料,同样可显示出其同期褶皱的性质。

位于崔家沟煤矿的七木桥背斜,杏树坪向斜,土谷梁背斜,桃花洞向斜,阳沟背斜,从其横断面图上清楚显示,他们是一系列早、中侏罗纪的同沉积褶皱。北西向褶皱的继承性表现为:此组同期褶皱是在海西-印支旋回的北西向形变的基础上发展起来的,而且,北西向构造可能是侏罗纪以前的主要构造,后期则遭受北东向构造的改造。

(3) 北东与北西向褶皱的特点

① 从沉积特性分析,本区北东向和北西向褶皱构造发育都具有长期性特点,在成煤前均已存在,在成煤期间(即燕山运动早期),同沉积褶皱性质十分明显。在成煤后期仍继承性的发展,只是晚期燕山运动使北东向褶皱相对强化。在褶皱表现形式上居于主导地位,同时因受到燕山运动逆时针扭动作用的影响,北西向褶皱方向趋于北西西向;

② 北东向与北西向褶皱剖面上均为较开阔型褶皱,平面上具有斜列式排列的特点,

两组构造相互交织、复合，形成一系列马鞍状、鼻状、短轴状褶皱。北东向褶皱向西南方向倾斜，北西向褶皱向北西方向倾斜，愈向深部，褶皱愈不明显；

③ 北东向与北西向的背斜构造均具有煤系地层沉积薄，煤层厚度小，甚至尖灭的特点，而向斜区均具有煤系地层沉积厚，煤层厚度大的特点。

3.3.5 构造演化对矿区瓦斯赋存的影响分析

燕山运动是在印支运动的构造格架基础上发展活动的，动力作用形式基本未变，形成继承性的同沉积构造，4⁻²煤层厚度变化趋势和延安组的变化趋势基本一致，即在新民村向斜轴部延安组厚度和4⁻²煤层厚度最大，同样在衣食村向斜和F4向斜轴部厚度也有增大现象，这说明井田的大型褶皱构造向斜部位煤层厚度大，背斜轴部煤层厚度薄，这对瓦斯保存在母岩中起到良好的作用。而中侏罗统末和下白垩统末燕山运动使区内整体隆起，造成大量瓦斯排放，特别是燕山运动使区内地层强烈分化剥蚀，井田东南部煤层露头，上覆地层厚度变薄，浅部瓦斯大量排出，形成浅部瓦斯风化带和低瓦斯带。

区内几乎无大的断层，但是燕山运动及喜山运动使得区内形成大量小断层和裂隙，而煤层与上、下地层物性差异大，在构造应力和重力的综合作用下，易发生流变，产生了较发育的北东向和不甚发育的北西向断层和裂隙，导致其本身也变的比较破碎。煤层与其顶、底板岩层共同作用，构成了统一的瓦斯含气层。

地质构造对瓦斯的控制作用已经广为人知，瓦斯作为一种气体储存在煤岩层的孔隙及裂隙中，而煤岩层空隙的产生分为内因和外因两种，不论出于哪种原因，都将会给瓦斯的储存提供一定的空间。当掘进、回采中与裂隙沟通时，瓦斯必然会随之大量涌出，进而可导致灾害的发生。区内背斜轴部瓦斯含量较小，向斜轴部瓦斯含量较大。究其原因主要是向斜处煤系厚度大，物质来源充分，并且小断层、裂隙发育，聚集了大量游离瓦斯，当被采掘揭露后，就会迅速涌出采场。图3.9为矿区瓦斯含量预测与构造叠加图。

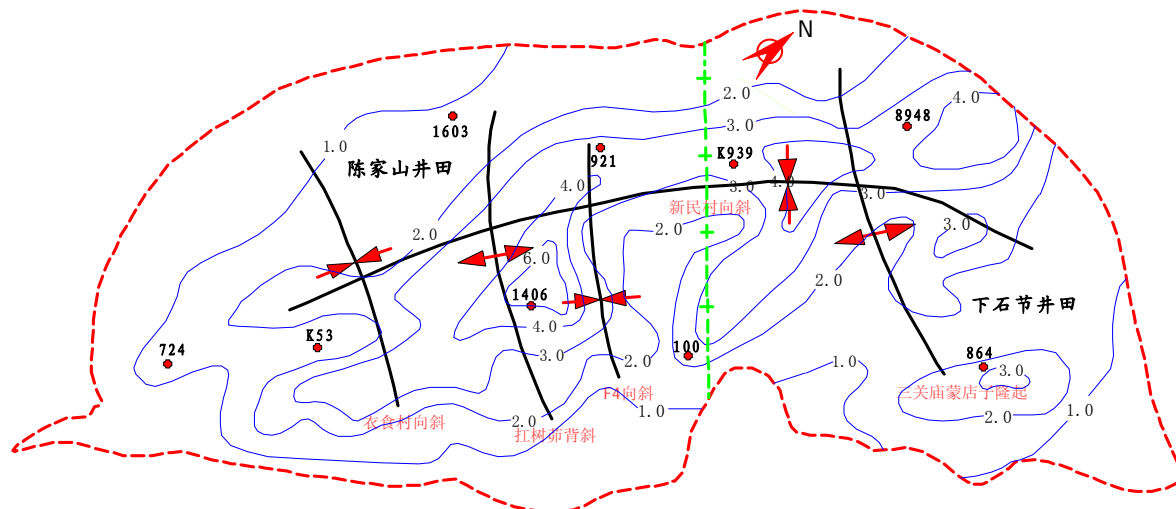


图 3.9 矿区瓦斯含量与构造叠加图

从图中可以看出：瓦斯含量及其在平面上的分布明显的显示了同一构造部位，即向斜轴部，此区域瓦斯含量普遍较高。瓦斯高值区主要集中在研究区中部，与新民村向斜一致，呈条带状展布。研究区东部瓦斯含量的高值区与 F4 向斜的展布方向一致，轴线为北西向；研究区西部的高值区走向基本与新民村向斜一致。

3.4 本章小结

首先对矿区瓦斯地质特征进行了分析，然后运用区域构造演化理论，阐述了矿区大地构造位置及构造演化史。在此基础上探讨了构造及其演化对煤层瓦斯赋存的控制作用。得出如下结论：

(1) 矿区位于黄陇侏罗纪煤田东部，地处鄂尔多斯地台南缘渭北翘起斜坡上，总体构架为倾向北西的波状单斜构造。构造以褶皱为主，断层不甚发育。褶皱以北东及北西向为主，构成典型的斜向交织构造，对矿区煤系沉积及沉积边界有着重要的控制作用。

煤系地层自下而上有三叠统延长组、下侏罗统富县组以及下侏罗统延安组，含煤四层，4²号煤层为主采煤层，厚 0~34.88m，一般 8~12m。厚度变化总体受沉积古地形及地壳不均衡沉降控制，表现出中浅部厚、深部薄，东部厚、西部薄，向斜厚、背斜薄的特点。煤层除含有瓦斯外，由于地处长庆油田南缘，煤系地层位于产油层延长组之上，存在有四个含油层，使得煤层顶底板砂岩也富含油气。

从工业分析指标来看，4²号煤为低灰，低硫，中热值的不粘煤，宏观煤岩类型为半亮型。煤中矿物质主要为粘土类矿物、碳酸盐矿物及硫化物。

(2) 本区主要构造演化分为印支期、燕山期和喜山期三个阶段。印支运动及早燕山运动对煤层及瓦斯的控制在于形成聚煤古环境，进而影响煤层瓦斯赋存；晚燕山运动，构造变动剧烈，造成盆地沉积作用终止，区内的主要构造格架完成于这一时期；喜山期应力作用主要表现为伸展运动，构造形迹受到不同程度的牵动而开启，向张性演化，在矿区产生了北东向张性断层。

成煤前的古地理环境对煤层沉积起到了很大的控制作用，矿区主要构造形态为褶皱，北东、北西两个方向的褶皱均具有长期性、同沉积特点。

(3) 鄂尔多斯盆地为刚性稳定地块，一定程度上抵消了构造运动对其影响，导致矿区以宽缓褶皱为主，断层较少发育。但经过多期构造变动，区内裂隙、小断层发育。

构造对瓦斯的控制作用非常明显，主要表现在：① 区内裂隙发育导致煤层直接顶、直接底不利于瓦斯保存，但同时使得老顶砂岩成为良好的储气层；② 高瓦斯区与区内向斜展布一致，向斜处煤系厚度大，物质来源充分，裂隙发育，易于聚集大量瓦斯，其轴部瓦斯含量大，背斜则相反。

4 焦坪矿区 4⁻²号煤层瓦斯含量主控因素分析

在煤层瓦斯问题上,国内外的研究由来已久。煤层瓦斯是导致矿井瓦斯涌出、瓦斯突出乃至瓦斯爆炸的直接因素,很多学者都对影响煤层瓦斯含量的因素进行了探讨、研究。但是,迄今为止,鲜见有煤层瓦斯含量控制因素指标体系的出现。本章便是针对这一情况,从构建煤层瓦斯含量控制因素评价指标体系出发,对研究区瓦斯赋存的主要影响因素加以分析,在此基础上,探讨研究区瓦斯含量的主要控制因素。

瓦斯受地质条件控制^[63],瓦斯地质规律是瓦斯赋存、涌出、突出的重要规律。瓦斯含量是瓦斯涌出的来源,同一矿井相同开采条件下,控制瓦斯含量的地质因素也控制着瓦斯涌出量大小^[65],要搞清矿井瓦斯赋存、涌出等特征,就必须首先研究瓦斯含量的分布特征。在未开发的井田,未受采动影响处于自然状态的煤层瓦斯含量及分布规律与地质构造等条件密切相关。瓦斯含量受控于主要地质因素,起主导作用的因素控制着瓦斯含量及其分布,其它因素影响其局部变化。

4.1 影响煤层瓦斯含量的主要因素概述

瓦斯含量是煤层瓦斯赋存的主要参数,它是矿井进行瓦斯涌出量预测和煤与瓦斯突出预测以及瓦斯抽采的主要参数之一。

瓦斯是地质作用的产物,它的形成和保存、运移与富集与地质条件关系密切。总体来说,瓦斯含量受煤储层地质特征、煤储层物性特征以及煤层瓦斯封盖特性三方面因素的影响。

4.1.1 煤储层地质特征

主要包括以下几个方面:

(1) 聚煤古环境:从植物的堆积到煤的形成,经历了长期复杂的地质变化,这些变化对煤中瓦斯的保存和排放起到了至关重要的作用。作为瓦斯生成和赋存的载体,含煤岩系的建造特征是瓦斯形成和保存的基础条件。成煤有机物沉积后,在漫长的地质年代中会经历多次下降或上升、盖层加厚或剥蚀、海陆相交替变化、遭受构造运动破坏等。从沉积环境看,海陆交替相含煤系聚煤古地理环境属滨海平原,岩性与岩相横向上比较稳定,沉积物粒度细,形成的煤系地层的透气性往往较差;如其上又遭受长期海侵,煤层的瓦斯含量有可能很高。反之,对于陆相沉积,内陆环境横向岩性岩相变化大且盖层多为粗粒碎岩,往往不利于瓦斯的封存,瓦斯含量一般较低。成煤后地壳的上升将使剥蚀作用加强,为煤层瓦斯向地表运移提供了条件,瓦斯含量一般都较低,反之则高。

(2) 煤变质程度:煤是天然吸附体,煤化程度越高,其存贮瓦斯的能力就越强。

国内外实验研究及实测资料表明：瓦斯含量随煤的变质程度增高而增加。一方面是由于碳化作用过程中，不断地产生瓦斯，碳化程度越高，生成的瓦斯量越多；另一方面，煤的吸附能力随变质程度的提高而增大，同样的温度和瓦斯压力下，变质程度高的煤层往往含有更多的瓦斯。鄂尔多斯盆地东缘石炭-二叠纪煤层从北到南变质程度增高，在埋深等基本地质条件相当时，瓦斯含量随变质程度增大。

(3) 煤岩组分：煤岩组分是组成煤的基本单元，分镜质组、惰质组和壳质组。从以往资料分析，一方面，煤岩组分影响着煤的产烃能力，其从大到小的顺序是壳质组>镜质组>惰质组，在焦煤阶段其产出的总烃气的比例是 1.5:1.0:0.7；另一方面，煤岩组分影响着煤层瓦斯的吸附能力，其大小顺序是丝质组>镜质组>壳质组。同一变质阶段，镜质组因性脆而易形成大量的孔隙系统，尤其是微孔和内生裂隙，是甲烷气体吸附的优良场所；惰质组因含有大量细胞腔和管胞等而成为孔隙最丰富的显微组分，其中又以中孔和大孔为主；壳质组由于所形成物质的致密性而成为煤中孔隙最不发育的显微组分。

(4) 煤层水分、灰分：煤中水的赋存分为游离水和化合水，游离水又分为外在水分和内在水分。外在水分以机械的方式与煤相结合，仅与外界条件有关。内在水分是煤的内部小毛细管吸附的水，是影响煤吸附甲烷的主要因素。煤炭科学研究总院中张占存等研究人员的试验研究得出，对于各种变质程度煤，随着煤中水分的增大，煤的吸附甲烷量皆明显减小。

含碳物质的吸附能力与其灰分含量关系密切。灰分物质本身不具备吸附甲烷的能力，甲烷赋存在煤层的微孔隙中，并进入固定碳的晶格内。煤中灰分含量越高，瓦斯含量越少。

(5) 煤厚：煤厚与瓦斯含量及分布具有正相关关系，一般说来，同一煤层随厚度的增加，瓦斯生成量增大，瓦斯含量随之也相对增加。煤层瓦斯的逸散以扩散为主，主要动力是浓度差。作为一种高致密、低渗透性的岩体，瓦斯在煤层中的扩散具有较大的阻力。煤层厚度越大，瓦斯向顶底板逸散的路径越长，受到的阻力就越大，越有利于瓦斯富集。同时，较厚的煤层可能更容易生成较多的裂隙，瓦斯能在其中得到充分的吸附解吸，从而瓦斯含量更高。

4.1.2 煤储层物性特征

主要有以下几方面：

(1) 孔隙率：孔隙率是决定煤的吸附、渗透和强度性能的重要因素，是煤层孔隙、裂隙性质的体现，直接影响到煤层对甲烷的储集能力。实验证明，微孔是决定煤层吸附甲烷能力大小的主要因素。褐煤以 $10^4\sim 10^5\text{nm}$ 的大孔和 $2\sim 10\text{nm}$ 的微孔占多数，其孔隙度最高能达到 12%~25%；长焰煤阶段微孔显著增加，内表面积和孔隙体积比率很大，是甲烷的良好储层。

(2) 煤层压力：地应力作用及应力场的复杂性造成同一构造形迹中煤层压力的集中程度不同。瓦斯压力比较低时，吸附瓦斯量占绝大部分；随着压力的增大，吸附瓦斯量渐趋饱和，游离瓦斯所占的比例逐渐提高。

(3) 煤层温度：温度对煤层瓦斯的扩散系数有一定的影响，温度升高会使扩散系数增大，扩散速率加快。等温吸附解吸时，固体受热膨胀的影响大于气体吸热的影响，瓦斯渗透率和渗流量都将降低，不利于煤层瓦斯的逸散；常温吸附、升温解吸，温度梯度不断发生变化，煤层瓦斯的渗流量明显增大，当围压、轴压和孔隙压力增大时，渗流量随之大幅增加，有利于煤层气的逸散。

(4) 渗透率：渗透性是衡量煤层流体传导性的主要参数。一般高产的煤层瓦斯气田都具有较高的构造裂隙度和较好的渗透率，如圣胡安盆地高产区块渗透率为 $(3\sim 6.9) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，黑勇士、皮申斯及沁水、鄂尔多斯盆地东部煤层瓦斯气田，渗透率一般为 $(0.5\sim 2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这些地区具有较高的渗透率，有利于煤层瓦斯的集聚。

4.1.3 煤层瓦斯封盖特性

主要有以下几方面影响因素：

(1) 埋深：随着埋深的增大，瓦斯向地表运移的距离变长，在压实作用下，沉积物的密度不断增加，孔隙度不断减小，孔隙流体不断排除，煤层的透气性变差。这就越有利于煤层瓦斯的封存。近代开采深度 CH_4 带内，煤层瓦斯含量与埋深呈线性增加，但若埋深继续增大，瓦斯含量增加的速度将减慢而趋于常量。煤科总院张新民等认为任何地区都有一个吸附量最大平衡点的埋深，这是由于随埋深增加，温度的升高导致吸附甲烷量的减少抵消了压力增加导致的吸附甲烷量的增高；中国煤炭协会张胜利等，通过实验表明这是由于煤层的储气能力有限而导致的，在达到极限值后无论压力如何增加，煤层吸附量几乎保持不变。

(2) 煤层围岩特性：围岩对瓦斯赋存的影响取决于它的隔气性或透气性。对瓦斯赋存影响较大的是煤层直接顶板的岩性、厚度及分布特征。一般说来，煤层的顶板岩性为致密完整的岩石，如页岩、油页岩时，其孔隙或脆弱裂隙产生较少，利于煤层瓦斯的保存；当顶板为多孔隙或脆性裂隙发育的岩石，如砾岩、砂岩，为瓦斯逸散提供了相对有利的条件，煤层中瓦斯的含量相对较少。

顶板岩层含砂率是煤层顶板透气性强弱的重要指标，一般在 0~1 之间。含砂率越大，说明在统计层段内，砂岩所占的比例越大，顶板透气性越好，越不利于瓦斯的保存。

(3) 地质构造特征：地质构造是影响煤层瓦斯含量的最重要条件之一。目前总的认为，封闭型地质构造有利于封存瓦斯，开放型则相反。具体而言，影响煤层瓦斯含量的地质构造主要有断层、褶曲两个方面。

① 断层。断层破坏了煤层的连续性，使煤层瓦斯排放条件发生了变化。开放性断

层（正断层）在其断层面形成有利于瓦斯排放的通道，而封闭性断层（逆断层）则对瓦斯的排放起阻挡作用，成为逸散屏障。此外，断层的空间方位对瓦斯的贮存、排放也有影响。走向断层阻隔了瓦斯沿倾向排放而有利于瓦斯的贮存；倾向和斜交断层把煤层切割成互不联系的块体而有利于瓦斯排放。

② 褶曲。围岩的封闭条件较好时，背斜往往有利于瓦斯的储存，是良好的储气构造，但是，在封闭条件差，围岩透气性好的情况下，背斜中的瓦斯容易沿裂隙逸散；向斜发育的矿区，顶板封闭条件良好时，瓦斯沿垂直方向运移是比较困难的，大部分瓦斯仅能沿两翼流向地表；

（4）水文地质条件：地下水对瓦斯的溶解度仅为 1~4%，地下水的运移，一方面驱动着裂隙和孔隙中瓦斯的运移；另一方面，又带动溶解于水中的瓦斯一起流动。煤层中有较大含水裂隙或地下水通过时，尽管瓦斯在水中的溶解度很小，但由于长时期作用的结果，水仍能从煤层中带走大量瓦斯。而且这些裂隙本身也是瓦斯排放的直接通道，从而降低了煤层的瓦斯含量。形成许多矿井“水大瓦斯小、水小瓦斯大”的情况。

（5）岩浆活动：岩浆活动对瓦斯赋存的影响比较复杂。一方面，在岩浆热变质和接触变质的影响下，煤的变质程度升高，增大了瓦斯的生成量和对瓦斯的吸附能力。另一方面，在没有隔气盖层、封闭条件不好的情况下，岩浆的高温作用可以强化煤层瓦斯排放，使煤层瓦斯含量减小。岩浆活动对瓦斯赋存既有生成、保存瓦斯的作用，某些条件下又有使瓦斯逸散的可能性。

（6）煤层露头：煤层露头是瓦斯向地面排放的出口，在成煤的地质年代中，若有露头长时间与大气相通，瓦斯沿煤层流动，往往沿煤层露头排放，含量大为减少。

（7）煤层倾角：同一埋深及其它条件相同的情况下，倾角越大，瓦斯含量越低。这是因为，同一水平处，煤层瓦斯运移到地表所经的路径相差悬殊。

（8）油气：煤层围岩中油气的存在，会降低煤层围岩渗透率，不利于煤层瓦斯的逸散。焦坪矿区属于典型的煤油气共生矿区。陈家山主采 4⁻²号煤层顶板砂岩含气量高达 6m³/m³，瓦斯压力为 0.4MPa，二采区 206 工作面 4⁻²煤层顶板无含油气砂岩体，工作面瓦斯涌出量自始至终无明显变化，涌出量稳定在 1.01~1.93m³/min。而 208 工作面老顶有含油气砂岩体，工作面初次放顶后，随着顶板冒落，瓦斯涌出量增大到 5~7m³/min。

（9）临近层：矿井瓦斯赋存有单一层位赋存，有多层位赋存，单一层位仅赋存在煤层中，多层位赋存则赋存在或煤层中，或顶板上覆岩层及上临近层中，或底板岩层下临近层中。临近层瓦斯赋存的情况对本煤层有着一定影响。

基于以上对煤层瓦斯含量影响因素的分析，可以建立煤层瓦斯含量影响因素指标体系如表 4.1 所示。

表 4.1 煤层瓦斯含量影响因素指标体系

煤 层 瓦 斯 含 量 控 制 因 素 评 价 指 标 体 系	煤储层地质特征	聚煤古环境
		变质程度
		煤岩组分
		水分、灰分
		煤厚
		孔隙率
		煤层压力
		煤层温度
		渗透率
		埋深
煤储层物性特征		地质构造
		围岩透气性
		水文地质条件
		岩浆活动
		煤层露头
		煤层倾角
		油气
煤层瓦斯封盖特性		临近层

4.2 研究区煤层瓦斯含量影响因素及量化研究

本文主要是针对 4⁻²号煤层瓦斯赋存情况进行的，因此煤质对煤层瓦斯分布的影响较为均一，可以忽略不计。另外，本区煤系地层水文地质条件比较简单，且研究区内几乎没有岩浆岩发育，在此对这几项均不做过多考虑。

根据以上建立的指标体系，遴选出 4⁻²号煤层瓦斯含量的主要影响因素：

(1) 煤层厚度：据钻孔资料及井下揭露，矿区煤系地层自下而上有中生界上三叠统延长组，下侏罗统富县组，下侏罗统延安组，厚度 60~110m，含煤四层，其中主要可采煤层为 4⁻²号煤层，煤厚 0~34.88m，一般 8~12m。厚度变化受沉积地形及地壳不均衡沉降运动所控制，表现为中浅部厚、深部薄，东部厚、西部薄、向斜厚、背斜薄的特点。

在此以煤层顶底板之间的厚度作为量化指标。

(2) 煤层埋深：据勘探资料，4⁻²号煤层埋深为 114.7~651.27m，一般埋深 385.48m 左右。由于基岩被水系切割严重，厚度变化大。就已采区而言，瓦斯随煤层埋深的增大而增大。4⁻²号煤层北部和西部埋深较大，一般在 400m 以上，其它部分埋深较小，一般

在 300m 以下。

燕山运动使区内地层强烈分化剥蚀，井田东南部煤层露头，上覆地层变薄，浅部瓦斯排出，形成浅部瓦斯风化带和低瓦斯带。井田中部和北部埋深较大，利于瓦斯赋存。

以地面至煤层顶面的铅直深度作为量化依据。

(3) 4^{-2} 号煤层顶板以上煤系厚度： 4^{-2} 号煤层赋存于延安组下部，其上主要沉积有 4^{-1} 号煤层、3 号、2 号及 1 号煤层。煤系地层主要位于延安组中下段，由深灰-灰黑色粉砂岩、砂岩、泥岩、煤层组成，含煤厚度可达 40m，其中 4^{-2} 号煤层为主要可采煤层， 3^{-2} 号和 4^{-1} 号煤层为局部可采煤层，1、2 号煤层不可采。延安组厚度 0~172m，一般厚 60~110m。延安组中下段与煤层瓦斯含量的关系见图 4.1。

以延安组 4^{-2} 号煤层顶面以上煤系厚度作为量化依据。

(4) 小街砂岩厚度：浅灰-灰色，以中粗粒为主，局部为细砂岩，个别相变为粉砂岩，呈大型透镜体分布（俗称小街砂岩）。主要成分为石英、长石，其次为少量暗色矿物及白云母片，含泥岩团块、煤屑、煤线和植物茎杆化石，具波状斜层理，泥钙质胶结，局部含油，厚度 0.90~30.70m，一般厚 13.76m。

以 4^{-2} 号煤层老顶中粗粒砂岩厚度作为量化依据。

(5) 含油强度：指 4^{-2} 号煤层顶板之上砂岩层含油等级。分微量级（I）、少量级（II）、含油级（III）、较多级（IV）、大量级（V）五个等级，按照对瓦斯含量的影响依次赋值 0、1、2、3、4。煤系含油性与瓦斯含量关系见图 4.2。

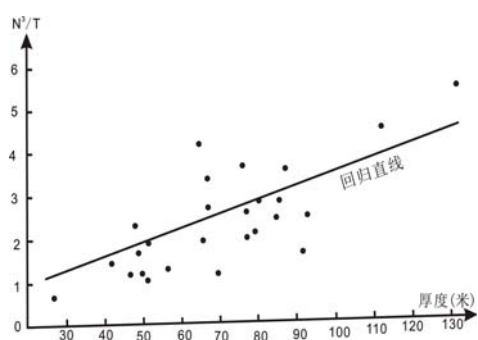


图 4.1 延安组二、三段厚度与瓦斯含量关系图

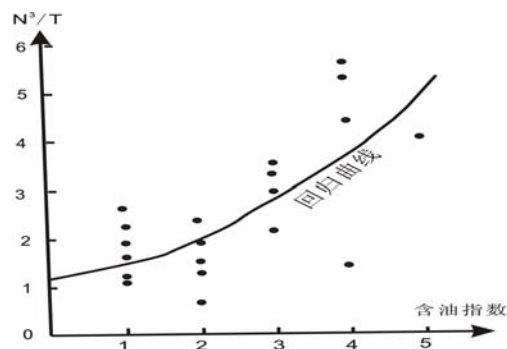


图 4.2 煤系含油性与瓦斯含量关系图

（据孔令义，1995）

(6) 顶板砂泥比： 4^{-2} 号煤层的顶板岩性主要为粉砂岩，次为泥岩和砂质泥岩，局部分布中粗粒砂岩。常呈波状起伏，裂隙发育，厚度一般 2~4m，按岩性组合及分布可以分为三类：泥岩夹煤层或碳质泥岩组合，呈零星小块分布；粉砂岩、碳质泥岩夹薄煤或碳质泥岩组合分布广泛；煤层与老顶砂岩直接接触，分布井田深部边缘。伪顶为黑色泥岩或碳质泥岩分布较普遍。研究区煤层顶板砂泥比一般为 2:1。煤层顶板砂泥比与瓦斯含量的关系见图 4.3。

以 4²号煤层顶板以上至直罗组底界范围内砂岩总厚与泥岩总厚的比值为量化依据。

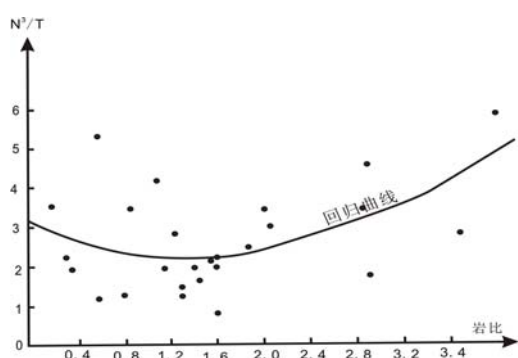


图 4.3 延安组二、三段砂泥岩比与瓦斯含量关系图

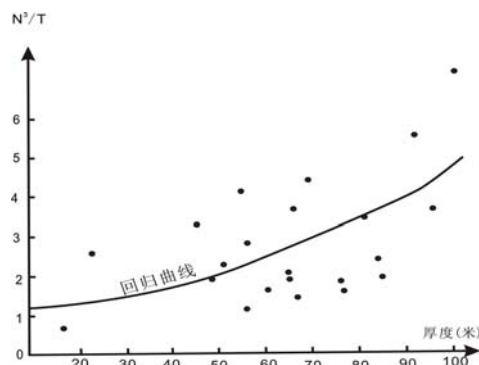


图 4.4 直罗组厚度与瓦斯含量关系图

(据孔令义, 1995)

(7) 直罗组底部砂岩厚度: 直罗组连续沉积于延安组之上, 由紫杂色粉砂岩和中粗粒砂岩组成, 粒度自下而上由粗变细, 底部为含砾粗砂岩, 胶结松散, 局部含油, 厚 4.96~113.35m, 一般 60~80m, 具有背斜薄、向斜沉积厚之特点。其与瓦斯含量的关系见图 4.4。

以直罗组最底部的砂岩厚度作为量化依据。

(8) 主要构造行迹对瓦斯赋存的影响

矿区主要构造为北东及北西向褶皱。北东向褶皱是影响井田瓦斯赋存的主要因素, 而北西-北西西向褶皱的影响起次要作用。一般来说, 区内向斜区域瓦斯赋存量较大, 背斜区域瓦斯赋存量较小; 北东向褶曲影响着瓦斯赋存的沿井田倾向变化, 而北西-北西西向褶皱则影响着瓦斯赋存的沿井田走向的变化。

断裂构造是井田的次级构造, 走向与褶皱轴向基本一致, 常有北东和北西向两组, 且成组出现相互交织, 落差一般不大, 以北东向为主。多为小型断裂、裂隙, 性质基本为正断层, 主要集中在煤层变化带和煤层沉积较厚部位, 具有在浅部较为发育, 往深部逐渐减少的趋势。断层走向多为北东、北西向组合, 平面上多呈雁行式和扫帚状排列, 剖面上常呈阶梯状。由浅部向深部, 断层发育数量具有明显减少的趋势。预计井田深部不会有大型断裂构造的出现, 小型断了亦较浅部少。因煤层与上、下地层物性差异大, 在构造应力和重力的综合作用下, 易发生流变, 产生了较发育的北东向和不甚发育的北西向断层和裂隙, 加之煤层上下岩层封闭条件较好, 煤岩层破碎, 有利于瓦斯的保存, 当采掘工程揭露断层裂隙后, 瓦斯涌出量倍增。

4.3 研究区煤层瓦斯含量主控因素分析

运用我国著名学者邓聚龙教授创立的灰色系统理论中的灰色关联分析方法, 对煤层

瓦斯含量影响主控因素进行分析。灰色关联分析法对样本的多寡、是否有规律性要求不高，而且计算量少、简单易学。

4.3.1 灰色关联分析方法的基本思想

将研究对象（母因素）及其影响因素（子因素）的因子值分别视为一组曲线上的点，然后按几何处理的思想，比较各影响因素与研究对象的相关程度。这种方法的核心是计算母因素与子因素的关联程度。关联度越大，表明相应子因素与母因素的关系越紧密。将关联度由大到小排列，构成关联序，可反映出各子因素对母因素的影响力大小排序。

4.3.2 灰色关联分析步骤

第一步：确定母因素与子因素

一般将需要评价的因素确定为母因素，将与母因素相关的因素确定为子因素。

第二步：构建原始数据矩阵

假设对母因素和 m 个子因素按一定的时间间隔或空间间隔进行 n 次观测，可得到原始数据矩阵：

$$[X] = \begin{bmatrix} x_{10} & x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ x_{20} & x_{21} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n0} & x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} = [x_{ij}]_{n \times (m+1)} \quad (4.1)$$

其中第 1 列（列序号为 0）为母因素数列；第 2 列至第 $m+1$ 列为子因素数列； x_{ij} （ $i=1, 2, \dots, n$ ； $j=0, 1, 2, \dots, m$ ）是对第 j 个因素进行第 i 次观测（或在第 i 个观测点进行观测）得到的数据。

第三步：统一量纲处理

为了对具有不同量纲的数据进行对比、分析，首先应消除量纲的影响。为此，灰色系统理论常用初值化或均值化等方法进行处理。

初值化变换：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{1j}} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (4.2)$$

均值化变化：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (4.3)$$

第四步：计算绝对差值矩阵

为书写方便，在以下公式中，将经过初值化或均值化处理的数据 x'_{ij} 仍记为 x_{ij} 。

在此基础上,可计算同一时刻(或同一观测点)各子因素与母因素观测值之间的绝对差值,并构成绝对差值矩阵:

$$[\Delta] = [\delta_{ij}]_{n \times (m+1)} \quad (4.4)$$

$$\text{其中: } \delta_{ij} = |x_{ij} - x_{i0}| \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (4.5)$$

第五步: 求出绝对差值矩阵中的最小值和最大值

$$\begin{aligned} \Delta_{\min} &= \min \{\delta_{ij}, i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m\} \\ \Delta_{\max} &= \max \{\delta_{ij}, i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m\} \end{aligned} \quad (4.6)$$

第六步: 求关联系数矩阵

$$[L] = [l_{ij}]_{n \times (m+1)} \quad (4.7)$$

其中:

$$l_{ij} = \frac{\Delta_{\min} + k\Delta_{\max}}{\delta_{ij} + k\Delta_{\max}}, \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (4.8)$$

L_{ij} 表示第*i*个时刻(或第*i*个观测点)的第*j*个子因素序列与母因素序列的相对差值,称其为 x_j ($j=1, 2, \dots, m$)与 x_0 在*i*时刻(或*i*点)的关联系数。式 4.8 中的*k*称为分辨系数,用来削弱因 Δ_{\max} 数值过大而导致的失真影响,提高关联系数之间差异的显著性。*K*可在 0~1 之间取值,一般情况下取 0.1~0.5 为宜。

从式 4.8 不难看出,当 $\delta_{ij}=\Delta_{\min}$ 时, $L_{ij}=1$; 当 $\delta_{ij}=\Delta_{\max}$ 时, L_{ij} 取最小值,且当 $\Delta_{\min}=0$ 时, L_{ij} 只依赖于*k*的取值,即

$$l_{ij} = \frac{k}{1+k} \quad (4.9)$$

当 ($0 < k < 1$) 时, $0 < L_{ij} < 0.5$.

第七步: 计算关联度

关联度只反映出 x_j 与 x_0 在*i*时刻的关系远近,信息比较分散。为了从总体上比较子因素与母因素之间的相关程度,需要计算出各个子因素与母因素的关联系数序列的平均值,并称其为关联度:

$$\gamma(j,0) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (4.10)$$

第八步: 排出关联序

将 *m* 个关联度降序排列,得到关联序。

第九步: 关联分析

由关联序确定哪个子因素对母因素影响最大,哪个影响次之,哪些可以忽略不计。

4.3.3 煤层瓦斯含量主控因素分析

本次分析选取的评价因子有：煤层埋深（ U_1 ）、煤层厚度（ U_2 ）、煤层顶板煤系厚度（ U_3 ）、小街砂岩厚度（ U_4 ）、含油强度（ U_5 ）、顶板砂泥比（ U_6 ）、直罗组底部砂岩厚度（ U_7 ）等 7 项指标。由于本区构造以宽缓褶皱为主，大的断层不甚发育，在量化方面有一定的困难，而且在选取样本值时，由于构造分布的不均匀性会导致结果出现较大偏差，因此在选取评价因子时，不将构造方面的原因考虑在内。但是在后面一章图层叠加分析时，会将构造方面的因素作为叠加因子进行考虑。

表 4.2 研究区 4²号煤层瓦斯含量控制因素样本值

钻孔号	埋深 (m)	煤厚 (m)	顶板以上煤系厚度 (m)	小街砂岩厚度 (m)	含油强度	顶板砂泥比	直罗组底部砂岩厚度 (m)	瓦斯含量 (m^3/t)
1204	384.22	0.55	73	28.74	3	2.3	83	5.6
1406	452.27	14.32	96	19.63	4	1.9	65	7.26
1602	290.04	0.55	55	12.24	4	1.7	72	2.80
1604	506.00	1.00	47	3.58	2	2.4	101	1.17
2001	231.31	2.69	39	2.37	1	2.2	85	0.69
893	468.60	0.20	82	22.65	3	2.0	53	3.20
8910	453.78	1.65	76	30.04	3	1.7	69	2.62
8916	462.10	1.20	51	8.46	2	2.0	77	1.44
8924	485.56	0.20	69	17.62	1	1.5	58	2.16
8925	502.4	0.10	89	25.31	3	1.4	86	2.39
8930	492.50		56	10.32	2	1.8	76	1.61
8931	575.00		67	22.41	1	1.9	96	1.51
502	494.76	9.69	48	7.69	1	1.5	48	1.59
601	203.82	10.23	54	10.40	1	1.2	74	1.68
801	486.35		47	6.55	2	1.6	83	1.44
补 803	551.76	12.46	78	27.14	1	2.3	67	2.65
802	629.05	18.49	83	20.47	3	3.0	98	2.33
702	560.7	16.65	90	14.05	3	2.8	82	2.09
8955	636.3	7.21	75	15.69	4	2.7	87	2.26
8948	555.99	5.73	93	23.74	5	2.8	63	4.3

确定的 7 个控制因素中，仅直罗组下部粗砂岩含油强度为定性指标，其余均为定量

指标。定量指标以实测结果为准；对于定性指标直罗组下部粗砂岩含油强度，现场通常将其分为微量级（I）、少量级（II）、含油级（III）、较多级（IV）、大量级（V），依次赋值 0、1、2、3、4。

筛选出位于瓦斯正常带内的 20 个瓦斯钻孔做了以上 7 项因素量化指标值统计，见表 4.2。运用 Matlab 软件编制灰色关联分析程序运算，将这些因素指标值与对应钻孔瓦斯含量值（y）输入计算机，得到各因素指标的关联度及关联序情况见表 4.3。

表 4.3 4⁻²煤层瓦斯含量影响因素关联分析表

指标类型	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	Y
关联度	0.465	0.431	0.527	0.536	0.683	0.479	0.512	1.0
关联序	7	6	3	2	1	5	4	

从表中可以看出，影响 4⁻²煤层瓦斯含量大小分布的主要因素首先是煤层顶板含油强度（U₅），本区煤系地层富含石油及天然气，其来源于基底三叠系延长组。4⁻²号煤层及围岩裂隙发育，该煤层既是油气运移的通道，又是油气储层的场所，因而，油气分布较丰区，煤层瓦斯含量值也相对较高。

其次，反映沉积建造的煤层顶板煤系厚度（U₃）及直罗组底部砂岩厚度（U₇），以及反映沉积环境变化的顶板砂泥比（U₆）对煤层瓦斯含量及其分布也有着较大的影响。

除上述主要控制因素外，其它因素诸如煤层埋深、煤层厚度等与煤层瓦斯含量及分布的控制作用不甚明显。

4.4 本章小结

（1）为查清影响 4⁻²号煤层瓦斯含量及分布的主控因素，首先在前人研究的基础上，建立了煤层瓦斯含量影响因素评价指标体系。

（2）在建立的指标体系基础上，遴选出煤厚等 7 项 4⁻²号煤层瓦斯含量影响因素，通过定性、定量分析，探讨了煤厚、埋深、顶板煤系厚度、小街砂岩厚度、含油强度、顶板砂泥比、直罗组底部砂岩厚度以及构造对瓦斯含量的控制作用，分析了各因素与瓦斯含量之间的相关性。

（3）将灰色关联分析方法引入对煤层瓦斯含量主控因素的确定中，通过分析得出顶板含油强度、反映沉积建造的顶板煤系厚度及直罗组底部砂岩厚度，以及反映沉积环境变化的顶板砂泥比为矿区煤层瓦斯含量主要控制因素。

5 基于GIS的煤层瓦斯含量及分布预测

5.1 Mapinfo简介

Mapinfo 是地图绘制领域使用最为广泛的应用软件之一，其含义是“Mapping+Information”即：地图对象+属性数据。它是美国 MapInfo 公司的桌面地理信息系统软件，是一种数据可视化、信息地图化的桌面解决方案。它依据地图及应用的概念、采用办公自动化的操作、集成多种数据库数据、融合计算机地图方法、使用地理数据库技术、加入了地理信息系统分析功能，形成了极具实用价值的、可以为各行各业所用的大众化小型软件系统。

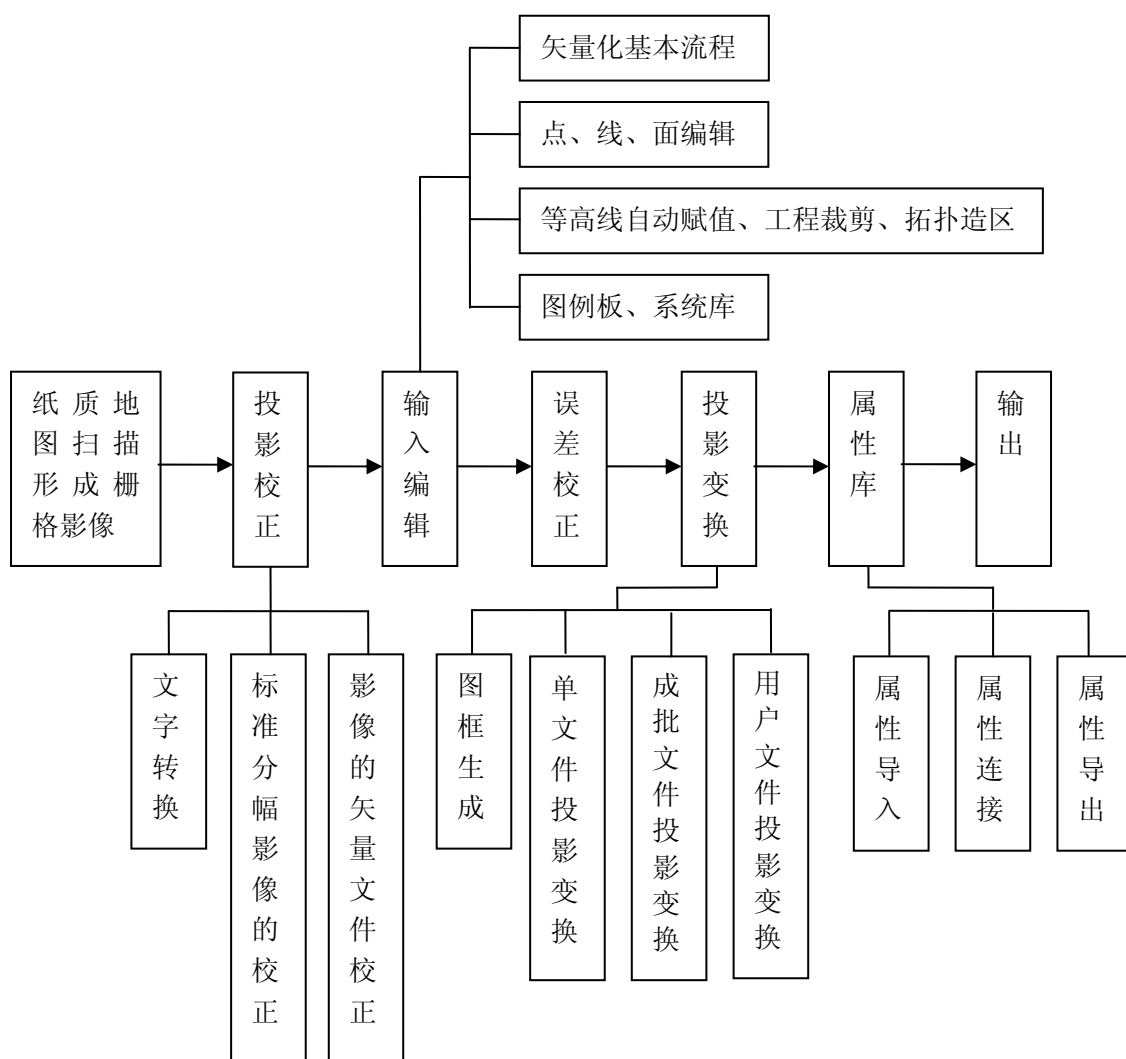


图 5.1 GIS 数据处理基本流程

Mapinfo professional9.5 是目前最为完备、功能强大、全面而直观的桌面地理信息系统之一，是一套强大的基于 Windows 平台的地图化解决方案，该软件可以帮助用户在数据库中不同的数据之间建立关联，在同一个环境下显示，并迅速揭示数据之间的关系以及易被忽视的数据模式，从而做出快速、有效的决策。

MapBasic 是 Mapinfo 自带的二次开发语言，它是一种类似 Basic 的解释性语言，利用 MapBasic 编程生成的“*.mbx”文件能在 Mapinfo 平台上运行，早期的 Mapinfo 二次开发都是基于 MapBasic 进行的。图 5.1 为 GIS 数据处理基本流程。

5.2 矿区范围底图制作

在进行本章之前，首先根据收集到的资料制作矿区井田范围底图，以方便后面进行图层叠加分析。

本文研究的区域为陈家山煤矿及下石节煤矿。矿区井田关系如图 5.2 所示。

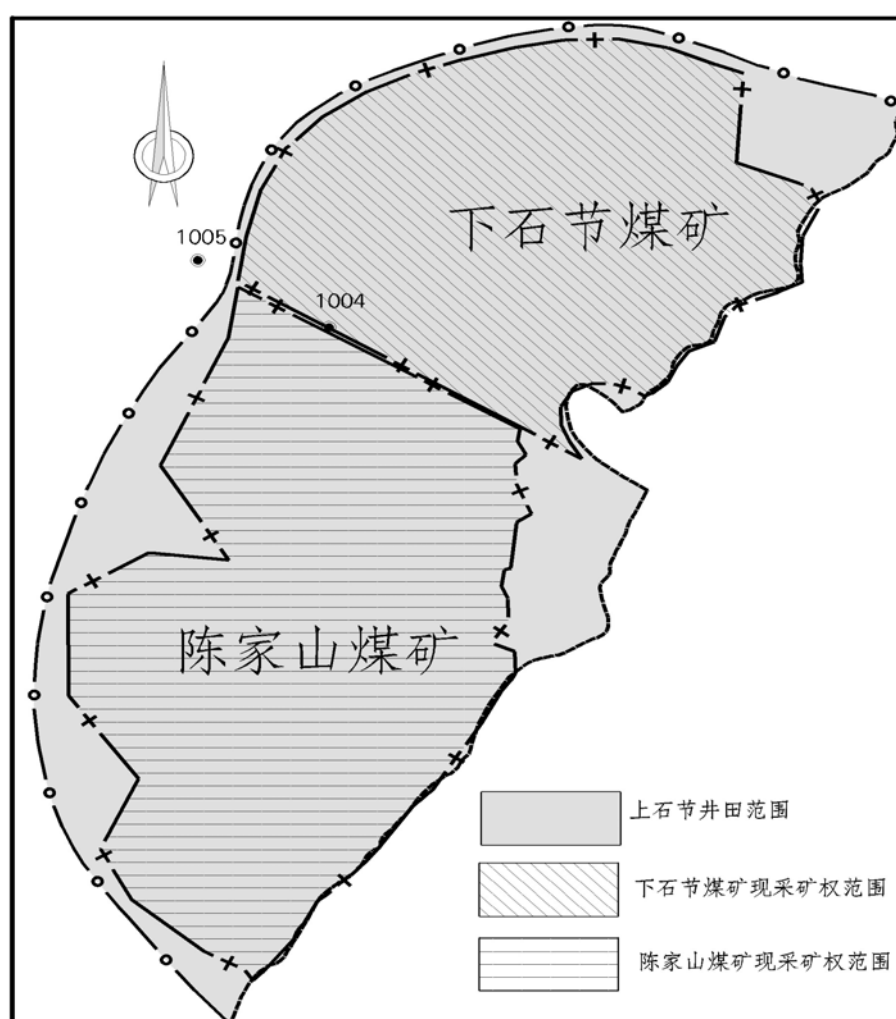


图 5.2 陈家山井田与上石节井田关系示意图

陈家山矿与下石节矿平面控制测量均采用 54 北京坐标系，高程采用 1956 年黄海高程系。矿区拐点坐标见图 5.3、5.4，表 5.1。由于本论文进行图层叠加所选用的叠加因子图均为比例尺为 1:10 万的图件，同时考虑到矿区所在位置为东经 $108^{\circ} 35' \sim 109^{\circ} 00'$ ，因此在作图的过程中选用的投影为 1954 年北京坐标系 6 度带 19 分区。

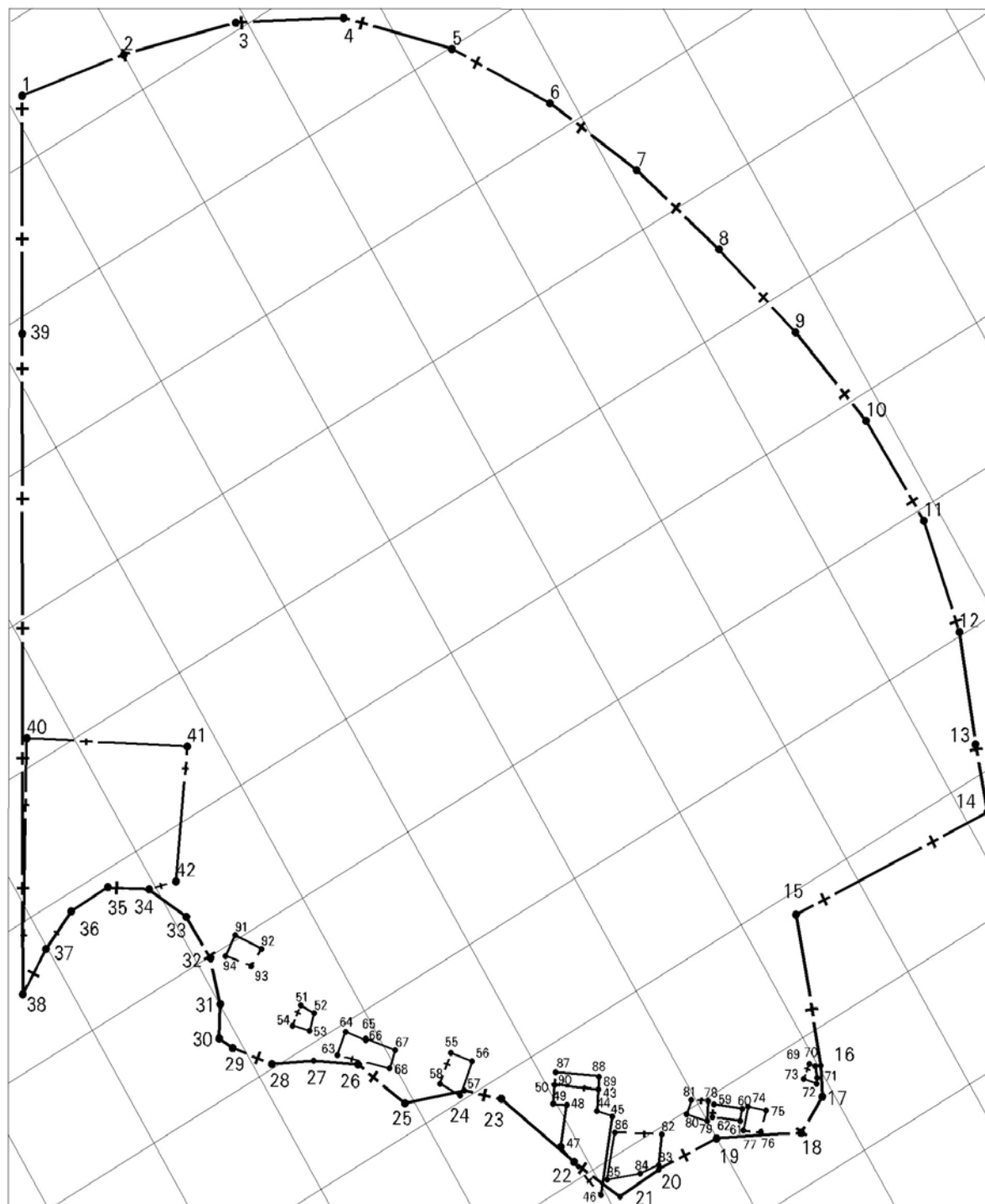


图 5.3 下石节煤矿采矿权范围及拐点分布示意图

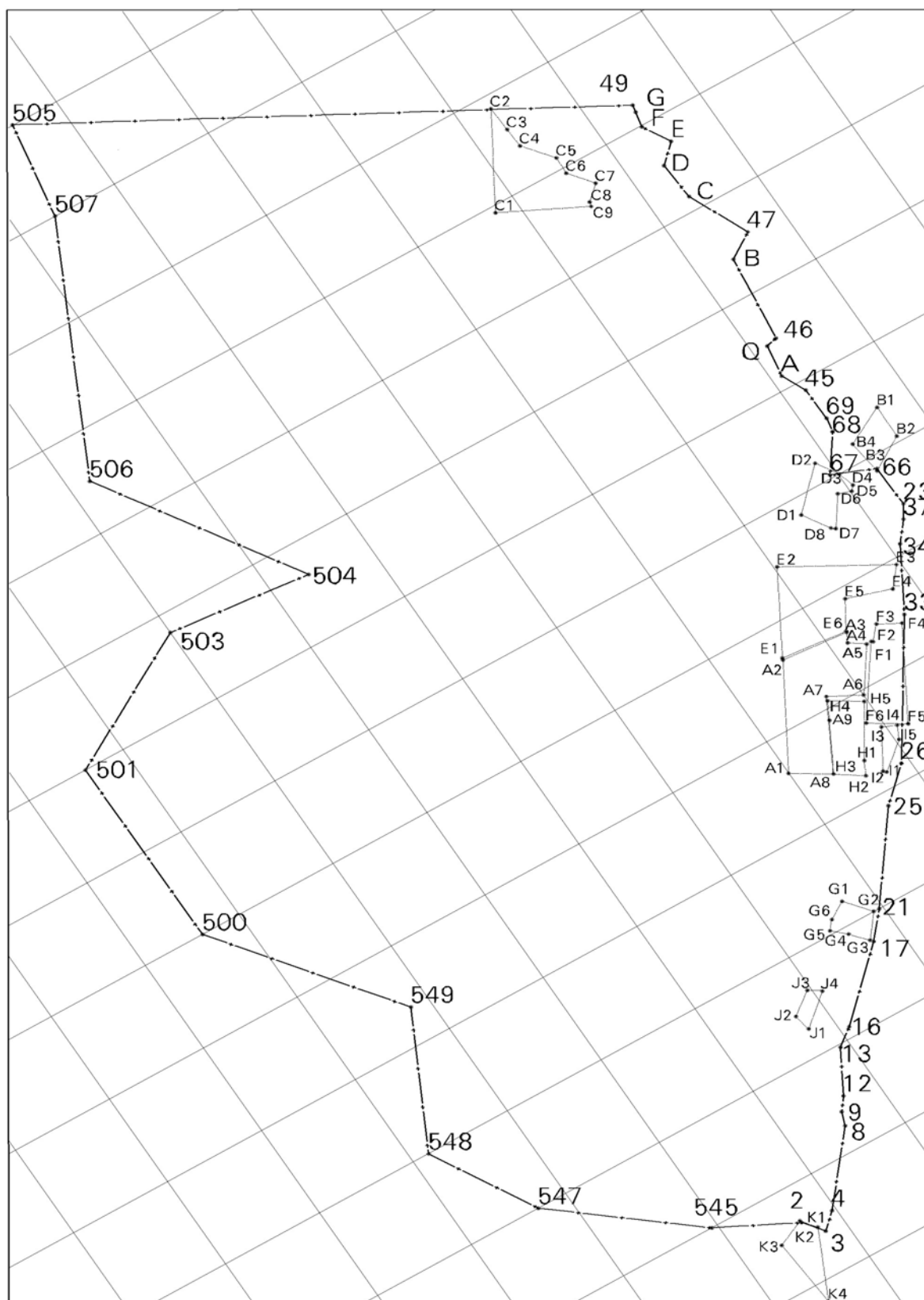


图 5.4 陈家山煤矿采矿权范围及拐点分布示意图

表 5.1 研究区范围拐点坐标表

序号	点号	X 坐标	Y 坐标	41	4	3894790	36572480
1	1	3901561	36572269	42	8	3895130	36572760
2	2	3902000	36572345	43	9	3895200	36572785
3	3	3902459	36572472	44	12	3895265	36572835
4	4	3902850	36572680	45	13	3895485	36572955
5	5	3903173	36573008	46	16	3895555	36573045
6	6	3903415	36573390	47	17	3895870	36573370
7	7	3903592	36573792	48	21	3896000	36573480
8	8	3903730	36574223	49	25	3896430	36573795
9	9	3903840	36574655	50	26	3896585	36573960
10	10	3903919	36575095	51	33	3897230	36574375
11	11	3903930	36575545	52	34	3897550	36574550
12	12	3903840	36575985	53	37	3897650	36574630
13	13	3903679	36576390	54	23	3897718	36574672
14	14	3903590	36576640	55	66	3897935	36574665
15	15	3902715	36576580	56	67	3898018	36574467
16	16	3902510	36577130	57	68	3898203	36574595
17	17	3902455	36577235	58	69	3898276	36574608
18	18	3902310	36577310	59	45	3898448	36574604
19	19	3902000	36577153	60	A	3898567	36574550
20	20	3901735	36577135	61	Q	3898733	36574575
21	21	3901545	36577144	62	46	3898747	36574630
22	22	3901450	36576935	63	B	3899194	36574680
23	23	3901315	36576575	64	47	3899280	36574810
24	24	3901200	36576472	65	C	3899575	36574680
25	25	3900965	36576390	66	D	3899770	36574667
26	26	3900875	36576165	67	E	3899860	36574760
27	27	3900725	36576061	68	F	3899993	36574687
28	28	3900570	36575985	69	G	3900072	36574703
29	29	3900462	36575850	70	49	3900110	36574710
30	30	3900433	36575790	71	505	3901501	36572269
31	31	3900504	36575679	72	507	3901000	36572185
32	32	3900558	36575506	73	506	3899755	36571600
33	33	3900553	36575321	74	504	3898825	36572190
34	34	3900474	36575153	75	503	3898900	36571500
35	35	3900332	36575060	76	501	3898500	36570800
36	36	3900156	36575064	77	500	3897500	36570805
37	37	3899993	36575135	78	549	3896685	36571410
38	38	3899824	36575237	79	548	3896000	36571080
39	2	3894810	36572330	80	547	3895500	36571355
40	3	3894715	36572400	81	545	3895000	36571970

目前,地理信息产品软件种类繁多,其中 Mapinfo 在众多 GIS 产品中广受青睐,它不仅广泛应用于测绘、土地、水利、城建规划等部门,还广泛应用于商业部门。它以其功能卓越、体积小等优点而深受广大用户喜爱。但美中之不足的是没有现成的精确输入图形对象的方法。

本文通过 Mapinfo 自带的编程工具 MapBasic,制作了能在 Mapinfo 中能用坐标精确输入折线的方法。

其程序如下:

```

Include "MAPBASIC.DEF"                                ` 包含 mapbasic 标准定义
Declare sub main
Sub main
    dim val as string
    dim dir as string
    dim x as float, y as float
    dim myobj as object                                ` 生成对话框界面
    dialog width 120 height 180 title "坐标输入折线"
        control statictext                                ` 控件描述
            position 16, 6 width 90 height 8
            ID 1
            title "X , Y (Ctrl+Enter 换行)"
        control edittext
            position 16, 16 width 90 height 140
            ID 2
            value ""
            into val
        control okbutton
        control cancelbutton
    if commandinfo(CMD_INFO_DLG_OK) then                ` 用户单击 OK 按钮
        dir=TempFileName$( dir )                        ` 返回一个临时文件
        open file dir for output as #1                    ` 以写入 TEXT 控件数据
        print #1, val
        close file #1
        open file dir for input as #1
        Set Map XY Units "m" Distance Units "m" Area Units "sq m"
        CoordSys NonEarth Units "m"                    ` 设置坐标系统和距离单位
    
```

```

Create pline Into Variable myobj 0 ` 用变量建立一个零个节点的 Pline 对象
while not eof(1)                    ` 循环读入数据构造 Pline 数据
    input #1, x, y
    Alter Object myobj
    Node Add (x, y)
wend
close file #1
kill dir                            ` 删除临时文件
Alter Object myobj                  ` 删除最后多余的一个点
Node remove position 1, 1
Insert Into my(object) Values (myobj) ` 插入对象到表名为 my 的表中
End if
End sub

```

运行该程序可进入图 5.5 所示界面。

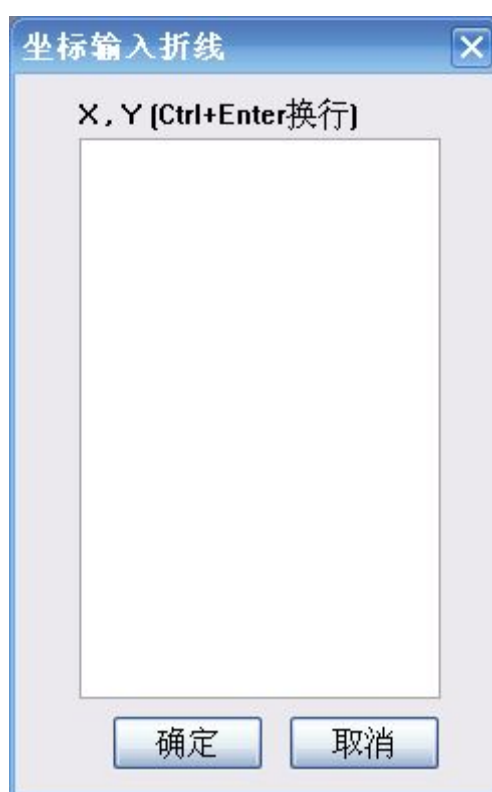


图 5.5 折线输入界面

根据表 5.1 中的矿区拐点坐标值，在 mapinfo 中通过键盘输入线的方法，可以很方便的生成矿区范围图，可作为图层叠加的底图使用，如图 5.6 所示。

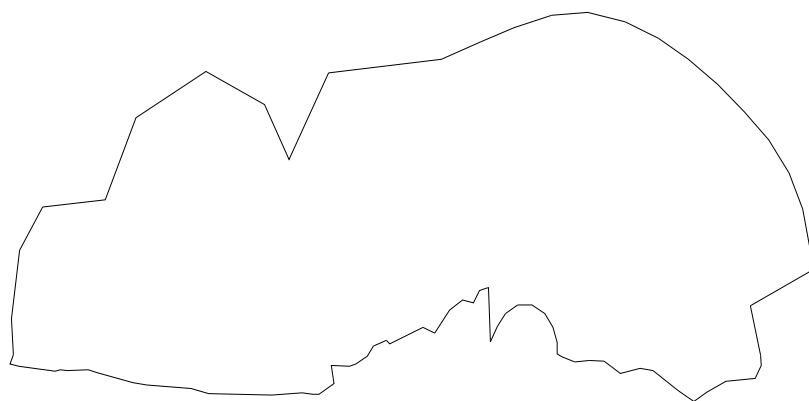


图 5.6 矿区范围图

5.3 煤层瓦斯含量及分布预测的模糊综合评判体系

模糊数学研究的是客观事物中各种不确定现象及相互关系。其中的“模糊综合评价”是研究对某一现象进行评价时，对引起这一现象的各种因素进行评价，最终获得对原现象的评价值。

所谓综合评判，就是同时考虑各方面因素的影响，对目标对象进行全面评价。传统的评判方法有总分法、加权平均法和判别分析法等。它们共同的特点是原理简单、使用方便。但常规方法的评判结果通常用一个数值表示，有时不够全面和准确。模糊综合评判法是模糊数学最重要的方法之一，它对具有模糊特征对象的评判很有价值。地学评判对象所涉及因素具有明显的模糊性和不确定性。因此，采用模糊综合评判法往往可获得更为客观的评价效果。本文便是采用这一方法对煤层瓦斯含量及分布进行预测的。

(1) 模糊综合评判基本思想

假设分别有两个论域：

因素集： $U=\{u_1, u_2, \dots, u_i\}$ ， U_i 为评价因素或称为评价指标；

评语集： $V=\{v_1, v_2, \dots, v_j\}$ ， V_j 为评语等级或类别。

单从一个因素出发，评判目标对象对评价某元素的隶属度，称为单因素模糊评判。设对因素集中 u_i 进行评判，对应评价集中 v_j 的隶属度，用模糊集合表示为式 5.1：

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) \quad (5.1)$$

R_i 称为单因素集。以各因素评价集的隶属度为行组成的矩阵，称为单因素矩阵，如式 5.2 所示。 R_{ij} 表示 U_i 和 V_j 之间的隶属度，称 R 为从 U 到 V 的模糊关系。

$$R = \begin{Bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{m1} & R_{m2} & \dots & R_{mn} \end{Bmatrix} \quad (5.2)$$

(2) 综合评价模型

① 确定评价因素集 $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$

其中 u_i 为评价因素， m 是同一层次上单因素的个数，这一集合构成了评价的框架。

② 确定评价结果集 $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$

其中 v_j 为评价结果， n 是同一层次上因素的个数，即等级数或评语档次数。这一集合规定了某一评价因素的评价结果的选择范围。结果元素既可以是定性的，也可以是量化的分值。

③ 确定隶属度矩阵

假设对第 i 个评价因素 U_i 进行单因素评价得到一个相对于 v_j 的模糊向量：

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}), i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$$

r_{ij} 为因素 u_i 具有 v_j 的程度， $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 。若对 n 个元素进行综合评价，其结果是一个 n 行 m 列的矩阵，即隶属度 R 。该矩阵中的每一行是对每一个单因素的评价结果，整个矩阵包含了按评价结果 V 对评价因素 U 进行评价所获得的全部信息。

④ 确定权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$

其中 w_i ($i=1, 2, \dots, n$) 表示因素 u_i ($i=1, 2, \dots, n$) 的重要程度，即分配到 u_i ($i=1, 2, \dots, n$) 的权重，满足式 5.3：

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad 0 \leq w_i \leq 1 \quad (5.3)$$

⑤ 得到最终的评价结果 B

权重向量 A 与判断矩阵 R 的合成就是该事物的最终评价结果，即： $B = W \times R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 。

其中：

$$b_j = \sum_{i=1}^n w_i \times r_{ij}, j=1, 2, \dots, m$$

5.4 各评价因素参数函数和权重系数的确定

5.4.1 获取评价参数特征值的原则和方法

建立了模糊综合评价体系后，还需对各个子函数确定他们各自的评价因素函数和特征值。本次评价所采用的参数包括定量和定性参数。定量参数采用实测数据块段平均法或加权平均法，对部分无法实测的块段，主要在相应的参数平面等值线图中求得。分析确定的 8 个控制因素中，仅直罗组下部砂岩含油强度及构造因素为定性指标，定性参数取值根据各单元已有地质资料和前人研究成果，经分析、综合和比较而定性的给出。

5.4.2 各因素隶属度函数的确定

(1) 评价因素集的确定

评价因素集即影响煤层瓦斯含量及分布的各种因素的集合，它是进行图层因子叠加分析的基础。依据选择相互独立的主要因素的原则，并结合前一章的分析结果，确定评价煤层瓦斯含量图层分析因素集如下：

$$U=\{U_1、U_2、U_3、U_4、U_5、U_6、U_7、U_8\}$$

其中： U_1 —煤厚； U_2 —埋深； U_3 —4⁻²号煤层顶板以上煤系厚度； U_4 —小街砂岩厚度； U_5 —含油强度； U_6 —顶板砂泥比； U_7 —直罗组底部砂岩厚度； U_8 —构造行迹。

(2) 各因素隶属度的确定

① 煤厚 (U_1)

煤层是瓦斯生成及赋存的物质基础，煤厚的大小直接影响着煤层瓦斯含量。煤厚用 M_1 (单位：米) 作为评价指标。由于焦坪矿区煤层厚度一般在 10m 左右。因此，将煤层厚度分为大于 7m 的厚煤层 3~7m 的中厚煤层和小于 3m 的薄煤层。建立如下煤厚与煤层瓦斯含量的模糊关系，隶属函数定义为：

$$U_1 = \begin{cases} 1 & M \geq 7 \\ 0.2M - 0.4 & 3 < M < 7 \\ 0.2 & M \leq 3 \end{cases}$$

② 埋深 (U_2)

煤层的埋深对煤层瓦斯含量的影响是多方面的，煤层埋藏越深，煤层瓦斯越易于保存。评价中深度以 H 表示 (单位为 100m)。根据 4⁻²号煤层埋深为 114.7~651.27m，一般埋深为 385.48m 左右，故得出以下隶属函数：

$$U_2 = \begin{cases} 1 & M \geq 6 \\ 0.2M - 0.2 & 1 < M < 6 \\ 0 & M \leq 1 \end{cases}$$

③ 4⁻²煤层顶板煤系厚度 (U_3)

煤层顶板以上煤系地层厚度对煤层瓦斯含量的影响表现在，顶板煤系地层厚度越大，煤层瓦斯含量越高，用厚度 M_2 表示 (单位为 10m)。其厚度为 0~160m，一般在 50~100m。确定隶属函数为：

$$U_3 = \begin{cases} 1 & M \geq 10 \\ 0.2M - 1.0 & 5 < M < 10 \\ 0 & M \leq 5 \end{cases}$$

④ 小街砂岩厚度 (U_4)

厚度为 0.90~30.7m，一般 13.76m。用厚度 M_3 表示 (单位为 m)。确定隶属函数为：

$$U_4 = \begin{cases} 1 & M \geq 30.7 \\ 0.034M - 0.03 & 0.9 < M < 30.7 \\ 0 & M \leq 0.9 \end{cases}$$

⑤ 含油强度 (U_5)

指煤层顶板之上砂岩层含油等级。分强含油、较强含油、中等含油、弱含油及不含油五个等级，按照其对瓦斯含量的影响依次确定其隶属函数值为：1、0.8、0.6、0.4、0.2。

⑥ 顶板砂泥比 (U_6)

研究区煤层顶板砂泥比一般为 2:1，隶属函数确定为：

$$U_6 = \begin{cases} 1 & M \geq 2 \\ 0.67M - 0.33 & 0.5 < M < 2 \\ 0 & M \leq 0.5 \end{cases}$$

⑦ 直罗组底部砂岩厚度 (U_7)

厚度在 4.96~113.35m，一般 60~80m，具有背斜薄、向斜沉积厚之特点。用厚度 M_4 表示（单位为 5m）。建立隶属度函数为：

$$U_7 = \begin{cases} 1 & M \geq 22 \\ 0.0476M - 0.0476 & 1 < M < 22 \\ 0 & M \leq 1 \end{cases}$$

⑧ 构造因素对瓦斯赋存的影响 (U_8)

根据构造复杂程度建立各隶属度如下：

A 类：构造简单，区内断层少，且以封闭断层为主，且位于褶皱翼部；

B 类：构造中等，区内断层较发育或位于褶皱轴部；

C 类：构造复杂，地层倾角大，区内断层发育，位于褶皱轴部，或煤层倾角较小，但煤层被抬升出露明显；

D 类：构造极复杂，地层出现倒转，区内断层极为发育，位于褶皱轴部，且有火成岩分布。其隶属度如表 5.2 所示：

表 5.2 构造因素隶属度

构造类型	A 类	B 类	C 类	D 类
隶属度	1	0.8	0.6	0.4

5.4.3 对评价参数相对重要性权重排序

图层叠加分析中，各个指标对总体有着不同的影响效果，不能把他们等效对待和平权处理，需要用权重来体现重要程度的差异性。权重的确定十分重要，权重的准确性与合理性直接关系到预测结果的可靠性。权重的确定方法很多，常用的有回归分析法、专家打分法、主成分分析法和灰色关联分析法等。权重系数是衡量子因素对瓦斯含量影响程度的量，权重系数愈大，则意味着该因素对煤层瓦斯含量的影响愈大，反之则小。本文采用灰色关联度分析法确定权重系数，考虑到所取得的数据量不足以反映全区各因素

对煤层瓦斯含量的控制值，因此，辅以专家打分法给出权重系数，其结果见表 5.3。

表 5.3 图层叠加子图层权重系数表

评价 指标	煤层厚 度	煤层埋 深	4 ⁻² 煤层顶板煤 系厚度	小街砂岩 厚度	含油强 度	顶板砂 泥比	直罗组底部砂 岩厚度	构造
权重 系数	0.080	0.085	0.145	0.155	0.18	0.105	0.120	0.130

5.5 地理信息系统下评价的实现

地理信息系统（GIS）是计算机软硬件支持下，集数据采集、存储、管理、检索、分析和描述于一体，适时提供各种空间及动态地学信息，用于管理和决策的计算机系统。GIS 是一门多学科交叉综合的边缘学科，其核心是计算机科学，基本技术是地理空间数据库、地图可视化及空间分析技术。GIS 具有方便快捷的多源数据采集及输入功能、强大的地图编辑与数据管理功能、独特的多空间分析方法以及直观的图形和属性数据可视化表达方法。如今 GIS 技术已广泛的应用于资源评价的多个方面^[70]。

GIS 下煤层瓦斯含量及分布综合评判的主要过程包括：数据的收集、建库，矢量图层叠加及预测结果的输出三个部分。

5.5.1 资料的收集、预处理及数据建库

地理信息系统具有数据的采集、检验与编辑的功能。可以将参与煤层瓦斯含量评价所需的各种地理或非地理因素输入 GIS 系统，形成一体化的数据库，以便于综合分析。MapInfo 对数据的管理采用分层方式，评判中的每一类特征数据都可以单独组成一个图层，也可以合并若干类特征数据组成一个新的图层。

初始资料主要通过野外调查、实验室测试及查阅各种资料获得。然后将资料整理成：基础地理信息因素图层，如煤田区块图、煤田主要构造图、区域内城市交通图等；以及参与评判的单因素图层，如煤厚、埋深等。数据预处理主要是将地理信息图层通过矢量化软件在计算机中成图，对于评价单因素图层，根据相关数据电脑手动成图，得到的图库图层为各因素的区域等值线图。最后将所有因素图层综合起来建立煤层瓦斯含量评判数据库。本文中所用到的叠加子图层，绝大部分是通过收集到的原始图件进行扫描数字化处理而成矢量图，比例尺均为 1:10 万。对没有原始图件的影响因素，通过对钻孔资料分析取得数据，在 SuFer 软件下生成等值线图，之后导入 MapInfo 中实现。

5.5.2 图层叠加分析

叠加分析主要是指通过对多个专题进行综合分析，将多个输入图层相叠加，并通过

某种空间关系运算得到一个输出图层。叠加分析的结果是形成了一个新要素层，新要素层综合了原来多层要素所具有的属性，即叠加分析不仅生成了新的空间关系，还将输入数据层的属性联系起来产生新的属性关系。通过对新要素的属性按一定的数学模型进行计算分析，从而产生新的空间信息。多边形叠加分并、叠合、交等，如图 5.7 所示。

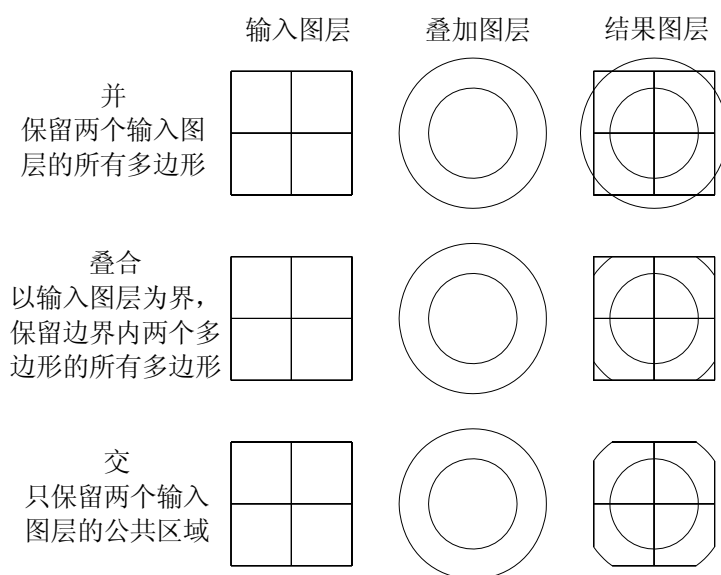


图 5.7 多边形叠加分析示意图

本文采用 mapinfo 作为平台，借助于 GIS 的强大图形分析处理功能来实现图形叠加。在此基础上对矿区瓦斯含量及分布情况进行分析。通过对煤层瓦斯含量的主要因素进行求并运算，最终得出煤层瓦斯含量及其分布图。

叠加分析可用下述关系式表达：输出数据层=f（多个输入数据层）

函数 f 所表达的空间关系运算可以是基于理论的关系表达式，也可以是基于经验的关系表达式，还可以是基于原理和经验相结合的关系表达式。

基于 GIS 的瓦斯含量综合评判方法即基于以上思想，其中输入层为煤厚，埋深等评价因子图层。f 表示由模糊数学方法确定的函数关系。由此经过叠加分析后，在原要素的基础上形成新要素，新要素综合了原来多层要素所具有的属性，即最终的评判值。

叠加分析技术是 GIS 的主要功能之一，本文通过美国 Mapinfo 公司开发的 Mapinfo Professional 来实现叠加分析技术的应用。其主要步骤如下：

（1）按精度生成网格图层

Mapinfo 下可以方便的生成网格图层，即由若干个小网格（M×N）组成的图层，如图 5.8 所示。每个小网格中可以写入若干个信息。利用这种关系，可以将各种评价要素的信息存储到这若干个网格中，由于网格具有一定的精度，因此网格中存储的信息也具有相当的精度，可以用来作为煤层瓦斯含量及分布的评判。

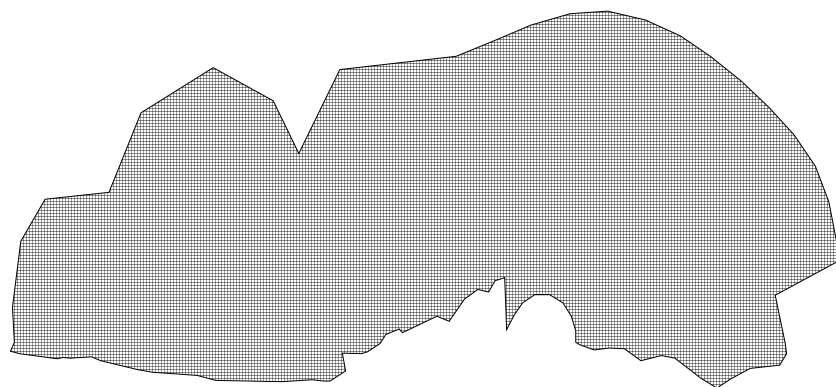


图 5.8 矿区网格图层

网格图层的生成主要考虑网格大小及网格密度。根据要求的评价精度等级，结合生产实际来确定网格的大小及密度。网格图层建立后，便形成了一个包含了 M 行 N 列的网格，同时在 Mapinfo 中会自动生成一个具有 $M \times N$ 个记录的属性数据段，这个网格和属性表共同存储了网格的数据信息。

(2) 网格图层的叠加

生成的网格图层是一个没有数据信息的空网格，要实现评判需要向这个空网格中输入评判因素的信息。实现的方法为，将生成的网格图层与预测因子图层进行叠加。

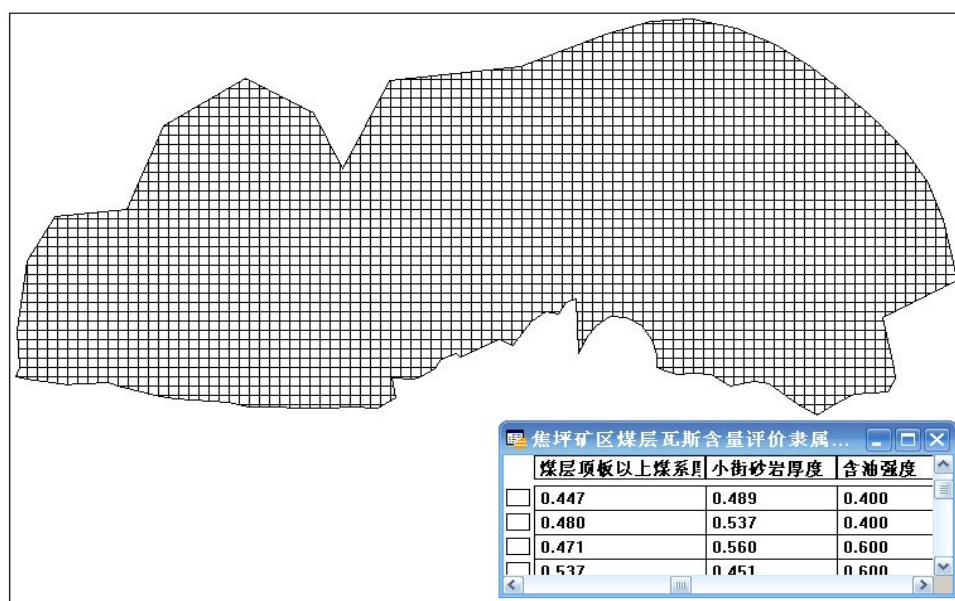


图 5.9 MapInfo 中网格图层及属性数据表

以煤厚及埋深为例来说明叠加过程。假设煤厚为 A ，埋深为 B 。首先收集 A 及 B 的数据，在计算机下分别绘制 A 及 B 等值面分布图，叠加的方法是：先用生成的空网格图层切割 A 等值面图层，形成具有 $M \times N$ 个小网格的等值面图，称为图层 C ， C 中每个小网格记录了该区某地 A 的一个煤厚数据值。然后，用 C 切割 B ，切割后生成图层 D ，

D 记录 A 和 B 的数据。最后，在图层 D 中，将 A 的数据和 B 的数据进行矢量求和。求和后形成的新网格图层 D 就是这两者的综合网格图层。

类似的可以叠加多个评价因子图层，最后得到包含所有评价因素的总图层。总图层记录了所有的评价信息，可以通过浏览总图层的属性数据表来查看，如图 5.9 所示。

(3) 综合评价

综合评价是通过对建立的综合评价图层进行数据叠加运算来实现的。叠加运算时需要进行运算函数编辑，这个运算函数就是前面建立的模糊数学的逻辑关系式，如图 5.10 所示。按指定的逻辑表达式进行图层叠加运算后，评判结果就变成了一个新的图层，这个图层就是最后的评判结果图层。

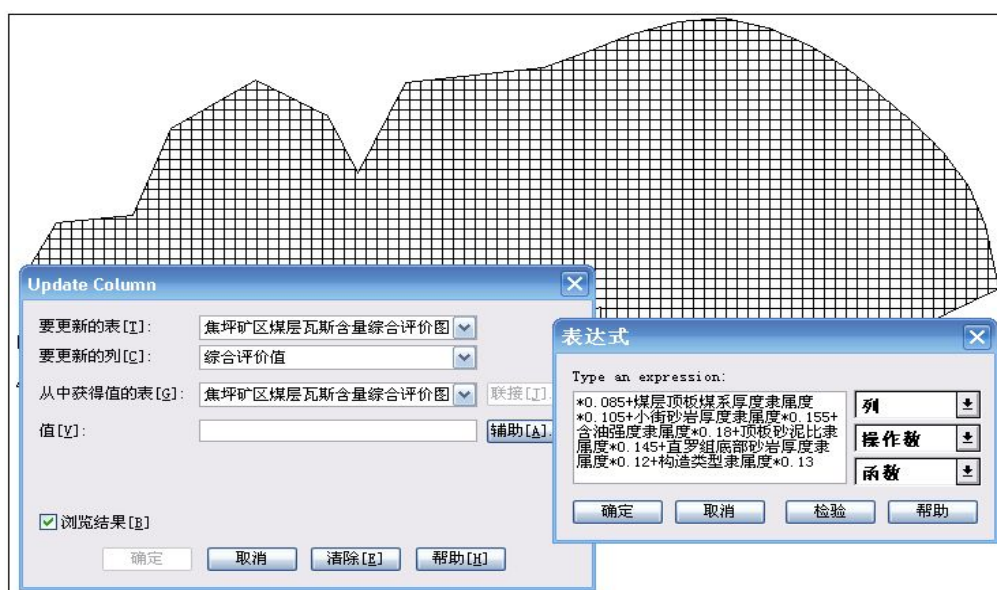


图 5.10 MapInfo 中网格图层的叠加

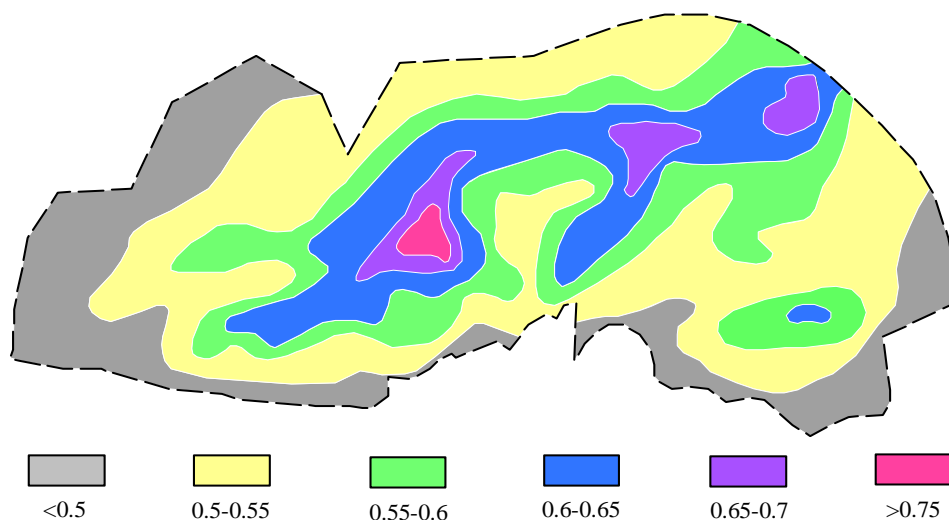


图 5.11 研究区煤层瓦斯含量及分布综合评价图

对图层叠加效果图进行整饬，最终得到矿区煤层瓦斯含量及分布预测图如图 5.11 所示。本次预测用区内各块段评价值的大小来反映预测结果。评价值的越大，反映的块段的瓦斯含量值越大。根据评价结果以及钻孔数据，将研究区煤层瓦斯含量情况分为六类，如图 5.11 所示。

综合考虑定性分析和图层叠加分析的结果，可以看出 4⁻²号煤层瓦斯含量及分布与煤系地层厚度（图 3.4）、区内构造展布方向（图 3.5）及地层含油级别的分布（图 3.7）具有明显的一致性。高瓦斯区主要集中在研究区中心，在近南北向成条带状展布。而这一区域又正好是矿区的构造发育中心地带，且含油强度高，煤层厚、埋藏深。根据第二章的分析，虽然直接顶并不构成对煤层的有效封盖，但实际上，它与煤层及老顶构成了统一的煤层瓦斯含气层。导致此地带成为高瓦斯地带，瓦斯涌出量巨大且兼有油气涌出，易于发生煤与瓦斯突出。

5.6 本章小结

本章采用模糊数学的评价方法，借助于 GIS 系统，将数学语言转换为计算机语言，依据选择相互独立的主要因素的原则，结合前一章分析结果，确定煤层瓦斯含量图层分析因素集。根据第四章对瓦斯含量控制因素的确定，依据重要性程度的不同，分别赋予不同的权重系数。结合陈家山矿及下石节矿区域地质背景及前人研究成果，分析了矿区瓦斯含量影响因素的具体特点，根据取得的数据确定出各因素隶属度函数。在 mapinfo 下进行图层叠加分析，实现了对研究区瓦斯含量及其分布的预测。

通过实际应用，证明 GIS 图层叠加分析效率高、结果可靠，在资源评价中具有很大优势：（1）可以方便快捷的对不同地点瓦斯进行从图形到属性的查询，以及从属性到图形的快速定位；（2）通过对各种不同影响因素的分析处理和叠加组合，增强了有用信息量；（3）能够快速地综合分析各种影响因素，并指出瓦斯含量可能的数值区间。为煤层瓦斯含量的预测乃至瓦斯涌出量的预测提供了一种快捷、直观的新途径。

6 结论

6.1 主要结论

本文从学习、总结煤层瓦斯赋存基本理论出发,结合矿区瓦斯地质特点,对其瓦斯赋存情况进行了分析;运用区域构造演化理论,阐述了矿区所在的大地构造位置及构造演化史,讨论了构造及其演化对瓦斯赋存的控制作用;分析了矿区瓦斯含量的主要控制因素。在此基础上,应用 GIS 的图层叠加分析功能对矿区煤层瓦斯含量及其分布进行了分析预测。得出的主要结论如下:

(1) 4²号煤层以小孔、微孔为主,发育有NE与NW向两组割理,与矿区主体构造方向一致,NE向占优。割理主要发育在亮煤、镜煤中,发育程度高于渗透性很差的渭北石炭-二叠纪煤田煤层,但密度与宽度均低于我国地面煤层瓦斯抽放条件较好的煤层;煤层吸附能力属Ⅱ类中等;直接顶虽具有很低的孔隙度,却有着高的渗透率及低的排驱压力,不利于瓦斯保存。直接底泥岩裂隙发育,不利于瓦斯保存,但煤层老顶砂岩具有很强的储气性能。煤层与直接顶及老顶一起构成了统一的含气层。

(2) 构造演化主要分为印支期、燕山期和喜山期。印支运动及早燕山运动对煤层及瓦斯的控制在于形成聚煤古环境,进而影响煤层瓦斯赋存;晚燕山运动,构造变动剧烈,造成盆地沉积作用终止,区内的主要构造格架完成于这一时期;喜山运动使区内构造受到不同程度的牵动而开启,向张性演化,在矿区产生了北东向张性断层。

成煤前的古地理环境对煤层沉积起到了很大的控制作用。矿区主要构造形态为具有长期性、同沉积的特点的北东、北西向褶皱。

(3) 鄂尔多斯盆地为刚性稳定地块,一定程度上抵消了构造运动对其影响,区内构造以宽缓褶皱为主。但多期构造变动造成区内裂隙、小断层发育。构造对瓦斯的控制主要表现在:瓦斯含量的高值区与区内向斜展布方向趋于一致,向斜轴部瓦斯含量较大,背斜则反之;区内裂隙发育导致煤层直接顶、直接底不利于瓦斯保存,但同时使得老顶砂岩成为良好的储气层。

(4) 将灰色关联分析引入煤层瓦斯含量主控因素的定量确定中,通过分析确定出煤层顶板含油强度、反映沉积建造的顶板煤系厚度和直罗组底部砂岩厚度,以及反映沉积环境变化的顶板砂泥比是影响瓦斯含量的主要因素。

(5) 采用模糊数学的评价方法,借助于地理信息系统,依据选择相互独立的主要因素的原则,确定出评价煤层瓦斯含量及分布的图层分析因素集。根据对影响瓦斯含量的主控因素的确定,依据重要性程度的不同,对其分别赋予不同的权重系数。

结合陈家山矿及下石节矿区域地质背景及前人的研究成果,分析了矿区瓦斯含量影

响因素的具体特点,取得基础数据,并确定各因素隶属度函数。在 mapinfo 下进行图层叠加分析,实现了对研究区煤层瓦斯含量及分布的综合预测。通过实际中的应用,证明 GIS 的图层叠加分析效率高、结果可靠。

6.2 论文后续工作的展望

在以后的工作和研究中还需要从以下两方面着手,对课题进行提高和完善。

(1) 还需要进行更多的室内及现场试验,以进一步了解煤储层及封盖岩层对矿区瓦斯的控制情况。从油气与煤岩层相互作用的观点出发,建立煤油气共生矿区固液气三项耦合模型,从而对矿区瓦斯及油气赋存机理、瓦斯灾害的防治及瓦斯资源的抽采起到进一步的指导作用。

(2) 本文收集到的钻井资料有限,且限于时间及精力,选取的叠加子图层均为 1:10 万图件,一定程度上限制了预测精度。今后的工作中可以建立矿区煤层瓦斯评价数据库,方便数据更新及数据分析,取得更为精确的叠加子图层,提高预测精度。另外,图层叠加分析还可用于瓦斯涌出量及煤与瓦斯突出的预测方面。

致 谢

经过三年的紧张学习和工作，论文在老师、同学、家人和朋友的帮助下终完成了。在此向他们表示衷心的感谢！

首先，要感谢我的导师李树刚教授、许满贵副教授。本文是在李树刚教授、许满贵副教授的精心指导下完成的，无论在论文的选题、文献调研、中期考核，还是最后的成文方面，都给予了及时、具体的指导和帮助。他们丰富的专业知识、严谨的治学态度、一丝不苟的敬业精神、坦诚相待的处世，都使我受益匪浅，在此表示由衷的感谢和深深的敬意！

在我研究生期间和论文写作的过程中，得到了潘宏宇师兄、张天军老师、林海飞老师、成连华老师、黄金星师兄以及各位同门兄弟姐妹的诸多帮助，在此一并表示感谢。

感谢在我硕士三年中支持我、帮助我、关心我的老师、亲人、同学和朋友们，感谢培养了我七年的西安科技大学！

另外，在焦坪矿区调研期间，得到了铜川矿务局通风处、陈家山煤矿、下石节煤矿、玉华煤矿领导及有关工作人员的大力支持和帮助，在此向他们表示诚挚地谢意！

感谢论文及研究中引用到的学术论著及研究成果的学术前辈！

最后，十分感谢各位评委专家、教授百忙之中抽出时间对论文进行评审指正！

参考文献

- [1] 张子敏, 张玉贵. 瓦斯地质规律及瓦斯预测[M]. 煤炭工业出版社, 2005
- [2] Shugang Li, Minggao Qian, Jialin Xu. Simultaneous Extraction of Coal and Coalbed Methane in China. Mining Science and Technology' 99(Edit by Heping Xie), 1999, (10): 357~360
- [3] 张新民, 庄军, 张遂安等. 中国煤层气地质与资源评价. 北京: 科学出版社, 2002
- [4] 张子敏等. 瓦斯地质学. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009. 5
- [5] 陕西煤矿安全监察局, 西安科技大学. 陕西省高瓦斯煤矿安全生产问题研究综合报告. 2005
- [6] 王双明, 高新民, 范立民. 陕西省煤层气资源及开发前景[J]. 高产高效煤矿建设的地质保障技术—陕西省煤炭学会学术年会论文集, 2009
- [7] 许满贵, 葛岭梅. 高瓦斯易自燃坚硬厚煤层综放面瓦斯涌出危险性评价[J]. 湖南科技大学学报, 2007 (1)
- [8] 李树刚, 钱鸣高, 石平五. 煤层采动后甲烷运移与聚集形态分析[J]. 煤田地质与勘探, 2000
- [9] 李树刚. 煤样全应力应变中的渗透系数-应变方程[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29 (1)
- [10] 李树刚, 钱鸣高等. 综放开采覆岩离层裂隙变化及空隙渗流特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000 (5): 604~607
- [11] 焦作矿业学院瓦斯地质研究室, 瓦斯地质概论. 北京: 煤炭工业出版社, 1990
- [12] B.M. 吉马科夫. 为解决采矿安全问题而预测含煤地层瓦斯含量的地质基础. 煤炭工业部科技情报所. 第十七届国际采矿安全研究会议论文集. 北京, 1980
- [13] A.3. 彼特罗祥著(宋世钊译). 煤矿沼气涌出[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1980
- [14] DAVID P. CREEDY. Geological Controls on the Formation and Distribution of Gas in British Coal Measure Strata, UK [J]. International of Coal Geology. 1988, (10)
- [15] Shepherd J. Outbursts and Geological Structures in Coal Mines, Australia [J]. Int J Rock Mech Min Sci & Geomech. 1981, 18(4): 267
- [16] Bibler CJ, Marshall JS, Pilcher, Status of Worldwide Coal Mine Methane Emissions and Use[J]. Int J Coal Geol. 1998(35): 283~310
- [17] Frodsham K, Gayer AR. The Impact of Tectonic Deformation upon Coal Seams in the South Wales Coal Field, UK[J]. Int J Coal Geol. 1999 (38): 297~332
- [18] HuoyinLi, Yujiro Ogawa. Pore Structure of sSheared Coals and Related Coal Bed Methane[J]. Environmental Geology. 2001, 40 (11): 1455~1461

- [19]张玉贵. 构造煤演化与力化学作用[D]. 太原理工大学. 博士论文, 2006
- [20]周克友. 江苏省矿井瓦斯与地质构造关系的分析[J]. 焦作工学院学报, 1998, 17 (4): 269~271
- [21]王生全, 王英. 石嘴山一矿地质构造的控气性分析[J]. 中国煤田与地质. 2000, 12 (4): 31~34
- [22]张国辉, 韩军, 宋卫华. 地质构造形式对瓦斯赋存状态的影响分析[J]. 辽宁工程技术大学学报. 2005, 24: 29~22
- [23]刘红军. 长平矿井地质构造特征与瓦斯赋存规律分析[J]. 煤炭工程. 2005, 4: 50~51
- [24]康继武. 褶皱构造控制煤层瓦斯的基本类型[J]. 煤田地质与勘探. 1994, 22 (4): 30~32
- [25]宋荣俊, 李佑炎. 皖北刘桥二矿断裂构造对瓦斯的控制作用[J]. 江苏煤炭. 2002 (4)
- [26]宋三胜, 陈富勇, 丙绍发. 煤矿中小型构造控制瓦斯涌出规律[J]. 矿业安全与环保. 2001, 28(6): 18~19
- [27]蔡康旭等. 矿井地质构造红外探测的理论与实践[J]. 2002, 17 (1): 5~8
- [28]王连成. 地质雷达的探测实践. 西安矿业学院报[J]. 1999, 19 (4)
- [29]俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.
- [30]习叶建平, 秦勇. 中国煤层气资源[M]. 中国矿业大学出版社, 1999
- [31]王生全. 煤层瓦斯含量的主要控制因素分析及回归预测煤炭科学技术[J], 1997 (9)
- [32]陕煤科技编辑部. 焦坪矿区油气赋存情况调查分析[J]. 陕煤科技, 1982 (1)
- [33]孔令义. 焦坪矿区瓦斯地质因素的探讨[J]. 瓦斯地质会议文集. 煤炭工业出版社, 1995
- [34]姚素平等. 鄂尔多斯盆地延安组煤有机岩石学研究[J]. 沉积学报 1999, 17 (2)
- [35]米敬奎. 陈家山煤层气的可利用性研究[J]. 湘潭矿业学院学报, 1999 (4)
- [36]陈建平. 鄂尔多斯盆地东南缘煤矿侏罗系原油油源[J]. 沉积学报, 1997 (2)
- [37]郭黔杰. 焦坪侏罗纪煤系及其油气展布[J]. 煤田地质与勘探, 1998 (5)
- [38]肖永福. 焦坪矿区油气赋存规律研究[J]. 陕西煤炭, 2003 (1)
- [39]王生全. 煤油气共生矿井的瓦斯地质及其安全开采技术. 瓦斯地质会议文集. 煤炭工业出版社, 2003
- [40]王生全. 焦坪南部煤油气共生矿区瓦斯地质特征及瓦斯预测研究[D]. 西安科技大学, 2006
- [41]封华等. 焦坪矿区油气伴生特性及其对瓦斯爆炸极限的影响[J]. 矿业快报2007. 7
- [42]王坤. 焦坪矿区瓦斯赋存特征与抽放方法研究[D]. 西安科技大学, 2009
- [43]周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论[M]. 煤炭工业出版社, 1999
- [44]Boyr, c.m. II. The coalbed methane resource and the mechanism of gas production. GRI Topical Report 89/0266. Nov. 1989: s 48~64

- [45]陶著主编. 煤化学. 北京: 石油工业出版社, 2001
- [46]戴金星, 戚厚发等著. 我国煤系的油气地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001
- [47]张新军, 庄军, 张遂安. 中国煤层气地质与资源评价[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [48]张群. 煤层气储层数值模拟模型及应用的研究[D]. 西安: 煤炭科学研究总院西安分院. 2003
- [49]周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论. 北京: 煤炭工业出版社, 1999
- [50]Gas Research Institute. A guide reference No. GRI-94/0397, 1996, to coalbed methane reservoir engineering. GRI Chicago Illinois
- [51]Smith, D.coalbeds.M, Williams, F.L. Diffusion effects in the recovery of methane from society of petroleum. Engineering Journal, Oct, 1984: 529~535
- [52]陈练武等. 陕西省黄陇侏罗煤田焦坪矿区陈家山煤炭资源储量核实报告[R]. 西安: 陕西西科地质与环境工程有限责任公司, 2008
- [53]陈练武等. 陕西省黄陇侏罗煤田焦坪矿区下石节煤炭资源储量核实报告[R]. 西安: 陕西西科地质与环境工程有限责任公司, 2008
- [54]肖永福, 褚廷民等. 焦坪矿区油气赋存规律研究[J]. 陕西煤炭, 2003, (1): 10~12
- [55]杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002
- [56]夏玉成, 侯恩科. 中国区域地质学[M]. 中国矿业大学出版社, 1996
- [57]徐黎明等. 鄂尔多斯盆地构造应力场特征及其构造背景[J]. 大地构造与成矿学, 2006 (04)
- [58]陈凌, 危自根, 程骋. 从华北克拉通中、西部结构的区域差异性探讨克拉通破坏[J]. 地学前缘, 2010 (01)
- [59]李文厚. 鄂尔多斯盆地南部侏罗系延安组沉积体系研究[D]. 西北大学, 2007
- [60]滕吉文等. 鄂尔多斯盆地上地壳速度分布与沉积建造和结晶基底起伏的构造研究[J]. 地球物理学报, 2008 (06)
- [61]丁晓琪, 张哨楠. 鄂尔多斯盆地西南缘延安组层序地层分析[J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2008 (06)
- [62]刘枢. 鄂尔多斯盆地西南缘侏罗纪煤田构造控煤分析[J]. 煤田地质与勘探, 1982 (06)
- [63]张子敏等. 中国煤层瓦斯分布特征[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998
- [64]郭龙, 范启民, 肖永福. 煤、油、气共存矿井瓦斯涌出量主控因素的确定[J]. 陕西煤炭, 2006 (02)
- [65]夏玉成, 陈练武, 薛喜成. 地学信息数字化技术概论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003. 5
- [66]吴观茂等. 影响煤层瓦斯赋存规律的多地质因素回归分析研究[J]. 煤炭工程, 2007

(11)

- [67]何进军. 焦坪矿区陈家山煤矿瓦斯地质规律研究[J]. 煤田地质与可持续发展研究论文集, 2003
- [68]雷益龙. 焦坪矿区综采开采煤厚及资源量分布分析[J]. 高产高效煤矿建设的地质保障技术—陕西省煤炭学会学术年会论文集, 2009
- [69]郭黔杰, 段保鑫. 焦坪侏罗纪煤系及其油气展布[J]. 煤田地质与勘探, 1992 (05)
- [70]罗云启, 罗毅. 数字化地理信息系统与 MapInfo 应用大全[M]. 北京: 希望电子出版社, 2001. 9
- [71]吴秀琳等. MapInfo 中文版标准教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.6
- [72]Smith John W, Pallasser Robert J. Factors controlling the origin of gas in Australian Bowen Basin coals discussion. Organic Geochemistry. 2001, 32(1): 205~206
- [73]Sun Maoyuan, Xin Wenjie, Fan Zhiqiang. The present and prospects of China's coalbed methane industry. AAPG Bulletin. 2000, 84(9): 14~99
- [74]Harris, I and Gayer, R. Coalbed Methane and Coal Geology. London: London Geological Sociaty, 1996
- [75]姚艳斌等. 地理信息系统在煤层气资源综合评价中的应用[J]. 煤炭科学技术. 2005, 33 (12)
- [76]郝天轩, 魏建平, 郝富昌. 基于 MapObjects 图形叠加分析在煤与瓦斯突出区域预测中的应用[J]. 瓦斯地质与瓦斯防治进展, 2007
- [77]黄旭钊, 徐昆, 梁月明. 利用MapInfo综合分析多源地学信息进行矿产预测[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2001 (02)
- [78]袁峰等. 一种基于Mapinfo的叠加分析方法[J]. 物探化探计算技术, 2002 (01)

附 录

攻读硕士学位期间发表的论文

- [1] 许满贵, 马正恒等. 煤对甲烷吸附性能影响因素的实验研究. 矿业工程研究. 2009 (02)
- [2] 马正恒, 许满贵等. 正断层对采煤沉陷控制作用的试验研究. 矿业工程研究. 2009 (02)
- [3] 刘洁, 马正恒等. 阻燃聚氨酯氧指数测定中的影响因素分析. 陕西煤炭. 2010 (02)

攻读硕士学位期间参与的科研项目

- [1] 高瓦斯易自燃油气共生煤层瓦斯赋存规律研究, 陕西省自然科学基金, 2008~2009