

Environmental Pollution Remediation
Using Non-Thermal Discharge

非热放电 环境污染治理技术

朱益民 著 丁德文 审



科学出版社

非热放电环境污染治理技术

朱益民 著
丁德文 审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一部论述非热放电技术及其在环境污染治理中的应用的著作。书中给出了脉冲电晕放电、介质阻挡放电和直流电晕放电的研究结果,研究包括对多种非热放电特性的深入认识,以及对一些新放电发生方法的提出、实现和优化。并利用非热放电相关研究结果,进行了环境污染治理研究,包括对烟气中 SO_2 和 NO_x 、柴油机尾气、室内空气、餐饮油烟以及医院污水治理的研究。

本书可供从事与非热等离子体、环境污染治理相关研究与应用的科研机构、大专院校和生产厂家中的研究人员、技术人员和有关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

非热放电环境污染治理技术/朱益民著. —北京:科学出版社,2013
ISBN 978-7-03-036148-6

I. 非… II. 朱… III. 放电-应用-污染防治 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 292975 号

责任编辑:顾英利 聂海燕 / 责任校对:朱光兰
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 1 月第一次印刷 印张:13

字数:266 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

环境污染治理的重要性不言而喻,一些传统环境污染治理技术和新技术均具有自身的特点和不足。针对可能出现的环境污染,在污染发生前,可以通过环境评价和预测,对环境污染加以预防;在污染发生中,应该对环境污染加以控制,降低其危害;在污染发生后,可以进行环境污染治理和修复。无论是污染预防、控制,还是污染治理、修复,均离不开环境污染治理技术的应用。

一般认为环境学科的学术活动主要指发现环境相关的问题,并将其他专门的科学技术应用于环境问题的解决。获知、发掘并应用其作用机理于环境问题称为环境科学。解决其中的适用性,包括运行稳定性、可靠性、高效性、经济性等称为环境技术。在环境技术基础上的实际应用称为环境工程。所以专门的科学问题应在其他专门学科中解决,不在环境学科范畴。环境学科应该是综合学科,它必须服务于环境技术和工程,没有纯粹的环境科学。

自由发展会形成各自的特色,这些特色和行业特色是有区别的,海事大学的学科特色要求必须体现交通特色,特别是航运特色,海事大学的环境学科不同于其他学校,是特指的。需要结合海洋的特点而不是体现海洋特色,从而确保在交通行业中环境学科的领先水平。自身特色与学科特色能融合在一起当然好,但不一定要一致,在某种程度上,如果能成为一个自给自足的“个体户”,表示自身特色发挥得不错。

前些年强调零排放、零污染、清洁生产、绿色经济等新鲜概念,最近几年一直在强调节能减排,国策似乎有些避重就轻,但实为更加现实。发展和形成各种污染治理技术即为减排提供技术支撑,节能同时意味着减排,节能和减排是不可分的。

学以致用,发展能服务于社会的技术并得到认可,方能进入可持续的良性发展,循环经济就是很好的体现。因此,从事环境科学的同仁要注重可持续性,不要做“一竿子买卖”,这样才不会急功近利、不会自私自利。

鉴于以上认识,以非热放电为起点发展形成了一些环境污染治理方面的技术。技术形成不是为了单纯的研究,是根据机遇和需求而开展的,这导致本书章节间不够系统,每章可看成一个专题。

本书是对大连海事大学环境污染治理研究所所做部分工作的总结。其主要内容分两个部分:①非热放电研究结果,分别对脉冲电晕放电、介质阻挡放电、直流电晕放电和针阵列电晕放电进行了一些研究;②非热放电用于环境污染治理,分别对烟气排放的 SO_2 和 NO_x 、柴油机尾气、室内空气、餐饮油烟、医院污水进行了一些

治理研究。

其中第一部分内容一方面是为了理清技术本体的规律,另一方面是为了使第二部分中的污染治理技术更加成熟完善。非热放电作为一类高级氧化技术难以对各种环境污染治理普遍有效,因而需要同其他技术相结合。我们研究所对化工、生化等技术用于环境污染治理仅泛泛了解,本书对未研究的多种非热放电技术和环境污染治理技术不做细致描述,所及相关内容只为技术研究调研作铺垫。本书内容选取时,一方面希望将所做的有价值的工作表述出来;另一方面希望说明工作过程中的一些感悟和感受,所以在书中偶尔会插叙一些与研究内容看似无关的话。

本书旨在为环境类专业学生认知非热放电环境污染治理技术提供参考,不单以海事大学环境类专业学生作为受众。因而,未刻意体现交通特色,特别是航运特色,但从中可以得到一些交通方面的借鉴和启发。当然,书中也涉及一些与交通直接相关的内容,如脱硫脱硝、柴油机尾气处理等。需要说明的是,书中提及的某些技术尚不十分成熟,有待我们和有关同仁今后不断努力攻关。本书的研究结果以及有关感悟和感受有的可能并非特别严谨、也未必正确,乞授之以渔,又恐误人子弟,如果相关专业的学子在其成长过程中因阅读本书而有所得、有所悟,有关的科研技术人员能开卷有所收益,就是笔者最大的心愿。限于时间和水平,不足之处在所难免,敬请广大读者不吝指正。

作 者

2012年8月

目 录

前言

第 1 章 非热放电技术简介	1
1.1 非热放电定义	1
1.2 非热放电概述	1
1.3 辉光放电	2
1.4 电晕放电	4
1.4.1 正电晕放电	5
1.4.2 负电晕放电	5
1.4.3 脉冲电晕放电	7
1.5 介质阻挡放电	7
1.5.1 介质阻挡放电形成机理	8
1.5.2 影响介质阻挡放电的关键参数	10
1.5.3 DBD 反应器的放电功率	12
章后语	13
参考文献	13
第 2 章 脉冲电晕放电特性优化	15
2.1 概述	15
2.1.1 脉冲电晕特性	15
2.1.2 电源和反应器	16
2.2 脉冲电参数测量	16
2.2.1 实验装置	16
2.2.2 存在问题和原因分析	17
2.2.3 消去干扰和失真措施	19
2.2.4 精确测量方法	19
2.3 高压窄脉冲电源研究	22
2.3.1 脉冲能量测量和分析	23
2.3.2 充电回路研究	23
2.3.3 高压窄脉冲形成和传输研究	27
2.3.4 优化电源的建议	31
2.4 电源和反应器系统优化	32

2.4.1	影响脉冲电晕特性的因素	33
2.4.2	最佳脉冲电晕特性判据	34
2.4.3	电源和反应器系统优化	34
	章后语	37
	参考文献	37
第3章	介质阻挡放电能量利用率提高	39
3.1	专利查新分析及结论	39
3.2	研发背景	39
3.3	多重微放电协同一体放电装置	42
3.4	放电能量利用率的提高	45
3.4.1	不同电极结构对合成臭氧的影响	45
3.4.2	电源及频率对合成臭氧的影响	47
3.5	权利要求书	49
	章后语	50
	参考文献	51
第4章	直流电晕放电伏安特性	52
4.1	多针对板电晕放电伏安特性	52
4.1.1	伏安关系式中 c 值确定	52
4.1.2	针尖半径对伏安特性的影响	56
4.1.3	小结	59
4.2	多针双极电晕放电伏安特性	60
4.2.1	实验结果和讨论	60
4.2.2	多针双极电晕放电伏安关系	62
4.2.3	小结	64
4.3	线极电晕放电伏安特性	64
4.3.1	线-筒式电晕放电伏安关系	64
4.3.2	线-板式电晕放电伏安关系	68
4.3.3	线-线式电晕放电伏安关系	71
4.3.4	小结	72
	章后语	72
	参考文献	73
第5章	直流电晕放电光谱诊断	74
5.1	多针对板电晕放电光谱诊断	74
5.1.1	实验装置	74
5.1.2	实验原理	75

5.1.3 电离区形貌测定	76
5.1.4 I_{SPB} 与 I 关系确定	79
5.1.5 电子总数确定	81
5.1.6 小结	83
5.2 多针双极电晕放电光谱诊断	84
5.2.1 发射光谱测量	84
5.2.2 I_{SPB} 与放电电流 I 关系	85
5.2.3 讨论	87
5.2.4 小结	87
章后语	88
参考文献	89
第 6 章 针阵列电晕放电特性优化	90
6.1 多针对板电晕放电电极间距确定	90
6.1.1 负电晕放电电极间距确定	90
6.1.2 正电晕放电电极间距确定	91
6.1.3 小结	94
6.2 多针双极电晕放电电极结构优化	94
6.2.1 放电特性	94
6.2.2 电极结构优化	95
6.2.3 讨论	97
6.2.4 小结	98
6.3 针阵列双极电晕放电发生方法	98
6.3.1 方法提出	98
6.3.2 结构特征	99
6.3.3 工作原理	99
6.3.4 潜在优势	100
6.3.5 小结	101
章后语	101
参考文献	102
第 7 章 脉冲电晕放电烟气脱硫脱硝	103
7.1 烟气脱硫脱硝技术现状	103
7.2 脉冲电晕法研究结果	104
7.3 脉冲电晕反应器研究	105
7.3.1 脱除过程中作用因素研究	105
7.3.2 对反应机理认识	109

7.3.3 电源/反应器优化	110
7.4 脉冲电晕脱硫工业小试	112
7.4.1 关键参数之间关系	113
7.4.2 系统参数确定	113
7.4.3 电源/反应器调试	115
7.4.4 实验结果与存在问题	118
章后语	119
参考文献	119
第8章 电晕放电与催化结合处理燃油尾气	120
8.1 柴油机尾气概述	120
8.1.1 炭烟微粒的危害	120
8.1.2 NO _x 的危害	121
8.2 非热放电燃油尾气污染控制	121
8.2.1 炭烟捕集	121
8.2.2 NO _x 降低	123
8.3 非热放电尾气治理	127
8.3.1 炭烟微粒捕集	127
8.3.2 高温炭烟捕集实例	128
8.3.3 非热放电净化 NO _x	129
章后语	130
参考文献	130
第9章 电晕放电和(光)催化结合室内空气净化	132
9.1 引言	132
9.1.1 室内环境问题的产生和危害	132
9.1.2 室内空气污染来源	132
9.1.3 室内空气净化方法	132
9.2 针阵列双极电晕放电捕集颗粒物	133
9.2.1 颗粒物捕集实验装置	133
9.2.2 捕集颗粒物原理	135
9.2.3 一次性通过反应器颗粒物捕集效果实验研究	138
9.2.4 封闭室内颗粒物捕集效果试验研究	141
9.2.5 结果与分析	141
9.3 非热放电室内空气消毒作用	144
9.3.1 空气自然菌消毒	144
9.3.2 PIV 病毒灭活	151

9.4 非热放电和(光)催化降低气态污染物	155
9.4.1 电晕放电降低 HCHO	155
9.4.2 电晕放电与光催化协同降低 NO _x	159
9.4.3 电晕放电与光催化协同降低多种气态污染物	164
9.4.4 催化降低放电产生的有害副产物	167
章后语	174
参考文献	175
第 10 章 电晕放电餐饮油烟净化	178
10.1 引言	178
10.2 实验装置	178
10.3 结果与讨论	179
10.3.1 非热放电特性	179
10.3.2 油烟净化效率	180
10.3.3 应用实例	182
10.3.4 可靠性分析	183
章后语	183
参考文献	184
第 11 章 介质阻挡放电合成臭氧处理医院污水	185
11.1 医院污水来源及危害	185
11.2 医院污水消毒处理技术	186
11.3 实验装置建立	187
11.3.1 污水反应器入口臭氧浓度	187
11.3.2 臭氧灭菌效率计算方法	188
11.4 粪大肠菌群处理效果	188
11.4.1 静态实验	188
11.4.2 动态实验	189
11.5 细菌总数处理效果	190
11.5.1 静态实验	190
11.5.2 动态实验	193
11.6 小结	194
章后语	194
参考文献	195

第 1 章 非热放电技术简介

本章将首先给出非热放电的定义,然后从说明等离子体出发,概述非热放电的主要特性和分类。之后的各章与辉光放电、电晕放电和介质阻挡放电直接相关,分别介绍这些非热放电发生方法及其重要参数和特性,并指出其在环境污染治理中的主要应用。本章有助于读者初步了解非热放电基础知识。

1.1 非热放电定义

如果加在气体介质上的外界电场足够强,气体中的初始电子在其自由程内将获得足够的能量来碰撞、电离其他的分子或原子,电离产生的电子将会引发更多的电离过程并产生更多的带电粒子,这个过程连续进行将大大提高气体的电离度,从而引发气体放电。由于离子的质量远大于电子,所以电子从电场中获得能量的能力远大于离子。当电场还不能为离子提供足够能量时,体系中只有电子的温度较高,这样的放电称为非热放电或低温等离子体放电。

1.2 非热放电概述

等离子体是物质存在的第四种状态。它由电离的导电气体组成,其中包括六种典型的粒子,即电子、正离子、负离子、激发态的原子或分子、基态的原子或分子以及光子。

等离子体就是由上述大量正负带电粒子和中性粒子组成、并表现出集体行为的一种准中性气体,也就是高度电离的气体。无论是部分电离还是完全电离,其中的负电荷总数等于正电荷总数,所以称为等离子体。

由于物质分子热运动加剧,相互间的碰撞就会使气体分子产生电离,这样物质就变成由自由运动并相互作用的正离子和电子组成的混合物,把物质的这种存在状态称为物质的第四态,即等离子体态(plasma),有别于物质的三种基本形态(即固态、液态和气态)。因为电离过程中正离子和电子总是成对出现,所以等离子体中正离子和电子的总数大致相等,总体来看为准电中性。所以等离子体可定义为:正离子和电子的密度大致相等的电离气体。

从微弱的蜡烛火焰中可以观察到等离子体的存在,而夜空中的满天星斗是高温的完全电离等离子体。据印度天体物理学家萨哈(M. Saha, 1893~1956)的计

算,宇宙中 99.9% 的物质处于等离子体状态。自然界中的等离子体有:太阳、电离层、极光、雷电等。在人工生成等离子体的方法中,气体放电法比加热的方法更加简便高效,诸如荧光灯、霓虹灯、电弧焊、电晕放电等。等离子体密度分布范围是从稀薄星际等离子体的 10^6 个/ m^3 到电弧放电等离子体的 10^{25} 个/ m^3 ;温度分布范围则从低温等离子体的 100 K 到超高温核聚变等离子体的 $10^8 \sim 10^9$ K (1 亿~10 亿开)。

通常,等离子体中存在电子、正离子和中性粒子(包括不带电荷的粒子如原子或分子以及原子团)等三种粒子。设它们的密度分别为 n_e 、 n_i 、 n_n ,由于其为准电中性,所以电离气体分子密度: $n_e \approx n_i$ 。于是,定义电离度 $\beta = n_e / (n_e + n_n)$,以此来衡量等离子体的电离程度。日冕、核聚变中的高温等离子体的电离度都是 100%,像这样 $\beta = 1$ 的等离子体称为完全电离等离子体;电离度大于 1% ($\beta \geq 10^{-2}$) 的称为强电离等离子体;而诸如火焰中的等离子体,大部分是中性粒子 ($\beta < 10^{-3}$),则称为弱电离等离子体。

若放电是在接近于大气压的高气压条件下进行,那么电子、正离子、中性粒子会通过激烈碰撞而充分交换动能,从而使等离子体达到热平衡状态。若电子、正离子、中性粒子的温度分别为 T_e 、 T_i 、 T_n ,把这三种粒子的温度近似相等 ($T_e \approx T_i \approx T_n$) 的热平衡等离子体称为热等离子体(thermal plasma),热等离子体发生装置称为等离子体炬(plasma torch)或等离子体射流(plasma jet)。

此外,数百帕以下的低气压等离子体常处于非热平衡状态。此时,电子在与离子或中性粒子的碰撞过程中几乎不损失能量,所以有 $T_e \gg T_i$, $T_e \gg T_n$,称为低温等离子体(cold plasma)。即使在高气压下,低温等离子体也可以通过不产生热效应的放电模式来生成。非热放电(non-thermal discharge)主要分为辉光放电(glow discharge)、电晕放电(corona discharge)、介质阻挡放电(dielectric barrier discharge, DBD)、滑动电弧放电(glide arc discharge or plasma arc)、射频放电(radio frequency discharge)和微波放电(microwave discharge)等。

1.3 辉光放电

辉光放电是稀薄气体中的自持现象,它因放电时管内出现特有的辉光而得名。辉光放电可分为亚辉光放电、正常辉光放电和反常辉光放电三种类型。

辉光放电的物理机制是,放电管两极的电压加大到一定值时,稀薄气体中的残余正离子被电场加速,获得足够大的动能去撞击阴极,产生二次电子,经簇射过程形成大量带电粒子,使气体导电,同时放电管内产生明暗光区。管内的气体不同,辉光的颜色也不同。

辉光放电的特点是电流密度小,温度不高,在放电管两极电场的作用下,电子和正离子分别向阳极、阴极运动,并堆积在两极附近形成空间电荷区。因正离子的

漂移速度远小于电子,故正离子空间电荷区的电荷密度比电子空间电荷区大得多,使得整个极间电压几乎全部集中在阴极附近的狭窄区域内。这是辉光放电的显著特征,而且在正常辉光放电时,两极间电压不随电流变化。

低压气体在着火之后一般都产生辉光放电。若电极是安装在玻璃管内,在气体压力约为 100 Pa 且所加电压适中时,放电就呈现出明暗相间的 8 个区域(图 1.1)。图中下方的曲线表示光强的分布,按从阴极到阳极的顺序分为 7 个区。

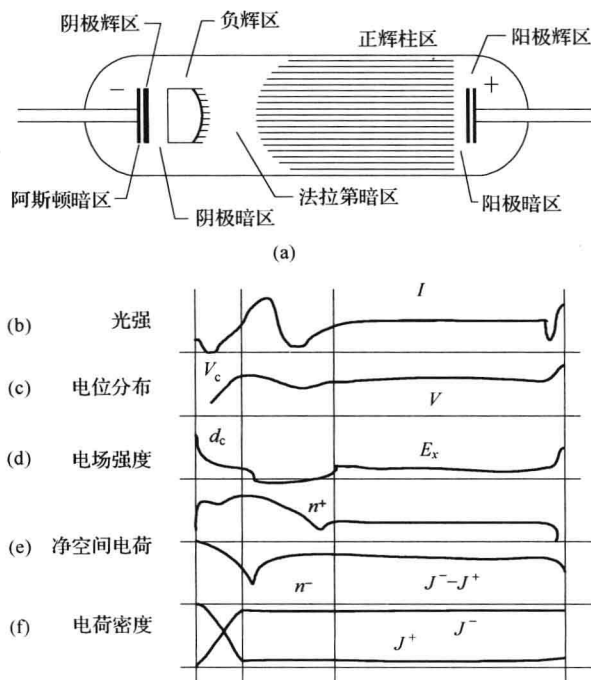


图 1.1 辉光放电各区域(a)与参数示意(b)~(f)

(1) 阿斯顿暗区:它是阴极前面很薄的一层暗区,是 F. W. 阿斯顿于 1968 年在实验中发现的。在本区中,电子刚离开阴极,飞行距离尚短,从电场得到的能量不足以激发气体原子,因此没有发光。

(2) 阴极辉区:紧接于阿斯顿暗区,由于电子通过阿斯顿暗区后已具有足以激发原子的能量,在这一区域会造成激发,当激发态原子恢复为基态时就发光。

(3) 阴极暗区:又称克鲁克斯暗区。抵达本区域的电子能量较高,有利于电离而不利激发,因此发光微弱。

(4) 负辉区:紧邻阴极暗区,且与阴极暗区有明显的分界。在分界线上发光最强,后逐渐变弱,并转入暗区(即法拉第暗区)。负辉区中的电子能量较为分散,既有低能量的电子也有高能量的电子。

(5) 法拉第暗区:负辉区到正辉柱区的过渡区域。在本区中电子能量很低,不发生激发或电离,因此是暗区。

(6) 正辉柱区:与法拉第暗区有明显的边界,是由电子在法拉第暗区中受到加速,具备了激发和电离的能力后在本区中激发电离原子而形成的,因发光明亮又称正辉柱。正辉柱区中电子、离子浓度很高(约为 $10^{15} \sim 10^{16}$ 个/ m^3),且两者的浓度相等,因此称为等离子体。正辉柱区具有良好的导电性能;但对它的自持放电来说,不是必要的区域。在短的放电管中,正辉柱区甚至消失;在长的放电管中,它几乎可以充满整个管子。正辉柱区中轴向电场强度很小,因此迁移运动很弱,扩散运动(即乱向运动)占优势。

(7) 阳极辉区和阳极暗区:在电子到达阳极以前的几个自由程的距离内,电子从电场获得相当大的能量,这些电子能够激发气体原子发光,所以在阳极附近会出现阳极辉光。

应该指出,上述的各个暗区并不是绝对无光,而只是相对于亮的辉光区域而暗了一些,如阳极暗区实际上比阴极辉光区还要亮。它们在放电中不是典型的区域。

辉光放电在环境污染治理中有重要应用。大气压下辉光放电灭菌技术以其温度低、时间短、无毒性等诸多特点,克服了蒸气、化学等传统方法使用中的不足,可以对各种医疗器械进行高效可靠的消毒灭菌处理。同时辉光放电在催化剂的制备中也有广阔的应用前景。目前,正广泛开展分子筛负载贵金属催化剂用于氮氧化物还原、烃类催化燃烧、异构化和脱硫等方面的研究。用辉光放电等离子体处理浸渍法制备催化剂可使其酸性增强,分散度显著提高并在反应过程中保持稳定。此外,辉光放电还在降解水溶液中有机污染物、饮用水净化、氧化降解反应等方面有着重要的应用。

1.4 电晕放电

气体介质在不均匀电场中的局部自持放电是最常见的一种气体放电形式。在曲率半径很小的尖端电极附近,由于局部电场强度超过气体的电离场强,气体发生电离和激励,出现电晕放电。其特点是,发生电晕时在电极周围可以看到光亮,并伴有滋滋声。电晕放电可以是相对稳定的放电形式,也可以是不均匀电场间隙击穿过程中的早期发展阶段。

在电晕放电中,电场不均匀性对放电特性起重要作用,它与电极几何构型、电极间气体种类等有很大关系,所以电压高低、电极形状、极间距离、气体性质决定着电晕放电的特性。

在强电场区气体电离发光形成电离区域,或称电晕层。在此区域外,因电场弱,电流传导主要依靠正负离子和电子迁移,称该区域为迁移区域。电晕放电是一

种自持放电,当电极间电压升到一定值 V_s 时电晕发生,称 V_s 为起晕电压,以电极间电流突变和强场区微弱辉光为表征。

电晕放电可以按极性分为正电晕和负电晕;按电压分为直流电晕、交流电晕、高频电晕和脉冲电晕;按电极数目分为单极电晕、双极电晕和多极电晕等。下面主要对正电晕、负电晕以及脉冲电晕的发生机理进行介绍。

1.4.1 正电晕放电

正电晕放电是指针极或线电极加正高压时产生的电晕放电。在初始阶段,正极小区域内因高电场强度发生碰撞电离。自由电子在电场作用下向阳极趋近,产生电子雪崩,在阳极附近电子雪崩产生的正离子云扩展到阳极,二次雪崩产生的正离子云也指向阳极,这一模式构成初始流光(图1.2)。

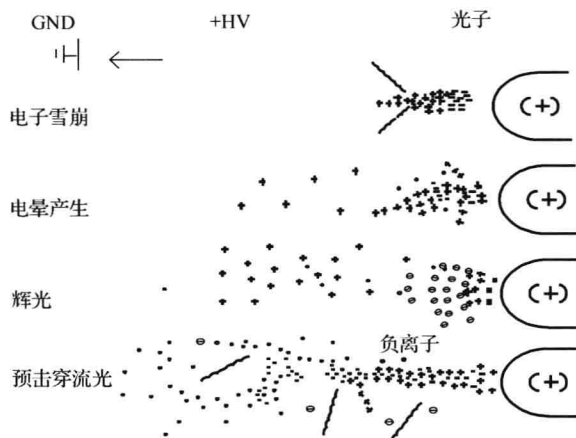


图 1.2 正电晕电子雪崩发展过程

在电压稍高时,在阳极表面周围可能形成负离子云,导致大量初始流光。这些短流光在空间中重叠出现,形成辉光放电,此时对应的电流在高压回路中接近稳定。

另一种发展模式是,当电压仍保持较高时,阳极周围的负离子云不再保持稳定,而是被强烈的预击穿流光代替,形成不规则的高电流脉冲。

如果继续提高电压,最终导致空气间隙击穿。图1.3所示为针板间距与正电晕各种放电形式及电压的关系。

1.4.2 负电晕放电

负电晕放电是指针极或线电极加负高压时产生的电晕放电。在初始阶段,阴极附近产生快速稳定的脉冲电晕的模式称为 Trichel 脉冲电晕。每一电流脉冲对

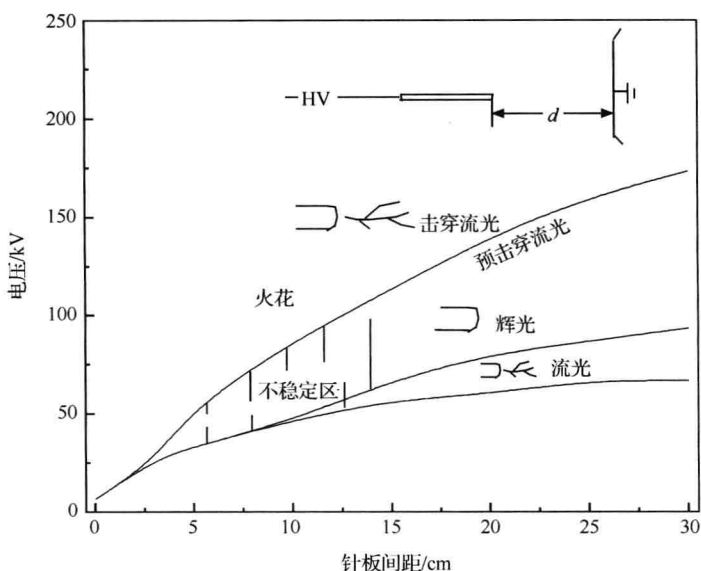


图 1.3 正电晕起晕电压和火花电压与针板间距关系

应一个电离区域的电子雪崩。电离区域由阴极表面外层向外扩展,直到电场减弱到碰撞电离小于电子吸附为止,也就是到迁移区域为止。在迁移区域中,雪崩产生的电子吸附到气体分子上形成负离子,继续缓慢漂移远离阴极。在雪崩增长过程中,从雪崩中心产生的一些光子向各方向辐射,进而产生光电子作为辅助的雪崩(图 1.4)。电子和负离子远离阴极而正离子趋向阴极形成回路电流脉冲。随着电压增加,Trichel 脉冲重复频率达到一阈值,形成稳定的负辉光。保持更高的电压,预击穿流光的发生最终导致完全气体击穿。

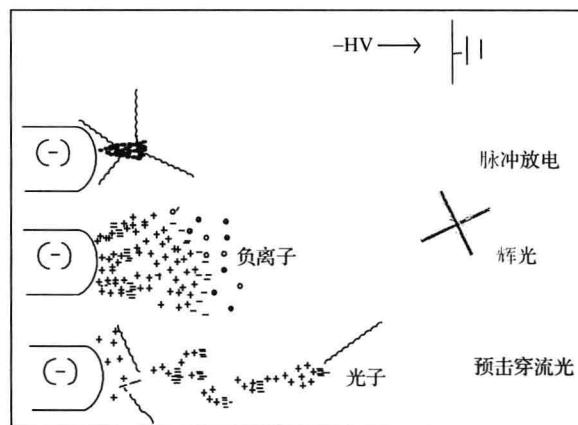


图 1.4 负电晕放电的电子雪崩发展过程

1.4.3 脉冲电晕放电

在脉冲电压供电时产生的电晕放电称为脉冲电晕放电。此时在空气间隙内电晕发生几乎无空间电荷,因此电子雪崩和流光繁衍能达到更远距离。相对于直流电晕放电来说,这种放电有更大的可用电压范围,放电也更强烈。图 1.5(a)和图 1.5(b)分别为正脉冲电晕和负脉冲电晕初始流光及其分支的踪迹照相。相对于负脉冲电晕来说,正脉冲电晕中流光发展能达到更远的距离,甚至在整个放电间隙中存在,因此可用的电压峰值可以更高而不发生火花击穿。

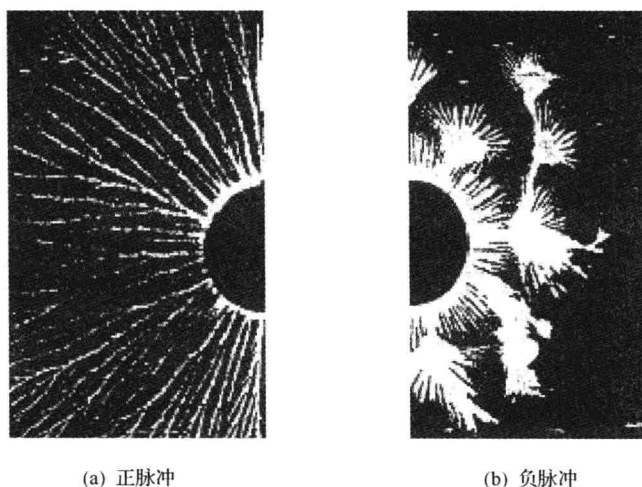


图 1.5 脉冲电压作用下电晕放电踪迹照相

电晕放电在环境污染治理中有广泛的应用。工业静电除尘已在各领域成功应用几十年。现在已将电晕放电应用于室内空气净化和工业空气净化,除了具有同工业除尘一样的功效外,在空气净化中电晕放电还起到消毒灭菌和去除一些气态污染物的作用。脉冲电晕放电在挥发性有机物(volatile organic compound, VOC)去除、烟气脱硫脱硝、柴油机尾气净化等方面显示出快速有效等优势,相关技术研究还在发展过程中。

1.5 介质阻挡放电

介质阻挡放电(dielectric barrier discharge, DBD)是根据电极结构而定义的,即在两电极之间或至少一个电极表面存在介质层,以交流高压给电极供电,从而在电极间气隙内发生微放电。

按照放电发生的区域分,DBD 有沿面放电(surface discharge)和无声放电