

元坝气田超深高含硫气井测试及 储层改造关键技术

唐瑞江 李文锦 王勇军 蒋人义 代俊清
中国石化勘探南方分公司

唐瑞江等.元坝气田超深高含硫气井测试及储层改造关键技术.天然气工业,2011,31(10):32-35.

摘 要 四川盆地东北部元坝气田具有高温、高压、高含 H₂S 特性,储层埋藏深且非均质性强,由此带来了测试工艺复杂、储层改造困难、井控安全风险大等困难。在元坝超深高含硫气井测试实践中,逐步形成了材质优化选择、一体化管柱多功能 APR 测试、多级压力控制、测试制度优化、快速返排、井控工艺、堵漏压井工艺、地面流程安全控制技术及海相储层改造工艺技术,从而满足了元坝气田“三高”气井试气的需要。现场应用结果表明,已施工完的 16 口井 55 层,获得工业气流 14 口井 23 层,未发生一起安全事故,有效保障了元坝气田勘探的顺利进行,取得了安全、优快、环保的工作效果和重大社会经济效益。

关键词 四川盆地东北部 元坝气田 超深气井 高含硫 测试 酸化压裂 储集层 改造 技术

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.10.007

1 超深高含硫气井测试技术难点

四川盆地东北部元坝气田超深、高压、高含硫气藏为测试带来了诸多难题和挑战^[1-3],为确保正常测试及生产安全,需要从设备工具的材质、管柱结构、配套工艺等方面进行科学论证和不断改进。元坝超深高含硫气井测试主要存在以下技术难点。

1)储层具有多层系、多压力系统以及高温、高压、高含硫特性(表 1);使用的测试工具承压低,工具存在刺漏和卡钻的隐患,测试施工存在较大风险。

2)储层埋藏深,非均质性强,大部分属于低孔低渗,钻井液对储层伤害较严重,常规测试难以获得理想的测试效果,酸压改造施工时存在储层破裂压力高、裂

缝延伸压力高,在施工设备和井口限压条件下,注酸困难,施工井口压力高,酸压改造后残酸返排困难。

3)测试井口装置、管柱、井下工具、地面流程等承受压力大,易引起刺漏、变形破坏。

4)部分储层裂缝和溶洞相对发育,井漏较严重,特别是试气酸压改造后喷漏同存,处理难度极大。

2 测试工艺技术

2.1 油管选择

探井在酸性气体中短期测试过程中,材质选择关键是控制硫化氢的氢脆腐蚀;选择满足抗 SSC 要求的材质^[1-2],同时评价酸液体系对管材抗应力腐蚀破裂的影响。通过计算,测试油管选用 110SS 材质,基本能

表 1 元坝气田海相地层参数特征表

层位	井深/m	压力系数	地层压力/MPa	地层温度/℃	破裂梯度/MPa·(100 m) ⁻¹	H ₂ S 含量	CO ₂ 含量
飞仙关组	6 300~6 800	1.21~1.96	79~120	146.7~150.0	0.022~0.025	1.24%~2.42%	2.78%~3.15%
长兴组	6 700~7 200	1.01~1.09	65~82	145.0~158.6	0.022~0.025	2.70%~26.91%	3.33%~16.54%
吴家坪组及栖霞组	7 200~7 500	2.03	146	161.0~168.0	>0.024	1.00%~7.00%	

基金项目:中国石化重点研究项目“川东北高温高压高含硫井试气工艺配套技术”部分成果。
作者简介:唐瑞江,1965 年生,高级工程师;长期从事油气田试油(气)、井下作业技术研究及现场应用和管理工作。地址:(637400)四川省阆中市阆水中路 99 号元坝工作部。电话:(0817)6224022。E-mail:tangrj.ktnf@sinopec.com

满足超深含硫气井抗 SSC 及酸液腐蚀要求。

根据力学计算结果,形成了 $\varnothing 89\text{ mm}$ 110SS 壁厚 6.45/9.52 mm 气密封扣油管组合,超深储层酸压改造管柱中下入两组伸缩节,保证了超深井测试管柱的安全。抗拉安全系数在 80% 名义屈服强度下选取 1.8,抗内压安全系数选取 1.25,抗外挤选取 1.125。自现场应用以来,未发生因油管材质和强度导致的事故。

2.2 多功能测试工艺技术

利用地震、钻井、录井、测井等资料,在研究区域构造、砂体展布、地层压力及温度、含油气情况、储层特征等基础上,针对不同的测试目的,形成了以“超正压射孔酸压测试技术”^[4]为核心的 4 类 7 套优快 APR 测试技术(表 2)。对深度大于 6 000 m 的气井,改造管柱需增加 2 组伸缩短节。

表 2 元坝 4 类 7 套测试联作管柱表

工艺类型	联作管柱类型	管柱结构	适用条件	主要功能
射孔测试	负压射孔—测试	RDS+N+压力计+震击器+RD+射孔旁通+安接+RTTS+射孔枪	储层物性相对较好、中低压的气层	负压掏空、环空加压射孔、多次井下开关井测试
	正压射孔—测试	RDS+压力计+震击器+RD+安接+RTTS+射孔枪	储层物性较差、高压气层	油管正压射孔、测试、关压恢
超正压射孔酸压测试	射孔—酸压—测试	OMNI+RDS+压力计+震击器+RD+安接+RTTS+射孔枪	储层较好、破裂压力高、改造能获得工业气流、中高压气层	替酸、超正压射孔、酸压、测试、关压恢、压井堵漏
	射孔—测试—酸压—测试	OMNI+RDS+压力计+震击器+RD+安接+RTTS+射孔枪	储层相对差、破裂压力高、改造能否获得工业气流不确定的气层	超正压射孔、液氮诱喷、酸压、测试、关压恢、压井堵漏
	射孔—试挤破裂地层—诱喷测试—酸化—测试	OMNI+RDS+压力计+震击器+RD+安接+RTTS+射孔枪	储层相对很差、破裂压力很高、能否实施改造不确定的气层	超正压射孔、试挤破裂地层、液氮诱喷、酸化(压)、测试、关压恢、压井堵漏
酸压测试	酸压—测试	OMNI+RDS+压力计+震击器+RD+安接+RTTS	储层物性较好、通过改造有望获得理想产能、已射孔气层	替浆、替酸、酸压、测试、关压恢、压井堵漏
加重酸压测试	加重酸压—测试	OMNI+(RDS+30 K 压力计+)震击器+(RD+)安接+RTTS+射孔枪	储层极差、破裂压力极高、常规酸压不能实施,需要了解地层的产能	超正压射孔、加重液试挤破裂地层、加重酸压、测试、关压恢、压井堵漏

超正压射孔酸压测试管柱如图 1 所示,主要用于射孔后立即进行改造的储层,一般是储层物性较好、通过改造可获得理想产能的储层。充分利用超正压射孔产生的高压聚能流体对地层形成的微裂缝,降低注酸初始压力。该三联作工艺,不仅能缩短施工周期、成果见效快、有效降低测试成本,而且能减少射孔后压井液对地层的二次污染。

分两步走的射孔酸压测试三联作工艺,对于储层相对差、破裂压力高的储层,通过射孔后试挤判断地层吸收量,减少直接进行改造的盲目性,节约了酸压施工费用,减小了现场环保压力。

2.3 多级压力控制技术

压力控制技术是超深井测试的关键技术,关系到施工安全、油层套管、试气管柱等的安全可靠。该技术是以环空套管承压能力为基础,基于井内流体、井下工具耐压能力、油管和套管强度,通过不同工况下测试工具的井口压力控制,保障井下管柱的安全。通过元坝气田多口井实践和验证,形成了多级压力控制 APR 测试优化设计方法(图 2),保证了元坝地区超深井的

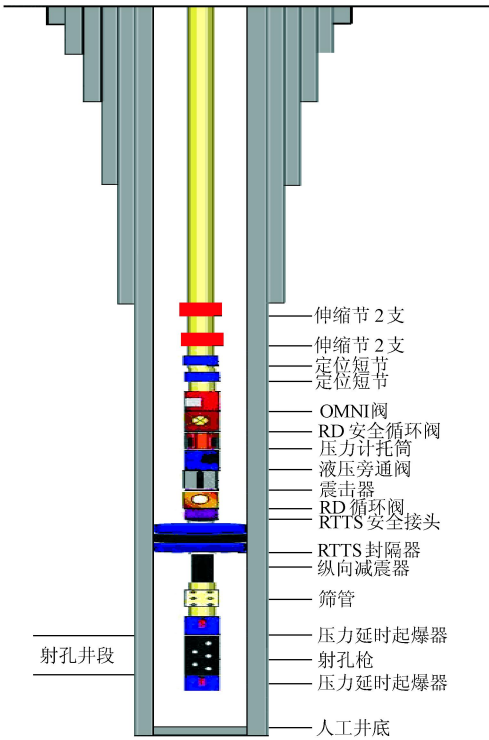


图 1 超正压射孔酸压测试联作管柱图

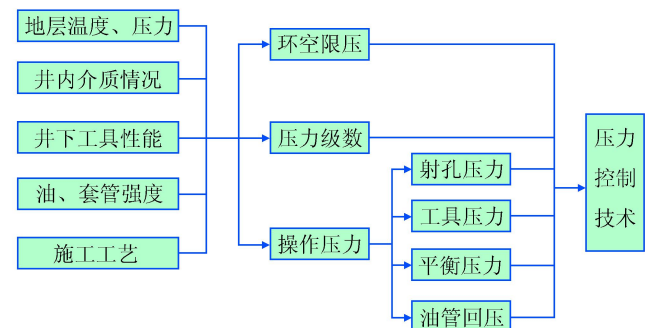


图2 压力控制参数优化流程图

安全快速测试评价。

2.4 测试地面流程

针对元坝地区超深、高压、高温、高含硫化氢、测试产量高的情况,经过近年的实践,逐步完善了地面测试流程,形成以 105/70/70 MPa^[5]或 105/105/105 MPa 三级节流为核心(图 3),包括节流控制系统、加热保温系统、分离系统、计量系统、安全快速控制系统、安全点火系统、数据自动采集系统、应急压井系统等组成的地面测试流程。该流程基本满足替喷、放喷、测试、正反

循环压井、洗井、气举等高压、高产、高含硫探井的试气施工要求,具有能够实现安全高效的放喷口点火,实现单独或共同使用测试、钻井地面流程进行正、反循环压井,用压裂车、钻井泥浆泵压井等功能,确保了放喷求产过程中的流程设备安全和操作人员的人身安全。

2.5 井控工艺技术

1)采气井口选择 105 MPa FF 级或进口 140 MPa FF/HH 级采气树,并采用金属密封与橡胶密封相结合的复合密封;防喷器组合采用的方式(自上而下)为:半封闸板+剪切闸板+全封闸板+半封闸板,防喷器具有远程液压控制和手动控制功能。

2)采用三级节流测试流程,充分利用钻井压井和节流管汇与测试流程组成压井、堵漏管网,配备备用液控平板阀和节流阀、油嘴套和油嘴。

3)配备压力、液面、有毒有害气体监测报警系统,为及时采取地面开关井、井下开关井、循环压井等措施的及时制订提供保障。

4)制订有效的预防措施和应急预案,为试气井控提供了安全保障。

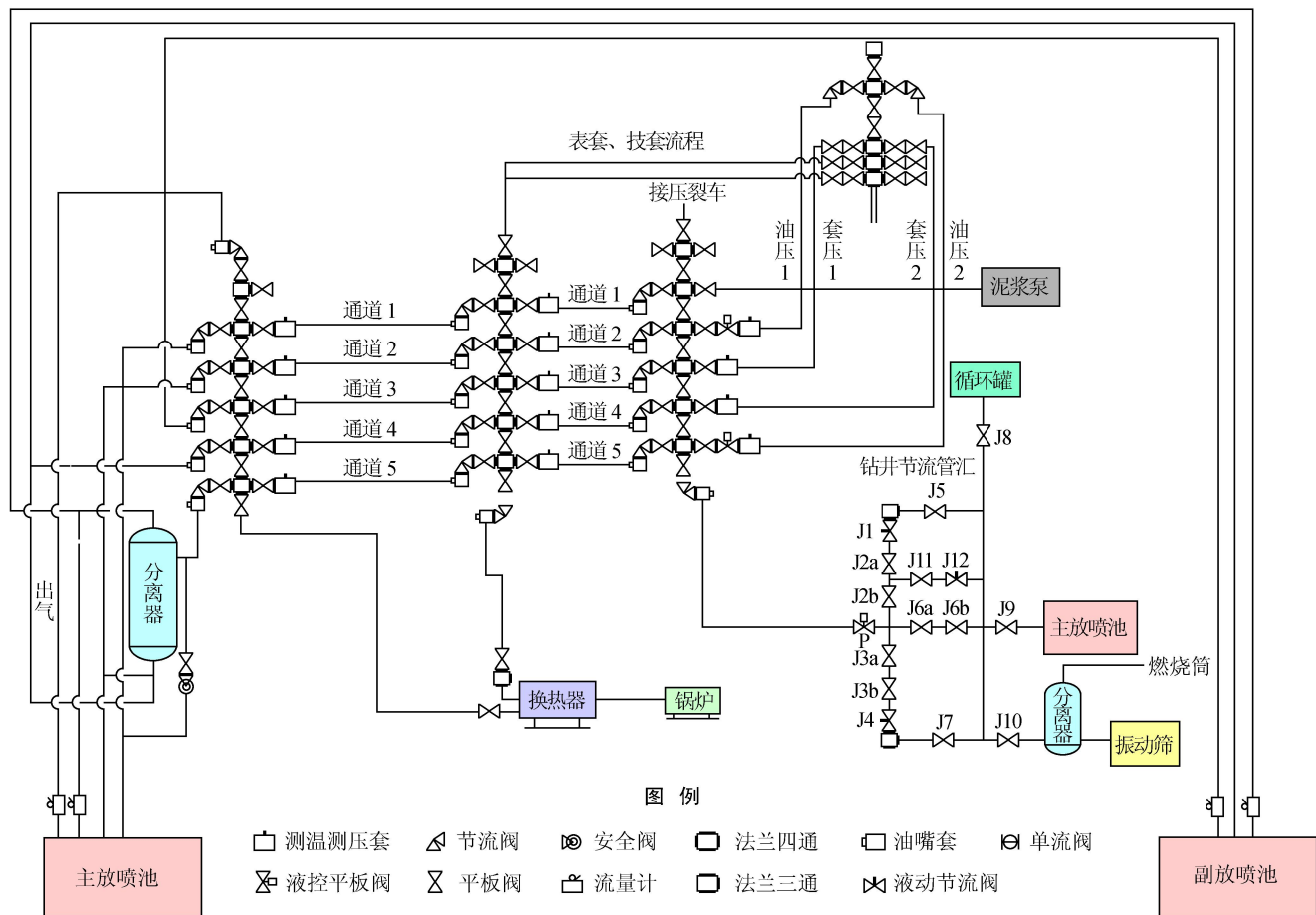


图3 推荐国产地面流程示意图

3 酸压改造工艺技术

3.1 胶凝酸+闭合酸压工艺技术

该技术以“提高酸蚀裂缝长度和近井带的裂缝导流能力”为核心,已经成为元坝深度酸压的主体工艺,在元坝气田得到了全面的推广应用。

3.2 加重酸压工艺

针对元坝气田区块储层埋藏深、破裂压力梯度较高的特点,通过在注入前置酸之前采用高密度($1.8 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$)加重酸液来提高液柱压力,实现在井口施工限压下增加井底净压力,以增大压开储层的几率。1—1井采用密度 1.8 g/cm^3 加重酸,创造了井底压力最高(212 MPa)的液体加重最高的世界纪录。

3.3 震荡注入酸压工艺

利用“冲击波”原理,形成了异常高破裂压力储层的震荡注入酸压工艺,该工艺利用快速提高施工压力时产生的“冲击波”(压力峰值是显示值的2~5倍)对储层应力集中不断进行释放,实现降低破裂压力目的。该工艺成功用于1—1井长兴组,经过6次高压震荡成功压开储层(图4),酸压后增产天然气 $50.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4 应用效果

该套技术在元坝地区成功应用,现已施工完工16口井55层,获工业气流14口井23层,未发生一起安全事故,取得了元坝地区海相深层勘探突破,有效保障了高温高压高产高含硫超深气井勘探的顺利进行,取得了很好的经济和社会效益。

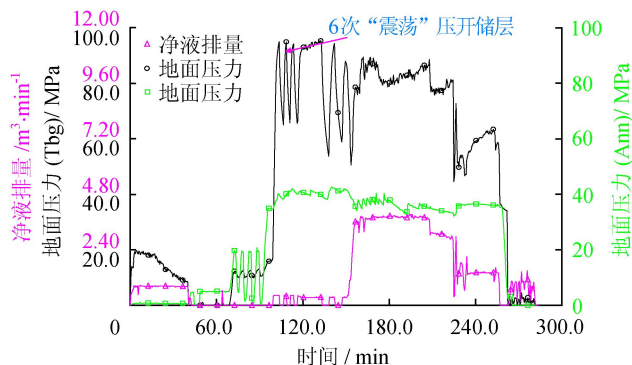


图4 1—1井长兴组酸压施工曲线图

某井长兴组6 226~6 319 m经规模 400 m^3 胶凝酸射孔酸压测试,获得日产天然气 $120.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,取得了元坝地区超深层海相天然气勘探的重大突破,证实了元坝地区丰富的天然气资源基础。

参 考 文 献

- [1] 何生厚.高含硫化氢和二氧化碳天然气田开发工程技术[M].北京:中国石化出版社,2008.
- [2] 胡东风.川东北元坝地区隐蔽气藏的勘探突破及其意义[J].天然气工业,2010,30(8):9-12.
- [3] 付德奎,郭肖,杜志敏,等.高含硫气藏硫沉积机理研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(5):109-111.
- [4] 沈琛.川东北超深高酸性气田勘探开发工程技术[J].中国工程科学,2010,12(10):29-34.
- [5] 王世泽,唐瑞江,赵祚培,等.高压高产含硫气井测试技术及应用[J].中国工程科学,2010,12(10):56-60.

(收稿日期 2011-07-26 编辑 韩晓渝)