

油气管道流动保障技术发展趋势

李莉^{1,2}, 苗青², 佟文强², 宋飞², 徐海红², 梁静华²

(1. 天津大学, 天津 300072; 2. 中国石油管道科技研究中心, 河北廊坊 065000)

[摘要] 流动保障技术是通过综合研究影响油气管道流动安全各主要相关因素对所输介质流动特性的影响规律,进而提出保障和预防措施来实现油气管道的安全运行。对油气管道流动保障技术的历史、现状和未来趋势进行了论述,明确了所包含的原油流变学及其应用研究、油(气)管道流动改进剂研究与应用研究和多种油品顺序输送流动特性研究等三项主要研究内容,提出了这一研究领域的重点发展方向。

[关键词] 管道流动保障技术;原油流变学;管道流动改进剂;顺序输送

[中图分类号] TE832.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)02-0047-05

1 前言

“流动保障(Flow assurance)”是国外 20 世纪 90 年代中期提出的一个概念,主要针对深水油气田开发中遇到的流动障碍,如管道中的蜡和沥青质沉积、水合物、严重段塞流及凝管等等,进行相关的分析,研究保障管路系统流动(输送)安全的技术措施。与此相关的所有问题、技术均属“流动保障”的范畴。与传统研究相比,“流动保障”理念及研究技术路线最大的不同是从安全系统工程的高度出发,综合分析各个因素对管路系统流动性的影响,集成各相关技术实现流动保障的目标。目前,流动保障技术仍然是各国研究的热点问题之一^[1-3]。

我国所产原油 80% 以上为凝点较高的含蜡原油和黏稠的重质原油,其安全、经济输送一直是我国油气储运界的主要研究课题^[4,5]。多数输油管道存在与流动相关的安全隐患,例如,凝管一直是输油管道运行中的心腹大患,热油管道的低输量运行措施也需要首先解决流动安全问题。国内已经在原油流变性、含蜡原油管道结蜡规律、热油管道停输再启动(主要是针对管道停输的初始条件为稳态条件的情形)、管道水力热力特性(热油管道不稳定工作区)

等方面开展研究并取得不少成果^[6-10]。但针对具体管道的情况,综合考虑各因素对流动安全性的影响,还做得很不够。近年来,国内以中国石油管道研究中心为代表的油气管道研究机构,借鉴和引入国外在海洋油气田开发中提出的“流动保障”概念,开始系统集成和发展以往在陆上长距离油气管道流动安全相关研究上取得的成果,明确提出了针对陆上油气管道,尤其是原油和成品油管道的流动保障研究目标和内容。具体包括:对于原油管道(包括多品种原油顺序输送管道),就是综合分析和预测管输原油流变性、管道结蜡规律以及管道停输再启动特性等因素对原油管道流动安全和节能降耗的影响,为管道的设计和运行提供技术参数和保障措施;对于成品油顺序输送管道,就是通过综合分析各种影响混油和管路流动特性的因素对其经济和安全输送的影响,为生产提供相应的保障措施;对于天然气管道(网),就是通过综合分析和模拟各种因素引起管网输气的波动,为天然气管网的平稳运行和供气提供建议和保障措施。在所有的保障措施里,包括采用化学流动改进剂(如降凝剂和减阻剂等)以改善和提高所输介质在管道中的流动特性。涉及的 3 个主要研究方向为:原油流变学及其应用研究、

[收稿日期] 2008-09-20

[作者简介] 李莉(1972-),女,河北衡水市人,中国石油管道研究中心高级工程师,研究方向为管理科学与工程;E-mail: lily@petrochina.com.cn

油(气)管道流动改进剂研究与应用以及多种油品顺序输送流动特性研究。由于天然气管道(网)的流动保障一般是基于大型的管网分析和计算软件(如SPS等)开展分析和研究工作,所采用的方法和技术在世界范围内较为成熟,该方向需研究和攻关的内容并不多,故不再着重介绍。

2 国内外研究现状及分析

2.1 原油流变学及其应用研究

20世纪50年代到20世纪60年代,以英国石油公司、壳牌石油公司和前苏联为代表,西方发达国家及前苏联曾对含蜡原油流变性开展过系统研究,取得了不少理论和应用成果,诞生了热处理和加剂综合处理等输油新工艺。尤其是前苏联,在将原油流变学研究成果应用于热油管道的输送工艺上开展了大量卓有成效的工作。

20世纪70年代到20世纪80年代,西方国家对于原油流变性特别是改性原油的流变性研究较少,原因是这一阶段应用需求较少,国外管输原油一般黏度较低,易于输送,通常不需要加剂。

20世纪90年代初,澳大利亚墨尔本大学的D. Boger教授及其学生对管输原油经受的温度和流动历史对其流变性的影响进行了较深入的研究^[11]。他们提出的热历史和剪切历史概念对此后世界各国研究者在该领域的研究具有方向性的引导作用。从20世纪90年代直到最近,随着世界范围内沙漠和深海油田的开发,以及含蜡原油产量的上升,国际上对于原油流变性的研究又渐渐多了起来,包括发达国家在内,印度、巴西、越南和一些阿拉伯国家的研究者都发表了许多较高水平的研究论文,但在应用方面没有太多新的实质性进展。

由于我国所产原油的特点,我国在原油和改性原油流变学上的研究,从20世纪60年代开始就没有停止过,以中国石油管道研究中心和石油大学为代表,先是借鉴国外的理论和经验进行研究,而后逐渐形成了具有自己特色的研究方法和理论,取得了许多重要的理论和应用成果。尤其在改性原油流变学研究领域,我国的理论和应用水平目前在世界上居领先地位,已将加剂综合处理改性输送工艺成功地应用于国内多条低输量和超低输量输油管道,解决了该类管道的安全和经济输送问题,产生了巨大的社会和经济效益,并且将该工艺技术直接应用于

库部输油管道和长达1500 km的苏丹高含蜡原油外输管道的设计和运行,从而节省了大量的建设投资和运行成本,在赢得国际声誉的同时,也从设计理念上撼动了传统热油管道的的设计原则^[12]。

近年来,我国在原油及改性原油流变性定量模拟和预测技术研究领域以及含蜡原油析蜡和结蜡规律及其预测技术研究领域产生了许多重要的研究成果,在国内外发表了不少具有较高水平的研究论文^[10,12~14],其中包括:建立原油凝点/倾点与析蜡量关系的数学模型,以及仅依据组分原油的凝点/倾点就能确定其任意配比混合原油凝点/倾点的数学模型,在更深层次上揭示原油流变性的变化规律,丰富了原油流变性评价的方法体系;提出“有效析蜡量”的概念及其计算方法,首次明确、定量地将对管道结蜡有贡献的析蜡部分从总析蜡量中剥离出来,并在此基础上建立对大多数原油适用的动力学结蜡数学模型,实现对含蜡原油管道的结蜡预测。相关成果已成功应用于东北管网大修改造工程、大庆—俄罗斯原油冷热顺序输送技术研究以及西部管道哈萨克斯坦原油和成品油顺序输送工艺研究中。

目前,国内在该领域的研究方向除继续开展传统的关于原油流变性机理和模型的深入研究外,正顺应领域发展和实际需要,朝着将该领域以往的研究成果进行整体集成和系统完善的原油管道流动保障技术研究方向发展,该方向将系统集成关于原油流变性预测技术、原油管道结蜡预测技术和热油管道非稳态流动—传热耦合模拟技术的以往重要成果并不断加以补充和发展,从系统工程的角度综合分析和评价原油管道的流动安全性,预测管道在各种条件下流动和运行的关键参数,以期各类原油管道的设计和运行提供全方位的流动安全保障,优化输油管道在各种不同工况和输送环境下的工艺和设备参数,在保障流动安全的同时降低能耗,最大限度地节约管道运行和维护成本。该研究方向同时还具有系统工程学的特点,研究过程中从管道流动保障系统的角度对系统中各有机分系统提出研究需求,使各分系统的研究相互衔接、相互促进,从而把原油流变学的研究向实用化方向大大推进。

当前,原油流变学及其应用研究要在采用试验模拟和数值模拟方法准确预测管输原油流变性、结蜡规律及停输再启动特性的基础上,结合现场实际,包括工艺流程、设备能力、环境温度以及管材承压能力等,在保证流动和启动过程安全的条件下,优化输

油设备配置和进出站温度,使输油管道达到安全高效和节能降耗的目的;并结合现场环境和现场数据,从系统安全高度,开拓和创新思维,探索和制定科学、合理的原油管道可泵性准则,力求突破输油生产沿用多年的“进站温度高于所输原油凝点 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ”、对任何工况管道都不变的、缺乏足够科学依据的经验型传统准则。该研究方向还要为除加热输送以外的其他输油工艺或新工艺提供流变学依据和保障,开发和创新研究手段和方法,促成新工艺的产生和实施,目前重点要对管道流动改进剂的研发提供流变微观依据和性能要求。另外还要积极开展含水原油在乳化状态下的流变性测量和预测研究,为解决多相管道中这类介质的流动问题提供流变基础依据。

2.2 油(气)管道流动改进剂研究与应用

管道流动改进剂主要是指降凝剂和减阻剂。前者主要应用于含蜡原油管道,目的是降低原油的凝点和黏度,改善低温流动性,为低输量管道的安全运行、停输再启动、常温输送等提供保证。后者可应用于原油、成品油和天然气管道,目的是减少沿程的摩擦损失,节能降耗,提高管道输送的弹性。

原油降凝剂是在馏分油的基础上发展起来的,迄今已有40多年的历史。由于含蜡原油的分布并不普遍,国外进行降凝剂研究和应用的国家并不多,主要有美国 Du Pont、美国 Conoco、美国 Exxon、美国 Petrolite、美国 Baker、英国 Shell 和英国 Champion 等公司。我国降凝剂的研究始于20世纪70年代末,20多年来取得了显著的成绩^[15]。由于降凝剂对原油的降凝作用具有极强的选择性,而我国大部分原油,特别是大庆原油的物性相对独特,目前国内外市场上的降凝剂产品无法满足实际的生产需要,因此,需要针对我国原油的特点,开发新型降凝剂产品。未来的发展趋势是加深对降凝剂作用机理的认识,探索降凝剂与原油的作用规律,研究各种因素对降凝剂效果的影响,开展新类型降凝剂的研制工作。

油品减阻剂的商业化应用始于1979年的阿拉斯加原油管道,之后的二十多年里得到了迅速发展,在国外数百条油品管线中应用以解决输油生产弹性问题。世界减阻剂市场曾经一度被国外几家大的化学品公司所垄断,如美国的 Conoco、Baker Hughes、Chemlink Petroleum 和芬兰的 Neste 公司等,生产技术十分保密。由于国外公司的垄断,减阻剂的价格非常昂贵,限制该技术在我国的应用^[16]。2000年,管道研究中心独立研制出 EP 系列减阻剂,打破了

国际垄断,其减阻效果达到国际先进水平,在国内成功应用于青海油田花格线、长庆油田集输管线、新疆库鄯线、河石线、东黄线、吉林抚赭线以及渤海油田海上平台等管线,并远销苏丹、阿尔及利亚、伊朗等国家,不但具有显著的社会效益,而且创造了可观的经济效益。近年来,国外减阻剂产品呈现出减阻效率不断提升、分散技术水平不断提高的两大发展趋势,同时伴随着减阻机理的深入研究,减阻聚合物的种类也逐渐增多。国内在减阻剂的基础理论研究、生产工艺及产品质量控制、最终产品的贮存性能及应用技术领域,相关的研究和技术水平与国外相比还有较大差距,制约了国产减阻剂的推广和应用。

天然气减阻剂是从最初的抗腐蚀剂开始研发,到20世纪90年代,Atlantic Richfield 公司申请了相关的专利,并且在墨西哥湾一条天然气输送管道上进行了现场试验并获成功^[17]。测试结果表明,天然气输量平均提高了 $10\% \sim 15\%$,最大压降幅度为 20% 。目前,国外天然气减阻剂正处于研发阶段,尚未投入大规模工业应用,技术发展趋势为依据所提出的天然气减阻机理,开展性能更佳的共聚物胺类化合物的研发。2005年底,管道研究中心已开展了具有前瞻性的“天然气减阻剂的研制”工作,在该领域的研究中力争成为国际相关技术的领跑者。

2.3 多种油品顺序输送流动特性研究

多种油品的顺序输送提高了管道输送效率,能够最大限度地满足不同用户的运输需求,自管道行业发展之初就一直处于不断发展的状态。20世纪50年代以来,发达国家的顺序输送管道一直在高速发展,最具代表性的是顺序输送成品油的美国科洛尼尔管道系统,冷热顺序输送原油的美国太平洋管道系统,顺序输送原油与成品油的加拿大贯山管道系统和法国拉费尔—巴黎管道系统以及常温顺序输送原油的加拿大 Enbridge 管道系统等。国内自2002年才建成投产国内第一条真正意义上的成品油管道——兰成渝管道,顺序输送3种不同的油品。

国外管道企业为满足不同客户的差异化需求,研究解决了不同产油区块的原油及不同炼厂的同牌号成品油实行顺序输送过程中的油品质量保证、界面隔离/检测及水力特性问题。而国内在这方面还处于摸索阶段。随着国内陆上进口低黏度原油的逐步推进,急需解决加热原油与常温进口原油的冷热顺序输送技术问题,而且随着炼化企业出于对炼制品品质要求的提高,对炼制原料——原油的差异

化提出了更高的要求,技术上需要研究并打破以往不同种原油掺混输送的瓶颈,研究解决不同种原油的顺序输送问题。

对于成品油及相关液烃产品顺序输送管道,主要关注混油的产生、混油量预测及液烃产品对成品油物性及管输水力过程的影响问题。近年来对于混油的产生机理及混油量预测计算研究没有新的进展,普遍基于不同油品间的对流传递和扩散传递机理形成混油来预测计算混油量,但是至今没有一个公认的与实际完全吻合的计算公式。目前,计算混油长度较常用的方法为奥斯丁总结的经验公式,由兰成渝管道的实际混油数据分析认为,该公式计算的混油量比实际混油量小^[18]。国外在探讨液烃产品借助于成品油管道顺序输送方面是一个新的发展趋势,以更大限度地满足下游众多用户的不同需求。

对于冷热原油顺序输送管道,其主要问题是如何准确预测管道温度场,以确定最佳的热油温度和油品批量。2000年开始,国内针对大庆原油与俄罗斯原油的冷热顺序输送问题开展了相关研究,已取得了阶段性成果。冷热油的交替输送实际上是不同温度原油的顺序输送。若要确保冷热油交替输送管道的安全性和经济性,则首先必须解决复杂的非稳态热力分析问题,而管道的热力条件显然又影响其水力条件,因此冷热油输送涉及到的的是一个复杂水力—热力的耦合过程。与其他相关的技术问题相比,解决冷热原油交替流动条件下的非稳态热力—水力耦合问题是研究的核心和难点。虽然针对热油管道非稳态的水力、热力问题的研究已开展了很多年,但由于影响热油管道的因素众多且其中的一些因素又具有一定的随机性和不确定性,因而即便诸如一次性的投产预热、停输温降等热油管道非稳态传热问题的研究,也仍不完善。若要真正实现冷热油交替输送的工业应用,仍需开展系统、扎实的研究工作,开发冷热油交替输送热力水力耦合数学模型,确定具体的数值算法,通过试验的检验和反复校正逐步缩小计算误差,最终形成一套可靠的工艺技术。

3 结语

油气管道的流动保障技术是对影响油气管道流动安全的各主要因素及其影响规律进行综合预测和分析的技术,建立在对以往诸多相关研究成果的深度集成和发展上,目的是从系统工程的高度全面保障油气管道的安全、经济运行。通过对3个主要方向

的研究历史和现状的介绍和分析,预测和明确了未来在这些方向上的研究重点和发展趋势。

参考文献

- [1] Kaczmarek A A, Lorimer S E. Emergence of flow assurance as a technical discipline specific to deepwater: technical challenges and integration into subsea systems engineering [A]. OTC 13123, Offshore Technology Conference [C]. Houston, TX, USA, 2001
- [2] Wasden F K. Flow assurance in deepwater flowlines and pipelines – challenges met, challenges remaining [A]. OTC 15184, Offshore Technology Conference [C]. Houston, TX, USA, 2003
- [3] 侯磊,张劲军. 基于流动保障的海底油气管道安全策略与技术 [J]. 中国海上油气, 2004, 16(4): 285–288
- [4] 张劲军. 易凝高黏原油输送技术研究进展 [A]. 全国油气储运技术交流研讨会论文集 [C]. 东营: 石油大学出版社, 2002: 24–39
- [5] 杨祖佩, 刘广文. 管道科技中心油气储运技术的发展 [A]. 全国油气储运技术交流研讨会论文集 [C]. 东营: 石油大学出版社, 2002: 18–23
- [6] 权忠兴. 原油改性处理的管道输送 [J]. 油气储运, 1996, 15(1): 1–6
- [7] 刘天佑, 高艳清. 原油长输管道启动压力研究 [J]. 油气储运, 1997, 16(12): 7–13
- [8] 陈国群, 马克锋, 丁芝来, 等. 热油管道启输投产热力计算 [J]. 油气储运, 2005, 24(7): 13–16
- [9] 谢鑫, 陈国群, 薛增伟, 等. 埋地热油管道正反输送非稳态热力计算 [J]. 油气储运, 2007, 26(8): 30–34
- [10] Qing Miao, Jinghua Liang, Baoliang Jiang. Optimizing the Pigging Frequency Through Prediction of Wax Deposition of Pipeline [A]. Proceedings of the 6th International Pipeline Conference (IPC2006) [C]. Calgary, Canada, 2006
- [11] Wardhaugh L T, Boger D V. Flow characteristics of waxy crude oils: Application to pipeline design [J]. AIChE J, 1991, 37(6): 871–885
- [12] 苗青, 徐诚, 洪建勇, 等. 苏丹混合原油加剂常温输送工艺研究 [J]. 油气储运, 2004, 23(1): 11–14
- [13] Li Hongying, Zhang Jinjun. A general model for predicting non-Newtonian viscosity of waxy crudes as a function of temperature and precipitated wax [J]. Fuel, 2003, 82(11): 1387–1397
- [14] Li Yufeng, Zhang Jinjun. Prediction of viscosity variation for waxy crude oils benefited by pour-point depressants during pipeline [J]. Petroleum Science and Technology, 2005, 23: 7–8
- [15] 张国忠, 张贵才, 葛际江, 等. 高蜡原油降凝剂发展概况 [J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(6): 117–122
- [16] 李国平, 杨睿. 国内外减阻剂研制及生产新进展 [J]. 油气储运, 2000, 19(1): 3–7
- [17] Huey J Chen, Gene E Kouba, Michael S Fouchi, et al. DRA for gas pipelining successful in gulf of mexico trial [J]. Oil & Gas Journal, 2000, 98(23): 54–58
- [18] 李莉, 赵丽英. 兰成渝管道顺序输送油品混合试验研究 [J]. 石油规划设计, 2002, 13(1): 25–27

Developing trend of oil & gas pipeline flow assurance technology

Li Li^{1,2}, Miao Qing², Tong Wenqiang²,
Song Fei², Xu Haihong², Liang Jinghua²

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. R & D Center of Petro China Pipeline, Langfang, Hebei 065000, China)

[**Abstract**] Through systematical research and complex analysis of how the main safety facts affect flow characteristics of oil & gas pipeline, oil & gas pipeline flow assurance is a series of technology which aims to ensure the safe operation of pipeline. The history, current research and future trend of oil & gas pipeline flow assurance are discussed. It is presented that this research field contains four main topics, which include oil rheological research and application, oil & gas pipeline flow improver research, flow characteristics of batch transportation of oil & product oil. The future focus of this research field is presented.

[**Key words**] flow assurance; crude oil rheology; pipeline flow improver; batch transportation

(上接 26 页)

The lowering as a whole technology of Sutong Bridge 5 800 t weigh steel cofferdam

Zhang Xiongwen¹, Ren Huixing²

(1. Jiangsu Provincial Sutong Bridge Construction Commanding Department, Nanjing 210006, China;

2. School of Civil Engineering and Mechanics of HUST, Wuhan 430074, China)

[**Abstract**] Sutong Bridge is the first cable stayed bridge with the span exceeds 1 000 m which located in the mouth of Yangtze River. Its pylon foundation located in the river where the water is deep and current speed is high, and adopted the bored group piles foundation which is the largest group piles foundation. To the group piles foundation with the construction condition of deep water and high speed current, the exactly construction of the steel cofferdam which provided dry condition for the pile caps construction is a problem. This paper discussed the lowering as a whole technology of Sutong Bridge 5 800 t weigh steel cofferdam from 6 respects such as selection of lowering scheme, design, fabrication, lowering techniques, synchronousness controlling and orientation. In which, the design combined the coping of bored piles construction platform with bottom of steel cofferdam, the lowering as a whole techniques, synchronousness controlling and orientation technology are innovation.

[**Key words**] Sutong Bridge; large steel cofferdam; fabrication; lowering as a whole; synchronousness controlling