

钻井技术手册（四）

钻 具



石油工业出版社

069813

TE2-62/003-4

钻井技术手册

(四)

钻 具



石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本手册全面介绍了常用钻具即钻杆、钻铤和方钻杆的使用、维修和管理方面的技术和经验，对特殊用途的钻具也做了尽可能详尽的介绍。

手册的重点是主要工艺技术的实际应用。既全面介绍国内外的先进技术，又总结了我国油田现场的经验。

本手册供从事钻具使用、维修和管理人员使用，还可供大、中专院校师生和从事钻具研究、设计和制造人员参考。

钻井技术手册

(四)

钻 具

陈 谱 主编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

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

*

787×1092 毫米 32 开本 $14\frac{5}{8}$ 印张 321 千字 印 1-3,000

1992 年 8 月北京第 1 版 1992 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0707-x / TE · 669

精装定价:9.10 元

出版前言

60年代我社先后出版了玉门石油管理局编写的《钻井技术手册》中的钻头分册、泥浆分册、钻井设备分册、安装分册、固井分册和钻井打捞技术工艺分册等。随着石油工业的发展，钻井技术的不断提高，原书已不应当前的生产需要。

根据广大读者的要求，我社准备组织有关人员重新编写一套《钻井技术手册》，其中包括钻头、钻井液、固井、打捞、安装、设备、钻具、定向井等分册，将陆续出版，供现场钻井工程技术人员、石油院校师生阅读参考。

编 者 的 话

本手册的初稿是在 1983 年前后由在各油田现场工作的几位同志分头编写的。后经广泛征求有关专家的意见，并参考补充了大量国内外的近期资料编写成的。

参加本手册编写的有长庆石油勘探局的龚伟安、新疆石油管理局的肖祥升、中原石油勘探局的王瑞俊、大庆石油管理局的李成林、华北石油管理局的吴永泽、陈谱、瞿绍华、孔寒冰、杨恩彪等同志，由陈谱主编。

初稿写成后，由李克向、吴永泽同志审阅。并经朱德龄、张宝山、魏振纲、林希渠、况长辅、李德国、袁福生、顾根宝等同志分章节进行审阅，提出了宝贵的修改和补充意见。修改后又经李克向、吴永泽同志审查，编者在此深表感谢。

编写本手册除参考了公开出版的书刊外，还参考了中国石油天然气总公司管材研究中心编写的《钢的物理试验基础知识》（石油专用管失效分析培训班教材）、《石油专用管失效分析》、“石油专用管简报”、《石油专用管》和兰州石油机械研究所编的《石油钻具》、中国石油天然气总公司石油科学技术情报研究所编的《实用钻井工程》、“石油科技动态”以及各油田的科研成果鉴定资料等。在此特向诸编著者致谢。

由于编写人水平有限，手册中定有不少缺点和错误，欢迎批评指正。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 我国使用的钻具情况	(1)
第二节 钻柱	(2)
一、钻柱的工作状态	(3)
二、钻柱的受力分析	(4)
三、钻具的组合	(6)
第三节 钻具用钢及其化学成分	(10)
第四节 常用普通钻具的规范与性能	(14)
一、钻杆	(14)
二、钻铤	(80)
三、方钻杆	(99)
四、转换接头	(125)
第五节 特殊用途的钻具	(129)
一、加重钻杆	(129)
二、铝合金钻杆	(135)
三、带吊卡槽和卡瓦槽的钻铤	(142)
四、螺旋钻铤	(143)
五、无磁钻铤	(144)
六、方钻铤	(153)
七、偏重钻铤	(157)
八、高抗扭钻杆接头	(159)
九、柔性钻铤	(163)

第二章 钻具检验	(165)
第一节 钻具的理化性能检验	(165)
一、材质的破坏性检查	(165)
二、材质的非破坏检查	(169)
第二节 钻具连接螺纹检验	(175)
一、钻具连接螺纹主要参数简介	(175)
二、钻具连接螺纹的检验及测量仪器	(178)
三、API 钻具螺纹量规系统	(194)
第三节 钻具的缺陷检验和在用钻具的检验与分级	(203)
一、缺陷检验	(203)
二、在用钻具的检查与钻杆分级	(244)
第三章 钻具的保护	(256)
第一节 钻具腐蚀及预防	(256)
一、腐蚀种类和腐蚀剂	(256)
二、影响腐蚀的主要因素	(259)
三、腐蚀形式	(260)
四、腐蚀测定和监测	(267)
五、防腐措施	(269)
第二节 钻具的其它防护措施	(274)
一、钻具磨损及其原因	(274)
二、防护措施	(274)
三、防止螺纹损坏的措施	(276)
附录 3A 等离子喷焊耐磨带技术	(277)
一、原理	(278)
二、等离子喷焊的主要设备	(279)
三、喷焊工艺	(281)
四、喷焊合金粉末(焊粉)	(285)

附录 3B 钻具螺纹磷化工艺技术	(286)
一、加温磷化(热磷化)	(286)
二、涂磷化膏(冷磷化)	(290)
附录 3C 钻具螺纹刷镀铜工艺技术	(291)
一、钻具螺纹刷镀铜基本原理	(291)
二、刷镀设备和机具	(292)
三、钻具螺纹刷镀铜工艺	(295)
第四章 钻具修理	(301)
第一节 管体修复	(301)
一、钻具的校直	(301)
二、常见的管体表面缺陷及修复方法	(305)
三、方钻杆驱动部分磨损的修复方法	(308)
第二节 接头的修补和更换	(308)
一、钻杆接头的修补	(308)
二、钻杆接头的更换	(313)
三、钻铤接长和方钻杆的接头对焊	(345)
第三节 螺纹修复和车制	(352)
一、钻具螺纹台肩面修磨	(352)
二、钻具螺纹的车制和车修	(355)
三、钻铤螺纹底部的冷滚压	(360)
四、钻铤螺纹应力分散槽的车制	(362)
五、加工螺纹用的设备及刀具	(365)
附录 1 C120—A 型摩擦焊机润滑与密封件	(390)
第五章 钻具事故	(395)
第一节 钻具事故的种类	(395)
一、钻杆典型事故及其分析	(395)
二、钻铤的典型事故及其分析	(405)

三、方钻杆典型事故及分析	(407)
四、钻井工程事故处理中对钻具的损害	(407)
第二节 断口分析简介	(408)
一、断口的宏观分析	(408)
二、断口的微观分析	(414)
三、断口分析的应用	(419)
第六章 钻具的使用与管理	(422)
第一节 钻具的配套与管理	(422)
一、钻具的配套及消耗指标	(422)
二、钻具的管理	(424)
第二节 钻具的使用和报废	(429)
一、使用标准	(429)
二、钻具的报废标准	(440)
三、操作规程及其意义	(444)
第三节 钻具运输与存放	(455)
一、运输	(455)
二、贮存	(457)

第一章 概 述

钻井用的钻杆、方钻杆、钻铤、接头、稳定器、减震器、钻头等以及在特定的钻井条件下常用的或不常用的其它井下工具统称钻具。习惯上又往往把方钻杆、钻杆及其接头、钻铤称为钻具，其它则称井下工具或附件。这本手册主要讲习惯上称为钻具的有关部分。

第一节 我国使用的钻具情况

迄今为止，我国的石油钻具绝大部分是由国外进口的。建国以来，大致经过两个阶段。50年代至60年代初，进口的钻具多属ГОСТ标准系列，主要从苏联、罗马尼亚等国进口；60年代后期开始进口API标准系列的钻具。目前，各油田使用的钻具，ГОСТ系列的已逐渐淘汰，多是由日本、美国、西德、法国等国进口的按API标准制造的。

国产钻具仍处在开发、试制和小批量生产阶段。60年代后期，曾先后颁布过YB528—65《石油钻探管》和YB691—70《石油对焊钻杆、钻铤、方钻杆管材》，并按这些标准试生产过国产钻杆、钻铤和方钻杆，因为质量不够稳定，在石油钻井上没能推广使用。80年代以来，参照和等效采用API标准，先后制订并颁布了国标GB4775—84《钻杆接头》、GB4749—84《石油钻杆接头螺纹量规》和GB9253—1《石油钻杆接头螺纹》和部标SY5144—86《钻铤》、SY5145—86《无磁钻铤》、SY5146—86《整体加重钻

杆》、SY5200—87《转损接头》等。按照这些标准，国内几个军工厂和钢厂与油田现场相结合，经过几年的努力，开发制造的国产钻铤、加重钻杆和螺旋钻铤已进行批量生产，在浅井或中深井上使用。尽管在钢种选用上还比较单一，某些性能指标还赶不上国外优良产品，但已基本上达到 API 标准。国内有些钻铤生产厂从国外购进 AISI4145H 钢坯料制造的钻铤，其性能和国外优良产品类似；用国产 40CrNiMo 钢制造的钻杆接头和转换接头，性能也能达到国外产品水平；方钻杆也正在开发、试制，不久即可投入下井试验；钻杆现正由上海宝山钢铁总厂按 API 钻杆标准进行试制，现已生产出成品，准备下井试验。

从以上情况看，预计“八·五”期间一般常用钻具国内均能生产。

应该说明的是，国际标准（ISO）关于钻具的标准都是以 API 标准为基础的，世界上很多国家制造的石油钻具都是按 API 标准进行生产，ГОСТ 标准也逐渐与 API 标准接近，所以我国的石油钻具标准都是参照或等效采用 API 标准而制订的，按这些标准生产的国产钻具和按 API 标准制造的进口产品是可以互换的。

第二节 钻 柱

钻具是钻井工程不可缺少的重要工具。由钻杆、钻铤、方钻杆及其它附件连成的管柱称为钻柱。有时又把钻柱分成钻杆柱部分和下部钻具组合部分。

在转盘钻井中，地面的动力要通过钻柱旋转传送给钻头并以其部分自重给钻头加压使其破碎岩石。钻井泵排出的钻井液通过钻柱的中心孔送到井底，从钻头水眼喷出，冷却和

冲洗钻头，携带岩屑、清洗井底并帮助破碎岩石。在涡轮和螺杆钻具钻井中，高压钻井液液流，经过钻柱水眼，驱动涡轮或螺杆钻具，带动钻头旋转破碎岩石。此外在钻井中，控制钻压，了解、判断和处理井下复杂情况和事故，以及进行井下特殊作业如挤水泥、中途测试等都要通过钻柱来进行。

一、钻柱的工作状态

在钻井过程中，钻柱是在起下钻和正常钻进两种工序中交替工作的。在起下钻时，钻柱处于受拉状态；而在钻进时其状态比较复杂，处于受拉、压、扭等状态。

在转盘钻进时，钻柱的工作状态和受力尤其复杂。钻柱好似一根细长的旋转轴。在部分自重产生的轴向压力作用下，下部钻柱不稳定而呈弯曲状态，由于受到井眼的限制，可产生多次弯曲；上部钻柱由于旋转产生的离心力作用也不能保持直线状态，再加上扭矩的作用，整个钻柱呈一个近似螺旋形曲线的形式进行着复杂的旋转运动。

呈螺旋形的细长钻柱，在井中是如何旋转的，至今看法不一。过去有人研究认为可能有公转和自转两种运动状态，但近年来，我国的研究人员又提出了新的看法。现分述如下。

1. 自转

认为钻柱好象一根柔性轴，下部钻柱在自重作用下产生弯曲，上部钻柱保持直线状态。整个钻柱在井中绕自身轴线旋转。这样的转动使钻具均匀磨损，并经受交变弯曲应力而使钻具产生疲劳。

2. 公转

认为钻柱在压力、拉力、离心力和扭矩的联合作用下，其轴线弯曲成变波平面正弦曲线形状，整个轴线按转盘的旋

向绕井眼轴线旋转。这样的旋转钻具与井壁摩擦产生偏磨。

3. 自转与反公转

这是我国研究人员通过试验研究最近提出的理论。这种理论认为当钻柱在井内以转盘速度顺时针方向绕自身轴线自转的同时，由于离心力的作用，除钻柱上部和下部很短一段因其本身的刚性，没有贴于井壁外，钻杆的各接头和钻铤的大部分都贴向井壁。在钻柱与井壁之间的摩擦力作用下，各钻杆接头和大部分钻铤以一定的速度按反时针方向，绕井眼轴线旋转，就好象转动的车轮或管子在地面上以一定的速度向前滚动一样，只不过后者的地面由圆形的井壁所代替。钻柱在反公转时，钻杆接头和钻铤并不总是与井壁保持接触，常常跳离井壁并敲击井壁。转盘转速愈高，环空间隙越小，敲击就愈严重。这种反转运动的实质是多支点的自激晃振。此时，钻柱弯曲应力频率为转盘转数与反转转数之和，因此，反转运动可加速钻柱的弯曲疲劳破坏、增大损耗于旋转钻柱的转盘功率、加速钻杆接头和套管的磨损。钻柱的这种自激晃振使钻头产生横向摆动，从而减少钻头使用寿命。

试验研究表明，只有当采用具有润滑性能好的钻井液时，钻柱与井壁间的摩擦力很小，才不产生钻柱的反转运动，那时钻柱将只能绕自身轴线旋转，即前面谈到的自转。

二、钻柱的受力分析

由于钻柱的运动状态十分复杂，精确计算其所受的力是比较困难的。但进行受力分析，对钻柱设计和防止钻具损坏都是很有意义的。

1. 轴向力

起下钻过程中，由于钻柱的自重，整个钻柱受拉力。显然，越接近井口拉力越大。井口上的方钻杆上端受拉力最

大。

钻柱在钻井液中承受浮力，它与由钻柱自重产生的拉力方向相反。

起下钻中，钻柱与井壁产生摩擦，起钻时增加拉力，下钻时减轻钻柱载荷。因井内情况各异，影响因素很多，轴力的求解比较困难，往往以一个试验或统计系数来计算。

钻进时，部分钻柱的重量给钻头加压，因此下部钻柱受压力，越往下越大；上部钻柱受拉力，越往上越大。如此，在钻进时的钻柱就有一个既不受拉、又不受压的截面，称为“中和点”。应当指出，由于钻头和钻柱的运动很复杂，加之地层和操作等因素，钻柱的“中和点”的位置是在不断地上下变化的。

2. 弯曲力矩

在正常钻进中，当下部钻柱受压弯曲时，以及转盘钻进中由于离心力的作用和井眼偏斜、弯曲等都能使钻柱发生弯曲，于是产生弯矩。弯曲的钻柱在旋转时，就要承受交变弯曲应力。最大的弯曲应力发生在挠度最大处。

3. 离心力

钻柱旋转时产生的离心力，可使钻柱发生弯曲，使弯曲应力增加。

4. 扭转力矩

转盘通过钻柱带动钻头旋转，破碎岩石，并克服钻柱与井壁和钻井液的摩擦力矩，使钻柱承受扭转力矩。该力矩一般是井口处最大，钻头处最小。当在使用井底动力钻具（涡轮钻具、螺杆钻具等）时，作用在钻柱上的反扭矩，井底大于井口。

5. 钻柱的振动

钻进时，由于地层的软硬不均匀、井底不平，特别是用牙轮钻头时，牙轮的滚动，引起钻柱纵向振动，使“中和点”上下移动，产生交变的拉压应力。当外界周期的干扰力与钻柱的固有频率相同时，引起共振，出现剧烈的“跳钻”。跳钻会引起钻柱的疲劳破坏。

钻柱的旋转还会使钻具产生两种振动。第一种是由于钻头结构、地层、钻压等因素的变化引起的扭转振动。当转速达到某一临界值时，钻柱出现扭转共振，即所谓的“蹩跳”，第二种是横向摆振。这是在转速达到某一临界转速下，钻柱出现的自激晃振摆动，它会引起钻柱的严重偏磨和弯曲疲劳破坏。

6. 动载

起下钻过程中，由于钻柱运动速度的变化，会引起钻柱的纵向动载，在钻柱中产生纵向瞬时交变应力。动载的大小与操作有关。

三、钻具的组合

钻具的组合主要考虑钻头尺寸、钻机的提升能力和各地区的特点，如地质条件、井身结构及定向井的要求等。

钻具的组合应尽量简单，以便于起下钻操作和处理井下发生的事故。一般是用一种规范的钻杆，如用复合钻杆，其尺寸只能相差一级，把壁厚大的或强度高的放在上边。钻铤尺寸应和选用的钻杆接头尺寸相近，以防止截面突变。为了受力合理和操作方便，方钻杆的选配也应使其下接头的外径与其相接的钻杆接头外径相近。

一般的钻具尺寸配合如表 1-1。

表 1-1 钻具与钻头的配合尺寸

钻头 尺寸 mm(in)	地层	钻 铤			钻杆 mm(in)	方钻杆 mm(in)
		外径 mm(in)	内径 mm(in)	螺纹类型		
120.65 ($4\frac{3}{4}$)	软地层	79.4($3\frac{1}{8}$)	31.8($1\frac{1}{4}$)	$2\frac{3}{8}$ PAC 或 $2\frac{3}{8}$ REG	60.3($2\frac{3}{8}$)	63.5($2\frac{1}{2}$)
	硬地层	88.9($3\frac{1}{2}$)	38.1($1\frac{1}{2}$)	$2\frac{7}{8}$ PAC 或 $2\frac{3}{8}$ REG	73.0($2\frac{7}{8}$) 或 60.3($2\frac{3}{8}$)	63.5($2\frac{1}{2}$)
149.2 ($5\frac{7}{8}$)	软地层	104.8 ($4\frac{1}{8}$)	50.8 (2)	$2\frac{7}{8}$ IF	73.0($2\frac{7}{8}$)	76.2(3)
~ 155.6 ($6\frac{1}{8}$)	硬地层	120.6 ($4\frac{3}{4}$)	50.8 (2)	$3\frac{1}{2} \times H$ 或 $2\frac{7}{8}$ IF	88.9($3\frac{1}{2}$) 或 73.0($2\frac{7}{8}$)	88.9($3\frac{1}{2}$)
165.1 ($6\frac{1}{2}$)	软地层	120.6($4\frac{3}{4}$)	57.2($2\frac{1}{4}$)	$3\frac{1}{2}$ IF	88.9($3\frac{1}{2}$)	88.9($3\frac{1}{2}$)
~ 171.45 ($6\frac{3}{4}$)	硬地层	127.0~ 133.4 ($5 \sim 5\frac{1}{4}$)	50.8(2)	$3\frac{1}{2}$ IF	88.9($3\frac{1}{2}$)	88.9($3\frac{1}{2}$)
193.7 ($7\frac{5}{8}$)	软地层	152.4(6)	71.4($2\frac{13}{16}$)	4IF 或 4H—90	101.6(4)	108($4\frac{1}{4}$)
~ 200.0 ($7\frac{7}{8}$)	硬地层	158.8($6\frac{1}{4}$) 或 165.1($6\frac{1}{2}$)	50.8(2) 或 57.2($2\frac{1}{4}$)	$4\frac{1}{2}$ H—90 或 4IF 4H—90	101.6(4) 或 114.3($4\frac{1}{2}$)	108.0($4\frac{1}{4}$)

续表

钻头 尺寸 mm(in)	地层	钻 铤			钻杆 mm(in)	方钻杆 mm(in)
		外径 mm(in)	内径 mm(in)	螺纹类型		
215.9 $\left(8\frac{1}{2}\right)$ ~ 222.2 $\left(8\frac{3}{4}\right)$	软地层	159 $\left(6\frac{1}{4}\right)$ 165.1 $\left(6\frac{1}{2}\right)$	71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$ 71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$	4IF 4IF 或 $4\frac{1}{2}$ IF	101.6(4)或 114.3 $\left(4\frac{1}{2}\right)$ 或 127.0(5)	108.0 $\left(4\frac{1}{4}\right)$ 133.4 $\left(5\frac{1}{4}\right)$
	硬地层	171.4 $\left(6\frac{3}{4}\right)$ 177.8(7)	57.2 $\left(2\frac{1}{4}\right)$ 57.2 $\left(2\frac{1}{4}\right)$	5H—90 或 $4\frac{1}{2}$ IF	114.3 $\left(4\frac{1}{2}\right)$ 或 127.0(5)	108.0 $\left(4\frac{1}{4}\right)$ 或 133.4 $\left(5\frac{1}{4}\right)$
241.3 $\left(9\frac{1}{2}\right)$ ~ 250.8 $\left(9\frac{7}{8}\right)$	软地层	177.8(7)或 203.2(8)	71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$ 71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$	$4\frac{1}{2}$ IF 或 5H—90 $6\frac{5}{8}$ REG	127.0(5) 或 139.7 $\left(5\frac{1}{2}\right)$	133.4 $\left(5\frac{1}{4}\right)$
	硬地层	177.8(7) 或 203.2(8)	57.2 $\left(2\frac{1}{4}\right)$ 71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$	$4\frac{1}{2}$ IF 或 5H—90 $6\frac{5}{8}$ H—90 或 $6\frac{5}{8}$ REG	127.0(5) 或 139.7 $\left(5\frac{1}{2}\right)$	133.4 $\left(5\frac{1}{4}\right)$
269.9 $\left(10\frac{5}{8}\right)$ ~ 279.4 (11)	软地层	177.8(7) 或 203.2(8)	71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$ 71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$	$4\frac{1}{2}$ IF 或 5H—90 $6\frac{5}{8}$ REG	127.0(5) 或 139.7 $\left(5\frac{1}{2}\right)$	133.4 $\left(5\frac{1}{4}\right)$
	硬地层	203.2(8) 或 228.6(9)	71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$ 71.4 $\left(2\frac{13}{16}\right)$	$6\frac{5}{8}$ H—90 或 $6\frac{5}{8}$ REG $7\frac{5}{8}$ REG	127.0(5)或 139.7 $\left(5\frac{1}{2}\right)$ 或 168.3 $\left(6\frac{5}{8}\right)$	133.4 $\left(5\frac{1}{4}\right)$ 或 152.4(6)