

套管设计基础

[美] H. 拉比亚 著

华仲篪 王林 译



石油工业出版社



套管设计基础

[美]H.拉比亚 著
华仲篪 王 林 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍油气井各种类型套管的功能、设计理论和各种载荷的分析,并详细讨论当前国际油公司使用的探井、开发井各种套管的设计方法。书中附有公式的推导,并通过大量例题使读者易于理解和掌握设计方法。

本书可供石油钻井技术人员学习使用,也可作为石油院校钻井专业教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

套管设计基础/[美]拉比亚(Rabia.H.)著;华仲茂译.

北京:石油工业出版社,1995.12

ISBN 7-5021-1282-0

I.套…

II.1.拉… 2.华…

III.套管(钻孔)-设计

IV.TE93

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168毫米 32开 $9\frac{1}{2}$ 印张 248千字 印1—2000

1995年12月北京第1版 1995年12月北京第1次印刷

定价:12.00元

前 言

《套管设计基础》为读者提供循序选用和设计油井及地热井套管的方法。知识均源自于实践，本书基于作者任职钻井工程师和石油工业顾问的经验。作者曾以本书为工业课程教材。许多作业公司和服务公司的工程师在课程研讨和交流中提供了宝贵意见。参加套管设计课程的部分公司包括 BP、Marathon、Occidental、Mobil、BHP 石油(英国)公司、NL Hycalog 和 Christensen。

全书共分七章。第一、二章介绍套管类型和性能。第三章详述矿场条件下各种导致套管破坏的力。第四章介绍探井套管设计。第五章介绍开发井套管设计。套管内压计算采用井涌剖面法。第六章介绍影响套管拉伸的力。第七章讨论了套管的弯曲，并特别指出高温和高压的影响。书中的设计方法亦可用于地热井套管。第七章还讨论了临界弯曲力。

本书还包括四个附录：附录 1 为书中方程式的推导；附录 2 为计算套管下放速度的方法；附录 3 提供 API 和非 API 套管规范和性能；附录 4 为计量单位换算。

Amoco 公司的 Phillip Pattillio 博士和新墨西哥矿业和技术学院的 Stefan Miska 博士校阅了本书，谨向他们致以谢意。

作者欢迎对本书提出指正意见。

H.Rabia

1987 年

目 录

第一章 套管的功能和类型	(1)
一、套管的功能	(1)
二、套管类型	(1)
三、尾管类型	(3)
四、接箍类型和螺纹要素	(5)
五、制造方法	(21)
六、钢级	(21)
参考文献	(27)
第二章 套管性能	(28)
一、套管规范	(28)
二、API 挤压公式	(33)
三、API 挤压公式说明	(39)
四、双轴载荷	(41)
五、内压力对抗外挤强度的影响	(46)
六、水泥环对套管抗外挤强度的影响	(47)
七、管体抗内压强度 (或内屈服压力)	(47)
习题	(50)
参考文献	(50)
第三章 套管设计理论	(51)
一、影响套管设计的因素	(51)
二、设计规范	(52)
三、安全系数	(53)
四、组合管柱	(54)
五、套管设计的图解法	(55)
六、拉伸力	(58)

七、浮力	(63)
八、弯曲力	(66)
九、冲击载荷	(69)
十、井斜对套管设计的影响	(73)
十一、允许超载拉力	(75)
十二、定向井中拉力的数学分析	(77)
十三、摩阻力	(82)
十四、套管磨损	(82)
参考文献	(83)
第四章 探井套管设计	(84)
一、直井套管设计	(84)
二、斜井套管设计	(106)
三、尾管设计	(107)
习题	(110)
参考文献	(112)
第五章 开发井套管设计	(113)
一、套管最大载荷设计	(113)
二、Prentice 设计方法	(120)
三、简化内压设计	(126)
四、根据井涌剖面计算内压	(128)
参考文献	(151)
第六章 套管的拉伸	(152)
一、轴向变形	(152)
二、轴向应力	(152)
三、由浮力产生的压应力	(153)
四、径向和切向应力	(154)
五、总轴向变形	(155)
第七章 套管的弯曲	(158)
一、概述	(158)
二、稳性分析	(158)

三、Wood 的分析	(159)
四、活塞力	(163)
五、应力图	(164)
六、影响弯曲的因素	(169)
七、地面力	(177)
八、弯曲的通用公式	(180)
九、临界弯曲力	(186)
十、螺旋弯曲	(189)
十一、防止弯曲	(193)
习题	(195)
参考文献	(197)
附录 1 应力分析基础	(198)
一、虎克定律	(198)
二、Lame 公式	(199)
三、API 折减屈服强度公式	(201)
四、排空深度	(203)
五、螺旋线	(203)
六、浮力	(205)
参考文献	(206)
附录 2 套管下放速度	(207)
一、概述	(207)
二、管子运动引起的激动压力	(207)
三、闭口管运动产生的激动压力	(208)
四、套管下放速度	(212)
参考文献	(216)
附录 3 计量单位换算表	(217)
附录 4 套管性能	(218)

第一章 套管的功能和类型

一、套管的功能

套管的功能可概括如下：

- 1) 支撑不稳定的易塌落或破碎性岩层，保持井眼稳固。在上述岩层条件下，如井眼不被封固，岩石将塌落井内，造成重复切削。
- 2) 隔离产层与流体 / 压力系统中不同孔隙性的地层，避免污染产层。由套管和水泥环实现隔离，这样可由选定的产层进行开采。
- 3) 防止浅淡水层受污染。
- 4) 提供烃类流体的通道。大部分采油作业是通过套管内的油管进行的。
- 5) 连接井口设备（采油树），套管也用来连接钻井作业中用于井控的防喷设备（BOP）。
- 6) 提供一个一定直径和深度的通道，以下入测试和完井设备。

二、套管类型

如果用小直径钻头钻达总井深，然后从井底到地表进行固井，钻井费用会省很多。但是如果在井身不同深处有高压层、疏松层或坍塌层、页岩层时，则需在下套管封固这些复杂地层后，才能钻达总井深。这样就需用不同尺寸的套管，最后形成一个锥形井身。

当前广泛使用的套管类型有以下六种。

1.地表导管

地表导管（或海洋导管，或海洋钻井基桩管）是为防止松软表层被冲刷，提供钻井液循环通路和保护钻机地基的稳定而使用的。地表导管不承接井口设备，它可以用桩锤击入地下，通常使用 26in 到 42in 管。

2.导管

导管下至较浅深度，防止松软表层被冲刷，封隔浅层地下水和浅层气，提供钻井液循环通路并保护海洋平台的基础。导管可以连接一个或数个防喷器。如导管下在较浅深度，可与分流器连接。在中东通用的导管尺寸为 $18\frac{5}{8}$ in (433mm) 或 20in (508mm)。北海地区的探井，多使用 30in (762mm) 导管。

封固导管水泥要返至地面。导管用以支持各层套管和井口设备，或者在下入表层套管后在地表处将其割断。

3.表层套管

表层套管可防止浅部松软地层坍塌，它应当坐在较坚实的岩层，如硬灰岩段。以保证在以后遇到高静水压时，套管鞋处不致被压裂。表层套管也用以防止浅层井喷，因此表层套管顶部接有防喷器。设计表层套管深度，应考虑使复杂地层、漏失层、水层、浅油气层和斜井增斜井段得到保护。表层套管的通用尺寸在中东地区为 $13\frac{3}{8}$ in (240mm)，在北海地区为 $18\frac{5}{8}$ in 或 20in。

4.中间套管

中间套管通常下在超压层上下的过渡带，封隔严重漏失层、盐岩层或坍塌页岩。必须保证中间套管的封固质量，防止下部油气层和上部水层在管外串通。为防止松软地层承受长的连续的水泥浆液柱的高静液压力，中间套管可用多级注水泥固井。中间套管的通用尺寸为 $9\frac{5}{8}$ in (235.8mm)。

5.油层套管

油层套管为最后一层套管，它用以隔离油气层，控制油气流动，进行多层选择性开采。油层套管为完井套管。通用尺寸为

7in (177.8mm)。

6. 尾管

尾管是一层不延伸至地面的套管。尾管用尾管挂悬挂于中间套管上。尾管完井时，尾管和中间套管都作为油层套管。因为尾管挂于中间套管底部，它的主要设计规范是抗外挤力（详见第三章套管设计部分）。

三、尾管类型

尾管的基本类型示于图 1-1。

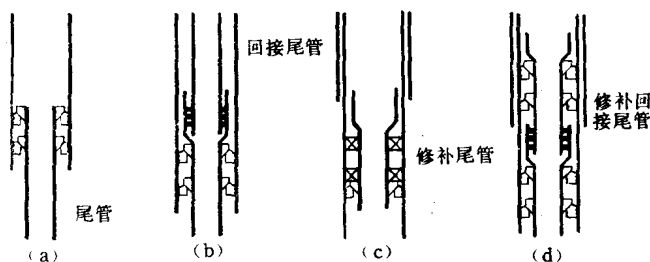


图 1-1 Brown-Hughes 基本尾管系统

(a) 尾管为悬挂于上层套管向下延伸至裸眼的一段套管，与上层套管的重合段长 200ft 到 400ft；(b) 回接尾管为从已下入的尾管顶部向上延伸至地面的一段套管，它可以也可以不注水泥；(c) 修补尾管为用于修补损坏套管的一段套管，它可以注水泥封固，也可以在上下部用封隔器封隔；(d) 修补回接尾管为从已下入的尾管顶部向上延伸但不到地表的一段套管，通常都注水泥封固

- 1) 钻井尾管用来隔离漏失层或异常压力层以继续钻进。
- 2) 采油尾管可作为封隔产层或注入层的一段套管。
- 3) 回接尾管为从已下入尾管顶部向上回接至地面的一段套管。
- 4) 修补尾管为不延伸至地面的一段套管，它被用来修补套管的损坏部分。通常在顶部和底部用封隔器封隔，有时也注水

泥。

5) 修补回接尾管是一段从已下入的尾管顶部向上回接但不延伸至地表的套管。一般修补回接尾管都注水泥。

1. 尾管的优点

油层尾管的主要优点为:

- 1) 节省油层套管费用和下套管固井的时间。
- 2) 小直径套管段短, 可使用更适合尺寸的油管完井。

Brown-Hughes 公司在手册中列举了尾管的下列优点:

- 1) 封隔裸眼井段快速易行。
- 2) 完井时, 井口装置和表层套管负载轻 (见第四章计算)。
- 3) 防止漏失。
- 4) 作业安全。
- 5) 上部井眼井径大, 可安置双管双封隔器。深井采用尾管, 可使用大直径高强度油管。
- 6) 修补回接尾管可使用厚壁管封固盐岩层井段。
- 7) 可使用塔式钻具结构。
- 8) 钻井和完井过程中便于井控。
- 9) 可在钻机功率不足提升全井套管柱时使用。
- 10) 可使用插接式光滑内孔管 (PBR) 完井, 这种完井方法被认为是最好的油管对套管密封系统。
- 11) 完井的灵活性大。
- 12) 可在海上平台不能同时承载钻杆和全井套管柱时使用。
- 13) 回接尾管不受钻井时钻具的磨损。
- 14) 在有些不能进行裸眼测试的地区进行测试。
- 15) 评价井使用尾管, 费用低。
- 16) 减少套管运输费用。
- 17) 可进行老井眼加深。
- 18) 在一口新井回堵主要产层前, 可对其下部地层进行测试。
- 19) 直井眼废弃时可侧钻。

- 20) 可使用大容量气举泵。
- 21) 大斜度井固井时, 可活动套管。
- 22) 管材短缺时可以完井。

2. 尾管的缺点

- 1) 尾管挂存在漏失的可能。
- 2) 尾管外环形空间狭窄, 难于保证固井质量。

四、接箍类型和螺纹要素

接箍是连接两根套管用的短管。一般套管体两端车有外螺纹, 接箍两端车有内螺纹。API 规范规定: 接箍与套管体应属同一钢级。套管和接箍的规范通常以打印在管体或接箍上的螺纹类型表示。API 规定四项螺纹要素 (见图 1-2 和 1-3)。

1) 牙型高度或齿高即螺纹齿顶到齿根间距离 (见图 1-2 (a))。

2) 螺距即螺纹任一点沿轴向到相邻齿的对应点的距离 (见图 1-2 (a))。

3) 锥度即以英寸表示的每英尺螺纹长度的螺纹直径变化 (见图 1-2 (b))。

4) 螺纹型式, 大部分螺纹为梯形或 V 形。

另一个螺纹要素是节径。节径为一假想截锥的直径, 此截锥面与每一螺纹在牙底与牙顶中间相切。

下列是使用最广泛的连接型式:

1) API 圆螺纹接箍: 这种接箍每英寸 8 牙, 牙形角 60° , 呈 V 形, 见图 1-4, 牙顶与牙底导圆。一牙顶与另一牙底啮合时约有 0.003in 间隙。螺纹连接时要涂布专用螺纹脂防止漏失。API 8 牙圆螺纹套管在非加厚的两端车扣, 用内螺纹接箍连接在一起。API 圆螺纹接箍有两种: 短螺纹接箍 (STC) 和长螺纹接箍 (LTC)。短螺纹和长螺纹连接强度均低于管体强度。长螺纹接箍能传递较大的轴向载荷。

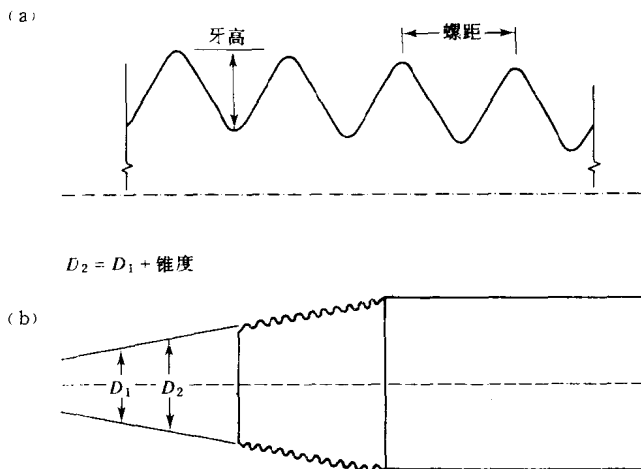


图 1-2 螺纹要素图

量测的三项螺纹要素为牙高、螺距和锥度。牙高为牙顶到牙底的距离，螺距为从螺纹任一点至相邻牙的对应点的距离，锥度为单位长度轴线上直径的变化。圆螺纹和偏梯形螺纹都有锥度。偏梯形螺纹还应检测螺尾的锥度

2) 偏梯形螺纹接箍：部分套管两端车扣，用偏梯形螺纹接箍连接。图 1-5 示出偏梯形螺纹和螺纹连接剖面。偏梯形螺纹比 API8 牙圆螺纹能传递更大的轴向载荷，其特点为小于 $13\frac{3}{8}$ in 的套管具有锥形牙顶和牙底；大于 16in 的套管具有平的牙顶和牙底。使用专用的螺纹脂可防止漏失。偏梯形螺纹每英寸 5 牙。

3) VAM 螺纹接箍：这是一种改型的偏梯形螺纹，在公螺纹端部形成金属与金属密封。图 1-6 给出 VAM 螺纹接箍和螺纹剖面。VAM 螺纹每英寸 5 牙。

4) 直连型螺纹连接：API 直连型套管在内外加厚的管端车制内外螺纹，加厚端增大壁厚以补偿螺纹占去的壁厚。螺纹剖面呈梯形，在公螺纹端部和外台肩处有金属与金属密封。直连型连

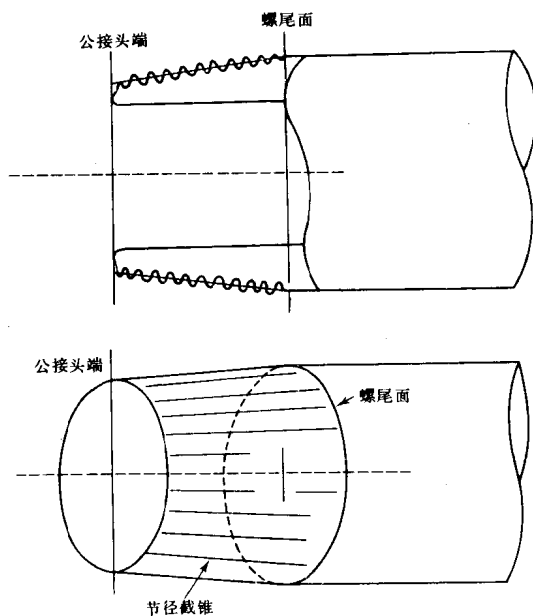


图 1-3 螺纹节径

节径为一假想截锥面的直径，截锥面与每一螺纹在牙底与牙顶中间相切

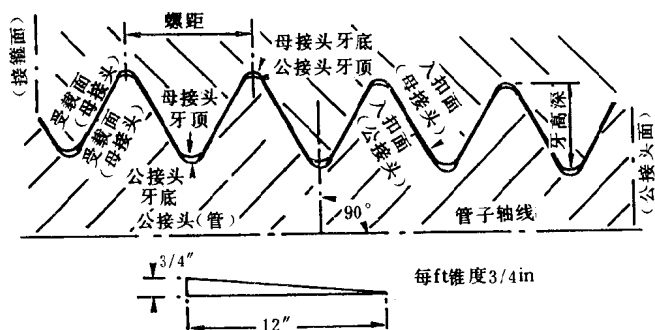


图 1-4 圆螺纹套管 (API RPSB1 二版)

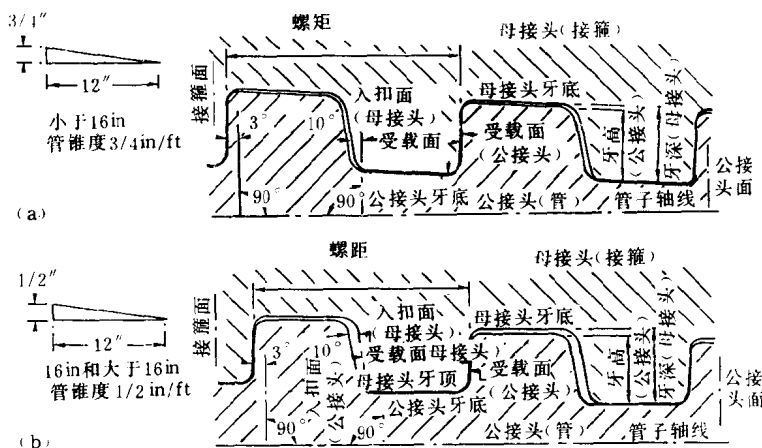


图 1-5 偏梯形螺纹

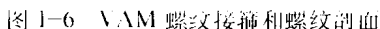
(a) $13^{3/8}$ in 和小于 $13^{3/8}$ in 偏梯形螺纹;

(b) 16 in 和大于 16 in 偏梯形螺纹

接适用于高温高压条件。直连型套管的其他特点为: 5 in 到 $7^{5/8}$ in 套管, 每英寸 6 牙, 每英尺锥度 $1^{1/2}$ in; $8^{5/8}$ in 到 $10^{3/4}$ in 套管, 每英寸 5 牙, 每英尺锥度 $1^{1/4}$ in。

图 1-7 为直连型连接和螺纹剖面。

还有其他一些螺纹类型包括 NL Atlas Bradford, Hydril, Armco 等。图 1-8 列出当前使用的各厂家的螺纹连接类型, 其详细规范可向厂家索取。



螺纹剖面为偏梯形螺纹的改型设计,具有平行于锥体的平牙顶和牙底,齿侧面与管轴线夹角为 3° 和 10° ,在轴线上每英寸5牙。接箍为常规专用间隙设计(小外径)。公螺纹端部有双金属与金属密封($4\frac{1}{2}$ in VAM 螺线为油管螺线,每英寸6牙)。

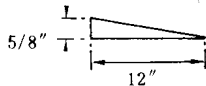
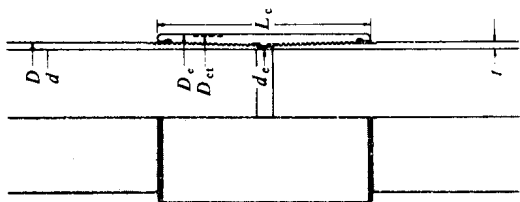
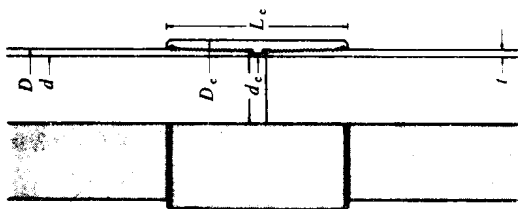


图 1-7 直连型套管螺纹图 (API RPSB1 二版)

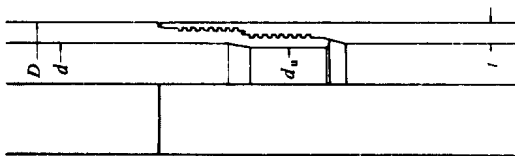
7⁵/₈in 和小于 7⁵/₈in 管锥度每英尺 1¹/₂in, 每英寸 6 牙; 大于 7⁵/₈in 管锥度每英尺 1¹/₄in, 每英寸 5 牙



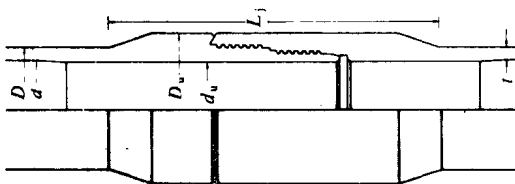
(1) AMF TKC-FCB 型采用偏梯形螺纹的张力性能。公接头端面与连接斜面的弹性密封克服了一般压力密封中的问题。内扭力止推提供上扣合理扭矩指示, 不需要监视外部标记。



(2) AMF TKC-FCR 型改善了 API 8R 套管密封性和张力性能。接箍加工紧密性优于 API 规范, 克服了公接头与接箍间隙过大问题。公接头端面与配合面弹性密封, 改善了密封性能, 克服了压力造成的跳扣。



(3) Baker RSS 型(舌形密封)用于平端管(据需要可用于 $4\frac{1}{2}$ in 以下油管), 它有两个螺纹段, 三个金属与金属密封, 螺纹密封段为平口连接, 好旋接, 可靠。反向止推台肩可锁住公接头, 避免跳扣。



(4) Baker RSU-6 型为无接箍外加厚连接, 用于 API 套管, 适用于各压力级、连接效率高。它适用于重复接卸和高扭矩。两段无锥度螺纹可防止对扣时伤扣并减小中间台肩的扭矩。具有 30° 二级密封。