

# 中国防静电

JOURNAL OF CHINA ESD CONTROL

| 防 | 静 | 电 | 权 | 威 | 传 | 媒 |

中国电子仪器行业协会防静电装备分会主办



4 | 2014  
总第87期

ISSN 2220-8186



New!

全球领先的静电  
防护与洁净护理的**专业**生产商

KINGPOWER  
金标王



100级GMP洁净车间生产 安全保护又保障  
绿色 创新 领先

#### 抗静电抗菌洗手液

新产品符合EN1040及EN1499, 60秒内杀灭99.9%的各类细菌;成份中100%不含三氯砷及其他受争议的杀菌成份。

#### 抗静电免洗消毒啫喱

经实验证明,有极强的抗静电抑菌消毒作用,抑菌率99.99%。配方温和,并富含维他命E和芦荟精华,保湿,滋润,护肤不伤手。100级GMP车间倾力打造。

#### 防静电护手霜

该产品适用于静电防止工作区,特别室及洁净室环境中的人员,降低防静电手与人体皮肤的接触阻抗,不含任何重金属离子及其它污染物质,同时具有良好的护肤效果。符合美国国防部1686A标准及263技术手册标准。

#### 维他命B5静电护手霜

本品由静电防护与日化护理专家共同打造,历经十余年,突破科技极限,全球首创由化妆品级引入高科技电子行业的静电护肤霜,悉心呵护你的肌肤,留住你的青春,令产品更加安全。



无需水洗  
抑制99.99%的细菌  
金黄色葡萄球菌  
大肠杆菌

美国金标王电子化学制造有限公司荣誉出品  
(香港)汇高实业有限公司监制

官网: www.gwesd.com

全国免费电话: 4006398378





# 杭州电盾装饰材料有限公司

杭州电盾装饰材料有限公司，是一家主要从事基础导电材料、功能性混凝土的销售和施工，以及相关技术和产品的咨询、设计、服务于一体的专业新型企业。

作为本公司研发制造并经营的主导产品：防静电水磨石、防静电砂浆(耐磨)、防静电不发火地面的产品销售和专业施工，其防静电功能稳定永久和建筑物同寿命，适用于各种有防静电、洁净需求的场所，相关应用技术已广泛用于通讯、电子、医药、精密仪器、石油化工及国防工业。

电盾公司是中国电子仪器行业协会防静电装备分会会员单位，并具有《中国防静电装备工程施工资格认定证书》和《中国防静电装备产品销售资格认定证书》，荣获由中国品牌质量管理保障中心，授予二0一一年度《浙江省重质量守诚信优秀示范单位》的称号，并授予二0一三年度《315消费者满意示范单位》等称号。

本公司荣获由中国电子商务协会数字服务中心和全球网站联盟广告大会组委会，共同授予二0一二年度全球诚信网站联盟诚信会员单位。

公司以雄厚的技术实力和诚信，服务于相关行业。在为企业和部门提供服务的过程中，可根据客户相关特征及实际需求，针对性设计客户适用的技术方案，本公司继续将以高性能低成本的新型防静电系列产品积极推向市场，永远解除静电所带来的影响和破坏，公司坚持“以人为本、诚信第一、共创双赢”的经营理念，服务于广大客户。



高铁萍乡站



浙大中控



正泰电器



杭州燃气站



杭州电盾装饰材料有限公司  
贵公司销售的下列产品：  
导电粉  
防静电地板及配管产品  
经检验和审查，符合有关条件，特发此证。



杭州电盾装饰材料有限公司  
贵公司工程施工业务范围：  
防静电系统设计与施工  
经审查核定，符合有关条件，特发此证。



杭州电盾装饰材料有限公司

地址：杭州市竞舟路238号

联系人：唐先生

电话：400-998-1176 手机：13357131176 传真：0571-86686244

网址：<http://www.hzdiandun.com/7239-453/14950.html> E-mail: 626146467@qq.com

咨询电话：400-998-1176

中国防静电  
JOURNAL OF CHINA ESD CONTROL 季刊

1997年创刊

2014年第4期 (总第87期)

出版日期 2014年12月30日

主管部门: 中国电子行业协会

主办单位: 中国电子行业协会防静电装备分会

协办单位: 中国国际贸易促进委员会电子信息行业分会

合作单位: 中国电子科技集团公司第三研究所

编辑出版: 《中国防静电》编辑部

名誉主任: 孙延林

特邀顾问: 孙可平 张慧军

主任: 赵长明

副主任: 邹勇

编委会: 马敏生 王晨曦 冯文宣 庄晓荣  
刘清松 管映亨 王大千 孙玉荣  
宋兢男 翟铁英 廖志坚 盖志芳

主编: 张海萍

编辑: 陈增久 孙冰 时雯 高绿青

美编: 张爱君 李睿

编辑部地址: 北京市石景山区万达广场F座905室

邮政编码: 100040

电话: (010) 51246352

传真: (010) 68647410

E-mail: zgfdtdgx@126.com

国际标准刊号: ISSN 2220-8186

刊期: 季刊

出刊日期: 每季度末

### 广告目录

封面: 深圳市汇高金标科技有限公司

封二: 杭州电盾装饰材料有限公司

封三: 上海金嘉乐空气技术有限公司

封四: 天津市万顺源机房设备有限公司

### 迁址通知

P3 中国电子行业协会防静电装备分会迁址通知

P9 上海三威防静电装备有限公司迁址通知

## 目录

CONTENTS

### 协会动态

2 《电子产品防静电包装技术要求》标准编制启动会议及第一次编制会议召开

3 第三届静电防护与标准化国际研讨会在上海召开

### 学术探讨

4 油品静电测量方法及其新进展 梁合鹏, 王斌, 甘伟飞

7 棒形防雷接闪器防护范围高度效应试验新模型与计算方法研究  
阎明, 李建伟等

10 高分子材料抗静电剂的研究现状及发展趋势

管映亨, 邓青山

### 技术应用

16 EPA防静电系统质量管理体系的构建 孙延林

23 利用表面活性剂强化表面粒子的清除 王大千

34 防生物污染(或灭活)涂层 王大千

### 标准园地

35 S 4.1-2006对于静电放电敏感物品的保护工作台面-电阻测量  
侯鹏飞

### 学习园地

39 从《联合国电子政务调查报告》看中国电子政务发展

张靖

41 产业共生如何实现? (上)

李彬(译)

### 会展时空

43 2014电子行业盛会NEPCON华南展成功举办

### 协会园地

44 新会员单位、会员单位介绍

### 《中国防静电》2014年总目次

47 《中国防静电》2014年总目次



## 《电子产品防静电包装技术要求》 标准编制启动会议及第一次编制会议召开



本刊讯 中国电子仪器行业协会防静电装备分会于2014年8月14—15日在北京组织召开了《电子产品防静电包装技术要求》标准编制启动会议，工业和信息化部主管电子标准的领导、静电行业专家、申请参加此标准编写工作的8家企业、信息产业防静电产品质量监督检验中心及工业和信息化部防静电标准工作组（以下简称防静电工作组）相关人员出席了会议。

工业和信息化部主管领导就行标计划执行提出了具体要求，要求在征求意见阶段解决好标准涉及的技术问题，要面向社会广泛征求意见，并按计划时间节点完成。同时把工业和信息化部标准管理工作的变化及国家对标准管理工作的相关调整给予了政策指导。专家也对标准的编制提出要求，要求该标准的编制要与国际标准接轨，要统一测试方法和技术规范。该标准的编制工作难度非常大，涵盖的功能多，要做好分类，体现综合功能。会议就确定参编单位和主编单位、主要执笔单位；成立标准编制小组；讨论标准编制大纲并对工作进行具体分工；讨论确定编制进度和经费预算等议题进行了充

分讨论，并达成了以下共识。

### 参编单位

深圳市亨达洋静电技术有限公司  
深圳市新纶科技股份有限公司  
浙江三威防静电装备有限公司  
苏州天华超净科技股份有限公司  
东莞市常平大京九高聚物导电静电研究中心  
东莞市德诚塑化科技有限公司  
惠州市昌亿科技股份有限公司  
肇庆市广宁县凯欣宝橡塑制品有限公司

上述8家单位（排名不分先后）同意参与本标准的编制工作，信息产业防静电产品质量监督检验中心（以下简称质检中心）作为技术支持单位承担本标准的主要执笔工作，与主编单位共同负责标准大纲的编制工作。

### 主编单位

主编单位本着自愿报名、行业推荐、专家审定，会议讨论通过的原则，最终确定深圳市亨达洋静电技术有限公司作为本标准的主编单位。

### 标准编制工作组

成立了由8家参编单位、质检中心、专家及防静电标准工作组共同组成的标准编制小组。

### 编制进度

会议一致通过了从启动会议开始至2015年5月底前，用九个半月时间完成本标准编制的进度安排。

会议一致认为《电子产品防静电包装技术要求》标准编制是一项非常有意义的工作，对本行业的科研生产具有现实指导作用，应该抓紧做好。在本标准编制中要以开放式的思想来思考，要体现新技术、新方法，对企业的发展切实起到积极的促进





作用。

继标准编制启动会后，在防静电装备分会的组织协调下，在主编单位、主要执笔单位及各参编单位的通力协作和共同努力下，经过两个月的沟通和交流，承担起起草工作的深圳市亨达洋静电技术有限公司、信息产业防静电产品质量监督检验中心。提交了《包装技术要求》第一稿（初稿）。

防静电装备分会于2014年10月23—24日，在深圳组织召开了《包装技术要求》第一次编制会议。防静电装备分会、参与起草《包装技术要求》的主编单位、主要执笔单位、参编单位、生产厂家、用户以及特邀专家共20余人出席了本次会议，会议由《包装技术要求》主编单位刘青松总经理主持。

主编单位及主要执笔单位详细介绍了第一稿在编

写过程中涉及的重点问题，并提出了本次会议的讨论重点。

与会人员结合科研、生产、研发、使用的实践经验，对第一稿的重点问题进行了热烈讨论，提出了修改意见和建议。

特邀专家上海海事大学孙可平教授、深圳华为技术有限公司方辉政高工、深圳长城科技股份有限公司技术研发实验室陈韬高工、深圳市比亚迪股份有限公司罗根香高工对第一稿均提供了许多具有实际操作性的指导意见。

会议就标准的具体编写内容达成了共识，对下一阶段的工作进行了分工，并对编写进度进行了安排。

《包装技术要求》标准编制启动会议及第一次编制会议开的紧张有序，气氛活跃，讨论热烈，达到会议效果，取得圆满成功。

## 第三届静电防护与标准化国际研讨会 在上海召开

本刊讯 由中国标准化研究院等单位主办的“静电防护与标准化国际研讨会”于2014年10月14日在上海召开。该研讨会每年举办一次，会议邀请了美国国家标准学会及美国静电放电协会的专家针对ANSI/ESD S20.20标准内容进行了研讨，同时安排国内有关领域的专家学者、静电检测机构、防静电装备生产单位做了大会发言。本次会议还增加了智慧城市建设与静电防护的研讨内容。有关单位正在推进以上海为代表的智慧化城市建设，并致力于推动社会各界在智慧化城市建设中，重视静电防护工作的重要性。

中国电子仪器行业协会防静电装备分会作为本次研讨会的协办单位，孙延林理事长、庄载荣副秘书长莅临会议，与参会的专家学者们就我国防静电领域的技术与装备水平现状和发展前景交

换了意见。大家一致认为，在构建静电防护体系的标准方面，目前我国尚没有能够与美国ESD S20.20、国际电工委员会IEC61340-5-1相对应的国家标准，随着我国电子信息与微电子技术的快速发展，对静电防护工作的重视应该提高到国家的层面上来。

作为国内权威的专业防静电质检机构，信息产业防静电产品质量监督检验中心应邀参加了会议。廖志坚总工程师在研讨会上做题为“防静电工作区检验标准使用中的几个问题：使用ANSI/ESD S20.20和IEC61340-5-1的几点体会”的发言，阐释了对国际、国外先进标准的理解和使用体会。廖总的发言着重研讨了国际标准在我国实际工作中的应用，受到了参会嘉宾的重视和好评。

### 中国电子仪器行业协会 防静电装备分会迁址通知

中国电子仪器行业协会防静电装备分会办公地点已由北京市石景山区万达广场CRD银座8座1128室，迁至北京市石景山区万达广场F座905室（邮编：100040）。

联系电话（010）88647410、51248352

网址：[www.chinaesd.org.cn](http://www.chinaesd.org.cn)



# 油品静电测量方法及其新进展

梁合鹏, 王 斌, 甘伟飞

上海海事大学, 上海 200135

**【摘要】**在石化行业,油品的长距离在线输送是不可避免的,其中涉及到的油品静电现象已引起了业内人员的高度重视。防患于未然是解决油品静电事故的根本,从而对油品静电的测量就显得至关重要了。简要介绍了常见油品静电测量参数、测量原理、测量方法及近年来备受关注的油品电荷密度的测量的关键技术和其发展。

**【关键词】**油品静电; 测量; 探头; 电荷密度

## Means of Detecting Static Charge of Oil and Its New Development

**【Abstract】** It is inevitable for oil to delivery online long-distance in the petrochemical industry, and it has earned lots of attentions of the staffs that to attach high importance to the electrostatic problems involved in it. Measuring of charges or voltage of electrostatic is very important as we should nip in the bud before accidents caused by electrostatic occur. This article introduces the parameters and principle and means of detecting static charge of oil. It also shows us the key technology of electrostatic charge density measuring and its development in the recent years.

**【Keywords】** static of oil; measurement; probe; electrostatic charge density

从20世纪50年代开始,随着石油以及各类液体烃的广泛使用,液体油品的远距离输送在石化行业中变得举足轻重。与此同时,有关油气输送或者装卸过程中由于静电问题造成的事故与灾难也不断发生,有些事故现场十分惨烈,由此造成的损失更令人扼腕痛惜,为此付出的财力物力和人力更是不计其数。于是,现实的问题迫使业界不得不去重视、去研究油品输送过程中存在的静电问题<sup>[1-4]</sup>。

由于油品是高绝缘易带电介质,在加注和输送过程中很容易产生大量的静电荷。特别是在远距离的管道输送过程中,高速输送的油品与管道摩擦产生大量电荷,不容易泄放,电荷不断积累,在某种条件下就有可能发生各种类型的静电放电。结合油品的易燃、易爆特点,静电事故就会发生<sup>[5]</sup>。据统计,油品火灾爆炸事故中,超过10%的均属于静电事故。

我国石化行业各类安全事故和职业危害的频发,严重制约了我国石化行业的发展,知识的提升和技术的创新是行业亟待解决的问题,也推动着油品静电与防护技术的研究成为热点课题之一。同时,我国近年来对于油气安全问题研究的投入力度正在不断加大。

本文将就管道输送油品测量参数的选择、参数测量新技术发展,进行探讨。

## 1 常见相关参数的测量

理论上讲,静电电荷密度是表达带静电多少的最直观的参量,但是由于管输油品静电的产生和积累都是一个随机的动态过程,传统测量技术的发展水平限制了这一参量进行直接测量的可行性。过去,对于油品静电危险性的估算所涉及到的以往最常见的测量参数包括电荷量、静电电位,对于流动着的油品,也有人选择冲流电流作为分析油品起电能力与危险性的参量。随着测量技术的不断发展与进步,近年来对流动油品静电电荷密度测量的研究越来越深入,并取得了可喜的进展,研究人员先后提出了一些较为直观先进的静电电荷密度测试的方法。

### 1.1 电荷

静电电荷量的测量是开始最早,也是反映油品静电本质最直观的一个参数。由电磁场知识可知,电荷是产生电场的源,在相同的输油管道内,电荷量的积累决定了带电体发生静电问题的概率和危险性。对于静止或者形状规则的带电体的静电电荷量的测量,最常用的方法是法拉第筒法。其次,也可以通过测量静电电位间接去测静电电荷量。

### 1.2 电位

由电荷积累而形成的电场,可以看做静电场。



对于静电场而言, 电位是最基本的物理量。特别是在静电问题的分析过程中, 几乎所有涉及到油品静电安全的问题中, 静电放电才是事故的导火线。而实际案例中的静电放电与静电电位直接相关, 无论何种放电方式, 其发生的前提都是电位足够高。尤其是电晕放电和火花放电, 电位必须高到可以电离或者击穿空气的程度才可能发生。由此可知, 研究静电电位阈值以及静电电位的测量对静电火灾爆炸事故有及其重要的意义。所以, 油品所带静电的电位是衡量油品带电量多少和安全性的又一个重要参量。并且, 相对于其他测量参量来说, 对静电电位进行测量反而是容易实现的。因而, 在过去相对较长的一段时间内, 研究静电测量电问题时, 静电电位测量的研究占着相当大的比重。当然, 静电电位的测量相较其他方式也是发展的比较成熟的静电测量方法。

### 1.3 管道输送油品中的电荷密度

电位的测量虽然很常见, 但影响因素多, 重复性差。特别是管道输送油品的电位测量不易实施。

新的测试技术趋势是直接测量管道输送油品的电荷密度。这不仅更能反映油品带电的本质, 而且干扰因素少。上海海事大学静电研究团队, 正与中石化青岛安全工程研究院联手, 合理攻关这一前沿技术, 已经获得重大突破。

## 2 静电电位测量

### 2.1 测量方法

从测量探头上分, 静电电位测量系统分为接触式和非接触式两种方式。接触式测量系统的探头直接和被测带电体接触, 只能对金属带电体进行测量, 并且容易受检测仪输入电容和输入阻抗影响, 测量精度较低。此外, 在探头靠近带电体时容易发生前置静电放电, 这不但影响测试精度, 而且对易燃易爆品来说是及其危险的, 所以已经逐渐被非接触式所代替。非接触式测量时探头不需要和带电体接触, 主要靠静电感应原理采集感应电荷所产生的静电电位。非接触式既可用于金属导体的测量, 也可用于绝缘体和半导体的测量, 且克服了接触式测量方法中的缺点, 使该技术日趋成熟, 迅速普及。

### 2.2 非接触式测量原理

就现存的静电测量方法而言, 其测量原理主要有接地屏蔽——电压输入和信号自屏蔽——电荷耦合两种。后者在动态性能上存在绝对性的优势, 故自1989年我国研究人员提出之后, 就迅速发展并逐渐取代了前者。

信号自屏蔽——电荷耦合测量原理根据静电电位测量的特点, 利用静电信号高压电极作为传感器的屏蔽电极, 屏蔽深度与仪器灵敏度的要求相一致, 使灵敏度与抗干扰能力同步提高; 电荷耦合是指静电测量仪输入端接收的是电荷量, 此电荷量与被测电位成正

比, 通过电荷量的测量得到被测电位<sup>[5-11]</sup>。

### 2.3 探头及其发展

非接触式测量系统中的探头是及其关键的部分, 它负责对电位信息的获取, 换句话说, 探头的选取一定程度上决定了静电测量系统的精确度。对于非接触式测量方法来说, 探头可以分为直接感应式、旋转叶片式、振动电容式和集电极式4类。其中常用的是振动电容式, 由它构成的静电测量仪输入阻抗高、稳定性好, 是较先进的静电测试仪表。

虽然非接触测量方式相对接触式测量方式来说具有绝对的优势, 但是不得不承认就其自身来说仍旧是存在着极大的缺陷的。常规的非接触式测量方法是通过探头也即传感器去采集由静电荷产生的场的信息, 并以此来判定静电电位的强弱。但是, 在探测电极放进静电场中时, 是靠电场畸变去评估静电电位的, 改变了场的分布, 这对测量结果来说会造成很大的误差。虽然后期研究人员针对此问题不断进行改进, 但仍不能从根本上解决此问题。尤其是对输油管内流动着的油品来说, 其静电量本身就处在一个变化极快的动态过程中。伴随着静电场的时刻改变, 对于测量探头造成的误差甚至都无法定量估计。针对探头问题, 参考近年来国内静电测量学科的发展, 最近提出的比较先进的两种探头一种是内置式耦合式感应电极, 另一种就是下文要介绍的杆球式探测电极。

## 3 管道输送油品电荷密度测量新技术

目前, 国内外油品静电的检测, 大多在油罐、油舱、油库等部位。检测参数的选择上, 仅检测带电油品的静电电位。这种检测的主要缺点在于: 难于实现在线检测, 对于安全控制而言, 略显滞后; 检测参数静电电位, 易受周围构件、环境、分布电容等因素影响。

上文中提到的上海海事大学与青岛安全工程研究院联合研发的油品静电监控的智能系统, 其主要的突出特点, 一是易于实现在线检测; 二是安装部位提前至输油管道, 可以使安全控制关口大大提前; 三是检测参数设定为电荷密度, 这就更能反映油品带电的本质, 而且受周围条件的影响较小; 四是利用微处理器来完成对油品静电参数的采集、存储以及实时监控等功能。这在油品静电技术是一个新的尝试与突破。

### 3.1 杆球传感器的设计方案

本智能静电监测系统的传感器选用了杆球传感器, 直接安装于输送油品管道的末端, 管道的中心线上。

当液体在管道内流动时, 与管道绝缘的杆球被充电, 电位逐渐升高, 并开始向管壁泄露。当充电电流等于泄露电流, 达到充放电的平衡时, 杆球电位达到稳定值。为了测量管内中心电位, 特设计了一种杆球传感器, 见示意图1。杆球传感器的球状金属必须位于管道



中心。整个杆球传感器与管道绝缘,并密封,防止油品外泄。杆球传感器将静电信号耦合至压电陶瓷谐振器。

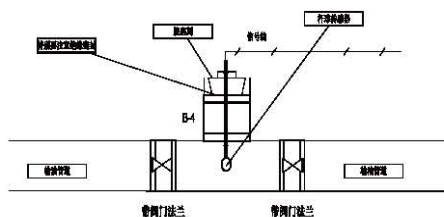


图1 杆球传感器示意图

从图1可知,杆球传感器采集带电油品的静电带电信息。然后耦合至压电陶瓷谐振器。整个传感器通过两个法兰连接,接入油品输送管道。压电陶瓷谐振器示意图见图2,图中1、2为压电陶瓷片,1为反馈片,2为驱动片。4为平板电容器的振荡极,3为振梁。在驱动片的驱动下进行振荡,振梁焊接于PCB板上。

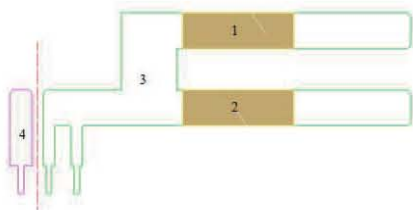


图2 压电陶瓷传感器示意图

该传感器充分利用了具有压电特性的压电陶瓷,其工作过程为交流电压加在片2,让振梁振动,进而引起1形变从而产生交流同频率的反馈信号,然后再把它供给传感器驱动电路用于正负静电的判别以及作正反馈,4亦接收振动且振幅最大,平板电容的另一静止极与4形成极板距离交变<sup>[27-28]</sup>。电容值改变相关极板上电荷量,交变的电流信号就产生了。该信号经由后续处理系统的处理,就可以给出要测的电荷密度的实时值。

### 3.2 在线监测数据处理系统简介

在线静电监测仪数据处理系统分为单片机主控模块,数据采集模块,数码显示模块,报警模块,串行通讯模块,打印模块等6个模块,系统组成框图如图3所示。主要模块简介如下。

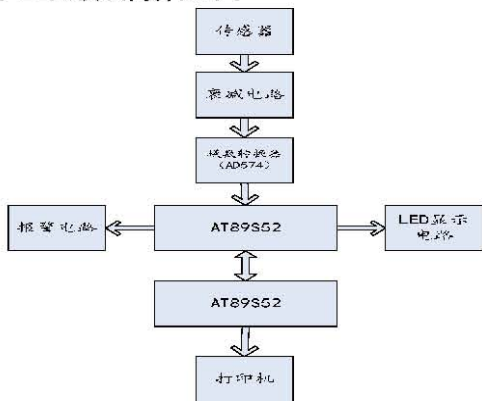


图3 数据处理系统组成框图

显示模块:显示装置采用6位有效数字LED显示器。

报警模块:当油品静电参数超过预先设定的安全阈值时,报警单元以声光方式报警。本系统在单片机端口连接一蜂鸣器且并接一发光二极管来实现。

串行通讯模块:由于单片机的I/O口资源有限,本系统中采用两块AT89S52型单片机,其一单独用来控制打印机,因而需要进行两块单片机之间的数据串行通讯,收发两方要有相同的波特率,为了使通讯稳定可靠收发两方均采用中断的方式来触发数据的发送与接收。

打印模块。

为了提高打印速度,这里通过并行接口连接的方式将单片机与微型打印机连接起来。

## 4 结束语

本文首先介绍了一些有关静电测量的选择参数及常用测量方法。重点介绍了管道输送油品电荷密度在线监测系统的设计思想及基本结构。

### 【参考文献】

- [1] SUN Keping, YU Geifei. Simulation test research on incentive ESD in tanker cargo [J]. Journal of Electrostatics, 2005 (63): 469-473.
- [2] 孙可平, 宋广成. 工业静电[M]. 北京: 中国石化出版社, 1994.
- [3] 孙可平. 静电基础理论应用技术研究[M]. 海口: 南海出版社, 2002.
- [4] 孙志强, 孙可平. 油品在油罐车运输中静电放电的防治研究 [D]. 上海: 上海海事大学, 2005.
- [5] 胡宏伟. 油品储运过程中产生静电的分析与措施[J]. 中国新技术新产品, 2009 (1): 84.
- [6] 刘尚合, 宋学君. 静电及其研究进展[J]. 自然杂志, 2007, 29 (2): 63-68.
- [7] 刘尚合, 魏光辉. 静电电位测量的现状与发展[J]. 物理, 1995, 24 (2): 108-112.
- [8] DROZIN V D. The electrical dispersion of liquid aerosol [J]. JColloid, 1995 (10): 158-164.
- [9] 丁鹤松, 张超. 振动电容式介质内部电荷测量仪研制[J]. 航天器环境工程, 2013, 30 (4): 26-29.
- [10] 魏小磊, 刘成国. 管输油品电荷浓度探测电极研究[J]. SOFTWARE, 2013, 33 (8): 93-95.
- [11] 尹浩, 田强. 非接触式静电检测仪的实用研究[J]. 探讨与研究, 2013 (11): 12-15.
- [12] 雷玉常, 董仕荣, 刘一兵, 等. 油品储运场所在线静电检测仪设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2012 (1): 100-101.



# 棒形防雷接闪器防护范围高度效应试验新模型与计算方法研究

阎明, 李建伟等

上海海事大学, 上海 201306

**【摘要】**提出了富兰克林防雷接闪棒防护范围试验新模型和一种计算方法, 探索富兰克林棒防护范围的高度效应。试验数据表明, 该模型对于上部电极与大地之间的长距离放电与模拟计算有很好的 consistency。

**【关键词】**接闪器; 防雷设计; 富兰克林棒; 雷击距离

**【Abstract】** A new model and a computational approach of Franklin rod on striking distance is discussed in this paper. The comparison with experimental and simulation of the Franklin rod show that the model has given results with a good approximation in the case large distances between the upper electrode and the ground.

**【Keywords】** air-termination system; design; Franklin rod; striking distance.

一个被称为“stochastic”模型的富兰克林接闪器已被几个研究者提出[1-3]。模型的细节虽略有不同, 但其共同特点是: 模型中发生的模拟雷击中的流光放电 (streamers) 和先导闪击 (leaders) 很易被局部电场控制, 而局部电场数据又很易从模型中的电极结构使用二维或三维格栅区域的拉普拉斯方程求解。

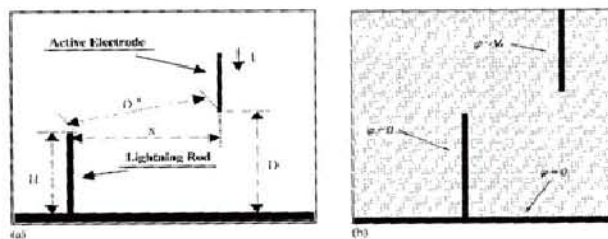
但这些模型在探索流光放电和先导闪击时, 均是分先后讨论这两个物理过程。而本文提出的改进型的“stochastic”模型和计算方法中, 则是将二者平行地进行。本文把先导闪击的传播限制在流光电晕放电 (streamers corona) 已经生长的 (have already growth) 的区域。

详见后述。

## 1 模型

本文提出的改进型的“stochastic”模型参见图1。图1a为实验室内的电极结构, 上部为有源电极, 模拟带电雷云, 离地面高度为D。下部为格栅型的地面电极, 总尺寸可达150cm×150cm, 代表地面建筑物或构筑物。高度为H的棒形物为富兰克林接闪器。图1b为模

拟计算示意图。有源电极的电位为V0, 模拟雷电电脉冲电压, 脉冲间隔为1.2 μs / 50 μs, 正极性。



a 为高压实验室内电极结构 b 为模拟计算时的示意图

图1 电极结构与富兰克林接闪棒示意图

为了试验接闪器高度对接闪的影响, 试验中使用了2种高度的接闪器, 一个高80cm, 一个高100cm。而模拟雷云的有源棒 (人为加上高压, 催生空气放电) 的高度则在80~150cm之间变化 (分成10个不同高度进行试验)。

## 2 计算方法

要使流光电晕放电发生并传播, 必须满足两个条件: 一是电场强度超过空气击穿场强 (大约为29~30kV/cm), 一个是所谓的种子电子 (a seed electron) 必须在适当区域存在, 以便开始电晕并形



成雪崩。流光放电生长的临界条件主要基于这两点假设。在每一个时间步阶 (time step), 在导电构筑物发生流光放电的点及其周围的电场应满足

$$E_i = \frac{\Delta V_i}{d} \quad (1)$$

式中:  $\Delta V_i$  为两点之间的电势差;  $d$  是其间的距离。若该点的电场高于空气击穿场强  $E_{th}$ , 即  $E_i > E_{th}$ , 这就是新的流光放电形成的时间。要在格栅上从一个点到另一点在一个临界方向上形成流光放电的传播, 这是必须的。记为形成时间。考虑到这个时间是随机的, 并按一个任意几率密度函数随机出现, 由于形成时间几率分布是未知的, 需使用任意 Weibull 分布:

$$f(t_s) = \frac{a}{b^a} t_s^{a-1} e^{-(t_s/b)^a} \quad (2)$$

式中:  $t_s$  为生成时间。该分布的平均值取决于电场, 电场又与电功率定律的任意函数有关

$$t_{mean} \propto \left( \frac{E}{E_{th}} \right)^{-n} \quad (3)$$

在计算了每一个候选带 (candidate bond) (即流光放电每一个可能的传播方向) 的生成时间之后, 电流迭代的时间步阶的计算程序则使用下式计算:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n t_s}{n} \quad (4)$$

然后, 所有每一个形成时间的候选带, 只要其时间步阶小于该形成时间, 均应加至导电构筑物。

下面简述一下该模型中先导闪击的生长过程。从先导闪击头部开始的大量流光放电先生成新的先导闪击截面。其总电流集中在很窄的通道内, 加热周围的空气, 抑制电子的损失, 空气的持续击穿维持了导电性, 热量大量释放, 使空气加热至 5000~6000K。由于大量的电子附着在流光等离子体中产生的负离子上, 电导率随温度的升高而增大。尽管流光放电/先导闪击的转换是一个复杂过程, 但可以肯定的是: 新的先导闪击的生成强烈地取决于闪击波头前面的电场强度。“stochastic”模型中所

使用的判据由文献[4]提出: 先导闪击由 P 点向另一点 P' 的传播方向选择的基础在于一个几率函数, 该函数又与空气击穿阈值有关:

传播几率:

$$probability \quad \phi \quad propagation = \frac{(E - E_{th})^n}{\sum_{P'} (E - E_{th})^n} \quad (5)$$

分母包括所有先导闪击传播的适宜方向。一个新的先导闪击部分仅仅在这样的两点之间形成, 一个点属于先导闪击 (P 点) 上的, 一个属于流光电晕放电上的点 (P')。模拟时如此边界的引入似乎给人有如此感觉: 正是流光放电准备了先导闪击的进一步发展。这种情况下的时间步阶被认为是一个常数, 因为先导闪击的速度取决于电场强度的变化。一般认为先导闪击的传播速度为  $10^8$  cm/s。

### 3. 结果与讨论

本研究的基本目的是计算雷击对地面的闪击距离 (用  $D$  表示) 和闪击对接闪器 (富兰克林棒) 尖端的闪击距离 (用  $D^*$  表示)。根据上部电极与富兰克林棒之间的距离  $x$ , 闪击既可能击中接闪器 (富兰克林棒), 也可能击中地面。但是, 在接闪器和地面一定距离的地方, 被闪电击中的几率是相同的 (参见图 2)。  $D^*$  可以由下式通过  $x$  和  $D$  来计算:

$$D^* = \sqrt{x^2 + (D - H)^2} \quad (6)$$

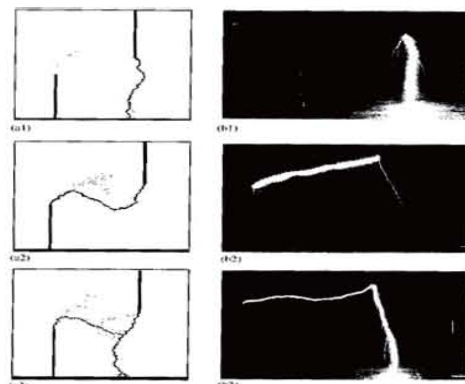


图2 模拟与试验图片

注: 左边 a1~a3 为模拟图; 图中细点表示流光放电; 粗、厚点表示先导闪击; 右边 b1~b3 为放电试验图片。



使用图1所示试验装置的试验结果参见表1。表1表明, 对接闪器的闪击距离 $D^*$ 短于对地的距离 $D$ 。模拟运算的结果也与此相同, 见表1。实验室内的试验结果示于图2左边的b1~b3图, 模拟结果示于图2右边的a1~a3图。

表1 试验数据与“stochastic”模型模拟结果比较

| H (cm) | 试验     |           |        |            | 模拟        |        |            |
|--------|--------|-----------|--------|------------|-----------|--------|------------|
|        | D (cm) | 电压峰值 (kV) | X (cm) | $D^*$ (cm) | 电压峰值 (kV) | X (cm) | $D^*$ (cm) |
| 80     | 80     | 476       | 64.7   | 64.7       | 480       | 63     | 63         |
|        | 90     | 516       | 76.7   | 76.3       | 520       | 66     | 66.7       |
|        | 120    | 632       | 96.9   | 107.4      | 640       | 85     | 83.3       |
|        | 130    | 680       | 104.1  | 116.3      | 700       | 100    | 111.8      |
| 100    | 100    | 554       | 69.2   | 69.2       | 555       | 70     | 70         |
|        | 110    | 583       | 84.8   | 86.4       | 600       | 80     | 80.6       |
|        | 120    | 632       | 102.9  | 104.7      | 640       | 92     | 94.1       |
|        | 130    | 690       | 108.5  | 113.4      | 700       | 107    | 111.1      |
|        | 140    | 748       | 116.2  | 122.7      | 760       | 113    | 128.8      |
|        | 150    | 787       | 120.2  | 130.0      | 780       | 117    | 127.2      |

“stochastic”模型考虑了闪电的基本机理和空气长气隙击穿过程的基本机理, 能够解释流光放电/先导闪击系统的形成。让人们试图引入电压、时间、空间之间的精确定量关系来探索防雷设计的希望有望实现。

把表1中试验数据与模拟分析加以对比可以看出, “stochastic”模型给出了上部电极与地面之间长

距离放电的良好近似, 可以作为探索、分析更复杂电极结构下的雷电现象奠定基础。更加关键的是, 本研究预测了棒形富兰克林接闪器保护范围的基本形状, 要么圆形, 要么椭圆形。为了使“stochastic”模型更加完善, 可以考虑使用正、负两种试验电压下的流光放电、以不同传播速度开展进一步试验, 以进一步修正“stochastic”模型的参数, 使人类对雷电的认识不断深入。

#### 【参考文献】

- [1] D.P.Agoris, V.P.charalambakos, et al. A computational approach on the study of Franklin rod height impact on striking distance using a stochastic model[J]. J.Electrostatics, 2004(60):175-181.
- [2] L.Pietronero, H.J.Wiesmann. From physical dielectric breakdown to the stochastic fractal model, Z.Phys. B—condens[J]. Matter, 1988(70):87-93.
- [3] N.Femia, L.niemeyer, etc. Fractal characteristics of electrical discharges: experiments and simulation[J]. J.Phys. D, 1993(26):619-627.
- [4] Yu.P.Raizer. Gas discharge Physics[M]. Beilin:Springer, 1997.

## 上海三威防静电装备有限公司 迁址通知

上海三威防静电装备有限公司地址已由上海市曹杨路362号金阳大厦2002室, 迁至上海市普陀区千阳路47号南2楼(邮编: 200333)。

联系电话 (021) 62446776

公司网站: www.swesd.com

邮箱: sanwei@sanwei-esd.com

原通讯地址停用, 特此通知。请新老客户相互转告。

上海三威防静电装备有限公司



# 高分子材料抗静电剂的研究现状及发展趋势

管映亭, 邓青山

深圳市新纶科技股份有限公司, 广东 深圳 518000

**【摘要】**阐述了抗静电剂的作用机理和使用方法, 根据结构进行了分类, 并介绍了各类抗静电剂的制备方法。在此基础上分别介绍了抗静电剂在部分领域的应用及选择, 分析了抗静电性能影响因素, 展望了抗静电剂的发展趋势。

**【关键词】**抗静电剂; 机理; 制备; 研究现状; 发展趋势

## Research Status and Development Trend of Polymer Antistatic Agent

GUAN Yingting, DENG Qingshan

**[Abstract]** This paper explains the mechanism and usage of antistatic agent. Classification are made by structure. The methods for production of antistatic agents are introduced. The selection and application of antistatic agents in various fields are listed. The influencing factors of antistatic properties are analyzed. Finally the developing trend of antistatic agent are expressed.

**[Keywords]** antistatic agent; mechanism; preparing; research status; development tendency

相对无机和金属材料, 高分子材料具有成本低, 可塑性强, 并具有特殊性能等优势, 使其应用领域越来越广, 用量逐渐增大, 然而高分子材料也存在一些缺陷, 大部分高分子材料表面电阻率大于 $10^{11}$ 次方, 属于绝缘材料, 经过碰撞, 摩擦或静电感应等作用下, 容易在材料表面聚集静电荷<sup>[1]</sup>, 且难以消失, 吸引尘埃, 不仅影响高分子材料产品的外观, 还给生产操作带来困难, 同时, 产品应用也带来巨大危害, 如电子产品大规模损坏, 石油化工产品燃烧, 爆炸事故屡见不鲜<sup>[2]</sup>。可想而知, 高分子材料的静电防护非常重要。随着电子行业的迅速发展, 对静电防护要求也越来越高<sup>[3]</sup>, 这给高分子材料静电防护工作带来挑战, 同时也给研发人员带来广大空间<sup>[4]</sup>。本文介绍了抗静电剂作用机理、分类、制备方法及应用, 并展望了抗静电剂的发展趋势。

### 1 抗静电剂作用机理

#### 1.1 通过空气释放静电

抗静电剂一般都由亲油基和亲水基组成, 无论添加型还是外涂型, 都是亲油基缓慢迁移至高分子材料里层, 亲水基迁移至材料表层, 表层的亲水基极性较强, 能起到吸湿作用, 形成导电水层, 产生的电荷能迅速向空气水份传导<sup>[5]</sup>。

#### 1.2 通过接地释放静电

抗静电剂亲水基在材料表层形成导电层, 材料直接与大地相接或通过导电物质与大地相接, 能使电荷迅速传导至大地, 起到释放静电的效果。

#### 1.3 减少静电荷产生

抗静电剂的加入, 能使材料表面摩擦系数降低, 减少静电荷的产生; 另外, 加入抗静电剂, 材料表面电阻率降低, 也能减少静电的产生, 所谓“材料绝缘



性越好,越容易产生静电<sup>[6]</sup>。

## 2 抗静电剂分类及制备方法

抗静电剂由亲水基和亲油基组成,亲水基一般为极性较强基团,能吸收水份,表面形成导电水层传导静电,也可以自身官能团进行传导静电,亲油基团一般为非极性强的基团组成,大部分为长碳链结构,主要作用是提高抗静电剂与高分子材料相容性。本文根据抗静电剂的结构进行分类,分为离子型和非离子型抗静电剂。

### 2.1 抗静电剂使用方式

#### 1) 添加法

添加法即基材与抗静电剂在高温下混合均匀,制备成抗静电母料,再二次加工成产品,一般可添加抗静电剂,导电碳黑,导电高分子,导电金属氧化物<sup>[7]</sup>等,导电材料一般具有颜色,会影响产品外观。抗静电剂会不断从里层迁移至表面,抗静电效果具有一定的持久性。添加法用抗静电剂需要具有良好的热稳定性,否则影响产品其他性能。ZYVEX<sup>[8]</sup>开发了一种新的多功能化表面处理技术,优化碳纳米管与聚合物基体的相互作用,实现碳纳米管的良好分散。利用这一技术,也可按需要制备专用于某一聚合物基体的碳纳米管母料。

#### 2) 外涂法

外涂法即采用喷涂或辊涂等方式将抗静电液涂布至基材表面,在表面形成一层抗静电层,其中非极性链段会迁移至材料里层,使其具有一定的耐摩擦性能。外涂法抗静电剂用量低,但持久性差,且产品易与身体接触,容易危害人身健康。

### 2.2 离子型抗静电剂

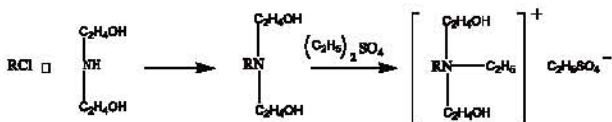
离子型抗静电剂均为盐类,含有阴阳离子基团,通过离子自身和吸收的水分均能传导静电。离子型抗静电剂具有良好的抗静电效果,添加量低;种类多,满足各种材料要求。不足之处为大部分是有毒性;热

稳定性不佳;低温低湿下抗静电效果不佳等。根据主链上的离子类型分为阳离子型,阴离子型,两性离子型抗静电剂。

#### 1) 阳离子型抗静电剂

阳离子型抗静电剂大部分为季铵盐,用量最大,种类繁多,应用领域广,可作为外涂型和添加型抗静电剂,如典型产品有十八烷基乙基二甲胺硝酸盐,硬脂酰三甲基氯化铵,月桂酰胺丙基三甲基铵。

小分子阳离子抗静电剂一般由含有长碳链的伯胺或叔胺经过季铵化制备,季铵化试剂一般有卤代烃,硫酸二甲酯或乙酯,碳酸二甲酯,磷酸三甲酯等。例如SP-K抗静电剂由伯胺进行两次季铵化试剂取代得到季铵盐,首先由氯代十二烷与二乙醇胺进行反应生成叔胺,再用硫酸二乙酯进行取代得到季铵盐<sup>[11]</sup>。反应方程式为



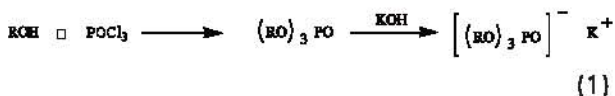
高分子型阳离子抗静电剂是由阳离子结构引入至高分子中,如聚氨酯,丙烯酸酯等。如鲍俊杰<sup>[9]</sup>等用甲苯二异氰酸酯与聚醚N-210合成水性聚氨酯,再用脂肪胺聚氧乙烯醚的季铵盐衍生物改性制备得到阳离子水性聚氨酯,性能检测结果表明,该物质具有良好的抗静电性能和物理机械性能。许璐璐<sup>[10]</sup>等通过种子预乳化半连续乳液聚合技术,以苯乙烯,丙烯酸丁酯,甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵为单体,合成水性丙烯酸酯抗静电剂,结果表明,该抗静电剂具有持久性,可降低塑料表面电阻3—5个数量级。陈<sup>[12]</sup>等以改性超支化聚酯、丙烯酰胺和烯丙基缩水甘油醚为原料,过硫酸铵为引发剂,合成一种高分子型超支化阳离子抗静电剂。研究表明,当抗静电剂用量为25g/L,焙烘温度为170℃,焙烘时间为2min时,感应静电电压为0.13kV,半衰期为0.09s;水洗10次后,感应静电电压为0.48kV,半衰期为0.56s,抗静电剂具有良好的耐久性。



## 2) 阴离子型抗静电剂

阴离子型抗静电剂一般为烷基磺酸盐、烷基硫酸盐、烷基磷酸盐、烷基酚聚氧乙烯醚硫酸盐,主链上为阴离子,金属离子或铵根离子为游离反离子。多用作化纤油剂和油品的抗静电剂。

小分子阴离子抗静电剂一般由含有羟基的有机化合物,如脂肪醇、烷醇酰胺、乙氧基化脂肪醇或烷基酚等与磷化剂、磺化剂或硫化剂等酯化而成,如十六烷基磷酸酯钾是由十六醇与三氯氧磷酯化,再与氢氧化钾反应成盐。反应方程式为



高分子阴离子抗静电剂研发的种类不多,典型的有聚乙烯磺酸钠,聚苯乙烯磺酸钠。王晓茹<sup>[13]</sup>等利用聚苯乙烯磺酸钠作为抗静电剂加入至PET树脂中,能降低PET的体积电阻率,并具有优良的热稳定性,还能提高结晶程度,结晶温度和熔融温度。

## 3) 两性离子型抗静电剂

两性离子抗静电剂主要是指在分子结构中同时具有阴离子亲水基和阳离子亲水基的一类离子型抗静电剂。分子结构中的亲水基在水溶液中产生电离,在某些介质中表现为阴离子表面活性剂特征,而在另一些介质中又表现为阳离子表面活性剂特征。此类抗静电剂与高分子材料有良好的相容性、配伍性,以及较好的耐热性,是一类性能优良的内部抗静电剂。典型两性离子抗静电剂有甜菜碱型,氨基酸型和咪唑啉型抗静电剂等。一般均为小分子化合物,高分子型两性离子抗静电剂有待研发。

小分子两性离子抗静电剂一般是脂肪叔胺与氯乙酸钠或氯磺酸钠反应制得,另外,还可以由脂肪叔胺与氯丁醇反应,先引入羟基,再用三氯氧磷等酯化。反应方程式为



## 2.3 非离子型抗静电剂

非离子型抗静电剂分子一般含有氧乙烯结构,羟基,羧基或氨基等极性基团,本身不带电荷,具有孤对电子,表现出弱极性,极性较离子型抗静电剂较小,因此,抗静电效果没有离子型好。通常非离子型抗静电剂具有一个较长的亲油基,与树脂具有良好的相容性,同时毒性低,具有良好的加工性和热稳定性,是合成材料理想的内部抗静电剂,主要有聚乙二醇酯或醚类,多元醇脂肪酸酯、脂肪酸烷醇酰胺、脂肪胺乙氧基醚等化合物。

小分子非离子型抗静电剂一般由含有长碳链胺化合物,再与环氧乙烷加成,或与含多极性官能团的羧基酰胺化。

郝晓俊<sup>[14]</sup>以极性马来酸酐为桥联剂,将二乙醇胺接枝到聚丙烯蜡上,制得一种新型的抗静电剂。结果表明,此非离子抗静电剂具有良好的抗静电效果和热稳定性。

高分子型非离子抗静电剂一般有水性聚氨酯抗静电剂,聚酯酯抗静电剂。陈光杰<sup>[15]</sup>等用对苯二甲酸二甲酯,乙二醇,聚乙二醇,催化剂三氧化二锑为原料,合成一种聚酯酯抗静电剂,用于涤纶抗静电整理。结果表明具有良好的抗静电效果,且持久性较好。与涤纶纤维能产生共晶效应,相容性很好,可作为添加型抗静电剂生产抗静电涤纶纤维。刘拥君<sup>[16]</sup>等用聚乙二醇400,乙二酸,甲苯二异氰酸酯和亚硫酸氢钠为主要原料,合成一种水性聚氨酯乳液。用此产物对织物进行整理,结果表明此水性聚氨酯乳液具有良好的抗静电效果,并具有持久性,耐水洗性较好。

## 3 抗静电剂应用及选择

### 3.1 塑料抗静电剂及选择

塑料是良好的绝缘材料,与其他材料接触或摩擦容易产生静电荷。一般抗静电塑料的表面电阻要在 $10^{11}$ 次方以下,半衰期为1s以下方能符合抗静电性能要



求,在某些特殊场所,如在煤矿井下,以及接触易燃易爆物品的应用领域,甚至要求塑料制品的表面电阻低于 $8$ 次方以下。在电子工业领域,塑料元件的失灵失效以及塑料包装材料静电污染引起的电子元件失灵失效,可造成电子工业的重大损失。

在改性塑料中,抗静电剂已成为一类必不可少的改性助剂。对塑料作抗静电处理通常有添加型和外涂型两种方法。添加型一般采用非离子型,热稳定性较好,相容性也较好;外涂型一般采用季铵盐等抗静电剂,只需要加入 $0.2\%\sim 0.5\%$ 即可以达到抗静电要求,也不会影响外观。万明高科技塑料开发部能将薄膜、异型材、管材等体积电阻率达到 $6\sim 9$ 次方,甚至可以达到 $6$ 次方以下,达到导电材料要求。上海拓维服饰鞋业有限公司开发了无尘室专用PVC鞋,体积电阻率可以达到 $4\sim 10$ 次方系列产品,同样可以达到导电材料要求。

### 3.2 涂料和胶粘剂抗静电剂及选择

电子行业中需要用到抗静电的涂料和胶粘剂,如洁净室需要抗静电地坪漆,电子产品需要抗静电胶粘剂等。可以加入导电材料或抗静电剂实现抗静电效果。高分子导电材料价格较贵,且有各自的颜色;导电碳黑只能用于深色产品;金属氧化物价格也较高,用量也较大,由此可以看出,导电材料也有一些弊端。加入一些抗静电效果较好的抗静电剂也可以满足要求,如季铵盐、甜菜碱、咪唑啉等。

### 3.3 油品抗静电剂及选择

在石油化工行业中,静电导致燃烧或爆炸事故屡见不鲜。为了使用安全,油品的输送中,必须加入抗静电剂。燃料油适用的抗静电剂,除了要具备良好的抗静电性能外,还应当不溶于水,无乳化性,相容性好,燃烧后灰分少,不产生有害气体,与其他油品添加剂并用,不产生相抵作用。油品常用的抗静电剂为阴离子型。常用的有松香酸铅盐、油酸三乙醇胺盐、油酸钠和烷基水杨酸铬盐,以及乙二胺四乙酸胺盐、

烷基磷酸酯等。

### 3.4 橡胶抗静电剂及选择

橡胶中一般加导电碳黑达到抗静电效果,还可以用作补强剂。液体硅橡胶可以加入抗静电效果较好的季铵盐抗静电剂;固体硅橡胶一般需要高温硫化,一般加入导电金属氧化物或非离子型抗静电剂。

### 3.5 织物抗静电剂及选择

各种合成纤维已成为人们主要的服饰及装饰性材料,由于静电效应往往造成穿着不适或更为严重的静电放电问题。含有羟基、羧基、酰胺基、胺基等亲水基团的纤维吸湿性大,能抑制静电产生。而涤纶、丙纶等非极性很强的纤维,易产生静电。一种方法为树脂添加抗静电剂共混,再进行熔融纺丝,生产抗静电纤维,一般采用高分子聚酯,非离子型抗静电剂,此方法持久性较好,抗静电效果良好,但会影响熔融纺丝过程,性能也会有所改变。后处理方法使用较多,洗涤过程中可加入无毒抗静电剂,但使用一次后就会失去效果。在制备织物时加入反应型抗静电剂可以达到耐洗效果,如水性丙烯酸酯或水性聚氨酯加入交联剂,焙烘过程中,在织物表层形成抗静电层[17]。

## 4 抗静电作用影响因素

### 4.1 外部环境影响

从作用原理上可知,抗静电剂部分作用效果由吸收环境水分,形成导电水层使静电泄漏。因此,环境的温湿度对抗静电影响很大。湿度低时,表面电阻率可以下降几个数量级。抗静电剂吸附水分子的过程是动态平衡的,亲水基团的极性越大,吸收的水分越多,从而达到比较好的抗静电性能;当抗静电剂吸附水分达到饱和后,表面的抗静电通路数目基本饱和,且形态与环境湿度关系不大,此时材料的表面电阻率对环境湿度的依赖程度减小。温度越高,高分子链段的运动能力增强,自由体积变大,抗静电剂本身形成更有效率的离子通路;另一方面抗静电剂分子运动加



剧, 抗静电剂向聚合物基体表面迁移的速率增大, 表面极性增加, 吸收水分增加, 提高抗静电性能。而很多季铵盐抗静电剂热稳定性能不佳, 不宜在高温下长久使用。

#### 4.2 相容性影响

抗静电剂与高分子材料的相容性主要体现在两者极性大小, 极性相差太大, 抗静电剂分子难以迁移至材料里层, 以致难以维持长久的抗静电效果, 涂布型抗静电剂现象非常明显, 当极性相差太大时, 抗静电剂在基材表面形成聚集状态, 不能形成导电通路, 达不到抗静电效果, 添加型抗静电剂则容易迁移至材料表面, 影响制品外观。若二者的相容性过好, 抗静电剂易向高分子材料基体内部迁移, 造成表面抗静电剂浓度下降, 抗静电效果也将下降, 添加型抗静电剂难以迁移至材料表层, 达不到很好的抗静电效果, 需要加入大量抗静电剂弥补。

#### 4.3 浓度影响

抗静电剂浓度过低时, 不能在材料表层形成良好的导电通路, 使抗静电效果很差, 当达到一定浓度时, 能形成良好的通路, 加入量增加时抗静电效果也增加不明显, 此时, 抗静电效果主要与抗静电剂结构有关, 因此, 抗静电剂使用时, 需要找到一个合理的浓度。

#### 4.4 其他助剂影响

高分子材料在制备和加工过程中, 为了利于加工和提高制品的性能, 需要添加一定量的其他高分子助剂。然而, 其他高分子助剂的存在对制品的抗静电性能具有一定的影响。在织物中, 通常添加一定量的渗透剂和偶联剂与抗静电剂共用时, 可提高织物的抗静电性能, 因为渗透剂等能使抗静电剂更均匀分布, 且本身具有一定的抗静电效果。

然而, 抗静电剂与外部润滑剂并用时, 由于润滑剂先于抗静电剂迁移到制品表面, 形成的润滑剂表面膜层影响了抗静电剂的析出, 导致抗静电性能下降; 润滑后的材料表面极性小, 涂布型抗静电剂分子易聚集, 不

能很好的铺张形成导电通路, 从而影响抗静电效果。

### 5 抗静电剂发展趋势

#### 5.1 永久型抗静电剂

小分子抗静电剂容易迁移至高分子材料表面, 经过摩擦或洗涤后, 易失去抗静电效果。高分子型抗静电剂链段长, 不易蠕动, 且相容性较好, 某些高分子抗静电剂还可以制备过程中反应, 材料表面形成网络结构, 达到永久性抗静电效果。

#### 5.2 高效型抗静电剂

抗静电剂加入量过多, 则影响产品外观, 也会影响材料拉伸, 弯曲等性能。制备高效的抗静电剂, 加入少量即可以达到抗静电效果。一般有多季铵盐型, 咪唑型, 甜菜碱型抗静电剂抗静电效果较好, 如北京化工研究院研发的ASA-150 (阳离子与非离子表面活性剂复合物), SH-102 (季铵盐型两性表面活性剂)、SH-103、104、105等 (均为季铵盐型阳离子表面活性剂), SH抗静电剂属于结构较新的带多羟基阳离子表面活性剂。还可以采用抗静电剂复配技术, 抗静电剂之间具有协同作用, 配合后达到更好的抗静电效果[18]。需要合理选择协同物质, 如陶国良[19]用导电碳黑与抗静电剂SH-105加入于PVC材料中就没有协同效果。一般离子型抗静电剂加入小分子盐类化合物, 可以提高抗静电效果, 王晓等[17]发现预氧化聚丙烯对抗静电剂具有防静电增强效应。经过热氧处理并加入抗静电剂的粉料聚丙烯薄膜其表面电阻率大大下降。仅采用1 wt%含量的抗静电剂, 最低可降到5次方。含抗静电剂预氧化聚丙烯薄膜的表面电阻率随着抗静电剂含量的增加、热氧处理温度的升高和热氧处理时间的延长而显著下降。

#### 5.3 耐高温离子型抗静电剂

大部分塑料产品制备过程中均需要高温熔融, 因此, 需要抗静电剂热稳定性好, 不会发生黄变。而非离子型抗静电剂热稳定性好, 但加入量较大, 易影



响其他性能,因此,离子型耐高温的抗静电剂有待开发。美国菲泽公司开发的Antis-tat68适用于PE、PP和PS等多种树脂,耐热温度为240℃;美国山道士公司生产的Sadin-vu是一种耐久性好,耐高温的抗静电剂,耐热温度高达300℃,可用于食品级PVC制品。

#### 5.4 低温低湿型抗静电剂

寒冷的冬天处于低温低湿环境下,在这种条件下,大部分抗静电剂不能很好地起到静电防护效果,静电效果与环境温湿度密切相关,因此,开发利用抗静电剂本身离子导电,与环境关系不大的抗静电剂具有良好的市场前景。

#### 5.5 多功能型抗静电剂

该类抗静电剂不仅具有抗静电剂的功能,还具备其他性能,如润滑性,阻燃性等[20]。王彦林[21]等以丙基三甲氧基硅烷和四羟甲基硫酸磷为原料,合成笼状有机硅酸酯阻燃抗静电剂1-丙基-4-羟甲基-1-硅杂-4-磷杂-2,6,7-三氧杂双环[2,2,2]-辛烷季磷硫酸盐,不仅具有优良的抗静电性能,还具有阻燃性能。

#### 5.6 无毒无味型抗静电剂

季铵盐抗静电剂用量最多,范围最广,而大部分季铵盐抗静电剂均有毒性,产品很多均需要与人接触,如织物,通用塑料产品。开发静电防护效果好,无毒,无刺激抗静电剂很有必要。

### 6 结论

电子行业处于迅速发展时期,为了电子产品正常生产及使用,对静电防护性能的要求越来越高,要求温湿度等环境因素对抗静电性能的影响则越来越低。抗静电剂作为高分子材料的必需助剂,用量则逐渐增加。和国外产品相比,国内的产品性能及种类还有较大提升空间。因此,对抗静电剂的研究,还具有巨大的空间,相信会带来很大的市场价值。

#### 【参考文献】

- [1] 宋武.高分子材料抗静电技术的研究进展[J].化工时刊,2005(12):63-65.
- [2] 姜海涛.聚烯烃用抗静电剂发展状况[J].中国化工贸易,2012(9):209,230.
- [3] CHARLES M, HAN S. Polymer additives and solubility parameters[J]. Progress in Organic Coatings, 2004 (51): 109-112.
- [4] 丁星星.抗静电剂的种类及在各种纺织面料的应用和选择[J].科技传播,2012(1):70.
- [5] 林潮彬.抗静电剂新进展[J].科技创业家,2013(12):132.
- [5] 孙殿玉.抗静电剂在塑料中的应用及研究进展[J].塑料科技,2013(9):86-89.
- [6] 李泰熙.SK抗静电剂的合成及应用[J].化学世界,1991(1):37-38.
- [7] TOSHIKAZU K, BARBARA A, TAKEMURA A, et al. Antistatic performance and morphological observation of ternary blends of poly(ethylene terephthalate).poly(ether esteramide) and Na-neutralized poly(ethylene-co-methacrylic acid) copolymers[J].Journal of Electrostatics, 2006(64):377-385.
- [8] MARINI R, MARK B, RAM R. Using a carbon nanotube additive to make electrically conductive commercial polymer composites[J].SAMPE Journal, 2005(2):54-55.
- [9] 鲍俊杰.水性聚氨酯抗静电剂的研制[J].中国胶粘剂,2007(3):34-36.
- [10] 许璐璐.丙烯酸酯类永久抗静电剂的合成和应用[J].塑料,2011(2):50-53.
- [11] 陈.超支化阳离子抗静电剂的合成及性能研究[J].印染助剂,2013(11):13-18.
- [12] 王晓如.聚苯乙烯磺酸钠对抗静电PET树脂的性能影响[J].塑料工业,2008(4):20-22.
- [13] 郝晓俊.一种非离子型抗静电剂的制备及应用研究[J].工程塑料应用,2013(5):89-92.
- [14] 陈光杰.聚醚醚酮抗静电剂合成工艺的优选及其应用[J].广西纺织科技,2004(5):32-34.
- [15] 刘拥君.涤纶用封端型水系聚氨酯抗静电剂的研制及抗静电整理[J].湖南工程学院学报,2006(12):76-78.
- [16] 宋湘怡.PET用抗静电剂的研究进展[J].聚酯工业,2008(7):5-8.
- [17] 卢霜.不同抗静电剂协同作用的研究[J].染整技术,2010:40-41.
- [18] 陶国良.防静电半硬质PVC材料的研究[J].江苏石油化工学院学报,1995(3):17-21.
- [19] 王晓.预氧化聚丙烯对抗静电剂的防静电增强效应[J].广东化工,2013(13):1-3.
- [20] CRISTIANE R, MARCO-AURELIO D. Antistatic thermoplastic blend of polyaniline and polystyrene prepared in a double-screw extruder[J].European Polymer Journal, 2005(41):2867-2873.
- [21] 王彦林.双功能笼状阻燃抗静电剂的合成与表征[J].天津师范大学学报,2013(7):94-96.



# EPA防静电系统质量管理体系的构建

孙延林

中国电子仪器行业协会防静电装备分会 北京 100043

建立电子生产企业EPA防静电系统质量体系, 对提高企业管理水平、全体职工素质、电子产品质量、规范企业管理具有重要意义。目前电子行业防静电质量管理体系的建立大都是参照ANSI/ESD.S20.20《静电放电控制程序》、电气和电子零件、装置和设备的保护(不包括电气引爆装置)和IEC61340-5-1《电子器件静电的防护—基本要求》。以下详细介绍依据ANSI/ESD.S20.20-2007《静电放电控制程序》、IEC61340-5-1构建的EPA防静电系统质量管理体系的基本要求。

参照ANSI/ESD.S20.20《静电放电控制程序》、IEC61340-5-1、GJB3007《防静电工作区技术要求》, 在电子行业设计、制造、使用和维护方面所构建静电防护质量体系及认证, 适用于那些易被大于或等于100 V人体模型(HBM)的静电放电损坏的电子元件、装置和设备的生产、加工、装配、安装、包装、标签、服务、测试、检查和质量管管理。当操作敏感度小于100 V的产品时, 或采用机器模型(MM)、带电器件模型(CDM)、人体金属模型(BMM)所建立的静电防护体系, 还应增加一些额外的要求。

## 1 质量体系建立的基本要求和范围

### 1.1 建立的目的

通过对EPA防静电系统的技术、工艺、环境、设备、管理、培训等方面构建质量管理体系, 使EPA防静电系统的质量管理能够持久、有效、可控, 并可根据技术、管理的发展不断的更新和改进, 保证产品质量。

### 1.2 质量体系适用范围

防静电质量体系适用于那些易被大于或等于100 V人体模型(HBM)的静电放电损坏的电气或电子元件和组件的生产、加工、装配、安装、包装、标签、服务、测试、检查、质量管理等。该质量体系不适用于电气爆破装置, 易燃液体、气体和火工行业。

### 1.3 质量体系认证要求

质量体系包括质量管理、设计、生产、检查、监测、储运、安装、使用、维护、技术等方面要求, 防静电系统、质量体系及管理手册应符合相关认证要求。而且对于根据发展所增写的防静电系统质量体系及管理手册中的新条款应符合认证要求。

### 1.4 质量体系指导

质量体系及管理手册应对相关工作起到指导作用。

### 1.5 质量体系修改

随着技术的不断发展, 体系与管理手册中的一部分可能并不适用于发展。通过对每个具体条款可用性的评估来完成修改, 可能会增加某些条款或是删除, 包括基本原理在内的修改意见应在质量体系与管理手册的修订文件中得到注明。

## 2 质量管理体系硬件基本要求

以下探讨构建质量管理体系硬件的基本要求, 所用这些内容应在质量体系管理文件(管理手册)中有所体现, 并在认证时证实实际执行各项和文件规定相符合, 并有周期核查检验报告。

### 2.1 职工培训

最初和周期性的静电防护培训应该针对每个操作、工艺、技术、质量、设备、管理人员及可能接触



到静电放电敏感器件的人。静电防护培训的内容、次数、效果（达到目标）应该在培训计划中有明确的表述。培训方法和方式由组织者来选择，培训应该确保受训人员能够完全理解并得到足够的培训。

- 1) 培训及考核内容可参照表1进行。
- 2) 培训和考核记录涉及ESD工作人员总数的95%；
- 3) 企业有针对不同层次人员的周期性培训计划（书）。

表1 企业ESD培训

| 培训人员            | 培训大纲        |             |          |            |            |             |             |           |             |              |
|-----------------|-------------|-------------|----------|------------|------------|-------------|-------------|-----------|-------------|--------------|
|                 | 静电危害、静电防护原理 | 静电放电模型与失效分析 | 防静电工作区构成 | 防静电工艺与质量管理 | 防静电产品和工程检验 | 静电测试和相关仪表知识 | 环境工程、离子消除技术 | 人身安全和接地技术 | 标志、包装、存储、运输 | 防静电标准化、制度、采购 |
| ESD协调           | ●           | ●           | ●        | ●          | ●          | ●           | ●           | ●         | ●           | ●            |
| 设计、技术、工艺人员、质量管理 | ●           | ●           | ●        | ●          | ●          | ●           | ●           | ●         | ●           | ●            |
| 企业各级管理人员        | ●           |             |          | ●          |            |             |             |           |             | ●            |
| 采购、物管人员         | ●           |             |          | ●          |            |             |             |           | ●           | ●            |
| 操作、维护职工         | ●           |             |          | ●          |            |             |             |           | ●           | ●            |
| 设备安装维修人员        | ●           |             |          |            |            | ●           | ●           | ●         |             | ●            |
| 其他涉及人员          | ●           |             |          |            |            |             |             |           |             | ●            |

## 2.2 SSD敏感度分级、标识、失效分析

本部分内容对于有条件的企业，可参照执行。

### 2.2.1 SSD敏感度分级及标识

企业所用SSD应依据人体模型（HBM）【有特殊要求时，企业应明确提出按机器模型（MM）、带电器件模型（CDM）分级、人体金属模型（BMM）】进行分级。通常应给出采购明细和实验报告，并在SSD或包装上张贴符合EOS/ESDS8.1规定的标记。对于敏感度100 V以下的SSD应作说明，对防静电工作区的建立提供设计依据。

### 参考文献如下

- 1) ANSI/ESD STM5.1 (HBM)；
- 2) ANSI/ESD STM5.2 (MM)；
- 3) ANSI/ESD DS5.3.1 (CDM)；
- 4) IEC61340—3—1 静电放电模型 (HBM)；
- 5) IEC61340—3—2 静电放电模型

(MM)；

- 6) IEC61340—3—3 静电放电模型 (CDM)；
- 7) GJB1649《电子产品防静电控制大纲》。

### 2.2.2 SSD失效分析

企业应当建立失效分析试验室。失效分析基本内容包括：失效状况调查；失效模式鉴定；失效机理提出和验证；提出改进措施。目前常用的失效分析技术和设备如下：

#### 1) 失效分析基本技术

(1) 外观镜检：目的在于检验外观破损、管壳破损、密封漏气、管脚短缺等。

(2) 电性能分析技术：包括电性能参数测试检验和非功能参数检验。通过电参数检验可以分析失效原因。

(3) 内部镜检：检验器件开封后内部工艺结构、布线、氧化层等等损害情况。找出失效原因。

#### 2) 现代分析技术

(1) 电子显微镜扫描技术（SEM）：其运用电子束在芯片或器件内部扫描，通过收集透射电子、背射电子等转换成像的。它可以研究二维表面结构形态，其分辨率可达10nm以下。

(2) 离子微探针技术（IMMA）：其利用一次氦离子轰击试样产生二次电子，然后按荷质比进行分离来分析试样。它可以用来分析集成电路芯片表面镀层厚度、杂质、腐蚀、损害程度、铝硅接触失效机理等。

(3) 1/f电噪声检测技术：半导体器件金属化系统因电子迁移引起失效，或因高温、化学作用导致金属化腐蚀、连线断路等都会引起1/f噪音的剧增。通过对其测量可估计金属化损失的程度，同时还可以预测与金属化缺陷有关的器件寿命。

(4) 红外显微分析技术：红外显微镜有两大类，一类是主动式红外显微镜，主要研究半导体、芯片、裂纹、虚焊、金属化系统的缺陷。另一类是反射式红外显微镜技术，主要用于研究芯片温度分布。

(5) 扫描声学显微镜技术（SAM）：采用扫描声学显微镜具有非破坏性特点，可以检验焊接面



及微小破损点 (10 $\mu$ m), 可对集成电路、各类微电子、焊接的可靠性与过电压、过电流导致金属结构损伤进行失效分析和检验。

### 2.3 EPA接地

#### 2.3.1 ANSI/ESDS20.20要求

- 1) 设备接地 (导体) 电阻 $<1\Omega$  (AC)。
- 2) 辅助接地 (至设备接地导体) 电阻 $<25\Omega$  (AC)。
- 3) 防静电等电位接地电阻 $<1\times 10^9\Omega$ 。
- 4) 测试方法: 接地电阻ANSI/ESD S 6.1; 等电位接地电阻TR53; 连接要求符合ANSI/ESD S 6.1。

#### 2.3.2 非采用国际标准企业的EPA接地要求

- 1) 可采取设备接地和防静电接地共用接地极方式, 也可采用分别接地方式。
- 2) 接地线设置方式符合GB50169《电气装置安装工程接地装置及验收规范》。对于等电位共用接地系统, 各接地系统不得混接或串接, 应采取共用接地极方式。

3) EPA内所有防静电装备要与防静电接地线相接。

4) 所有设备、仪器、金属体外壳 (隔断、架子、管道等) 和设备保护接地相接。

5) 接地点设置专用接地标识 (见图4)。

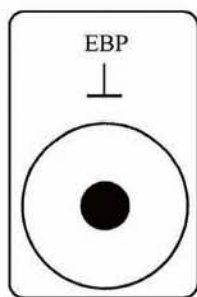


图4 地点设置专用接地标识

6) 工作台面的接地连接点要进行绝缘处理。地线不能与其它非接地目的连接系统相接。

7) 单独防静电接地电阻 $<10\Omega$ 。其与防雷接地距20 m距离。达不到该要求时则应在防雷接地与防静电接地设置防雷电反击措施。

8) 共用接地系统时, 按照国家有关标准以各系统最小接地电阻值为认证要求。

### 2.4 人员安全

1) 要防止错误的接地方式和考虑其他安全保护措施。所有设备、仪器、金属体要可靠与保护接地相接。

2) 电气系统应有漏电保护或过电流、过电压保护装置。

3) 对EPA内对有危害人身安全的高电压设备, 应有图2所示标志。



图1-2 EPA内电气设备标识

4) 对职工有防触电的训练和培训, 其涉及ESD工作人员总数的95%。有培训计划。

5) 凡涉及人身安全的防静电装备接地, 都应采取间接接地 (串接耐压250V、1M $\Omega$ 、1/4W电阻或其它方式的软接地)。

### 2.5 人员接地

EPA内所有的人都应该接地。当人员在EPA时, 他们应通过腕带系统、工作服或防静电

鞋和防静电地坪与地线连接。但必须注意: 当接地人员操作通电机时, 必须注意人身安全和相关法规, 必须采取间接接地 (下限 $1\times 10^5\Omega$ 至1M $\Omega$ )。

#### 1) 通过腕带或工作服系统接地:

对地电阻 $<3.5\times 10^7\Omega$  (产品测试ESDS1.1, 认证测试TR53; IEC61340-5-1表2, 测试方法: 等效采用ESD S1.1 (5.1、5.2))。

#### 2) 或通过鞋—地坪系统接地:

(1) 对地电阻 $<3.5\times 10^7\Omega$  (产品测试ESDSTM97.1, 认证测试TR53; IEC61340-5-1表2, 测试方法: IEC61340-5-1: A2)。



(2) 对地电阻  $< 1 \times 10^9 \Omega$  或人手持接触式静电电位计行走时, 人体电位  $< 100V$  (产品测试 ESDSTM97.1、STM97.2, 认证测试 TR53; IEC61340-5-1 表2, 测试方法: IEC61340-4-5)。

3) 只要进入EPA的人员都应接受检测, 符合上述要求方可进入EPA。对于无法实现人员接地的工序或区域, 应有满足静电防护要求的措施。

## 2.6 防静电工作区 (EPA) 要求

### 2.6.1 EPA环境

1) EPA应有环境温、湿度控制系统, 湿度保持在RH40%~75%范围, 温度符合企业规定要求;

2) EPA环境洁净度和电磁环境符合企业规定。注意: 对于生产光电器件或太阳能电池等对洁净度有要求的企业, 必须提供符合使用要求环境洁净度和湿度测试报告, 环境控制系统运行符合EPA的要求;

3) 有EPA环境考核周期的温、湿度和洁净度检验记录。

### 2.6.2 EPA地坪

1) 地坪对地电阻  $< 1 \times 10^9 \Omega$  (产品测试 ESD S7.1, 认证测试 TR53; IEC61340-5-1 表3, 测试方法: IEC61340-4-1)。

2) 不能使用金属地坪。地坪下限电阻  $1 \times 10^5 \Omega \sim 1 \times 10^6 \Omega$ 。每个独立地坪至少有2个以上接地连接点, 接地符合标准要求。如使用金属地坪, 则应有人员安全措施, 并符合当地有关电气安全法规和规定。

3) 当EPA内不是防静电地坪时, 对人员接地, 座椅、运转车必须有相关技术应对要求。

### 2.6.3 座椅

1) ESD S20.20规定椅面对地电阻  $< 1 \times 10^9 \Omega$ , IEC61340-5-1 规定  $< 1 \times 10^{10} \Omega$  (产品测试 ESD STM12.1, 认证测试 TR53; IEC61340-5-1 表3, 测试方法: IEC61340-2-3);

2) 不能使用整体金属结构的椅子, 至少有二个以上接地轮或设置满足接地要求的接地链;

3) 无法实现接地的椅子所用椅面材料必须是静电耗散材料。

### 2.6.4 工作台和存放架 (柜)

1) 对地电阻  $< 1 \times 10^9 \Omega$  (测试方法: 产品测试 ESD S4.1, 认证测试 TR53; IEC61340-5-1 表3, 测试方法: IEC61340-2-3)。

2) 或工作台对地电压  $< 200V$  (测试方法: ESD S4.2)。

3) 工作台和存放柜表面应使用静电耗散材料。但为金属材料时, 表面必须铺垫接地的静电耗散材料或者将SSD放置在防静电容器, 不要裸放在金属表面上。

4) 工作台接地点 (铆接处) 要进行绝缘处理; 工作台接地线串接保护电阻 ( $1M\Omega$ ); 所有工作、存放架 (柜) 单独与地线相接。

### 2.6.5 工作鞋 (束)

1) ESDS20.20规定 对地电阻  $< 1 \times 10^8 \Omega$ 。IEC61340-5-1 规定: 导电鞋对地电阻  $< 1 \times 10^5 \Omega$ ; 防静电鞋 (束) 电阻  $1 \times 10^5 \Omega \sim 1 \times 10^9 \Omega$  (产品测试 STM9.1, 认证测试 TR53; IEC61340-5-1 表2, 测试方法: IEC61340-4-3)。

2) 鞋底无破损、沾有绝缘漆和胶等。

### 2.6.6 工作服

1) ESDS20.20规定点对点电阻  $< 1 \times 10^{11} \Omega$ 、对地电阻  $< 1 \times 10^8 \Omega$ 、穿戴时对地电阻  $< 3.5 \times 10^7 \Omega$  (产品测试 STM2.1, 认证测试 TR53)。

2) IEC61340-5-1 规定点对点电阻  $< 1 \times 10^{12} \Omega$ 、对地电阻  $< 1 \times 10^9 \Omega$  (测试方法等效采用 STM2.1)。

3) 工作服应为A级耐洗涤。表面无破损脏污, 非防静电衬里不超过总面积20%, 结构为“三紧式”。有洁净要求时还应符合相关标准要求。工作服应将胳膊和身体区域覆盖。表面电气连通性好, 有ESD标记。

4) 对于有洁净要求的场合中, 所用洁净服的洁净要求应和所用环境要求相一致。

### 2.6.7 离子静电消除器

本节依据ANSI/ESDS20.20《静电放电控制项目》表格3, IEC61340-5-1《电离器》。

1) ESDS20.20规定非环境系统电离器偏移电压  $< \pm 50V$ ; 静电消除时间和测试距离由用户确定。环境系统电离器偏移电压  $< \pm 150V$ ; 静电消除时间和



测试距离由用户确定(产品测试STM3.1, 认证测试TR53。电离器定期检验标准ESD SP3.3)。

2) IEC61340-5-1规定非环境系统电离器静电消除时间 $\pm 1\ 000\text{ V} \sim \pm 100\text{ V}$ ,  $< 20\text{ s}$ , 偏移电压 $< \pm 100\text{ V}$ 。环境系统电离器偏移电压 $< \pm 100\text{ V}$ ; 环境系统电离器静电消除时间 $\pm 1\ 000\text{ V} \sim \pm 100\text{ V}$ ,  $< 20\text{ s}$ , (IEC61340-5-1表3, 测试方法等效采用STM3.1)。

3) 电离器电气安全性能应达到GB4793《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分: 通用要求》规定: 臭氧和二氧化氮浓度应达到GBZ2.1《工业场所有害因素职业接触限值—化学有害因素》规定值, 臭氧浓度不超过 $0.3\text{ mg/m}^3$ 。放射性离子静电消除器安全性能符合国家相关标准要求。

4) 离子静电消除器使用洁净要求符合环境洁净度要求。

5) 当现场操作的SSD敏感度高于电离器偏移电压时, 须提供解决技术方案, 并经认证通过。

## 2.6.8 防静电包装容器(各类软包装、盒、箱、垫等)

1) ESD S20.20规定: 导静电型表面电阻 $< 10^4\ \Omega$ ; 静电耗散型 $> 10^4\ \Omega \sim < 1 \times 10^{11}\ \Omega$ (测试方法: ESDS11.11、S11.12); 屏蔽型 $< 50\text{ nJ}$ 测试方法ESD S11.31)。低起电型(测试方法ADV11.2)。

2) IEC61340-5-1规定: 导静电型表面电阻 $1 \times 10^2\ \Omega \sim < 1 \times 10^5\ \Omega$ ; 静电耗散型 $1 \times 10^5\ \Omega \sim < 1 \times 10^{11}\ \Omega$ (测试方法IEC61340-2-3); 屏蔽型 $< 50\text{ nJ}$ (测试方法等效采用ESD S11.31)。

3) 使用不同功能包装应有图3所示标识。EPA以外应使用静电屏蔽包装或静电耗散和低起电型(纸和木制等)组合的二层隔离封闭包装。包装表面无破损, 无起尘、无污染。不能使用表面、体积电阻 $< 10^4\ \Omega$ 的材料, 做SSD内包装。

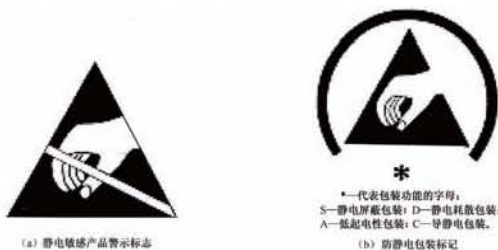


图3 包装标识

防静电包装规格多种多样, 其中的一些种类和技术包括低电荷包装、空气垫、静电屏蔽物、导体分路棒以及电磁/射频屏蔽等。防静电包装的使用目标是阻止对SSD的直接静电放电, 允许电荷从表面耗散。另外包装应防护外部静电场和摩擦生电, 使SSD充电电荷最小化。使用者应该认识到一些包装材料会自潮, 而且使用寿命有限(一次性使用包装)。而破裂、穿刺和折叠也会使包装过早失去静电屏蔽性。包装材料也会漏气、污染和脱落, 这都会引起有关的生产问题。根据生产过程、储藏和环境兼容性, 对防静电包装进行测试和评估是很重要的。在EPA内所有的文件资料均应放置在防静电包装内进行交换和保存。

4) 职工应正确按不同用途使用不同功能包装。考核操作职工, 并记录。

## 2.6.9 移动设备(手动、电动运转车、传输带)

1) ESDS20.20规定对地电阻 $< 1 \times 10^9\ \Omega$ (产品测试: ESD S4.1, 认证测试: TR53)。

2) IEC61340-5-1规定对地电阻 $< 1 \times 10^9\ \Omega$ (测试方法: IEC61340-2-3)。

3) 移动设备(运转车、传输带)表面应使用静电耗散材料。但为金属材料时, 表面必须铺垫接地的静电耗散材料或者将SSD放置在防静电容器, 不要裸放在金属表面上; 移动设备应有二个以上接地线或接地链。

4) 传输带表面为金属材料时, 必须和设备保护接地连接, 同时应有带体静电电位检验记录。

5) 地坪不具有防静电性能时, 应有解决方案并实施。

## 2.6.10 腕带

1) ANSI/ESD S20.20规定: 线电阻 $0.8 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^6\ \Omega$ 、带内表面 $< 1 \times 10^5\ \Omega$ ; 带外表面 $> 1 \times 10^7\ \Omega$ 、人戴腕带时对地电阻 $< 3.5 \times 10^7\ \Omega$ 、弯曲试验16000次后电性能符合要求(产品测试: ESDS1.1, 认证测试TR53)。

2) IEC61340-5-1规定: 穿戴时对地电阻 $< 3.5 \times 10^7\ \Omega$ 、带内表面 $< 1 \times 10^5\ \Omega$ ; 带外表面 $> 1 \times 10^7\ \Omega$ 、线电阻 $< 5 \times 10^6\ \Omega$ 、弯曲试验16000次后



电性能符合要求（产品测试：等效采用ESDS1.1，认证测试IEC61340-5-1 A1），穿戴时下限电阻值符合当地电气安全要求。

3) 操作人员正确佩戴腕带和使用腕带注意事项。

#### 2.6.11 手套、指套

ESD S20.20—2007不包括该部分（工业界没建立该部分测试和认证规范），但鉴于实际需要，本章根据SJ/T10694《电子产品制造与应用系统防静电检测通用规范》、IEC61340-5-1（99）有关内容提出以下要求。

1) SJ/T10694规定：手套、指套内外两点之间电阻 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^9 \Omega$ （产品测试：SJ/T10694）；

2) IEC61340-5-1（99）规定：静电衰减时间 $\pm 1000V \sim \pm 100V$ ， $< 2s$ （产品测试：IEC61340-5-1（99）附录A）；

3) 操作人员正确佩戴手套、指套。手套、指套无破损和脏污并符合使用的环境洁净等级。

#### 2.6.12 自动取放设备（仪器、仪表、生产设备）

ESD S20.20—2007不包括该部分（工业界没建立该部分测试和认证规范），但鉴于实际需要，本章根据GJB3007《防静电工作区技术要求》、IEC61340-5-1（99）、IEC61010-1有关要求，提出以下要求。

1) EPA内的所有自动取放设备（仪器、仪表、生产设备）外壳和设备保护接地相接，接地系统设置符合GB50169等有关标准和规范要求；

2) 对于生产设备（焊接、贴片等、）高电压设备（CRT显示器等、交直流高压电源等）等，在其周围有较强静电场辐射，且在SSD操作位置300 mm以内的静电电位超过 $\pm 100 V$ 时，应有屏蔽、隔离等技术方案并予以实施。

#### 2.6.13 手持工具

ESD S20.20—2007不包括该部分（工业界没建立该部分测试和认证规范），但鉴于实际需要，本章根据GJB3007《防静电工作区技术要求》、IEC61340-5-1（99）有关要求，提出以下要求。

1) GJB3007规定：电烙铁头至保护接地线之间电阻 $< 20 \Omega$ （产品测试：SJ/T10694、ESD S20.20

（99））；

2) GJB3007规定：手持工具（镊子、钳子、刷子、改锥等）两端点之间电阻 $< 1 \times 10^9 \Omega$ （产品测试：SJ/T10694）；

3) IEC61340-5-1（99）规定：手持工具（镊子、钳子、刷子、改锥等）两端点之间电阻 $< 1 \times 10^9 \Omega$ 或静电衰减时间 $\pm 1000 V \sim \pm 100 V$ ， $< 2 s$ （产品测试：IEC61340-5-1（99）附录A）；

4) 使用交流电或直流电（直流电压大于24V）的金属外壳工具时，其外壳和保护接地相接；

5) 使用的电池动力、气动工具外壳采用绝缘材料的，使用过程中外壳起电 $< \pm 100 V$ ，并提供测试报告和记录。如超过上述电位，应有解决技术方案并予以实施。

#### 2.6.14 EPA其它项目审查要求

1) EPA可以是一个工作台、库房、厂房、工作站和设备，有明确界限，并在醒目位置张贴标识（见图1-4，IEC61340-5-1）。

2) EPA内不能放置与工作无关绝缘制品（杯子、鸡毛掸、塑料封皮、垃圾箱等其它塑料制品）。不能将普通作业区和EPA混杂在一起。所有非要用到的绝缘体，如塑料和纸制品（如咖啡杯、食品包装和私人物品等）必须从EPA中移出。如果EPA所用SSD的静电敏感度很高时，电离或其它静电中和技术在EPA内会被使用来遏制绝缘体、没接地的导体、各种操作、工具产生的静电。

3) 配置满足测试要求并经周期计量合格的测试仪器

※（1）电阻测试仪和配套电极（或人体综合电阻测试仪）；

※（2）非接触式静电电压表（必要时可配接触式静电电压表）；

（3）充电板测试仪；

※（4）接地电阻测试仪；

※（5）万用表；

（6）静电屏蔽性能测试仪；

※（7）温、湿度测试仪。

注意：上列仪器（除f项）都要配置，并有完整计量和使用说明书档案；※为必备仪器。



## 2.7 管理与质量体系(包括质量管理手册)软件要求

### 2.7.1 质量手册内容

编写的质量手册(参照静电放电手册TR20.20)应能提供指导原则和方案,使建立的EPA防静电系统符合ESDS20.20或IEC61340-5-1的相关要求。

#### 1) 培训

(1) 有根据不同层次管理、操作人员培训内容(参照表4-1)和考核管理制度。

(2) 有关组织培训与考核记录(档案)核查制度。

#### 2) EPA接地

(1) EPA接地管理条款。

(2) 有EPA接地检查要求。

(3) 有管理、监测及记录核查制度。



图1-4 EPA标识

#### 3) 人员安全

(1) 有人员安全管理要求;

(2) 人员安全检查和记录制度;

(3) 有关管理,记录的核查制度。

#### 4) 人员接地

(1) 有人员接地管理要求;

(2) 人员接地检查和记录制度;

(3) 人员接地和记录的核查制度。

#### 5) EPA要求

(1) 4.2.6条款中的4.2.6.1至4.2.6.14各节具体技术要求可不作为质量手册一部分,但作为被审查文件,被审查企业必须提供。

(2) 管理手册中有4.2.6.1至4.2.6.14节使用、管理、检查、测试、记录方面的规定。

#### 6) 岗位职责和管理制度

管理文件和质量体系中所列管理制度和要求有:

(1) 各工序操作人员职责。

(2) 企业和车间的行政、技术、质量、设备维

护、ESD协调员、工艺、采购、仓库储运、工程管理者各职责。

(3) 防静电用品(装备)等器材采购、接受、存储、保管、运输管理制度。

(4) EPA监测仪器的使用、计量、采购、维修、记录制度。

(5) EPA工程设计、施工、验收、维护、审查、相关文件存档管理制度。

(6) 各类ESD技术、质量标准(企业标准)、工艺文件、检验报告的管理制度。

(7) EOS/ESD事故分析、解决预案。

(8) 各类ESD警示标识使用、管理制度。

(9) 进入EPA内各类人员守则。

(10) 环境温湿度、洁净度控制系统维护和管理制度。

(11) 质量管理手册制修订管理制度。

(12) 各类ESD技术、质量、管理、工艺文件、工程文件的标准化审查管理制度。

#### 7) 操作规程与记录

根据需要操作规程和记录可不编入管理手册,但作为质量体系的文件,企业必须具有。

(1) 各工序人员操作规程。

(2) EPA监测仪器操作和维护规程。

(3) 离子静电消除器使用维护规程;

(4) 各类防静电包装使用规程和注意事项。

(5) ESD事故处理记录。

(6) 人体静电防护用品使用规程(工作服、鞋、腕带等)。

(7) 现场工作规定(流动岗位人员、参观人员、设备维修人员等)。

通往EPA的门应该只对那些完成了静电防护培训的人打开。当在EPA内,通过训练的人员将护送未经受训的人员。没有采取静电防护措施的人和防静电接地的人,不允许进入EPA并触摸SSD。

#### 8) 质量责任与检查

(1) 有EPA各环节质量管理体系及框图。

(2) 有对4.2.1至4.2.6条款定期复验、后继审

(下转40页)



# 利用表面活性剂强化表面粒子的清除

王大千

中国电子学会洁净技术分会, 北京 100840

## 1 引言

### 1.1 工业前途

我们日常生活中使用的许多物品, 都必须有颗粒材料的生产环境中制造。但在相关的制造工艺完成之后, 必须将对生产必不可少的这些颗粒清除到极低的水平。在生产过程中留在半导体电路关键位置上的一颗粒子, 就能使集成电路成品中的电路失效。因此, 粒子清除技术对电子电路的制造是至关重要的。其他工业, 如光学部件的生产同样需要粒子清除技术, 以制造出有适宜光洁度的优质部件。

许多工业中, 是将粒子放在含水介质中进行处理, 对表面粒子的清除也在含水介质中进行。从对湿表面的简单刷洗技术和兆声波振动, 到对干燥表面的激光处理和用干冰或空气清除, 清除技术各不相同。

粒子因其与表面之间的自然吸引力而粘附在表面上。表面活性剂能够有效地降低粒子和表面间的自然吸引力, 从而提高粒子的清除效果。本章讨论的是在液体环境中对可增强表面粒子清除效果的表面活性剂的使用。本文中讨论的内容也可应用到其他环境。

### 1.2 历史回顾

上千年来, 粉末一直用于珠宝首饰的研磨和抛光, 但在上个世纪40年代以前, 粒子与表面是如何相互作用的一直模糊不清。关于粒子与表面相互作用的多数知识, 都起源于40年代开始进行的研究。但是, 只是到70年代和80年代分别开发出表面力仪器和原子力显微镜并投入使用后, 才能对细微粒子和表面作用力进行

直接和准确的测量。

## 2 表面活性剂在溶液中的特性

表面活性剂是化学复合物, 呈表面活性, 因其双重特性, 在表面或交接面比在大体积介质中更具优势。在含水介质中呈表面活性的分子是由疏水和亲水体构成的。亲水体在本质上具有极性, 给予分子在水中溶解的能力。更常见情况的是, 亲水部分是由一个离子功能组构成, 如硫酸盐、磷酸盐、羧化物或胺, 或含有如氧化乙烯类的亲水片段。疏水部分的分子一般是由 $\text{CH}_2$ 组构成, 它通常与4—18  $\text{CH}_2$ 组构成的连续烷基链连接而成。疏水部分的分子在本质上是非极性实体, 更易于与其他非极性的实体, 如空气或其他烃实体而不是水相结合。因此, 表面活性剂分子的双重特性, 使其在水—空气或水—油界面, 而不是在大体积水中可被随时容纳。另外, 表面活性剂分子在界面处, 而不是在大体积含水介质中, 具有较高的浓度。这是因为, 在疏水部分与非极性介质或其他表面活性剂分子的烃片段相结合的同时, 亲水部分的分子可以与水分子相结合。表面活性剂分子与界面和其他表面活性剂分子相结合的趋势, 造成吸附和聚集的高趋势, 而且会随着烃链长度的增加或溶剂极性的增强而增加。

随着表面活性剂浓度的增高, 表面活性剂的吸附和形成聚集结构的趋势增强。浓度低时, 如图1所示, 表面活性剂分子没有足够的能量形成聚集物或高浓度时在界面处实现吸附, 尽管其在界面处, 比在大体积介质中, 吸附浓度更高。在中等浓度时, 表面活性剂分子在界面处吸附的水平, 比在大体积溶液中时要高。



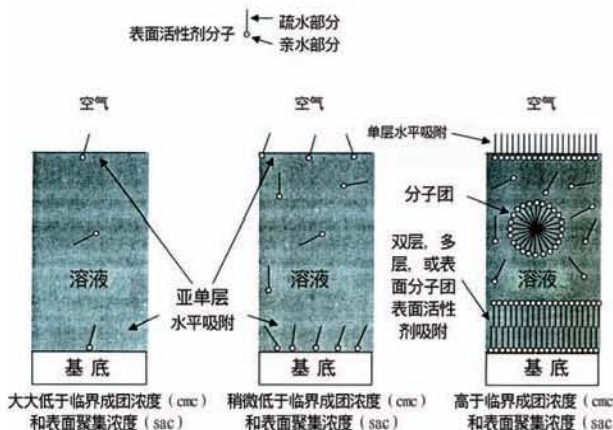


图1 作为表面活性剂相对浓度函数的表面活性剂聚集和吸附的示意图

表面活性剂在如空气-水的界面聚积造成表面张力降低。换言之，表面活性剂在界面处的聚积降低了界面间的能量，原因是表面活性剂的分子既有疏水部分，又有亲水部分，它们分别吸引液相（极性）和气相（非极性）。

表面张力常常用一天平和一悬吊的亲水物体（如板子或环）进行测量。如图2所示，在空气-水界面存在的表面活性剂分子，降低了水爬高到亲水基底（如图中的板子）上的趋势，从而降低了图2中箭头所示的物体向下的力。图3为一般的表面张力与浓度自然对数的关系图表。请注意，随着表面活性剂的浓度升高到最低浓度水平以上表面张力迅速降低。在浓度较高时，在一个具体浓度水平，即一称为临界成团浓度（cmc）水平时，张力达到最低值。

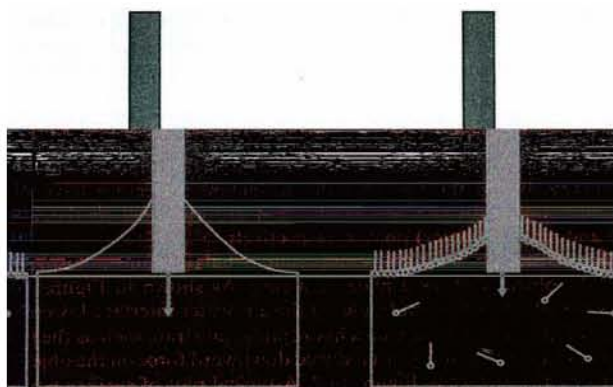


图2 在有表面活性剂（右侧）和无表面活性剂（左侧）的情况下，水在板上形成表面张力的比较示意图

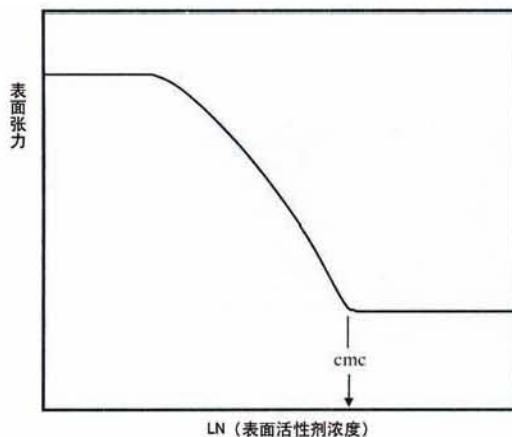


图3 表面张力与表面活性剂浓度关系示意图，显示出临界分子团浓度（cmc）

界面处表面活性剂过高浓度可以用表面张力数据和吉布斯（Gibbs）公式进行量化。界面处过高的或超过体积分数的表面浓度可以表示为

$$\Gamma = -\frac{1}{RT} \left( \frac{d\gamma}{d \ln(c)} \right)$$

恒温测试的临界分子团浓度（cmc）<sup>(1)</sup>，在其中没有发生相位转换，其中： $R$ 为气体常数； $T$ 为绝对温度； $\gamma$ 为表面张力； $c$ 为表面活性剂的浓度。注意图3中表面张力的斜线用于计算表面超量浓度，几乎与吸附密度等量。

经常用朗缪尔（Langmuir）模型来评估界面处的表面活性剂分子的吸附，它以平衡吸附反应开始

$$A + S = AS \quad (2)$$

式中： $A$ 为吸附物； $S$ 为表面可吸附的部位； $AS$ 代表吸附物 $A$ 被吸附的表面部位。用一简单的平衡表达式，平衡常数 $K'_A$ 可表示为

$$K'_A = \frac{C_{AS}}{C_A C_S} \quad (3)$$

式中： $C_{AS}$ 为被吸附的吸附物表面浓度； $C_S$ 为未占有的表面吸附部位的表面浓度； $C_A$ 为吸附物的体积溶液浓度。采用式（3），有表面部位平衡和替代尚余部位的浓度（ $C_S = C_{\text{Total}} - C_{AS}$ ），可导出由吸附物覆盖的表面部分的通常表示

$$\theta = \frac{C_{AS}}{C_{\text{Total Sites}}} = \frac{K'_A C_A}{1 + K'_A C_A} \quad (4)$$

但应该注意此公式仅在浓度水平低于表面活性



剂聚集所需浓度时才有效。也很重要是要意识到，在固体表面的表面活性剂的聚集，即被称作是表面聚集浓度（sac），经常在浓度低于临界分子团浓度的情况下发生。所以，临界分子团浓度（cmc）适用于溶液中表面活性剂聚集形成，而表面聚集浓度（sac）适用于固体表面表面活性剂聚集形成。

当表面活性剂浓度达到的水平超过表面聚集浓度时，表面活性剂分子团已经在单层水平上用尽了界面吸附部位，而由系统的自由能量保证界面处双层或多层形式的更多的额外结合和聚集。同样地，在超过临界分子团浓度（cmc）时溶液中形成分子团。分子团是以球形聚集的表面活性剂分子，其中分子的烃部分与球形结构内部的其他表面活性剂分子的烃部分结合。分子团结构的外壁，是由如图1中所示的表面活性剂分子亲水功能组形成的。

表面活性剂分子烃部分的长度，对表面活性剂分子在界面聚集和结合的趋势有很大影响。随着表面活性剂分子的烃链部分的生长，表面活性剂聚集或吸附的趋势增加，缓解极性溶剂分子和非极性烃组间的高能不利反应。因而聚集临界分子团浓度（cmc或sac）随着链的长度的增长而降低，原因是浓度水平随着烃链长度增长而降低时，发生聚集事件。从表1的数据可随时了解增加烃链长度对聚集浓度（溶液的cmc）的效应。表1中的数据说明，表面活性剂分子上每增加2个CH<sub>2</sub>单位，就会降低约3倍。

表1 水中烃链长度与烷基三甲基溴化铵的临界分子团浓度（cmc）比较

| 烷基CH <sub>2</sub> 段的数目 | cmc (M)              |
|------------------------|----------------------|
| 10                     | $6.3 \times 10^{-2}$ |
| 12                     | $1.9 \times 10^{-2}$ |
| 14                     | $4.5 \times 10^{-3}$ |
| 16                     | $1.3 \times 10^{-3}$ |
| 18                     | $3.4 \times 10^{-4}$ |

表面活性剂分子在溶液中吸附或聚集的趋势还受到溶液环境的影响。随着溶液变得更加具有极性，表面活性剂分子在溶液中聚集或在界面吸附的趋势会增加。量化溶液极性的一个因数是离子强度。因而离子强度对表面活性剂的效应非常显著，这是被表2中给出的值所证实了的。注意表2中的临

界分子团浓度（cmc）值在高离子强度的介质中要低得多。表2中的数据还指出离子强度的效应随着烃链长度的增长而变得更加明显，这说明烷基烃链较长的表面活性剂分子，随着溶剂极性的强，使离开溶液、形成表面和溶液聚集的趋势增加。

表2 作为离子强度函数的表面活性剂临界分子团浓度（cmc）值和表面活性剂种类的比较

| 表面活性剂    | 离子强度   | 链长度<br>(CH <sub>2</sub> s的数目) | 临界分子团浓度<br>(cmc) (M) |
|----------|--------|-------------------------------|----------------------|
| 辛基硫酸钠    | 0.3    | 8                             | $6.7 \times 10^{-2}$ |
| 辛基硫酸钠    | 0.07   | 8                             | $1.3 \times 10^{-1}$ |
| 癸基硫酸钠    | 0.3    | 10                            | $8.9 \times 10^{-3}$ |
| 癸基硫酸钠    | 0.007  | 10                            | $3.3 \times 10^{-2}$ |
| 十二烷基硫酸钠  | 0.3    | 12                            | $7 \times 10^{-4}$   |
| 十二烷基硫酸钠  | 0.0007 | 12                            | $8.1 \times 10^{-3}$ |
| 氯化十六烷基吡啶 | 1.0    | 16                            | $3 \times 10^{-4}$   |
| 氯化十六烷基吡啶 | 0.0003 | 16                            | $3 \times 10^{-4}$   |

根据综合的理论和经验的信息，可以预计环境和烃链长度对表面活性剂临界分子团浓度（cmc）的组合效应。在各种链长度和离子强度情况下，预计表面活性剂分子临界分子团浓度（cmc）值（如 $x$ ， $\Delta G_{CI}$ 和 $k$ 使用稍稍不同的值时，则为表面聚集浓度（sac）），下面的公式非常有用。

$$cmc \cong \exp \left( \frac{1}{RT} \left[ (L-x) \Delta G_{CI} + k(L-x) RT \ln(\gamma_m) \right] \right) \quad (5)$$

式中： $R$ 为气体常数， $T$ 为绝对温度， $L$ 为在表面活性剂分子中连续的CH<sub>2</sub>单位的总数， $\Delta G_{CI}$ 为每个CH<sub>2</sub>单位的自由能增量（对某些表面活性剂-1500 J/mol是个很好的估值）， $x$ 是激活表面活性所必要的表面活性剂分子中的CH<sub>2</sub>单位的数目（通常在5左右）， $k$ 是溶剂极性因数（ $L$ 为12-18的表面活性剂通常为1.0~1.5）， $\gamma_m$ 是用离子活性系数公式确定的活性系数，如用Davies公式确定活性系数，表示如下

$$\gamma_m = 10^{0.5083z^2 \left( \frac{\sqrt{I}}{1+\sqrt{I}} - 0.2I \right)} \quad (6)$$

在25℃时， $z$ 为表面活性剂离子的电荷（通常为1）， $I$ 为离子强度。

$$I = 0.5 \sum_{j=1}^n m_j z_j^2 \quad (7)$$

式中： $j = 1$ 到 $n$ 表示溶液中所有带正、负电的物质



种类,  $m$  为极性。从基于校准图表的临界分子团浓度 (cmc) 数据, 可得到各种常数更确切的值。

了解表面活性剂在溶液中的特性, 即其在界面聚集和吸附的趋势, 是理解其如何提高粒子清除的一个关键先决条件。

### 3 界面张力和粒子清除

#### 3.1 界面张力简介

分子和表面间的相互作用力可以非常强大, 非常有影响力。分子间的力确定分子组的物理状态。这类分子组构成表面, 变成存在于表面间的力的起源。水溶介质中分子和表面间的力经常分为静电力、范德华 (van der Waals) 力、结构力和疏水力。对于非浸入的情况, 还必须考虑虹吸力, 但在本章的其后部分不考虑这点。

范德华 (van der Waals) 力产生于原子或分子偶极的相互作用。分子或原子间的范德华 (van der Waals) 力在性质上是相互吸引的, 甚至原子或分子没有永久性的偶极时这种吸引力也存在, 因为偶极可经感应产生。球体和板间的范德华 (van der Waals) 力可以表示为

$$F(h) = -\frac{Ar}{6h^2} \quad (8)$$

式中:  $A$  为哈梅克 (Hamaker) 常数,  $r$  为粒子弧度的半径,  $h$  为粒子和板间相隔的距离。

球体和板间的静电力为

$$F(h) = \frac{128 \pi R \rho_{\infty} k T \gamma_1 \gamma_2}{\chi} \exp\left(-\chi h\right) \quad (9)$$

式中: 每个表面 (注脚表示的1和2) 的表面电荷定义为

$$\gamma_{(1或2)} = \tanh\left(\frac{zeY_{0(1或2)}}{4kT}\right) \quad \text{公式 (10)}$$

德拜 (Debye) 长度  $\chi$  为

$$\chi = \left(\frac{2000 e^2 N_A}{\epsilon_0 \epsilon_m k T}\right)^{1/2} \quad (11)$$

式中:  $z$  为离子价,  $e$  为电荷,  $\rho_{\infty}$  为体积溶解的离子密度,  $\phi_{0(1或2)}$  为关注表面 (表面1或2) 的表面电位。

$I$  为离子强度 (所有正负离子均为  $0.5 \sum z^2 \rho_{\infty}$ ),  $1 N_A$  为阿伏加德罗 (Avogadro) 的数目,  $\epsilon_0$  为真空的介电系数,  $\epsilon_m$  为两个表面间介质的介电常数。

在许多有亲水表面的水溶性环境中, 由于结构力本质上倾向于振荡的, 并趋于平均为近零的净效应, 因此表面之间的力是由静电和范德华 (van der Waals) 力所主导的。换言之, 结构力表示为高于或低于其他净力的振荡。而尽管在表面靠近接触时, 水的各个单层以步进方式被去除或增加而引发局部振荡, 并引起总力步进式的振荡, 其他力仍趋向保持支配地位。这种振荡经常在表面以内几个纳米观察到。

使用静电和范德华 (van der Waals) 力的组合来描述表面相互作用曾被Derjaguin、Landau、Verwey和Overbeek四人广为证实。表面力的理论已被广泛认知为DLVO理论。另外, 在表面力的分析中, 如只考虑静电和范德华 (van der Waals) 力, 则有时会将相互作用力称作DLVO力。当涉及低离子强度的介质中的亲水基底时, DLVO理论经常足以说明粒子和表面间发生接触前的力。

虽然DLVO理论在许多情况下解释了表面力, 但它并没有说明疏水表面间力的效应问题, 这种力会大大地超过DLVO理论预期的吸引力。疏水表面间强大的、有吸引力的常被称为疏水力。关于这些力的起源有很多争论, 但通常最被认可的假定是, 这些力与水的结构效应和气体夹带/空穴效应有关联。

#### 3.2 表面力的测量

表面力可以用不同的仪器测量。测量表面力最常用的是用原子力微探针 (AFM) 和表面力测量仪 (SFA), 两种仪器都能测量在各种分离距离上表面间的相互作用力。AFM是在1980年代中期研制出的, 是利用一个细的悬臂, 在压电晶体将表面移动至较近距离时, 悬臂尖部受表面力影响致使悬臂发生弯曲 (见图4)。悬臂角度的变化, 引起悬臂尖反射下来的光的角度发生改变 (见图4)。用一组检测器测量反射光的量和位置, 然后根据悬臂的特性和尺寸并结合偏转光的位置和密度来测定力。根据施加的压电晶体电压的变化, 结合压电晶体启动器的



特性及一校准程序来测量距离。

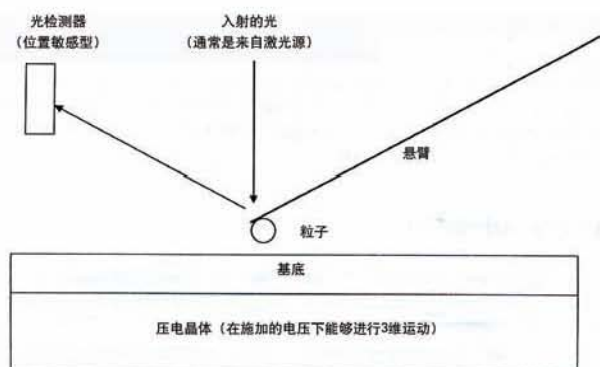


图4 原子力显微镜 (AFM) 示意图

表面力测量仪 (SFA) 是约30年前由Tabor及其同事研制出来的，它与AFM的设计有极大的不同（见图5）。SFA由一悬臂构成，如AFM一样，根据偏转来测量力。但表面间的分离是用白光衍射技术测量的，该技术利用一光度计分析光的各种波长。SFA使用的表面必须是在原子上光滑的，一般是以薄膜形式装在圆柱状光学透明的支撑材料上，如图5所示。薄膜底侧必须涂覆一层非常薄的银或其他反射性金属，使得既能够发射大量的光，还允许反射大量的光。随着光在逐渐接触的涂银层面背侧层间的反射，产生干涉条纹图样。可以用分光的方法来分析干涉条纹图样，测定表面间约1 nm 之内的分离距离。

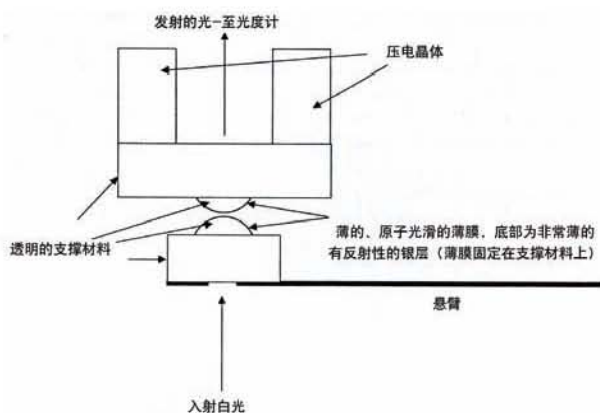


图5 表面力测量仪 (SFA) 示意图

### 3.3 粘附

粒子由于其与表面间有吸引作用的相互作用力而粘附到表面上。对粒子和表面间的吸引起支配作

用的力是范德华 (van der Waals) 力。此力大得足以使粒子和表面在自然接触下产生变形。变形的程度由所涉及物体的弹性模量和吸引力的量级来确定。软材料变形较大，硬材料变形较小。有几种理论可用来计算粒子粘附到表面中有关的变形和力。尽管材料变形了，而吸引力仍保持不变，但材料变形的效应对清除粒子提高了要求。

粘附力可以从已知力之和估算出来。通常是在水溶介质中粒子-表面的分离距离在0.1~0.5 nm 之间时进行力的计算。由于用于导出力的表达式的连续体理论，对在很近分离距离下界面处原子的离散性质解释得不准确，因此分离距离不是零。还有，在水溶介质中，水的表面层是结合在表面的，它们可影响有效的分离距离。另一种方法，表面能/酸-碱理论，也能提供有用的粘合力近似值，但这种技术不象以前描述的力之和的方法那样，对涉及表面活性剂吸附的系统易于应用，因此不多加讨论。此外，表面能/酸-碱理论不能解释在粒子-表面系统中可能很重要的静电力。

### 3.4 粒子清除力

可以用拖曳吸引、滚动、滑动等方法把粒子从表面清除掉，但每种方法都要求有一个外部的力。其中最常用的外力是由流体流动产生的流体拖曳力。在层流条件下作用于粒子上的流体拖曳力可以表示为

$$F = -3\pi d_0 \mu V \quad (12)$$

式中： $F$ 是力， $d_0$ 是粒子直径， $V$ 是流体速度， $\mu$ 是粘度。但在任何相对粒子而言的给定位置上的流体速度，与距基底表面的距离是成比例的，所以，流体能够移动粒子的那些成分是位于与粒子直径成比例的距表面的距离上的。因此，直觉上很明显的是，根据在接近基底表面的流量和表面处所附着的粒子，液体拖曳形成的清除力有赖于表面面积。从而因液体拖曳而对表面粒子形成的实际清除力与直径的平方直接成比例关系。因此，随着粒子的变小，能够由流体运动清除粒子的力迅速降低。反之，控制粘附的力，如范德华 (van der Waals) 力和静电力与粒子直径呈线性关



系,不会象传统的清除力那样快地消失。因此,大粒子很容易从表面洗掉,小粒子则不容易,除非表面力降低或清除力增强。本章只是讨论使用表面活性剂来改进表面力,将其作为增强粒子清除效果的一种手段。

### 3.5 用表面活性剂改善表面力

表面活性剂分子在粒子的表面和基底的表面吸附,可改变粒子和基底之间的范德华(van der Waals)吸引力及静电力、结构力和疏水力。

用Israelachvili发明的近似表达式可非常容易地把表面活性剂范德华(van der Waals)力吸附效应量化(对水等介质分开的吸附层的表面),但它已由Derjaguin近似值从板-板间的相互作用力改为板-球间的相互作用力。

$$F(h) = \frac{R}{6} \left[ \frac{A_{432}}{h^2} - \frac{\sqrt{A_{345}A_{323}}}{(h+t_p)^2} - \frac{\sqrt{A_{121}A_{343}}}{(h+t_s)^2} + \frac{\sqrt{A_{121}A_{345}}}{(h+t_p+t_s)^2} \right] \quad (13)$$

式中:1为基底表面,2为基底表面的涂层,3为分开表面的介质,4为粒子上的涂层,5为粒子表面,ts为基底表面涂层的厚度,tp为粒子表面涂层的厚度。但为要利用此力的表达式,有必要知道各种表面间的哈梅克(Hamaker)常数。下面为根据Israelachvili给出的Lifshitz理论测定哈梅克(Hamaker)常数的有效表达式。

$$A_{132} \approx \frac{3}{4} kT \left( \frac{\epsilon_1 - \epsilon_3}{\epsilon_1 + \epsilon_3} \right) \left( \frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\epsilon_2 + \epsilon_3} \right) + \frac{3\hbar}{8\sqrt{2}} \left[ \frac{(n_1^2 - n_3^2)(n_2^2 - n_3^2)}{(n_1^2 + n_3^2)^{1/2}(n_2^2 + n_3^2)^{1/2}[(n_1^2 + n_3^2)^{1/2} + (n_2^2 + n_3^2)^{1/2}]} \right] \quad (14)$$

式中: $A_{132}$ 为表面1、表面2、跨越介质3的非延迟的哈梅克(Hamaker)常数, $k$ 为伯尔兹曼(Boltzmann)常数, $T$ 为绝对温度, $\epsilon$ 为规定介质的介电常数, $\hbar$ 为普朗克(Plank)的常数, $\nu_m$ 为平均吸附频率, $n$ 为折射率。根据实验中的观测证明了用多层模型测定表面活性剂范德华(van der Waals)力吸附效应的正确性,表明了吸附层的范德华(van der Waals)力效应随表面接近于接触而变得越来越重要。表面活性剂分子的吸附层还提供一个粒子和基底间直接接触的空间位的屏障。

如图6中带电表面处一被吸附的阳离子表面活性剂分子所表示的那样,基底和粒子表面上表面活性剂分子的吸附,还趋向于极大地改变表面电荷。表面活性剂吸附的效应取决于表面活性剂吸附前的已有电荷、表面活性剂分子的电荷和吸附后在每个表面上表面活性剂的表面浓度。有些情况下,离子表面活性剂的吸附对溶液中的基底和粒子间的静电力会有巨大的效应。在有些清除粒子的情况中,粒子的电荷与基底相反的电荷,使得表面间自然的静电力成为吸引力(负力)。如果离子表面活性剂在粒子和基底表面吸附,两种表面可能会产生与表面活性剂相同的电荷,使得表面间的静电相互作用成为正力或排斥力,减少粒子的吸附,提高粒子的清除。在涉及带有类似的自然电荷的基底和粒子的情况下,选择正确的离子表面活性剂吸附特性,能够增强现有的排斥静电力。因此,在多数情况下,除了提供一个粒子和基底间直接接触的空间位屏障外,离子表面活性剂分子的吸附可提供或增强静电排斥力而使清除粒子更容易。

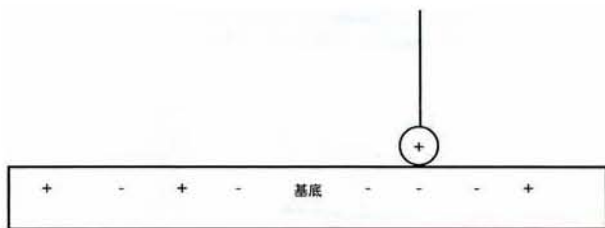


图6 带电基底上吸附到的阳离子表面活性剂示意图

注意:基底上的电荷一般是来自所吸附的离子,如OH<sup>-</sup>和H<sup>+</sup>,这里未显示。还要注意,水溶性介质中界面处起重要作用的水分子也未显示。

虽然表面活性剂的吸附能够降低范德华(van der Waals)吸引力,并产生或加强粒子和基底间的静电排斥,但表面活性剂的吸附可生成疏水的吸引力,这会使粒子的清除变得比较困难。因粒子清除是本章的主题,所以希望这样安排吸附的表面活性剂分子,即亲水端伸入水介质内,其疏水端伸入到疏水溶剂内。用图7中的图可很容易地观察到,对水性介质和天然亲水表面来说,仅仅高于表面聚集浓度(sac)就能实现所希望的结果。此时,形成的双层、多层或表面



分子团，为亲水功能组提供接触界面。

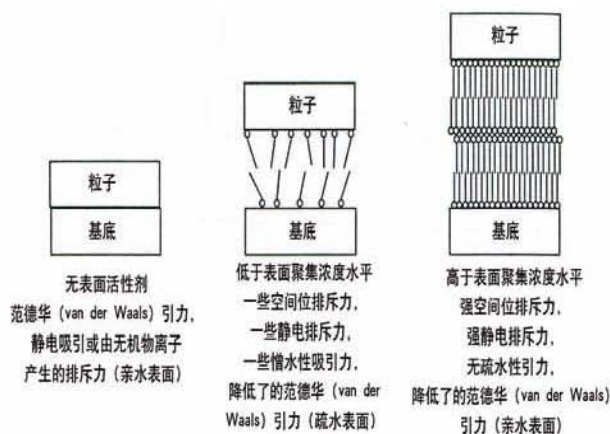


图7 天然亲水表面的粒子-表面相互作用方面表面活性剂的浓度和吸附效应的关系

注意：水分子和其他离子，如计数器离子已省略，以简化此图。虽然示意图中显示出高于表面聚集浓度时形成双层，但观察到高于表面聚集浓度的表面分子团和多层吸附也是常见的。

所吸附的表面活性剂分子的头组和烃尾的方向对吸引性疏水力的效应，已由弗雷塔森 (Freitas) 和沙玛 (Sharma) 说明。他们证明了低于表面聚集浓度的亲水 $\text{SiO}_2$ 粒子和基底间强的吸引力，吸附的表面活性剂分子的烃尾延伸到溶液中，产生疏水界面。高于表面聚集浓度 (sac) 时，只有双层、多层或表面分子团的功能组延伸到水性介质中，相互作用力变得非常弱。应该注意对这类疏水相互作用力还没有全面的解释。

粒子和基底间的净力可以用以前阐述的范德华 (van der Waals) 力和静电力组份的公式进行计算，只要表面是亲水的，上述力就是最重要的总力。已对许多表面力进行了研究，至少有一个一般性的一致意见，即可用适用的理论将实验数据制成模型。因此，检验表面活性剂吸附对粒子和基底间的相互作用净力的效应是有益的。

图8举例说明了用粒子半径除而得到的标准化的DLVO力，与裸的和有薄膜覆盖的表面间分离距离的比较。就是用一理想的氧化铝球体，接近pH值近乎中性的水性溶液中石英的表面。

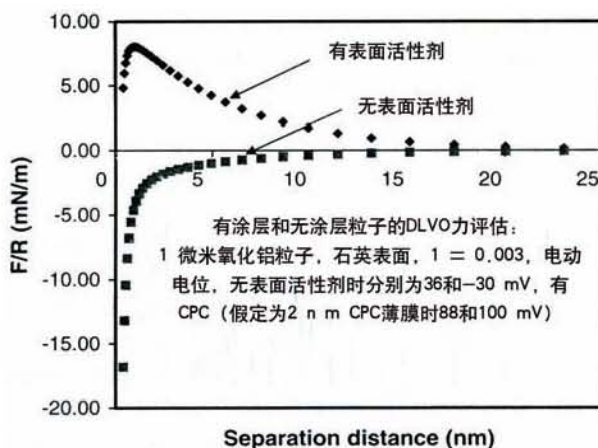


图8 标准化的DLVO力

注意在没有表面活性剂时，随着粒子接近表面，标准化的净力呈高度负性。在没有表面活性剂时由于范德华 (van der Waals) 吸引力和吸引力静电力才产生吸引。不过，溶液在有0.0028M水平 (显著高于cmc的0.0003M，并且也高于约0.0001M的表面聚集浓度sac) 的氯化十六烷吡啶 (CPC) 表面活性剂时，会在代表了接触的分距离上生成正力或排斥力。应该注意在水性介质中应用DLVO理论时，假定接触是在分离距离大于0 (通常约为0.4 nm) 处发生。在此特殊案例中，添加表面活性剂的结果是相当显著的，这是因为表面在吸附表面活性剂前带有相反的电荷。因此，添加表面活性剂造成表面力的巨大差别。有同类表面的系统中，表面活性剂的分子不会如此显著地改变力，但添加表面活性剂分子可增强排斥力 (正如图9接近石英表面的石英球体所示)，并因此增强了清除的潜力。其他研究也表明，表面活性剂对粒子与表面间的相互作用力有极大的影响。

用粒子半径除，使其标准化后，与接近石英表面的氧化铝粒子的分离距离的比较。注意用式 (14) 来计算哈梅克 (Hamaker) 常数，折射率和介电常数数据来自参照文件。用式 (9) ~ (14) 计算力。注意图中的界面电动电位值是用22°C的0.003 M KCL 溶液中的石英粉和氧化铝粒子测量出的。表面电位 是根据界面电动电位用下述关系式计算的：



$\psi = \text{界面动电位}[\exp(-x/1 \text{ nm})]$  (假定界面动电位距表面1 nm)。

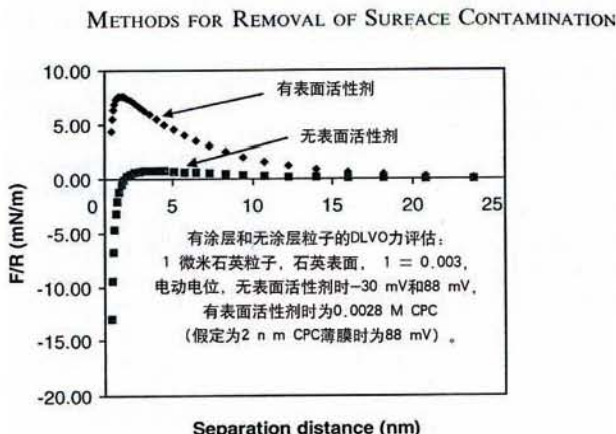


图9 标准化的DLVO力

用粒子半径除, 使其标准化, 与接近石英表面的氧化铝粒子的分离距离进行比较。注意用式 (14) 来计算哈梅克 (Hamaker) 常数, 折射率和介电常数数据来自参照文件。用式 (9) ~ (11)、(13) 和 (14) 计算各种力。注意图中的界面动电位值是用 22°C 的 0.003MKCL 溶液中的石英粉和氧化铝粒子测量出来的。表面电位 是根据界面动电位用下述关系式计算的:  $\psi = \text{界面动电位}[\exp(-x/1 \text{ nm})]$  (假定界面动电位距表面1nm)。

### 3.6 测量粒子清除

粒子清除的效果几乎总是用光学方法测量的。一个简单的方法就是拍摄有残留粒子的表面的数字影像, 并适当放大。然后可以用图像分析软件进行分析, 确定残留粒子的数目。电子工业检验晶片污染情况常用的一个类似方法, 是使用激光扫描和有关的检测器, 测量粒子散射的光或表面上的缺陷。

### 3.7 与表面活性剂使用有关的、粒子清除效果的提高

表面力的计算表明, 在有表面活性剂参加的情况下, 可极大地降低表面力。因此可以预计, 添加表面活性剂可提高对粒子的清除效果。几项研究表明, 表面活性剂有助于降低表面上残留的粒子数。图10~15中给出了几组粒子清除数据。每个图都表明, 表面活性剂对清除有关基底上的粒子有极大的影响。图10~12和图15表明, 粒子清除的有效性一般

是随着表面活性剂的浓度而提高的。在图15中观察到的、与提高表面活性剂浓度有关的清除效果, 一般与图8和图9中理论上对力的考虑是一致的。理论预计到: 在没有表面活性剂时存在吸引力, 在有表面活性剂时存在排斥力。

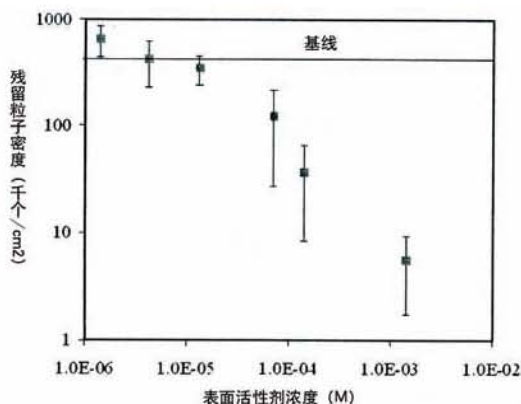


图10 用CMP对1 %硝酸铁介质中的铜进行处理后残留粒子的密度与31°C的CPC浓度关系

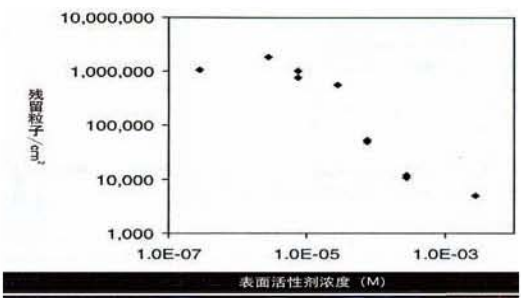


图11 用直径0.7 μm氧化铝粒子对涂锡表面进行抛光后残留粒子密度与CPC浓度的比较

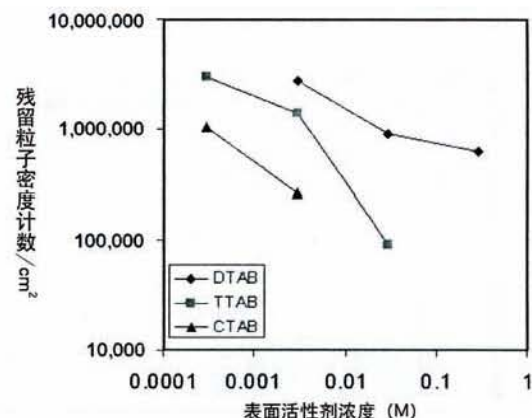


图12 用直径0.7 μm氧化铝粒子对涂锡表面进行抛光后残留粒子密度与表面活性剂浓度的比较  
注: DTAB = 十二烷基三甲基溴化铵, TTAB = 十四烷基三甲基溴化铵, CTAB = 十六烷基三甲基溴化铵。



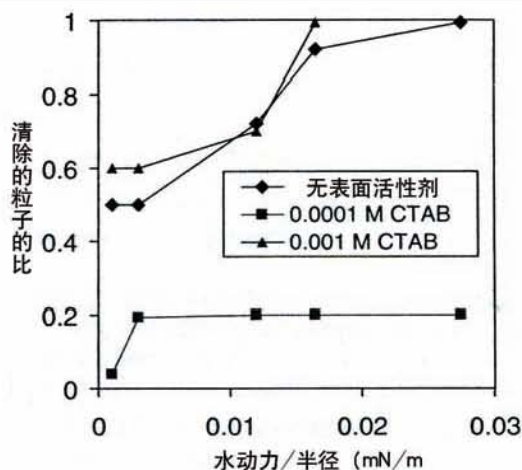


图13 CTAB浓度对于从亲水氧化硅晶片基底上清除10  $\mu\text{m}$  亲水玻璃粒子的作用

注: X轴显示的是用粒子半径除而标准化的流体流所产生的水压清除力,以给出相对清除力的量化评定。

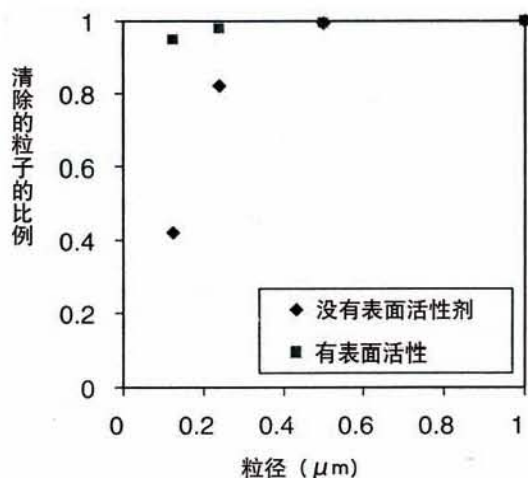


图14 在有和没有表面活性剂的情况下,用0.5% HF对硅基底上聚苯乙烯乳胶粒子的清除效率与粒径的关系

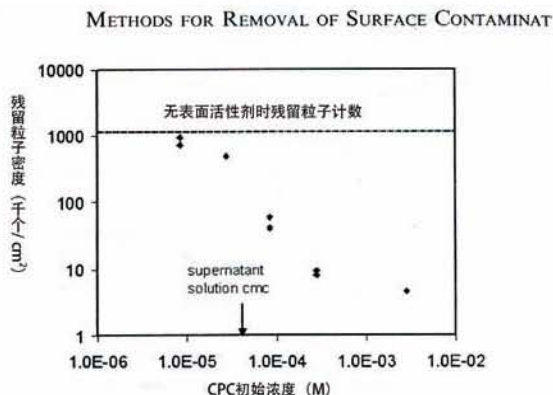


图15 用直径0.7  $\mu\text{m}$  氧化铝粒子对石英玻璃进行抛光后,残留粒子的密度与CPC浓度的比较

注意由添加到溶液中的CPC总量决定的上层清液的临界分子团浓度 (cmc), 比正常临界分子团浓度 (cmc) 高得多 ( $3 \times 10^{-4}$  M)。这是由于氧化铝粒子对表面活性剂的吸附。换言之, 上层清液的临界分子团浓度 (cmc) 表明, 即使CPC初始浓度高得多, 自由的、未吸附的表面活性剂的浓度还是接近正常临界分子团浓度 (cmc)。

图15表明, 表面活性剂的有效性在其高于临界分子团浓度 (cmc) 时要大得多。因为相对于空气—水的交接面而言, 固体表面处界面间的能量较高, 所以临界分子团浓度 (cmc) 一般大大地高于表面聚集浓度 (sac), 在表面聚集浓度 (sac) 以下的清除可能就基本无效了。不过, 图13说明, 如果亲水基底对表面活性剂的吸附不到双层或多层, 从而变为如图7中所示的那种疏水表面, 则清除就被抑制了 (见低于表面聚集浓度 (sac) 的  $1 \times 10^{-4}$  M 表面活性剂数据)。但高于表面聚集浓度 (sac) 时, 则表面如图7所示变成亲水的, 就便于清除了 (见图13中的  $1 \times 10^{-3}$  M 数据组)。这些发现表明, 对亲水基底/粒子系统来说, 为获得最大的清洗效益, 平衡液表面活性剂浓度应超过表面聚集浓度 (sac)。

但相反的是, 图13中的结果也导致这样一个推断, 即如果表面是天然疏水的, 则表面活性剂的浓度低于表面聚集浓度 (sac) 也可能会增强清除效果。这个推断可以用表面的亲水性解释。因为表面会变得更亲水, 并且表面上对低于表面聚集浓度 (sac) 的表面活性剂吸附在不断增加, 疏水吸引力的潜力会降到最低, 从而提高对粒子的清除。而在高于表面聚集浓度 (sac) 时清除效果也会提高, 因为在单层以上的额外吸附是在成对的层或分子团中发生的, 而成对的层或分子团总是有暴露的亲水界面。

不过, 应该了解, 对疏水性/亲水性清洗的预测, 忽视了与表面活性剂吸附有关的表面带电。表面带静电在静电力的讨论中已说明。当表面覆盖的表面活性剂分子少于两层或多层时会观察到, 粒子的清除会提高。但, 由于在多层水平以下与表面活性剂覆盖相关的静电排斥力和疏水吸引力的竞争, 粒子的清除不会如在多层水平以上覆盖发生的那样



有效, 那是在高于表面聚集浓度 (sac) 时发生的。

对非离子表面活性剂分子, 已测试了其帮助清除粒子的能力, 但表现不如离子表面活性剂好。但当考虑到增强了的、有利的静电力的效果, 可由离子表面活性剂、而不是非离子表面活性剂产生时, 这项发现也就不足为奇了。

表面活性剂的总体清洗效果表明, 在提高粒子清除方面, 表面活性剂吸附对表面电荷、表面疏水性/亲水性和空位相互作用的效应是很大的。这个结果还突显了理解自然表面电荷和疏水性/亲水性及表面聚集浓度 (sac) 的重要性, 如在前文所讨论的那样, 这些都是离子强度和表面活性剂特性的强大功效。在比较成套的清洗数据时, 还有一点重要的是说明, 表面活性剂平衡浓度和初始浓度间的区别, 其区别经常是非常大的, 因为高表面区域伴有可吸附大量表面活性剂的微细粒子, 从而降低溶液中表面活性剂的浓度。

### 3.8 清洗后对表面活性剂的清除

用表面活性剂清除粒子后, 经常有必要再清除表面活性剂残留。因为多数表面活性剂的吸附在性质上都是物理现象, 因此可以在一定程度上用清洗作业简单地把表面活性剂从周围的溶液中清除。但因吸附的表面活性剂分子相互结合在一起, 在用纯水冲洗的过程中它们会抗拒清除。它们抗拒清除的力与烃链中的碳的数目有关。烃段越长, 抗拒的力越大。添加可与表面吸附位进行抗争的有效离子, 或形成复体, 或与吸收的表面活性剂反应, 可以在一定程度上克服抗拒清除的力。已经证明, CPC涂覆的钨表面暴露于1 M的氢氧化铝溶液5分钟, 可清除CPC。而在去离子水中简单地冲洗只是部分成功地清除了表面活性剂分子。用适当的离子实现简便清除的极少例外, 是清除化学吸附的表面活性剂分子, 这可能要求更强力的清除环境。

### 3.9 清洗用表面活性剂的选择

选择能够提高表面粒子清除的表面活性剂分子, 涉及到对几个重要因素的评定。一个重要的选择标准是, 在应用温度下表面活性剂分子的特性。有些表面活性剂在所需的应用温度下溶解度低, 不应该予以考虑。最通常的情况是, 溶解度主要是由烷基链中烃单元的数目来控制, 因此在溶解度问题上链的长度是要考虑的一个重要参数。虽然增加链的长度会降低溶解度, 但却提高了表面活性剂的吸附和聚集趋势。因此, 链的长度效应必须在吸附和溶解度考虑之间予以平衡。

其他需要考虑的因素有功能组和应用环境。阴离子表面活性剂因为会形成沉积物而在高度酸性的介质中无效, 阳离子表面活性剂也因会形成沉积物而在高度碱性的介质中无效。两性离子表面活性剂通常只在接近中性pH值、没有高度带电的离子溶液中才有效。有些环境中含有的高度带电离子, 可能会引导表面活性剂离子与相反的电荷沉积。非离子表面活性剂分子不会有同样的沉积问题, 但其溶解性会随温度有极大的变化。

### 3.10 用表面活性剂提高粒子清除的算术模型

最近在模型方面的工作表明, 可用吸附位抑制或依据能量的方法, 预测表面活性剂提高粒子清除后的效果。吸附位抑制法由朗缪尔 (Langmuir) 吸附模型组成, 该模型假定表面活性剂的覆盖不限于固体基底表面的表面吸附位, 吸附位受限于表面活性剂与基底或者是表面活性剂与表面活性剂覆盖的基底之间的相互作用。因此, 吸附位抑制法中朗缪尔 (Langmuir) 吸附模型中用的覆盖率是有效覆盖率, 它受组合性因素的限制, 如界面电荷、表面吸附位和表面活性剂吸附。虽然此模型法倾向适合一般数据范围内的多数残留粒子密度数据, 无法预测强化了粒子清除的下限。

依据能量的方法采用能量的公式, 它有一个模拟阿伦纽斯 (Arrhenius) 公式的功能形式。作为用表面活性剂提高粒子清除的模型, 它比吸附位抑制模型更有效。从依据能量的模型引出下面的公式



$$P = P_0 \exp \left[ z \left( \frac{K(C/sac)}{1 + K(C/sac)} \right)^n \right] \quad (15)$$

式中： $P$  是存在表面活性剂情况下的残留粒子密度， $P_0$ 是没有表面活性剂情况下残留粒子密度， $z$ 是能量的常数， $K$ 是表面活性剂吸附常数， $C$ 是表面活性剂浓度， $sac$ 是表面聚集浓度， $n$ 是常数。

$PO$ 值可以通过测量直接获取。按下面依据能量的残留粒子浓度模型公式重新安排的形式，可用 $\ln \ln(P_{0/P})$ 与 $(1 + KC/sac) / (KC/sac)$ 自然对数关系计算其他常数：

$$\ln \left| \ln \left( \frac{P_0}{P} \right) \right| = n \ln(z) + n \ln \left( \frac{1 + K(C/sac)}{K(C/sac)} \right) \quad (16)$$

由此，所得关系图的斜率会等于 $n$ ，将 $n$ 的值结合图表的截距，可确定 $z$ 。可用公式(5)来估算表面聚集浓度值，用表面张力图表、腐蚀抑制数据或朗廖尔-布劳杰特(Langmuir-Blodgett)薄膜压缩测试来估算 $K$ 值。能量的模型与残留粒子密度数据(见图16和17)相配的结果表明，此模型法对预测表面活性剂在提高铜和石英基底上氧化铝粒子的清除效果方面是有效的。

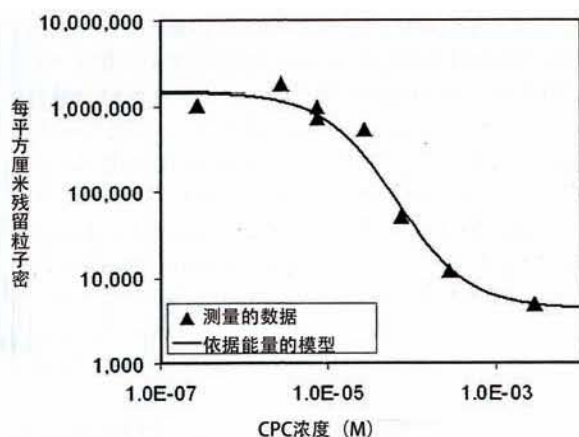


图16 使用31℃的硝酸铁介质中粒径0.7 μm的氧化铝粒子对石英玻璃抛光后，将残留粒子密度与CPC浓度进行对比  
(依据能量的模型(见实线)与实测吻合，  
该模型使用的是下列参数：  
 $P_0 = 1,500,000$ 个粒子/cm<sup>2</sup>， $z = 14,500$ ，  
 $K/sac = 15,000$  1/mol， $n = 0.99$ 。)

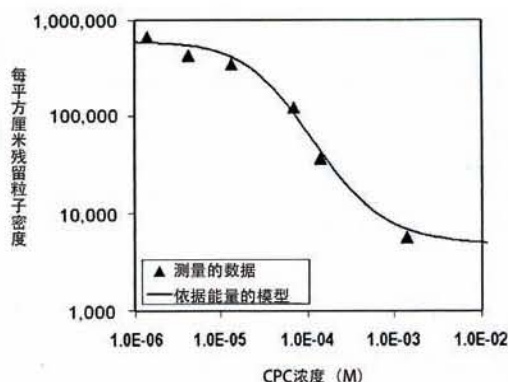


图17 用31℃的硝酸铁介质中粒径0.7 μm的氧化铝粒子对铜抛光后，  
将残留粒子密度与CPC浓度进行对比。  
(依据能量的模型(见实线)与实测吻合，模型中使用的参数如下：  
 $P_0 = 600,000$ 个粒子/cm<sup>2</sup>， $z = 12,000$ ，  
 $K/sac = 11,500$  1/mol， $n = 1.27$ 。)

## 4 小结

表面活性剂可通过改变粒子与表面的相互作用力提高表面粒子的清除效果。被吸附的表面活性剂分子能改变范德华(van der Waals)引力、静电力、疏水力，并实现空间位接触屏障。表面活性剂对这些力的作用可大大地提高粒子清除效率。

表面活性剂的吸附密度和吸附构造，是决定与表面活性剂有关的清除性能提高的重要因素。在表面聚集浓度以上时，清洗一般是最有效的。它可使表面活性剂在自然亲水表面，实现两层或多层的有效覆盖，从而实现显著的电荷排斥和空间位障碍。在单层水平下面的吸附使得天然亲水的基底变得疏水，易降低清除效率。相反，天然疏水的表面可能会受益于表面活性剂在低于和高于表面聚集浓度(sac)时分别产生在亚单层和多层的覆盖这两种情况。现有的吸附理论和可用的公式会有助于预测表面聚集浓度(sac)，它是预计表面活性剂在提高粒子清除性能方面的重要参数。也有可预测表面活性剂在提高粒子清除方面有效性的等式。



# 防生物污染（或灭活）涂层

王大千

中国电子学会洁净技术分会，北京 100840

## 1 简介

有生物存在的自然环境中的材料，以及自然界和工业中水生生态系统中的材料，迟早会受到生物污染。在本章中，生物污染是由活的有机物生成的表面杂质。这些污染物可引起无数极不希望发生的事件：厨房和浴室中霉菌的生长；居室墙壁上真菌增生；流动系统，如水管或售货机的管道带毒；船体上生物膜生长；导管或体内植入物类生物医疗器件的院内感染；通过日常生活中频繁接触的表面，造成接触传播的致命感染。

造成这种污染的第一步常常是微生物附着。来自空中或水中载体的微生物可能造成这种污染。另一种传播方式是材料接触到受污染的土壤、无脊椎动物、植物、动物或人。依造成污染的微生物的性质而定，表面可瞬间变为能够以接触方式传播致命感染。日常生活中频繁接触的物品尤易发生这种情况，如门把手、计算机键盘和电话接收器。在初次接触后，微生物可能会在湿润的条件下在表面繁殖，最后形成生物膜，这是一层由包埋在生物聚合物营养体中的微生物、并最终包含可见生物体所构成的物质。生物膜在材料上的过度生长称为生物污染。这个过程在各种各样的环境中都会发生，并使材料沾染、带毒和变质（图1）。



图1 典型的生物膜污染

多数生物污染过程都是源自于附着的微生物，如

细菌、酵母菌、真菌和微藻类，但可见生物，如海洋生物系统中的无脊椎动物、蚌或浮游植物也可生成生物膜。许多植物和动物有其抗微生物附着的天然防御系统，如产生毒素或驱除力，或表面层不断地脱落。但人造材料通常没有这种防御微生物侵袭的先天保护能力。

防止材料因生物污染所引发的事故的常用方法，就是频繁地清洁表面。用针对具体材料的技术方法可以实现这点，如用表面活性剂和超声。在很多情况下，使用如次氯酸钠或70%的乙醇消毒剂也足以达到目的。然而在实际中，这些方法无一能真正地防止由生物污染引发的事件。另外，用清洁剂代替水还会带来一些环境问题；消毒剂还促使微生物生成耐性，这对现代药物是个严重的挑战。因此，比简单清洗表面更好的防御方法是，首先不让生物污染发生。这样的灭菌表面可称为自洁式，因为它能持续地保护涂覆的材料不受生物侵袭。当产生生物污染时，产品的功能性和耐用性都受到威胁，同时对人类的健康也是潜在的威胁。因此，在供应的物品上涂一层灭菌膜是既经济又在医药上可行的方法。这种方法可用于众多的产品，包括生物医疗器械（如导管、隐形镜片和体内植入物）、日常生活中的接触表面（如计算机键盘、门把手，甚至是钞票），及无法触碰的表面（如船壳或居室墙壁、饮用水水管）。

最近十几年中，已为几乎每种可能的应用方式研制出无数的抗微生物和抗污染的涂层。其目的一直是要实现能够超过产品预期使用寿命的防生物污染表面，其寿命时间可在几个小时甚至几年。已研究出若干项相当有效的解决方案。不过多数涂层在其材料特性、使用期限和环境毒性水平方面都有无法容忍的缺陷。本章的目的是针对现有生物防污涂层的各种方法，按功能原理将其划分级别，提供应用实例，讨论其优缺点，说明将来可能的发展前景。（未完待续）



# S 4.1-2006对于静电放电敏感物品的保护 工作台面—电阻测量

## 1.0目的

本标准规定了评价和选择工作台面材料、新安装和以前安装的工作台面检验的测试方法。

## 2.0范围

本标准规定了在有静电敏感保护要求的工作区内工作台面材料电阻的测量方法。

这些方法的目的是建立精确的和可重复性测量技术，其电阻值范围在1兆欧以上。本文档中描述的电阻测量技术可以应用到电阻值小于1兆欧工作台面材料测量。但是，所需测试设备和测试电压可能超出本规范讨论范围

## 3.0参考

ASTM F 150-72，导电弹性地板电阻的测试方法标准

ESD ADV1.0，术语表

NFPA 99卫生保健设施1993

## 4.0术语定义

ESD协会定义了有关本标的词汇表中条款。以下是有关本标准的一个附加条款。

**接地点** 为了将设备电气连接到适当的电气接地，而使用的静电放电防护材料或设备的指定接地连接点或接地装置。

## 5.0人员安全

5.1本文档中描述的程序和设备可能暴露在危险条件下。本文档的用户应对选择设备的法律、监管码和内外政策负责。用户应注意，本文件不能替代或取代任何人员安全的要求。人员安全的最终责任有本文件的最终用户负责。

5.2接地故障断路器（GFCI）的使用，应考虑人

员可能进入接触电气及有关安全要求的场所。

5.3减少触电危险的做法应该是在行使和执行这些测试时，应遵循相关正确接地的设备要求。

## 6.0测试方法

本节介绍了测量工作台面材料的测试方法。

### A) 安装前

### B) 初装的工作台面

### C) 工作台面定期测试

## 6.1设备要求

### 6.1.1电阻测试设备

专用的电阻计或仪表或电源和电流表装置测量精度应为 $\pm 10\%$ 。

6.1.1.1对于6.2的材料的评价试验，本装置所具有的开路电压为 $10 \pm 1$  V和 $100 \pm 10$  V，能够测量从 $1.0 \times 10^5$ 欧姆到 $1.0 \times 10^{11}$ 欧姆电阻值。

### 6.1.1.2

对于6.3和6.4中已安装的工作台面的测试中，这种装置应能提供 $100 \pm 10$ 伏的开路电压，并能够读出至少高10倍的和低于10倍的工作台面的预测电阻值。此外，这两个测试引线对地面应绝缘。

### 6.1.2电极

两个圆柱形电极重 $2.27 \pm 0.06$ 公斤（5磅 $\pm 2$ 盎司），直径为 $63.5 \pm .25$ 毫米（2.5 $\pm 0.1$ 英寸），具有50到70之间的邵氏-A硬度（IRHD），两个电极应该放置的金属表面上测试电压10 V时，之间的电阻小于1000欧姆。

### 6.1.3环境控制室

一个封闭的环境控制室能够控制湿度 $12 \pm 3\%$  RH、 $50 \pm 5\%$  RH和温度为 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ，湿度指示仪表应



精确到 $\pm 3\%$  RH的工作范围并能溯源到NIST。

#### 6.1.4 样品支撑表面

点对点电阻大于 $1.0 \times 10^{12}$ 欧姆的表面，如聚甲基丙烯酸甲酯，聚四氟乙烯

或聚碳酸酯。

#### 6.2 材料评价

##### 6.2.1 样品制备

必须有六个样品的最小尺寸为 $25.4 \times 61$ 厘米（ $10 \times 24$ 英寸）。这些样品应标示数值从1到6。每个样品应该有两个接地连接，模拟最终使用接地程序。

##### 6.2.2 样品预处理

###### 6.2.2.1 清洁

试样和电极应用不低于70%的异丙醇水溶液处理，用干净、不掉毛的布清洁两次。

###### 6.2.2.2 湿度调节

###### 6.2.2.2.1 低湿度

清洗后，试样1、2、3应放置在 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ， $12 \pm 3\%$ 相对湿度下至少48小时的环境室中。如果试样安装，曝露时间至少应为72小时。

###### 6.2.2.2.2 中等湿度

清洗后，试样4、5、6应放置在 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ， $50 \pm 5\%$ 相对湿度下至少48小时的环境室中。如果试样安装，曝露时间至少应为72小时。

##### 6.2.3 测试装置

试样应放置在一个在6.1.4中定义的测试表面。所有测试应在空调环境中进行。电极和接地配置在图1和2中给出。

###### 6.2.3.1 对地电阻（低湿度）

6.2.3.1.1 对试样1接地以便消除其上的全部电荷。移除接地连线，然后再继续进行这个测试。电阻计的测试引线应连接到接地点A（图1），电压引线连接到电极。设置输出电压10伏。将电极放置在位置1，施加试验电压，如果指示电阻 $> 1.0 \times 10^6$ 欧姆，调整测试电压，设置输出100伏，施加测试电

压，并记录15秒后的电阻。从台面移除测试电压和电极。使用接地点A，电极放置在2和3处，重复整个过程中。

6.2.3.1.2 使用接地点B，电极放置在1、2、3处，重复程序6.2.3.1.1。

6.2.3.1.3 重复程序6.2.3.1.1和6.2.3.1.2测试样品2和3。

###### 6.2.3.2 表面点对点电阻（低湿度）

###### 6.2.3.2.1 连接仪表

清洁电极应用不低于70%的异丙醇水溶液。测试引线和电压引线各连接到测试电极。

6.2.3.2.2 对试样1接地以便消除其上的全部电荷。移除接地连线，然后再继续进行这个测试。如图2（A）所示位置放置电极，设置输出电压10伏，施加试验电压，如果指示电阻 $> 1.0 \times 10^6$ 欧姆，调整测试电压，设置输出100伏，施加测试电压，并记录15秒后的电阻。从台面移除测试电压和电极。按图2（B）所示电极位置重复此过程。

6.2.3.2.3 重复上述程序6.2.3.2.2测试试样2和3。

###### 6.2.3.3 对地电阻（中等湿度）

重复上述步骤6.2.3.1测试试样4、5、6。

###### 6.2.3.4 表面点对点电阻（中等湿度）

6.2.3.4.1 重复步骤6.2.3.2测试样品4、5、6。

##### 6.2.4 报告测试结果

报告中应记录在低湿度和中等湿度下点对点电阻和对地电阻的最小值、中值和最大值。还应记录下测试时的温湿度，空调持续使用时间和测试设备。

#### 6.3 安装后的工作台面检验

该方法可以用于验证新安装的工作台面或现有的工作台面，但未经过6.2认定。如果表面移动，修改或未定期测试，应根据本节进行复检。

##### 6.3.1 工作台面准备

安装后的台面应该被清洁，并且用不低于70%的异丙醇水溶液，干净、不掉毛的布清洁两次。测



试前让表面“风干”至少15分钟。

### 6.3.2对地电阻

#### 6.3.2.1接地点识别

确认在测试中使用的是一个或多个接地点，当提供了一个或多个安装的接地点都应被使用。如果没有这样的点所提供，用一个或多个点的方式表示表面已经接地。

#### 6.3.2.2测量位置识别

对于每个已安装的接地点，按（图3）确定测量位置：

A—电极距离接地点7.6厘米（3英寸），到工作台面边缘至少5厘米（2英寸）。

B、C和D—电极距离接地点最远处，且到工作台面边缘5厘米（2英寸）。

E—工作台面的几何中心。

#### 6.3.2.3仪表连接

清洁电极应用不低于70%的异丙醇水溶液处理。电压引线连接到测试电极，引线连接到接地点。

#### 6.3.2.4测量程序

6.3.2.4.1将电极位置A.设置仪表输出100 V，测量15秒后记录电阻值。从台面移除测试电压和电极。重复测量位置B，C，D和E

6.3.2.4.2对每个已经安装的接地点（或等效）按6.3.2.4.1程序测试。

### 6.3.3表面点对点电阻

#### 6.3.3.1测量位置识别

如图4所示，确定的四组测量位置。

#### 6.3.3.2仪表连接

清洁电极应用不低于70%的异丙醇水溶液。测试引线和电压引线各连接到测试电极。

#### 6.3.3.3测量程序

将两个电极放置位置A所示.设置仪表输出100 V，测量15秒后记录电阻值。从台面移除测试电压和电极。重复测量位置B，C和D。

### 6.3.4报告测试结果

报告记录对地电阻和点对点电阻的最小值和最大值。还记录在测试时的温度和相对湿度。

### 6.4周期性工作台面测试

#### 6.4.1工作台面准备

不要清洁工作台面。只从表面移除可能会干扰测试的那些项目。ESDS器件也应被移除，工作区操作者应确定试验区。

#### 6.4.2对地电阻

使用6.3.2中所述程序，测量接地点或在工作台面上使用的最远合适点的电阻

#### 6.4.3表面点对点电阻

使用6.3.3中所述程序，在工作台面部分常用的测量25.40厘米（10英寸）两点之间的电阻，如果使用最多的部分是不明确，应使用表面的中心附近的两个点。

#### 6.4.4报告和使用结果

记录对地电阻和点对点电阻的最大和最小测量值电阻。如果有任何值不在一个既定的可接受的性能范围内，要清洁表面并复测。

### 7.0其他注意事项

其他特性的选择已安装的工作台面时也是很重要的。耐腐蚀和机械性能可能间接影响工作台面的ESD防护性能。应特别注意支撑之间的的接地点和工作台面制造商预期的那部分用于接地连接的机械和电气的完整性。还包括其他的电性能，如电荷衰减，摩擦电荷生成和抑制表面电压，可以提供额外的信息。这些及其他因素的相关性强烈地依赖于具体的安装和被处理的产品和设备而有所不同。

### 8.0电阻指南

由于各种各样的用途和特性的工作台面的应用难以确定。但是，下面工作台面性能可以作为一个基本的要求：

对地电阻  $1 \times 10^6$   $1 \times 10^9$ 欧姆

点对点电阻  $\geq 1$ 兆欧



这些电阻指导原则在提供保护的制造环境中一般要被证明。其还是判定ESD器件的失效模型的依据。应该指出的是，当工作台面点对点电阻低于1兆欧时，电压直接施加在工作台面对用户接触构成危险。

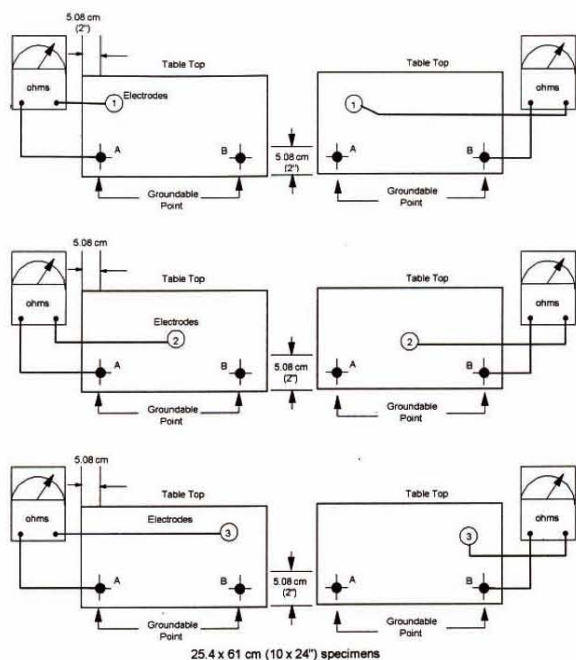


Figure 1: Resistance-to-Groundable Point

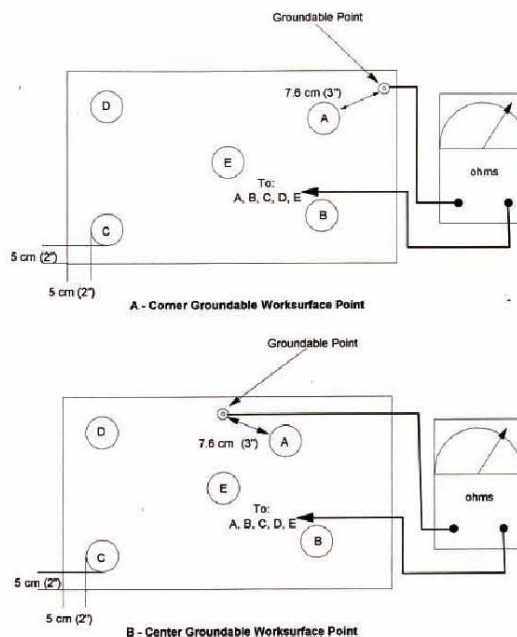
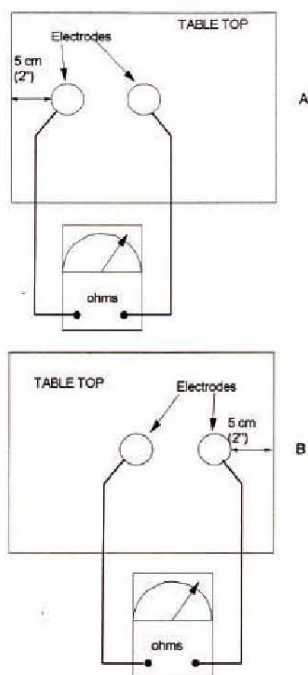


Figure 3: Resistance-to-Groundable Point - New Installations

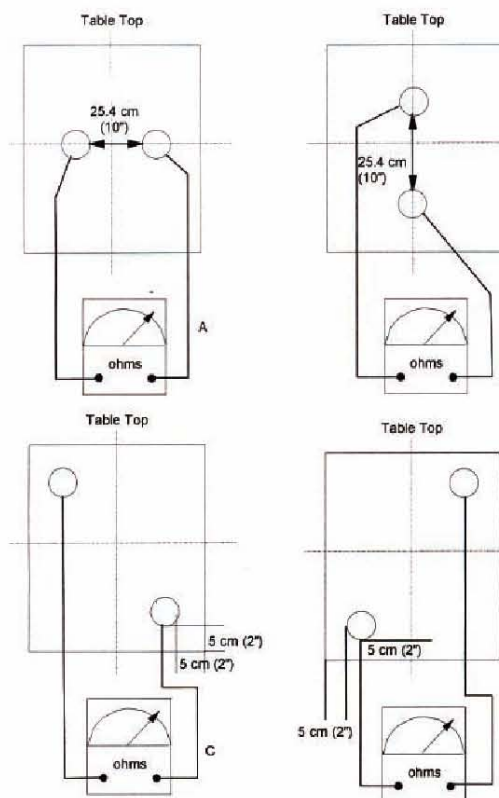


Figure 4: Resistance Point to Point - Installed Worksurface

(信息产业防静电产品质量监督检验中心 侯鹏飞供稿)



# 从《联合国电子政务调查报告》 看中国电子政务发展

张 靖

工业和信息化部国际经济技术合作中心，北京 100840

从《联合国电子政务调查报告》看中国电子政务发展——《联合国电子政务调查报告》由联合国经济和社会事务部每两年出版一次，以电子政务发展指数（EGDI）为依据，是目前评价联合国193个成员国公共部门电子政务发展状况的权威标杆。在2010年—2014年的排名中，中国分列第72名、78名和70名，今年是近五年排名最靠前的一年。值得注意的是，在2014年在线服务指数的评估中，中国电子政务实现了100%的新兴信息服务，较2012年有了明显进步。今年的调查报告新增了公共信息开放的评估，中国以高于66.6%的公共信息开放率位列全球前50名。

《联合国电子政务调查报告》由联合国经济和社会事务部每两年出版一次，以电子政务发展指数（EGDI）为依据，从在线服务范围和质量、通信基础设施发展状况、人力资本、电子公众参与、公共信息开放等方面进行评估，是目前评价联合国193个成员国公共部门电子政务发展状况的权威标杆。在2010年—2014年的排名中，中国分列第72名、78名和70名，今年是近五年排名最靠前的一年。

## 看进步



与两年相比，在线服务和通信基础设施指数均有所上升（在人力资本指数的评估中，2014年比2012年新增了两个评估指标，故不作比较）。其

中，在线服务指数包括了对新兴信息服务（如提供公共政策、法律法规等方面的信息以及其他政府部门网站链接）、加强信息服务（如提供可下载的表格，搭载视频和音频等）、业务服务（如提供在线认证申请服务、付款服务等）和相关服务（与公民互动、使用嵌入式解决方案实现跨部门资料数据无缝转移等）四个发展阶段的评估。

值得注意的是，在2014年在线服务指数的评估中，中国电子政务实现了100%的新兴信息服务，较2012年有了明显进步。

## 看不足



通信基础设施发展指数包含了网民比例以及百人固定电话、移动电话、固定宽带和无线宽带的普及率。中国在这些方面均有较快发展,但总体与欧洲平均水平相比,仍有一定差距,且在百人固定电话普及率和无线宽带普及率方面也稍逊于亚洲平均水平。

#### 看亮点



#### 电子公众参与度 (E-participation)

电子公众参与度是指政府通过现代信息通信技术,在门户网站上提供公众参与平台,实现政民互动,具体形式可包括民意调查、电子投票、社交网络互动等等。

在今天的评估中,中国名列电子公众参与度全球前50名。而这也并非中国第一次在名单中出现,2010年和2012年的调查报告中均提到了中国电子公众参与度的良好表现,2010年的调查报告甚至还举出了“温家宝总理与网民在线交流”的例子。

**公共信息开放** 公共信息开放是指政府信息主动公开,并可供网民查询、再利用和再分配。近年来,自“开放政府合作伙伴”成立后,公共信息开放作为提高政府透明度和公众参与度的有效工具之一,越来越受到国际社会的关注。今年的调查报告也新增了这一方面的评估,评估内容包括政府门户网站教育、卫生、财政、社会安全、劳动力和环境等领域的数据集公布、提供数据集的政府机构数量、专门的数据发布门户网站建设、位置信息(如地图)数据集的提供等。中国以高于66.6%的公共信息开放率位列全球前50名。

(来源:工信国际快讯第1240期)

(上接22页)

查规定。

(3) 有各级管理和操作人员质量责任规定

(4) 要求全面技术质量管理人对实施所有ESD技术和质量方案和对ESD协调员负责;

(5) 要求所有EPA工作人员了解ESD危害和遵守各自职责,并将ESD事故处理情况和效果汇报ESD协调者;

(6) 要求ESD协调员协调和处理与ESD有关所有具体事宜,其包括:监测仪器购置使用、ESD培训、ESD事故处理、ESD技术处理、静电防护措施检查及相关事宜、EPA界限确定、ESD技术改造、ESD管理条款的建立、购进材料和用品的检查等;

(7) 要求ESD采购人员实施的采购和交付项目通过标准及质量技术审查;实际采购的用品符合技术要求;能在EPA给定条件下使用;使用中用品除在

其寿命内符合技术和质量要求,同时还应符合下列要求:

供应商的资格符合要求(营业执照、产品质量、质保体系、生产条件等方面);第三方资格(独立于使用方)符合要求;供应商资格检查和其证明一致;供应商有第三方说服力的证明资料;有采购和供给记录。所有转包人和供应商,在各自职责范围内,要遵守技术、质量和ESD协调员的要求。

#### 9) 技术和质量检测标准文件

技术和质量监测标准文件可不编入管理手册,但作为质量体系文件,企业必须具有。

(1) EPA设计和验收文件。

(2) 企业建立EPA所依据的技术标准。

(3) 企业建立EPA所依据的质量检验标准。

(4) 企业ESD工艺文件和流程。

(5) 企业监测仪器计量和EPA检验报告档案。



# 产业共生如何实现？（上）

李彬（译）

工业和信息化部国际经济技术合作中心，北京 100840

产业共生如何实现？——产业共生是产业生态学这个新领域的一部分。其采用把传统的单独产业进行集合的方式实现竞争优势，这涉及到物质、能源、水和副产品的交换，其关键是地理距离的毗邻带来的合作与协同的可能性。本文提供了产业共生及相关概念的明确定义，并讨论了产业共生的诸多元素，比如能源和水的串联使用、联合生产以及物质交换，重点是产业共生如何实现。

产业共生是产业生态学这个新领域的一部分。产业生态学原理涉及从产品、工厂直至国家、全球层面系统内的不同比例的物质流和能量流。产业共生聚焦于这些贯穿业务网络和本地及区域的“流”，并将其作为实现产业生态意义上的可持续发展的方法。产业共生采用把传统的单独产业进行集合的方式实现竞争优势，这涉及到物质、能源、水和副产品的交换，其关键是地理距离的毗邻带来的合作与协同的可能性。

产业共生的概念产生于丹麦的卡伦堡，那里建有一个相互影响的公司群构成的发达网络。卡伦堡最基础的部分包含一个石油精炼厂、一个发电站、一个石膏板工厂和一个医疗公司，这些企业共同使用地下水、地表水、废水、蒸汽、燃料，甚至交换大量副产品作为其他工序的原料。

实现了高度的环境效应和经济效益后，给人员、设备、信息共享带来了一些其他实实在在的利益。世界上还有许多其他的产业共生的例子，它们说明了这个概念是如何被运用的。

本文提供了产业共生及相关概念的明确定义，并讨论了产业共生的诸多元素，比如能源和水的串联使用、联合生产以及物质交换，重点是产业共生如何实现。

## 产业共生及相关概念的定义

产业共生的概念源于生物社区的互利共生。互利共生是指两个以上不相关的物种以一种互利的行

为交换物质、能量和信息。同样的，产业共生是基于区位的能够实现集体利益大于个体利益之和的不同生产实体之上的。这样的协作也能够参与者在之间增加社会资本。正如上文描述的各种“流”，这样的共生并不一定只发生在工业园区的边界之内，尽管我们习惯使用“生态工业园区”去描述这样的组织构架。

同时，产业共生及生态工业园区的利润增加，大量其他的一些平行的踪迹的前进也可能被广泛地解释为绿色发展，其中包括住宅、商业、工业和社区发展等源自可持续建筑、绿色建筑、可持续社区和智能发展的概念。生态工业或可持续工业的发展在这方面减小了主要对工商业特别是农业活动的依赖，业务合作包含物质、水、能源的交换或共享符合产业共生的组件。

## 资源交换有三个基础条件：

1. 副产品再利用——交换两个及以上工厂的特定物质产品作为某些产出品替代品或是作为原材料。这些物质交换部分也被称为副产品交换，副产品协同作用，废物交换，还被称作工业循环利用网络。
2. 实体/基础设施交换——联合使用和管理普通的通用资源（如能源、水和废水）。
3. 联合提供服务——跨企业满足共同需要的对其他辅助活动的需求（如消防、交通和食品供应）。和工业园区的概念相似，生态工业园区是指



在特定一块园区内实行生态工业发展。一个生态工业园可以包含许多生态学的目标,拥有减少整体环境影响的机制,节省物质和能源,培育合作实现资源效率和环境友好型的管理。工业不动产和生态工业不动产的概念在亚洲较为常见,这还包括组成园区的工人聚集区及周边所居住的工人组成的社区。

Gunther Pauli提出了一个相似的流行提法——零排放社区,以强调走可持续工业发展道路。农业联合会发现传统农业合并实现了副产品的循环重新利用,但是产业化的农业却变得更加一次性、消耗更多材料、沉积更多废弃物。因此,许多零排放研究人员认为,由至少两个生态子系统组成的联合共生系统只不过是减排和农业副产品利用这个整体过程的一个部分。

一些人提到生态工业网络涵盖一个广泛的范围,包含整个体系中的环境友好行为和经济活动,如经济集群效应。它是指一组部门相关业务,涉及产品生产和使用,就像美国北科罗拉中部的家具产业集群。生态工业集群的概念则是用于描述相同或相关产业公司之间在环境友好方面的相互协同效应。在过去数十年间,部门相关的公司组成的工业园区内的公司产业污染物总量减少取得了很大成功,例如纸浆和造纸,制糖,纺织和塑料。

尽管数个世纪以来,物质和能量的交换已经成为工业的一个重要部分,但集中于环境方面却是最近的事情。在1989年的一篇基础性文章 industrial ecology 中, Frosch 和 Gallopoulos将这个重要的概念描述为工业生态系统:物质和能量的消耗达到了最优化,一个工序的废水可以作为另一个工序的原材料。其他人扩展了这个生态系统的概念,把相关的工业活动看作一个食物网,而大量的边角料再利用活动就是这个生态系统的“腐食动物”和“细菌分解者”。

在任何一个多学科领域,例如产业生态,都集中了许多来自各个学科的分支和原始研究方法。直到1990年代早期,关于卡伦堡生态工业园的第一篇文章发表,产业共生的研究才流行起来。产业共生

的一个起源是化学工业,其随着工序的推进嵌入了物质的内在价值。

前述的其他概念源自生态学、农学、工程学、经济地理学和商业经济学。热电联产、效益共享已经在工程、环境和经济领域得到证明。的确,在激励这种关系形成中,私有部门见证了成本效应的驱动力,而城市规划者、经济学家、不动产开发商也在强调在土地使用、社会和环境方面以及空间区位分布上提升协同效应。

卡伦堡和自组织共生产业共生的模型首先在工业区卡伦堡实现。尽管它在持续地演进,在这个共生系统的参与者中当前还是有20种交换发生,涉及到水,能源以及各种各样的能成为其它流程原材料的剩余材料。

通过双边合同安排参与公司之间的每一个交换。值得一提的是,这种共生不是基于一个规划好的过程,而是基于一个持续的演化过程。监管一直发挥着间接的作用。例如,在丹麦禁止有机废水流入垃圾填埋场,使得制药公司不得不申请向农田排放残渣。社会凝聚力经常被认为是卡伦堡产业共生取得成功的一个关键因素。

并不像产业共生怀疑论者担心的形成静态的系统,共生体系的个体参与者已经随时间发生了显著变化,而生态系统作为整体也已经适应。在过去几年,卡伦堡的国家石油精炼公司基于北海油田扩张了一倍产能,Asn s发电站从用煤炭转为用奥里油,以遵从碳排放削减计划。

制药厂被拆分成两家公司,取消了一些产品生产线(包括青霉素),并增加了一些其它产品的生产。他们并没有把自己搞成单纯的生产者,共生系统参与者试图证明他们作为多资源的供应者能够减少商业风险,这就像传统的供应商-消费者关系。尽管每个个体变化都能改变这个产业生态系统的组成,但改变的总和并没有减少系统的整体特性。

(下转46页)



## 2014电子行业盛会NEPCON华南展成功举办

本刊讯 2014年8月26—28日，由励展博览集团与中国国际贸易促进委员会电子信息行业分会（CCPIT）倾力打造的“第二十届华南国际电子生产设备暨微电子工业展（NEPCON South China 2014）”在深圳会展中心盛大开幕。作为华南地区规模最大、历史最悠久的电子制造行业盛会之一的NEPCON华南电子展，拥有来自22个国家和地区的近500家企业参展。

中国电子仪器行业协会防静电装备分会组织会员单位参加了本届展会。深圳市意艾思科技有限公司、深圳市灿普静电科技有限公司、深圳市尼奥塑料包装有限公司、深圳市宇浩静电科技有限公司、上海金嘉乐空气技术有限公司、深圳市亨达洋静电科技有限公司、深圳爱拓科技有限公司、深圳三威防静电装备有限公司、浙江科高科技有限公司等九家企业参展。

展会开幕当天，由中国电子仪器行业协会防静电装备分会组织了防静电高峰论坛。上海海事大学博士生导师孙可平教授，防静电装备分会技

术委员会刘清松副主任，信息产业防静电产品质量监督检验中心、工信部电子行业职业技能鉴定指导工作站侯鹏飞工程师分别在高峰论坛上做了题为《防静电新进展、新动向、新概念——管窥国际ESD防护研究》、《电子产品ESD包材及解决方案》、《离子化静电消除器及静电衰减的测试》的专题讲座。三位专家还同高峰论坛的与会人员进行了交流互动，并对大家提出的问题进行了深入剖析和解答。

防静电装备分会还组织了行业内防静电发展研讨会。研讨会由刘清松副主任主持，40家企业的代表参会。代表们针对《防静电新进展、新动向、新概念——管窥国际ESD防护研究》、《电子产品ESD包材及解决方案》、《离子化静电消除器及静电衰减的测试》所涉及的相关问题进行了讨论。代表们踊跃发言，讨论热情度极高，孙可平教授对大家提出的疑问及解决方案进行了详细点评和答疑。

本届展会会员单位参展、高峰论坛及研讨会的组织工作均取得了圆满成功，达到了预期的效果。



展会现场



孙可平教授做专题讲座



刘清松副主任做专题讲座



侯鹏飞工程师做专题讲座



## 新会员单位、会员单位介绍

### 新会员单位介绍：

#### 北京恒致远办公家具有限公司

北京恒致远办公家具有限公司，专注于静电控制技术 & 办公家具领域，是国内电力、电子车间静电控制技术的先行者，在制造和设计监控中心领域取得了诸多的成功经验。

恒致远拥有一个多年从事人体工学家具产品的设计、开发，洞察国内外发展的高科技智囊团，有非常丰富的设计、施工和项目管理经验。恒致远率先提出“设计、材料、施工三位一体”的先进管理理念，投入大量人力、物力和资金，致力于人体工学家具的设计开发，在吸取国内外先进技术、理念的同时，结合公司自身积累的制造经验、艺术工艺、国内外控制、调度中心应用设备产业的发展现状、以及恒致远在各个专业领域强大的技术力量和成功经验，不断地研究创新，坚持每一个细节都臻至完美，为客户提供最先进、最完善的产品。

恒致远将在国内各大省市、地区设立更多机构，以崭新的设计思想、精湛的制作工艺为全国及全球的广大客户提供最优质的产品和服务。

恒致远的企业文化：创新永恒 厚德致远

恒致远的经营理念：设计优秀产品 专注优质服务

恒致远作为业界最具活力和创新精神的企业，十分注重：现代社会里客户购买产品时最关注的焦点已经从只注重购买产品的价格，转变为更看重产品的先进性能、美学设计、售后服务的能力、态度和响应速度。恒致远始终以“设计优秀产品 专注优质服务”为指导并坚定执着的践行着。提升客户满意度是恒致远终极的追求。

设计优秀产品→实时跟踪国内外相关产品产业动态，充分理解客户个性化需求；配合客户场地规划、设备布局，结合人体工学及视觉美学进行产品结构外

观设计。

专注优质服务→配合客户的场地规划、设备布局、提供必要的售前咨询服务；从产品包装运输到现场安装调试以及售后产品使用情况跟踪、维修快速响应、相关关键配件储备5年等贴心服务。

地址：北京市通州区梨园云景北里37号楼1单元1102

电话：010-60543687

传真：010-60529854

邮编：101121

网址：www.herunbj.com

#### 西安英格防静电研究所有限公司

西安英格防静电研究所有限公司位于西安高新技术开发区，是一家集研发设计、制造、销售、安装为一体的专业防静电地板、防静电材料生产厂家和供应商，并与西安交通大学开展研发技术合作，经过多年引进吸收国外技术和自主研发防静电技术和防静电材料，英格公司已成为一家高新技术企业。

英格公司拥有专业的技术研发队伍，并不断引进先进的生产设备，研发新产品，提高产品的质量度，以满足广大客户的需求。

英格公司专业生产架空活动地板，主要品种有：OA网络地板、OA智能网络地板、全钢防静电地板、全铝防静电地板、陶瓷防静电地板、硫酸钙防静电地板、全钢通风地板、全铝通风地板、复合防静电地板、铝合金防静电地板等。

英格公司生产销售的所有产品均已达到了国家的各项检验标准，严格按照GB6650-86及SJ/T10796-2001标准生产，并成功通过了ISO9001国际质量管理体系和ISO14000国际环保体系认证。产品完全满足美国CISCA标准，英国MOB标准，产品质量由信息产业防静电产品质量监督检测中心认可，被中国电子仪器行业协会防静电装备分会评定为防静电工厂推荐优质产品。



公司自成立以来，始终如一的坚持“诚信高效、合作共赢、服务一流”的经营理念，坚持以优良的服务意识和敬业精神，为客户提供最贴近用户需要的专业化、安全化服务。

电话：029-89580803

传真：029-88860514

地址：陕西省西安市高新区

邮编：710065

## 会员单位介绍：

### 上海加富橡胶制品有限公司

上海加富橡胶制品有限公司（原上海百盛橡胶制品有限公司）是国有改制企业，已有近20年的生产历史。企业占地面积23200 m<sup>2</sup>，建筑面积逾8000 m<sup>2</sup>，现有员工130名，工程技术管理人员21名，固定资产逾千万元，是一家专业研发生产防静电橡胶台垫、导电胶板、高低压绝缘地毯、耐油膜等各种橡胶制品的专业生产企业，获“上海市高新技术企业”资格认定。“加富”、“KJ-3”防静电台垫被上海市品牌建设推进委员会认定为“上海市品牌产品”。2011年7月被中国电子仪器行业协会防静电装备分会认定为“中国防静电装备品牌企业”。

企业有健全和完善的管理体系，已通过ISO9001；2008质量管理体系认证和ISO14001；2004环境管理体系认证。公司拥有较强的技术开发能力，为配合国内电子行业飞速发展的要求，公司开发了抗静电胶板系列产品，其优越的性价比在同类产品中独树一帜。公司已获得亚光抗静电胶板等6项国家专利，公司防静电胶板系列产品在国内处于领先水平。该企业是上海市防静电工业协会理事单位，上海市建筑材料行业协会、中国电子仪器行业协会防静电装备分会会员单位，上海市计量确认合格单位、上海市用户满意企业。

公司的主导产品是各类防静电胶板（台垫、地垫）系列产品。“吉祥牌”“KJ-3S”型防静电台垫选用优质原料生产，主要供各大中、外资有高端

要求的企业使用。“加富牌”防静电台垫是目前国内同类产品销量最大的产品。该产品以其优良的性价比在国内中低端市场处于主导地位，该产品的环保性能达到欧盟的ROHS标准。公司开发生产的防静电抗疲劳地垫是目前国内唯一采用橡胶材质生产的该类产品。产品的优点是防静电性能稳定且电性能保持时间超长，耐温性能及低温柔软性极佳。

适应市场需求是企业生存发展的根本。市场的需求促进企业的发展，公司强化技术创新，开发新品，提高产品的档次，加强了售后服务工作，每年进行第三方客户信访调查以提高企业的服务水平。在客户群集中地区建立服务窗口，及时解决客户提出的各种问题。

公司地址：上海市崇明东风公路3001号

电话：021-59641403

传真：021-59643837

邮编：202177

网址：www.shdongfengrb.com

E-mail：bs@shdongfengrb.com

### 广东顺德巍龙复合材料有限公司

广东顺德巍龙复合材料有限公司始创于1997年，总部位于中国涂料之乡——广东顺德，是中国领先的集高分子材料研发、生产施工服务于一体的专业工业地坪公司。

十几年来，巍龙始终坚持诚实正直的经营理念，严谨科学的工作作风和为社会负责的企业态度，为广大客户、合作伙伴提供切实可信的专业产品与服务，深得用户的信赖。

巍龙生产基地引进德国WARKER、美国DOW现代工业地坪技术、配合美国、日本、德国等地高性能原材料，经多年来不断地研究与开发，使巍龙环氧地坪产品达到世界级水平。无论是产品质量，还是企业信誉，巍龙在同行业中都处于领先地位，获得了“中国地坪产品最具竞争力品牌”、“全国质量诚信示范企业”等多项殊荣，并在地坪

行业内率先通过"ISO14001环境体系"以及"中国环境标志产品"认证。

巍龙环氧地坪产品进入国内市场以来,以其高性能优秀材料特性,专业训练有素的施工队伍和先进的技术设备(拥有美国DUSR成套打磨、吸尘、涂装的自动化设备),高品质的施工质量,完善的售后服务措施,赢得了广大工业地坪热情支持和信赖,巍龙公司截止目前施工面积超百万平方米,无一例不良工程。

巍龙以确保客户满意为目标,在全国拥有数百家营销中心和强大的专业技术工程服务队伍,销售和服务网络覆盖全国。巍龙凭借其优质的产品和优异的服务,在广大用户中享有优秀的声誉。

地址: 广东佛山市顺德区大良大门工业区

邮政编码: 528300

电话: 0757-28622778

传真: 0757-26953761

邮箱: 1870132082@qq.com

(上接42页)

分析卡伦堡这个自组织、自发系统的目的,是为今后创建新的生态工业园提供参考。最近的研究强调了从基础工业上起步的重要性,特别是公司能够自发进行交换的部分,从这些共生系统的“内核”出发就能带来逐渐增长的交互影响。与规划的生态工业园相对,这种自发性的园区被证明更加强健,且对市场动态更能弹性应对。

#### 产业共生的要件和工具

源自于产业生态,产业共生吸纳了许多强调在一个广泛系统内物质循环和重复利用的因素。这里简要讨论了其中的部分要件和部分分析工具,这包括隐含能源和物质、生命周期、级联、闭环和物质流跟踪等。

#### 隐含的能源和物质

为了创造产品,资源被用于开采、运输、初加工、深加工和分配。总的能源和物质的消耗,就是这个产品所隐含的能源和物质数量。

依靠副产品重新利用,产业共生保留了隐含物质和能源在这个产业系统内的更长期的利用。热电联产就是一个特别的例子,重新利用废水的热量发电或是利用发电站的蒸汽用于供热。

#### 生命周期视角

正如Graedel 和 Allenby在该领域第一篇文章中

描述的那样,产业生态是“着眼于寻求从原材料开始到最终的物质、组件、产品、废弃品、最终沉积物的总的物质循环的最优化”。

生命周期保证了一个广度,不仅仅聚焦于一个设备或工厂发生了什么,而且还要考虑产品生命周期的每一阶段和使用实体对整体环境的影响。对产业共生,生命周期的视角有助于评估共生——相关副产品的重新利用在整个生命周期的整合。

#### 级联

级联是指资源(如水和能源)反复在不同的阶段使用。在连续使用时,资源是低质量,低水平改进和低价值的。

根据定义,一个级联必须包括至少一个使用原始资源的环节,并有后向的路线图。当一定数量的能源不得被添加进系统,以保证资源价值或资源被丢弃的时候级联终止。

级联是一种常见的工业共生战略,因为公司生产使用资源级联可以节省处理或处置成本,甚至可能得到资源价值的补偿而获利。级联的环境利益是巨大的,包括减少原始资源的使用,避免了资源开采的影响,减少了排向环境的废弃物。(未完待续)

(来源: 2012年10月22日【美国】<http://www.eoearth.org/>)



# 中国防静电 2014 年总目次

## 协会动态

- 防静电装备分会理事会在北京召开 01-03
- 中国电子仪器行业协会防静电装备分会 2013 年度工作报告 赵长明 /01-04
- 中国电子仪器行业协会防静电装备分会 2014 年度工作计划 邹 勇 /01-06
- 防静电装备分会秘书处办公会议简讯 02-02
- 《电子产品防静电包装技术要求》行业标准立项获得批准 02-02
- 2014 年度防静电装备分会会员代表大会在太原召开 03-15
- 《电子产品防静电包装技术要求》标准编制启动会议及第一次编制会议召开 04-02
- 第三届静电防护与标准化国际研讨会在上海召开 04-03

## 学术探讨

- 印制电路板防干扰与防静电设计研究 王 斌, 梁合鹏 /01-09
- 油品静电产生机理及其防护技术 宋兴堂, 周 勇, 梁合鹏 /01-11
- 洁净室检测采样方法中的随机抽样理论 王大千 /01-13
- 个人防护设备中导电器件 ESD 风险评估新进展 梁合鹏, 王 斌, 甘韦飞 /02-03
- 离子式静电消除器消电效果影响因素研究 王 燕, 郭万荣 /02-07

- 高速动车组电磁干扰的分析 甘韦飞 /03-16
- 静电放电模型及其失效特征 王 斌 /03-20
- 油品静电测量方法及其新进展 梁合鹏, 王 斌, 甘韦飞 /04-04
- 棒形防雷接闪器防护范围高度效应试验新模型与计算方法研究 阎 明, 李建伟等 /04-07
- 高分子材料抗静电剂的研究现状及发展趋势 管映亭, 邓青山 /04-10

## 技术应用

- 洁净室与相关受控环境——生物污染控制 (1) 01-17
- 洁净室与相关受控环境——生物污染控制 (2) 01-21
- ESD 包材分类及应用 刘清松 /01-26
- 接触摩擦分离起电及带电量测试 孙延林 /02-09
- 新式表面粒子计数器及其性能 王大千 编译 /03-22
- 用气流设计法保持洁净空间的梯度压力 王大千 编译 /03-26
- 离子化消除静电与静电衰减测试技术的探讨 孙延林 /03-30
- EPA 防静电系统质量管理体系的构建 孙延林 /04-16
- 利用表面活性剂强化表面粒子的清除 王大千 /04-23
- 防生物污染 (或灭活) 涂层 王大千 /04-34

**案例分析**

科技型防静电洁净产品生产企业标准研发案例分析

孙玉荣 /03-39

**专业讲座**

国外防静电培训教材:静电基本原理与工作区控制技术

02-13

**经验交流**

防爆不发火地面

唐明华 /02-16

**标准解读**

《离子化静电消除器通用规范》标准解读

王荣刚 /01-28

防静电工作区接地系统

——ANSI/ESD S20.20&amp;S6.1 解读

廖志坚 /02-17

**学习园地**

从《联合国电子政务调查报告》看中国电子政务发展

张靖 /04-39

产业共生如何实现?(上)

李彬(译)/04-41

**标准园地**

洁净室及相关受控环境系列国际标准 01-30

洁净室及相关受控环境国家标准体系 01-35

美国ESD协会技术报告 美国静电协会 /02-21

中国洁净室技术标准化进程 王大千 /03-41

S 4.1-2006 对于静电放电敏感物品的保护工作台面

—电阻测量 侯鹏飞 /04-35

**行业动态**

国内外电子防静电技术与标准发展综述

孙延林 /01-38

**会展时空**

第二十四届中国国际电子生产设备暨微电子工业展

览会通知 01-46

培训工作与时间表 02-42

ESD工程师及检验员职业资格培训 02-45

参展企业名单及介绍 03-03

2014 电子行业盛会 NEPCON 华南展成功举办 04-43

**协会园地**

浙江三威防静电装备有限公司企业标准信息发布

01-47

新会员单位介绍 01-48

新会员单位介绍 02-46

新会员单位介绍 03-48

新会员单位、会员单位介绍 04-44

**人物专访**

一片丹心筑明天——访天津万顺源机房设备有限公司

田吉桐总经理 03-14





**湿度专家**  
加湿器国家标准起草单位  
加湿器从源头防**静电**



专利号: 200830059847.2  
专利号: 2011301128809  
专利号: 201120145969x

原创专利技术  
销量遥遥领先

静电是无形杀手!任何一个环节的闪失都会造成无法弥补的损失  
加湿器从源头大大减少**静电**, 避免产品质量缺陷, 提升质量与**含金量**  
湿度低于60%易产生静电,要买加湿器; 湿度高于60%易氧化, 要买除湿机

蒸发型加湿器

省气!!!颗粒细!!!

全球顶尖技术、超级免维护

专利号: 201220062721.1  
专利号: 201220062718.X

干雾宝 GWB-4(03)

气雾宝 QWB-1#

喷雾型加湿器

上海金嘉乐空气技术有限公司 上海:13818888666 江苏:13816674568 广州:13918162306 山东:13611830518  
中国加湿器网 [www.jiashiqi.com](http://www.jiashiqi.com) 北京:13810662207 福建:13817671908 重庆:18801853968 辽宁:13818716518  
Email: [fengzhixin@jiashiqi.com](mailto:fengzhixin@jiashiqi.com) 成都:13564310495 浙江:15800726618 天津:13661699942 河北:13717983368



最专业的制作工具

最可靠的产品质量

最完善的售后服务

## 高压铸铝合金防静电活动地板

### 材质：

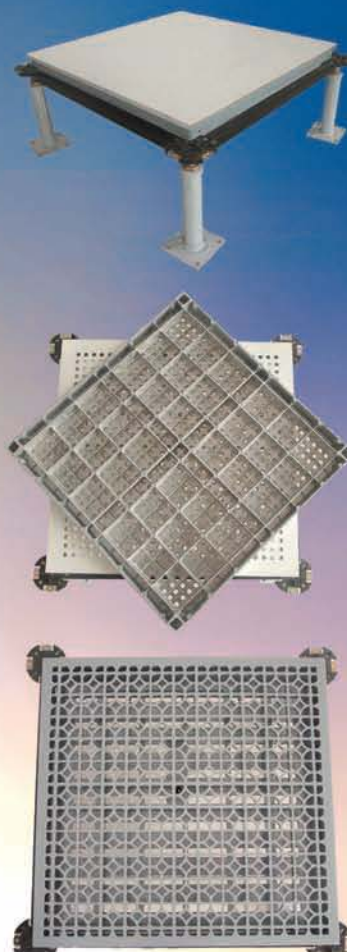
板基由高纯度铝经大型压铸机（充型压力在2000吨以上）一次性冲压成形，底面具有多条高强度拉筋，融合采用高负载力学结构设计，承载能力高。面层为高耐磨贴面（耐磨度3000转以上，可定做不同花色、），PVC贴面、防静电陶瓷贴面或静电喷涂。

### 特点：

- 防静电性能最突出的防静电地板。
- 性能永不衰减；防水、防火、防静电、防磁；耐用，不易变形，再循环长期使用地材。
- 地板结构标准化，尺寸精准度高，易施工及互换性强。
- 高负载结构设计，架设完成水平、高度可根据需求供应。
- 环保建材，壳资源可回收循环使用的地板。
- 铝合金可调通风地板（配可调风口器）具有0%—56%的通风调节量，可根据实际需求，满足不同大小的通风要求；
- 铝合金可调通风地板应用范围广泛，可与各种铝合金防静电地板、复合防静电地板地板、全钢防静电地板一起安装、互换。

### 使用范围：

用于铺设各类高档电子计算机机房，如电磁屏蔽室、微电子机房、洁净车间、实验室、无尘室等。



| 型号            | 规格(mm)     | 集中载荷    | 均布载荷N/m <sup>2</sup> | 通风量    | 防火性能 |
|---------------|------------|---------|----------------------|--------|------|
| HDL.600.50.ZD | 600×600×50 | > 700kg | > 3000kg             | ——     | A级   |
| HDL.600.50.ZD | 600×600×50 | > 700kg | > 3000kg             | 8%~23% | A级   |
| HDL.600.50.ZD | 600×600×50 | > 700kg | > 3000kg             | 0%~56% | A级   |



天津市万顺源机房设备有限公司  
Tianjin Wanshun Room Equipment Co., LTD

手机：13902132499 13920888168  
电话：022-27342200, 022-68865102  
传真：022-27342299, 022-68868856

邮箱：tianjinwanshun@sina.com  
网址：www.tjwanshun.com