

石油工人技术培训系列丛书

井下作业施工

工艺技术

王新纯 主编



石油工业出版社

石油工人技术培训系列丛书

井下作业施工工艺技术

王新纯 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是《石油工人技术培训系列丛书》中的一个分册。书中阐述了油水井压裂、酸化、堵水封窜及油井维护作业工艺技术,并详细介绍了井下作业各项施工的操作步骤、规程及注意事项,具有较强的实用性。书后还附有 14 个典型案例,对井下作业实际操作具有很好的借鉴作用。

本书是井下作业工人技术培训的教材,也可供科研人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

井下作业施工工艺技术/王新纯主编.

北京:石油工业出版社,2005.6

(石油工人技术培训系列丛书)

ISBN 7-5021-5048-X

I. 井…

II. 王…

III. 井下作业(油气田)-施工技术-技术培训-教材

IV. TE358

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 029631 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.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:18.5

字数:310 千字 印数:1—6000 册

定价:25.00 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

《石油工人技术培训系列丛书》

编 委 会

主 任：郑 虎

副 主 任：李万余 王永春 孙祖岭 白泽生

刘志华 孙金瑜

委 员：(按姓氏笔画排序)

上官建新 万志强 马卫东 马平凡

马自勤 王立民 王忠仁 尹君泰

申尧民 石桂臣 许 飞 许大坤

朱长根 向守源 百连刚 齐振林

张凤山 张景仁 张 剑 张启英

张晗亮 李储龙 李越强 岳丛林

范卓璞 段世民 钟启钢 郭向东

侯浩杰 赵益红 郝春生 夏中伏

郭跃武 韩 炜

努力造就更多的高技能人才

(代序)

《石油工人技术培训系列丛书》的出版,十分及时,很有必要,对加强中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)经营管理、专业技术和操作技能三支人才队伍建设,特别是操作技能人才队伍建设具有重要意义。

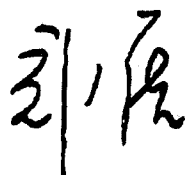
小康大业,人才为本。集团公司员工队伍中的高技能人才,是推动技术创新和实现科技成果转化不可缺少的重要力量,是集团公司三支人才队伍中重要组成部分。集团公司各项事业的发展,不仅需要广大专家的智慧 and 心血,也需要千千万万高技能人才的聪明和才智。长期以来,集团公司高技能人才奋战在油田勘探开发、炼油化工等生产一线,为科技成果的转化、产业结构的升级、企业竞争力的增强,发挥了不可替代的作用。我们要像尊重高级专家那样尊重高技能人才,要像重视高级专家那样重视高技能人才,要像关心高级专家成长那样关心高技能人才的成长。只有三支人才队伍比翼齐飞,各自发挥应有的作用,才能带动集团公司这艘巨轮乘风破浪,扬帆远航。

这些年,集团公司大力实施人才强企战略,坚持三支人才队伍一起抓,紧紧抓住培养、吸引和使用三个环节,不断改进人才工作方式方法,积极营造有利于各类人才脱颖而出的环境,有力推进了三支人才队伍建设,为建设跨国企业集团提供了人才保障。其中,在操作技能人才队伍建设方面,制定了《集团公司加强高技能人才队伍建设的意见》和《技师、高级技师管理办法》,积极组织技师、高级技师培训,全面开展班组长培训,不断提高技能鉴定工作质量,组织开展职业技能竞赛,促进了操作技能队伍素质的不断提高。但是,进一步加强高技能人才队伍建设,尽快形成一支结构合理、技术

精湛、一专多能、适应国际市场规范施工作业要求的操作技能人才队伍,仍是一项十分重要而紧迫的任务。《石油工人技术培训系列丛书》的编写与出版,将为加强操作技能人才队伍培训,造就更多的高技能人才,发挥重要作用。

这套丛书从生产实际出发,以满足需求为导向,以促进员工持续学习为目的,以重点培养员工的学习能力、实践能力和创新能力为目标,内容涵盖勘探、开发、炼化、销售等领域,实践性和针对性都很强。同时,大批专家的参与写作也使教材的权威性有了保证。希望这套丛书的出版发行,能为促进集团公司员工培训工作的深入开展,为促进更多高技能人才的成长,为形成一支门类齐全、梯次合理、素质优良、新老衔接、充分满足集团公司持续有效较快协调发展需要的人才队伍做出积极的贡献。

中国石油天然气集团公司党组成员、副总经理



2005年1月28日

目 录

第一章 基础知识	(1)
第一节 名词解释	(1)
第二节 抽油机	(4)
第三节 采油树	(9)
第四节 抽油泵	(11)
第五节 螺杆泵及配套工艺技术	(15)
第六节 潜油电泵及配套工艺技术	(24)
第七节 抽油杆	(31)
第八节 采油管柱配套工具	(32)
第九节 注水井井口装置及配注管柱	(37)
思考题	(51)
第二章 井下作业施工准备	(52)
第一节 井场调查及搬迁	(52)
第二节 立井架、穿大绳、校正井架	(56)
第三节 吊装井口房、拆装驴头	(61)
第四节 安装井口控制装置	(63)
第五节 安全检查	(68)
思考题	(72)
第三章 压裂工艺技术	(73)
第一节 概述	(73)
第二节 压裂机理	(73)
第三节 压裂设计	(80)
第四节 压裂施工	(87)
第五节 油水井压裂施工资料验收	(112)
第六节 压裂液	(116)
第七节 支撑剂	(128)
第八节 压裂地面工具	(132)

第九节 下井工具	(143)
思考题	(165)
第四章 酸化工艺技术	(167)
第一节 酸化机理	(167)
第二节 酸液及添加剂	(171)
第三节 酸化施工作业指导书的编写	(180)
第四节 酸化施工工艺	(190)
第五节 酸化施工井的效果分析	(201)
第六节 施工井分析及故障处理	(204)
思考题	(206)
第五章 油井堵水封窜	(207)
第一节 堵水封窜层位的确定	(207)
第二节 堵水封窜工艺	(209)
第三节 堵水封窜施工设计	(225)
第四节 安全措施及环保要求	(228)
第五节 堵水封窜施工效果评价	(229)
第六节 异常情况分析及故障处理	(233)
思考题	(235)
第六章 油田维护作业工艺技术	(236)
第一节 油井检泵的原因和注意事项	(236)
第二节 油井检泵方案及编制作业指导书	(239)
第三节 抽油机井检泵施工步骤及要求	(242)
第四节 螺杆泵井检泵施工步骤及要求	(245)
第五节 潜油电泵井检泵施工步骤及要求	(249)
第六节 检泵辅助工序	(252)
第七节 抽油管柱、杆柱组配	(253)
第八节 油井检泵施工资料录取	(255)
第九节 油井检泵施工总结	(258)
思考题	(261)
第七章 案例	(262)
案例一 冲砂管柱打捞杆类落物	(262)
案例二 检泵作业在下加厚筛管情况下的活堵安装	(264)

案例三	在常规射孔井上大排量压裂施工,一次压开多层	(265)
案例四	千斤顶解卡	(269)
案例五	轻度砂堵时等长卡具的灵活使用	(270)
案例六	柔性落物卡管柱的处理	(272)
案例七	海拉尔油田苏 31 井升排量压裂施工	(273)
案例八	对酸化层压不开的处理措施	(275)
案例九	投球器底部螺纹连接改用活接头连接	(276)
案例十	弯曲抽油杆卡在油管内的管柱打捞	(277)
案例十一	应用“闭窗”工具打捞管类落物	(278)
案例十二	油套加注热水处理多裂缝压裂后管柱活动不开	(280)
案例十三	鱼顶为带滑套和钢球喷砂器的管柱打捞	(281)
案例十四	鱼头劈裂筛管的打捞	(283)
参考文献		(285)

第一章 基础知识

为了便于广大读者学习、了解和掌握油水井压裂、酸化、堵水封窜及油田维护作业工艺技术,本章主要介绍了常用的基本概念和抽油机、抽油杆、抽油泵的相关知识。

第一节 名词解释

(1)起下管柱:指用吊升系统将井内的管柱提出井口,逐根卸下放在油管桥上,经过清洗、丈量、重新组配和更换下井工具后,再逐根下入井内的过程。

(2)压井:是将具有一定相对密度和数量的液体泵入井内,依靠泵入液体的液柱压力相对平衡地层压力,使地层中的流体不能流入井筒,以便完成某项施工。

(3)替喷:是通过具有一定相对密度的流体将井内的压井工作液置换出来,使油井、气井恢复产能的过程。

(4)冲砂:是向井内高速注入液体,靠水力作用将井底沉砂冲散,并利用液流循环上返的携带能力,将冲散的砂子带到地面的施工。

(5)洗井:是在地面向井筒内泵入具有一定性质的工作液,把井壁和油管上的结蜡、死油、铁锈、杂质等赃物混合到洗井工作液中带到地面的过程。

(6)水力压裂:简称压裂,是油气井增产、注水井增注的一项重要技术措施。它是利用地面高压泵组,将高粘液体(压裂液)以大大超过地层吸收能力的排量注入井中,在井底造成高压,并超过地层的破裂压力,使地层破裂,形成裂缝并使裂缝延伸,随即将掺带有支撑剂的液体注入裂缝中,并在裂缝内填以支撑剂,停泵后地层中即形成有足够长度和一定宽度及高度的填砂裂缝。

(7)小型压裂:又称微型压裂、测试压裂。指在进行正式压裂(特别

是大型压裂)之前进行的小规模不加支撑剂的压裂。目的在于取得正式压裂设计所必需的压裂参数:裂缝延伸压力、闭合压力和压裂液的滤失系数等。

(8)破裂压力:是指使地层产生水力裂缝或张开原有裂缝时的井底流体压力。地层破裂压力与岩石弹性性质、孔隙压力、天然裂缝发育情况以及该地区的地应力等因素有关。单位为 MPa。

(9)裂缝延伸压力:是指水力裂缝在长、宽、高三个方向扩展所需要的缝内流体压力。一般地,它比闭合压力大,且与裂缝大小及压裂施工有关。单位为 MPa。

(10)裂缝闭合压力:简称闭合应力。指泵注停止后,作用在裂缝壁上而使裂缝似闭未闭的压力。裂缝闭合压力的大小与地层最小水平应力有关,它是影响裂缝导流能力的重要因素。单位为 MPa。

(11)目前地层压力:油气藏投入开发后,在某一时期内测得的油井油气层中部压力称之为该时期的目前地层压力。单位为 MPa。

(12)井底静压:是指油气井在关井后,待压力恢复到稳定状态时所测得的油气层中部压力。单位为 MPa。

(13)套压:是表示油套管环形空间内,油和气在井口的剩余压力,又叫压缩气体压力。单位为 MPa。

(14)流压:是油井正常生产时所测得的油层中部的压力。单位为 MPa。

(15)渗透率:衡量多孔介质允许流体通过能力的一种度量。根据达西定律,粘度为 μ 的液体,在 Δp 压差作用下通过截面积为 A 、长度为 L 的多孔介质,其通过的流量 Q 与 A 、 Δp 成正比,与 μ 、 L 成反比,即 $Q = KA\Delta p/\mu L$, K 为常数,称为渗透率。 K 值大,多孔介质允许流体通过的能力也大,反之则小。渗透率是多孔介质的自身性质,与所通过的流体性质无关,单位为 μm^2 。

(16)岩石的弹性模量:也称为杨氏模量。理想弹性材料,在弹性范围内受拉应力或压应力时,应力 σ 与应变 ε 成线性关系: $\sigma = E\varepsilon$ 。比例常数 E 即为该材料的弹性模量。单位为 MPa。

(17)泊松比:当岩石受抗压力时,在弹性范围内,岩石的侧向应变与轴向应变的比值,称为岩石的泊松比。

(18)裂缝导流能力:填砂裂缝在闭合压力的作用下让流体通过的能力

称为裂缝导流能力。其值为闭合压力下填砂裂缝的渗透率与裂缝宽度的乘积,单位为 $\mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$ 。

(19)增产倍数:是压裂措施增产效果大小的指标,可用油气井压裂后与压裂前的采油指数之比表示,也可用相同生产条件下,压裂后产量与压裂前产量之比表示。

(20)缝内填砂浓度:填砂裂缝内支撑剂的浓度。为了便于研究支撑剂在缝内的排列层数,常用单位面积缝面上充填的支撑剂质量来表示,单位为 kg/m^2 。

(21)混砂比:俗称加砂比,简称砂比,是支撑剂与混砂液体的体积比,用于表示携砂液中支撑剂的浓度。用单位体积混砂液中砂的质量表示,单位为 kg/m^3 。

(22)裂缝穿透系数:也称裂缝穿透比,用裂缝单翼长度(裂缝半长)与供油半径的比值表示裂缝长度的无因次数值。

(23)酸化:是利用酸液的化学溶蚀作用及向地层挤酸时的水力作用,解除油层堵塞,扩大和连通油层孔隙,恢复和提高油层近井地带的渗透率,从而达到增产、增注的目的。

(24)溶解力:给定体积或质量的酸液所能溶解矿物的量称为溶解力。

(25)油气显示:石油、天然气及其有成因联系的各种石油衍生物天然的和人工的露头均称为油气显示。根据油气显示的成因和部位可分为地面油气显示和井下油气显示两种。地面油气显示:石油和天然气沿着地下岩石的孔隙和裂缝运移到地面所形成的各种露头,称为地面油气显示。地下油气显示:由于钻井,提取岩心和随同钻井液(或清水)循环而把石油和天然气携带到地面的露头称为井下油气显示。

(26)注水强度:注水井单位有效厚度油层的日注水量,叫注水强度,单位为 $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$ 。

(27)吸水指数:注水井在单位注水压差下的日注水量,叫油层吸水指数。为了及时掌握油层吸水能力的变化情况,可采用视吸水指数。视吸水指数等于注水井日注水量除以注水井井口压力。在笼统注水时,注水井井口压力,从油管注入时应取套压,从套管注入时应取油压。单位为 $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$ 。

(28)表皮系数:井壁附近一定范围的产层因受钻井、完井及采油作业等施工影响,使其渗透率受到伤害而发生变化的现象叫表皮效应。若因各

种原因使井壁附近渗透率下降则称此为“正表皮效应”。若因各种原因使井壁附近渗透率上升则称此为“负表皮效应”。表皮系数 S 为无因次量,用下式表示

$$S = \left(\frac{K}{K_d} - 1 \right) \ln \frac{r_d}{r_w}$$

式中 K, K_d ——表示地层渗透率、污染区渗透率, μm^2 ;

r_d, r_w ——表示污染区半径、井眼半径, m 。

(29) pH 值:是测定溶液酸碱性的指标。在油田化学中,常常需要测定溶液的酸碱性, pH 值的应用范围在 0 ~ 14 之间。当 pH 值小于 7 时,溶液呈酸性,值越小,酸性越强;当 pH 值等于 7 时,溶液呈中性;当 pH 值大于 7 时,溶液呈碱性,值越大,碱性越强。

(30) 表面活性剂:是指能显著改变(通常叫降低)液体表面张力或两相间张力的化学物质。

(31) 堵水:又称封堵,是指为了清除或减小水淹造成的危害所采取的封堵出水层段的井下工艺措施。

(32) 窜槽:在多油层油田开发中,各层段沿油井套管与水泥环或水泥环与井壁之间的窜通,称为窜槽或管外窜槽。

(33) 验窜:又称找窜。它是利用封隔器、同位素、声幅测井等方法,来验证套管外各小层间(尤其是油、水层间)是否窜通的工艺措施。

(34) 封窜:指对已找到的窜槽采取各种井下工艺措施,封住窜槽部位,叫封窜。

(35) 封隔器堵水(机械堵水):是指利用封隔器将出水层和油层隔开,达到堵水的目的。

第二节 抽 油 机

抽油机是有杆抽油系统的动力部分,是由电动机经传动皮带将高速旋转运动传递给减速器,减速后由曲柄连杆组成的四连杆机构将旋转运动变为游梁的上下摆动,带动驴头上下运动,通过挂在驴头上的悬绳器带动光杆、抽油杆和柱塞上下往复运动,将井液抽到地面。

抽油机可分为游梁式和无游梁式两大类。下面简单介绍几种型号的抽油机。

一、常规型游梁式抽油机

常规型游梁式抽油机是游梁式抽油机的基本形式之一,主要特点是:结构简单,制造容易,维修方便,特别是可以长期在野外恶劣环境中全天候运转,使用可靠。它是目前应用最广泛的机型,如图 1-1。

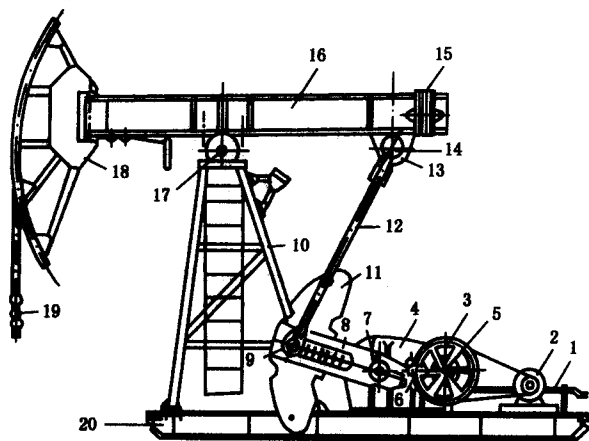


图 1-1 常规型游梁式抽油机结构简图

- 1—刹车装置;2—电动机;3—减速箱皮带轮;4—减速箱;
5—动力输入轴;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—横梁轴;14—横梁;15—游梁平衡块;16—游梁;
17—支架轴;18—驴头;19—悬绳器;20—底座

二、异相型游梁式抽油机

异相型游梁式抽油机是近十几年发展起来的一种性能较好的抽油机,与常规型游梁式抽油机相比主要不同点是:一是将减速箱背离支架后移,增大了减速箱输出轴中心和游梁摆动中心之间的水平距离;二是平衡块重心与曲柄轴中心连线和曲柄销中心与曲柄轴中心连线构成一定夹角,如图 1-2。

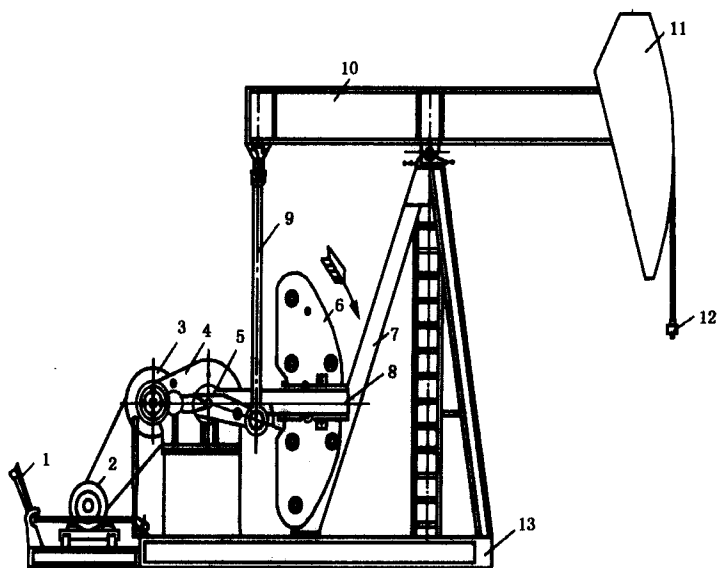


图 1-2 异相型游梁式抽油机结构图

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

三、前置型游梁式抽油机

前置型游梁式抽油机是游梁式抽油机的另一种形式,结构特点是曲柄连杆机构和驴头均位于支架前面,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,上冲程曲柄旋转 195° ,下冲程曲柄旋转 165° ,如图 1-3。

四、异型游梁式抽油机

异型游梁式抽油机是近几年发展起来的新型游梁式抽油机,结构上有前后两个驴头,是利用尾部驴头摆动时,后毛辫子与驴头弧面接触点的改变来改变后臂长和后臂与前臂的夹角,电损耗较小,如图 1-4。

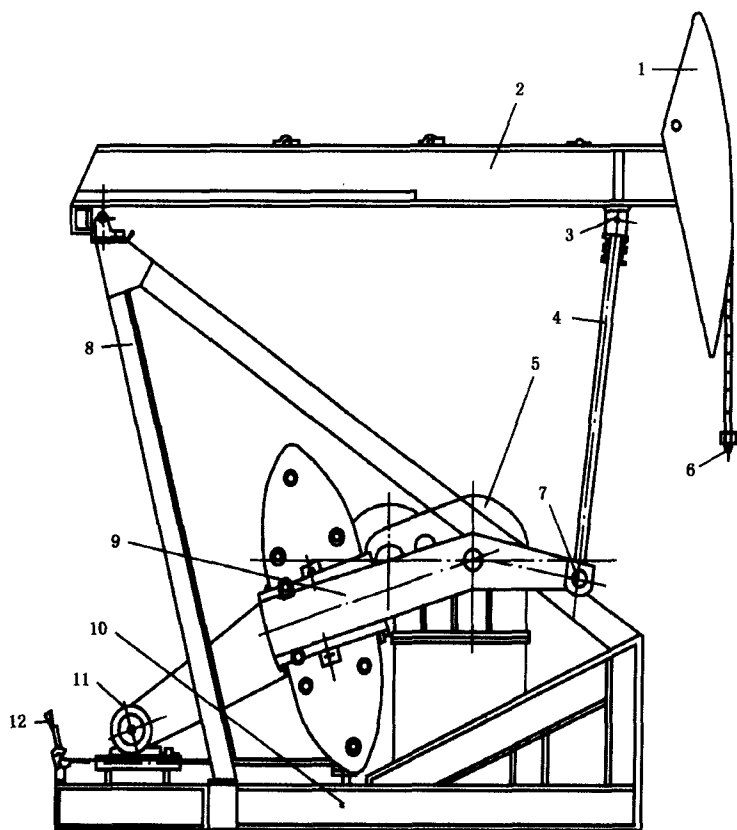


图 1-3 前置型游梁式抽油机结构图

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

五、矮型异相曲柄抽油机

矮型异相曲柄抽油机采取了曲柄平衡重偏置结构,偏置角 $32^{\circ} \sim 36^{\circ}$, 并且偏置角和冲程均能无级调节,以满足抽汲参数优化的需要。整机体积小、质量轻、高度小、成本低,节能降耗,操作简单,管理方便,如图 1-5。

还有数控抽油机、斜直井游梁式抽油机和无游梁式抽油机等多种,这里不介绍了。

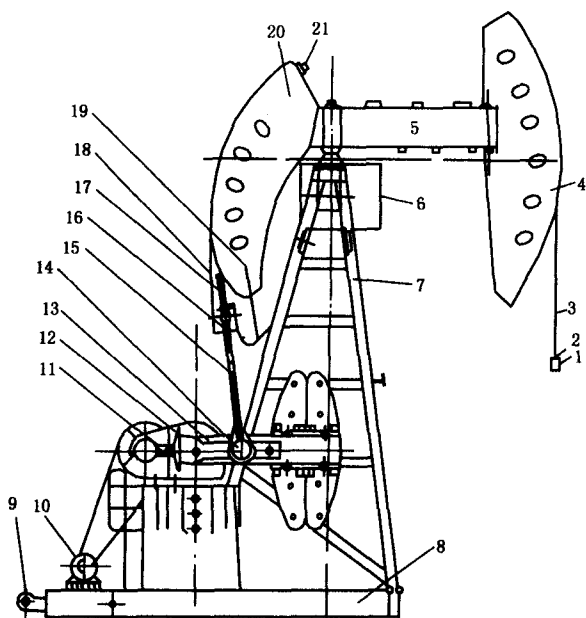


图 1-4 CYJ10-5-48 异型游梁式抽油机结构示意图

- 1—悬绳器;2—光杆卡瓦;3—吊绳;4—前驴头;5—游梁;6—平台;7—支架;
8—底座;9—刹车手柄;10—电动机;11—刹车装置;12—减速箱;
13—曲柄装置;14—曲柄销装置;15—连杆;16—横梁;17—驱动绳(驱动链);
18、19—保护绳;20—后驴头;21—冲程微调装置

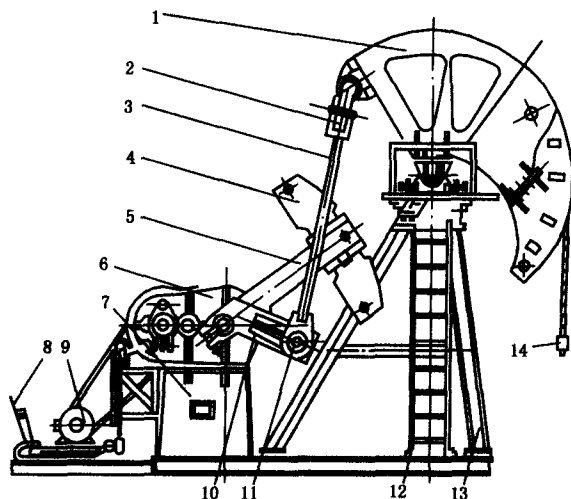


图 1-5 CYJY6-2.5-26HB 矮型异相曲柄平衡抽油机结构示意图

- 1—驴头;2—横梁;3—连杆;4—配重块;5—配重臂;6—减速箱;7—箱座;
8—刹车装置;9—电动机;10—曲柄;11—曲柄销;12—扶梯;13—支架;14—悬绳器