

延川南区块煤层气丛式井钻完井工艺技术

王 运 海

(中国石化华东油气分公司 勘探开发研究院 江苏 南京 210011)

摘 要: 为了实现延川南区块煤层气的经济高效开发,根据工区储层物性和地貌特征,选择较平坦的地区布置井场,采用丛式井组进行煤层气开采。基于延川南区块的丛式井开发特点,详细分析了“井工厂”钻完井工艺技术在丛式井开发中的应用,重点从平台井数优化、钻井顺序优化、井间防碰处理、钻机移动装备、钻井液重复利用及离线测固井几方面对“井工厂”作业模式进行深入剖析。现场统计结果表明,采用“井工厂”资源共享模式实施丛式井组钻完井作业可整体提升煤层气井的钻井速度和质量,单井钻完井周期平均 9.25 d,单井钻井周期平均 7.64 d,机械钻速平均 17.16 m/h,实现了煤层气的低成本、高效、规模开发。

关键词: 延川南区块;煤层气;丛式井;井工厂;钻完井工艺

中图分类号: TE37; TD712

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2016)05-0023-07

Drilling and completion technology of coalbed methane cluster wells in Yanchuannan Block

Wang Yunhai

(Research Institute of Exploration and Development, East China Petroleum Company, SINOPEC, Nanjing 210011, China)

Abstract: In order to realize an economic and high efficient development of the coalbed methane in Yanchuannan Block, according to the reservoir physical properties and geomorphic features of the block, a flat area should be selected for the layout of the well site and the cluster well group would be applied to the coalbed methane development. Based on the development features of the cluster wells in Yanchuannan Block, the paper in detail analyzed the "well factory" drilling and completion technology applied to the cluster well development. Emphasized on the well number optimization of the platform, optimization of drilling sequence, collision protection treatment between the wells, equipment of the drilling rig, repeated utilization of the drilling liquid and offline logging and cementing aspects, a deep analysis was conducted on the "well factory" operation mode. The site statistic results showed that the application of "well factory" resources joint sharing mode to implement the drilling and completion operation of the cluster wells could wholly improve the drilling speed and quality of the coalbed methane wells. The drilling and completion period of a single well was 9.25 days in average, a drilling period of a single well was 7.64 days in average and the mechanical drilling speed was 17.16 m/h in average. A low cost, high efficiency and large scale development of the coalbed methane was realized.

Key words: Yanchuannan Block; coalbed methane; cluster wells; well factory; drilling and completion technology

0 引 言

丛式井,即在有限的井场范围内钻多口方向各异的定向井(其中也包含直井),每口井以不同的走向方式到达目的层,常应用于海上钻井平台、农田沼

泽等复杂地形条件,可用来开发渗透率较低或厚度较薄的油气储层^[1-2]。丛式钻井源于海洋油气开发,由于海洋钻井平台面积有限,开发成本昂贵,故而逐渐形成了这一低成本的批量化钻井技术^[3]。“井工厂”作业是丛式井普遍采用的钻井模式,该模

收稿日期: 2016-03-20; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2016.05.005

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41530314); 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05034)

作者简介: 王运海(1975—)男,湖北荆州人,高级工程师。Tel: 18911537873, E-mail: wyunhai@126.com

引用格式: 王运海.延川南区块煤层气丛式井钻完井工艺技术[J].煤炭科学技术, 2016, 44(5): 23-29.

Wang Yunhai. Drilling and completion technology of coalbed methane cluster wells in Yanchuannan Block [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(5): 23-29.

式主要通过来回移动钻机顺次钻开不同井的同一层位来提高钻井作业的效率,实现工厂化、批量化钻井^[4-5]。

随着非常规能源煤层气工业的迅速崛起,丛式钻井这一经济高效的钻完井工艺技术在高成本的煤层气勘探开发工程中得到广泛的重视和应用。2013年,中石化华东油气分公司(以下简称华东分公司)在山西延川南区块全面开展了第1个煤层气田5亿m³产能建设项目,由于延川南区块地表山峦起伏,沟壑纵横,难以采用常规开发井网进行布井。为响应煤层气“低成本运作”的勘探开发要求,笔者优选丛式井组进行延川南重点区的煤层气开发,以期通过“井工厂”钻井方式实现煤层气开发。

1 区域地质概况

延川南区块位于鄂尔多斯盆地东缘南部,构造相对简单,整体为一走向北东-北北东、倾向北西的单斜构造。区块中部发育的两条北东向逆断层,规模较大,东南部发育1条北东向的正断层,断裂多呈北东-北北东向展布,与区域构造方向一致(图1)。区块内的主要含煤地层为太原组和山西组,主采煤层为山西组2号煤层,属于贫煤-无烟煤,厚度较大(3~8 m),含气量较高(6~20 m³/t),埋深较大(600~1700 m),分布稳定,受控于埋深、煤阶等因素影响,煤储层具有低孔隙度、低渗透率的特点^[6-7]。

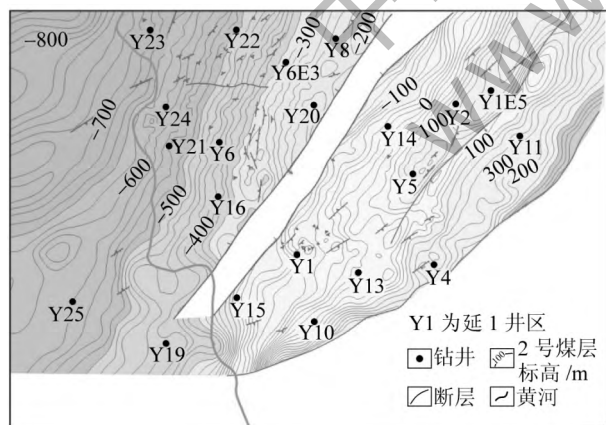


图1 延川南煤层气田构造纲要图

Fig. 1 Structure outline map of southern Yanchuan CBM block

2 井身结构及井眼轨迹设计

丛式井组中各单井的井身结构和井眼轨迹是否合理决定着后期生产开发的成败^[8]。定向井在丛式井组中占有数量最多,其剖面类型和特点主要依

照地层条件而定。对于延川南区块丛式井组中的定向井,绝大多数采用的是直-增-稳三段制剖面,井眼轨迹设计参数主要考虑造斜点、井斜角及造斜率^[9-10]。

2.1 井身结构

延川南区块丛式井组中的直井及定向井普遍采用二级井身结构,即一开使用直径311.1 mm的钻头,钻至基岩时要轻压慢转,防止井斜;钻入刘家沟组稳定基岩约20 m后完钻,然后下入直径244.5 mm的表层套管,注水泥封固;二开使用直径215.9 mm的钻头,穿透太原组10号煤层后,再向下约60 m完钻,然后下入直径139.7 mm或133.9 mm的生产套管,固井水泥返至最上部目的煤层以上200 m。

2.2 造斜点

由于延川南区块不同地区煤层上覆岩层的稳定性及均质性差异显著,为此定向井的造斜点位置选择应权衡考虑各地质及工程要素的影响。

1) 造斜点尽量选择在稳定性较强的地层中,注意避开容易发生漏失、破碎或坍塌等事故的岩层。

2) 造斜点尽量选择在均质性较强的地层中,注意避开含有夹层数量较多的岩层。

3) 造斜点选位时,应尽量使斜井段处于方位自然漂移较小的地层中。

4) 除以上地质要素外,造斜点位置的选择还应结合定向井的井身结构特点及满足后期排采工艺的需求。

2.3 井斜角

延川南区块定向井实钻资料显示:在井斜角过小的情况下,斜井段的井眼方位易发生漂移,难以按照预定的井眼轨迹前进;在井斜角过大的情况下,由于转盘转矩增大,定向扭方位工作开展难度增加,加之极易发生的井壁坍塌事故,后续的固井、完井及测井作业难以正常实施。此外,排采主要考虑的是井斜对螺杆泵抽油杆偏磨的影响,井斜角越大则抽油管偏磨越严重。延川南区块内已完钻的定向井最大井斜角多集中于22°~35°,在满足地质方案要求的前提下,延1井区排采试验井组中定向井的最大井斜角要求小于35°。

2.4 造斜率

参照定向井的井身质量控制标准,对于煤层气定向井,其造斜率可定为4.5°/30 m或5°/30 m。延川南区块为提高钻进效率,以5°/30 m的造斜率进行定向井钻进作业,现场施工结果表明,这一造斜率

对于区块地层特性,定向井完钻成功率及煤层气排采开发等具有良好的适用性和保障性。

根据井眼轨迹各项参数设计要求,对延 1 井区区块中某四井数丛式井组进行设计(表 1),造斜点优选在 120~230 m,相邻造斜点相距 30 m 以上,造斜率为 $5^{\circ}/30\text{ m}$,设计目标点垂深为 950 m,完钻井深为钻至目的层后留 60 m。

表 1 某四井数丛式井组井眼轨迹参数设计^[11]

Table 1 Design of trajectory parameters for cluster group with four wells

井号	井深/m	造斜点/m	最大井斜角/ $(^{\circ})$	每 30 m 造斜率/ $(^{\circ})$
A-1	1 068.96	170	22.91	5
A-2	1 071.58	200	23.96	5
A-3	1 068.96	170	22.91	5
A-4	1 071.58	200	23.96	5

3 “井工厂”作业技术

“井工厂”模式是用较小的井场部署较多数量的井,针对同一平台上的多口井进行流水线式的批量化作业,从而保证了各井之间工序连续无间断。应用“井工厂”作业技术进行丛式井组钻井,大幅提高了设备利用率,减少了设备重复搬迁次数,节约了钻井液用量,有效缩短了建井周期,对于实现煤层气低成本开发运作及资源环境的可持续发展具有深远的意义。

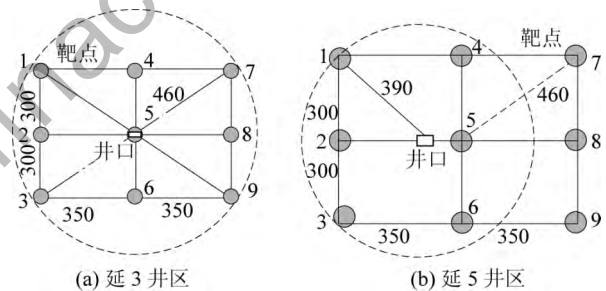
3.1 平台井数优化

确定丛式井单平台所控井的最大数量,应在遵循轨道设计原则的前提下,先利用反演法求得各个单井在地层中的最大辐射范围,继而计算得出优化单平台井数。以延 3 和延 5 井区为例,两井区均采用 $350\text{ m}\times 300\text{ m}$ 矩形井网布井,数值模拟分析表明(表 2),对于延 3 井区,当靶点垂深为 1 280 m、井斜角为 34.98° 、造斜点深为 500 m 时,可控范围为 470 m,如果平台选择在某个井位上时,可达到控制井数最大 9 口,然而在平台的平台选择中会遇到多种因素的干扰,因此延 3 井区单平台井数可控制在 4~7 口井(图 2a);对于延 5 井区,当靶点垂深为 850 m、井斜角为 34.74° 、造斜点为 180 m 时,可控范围为 390 m,如果平台选择在某个井位上时,可达到控制井数最大值 6 口井,结合井网间距,延 5 井区单平台井数可控制在 4~6 口井(图 2b)。

表 2 丛式井组轨道参数

Table 2 Trajectory parameters of cluster well groups

井区	井号	靶点垂深/m	井斜/ $(^{\circ})$	造斜点深/m	靶点位移/m
延 3 井区	1	1 280	32.48	630	350
	2	1 280	34.98	500	470
	3	1 280	31.91	700	300
	4	1 280	34.98	500	470
	5	1 280	0	—	0
	6	1 280	34.98	500	470
	7	1 280	31.91	700	300
	8	1 280	34.98	500	470
	9	1 280	32.48	630	350
延 5 井区	1	850	31.89	350	250
	2	850	35.67	210	380
	3	850	34.74	180	390
	4	850	34.98	290	316
	5	850	32.26	250	316
	6	850	31.54	590	100



注: 1—9 为井号; 300、350、460 为井间距 m。

图 2 延 5 井区和延 3 井区布井示意

Fig. 2 Well arrangement in well block Yan 3 and Yan 5

从延 3、延 5 井区平台井井眼轨道优化计算结果可以看出(表 2),单平台可部署的井数主要取决于目的煤层埋深及排采工艺对井斜角的要求这两项关键参数,在目的层埋深一定的情况下,如果排采工艺能够放宽对井斜的要求,单平台可部署井数将进一步增加。截至 2014 年 12 月,延川南煤层气田产能建设部署平台 144 个,累计钻井 808 口,平均单平台钻井 5~7 口。

3.2 钻井顺序优化

确定丛式井组各井之间合理的钻井施工顺序,不仅能够减少不必要的进尺和防碰绕障工作,提高钻井质量,而且能够合理的提前进行生产组织和规划,提高生产运行效率。当一个平台上部署多口井时,地质上所提供的信息只有井口和靶点坐标,在进

行钻井顺序设计时需要确定井口和靶点如何相互对应,此时应当满足的基本条件为各个井口与靶点的连线投影到水平面上时,彼此不能相交,并且还要使得其水平位移平方和最小。

钻井顺序优化的具体步骤如下^[12]:第一步是判断任意两井的井口与靶点的连线投影到水平面上时是否相交;假设第 j 口井的井口坐标为 (x_j, y_j) ,第 i 口井的井口坐标为 (x_i, y_i) ,两口井对应的靶点坐标为 (x_{jt}, y_{jt}) 、 (x_{it}, y_{it}) ,如果 $\frac{y_{jt} - y_i}{x_{jt} - x_i} = \frac{y_{it} - y_j}{x_{it} - x_j}$,则将结果保留为待优选的井口和靶点;如果 $\frac{y_{jt} - y_j}{x_{jt} - x_j} = \frac{y_{it} - y_i}{x_{it} - x_i}$,则需进一步判断交点是否在两条投影上,设交点为 (x_0, y_0) ,约束条件为

$$\begin{cases} (x_0 - x_1)(x_0 - x_2) \leq 0 \\ \dots \\ (x_0 - x_{n-1})(x_0 - x_n) \leq 0 \\ (y_0 - y_1)(y_0 - y_2) \leq 0 \\ \dots \\ (y_0 - y_{n-1})(y_0 - y_n) \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中: n 为不同的井编号。如果式(1)成立,重新换另一口井,将该井的井口坐标与靶点1的坐标按上述同样方式计算,当式(1)不成立时,则将结果保留为待优选的井口和靶点。

第二步是保证井口和靶点连线的水平位移平方和最小;利用约束模型式(2)对上述保留的待优选井口和靶点进行计算,从而最终确定各个井口与靶点的相互对应关系。

$$d = \min \sum_{i=1}^N [(x_{it} - x_i)^2 + (y_{it} - y_i)^2] \quad (2)$$

式中: d 为井口与靶点连线水平、位移平方和的最小值; N 为待优选的井口和靶点组合数。

然而,上述钻井顺序优化方法适用于平台井数较少的情况,当平台布井数量较多时,通常是先把处于不同位置的井口和靶点分割成若干区域,各区域内的井口数量与靶点数量相对应,可通过全排列来计算,之后再分别确定每个井口与靶点的对应关系。

进行丛式井“井工厂”作业施工时,平台与部署井之间通常有2种位置关系^[13-14]:

1) 当平台位置处在部署井的一侧时,钻井施工的顺序应当与钻机移动的先后顺序保持一致(图4a)。

2) 当平台位置处在部署井的中间时,可根据平台与部署井的相对位置关系进一步分割成若干区域,以保证各扇形区域内的井位均受到控制(图4b)。

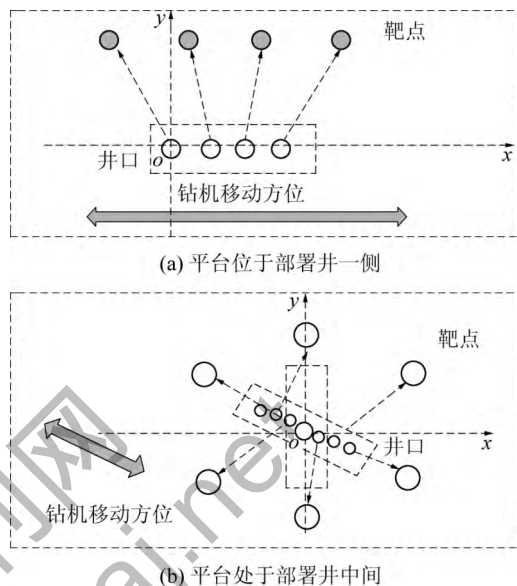


图3 不同平台和部署井位置条件下的钻机移动方式

Fig. 3 Moving mode of the drilling rig when the platform is in different directions of arranging wells

在平台场地允许的条件下,根据轨道长度,钻井顺序又大致分为3类^[15]:

1) 若有效轨道长度能够允许钻机移动至任一井口的位置,则可以采用先顺次一开,再顺次二开的钻井顺序(图4a)。

2) 若有效轨道长度仅允许钻机向前移动一口井的距离,则可以采用 $2N$ 组合形式,如图4b所示)。

3) 若有效轨道长度允许钻机向前移动两口井的距离,则可以采用 $3N+2n$ 组合(其中: $n=0,1,2,3,\dots$)(图4c、图4d)。

3.3 井间防碰

井间防碰是丛式井组钻井过程中需要重点关注并对待的事项,一般通过“预防+防治”相结合的方式来实现。

1) 设计预防“预放大”设计。“预放大”设计指的是从源头上降低各定向井之间并眼轨迹相碰的概率,即在遵循井位部署原则前提下,使平台上所有井的井口和靶点连线呈辐射发散状分布,在进行单井并眼轨道设计时,尽可能在直井段用较小的造斜率($3^\circ \sim 5^\circ/30\text{ m}$)提前造斜(表3),以达到单井之间的井间距提前放大的目的,这也为并眼轨迹的后期调

整营造了较为有利的条件。

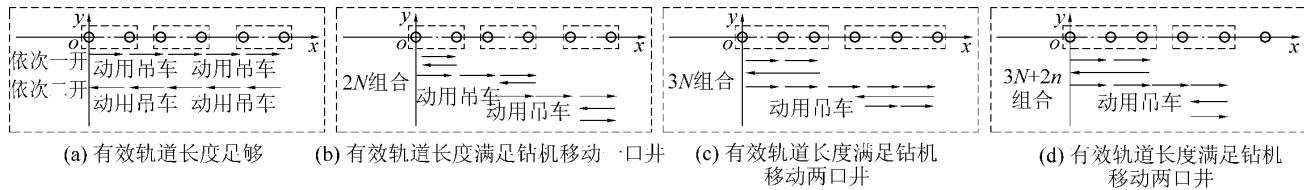


图4 不同轨道长度条件下的钻机移动方式

Fig. 4 Moving mode of the drilling rig in the condition of different track lengths

表3 井口间距“预放大”关键参数

Table 3 Key parameters for the “pre-magnification” of wellhead spacing

井号	预造斜点 深/m	预造斜方 位/(°)	每30 m造斜率/ (°)	最终井 倾角/(°)
井1	170	60.02	3	28.30
井2	200	119.98	3	30.69
井3	170	240.02	3	22.91
井4	200	299.98	3	23.90

2) 实时防治: 及时反馈, 及时调整。根据地质设计的井位与靶点坐标进行井眼轨迹设计, 在实钻过程中及时追踪井眼轨迹的走向, 利用 navigate、compass 等相关专业分析软件对反馈回来的井眼轨迹参数进行评估, 依据防碰评估分析采取相应的钻井方案调整和改进措施, 以保证各定向井在不发生碰撞事故的情况下安全成功地钻达目的层位。

3.4 钻机移动装备

“井工厂”作业模式对钻机的配置具有更高的要求, 在原有钻机配置的基础上, 要求钻机底部安装有滑动轨道, 可实现钻机的整体、快速前后移动, 以满足平台上多口井依次一开、固井, 依次二开、固完井的操作流程。延川南煤层气田 5 亿 m^3 产能建设启动后, 优先引进轨道钻机, 对无滑轨装置的钻机进行针对性的轨道安装。工区钻机大部分采用棘轮棘爪式移动装置(图5), 该套装置主要由液压动力源、操作箱、导轨总成、棘轮式棘爪总成、管路总成组成,



图5 棘轮棘爪式移动装置

Fig. 5 Moving equipment of ratchet and detent type

每次可步进 500 mm。

3.5 钻井液重复利用

丛式井组的“井工厂”作业模式采用相同开次对多口井相继进行的钻井方式, 因此只需在施工该开次的第一口井时配置相应的钻井液体系, 在对后面的井进行该开次施工作业时, 所用的钻井液基本与之前所配体系相似, 故只需对钻井液稍加维护即可, 这样一来便使得钻井液的重复利用效率大幅提高^[16]。

延川南区块在“井工厂”批量钻井前, 用生产水配制 60 m^3 膨润土浆并充分水化 24 h, 以此作为一开的钻井液, 第一口井一开钻完后, 调整好钻井液性能, 准备下一口井的一开施工, 以此循环直至完成平台所有井的一开钻进。二开采用采钻井液在一开基础上加入 0.6% CMC-LV 材料, 并用 PHPA 调整黏度; 对定向井进行造斜前, 向钻井液中按周期加入 1% 的润滑剂并用 NH_4HPAN 调整黏度; 在大斜度井段的施工钻进时, 根据井下摩阻及时向钻井液中补充润滑剂, 保持泥饼摩阻系数小于 0.09, 以预防粘卡。在保持井眼稳定的前提下, 尽量减少钻井液处理剂的种类, 并且充分利用固控设备, 清除有害固相, 保持较低的钻井液密度^[17]。

钻井过程中对固控设备的要求较高, 在现有二级固控设备的基础上配备 1 台离心机, 以确保钻井液在应用于 1 口或多口井的钻进作业后, 经简单的维护处理仍能保持低固相含量, 恢复原有性能, 能够达到有效提高机械钻速, 保证井下安全的目的。现场施工时要求钻井液在采用地面循环的过程中, 能够自沉降除砂, 利用上部较好钻井液进入循环, 因此需要挖 2~3 个循环池, 使钻井液具备较长的维护期和较高的回收利用率, 降低钻井成本。

3.6 离线测固井

二开固完后, 为了节省钻机的停待时间, 可

以充分利用固井候凝时间进行钻井作业,当平台所有井的二开施工完毕后,采用无钻机测井方式来检测固井质量,即采用吊车牵引或在井口安装特定装置,这不仅能够节省钻机来回移动次数,还可以有效缩短钻井周期^[14]。无钻机测井施工流程如下(图6)。

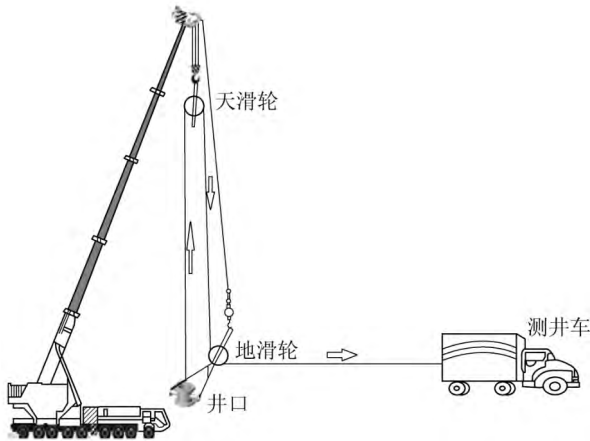


图6 离线测井原理

Fig. 6 Schematic diagram of offline logging

- 1) 当钻机从一口完钻井移动至下一口井位置后,在完钻井口处的套管头接上保护四通。
- 2) 将地滑轮安装到保护四通上,然后用吊车快钩起吊。
- 3) 将天滑轮安装到吊车慢钩上,其起吊高度要满足测井管柱串的2倍,以确保测井施工的高效安全。

此外,还可以在平台井全部钻完固井后,采用上述流程进行离线测井,避免了固井候凝、测井占用钻机时间,为后期施工创造有利条件,有效缩短周期、降低成本。

4 “井工厂”钻井效果分析

延川南区块采用“井工厂”资源共享模式实施丛式井组钻完井作业后,实现了钻井水平的总体提升。

通过对前井钻井经验进行总结,优化了钻井系列参数,预防了复杂事故的发生,为提高之后钻井成功率提供了一定保障。对比可知,应用“井工厂”作业模式后,部署10口井左右的平台整体钻完井周期平均91.64 d,单井钻完井周期平均9.25 d,单井钻井周期平均7.64 d,机械钻速平均17.16 m/h(表4)。

表4 部分平台钻井施工数据

Table 4 Drilling operation data of some platforms

平台号	井数口	平台钻完井 总周期/d	单井钻完井 周期/d	单井钻井 周期/d	机械钻速/ (m·h ⁻¹)
T56	15	64.49	4.30	3.36	33.52
W85	11	94.02	8.55	6.88	18.49
W82-1	9	73.08	8.12	6.67	20.33
T42	9	75.71	8.35	7.21	11.26
W59	9	93.97	10.44	7.94	15.44
W101	10	157.83	15.78	13.99	11.08
T62	10	79.92	7.99	6.37	13.29
W127	9	94.08	10.45	8.69	13.89

5 结 语

延川南煤层气区块基于地表地貌特征及储层物性特点,采用以丛式井为主的开发生产模式,井组中各单井采用二级井身结构,定向井的造斜点选在地层稳定,岩性均匀的区域,最大井斜角控制在22°~35°,造斜率控制在5°/30 m。区块对丛式井钻井采取“井工厂”作业模式,通过优化单平台所钻井数及钻井施工顺序,优选高效钻井移动设备,实时调控并检测并眼轨迹参数防止井碰,循环重复利用钻井液,完善离线测固井工序等措施,取得了较好的丛式井应用效果,实现了钻井速度的大幅提升和资源利用率的最大化,大幅减少了人力物力的投入,降低了煤层气的开发成本,减少了对环境的影响。

参考文献(References):

- [1] 王西民.煤层气丛式井钻进工艺[J].煤炭技术,2009,28(2):130-131.
Wang Ximin. Drilling technology of cluster wells for coal-bed methane [J]. Coal Technology, 2009, 28(2): 130-131.
- [2] 韩烈祥,向兴华,鄢荣,等.丛式井低成本批量钻井技术[J].钻采工艺,2012,35(2):5-8.
Han Liexiang, Xiang Xinghua, Yan Rong, et al. Low cost batch drilling technology used to drill cluster wells [J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(2): 5-8.
- [3] 蒋祖军.丛式井优快钻井技术在川西地区的应用[J].天然气工业,2003,23(S1):63-65.
Jiang Zujun. Application of cluster drilling technique with fast penetration rate in west area [J]. Nature Gas Industry, 2003, 23(S1): 63-65.
- [4] 甘新星.延川南煤层气井组的井工厂钻井实践[J].内蒙古石油化工,2014(8):67-68.
- [5] 龙志平,崔璟,王蓉.学习曲线在煤层气井工厂钻井模式中

- 的应用[J].油气藏评价与开发,2014,4(4):67-70.
- Long Zhiping, Cui Jing, Wang Rong. Application of the learning curve in drilling model of coalbed methane well factory [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2014, 4(4): 67-70.
- [6] 杨松, 许祖伟, 池圣平, 等. 延川南区块煤层气井生产特征及其小构造控制[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(11): 135-138.
- Yang Song, Xu Zuwei, Chi Shengping *et al.* Characteristics of CBM well production and small geological structure controls in southern Yanchuan Block [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(11): 135-138.
- [7] 郭涛, 王运海. 延川南煤层气田2号煤层煤体结构测井评价及控制因素[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(3): 22-25.
- Guo Tao, Wang Yunhai. Evaluation of logging of coal texture of seam 2 in southern Yanchuannan and analysis of its main controlling factors [J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(3): 22-25.
- [8] 倪小明, 苏现波, 张小东. 煤层气开发地质学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [9] 王彦祺. 延川南区块煤层气低成本钻井工艺技术探讨[J]. 油气藏评价与开发, 2012, 2(4): 73-75.
- Wang Yanqi. Discussion on the lowcost drilling technology in South Yanchuan CBM block [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2012, 2(4): 73-75.
- [10] 王彦祺. 延川南区块煤层气高效开发钻完井工艺技术探讨[J]. 油气藏评价与开发, 2011, 1(1-2): 64-68.
- Wang Yanqi. Discussion about the efficient development of CBM in Yanchuannan block and drilling & completion technology [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2011, 1(1-2): 64-68.
- [11] 袁明进, 龙志平, 朱智超. 鄂尔多斯盆地延川南区块煤层气低成本高效钻井技术[J]. 中国煤层气, 2011, 8(5): 17-21.
- Yuan Mingjin, Long Zhiping, Zhu Zhichao. Low cost and efficient CBM well drilling technology in Yanchuannan Block of Ordos Basin [J]. China Coalbed Methane, 2011, 8(5): 17-21.
- [12] 闫铁, 徐婷, 毕雪亮, 等. 丛式井平台井口布置方法[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2): 13-16.
- Yan Tie, Xu Ting, Bi Xueliang *et al.* Wellhead arranged method of cluster well pad [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 13-16.
- [13] 刘晓艳, 施亚楠, 李培丽. 丛式井组总体防碰与钻井顺序优化技术及应用[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(2): 9-12.
- Liu Xiaoyan, Shi Yanan, Li Peili. Techniques of cluster well general anti-collision and drilling sequence optimization [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(2): 9-12.
- [14] 沈建中, 龙志平. “井工厂”钻井技术在延川南煤层气开发中的应用[J]. 中国煤层气, 2015, 12(6): 15-18.
- Shen Jianzhong, Long Zhiping. Application of “Well Factory” drilling technology in CBM development of Yanchuan South Block [J]. China Coalbed Methane, 2015, 12(6): 15-18.
- [15] 沈建中, 龙志平. 延川南煤层气低成本高效钻井技术探索与实践[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(5): 69-74.
- Shen Jianzhong, Long Zhiping. Research and application of low cost and efficient CBM drilling technology in South Yanchuan [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(5): 69-74.
- [16] 龙志平, 沈建中, 袁明进, 等. 煤层气“井工厂”钻井完井技术探讨[J]. 油气藏评价与开发, 2013, 3(4): 73-80.
- Long Zhiping, Shen Jianzhong, Yuan Mingjin *et al.* Discussion on drilling and completing technology of CBM “well factory” [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2013, 3(4): 73-80.
- [17] 罗玉金, 汪兴华, 周永福. 丛式井的优快钻井技术[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2007, 9(3): 7-10.
- Luo Yujin, Wang Xinghua, Zhou Yongfu. Optimized drilling technology of cluster well [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2007, 9(3): 7-10.