

高等学校教材

CHUANBOJINGDIANQUANJISHU

船舶静电安全技术

■ 孙可平 主编

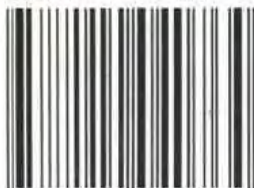


人民交通出版社



- ◎ 策划编辑：黄兴娜
- ◎ 责任编辑：蔡培荣
- ◎ 美术编辑：孙立宁

ISBN 7-114-04076-8



9 787114 040764 >

ISBN 7-114-04076-8/U · 02978

定价：12.00 元

SK15

高等学校教材

Chuanbo Jingdian Anquan Jishu

船舶静电安全技术

孙可单 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书从船舶静电事故、静电起电机理、静电场计算、静电安全技术的研究、分析,提出了静电安全技术一系列的对策,以防静电事故发生,造成不必要的财产损失和人员伤亡。

图书在版编目(CIP)数据

船舶静电安全技术 / 孙可平主编. —北京: 人民交通出版社, 2001.9
ISBN 7-114-04076-8

I. 船... II. 孙... III. 船舶—静电—防治
IV. U676.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 067256 号

高等学校教材 船舶静电安全技术 孙可平 主编

正文设计:孙立宁 责任校对:刘晓方 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.5 字数: 143 千

2001 年 10 月 第 1 版

2001 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—2000 册 定价: 12.00 元

ISBN 7-114-04076-8

U · 02978

前 言

新经济社会促进了人类知识更新速度的加快,同时,又对高等教育方式提出了不同以往的要求。以创新精神和实践能力培养为主要特征的素质教育,已成为我国高等教育的新要求,这种要求必然对我们现有的教学方法提出挑战,其中加快更新教学内容已成为一项非常紧迫的任务,而这中间首当其冲的便是教材。

以前,由于知识更新的速度本身较慢,而且又受到经费和学生人数的影响,上海海运学院教材更新周期较长。因此,对现有教材,特别是体现我院特色的专业教材的升级换代已迫在眉睫。我院有一些具有自己特色的专业,如航运管理、物流、船舶驾驶、轮机专业等,这些专业教材在其他院校已有的优秀教材中不可能涵盖,编写这些专业教材的工作只能由我院自己承担。组织出版具有在国内有一定影响的上海海运学院重点教材已成为提高我院教学质量的重要工作之一。

在我院领导的大力支持下,由学校授权教务处组织的学校教材建设委员会对学校教材建设进行了规划,并编制了重点教材出版“十五”计划。学校对计划内公开出版的系列重点教材予以一定的资助。

上海海运学院拥有一批非常优秀的、在行业内具有较大影响的专业教师队伍,其中不少教师所编著的教材在社会上已具有广泛的影响力。航运界也一直希望我院能够出版更多具有特色的专业教材,以促进我国航运事业的发展。

作为重点教材出版“十五”计划的第一年,经学校教材建设委员会审定,计划出版 12 本教材。在组织出版系列重点教材的过程中,我们注重教材的质量,特意选择我院有造诣的优秀教师编写这些教材,并统一由学校教材建设委员会组织对教材进行审定。因此,这些教材能体现我院学科研究的部分成果。

上海海运学院系列重点教材的出版不仅将对提高我院教学质

量起到重要作用,而且也必将在社会上,特别是航运界产生重要的影响。系列重点教材的出版是上海海运学院对社会知识的一种贡献。

在这里,我们要特别感谢编写这些教材的教师所付出的辛勤劳动,同时也感谢人民交通出版社对我院出版系列重点教材所给予的大力支持。

上海海运学院教务处处长

真虹教授

2001年8月

目 录

前 言

第一章 船舶静电事故	1
第一节 油船洗舱静电事故.....	1
第二节 船舶压舱水静电事故.....	2
第三节 其他类型船舶静电事故.....	4
第四节 船舶事故统计资料.....	5
第二章 船舶静电起电机理	12
第一节 输油管线中的静电起电	12
第二节 输油管线静电起电的实验规律	30
第三节 洗舱时的喷雾起电与带电水雾	32
第四节 船舶压舱水的激涌起电	36
第五节 沉降起电	38
第三章 舱内静电场的计算	46
第一节 基本方程	46
第二节 数值算法	47
第三节 矩形油舱内的电场计算	53
第四节 圆柱形油舱内的电位与电场强度	58
第四章 船舶静电安全技术的实验研究	65
第一节 实验研究概述	65
第二节 试验模型	67
第三节 悬浮水滴生成期间荷电机理的实验研究	75
第四节 充满带电水雾的船舱内火花放电机理的 实验研究	88
第五章 静电放电点燃的估价	101

第一节	静电放电引燃性的估价	101
第二节	计算机模拟实验研究	105
第六章	减少舱内危险性空间电位的理论与实践	115
第一节	舱内危险性空间电位的安全判据	115
第二节	有源静电安全装置	116
第三节	无源静电设备	117
第七章	船舶静电综合防治对策	137
第一节	配置惰性气体系统	137
第二节	采用浮顶式油舱	138
第三节	限制装油流速	139
第四节	控制注油方式	145
第五节	使用抗静电添加剂	149
第六节	规定静置时间	152
第七节	消除人体静电	153
第八节	其他防静电措施	165
参考文献		170

第一章 船舶静电事故

因静电放电引起的船舶事故,国内外均时有发生。为了便于吸取教训,也为了便于对船舶事故进行深入地分析研究,下面分几种类型,把国内外典型的重大船舶事故作一些介绍。

第一节 油船洗舱静电事故

1969年12月,在不到1个月的时间内,有3艘超级油船因洗舱作业发生了爆炸,使整个航运界为之震惊。

1969年12月11日,荷兰Shell Tankers N.V公司一艘20.8万t的超级油船“MARPESSA”号(1969年10月刚由日本建造成功下水不久),在向波斯湾压载航行的途中,开始用海水洗舱作业。12月11日第2中央舱冲洗完毕,12日正在冲洗第5中央舱时发生爆炸。船体于12月14日23点30分沉没。1名船员失踪。

1969年12月29日,Shell Tankers U.K公司一艘20.8万t的超级油船“MACTRA”号(1966年3月由联邦德国建造),通过非洲东部的莫桑比克海峡时开始用海水冲洗油舱。从第4中央舱开始冲洗。在冲洗即将结束时发生了大爆炸。2名船员死亡,3名受伤。船体遭受严重破坏。

1969年12月30日,挪威Hilmarreksten公司一艘20.9万t的超级油船“KONG HAAKON 7”号(1969年8月由挪威建造的新船),用海水冲洗左右两舷,22日开始,29日结束。30日在两舷中注入压舱水,排去第5中央舱压舱水,开始冲洗第5中央舱。当天下午6点结束。然后用蒸汽喷射器除气,同时开始冲洗第4中央舱。但是,晚上10点50分,第4和第3中央舱突然发生了爆炸。

正当专家们对3艘超级油船爆炸事故进行调查、分析和试验研究时,1973年11月5日,又一艘21.6万t的超级油船“GOLAR PATRICIA”号(1970年1月日本建造,船主为Ocen Oil Ventures INC),在英国卸完原油,用喷嘴压力为0.9MPa的移动式清洗机4台进行洗舱作业。清洗后的污水通过排放管、距废油舱6m高的排出口排入右舷废油舱。废油舱内的气体则经通到舷外的塑料软管在距水面10ft高处的开口放出。5号右舷前半部清洗6h。9点30分开始清洗后半部,12点10分左右废油舱突然爆炸;并诱发其他油舱二次爆炸。船体沉没,一名船员失踪。

法国1971年建造的22万t的超级油船,卸完原油,在航行中用大容量固定式洗舱机和移动式洗舱机同时进行洗舱作业。8点通蒸汽,10点30分废油温度为38℃。14点再注入蒸汽,这次孔盖打开。14点15分管理员检查右舷废油舱的油汽混合气体浓度约为8%。这时又开始用海水进行洗舱作业。14点55分想再次清洗左舷废油舱,打开水阀给洗舱送水,刚转开1圈,油舱内发生爆炸。

1971年,一艘10万t的油船,在联邦德国两个港口卸完伊拉克原油,12点清洗机同时工作。喷出压力为1.2MPa。水温为50℃。17点30分清洗完毕(此时舱内已形成了很强的带电水雾)开始提收洗舱机。同时,为了浚通舱底残留污水,支管还在工作。17点55分机匠减慢了2号泵的转速,此时水手长和4名水手站在洗舱孔附近,将系着的软管和洗舱机一起提出,提出时突然发生爆炸。船体沉没,一名船员失踪。在静电场中提升已成孤立导体的洗舱机,洗舱机因感应已带静电,提升时发生火花放电,引起了爆炸。

1978年3月,一艘5.1万t的油船,在对装过石脑油和柴油的油舱进行清洗时,突然爆炸。

第二节 船舶压舱水静电事故

1967~1972年间,若干艘大型OBO船(Oil-bulk-ore,即石油—

散装货—矿石混装船),在海上相继发生爆炸。这几次爆炸事故与洗舱作业并无关系。经国际航运协会油船工作委员会组织的专家工作组调查、试验、研究,最后认为:混合压舱水在激涌时的电位与油船在洗舱时是相似的。比如在存在油脚水的货舱中每边最大为 4° 的角度摇晃时,所激起的波浪就足以形成带电的雾气(mist),其电荷密度可与用水清洗含有污水的相似货舱时所产生的电荷密度相比拟,甚至更高。观测到的最大空间电位为 -50kV ,最大电荷密度为 50nC/m^3 。因此,这些爆炸事故极大可能由静电放电所引起。

不仅如此,受污染的压舱水在排放的过程中,也能产生很强的静电场。由此引起的事故也屡见报道。

1967年12月,一艘7.2万t的OBO船,卸下轻质汽油,第5舱约有75%深度的污秽压舱水,14日早晨7点35分,空的第6舱正在使用射流泵排水时,突然发生爆炸。

1970年10月24日,挪威一艘9.6万t的OBO船,第9舱正在进行洗舱作业。同时用两个射流泵把污水排至右舷污水舱,舱内约有75%的污水。17点45分,该污水舱突然发生爆炸。

1971年4月2日,一艘15.1万t的OBO船,刚在哈佛卸完原油。它的第1中央舱内装有 $2/3$ 的压舱水(污水)。正在排出污水时,该舱突然爆炸。舱盖被炸飞。

1973年9月,一艘7万t的矿石、石油混装船,卸完原油后装入压舱水驶往南非伊丽莎白港。第7舱突然爆炸,舱盖被炸飞。当时海上有中浪,船体摇晃甚剧,压舱水的波动产生了很强的静电场。

一艘6.8万t的OBO船,1968年3月21日压载航行途中,其他舱均已清洁。只有第7舱装有污水,大约只有20%的深度。正利用射流泵进行排水时发生爆炸,舱盖炸飞。

1976年新年,挪威别尔根生航运公司一艘载重22万t的石油矿石船别尔克·依司脱号,在巴西开往日本途中,压载航行,船舱内突然连续发生3次强烈爆炸,致使船舶裂成几段,迅速沉没海里,

32名船员只有2人生还。

1986年10月,我国一艘2万多t的油船,停靠在码头进行排放压舱水作业。因舱内有块状残余原油,同时用蒸汽管道在舱内加温。当第2中央舱压舱水即将排完时,突然发生了爆炸。整条船报废。

第三节 其他类型船舶静电事故

日本下津港于1949年3月,给停泊在码头上的油船装汽油。用长6m,直径10cm的橡胶管从岸上油罐将油装进油船,舱口直径35cm,装油开始后几分钟,船上油舱突然爆炸,舱盖炸飞,甲板起火,7名船员伤亡。据判断是油品带电,静电放电引燃汽油,造成事故。

20世纪60年代初,苏联油船埃罗来夫斯克号也曾发生3次相类似的静电起火爆炸。

一艘油船向陆上直径12m的油罐卸煤油。泵起动1min,油罐发生爆炸,罐顶炸飞。幸亏只是油罐爆炸,燃油并未着火。据分析,在卸煤油之前,这条管道用来装载汽油,后来曾用水进行管道冲洗。同时与这条管道连接的汽油管有少量的汽油泄漏,帮助产生爆炸性混合气体。管道冲洗后剩下的水与煤油一起被送入油罐,产生了过量的静电。

1971年我国某大庆油船,在某港炼油厂装锅炉燃料渣油。但输油管中原来含有较多的汽油、煤油的混合油,随之装入油舱。当船员打开人孔盖观察已装了多少渣油时,大量蒸汽冲出人孔,并冲进附近的舵机间,立即发生爆炸。铁门被吸人,装在舵机间的油桶被打出,2名船员被烧成重伤。据分析,汽油、煤油蒸汽中带有大量静电,对尖端金属部件放电引起燃烧爆炸。

1993年7月12日,我国大庆256轮中2舱发生了爆炸。该船由瑞典1964年建造,载货定额4.7万t。7月9日开始,中2舱一组蒸汽加温管开始加温。由于该船船龄已29年,有一组加温管泄

漏。至7月12日爆炸,加温已有3d。当时舱内货油已接近卸空状态。泄漏的蒸汽极易在舱内产生带电的油蒸汽水雾。当用系着化纤绳的铜棒测量油位时,可能在铜棒上产生感应或聚集电荷而引起对船体静电放电,或因不慎将测深棒掉入货油舱,也能产生静电火花。很可能是静电放电火花,引起了该舱爆炸。

装油时流速太快,静电起电量很高,也能引起爆炸。某炼油厂经输油管给一艘210t的小油船输送Jp-4航空煤油时,因流速高达14m/s,输油10min后阀门附近突然发生了爆炸。1972年12月至1973年1月,加拿大发生的4起事故,1976年12月德国发生的2起事故也均与装油速度有关。

用蒸汽喷射清洗油舱,也能产生很高的静电。1963年一艘665t的小油船,卸完航空煤油Jp-4,对1号油舱进行蒸舱作业,2号油舱却转换为蒸汽喷射作业,不久,2号舱就发生了爆炸。

不仅蒸汽喷射能产生静电,即便本来是用于灭火的二氧化碳灭火器,二氧化碳气体在压力下释放时,也会产生很强的静电。如果使用不当,也会引起事故。1966年一艘油船的一名船员向油舱释放二氧化碳气体时引起了爆炸。1973年一水手用手提式二氧化碳灭火器向油舱油面喷射二氧化碳气体时,也引起了爆炸。

第四节 船舶事故统计资料

鉴于国内船舶事故统计资料较少,现根据ITSC(International Tanker Safety Conference)1967年的一份统计资料以及日本学者今井金矢在《油船火灾及对策》中提供的资料,给出了如表1-1所示的船舶事故统计表,供分析研究时参考。该统计表仅包括1948~1965年间船舶事故资料。

从表1-1的统计资料可以看出:①静电放电作为点火源,早已威胁着船舶安全,只不过1969年以前,未引起航运界的重视罢了。②与其他点火源相比,静电火源占第三位,可见是船舶燃爆的重要火源之一。人们必须重视它,研究它,才能有利于船舶安全。

船舶事故统计表(1948~1965)

表 1-1

装货时的船舶事故(27起)			
船名	时 间	事故主要原因	装 载 货 物
Aurelian	1950.9.20	明火	航空汽油
Dromus	1951.8.20	明火	汽油
Adinda	1951.11.8	明火	汽油
Mollie G	1953.5.7	电气设备	汽油
Argus	1953.6.15	自动发火	汽油
Hammersborg	1955.1.14	—	—
Marianne	1955.5.31	明火	汽油
Liberty Bell	1955.6.12	明火(手电筒火花)	原油
Phryni	1955.8.20	静电	原油
Salem Maritime	1956.1.17	静电	原油
Esso Paterson	1956.3.29	静电	原油
Government Camp	1956.10.19	焦热性残渣	汽油
Norse Mountain	1956.12.26	电气设备	原油
British General	1957.2	自动发火	汽油
Tanker Empress	1959.9.4	电气设备	原油
Astarte	1959.10.18	—	原油
Amoco Virginia	1959.11.8	外部发火源	汽油
Torna	1960.1	装置类	—
Mobil Astral	1960.5.25	明火	原油
Polyana	1960.10.21	Al Mg 化合物	原油
さんじえで丸	1937.5	外部火源(驳船明火)	柴油
楠菜丸	1948.5.2	外部明火	汽油
栗菜丸	1948.12.29	明火	汽油
徳島石油船	1956.6.19	电气设备	汽油
ジョーズチャンピオン	1964.9.25	居民区煤气侵入的明火	原油
Luisa	1965.6.5	—	原油
海藏丸	1965.8.5	居民区煤气明火侵入	原油

续上表

卸货时的船舶事故(26起)			
船名	时间	事故主要原因	装载货物
Elkhound	1949.5.3	—	汽油
Lingula	1950.4.16	外部发火源	汽油
Poplar Branch	1950.11.5	明火	汽油
Beaufighter	1950.12.24	电气设备	原油
Lompoc	1953.7.12	外部发火源	原油
Victor H. Kelly	1953.7.12	外部发火源	原油
Caltex Saigon	1953.9.25	—	汽油、煤油
Otto	1954.6.22	外部发火源	—
Nippo Maru No.28	1954.8.30	电气设备	汽油
Anthong M	1955.4.3	自动发火	汽油
Stanvae HongKong	1955.9.18	外部发火源	—
Detroit	1956.2.6	电气设备	汽油
E. W. Sinclair	1956.4	—	汽油
Amapa	1957.1.17	外部发火源	汽油
British Talent	1957.5.13	自然发火	原油
Hemifuses	1957.7.9	装置着火	原油
Lake Charles	1957.8.27	装置着火	原油
Esso Dakotah	1958.6.4	明火	汽油
Guff Deer	1958.7.3	装置着火	汽油
Mirador	1958.12.16	装置着火	航空汽油
Caltex Gorinchem	1959.4.28	—	汽油
Athel Duchess	1960.4.18	外部发火源	—
Esso Portsmouth	1960.7.9	撞击火花	原油
Texaco Delaware	1960.8.15	装置着火	原油
Rosa Pellegrino	1960.9.13	—	航空汽油
Allgnity	1961.5.25	—	汽油

续上表

油舱清洗时的船舶事故(31起)			
船名	时间	事故主要原因	装载货物
W. S. farish	1948. 1. 16	电气设备	原油
Fetroil	1950. 6. 5	静电	原油
Springwater	1951. 5. 24	—	—
Imperial Ledue	1951. 12. 10	电气设备	原油
Bulkpetrol	1951. 12. 24	电气设备	原油
Trykon	1952. 5. 31	—	原油
Gulfland	1952. 8. 14	电气设备	汽油
Derwentfield	1952. 9. 1	电气设备	原油
Marhaba	1952. 11. 7	电气设备	—
Ticonderoga	1953. 9. 27	自然发火	原油
Gustaf Reuter	1953. 12. 22	电气设备	原油
Folga	1954. 10. 11	静电	汽油
Olav Ringdal Tr.	1954. 11. 27	电气设备	原油
Duffield	1955. 4. 24	静电	汽油
President Dutra	1955. 8	—	燃料油
President Meny	1956. 5. 1	静电	汽油
British Bulldog	1956. 9. 9	撞击火花	原油
Eagle	1956. 10. 14	静电	原油
Amoco Maine	1957. 11. 26	电气设备	汽油
Mare Nostrum	1957. 2. 1	静电	原油
N. W. Gorkey	1957. 5. 24	—	—
World Splendour	1957. 8. 20	静电	原油
Sechura	1957. 11. 18	静电	—
Tupavuori	1958. 10. 5	装置着火	—
Stanvac Japan	1958. 10. 9	铝、镁化合物	原油
Athene	1959. 5. 25	静电	原油
Bulkocl	1960. 5. 12	静电	原油

油舱清洗时的船舶事故(31起)

船名	时 间	事故主要原因	装 载 货 物
Eso Durham	1961.1.29	铝、镁化合物	原油
アセルクイン	1933.8.31	—	原油
共荣丸	1956.2.1	电气设备(切断电线的火花)	汽油
37浪速丸	1965.10.30	电气设备(灯泡火花)	—

其他方面的船舶事故(44起)

船名	时 间	事故主要原因	装 载 货 物	状 态
Afghanistan	1948.10	—	—	—
Atlantic Africa	1950.11.30	电气设备	—	卸货
Hoegh Hood	1950.12.20	明火	原油	空船
Atlantic Dealer	1951.2.1	明火	—	压载中
Atlantic Duchess	1951.2.2	—	原油	压载中
Salto 55	1952.1.3	—	—	压载中
Eso Neuquen	1952.2.22	—	原油	满舱
Harold Reinauer	1952.5	明火	—	空船
Taigete	1952.5.17	—	原油	满船
Gundine	1952.6.2	明火	原油	满船
Eso Belfast	1952.7	明火	—	修理
Angy	1953.5.10	—	原油	满船
Fan Georgia	1953.7.23	外部火源	汽油	压载中
Blue Comet	1953.10.29	装置着火	汽油	满船
Newminster	1954.5	明火	—	修理
British Gratitude	1954.4.8	电气设备	原油	满船
Fontvielle	1954.7	电气设备	—	修理
Burmah Sapphire	1955.8	电气设备	—	修理
British Zeal	1955.9	明火	—	修理
Evita	1955.9	—	汽油	修理