

TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

深井泵采油

■ 曲占庆 薛建泉 主编

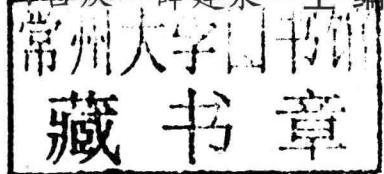
中国石油大学出版社



TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS
高等学校教材

深井泵采油

曲占庆 薛建泉 主编



中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

深井泵采油/曲占庆,薛建泉主编. —东营:中
国石油大学出版社, 2011. 10

ISBN 978-7-5636-3549-8

I. ①深… II. ①曲… ②薛… III. ①抽油 IV.
①TE355.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 193410 号

深井泵采油

曲占庆 薛建泉 著

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 深井泵采油

作 者: 曲占庆 薛建泉

责任编辑: 穆丽娜(电话 0532—86981531)

封面设计: 九天设计

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0546—8392563)

开 本: 180 mm×235 mm 印张: 11.25 字数: 223 千字

版 次: 2012 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 17.00 元

前言

Preface

本教材是根据石油工程专业人才培养方案和教学计划的要求,结合石油高等工程教育改革的需要而编写的。本教材主要介绍了采油(气)基本设备的结构组成、工作原理及工艺过程,它是石油工程专业的专业课程之一,也可作为油田现场石油工程技术人员的技术参考书。

本教材由中国石油大学(华东)采油工程系的曲占庆教授和薛建泉副教授等共同编写。其中,第1章、第2章、第3章由曲占庆编写,第4章、第5章由薛建泉编写,第6章由温庆志和赵海洋编写、第7章由齐宁和陈胜男编写,第8章由周童编写。在本书编写过程中得到了石油工程学院领导和老师们的大力支持。张琪教授审阅了教材初稿并提出了许多宝贵意见,李明忠、王杰祥、陈德春等教授亦给予了大力帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、经验不足,错误和不妥之处在所难免,热诚希望广大读者提出宝贵意见。

编者

2011年6月

目 录

Contents

第 1 章 抽油机	1
1.1 抽油机类型	2
1.2 抽油机悬点运动规律	10
1.3 抽油机悬点载荷计算与分析	15
1.4 抽油机的平衡及扭矩计算	23
1.5 抽油机存在的主要问题	31
参考文献	32
第 2 章 抽油杆	33
2.1 普通抽油杆	33
2.2 特种抽油杆	35
2.3 抽油杆失效分析	42
2.4 抽油杆柱附属器具	45
参考文献	51
第 3 章 抽油泵	52
3.1 抽油泵的类型及发展现状	52
3.2 有杆抽油泵	52
3.3 泵效计算及分析	63
参考文献	70
第 4 章 抽油机井生产系统工艺参数设计与工况分析	71
4.1 油井流入动态与井筒多相流计算	71
4.2 抽油杆柱的强度计算及杆柱设计	82
4.3 抽油机井系统效率计算	87
4.4 抽油机井生产参数优化设计	89
4.5 有杆抽油系统工况分析	94
参考文献	116

第五章 地面驱动螺杆泵井生产系统分析与设计	117
5.1 螺杆泵采油系统组成及工作原理	117
5.2 地面驱动螺杆泵抽油系统生产参数优化设计	124
5.3 影响因素分析及常见故障排除	131
参考文献.....	134
第6章 电动潜油泵采油	135
6.1 电潜泵采油原理及设备构成	135
6.2 电潜泵采油系统设计	139
6.3 电潜泵井常见故障诊断	145
6.4 变频电泵采油技术	147
参考文献.....	149
第7章 水力射流泵采油	150
7.1 水力射流泵采油系统	150
7.2 水力射流泵抽油系统工作原理	153
7.3 水力射流泵井系统优化设计	158
参考文献.....	162
第8章 水力活塞泵井生产系统	163
8.1 水力活塞泵采油系统	163
8.2 水力活塞泵井系统优化设计	166
参考文献.....	172

第1章 抽油机

在油田开发过程中,地层能量不断降低,当油层能量下降到不足以将原油从井底举升到地面时,需要采用人工举升方式。人工举升方式有多种,其中有杆泵采油在国内外各油田占有很大的比重。

有杆泵抽油系统由抽油机、抽油杆和抽油泵组成。图 1-1 所示为游梁式抽油机-深井泵抽油装置示意图。

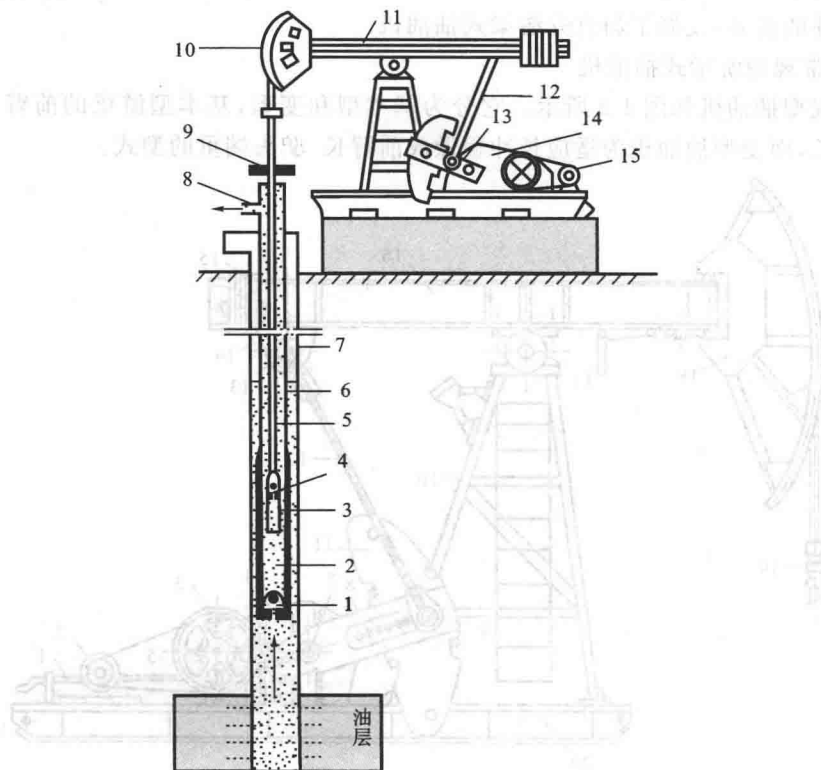


图 1-1 游梁式抽油机-深井泵抽油装置示意图

1—吸入阀;2—泵筒;3—柱塞;4—排出阀;5—抽油杆;6—油管;7—套管;

8—三通;9—盘根盒;10—驴头;11—游梁;12—连杆;13—曲柄;

14—减速箱;15—动力机(电动机)

1.1 抽油机类型

抽油机是有杆泵采油的主要地面设备,按照外形结构和原理可分为游梁式和无梁式两大类。

1.1.1 游梁式抽油机

游梁式抽油机主要由动力设备、减速机构、换向机构和辅助装置四大部分组成。动力设备一般用电动机产生动力;减速机构由皮带轮、皮带、减速箱构成,把动力机的高速旋转转变成曲柄轴的低速旋转;四连杆机构由曲柄、连杆、游梁、机架构成,把曲柄轴的旋转运动转变为驴头的上下摆动;挂在驴头上的钢丝绳通过悬绳器与抽油杆柱连接,把驴头的弧形摆动变成抽油杆柱的上下往复直线运动。

根据结构形式,游梁式抽油机又可分为常规型、异相型和异型三类。近年来为了满足斜井的需要,发展了斜直井游梁式抽油机。

1) 常规型游梁式抽油机

常规型抽油机如图 1-2 所示。它分为基本型和变型,基本型游梁的前臂和后臂接近等长,而变型抽油机为适应长冲程做成前臂长、驴头端重的型式。

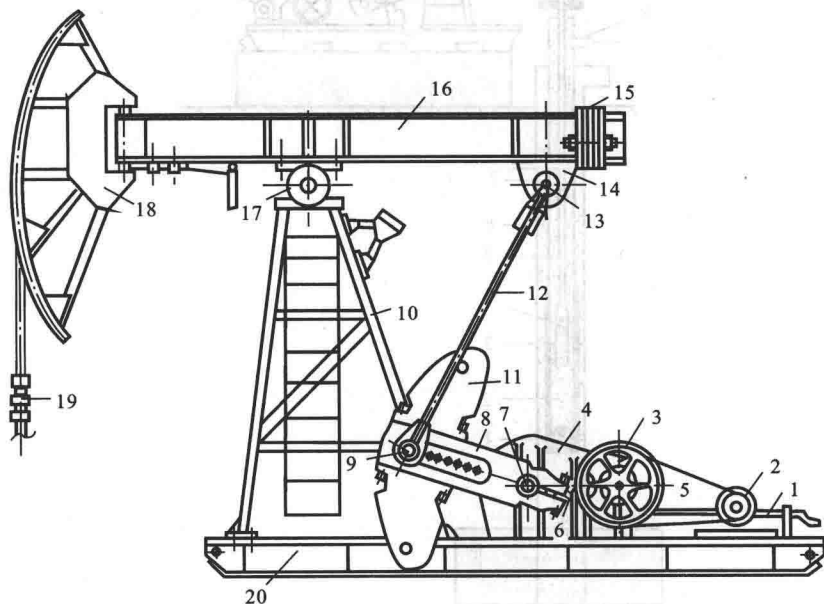


图 1-2 常规型抽油机结构简图

- 1—刹车装置;2—电动机;3—减速箱皮带轮;4—减速箱;5—输入轴;6—中间轴;7—输出轴;
8—曲柄;9—曲柄销;10—支架;11—曲柄平衡块;12—连杆;13—横梁尾轴;14—横梁;
15—游梁平衡块;16—游梁;17—游梁轴;18—驴头;19—悬绳器;20—底座

常规式游梁抽油机结构简单,易维护,可以在恶劣环境下全天候运转,可靠性强,支架在驴头和曲柄连杆之间,上下冲程时间相等,但其运动加速度较大,平衡效果比较差,效率较低,体积笨重。

2) 前置型游梁式抽油机

前置型游梁式抽油机如图 1-3 所示,其基本结构与常规型相同,只是支架轴和连接连杆与游梁的横梁轴互换了位置。曲柄连杆机构存在 15° 左右的极位夹角和 20° 左右的平衡相位角。上冲程曲柄转角为 195° ,下冲程曲柄转角为 165° 。这种抽油机上冲程光杆加速度小,动载荷小,抽油杆使用寿命长。同时扭矩因数较小,由于平衡相位角的作用,上冲程开始时减速器输出扭矩比油井负荷扭矩滞后,而在下冲程开始时,这种扭矩又超前于油井负荷扭矩,其结果是降低了减速器峰值扭矩,电动机功率较小,有明显的节能效果。

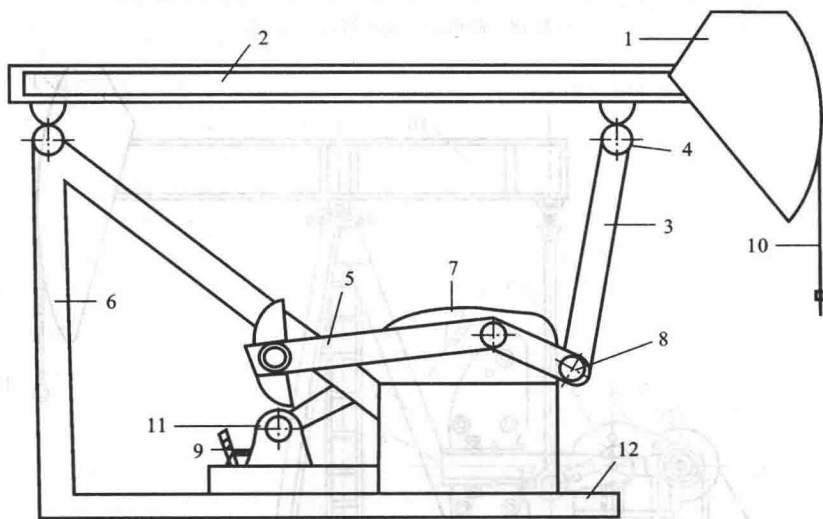


图 1-3 前置型游梁式抽油机结构图

1—驴头;2—游梁;3—连杆;4—横梁;5—曲柄;6—支架;7—减速器;8—曲柄销;
9—刹车装置;10—吊绳及悬绳器;11—电动机;12—底座

前置型抽油机一般采用气动平衡方式,如图 1-4 所示。其优点是总机重量约轻 $1/3$,而且平衡效果好;缺点是气缸加工费用高。

3) 异相型游梁式抽油机

异相型抽油机如图 1-5 所示,又称曲柄偏置抽油机,它的平衡重中心线与曲柄中心线有一个相位夹角,可使峰值扭矩降低。当驴头在右侧,曲柄顺时针转动时,上冲程比下冲程慢,可改善悬点的承载性能。

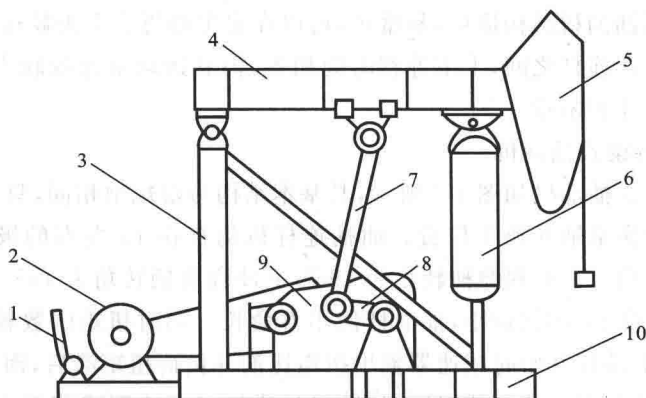


图 1-4 前置型气动平衡抽油机结构简图

1—刹车;2—电动机;3—支架;4—游梁;5—驴头;6—气平衡活塞缸;
7—连杆;8—曲柄;9—减速箱;10—底座

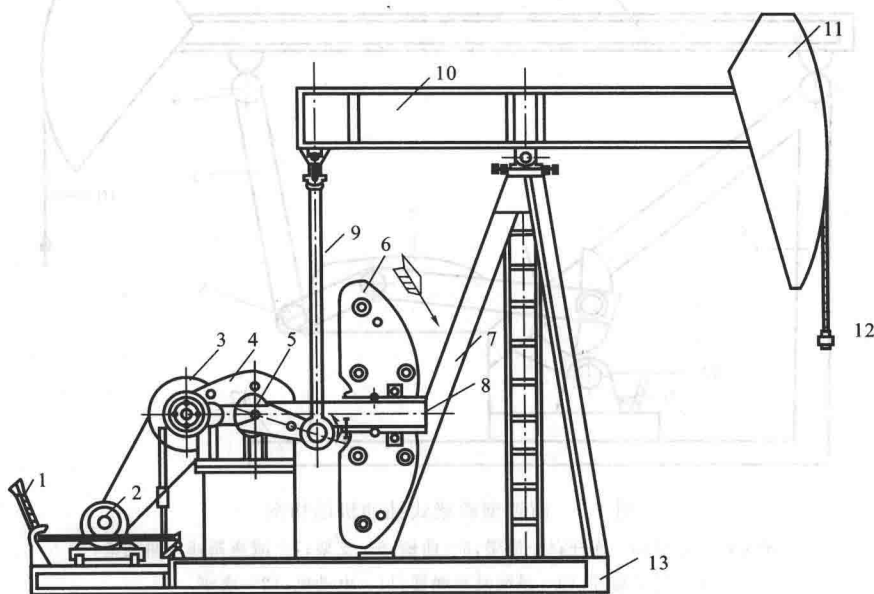


图 1-5 异相型游梁式抽油机结构简图

1—刹车装置;2—动力机;3—减速箱皮带轮;4—减速箱;5—输出轴;6—平衡重;
7—支架;8—曲柄;9—连杆;10—游梁;11—驴头;12—悬绳器;13—底座

4) 双驴头抽油机

双驴头抽油机结构如图 1-6 所示。该抽油机的结构特点是去掉了普通游梁式抽油机的横梁尾轴,依靠一个后驴头装置,通过驱动钢丝绳将横梁与连杆相连接。该抽油机的优点是节能,动载荷小,工作稳定,易启动;其缺点是驱动绳辫子易磨损。

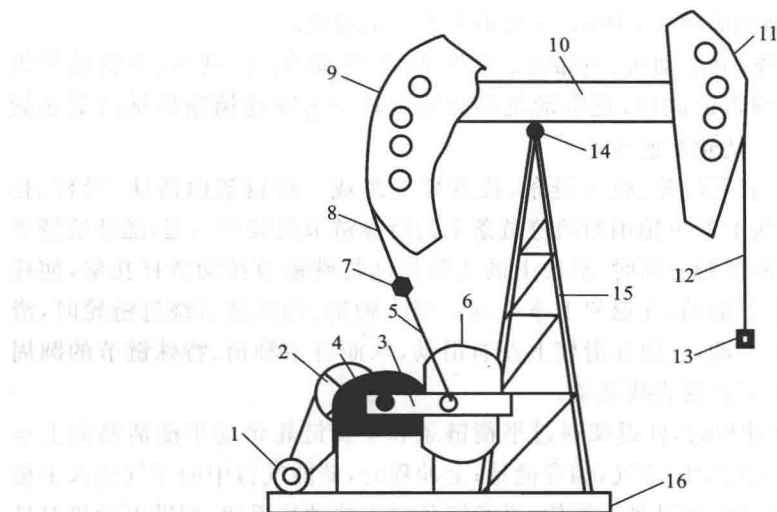
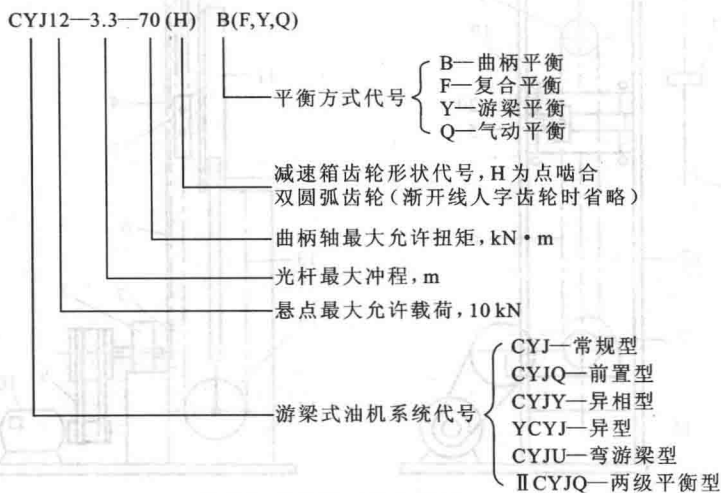


图 1-6 双驴头游梁式抽油机结构示意图

- 1—电动机;2—皮带轮;3—曲柄;4—减速箱;5—连杆;6—平衡重;7—横梁;
8—驱动绳辘子;9—后驴头;10—游梁;11—前驴头;12—绳辘子;
13—悬绳器;14—中轴;15—支架;16—底座

我国已制定了游梁式抽油机系列标准,其型号表示的意义如下(以 12 型抽油机为例):



1.1.2 无游梁式抽油机

1) 链条式抽油机

(1) 链条式抽油机的结构组成。

链条式抽油机结构如图 1-7 所示,主要由六大系统组成。

① 动力传动系统:由电动机、皮带轮、皮带、减速器、联轴器、刹车、下链轮等组成,通过皮带轮和减速器的减速,把电动机的高速旋转变成为减速箱输出轴的低速旋转,通过联轴器带动下链轮低速转动。

② 换向系统:由上下链轮、轨迹链条、往返架等组成。往返架由滑块、滑杠、托架、滚轮等组成。滑块上的主轴销与轨迹链条上的特殊链节组装在一起,随轨迹链条绕两个链轮回转,在两链轮之间时,滑块上的主轴销随特殊链节拉动滑杠托架,使托架上的滚轮沿导轨上下滚动,往返架上下平动。当主轴销、特殊链节绕过链轮时,滑块一边带动滑杠上下平动,一边在滑杠上左右滑动,从而将主轴销、特殊链节的圆周运动变为往返架的上下往复直线运动。

③ 平衡系统:下冲程时,往返架通过平衡链条和平衡链轮带动平衡活塞向上运动,压缩气缸和储能气包中的空气,储存能量;上冲程时,储能气包中的空气进入平衡气缸,向下推动平衡活塞,通过平衡链轮、平衡链条向下拉动往返架,帮助电动机对悬点做功。

④ 悬重系统:由机架、天车滑轮、悬绳器和钢丝绳等组成,起支撑载荷、连接往返

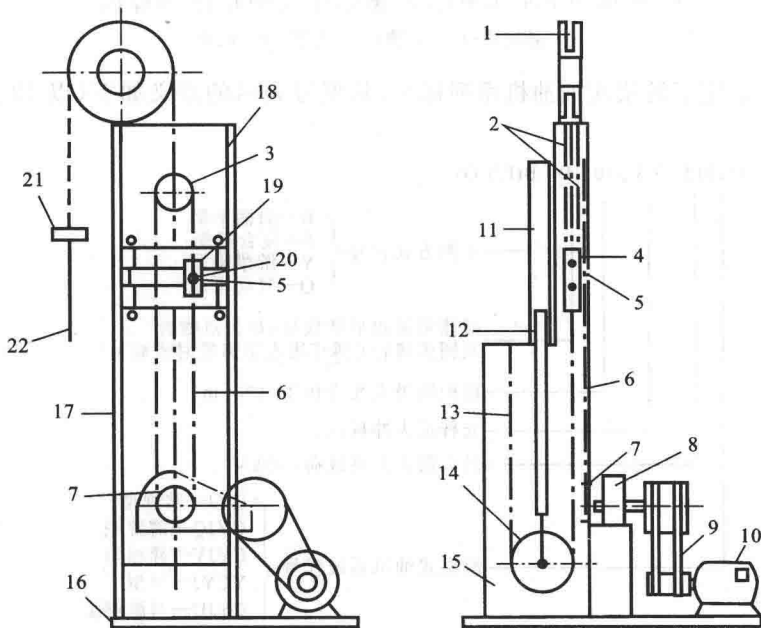


图 1-7 链条式抽油机结构示意图

- 1—天车滑轮;2—上钢丝绳;3—上链轮;4—往返架;5—特殊链节;6—轨迹链条;7—主动链轮;
8—减速箱;9—皮带传动;10—电动机;11—平衡气缸;12—平衡柱塞;13—平衡链条;
14—平衡链轮;15—油底壳;16—底座;17—机架;18—导轨;19—滑块;
20—主轴销;21—悬绳器;22—光杆

架和抽油杆柱等作用。

⑤ 润滑系统:由底座、油底壳、小油包和齿轮油泵等组成,起润滑链条、导向轮、导轨、链轮、滑块、滑杠等活动部件的作用。

⑥ 电控系统:由电控柜、电缆等组成,起控制输送电能的作用。

(2) 链条式抽油机的结构特点。

链条式抽油机的优点:① 冲程长度内 90% 是匀速运动,因此动载荷小;② 调平衡方便,平衡度可达 95%,机械效率高;③ 节能;④ 结构紧凑,占地面积小,整机重量指标只是游梁式抽油机的 $1/2 \sim 1/3$ 。

这种抽油机的缺点:① 钢丝绳寿命短,一旦发生钢丝绳断裂就会造成拉断链条、损坏链轮等严重事故;② 特别是往返架上部两个导向轮因润滑不好,磨损严重,容易损坏;③ 轨迹链条和主轴销是链条传动中的薄弱件,容易发生折断事故;④ 机架距井口太近,修井操作不方便。

2) 宽带式抽油机

宽带式抽油机结构如图 1-8 所示。宽带式抽油机的特点类似于链条式抽油机,其冲程长,冲数低,尤其适用于深井、稠油开采及海上采油。

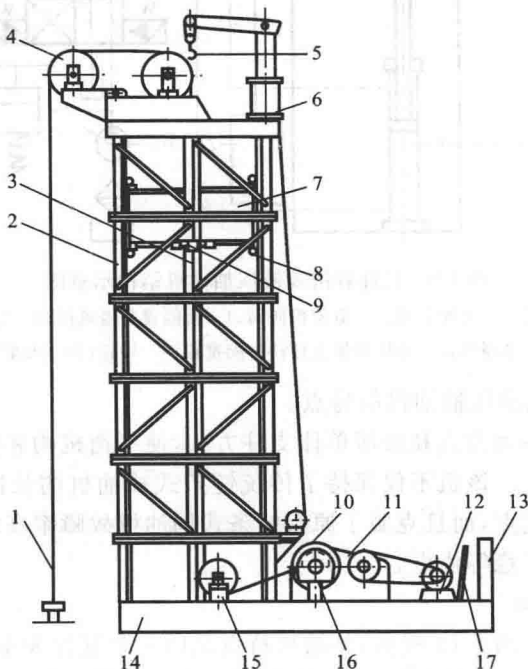


图 1-8 宽带式抽油机结构示意图

1—悬绳器;2—支架;3—宽带;4—天车;5—吊钩;6—起吊装置;7—平衡块;8—安全装置;

9—十字平衡梁;10—滚筒;11—减速箱;12—电动机;13—电控箱;

14—底座;15—惰轮;16—行程控制器;17—刹车

3) 长冲程链式液压抽油机

(1) 长冲程链式液压抽油机的工作原理。

如图 1-9 所示,电动机转动驱动变量油泵时,机械能转换为从油泵输出的油液的压力能,通过二位四通换向阀控制驱动油缸做直线往复运动。当活塞向上运动时,抽油杆连接的链条通过天车轮、活塞杆上端部连接的导轮与机架固定,实现了抽油杆的向下运动。当活塞向下运动时,带动活塞杆和端部的导轮向下运动,因链条一端固定在机架的上端,所以导轮的运动使连接抽油杆的链条增程机构实现了长冲程。利用活塞面积差实现抽油杆下冲程速度小于上冲程速度,以满足常规抽油开采时节能的要求。

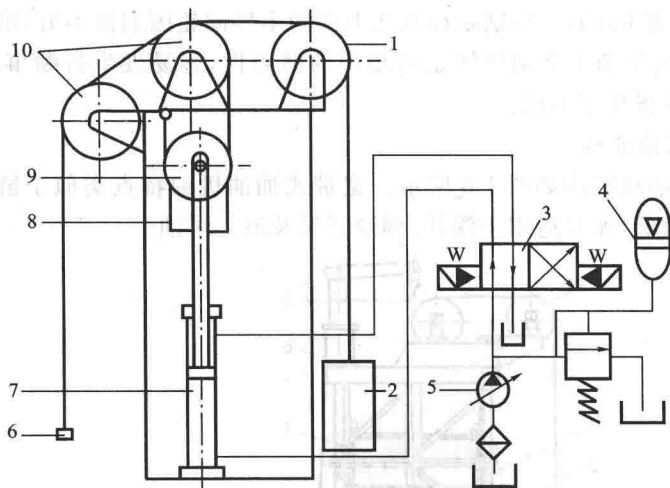


图 1-9 长冲程链式液压抽油机结构示意图

1—导向轮;2—外配重箱;3—电液换向阀;4—蓄能器和溢流阀;5—变量油泵;
6—悬绳器;7—液压单体支柱;8—配重箱;9—导轮;10—天车轮

(2) 长冲程链式液压抽油机的特点。

该机采用了双平衡方式和液压单体支柱方式,使平衡机构和直线往复机构简单,增加了整机的可靠性。该机不仅保持了传统链条式抽油机的长冲程、节能、节材、减速器额定扭矩小等优点,而且克服了原有链条式抽油机故障率高的缺点,具有结构简单、安全可靠、运行平稳等优点。

4) 塔架式抽油机

塔架式抽油机如图 1-10 所示,其结构特点是以一个复合天车轮取代了常规游梁式抽油机的游梁和驴头。连杆通过横梁、钢丝绳与小轮缘相接,而抽油杆柱则通过悬绳器、前绳辫子与大轮缘连接。抽油机冲程较长,可达 8 m。但该类抽油机结构复杂,整机重量和高度都较大,安装、调参、维护保养难度大,绳辫子易因磨损和受挤压而遭到破坏。

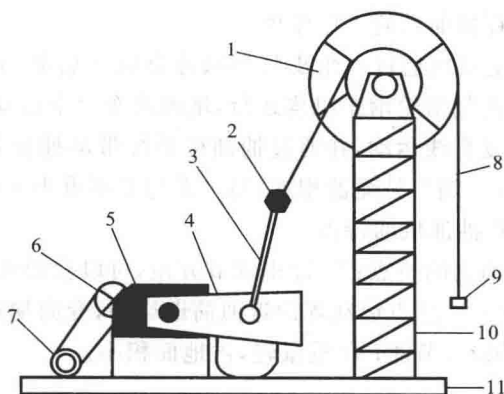


图 1-10 塔架式抽油机结构示意图

1—复合天车轮;2—横梁;3—连杆;4—曲柄;5—减速箱;6—皮带轮;7—电动机;
8—前绳辫子;9—悬绳器;10—支架;11—底座

5) 增距式长冲程抽油机

增距式长冲程抽油机是根据倍增原理设计的。图 1-11 为增距式长冲程抽油机结构示意图。

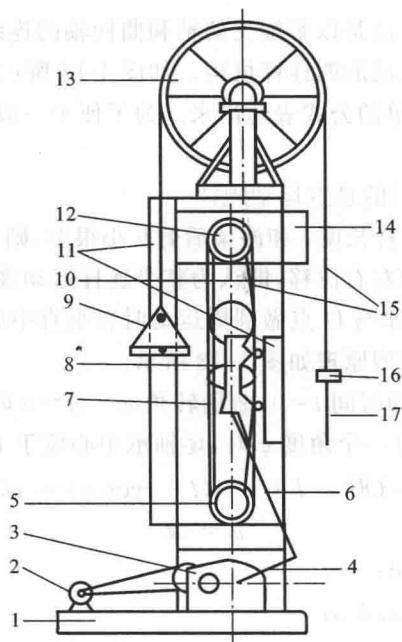


图 1-11 增距式长冲程抽油机结构示意图

1—底座;2—电动机;3—减速器;4—曲柄;5—下滑轮组;6—连杆;7—横梁;
8—增距滑车;9—平衡重小车;10—机架;11—轨道;12—上滑轮组;
13—大天轮;14—平台;15—钢丝绳;16—悬绳器;17—光杆

(1) 增距式长冲程抽油机的工作原理。

如图 1-11 所示,电动机通过三角皮带经减速器减速后驱动曲柄旋转,这样连杆和横梁便带动一个双向复滑轮增距机构运行,增距滑车上下运动,公共快绳便获得放大四倍的长距离做往复直线运动,并通过抽油杆系统带动抽油泵工作。机架顶部的大天轮上挂有钢丝绳,一端与悬绳器相连,另一端与平衡重小车相连,构成平衡系统。

(2) 增距式长冲程抽油机的特点。

增距式长冲程抽油机的特点:① 冲程调节方便,可以获得所需的长冲程,满足深井、大排量抽油的需要;② 悬点运动规律近似简谐运动,变向加速度小,动载小,机器运转平稳;③ 平衡效果好,节能;④ 重量轻,占地面积小。

1.2 抽油机悬点运动规律

抽油机悬点运动规律是正确使用抽油系统和设计、分析抽油系统工作状况的基础,因此必须建立各种抽油机运动规律的计算方法,找出驴头悬点的位移、速度和加速度随时间的变化规律,以便为载荷分析和扭矩计算提供基础。

1.2.1 游梁式抽油机悬点运动规律

游梁式抽油机可以看成是以游梁支架轴和曲柄轴的连线为固定杆,以曲柄、连杆和游梁为三个活动杆所组成的四连杆机构。如图 1-12 所示,这种四连杆机构的运动规律比较复杂,不能用简单的公式表达出来。为了便于一般分析,可依据一定的条件进行简化。

1) 简化为简谐运动时的悬点运动规律

如果曲柄半径 r 比连杆长度 l 和游梁后臂 b 小很多,则可认为 $r/l \approx 0$ 及 $r/b \approx 0$,以致可以忽略连杆销处的左右位移,即认为整个连杆运动规律一致,在做上下往复直线运动,而 B 点的运动规律与 D 点做圆周运动时在垂直中心线上的投影(C 点)的运动规律相同。简化后的模型原理如图 1-13 所示。

当曲柄在垂直位置,即时间 $t=0$,曲柄转角 $\varphi=\omega t=0$ 时,尾轴承中心 B (连杆上端点)在 B^0 点;当曲柄转过一个角度 φ 时,尾轴承中心位于 B 点,则 B 点位移 s_B 为:

$$s_B = \overline{OB^0} - \overline{OB} = l + r - (l + r \cos \varphi) = r(1 - \cos \varphi) \quad (1-1)$$

$$\varphi = \omega t$$

式中 φ ——曲柄转角,rad;

ω ——曲柄角速度,rad/s;

t ——时间,s。

根据相似三角形关系可知,悬点位移 s_A 为:

$$s_A = \frac{a}{b} s_B = \frac{a}{b} r (1 - \cos \varphi) \quad (1-2)$$

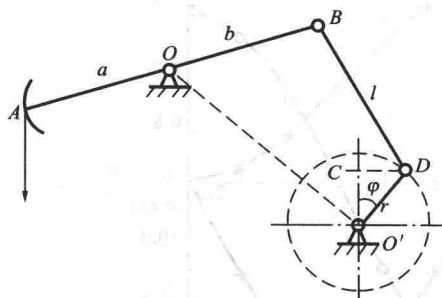


图 1-12 抽油机四连杆机构简图

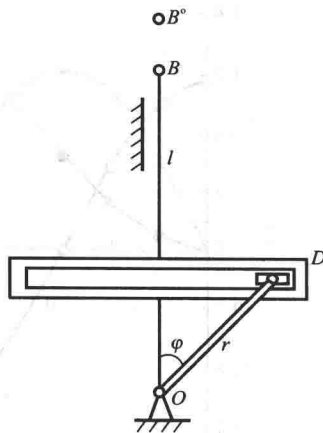


图 1-13 简化为简谐运动的悬点运动规律

当悬点在下死点时, $\varphi=0$, $s_A=0$; 当悬点在上死点时, $\varphi=\pi$, $s_A=2\frac{a}{b}r=s$, 因此可得 $\frac{a}{b}r=\frac{s}{2}$, 代入上式可得:

$$s_A = \frac{s}{2}(1 - \cos \varphi) \quad (1-3)$$

悬点的速度为:

$$v_A = \frac{ds_A}{dt} = \frac{s}{2}\omega \sin \varphi \quad (1-4)$$

悬点的加速度为:

$$a_A = \frac{dv_A}{dt} = \frac{s}{2}\omega^2 \cos \varphi \quad (1-5)$$

由以上三式计算出的悬点位移、速度和加速度随曲柄转角 φ 的变化规律如图 1-14 所示。从图中可以看出, 抽油机在一个冲程中, 悬点的速度和加速度不仅大小在变化, 而且方向也在不断改变。在上、下死点处 ($\varphi=0, \pi$) 速度为零, 加速度的绝对值最大, 即:

$$a_{\max} = \frac{s}{2}\omega^2 \quad (1-6)$$

在上、下冲程的中点处 ($\varphi=\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$) 加速度为零, 速度的绝对值最大, 即:

$$v_{\max} = \frac{s}{2}\omega \quad (1-7)$$

2) 简化为曲柄滑块机构时的悬点运动规律

实际上 r/l 值不可能等于零, 因此是不可忽略的, 特别是在冲程长度较大时, 忽