

# 新型两级电动潜油泵用油气分离器的设计与试验

孙浩玉

(胜利石油管理局 钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

**摘 要:** 由于油井产出液中的大量游离气会对电动潜油泵的性能产生不利影响, 而随着油田的深入开发, 高含气井将不断增多, 而现有电动潜油泵油气分离器效率较低, 为此, 进行了新型两级电动潜油泵用油气分离器的设计与模拟试验, 以提高高含气井中电动潜油泵的泵效。新型两级电动潜油泵用油气分离器以水力旋流器为第一级, 以离心旋转式分离器为第二级。设计样机的室内模拟试验数据表明, 该分离器分离效果较好, 与当前在用的两级油气分离器相比, 分离能力大幅度提高, 能够满足更高含气井电动潜油泵对油气分离器的要求。新型油气分离器的两级复合结构设计, 为今后井下油气分离器的开发提供了依据和技术支持。

**关键词:** 电动潜油泵; 油气分离器; 旋流分离器; 分离效率; 模拟试验

**中图分类号:** TE933<sup>+</sup>. 3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-0890(2009)06-0081-03

随着油田的深入开发, 各区块由于地层压力降低、油层脱气, 高含气井不断增多, 而油井产出液中的大量游离气会对电动潜油泵的性能产生不利影响。现有井下油气分离器的分离效率较低, 两级串联旋转式油气分离器对含气率的适应范围为 0~36%<sup>[1]</sup>, 为提高含气井中电动潜油泵的泵效, 笔者设计了新型两级电动潜油泵用油气分离器, 并进行了室内模拟试验。试验结果表明, 该分离器与现用的两级分离器相比, 分离能力大幅度提高, 能满足高含气井电动潜油泵对油气分离器的要求。

## 1 结构设计

新型两级电动潜油泵用油气分离器为两级串联结构: 第一级为旋流分离单元, 第二级为离心分离单元。两级通过标准的电动潜油泵法兰连接在一起, 整机的气液混合物吸入口也就是第一级旋流分离单元的入口。

### 1.1 第一级结构设计

新型两级电动潜油泵用油气分离器的第一级旋流分离单元主要由旋流器锥体、吸入口总成、下接头总成和外壳等组成, 如图 1 所示。

水力旋流器本身没有运动部件, 但能将不同密度的物质通过离心力和重力的双重作用进行分离<sup>[2]</sup>。其进行气液分离的机理为: 气液混合物以一定的高速度切向进入旋流器内表面, 切向速度使气相与液相因密度差产生不同的离心力, 使气相与液

相之间摆脱粘着力(斯脱克斯力)的束缚, 气相形成内旋流, 在沿径向向轴心移动的同时向上经溢流口排出; 而液相形成外旋流沿径向向旋流器壁运动, 同时在重力的作用下, 沿旋流器壁向下作螺旋移动, 最后从底流口流出。近几年国内外对水力旋流油气分离器的研究表明, 使用旋流分离技术进行井下气液分离是可行的<sup>[3]</sup>, 并且旋流分离方式具有适于处理大体积流量的特点, 而且结构简单易于实现。

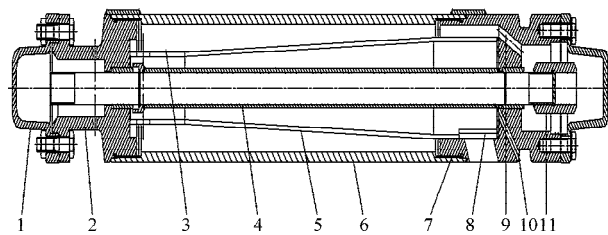


图 1 第一级分离结构

### 1.2 第二级结构设计

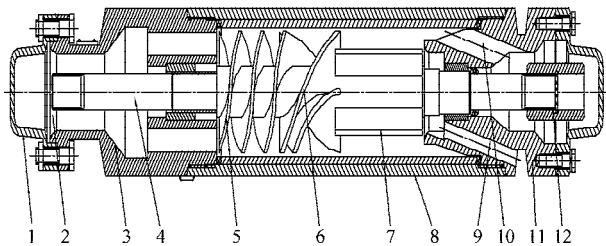
离心旋转式分离器利用螺旋状的诱导轮为气液混合物提供一定的压头和轴向速度, 利用紧靠其上部的径向分离叶轮, 使气液混合物在径向上

收稿日期: 2009-04-09; 改回日期: 2009-10-09

作者简介: 孙浩玉(1978—), 男, 山东陵县人, 2006 年毕业于中国石油大学(华东)机械电子工程专业, 获硕士学位, 工程师, 主要从事科研管理及石油钻采工具的设计与研究。

联系电话: (0546)8556875

产生离心力,从而实现气液分离,缺点是对高含气率的油气混合物分离能力较弱<sup>[4]</sup>。但离心旋转式分离器在入口含气率小于30%时,其分离效率可达90%以上。因此,将其作为新型两级电动潜油泵用油气分离器的第二级(其结构见图2),对旋流分离单元分离后含气率较低的油气混合物进行进一步分离。



1. 运输帽;2. 离心分离单元入口;3. 基体总成;4. 轴;5. 螺旋叶片;  
6. 螺旋轴流叶片;7. 径向破碎器;8. 壳体总成;9. 排气孔;  
10. 离心分离单元出口;11. 头部总成;12. 花键套

图2 第二级分离结构

### 1.3 工作原理

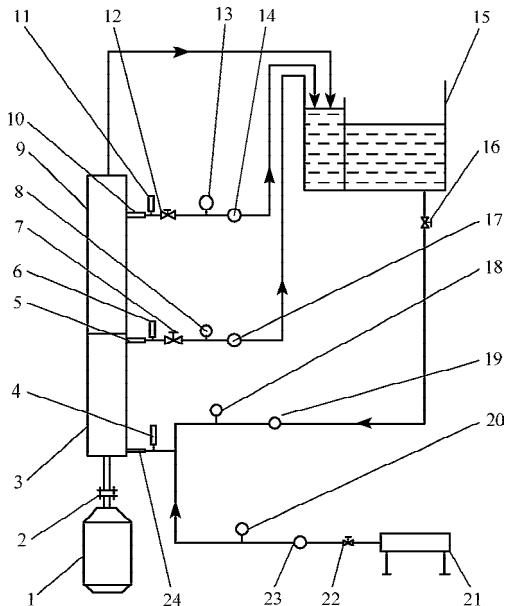
油井中的气液混合物由第一级旋流分离单元的入口进入分离器,气相形成内旋流、液相形成外旋流进行气液混合物的预分离。分离出的气相聚集于轴心处形成气柱,气柱上行由旋流器溢流口排入油套环形空间。经预分离后的气液混合物沿旋流器内壁下行,流经旋流器底流口,再沿旋流器外壁上行,从旋流器出口排出,进入第二级离心分离单元。经过预分离的气液混合物由离心分离单元入口进入后,在螺旋叶片推动下上下行,经过轴流式叶轮增压,在离心式搅拌器的作用下,气液两相进行再分离。分离后的气相聚集于轴心处由离心分离单元的排气孔排入油套环形空间,分离后的液相则沿壳体上行由离心分离单元出口进入泵内。

## 2 整机模拟试验

### 2.1 试验装置流程

新型两级电动潜油泵用油气分离器整机模拟试验装置流程如图3所示。用水和空气做试验介质,压缩机打出的空气和水的气液两相混合物进入分离器即第一级的入口,经旋流分离单元分离后,部分气体(其中含有少量的液体)从旋流分离单元的溢流口(排气管)排出,而经旋流分离单元分离后的剩余气液两相混合物,则由其底流口进入第二级的分离单元中;经离心分离单元分离后,气体从离心分离单元

的排气管排出,分离后含有少量气体的水返回高位水槽。试验时,对分离器入口同时送入气体和液体。在入口液体流量 $Q_1$ 一定的条件下,控制入口送入的气体流量 $Q_2$ ,即可得到不同的入口含气率 $\alpha$ (控制含气率由小到大逐渐增加,直至分离器底液体流量为零)。同时,分别记录旋流分离单元和离心分离单元排气管中的气体流量 $Q_3$ 和 $Q_4$ ,从而依据公式推算出分离器的分离效率。



1. 电机;2. 联轴器;3. 旋流分离单元;4. 分离器进口温度计;  
5. 旋流单元排气管;6. 旋流单元排气温度计;7. 旋流单元排气阀;  
8. 旋流单元排气压力表;9. 离心分离单元;10. 离心单元排气管;  
11. 离心单元排气温度计;12. 离心单元排气阀;13. 离心单元排气压力表;  
14. 离心单元排气流量计;15. 高位水槽;16. 分离器进水管;  
17. 旋流单元排气流量计;18. 进水管压力表;19. 进水管流量计;  
20. 进气管压力表;21. 压缩机;22. 进气阀;23. 进气管流量计;  
24. 分离器进口管

图3 试验装置流程简图

### 2.2 试验数据处理

分离效率是指在同一工况和标准状态下,分离器分离出的气体流量与入口气体流量之比。根据试验测得的上述各参数值,利用下列公式便可计算出分离器各单元和总的分离效率。旋流分离单元的分离效率计算公式为:

$$\eta_1 = \frac{Q_3}{Q_2} \times 100\% \quad (1)$$

离心分离单元的分离效率计算公式为:

$$\eta_2 = \frac{Q_4}{Q_2 - Q_3} \times 100\% \quad (2)$$

总分离效率为:

$$\eta = \frac{Q_3 + Q_4}{Q_2} \times 100\% = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2 \quad (3)$$

式中,  $Q_2$  为入口气体流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $Q_3$  为旋流段排气

流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $Q_4$  为离心段排气流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

根据试验数据计算入口含气率、各段(即分离单元)排气量及分离效率, 结果见表 1。

表 1 入口含气率、各段(分离单元)排气量及分离效率

$Q_1/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$Q_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$Q_3/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$Q_4/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	入口含气率 $\alpha, \%$	$\eta_1, \%$	$\eta_2, \%$	$\eta, \%$
1.80	1.20	0.60	0.33	40.00	50.00	55.00	77.50
1.80	1.86	1.27	0.51	50.00	68.33	85.90	95.55
1.80	2.70	1.30	0.44	59.09	48.15	31.00	64.25
2.50	1.60	1.00	0.46	39.02	62.50	76.69	91.87
2.50	2.47	1.78	0.64	50.00	72.00	92.75	98.00
2.50	3.70	1.68	0.61	59.67	45.50	30.00	61.85
3.50	2.33	1.53	0.68	39.96	65.79	85.00	94.85
3.50	3.42	2.35	0.99	50.00	68.86	92.52	97.72
3.50	5.25	2.41	0.89	60.00	45.95	31.30	62.95
4.00	2.68	1.86	0.78	40.12	69.26	95.10	98.52
4.00	4.03	2.63	1.24	50.19	65.29	88.50	96.02
4.00	5.93	2.53	0.92	59.71	42.78	27.17	58.24
5.00	3.40	2.30	0.98	40.48	67.65	89.10	96.47
5.00	5.09	2.67	1.58	50.00	52.00	65.10	83.40
5.00	7.61	2.91	1.21	60.35	38.34	25.60	54.09

2.3 试验结果分析

从表 1 可看出:当入口含气率为 40%、50% 时,旋流段分离效率都可达 70% 以上,离心段分离效率 90% 左右,分离器总效率可达 95% 以上,分离效果较好;当入口含气率为 60% 时,旋流段分离效率 50% 左右,离心段分离效率急剧下降,只有 30% 左右,此时经过旋流段的预分离,混合物的含气率仍较高,离心段入口含气率仍较高而不能达到其理想的使用条件,总分离效率在 60% 左右。

3 结束语

通过模拟试验,验证了新型两级电动潜油泵用油气分离器的分离效率。试验数据表明,该分离器分离效果较好,与当前在用的两级油气分离器相比,

其对含气率的适应范围由原分离器的 0~36%, 提高到 0~50%, 分离能力大幅度提高,能够满足更高含气井电动潜油泵对油气分离器的要求。新型油气分离器的两级复合结构可大幅度提高其分离效率。为今后井下油气分离器的结构设计和进一步开发提供了一定的依据和技术支持。

参 考 文 献

[1] 梅思杰,邵永实,刘军,等. 潜油电泵技术(上册)[M]. 北京:石油工业出版社,2004.  
[2] 褚良银. 水力旋流器[M]. 北京:化学工业出版社,1998.  
[3] 杨启明. 国外井下气液分离采气新技术研究现状分析[J]. 天然气工业,2001,21(2):85-88.  
[4] 师世刚. 潜油电泵采油技术[M]. 北京:石油工业出版社,1993.

[审稿 屈文涛]

Design and Test of a New Oil-Gas Separator for Two-Stage Electrical Submersible Pump

Sun Haoyu

(1. Drilling Technology Research Institute, Shengli Petroleum Administration, Dongying, Shandong, 257017, China)

**Abstract:** Free gas evolved from produced fluids in producers can negatively impact the performance of electric submersible pumps. With the development of oilfields and the increase of gas from wells, the efficiency of current electric submersible pumps is low. In order to improve the efficiency, a novel two-stage oil/gas separator was designed and tested with hydrocyclone as the first stage and revolving separator as the second stage. The in house test results show that the separation efficiency of the new separator is very good. Compared with the current used two-stage separator, separation efficiency of the new one was improved reparable which can satisfy the requirement of the wells with high gas oil ratio. The structure of this new separator provides the technique support for future development.

**Key words:** electric submersible; oil gas separation; cyclone separator; separation efficiency; simulation test