

克拉美丽气田火山岩气藏开发主体技术

孙晓岗¹ 王彬² 杨作明²

1. 中国石油新疆油田公司 2. 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院

孙晓岗等. 克拉美丽气田火山岩气藏开发主体技术. 天然气工业, 2010, 30(2): 11-15.

摘要 位于准噶尔盆地陆梁隆起东南部滴南凸起西端的克拉美丽气田, 是以石炭系为目的层的火山岩气藏。火山岩气藏的气井存在产量低、递减快的难题。为此, 中国石油新疆油田公司采用“整体部署、分步实施、井间接替”的原则, 形成了下列配套开发技术, 为提高该气田开发效果奠定了基础。火山岩岩性岩相识别和井震结合的有利储层预测技术主要搞清了火山岩的岩性岩相特征, 进而预测有效储层的展布。不同储层地质条件下的钻、完井方式优选技术成果主要包括: ①在储层厚度较大、距边底水较远、裂缝相对发育的区域优选直井压裂投产; ②在储层物性好、厚度大、距边底水较远的区域优选欠平衡直井投产; ③在厚层、距边底水较远、夹层发育的区域, 优选水平井压裂投产; ④在距底水近、物性相对好的区域, 选用欠平衡水平井裸眼完井投产。钻井工艺优化技术包括: ①以优选钻头为重点的综合提速技术; ②优化防漏堵漏技术; ③欠平衡水平井钻井技术。增产改造及采气配套工艺技术和成果包括: ①深层火山岩储层压裂技术; ②井下作业储层保护技术; ②直井和水平井现场压裂施工获得成功。

关键词 准噶尔盆地 克拉美丽气田 石炭纪 火山岩气藏 开发配套技术 储集层预测 钻井工艺 增产改造
DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.02.003

克拉美丽气田位于准噶尔盆地陆梁隆起东南部滴南凸起西端, 是中国石油新疆油田公司发现的第一个储量超过 $1\ 000 \times 10^8\ \text{m}^3$ 的大型气田, 分为滴西 10、滴西 14、滴西 17、滴西 18 井区共计 4 个气藏, 目的层为石炭系火山岩。该气田顶面构造形态为南北两侧被断裂所切割、向西倾伏的大型鼻状构造, 储层具有裂缝和孔隙双重介质特征, 其中孔隙是主要的储集空间, 而裂缝则主要起着渗流通道的作用; 储层孔隙度为 9.12%, 渗透率为 $0.120 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$, 属低孔低渗储层。该气田岩性岩相复杂, 滴西 10、滴西 14、滴西 17 井区为火山碎屑岩, 滴西 18 井区为次火山岩。目前已在该气田共部署气井 54 口, 其中建天然气产能 $10 \times 10^8\ \text{m}^3$ 的井 35 口、井间接替井 19 口。克拉美丽气田存在着有效储层分布不清、地层可钻性差、易漏易塌、气井需要压裂才能投产等突出问题, 制约着该气田的高效开发。针对上述难题, 中国石油新疆油田公司采用“整体部署、分步实施、井间接替”的原则, 形成了下列配套开发技术, 为提高该气田开发效果奠定了基础。

1 火山岩岩性岩相识别和井震结合的有利储层预测技术

1.1 岩性岩相特征

按照“成分+结构、构造+成因”的分类原则^[1], 对克拉美丽气田石炭系火山岩岩石进行了分类及命名, 共分为 7 大类、28 小类、上百种岩石类型(见表 1)。

利用 ECS 测井识别火山岩成分, 成像测井识别火山岩岩石结构、构造, 常规测井交会图技术识别火山岩岩石类型^[2]。克拉美丽气田石炭系火山岩岩石类型多, 岩性复杂, 主力气层主要发育于玄武岩、凝灰质角砾岩、正长斑岩、熔结凝灰岩中, 不同井区岩性特征不同。其中滴西 14 井区主力气层主要发育凝灰质角砾岩(16.8%)、流纹质凝灰岩(12.4%); 滴西 18 井区主力气层主要发育正长斑岩; 滴西 17 井区以玄武岩为主(43%); 滴西 10 井区以熔结凝灰岩为主(40%)。

以“形成方式、产出状态、产出部位和岩石组合”为依据, 建立了石炭系火山岩岩相类型及命名标准, 划分出 5 种岩相、16 种亚岩相(见表 2)。

表 1 克拉美丽气田岩性分类表

成分	侵入岩		次火山岩	火山熔岩	火山碎屑岩	熔结 火山碎屑岩	正常 火山碎屑岩	火山—沉积碎屑岩类	
	深成岩	浅成岩						沉火山岩	火山碎屑沉积岩
酸性	花岗岩	斑状花岗岩	花岗斑岩	流纹岩	角砾熔岩	熔结集块岩	集块岩	沉集块岩	凝灰质巨(角)砾岩 凝灰质(角)砾岩
				英安岩	角砾熔岩	熔结角砾岩	火山角砾岩	沉火山 角砾岩	凝灰质砂岩 凝灰质粉砂岩
				粗面英安岩	凝灰熔岩	熔结凝灰岩	凝灰岩	沉凝灰岩	凝灰质泥岩
中性	正长岩	正长斑岩	正长斑岩	粗面岩					
	二长岩	二长斑岩	二长斑岩	粗安岩					
	闪长岩	闪长玢岩	闪长玢岩	安山岩 玄武安山岩					与酸性火山岩相同
基性	辉长岩	辉绿岩	辉绿玢岩	玄武岩					与酸性火山岩相同

表 2 克拉美丽气田石炭系火山岩岩相分类表

岩 相	亚 相	岩石类型	典型井区
爆发相	溅落亚相	角砾熔岩、凝灰熔岩、熔结角砾岩	滴西 14 井区 滴西 10 井区
	热碎屑流亚相 热基浪亚相 空落亚相	熔结凝灰岩、熔结角砾岩 含晶屑、玻屑、浆屑的晶屑凝灰岩 集块岩、火山角砾岩、凝灰岩	
溢流相	顶部亚相	自碎化角砾熔岩、角砾熔岩	滴西 17 井区
	上部亚相 中部亚相 下部亚相	气孔发育的熔岩(玄武岩、流纹岩等) 致密块状的熔岩(玄武岩、流纹岩等) 含同生角砾或具细晶结构的熔岩(玄武岩、流纹岩等)	
火山通道相	火山颈 侵出相	隐爆角砾岩、熔结角砾岩及角砾熔岩 珍珠岩、细晶结构熔岩及变形流纹构造角砾熔岩	滴西 10 井区
次火山岩相	外带亚相 中带亚相 内带亚相	含火山碎屑的正长斑岩、二长斑岩 含气孔的正长斑岩、二长斑岩 成分均一的正长斑岩、二长斑岩	滴西 18 井区
火山沉积相	再搬运 含外碎屑 凝灰岩夹煤	沉火山角砾岩、沉凝灰岩 沉凝灰岩、凝灰质砂岩 沉凝灰岩、煤层	滴西 17 井区 滴西 14 井区

克拉美丽气田石炭系属于以中心式为主、裂隙式为辅的火山喷发模式,共发育 3 大类 11 种亚类 32 种岩石类型,包括爆发相的火山碎屑熔岩、熔结火山碎屑岩、火山碎屑岩,溢流相的玄武岩、安山岩、流纹岩,次火山岩相的正长斑岩、二长斑岩等。火山喷发能量较强,内部火山机构正向隆起特征清晰。

1.2 有效储层的展布预测

针对火山岩气藏内幕结构的复杂性,以“源控论”为指导,开展了火山口、火山通道、火山机构及火山岩体的逐级识别与解剖研究^[3],在火山岩体识别的基础上,通过单井相序分析划分火山岩体界面,并标定地震,确定了不同火山岩相的地震反射特征。井震结合,对火山岩体进行解剖和探索,预测有利储层分布。

滴西 14 井区为多锥型复合火山机构,以爆发相为主,经历多期次喷发及水流搬运沉积,形成 3 个火山岩

体(图 1),对应 3 个储集体,具有“两弱一强”的地震反射特征,有利储层为爆发相的火山角砾岩储层(储集体 1 和储集体 2)。

滴西 18 井区为次火山岩体与沉火山岩交互型建造的火山机构,火山口位于滴西 8 井附近,次火山通道依托滴水泉西断裂,以中性正长斑岩为主,主要由滴西 18、滴西 183、滴西 182、滴西 184 这 4 个次火山岩体构成(图 2),形成 4 个弱反射区,有利储层为侵入的滴西 18 岩体和滴西 183 岩体。

滴西 17 井区为火口喷溢型盾状火山机构,以溢流相玄武岩为主,少量爆发相角砾熔岩、熔结角砾岩,内部因喷发时间及堆积部位不同,平面上形成数个不连通的火山岩体,有利相带为溢流相岩体顶部气孔玄武岩、角砾熔岩。

滴西 10 井区属单火山口多期次喷发形成的单锥

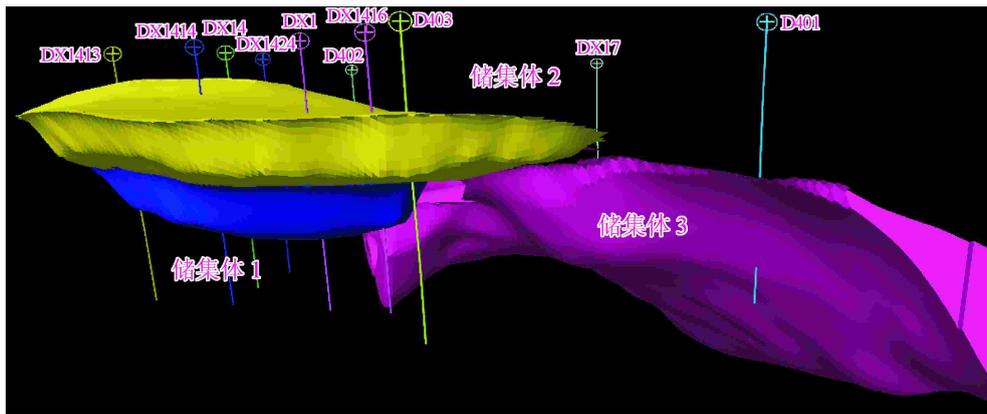


图1 滴西14井区岩体分布图

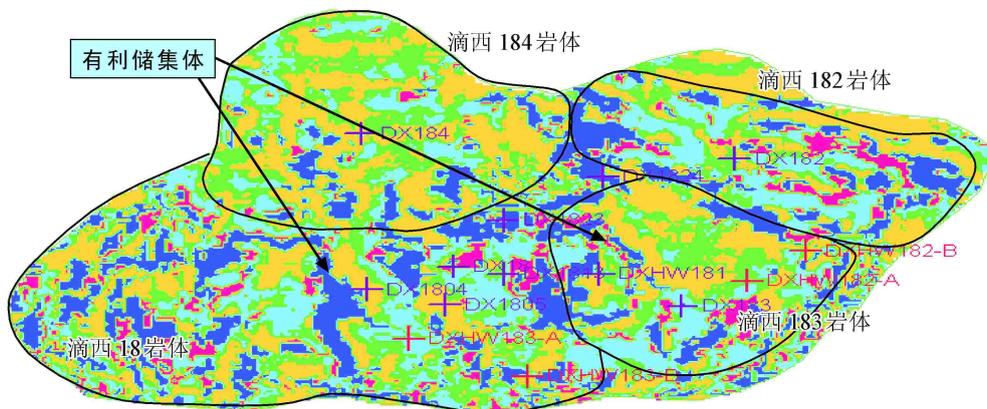


图2 滴西18井区有利岩体分布图

层状火山机构,形态对称,主锥体位于滴西10井以下,酸性火山碎屑岩发育,以爆发相为主,近断裂发育二长斑岩,有利相带为爆发相的火山角砾岩。

2 不同储层地质条件下的钻、完井方式优选技术

结合克拉美丽气田火山机构、岩性岩相、有效储层发布、气水关系等特点,开展了不同储层地质条件下直井压裂、欠平衡直井压裂、欠平衡水平井压裂、水平井分级压裂这4种不同钻、完井方式的开采技术攻关研究,根据气藏地质特征,不断优化开采对策。对于岩体厚度相对较薄的底水气藏(滴西17、滴西14井区储集体1),采用欠平衡水平井开发;对于块状或巨厚火山岩的底水气藏(滴西18井区),在构造高部位选用欠平衡直井开发,在岩性、物性夹层较发育区域采用水平井压裂开发,气藏边部距气水界面较近的区域则选用欠平衡水平井开发,气井实施后均获得较好效果,并取得以下认识。

1)在储层厚度较大、距边底水较远、裂缝相对发育的区域,优选直井压裂投产。这类气井主要集中在滴西14井区储集体1和滴西18井区的滴西18岩体,压裂投产井大多数压裂前产量低或无自然产量,压裂后获得很好的生产效果,增产值介于 $4.12 \times 10^4 \sim 29.00 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2)在储层物性好、厚度大、距边底水较远的区域,优选欠平衡直井投产。这类气井主要集中在滴西14井区储集体1和滴西18井区的滴西18岩体,滴西14井区DX1415井和DX1416井为同一套火山爆发相角砾岩且同属一个系统。DX1415井为普通直井,射孔自喷,油压为25 MPa,日产气 $12 \times 10^4 \text{ m}^3$;DX1416井为欠平衡直井,投产后DX1416井油压为30 MPa,日产气 $22 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。前者的地层系数是后者的4倍左右,而后者的开发效果却明显比前者要好。

3)在厚层、距边底水较远、夹层发育的区域,优选水平井压裂投产。这类气井部署在滴西18井区滴西182岩体,滴西18井区DXHW181、DXHW182井都

选用5级压裂投产,其中DXHW181井油压为25 MPa时,日产气 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$;压裂直井油压为20 MPa时,平均日产气量在 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右。水平井日产量超过直井的4倍。

4)在距底水近、物性相对好的区域,选用欠平衡水平井裸眼完井投产。这类气井分布在滴西14井区储集体1和滴西18井区岩体边部。滴西14井区DXHW141井投产后油压为21.3 MPa,日产气 $15.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

3 钻井工艺优化技术

3.1 以优选钻头为重点的综合提速技术

克拉美丽气田所在的滴西地区地层复杂,不同的钻头序列对钻井速度影响很大。根据室内研究成果和现场实践经验,优选出以下方案:石炭系以上地层使用PDC钻头;石炭系使用贝克休斯MXL-DS30GDX2高效牙轮钻头序列;上述牙轮钻头钻穿白垩系底部的砂砾岩后,采用4刀翼/5刀翼PDC钻头钻至八道湾组中下部,换用三牙轮钻头钻穿八道湾组砂砾岩;采用PDC钻头钻白碱滩组稳定泥岩至克拉玛依组中部。这样做,机械钻速可提高近1倍;石炭系使用贝克休斯牙轮钻头,单只钻头进尺增加35%~40%,提高了行程钻速。应用优化的钻头序列,DXHW182井平均机械钻速比DXHW181井提高49%,DXHW141井平均机械钻速比DXHW181井提高30.3%,钻井周期缩短24~42 d,效果良好。

3.2 优化防漏堵漏技术

克拉美丽气田的白垩系、侏罗系、二叠系、三叠系均为易漏地层,研究人员根据火山岩气藏地层特点优化了防漏堵漏材料和配方:①采用胶凝剂ZL、纤维XW-5、刚性堵漏材料等防漏堵漏材料,室内评价防漏堵漏承压能力达7 MPa;②优化防漏堵漏地层,明确了白垩系、侏罗系地层以防漏为主,二叠系、三叠系地层以堵漏为主;③制订了多项严格的防漏堵漏技术措施,防止地层发生漏失。2009年与2008年相比,采用防漏堵漏技术后开发井在八道湾组以上地层平均井漏次数由6次/井下降到1次/井,平均漏失量减少97.3%。

3.3 欠平衡水平井钻井技术

由于克拉美丽气田局部带底水,因而欠平衡水平井钻井技术就可能是提高该区气井单井产量的主要手段之一。火山岩储层具有裂缝和孔隙双重介质特

征,具有中等偏强—强水敏(岩心伤害率介于60%~86.3%)、强—中等偏强速敏、土酸强酸敏—极强酸敏、岩心吸附能力强(吸附量为0.3033~0.3569 g)、岩心清水吸附能力强等特性,通过实验优选出有机盐无固相钻井完井液和油基钻井完井液体系,减少了钻井过程中水敏和水锁对储层的损害,从而保护了气藏。

依据钻井诱导缝数据和测井曲线,分析出石炭系地应力分布状态,建立裂缝性地层斜井眼井壁稳定预测模型,评价出滴西14和滴西18井区石炭系斜井眼稳定的欠平衡井底压力和欠压范围。通过理论分析和现场实践,滴西14井区井眼稳定性随井斜角的增大而逐渐变差,坍塌压力由直井的 1.05 g/cm^3 增加到水平井的 1.24 g/cm^3 ;滴西18井区水平井段设计钻井液密度为 $1.05 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$,动态负压差0.7~2.8 MPa,实现整个水平段均处于负压状态。DXHW141井三开采用全过程欠平衡钻井技术及油基钻井完井液体系,采用冻胶阀技术,实现了欠平衡完井作业,系统试气结果:9 mm油嘴日产气量达到 $20.20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

4 增产改造及采气配套工艺技术

针对克拉美丽气田火山岩储层的特点,结合生产实际,优选出下述增产改造和采气配套工艺技术。

4.1 深层火山岩储层压裂技术

综合评价已实施增产改造的5口井压裂效果,不断调整和优化压裂施工参数。通过净压力拟合及压后裂缝反演,确定了净压力大小及其上升趋势、多裂缝条数和滤失系数大小、压后裂缝延伸情况等参数,优化了该区后期储层改造施工参数。

克拉美丽气田火山岩储层人工裂缝半长要求在120 m以上,导流能力为 $30.0 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$ 。支撑剂规模在 $30 \sim 45 \text{ m}^3$,采用 $2\frac{7}{8}$ "($\varnothing 73 \text{ mm}$)油管作为施工管柱,排量为 $3.5 \sim 4.0 \text{ m}^3/\text{min}$,前置液百分数为45%~55%。确定压裂液防膨体系为氯化钾复合阳离子体系,氯化钾的用量超过4%,阳离子防膨剂用量为0.4%,筛选了可增大液固两相接触角至 60° 以上的气井专用助排剂,降低了毛细管压力、减轻了贾敏效应、提高了压裂液返排效率。

4.2 井下作业储层保护技术

针对克拉美丽气田的储层特点,开发了密度在 $1.0 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ 间可调的GCP系列气井储层保护液体系,该体系具有无固相、低滤失、低腐蚀、性能稳定、抗温性能好、低黏度等特点。在滴西17井大修套管补贴、DXHW182井压井现场应用2井次,试验均获得了

成功。特别是滴西17井整个大修作业在GCP系列气井储层保护液中进行,在施工作业的21天中,取样检测高温高压滤失量小于8 mL,未出现沉淀、分层现象。GCP系列气井储层保护液体系避免了固相堵塞,能够有效降低液体滤失造成的液相侵入伤害,较好的保护了储层,减小了修井液对储层的伤害,滴西17井修井结束试气,日产气 $18.50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、日产油 15.60 m^3 ,产量与作业前相差不大。

4.3 直井和水平井现场压裂施工获得成功

2009年对DX1424井采用小阶梯类似线形加砂

压裂,控制前置液比例50%以上,排量确定为 $4 \text{ m}^3/\text{min}$ 左右,加砂规模介于 $2.0 \sim 3.0 \text{ m}^3/\text{min}$,压裂后日产气 $29.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

DXHW182井采用直井段 $9\frac{5}{8}''$ ($\varnothing 244.5 \text{ mm}$)技术套管、水平段裸眼完井方式。采用KQ105/103-78井口装置, $5\frac{1}{2}''$ ($\varnothing 139.7 \text{ mm}$)套管及同规格压裂管柱,总共带有10个封隔器和5级压裂端口,分5级压裂,共用压裂液 1372 m^3 ,支撑剂 95.6 m^3 (见图3)。系统试气获无阻流量 $198 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,投产油压为28.8 MPa,日产气 $18.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

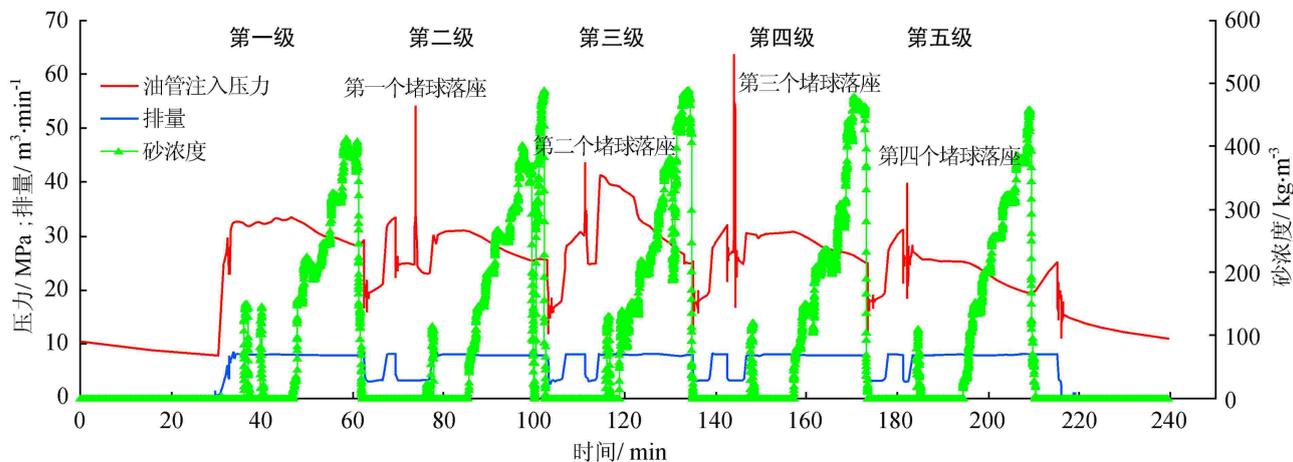


图3 DXHW182井压裂施工图

5 结论和认识

通过近两年在克拉美丽气田进行的开发试验和探索,基本形成了火山岩有利储层的预测技术、不同地质特征的井型优选技术、复杂地层钻井提速技术、气层分级压裂和储层保护技术等开发主体技术。目前,上述配套技术正应用于该气田的开发并不同程度地提高了气井单井产量,取得了较好的应用效果。

参考文献

- [1] 王璞珺,迟元林,刘万沫,等.松辽盆地火山岩相:类型、特征和储层意义[J].吉林大学学报:地球科学版,2003,33(4):449-456.
- [2] 周波,李周波,潘保芝,等.火山岩岩性识别方法研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2005,35(3):395-397.
- [3] 陈文利.克拉美丽气田石炭系巴塔玛依内山组地震地质解释[R].克拉玛依:中国石油新疆油田公司,2008:9-19.

(收稿日期 2010-01-28 编辑 居维清)