

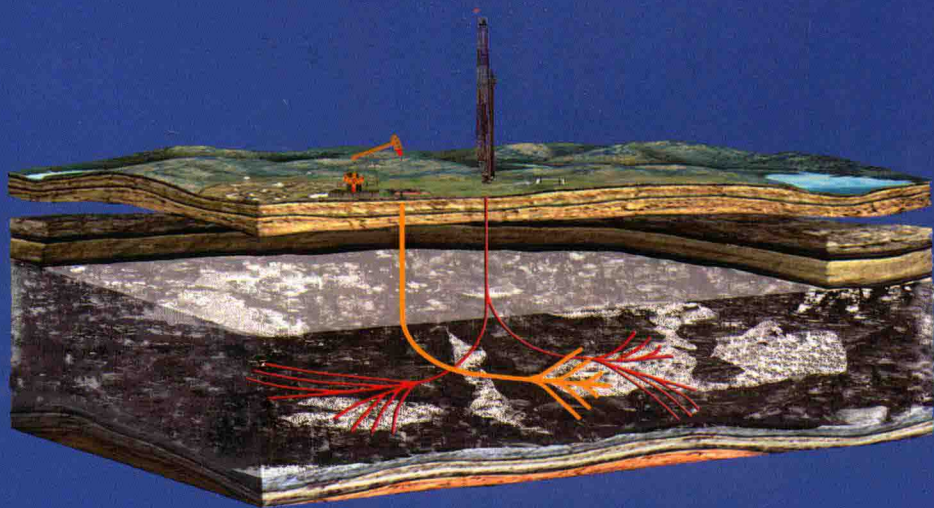


国家重点基础研究发展计划

煤粉运移规律及 井眼稳定性判识

——在沁水盆地煤层气水平井开发中的应用

赵贤正 秦 义 赵文秀 主编



科学出版社

煤粉运移规律及井眼稳定性判识

——在沁水盆地煤层气水平井开发中的应用

赵贤正 秦 义 赵文秀 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在国家重点基础研究发展计划(973)项目“高丰度煤层气富集机制及提高开采效率基础研究”成果的基础上编著而成。

本书通过对已开发煤层气多分支水平井构造地质、岩石弹性力学、井下观测及数值模拟等方面的系统研究,揭示生产过程中煤粉产出及运动的规律,建立融入排采压力对井壁稳定的作用效应的数学模型,制定井壁失稳的判别准则,为煤层气水平井开发提供基础理论依据。

本书可供从事煤层气勘探开发的科技人员、工程人员和管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

煤粉运移规律及井眼稳定性认识:在沁水盆地煤层气水平井开发中的应用/赵贤正,秦义,赵文秀主编. —北京:科学出版社,2014.6

ISBN 978-7-03-041133-4

I. ①煤… II. ①赵…②秦…③赵… III. ①煤层-地下气化煤气-水平井-研究 IV. ①P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 128537 号

责任编辑:吴凡洁 杨若昕 / 责任校对:胡小洁

责任印制:阎磊 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014 年 6 月第一次印刷 印张:9 1/4

字数:160 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



本书编委会

主 编：赵贤正 秦 义 赵文秀

编 委：赵贤正 秦 义 赵文秀 白建梅

汪伟英 张公社 王生维 龚 斌

参加人员(按姓氏笔画排序)：

王 宁 王忠敏 文国军 田文涛

兰正凯 任宝玉 刘 玄 刘 伟

刘和平 刘建伟 汤继丹 杨 健

李仰民 李国庆 李俊超 李梦溪

李 瑞 谷文彬 张建国 陈文文

陈立超 陈洪明 周 灿 赵俊芳

晁巍巍 陶 彬 崔金榜 程 浩

谢唯一 樊 彬

序

随着常规油气资源量的日益减少,煤层气作为清洁能源,其勘探开发越来越受到重视。中国埋深浅于 2000m 的煤层气资源量超过 $36 \times 10^{12} \text{m}^3$,居世界第三。这一丰富的能源资源如能得到正常有序的开发利用,将会对我国国民经济的持续发展做出巨大的贡献。近年来,中国煤层气的勘探开发呈现出欣欣向荣的局面,中石油、中石化、中联煤层气公司以及晋城煤业等单位均加大在山西沁水南部盆地煤层气资源的开发力度。由于煤岩的低孔隙度、低渗透率,以及煤层气藏独特的成藏机制,割理、裂隙系统发育且煤层气产出机理复杂,要采用不同的工艺技术进行针对性开发。

多分支水平井集钻井、完井和增产措施于一体,是开发煤层气的主要手段之一,该技术可以提高单井产量,减少占用土地,加快采气速度,不下套管,便于今后采煤,是先采气后采煤的最佳配套技术。华北油田在沁水南部盆地煤层气水平井开发过程中,随气、水产出的煤粉引起排水设备故障导致频繁检泵作业,使排采不能连续而破坏气体的连续解吸,降低了煤层气产气量。而排采期井壁失稳,造成产气量大幅下降或不产气以致气井报废。如何判断井壁稳定性和防止井壁失稳,成为煤层气水平井开发技术推广应用的重要前提条件。水平井开发煤层气过程中的煤粉成因、运移、井壁力学、排采控制等关键因素,尚未从机理和规律的高度进行系统研究。

该书依托国家重点基础研究发展计划(973)项目课题“煤层气开发多分支水平井控制机理(编号 2009CB219608)”,通过室内实验和现场结合、理论和应用结合,在煤层气开发多分支水平井控制机理方面取得创新性很强的研究成果,主要体现在:

(1) 阐明了煤层气水平井产出煤粉主要来自顺层煤粉源;其次来自断层煤粉源;发现了煤粉($<0.3\text{mm}$)特有的片状形貌特征;揭示了颗粒状煤粉易随产水运动,片状煤粉易随产气移动的运动规律,解释了煤粉易随产气量增多这一长期困扰生产的现象;自主研发的“内置防砂管”、创建的“一调、二防、三捞”工艺技术和制定的“控压控粉”技术措施的广泛应用,遏制了煤粉的卡泵,保证了水平井工艺排采的连续性。

(2) 应用岩石弹性力学原理,揭示了煤层气水平井井壁稳定性的控制因素;首次创建了融入排采压力的地应力数学模型,科学区分出排采参数对井壁稳定的作用效应;制定了排采期井壁失稳的判别准则,解决了井眼稳定性无法事先判定、排

采参数制定无科学依据的技术难题;丰富了水平井部署的指导思想,使部署的水平井的井眼稳定性得到了明显改善,成井率大幅度提高。

该书作者为具有煤层气勘探开发理论基础和现场实践经验的专家,他们的科技成果为实现 2020 年我国煤层气年产量达到 300 亿 m^3 的目标提供技术支撑。作者将其成果及应用经验汇集成书,必将推动我国煤层气勘探开发工业、科技和教育的发展。



中国科学院院士
2014 年 4 月 18 日

前 言

本书依托国家重点基础研究发展计划(973)项目“高丰度煤层气富集机制及提高开采效率基础研究(2009CB219600)”的第8课题“煤层气开发多分支水平井控制机理(2009CB219608)”的研究成果,经过重新梳理后编撰而成。

煤层气是一种蕴藏量极其庞大的潜在资源。全世界各类煤炭总量约为 $25 \times 10^{12} \text{t}$,煤层气总资源量预计为 $240 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。我国煤层气资源量为 $30 \times 10^{12} \sim 35 \times 10^{12} \text{m}^3$,这一丰富的能源资源如能得到有效开发利用,将会对我国经济的持续发展作出不可估量的贡献。

近年来,能源短缺已经成为影响我国国民经济持续健康发展的瓶颈之一。随着经济的快速发展,对能源的需求也越来越大,国内油气供需缺口急剧扩大。煤层气是我国常规天然气最现实、最可靠的替代能源,开发和利用煤层气可以有效地弥补我国常规天然气在地域分布和供给量上的不足。

沁水煤层气田主体部位位于山西省南部,构造处于沁水盆地南部斜坡带,行政区划隶属山西省晋城、沁水、高平等市县,工区内划分为樊庄、潘庄和郑庄三个区块,总面积 3630km^2 ,煤层气总资源量 $4500 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

从我国煤层气开发的实践来看,直井具有钻井成本低、工艺简单等优势,但存在单井产量低、不利于环保等劣势;水平井集钻井、完井和增产措施于一体,是开发煤层气的主要手段之一,在国外煤层气的开发实践中取得了较好的应用效果。国内多分支水平井技术尚处于起步阶段。受水平井关键技术限制,开发过程中排采强度与产气量、煤粉的关系尚不明确,在生产中煤粉产生的卡泵、砂埋影响了连续排采,进而影响产气量。另外,井眼稳定性的评估还建立在经验的基础上,缺乏成熟的井眼稳定控制技术也制约了水平井规模应用。

为突破煤层气水平井开发的技术瓶颈,作者通过基础理论的研究,攻克制约水平井开发煤层气中煤粉及井眼稳定的技术难题,提升了我国煤层气开发的技术水平。通过室内实验和现场结合、理论和应用结合,在煤层气开发多分支水平井煤粉运移与井眼稳定性判识两方面取得创新性研究成果,为国家规模开发煤层气、实现产业化、改善国家能源状况和能源结构提供可借鉴的经验及有力的技术支持。主要体现在:

第一,通过煤矿井下观察,煤体结构与裂隙系统关系紧密,在构造发育区,裂隙发育集中对煤层切割导致煤体结构破碎。依据破碎程度从低到高可分为结构完整煤层、碎裂煤层、碎粒状煤层、粉状煤层四种类型。其中完整煤层外生节理不发育

或局部发育;碎裂煤中裂隙较发育,煤体被切割成较大的不规则碎块状;碎粒状煤层及软煤层,是由各种规模节理切割破碎后经构造应力破碎所导致,煤粉产出能力较强。四种煤体结构可在煤层中同时赋存,产状以近水平状为主,断层附近产状可为倾斜状。软煤所占比例越高,煤体结构完整性越差。软煤层的产生受煤层小构造控制。褶皱发育区碎粒煤和粉煤经常一起产出,形成软煤发育带,赋存部位经常是强硬层与煤层接触面,产状近水平。褶皱发育区软煤规模较大,厚度最大约为1m,延伸长度可达10m。而断层附近经常发育倾斜产状软煤层,规模较小,常在断层3~5m附近产出。水平产状的煤粉集合体称为顺层煤粉,赋存在断层的煤粉集合体称为断层煤粉。

第二,通过室内电镜观测煤粉的微观形态,发现顺层煤粉颗粒整体形态较细碎,基本都是扁块状,且大多棱角不明显、边缘不规则,小颗粒多成片状、层状。颗粒的直径为0.5~5 μm 。断层煤粉的镜下形态为,煤粉的颗粒清晰,块状边缘棱角分明,表面及边缘存在明显的破裂面及断口,并且这些破裂面整洁,多呈现块状,片状、层状的形态分布较少。

第三,通过室内水气驱流动的试验装置,对不同规格煤样品进行裂缝宽度与煤粉运移、流动介质及速度与煤粉运移量、煤粉运移与煤样渗透率的室内实验。在煤粉迁移的过程中,煤粉在裂缝割理中逐渐沉积,使得裂缝宽度变窄,渗透率下降。流速增大使得煤粉易发生迁移,更多的煤粉进入裂缝系统,堵塞流动通道,造成渗透率伤害。煤粉颗粒越细,渗透率伤害越严重。在单相液流时,随着煤样中心孔压力逐渐降低,与煤样围压形成压力差,流体在裂缝中的运移携带一定量的煤粉颗粒,流速越大,携带能力越强;当气液两相流时,大部分极小的气泡都是被煤粉包裹着流出的,这些气泡流出被破坏后,其表面包裹的煤粉几乎全都浮于水面。运动中气泡对煤粉的携带能力很强,尤其是颗粒细小的煤粉一般都附着于气泡周围,在气泡前进的过程中,它对下沉的煤粉的搅动能力强于水流,随着气泡的运动,不断地有煤粉被扰动搅起,并且加入到气泡周围前行,所以气泡在前行过程中能够较强地带动煤粉运移;通过数值微观模拟,单相水流下,流态以层流为主,表面及形体拖拽力成为携带煤粉的主要动力,颗粒状煤粉圆度高,因此液流对颗粒状煤粉的携带作用增强,使得颗粒状煤粉更容易从煤层剥落,并随液流一同迁移。在气液两相流作用下,流体黏度显著降低,雷诺数明显增大,容易形成紊流,相比于颗粒状煤粉而言,片状煤粉与气流的接触面积明显较大,因此气流对片状煤粉的扰动作用增强,使得片状煤粉更容易从煤层剥落,并随气流一同迁移。由此解释了煤层气排水期煤粉产出较少,而产气后煤粉产出量增大的现象。

第四,通过煤矿井下实际观测,水平井眼的分布位置与构造、埋深存在特定的关系。在大裂隙系统及断层不发育的区域,煤体结构较为完整,水平井眼能有效地穿过小范围的裂隙带而达到设计长度;在大裂隙系统及断层发育的区域,煤体结构

破碎严重,钻孔对煤体的扰动使得破碎煤体发生垮塌;埋深大的区域自重地应力大,水平井钻进的时候地应力重新分配,导致煤体结构破碎而发生塌孔。水平井井眼稳定性主要受到煤体结构保存完整程度的控制。排采时随着井底流压的不断降低,煤层周向及径向应力随着储层压差的增大而升高。

第五,根据 Kirseh 方程,研究各相同性弹性介质中,与垂直主应力平行的直井围岩应力集中情况。为了描述地应力在水平井井壁上的分布状态,建立了地应力坐标系和水平井坐标系,把地应力转化到水平井筒坐标系中去。将实际开采过程中的井底流压、储层压力及井口套压的关系引入修正后的方程中,计算出水平井筒周围的地应力,与水平井筒煤岩单轴抗压强度比较,制定水平井眼稳定性判别准则,解决了水平井井眼稳定性无法事先判定、排采参数制定无科学依据的技术难题。

本书中的理论成果为实现到 2020 年我国煤层气年产量达到 300 亿 m^3 的目标提供技术支撑,其研究成果及应用经验必将推动我国煤层气勘探开发工业、科技和教育的发展。

本书由赵贤正、秦义总体策划,前言由赵贤正撰写;第一章由赵贤正、王生维、秦义、白建梅、程浩撰写;第二章由秦义、汪伟英、张公社、王新海、任宝玉撰写;第三章由秦义、王生维、赵文秀撰写;第四章由王生维、秦义、汪伟英、白建梅、赵文秀等撰写;第五章由王生维、秦义、龚斌、赵文秀撰写;第六章由秦义、赵文秀、白建梅、任宝玉、谢唯一、王忠敏撰写;最终由赵贤正、秦义、赵文秀统稿、定稿。

本书编写过程中得到了中国科学院贾承造院士、973 首席科学家宋岩教授、跟踪专家王慎言教授和钱凯教授的指导和帮助,得到了来自中国石油大学(北京)、长江大学、中国地质大学(武汉)、北京大学的专家的支持和指导,得到了科技部、973 煤层气项目办公室和华北油田公司各级领导、专家的关心和大力支持。中国科学院郭尚平院士一直关心华北油田煤层气勘探开发事业的发展,在百忙中审阅了书稿并欣然为本书作序,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

目 录

序

前言

第 1 章 构造特征和地应力	1
1.1 构造特征	1
1.1.1 区域构造	1
1.1.2 樊庄区块构造	1
1.2 区域应力场分布	3
1.2.1 应力场期次划分	3
1.2.2 构造应力场特征	3
第 2 章 钻井对井眼稳定性影响	11
2.1 任意井眼应力分析模型	11
2.2 煤体结构、地应力及分支方式	17
2.2.1 地应力	17
2.2.2 井眼稳定性与煤体结构	18
2.2.3 井眼稳定性与地应力	20
2.2.4 井眼稳定性与分支方式	22
2.3 化学因素对井壁稳定性影响	24
2.3.1 钻井液浸泡试验	24
2.3.2 不同水型中煤粉粒度变化实验	30
2.3.3 浸泡后煤岩强度变化	36
2.4 应力变化对井眼稳定性影响	44
2.4.1 试验方法	45
2.4.2 试验步骤	45
2.4.3 试验数据	45
2.4.4 试验结论	46
2.5 钻井过程中控制井壁稳定性的方法	53
2.5.1 钻井液	54
2.5.2 钻井	56
第 3 章 排采对井眼稳定性影响	58
3.1 井眼稳定性与破坏特征	58

3.1.1	稳定性特征	58
3.1.2	破坏机理与表现特征	62
3.2	井眼稳定性计算	66
3.2.1	排采过程中井眼稳定性力学分析	66
3.2.2	整体判别	72
第4章	煤粉形成机制	76
4.1	煤岩储集特性	76
4.1.1	煤岩、煤质特征	77
4.1.2	煤岩物性	78
4.2	煤粉来源	82
4.2.1	原生煤粉	83
4.2.2	次生煤粉	84
4.2.3	微小褶曲构造产生煤粉	86
4.2.4	小断层构造产生煤粉	91
4.2.5	结论与认识	93
4.3	煤粉微观特征	94
4.3.1	顺层与断层煤粉特征	94
4.3.2	煤层气井产出煤粉特征	98
第5章	煤粉的运移	101
5.1	煤粉运移的通道	103
5.1.1	裂缝宽度与出粉量	103
5.1.2	煤粉运移与渗透率	106
5.2	煤粉的迁移规律	108
5.2.1	微粒运移的力学机理	109
5.2.2	煤粉的分离、启运	109
5.2.3	煤粉的流动特征	111
5.2.4	煤粉运移的数值模拟	122
第6章	煤粉产出控制方法及措施	127
6.1	煤粉产出控制方法	127
6.1.1	排采对煤粉产出的影响实验	127
6.1.2	压力变化对煤粉产出的影响实验	130
6.1.3	优化排液制度实验	130
6.2	煤粉产出控制措施	131
6.2.1	优化排采制度	131
6.2.2	内置筛管	133
参考文献		134

第 1 章 构造特征和地应力

山西沁水盆地南部沉积环境、储层特征、应力场分布与控制等主控因素是影响煤层气水平井高产稳产的关键因素,本章将分述各因素的影响。

1.1 构造特征

1.1.1 区域构造

山西沁水盆地为华北地台山西隆起上的一个中生代以来形成的巨型复式向斜。太古界结晶变质岩系、下元古界变质岩系历经阜平、五台、滹沱三期主要的褶皱变质运动,逐步固结并最终形成沁水盆地乃至整个华北地台的结晶基底。晋宁运动时海水入侵,在区内发育了早古生代寒武纪—中奥陶世的浅海相沉积,之后的华北地台隆起使沁水盆地缺失了晚奥陶世—早石炭世沉积。晚古生代石炭纪华北地台又开始了新的沉降活动,在区内沉积了海陆交互的以碎屑岩为主体含煤层的碳酸盐岩-碎屑岩沉积建造。二叠纪—三叠纪全区基本为陆相河流及湖泊相的碎屑岩沉积建造。在早古生代寒武纪—中生代三叠纪沉积演化阶段,虽然经历了加里东运动和海西运动,除加里东期的地壳抬升外,没有发生其他剧烈的构造活动。

自三叠纪末期印支运动开始,中、新生代沁水盆地进入地壳运动频繁活动的时期,打破了古生代稳定的构造格局,处于滨太平洋的特提斯-喜马拉雅构造域的控制之下,形成总体为北北东向的隆起和拗陷,并对古生界及更老地层的构造进行了改造。三叠纪末沁水盆地以整体抬升为主,褶皱和断裂主要是燕山运动形成的,喜马拉雅(以下简称喜山)运动又有所改造,形成了现今的构造面貌,具体如图 1.1 所示。

1.1.2 樊庄区块构造

樊庄区块位于沁水盆地南部,区内主要以褶皱构造为主,由于区内勘探程度较低,构造要素不十分清楚。樊庄区块中部普查勘探所揭示的主要为南北向褶皱构造群,是晋东南山字型构造的脊柱部分。晋东南山字型构造位于晋豫两省相邻地区,西起山西绛县一带,东至河南辉县附近,北至山西安泽、屯留,南到河南济源、沁阳一带,东西长约 220km,南北宽 100km。山字型构造的前弧主要展布在济源和沁阳县之间,前弧西翼展布至绛县、阳城县,东翼展布至辉县、汲县,脊柱分布在安泽、屯留、长子、沁水等县之间。脊柱南北长约 56km,北部宽约 25km,向南楔形褶

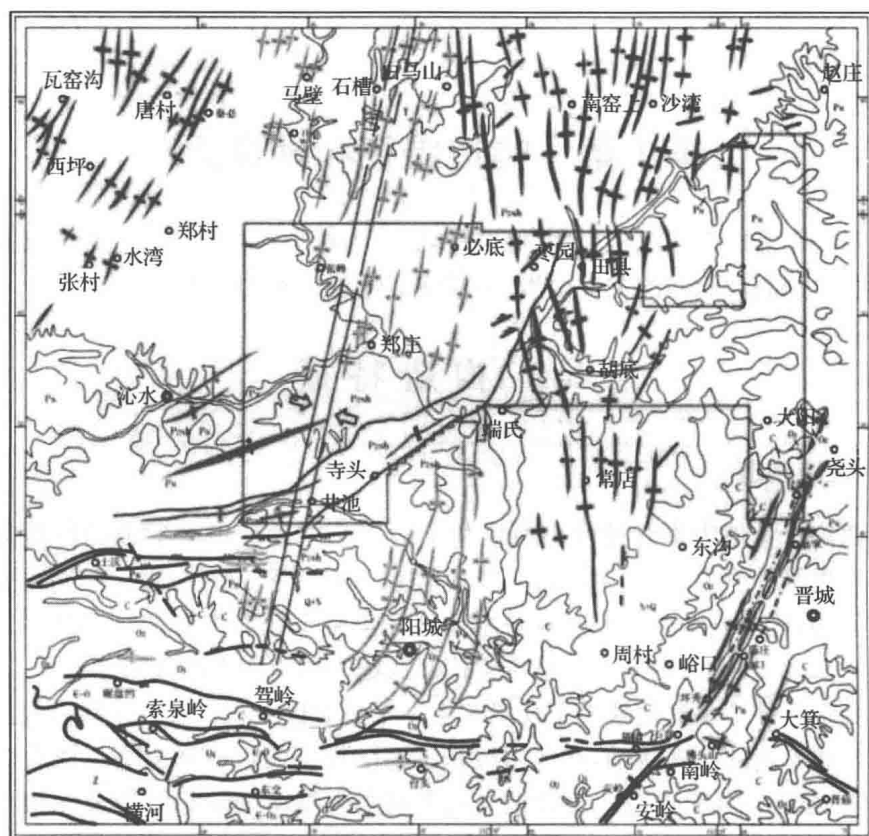


图 1.1 区域内构造特征图

皱带变窄,北部褶皱较密集,向南逐渐减少,于郑村北消失。脊柱楔形带的中南端正位于樊庄区块内,以燕山期形成的 SN 向宽缓褶皱为主,褶皱幅度和面积都较小,西部稍偏 NNW,东部稍偏 NNE,背斜幅度一般小于 50m,面积小于 5km²,延伸长度多在数百米至上千米,为典型的长轴线型褶皱。

樊庄区块西部的近 SN 向褶曲为沁河复式向斜,位于马必至郑庄一带,由二叠系石千峰组上部及三叠系下部构成开阔、波状褶皱带,总体呈一北偏东向的复式向斜,其槽部轴线在石槽、张峰至芹池一线。复式向斜两翼发育有一系列走向为 NE5°~15°的次级褶皱,两翼倾角一般为 5°~10°,在向斜槽部可达 20°左右,褶皱线长一般为 2~6km。另外,樊庄区块西南部还有一组 NE 向的张扭性正断层(寺头、后城腰)和由上古生界组成的较开阔褶皱,为沁水帚状构造东北部的发散端。根据樊庄区块内构造体系所卷入的地层及其之间的相互关系,并参照区域资料分析,各类构造生成的顺序是:近 SN 向构造——沁河复式向斜发育较早,成熟于燕山晚期;晋东南山字型构造和沁水帚状构造形成于燕山期,据南邻河南省资料,晋东南山字型构造的前弧影响至古近系,说明喜山期还有活动。

总之,樊庄区块构造较简单,岩浆活动微弱,断裂也较少,只发育一些较小规模的宽缓褶曲,其位于沁水盆地南环斜坡带,构造位置和构造特征有利于煤层气的保存和富集。

1.2 区域应力场分布

1.2.1 应力场期次划分

樊庄区块所在的山西南部自印支运动以来经历了多期构造运动,地壳运动频繁,地层缺失较多,主要有:①由于印支中晚期抬升隆起的继续,缺失下侏罗统;②中侏罗统仅在盆地中、北部有分布,南部已剥蚀殆尽;③缺失上侏罗统;④沁水盆地缺失下白垩统,上白垩统仅在盆地中北部有分布;⑤晚白垩世以后整个华北区抬升,新生代除断陷区外,全盆地处于强烈上升剥蚀区,古近-新近纪、第四纪沉积及保存厚度不大。由于区内沉积记录不足,根据区域地层接触关系、沉积建造和构造背景及演化,将樊庄区块应力场划分为印支期近 SN 向挤压、燕山期 NWW-SEE 向挤压、喜山早期 NE-SW 向挤压、喜山中晚期 NW-ES 向、NNW-SSE 向伸展(断陷区伸展,本含煤区挤压)四个期次。

1.2.2 构造应力场特征

1. 樊庄区块及周缘地应力分布特征

作为地质体的煤储层不仅受上覆岩层的压力作用,还受水平地应力的作用。煤储层孔隙中的流体同样会承受上覆岩层的压力及水平地应力的影响。上覆岩层厚度越大,煤储层流体承受的压力也就越大,煤储层压力就越高。实质上,垂向地应力对煤储层压力的影响主要是由煤层上覆岩层厚度的增加引起的。而在水平方向上,煤储层处在区域性的构造应力场中,受水平构造应力的作用,因此,水平主压应力越大,煤储层压力也就越高。通过对沁水盆地南部地区的注入/压降试井测试地应力资料的统计,3#煤层地应力为 2.9~10.60MPa,平均为 6.89MPa,地应力梯度为 0.98~2.04MPa/100m,平均为 1.46MPa/100m。不同区块地应力差别较大,柿庄区块测试的地应力梯度较大,平均为 1.69MPa/100m,郑庄区块最小,为 1.15MPa/100m。

煤层地应力自樊庄区块四周向内部增大,其变化趋势与煤层埋深等值线一致。东南部煤层埋藏较浅地区,地应力也普遍较低,多在 10MPa 以下,在西部及北部,煤层埋藏深,地应力高,多超过 10MPa,地应力高值区位于西部的晋试 6 井区东侧,最大超过 19MPa。大量的研究及地应力实测资料表明,地应力的大小与埋深、地质构造等有关。樊庄区块注入/压降试井实测数据表明,随着煤层埋深的增大,

地应力增高(表 1.1)。煤层地应力分布见图 1.2。

表 1.1 沁水盆地晋城地区地应力梯度统计表

地区	地应力梯度/(MPa/100m)		
	最小	最大	平均
大宁	0.95	1.98	1.42
郑庄			1.15
樊庄	1.26	2.04	1.50
潘庄	0.98	1.81	1.40
柿庄	1.08	2.25	1.69

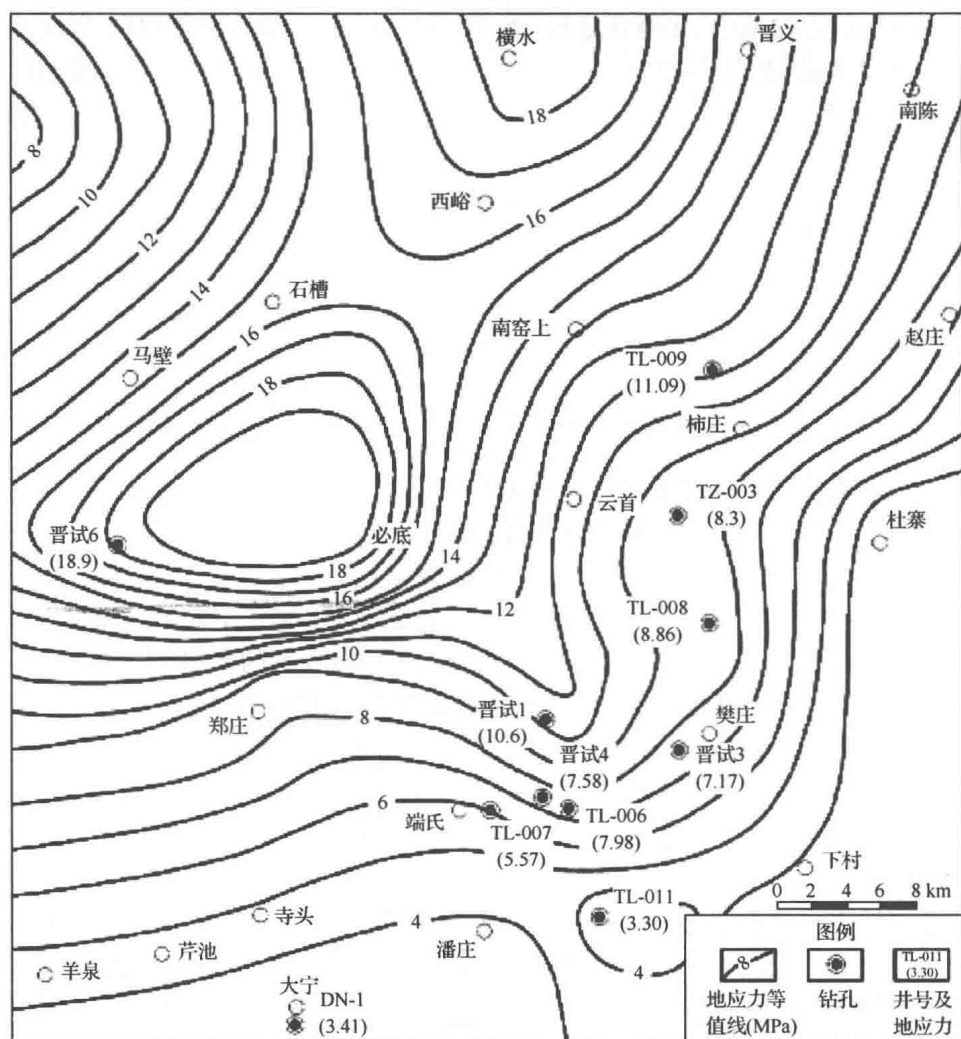


图 1.2 煤层地应力等值线图

地应力方向可通过煤层气勘探开发目标煤层的压裂缝延伸方向判断。沁水盆地南部煤储层压裂缝监测数据统计资料显示,压裂缝延伸方向差别较大,不同煤层气井,甚至同一口井的不同目标煤层压裂缝延伸方向不尽一致(Seidle et al., 1992;何伟钢等,2000),但同一煤层对称压裂缝延伸方向多为近EW向(表1.2)。

表 1.2 樊庄区块及周缘地区煤层压裂缝监测数据统计

地区	井号	煤层号	裂缝方位	裂缝长度/m
屯留	TL-001	3	NW70°	83
			SE70°	41
长子	TL-002	15	NE32°	56
			SE2°	51
潘庄	PZ-1	3	SE60°	80
			NW60°	40
		15	SE85°	70
			NW55°	50
	PZ-2	15	SE75°	70
			NW55°	50
	PZ-3	3	NE180°	127
			NW75°	81
		9	SW45°	87
			NE60°	52
		15	SE15°	131
			NW15°	89
	PZ-4	3	SE10°	93
			NW60°	55
		9	NE55°	83
			SE75°	49
		15	NE55°	125
			NE75°	76
樊庄	晋试 1	3	NE55°	82
			SW55°	65

2. 樊庄区块及周缘中生代构造应力场特征

根据樊庄区块及外围 75 个节理点共轭剪节理的统计分析结果,燕山期构造应力场应力线呈规律性变化,最小主压应力迹线总体呈“S”形。

最小主应力迹线方向在安泽—长子以北呈 NNE 向,以南至沁水—端氏呈近 SN 向,端氏镇以南又呈 NNE 向,阳城以南呈 NE 向。最小主应力迹线方向的变化与樊庄区块 NNE 向褶皱轴走向变化基本一致。喜山运动早期构造应力场的主

应力迹线呈规律性变化,在晋城—沁水以北,最大主压应力迹线呈 NNE 向,晋城—沁水以南及安泽—沁水以西呈 NE 向。

中生代构造应力场及构造变形特征为:印支期近 SN 向挤压应力场产生的近 EW 向褶皱主要分布于南侧;燕山期 NWW—SEE 向水平挤压应力场所产生的 NEE 向褶皱最为发育,遍及全区,规模较大,一般长 10~30km,自南向北褶皱走向呈规律性变化;喜山早期 NE 向水平挤压应力场产生的 NW 向褶皱在区内零星出现,规模较小,一般叠加在 NNE 向褶皱之上,其变形微弱。

3. 樊庄区块及周缘地区结构构造特征

沁水盆地位于山西省东南部,东依太行山隆起,南接中条山隆起,西邻吕梁山隆起,北靠五台山隆起,整体形态为一大的复式向斜构造。樊庄区块位于沁水盆地东南部,沁水复式向斜的翘起端,盆缘以一系列规模较大的断层带与周边隆起带相隔。盆地内部构造变形相对简单,以平行展布、相间排列的次级背、向斜为主,断裂构造次之。地质填图和钻探工程控制的断层走向主要为 NNE 向和 NE 向,倾角普遍大于 60° ,性质以正断层为主。地震解析也发现盆地内存在一系列规模较小的同方向隐伏断层(图 1.3)。

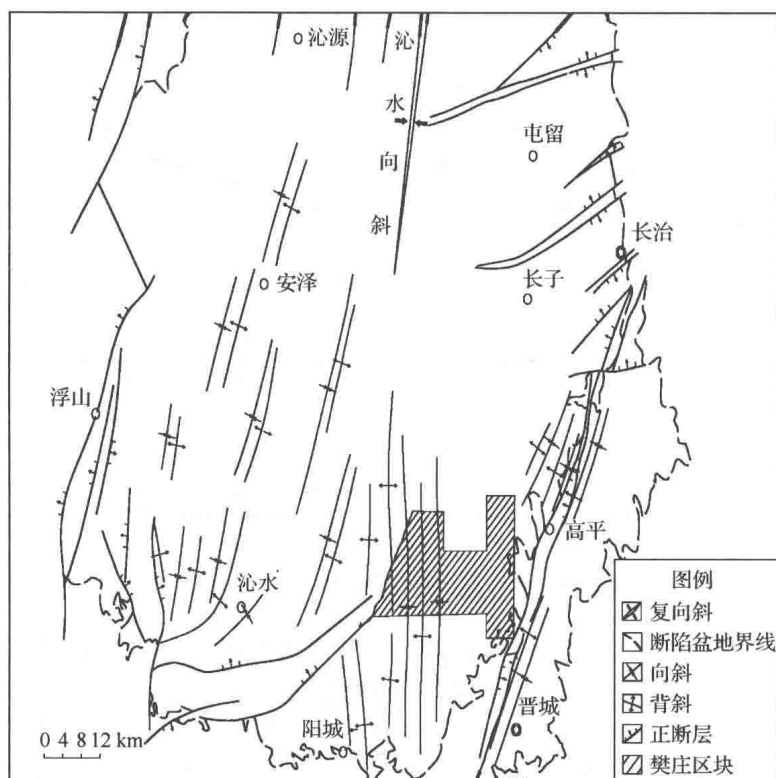


图 1.3 沁水盆地南部构造纲要图