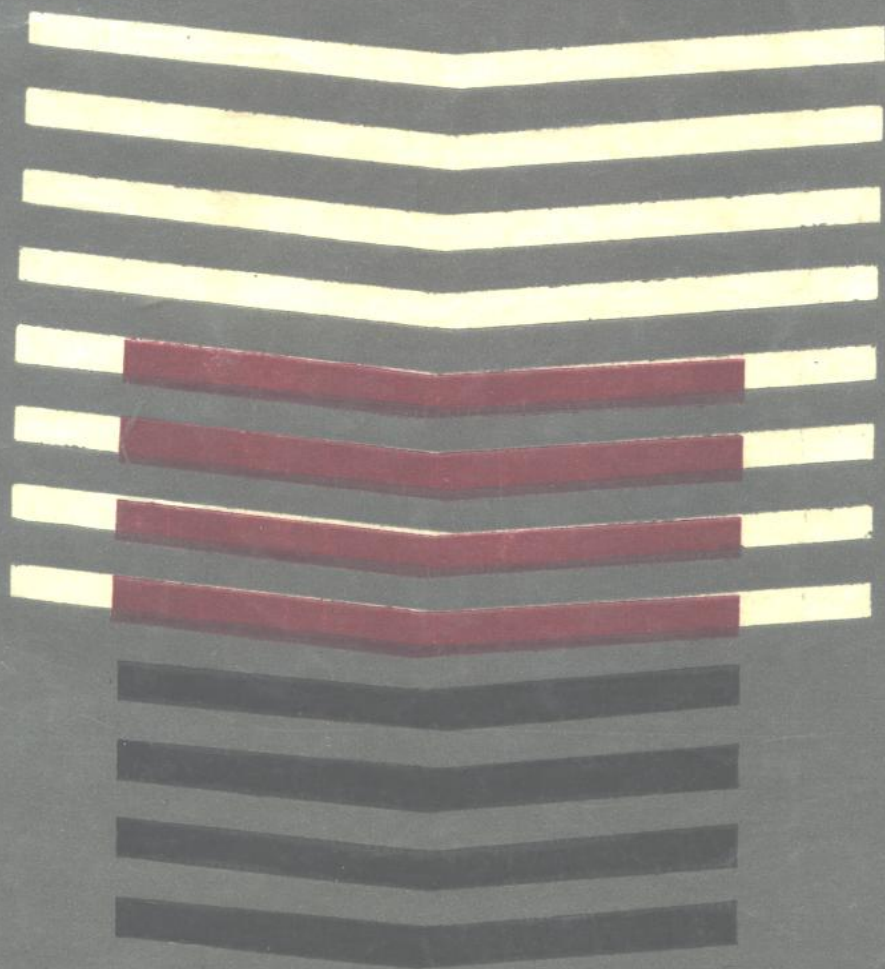


石油工业企业基层干部岗位培训试用教材

钻井工程

中国石油天然气总公司人事教育局组织编写



石油工业出版社

石油工业企业基层干部岗位培训试用教材

钻 井 工 程

中国石油天然气总公司人事教育局组织编写

石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本书比较全面地讲述了石油钻井工艺、原理,钻井设备的安装,钻井常见事故的处理。内容涉及钻头、钻柱、喷射钻井、定向钻井、取心钻井、固井、完井等。本书理论联系实际,通俗易懂,具有很强的实用性。可作为油田厂、矿基层管理人员培训、自学用书,也可供现场工人及技术人员参考。

石油工业企业基层干部岗位培训试用教材

钻 井 工 程

中国石油天然气总公司人事教育局组织编写

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

昌平第一排版厂排版

北京朝阳区北苑印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 11印张 271千字 印1—4,000

1992年11月北京第1版 1992年11月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0802-5/TE·748

定价: 6.55元

编写说明

这套书是中国石油天然气总公司人事教育局，为适应石油工业企业基层干部岗位培训的需要，组织胜利石油管理局、大庆石油管理局、大港石油管理局、中原石油勘探局等部分教师，在近几年基层干部岗位培训试点的基础上，编写的石油工业企业基层干部岗位培训试用教材。适用对象主要是石油基层队干部、车间主任、和油矿大队干部。

这套试用教材由两部分组成：一部分是各个专业岗位适用的技术课教材，另一部分是各个专业岗位通用的公共课教材。公共课教材包括《坚持改革开放的总方针总政策》、《石油工业企业思想政治工作》、《石油工业企业管理》、《应用文写作》、《法学基础知识》等。

《钻井工程》是这套试用教材的专业技术课教材之一。本书由胜利石油管理局（以姓氏笔划为序）刘德智、刘哈光、刘卫东、张雪艳、李在平、李延庆、侯崇京、颜廷杰等同志编写。在编写过程中，武金坤、梁文喜同志组织指导了编写、讨论、修改和定稿工作。

这套教材的出版，得到了上述几个局的教育培训部门及有关方面的大力支持，在此表示感谢。

由于编写时间短促，对于书中的缺点、错误，希望读者给予批评指正。

编者

5071/27

目 录

第一章 钻头	1
第一节 岩石的机械性质	1
第二节 刮刀钻头	3
第三节 牙轮钻头	6
第四节 金刚石钻头	13
第五节 PDC钻头	14
第二章 钻柱	18
第一节 钻柱的组成和规范	18
第二节 钻柱的受力分析	24
第三节 钻柱的破坏	25
第四节 钻具的检查与合理使用	27
第三章 喷射钻井	31
第一节 概况	31
第二节 喷射钻井的工作原理	31
第三节 基本水力参数的计算方法	35
第四节 喷射钻井的工作方式	38
第五节 喷射钻井水力参数的设计步骤	42
第六节 喷射钻井对钻井液性能的要求	43
第七节 喷射钻井对设备的要求及施工注意事项	44
第四章 井身质量及其控制	47
第一节 概述	47
第二节 井斜的原因	51
第三节 满眼钻具防斜原理及应用	55
第四节 纠斜方法	59
第五章 定向钻井	62
第一节 定向井的基本概念	63
第二节 造斜方法及原理	64
第三节 定向井井身剖面设计	66
第四节 井身方位控制	71
第五节 定向井的其他问题	73
第六章 井控技术与井控装置	75
第一节 地下各种压力概念和异常压力的形成	75
第二节 地层破裂压力	78
第三节 井眼压力系统的平衡与失去平衡的原因	79
第四节 溢流的发现和关井程序	83

第五节 压井.....	86
第六节 井控装置.....	90
第七章 取心钻井.....	99
第一节 取心工具的组成.....	99
第二节 取心工具的类型.....	101
第三节 取心工艺技术.....	106
第八章 固井.....	111
第一节 井身结构.....	111
第二节 套管柱的设计.....	113
第三节 下套管和注水泥.....	114
第四节 固井质量.....	122
第九章 完井.....	125
第一节 钻开油、气层的措施.....	125
第二节 油、气井完井方法.....	127
第十章 钻井事故处理.....	129
第一节 卡钻.....	129
第二节 卡钻的处理.....	132
第三节 钻具事故和落物事故.....	139
第四节 井漏与处理.....	142
第五节 电缆事故的处理.....	143
第十一章 钻井设备的安装.....	146
第一节 天车、绞车和转盘的安装.....	146
第二节 动力机组及传动系统的安装.....	148
第三节 钻井工艺对钻井液循环系统的要求.....	148
附录一 钻井安全生产操作规程.....	151
附录二 附表.....	167
附表1 钻井常用钢丝绳、白棕绳的尺寸和长度.....	167
附表2 钢丝绳换新标准.....	167
附表3 白棕绳规格和强度.....	167
附表4 几种丝扣油的配制.....	167
附表5 套管丝扣油标准.....	168
附表6 浮力系数表.....	168
附表7 常用钻具内容积和体积(排代量)表.....	168
附表8 常用钻具与井径或套管构成的环空容积表.....	169

第一章 钻 头

在钻井工程中，钻头质量的优劣和与岩性是否适应对提高钻井速度和降低钻井成本有着很大影响。随着现代工业技术的迅速发展，人们在钻头的设计、制造与使用方面都有很大的改进，从而使钻头工作的经济技术指标成倍增长。

衡量钻头的主要技术指标是钻头进尺和机械钻速。提高钻头进尺便可减少起下钻次数，缩短总的钻井时间；提高机械钻速则可直接减少钻进时间。钻头进尺是指钻头在井底全部工作时间内所取得的进尺；机械钻速是指单位纯钻进时间内的进尺。它们之间的关系可用下式表示。

$$v_r = \frac{H}{t}$$

式中 v_r ——一只钻头的平均机械钻速，米/小时；

H ——一只钻头的总进尺，米；

t ——一只钻头的工作时间，小时。

钻头是破碎岩石的主要工具，而岩石是钻头工作的主要对象。因此，为了提高钻头破碎岩石的效率，就必须对各种岩石在钻进时所表现的破碎特点有所了解，所以我们在讨论钻头之前，有必要对岩石的机械性质作一些简要的介绍。

第一节 岩石的机械性质

岩石在外力作用下，由变形到破碎所表现的一些性质，叫做机械性质。根据钻头破碎岩石的特点，与钻井密切相关的岩石机械性质主要有硬度、塑性和研磨性等，现分述如下。

一、硬度

讨论岩石的硬度时，首先要谈谈强度的概念。所谓强度是指材料抵抗外力破坏的能力。钻井时，钻头破碎岩石的作用是很复杂的，但各种类型钻头的工作刃，压入岩石使其发生弹性和塑性变形，最后形成破碎坑，则是基本的、共同的。所以，衡量钻井时岩石强度的大小必须采用硬度这个概念。岩石发生破碎的瞬时，作用在单位面积上的力，就称为岩石的硬度，单位是牛/毫米²。

要特别注意的是，岩石的硬度和岩石的抗压强度是两个不同的概念。岩石的硬度实际是反应了岩石在多向应力状态下的抗剪极限能力。而抗压强度则是单向应力状态下的强度。因此，单向应力状态下的强度值，如抗拉、抗压、抗剪等，均不能代表钻头对岩石的机械性质。对同一种岩石，其硬度比抗压强度大得多。如花岗岩的抗压强度为120~260牛/毫米²，而硬度则为3500~6200牛/毫米²。

根据岩石硬度的不同，一般将岩石分为三组12级，如表1—1所列。

在石油钻井中，经常遇到的泥岩多属1~2级；泥板岩为3~4级；泥灰岩和石灰岩为4~6级；白云岩为5~7级；粉砂岩为3~5级；砂岩为4~8级；硬石膏为4~5级；而石英砂岩、石英岩及燧石等，均在9级以上。

表 1—1 岩石按硬度分类

组别	软 岩 石				中 硬 岩 石				硬 岩 石			
级别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
硬度 牛/ 毫米 ²	≤100	100~250	250~500	500~ 1000	1000~ 1500	1500~ 2000	2000~ 3000	3000~ 4000	4000~ 5000	5000~ 6000	6000~ 7000	>7000

二、塑性

物体在外力作用下发生变形，当外力取消后又能恢复原来形状的性质叫弹性。胡克定律告诉我们，在弹性限度内，应力与应变成正比，多数造岩矿物都有较好的弹性。但由于矿物晶体普遍具有各向异性的特点，其弹性系数在不同方向上存在着差别，这是因为岩石中普遍存在孔隙、裂纹与微裂纹所造成。材料在外力超过弹性限度后出现两种情况：一是立即破碎，二是产生变形，这种变形是永久性的，当外力消除后不能恢复原来的形状称为塑性变形。在单向应力状态下，大部分岩石与矿物都接近于弹性塑性体，即在应力达到弹性极限时，它们就开始破坏（特别是沉积岩），不会出现明显的永久变形。因此，可以认为：岩石在破碎前呈现永久变形的性质叫岩石的塑性；不呈现永久变形叫脆性。根据压入试验的变形特征，可将岩石分为脆性、塑脆性及塑性三大类。

岩石产生塑性变形的原因是由于岩石内部矿物颗粒及矿物与胶结物颗粒间的接触面在外力作用下发生相对滑移所致。当外力足够大时还会导致颗粒内部晶体沿晶面产生滑移。岩石内部颗粒之间的滑移，与岩石的结构特点、应力状态等方面的因素有关。

衡量岩石塑性变形的大小，可用塑性系数 K 来表示。

$$K = \frac{\text{岩石破碎前耗费的总功}}{\text{弹性变形功}}$$

按塑性系数将岩石分为3类6级，如表1—2所列。

表 1—2 按塑性系数岩石的分类

类 别	脆性岩石	塑 脆 性 岩 石				塑性岩石
级 别	1	2	3	4	5	6
塑性系数	1	1~2	2~3	3~4	4~6	6~∞

钻井过程中常遇到的岩石，如粘土、泥灰岩、泥页岩等 $K=2\sim\infty$ ；钙质砂岩 $K=1\sim3$ ，硅质砂岩、石英砂岩 $K=1\sim2$ ；石灰岩 $K=2\sim5$ 。

三、研磨性

钻头在工作时，钻头的工作刃将逐渐被岩石磨损。岩石磨损钻头的的能力叫研磨性。

岩石的研磨性的大小，主要受岩石颗粒的成分、形状、大小及胶结物的性质等因素影响。研磨性是一个相对的概念，目前还无统一的测量和表示方法。根据实验，各种岩石的相对研磨性大小列于表1—3（由小到大）。

前面我们介绍了岩石的硬度、塑性和研磨性的基本概念，下面对影响这些性能的主要因素作一些简略介绍。

表 1—3 各种岩石的相对研磨性

序 号	岩 石 名 称 及 特 点
1	石膏
2	石灰岩
3	白云岩
4	硅质岩 (燧石)
5	含石英颗粒约5%的岩石
6	长石岩
7	含石英颗粒约10%的岩石
8	石英岩 (结晶)
9	石英碎屑岩, 硬度 ≥ 3500 牛/毫米 ²
10	石英碎屑岩, 硬度 $= 2000 \sim 3500$ 牛/毫米 ² 或含石英2%的岩石
11	石英碎屑岩, 硬度 $= 1000 \sim 2000$ 牛/毫米 ² , 或含石英30%的岩石
12	石英碎屑岩, 硬度 < 1000 牛/毫米 ²

首先, 岩石的硬度、塑性和研磨性主要取决于组成岩石的矿物颗粒的性质。硬度大、塑性小的矿物组成的岩石, 其硬度及研磨性也大, 塑性也小。如石英的硬度比方解石大, 塑性比方解石小。因此, 石英岩与石灰岩、白云岩相比, 前者的硬度和研磨性要大些, 塑性要小些。另外, 矿物的颗粒越小, 岩石的硬度越高; 同时由于矿物颗粒小, 岩石表面粗糙度也小, 其研磨性也较小。

其次, 岩石内部颗粒之间的胶结情况, 对岩石的硬度、塑性和研磨性有十分重要的影响, 如砂岩的硬度随胶结物强度的增加而增大, 一般规律是: 硅质的大于铁质的, 铁质的大于钙质的, 钙质的大于泥质的。而砂岩的塑性与胶结物的关系是硅质的小于铁质的, 铁质的小于钙质的, 钙质的小于泥质的。

除此之外, 岩石的孔隙、裂缝、层理和节理等构造特点对岩石的机械性能也都有着重要的影响。

第二节 刮刀钻头

刮刀钻头最大的优点就是结构简单, 制造方便, 成本低廉, 各油田均能自行设计制造。在泥岩、砂岩、泥页砂岩、页岩等软地层中钻进可起到很高的机械钻速和钻头进尺。近年来人造金刚石聚晶块和硬质合金喷嘴在刮刀钻头上的应用, 使钻头指标有了更大幅度的提高。但刮刀钻头也有其局限性, 在硬而研磨性高的地层中, 刀片吃入困难, 扭矩大, 磨损也较快, 钻井效率很低。特别在软硬交替的不均匀地层中容易发生蹩跳钻, 对钻具寿命有一定的影响。

一、刮刀钻头破碎岩石的基本原理

刮刀钻头在井底钻进时, 在钻压的作用下刀刃吃入岩层, 同时在扭矩的作用下, 刀刃旋转切削破碎岩石。图1—1为刮刀钻头破碎岩石的原理示意图。 p 为钻压, T 是由扭矩产生的

水平分力， R 是二力的合力。

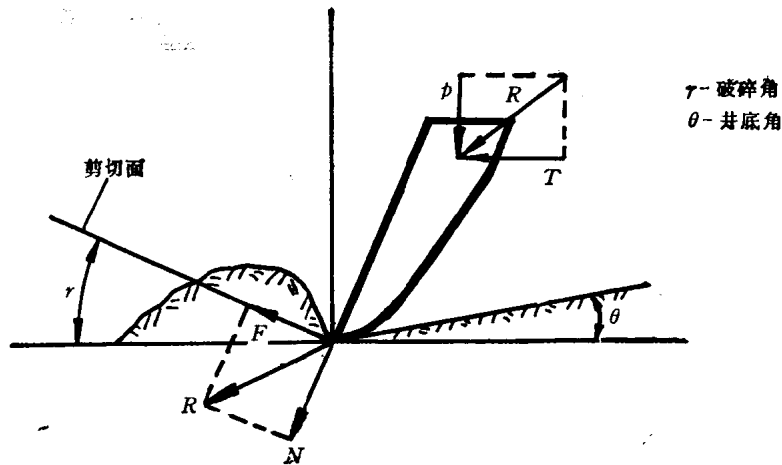


图 1—1 刮刀钻头破碎岩石的原理

一般情况下，剪切面大约是垂直于刀翼前刃的。在扭矩一定时，钻压愈大，吃入愈深， γ 角就愈大；在钻压一定时，扭矩愈大， γ 角就愈小。刀翼剪切岩石破碎的条件是： $F \geq Sp$ 式中 F ——表面剪切面上的剪切力，牛；

S ——剪切面的剪切面积，毫米²；

p ——岩石的抗剪切极限强度，牛/毫米²。

前面我们分析了刮刀钻头破碎岩石的机理，现在我们以塑性岩石和弹塑性岩石为例说明刮刀钻头破碎岩石的过程。

1. 塑性岩石

在塑性岩石中，由于岩石硬度小，刀翼在钻压 p 的作用下很容易吃入。在扭力作用下刃前岩石的破碎是连续的塑性流动，在扭矩作用下基本上不发生变化。这种情况同用犁来犁田，软金属的切削相似，如图1—2所示。

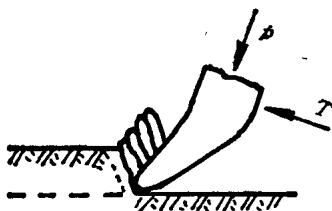


图 1—2 塑性岩石破碎特点

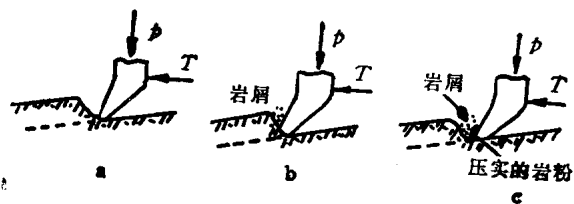


图 1—3 刀翼破碎岩石的过程

2. 弹塑性岩石

如图1—3所示，刀翼碰撞、挤压及剪切这三种破碎过程形成了刮刀钻头破碎弹塑性岩石的全部过程。可以作如下的分析。

(1) 刀翼前面的岩石沿剪切面破碎以后，阻力减小，也即扭力 T 减小，刀翼向前推进碰撞刃前的岩石，如图1—3a所示。

(2) 刀翼在扭力 T 的作用下挤压刃前的岩石并使其产生小的剪切破碎，此时扭力增大，如图1—3b所示。

(3) 刀翼继续向前推进挤压刃前岩石，并将部分岩石压成粉状，当扭力达到岩石的极

限强度时,岩石沿剪切面产生大破碎,然后扭力突然变小。

由此可见,扭力 T 并非是一个常量,而是忽大忽小地作周期性变化的。

二、刮刀钻头的结构

我国现场广泛使用的是三翼刮刀钻头,各地区制造的三翼刮刀钻头在结构上虽有区别,但大同小异。三翼刮刀钻头是由上钻头体、下钻头体、刀翼(也称刀片)及喷嘴四部分组成。

(1) 上钻头体 是钻头的主体,上部有丝扣连接钻具。

(2) 下钻头体 又称分流头,焊于上钻头体下部,内开三个水眼孔。

(3) 刀片 由合金钢制成,表面镶有硬质合金或金刚石,以提高耐磨性。刮刀钻头的工作效益主要体现在刀片和喷嘴上,所以我们对刀片和喷嘴着重进行介绍。

1. 刀片

为了提高刮刀钻头的切削效率和使用寿命并能适应不同地层的需要,刀片不仅要有足够的强度,而且应具有合理的几何形状。刀片的几何形状主要包括刃尖角 β ,切削角 α ,底刃形状及刀片的长度、厚度等参数。下面我们就几个主要参数进行分析。

(1) 刃尖角 β 刃尖角 β 是指刀刃前缘面切线与后缘面切线之间的夹角,如图1—4所示。它反映了刀刃的尖锐程度,并能影响刀刃的强度,在松软地层容易吃入。钻压不大, β 角可设计得较小,反之, β 角应增大。刀刃在井底工作时外缘比内缘磨损严重。为了提高刀刃外缘的耐磨性,使刀刃外缘均匀磨损,我国胜利油田设计制造了“双刃尖角的刮刀钻头”,此钻头有两种形式:一种是内刃尖角为 $11\sim 12^\circ$,外刃尖角为 $14\sim 15^\circ$;一种是内刃尖厚8毫米左右,内刃尖角 14.5° 左右,外尖刃厚16毫米左右,外尖刃角 12° 左右,这两种方案均取得了很好的效果。

(2) 切削角 α 切削角是指刀刃前缘切线与水平面之间的夹角,如图1—4所示。在其他条件相同时,切削角越大,刀刃越易吃入岩层,且吃入深度大。但切削角 α 过大,刃前岩石受挤压的程度就更加严重,扭矩也就相应增大,钻头旋转时的整劲也就增大,所以切削角的大小应根据岩石性质来确定。一般情况下,在松软地层中切削角为 $70\sim 80^\circ$,在中软或有硬夹层的地层,切削角为 $80\sim 85^\circ$ 。

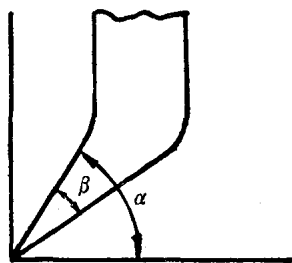


图 1—4 刀片的底刃形状

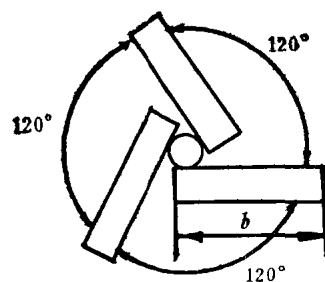


图 1—5 刮刀钻头三个刀片的排列示意图

(3) 刀片的底刃形状 刀片的底刃形状有平底和阶梯形两大类。阶梯形又分为二阶梯、三阶梯、正阶梯、反阶梯。在胜利油田,现场普遍使用正三阶梯的刮刀钻头。

(4) 刀片的宽度 b 刀片的宽度应根据钻头尺寸来确定。三翼刮刀钻头要求三个刀片的排列互成 120° 。其底刃一般不交于一点,而应相交成一个三角形(如图1—5所示),以增大钻头的刮挤作用,但所交成的三角形的内切圆直径不能大于30毫米,否则会在三角形中间形

成岩心而影响钻速。宽度一般采用有效磨损长度为50~70毫米作依据。胜利油田生产的刮刀钻头底刃 $b_n=14$ 毫米, $b_n=20\sim24$ 毫米。

2. 喷嘴

关于喷嘴的详细内容, 后面高压喷射钻井一章中将专门介绍和讨论, 这里我们结合刮刀钻头作一简要的介绍。刮刀钻头钻进时岩屑主要积堆在刃前, 因此喷嘴的喷射方向也应朝刀片的前方并且定向喷出射流, 以提高对井底的净化效果。刮刀钻头喷嘴的超前角和喷射角是决定射流方向的两个主要参数。

(1) 超前角 γ 指喷射中心线与钻头轴线的连线在水平面上的投影与刀片折线在水平面上的投影之间的夹角, 一般为 35° 左右。

(2) 喷射角 ω 指喷嘴中心线与钻头轴线之间的夹角。喷射角一般情况下为 $14^\circ\sim18^\circ$ 。胜利油田生产的 $8\frac{1}{2}$ 英寸, $9\frac{3}{4}$ 英寸的人造金刚石三刮刀钻头, 其超前角为 35° , 喷射角为 18° 。应当指出的是, 这两角的大小是随钻头尺寸、喷嘴出口到井底的距离等条件而变化的。一般要求液流位于井底半径靠外侧的三分之一处, 喷射角过大就会冲垮井壁, 过小会影响井底外缘部分的净化; 喷嘴到井底的距离, 一般为喷嘴直径的6~7倍, 胜利油田的人造金刚石喷射式刮刀钻头, 喷嘴出口到井底的距离为100~400毫米, 喷嘴的出口直径有 $\phi 9$ 、 $\phi 10$ 、 $\phi 11$ 、 $\phi 12$ 、 $\phi 13$ 、 $\phi 14$ 等几种。

第三节 牙 轮 钻 头

牙轮钻头是近代石油钻井中, 使用最广泛的一种钻头, 这是由于牙轮钻头旋转时具有冲击压碎和剪切破碎岩石的作用, 牙齿与井底的接触面积小, 比压高, 工作扭矩小, 工作刃总长度大等特点, 因而牙轮钻头能适应于从软到硬等多种岩石的地层, 适用范围很广。

一、牙轮钻头的结构

目前国内外使用最多的是三牙轮钻头, 因此本节只对三牙轮钻头进行讨论。三牙轮钻头是由三个牙轮锥体按 120° 对称分布, 与其他部分一起经复杂加工组成。其基本部分为钻头体、巴掌(牙爪)、牙轮、轴承和水眼, 新型三牙轮钻头上还有储油密封系统和特殊结构的喷嘴等。

1. 钻头体

钻头体是钻头本体, 上部车有丝扣用于连接钻柱, 下部带有巴掌。钻头体上装水眼板或镶装喷嘴。牙轮钻头可分为有体式和无体式两类。如果钻头体与巴掌分别制造然后将巴掌焊接在钻头体下侧的叫做有体式钻头, 这种钻头的上部丝扣均为母扣, 14号和14号以上的大钻头均是有体式钻头。如果巴掌与三分之一钻头体做成一体, 然后将三部分合焊在一起的叫做无体式。13号以下的小钻头均为无体式, 无体式钻头均为公扣, 没有专门的水眼板。

2. 巴掌

巴掌与牙轮轴相连, 上面有轴颈, 用于支承牙轮。

3. 牙轮

牙轮是外面车铣或镶装有牙齿, 内腔加工成与轴颈相对应的滚动体跑道(或滑动摩擦面)的锥体。牙轮是由不同的锥体组成, 分有单锥和复锥两种类型, 如图1—6所示。单锥牙轮由主锥和背锥组成, 适用于硬的及研磨性高的地层; 复锥牙轮是由主锥、副锥和背锥组成, 适用于软及中硬的地层。

4. 喷嘴

一般三牙轮钻头上有三个喷嘴,其布置有两种情况:一种是喷嘴正对牙轮,钻井液可以直接冲洗牙轮,但不利于冲洗井底;一种是布置在两牙轮之间,使钻井液直接冲洗井底。

5. 牙轮钻头的轴承

牙轮钻头一般有三副承受径向载荷的轴承。外排是滚柱轴承,内排是滑动轴承(或滚柱轴承),中间是滚珠轴承。滚珠轴承将牙轮和牙爪轴颈锁在一起,不致脱落,承受部分轴向载荷。目前常用的轴承结构有两种:一种是滚柱—滚珠—滑动,另一种是滚柱—滚珠—滚柱。

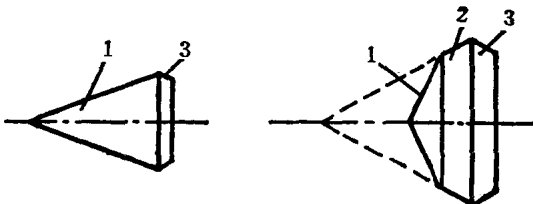


图 1—6 牙轮的几何形状

1—主锥; 2—副锥; 3—背锥

前一种结构用于小尺寸钻头(6~9英寸),后一种用于大尺寸钻头(9英寸以上)。除了三副轴承外,还有两道止推轴承,小轴端部为第一道止推轴承,它是在小轴端部焊耐磨合金,在相对位置的牙轮上镶有止推块。第二道止推轴承在小轴颈部的台肩上,在小轴台肩面焊耐磨合金,而在相对位置的牙轮上镶减磨合金块。当钻头加压工作时,大滚柱轴承是承受钻压的主轴承(约承受全部钻压的60%~70%)。地层的反力通过牙轮和4~5颗滚柱传到轴颈上,所以在轴颈下部受着极大的接触应力。

6. 锁紧零件

有钢球及牙轮卡簧两种,牙轮与巴掌组装时,传统的方法是采用钢球锁紧。钢球装进牙轮后要用塞销封住钢球的通道才能使钢球安全可靠的在跑道上自由滚动。而牙轮卡簧则只需专用工具将其放进牙轮内腔即起锁紧作用。牙轮卡簧是用弹簧钢经过特殊处理与加工而成。采用卡簧锁紧牙轮既简化了轴承结构,增加了大轴滑动轴颈工作面积,又比钢球锁紧更安全可靠,提高了轴承寿命。

7. 储油密封压力补偿装置

由轴承密封圈储油箱、保护杯、密封圈、压盖、丝堵、挡圈等零件组成。其作用是平衡牙轮在工作时轴承腔内外的压力差,可防止泥浆进入轴承腔内和润滑脂漏失,还可储存足够的润滑脂向轴承腔内不断补充,使钻头轴承和密封圈处于良好的润滑状态。

二、三牙轮钻头破碎岩石的基本原理

牙轮钻头在井底的运动,决定着牙轮和牙轮上牙齿的运动,而牙轮和牙齿的运动就直接决定了牙齿对岩石的破碎作用。牙轮钻头是依靠牙轮绕钻头轴线的公转和牙轮自身轴线的自转所产生的冲击压碎作用和剪切作用来破碎岩石的。

1. 牙齿的冲击压碎作用

牙轮钻头在井底工作时,对井底岩石的冲击压碎作用,是牙轮钻头破碎岩石的主要特点,也是牙轮钻头破岩的主要方式。

牙轮在井底滚动时,由于牙齿是单、双齿轮流接触井底并且是连续地反复进行,因此使钻头产生了上、下的往复运动,也就是振动,这种振动是钻头对岩石冲击作用的主要来源。目前我国生产的大多数ZY、Y和JY型牙轮钻头从理论上讲就是采用纯滚压冲击的工作原理,它的三个轮轴布置均经过钻头中心即交于钻头的中心,见图1-7a所示。

2. 牙齿对地层滑动的剪切(刮挤)作用

在塑性较高的岩石中,除了要求牙齿对井底岩石有压碎冲击作用外,还要求牙齿对地层

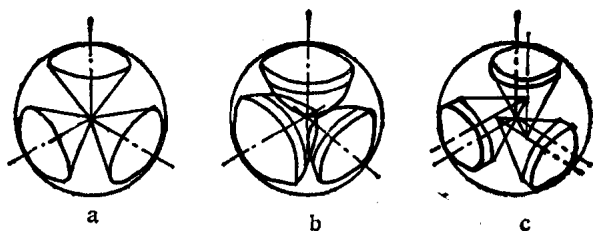


图 1—7 牙轮布置方案

a—非自洗式布置方案；b—自洗不移轴式布置方案；c—自洗移轴式布置方案

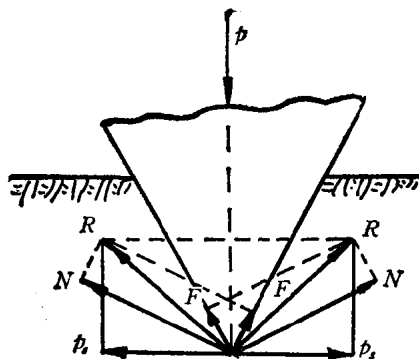


图 1—8 牙齿吃入岩石力图

有一定滑动作用，使牙齿对岩石进行剪切，以扩大岩石的破碎效果，这一点在软地层钻进时显得很重要。

使牙轮在井底滚动时产生滑移的措施有三个：超顶、复锥和移轴。

(1) 超顶 指牙轮的锥顶超过钻头的中心线，如图1—7b所示。锥顶超过中心线的距离就叫做超顶距，用 c 表示，超顶距越大滑动量就越大，超顶在切线方向上产生了滑动，剪去了牙轮每个齿圈上齿与齿之间的岩石。

(2) 复锥 指由两个或两个以上的锥体组成的牙轮，如图1—7b所示。复锥导致牙齿在切线方向产生滑动，同超顶一样也剪去了牙轮每个齿圈上齿与齿之间的岩石。

(3) 移轴 指牙轮轴线相对于钻头轴线平移了一段距离 S ，把 S 叫做移轴距，见图1—7c所示。如果移轴距 S 越大，牙轮的滑动量就越大，剪切作用也就越大。移轴使牙齿产生了轴向滑动，剪去了牙轮上齿圈之间的岩石。

通过以上分析，只要牙轮锥顶不与钻头轴线重合就会产生滑动剪切作用。国产三牙轮钻头JR、R、Z、ZY型等钻头均采用这种牙轮布置方案，其中R、JR型钻头滑移量最大，Z、ZY型等滑移量要小些。值得注意的是复锥、移轴和超顶三者不是在钻头上单一存在，往往是三种情况同时兼有，如软地层使用的钻头就是这种结构。

3. 牙齿本身剪切作用

以上我们讨论了钻头转动时牙齿对岩石产生的剪切作用，现在我们讨论一下牙齿本身吃入岩石时所产生的剪切作用。

牙齿在轴向压力 p 作用下吃入岩层，牙齿的楔形面对岩石产生正压力 N ，同时产生摩擦力 F ，二者合力为 R ，如图1—8所示。

合力 R 可分解为轴向力和水平力 p_s ，岩石在 p_s 作用下沿剪切面发生破碎，转动钻头时随牙齿的移动而使已破碎的岩石剔出。 p_s 就是牙齿吃入地层的剪切破碎力，压入破碎实际上是剪切破碎作用。

4. 牙轮钻头对井壁的切削和修整作用

牙轮钻头是通过牙轮背锥排齿的切削以修整井壁的，软地层井壁易于切削，所以接触点少些，硬面研磨性高的地层接触点就多些，有利于保持井径。

三、牙轮钻头的产品系列

1. 国产牙轮钻头

牙轮钻头是国内外钻井使用最多的钻头。随着石油工业的迅速发展，现代钻井规模日益

扩大，深度不断增加，井身结构日趋复杂等特点，国内牙轮钻头的生产近年来无论在质量、数量等方面都有很大的提高。目前国产牙轮钻头已初步建立了定型系列，规定了系列代号，基本上能满足国内钻井现场需要。

国产三牙轮钻头根据其结构特征，钻头的定型产品共分为13个系列，并规定汉语拼音字母代号如表1—4所示。

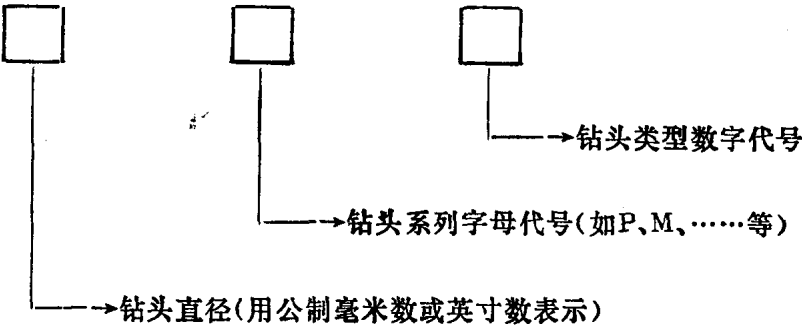
表 1—4 三牙轮钻头结构系列

类 别	全 称	简 称	代 号
钢 齿 钻 头	普通三牙轮钻头	普通钻头	Y
	喷射式三牙轮钻头	喷射式钻头	P
	滚动密封轴承三牙轮钻头	密封钻头	M
	滚动密封轴承喷射式钻头	密封喷射式钻头	MP
	滚动密封轴承保径喷射式钻头	密封喷射式保径钻头	MPB
	滑动密封轴承喷射式三牙轮钻头	滑动喷射式钻头	HP
	滑动密封轴承保径喷射式三牙轮钻头	滑动喷射式保径钻头	HPB
镶 齿 钻 头	镶硬合金齿普通三牙轮钻头	镶齿普通钻头	X
	镶硬合金齿密封滚动轴承三牙轮钻头	镶齿密封钻头	XM
	镶硬合金齿滑动密封轴承三牙轮钻头	镶齿滑动钻头	XH
	镶硬合金齿滚动密封轴承喷射式三牙轮钻头	镶齿密封喷射式钻头	XMP
	镶硬合金齿滑动密封轴承喷射式三牙轮钻头	镶齿滑动喷射式钻头	XHP
	空气钻井用镶硬合金齿三牙轮钻头	空气钻头	K

国产铣齿（钢齿）钻头结构根据所钻地层岩性可分为多种类型，钻头涂有固定的颜色标记，并用汉语拼音字母来表示，如表1—5所示。

应该注意的是国产镶齿钻头目前尚未形成系列，仍用相对应的铣齿钻头代号，如 R、ZR、Z、ZY、Y。为了与铣齿钻头加以区别，在系列产品型号前加“X”表示镶齿。

国内主要产品目前普遍采用的三牙轮钻头的型号已改用新的表示方法：



例如：用于中硬地层直径为244毫米(9⁵/₈英寸)的镶齿密封滑动喷射式钻头代号为φ244 XHP₅。(或9⁵/₈英寸XPH₅)。

表 1—5 铣齿钻头类型及适用地层

代号 (简化)		1	2	3	4	5	6	7
钻 头 类 型		极 软 JR	软 R	中 软 ZR	中 Z	中 硬 ZY	硬 Y	极 硬 JY
钻 头 颜 色		乳 白	黄	天 蓝	灰	墨 绿	红	褐
破碎岩石 的作用	冲击压碎作用所占部分	由占少部分——→占很大部分						
	剪切作用所占部分	由占大部分——→占很少部分						
适用的地 层	塑性大小	极 大	大	较 大	中	小	较 小	极 小
	岩 层 举 例	粘 土 泥 岩	页 岩 中软石灰 岩	页岩 松砂岩	硬页岩 中硬砂岩	硬砂岩 石灰岩 (硬) 石英岩 花岗岩 研磨性大 页岩、砂岩	同 前	白云岩 花岗岩
		白 垩	石 膏	中硬石灰岩	石灰岩			石英砂岩 燧石层

2. 国际钻井承包商协会 (IADC) 钻头编码的意义

IADC钻头编码用三位数字表示, 各个数字的意义是:

(1) 第一位数字, 表示牙齿类别及所适用地层。

“1”表示钢齿, 软地层 (低抗压强度和高可钻性);

“2”表示钢齿, 中到中硬地层 (高抗压强度);

“3”表示钢齿, 硬地层 (中等研磨性或研磨性);

“4”表示镶齿, 极软到软地层 (低抗压强度及高可钻性);

“5”表示镶齿, 软到中地层 (低抗压强度);

“6”表示镶齿, 中硬地层 (高抗压强度);

“7”表示镶齿, 硬地层 (中等研磨性或研磨性);

“8”表示镶齿, 极硬地层 (高研磨性)。

(2) 第二位数字, 表示所钻地层岩性由软到硬再分为1、2、3、4四个等级。

(3) 第三位数字, 表示钻头结构特征。

“1”表示标准型 (钢齿非密封滚动轴承钻头);

“2”表示用空气冷却和清洗的滚动轴承钻头;

“3”表示滚动轴承保径钻头 (“T”型保径或镶齿保径);

“4”表示滚动密封轴承钻头 (钢齿);

“5”表示滚动密封轴承保径钻头 (钢齿及镶齿);

“6”表示滑动密封轴承钻头 (钢齿);

“7”表示滑动密封轴承保径钻头 (钢齿及镶齿);

“8”表示定向井钻头;

“9”表示其他钻头。

举例: 钻头编号“537”第一位数字“5”表示镶齿钻头, 适用于软到中地层; 第二位数字“3”表示软到中地层的第三级, 即中软地层; 第三位数字“7”表示是第7系列的滑动密封轴承保径钻头, 相当于国产XHP₃型牙轮钻头。

四、牙轮钻头的合理使用

1. 钻头的选用

合理选择钻头对于提高钻速，降低成本起到重要作用。目前国内外牙轮钻头品种很多，做好钻头选型工作是提高钻头工作效率十分重要的环节。在实际工作中，要做好合理选择钻头类型的工作，除了了解地层岩性，掌握钻头结构特点和适应范围外，还必须做好钻头使用效果的分析对比，不断总结经验，使每个钻头都能选择得合理。

2. 钻头下井前的检查与下井操作

(1) 钻头下井前的检查工作 每只钻头下井前必须进行认真地检查，其内容包括：

①型号、尺寸是否与岩性、井下要求相符合，在正常情况下同尺寸同类型钻头直径误差不应超过 ± 1.5 毫米；

②丝扣、焊缝应完好；

③滚动轴承钻头的轴承要灵活，间隙不超过标准；

④密封轴承压力平衡系统，压盖小孔和卸压阀小孔是否通畅；

⑤牙齿镶嵌牢固及牙齿是否完整；

⑥水眼（喷嘴）要通畅，尺寸要符合要求，安装要牢固；

⑦牙轮不要互咬，水平度要符合要求（ $13^\circ/4$ 英寸以上钻头不超过3毫米， $11^\circ/4$ 英寸以下不超过2毫米）。

(2) 钻头下井操作和注意事项

①选用合适的钻头装卸器，上扣时要牙轮掌吃力，不能让牙轮吃力；

②下钻操作要平稳，遇阻时不能猛顿硬压，密封镶齿钻头下钻速度不宜过快，特别是受阻卡的井段，硬地层井段要控制下钻速度；

③钻头下到井底，轻压活动牙轮后，再逐渐加足钻压，不能在加压情况下启动转盘；

④送钻要均匀，防止溜钻和顿钻；

⑤钻头尚未用到末期而发生蹩跳钻时，应立即分析原因，检查地层有无变化、井壁有无垮塌、钻头是否泥包等等，分析后根据原因调整参数或上提钻具循环冲洗，再下放到井底恢复钻进，直到消除蹩跳钻为止；

⑥掌握好起钻时间，做到适时起钻。

五、牙轮钻头使用过程中的复杂情况分析

钻进中由于各种因素的影响，使钻头不能正常工作，当井下不正常时，操作者因分析判断上的错误而处理不当，便会出现井下复杂情况甚至造成钻头事故。根据现场经验，对常见的一些复杂情况作以介绍。

(1) 牙轮卡死的分析判断 方钻杆有周期性的蹩劲，转盘负荷增大，柴油机声音沉重，转速忽高忽低，转盘链条忽松忽紧，刹把上也有轻微跳动的感觉，钻速减小，一般情况下可及早起钻换钻头进行处理。早期卡死可采取适当降压减速，划眼循环等活动处理，若不能恢复活动，则应起钻换钻头。

(2) 掉牙轮和断巴掌的分析判断 井下严重跳钻、转盘负荷重、停车后倒转严重、上提钻具变换方向下放遇阻，高差约为一个牙轮高度。钻井时若已判断出牙轮掉井，应立即起钻处理。

(3) 钻头牙齿磨光的分析判断 岩性无变化，但钻速大大减小或无进尺，转盘负荷轻，有轻微均匀的跳钻。