



# 油码头静电危害及预防

# 主要内容

---

- ◆ 相关的国际规则及国内标准
- ◆ 静电的基本原理
- ◆ 静电的危害
- ◆ 油码头产生静电的工艺流程
- ◆ 静电事故案例视频
- ◆ 静电危害的预防
- ◆ 案例分析

## ◆ 相关的国际规则及国内标准

---

- 《国际油轮与油码头安全指南》（ISGOTT）
- 《石油库设计规范》（GB 50074）
- 《防止静电事故通用导则》（GB 12158）
- 《液体石油产品静电安全规程》（GB 13348）
- 《石油与石油设施雷电安全规范》（GB 15599）
- 《建筑物防雷设计规范》（GB 50057）

# 为什么要关注静电危害……

---

- 静电放电火花是码头主要潜在的点火源之一
- 大部分火灾和爆炸事故都是由于防静电设施维护不到位及转运操作不当引起的
- 静电的潜在性危害往往被忽略

# 为什么要关注静电危害……

---

## 静电事故案例一：静电爆炸导致人员死亡

### 事故简介：

一辆汽车罐车在汽车站装甲苯。操作人员将聚丙烯滤袋绑在装车臂的出口处，以便除去铁锈等固体颗粒。装车过程中发生爆炸，汽车罐车和汽车站被烧毁，一名操作人员死亡

### 事故原因：

甲苯属于高度易燃且易积聚静电的产品，在装车臂末端使用聚丙烯滤袋产生静电，静电放电导致爆炸。

# 为什么要关注静电危害……

## 静电事故案例二：静电爆炸

### 事故简介：

汽车罐车在码头装Isopar V，它是一种不易燃的静电积聚产品。操作员将接地线和泵连接。泵出口经过一个移动式的过滤器和8米长的软管。汽车罐车内残存一种高度易燃产品。在装货大约7400升后，汽车罐车发生爆炸，一股蓝色火焰从罐车的顶部闪现出来。事故造成车舱结构性损坏，幸运的是没有人员受伤。

### 事故原因：

Isopar V是一种不易燃的易积聚静电产品，但车内存有高度易燃蒸气，8米长的软管没有给Isopar V足够的滞留时间释放静电，静电放电导致爆炸。

# 为什么要关注静电危害……

## 静电事故案例三：静电爆炸着火

### 事故简介：

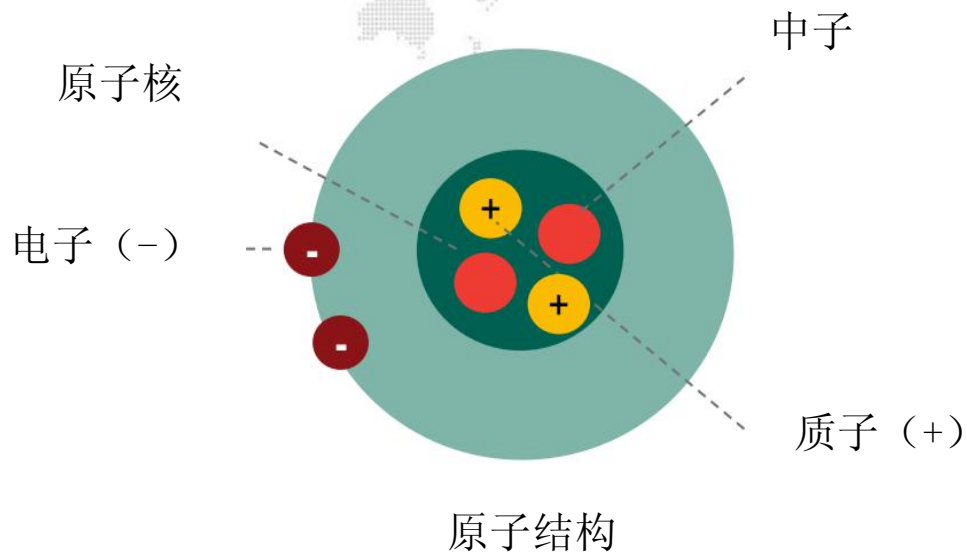
一个装有柴油的内浮顶储罐出油后液位过低，浮盘落地。此后该储罐收油过程中发生爆炸着火事故。爆炸导致储罐被撕开，柴油溢出在防火堤内着火，幸运的是没有引燃其他储罐，没有造成人员伤亡。

### 事故原因：

浮盘落地后在浮盘与柴油液面之间进入空气。上游装置操作波动，进入事故储罐的柴油中轻组分含量增加，在浮盘下方形成爆炸性混合气体，加之进油流速过快，产生大量静电，静电放电产生火花，引发爆炸着火。

## ◆ 静电的基本原理

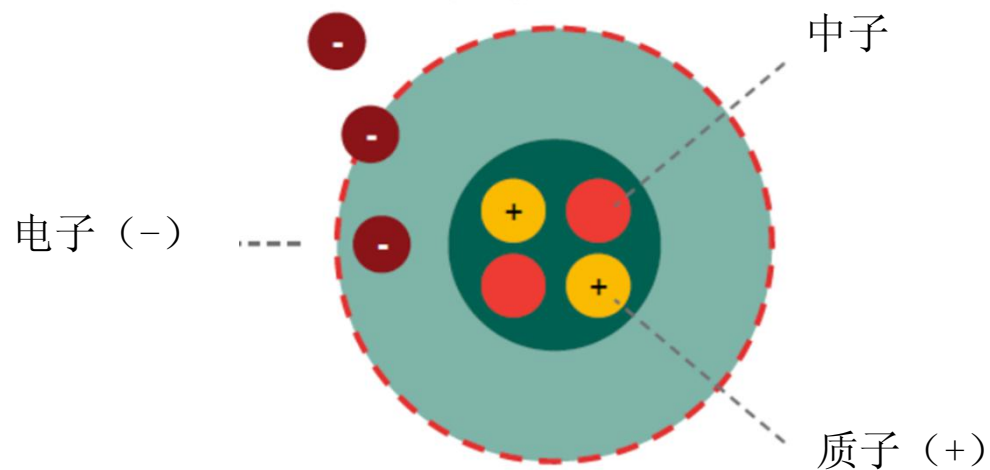
- 物质都是由分子或原子组成
- 原子由原子核和电子组成
- 原子核由质子和中子组成
- 质子与电子数量相等，电荷相反
- 质子带正电，电子带负电





# ◆ 静电的基本原理

如果原子失去电子……



原子结构

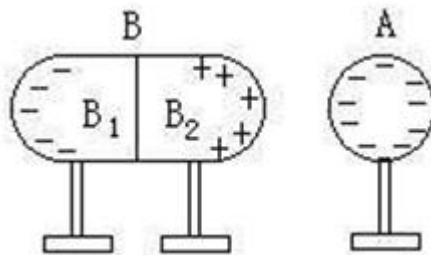
## ◆ 静电的基本原理

### 物体为什么会带电……

-两种性质不同的物体紧密接触/摩擦后，电子从一个物体转移到另一个物体。两个物体分离后，它们就分别带有相反的静电荷



-导体靠近带电体，导体中的自由电荷趋向或远离带电体，从而导体两端分别带有相反的静电荷



## ◆ 静电的基本原理

### 静电产生到放电的三个阶段：

#### 1. 电荷的分离

-不同电导率的两种物质紧密接触/摩擦

#### 2. 电荷的集聚

-带电物体被分离后，各自持有电荷

-物质电导率越低，带电越慢，释放静电越慢

-如果带电的导体被绝缘，其释放静电就慢

#### 3. 电荷的释放

-带电物体接触放电，产生火花

## ◆ 静电的基本原理

绝缘体、导体对电子的束缚不同……

### -绝缘体

原子核对电子束缚力强，电子不易自由地移动。例如塑料、玻璃、干燥的空气……，它们是能积聚静电的物质，其电阻率低，即电导率高

### -非绝缘非导体

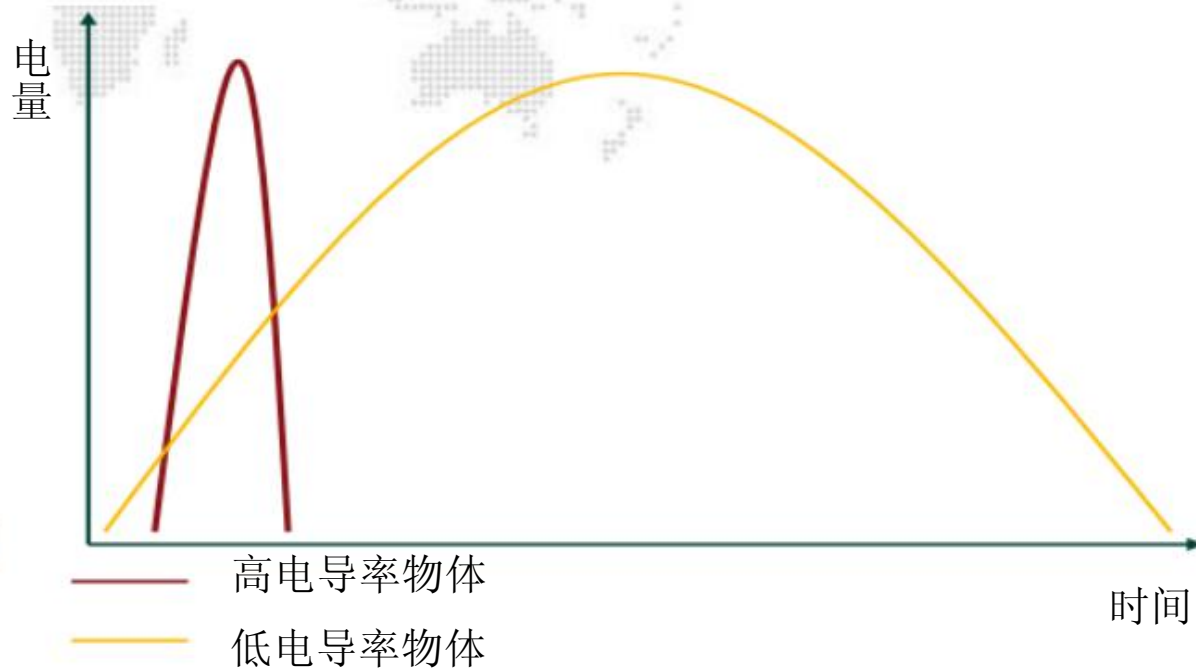
对电子的束缚力处于导体和绝缘体之间，电子可以较自由移动，例如精炼的油品、苯、煤油……，它们是易积聚静电的物质

### -导体

对电子的束缚弱，电子可以自由移动，例如金属……，它们是不易积聚静电的物质，其电阻率高，即电导率低

## ◆ 静电的基本原理

物体电导率不同其带电和放电快慢不同……



# ◆ 静电的基本原理

## 油码头液体产品的电导率分类表

导电性分类	产品举例	电导率 (pS/m)	释放时间 (s)
低电导率产品 (电导率<50pS/m)	高纯度石蜡烃	$10^{-2}$	2000
	典型石蜡烃	$10^{-1}$ -10	2-2000
	甲苯、二甲苯等	$10^{-1}$ -10	2-2000
	典型芳香族化合物	5-50	0.4-4
	汽油	$10^{-1}$ -100	0.2-200
	煤油	$10^{-1}$ -50	0.4-200
	轻油	1-100	0.2-20
	白油	$10^{-1}$ -100	0.2-200
	润滑油	$10^{-2}$ -100	0.02-2000
	醚	$10^{-1}$ -100	0.2-200
中等电导率产品 (50-1000pS/m)	带有抗静电涂料的燃料和油	50-1000	0.02-0.04
	重油	50-100000	$2 \cdot 10^{-4}$ -0.4
	酯	100-1000000	$2 \cdot 10^{-5}$ -0.2
高电导率产品 (>1000pS/m)	原油	>1000	<0.02
	醇	>1000	$2 \cdot 10^{-7}$ - $2 \cdot 10^{-5}$
	酮	$10^6$ - $10^8$	$2 \cdot 10^{-7}$ - $2 \cdot 10^{-4}$
	水	$10^5$ - $10^8$	< $2 \cdot 10^{-7}$

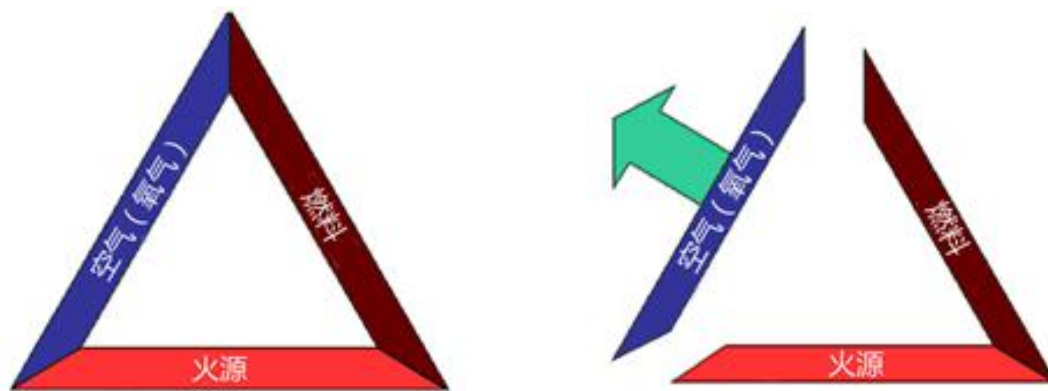
# 燃烧/爆炸基本知识

## 燃烧的基本原理：

-燃烧是可燃物（燃料）与助燃物（氧气）在点火的条件下发生的发光、发热过程，燃烧一个化学反应过程

-燃烧三要素（火三角形）

燃烧/爆炸必须具备可燃物（燃料）、助燃物（氧气）、点火源三个条件

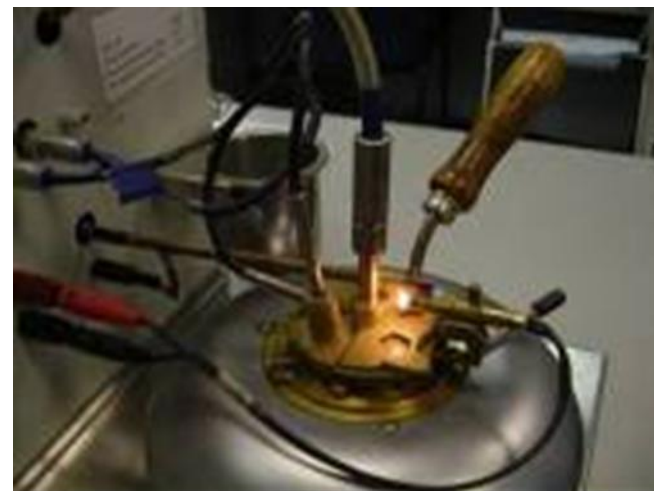




# 燃烧/爆炸基本知识

## 闪点:

- 易燃液体挥发出来的蒸气与空气形成混合物遇火花能发生闪燃的最低温度称为闪点。分为开杯闪点和闭杯闪点
- 闪点是划分火灾危险性，并对易燃液体进行分类的依据
- 易燃液体处于或高于其闪点温度时，当有氧气供应和点火源存在时就会燃烧/爆炸





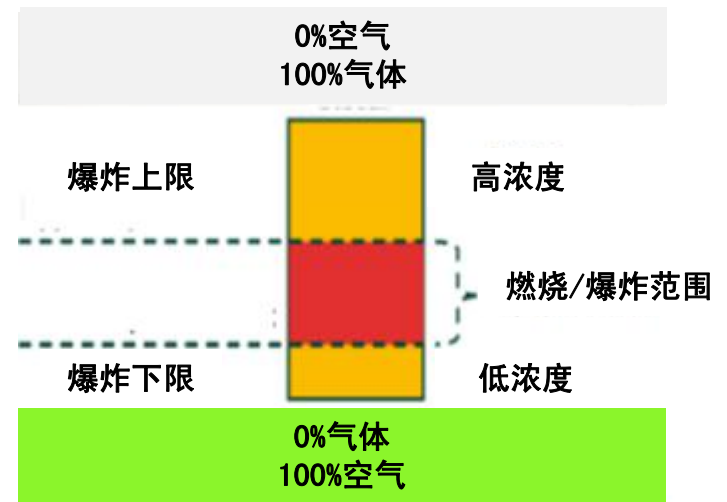
# 燃烧/爆炸基本知识

## 爆炸极限：

-可燃气体/蒸气在空气中能够产生爆炸的一定浓度范围称为爆炸极限。爆炸的最低浓度称为爆炸下限，爆炸的最高浓度称为爆炸上限

-可燃/易燃液体挥发出来的气体浓度处于爆炸极限内时就会燃烧/爆炸

-氧气含量小于8%的惰性环境是相对安全的



## ◆ 静电的危害

### 静电的主要危害：

#### 1. 静电放电引起火灾或爆炸

-静电积聚到一定程度并在一定的条件下放电产生火花，在可燃液体场所引起火灾或爆炸，在爆炸性粉尘场所引起爆炸

#### 2. 影响生产或损坏设备

-粉状固体物料因静电导致吸附在设备表面或聚集，影响过滤、输送等化工单元过程的操作

-电器元件因静电放电导致损坏

#### 3. 电击

人体静电放电或人体接触带电体会受到电击。电击即使不会致命，也会导致恐慌，并由此引起高处坠落、误操作等次生事故

## ◆ 静电的危害

---

油码头发生静电燃烧/爆炸危害的基本条件:

- 产生静电的转运操作
- 电荷分离并集聚到一定的电位
- 足够能量的静电放电火花
- 火花发生在易燃易爆环境中

# 油码头产生静电的工艺过程

---

## 油码头产生静电的操作：

- 液体产品在管线内流动
- 液体产品通过泵、过滤器等
- 液体产品中的杂质-水滴、锈、沉淀物或其他颗粒物在液体中沉降
- 固体或不溶于液体的液体在液体中的沉降
- 气泡通过液体内上升
- 从喷嘴喷出液体、液体冲撞固体表面
- 液体的喷溅和搅动

.....

# 油码头产生静电的工艺过程

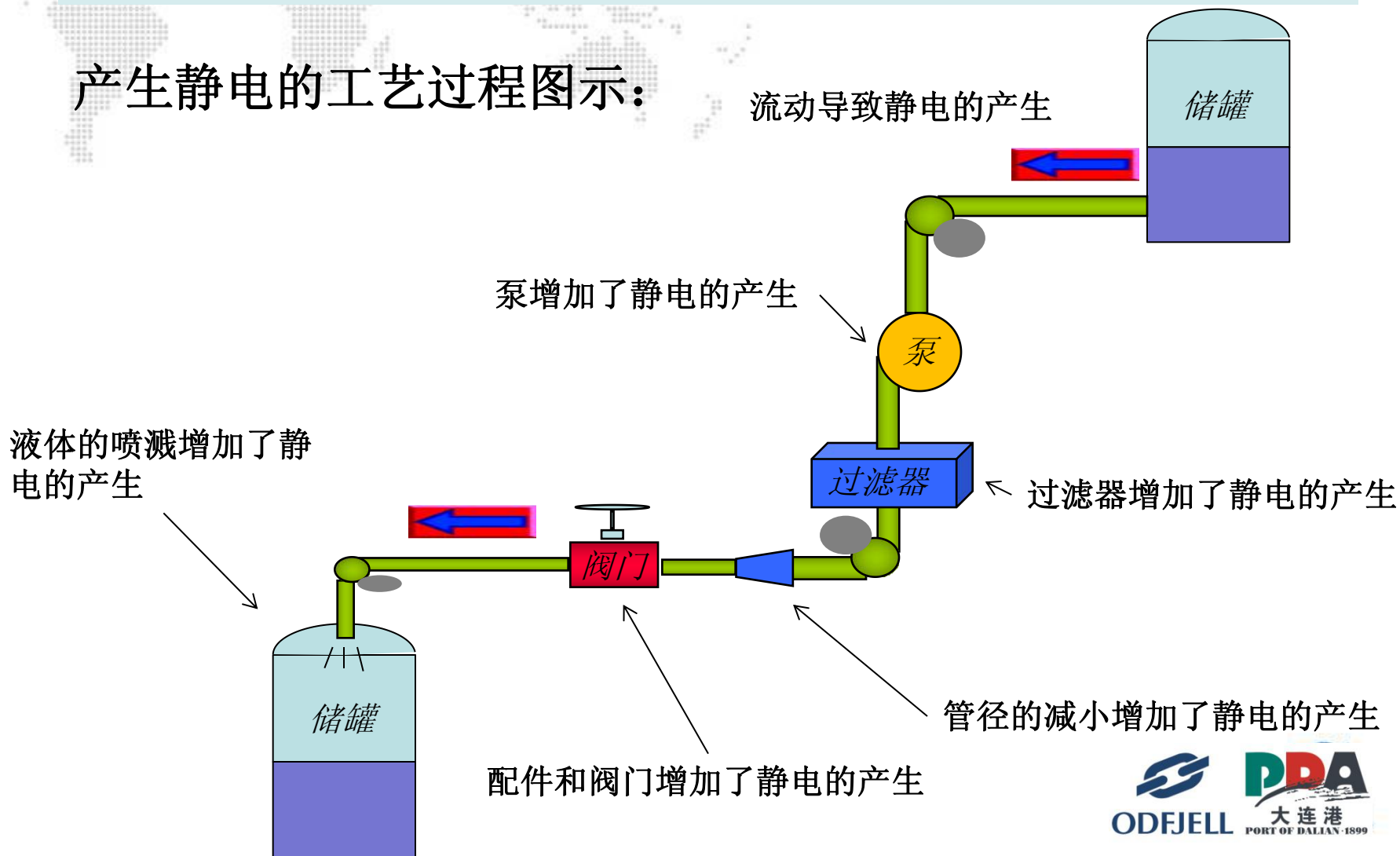
---

下列情况会有较高静电电荷产生：

- 过滤器
- 泵
- 低导电性液体
- 小管径管线
- 液体产品存在水、气体及其他颗粒物质
- 喷溅装货
- 快速装卸、搅拌、混合
- 非导电的固体材料和涂层的摩擦

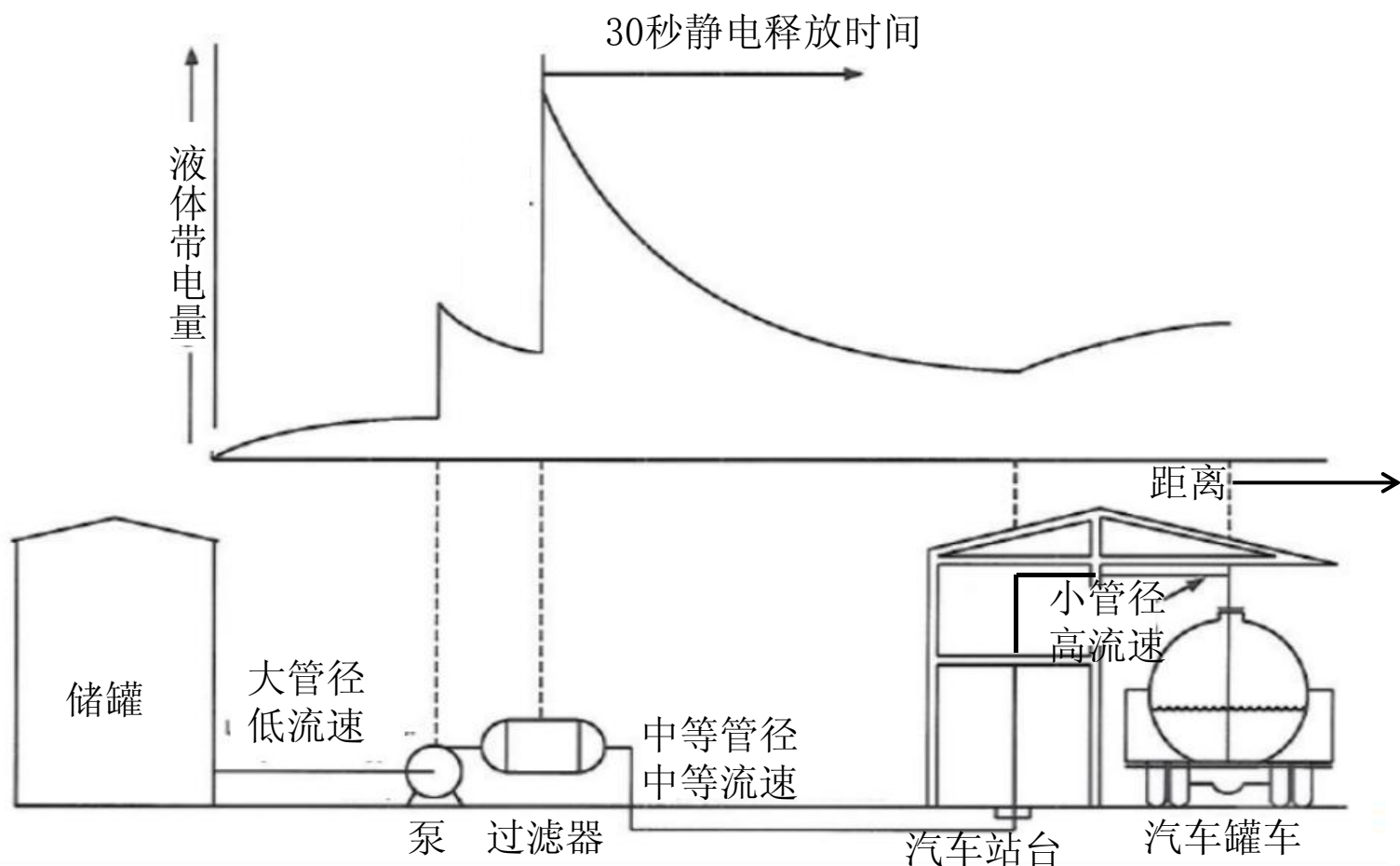
# 油码头产生静电的工艺过程

产生静电的工艺过程图示：



# 油码头产生静电的工艺过程

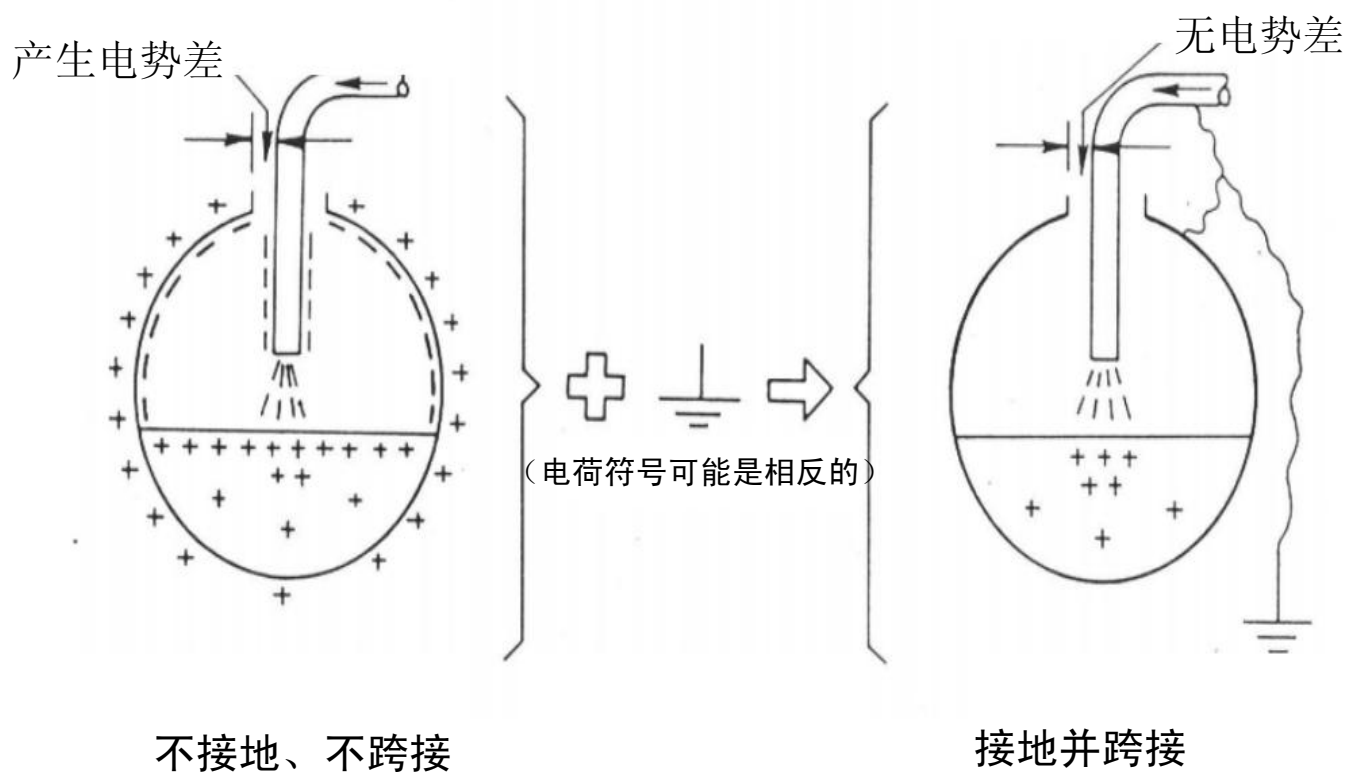
## 装汽车罐车过程中静电的产生：





# 油码头产生静电的工艺过程

## 装汽车罐车过程中接地/跨接的效果:

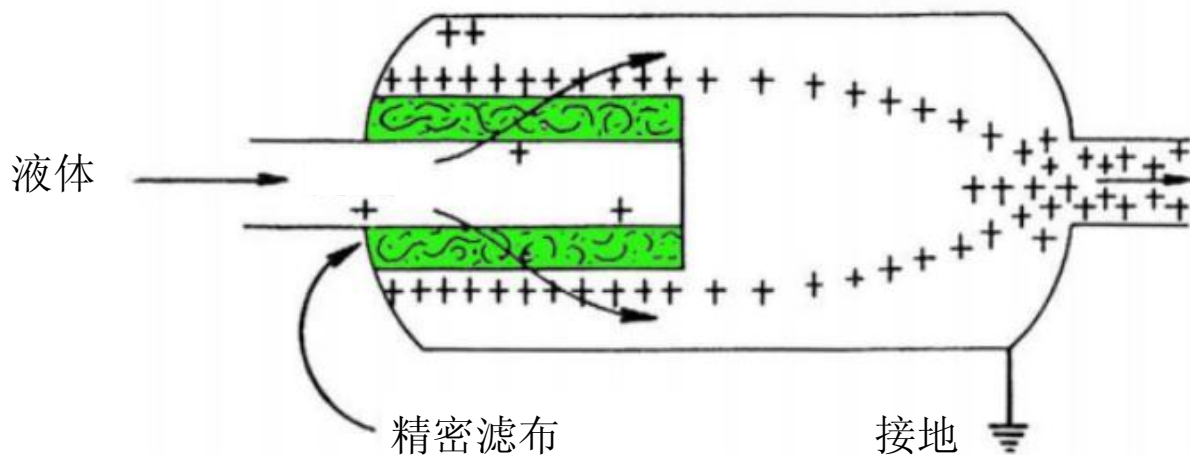




# 油码头产生静电的工艺过程

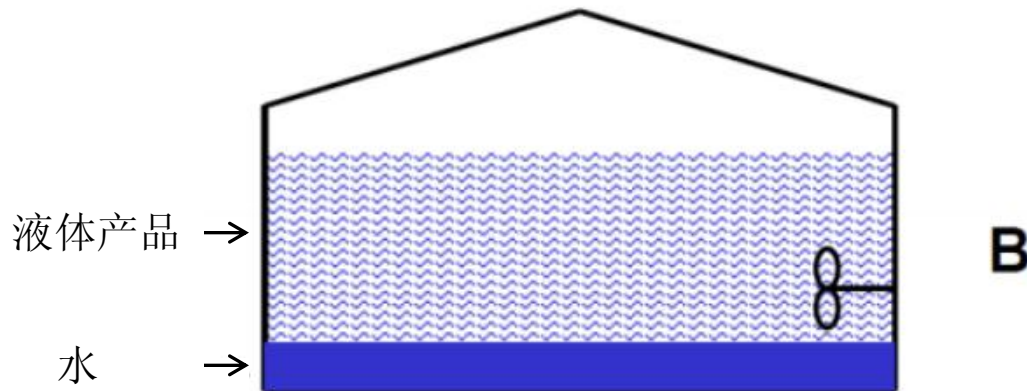
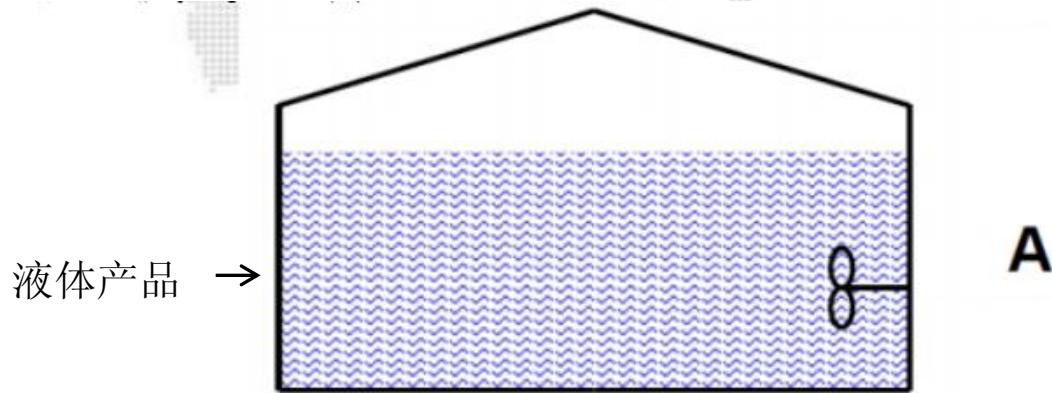
## 经过过滤器静电的产生：

- 经过精密过滤器（孔径小于150微米）会产生大量静电，电荷产生增加10-200倍
- 在进入下游的容器之前需要至少30秒驻留时间释放静电



# 油码头产生静电的工艺过程

储罐搅拌，哪个罐可能积聚更多电荷？



# 静电事故案例视频

---



CSB safety video-Tank fire caused by static electricity.mp4

# ◆ 静电危害的预防

## 防静电设施

- 金属部件之间跨接-管道、法兰等跨接，设备接地
- 汽车罐车、铁路罐车、灌桶等设施临时接地



## ◆ 静电危害的预防

### 防静电设施

- 防静电工作服、防静电工作鞋
- 人体静电消除器
- 接地设施的维护





## ◆ 静电危害的预防

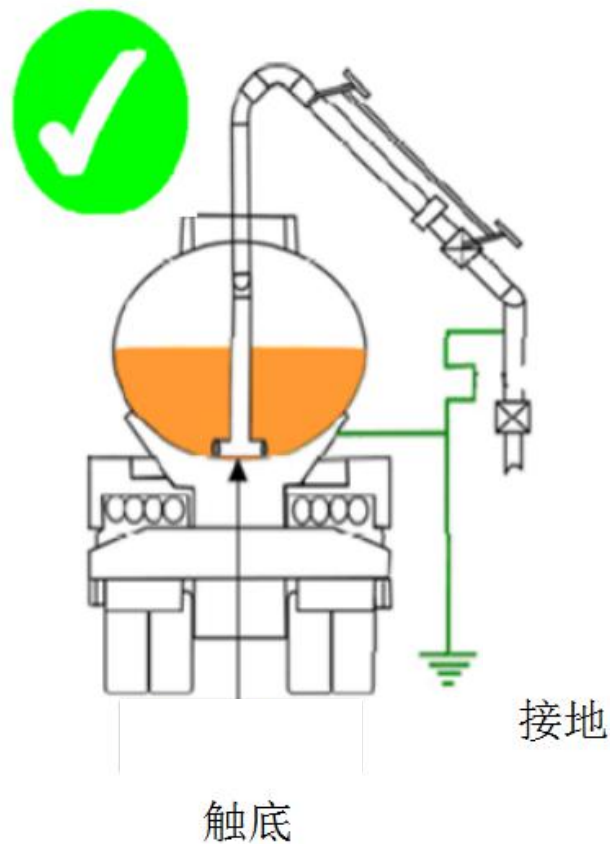
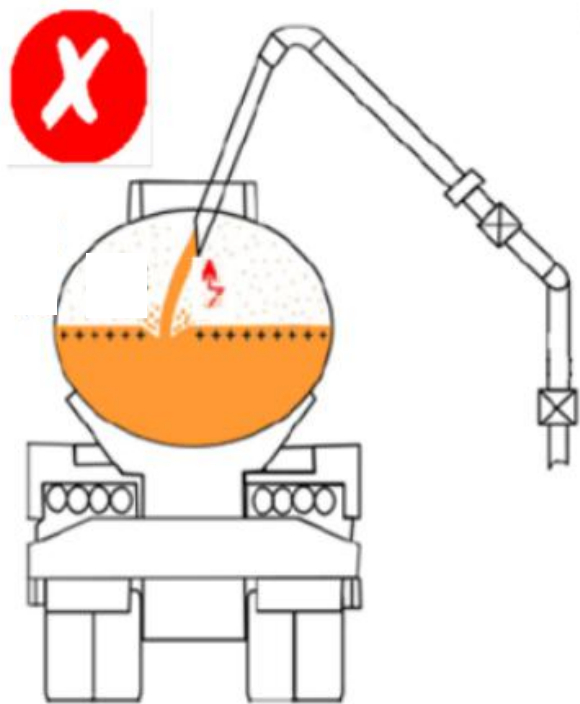
### 操作过程控制

- 液体从容器底部进入，减少液体喷溅产生静电
- 不要超过规定的流速（空的管线、储罐初速度不大于1米/秒，正常流速不大于4.5米/秒）
- 搅拌、容器收油后，要有充分的时间允许静电消散（油罐车10分钟，储罐30分钟）
- 液体产品通过过滤器（小于150微米）进入下游容器应有至少30秒的驻留时间释放静电
- 避免液体产品中混有杂质-水滴、锈、沉淀物或其他颗粒物，注意扰动和沉降产生静电的释放
- 避免从喷嘴向未惰化气相空间喷出液体
- 适用时使用抗静电添加剂
- 消除易燃环境

.....

## ◆ 静电危害的预防

装汽车罐车过程中静电的预防：



## ◆ 静电危害的预防

### 水/易燃溶剂清洗及蒸汽清洗储罐过程静电危害预防:

- 液体喷溅、冲撞罐内表面钢板会产生静电
- 清洗前必须通风清除可燃气体
- 使用易燃溶剂清洗储罐必须惰化
- 喷射装置必须恰当跨接、接地
- 只有罐内可燃气体含量小于其5%爆炸下限才能用喷射水清洗储罐
- 只有罐内可燃气体含量小于其10%爆炸下限才能用蒸汽清洗储罐
- 惰性条件下（氧气含量 $<8\%$ ）是安全的。即使静电放电发生，因为火灾三角形中缺少空气，也不会发生爆炸事故
- 注意储罐清洗过程中内部环境的变化



## ◆ 静电危害的预防

### 船舶静电危害预防：

- 船舶设备、金属部件跨接
- 船舶通过水自然接地
- 与岸上一样，检查对于易燃液体的防静电控制：船舱惰化（含氧量小于8%）、限制初始流速……
- 书面的卸货计划文件
- 船岸安全检查：书面的《船岸安全检查表》、现场检查

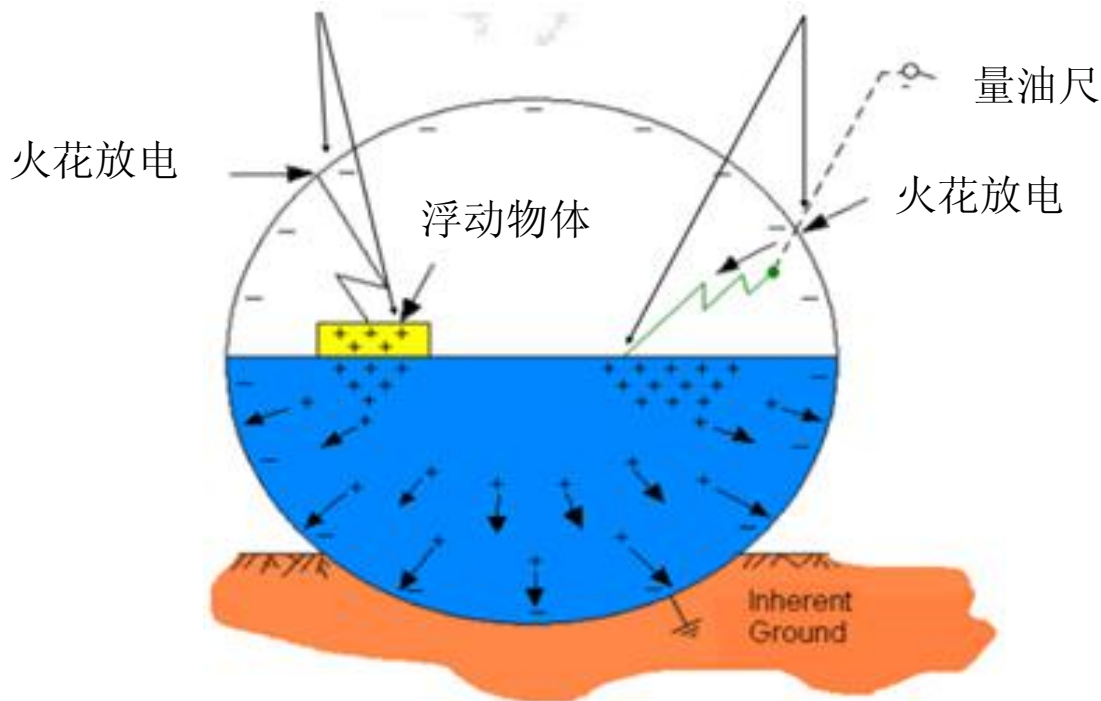


## ◆ 静电危害的预防

### 促进火花产生的物体:

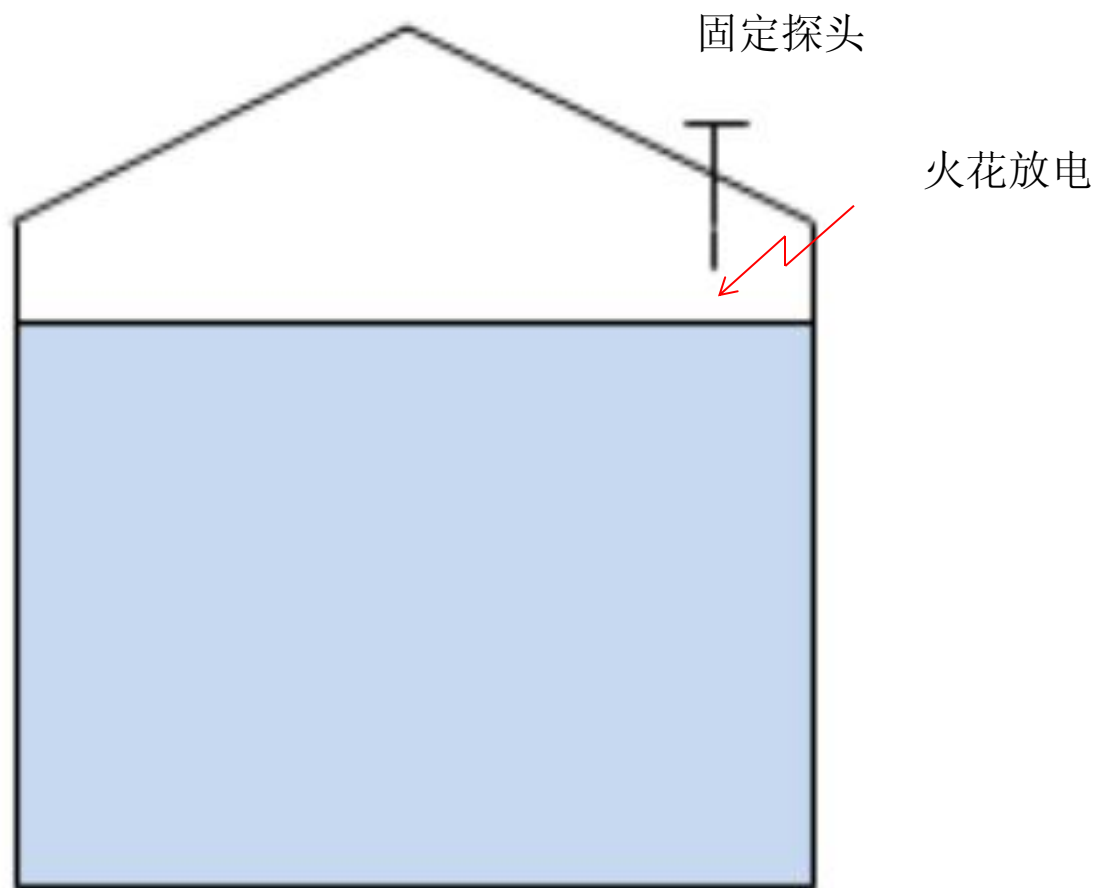
液体产品表面和罐内壁之间（自由浮动的物体如丢弃的样品罐、泡沫等都起到促进火花产生的作用）

液体产品表面和插入罐内的金属物体之间（量油棒/尺、样品罐等起到促进火花的作用）



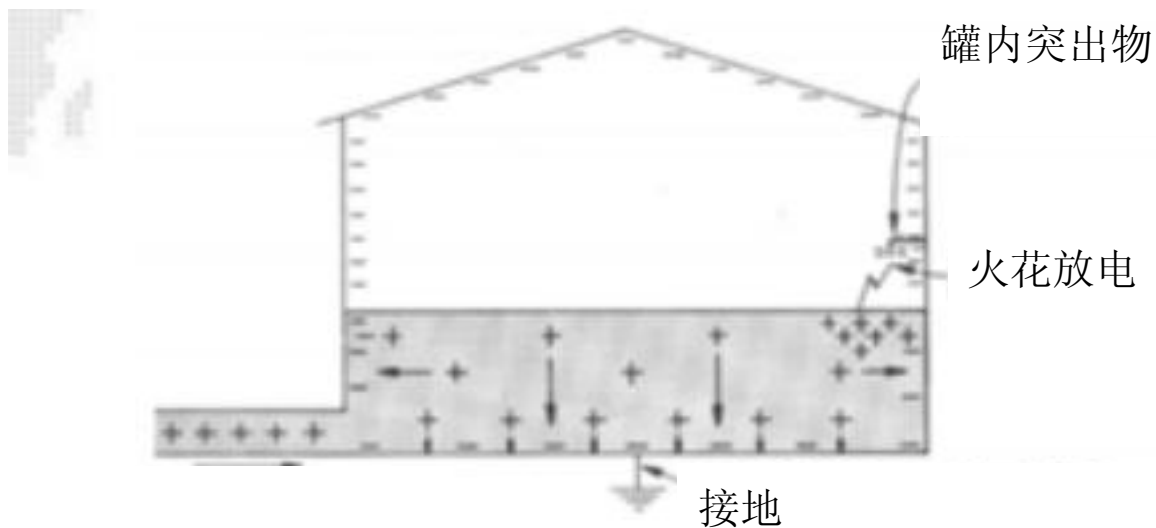
## ◆ 静电危害的预防

促进火花产生的物体：



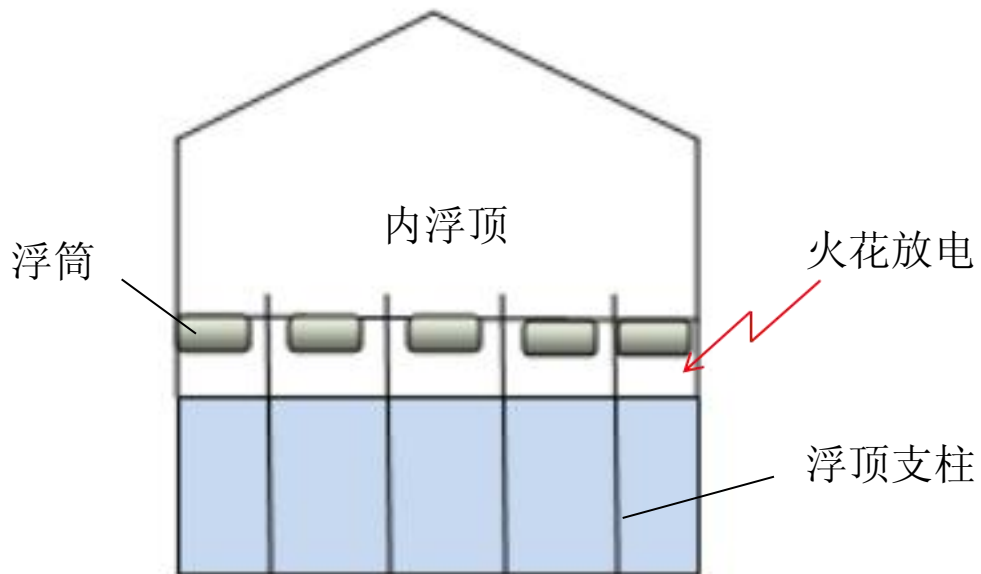
## ◆ 静电危害的预防

促进火花产生的物体：



## ◆ 静电危害的预防

促进火花产生的物体：



## ◆ 静电危害的预防

---

### 切换装载：

切换装载是指将不易燃（高闪点）的产品装入之前装过易燃（低闪点）的罐中。

典型的例子是具有高闪点易产生静电的产品例如柴油装入之前装过低闪点产品如汽油的罐中（储罐液体清空，但没有彻底清洗干净）。



## ◆ 静电危害的预防

### 切换装载的危害：

由于储罐中存有低闪点易燃气体，在没有惰化的情况下属于爆炸气体环境。此时，高闪点易产生静电的产品在装载过程产生静电极易引发爆炸事故。因此应该当做易燃产品进行装载控制。

只有在风险评估后，在采取必要的风险削减措施保证安全的前提下方可进行。



## ◆ 静电危害的预防

### 雷电及预防：

- 闪电是由积累在云层中的静电放电引起的
- 闪电感应（雷电静电感应和雷电电磁感应）使金属导体上感应出电荷，产生高电势引发火花放电



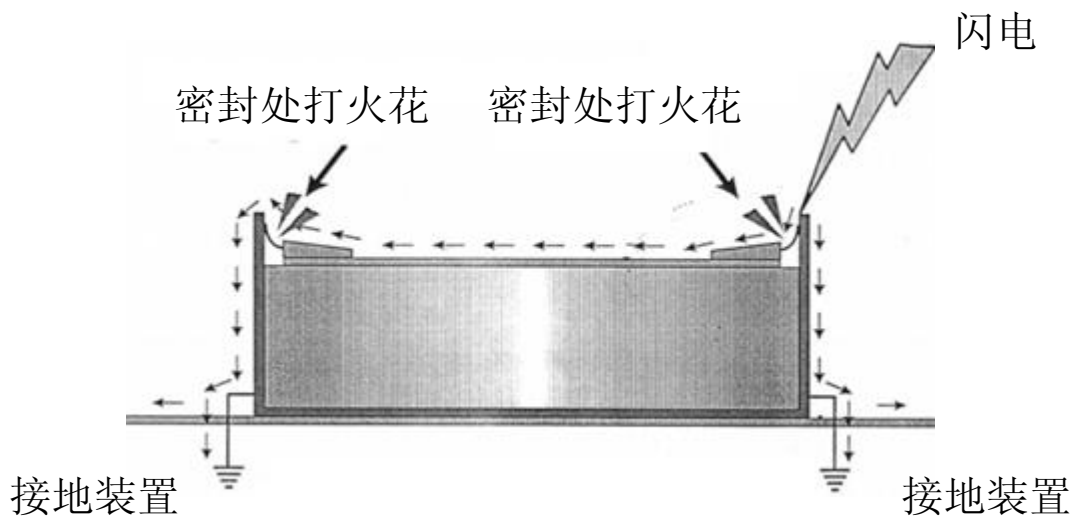


## ◆ 静电危害的预防

雷电及预防：

防雷设施：

- 根据相关规范设置避雷装置
- 金属设备、部件之间等电位连接、接地
- 每年雷雨季节到来之前，检查、维修防雷电设备和接地
- 检测防雷设备接地电阻、等电位连接电阻



## ◆ 静电危害的预防

---

雷电及预防：

操作预防：

- 在露天场地公路/铁路油罐车不应该装卸
- 在雷电期间不要站在罐顶上

# 杂散电流危害及预防

---

## 杂散电流的产生及危害：

- 杂散电流是指任何流过那些人们有意提供的路径之外的路径的电流
- 杂散电流来自：电力线路失效、码头、管道或者其他埋地结构的阴极保护装置、电力系统的回路电流、闪电
- 杂散电流的危害：当杂散电流路径被中断，杂散电流产生火花会引起燃烧或爆炸事故。例如连接或断开软管或输油臂，法兰连接处可能会产生电火花引发事故

# 杂散电流危害及预防

## 船岸间杂散电流危害的预防:

- 《国际油轮与油码头安全指南》建议使用绝缘方式预防杂散电流危害，不鼓励使用跨接电缆
- 使用绝缘法兰或者增加一段绝缘软管
- 船岸之间的杂散电流路径：舷梯、缆绳、软管/输油臂等
- 杂散电流会从从船经过/输油臂流到岸上，要防止断开软管/输油臂产生火花引发事故



# 杂散电流危害及预防

## 船岸间杂散电流危害的预防：

### 如果使用跨接电缆，则：

- 检查机械和电气可靠性（完整性、接地电阻）
- 码头上安装防爆开关
- 电缆连接点远离集合管区域，或低洼处等危险区域
- 在连接或断开跨界电缆之前，防爆开关必须处于“断开”位置；在电缆恰当固定好并与船有良好的接触时，开关才可以处于“接通”位置
- 在软管/输油臂连接前电缆必须连接好，只有在软管/输油臂断开后才能拆除电缆

## ◆ 案例分析

### 案例一

一个容量13000m<sup>3</sup>的内浮顶储罐之前储存汽油，已经排净，没有进行清洗。在收柴油大约1200m<sup>3</sup>的时候发生爆炸，爆炸引发的火灾燃烧了21小时，烧毁了其他2个储罐。附近的居民被疏散，学校关闭两天。





## ◆ 案例分析

---

### 案例一

#### 事故原因：

- 储罐内汽油出空浮盘落地，但大量的汽油蒸气依然存在其中，空气进入形成爆炸性气体混合物
- 柴油不是易燃液体，但电导率低，极易积聚静电
- 收油流速过快，高速摩擦、湍流和喷溅增加了静电产生
- 静电火花引起爆炸事故

#### 教训：

- 浮盘落地后可燃气体环境的控制
- 产品流速控制，防止静电的产生
- 按切换装载操作控制

## ◆ 案例分析

### 案例二

一个甲基叔丁基醚储罐在洗罐过程中发生爆炸。在洗罐开始时，罐内气体含73%的氮气和27%的甲基叔丁基醚。在洗罐最后阶段，真空槽车开始从储罐内吸取蒸气，这造成罐内低压，空气通过顶部人孔进入罐内形成爆炸性的混合物。

当液体被清走后，高压洗罐设备（旋转高压水喷嘴）从顶部人孔放入洗罐，不久罐内发生爆炸。操作员从罐顶被吹下来，很可能是从10米高的地方坠落死亡。罐顶（1.4吨）被吹到100米外的两个储罐之间。

## ◆ 案例分析

---

### 案例二

#### 事故原因：

- 罐内开始是惰性状态。真空车吸气造成负压，导致空气进入，形成易燃气体与空气的混合物
- 高压洗罐设备洗罐过程中水射流/水滴产生静电
- 静电放电引发爆炸事故

#### 教训：

- 高压洗罐设备必须跨接/接地
- 储罐通风除气，清除可燃气体



问题或建议.....

# 谢谢大家!

