



石油静电

叶如格等编

石油工业出版社

电 静 油 谷

叶如格 于长一 赵录臻
郝纹一 谭风贵 罗宏昌 编

石油工业出版社

内 容 提 要

随着石油工业的发展，静电危害日益引起人们的广泛关注。我国科研、设计人员对此展开了一系列的研究。本书就是在此研究的基础上进行总结、整理而成。书中主要叙述液体静电，尤其是石油静电。对其起电机理、造成危害的条件、控制静电灾害的办法，以及应用于装车、装船、装罐的具体措施都进行了讨论。最后一章还对石油静电的测试方法进行了论述。

读者对象：从事石油储运的有关人员。

石 油 静 电

叶如格 于长一 赵录臻 编
郝纹一 谭风贵 罗宏昌

石油工业出版社出版
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
轻工业出版社印刷厂排版
北京顺义燕华营印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 8¹/₈印张 174千字 印1-3.500
1983年3月北京第1版 1983年3月北京第1次印刷
书号：15037·2389 定价：0.66元

序 言

随着石油工业的发展，静电的危害同时也引起了国内外的广泛关注。许多学者、科研和工程技术人员对石油静电的产生和预防进行了深入的研究，取得了显著的成果，促进了石油的生产和储运的安全。

根据生产的需要，近年来，我们按照石油工业部的防雷防静电安全措施的要求，组织有关人员开展了一系列的石油静电起电联合研究工作。包括：

建立中小型试验装置并开始筹建大型静电实验基地；

进行了试验室及现场的各种类型的测试工作；

试验了一些抑制静电的方法，如限制流速、研制消静电器及缓和器等；

研制静电测试仪器，如管路电荷密度计、静电电位仪等；

进行了资料文献收集、整理及编辑工作。

在上述工作中，得到复旦大学、北京工业学院、河北大学、以及化工部防静电归口组等单位的协助，并得到交通部、商业部、总后勤部、劳动总局以及石油七厂，石油二厂等兄弟厂矿的支持，使得各项测试研究工作得以顺利进行，出现了许多部门联合研究静电的可喜现象。

在以上初步工作的基础上，为了推动对石油静电的研究以及为厂矿安全生产提出有实用价值的建议，我们对以往的讲义、资料及实验报告进行了整理，并上升到理论高度。以归

纳出指导实践的起电规律和安全措施。这样，就诞生了这本小册子。

本书主要叙述液体静电，尤其是石油静电。从其起电机理影响因素到造成危害的条件；从控制静电灾害的办法到应用于装车、装船、装罐的具体措施都进行了讨论。最后一章还着重叙述了石油静电的测试方法。

本书由北京市劳动保护科学研究所赵录臻副研究员、郝纹一工程师、总后59165部队谭风贵工程师、交通部上海船舶运输科学研究所罗宏昌工程师、石油部石油化工科学研究院宋广成工程师参加并由石油部第二炼油设计研究院叶如格、于长一工程师主持，共同编写而成。初稿完成后，石油部第二炼油设计研究院范金澄工程师参加了校审工作。上述编写成员并于八一年二月在天津对初稿进行了集体审定。

由于我们从事静电研究工作时间不长、水平有限，书中所述问题可能会有缺点错误，特别是大型工业试验数据不够完善，某些测试方法不尽合理都是书中明显的不足之处。恳请读者指正。

在此对积极向我们提供资料的河北大学、北京工业学院、复旦大学、五机部213所等表示感谢。

编者

目 录

序言

第一章 静电概述	(1)
第一节 静电发展简史	(1)
第二节 物质结构的一般物理概念	(2)
一、电荷与静电场	(2)
二、原子	(3)
三、分子	(4)
四、导体和绝缘体	(5)
第三节 电子能级、能带和功函数概念	(6)
一、原子中的电子能级	(6)
二、能带	(8)
三、功函数	(10)
第四节 固体介质产生静电的几种形式	(11)
一、两种不同金属体接触带电	(11)
二、绝缘体与导体的接触带电	(13)
三、相同材料的摩擦带电	(14)
四、因材料破断而带电	(15)
五、电解质离子移动带电	(15)
六、静电感应带电	(16)
第二章 液体静电带电	(18)
第一节 液体介质带电类型	(18)
一、按物质聚集的状态分类	(18)

二、按介质运动的形式分类.....	(19)
第二节 液体介质带电原理.....	(20)
一、液体介质在管线内流动带电的一般过程.....	(20)
二、双电层理论.....	(21)
三、液体的分裂带电及液体-气体界面的双电层.....	(32)
第三节 影响液体介质流动带电的因素.....	(34)
一、液体内所含杂质的影响.....	(34)
二、液体电导对介质带电的影响.....	(36)
三、管线材质及管壁粗糙度对带电的影响.....	(39)
四、水分的影响.....	(41)
五、流动状态的影响.....	(41)
第四节 流动液体带电的一般方程式.....	(43)
一、流动液体带电方程.....	(43)
二、对流动液体带电方程的定性分析.....	(46)
第五节 油品静电的积聚.....	(51)
第三章 静电的放电和引燃.....	(54)
第一节 形成静电危害的条件.....	(54)
第二节 电场强度计算.....	(57)
一、一般公式.....	(57)
二、无限大平行板的电场强度.....	(57)
三、球形容器的电场强度.....	(61)
四、无限长金属管线的电场强度.....	(62)
五、无限长同轴金属管线的电场强度.....	(63)
六、容器部分充液时的电场强度.....	(68)
第三节 气体放电的简单物理过程.....	(70)

一、气体的碰撞电离	(70)
二、气体的放电特性	(72)
第四节 静电放电的形式和能量	(77)
一、静电放电的一般类型	(77)
二、静电放电的能量	(79)
三、带电油面放电的特点	(83)
第四章 石油静电的控制与消除	(86)
第一节 静电荷的衰减	(86)
第二节 石油静电的控制	(89)
一、防止静电灾害的条件	(89)
二、控制流速	(90)
三、控制加油方式	(92)
四、控制油面空间的混合气体	(92)
五、避免水、空气与油品以及不同油品的相混	(93)
六、加强组织管理	(93)
第三节 接地和跨接	(94)
一、静电接地的目的与要求	(94)
二、油罐的接地与跨接	(96)
三、管线的接地与跨接	(96)
第四节 消静电器	(97)
一、消电器结构	(97)
二、消电原理	(101)
三、使用情况	(101)
四、几点分析	(103)
第五节 缓和器	(104)
一、缓和器的泄电原理	(105)

二、缓和器容积的计算	(105)
三、缓和器的使用	(108)
第六节 抗静电添加剂	(109)
一、抗静电添加剂的作用机理	(109)
二、抗静电添加剂的组成和性能	(111)
三、抗静电添加剂的消静电效果	(118)
四、抗静电添加剂的选择及使用	(120)
第五章 石油在加工和储运中的静电	(123)
第一节 静电在石油工业中造成的危害	(123)
一、国外静电事故事例	(123)
二、国内石油企业静电事故事例	(126)
第二节 石油的物理化学参数	(130)
一、油品电导率	(131)
二、油品密度	(131)
三、油品重度	(132)
四、油品比重	(132)
五、油品粘度	(132)
六、挥发性	(132)
七、汽化性	(132)
八、闪点	(133)
九、燃点	(133)
十、自燃点	(133)
十一、蒸汽压	(133)
十二、爆炸极限	(134)
第三节 输油管线及其静电	(134)
一、油品在泵及管道内产生静电情况	(134)
二、油品在管线中的起电规律	(135)

三、	管线冲流电流的计算	(136)
第四节	过滤器及其静电	(139)
一、	过滤器对起电的影响	(140)
二、	过滤器的形式	(142)
三、	关于研制新型过滤器问题	(144)
第五节	储油罐中的静电	(146)
一、	储油罐的形式	(146)
二、	油罐内静电荷的产生	(148)
三、	油罐的安全操作	(151)
第六节	铁路槽车及其静电	(152)
一、	槽车形式及进油系统	(152)
二、	鹤管类型及其产生静电情况	(153)
三、	装油方式	(156)
四、	鹤管头形式	(156)
五、	槽车内静电分析	(159)
六、	槽车装油防静电安全措施	(160)
第七节	油轮静电	(161)
一、	油轮静电的产生	(162)
二、	油轮静电的积聚和放电	(164)
三、	油品装卸防静电措施	(165)
四、	清洗油轮的注意事项	(169)
第八节	飞机加油及其静电	(172)
一、	飞机燃油油箱及对静电的限制	(173)
二、	飞机的地面加油系统	(181)
第九节	汽车油罐车静电	(183)
一、	汽车油罐车的作用	(183)
二、	国产汽车油罐车的静电及特点	(184)

三、国产汽车油罐车油罐对装车静电的影响	(187)
四、汽车油罐车装油时应注意的事项	(192)
第十节 人体活动的静电	(194)
一、人体带电的原因和危害	(194)
二、人体起电的极性	(196)
三、起电速率和人体对地电阻	(196)
四、衣装电阻对人体带电的影响	(199)
五、介质的局部集中带电	(200)
六、人体电容的影响	(200)
第六章 静电测量	(202)
第一节 静电电压的测量	(202)
一、测量静电电压的主要方法和原理	(202)
二、几种实用的静电电位测试仪表	(208)
第二节 电荷量的测量	(215)
一、电荷量的测量	(215)
二、放电电荷量的测量	(217)
第三节 材料带电性能的测量	(219)
一、逸散时间、半值时间的测量	(219)
二、电阻率的测定	(221)
三、电容的测量	(223)
四、介电常数的测量	(225)
第四节 石油静电的测量	(227)
一、电荷密度的测量	(227)
二、金属管线流动带电的其他测量方法	(231)
三、油面电位的测量	(233)
四、油品静止电导率的测量	(237)

五、油罐内空间电场强度的测量	(246)
主要参考文献	(248)

第一章 静电概述

第一节 静电发展简史

大约在二千六百年前，希腊人塔利斯就发现了琥珀被其它物体摩擦后具有吸引轻小物体的能力，也就是我们所说的静电起电现象，但人们对它的认识的进展却是十分缓慢的。在经过二千二百年以后，到了公元1600年左右，英国人吉尔伯特才总结了前人的一些经验，并把这种“特殊”的物质用拉丁文命名为“电”，同年代的沃尔·查尔顿开始用英语的“电”（electric）。此后这种奇异的现象引起了许多科学家的兴趣，这样使对电的认识在十八世纪有了较快的发展。继起电机，检电器发明之后，在1733年法国的杜飞用两个金属箔做实验，发现了异性相吸，同性相斥的现象。从而证明有两种类型的电荷存在，自此始有正负电荷之学说。到了该世纪中叶又相继发现了莱顿瓶，静电感应现象以及维尔克发表了摩擦带电系列。直到1785年库伦发现了电荷间互相作用力的定量关系才使得静电学理论初具基础。

这个时期在静电起电理论方面的解释也有一定进展。以富兰克林为代表的一些学者提出了第一流体学说，以罗伯特西默斯为代表的一些学者提出了第二流体学说。

进入十九世纪以来，对电的研究日益广泛。1800年伏打电池的发现使电荷连续运动成为可能。科学家们把摩擦起电，雷电和电池中流动的电统一了起来。并开始从静电向动电方面发展，通过欧姆、安培、法拉第等人的研究，逐渐发

现一个又一个新现象，并从数学上总结成定理、定律，最后发展成较完整的电磁场理论。这些理论在工程上得到了广泛的应用，给了工业发展以新的生命力。

由于动力电的理论及应用的迅速发展，静电起电理论的研究显得更为缓慢了，1879年赫尔霍姆兹提出了偶电层理论后，虽推动了静电研究的进展。但是对它的物理实质和数学描述还一直很不完备。近几十年来由于工业的发展，静电危害日趋严重，静电的应用也日渐广泛，因此给静电机理的探讨赋予新的推动。当前，由于固体物理、表面物理、物理化学等学科的发展给静电研究提供了理论条件，电子计算机的出现又提供了用概率论方法处理大量随机性数据的手段，所以可以这样说：静电工程做为一个新的学科已从物理学中脱胎而出，有必要做为一个专业进行研究。把起电机理提高到数学形式的高度并用它指导实践，以尽早杜绝静电灾害，为人类造福。

第二节 物质结构的一般物理概念

一、电荷与静电场

电荷是物质基本粒子的基本特性。一个物体的电荷量可以是正、负或零。它只能是质子电荷的整倍数。

电荷有两种，一种叫正电荷，用符号“+”表示；另一种叫负电荷，用符号“-”表示，负电荷总是和电子相联系着的；正电荷则和失去电子的原子，原子团或分子相联系。如果该物体带有正的或负的电荷，那就是该物体失去或得到了一些电子的结果。电荷之间存在着相互作用，同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引。

电荷的数量，称为电量，常用符号 Q 、 q 表示，在有理

化 MKSA 单位制中，它的单位是库仑。

通常，物体中正负电荷的数量是相等的，由于正负电荷的电性能相反，因而相互中和，物体在客观上不呈现电性能。正负电荷是相互依存，相互矛盾着的双方，有了带正电荷的物体就必然出现带负电荷的物体，而且电量相等。总之，在静电起电过程中，电荷不能被创造或消灭，只能被转移。电荷在转移前后，其总电荷量不变。

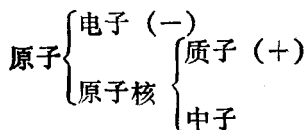
在电荷的周围存在着一种特殊的物质——场。电荷之间的相互作用，就是通过这种场来进行的。

电荷相对于观察者是静止的情况下，和电荷相关的场也是静止的。这种场称为静电场。当电荷运动而形成恒定电流时，则在恒定电流的周围存在稳定电场和稳定磁场。当电荷运动而形成交变电流时，则在交变电流的周围空间存在着相互联系着的随时间变化的电场和磁场。这种场叫做交变电场。

二、原子

近代物理学研究表明，物质是无限可分的。以气态，液态或固态存在的物质，都是由分子组成的，而分子则是由更小的粒子——原子所组成。

原子是由原子核和绕核运动的若干个电子组成，原子核由质子和中子两种基本粒子构成。其结构可表示为：



质子带正电，其电量与电子电量相等，静止质量约为 1.67×10^{-27} 公斤。中子是不带电的中性粒子。电子是基本

粒子之一，带有负电荷，目前已知自然界中存在的电量最小单元就是一个电子的电量（常用 e 表示），物体所带电量都是这个电量的整数倍。一个电子的电量等于 -1.602×10^{-19} 库仑，因此，1 库仑的电量相当于 6.24×10^{18} 个电子所带的电量的绝对值之和，电子的静止质量约为 9.1×10^{-31} 公斤，差不多是质子质量的 $\frac{1}{1836}$ ，所以原子的质量几乎全部集中在

原子核上。

原子中的电子除了绕核运动外，还作自旋运动，它们除了具有电的性质以外，还有磁的性质。

由于异性电荷相吸，所以正常情况下，原子中的电子是不能脱离原子的。而且原子中的电子数与核内的质子数是相等的，因而原子的总电量等于零。原子是中性粒子，当中性的原子、原子团或分子失去电子或得到电子时，它的正负电荷就不再相等，成为带正电或负电的原子，原子团或分子。这种带电的原子，原子团或分子称为离子，带正电的叫正离子，带负电的叫负离子。

元素的化学性质主要决定于原子最外层的电子数，这种电子称为价电子，一般金属容易失去其价电子而成为正离子，非金属则容易获得电子而成为负离子。

三、分子

分子是保持物质的化学性质的最小粒子，物质的分子由同一种原子组成的叫做单质，由不同原子组成的叫化合物。

在分子中，原子之间存在着强烈的相互作用。这种强烈的相互作用叫做化学键。现在已知的化学键有三种：离子键，共价键和金属键。金属原子和非金属原子的结合，是由原子间电子的转移，形成正离子和负离子，靠正负离子间的

引力而结合起来的，这种化学键叫离子键，又叫电价键，离子键是没有方向性的；由共有电子对把两相同或不相同原子结合起来的化学键叫共价键。由于共价键构成的分子中不存在离子，只有原子，所以共价键又叫原子键。共价键是靠自旋方向相反的电子配对结合的，当一个电子与另一个电子配对结合后，就不能再与第三个电子配对了，这种性质叫做共价键的饱和性。共价键有方向性；金属键是由自由电子和组成晶格的金属离子之间的相互作用构成的。金属键没有方向性和饱和性。

分子有极性分子和非极性分子。在任何分子中都有带负电的电子和带正电的原子核。对分子中所有的电子来说，可以认为它们的负电荷等效的集中于一点，有一个负电荷中心。同样，对所有的正电荷也有一个电荷中心。凡是这两个电荷中心不重合的分子，叫做极性分子或有极分子，重合的叫非极性分子或无极分子。由离子键构成的分子是有极性的。由共价键构成的分子，结构不对称的为极性分子，结构对称的为非极性分子。

四、导体和绝缘体

根据电的性质，物体可分为导体、绝缘体和半导体。

导体的特点是带电质点(电子或离子)在物体的容积内可以自由移动。导体有两类，即金属和电解液。

金属都是导体，电子可以在金属晶体中自由移动，常温下，金属的电阻率在 10^{-7} 欧·米以下；电解液即酸碱盐的水溶液都能导电，通常把酸碱盐称为电解质。电解液能够导电，是由于电解质在水中发生电离，产生了带有不同电荷的离子，由于电解液导电是由离子进行的，所以其导电性质与离子浓度有关。一般，离子的浓度愈大，导电性能愈好。