

华北中高煤阶 煤层气富集规律和有利区预测

孙粉锦 王一兵 王 勃 李五忠 李贵中 编著

Huabei Zhonggao Meijie Meicengqi Fuji Guilü He Youliqu Yuce

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

华北中高煤阶煤层气富集规律 和有利区预测

孙粉锦 王一兵 王 勃 李五忠 李贵中 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书结合华北地区中高煤阶煤层气勘探开发现状,以沁水盆地南部、宁武盆地、鄂尔多斯盆地大宁—吉县、韩城等典型中高煤阶煤层气盆地或地区为主要研究对象,以煤层气勘探开发成果、油气勘探及煤矿、地矿成果为基础,充分利用以往取得的资源评价成果和地质认识,结合实验分析测试化验及煤层气成藏模拟等实验手段,采用渗流力学、数值模拟、煤层气成藏模拟、储层预测评价、保存条件评价等先进技术,重点研究了煤层气成藏条件、主控因素及其控气作用、富集高产规律、有利区预测与评价,阐明了华北地区中高煤阶煤层气主控因素控气作用及富集高产规律,优选出了可供近期及中长期勘探开发的后备有利区块,形成的中高煤阶煤层气富集高产规律可以有效地指导中高煤阶煤层气的高效开发,为我国煤层气产业的“增储建产”提供技术支持和资源保障。本书资料信息量切合现场实践、数据翔实、内容丰富、技术方法先进、理论与实践紧密结合,具有很强的理论性和实用性。

本书可供从事煤层气地质和勘探开发的科技人员、现场管理和工程技术人员,煤层气相关领域研究的科技人员、现场管理及工程技术人员参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

华北中高煤阶煤层气富集规律和有利区预测 / 孙粉锦
等编著. — 徐州: 中国矿业大学出版社, 2012. 5

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1270 - 2

I. ①华… II. ①孙… III. ①煤层—地下气化煤气—
地质勘探—华北地区 IV. ①P618. 110. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第197709号

书 名 华北中高煤阶煤层气富集规律和有利区预测

编 著 孙粉锦 王一兵 王 勃 李五忠 李贵中

责任编辑 潘俊成

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州今日彩色印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 12.25 字数 306 千字

版次印次 2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

定 价 46.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《华北中高煤阶煤层气富集规律和有利区预测》

编 委 会

主 任 孙粉锦 王一兵 王 勃 李五忠 李贵中

副主任 孙 斌 赵庆波 杨焦生 陈艳鹏 王宪花

委 员 穆福元 李安启 鲍清英 张继东 陈振宏

田文广 张 义 邓 泽 庚 勔 陈 刚

孙钦平 赵 泽 马财林 林建东 孔祥文

权海奇 杨 泳 曾良君 汪 涤 高 颖

刘 萍 刘 飞 陈珊珊 李 娟

前 言

油气,是关系国家安全和经济发展的重要战略资源。目前,我国石油产量基本稳定,天然气工业快速发展,煤层气产业化初具规模。随着国民经济持续发展,油气需求缺口不断加大。开发利用国内丰富的煤层气资源,在能源战略中越来越凸显出重要的作用和地位。总体而言,中国煤层气地质的复杂性和特殊性使煤层气的勘探开发难度加大,亟待攻克勘探开发中的重大科学问题和技术瓶颈。《华北中高煤阶煤层气富集规律和有利区预测》一书,正是在这一形势下对我国重点煤层气盆地所做的有益探索,是在国家重大专项课题“中高煤阶煤层气富集规律与有利区块预测”、“中国大型油气田及煤层气勘探开发技术发展战略”和国家 973 项目“高丰度煤层气富集机制及提高开采效率基础研究”等研究和试验成果集成基础上编著而成的。

华北地区沁水盆地和鄂尔多斯盆地,是我国重要的煤层气富集区,其石炭—二叠系煤系地层中高煤阶煤层气资源约占全国煤层气资源的 18.5%。对该区煤层气富集规律和开发技术的研究必将带动和促进全国煤层气工业的发展。“十一五”期间,全国共钻探煤层气井 5 400 余口,探明煤层气地质储量 2 900 亿 m^3 ,在沁水盆地南部、鄂尔多斯盆地东部、阜新、铁法等矿区已实现商业化生产,煤层气地面开发累计建产能超过 30 亿 m^3/a ,实现年产量 15 亿 m^3 ,商品气量 11.8 亿 m^3 。

本书以开发取得突破的沁水盆地南部、鄂尔多斯盆地东部等为主要研究对象,兼顾华北其他典型中高煤阶煤层气盆地或地区,重点研究了煤层气成藏条件、主控因素及其控气作用、富集高产规律、有利区预测和评价,阐明了华北中高煤阶煤层气构造、沉积和水动力等主控因素控气作用和富集高产规律,评价并优选出里必等 8 个可供近期及中长期勘探开发的后备有利区块。

全书内容共分为六章。第一章,查明了我国中高煤阶煤层气盆地的分布和煤层气成藏的基本地质条件。第二章,从区域构造、成煤环境、煤层展布、岩浆活动、含气量、煤岩煤质、保存条件、水文条件和煤层气解吸附特征等方面系统地分析了沁水盆地南部、鄂尔多斯盆地东部煤层气成藏的地质特征。第三章,阐明了华北中高煤阶煤层气富集成藏的主控因素及其控气作用,结合现阶段煤层气勘探开发现状,总结了中高煤阶煤层气富集高产规律。第四章,结合鄂尔多斯盆地东部大宁—吉县区块、沁水盆地南部郑庄区块的储层含气性及储层与围岩弹性特征之间的关系,分析了煤层气储层的二维地震 AVO 的响应特征,建立了煤层气富集区的 AVO 理论和预测方法,预测了煤层气富集区。第五章,剖析了沁水盆地南部煤层气储层物性发育特征、单井产量的控制因素和典型生产井的排采特征。第六章,重新评价了沁水盆地和鄂尔多斯盆地东部的煤层气资源及潜力,提出了煤层气勘探开发的规划设想,开展了华北中高煤阶煤层气有利区块的评价和优选。

科技专著《华北中高煤阶煤层气富集规律和有利区预测》,是项目参加人员集体共同研

究的学术成果。在本书出版过程中,得到了国家重大专项管理办公室、中国石油天然气股份公司科技管理部、国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目管理办公室的大力支持;得到了中国石油华北油田分公司、长庆油田分公司研究院、煤层气公司和中国煤炭地质总局地球物理勘探研究院的密切协作。在此一并表示衷心感谢!同时,还要感谢本书引用文献的作者的支持和帮助。

煤层气富集高产规律,需要在煤层气勘探开发过程中不断检验、提升和完善。书中如有不妥之处,敬请读者批评指正。



二〇一一年十月

目 次

第一章 我国中高煤阶煤层气盆地的分布和基本地质特征.....	1
第一节 中高煤阶煤层气资源的分布特征.....	1
第二节 中高煤阶煤层的展布特点.....	1
一、华北赋煤区	1
二、华南赋煤区	3
第二章 华北地区典型中高煤阶煤层气盆地的成藏地质特征.....	5
第一节 沁水盆地.....	5
一、区域构造特征	5
二、沉积环境和煤层展布	8
三、岩浆活动	12
四、煤层含气量	12
五、煤层气的保存条件	17
六、次生割理发育	20
七、煤层气的解吸附特征	29
八、储层压力	36
九、水文地质条件特征	36
第二节 鄂尔多斯盆地东部	39
一、区域斜坡背景上被断层切割成复杂断块构造格局	39
二、沉积环境	40
三、煤层发育特征	45
四、可能存在潜伏火山侵入岩体(浅成岩)	46
五、煤层含气量	46
六、煤储层物性	49
七、煤层气的解吸附特征	50
八、煤层气的保存条件	51
九、水文地质条件复杂	51

第三章 中高煤阶煤层气成藏富集规律	54
第一节 煤层气富集成藏主控因素的控气作用	54
一、构造控气作用	54
二、沉积控气作用	66
三、水文地质控气作用	78
第二节 中高煤阶煤层气的富集高产规律	84
一、中高煤阶煤层气的成藏模式	84
二、中高煤阶煤层气的富集高产规律	88
第四章 二维地震 AVO 技术预测煤层气富集高产区	95
第一节 大宁—吉县地区二维地震 AVO 技术的应用	95
一、煤层气主力储层和围岩弹性特征研究	95
二、煤层气主力储层 AVO 响应特征	101
三、地震资料 AVO 反演和典型测线异常解释	111
四、建议井勘探情况	120
第二节 郑庄区块二维地震 AVO 技术的应用	121
一、煤层气储层及其围岩的弹性特征	121
二、郑庄区块煤层气储层的 AVO 响应特征	126
三、郑庄区块地震资料的 AVO 异常解释	130
四、郑庄区块 AVO 解释重点井情况和措施井建议	135
第五章 沁水盆地南部典型生产井区剖析	136
第一节 煤储层物性特征精细描述	136
一、孔隙发育特征实验分析	136
二、核磁共振技术在煤层气储层研究中的应用	137
三、割理—裂隙的发育特征	144
第二节 煤层气单井产量控制因素和典型生产井的排采特征	146
一、沁水盆地南部的煤层气开发动态	146
二、煤层气单井产能的控制因素	146
三、煤层气水平井产量影响因素分析	151
四、典型生产井的排采特征	155
第六章 煤层气富集高产区块优选	158
第一节 中高煤阶典型盆地煤层气资源和潜力分析	158
一、中高煤阶煤层气勘探开发现状	158

二、沁水盆地煤层气资源评价	159
三、鄂尔多斯盆地东部煤层气资源评价	160
四、煤层气开发潜力预测	161
第二节 中高煤阶煤层气有利区块评价和优选	162
一、中高煤阶煤层气有利区块评价	162
二、中高煤阶煤层气有利区块优选	177
参考文献	181

第一章 我国中高煤阶煤层气盆地的分布和基本地质特征

第一节 中高煤阶煤层气资源的分布特征

我国乃至亚洲大陆,并不是以一个巨型前寒武系结晶基底为主体而形成的单一大陆,而是由一些小型地块、中间地块和众多微地块及其间的褶皱带镶嵌起来的复合一个大陆。这一本质特征,即决定了我国绝大多数含煤盆地的构造稳定性较差,构造形态复杂多样,煤及其共生的煤层气资源赋存地质条件更为复杂。另外,从古地温场和热史、生烃史的演化来看,美国的煤变质以深成变质作用为主,煤阶主要为中低煤阶烟煤,而中国中高煤阶煤除印支期为深成变质作用外,在燕山期均经历了异常高的古地热场演化。如沁水盆地岩浆活动即加剧了煤岩热演化,煤阶达到了贫煤和无烟煤,二次生气作用明显。

中国各类煤阶煤的分布具有南北分带、东西分区的总体规律,在区域上自北而南、自西向东煤阶增高。中国的中高煤阶煤主要分布在华北和华南地区,在西北和东北地区的部分煤产地由于受到岩浆热变质作用或动力变质作用,也有少量中高煤阶煤产出。华北高煤阶煤主要分布在两个地带——一个是济源—荣巩—永城—淮北一线,呈北西西向展布,位于中朝板块南缘地带,在济源—荣巩一带煤岩的镜质体反射率达6%左右;另一个是沁水煤田,呈南北向条片状展布,南端晋城矿区和北端的阳泉矿区均为无烟煤,中部地区为焦煤至贫煤。此外,在鄂尔多斯盆地东南的乡宁—韩城、太行山前的邢台—邯郸—峰峰—安阳—鹤壁和燕山前的京西、山东坊子等地区,也有较大面积的中高煤阶煤赋存。华南地区的东南区,包括福建、江西南部 and 东部、浙江南部和广东北部,几乎全为无烟煤和贫煤;华南地区的湘中、湘南和赣西以无烟煤占绝对优势,赣中也有一定数量的中高煤阶煤分布;大巴山、鄂中、鄂东南和下扬子地区主要为高煤阶无烟煤(图 1-1)。

中国中高煤阶煤资源量丰富。据国土资源部新一轮资源评价结果——我国的中高煤阶煤层气资源量达 22.88 万亿 m^3 ,占全国煤层气资源总量的 60%,而且煤层含气量普遍较高、资源丰度高。

第二节 中高煤阶煤层的展布特点

一、华北赋煤区

华北赋煤区的主要聚煤期为石炭二叠纪和早、中侏罗世,局部地段发育早石炭世、晚三叠世和古近纪新近纪可采煤层。

上石炭统可采煤层分布于北纬 35° 以北地区,下二叠统可采煤层则遍及整个华北盆地,

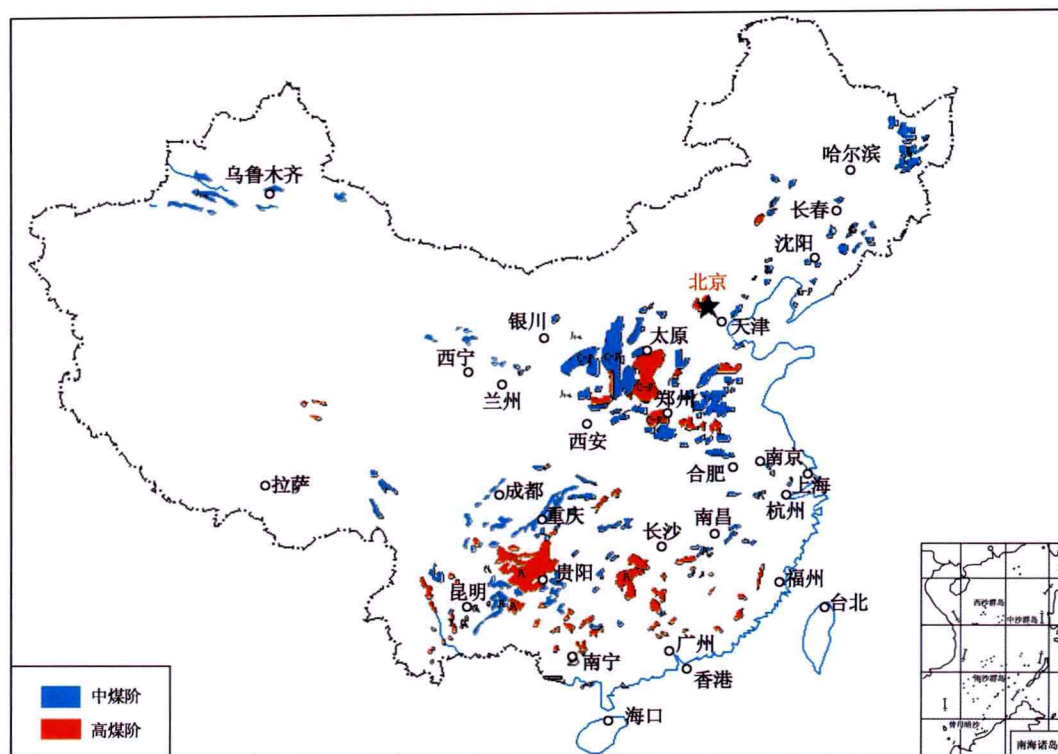


图 1-1 中国中高煤阶煤分布示意图

含煤系数为 4.8%~15.6%，含煤 5~10 层，含煤性好。石炭二叠系主要可采煤层厚度具有北厚南薄总体展布趋势，南北分带比较明显。北纬 38°以北地区存在一个厚煤带，煤厚一般在 15 m 以上，最厚可达 30 余米。该带进一步发生东西分异，呈现出薄厚相间的南北向条带。

在北纬 35°~38°之间，煤层厚 10 m 至 15 m。大于 15 m 者呈席状、片状分布。煤厚小于 5 m 者零星展布于肥城、晋城和邯郸等地区。在北纬 35°以南的南华北地区，煤层厚度多在 10 m 以下且有向南变薄趋势。华北赋煤区的上二叠统煤层仅分布于南华北地区，含煤系数为 0.9%~3.3%，含煤 15~25 层，以中厚煤层为主，煤层北薄南厚，呈东西走向的条带状分布，煤层总厚度在安徽淮南和河南确山一带可达 20 m 以上并有向南增厚趋势。

华北赋煤区下、中侏罗统煤层主要赋予于鄂尔多斯盆地以及大同、京西、大青山、蔚县、义马、坊子等小型山间湖盆内。鄂尔多斯盆地延安组共含煤 10~15 层，主要可采煤层 5~7 层，累计可采厚度 15~20 m，煤层集中分布于盆地的西部和东北部，煤层厚度具有由北向南、自西向东变薄趋势。煤层层数多，分布面积广，横向较为稳定，累计厚度大，局部厚达 40 余米，在延安、延川、延长一带出现无煤区。

华北赋煤区石炭二叠系的煤阶系列齐全，从烟煤到无烟煤连续分布，煤级展布格局复杂且有规律性。全区以中煤阶气煤、肥煤、焦煤和瘦煤为主，高煤阶贫煤和无烟煤呈条带状、片状大面积或局部展布于不同地区。石炭一二叠系煤的煤阶在总体上具有由盆地边缘向盆地内部增高趋势。

二、华南赋煤区

华南赋煤区聚煤时代多,煤阶展布格局复杂。下石炭统测水组煤层基本上全为无烟煤。下二叠统、上二叠统和上三叠统则煤阶齐全,从中煤阶气煤到高煤阶无烟煤均有分布。古近系和新近系煤层则几乎全部为褐煤。从总体上来看,华南二叠系煤阶分布可分为东南、江南和扬子三个区域。东南区包括福建、江西南部 and 东部、浙江南部和广东北部,几乎全为贫煤和无烟煤。江南区位于雪峰山以东的湖南中部和南部、江西中部和浙江北部,二叠系煤的煤阶由东向西增高:湘中、湘南和赣西无烟煤占绝对优势,常见的煤阶呈环带状分布;赣中丰城、乐平等地以中煤阶煤为主,有一定数量的高煤阶煤;长兴—广德一带为气煤。扬子区范围较大,其中上扬子区二叠统高煤阶煤广泛分布于川南、黔北、黔西北、黔西、滇东等地,西南地区其他矿区或煤田上二叠统煤以中煤阶煤为主,但气煤较少、多为肥煤和瘦煤。此外,在大巴山、鄂中、鄂东南和下扬子地区,煤阶则以无烟煤为主。

在华南赋煤区西部,上二叠统煤层厚度呈现出中部厚、向四周变薄的总体展布趋势,周边煤层厚度一般小于 5 m,中部煤层的发育特征在黔北—川南隆起带、黔中斜坡带、黔西断陷区和滇东斜坡区有所不同——黔北—川南隆起带上分布着川南、南桐、华蓥山、桐梓和毕节等煤田或矿区,含煤 3~53 层,平均 16 层;煤层总厚 0.45~28.12 m,平均厚 6.24 m;可采总厚 1.90~23.25 m,平均厚 4.33 m;局部可采 14 层,大多为薄煤层,有 1~2 层中厚煤层。黔中斜坡带上分布有贵阳、织纳、威宁等煤田或矿区,含煤 8~82 层,平均 26 层;煤层总厚 1.51~45.03 m,平均厚 16.35 m;可采总厚 3.04~38.0 m,平均厚 9.98 m;局部可采 16 层,多为薄煤层。黔西断陷区主要为六盘水煤田,是华南西部的重要富煤地区,含煤 13~90 层,平均 37 层;煤层总厚 7.02~69.75 m,平均厚 28.88 m;可采总厚 4.68~45.79 m,平均厚 15.27 m;可采煤层 14 层,以中厚煤层为主,单层厚 1.35 m 左右。滇东斜坡区包括宣威和恩洪两个矿区,煤层层数和厚度均向西减少,含煤 4~80 层,平均 36 层;煤层总厚 3.54~50.53 m,平均厚 18.54 m;可采总厚 2.72~42.13 m,平均厚 11.11 m;局部可采煤层 17 层,多为薄煤层,有 1~2 层中厚煤层发育。

在华南赋煤区东部,下石炭统测水组富煤带分布于湘中和粤北地区。湘中含煤 3~7 层,其中 3[#] 煤为主要可采煤层,2[#] 和 5[#] 煤为局部可采煤层。3[#] 煤层厚 0~19.71 m,平均厚 1.5 m 左右,以渣渡矿区发育较好,煤层平均厚 3.55 m 左右,煤层结构由简单至复杂。在金竹山矿区西北部和芦毛江矿区,下石炭统煤层以煤组出现,最多可达 10 个分层,煤层由较稳定到不稳定,5[#] 煤层厚 0~21.0 m,平均厚 1.3 m 左右,在金竹山一带发育较好,平均厚达 2.28 m 且结构简单。3[#] 煤层与 5[#] 煤层的间距为 0~10 m。此外,在粤北地区含可采或局部可采煤层 2 层,2[#] 煤层厚 0~6.0 m,平均厚 1 m 左右;3[#] 煤层厚 0~42.5 m,平均厚 3.00 m,结构极为复杂,煤层极不稳定,两煤层之间间距在 18 m 左右。

华南东部上二叠统龙潭组含煤沉积被古陆和水下隆起分隔,各成煤拗陷内含煤性差异较大,龙潭组普遍含可采煤层,由南向北大致可分为以下三个聚煤带:

南带——位于赣南—粤北—湘南一带。赣南信丰、龙南含 B24、B26、B28 等不稳定可采煤层,单层厚 1 m 左右;粤北韶关地区含煤 10 余层,其中 11[#] 煤层全区稳定可采,厚约 2 m;湘南郴州地区含煤 10 层,其中 5[#] 和 6[#] 煤层稳定可采,厚度小于 2 m。

中带——展布于湘中—赣东—皖东南—浙西北—苏南一带,是华南东部龙潭组的主要富煤地带。湘中涟邵地区含煤 6 层,其中 2[#] 煤全区稳定可采,厚约 2 m。赣中萍乡、乐平等

地含 A、B、C 三个煤组,其中 B 组煤全区发育,C 组煤在赣东上饶地区发育较好,A 组煤在萍乡一带发育较好,厚约 2 m。在皖东南、浙西北的长兴—广德地区,发育 A、B、C、D 四个煤组,其中 C₂ 煤层全区稳定可采,厚度一般小于 2 m。在苏南一带发育上、中、下三个煤组,其中上煤组 3[#] 煤层较为稳定,厚 1~2 m。

北带——位于鄂东南—皖南—赣北一带,龙潭组发育相对较差。鄂东南黄石地区含上、中、下三层煤,其中下煤层较为稳定,厚 1 m 左右。皖南铜陵、贵池一带含煤 7 层,均为不稳定薄煤层,其中 A、B、C 三层煤局部厚可达 1 m。赣北九江仅含不稳定的薄煤层。

第二章 华北地区典型中高煤阶煤层气盆地的成藏地质特征

第一节 沁水盆地

沁水盆地,是华北地区赋存石炭二叠纪煤炭资源最丰富的地区之一,具有形成煤层气藏的物质基础。其煤层埋深 2 000 m 以浅的煤层气有利勘探面积约为 23 600 km²,煤层气资源量约为 3.96 万亿 m³。沁水盆地南部是中国煤层气勘探开发的热点地区之一。中石油、中联公司、蓝焰公司、亚美大陆和格瑞克等单位,近些年来相继在盆地南部的樊庄、成庄、潘河、潘庄和柿庄等区块进行了大规模开发。

一、区域构造特征

(一) 构造背景和基底特征

在古构造上,沁水盆地属于华北地台的中带,是华北晚古生代成煤期之后由断块差异抬升而形成的山间断陷盆地。盆地介于太行隆起和吕梁隆起带之间,东依太行山隆起,南接中条山隆起,西邻霍山隆起,北靠五台山隆起。沁水盆地先后经历了海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期运动,几个期次的构造运动均对该区有显著影响。盆地中间较窄,呈哑铃状,总体上呈北北东向延伸,为一复式向斜构造。复向斜轴线大致位于榆社——沁县(定昌)——沁水一线,构造相对简单,断层不发育,南北翘起端为箕状斜坡,东西两翼基本对称。

在沁水盆地南部,构造类型主要是一系列轴向为北北东和南北向的宽缓褶皱,地层倾角一般为 5°~15°,两翼基本对称,断层稀少。盆地南部总的构造形式呈向北倾的单斜,盆地东部为北北东向展布的伊侯山断褶带,盆地西部为北东—东西向展布的寺头—土沃弧形断裂系,盆地南部为近东西向展布的驾岭—南岭断裂系,盆地北部为北西向展布的河西断裂系。

(二) 构造基本形态被印支期、喜山期断层切割成复杂断块构造

沁水盆地并不是一个独立的沉积盆地,它是介于太行隆起和吕梁隆起带之间的一个北北东向的复式向斜构造。复向斜轴线大致沿榆社——沁县——王必——沁水一线,形态宽缓,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,两翼倾角平均 4°左右。盆地内部古生界和中生界背、向斜褶曲比较发育,但幅度均不大、面积均较小。向斜轴部地层为中上三叠统。侏罗系仅局部地区有零星分布。依据上述特征,可以说沁水盆地实际上是一个残余型构造盆地。

就其构造特点而言,在盆地的不同部位构造特点不尽相同。总体来看,盆地西部以中生代褶皱和新生代正断层相叠加为特征;盆地东北部和南部以中生代东西向、北东向褶皱为主;盆地中部以北北东~北东向褶皱发育为主。断层则主要发育于盆地东西边部,盆地中部

有一组近东西向的正断层,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,可将其划分为 12 个构造区带(图 2-1)。

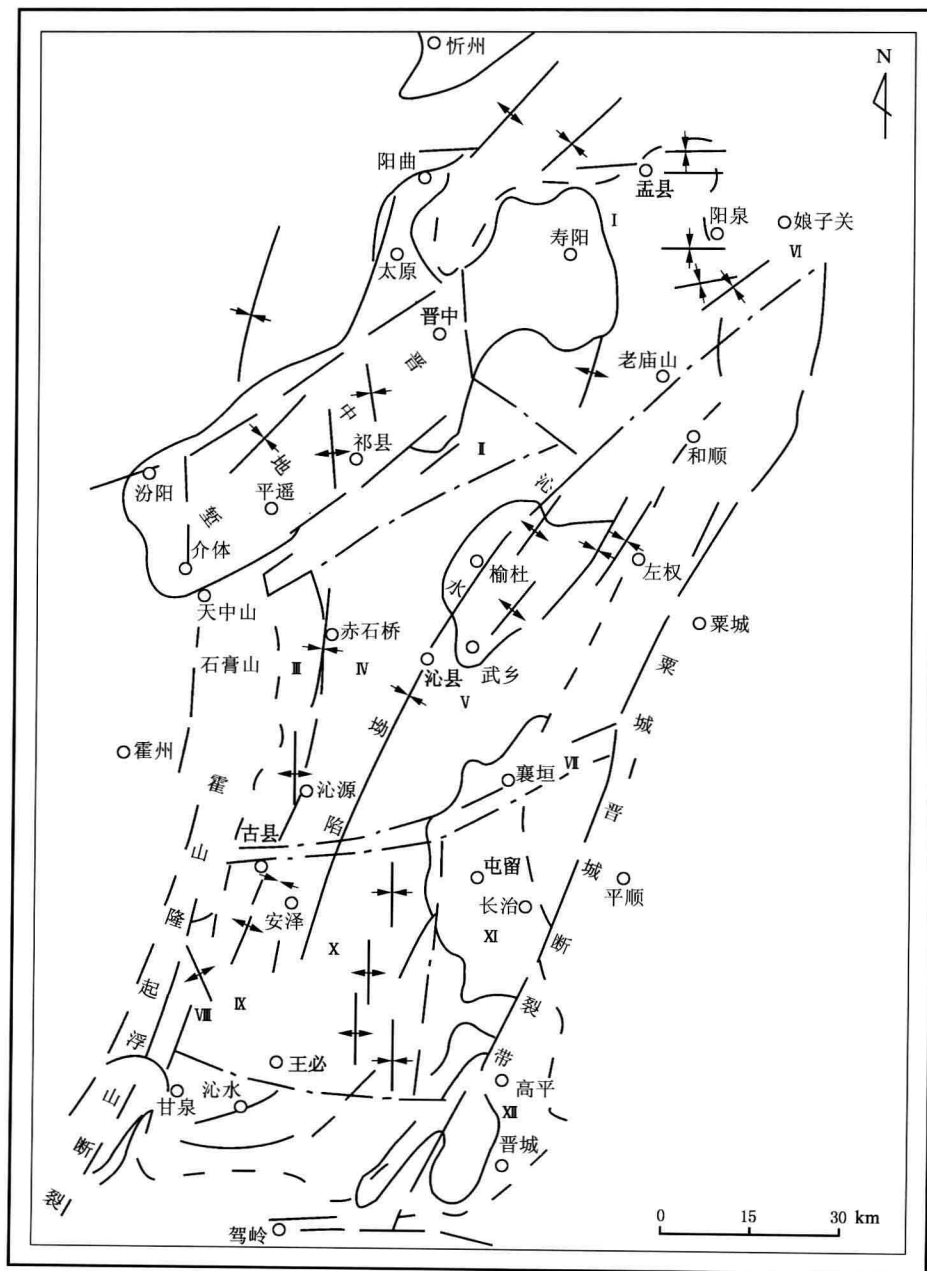


图 2-1 沁水盆地构造分区示意简图(据朱峰,1999,有修改)

- I —— 寿阳—阳泉斜坡带; II —— 中条山—义城断裂构造带; III —— 聪子峪—古阳斜坡带;
 IV —— 漳源—沁源带状断裂背斜构造带; V —— 榆社—武乡断裂背斜构造带; VI —— 娘子关—坪头挠褶带;
 VII —— 双头—襄垣断裂构造带; VIII —— 古县—浇底断裂构造带; IX —— 安泽—西坪断裂背斜构造带;
 X —— 丰宜—晋仪复向斜带; XI —— 屯留—长治斜坡带; XII —— 固县—晋城断裂鼻状构造带

盆地内断裂体系及褶皱构造的具体特征简述如下:

① 寿阳—阳泉斜坡带(Ⅰ)——即沁水复向斜的北翘起端,亦即阳泉复向斜。除盂县附近发育近 EW 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 250 m;杜庄断层,NNE 走向,倾向 NW,断距 200 m。此外,区内有陷落柱发育,平昔矿区最甚,平均 1 km²可达 3.5 个。陷落柱多呈圆形、椭圆形,直径从几十米到百余米不等,陷壁角为 70°~80°。

② 天中山—仪城断裂构造带(Ⅱ)——位于沁水复向斜西北部,地表为一走向 NEE 的断裂鼻隆构造带。其内褶曲主体走向为 NE70°~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~侏罗系出露。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为强烈构造区。

③ 聪子峪—古阳斜坡带(Ⅲ)——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隆起倾伏部分。二者以冯家集—苏堡断裂带相接。断层走向 NEE,为正断层。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—沁源带状断裂背斜构造带(Ⅳ)——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 50~250 m;王陶南部发育 NEE 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—武乡断裂背斜构造带(Ⅴ)——即沁水复向斜中段的东翼。区内次级褶曲呈 NNE 向雁行排列,两翼倾角为 3°~10°。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 11°~17°,局部达 20°以上,西翼倾角 19°~23°,局部达 25°以上。寺沟—后扶峪背斜长 30 km,东翼地层倾角为 8°~10°,西翼地层倾角为 10°~15°。区内断层走向 NNE,倾向 NW,延伸长度较短、落差较小,且具东弱西强发育特点。

⑥ 娘子关—坪头挠褶带(Ⅵ)——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、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 55 m;李阳正断层,倾向 NW,断距 200 m 等。发育一条逆断层,走向 NEE,断距 15 m。此外,还有少数陷落柱发育。

⑦ 双头—襄垣断裂构造带(Ⅶ)——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(Ⅷ)——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 和 NE 的断层组成,发育少量褶曲构造。

⑨ 安泽—西坪断裂背斜构造带(Ⅸ)——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,然后向东北方向倾伏达晋中地堑之南,即下伏于天中山—仪城断裂带之下。

⑩ 丰宜—晋义复向斜带(Ⅹ)——即沁水复向斜南段东翼,主体构造线呈南北向,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、向斜构造带。

⑪ 屯留—长治斜坡带(XI)——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。为发育幅度较小的背、向斜构造。北部有余吾、屯留和东李高等背斜,南部的鲍村、漳河等背、向斜均呈带状分布。区内 NE 向断裂有朔村逆断层,断距 55 m,倾向 SE;庄头正断层,倾向 SE,断距 190 m。此外,还有 NNE 向断裂发育。

⑫ 固县—晋城断裂鼻状构造带(XII)——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呈 NW,向东逐渐转为 EW 向。断裂走向 EW 向,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 N 倾,内部断层多向 S 倾,断距 70~300 m。东部发育 NNE 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 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。沁水南发育城后腰向斜、东山向斜、南坪向斜等,均呈近 EW 向延展。

由以上所述可知,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式向斜构造。目前沁水盆地是我国重要的产煤基地之一,在不久的将来沁水盆地也可能被证实是我国最有前景的煤层气盆地之一。

二、沉积环境和煤层展布

(一) 三角洲平原、碳酸盐岩台地相形成两套含煤层系

根据沉积特点,沁水盆地主要成煤时期的沉积环境类型为两套陆表海碳酸盐岩台地沉积体系和陆表海浅水三角洲沉积体系。

1. 碳酸盐岩台地

主要发育于本区的本溪组和太原组。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、泥晶生物碎屑灰岩,本区 K_1 砂岩~ K_5 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和山圪灰岩多属于局限台地相沉积。台地潮坪相,是指在碳酸盐岩台地上直接成煤的环境,该环境成煤条件差、灰分和硫分高。

2. 陆表海浅水三角洲

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,因而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。而三角洲前缘相和前三角洲相不发育。泥炭沼泽相是三角洲平原上的成煤环境,聚煤条件较好,煤层分布虽连续但厚度变化较大,也常因分流河道冲刷面而变薄或尖灭。

(二) 煤层结构简单,横向展布连续稳定

沁水盆地含煤地层主要是上石炭统太原组和下二叠统山西组。它是一套在奥陶系古风化壳之上发育的近海海陆交互相含煤沉积。本溪组和下石盒子组均只含薄煤层或煤线,未发现具经济价值的可采煤层。通过大量勘探证实,尽管盆地在成煤之后经历了印支、燕山和喜山运动等多期构造变动,但 3[#] 煤层和 15[#] 煤层在盆地内基本上呈大面积稳定分布。

本区可采煤层多达 10 层以上,单层最大厚度为 7.8 m。煤层总厚度为 1.2~23.6 m。