

**第四届全国油气储运科技创新
与信息化技术交流大会**

论文集
(下册)

2015

浅谈 LNG 和 L-CNG 加气合建站的系统设计.....	李果 王喜 闫东华	1019
利用 LNG 冷能的 BOG 处理新工艺.....	薛倩 刘名瑞	1024
LNG 储罐多样化和大型化趋势分析.....	季超	1031
海上模块化 LNG 接收终端 (CGB) 上部设施撬块化研究.....	李雪洁 李玉星 于广坤	1034
CNG 加气站气体质量问题的分析及对策建议.....	江黎	1040
精密过滤器在 CNG 加气站的应用.....	郭丹 杨妮 周末	1043
管输含硫化氢原油控制措施现状调研及腐蚀性研究.....	赵文明 曹旦夫	1047
西部某原油储罐底板腐蚀原因分析及防治对策.....	王成	1053
大港油田金属管道防腐蚀技术应用.....	周松 李鹏 杨东	1059
油气管道的腐蚀与防腐.....	孟令军	1063
油气集输管道的内腐蚀分析与防护.....	邓伟林 吴运才 杨珂等	1067
“靶向防腐技术”的研究与应用.....	黄晓峰 董祥云 高树强等	1074
油井管工矿腐蚀防护技术的研究与发展现状.....	卞大荣 张驰 卞直兵等	1083
油气长输管道设备完整性管理系统设计与实现.....	金剑 张林东 孙国强	1094
马惠线原油管道完整性管理的实践.....	冯文兴	1100
柳屯油库储罐和工艺管道的完整性管理技术研究.....	朱宁宁 刘洋	1105
浅析长输管道压气站完整性管理.....	卜乾	1108
华南成品油管道完整性管理体系建设实践.....	谢成	1111
基于虚拟现实技术的三维输气管道仿真培训系统.....	李海川 段冲	1117
RFID 技术在管道物资仓储管理系统中的应用.....	刘剑	1121
异常事件管理系统在智能管网中的设计与应用.....	张微波	1126
应用为先, 融合为主, 数据为王		
——以数字化设计为源头, 助推储运工程建设信息化.....	桑广世	1131

马惠线原油管道完整性管理的实践

冯文兴

中国石油管道公司管道完整性管理中心

摘要: 马惠线原油管道是风险高的老管道, 管理单位以防控管道本体缺陷造成的泄漏风险为核心, 推动管道完整性管理, 逐步开展管道数据采集、高后果区识别、风险评价、管道检测与完整性评价、修复维护等一系列工作, 在深入分析、应用完整性管理数据、成果的基础上, 制定、施行针对性的修复维护和风险防控措施, 有力地提高了管道完整性水平, 确保了马惠线在替换前的安全平稳运行。

关键词: 管道 完整性管理 高后果区 风险评价 内检测 完整性评价 缺陷修复

1. 引言

马惠线原油管道是长庆油田外输的老管道, 管道的第三方施工损伤、本体缺陷、地质灾害等风险都很高。管理单位采取有效管理措施和手段, 有效地管控了第三方施工、打孔盗油、地质灾害等风险因素, 但是管道本体缺陷造成的泄漏风险难以防控。管理单位积极推动管道完整性管理, 开展检测、评价工作, 系统识别、分析、评估了管道本体的风险, 采取了针对性的修复和维护措施, 有力地提高了管道完整性水平, 确保了马惠线在替换前的安全平稳运行。

2. 马惠线输油管道概况

马惠原油管道起自甘肃省环县曲子镇, 途经环县至宁夏盐池县惠安堡镇。1979年建成投产, 全长164km, 管材为L360, 管径为 $\Phi 325 \times 7\text{mm}$, 设计输送压力为3.5Mpa, 设计年输量350万吨, 采用3PE(改线后的)、石油沥青(未改线的)防腐层, 采用外加强制电流阴极保护。马惠线共有4座热泵站, 截断阀7处。马惠线主要任务是将长庆油田原油输送到惠安堡站, 然后经惠宁线、石兰线输送兰州, 或者经惠银线输送至银川, 供给下游炼厂。管道先后换管改线60.4km, 其中, 2005年以后改线42.7km。

马惠线管道途径地区处于黄土高原向戈壁沙漠过渡地区, 沿线土质多变, 有湿陷性黄土、亚粘土、盐碱滩、轻壤砂质砾岩。马惠线管道基本沿环江而行, 与211国道相伴, 沿线地质条件复杂, 地形起伏非常大, 自然气候环境恶劣, 水土流失十分严重, 降雨集中的3个月的降雨量占全年的63%, 每遇暴雨沟岸冲塌, 沟头延伸, 坡面冲蚀, 对管道危害极大。

管道历史上发生的事件主要有: (1) 发生洪水冲断管道事件4次, 由于水毁或其他周边施工造成管道悬空事件6次。(2) 腐蚀和开裂事件多发。1994、2000、2004、2005年是高发年份, 这4年发生了38次腐蚀穿孔。发生焊缝开裂事件10次。(3) 途径涉油违法犯罪活动猖獗的长庆油区, 管道被打孔的风险很高, 2004年以前被打孔都大于20次/年, 2005年至今, 打孔盗油次数在多方合力下逐年下降, 稳定在较低的水平。

3. 马惠线管道完整性管理情况

近年来, 马惠线管道完整性管理逐步开展, 按照中国石油管道公司的要求, 踏实地进行了管道数据采集、高后果区识别、风险评价、管道检测与完整性评价、修复维护等一系列工作, 完成了管道完整性管理的闭环循环运行, 取得了良好的效果, 下面予以详细介绍。

3.1 高后果区识别

从2007年开始，马惠线开始进行管道高后果区识别、统计，以后每年更新确定一次。高后果区识别工作根据 QSY1180.2《管道完整性管理规范 第2部分：管道高后果区识别规程》，主要是识别管道途径的人口密集区、环境敏感区、社会敏感区。2014年，马惠线高后果区有58段，高后果区长度为51km，占总里程的31.1%，主要类型有穿越环江等敏感水体20段长度17km，占总里程的10.4%；经过四级地区的1段1km；穿越211国道等公路、铁路若干段。管理单位将这些高后果区作为管理工作的重点，加强管道日常巡护管理，将其纳入风险评价、管道检测等工作计划之中重点分析。

3.2 管道风险评价

从2010年开始，马惠线开始进行管道风险评价，以后每年评价一次。管理单位在管道风险评价中采用管道指数评分法，应用风险评分软件 RiskScore 进行评价。该方法将影响管道安全运营的各种因素归类为第三方损坏、腐蚀、误操作、制造与施工缺陷、地质灾害以及泄漏后果影响等6个方面的指标，并对每个指标进行赋值评分，综合分析其引起管道泄漏的可能性及泄漏后的事故严重程度，最终得到管道沿线的风险大小，风险评价模型见图1。



图1 管道风险评价的模型

2014年评价出的马惠线管道风险折线图见图2，全线单项风险折线图见图3。风险评价结果显示：马惠线管道失效可能性分值为334.9，风险分值为37.7，总体处于中高风险水平。管道风险段长度累计23.7km，占管道总长的14.5%。管道的主要风险为地质灾害、腐蚀和第三方损坏。通过这个管道风险评价，共筛选出27个风险管段，采用管道风险矩阵将风险管段按照高、中、低风险排序，处于高风险为17段，中风险为10段。根据风险的情况，建议采取各类措施，其中，需要立项整治17项，包括水工保护工程、换管、改线或重新穿越；需要通过管理措施控制的风险有10项，包括巡线、应急预案、警企联防等。风险评价认为管道腐蚀风险较高，结合历史泄漏失效事件分析，建议开展针对金属损失的内检测。

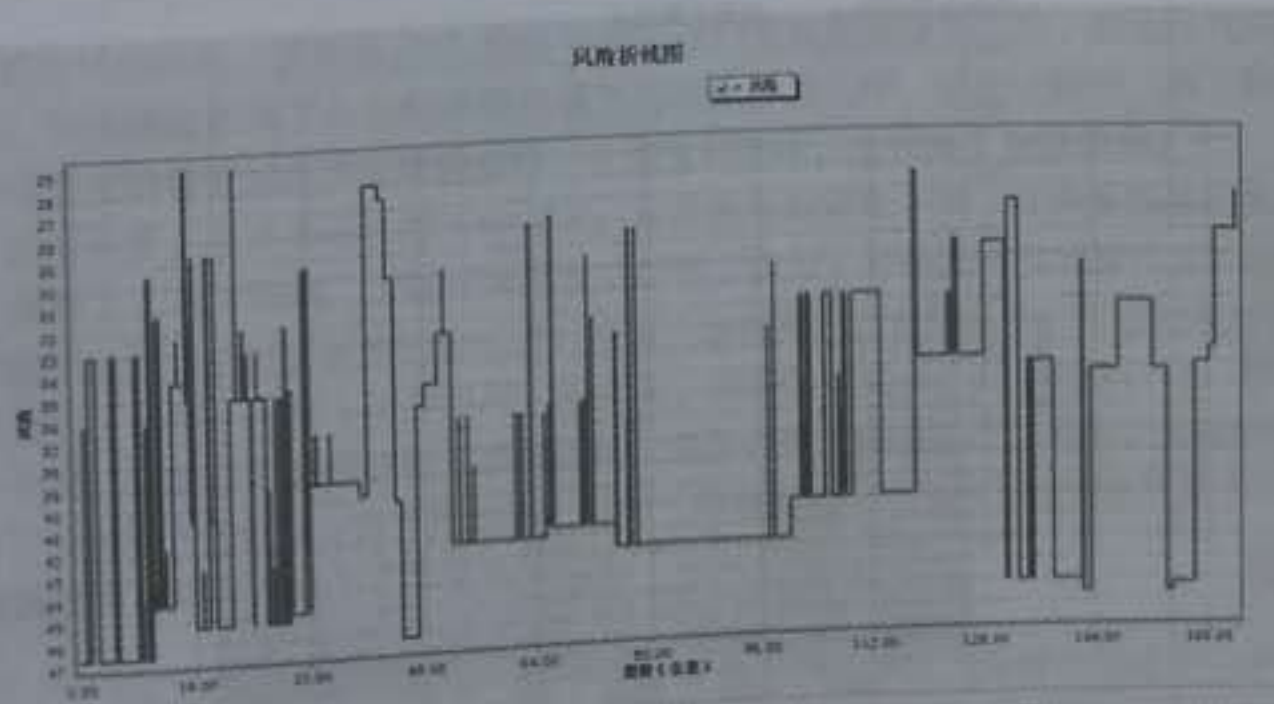


图2 马惠线管道风险折线图

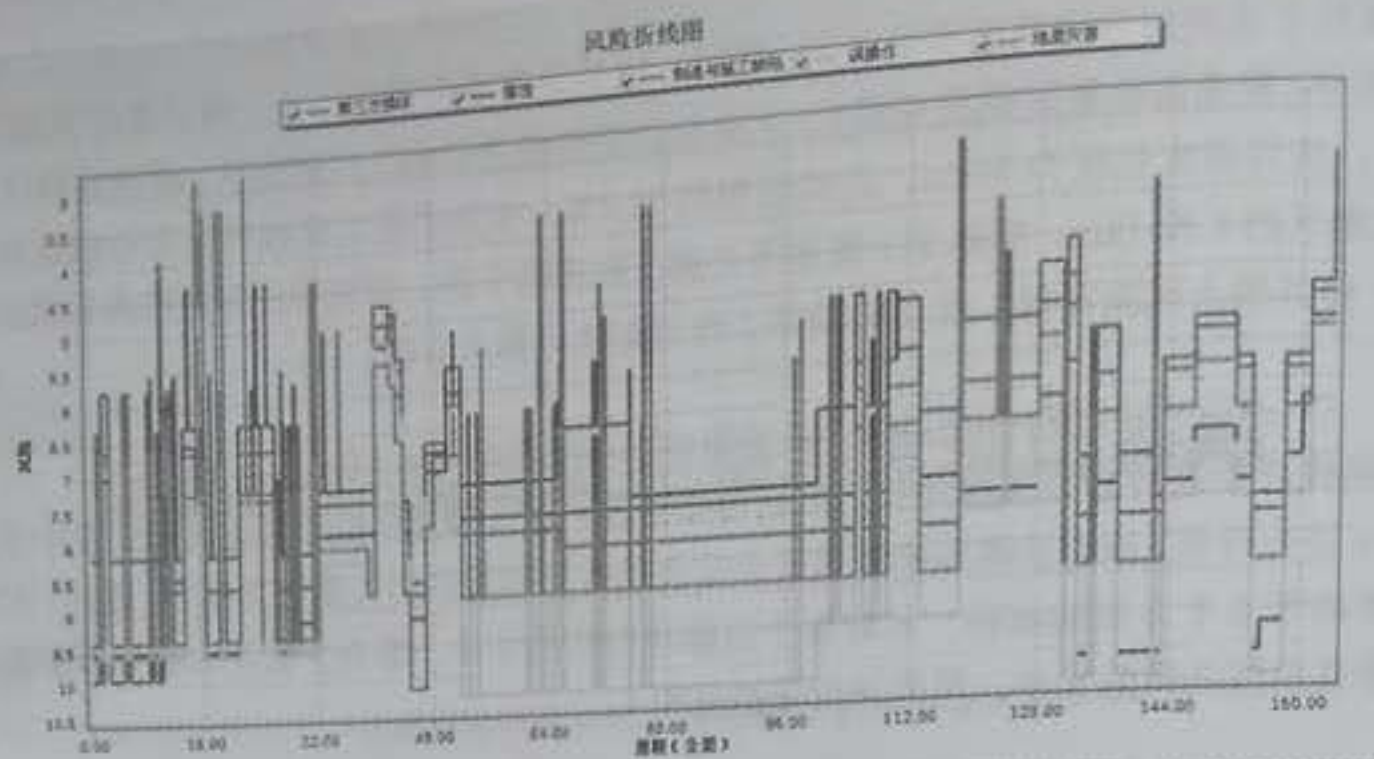


图3 马惠线管道单项风险折线图

3.3 外检测和防腐层修复

管理单位定期开展管道防腐层检漏工作，每年约完成总里程的 1/5。1998 年、2007 年，管理单位委托专业公司对马惠线进行了管道外检测工作，检测了管道防腐层状况、阴极保护有效性效果等内容。对在外检测中发现的部分防腐层老化严重、保护电位不达标、防腐层漏点等情况采取了及时整改措施。根据检测结果，管理单位从 1994 年开始有计划地开展多次防腐层大修工作，合计修复 88.4km，占总里程的 53.9%，很大程度提高了马惠线管道的防腐有效性。

3.4 内检测和完整性评价

为了了解管道本体的完整性情况，2002 年-2006 年，管理单位委托专业公司对马惠线进行了普通漏磁腐蚀内检测，结果显示，管道全线整体安全性较差，但是受当时技术的限制，没有进行有针对性的修复，而是对少数管段采取了整体换管方式。

由于近年来腐蚀穿孔风险的增加，2011 年-2013 年，管理单位又委托专业公司对马惠线开展了标准几何检测和三轴高清漏磁检测，目的是精确地检查管道的本体缺陷，从而进行针对性的维护。这次内检测共报告缺陷（特征）180591 处，其中，金属损失 173773 处、环焊缝缺陷 113 处、螺旋焊缝缺陷 6036 处、凹陷 267 处、外部金属物 128 处、修复补丁 269 处、偏心套管 5 处。A 段长 65.7km，约 50% 的管节报告存在金属损失；B 段长 30.6km，约 15% 的管节报告存在金属损失；B 段长 68.3km，约 65% 的管节报告存在金属损失。这次内检测的结果显示，马惠线的管道腐蚀情况非常严重。内检测报告了内腐蚀缺陷 157619 处，外腐蚀缺陷 16154 处；内检测发现深度大于等于 70% 壁厚的腐蚀缺陷 200 多处，有很多处深度达到了 90% 壁厚。严重腐蚀主要集中在 A 段出站前 16km（见图 4）、B 段出站 15km、C 段出站前 10 公里，这些腐蚀缺陷不仅集中连片，而且深度较深，其中内腐蚀缺陷主要集中分布在管道底部 4:00-8:00 区域（见图 5）。

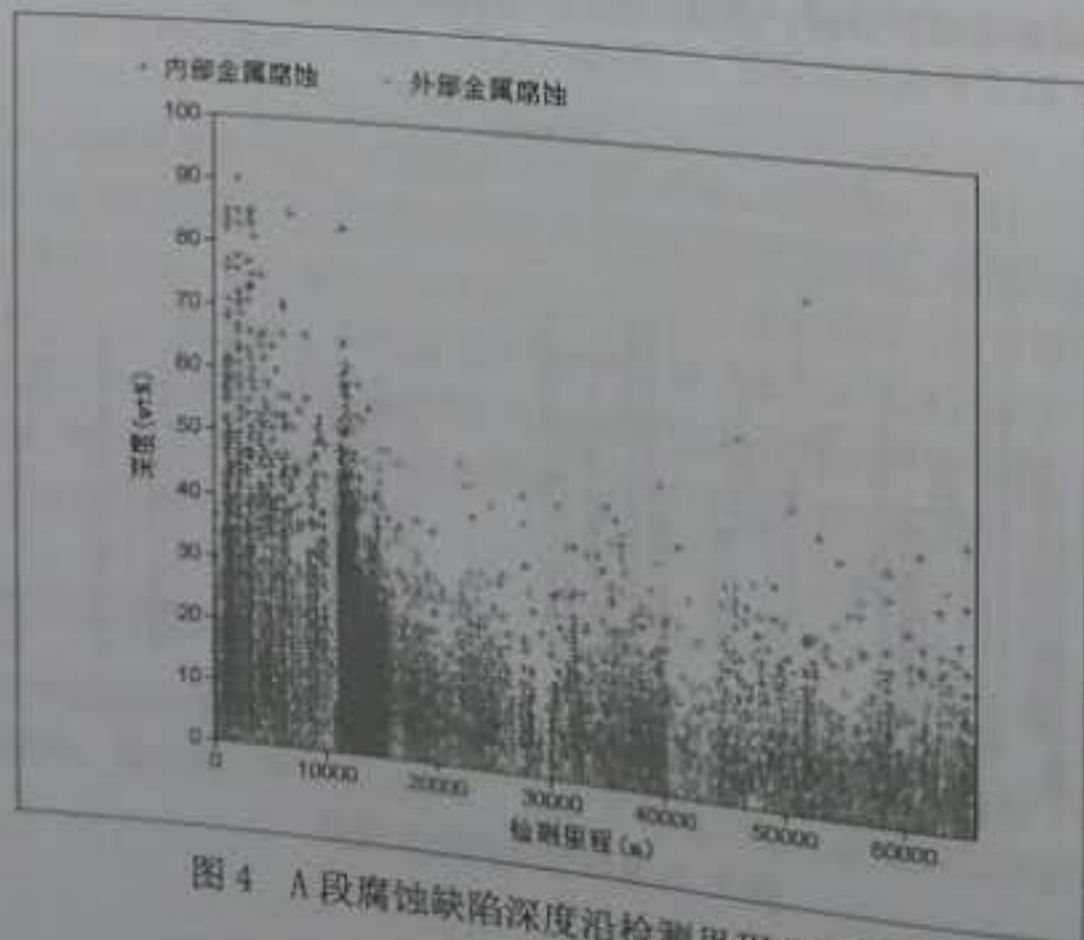


图4 A段腐蚀缺陷深度沿检测里程分布图



图5 A段腐蚀缺陷沿时钟方位和检测里程分布图

根据目前国际上广泛使用的管道缺陷评价规则以及缺陷特征和尺寸对管道运行安全的影响, 管理单位开展了对内检测结果开展了完整性评价, 评价参数是: 管材 SMYS 取 290MPa, SMTS 取 415MPa, 最大允许运行压力 MAOP 按照 4.5MPa 计算, 安全系数取 1.39 后的压力为 6.26MPa。完整性评价过程结合中, 管理单位将高后果区识别、管道风险评价结果与其结合起来综合考虑, 对缺陷进行等级划分, 按照立即修复和计划修复等制定了修复建议。其中, 立即修复是指要求尽快完成修复的, 计划修复是指按照确定的时间计划完成修复的。评价结果见表 1, 建议修复缺陷 4202 处, 其中, 立即修复 1460 处, 分布在 592 根管节上。

表6 完整性评价建议修复缺陷统计表

	缺陷修复数目(处)				合计
	立即修复	1年内修复	2年内修复	3年内修复	
制造缺陷	0	0	2	7	9
腐蚀	394	191	264	414	1263
环焊缝缺陷	0	4	19	28	51
螺旋焊缝缺陷	1031	22	358	1405	2816
凹陷	31	28	0	0	59
外部金属物	4	0	0	0	4
偏心套管	0	0	0	0	0
总计	1460	245	643	1854	4202

3.4 修复维护与风险防控

3.4.1 缺陷修复

根据管道内检测与完整性评价结果, 管理单位从 2013 年开始进行紧急缺陷修复工作。根据马惠线替代工程建设的进展、缺陷严重程度及其风险高低, 管理单位开展了全面的系统的修复与风险减缓工作。修复过程中, 为了防止重复修复的协调难度和费用较高, 采取了对同一管节及相邻管节上其他缺陷进行一并修复的办法, 也提高了修复效率。

管道缺陷修复采用了采用换管、套筒和补板等 3 种方式。在紧急修复前期, 对 5 处内腐蚀缺陷集中连片的管段采取了更换新管道的方式进行修复, 这种方法费用较高, 工程时间进度也较慢。后来, 对较大面积的腐蚀或者腐蚀较为集中的(区域长度大于管道直径), 或者焊缝缺陷等, 采取了套筒的方式进行修复, 这种方式, 费用适中, 工程进度加快。对腐蚀点较为孤立的, 采取了弧形补板的方式进行了修复, 这种方法费用低, 耗时少, 现场操作简单。据不完全统计, 2013 年-2014 年实际完成严重缺陷修复达 600 多处。此外, 还结合马惠线替代工程的进展, 采取分段停输的办法, 消除了大量的管道缺陷风险。

同时, 管理单位进行了大量的开挖验证, 通开挖验证, 加深了焊缝缺陷等的认识, 验证和消除了大量的凹陷、外部金属物, 修正模型, 进行了更为精确的重新评估, 减少了修复数量。

3.4.2 风险防控

鉴于马惠线缺陷数量很大、短时间难以完成修复, 除了紧锣密鼓的缺陷修复, 管理单位还专门研究制定管道安全保护工作方案, 强化管道巡护管理, 强化针对性的应急准备, 有计划、有步骤地全面排除“地雷”, 强化管道风险。

1) 深入应用内检测结果, 针对打孔盗油的情况, 全面分析排查可疑阀门, 及时开挖排除了很多盗油阀门, 为打孔盗油案件

侦办争取了主动,很大程度上降低了打孔盗油风险。

2) 以管道本体缺陷为核心,加强风险排查和重新评估。运用管道内检测结果,对马惠线交叉的城市管网、人口密集区、河流、占压点等4类管段上下游各200米范围内的缺陷进行了排查,进行分类管理,根据风险大小调整巡护、应急准备等资源配置,将管理措施手段与管道本体风险状态结合,把更多的资源集中调配到高风险处,做到了资源优化、重点突出。

3) 加强管道巡护。对还没有修复的腐蚀深度超过70%壁厚的缺陷点,加密管道巡护频次,实行销项管理,组织管理人员与巡线工形成交叉巡护,直至缺陷修复完毕。在管道途径人口密集区、河流穿越处的巡护达到了2小时一次。

4) 加强生产运行监控。保持管道的运行压力稳定,加强运行压力监控,做好上下游工艺调整沟通,严格执行紧急状态立即停输规定。同时,与上下游单位相关部门的联系沟通,告知在紧急状态下管道停输的风险。

5) 加强应急准备。组织维抢修队伍做好管道泄漏应急抢险准备,维抢修队24小时值班,主要收油设备、维抢修设备要配备完好,装车待命。抢修队伍派驻应急车及抢修人员到马惠线输油站驻扎待命。同时,在已有事故预案的基础上,专门组织编制了针对马惠线缺陷特征的泄漏事故现场处置预案,加强演练。

6) 加强管道保护宣传。一是将管道缺陷情况及修复计划及时向沿线县级政府汇报,争取支持。二是加大向管道沿线居民和厂矿企业的宣传力度,在城镇人口密集区增设管道警示桩牌、墙贴和地面软体标识,特别对人口密集区加强管道泄漏风险宣传,对管道占压者发放风险告知书,进行“一对一”宣传。

4. 结束语

马惠线通过实施管道完整性管理,进行风险识别、评价,开展缺陷修复,根据管道特点及具体情况开展有效的、有针对性的风险消减管理活动,确保了管道本体严重缺陷的风险得到快速的、可控的消减、防控,提高了管道的完整性水平,在管道替代前没有发生泄漏事故,有力保障了管道安全平稳运行,有几点启示。

1) 油气长输管道特别是老龄管道,开展管道完整性管理工作是深入认识管道本体、识别风险的基础,只有深入分析、应用完整性管理数据和成果,才能制定针对性强、效果好的风险防控措施。

2) 要以管道完整性管理为核心,将管道完整性管理与管道日常工作全面,与基础工作充分融合,形成工作措施和管理活动的闭环,这样,更能发挥管道管理的整体作用,有效提高管道完整性水平,确保了管道安全平稳运行。

参考文献

- 1 QSY1180 管道完整性管理规范 .2009.
- 2 马惠线管道高后果区识别报告 .2014.
- 3 马惠线管道风险评价报告 .2014.
- 4 马惠线完整性评价报告 .2014.
- 5 马惠线内检测缺陷修复工程技术方案 .2014.
- 6 马惠线管道安全保护工作方案 .2014.

作者简介:

冯文兴,男,1979年2月出生,2007年毕业于中国科学技术大学,获得安全技术及工程专业博士学位。现任职中国石油管道公司,高级工程师,从事管道完整性管理工作。通讯地址:河北省廊坊市新开路408号,065000,电话:0316-2170641; Email: wxfeng@petrochina.com.cn。