

油气井井下节流工艺研究综述

李泽章（长庆油田分公司第六采油厂，陕西 榆林 719000）

摘要：节流现象是指管道中流动的流体通过通道截面突然减小的阀门、狭缝和孔口后，压力降低的现象。节流过程是工程中常用来控制流体流动过程中的参数。在天然气井的日常生产和管理过程中，流向井口的高温高压流体会导致井口压力高，威胁人员和设备的安全；此外，由于流体本身的高温高压特性，容易在井口附近产生天然气水合物堵塞井筒，给现场正常生产带来不便。节流技术通常用于油田，以降低井口压力。节流技术可分为地面节流技术和井下节流技术。

关键词：井下节流；节流温降压降；井下节流器结构优化

对于井下节流技术，研究重点主要是确定节流天然气的温度、压力、流量、气体密度等相关参数的变化。通过对天然气水合物预测模型、节流温降压降模型、井下节流器结构优化等相关文献资料的研究，阐述了井下节流技术的发展历程和成果，提出了研究中存在的问题，为下一步的研究工作指明了方向。

1 节流温降压降模型的概述

气体通过任何一种限流或节流装置，如射孔完井轨迹、油管鞋上的井底空气喷嘴、油管上部的井下安全阀、气举阀空气孔和地面井口空气喷嘴等。当气体通过这些节流或限流装置时，其压力和温度会降低。研究节流引起的温降和压降规律，可以更好地为后续确定节流下降位置和节流压差做准备。20 世纪，为了消除油井的兴奋间歇或减缓兴奋间歇，莫拉维·野夫和克雷洛夫提出在流动井中安装井下节流器，并开始研究井下节流技术。近几十年来，节流技术取得了许多研究成果。大致来说，这项研究可以分为四组。通过多元回归分析，将喷嘴内多相流的变量与无量纲量相结合，最终得到了一个关联变量的公式。

发现这些研究者提出的模型推导过程非常相似，大致分为两步：第一步，由给定的上游流动条件确定临界压力比（即从亚临界到临界流动状态，下游压力与上游压力之比），通过迭代公式计算。第二，对于亚临界流，应该使用实际压力比。对于临界流量工况（即流量工况下的实际压力比小于临界压力比时），临界压力比将代替实际压力比。使用合适的压力比，根据建议的公式确定流量。对井下节流过程进行了理论分析。基于空气动力学原理，认为理论临界压力比大于实际临界压力比。再次提出判断临界状态的方法，用马赫数来判断。如果是超临界流，在节流阀喉部达到临界流，出口马赫数大于 1；如果是非临界的，出口马赫数小于 1。该方法可以有效判断井下节流状态，也可以预测节流器入口端和井底的气体流动状态。首先，研究了流体通过节流器的临界流动特性，推导了确定节流器最小运行深度的模型和气井节流水合物堵塞的预测模型。忽略能量损失，气液之间不存在滑移，推导出流动关系，但没有考虑井筒内压力和温度的分布，认为油管内流体流动是均匀的。

根据理论推导，建立了温降的计算方法，并给出了实例，但这种计算方法并不通用，受实际井况的限制。给出了高气液比压降和温降的计算方法，节流后的压力由同时节流前后压差与气井产量的关系求解，通过保持节流前后焓不变，节流后的温度由焦耳-汤姆逊效应求解。这种方法需要知道节流前的温度和压力数据。对于高气液比雾流的油气井，将气液混合两相节流流动视为无滑移均匀流动，得到了一种适用于高气液比油气井的新型节流计算模型。通过对井下节流温度、压力和压降模型的研究，可以看出，目前对高气液比油气井井下节流过程的研究很多，未来还需要考虑以下几个方面的研究：①高含液量气水井井下节流温度、压力模型的建立及其对气水井携液能力的影响；②研究油管内多相流体流动和流型变化对井下节流的影响；③研究高温高压油气井井下多级节流模型的建立，考虑大位移井和水平井井下节流温度压力模型的建立。

2 天然气水合物生成机理

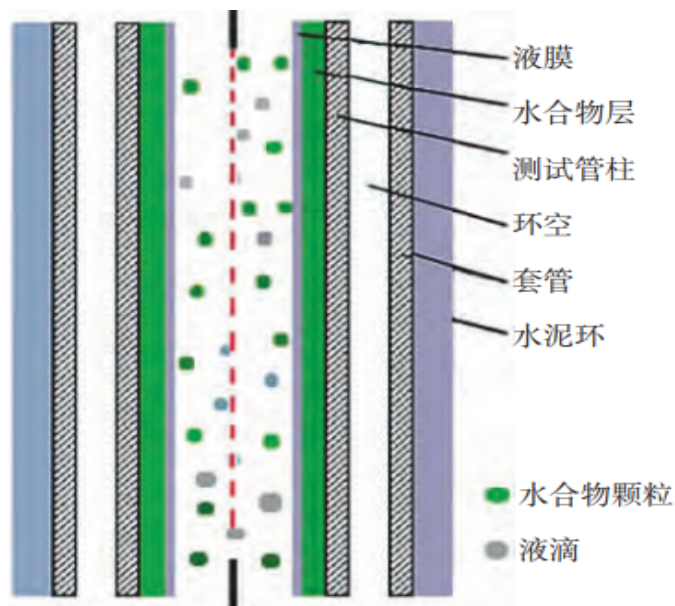


图 1 管柱内水合物的生成与沉积示意图

对于水合物的生成机理，在研究油气混输管道中天然气水合物的形成和堵塞过程中将水合物生成过程分为两类。分别研究其生成过程，发现两类水合物的生成过

程并不相同。中国石油大学分析井筒内水合物在管柱内壁上的形成过程,发现井筒内所生成的水合物在管柱内壁上沉积附着,形成不断增厚的水合物层,造成管径减小(见图1)。

液滴和管壁液膜表面均生成水合物,液膜处生成的水合物在管壁上沉积是造成管柱堵塞的主要原因。结合天然气管输内部流动状态经常为环状流的气液分布情况,提出了输气管道中水合物生成模型(见图2)。

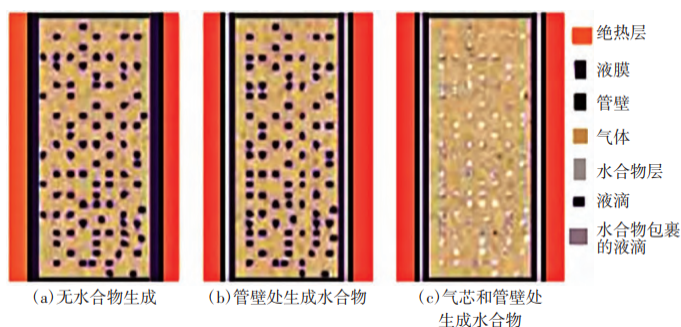


图2 输气管道天然气水合物生成过程

该模型将输气管道内天然气水合物生成过程分为3个阶段:在第一阶段时,管壁上附着一层液膜,液膜外边界温度与气芯温度均高于水合物生成温度;在第二阶段,液膜外边界温度低于水合物形成温度故在管壁表面会生成水合物,另外由于管壁处液流速度较低,认为水合物为静态生长,随着水合物量逐渐增多,流动管径不断减小;在第三阶段液膜外边界温度与气芯内温度均低于水合物形成温度,因此管壁与气芯内均有水合物生成,此时液滴表面被生成的水合物包裹,无法与液膜传质,限制了管壁上水合物的生长。

3 井下节流器结构优化

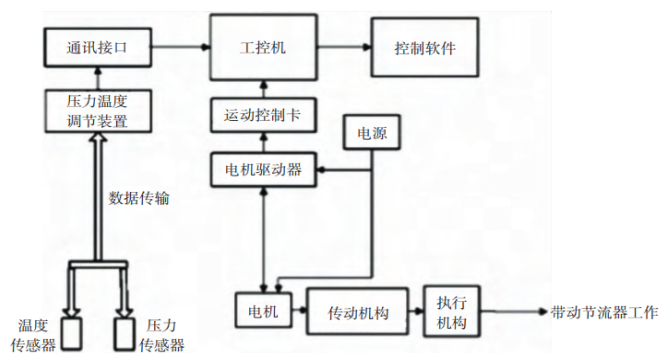


图3 井下智能节流系统体系

根据在不同配气率下保持节流嘴长度不变以简化设计和加工的需要,利用流场分析理论,借助流体分析软件,建立了节流嘴的节流分析模型,分析了不同节流嘴直径、不同节流压差和不同预节流压力对节流流场的影响。分析了喷嘴长度对流场的影响。结论如下:在其他条件相同的情况下,节气门直径增大,最大速度增大;随着油门长度的增加,最大速度下降缓慢,最大油门压力呈微弱下降趋势。随着节流长度的增加,对密度和最

低温降的影响也呈轻微下降趋势。提出了井下智能节流控制系统(见图3)。

鉴于传统节流工艺无法实时获取井下压力、温度等相关生产数据,难以判断节流器的携液效果和气液滑脱情况,无法实时调整节流器喷嘴直径。因此,有必要关井,通过绳索作业更换不同尺寸的节流器,以实现不同的节流功能。所开发的智能井下节流系统可以在不关井的情况下实时调整节流器的喷嘴直径,达到节流、降压和稳定生产的目的。根据气田的需要,减少了因更换油嘴而打捞油嘴的次数。对可调式井下节流器进行了研究,提出了三种方案:①节流器本体不动,更换的节流器由输送工具输送(更换的节流器将留在防砂罩内);②偏心轮式空气喷嘴室,类似左轮手枪子弹的室轮模式(机械结构复杂,密封性能差);③空气喷嘴外壳的尺寸自上而下排列,空气喷嘴由大到小依次安装在节气门的上中心杆上。针对井下天然气节流直径单一,不能适应井下多变的压力和温度,导致节流出口压力不稳定的问题,设计了一种基于井下节流和锥形节流阀的井下智能节流系统,主要通过改变流体的流动面积来降低井下压力。通过对井下节流器的研究,传统的井下固定节流器和活动节流器不能有效、方便地替代节流嘴,不能满足工业需求。井底温度和压力可调的新型井下节流器已成为研究趋势。如何在不改变正常工作环境的情况下,有效、方便地控制节气门的直径是未来的研究方向。

4 总结

天然气井下节流技术已在油气田得到广泛应用,并取得了良好的运行效果。对于气液比高的气井,单相气体节流过程的研究理论基本成熟,而对于含水率高的气水井,精度较低,设计误差过大,需要进一步研究和完善井下多相节流模型。另外,节流器下入后,从井底到节流器入口的压力和温度无法测量,所以环空温度通常转换为油管内的流体,但如果有封隔器就无法转换,因此这部分的温度和压力参数需要进一步研究。至于节流器的结构,传统的定尺寸节流器更换时需要拔出,费时繁琐,容易打捞失败。因此,有必要进一步研究能够经受现场检验的可调式智能井下节流器。

参考文献:

- [1] 陈志龙,张明东.关于对油气井节流及分离工艺的探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2013,000(002):93-93.
- [2] 陈磊,郭昭学,万颖,等.油气井井下节流技术研究与应用[J].石油矿场机械,2010,39(002):22-25.
- [3] 刘鸿文,刘德平.井下油嘴节流机理研究及应用[J].天然气工业,1990(05):11+69-74.
- [4] 李强,王磊,徐勇,等.井下节流工艺优化研究[C]//宁夏青年科学家论坛,2010.
- [5] 张宗林,郝玉鸿.榆林气田井下节流技术研究与应用[J].石油钻采工艺,2009(01):114-118.
- [6] 曾中强,王春生,谭刻明.井下节流技术应用[J].油气井测试,2007,16(z1):78-80.