

张奇志 主编 李琳 主审

电动钻机 自动化技术

DIANDONGZUANJI
ZIDONGHUA JISHU

石油工业出版社

电动钻机自动化技术

张奇志 主编
李 琳 主审

石油工业出版社

内 容 提 要

本书重点介绍了电动钻机自动化技术。内容包括电动钻机动力设备及其控制系统、电动钻机驱动设备及其控制系统、电动钻机的辅助控制系统、电动钻机的监测与控制系统4个方面的内容。本书将钻机电气设备的机械特性与控制技术紧密地结合,全面、系统地分析和阐述了电动钻机及其自动控制技术的基本原理、系统性能、实际操作、发展动态等,列举了国内外电动钻机电气控制系统的应用实例。

本书可供从事电动钻机制造业及现场的管理人员、技术人员使用,也可作为从事该方面技术开发人员、技术培训人员和专业教学人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电动钻机自动化技术/张奇志主编.

北京:石油工业出版社,2006.7

ISBN 7-5021-5620-8

I. 电…

II. 张…

III. 油气钻进-电钻-自动化技术

IV. TE922

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 079705 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

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京市兴顺印刷厂

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:23.25 插页:1

字数:590 千字 印数:1—2000 册

定价:46.00 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

我国有着丰富的石油资源,随着国内陆地、沙漠及海上油田的不断开发,国际钻井工程项目和区域性反承包钻井项目相继增多,以及油气田勘探、开发技术的不断提高,定向井、超深井、丛式井、多目地层井等与日俱增,都对钻机装备提出了更高的要求。在这种背景下,电动钻机以其功率大、传动损耗小、控制灵活、简捷、便于搬迁和安装等机械驱动钻机无法比拟的特点,在国内各油田钻井公司钻机更新换代中成为主流产品。

20 世纪 90 年代以来,我国石油钻机在标准化、研究开发能力和制造水平等方面有较大的提高和发展,尤其是模拟技术构成的电动钻机电气控制系统相对成熟,使我国电动钻机的控制技术取得了长足的发展,极大地提高了钻井效率。目前电动钻机控制系统向全数字控制技术发展,其特点是:它由具有通信接口的数字式动力设备控制单元、驱动设备控制单元、辅助设备控制单元以及主站 PLC、司钻台从站 PLC、控制中心工控机组成,通过现场总线,以分布式控制结构,实现对井场的集中监测与控制;由于采用微处理器实现各单元的控制,使系统具有完善的故障自诊断、运行、显示和保护功能,同时各控制单元的参数可实时调整。钻机信息系统远程通信的实现,将进一步提高电动钻机的决策管理水平和远程故障诊断能力。

同期,西安石油大学组建了“电动钻机控制技术”实验室,借鉴国外电动钻机模拟控制技术和数字控制技术,针对电动钻机不同的驱动方式,根据现场的实际工况,通过现场总线,以主从式 PLC 的分布式控制结构,建成了系统的、先进的、开放的电动钻机电气系统模拟运行和测控平台。平台可模拟电动钻机的运行状况和控制方法,实现电动钻机控制单元的研究、开发、测试,可进行控制方法模拟、远程通信方面的研究。

电动钻机自动化技术是一门综合性技术,目前国内外系统地论述电动钻机自动化技术的书籍较少。编者从事电动钻机自动化技术近 15 年,在该技术的研究和开发、相关资料的翻译和整理基础上,结合现场的实践,编著了《电动钻机自动化技术》一书。本书在介绍相关的理论基础知识和分析方法的基础上,力求本书介绍的技术的先进与实用、内容的系统与全面。希望本书的出版对提高我国装备制造业的核心创新能力,对加快石油钻机自动化、智能化、网络化发展步伐有所贡献。

本书共分 4 篇 22 章。第 2 章、第 3 章、第 9 章~第 15 章由张奇志编写;第 5 章~第 8 章由杨新海编写;第 17 章~第 19 章由刘光星编写;第 1 章、第 4 章、第 16 章由孙国良编写;第 6 章 1~3 节及第 20 章~第 22 章由史富斌编写。全书由张奇志主编。李琳担任本书主审,对全书的结构、风格进行了统一和规范。海尔海斯(西安)控制技术有限公司为本书的编写提供了有关资料,在此表示衷心的感谢。

电动钻机自动化技术涉及的内容较多,由于作者学识有限,书中一定有许多疏漏及错误,诚恳希望得到读者的批评指正。

编著者

2006 年 4 月于西安

目 录

第 1 章 钻机概述	1
1.1 钻机的组成及分类	1
1.2 钻井工作原理	5
1.3 电动钻机的发展	7
第 2 章 电气控制系统基础知识	11
2.1 整流电路	11
2.2 基本控制电路	15
2.3 自动控制系统	16
第 3 章 电动钻机电气控制系统概述	24
3.1 电动钻机驱动型式	24
3.2 电动钻机电气控制系统的基本构成	28
3.3 电动钻机电气系统结构形式	31
3.4 电气控制系统方案的选择	33

第一篇 动力自动化

第 4 章 柴油发电机组	38
4.1 柴油发电机组的组成和特点	38
4.2 柴油发电机组的技术条件与性能	40
4.3 柴油发电机组的自动化性能	42
4.4 柴油发电机组功率的标定	43
4.5 柴油机和发电机的功率匹配	45
4.6 柴油发电机组频率变化的原因	45
第 5 章 柴油机的基本概念	47
5.1 柴油机的结构与型号含义	47
5.2 柴油机的工作原理	50
5.3 柴油机的性能与特性	52
5.4 柴油机的执行机构	56
第 6 章 发电机的基本概念	76
6.1 同步发电机的基本结构	76
6.2 同步发电机的工作原理	78
6.3 同步发电机的电枢反应	79
6.4 同步发电机的外特性和调节特性	82
6.5 同步发电机的并列	83
6.6 同步发电机的电磁功率	86

第7章 柴油发电机组控制系统	94
7.1 发电机断路器	94
7.2 同步装置	94
7.3 功率限制	96
7.4 接地故障检测电路	102
7.5 交流控制组件	104
7.6 柴油发电机组发电机励磁功率电路	119
7.7 交流控制单元的操作	121
7.8 交流控制单元的功能试验	122
第8章 柴油发电机组系统保护	125
8.1 柴油发电机组保护电路	125
8.2 柴油发电机组的应急保护	127

第二篇 驱动自动化

第9章 直流驱动系统的基本概念	129
9.1 直流电动机的工作原理及其特性	129
9.2 用于电动钻机中的直流电动机的特殊性	132
9.3 电动钻机的负载及其特性	136
9.4 电动钻机控制系统的基本要求及控制方式	143
第10章 直流驱动控制系统	145
10.1 直流驱动控制系统	145
10.2 直流控制单元	149
第11章 直流驱动系统运行状态的控制	152
11.1 直流驱动系统	152
11.2 司钻控制台	157
11.3 驱动系统控制	160
第12章 直流驱动数字控制系统	173
12.1 μ drill 3000 直流电气驱动系统	173
12.2 全数字直流调速系统	180
12.3 电动钻机全数字直流驱动控制系统	187
第13章 交流驱动系统的概念	192
13.1 异步电动机的工作原理及其特性	192
13.2 变频调速的基本原理	194
13.3 变频器的基本类型	194
13.4 变频调速时的机械负载特性	197
13.5 变频器专用电动机	199
13.6 异步电动机变频调速系统	201
第14章 交流驱动控制系统	210
14.1 变频器	210
14.2 整流器	211

14.3	中间回路	212
14.4	逆变器	213
14.5	变频器控制电路	214
14.6	附加电子选件	217
第 15 章	交流驱动系统运行状态的控制	224
15.1	交流驱动系统	224
15.2	转盘驱动系统	228
15.3	钻井泵驱动系统	230
15.4	自动送钻驱动系统	230
15.5	司钻控制系统	231
第 16 章	顶部驱动钻井	233
16.1	顶部驱动钻井装置的结构	233
16.2	顶部驱动钻井装置的特点	234
16.3	顶部驱动钻井装置简介	237

第三篇 电动钻机的监控系统

第 17 章	可编程控制器	243
17.1	S7—300 可编程控制器的硬件结构	243
17.2	S7—300 可编程控制器的编程语言与指令系统	259
17.3	SIEMENS 可编程控制器开发软件	279
第 18 章	网络通信	291
18.1	网络通信的基本概念	291
18.2	S7—300 的通信功能	293
18.3	S7—300 的通信网络	293
18.4	MPI 通信	295
18.5	PROFIBUS 总线	298
第 19 章	电动钻机的监测与控制	303
19.1	电动钻机中可编程控制器的应用	303
19.2	电动钻机的逻辑控制	305
19.3	电动钻机的总线结构	316
19.4	一体化仪表系统	323
19.5	电动钻机热备份系统	328

第四篇 电动钻机辅助控制系统

第 20 章	自动送钻装置	331
20.1	自动送钻装置的类型	331
20.2	盘式刹车自动送钻	331
20.3	变频调速自动送钻	334
第 21 章	井场电动机控制中心	337
21.1	电动机控制中心	337

21.2 电动机启动控制.....	341
21.3 电动机控制中心运行.....	345
21.4 安全用电.....	346
第 22 章 钻杆的自动排放	349
附录.....	353
参考文献.....	361

第1章 钻机概述

石油钻机是油、气田开发的钻井设备,随着钻井方法、钻井工艺的发展,钻机装备和技术也得到不断地发展。当今,国内外广泛采用的钻井方法是旋转钻井法,相应的钻井设备为转盘旋转钻机。陆用转盘钻机是钻井设备的基本型式,通常所说的钻机指的就是这种钻机,也可称为常规钻机。随着海洋石油勘探、开发事业的兴起,陆用钻井设备和造船技术相结合,产生了一大批各种类型的海洋钻井设备。

为适应各种地理环境和地质条件,为加快钻井速度、降低钻井成本、提高钻井经济效益,近些年来研制了多种具有特殊用途的新型钻机,如沙漠钻机、丛式井钻机、斜井钻机、直升飞机吊运的钻机等,可称为特种钻机。

本章简要介绍常规钻机的组成、分类、驱动类型及电动钻机的发展。

1.1 钻机的组成及分类

1.1.1 钻机的组成

石油钻机是由多种机器设备组成,具有多种功能的成套性联合工作机组,如图1-1所示。它主要包括旋转钻进系统、钻井液循环系统、钻具起升系统、动力机组、传动和控制系统、底座和其他辅助设备。

钻井工艺对石油钻机的基本要求是:

(1)起下钻具能力:为了起下钻具及处理井下事故等,石油钻机要有一定的起重能力和起升速度。这由钻机的起升系统承担。

(2)旋转钻进能力:为了带动钻具、钻头旋转钻进等,石油钻机要有一定的转矩和转速。这由钻机的旋转系统承担。

(3)循环洗井能力:为了保证正常钻进、冲洗井底及携带岩屑等,循环钻井液要有一定的压力和排量。这由钻机的循环系统承担。

为了满足钻井工艺要求,整套钻机必须具备下列各系统和设备。

1)起升系统

起升系统在钻井过程中的主要作用是起下钻具、下套管、悬持钻具和钻头送进等。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)和井架组成。这实质上就是一台重型起重机。另外,还有用于起下钻具操作的井口工具及机械化设备(吊卡、卡瓦、动力大钳、立根移送机构等)。

井架的作用是安放天车、悬挂游车、大钩及专用工具(如吊钳等),在钻井过程中进行起下钻具和下套管的操作。另外,起下钻具过程中,可用以存放立根,其能容纳立根的总长度称为立根容量。

游动系统(钢丝绳、天车、游动滑车及大钩)可以大大降低快绳拉力,从而大为减轻钻机绞车在钻井各个作业(起下钻、下套管、钻进、悬持钻具)中的负荷和降低起升机组发动机应配备

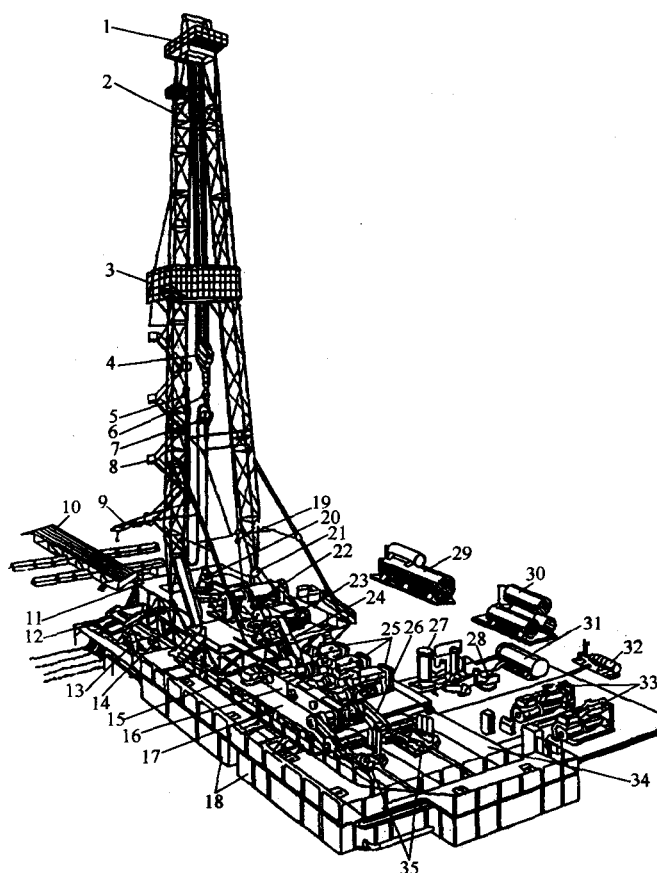


图 1-1 石油钻机组成

1—天车；2—井架；3—二层台；4—游车；5—立管与水龙带；6—大钩；7—水龙头；8—梯子；9—吊杆；10—钻杆台；11—钻台；12—振动筛；13—旋流器；14—钻台底座；15—后台底座；16—井车传动箱；17—后台；18—钻井液池；19—快绳稳定器；20—转盘；21—控制台；22—绞车；23—变速箱；24—爬坡链；25—柴油机组；26—泵胶带传动副；27—空气清洁系统；28—空气压缩机；29—燃料油罐；30—润滑油罐；31—气压罐；32—离心泵；33—发电站；34—泵房平台；35—钻井泵组的功率。

钻井绞车的作用是：用于起下钻具、下套管；钻井过程中控制钻压，送进钻具；借助猫头上、卸钻具丝扣；起吊重物及进行其他辅助工作；整体起放井架。

2) 旋转系统

旋转系统在钻井中的主要作用是带动井中钻具旋转，并带动钻头破碎岩石。旋转系统包括的主要设备有转盘和水龙头。为实现钻头自动给进，现代钻机配备有钻具自动送进装置。

钻井过程中，转盘主要完成的工作是：转动井中钻具，传递足够大的扭矩和必要的转速；下套管或起下钻时，承托井中全部套管柱或钻杆柱重量；完成卸钻头、卸扣与处理事故时倒扣、进扣等辅助工作。

水龙头是提升、旋转、循环 3 大工作机组相交汇的“关节”部件，它的主要作用是：悬持旋转着的钻杆柱，承受大部分以至全部钻具重量；向转动着的钻杆柱内输入高压钻井液。

3) 循环系统

循环系统在钻井中的主要作用是循环钻井液，使其及时清洗井底，携带走被钻头破碎的岩

屑,保护井壁并冷却钻头。其主要设备包括钻井泵(在钻井现场习惯称为泥浆泵)、地面高压管汇、钻井液净化及调配设备等。

钻井泵是一种往复泵,它主要用于向井下提供钻井液。在钻井过程中,从井底返回地面的钻井液中含有大量的岩屑和砂粒,经过泥浆池和沉淀池的自然沉降,其中的固相颗粒只有少部分沉淀下来,若继续使用这种钻井液,必然会有相当一部分岩屑和砂粒随钻井液进入钻井泵,并被再次送入井底,造成钻井泵易损件和钻头寿命大大缩短,钻速显著下降,甚至会造成钻进过程中钻杆遇卡事故。因此,必须采用固控设备(净化设备)除去钻井液中的固相颗粒。钻井液固控设备主要包括振动筛、旋流除砂器、旋流除泥器及离心分离机等。

上述3大系统设备是直接服务于钻井生产的,是钻机的3大工作机组。

4) 动力驱动系统

为了供应3大工作机组及其他辅助机组(如空气压缩机)的动力,钻机必须配备动力驱动设备及其辅助装置。这种动力驱动设备可以是内燃机及其供油设备,也可以是交流电动机、直流电动机及其供电、保护、控制设备等。

5) 传动系统

传动系统的作用是连接发动机和工作机组,实现从驱动设备到工作机组的能量传递、分配及运动方式的转换。

传动系统应包括减速、并车、转向、倒转及变速机构等。

现代钻机传动系统除机械传动外,尚有液力传动(液力耦合器、液力变矩器)、液压传动、电传动等形式。

6) 控制系统和监测显示仪表

控制系统是钻机自动化程度高低的一个重要标志,它的主要作用是指挥各系统的协调工作。常用的控制系统有机械控制、气控制、电控制、液控制和电、气、液联合控制。

监测显示仪表的主要作用是记录和显示地面设备和井下设备的工况,为控制系统提供控制依据,常用的仪表有指重表、转盘扭矩表等。

7) 钻机底座

底座是钻机组成部分之一。它包括钻台底座和机房底座,用以安装钻井设备,方便钻井设备的移运。

钻机底座用于安装井架、转盘,放置立根盒及必要的井口工具,多数还要安装钻井绞车,下方应能容纳必要的井口装备,因此,钻机底座必须具有足够高度、面积和刚性。机房底座主要用以安装动力机组及传动系统设备,因此,它也要有足够的面积和刚性,以保证机房设备能迅速安装找正、工作平稳且移运方便。丛式井钻机底座必须满足丛式钻井的特殊要求。

8) 辅助设备

为保证钻井工作的顺利运行,钻井设备一般都配有供气设备(压缩机、储气罐)、辅助发电设备、井控设备(防喷器、地面防喷器控制装置及节流管汇、压井管汇等)、钻鼠洞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。

1.1.2 钻机分类

钻机按钻井深度分为:浅井钻机(钻井深度小于或等于1500m)、中深井钻机(钻井深度为1500~3200m)、深井钻机(钻井深度为3200~5000m)、超深井钻机(钻井深度大于5000m)。

钻机按采用的主传动副类型分为:胶带并车传动—皮带钻机、链条并车传动—链条钻机、

锥齿轮一万向轴并车传动一齿轮钻机。

钻机按驱动设备类型分为：机械驱动钻机(MD)和电驱动钻机(ED)。

钻机按使用地区和用途分为：陆地常规钻机、海洋钻机、丛式井钻机、沙漠钻机、斜井钻机等。

1.1.3 石油钻机驱动型式

任何一种钻机其传动系统的基本组成和所承担的任务具有共同性，即都是由并车、倒车、减速增矩、变速变矩及转换方向等几部分构成，将一台或几台驱动机组的动力及运动单独地或统一地传递给各工作机，以满足钻井工作的需要。

目前，石油钻机驱动型式主要有机械驱动、液压驱动、电驱动和混合驱动 4 种型式。

1) 机械驱动型式

(1) 柴油机直接驱动石油钻机。

柴油机直接驱动就是利用柴油机产生动力，用机械传动来传递功率。它的主要优点是不受地区限制，具有自持能力；产品系列化后，不同级别钻机可用增加相同机组数目的办法以增加总装功率，这样可减少柴油机品种；在性能上，转速可平稳调节，能防止工作机过载，避免发生设备事故；结构紧凑，体积小，重量轻，便于搬迁移运，适于野外流动作业。

但作为钻机动力机，它也有不足之处，如扭矩曲线较平坦，适应性系数小，过载能力有限；转速调节范围窄；噪声大，影响工人健康；与电驱动比较，驱动传动效率低，燃料成本高，维护使用费用比电动机驱动高。

(2) 柴油机—液力耦合器驱动石油钻机。

液力传动的工作原理是主动轴经离心泵将能量传给了工作液，工作液又经涡轮将能量传给了从动轴。因此，液体是一种工作介质，通过它在离心泵和涡轮机中的循环流动实现运动的连续传递和能量的连续转换。

柴油机—液力耦合器驱动的主要优点是：传动柔和，可吸收振动与冲击；涡轮轴可随外载变化而自动变速，可防止工作机过载，即使外载增加导致涡轮制动，动力机仍可以某一转速工作而不灭火。

但耦合器只能在高转速工况下工作，否则效率过低，功率损失大；只能传递扭矩，不能变矩。

(3) 柴油机—液力变矩器驱动石油钻机。

柴油机—液力变矩器驱动的主要优点是：随外载变化能自动无级地变速、变矩，驱动绞车时，可明显提高钻机起升工效；使柴油机始终维持在经济合理的工况运行，即使外载增大导致涡轮轴处于制动状态时，柴油机也不会被憋灭火；机组适应外载变化能力大大加强，调速范围变宽；传动平稳柔和，吸收冲击振动，延长了机械设备寿命；减少并车损失。

柴油机—液力变矩器驱动的主要不足之处是效率偏低，最高效率一般为 85%~90%，且效率随涡轮轴转速在很大范围内变化；纯钻进驱动泵时工效明显低于机械传动。此外，其结构比较复杂，还需要一套补偿和散热冷却系统。

目前，世界各国生产和在用的机械驱动石油钻机以柴油机—液力变矩器驱动石油钻机为最多。

2) 液压驱动型式

早在 20 世纪 50 年代，石油钻机中就采用了液压驱动转盘，随后发展到采用液压驱动绞车进行钻井作业和起下钻作业。美国研制了全液压驱动石油钻机，采用了液压驱动的顶部驱动

钻井系统,其绞车是一组多级同心液缸,取消了常规石油钻机结构型式的绞车和提升系统。自动化石油钻机中也采用了液压驱动型式,如顶部驱动采用液压驱动型式。

3)电驱动型式

电驱动就是利用交流电动机或直流电动机来驱动工作机组。电驱动钻机初期投资比机械驱动钻机略高,但是传动效率高,比机械驱动约提高 16%;电驱动钻机具有无级调速的钻井特性,可提高钻井效率;柴油发电机组的柴油机可始终处在最佳状态下运转,能降低油耗 18%~20%,可延长大修期 80%;简化了传动、控制系统,易安装调整,易控制调节,易实现高钻台;有完善的自我保护系统,可保证安全生产。

电驱动型式主要有 AC-AC 电驱动型式、DC-DC 电驱动型式、AC-SCR-DC 电驱动型式及 AC 变频驱动型式。

4)混合驱动型式

混合驱动钻机是指钻机有两种驱动型式,例如机电、液电等混合驱动型式。

对于机电混合驱动钻机来说,柴油机链条并车驱动绞车,胶带驱动钻井泵。柴油机另一输出轴驱动直流发电机,发出直流电,用于钻台上的猫头绞车和转盘电动机。另外一种机电混合驱动钻机采用柴油机变矩器链条并车驱动绞车、钻井泵,直流电驱动转盘。

液电混合驱动钻机,其绞车和钻井泵采用 SCR 电驱动,采用液力顶驱钻井系统。

机电混合驱动石油钻机,采用交流电动机可调叶片变矩器链条并车驱动绞车、转盘和钻井泵,利用异步电动机驱动调节叶片变矩器来改变输出工作转速。

1.2 钻井工作原理

石油埋藏在地下几百米乃至上万米的地下岩层中,为了勘探和开采石油、天然气,就需要进行钻井作业,即破碎岩石,取出岩屑,形成一个从地面到油气层的牢固的通道。一口井从开钻到完钻,需要经过 3 个过程:一是破碎岩石;二是取出岩屑,保护井壁;三是固井和完井,形成油气流通道。

现代钻井方法主要是旋转钻井法,该钻井法的工作原理如图 1-2 所示。

井架、天车、游车、大钩及绞车组成起升系统,以悬持、提升、下放钻柱。接在水龙头下的方钻杆卡在转盘中,下部承接钻杆柱、钻铤、钻头。钻杆柱是中空的,可通入清水或钻井液。工作时,动力机驱动转盘,通过方钻杆带动井中钻杆柱,从而带动钻头旋转。控制绞车刹把,可调节由钻杆柱重量施加到钻头上的压力(俗称钻压)大小,使钻头以适当压力压在岩石面上,连续旋转破碎岩层。与此同时,动力机驱动钻井泵,使钻井液从钻头水眼喷入井底,携带被钻头破碎的岩屑通过钻杆柱

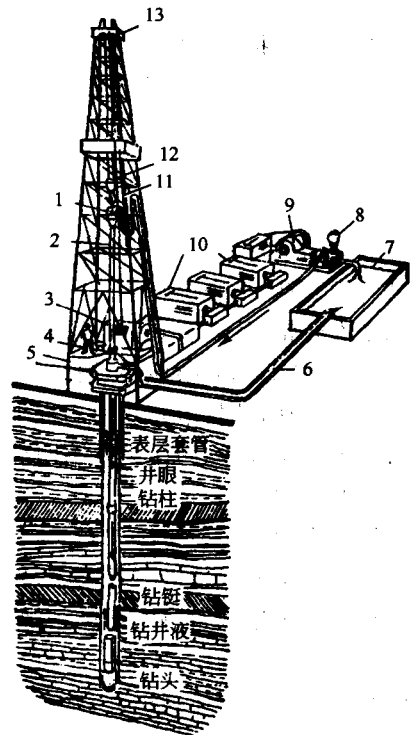


图 1-2 转盘旋转钻井示意图

- 1—水龙头;2—方钻杆;3—绞车;4—转盘;5—防喷器;
6—泥浆槽;7—泥浆池;8—空气包;9—钻井泵;
10—动力机;11—大钩;12—游动滑车;13—天车

和井筒间的环形空间返回地面,进行钻井液循环,这样就可以实现连续钻井作业。

1.2.1 井身结构及钻具组合

1)井身结构

井身结构指的是下入井中的套管层数、尺寸、规格和长度以及各层套管相应的钻头直径。一口井的井身结构是根据地层地质情况及井的设计深度而拟定的。

导管的作用是防止地面垮塌,引导钻头入井,并引导上返的钻井液流入钻井液池;表层套管的作用是加固上部疏松岩层的井壁和安装防喷器,为下一步钻井创造良好条件;技术套管的作用是为了隔绝上部的高压油、气、水层或漏失层及坍塌层,它位于表层套管之内。对于深井、超深井及地质情况复杂的井,往往需下几层技术套管;油层套管的作用是形成坚固的井筒,使生产层的油或气由井底沿这层套管流至井口。各层套管与井壁的环形空间都是由注入水泥而被加固的。

2)钻具组合

钻具组合是根据地质条件、井身结构、钻具来源等决定钻井时用什么样的钻头、钻铤、钻杆、方钻杆、接头及扶正器等组成的钻柱。钻井时,钻具组合应尽量简单,在满足工艺要求的情况下,通常只用一种尺寸钻杆,以简化钻井器材的准备,便于起下作业和处理井下事故。

1.2.2 钻前工程

钻前工程包括:平井场、打水泥基础;钻井设备安装;井口下导管和钻大鼠洞(钻井时存放方钻杆)及小鼠洞(钻井时存放单根);备好钻井时所需的各种器材,如钻杆、钻头、钻铤及各种配件等。

1.2.3 钻进

1)全井钻进过程

第一次开钻,下表层套管。

第二次开钻,从表层套管内用较小一级钻头往下钻进。如地层情况不复杂,可直接钻到预定井深完井;若遇到复杂地层,用钻井液难以控制时,便要起钻,下技术套管。

第三次开钻,从技术套管内用再小一级钻头继续往下钻进,直至预定深度。若再遇复杂地层就需下第二层技术套管,进行第四次开钻。如此进行,直至钻完全部井深,下油层套管,进行固井和完井作业。

2)钻进作业

钻进作业主要包括以下各工序:

下钻——将钻头、钻杆、钻铤、方钻杆组成的钻杆柱下入井中,使钻头接触井底,准备钻进。下钻过程包括以下操作:

- (1)挂吊卡,以高速挡提升空吊卡至1立根高度;
- (2)二层台处挂吊卡,将立根稍提移至井眼中心并对扣;
- (3)拉猫头旋绳(或用旋绳器)上扣;
- (4)用猫头和大钳紧扣;
- (5)稍提钻柱,移出吊卡(或提出卡瓦);
- (6)用机械刹车和水刹车(或其他辅助刹车)控制下放速度,将钻杆下放1立根距离;

(7)借助吊卡(或用卡瓦)将钻柱座在转盘上,从吊卡上脱开吊环。再挂另一吊卡,重复上述操作,直至下完全部立根,接上方钻杆准备钻进。

正常钻进——启动转盘(或井底动力钻具)通过钻杆柱带动井底钻头旋转,借助手刹车,给钻头施加适当的压力(钻压)以破碎岩石。与此同时,开动钻井泵循环钻井液,冲洗井底,携带出岩屑,保护井壁,冷却钻头。

接单根——随正常钻进的继续进行,井眼不断加深,需不断地接长钻杆柱;每次接入一根钻杆,称为接单根。

接单根过程包括以下操作:

- (1)上提钻柱全露方钻杆,让钻柱座在转盘上(用吊卡或卡瓦);
- (2)卸开并微提方钻杆移至小鼠洞上方与其中的单根对扣;
- (3)拉猫头旋绳(或用旋绳器)上扣;
- (4)从小鼠洞中提出单根移至井口上方,对扣;
- (5)用猫头和旋绳旋上接头丝扣;
- (6)用猫头、大钳紧扣;
- (7)稍提钻柱,移开吊卡(或提出卡瓦),下放钻柱至井底,继续钻进。

起钻——需要更换钻头时,便将井中全部钻柱取出,此称起钻作业。

起钻过程包括以下操作:

- (1)上提钻具全露方钻杆,让钻柱座在转盘上;
- (2)旋下方钻杆,将方钻杆—水龙头置于小鼠洞中;
- (3)提升钻柱至1立根(一般由2~3单根组成)高度,并将钻柱座在转盘上;
- (4)用大钳和猫头(或松扣汽缸)松扣;
- (5)上钳卡住接头,转盘正转卸扣;
- (6)移立根入钻杆盘和二层台指梁中,摘开吊卡;

(7)下放空吊卡至井口。起立根过程需多次重复上述操作,起出每1立根完成一次起钻操作循环。

换钻头——起出全部钻具,用专用工具卸下旧钻头,换上新钻头。换完钻头,又开始下钻,重复上述作业,直至钻到设计井深。

随着科学技术的发展,钻井设备的不断改进,已出现了各种现代化的井口工具。自动送钻技术的研制成功,液压钻机、顶驱钻机等的问世,或多或少地会改变上述操作,但基本的钻井作业工序是不变的。

当钻穿油气层达到预定深度时,钻进阶段即告结束。下一步就要下套管和注水泥加固井壁(即固井)。固井完成后,油层被水泥和套管封固着,为了使油(气)层和井筒沟通,就需在油、气层处用射孔装置将套管和水泥环射开即完井。完井后还需进行诱导油流工作,之后钻井工作就告结束。

1.3 电动钻机的发展

电驱动用于钻机最早开始于20世纪50年代中期,随后逐步完善、成熟。与机械驱动相比,电驱动具有调速特性好、经济性能高、可靠性强、故障率低、操作更安全、方便、灵活、易于实现自动控制等一系列的优越性。特别是全数字控制系统的出现,使得电驱动控制系统控制性

能更完善,可靠性更高,调整及更改功能更便捷,故障诊断及维修更方便。电驱动可以通过可编程控制器获得很多机械驱动所无法实现的功能,如顺序操作和联锁功能等。

1.3.1 国内外电动钻机的发展现状

国外在 1994 年已生产出了全自动化钻机样机。现已研制出自动化、智能化电动钻机,在钻井实践中取得了较好的使用效果。

(1)美国 W-N Apache 联合公司自动化钻机:其研制的自动化石油钻机,采用动力水龙头钻井方法,配备了自动移运和排放立根系统;采用微机控制系统,以监控钻机操作各工序正常作业;钻井深度为 6096m。其特点是钻机的总重量较轻,安装拆卸时间减少 50%;采用自动化控制系统,可在 1min 之内完成接单根作业,节约钻井时间 12%~15%;全钻机只需要 2 人进行操作。

(2)挪威自动化钻机:挪威 Temco 公司生产的全自动化钻机,采用液压驱动的顶部驱动钻井系统,选用了一种轻型钻机结构,可降低钻井成本;采用机器人进行操作,在钻机中采用了许多新材料和智能技术,使钻井作业全自动化。

(3)小井眼自动化石油钻机:采用动力水龙头钻井方式,液压大钳、自动卡瓦、水平堆放钻杆,由机械手进行移运与排放。该钻机自动化程度较高,接单根时间只需要 6s。实际应用中,电驱动钻机比机械驱动钻机具有更好的经济效益。

我国电动钻机电气控制系统的研究始于 20 世纪 70 年代中期。20 世纪 80 年代末,在借鉴国外先进技术的前提下,生产出我国第一台直流驱动的 ZJ45D 陆地电动钻机。20 世纪 90 年代,通过引进国外核心电气控制模拟单元,生产出深井直流电动钻机,如 ZJ50D 和 ZJ70D。20 世纪 90 年代后期,在引进国外全数字控制技术的基础上,开始全数字钻机电气控制系统的研究,如采用国外数字直流调速器,将模拟控制直流电动钻机升级为数字控制直流电动钻机。全数字电控系统是目目前电控系统的主流,它是用微处理器实现软件控制,具有完善的故障自诊断、运行、显示和保护功能。全数字控制系统各环节的控制参数可实时调整,以满足钻井工艺的新要求和钻井工况的实时变化。

近几年将交流变频调速技术应用于石油钻采设备上,生产出全数字交流驱动电动钻机。交流驱动电动钻机采用了交流变频调速技术,能够适应钻井工艺的要求,简化了钻机的机械结构,减轻了维护保养工作,提高了安全性、可靠性和移运性,且绞车体积小、质量轻、故障少、维护方便;调速范围宽,可实现无级调速;能够以极低的速度恒扭矩输出,实现数控恒钻压自动送钻,对提高钻井时效、优化钻井工艺、处理井下事故等十分有利。新型司钻控制系统控制精确、操作简单,使司钻摆脱了繁重的体力劳动,并注重了操作技巧和钻井参数的优选。

国内目前电动钻机电气控制系统在控制技术上有模拟控制和数字控制两种形式。驱动方式上有直流驱动和交流驱动。电控装置品种齐全,可满足用户的不同需求。在功能上增加了起、下钻过程的位置闭环控制功能(即防止上碰下砸功能),外加盘式刹车的使用,由此既保证了设备的安全运行,又减轻了司钻的操作紧张程度;同时还增加了自动送钻功能,达到了恒速恒压钻井,以适应不同的岩层结构,提高钻井质量。

1.3.2 电动钻机的发展趋势

21 世纪科学技术日新月异,在提高钻井效率、降低钻井成本的技术要求不断推动下,电动钻机正在朝自动化、智能化、高适应性、高经济效益、高可靠性、大型化方面发展。

1) 高适应性

随着钻井条件越来越恶劣,出现各种特殊钻井工艺。简单地提高钻井时效已不能满足其要求,而是要通过钻井作业提高采收率、提高勘探开发成功率。未来的钻机必须适应这些特殊钻井工艺的需要,这就要求钻机既要适应各种恶劣的自然环境,同时配套设备应具有以下足够的的能力,例如钻机的安全系数、提升能力、钻井泵功率、泵压、转盘开口直径等参数都需要提高。

2) 数字化、信息化、自动化和智能化

实现数字化、信息化、自动化、智能化的钻机,需具备完善的司钻控制系统、钻井参数系统、综合录井系统、远程监控系统、在线监测系统、远程故障诊断系统、钻井专家系统、远程安全应急系统、电、气、液集成控制系统、钻台自动化机具系统、井眼轨迹自动化控制系统、随钻测量系统等。未来的交流变频钻机,必将具备远程操作、钻井信息共享、钻井全过程智能化控制功能,从而真正实现远程支持、智能优化钻井。

3) 高经济性和安全性

在起下钻作业中,绞车全过程数字闭环控制,可以最大限度地提高钻机时效,同时,减少发生井下事故和出现井下复杂情况发生的可能性,数控恒钻压自动送钻技术对于提高钻井时效的作用更是有目共睹。利用交流变频调速技术、计算机技术、通信技术等优势提高其运行的经济性和安全性,应成为钻机技术创新的主要发展方向。

4) 高效移运性

通过国产电动钻机参与国际市场竞争的过程可以看到,在其他方面与国外钻机相差不大的情况下,高移运性已成为其重要的考虑因素。提高钻机整体移运性,除注意模块化设计外,还要依靠先进的移运技术即考虑。如何优化钻机结构、提高模块化水平、减少运输车次、降低安装难度等问题。

5) 大型化

为了进一步开发更深地层的油气资源,国外已研制出特深井钻机,钻井深度以达到15240m。国内也正在研究万米钻机。

由钻机发展的趋势看,电气控制系统将朝着智能化、网络化、开放化、大功率方向发展。

(1) 智能化。

由于相关技术的发展和现代控制理论在钻机电气控制系统的应用,使智能化钻机按照现场实时工况自动完成设计的任务,并通过自诊断功能减少人为的因素和失误,减少设备及工具的故障率,如根据油藏地质变化及时提钻、换钻杆、下钻。

随着对钻井过程透明化的进一步提高,随钻诊断(DIAGNOSTIC WHILE DRILLING)相关技术的发展,从而可以快速准确地为电气控制系统提供实时数据,结合控制中心安装的控制、预测算法库和原始数据库,为电动钻机智能化的实现提供技术保障,如实现钻头磨损诊断。

智能钻具系统(INTELLIGENT DRILL STRING SYSTEM)技术使连接所有井下分离部件成为现实,该连接由能传输数据到其他部件且相互没有电气连接的变送器构成。智能钻具系统的双向传输数据速率达2Mb/s,它支持高精度随钻测井仪器,并能协调控制井下机械装置,因此智能钻具系统的开发必将使电气控制系统的智能化日趋完美。

(2) 网络化。

网络化就是通过网络将各控制检测等部件相连或将钻井过程所需资源共享,可分为现场总线网络和外部网络。现场总线网络指电气控制系统的发电控制单元、驱动柜、PLC、HMI等