

静电灾害及其分析

罗宏昌 编



人民交通出版社

静电灾害及其分析

Jingdian Zaihai Jiqi Fenxi

罗宏昌 编

人 民 交 通 出 版 社

静电灾害及其分析

罗宏昌 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张: 4.625 字数: 96千

1988年5月 第1版

1988年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,000册 定价: 1.25元

内 容 提 要

本书是从防火防爆的角度出发，在搜集了国内外大量静电灾害资料和事故报告的基础上写成的。书中列举了147个灾例，简述灾害的过程、后果，分析灾害的起因，并提出了必要的防患措施。

本书是静电知识科普类书籍，内容丰富、生动有趣、通俗易懂，可供各行各业安全管理、劳动保护、消防人员、操作工人和技术人员使用。一般人看后，对增长知识、预防静电灾害也极有益处。

前 言

在现代工业生产中，静电危害的问题已愈来愈突出，引起了各个方面的重视和关注。静电危害主要表现在以下三个方面：

一、静电的存在，影响产品质量，影响生产、工作的正常进行，降低生产效率。

二、当人体接触带电物体（设备），或带电人体接触接地物体（设备）时，引起静电放电，电击人体，轻则麻痛，重则呼吸困难，肌肉抽筋，心肌梗塞，或者造成所谓“二次灾害”。

三、静电放电火花引燃可燃性气体或粉尘，引起爆炸，造成火灾，给国家带来巨大的经济损失，且危及人身安全。

本书是从防火防爆角度出发，搜集国内外大量静电灾害资料和事故报告，综合分析、整理归纳写成的。书中介绍了各行各业静电爆炸火灾，列举 147 个灾例，简述灾害的过程、后果，分析灾害的起因。有些还有现场测试和模拟试验验证数据。书中有许多灾例是作者于现场调查分析，测量试验研究的概括和判断，必将引起广大读者的兴趣，可从中得到启发并引以为戒。

对灾害事例的介绍和分析，使读者认识到，由于静电所造成的灾害范围较广，涉及到各个领域，甚至带来严重后果。但只要我们重视静电，认识和掌握静电危害的过程和规律，切实加强安全管理，采取积极有效措施，就一定能控制

静电带来的灾害。

《静电灾害及其分析》是一本内容丰富、观点鲜明、实用性强、通俗易懂的科普性书籍。不仅可作为易燃易爆场所部门的操作工人、安全管理人员的一本很好的参考书，同时，对从事静电和防火防爆的科研设计人员和有关管理干部也极有裨益。

本书在编写过程中，得到交通部上海船舶运输研究所学术委员会主任、高级工程师熊世菩的校审修改和一些科技人员的支持帮助，在此表示感谢。由于编者水平有限，书中难免有误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 油船的静电问题及其灾害	1
第一节 油船静电问题	1
一、接触分离带电	1
二、电气传导引起绝缘导体带电	3
三、静电感应引起绝缘导体带电	4
四、人体带电	5
第二节 油船静电灾害	6
一、清洗油舱的静电灾害	6
二、油舱溅击的静电灾害	19
三、污水排放的静电灾害	22
四、轻油灌装的静电灾害	24
第二章 各行各业的静电灾害	26
第一节 塑料的静电灾害	26
一、塑料管泵送的静电灾害	26
二、塑料管真空抽吸的静电灾害	28
三、塑料管放料的静电灾害	34
四、塑料桶注灌的静电灾害	35
五、其它塑料制品引起的静电灾害	40
第二节 橡胶的静电灾害	42
一、涂胶刮胶的静电灾害	42
二、搅拌撕剥的静电灾害	44
三、其它橡胶制品的静电灾害	44
第三节 油品装卸作业的静电灾害	48
一、油灌装油作业的静电灾害	48

二、槽车装油的静电灾害	52
三、油桶油瓶注油的静电灾害	55
四、采样、量测作业的静电灾害	57
第四节 油品加工处理的静电灾害	60
一、清洗的静电灾害	61
二、搅拌调合的静电灾害	63
三、过滤分离的静电灾害	64
四、加料回收作业的静电灾害	68
第五节 气体泄喷排放的静电灾害	69
一、管道破裂泄喷的静电灾害	70
二、胶管泄喷的静电灾害	73
三、气体排放的静电灾害	76
四、接地不良引起的静电灾害	77
第六节 粉体加工处理的静电灾害	79
一、分离筛分作业的静电灾害	79
二、风送干燥的静电灾害	81
三、袋式集尘的静电灾害	83
四、投料输送摩擦的静电灾害	85
第七节 化纤和人体放电的静电灾害	90
一、搓洗的静电灾害	90
二、揩擦的静电灾害	93
三、人体放电的静电灾害	94
四、摩擦剥离的静电灾害	97
第八节 其它静电灾害	99
一、学校、医院、商店的静电灾害	99
二、工厂的静电灾害	103
三、飞机油箱的静电灾害	105
四、日常生活的静电灾害	106
五、静电喷漆的静电灾害	108
第九节 大气中的静电异常	109

一、雷击的静电灾害	109
二、地震前的静电异常	112
附录 I 概念浅说	114
附录 II 介质的导电性和介电常数	124
附录 III 最小着火能量	133
主要参考资料	137

第一章

油船的静电问题及其灾害

目前，国内外油船按运输油品的种类分为原油油船、轻质油品油船和重质油品油船。原油油船又有纯粹装油的油船和国外的既装运原油，又装运矿石和散装货物的所谓“OBO”船。

从静电危害的角度来说，轻质油品的装卸、运输、贮存、清洗等都存在静电问题，但对原油和重质油的装卸一般问题不大，因为原油和重质油中含有较多的水分和较多的杂质，产生的静电很快消散，不易积累带电。原油油船的静电问题主要表现在油船清洗和风浪中压载航行。

第一节 油船静电问题

一般，油船上引起静电的途径较多，但归纳起来主要有：内部接触分离后摩擦带电，电气传导引起绝缘导体的带电，感应引起绝缘导体的带电和人体本身的带电这四种情形。

一、接触分离带电

油船上由于接触分离引起静电的情况如下：

1. 油品在管道中流动会产生流动带电。送油几乎都用泵进行，油船上的泵大部分是旋转式泵，其带电显著，接触面积大的过滤器不管它的材料如何，油品流过产生的静电量往往为在管道中流动时带电量的10~100倍，所以油品在管道中流动大部分的带电量是送油泵、过滤器和流量计等产生的。岸上的罐（槽）与油船的油舱间连接的管道，大都是橡胶软管，软管直径一般比岸上的管路细，因此流速大为加快。其静电发生通常随着流速成平方关系增加，致使危险性增大。如软管用聚乙烯等高分子物质制成，流动带电量会显著增大。

2. 油中混入少量的水分或其它杂质，尤其是乳胶状杂质，在管道中流动或在油舱沉降过程中，起电量将显著增加，并引起长时间带电。这种情形，通常发生在管道中存有积水，往油舱泵油的时候，甚至停泵后，油舱中分散的小水滴逐步汇合成大水滴，穿过油层向舱底沉降时。如当油舱底大量放气，将舱底的水顶至较高油位，使油水掺混搅动、沉降时，有可能引起较高的持久的静电现象。

3. 油品的喷注，压缩空气清扫装过油品的管道时溅泼油滴，法兰连接处不良造成油泄喷溅散油滴等等，都会引起喷射、溅泼带电现象。

4. 水或水蒸汽从喷嘴中高速喷射出时，都将引起静电荷，即使使用清水、海水之类的电阻率很低的液体来清洗油舱，这些液体还是要带电的。从喷嘴喷出的不同大小的液滴，在油舱中将变成空间电荷，形成空间电场，尤其是气体中混入固体的微粒或水滴，温度升高的状态下起电量将更加明显。

5. 油船舱内的液体，无论是油还是压舱水，在其量不满油舱或水舱容积的90%这种未装满的情况下，船舶在风浪中

航行，随着船体的摇晃，会对油舱壁、水舱壁产生强大的冲击；引起大量油滴、水滴带电。

6. 绝缘的尼龙缆系在系缆桩时，由于紧拉或与人体的摩擦而带电；悬吊洗舱机的尼龙绳放入或拖拉时，与人体或舱孔壁摩擦也将带电。

7. 人在房间和走廊中的绝缘地毯上走动，容易使地毯和人体带电。

8. 气囊式救生阀在应急使用喷注气体时，瞬间高速摩擦，喷嘴及其附近的橡胶尼龙袋壁都将分别带上极高的静电。

二、电气传导引起绝缘导体带电

当处于绝缘状态的导体与带电的物体接触时，就会发生电气传导，即电荷转移，使绝缘状态的导体带电。油船上有以下情形会发生此类现象。

1. 处于绝缘状态的人体接触蒸汽管口或喷出的蒸汽时，带电蒸汽雾会对人体充电。

2. 用有绝缘绳悬吊的金属采样缸、金属检尺、金属量温器在油船内带电油中作业时，油面电荷会传给绝缘状态的金屬采样缸、金属检尺和金属量温器等。

3. 绝缘状态的人体使用金属钢皮尺在油舱内进行检测油位时，油面电荷通过金属钢皮尺传导给人体，致使带电。

4. 清洗油舱过程中或清洗结束后，油舱内将浮游着带电水雾，此时若将绝缘绳悬吊着的金属检测器件，或将与清洗水管连接的手提式冲洗机用绝缘绳悬吊入舱内，或木块、金属块和冲洗的水滴落入舱内时，水雾电荷会传导给这些绝缘导体，致使带电。

5.当新造或修理后的船舶，舱内还存有空罐头、木块及其它金属物等残留物浮游在带电的油面上时，这些悬浮物会聚集油面的电荷而带电。

6.一般，绝缘状态的导体本身有静电电容，因而带电电位的高低是由绝缘状态的导体的形状、大小和传导积蓄起来的电量所决定的。

三、静电感应引起绝缘导体带电

当绝缘状态的导体靠近带电物体时，中性的绝缘导体就会产生静电感应，靠近带电体的一面出现与带电体电量相同、极性也相同的电荷。假如有接地的导体接近它，就会发生火花性放电，带来危险。

油船上此类带电情形甚多，如清洗油舱过程中或清洗结束后，在充满带电水雾的油舱内，吊入或正在吊着导电性的手提式清洗机时；或木块、金属块、铁锈和水等各种导体落下时；无线电通信发射时，都会发生感应带电现象。

过去一直认为，无线电通信发射时，静电感应电压的放电火花不会引起爆炸。但是据报导，1970年外国油船在吊杆孔钩和甲板眼间出现持续2度长的电弧，引起周围环氧油漆燃烧的事例。船尾船桥型油船，装备有垂直鞭状天线，当传信时，甲板上的装载物有接收信号的触电作用，被看为能感应与发射频率有关大电势的危险性。国内也曾发生1.6kW电台通信发射时，船员维修甲板时常出现手指电击，甚至打火烧手的现象。象这类放电火花，一旦周围有可燃性混合气体达到一定浓度时，必然有引燃着火的灾害。当船装货与船体部分有断续接触时，在接触部分也会发生放电火花和电弧。

四、人体带电

人体与船体间处于绝缘状态，人体便极容易带电。当人穿着绝缘性的鞋，电荷就会积蓄起来。若鞋的电阻值为 R (Ω)，静电的发生量为 Q (C/s)，人体的静电容为 C (pF)，则人体的带电电位

$$U = QR(1 - e^{-t/RC}) \quad (V)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时，人体带电电位的最大值 $U_{max} = QR$ 。如果这时人体接近船体的金属导体部分，人体所有的电荷就会一下全部释放。有资料认为，从人体产生发火性放电的最低电位是1000(V)，然而在船上使人体带上1000(V)以上的场合很多，如：

1. 检测油量时，带电的石油中电荷通过金属检尺传导给人体。

2. 蒸汽从喷嘴喷出时，喷嘴上的电荷通过握着喷嘴的手转移到人体。

3. 装载石油过程中，从油舱最高处的小孔中喷出来的带电石油气接触人体，会将电荷转移到人体。

积蓄在绝缘状态的人体上的静电电位和静电能量：

步行在油地毯 ^① 、合成瓷砖、大理石上	1000~1500 V	0.1~0.225mJ
从椅子上站立起来时	1000~10000V	0.2mJ 以上
穿皮鞋（鞋底）在尼龙地毯上行走时	2500V	0.65mJ
穿合成底鞋在尼龙地毯上行走时	2900V	0.84mJ
乙烯树脂座位与化纤衣服摩擦时	10000V	0.2mJ 以上
在脱去刚洗好的尼龙衬衫时		0.023 mJ

① 油地毯——一种坚实的地板布，由帆布涂以软木屑及油制成。

4. 船员在脱化纤衣服时，衣服和人体都带电。
5. 坐在有高分子合成皮革制成椅罩的椅子上，在转动身子或站起来时，由于摩擦，人体会带电。
6. 在地毯上行走，由于与地毯摩擦，人体会带电。

第二节 油船静电灾害

一、清洗油舱的静电灾害

1969年12月，在不到一个月里，荷兰、英国、挪威等三艘20万吨级巨型油船在航行中洗舱时，相继发生爆炸事故，一艘沉没，多人伤亡，引起国际航运界的惊慌。对此，由欧美国家和日本参加以世界性规模进行调查，反复试验和研究的结果表明，发生这类事故都是由于洗舱过程中的静电现象而引起。

继1969年12月后至1973年，又先后发生了不少起油船洗舱爆炸事故，1万吨级以上油船爆炸事故见表1-1。

“马克托拉”油船和“康哈干维尔”油船，1969年发生爆炸后，分别停航了11个月和14个月。

（一）清洗油舱，水块放电爆炸

1. 清洗油舱爆炸

1) 事故概要

一艘1964年建造，船龄已有12年载重为51 612t的油船，在波多黎各卸完，在波斯湾装载石脑油后，压载驶往委内瑞拉，计划在委内瑞拉装载部分石脑油，然后到巴哈马装载柴油后，满载开往欧洲。

在波多黎各开往委内瑞拉的压载航行中，进行了一部分油舱的清洗，这部分油舱在委内瑞拉装载了石脑油。3月15日出港开往巴哈马，同日的航行中又对计划装柴油的油舱进

表1-1

爆炸年月	船 名	船 类 型	国 籍	备 注
1969年12月	马斐沙	油船20万吨级	荷 兰	在清洗舱口清洗油船时
1969年12月	马克托拉 mactra	油船20万吨级	英 国	在清洗舱口清洗油船时
1969年12月	康哈干维尔 Kong Hoakon Vil	油船22万吨级	挪 威	在清洗舱口清洗油船时
1970年2月	百安105 Permina 105	油船1.4万吨级	印 度 尼西亚	清洗油船中
1970年6月	索兰达 Thor Land	油船5万吨	巴拿马	清洗管线
1970年10月	索佛里特 Thorfrid	专用货油船 10万吨	瑞 典	清洗完了卸管时
1970年11月	ていむず丸	油船7万吨	日 本	清洗完后放气中
1971年2月	佛雷斯卡特 Ferneastle	油船10万吨	挪 威	清洗油舱中
1973年2月	Gocar Potticla	油船21.6万吨		冲洗油舱后 9小时

行清洗，清洗时使用移动式小型洗舱机4台，且用冷海水清洗。继2号中舱清洗后，又清洗了左舷2号油舱，接着开始清洗8号左舷油舱。

水手长、泵间机匠和3名水手等在清洗完左舷2号油舱后，将两台洗舱机提起移动到左舷8号油舱，离上甲板下约3m处固定，这时机匠开启8号左舷油浚通阀，然后给两台洗舱机通水。为了避免洗舱机在移动中的过压，洗舱用海水管在船头放水，使洗舱压力明显下降，浚通排出口使用了总管泵和8号总干线，工作效率很高。三名水手将两台洗舱机移好后，水手长和两名水手回去吃饭，留下一名机匠和一名

水手。为了提高清洗水的压力，机匠叫水手将船头的放水关掉，可是在关掉船头放水，水手退回到左舷8号油舱的途中，突然发生爆炸形成火灾。

经过25min的抢救，终于把火扑灭，但油船受损很大。油舱内后部横隔壁水平材弯曲受损，产生裂纹，隔壁纵梁弯曲，横梁增强材凹进去，油舱口也扭曲了。

2) 原因分析

(1) 洗舱开始之前，由于使用了高效率的排出管，将舱内的石脑油气体强迫排出，舱内吸进了空气，使舱内过浓的气体稀释，成为处于爆炸范围中的混合气体，如存在火源，便会引起爆炸。

(2) 经调查油舱内不存在引起爆炸的火种，船员的行动和作业顺序也与爆炸无关系，故认为着火源最大可能是静电放电。排放管内的挥发性油和海水的混合液与驱动用的高压海水混合，高速流动摩擦产生很高静电带电的喷射，水块放电现象引起着火。这火从排放管内逆向进入卸料器管内至左舷8号油舱口，使油舱内引起爆炸。

2. 废油舱爆炸

1) 事故概要

一艘1971年法国建造的22万吨级巨型油船，卸完装载的伊朗原油后开往修理地，在航行中继续清洗油舱，停靠在修理地码头以后的三天时间内，油舱进行放气。

该船在清洗油舱时是固定式大容量洗舱机和移动式洗舱机混合使用。在废油舱内将一台固定式洗舱机安装于甲板下5m处。各油舱清洗后的污水都要收集到两个废油舱中，所以在油舱用固定型洗舱机清洗的同时，又将污水自废油舱送至陆上的污水设备中去。