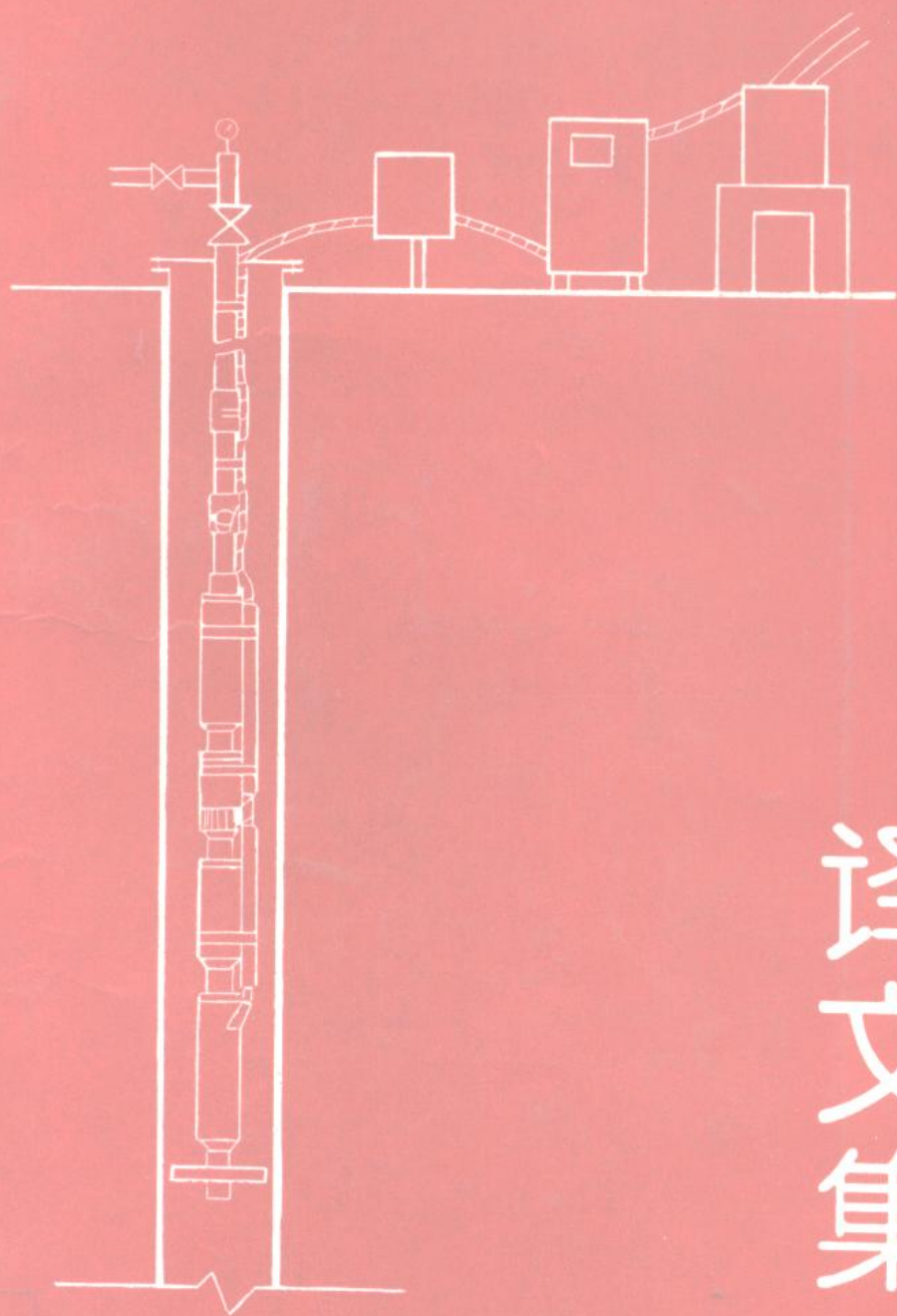


潜油电泵采油技术

译文集

石油工业出版社



北京)

5-53

潜油电泵采油技术译文集

何百平 王晓屏 等译
孙学龙 唐养吾 等校

石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本书精选了近年来发表的 36 篇有关潜油电泵采油的论文, 主要涉及了潜油电泵采油系统的设计与选择、测试、防气、防腐和防垢技术; 还分析探讨了潜油电泵井的故障类型及优化作业技术; 最后, 选择了几个实例研究, 讲述了油田应用潜油电泵采油的经验教训。

本文集适合从事采油工程的管理干部和现场工程技术人员阅读, 也适合大专院校油气田开采工程专业师生参考学习。

潜油电泵采油技术译文集

何百平 王晓屏 等译

孙学龙 唐养吾 等校

*

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 18 印张 453 千字 印 1—1,500

1993 年 7 月北京第 1 版 1993 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0841-6/TE·786

定价: 13.30 元

目 录

潜油电泵系统的选择	(1)
优化潜油电泵设计的计算机程序	(14)
计算机程序选泵法	(18)
应用图表分析法选择油井的电泵	(24)
计算机模拟和优化潜油电泵采油	(30)
潜油电泵抽油系统的模拟分析方法	(38)
在高粘原油条件下优化潜油电泵设计的实用方法	(44)
潜油电泵电缆改进后的设计特性	(56)
选择潜油电泵油管 and 动力电缆规格的一种经济有效的计算方法	(63)
潜油电泵电费预算及其在原油生产经济状况中作用的评价	(61)
一种创新的 (包括 Y 型组合接头) 单管柱完井设计和潜油电泵在多油层油藏的 应用	(96)
电泵抽油井的井温测试	(108)
潜油电泵转速变化对其工作范围的影响	(111)
在气-液流情况下潜油电泵特性数据的相关式	(121)
管外气体压力对电泵工作方式的影响	(134)
计算地层流体中的气体含量有助于潜油电泵的选择	(138)
通过沉浸式离心泵的气液混合物液流中气相的分散性	(148)
用沉浸式离心泵抽汲粘性气液混合物的工作情况	(152)
泵入口处有游离气存在时的电泵应用	(156)
矿场试验带气体分离器的电泵装置	(161)
电泵气体分离器试验样机的验收试验	(165)
瓦列冈油气生产联合企业在井下电动离心泵上安装气体分离器的经验	(168)
通过改进作业降低南 Swan Hills 油田潜油电泵故障	(171)
用电缆携送潜油电泵系统提高产量	(184)
提高电泵生产和维修的工艺水平	(198)
电动沉没泵的振动故障分析	(200)
潜油电泵装置的阴极防腐蚀法	(209)
潜油电泵在科威特油田的应用及结垢情况	(213)
潜油电泵装置电器设备工况的动力指标及其改善方法	(222)
潜油电泵工作的可靠性分析	(226)
阿布扎比海上穆巴拉斯油田潜油电泵现场工作状况	(229)
潜油电泵在北海比阿特里斯油田的成功应用	(239)
北海油田的潜油电泵井采用 ESP/Y-T001/TCP 系统进行补孔	(248)
潜油电泵在蒙特罗斯油田的应用及操作经验	(256)

荷兰海域 Q-1 块电泵实例研究	(266)
Bima 油田潜油电泵的最佳化选择	(275)

潜油电泵系统的选择

K.B.Nolen 和 S.G.Gibbs

孙学龙译

王晓屏校

摘 要

本文介绍了潜油电泵系统常规选择方法。这种选泵技术是根据电泵系统的数学模型做出的，包括机械、流体力学和电子模拟。本文还对影响潜油电泵系统选择的基本参数进行了讨论。为了进一步说明这种电泵选择技术的适用性，还对电泵在高含水（不含气）井和高气油比（含气）井中的应用，以及变频控制屏和锥形泵的应用作了叙述。

一、引 言

最通用而简单的选泵方法就是不考虑游离气。选泵时涉及的计算用小型计算器便可以完成。非含气井选泵方案适用于产气量极少，通常气油比不超过 $50\text{m}^3/\text{bbl}$ 的井。高含水井就属于这种类型。具体方法就是，在不考虑原油体积缩小及游离气影响的情况下，根据预测的油井产量，选择电泵的规格。为了确定泵的级数，使用了总的动压头（TDH）这一概念。并且假设每个级数所产生的压力是不变的。因此，从泵吸入口到排出口之间，泵体内的流体密度和体积也都是不变的。计算泵的总压头和总功率时，只要把每级叶轮产生的压头和所需要的功率叠加起来就行了。

TDH 等于电泵净举升高度加上油管摩阻，再加克服井口输油管线回压的压头，用下式表示：

$$\text{TDH} = \text{NL} + \text{F} + \text{BP}$$

式中 NL——电泵净举升高度，泵挂深度减去泵的沉没度；

F——油管摩阻的压头损失；

BP——克服井口管线回压的压头。

在计算电泵所需要的功率时，对流体的相对密度要进行换算。电泵特性曲线是基于相对密度为 1.0 的清水做出的，所以，电泵所需功率等于从电泵特性曲线上读出的功率数乘以所泵流体的实际相对密度。

用总动压头法对含气井选泵时，如果不考虑游离气的影响，则不会使电泵系统发挥出好的特性。图 1 示出了随着气油比的增加，泵系统的排量和效率下降的情况。此例的泵挂深度 5000ft；排量 950bbl；吸入口压力 100psi。然而，无论泵挂深度和排量怎样变化，气油比对电泵特性的影响都是相似的。

含气井的瞬时气油比比平均气油比要高得多，所以，这种井中电泵的起动和继续操作常常是很困难的。含气井的套管要间歇出气或定期出气。从一口套管出气的单井计量卡片上可

以看出这种情况。由于重力影响，当气体沿套管向上的液体中分离出来后，流体的压力梯度下降。随着游离气量增加，气体通过液体的流速加快，有更多的液体被气体带出套管。这种情况通常称为“间歇出油”。有时，逸出气体的能量不足，不能将携带的液体完全带出，便出现了“流体回落现象”。这种情况出现时，气体不再沿套管上升，电泵不得不处理更多的游离气。不管电泵分离游离气的能力如何，交替出油和回落现象总会定期产生。因此，采出的气体经常以段塞形式进入泵的吸入口。这要改变进泵流体的密度。其结果，由于处理了相当数量的游离气，使泵所需的功率波动，电机电流也随之变化。如果游离气和液体的总体积超过了泵总压头的能力，则会产生气穴。这时，泵所需要的功率就会接近零。电机电流降到接近无负荷电流。根据调定的欠载保护，整个系统就会停止工作。

Lea 和 Bearden⁽¹⁾ 做了实验室试验，证明了泵的扬程、排量和效率随游离气体积的增加而降低的情况。压力低于 400psi 时，降低幅度尤其显著。所以，泵的级数较少时，其特性受游离气的影响更为严重。此外，泵的叶轮设计也会影响泵的特性。混合流型叶轮比径流型叶轮处理含气流体更好些。

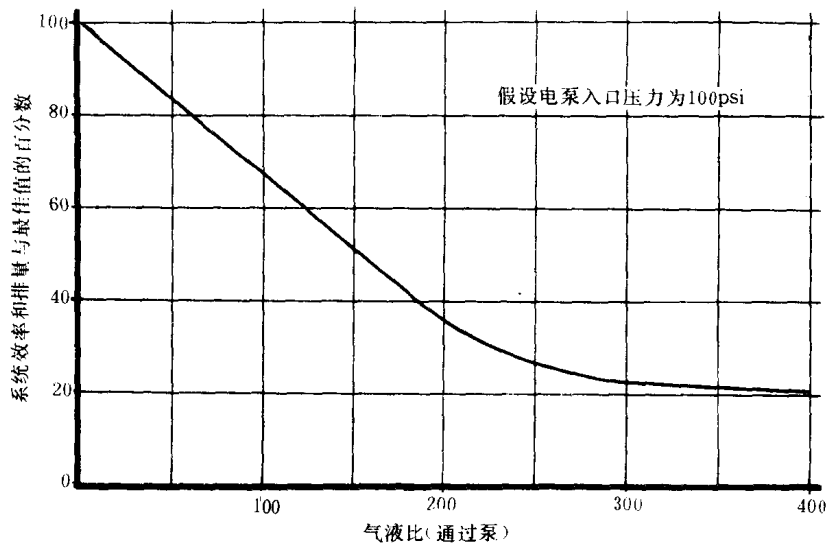


图1 游离气对电泵排量和系统效率的影响

这种实验室试验还需进一步扩大，以便获得各种类型泵处理不同气体体积以及在不同压力下的特性数据。如果能得到泵在含气井中更精确的特性数据，含气井的选泵会大大改进。

二、通用的设计方法

通用的选泵方法可以解决游离气的影响问题。下面对影响电泵系统选择的一些重要因素进行一下讨论。图2为选泵程序的逻辑框图。

1. 油井特性

要对油井做出好的选泵设计，必须对油井状况有个全面的了解。油井的基本物理数据如下：

- (1) 套管规格（最小内径）、生产层段、井深和出油管压力；

- (2) 原油的 PVT 特性、API 重度、粘度、水的相对密度、生产气油比和井底温度；
- (3) 供电电压和供电能力；
- (4) 不利的工作条件，包括含砂、腐蚀、结垢、乳化和结蜡情况。

油井精确的流入特性关系曲线 (IPR) 是至关重要的。

对油井产能计算不精确是选泵设计不佳和电泵应用不当的主要原因。

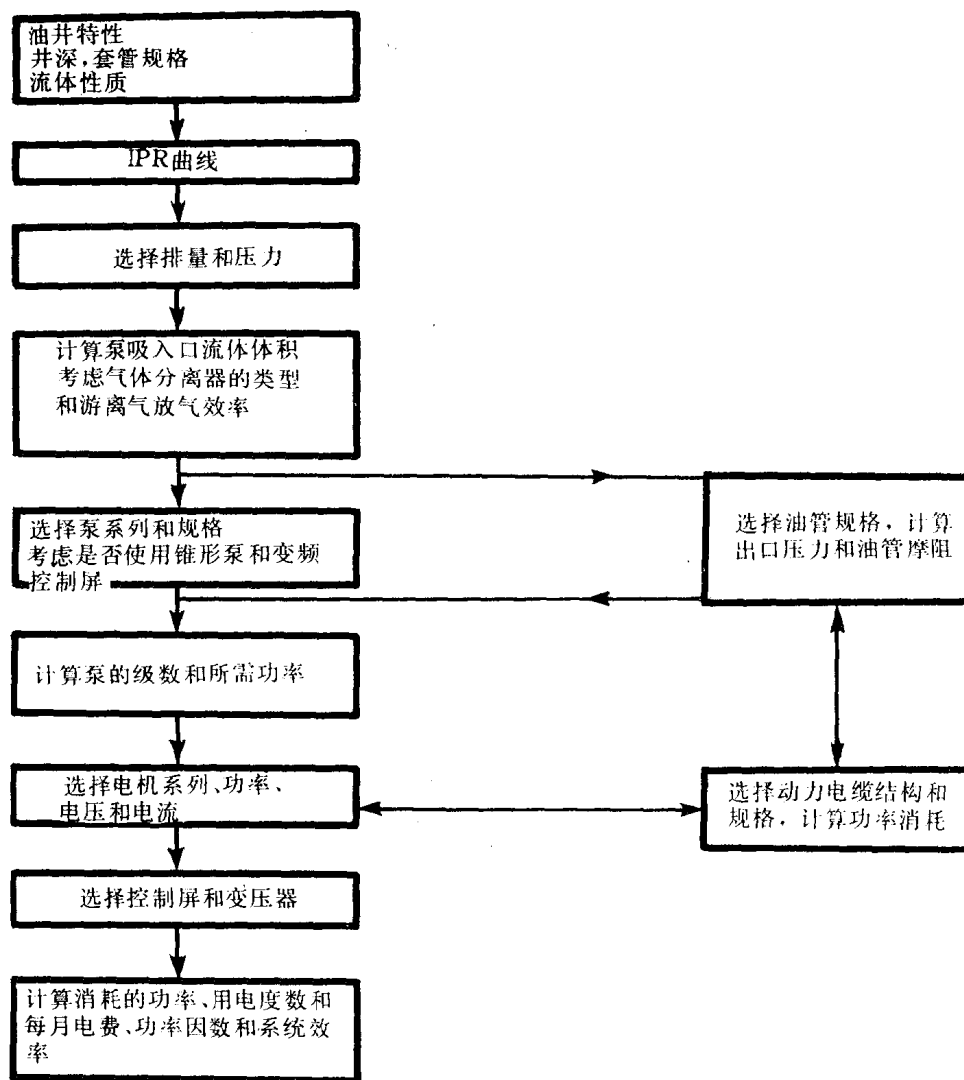


图 2 选泵程序逻辑框图

选泵时，除对油井目前状况应有详细的了解之外，还应对油井将来的特性给予考虑。考虑要点如下：

- (1) 随着油井开采时间的增加，油井的产能呈上升还是下降趋势？
- (2) 油井的含水和生产气油比会不会改变？
- (3) 油藏驱油机理类型（溶解气驱、水驱、重力驱或注水驱）

2. 排量和压力的选择

电泵排量可以根据油井的 IPR 曲线进行选择。但是，套管规格、泵挂深度和泵的型号等物理条件可能会限制排量的选择。

3. 泵吸入口流体体积的计算

从 IPR 曲线选择的排量是以地面桶为单位计算的。要计算进泵流体的桶数，则必须考虑游离气量和原油的收缩量。进行这种计算时，需要知道原油 PVT 特性和实测的气油比。使用图 3 和 4 及表 1 给出的工作表和无量纲 PVT 特性曲线，可以对泵吸入口体积进行手工计算。从套管采出的游离气量必须进行换算。每口井的采出气量各不相同，与油井的流体性质、泵吸入压力、套管规格、排量和气体分离器（沉淀式、旋转式和护罩式）的分离效率有关。通常假定有 70~80% 的采出气通过了泵，从选泵设计角度看，认为这种假设是合理的，并且比较安全。

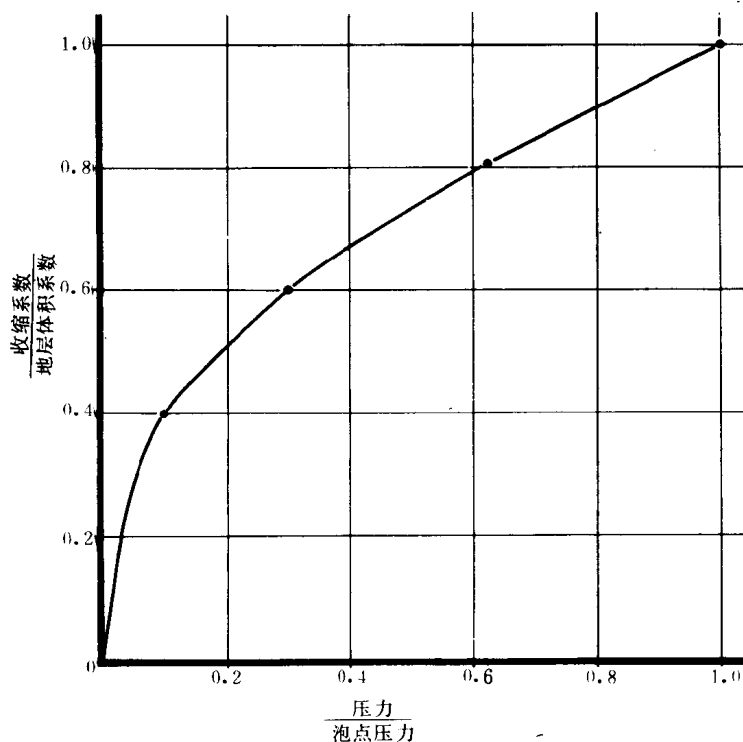


图 3 无量纲原油收缩系数曲线 (根据 PERMIAN 盆地原油特性绘制)

4. 电泵的选择

当流体和游离气的总吸入体积确定之后，泵的规格就可以选择了。通常，选择适合套管内径最大系列的泵。因为，直径大的泵，相对效率高，成本低。

表 1 确定泵吸入口近似排量的工作表

压力 psi	产水量 bbl	产油量 STB / d	收缩系数	产油量 bbl / d (泵入口)	总产气量 scf / d	游离气量 ¹ scf / d	游离气量 ² (泵入口) bbl / d	泵入口排量 bbl / d
-----------	------------	----------------	------	-------------------------	-----------------	------------------------------	---------------------------------------	------------------

¹ 不包括放空气；

$$\text{bbl / d} = \frac{3 \times \text{scf / d}}{\text{表压} + 14.7}$$

假设：气体为理想的气体，即 $\frac{pV}{T} = C$

吸入口温度 = 140 ° F

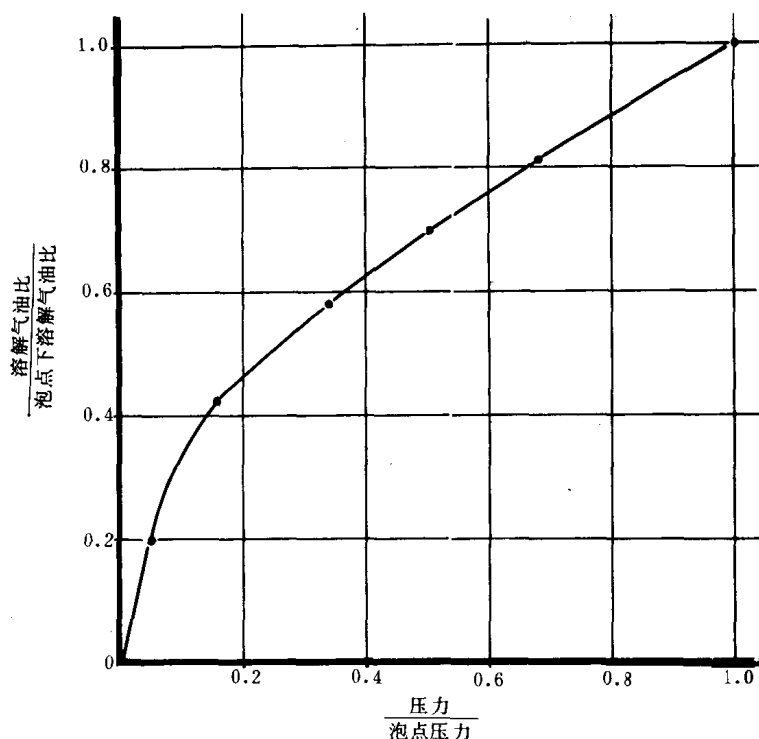


图4 无量纲原油膨胀系数曲线 (根据 PERMIAN 盆地原油特性绘制)

如果是含气井, 随着泵内逐级压力的变化, 每级叶轮所处理的采出液的体积和密度也随之变化。电泵每级叶轮所产生的压力和每级叶轮所需要的功率与流体的相对密度成正比。不过, 当泵吸入口压力低于 400psi 时例外。正如前面讨论的那样, 气体的百分体积增加, 压力下降时, 扬程、排量和泵效随之降低。可以用降低与气体百分含量和压力有关的泵排量的办法来模拟这种影响。为了对含气井做出合适的选泵设计, 数学模型应该从泵底部吸入口开始向上逐级模拟。把每一级叶轮所产生的压力和所需要的功率进行叠加, 直至达到泵举升高度所需要的压力为止。泵所需的级数取决于根据泵流出特性或油管特性确定的泵的排出压力。近年来, 使用油井流动压力梯度这一技术得到了发展。利用这项技术可以进行自喷井和气举井油管特性最优化选择。参与这项技术研究的有 Poettmann、Carpenter Ros 和 Brown 等人。另外, 还可以用由 Orkiszewski 导出的计算公式来模拟油管特性。使用流动压力梯度不仅要考虑游离气和溶解气的影响。而且还要考虑井口回压、油管摩阻和采出油水密度的影响。应用这种计算方法, 可以把管柱最下部压力, 也就是泵的排出压力计算出来。泵的级数直接影响到泵的排出压力。

5. 电机和动力电缆的选择

电机要根据电泵所需要的功率、套管规格、动力电缆的规格和长度来选择。通常, 要选择适合套管内径的最大系列 (直径) 的电机。因为这样, 可以降低最初的成本, 并且可以使电泵的效率稍有提高。电机的额定功率只有应与电泵的设计功率相等。另外, 在电泵的整个使用期间, 油井含水可能发生变化, 因此, 在选泵时就要考虑到这个因素, 要留有一定的余量。还应注意当用重压井液压井或投产时含水很高时的起泵情况。

电机额定功率可以有不同的电压额定值。电压应根据电缆的规格和长度来选择。动力电缆的电压降损失应小于电泵系统总能耗的 10%。在深井中, 通常选择高电压, 以降低动力

电缆的电压降损失。由于电缆的规格受到油套环形空间间隙的限制，油管流体摩擦损失会使动力电缆损失加大。适当选择油管和电缆规格，可大大降低综合能耗，同时降低最初投资成本。电缆的预期寿命也影响电缆规格的选择。

用变频控制屏改变电机的频率，也会影响电机的性能。电机转数、输出功率和额定电压与频率直接相关。

当电机、动力电缆和频率被选定之后，整个电气系统的性能就可以评价了。利用图 5 所示的电机特性曲线和已知的电机百分负荷数，便可得出如下数据：

- (1) 电机电流；
- (2) 功率因数；
- (3) 动力电缆损失的伏特数、度数或美元 / 月；
- (4) 所需要的地面电压；

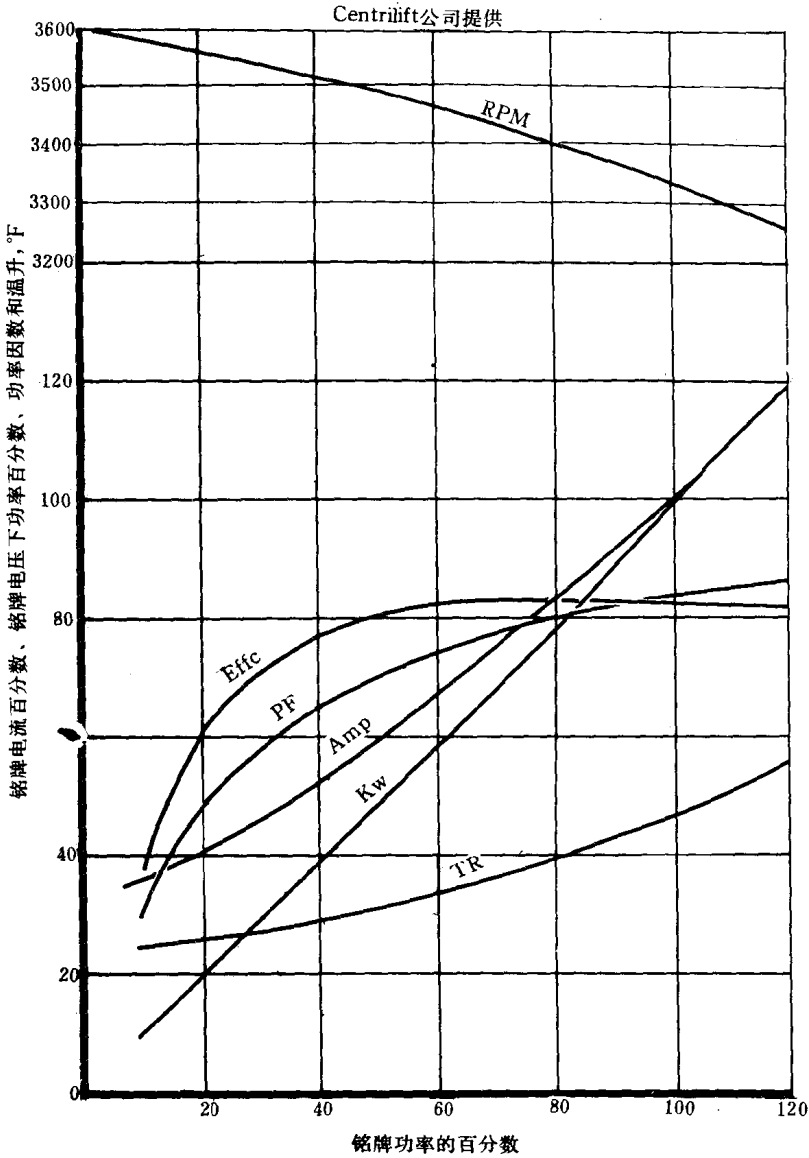


图 5 CENTRILIFT 公司电机特性曲线

(5) 耗电量 (度数 / 月)。如果知道每度电的单价, 则可求出每月的电费;

(6) 系统总效率。

在高含气油井中, 如采用锥形泵, 也可以获得较高的泵效。当压缩气体造成泵底部效率下降时, 将其换成排量较低的泵就可以实现高泵效。通常, 锥形泵只限于两种或三种不同规格泵的组合。

另外一种改进含气井电泵特性的方法是使用变频控制屏。设计变频控制屏时, 可使用下面相似定律:

$$\frac{q_1}{q_2} = f_1 / f_2, \quad \frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \text{ 和 } \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2$$

式中 f ——频率, Hz;

q ——排量, bbl / d;

h ——扬程, ft;

p ——功率, hp。

例如, 当频率从 60Hz 增加到 90Hz 时, 泵的排量增加 1.5 倍, 扬程增加 2.25 倍, 功率增加 3.38 倍。扬程、排量和所需功率的增加对可能导致电机功率下降, 频繁出现欠载停机现象的高含气井十分有利。当频率增加后, 因气体干扰造成的停机次数减少了。

注水开发油田, 凡是选泵过大或产能估计过高, 都可以使用变频控制屏来进行调节。如果选泵规格受套管规格的限制, 频率高于 60Hz 时, 可以增加排量。比如, 在 51 / 2in 套管井中, 电机频率为 60Hz 时, 泵的出口排量为 3000bbl / d。当电机频率增加至 90Hz 时, 电泵出口排量可以提高到 4500bbl / d。

稠油井 (流体粘度超过 40SSU) 上使用的电泵, 可根据修正后的电泵特性曲线进行选择原油的粘度可以精确地测出。但是, 此值随含水的升高和乳化液的出现, 变化很大。当含水超过 80% 时, 粘度和乳化液问题通常都不能算做复杂的问题了。

在附录 B 中, 对常用的计算和选泵方法做了简单的讨论。

6. 油管规格的选择

影响油管规格选择的因素有初始成本、摩阻损失和动力、电缆的间隙等。一般地讲, 流体摩擦损失应低于电泵系统总能耗的 10%。所有的电泵厂家都可以提供油管摩阻损失图表。摩阻损失中也包括了粘度的损失。大多数流动摩阻数据都是根据 Hazen-Williams 以前的计算数据导出的。溶解气, 尤其是游离气可大大降低油管流体的压力梯度。

7. 变压器和控制屏的选择

地面变压器和控制屏是选泵过程中最后选择的两个项目。控制屏有两种, 即标准控制屏和变频控制屏。控制屏的作用是控制和保护井下设备。控制屏和变压器的规格取决于地面电源的电压和电流。

变频控制屏除具有标准控制屏的所有功能外, 还具有改变频率和电压的功能。这种控制屏有不同的电流额定值。变频控制屏可根据预计的最大频率值进行选择。

$$\text{KVA} = \frac{(V_m \times \text{Hz} / 60 + V_c) \times I \times \sqrt{3}}{1000}$$

式中 V_m ——电机为 60Hz 时的额定电压；

V_c ——动力电缆的电压降；

Hz——预计的最大频率；

I——电机的额定电流。

变压器也是应用上面公式，根据所需容量 (KVA) 来选择。如果使用单相变压器，可将总的容量除以 $\sqrt{3}$ ，来确定单相变压器的最小规格。

8. 选泵方法的应用

为了用实例说明这种选泵方法的适用性，已进行了几次实际应用。其中一口油井有以下一些生产特性：

生产指数：1.0 bbl / (d · psi)

生产能力：吸入口压力 200 psi 时，产油 1000 bbl / d，产水 200 bbl / d。

泵挂深度：5000 ft

气油比：458 scf / bbl

泡点：1801 psi

地层体积系数：35 ° API

水的相对密度：1.05

套管规格：5 1/2 in

这里介绍了 8 种具体的选泵方案。为了说明通用选泵方法的灵活性，选泵结果在表 2 中做了归纳。

第 1 种方案假设油井不产游离气。此法与总动压头选泵法相似。

第 2 种方案使用与第 1 种方案同样的机组。假设油井产气，气油比为 458 scf / bbl。如果不考虑产气问题，则游离气的影响会使电泵工作特性变坏，同时降低电泵的排量。

第 3 种方案除级数从 227 级增加到 327 级外，其余与第 2 种方案相同。但由于增加的级数过多，没能使电泵的性能得到改善。

第 4 种方案使用变频控制屏，频率从 60 Hz 增加到 90 Hz，产量得到了增加，但效率有所下降。

第 5 种方案使用了一种大排量泵，以便更有效地抽取游离气体。方案中假设了相同的气油比，并采用了 60 Hz 频率。由于所选规格是处理游离气的最佳选择，所以电泵的排量和泵效都有所提高。

第 6 种方案使用了锥形泵，以便处理游离气。仍采用和前例相同的气油比和相同的频率。此例的排量和效率与第 5 种方案相比，稍有提高。

第 7 种方案使用变频控制屏。用变频控制屏把频率变到 50.8 Hz，以适应泵吸入口压力为 200 psi 时，油井产能从 1200 bbl / d 下降到 600 bbl / d 的需要。此方案假设没有游离气，以便与第 1 种设计进行比较。此方案使得泵效和系统效率有所降低，但仍然很高。

第 8 种方案使用变频控制屏。把频率变到 76 Hz，以适应在 200 psi 吸入口压力情况下，油井产能从 1200 bbl / d 增加到 1800 bbl / d 的需要。此方案还是假设没有游离气，以便于第 1 种和第 7 种方案进行比较。泵效和系统效率与第 7 种方案相比，都有显著地提高。

附录 A 给出了一种计算机选泵的格式和计算结果。

三、结 论

本文介绍了选泵的通用方法。选泵过程中，整个电泵系统都可以进行数学模拟，以便确定游离气对电泵系统的影响。变频控制屏和锥形泵对产能变化的井和气液比较高的井是非常有用的。

掌握本文推荐的选泵方法，可以提高对电泵抽油应用的认识，并改善整个电泵系统的工作性能。

表 2 各方案结果一览表

方 案	泵型号 / 级数	泵吸入 口压力 psi	排量 bbl / d	气油比	频率 Hz	电机 功率 hp	电泵 功率 hp	泵效 %	系统 效率 %	说 明
1	M-34 / 227	200	1200	0	60	46.5	31	67	49.3	无游离气基本方案
2	M-34 / 227	512	888	458	60	16.2	3	19	11.6	含气
3	M-34 / 227	509	891	458	60	22.8	3	13	9.4	含气级数过多
4	M-34 / 227	364	1036	458	90	34.7	7	20	12.4	含气增大频率
5	Z-69 / 227	266	1134	458	60	16.2	9	55	32.0	含气大排量泵
6	Z-69 / 100 N-80 / 127	224	1176	458	60	18.5	10	54	32.3	含气 锥形泵
7	M-34 / 227	200	600	0	50.8	27.1	15	55	39.1	不含游离气频率低、排量低
8	M-34 / 227	200	1800	0	76	85.4	47	55	41.1	不含游离气，频率大排量 高，在 76Hz 情况下，电机 功率从 75hp 增加到 76hp。

注：所有方案都使用 75hp 电机（1130V，43A）和 4 号动力电缆。

附录 A 选 泵 分 析

公司、油矿和井号：举例，第 6 种方案

分析编号：OS3-1-14-1

分析日期：83 年 1 月 14 日

1. 井下电机

制造厂家：CENTRILIFT

额定电流 (A)：43

额定功率 (hp)：75

预计电流 (A)：27

额定电压 (V)：1130

频率 (Hz)：60

地面电压 (V)：1195

根据制造厂家的数据计算出的特性：

电缆电压降 (V)：65

电机输出功率 (hp)：18.5

电机电压 (V)：1130

功率因数: 0.41

2. 井下电泵

制造厂家: CENTRILIFT

电泵吸入口压力 (psi): 224

电泵排出压力 (psi): 757

进泵流体气油比 (scf/bbl): 457

泵入口压力下原油收缩系数: 1.141

进泵流体气液比 (scf/bbl): 381

液体 (bbl/d)		在泵吸入口压力下进泵流体体积		
		1296		
液体加游离气体 (bbl/d)		4417		
泵型号	级数	平均效率, %	吸入口压力, psi	排出口压力, psi
Z-69	100	68.9	381	757
N-80	127	36.5	224	382

3. 耗能设计

电费基本价格 (美元/度)	月电费 (美元) 整个系统	电 缆
0.01	168	9
0.02	336	18
0.04	673	37
0.06	1009	55
0.08	1346	73
0.10	1682	92
0.12	2019	110

地面输入功率 (hp): 31

井下电机输入功率 (hp): 30

电泵液压输出功率 (hp): 10

机组总效率 (%): 32.3

注: 电费金额中不包括变压器和地面输电线路的压降损失

4. 其它技术数据

泵挂深度: 5000ft

井口温度: 100 ° F

油压: 50psi

套压: 50psi

油管摩阻: 45psi

油管平均压降梯度: 0.141psi / ft

设计排量和流体性质

产液量: 1160bbl/d	产油量: 967
产水量: 193bbl/d	气油比: 588
含水: 16.6	油的相对密度: 35API
水的相对密度: 1.05	泡点: 1801psi
溶解气油比: 588scf/bbl	地层体积系数: 1.312bbl/bbl

5.电泵剖面梯度数据表

级	压力梯度, psi / ft	排量, bbl / d	压力, psi
1	0.263	1840	752
8	0.255	1899	714
15	0.247	1960	677
22	0.239	2025	643
29	0.232	2093	611
36	0.224	2165	580
43	0.216	2240	552
50	0.209	2317	525
57	0.202	2398	499
64	0.195	2480	476
71	0.189	2564	454
78	0.183	2649	434
85	0.177	2734	416
92	0.172	2818	399
99	0.167	2901	384
106	0.161	3005	366
113	0.155	3119	348
120	0.15	3233	332
127	0.145	3347	318
134	0.14	3460	304
141	0.136	3572	292
148	0.132	3681	281
155	0.128	3783	272
162	0.125	3879	263
169	0.122	3969	256
176	0.12	4051	249
183	0.117	4126	244
190	0.116	4192	239
197	0.114	4249	235
204	0.113	4299	232
211	0.112	4342	229
218	0.111	4378	227
227	0.11	4417	224

附 录 B

为了一口含气井选泵时,用普通的手工算法进行计算要花相当长的时间。用计算机计算则比较理想的。计算时,主要是确定井下电泵所产生的流体压差。其中包括每级叶轮的扬程和排量,还要计算泵所需要的功率,然后再根据泵的功率确定电机的规格。

流体通过电泵逐级升高的总压力,可用下式计算:

$$p = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n(j)} W_{ij} h_{ij} \quad (B-1)$$

式中 h_{ij} ——第 j 节锥形泵中第 i 级叶轮所产生的压头;

W_{ij} ——通过 ij 级叶轮流体的相对密度;

m ——锥形泵的节数;

$n(j)$ ——第 j 节锥形泵中叶轮的级数。

流体通过泵时, 相对密度会发生变化。采出液中的油、气和水含量有下面的基本关系。油的地面体积用 V_o 表示的话, 所对应的水体积则为

$$V_w = V_o \left(\frac{1}{C_o} - 1 \right) \quad (B-2)$$

式中 C_o ——原油所占特殊体积。

同样, 还有一个对应的气体体积。它在很大程度上取决于压力和温度的变化。如果把油的地面参考体积看作 1bbl 的话, 则原油、水和气体的总体积可用下式表示:

$$V_t = f + \left(\frac{1}{C_o} - 1 \right) + \frac{KGRT (FGOR)}{p} \quad (B-3)$$

式中 V_t ——在常温常压下, 1 桶原油通过 ij 级叶轮时, 油、水和气体的总体积;

f ——在常温常压下, 原油的收缩系数;

k ——常数 (取决于使用的单位);

G ——气体相对密度;

R ——考虑烃类气体时使用的常数;

T —— ij 级叶轮的温度, 绝对华氏温度;

$FGOR$ ——游离气油比;

p —— ij 级叶轮的压力。

只要算出原油体积相应的重量, 并求出体积重量, 就可算出它的相对密度。然后把这个相对密度引入到方程 B-1 中, 便可以确定出流体通过泵级数时的增压状态。

关于通过泵的质量流量可以做出多种假设。最简单适用的假设是流体以匀速通过某一级叶轮。这样, 油、气和水会保持原有的比例。当压力升高时, 假设游离气会按照膨胀曲线规律全部或部分地再次渗解。

上面的计算过程是费时费力的。最好用计算机来完成。下面给出一种很有效的计算方法, 即用计算机计算相应排量下的扬程。既然已将通过泵的流体的参考体积看做为 1bbl/d, 那么, 通过第 ij 级叶轮的瞬时排量就可以用下式来表示:

$$q = V_o V_i \quad (B-4)$$

式中 V_o ——日产油量, bbl/d。

井下泵的规格和型号选定后, 扬程与排量的关系也就知道了。如果扬程从零开始, 以与排量相等的增值 Δq 进行增加, 那么, 任意排量值下对应的扬程 h_{ij}^0 则为: