



SHIYOU

中等专业学校教学用书

钻井技术

肖义昭 主编

石油工业出版社

13

TE2-43
1

中等专业学校教学用书

钻 井 技 术

肖义昭 主编

6002/20

石油工业出版社

B 795006

内 容 提 要

本书为石油中等专业学校油田应用化学专业用教材。内容包括钻井设备、钻头、钻柱、钻进技术参数、井斜控制、定向钻井、取心、油气井压力控制、固井与完井、钻井常见事故等。本书亦可供非钻井专业学生及有关工程技术人员参考。

中等专业学校教学用书 钻 井 技 术

肖义昭 主编

*

中国石油天然气总公司教材编译室编辑

(北京 902 信箱)

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 15¹/₂ 印张 386 千字印 1—3,000

1991 年 1 月北京第 1 版 1991 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0471-2 / TE · 452 (课)

定价: 2.80 元

前 言

本书是根据石油天然气总公司人事教育部（原石油工业部教育司）1986年11月制订的中等专业学校（四年制）油田应用化学专业“钻井工程教学大纲”编写的。总教学时间110学时。有“*”号的章节可根据情况选用或由学生自学。

参加本书编写工作的有重庆石油学校钻井高级讲师荆授粹、肖义昭，讲师王西安、周本立。肖义昭任主编。全书由郝瑞高级讲师主审。全部插图均由重庆石油学校教师冯霞描绘。

由于我们水平有限，加之时间仓促，书中难免有缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编 者 1988年10月

目 录

第一章 钻井设备	1
第一节 概述	1
第二节 钻机的提升系统	4
第三节 钻机的旋转系统	9
第四节 钻井泵	11
第二章 钻头	16
第一节 岩石的机械性质	17
第二节 刮刀钻头	20
第三节 牙轮钻头	24
第四节 金刚石钻头	39
第三章 钻柱	47
第一节 钻柱的结构及规范	48
第二节 钻柱的受力分析	57
第三节 钻柱的疲劳与破坏	58
第四章 钻进技术	61
第一节 影响机械钻速的因素及规律	61
* 第二节 牙轮钻头牙齿和轴承的磨损方程	69
* 第三节 钻井参数优选的目标函数	75
* 第四节 钻压和转速的优选	81
第五节 水力参数及其优选	88
第五章 井斜及其控制	106
第一节 井斜及其控制标准	106
第二节 井斜的原因	110
第三节 控制井斜的措施	112
第四节 虹吸测斜仪	118
第六章 定向钻井	121
第一节 定向井井身剖面	123
第二节 造斜方法	131
第三节 井身方位控制	136
第七章 取心钻井	143
第一节 取心工具的组成	143
第二节 取心工具的类型	145
第三节 取心工艺	149
第八章 油气井压力控制	151
第一节 地层压力的检测	151

第二节	井内压力平衡	164
第三节	溢流的发现及井口控制	175
第四节	压井方法	178
第九章	固井与完井	186
第一节	井身结构	186
第二节	套管及套管柱	188
第三节	水泥与注水泥	197
第四节	提高注水泥质量的措施	210
第五节	完井	218
第十章	常见钻井事故	227
第一节	井漏	227
第二节	卡钻	230
第三节	钻具事故及井下落物的打捞	237

第一章 钻井设备

第一节 概 述

一、钻机的组成

钻井设备是一套为钻井工程服务的综合性联合工作机组，统称钻机。其性能必须满足钻井工艺的要求。

钻机的组成与钻井方法有关。旋转钻井法所用钻机的组成如图 1-1 所示，这种钻井方法对钻井机械设备的基本要求是：

(1) 能带动钻具、钻头旋转，破碎岩石。

(2) 具有循环泥浆、洗井的能力。可将洗井液从钻柱中注入井底，再从井壁与钻柱的环形空间返回地面，以带出井底岩屑。

(3) 有足够的起重能力以起下钻具等。

上述要求，是由发动机与多种工作机来分别实现的。通常，可以按设备组件的功用，将钻机的各组件分为七大工作系统。

1. 提升系统

该系统的功用是起下钻具、套管；控制所需的钻压。组成该系统的设备包括井架、天车、游动滑车、大钩、绞车等。

2. 旋转系统

该系统的功用是驱动钻具、钻头旋转。它包括转盘、水龙头等。

3. 循环系统

该系统功用是循环洗井液，并清除洗井液中的岩屑。它包括的设备有泥浆泵、振动筛、除砂器、除泥器、除气器、泥浆池和泥浆槽，以及泥浆罐、调配泥浆设备等。

4. 动力与传动系统

该系统为各工作机组提供动力，并进行动力的传递与分配。钻机的动力机多为柴油机。钻机的动力传递系统包括减速箱、变速箱、液力变矩器、三角皮带与链条传动机构等。

5. 控制系统

该系统的功用是控制各工作机组的启动、停车与变速。钻机中多采用气控制，由压风机和各种气控阀件组成。

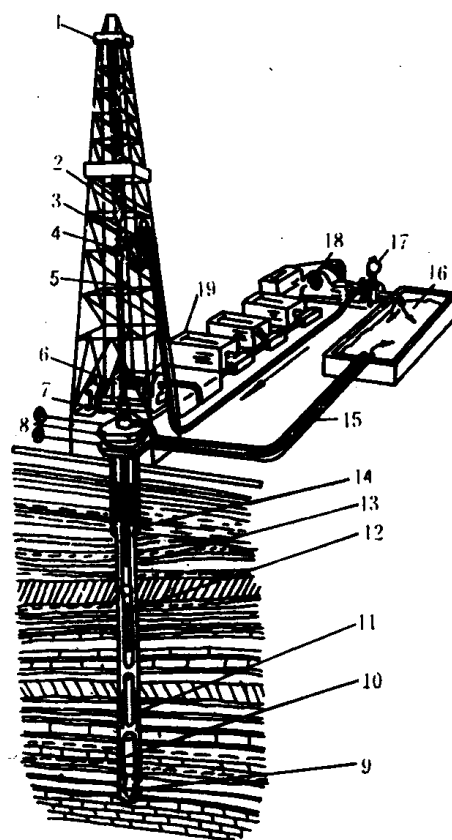


图 1-1 旋转钻井设备工作示意图

- 1—天车； 2—游动滑车； 3—大钩； 4—水龙头；
5—方钻杆； 6—绞车； 7—转盘； 8—防喷器；
9—钻头； 10—钻铤； 11—泥浆； 12—钻杆；
13—井眼； 14—表层套管； 15—泥浆槽；
16—泥浆池； 17—空气包； 18—泥浆泵； 19—动力机

6. 井控系统

该系统的功用是控制与处理井喷事故。由井口液压防喷器、节流与压井管汇、液压控制系统等组成。

7. 钻井仪表

钻井仪表是用以显示并记录钻井技术参数的装置。目前国内常用的钻井仪表为八参数钻井仪。它包括大钩指重表、转盘扭矩表、转盘转速表、泵压表、泵冲次表、泥浆出口流量表、大钳扭矩表、井深-钻速表，以及记录仪等。

上述七大工作系统是钻机的主要系统。此外，钻机还应配备发电设备、供水与排水设备，以及寒冷地区所需的保暖设备。

二、钻机的分类

油气井的深度是根据油层、气层的位置，或所需探明的地层深度决定的，钻不同深度的井，应选用不同的钻机。根据可钻井深的能力，将钻机分为大型钻机和轻便钻机两类。

1. 大型钻机

这类钻机的可钻井深可达数千米，井径可大于 160 毫米，最大钩载在 90 吨以上，使用 $3\frac{1}{2}$ ~ $5\frac{1}{2}$ 英寸钻杆。

我国国家标准 GB1806—86《石油钻机型式与基本参数》中，将大型钻机划分为六种级别，见表 1—1。由表可以看出，每级钻机都有自己的钻深范围。超出所规定的钻深范围，将受到钻机功率与强度的限制；低于所规定的范围，将导致浪费与钻井成本的增加。

表 1-1 钻机的分级

级别 ¹	名义钻深范围, 米 (5 英寸钻杆)	最大钩载 千牛 (吨)	最大钻柱重量 吨
15	900~1500	900 (90)	50
20	1300~2000	1350 (135)	70
32	1900~3200	2250 (225)	115
45	3000~4500	3150 (315)	160
60	4000~6000	4500 (450)	220
80	5000~8000	5850 (585)	280

¹以 100 米为单位计的钻机名义钻深范围的上限。

表中的最大钩载是钻机最大起重能力的指标，是指在下套管或处理事故时钻机的最大提升能力，是大钩短期内作用的最大载荷。最大钻柱重量是指钻机在规定的钻井绳数下，正常钻井或进行起下钻作业时大钩允许承受的最大钻柱重量（在空气中的重量）。在正常情况下，钻具重量不得超过最大钻柱重量。

名义钻深、最大钩载、最大钻柱重量是钻机的主要技术指标。

大型钻机是各油田常用的钻机，用于钻勘探井、生产井、注水井。

2. 轻便钻机

这类钻机的可钻井深为几米到千余米，井径不大于 150 毫米，最大钩载在 30 吨以下，使用 50~90 毫米钻杆。轻便钻机常用于地质勘探。

目前，各油田使用的钻机类型较多，本章以各油田普遍使用的大庆 I-130 钻机（可钻井深 3500 米）为例，介绍钻机各系统的结构。图 1-2 为大庆 I-130 钻机总图。表 1-2 为钻机部件型号。

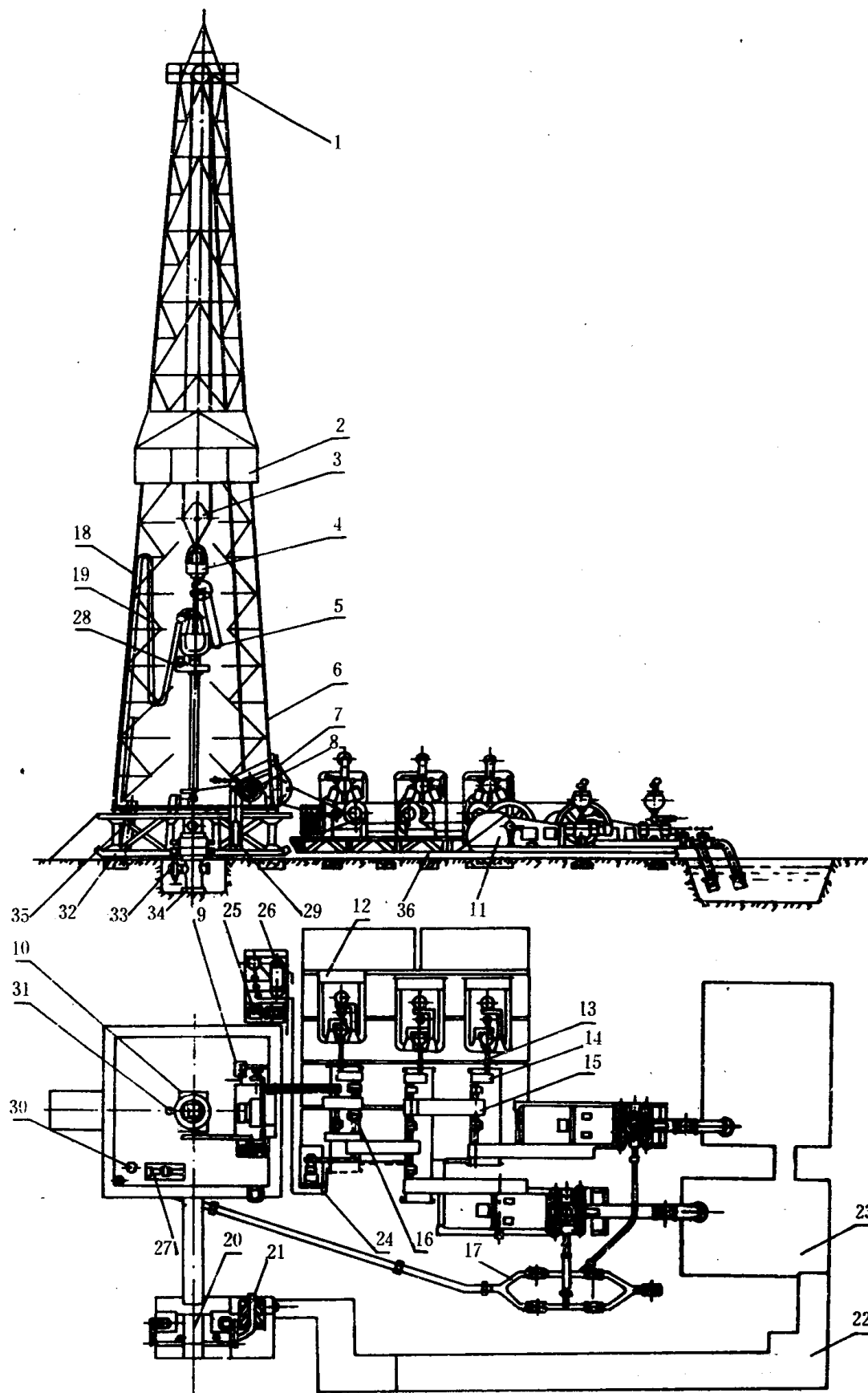


图 1-2 大庆 I-130 钻机平立面布置图

- 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—司钻控制台;10—转盘;
 11—钻井泵; 12—柴油机; 13—万向轴;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—水龙带; 20—泥浆筛; 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吨起重機; 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

表 1-2 钻机部件型号

部件名称	部件型号
绞车	JC ₁ -14.5
天车	TC ₁ -130
游车	IC ₁ -130
大钩	DG ₁ 130-3
水龙头	SL ₇ 130-3
转盘	ZP ₇ -520
泥浆泵	3NB-800
井架	TJ-41

第二节 钻机的提升系统

为了将钻头送至井底，并带动其旋转，需用大量钻杆。考虑制造与运输的方便，每根钻杆的长度多为 8~9 米。钻进时，随井眼的加深要不断接钻杆，钻杆在井内联接成长达数千米的钻柱，其重量可达上百吨。要将这样重的钻柱逐根起出或下入井眼，必须依靠钻机的提升系统。

钻机的提升系统就是一套强大的起重设备，它由井架、天车、游动滑车、大钩、钢丝绳、绞车等组成，如图 1-3 所示。

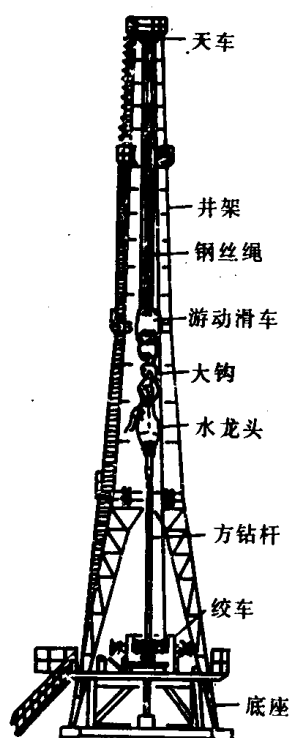


图 1-3 提升系统示意图

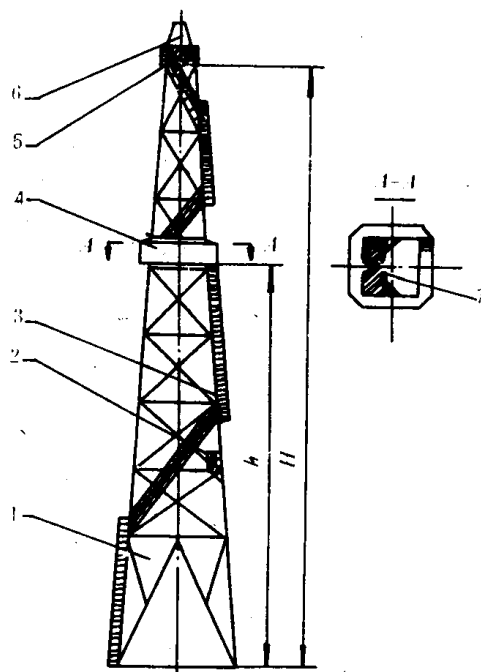


图 1-4 井架结构图

1—井架本体； 2—立管平台； 3—工作梯；
4—二层台； 5—天车台； 6—人字架； 7—指梁

一、井架

井架是一个金属构架；高达40~53米，安装在底座上。图1-4为井架结构图。

井架的用途是承受入井钻柱（套管）的全部重量，存放从井内起出的立柱，并用来安置天车。石油钻井用的井架，主要由以下几部分组成：

(1) 井架本体 由角铁或钢管构成的空间桁架。

(2) 人字架 用以吊装天车。

(3) 天车台 安放天车和人字架。

(4) 二层台 是井架工进行起下钻时的工作台，其上装有存靠立根的指梁。

(5) 立管平台 是井架工装拆水龙带时的工作台。

(6) 工作梯。

(7) 底座 安放井架的金属座，其上为钻台，底座放于混凝土基墩上。

钻井工艺要求井架具有足够的承载能力，还要求有足够的高度，钻台应有足够的面积。井架高度越高，可以起下的立根长度就越长，能节省时间。钻台面积要便于布置设备、安放工具、工人操作方便。大庆I-130钻机井架高度（从钻台面至天车梁底面的垂直高度）为41.6米，钻台面积为8×8平方米。

二、天车和游动滑车

天车和游动滑车用钢丝绳联系起来组成复滑轮系统，其目的是为了减小绞车的起重负荷。

天车属定滑轮组，游动滑车属动滑轮组，天车、游动滑车、钢丝绳与大钩通常称为游动系统，如图1-5所示。

大庆I-130钻机的天车有六个滑轮，游动滑车有五个滑轮，组成5×6的游动系统。天车结构如图1-6所示，六个滑轮分装在两根轴上，每个滑轮内装两副短圆柱滚珠轴承，天车轴固定在天车底座上，底座工字梁下面有一高悬猫头轮供起吊钻井工具时使用，其负荷为30千牛（3吨）。

游动滑车结构如图1-7所示，五个滑轮装在一根轴上，轴固定在两边的侧板上，下边有吊环，用来悬挂大钩。

三、大钩

在正常钻进时，大钩用来悬挂水龙头与钻具，并维持及控制钻压。在起下钻作业时，大钩用来悬挂吊环、吊卡，以起下钻具。大钩结构如图1-8所示，钩身由四块合金钢板铆成，用轴销与钩杆联接。为防止水龙头提环从大钩中脱出，钩口处装有安全锁。钩身两侧有耳环，可悬挂吊环起下钻具。

钩座为铸钢件，钩座内部的环形座上装有止推轴承，套筒座在此止推轴承上可绕钩座转动。套筒内装有弹簧，钩杆上端的螺母压在弹簧上，螺母两侧开有键槽，套筒上部对称焊有两个键块，钩杆螺母可沿套筒键块滑动，但不能相对套筒转动。大钩弹簧对施加的负荷（钻柱重量及跳钻、冲击产生的力）起缓冲减震作用。还可在起钻卸扣时，因大钩卸载，钩杆回

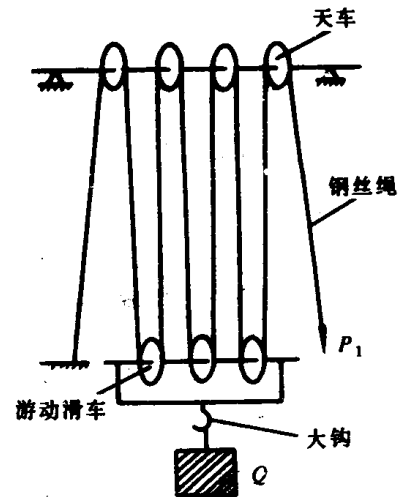


图1-5 游动系统示意图

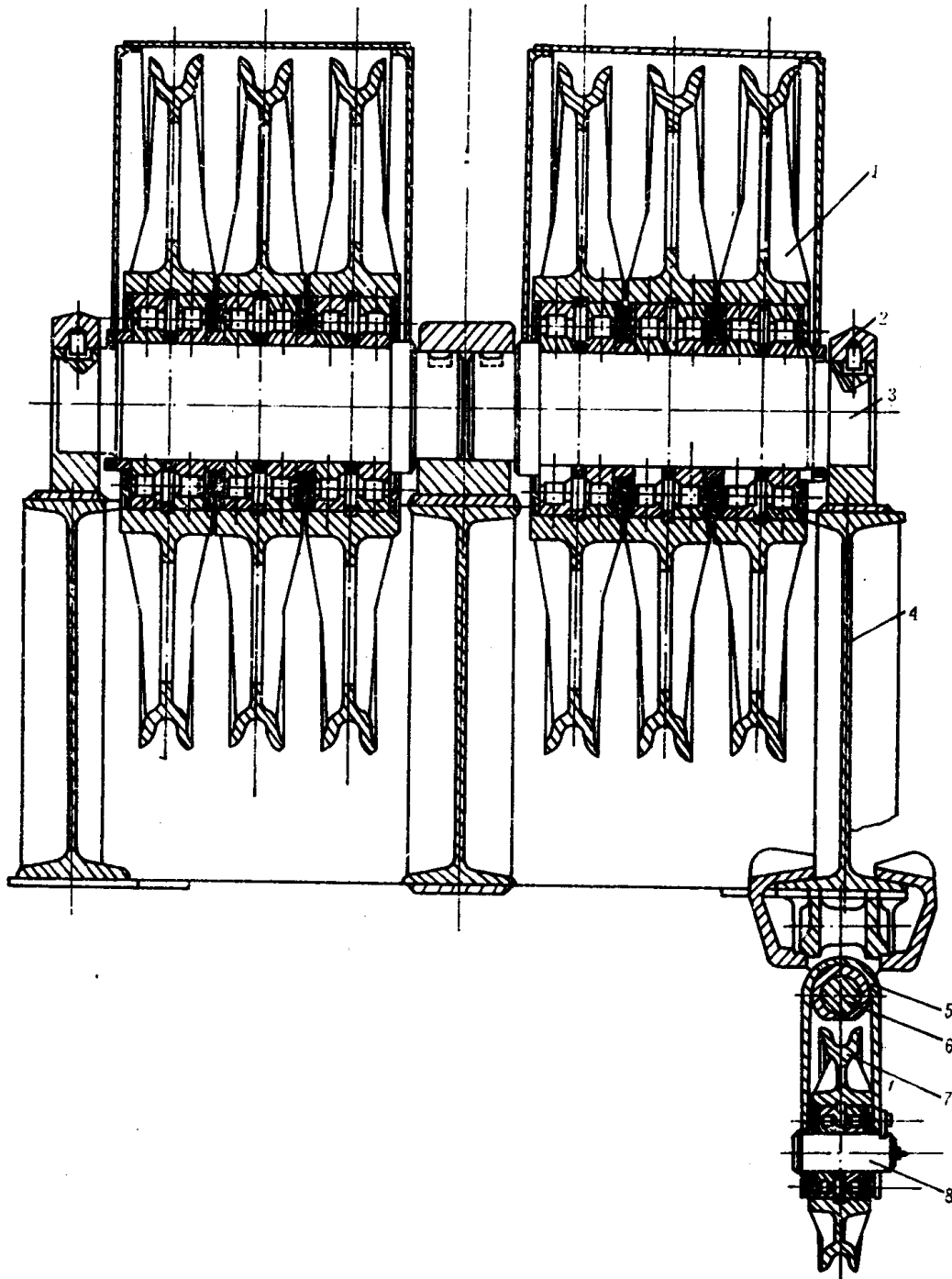


图 1-6 TC₁-130 型天车

- 1—滑轮； 2—轴承座； 3—天车轴； 4—天车底座；
5—吊架； 6—轴销； 7—高悬猫头轮； 8—绳轮轴

升，使刚卸开的立柱自动由接头内跳出。

四、绞车

绞车是钻机提升系统的核心工作机，其地位与起重机里的卷扬机相同。绞车的功用如下：

- (1) 起下钻具，下套管；
- (2) 控制钻压，送进钻具；

- (3) 利用猫头上、卸钻具丝扣或起吊重物；
- (4) 充当转盘的变速机构或中间传动机构；
- (5) 整体起放井架。

绞车的结构示意图见图 1-9。大庆 1-130 钻机绞车的传动布局与传动路线如图 1-10 所示（图上 Z 为链轮齿数）。绞车有三根轴，即传动轴、猫头轴和滚筒轴。动力由三排滚子链条传输至传动轴端的链轮（齿数 40），带动传动轴旋转，传动轴再带动猫头轴和滚筒轴

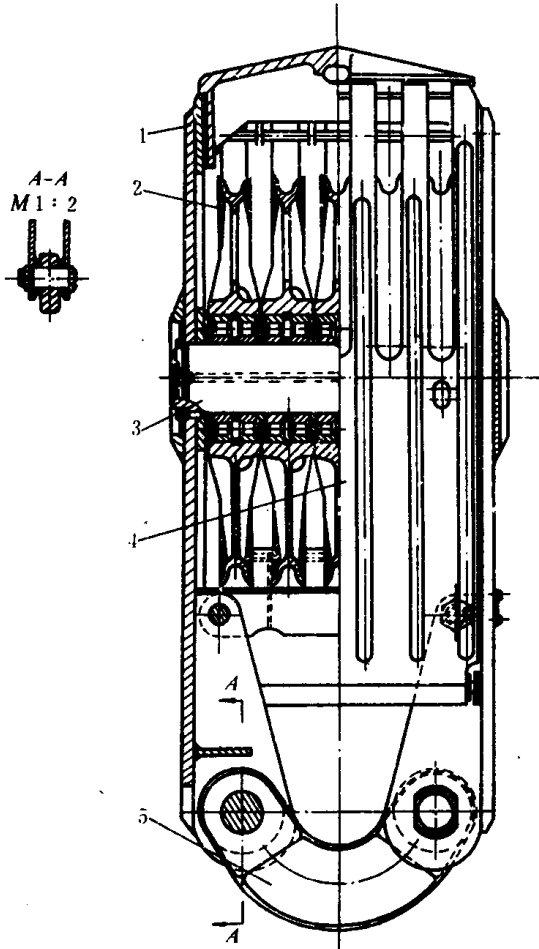


图 1-7 IC₁-130 型游动滑车

- 1—侧板； 2—滑轮； 3—游车轴；
- 4—活动护罩； 5—吊环

旋转。传动轴带动猫头轴有三条路线，即链轮齿数 22 与 47 匹配，35 与 47 匹配，35 与 27 匹配。根据工作需要，通过离合器可任选其一。动力由猫头轴传递给滚筒轴则通过链轮齿数 36 与 72 匹配。当滚筒轴旋转时，固定在滚筒轴上的滚筒随着旋转，钢丝绳在滚筒上缠绕，游车及大钩上升，即可进行起升工作。

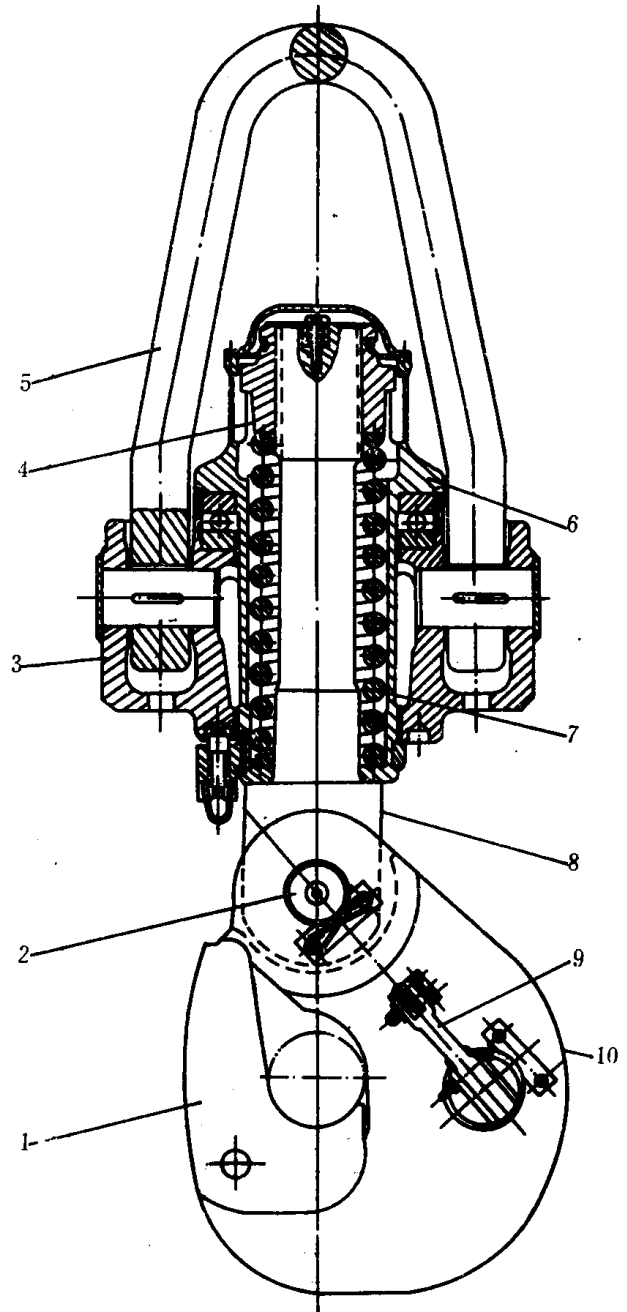


图 1-8 DG₂-130 型大钩

- 1—安全锁体； 2—轴销； 3—钩座； 4—螺母；
- 5—提环； 6—套筒； 7—弹簧； 8—钩杆；
- 9—耳环； 10—钩身

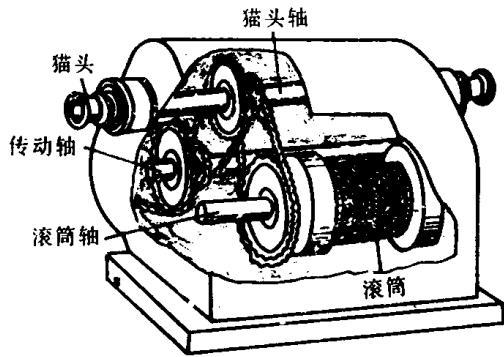


图 1-9 绞车示意图

当摘开高、低速离合器时，滚筒即失去了起重能力。这时，在大钩、游动滑车，以及钻柱自重作用下，滚筒轴将被带动做反向旋转。为了控制或刹住滚筒的反转，达到调节钻压、送进钻具、控制下钻速度以及刹住并悬持钻具的目的，绞车滚筒上装有带式刹车装置。

此外，动力还可由传动轴直接传递给滚筒轴，其传递途径是链轮齿数 43 与滚筒轴端的链轮齿数 33 匹配。

根据以上所述，JC₁-14.5 绞车的滚筒轴可以得到四种不同的转速，以满足钻井作业的需要，其中 1 挡转速最低，4 挡转速最高。

转盘的动力来自猫头轴，其传动路线为：链轮齿数 30 与滚筒轴上空套的双体链轮齿数 29 匹配，然后再由齿数为 40 的链轮通过双排滚子链条传至转盘。

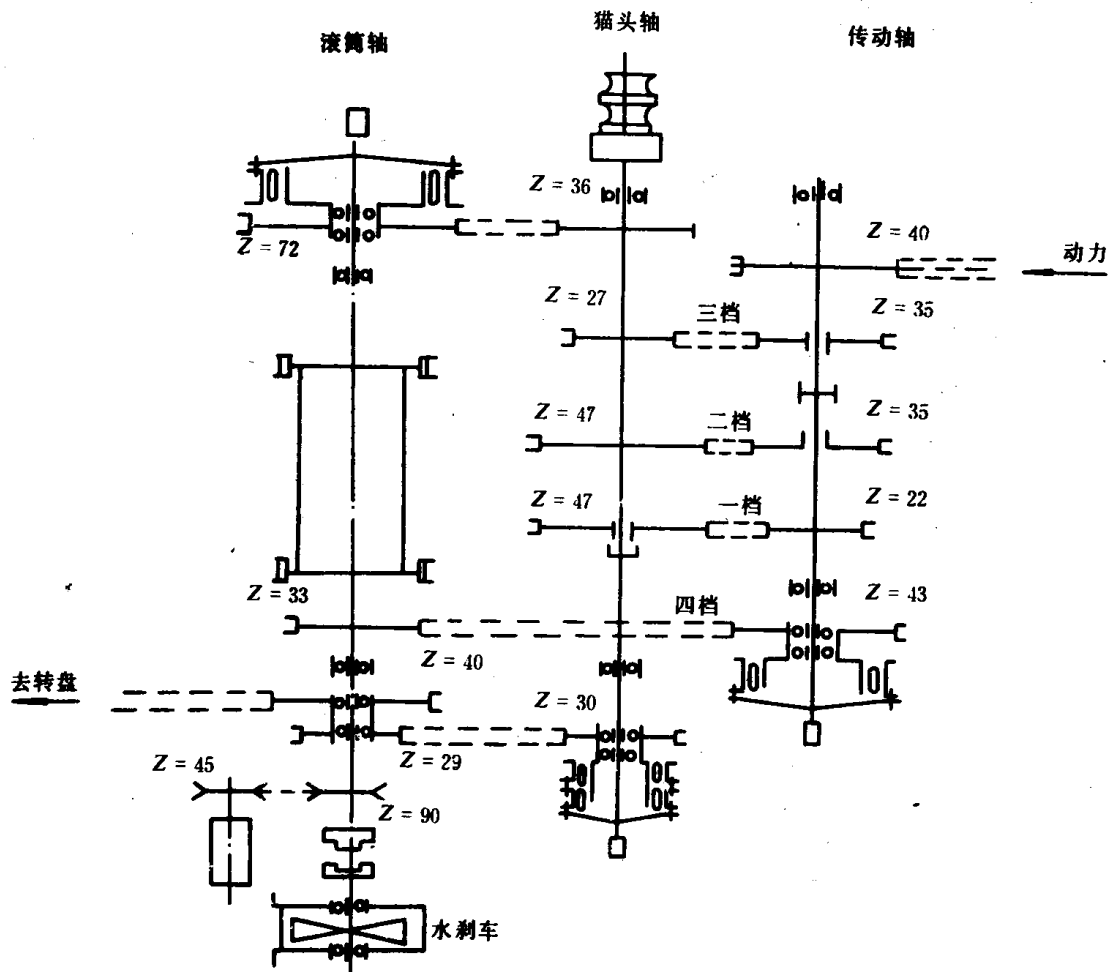


图 1-10 JC₁-14.5 型绞车传动图

图 1-11 为带刹车装置示意图。它由刹把、曲轴、刹带、平衡梁组成。司钻下压刹把，

刹带抱住滚筒轮鼓，使滚筒减速或停止。上抬刹把，刹带松开，滚筒即可启动或加速。

提升系统除利用滚筒上的带刹车做为主要刹车机构外，还需配备辅助刹车。滚筒轴端部用牙嵌离合器联接的水刹车即是辅助刹车。水刹车只能降低滚筒的反转速度，但不能使滚筒停止旋转。在深井下钻时，钻具下放的速度不应太快，以便于用刹带制动，并减轻刹带片的磨损。

图 1-12 所示为水刹车及其冷却器示意图。水刹车外壳固定在绞车底座上，外壳内壁为带有叶片的定子，水刹车轴上固定有带叶片的转子，定子与转子的叶片方向与水刹车轴旋转方向相反，水刹车内充满清水。在下钻时，滚筒轴带动水刹车转子旋转，离心力把水甩向外缘的定子叶片，并改变流向冲入转子，给正在旋转的转子叶片以一定阻力，对转子造成很大的制动力矩，从而降低下钻的速度。

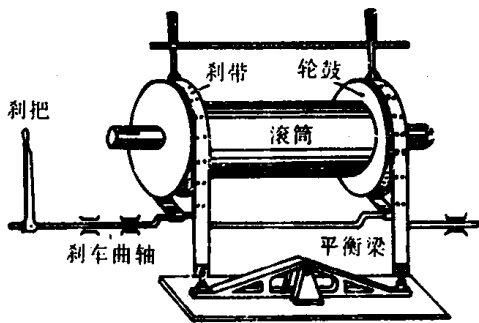


图 1-11 带刹车装置示意图

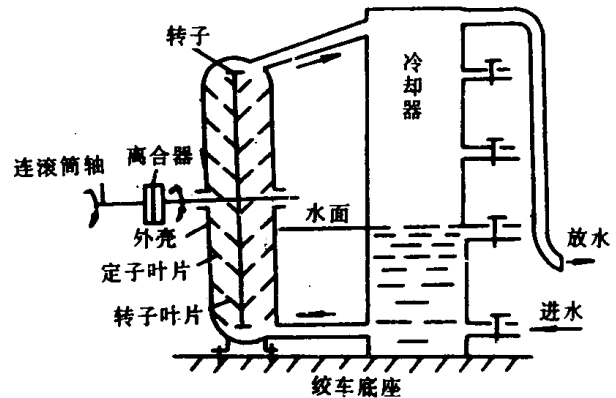


图 1-12 水刹车及冷却器示意图

转子旋转时，腔室中清水的温度升高，热水自水刹车顶部甩入水箱进行散热，冷却后又从水刹车底部流入。调节水箱中水位的高度，可以使水刹车产生不同的制动力矩，即可获得不同的下钻速度。

第三节 钻机的旋转系统

为了使钻柱旋转，在钻台井口上安装有转盘。转盘与水龙头组成钻机的旋转系统。转盘带动方钻杆旋转，方钻杆旋转时，水龙头中心管旋转，外壳则保持不动。

一、转盘

在旋转钻井过程中，转盘的作用是使钻柱旋转；起下钻或下套管时，转盘承托全部管柱的重量；在用涡轮钻具与螺杆钻具钻井时，承受钻具的反扭矩。

转盘是个锥形齿轮减速器，它将发动机传来的绕水平轴的旋转运动变成绕垂直轴的旋转运动，与此同时，旋转速度也被降低。

转盘的结构如图 1-13 所示。转台为一空心主轴，轴外紧装有一个大锥形齿轮。中孔安放大方瓦与方补心，并通过制动销与转台联接。转台座落在主轴承上。

水平轴内端的小圆锥齿轮与大圆锥齿轮啮合，轴外端可装链轮。绞车传来的动力即通过此链轮带动转台旋转。

转台的中孔直径较大，以便第一次开钻时通过最大尺寸的钻头。转台中心通孔的上部呈方形，可嵌入大方瓦，大方瓦内再嵌方补心，方补心中孔呈方形，可插入方钻杆。

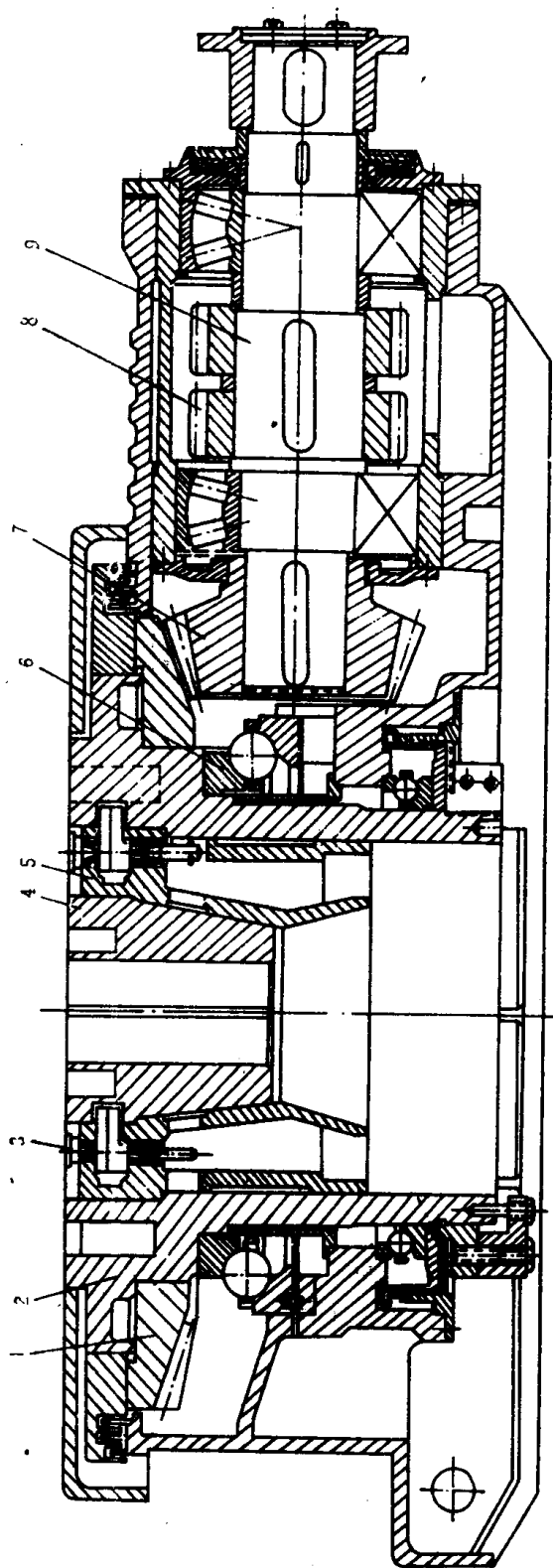


图 1-13 ZP₇-520 转盘

- 1—大锥齿轮；2—转台；3—制动销；4—方补心；5—大方瓦；6—主轴承；
7—小锥齿轮；8—制动棘轮；9—快速轴

二、水龙头

水龙头悬挂在大钩上，上接水龙头带，下接方钻杆。正常钻进时，方钻杆旋转，但大钩不转，所以，水龙头是旋转与不旋转部件之间的“纽带”，由旋转部分和不旋转部分组成。

图 1-14 为水龙头结构图。固定不转的壳体两侧有槽，提环插入槽内用轴销固定，中心管坐在壳体内部环形座主轴承上，可随方钻杆旋转。中心管下部接有一反扣保护接头，上部有冲管和鹅颈管。正常钻进时，泥浆从水龙头流经鹅颈管、冲管、中心管进入方钻杆。

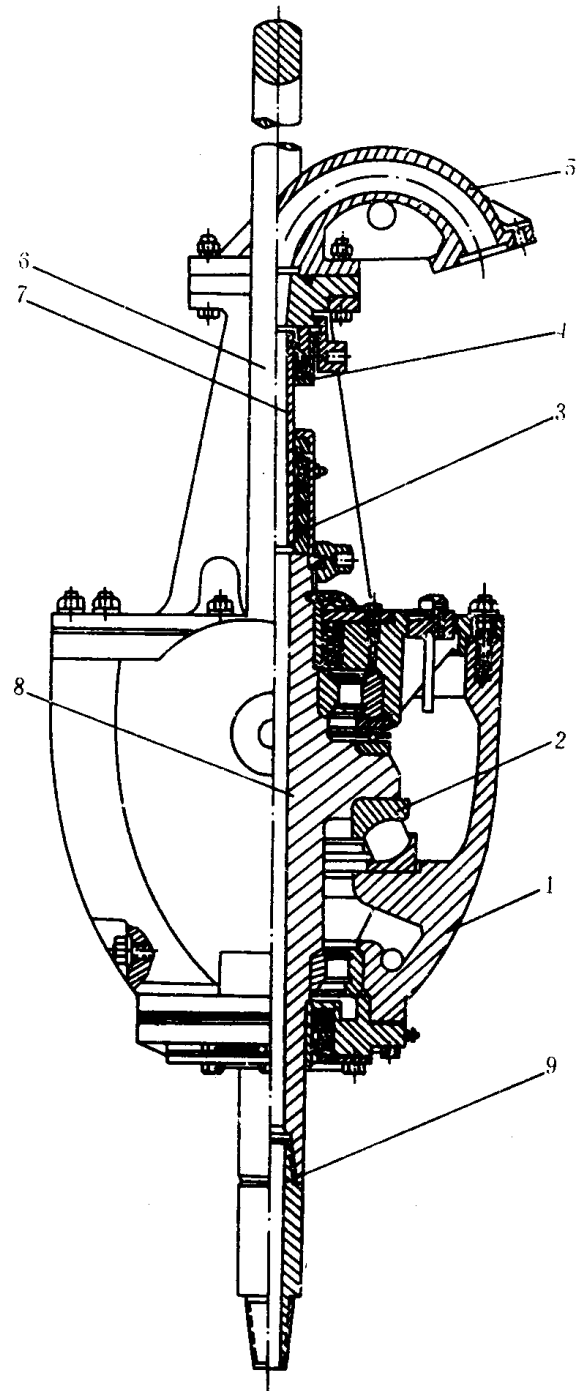


图 1-14 SL₇-130 型水龙头

1—壳体； 2—主轴承； 3—下冲管盘根盒； 4—上冲管盘根盒； 5—鹅颈管； 6—提环；
7—冲管； 8—中心管； 9—保护接头

第四节 钻 井 泵

正常钻进时，为了及时清除井底已被破碎的岩屑，必须维持泥浆的循环。泥浆在循环过程中要遇到阻力，克服阻力就要消耗压能。因此，为了维持泥浆的正常循环，在地面必须配备可以提高泥浆压能的钻井泵。

钻井泵是泥浆循环与净化系统中的关键设备，其重要性犹如人的心脏。目前，油田所用的钻井泵多为卧式双缸双作用或三缸单作用活塞泵。

一、活塞式双作用泵的工作原理

活塞式钻井泵的工作原理见图 1-15。当活塞由左向右移动时，活塞缸内左方腔室形成真空，此时，泥浆池内的泥浆在大气压力作用下进入吸入管，并推开吸入阀进入缸内，这称之为吸入过程。在吸入的同时，右方缸内的泥浆被压缩，推开排出阀，关闭吸入阀，使泥浆沿箭头方向从排出阀，进入排出管线而排出，这称之为排出过程。当活塞由右向左移动时，也同样地进行着吸入和排出泥浆的过程，但活塞左边和右边的作用互换。

活塞不断地往复运动，从而将泥浆自泥浆池源源不断地吸入泵内，并经排出管连续地泵入井中。

二、活塞泵的结构

图 1-16 是双缸双作用活塞泵的结构示意图。它的总体结构分成两部分，即动力端与液