

石油储运静电危害与安全防护措施

谢彩明 许爱清 刘玉德 徐江洲（江西省应急管理科学研究院，江西 南昌 330000）

摘要：石油储运过程中，静电危害是引发火灾、爆炸等安全事故的重要因素之一。本文对石油储运过程中静电机理、形式、危害进行分析，从限制静电电荷产生、避免电荷积聚、防止静电火花放电以及避免形成爆炸性混合气体等方面提出安全防护措施，以降低静电危害。

关键词：石油储运；静电危害；安全防护

1 引言

尽管石油及衍生品有很多，但通常具有易燃、易爆炸、易挥发、易产生静电等特性，在输送、装卸、储存过程中，油品与储罐、管道、阀门、操作工具摩擦、碰撞等，容易产生和积聚静电。静电如果不能有效消散，当静电电场能量达到一定程度后，将发生静电放电，引燃石油蒸气与空气形成的可燃性混合物，引发火灾甚至爆炸事故^[1-3]。赵文胜等人对26起罐区典型案例进行分析，发现石油罐区火灾事故静电放电是主要点火源之一，占比达到了26%^[4]。本文将着重分析石油储运中静电危害及安全防护措施，以期防止和减少火灾、爆炸事故的发生。

2 石油储运中静电产生机理及引燃条件

2.1 静电的产生机理及形式

物质的接触与分离、静电感应、带电微粒的附着和介质极化等易产生静电。其中，接触产生电荷起电是静电电荷的主要来源。当两个之前不带电的物质接触时，会在它们的公共边界产生电荷转移，分开后每个表面将携带极性相反的等量电荷。此外，导电性物体在电场中或靠近高电位导体时，会发生静电感应起电。而带电荷颗粒或电离微粒在物体上积聚也会导致物体起电^[5-6]。

油气在储运工程中起电形式多种多样，归纳起来为流动起电、喷射起电、冲击起电、沉降起电、人体静电^[7]。

流动起电：油气沿着管道、输油泵、过滤器流动，在接触面附近油气中形成弥散电荷层，油气相对接触面移动，带离了一些电荷层，引起相反电荷的分离。

碰射起电：在带压输油管线中，油品通过喷嘴高速喷出时，会与喷嘴和空气发生快速摩擦，进而形成喷雾或薄雾状态。油品微粒与喷嘴接触会产生偶电层，分离时油品微粒带走一侧电荷，另一层电荷留在输油管表面，使得油品和输油管带异种电荷。

沉降起电。石油产品中常常含有水、颗粒杂质或气泡，用泵把油水混合物输送到大型油槽时，在混合过程中由于密度差异发生沉降，油品与水滴、颗粒杂质或气泡产生相对运动形成电荷的转移，从而产生静电。

冲击起电：油品快速喷出冲击冲击罐（槽）车、油罐等固体内壁时，会产生飞溅的微小油滴。这些油滴回落并与内壁接触和分离，导致带电油滴和内壁带电。

人体静电：在干燥环境中，穿着化纤衣物的人体因衣物间及衣物与皮肤的摩擦，会导致电荷转移和积累，形成静电。

2.2 静电放电引燃条件

静电放电是一个电能向热能转换的过程，它具备将可燃物质引燃的潜力，因此被视为引发火灾或爆炸的火源之一。静电放电达到油蒸汽的最小引燃能和爆炸性混合气体的浓度在爆炸极限范围内是火灾、爆炸的必要条件^[8]。

3 静电的危害

火灾或爆炸危害。静电所能造成最大的危害在于其可能引发火灾或爆炸。石油产品因其较高的电阻率特性，易于产生静电电荷的积聚，并具有较高的静电放电几率。当这种静电积聚达到一定程度并发生放电，产生电火花时，若所处环境存在可燃油品液体挥发出的可燃气体与空气形成的爆炸性混合物，如油库储罐、管道等场所，便极易发生火灾事故，甚至可能进一步引发爆炸事故^[9]。

电击伤害。当人体与带静电体或金属物体靠近时，有可能会遭遇静电电击，其危害包括直接伤害、二次伤害和精神紧张。虽然电击能量较小，不会造成直接伤害，但可能因刺痛感导致二次伤害，如高处坠落、机械伤害。长期处于静电辐射的环境下，个体可能会遭遇一系列不适症状，包括精神紧张、焦躁不安以及胸闷等。

影响设备运行和产品质量：静电不仅可能干扰仪

器设备的稳定运行，还可能对石油产品的质量造成负面影响。当静电放电释放其能量时，这种能量足以对计算机、生产控制仪表以及安全控制系统中的元件造成损害，进而可能引发误操作、系统失效乃至安全事故。

4 静电安全防护措施

输送易燃物料时可能发生静电火花，甚至在清洗设备时也会产生静电，如设备、管道未设置静电接地装置，静电未能及时导除，可能因放电产生电火花，进而引起火灾、爆炸事故。

为避免静电事故的产生，我们从不同角度出发，设计了许多预防措施。然而，并非所有措施在每种情况下都适用。对于石油储运而言，有限制静电电荷产生、避免电荷积聚、防止静电火花放电以及避免形成爆炸性混合气体等。只要能够成功控制这些环节，就能显著降低静电火灾的风险，不致引起火灾事故。

4.1 限制静电产生

控制静电的产生主要是控制工艺过程和合理选择工艺过程所用的材料：

限制油品的流速。易燃液体在输送过程中，若速度过快，液体与管道摩擦产生静电，静电积聚到一定程度达到易燃物质所需的最低活化能时，则会产生爆炸。静电的生成量与油品在管道内的流速密切相关，具体表现为流速的二次方成正比关系，当流速降低时，油品与管道壁之间的摩擦程度会相应减弱，从而减少静电的生成。通过限制泵送率或增加供油管线直径，限制罐体供油管线的线下性速度。一般注油初期流速应限制在 1m/s 以内。通过底部入口或延伸至接近罐底的注管注入以避免飞溅，在可燃性环境总必须使用罐体上部的短注管，则降低流速至 2m/s 以下，并附加预防措施。

控制设备材料和结构。优先选用内壁光滑且由优质金属材料制成的输送管道，以减少静电产生的机会。同时，尽量减少管线中的弯头和阀门数量，以降低静电累积的风险。

当油品流经过滤器时，静电的生成量会显著上升，约为管道中自然生成电量的 10 至 200 倍。因此，在选择过滤器时，需格外注意滤网面积与滤芯数量的合理配置，以控制静电的过量产生。此外，油槽的制造材料也应符合高标准，优选高质量的钢板以确保其导电性与耐腐蚀性。对于易受腐蚀的设备内表面，可采用先进的喷涂耐腐蚀金属或涂镀耐腐蚀材料等技术，以延长设备寿命并降低静电危害。液化烃、可燃液体泵不得使用皮带传动，在爆炸危险区范围内的其他转动设备若必须使用皮带传动时，应采用防静电皮带。

控制装油方式。在装油时，为控制静电电荷分散，推荐从较低位置注油，使静电电荷均匀分布，降低积聚风险。避免从油箱上端直接注油，以防油雾、静电积聚及起雾等危险。若必须顶部装油，应在油箱内安装油管或设置低处引流管，并确保其接近油箱底部，以抑制发泡并减少静电生成。

4.2 避免电荷积聚

静电接地是国家和行业标准中明确的防止静电危害的主要措施之一，避免静电电荷的积聚，应采取措施让静电泄漏、放电、中和，从而使电荷部分或全部消失。

静电接地、跨接。在防止静电积聚的策略中，我们需确保所有与石油有直接接触的金属设施，包括但不限于储罐与管道，均稳固地实现与地面的电性连接。固定设备的外壳，应进行静电接地。此外，针对石油天然气管道中的法兰连接部位，我们应避免使用可能阻碍电荷流动的绝缘塑料垫圈，应采用导电性能优异的垫圈材料。当长金属物的弯头、阀门、法兰盘等连接处的过渡电阻大于 0.03Ω 时^[10-11]，连接处应用金属线跨接。对于不少于 5 根螺栓连接的法兰盘，在非腐蚀环境下，可不跨接。当金属法兰采用金属螺栓或卡子紧固时，一般可不必另装静电连接线，但应保证至少有两台螺栓或卡子间具有良好的导电接触面。

转动物体的接地：可采用导电润滑脂或专用接地设施进行接地。容易积聚电荷的皮带或传送带，宜采用导电橡胶制品。设备内部的各部件之间的活动连接或滑动连接等部位，应保持其接触电阻值在 1000Ω 以下。

足够的静置时间。在泵、流量计、混合器、过滤器等能够引起流体扰动的设备下游，保持足够的停留时间。油罐、槽车在灌装、卸油、加油站在油罐车静置进行静电释放 5min 后，方可静计量、取样和卸油等相关作业^[12]。

添加抗静电剂。在油品中添加静电耗散添加剂，提高油品导电性，可以有效地促进静电耗散。当油品中添加剂浓度大约百万分之几时，就能轻易将电导率提高至可防止电荷产生危险积聚的水平。

4.3 避免静电放电

在制造和检修储油罐、油罐车时，必须确保内壁无凸出物遗留，以防静电感应引发金属尖端产生火花放电。在保障储油罐安全及作业规范性的前提下，需确保油品液面上无任何未实施接地的导电性漂浮物存在，以防范潜在的静电放电风险。

此外，当执行油品检测作业时，若需采用金属材质的工具，务必遵循安全操作规程，确保工具的有效接地，以防止因工具本身成为静电放电的媒介而引发不良后果。务必将设备接地，并尽可能选择具备防静电能力的工具。此外，在储油罐灌装进行过程中，严禁进行取样、测温等与油品直接接触的操作。装置区及罐区进入口安装本安型静电释放装置。

4.4 避免形成混合性爆炸气体环境

预防泄漏与扩散。各装置、罐、阀门等因安全阀等安全附件失效，导致易燃物料等泄漏。应确保设计安装过程严格遵循规范要求，在作业过程中严格遵守操作规程。除此之外，还需要定期对设备设施进行细致的检查维修工作，以确保油罐、油管、阀门以及油桶等关键部件无油气泄漏与扩散的风险。

配备惰性气体系统。为确保油库储油罐的安全，采用惰性气体系统作为防护措施，该系统通过向罐内注入氮气、二氧化碳或经过净化的烟道气等惰性介质，有效调控罐内混合油气中的氧浓度，从而预防潜在的安全风险。

加强通风处理。在可燃易挥发油品卸载完成后，务必进行储罐的清理和通风工作，以确保残留的可燃性油品和油蒸气被彻底清除。同时，要特别注意泵房、灌桶间以及桶装库房的通风情况。对于油蒸气容易聚集的地点，例如洞库、离壁式覆土油罐、半地下泵房等，应采用机械通风方式来加强通风效果^[7]。

4.5 防止人体带电

在存在爆炸危险的场所，作业人员应当穿着专门的防静电工作服和防静电鞋。同时，禁止在这些场所以内穿脱衣物、帽子或类似物品。应在甲、乙和丙A类液体作业的泵房门外、储罐的上罐扶梯入口与采样口、装卸作业区内的操作平台扶梯入口、码头上下船的出入口和外浮顶储罐浮顶上取样口的两侧1.5m之外设置人体静电消除装置^[13]。

油气储运操作人员（如管理员、计量检查员、检修人员）进入安全管控区域前，必须进行静电处理，使用静电消除器将人体静电导入大地，在部分特殊区域，除了静电处理外，还需穿戴静电服进行额外防护，确保人体静电得到有效处理，以降低火灾隐患。

4.6 加强组织管理

强化组织管理是静电安全防护关键，完善静电管理制度和操作规程、检测方法，以及确立工具及防护装备标准。同时，加强现场安全监测管理，确保现场安全。加强人员的培训。需定期安排油罐区防静电知

识的学习，利用教学视频、班组课堂、知识讲座、考试等多种形式，巩固提升操作人员的专业知识。为了提升应急处理能力，结合事故案例分析，编纂应急处置方案，并开展应急演练，增强操作人员在紧急情况下的应对能力。增强防静电意识。通过定期举办防静电知识技术讲座，并利用企业公众号等网络平台进行广泛宣传，使操作人员时刻保持对静电灾害的警惕性，绷紧安全生产这根弦，共同为防范静电灾害贡献力量。

5 结束语

在石油储运的复杂环境中，静电的生成机理及形式多样，涵盖了流动起电、喷射起电、冲击起电、沉降起电以及不可忽视的人体静电等多个方面。鉴于静电可能带来的严重危害，本文聚焦于静电放电的引燃条件，旨在从这一核心角度出发，提出静电安全防护措施，以期降低石油储运静电危害。

参考文献：

- [1] 曹冬平.石油库静电危害及预防分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(05):135-137.
- [2] 戴丽平,马端祝,董彬彬.油品装卸作业静电产生机理与安全评价[J].化工安全与环境,2022,35(36):19-24.
- [3] 马玉衡.石油库的电气安全隐患及防护措施[J].化工管理,2020,(25):109-110.
- [4] 赵文胜,任常兴,王丽,等.石油罐区点火源引燃特征及防控策略研究[J].消防科学与技术,2018,37(08):1024-1027.
- [5] 石油化工静电接地设计规范:SH/T 3097-2017[S].
- [6] 国家市场监督管理总局.爆炸性环境第26部分:静电危害指南:GB/T 3836.26-2019[S].
- [7] 郭雅梅.储油罐灌装过程静电分布数值模拟分析与安全评价[D].中国石油大学(北京),2018.
- [8] 王春俊.石油静电火灾事故的原因及预防措施[J].化工管理,2020,(31):132-133.
- [9] 王辉.油库区人体静电的危害与防护[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(16):132-133.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.石油与石油设施雷电安全规范:GB 15599-2009[S].
- [11] 张延堂.油气管道四孔法兰间金属垫跨接防静电线论述[J].设备管理与维修,2020(3):27-29.
- [12] 王玉贺.石油储运中的静电与防止[J].油气储运,2023,12(3):3-4.
- [13] 宋广成.石油产品储运系统的静电及其消除[J].油气储运,2022,5(006):10-17.