

— 国外完井技术丛书 —

6

WAN JING

SHE BEI

完井设备

石油工业出版社

87
TE257

2
3

国外完井技术丛书 6

完井设备

J.B. 格里尔 等著

李继康 席嘉珍 郭 毅 翟贵山 译

132.57



石油工业出版社

B

351533

内 容 提 要

完井设备决定完井质量，而完井质量直接影响到油井投产后的生产能力和油井寿命。本书收集了6篇有关完井设备方面的文章。主要介绍了近海完井和陆上完井的新技术，并详细地介绍了这些技术的实验室研究。本书可供矿机和钻井现场技术人员、研究人员以及有关院校师生使用。

国外完井技术丛书 6

完 井 设 备

J. B. 格里尔 等著

李健康 席嘉珍 郭毅 翟贵山 译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门内大街东后街甲36号)

通县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 32开本 4³/₄ 印张 103千字 印1—1,41●

1986年5月北京第1版 1986年5月北京第1次印刷

书号：15037·2590 定价：0.96 元

出 版 说 明

美国石油工程师学会根据其历届会议所发表的论文按照内容收集成册，出版了一套专论丛书，其中完井技术方面有三本(SPE REPRINT SERIES WELL COMPLETION, No. 5、5a-I、5a-II)。结合我国石油工业的需要，为了方便读者，我们根据这三本书的内容，分册翻译出版了这套《国外完井技术丛书》，其中包括：

1. 完井液
 2. 固井
 3. 防砂
 4. 完井酸化压裂
 5. 射孔
 6. 完井设备
 7. 完井评价
-

目 录

- 一、材料厚度和温度对深井、含硫井套管和油管设计的影响.....(1)
- 二、在封隔器密封的组合式油管柱中发生的运动、作用力和应力.....(33)
- 三、用三向评价方法确定油管中的应力.....(74)
- 四、近海完井与修井系统的新进展.....(94)
- 五、小型柔管修井机.....(116)
- 六、洛克希德水下采油系统的安全特性.....(135)
- 附录 单位换算系数表.....(147)

一、材料厚度和温度对深井、含硫井 套管和油管设计的影响

J. Brison Greer 著 李继康 译

引 言

深井、含硫井的生产对管材提出了严格的要求。15000英尺以下的井，由于所悬挂的钢材的重量会产生很大的应力，因而必需使用比C-75还要高的高强度等级的管子，或者采用诸如阶梯形组合式管柱或井下管子悬挂器等专门设施。此外，在20000英尺的井里还会达到20000磅/英寸²这样不寻常的井底压力，这就产生了高的抗破裂要求。因此，用于这类井的专用调质钢材就得到发展^[1,2]。本文就是涉及关于温度、壁厚和尺寸缺陷对用于制造套管和油管的工业用钢的硫化氢脆断特性的影响和这些因素是如何影响制造、设计和完井作业的问题。

近来在高温对减少硫化氢脆断趋势有影响^[3]这一方面已经引起了注意。阴极充电对钢的氢脆性的影响^[4,5]的研究表明，在室温或略低于室温状态下脆性断裂最严重，在低温和高温下就不那么严重。而对由于盐酸^[6]作用引起的脆断的研究展示了同样的一般温度依从关系。这些结果对现在开展的由于硫化氢的作用对钢材脆断的影响的研究^[7]是有帮助的。假定温度的影响可能是由于产品的腐蚀性变化造成

的，并不应当用于油田上。然而，腐蚀的反作用是一个重要因素，它支配着脆断的趋势，一旦氢气进到钢材中，大约象一个扩散机构那样，它的影响似乎在很大的程度上受温度的控制。因此，应当把温度当作一个设计参数。

实际上，所有的应力腐蚀实践都是把应力当作变量来测量的。这可能是那些所使用的还不曾弄明白的参数之一^[8]。近几年来，由于断裂力学的广泛应用，试验原理明显地变了。在断裂力学中，材料由于制造和检验不当假定都是有裂纹的，并且在许用应力和裂纹尺寸之间有一定的关系。这个特点正是材料的特性。

应力状态能够对一段带有裂纹的材料失效的负荷产生很大的影响。这对于石油工业所用的钢材通常是没有问题的。因为钢材的强度相应地低、塑性高，而壁又不厚，在断裂时不足以产生不同于平面状态的情况。即使这样，由于从单向应力状态改变成双向应力状态^[9]，塑性会明显地降低。在涉及到脆性的地方，尽管应力状态接近于平面应变，这在石油生产中使用的低强度钢材中就变得重要了。随着较深的井的出现和厚壁高强度钢材的使用，也会使应力状态问题恶化。很遗憾，理论断裂力学还不能解决平面应力向平面应变转换的问题。所以，为了弄清这些性能特征就要做试验。

试验过程

材料

在这些试验中所用的钢材是外径为7英寸的厚壁工业套管和外径为8英寸的接箍。大部分用于含硫环境中。钢材的化学成分和拉伸强度列于表1。一般地讲，平均屈服强度比额定等级钢材的强度高10000磅/英寸²，例如Mod N-80——

表1 抗拉强度试验和化学分析数据

钢级	牌号	化学成分										强度(磅/英寸 ²)		2英寸 伸长百分比
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	屈服		极限			
									屈服	极限				
Mod N-80	C4 N-80 NT	0.29	1.73	0.009	0.030	0.20	0.08	0.31	81,200	107,100	28			
Mod N-80	A3 N-80	0.18	1.23	0.016	0.038	0.26	0.08	0.10	83,000	101,700	32.5			
Mod N-80	V1 N-80	0.34	1.25	0.035	0.030	0.22	0.55	(0.05Va)	85,000	104,000	34			
Mod N-80	B7821	0.33	1.24	0.007	0.025	0.25	—	0.19	89,400	102,500	36			
Mod N-80	16545	0.32	1.22	0.010	0.027	0.27	—	0.18	89,500	106,600	34			
Mod N-80	B7815	0.32	1.29	0.009	0.021	0.29	—	0.19	88,900	104,000	34			
Mod N-80	A3673	0.32	0.58	0.010	0.024	0.26	0.93	0.15	90,200	111,500	40			
N-80	16315	0.36	0.74	0.009	0.023	0.31	0.94	0.19	99,700	119,400	33			
90	C2874	0.30	0.44	0.008	0.026	0.25	0.97	0.17	95,600	120,500	34			
90	B2935	0.29	0.48	0.012	0.028	0.23	0.92	0.19	96,500	116,300	34			
90	E2907	0.31	0.49	0.010	0.015	0.27	0.95	0.19	100,000	120,400	33			
90	C8331	0.35	0.53	0.006	0.022	0.26	1.00	0.17	99,400	117,900	37			
95	C3814	0.33	1.24	0.009	0.029	0.29	—	0.21	104,800	132,600	30			
95	B7586	0.32	1.25	0.010	0.023	0.26	—	0.18	103,800	122,500	28			
95	V295	0.31	0.68	0.010	0.025	2.5	0.68	0.27	105,800	132,400	25			
P-110	U1 P-110	0.35	1.58	0.015	0.035	0.11	0.04	0.03	113,000	132,700	25			
P-110	E2 P-110	0.33	1.25	0.012	0.040	0.21	0.58	0.09	131,900	143,200	21.5			
P-110	C2898	0.35	1.32	0.010	0.018	0.25	—	0.19	121,200	137,500	21			
125	B8625	0.34	0.60	0.011	0.024	0.28	0.94	0.16	133,000	149,000	27			

表2 压 延 试 验

钢 级	牌 号	外径 (英寸)	重 量 (磅/英尺)	直径/ 壁厚	平台间距	API 平台间距 (最大)
Mod N-80	C4 N-80 NT	7	38	13	0.46 D 0.52 D 0.61 D	0.79 D
Mod N-80	A3 N-80	7	32	15	0.53 D 0.52 D 0.53 D	0.73 D
Mod N-80	B7821	7	38	13	0.36 D 0.48 D	0.79 D
N-80	16315	7	38	13	0.48 D 0.57 D 0.59 D	0.79 D
90	C2874	7	48	9.5	0.52 D 0.47 D 0.46 D	0.93 D
95	C3814	7	38	13	0.39 D 0.41 D 0.46 D	0.84 D
95	V2-95	7	32	15	0.55 D 0.58 D 0.59 D	0.78 D
P-110	E2 P-110	7	32	15	0.66 D 0.64 D 0.71 D	0.83 D
P-110	C2898	7	35	14	0.66 D 0.61 D 0.79 D	0.86 D

90000磅/英寸²。它们按化学成分分为两组：(1)碳-锰钢(大部分是API产品的特点)和(2)铬-钼(或钒)钢,用于在厚壁产品中增大淬硬能力的地方。API中一些用于温度研究的钢材的压延特性列于表2中。

试件

专门用作硫化氢脆断试验的C形环从管材上横向割取。为保证均匀性,尺寸公差为 ± 0.001 英寸(图1到图2)。所有的环的宽度为0.875英寸,额定外径或者为7英寸或者为8英寸,这取决于环是从套管还是从接箍上割取。壁厚变化靠切除材料的内表面来获得。冲击试验的V形缺口从外表面上开,作为应力上升点,它的深度用试件壁厚的百分比表示。通过一个穿过C形环的螺栓来给环施加应力。

校定

C形环开始时用如图1所示的应变仪来校定,通过V形缺口和支点给螺栓加载,以把负荷加在C形环的直径上和防止在螺栓上产生扭应力。这个装置的使用是费时间的,但是其结果比简单地用Tinius-Olsen试验仪器压平C形环并记录



图1 C形环标定装置

负荷-挠曲变形曲线的方法获得的结果要精确得多。校定曲线可能提供硫化氢脆断的信息资料。典型数据示于图 8 到图 14。

硫化氢脆断试验的样品用挠曲变形方法加载。应力的读数通过用图 8 到图 14 的负荷-挠曲变形曲线来比较挠曲变形的结果得到。从中可见，与第一个屈服点相应的一段曲线基本上是不变的，可是在失效处的挠曲变形变化很大，这与裂纹大小和制造条件有关。硫化氢脆断的试验结果包含有应力的信息。这些相应的应力是假定材料还没有屈服和 V 形槽没有应力集中的情况下计算出来的⁽¹⁰⁾。这些计算结果在屈服开始时与校定数据相配得很好。假设在屈服之后有很好的塑性，这时的计算结果与在完全屈服时观察到的测定负荷很吻合⁽¹¹⁾。对于大于开始屈服时的挠曲变形，可以从负荷-挠曲变形曲线上得到某些应力的推算值。应力状态和挠曲之间的关系比较复杂，而校定曲线都是可以描述的；没有开槽的试件都处于平面应力状态，开槽的试件展示出三维变化的情况，如同降低塑性所证明的那样。

试验仪器

试验仪器的排放如图 2 所示。它由一些安装有 20 个电绝缘的 7 英寸的 C 形环和各种供给 H_2S 气体和液体样品的管线和池子组成。池子在一个罩子里罩着。罩子上装有一个减压阀，在 H_2S 发生器上装有安全切断阀（在罩子失效时动作）。从池子里出来的气体变成气泡，经过碱溶液中和之后才排放到大气中去。为了承受压力，用于高温试验的池子具有专门的结构，并衬有耐腐蚀镍基合金 C 的衬里。室温试验的池子由胶质玻璃构成。

环境

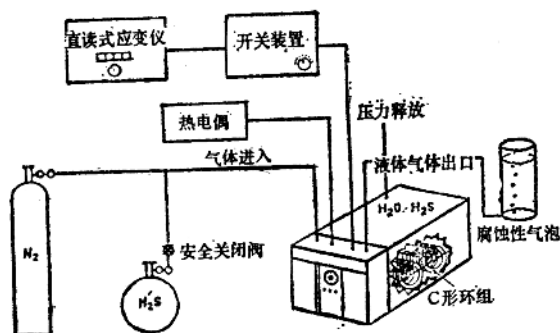


图2 试验仪器的组装示意图

除了使用温度为 0°F 和含25%的盐的情况外，要按NA-CE标准试验方法准备一个含水分的 H_2S 环境^[12]。从而构成一个无氧的 H_2S 饱和含水溶液，按重量它含有5%的NaCl和0.5%的醋酸。氧气一开始就从水池中用烧开的方法清除去了。在装入试件之前24小时就把 H_2S 变成气泡通过溶液引入。气泡在整个试验过程中都要保持。对于高温试验，C形环试件在烘箱中预热到要把它们放进去的池子的温度。池子在工作温度下应在与水的蒸气压力相应的压力下工作。这种状态下的饱和硫化氢的含量^[13]如下：

温度	压力 (磅/英寸 ²)	饱和的 H_2S (百万分之一)
$72^{\circ}\text{F}(24^{\circ}\text{C})$	0.4	3900
$150^{\circ}\text{F}(65^{\circ}\text{C})$	3.7	1670
$200^{\circ}\text{F}(93^{\circ}\text{C})$	11.5	1260

观察

试件从池子里取出来之后，通常在3天、10天和30天期限内，用肉眼观察验证脆断情况。没有失效的试件在环境中暴露30天之后将断裂破坏。负荷、失效时的挠曲变形和断口的外观形状将用来确定已发生的脆断。

硫化氢脆断结果和讨论

温度试验

具有屈服强度为80000到125000磅/英寸²的常用钢材进行试验的温度范围是0到200°F。为了填补空缺，取得重复

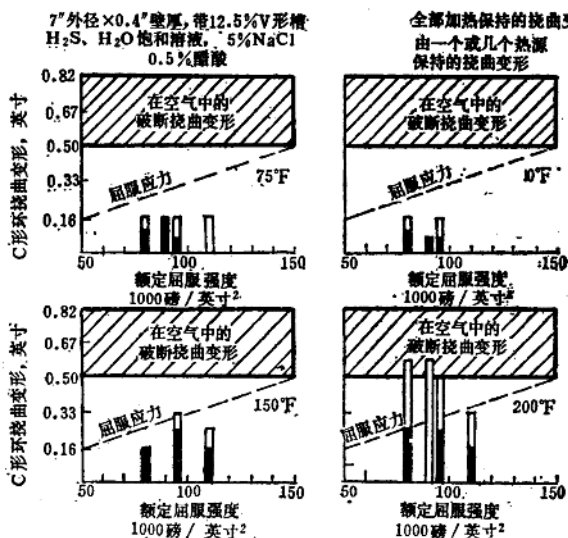


图3 温度对高强度钢硫化氢应力断裂的影响(0.3英寸挠曲变形近似地相应于62500磅/英寸²的应力)

的数据和评价同一产品的不同的加温情况曾做了大量的试验。为了取得 0°F 时的结果，使用了含 25% NaCl 的溶液(防冻)，为了对结果进行比较，用这种溶液在室温下做了一次试验。试验用两种尺寸的试件完成：7 英寸外径 × 0.5 英寸壁厚 × 20% 的槽深和 7 英寸外径 × 0.4 英寸壁厚 × 12.5% 的槽深。数据列于表 3 和表 4，并展示于图 3 和图 4。

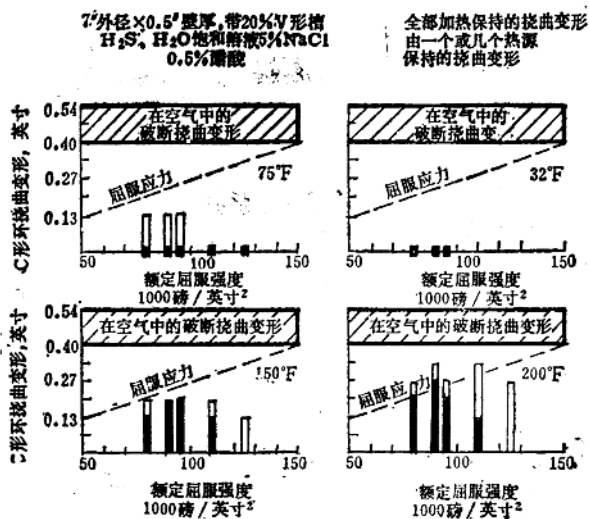


图 4 温度对高强度钢硫化氢应力断裂的影响 (0.16 英寸扭曲变形近似地相应于 57000 磅/英寸² 的应力)

图 3 和图 4 表示的是在失效时测定的结果和保持的硫化氢脆断时的扭曲变形这两种情况。另外，为了阐明由于环境影响而产生的脆断的有关数值，在这些图里还包括与屈服应力有关的扭曲变形。例如，假定一个试件在硫化氢脆断试验

表3 高强度套管钢材的硫化氢应力断裂
(7英寸×0.4英寸×12.5%槽深的样件)

温度和材料	牌 号	试验号	挠曲变形时的失效时间(天)									
			0.08	0.12	0.16 ^①	0.25	0.33	0.42	0.50	0.59		
0°F(-12°C)												
Mod N-80	A3 N-80	21 ^②	NF	NF	10	3						
Mod N-80	B2 N-80	21	NF	NF	MX	3						
Mod N-80	C4 N-80 NT	21	NF	NF	30	3						
Mod N-80	B7821	21	NF	NF	NF	10	3					
90	C2874	21	NF	30	30	3	3					
95	C3814	21	NF	NF	NF	10	3					
95	V2 95	21	NF	10	10	3						
75°F(24°C)												
Mod N-80	A3 N-80	5			3	3	3	3				
		8			3	3						
		8			30							
		13	NF	NF	NF							
		22 ^②	NF	NF	MX	10						
		13	NF	NF	NF							
Mod N-80	C4 N-80 NT	22	NF	NF	MX	10						
		4			MX	3	3	3				
		5			MX	3	3	3				
		8			MX	3						
		8			30							
		13	NF	NF	NF							
		22	NF	NF	NF	3						
N-80	16315	4			NF	3	3	3				
		8			NF	3						
Mod N-80	B7821	5			NF	3	3	3				
		8			NF	3						
		13			NF							
		22		NF	NF	10	10					

续表

温度和材料	牌 号	试验号	挠曲变形时的失效时间(天)							
			0.08	0.12	0.16 ^①	0.25	0.33	0.42	0.50	0.59
90	C2874	4			NF	3	3	3		
		8			NF	3				
		13		NF	NF					
		22		NF	NF	10	10			
95	C3814	4			NF	3	3	3		
		8			NF	3				
		13		NF	NF					
		22		NF	NF	10	3			
95	V2 95	4			3	3	3	3		
		8			3	3				
		15	NF	NF	3					
		22	NF	MX	10	3				
P-110	E2 P-110	5			3	3	3	3		
		8			3	3				
P-110	C2898	5			NF	3	3	3		
		8			3	3				
150°F(65°C)										
Mod N-80	A3 N-80	7			NF	NF	NF	3		
95	V2 95	7			NF	3	3	3		
95	C3814	7			NF	NF	3	3		
P-110	E2 P-110	7			NF	3	3	3		
P-110	C2898	7			NF	NF	3	3		
200°F(93°C)										
Mod N-80	A3 N-80	6			NF	NF	3	3		
		9					NF	3		
Mod N-80	C4 N-80 NT	9					NF	3	3	
N-80	16315	9						NF	NF	3
Mod N-80	B7821	9						NF	NF	NF

续表

温度和材料	牌 号	试验号	扭曲变形时的失效时间(天)								
			0.08	0.12	0.16 ^①	0.25	0.33	0.42	0.50	0.59	
90	C2874	9							NF	NF	NF
95	—	6			NF	NF	3	3			
		9					3	3			
95	C3814	6			NF	NF	NF	NF			
		9						NF	NF	3	
P-110	E2 P-110	6			NF	3	3	3			
		9				3	3				
P-110	C2898	6			NF	NF	NF				
		9						3	3		

NF=没有失效; MX=显微断裂

① 大约相当于57000磅/英寸²; ② 25%NaCl

中保持了与屈服应力相应的扭曲变形。如果不知道正常希望的附加扭曲变形有多大,那就可以假设一个假想的实际脆断指标。“在空气中断裂扭曲”的数据表明它们有一个相当宽的散布,而这些数据看来主要取决于制造条件。

图3和图4给出了这样一种印象,高温对于抗硫化氢脆断有利。把试验温度从75°F改变到150°F就可以使P-110试件的性能与ModN-80在75°F时所展示的性能一样。因为图3和图4反映一组曲线,一个比较精确的关于温度影响的观念能够通过研究在表3和表4中的单个的合金的特性而获得。记住,或者产品具有简单的碳-锰合金的化学性质,或者产品是一种比较高的含铬合金(表1),这是有帮助的。另外,测定的曲线(图8至图14)给出了一个为材料所固有的塑性指标。因为加热器失效,全部试件也跟着失效了。所以两个高温试验(表4中第15和17号)都是用室温来表示的。