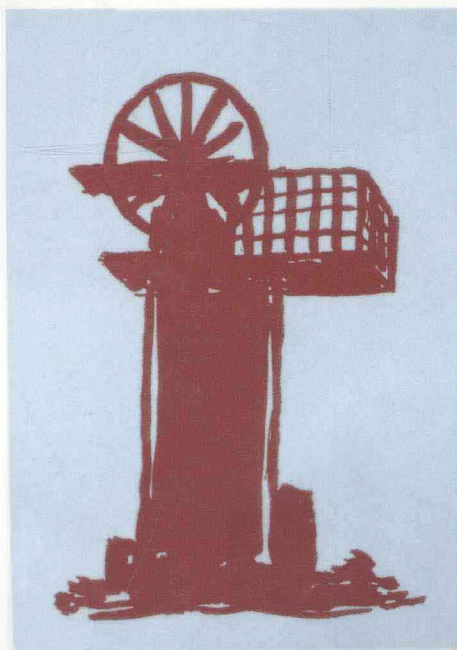
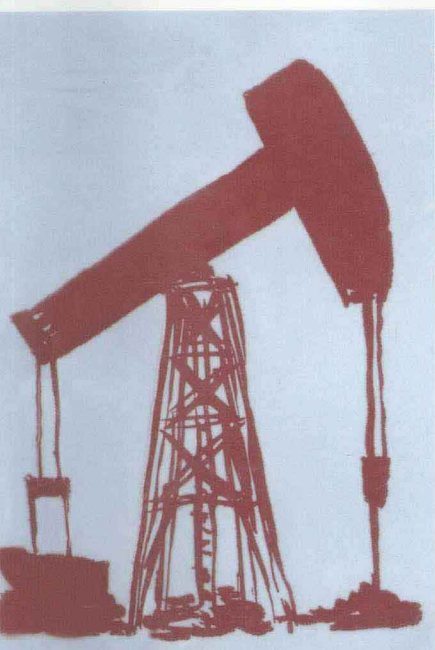


中等专业学校教学用书

采油机械

王 忠 主编

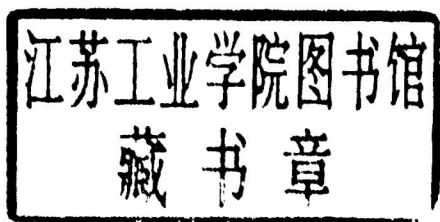


石油工业出版社

中等专业学校教学用书

采 油 机 械

王 忠 主 编



石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

全书共分四章,着重介绍采油机械的结构、工作原理、特性、基本计算和使用维护。

本书是石油中等专业学校矿机专业和采油专业的试用教材,也可供石油技工学校和石油矿厂有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

采油机械/王忠 主编

北京:石油工业出版社,1995.9

中等专业学校教学用书

ISBN 978-7-5021-1290-5

I.采…

II.王…

III.石油开采-机械设备-专业学校-教材

IV.TE·93

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 11½印张 301千字 印10001—12000

1995年9月北京第1版 2007年2月北京第5次印刷

定价:18.00元

前 言

本书是根据原石油工业部中专《采油机械》、《石油矿场机械》教学大纲，为满足石油中专石油矿场机械、石油开采专业的教学需要而编写的。做为与《钻井机械》（王锡光编）和《石油矿场水力机械》（卫晓亭编）的配套教材，以满足石油中专学校机械课程的教学要求。

全书力求简明、全面、切合实际，以适应中专教学的特点。第一章着重介绍了抽油设备的结构组成、工作原理、使用特点、要求和基本理论。第二章着重介绍了各种常用型号修井机及其辅助设备的组成，使用要求及简单计算。第三章着重介绍了固井、压裂及酸化设备的组成、工作原理及井场布置和流程。第四章重点介绍了阿里逊传动装置的组成及工作原理。

为了培养学生的自学能力，教材中的某些内容，可留给学生自学。为便于学生学习，教材的每章后都列有作业题和复习思考题。

本书由华北石油学校王忠同志任主编。参编的还有罗延生（第一章）、郑培奇（第二章）、宋文义（第三章）、王忠（第四章）。

全书由重庆石油学校王守谦高级讲师主审。在编写过程中得到了华北石油学校王锡光同志和其他兄弟学校的大力帮助和支持。在此一并深致谢意。

由于编者水平有限、加上时间仓促，书中缺点和错误在所难免，敬望读者提出宝贵的批评和意见。

编 者
1992年3月

目 录

绪论	(1)
第一章 抽油设备	(2)
第一节 概述	(2)
第二节 游梁式抽油机	(4)
第三节 无游梁式抽油机	(49)
第四节 水力活塞泵	(56)
第五节 电动潜油离心泵	(62)
第二章 修井设备	(70)
第一节 概述	(70)
第二节 修井机的基本计算	(72)
第三节 典型修井机	(77)
第四节 吊升设备及修井工具	(92)
第五节 不压井不放喷作业装置	(100)
第三章 固井、压裂和酸化设备	(107)
第一节 概述	(107)
第二节 固井、压裂和酸化设备的组成、结构和作用原理	(108)
第三节 固井、压裂和酸化设备井场布置及流程	(125)
第四节 固井、压裂和酸化设备设计计算中的几个问题	(127)
第五节 液压驱动式压裂泵和泵外加砂装置简介	(133)
第六节 固井、压裂泵在国内外的的发展	(136)
第四章 阿里逊传动装置	(140)
第一节 概述	(140)
第二节 阿里逊传动装置的功用及特点	(140)
第三节 阿里逊传动箱工作原理	(148)
第四节 DP-8961 型阿里逊传动装置的传动系统的结构及组成	(156)
第五节 阿里逊传动装置的控制系统	(167)
第六节 阿里逊传动箱的使用与维护保养	(173)
主要参考书	(177)

绪 论

《采油机械》是石油矿场机械和石油开采专业的主要专业课之一。

本课程的主要内容是：抽油设备；修井设备；固井、压裂和酸化设备及阿里逊传动装置。采油机械对保证原油稳产，高产是不可缺少的机械设备。本课程系统介绍各种典型采油机械的基本理论、工作特性、典型结构，以便进行对这些机械设备的合理选择，使用及维护。同时，还对设备的结构特点，主要零件结构的优缺点进行简要分析和比较，并介绍必要的基本计算，以满足对采油机械的改装、配套和技术革新的需要。

采油机械是一门综合性的专业课，它涉及数学、物理、化学、制图、金工、力学、机械原理与机械零件、电工及电子学、内燃机与钻采工程等多方面的知识，本课程具有下列特点：

(1) 运用先修课的大量理论知识。在课程内容中经常涉及上述课程的有关理论知识，因此只有在学好上述课程基础上才能学好本课程。

(2) 实践性较强，图幅较多。特别是机械设备的结构、使用与维护等内容，除在课堂学习之外，还应结合实习的感性知识加深理解。

(3) 内容多，学时紧。采油机械包括多种设备，而每种设备又有很多型号，它们的结构、原理也不尽相同。因此要在几十学时内把它们搞通是很困难的。

针对上述特点，对如何学好本课程提出以下几点建议：

(1) 课堂听懂，不要死记硬背。对于各种设备的结构、技术规范、工作性能等，要抓住重点、掌握规律，找出它们的共性和特性，以达到触类旁通的效果，要在理解其功用和原理的基础上来记忆。要作到听好每一节课，不明白地方多问，不要不懂装懂。

(2) 要理论联系实际。既联系学过的基础知识和实习中的感性知识，进行综合和对比，以达加深理解的目的，全面的系统的掌握所学知识。

(3) 对照教具、挂图、实物等，多看并看懂图纸，充分利用现场参观，辅导答疑、作业等教学环节，发挥学习的主动性，把知识学到手，学好本领。

(4) 重视实验，培养能力。通过实验教学环节、理论联系实际，巩固所学知识，加深理解课程内容。在实验过程中，要很好的熟悉实验设备及仪表等，并培养实际操作及动手能力。

(5) 加强阅读，提高自学能力。这点特别重要、课堂不可能讲那么多内容，课堂上只能讲解主要内容。由于当今世界一日千里，新设备、新技术、新工艺不断涌现，靠课堂上讲的内容总是满足不了新形势的需要。总之，课堂上介绍的知识毕竟有限，只有多看教科书和其他参考书，培养提高自学能力，才能不断扩大知识面，适应毕业后所肩负的建设重任。

第一章 抽油设备

第一节 概 述

机械采油法是一种主要的采油方法。随着油田的不断开发，地层能量逐渐消耗，一些油井逐渐丧失了自喷能力。同时，由于地层的地质特点，有一些油井一开始就不能自喷。为了保证原油的稳产、高产、提高采收率，对这些不能自喷的油井，必须用机械采油方法开采。这种人为地通过各类机械从地面向油井内原油补充能量、举油出井的生产方式统称为机械采油。

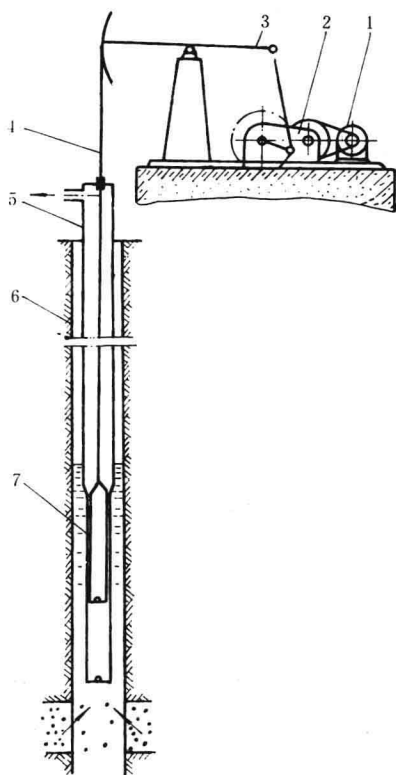


图 1-1 游梁式抽油机——抽油泵装置图

1—电动机；2—减速箱；3—四连杆机构；4—抽油杆柱；5—油管；6—套管；7—抽油泵

一、机械采油方法的分类

目前，机械采油的型式很多。通常按是否用抽油杆来传递动力，可将机械采油分为两大类：

1. 有杆泵采油——是指地面动力通过一系列的机械传动带动抽油杆柱，再由抽油杆柱带动井下抽油泵活塞上、下往复运动，将井内原油抽至地面的采油方法。

有杆泵采油设备主要包括：游梁式抽油机——抽油泵装置和无游梁式抽油机——抽油泵装置。

2. 无杆泵采油——利用不借助于抽油杆柱来传递动力的抽油设备来进行的机械采油的方法统称为无杆泵采油。

目前，无杆泵采油设备主要有：水力活塞泵，电动潜油离心泵，电动潜油单螺杆泵，射流泵和振动泵等。

二、游梁式抽油机——抽油泵装置的工作原理

用抽油法开采，国内外应用最广泛的设备是游梁式抽油机——抽油泵装置。它的结构简单、制造容易、维修方便。如图 1—1 是游梁式抽油机泵装置简图。

该装置主要由三部分组成：

1) 地面部分——游梁式抽油机，它由电动机、减速箱和四连杆机构组成。

2) 井下部分——抽油泵。它悬挂在套管中油管的下端。

3) 联系地面和井下的中间部分——抽油杆柱，它由一种或几种直径的抽油杆和接箍组成。

由图可见，电动机通过三角皮带带动减速箱。减速后，由四连杆机构把减速箱输出轴的旋转运动变为游梁、驴头的摆动。再由驴头带动光杆和抽油杆做上、下往复的直线运动。通

过抽油杆再将这个运动传给井下抽油泵中的柱塞。在抽油泵筒的下部装有固定凡尔（吸入阀），而在柱塞上端装有游动凡尔（排出阀）。当抽油杆向上运动，柱塞做上冲程时，固定阀打开，泵从井中吸入原油。同时，由于游动凡尔关闭，柱塞将它上面油管中的原油举到井口，这就是抽油泵的吸入过程。当抽油杆向下运动柱塞做下冲程时，固定阀关闭，而游动阀打开，柱塞下面的油通过游动阀排到它的上面。这就是抽油泵的排出过程。实际上，游梁式抽油机——泵装置相当于一个特殊结构的单缸单作用柱塞泵，只不过将它的水力部分放到井下成为抽油泵，将它的驱动及传动部分放在地面变为游梁式抽油机，两者用又细又长的活塞杆——抽油杆连接起来。

三、机械采油设备的发展

随着油井开采，井深不断增加，同时，诸如高粘、重蜡、多砂、多气、水淹和强腐蚀等多种复杂条件经常出现，游梁式抽油机——抽油泵装置的缺点越来越明显。主要表现在抽油机的重量大、效率低，在生产中抽油杆的事故增多，而抽油泵的排量降低。

为了减轻抽油机的重量，采用了无游梁式抽油机。它分为机械式无游梁抽油机（如链条式抽油机和增矩式抽油机）和液压式无游梁抽油机（即液压抽油机）两类。它们的共同特点是保留抽油杆，维持有杆泵抽油设备的工作方式。这两类无游梁式抽油机，还在一定程度上改善了它们的传动形式和工作条件，可以降低抽油杆中的应力，延长设备的使用寿命。因而扩大了有杆泵抽油设备的使用范围。

为了提高效率，采用了前置型游梁式抽油机和异相式曲柄平衡抽油机，有效地改善了游梁式抽油机的平衡效果，可以降低抽油杆中的应力，节约能源，提高设备的使用寿命，同时，保留了游梁式抽油机的特点。

从国外、国内石油开采情况来看，目前抽油泵采油方法的采用仍占有很大的比例。如前苏联据 1983 年统计，生产井有 7 万口以上，其中 80% 是机械采油井，在机械采油井中，80% 是有杆泵井。美国据 1980 年统计，油井总数为 5.5 万口以上，机械采油井为 5 万口，占 90% 左右，其中采用游梁式抽油机的油井为 4.25 万口，占机械采油井的 85%。截至 1981 年底，我国机械采油井井数占生产井总数的 60%，其中有杆泵抽油井占 98.9%。这种方法从出现到目前已有几十年了，它之所以能在各国油田开采中广泛应用，是因为它具有结构简单、使用难度小、适应性广等优点，比如它能使用在几十米浅井，也能使用在 2000m 深井，能用在单井日产量不足 1 吨的井，也能用在数百吨产量的井上。同时它的机械化程度较高，便于集中管理和远距离控制。

为了减少抽油杆的事故，克服抽油泵排量降低的缺点，彻底改变有杆泵抽油设备的工作方式，近年来，大力发展了以水力活塞泵和电动潜油离心泵为代表的无杆泵抽油设备。这种设备的主要特点是：取消了抽油杆，提高了动力传动效率。

总之，随着科学技术的不断发展，抽油设备将朝着高度自动化、高效率、长寿命、节材、节能的方向发展。

考虑到我国抽油设备的现状和发展特点，在有杆泵抽油设备方面，本章着重讨论游梁式抽油机的工作原理、结构特点和有关的一些使用计算，对无游梁式抽油机和抽油泵只作一般介绍。在无杆泵抽油设备部分，着重讨论水力活塞泵及电动潜油离心泵的结构特点和工作原理。

第二节 游梁式抽油机

一、游梁式抽油机的结构

如图 1—2 所示为最常用的基本型游梁式抽油机，它主要由游梁、驴头、横梁、连杆、曲柄、平衡重、减速箱、制动机构、支架等组成。抽油机的结构比较简单，下面着重介绍各主要组成部分的结构特点。

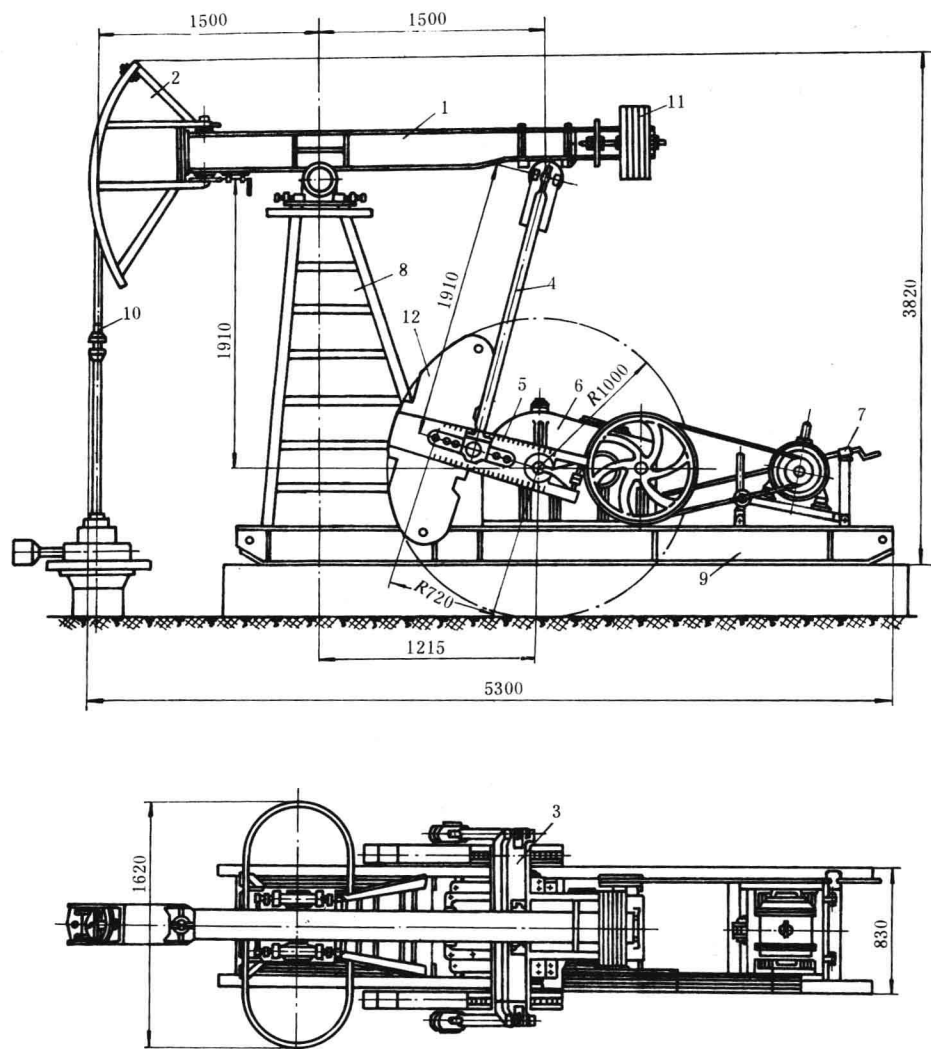


图 1-2 CYJ3-1515 型抽油机

1—游梁；2—驴头；3—横梁；4—连杆；5—曲柄；6—减速箱；7—制动机构；8—支架；
9—撬座；10—悬绳器；11、12—平衡重

1. 驴头与游梁

驴头的作用是将游梁前端的往复圆弧摆动变为悬点的垂直直线运动，以满足抽油杆的运

动需要。驴头弧面半径 R (如图 1-3 所示) 等于游梁前臂长度。为了保证在最大冲程长度下, 将圆弧摆动变为垂直往复直线运动, 圆弧面的长度应为:

$$S_h = (1.2 \sim 1.3) S_{\max} \tag{1-1}$$

式中 $S_{\max}$ ——驴头悬点 (挂抽油杆处) 的最大冲程长度, m。

驴头通常有两种结构型式, 一种是用钢板焊成, 另一种是用角钢组焊而成。

游梁用型钢组合焊成, 也可用普通工字钢制成。图 1-4 为不同结构的游梁。图中 a 为用工字钢制成的游梁, 结构简单, 制造容易, 但材料利用不够合理。图中 b 为一个等强度断面的游梁, 材料利用合理, 但制造较复杂。图中 c 是用型钢焊成的。一般多采用图中 d 的结构, 在工字钢上加两块加强板, 制造比较容易, 断面近似等强度材料使用合理。图中 e 是一种将驴头焊在一起的桁架式结构, 比一般游梁都轻些, 但驴头是固定的, 修井时不够方便, 所以很少采用。此外, 在重型的抽油机上, 为使游梁有足够的强度和刚度, 有时将游梁用板材焊成箱式结构。在工作时, 游梁用一个中间支承短轴和两个轴承支在抽油机支架上。

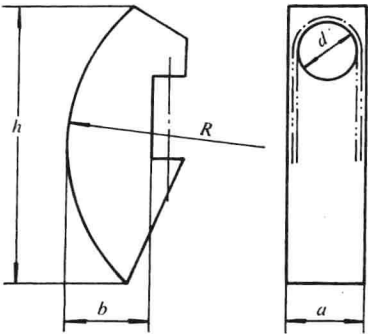


图 1-3 驴头尺寸

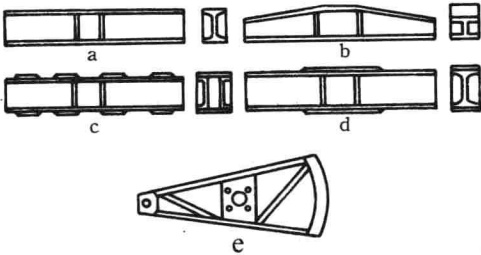


图 1-4 各种结构的游梁

为了便于修井, 驴头和游梁采用特殊的装配形式。目前有三种装配形式。

1) 侧转式驴头, 这种装配形式的驴头在修井时, 可以沿垂直销轴向一侧旋转, 让开井口。多用于中型抽油机。如图 1-5 所示。

2) 上翻式驴头, 在修井时, 驴头可以翻过游梁上面。多用于小型抽油机。

3) 拆装式驴头, 驴头用一定的连接方式紧固在游梁上, 常见的有销钉连接式和螺栓紧固式。在修井时, 用吊车将驴头吊下, 让开井位, 多用于重型抽油机。

2. 横梁及连杆

横梁的作用是连接连杆与游梁, 将两侧连杆上的动力传递给游梁。结构如图 1-6 所

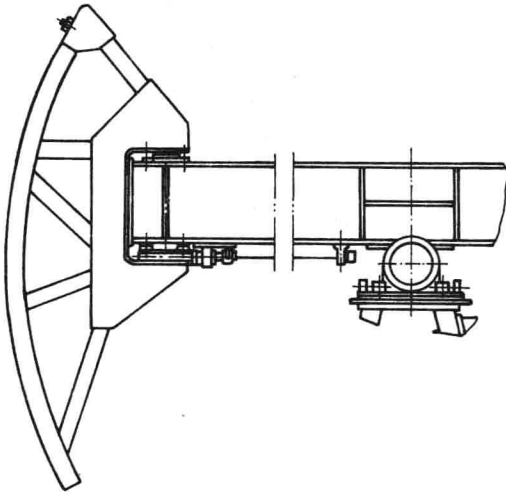


图 1-5 侧转式驴头

示。横梁有三种制造方法，一是用型钢直接制成，二是焊接，三是铸造。横梁的两端用销子与连杆的上接头相连，中间由轴承座通过一根短轴和两个轴承与游梁连接。横梁和连杆的连接点与横梁与游梁的连接点在同一水平线上，可以增加抽油机四连杆在工作中的刚性。

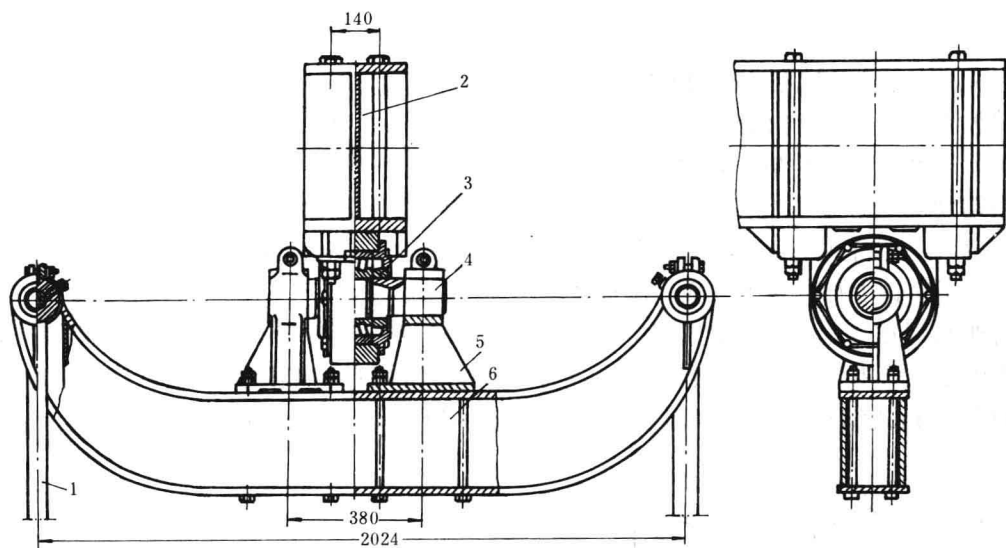


图 1-6 抽油机的横梁

1—连杆；2—游梁；3—密封环；4—横梁轴；5—轴承架；6—横梁

连杆的结构如图 1-7 所示，连杆多是采用无缝钢管制成，两端分别焊有上、下接头。正常工作时，上端连杆头和横梁无转动。下端连杆头和曲柄用曲柄销连接，在连杆销处装有轴承。曲柄销与曲柄用锥面紧紧相连，工作时无相对转动，以避免磨损。

3. 曲柄和平衡重

曲柄在游梁式抽油机中的主要作用是将减速箱输出的动力扭矩传递给连杆，其次是安装平衡重；其结构如图 1-8 所示。曲柄的上、下端面开有“T”型槽，用来安装平衡重；在中心线上开有 3~5 个曲柄销孔，用来实现不同的冲程长度，以满足不同的使用要求。曲柄多采用铸铁件，也有个别的采用铸钢件。

由于游梁式抽油机上、下冲程的载荷很不均匀，上冲程时，驴头悬点需提起抽油杆柱和油柱；而下冲程时，抽油杆依靠自重就可以下落。这样就使得发动机做功极不均匀。为了解决这个问题，采用了平衡重结构。游梁式抽油机的平衡重分两类，一类为游梁平衡重，装在游梁尾部，一般做成片状，在调整时，用人力抬到抽油机上或取下来；另一类是曲柄平衡重，装在曲柄上，调整其在曲柄上的位置，即可得到不同的平衡半径。平衡重也多采用铸铁件。

4. 减速箱与刹车机构

减速箱多为两级齿轮式，传动比 $i=25\sim40$ ，在个别情况下，也使用一级齿轮减速箱或链轮减速箱，由于工作载荷较大，一般小功率时采用斜齿，大功率时采用人字齿。目前，点啮合双圆弧人字齿轮传动在我国各油田得到了广泛的应用。减速箱采用了圆弧齿轮后，其承载能力比渐开线齿轮提高 0.5~1 倍，因而比相同参数的渐开线齿轮减速箱体积有所减小，这样也给抽油机其它部分尺寸的缩小创造了条件。

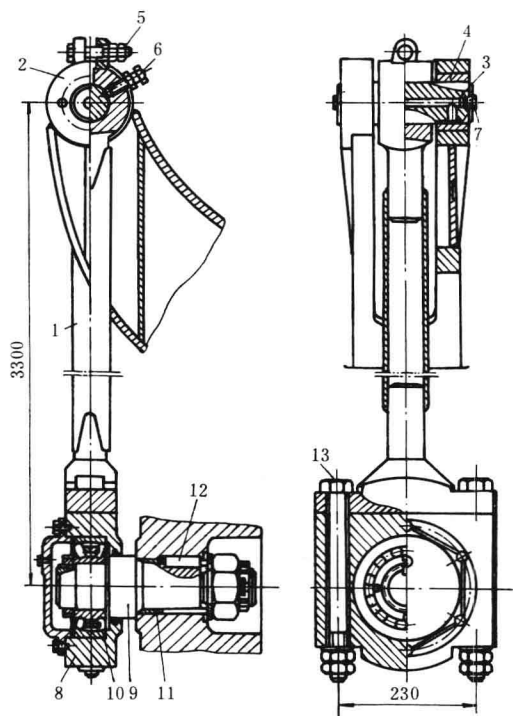


图 1-7 抽油机连杆

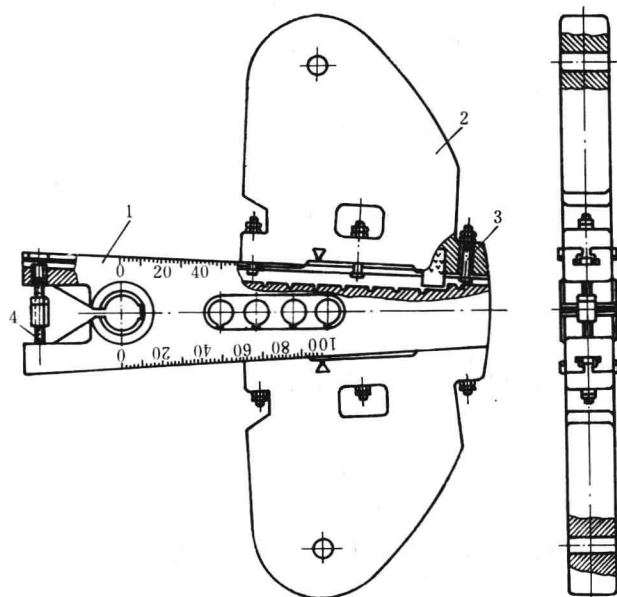


图 1-8 曲柄及曲柄平衡重的结构

刹车机构在结构型式上有内涨式和外抱式两种。通常安装在减速箱输入轴的另一端。刹车机构的作用是处理意外情况时紧急停车或固定四连杆机构的位置。

支架用来支承游梁，固定游梁的工作位置。常用型钢焊成，特轻型的可用一根圆管作支架，重型的可做成三腿或四腿的桁架结构。

二、游梁式抽油机的基本参数和分类

1. 驴头悬点 (挂光杆处) 的最大允许载荷

根据悬点最大允许载荷 $W_{\max}$ 的变化范围, 可把游梁式抽油机分为下列几种:

中型…… $30\text{kN} < W_{\max} \leq 100\text{kN}$

重型…… $W_{\max} > 100\text{kN}$

2. 悬点最大冲程长度

悬点最大冲程长度是指驴头悬点在竖直方向上所能达到的最大位移，用 $S_{\max}$ 表示。它决定着抽油机的产量和抽油机的基本尺寸及重量。目前，游梁式抽油机使用的悬点最大冲程长度 $S_{\max}$ 以 $0.3 \sim 10\text{m}$ ，大多数采用 6m 以下。

根据悬点冲程长度 $S_{\max}$ 的使用范围，可把抽油机分为下列几种：

短冲程…… $S_{\max} \leq 1\text{m}$

中等冲程…… $1\text{m} < S_{\max} \leq 3\text{m}$

长冲程…… $3\text{m} < S_{\max} \leq 6\text{m}$

超长冲程…… $S_{\max} > 6\text{m}$

3. 悬点的最大冲程次数 $n_{\max}$

是指驴头悬点在每分钟内的最大往复次数。它表明抽油机的抽汲工况。当泵径一定时，最大冲程次数 $n_{\max}$ 和最大冲程长度 $S_{\max}$ 一起，确定了抽油机的最大产量。目前，游梁式抽油机应用的悬点最大冲程次数从 $2 \sim 4$ 冲/分到 20 冲/分。由于冲程次数和抽油杆的折断次数成正比，限制了冲次的进一步提高。

根据悬点最大冲程次数 $n_{\max}$ 的使用范围，可把游梁式抽油机分为下列几种：

低冲次…… $n_{\max} \leq 6$ 冲/分

中等冲次…… $6 < n_{\max} \leq 15$ 冲/分

高冲次…… $n_{\max} > 15$ 冲/分

4. 减速箱曲柄轴最大允许扭矩

是指减速箱曲柄轴所能输出的最大扭矩，用 $M_{\max}$ 表示。它决定着抽油机的工作能力。确定了减速箱的尺寸和重量。

根据减速箱曲柄轴最大允许扭矩 $M_{\max}$ 的使用范围，可把游梁式抽油机分为下列几种：

小扭矩…… $M_{\max} \leq 10^4 \text{N} \cdot \text{m}$

中等扭矩…… $10^4 \text{N} \cdot \text{m} < M_{\max} \leq 3 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{m}$

大扭矩…… $3 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{m} < M_{\max} \leq 6 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{m}$

超大扭矩…… $M_{\max} > 6 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{m}$

如果将扭矩和冲程次数这两个基本参数相乘，就得到抽油机单位时间（每分钟）内所要做的功，就是抽油机的功率。所以，也可根据抽油机的最大功率范围把它分为下列几种：

小功率…… $N_{\max} \leq 5\text{kW}$

中等功率…… $5\text{kW} < N_{\max} \leq 25\text{kW}$

大功率…… $25\text{kW} < N_{\max} \leq 100\text{kW}$

超大功率…… $N_{\max} > 100\text{kW}$

三、游梁式抽油机驴头悬点载荷的确定

悬点载荷是抽油机的重要参数之一，悬点载荷的确定是分析抽油机性能的基础，也是抽油机的设计计算和选择使用的主要依据。

1. 驴头悬点载荷分析

当抽油泵工作时，有下列六种载荷作用在抽油机的驴头悬点上：

(1) 抽油杆自重, 用 W_g 表示 (它在油液中的重量用 W'_g 表示), 作用方向向下。

(2) 油管内, 柱塞上的油柱重, 用 W_y 表示。作用方向向下。

(3) 油管外油柱对柱塞下端的压力, 用 P_y 表示。 P_y 的大小取决于泵的沉没度 (指泵在动液面以下的深度), 作用方向向上。

(4) 抽油杆柱和油柱运动所产生的惯性载荷, 相应地用 W_{gg} 和 W_{yg} 来表示。它们的大小与悬点加速度成正比, 作用方向与加速度的方向相反。

(5) 抽油柱与油柱运动所产生的振动载荷, 用 W_z 表示。它主要是由于抽油杆柱的弹性所致。 W_z 的大小和方向都是变化的。

(6) 柱塞和泵筒间, 抽油杆柱 (接箍) 和油管间的半干摩擦力, 用 W_{mg} 表示。抽油杆和油柱间, 油柱和油管间以及油流通过抽油泵游动阀 (排出阀) 的液体摩擦力, 用 W_{my} 表示。 W_{mg} 和 W_{my} 的作用方向和抽油杆的运动方向相反。其中游动阀的液体摩擦力只在泵的下冲程游动阀打开时才产生, 所以它的方向只向上。

上述 (1)、(2)、(3) 三项载荷与抽油杆的运动无关, 称为静载荷。(4)、(5) 两项载荷与抽油杆的运动有关, 称为动载荷。(6) 项载荷也与抽油杆的运动有关, 但是在直井、油管结蜡少和原油粘度不高时, 它在总载荷中占的比重很小, 约占 2~5% 左右, 一般可忽略不计。但是, 在我国部分油田上粘油开采问题相当突出, 第 (6) 项的液体摩擦载荷对悬点载荷的影响很显著, 有时不能忽略。

2. 悬点载荷的大小和变化规律

(1) 悬点静载荷的大小和变化规律

分别对上冲程、下冲程、下死点和上死点四种情况进行分析。

1) 上冲程

当悬点从下死点向上走时, 如图 1-9a 所示, 游动阀关闭, 而固定阀打开。此时, 悬点承受抽油杆自重 W_g 和柱塞上油柱重 W_y , 这两个载荷的作用方向都是向下的。同时, 由于固定阀打开, 使油管外一定沉没度的油柱对柱塞下表面产生方向向上的压力 P_y 。因此, 上冲程时悬点静载荷 W_{js} 等于:

$$\begin{aligned} W_{js} &= W_g + W_y - P_y \\ &= \gamma_g \cdot f_g \cdot L + \gamma_y (F - f_g) \cdot L - \gamma_y \cdot h_c \cdot F \\ &= f_g \cdot L (\gamma_g - \gamma_y) + F \cdot (L - h_c) \cdot \gamma_y \\ &= W'_g + W'_y \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 γ_g ——抽油杆材料的重度, N/m^3 ;

γ_y ——原油的重度, N/m^3 ;

f_g ——抽油杆截面积, m^2 ;

F ——泵中柱塞的截面积, m^2 ;

L ——抽油杆长度或下泵深度, m ;

h_c ——泵的沉没度, m 。近似计算时可认为 $h_c=0$;

W'_y ——油井中动液面以上 (即 $L-h_c$), 断面积等于柱塞面积的油柱重, N 。

2) 下冲程

当悬点从上死点向下运动时,如图 1-9b 所示,游动阀打开,而固定阀关闭。悬点只承受抽油杆柱在油中的重量 W'_g 。固定阀关闭,使油柱的重量移到固定阀和油管上。因此,下冲程时悬点的静载荷 W_{jx} 等于

$$W_{jx} = W'_g \quad (1-3)$$

3) 下死点 (从下冲程到上冲程的转折点)

这时,对抽油杆柱或油管柱来说,载荷都发生了变化。

①对抽油杆柱来说,由下冲程的 W_{jx} 变到上冲程的 W_{js} ,增加了一个载荷 $W_{js} - W_{jx} = W'_y$ (油柱重)。由于抽油杆柱的弹性,载荷增加会使抽油杆伸长,设伸长量为 λ_g 。也就是说,驴头悬点从上冲程开始到冲程长度等于 λ_g 的过程中,柱塞与泵筒没有相对运动,因而不抽油。如图 1-10c 所示。

$$\text{抽油杆的伸长量 } \lambda_g = \frac{W'_y \cdot L}{E \cdot f_g} \quad (1-4)$$

式中 E ——钢材的弹性系数,它等于 $2.1 \times 10^7 \text{N/cm}^2$ 。

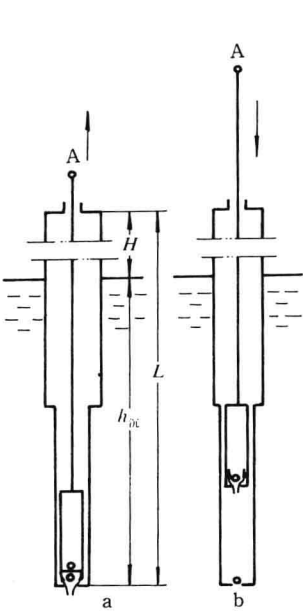


图 1-9 悬点静载荷作用图

a—上冲程; b—下冲程

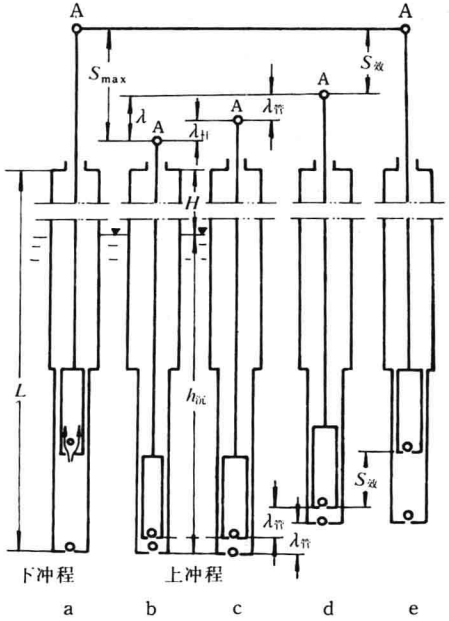


图 1-10 抽油杆柱和油管柱变形过程图解

②对油管柱来说,在下冲程时,由于游动阀打开、固定阀关闭,油柱重 W'_y 压在固定阀上,也就是压在泵筒和油管的下部。而当转到上冲程时,游动阀关闭,整个油柱重量都由柱塞和抽油杆柱承担,油管柱上就没有了这个载荷的作用。因此,在抽油杆加载的同时,油管柱卸载。卸载引起油管长度的缩短,并且一直缩短到变形完毕后,油管柱的载荷才全部卸掉。油管柱的缩短量用 λ_G 表示。

$$\lambda_G = \frac{W_y \cdot L}{E \cdot f_G} \quad (1-5)$$

式中 f_G ——油管管壁的断面积, m^2 。

这样, 虽然悬点带着柱塞一起向上运动, 由于油管柱的缩短, 油管柱的下端也跟着柱塞一起向上移, 柱塞与泵筒还是没有相对运动, 不能抽油。如图 1-10d 所示。一直到悬点再移完一段等于 λ_G 的距离以后, 柱塞才开始抽油。

上述分析表明, 悬点从下死点到上死点的行程为 $S_{\max}$, 但是, 由于抽油杆柱和油管柱的静变形, 使得抽油泵柱塞的有效冲程长度 S_x 小于 $S_{\max}$ 。且

$$S_x = S_{\max} - \lambda \quad (1-6)$$

静变形 λ 的大小等于

$$\lambda = \lambda_g + \lambda_G \quad (1-7)$$

4) 上死点

对抽油杆柱来说, 静载荷由上冲程的 W_{js} 变到下冲程的 W_{jx} , 减少了油柱重 W_y , 抽油杆柱将缩短 λ_g 。因此, 当驴头悬点向下走 λ_g 的距离时, 由于抽油杆柱的缩短, 柱塞在井下原地不动, 它与泵筒也没有相对运动, 不能抽油。

而对油管来说, 因为增加了载荷 W_y , 产生了增长量 λ_G , 此时, 油管 (或者泵筒) 好象是跟着柱塞往下移, 在悬点继续走完 λ_G 以前, 柱塞和泵筒还不能产生相对运动, 也不能排油。因此, 在排油过程中, 柱塞的有效冲程长度 S_x 比悬点最大冲程长度 $S_{\max}$ 减少了一个同样的静变形 λ 。

现在把上、下冲程悬点静载荷随它的位移变化规律描绘在坐标轴上, 如图 1-11 所示, 这种图形称为静力示功图。图中 AB 斜线表示悬点上冲程开始时, 载荷由柱塞传递到悬点的过程。EB 线相当于悬点的无效冲程长度, 也就是说, EB 线的长度与 λ 成正比关系, 比例系数正是坐标的比例系数。当全部的载荷都作用到悬点上以后, 静载荷就不再变化了, 直到上死点为止。

这一段过程如图形上的水平线 BC 所示。CD 线表示抽油杆柱的卸载过程。卸完载荷后, 悬点又以一个不变的静载荷向下运动, 如图中的水平线 DA 所示, 直至下死点 A。

图 1-11 表明:

在上、下两个冲程之内, 悬点静载荷随位移的变化规律是:

平行四边形——ABCD

即表示为 $\square ABCD$

(2) 悬点动载荷的大小和变化规律

动载荷是悬点载荷的重要组成部分, 它由惯性载荷和振动载荷两部分组成。惯性载荷包括抽油杆柱的惯性载荷和油柱的惯性载荷。如果忽略抽油杆柱和油管柱弹性变形的影响, 可以认为, 抽油杆柱及油柱各点的运动规律和悬点完全一致。所以, W_{gg} 和 W_{yg} 的大小与悬

点加速度 a'_w 成正比, 作用方向与后者相反。下面首先讨论悬点加速度的变化规律。

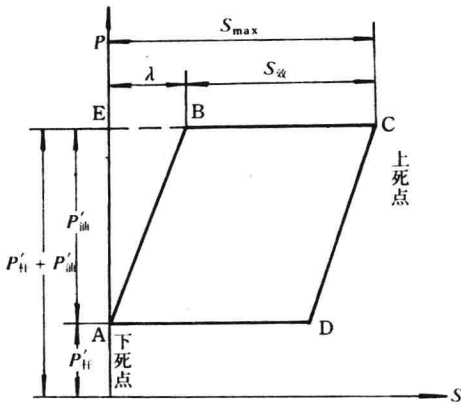


图 1-11 静力示功图

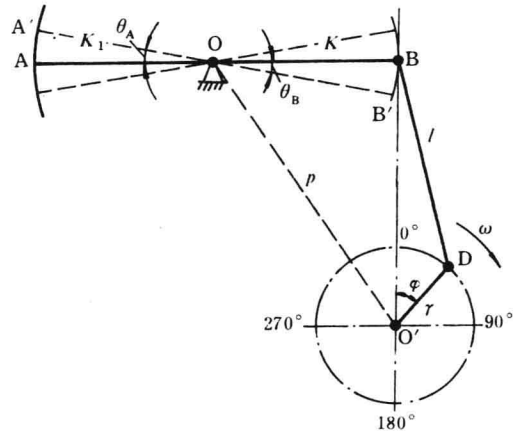


图 1-12 游梁式抽油机运动简图

由图 1-12 可见, 当曲柄 $O'D$ 以等角速度 ω 旋转时, 悬点 A 绕游梁支点 O 上、下摆动。它的运动规律取决于连杆与游梁节点 B 的运动规律。而 B 点的运动规律可近似地认为与往复泵的活塞运动规律相同。则悬点加速度 a'_w 为: (公式推导过程从略)

$$a'_w = \frac{S}{2} \omega^2 (\cos\varphi + Z \cdot \cos 2\varphi) \quad (1-8)$$

式中 S ——冲程长度, m;

ω ——角速度, $\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$ rad/s;

n ——冲次, 冲/分;

Z ——比例系数 $Z = \frac{R}{L}$, R ——曲柄半径; L ——连杆长度。

为了进一步说明悬点加速度 a'_w 的变化规律, 用绘图法绘出 a'_w 随曲柄转角 φ 的变化曲线如图 1-13 所示。由图可知, 加速度 a'_w 在 $\varphi = 0^\circ$ 和 $\varphi = 180^\circ$ 时 (即在下死点和上死点位置) 取得极值。

当 $\varphi = 0^\circ$ 时, $a'_w = \frac{S}{2} \omega^2 (1 + \frac{R}{L})$, 悬点在下死点;

当 $\varphi = 180^\circ$ 时, $a'_w = \frac{S}{2} \omega^2 (1 - \frac{R}{L})$, 悬点在上死点。

悬点加速度 a'_w 的方向也是变化的, 在上冲程的前半段 ($\varphi = 0 \sim 90^\circ$), 加速度 a'_w 为正值, 方向向上, 绝对值逐渐减小; 后半段 ($\varphi = 90^\circ \sim 180^\circ$), 加速度 a'_w 变为负值, 方向向下, 绝对值逐渐增加。在下冲程前半段 ($\varphi = 180^\circ \sim 270^\circ$), 加速度 a'_w 为负值, 方向向下, 绝对值逐渐减少。而后半段 ($\varphi = 270^\circ \sim 360^\circ$), 加速度 a'_w 变为正值, 方向向上, 绝对值逐渐增大。由于加速度 a'_w 的方向变化, 使惯性载荷的作用方向也发生变化, 且与加速度的方向相反。知道了悬点加速度后, 通过下面的公式即可求得惯性载荷。