

北京市科委重大科技成果转化落地项目 (编号 Z151100002815004)
国家自然科学基金项目 (编号 41472130)

沁水盆地煤层气水平井 增产机理及排采实践

刘升贵 彭智高 唐松磊 著



煤炭工业出版社

北京市科委重大科技成果转化落地项目 (编号 Z151100002815004)

国家自然科学基金项目 (编号 41472130)

沁水盆地煤层气水平井增产机理及 排 采 实 践

刘升贵 彭智高 唐松磊 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

沁水盆地煤层气水平井增产机理及排采实践/刘升贵, 彭智高, 唐松磊著. --北京: 煤炭工业出版社, 2017

ISBN 978-7-5020-5573-8

I. ①沁… II. ①刘… ②彭… ③唐… III. ①煤层—地下
气化煤气—水平井—油气开采—研究—山西 IV. ①P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 016264 号

沁水盆地煤层气水平井增产机理及排采实践

著 者 刘升贵 彭智高 唐松磊
责任编辑 肖 力
责任校对 尤 爽
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京玥实印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 710mm×1000mm¹/₁₆ 印张 10³/₄ 插页 4 字数 167 千字
版 次 2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷
社内编号 8436 定价 45.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换, 电话: 010-84657880

内 容 提 要

本书以沁水盆地为研究区，从煤层气储层原始渗透率预测模型入手，综合分析了沁水盆地煤层气初始渗透率分布及开发过程渗透率动态变化规律，揭示了煤层气水平井增产机理及产能控制因素，同时还进行了水平井井型优化及适应性研究，提出了煤层气水平井煤粉产出机理及煤粉管控措施，为实现沁水盆地煤层气水平井高效开发提供了理论基础。

本书可供从事煤层气开发方面的科研和生产人员参考，也可作为相关专业高等院校师生的参考用书。



前 言

“十二五”时期，我国实施能源消费强度和消费总量双控制，能源消费总量 4.0×10^{10} t 标准煤，用电量 6.15×10^{14} kW·h，天然气占一次能源消费比重提高到 7.5%，煤炭消费比重降低到 65% 左右。对比国际能源消费结构（天然气占比达 20% 以上），我国天然气发展空间非常大。未来一段时间内，随着经济的发展和改善能源结构政策的实施，中国对天然气的需求将继续保持快速增长的势头。

我国煤层气资源丰富，全国新一轮资源评价结果表明，煤层埋深 2000 m 以浅的煤层气远景资源量为 3.681×10^{13} m³。但我国煤层气勘探开发仍然处于发展初期，煤层气井普遍单井产量低。2011 年、2012 年沁水盆地南部新施工的煤层气井平均单井产气量只有 400~600 m³/d，造成成本效益倒挂。“产量少、利用率低、勘探投入不足、产业发展远低于预期”是目前煤层气产业发展的现状。长期以来，由于开发井型选择不当和排采不善，束缚了煤层气井的产能。目前，我国近 9000 口煤层气井中约有 50% 的生产井因为排采原因致使产能受到严重抑制。如果这些产气井有良好的排采管控，中国当前的煤层气总产量至少可以增加 50% 以上，而总投资却不一定需要增加。

目前的煤层气井型主要有直井、丛式井、多分支水平井、U 型水平井、L 型水平井。其中，直井可以直接使用成熟的石油行业常用的排采泵，包括整筒泵、螺杆泵；多分支水平井、U 型水平井由于有配套的生产直井，也可以直接使用常规整筒泵和螺杆泵。对于

丛式井来说,常规整筒泵和螺杆泵已经无法满足要求,严重的抽油杆偏磨经常造成油管磨穿或者抽油杆磨断的事故,修井便成了日常工作,虽然采用了一些改进措施,但仍然无法克服有杆泵自身的先天缺点,此种条件的设备配套完全无法执行“缓慢平稳降压、避免压力大幅波动”的排采原则。与此类似的是,L型水平井由于无生产直井,无法使用传统的整筒泵和螺杆泵。电潜泵属于无杆泵,但由于其排量过大,无法满足煤层气井小排量的要求。

著者在国家自然科学基金项目“H-M耦合作用下低渗透煤层破裂规律及瓦斯渗流机理研究”(编号41472130)、北京市科委重大科技成果转化落地项目“煤层气丛式井集束连续油管排采系统研制”(编号Z151100002815004)、国家科技重大专项“煤层气井生产动态变化特征和监测技术”(编号2009ZX05038-002)和“煤层气藏开发机理与产能主控因素研究”(编号2011ZX05038-001)的支持下,对沁水盆地煤层气水平井增产机理开展了深入研究,本专著内容为上述项目的主要研究成果。

在煤层气水平井增产机理及排采研究过程中,得到了中石油煤层气有限责任公司、中联煤层气有限责任公司、山西煤层气有限责任公司、中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司、北京奥瑞安能源技术开发有限公司相关领导及技术人员的指导和帮助。借本书出版之际,作者衷心感谢曾给予支持和帮助的各有关单位、各位领导、专家和同仁!

由于作者水平有限,书中不妥之处恳请读者批评指正。

著 者

2016年10月

目次

1 绪论	1
1.1 国内外煤层气研究现状	1
1.2 煤层气水平井技术发展现状	3
1.3 沁水盆地煤层气开发状况	8
2 煤储层初始渗透率预测模型	12
2.1 高斯曲率法原理	12
2.2 构造面曲率分析	15
2.3 沁水盆地高渗区域预测	17
2.4 高渗区与最大主应力差、高斯曲率的耦合关系	21
2.5 沁水盆地 3 号煤层渗透率分布	26
3 煤层气井动态渗透率模型研究	27
3.1 储层渗透率变化特征	27
3.2 煤储层动态渗透率研究基础	28
3.3 煤基质吸附膨胀参数试验研究	32
3.4 Palmer and Mansoori 模型修正	35
3.5 煤层气井驱动能力	38
4 沁南无烟煤渗透率-应力敏感实验	40
4.1 应力敏感性产生机理	40
4.2 实验原理	41
4.3 实验设备及材料	42

4.4	实验方法	43
4.5	实验结果及分析	45
5	煤层气多分支水平井增产机理分析	61
5.1	多分支水平井产能计算模型	61
5.2	多分支水平井产能控制因素研究	64
5.3	多分支水平井增产机理分析	70
6	沁水盆地煤层气产能差异研究	74
6.1	沁水盆地煤层气区块分布	74
6.2	沁水盆地煤层气储层差异性	75
6.3	沁水盆地典型区块煤层气井产能差异性	81
6.4	沁水盆地煤层气藏开发潜力评估	87
7	多分支水平井产能控制因素分析	90
7.1	多分支水平井的产能释放能力和释放速度	90
7.2	多分支水平井产能释放的限制条件	91
7.3	多分支水平井产能控制因素	97
8	水平井完井技术及适应性分析	99
8.1	水平井筒稳定性影响因素分析	99
8.2	沁南多分支水平井技术	104
8.3	水平井水力喷射分段压裂技术	115
9	煤层气水平井排采设备优选	124
9.1	螺杆泵	125
9.2	射流泵	127
10	沁水盆地水平井排采管控实践	140
10.1	大宁区块多分支水平井单井排采实践	141

10.2 潘庄区块多分支水平井井组排采	141
10.3 里必区块 L 型水平井排采实践	145
10.4 水平井排采煤粉管控措施	151
11 本书主要研究成果	156
参考文献	160

1 绪 论

煤层气 (coalbed methane) 又称瓦斯, 是指储存在煤层中以甲烷为主要成分、以吸附在煤基质颗粒表面为主、部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体, 是煤的伴生矿产资源, 属非常规天然气, 是近一二十年在国际上崛起的洁净、优质能源和化工原料。目前, 大多学者认为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。游离状态是指煤层气以气体的状态存在于煤体的裂缝和孔隙之中, 能自由流动, 并具有一定的压力。吸附状态是指煤层气与煤体附着在一起, 当外界条件发生变化, 打破了两种状态的平衡时, 部分处于吸附状态的煤层气就会转化为游离状态 (或者相反)。当煤层强度小于煤层气的压强时, 大量瓦斯就会突出。

煤层气是威胁煤矿安全生产的灾害性气体和引起气候变暖的温室效应气体, 但同时煤层气属优质洁净能源, 发热量高, 热值是通用煤气的 2~5 倍。因此开发利用煤层气既开辟了洁净的新能源, 又可以预防煤矿瓦斯灾害事故、减少甲烷排放、保护大气环境, 具有巨大的经济效益和社会效益。

1.1 国内外煤层气研究现状

1.1.1 国外煤层气勘探开发现状

目前, 煤层气资源的开发已引起了国际社会的高度重视, 世界上一些发达国家, 如美国、加拿大、英国、俄罗斯等国家已先后开展了一系列煤层气的勘探及开发试验工作。

美国是世界上开采煤层气最早和最成功的国家, 其煤层气的开发利用无论在技术水平还是在产业化方面均居世界前列, 因此美国煤层气工业的发展现状, 代表了国外煤层气勘探、开发水平。美国有较丰富的煤层气资源, 估计资源量为 $(1.12 \sim 2.119) \times 10^{13} \text{ m}^3$ 。20 世纪 60—70 年代, 美国矿业局在气体

吸附、解吸、气体迁移及脱气作业方面做了大量的研究工作。80年代初,对全美18个含煤盆地进行了煤层气资源评价工作,从80年代中期起,美国的煤层气工业获得了前所未有的发展,在圣胡安、黑勇士、阿帕拉契亚、拉顿4个中煤阶盆地和尤因塔、粉河2个低煤阶盆地勘探取得突破。经过多年的探索,美国已经形成了一套煤层气地质理论及勘探开发技术,尤其是根据不同煤阶、不同地质条件(特别是不同渗透率),完善了一系列配套的开采技术;针对煤储层特征及煤层气产出机理,革新了一系列保护煤层的钻井及增产技术。欠平衡钻井技术是针对煤储层的脆、软、对应力敏感等特性而采用的一项适合煤储层保护的钻井技术。该技术能避免煤层孔隙系统、渗流系统受泥浆的污染、伤害。欠平衡钻井技术在美国主要采用空气和空气泡沫的钻井方式。

2002年底,全美煤层气生产井已超过14200口,探明煤层气可采储量超过 $1.0 \times 10^{12} \text{ m}^3$,当年煤层气产量已达到 $4.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$,比我国常规天然气产量还高,一跃成为美国重要的能源之一。自2008年达到峰值产量 $5.567 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 后,美国煤层气年产量持续下降(表1-1),2014年美国煤层气产量已降低至 $3.976 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。2014年美国煤层气产量 $3.976 \times 10^{10} \text{ m}^3$,加拿大 $7.2 \times 10^9 \text{ m}^3$,澳大利亚 $1.219 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。2015年美国煤层气 $3.95 \times 10^{10} \text{ m}^3$,加拿大 $8.5 \times 10^9 \text{ m}^3$,澳大利亚 $5.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

表1-1 美国煤层气年产量统计表

年 份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
产量/ $\times 10^{10} \text{ m}^3$	4.570	4.531	4.870	4.904	4.978	4.964	5.567	5.420	5.341	4.992	4.686	4.151	3.976	3.950

1.1.2 国内煤层气勘探开发现状

我国煤田分布广泛,尤其是北方蕴藏着丰富的煤炭资源。根据中联煤层气有限责任公司、中国矿业大学(北京)及国家安全生产监督总局煤炭信息院的预测,我国陆上埋深300~2000 m的煤层气资源量为 $3.1 \sim 3.5 \times 10^{13} \text{ m}^3$,相当于 $4.5 \times 10^{10} \text{ t}$ 标准煤或 $3.1 \times 10^{10} \text{ t}$ 石油,储量列世界第三。

我国近年来在全国各地陆续开展了煤层气的勘探试验工作,但还处于探索阶段。随着国民经济的迅速发展,我国对天然气的需求量逐年增加,仅靠常规天然气的勘探和开发已跟不上国民经济的发展需求,必须寻找非常规天然气资源来补充和替代常规天然气资源。据专家预测,煤层气的勘探开发可视

为 21 世纪替代常规天然气资源最有前景和最为现实的途径之一。

近十几年来,中国在煤层气的研究和试验上开展了大量的工作,在煤层气资源评价、地质理论和勘探技术等方面取得了丰硕成果,在华北、东北的许多试验区取得好的效果。从 20 世纪 90 年代初开始,煤炭、地矿、石油等行业和部分地方政府积极参与了煤层气的勘探试验,许多国外公司也积极投资在中国进行煤层气勘探试验。2015 年,全国煤层气资源探明储量已超过 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$,煤层气地面开采量为 $4.36 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

从 20 世纪 80 年代初开始,我国开展了多次煤层气资源估算和评价,对煤层气地质理论方面有了基本的认识,指导了我国煤层气勘探选区和部署。张建博、王红岩等学者宏观总结研究了我国煤层气赋存的地质控制因素,研究了煤储层特征^[1];叶建平、张子敏等学者对一些典型盆地的煤层气地质特征进行了详细解剖^[2,3];安里千、接铭训等学者对最具商业开发潜力的沁水盆地开展了煤储层的沉积背景与煤体形态、煤级与煤层气类型、气含量与饱和度、煤层渗透率与储层压力、地下水动力学体系等煤层气成藏条件进行了综合研究;一些学者还开展了煤层气地质的专题性深入研究,在煤储层评价、煤化作用与控气机理、煤层甲烷地质演化史的数值模拟、煤层甲烷运移动力学模型、煤层甲烷储层的数值模拟、水文地质条件研究等方面都取得了重要进展^[4,5]。当前,我国煤层气钻井在非煤层段一般采用泥浆钻进,目的层段用清水、优质低固相泥浆或无固相泥浆作为钻井液,防止对煤储层的伤害。大多数煤层气井采用绳索取芯,低温低压固井技术,套管完井,射孔,水力压裂。在煤层气压裂增产技术研究方面,叶建平等进行了煤层气压裂伤害机理研究、压裂液优选研究、压裂施工工艺技术和压裂裂缝监测技术及压裂效果评价方法研究,形成了不同类型水基压裂液配方体系;傅雪海、赵阳升等研究了煤储层深度与渗透性和含气性的关系以及煤储层渗透率的预测理论^[6,7]。

1.2 煤层气水平井技术发展现状

1.2.1 国外煤层气水平井技术现状

世界上第一口煤层气多分支水平井是 1978 年美国内政部资助的一个科研和工程试验项目,它基本的构思构成了后来 CDX 公司多分支水平井技术的基本内核。其基本设计思想是先钻一口直井,然后在离直井不远的地方钻水平

井,进入水平段以后再和直井连通。但由于当时并无现在采用的地质导向技术和矢量磁力导向设备,所有的轨迹计算全靠单点测量来实现,因而未能实现直接连通,而是采用了小型压裂的方式与直井间接贯通。该井水平分支有5个,水平段进尺2909 m。虽然最终未能获得理想产能,但从钻井设计和施工工艺来说该井已经奠定了煤层气水平井技术的基本设计思想。后来几十年煤层气工业应用中的所有水平井部署都没有改变当初这一设计的基本原理。后经多次的技术改造,特别是随着地质导向技术和对接技术的进步,水平井技术在美国和加拿大以及澳大利亚已经成为一种成熟的煤层气开发技术而被广泛应用,在部分特定的资源开发中已经成为主体开发技术。图1-1、图1-2是其中比较常用的结构类型。

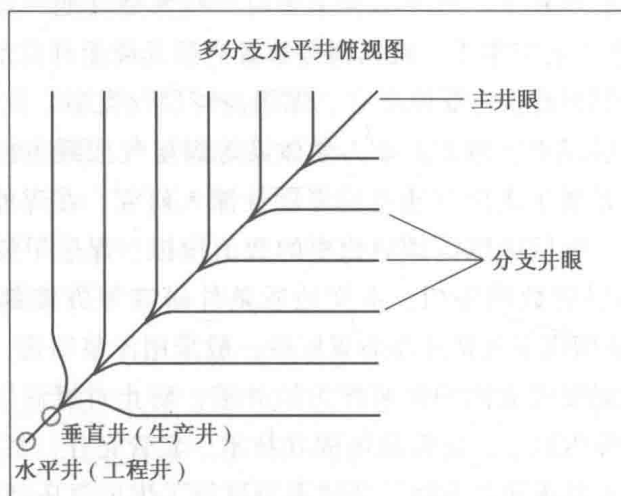


图 1-1 CDX 水平井结构示意图 (摘自 CDX 网站 <http://www.cdxgas.com>)

比较而言,美国和澳大利亚相对应用较多的煤层气水平井开发主要集中在如下两种条件下:

- (1) 煤矿采煤规划区,体现了与采煤计划密切配合的特点,重点发挥了多分支水平井抽采效率高、工程可靠的技术优势。
- (2) 煤层渗透性及压力条件相对较差、直井技术无法获得商业产能效果的地区,有效地使用了水平井技术对储层产能的引导作用。

煤层气井必须采用各种增产技术才能获得经济效益。美国煤层气年产量大

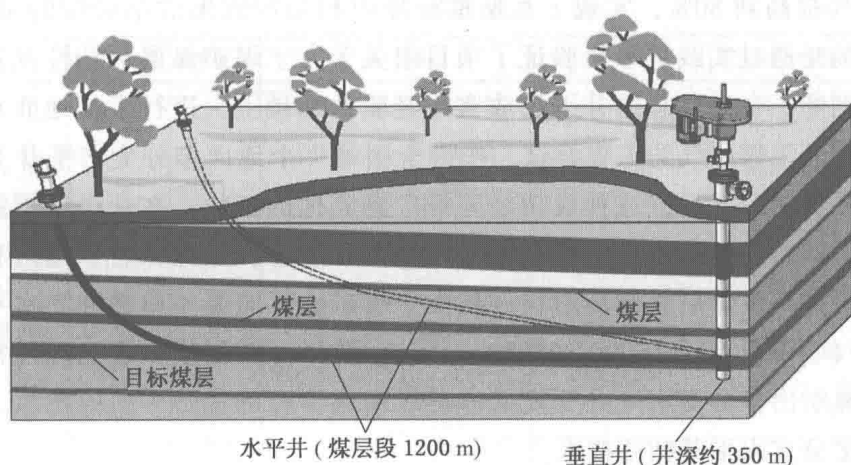


图 1-2 澳大利亚 U 型井示意图 (摘自 Dave Mathew 在 2006 年 SPE 北京会议上的发言)

幅度提高是由于针对不同煤层气藏采用不同的技术：高煤阶低渗区采用定向羽状水平井技术；中煤阶利用水力压裂技术；高渗区中低煤阶采用裸眼洞穴完井技术。基于以下 3 个原因，水平井技术近年来在煤层气开发中逐步得到了推广和应用：

(1) 煤层渗透率低，靠传统的裸眼完井或套管加射孔压裂完井在很多资源条件下都很难获得理想的产气量。

(2) 由于地表条件所限，开发多山环境或居民区地下的资源，传统的直井无法开展，地面的建井与集输工程都很难组织。

(3) 受煤矿的采掘计划制约，需要在短时间内释放掉煤层中的瓦斯，以便进行煤炭安全采掘。

1.2.2 国内煤层气水平井技术现状

与国外水平井技术开发煤层气相比，国内水平井应用明显具有起步晚但起点高的特点。客观上，国外的经验积累及设备工具的使用相对成熟，以及基于国内煤矿安全现实要求，加之水平井具有无可比拟的成效优势，都极大地刺激了煤层气水平井应用的需求。

大宁煤矿全面实施并推广了井下长钻孔瓦斯抽放技术，单孔长度最长达 1002 m。图 1-3 为大宁煤矿井下长壁钻孔钻成的千米水平抽放孔 V-E5S28-5 剖面图。至 2008 年 2 月末，钻孔累计进尺超过 7.9×10^5 m，井下瓦斯抽放率

也从 25% 提高到 80%，实现了瓦斯抽放能力和抽放效果的革命性的突破^[8]。更重要的是通过实践进一步验证了项目组关于大宁煤矿煤层可钻性及瓦斯可抽性的判断。在充分总结井下抽放实践经验的基础上，进行了从地面利用水平井技术开采煤层气的工程尝试，作为全国第一个地面多分支水平井 DNP02 井获得了成功。此后，这种成功经验推广到其他的区块，在获得应用效果积极验证的同时，技术本身也得到了不断完善和进步，从此开启了国内利用多分支水平井开发煤层气的新时代。从大宁煤矿施工的第一口多分支水平井效果来看（目前日产量 15000~25000 m³/d），效果（产气量）远远超过常规直井，也显示出多分支水平井开发低渗透煤层气资源的优势，国内技术人员已掌握了多分支水平井钻井技术。

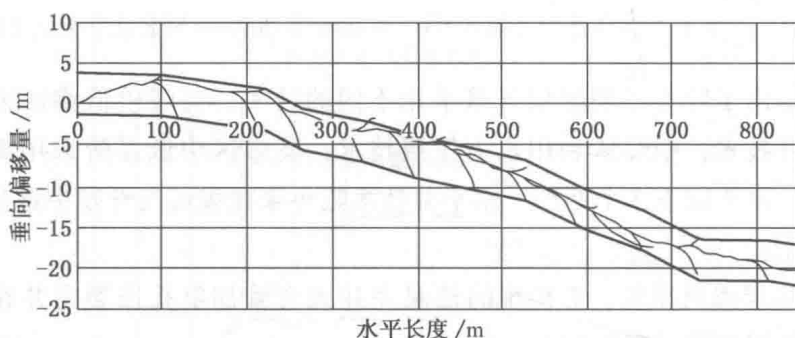


图 1-3 大宁煤矿井下钻孔 V-E5S28-5 剖面图

截至 2016 年 3 月，在国内施工了 440 余口水平井。2015 年水平井贡献了超过 8×10^8 m³ 产气量，具有代表性的煤层气水平井主要分布在沁水盆地南部、鄂尔多斯盆地东缘（表 1-2）。除了极个别特殊原因未完全完成钻井设计外，正常产气的水平井稳定产量超过 10000 m³/d。

表 1-2 中国煤层气代表性水平井钻井情况表（截至 2016 年 3 月底）

时 间	区块位置	井数/口	井 号	开发商	设计与实施者
2004 年 10 月— 2006 年 9 月	山西大宁	6	DNP01、DNP02、DNP03、 DNP05、DNP06、DNP07	大宁煤矿	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2005 年 12 月— 2006 年 6 月	端氏	2	DS01-1、DS02-1	中联煤层气有 限责任公司	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司

表1-2(续)

时 间	区块位置	井数/口	井 号	开发商	设计与实施者
2006年9月— 2007年1月	潘庄	6	PZP01-1、PZP01-2 PZP02-1、PZP02-2 PZP03-1、PZP03-2	亚美大陆煤层 气有限公司	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2005年8月— 2005年10月	宁武	1	WuM1-1	中国石油	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2006年8月	樊庄	1	FP1-1	中国石油	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2007年6月— 2009年3月		45	FZP01、FZP02、FZP03-1、 FZP04 等井组		
2005年12月— 2006年5月	樊庄晋平	2	晋平 2-2、晋平 2-4	中国石油	CDX
2006年8月— 2014年10月	大宁、吉 县、临汾	7	JP-1、桃平 1、2、3 等	中石油煤层气 公司	Weatherford 北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2005年11月	寿阳	1	FCC-HZ01H	美国远东能源 公司	Weatherford
2006年2月		1	FCC-HZ02H	美国远东能源 公司	Weatherford
2006年5月		1	FCC-HZ03H	美国远东能源 公司	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2007年7月	韩城	1	WL01-1	龙门煤层气 公司	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2008—2010年	韩城	10	韩南-平 01、02、03 等	中石油煤层气 有限公司	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2009—2012年	郑庄	70	ZP01、Z4P、ZSP3 等井组	中石油华北油 田分公司	渤海钻探北京奥 瑞安能源技术开 发有限公司
2008—2013年	三交	30	SJP01、SJP02、SJP05、 SJP24、SJP27 等	奥瑞安国际能 源有限公司	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司
2014—2016年	里必	9	郑 5P-01L、5P-02L、 5P-03L 等	山西煤层气有 限责任公司	北京奥瑞安能源 技术开发有限公司

1.3 沁水盆地煤层气开发状况

1.3.1 浅部地层的钻井、压裂、排采技术体系

山西的沁水盆地煤层气资源超过 $6 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 适合集中大规模开发。沁水盆地在开发技术方面, 针对煤储层独特的地质特征, 通过不断地理论研究和现场试验应用, 初步形成了适应浅部地层的钻井、压裂、排采技术体系。

1. 钻井技术

针对沁水盆地高阶煤低渗透性、低储层压力的特点, 形成了以空气钻井为核心的直井钻井技术、以高精度地质导向和充气欠平衡钻进为核心的多分支水平井、U型井钻井技术、L型井钻井技术以及以定向钻进为核心的丛式井钻井技术。为了更好地保护煤层气资源、提高钻井效率和成功率, 在清水钻井液的基础上, 形成了可降解钻井液、生物酶可解堵钻井液、无固相活性盐水钻井液等钻井液体系。

2. 压裂技术

针对沁水盆地高阶煤的物理、力学特性, 形成了以活性水、大排量、中砂比为核心的煤层气井水力压裂技术体系。近年来, 发展了多种应用于煤层气井压裂改造的技术, 如针对煤层顶底板及夹层进行压裂改造的间接压裂技术、针对可酸化煤岩形成的潜在酸压裂技术、针对压裂裂缝堵塞形成的解堵性二次压裂技术、针对二次压裂效果不明显的煤层气井进行的煤层气多脉冲压裂技术以及液氮压裂技术等。

3. 排采技术

针对沁水盆地煤层气井排采过程中易因煤粉伤害和应力敏感伤害而导致产量锐减等难题, 通过多年的煤储层伤害机理与煤粉产出机理研究及大规模排采实践, 形成了以控压(合理的工作压差)-控粉(适度的煤粉产出率)-定压排采(拟定井底流压)为核心的排采技术体系。

总体来看, 沁水盆地南部 700 m 以浅的区域直井、水平井均取得了商业化开发, 打破了国外高阶煤储层产气缺陷的定论。其中, 沁水盆地南部潘河区块直井平均单井产量居国内第一, 其开发技术处于世界先进水平; 浅部区域多分支水平井、低渗透水平井分段压裂、构造煤顶板水平井压裂等先进技术也取得较好的效果。