

化工管道静电产生与控制措施

曲振斌（大连百傲化学股份有限公司，辽宁 大连 116031）

摘要：石油化工工业中的静电大多产生于油品在管道内的流动，油品沿管流动时管壁带有一种极性的电荷，油品则带有相反极性的电荷。在相同流动条件下，电导率在1~10pS/m范围内的油品，如汽、煤、柴等，会带有较多电荷。管道内油品带电一般没有危险，但带电油品流入受油容器后，便在油面与充满油蒸气的容器壳体间形成电位差，当电位差足够发生放电时，就可引燃油蒸气造成爆燃。为防止静电积累所引起的人身电击、火灾和爆炸、电子器件失效和损坏，以及对生产的不良影响而采取的防范措施。其防范原则主要是抑制静电的产生，加速静电的泄漏，进行静电中和等。

关键词：静电；火灾；爆炸；防范措施

1 引言

我国早期对于防静电的研究工作开始于60年代末。相比于欧美日等发达国家，我国防静电行业的起步还是滞后的。

2 静电的产生

当两种材料接触然后分离时，接触面获得净电荷，一个带负电，另一个带正电。

2.1 接触（摩擦）起电

接触起电是指异质材料互相接触，由于材料的功函数不同，当两种材料之间的距离接近原子级别时（约25埃），会在接触的两个表面上产生电荷，从而形成带电体的现象。

2.2 感应（非接触）起电

感应起电是物体在静电场的作用下，发生了的电荷上再分布的现象。

3 导体 / 绝缘体

3.1 导体

导电的 - 能允许电荷流动；液体导电率大于104pS/m（微微 - 西门子每米）或固体电阻率小于105Ω/m。

3.2 亚导体

静电消散，能以可接受的速率消散静电电荷（电荷生成速率低于电荷消散速率）。

3.3 绝缘体

能阻止电荷流动。

	导体	亚导体（静电消散）	绝缘体
液体	> 104pS/m	> 102-104pS/m	> 102pS/m
固体	> 105Qm	> 105-109Qm	> 109Qm

3.4 静电场及放电

静电放电 - 随着带电物体的电荷密度增加（或距离靠近，静电场的场强增加，电场强度达到介质的击穿场强时，介质将被击穿，此时将形成一个非常低电

阻的等离子通路，电荷及能量大量释放并且被中和。

空气的击穿场强 $E=3 \times 10^6 \text{V/m}$

如静电放电时，可燃物与助燃物的浓度在燃爆度范围内，可能导致可燃物被点燃，并且传播爆炸，静电放电的点燃能力主要取决于以下因素：

- ★电荷量 / 电荷密度
 - ★电容大小
 - ★放电类型
 - ★可燃物的点火能量
- } 放电能量

3.5 最小点火能

可燃材料的最小点火能为理想条件下使用电容火花点燃具有最佳浓度的材料所需的最小点火能量。

Atmosphere 环境	Material 物质	Minimum Ignition Energy (mJ) 最小点火能
蒸汽 / 气体	丙醇	0.650
	乙酸乙酯	0.460
	甲烷	0.280
	甲醛	0.140
	乙炔	0.017
	氢	0.016
粉尘云	聚氯乙烯	1500
	锌	200
	小麦粉	50
	糖	30
	硫	15
	铝	10
	锆	5

3.6 火花放电

导体与导体之间的放电带电物体的全部能量会被释放出来能量：

$$W=0.5 \times C \times V^2 \text{ 或 } W=0.5 \times Q \times V$$

足够点燃气体、蒸汽及粉尘的爆炸性环境

带电物	电容 (pF)	储存能量 (mJ)
单个螺丝	1	0.01

法兰直径 100mm	10	0.50
铲	20	2.00
容器 (ca 50L)	50	2.00
漏斗	50	6.00
桶 (ca 200L)	200	40.00
人	300	15.00
公路槽车	1000	100.00

3.7 跨接及接地

3.7.1 固定设备

危险区域的金属导体应接地，接地电阻标准：

全金属连接： $< 10\Omega$ （中国国标为 $< 100\Omega$ ）。

旋转，移动及导电性（塑料）材料连接的部位： $< 10^6\Omega$ （ $1M\Omega$ ）。

通常使用兆欧表进行接地验证。

接地方式通常为对金属外壳或连接在外壳的金属支架上进行接地，直径大于或等于 2.5m 及容积大于或等于 $50m^3$ 的设备，其接地点不应少于两处，接地点应沿设备外围均匀布置，其间距不应大于 30m。

有振动性的固定设备，其振动部件应采用柔性的铜芯软绞线接地。

如设备上的金属部件与已经接地的金属外壳隔离，应通过跨接或接地的方式形成等电位接地装置应清晰可见。

3.7.2 移动设备

移动物体优先考虑“被动接地”，即采用金属碰金属的固定扣的方式连接实现接地（不依赖接地或跨接线）。

操作人员应知晓其目的，应在操作移动装置前连接接地线。应使用一个可以穿透油漆、腐蚀产物与沉积物、具有硬化钢点的夹子完成固定。对关键容器、部件等可以考虑采用接地验证及联锁系统。

3.7.3 管道系统

危险区域内的金属管道都应接地（通过金属连接或跨接）。

金属法兰采用金属螺栓或卡子相紧固时，一般情况可不必另装跨接线，在安装前需去锈和除油污（应保证至少有两个螺栓或卡子间的接触面），直接判定标准为电阻值不超过 0.03Ω ；辅助检验标准为管道系统的对地电阻值不超过 100Ω 。

对于静电接地及跨接线的截面积大小没有要求，但需考虑机械强度及腐蚀环境影响。

非强腐蚀环境，跨接线不宜采用胶皮包裹，防止断裂后不能及时发现。

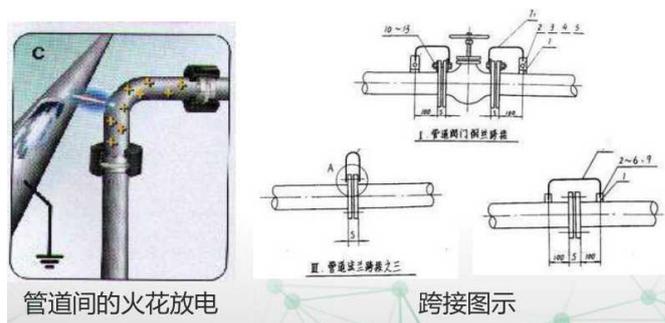
当不少于 5 根螺栓连接时，在非腐蚀环境下可不

跨接，但应构成电气通路。

重复接地要求：长距离无分支管道应每隔 100m 接地一次。平行管道净距小于 100mm 时，应每隔 20m 加跨接线，当管道交叉且净距离小于 100mm 时，应加跨接线。

绝缘管道上的金属法兰、阀门等需接地。

接地需覆盖管道系统上的所有金属物体，防止形成孤立导体。

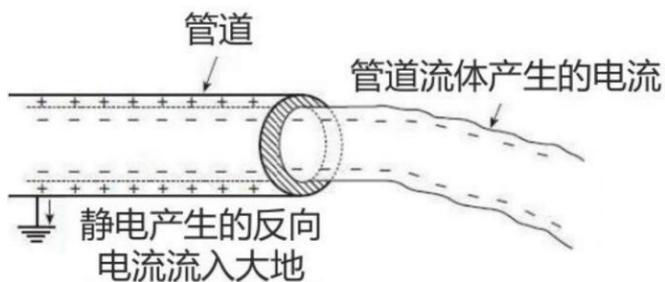


3.8 人体静电的检测及控制措施

正常活动时，人体所带的电势可达到 10~15kV，且可能产生的火花能量可达到 20~30mJ，可使用防静电鞋、鞋跟带或手环。操作人员站立处地板 / 表面的电阻也应小于 $108\Omega/m^2$ ，人体的对地电阻应在以下范围内：

$$1 \times 10^6\Omega (1M\Omega) < R < 1 \times 10^8\Omega (100M\Omega)$$

3.9 静电危害 - 液体



静电危害在进行各种液体作业如装料、取样、过滤与混合时出现。液体的导电率显示其是否能保持静电电荷。

	高电导率	中等电导率	低电导率
液体	$> 10^4 pS/m$	$10^2 - 10^4 pS/m$	$< 10^2 pS/m$

典型液体的导电率

Liquid 液体	Conductivity 导电率 (pS/m)	Comment 评述
丙酮	6×10^6	导电率高
乙酸	5.0×10^5	导电率高
乙酸乙酯	2.9×10^4	导电率高
甲醇	4.4×10^7	导电率高

乙酸丁酯	4300	导电率中等
异丙醚	500	导电率中等
甲苯	< 1	导电率低
汽油 (无铅)	< 50 (varies) 可变	导电率低
二甲苯	0.1	导电率低

3.10 液体的静电防护措施

针对所有电导率的液体，以下三点可减少静电点火危险：

①使用接地的导电装置：装置所有元件包括管道和容器应是导电的和/或具有静电消散功能并接地；操作人员也应接地；

②提高液体导电率：以很小的浓度使用抗静电添加剂以提高液体的导电（一般为 ppm 级的浓度）；

③避免形成飞溅进料：采用内插管并在初始的向容器进料的时间内，控制流速（1m/s）；

④避免形成飞溅进料：将一根接地导电进料管一直延长到容器底部 25mm 处用于将液体输送到容器中，或从容器底部进料。进料口以大约 45 度方向切割进料管，且应将其一直保持在液面下直到容器充满。过一根短进料喷嘴向下流入容器内壁；

⑤流速控制（针对导电金属容器）：导电率大于 100pS/m 的液体，无流速限制（需避免形成飞溅进料）。导电率小于 100pS/m 的液体，无不可混溶组分，流速应小于 7m/s（沿容器壁下流，流速小于 2m/s）。导电率小于 100pS/m 的液体，含不可混溶组分，流速应小于 1m/s。

3.11 静电消散的等待时间

绝缘体产生静电的对地消散速率较慢，应等待足够的时间，使绝缘体上的静电消散至安全范围：

在槽车进入灌区停止后，或液体进料结束后，将对槽车进行取样；在储罐、反应釜、桶等容器液体进料后，将对容器进行取样或伸入液面附近进行探测；在过滤、离心等固液分离工艺结束后，将打开设备进行人工操作时；等待时间要求：槽车：最少 2min；大型容器（> 40m³）：通常最长不超过 30min；其他容器：3 倍弛豫时间常数，通常不超过 5min。

注：此要求不适用于高粘度的液体或容器内有大量雾滴的场景，其等待时间可能更长；缺少接地通路的容器的等待时间也会更长。

3.12 绝缘管道及容器

因为绝缘（塑料）容器不能接地，采用绝缘管道及容器的加工场景，如可能形成爆炸性气体氛围，建议进行详细的风险评估，以下为可供参考措施：

①考虑导电性或亚导体材料；

②涉及的导体全部接地，并且避免导体靠近液面或具有高电荷密度的绝缘表面（火花引发物）；

③应在液体与地面之间设置导电消散路径。对于导电液体，此路径可能为接地金属进料管或几乎延长到容器底部的进料管；

④对于导电率低的液体，需要辅助接地，这取决于容器的尺寸与液体的导电率；

⑤如在进△接收容器前，没有任何对地消散静电的渠道，建议管道流速不高于 1m/s；

⑥容器内进行连续的惰性气体保护，以消除氧化剂；

⑦在容器开口处设置局部排风（LEV），以减少可燃物的浓度。

4 综述

化工企业的安全生产管理者和技术人员应重视静电在实验中和化工生产中的危害，把静电的危害通过合理的安全措施给予消除，从而保证企业安全生产，避免事故的发生。

参考文献：

- [1] 陆瑛. 化工生产静电安全防护 [J]. 化工技术与开发, 2013(01).
- [2] 褚鼎俊, 钟彩浚, 吴静超. 基于批控器实现液体装卸作业静电安全的控制方案 [J]. 化工自动化及仪表, 2022(05).
- [3] 杨红. 试论静电安全新技术在化工行业的应用 [J]. 黑龙江科技信息, 2015(23).
- [4] 杨虎林, 李海庆. 静电安全新技术在火、化工行业的应用 [J]. 安防科技, 2007(12).
- [5] 晓芯. 秋冬, 请警惕静电“杀手”! [J]. 安全与健康, 2020(12).
- [6] 王艳平, 崔岗. 我国工业静电安全防护措施的有效性与经济性探讨 [J]. 电气时代, 2011(06).
- [7] 邵尧燮. 《橡胶工业静电安全规程》即将实施 [J]. 劳动保护, 1984(12).
- [8] 刘强, 纪新建. 浅谈加油加气站的防雷防静电安全检测 [J]. 中国安全生产科学技术, 2009(05).

作者简介：

曲振斌（1983-），男，汉族，辽宁大连人，学士，工程师，主要研究：化工安全和安全工程、企业安全管理。