

# 投产前智能检测技术在高海拔输油管道中的应用

耿 成

中油管道检测技术有限责任公司, 河北 廊坊

收稿日期: 2024年10月9日; 录用日期: 2024年12月12日; 发布日期: 2024年12月26日

---

## 摘要

本文探讨了投产前智能检测技术在高海拔地区输油管道中的应用, 阐述了高海拔地区输油管道面临的特殊挑战, 分析了投产前智能检测实施步骤及关键技术。通过实际案例展示了智能检测技术在高海拔地区输油管道中的成功应用, 强调了其对保障管道安全运行、提高检测效率和准确性的重要意义。

---

## 关键词

高海拔, 输油管道, 投产前智能检测

---

# Application of Pre-Production Intelligent Detection Technology in High-Altitude Oil Pipelines

Cheng Geng

China Petroleum Pipeline Inspection Technologies Co., Ltd., Langfang Hebei

Received: Oct. 9<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 12<sup>th</sup>, 2024; published: Dec. 26<sup>th</sup>, 2024

---

## Abstract

This paper discusses the application of pre-production intelligent detection technology in oil pipelines at high altitude, describes the special challenges faced by pipe at high altitude, and analyzes the implementation steps and key technologies of pre-production intelligent detection. The successful application of intelligent detection technology in high altitude oil pipeline is demonstrated by a practical case, and its significance to ensure the safe operation of pipeline and improve

**detection efficiency and accuracy is emphasized.**

## Keywords

**High-Altitude, Oil Pipeline, Pre-Production Intelligent Detection**

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着能源需求的不断增长，输油管道在能源运输中发挥着至关重要的作用。高海拔地区由于其特殊的地理环境和气候条件，对输油管道的建设和运行提出了更高的要求。管道建设期造成的管道变形是管道安全平稳运行的重大隐患，管道变形是导致管线失效的重要原因之一[1]，将直接降低管道的使用寿命、甚至导致管道失效泄漏，将造成重大的经济损失和社会影响。投产前的智能检测技术成为确保高海拔地区输油管道安全可靠运行的关键环节，是对管道的一次全面体检。以往采用传统的测口板进行管径检测，在精度、准确度等方面存在一定的缺陷和弊病。智能测径检测器技术与数字化管道施工相结合，在管线投产前的验收环节上，通过先进的智能测径技术，提前发现影响管道安全运行的质量缺陷，并及时依据相关施工标准进行修复，为管线的安全运行上了一道安全锁。

## 2. 高海拔输油管道投产前智能检测的挑战及应对措施

(1) 高海拔地区通常气候寒冷、氧气稀薄、地形复杂，给输油管道的建设和维护带来了巨大困难。低温环境可能导致管道材料变脆，增加管道破裂的风险；复杂的地形则增加了管道铺设和巡检的难度。且在高原地带，作业人员面临高原反应，施工作业难度和风险加大。为此，组织开展智能检测，为管道安全运行收集基线数据势在必行。针对人员健康问题，首先应组织作业人员开展高原体检评估，作业前进行统一培训、演练，使员工具备高原反应等应急救援知识；其次要提前调遣员工至现场进行高原习服，适应后方可作业；同时，要制定完善的高原健康保障方案，配备足够高原监控设备设施，加强员工健康监测和主动日常健康干预。

(2) 高海拔地区的施工条件艰苦，作业地点位于偏远区域，交通不便，空压机、油料等设备物资调运困难，施工周期长。同时，由于海拔高、气压低，空压机、内检测等设备也存在高原降效问题。为优化资源配置，分两个项目组，配备两套检测设备，采取随施工单位通球协调配合的作业方式，即在施工单位完成通球后立即开展验证清管、检测作业。

(3) 为保证检测数据质量，避免球速过快，发送检测器时需建立 1 MPa 背压。而高海拔地区长输管道沿线高差大，最大的一段高差达 1000 m，给背压建立带来了较大的困难。且现场采用临时收、发球筒，未安装截断球阀，无法建立背压。经与施工单位沟通，在临时收、发球筒处安装手动通径球阀保证了背压的建立。

(4) 压缩空气做动力源，清管器、检测器在管线中运行不稳定，容易造成数据失真。为此，采用灵活的背压方案，发送清管器时不建立背压，发送检测器时为提高其运行稳定性，建立 1 MPa 背压后发球。

(5) 高海拔地区冬季时间长，气温低，部分试压水、冷凝水很可能在管道低点凝结。针对新投用管线，为避免卡球，高海拔地区应尽可能避开冬季，在适宜的温度进行通球检测作业。同时，试压后适当增加

通球次数，降低管内残留水对投用油品质量的影响。

(6) 高海拔输油管道一旦发生泄漏等事故，不仅会造成环境污染和经济损失，还可能对当地生态环境和居民生命安全造成严重威胁。因此，对管道的安全性要求更高。必须采用先进的智能检测技术，及时发现管道本身事故隐患，提前采取风险消减措施进行防范。

### 3. 智能检测技术的优势

本项目所采用的智能检测技术主要包括针对全线各段管道开展投产前的变形检测、中心线检测、弯曲应变检测，其具备以下明显优势。

(1) 准确性高：智能检测技术采用先进的传感器和数据分析算法，能够准确检测出管道的缺陷和损伤，提高检测的准确性和可靠性。

(2) 效率高：相比传统的检测方法，智能检测技术可以快速、高效地完成检测任务，减少检测时间和人力成本。

(3) 实时监测：智能检测技术可以实现对管道的实时监测，及时发现潜在的安全隐患，为管道的安全运行提供保障。

(4) 适应性强：智能检测技术可以适应不同的管道环境和工况，包括高海拔地区的特殊条件，具有较强的适应性。

### 4. 投产前智能检测实施步骤

一是前期现场踏勘选择设标点。变形检测器在管道内运行时，需要在管道地面每1千米进行跟踪和标记，以便检测特征和变形缺陷的定位[2]。本项目以管道预埋磁标记点为检测参考点，由业主提供磁标记点位置信息、坐标信息等详细信息。由于管道全线已埋设磁铁，无需每公里设标，但在沿线泵站、阀室、大型穿跨越、裸管等重点位置必须设标进行检测器的跟踪。

二是做好清管及检测前准备。包括收发球端临时收、发球筒、截断球阀、空压机汇管的安装，以及收发球筒截断球阀、高精度数显压力表、空压机及配套设施(含油料、操作手)的准备。依据以往国际知名管道检测公司的施工经验，通常不能小于5bar(g)，背压越高，检测器的运行状态越稳定[3]。本项目通过在临时发球筒和收球筒上安装高精度数显压力表以实时监控压力，根据压力变化调整末端放空量，以保持检测器前端1.0 MPa背压。

三是开展检测前的管道验证清管作业。在施工单位完成全线通球后，发送验证清管器来验证该管线是否存在超限变形，以及管线清洁程度(主要是管线内污物、施工遗留物、水等各种杂质)是否满足投放在变形检测器条件。通过对新建管道的变形基线检测，可以有效排除新建管线在施工建设构成中引起的重大变形损伤等，并为后续变形检测、漏磁检测器的通过性提供保障[4]。

四是开展管道几何检测和中心线检测。目前管道施工过程中确认管道是否发生变形的通用手段是采用发送安装有测径铝板的清管器进行判断，通过铝板的损伤情况判断管道是否存在超标变形点。但是传统的测径方法存在诸多弊端，已很难满足管道业主及管道安全运行管理的要求。随着数字化管道建设步伐的加快和管道完整性管理的迫切需求，投产前管线智能测径和IMU走向检测可获取重要的管道基础信息资料，投产前管线智能检测将成为必然趋势。本项目通过发送变形检测器(+IMU)，可采集管道几何变形信息，包括凹陷、椭圆度变形、斜接、焊缝信息等，获得管道里程、埋深及特殊位置埋深，识别管道焊缝，分析管道“不直”、位移变化，并提供管道走向、坐标并进行应变评估，具有检测精度高等优点。

五是缺陷点的开挖验证。每个检测段变形检测完成后，应在10个工作日内提交初步检测报告，初步检测报告应包含所有需要整改的变形点信息，由业主组织检测单位或线路施工单位进行开挖、整改。而

项目所采用的 IMU 管道测绘成果，能够计算出各种管道缺陷及管道特征的 GPS 坐标，为管道的完整性管理提供数据支持，同时为管道维修方案的制定与开挖精确定位提供便利。

六是出具最终检测报告。一般在现场检测结束后 30 个工作日内提交，包括出具变形检测报告、环焊缝对比报告、弯曲应变报告。变形检测报告至少包括大于等于 2% OD 的变形点信息，焊缝、阀门、弯头、变形点等管道特征点的坐标信息以及管道走向等；环焊缝对比报告至少包括环焊缝检测信息与建设期环焊缝对齐列表及对齐统计分析。弯曲应变报告至少包括大于等于 0.125% (对应管道曲率 1/(400D)) 的弯曲变形信息。

## 5. 投产前智能检测关键技术

### (1) 清管设备准备

一是验证清管器选型。本项目为新建管线，为验证变形及清洁程度，选用钢刷清管器作为验证清管器，该清管器由两个支撑皮碗、两个碟型皮碗、两个钢刷、隔垫、测径板及骨架组成。特点是结构轻便、通过能力强，骨架上安装有管道内径 90% ID 的测径铝盘。依据测径铝盘通过管道后的测量结果可以初步验证管道的通过性能，同时钢刷会提高清管器的支撑性能和清污能力，可以验证管道清洁程度是否满足投放变形检测器条件。其直管段变形通过能力为 20% OD，可通过 2.5 DN 弯头。通过发送钢刷清管器，确保在发送检测器前，管道内无异物，无大的变形点，影响检测器运行。

二是跟踪仪的选择。管道跟踪仪由发射机和接收机组成，在管道中运行时，地面跟踪人员在事先设置的跟踪点使用接收机，在预定的时间接收由安装在清管器上的发射机发出的信号，从而检测出清管器在管道中的运行状况与位置。当清管器发生卡堵时，可用接收机结合中控光纤预警准确判断出清管器的卡堵位置。发射机的选取则需考虑连续工作时间，可通过计算站间通过时长及一定富余量确定；发射机信号须满足管道埋深 5 m 的需求；发射距离一般大于 50 m；清管器安装发射机务必选取质量可靠产品，安装前认真检查牢固程度，避免清管器在管道内剧烈碰撞过程中将发射机损坏造成卡球。

### (2) 检测设备准备

一是需对检测设备开展各类实验。标定试验是对几何检测器变形探头进行分级量化标定，是保证检测设备准确量化管体变形的重要环节；模拟实验对记录仪系统进行一系列的模拟试验，其中包括温度试验(放置在恒温箱内进行 75℃ 持续 48 小时运行)、振动试验(安装在振动试验台上进行高频振动运行)等，以验证检测器的记录仪系统运行稳定性；牵拉实验是建立和被检管道材质、口径和壁厚相同的牵拉管段，并且在管体上制作大量不同类型的标准缺陷，将检测器放入牵拉管段中通过模拟实际运行速度进行牵拉试验，建立缺陷模型的数据库，用数学方法拟合缺陷曲线，得到缺陷三维尺寸的量化模型公式，实现对后期现场检测缺陷数据进行自动量化。

二是由于投产前检测动力源为空气压缩机，造成验收检测器运行速度不稳定，传统变形检测器高速运行时容易产生较大的弹跳，不仅严重影响数据分析，而且检测数据失真<sup>[5]</sup>。针对高海拔地区长输管道环保要求高、创建智慧管道等特点，采用测量探头平稳运行的变形检测器，且在原有几何检测功能基础上增加中心线测绘系统及环焊缝识别探头。可以检测内容包括：管线里程(长度)、管道最小内径(变化)、管道椭圆度变形和褶皱、管道凹陷(凸出)、硬质结垢性污物、管道冷弯角度、识别环焊缝、壁厚变化、三通、阀门等异常管件、管道焊缝、缺陷、附件准确坐标及走向图、管道弯曲应变分析及评价、记录几何检测工具运行速度、提出管道需要修复的位置信息等。本项目采用国际管道业一种常用的测绘方法：在管道检测器上加载惯性测量单元(IMU) <sup>[2]</sup>，该单元采用航天级光纤陀螺仪，最大误差仅为 0.1 度/小时，采样频率达到 400 Hz，主要记录时间、里程、角速率、加速度及温度等信息。在完成管道内检测的同时进行管道测绘，可精确计算出管道中心线坐标。利用管道测绘成果，通过处理软件对惯性测量单元采集的

数据以及地面参考点的信息进行计算及分析，能够计算出各种管道缺陷及管道特征的 GPS 坐标，为管道的完整性管理提供数据支持，同时为管道维修方案的制定与开挖定位提供便利。

### (3) 智能检测结果应用

检测器运行结束后，从收球筒取出，对检测器进行数据下载作业，并初步确认检测数据质量。依据检测报告发现的变形点，由业主组织施工单位按照检测单位提供的变形检测缺陷点位进行开挖验证和维修处理。根据凹陷的类型及严重程度，可采用打磨、复合材料补强、安装套筒或者换管等修复方案。通过开挖验证结果表明，项目采用的投产前智能检测技术，发现变形点里程定位、缺陷类型与数据报告结果相符，量化尺寸满足精度要求。同时，通过开展 IMU 检测，发现管道水平及垂直弯曲应变数据。检测结果表明，该管道存在一些局部缺陷，但整体质量良好。通过及时修复缺陷，确保了管道的安全运行。

## 6. 结语

本文结合高海拔地区智能检测面临的挑战采取针对性技术方案，通过投产前智能检测技术在高海拔地区长输管道的成功应用实例表明，投产前智能检测可以识别管道固有特征，了解管道变形及弯曲变形存在情况，通过精确定位开挖处理缺陷，提前消除管道运行隐患，为高海拔地区管道投产后基线检测、完整性管理、专项研究工作提供重要基础参考数据。该技术的推广对延长管道使用寿命、保障管道安全、平稳运行意义重大，将为后续智能检测技术交流提供有价值的参考。

## 参考文献

- [1] 张志文, 史瑞龙, 吴良寅, 等. 油气管道投产前验收检测技术现场的应用[J]. 机电产品开发与创新, 2017, 30(1): 75-77.
- [2] 白港生, 李卫全, 马宁, 等. 搭载 IMU 的油气管道高精度变形检测器的研制与应用[J]. 化工设备与管道, 2020, 57(5): 86-90.
- [3] 洪险峰, 严舒. 管道通径检测技术及其在新线上的应用[J]. 石油科技论坛, 2008, 27(1): 52-55.
- [4] 李晓龙, 陈金忠, 马义来, 等. 油气管道复合变形内检测技术研究[J]. 石油机械, 2021, 49(8): 152-158.
- [5] 方正旗, 白港生, 等. 新建管道智能验收检测器的研发[J]. 管道技术与设备, 2019(5): 50-53.