



油井管与管柱 技术及应用

● 宋 治 冯耀荣 等编著

DRILLING

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

“九五”钻井新技术丛书

油井管与管柱技术及应用

宋 治 冯耀荣 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以中国石油天然气集团公司“九五”重大科技工程项目研究成果为基本素材编写而成,系统反映了“油井管及管柱技术”的关键内容及其研究进展。全书共分5章,主要内容包括油井管及管柱技术现状及进展概述、油井管力学特性分析、深井超深井油套管设计、热采井套损机理及防治措施和钻具失效预测预防技术等。特别值得说明的是,为了提高本书的实用性,内容部分体现了“十五”的成果和技术。

本书适应于从事钻井、油井管的工程技术人员阅读,也可供高等院校石油工程专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油井管与管柱技术及应用/宋治,冯耀荣等编著.

北京:石油工业出版社,2007.2

(“九五”钻井新技术丛书)

ISBN 978-7-5021-5911-5

I. 油…

II. ①宋…②冯…

III. 油气钻井-井下管柱

IV. TE931

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 162456 号

油井管与管柱技术及应用

宋治 冯耀荣等编著

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.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007年2月第1版 2007年2月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 18

字数: 450千字 印数: 1—1500册

定价: 70.00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

《“九五”钻井新技术丛书》

编 委 会

主 任 孙 宁

副主任 钟树德 张福祥 罗平亚

成 员 (按姓氏笔画为序)

马宗金	王永清	王瑞和	付鑫生	石 凯	孙振纯
刘希圣	许树谦	刘乃震	刘硕琼	刘长生	刘延平
孙建成	沈忠厚	李克向	李鹤林	李相方	苏义脑
陈 平	杨 龙	杨 杰	何新民	邱正松	张 镇
张彦平	张嵇南	张春光	张育慈	杜晓瑞	陈生官
李雪辉	林 建	周国强	金维一	周英操	屈建省
柳贡慧	俞新永	胡世杰	施太和	高德利	徐惠峰
郭小阳	夏述明	黄荣樽	谢熙池	鄢捷年	廖润康
潘卫国					

《油井管与管柱技术及应用》编写组

主 编：宋 治 冯耀荣

成 员（以姓氏笔画为序）：

王新虎 史交齐 冯耀荣 宋 治 余 雷

何富君 林 凯 林元华 张 宏 张平生

赵克枫 施太和 高智海 崔孝秉 韩新利

序 言

《“九五”钻井新技术丛书》重点反映了“九五”期间中国石油天然气集团公司所属钻井系统承担的国家重点科技攻关项目和中国石油天然气集团公司（原中国石油天然气总公司）重点科技攻关项目的研究成果。

国家重点科技攻关计划最早始于1982年五届人大第五次会议通过了国家计委、国家经贸委、国家科委共同编制的《“九五”国家科技攻关计划》，其特点是面向国民经济主战场，集中力量攻克产业升级和社会发展急需解决的关键技术和共性技术。从“六五”开始，中国石油天然气集团公司始终积极参与国家科技攻关计划，本丛书中的《侧钻水平井钻井配套技术》分册就是集中反映了这一攻关过程中所取得了各项科技成果。中国石油天然气集团公司积极参与国家重点科技攻关计划的同时，也针对中国石油天然气集团公司不同时期（五年）在海内外勘探开发生产中所面临的一系列技术难题和生产技术瓶颈制定了相应的五年科技攻关计划。

春华秋实数载，科技攻关历经了四个国家和中国石油天然气集团公司五年科技发展计划。我国石油钻井科学技术在这四个五年计划攻关中，一步一个台阶，取得了长足的发展和进步。回首当年，我们再来评估“稳定东部，发展西部，走油气并举之路与合理利用国外油气资源”这一“九五”期间我国陆上油气勘探的发展方向，确实具有很强的前瞻性和科学性。以两项应用基础技术（石油管柱与管线力学研究、强化井壁稳定机理研究）、三项前沿技术（井下增压、径向水平井、井眼轨迹控制技术）五项重大技术攻关（侧钻水平井钻井配套技术、复杂条件下深井超深井钻井配套技术、探井保护油气层技术、深井测试技术、小井眼钻井配套技术）项目构成了“九五”期间我国钻井科技工作的主体。这些研究项目历经五年攻关和多年现场试验，已经取得累累硕果，为了更好地推广这些技术，使科研与生产更好地结合，中国石油天然气集团公司科技发展部和石油工业出版社决定根据集团公司“九五”钻井重点技术科研项目出版一套《“九五”钻井新技术丛书》，具体分册如下：

1. 复杂地质条件下深井超深井钻井技术；
2. 侧钻水平井钻井配套技术；
3. 高温高压气井测试技术；
4. 探井保护油气层技术；
5. 小井眼钻井技术；
6. 强化井壁稳定技术；
7. 油井管与管柱技术及应用；
8. 特殊固井技术；
9. 径向水平井钻井配套技术。

这套丛书就侧钻水平井钻井技术、复杂地质条件下深井超深井钻井技术等九个方面的科技成果进行总结、分析、提炼、集成后汇编成册，力求较为全面真实地反映这一时期我国钻井技术的发展概况。

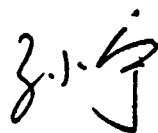
“九五”期间国家共安排了251个项目，5100多个课题，投入资金53亿元，1000多个

研究院所，700 多个大专院校的 7 万多人参加了科研项目的实施，取得直接经济效益 950 亿元。为实现国民经济翻两番的最终目标铸就了一座历史丰碑。

攻关是一种精神，攻关也是一面旗帜。在这面今天依然高高飘扬的旗帜下所集聚的一大批为我国石油工业科技发展而奋斗的仁人志士，他们当年焕发出的激情和奋斗精神仍然需要我们继承和发扬。

我有幸直接参与了“九五”石油钻井科技攻关，回首当年令人奋发的激情岁月，我谨代表“丛书”的所有作者和编辑，愿把这套丛书作为礼物，奉献给所有参与我国“九五”钻井科技攻关的同行，并向他们表示衷心的感谢。

科学技术对石油工业发展的影响是巨大的，利用新技术已取得的进步也是人们难以想象的。我国海内外石油勘探技术发展和需求，为广大石油科技工作者提供了一个大展宏图的黄金时期，我相信本丛书的出版发行必将对钻井技术的学术交流起到推陈出新、承前启后的作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Zou Ning' (邹宁), written in a cursive style.

2006 年 5 月

前 言

石油钻柱构件、套管柱和油管柱构件统称为油井管。钻柱构件包括钻杆、钻铤、加重钻杆、方钻杆（含六方钻杆）及各种连接和转换接头，是旋转钻井的重要工具。套管和油管则是用来封隔地层和产油出气的唯一通道，它们是石油、天然气勘探、开发、建井工程必不可少又十分重要的工具和器材。

20 世纪 80 年代以前，我国使用的油井管全部或主要依靠进口。随后，在国家经贸委的领导下，冶金部门和石油部门将油井管国产化放到了议事日程，分别在冶金部成立了板管办公室和在石油工业部组建了石油专用管小组。由冶金、石油两部领导亲自挂帅，由各冶金生产厂、各油气田调集的一批精兵强将很快就组成了中国油井管国产化系统工程项目推进工作的队伍。经过冶金、石油、机械三大系统多年来的努力拼搏和艰苦奋斗，直到 1998 年我国油井管的国产化率达到 85%。

油井管工程学科是涉及油气井工程、材料科学与工程、腐蚀与防护工程、机械工程、安全可靠性工程等多学科交叉的边缘学科和系统工程。它把相关学科的理论成果和最新技术尽可能运用于油井管的服役过程（即石油工业的钻井工程、采油工程），最大限度保障油井管的安全可靠性和寿命，并最有效地降低工程成本，提高石油工业的整体技术水平和效益。

油井管国产化的实践证明，石油行业作为油井管的使用者，必须了解油井管性能及生产和使用的全过程，建立和发展石油行业油井管工程技术学科，确保油井管的合理选择和正确使用。为此，石油工业部建立了石油专用管质量监督检验中心和石油专用管螺纹量规计量检定站。随后，更名为中国石油管材研究所。管材研究所建所以来，在集团公司的关心和支持下，围绕油井管柱与管柱技术与国内外研究单位、高等院校、生产厂家、油田用户等密切合作，在管柱设计、验证、评价、管材选用、实验检测、失效分析、安全可靠性评估、质量监督、标准化、石油专用螺纹量值传递、现场技术服务等方面开展了大量的工作，包括完成了二十余项国家和部省级重点科研项目，有二十项获国家和部省级科学技术奖励。

特别是在“九五”期间，针对我国油气田勘探开发中存在的油井管失效问题，管材研究所建立和完善了实验装备，特别是建立了具有国际先进水平的实物实验系统，进一步加强了研究工作。在进行了大量现场调查和分析的基础上，开展了系统的理论分析和实验研究，取得了丰硕的研究成果。

本书是在由管材研究所牵头完成的中国石油天然气总公司、中国石油集团公司“九五”项目“管柱与管线力学研究”（负责人为宋治、赵克枫）、“石油管材与钻机提升系统失效规律、机理及预防措施研究”（负责人为李鹤林、张平生、冯耀荣）等的基础上，针对“油井管与管柱技术及应用”这一主题，选择部分内容进行了加工提炼，系统介绍了“九五”期间在油井管及管柱技术领域的研究成果，取得了大量翔实的试验数据、理论分析结果和新的认识，反映了在这一领域的技术创新。全书由宋治、冯耀荣提出总体方案，并组织编写。第一章“绪论”，论述了油井管及其在石油工业中的重要地位与作用，油井管的服役条件及主要失效模式，油井管与管柱技术的主要进展及发展展望，由冯耀荣、宋治、赵克枫、史交齐等编写；第二章“油套管力学特性的分析与研究”，系统介绍了在油套管粘扣、泄漏、滑脱、

挤毁、疲劳等方面的主要研究成果，由赵克枫、韩新利、史交齐、高智海、何富君等编写；第三章“深井超深井油套管柱设计因素及管材合理选用”，介绍了深井超深井管柱设计必须考虑的特殊因素及保障管柱安全使用的管材选用技术，由林凯、史交齐等编写；第四章“热采井套损机理及防治措施”，介绍单井吞吐热采井（以下统称热采井）套损机理及防治方法，由韩新利、崔孝秉、余雷、张宏等编写；第五章“钻具失效预测预防技术”，介绍了钻柱构件脆断、疲劳和腐蚀疲劳失效的规律，钻柱动力学分析研究成果，钻柱构件的优化设计及适用性评价技术等，由王新虎、林元华、施太和、张平生、冯耀荣等编写。参加课题研究和编写工作的主要人员还有李鹤林、韩勇、李平全、张毅、张国正、吕拴录、杨勇、霍春勇、宋余九、韩晓毅、王亚平、罗卫国、高连新、安丙尧、王建东等。全书由宋治、冯耀荣审核和修改。

在本书的编写过程中，得到中国石油集团公司科技发展部孙宁副主任、胡世杰副处长和中国石油管材研究所杨龙所长等领导的关心、支持和帮助，在此表示衷心感谢。

由于作者水平所限，错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 12 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 油井管在石油工业中的地位与作用	(1)
一、油井管投资巨大	(1)
二、油井管与油、气井的安全可靠性密切相关	(2)
三、油井管对石油工业采用先进工艺和增产增效有重要影响	(2)
第二节 油井管的服役条件及主要失效模式	(3)
一、油井管的服役条件	(3)
二、油井管的主要失效模式及性能要求	(3)
第三节 油井管技术的主要进展	(11)
一、油井管生产技术的主要进步	(11)
二、API 油套管质量控制和合理选用	(12)
三、深井超深井管柱设计与油套管合理选用	(13)
四、热采井套损机理及防治措施	(14)
五、深井超深井钻柱失效预测预防技术	(14)
第四节 油井管工程面临的挑战及发展展望	(15)
一、油井管工程面临的挑战	(15)
二、油井管工程技术的发展方向	(16)
参考文献	(17)
第二章 油套管力学特性的分析与研究	(18)
第一节 圆螺纹套管滑脱失效的特点及预防措施	(18)
一、圆螺纹套管滑脱失效的特点	(18)
二、影响圆螺纹套管连接强度的因素分析	(22)
三、提高圆螺纹套管连接强度的主要措施	(32)
第二节 API 螺纹粘扣机理及影响因素	(33)
一、API 螺纹粘扣失效调查及原因分析	(33)
二、API 螺纹粘扣机理分析	(38)
三、API 螺纹粘扣影响因素	(43)
第三节 螺纹泄漏抗力的影响因素	(54)
一、螺纹连接及密封问题	(54)
二、螺纹密封机理分析	(56)
三、影响螺纹泄漏的主要因素	(57)
四、提高螺纹泄漏抗力的措施	(64)
第四节 套管抗挤毁性能的研究与应用	(64)
一、套管挤毁压力计算	(65)

二、轴向载荷对套管挤毁强度的影响	(66)
三、几何尺寸对套管抗挤毁性能的影响	(68)
四、残余应力对套管抗挤毁性能的影响	(70)
五、屈服强度对套管抗挤毁性能的影响	(74)
六、不均匀载荷作用下套管的抗挤毁性能	(75)
第五节 抽油机井油管断裂失效原因及失效抗力指标	(77)
一、抽油机井油管断裂失效概况及特点	(77)
二、油管断裂失效分析	(78)
三、油管断裂失效原因及影响因素	(83)
四、油管螺纹疲劳失效抗力分析	(93)
五、油管断裂预防措施	(94)
参考文献	(95)
第三章 深井超深井油套管柱设计因素及管材合理选用	(97)
第一节 概述	(97)
一、深井超深井复杂情况与套管事故	(97)
二、管柱设计现状和管材选用中需要解决的主要问题	(98)
第二节 深井超深井油套管柱设计因素的试验研究	(102)
一、油套管柱连接螺纹接头的密封完整性	(102)
二、带水泥环套管的强度分析	(109)
三、温度对油套管实际承载能力的影响	(118)
四、套管的压缩试验研究	(121)
五、无接箍套管的应用	(127)
六、深井用厚壁套管接箍强度校核	(131)
第三节 深井、超深井、复杂井套管的合理选择	(136)
一、套管分类	(136)
二、正确使用非 API 标准	(138)
三、慎重选用超高强度套管	(138)
四、耐腐蚀套管选择	(140)
第四节 深井超深井油套管柱设计与管材选用推荐做法	(142)
一、深井超深井油套管柱安全使用的指导思想	(142)
二、深井超深井油套管柱设计与管材选用的特殊考虑	(143)
三、管柱设计和管材选用的发展方向	(144)
参考文献	(144)
第四章 热采井套损机理及防治措施	(145)
第一节 热采井套损原因及热采井套管柱设计方法分析	(145)
一、辽河油田稠油热采井概况	(145)
二、稠油热采井套管损坏现状与原因分析	(145)
三、现用热采井套管柱设计及完井方法分析	(152)

四、降低热采井套损的主要措施·····	(155)
第二节 热采井套损机理的理论分析与模型建立·····	(155)
一、传统的热采井套损机理·····	(155)
二、井筒温度场的理论分析和数值计算·····	(156)
三、井筒应力场和位移场有限元分析·····	(158)
四、热采井套管损坏机理的最新研究·····	(161)
五、水泥环台肩效应的模型试验研究·····	(166)
第三节 热采井套管选用·····	(167)
一、套管螺纹接头承载能力分析·····	(168)
二、特殊密封螺纹接头 TGRC2 评价·····	(176)
三、 $\phi 177.8\text{mm}$ TP100H 和 N80 套管在热采井条件下的适用性评价·····	(183)
第四节 热采井套管强度计算与管柱设计·····	(190)
一、全封固热采井弯曲段套管柱热应力近似分析·····	(190)
二、热采井套管柱载荷分析·····	(201)
第五节 热采井套管损坏防治措施·····	(205)
一、采用 NC-CC 特殊螺纹接头防止热采井套管损坏·····	(205)
二、提高隔热管连接螺纹密封可靠性防止热采井套管损坏·····	(205)
三、采用稠油热采先期防砂完井技术防止套管损坏·····	(207)
四、采用缓解热应力影响的补偿工具防止套管损坏·····	(211)
参考文献·····	(213)
第五章 钻具失效预测预防技术·····	(214)
第一节 钻具脆性断裂与材料韧性指标·····	(214)
一、制定材料韧性指标的必要性·····	(214)
二、钻具断裂失效数据统计分析·····	(214)
三、预防钻具脆性断裂的材料性能指标·····	(219)
第二节 钻具抗疲劳失效的结构优化设计·····	(221)
一、钻具接头载荷各圈螺纹间的分配规律·····	(221)
二、新型抗疲劳钻具螺纹·····	(225)
三、钻杆接头直角吊卡台肩及水眼结构·····	(231)
四、稳定器与转换接头抗疲劳结构设计·····	(233)
第三节 钻杆材料腐蚀疲劳规律及预防措施·····	(241)
一、钻杆材料及腐蚀疲劳试验方法·····	(241)
二、钻杆材料腐蚀疲劳规律·····	(244)
三、预防钻杆腐蚀疲劳的主要措施·····	(251)
第四节 钻杆适用性评价及其软件·····	(252)
一、钻杆适用性评价的意义·····	(252)
二、钻杆适用性评价方法及软件·····	(253)
三、含有裂纹型缺陷钻杆的安全性评价·····	(254)

四、处理不确定性问题的方法..... (255)

五、钻杆疲劳寿命预测..... (256)

第五节 钻柱动载分析与计算..... (258)

一、钻柱动力学问题分类与钻柱失效的动力学机理..... (258)

二、下部钻柱有限元分析..... (261)

第六节 钻具振动和扭矩监测与控制及振动谱分析..... (267)

一、技术现状分析及方案的确定..... (267)

二、方补心扭矩仪..... (267)

三、小波理论在钻柱振动谱分析中的应用..... (268)

参考文献..... (273)

第一章 绪 论

第一节 油井管在石油工业中的地位与作用

油井管柱从功能上可分为两大类，一类为油套管柱，另一类为钻柱。油套管柱主要包括套管、油管以及附件。钻柱主要包括钻杆、钻铤、方钻杆及其构件（钻杆接头、转换接头和短节等）。现代石油工业技术正在将两类的一部分功能合并，如套管钻井用管柱、作业和钻井用连续油管柱等。

油井管的一大特点是通过各种各样的螺纹连接构成油井管柱，组成油井管柱的每一根油井管、每一个构件、部件及其连接在油气井建井和开发过程中都起着举足轻重的作用。每一次油井管事故都有可能使大量的投资付之东流。

石油工业的发展离不开石油钻井、完井和采油（气）工程，从油井管的作用和功能来看，钻井、完井和采油（气）工程能否顺利实现均和油井管密切相关，油井管贯穿钻井、完井和采油（气）工程作业的各个环节，可以说油井管在石油工业发展中占有重要的地位，是石油工业实现勘探开发不可缺少的重要原材料和载体。

一、油井管投资巨大

油井管是石油勘探开发所必须的重要物资和器材，在整个建井成本中平均占 20%~30%。可以说石油工业勘探开发的过程就是大量使用和消耗油井管的过程。随着我国经济的发展和石油需求量的增大，石油与天然气勘探与开发的力度也不断加大，每年钻井数量都维持在较高水平，目前钻井量已达每年 1000 多万米，约占世界的五分之一，已成为世界第三大钻井最多的国家，见图 1-1-1。石油工业的发展有力地促进了我国油井管的发展，近年来油井管的需求量也在逐年递增，用量达到 120 万 t/a（约占全世界的五分之一），仅油井管每年耗资达 100 多亿元人民币，未来几年还有增长的趋势。我国油井管市场潜力巨大，在世界范围内也占有重要地位。

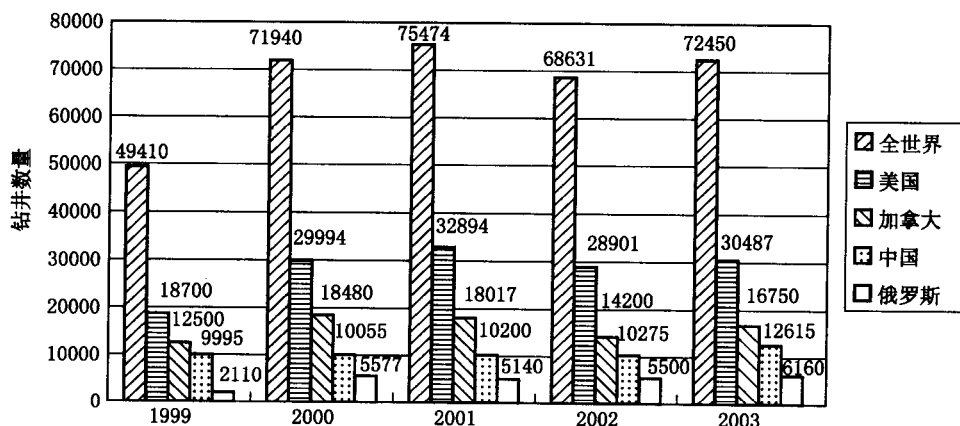


图 1-1-1 1999—2003 年美国、加拿大、中国、俄罗斯及全世界每年钻井数量对比

二、油井管与油、气井的安全可靠性密切相关

油井管是保证钻井、完井和采油（气）安全可靠性以及油（气）井使用寿命的重要基础。钻柱或套管柱损坏有时会导致油井报废。钻柱是实现安全高速钻井的重要工具，使用工况十分恶劣，除承受拉、压、弯、扭载荷外，还承受强烈的振动（包括纵振、横振和扭振）。钻井过程中发生早期刺穿、断裂等失效事故，轻则打捞损失钻时，重则导致全井报废，往往造成巨大的经济损失。据国际钻井承包商协会（IADC）统计，每起钻柱断裂事故平均直接损失为 10.6 万美元。我国每年钻具断裂事故损失上亿元，某井因钻杆断裂导致长时间打捞作业及全井报废损失达 1.6 亿元。在我国由于钻具质量问题和使用不当造成的事故占全部事故约占 70%，见图 1-1-2。

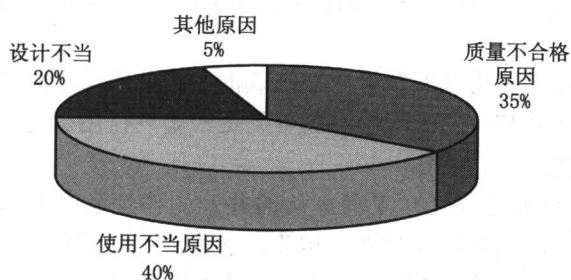


图 1-1-2 钻具失效原因分析

油套管使用工况条件恶劣，失效事故频繁发生。例如油管柱和套管柱通常要承受几百甚至上千个大气压的内压或外压，几百吨的拉伸载荷，还有温度及严酷的腐蚀介质的作用。套管柱是保证油气井安全和使用寿命的主要基础，套管的寿命直接决定油井寿命，油井的寿命又决定了油田寿命。油井管的安全可靠性、使用寿命和经济性对石油工业关系极其重大。这是因为

为套管柱在油井管系列中非常特殊，一旦下井投产则管柱无法回收，套管一旦发生损坏，不但导致油气减产，更严重的是破坏了储层，影响正常的勘探开发与生产，全国各油田每年因套管损坏造成的油井破坏或报废其经济损失就达几十亿元。

油管柱是试油试气、采油采气的唯一通道，发生油管事故，虽然不像套损导致全井报废，但每年由于更换油管作业、原油漏失、报废油管造成的经济损失也是非常巨大的，最为严重的是测试等作业管柱，在深井、超深井、高压井作业中一旦发生事故，往往造成严重的后果，不但会造成油气井失效，往往还会导致人员伤亡。

三、油井管对石油工业采用先进工艺和增产增效有重要影响

新技术和新工艺在石油增产增效的作用越来越突出，而油井管的发展对石油工业采用新技术、新工艺的影响也越来越大。油井管的技术进步使得石油工业过去无法开采的油气田可以开采，过去无法采用的钻采技术可以采用，如钻杆质量和寿命的提高使得水平井、大位移井等钻井技术得以实现，高强度油井管的开发使深井、超深井的开发成为可能，特殊螺纹接头油、套管的应用，使天然气井和高压井的开发安全性得到提高；耐腐蚀材料油井管的开发，解决了酸性油气田开发中的技术难题，热采井用套管的开发推动了稠油热采技术的发展，高抗挤、高钢级厚壁套管的开发为解决盐岩层、泥岩层、膏盐层等塑性流动地层套管的变形问题提供了支持。同时一些新技术和新工艺由于受制于油井管的性能，而无法推广，如提高钻速是强化钻井、降低成本的关键措施，但长期以来，钻井设计和施工作业顾及钻柱的强度和寿命，致使提高钻速的措施严重受限。另外，一些新的钻井技术，如深井、超深井、大位移井、水平井等，也受制于钻柱的性能，还没有达到很好的效率。

第二节 油井管的服役条件及主要失效模式

一、油井管的服役条件

油井管的服役条件是指油井管在使用过程中所承受的工作载荷、环境介质、温度等。因为油井管的主要服役环境在井下，所以无论是在钻井过程或者是在采油采气过程中，必然受到地质条件的影响，另外在工作过程中要受到各种载荷及环境介质的影响。油井管主要服役条件主要受两大方面的影响，一是服役（工作）条件，二是地质工矿。油井管的服役条件包括：载荷的性质（静载荷、冲击载荷、交变载荷、局部压入载荷等）、加载次序（载荷谱）和应力状态（拉、压、弯、扭、剪切及其复合）。而地质工矿包括：工作温度、接触介质以及地层应力变化等。不同的管材所受到的这两方面的影响不同，从复杂程度和危险性讲，钻柱所受到的服役条件最复杂，失效概率最高，从危险性来讲，套管失效最为危险。

钻柱构件服役条件有：（1）起下钻时，由于自重，钻柱承受轴向拉力，上部钻具越接近井口承受的轴向拉力越大，而下部为了给钻头施加作用力有一段钻柱受到轴向压应力。（2）转盘钻井时钻柱处于旋转状态，承受扭矩和离心力。在轴向压力和离心力的共同作用下，钻柱发生弯曲。弯曲的钻柱在钻井过程旋转便产生了交变应力。特别是在井眼偏斜、方位变化大的情况下，钻柱承受的交变应力很大。（3）除拉、压、弯、扭载荷外，钻柱还承受强烈的振动。另外起下钻作业中的猛提猛刹，容易使钻柱瞬时超载。（4）钻柱内壁受高压、高速钻井液的冲刷，外壁受套管或井壁的摩擦。（5）地层中的腐蚀介质（ H_2S 、 CO_2 、 Cl^- 、 O_2 等）对钻柱的腐蚀也是不可忽视的服役条件。

套管柱在建井、完井和油气生产过程长期承受载荷和环境的作用。通常有：（1）下套管柱时首先上卸扣，螺纹之间所承受到的摩擦力大小直接影响螺纹的粘扣和泄漏，同时管柱要承受轴向载荷及外挤力、内压力三种外载。另外在某些情况下，也承受弯、扭载荷。（2）在采用射孔方法完井的生产套管柱，需承受射孔弹的大能量高温瞬时冲击载荷。（3）而在生产过程中承受环境方面对套管柱的影响，如承受油、气及地下水中腐蚀介质的浸蚀和温度的影响。（4）由于在长时间的油、气开采以及为提高产量而采取的一些增产措施（如注水开发等）会引起地应力的改变，从而使地层间发生相对位移或膨胀，对套管柱产生径向载荷。

我国各油田绝大多数是抽油机井，这类井油管柱承受载荷及服役特点为：（1）油管所承受的载荷随着上、下冲程发生变化，两者之差大体上相当于液柱作用力以及液柱与油管间摩擦力之和，这种轴向拉—拉交变载引起油管柱发生疲劳。（2）根据油井情况的不同，油管柱还承受不同程度的弯曲应力。（3）腐蚀介质是油管柱重要的服役条件。（4）环境温度（井下温度、稠油热采等）也是不可忽视的。

二、油井管的主要失效模式及性能要求

由于力学、化学等的作用，油井管使用过程中会发生各种类型的失效。概括起来，油井管的失效模式可用“脱、漏、粘、挤、破、裂、磨、蚀”八个字概括。“脱”指的是管体螺纹从接箍内滑脱；“漏”指的是螺纹连接处失去密封而发生泄漏；“粘”指的是螺纹连接过程或使用过程中发生粘结或粘扣；“挤”指的是管体挤毁；“破”指的是管体受内压爆破；“裂”指的是拉断、错断、纵裂、射孔开裂以及疲劳、应力腐蚀开裂等；“磨”是指油井管的磨损，如套管与钻柱之间的磨损，井壁对钻柱的磨损；“蚀”指的是油井管的腐蚀及应力腐蚀。

1. 钻柱的失效模式

钻柱主要承受载荷作用，失效概率很高。据不完全统计，全国油气田每年发生钻具失效事故近 1000 起。失效事故有一个显著特点，就是探井、新区块钻具断裂事故率远大于开发井、老区块。钻具失效尤其是疲劳引起的失效是影响钻井作业综合效益的突出瓶颈问题。如何预防钻柱失效一直是石油工业的重要课题之一。

经对受油田、厂家委托，由管材研究所 1992—1996 年 5 年内完成的失效分析报告的统计分析，钻具失效类型分布见图 1-2-1，其中钻铤、钻杆（包括钻杆接头）失效频率最高。

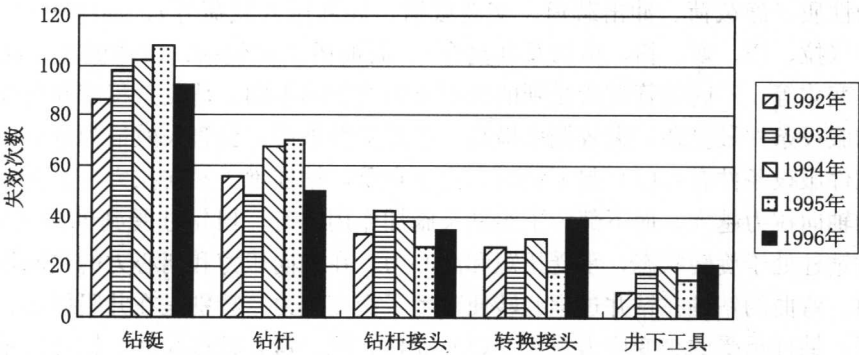


图 1-2-1 失效钻具种类分布图

钻柱失效形式有疲劳失效、脆性断裂、韧性断裂失效、腐蚀失效、磨损失效及粘扣失效等。如表 1-2-1 所示，疲劳失效占总失效的 61%，脆性断裂失效占 17%，两者之和达 78%。这一数据说明，如果有效地控制了疲劳和脆性断裂失效，则可有效地减少钻柱失效损失。

在疲劳失效中，最易发生疲劳的是钻铤等底部钻具螺纹部位，其比例占疲劳总数的 56%，其次是钻杆管体部位，占 27%，钻杆接头直角台肩根部疲劳失效占 12%。

表 1-2-1 钻柱失效模式统计结果 (次)

失效类型及原因	钻杆管体	钻杆接头	底部钻具 (BHA) 的螺纹接头	合计
腐蚀疲劳	170	0	0	170
疲劳	30	74	353	457
脆断	2	13	120	135
应力腐蚀断裂	32	18	0	50
塑性变形及断裂	15	8	2	25
磨损	3	30	5	38
其他	13	8	23	44
合计	252	151	498	901

西部油田是我国石油勘探重点，井最深，条件最苛刻，钻柱失效断裂次数名列各油田之首，所以钻柱失效统计结果有代表性。图 1-2-2 统计分析了西部某油田 1995 年钻柱失效状况，全年发生 60 次钻具失效事故，损失时间 2753h，平均每次损失 45h。疲劳断裂是钻具