

射流器在海上油田低压伴生气增压回收中选型重要性分析

金本领（中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司，天津 300452）

张 浩（天津分公司渤南作业公司，天津 300452）

刘 荣（辽宁飞鸿达蒸汽节能设备有限公司，辽宁 沈阳 113122）

摘 要：海上油气田在开发生产过程中，会产生低压力、小流量的伴生气，产生的多余伴生气往往通过火炬燃烧排放或者冷放空直接排放。随着国家《“十四五”节能减排综合工作方案》的出台，各企业积极响应国家“碳达峰、碳中和”的号召，各种减排技术措施应运而生。海上油气田也按照按照“应收尽收、早实施早减排”的原则，不断推出低压伴生气回收方面新技术。近几年，射流器在低压伴生气回收项目上的运用效果可谓取得了很好的效果。然而，在某些油气田出现了射流器应用后产生高能耗不匹配低压气回收的经济效益情况。

关键词：伴生气；节能减排；射流器；高能耗

0 引言

海上油气田在近些年对低压伴生气增压回收用于透平发电、注气增产等领域应用项目逐步开展。低压伴生气增压方式上通常采取压缩机进行增压，压缩机占地面积较大，且投资成本高，对于一些已正常生产多年的海上平台来说，空间紧凑，无疑对压缩机应用进一步发展产生了不小的阻碍。

从现代化工艺技术发展情况来看，射流技术被广泛运用在工业发展技术中，该项目技术可以通过高速流体射出来产生的冲击力和剪切力来实现工业生产中的研磨、喷涂、切割、清洗等工作。同样，在海上油气田射流技术的应用也很多，比如管柱内自循环射流泵（简称射流泵），它的工作原理就是基于能量守恒原理，高压动力液通过喷嘴将其势能转化为高速动力流体的动能，由此产生的相对地层压力一个“负压值”，整个能量转化过程中，流体速度增加单压力值减小。产生的负压值可以将地层的流体吸入喉管，并在喉管内与高速动力液相混合。这样，高度动力液的动能就可以传递给地层流体，使得地层流体的速度增压，在到扩散管。通过扩散管的流动面积增加，使得混合后的流体速度减小但是压力增加，如此就可以将其动能重新转化为势能。获得势能后，我们可以通过调节地面泵压及喉管/喷嘴的比例，实现可以克服静液柱高度，将流体举升至地面流程。

随着射流增压技术不断推新和成熟，射流器应运而生，该装置可应用在一些平台低压伴生气回收项目上，实现射流增压回收的需要。但是，射流器在使用过程中却出现了高能耗现象，无形中对海上油气生产设施产生了额外的成本支出，经济效益大打折扣。该情况的出现在一定程度上制约了射流器应用的继续发展。因此，本文通过结合射流器的工作原理和应用实际，以射流器选型作为课题，做出相关分析。

1 射流器工作原理

射流器基于文丘里效应（也称文氏效应），文丘里效应以其发现者意大利物理学家文丘里（Giovanni Battista Venturi）来命名。射流器利用流体传递能量和质量，本身没有运动部件，主要由喷嘴、混合腔及扩散管等组成。射流器主要的作用是利用高压流体抽吸低压流体，混合输出介于高压与低压之间某一压力值的混合流体，具有一定压力的工作流体通过喷嘴高速喷出，使压力能转化速度能，在喷嘴出口区域形成真空，从而将被抽介质吸引出来，二股介质在扩压管内进行混合及能量交换，并使速度能还原成压力能，最后以高于大气压力而排出，以满足生产工艺的需要。

如图1所示，高压气体通过拉法尔喷嘴产生超音速气流，压力转变成了动能，低压气体被超音速气流裹挟，吸入锥形接收器、混合管，在混合管内，高速和低速两种气体迅速进行能量和动量交换，形成具有

统一速度和压力的混合气体,再进入尾部扩压管,在扩压管内混合流体的速度逐步降低,动能转变成压力(图1射流增压结构简图)。

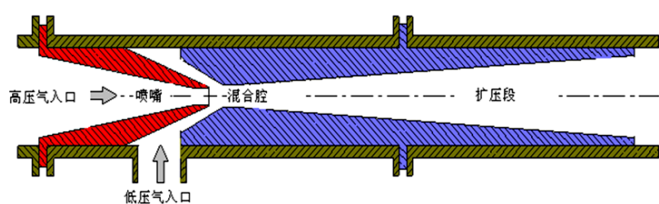
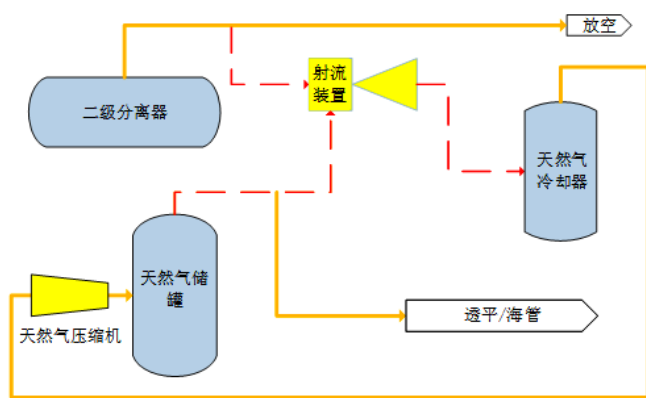


图1 射流增压结构简图

射流器适用条件:①可回收低压气量相对稳定(压力、流量);②具有可利用的高压气或高压水作为动力源;③回收后的天然气有足够的用户。

2 射流器应用分析

某海上油田应用射流器装置增压,回收二级分离器低压气,相关流程及基础参数如图2所示。



流程总图(红色曲线为新增射流装置改造部分)

图2 新增射流器回收低压放空天然气简图

2.1 射流增压回收方案

①二级分离器气相出口引出管线至射流器入口,回收二级分离器低压气 $3.5 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$,从天然气储罐引出高压气体至射流器作为动力源;②红色部分为天然气新增管线,经过射流器后进入天然气冷却器,

再进入天然气压缩机入口,压缩后升压后,进入天然气储罐,外输或作为透平燃料气,从而形成有效闭式循环;③平台配备有三台燃气压缩机,单台压缩机的处理量为 $15 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$;压缩机出口的压力正常为3.75MPa;④按照初始设计,射流器理论设计引射比值应为1:5.26(即低压流量与高压流量质量比值),厂家射流器设计参数如图3所示;⑤按照以上设计参数,回收 $3.5 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$ 低压天然气,只需要启动两台压缩机就可以满足设计的 $18 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$ 的高压动力气源。

GAS JET ACTION VALVE SKID

CAPACITY: $3.59 \sim 1.12 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}(\text{LP})$ $18.89 \sim 5.89 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}(\text{HP})$
 SIZE: HOLD
 DESIGN: 4300kPaG/110°C
 OPERATING: 30~50kPaG(LP) 3850kPaG(HP)/40°C~80°C

图3 某平台射流器参数设计图

2.2 低压气现状概况

随着油田开发生产,二级生产分离器气量降低至 $2.5 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$,在启动2台压缩机为射流器装置提供高压动力气源的情况下,回收气量与设计理论相差太多,相关回收参数统计如表1所示。

且在工况不断调整的情况下,已经给平台生产造成如下问题:①高压气入口压力设计过高,极易造成压缩机出口压力高高停机。当射流器高压气入口压力控制在设计压力3850kPaG时,高压气供气压缩机出口压力在3900kPaG左右,高于天然气压缩机出口压力报警值(高报警值3750kPaG),极易造成压缩机出口压力高高(3960kPaG)停机;②射流器调节阀开度在(0%~75%)时回收效果差。射流器调节阀开度在小于75%时,低压气入口压力无法达到小于50kPaG(二级分离器压力设定值)的效果,从而无法回收低压气;在射流器调节阀开度在75%以上时低压气入口压力低于二级分离器设定压力50kPaG,开始回收低压气;③高压用气量过大,超过设计所需高压气量及引

表1 某平台射流器回收参数统计表

	高压气入口 压力 kPaG	高压气入口 温度℃	低压气入口 压力 kPaG	混合气出口 压力 kPaG	高压气流量 $10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$	回收气量 $10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$	引射比值	二级分离器气 量 $10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$
设计工况	3850	40~80	30~50		5.89~18.89	1.12~3.59	1:5.26	
实际运行	3750	40	30~70	270~310	20	0.8~1	1:20	2.5

表2 某平台射流器改造后回收参数统计表

	高压气入口 压力 kPaG	高压气入口 温度℃	低压气入口 压力 kPaG	混合气出口 压力 kPaG	高压气流量 $10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$	回收气量 $10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$	引射比值	二级分离器气 量 $10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$
设计工况	3750	40~80	30~50		13	2.5	1:5.26	
实际运行	3750	40	30~70	310	12~15	2.5	1:5~5.88	2.5

射比值,回收效率低。当射流器调节阀开度在 85% 回收效果较稳定时(回收量 $0.8 \sim 1 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$),要维持高压气入口压力 3850kPaG 的要求,需要的高压气流量为 $20 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$,需要同时启动 2 台排量 $15 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$,能耗高,单台压缩机额定功率 710kW 的天然气压缩机,引射比值达到 1:20,远远未达到设计的引射比值 1:5.26,回收效率低;④低压气回收效果受混合气出口压力影响较大。上游长距离混输海管段塞流及套管气波动影响导致流程气量波动较大,从而导致天然气压缩机入口洗涤罐压力波动比较大(270~310kPaG)即射流器混合气出口压力波动较大,当混合气出口压力在 290~310kPaG 时,射流器回收效果较差($50 \text{Sm}^3/\text{h}$ 以下),混合气出口压力越低,回收效果越好。

2.3 解决方案

该平台经过射流器优化升级改造后,实现了用 $12 \times 10^4 \sim 15 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$ 作为高压气动力源,回收 $2.5 \times 10^4 \text{Sm}^3/\text{d}$ 的低压气,引射比值 1:5~5.88,与设计值 1:5.26 基本一致。

该射流器优化升级的成果是基于对射流器重新计算和合理的选型,提高了射流器效率,从而满足了回收气量的需求。

最终改造设计及实际运行参数如表 2 所示。

2.4 综合分析

通过以上所有数据统计的情况可以判断出,原有的射流器装置实际上已经存在一种“大马拉小车”现象,不仅产生高能耗,而且随着低压气量的变化,原有工况条件及设备已经达不到要回收的低压气量需求。因此,需要根据射流器装置的组成部件,重新进行精确计算,改变射流器内部引流部件,对射流器总成进行重新加工制造,以满足回收低压气量的需求。如此,就可以分析得出,选择合适的射流器是项目开展的基础,计算需要非常准确,除此,随着工况的改变,使用方还需要根据相关运行参数进行阶段性的重新评定,已减少不必要的能量损耗。

3 射流器在海上油田低压气回收项目应用适用性

射流器需要高压气或者高压水作为动力源,但是要在动力源达到 70% 甚至更高才能到达抽吸作用,并不是简单的线性关系。目前海上油气田用射流器回收生产系统中的低压伴生气项目中,一般是将来自压缩机的高压气体用于驱动射流器,再与低压气体一起在射流器混合,从而提升低压分离器气体压力。

海上油田在选择射流器进行回收低压伴生气时,

要考虑是否具备以下几点:①是否能提供高压气或者高压水动力源;②做好规划,根据海上油田生产规划,确定要回收的气量,避免产生型号不匹配导致能耗高现象;③低压气是否相对稳定,不会产生段塞流;④射流器增压回收后的混合气,在后道流程中能被完全吸收处理,不能因吸收处理能力不足,导致射流器背压升高;⑤海上空间小,需要确定设备放置空间具备条件,射流器一般可视作类似调节阀所需的前后空间,在管廊等位置布置。

射流器施工时间短,且基本不需要维护,也不会产生额外的排放。射流器为海上油气田低压天然气回收再利用提供了一条除了压缩机增压技术之外的新途径。除此,该技术还能应用在低效天然气井增产、回收低压气及废热水、二氧化碳回注等等项目上,这些都是响应了国家节能减排号召的有效举措,不仅增加经济效益,也能带来一定的社会效益。伴随着我国大型海上油气田的不断发现和开发,射流器将有可能在某些具备条件的海上油气田或者油气田开发设计阶段成为第一级压缩机,并能够提供比第一级压缩机更低的进口压力,应用空间较为广泛。运用价值和空间虽然很大,但是无论如何要核实要回收气量,确定好射流器型号,对内部喷嘴要做好足够的研究设计,避免产生选型不符合气量而造成高能耗,产生不必要的成本额外支出。

4 结束语

本文通过对射流器工作原理的阐述,再结合海上油气田在射流器的实际运用效果进行了对比分析,综合分析了射流器选型的重要性。目前,回收低压气再利用项目已经在海上油气田成为节能减排的常规办法,射流器技术也被多次运用于海上油气田低压伴生气增压回收项目上。

参考文献:

- [1] 乔胜勇,张海兵,胡忠良.射流器在海上油田的应用及未来发展[J].天津科技,2022,18(03):12-15.
- [2] 黄啸,徐善良.海上油气田天然气射流回收技术应用效果评价[J].中国石油和化工标准与质量,2021,38(09):75-78.
- [3] 夏立中.高压水射流发生装置主要性能参数的初步分析[J].矿山机械,2021,22(05):102-105.
- [4] 严绍铎.射流器的设计与计算[J].纸和造纸,1985,07(8):65-68.