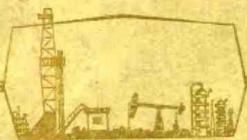


高等学校教学用书

# 石油钻采机械

上册

华东石油学院矿机教研室编



石油工业出版社

7E9

3:1

# 石油钻采机械

上册

华东石油学院矿机教研室编



石油工业出版社



26

**石油 钻 采 机 械**  
**上 册**

华东石油学院矿机教研室编

石油工业出版社出版发行

(北京和平门内大街十六号院)

化学工业出版社印刷厂印刷

开本 787 × 1092 $\frac{1}{16}$  印张 23 $\frac{1}{2}$  字数 583 千字 印数 1-10,000

1980年6月北京第1版 1980年6月北京第1次印刷

书号 15037·2129 定价 2.40元

内 邮 发 行

### 内 容 提 要

本书着重介绍石油钻井和采油机械设备的的工作原理、特性和设计计算方法，分上、下两册。上册为钻井机械，下册为采油、水力和海上钻采机械。

上册内容有钻机概论、钻机的基本参数、起升原理、绞车、防冲泵、井架、气控制和动力传动系统等；下册内容为液压传动、离心泵、涡轮钻具和磁杆钻具、液力传动、抽油设备、修井设备、固井、压裂和酸化设备以及海上钻采设备。

本书可作为高等院校石油矿场机械、钻井和采油等专业的教学用书，也可供有关厂矿科技人员参考。

## 前 言

为适应我国石油工业高速发展的需要，必须大力提高石油钻采机械设备的现代化水平。过去出版的《石油矿场机械》和《石油矿场水力机械》为时已久，有关专业师生和科技人员迫切要求提供加强专业理论基础、反映国内外发展水平的新教材，为此重编本书。本书分上、下两册，上册主要是钻井机械；下册包括水力机械、采油机械和海上钻采设备三部分。根据实际需要，各章取材和侧重点有所不同，第二至第六章侧重钻机工作理论、载荷分析和强度计算；第七章侧重钻井泵的工作理论和结构设计；第九章为井架设计原理和实用计算法；第十一章侧重钻机传动方案设计。水力机械除钻井泵外，还有液压传动、离心泵、涡轮钻具和液力传动等章，它们都着重于工作理论和特性分析。采油机械范围甚广，本书只选编抽油设备、修井设备和固井、压裂和酸化设备三章，侧重于游梁式抽油机、水力活塞泵和电动潜油泵的工作原理和设计、气力输送原理及车装设备设计。在第十九章中仅介绍海上钻采用特殊技术装备的原理和结构。至于钻采机械的其它部件和工具可参阅其它书籍。为了方便教学和设计计算工作，本书附有部分例题及参考图表。

本书由华东石油学院矿机教研室集体编写，编者有陈如恒（第一章至第六章）、王适（第七章）、胡泽明（第八章前三节，第十三章至第十五章）、陈智喜（第八章第四节、第十章）、张嗣伟（第九章）、沈家骏（第十一章）、万邦烈（第十二章、第十六章至第十八章）、方华灿（第十九章）、黄智和（图的绘制加工）。由陈如恒任主编，沈家骏、万邦烈任副主编。书中各章节分别经过大庆石油学院、西南石油学院、原石油勘探开发规划研究院机械研究所以及海洋地质调查局等单位有关同志审查并提出宝贵意见。在现场调查和收集资料时，得到石油部原油田开发组、兰州石油化工机器厂和石油机械研究所、江汉油田钻采设备研究所、华北油田矿机研究所、宝鸡石油机械厂、兰州通用机械厂、海洋地质调查局、南海石油勘探指挥部以及胜利油田等单位的大力支持，在此一并深致谢意。

由于编者水平有限，加以时间仓促，书中缺点和错误在所难免，诚恳地期望读者提出宝贵的批评和意见。

编者 1978年3月

# 目 录

<b>第一章 钻机概论</b> .....	1
第一节 概述.....	2
第二节 钻机的载荷特性.....	7
<b>第二章 钻机的基本参数</b> .....	11
第一节 钻井井身结构和技术措施.....	11
第二节 钻机的标准系列和总体参数.....	16
第三节 起升系统参数.....	18
第四节 旋转系统参数.....	23
第五节 循环系统参数.....	26
第六节 用主参数法确定钻机的基本参数.....	34
附录〔一~四〕.....	42
<b>第三章 起升系统工作原理</b> .....	45
第一节 起下钻操作和游动系统的工作.....	45
第二节 起升运动学动力学问题.....	49
第三节 起升时间和功率利用率.....	58
第四节 钻井曲线和起升速度的合理分配.....	63
第五节 下钻运动学和动力学.....	66
<b>第四章 钻井绞车</b> .....	71
第一节 概述.....	71
第二节 滚筒轴的设计计算.....	78
第三节 滚筒的设计计算.....	89
第四节 刹车机构的分析计算.....	93
<b>第五章 离合器和辅助刹车</b> .....	104
第一节 气动摩擦离合器.....	104
第二节 电磁离合器.....	113
第三节 辅助刹车.....	118
第四节 单向离合器.....	123
<b>第六章 转盘和水龙头</b> .....	128
第一节 转盘的结构和特性.....	128
第二节 水龙头的结构和特性.....	131
第三节 水龙头和转盘的主轴承计算.....	135
<b>第七章 钻井泵和泥浆净化设备</b> .....	144
第一节 概述.....	144
第二节 泵的排量.....	146
第三节 泵的压头、功率和效率.....	151

第四节	液缸内压力变化规律	156
第五节	空气包的作用原理和计算	166
第六节	泵阀设计的理论基础	173
第七节	泵的特性	185
第八节	泵的结构与受力分析	188
第九节	泥浆净化设备	205
<b>第八章</b>	<b>井口机械化设备和防喷器</b>	<b>210</b>
第一节	动力大钳	210
第二节	动力卡瓦	221
第三节	修井操作机械化设备	225
第四节	防喷器	227
<b>第九章</b>	<b>井架</b>	<b>236</b>
第一节	井架的类型与基本参数	236
第二节	载荷	248
第三节	材料与结构设计	256
第四节	计算原理	261
第五节	设计步骤	279
附录一	梁—柱(纵横弯曲的压弯杆)的计算	281
附录二	国外井架主要技术特性	284
附录三	总体稳定计算实例	286
<b>第十章</b>	<b>钻机的气控制</b>	<b>296</b>
第一节	概述	296
第二节	供气设备	298
第三节	气缸及风动马达	301
第四节	气控制阀	306
第五节	气控制辅助设备	311
第六节	气控制系统及其设计要点	315
<b>第十一章</b>	<b>钻机的动力与传动系统</b>	<b>322</b>
第一节	工作机对动力与传动的要求	322
第二节	动力传动类型及特性	323
第三节	传动方案与总体布置	333
第四节	传动方案的变速设计	352

## 第一章 钻机概论

现代石油钻机是一套联合机组，深井钻机属于重型机械。图1-1为国产 ZJ-170型钻机的外貌，它能钻5000米深的油气井，拥有4000马力的动力。它由柴油机、传动箱、绞车、转盘、

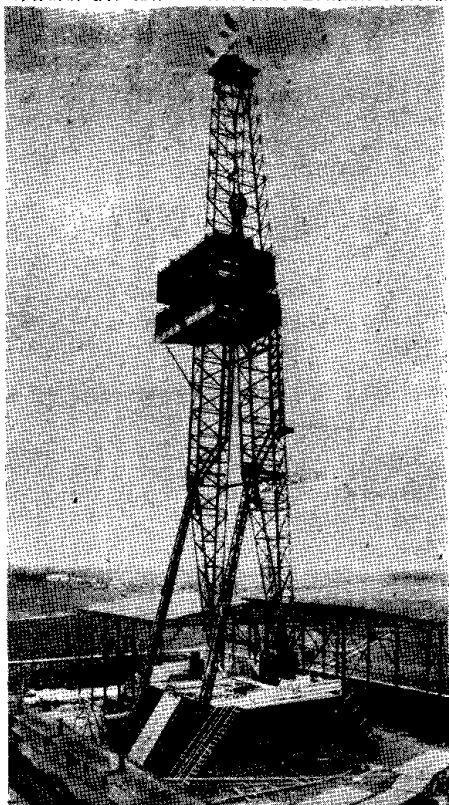


图 1-1 ZJ-170型钻机



钻井泵等部件组合而成，还有井架、底座等结构以及电力、液压和空气动力等辅助设备。本章先对钻机的组成、类型和性能作一般性介绍，然后探讨主要工作机的载荷特性。

## 第一节 概 述

本节主要介绍石油钻机的组成、性能、类型及其特点。

### 一、钻机的组成

钻机的组成见图1-2。

根据钻井工艺中钻进、洗井、起下钻具各工序的需要，一套钻机必须具备下列各系统和设备：

#### 1. 起升系统

为了起下钻具、下套管以及控制钻头送进等，钻机装有一套起升机构，它主要由主绞车、辅助绞车（或猫头）、辅助刹车、游动系统（包括钢丝绳、天车、游动滑车（简称游车）和大钩）以及悬挂游动系统的井架组成。另外，还有起下钻操作使用的工具及设备（吊环、吊卡、卡瓦、大钳、立根移运机构等）。

#### 2. 旋转系统

为了转动钻具以不断破碎岩石，钻机还配备有转盘和水龙头，井下配有钻杆柱和钻头，有时也使用井底动力钻具。

#### 3. 循环系统

为了随时用洗井液清除井底已破碎的岩石以保证连续钻进，钻机配备有循环系统。它包括钻井泵、地面管汇、泥浆池和泥浆槽、泥浆净化设备、调配泥浆设备等。在喷射钻井和涡轮钻井中，循环系统还担负着传递动力的任务。

#### 4. 动力设备

驱动绞车、转盘、钻井泵等工作机的动力设备，有的是柴油机，有的是交流或直流电动机。

#### 5. 传动系统

传动系统的主要任务是把发动机的能量传递和分配给各工作机。

由于发动机的特性与工作机要求的特性有差距，要求传动系统必须包括减速、并车、倒转、变速等机构。有时在机械传动的基础上，同时还要有液力传动、液压传动或电传动装置（电磁离合器）等。

#### 6. 控制系统

为了指挥各系统协调地进行工作，在整套钻机中还装有各种控制设备，如机械、液动或电控制装置，以及集中控制台和观测记录仪表等。

#### 7. 底座

包括钻台底座、机房底座和钻井泵底座等，车装钻机的底座就是汽车或拖车底盘。

#### 8. 辅助设备

一般有空气压缩设备、钻鼠洞设备、井口防喷装置、辅助发电设备（供机械化装置、压风机及照明用电）与辅助起重设备、活动房屋（材料库、修理间、值班房等），在寒冷地区钻井时还需配备保温设备。

### 二、钻机的技术特性

以大庆Ⅰ-130型钻机的主要技术特性为例来说明各项特性的含义。

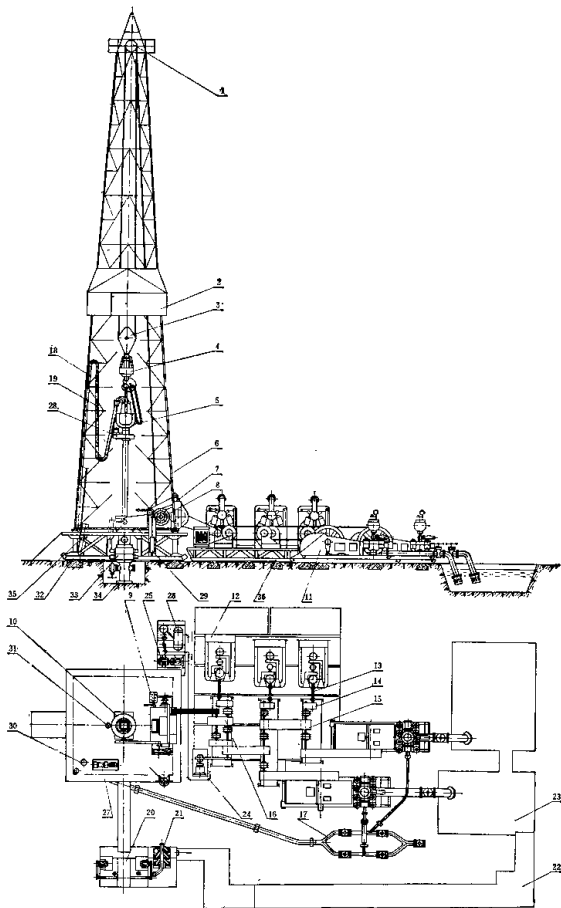


图 1-2 大庆 I-130 型钻机平面布置图

1—天车；2—二层平台；3—游车；4—大钩；5—水龙头；6—井架；7—绞车；8—水刹车；9—可钻控制台；  
 10—转盘；11—钻泵；12—架油机；13—方向轴；14—减速箱；15—井车皮带传动装置；16—正倒车装置；  
 17—高压管汇；18—立管；19—水龙头；20—泥浆箱；21—泥浆净化器；22—泥浆槽；23—泥浆池；24—联动  
 压风机；25—电动压风机；26—储气罐；27—3吨起重吊；28—方钻杆旋转短节；29—气动卸扣器；30—大鼠  
 洞；31—接单根小鼠洞；32—钻台底座；33—防喷器；34—井口装置；35—死绳固定器；36—机房底座

钻井深度(5°钻杆).....	3500米
最大起重量.....	160吨
额定钻柱重量.....	130吨
装机总功率①.....	3000马力
绞车额定功率.....	650马力
转盘额定功率.....	350马力
单泵功率.....	600马力
最大泵压.....	200公斤/厘米 <sup>2</sup>

上述八个主要参数，可用来表明一台钻机的性能，也可作为设计和选用钻机的主要技术依据。

### 1. 钻井深度

或称最大井深，它表明一台钻机用指定尺寸的钻杆柱能钻达的井深，有时给出两种尺寸的钻杆柱各能钻达的井深，当不标明时往往是5°×11或5°×9.19钻杆。例如大庆1-130型钻机当用5°×11钻杆柱时可钻井深3500米，当用5°×9.19或4½°钻杆柱时可钻井深4000米。国外钻机（绞车）多以其钻井深度为型名，如美国国家供应公司生产的1320M型钻机，其钻井深度为13000~20000英尺（4½°钻杆柱），日本NE-4000型钻机的钻井深度为4000米（4½°钻杆柱）。

### 2. 最大起重量

指钻机大钩允许的最大静载荷。由于这一参数能代表钻机的极限承载能力，所以有些钻机是以它来标定型名的，如罗马尼亚F-200型钻机的最大起重量为200吨。

### 3. 额定钻柱重量（或公称起重量）

指在起钻操作时大钩允许承受的全部钻杆柱重量（不包括动载）。我国现用钻机以此来标定钻机型名，如130-3型、大庆1-130型钻机的大钩额定钻柱重量都是130吨。苏联BY-40型钻机的额定钻柱重量为40吨。

### 4. 钻机总功率

指的是钻机为驱动绞车、转盘、泵组以及压风机所配备的总功率，目前国产深井钻机所配的大马力柴油机为Z12V-190B型（1400~1600转/分）和Z12V-190C型（限制在1300转/分以下运转）。柴油机说明书常给出台架试验功率（未扣除风扇等损失），并给出两种功率：间歇功率（多指柴油机正常工作12小时的功率）和持续功率（超过12小时的长时间运转，其功率约为间歇功率的90%），以上这些都需在特性中加以注明，以便在选用时有所遵循。如用电动机时则总功率指的是全部电动机额定功率的总和。

### 5. 绞车、转盘和单泵功率

指各个工作机的输入功率。转盘功率在三者中是最小的一个，至今不超过650马力。由于加速起下钻操作和采用喷射钻井，近代钻机的绞车和单泵功率都有较大的提高，对于深井钻机来说泵组功率一般比绞车功率大。

### 6. 最大泵压

钻井泵在最小缸套时能输出的最高压力。由于最近采用喷射钻井并要求高泵压，所以这一参数是钻机能否适应强化钻井的一个重要指标。

① 装机总功率是指三台Z12V-190C型柴油机（1300转/分）的间歇功率（12小时功率，未扣除风扇损失）。

### 三、钻机的类型

随着钻井生产的不断发展，钻机的使用条件也愈来愈多样化，所以相应地出现了各种类型的钻机。影响钻机类型与组成的因素有：钻井方法；钻井用途；钻井深度、井眼尺寸与钻机尺寸；钻井地区的条件（如电力或燃料供应、交通运输、气象条件）等。

#### （一）按钻井方法来区分

1. 地面发动冲击钻机 如钢绳冲击钻机（顿钻钻机）、地面发动振动钻机等。
2. 地面发动旋转钻机 如近代转盘钻法用钻机。
3. 井底发动钻机 如井底冲击振动钻具、井底旋转钻具（涡轮钻具、螺杆钻具、电动钻具）。

以上几种钻机是在钻井方法的不同发展阶段形成的。当钻井逐渐加深、岩石更硬，原有的方法与设备的生产率不能适应加快钻进的要求时，便逐渐被另一种生产率更高的同时也是相对更经济的方法所代替。例如钢绳冲击钻井法，由于钻进与捞取岩屑是交替进行的，只能在浅井小规模生产中应用。当井加深时，顿钻法的缺点便显得更突出了，于是转盘旋转钻井法开始发展和推广。因为它使用了钻杆，不但可传递更多的功率给钻头，而且用空心钻杆可以输送泥浆不断清除岩屑，克服了顿钻法的主要缺陷。当井愈来愈深，特别是钻斜井时，过长的钻杆柱在转动时会消耗过多的功率，而且对钻杆的强度要求也更高了。于是一方面向增大转盘功率，增强钻杆方向发展，另一方面向着钻杆不转的方式发展，即采用涡轮钻和井下电动机钻井。而对于特硬地层，钻头进尺很有限，且由于频繁的起下钻操作使钻井生产率下降，所以不得不放弃用钻头机械破碎岩石的方法而另寻无钻头物理破岩的道路。目前，针对深部脆硬的岩石，爆炸钻井，电火花钻井及高压冲蚀钻井等新钻井法可能会逐步发展成为有工业价值的方法。

#### （二）按钻井深度的不同来区分

按钻井深度的不同可分为两大类（图1-3）。

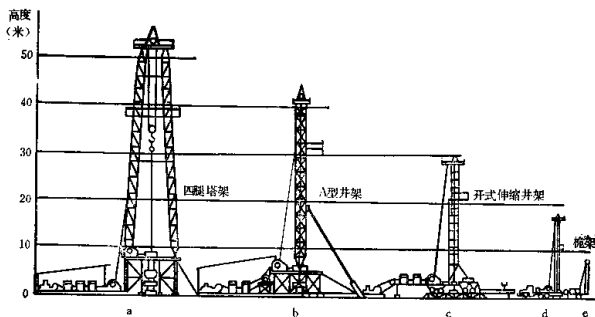


图 1-3 大型与轻便钻机

- a—超重型钻机；b—重型钻机；c—中型钻机（拖车装）；  
d—车装轻便钻机；e—地展轻便钻机（小车装或手拍式）

## 1. 大型钻机

这类钻机最大起重量在80吨以上,使用 $3\frac{1}{2}\sim 5\frac{1}{2}$ "钻杆,井径在160毫米以上,用于钻深井(包括生产井、注水井、勘探井)。

大型钻机进一步又可分为:

(1) 超重型钻机 钻井深度超过5000米,最大起重量超过250吨(图1-3a)。

(2) 重型钻机 钻井深度3000~5000米,最大起重量200~250吨(图1-3b)。

(3) 中型钻机 钻井深度在1000~2500米,最大起重量在80~160吨(1-3c),它也可用于修井作业。

## 2. 轻便钻机

这类钻机额定钻柱重量一般在30吨以下,使用50~89毫米的钻杆,钻井深度从几米到一两千米,井径在150毫米以下。用于钻地质勘探井和水井等(图1-3d)。

轻便钻机也有轻、中和重型之分,其中起重量大的可用于打浅油井(如红旗1000型钻机),最轻的微型钻机可钻1~5米深的地震炮眼井,全套钻机仅20~50公斤,可用人力运移(图1-3e)。

### (三) 按动力设备的不同来区分

#### 1. 柴油机驱动钻机

以柴油机为动力通过机械传动或液力传动的钻机。

#### 2. 直流电驱动钻机

工作机用直流电动机驱动。用柴油机或燃气轮机带动发电机供电,或从电力网供电。供直流电者称为直一直流电驱动;供交流电经整流者称为交一直流电驱动。这种型式的钻机适用于海上钻井。

#### 3. 交流电驱动钻机

适用于有工业电网的油田内部钻井。

上述各种驱动型式将在第十一章加以论述。

### (四) 按驱动方式的不同来区分

#### 1. 单独驱动

各工作机单独选择大小不同的发动机驱动,如图1-4所示。多用于电驱动,其传动简单、安装容易,但功率利用率低、设备总重量大。

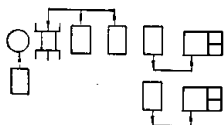


图 1-4 单独驱动方案

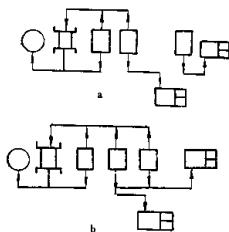


图 1-5 统一驱动方案

## 2. 统一驱动

绞车、转盘及泵三个工作机由同一动力机组驱动，如图1-5 b所示为大庆 I-130型钻机的方案。大部分钻机采取这种方案。统一驱动也可以只包括一台泵（另加一台单独驱动泵），如图1-4a所示为ZJ-130钻机方案。统一驱动的钻机功率利用率高，发动机有故障时可互相调济，但它的传动复杂，安装调整费事，传动效率低。

## 3. 分组驱动

动力的组合介于前两种之间，三个工作机的驱动可有两种方案，如图1-6所示，这种钻机的功率利用率比单独驱动者高，传动比统一驱动者简单，还可将两组工作机安装在不同高度和分散的场地上，如图1-6a所示的海上平台钻机的驱动方案。

## 四、钻机的特点

1. 为了完成钻进和起下钻等钻井作业，钻机必须是由起升、旋转、循环三个系统联合的工作机组，所以从发动机到各工作机或井底钻具之间就有着不同的能量转换方式和传递路线，如图1-7所示，各工作机的工作程序不一，它们的载荷也随着井深的不同而发生变化。因

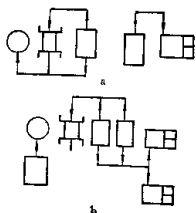


图 1-6 分组驱动方案

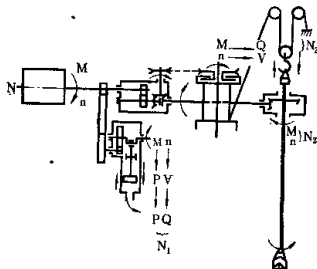


图 1-7 钻机能量的传递与运动的转换

此，钻机的传动与控制系统较复杂，又由于井底地层岩性变化大，所以钻进过程的自动化是个有待解决的难题。

2. 钻井操作是不连续的，在深井钻井中，辅助性的起下钻操作劳动量大而耗时长，所以起升系统占更重要的地位。在起升中要付出很大的功率，而下钻时所产生的巨大能量又要靠起升系统来消耗掉而无法回收，所以起下钻这一非生产性操作总的能量消耗很大。起下钻操作机械化的问题至今还在试验，尚未达到工业推广的水平。

3. 钻机的工作场所多变，它是在旷野、山地、沙漠、沼泽及海洋上进行流动作业的，尤其是轻便和中型钻机的钻井周期很短，这就要求钻机具有高度的运移性。即拆装容易、部件尺寸和重量都在通用载重汽车和吊车的工作能力范围内。同时钻机又必须适应在野外检修和更换易损件的要求。

## 第二节 钻机的载荷特性

在钻井过程中，钻机各工作机在一定的参数范围内运转，各机件承受的载荷也按一定的规律来变化。在设计计算中首先要了解各系统的载荷变化情况。

钻机起升系统是一种特殊的起重机,它的载荷变化情况可按钻头周期及全井周期来分析。所谓一个钻头周期,指从钻头下井到钻头磨损起出为止的一段时间,而全井周期,指从开钻到完钻的全过程。图 1-8 表示出,在一个钻头周期中,起升系统的大钩载荷变化情况,它分为三个阶段,即下钻、钻进及起钻阶段,下钻时,载荷在固定重量(游车、大钩及吊卡等)的基础上,按每立根重量的差额直线增长至当时全井深的最大值;在钻进过程中,因有一个不断变化的钻压,使载荷稍低;在钻进停止,钻头脱离井底进行洗井时,载荷达到周期中的最大值。起钻时,载荷变化规律与下钻一样呈阶梯变化,不过由大到小。

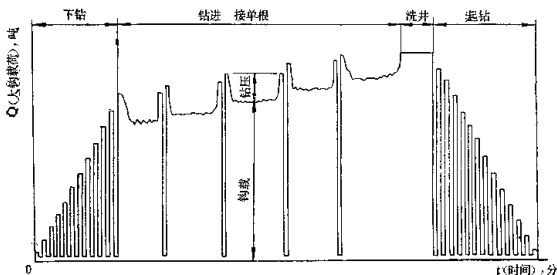


图 1-8 一个钻头周期中大钩载荷变化示意图

图 1-9 表示全井周期中载荷的变化情况,因载荷正比于井深(钻柱长度),可用井深代表载荷。由于深井中的岩石较硬,所以每个钻头进尺少,耗时较长,即钻机在接近额定钻柱重量的载荷下工作的时间较长。总的大钩平均载荷约为额定钻柱重量的 70~80%, 而为最大起重量的 50% 左右。

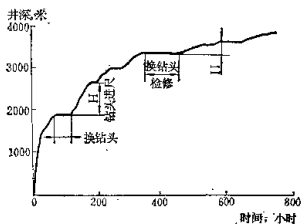


图 1-9 一口井周期中井深—时间关系

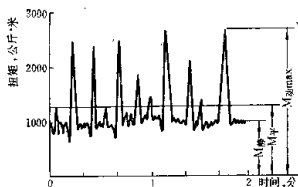


图 1-10 刮刀钻头钻井时转盘扭矩瞬时变化图

转盘的承载情况是最不稳定的,经常处在扭转振动载荷之下,尤其是用刮刀钻头打井时更为严重。图 1-10 中给出这时转盘的扭矩瞬时变化图,用的是直径为 220 毫米的三刮刀钻头,转速 230 转/分,井深为 1800 米,实际平均功率 330 马力,折合转盘静工作扭矩约为 1000 公斤米,但其瞬时扭转振动载荷有时竟高达 2500~2600 公斤米(俗称整钻)。

但从全井过程来看, 转盘平均工作扭矩还要随井深(钻柱长度)和钻压而变化, 基本规律是由小到大, 如图 1-11 所示。如换用牙轮钻头时, 扭矩和振动都会有所下降。另一方面, 机械钻速随井筒加深而降低, 深井段的钻进时间比浅井段要增长数倍(图 1-12、1-13), 所以转盘扭矩在全部钻进时间中高扭矩占的比重很大。

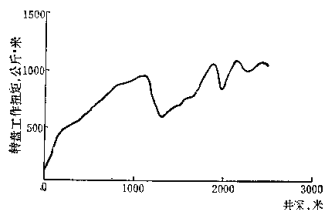


图 1-11 刮刀钻头230转/分时实测转盘工作扭矩图

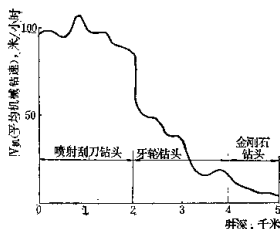


图 1-12 机械钻速示意图

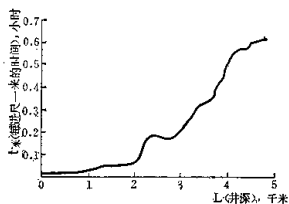


图 1-13 每米进尺耗时与井深的关系

由于钻压和钻杆强度的限制, 转盘工作扭矩、动扭矩和转速都受到限制, 因而转盘功率消耗比其它工作机小。

泥浆泵动力端的曲柄轴扭矩在每转中是波动的(图 1-14), 但大齿轮和皮带轮的惯性矩是很大的, 它使泵输入轴的扭矩趋于稳定, 可以认为这一基本稳定的扭矩正比于活塞杆推力, 而活塞杆推力是由泵压和活塞面积二者决定的。从图 1-15 中可以看出, 泵压基本上是随井深而增加的。由于使用喷射钻头或涡轮钻具, 所以起始泵压较高, 在2500米时换缸套, 由于排量降低, 泵压一度有所降低, 随后仍然是随井深而增加。活塞杆推力的规律也是这样, 用大缸套时, 其活塞杆平均推力约为其最大允许推力的88%, 用小缸套时, 平均推力约为最大推力的85% (深井段钻时较长)。这样看来, 泵的承载情况是三个工作机中最均匀的一个。由于泵组中一般有两三台泵, 在喷射钻井时配备的都是高压大功率泵, 所以泵组功率往往是最大的。



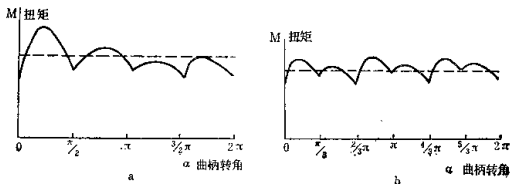


图1-14 钻井泵曲柄轴扭矩  
a—双缸双作用；b—三缸单作用

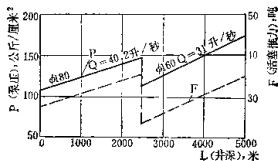


图 1-15 900型泵用 $\phi 114$ 钻杆钻进的泵压变化

### 本章小结

钻机由起升系统等八部分组成，有最大井深等八个特性参数。大型陆上钻机多用柴油机—液力驱动，且多为统一驱动。而海上钻机多用直流电驱动，多为单独驱动，部分为分组驱动。钻机的组成和性能要适应野外工作条件下各系统交替工作以及动力传递和分配的需要，应进一步提高机械化自动化水平，满足高速钻井的需要。

钻机的三个工作机的载荷都是随井深的增加而承受着递增的脉动载荷或冲击性载荷。其中以泵组的负荷波动最小；在功率分配上，三个工作机以泵组吸收的功率为最大。