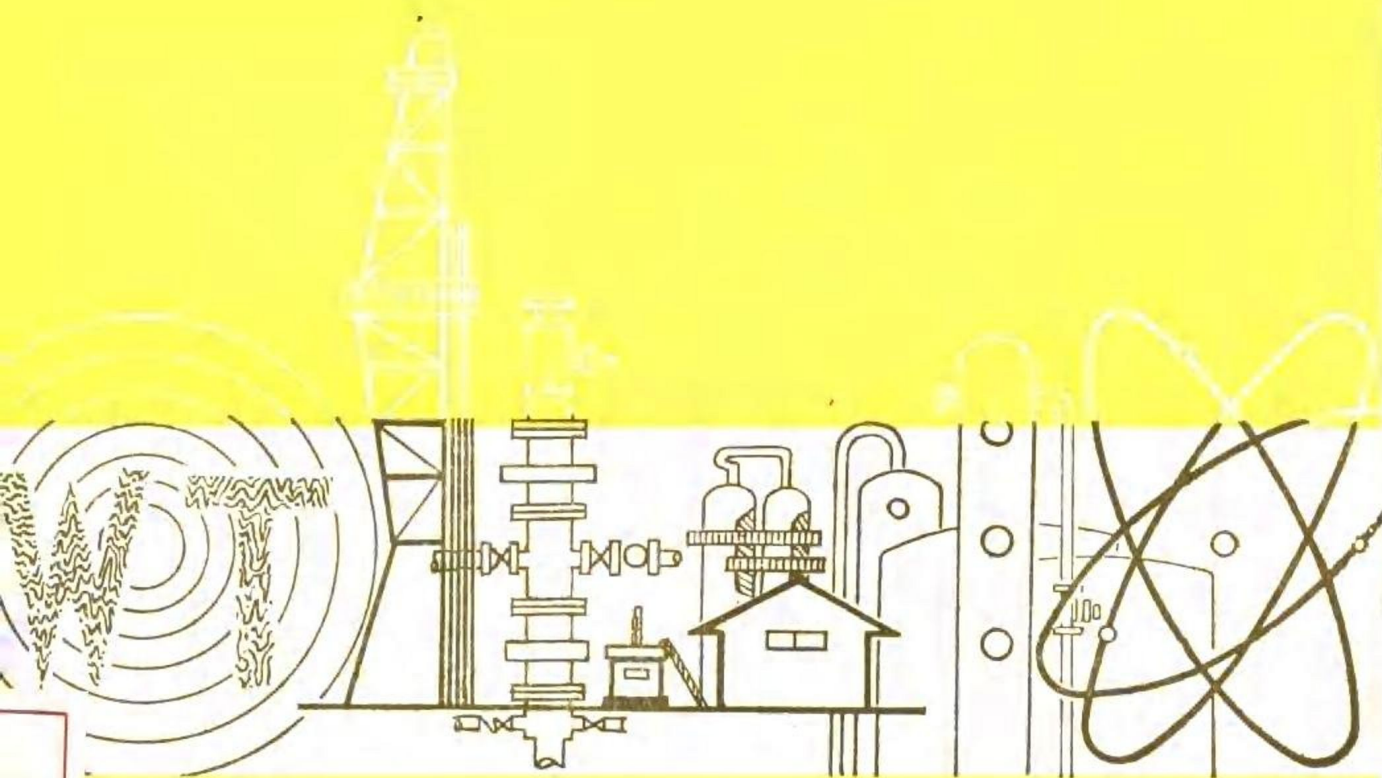




石油技工学校试用教材

石油钻井

华北石油技工学校 刘文清 主编



石油工业出版社

前 言

《石油钻井》是石油技工学校地质专业、泥浆专业及其他非钻井专业教材。

本书是根据石油部劳资司于1984年5月审定的石油技工学校钻井地质、泥浆专业《石油钻井》教学大纲编写的。参加本书编写工作的有四川石油管理局技工学校的牟成胜（第六章）、滇黔桂石油勘探局技工学校的刘才树（第三章）、华北石油技工学校的羊富国（第一章）、刘文恒（第二章）、李业靖（第四章）、王建学（第五章）、刘文清（第七章）、杨文华（第八章），刘文清任主编。

本书在编写过程中，曾得到各有关部门的帮助和指导，在此一并致谢。

编 者

1985年4月

目 录

绪论	1
第一章 钻井设备	2
第一节 概述	2
第二节 井架与起升系统	6
第三节 水龙头与转盘	13
第四节 泥浆泵	16
第五节 泥浆净化装置	21
第二章 钻井工具	28
第一节 岩石的机械性质	28
第二节 刮刀钻头	31
第三节 牙轮钻头	33
第四节 金刚石钻头	43
第五节 钻柱	45
第三章 泥浆	51
第一节 泥浆性能及其调节	51
第二节 泥浆类型及组成	61
第三节 泥浆的管理	64
第四章 直井钻进技术	67
第一节 防斜打直井技术	67
第二节 喷射钻井	77
第五章 特殊钻井技术	92
第一节 井下动力钻井	92
第二节 定向钻井	95
第三节 取芯	103
第六章 固井	109
第一节 井身结构与井口装置	109
第二节 下套管及注水泥工艺	113
第三节 尾管固井及多级注水泥技术	126
第七章 油井完成	132
第一节 钻开油气层	132
第二节 完井方法	134
第三节 完井井口装置	137
第四节 试油	140

第八章 井下复杂情况.....	146
第一节 地层压力和地层破裂压力.....	146
第二节 井喷.....	151
第三节 井漏.....	160
第四节 泥浆与卡钻的关系.....	164
附录 本书所用单位与法定计量单位对照换算表.....	175
参考书目.....	175

绪 论

石油是重要的能源和化工原料，石油产品被广泛应用于工业、农业和日常生活各个领域，被誉为“工业的血液”。随着科学和生产的发展，石油、天然气的用途越来越多，需用量也越来越大。我们伟大祖国幅员辽阔，地下石油资源极其丰富，大力开发石油资源、发展石油工业，必将有力地促进社会主义四个现代化的建设。

石油钻井是寻找和开发石油的主要手段。要直接了解地下的地质情况；要证实已探明的构造是否有石油及含油面积和储量；要把石油从地下开采出来，都需要钻井来完成。显然，提高钻井技术水平，发展钻井事业是发展石油工业的一个重要方面。

我国有几千年的文明历史，是世界上最早进行钻井采油的国家之一。远在两千多年前，我国劳动人民就已掌握了钻井技术。据古书《蜀中广记》记载，公元1521年在四川嘉州一带钻成的井中采出了石油。这口井比美国所谓的“世界上第一口油井”（1859年）要早三百年；比苏联自称的“世界第一口采油井”（1848年）也早很多年。

解放后，在中国共产党领导下，古老的石油工业获得了新生。经过三十五年的努力，全国已有一百八十多个油气田投入开发，石油产量居世界第七位。与此同时，钻井水平也不断提高。到目前为止，我们不仅能钻中深井，而且能钻七千米以上的超深井；不仅能钻高质量的直井，而且能钻大斜度的定向井、水平井和多底井；不仅能在陆地上钻井，而且能在辽阔的海洋上钻井。

为了对钻井技术的发展有一个较全面的认识，下面介绍一下美国钻井工艺发展情况。据资料介绍，美国钻井技术发展大体分为四个阶段。

1900~1920年的概念阶段。这一阶段的特征是逐步形成了旋转钻井的概念，知道了使用泥浆；制造出刮刀钻头及牙轮钻头；开始采用下套管注水泥的固井工艺。同时钻井速度有了提高，钻机台年进尺数千米。

1920~1948年的发展时期。其特征是配备了较大马力的钻机；造出了较多种类的刮刀钻头及牙轮钻头；泥浆工艺有了改善；改进了固井工作，钻机台年进尺可达10770米。

1948~1968年的科学钻井时期，1968年以后的自动化时期。科学钻井时期是钻井工艺技术大发展的阶段，在这个时期，钻井技术上主要取得了以下四个方面的成果：1) 钻头质量显著提高，并有重大创新，如高效能的镶齿、滑动密封轴承、喷射式钻头就是这个阶段发展起来的。2) 泥浆体系有了重大发展，如采用不分散低固相泥浆。3) 出现了喷射钻井、平衡钻井。4) 科学化钻井工艺的发展，年进尺达三万多米。上述前三项技术，就是我国现在所推广的高效能钻头、低固相聚合物泥浆和喷射钻井三大技术。平衡钻井、科学化钻井工艺正在试验中。这些新技术的推广和试验，标志着我国钻井事业由仅凭经验钻井转入到进行科学设计的阶段。

钻成一口井的工艺，主要包括有：利用钻头高效率地破碎岩石，控制井斜，使井眼沿一定方向钻进；维持井眼系统的压力平衡；加固井壁和保护油气层；造成油气的通道等。《石油钻井》就是阐述解决这些问题的方法、原理以及钻井使用的设备、工具，为地质专业、泥浆专业学生以后学习专业课打下良好的基础。

第一章 钻井设备

第一节 概 述

钻机通常是钻井地面设备的总称。它是一套综合机组，用来钻采地下的油、气、水资源。

目前，钻井的方法主要是旋转钻井。它的工作原理是：利用钻头旋转破碎岩石，形成井身；利用钻柱将钻头送到井底；利用起升设备起下钻柱；利用转盘或井下动力钻具带动钻柱和钻头旋转；利用泥浆泵循环洗井液带出井底岩屑。为此，钻井工艺对钻机有以下基本要求：

- (1) 旋转钻进的能力。要求钻机能提供足够的扭矩和转速，并维持一定的钻压。
- (2) 起下钻具的能力。要求具有一定的起重量和起升速度，并有一定的超载能力。
- (3) 洗井的能力。要求能提供足够的水力能量，以适应洗井和喷射钻井的需要。

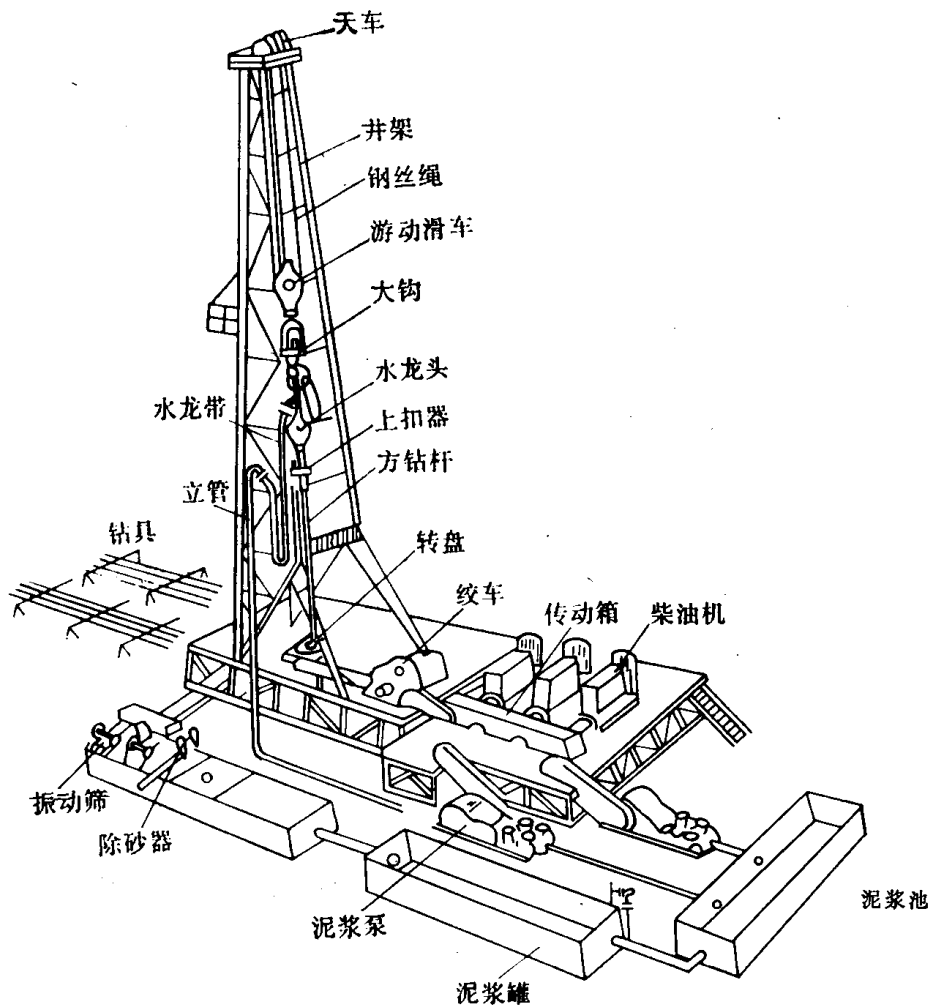


图 1-1 钻机组成示意图

(4)为适应钻机搬迁的特点，还要求钻机容易安装、拆卸和运输。

设计工作者和制造工作者，根据钻井对钻机的基本要求，随生产技术的发展，设计和制造了适应各种不同井深和需要的各类型钻机，而且越来越现代化。纵观各种不同类型的现代钻机，其基本结构原理都是一致的。概括地说，均由动力机组、传动机组、工作机组、辅助机组及控制机组等组成（图1-1）。

按其工作的性质又可分为八个部分。

1. 起升系统设备

它属于钻机的工作机组之一，是一套大功率的起重设备。主要由钻井绞车、游动系统（钢丝绳、天车、游动滑车及大钩）、悬挂游动系统的井架及起升操作的工具（如：吊钳、吊环、吊卡、卡瓦及上扣器等）组成（图1-2）。它的主要作用是起下钻、换钻头、均匀送钻、下套管及进行井下特殊作业等。

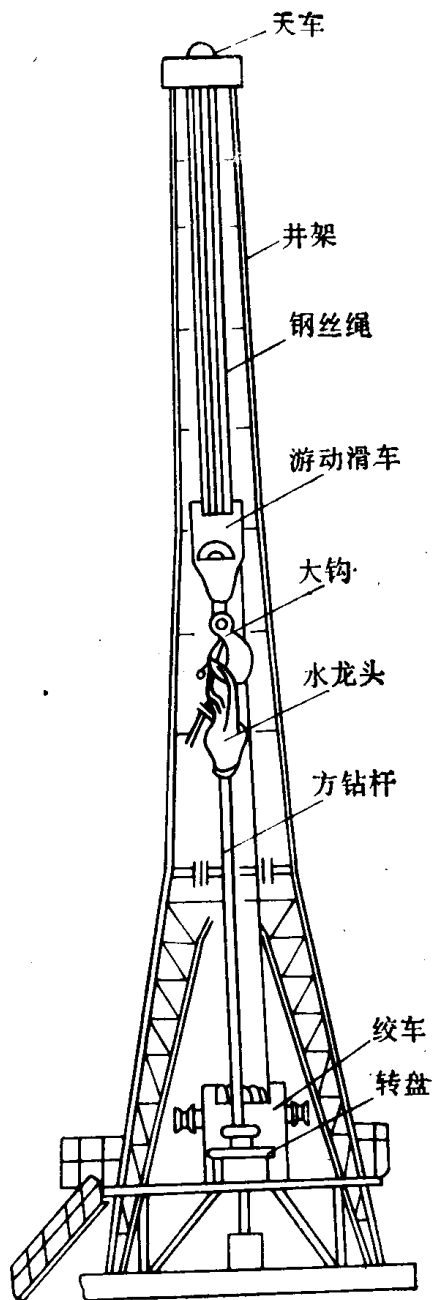


图 1-2 提升系统组成示意图

2. 泥浆循环系统设备

它属于钻机的工作机组之一。主要由泥浆泵、地面高压循环管汇、水龙带、水龙头、钻柱、泥浆净化及调配设备等组成（图1-3）。它的主要作用是清洁井底、携带岩屑；在喷射及井下动力钻具钻井中，还起到传递动力的作用。

3. 地面旋转钻进设备

它属于钻机的工作机组之一。主要由转盘、水龙头、方钻杆、钻杆、钻铤及钻头等组成。它的主要作用是不断地破碎岩石，加深井眼及处理井下的复杂情况等。

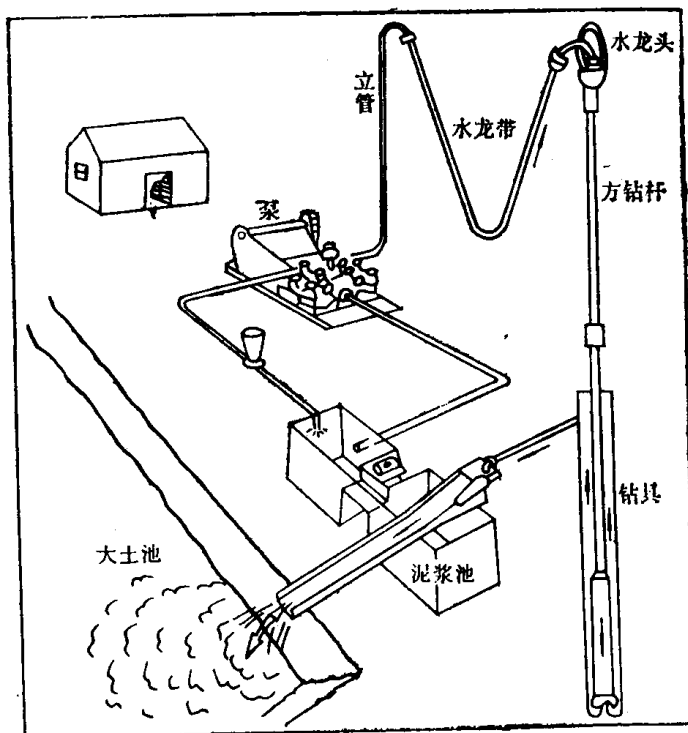


图 1-3 循环系统示意图

4. 动力驱动设备

它属于钻机的动力机组，是驱动起升、旋转和循环等三大工作机组的动力设备。钻机用的动力设备主要是柴油机，其次是交流或直流电动机。

5. 传动系统设备

它属于钻机的传动机组。其主要作用是联结动力机与工作机组，并将动力传递分配到各工作机组(图1-4)。

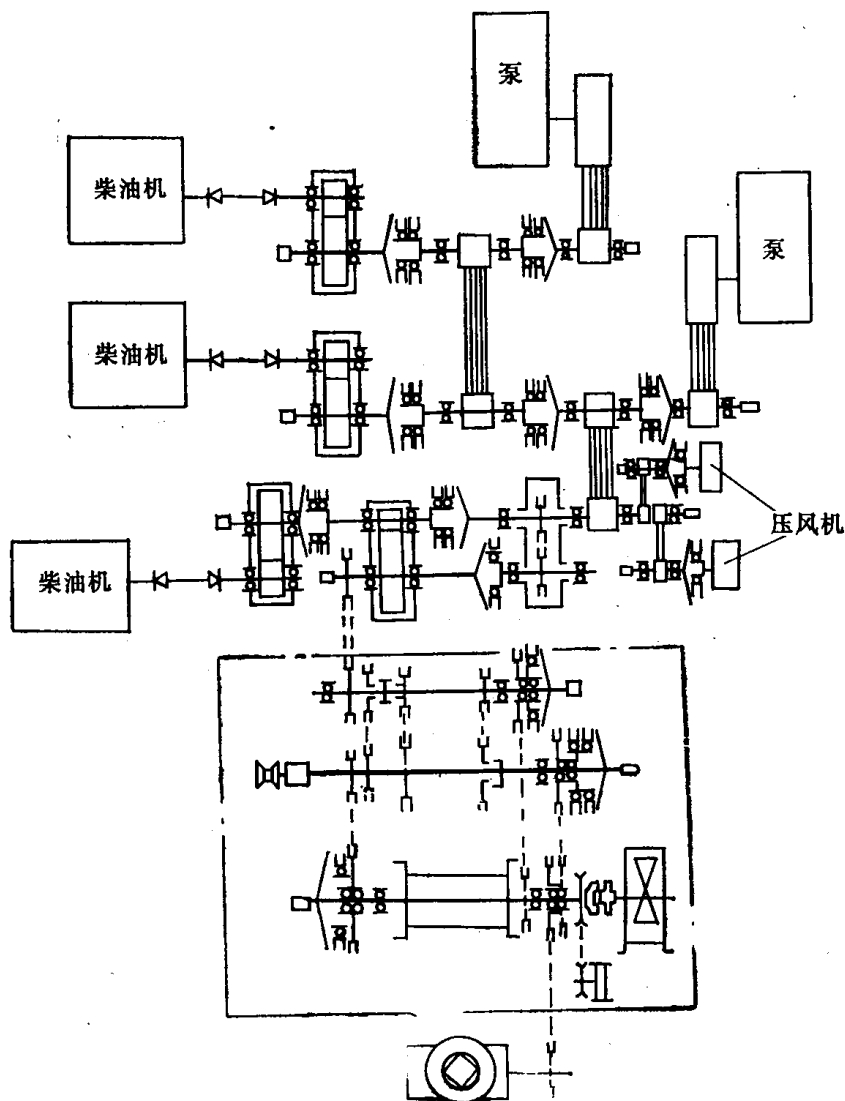


图 1-4 大庆 I-130 钻机传动示意图

传动系统设备主要由减速箱、离合器、传动皮带轮、传动链轮及并车、倒车机构等组成。根据能量传递的方式不同，可分为机械、液压及液力传动。

6. 控制系统设备

它属于钻机的控制机组。控制的内容包括发动机的启动、停车、调速和并车等，绞车、转盘、泥浆泵等工作机组的启动、停车、调速和换向等。控制的方式有机械、气动、液压和电力控制等，随钻机的类型不同而异。控制系统的主要作用是远距离操作、指挥和协调各机组正常工作。

7. 钻机底座

它属于钻机的辅助机组，包括井架、钻台动力机、传动系统和泥浆泵等的底座。它主

表 1-1 常 用 钻 机 主 要 技 术 规 范

技 术 规 范	型 号	BY-40	大庆 I -130	大庆 II 型	F-200-2DH	F-320-3DH	3DH-200A	4DH-315	Z145
提升系统公称起重量, 吨		40	130		125	200	200	315	250
提升系统最大起重量, 吨		60	160		200	320	250	400	300
用 4 1/2" 或 5" 钻杆的钻井深度, 米		1200	3200		3500	6000	5000	7000	4500
柴油机型号 × 台数		B ₂ -300 × 2	PZ12V190B × 3		MB-820Bb × 2	MB-820Bb × 5	M581-S × 3	M581-S × 4	× 3
柴油机总功率, 马力		600	3240		1780	4450	2100	2920	3000
绞车快绳拉力, 吨		8	15		25	38	25	44	
滑轮系统		4 × 5	5 × 6		5 × 6	5 × 6	6 × 7	6 × 7	6 × 7
钢丝绳直径, 毫米		25	28		32	35	32	38.1	32(35)
提升速度, 米/秒		0.275~1.03	0.269~1.495		0.3~2.3		0.4~0.79	0.34~2.0	
绞车输入功率, 马力		300	650		1350	2000	1750	2000	1500
提升档数		4 正 × 1 倒	4 正 × 4 倒		4 正 × 2 倒	4 正 × 2 倒	4 正 × 2 倒	4 正 × 2 倒	6 正 × 6 倒
井架高度, 米		38	41.4		41.8	43.5	44.27	59.365	
转盘档数		4 正 × 1 倒	3 正 × 3 倒		4 正 × 2 倒	4 正 × 2 倒	4 正 × 2 倒	4 正 × 2 倒	3 正 × 3 倒
转盘功率 × 最高转速, 马力 × 转/分		× 295	350 × 300		500 × 300	600 × 300	500 × 300	500 × 300	
泥浆泵台数 × 功率		2 × 150	2 × 600		2 × 630	2 × 1250	2 × 800	2 × 1250	2 × 1000
泥浆泵最大泵压及相应排量, 大气压 × 升/秒		90 × 9.3	200 × 14		200 × 20.3	300 × 21.4	200 × 19.8	300 × 21.4	

要用于安装钻机的各机组，是钻机不可缺少的组成部分。

8. 辅助设备

它属于钻机的辅助机组，包括供气设备、供水设备、供电设备、钻鼠洞设备、防喷设备、防火设备、辅助起重设备及保温设备等。它是为整套钻机服务的，是钻机不可分割的部分。

目前国内广泛使用的是转盘钻机，按其负荷的大小可分为轻便和大型钻机两种，但由于资料数据没有严格的统一规定，此分类方法仅供参考。

负荷量在30吨以下的，一般称为轻便钻机。

负荷量在30吨以上的，一般称为大型钻机。其中30~80吨叫轻型钻机；80~160吨叫中型钻机；160~250吨叫重型钻机；250吨以上的叫超重型钻机。国内常用钻机主要技术规范见表1-1。

复习思考题

- (1) 简述旋转钻井的基本工作原理。
- (2) 钻井工艺对钻机有何基本要求？
- (3) 钻机由那些部分组成，各有什么作用？

第二节 井架与起升系统

一、井架

井架是钻机起升系统的组成部分。它的主要作用是安装天车、悬挂游车、大钩、水龙头、方钻杆、钻杆及钻铤等设备，相当于起重设备的支架，并可存放钻柱。因此，钻井对井架的基本要求是：必须有一定的高度和空间，便于安装、存放钻柱等设备和有利于安全快速地进行起下钻作业；应具有足够的承载能力，以适应井下情况的需要；结构要简单、轻便，便于搬迁、拆装和维修。

1. 井架的基本组成

国内常见的井架，尽管形式多样，但其基本结构是一致的。下面以塔形井架为例说明（图1-5）。

(1) 井架主体 井架主体由井架大腿、大小横拉筋及大小斜拉筋等组成。主要作用是承载和构成工作空间。

(2) 天车台 天车台位于井架的顶部，包括人字架。其主要作用是安装天车及工作时便于维修保养。

(3) 二层台 位于井架的中部，包括指梁。其主要作用是完成起下钻的操作，并靠放钻具立根。

(4) 立管平台（或一层台） 位于井架右侧的下中部。其主要作用是供安装、维修水龙头时操作之用。

(5) 工作梯 供操作者上下井架之用。

2. 井架的类型

目前国内常用的石油钻井井架有塔型和A型两种。

(1) 塔型井架 它的主体为四条腿, 上小下大, 是形状如塔似的空间桁架整体结构。按其前扇是否封闭又分为闭式和开式两种类型。

1) 塔型闭式井架(图1-5) 其主要结构特点是: 横断面是正方形, 每一侧面均是上小下大的梯形。整个井架除前扇有大门外, 主体是一个封闭的桁架结构, 因此承载能力大, 总体稳定性好。整个井架是由许多单一构件用螺栓连接起来的, 构造简单, 运输方便。但该类型井架的安装、拆卸要进行高空作业, 拆装工作量较大。

2) 塔型开式井架(图1-6) 该型井架的前扇是敞开的, 井架主体由3~5段焊接结构组成, 每段之间用螺栓或销子连接。该型井架采用地面水平安装、整体起放、分段运输方法, 避免了高空作业, 拆装迅速、安全。该型井架的横截面较小且成开口矩形, 因此, 它的总体稳定性和承载能力较塔型闭式井架差。

(2) A型井架(图1-7) 该型井架主体是两条腿的空间整体桁架结构, 其形状如字母A, 故称为A型井架。其主要结构特点是: 整个井架是由两个等截面的大腿与靠天车台、井架上部的附加杆件和二层台连接成A型的空间结构, 大腿下部的前面或后面, 接有一对撑杆。该型井架由两条大腿承载, 大腿本身的承载能力和稳定性好, 但总体的稳定性较差。该型井架的大腿分别由3~5段组成, 每段间用螺栓或销子连接。该型井架采用地面水平分段拆装, 整体起放和分段运输的方法, 拆装时避免了高空作业, 安全、迅速、方便。

3. 井架的安装

井架的安装方法随井架类型的不同而异, 常用的有悬升扒杆法和水平安装法。

(1) 悬升扒杆法(图1-8) 悬升扒杆法又叫自下而上安装法, 它是在单扒杆和双扒杆的基础上发展起来的。此法适用于塔型闭式井架的安装。

悬升扒杆由主扒杆和支扒杆组成。支扒杆可以在主扒杆上旋转和上下移动, 主扒杆通过拉筋(角铁)固定在井架的四条大腿上, 处于井架的中心位置。它的安装原理是由下而上一层一层地吊装, 一般起升三次扒杆就可以安装完一座井架。此法操作灵活, 效率较高, 并能减轻操作者的劳动强度, 但要进行高空作业。

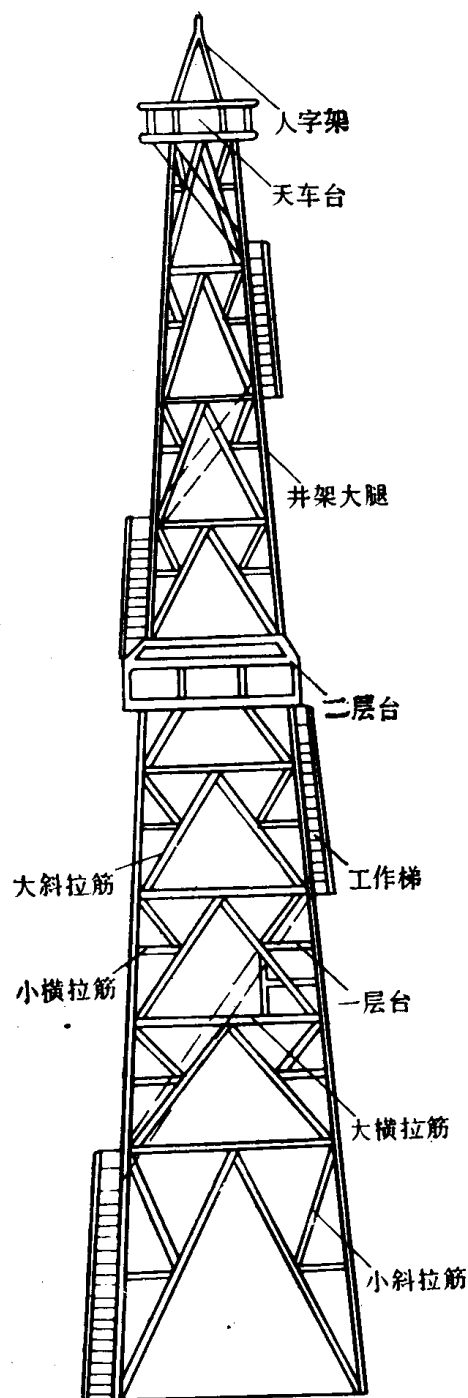


图 1-5 塔形井架结构示意图

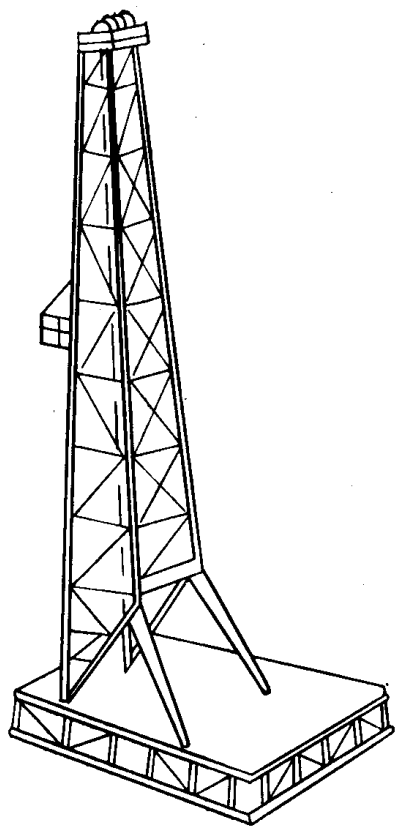


图 1-6 塔形开式井架

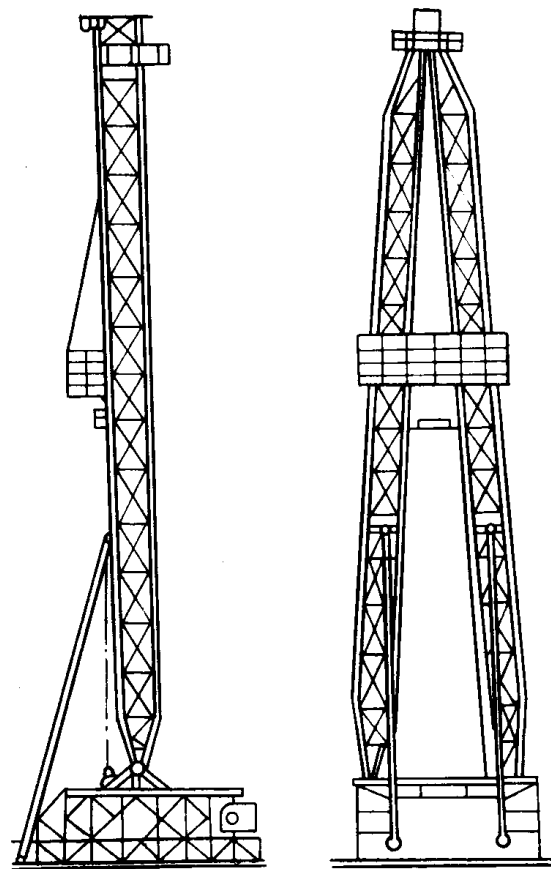


图 1-7 A型井架示意图

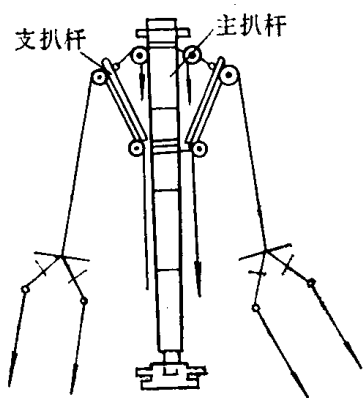


图 1-8 悬升扒杆法示意图

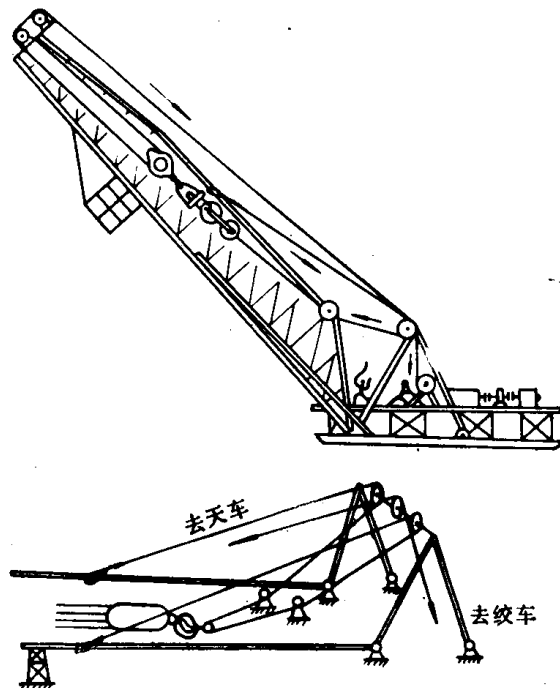


图 1-9 井架的整体起放原理示意图

(2) 水平安装法(图1-9) 水平安装法又叫整体起放法, 它适用于塔型开式和A型井架的安装。常用的有撑杆法和人字架法, 其方法是将整个井架在地面上组装好, 再用钻机本身的绞车作为动力, 按起升的穿绳方法利用游动系统等将井架徐徐拉起。避免了高空作

业，操作安全，效率高，劳动强度大大减轻。

二、天车和游车

钻机的天车和游车用钢丝绳穿起来，共同组成了钻机的复滑轮系统(或叫游动系统)。天车是定滑轮组，固定在井架的顶部；游车是动滑轮组，在井架内部的空间上下往复运动。它们的主要作用是省力，减轻钢丝绳和钻机绞车的负载，用十多吨的力可起升上百吨的钻柱，获得极大的机械效益。

1. TC₁-130型天车

天车的型号较多，其基本结构大同小异。现以TC₁型天车(图1-10)为例，简述天车的结构。

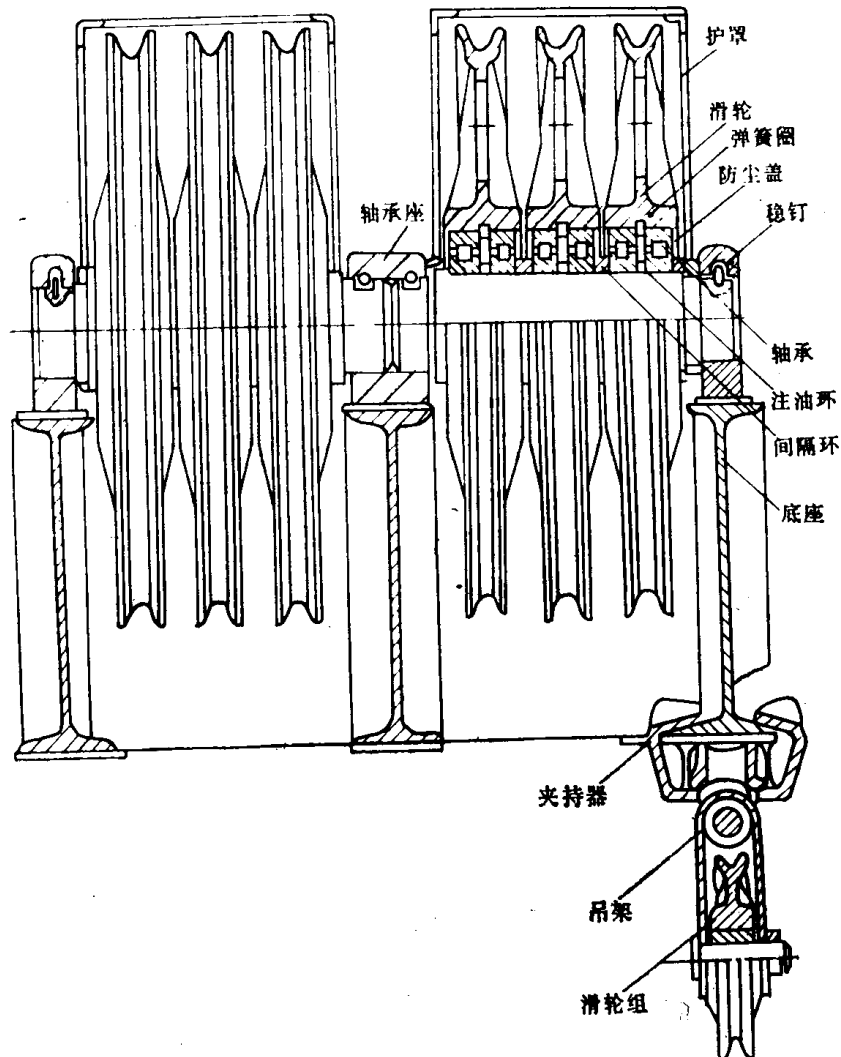


图 1-10 TC₁-130型天车结构示意图

(1)天车底座 天车底座是由两根横工字梁及三根纵工字梁焊接成的方形框架结构。三根纵工字梁中部均用铁板加固，并在相应位置上分别固定三个可拆卸的轴承座。

(2)滑轮组 该型天车有两组滑轮。三个同轴滑轮为一组，分别组装在天车底座的轴承座上，用稳钉止动。每个滑轮内均有两副短圆柱滚子轴承，其内套与轴紧配合，外套与滑轮紧配合，滑轮可以自由转动。两轴承的内、外套之间分别装有注油隔环和定位的弹

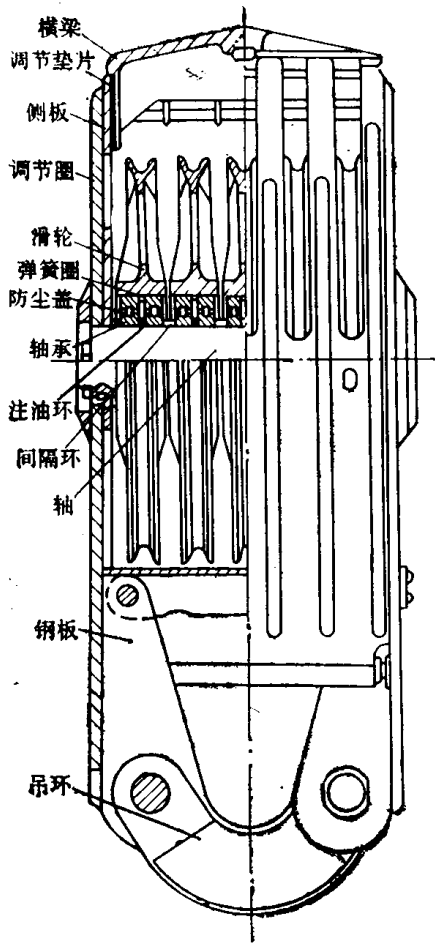
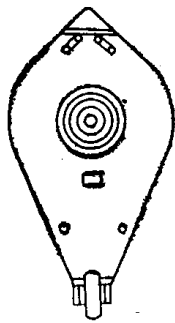


图 1-11 IC₁-130型游车结构示意图



簧涨圈。每个滑轮的轴承两边均装有防尘盖；滑轮间均装有定位的间隔环；每组滑轮均装有护罩；每个滑轮的轴承均采用单独润滑方式。

(3)高悬猫头绳轮 它是用来悬吊重物的，负荷三吨。它是由夹持器、吊架、绳轮组成的单滑轮，悬挂在天车的底座上。

2. IC₁-130型游车(图1-11)

游车和天车一样，型号较多，其基本结构大同小异。现以该型天车为例简述游车的结构。

该型游车由五个滑轮一根轴组成滑轮组(滑轮结构同天车一样)，固定在两块椭圆形的侧板之间，为压紧游车轴，两侧板的上部和中部均有调节垫片和调节垫圈。为防止游车轴转动，侧板和游车轴之间用键配合止动。为防止游车轴左右移动，轴头用螺母固紧、用螺钉定位。侧板顶部有一框形焊接结构的横梁，中间有孔，便于吊装时穿绳用。侧板下部焊有四块钢板，销装吊环悬挂大钩。每个滑轮均采用单独润滑的方式。

三、大 钩

大钩是起升系统的设备之一，正常钻进时悬挂水龙头、承受井下钻柱的重量；起下钻时悬挂吊环吊卡完成起下作业。井架的整体拆装要利用大钩，安装钻机时还可以起吊其他设备。为完成以上工作，对大钩有以下基本要求：有足够的承载能力，能缓冲减震，转动灵活，安全制动，操作方便，结构紧凑、简单。

现场常用的大钩一种是单独型式的，通过本身的提环悬挂在游车的吊环上；另一种是组合式的，大钩与游车是一个整体，称为游车大钩或大钩游车(图1-12)。

大钩的型式较多，其基本结构原理大同小异，现以DG₂-130型大钩为例简述大钩的基本结构。

DG₂-130型大钩(图1-13)由下列基本部分组成。

1. 钩身部分

主要由钩身、钩口安全锁体和侧钩等三部分组成，钩身通过轴销与钩杆连在一起。其主要作用是悬挂水龙头和吊环。

2. 缓冲减震部分

主要由钩杆、螺母、弹簧和套筒等组成，通过套筒坐在主轴承上。其主要作用是缓

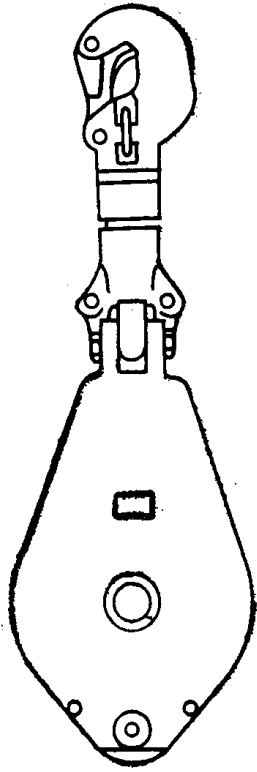


图 1-12 游车大钩外形图

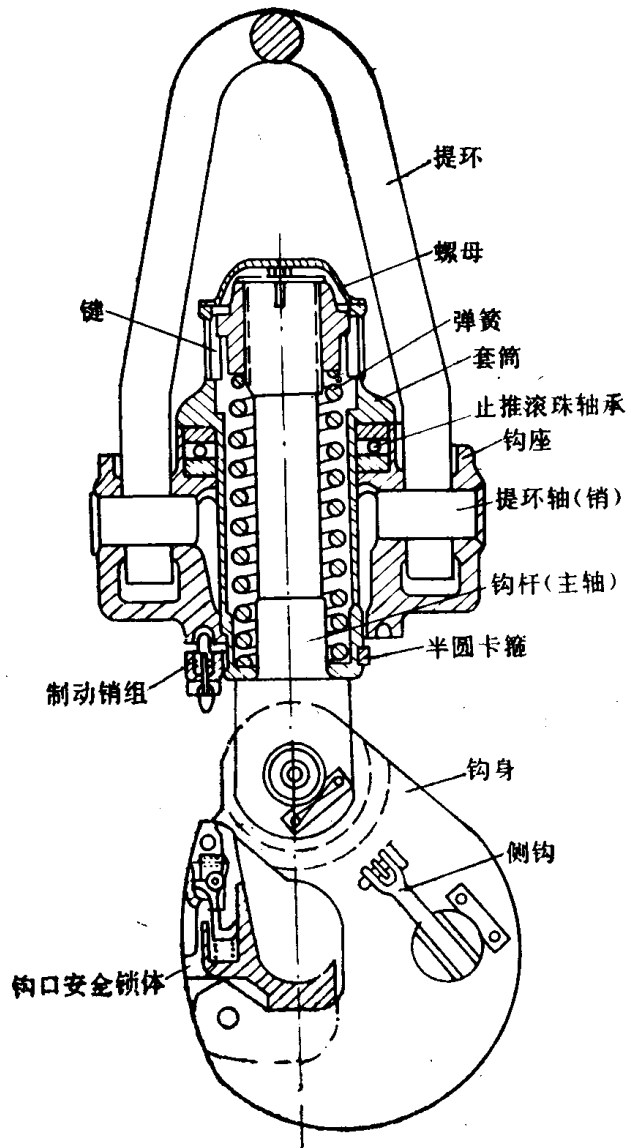


图 1-13 DG₂-130型大钩结构示意图

冲、减震，起钻卸扣时自动跳扣。

3. 旋转、制动部分

主要由主轴承（止推滚珠轴承）、半圆卡箍、制动销等组成，通过主轴承坐在钩座上。其主要作用是控制钩身的转动与制动。

4. 提环和钩座

提环通过提环轴与钩座连在一起，可以前后摆动一定的角度，并通过提环悬挂在游车的下部。钩座是一个方形的特殊壳体，其主要作用是组装大钩的其他部分。

另外，凡有活动的部位均有润滑点。

四、钻井绞车

绞车是起升系统设备的起重部分，随钻机的类型不同，形式有所差异，但基本结构大同小异。以大庆I-130型钻机使用的JC₁-14.5型绞车为例，简述绞车的基本结构。

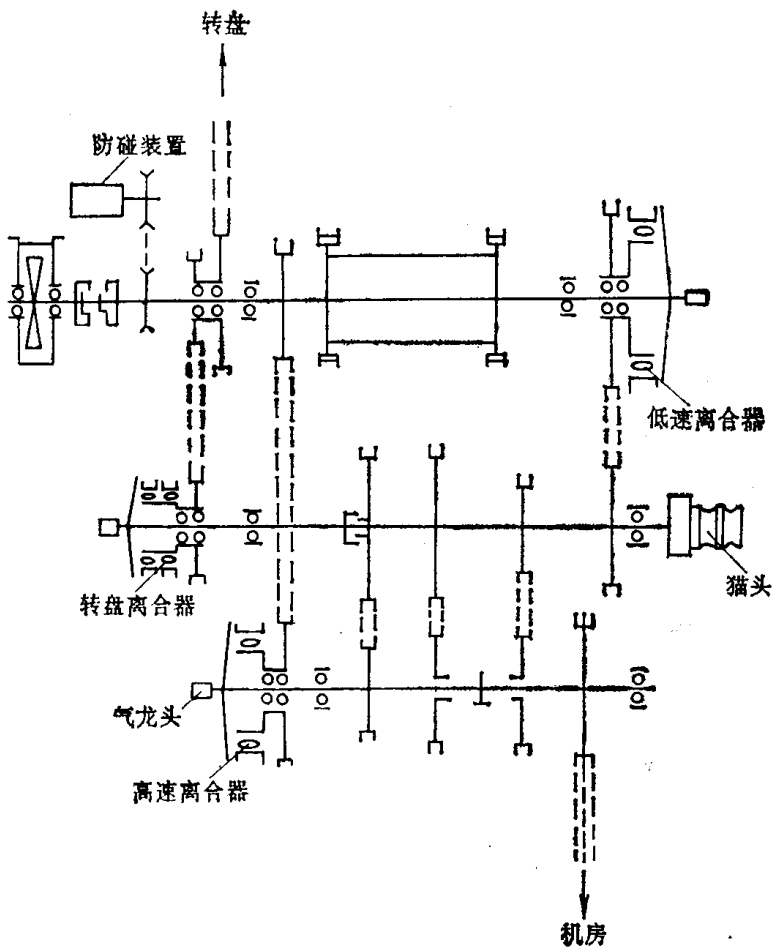


图 1-14 绞车的传动机构

1. 绞车的传动机构

绞车传动机构(图1-14)的主要作用是传递动力,以不同的速度驱动转盘和滚筒。

绞车的传动机构主要由传动轴、猫头轴和滚筒轴组成,并通过轴承座分别固定在绞车的支架上,而支架又组装在绞车的底座上。三大轴之间均为链条传动。猫头轴的左端起重猫头,用以提升重物和完成钻柱的上卸扣;右端装有转盘离合器,控制转盘的运转。滚筒轴的左端装有低速离合器。控制滚筒的运转,中部装有滚筒和刹车鼓,完成滚的转动与制动;右端装有水刹车(图1-15)以减缓下钻时的速度,保护刹带和刹车鼓,减小磨损,防止温度升高刹车困难。传动轴的左端装有链轮与机房的一号传动机相连;右端装有高速离合器,控制滚筒轴的运转。

2. 绞车的刹车机构

绞车的刹车机构主要由装在绞车底座上的曲轴、平衡梁、刹车气缸、刹把及包在滚筒刹车鼓上的刹车带等组成(图1-16)。当下压刹把时,曲轴转动,迫使刹车带包紧刹车鼓,使滚筒制动;当刹把上抬时,刹车带松开,滚筒就能自由转动。钻进时,通过施加在刹把上的压力大小,可以均匀控制滚筒的运动速度和大钩的负荷,从而向钻头施加钻压,确保正常钻进。

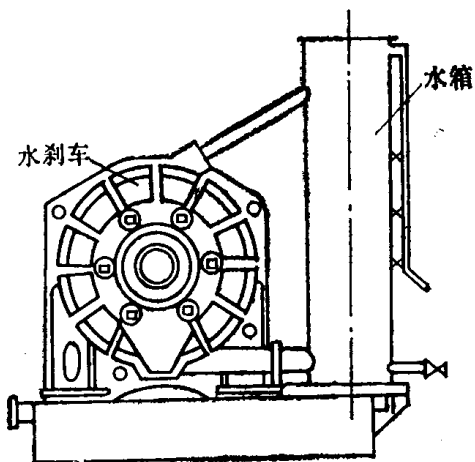


图 1-15 水刹车外形图

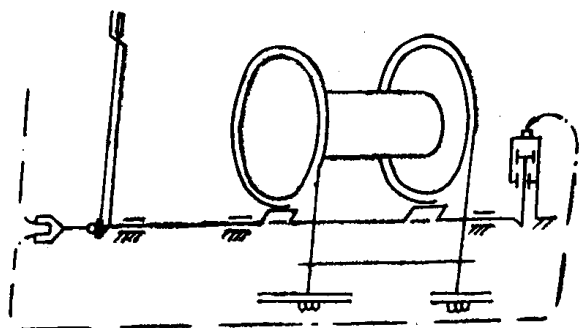


图 1-16 绞车刹车机构示意图

3. 操作控制机构

主要由高、低速和转盘离合器、控制气阀及控制台等组成。其主要作用是控制传动机构、滚筒、转盘及刹车机构的工作状态。

4. 底座和支架

底座和支架的主要作用是组装三大轴、护罩及润滑系统。绞车的润滑是通过绞车支架上的油箱来完成的。

复习思考题

1. 井架由那些基本部分组成，各有何主要作用？
2. 简述石油钻井井架的两种类型，各有何主要特点？
3. 简述石油井架的安装方法及其利弊。
4. 简述TC₁-130型天车和IC₁-130型游车的基本结构及在钻机上起的作用。
5. DG₂-130型大钩由那些基本部分组成，各部分有何主要作用。
6. 试分析大钩钩身转动困难的原因。
7. 简述绞车刹车机构的组成及工作过程。
8. 简述绞车的基本结构及其主要作用。

第三节 水龙头与转盘

一、水 龙 头

水龙头(图1-17)是旋转、起升与循环系统连接的纽带。它承受井内钻柱的全部重量，保持钻具的自由旋转；与水龙带相接，将洗井液注入井底，承受循环过程中的高泵压；同时连接钻进过程中不转动的大钩与转动的方钻杆。为此，根据水龙头的特殊作用，钻井工艺对它的基本要求是：在轴向负荷的作用下能转动自如，并有足够的超载和耐磨能力；循环洗井液时，经得起高压、腐蚀的长期考验；结构设计上力求紧凑，易于检修，方便操作。

石油钻机上使用的水龙头类型较多，但其基本结构大同小异，以SL₇-130型水龙头为例，介绍水龙头的基本结构。

SL₇-130型水龙头与其他类型的水龙头一样，主要由旋转、密封和固定三大部分组成。

1. 旋转部分

旋转部分主要由蘑菇形的中心管、防跳轴承(一只)、扶正轴承(二只)、和主轴承(一只)等组成，并通过主轴承、扶正轴承、防跳轴承组装在水龙头的壳体内。其主要作用是承载、旋转及通过循环泥浆。

2. 密封部分

它包括低压和高压密封。低压密封(机油密封)是指上、下机油盘根盒总成。上机油盘根盒总成组装在水龙头上盖的中部，与中心管上部形成密封，防止外部流体进入壳体内，同时也防止壳体内的润滑油上窜渗漏；下机油盘根盒总成，通过下盖组装在壳体的底