

高等学校教材

# 石油矿场机械

姚春东 主编

董世民 主审



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

## 内 容 提 要

本书较全面地介绍了石油矿场机械设备的结构特点和工作原理。内容涉及钻井机械、采油机械、修井设备、井下工具、油气集输设备、海洋石油钻采设备等。为便于自学,各章还附有思考题。

本书可作为高等院校石油工程类及其相近专业开设的“石油机械”及“石油钻采机械”课程的教学用书,也可作为从事石油机械设计、制造、使用、维修的技术人员培训和自学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

石油矿场机械/姚春东 主编.  
北京:石油工业出版社,2012.2

高等学校教材

ISBN 978 - 7 - 5021 - 8765 - 1

I. 石…

II. 姚…

III. ①石油机械 - 高等学校 - 教材 ②矿场设备 - 高等学校 - 教材

IV. TE9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 217515 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

编辑部:(010)64523574 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:20.25

字数:516 千字

---

定价:34.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 前 言

随着我国高等学校教育改革的不断深入,高等教育向着更宽广的专业方向发展,为了满足新的教学要求,我们以 1994 年石油工业出版社出版的教材《石油钻采机械》为基础,保留了原教材的基本特色,对部分内容进行了实时更新,并且补充了有关石油矿场上常见设备的一些内容,扩大了知识面。按照实际内容和特点,新编教材定名为《石油矿场机械》。

本教材内容丰富、重点突出、紧密联系实际,内容涉及钻井机械、采油机械、油田修井设备、井下工具、油气集输设备、海洋石油钻采工艺与设备等常用设备。同时,为了便于读者了解和掌握石油机械中的液压设备的工作原理,简明扼要地介绍了液压传动基本知识和石油机械典型的液压传动系统。在内容上,着重叙述石油矿场机械的基本概念、简单的计算方法、各设备的结构以及工作原理。为便于自学,在各章后面附有思考题。

本教材在编写过程中,结合当前石油高等学校教学改革的要求,精选内容,恰当组合,力求突出以下特点:

(1)以扩大知识面为目的,内容以“必需、够用”为原则,突出教学的实用性,尽可能考虑到石油类等非机械类专业学生的知识结构,符合高等教育的培养目标和要求。

(2)教材内容尽可能突出前瞻性、先进性和创新性,尽可能地反映当代石油机械发展的最新水平、新动向,做到新标准、新理念、新技术。

(3)着重阐述石油矿场机械基本概念、简单的计算方法、结构组成及工作原理。

本教材第一、二、三、十一章由燕山大学韩东颖编写,第四、九、十、十二章由东北石油大学徐鑫编写,第五、六、七、八、十三章由燕山大学姚春东编写。姚春东统稿并任主编,韩东颖、徐鑫任副主编,燕山大学董世民教授任主审。

本书在编写过程中,参阅了有关的国家和行业标准以及大量的相关教材及产品样本等,在此对这些文献作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有缺点和不足之处,欢迎读者及同行对本书提出宝贵意见。

编 者  
2011 年 10 月

# 目 录

|                      |       |
|----------------------|-------|
| <b>第一章 钻机绪论</b>      | (1)   |
| 第一节 钻机概述             | (1)   |
| 第二节 钻机的基本参数          | (5)   |
| 第三节 国内外钻机技术的发展       | (16)  |
| 思考题                  | (18)  |
| <b>第二章 钻机的驱动与传动</b>  | (19)  |
| 第一节 机械驱动钻机           | (19)  |
| 第二节 电驱动钻机            | (24)  |
| 第三节 钻机工作机组的负荷特点及驱动方案 | (27)  |
| 第四节 钻机的驱动类型及驱动特性     | (32)  |
| 思考题                  | (50)  |
| <b>第三章 钻机的起升系统</b>   | (52)  |
| 第一节 钻井井架             | (52)  |
| 第二节 钻机的游动系统          | (59)  |
| 第三节 起升时间和功率利用率       | (68)  |
| 第四节 钻井绞车             | (74)  |
| 第五节 绞车的刹车机构          | (78)  |
| 思考题                  | (84)  |
| <b>第四章 旋转系统设备</b>    | (85)  |
| 第一节 转盘               | (85)  |
| 第二节 水龙头              | (89)  |
| 第三节 顶部驱动钻井装置         | (92)  |
| 第四节 钻具               | (99)  |
| 思考题                  | (107) |
| <b>第五章 钻机的控制系统</b>   | (108) |
| 第一节 钻机控制系统概述         | (108) |
| 第二节 钻机的气控制系统         | (109) |
| 第三节 钻机常用离合器          | (127) |
| 第四节 钻机辅助刹车           | (131) |
| 思考题                  | (134) |
| <b>第六章 石油矿场用往复泵</b>  | (135) |
| 第一节 往复泵概述            | (135) |
| 第二节 往复泵的流量分析         | (137) |
| 第三节 往复泵的压头、功率和效率     | (143) |
| 第四节 往复泵的工作特性曲线       | (146) |
| 第五节 往复泵的结构及特点        | (150) |

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| 第六节 往复泵的易损件及配件 .....           | (154)        |
| 思考题 .....                      | (160)        |
| <b>第七章 石油矿场用离心泵 .....</b>      | <b>(161)</b> |
| 第一节 离心泵概述 .....                | (161)        |
| 第二节 离心泵的典型结构及主要零部件 .....       | (164)        |
| 第三节 离心泵的特性 .....               | (167)        |
| 第四节 离心泵的汽蚀与允许吸入高度 .....        | (169)        |
| 第五节 离心泵在管线上的工作 .....           | (171)        |
| 第六节 离心泵的选择使用 .....             | (176)        |
| 思考题 .....                      | (178)        |
| <b>第八章 机械采油设备 .....</b>        | <b>(179)</b> |
| 第一节 机械采油设备概述 .....             | (179)        |
| 第二节 抽油机 .....                  | (180)        |
| 第三节 抽油杆及辅助抽油装置 .....           | (194)        |
| 第四节 抽油泵 .....                  | (200)        |
| 第五节 水力活塞泵 .....                | (205)        |
| 第六节 潜油电动离心泵机组 .....            | (211)        |
| 第七节 螺杆泵采油设备 .....              | (215)        |
| 思考题 .....                      | (217)        |
| <b>第九章 修井设备与工具 .....</b>       | <b>(218)</b> |
| 第一节 修井设备概述 .....               | (218)        |
| 第二节 修井起下操作机械化设备 .....          | (225)        |
| 第三节 不压井修井设备 .....              | (228)        |
| 第四节 采油和修井的井下工具 .....           | (229)        |
| 思考题 .....                      | (233)        |
| <b>第十章 井口设备 .....</b>          | <b>(234)</b> |
| 第一节 常用的钻井地面专用工具 .....          | (234)        |
| 第二节 井控设备 .....                 | (246)        |
| 思考题 .....                      | (252)        |
| <b>第十一章 多相流混合输送与分离设备 .....</b> | <b>(253)</b> |
| 第一节 油气集输常用设备 .....             | (254)        |
| 第二节 振动筛 .....                  | (258)        |
| 第三节 旋流器 .....                  | (261)        |
| 第四节 离心机 .....                  | (262)        |
| 思考题 .....                      | (266)        |
| <b>第十二章 海洋石油钻采工艺及设备 .....</b>  | <b>(267)</b> |
| 第一节 海洋钻井 .....                 | (267)        |
| 第二节 海上钻井装置的特殊问题 .....          | (272)        |
| 第三节 海上采油 .....                 | (279)        |
| 思考题 .....                      | (285)        |

**第十三章 液压传动** ..... (286)

    第一节 液压传动概述 ..... (286)

    第二节 液压泵与液压马达 ..... (288)

    第三节 液压缸 ..... (290)

    第四节 液压控制阀 ..... (292)

    第五节 液压辅助装置 ..... (300)

    第六节 液压基本回路 ..... (301)

    第七节 石油机械典型液压传动系统举例 ..... (310)

    思考题 ..... (315)

**参考文献** ..... (316)

# 第一章 钻机绪论

石油钻机或油气钻机是指用来进行油气勘探、开发的成套钻井设备,通称钻机。

现代石油钻机是一套庞大的联合机组,包括的内容广,涉及的种类多,它随着钻井方法、钻井技术的发展而不断发生变化和完善。

为适应各种地理环境和地质条件,加快钻井速度,降低钻井成本,提高钻井综合经济效益,近年来相继研制了各种具有特殊用途的钻机,如沙漠钻机、丛式井钻机、斜井钻机、顶驱钻机、直升飞机吊运的钻机、小井眼钻机、连续柔管钻机等,可称为特种钻机。

本章首先介绍钻井工艺对钻机的要求及钻机的组成和分类,然后介绍钻机的基本参数及钻井机械的发展水平。

## 第一节 钻机概述

### 一、钻井工艺对钻机的要求

钻井工艺对钻井机械设备的基本要求有以下几方面:

(1)要有足够的起升功率:即有足够的起重能力,保证起得动、起得快。

(2)要有旋转钻进的能力:要求钻机能为钻具提供一定的转速和扭矩,并保持一定的钻压。

(3)要有清除岩屑的能力:要求能提供具有一定压力和流量的钻井液,有效地冲洗井底,并将岩屑携出井外。

此外,钻机要适应不同地区的钻井需要,如沙漠、沼泽、海洋等。同时因钻机的流动性大,要求设备容易安装、拆卸和运输。钻机的操作和维修工作必须简单易行,易损件便于更换。

### 二、钻机的组成

石油钻机属于重型矿业机械,是由多种机器设备组成、具有多种功能的联合工作机组。为满足钻井工艺要求,整套钻机必须具备下述八大系统设备。

(1)旋转系统设备。为了转动井中钻具,带动钻头破碎岩石,常规钻机配备有转盘和水龙头,顶部驱动钻机配备有顶驱钻井装置,以及方钻杆、钻杆、钻铤、钻头等井下旋转设备。

(2)循环系统设备。为了及时清洗井底、携带岩屑、保护井壁,钻机配备有全套钻井液的循环设备,如钻井泵、地面高压管汇、钻井液净化及调配装置(固控设备)等,有的钻机还配备有钻井液净化设备、调配钻井液设备。当采用井下动力钻具钻进时,本系统提供高压钻井液,以驱动井下涡轮钻具或螺杆钻具。

(3)起升系统设备。为了起下钻具、下套管,更换钻头、控制钻压及钻头钻进等,钻机配备有一套起升设备,以辅助完成钻井生产。这套设备由钻井绞车、辅助刹车、游动系统(钢丝绳、天车、游动滑车及大钩)和悬挂游动系统的井架组成。另外,还有用于起下操作的井口工具及机械化设备,如吊环、吊卡、卡瓦、动力大钳或“铁钻工”、立根移运机构等。

(4)动力驱动系统设备。为钻机三大工作机组及其他辅助机组(如空气压缩机)提供动

力,可以是柴油机及其供油设备,或交流、直流电动机及其供电、保护、控制设备等。

(5)传动系统设备。传动设备的主要任务是连接发动机与前三个工作机组,把发动机的能量传递并分配给各工作机。为了解决发动机与工作机两者之间存在的运动特性上的矛盾,要求传动系统应包括减速、并车、倒车、变速机构等。根据能量传递形式与传动所用的介质不同,传动系统又可分为机械传动、液力传动(涡轮传动)、液压传动等。

(6)控制系统和监测显示仪表。为了指挥各机组协调地进行工作,整套钻机配备有各种控制装置,如机械控制设备(手柄、踏板、杠杆等),气动或液动控制设备(开关、调压阀、工作缸等),电控制设备(开关、变阻器、启动器、继电器等),以及集中控制台和观察记录仪表等。

现代钻机还配备各种钻井仪表及随钻测量系统(MWD),监测显示地面有关系统设备工况,测量井下参数,实现井眼轨迹控制。

(7)钻机底座。底座是钻机组成部分之一,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。钻台底座用于安装井架、转盘,放置立根盒及必要的井口工具和司钻控制台,多数还要安装绞车,下方应能容纳必要的井口装置,因此必须有足够的高度、面积和刚性。机房底座主要用于安装动力机组及传动系统设备,因此也要有足够的面积和刚性,以保证机房设备能够迅速安装找正、平稳工作,且移运方便。丛式井钻机底座必须满足丛式钻井的特殊要求。

为了钻机的安装、运移方便,重型钻机多采用整体安装拖运底座,即将动力、传动机构和绞车等设备都安装在一起进行拖运。

(8)辅助设备。成套钻机还必须具有供气设备、供水设备、钻鼠洞设备、辅助发电设备、井口防喷设备与辅助起重设备,在寒冷地带钻井时还必须配备保温设备。

图 1-1 所示为钻机组成示意图。

### 三、钻机分类及特点

#### 1. 钻机分类

随着钻井生产的不断发展,钻机的使用条件也越来越多样化,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、井眼尺寸与钻具尺寸、钻井地区的条件(如电力或燃料供应、交通运输、气象条件)等。

##### (1)按钻井方法划分:

冲击钻机:如钢绳冲击钻机(顿钻钻机)、地面发动振动钻机、爆炸钻井钻机、电火花钻井钻机。

地面发动旋转钻机:如转盘旋转钻机、顶部驱动旋转钻机等。

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)。

##### (2)按钻井深度的不同划分:

浅井钻机:钻井深度不大于 1500m。

中深井钻机:钻井深度 1500 ~ 3000m。

深井钻机:钻井深度 3000 ~ 5000m。

超深井钻机:钻井深度大于 5000m。

特深井钻机:钻井深度在 9000m 以上。

##### (3)按使用地区的不同划分:

陆用钻机:用于正常陆地勘探、钻井。

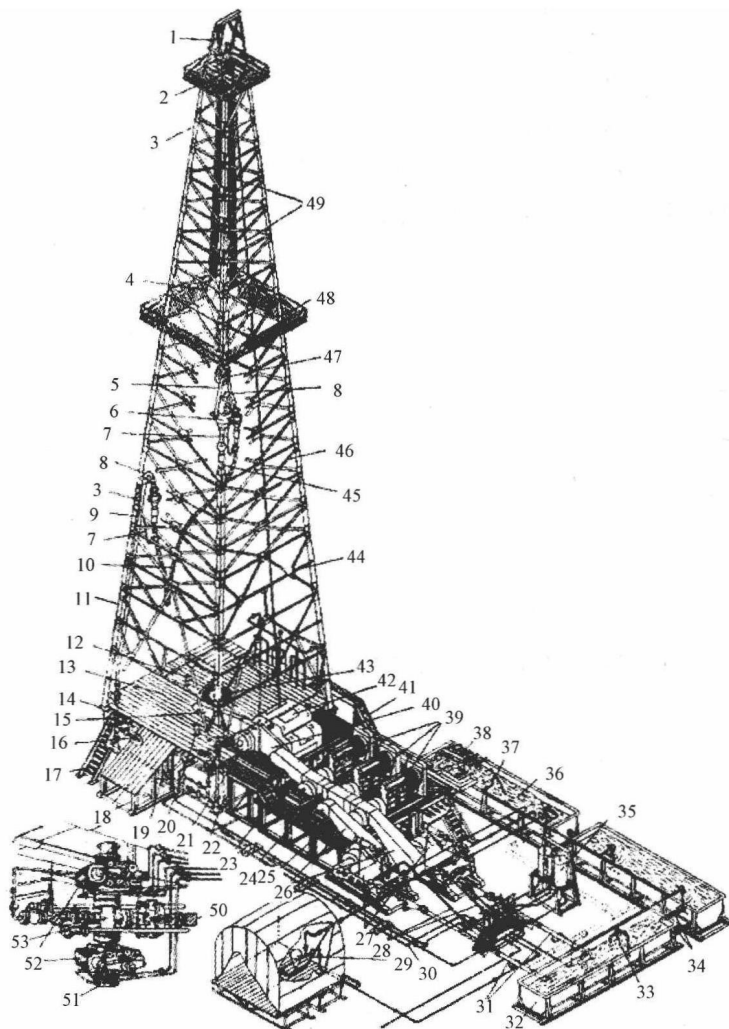


图 1-1 钻机组成示意图

1—人字架;2—天车;3—井架;4—游车;5—水龙头提环;6—水龙头;7—保险链;8—鹅颈管;9—立管;10—水龙头带;11—井架大腿;12—小鼠洞;13—钻台;14—架脚;15—转盘传动;16—填充钻井液管;17—扶梯;18—坡板;19—底座;20—大鼠洞;21—水刹车;22—缓冲室;23—绞车底座;24—井车箱;25—发动机平台;26—泵传动;27—钻井泵;28—钻井液管线;29—钻井液配制系统;30—供水管;31—吸入管;32—泥浆池;33—固定钻液枪;34—连接软管;35—空气泡;36—沉砂池;37—钻井液;38—振动筛;39—动力机组;40—绞车传动装置;41—泥浆槽;42—钻井绞车;43—转盘;44—井架横梁;45—方钻杆;46—斜撑;47—大钩;48—二层平台;49—游绳;50—钻井液喷出口;51—井口装置;52—防喷器;53—换向闸门

海洋钻机:用于海上钻井平台。

沙漠钻机:用于在沙漠地区勘探、钻井。

(4)按动力设备的不同划分:

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。

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—直流电驱动,供交流电经整流者称为交—直流电驱动,这种形式的钻机适用于海上钻井。

交流电驱动钻机:适用于有工业电网的油田内部钻井。

#### (5)按驱动方式的不同划分:

单独驱动:各工作机单独选择大小不同的发动机驱动,如图 1-2 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。

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 1-3 所示。统一驱动的钻机功率利用率高,发动机有故障时可互相调剂,但它的传动复杂,安装调整费事,传动效率低。

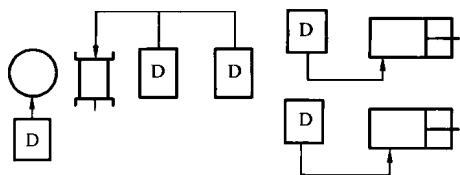


图 1-2 单独驱动方式

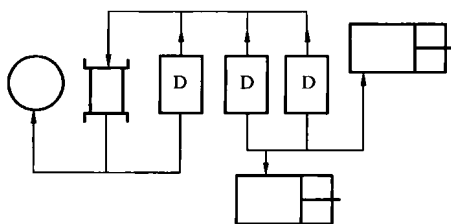
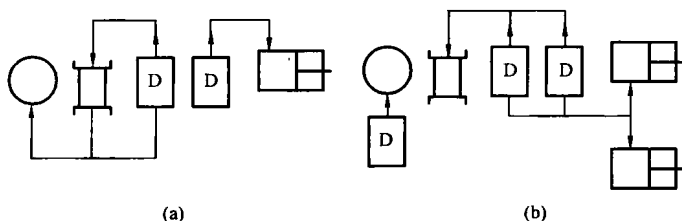


图 1-3 统一驱动方式

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 1-4 所示。这种钻机的功率利用率比单独驱动高,传动比统一驱动简单,还可将两组工作机安装在不同高度和分散的场地上。



(a)

(b)

图 1-4 分组驱动方式

## 2. 钻机特点

(1)传动效率偏低,机械化自动化程度低。钻机是大功率、多工作机联合工作的重型矿业机械,动力机组是多台(1~4 台)多类型的(柴油机、柴油机—变矩器、电动机等)。各类型动力机具有自己的驱动特性。故动力机到工作机之间能量的传递分配及运动变换相当困难,尤其是机械驱动钻机,传动系统与控制很复杂,导致传动路线长,传动效率低(如发动机到大钩的传动效率  $\eta_{d-h} \approx 0.5 \sim 0.7$ );实现机械化自动化难度大,手工操作繁重,中深井、深井及超深井尤为突出。

(2)钻井操作是不连续的,其中辅助生产的起下作业耗费能量颇大。

(3)工作地区广阔(平原、山地、沙漠、沼泽、海洋),自然环境恶劣(风、沙、雨、雪)中作业,要求钻机有很强的适应地区、环境的能力和便捷的移运性能。

石油机械工作者应善于吸取现代科技进步的新成就,努力提高设计制造的现代化水平,提高起下钻操作的机械化水平,提高科学使用管理钻机的水平。

图 1-5 所示为钻机能量传递与运动转换示意图。钻进时,发动机功率一路传至钻井泵,另一路传至转盘。起升时,发动机功率传至绞车滚筒、绞车和游动系统工作。

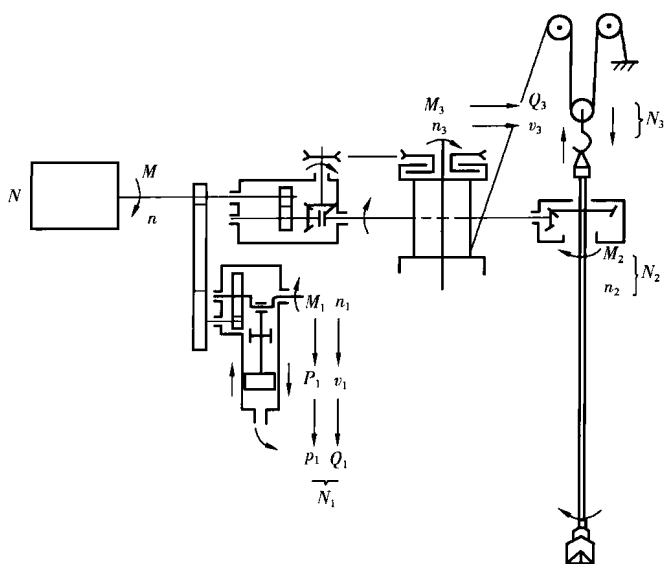


图 1-5 钻机的能量传递与运动转换图

$N$ —动力机的输入功率; $M, n$ —动力机输出的扭矩及转速; $M_1, n_1$ —往复泵被动轴输出的扭矩及转速;  
 $P_1, v_1$ —往复泵活塞的推力及速度; $p_1, Q_1$ —往复泵的排出压力及流量; $N_1$ —循环系统输出功率;  
 $M_2, n_2$ —转盘输出的扭矩及转速; $N_2$ —旋转系统输出的功率; $M_3, n_3$ —滚筒轴输出的扭矩及转速;  
 $Q_3, v_3$ —大钩的起重量和起升速度; $N_3$ —起升系统输出起升的功率

## 第二节 钻机的基本参数

钻机的基本参数是反映全套钻机工作性能的主要数量指标,它是设计和选择使用钻机的基本依据。钻机的基本参数包括:钻机主参数、起升系统参数、旋转系统参数、循环系统参数。

### 一、钻机主参数

钻机主参数也是钻机的总体参数,它表明钻机的整体性能,对钻机的其他参数有很重要的决定作用。主参数一般由国家钻机标准系列规定,可作主参数的参数有:最大井深、最大起重量、额定钻柱重量和钻机总功率。

#### 1. 最大井深 $L_{\max}$

钻机的最大井深指的是用规定的钻具所能钻进的最大井深。规定的钻具是指一定尺寸的钻具组合。例如,大庆 I-130 钻机最大井深为 3000m,是指在规定钻具为 5 ½ in (1 in = 25.4mm) 的钻杆 2900m 和 7in 钻铤 100m 打井时所能钻的最大井深。井深再增加,就超过了钻机起升系统的额定工作能力。但是,如果使用 5in 钻杆和 7in 的钻铤 100m 钻井,则最大井深可达 3500m 而不超过钻机起升系统的额定工作能力。

美国的 1320 钻机及国产 ZJ45 钻机都是以最大井深为钻机主参数。

#### 2. 最大起重量 $Q_{\max}$

钻机的最大起重量指的是大钩允许的最大静载荷。钻井过程中可能遇到的较大载荷有:

(1) 起钻操作刚开始启动加速时钩载增加了动载,下钻操作完了刹车时也有较大动载产生,静载和动载之和构成起下钻过程中的最大钩载。

(2) 处理卡钻事故时拔钻杆的拉力,它以钻杆拉断载荷为极限(此拉断载荷由钢材最小屈

服强度来决定)。

(3)下套管时,大尺寸的技术套管柱重量或最深的油层套管柱重量都比钻杆柱重量大。

(4)下套管遇阻时,要上提下放套管柱以期破阻通过。此时大钩的上提载荷以套管柱断裂载荷的80%为极限。

上述四项载荷,据统计分析以第2、4项为最大,当井深小于2500m时,套管柱较轻,也很少遇阻,所以第2项载荷可能最大,当井深大于2500m时,则以第4项载荷为最大。

钻机在起最大起重量时,使用的是钻机的最大有效绳数。罗马尼亚的F320钻机就是以最大起重量作为钻机的主参数。

### 3. 额定钻柱重量 $Q_{\text{柱}}$

在最大井深中,大钩上的额定尺寸钻柱重量被称为额定钻柱重量。 $Q_{\text{柱}} = q_{\text{柱}} L_{\text{max}}$ ,  $q_{\text{柱}}$  为每米长钻柱重量,单位为 N/m。一般  $Q_{\text{柱}} < Q_{\text{max}}$ ,  $Q_{\text{max}}/Q_{\text{柱}}$  称为重量储备系数  $K_{\text{储}}$ ,一般各级钻机的  $K_{\text{储}}$  都是统一值,即  $K_{\text{储}} = 1.6$ 。

$K_{\text{储}}$  的大小说明钻机的机动性高低,  $K_{\text{储}}$  越高则钻机超深(大于  $L_{\text{max}}$ ) 钻进的能力越强,解除卡钻和克服下套管遇阻的能力也越强。例如,新系列4000m钻机的  $Q_{\text{max}} = 1960\text{kN}$ ,  $Q_{\text{柱}} = 1225\text{kN}$ ,  $K_{\text{储}} = 1.6$ ,它的机动性很强。

$Q_{\text{柱}}$  只是在钻井过程中反复出现的大钩工作载荷,并不是最大限值,如4000m钻机用5in钻柱决定的  $Q_{\text{柱}} = 314 \times 4000 \approx 1225\text{kN}$ 。当用同样的5in钻柱钻4700m深的井时,  $Q_{\text{柱}} = 314 \times 4700 \approx 1470\text{kN}$ 。这种超深钻进也是允许的,只是这时的  $K_{\text{储}}$  降低为1.35,机动性降低了。

### 4. 钻机总功率 $N_{\text{总}}$

钻机总功率是指为三大工作机组及辅助设备总共配备的功率,以保证钻井过程中能量消耗。

钻机总功率根据其驱动方式的不同可分别按下述公式计算。

(1)单独驱动的钻机(图1-2):

$$N_{\text{总}} = N_{\text{发起}} + N_{\text{发泵}} + N_{\text{发转}} + N_{\text{发辅}} \quad (1-1)$$

式中  $N_{\text{发起}}$ ——驱动绞车所配备的发动机功率,kW;

$N_{\text{发泵}}$ ——驱动钻井泵所配备的发动机功率,kW;

$N_{\text{发转}}$ ——驱动转盘所配备的发动机功率,kW;

$N_{\text{发辅}}$ ——发动机驱动压风机所需功率,有时也包括单独发电机的功率,此时应加以注明,kW。

单独发电机为驱动钻井液净化设备、井口机械化设备和液压泵等提供动力。

(2)统一驱动的钻机(图1-3):

$$N_{\text{总}} = \max[N_{\text{发泵}} + N_{\text{发转}} + N_{\text{发辅}}, N_{\text{发起}} + N_{\text{发辅}}] \quad (1-2)$$

(3)分组驱动的钻机:

转盘与绞车分成一组,钻井泵单独分成一组[图1-4(a)]:

$$N_{\text{总}} = N_{\text{发泵}} + \max(N_{\text{发起}}, N_{\text{发转}}) + N_{\text{发辅}} \quad (1-3a)$$

转盘单独分一组,钻井泵与绞车分成一组[图1-4(b)]:

$$N_{\text{总}} = \max(N_{\text{发起}}, N_{\text{发泵}}) + N_{\text{发转}} + N_{\text{发辅}} \quad (1-3b)$$

计算出来的  $N_{\text{总}}$  应按实配柴油机台数及总持续功率值加以化整,并修正各工作机所配备的功率值。

二、起升系统参数

1. 大钩静载荷  $Q_{\text{静}}$

在钻井过程中,大钩匀速提升井中全部钻柱重量构成大钩的静载荷。

如忽略吊环吊卡的重量,大钩静载荷为:

$$Q_{\text{静}} = Kq_{\text{柱}} L' \tag{1-4a}$$

$$K = K_{\text{摩}}(1 - \gamma/\gamma_{\text{钢}}) \tag{1-4b}$$

式中  $K$ ——起钻静载修正系数;

$q_{\text{柱}}$ ——整个钻杆柱(包括钻铤)每米平均重量,N/m;

$L'$ ——任意井深,km;

$K_{\text{摩}}$ ——摩阻系数;

$\gamma$ ——钻井液相对密度;

$\gamma_{\text{钢}}$ ——钻杆柱钢材料相对密度。

系数  $K$  应综合考虑钻杆与井壁摩擦及钻杆在钻井液中受浮力的影响,并越深, $K_{\text{摩}}$  越大; $\gamma$  越大,浮力也越大,则减轻系数  $(1 - \gamma/\gamma_{\text{钢}})$  越小。

钻杆柱每米重量  $q_{\text{杆}}$  值可以从表 1-1 中查出,它是光钻杆重加上两端加厚部分、接头(或接箍)的重量除以立根的长度得来。钻柱中考虑有 80~100m 的钻铤,则推荐用表 1-1 中  $q_{\text{柱}}$  的计算值。

表 1-1 钻杆柱和套管柱的单位重量

| 类别  | 通称尺寸<br>in      | 外径( $D$ )<br>mm | 厚度( $\delta$ )<br>mm | 单位重量( $q_{\text{杆}}$ )<br>N/m | 钻柱计算重量( $q_{\text{柱}}$ )<br>N/m | 注        |
|-----|-----------------|-----------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------|
| 钻杆柱 | 2 $\frac{3}{8}$ | 60.3            | 7.11                 | 97                            | —                               | 按 API-70 |
|     | 2 $\frac{7}{8}$ | 73.0            | 5.51                 | 100                           | —                               |          |
|     | 3 $\frac{1}{2}$ | 88.9            | 6.45                 | 139                           | 196                             |          |
|     | 4               | 101.6           | 8.38                 | 204                           | 245                             |          |
|     | 4 $\frac{1}{2}$ | 114.3           | 8.56                 | 242                           | 294                             |          |
|     | 5               | 127.0           | 9.19                 | 285                           | 314                             |          |
|     | 5 $\frac{1}{2}$ | 139.7           | 10.54                | 361                           | 412                             |          |
| 套管柱 | 4 $\frac{1}{2}$ | 114.3           | 7.37                 | 197                           | —                               | 按 API-70 |
|     | 5               | 127.0           | 7.52                 | 219                           |                                 |          |
|     | 5 $\frac{1}{2}$ | 139.7           | 9.17                 | 292                           |                                 |          |
|     | 6 $\frac{3}{8}$ | 168.3           | 10.59                | 409                           |                                 |          |
|     | 7               | 177.8           | 9.2                  | 380                           |                                 |          |
|     | 7 $\frac{5}{8}$ | 193.7           | 9.53                 | 434                           |                                 |          |

基于上述两个因素互相抵消的实际情况,在近似计算中可取  $K = 1$ ,即近似认为起钻时大钩的静载荷就是钻柱在空气中的重量,即:

$$Q_{\text{静}} = q_{\text{柱}} L' \quad (1-5)$$

## 2. 游动系统结构、游动系统起重量、快绳拉力和钢绳直径

### 1) 游动系统结构

游动系统结构是指天车和游车的滑轮数目和有效工作绳数( $z$ ),如游动系统为 $5 \times 6$ ,指的是天车5轮和游车6轮,除快绳、死绳以外的有效工作绳数 $z = 2 \times 5 = 10$ 。起重量越大的钻机,由于钢绳强度的限制,要采用更多的有效绳数,即更多轮数的游动系统。游动系统的最大结构用于起升 $Q_{\text{max}}$ ,在起升 $Q_{\text{柱}}$ 时钢绳可以少穿两个轮子。游动系统结构可参考表1-2按井深或最大起重量选定。

### 2) 游动系统起重量 $Q_{\text{游}}$

$Q_{\text{游}}$ 虽然不是钻机的基本参数,但在今后的计算中经常遇到,所以单独提出来。

$$Q_{\text{游}} = Q_{\text{静}} + G_{\text{游}} = q_{\text{柱}} L' + G_{\text{游}} \quad (1-6)$$

当在最大井深时,钩载为最低起升工作挡 $V_1$ 时,游动系统起重量 $Q_1$ 为:

$$Q_1 = q_{\text{柱}} L'_{\text{max}} + G_{\text{游}} \quad (1-7)$$

式中  $G_{\text{游}}$ ——游动系统运动件重量(包括大钩、游车和钢绳),参照表1-2选用或用 $G_{\text{游}} = (0.04 \sim 0.05) Q_{\text{max}}$ 计算。

表1-2 系列钻机的游动系统参数

| 最大井深( $L'_{\text{max}}$ )<br>km | 钻机最大起重量( $Q_{\text{max}}$ )<br>kN | 游动系统结构       | 有效绳数( $z$ ) | 钢绳直径( $d_{\text{绳}}$ )<br>mm | 游动系统运动件重量( $G_{\text{游}}$ )<br>kN |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|-------------|------------------------------|-----------------------------------|
| <2                              | 784                               | $4 \times 5$ | 8           | 25                           | 49                                |
|                                 | 980                               |              |             |                              |                                   |
| 2.5                             | 1125                              | $4 \times 5$ | 8           | 28                           | 59                                |
| 3.2                             | 1568                              | $4 \times 5$ | 8           | 32                           | 78                                |
|                                 |                                   | $5 \times 6$ | 10          | 28                           |                                   |
| 4                               | 1960                              | $5 \times 6$ | 10          | 32                           | 98                                |
| 5                               | 2450                              | $5 \times 6$ | 10          | 35                           | 118                               |
|                                 |                                   | $6 \times 7$ | 12          | 32                           |                                   |
| 6.3                             | 3136                              | $6 \times 7$ | 12          | 35                           | 147                               |
| 8                               | 3920                              | $6 \times 7$ | 12          | 38                           | 176                               |

### 3) 起升时的快绳拉力 $p_{\text{快}}$

起升时的快绳拉力 $p_{\text{快}}$ 为:

$$p_{\text{快}} = \frac{Q_{\text{游}}}{z\eta_{\text{游}}} \quad (1-8)$$

当大钩载荷为 $Q_{\text{max}}$ 时,  $p_{\text{max}} = \frac{1.05Q_{\text{max}}}{z\eta_{\text{游}}}$

式中  $\eta_{\text{游}}$ ——游动系统效率,%。

#### 4) 钢绳直径 $d_{\text{绳}}$

在确定钢绳直径时,首先要算出最大快绳拉力  $p_{\text{快max}}$ ,一般钢绳的破断安全系数  $n=2.5$ ,要求钢绳所具有的破断载荷为:

$$P_{\text{断}} = np_{\text{快max}} = \frac{2.5 \times 1.05 Q_{\text{max}}}{z\eta_{\text{游}}} = \frac{2.6 Q_{\text{max}}}{z\eta_{\text{游}}} \quad (1-9)$$

从 GB/T 20118—2006 标准中可查得一定结构形式的钢绳的破断载荷,选取比式(1-9)大的为破断载荷值,即可确定钢绳直径。

同理,根据一定的钢绳和游动系统结构,也可确定出该系统的最大起重量为:

$$Q_{\text{max}} = \frac{z\eta_{\text{游}} P_{\text{断}}}{2.6} \quad (1-10)$$

### 3. 井架高度 $H$

井架高度是指钻台顶平面至天车台底平面的垂直高度,它主要取决于立根长度  $l$ 、游动系统各部件高度和缓冲高度,可用经验公式确定:

$$H = 1.7l \quad (1-11)$$

根据式(1-11),对于由两单根组成的 24m 长的立根,采用 41m 高的井架,对于由三单根组成的 27~30m 长的立根,则采用 46~53m 高的井架。

### 4. 起升速度和挡数

大钩的起升速度直接影响着起下钻的机动起升时间,尤其是最低起钻工作速度  $v_1$ ,它又决定着其他各挡的速度。为了减少机动起升时间,新型钻机越来越加大了绞车功率,使  $v_1$  由原有的 0.2m/s 提高到 0.5m/s 左右,这样,机动起升时间可降低 25%。最低起钻工作速度  $v_1$  可初选 0.45~0.5m/s。最高起升速度  $v_k$  不能选得过高,它受到立根长度、快绳速度和操作安全的限制,一般按下述经验公式选定:

$$v_k = \frac{b}{z} \sqrt{l} \quad (1-12)$$

式中  $v_k$ ——最高起升速度, m/s;

$l$ ——立根长度, m;

$z$ ——有效绳数;

$b$ ——系数,取 3 或 4,在起下操作机械化水平高的条件下选用 4。

初选  $v_k = 1.4 \sim 1.8$  m/s,  $v_k$  低者用于轻、中型钻机,  $v_k$  高者用于超重型钻机,当安装全套机械化设备及滚筒排绳器时,  $v_k$  可取 2~2.4 m/s。

增设起升挡数,充分利用绞车功率,可降低起升时间。但当挡数过多时会使变速机构复杂化,时间节省幅度也不大。因此,起升挡数常取为 4~8,重型钻机可采用较多的挡数。

绞车上除设工作挡用于起钻外,还要设 1~2 个事故挡,用于起升  $Q_{\text{max}}$  的钩载(以解除卡钻和通过套管遇阻处)或当功率不足时从最大井深起钻(例如,两台柴油机中的一台停车检修时)。因此,绞车结构上的第一、第二挡常为事故挡,起升第一挡多设在结构上的第三挡,依此类推。

用液力变矩器或直流电动机驱动的绞车可以保证最小的起升机动时间消耗。但为了提高变矩器或电动机的使用效率,仍设 2~4 变速挡。

5. 大钩功率、绞车功率和起升机组功率

设  $v_1$  为大钩最低起钻速度 (m/s),  $Q_1$  为以  $v_1$  起升时的游动系统起重量 (理论起重量, kN)。

起升功率即大钩功率为:

$$N = Q_1 v_1 \tag{1 - 13}$$

绞车功率即绞车输入功率为:

$$N_{\text{绞}} = \frac{Q_1 v_1}{\eta'_{\text{传}} \eta_{\text{滚}} \eta_{\text{游}}} \tag{1 - 14}$$

起升系统发动机应配备功率为:

$$N_{\text{发起}} = \frac{K Q_1 v_1}{\eta_{\text{发钩}}} \tag{1 - 15}$$

$$\eta_{\text{发钩}} = \eta_{\text{发}} \eta_{\text{并}} \eta_{\text{传}} \eta_{\text{滚}} \eta_{\text{游}}$$

式中  $\eta'_{\text{传}}$ ——绞车输入轴至滚筒轴的传动效率(可参考表 1-3 选取);  
 $\eta_{\text{滚}}$ ——滚筒缠绳及滚筒轴效率,取值 0.97;  
 $\eta_{\text{游}}$ ——游动系统效率,可以采取 API 推荐值,对  $z=6,8,10,12$  者,  $\eta_{\text{游}}=0.876,0.841,0.810,0.770$ ;  
 $K$ ——功率储备系数;  
 $\eta_{\text{发钩}}$ ——发动机至大钩的传动效率;  
 $\eta_{\text{发}}$ ——发动机效率;  
 $\eta_{\text{并}}$ ——发动机组并车效率(可参考表 1-3 选取);  
 $\eta_{\text{传}}$ ——全部传动效率,将发动机输出轴到滚筒轴前所有传动副的效率相乘可得此值(可参考表 1-3 选取)。

表 1-3 发动机和机械传动效率

| 发动机或传动副名称      | 效率(η)     | 发动机或传动副名称  | 效率(η)     |
|----------------|-----------|------------|-----------|
| 柴油机(非增压—增压)    | 0.80~0.85 | 万向轴滑动轴承    | 0.97      |
|                |           | 万向轴滚动轴承    | 0.99      |
| 直流发电机—直流电动机    | 0.80~0.95 | 涡轮传动       | 0.76~0.85 |
| 交流电动机          | 0.88~0.92 |            |           |
| 液力耦合器          | 0.95~0.97 | 三角皮带传动     | 0.94~0.96 |
| 液力变矩器          | 0.80~0.95 | 滚动轴承       | 0.995     |
| 2 台柴油机并车       | 0.95      | 两个滚动轴承支承的轴 | 0.99      |
| 3 台柴油机并车       | 0.92      | 滚筒缠绳、滑轮绕绳  | 0.98      |
| 2 台柴油机并车液力传动并车 | 0.98      | 滚动轴部件      | 0.97      |
| 3 台柴油机并车液力传动并车 | 0.95      | 转盘部件       | 0.93      |

续表

| 发动机或传动副名称 | 效率( $\eta$ ) | 发动机或传动副名称              | 效率( $\eta$ ) |
|-----------|--------------|------------------------|--------------|
| 开式链传动     | 0.95         | 钻井泵机械传动部分<br>(不包括水力部分) | 0.85 ~ 0.88  |
| 闭式链传动     | 0.98         |                        |              |
| 圆柱齿轮传动    | 0.98         | —                      | —            |
| 圆锥齿轮传动    | 0.97         |                        |              |
| 圆弧齿轮传动    | 0.99         |                        |              |

在传动方案设计出来以前,可近似取  $\eta_{\text{发钩}} = 0.55 \sim 0.65$ 。

对于功率储备系数  $K$  来说,柴油机直接驱动的起升系统应取  $K = 1.25 \sim 1.35$ ; 柴油机液力传动的起升系统取  $K = 1$ ; 单独为绞车配备的柴油机,可以按间歇功率计算;电动机驱动的起升系统或其他部件按表 1-4 取  $K$  值,以确定电动机的额定功率(即工作时间率  $J_c = 25\%$  时的输出功率)。

表 1-4 交流电动机的储备系数

| 电动机型号        | 工作类型 | $K$         |
|--------------|------|-------------|
| JZR          | 轻级   | 0.5 ~ 0.75  |
| JZRH         | 中级   | 0.75 ~ 0.85 |
|              | 重级   | 0.9 ~ 1.0   |
|              | 特重级  | 1.0 ~ 1.2   |
| $J_2$        | 各级   | 0.9         |
| $JO_2, JO_3$ | 各级   | 1.0         |

三、旋转系统参数

旋转系统参数主要包括转盘开口直径、转盘转速、转盘功率。

1. 转盘开口直径  $D_{\text{盘}}$

转盘的开口直径是转盘主要的几何参数,它决定着转盘的尺寸和承载能力,应保证第一次开钻时所用的最大钻头能顺利地通过转盘中心通孔,即转盘开口直径至少要比最大钻头直径大 10mm。

目前  $D_{\text{盘}}$  的通用尺寸有 450mm, 520mm, 700mm 等,分别适用于中深井、深井和超深井。

2. 转盘转速和挡数

转盘的转速和钻头破碎岩石的能力密切相关,选择合适的转盘转速,目的是在可能的条件下获得较快的钻井进尺。

根据钻井经验:钻井速度正比于转盘转速的平方根。但是,当转速超过 350 ~ 400r/min 时,钻井速度的增长就不明显了。这主要是由于牙轮钻头牙齿与岩石接触的时间过短,岩石还来不及破裂,同时过高的转速会使空转钻杆柱的功率消耗加大,因此常用的转速控制