

石油长输管道内检测器卡堵原因分析与应急处置

李亮 王宝磊

西藏青藏石油管道有限公司 西藏自治区拉萨市 850032

【摘要】石油长输管道作为油气资源输送的关键基础设施，具有输送量大、损耗低、连续性强等优势，在能源供应链中占据不可替代的地位。内检测技术是保障石油长输管道安全运行的核心手段，内检测器卡堵则是内检测作业中发生率较高的突发故障，易引发管道停输、检测数据失效等问题，严重时甚至会破坏管道结构完整性。本文系统剖析石油长输管道内检测器卡堵的核心诱因，结合管道运维实践提出针对性的应急处置流程与预防措施。

【关键词】石油长输管道；内检测器；卡堵原因；应急处置；管道安全

【中图分类号】TE973 **【文献标识码】**A

Analysis of the causes of detector blockage in long-distance oil pipelines and emergency response measures

Li Liang Wang Baolei

Xizang Qingzang Petroleum Pipeline Co., Ltd. Lhasa City, Xizang Autonomous Region 850032

【Abstract】As a key infrastructure for the transportation of oil and gas resources, long-distance oil pipelines have advantages such as large transportation volume, low loss, and strong continuity, and occupy an irreplaceable position in the energy supply chain. Internal detection technology is the core means to ensure the safe operation of long-distance oil pipelines. Internal detector jamming is a sudden failure with a high occurrence rate in internal detection operations, which can easily cause pipeline shutdown, detection data failure, and even damage the structural integrity of pipelines in severe cases. This article systematically analyzes the core causes of detector blockage in long-distance oil pipelines, and proposes targeted emergency response procedures and preventive measures based on pipeline operation and maintenance practices.

【Key words】long-distance oil pipelines; Internal detector; Reason for blockage; Emergency response; Pipeline safety

引言

随着管道服役年限增长，腐蚀、变形、焊缝缺陷等隐患逐渐暴露，直接威胁管道运行安全。内检测器卡堵是内检测作业中最典型的突发故障之一，指内检测器在管道内运行过程中，因各类阻碍因素无法继续前进，停滞于管道某一位置的现象。内检测器卡堵不仅会导致检测作业中断、检测数据缺失，还可能引发管道局部憋压，甚至造成管道破裂、油气泄漏等严重安全事故。同时，卡堵故障的处置往往需要投入大量人力、物力，且可能导致管道长时间停输，给油气输送企业带来巨大经济损失。基于此，深入分析内检测器卡堵的诱发因素，构建科学高效的应急处置体系，对保障内检测作业顺利实施、维护石油长输管道安全运行具有重要的现实意义。

1 石油长输管道内检测器卡堵的主要原因

1.1 管道本体状况引发的卡堵

1.1.1 管道几何变形

管道在施工、运维过程中易因外力作用发生几何变形，

常见的变形类型包括管道凹陷、椭圆度超标、管径缩颈等。凹陷变形多由施工机械碾压、外部载荷挤压等导致，当凹陷深度超过内检测器的通过能力时，检测器的机械结构会与凹陷部位发生刚性碰撞，无法顺利通过；椭圆度超标主要源于管道焊接过程中的应力不均或土壤压力的长期作用，椭圆度较大的管段会使管道有效过流面积减小，增加检测器运行阻力，严重时甚至会直接卡住检测器；管径缩颈多发生在管道变径处或腐蚀严重区域，若变径管段的过渡长度不足、锥度不符合设计要求，或腐蚀导致局部管径缩小，内检测器在通过时会因尺寸不匹配而发生卡堵^[1]。

1.1.2 管道内杂质堆积

石油长输管道在长期运行过程中，会因介质携带、管道腐蚀等因素产生大量杂质，常见的杂质包括焊渣、铁锈、积蜡、硫化亚铁粉末、凝油块等。这些杂质若未及时清理，会在管道低洼段、弯头、阀门等部位堆积，形成杂质堵点。当内检测器运行至该区域时，杂质会填充检测器与管道内壁之间的间隙，大幅增加运行阻力，同时杂质颗粒还可能进入检测器的轮系、传感器等关键部件，导致检测器卡滞、驱动力失效，最终引发卡堵。

1.1.3 管道附属设施与焊缝缺陷

管道系统中的各类附属设施若存在设计或安装缺陷,也会成为内检测器运行的障碍。例如,管道阀门未完全开启,阀板突出于管道内壁,会直接阻挡检测器通过;管道三通、弯头的曲率半径过小,会使检测器在转向过程中受到较大的侧向阻力,易发生卡滞;管道焊缝存在余高超标、错边、未焊透等缺陷,会形成局部凸起,当检测器的清管器皮碗或传感器与焊缝缺陷发生刚蹭时,可能导致皮碗变形、传感器损坏,进而引发卡堵。

1.2 内检测器自身性能引发的卡堵

1.2.1 检测器尺寸与管道匹配度不足

内检测器的直径需与管道内径严格匹配,通常要求检测器的过盈量控制在合理范围内,以保障检测器与管道内壁的密封性能,同时降低运行阻力^[3]。若检测器过盈量过大,会导致其与管道内壁的摩擦力剧增,超出介质推力的承载范围;若过盈量过小,则无法有效密封,导致介质从检测器与管道的间隙大量泄漏,无法为检测器提供足够的前进推力。

1.2.2 检测器机械结构故障

内检测器的轮系、皮碗、驱动装置等机械结构是保障其正常运行的关键部件,任何部件的故障都可能引发卡堵。例如,轮系轴承磨损、卡滞,会导致检测器在运行过程中阻力增大;皮碗材质老化、开裂或安装错位,会降低密封性能,同时可能与管道内壁发生刚蹭;驱动装置故障,会导致检测器失去动力支撑,停滞于管道内。

1.2.3 检测器维护保养不到位

内检测器属于高精度设备,每次检测作业后需进行全面的维护保养,包括部件清洗、磨损检测、传感器校准等。若维护保养不到位,会导致部件性能下降、隐患累积。例如,皮碗磨损未及时更换、传感器探头残留杂质未清理、轮系润滑不足等,都会增加检测器在下次作业中的运行阻力与故障概率,进而引发卡堵。

1.3 内检测作业工艺引发的卡堵

1.3.1 检测前管道预处理不彻底

内检测作业前需对管道进行全面预处理,包括清管、干燥、杂质清理等,目的是消除管道内的障碍物,为检测器运行创造良好条件。若预处理不彻底,管道内残留的大量杂质、凝油块等未被清除,会直接形成堵点;若管道内存在积液,会在低洼段形成水塞,增加检测器运行阻力;若管道内壁的铁锈、结蜡未被清理,会增大检测器与管道的摩擦力,同时可能堵塞检测器的传感器接口。

1.3.2 介质推力与运行速度控制不当

内检测器的运行主要依靠管道内输送介质的推力驱动,推力大小与介质流速、压力密切相关。若作业过程中介质流速过低、压力不足,会导致推力无法克服检测器的运行阻力,使检测器停滞;若流速过快、压力突变,会导致检测器运行速度失控,在弯头、变径等部位因惯性过大发生碰撞、卡滞

^[3]。此外,在检测器启动、变径段通过等关键节点,若未合理调整介质参数,也易引发卡堵。

2 石油长输管道内检测器卡堵的应急处置流程

2.1 故障诊断与定位

一是数据采集与分析。调取内检测器的实时运行数据与管道的历史运维数据,结合中控系统的压力曲线变化,初步判断卡堵位置与卡堵原因。例如,若管道某一位置压力突然升高且持续不变,检测器位置长时间未更新,则可判定卡堵点位于该区域;若检测器在通过弯头后发生停滞,则大概率是弯头曲率半径不足或杂质堆积导致的卡堵。二是现场定位与验证。采用管道外检测技术对卡堵点进行精准定位,组织运维人员赶赴现场,通过开挖、管道内窥等方式验证卡堵原因,明确检测器的卡滞状态、管道是否存在变形或破损,为后续处置提供准确依据。

2.2 卡堵风险评估

一是安全风险评估。重点评估卡堵点附近管道的压力变化、是否存在油气泄漏风险,以及处置过程中可能引发的火灾、爆炸、环境污染等安全隐患^[4]。例如,若卡堵导致管道局部憋压超过管道耐压极限,需立即采取降压措施,防止管道破裂;若卡堵点位于人口密集区或生态敏感区,需制定严格的安全防护方案。二是经济与运维风险评估。评估管道停输时间、处置成本、对油气输送的影响,以及检测器损坏程度、管道修复难度等。根据风险评估结果,将卡堵故障划分为不同等级,针对不同等级故障制定差异化的处置策略,优先处置高风险、高损失的卡堵故障。

2.3 卡堵故障处置实施

一是介质推力调整法。适用于因介质推力不足导致的轻微卡堵故障。通过调整管道上下游的阀门开度,提高卡堵点上游的介质压力与流速,增大推力,推动检测器继续前进;或在下游进行负压抽吸,利用压差为检测器提供辅助驱动力。在调整过程中,需实时监测管道压力与检测器状态,避免压力突变导致管道损伤。二是机械疏通法。适用于因杂质堆积、焊缝余高超标等导致的卡堵故障。通过在管道内投放清管器,对卡堵点的杂质进行清理,或对焊缝凸起进行打磨;若检测器卡滞严重,可采用专用机械牵引装置,从管道两端对检测器进行牵引,使其脱离卡堵点。机械疏通过程中需控制牵引力度,防止损坏检测器与管道内壁。三是管道开挖处置法。适用于因管道严重变形、检测器机械结构损坏等导致的复杂卡堵故障。在精准定位卡堵点后,对管道进行开挖暴露,通过切割管道、拆卸检测器部件等方式,将检测器取出;同时对管道变形部位进行修复,清除管道内的杂质与缺陷。管道开挖处置需严格遵循动火作业规范,做好油气隔离、防爆、防火措施,防止安全事故发生。内检测器卡堵故障处置

方法及适用条件对比如下表1所示。

表1 内检测器卡堵故障处置方法及适用条件对比

处置方法	核心操作要点	适用故障类型	注意事项
介质推力调整法	上游升压 0.3-0.5MPa、下游负压抽吸、分段稳压推进、实时监测压力曲线	推力不足导致的轻微卡堵、杂质松散堆积卡堵	避免压力骤升超过管道耐压极限，防止管道损伤
机械疏通法	投放泡沫清管器推送、钢刷清管器除垢、专用牵引装置低速牵拉、内窥辅助定位清理	杂质堆积卡堵、焊缝余高刮蹭卡堵、检测器轻度卡滞	牵引速度控制在 0.2-0.3m/s，防止检测器部件损坏
管道开挖处置法	精准定位后开挖暴露、管道切割取出检测器、修复变形管段、清理内部缺陷后回接	管道严重变形卡堵、检测器机械结构损坏卡堵、复杂堵点	严格执行动火作业规范，做好油气隔离与防爆措施

2.4 管道恢复与故障复盘

一是管道恢复运行。检测器取出或故障排除后，需对管道进行全面检查，包括管道内壁状况、密封性能、压力稳定性等；对检测器进行拆解维护，检测部件损坏情况，校准传感器参数。确认管道与检测器状态正常后，逐步恢复介质输送，监测管道运行参数，确保管道平稳运行。二是故障复盘与总结。组织技术人员对卡堵故障进行全面复盘，分析故障诱因，评估处置方案的有效性；针对作业工艺、管道运维、检测器维护等环节存在的问题，制定整改措施；完善内检测作业的操作规程与应急预案，形成故障案例库，为后续内检测作业提供经验借鉴。

3 石油长输管道内检测器卡堵的预防措施

3.1 强化管道本体全生命周期运维

一是定期开展管道外检测与内检测，建立管道完整性管理档案，及时发现并修复管道的变形、腐蚀、焊缝缺陷等问题；对管道低洼段、弯头、阀门等易积垢部位，增加清管频次，定期清除管道内的杂质与积液。二是加强管道施工质量管控，严格控制管道焊接工艺，避免焊缝余高超标、错边等缺陷；在管道变径、弯头设计时，确保过渡段长度与曲率半径符合内检测器通过要求；强化管道运行期间的外力防护，防止施工机械碾压、外部载荷挤压导致管道变形。

3.2 完善内检测器全流程管理

一是结合管道实际工况，科学选择检测器类型与尺寸，确保检测器的过盈量、长度、刚性等参数与管道匹配；加强

检测器的研发与制造，优化机械结构设计，提高检测器的通过能力与抗故障能力^[9]。二是建立检测器维护保养体系，每次作业后对检测器的轮系、皮碗、传感器等部件进行全面检查、清洗与更换；定期对检测器进行性能测试与校准，确保其处于良好运行状态。

3.3 优化内检测作业工艺

一是作业前制定详细的施工方案，全面调研管道的历史数据与当前工况，明确高危堵点并制定预处理措施；加强管道预处理工作，通过多次清管、干燥等操作，彻底清除管道内的杂质、积液与结蜡。二是作业过程中实时监测检测器运行状态与管道参数，合理控制介质流速与压力，在关键节点提前调整运行参数；配备专业的应急处置团队与设备，确保故障发生时能够快速响应。

4 结束语

石油长输管道内检测器卡堵故障的诱因复杂多样，管道本体缺陷、检测器性能不足、作业工艺不规范是三大核心影响因素。卡堵故障的处置需遵循诊断、评估、处置、恢复的科学流程，根据故障类型选择针对性的处置方法。从长远来看，通过强化管道全生命周期运维、完善检测器管理体系、优化内检测作业工艺，可有效降低卡堵故障的发生概率。未来，石油输送企业应持续加强内检测技术研究与运维管理，不断提升管道安全保障能力，推动石油长输管道行业的高质量发展。

参考文献

- [1]王星宇, 郭岩宝, 张政, 等. 管道内缺陷影响下的内检测器密封盘振动疲劳研究[J].中国机械工程, 2025, 36(10): 2292-2299+2305.
- [2]武笑充, 郭洪星, 宋华东, 等. 管道内检测器速度控制系统测试装置研制[J].管道技术与设备, 2024, (06): 37-41.
- [3]臧延旭, 姜海洋, 陈峰, 等. 管道检测器旁通阀泄流特性研究及应用[J].管道技术与设备, 2024, (05): 42-47.
- [4]赵家瑞, 赵云利, 刘远江. 油气管道内检测器速度控制单元模型研究[J].管道技术与设备, 2024, (04): 31-34.