

钻井技术手册(一)

钻头

石油工业出版社

18536

TEZ-62

003-1

# 钻井技术手册

(一)

## 钻头

罗肇丰等编



00271578



5967/23

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书对国内外当前主要使用的各种类型油井钻头作了较全面的介绍，重点介绍了牙轮钻头。

书内既有各种钻头的规范、结构与操作使用要求的介绍，又较全面详尽地介绍了各种类型钻头的工作原理及有关使用方面的理论。既介绍了钻头的使用技术又突出了使用经济效益的评价。对钻头的发展方面也有一定的介绍。

本书供现场钻井工程技术人员使用，并可供大专院校师生与钻头研究及设计制造人员参考。

## 钻 井 技 术 手 册

(一)

钻 头

罗肇丰等编

\*

石油工业出版社出版  
(北京安定门外外馆东后街甲36号)

妙峰山印刷厂排版

通县曙光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092毫米 32开本 10<sup>3</sup>/<sub>8</sub>印张 224千字 印1—11,000

1984年11月北京第1版 1984年11月北京第1次印刷

书号：15037·2487 定价：2.00元

## 出版前言

六十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，原书已不适当当前的生产需要。

根据广大读者的要求，我社准备组织有关人员修订、重新编写一套《钻井技术手册》，其中包括钻头、泥浆、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

《钻头》是钻井技术手册中的第一本，它主要为现场工程技术人员在选择、使用与分析钻头的合理工作方面提供全面的资料与方法。

钻头是目前钻井工艺的主要工具之一，它直接影响着钻井速度、钻井质量与钻井成本，因而目前国内外对钻头的研究非常重视。为适应各种不同地层不同工艺的要求，设计了各种各样的钻头，对于各种不同类型的钻头必须了解其结构、工作原理、使用的特点及使用过程中的正确判断，最后，还必须对其使用后的钻头进行科学分析，为以后更合理使用钻头与设计钻头提供资料。本书为了适应现场工程技术人员的需要，对以下几方面作了介绍：

1. 钻头使用中经济效益的评价（在牙轮钻头一章中有所介绍，也适用于其它钻头）。

2. 各种类型的钻头设计制造方面的内容，本书重点的介绍了对分析与合理使用钻头有关的基本内容。

3. 简单介绍了各种钻头的工作原理与近几年钻头的科研成果，以便为钻井工程技术人员分析与使用好钻头提供理论根据。

4. 对于目前国内外的新型钻头均有简要的叙述，以便钻井工程技术人员了解国内外钻头的发展动向。

本书在编写过程中广泛的收集了国内外资料并去现场进行了大量的调研工作，初稿编写后，又征求了四川石油管理

局、华北油田等现场工程技术人员的意见，最后修改完成。参加编写的有华北油田谢景华，西南石油学院教师罗肇丰、侯季康、陈仿勋，华东石油学院教师尹宏锦、蔡镜崙，胜利油田龚光新、李开荣等同志，由罗肇丰主编，并由石油工业部李克向，成都石油总机厂邱伯堂两同志进行审查。

在本书编写过程中，四川石油管理局钻井处、成都石油总机厂钻头研究所、华北油田钻井处及西南石油学院教师刘绘新、孟云峰等同志提供了宝贵意见，特此致谢。

由于编写人员水平有限，加之时间仓促，错误和不妥之处希读者批评指正。

1982年9月

# 目 录

<b>第一章 岩石的物理机械性质及分类</b> .....	1
<b>第一节 岩石的弹性和塑性、弹性模量和泊松比</b> .....	1
一、弹性、塑性、弹性模量与泊松比的概念 .....	1
二、岩石的弹性模量与泊松比 .....	2
<b>第二节 岩石的强度</b> .....	4
一、强度的概念 .....	4
二、岩石的四种强度 .....	7
三、压力条件下岩石强度的特点 .....	9
<b>第三节 岩石的硬度和塑性系数的测定方法</b> .....	11
<b>第四节 岩石的研磨性</b> .....	14
<b>第五节 岩石的可钻性及其测定方法</b> .....	16
一、测定方法 .....	17
二、地层可钻性的建立方法 .....	20
<b>第六节 岩石的分类</b> .....	20
一、普氏系数分级法 .....	21
二、按史氏硬度分级分类 .....	21
三、按岩石研磨性分类 .....	21
四、按地质年代分类选择钻头 .....	21
五、地质钻探用可钻性分级法 .....	24
六、按岩层性质分类选择钻头 .....	24
七、按岩石可钻性测定值分级分类 .....	26
<b>第二章 牙轮钻头</b> .....	39
<b>第一节 牙轮钻头结构与类型</b> .....	39
一、牙轮钻头结构 .....	39

二、国产三牙轮钻头系列与适应地层 .....	53
三、国外三牙轮钻头系列与适应地层 .....	55
四、国产三牙轮钻头与国际钻井承包商协会牙轮 钻头编号对照表 .....	57
第二节 牙轮钻头工作原理 .....	70
一、牙轮钻头运动学 .....	70
二、牙轮钻头动力学 .....	79
三、钻头牙齿对岩石的破碎作用 .....	82
第三节 牙轮钻头设计制造基础 .....	84
一、牙轮钻头设计时的主要参数及程序 .....	84
二、牙轮钻头各零件材料的选用以及材质的主要性质 .....	91
三、牙轮钻头牙爪的加工工艺 .....	96
四、钻头牙轮的加工 .....	98
五、总装 .....	101
六、总体检验 .....	102
七、标志、包装、运输与保管 .....	102
第四节 牙轮钻头的合理使用 .....	103
一、牙轮钻头的选型 .....	103
二、喷射钻井水力程序设计及水力参数计算 .....	107
三、影响钻压与转速的因素及推荐值 .....	113
四、镶齿滑动密封喷射式三牙轮钻头下井前的检查 .....	121
五、镶齿滑动密封喷射式三牙轮钻头的正确使用 .....	124
六、钻头合理起钻时间的确定 .....	130
七、套管与钻头尺寸的配合及间隙 .....	141
第五节 牙轮钻头磨损分级标准及磨损分析 .....	142
一、牙轮钻头磨损分级标准 .....	142
二、牙轮钻头各种典型磨损的分析方法 .....	147
三、三牙轮钻头磨损的测量方法 .....	159
<b>第三章 金刚石钻头 .....</b>	<b>166</b>



第一节 金刚石钻头的结构及工作原理 .....	165
一、金刚石的物理机械性能及分类 .....	166
二、金刚石钻头的结构特点及工作原理 .....	173
三、金刚石钻头的清洗和冷却 .....	176
四、金刚石钻头的类型和适用地层 .....	182
第二节 金刚石钻头的制造工艺及设计原则 .....	192
一、金刚石钻头的制造工艺 .....	192
二、金刚石钻头的设计原则和方法 .....	197
第三节 金刚石钻头的合理使用和磨损分析 .....	206
一、金刚石钻头的合理使用 .....	206
二、金刚石钻头的磨损分析 .....	210
第四节 人造金刚石钻头 .....	218
一、人造金刚石发展概况及其机械性能 .....	218
二、人造金刚石钻头制造工艺的特点 .....	222
三、人造金刚石钻头目前存在问题和今后发展方向 .....	223
<b>第四章 刮刀钻头 .....</b>	<b>225</b>
第一节 刮刀钻头破碎岩石的机理 .....	225
第二节 刮刀钻头的结构 .....	227
一、上钻头体 .....	229
二、喷嘴 .....	229
三、下钻头体 .....	230
四、刮刀片 .....	230
五、常用刮刀钻头的规范 .....	239
第三节 刮刀钻头焊接工艺 .....	240
一、刮刀钻头刀翼焊接工艺 .....	240
二、刮刀钻头的总装电焊 .....	245
第四节 刮刀钻头的合理使用 .....	247
一、刮刀钻头的适用地层 .....	247
二、钻进参数的确定 .....	250

三、使用钻头注意事 项 .....	251
四、刮刀钻头的磨损分析 .....	252
第五节 国外刮刀钻头发展近 况 .....	253
<b>第五章 取芯工具</b> .....	<b>262</b>
第一节 常用取芯工具的结构和工作原 理 .....	262
一、软地层取芯工具 .....	263
二、硬地层取芯工具 .....	269
三、密闭取芯工具 .....	273
第二节 取芯工具的合理使用和影响岩芯收获率的因素 .....	281
一、取芯工具的合理使用 .....	281
二、影响岩芯收获率的因素 .....	288
第三节 国外取芯工具介绍 .....	289
一、普通取芯工具 .....	289
二、橡皮筒取芯工具 .....	292
三、压力取芯工具 .....	292
四、可定向的取岩芯工具 .....	292
五、绳索“钻进-取芯”工具 .....	294
<b>第六章 新型钻头介绍</b> .....	<b>295</b>
一、三最钻头 .....	295
二、两牙轮钻头 .....	297
三、双喷嘴强化漫流牙轮钻头 .....	299
四、单牙轮钻头 .....	301
五、水力扩眼器 .....	302
六、连续式链条钻头 .....	304
七、防斜钻头 .....	304
<b>附录 常用单位换算</b> .....	<b>308</b>
一、计量单位换算系数表 .....	308
二、英寸的分数和小数的习惯读法 .....	309
三、英寸、毫米换算表 .....	310

四、公英制面积单位换算 .....	312
五、公英制体积单位换算 .....	312
六、公英制重量单位换算 .....	313
七、公英制密度单位换算 .....	313
八、角度单位名称、代号和换算 .....	314
九、公英制线速度单位的换算 .....	314
十、角速度单位名称和换算 .....	315
十一、公英制力矩单位换算 .....	315
十二、温度单位换算 .....	315
十三、物质比重 .....	316
十四、硬度对照表 .....	316

# 第一章 岩石的物理机械 性质及分类

## 第一节 岩石的弹性和塑性、 弹性模量和泊松比

### 一、弹性、塑性、弹性模量与泊松比的概念

任何物体，均为许多小质点所组成，这种质点称为分子；分子之间互有作用力（引力或斥力）。当有外力作用于物体使其变形时，这种分子间作用力便阻碍其变形。待物体因受外力而变形至某一程度，分子间的作用力适与外力相等而成平衡。此时物体便处于平衡状态。当除去外力，物体能回复原来状态的特性，称为弹性。当除去外力，物体不能恢复原状的特性，称为塑性，有的也称受范性。除了残余变形（非弹性变形）属于塑性的现象以外，松弛、后效、蠕变、疲劳等也属于塑性的变形现象。

弹性体在外力的作用下，其应力与应变的关系服从虎克定律，即

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1-1)$$

式中  $\sigma$ ——物体的应力，为单位面积上的内力，公斤/厘米<sup>2</sup>；

$\varepsilon$ ——单位长度的变形，无量纲；

$E$ ——弹性模量，也叫弹性系数或杨氏系数，量纲与应力同。

由(1-1)式可以看出，外力引起弹性体的内力，内力随外力而变化。外力使弹性体变形，而内力则抵抗变形，且企图消除弹性体已得的变形。弹性模量 $E$ 则不随上述条件变化，只与弹性体本身的特性有关。这里 $E$ 代表了物体对弹性变形的抵抗能力。

当弹性体在纵向受外力后，引起纵向的应力 $\sigma_z$ ，并在纵向产生变形，以应变 $\varepsilon_z$ 表示之。与此同时，在横向也会引起变形，以 $\varepsilon_x$ 、 $\varepsilon_y$ 表示之。如果材料是各向同性的，便有以下关系式

$$\mu = -\varepsilon_x / \varepsilon_z = -\varepsilon_y / \varepsilon_z \quad (1-2)$$

式中  $\mu$ ——泊松比。如(1-2)式中 $\varepsilon_x \neq \varepsilon_y$ ，便是各向异性的。

## 二、岩石的弹性模量与泊松比

上述几个概念，也适用于岩石。但是岩石一般不是理想的材料，因此受外力后不会服从理想弹性体的虎克定律，岩石的弹性模量也不会是一个固定的数值，而在一个范围内变化。但组成岩石的矿物，在单独存在时一般都服从虎克定律。现列出一些矿物的弹性模量如表1-1<sup>(1)</sup>。一些岩石的弹性模量及泊松比如表1-2<sup>(1)</sup>。

岩石的弹性模量还与应变种类和加载大小有很大的关系。当载荷小时，各种应变情况下的弹性模量差别不大。当载荷大时，这种差别就显著起来。当岩石被拉伸时，其弹性模量随载荷的增加而减小。与此相反，当岩石被压缩时，其弹性模量随载荷的增加而增加。如图1-1所示。

沉积岩的主要特征是层理。层理对弹性模量及泊松比有

表 1-1 矿物的弹性模量

矿 物	弹性模量 $E \times 10^5$ 公斤/厘米 <sup>2</sup>
刚 玉	52
黄 玉	30
石 英	7.85~10
长 石	$\leq 8.0$
方 解 石	5.8~9.0
石 膏	1.2~1.5
岩 盐	$\leq 4.0$

表 1-2 岩石的弹性模量及泊松比

岩 石	$E \times 10^5$ 公斤/厘米 <sup>2</sup>	泊 松 比 $\mu$
粘 土	0.03	0.38~0.45
致 密 泥 岩	—	0.25~0.35
页 岩	1.5~2.5	0.10~0.20
砂 岩	3.3~7.8	0.30~0.35
石 灰 岩	1.3~3.5	0.28~0.33
大 理 岩	3.9~9.2	—
白 云 岩	2.1~16.5	—
花 岗 岩	2.6~6.0	0.26~0.29
玄 武 岩	6~10	0.25
石 英 岩	7.5~10	—
正 长 岩	6.8	0.25
闪 长 岩	7~10	0.25
辉 绿 岩	7~11	0.25
岩 盐	—	0.44

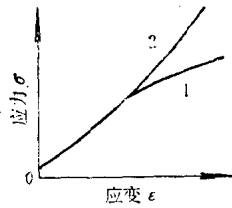


图 1-1 岩石在弹性范围内的应力应变简略曲线

1—拉伸情况； 2—压缩情况

明显的影响。表 1-3(2)是几种沉积岩因层理所表现的数据上的差异，即岩石的各向异性。用平行于层理(以 // 符号表示)和垂直于层理(以 ⊥ 符号表示)的试验方法得出。

表 1-3 几种沉积岩的各向异性

岩石名称	$E \times 10^5$ 公斤/厘米 <sup>2</sup>		泊松比 $\mu$	
	//	⊥	//	⊥
粗砂岩	1.93~4.19	1.73~4.54	0.10~0.45	0.12~0.36
中砂岩	2.87~4.19	2.68~3.37	0.12	0.10~0.22
细砂岩	2.83~4.95	2.90~4.60	0.10~0.22	0.15~0.36
粉砂岩	1.01~3.23	0.84~3.05	0.15~0.50	0.28~0.47

## 第二节 岩石的强度

### 一、强度的概念

物体受外力作用而达到破坏时的应力，称为物体的强度。这是物体的机械性质，是物体抵抗外力破坏的能力。按破坏前物体残余变形的大小，可分为塑性和脆性的两种。脆性的物体在极小的残余变形下即被破坏，而塑性物体的破坏，只是在显著的残余变形之后才发生。

岩石的强度概念也是这样。通常用四种强度描述岩石的

强度性质。

### 1. 单轴抗压强度

简称抗压强度。通常在常温常压下用抗压强度试验机测定。其原理如图1-2所示。图中岩样两端通过垫板加力  $P$ （球座是均衡端面受力用的），取压坏岩样时的外力除以岩样横截面积，即得岩样的单轴抗压强度。单位为公斤/厘米<sup>2</sup>。

许多部门都采用抗压强度这一性质，应用较广。抗压强度虽不能直接用于石油钻井的井下条件，但仍在使用。如美国 IADC<sup>①</sup>就使用岩石的抗压强度，以其高低划分地层，便于钻头选型。美国休斯公司也将常见岩石的抗压强度列在三牙轮钻头手册上<sup>②</sup>，以便选用钻头时参考。下面是十二种岩石的抗压强度：

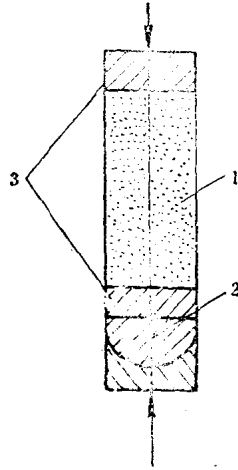


图 1-2 单轴抗压试验原理图  
1—岩样；2—球座；3—钢垫板

① CEDAR PARK 石灰岩，强度130~833公斤/厘米<sup>2</sup>，五个试样；

② AUSTIN 白垩，强度208公斤/厘米<sup>2</sup>，一个试样；

③ GLEN ROSE 石灰岩，强度234~336公斤/厘米<sup>2</sup>，二个试样；

① 美国国际钻井承包商。

② TRICONE BITS HANDBOOK, HUGHES TOOL DIVISION, P26.



④EDWARDS石灰岩，强度439~1499公斤/厘米<sup>2</sup>，二个试样；

⑤前寒武系碳酸大理岩，强度848~1411公斤/厘米<sup>2</sup>，八个试样；

⑥寒武奥陶碳酸大理岩，强度1172~1630公斤/厘米<sup>2</sup>，七个试样；

⑦淡红色花岗岩，强度1172~2630公斤/厘米<sup>2</sup>，十八个试样；

⑧灰色花岗岩，强度1276~2526公斤/厘米<sup>2</sup>，十个试样；

⑨前寒武系白云大理岩，强度1354~1536公斤/厘米<sup>2</sup>，六个试样；

⑩寒武奥陶白云大理岩，强度1458~2135公斤/厘米<sup>2</sup>，七个试样；

⑪BURNET COUNTY白云岩，1875公斤/厘米<sup>2</sup>，一个试样；

⑫淡红色石英岩，强度4765公斤/厘米<sup>2</sup>，一个试样。

## 2. 抗拉强度

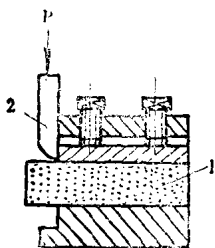


图 1-3 剪切试验示意图  
1—方块长条岩样；2—切刀

岩石的单轴抗拉强度也可用与金属拉伸试验相同的方法测定。岩样拉断时的应力即为岩石的抗拉强度，单位为公斤/厘米<sup>2</sup>。这种求岩石抗拉强度的方法较为直观。

## 3. 抗剪强度

为在剪切力的作用下岩石破坏时的应力。较为直观的测