

● 王长英 陈良欣 编著

石油化工静电防火与防爆

天津科学技术出版社



石油化工静电防火与防爆

王长英 陈良欣 编 著

天津科学技术出版社

责任编辑:于伯海

石油化工静电防火与防爆

王长英 陈良欣 编著

*

天津科学技术出版社出版、发行

天津市张自忠路189号 邮编 300020

天津日报社印刷厂印刷

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 9.5 字数 239 000

1996年8月第1版

1996年8月第1次印刷

印数:1-4 000

ISBN 7-5308-2195-4

TQ·6 定价:16.00元

石油化工静电防火与防爆

孫倫

前 言

近三十多年来,随科学技术的迅猛发展,生产规模的大型化,自动化程度的提高,生产速度的加快,生产周期的缩短;工业生产中新技术、新工艺和新材料的不断应用和采纳,静电危害也日益突出。特别是在石油化工的生产、运输、储存和使用过程中,由静电引发的火灾和爆炸事故,时有发生,已屡见不鲜,成为严重地社会问题。控制和减少石油化工场合的静电火灾和爆炸事故,已成为技安和消防部门急待解决的重要课题。

静电防突技术是近十几年来发展起来的新学科。由于涉猎面广,理论性较强,难度较大,有些理论还不够成熟和完善。为此,必须不断吸取经验教训,借鉴和补充新知识,探索新问题。经广泛的收集资料,深入调查研究和多年教学和科研的实践经验,编写了《石油化工静电防火与防爆》一书。

在编写过程中,得到公安部消防局、《静电》杂志编辑部、上海船舶科研所,以及柯林、赵锡嘉、罗宏昌、沈耀宗、李晋兴、卫耀明、白松林等专家、教授的悉心指导和帮助,特是公安部消防局孙伦局长在百忙之中为本书提了书名,作者表示衷心地感谢和敬意

编者

1996年6月16日

目 录

第一章 静电基础.....	(1)
第一节 物质的电学性质.....	(1)
一、原子的概念	(1)
二、原子和分子间的作用	(3)
三、导体和绝缘体	(4)
四、高分子化合物	(6)
第二节 静电力.....	(7)
一、库仑定律	(7)
二、电介质中的库仑定律	(8)
第三节 静电场	(11)
一、静电场.....	(11)
二、电场强度.....	(12)
三、电力线.....	(12)
四、高斯定律.....	(14)
第四节 应用高斯定律计算电场强度	(17)
一、均匀电介质中带电球的内、外电场	(17)
二、均匀带电介质球的内、外电场强度	(18)
三、包围两个等量异性电荷面上的电场.....	(19)
四、无限大均匀带电平板的电场强度.....	(20)
五、平行板电容器的电场强度.....	(20)
六、无限长均匀带电圆柱体的电场强度.....	(21)
第五节 静电场中的电位和电位差	(21)

一、电位与电位差的概念·····	(21)
二、几种典型电场的电位和电位差·····	(23)
第二章 静电场中的导体和电介质 ·····	(27)
第一节 静电场中的导体 ·····	(27)
一、导体的静电平衡·····	(27)
二、静电感应带电·····	(28)
三、静电屏蔽·····	(28)
四、法拉第筒·····	(29)
五、感应式静电伏特计·····	(29)
第二节 静电场中的电介质 ·····	(31)
一、电介质的种类·····	(31)
二、电介质的介电常数·····	(33)
三、电介质的电导·····	(36)
第三章 静电能量和导体电容 ·····	(40)
第一节 静电能量和能量密度 ·····	(40)
一、静电场的能量·····	(40)
二、静电场的能量密度·····	(41)
三、静电危害与静电场能量的关系·····	(42)
第二节 静电场能量计算和实例 ·····	(42)
一、静电场能量计算·····	(43)
二、静电场能量计算例举·····	(45)
第三节 导体电容 ·····	(46)
一、电容的计算·····	(47)
二、电容器的串联与并联·····	(55)
三、电容的充电和放电过程·····	(57)
四、电容器的能量·····	(61)
第四章 静电的产生、累积和散失 ·····	(63)
第一节 固体静电带电 ·····	(63)

一、固体的接触、分离起电	(63)
二、固体起电现象的物理解释	(66)
三、导体的感应带电	(73)
四、固体其他形式的带电现象	(75)
五、影响固体起电的几个主要因素	(78)
第二节 粉体的静电起电	(80)
一、粉体静电的产生	(80)
二、粉体气力输送静电计算	(82)
三、悬浮粉尘的极限电荷密度	(89)
四、粉体炸药在气力输送和装填中的静电	(89)
第三节 液体静电	(91)
一、液体静电的产生	(91)
二、液体的流动起电	(93)
三、液体的其他形式起电现象	(101)
第四节 气体介质带电	(103)
一、纯净的气体一般无明显的静电	(103)
二、气体中含固体或液体颗粒的起电	(103)
三、高压气体喷出时的带电爆燃事故	(103)
第五节 静电荷的散失和累积	(104)
一、静电荷的散失	(104)
二、带电导体电荷的泄放	(105)
三、介质内部电荷的积累	(106)
四、导体上静电荷的积累	(107)
第五章 静电火灾危险参数	(108)
第一节 静电火灾危险参数	(108)
一、闪点	(108)
二、燃点	(108)
三、自燃点	(108)

四、爆炸极限	(109)
五、最小点火能量	(112)
六、传爆能力	(112)
七、最小引燃电流	(118)
第二节 静电感度和试验方法	(122)
一、感度的基本概念和分类	(122)
二、静电感度的试验方法和数据处理	(125)
三、爆炸性气体混合物的静电感度	(128)
四、粉尘最小点火能的测定	(133)
五、粉体火炸药的静电感度	(136)
六、电火工品静电感度测定	(144)
第六章 静电危害	(150)
第一节 静电危害的特点	(152)
一、静电具有小电量特点	(152)
二、静电具有高电位特点	(152)
三、静电具有小能量特点	(153)
四、静电荷泄漏特点	(154)
五、静电荷极性特点	(155)
六、静电放电特点	(156)
第二节 静电火灾和爆炸事故例举	(159)
一、石油化工中的静电事故	(160)
二、飞机制造和航空运输中的静电火灾	(165)
三、化学试剂行业的静电的火灾	(165)
四、油站和石油液化气站的静电事故	(167)
五、化工厂生产工艺中的静电火灾	(168)
六、橡胶、塑料行业中的静电危害	(169)
七、火炸药和医药行业的静电事故	(171)
第三节 静电火灾引燃机理和燃爆条件	(173)

一、燃烧过程	(173)
二、静电引燃机理	(174)
三、用图示法说明油气的燃烧现象	(175)
四、物质燃烧的必要条件	(176)
五、物质燃烧的充分条件	(177)
六、爆炸过程	(178)
七、爆温和爆压	(179)
第四节 静电危害的危险界限	(183)
一、静电危害的能量界限	(183)
二、导体静电危害及危险界限	(183)
三、非导体材料静电危害及危险界限	(184)
四、不同静电放电形式静电危害危险界限	(185)
五、人体放电的静电危害	(186)
第七章 石油化工典型工艺中的静电安全	(187)
第一节 可燃气体和有机溶剂生产中的静电安全	(187)
一、可燃气体制备和使用过程中的静电安全	(187)
二、有机溶剂制备和使用过程中的静电安全	(188)
第二节 液体石化产品的静电安全	(192)
一、油品管道输送中的静电危害和对策	(193)
二、油品装罐过程中的静电爆炸和对策	(196)
三、油液沉浮带电的危害	(203)
四、喷雾起电防爆对策	(206)
五、高压蒸气管道泄漏时所形成的静电危害	(209)
六、飞机加油静电试验	(210)
七、石油产品防火、防爆对策	(212)
第三节 粉体静电爆炸危害	(217)
一、粉体静电爆炸	(217)
二、混药过程中的静电危害	(217)

三、气力输送中的静电事故	(218)
四、压空粉碎 TNT 炸药的静电爆炸	(218)
五、起爆药生产中的静电爆炸	(219)
六、采矿工业中的静电事故	(221)
第八章 静电危害的防护	(223)
第一节 预防静电危害的原则	(223)
第二节 控制危险场合的可燃物	(223)
一、用不燃物代替可燃物	(223)
二、降低可燃物在空气中的浓度	(223)
三、减少空气中的氧含量	(224)
第三节 防止和减少静电产生的对策	(225)
一、一般原则	(226)
二、注意选材和改进工艺	(226)
三、降低摩擦速度和控制流速	(228)
四、控制油品的装卸方式和特殊操作	(232)
五、防止和减少粉体静电产生的对策	(233)
第四节 加速静电荷的泄放的对策	(234)
一、静电接地	(234)
二、增湿	(242)
三、掺杂和使用抗静电剂	(244)
四、使用静电缓和器	(248)
五、静电消除器	(249)
六、防止人体静电	(254)
第九章 加强静电安全管理	(258)
第一节 静电安全管理的基本原则	(258)
一、静电安全管理的主导思想	(258)
二、静电安全管理的任务	(258)
三、静电安全管理的特点	(259)

第二节 实施静电安全量化管理.....	(259)
一、导体静电安全管理指标	(259)
二、人体静电安全管理指标	(260)
三、带电非导体静电安全管理指标	(260)
第三节 建立、健全静电安全规章制度	(262)
一、建立、健全技术规程.....	(262)
二、管理工作制度	(262)
三、实行岗位责任制	(263)
第四节 实施静电检测管理.....	(263)
一、测量管理的目的	(263)
二、测量管理的方法	(263)
三、用观测法来检测	(264)
第五节 加强安全教育和培训.....	(264)
一、加强安全教育	(264)
二、经常培训	(265)
第六节 进行档案管理.....	(265)
一、安全档案的具体内容	(265)
二、防火档案的使用和管理	(266)
第十章 静电火灾原因调查.....	(267)
第一节 静电火灾调查的程序和方法.....	(267)
一、静电火灾调查的程序	(267)
二、静电火灾调查方法	(268)
第二节 用算法认证静电火因.....	(272)
一、确定事故现场的条件	(272)
二、确定计算公式	(272)
三、计算结果分析	(273)
第三节 事故原点理论和技术.....	(273)
一、事故原点理论	(273)

二、火灾事故分析技术	(274)
附录 1	(280)
附录 2	(287)

第一章 静电基础

众所周知,目前在工业发展和日常生活上人类广泛应用的是交、直流电。这种电现象是微小的带电粒子沿着导线不停地运动状态。现在我们研究的电现象是带电粒子几乎没有流动的现象。通常人们把物体表面或内部带上不能流动的电荷的现象称为物体带上了静电。实际上自然界不存在绝对静止和永恒不变的带电现象。只能认为静电是某一时间和空间内在宏观上物体上带上了不能流动的带电粒子的现象。

人类不管是研究静电产生、积累、成灾的基本规律和防护对策,都必须依靠于带电物体的电学特性和静电所形成灾害的基本规律。本章将对静电物理性质、各种不同物质的带电特性、静电和静电场的某些规律进行研究,以期获得进一步研究静电灾害和静电安全的基础知识。

第一节 物质的电学特性

物质的电学特性,除受到外界电场或磁场环境的影响外,主要依赖于物体自身的结构。按近代物理的观点,任何物质都是由分子所组成,分子又由更小的粒子原子所组成。而原子则是由原子核和围绕原子核旋转的电子所组成。原子核内的带正电的质子与外围带负电的电子,构成了物质的带电关系。

一、原子的概念

近代物理把原子看作物质的最小基本单元,原子中心是带正电的原子核,外围有若干绕核运动的电子。

核由一定数量的两种基本粒子——质子和中子组成,质子带

正电,中子不带电。原子核外的电子也是基本粒子之一。

实验证明:原子核的半径约为 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 米左右,比原子半径 10^{-10} 米要小得多,而整个原子的质量几乎全部集中在原子核上,原子核所带的正电荷与绕核旋转的负电子电量相等整个原子呈电中性。

电子的电量是自然界存在的最小电量,其电量为 $q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ 库仑。一般带电都是它的整数倍,每库仑的带电量为 6.2×10^{18} 个电子电荷。它的质量为 $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ 千克,电子的半径为 10^{-15} 米。

原子核中中子和质子的质量均为 $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ 千克,电量为核外电子的等量正电荷。而电子质量仅为质子质量的 $1/1840$ 。

在正常情况下,由于原子核内的正电与核外电子的负电互相吸引,原子中的电子不能脱离原子核,由于正、负带电相等,使得原子保持为电中性。

实际上电子绕核运动是非常复杂的,正象地球绕太阳系运动一样,有公转也有自转,因此除电特性外,还有磁特性。核外电子并没有恒定的轨道,视电子具有的能量不同,呈跳跃式变化,也就是说核外的电子各处一定的能级轨道上。按能级轨道,则可将电子看作是处于不同的壳层,构成壳层分布,显然外层的电子能级比内层电子能级高。按该排列顺序,说明低能级的电子最稳定。一般由主量子数来区分的壳层为主壳层,又称为 K($n=1$), L($n=2$), M($n=3$), N($n=4$)……。每个主壳层又分亚壳层 s、p、d、f……。一般来说,主量子数中 n 越小电子能级越低。而每一个壳层只能容纳一定数量的电子 $Z_n = 2n^2$, 这样第一层容纳两个,第二层容纳 8 个,第三层容纳 18 个等。

原子核最外层的电子比较容易离开原子核,能与其他原子发生化学结合的电子称为价电子。原子团或分子失去电子后,正负电失去平衡,成为所谓的正离子;得到电子的原子、原子团或分子称为负离子。

各种原子得失电子的能力,取决于电子在原子壳中的势能,克服这种势能,将电子移到核外所作的功称为该物质的功函数。实践证明,将氢原子中的电子取出,所需的功函数约为 13.6 电子伏特(即为 2.18×10^{-18} 焦耳)。

综上所述,原子得失电子的能力主要取决于外层电子势能的大小,而势能大小又是依据原子的电子层结构、原子半径大小和原子核中质子的数量。除惰性气体而外,原子外层电子较少者,容易失去电子;原子半径越大或原子内质子数量少者,也容易失去电子。反之,如果原子核外电子愈多、原子半径越小、原子核内质子较多,则容易获得电子。

由此可知,物质得失电子的能力主要取决于物质本身的电结构特性,当然也受到外电场的作用和影响。

二、原子和分子间的作用力

分子是由原子组成,分子是保持物质化学性质的最小粒子。物质的分子是由同一种原子所组成者称为单质;由不同原子所组成者称为化合物。

分子中原子之间存在着强烈地相互作用,这种作用一般情况下起支配作用的是吸引力,但过份靠近时它们之间又产生排斥力,即原子之间或电子之间的斥力统称为玻恩斥力。我们把分子中相邻两个或多个原子(或离子)之间存在着主要互相吸引作用称为化学键。化学键包括离子键、共价键和金属键。

离子键是由正、负离子的库仑力作用而形成的化学键,由离子键所形成的化合物称为离子型化合物。如 NaCl,就是由 Na 失去电子成为正离子,Cl 得到电子而变成负离子,彼此吸引结合而成的。由离子键所构成的分子,如其中正、负电荷中心不重合而带有极性,属极化分子。

共价键,由相同或不相同的原子,共用电子对而形成的化学键。在共价键构成的分子中,只有原子而不存在着离子。例如 Cl_2 和 HCl 就是两个典型的例子。此类化合物中 H_2O 、 SO_2 、 NH_3 均属

于极性分子。这是由于不同原子中的原子核对共有电子的吸引力不同,使电子偏向引力较强一方所引起的。极性分子在分离过程中会产生严重的静电现象,作为防静电研究将应重视这种现象。

金属键,在金属晶格中自由电子在金属原子或离子所构成的晶格之间不停顿地运动,由它们之间的相互作用力而形成的化学键称为金属键。也就是说金属内部粒子间的化学键。金属原子最外层的价电子和原子核的联系比较松弛,很容易失去电子,而成为正离子。

无论是气态、液态或固态的分子构成的物质都是许多分子所组成的。在分子间存在一种较弱的作用称为范德华力。它若比原子的作用力小一到二个数量级,其作用力则由三个方向的作用力所组成。

(1) 取向力。两个极性分子靠近时,同级性互相排斥,异极性互相吸引产生相对运动,最后是异性相对,同性远离,这称为分子取向。这种分子取向所形成的作用力称为取向力。

(2) 诱导力。当极性分子靠近非极性分子时,由于偶极矩的作用,使非极性分子发生极化,产生分子的正、负电荷中心不重合,由外来影响而产生的偶极子叫做诱导偶极子,这种诱导偶极子与被极化分子所产生的力叫诱导力。

(3) 色散力。非极性分子间也存在着相互间的吸引力。这是由于非极性分子内部原子核和电子都在不停的运动,不断地改变自己的相对位置,如在某一瞬间,正、负电荷中心发生偏离,就产生瞬时偶极子。如果相邻分子也产生瞬时偶极子,它们中所产生的力,称为色散力。

三、导体和绝缘体

导体和绝缘体,一般是用电阻率或电导率大小来划分的。电阻率和电导率是表征材料导电性能的宏观参数。它对材料的实际应用和导走所产生的静电至关重要。

导体和绝缘体可以从原子核外电子层能级的观点加以解释。