

Analysis of key technologies of static safety during loading and transportation

Libo Zhao

Liaohu Oilfield (Panjin) Gas Storage Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124100, China

Abstract

Lightweight oil products are widely used in transportation, energy production and other fields, such as gasoline, diesel oil, aviation kerosene and so on. However, the safety problems caused by static electricity accumulation can not be ignored in the process of light oil loading and unloading and transportation. In the process of loading, unloading, storage and transportation of oil products, static electricity may cause fire or explosion, resulting in huge loss of personnel and property. Therefore, an important topic to ensure the safe operation of the petrochemical industry is how to effectively control the electrostatic safety in the process of loading, unloading and transportation. This paper will focus on the analysis of static electricity safety problems in the process of light oil loading and unloading and transportation, and discuss the causes of static electricity, potential hazards and the current key technical measures to control static electricity.

Keywords

light oil; loading and unloading; transportation; static electricity safety; technology

轻质油品装卸和运输过程中静电安全关键技术的分析

赵立波

辽河油田(盘锦)储气库有限公司, 中国·辽宁 盘锦 124100

摘要

在交通运输、能源生产等各个领域都广泛使用轻质油品,如汽油、柴油、航空煤油等。但是,静电积累造成的安全问题在轻油装卸、运输过程中也不能忽视。在油品的装卸、储运过程中,静电可能引发火灾或爆炸,造成人员财产的巨大损失。因此,保障石化行业安全运行的一个重要课题就是如何有效地控制装卸、运输过程中的静电安全。本文将重点分析轻油装卸、运输过程中的静电安全问题,并就静电产生的原因、潜在危害及当前防控静电的关键技术措施等方面进行深入探讨。

关键词

轻质油品; 装卸; 运输; 静电安全; 技术

1 引言

轻质油品,如汽油、柴油、航空煤油等,因其具有较低的闪点和较高的挥发性,在装卸和运输过程中容易产生静电,造成火灾和爆炸等严重安全隐患。因此,静电安全问题已成为轻质油品运输领域亟待解决的关键技术之一。静电的积聚和放电会在油品的转运过程中引发火灾,尤其是在油品装卸、储存和运输环节,若控制不当,极易导致重大安全事故。为此,掌握和应用一系列静电控制技术至关重要

2 轻质油品装卸和运输中的静电产生机理

静电的产生通常是由于物体间的摩擦、接触、分离等过程导致电子转移,从而使得物体带上电荷。在轻质油品的装卸和运输过程中,静电的产生主要有以下几种方式。

2.1 流体摩擦产生静电

静电产生的主要机理之一是流体在轻油装卸运输过程中产生的摩擦效应。具体来说,由于流体与固体表面(如管壁、阀门、过滤器等)的相对运动,使油品在管道、输送设备或运输容器中流动时,电子在两者表面间发生转移。当流体分子接触固体表面并滑动时,电子就会由一侧向另一侧转移,产生电荷不平衡,继而形成静电荷积^[1]。

该现象通常会受到流体流速、表面光洁度、流体粘度以及材质的影响。当高流速流体接触管路时,静电荷的蓄积速度会因摩擦力的增加而加快。另外,流体与表面接触的有效面积在管路内表面粗糙度较大时增大,对静电生成也有一定的帮助。对静电同样会产生重要影响的还有油品的化学成分、温度和含水量。含水率高的油类,导电性往往更好,能有效降低静电积聚的风险,而含水率低的油类,产生静电和积聚静电的可能性更大。

【作者简介】赵立波(1991-),男,中国辽宁盘锦人,本科,工程师,从事石油与天然气、油气储运研究。

2.2 液体和气体接触引发静电

轻质油品在装卸和运输过程中，由于液相与气相的界面特性，易发生电荷分离现象。液体表面分子在与气体分子相互作用时，因分子间力学效应与电荷转移机制，使得液相表面形成极化层，导致界面电位差变化。高速流动状态下，液相与气相的界面剪切力增加，气泡崩解过程促使电子或离子转移，进而引发静电积累。界面张力的瞬态变化，使气相分子在液相表面产生附着或脱附，诱导电荷颗粒形成空间电荷区。多组分油品体系中，极性组分的微量存在改变液-气界面的电导率分布，影响电荷中和速率。非均相气体掺杂情况下，不同介电常数气体在界面处的分布特性，决定了电荷转移的方向及静电积累的幅度。静电弛豫时间受液体介电性质及流体动力学参数影响，剪切流与紊流效应强化液气界面电荷分离，导致电荷密度在局部区域骤增。当环境温度较低时，气相导电性下降，液体表面的电荷耗散受限，进一步提升静电风险。

2.3 油品与容器表面接触

轻质油品在流经管道、储罐及装卸设备时，因油品分子与固体壁面间的电子亲和力差异，导致电荷转移效应。接触瞬间，壁面材料的导电性、油品的介电常数及分子极性决定电荷交换的速率与方向，形成表面电荷层。

首先，流体剪切应力作用下，界面分离过程中，部分电荷滞留于固体表面，而液体携带相反极性电荷继续流动，造成局部电场增强。壁面粗糙度影响接触面积，微观结构形成的凹凸效应改变电荷分布状态，诱导异性电荷积累。其次，非均质材料衬里的应用，使油品在不同接触区域产生电荷转移差异，导致界面电势梯度增加。涂层材料的电阻率及表面能影响电荷弛豫过程，绝缘层易造成电荷滞留，降低静电泄放速率^[2]。此外，高流速装卸条件下，湍流扰动强化油品与容器壁面的摩擦作用，促使电荷密度增大。温度和湿度变化改变固体表面导电性能，影响电荷耗散路径。静电场强超过临界阈值时，可能在局部区域形成放电风险点。

3 静电引发的安全风险

静电荷在液体介质与固体表面之间积聚，若未及时释放，在特定条件下可能形成高场强区域。电势差达到介质击穿阈值时，电荷通过放电途径释放，可能激发油气混合物燃烧反应。

3.1 火花引发的火灾

油品在装卸及输送过程中，因液体流动及相界接触导致电荷迁移，界面极化效应增强放电概率。当气相中可燃物质浓度位于爆炸极限范围内，局部电场驱动电荷突释，电弧能量超过最低点火能量时，诱发自持燃烧链式反应。绝缘衬里、非导电储罐及塑料管道内部的电荷积聚效应，延缓电荷耗散速率，增强放电强度，增加火灾风险。

3.2 爆炸风险

油品输送系统中，封闭环境内的静电积聚速率受介质

介电特性、流体动力学条件及温湿度等因素影响。储罐、油罐车及管线内部若存在高电位差区域，静电场强超出气相介质的击穿阈值，可能发生火花放电，激发蒸气云爆炸。高挥发性油品的自燃点低，蒸气与空气混合形成易燃环境，静电放电产生的高温等离子态电荷团，引发剧烈燃烧反应，导致爆燃或爆轰传播。

3.3 设备损坏

静电释放过程中，瞬态电压峰值可达数千伏，足以对电子设备及控制系统造成冲击。电磁干扰效应影响仪器精度，导致自动化监测系统误操作。高压放电可能破坏管道壁面及储罐内衬材料，绝缘层劣化降低设备使用寿命。电荷累积导致电场畸变，可能诱发局部介质击穿，影响继电保护及防爆系统的可靠性。

4 轻质油品装卸和运输过程中静电安全防控技术

为了防止静电引发的安全事故，石油化工企业已经采取了多种技术措施来控制静电的产生和释放。以下是一些关键的静电安全技术。

4.1 静电接地技术

建设低阻通路可以有效平衡油品装卸及运输设备与大地之间的电位，并且电荷的排放效率受导电材料接地体配置的影响。所以在应用静电接地技术过程中可以由如下几方面着手：第一，采用等电位连接金属储罐、管道系统和装卸设施，减少局部电势差，减少静电积累的危险。接地装置材料选用铜或镀锌钢，导电率高，具有优良的耐腐蚀性能，以保证导通能力的长期稳定。第二，根据环境湿度、土壤电导率及系统规模来明确接地电阻控制标准，一般是控制于 10Ω 以下为宜。静电泄放能力受到接地极深度及布设方式的影响，对于高电阻率地质条件应该要垂直接地极，对于大面积设施需求则可应用水平接地网。此外，柔性导体或旋转接地装置用于浮顶储罐和移动罐车的接地，以保证动态运行状态下的电接触稳定性。在快速装卸过程中，需要通过电阻限流方式配置自适应电位均衡装置来控制放电速率，避免火花放电。如果环境特殊，接地系统可结合泄放电极阵列，将电荷扩散面积扩增，提高静电耗散效率^[3]。

4.2 静电消除技术

静电消除器是一类用于降低油品装卸及运输过程中静电积聚风险的专用设备，主要依托空气离子化机理，通过释放大量的正、负离子来中和液体或设备表面所携带的电荷，以降低潜在静电放电风险。设备按驱动方式可分为气动型和电气型两类，前者依靠高速气流实现电荷中和，后者利用高压电场分解空气分子形成离子流，从而提升静电消散效率。

第一，气动静电消除器的主要介质是高速气流，利用喷射电流来让空气分子快速出现电荷分裂而形成浓度较高的正、负离子云。为了保证离子的稳定性以及分布的均匀性，需要用到高效喷嘴、导电电极及稳压气源系统等设备结

构。在油品流动时，离子云能够在其表面将带电粒子短时间内中和掉，减少由互相摩擦、介质运动或是界面分离而出现的静电点位。第二，电气静电消除器主要是利用高压电晕放电的作用来加快空气分子电力，从而获得等离子体。为了构建范围较大的静电衰减场需要使用到高压发生器、放电针阵列及离子输送系统等设备核心组件。在离子轰击阶段能够快速吸附或中和静电电荷，从而形成避免介质击穿或因电荷堆积产生火花放电的静电泄放路径。

静电消除器的性能受环境参数、油品特性及设备布局影响，需根据不同装卸工况选择合适的配置方案。设备间距、电场强度、离子浓度及空气湿度均对消电效率产生显著影响，合理优化运行参数可提高静电中和速率，确保油品运输环节的安全性。

4.3 流体电导率控制

轻质油品的电导率通常较低，在流动、装卸及储存过程中易形成静电累积，需通过流体电导率调控措施降低静电荷聚集速率，以减少静电放电风险。电导率调控的核心在于提升油品介质的电荷传输能力，使累积电荷迅速扩散或泄放，从而削弱界面电位差。

首先，提升油品电导率的一项有效途径就是使用导电剂，如金属有机化合物、石墨烯衍生物及功能化离子液体等。将含极性基团的导电改性剂加入油品当中能够使流体体系形成连续的电荷传输通路，在具体应用过程中为了防止对流体理化性质产生不良影响，要求能够根据油品特性及储运工况来合理调整实际导电剂的添加比例。其次，油品中调节含水量，利用微量水分形成分散相，提高体系内离子迁移率，可改变系统微量导电特性，使油品的导电性能得到加强。微乳液结构的构建可以使电荷转移效率进一步提高，并且为了提高整体电导率，经常使用表面活性剂来调节界面张力，使油液内部均匀地分布水相。此外，管材的选用对流体积累电荷的速率有着重要的影响，而低导电材对静电传导的路径能起到有效的限制作用，避免局部区域电荷的迅速聚集。常用聚四氟乙烯、聚烯烃、特种工程塑料管材控制流体系统的静电蓄积特性，使电荷排能力进一步优化，并通过材料表面

改性或复合导电填充物保证油品输送过程中的静电安全。

4.4 控制输送速度

流体在管道系统中的输送速度直接影响着静电荷的累积速率，为了减弱流体剪切对电荷分离的促进作用，需要对流速进行合理的控制。液体在高速流动时会摩擦管壁和内部结构，造成电荷积聚加剧的电子转移现象增多。临界流速的设定为了保证流体处于静电生成的可控范围内，需要综合考虑电导率、粘度和输送介质的环境温度、湿度等参数。输送速度应当根据油品特性与管道参数来实施优化，对流量控制阀或变频调速系统进行调节来维持液体处在低剪切的流动状态。针对不同的工况，为了减少瞬态电荷累积效应，采用阶梯式流速调整模式，让流体先减速再进入高电位差值区域。与此同时还可将缓冲结构，包括低湍流衬里、静电抑制环等设置于管道内部，将流体边界层的剪切梯度降低，进而实现电荷分离速率的下降。此外，为了防止因电荷堆积过多而造成介质击穿或火花放电，还需要在高流速装卸工况下配置静电泄放系统。静电接地网的布设应覆盖所有导电部件，并采用多点接地方式降低电位梯度。导电性软管或抗静电输油管道的应用，可提升系统整体电荷泄放能力，使电位差趋于均衡。

5 结论

总而言之，对于轻质油品这种易燃易爆的危险品，在进行装卸和运输过程当中必须注重防止静电伤害事故通过有效的静电防控技术，如接地、静电消除、流体电导率控制等，可以显著降低静电积聚带来的火灾和爆炸风险，能够有效防止安全事故的发生。

参考文献

- [1] 廖雯煜. 油品储运中的静电危害及防范措施[J]. 中国化工贸易, 2024, 16(15):126-128.
- [2] 栾宇, 席广. 油品储运中的安全隐患及预防措施分析[J]. 中国设备工程, 2023(16):161-163.
- [3] 苏康宁, 何俊, 白玫帛. 成品油库铁路大鹤管装车静电及消除措施[J]. 中国化工贸易, 2023, 15(25):64-66.