

原油集输管道在某油田长寿命设计

郭 斌 (山东莱克工程设计有限公司, 山东 东营 257026)

摘 要: 以东部某老油田为例, 阐述了其原油集输管道优化设计的思路。该油田为复杂断块及低渗透油藏, 具有开发周期长、油区面积大、井站布局分散、集输距离远的特点。随着油田生产年限增加、油区城镇化建设、油区生态环境变化、人民安全环保意识增强等原因, 造成集输系统局部存在安全、环保运行管控风险大、与地方发展规划不协调等问题。通过采取系统优化、调整管道路由、增加管道壁厚防腐等级、提升管道智能化管控水平、进行数字化交付、把控施工质量等有效措施优化调整, 保证油田集输管道高质量、长寿命建设, 降低了安全、环保运行管控风险, 为类似油区的优化设计提供借鉴。

关键词: 高质量; 长寿命; 安全环保; 符合规划; 智能化管控

1 概述

某油田为复杂断块及低渗透油藏, 主力油区东西长约 90km、南北长 130km, 年产油量约 $2000 \times 10^4 \text{t/a}$ 。主力油区内共 12 家开发单位生产原油, 处理后的净化原油通过 6 条原油集输管道输至输油首站, 然后通过 3 条原油集输管道输至炼厂进行外销。油区内已建大型联合站 16 座, 已建原油集输干线约 140km。

2 存在问题

该油田为滚动开发, 虽然集输系统整体布局在建设时的外部条件下是正确先进的, 但随着客观条件的变化, 如随着油田生产年限增加老区块原油产量降低新区块原油产量增加、已建生产设备管线老化腐蚀、油区的城镇化建设、油区生态环境变化等, 造成系统局部存在安全环保运行管控风险大、与城镇发展矛盾日益突出等问题, 具体表现在以下 2 方面:

2.1 大型油气处理站库及相连管线处在繁华市区, 安全环保运行管控风险大

该油田设原油外输首站 1 座, 承担着整个油田的原油储存和交接任务, 站内设有油罐及油泵等设施, 原油储罐总库容高达 460000m^3 。输油首站有进站管线 6 条, 出站管线 3 条, 总长度约 145km。该站建站时周边均为荒地, 随着城区建设, 现已处在繁华市区, 导致原油集输流向不合理, 由农村 (低后果区) 流向城市 (高后果区), 且许多原油集输管线沿途穿行于人口密集区、生态环境保护区等高后果区, 致使系统存在较大安全环保运行管控风险。

据统计, 管道沿途通过高后果区总计 59.9km, 占比 41.2%; 其中通过三级高后果区 46.9km, 占比 32.3%。根据风险等级划分, 原油集输管线中 69km 安全风险等级为较大风险; 45km 环保风险等级为二级,

24km 环保风险等级为三级。

2.2 管线腐蚀穿孔严重, 泄漏风险增加

随着油田开发建设, 已建原油集输管道大多已运行三十多年, 腐蚀穿孔严重; 管线建设初期, 由于技术限制及所处环境等原因, 大多数原油集输管线未设置管线阴极保护及管线泄漏检测系统。随着时间推移, 管线受外界环境影响, 壁厚减薄, 管线腐蚀泄漏风险升高, 且不能及时发现, 一旦泄漏, 将造成巨大损失及安全环保风险。

3 优化设计

3.1 资料准备

管线建设初期, 首先需要确定新管线敷设的环境、新管线输送的介质、已建管线构成等, 并收集相关资料, 为后续设计做支撑。主要包括以下内容:

①管道敷设环境, 包括地勘资料、周边已建构筑物及设施、公路、铁路、河流、土壤腐蚀性、外防腐层被破坏的可能性、是否位于高后果区等;

②管道输送介质组分、物性、温度、运行压力、含水量等参数;

③已建管道管径、材质、壁厚、防腐层种类、防腐层厚度、阴极保护设计、保温设计等。

3.2 系统、路由优化

系统路由优化主要需要考虑油田规划、地方规划、外界公路、铁路、水系、居民区、自然保护区等。主要优化措施如下:

①集输系统、路由优化与油田老区地面优化简化规划、输油首站迁建原油流向调整紧密贴合; 结合地方油气管网规划, 把进出首站原油集输管线纳入地方油气管网规划中, 形成管廊带;

②远离高后果区: 尽量避开城镇人口密集区、生

态保护区等高后果区，降低管线安全环保风险；原则上不得新增穿越三级高后果区，在采取相应保护措施的情况下，可以穿越一级、二级高后果区。当穿越生态保护区确实无法避让时，应根据自然资源厅国土空间规划处相关要求编制建设项目生态保护红线无法避让性论证报告，并报相关部门审批；

③尽量避开多年经济作物区域、城市绿化区域，确实无法避开的，应进行多方案穿越方式比选，选取技术可行、经济最优的穿越方式，降低施工、赔偿费用；

④方便施工和维护：保证管道在公路用地范围边线 3m 以外基础上，尽量靠近现有公路，以方便管道施工和维护管理，降低对地方土地规划影响以及地方后期规划对管道影响；

⑤原油集输管道与公路、铁路交叉时穿越角度、穿越方式、间距等应满足《油气输送管道穿越工程设计规范》及属地相关规范要求。原油集输管道与水系交叉优先采用定向钻穿越方式，其次可采用顶管（盾构）穿越方式、挖沟敷埋穿越方式，也可采用多种方式相结合，不宜采用跨越方式穿越水系。

3.3 高质量本质安全设计（管材、防腐、保温、阴极保护等选取）

考虑管线穿越人口密集区、自然保护区、重要水源地等，为避免管线腐蚀穿孔造成原油损失和不良社会影响，在管材、外防、阴保等方面强化本质安全设计，保障高质量、长寿命。

3.3.1 优选管道材质，增加管道壁厚，提高安全等级

原油集输管道上常用的钢管主要有无缝钢管（SMLS）、螺旋缝埋弧焊钢管（SAWH）、直缝埋弧焊缝钢管（SAWL）、高频直缝电阻焊钢管（HFW）四种，从安全系数高、经济合理、采购周期短等方面对比优选，并与行业先进对标，小口径钢管选用无缝钢管；大口径钢管选择螺旋缝埋弧焊钢管，重要穿越段采用直缝埋弧焊钢管。四种管材性能对比见表 1。另管线穿越人口密集区等重要区域时，考虑在计算壁厚的基础上，额外增加管线壁厚，提高管线耐压、耐腐蚀等级。

表 1 四种管材性能对比

项目	无缝钢管 (SMLS)	螺旋缝埋 弧焊钢管 (SAWH)	直缝埋弧 焊缝钢管 (SAWL)	高频直缝电 阻焊钢管 (HFW)
可靠性	优	良	优	良

焊缝强度	优	良	优	良
加工精度	良	优	优	优
经济性	优	优	良	良
适用通径 范围	DN ≤ 400	300 ≤ DN ≤ 1200	500 ≤ DN ≤ 1200	200 ≤ DN ≤ 600

根据管线敷设方式及管线沿途通过的自然环境状况，考虑四种管型性能，其敷设环境推荐按表 2 执行。

表 2 原油集输管道敷设方式技术推荐

制管类型	适用环境		敷设方式			
	特高后 果区	一般后 果区	埋地	架空	定向 钻	原位 修复
无缝钢管	✓	✓	✓	✓	✓	✓
直缝埋弧焊钢管	✓	✓	✓	✓	✓	✓
螺旋缝埋弧焊钢管		✓	✓	✓		✓
直缝电阻焊管		✓	✓	✓		✓

3.3.2 优选管道防腐保温形式，延长管道寿命

原油集输管道根据输送工艺采用不保温或保温输送，不保温管道外防腐应采用防腐层 + 阴极保护的保护方式，保温管道外防腐应采用防腐保温或防腐保温 + 阴极保护的保护方式，具体保护方式应根据管道预期服役年限、工程安全要求、技术可行性和经济性等因素进行论证，管道防腐保温推荐按照表 3、表 4 执行。

表 3 不保温净化油管道外防腐技术推荐

温度 范围	防腐 技术	补口	适用环境		敷设方式		
			特高后 果区	一般后 果区	埋地	架空	定向 钻
≤ 80℃	3PE 防腐层	聚乙烯热收 缩带（套）	✓	✓	✓	✓	✓
80℃ ~ 100℃	3PP 防腐层	聚丙烯热收 缩带（套）	✓	✓	✓		✓

表 4 保温净化油管道外防腐保温技术推荐

温度 范围	防腐层	保温层	补口	适用环境		敷设方式	
				特高 后果 区	一般 后果 区	埋地	架空

≤ 80℃	无溶剂 环氧涂 料防腐 层	聚氨酯 泡沫塑 料	聚乙烯热收缩带 (套) + 聚氨酯 泡沫塑料 + 聚乙 烯热收缩带 (套)		✓	✓	✓
≤ 80℃	环氧粉 末防腐 层	聚氨酯 泡沫塑 料	聚乙烯热收缩带 (套) + 聚氨酯 泡沫塑料 + 聚乙 烯热收缩带 (套)		✓	✓	✓
≤ 80℃	2PE 防 腐层	聚氨酯 泡沫塑 料	聚乙烯热收缩带 (套) + 聚氨酯 泡沫塑料 + 聚乙 烯热收缩带 (套)		✓	✓	✓
≤ 80℃	3PE 防 腐层	聚氨酯 泡沫塑 料	聚乙烯热收缩带 (套) + 聚氨酯 泡沫塑料 + 聚乙 烯热收缩带	✓	✓	✓	✓
80℃ ~ 100℃	3PP 防 腐层 / 环氧酚 醛防腐 层	聚氨酯 泡沫塑 料	聚丙烯热收缩带 / 环氧酚醛 + 聚 氨酯泡沫塑料 + 聚丙烯热收缩带 (套)	✓	✓	✓	✓

3.4 智能化管控

为进一步提高管道智能化管控水平,在输油管道上设置泄漏检测系统、视频监控系统、截断阀、通球检测,对管线运行情况进行检测,及时发现管线泄漏、腐蚀穿孔等,及时采取控制措施,降低管道运行的安全环保风险。

3.4.1 泄漏检测系统

根据管线输送介质及管线沿途环境状况,建议≥ DN200 的净化油管道上设置“压力波 + 输差分析”泄漏检测系统,对于特别重要的外输干线设置“分布式光纤”安全预警系统,实现泄漏 / 破坏早发现,早处置。

3.4.2 视频监控系统

根据管线输送介质及管线沿途环境状况,管线设置 24h 动态视频监控,对管道沿线入侵事件(如第三方施工、动土等)进行智能识别、报警、视频联动等,实现在线巡护。24h 动态视频监控系统建议按表 5 进行设置。

表 5 24h 动态视频监控系统设置推荐表

地区等级 管输介质	普通区域	I 级高 后果区	II 级高 后果区	III 级高 后果区
含水油管道	/	可	可	应
净化油管道	可	宜	宜	应

3.4.3 截断阀

在管线的插输点、管线沿途通过重要区域时,管线上建议设置截断阀,当发生紧急泄漏时,可快速关

闭截断阀,减少泄漏管线对整个集输系统的影响及对周围环境影响。

原油集输管道插输点处,应在插输管道上设置线路截断阀(闸阀 + 止回阀),插输方向应顺着原油流向。原油集输管道线路截断阀间距不宜超过 32km,人烟稀少地区可适当加大间距。

原油集输管道通过城区、河流大型穿跨越及饮用水水源保护区两端应设线路截断阀紧急切断,≥ 150 的线路截断阀应能通过清管器和管道内检测仪。线路截断阀应设置在交通便利、地形开阔、地势较高、检修方便,且不易受地质灾害及洪水影响的地方。减少管线中原油泄漏量,降低安全、环保风险。

3.4.4 通球

根据管线规格及长度,应在管道下沟回填完成后,管道投产前进行内检测。具体检测要求应符合《管道内检测》SY/T 6889 的相关要求。

4 结论

①原油集输管道应以“长寿命设计”为宗旨,并紧紧围绕“安全就是效益、环保就是效益”开展工作。应与地方规划充分结合、合理布局、及时调整,做到工程的本质安全。经分析测算,项目实施后,新建原油集输管道设计寿命可达 30 年以上,同时安全、环保方面的效益更加可观;

②新建原油集输管道以本质安全为核心,以智能化管控为依托,打造智能、安全的原油集输系统,同时应配套数据采集、自动控制及数字化交付等内容,为打造数字化、智能化油田奠定基础;

③针对处于人口密集区、环境保护区等的高后果区管线,务必从本质安全、智能化管控、提高施工质量及验收要求等方面着手,打造安全可靠的原油集输管道。

参考文献:

- [1] 石油和化工工程设计工作手册编委会. 油田地面工程设计 [M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2010.
- [2] 油田油气集输设计技术手册编写组. 油田油气集输设计技术手册 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [3] 油田油气集输设计规范编写组. 油田油气集输设计规范 [M]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部, 2016.
- [4] 油气输送管道完整性管理规范编写组. 油气输送管道完整性管理规范 [M]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2016.