



管道式油气水高效分离技术*

吴应湘** 许晶禹

中国科学院力学研究所 流固耦合系统力学重点实验室, 北京 100190

摘要:目前我国原油开采面临陆上油田采出液含水率高, 以及海上平台空间局促、指标严苛等实际问题, 因此对传统油气水分离技术提出了巨大挑战。中国科学院力学研究所研发的新型管道式油气水高效分离技术, 主要包括 T 型管分离技术、柱型旋流管分离技术、以及导流片型分离技术等, 不仅取得了创新性的研究成果, 还进一步推动了技术成果转化, 在工业现场取得了良好的应用效果, 符合我国未来科学技术的发展方向。

关键词: 石油生产 管道式分离技术 成果转化

DOI: 10.11842/chips.2015.03.013

一、管道式油气水高效分离技术研究

目前我国原油开采的现状, 是越来越多的陆上油田已经进入开采的中后期, 将不可避免地遇到高含水采出液处理难题, 部分井液的含水率甚至高达 90% 以上。另一方面, 经过多年的努力, 我国海洋石油开采已经取得了显著成果, 仅 2010 年, 海上油气产量就达到了 5180 万吨, 占全国石油产量的 25% 左右, 初步建成了“海上大庆油田”。但由于海洋环境的特殊性, 海洋石油开采与陆上油田的产出液处理工艺相比存在着巨大差异, 海洋石油的开采需要更高新的技术, 来解决海洋平台作业所面临的采出液处理量大、高分离指标以及空间局促等问题。

针对采出液处理工艺现状, 以及越来越严格的环保排放标准, 油田开采濒临经济开采极限, 急需高效

低成本的油气水处理技术, 而传统的处理技术固有的缺点在当代的需求中面临着被淘汰的命运。以适用范围最广, 技术工艺最为成熟的重力沉降罐为例, 其标准技术方案为建造具有一定体积的罐体, 使油水两相在其中静置停留, 利用重力使其分离。混合液停留时间越长, 处理效果也越好。然而, 随着含水率的增加, 沉降时间缩短, 使得一些老油田在新的开采工况下面临着污水处理无法达标的难题; 而对于新油田和海上油田, 重力沉降因重量大、占地面积广、成本高、耐压性弱、效率低等问题, 其应用也受到很大限制。

由此可见, 我国油田生产在采出液处理方面, 尤其是针对较为复杂的油水分离作业, 具有较大的技术提升潜力。截至目前, 我国虽然在油水分离技术领域的研究工作取得了一些成果, 但核心技术部件在工业实践过程

* 该项目荣获 2014 年中国科学院科技促进发展奖——科技贡献奖二等奖, 项目组成员: 吴应湘、许晶禹、邓晓辉、魏丛达、郑之初、许庆华、罗东红、郭军、张军、李东晖。

** 吴应湘, 中国科学院力学研究所研究员, 博士生导师。2003 年被中国科协评选为我国海洋工程领域学科带头人, 是中国科学院与中国海洋石油总公司“十五”重大合作项目首席科学家, 主持了中国科学院“九五”、“十五”、“十一五”重大项目, 国家科技重大专项子课题, 国家重大科学仪器设备开发专项, 中国科学院与英国皇家学会合作项目及其它多项科研项目。



中应用较少,还没有得到广泛的应用,也没有产生可观的社会效益。究其原因,一是我国多数研究工作仍处于借鉴国外已有的成熟研究中,无论从理论基础还是工艺环节方面仍未能真正实现自主研发,因此在经济成本及社会认可方面仍有待提高;二是已有的油水分离技术仍然面临诸如稠油开采、井下分离及深水作业等难题无法攻克,导致成果应用和推广工作难以进一步实施;三是传统的旋流分离技术仍然存在压降巨大、流场非均匀、分离效率较低等无法回避的弊端。因此,亟需研制新型油水分离技术,以解决深水平台、深海海底及采油井下等不同环境下油水分离存在的技术难题。

二、主要研究成果

针对我国油井采出液分离技术发展的困境,中国科学院力学研究所(以下简称力学所)提出了新型油气水处理技术,旨在管路输送过程中即可实现油水分离,在节省能源上发挥重大作用,最大化实现提高原油开采经济效益的目的。因此,针对油水动态分离这一工业实际难题,立足新型油气水处理技术须满足技术要求及生产规范的基础上,力学所率先提出管道式处理技术,仅依靠物理的方法即可实现混合液流动状态下的分离,攻克了困扰工业生产多年的技术难题。其技术核心主要包括以下3类:

1. T型分岔管路分离技术

该技术的基本原理是使油水混合液在流动过程中因受重力作用而自然分层:密度较大的水相下沉到管道的下部,密度较小的油相上浮到直管的上部,形成油水两相的分层流动^[1]。当直管中分层的油水两相混合液达到上下T型分岔处时,下管上层的油相沿竖直管上升流向上水平管,而上管中下层的水相沿竖直管流向下水平管。这样通过多个T型分岔,上直管中流动的就是含水极少的富油相,而下直管中流动的就是含油极少的富水相,使油水混合液在上下水平管和竖直管的流动过程中实现了油水的分层和含率的动态交换,达到油水分离的目的。

2. 柱型管道式旋流分离技术

针对传统水力旋流器压降大,处理量受最小横截面制约等缺点,力学所对传统旋流器加以改进创新,

提出应用柱型管道式旋流分离技术进行油水分离作业。其主要结构为柱型管道,使流体由切向入口进入,并形成强旋流场,最终通过离心作用完成油水分离^[2]。因此,针对柱型旋流技术的油水分离特性,力学所开展了较为系统地研究^[3],力求设计出符合海上平台适用标准的柱形旋流器。保证该种柱型旋流器与T型管配合,在实际生产中,实现对含油气水混合液除去70%以上水的目标。

3. 导流片型管道式油水分离器

通过对井下油水分离技术和研究现状的调研,分析井下油水分离的需求,针对井底作业空间有限、处理量大等特点,力学所开发了一种新型的分离技术和设备——导流片型管道式油水分离器^[4]。其应用原理为在管道入口处安装一定数量的导流片并按周向均布,可使通过流体沿轴向起旋。然后连接一段长度约为管径12倍的稳流直管段,并配合一段逐渐缩径的除水管道,在除水管道上沿管轴向方向开设多组除水孔。通过这种结构可以使油核富集于管道中心,而水相从壁面附近排出,从而完成分离任务^[5]。

综上所述,管道式油气水高效分离技术,主要包括T型管分离技术、柱形旋流分离技术以及导流片型管道式分离技术等(见图1)。其中,每一类分离技术及设备,既可以作为油气处理过程中的核心部件单独使用,也可以进行多级整合,构成复合系统协同使用。工业现场应用表明,这3类技术不仅具有可靠性高、处理量大、体积小、重量轻等诸多优点,且各项分离指标均已达到业内领先水平。不仅如此,它们还为石油工业领域彻底解决稠油开采、井下分离以及海底作业等世界级难题提供了技术支持。

三、技术成果转化及典型应用案例

管道式油气水高效分离技术的推广应用不仅能为油田带来极大的经济效益,还能为环境保护提供了一种新的技术保障,并给石油生产提供一种新的理念。从我国经济与科技发展的长远目标来看,该技术的应用具有重要的社会价值和经济价值,积极推进该技术的广泛应用具有重要意义。在促进该技术的实现方面,力学所做了以下工作:



1. 面向油田积极推广技术运用

为了促进技术成果价值的实现，力学所的研究人员积极在油田推进管道式油气水高效分离技术的运用，如采取与油田沟通、详细介绍本技术的原理及优势等措施，尤其通过在中海油深圳分公司的采油平台上进行现场测试，演示给相关技术部门处理效果，以提高该技术成果的知名度，推动该技术成果进入生产线进程。

2. 与油田服务公司合作

与油田服务公司合作，即授权他们推广管道式油气水高效分离技术，研究人员提供关键技术的参数设计及后续调试等。通过这种方式，使该技术在油田的扩大化中提供服务，促进技术价值的实现，例如，力学所与辽河油田开展合作，根据辽河油田具体的生产情况，提供培训、关键结构参数设计、现场调试指导等服务，成功地将该技术运用并推广到了现场工艺流程中。除此之外，力学所还将该技术与其它技术一起打包为石油行业服务，以实现该技术的工业应用。

3. 申请专利保护

管道式油气水高效分离技术的几个核心部件都极具市场竞争优势，如管道式油水分离系统中的T型管道、柱型旋流器以及导流片分离器等，为了保护本技术成果，力学所进行了系列化专利申请，成功地实现了对该技术核心理念的保护。在对该专利的运用及保护方面，

专利权人组建了一个小组，并对小组人员进行了明确分工：

(1) 定期对中华人民共和国知识产权局、中国专利信息中心等公开信息进行搜索、查询，关注类似专利的公开和申请情况，了解同行技术的进展及申请情况，关注类似专利的申请情况。

(2) 专人负责与油田接洽，到油田中去了解油田的需求，并推广该技术的应用，形式包括 PPT 演示、参观实验室、到已应用该专利的现场观摩等。

(3) 专人负责该专利室内实验室的建设、参数设计、数模计算、文本整理等，以确保该专利在具体实施时的细节敲定及后续调试顺利完成。

(4) 专人负责与相关油田服务公司接洽并配合他们进行专利的推广应用工作，并指导他们正确使用专利技术。

与此同时，为保障管道式油气水高效分离技术的推广应用和上述工作的顺利实施，力学所组建了一个优秀团队作为人才支撑。团队包括固定工作人员 9 名，项目聘用人员 2 名，实验室 3 个，合作公司 1 个，并与中海油、胜利油田、辽河油田有多年的合作经历，该团队能够保障上述制度的顺利实施，并实现该技术的推广使用。经过多年来的努力，力学所已经成功实现了该技术在中海油的现场实验，在辽河油田的生产应用等。

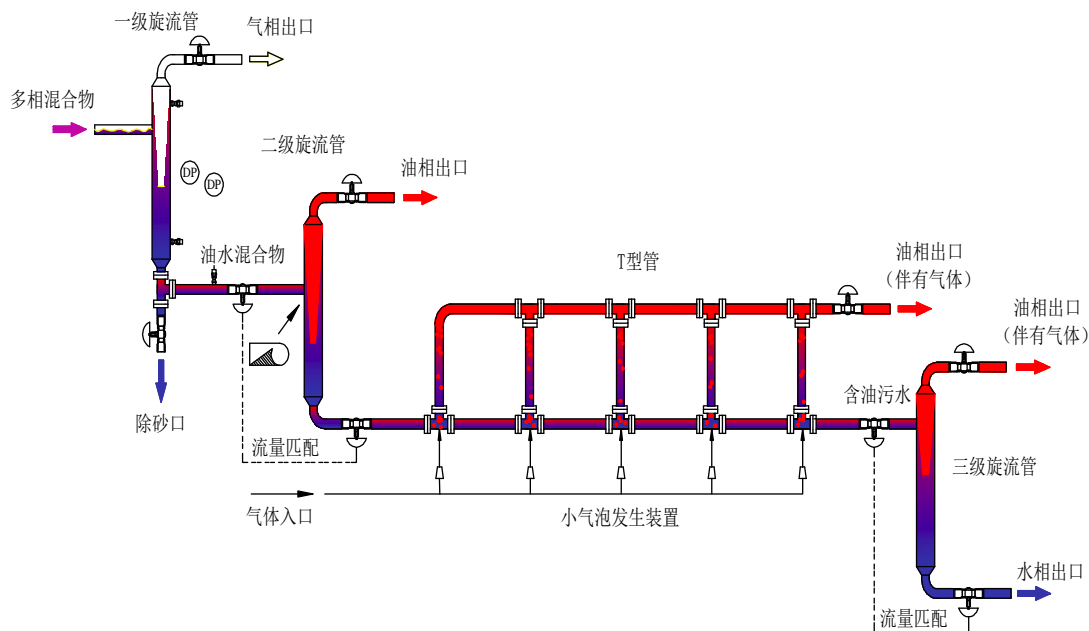


图 1 管道式油气水高效分离系统示意图

基于上述工作的基础保障,自 2011 年开始起,针对辽河油田的现场工况及油品特性,力学所提出将柱型旋流器用于辽河油田冷家采油厂 13 号站的油水分离生产线。用仅 75mm 直径、1.5 米长的旋流管与一个小型沉降罐组合代替原 3000m³ 的大型沉降罐以及 4 个 300m³ 的分离罐的分离系统,在脱水温度仅 32℃ 低温条件下进行油水分离实验,分离后,油中含水率低至 0.42%,污水含油仅 1.5mg/L,远远超出原系统的分离指标(见图 2)。

此外,力学所还将二级 T 型管、旋流器以及复合脱水罐的组合工艺用于辽河油田冷家采油厂 3 号站的高粘超稠油(黏度:40Pas-100Pas、密度:990kg/m³)的油气水三相分离生产线。分离出合格的天然气,脱出 60% 以上含水量,污水含油率小于 200mg/L,积杂

小于 1000mg/L,在不加温、不掺稀油条件下,实现了超稠油的油气水分离,攻克了超稠油分离难题(见图 3)。

最后,力学所将导流片型分离技术成功用于辽河油田曙光处理厂,处理作业生产作业线中:在入口含油率 15%、处理量 5000 方/日的情况下,处理后的水中含油指标处理至 165mg/L,在优化处理流程的基础上同时优化了处理指标。可以说,在工业现场应用的成功,标志着我国管道式油气水高效处理技术,已从单一的技术研发走向技术成果的工业化应用。

四、效益评价

目前,管道式油气水高效分离技术的主要作业区域,集中于华北油田、大庆油田、天津渤西油气处理厂、辽河油田以及中海油深圳分公司等一线作业现场的生



图 2 旋流管的工业应用(左 新型旋流分离器,右 原重力沉降分离器)



图 3 旋流管+T型管的管道式分离器的工业应用



产流水线上, 并已取得可靠的运行工况及优良的处理性能。长期运行表明, 该处理设备及技术方案已经取得确定的实施效果, 具备优良的工业生产能力, 各处理指标全部达到或优于所规定的生产标准。因此, 中科院力学研究所首创的管道式油水分离设备及方法, 不仅替代了原有的传统技术工艺, 大大简化了工艺流程, 节省了成本开支, 更取得了巨大的经济效益。鉴于其仅依靠物理的方法即可实现油气管道流动中的动态分离, 因此具备了可靠、安全、环保、高效等诸多优点, 可实现对现场已有作业管线的无缝对接。现场应用表明, 其技术进步巨大且实践成果丰硕, 具有进一步推广应用的社会价值和经济价值。

1. 提高污水处理水平, 实现工业安全生产

管道式油气水高效分离技术提出了一种油气水混合液处理的新理念, 极大地促进了污水处理技术的进步, 能够使油田含油污水的处理技术提升到一个新的水平。不仅如此, 本技术所配套的自动监控系统能够实现无人值守、自动调节功能, 改善了劳动条件, 极大地解放了人力, 实现了自动化管理, 提高了油田的管理效率, 保证了安全生产。

2. 有效保护自然资源和生态环境

在保护自然资源与生态环境方面, 应用管道式油气水高效分离技术能将污水处理后的水中含油率降到10mg/L以内, 大大降低了污水排放中的水中含油率, 这对于陆上油田来说意义重大, 而传统的陆上油田采用的重力沉降式污水处理方法, 很难将污水中的含油率降到如此之低。因此, 该技术的应用能够降低排放到环境中的石油污染物, 保护生态环境, 减少对环境的污染, 削弱公害污染源。

3. 降低海上平台的生产成本

若将管道式油气水高效分离技术应用到海上平台, 将会极大地降低生产成本和投入成本, 节约平台生产设备所占用的空间。管道式生产系统是我国开采深水油田的必然选择, 并会在未来深水油田水下生产系统中发挥应有的作用, 不仅能够促进我国深水油田的开采, 带来的经济价值更是不可估量的。

从实际应用的角度来说, 管道式油水分离设备目前已在陆上油田及海洋平台得到良好地应用, 不仅取

代了原有传统式油水分离技术, 还产生了可观的经济效益, 具有良好的发展前景。中科院力学研究所已与中海油深圳分公司就进一步开展合作达成共识, 将继续推行管道式分离设备在工业现场的应用, 进一步扩大该专利技术的应用范围, 并以此形成一套适用于目前我国生产现状的行业规范, 以供参考。最终希望将管道式处理技术发展成为成熟的工业生产技术, 使我国自主研发获得广泛认可。

管道式油水分离设备及方法是中科院力学研究所拥有自主研发知识产权的重点项目, 属于国家政策明确鼓励、支持的新兴技术研发项目。该技术是推动石油行业发展的关键, 可将油水处理技术由陆地推向海洋, 甚至促进深海海底作业的实现。因此, 管道式油气水高效分离技术符合我国海洋强国的战略方针, 有助于推进我国海洋产业的发展。

五、未来工作展望

管道式油气水高效分离技术项目的研究, 对油气水分离技术提出了一个全新的概念, 将油气水分离工作集于管道流动过程中完成, 仅通过物理的方式即可实现油气水管道输运过程中的动态分离。但由于研究时间和经费有限, 还存在一定问题亟待解决:

第一, 深入研究油气水分离系统的自动控制系统。为实现工业化应用标准, 需要进一步对其控制方法及控制系统的设计进行研究, 形成完善的设计理论。

第二, 水下油气水分离系统的基本设计理念和方案已全部完成, 需要进一步进行水下环境模拟实验, 完善水下分离系统的设计, 促进其工业应用。

针对以上问题, 中科院力学研究所将会继续开展项目的研究工作, 以进一步实现管道式高效分离系统的量化生产为目标, 促进石油工业的发展。目前, 油气水高效分离装置的研究已取得系统性的成果, 完成了系统的中试实验, 下一步将重点对研发的技术进行推广, 使其应用于石油工业生产, 推动分离技术的发展, 为社会带来更多的经济效益。另一方面, 继续开展污水处理、多相混输、多相计量等研究工作, 解决石油生产中存在的问题, 推动石油生产技术的发展。



参考文献 :

- [1] Wang L Y, Wu Y X, Zheng Z C, et al.. Oil-water two-phase flow inside T-junction. *Journal of Hydrodynamics*, 2008, 20(2): 147-153.
- [2] Liu H F, Xu J Y, Wu Y X, et al. Numerical study on oil and water two-phase flow in a cylindrical cyclone. *Journal of Hydrodynamics*, 2010, 22(5): 790-795.
- [3] Liu H F, Xu J Y, Zhang J, et al. Oil-water separation in a liquid-liquid cylindrical cyclone. *Journal of Hydrodynamics*, 2012, 24(1):116-123.
- [4] Shi S Y, Xu J Y, Sun H Q, et al. Experimental study of a vane-type pipe separator for oil-water separation. *Chemical Engineering Research and Design*, 2012, 90: 1652-1659.
- [5] Shi S Y, Xu J Y. Flow field of continuous phase in a vane-type pipe oil-water separator. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2015, 60: 208-212.

Pipeline-Type High Efficient Separation Technology on Oil-Gas-Water Mixture

Wu Yingxiang, Xu Jingyu

LMFS, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190

Abstract: At present, there are the high water content of output fluids in onshore petroleum production, and the strict space limitations and high requirements for treatment indicators in offshore platform operation, which brings great challenges to traditional treatment technology. To solve these problems, a new kind of pipeline-type oil-gas-water separation technology has been developed by the Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, which includes T-type pipe separation technology, cylindrical pipe separation technology, and vane-type pipe separation technology. It can be seen from the good application effect in the industrial scene: the pipeline-type oil-gas-water separation technology not only has made innovative research results, but also promotes the transformation of technological achievements. Furthermore, according to the technical features of the pipeline-type separation technology, it is consistent with the current direction of development.

Key words: petroleum production, pipeline-type separation technology, achievement transformation

(责任编辑 :何岸波 唐佩佩,责任译审 :龚宇)