

# 山西沁水盆地 煤层气有利区预测

张建博 王红岩 编著

130

中国矿业大学出版社

# 山西沁水盆地煤层气有利区预测

张建博 王红岩 编著

编委会	张建博	王红岩	姜正龙
	李五忠	刘旭	刘洪林
	徐可强	刘萍	杨泳
	张芳	穆献忠	武平
	李剑	万玉金	刘宝凤
顾问	卢林生	钱凯	李景明
	赵庆波		

中国矿业大学出版社

## 序

经过多年的探索、研究和实践,到80年代煤层气在美国已作为常规天然气对待。我国要达到这种境界还有好多工作要做,为此不能不突破常规煤层气地质选区方法,在煤层气勘探方面大胆地利用新思路、新方法。

中国南北部都有煤田分布,尤其是北方煤的蕴藏量相当丰富。中国煤层气的勘探开发试验工作正在蓬勃展开,人们对我国煤层气的形成分布规律研究与开发利用的热情空前高涨。在这种形势下我们有幸看到以张建博博士为首的一批青年煤层气工作者,积极探索煤层气地质选区新理论,大胆嫁接常规天然气勘探新思路、新方法。针对沁水盆地煤变质程度高、煤层渗透率普遍较低的主要矛盾,大胆采用新技术、新方法,创造性地从主要期次构造运动应力场作用特点及分布规律入手,结合煤层褶皱、断层展布,曲率分布及实测节理资料,对高渗区作出预测,这是煤层气勘探开发有利区评价研究方法和认识上的新突破。以煤层气资源条件为基础,以研究寻找高渗区为重点,以保存条件为保证,综合评价优选出4个煤层气勘探开发有利区,其中包含3个最有利区。研究工作紧密结合生产,提出了合理的勘探部署和工作建议,为加快沁水盆地煤层气勘探步伐、尽快取得有一定规模的工业性突破提供了很有价值的意见和建议,把煤层气的理论研究与开发实践向前大大推进了一步。其中晋试1井井区和屯留区获得工业性煤层气流,一个整装的煤层气田——沁水煤层气气田即将投入规模试采,是对研究成果的最好验证。

目前,我国已有一批与煤层气相关的著作相继问世,煤层气勘探开发与利用的研究与实践也取得了长足的发展,可以说目前已处于由试验到实用性开发的转折时期,我们希望不久煤层气在我国也将成为常规天然气资源。相信张建博博士等煤层气青年科技工作者的著作将会为这一时期的早日到来作出重要贡献。

钱沁

1999年8月

# 前 言

山西沁水盆地蕴藏着丰富的煤炭资源,是我国重要的煤炭生产基地,也赋存有丰富的煤层气资源,是近几年来煤层气勘探研究的热点地区。笔者于1997年申请并承担了石油天然气集团公司“九五”科技工程项目“我国煤层气勘探技术与试验”的下属课题“我国煤层气勘探选区评价研究”,本书即为该课题的一项重要成果。

笔者在研究过程中着重研究了沁水盆地煤层分布特征、煤储层特征和煤层含气性特征,指出煤层气富集区,进而研究了成煤后历次构造应力场的分布与演变及由此形成的煤岩裂隙(割理)特征及其分布规律,预测可能的高渗区,并结合保存条件等进行了煤层气高有利区的预测。

研究成果可归纳为以下几部分:

(1) 沁水盆地为一大型复向斜,石炭—二叠系煤系地层(太原组、山西组)为碳酸盐台地相和三角洲相沉积,煤层发育,厚度大,总厚为1.2~23.6 m,一般为8~12 m,全盆地均有分布,形成三高两低的格局。3号、15号煤为全区分布的主采煤层,单层厚度在2~6 m之间。煤变质程度高,使煤层气的形成具有丰富的物质基础。

(2) 煤种以高和较高变质的贫煤、瘦煤和无烟煤为主,镜质组含量高达60%~90%。低温液氮吸附测定结果表明,平均孔径小于10 nm,以微孔和小孔为主,有利于煤层气的吸附。

(3) 煤层气含量高,一般都在 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 以上,最高达 $31.75 \text{ m}^3/\text{t}$ ,形成了阳城北和阳泉两个富气区。前者范围较大,后者范围有限。

(4) 煤变质程度高。煤层渗透率普遍较低,一般低于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。我们首次从全盆地出发,深入研究了主要构造运动期的应力场及其形成的构造格局、裂隙(割理)分布,指出由于燕山期、喜马拉雅期应力场的作用,形成了7个构造裂隙(割理)发育区带,提高了渗透率,弥补了煤层渗透率偏低的缺陷。

(5) 煤层气保存条件好。煤层顶底板以泥岩、灰岩、致密泥质砂岩为主,孔隙度、渗透率很低,突破压力高(5.77~15.45 MPa),封盖性能好;水动力条件除盆地边缘外,北部和南部大范围为弱径流区和滞流区,加之开启性大的断层不发育,煤层气储层没有遭到大的破坏而使气体散失,含气量普遍较高也证明了这一点,改变了过去把盆地南部地区定为强径流区、保存条件不利的认识。

(6) 首次在大范围内以裂隙(割理)发育的高渗条件为核心,结合煤层厚度、含气量分布、煤层埋深和保存条件等预测了4个煤层气高产富集有利区和3个煤层气高产富集最有利区,为煤层气的勘探开发指明了方向。

(7) 在煤层气有利区预测的基础上,提出了勘探部署建议。建议在2号井开展重点勘探,对高平有利区及屯留有利区开展煤层气勘探工作。

在研究过程中得到了教授级高级工程师卢林生、关增森、戚厚发,石油天然气集团公司煤层气勘探项目经理部赵庆波经理、王一兵工程师、孙斌工程师的指导与帮助,特别是卢林生教授级高工给予了悉心的指导和帮助,在此一并表示感谢。

作者

1999年4月

# 目 录

序 .....	钱凯
前 言 .....	1
<b>第一章 区域地质概况</b> .....	1
第一节 地 层 .....	1
第二节 构造特征 .....	3
第三节 含煤岩系沉积环境及古地理 .....	6
第四节 岩浆活动 .....	6
一、各期岩浆岩基本特征 .....	6
二、区域岩浆热活动对煤层气生成的影响 .....	7
<b>第二章 煤层气地质基础理论</b> .....	8
第一节 煤层气的赋存条件 .....	8
一、煤层气的赋存状态 .....	8
二、烃源条件 .....	8
三、煤层气储集条件 .....	9
第二节 煤层气藏的概念及其类型 .....	11
一、煤层气藏的概念 .....	11
二、煤层气藏的类型 .....	12
第三节 煤层气高产富集因素 .....	13
一、煤层含气量的控制因素 .....	13
二、煤层渗透率的影响因素 .....	14
三、煤层气的保存条件 .....	15
第四节 基本地质选区评价研究 .....	16
一、煤层气资源量计算 .....	16
二、选区评价研究 .....	17
三、已有煤层气地质选区评价标准 .....	18
<b>第三章 煤层分布及成煤环境</b> .....	19
第一节 煤层分布 .....	19
一、上石炭统太原组 .....	19

二、下二叠统山西组·····	23
第二节 主力煤层成煤环境·····	25
一、山西组主煤层(3 <sup>#</sup> 煤层)的聚煤特征与岩相古地理·····	25
二、太原组主煤层(15 <sup>#</sup> 煤层)的聚煤特征与岩相古地理·····	25
<b>第四章 煤储层特征及含气性评价</b> ·····	26
第一节 煤岩煤质特征·····	26
一、宏观煤岩特征·····	26
二、煤质特征·····	27
三、显微组分特征·····	31
第二节 煤的物性特征·····	31
一、煤层孔隙度·····	31
二、煤层渗透率·····	31
三、煤层微观孔隙特征·····	33
第三节 煤的吸附性·····	43
一、煤层气吸附特征·····	43
二、不同条件下煤的吸附规律·····	47
第四节 煤的含气性评价·····	48
一、区域含气性特征·····	48
二、研究区含气性评价·····	49
<b>第五章 构造应力场与裂隙(割理)分布</b> ·····	52
第一节 区域构造应力场背景·····	52
第二节 沁水盆地构造应力场研究与裂隙(割理)分布·····	56
一、构造形变分析法研究古构造应力场·····	56
二、裂隙(割理)的特点与分布·····	59
第三节 利用主曲率评价裂隙·····	70
一、曲率法的基本理论·····	70
二、曲率值的计算·····	71
三、曲率与构造的关系·····	72
四、曲率值与裂隙发育程度·····	73
五、利用主曲率评价构造裂隙·····	75
第四节 有利裂隙(割理)发育带分析预测·····	77
一、有利裂隙发育带预测评价原则·····	77
二、有利裂隙(割理)发育带及特征·····	78
<b>第六章 煤层气保存条件</b> ·····	81
第一节 煤储层封盖层特征及分布·····	81

一、区域盖层特征.....	81
二、主力煤层顶底板岩性及展布特点.....	85
三、顶底板盖层微观封闭参数研究.....	87
四、沁水盆地煤层顶底板封盖能力综合评价.....	90
第二节 水文地质条件 .....	90
<b>第七章 有利区预测与评价 .....</b>	<b>94</b>
第一节 评价条件 .....	94
一、煤层厚度.....	94
二、煤层埋深.....	94
三、煤级.....	96
四、保存条件.....	97
五、含气量.....	98
六、渗透率.....	98
第二节 评价标准 .....	99
一、有利区划分标准.....	99
二、最佳有利区划分标准.....	99
第三节 有利区评选结果.....	100
一、区块 1(阳泉—寿阳有利区) .....	100
二、区块 2(榆社—屯留有利区) .....	100
三、区块 3(沁水北有利区) .....	100
四、区块 4(阳城—长子有利区) .....	100
五、区块 4 <sub>1</sub> (樊庄、潘庄井最有利区) .....	100
六、区块 4 <sub>2</sub> (高平最有利区) .....	103
七、区块 2 <sub>1</sub> (屯留最有利区) .....	103
<b>参考文献.....</b>	<b>104</b>



# 第一章 区域地质概况

沁水盆地位于山西省东南部,北纬 $35^{\circ}\sim 38^{\circ}$ ,东经 $111^{\circ}00'\sim 113^{\circ}50'$ 之间,总体呈长轴状沿北北东向延伸,中间收缩为椭圆状。其东西宽约120 km,南北长约330 km,总面积3万多 $\text{km}^2$ 。沁水盆地在构造上介于太行和吕梁隆起带之间,为一复向斜构造。南北翘起端呈箕状斜坡,东西两翼基本对称,边侧下古生界出露区为倾角较大的单斜。盆地周边为太行山、王屋山、中条山及太岳山等山脉圈限,海拔高程多在700 m以上,地形起伏大,多为切割显著的黄土地貌。区内有沁河、浊漳河、清漳河等水系,全年流量变化大,含沙量高,为较典型的黄土高原河流。本区属温暖带季风型大陆性气候,年平均最高气温 $22\sim 27^{\circ}\text{C}$ ,最低气温 $-8\sim -4^{\circ}\text{C}$ ,无霜期为7个月,年降水量达400~650 mm。

区内交通尚属方便,有石太线、太焦线、侯西线及南同蒲线等铁路线。公路有太旧高速公路,公路网尚属发达。

百余年的基础地质研究史和近50年的煤田地质和油气勘探工作,取得了丰富的成果,积累了大量勘探资料,为在沁水盆地开展煤层气勘探开发工作奠定了较好的基础。

沁水盆地以其得天独厚的地理位置和极其丰富的煤炭资源一直被作为煤层气勘探开发的重点,特别是1991年晋城矿务局与美中能源公司联合成立的晋丹公司在潘庄完成了由7口井组成的煤层气试验井组,通过近两年的排水采气试验,煤层气单井日产量达4300 $\text{m}^3$ 以上。中国石油天然气集团公司和中联煤层气有限责任公司也于近几年在晋城、屯留、潞安、寿阳等地进行了煤层气勘探。目前沁水盆地专门煤层气探井、评价试验井已达10余口。

## 第一节 地 层

盆地内地层分布具有向斜盆地的典型特征,盆地边缘出露老地层,盆内出露较新地层。除西北边缘外,下古生界在盆地四周出露地表,向盆地内部依次出露上古生界、中生界,盆地中部的沁县、沁源、安泽、沁水一带三叠纪地层大面积出露。区内地层详见表1-1。

本区含煤地层主要由上石炭统太原组和下二叠统山西组构成。区内含煤地层平均厚度为145.9 m,含煤性较好。太原组发育煤层8~10层,底部 $H_{15}$ 煤的厚度最大且稳定,为全区主要可采煤层。该煤层在沁水煤田大多为单一煤层,称为15号煤层;在霍西煤田多分为三层,分别称为9号煤、10号煤和11号煤。尽管研究区内地层组合存在某些差异,但通过层序地层分析,生物化石等手段却可进行精确对比。山西组含煤1~4层,其中霍西煤田范围内煤层层数多且单层薄,主要煤层为2号煤;沁水煤田煤层层数少,但单层厚,主要煤层为2号煤。通过对比可知以上两煤层形成于同一时期。

表 1-1

沁水盆地地层简表

界	系	统	组	厚度/m	接触关系	岩性特征简述
新生界	第四系(Q)			0~330		棕红、黄绿、土黄色粘土、亚粘土及砂和砾石
		上第三系(N)				灰白、黄绿、棕色、紫褐色粘土、砂质粘土、砂、砂砾石
中生界	侏罗系(J)	中统(J <sub>2</sub> )	天池河组(J <sub>2t</sub> )	0~500		紫红色砂岩夹紫红色砂质泥岩
			云岗组(J <sub>2y</sub> )	0~750		灰白、灰黄、黄绿、暗紫色砂岩与紫色砂质泥岩或泥岩互层,局部为火山岩
	三叠系(T)	上统(T <sub>3</sub> )	延长组(T <sub>3y</sub> )	38~123		灰黄、黄绿色砂岩夹灰、灰绿、紫色泥岩
			中统(T <sub>2</sub> )	铜川组(T <sub>2t</sub> )	413~483	
		二马营组(T <sub>2e</sub> )		386~651		灰绿、黄绿、灰白色砂岩与紫色、暗紫色砂质泥岩互层,下部砂岩发育,上部泥岩发育
		下统(T <sub>1</sub> )	和尚沟组(T <sub>1h</sub> )	91~279		紫红、砖红色砂质泥岩夹灰紫色—紫红色砂岩
			刘家沟组(T <sub>1l</sub> )	414~633		灰紫红、灰红、紫红色砂岩夹紫红色粉砂岩,砂质页岩,砾岩,灰白色石英砂岩及灰、灰绿色长石砂岩
		上古生界	二叠系(P)	上统(P <sub>2</sub> )	石千峰组(P <sub>2sh</sub> )	66~186
上石盒子组(P <sub>2s</sub> )	326~644					紫红、黄绿、灰、蓝紫色泥岩、黄绿、灰黄、杏黄色细粒石英砂岩,顶部含燧石层
下统(P <sub>1</sub> )	下石盒子组(P <sub>1x</sub> )			93~194		黄绿、灰黄、黄紫色页岩及砂质页岩夹杏黄色、黄绿色中—细粒长石石英砂岩、长石砂岩、石英砂岩及煤线,顶部为桃花泥岩,底部为骆驼脖子砂岩(K <sub>8</sub> )
	山西组(P <sub>1s</sub> )			50~90		灰色、灰白色粗粒长石石英砂岩、石英砂岩,灰、灰黑色粉砂岩、砂质泥岩、泥岩夹煤层。总体是北厚南薄。含煤2~7层,位于中下部,底部为北岔沟砂岩(K <sub>7</sub> )
石炭系(C)	上统(C <sub>3</sub> )		太原组(C <sub>3t</sub> )	61~150		灰、灰白色砂岩、灰、灰黑色粉砂岩、砂质泥岩、泥岩夹煤层及石灰岩,含煤4~14层,底部为晋祠砂岩(K <sub>1</sub> )。南厚北薄,下部煤层发育
			中统(C <sub>2</sub> )	本溪组(C <sub>2b</sub> )	0~75	

续表 1-1

界	系	统	组	厚度/m	接触关系	岩性特征简述
下古生界	奥陶系(O)	上统(O <sub>2</sub> )	峰峰组(O <sub>2f</sub> )	0~216		下部:灰黄色白云质泥灰岩夹灰岩;上部:灰黑色、青灰色石灰岩
			上马家沟组(O <sub>2s</sub> )	167~293		白云质泥灰岩、豹皮状灰岩
			下马家沟组(O <sub>2x</sub> )	75~195		白云岩及白云质灰岩,底部为石英砂岩
		下统(O <sub>1</sub> )		64~209		白云岩及白云质灰岩,夹泥岩、页岩、竹叶状白云岩及燧石结核或燧石层
	寒武系(C)			377~560		灰岩、竹叶状灰岩、白云岩、底部为砂砾岩或页岩
	前寒武系			0~近万米		碎屑岩、碳酸盐岩、变质岩、火山岩

## 第二节 构造特征

沁水盆地为一 NNE 向复向斜构造,介于太行和吕梁隆起带之间,复向斜轴线大致位于榆社—沁县—沁水一线,构造相对比较简单,断层不甚发育。南北翘起端呈箕状斜坡,东西两翼基本对称,边侧下古生界出露区为倾角较大的单斜,向内变平缓,古生界和中生界背斜、向斜和褶曲比较发育,但幅度不大,面积较小。不同地区构造特点不同,总体来看,西部以中生代褶皱和新生代正断层相叠加为特征,东北部和南部以中生代东西向、北东向褶皱为主,盆地中部北北东—北东向褶皱发育。断层主要发育于东西边部,在盆地中部有一组近东西向正断层,即双头—襄垣断裂构造带。根据盆地内不同地区构造式样的差异,划分为 12 个构造区带(图 1-1)。

(1) 寿阳—阳泉单斜带,即沁水复向斜的北翘起端,亦即阳泉复向斜,除孟县附近发育近东西向褶曲外,其他区均以 NNE、NE 向构造为主,NNW 向构造次之。主要断层有郭家沟正断层,倾向 SE,断距为 250 m;杜庄断层,走向 NNE,倾向 NWW,断距达 200 m。此外,区内陷落柱也有发育,平昔矿区最甚,每平方公里平均可达 3.5 个。陷落柱呈圆形、椭圆形,直径几十米到百余米不等,陷壁角在 70°~80°之间。

(2) 天中山—仪城断裂构造带,位于沁水复向斜西北,地表为一走向 NEE 的断裂鼻隆构造带。其内褶曲主体走向 NE 70°~80°,背斜开阔,向斜紧闭,与其平行有断裂发育,组成地堑、地垒结构,地堑中有零星三叠—侏罗纪地层出露。上述地表构造性质反映它与下伏大型背斜隆起相一致,即代表该背斜隆起顶部的强烈构造区。

(3) 聪子峪—古阳单斜带,位于沁水复向斜中部细腰处西侧,其上倾方向即为万荣复背斜北端的霍山倾伏部分,二者在冯家集—苏堡断裂带相接。断层走向 NEE,正断层。单斜带

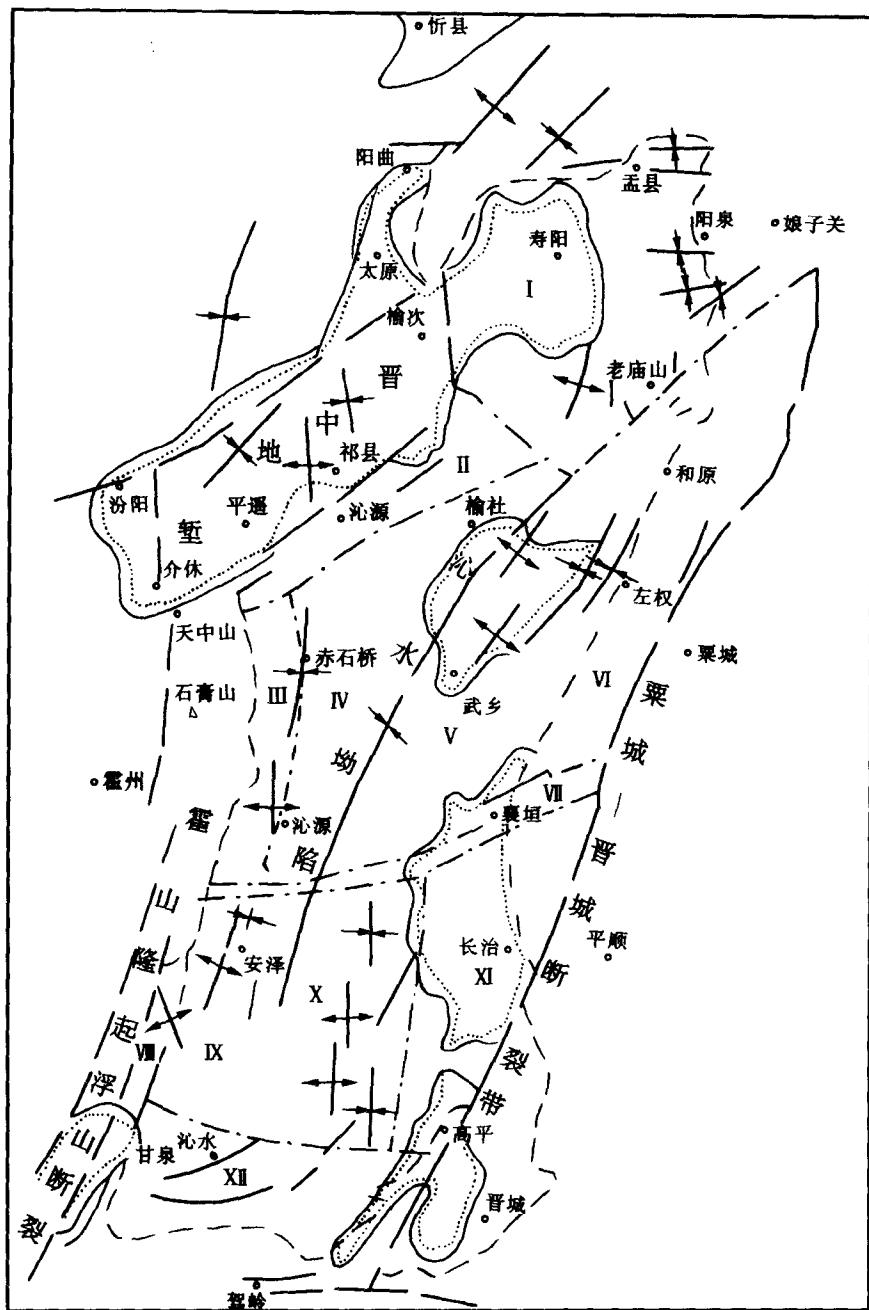


图 1-1 沁水盆地构造分区简图

- I—寿阳—阳泉单斜带；II—天中山—仪城断裂构造带；III—聪子峪—古阳单斜带；IV—漳源—沁源带状构造带；  
 V—榆社—武乡构造带；VI—娘子关—坪头单斜带；VII—双头—襄垣断裂构造带；VIII—古县—浇底断裂构造带；  
 IX—安泽—西坪背斜隆起带；X—丰宜—晋仪带状构造带；XI—屯留—长治单斜带；XII—固县—晋城单斜带

上的褶曲表现为在近南北向左行剪切作用下形成的雁列构造。本带南部有古县背斜,东缘有赤石桥—坚友雁列背斜带。

(4) 漳源—沁源带状构造带,即为沁水复向斜中段的西翼部分。褶曲走向近SN,和西侧单斜带上的褶曲平行排列。褶曲构造西有胡家沟—沁源背斜带、景风—鹿儿回背斜带;东有分水岭—柳湾雁列背斜带和漳源—王家庄背斜带。断裂走向多为NNE,断距为50~250 m;王陶南部还发育NEE向断裂,两条相向倾斜的正断层,断距达200 m,构成狭长的地堑构造带。

(5) 榆社—武乡构造带,即沁水复向斜中段的东翼。区内次级褶曲呈NNE向雁行排列,两翼倾角一般为 $3^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。比较大的褶曲有大佛头—李家窑向斜,长约30 km,轴部地层为石千峰组,东翼倾角为 $11^{\circ}\sim 17^{\circ}$ ,局部达 $20^{\circ}$ 以上,西翼倾角为 $19^{\circ}\sim 23^{\circ}$ ,局部达 $25^{\circ}$ 以上;寺沟—后扶峪背斜,长30 km,东翼倾角为 $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ,西翼倾角为 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。区内断层走向NNE,倾向NWW,延伸长度较短,落差较小,且具有东弱西强的发育特点。

(6) 娘子关—坪头单斜带,位于沁水向斜东翼北部边缘,东与赞皇复背斜相接,在构造上表现为较陡的挠曲带,边缘发育鼻状背斜构造。较大的褶曲有范家岭向斜、背斜,轴向NEE,两翼倾角平缓。断层发育稀少,有洪水正断层,走向NNE,断距为55 m;李阳正断层,倾向NWW,断距为200 m等;还发育一条逆断层,走向NEE,断距为15 m。此外,还有少数陷落柱发育。

(7) 双头—襄垣断裂构造带,为一横切盆地中南部、走向NEE的左行走滑断裂带。东段形成文王山地垒,西段构造线断续出现,规模较小。

(8) 古县—浇底断裂构造带,位于沁水复向斜南部西翼边缘。西以浮山正断层与万荣复背斜的霍山背斜相接,由一系列走向NNE及NE的断层组成,并发育少量褶曲构造。

(9) 安泽—西坪背斜隆起带,即沁水复向斜南段西翼。主体构造为由一系列紧密排列的南北向背斜构造组成的大型背斜隆起,实为万荣复背斜的向北延伸部分。该复背斜在本区向北抵双头—襄垣断裂带后,即被该断裂带左行平行错开,北段在霍山复出,然后向北东方向倾伏达到晋中地堑之南,即伏于天中山—仪城断裂带之下。

(10) 丰宜—晋仪带状构造带,即沁水复向斜南段东翼。主体构造线为南北向,局部发育NE向构造。在北部形成二岗山地垒构造、安昌—中华楔形裂陷槽。在南部区下部已呈隆起状态,边缘断阶处可形成局部圈闭。内部褶曲可分成东西两带,西为张店—横水褶曲带,东为丰宜—岳家庄背斜、向斜构造带。

(11) 屯留—长治单斜带,位于沁水复向斜南部东翼边缘,东侧被长治断裂所截,与陵川复背斜相接,发育规模较小的背斜、向斜构造;北部有余吾、屯留和东李高背斜;南部的鲍村、漳河背斜、向斜,均呈带状分布。区内NE向断裂有朔村逆断层,断距为55 m,倾向SE;庄头正断层,倾向SE,断距达190 m。此外,还有NNE向断裂发育。

(12) 固县—晋城单斜带,位于沁水复向斜南部翘起端。西缘与万荣复背斜相接处为一断裂带,由近SN向断层组成地垒、地堑。西部沁水地区地层走向先为NW,向东逐渐转为EW向。断裂走向EW,有高角度逆冲断层,也有正断层。西部有寺头正断层、瑶沟正断层带、城后腰正断层,边缘断层多向北倾,内部断层多向南倾,断距达70~300 m。东部发育NNE向断裂,大者有石门正断层、府底正断层,并与寺头断层斜交,断距一般为50~105 m。在固

县地区发育NW向倾伏的鼻状构造,可分为固县鼻状挠曲带和布村—北留挠曲带。沁水县南部发育城后腰向斜、东山向斜、南坪向斜等,均呈近EW向延展。

综上所述,可知沁水盆地是山西隆起区分布范围最广、保存地层较全的一个复向斜构造。它不仅是我国重要的产煤基地,也可能是最有前景的煤层气盆地。

### 第三节 含煤岩系沉积环境及古地理

根据沉积特点,沁水盆地主要成煤时期的沉积环境为一套陆表海碳酸盐台地沉积体系及陆表海浅水三角洲沉积体系。含煤岩系沉积体系主要沉积相组合见表1-2。

表 1-2 沁水盆地沉积相组合表

沉积体系	主要沉积相组合	
碳酸盐台地体系	开阔台地相、局限台地相、台地潮坪相	
浅水三角洲体系	前三角洲相	
	三角洲前缘相	河口砂坝相、远砂坝相、分流间湾相
	三角洲平原相	分流河道相、天然堤相、决口扇相、泛滥盆地相、泥炭沼泽相

#### 1. 陆表海碳酸盐台地体系

主要分布于本溪组和太原组,其中开阔台地相海水流通性较好,岩石类型主要为生物碎屑泥晶灰岩和泥晶生物碎屑灰岩。本区  $K_1 \sim K_3$  灰岩多属开阔台地相沉积。局限台地相位于开阔台地相的靠陆一方,主要为泥晶灰岩、生物碎屑泥晶灰岩和泥灰岩。开始开阔台地相分布广,盆地东南部附城灰岩以及山圪灰岩多属局限台地相沉积。台地潮坪相是指在碳酸盐台地上直接成煤的环境,该环境成煤条件差,煤层灰分和硫分高。

#### 2. 陆表海浅水三角洲体系

主要发育在本区山西组含煤岩系中,由于陆表海海底地形平坦,坡度小,水浅,以河流作用为主的浅水三角洲的整体形状常呈朵叶状。在垂向上以三角洲平原相占优势,其中分流河道相又占主要地位,三角洲前缘相及前三角洲相不发育。泥炭沼泽相是三角洲平原上的成煤环境,聚煤条件较好,煤层分布连续但厚度变化较大,也常因分流河道冲刷而变薄或尖灭。

### 第四节 岩浆活动

#### 一、各期岩浆岩基本特征

整个山西隆起的岩浆活动较为频繁,从中晚太古代、元古代、晚古生代、中生代到新生代均有不同类型的岩浆岩形成,其中以五台期、吕梁期及燕山期岩浆活动最为强烈。岩浆岩类亦较复杂,有超基性岩、基性岩、中性岩、中酸性岩、酸性岩、碱性岩及偏碱性岩,既有侵入岩,也有大面积分布的火山岩。沁水盆地岩浆活动不甚发育,但对本区产生一定的潜在影响。对沁水盆地煤系地层有影响的岩浆岩如下:

### (1) 海西期岩浆岩

本期岩浆岩主要分布在有两处：一处分布于太原西山煤田，面积约 600 km<sup>2</sup>，产于石炭系太原组晋祠砂岩和毛儿沟灰岩中，为火山晶屑凝灰岩、层凝灰岩，总厚度为 5.5 m，与其他沉积碎屑岩、碳酸盐岩呈逐渐过渡关系；另一处分布于阳泉市荫营及锁簧等地，产于石炭系太原组四节石灰岩之下，厚 22.9 m。

### (2) 燕山期岩浆岩

燕山期岩浆侵入体主要分布于盂县下王西，为分布小的岩体。岩性为闪长正长岩及正长辉长岩，为一岩脉，总长 6 km，宽 30~130 m，分数段呈雁行斜列，围岩为中奥陶统上下马家沟组。燕山期火山岩为云岗喷发期玄武岩，见于古县哲才—茹去一带，为流纹质火山碎屑岩及熔岩，总厚十余米，分为数层。

### (3) 喜马拉雅期玄武岩

喜马拉雅期火山活动主要表现为玄武岩喷出，在山西省主要分布于繁峙、应县—怀仁、右玉—左云、天镇、大同等地，零星见于沁水盆地昔阳—平定县之间及左权县东部。岩性以橄辉玄武岩为主，此外尚有辉石橄玄武岩、玻基橄玄武岩等，常具伊丁石化。分布面积一般数十平方千米，厚 60~260 m，赋存于上新统上部，多呈层状岩流并残存火山锥。

## 二、区域岩浆热活动对煤层气生成的影响

沁水盆地成煤期后的区域岩浆活动，不仅使活动区地温升高，而且也加快和提高了煤变化程度。这种作用的结果，一方面使一些区段的煤层较早进入了生气阶段，甚至处于生气高峰期；另一方面，由于强烈的岩浆热作用，使一些区段的煤层达到高级或超高级变质程度（大于 2 号无烟煤），从而超越生气死亡线而终止生气。

### 1. 西山地区

西山地区岩浆活动主要在燕山期。海西期仅在太原组地层中有火山碎屑岩产出，由于火山喷发散发出丰富的微量元素，促使沼泽植物生长，从而为聚煤作用创造了有利条件，但对成煤期后的煤化作用无多大影响。区内狐偃山区为燕山期碱性、偏碱性岩分布地带，呈岩床、岩脉和岩株产出，展布面积约 200 km<sup>2</sup>。岩浆热作用使围绕岩体的煤层由肥煤变为无烟煤甚至成为天然焦，因而形成局部地段煤层甲烷产出增多，同时也造成一些局部区段生气作用终止。

### 2. 霍西煤田

塔儿山地区及其南东区产出燕山期岩浆岩，主要为闪长岩类，以岩床产状侵入煤系地层和煤层，往往造成了区域内煤变质程度提高甚者变质为天然焦。

### 3. 隐伏岩体

本区虽无大规模岩浆岩发现，但南部和北部正处北纬 35°和 38°的燕山期岩浆活动带，而且区外均有岩浆岩体存在，如西南部塔儿山一带有燕山期岩浆岩体，东北部阳城地区的二叠系中见有热液石英脉，说明岩浆与热液作用有关。故推断本区南北地区均有较大的隐伏岩体存在，从而也造成了区内南北部煤变质程度增高，甲烷含量也高。

## 第二章 煤层气地质基础理论

### 第一节 煤层气的赋存条件

煤层气的主要成分是甲烷,其含量一般大于 85%,是在煤化作用过程中形成的,目前仍储集在煤层中的天然气。因此,煤层气的赋存状态及生、储、盖组合都与常规天然气有不同之处,有其自身特点。

#### 一、煤层气的赋存状态

煤层气主要以三种形式储存在煤层中,即吸附在煤孔隙表面上的吸附状态、分布在煤孔隙及裂隙内的游离状态和溶解在煤层水中呈溶解状态。一般情况下,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。煤层气的主要赋存状态是吸附状态,吸附气量占煤层含气量的绝大多数。

##### 1. 吸附状态

煤是一种多孔介质,其颗粒表面分子的范德华力吸引周围气体分子,是一种在固体表面上进行的物理吸附过程,符合朗格缪尔等温吸附方程。即在等温吸附过程中,压力对吸附作用有明显影响,随压力的增加吸附量逐渐增大。

##### 2. 游离态

游离气是指储存在孔隙或裂隙中能自由移动的天然气。这部分气体服从一般气体方程,其量的大小取决于孔隙体积、温度、气体压力和气体压缩系数。

##### 3. 溶解气

甲烷在常温、常压的纯净水中有一定的溶解度,但溶解度很小。甲烷在水中的溶解度主要取决于水的温度、矿化度、环境压力和气体成分。

煤层气在煤层中以上述三种形式存在,当煤层生烃量增大或外界条件改变时,三种储存形式可以相互转化。通常情况下,90%以上的气体以吸附气的形式保存在煤的内表面,游离气不足 10%,溶解气仅占很小的一部分。

#### 二、烃源条件

煤层气资源潜力取决于煤层气的生成量及煤层的储集性能,与煤层气的烃源条件、沉积环境、煤的有机显微组分及成气特征有关。

##### 1. 沉积环境

煤层的分布、厚度、几何形状、连续性等受沉积环境的控制。概括起来,煤的沉积环境大



致分为两大类:海陆交互相成煤环境和陆相成煤环境。在研究煤的沉积环境的同时,一定要注意煤系地层的河道砂体和滨岸砂体的分布及其与煤层的相互关系,因为河道砂体或滨岸砂体严重影响煤层的连续性。另外沉积环境控制了煤岩显微组分,对煤储层有较大影响。

## 2. 煤的有机显微组分及成岩特征

煤是由高度集中的腐殖型有机质和部分无机矿物混合组成的有机岩。由于成煤原始物质来源不同和它们在成煤过程中所处环境差异,使煤具有复杂的组分。煤的有机显微组分包括壳质组、镜质组和惰质组。各显微组分因其H/C和O/C不同和结构的不同而显示出不同的生烃潜力。壳质组是富氢长链脂肪族化合物,高温分解时能产生大大超过50%的挥发油,生烃能力很强,是生成煤成油的主要显微组分。镜质组主要由具短脂肪链富含氧官能团联结的芳香结构组成,主要来源于木质—纤维素组织,而具有低氢、高氧的特征。镜质组被认为是煤层中主要的生气母质。惰质组由于木质组织具有原生高炭化、氢含量极低的特性,不仅不能生油,而且产气量也比相同煤阶的壳质组和镜质组低,因而通常不把惰质组作为油气母质。

## 三、煤层气储集条件

煤层气的储集层是煤层,而煤层也是生气源岩,与常规天然气藏储集层有很大差别,见表2-1。

### 1. 煤的孔隙结构

煤孔隙包括大到裂缝和小到分子间隙。煤的细微孔隙结构随着煤化作用而变化,是煤层的重要特征。煤孔隙按大小可分为三类:大孔( $>20\text{ nm}$ ),中孔( $2\sim 20\text{ nm}$ )和微孔( $<2\text{ nm}$ );根据成因可分为原生孔和次生孔,原生孔是指煤沉积过程中形成的结构孔隙,次生孔是煤化作用过程中煤结构去挥发分作用而形成的。

煤的孔隙喉道大小的研究表明,孔隙容积主要与中孔有关,而孔隙的表面积主要与微孔有关。根据圣胡安盆地的研究,煤的孔隙喉道直径小于 $0.021\ \mu\text{m}$ 的占60%~74.51%,小于1.2 nm的微孔也占很大比例。由于煤层中甲烷储集的主要机理是吸附在孔隙表面,因此大部分气体储集在微孔隙中,在压力作用下呈吸附状态,通过吸附作用,煤层比常规砂岩具有更高的储气能力。

### 2. 煤层割理

割理是煤化作用的结果(内生裂缝),局部也可由构造应力引起(外生裂隙)。割理间距从0.25 cm到10 cm不等。煤中发育大致相互垂直的两组割理,即面割理和端割理。面割理可延伸达百米,端割理发育于两条面割理之间。两组割理与层面正交或呈陡角相交,从而将煤体分割成一个个长斜方形的基岩块体。煤中的割理密度比相邻砂岩或页岩中的节理密度要大得多,这是煤储层和常规砂岩储层的差别之一。

(1) 割理形成机理 割理有如下几种形成机理:① 体积体缩;② 水动力裂缝;③ 应力释放;④ 拉张应变。可根据区域地质资料和割理的形态特征加以区别。

(2) 形成割理的影响因素 割理的发育程度受诸多因素影响,包括以下几个方面:① 煤阶;② 显微组分和岩石学组成;③ 煤层厚度或层系组合厚度;④ 应力或应变史。煤阶是影响割理发育的主要因素,通常低煤阶煤中割理不甚发育,到烟煤系列时割理较发育,割理最