

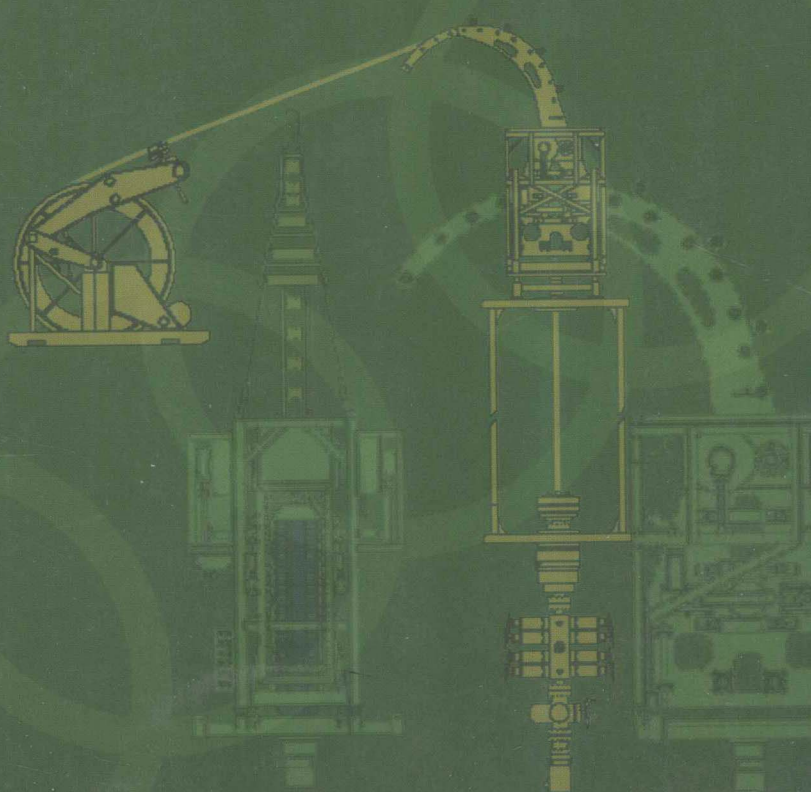


YU CAIZHI
ANAN

连续油管 工程技术手册



赵章明



石油工业出版社

连续油管工程技术手册

赵章明 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本手册的内容涵盖了连续油管及其配套设备、工具及连续油管技术在钻井、修井、测井、增产等方面的应用情况。手册提供了连续油管、连续油管作业设备、连续油管井控设备、连续油管井口装置、连续油管完井系统及连续油管工具的型号、规格和技术参数，同时提供了连续油管技术在钻井、完井、射孔、增产、修井和生产等方面的应用资料、图表，以及连续油管常用计算公式。

本手册可供从事钻井、完井、射孔、增产、修井和生产等领域的管理人员和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

连续油管工程技术手册 / 赵章明编 .

北京 : 石油工业出版社, 2011.5

ISBN 978-7-5021-8010-2

I. 连…

II. 赵…

III. 油管 - 技术手册

IV. TE 931-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 174302 号

出版发行 : 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址 : www.petropub.com.cn

编辑部 : (010) 64523735 发行部 : (010) 64523620

经 销 : 全国新华书店

印 刷 : 石油工业出版社印刷厂

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本 : 1/16 印张 : 30

字数 : 766 千字

定价 : 120.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

连续油管最早起源于第二次世界大战期间的海底管线工程。20世纪60—70年代,从事连续油管设备和连续油管注入头制造的公司有 Bowen 工具公司、Bowen 石油工具公司、Uni-Flex 公司、Hydra Rig 公司和 Otis 工程公司。但直到20世纪70年代末期至80年代,连续油管技术才进入了一个快速发展时期,1978年,生产出了外径为 $1\frac{1}{4}$ in的连续油管。1980年,西南钢管公司将强度为70ksi的高强度、低合金钢用于连续油管的制造。1983年,Quality Tubing公司使用914m的板材,使连续油管的焊接数量降低了50%。20世纪80年代后期,Quality Tubing公司在连续油管的制造过程中,用斜口焊接方法取代了对接焊接方法。1990年,出现了第一口采用2in连续油管完井的完井管柱,此后不久,外径为 $2\frac{3}{8}$ in、 $2\frac{5}{8}$ in、 $2\frac{7}{8}$ in、 $3\frac{1}{2}$ in和 $4\frac{1}{2}$ in的连续油管相继投入使用。到2004年初期,投入使用的连续油管强度有90ksi、100ksi、110ksi和120ksi四个等级。在连续油管的应用过程中,针对含CO₂、H₂S的油气井腐蚀环境,Tenaris公司开发了HS-80CRA连续油管,NOV公司开发了QT-16Cr80连续油管,Webco Industries公司开发了Laserline™系列连续(油)管,Select Energy Systems公司开发了HDPE复合连续油管。

随着连续油管作业机、连续油管工具、完井设备种类的不断丰富和完善,连续油管技术的优势越来越明显。据ICOTA 2009年1月的统计资料显示,2008年在用的连续油管作业机数量达1704台,连续油管技术的应用范围已涵盖了钻井、测井、射孔、增产、修井等方面,并形成了连续油管钻井技术、连续油管完井技术、连续油管测井技术、连续油管修井技术、连续油管举升技术等特色技术。由于连续油管技术应用范围的不断扩大,作为其核心设备的连续油管作业机也被业界赋予了“万能作业机”的美誉。

国内在连续油管技术的应用方面则明显滞后,据来自ICOTA 2009年1月的统计资料显示,2008年全球范围内在用的1704台连续油管作业机中,国内仅占50台,不到3%,因此笔者希望通过该手册的编写,使现场工程技术人员能对连续油管及其配套设备、工具的性能、技术参数,以及连续油管技术在钻井、完井、修井、测井、增产、生产等领域的应用情况有一个全面的了解,同时也寄希望于本手册的出版,能为连续油管技术的推广应用起到抛砖引玉的作用。

本手册主要收录了国外著名的连续油管及其配套设备生产厂家的产品型号及技术参数,例如,Tenaris公司的HS系列连续油管、NOV公司的QT系列连续油管、连续油管井控设备、连续油管作业机及连续油管工具、Select Energy Systems公司的HDPE系列连续油管、连续油管井口装置及连续油管工具、Webco Industries公司的Laserline™系列连续(油)管,以及连续油管应用技术的相关技术资料、图表和连续油管常用计算公式。

在本手册的编写过程中,笔者力求通过大量的有关连续油管技术资料的调研、整理、分析,扩大手册的覆盖面,给读者提供尽可能多的信息量,使《连续油管工程技术手册》成为一本资料翔实、全面、新颖、实用的连续油管技术工具书。本手册的内容包括连续油管特性、连续油管防腐性能、连续油管常用计算、连续油管作业设备、连续油管井控设备、

连续油管井口装置、连续油管工具、连续油管完井系统、连续油管应用技术、连续油管作业应急处理方法和附录。

在此对在编写过程中提供帮助的川庆钻探工程公司高级技术专家潘正富、欧治林表示衷心的感谢。

由于编写经验不足，手册中难免存在不足与疏漏，恳请广大读者不吝赐教，多提宝贵意见，以便在今后的工作中加以改进和完善。

编者

2010年10月

目 录

第 1 章 连续油管特性	1
1.1 连续油管性能.....	2
1.1.1 内压对连续油管直径的影响.....	4
1.1.2 弯曲次数对连续油管直径的影响.....	5
1.1.3 连续油管挤毁压力影响因素.....	7
1.1.4 连续油管疲劳寿命影响因素.....	9
1.1.5 连续油管起下速度限制.....	14
1.1.6 焊接对连续油管的影响.....	14
1.1.7 连续油管弯曲半径限制.....	15
1.1.8 连续油管摩阻损失及流量限制.....	15
1.2 连续油管缺陷.....	16
1.3 连续油管接头特征.....	17
1.4 连续油管挤毁压力 / 内屈服压力曲线.....	18
1.5 连续油管的物理性能、化学组分及技术参数.....	38
1.5.1 CT 系列连续油管.....	38
1.5.2 HS 系列连续油管.....	49
1.5.3 QT 系列连续油管.....	70
1.5.4 HO 系列连续油管.....	88
1.6 连续油管运输滚筒技术参数.....	92
第 2 章 连续油管防腐性能	97
2.1 连续油管防全面腐蚀性能.....	97
2.2 连续油管防酸性弯曲疲劳性能.....	99
2.3 连续油管防应力腐蚀开裂性能.....	100
2.4 耐蚀合金连续油管防腐性能.....	102
2.5 复合连续油管性能及技术参数.....	104
2.6 耐蚀合金连续油管技术参数.....	106
2.6.1 HS 系列耐蚀合金连续 (油) 管.....	106
2.6.2 QT 系列耐蚀合金连续油管.....	107
2.6.3 Ti 系列耐蚀合金连续油管.....	109
2.6.4 Laserline™ 系列耐蚀合金连续 (油) 管.....	111
第 3 章 连续油管常用计算	114
3.1 连续油管弹性伸长量计算.....	114

3.1.1	由轴向力引起的伸长量 ΔL	114
3.1.2	由温度变化引起的伸长量 ΔL_T	115
3.1.3	由泊松比引起的伸长量 ΔL_p	116
3.2	连续油管卡点位置计算	116
3.3	连续油管最小弯曲半径计算	117
3.4	连续油管压降计算	118
3.4.1	卷绕管段压力损失计算	118
3.4.2	垂直管段压力损失计算	118
3.4.3	斜直管段压力损失计算	120
3.5	连续油管内屈服压力 / 挤毁压力计算	121
3.5.1	圆管	121
3.5.2	椭圆管	123
3.6	连续油管下入深度计算	151
3.6.1	方法一	151
3.6.2	方法二	152
3.6.3	方法三	152
3.7	连续油管疲劳屈服模型	152
3.7.1	连续油管疲劳寿命模型	152
3.7.2	连续油管扭曲—锁定模型	155
3.8	连续油管底部最大压缩力计算	157
3.9	连续油管临界流速计算	159
3.10	连续油管滚筒容量计算	160
3.10.1	方法一	160
3.10.2	方法二	161
3.11	连续油管定向钻井相关计算	161
3.12	井控储能器体积计算	163
第4章	连续油管作业设备	164
4.1	连续油管作业机组成	164
4.1.1	注入头	164
4.1.2	鹅颈管	165
4.1.3	注入头支撑架	165
4.1.4	注入头提升架	166
4.1.5	动力部分	166
4.1.6	连续油管滚筒	166
4.1.7	控制室	167
4.1.8	数据采集系统	167
4.2	连续油管作业装备	167

4.2.1	Fidmash CTU 型号及技术参数	167
4.2.2	C—Tech Oilwell Technologies CTU 型号及技术参数	172
4.2.3	IPS CTU 型号及技术参数	179
4.2.4	Sanjel CTU 型号及技术参数	180
4.2.5	烟台杰瑞石油装备技术有限公司 CTU 型号及技术参数	181
4.2.6	中国石化国际有限公司 CTU 型号及技术参数	182
4.2.7	中国石油江汉机械研究所 CTU 型号及技术参数	182
4.3	连续油管注入头型号及技术参数	183
4.3.1	Foremost 注入头型号及技术参数	183
4.3.2	Fluid Design Solution 注入头型号及技术参数	183
4.3.3	Hydraco Industries 注入头型号及技术参数	184
4.3.4	Hydra Rig 注入头型号及技术参数	184
4.3.5	Halliburton 注入头型号及技术参数	189
4.3.6	Fidmash 注入头型号及技术参数	193
4.3.7	Stewart & Stevenson 注入头型号及技术参数	194
4.4	Rolligon 连续油管泵系统型号及技术参数	194
4.5	Halliburton 连续油管液压动力系统技术参数	195
第 5 章	连续油管井控设备	197
5.1	防喷盒	198
5.1.1	防喷盒结构	198
5.1.2	防喷盒技术参数	200
5.2	防喷器	204
5.2.1	防喷器结构	205
5.2.2	防喷器故障诊断流程	208
5.2.3	防喷器尺寸选择	209
5.2.4	防喷器技术参数	210
5.3	单流阀	223
第 6 章	连续油管井口装置	224
6.1	Select Energy Systems 井口装置	224
6.1.1	井口装置组成	224
6.1.2	井口设备结构	227
6.1.3	井口设备技术参数	230
6.2	Progressive Technology 井口设备	234
6.2.1	井口设备结构	234
6.2.2	井口设备技术参数	236
6.3	Wellhead Control Products 井口设备	238
第 7 章	连续油管工具	241

7.1	Select Energy Systems 连续油管工具	241
7.1.1	连续油管工具结构	242
7.1.2	连续油管工具技术参数	247
7.2	NOV 连续油管工具	256
7.2.1	连续油管工具结构	257
7.2.2	连续油管工具技术参数	265
7.3	Schlumberger 连续油管工具	281
7.3.1	连续油管工具结构	283
7.3.2	连续油管工具技术参数	290
7.4	ASEP 连续油管工具	313
7.4.1	连续油管工具结构	314
7.4.2	连续油管工具技术参数	330
7.5	Progressive Technology 连续油管工具	338
7.5.1	连续油管工具结构	339
7.5.2	连续油管工具技术参数	347
7.6	Antech 连续油管工具	354
7.6.1	连续油管工具结构	354
7.6.2	连续油管工具技术参数	356
7.7	Baker 连续油管工具	358
7.7.1	连续油管工具结构	358
7.7.2	连续油管工具技术参数	359
7.8	Innicor Subsurface Technologies 连续油管工具	362
7.8.1	连续油管工具结构	363
7.8.2	连续油管工具技术参数	364
7.9	Weatherford 连续油管工具	366
7.9.1	连续油管工具结构	366
7.9.2	连续油管工具技术参数	367
7.10	Core Laboratories 连续油管工具	369
7.10.1	连续油管工具结构	369
7.10.2	连续油管工具技术参数	370
7.11	Halliburton 连续油管工具技术参数	373
7.12	Pipe Recovery Systems 连续油管工具技术参数	373
7.13	MCR 连续油管工具技术参数	374
7.14	JRC 连续油管工具技术参数	374
7.15	Progressive Technology 连续油管安装工具	375
第 8 章	连续油管完井系统	377
8.1	Select Energy Systems 完井系统	377

8.2	Progressive Technology 完井系统	380
第9章	连续油管应用技术	383
9.1	连续油管解决方案	383
9.2	连续油管钻井技术	388
9.2.1	连续油管钻井系统与装备	392
9.2.2	连续油管钻井马达性能图表	395
9.2.3	连续油管钻井典型井控装置	397
9.2.4	连续油管钻井底部钻具组合	398
9.2.5	连续油管钻井地面系统	404
9.2.6	连续油管钻井井场地面布置	404
9.3	连续油管注水泥技术	407
9.4	连续油管修井工具组合	409
9.5	连续油管测井工具组合及电缆注入系统	416
9.6	连续油管射孔工具组合	418
9.7	连续油管增产工具组合	419
9.8	连续油管人工举升技术	421
第10章	连续油管作业应急处理方法	427
10.1	动力装置出现问题	427
10.2	防喷盒漏失	427
10.2.1	普通顶入式防喷盒漏失	427
10.2.2	侧入式防喷盒失效	428
10.3	连续油管挤毁	428
10.3.1	连续油管挤毁发生在油管的上部	428
10.3.2	连续油管挤毁发生在油管的下部	428
10.4	井内遇卡	429
10.5	循环遇阻	430
10.6	机械循环遇阻	430
10.7	机械性遇阻且无法建立循环	430
10.8	立管或防喷器下方的连接处漏失	430
10.9	滚筒和注入头之间出现连续油管断裂	431
10.10	连续油管井下断裂	431
10.11	注入头和防喷盒之间出现连续油管断裂	432
10.12	防喷盒上部连续油管出现穿孔(下入过程中)	432
10.13	防喷盒上部的连续油管出现穿孔(起出过程中)	432
10.14	井下连续油管穿孔	433
10.15	防喷盒和注入头之间的连续油管出现弯曲	433
10.16	连续油管失控下落	433

第 1 章 连续油管特性

连续油管是连续油管技术的重要组成部分，连续油管质量的好坏决定了连续油管作业的成败。在进行连续油管作业之前，应考虑如下因素：

首先是连续油管的使用情况，如焊接位置、腐蚀程度、椭圆度大小、壁厚、鼓胀情况及连续油管历次使用记录；

其次是连续油管的使用环境，如工作压力、工作温度、井筒流体组成及腐蚀严重程度；

再次是根据连续油管的实际情况和使用环境，选择合适的安全系数，确保施工目的顺利实现。

在 API5C7 标准中，按强度等级的大小不同，将连续油管分为 CT-55、CT-70、CT-80 和 CT-90 四个等级。表 1.1 是 Quality Tubing 公司生产的连续油管与 CT 系列连续油管的对应关系。

表 1.1 连续油管钢级

钢级	API RP5C7 对应钢级	最小屈服强度		最小拉伸强度		最大硬度 HRC	用途
		kPa	psi	kPa	psi		
CT-55	CT-55	380000	55000	450000	65000	22	井下连续油管、 控制管线
HO-60	—	410000	60000	480000	70000	22	井下悬挂连续油管
QT-700	CT-70	480000	70000	550000	80000	22	井下连续油管、 控制管线
QT-800	CT-80	550000	80000	620000	90000	22	
QT-1000	—	690000	100000	760000	110000	未规定	井下悬挂连续油管

连续油管的工作极限是选择连续油管所必须考虑的，表 1.2 给出的连续油管工作极限数据是基于实际经验而非公式计算得出的。

表 1.2 连续油管工作极限 (van Adrichem 等, 1995)

参数	常规限制	高压限制
井口最大工作压力, psi	3500	9000
挤毁压力, psi	1500	10000
静态内屈服压力, psi	5000	
动态内屈服压力, psi	4000	
最大拉伸强度 (屈服强度的百分数), %	80	

除了 Quality Tubing 公司的 QT 系列连续油管外，还有 Tenaris 公司生产的 HS 系列连续油管。

1.1 连续油管性能

随着连续油管加工工艺技术的不断发展，连续油管的直径也在不断增大，到目前为止，已能生产直径达 4.5in 的连续油管。同时，随着连续油管直径的增大，连续油管的内屈服（或破裂）压力、拉伸载荷等力学性能也不断增强。图 1.1 ~ 图 1.6 分别提供了连续油管外径与连续油管壁厚、内截面积、质量、内屈服压力、拉伸载荷和扭矩之间的相互关系。

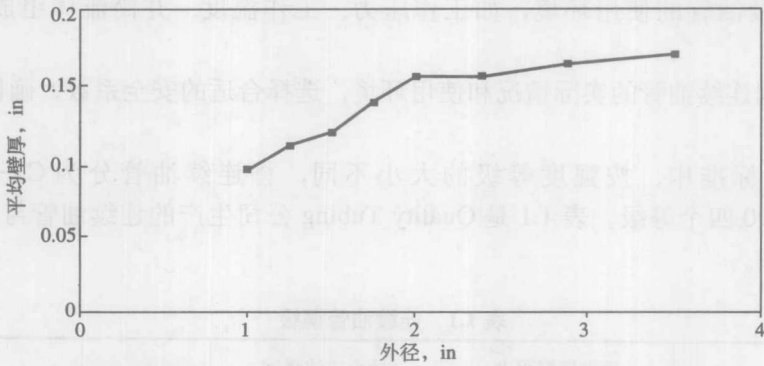


图 1.1 连续油管外径与平均壁厚的关系 (Quality Tubing, 1993)

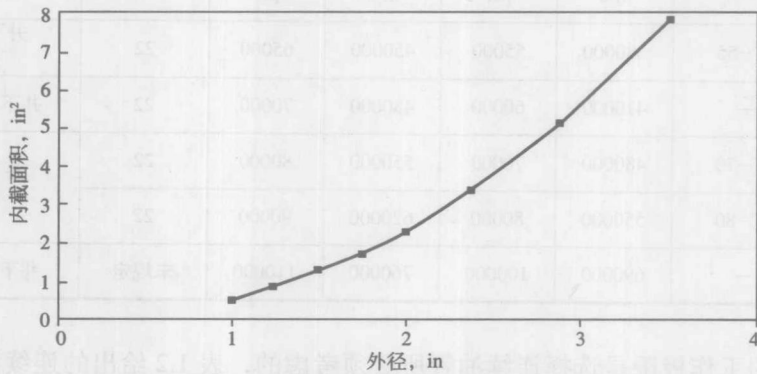


图 1.2 连续油管外径与内截面积的关系 (Quality Tubing, 1993)

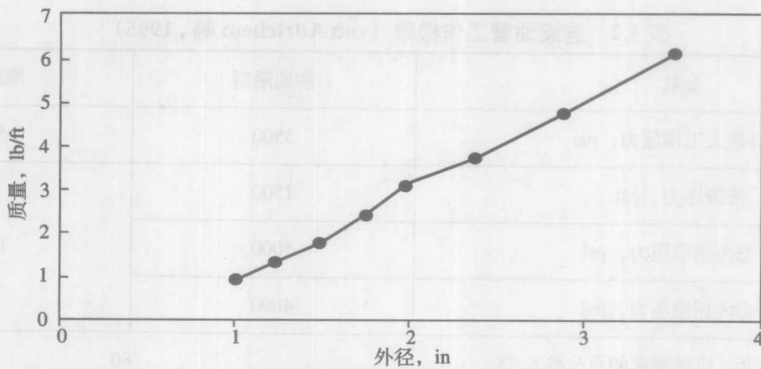


图 1.3 连续油管外径与质量的关系 (Quality Tubing, 1993)

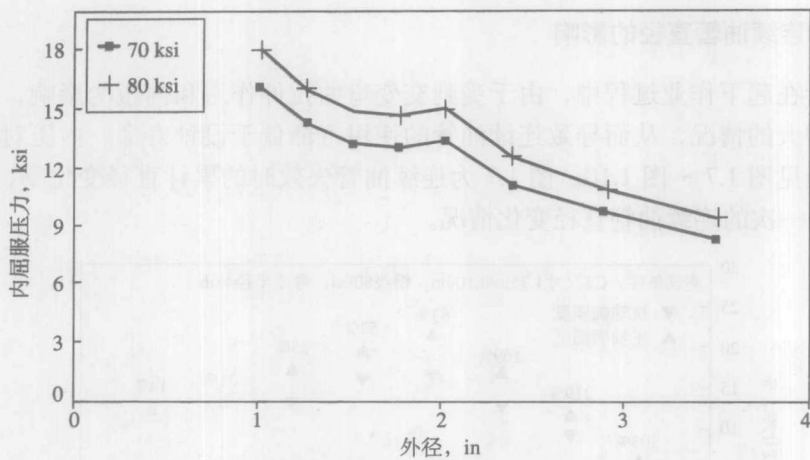


图 1.4 连续油管外径与内屈服压力的关系 (Quality Tubing, 1993)

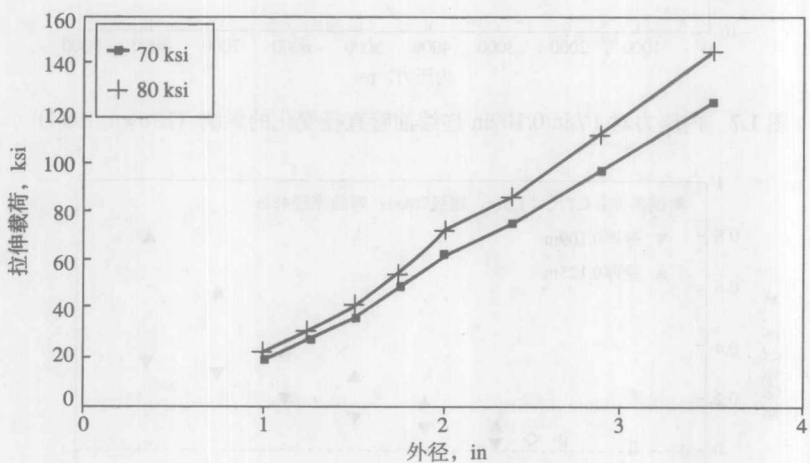


图 1.5 连续油管外径与拉伸载荷的关系 (Quality Tubing, 1993)

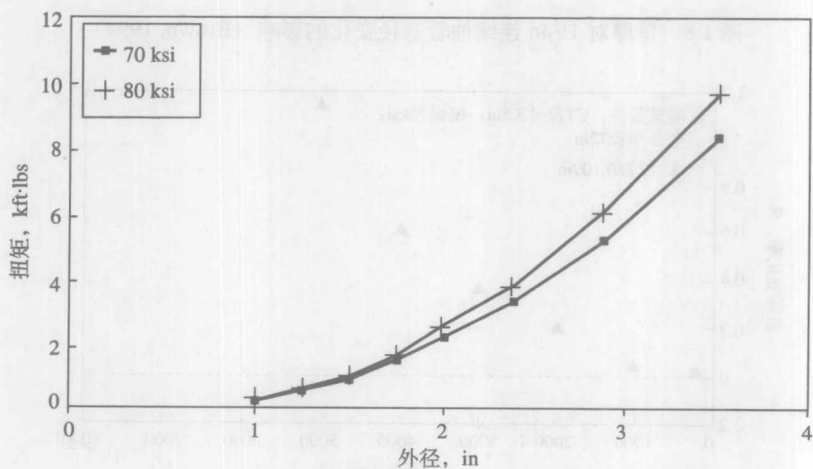


图 1.6 连续油管外径与扭矩的关系 (Quality Tubing, 1993)

1.1.1 内压对连续油管直径的影响

连续油管在起下作业过程中，由于受到交变弯曲拉伸作用和内压的影响，连续油管的直径会出现增大的情况，从而导致连续油管的使用寿命低于设计寿命。内压对连续油管直径的影响情况见图 1.7 ~ 图 1.10。图 1.7 为连续油管失效时的累计直径变化率，图 1.8 ~ 图 1.10 为每起下一次的连续油管直径变化情况。

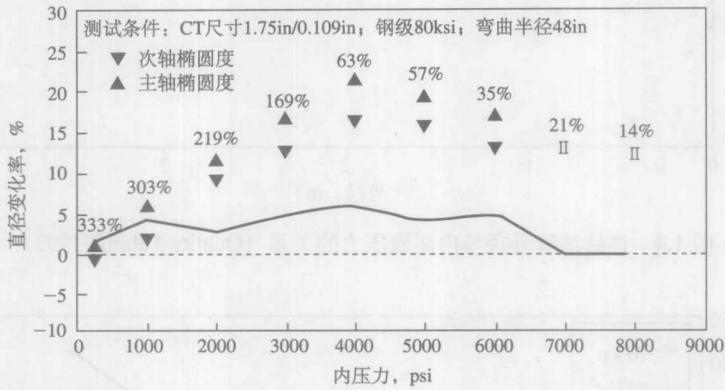


图 1.7 内压力对 1³/₄in/0.109in 连续油管直径变化的影响 (Brown, 1994)

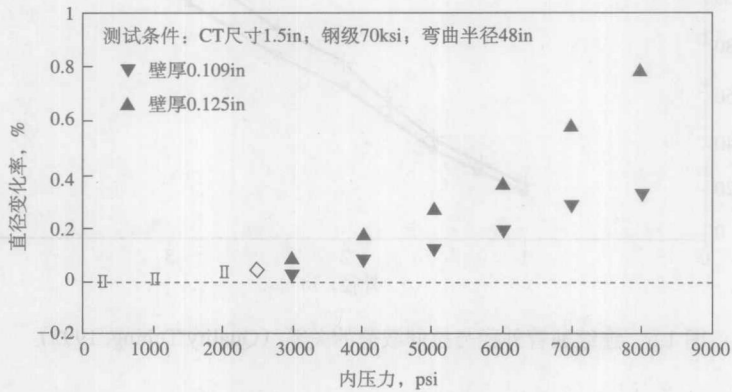


图 1.8 壁厚对 1¹/₂in 连续油管直径变化的影响 (Brown, 1994)

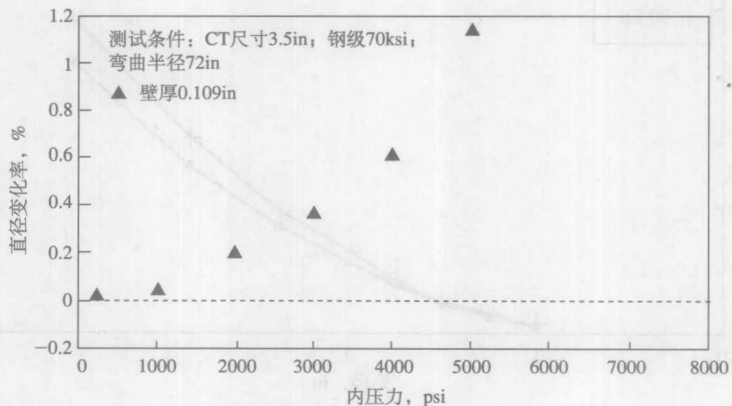


图 1.9 内压力对 3¹/₂in/0.109in 连续油管直径变化的影响 (Brown, 1994)

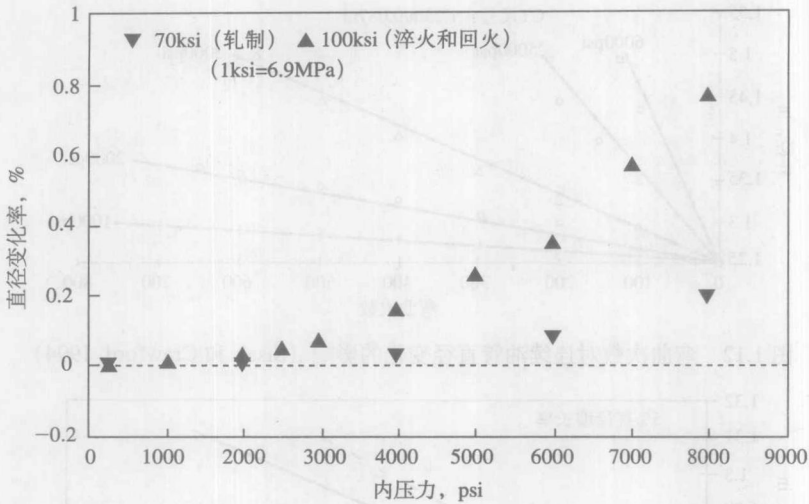


图 1.10 强度对连续油管直径变化的影响 (Brown, 1994)

1.1.2 弯曲次数对连续油管直径的影响

连续油管每完成一个起下过程，将在进出滚筒和鹅颈管（图 1.11）的过程中，受到弯曲—拉伸或拉伸—弯曲的影响。

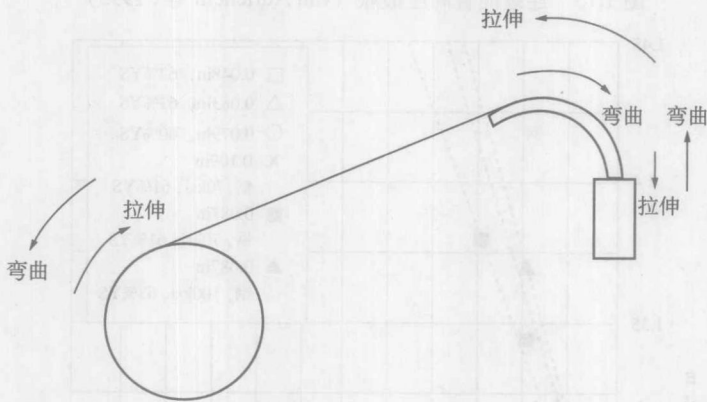


图 1.11 连续油管起下过程中的弯曲—拉伸及拉伸—弯曲情况

入井过程：离开滚筒时，受到弯曲—拉伸的影响；进入鹅颈管时，受到拉伸—弯曲的影响；离开鹅颈管时，受到弯曲—拉伸的影响。

起出过程：进入鹅颈管时，受到拉伸—弯曲的影响；离开鹅颈管时，受到弯曲—拉伸的影响；进入滚筒时，受到拉伸—弯曲的影响。

由于连续油管每完成一个起下过程，将经历三次弯曲—拉伸和三次拉伸—弯曲，导致连续油管出现弯曲—拉伸及拉伸—弯曲疲劳现象，缩短了连续油管的使用寿命。弯曲次数对连续油管的影响情况见图 1.12 和图 1.13。

图 1.14 给出了钛合金和普通钢连续油管失效时的累计直径变化对比情况。

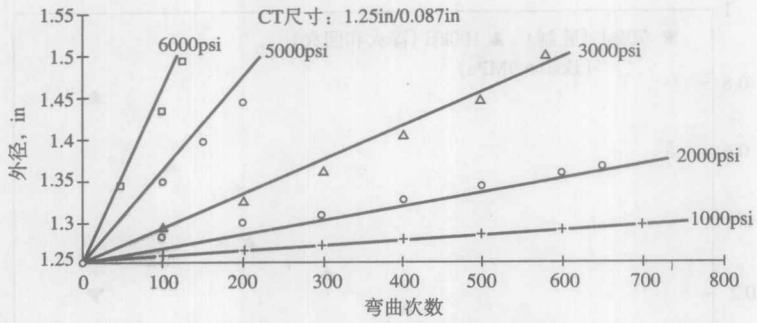


图 1.12 弯曲次数对连续油管直径变化的影响 (Sisak 和 Crawford, 1994)

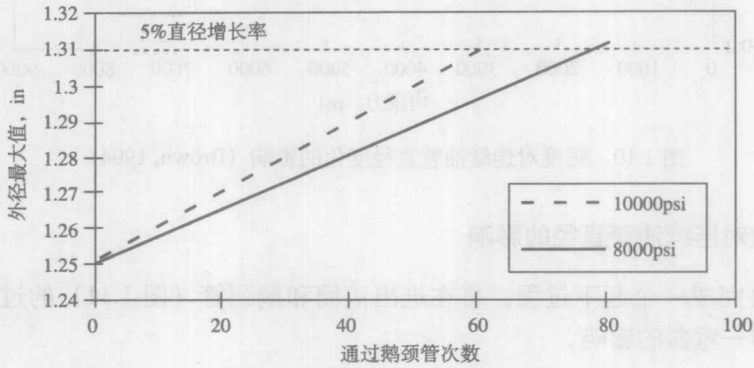


图 1.13 连续油管高压鼓胀 (van Adrichem 等, 1995)

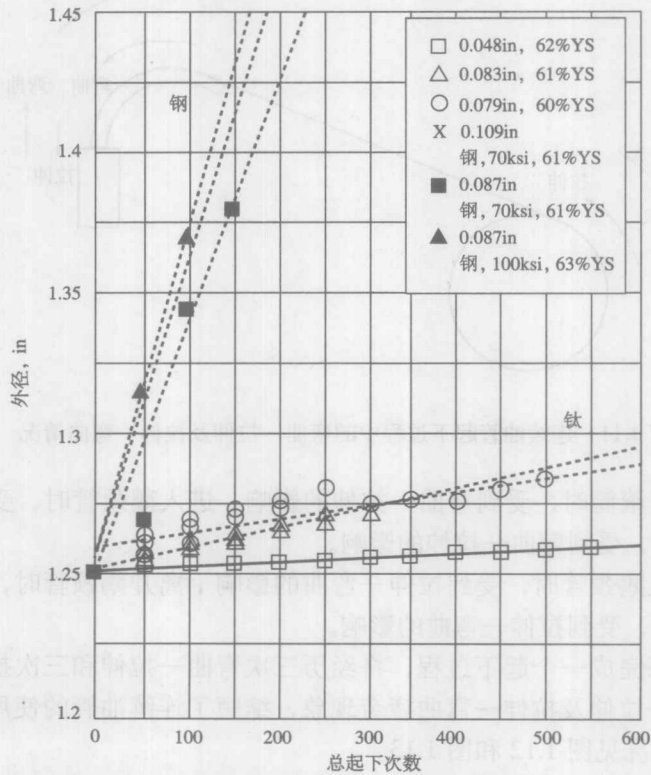


图 1.14 钛管和普通钢管的鼓胀情况 (Zernick, 1994)