

张彦平 何湘清 金建新 等译
张福祥 杨昌龙 杨代睿 等校

国外煤层甲烷气 开发技术译文集



石油工业出版社

京)

3

国外煤层甲烷气开发技术译文集

张彦平 何湘清 金建新等 译
张福祥 杨昌龙 杨代睿等 校

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了国外关于煤层甲烷气资源开发技术的最新论文 34 篇,内容包括煤层甲烷气井钻井技术、水平井技术、完井技术、测井和试井技术、环境保护技术等。本书所收集的论文较全面地反映了国外煤层甲烷开发技术的最新进展,可供从事煤层甲烷钻井与开发的广大技术干部和科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

国外煤层甲烷气开发技术译文集/张彦平等译.
北京:石油工业出版社,1996.12

ISBN 7-5021-1865-9

I. 国…

II. 张…

III. 煤层, 甲烷-天然气开采-技术

IV. TE 375-83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 21229 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

地矿部河北地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 19 印张 480 千字 印 1—1000

1996 年 11 月北京第 1 版 1996 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1865-9/TE·1573

定价: 29.00 元

序

国外视煤成气为重要能源,并把煤层做为石油新的勘探目标。如前苏联从顿巴斯煤田中探明了 46 个油气田,并发现天然气、凝析油和煤交替分布;澳大利亚石油科研工作者获得从煤可产生大量石油的科学证据;美国圣胡安含煤盆地中有 19 个层组产原油、凝析油和天然气,并已在该盆地打油气井 15000 余口,预计美国到 2000 年煤成(层)气产量可达 $8495 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。前苏联能源专家预言:将来西伯利亚石油和天然气储量耗尽后,开发当地的煤成气为合理选择,美国也正推行勘探开发煤成气新能源战略。

国外勘探开发煤成气技术有六个发展趋势:(1) 勘探开发煤成气(包括试验性开发、示范项目和煤成气商业性生产)的规模有增大趋势;(2) 煤成气井深增加,因煤埋藏越深,形成甲烷的熟化特性越优;(3) 煤成气钻水平井数增加,因水平井单井不压裂时煤成气产量高出直井压裂井的 4 倍;(4) 煤层气井压裂工艺技术有进步,美国能源部和矿业局研究和实施了一种名为 kiel 的压裂法,增产效果显著;(5) 研究煤成气井投产前快速排水技术;(6) 发展煤原地气化技术,因每吨煤可产瓦斯气 12m^3 左右。

勘探开发煤成气有五项技术关键:(1) 煤层取心技术;(2) 煤层安全钻井技术;(3) 煤层小井眼水平钻井、完井技术;(4) 含水煤层钻井和排水技术;(5) 煤层原地气化钻井、固井、完井技术。

煤成气勘探开发的有利条件是(1) 煤层气勘探成功率较高;(2) 瓦斯储量易于预测;(3) 煤成气井实施增产措施比油气井易见效;(4) 煤成气井寿命长。

我国鄂尔多斯、华北、黔西、四川、塔里木、准噶尔、松辽、东海和吐哈等地区均有丰富的煤层,从第三系、侏罗系、上三叠系到石炭系、二叠系等分布着八套煤系地层,尤其是吐哈盆地具有开发煤成气的丰富资源。研究表明,吐哈盆地所产天然气组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 普遍较重,具有煤成气的特征。吐哈盆地原油主要来自中下侏罗系煤层及煤系泥岩,下侏罗系有多层厚煤层。如勤 3 井钻遇煤 81 层,煤层累计厚度达 481m,单层最大厚度达 27m。

为了开辟新的资源接替领域,吐哈油田钻井工艺研究所组织出版《国外煤层甲烷气开发技术译文集》,该译文集收集了近 10 年来美、澳、苏三国关于煤成气方面的论文和报告,涉及 10 个方面的技术:(1) 煤层煤岩学及物化性研究;(2) 煤层孔隙压力、破裂压力、坍塌压力及井身结构研究;(3) 煤层钻井工程设计;(4) 煤层钻井液技术;(5) 煤层安全钻井技术;(6) 煤层固井、完井技术;(7) 保护煤层钻井技术;(8) 煤层地质综合评价技术;(9) 专用设备与工具;(10) 井控、防腐与环境保护技术。该译文集文献多、内容全,是煤成气钻井好的译文专辑,它的出版,将对煤层钻井工程的研究人员、施工人员有帮助,对我国实施新能源战略有重要的参考价值。

李尧同

1996 年 5 月 21 日于北京

目 录

Black Warrior 盆地漏失地层的气液混合钻井技术	1
煤层甲烷井的设计	8
用于煤层气资源开发的水平井钻井技术	15
水平钻井:一种具有发展前景的新技术	28
美国西部盆地采用不同的作业方法	34
先进的定量钻井液录井系统	40
利用地球化学测井全面评价煤层	46
改善煤层分级的一种测井新方法	57
煤层甲烷气井完井技术的发展历程	64
煤层气藏应用的不同完井方法	68
煤层气藏的完井方法	72
空穴完井的机理和适用性研究	83
煤层气井裸眼空穴完井技术的优化和评价	92
对新墨西哥 San Juan 盆地的裸眼空穴完井和下套管水力压裂完井方法的对比研究	106
多煤层完井的模拟研究	115
亚拉巴马州 Black Warrior 盆地 Cedar Cove 油田的完井方法对比	128
美国新墨西哥州和科罗拉多州圣胡安盆地 Fruitland 煤层甲烷井的完井、装备和作业	135
使用挠性油管降低煤层甲烷气井的完井费用	145
亚拉巴马盆地的煤层压裂优化处理	152
通过水力压裂方法提高煤层甲烷气的采收率	160
煤层甲烷气井压裂过程中的液体漏失	168
Book Cliffs 煤田深煤层的甲烷气开采	174
煤层甲烷气开发面临的技术难题	181
段塞试井在煤层甲烷测试中的应用	189
新煤层井的压降试井	200
煤层甲烷气井注入/压降试井的设计和解释	210
用两相试井工具确定地下煤层的相对渗透率	221
煤层甲烷气在环境保护中的重要性	231
亚拉巴马州 Cedar Cove 脱气煤田采出水排放的长期生物监测	239
煤层甲烷气井采出水的处理方法评价	251
利用离子交换法对 Fruitland 煤层采出水进行处理	261
一项采出水处理综合评价和实施的	275
有关降低美国煤矿甲烷排放量可行性的综合评价	289
煤层甲烷气能否真正改善波兰上西里西亚地区的环境	294

Black Warrior 盆地漏失地层的气液混合钻井技术

S. L. Graves 等

张彦平 罗梅玉 译

张福祥 校

摘 要

在 Black Warrior 盆地煤层气井的钻井过程中,存在钻穿高渗透性断层或裂缝的可能性,这些裂缝带(有时是断层)含有大量的水,当用空气作为钻井介质时,在处理这些地层水的过程中,就会产生很多问题。当用钻井液进行旋转钻井时,又存在着漏失问题。在这种情况下,常规漏失材料已经被证实是无效的,而且是昂贵的。不仅如此,堵漏材料还极大地降低了煤层的二次有效渗透率,严重地限制了气井潜在的最大煤层气产量。如果井眼条件比较理想,那么,解决问题的一个比较经济的办法是用空气钻井,直到地面回收储液罐充满地层水为止。随后,改用常规钻井液继续钻进,直到地表储液罐用空为止。交替使用空气和液体钻井液,直到打完这口井为止。

Black Warrior 盆地含煤地层的地质结构资料已证实有大量断层和裂缝存在。在这一地区或具有相似水力和地质条件的其他地区,气液混合钻井技术已经被证明是有效的。最近,这一技术已被 TRW 公司成功地用于亚拉巴马州 Tuscaloosa 县的煤层气井中。

引 言

在美国的几个地区已经实施了以提高利润为目的开采非常规能源——煤层气的勘探开发项目,其中最活跃的地区是亚拉巴马州的 Black Warrior 盆地(图 1)。在这一盆地已经钻了很多口约 3500ft (1067m)^① 深的煤层气井。由于含煤地层的沉积历史,这些井通常钻穿几组煤层。因为多层煤层具有较大的生产潜力,这刺激作业者把每口井都钻到最深的煤层,以求能开采各个煤层。

和其它钻井作业一样,煤层气井也经常遇到渗透性断层和裂缝体系,有些断层和裂缝含有大量的水。州和联邦法律都禁止钻井液池外溢,当大量水产出之后将无法使用空气钻井,这样,就会产生严重的资金问题,使原本利用空气钻井保持低投入的初衷难以实现。

当尝试了大量解决产水问题的方案之后(包括不成功地应用堵漏材料阻止漏失层和挤水泥作业等),找到了一种用空气和钻井液交替进行钻井的技术。迄今得到的结果是令人鼓舞的,这种方法能更经济地钻完具有这些问题的煤层气井。

产水的原因

亚拉巴马州的 Black Warrior 盆地有大量的断层和裂缝体系,其中许多与阿帕拉契亚 Appalachian 造山运动有关(如图 2)。这些断层的大多数是西北走向,并且有高达几百英尺的垂直移动。有一种不常见的断层呈东北走向,东北走向的断层比西北走向的断层有更少的垂直位移。大

^① 1ft = 0.3048m。



图1 在亚拉巴马的 TRW Deerlick Creek 井场位置

多数的断层是正常的,但在盆地东部也有一些逆断层存在,这些逆断层总是与大地构造凸起相联结,比如 Sequatchie 背斜和 Birmingham 复背斜。这些断层的特点是在毗邻和远离断层面几码远的地方有发育很好的相向和逆向裂缝体系。除了这些含有裂缝的断层之外,在固结岩石中还存在一些延伸的节理网络,这些裂缝与阿帕拉契亚造山运动过程中存在的应力有关,与断层没有直接关系。节理间的间隔在几英寸到几码之间变化,裂缝可能是相对较开阔的,或者是良好发育的断裂,或者是几乎不被注意到的有效密闭的裂隙。

虽然许多断层由于矿化作用或被颗粒很细的断层泥封闭或关闭着,但是一些断层和与它们相联结的裂缝体系仍然具有良好的二次渗透性能。尽管节理体系通常在 300ft 以下深度能有效关闭,但是,它在裂缝聚集带也可能含有大量的水。在固结岩石中,由于粘土、页岩和较差分选的杂砂岩的存在,一次渗透性很低。地层水的运移主要发生在裂缝性岩石中的二次渗透性地带。

在为 TRW 公司的 Deerlick Creek 项目(图 3)钻煤层甲烷井的过程中,钻遇了几个每分钟产 300gal 高矿化地层水的裂缝带。若没有安全的国家污水排放控制系统,亚拉巴马州石油天然气委员会的法规 and 环境保护组织将禁止进行地层水的地面处理。因此,必须找到一种方法尽可能地减少需要处理的水量,交替钻井液技术能成功地减少过多水的产出。

设备和技术

Deerlick Creek 项目的钻井承包商 Graves 钻井公司用的是一台带有空气冲击锤的常规空气旋转钻机。在进行空气钻井的过程中,配有一台排量 1200ft³/min、压力 350psi 的轻便空气压缩机。已钻完的几口井没有产水问题。然而,在海湾地区 26-12(#3)井和 J. D. Jobson 26-7(#6)井,钻遇了产水的裂缝地带(如图 4、图 5)。26-16(#3)井在 1541ft 钻遇了每分钟产

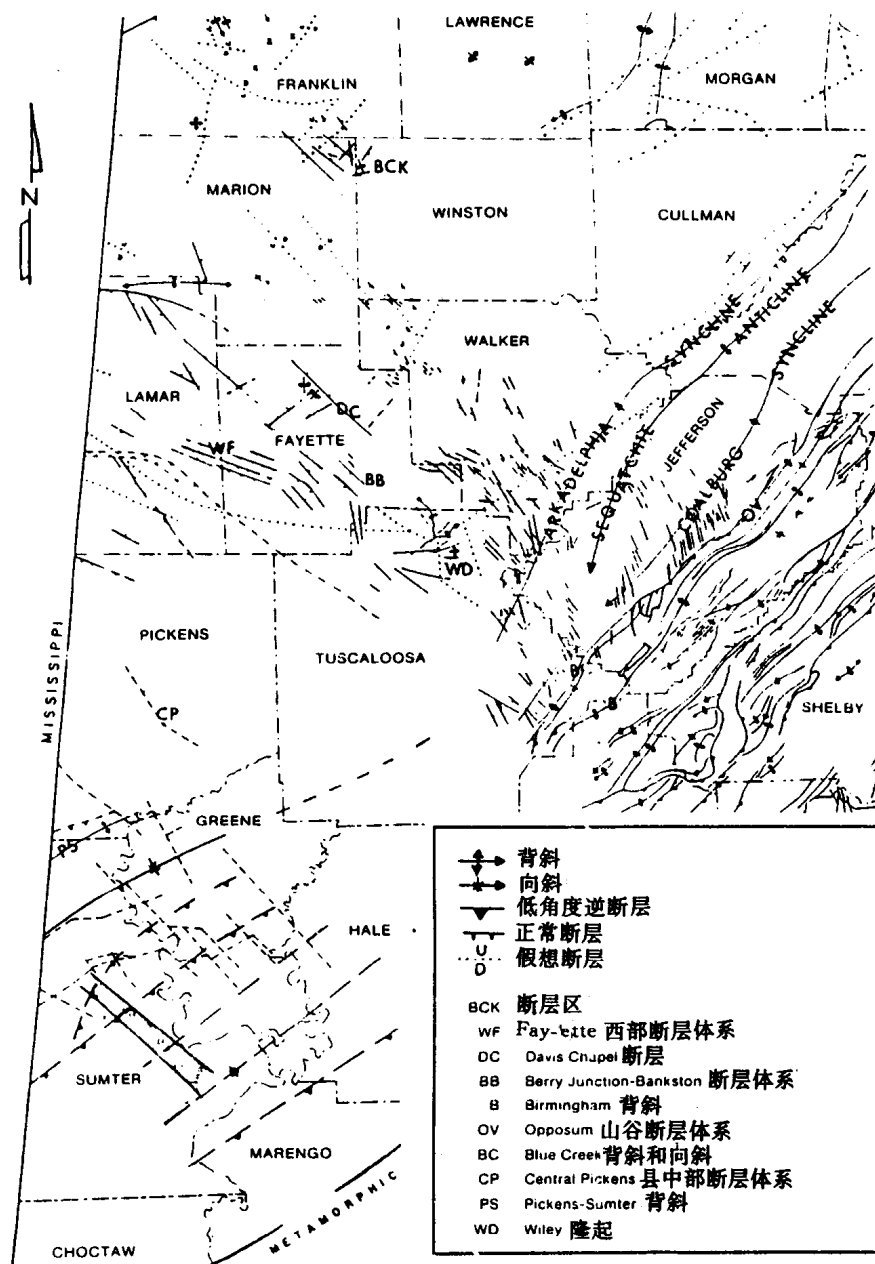


图2 亚拉巴马中西部地质结构特点

300gal 水的裂缝地带(如图4)。这些水的溶解相含量为 9764mg/l,为避免钻井液池溢流需要暂停钻井作业。当变换成常规泥浆后,用三牙轮钻头继续钻进。然而,当遇到严重的漏失层时,钻进又被停止,这时,开始使用几种常规的堵漏材料,但收效甚微。于是进行了一次水泥作业,耗用 A 级水泥 140 袋,水井继续钻进到 1590ft 处,又钻遇了另一个水裂缝体系,或者可能是最初的挤水泥工作失败,钻进被迫中止。又进行了两次挤水泥作业,一次用 150 袋 A 级水泥浆,一次用 300 袋 A 级水泥,均混有堵漏材料,然后井继续钻进到 1662ft 处,在这里又遇到产水问题。在 1662ft

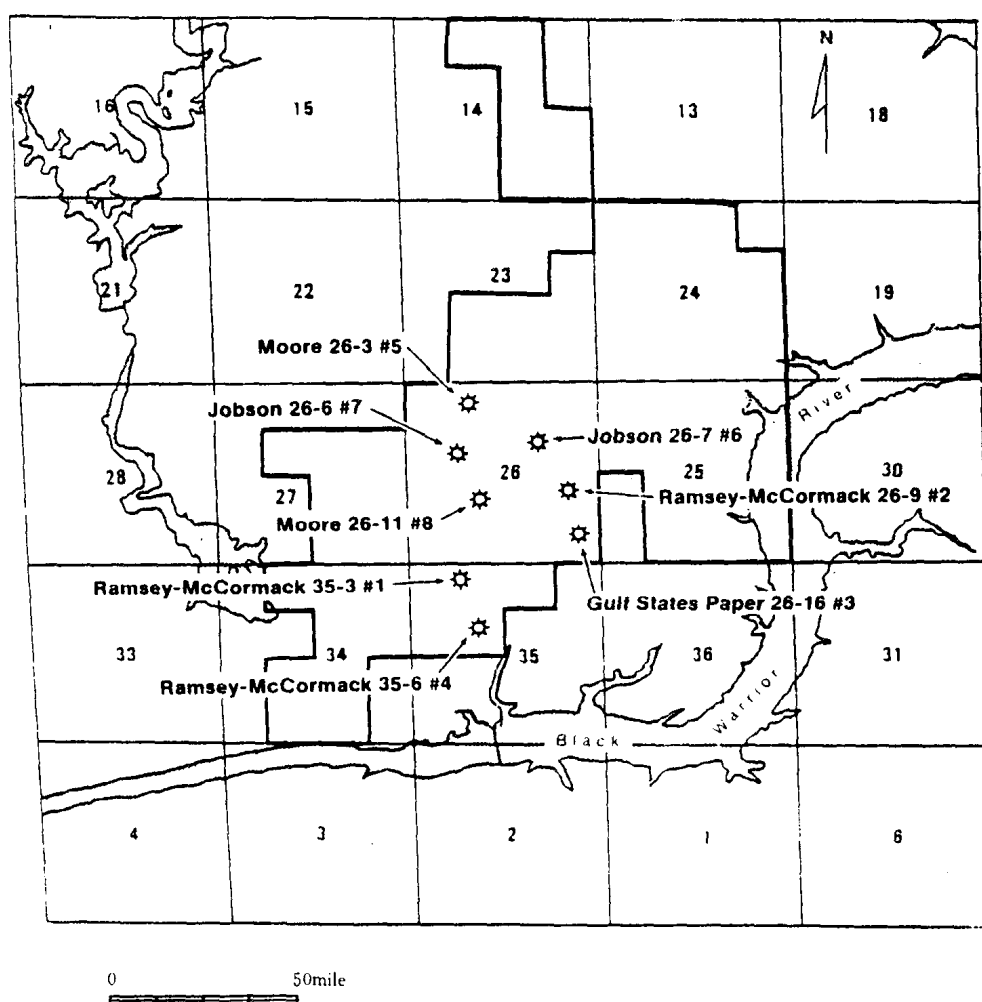


图3 亚拉巴马 Deerlick Creek 井位

和 1882ft 之间,钻遇了另一条裂缝,进行了 2 次经调整的挤水泥作业。在 1820ft 处,又出现产水问题,不得不暂停钻进。这时,决定将井眼回填到 1500ft 并且测试上部层段。

从 26-16 (#3) 井搬家到 J. D. Jobson 26-7 (#6) 井后,开始应用如图 5 所示的程序进行钻进。直到在 2108ft 钻遇一个每分钟产水 200~300gal 的裂缝体系时,才出现了同样的产水问题。

在回顾以前一些井所出现的问题之后,决定采用一种不同的方法解决产水问题。该技术包括:用空气钻井直到地面储水罐充满为止,然后改用液体钻井。在用地面储存水继续钻进时,液体将通过井眼内的裂缝带渗漏到地层中,直到地面储存水耗完为止。然而,在用液体钻井期间,没有液体循环返出。一些辅助设备,包括空气增压机、泥浆泵和两个 500bbl 的储液罐将搬运到井场。开始时,需要 700~800psi 的空气压力放空井眼,钻进时需要 400~500psi 的空气压力。一旦用空气钻井,在地表面储罐充满之前,大约能钻进 160ft。此时开始转换成液体钻井,大约钻进 70ft,无液体循环到地表。用这种交替钻井方法重复两个周期就钻完了这口井。用该方法钻进耗时 36h,钻速为 5min 钻进 1ft,总井深 2559ft。这样,用该方法成功地解决了处理地表水的问题,节省了挤水泥作业、堵漏材料和过多钻井时间的消耗。对于岩层性能较好的井可以使用这种技术,

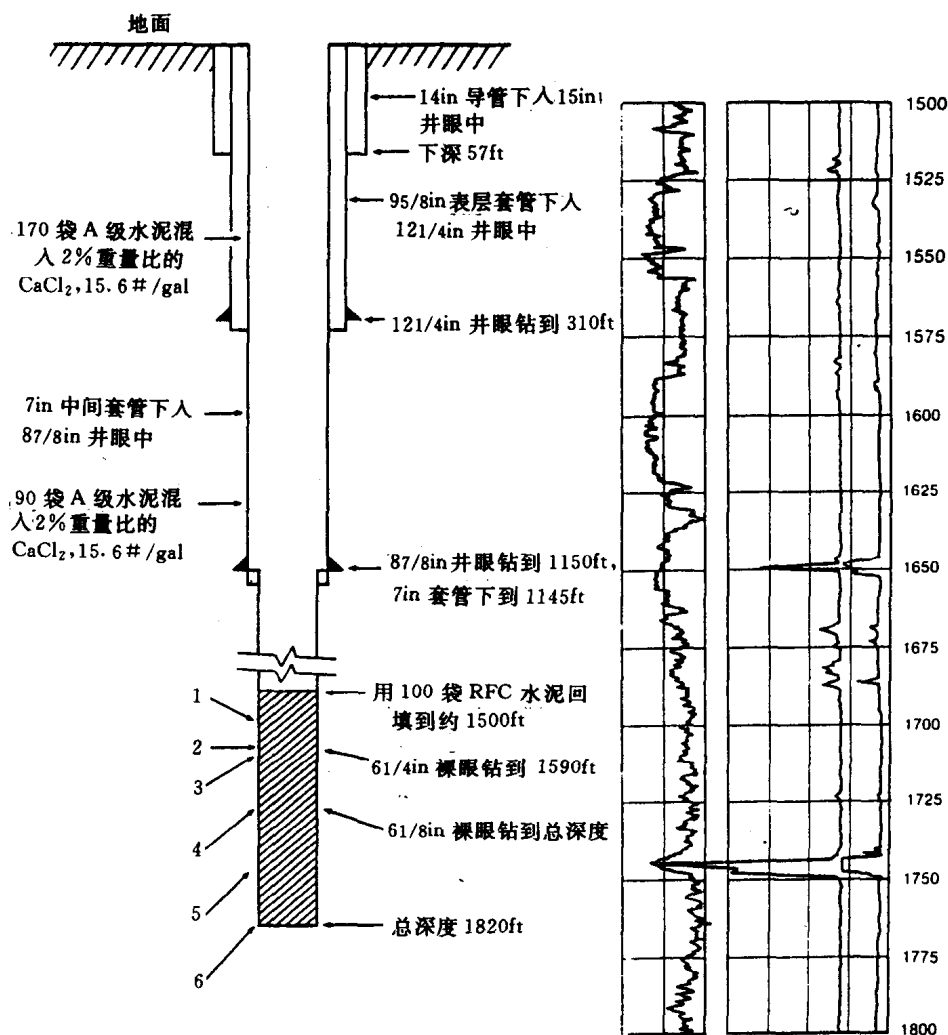


图 4 Deerlick Creek 海湾 Paper 26-16 #3 井

- 1—挤水泥区域:1540ft,用了 140 袋水泥;2—挤水泥区域:1590ft,用了 150 袋水泥和堵漏材料;
3—挤水泥区域:1590ft,用了 300 袋水泥和堵漏材料;4—挤水泥区域:1662ft,用了 100 袋 RCF 水泥;
5—挤水泥区域:1750ft,用了 100 袋 RCF 水泥;6—挤水泥区域:1820ft,用了 10 袋 RCF 水泥

且不会导致严重的冲刷或其他损害。

对 J. D. Jobson 26-7(#6)井应用这一技术的过程和结果进行评价之后,决定在海湾地区 26-16(#3)井也应用这一技术。这口井已进行一些测试,钻井作业于星期二(1984 年 1 月 31 日)开始,用 6 1/8 三牙轮钻头和空气钻井水泥塞,钻进 20ft 后,遇到出水问题,继续进行空气钻井

① $1\text{ft}^3 = 0.0283\text{m}^3 = 0.1589\text{bbl}$;

② $1\text{psi} = 6.8947\text{kPa}$;

③ $1\text{gal(美)} = 3.78543\text{L}$;

④ $1\text{in} = 0.0254\text{m}$ 。

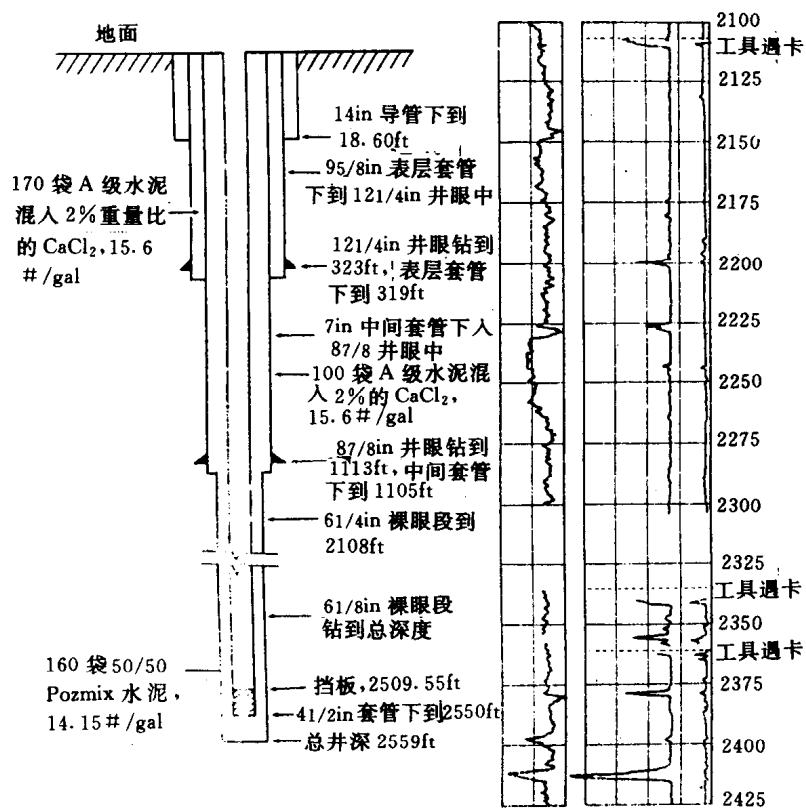


图 5 Deerlick Creek Jobson 26-7 #6 井

直到地表储水罐被充满为止, 然后开始用液体钻井。该井用了 3 个循环周期, 61h 的钻机时间, 大约钻到 1090ft。该井使用的这一技术有些微小的变化, 但这口井已成功地钻到 2535ft, 而且井眼只产生了很小的损害。

结 果

这两口井所得到的结果大不相同。在 26-16 (#3) 井, 常规堵漏材料和挤水泥作业十分昂贵, 而且无法钻完该井; 在 26-7 (#6) 井和 26-16 (#3) 井, 应用气液组合钻井技术进行钻井, 已经证明是经济、简单和成功的。这两口井的成本如表 1 所示。

表 1 钻井技术的经济对比

类	井 别 费 用 型	海湾地区 26-16(# 3)	海湾地区 26-16(# 3)重钻	海湾地区 26-16 (# 3)总费用	JOBSON 26-7(# 6)井
钻 机	搬家	500.00	500.00	1000.00	500.00
	进尺	27109.25	12756.00	39865.25	33378.30
	工作时间	73900.75	3040.00	76940.75	28659.50
	泥浆、添加剂	22404.03	630.00	23034.03	965.91
辅助 设备	泵 增压机 大钳	13419.83	2436.64	15856.47	10138.45
	钻 头	9712.31	3000.00	12712.31	5298.74
固 井	套管	3890.37	4452.96	8343.33	12806.94
	挤水泥	14677.58	—	14677.58	10266.46
	套管	9702.42	7884.50	17586.92	15737.90
其 他	水运输	6529.40	400.00	6929.40	2615.13
	测井	3648.77	1256.62	4905.39	4436.53
	特殊服务	465.00	—	465.00	—
	打捞	6997.90	—	6997.90	8324.49
	TRW 监督	16937.00	1696.00	18933.00	8238.00
	总计	209894.61	38052.72	247947.33	141366.36

结 论

从两口煤层气井钻进过程中,可得到以下几点结论:

- (1)如果延伸的裂缝体系被钻穿,将大量出水。
- (2)混有堵漏材料的常规泥浆体系在这种情况下控制漏失是无效的。
- (3)常规堵漏技术在解决这些问题时是不经济的。
- (4)挤水泥封固裂缝地层在控制大量水侵和循环漏失方面是不经济的。
- (5)在 Black Warrior 盆地宾夕法尼亚系岩层中的井眼通常要求裸眼和未受污染。
- (6)应用空气和液体组合钻井技术可以经济地钻完一口井,而且对井眼几乎没有什么损害。

译自 SPE/DOE/GRI,12873

煤层甲烷井的设计

B. D. Hughes 等

金建新 李振红 译

杨代睿 校

煤层有许多独特的性能,这些是在煤层甲烷井设计和施工过程中必须考虑的。本文分析了许多这种煤层地质和储层性能以及它们怎样影响钻井、完井的开采设计。

本文的许多研究和数据分析是根据气体研究学会(GRI)资助项目得到的。由气体研究学会资助的研究工作历来有两个主要目的,一是确定美国陆上估计的 $11.3 \times 10^{12} \text{m}^3$ ($400 \times 10^{12} \text{ft}^3$) 甲烷气储量能经济地开采出多少,二是确定最有效的开采方法是什么。

在煤层甲烷开采项目的最初设计阶段,为了进行钻井、完井和开采的优化设计,有几个关键参数(许多是煤层甲烷特有的)是必须估计的。有几个参数可在钻井之前估计,但初钻井和完井作业必须设计合理,以便收集其它未知参数,并进一步提高资源评价精度和改进开发策略。

影响煤层甲烷井生产的最重要的参数有压力、渗透率、气体储量、吸附时间和吸附等温线5个。为了确定这些参数,在煤层甲烷开发项目中第一批井的设计是个关键。为了优化钻井(防止发生气涌、井眼坍塌和地层损害)和完井设计(裸眼或下套管完井),预测选择人工举升方式时的产气和产水量以及地面设备设计,必须初步确定这些参数。

煤层具有特殊性,它既是源岩(产生生物成因或热成因的甲烷),又可能是(但不总是)这种气体的储层。作为甲烷的源岩,可以估计煤层的位置和储量,但气藏的位置却很难预测。作为一个有经济价值的气藏,煤层首先必须含有足够的气量,必须有适合于产气的渗透率,对一定的气藏量还要有足够的压力。最后,煤层吸附时间和等温线参数也必须满足经济开采气体的要求。

压 力

水文压力状态影响着煤层甲烷井设计的许多参数。例如,在各级煤层中压力增高,气体储量增大,而气体储量又是随煤层级别变化的(图1)。在某一给定系统压缩系数下的欠饱和煤层气藏中,气藏压力决定了在大量甲烷解吸附前必须产出的水量。理想的气藏压力和气体储量的综合值应落在吸附等温线上(气体饱和的气藏条件)或者落在吸附等温线上方区域,这样产水量最少。

煤层气藏通常是欠饱和的,这些参数综合值落在吸附等温线下方,因此要求产出大量的水,以使煤层有效地降压。在圣胡安盆地,最好的煤层气井位于超压区,压力梯度为 $0.55 \sim 0.60 \text{psi/ft}$, 储层条件下的煤层气体量与解吸附压力时的气体量非常接近。在这里,不需要进行大量的储层脱水和降压就可采气。如果压力增大是由承压状态(artesian)引起的或因为压力增大导致压力梯度减小,则压力增大可能是渗透性的标志。用地层泥浆比重图能确定渗透性超压地区。

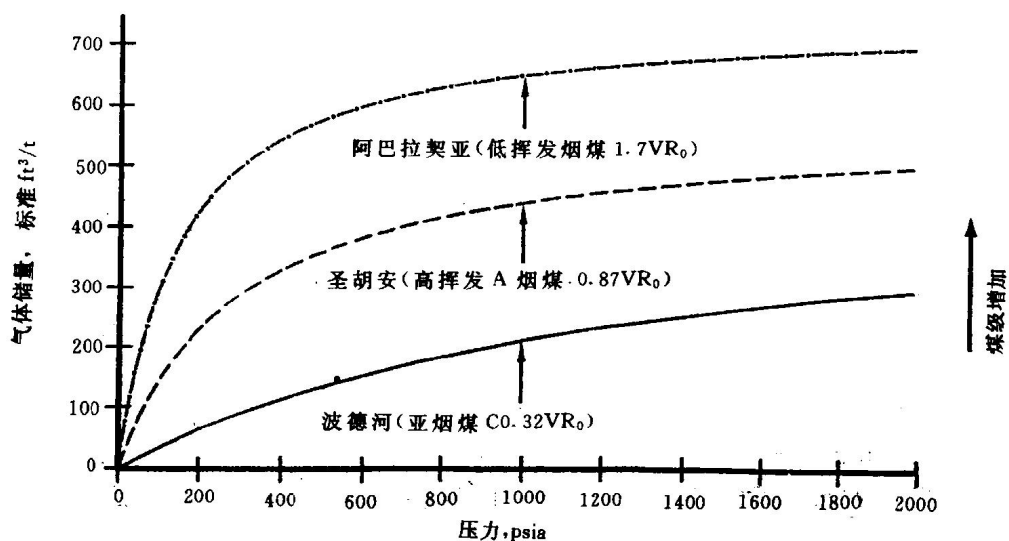


图 1 实际条件下的吸附等温线比较

随压力增大，气体储量增大；而气体储量也随着煤级的增加而增大

渗 透 率

选择人工举升系统和地面生产设备、及确定其尺寸，预测产液速度必须先确定渗透率。典型的煤层存在着天然裂缝，其中垂向间距小、横向延伸的裂缝叫面劈理。垂直于面劈理的不太明显的一组天然裂缝叫端劈理，这种劈理也存在于大多数煤层中（图 2）。

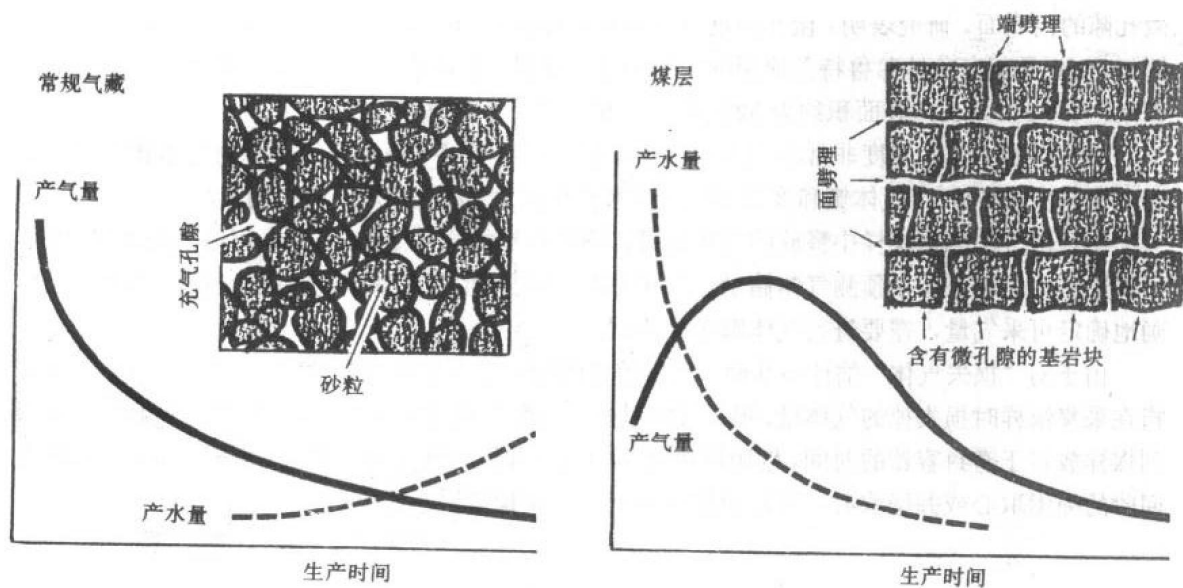


图 2 常规气藏开采与煤层气开采对比

因为煤层基岩的固有渗透率通常较小,所以一个有经济价值的气藏要求有发育良好、连通的劈理系统,其最小渗透率要求大于 1mD。仅这个要求就排除了许多其他的远景地区。

预测渗透率增强区域的地质技术,如构造曲率和地貌分析技术并不都是成功的。构造曲率分析一直不适用于圣胡安盆地的几个区域,因为缺乏大的构造,另外,地貌与最佳产气区之间的对应关系也是有限的。

因为没有明确的方法预测或估计渗透率,因此,这个基本参数最好在下套管前通过中途测试(DST)或者在一口完成的井中进行常规压力不稳态测试来确定。由于煤层的天然裂缝性质,用岩心试验来确定渗透率是不成功的。

在钻井、注水泥和完井作业中煤层容易受到损害,因此建议在钻过煤层之后和注水泥之前,立即进行中途测试。为了简便,也可以用标准分析技术,推荐进行密闭腔(Closed Chamber)试验。

一种简便、经济的井眼测试技术——逐步测试(Step test)已经有效地用于浅煤层甲烷井(不超过 1000ft),尽管该技术对浅煤层有效,但它的探测范围有限,不能探测井眼附近损害区之外的地方。逐步测试方法就是对一定静液面的井,注入或采出一定体积的水,监测其压力变化,直到达到平衡(静煤藏压力)为止。

根据单井测试或中途测试确定的渗透率值应作为下限,因为这样得到的值可能有一定比例的相关性,可能随着样品的尺寸增加而增大。另外,最新研究已经表明,当煤层被开采时其渗透率可能增大。

气体储量

形成特大煤层甲烷气藏的一个关键因素就是煤层可以储存的气体量。劈理系统或天然裂缝系统中的游离气通常不到总气量的 10%,而绝大多数的气体以单分子层状态物理地吸附于煤层微孔隙的内表面。研究表明,微孔隙度占煤层总孔隙度的 80%以上,具有相当大的内表面积⁽¹⁾。例如,11b 圣胡安盆地弗鲁特兰地层的中等挥发性烟煤,孔隙度为 2%,固定碳含量〔无灰无水(DAF)〕75%,其内表面积约为 325000ft²,相当于 7 个足球场。

尽管煤层的总孔隙度非常小(1%~3%),但物理地吸附于微孔隙内表面的气体储量相当于一个孔隙度为 20%、气体饱和度为 100%(水饱和度为 0)的常规气藏的储量。

用物理方法测量煤样中释放的气体量可以确定煤层的气体储量。有时也可以根据煤级、质量和煤层压力的相互关系预测气体储量。煤级越高,煤层产生和吸附甲烷的能力越强。然而,为精确地确定可采气量,需要进行气体解吸附测试。

由于对“损失气体”估计不准确,气体解吸附测试也可能导致测试错误。“损失气体”就是指在采集煤样时损失掉的气体量。损失气体量是时滞和解吸附速度的函数,时滞指从解吸附开始到煤样放置于密封容器的时间,解吸附速度又是温度和压力变化的函数。使用压力取心,全部可回收的绳索取心或井壁取心,可以使估计的损失气体量错误率最小。

11b=0.453592kg。

吸附等温线

吸附等温线描述煤层在不同压力下通过吸附储存甲烷的能力(图1),它是煤级(煤级越高,内表面积越大)、储层压力、地层温度和储层水分含量的函数。如果实验室条件与储层条件不相同,等温线特性就会发生很大的变化,因此,在储层的温度和水分含量条件下确定吸附等温线是很重要的。

吸附等温线通常是在与地下储层条件相差很大的情况下确定的。用这种等温线预测产量和计算储量可能不太精确。用吸附等温线可以预测在什么压力下气体开始从煤层解吸。另外,可以根据储层枯竭压力估计采收率。

吸附时间

吸附时间定义为从煤样中采出63%的甲烷所需的时间,它代表了甲烷从煤基质扩散进入劈理系统的时间。正如所估计的那样,吸附时间对颗粒尺寸极为敏感,颗粒尺寸越小,吸附时间越短。

假设储层有合适的气体储量,吸附时间短导致初始产气速度高(图3),吸附时间长导致产气速度先是逐步增大,然后又逐渐减少。尤宁堡王一些烟煤和弗鲁特兰中挥发性烟煤的吸附时间少于1d,而宾夕法尼亚一些烟煤的吸附时间超过80d。

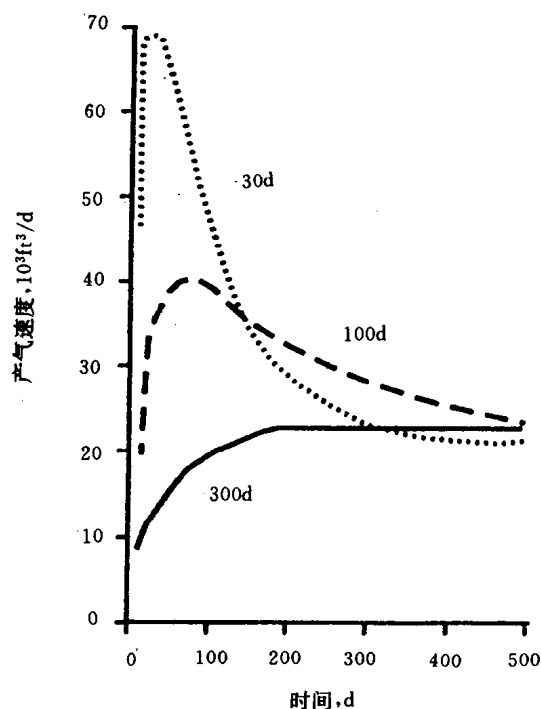


图3 产气速度对吸附时间的敏感性
假设储层有合适的气体储量,吸附时间短导致初始产气速度高

生产特性

常规气藏的气体层流流动用达西定律描述,而从煤藏中采气起作用的有三种不同的机理:

- (1) 当储层压力降到低于解吸附压力时,甲烷从煤层微孔隙的内表面解吸附。
- (2) 当甲烷从高浓度区通过煤基质向低浓度区扩散时形成了浓度梯度。
- (3) 煤层中邻近劈理系统的区域是甲烷浓度最低区,这里的气体按达西定律向井眼运移。

一口煤层甲烷井的生产阶段可以用图4中的吸附等温线解释。点A显示的是原始欠饱和和储层条件,从点A至点B是排水降压过程,井眼产出水和溶解气,点B称作吸附压力,在该点产气量迅速增加,点C是销售管线压力。

由于吸附等温线的非线性性质, 储层压力降低 1075psi (85%), 相应地可能采出储层中 50% 的甲烷气。压力再降低 150psi 至点 D, 可再采出 40% 的储层气。D 点是关键的一点。因为必须使非线性的等温线压力降低并保持在一个很低的水平上, 才可采出较多的气体。如果一条等温线更接近于直线 (如图 1 中的波德河盆地的煤层等温线), 又有合适的气体储量, 则在井眼寿命早期可生产出更多的气, 或者说压力下降 85%, 可采出 80% 的气。

另外, 煤层井的产水量变化很大, 在井眼寿命早期会产出大量的水, 以后产水量相对减少, 在某些情况下产水量保持不变。这主要和人工举升系统的尺寸和类型有关系。

对所有煤层甲烷井具有相似深度和相似储层条件的地区进行调查表明, 使用的游梁抽油机从较大的 912S 型到较小的 160S 型都有。如果应用优化完井技术, 有可能需要优化抽油机的尺寸, 把 912S 型抽油机尺寸减小, 或是让 160S 型抽油机不举升足够的液体以便使储层有效地降压。建议所选择的举升系统应能保持液面低于射孔位置, 使平均储层压力快速地降低。

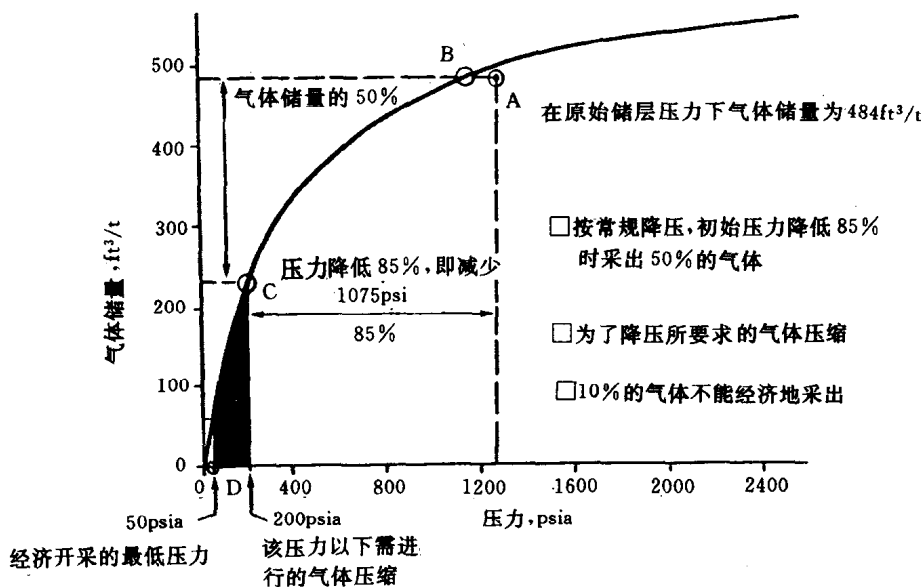


图 4 弗鲁特兰煤的吸附等温线
点 A 显示的是原始欠饱和储层条件, 点 C 是销售管线压力

煤的机械性能

煤藏的机械性能与常规气藏有很大的区别。具体地说, 煤的平均杨氏模量只是 500000psi, 而其它岩石的杨氏模量通常大于 2000000psi。煤的泊松比一般比典型的其他岩石大。另外, 各向异性的泊松比是煤层的特性之一, 这是由劈理系统造成的。煤的抗拉和抗压强度也比大多数其他岩石低, 这对水力压裂设计有直接的影响。除了由于杨氏模量较低使产生的裂缝较宽外, 煤层与边界层之间存在的杨氏模量差别可能对设计的压裂作业有一定程度的不利影响。如果希望进行成功的强化作业, 必须考虑与通常水力压裂设计中经常遇到的弹性特性显著不同的这些特点。

煤是一种抗压和抗拉强度较低的脆弱介质。强度最高的煤是亚烟煤和无烟煤, 随着储存气体能力的增加 (从高挥发性 B 煤到低挥发性烟煤), 强度迅速降低 (如图 5)。这一点对井眼设计和