

大庆油田古龙1井套管柱设计方法分析及优选

陈琳琳, 刘永贵

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163413)

摘要:针对目前大庆油田最深的一口风险探井——古龙1井,为了使套管满足空气钻井和经济性需要,首次使用组合套管柱设计方法,同时在设计中对套管强度进行三轴应力强度校核,分析了套管强度设计的误差,给出一套新的安全经济的套管柱设计方法,为以后超深井套管柱设计提供了一个新的思路,对于指导设计与现场施工具有重要的意义。

关键词:超深井;组合套管柱;套管柱设计;三轴应力;强度校核;大庆油田古龙1井

中图分类号:TE256+.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)07-0013-04

Analysis and Optimization of Casing String Design for Well Gulong 1 of Daqing Oil Field/CHEN Lin-lin, LIU Yong-gui (The Drilling Engineering and Technology Research Institute of Daqing Drilling and Exploration Engineering Company, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: In order to meet the need for air drilling and economy, combined casing string design was firstly applied in well Gulong 1, which is the deepest risk exploration well of Daqing oil field. At the same time, tri-axial stress intensity check was made on the case design and the errors in the intensity design were analyzed with a new set of safe and economic casing string design method.

Key words: ultra-deep well; combined casing string; casing string design; tri-axial stress; intensity check; well Gulong 1 of Daqing oil field

在石油钻井中需要消耗大量套管,井越深,消耗比例越大。统计表明,我国用于石油套管的的投资约占钻井总成本的1/5。近年来,深井、超深井数量逐渐增多,气体钻井等新工艺应用逐渐广泛,对套管柱的设计都提出了新的要求和挑战,尤其是技术套管设计。在采用气体钻井工艺的深井中,技术套管要求按100%掏空计算,同时新标准要求气体钻井的套管抗挤安全系数达到1.125以上。常规的套管无法抵抗其内外压力,必须使用组合套管柱结构来实现抗挤和抗内压条件。所以对于深井和超深井,必须找出一种适用的套管柱计算方法满足气体钻井特殊性的需要。

古龙1井是大庆油田目前最深的一口风险探井,投资大、钻井风险高,在设计中需要综合考虑科学性、经济性和安全性。技术套管设计是本井设计中最大的难点,它关系到井身结构能否满足施工要求、关系到气体钻井等新工艺新技术能否顺利实施。本文通过调研国内外套管柱设计方法,综合分析各层套管柱的设计因素,对套管柱设计的过程进行深入分析和优选,寻求一种在安全前提下经济和实用

的套管柱设计方法,对日后深井、超深井套管柱设计具有一定的指导意义。

1 套管柱设计现状分析

套管柱设计不仅关系到钻井及采油/气作业的井下施工安全,而且关系到油气井的服务寿命。套管柱设计,首先需满足前期开采和后续增产的需要;其次,对于各层套管柱的外载考虑要具体情况具体分析;最后,在满足一系列工艺要求的前提下,尽可能降低钻井成本。由于对套管柱受力和设计方法考虑不同,所设计出的套管柱是不相同的。

目前,国内外套管柱设计方法有等安全系数法、边界载荷法、最大载荷法、苏联及西德BEB公司、美国阿莫科公司的设计方法等(见表1)。

而常用的套管柱设计方法有:预设井涌量法、最大载荷法和等安全系数法。不同设计方法,其关键是考虑的因素各不相同,3种设计方法最大区别在于对内压载荷的考虑,尤其是对技术套管内压力计算的考虑,具体对比见表2。

收稿日期:2009-03-10

作者简介:陈琳琳(1982-),女(汉族),黑龙江大庆人,大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院,流体力学专业,硕士,从事超深井设计工作,黑龙江省大庆市八百垅。

表1 国内外套管柱设计方法对比

类别	内压载荷	外挤载荷	轴向载荷	套管强度校核	安全系数确定	优化
国外	以内压载荷为依据,进行套管初选	考虑泥岩、页岩等塑性岩层蠕变加载给套管的可能性	有“狗腿”井段,一般进行弯曲载荷计算,作为附加载荷	进行双轴和三轴强度校核	采用设计系数和剩余载荷相结合方法,力求做到与套管柱近似等强度	对钢级、壁厚和段长选配上,用计算机进行优化
国内	一般不考虑内压载荷,只满足抗挤和抗拉就行	很少考虑这些问题	一般忽略不计	多不进行校核,或在水泥面以上套管进行双轴抗挤强度校核	一般采用常数	刚刚起步

表2 三种常用套管柱设计方法综合对比

设计方法	外压力考虑	技套内压力考虑	轴向力考虑	强度校核方法
预设井涌量法	管内全掏	钻至下层套管鞋时假设发生井涌,30%作为井口压力	未考虑浮力	双轴或三轴强度校核
最大载荷法	空或部分漏失,管外固井时	发生井喷时,井内既有气体又有泥浆,泥浆在气体上部;井口压力为井口设备许用工作压力;套管鞋处压力为套管鞋处地层破裂压力加上一个安全余量	考虑浮力和台肩力	
等安全系数法	钻井液	井口关闭,井内全为天然气;套管鞋处最大压力按套管鞋处压力梯度计算;任意井深内压用气体方程计算	考虑浮力	

2 古龙1井套管柱设计分析

2.1 古龙1井基本情况

古龙1井设计井深6320 m,位于黑龙江省肇源县。钻探目的是为了揭示古龙断陷深层主体凹陷的

含气性及营城组、沙河子组烃源岩发育情况和资源潜力。由于古龙1井地层埋藏深、岩石硬、可钻性差,根据地质特性以及钻井工艺进行综合考虑,设计采用四级井身结构(如图1所示)。其设计说明见表3。

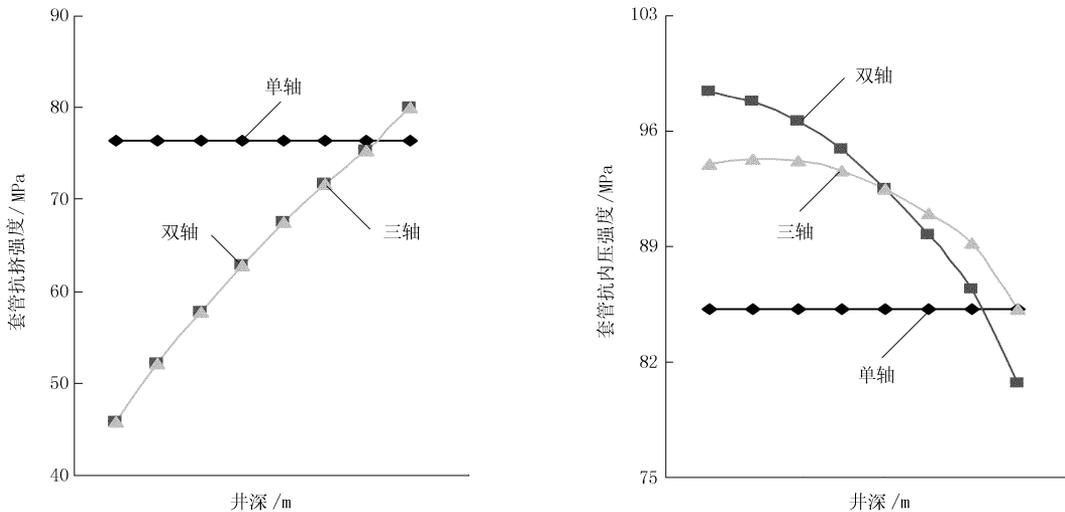


图1 P110套管在100%掏空下单轴、双轴和三轴强度校核图

表3 古龙1井井身结构设计说明

开钻次序	套管直径/mm	设计说明
一开	508.0	表层套管下入四方台组45 m,并考虑所安装的套管头能够承受套管柱重力
二开	339.7	技术套管I是封固泉三段以上含水层和青山口组易坍塌的裂缝性泥岩地层和葡萄花油层,重点考虑在三开井段应用气体钻井技术,提高钻速,进入泉三段145 m完钻
三开	244.5	技术套管II是根据本井设计井深和地层分层,重点考虑在四开井段应用气体钻井技术,提高钻井速度而设计的,同时兼顾四开裸眼段长度而选择在登三段底4610 m
四开	139.7	井身结构按6320 m设计,具体深度根据实钻层位深度确定

2.2 古龙1井套管柱设计难点

在三开、四开井段设计采用气体钻井技术,这就要求技术套管既要满足施工操作,又要满足技术套管在100%掏空情况下抗外挤安全系数 ≤ 1.125 。

套管设计难点如下。

(1)技术套管I(444.5 mm井眼)应封固泉三段以上水层、油层、易坍塌地层等,设计下深3100 m,是大庆油田在 $\varnothing 444.5$ mm井眼下入套管最深的

一口井,套管自身质量大,3 个强度要求会更高,并且固井封固段长,易发生漏失等各种复杂情况。三开、四开井段采用气体钻井技术,采用同一直径套管设计很难满足安全需求。

(2)为了满足四开实施气体/欠平衡钻井需求,技术套管 II ($\varnothing 311.2$ mm 井眼)下深应该满足后续钻井和完井施工要求,设计下深至 4610 m,应考虑高温、高压的影响,对套管设计提出更高要求。

(3)由于本井为风险探井,地质特性还没有完全探明,这对套管设计提出了更高的要求,设计难度大。

2.3 古龙 1 井套管柱设计分析

本文分别采用预设井涌量法、最大载荷法和等安全系数法对古龙 1 井的套管柱进行设计,设计难点为技术套管设计。

2.3.1 套管柱 3 个强度分析

古龙 1 井属风险探井,套管安全问题至关重要,因此对套管进行 3 个强度分析,考虑双轴或三轴应力效应。双轴应力效应是计算套管抗挤和抗内压强度的同时考虑轴向力因素,三轴应力效应是计算套管强度时考虑了轴向力、外挤力和内压力相互作用的影响。

由图 1 可以看出,双轴应力计算和单轴应力相比,由于考虑了轴向拉伸影响,抗外挤能力减小,抗内压能力增加;而轴向压缩则导致抗外挤能力增加,抗内压能力减小。三轴应力计算和双轴应力相比,在抗挤强度上,三轴和双轴应力计算结果一致;在抗内压强度上,在井中部相近,在井底偏高 3% 左右,在顶部偏低 4% 左右。在工程上,对套管进行双轴应力和三轴应力校核均是可行的。但是由于古龙 1 井地质特性没有完全探明,本文保守采用三轴应力校核。

2.3.2 外载计算

有效轴向力的大小取决于所选套管的线重、长度和所选的设计系数,因此当选定套管后,这个值就为已知。有效外挤力和有效内压力考虑因素不同,其计算结果亦不同,且用两者的计算值选择套管的钢级和下深。因此只将后两种外载的计算结果表现于图 2 和图 3 中。

在图 2 中重点来看技套的值,三种计算方法中对于外挤力的计算公式一样,但是掏空系数影响有效外挤力的大小。预设井涌量法是计算漏失液面深度来确定掏空度,掏空度偏小,所以有效外挤力计算值偏小。其它两种方法则是人为明确确定掏空度大

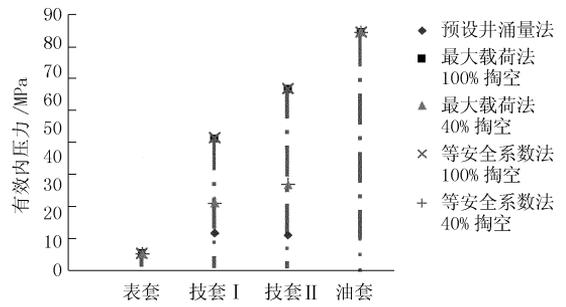


图 2 不同方法计算的有效外挤力

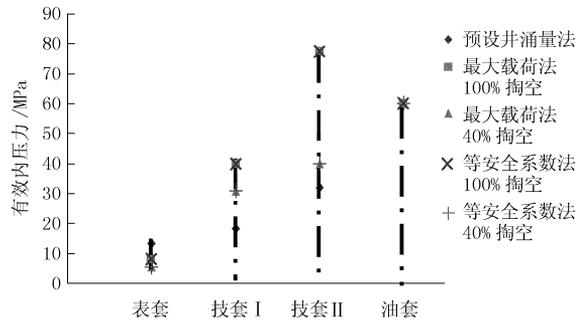


图 3 不同方法计算的有效内压力

小,则相同掏空度有效外挤力的计算值相等,且掏空度越大,有效外挤力值越大。

在图 3 中,技套的内压力大小取决于选择的计算方法,与掏空度无关,其中最大载荷法考虑的情况最危险,其有效内压力值最大。

通过上述结果进行对比分析:预设井涌量法计算的内压和外挤力数值都很小,不理想,不推荐使用。最大载荷法均按最危险情况考虑外载,需要高强度套管,预算高,经济性不强,安全性高,通用性好,但不够简易。等安全系数法对于技套的内压载荷考虑没有最大载荷法细致,但能满足工程要求,经济性好,通用且简易。

通过 3 种方法的对比分析,我们优选的最终结果是在三轴应力强度校核下使用等安全系数法进行古龙 1 井技套设计。

由于内、外压力大,同一直径的 P₁₁₀ 套管无法满足套管设计需求,为了保证安全性,同时兼顾经济性,古龙 1 井的技套设计采用组合套管柱设计方法。

2.3.3 计算结果(见表 4)

2.4 古龙 1 井套管柱设计危险工况分析

由于古龙 1 井地层的不确定性,长封固井技术以及气体钻井技术的应用,因此有必要对可能发生的各种危险工况进行分析计算,进而复核所设计的套管能否满足复杂工况的需求,根据表 5 的计算结果可以看出,所设计的套管完全能够满足不同危险

表4 技术套管计算结果

计算方法	套管编号	井段/m	规范		长度/m	钢级	壁厚/mm	有效载荷			套管强度		
			直径/mm	扣型				有效外挤力/MPa	有效内压力/MPa	有效拉力/kN	抗挤强度/MPa	抗内压强度/MPa	抗拉强度/kN
等安全系数法(100%)	技术套管 I	0~1048	339.7	BTC	1048	P110	12.19	12.33	30.74	3049.3	13.88	37.40	9247.9
		1048~3100	346.1	VAM-TOP	2050	SM125TT	15.88	36.50	22.06	2196.0	46.55	73.24	13063.0
	技术套管 II	0~2548	244.5	BTC	2548	P110	11.99	28.75	39.94	2814.4	32.36	69.50	6672.3
		2548~4610	250.8	VAM-TOP	2060	SM125TT	15.88	52.00	20.00	1311.7	95.16	101.60	8675.9

表5 古龙1井危险工况分析

可能最大内压力	下完套管后,固井水泥打到浮箍,发生堵塞,外部由于活动套管发生钻井液全部漏失,此时套管鞋处受最大内压力	技套 I、II 最大内压力值/MPa		SM125TT 强度/MPa		安全系数	
				44.13	68.39	73.24	101.6
可能最大外挤力	气举后套管内全掏空,固井质量不好,地层水作用在套管外部,套管鞋处受最大外挤力	技套 I、II 最大外挤力值/MPa		SM125TT 强度/MPa		安全系数	
				32.55	48.41	46.55	95.16

工况的要求。

2.5 套管柱设计现场验证

目前古龙1井已经完钻,所设计的技术套管 I 和技术套管 II 已顺利下井并固井成功,三开实施气体钻井,钻进井段长达 1196.05 m,未出现任何问题,说明套管设计满足现场要求,保证了施工的顺利进行。

3 结语

(1)在大庆油田深井设计中首次采用组合套管柱设计方法,既满足了施工安全,又节约了钻井成本。

(2)在古龙1井套管柱设计中采用了三轴强度校核和等安全系数法相结合的方式,同时考虑最危险工况的复核计算,确保了风险探井套管柱设计的安全,为以后超深井套管柱设计提供了新的思路。

参考文献:

[1] SY/T 5322-88,套管柱强度设计方法[S].

[2] SY/T 5322-2000,套管柱强度设计方法[S].

[3] 编写组. 钻井手册(甲方)(上)[M]. 北京:石油工业出版社,1990.

[4] 周开吉,郝俊芳. 钻井工程设计[M]. 山东东营:石油大学出版社,1996.

[5] Rabia H. 套管设计基础[M]. 华仲虎,译. 北京:石油工业出版社,1995.

[6] 杨明合,夏宏南,等. 对应用 SY/T 5322-2000 标准进行套管柱强度设计的几点讨论[J]. 河南石油,2005,19(2):72-74.

[7] 韩建增. 套管抗挤强度研究[D]. 四川:西南石油学院,2001.

[8] 沈晓维. 遗传算法在石油工程套管柱优化设计中的应用研究[D]. 吉林:吉林大学,2005.

[9] 韩志勇. 关于套管柱三轴抗挤强度设计问题的讨论[J]. 石油大学学报(自然科学版),2004,28(5):43-48.

[10] 张智. 深井高温高压条件下套管柱强度设计方法及计算机软件研究[D]. 四川:西南石油学院,2002.

[11] 宋军官. 套管柱设计新方法及其软件编制[D]. 大庆:大庆石油学院,2003.

[12] 覃成锦. 油气井套管柱载荷分析及优化设计研究[D]. 北京:清华大学,2000.

[13] 何世明,刘崇建,等. 套管柱强度设计计算[J]. 西南石油学院学报,1997,19(1):53-59.

[14] 杜春常,袁琪骥. 套管三轴应力设计原理和方法[J]. 西南石油学院学报,1993,15(3):74-82.

定向钻探连续造斜器汶川地震断裂带科学钻探1号孔孔故处理有显效

本刊讯 汶川地震断裂带科学钻探1号孔(WFSD-1)设计孔深1200 m,开钻以来遭遇地层破碎、涌水、孔壁坍塌、断层泥严重缩径等复杂情况。2009年3月25日,在孔深625.8 m断层泥层位,由于钻孔缩径发生夹钻事故,在处理事故过程中又有2根Ø89 mm岩心管和1个Ø89 mm套管公锥被滞留在孔内625.8 m处无法取出,造成孔内事故钻具消灭难度大、需要时间长的严重局面。施工单位请求中国地质科学院探矿工艺研究所技术援助,制定了在事故头以上灌注水泥形成人工孔底,然后侧钻绕过事故钻具的技术方案。

2009年4月1日,探矿工艺研究所派出定向钻探专家张

文英教授级高工赶赴科钻现场,根据现场具体情况,制订了周密的技术方案,克服事故孔段深、事故复杂的困难,利用探矿工艺所研制的LZ-89型连续造斜器在水泥孔底上侧钻,仅用3 h 20 min就偏出新孔并迅速转入正常钻进,到4月13日,WFSD-1孔已经钻进至630.39 m,快速、安全地通过了事故孔段,成功地处理了这起复杂的孔内事故,解决了汶川地震科钻1号孔的燃眉之急,至7月1日,钻孔孔深已超过1000 m,即将至设计孔深。该方法与常规事故处理及其他侧钻方法相比,具有经济、快速、安全和孔内无隐患等特点,以最小的代价取得了最优的效果。(季伟峰 供稿)