

油气管道运行维护安全技术研究新进展

刘志刚 王禹钦 王学力

中国石油天然气股份有限公司管道分公司, 河北 廊坊 065000

摘要:油气管道安全高效运行,不但关系着企业自身的发展,也关系着国家发展中能源供应的安全,运行维护与安全管理相关技术的创新和提升,是实现管道安全高效运行的重要保障。对近两年来国际上的油气管道运行维护 and 安全管理技术研究新进展进行了综述,包括安全管理体系实践与改进、应急响应、管道隔离、修复和补强、管道放空、废弃管道处置、管道泄漏检测以及地质灾害管理等技术的现状和研究新进展,以期对中国油气管道运行维护及安全管理技术的提高和改进提供借鉴。

关键词:管道;安全管理;应急响应;隔离;修复和补强;放空;废弃处置;泄漏检测;地质灾害管理

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.04.020

New Progress in Research on Safety Technology of Oil & Gas Pipeline Operation and Maintenance

Liu Zhigang, Wang Yuqin, Wang Xueli

PetroChina Pipeline Company, Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract: Safe and efficient operation of oil and gas pipelines is not only related to the development of the enterprises themselves, but also to the safety of the national development of energy supply. The innovation and upgrading of operation, maintenance and safety management technology is an important guarantee for achieving this goal. The latest international research progress of oil & gas pipeline maintenance and safety management were reviewed, including the practice and improvement of safety management systems, regulatory activities and emergency response, pipeline isolation, repairing & reinforcement, pipeline venting, abandoned pipelines disposal, pipeline leakage detection, geohazard management, etc, in order to provide useful information and precious reference for domestic pipeline vendors to improve the oil & gas pipeline operation, maintenance and safety management.

Keywords: Pipeline; Safety management; Emergency response; Isolation; Repair & reinforcement; Venting; Abandoned pipeline disposal; Leakage detection; Geohazard management

收稿日期:2018-01-25

基金项目:中国石油天然气股份有限公司管道分公司“中俄东线天然气管道运行及维护标准研究”(20150301)

作者简介:刘志刚(1966-),男,辽宁昌图人,高级工程师,学士,主要从事管道管理和保护、智慧管网建设运营管理等工作。

0 前言

从中国管道行业发展前景看,今后 10~15 年,油气管道将迎来新一轮的建设高峰,预计到 2030 年中国管道总里程将达到 $25 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4$ km,油气管道行业仍处于发展的黄金时期。油气管道安全高效运行,不但关系着企业自身的发展,也关系着国家发展能源供应的安全,在国际油价低位徘徊和国民经济结构转型的关键时期,油气管道运行维护与安全管理相关技术的创新和提升,是实现管道安全高效运行的重要保障^[1]。

中国管道管理存在多部门主管,多层次参与,部分职责不清、重叠等问题。虽然在《安全生产法》《石油天然气管道保护法》等法律法规中要求对油气管道进行预防式管理,但未明确规定各管道必须开展完整性管理,与国外相比存在差距。近年来,发生的多次管道事故,暴露出中国在安全管理、应急响应和监管体制等方面存在不足。而欧美发达国家管道公司在政府监管方面法规明确,配套技术标准比较完备^[2]。本文对国际上的油气管道运行维护与安全管理技术研究新进展进行了综述,以期对提高中国管道本质安全管理水平,预防事故的发生,提供借鉴。

1 管道安全管理体系

1.1 完整性管理程序的实践与改进

导致油气管道失效的根本原因是管理制度和相关流程的缺失或执行不到位。完整性管理程序(IMP)建立了在一定架构范围内评价和减缓风险的流程,以求确保管道系统资产的长久完整性。合理地执行 IMP,能够减少突发事件发生的概率。

欧美发达国家每年或当事故发生时,运营商需向各种监管机构提交运营、维护和资产的数据。Explorer 管道公司和 DNV GL 集团共同研发了 IMP 的实用绩效指标^[3],支持计算维修项目的成本效益率/投资回报率,洞悉未来的运营风险。加拿大能源管道协会(CEPA)制订了完整性一体化[®]^[4]行业规程,融合了北美重要规定和标准中的需求,聚焦安全、环境和社会经济学,加强整个管道行业效能、合作和交流。基于计划、实施、检查、改进(PDCA)循环的方法,被 Nidd P 等人^[5]用于检验管道 IMP 的健康程度,以促进企业管理达到最佳实践。Sporns R 等人^[6]基于 Enbridge 公司多年实施 IMP 所获得的深刻见解,也建立了一套完备和有效的保障管理程序(AMP)和相关流程,以促进完整性管理体系循环持续改进。Hodgson J O 等人^[7]基于 Penspen 公司过去 16 年为国际管道运营商开展的 30 多次管道完整性管理体系审核基础,归纳出从设计、施工到运营维护等管道全寿命

周期最佳实践做法的一系列推荐性建议。美国交通部管道和危险材料安全管理局(US DoT PHMSA)组织开展了管道施工行为中质量管理体系的改进^[8],是按照 PDCA 的方式实施。CSA Z662 附录 N 是加拿大管道运营商实施和执行 IMP 的行业强制执行标准,Waheed B 等人^[9]在 IMP 执行 5 年后对其进行了合规保障评价,并针对性地提出下个 5 年改进建议。2006 年阿拉斯加州北坡油田管道发生泄漏后,当地州政府成立了石油系统完整性办公室(PSIO),负责石油和天然气资源相关的设施、设备维护的监管,Norton D 等人^[10]对 PSIO 10 年间的监督管理作用进行了评价,提出了未来政策、制度和监管方法的改进建议。Lutz A R 等人^[11]建立了一种更新和改进 IMP 作业文件的实用方法,根据差距分析改进了现有工作,解决旧文件中交叉矛盾的做法,最后修(制)订 IMP 作业文件。

1.2 应急响应与失效分析

在役管道的状态一般通过内、外检测的方式进行监测。当发现管道健康恶化时,检测会按计划中断。与时间有关的威胁如未能及早发现,或随机事故的发生如第三方破坏,可能会导致管道失效,此时就需要开展应急修复。Alani A 等人^[12]开发了基于风险策略的陆上和海底管道应急修复系统,按照失效后果的严重性进行排序,并优化修复策略。Zhang S 等人^[13]开发出突发事件全系统响应规程,完善了 IMP 的威胁识别和全范围的风险评价。

开发管道安全管理系统时,应首先思考哪些因素与过去发生的事故及未遂事故的根本原因相关。Weichel M^[14]采用已有的管理体系标准或实践做法中的要素,分解、归类每个事故原因,并结合各种工艺和流程开展差距分析,确定开发和实施安全管理系统时要素的优先级。玻璃钢管是加拿大石油和天然气行业第二大常用管,该类材料的失效率远高于钢管的失效率,整个行业仍处在学习研究该类材料如何失效的阶段,Gareau F 等人^[15]分析了玻璃钢管失效的原因,建立了其失效顺序。

1.3 管道安全文化的发展

近年来,管道行业对安全文化这个概念的兴趣不断增长。安全文化由公司的属性和价值观以及公司员工的认知和价值观组成,改善机构的安全文化能够减少意外事件发生的频次。Maddin K 等人^[16]开展了适应管道行业的安全文化评价,以帮助机构在所有业务层面改善安全文化,提高人身和过程的安全绩效。Harron L 等人^[17]制订了加拿大标准协会过渡文稿(CSA EXP248):管道人为因素,通过管理与人为因素相关的风险,来改进管道安全性能。

1.4 其他行业借鉴的方法

在管道安全管理领域,借鉴过许多其他行业的方

法,如原本应用于飞机舰队维护的整体寿命结构完整性方法等。Munro J 等人^[18]研究了那些因为灾难性事件而做出过重要变革的行业,认为管道行业必须联合协作,用统一的方式才能更有效解决行业安全问题。Pettitt G 等人^[19]将领结法引入管道设计、建设、运行和报废处置等阶段和重大事故危险源识别。Oliphant K 等人^[20]通过幂次定律分析美国历年管道事故,建立了事故规模和发生频率之间对应关系,对于一个给定量级的事故,能投射出其发生的可能性或预期频率。

2 管道运行和维护

2.1 管道隔离

常规的管道维护和改造工作需要去除管道内的有机化合物,管道必须减压(放空)或暂时隔离。减压(放空)影响生产,代价高昂,替代方法是将需要维修或维护的管段隔离开来,后者允许管道继续运营。隔离的方法,包括动火(如带压开孔和封堵)和非动火(在线隔离封堵)。与使用传统的前后插入两个单独的封堵头结构相比,双封堵和导流技术能使密封良好,充分保障泄漏管理,及时完成不间断输气,且大大降低项目成本。Whiteis K 等人^[21]提出了双重屏障隔离的概念,以及如何利用动火和非动火的方法来提供满足公认需求的双重屏障隔离,还介绍了当标准隔离不能实现的情况下可以使用的方法。Iyengar S K 等人^[22]使用双封堵和导流动火隔离技术,对暴露的海底管道进行改线,在保证不停输的情况下,确保附近休闲海滩的安全。Bolger N 等人^[23]在时间紧、施工空间受限的情况下,成功采用双封堵和导流技术对1条36"(1"=25.4 mm)高压输气管线进行隔离,以连接清管发射器和接收器。

2.2 管道修复和补强

过去的20年里,管道行业开展了大量关于使用复合材料来修复和补强管道的研究。通过使用复合修复系统,通常能够恢复受损管道(包括腐蚀和机械损伤)的结构完整性,使其达到甚至超过原始未受损管道时的水平。当前,复合修复系统在高温和恶劣的环境条件下,强度、耐用性和有效性研究及改进仍是热点。Sheets C 等人^[24]证明了碳基和无碱玻璃纤维等复合修复材料高温补强的可行性。Alexander C 等人^[25]验证了承受极限弯曲和内压载荷的大直径弯头,使用无碱玻璃纤维/环氧树脂复合材料补强的有效性。Alexander C 等人^[26]提出了不同补强系统的评估方法,发现平衡套筒设计能够提供类似于B型套筒的补强;对钢制套筒有竞争性的填充材料进行性能评估,发现水泥灌浆略优于环氧树脂灌浆,而后者是当前行业首选的填充材料。

2.3 管道放空

放空是指从站场、设备(容器)或管道中计划或非计

划地释放加压天然气。在高压管道中,由于较大的气体库存量,放空导致气流温度较低和排气率高。放空操作具有一定危险性,需持续改进管道排放率和放空时间精度估算方法。Galatro D^[27]提出一种创新的简化混合法,改进了相关性并建立物理模型数值求解,该方法允许估算与压力-时间计算以及天然气管道放空管/阀门尺寸优化相关的变量,考虑了在最大允许放空持续时间以及最小壁厚和流体温度之间进行平衡,将天然气安全地控制在管道中,计算结果准确度高(最大误差7.6%)。

高程变化的影响和中间放空立管的位置决定放空的最优策略,以最大速度清除目标管段,同时保持管内平均流速高于最低清除速度以防止惰性气体和天然气分层。Botros K K 等人^[28]研究了管道高程变化对输气管道最优放空程序的影响,发现“平”型或“尖”型的高程剖面,有利于在中间放空立管的位置使用一个排气装置开展随后的放空程序;在“V”型高程剖面的情况下,同时排放的放空程序是在指定时间内更好地选择,代价是需要使用两套排气装置放在相距很远的地点。惰性气体进入位置取决于放空策略和高程剖面。

天然气进入管道时,在接收点需要依据气体质量规范进行检测,以确保下游支线和干线运行不受影响。偶尔,天然气加工厂遇到操作不当,会产生一个较高的烃露点。理想情况下,当探测到烃露点扰动,且天然气生产已经停止时,可以对支线进行清管以去除凝合碳氢化合物。如果支线无法进行清管,去除液态烃的唯一方法是蒸发进入干燥气体流中。Hartloper C 等人^[29]基于GERG-2008状态方程和持液量经验方程进行建模分析,分析气体成分、支管高程剖面、地面温度等流动参数对扰动严重程度的影响,探讨了在不同情况下,采用持续输出干燥气体的前向流方法,以及将干燥气体从干线通过支管往回向生产商输送的牵引返回流方法,哪种方法更适合的选择标准。

2.4 废弃管道处置

当管道处于寿命末期需要被永久停用时,就该考虑管道废弃处置了。北美的法规认可将管道设施废弃在原来位置作为退役的一种方式,并推荐因地制宜评估拟采用的废弃处置方法。当管道被废弃时,通常需要对管道进行冲洗、标记,并将所有的腐蚀保护和监测系统移除。弃置管道的主要危险,包括钢管的长期腐蚀退化,管道内可能积水,对环境可能的影响,以及可能产生的管道坍塌和土壤沉降。保护废弃管道常见的工业方法有泡沫充填或注浆,充填过的废弃管道可以防止因管道腐蚀导致的地面不稳定和沉降;创建栓塞或切割/封盖废弃管道可以防止成为水管道。Finneran S 等人^[30]研究了废弃管道长期结构完整性,提出一种估算正在经历长

期腐蚀退化的管道剩余强度计算方法,并计算了其载荷承受能力。Longo S 等人^[31]开展了注膏技术在废弃管道回填中的应用研究,其优势超过目前的泡沫和注浆填充。

2.5 管道泄漏检测

管道泄漏是石油和天然气行业的一个主要风险,威胁企业财务状况,破坏环境,引发公众关注。为了减少管道泄漏的影响,需要快速检测泄漏和快速响应。目前用于检测管道泄漏的系统从简单的视觉检查到复杂的硬件和软件系统均有,如质量平衡、压力点分析、流量偏差、声发射系统和基于光纤的传感技术,但各有局限性。

虽然天然气管道泄漏检测已受益于航空遥感探测,但油品管道泄漏检测仍受限于 SCADA 系统,只能检测超过 1% 的流量泄漏以及在管道路由上的外观检测。Araujo M S 等人^[32]开发一种创新的遥感技术,基于远程光学传感和机器学习对危险液体管道小泄漏实时自动检测,能够近乎实时地、可靠地自动检测到危险液体小泄漏。在 PHMSA 及横加(Trans Canada)管道公司的支持下,Gravel J F 等人^[33]研发了一种使用安装在机载平台(无人机或直升机)的光学检测系统,航空遥感探测输油管道小泄漏(即 100 ml/min)的新方法。Parmar K 等人^[34]研究基于新型碳纳米管的烃类直接传感器的泄漏检测,误差小,对烃类泄漏保持较高的敏感性。Ocalan M 等人^[35]研发了基于物联网实时监测管道的关键技术,采用一种新的自供电自组网无线通信设备,通过声波远距离检测泄漏,无需机械挖掘,功耗低。

传统基于模型的泄漏检测系统,误报率较高。Dawson C 等人^[36]基于电磁传感技术进行泄漏检测,传感器具有很强的检测油品能力,电磁传感技术进行泄漏检测的方法简单、风险低,具备成本效益,有助于防止假的泄漏报警。Blasi M D 等人^[37]基于机器学习和模式识别技术,应用于 SCADA 数据,对管道进行破裂检测。Vejahati F 等人^[38]研究了封闭管道的泄漏检测,提出采用模式识别算法自动监测压力降,并在压力梯度模式与泄漏特征相匹配时产生报警。

基于入口、出口的流量和压力测量的体积流量平衡统计技术,能够对泄漏进行检测和定位。Zhang J 等人^[39]研究了海底管道泄漏检测与运行管理,采用实时瞬态模型计算管道沿线的流量、压力、温度、密度以及其他流体属性,操作者不使用测量的流量和压力,而是依靠计算值来进行操作决策。Hung D 等人^[40]研发了一种用水力学仿真系统对烃液管道泄漏监测计算系统进行灵敏度测试的新方法,并验证了该方法应用的可行性。

2.6 地质灾害管理

地质灾害在管道的背景下,被定义为能危害管道或相关环境的地质、岩土、水文、构造成因等自然现象。当

考虑管道工程地质灾害时,综合全面地描述所有可能影响管道的地质灾害特性很重要,不仅在工程施工阶段,而是贯穿整个管道的设计运行寿命,包括详细了解当地地表的地质和岩土工程条件,提高地质灾害评价与管道系统的减灾设计。

作为滑坡灾害管理程序的一部分,管道行业 50 多年来一直使用振弦式(VW)应变计。Dewar D 等人^[41]在 20 年对活跃但缓慢移动滑坡的管理经验基础上,提出了使用应变计监测慢移动山体滑坡管道的技术和操作指南,提供了最好的定位应变计技术,包括可视化/现场地质技术评价,地质技术、监测技术和智能清管技术(测径、中心线检测和轴向应变技术);还讨论了振弦式(VW)应变计的局限性、可靠性和替代品。Henschel M D 等人^[42]利用一种行之有效的遥感技术 InSAR,从雷达卫星图像中提取毫米级精度地面变形估算,监测天然气配气管网途经的地面滑塌。阿尔伯塔北部一个古老的 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 深部滑坡被触发复活,Barlow J P 等人^[43]采取了一系列目标地表和地下水控制措施,降低了大约 100 倍的移动速度,这表明在该地区滑坡对微小变化的敏感性是一个负面因素,但在稳定滑坡方面也可以成为一个积极因素。

地质灾害管理程序的一个重要组成部分是洪水的实时监测,识别出管道与河道交叉处受水灾影响的位置并监测洪水水位。对管道有可能在洪水事件中暴露、悬空,以及在洪水事件中可能发生失效的水道交叉点进行更详细的研究。Enbridge 管道公司对洪水进行了实时监测与管理,提出可以识别出易发生管道暴露的河流穿越段的方法^[44],以及产生自由悬空管段的可能性,这是美国首次基于实时流量和阈值的估算结果而关停管道。Roberge L 等人^[45]提出了一种利用过去河岸侵蚀行为作为未来管道受侵蚀情况预测的方法,提供河岸侵蚀率和发生洪水的稀缺性之间的相关性。

3 结论

当前,安全环保仍然是油气管道行业面临的颠覆性重大风险。管道始终面临管体缺陷、建设质量、打孔盗油、第三方施工损坏、地质灾害、恐怖袭击等多重威胁,目前工程遗留问题很多,环焊缝质量缺陷等风险隐患尚未彻底根治。近年来,中国从中央、有关部委到中国石油天然气集团公司,各个层面抓安全环保工作的态度和决心十分坚定。2016 年 10 月,国家发改委、国家能源局、国资委、质检总局和安监总局等 5 部委联合发文,要求管道企业按照 GB 32167-2015《油气输送管道完整性管理规范》,全面推行油气管道完整性管理。2017 年 12 月,国家安监总局等 8 部门下发《关于加强油气输送管道途经人员密集场所高后果区安全管理工作的通知》,

再次表明了加强高后果区管道管理的重要性、紧迫性。随着新《安全生产法》的出台实施,油气管道安全管理面临更高的要求。未来,建议中国学习欧美管道企业安全管理的先进做法,进一步完备和明确油气管道监管体制、责任;将管道完整性管理纳入《石油天然气管道保护法》,健全相关法律法规;建立国家管网应急体系和信息平台,完善管道失效分析和事故调查程序;建立企业安全管理文化,引入安全管理评级机制,全面提升国家能源管网的安全管理水平。

参考文献:

- [1] 李莉,张玉志,张斌,等.油气管道运行维护技术研究进展及展望[J].油气储运,2017,36(3):249-254.
Li Li, Zhang Yuzhi, Zhang Bin, et al. Research Progress and Prospect of Oil and Gas Pipeline Operation and Maintenance Technologies [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 36 (3): 249 - 254.
- [2] 姚伟.油气管道安全管理的思考与探索[J].油气储运,2014,33(11):1145-1151.
Yao Wei. Thinking and Exploration on the Safety Management of Oil/Gas Pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2014, 33 (11): 1145 - 1151.
- [3] Knoell J P, Schenck J V, Bratton J P, et al. Practical IMP Performance Metrics [C]//Paper IPC 2016 - 64528 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [4] Lukaniuk C, Sahney R, Jean M. A Practical Approach to Drive Consistency in the Pipeline Industry: CEPA Integrity First ©[C]//Paper IPC 2016 - 64176 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [5] Nidd P, Porter M, Thorn T. Chasing Perfection—The Proactive IMP PDCA Review [C]//Paper IPC 2016 - 64474 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [6] Sporns R, Fader S. Assurance Management Implementation Within a Large Organization [C]//Paper IPC 2016 - 64625 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [7] Hodgson O J, Keen D W J, Toft M. Findings from 16 Years of Auditing Pipeline Integrity Management Systems [C]//Paper IPC 2016 - 64397 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [8] Gould M, Etheridge B, Amend B, et al. Improving Quality Management Systems (QMS) for Pipeline Construction Activities [C]//Paper IPC 2016 - 64077 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [9] Waheed B, McAuliff K, Bhuyan G. Knowledge Gained from A Five Year Regulatory Compliance Assurance Process for Operators'Pipeline Integrity Management Programs [C]//Paper IPC 2016 - 64161 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [10] Norton D, Owens J L, Annis G. An Assessment of State Regulatory Oversight of Pipeline Systems in Alaska [C]//Paper IPC 2016 - 64464 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [11] Lutz A R, Godfrey J, Maier C, et al. Godfrey, et al. A Practical Approach for Updating and Improving Integrity Management Process Documents [C]//Paper IPC 2016 - 64589 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [12] Alani A, Goodfellow G D, Keen D. Risk Based Strategy for the Development of an Emergency Pipeline Repair System (EPRS) [C]//Paper IPC 2016 - 64083 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [13] Zhang S, Kariyawasam S, Sutherby R, et al. System-Wide Response to Incidents_Case Study [C]//Paper IPC 2016 - 64385 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [14] Weichel M. Unlocking the Power of Incident Investigation: Building a Strong Pipeline Safety Management System from a Solid Foundation [C]//Paper IPC 2016 - 64640 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [15] Gareau F, Tatarov A. Root Cause Analysis of 8" FRP Pipeline Failure that Resulted in a Spill and Fire [C]//Paper IPC 2016 - 64534 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.

- [16] Maddin K, Shanks D A. Adapting Safety Culture Assessments to the Pipeline Industry [C]//Paper IPC 2016 - 64554 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [17] Harron L, Capper S. CSA EXP 248: Pipeline Human Factors [C]//Paper IPC 2016 - 64166 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [18] Munro J, Sommer G. A Collaborative Approach to Safety: Applying Lessons Learned from Other High Risk Industries [C]//Paper IPC 2016 - 64227 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [19] Pettitt G, Pennicott P. Use of Bowties for Pipeline Safety Management [C]//Paper IPC 2016 - 64243 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [20] Oliphant K, Bryce W, Luff W. The Case for Systemic Changes to Integrity Management: Power Law Analysis Implications of the San Bruno Pipeline Failure [C]//Paper IPC 2016 - 64512 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [21] Whiteis K, Dum F. Pipeline Double Block Isolation: What are the Options? [C]//Paper IPC 2016 - 64154 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [22] Iyengar S K, Jaiswal S. Re-routing of an Exposed Sub-Sea Pipeline Using a Double Block and Bleed Intrusive Isolation Technique [C]//Paper IPC 2016 - 64691 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [23] Bolger N, Whiteis K, Marwaha R, et al. FortisBC 36" High Pressure Line Isolation Using Double Block and Bleed Technology [C]//Paper IPC 2016 - 64212 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [24] Sheets C, Rettew R, Alexander C, et al. Experimental Study of Elevated Temperature Composite Repair Materials to Guide Integrity Decisions [C]//Paper IPC 2016 - 64211 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [25] Alexander C, Kania R, Zhou J, et al. Reinforcing Large Diameter Elbows Using Composite Materials Subjected to Extreme Bending and Internal Pressure Loading [C]//Paper IPC 2016 - 64311 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [26] Alexander C, Beckett A. An Experimental Study to Evaluate the Performance of Competing Filler Materials Used with Type B and Stand-Off Steel Sleeves [C]//Paper IPC 2016 - 64104 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [27] Galatro D. Considerations for Gas Pipeline Blowdown [C]//Paper IPC 2016 - 64210 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [28] Botros K K, Edwards C, Watson B, et al. Effects of Pipeline Elevation Changes on Optimum Expelling Procedures for Gas Pipelines [C]//Paper IPC 2016 - 64012 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [29] Hartloper C, Botros K K, Tittlemore K. Technical Evaluation of the Consequence of HCDP Upsets from Gas Producers along Pipeline Laterals [C]//Paper IPC 2016 - 64076 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [30] Finneran S, Prewitt T J, Kaufman J. Long Term Structural Integrity Considerations for Abandoned Pipelines [C]//Paper IPC 2016 - 64686 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [31] Longo S, Cull J. Backfilling Abandoned Pipelines with Paste [C]//Paper IPC 2016 - 64521 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [32] Araujo M S, Siebenaler S P, DuPont E M, et al. Near Real-Time Automated Detection of Small Hazardous Liquid Pipeline Leaks Using Remote Optical Sensing and Machine Learning [C]//Paper IPC 2016 - 64218 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [33] Gravel J F, Allard M, Babin F, et al. Oil Pipeline Standoff

- Leak Detection /A Novel Approach for Airborne Remote Detection of Small Leaks [C]//Paper IPC 2016 - 64704 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [34] Parmar K, Park C, Park S. Robust Direct Hydrocarbon Sensor Based on Novel Carbon Nanotube Nanocomposites for Leakage Detection [C]//Paper IPC 2016 - 64118 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [35] Ocalan M, Edlebeck J P, Siebenaler S P. Acoustic Leak Detection at a Distance: A Key Enabler for Real-Time Pipeline Monitoring with the Internet of Things [C]//Paper IPC 2016 - 64405 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [36] Dawson C, Inkpen S, Nolan C, et al. A New Approach to Pipeline Leak Detection Using Electromagnetic Sensing [C]//Paper IPC 2016 - 64371 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [37] Blasi M D, Li Z. Pipeline Rupture Detection based on Machine Learning and Pattern Recognition [C]//Paper IPC 2016 - 64471 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [38] Vejehati F, Rostamy N, Noroozi N. Leak Detection for Shut-In Pipelines [C]//Paper IPC 2016 - 64675 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [39] Zhang J, Kane A. Leak Detection and Operations Management in Offshore Pipelines [C]//Paper IPC 2016 - 64488 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [40] Hung D, Mokamati S. A Novel Approach to Leak Sensitivity Testing of Computational Pipeline Monitoring Systems for Hydrocarbon Liquid Pipelines with Hydraulic Simulators [C]//Paper IPC 2016 - 64698 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [41] Dewar D, Tong A, McClarty E, et al. Technical and Operational Guidelines When Using Strain Gauges to Monitor Pipelines in Slow Moving Landslides [C]//Paper IPC 2016 - 64594 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [42] Henschel M D, Deschamps B, Robert G, et al. Preliminary Monitoring of Ground Slumping Across a Natural Gas Distribution Network with Satellite Radar [C]//Paper IPC 2016 - 64378 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [43] Barlow J P, Richmond J A. The Cheecham Landslide Event [C]//Paper IPC 2016 - 64515 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [44] Devonald M, Hill M, Song P, et al. Real-time Flood Monitoring and Management of a Mississippi River Pipeline Crossing [C]//Paper IPC 2016 - 64219 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.
- [45] Roberge L, Ferris G, Weatherly H. Past Bank Erosion as a Guide for Bank Erosion Prediction at Pipeline Crossings [C]//Paper IPC 2016 - 64199 was Presented at the 11th International Pipeline Conference, September 26 - 30, 2016, Calgary, Alberta, Canada. New York: ASME, 2016.