

◀设计计算▶

用于出砂井的水力喷射泵结构设计

马德泉* 张 辉 李 杰
(胜利石油管理局无杆采油泵公司)

摘要 油井出砂对地面设备和井下设备带来极大的危害。通过室内试验研究了地层砂在井筒内的流动和沉积状态,测定了不同粒径的砂粒沉降速度和一定液量下的极限携砂量。设计了应用在出砂井中的水力喷射泵采油装置,其特点是采用平行双管柱结构的水力喷射泵,合理设计泵内流道,尽可能保持液体匀速流动,适当提高液体流速,提高携砂能力。最后为防止液体停止流动导致砂堵排出管,设计了结构独特的沉砂管。

关键词 出砂井 水力喷射泵 结构设计 沉砂管

引 言

油层出砂是砂岩油层开采过程中的常见问题,油井出砂对油田生产的影响非常严重,人们正在采取各种工艺措施进行防治^[1]。目前,诸多防砂工艺均不同程度地阻止了油层中较大的砂岩固体颗粒随流体流入井筒,但部分较小的砂岩固体颗粒仍然通过防砂工具的孔隙随流体流入井筒,由于摩擦磨损的作用,对井下的采油设备和地面设备造成一定的损害。所以,人们又采取各种措施改进采油设备对地层砂的适应能力。其中主要是设计具有防砂作用的有杆泵和电动潜油泵,其中有些工作也收到了一些效果^[2]。这两种泵的设计主要是增加防砂装置或改变液流方向、使用特殊耐磨材料等方法,以延长泵的使用寿命。但由于运动(直线运动或旋转运动)的存在和完全浸没在液体中,运动副之间的摩擦磨损是不可避免的,最终导致零部件磨损,泵效降低,泵砂卡或油井砂埋。

由此可见,研制一种不怕砂磨的采油装置就显得很有必要。水力喷射泵是用高压液体驱动的非容积式泵,流体循环量大,携砂能力强,没有运动部件,不怕砂磨,运转寿命长,对出砂井适应能力强。为此,笔者开展了这方面的研究工作。

室 内 试 验

地层砂随地层液进入井筒后,在泵的抽汲作用下随地层液上升。因为各油井的产液量不同,其上升的速度也不同。其中粒径较大的地层砂会逐渐沉积到井底,粒径较小的地层砂则随着地层液进入泵内,排至地面。为了摸清地层砂的流动及沉积状态,笔者在实验室内模拟井筒结构,通过试验的方法研究出地层砂在泵吸入口处的沉积状态、不同粒径的砂粒沉降速度和一定产液量下的极限携砂量。

1. 地层砂在泵吸入口处的沉积状态

地层砂随地层液进入套管流动,在来不及随液体排出时会逐渐沉积在井底,当砂面接近泵吸入口处时,靠近吸入口的地层砂因该处液体流速较高被液流携带走,而周围的地层砂则逐渐沉积呈凹面,依据产液量的不同,砂面离吸入口的距离也不同,产液量较大时,砂面距吸入口距离较大,反之则较小。这说明离吸入口较近处的液体速度高,砂粒被液体带走,离吸入口较远处的液体流速低而导致砂粒沉积,这也说明在泵体结构设计中应充分考虑适当提高液体流速。

2. 不同粒径砂粒沉降速度的测定

为了直观地测定砂粒的沉降速度,采用透明的

* 马德泉,工程师,生于1969年,1992年毕业于上海机械学院流体力学与流体机械专业,现从事石油机械产品的国外销售工作。地址:(257000)山东省东营市。电话:(0546)8558524。E-mail:madq@mail.siof.com。

(收稿日期:2003-02-11;修改稿收到日期:2003-03-17)

玻璃管观察砂粒的沉降情况。笔者筛选了3种不同粒径的砂粒，使3种砂粒分别在不同流速的水流中悬浮，这时，液流速度就被称为是砂粒的沉降速度。试验主要测定了3种不同粒径砂粒的沉降速度。3种砂粒直径分别为0.85 mm、0.2~0.3 mm和0.105~0.2 mm，这3种粒径砂粒的沉降速度分别为0.20、0.15和0.04 m/s。从以上数据可以看出，在地层砂粒粒径不是很大的情况下，砂粒的沉降速度较小，而地层出砂多是粉细砂，对井下设备的伤害主要是砂粒摩擦磨损作用，砂埋油层或油管主要是由于液体停止流动造成的。

3. 极限携砂量的测定

试验时，在一定产液量下，一定时间内在产液中混入不同量的地层砂，直到混砂量大到产液来不及将地层砂带走，即将砂埋吸入口而导致产液量下降时，计算出此时地层砂所占产液的质量百分比。该值是产液的极限携砂能力，根据试验测得，在产液量为10 m³/d时，产液中极限含砂量为9.3%。一般出砂较严重的油井产液含砂量在0.5%以下，所以，在保持流动的情况下，砂粒一般是不会沉降的。产液中最大含砂量测定情况见表1。其中喷嘴直径3.4 mm，喉管直径9.0 mm。

表1 产液中最大含砂量测定

动力液压力/MPa	动力液量/(m ³ ·d ⁻¹)	混合液量/(m ³ ·d ⁻¹)	产液量/(m ³ ·d ⁻¹)
8.3	94.8	104.8	10
回压/MPa	测量时间/min	砂的质量/kg	含砂量/%
1.0	7	5	9.3

水力喷射泵结构设计

目前，现场应用的水力喷射泵均为单管柱开式循环的管柱结构形式，这种管柱形式在一般油井中应用没有问题，但在出砂严重的井中应用则不适合。这种开式循环结构的喷射泵工作时，动力液从油管进入泵内而混合液从油、套环形空间返回地面，油、套管环形空间较大，液体流动速度较低，地层砂极易在油、套管环形空间沉淀，特别是意外停泵，使液体停止循环时，常会造成砂埋油管和封隔器，造成井下事故。所以设计用于出砂井的水力喷射泵时必须考虑地层砂在泵内的沉积和在管柱中的沉淀问题。

1. 防止地层砂在喷射泵内的沉积

要防止地层砂在水力喷射泵内的沉积，必须优化水力喷射泵内的流道设计。为此，在设计水力喷

射泵时，在保证液体流速的前提下，尽可能使地层液从吸入口到进入泵内的整个流道截面积变化不大，保持液体匀速流动，没有液流死角，使地层砂不易在泵内沉积。

2. 水力喷射泵管柱结构的设计

前面论述了水力喷射泵单管柱开式循环的管柱结构形式在出砂井中应用是不适合的，所以设计了平行双管柱结构（见图1），即在油井套管内有平行的两排管柱，动力液从一根管柱进入喷射泵内，混合液从另一根管柱排至地面，在较高流速条件下使砂粒不易沉淀，这种结构避免了地层砂砂埋油管和封隔器，而且通过适当减小排出管的过流面积来提高液体流速和泵的携砂能力。平行双管柱水力喷射泵技术参数见表2。该结构水力喷射泵适应直径大于或等于177.8 mm（7英寸）的套管。

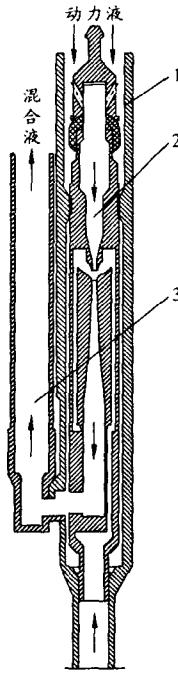


图1 平行双管柱水力喷射泵结构简图

1—工作筒；2—喷射泵；3—排出管

表2 平行双管柱水力喷射泵技术参数

工作筒外形尺寸/mm × mm	喷射泵外形尺寸/mm × mm	喷嘴系列/mm	喉管系列/mm
φ146×1780	φ59×1120	1.9~4.2	4.5~7.2

在生产中不可避免会因意外事故而造成突然停止输送动力液，这时井下泵停止工作，正在上升中的地层砂就会因为液体停止流动而逐渐沉降在排出管中。若排出管沉砂过多而阻塞流道，使液体不能循环，就会无法继续生产。所以，必须将沉砂倒流至另一条管线中去。为了解决这个问题，笔者设计了一根沉砂管（见图2），使沉降的地层砂沉积到

（下转第19页）

表 1 $\phi 127\text{ mm}$ (5 英寸) G105 钻杆摩擦焊工艺规范

规格		焊接规范						淬火规范				回火规范					
外径/mm	内径/mm	p_1/MPa	p_2/MPa	p_3/MPa	t_1/s	S_2/mm	t_3/s	t_s/s	t_i/s	t_f/s	p_s/MPa	p_f/MPa	N_j/kW	J_i/s	N_b/kW	B_i/s	$T/\text{°C}$
129	92	1.6	5.2	8.8	14	13	10	3	26	60	0.5	0.7	25	230	13	400	670 ~
129	95	1.5	4.6	8.3	10	12	10	3	21	50	0.5	0.7	25	220	13	360	710

表中 p_1 —一级摩擦压力; p_2 —二级摩擦压力; p_3 —顶锻压力; t_1 —一级摩擦时间; S_2 —二级摩擦位移; t_3 —顶锻保压时间; t_s —淬火时机; t_i —喷液时间; t_f —吹风时间; p_s —液压; p_f —风压; N_j —加热功率; J_i —加热时间; N_b —保温功率; B_i —保温时间; T —加热与保温温度

采用上述规范, 焊接处理后的试样经西安管材研究所试验, 在送检的 3 个试样中, 其力学性能、显微组织均符合 API Spec 7 标准要求, 焊缝冲击功明显高于标准要求, 在 40 ~ 130 J 之间。用该规范焊接处理后的钻杆已下井使用, 效果良好。

结 论

(1) 实践证明钻杆摩擦焊形变热处理装置能够满足生产需要, 达到了预期效果。

(2) 钻杆摩擦焊形变热处理充分利用和挖掘了摩擦焊过程自身所具有的焊件接头区在焊接过程中激烈加热的同时, 在轴向力及摩擦力矩作用下, 发生剧烈形变所提供的使接头区金属同时得到了形

(上接第 16 页)

沉砂管中, 而不会导致砂埋排出管^[3]。该沉砂管位于排出管的下部, 其长度根据油井含砂量来确定。这样, 因意外事故而造成突然停止输送动力液时, 井下泵停止工作, 正在上升中的地层砂就会因为液体停止流动而逐渐沉降在沉砂管中, 因此就不会堵塞排出管。

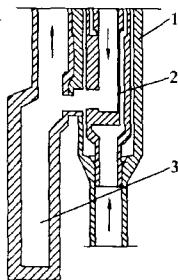


图 2 沉砂管结构简图

1—工作筒; 2—喷射泵; 3—沉砂管

结 束 语

水力喷射泵作为一种常规机械采油装置在油田

变与相变强韧化的可能性, 在摩擦过程结束后及时使接头速冷淬火, 从而得到形变与相变双重强韧化的效果, 实现了在基本不降低接头强度的条件下, 其韧性达到甚至超过母材的水平。

(3) 摩擦焊形变热处理技术在 $\phi 127\text{ mm}$ G105 石油钻杆摩擦焊修复生产中的应用, 改变了通常焊后淬火与退火加热工序, 充分利用了刹车能耗和焊接余热, 大大节省了能源, 简化了热处理工序, 提高了工效。

参 考 文 献

- 1 赵熹华. 压力焊. 北京: 机械工业出版社, 1992: 228 ~ 237

(本文编辑 李学富)

生产中有着不可替代的作用。它结构紧凑, 无运动部件, 工作可靠, 喷嘴、喉管采用硬质合金材料, 不易磨损, 使用寿命长, 对各种复杂的工况具有较强的适应能力。通过室内试验, 初步了解了地层砂的流动和沉积状态, 并利用喷射泵的特点, 研制出了这种能将进入井筒内的地层砂携带至地面的新型水力喷射泵, 在整体结构设计上考虑了如何适当提高液体流速, 使地层砂在较高流速下来不及沉积, 便被液体携带至地面。这种具有较强携砂能力的新型水力喷射泵定能成为出砂井生产的理想装置。

参 考 文 献

- 1 张琪. 采油工程原理与设计. 山东东营: 石油大学出版社, 2001: 47 ~ 59
- 2 鲁红光, 杨长林, 陈保钢等. 携砂抗砂增效抽油系统现场应用及效果评价. 石油机械, 2001, 29 (1): 34 ~ 36
- 3 张显文, 孙能福, 张艳等. 热采沉砂泵的矿场应用. 石油矿场机械, 2000, 29 (5), 41 ~ 42

(本文编辑 刘峰)

Fan Qingyu (Scientific and Technology Department, Zhongyuan Oilfield Company, Puyang City, Henan Province), Wang Qilong, Guo Xuehui, et al. Application of noble metal anode on cathodic protection of three-phase separators. *CPM*, 2003, 31(7): 9~11, 14

To solve the problems in using the external current cathodic protection for the corrosion protection of the inside wall of a three-phase separator, lab tests were made. A noble metal containing platinum, titanium and a little columbium is selected as anode. Based on the research of the manufacturing technology, a noble metal auxiliary anode with small size, long life and large magnitude of current is developed. The design, installation and safety precautions are expounded. The method for determining the protection parameters is presented. And the field use of the anode is described.

Subject Concept Terms	noble metal anode	three-phase separator	inside wall
	cathodic protection	corrosion control	

Sun Jian(*Jianghan Oilfield Company, Qianjiang City, Hubei Province*). Calculation of friction load on rod string in polymer flooding wells. *CPM*, 2003, 31(7): 12~14

When the polymer is found to be produced along with the crude oil in a polymer flooding well, the produced fluid becomes a non-Newton fluid, whose viscosity varies with the change of the shearing rate. Therefore if the friction load on the rod string is calculated, the value of the viscosity at the corresponding shearing rate should be selected. According to the calculating equations of the friction load on the rod string on the upstroke and downstroke, the friction load increases remarkably with the increase of pumping speed when the polymer is found to be produced from the well, therefore low pumping speed should be adopted during oil production. Case study shows that the calculated value and the measured value of the friction load is very close, this means the above-mentioned calculation method is feasible.

Subject Concept Terms	polymer flooding sucker rod string	rod pumped well friction load	fluid viscosity
------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	-----------------

Ma Dequan(*Rodless Pump Company of Shengli Petroleum Administration, Dongying City, Shandong Province*), Zhang Hui, Li Jie. **Structural design of hydraulic jet pump for sandy wells.** *CPM*, 2003, 31(7): 15~16, 19

Sand production of an oil well does great harm to the surface and downhole pumping equipment. The flow and deposition of the formation sand in the wellbore is tested in the lab. The sedimentation rate of sand particles with various diameters and the limited sand-carrying capacity at a certain production rate are determined. A hydraulic jet pump system for sandy wells is designed. This pumping system adopts a jet pump with a structure of parallel double-string. Flow passage with reasonable structure is designed to improve the sand-carrying capacity of the pump. And unique sand-settling pipe is also designed to prevent the sand from plugging the discharging pipe as fluid stops flowing.

Subject Concept Terms sandy well hydraulic jet pump structural design sand-settling pipe

Gu Zhifeng (*Machinery Manufacturing Plant of Henan Petroleum Exploration Bureau, Nanyang City, Henan Province*), Zhang Peng, Li Fei. **Multifunctional compound pump for thermal recovery.** *CPM*, 2003, 31(7): 20~21

A multifunctional compound pump is developed for use in thermal recovery. The pump adopts upper and lower mandrels with the same inside diameters, and has two plungers with the same diameter and a central oil conduit. A circulation steam injection valve is fixed between the upper barrel and the lower barrel to realize steam injection when lowering the rod string. Lifting the rod string to place the plunger in operating position to carry out oil pumping operation. The pump has the advantages of large steam injection flow area, large lifting rate, high