

管输航煤固体颗粒物污染发展规律研究

李强¹, 邱姝娟¹, 伍奕¹, 欧阳波¹, 李维嘉², 刘鹏², 宫敬², 王雨墨^{2*}

1 国家管网西部管道公司, 乌鲁木齐 830011

2 中国石油大学(北京)油气管道输送安全国家工程实验室/石油工程教育部重点实验室/城市油气输配技术北京市重点实验室/石油燃料商品联合实验室, 北京 102249

* 通信作者, ywang@cup.edu.cn

收稿日期: 2021-06-23

北京市自然科学基金面上项目(3232030)、中国石油大学(北京)科研基金(2462023BJRC018、2462020YXZZ045) 联合资助

摘要 航空煤油作为飞行器燃料, 近年来需求量快速增长, 成品油管道增输航煤可以提高管道企业的利润。但GB6537-2018对航煤的质量要求严格, 尤其是对清洁性要求很高, 因此航煤经管道输送后固体颗粒物等清洁性质量指标如何变化, 是否受到管内杂质的影响, 是管道企业尤为关心的问题。为了研究航煤的固体颗粒物污染指标随管道输送的变化规律, 厘清污染物来源, 并分析停输对航煤质量变化的影响, 本文提出采用在线浸泡实验法: 通过将航煤按计划停输在炼厂和泵站之间, 分析停输时在管道不同位置的航煤中颗粒物的沉积变化规律, 确定了导致油库收油固体颗粒物含量升高的污染管段及污染物来源。对比在管道内浸泡时和进入末站油罐后, 航煤固体颗粒物含量的升降情况, 推断不同类型杂质的运移规律。实验发现: (1)地形差异是固体颗粒物污染规律不同的重要原因。对于连续上倾管道, 固体颗粒在油流中逐渐聚集成团, 砂土铁锈等较重的固体颗粒在底部沉积, 轻质的悬浮固体颗粒被油流携带到下游管道, 累积量逐渐升高; 而对于落差较大的下坡段管道, 在坡底位置由于势能作用, 重质固体颗粒在坡底沉积, 即使被油流携带到下游, 也可以停输时静置沉降到底部。因此, 对于连续上倾管道, 应注意上游重颗粒聚集和下游轻质颗粒聚集现象, 定期更换下游泵站过滤器滤芯。对于下坡管道, 应注意油流携带重颗粒造成的下游固体颗粒物含量上升和重颗粒的沉降现象。由于含有较多重颗粒物, 在质量控制时应注意进行适当进行静置沉降。(2)虽然航煤经管道沿途泵前及末站油罐前多次过滤, 但如果管道内杂质过多, 航煤到达末站时仍然有固体颗粒物含量超标的风险, 所以在管道输送时仍需注重航煤质量的控制。本研究为确定清管频率, 保障管输航煤质量提供支撑。

关键词 航空煤油; 浸泡; 固体颗粒物; 质量控制; 流动污染; 起伏地形

Study of the development of solid particle pollution of pipeline transportation of aviation kerosene

LI Qiang¹, QIU Shujuan¹, WU Yi¹, OUYANG Bo¹, LI Weijia², LIU Peng², GONG Jing², WANG Yumo²

1 PipeChina West Pipeline Company, Urumqi 830011, China

引用格式: 李强, 邱姝娟, 伍奕, 欧阳波, 李维嘉, 刘鹏, 宫敬, 王雨墨. 管输航煤固体颗粒物污染发展规律研究. 石油科学通报, 2023, 06: 853-862

LI Qiang, QIU Shujuan, WU Yi, OUYANG Bo, LI Weijia, LIU Peng, GONG Jing, WANG Yumo. Study of the development of solid particle pollution of pipeline transportation of aviation kerosene. Petroleum Science Bulletin, 2023, 05: 853-862. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2023.06.078

2 College of Mechanical and Transportation Engineering//National Engineering Laboratory for Pipeline Safety//MOE Key Laboratory of Petroleum Engineering//Beijing Key Laboratory of Urban Oil and Gas Distribution Technology//Joint Laboratory for Petroleum Fuel Commodities, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

Abstract Aviation kerosene, as a fuel for aircraft, has seen rapid growth in demand in recent years. The increased transportation of aviation kerosene in oil product pipelines can increase the profits of pipeline companies. However, GB6537-2018 has strict requirements on the quality of aviation kerosene, especially for its cleanliness. Therefore, how the cleanliness quality indicators, such as solid particles will change after aviation kerosene is transported through the pipeline, and whether it is affected by impurities in the pipeline is of particular concern to pipeline companies. In order to find out the source of solid particulate pollutants, and analyze the impact of a shutdown on the quality of aviation kerosene, this paper proposes to use the online immersion experiment method to study the changes of pollutant indicators in aviation kerosene pipelines: based on the scheduled shutdown of aviation kerosene between the refinery and the pumping station, the deposition and variation of particulate matter in aviation kerosene at different positions of the pipeline during shutdown are analyzed, and the possible pollution pipeline sections and pollutant sources leading to high solid particulate matter content in the oil depot are determined. By comparing the rise and fall of solid particulate matter content of aviation kerosene when in the pipeline and after entering the terminal oil tank, the migration behavior of different types of impurities are deduced. The experiment found that: (1) Topographic difference is an important reason for the differences of solid particulate pollution. For continuous up-dipping pipelines, solid particles gradually aggregate into clusters in the oil flow, heavier solid particles such as sand and rust are deposited at the bottom, and light suspended solid particles are carried to the downstream pipeline by the oil flow, and the accumulation increases. For downslope pipelines with a large drop, due to the action of potential energy at the bottom of the slope, the heavy and light solid particles are deposited at the bottom of the slope. Even if they are carried downstream by the kerosene flow, they can settle to the bottom when the pipeline is stopped. Therefore, for the continuous upward slope pipeline, attention should be paid to the aggregation of downstream light particles, and the filter element of the downstream pump station should be replaced regularly. For downslope pipelines, attention should be paid to the increase in the downstream solid particle content and the sedimentation of heavy particles caused by the heavy particles carried by the fuel flow. Due to the presence of more heavy particulate matter, attention should be paid to proper static sedimentation during quality control. (2) Although aviation kerosene is filtered several times before the pumping along the pipeline and in front of the oil tank at the terminal station, if there are too many impurities in the pipeline, there is still a risk of excessive solid particles content when the aviation kerosene arrives at the terminal station. Therefore, it is still necessary to pay attention to the quality control of aviation kerosene during pipeline transportation. This research provides support for determining the pigging frequency and ensuring the quality of pipeline transportation of aviation kerosene.

Keywords aviation kerosene; immersing; solid particles; quality control; flowing pollution; undulating terrain

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2023.06.078

0 引言

航空煤油作为飞机的燃料,对其洁净度有很高的要求。飞机的燃油控制系统十分精密^[1],固体颗粒一旦进入飞机油箱,不仅会堵塞飞机发动机的过滤器和喷油口,还会导致关键部件磨损^[2]。因此,航空煤油中混入的固体颗粒物会对飞机飞行安全造成很大威胁。国家标准GB6537-2018^[3]对航空煤油的洁净性进行了严格的规定,其中固体颗粒污染物含量不能超过1.0 mg/L。在管道输送过程中,由于航空煤油属于“洗油”,易将杂质从管壁上冲刷下来,输送航空煤油管道如果清管不及时,容易发生污染事故^[4-5]。例如2000年11月,镇杭成品油管道在输送航煤过程中,由于管道内存在淤泥、砂石等固体杂质,导致油库接收的航煤银片腐蚀不合格^[6]。航空煤油在管输过程中固体颗粒物的来源主要包括:施

工时未清理彻底的杂质^[7],老旧管道内壁的锈蚀^[8],管道低凹处积累的泥沙等。同时,固体杂质可能堵塞过滤器、输油泵等关键设备,缩短了设备的寿命,提高了运输成本^[9-10]。设备堵塞后,管道必须紧急停输,频繁的停输将导致油品不能按时到达分输点,下游市场不能及时交付,影响输油批次计划的完成^[11-13]。此外,固体颗粒被高速度高压力的油流携带,流经弯管及阀门时容易发生冲蚀,可能造成管道壁面损害^[14]。因此,从质量保障、输送连续性、管道安全角度来说,在管道输送过程中需要对航空煤油的固体颗粒物含量加以控制,并通过适当清管清理管道内的杂质。

目前,针对航煤在储运过程中的质量问题,国内外学者主要针对航煤中微生物的生长进行了大量研究,结论普遍显示停输时管道中的水分将导致微生物生长,而微生物生长繁殖会产生含硫物质和表面活性物质,

导致航煤银片腐蚀、水分离指数等指标不合格^[15-21]。但之前国内外公开发表的研究中,多集中于分析航煤在储罐中或飞机油箱中静置时固体颗粒物发展及微生物生长情况,针对长输管道航煤质量变化的研究不多。且由于条件的限制,多采用实验室中的挂片浸泡实验方法,所得结论相对间接,忽略了管网结构、输送历史对实验结果的影响。

2013年5月,西部某油库在收油化验时,发现某批次航煤固体颗粒物含量超标。但由炼厂出具的化验单知,航煤在进入管道前固体颗粒物含量并未超标,推测是在管道输送过程中混入了固体杂质。从炼厂到油库的输送管线走向呈Y型,穿越沙漠、戈壁,管径为273 mm,全程没有变径。管线沿程地形起伏较大,其中一条支线为连续下坡管道,长度为78 km,另一条支线为上坡管道,长度95 km。两条支线连接两个炼厂,在泵站汇合后通过190 km的干线管道输往末站油库。此外,因两条支线共用一条干线,两条支线会不定期停输,停输时航煤在管中静置。因此对于末站油库来说,不同油源输送历史、不同支线干线管段、不同污染物来源均可能对航煤的固体颗粒物质量指标产生影响,采用以外文献报道方法难以确定杂质污染的来源管段和发展规律。

因此,为了研究生产现场人员关心的固体颗粒污染物随管道输送的变化规律这一问题,尤其是根据管网结构,通过实验方法确定污染物来源,以对污染管段进行针对性处理,同时确定实际生产管线停输时航煤质量的变化情况,为确定清管频率、保障航煤管输质量提供数据支撑,本文通过在线浸泡实验的方法研究实际管输航煤变化情况,选取实际运行的长输成品

油管道进行实验,研究航煤在长输过程中固体颗粒物污染的变化规律,并且直接从停输管道中取样监测,使实验结果更贴合生产实际,能够更好的显示航煤中固体颗粒物含量的变化发展情况,对长距离管道输送航煤的质量管理具有更好的参考作用。

1 管网基本情况

1.1 炼厂A—油库A成品油管道

管道起点位于炼厂A,终点在油库A,全长285 km,管径为 $\Phi 273$,管道设计工作压力6.4 MPa,设计输量150万t/a。目前主要输送0#柴油、-35#柴油和航煤。

1.2 炼厂B—泵站A成品油管道

管道起点为炼厂B,终点为泵站A,全长78 km,管径为 $\Phi 273$,管道设计压力为6.4 MPa,设计输量100万t/a。目前主要用于输送-35#柴油和航煤。

1.3 油源分析

为了分析两个炼厂的油源情况与各自航煤经过管输后到达油库时的质量变化情况,对炼厂A抽取了20个出厂检验单作为样本,对炼厂B抽取了29个样本,分别统计出其固体颗粒物指标的分布情况,总结如下图(图2)所示:图中,纵坐标为统计频数,横坐标为固体颗粒物数值,红色柱图为炼厂出厂航煤检测单,蓝色柱图为经过管输到达油库A后的收油检测单。从图中可以看出,炼厂A生产航煤的固体颗粒物含量为 0.206 ± 0.0075 mg/L,炼厂B生产航煤的固体

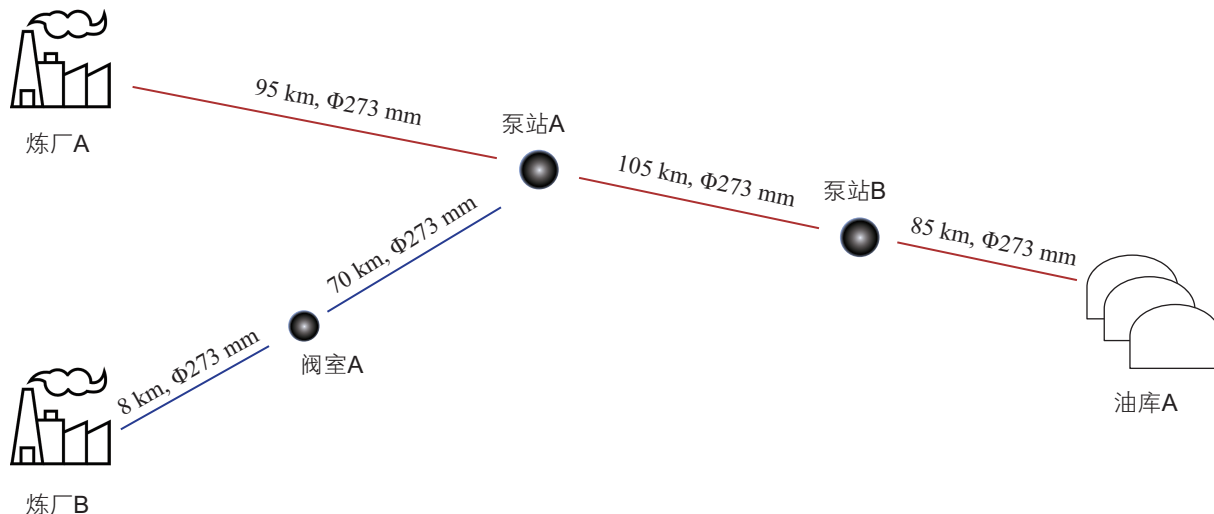


图1 本文所述管网的基本情况

Fig. 1 The basic situation of the pipe network described in this article

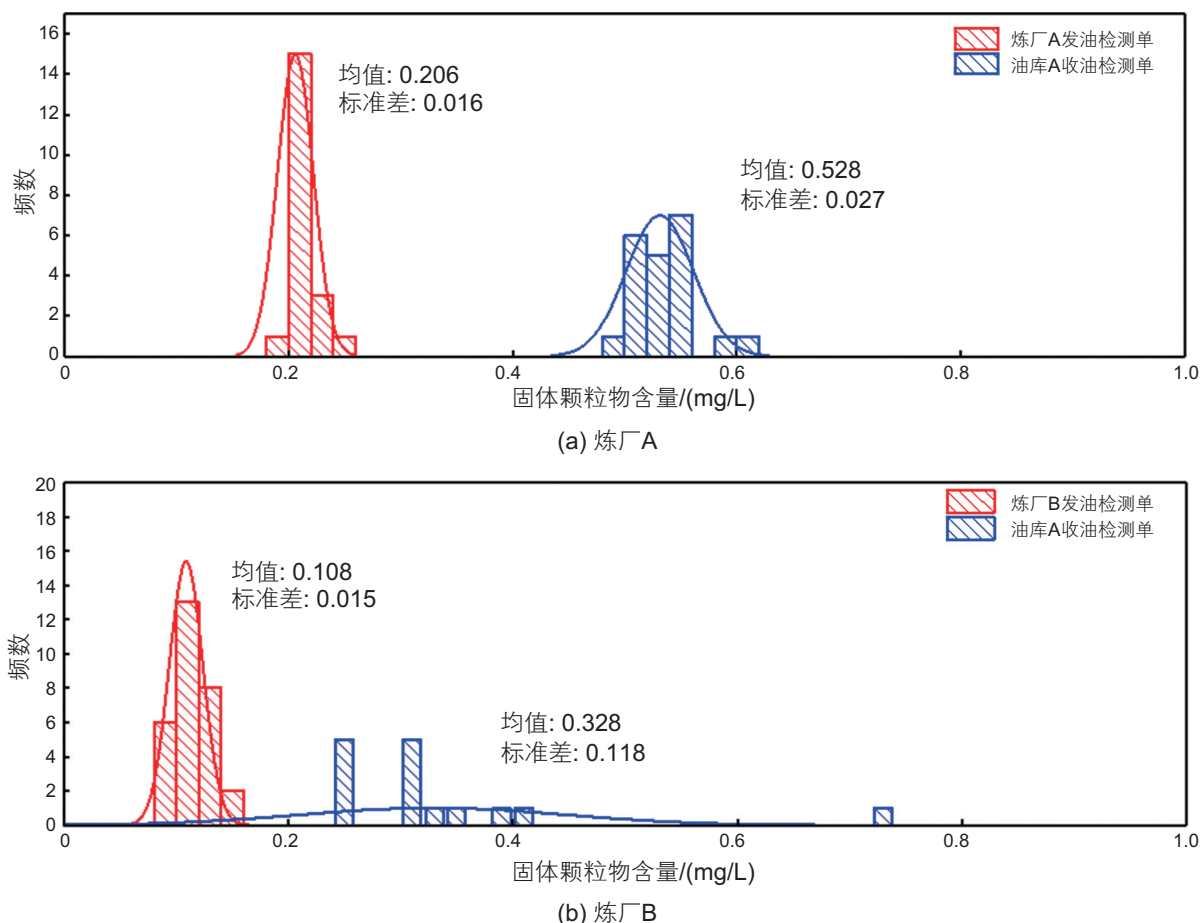


图2 航煤油品质量检测单中固体颗粒物指标统计图

Fig. 2 The statistical chart of solid particles in the oil quality inspection list

颗粒物含量为 0.1086 ± 0.0057 mg/L, 均符合国标, 并且质量潜力很大。炼厂A和炼厂B生产的航煤在出厂时, 固体颗粒物分布均比较集中, 呈标准差很小的正态分布趋势。经过管输后, 两种油源的固体颗粒物含量均大幅提高, 其中, 炼厂A航煤经过输送, 固体颗粒物均值上升了 0.322 mg/L, 分布有所变宽, 但幅度不大。而炼厂B航煤经过输送, 固体颗粒物均值上升了 0.220 mg/L, 其分布大大变宽, 失去了正态分布特征, 且出现了异常增大的极值。

2 实验方案与实验结果

2.1 离线浸泡实验

为了初步确定炼厂A和炼厂B生产的航煤经过管道输送到达油库A时, 航煤中携带的固体颗粒物数量及其随沉降时间的变化规律, 首先在油库A内进行离线浸泡实验(实验a)(图3): 将一根干净的管段按指定的埋设地点、埋设深度埋入末站附近地下, 地面上留出注入点及取样点, 取样点在管段顶部。当某炼厂生

产的航煤经管输入入末站后, 从油罐进口阀处取样, 将取出的油样从注入点注入埋地管段中浸泡, 在固定的时间节点: 12 h、24 h、48 h、96 h, 从管段的取样点取样, 测量油样的质量指标。此外, 在油罐进口阀处取样时, 油样除了注入埋地管段外, 另处取一份油样化验, 作为没有浸泡的空白油样。浸泡实验的结果如下图(图3)所示。图中, 红色虚线为国标允许的固体颗粒物含量最高值。可以看出, 炼厂A航煤的固体颗粒物含量基本不随时间变化, 浸泡时没有出现超标。炼厂B进入储罐的航煤仍存在固体颗粒物超标现象, 经20 h左右的沉降过程, 固体颗粒物快速降低, 达到基本稳定, 质量指标合格。

2.2 在线浸泡实验

为了进一步分析管输航煤固体颗粒的变化情况, 分析污染管段和污染物来源, 调度监控中心根据管道管输批次, 设计了管线停输方案及航煤在线浸泡方案, 将某段管线停留的航煤进行航煤在线浸泡试验。同时按照浸泡方案确定的取样化验频次, 进行取样化验分

析。取样时,油库人员及化验人员用航煤专用取样桶进行取样,取样点在管道上部。每次取样后标注取样时间、取样地点、取样人员等相关信息。双方共同取样后由化验人员将油样送至炼厂进行化验分析。取完最后一次样后,调度监控中心按照管输计划安排进行全线启输。被浸泡管段内的航空煤油进入末站时,经罐前过滤器过滤后,进入油罐,炼厂人员从油罐取样,对油样进行全分析化验。

在线浸泡实验分别在4个不同管段中进行,采用实际输油管道停输进行浸泡,具体的实验管段、实验时间、取样位置、取样时间记录如下:

实验b:浸泡管段为炼厂B—阀室A(图4),管段长度8 km,管段容量420 m³。浸泡时间为2018年9月28日8:22至2018年10月2日20:00,共浸泡航煤

108 h。其中9月28日8:22至9月30日20:00每隔12 h在阀室A取样,送至炼厂B化验。10月2日20:00在阀室A取样后,管线启输。10月8日航煤到达油库A,炼厂人员在油库取样后,进行分析化验。

实验b的结果如下图(图4)所示:左图中,红色虚线表示国家标准GB6537-2018规定的固体颗粒物含量上限,黑色虚线为被浸泡的航煤结束浸泡,管线启输后,最终到达末站油库A时油罐中航煤的固体颗粒物含量。右图中,纵坐标表示各炼厂、泵站、油库的高程位置。标红管段表示进行浸泡实验的管段,蓝色三角形标记点表示取样测试的位置(对应左图红色点的取样位置)。

可以看出,在阀室A取样的炼厂B航煤,经炼厂B—阀室A段管道浸泡时,其固体颗粒物在实验开始

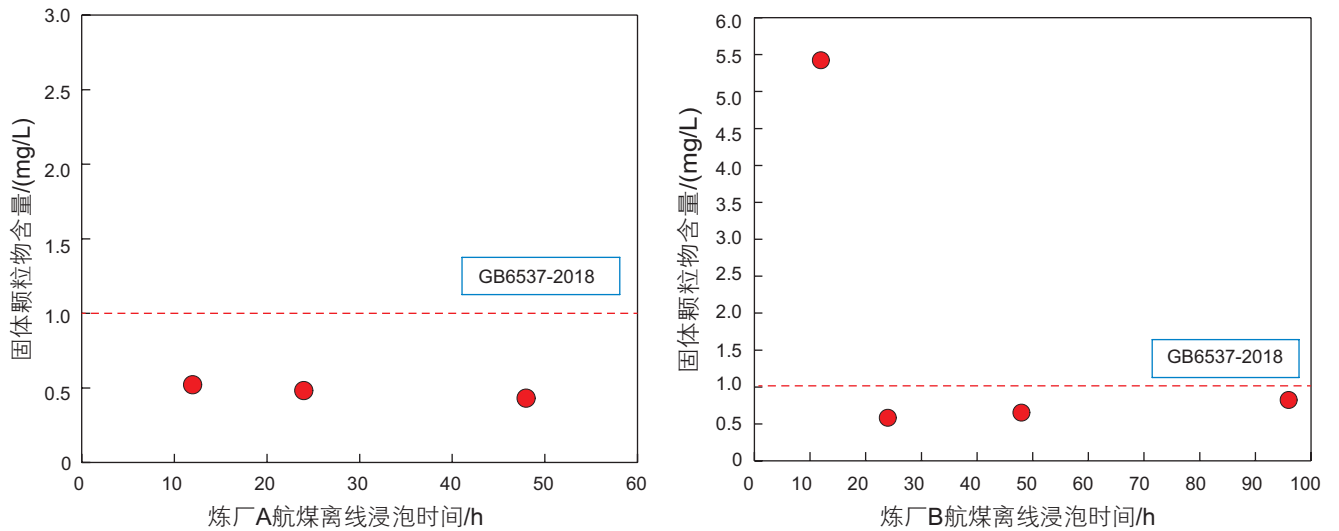


图3 离线管段浸泡实验中航煤固体颗粒物随时间变化规律
Fig. 3 Variation of aviation kerosene solid particles with time in off-line pipe soaking experiment

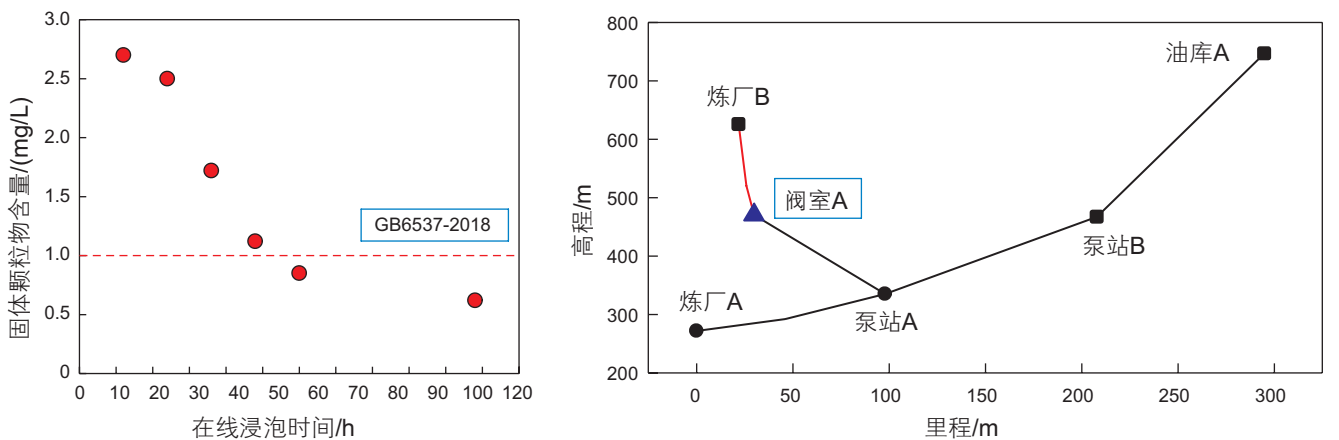


图4 炼厂B—阀室A段管道在线浸泡实验中航煤固体颗粒物随时间变化规律
Fig. 4 Variation of solid particles of aviation kerosene over time in the online immersion experiment of Section B-Valve room A pipeline of refinery

时很高,远远超过国标要求,随着浸泡时间增加,固体颗粒物含量逐渐降低。当浸泡超过60 h以上时,固体颗粒含量降至国标允许范围以下,并基本保持稳定。值得注意的是,启输后油流经过阀室A—油库A管段时,固体颗粒物含量也没有明显上升。

实验c:浸泡管段为炼厂A—泵站A(图5),管段长度95 km,管段容量54999 m³。浸泡时间为2018年12月18日18:00至2018年12月21日18:00,共浸泡航煤72 h。自12月18日18:00起,每隔12 h在泵站A取样,送至炼厂A化验。12月21日18:00取样后管线启输,在线浸泡的航煤于12月28日到达油库A,炼厂人员在油库取样后,进行分析化验。实验结果如下图(图5)所示(图中各个标示的意义与图4同):

可以看出,由炼厂A生产的航煤,油头经管道到达泵站A时,测得的固体颗粒物数值较低,且在浸泡过程中,固体颗粒物指标基本保持稳定,保持在国标

要求范围内。启输后到达油库A的这部分浸泡油,其固体颗粒物含量(黑色虚线)相比于浸泡时略有上升。

实验d:浸泡管段为炼厂B—泵站A(图6),管段长度78 km,管段容量4104 m³。浸泡时间为2019年3月11日18:30至2019年3月13日18:30,共浸泡航煤72 h。自3月11日18:00起,每隔12 h在泵站A取样,送至炼厂B化验。3月13日18:30取样后管线启输,在线浸泡的航煤于3月23日到达油库A,炼厂人员在油库取样后,进行全分析化验。实验结果如下图(图6)所示(图中各个标示的意义与图4同)。

可以看出,从炼厂B出发的航煤,经过阀室A,油头到达泵站A时,其固体颗粒物含量经过沉降略有波动,但整体较低。启输后到达油库A的航煤,其固体颗粒物含量数值没有增加。

实验e:浸泡管段为炼厂B—油库A(图7),管段长度268 km,管段容量14102 m³。浸泡时间为2019

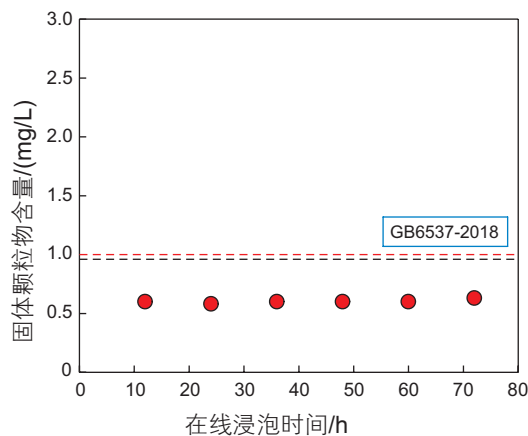


图5 炼厂A—泵站A段管道在线浸泡实验中航煤固体颗粒物随时间变化规律

Fig. 5 Variation of solid particles of aviation kerosene over time in the online immersion experiment of pipeline of Refinery A-Pumping station A

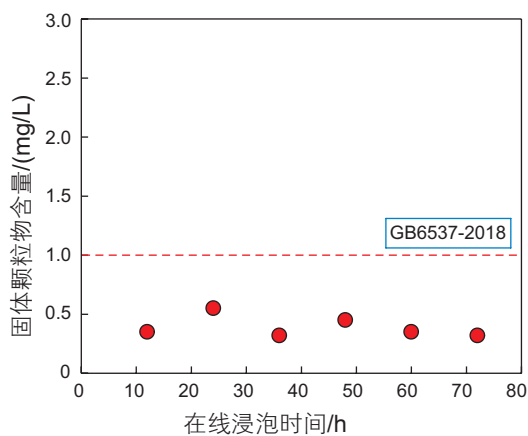
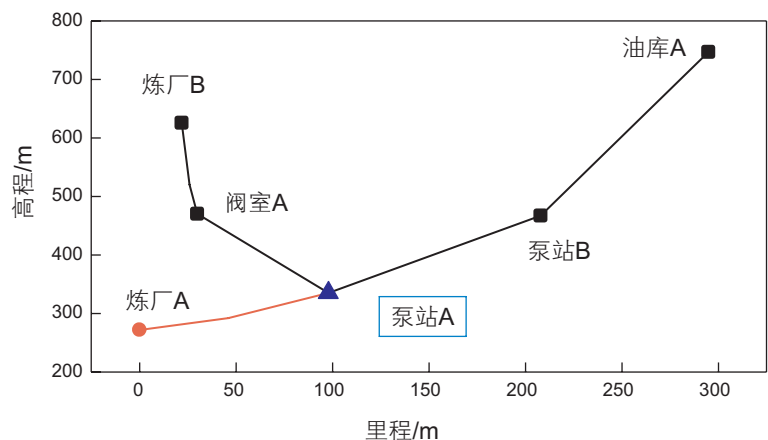
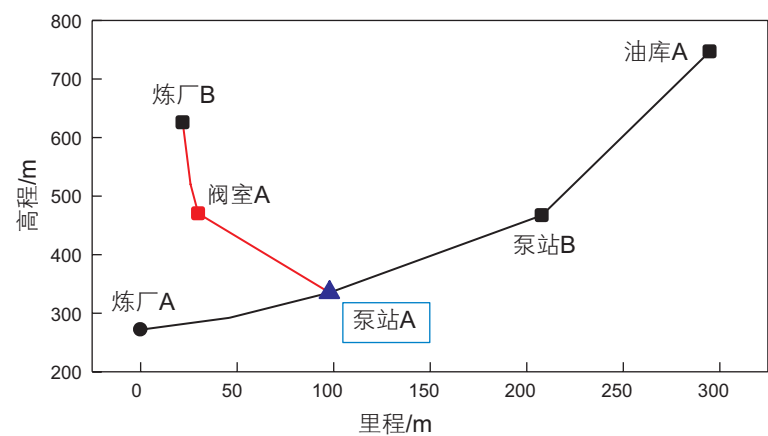


图6 炼厂B—泵站A段管道在线浸泡实验中航煤固体颗粒物随时间变化规律

Fig. 6 Variation of solid particles of aviation kerosene over time in the online immersion experiment of pipeline of Refinery B-Pumping station A



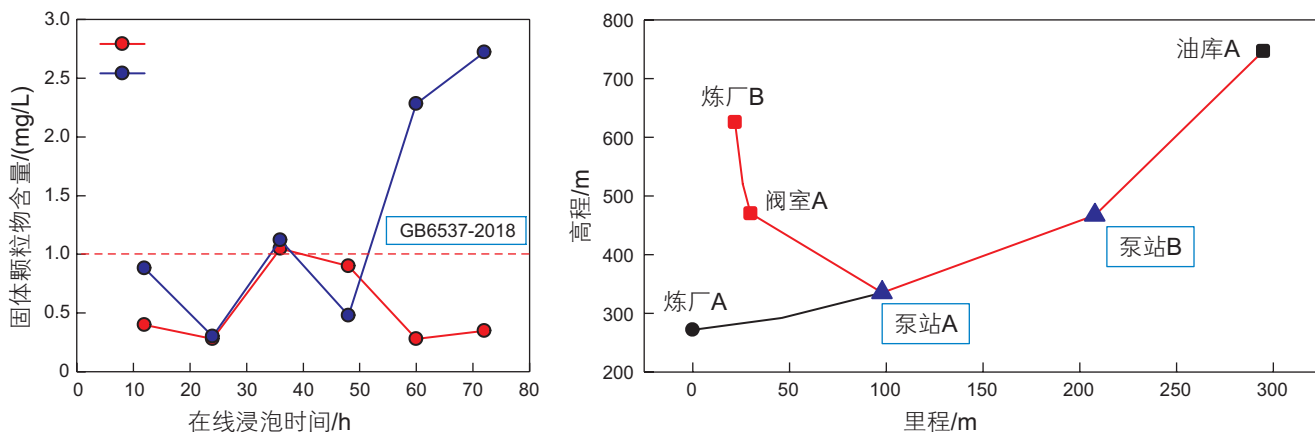


图7 炼厂B—油库A段管道在线浸泡实验中航煤固体颗粒物随时间变化规律

Fig. 7 Variation of solid particles of aviation kerosene over time in the online immersion experiment of pipeline of Refinery A-Pumping Station A

年4月19日8:30至2019年4月22日8:30,共浸泡航煤72 h。自4月22日8:30起,每隔12 h在泵站A和泵站B进站管线处取样,送至炼厂B化验。由于4月21日20:30和4月22日8:30在泵站B取得的油样外观有明显杂质,且固体颗粒物含量严重超标,实验人员对于油样中的杂质进行了烘干,油样的杂质情况如图8所示。4月22日18:30取样后管线启输,炼厂人员在过滤后进罐处取样,进行分析化验。实验结果如下图(图7)所示(图中各个标示的意义与图4同)。

实验e与之前的实验相比,取样的地点在浸泡航煤管线中段,因此,取得的油样不是航煤的油头,而是航煤批次的中段油。图7左侧图中,红色数据点代表从泵站A取样的航煤的固体颗粒物含量发展规律,蓝色数据点代表从泵站B取样的航煤的固体颗粒物含量发展规律。可以看出,在泵站A,航煤的固体颗粒物含量相对较低,浸泡30~40 h后出现异常增加,之后随时间进一步推移而恢复,总体基本符合国标要求。在泵站B,航煤的固体颗粒物含量经过50 h以上时间浸泡,出现大幅上升,经过更长时间浸泡继续上升。最终,启输后的油品到油库A时,固体颗粒物含量较低。

图8左侧图为浸泡60 h在泵站B取得油样的固体杂质情况,对应航煤的固体颗粒物含量为2.28 mg/L,右侧图为浸泡72 h在泵站B取得油样的固体杂质情况,对应航煤的固体颗粒物含量为2.72 mg/L。可以看到左侧杂质烘干后结成块状,大部分呈黄褐色,中间夹杂着少量灰白色颗粒。右侧大部分杂质呈灰白色,中间夹杂着少量黑色物质,烘干后没有明显结块。



图8 实验e中泵站B油样固体杂质情况

Fig. 8 The solid impurities in the oil sample of Pump station B of experiment e

3 分析与讨论

对比上述实验结果可以发现:(1)到达油库A进行过滤后,航煤固体颗粒物含量指标都达到合格,但是具体数值有较大差异;(2)不同油源航煤浸泡实验,污染物变化规律不同;(3)不同浸泡管段、取样点,固体颗粒物变化规律不同。

航煤中的固体颗粒物种可分为2种:一种为悬浮在油品中的较轻杂质,这些细颗粒尺寸小于 $10\ \mu\text{m}$ ^[22],主要包括硅、氧无机化合物,来源主要是储罐呼吸时从空气中混入的尘土或施工时残留的细沙。此外,航空煤油中的微量水可能和管道中的铁锈作用,生成絮状物氢氧化铁^[23]。微生物在油水界面的繁殖活动能产生微毛状悬浮物^[24-26]。悬浮物一旦生成就很难除去,通过静置沉降或者过滤一般只能除去一部分,未去除的悬浮物较为细小,过滤器无法阻挡,时间久时会在管道中累积^[27]。另一种则为沉在油品底部的较重杂

质,其中有机组分主要为分子量较高($C_{13}\sim C_{30}$)的直链饱和烷烃,无机组分主要为 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 等含铁化合物,即管道内壁腐蚀产生的铁锈,还有一小部分为施工时管道内留下的砂土、电化学反应产生的无机盐垢等^[28-30]。本实验的管道内壁无内防腐涂层,相对于含有内防腐的航煤专输管道来说更容易产生含铁杂质等固体颗粒。

从实验b和实验e结果来看,实验b油头刚到阀室A时固体颗粒物含量很高,继而有沉降发生。相反,实验e中,观察到泵站B的固体颗粒物数值随浸泡时间上升。其原因应为实验b中,航煤携带的是重组分固体颗粒物,因重力作用随时间缓慢沉降,所以上部取样口测得的颗粒物含量逐渐下降。实验e中,其来源应为轻组分固体颗粒物随时间缓慢上浮,导致上部取样口测得的颗粒物含量不降反升。同时,由烘干后杂质的外观推测,泵站B浸泡60 h后的油样中,杂质主要为细沙,尘土,夹杂少量无机盐等轻质杂质。浸泡72 h的油样中,主要杂质为无机盐等轻质杂质,以及少量微生物生长产生的黑色絮状悬浮物。由于上倾管道在低洼处容易有积水残留^[31],而少量积水就可以引发微生物生长。由浸泡72 h油样中杂质的外观推测,停输浸泡可能使管道中发生了微量的微生物污染。

研究管线的里程—高程图可以发现,地形差异是固体颗粒物污染规律不同的重要原因,也是上述固体颗粒物污染来源不同的重要佐证。炼厂A—油库A为连续上倾管道,随着油流前进,重颗粒在油流中聚集成团。随着倾角增大,管道中固体颗粒沉积的可能性增大,将管道中沉积重颗粒清除的临界流速也增大^[32-35]。油流中较重的铁锈、砂土等固体杂质逐渐沉积在管道沿途的底部,而不会被携带到下游泵站阀室,而较轻的悬浮物则可以被油流携带前进,所以对上倾管段,航煤中的固体颗粒主要为轻质悬浮物,正如实验e结果所示。而炼厂B—泵站A支线为下坡段,高差较大。从炼厂B到阀室A,管道落差达到将近160 m,管道中较重的固体杂质被冲到坡底。因此在实验b中,在阀室A观察到油头含有较多的可沉降颗粒,即重颗粒物。

不同管段污染物来源不同的现象可以被离线浸泡实验(实验a)进一步证明。从图3可以看出,炼厂B的航煤输送到油库后,在油罐入口阀处,其固体颗粒物仍存在明显的沉降现象。而炼厂A的航煤,不存在固体颗粒物沉降现象。这说明炼厂B油经过管输携带有较多的重颗粒物。油库收油时对两种油源的质量统计(图2)也支持这一结论,因为炼厂B的来油固体颗粒

物指标失去了明显的统计规律,且存在异常高点,可能是由于重颗粒尚未沉降均匀导致,相反炼厂A的来油固体颗粒物统计规律仍保持较好。由于两个炼厂的航煤共用泵站A—油库A的管段,因此,炼厂B—泵站A支线应是重颗粒物污染的主要来源。

进一步分析,在实验c、d中,没有观察到固体颗粒物上升现象。说明在炼厂B—泵站A支线中,重颗粒物的主要来源是炼厂B—阀室A段。从阀室A到泵站A,坡度变缓,固体杂质在管道中的运移程度减小。对比实验c和实验e,发现同样是管道高程上升段,实验c没有固体颗粒物含量的上升,证明炼厂A—泵站A段不存在明显的轻质悬浮物,主要的悬浮物应处于泵站A—泵站B段,油流经过时将这段上坡管内的轻质悬浮物携带至泵站B。

由末站油罐取样的全分析化验单知,除固体颗粒物含量外,实验b、实验c、实验d、实验e在线浸泡航煤其余的质量指标均合格。且由浸泡时取样化验的结果知,浸泡期间航煤的色度、水反应界面情况、水反应分离程度、微量水含量和抗静电剂含量均符合国家标准GB6537-2018的规定,且随时间波动较小。说明虽然由于管道中存在固体杂质沉积现象,浸泡后航煤的固体颗粒物含量可能超标,但管道内停输浸泡没有对航煤其他的质量指标产生影响。

4 结论与建议

本文将航煤停输、浸泡在不同管段中,得到浸泡航煤固体颗粒物含量随时间的变化规律。从炼厂出厂与油库收油的质量分析报告,及离线浸泡实验,推测出航煤是在管道输送中混入了固体杂质。由停输时航煤中固体颗粒物随时间的变化规律,结合管段的地形特点,分析了管段中固体杂质的主要类型,确定了导致油库收油固体颗粒物含量较高的可能的污染管段及污染物来源。对比在管道内浸泡时和进入末站油罐后航煤固体颗粒物含量的升降情况,推断了不同类型杂质的运移规律,为管道清管计划的制定提供了参考。具体结论如下:

(1)通过对管网结构中不同管段污染源分析,初步推断了油库A航煤固体颗粒物的来源管段为炼厂B—阀室A管段的重颗粒物,如铁锈,砂土等。以及泵站A—泵站B管段中轻质悬浮物,如细沙,尘土,微生物代谢产物等;

(2)对B炼厂来油,由于含有较多重颗粒物,在质量控制时应注意进行适当进行静置沉降,减少扰动,

使颗粒物沉降到下部,上方油品的质量潜力提高。对于下坡管道,应注意油流携带重颗粒造成的下游固体颗粒物含量上升和重颗粒的沉降现象;

(3)对于炼厂A到泵站B管段,由于悬浮物无法通过沉降来进行清除,建议沿程采用高精度过滤器,多次过滤以尽量减少航煤中悬浮物的含量。对于炼厂B—阀室A管段,可能存在铁锈类杂质或泥沙,可以考虑适当增加清管频率;

(4)虽然航煤经管道沿途泵前及末站油罐前多次过滤,但如果管道内杂质过多,航煤到达末站时仍然有

固体颗粒物含量超标的风险,所以在管道输送时仍需注重航煤质量的控制;

(5)对于地形起伏的枝状管线,可以采取分段停输的方式,研究管线中固体颗粒物含量。先分别停输各支线泵站之间的管段,测量停输期间油头位置的质量变化。最后进行全线停输,测量停输期间干线管道中间泵站航煤质量变化。对比支线和干线的实验结果,对于浸泡期间航煤质量出现波动的管段,需要结合流动参数以及地形情况,分析管线内固体颗粒的沉积及携带情况。

参考文献

- [1] 张邦顺,张建国,王燕舞,等. 喷气燃料污染原因及其预防措施[J]. 石油商技, 2002(6): 23-25. [ZHANG B S, ZHANG J G, WANG Y W, et al. Causes of aviation kerosene pollution & its preventive measures[J]. Petroleum Products Application Research, 2002(6): 23-25.]
- [2] 张波,李若愚,赵国旗. 喷气燃料中污染物分析方法现状及有关建议[J]. 石油商技, 2018, 36(3): 68-71. [ZHANG B, LI R Y, ZHAO G Q. Current status of analysis methods of pollutants in aviation kerosene and related suggestions[J]. Petroleum Products Application Research, 2018, 36(3): 68-71.]
- [3] 国家能源局. 3号喷气燃料: GB 6537-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [National Energy Administration. No.3 jet fuel: GB/T 6537-2018[S]. Beijing: China Standard Press, 2018.]
- [4] 王雨墨,胡杰,李旺,等. 航空煤油储运过程中质量保障有关问题探讨[J]. 油气储运, 2020, 39(9): 971-979. [WANG Y M, HU J, LI W, et al. Discussion on quality assurance related issues in storage and transportation of aviation kerosene[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39(9): 971-979.]
- [5] 姚广,温带宽. 惠莞长输管线航煤投油[J]. 化学工程与装备, 2020(6): 115-117. [YAO G, WEN D K. Aviation kerosene injection for Huizhou-Dongguan long-distance pipeline[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2020(6): 115-117.]
- [6] 俞仁明,冯润. 镇杭成品油管道投运及航煤质量动态控制[J]. 油气储运, 2002(9): 10-14. [YU R M, FENG R. The Dynamic control on the commissioning and aviation kerosene quality in Zhenhai refinery—Hangzhou Kangqiao products pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2002(9): 10-14.]
- [7] 张金童. 浅析航空煤油长输管道内杂质产生的原因及应对[J]. 石化技术, 2017, 24(3): 212. [ZHANG J T. Analysis on the causes and countermeasures of impurities in the aviation kerosene long-distance pipeline[J]. Petrochemical Industry Technology, 2017, 24(3): 212.]
- [8] 王飞鹏. 航煤固体颗粒物的产生及改进措施[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(12): 12. [WANG F P. Generation and improvement of solid particles in coal[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017, 43(12): 12.]
- [9] 李仕. 固体杂质对成品油长输管道设备的损伤及防范措施[J]. 化工设备与管道, 2008(2): 48-51. [LI S. Damage of oil transportation piping and equipment resulted from solid impurity and protection measures[J]. Process Equipment & Piping, 2008(2): 48-51.]
- [10] 高庭禹,张增强. 兰成渝成品油管道内杂质的成因及对策[J]. 油气储运, 2006(10): 52-54. [GAO T Y, ZHANG Z Q. The Origin of foreign substance of Lanzhou-Chengdu-Chongqing products pipeline and its countermeasures[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2006(10): 52-54.]
- [11] 闫亚敏,董烈武,任泽,等. 通用成品油管道调度模型建立及求解[J]. 油气储运, 2020, 39(5): 549-557. [YAN Y M, DONG L W, REN Z, et al. Model establishment and solution of general product pipeline scheduling[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39(5): 549-557.]
- [12] 陈海宏,左丽丽,吴长春,等. 成品油管道分输计划优化的并行模拟退火算法[J]. 石油科学通报, 2019, 4(1): 102-110. [CHEN H H, ZUO L L, WU C C, et al. Optimizing delivery schedules of a multiproduct pipeline using a parallel Simulated Annealing algorithm[J]. Petroleum Science Bulletin, 2019, 4(1): 102-110.]
- [13] 廖绮,梁永图,沈允,等. 基于用户需求时间窗的成品油管道调度优化[J]. 石油科学通报, 2018, 3(2): 205-214. [LIAO Q, LIANG Y T, SHEN Y, et al. Optimal scheduling of product pipelines based on demanding time-windows[J]. Petroleum Science Bulletin, 2018, 3(2): 205-214.]
- [14] 王雨墨,李彦博,李晓平,等. 人工神经网络预测管道冲蚀速率研究进展[J]. 石油科学通报, 2020, 5(1): 114-121. [WANG Y M, LI Y B, LI X P, et al. Recent progress on ANN-based pipeline erosion predictions[J]. Petroleum Science Bulletin, 2020, 5(1): 114-121.]

- [15] HILL E C, HILL G C. Microbiological problems in distillate fuels[C]. Transactions – Institute of Marine Engineers (1988), 1992, 104: 119–130.
- [16] GAVLARDE C C, BENTO, FÁTIMA M. Microbial contamination of stored hydrocarbon fuels and its control[J]. Revista Argentina de Microbiologia, 1999, 30(1): 1–10.
- [17] 赵升红, 黄毅, 孙建章, 等. 储罐罐底水含酸及对喷气燃料性能的影响[J]. 石油炼制与化工, 2001(1): 58–60. [ZHAO S H, HUANG Y, SUN J Z, et al. The source of acid contained in the water of storage tank bottom[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2001(1): 58–60.]
- [18] 李秋燕, 宋文建, 孔令霄. 航煤银片腐蚀不合格原因及对策的浅析[J]. 四川化工, 2017, 20(1): 25–27. [LI Q Y, SONG W J, KONG L X. Analysis on the reasons and countermeasures of unqualified corrosion of aviation kerosene[J]. Sichuan Chemical Industry, 2017, 20(1): 25–27.]
- [19] 胡雁, 张怀安, 郑晔, 等. 抗静电添加剂在喷气燃料中的应用研究[J]. 石油化工应用, 2010, 29(10): 4–5. [HU Y, ZHANG H A, ZHENG Y, et al. Research on the application of antistatic additives in aviation kerosene[J]. Petrochemical Industry Application, 2010, 29(10): 4–5.]
- [20] 刘婕, 王慧, 王树雷. 3号喷气燃料运输过程中电导率变化研究[J]. 润滑油与燃料, 2010, 20(6): 13–15. [LIU J, WANG H, WANG S L. Research on conductivity change of No. 3 aviation kerosene during transportation [J]. Lubes & Fuels, 2010, 20(6): 13–15.]
- [21] 孙静涵, 张利新, 王自顺, 等. 长距离管输对3号喷气燃料导电性能和清洁性能的影响[J]. 石油炼制与化工, 2019, 50(12): 70–73. [SUN J H, ZHANG L X, WANG Z S, et al. Effects of long distance pipeline transport on conductivity and detergency of No. 3 aviation kerosene[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2019, 50(12): 70–73.]
- [22] 朱建军, 王立. 喷气燃料中污染物来源及其危害概述[J]. 化工时刊, 2016, 30(5): 39–42. [ZHU J J, WANG L. Introduction to the source and the harm of the contaminant in the aviation kerosene[J]. Chemical Industry Times, 2016, 30(5): 39–42.]
- [23] 胡锐. 喷气燃料产生悬浮物的原因及预防措施[J]. 石化技术与应用, 2006(1): 43–45. [HU R. Causes and preventive measures of suspended solids produced by aviation kerosene[J]. Petrochemical Technology & Application, 2006(1): 43–45.]
- [24] 袁祥波, 陈学军, 熊云. 喷气燃料絮状悬浮物的形成机理探讨[J]. 石油炼制与化工, 2015, 46(11): 74–77. [YUAN X B, CHEN X J, XIONG Y. Formation mechanism of suspended matters in aviation kerosene[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2015, 46(11): 74–77.]
- [25] 孙宇. 浅析航空燃油中的微生物污染[J]. 山东化工, 2015, 44(9): 121–123. [SUN Y. Analysis of microbial pollution in aviation fuel[J]. Shandong Chemical Industry, 2015, 44(9): 121–123.]
- [26] 陶志平. 喷气燃料中纤维状悬浮物的研究[J]. 石油炼制与化工, 2003(11): 57–59. [TAO Z P. Investigation on the fiber like suspend matters in aviation kerosene[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2003(11): 57–59.]
- [27] 赵升红, 范维玉, 薛艳, 等. 储存喷气燃料中悬浮物的组成分析及过滤处理方法研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007(3): 140–142. [ZHAO S H, FAN W Y, XUE Y, et al. Chemical composition and filtration treatment method of suspended matter in aviation kerosenes during storage[J]. Journal of China University of Petroleum, 2007(3): 140–142.]
- [28] 邢艳开. 航空煤油固体颗粒污染物的鉴别、形成来源及其防治措施[J]. 河北化工, 2003(6): 39–41. [XING Y K. Identification, source of formation and prevention measures of aviation kerosene solid particles[J]. Hebei Chemical Industry, 2003(6): 39–41.]
- [29] 于延生, 张永兴. 航空煤油储运过程中的质量控制[J]. 油气储运, 2001(3): 28–30. [YU Y S, ZHANG Y X. Quality control method on 3-RP aviation kerosene in storage and transportation process[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2001(3): 28–30.]
- [30] 王德增, 刘井会, 王彩霞, 等. 对成品油管道中沉积物的分析[J]. 油气储运, 2005(2): 59–60. [WANG D Z, LIU J H, WANG C X, et al. Analysis of sediment in the product pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2005(2): 59–60.]
- [31] 徐广丽, 刘新野, 蔡亮学. 成品油油流携水机理研究进展[J]. 油气储运, 2020, 39(5): 506–511. [XU G L, LIU X Y, CAI L X. Research progress on mechanism of water displacement by flowing product oil[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39(5): 506–511.]
- [32] 隋冰, 刘刚, 李博, 等. 颗粒在起伏成品油管道中的沉积运移规律[J]. 石油学报, 2016, 37(4): 523–530. [SUI B, LIU G, LI B, et al. Deposition and movement laws of particles in fluctuating oil product pipelines[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(4): 523–530.]
- [33] 刘刚, 汤苑楠, 李博, 等. 成品油管道内杂质运移沉积及其影响规律[J]. 油气储运, 2017, 36(6): 708–715. [LIU G, TANG Y N, LI B, et al. Movement, deposition and influence laws of impurities in the product oil pipelines[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 36(6): 708–715.]
- [34] 李博, 刘刚, 隋冰, 等. 成品油管道内杂质运移临界流速及其影响因素[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2017, 32(2): 110–115. [LI B, LIU G, SUI B, et al. Critical velocity of impurity migration in product oil pipeline and its influencing factors[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition), 2017, 32(2): 110–115.]
- [35] LI D Z, CHEN L, MIAO Q. Simplified layer model for solid particle clusters in product oil pipelines[J]. Energies, 2019, 12(24): 4809.