

# 石油 钻 具

——国外近期发展概况——

兰 州 石 油 机 械 研 究 所

# 石 油 钻 具

——国外近期发展概况——

兰州石油机械研究所编

江苏工业学院图书馆  
藏书章

1972 兰 州

## 内 容 提 要

本书介绍了国外近期在石油工业中常用的井下钻井工具方面的科学技术动态, 包括钻头、岩芯筒、井下动力钻具、冲击钻具、钻杆及其它井下钻井工具等, 涉及新结构、新材料、某些制造工艺和工业试验结果。

本书可供有关的科研、设计、制造、使用多方面的参考。

## 石 油 钻 具

——国外近期发展概况——

兰州石油机械研究所出版  
(兰州市七里河区敦煌路 125 号)  
北京第二新华印刷厂印刷

开本  $787 \times 1092$  毫米  $\frac{1}{16}$  • 印张  $12\frac{6}{8}$  • 插页 5 • 字数 326 千字

印数: 2000 册      定价: 1.60 元

## 毛 主 席 语 录

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

## 前 言

随着我国工农业生产大跃进新高潮的出现，我们在伟大领袖毛主席关于“**中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平**”的伟大号召指引下，在不断总结、推广我国石油机械工人发明创造的同时，又收集了一部分国外石油钻井工具方面的资料，编译成《石油钻具——国外近期发展概况》一书。

钻井工具对“多打井、快打井、打好井”起着重要作用，因此我们编译了该书，供有关方面的参考。对于外国的东西，我们必须本着毛主席教导的“**洋为中用**”的原则，紧密结合我们的实际情况，“**排泄其糟粕，吸收其精华**”，批判地接受对我们有益的东西。

由于我们学习毛主席著作不够，业务水平有限，编译中如有缺点错误，希读者批评指正。

编 者

一九七二年四月

# 目 录

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 一、钻头 .....                  | ( 1 )   |
| (一) 概况 .....                | ( 1 )   |
| (二) 牙轮钻头 .....              | ( 2 )   |
| 1. 三牙轮钻头 .....              | ( 2 )   |
| 2. 单牙轮钻头 .....              | ( 18 )  |
| 3. 多牙轮取芯钻头 .....            | ( 24 )  |
| (三) 金刚石钻头 .....             | ( 34 )  |
| (四) 刮刀及切削研磨型钻头 .....        | ( 42 )  |
| (五) 其它特殊钻头 .....            | ( 47 )  |
| 1. 冲蚀型钻头 .....              | ( 47 )  |
| 2. 插入式钻头 .....              | ( 48 )  |
| 二、岩芯筒 .....                 | ( 52 )  |
| (一) 概况 .....                | ( 52 )  |
| (二) 牙轮取芯钻头使用的岩芯筒 .....      | ( 56 )  |
| (三) 金刚石钻头和硬质合金镶齿钻头岩芯筒 ..... | ( 62 )  |
| (四) 喷射式岩芯筒 .....            | ( 64 )  |
| (五) 涡轮取芯钻具 .....            | ( 66 )  |
| (六) 密封式岩芯筒 .....            | ( 66 )  |
| 三、井下动力钻具 .....              | ( 71 )  |
| (一) 概况 .....                | ( 71 )  |
| (二) 涡轮钻具 .....              | ( 71 )  |
| 1. 一般发展趋势 .....             | ( 71 )  |
| 2. 涡轮钻具的产品型式及其应用 .....      | ( 73 )  |
| 3. 低速大力矩涡轮钻具 .....          | ( 77 )  |
| 4. 涡轮钻零部件改进 .....           | ( 90 )  |
| (三) 正排量式动力钻具 .....          | ( 107 ) |
| (四) 电动钻具 .....              | ( 114 ) |
| 四、冲击钻具 .....                | ( 129 ) |
| (一) 概述 .....                | ( 129 ) |
| (二) 空气冲击钻具 .....            | ( 129 ) |
| (三) 液力冲击钻具 .....            | ( 134 ) |
| 五、钻杆 .....                  | ( 141 ) |
| (一) 钻杆的钻深能力 .....           | ( 141 ) |
| (二) 钻杆及接头的疲劳 .....          | ( 150 ) |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| (三) 厚壁钻杆 .....      | (161) |
| (四) 铝钻杆 .....       | (163) |
| (五) 钻杆螺纹 .....      | (168) |
| 六、其它井下钻井工具 .....    | (171) |
| (一) 钻铤 .....        | (171) |
| (二) 方钻铤及扶正器 .....   | (176) |
| (三) 减振器 .....       | (184) |
| (四) 钻井缓冲节 .....     | (188) |
| (五) 钻具的材料及热处理 ..... | (193) |

# 一、钻 头

## (一) 概 况

旋转钻井使用的钻头一般通过下列一种或数种破碎岩石的作用来进行钻井：1)冲击或压碎；2)磨削或研磨；3)扭曲剪切；4)刮削；5)切削；6)钻井液冲蚀。

各种牙轮钻头在设计上除磨削外预期实现所有上述各种作用，但实际上不可避免地存在着一定程度的磨削作用。在硬地层中，牙轮钻头主要靠冲击和压碎作用钻井，但在软地层中，牙轮钻头没有冲击和压碎作用。

金刚石钻头和其它研磨型钻头主要以研磨作用钻井，一部分也带有切削作用。各种刮刀钻头除研磨和冲击外能实现所有上述作用。如果设计恰当，刮刀钻头可以在较软地层中完全实现切削作用。<sup>[1]</sup>

目前正在试验的冲蚀钻井法中，钻头只靠钻井液的高速冲蚀作用钻井。

钻头的重要工作指标是钻头进尺和机械钻速。提高钻头进尺可以减少起下钻次数，缩短总钻井时间，特别对于深井来说具有重要意义。提高机械钻速则直接缩短钻井时间。因此这两个指标对钻井速度起着决定性的作用。

钻头型式的选择主要根据地层和井深等条件而定，目的是取得最佳的钻头进尺和机械钻速。目前无论是牙轮钻头、金刚石钻头和刮刀钻头，都已发展了适合各种不同地层条件的结构型式，近来更着重发展既能钻硬地层又适合钻软地层的各种钻头，以便用于软硬交替的地层。对于给定的钻头型式和地层、井深等条件，钻头的进尺和钻速除决定于设计、材料及制造因素外，也和钻井时所采用的钻井参数如钻压、转速、钻井液数据等直接有关。

美国 1965~1969 年深井（4575 米以上）及超深井钻头使用情况如表 1-1，1969 年超深井（6100 米以上）钻头使用情况如表 1-2。

表 1-1 美国 1965~1969 年深井(4575 米以上)钻头使用情况<sup>[2]</sup>

|              | 1965  | 1966  | 1967  | 1968  | 1969  |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 深井数          | 330   | 388   | 402   | 406   | 389   |
| 总进尺，千米       | 1,680 | 2,110 | 2,060 | 2,190 | 2,090 |
| 平均井深，米       | 5,100 | 5,250 | 5,130 | 5,200 | 5,190 |
| 平均每口井使用钻头数，只 | 59    | 71    | 66.8  | 65    | 53.6  |
| 平均钻头进尺，米/只   | 86.5  | 74    | 77    | 80    | 97    |

表 1-2 美国 1969 年超深井(6100 米以上)钻头使用情况<sup>[3]</sup>

|              |       |
|--------------|-------|
| 超深井数         | 53    |
| 平均井深，米       | 6,500 |
| 平均每口井使用钻头数，只 | 101   |
| 平均钻头进尺，米/只   | 64.5  |



1969 年深井钻头平均进尺比 1968 年提高了 21%，据报导，这是钻头制造质量的提高和更多地使用了金刚石钻头(特别在深度达到 4900~5200 米以上时)的结果，一部分原因也是由于在钻井中更多地采用了计算机或其它控制方法，使钻头的使用更适合具体条件和更好地利用了液力喷射作用。〔2〕

## (二) 牙轮钻头

在各种钻头中目前使用最广泛的是牙轮钻头，美国约占 95%，苏联约占 90~95%。其中最普遍采用的是三牙轮钻头。此外还有二牙轮钻头，单牙轮钻头，以及取芯使用的多牙轮钻头。

### 1. 三牙轮钻头

三牙轮钻头根据它对各种地层的可钻性和钻头的基本结构来分类。从软地层到极硬地层，钻头的若干几何参数随地层的硬度而逐渐过渡，如表 1-3。美国和苏联牙轮钻头按地层分类的对照如表 1-4。

表 1-3

美国三牙轮钻头的分类和结构特征

| 分类               | 组别 | 地 层                  | 结 构 特 点 |     |     |     |            | 破碎岩石作用 |     |
|------------------|----|----------------------|---------|-----|-----|-----|------------|--------|-----|
|                  |    |                      | 轴承能力    | 齿 角 | 齿 距 | 齿 深 | 规径加固<br>强化 | 冲击,压碎  | 刮 削 |
| 软                | 1  | 具有低抗压强度和<br>高可钻性     |         |     |     |     |            |        |     |
| 中软               | 2  | 软至中软,或软地层<br>中夹杂较硬岩层 |         |     |     |     |            |        |     |
|                  |    | 夹杂有硬岩层的软至<br>中软地层    |         |     |     |     |            |        |     |
| 中硬               | 3  | 中软至中硬地层              |         |     |     |     |            |        |     |
|                  |    | 中硬地层                 |         |     |     |     |            |        |     |
|                  |    | 研磨性中软至无研磨<br>性硬地层    |         |     |     |     |            |        |     |
|                  |    | 研磨性中硬至硬地层            |         |     |     |     |            |        |     |
| 硬                | 4  | 半研磨性硬地层              |         |     |     |     |            |        |     |
|                  |    | 研磨性硬地层               |         |     |     |     |            |        |     |
| 坚硬<br>(镶齿<br>钻头) | 5  | 研磨性坚硬地层              |         |     |     |     |            |        |     |
|                  |    | 研磨性坚硬地层, 规<br>径更易磨损  |         |     |     |     |            |        |     |

注：表中断面线复盖区域的宽度代表有关数据的相对大小或强弱。

表 1-4

美国和苏联牙轮钻头对照表<sup>[6]</sup>

| 分类 | 组别 | 地 层               | 美 国 各 制 造 公 司 钻 头 型 号 |              |      |          |      |       | 苏联钻头<br>分 类 |
|----|----|-------------------|-----------------------|--------------|------|----------|------|-------|-------------|
|    |    |                   | 休 斯                   | 芝 加 哥<br>风 动 | 西丘里提 | 斯 密 思    | 里 德  | 格 鲁 布 |             |
| 软  | 1  | 低压抗强度和高可钻性地层      | OSC-3                 | KS-1C        | S3   | DT       | YT-3 | SS3C  |             |
| 中软 | 2  | 软至中软, 或软地层中夹杂较硬地层 | OSC-1<br>OSC-1G       | ES-1         | S4   | DT26     | YT-1 | S3C   | M           |
|    |    | 夹杂有硬地层的软至中软地层     | OSC                   | ES-2<br>ES-3 | S6   | K2P      | YT   | H3C   |             |
| 中硬 | 3  | 中软至中硬             | OWV                   | EM-1V        | M4N  | 5V2      | YS-1 |       | C           |
|    |    | 中硬                | OW                    |              | M4   | C2       | YS   | MH3C  |             |
|    |    | 研磨性中软至无研磨性硬地层     | OWS                   | EM-3         | M5   | C2       |      | MH3C  |             |
|    |    | 研磨性中硬至硬地层         | OWS                   | EH-1         | M4L  | T2       | YM   | MHT3C |             |
| 硬  | 4  | 半研磨性硬地层           | W7                    | EH-1         | H7   | C4       | YH   |       | T           |
|    |    | 研磨性硬地层            | W7R                   | EH-2<br>EH-3 | H7L  | L4<br>4W | YHW  |       | TK          |
| 坚硬 | 5  | 研磨性坚硬地层           | R-1                   |              |      |          | YC   |       | K           |
|    |    | 研磨性坚硬地层, 钻头外径更易磨损 | RG-1                  |              | H9   | C5       |      |       |             |

软地层钻头适合用于低抗压强度、高可钻性的地层(如软页岩, 红色泥质砂岩, 未固结的地层等), 齿的深度较大, 厚度较薄, 间距较宽, 能在轻钻压下楔入地层, 具有最大的刮削作用, 在规径表面, 所有牙齿的背面、侧面和尖部都复有硬质合金(碳化钨)。

中软地层钻头能钻夹杂有较硬地层的软至中软地层(如坚硬的或未固结的页岩, 红色泥质砂岩, 无水石膏, 软至中硬石灰岩等)。这种钻头齿距较小, 内排齿较强, 能施加较高的钻压, 用于钻抗压强度较高的地层。它的规径表面、所有齿的背部、侧面和尖部都复有硬质合金。在钻井时采用较低的转速, 以免折齿。

中硬地层钻头具有较强的齿形, 齿较厚, 齿距较小, 更多地靠冲击和压碎作用破碎岩石。规径表面较强。为了抗断裂, 内排齿施加少量的或不施加硬质合金, 规径表面复有硬质合金, 齿和轴承能经受较大的钻压。为了减少硬地层所产生的冲击负荷, 必须采用低转速。

硬地层铣齿钻头能钻硬度最大、研磨性最大的地层, 轴承能力也最高, 齿距小而齿角大, 可以采用高钻压, 用于钻硬地层。如果钻头规径在高强度地层中容易磨损, 可以采用带筋的规径表面, 以便帮助破碎靠近井壁的地层。内排齿为渗碳淬火, 供齿具有较大的韧性和较小的脆性。硬质合金只施加到规径表面。钻头的牙齿能经受每吋钻头直径 3.6~4.5 吨的钻压。

硬质合金镶齿牙轮钻头能钻极硬和研磨性极强的地层。为了降低磨损, 规径表面也镶有硬质合金齿。这种钻头的进尺通常可以达到普通铣齿钻头的 10 倍, 钻时较长, 井眼直径的保持较好。因此虽然每一个钻头的成本较高, 但在使用较少量的钻头和花费较少起下钻时间上可以实现节约。钻井时采用低转速以保证轴承和齿的寿命, 钻压一般为每吋钻头直径 1.35~

3.15 吨,转速一般推荐为 35~65 转/分。[4,12]

除表 1-3 所列的各类钻头特征外,牙轮钻头还有四个主要设计因素,即:牙轮移轴,锥顶距,轴倾角和啮合深度,如图 1-1。

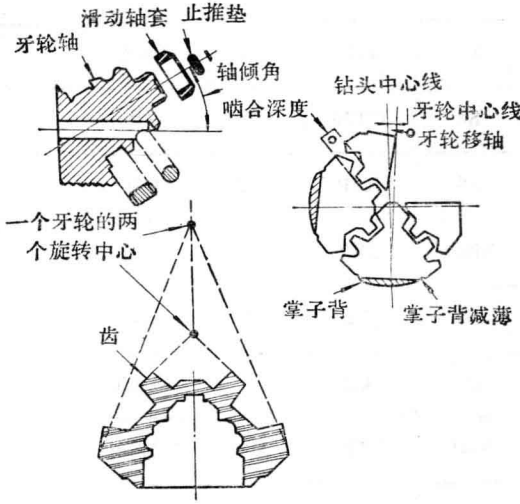


图 1-1 牙轮钻头的主要设计因素

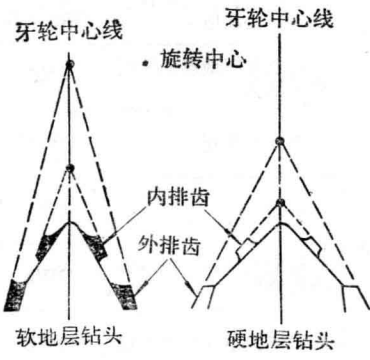


图 1-2 牙轮的锥顶距

牙轮移轴是牙轮中心线偏离牙轮中心点的距离。美国有些制造厂用钻头中心线和牙轮中心线的夹角来计量牙轮移轴。还有一家主要钻头制造厂,用三个牙轮中心线在钻头中心点周围相交的三角形中的内接圆的大小来计量牙轮移轴。

表 1-5 为美国休斯公司某些  $7\frac{3}{4}$  吋三牙轮钻头的牙轮移轴,轴倾角和相对齿高(决定啮合深度)数据。

表 1-5 休斯公司  $7\frac{3}{4}$  吋三牙轮钻头的某些设计数据

| 钻头型号   | 轴倾角 | 牙轮移轴*            | 相对齿高 | 相对数值    |        |
|--------|-----|------------------|------|---------|--------|
|        |     |                  |      | 齿与井底接触面 | 轴承能力** |
| OSC-3A | 33° | $\frac{5}{16}$ " | 1.00 | 1.00    | 1.00   |
| OSC-3  | 33° | $\frac{3}{16}$ " | 0.86 | 1.15    | 1.15   |
| OSC-1G | 33° | $\frac{3}{16}$ " | 0.83 | 1.50    | 1.20   |
| OWV    | 36° | $\frac{1}{8}$ "  | 0.69 | 1.85    | 1.35   |
| OWC    | 36° | $\frac{1}{8}$ "  | 0.69 | 2.25    | 1.35   |
| W7C    | 36° | 0                | 0.55 | 2.40    | 1.45   |

注: \* 牙轮移轴的数值是三个牙轮中心线在牙轮钻头中心点周围相交所形成的三角形的内接圆直径。

\*\* 轴承能力随牙轮移轴,轴倾角,轴承面积和平衡和破碎岩石作用性质而变化。

从一组过渡到另一组(表 1-3)时,牙轮移轴的变化不是一样的。例如从第 2 组到第 3 组牙轮移轴的变化比从第 3 组到第 4 组大得多。移轴是决定牙齿磨损的重要因素之一,应根据地层的研磨性来选择。

图 1-2 表示软、硬两种牙轮钻头的锥顶距。软地层钻头外排齿的锥顶与内排齿的锥顶之

间的距离大于硬地层钻头。这个距离在很大程度上决定着钻头对井底的作用量。关于这一点,休斯公司曾用慢速影片加以说明。用慢速影片表现不同的钻头在实验室条件下钻进时,可以看到软地层钻头牙轮在旋转时常常出现间歇现象。这种现象在硬地层球齿钻头上虽然也存在,但较少。

镶齿牙轮钻头绝大部分是靠压碎作用破碎岩石的,虽然仍存在少量刮削作用。为了提供最大的压碎效率,每一个齿在井底停留的时间必须较长,使局部岩石完全破碎。因此对每一种钻头尺寸和不同的地层应当有一个能产生最高钻速的最高转速。如果该地层最适合利用压碎作用钻井,则转速超过此最高数值时钻速将降低。

另一方面,如果地层较软,从而可以利用刮削和压碎作用,则提高转速不会降低钻速,因为镶齿牙轮钻头仍然存在着某些刮削作用。

图 1-3 为镶齿牙轮钻头在恒钻压下转速与钻速的试验结果。如果钻速与转速的关系如实线所示,则镶齿牙轮钻头可能是最适合的选择。如果钻速与转速的关系如图中虚线所示,则最好换用铣齿钻头。在换用钻头之前还应对岩屑及其它因素进行研究。

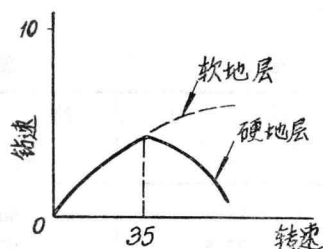


图 1-3 镶齿牙轮钻头的钻速—转速曲线

近期在牙轮钻头的新发展中出现了如下趋向: ①各种密封滑动轴承钻头的应用比过去有所增加; ②趋向更多地采用硬质合金镶齿牙轮钻头; ③提高铣齿的寿命; ④更好地利用泥浆的液功率以提高钻头工作指标; ⑤设计了一些特殊钻头, 以适合各种特殊用途。<sup>[7,8,9]</sup> 现分述如下。

### 1) 轴承和密封

在软地层,钻头的轴承往往比牙齿先损坏。在硬地层,对铣齿钻头来说,牙齿比轴承薄弱,但对硬质合金镶齿钻头来说,薄弱环节仍然是轴承。因此国外对轴承和轴承密封作了不断的改进。

美国休斯工具公司经过七年的研究,发展了“J系列”新型带密封滑动轴承的硬质合金镶齿钻头,经过在若干地区广泛试验的结果,证明这种钻头远比普通钻头优越。一个这样的钻头可以代替 15 个普通滚动轴承铣齿钻头。在奥克拉荷马的一次试验中,一个  $7\frac{7}{8}$  吋 J44 型钻头曾下钻七次,共在砂岩、石灰岩和页岩中钻进 1820 米,总钻时  $232\frac{3}{4}$  小时。另一个 J44 型钻头在俄亥俄的一口井中下钻四次共钻进 2880 米。在德克萨斯,一个 J44 型钻头下钻两次,总钻时  $268\frac{3}{4}$  小时,总钻进 1840 米。

这种钻头的滑动轴承和轴承密封与普通滚动轴承密封钻头结构的比较如图 1-4。<sup>[8]</sup>

滑动轴承有整体式与分段式两种,如图 1-5。滑动轴承受载面积较大,因此可以消除滚动轴承容易产生的剥落现象,休斯公司的实验室试验结果如表 1-6。目前在钻头中使用的滑动轴承是一种低速高负荷轴承,能适应转盘钻井的转速范围。一般 9 吋以上的钻头使用滚动轴承比较合适。较小的钻头由于轴承长度较短,滚动轴承容易造成轴的剥落,因此采用滑动轴承比较合适。<sup>[9]</sup>

例如一个  $7\frac{7}{8}$  吋钻头的滚动轴承只有 4~5 个滚子与跑道形成小面积接触,如果采用滑动

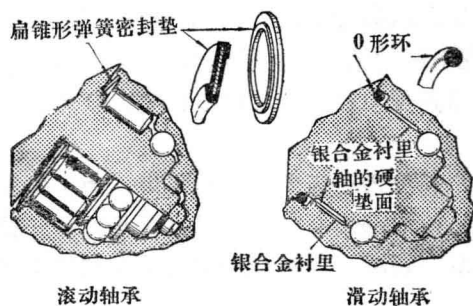


图 1-4 普通滚动密封钻头与新型滑动密封钻头的结构比较

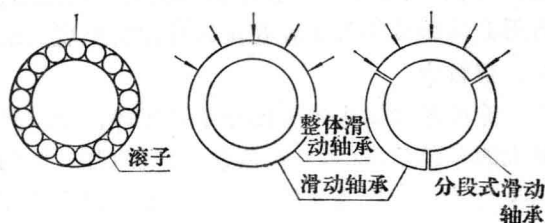


图 1-5 滚动轴承, 整体滑动轴承和分段滑动轴承的受载情况比较。滑动轴承为面接触, 滚动轴承为线接触

表 1-6 滚动轴承与分段式滑动轴承的实验室试验结果

| 钻 压<br>吨 | 转 速<br>转/分 | 寿 命, 小 时 |                 |
|----------|------------|----------|-----------------|
|          |            | 滚 动 轴 承  | 分 段 式 滑 动 轴 承   |
| 18       | 60         | 60 小时后剥落 | 200 小时无磨损       |
| 22.5     | 60         | 35 小时后剥落 | 200 小时无磨损       |
| 34       | 60         | 16 小时后剥落 | 30 小时磨损 0.1 毫米  |
| 45       | 60         | 7 小时后剥落  | 10 小时磨损 0.15 毫米 |

轴承,就有 2 吋<sup>2</sup>的接触面积。

为了在适宜的润滑条件下减小表面摩擦力,在轴颈的受压一侧镶有一片淬硬的合金钢并精密加工,以配合镶有一种新型银合金的牙轮内孔(图 1-4)。采用一种用润滑脂和添加剂混合而成的润滑剂,可以降低这种轴承的摩擦力<sup>[8]</sup>。

斯密思工具公司制造了一小批  $6\frac{1}{8}$ 、 $6\frac{1}{4}$  和  $6\frac{1}{2}$  吋 SS5 型硬质合金镶齿钻头,特点也是分段滑动密封轴承,解决了在小型牙轮钻头中采用密封轴承的空间不足问题。一般地说,钻头的尺寸愈小,轴承密封所需的面积与轴承所需的面积的比例愈大。因此在小直径滚动轴承密封钻头中,由于轴承的尺寸过于减小,轴承上的单位面积负荷将过大,钻头的性能将降低。斯密思公司由于采用了分段式滑动轴承,因而解决了这一问题。这些钻头能承受高转速所需的钻压负荷,将用于深井的底部井段,目的是减少深井起下钻次数<sup>[10]</sup>。

美国里德公司的新型 FBC 型镶齿钻头也采用滑动轴承。一个 FBC 钻头曾钻了 553 米,平均钻速 6.5 米/小时,而附近一口井用一个普通镶齿钻头钻了 450 米,平均钻速 5.85 米。在硬地层中,一个 FBC 钻头钻了 241 米,平均钻速 2.07 米/小时,而附近一口井用两个普通镶齿钻头和一个铣齿钻头共钻了 21.5 米,平均钻速 1.62 米/小时<sup>[11]</sup>。

牙轮钻头的密封目前一般采用图 1-4 (左)和图 1-7 所示的扁锥形弹簧和橡胶组成的密封圈。这种类型的密封圈近几年来在设计、制造和材料方面都有不断的改进。密封圈的寿命受各种因素的影响。密封圈的损坏原因一般是摩擦面磨损,弹簧断裂,橡胶损坏或井底温度过高等。进一步的改进将是:1)提高密封的耐热程度;2)提高密封的耐磨程度;3)提高密封的操作转速,以便用于涡轮钻具<sup>[9]</sup>。

扁锥形密封圈曾用于滚动轴承牙轮钻头,它的密封能力决定于密封圈作用在金属表面上

的接触压力。此接触压力决定着密封圈所能保持的压力差。J44型钻头由于采用了滑动轴承，因此有可能采用“O”形环(图 1-4 右)。“O”形环能抗较大的压差而且放在离岩屑较远的牙轮内部，从而不受泥浆和岩屑的损害。

密封钻头一般都带有轴承压力平衡系统，如图 1-6。图中左面为休斯公司的标准平衡系统，包括一个通孔帽，一个可折叠的橡胶膜(平衡器)和一个储油槽。储油槽通过孔道与轴承接通。新型平衡系统(图 1-6 右)增加了一个金属杯形橡胶膜保护罩，在橡胶膜的底部增加了一个金属垫，并在润滑油通道上增加了一个放压阀 [8]。

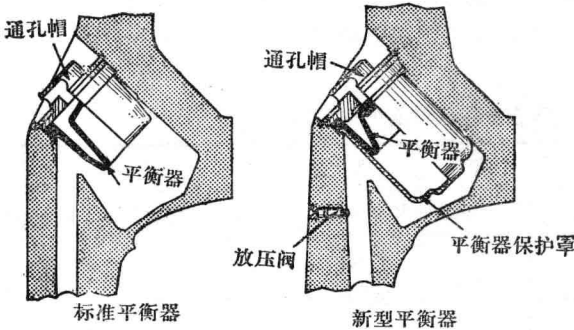


图 1-6 密封钻头的轴承压力平衡系统

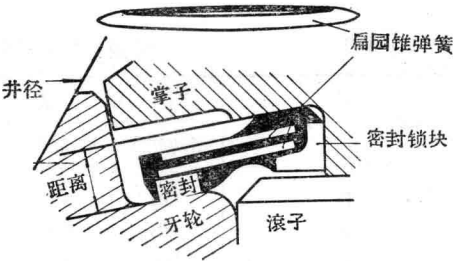


图 1-7 斯密思公司的钻头密封圈

密封结构的改进和滑动轴承的采用是相互有影响的。由于密封结构的改进，因此最近在用滑动轴承代替滚动轴承方面取得了一定的结果 [9]。另一方面，由于采用了滑动轴承，也为密封结构的改进提供了可能性，如“O”形环的采用 [8]。

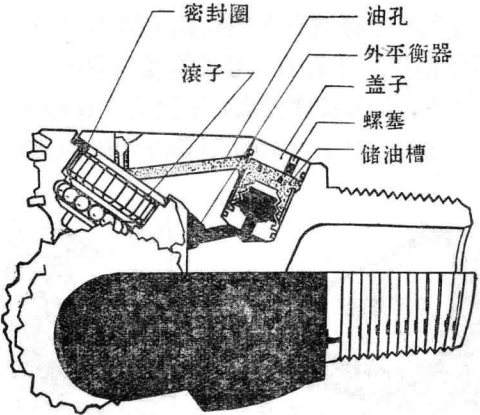


图 1-8 斯密思公司的滚动轴承密封钻头

图 1-8 为斯密思公司在滚动轴承牙轮钻头中所采用的一种润滑和密封结构。在压力平衡系统中增加了一个外平衡器。

## 2) 镶齿牙轮钻头

近来国外硬质合金镶齿牙轮钻头在石油工业中的应用迅速增加，最近这种钻头在钻井中已取得了很大的经济效果。美国铣齿钻头在中硬至坚硬地层钻头总销售量中所占的百分比日



渐减少,而新型硬质合金镶齿钻头的销售量日渐增加。由于齿型的变化,目前镶齿钻头不仅用于中硬至坚硬地层,而且已扩大应用于中软地层,特别是在较软的页岩中夹杂有较硬地层或在较硬和研磨性较大的地层中夹杂有较软的页岩层的地层[7,9,12,13]。

在较软地层中使用硬质合金镶齿钻头的理由是它的寿命比铣齿钻头大得多。虽然它的钻速较低,制造成本较高(约为普通三牙轮钻头的4~5倍),但它的进尺为普通铣齿钻头的10倍。

齿型变化的目的是在硬地层中提供耐磨性,而在软地层中提供满意的钻速。当地层是软、硬地层交替时,每遇到地层变化就更换钻头是不实际的,因此趋向采用镶齿牙轮钻头。

由于镶齿牙轮钻头的牙齿很少先期损坏,因此多采用密封轴承。

表 1-7 美国各公司密封轴承硬质合金镶齿钻头的对照表

| 型 式 | 斯 密 思 |      | 休 斯   |      | 里 德  |      | 西 邱 里 提 |      |
|-----|-------|------|-------|------|------|------|---------|------|
|     | 滚动轴承  | 滑动轴承 | 滚动轴承  | 滑动轴承 | 滚动轴承 | 滑动轴承 | 滚动轴承    | 滑动轴承 |
| D   | 4JS   | SS4  | X44   |      | SCM  | FBCM | S88     |      |
| E   | 5JS   | SS5  | X55   |      | SC5G | FBC5 | M88     |      |
| F   | 6JS   | SS6  |       |      |      |      |         |      |
| G   | 7JS   | SS7  | RG7X  |      | SC4G | FBC4 | H88     |      |
| H   | 8JS   | SS8  | RG1X  |      | SCG  | FBC1 |         |      |
| I   | 9JS   | SS9  | RG2BX |      | SC2G |      | H100    |      |

注: 休斯公司新发展的适合较软地层使用的 J44 型滑动轴承密封钻头经广泛矿场试验后已投入生产,其它 J55 和 J88 两种钻头正在较硬地层进行矿场试验。该三种滑动密封轴承钻头表中尚未列入。[8]

表 1-7 为美国几家公司生产的硬质合金镶齿钻头的对照表。表中 E 型至 I 型为不移轴钻头,它们主要依靠冲击、压碎作用破碎岩石,型式的区别主要在于每排齿的齿距和相对于井底的复盖面积。D 型为移轴钻头,齿的长度较大,牙轮锥度有较大的变化以产生刮削作用,像中等硬度的地层所采用的铣齿钻头一样。移轴和不移轴牙轮的比较如图 1-9。

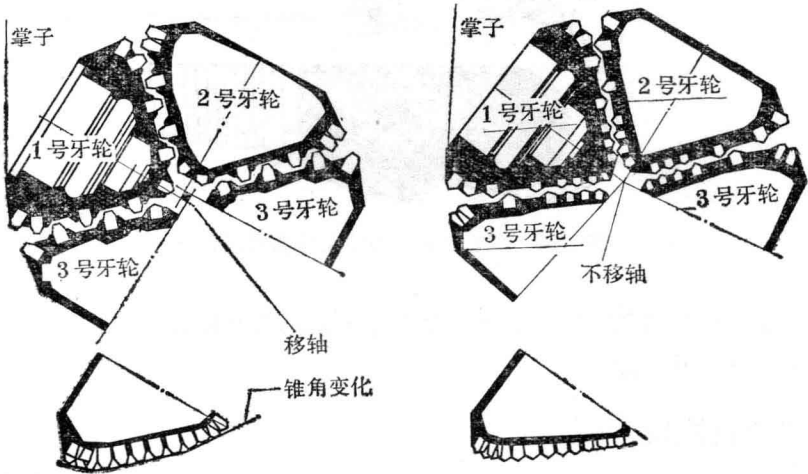


图 1-9 移轴和不移轴牙轮的比较

斯密思公司所采用的硬质合金齿型如图 1-10 所示。 $7\frac{7}{8}$ 吋 G 至 I 型镶齿钻头的牙齿约高出牙轮表面  $\frac{1}{8}$  吋, E 及 F 型钻头的齿约高出  $\frac{3}{16}$  吋, 新 D 型钻头的齿约高出  $\frac{5}{16}$  吋 (主要齿排)。加大齿的高度对井底岩屑的冲洗有利。

G 至 I 型钻头的齿型如图 1-10 中的 10-A, E 及 F 型钻头的齿型如图 1-10 中的 10-B。目前在 D 型钻头中使用了三种基本齿型, 即抛物线型 (10-C 型), 菱形 (10-D 型) 和凿型 (10-E 型)。抛物线型齿最不易断裂, 适合钻石灰岩或较脆的地层。凿型齿适合钻页岩或塑性较大的地层。菱形齿介于前两种齿型之间, 既能用于塑性地层, 又能用于脆性地层, 但它在脆性地层 (如石灰岩) 中操作性能更好一些。

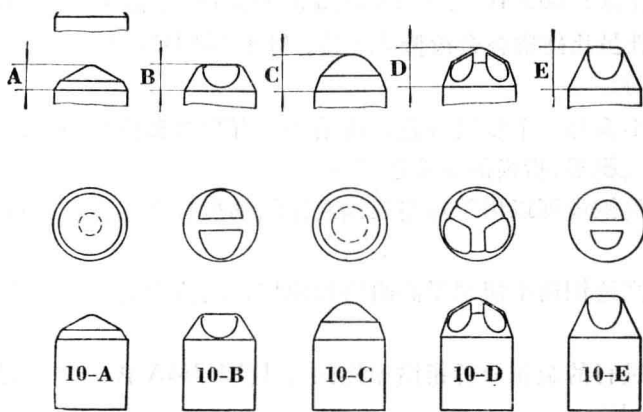


图 1-10 镶齿钻头的齿型

标准球形齿和新型锥形齿 (图 1-10 中的 10-A) 能在井底压痕中旋转, 受侧向负荷较轻, 齿露出牙轮表面的长度较短, 能用于坚硬地层。修正的凿形齿 (图 1-10 中的 10-B) 能用于硬地层。这些齿能经受较高的钻压和转速组合, 但钻压不超过每吋钻头直径 3.15 吨, 转速不超过 65 转/分。超过这些限度时, 牙齿容易折断和脱落。

目前镶齿钻头的主要问题是齿的材料很脆。特别是钻较软地层所需的长齿, 遇到过大的侧向负荷时容易折断。因此钻压和转速必须保持较低的范围, 钻压为每吋钻头直径 1.35~2 吨, 转速为 35~60 转/分<sup>[4]</sup>。

保证在正常钻压下不折齿的一个办法是增加镶齿孔的尺寸, 但影响了岩屑冲洗条件。另一个办法是采用不像炭化钨那样脆的金属齿, 齿数可以更多一些, 并在齿尖焊以炭化钨块。这种方法在初期没有实现, 但预计在改进焊接方法以后, 仍有可能<sup>[12]</sup>。

苏联乌费姆石油学院通过实验室试验, 证明在较软的地层中可以用高速钢镶齿钻头进行涡轮钻井<sup>[14]</sup>。

在适当的热处理后, 高速钢具有较高的硬度和耐热性能, 比用来制造铣齿牙轮的铬镍钢或镍钼钢耐磨。高速钢的耐磨性虽比硬质合金差, 但冲击韧性和弯曲强度比后者高, 价值比后者低。必要时, 落在井底的高速钢齿可以用磁性铣刀清理出来, 而硬质合金齿没有这种可能。

试验齿是用 P-18 钢制造的凿形齿, 齿顶角为  $90^\circ$  和  $110^\circ$  两种。齿的其它尺寸像 1K-214 T3 型钻头的硬质合金齿一样 (齿型为 3cu, 硬质合金牌号为 BK-15), 热处理后硬度为 62~65HRC, 镶齿的过盈量为 0.02 毫米, 比硬质合金齿稍大。



为了和其它型式的钻头作比较,对高速钢镶齿钻头, 2K-214TK 型铣齿钻头和 1K-214T3 型硬质合金镶齿钻头在三口井中用涡轮钻具作了钻井试验。所有牙轮都是用 18XH3MA 钢制造的。钻进的地层是硬碳酸盐地层。

试验的结果证明在所有情况下硬质合金镶齿和 P-18 镶齿钻头的寿命只受轴承寿命的限制。起出后硬质合金齿几乎没有磨损, T 和 TK 型铣齿钻头正常磨损到 100%。P-18 齿的磨损稍大于硬质合金齿, 但比 T 和 TK 型铣齿钻头小得多。

为了对三种齿的耐磨性进行比较, 采用了平均相对磨损数值  $\omega$ 。

$$\omega = V_M / V_n$$

其中  $V_M$  = 金属磨耗体积,  $V_n$  = 岩石破碎体积。

硬质合金齿的  $\omega$  值为  $1.06 \times 10^{-5}$ , P-18 齿为  $3.55 \times 10^{-5}$ , 而 18XH3MA 齿为  $80 \times 10^{-5}$ 。这样, P-18 齿的耐磨性虽比硬质合金齿低 3.5 倍, 但比 18XH3MA 齿高 22 倍。这些数值基本与实验室试验结果相符。

另一个情况是差不多每一个硬质合金镶齿钻头都有脱齿和折齿现象, 而在 15 个高速钢镶齿钻头中没有一个牙齿脱落, 折齿的现象也很少。

上述结果证明高速钢齿可以用于对铬镍钢或镍钼钢齿有严重磨损但对硬质合金齿几乎没有磨损的地层。

试验结果也证明高速钢齿不能用于高研磨性地层, 因为齿的磨损很快。在这种情况下最好使用硬质合金齿。

对用过的钻头齿进行的金相分析指出摩擦热对 18XH3MA 齿的磨损有较大的影响, 而对 P-18 齿的磨损影响较小。

### 3) 提高铣齿寿命

铣齿牙轮钻头目前仍然是应用最广泛的钻头。它的制造成本较低, 在某些条件下它的应用比使用硬质合金镶齿牙轮钻头和金刚石钻头经济。但在轴承寿命有所提高后, 齿的耐磨性成为薄弱环节。最近苏联在提高齿的寿命方面作了若干研究, 例如采用轧齿的办法代替铣齿, 采用硬质合金真空感应加固法, 用非渗碳钢代替渗碳钢制造牙轮等。

#### (1) 轧齿

钻头牙轮一般是铣齿。为了提高齿的寿命和钻头制造劳动生产率, 节省金属材料, 苏联莫斯科石油化学及煤气工业学院和列宁机器制造厂曾研究用热轧法代替铣齿法来制造钻头牙轮。该厂已试验用热轧法制造 190 毫米钻头, 牙轮制造成本降低了 12.7%, 制齿的劳动生产率提高 25 倍。由于金属纤维的有利分布, 轧齿的寿命比铣齿提高 27%。

用轧齿法制造大直径钻头(直径大于 190 毫米)特别有利。德罗戈贝奇钻头厂已决定用热轧法制造 243~295 毫米钻头。1969 年 6 月试制了小批 Y243TH 型轧齿钻头, 牙轮用硬质合金加固, 像普通钻头一样。每一个钻头节省金属 2.5 公斤。轧齿机可以连续成型和轧齿, 能代替 20~25 台半自动铣齿机床。

1969 年 6~9 月对 17 个 Y243TH 型轧齿钻头和 39 个普通钻头作了比较性的工业试验, 地质条件和采用的钻井设备包括涡轮钻在内都是相同的。试验结果如表 1—8。

从表中可以看到轧齿钻头比普通铣齿钻头平均进尺提高 42%, 机械钻速提高 25%。

轧齿钻头牙齿的平均磨损量为(用磨损掉的高度占齿的原始高度的百分比表示): 外排齿 52%; 中排齿 73%; 内排齿 83%。亦即内排齿的磨损较大, 为外排齿的 1.6 倍, 为中排齿的