

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



1 | 2019
总第104期

ISSN 2220-8186



TKflor[®] 浙江金华天开电子材料有限公司
天开地材 ZheJiang Jinhua Tiankai Electronic Material Co., Ltd

产品系列:

永久性导电型/耗散型卷材

永久性导电型/耗散型块材

企业先后通过了

ISO 9001
ISO 14001
Floorscore
OHSAS 18001

企业简介:

浙江金华天开电子材料有限公司（以下简称“天开公司”）——创立于1985年，是中国最早生产PVC防静电地板的企业之一，弹性地板协会副会长，防静电协会副理事长单位，上海防静电工业协会副理事长单位，专业生产永久性防静电PVC地板（卷材）及商用同质透心碎花点PVC地板（卷材）。多年来公司坚持“科技兴厂、创新发展”的宗旨，集研发、生产于一体，产品品种、产品质量、技术水平、企业规模始终处于国内同行先进水平。

LEADER OF FLOORING INDUSTRY

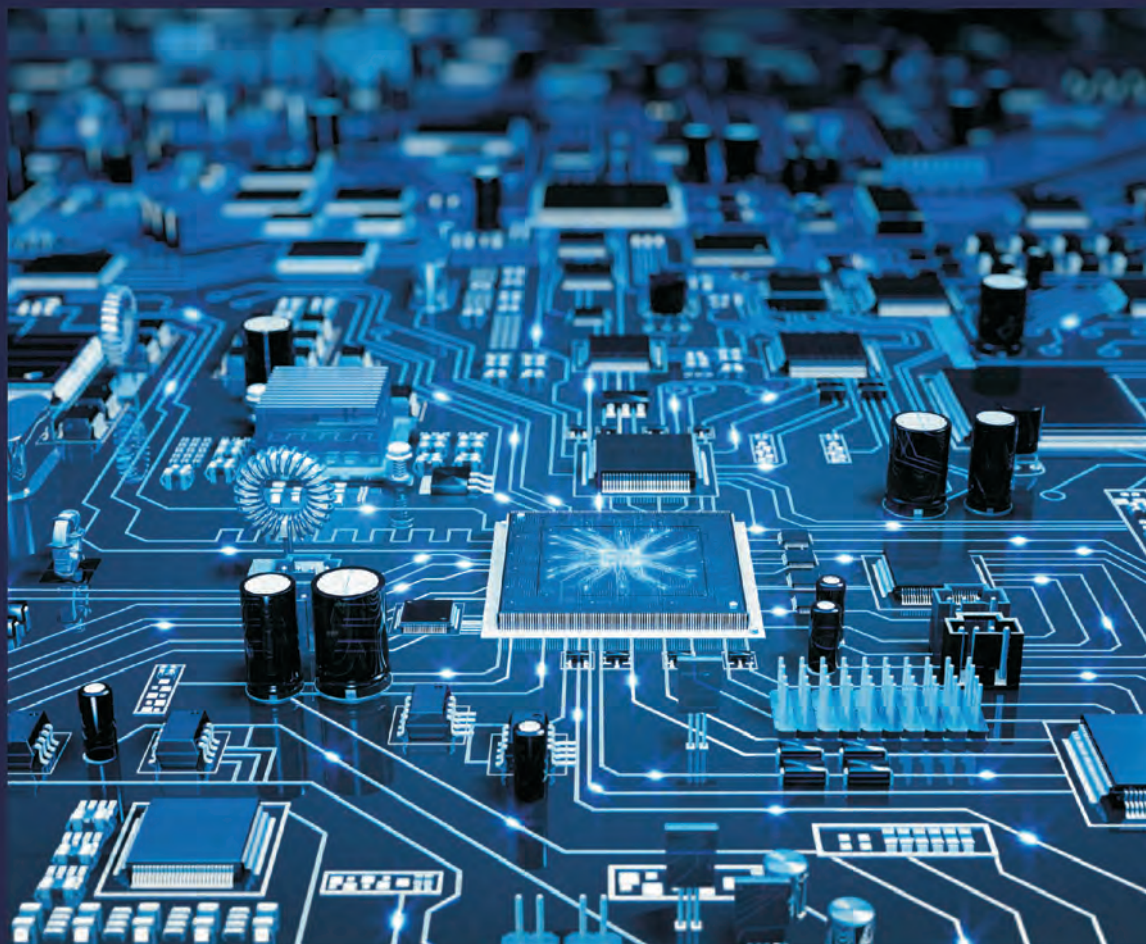
中国最早的防静电地板制造商之一

电子行业防静电贴面板主编单位

中国防静电地板施工标准参编单位

中国防静电行业协会副理事长单位

中国大型的防静电环境工程产品制造商



联系方式: 电话: 0579-82387919, 手机: 13586979970
邮箱: tkesd@163.com, 网址: www.tkflor.com
地址: 浙江金华市婺城区宾虹路2065号



中国防静电装备品牌企业



华静®
HUA JING

防静电PVC片材地板
防静电PVC卷材地板
同透商用卷材地板



防静电PVC卷材地板



同透商用卷材地板



防静电PVC片材地板



江苏华静地板科技有限公司

地址：江苏省常州市横林镇西工业园中杨路16号
电话：0519-88783211 88720758
传真：0519-88723211
网址：www.floor.cn



1997 年创刊
2019 年第 1 期 (总第 104 期)
出版日期 2019 年 3 月 30 日

主管部门: 中国电子仪器行业协会
主办单位: 中国电子仪器行业协会
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
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 姜冠雄
主 任: 谭慧新
副 主 任: 邹 勇
编 委 会: 孙延林 谭慧新 孙可平 王大千
欧阳吉庭 刘全桢 王晓东 宋竞男
王荣刚 李杰 胡树 邹勇 陈增久
主 编: 张海萍
编 辑: 陈增久 吴秀婷 孙 冰
美 编: 王洁莲 李 彬
编辑部地址: 北京市石景山区万达广场
CRD 银座 B-1136 室
邮政编码: 100040
电 话: (010) 68647410
传 真: (010) 68647410
E-mail: zgfdtj@126.com

国际标准刊号: ISSN 2220-8186
刊 期: 季刊
出刊日期: 每季度末

目 录

CONTENTS

协会动态

- 3 品牌企业光荣榜
- 4 2019 年度电子行业职业技能鉴定工作站 (ESD) 培训计划
- 5 中国电子仪器行业协会防静电装备分会大事记
- 7 中国物理学会第二十三届全国静电学术高峰论坛
8 月将在新疆举行

学术探讨

- 8 个人防护设备中导电器件静电放电起火风险的测量
李学文 孙可平
- 12 静电放电等离子体治理工业挥发性有机废气的
研究进展 李 杰

技术应用

- 17 洁净室内防静电保护区人员静电及微污染防治
资材的测试评估方法 王荣刚 夏合勇等
- 26 涂料、油墨中的导电物质浅析 李文楷
- 28 高功率固体激光超洁净制造技术研究进展
袁晓东 苗心向等

技术讲座

- 35 电子工业用防静电装备 (用品) 与防静电工程 (续)
孙延林

标准园地

- 44 防静电地坪涂料通用规范 (行业标准)

静电问答

- 52 静电专业常识解答

会员之家

- 54 新会员单位、会员单位介绍



新年寄语

一年复始，万象更新，我们送走了难忘的2018年，迎来了充满希望的2019年。值此辞旧迎新之际，我代表中国电子仪器行业协会防静电装备分会，向风雨同舟，荣辱与共，辛勤工作的业内同仁和关心支持防静电装备行业发展的各位领导、专家、朋友们表示衷心感谢！并致以新年的问候！祝大家新年快乐、万事如意、身体安康、阖家幸福！

在2018年全国经济形势下行的压力下，防静电装备行业的企业、业内同仁们克服困难、团结一致、努力工作，在标准制定、职业技能培训、防静电品牌企业评定、发展新会员等方面依然取得了不小的成绩。过去的一年，防静电装备行业历经风雨见彩虹、穿越激情奔彼岸，实现了一次次的超越，在这里我向业内各位领导、专家、员工们致以最诚挚的敬意！

新的一年，经济形势面临压力更大，前进的道路将会有更大的挑战，我们要保持清醒的头脑，解放思想，大胆革新。我们将以改革创新为指导思想，在标准化与科技进步、科技孵化与产品创新、信息交流与人才培养、企业现代化生产与管理等方面积极开拓创新发展，促进防静电装备行业不断的进步。

长风破浪会有时、直挂云帆齐沧海。展望新的一年，我们对前景充满信心。让大家携手合作，群策群力，为振兴中国防静电装备行业，实现中华复兴而努力奋斗。

中国电子仪器行业协会防静电装备分会理事长 孙延林

光荣榜

经防静电分会组织专家评审，授予下列企业2019-2020年度《中国防静电装备品牌企业》荣誉称号

- | | |
|----------------------|---|
| 1. 浙江金华天开电子材料有限公司 | 产品：防静电PVC地板(卷材、块材) |
| 2. 佳辰地板常州有限公司 | 产品：OA活动地板、防静电硫酸钙活动地板、防静电钢质活动地板 |
| 3. 上海佰斯特电子工程有限公司 | 产品：防静电工作台、座椅、防潮柜、货架 |
| 4. 江苏华静地板科技有限公司 | 产品：防静电PVC地板(片材、卷材) |
| 5. 山东电盾科技股份有限公司 | 产品：防静电陶瓷砖 |
| 6. 上海安平静电科技有限公司 | 产品：离子化静电消除器、防爆型工频交流离子棒、静电压检测表、静电传感器 |
| 7. 沈阳沈飞民品工业有限公司 | 产品：防静电钢质活动地板 |
| 8. 上海阳森精细化工有限公司 | 产品：无溶剂环氧防静电自流平、低电压防静电无溶剂环氧自流平、耐候耐刻划PU防静电罩面涂料 |
| 9. 常州华通新立地板有限公司 | 产品：防静电钢质活动地板、OA活动地板、新型网络地板(GRC)、PVC地面材料、防静电硫酸钙活动地板、防静电铝合金活动地板 |
| 10. 浙江三威防静电装备有限公司 | 产品：防静电周转容器 |
| 11. 东莞市科园防静电设备有限公司 | 产品：离子化静电消除器 |
| 12. 江苏双奇地板有限公司 | 产品：OA活动地板、防静电钢质活动地板、防静电硫酸钙活动地板 |
| 13. 江苏红日防静电地板有限公司 | 产品：OA活动地板、防静电钢质活动地板、防静电硫酸钙活动地板 |
| 14. 江苏美亚新型饰材有限公司 | 产品：防静电贴面板(HPL) |
| 15. 河北科华防静电地板制造有限公司 | 产品：防静电钢质活动地板、OA活动地板 |
| 16. 莱州市华福机房材料有限公司 | 产品：防静电钢质活动地板、OA活动地板 |
| 17. 江苏汇联活动地板股份有限公司 | 产品：防静电钢质活动地板、OA活动地板、防静电硫酸钙活动地板、防静电铝合金活动地板 |
| 18. 苏州天华超净科技股份有限公司 | 产品：防静电面料、工作服、防静电(导电)鞋、离子化静电消除器、接地系统检测仪 |
| 19. 江苏华集新材料科技有限公司 | 产品：防静电钢质活动地板、防静电硫酸钙活动地板、OA活动地板、防静电铝合金活动地板 |
| 20. 常州市华一防静电活动地板有限公司 | 产品：OA活动地板、防静电钢质活动地板、防静电硫酸钙活动地板 |
| 21. 湖北天力奇新材料股份有限公司 | 产品：防静电胶板 |

AP&T

上海安平静电科技有限公司

Shanghai Anping Static Technology Co., Ltd

上海安平静电科技有限公司成立于1999年，是一家集研发、生产、销售、技术服务于一体的高新技术企业，专业为客户提供静电消除及控制的解决方案。

公司的AP&T系列产品有智能型静电消除器系列(离子风机系列、离子棒系列等)，防爆型静电检测仪器仪表系列、静电传感器系列等。产品广泛应用于半导体、封装、光电、电子、通讯、喷涂、印刷、纺织、医药设备、建材、注塑等行业，产品销往全世界多个国家及地区，深受工业行业广大用户的认可和好评。



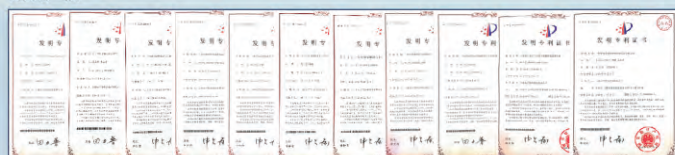
行业静电消除应用



公司荣誉



知识产权



上海安平静电科技有限公司

地址：上海市徐汇区桂箐路69号27栋3楼

电话：02164517861

网址：www.ap-static.cn



2019 年度电子行业职业技能鉴定工作站 (ESD) 培训计划

序号	课程名称	培训天数	培训地点	培训时间
1	ESD 工程师& 内审员	3	苏州	3 月上旬
2		3	深圳	3 月中旬
3	ESD 工程师（地板类）	2	常州	4 月上旬
4	ESD 工程师（地坪类）	2	上海	4 月中旬
5	静电与洁净技术工程师	3	苏州	4 月中旬
6	ESD 工程师& 内审员	3	东莞常平	5 月中旬
7		3	苏州	6 月下旬
8	ESD 工程师&内审员	3	东莞常平	7 月中旬
9	静电与洁净技术工程师	3	深圳	8 月下旬
10	ESD 工程师& 内审员	3	苏州	9 月上旬
11		3	东莞常平	9 月下旬
12	静电与洁净技术工程师	3	苏州	10 月下旬
13	ESD 工程师& 内审员	3	东莞常平	11 月上旬
14		3	苏州	12 月中旬

中国电子仪器行业协会
防静电装备分会

中国电子仪器行业协会防静电装备分会 大事记

1992年—1996年

◆ 1992年 根据原机械电子部司局文件《关于同意中国电子专用设备工业协会下设分会的批复》(机政 1992 60 号),于 1992 年 10 月正式成立中国电子专用设备工业协会防静电装备分会,并在民政部注册备案。

◆ 1994年 中国电子专用设备工业协会发文件上报电子工业部经济运行与体制改革司《关于调整防静电分会隶属关系的报告》(电专协字(1994)第 23 号)。报告中提到:为了适应电子工业发展的需要,理顺各专业之间的关系,发挥行业协会的桥梁纽带作用,以促进防静电装备产业的进一步发展,中国电子专用设备工业协会经与中国电子仪器行业协会协商达成一致意见,并请示基础产品重大工程司同意,将“中国电子专用设备工业协会防静电装备分会”转划成为“中国电子仪器行业协会防静电装备分会”。电子工业部经济运行与体制改革司于 1994 年 11 月 16 日批复:“同意,请报民政部备案”。

◆ 1996年 自电子工业部经济运行与体制改革司于 1994 年 11 月 16 日批复后,由于当时交接工作不彻底,手续不健全,且民政部正在进行全国性社团组织的清理整顿,暂停社团组织的报批,致使分会未能归口管理,工作不能正常开展。

◆ 1996年 6 月 24 日,中国电子仪器行业协会再次发文件上报电子工业部经济运行与体制改革司《关于增设中国电子仪器行业协会防静电分会的报告》(中电协 96 004 号)。报告中提到:为了加强行业管理,促进产业发展。申请增设中国电子仪器行业协会分支机构防静电装备分会,请部领导给予支持及批复。

◆ 1996年 7 月 17 日,电子工业部经济运行与体制改革司下发了《关于同意成立中国电子仪器行业协会防静电装备分会的批复》(电运 1996 036 号文

件),批复文件中提到:经研究,同意成立中国电子仪器行业协会防静电装备分会。请按照《社会团体登记管理条例》的有关规定,报民政部备案。

1997年

◆ 11 月 25 日,防静电分会下发“关于成立中国电子仪器行业协会防静电装备分会的通知”(防静电协字 1997 1 号)。通知中指出:为了加强防静电装备行业管理,促进防静电行业综合技术水平的提高,加速防静电装备行业的现代化,根据电子工业部经济运行与体制改革司《关于同意成立中国电子仪器行业协会防静电装备分会批复》(电运 1996 036 号)和民政部有关文件精神,中国电子仪器行业协会防静电装备分会定于 1997 年 12 月 24 日在北京召开成立大会。

◆ 12 月 24—25 日在北京召开中国电子仪器行业协会防静电装备分会成立大会。参加会议的有:电子工业部科技与质量监督司刘洪昆司长、中国电子基础产品装备公司于进波副总经理、中国电子仪器行业协会叶德培副理事长、中国电子产品监督检验系统技管会杨士良主任、电子部综合规划司白利东副处长等领导,以及有关方面专家学者吴敏、王元光、马泽文、张宝铭、姜俊平、瞿建邦、郑鹏州、孙延林、罗宏昌、张宗汉。参加会议的有来自全国各地从事防静电理论研究、工程设计、产品研制生产等方面的企事业单位近 60 家的代表 110 人。

会议由电子工业防静电产品质量监督检测中心孙延林主任主持。

会议听取了刘洪昆司长关于成立防静电装备分会的意义、工作要求及发展方向的报告、叶德培关于防静电装备分会筹建工作报告、孙延林主任关于防静电装备分会章程(草案)、2000 年工作规划以及会员会费缴纳办法等三个报告。

经讨论,会议修改并通过了协会章程、2000 年工

作规划、会员收费标准等三个报告文件。会议经过充分协商,选举产生了协会理事会、理事和理事单位。会议期间召开了第一次理事会议,推选出名誉理事长、理事长、副理事长和常务理事。决定下设协会秘书处和技术委员会。产生了秘书长、副秘书长以及技术委员会成员。

◆ 协会主要负责人、秘书处、技术委员会、理事单位、会员单位名单:

名誉理事长:叶德培

理事长:刘洪昆

副理事长:于进波、杨士良、白利东、吴敏

常务理事:王元光、马泽文、张宝铭、孙延林、罗宏昌

秘书长:孙延林

副秘书长:罗宏昌、张宗汉

技术委员会主任:毛寿祺

副主任:瞿建邦、林文荻、姜俊平、郑鹏州

委员:张云江、姜立勋、王万录、庄雪芳

理事单位(21家):

北京市木材厂、中国电子基础产品装备公司、北京劳安科贸公司、中国机房公司、河北友联机房设备厂、河北华泰防静电技术研究所、河北鸿翼装饰公司(550厂)、沈阳飞机工业集团通路地板厂、江苏武进电子计算机设备厂、常州金利达电子公司、常州市彬彬机房设备安装有限公司、电子工业部华东工程公司、上海扬子木材厂、浙江金华天开电子材料有限公司、浙江乐清市防静电器材厂、莱州宏桥机房材料有限公司、淄博防静电产品研究所、郑州长城电子机房设备有限公司、湖北省襄樊市橡胶总厂、成都前锋电子股份有限公司、西安飞机工业五龙股份合作公司。

会员单位(33家):

北京深远空调设备厂、北京运通亚远机电设备技术有限责任公司、北京天宇机房设备厂、新加坡百科工业供应公司北京代表处、河北省徐水建达电子有限公司、河北莱奥机房设备厂、河北科华机房设备厂、河北玉龙电子防静电设备有限公司、河北省徐水县光大电子机房设备厂、河北省霸州市京南防静电器材一厂、河北省霸州市京南防静电器材二厂、河北徐水天宇机房设备有限公司、河北文安中联电子计算机机房

设备厂、河北保定市前进机房设备厂、合和胶板(江苏)有限公司、江苏新华昌集团常州市华康机房设备有限公司、江苏华东机房(集团)公司、常州市三井防静电器材厂、上海惠华防静电工程公司、山东木业集团总公司、山东省莱州市抗静电地板厂、山东寿光市小白龙股份有限公司机房地地板厂、山东省荣成市橡塑福利厂、山东省乳山市机房设备厂、山东省泰安市机房地地板厂、山东省莱西市龙海抗静电地板厂、山东龙口市石良中学塑料厂、天津天利木业有限公司、天津市盘山机房设备厂、白山天成集团股份有限公司、福州东茂机房装修有限公司、意大利阿贝特兰米纳迪公司广州办事处、沈阳华新机房地地板有限公司。

1998年

◆ 分会技术委员会 1998 年工作计划:

一、新的地板防静电性能测试方法行业标准通过鉴定并上报。该标准公布前,做好测试设备试制、生产及供应工作;

二、当前防静电活动地板贴面达不到用户要求(电阻及耐磨),应对此进行改进,并作统一安排;

三、1998 年开展全国防静电地板检测定级,应对检测内容做分类安排,做好技术文件审核工作,并定出测试时间及检测方式;

四、组织有关单位召开一次防静电标准宣贯会。

◆ 3月8日在分会的支持下“北京森得尔阻燃地板材料推广应用中心”在京成立。该中心主要推广抗静电地板基材—阻燃刨花板,通过开发、推广、普及这种国内新型地板阻燃材料,进一步提高地板的安全性能和质量。

◆ 3月10日分会与质检中心在京共同组织召开“计算机房用活动地板等级质量要求审定会”。审定会由技术委员会副主任瞿建邦教授主持,技术委员会有关专家及重点厂家代表出席了会议,副理事长杨士良到会并讲话。

◆ 4月10日分会内部刊物“防静电通讯”正式出版发行。该通讯为双月刊,其宗旨是为会员单位服务,加强与会员单位及用户之间的联系与交流,提供更多的经济技术信息、发展动态。主要栏目有:经济政策法规、经济分析、市场行情、产品开发信息、新产品

新技术、经营之道、协会简讯等内容。

◆ 4月,根据国家信息产业部有关文件精神,分会下发通知:98年在全国范围内开展“计算机房用活动地板质量等级评定工作”,该项工作6月份开始至10月份结束。通知要求各会员单位认真学习、贯彻和执行有关文件要求,完善企业质量保证体系,积极参加和配合本次活动。

◆ 4月25-27日,防静电分会华东地区分会(即上海电子专用设备行业协会防静电专业委员会)会员大会在福建省厦门市召开。分会孙延林秘书长到会,出席会议的代表有34人。会议期间,就地区分会与上级协会的关系协调,如何配合上级协会开展工作进行了认真坦率的讨论,取得了共识。

◆ 5月,分会批准晋东化工厂、上海海生涂料有限公司、武进市剑湖计算机机房装备厂、武进市红日机房设备厂、武进市中天机房设备有限公司、莱州市工商联机房地板厂等六家单位加入分会。

◆ 7月21日,阳湖防静电装备器材检测中心(电子工业防静电产品质检中心分支机构)在常州武

进地区正式建站。分会有关负责人出席挂牌仪式。

◆ 12月,分会发布“1998年全国防静电活动地板质量等级集中监测工作通报”。通报指出:本次大规模行业检测,共检测防静电活动地板样品116批次,支撑样品5批次。参检企业为67家,约占全行业企业总数的30%,质量达到优等品的企业10家,其产品占检测总批次的12%,一等品占检测总批次的41%,合格品、不合格品分别占37%和10%,总的合格率为90%,支撑合格率为100%。此次检测对提高产品质量和生产厂家的质量意识具有重要的现实意义。

◆ 1998年全国防静电活动地板质量等级集中监测优等品厂家:10家。

1、北京天宇机房设备厂;2、沈阳飞机工业集团通路地板厂;3、天津市机房设备厂地板分厂;4、北京市木材厂;5、河北友联机房设备厂;6、浙江金华天开电子材料有限公司;7、武进电子计算机设备厂;8、武进市中天机房设备有限公司;9、江苏新华昌常州市华康机房设备有限公司;10、江苏华东机房(集团)公司。

中国物理学会第二十三届全国静电学术高峰论坛8月将在新疆举行

中国物理学会静电专业委员会是国家静电研究与应用的学术团体,旨在搭建国内外静电研究与交流的学术平台,促进学术研究成果向实际应用的转化,有效地为国内从事静电与静电危害防护应用、生产、装备企业服务。第二十三届全国静电学术年会由中国物理学会静电专业委员会、中国电子仪器行业协会防静电装备分会、中国电工技术学会等离子体及其应用专委会,以及电磁环境效应国家级重点实验室等联合举办,会议将于2019年8月6~9日在新疆大学举行。

本次会议组委会由国内静电领域泰斗刘尚合、孙可平为顾问、静电专委会吴彦主任为主席,王维庆、孙延林、严萍、陈亚洲为副主席。会议诚邀从事静电研究

与应用的专家学者、师生以及企业相关技术人员参加。会议将组织有关研究成果或应用典型案例、新技术、新材料、新工艺、新产品的评审,并安排会议交流。会议征文内容为:静电基础及应用、静电危害与防护、静电测试、静电材料、等离子体技术及应用、电磁兼容与电磁防护、发电与输变电静电与电磁技术等。凡有意向参会、投稿个人或单位可直接与会务组联系。

联系人:赵洪峰 15099685327、赵力18999183850。会议只接受电子文档投寄,邮箱:EETHU@sina.com。论文投稿截止时间:2019年6月10日。有意向参会的防静电装备分会会员单位也可在上述时间内与防静电分会联系,联系电话:(010)68647410

个人防护设备中导电器件静电 放电起火风险的测量

李学文, 孙可平

上海海事大学

【摘要】关于个人防护设备(PPE)在易爆气体环境中安全使用进展的辅助,提出了采用电容计、电荷分配、电荷转移分别在无隔离带和有隔离带时测量PPE典型金属饰物电容值的实验方法。实验表明,本环境下用电容计测量方法不能得到用来估计起火风险所必要的完整信息,故详细介绍了电荷分配和电荷转移两种方法。

【关键词】起火风险 易爆气体 电容 PPE 标准

Measurement of electrostatic discharge ignition risks from conductive components of Personal Protective Equipment

【Abstract】to assist with the development of a SUCAM document for PPE for safe use in explosive atmospheres, the authors have carried out measurements on metal items typically attached to PPE, using capacitance meters, charge sharing and charge transfer test methods. Capacitance was determined without spacers, and with spacers to simulate layers of clothing. Results indicate that the use of capacitance meters in this context may not provide complete information necessary for evaluation of ignition risks. Consideration should be given to specifying charge sharing or charge transfer methods.

【Keywords】Hazards Explosive atmosphere Capacitance PPE Standards

1. 前言

欧洲行为准则就如何避免由于静电造成的危害有很多的规范。在不同的气团和粉尘堆危险区,对独立的小导体限定的电容值是不同的,欧洲标准化委员会杂志 CLC/LC50404 给出了允许出现在易爆气体环境中出现的独立的小导体的电容的最大限度。现在正在起草的 IEC/TS60079-32-1 标准,依据不同区域危险指数的不同,给出的独立小导体的电容值为 3PF、6PF、10PF 的三级标准。IEC60079-0 则对气体和粉尘环境中允许出现的独立小物件的电容值做了规定。CEN/CENELEC 工作组正在编写关于在易爆气体环境中安全使用个人防护设备的选择

(Selection)、使用(Use)、注意事项(Care)、维护(Maintenance)(SUCAM)的建议。很多 PPE 中都包含有像 D-形环、鞋扣、拉链一类容易导致静电产生的小导体,我们又不能保证它们总是保持接地的,所以我们就必须把它们看成潜在的起火源。作为对 SUCAM 规定的辅助补充,本文提出了采用电容计、电荷分配、电荷转移的测量方法对 PPE 中典型金属导体的电容进行测量,以此来估计 PPE 的使用可能带来的起火风险。不同测量方法测结果的差异对于导体电容的测量来说是很重要的。

2. 实验过程

本文通过用实验室里可用器材分别测试了被

测物体,这里将实验环境分为 A 和 B 两种。

2.1 被测样品

本实验采用以下由 PPE 制造商提供的惯常用于服装上的典型传导性物体作为被测物,包括:a. 镀金属拉链,长 390mm;b. 青铜拉链,裸金属,长 590mm;c. 铜拉链,裸金属,长 180mm;d. 镍拉链,裸金属,长 475mm;e. D- 形环,裸金属;f. D- 形环,有金属镀层;g. O 形脚扣,有金属镀层;h. O 形脚扣,裸金属;i. ϕ 形脚扣,裸金属;j. ϕ 形脚扣,有金属镀层。

本实验选取特别订做的直径分别为 10mm、20mm、30mm、40mm、50mm、60mm 的铜盘作为参照物体。这些铜盘上面都有一个方便连接鳄鱼夹或者 2mm 插头的小孔,其测量均在客观环境中进行,测量结果具有可比性和可重复性。

2.2 电容计测电容

本实验中采用 IEC60079032-2 起草案中所规定的电容计。实验 A 采用 U1701B 电容计。U1701B 电容计工作电压为 1V 交流电,通过测量用已知电流对定值电容充电的时间来测定电容值,精确度为 0.01PF,分辨率为 0.1PF/1000PF。实验 B 采用 ISO TECH 9023 型电容计,它的工作原理与 U1701B 基本相同,精确度为 ± 2 PF,分辨率为 0.1PF/200PF。实验的参考面采用置于绝缘面上的尺寸至少为 500mm $\times$ 300mm 的清洁光滑的钢板,接地。钢板上放置一涂有聚酯薄膜尺寸为 420mm $\times$ 297mm $\times$ 240mm 的薄片,用来将被测物与钢板隔离。

被测物放在参考面的绝缘薄片上,电容计阴极接钢板,阳极靠近但不接触被测物和钢板,仪表剩余的电容和接入端无效。准备工作完成后,电容计阳极接被测物,读出其电容值。在被测物与参考面间加入一厚度为 4mm 的聚乙烯块,模拟被测物上镀层,然后按上述步骤重新测电容。

2.3 电荷分配和电荷转移测电容法

参考面选取和被测物放置方法和电容计测电容方法相同。实验 A 采用电荷分配法测电容,原理是对被测物充电使其电势达到规定值断开电源,然后

通过被测物放电对一个已知电容充电,要求已知电容要远远大于被测物电容。

被测物充电电源采用高压直流电源,其输出电压为 V_i ,充电时间为 3s,然后让被测物对一个 $3\mu\text{F}$ 的电容 C_s 放电 3s,电容与被测物不相连的终端接地。用万用表测量通过电容的最大电动势 V_s 。然后加入 4mm 后的隔离层重复上述实验步骤。对所有被测物测量时,所加电压均为 1Kv,另外对铜拉链测所加电压为 5Kv 和 10Kv 时的电容值。被测物的电容计算公式为:

$$C_i = \frac{C_s \times V_s}{V_i}$$

实验 B 采用电荷转移法测电容,其原理为首先对被测物进行充电,直到其达到一定的初始电压 V_i ,然后让被测物向一个虚拟接地的电荷测量计放电,测量在放电过程中转移的电荷量 Q_t ,此时被测电容的计算公式为:

$$C_i = \frac{Q_t}{V_i}$$

实验中,用一个标称输出电压为 1Kv 的电源对被测物充电 3s,并用非接触静电电压表持续监测电压值。此时,被测物体尤其是电容值较小的被测物体上的电压随时间衰减特别快。

2.4 实验环境

在电容计测量法和电荷转移测量法中,实验 A 要求环境温度在 21.3—22.0 $^{\circ}\text{C}$,湿度在 41%—62% RH 之间。实验 B 要求湿度在 39%—41%RH 之间,对温度不做要求。

3. 实验数据分析

3.1 电容的测量

表一记录了不同方法中实验 A 和实验 B 中所测得的被测物的电容值。

实验发现,由于小的导体上的电压衰减极快,所以采取同步测量来获得相对准确的测量结果。被测物体在极短时间内连接到标准电容的前提下,我们假设移走充电电源后,实验 A 及其后续计算中被测物体上的电压是恒定的。本实验中要求在移开充电

电源后 1s 内将被测物体与标准电容连接。当被测物体的接地电阻高于 $10T\Omega$ 时,测得的电容值的误差会控制在 10% 以内。

实验 B 中为了方便连接电容计,要求刮去部分

被测物表面的绝缘涂料。在实验 A 中,由于鳄鱼夹能够完全刺穿被测物表面的涂层并且夹的很紧,就不需要刮去表面涂层了。

表一 直接测量和放在 4mm 厚隔离层上对被测物测量的实验结果的比较

被测物	计算电容值/PF	测得的电容值/PF			
		电容计测量法		电荷分配测量法 充电电压 1Kv	电荷转移测量法 充电电压 1Kv
		实验 A	实验 B		
有金属镀层拉链		5 (1)	15 (2)	14 (4)	6 (2)
青铜拉链		9 (1)	5 (1)	11 (3)	11 (2)
铜拉链		6 (1)	5 (1)	18 (11)	20 (6)
镍拉链		5 (1)	5 (1)	14 (4)	12 (6)
裸金属 D-形环		16 (4)	20 (5)	26 (7)	18 (6)
镀金属层 D 形环		17 (4)	18 (5)	18 (8)	24 (7)
裸金属 O 形脚扣		78 (6)	67 (7)	95 (9)	79 (10)
镀金属 O 形脚扣		58 (7)	54 (7)	92 (7)	65 (8)
裸金属 ϕ 形脚扣		61 (6)	49 (7)	82 (10)	73 (10)
镀金属 ϕ 形脚扣		69 (6)	72 (7)	55 (8)	83 (9)
10mm 铜盘	6 (1)	5 (1)	7 (1)	8 (2)	-
20mm 铜盘	23 (2)	31 (1)	28 (2)	52 (4)	32 (3)
30mm 铜盘	51 (3)	68 (3)	52 (3)	73 (7)	66 (4)
40mm 铜盘	91 (5)	117 (5)	107 (5)	119 (8)	140 (9)
50mm 铜盘	141 (7)	152 (7)	135 (7)	216 (11)	148 (9)
60mm 铜盘	201 (9)	232 (9)	223 (10)	272 (14)	222 (14)

在几乎所有的案例中,用电荷分配和电荷转移法测得的电容值都明显高于用电容计测得的电容值,尤其是在被测物体与参考面之间无隔离带时,这种现象就更加明显。造成这种结果的原因可能是当在被测物与参考面之间加上电位差为 1Kv 的电压时,二者之间的聚酯薄膜就会发生极化,由此就会导致被测物电容值的增大。当在被测物与参考面间加聚乙烯隔离带时,由于二者之间加入被空气填充的聚乙烯膜,这种现象就会变的没有那么显著。后来发现,对于电荷分配和电荷转移法,缩短充电时间可减小可能存在的极化效应。与此相反,对一些拉链,延长充电时间可以提高它储存的电荷量以及放电过程中的电荷转移量。

在不同的实验环境中采用不同的实验方法测得的大电容和带隔离层的小电容的测得值是十分不同的。若环境或者方法中有一个是处于最差状态时,对同一个被测物测得的电容值与其实际值

是完全不同的。这种结果是有悖于 IEC/TS60079-32-1 的规定的,但是大电容的异常在一定程度上说却是符合学术研究结果的。在有隔离层的前提下,对于 3PF-10PF 范围内的小电容的测量,采用不同实验方法和在不同的实验环境中的测量值具有高度一致性。对于大多数被测物体来说,无论采用电容计法还是电荷分配或电荷转移法,实验 A 与实验 B 测得的差值都在 1PF 之内。因此,在有隔离层的时候,电容计法测得的值与预算值比较符合,无隔离带时,误差就比较大了。但是对于用过和洗过的拉链来说,这个差值却可以达到 5PF。因此,本实验还专门测了新拉链以及用过和洗过的拉链的电容值。表二记录了在不同条件下采用电荷分配法测得的新的和用过的以及洗过的拉链的电容值。其中,用过的标准是拉链开合 100 次,洗过的是在 40℃ 常温下的国产洗衣机中洗涤并甩干的。

表二 电荷分配法测量铜拉链时加不同电压、有无隔离层
条件下测量值的比较

被测物名称	所加电压 (Kv)	测得值 (PF)	
		无隔离层	有 4mm 隔离层
新的铜拉链	1	19	8
	5	23	8
	10	117	8
用过或者洗过的铜拉链	1	16	10
	5	56	9
	10	161	8

结果表明,新拉链的导电性很差,测得的电容值也比较小。若去掉新拉链表面的绝缘物质,它的导电性就会变好,电容值也会增加。拉链闭合时,我们在显微镜下可以观察到肉眼看着紧密咬合的链牙事实上是存在至少 1mm 的间隙的,当几千伏的电压加在拉链上时,就会击穿这个间隙,这就解释了采用电荷转移法时实验 B 中观察到一些实验结果。

3.2 电荷转移测量法

在用电荷转移法测量拉链电容时,铜拉链和镍拉链在放电后其电压值都会上升到初始值的一定比例。我们可以通过对被测物的实验数据的分析分别获取它们的放电规律。表 3 给出了青铜拉链、铜拉链、镍拉链的放电前电压和持续放电后的电压以及在放电过程中转移的电荷量。

在放电过程中,拉链释放的电荷会储存在拉链的结构中缓慢释放,并且此过程中可以对金属进行局部充电,所以拉链可以进行多次放电。

表 3 拉链放电前后的电压值与转移电荷量

放电次数	青铜拉链		铜拉链		镍拉链	
	Vi (V)	Qt (nC)	Vi (V)	Qt (nC)	Vi (V)	Qt (nC)
第一次	670	1.0	556	3.6	560	2.7
第二次	78		225	1.1	320	1.9
第三次			142	0.6	210	1.2
第四次					140	1.6
第五次					117	0.8

4. 实验结论

用电荷分配和电荷转移法测电容可以反映出在低压操作的电容计测电容方法所不能反映的拉链的

充放电过程,这在估算起火风险时是很重要的。与电容计测量方法相比,电荷分配方法和电荷转移方法通常会测出更高的电容值。电荷分配法测电容的实验数据表明,测得的电容值是随加在拉链上的初始电压的增大而增大的,此外,洗过的拉链上的电容值也会增大。因为电压值升高或者被洗过之后,拉链的长度是增加的,测得的电容值也会随之增大。电荷转移法测拉链电容则揭示了拉链在一次充电之后可进行多次放电。拉链充电以后,电荷是积蓄在拉链的结构中通过放电缓慢释放的,放电过程中又可以对拉链进行部分充电,所以充电后的拉链可以进行多次放电。当然,和我们所想的一样,在测试过程中加入模拟拉链表面镀层的绝缘涂层可以使被测物的电容测得值在一定程度上减小。

在对所有的简单的固体导体的测量实验中,我们都使用了一个适当厚度的绝缘片来保证实验结果具有可重复性且得到的结果是相对准确的。但要注意,太薄的绝缘片会使测量结果过小,导致低估起火风险值。此外,所用仪器的精确度,实验室的布置,都可能造成导体电容测得值偏小从而导致低估起火风险。本实验对于 3PF 的小电容的测量结果的可靠性是值得怀疑的,对于 6PF 和 10PF 左右大小的电容的测量结果是绝对无效的。

参考文献

- [1] CLC/TS 50404,Electrostatics—Code of the Avoidance of Hazards Due to Static Electricity,CENELEC,Brussels,2003.
- [2] ICE/TS 60079-32-1—Explosive Atmospheres—Part 32-1: Electrostatic Hazards,Guidance,IEC,Geneva (in development).
- [3] IEC 60079-32-2—Explosive Atmospheres—Part 32-2:Electrostatic Hazards,Test Methods,IEC,Geneva (in development).
- [4] IEC 60079-10-1,Explosive Atmospheres—Part 10-1: Classification of Areas Explosive Gas Atmospheres,IEC,Geneva,2009.
- [5] IEC 60079-10-2,Explosive Atmospheres—Part 10-2: Classification of Areas,Combustible Dust Atmospheres,IEC,Geneva,2009.
- [6] IEC 60079-0,Explosive Atmospheres—Part 0:Equipment—General Requirements,IEC,Geneva,2011.

静电放电等离子体治理工业挥发性有机废气的研究进展

李杰

大连理工大学电气工程学院静电与特种电源研究所, 大连 116024

【摘要】本文介绍了静电放电等离子体治理挥发性有机废气的原理,综述了静电放电电极结构形式、等离子体催化及其在应用过程中需要解决的问题,目的是为了产生挥发性有机废气企业在选择污染治理技术时提供参考,也为了即将致力于研发等离子体治理污染技术与设备的企业提供参考。

【关键词】静电放电 挥发性有机废气 污染治理

Research Progress on treatment of Industrial volatile Organic waste Gas by Electrostatic discharge Plasma

Lijie

Institute of Electrostatics and Special Power, Dalian University of Technology, Dalian 116024

【Abstract】In this paper, the principle of electrostatic discharge plasma for the treatment of volatile organic waste gas is introduced, and the structure of electrostatic discharge electrode, plasma catalysis and the problems to be solved in its application are reviewed. The purpose is to provide references about pollution treatment technologies for the enterprises who are committed to devote themselves to research and development of plasma pollution control technology and equipment.

【Keywords】electrostatic discharge; volatile organic compounds; pollution control

1. 引言

挥发性有机废气 (VOCs) 主要来源于石油化工、塑料橡胶、化学涂料、木材家具、半导体电子、汽车、皮革、胶剂等生产制造行业。VOCs 是造成大气中细颗粒物 (PM) 和臭氧 (O₃) 污染的主要前驱体,必须加以治理。治理 VOCs 的技术分为高浓度 VOCs 的回收技术和低浓度 VOCs 的销毁技术的两大类方式,其中销毁技术包括燃烧技术和非燃烧技术。但是由于各行业产品种类繁多、工艺多、原料成分复杂,导致 VOCs 种类多,多种 VOCs 并存,以及排放状况不稳定等问题存在,给 VOCs 废气治理带来困难。而且

一些 VOCs 采用传统方法难于治理,迫切需要研发新的技术,开发新的设备和装备,带动新的行业。

静电放电等离子体是在两个电极之间施加高压形成静电场,当该电场强度达到电极之间气体击穿产生等离子体时,同时生成大量的高能电子、紫外光、含氧活性物质 (如羟基自由基、氧自由基、臭氧、过氧化氢等,简称 ROS) 和含氮活性物质 (如 N_xO_y、氮分子激发态等,简称 RNS) 等。静电放电等离子体净化工业挥发性有机废气的原理就是通过活性物质与废气中的 VOCs 分子发生化学反应,矿化成水和二氧化碳,以及易于被传统方法处理的小分子有机物,

所形成的静电放电等离子体净化业挥发性有机废气技术是一种静电应用技术。

2. 静电放电等离子体脱除 VOCs 原理

静电放电等离子体处理 VOCs 的原理, 首先是活性物质生成过程, 即高强度电场作用下产生气体放电, 放电产生的高能电子与周围环境中的气体分子(氧分子、氮分子、水分子等)发生非弹性碰撞, 将电子能量转化为基态分子的内能, 引发激发、电离、离解等一系列化学过程, 生成活性氧原子($\cdot\text{O}$)、羟基自由基($\cdot\text{OH}$)、臭氧(O_3)、激发态氮分子(N_2^*)等 ROS 与 RNS 活性物质。其次是脱除 VOCs 分子的反应过程, 即高能电子直接碰撞 VOCs 分子, 使污染物活化处于激发态, 甚至离解; ROS 与 RNS 活性物质与 VOCs 分子反应转化为 H_2O 和 CO_2 以及其他小分子有机物。第三是脱除 VOCs 辅助过程, 即放电产生的紫外光降解部分 VOCs 分子, 以及放电产生的力和热效应形成特殊气体环境在 VOCs 处理过程中的辅助作用。简言之, 静电放电等离子体利用放电产生的物理化学效应, 共同作用于有机污染物, 使之在较短的时间内即可被降解。

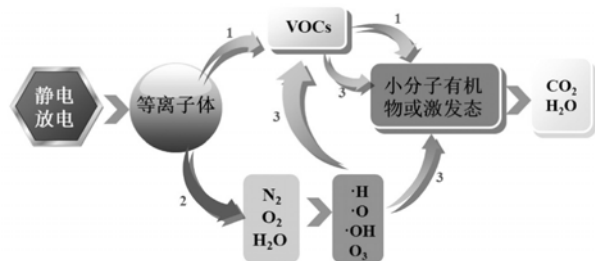


图1 静电放电等离子体净化 VOCs 原理图

3. 静电放电等离子体

3.1 电晕放电等离子体

电晕放电等离子体是以针-板式^[1]、线-筒式^[2]或线-板式^[3]电极结构为基本结构, 如图2所示。针或线为高压电极, 筒(板)为低压电极, 采用直流、交流或脉冲高压电源供电, 在电极之间形成非均匀电场, 针电极或线电极附近电场强度大, 筒(板)电极附近电场强度小。且随着电压的升高, 电极间各点电场强度增加, 当施加电极间电压达到针或线电极附近电场强度超过气体击穿场强时, 即产生电晕放电, 形

成电晕放电等离子体。电晕放电等离子体状态与施加在针-板、线-筒式或线-板式电极结构电压特征有关。当采用直流或交流高压电源供电时, 电晕放电等离子体主要在线高压电极附近产生。而当采用脉冲高压电源供电时, 脉冲电源是瞬间将电能注入电场中产生流光放电等离子体, 脉冲电压波形上升时间和脉冲宽度越小, 电场加速电子形成高能电子能力越强, 等离子体将在线-筒(板)间较大区域产生, 也称这种电晕放电等离子体为脉冲流光放电等离子体, 图3为线-筒和线-板脉冲流光放电等离子体状态。且不论何种形式高压电源供电, 随着电源输出电压升高, 电极间各点电场强度增加, 放电等离子体区域会从线电极向筒(板)电极伸展, 放电强度也会随着增加, 直至发生火花放电或弧光放电, 稳定的放电等离子体被终止。

采用电晕放电等离子体脱除 VOCs 的电极间距较大, 大于 1.0 cm, 甚至达到 10cm 以上, 这样电极结构的等离子体反应器气路截面积大, 对气体阻力小, 适合处理大流量的工业废气。但是由于电晕放电等离子体强度分布不均匀, 等离子体区域占电极间区域较小, 导致 VOCs 脱除效率不高。为此, 电晕放电等离子体多用于处理低浓度、大气量的 VOCs 废气。

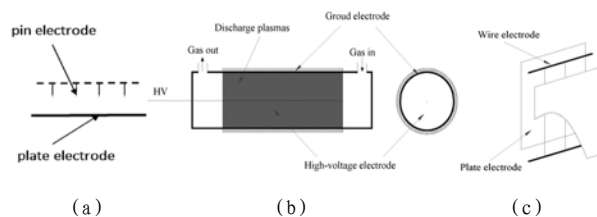


图2 典型的电晕放电等离子体结构示意图

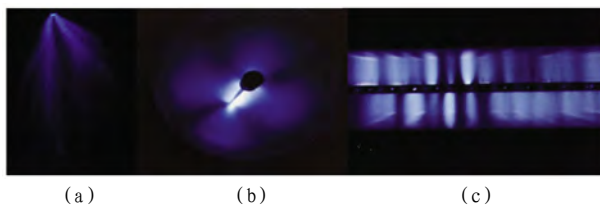


图3 脉冲电晕流光放电等离子体状态

3.2 介质阻挡放电等离子体

介质阻挡放电等离子体是指在电极之间放入绝缘介质, 用绝缘介质将高压电极和低压电极分开, 绝

缘介质阻止电极间隙放电从火花放电向弧光放电过渡,使放电状态稳定,故称介质阻挡放电(简称DBD),又称为无声放电。介质阻挡放电分为沿面放电、体放电和填充床放电三大类,如图4所示^[4]。①沿面放电是在绝缘介质两个侧面放置高压电极和低压电极,施加电压后在电极周围产生极化电场,当电压升高到使极化电场达到气体击穿后产生放电,由于放电是沿着介质表面伸展,故称为沿面放电。②体放电是绝缘介质处于高低压电极之间,在介质和电极之间(单介质式)或介质之间(双介质式)存在一个气体间隙,气体间隙处场强高于介质内部的场强,待气体间隙电场达到击穿电场时,将产生稳定的、均匀的放电等离子体。常见的体放电结构包括平行板型^[5]和同轴圆筒型^[6]两种。③填充床放电是在电极之间填充一些绝缘介质颗粒,施加足够高的电压后,介质颗粒表面产生极化电荷,因介质颗粒之间间距很小,在颗粒间产生强烈的局部放电等离子体。介质阻挡放电等离子体是采用低频交流、高频交流和脉冲等高压电源供电,电源频率增加放电次数增加,进而增加放电生成活性物质数量,VOCs处理效果提高。

相对于电晕放电等离子体而言,介质阻挡放电等离子体的电极间距是mm数量级,甚至小于1.0mm,这样结构的等离子体反应器气路截面积小,气体阻力大,不适合处理大流量的工业废气。但是由于介质阻挡放电等离子体分布较均匀,等离子体区域占电极间区域较大。另外,因为有绝缘介质存在,增加了气隙中电场强度,提高放电等离子体理化效应产生强度,因此VOCs脱除效率较高。为此,介质阻挡放电等离子体多用于处理较高浓度、小气量的

VOCs 废气。

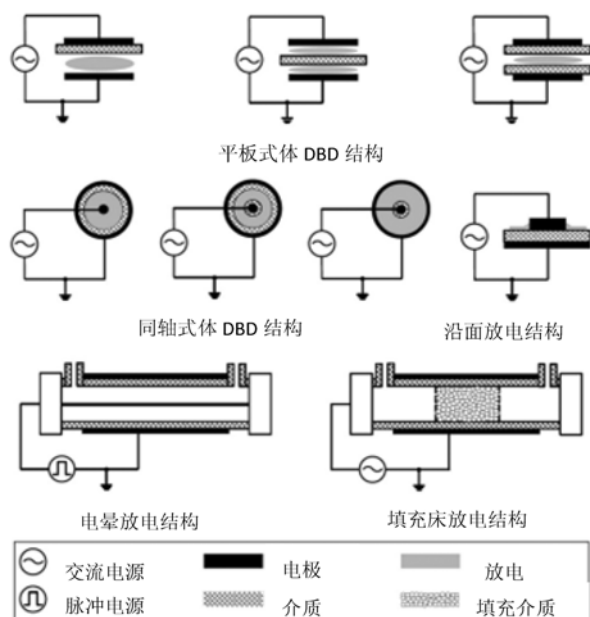


图4 典型的介质阻挡放电等离子体结构示意图

3.3 复合放电等离子体

复合放电等离子体是由两个放电区构成的等离子体。根据供电方式分成单电源供电和双电源供电。所谓单电源供电^[7]就是利用一个电源在两个区域产生不同形式的放电等离子体,如图5(a)所示;双电源供电^[8-10]就是每个区域放电分别需要一个电源产生放电等离子体,如图5(b,c,d)所示。根据放电产生方式分为独立型放电等离子体和耦合型放电等离子体。所谓独立放电等离子体^[8]是两个放电互不影响的独立产生放电等离子体,如图5(b)所示;而耦合型放电等离子体^[7,9,10]是一个放电等离子体对另一个放电等离子体产生有影响,如图5(a,c,d)所示。复合放电等离子体可以通过物理耦合(电场耦合和电

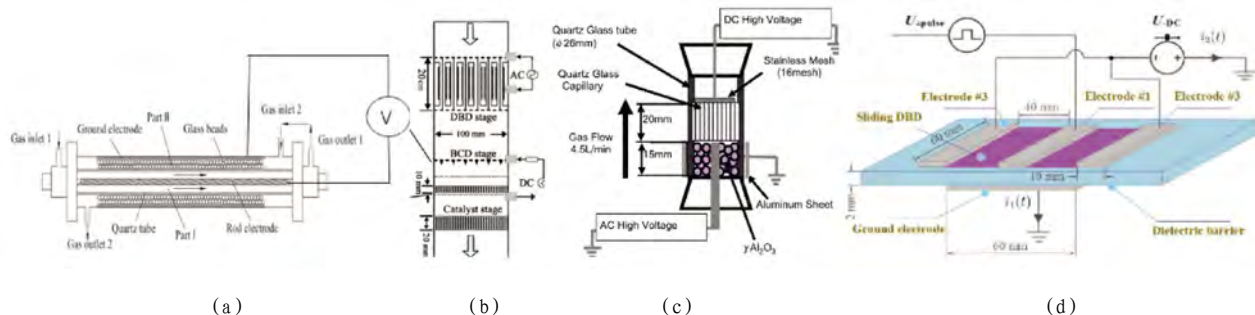


图5 几种复合放电等离子体结构示意图

荷耦合)增加等离子体强度,进而达到增加等离子体产生活性物质数量,而通过化学效应耦合增加等离子体产生高反应活性的活性物质数量,提高等离子体处理 VOCs 的效果。

4. 等离子体与催化

针对单一的低温等离子体技术处理 VOCs,存在能量效率和矿化效率较低、在放电过程中生成高浓度的 O_3 和 NO_2 等二次污染物的问题,采用静电放电等离子体协同催化技术为研究者们所关注。因为在放电等离子体中存在大量高能电子、离子和激发态原子,同时伴随着紫外光的产生,使常规条件下需要较高活化能才能发生的催化反应在室温条件下就可以进行,增加了高反应活性物质生成量,提高 VOCs 降解过程的能量效率,且能够有效抑制副产物的产生,避免二次污染。

静电放电等离子体协同催化的增效作用,不仅发生在放电等离子体区域内,也可以在放电等离子体区域后面发生。为此等离子体协同催化反应器装置^[11]按照等离子体与催化剂位置的不同,分为内置式(IPC)和后置式(PPC)。所谓的内置式是催化剂置于放电等离子体区域内,因此也称为一段式;后置式是催化剂置于放电等离子体区域后,因此也称为两段式,如图6所示。等离子体协同催化研究结果^[12]表明:(1) 等离子体协同催化明显提高 VOCs 处理效果,且室温下具有较好的处理效率;(2) 催化剂多以金属氧化物为主,也有贵金属掺杂;(3) 载体多样,包括不锈钢纤维、活性炭、 Al_2O_3 、 SiO_2 、沸石、分子筛及其它多孔材料。

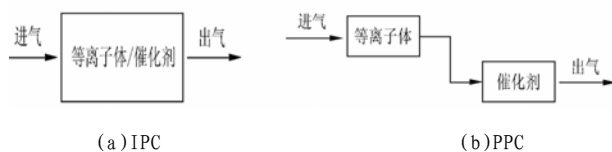


图6 两种等离子体催化体系示意图

5. 工业应用中面临的问题分析

(1) 用电安全问题: VOCs 气体几乎是可燃的有机气体,采用静电放电等离子体处理是否会产生引燃 VOCs,为此在选择 VOCs 治理技术方面,企业

管理者有“谈等离子体色变”的情况。实际上任何技术都有安全操作规范的,包括静电放电等离子体技术,只要在安全条件下应用是不会灾害产生的。虽然静电放电等离子体是在高电压、强电场环境下产生的电晕放电或流光放电,但是这样的放电可以分解成高频丝状脉冲放电,而单个丝状脉冲放电能量很小的,是不易点燃低浓度 VOCs 废气的。在此提供几个措施供企业管理者参考:一是静电放电等离子体结构设计合理,保证放电状态均匀,避免产生火花放电;二是静电放电等离子体治理 VOCs 设备系统要保证安全接地;三是专业人员操作,维护等离子体正常运行。

(2) 电极结焦问题: VOCs 是有机分子,它在化学反应过程中产生一些有机性小分子中间产物,而这些中间产物沸点高且电阻率较大,就会在电极表面沉积积累,凝结成类似油膜状的物质,称这种现象为电极结焦。电极结焦现象一是会使电极间距变小,使在正常工作电压下的电场强度增加,放电强度增加,且因结焦不均匀导致放电不均匀性,致使产生火花放电概率增加;二是电极间距减小导致废气在等离子体反应器停留时间减小,处理效果下降;三是等离子体反应器气体阻力增加。为此需要研究静电放电等离子体处理 VOCs 过程中气溶胶特性及其在等离子体中沉积过程,优化电极结构抑制电极结焦对放电状态影响,是放电状态稳定,延长电极清洁周期,减少等离子体设备维护强度和降低维护成本。

(3) VOCs 矿化问题:采用静电放电等离子体处理 VOCs 技术,是针对传统方法难于治理的 VOCs 实现有效治理,将其矿化成为水、二氧化碳和无机盐,以及易被其他传统方法处理的小分子有机物。因为等离子体处理 VOCs 是需要消耗电能的,如果一味利用等离子体处理 VOCs 到彻底矿化,将消耗很多的电能,会增加 VOCs 处理成本的。而如果利用等离子体将 VOCs 处理到其他地方能够处理的程度,在利用其他地方处理那些没有彻底矿化的中间产物(有机小分子),将节省一部分电能消耗。其他方法包括生物法、低温催化方法和吸收法等。为此有必

要深入研究静电放电等离子体与这些方法结合的物理化学机理,实现等离子体低能高效的处理 VOCs 废气。

6 致谢

本课题组在从事静电放电等离子体治理环境污染技术研究过程中,得到国家自然科学基金委、国家科技部的资金支持,在此表示深深的感谢。同时,也非常感谢给予大力支持的企业和同行朋友,欢迎您们光临课题组交流指导与合作。

参考文献:

- [1]J Van Durme,J Dewulf,W Sysmans,C.Leys,H.Van Langenhove.Abatement and degradation pathways of toluene in indoor air by positive corona discharge, *Chemosphere*, 68 (2007) 1821–1829.
- [2]Ester Marotta,Alessandro Callea,Massimo Rea,Cristina Paradisi,DC Corona Electric Discharges for Air Pollution Control.Part 1.Efficiency and Products of Hydrocarbon Processing,*Environ.Sci.Technol.* 41 (2007) 5862–5868.
- [3]J Li, T L Zhu, X Fan and W He. Decomposition of dilute VOCs in air by a streamer discharge, *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*, 1 (2007) 141–145.
- [4]Arne M.Vandenbroucke,Rino Morent, Nathalie De Geyter, Christophe Leys.Non-thermal plasmas for non-catalytic and catalytic VOC abatement, *Journal of Hazardous Materials*, 195 (2011) 30–54.
- [5]Z Fang, Y Qiu, C Zhang and E Kuffel. Factors influencing the existence of the homogeneous dielectric barrier discharge in air at atmospheric pressure,*Journal of Physics D: Applied Physics*, 40 (2007) 1401–1407.

- [6]Y Z Sun, Y C Qiu, F S Yu, X C Yuan. Application of DBD and DBCD in SO₂ removal, *Plasma Science & Technology*, 6 (2004) 2589–2592.
- [7]Nan Jiang, Na Lu, Kefeng Shang, Jie Li, Yan Wu. Effects of electrode geometry on the performance of dielectric barrier/packed-bed discharge plasmas in benzene degradation, *Journal of Hazardous Materials*, 262 (2013) 387–393.
- [8]Fada Feng,Yanyan Zheng,Xinjun Shen,Qinzheng Zheng, Shaolong Dai,Xuming Zhang,Yifan Huang,Zhen Liu and Keping Yan.Characteristics of Back Corona Discharge in a Honeycomb Catalyst and Its Application for Treatment of Volatile Organic Compounds,*Environ.Sci.Technol.* 49 (2015) 6831–6837.
- [9]Satoshi Sato,Karol Hensel,Hideaki Hayashi,Kazunori Takashima, Akira Mizuno. Honeycomb discharge for diesel exhaust cleaning, *Journal of Electrostatics*, 67 (2009) 77–83.
- [10]Nan Jiang, Lianjie Guo, Kefeng Shang, Na Lu, Jie Li and Yan Wu. Discharge and optical characterizations of nanosecond pulse sliding dielectric barrier discharge plasma for volatile organic compound degradation,*J.Phys.D: Appl. Phys.*, 50 (2017) 155206 (10pp).
- [11] Nan Jiang, Jian Hu, Jie Li, Kefeng Shang, Na Lu, Yan Wu.Plasma-catalytic degradation of benzene over Ag–Ce bimetallic oxide catalysts using hybrid surface/packed-bed discharge plasmas, *Applied Catalysis B: Environmental*, 184 (2016) 355–363.
- [12]Arne M.Vandenbroucke,Rino Morent,Nathalie De Geyter, Christophe Leys. Non-thermal plasmas for non-catalytic and catalytic VOC abatement, *Journal of Hazardous Materials*, 195 (2011) 30–54.

洁净室内防静电保护区人员静电及微污染防护资材的测试评估方法

王荣刚, 夏合勇, 杨海英, 孙玉荣

北京理工大学机电学院, 北京, 100086

苏州天华超净科技股份有限公司, 苏州

【摘要】以液晶模组、晶圆、封装测试为代表的精密电子工业对于静电防护和微污染防治都有很高的要求。静电防护上,人员静电防护主要通过防静电服装+防静电鞋子或者防静电手腕带接地完成;洁净室中污染物产生超过70%以上均为洁净室内的操作人员产生。洁净室微污染防治主要遵从“三不”原则,不带入、不产生、不积存。里面人员的防护主要依赖与防静电连体服装+口罩+手套等资材来完成人员动作产生的微污染物。所以在划归在洁净室内的防静电工作区内使用的人员防护的服装系统,除了评估其防静电性能外,还需要评估其微污染防治能力,本文主要从这两个方面入手,着眼于电子行业,参照国际标准,给出其评估的方法介绍。

【关键词】无线通讯 静电安全 状态监测 实时系统

1 引言

以硬盘、磁头、半导体、液晶模组和精密组装为代表的电子工业发展迅速,封装尺寸越来越精密,静电放电带来的损害结果也越来越明显,静电电场与微污染叠加对产品的影响更加明显。为了避免静电放电带来的危害,各厂商都会按照相应的标准建立对应的EPA,在EPA内部会配备相应的静电防护材料和措施;这些静电防护材料和措施的有效性和适宜性一般是通过定期检验来确认的,但这是远远不够的。因为以上提及的电子工业中还有另外一个重要的要求,那就是微污染防治,这涉及到灰尘particle、化学污染等微污染对产品的影响,这样的防护主要是通过构建洁净室环境来保证环境的清洁程度,这个洁净环境的维系主要要考虑人员和设备动作以及一些材料的发生特性。其中人员的发生更是占了洁净室内各种环境因素的70%以上。另外,人员带电放电模型也是考评静电耐受等级的一个重要模型。基于此,本文综合考虑洁净室环境下的EPA保护区内人员防护的关键——服装要素的评估方

法,通过这些评估方法的整合,期望是让用户能够清晰了解对于防静电连体服装的评估验收。

2 防静电工作区内对人员服装系统的评估测试

在防静电工作区内,人员的作业姿态主要有坐立作业和站立作业两种。坐立作业一般为固定位置,所以其人员的静电安全防护主要通过穿戴防静电服装+佩戴防静电手腕带接地来实现;站立作业也有固定位置,固定位置的状态下,人员的静电安全防护主要通过穿戴防静电服装+佩戴防静电手腕带接地来实现;如果为非固定位置,此时防静电手腕带佩戴就不太适用,一般通过穿戴防静电服装系统+防静电接地地板(地垫)方式来实现人员静电的对地泄放。参照美国ESDA标准S20.20的技术要求如下:

从表1中可以看出,其认证分为两个层级,一个是测试项目比较多的产品认证。这部分中手腕带系统主要参照ANSI/ESD S1.1标准,其中对于手腕带的线电阻、腕圈的内外表面电阻、使用寿命等均有响应的要求。服装系统+底面系统的要求主要包含系统电阻、摩擦电压的技术参数要求。在此不一赘

表1 EPA保护区内人员对地系统要求

技术要求	产品认可(注4)		符合性验证	
	测试方法	要求限值	测试方法	要求限值
手腕带系统	ANSI/ESD S1.1	$<3.5 \times 10^7$ ohms	ESDTR53 手腕带章节	$<3.5 \times 10^7$ ohms
鞋/地面系统(两个同时要求满足)	ESD STM 97.1	$<1 \times 10^9$ ohms	ESDTR53 鞋章节	$<1 \times 10^9$ ohms (注6)
	ESD STM 97.2	$<100V$	ESDTR53 地面章节	$<1 \times 10^9$ ohms (注6)

述,有兴趣的可以去详细参照对应的标准。在这需要特殊提出的是坐立作业情况下,除了手腕带之外,人员服装+椅子的接地逻辑,这个在很多厂区也有其应用场景。另外一个测试时符合性验证,符合型验证主要体现的是实际使用中的状况。综合以上的考虑,以下主要参照 TR53,介绍防静电手腕带系统、人员鞋地系统和椅子系统的相应测试状况。

鞋地或者手腕带系统的测试方法

符合性验证程序目的是为了验证鞋和手腕带系统(仅人员和鞋类)电阻在使用者规范许可的限值范围内,鞋类可能包含袜子、脚筋带和鞋套。

测试设备

☆综合测试仪

☆脚电极

☆两根测试线

测试程序——综合测试仪

- 1.按公司程序要求穿上防静电鞋和手腕带;
- 2.将一只脚踩在综合监测仪的脚电极上同时确保另一只脚不接触电极或邻近的防静电地面;
- 3.手指按住金属触点直到 PASS/FAIL 指示灯亮;
- 4.重复程序测试另一只脚。

测试程序——电阻测试仪

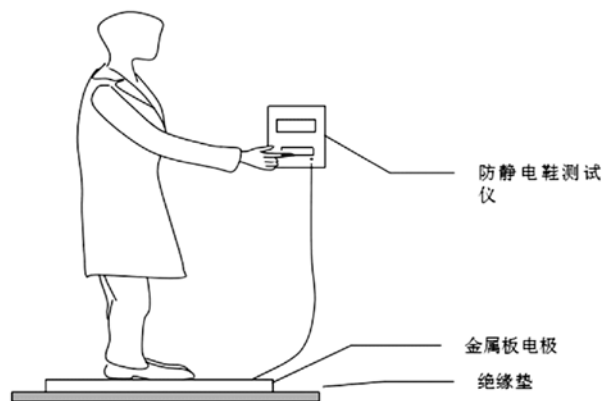
- 1.按公司程序要求穿上防静电鞋,佩戴好手腕带;
- 2.第一根测试线一端连接手持电极,另一端连接测试仪的正极(+);
- 3.第二根测试线一端连接到测试仪的公共端(-),另一端连接到脚电极;

4.测试人员的手握住手持电极;

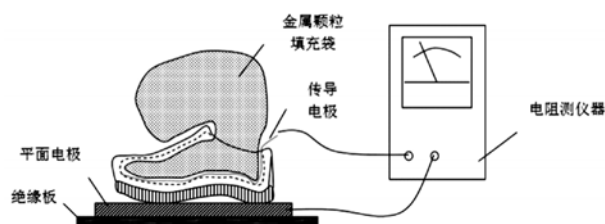
5.将一只脚踩在综合测试仪的脚电极上同时确保另一只脚不接触脚电极或邻近的防静电地面;

6.如果电阻指示小于 1.0×10^6 的 6 次方欧姆,使用 10 伏档,等候 5 秒或者待电阻计数字稳定后记录电阻值,重复测试另一只脚。如果电阻值指示大于等于 1.0×10^6 的 6 次方欧姆,切换到 100 伏档重测。待电阻计数字稳定,或者等待 15 秒后记录电阻值;

7.重复测试另一只脚。



防静电鞋和手腕带整体测试方法



防静电鞋电阻测试方法

地面测试方法

符合性验证程序目的是为了验证防静电地面电阻在使用者规范许可的限值范围内,防静电地面可能包括地基层、防静电地面层、涂料层、油漆层或地

垫。

测试设备

☆综合测试仪或电阻计

☆一个电阻测试电极

☆两根测试线

测试程序

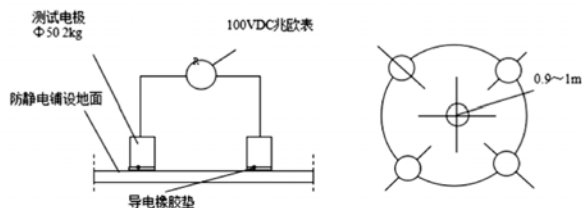
☆验证前应不要清洁防静电地面；

☆一根测试线连接到 1 个电阻测试电极和综合测试仪或电阻计；

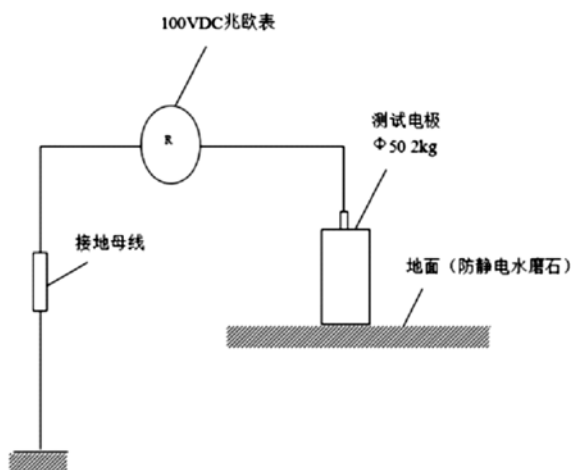
☆另一根测试线连接综合测试仪或电阻计到接地点

☆把电极放置在防静电地面上及那些磨损或脏污的区域

☆如果电阻指示小于 1.0×10^6 欧姆，使用 10 伏档，等候 5 秒或者待电阻计数字稳定后记录电阻值。如果电阻值指示大于等于 1.0×10^6 欧姆，切换到 100 伏档重测。待综合测试仪或电阻计数字稳定，或者等待 15 秒后记录电阻值。



地面表面点对点电阻的测试



地面对地板母线电阻测试

座椅测试方法

符合性验证程序目的是为了验证防静电座椅系

统(座椅通过接地的防静电地面)电阻在使用者规范许可的限值范围内。

测试设备

☆综合测试仪或电阻计

☆一个电阻测试电极

☆两根测试线

测试程序

1.将防静电座椅放置在安装好的防静电地面上，验证前不要清洁防静电地面和座椅；

2.一根测试线连接到 1 个电阻测试电极和综合测试仪或电阻计；

3.另一根测试线连接综合测试仪或电阻计到接地点；

4.放置 / 握置电极在座椅的椅面中心及有磨损区域的中心；

注：握置电极时应确保没有形成并联路径，将产生测量电阻值减少的影响。应使电极与操作者绝缘，绝缘电阻应在 100 伏时大于 1.0×10^{10} 欧姆，可以在电极上使用绝缘管套或者操作者戴绝缘手套或其他类似材料来实现。

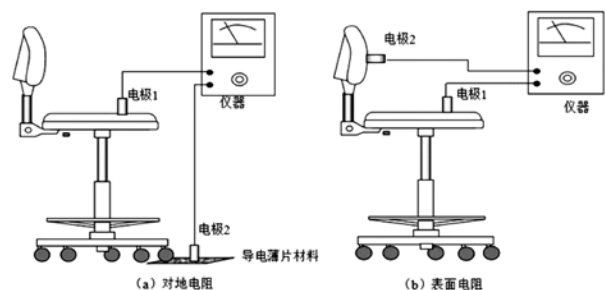
5.如果电阻指示小于 1.0×10^6 欧姆，使用 10 伏档，等候 5 秒或者待电阻计数字稳定后记录电阻值。如果电阻值指示大于等于 1.0×10^6 欧姆，切换到 100 伏档重测。待综合测试仪或电阻计数字稳定，或者等待 15 秒后记录电阻值。

可选座椅测试区域

☆座椅椅背中心

☆座椅脚环 (如果有)

☆座椅扶手 (如果有)



工作椅电阻测试图

3 洁净室内服装系统的测试评估

洁净室内服装系统的测试评估主要参照美国 IEST 标准《清洁室与其它受控环境的服装要素》I-EST-RP-CC003.3 标准。任何污染控制项目的设计阶段都应考虑到各种污染源,其中,人和人的活动是主要污染源。因此,为了保护洁净室内产品和工艺免受各种人源污染,正确规定并正确使用着装体系至关重要。人员着装是洁净室污染控制的一项重要内容。对于普通洁净室、无菌洁净室以及其他受控环境使用的服装及装束,这份标准规范给出选用、技术要求、维护、试验等方面的非强制性要求。本文着重于对于布料和成品连体服装的验证评估方法介绍,给出一些试验建议和方法,各项试验可以单独运用,但最好是互相结合使用,试验得出的结论是评估着装系统污染控制效果的工具。试验要点(但不限于此)包括:

- 解释试验所得信息和数据时不能离开试验条件;

- 试验前应制订试验协议,以确保试验数据具有代表性,可靠、可重复;

- 本章所列试验尚无标定标准;

- 试验应由受过训练的、有经验的人员进行;

- 应按标准方法确定各项试验的准确度和可重复性。

3.1 布料的过滤效率

3.1.1 颗粒物透过率试验

将布料用一个夹具夹紧,在布料两端可控压差的作用下,含尘空气穿过布料。用粒子计数器测量布料两边的空气,以确定布料对穿着者产生粒子的过滤能力。此评估测试的限制:

- 本试验仅适用于多孔布料。

- 为了不使布料产生过大拉伸或变形,试验中需限制真空度和流量。

- 真空度和流量参数应保持在试验协议确定的、代表实际使用状态的范围内。

- 测出的布料过滤效率针对的是环境空气中的粉尘浓度和粒径分布。因此,本试验测出的效率随粒

径分布而不同。

- 应通过比较某一已知值来确定本方法的准确度和可重复性。

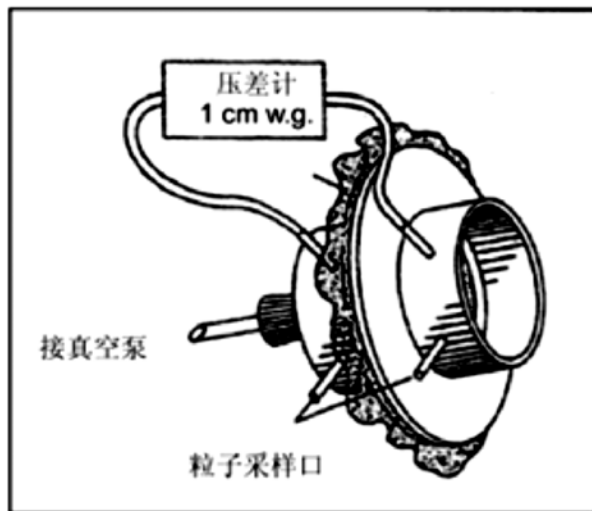


图 B1 颗粒物透过率试验器具

a) 将被试服装或布料展平放在两个密封垫中间,夹紧样品夹的法兰。布料应伸展到刚好平整,无折痕和凸起,但不能绷得太紧。

b) 抽真空使室内空气穿过布料。

c) 调整真空泵,使布料的压降保持在 1cm (0.4in.) w.g.。

d) 对于透气性差的布料,粒子计数器采样本身造成的真空度可能就高于规定的布料压降 1cm (0.4in.) w.g.。压降和流量的小幅变化对布料的过滤效果影响不大,因此可按 0.5cm (0.2in.) 整倍数提高真空度(即:1.5cm [0.6in.], 2.0cm [0.8in.], 2.5cm [1in.], 等等)。不能只靠粒子计数器的抽力来吸引气流穿过布料,因此仪器内过低的负压会将污浊的室内空气抽入仪器。

注:若布料的过滤效率很高,要注意确保布料下游无外来颗粒物。可将无尘空气输送到粒子计数器的入口,通过计数水平来查验下游密封情况。

e) 查验布料上、下游 0.5 μ m–5.0 μ m 和 > 5.0 μ m 的粒子浓度。在布料的上、下游各取 10 个样,每次采样时间 1min。计算 0.5 μ m–5.0 μ m 粒径段和 > 5.0 μ m 粒径段的平均过滤效率,计算公式如下:

$$\text{布料过滤效率, \%} = \left(1 - \frac{\text{上游采样的平均计数浓度}}{\text{下游采样的平均计数浓度}} \right) \times 100 \quad (\text{B1})$$

f) 重复本试验, 计算各粒径段的过滤效率。该效率值与前次结果的偏差不应超过 $\pm 15\%$ 。若两次试验结果足够接近, 则取两者的平均值为最终结果(0.5 μm –5.0 μm 粒径段和 $>5.0\mu\text{m}$ 粒径段); 否则继续重复试验, 直到两次试验结果的差别小于 $\pm 15\%$, 然后计算两者的平均值。

g) 记录给定试验压降 (通常是 1.5cm 【0.6in.】 w.g.) 下的布料过滤效率 (0.5 μm –5.0 μm 粒径段和 $>5.0\mu\text{m}$ 粒径段)。

3.1.2 当量孔径试验

将布料用一个夹具夹紧。然后, 用已知表面张力的适当液体浸湿布料, 并对布料施加气压。观察布料并测量克服液体表面张力所需的气压, 可以确定起泡点压力。然后, 利用这个起泡压力来确定布料的相对孔径。有关本试验的限制的讨论参见英国标准 BS 3321 和 ARP 901。有关利用微孔测试仪测定孔径的方法参见 ASTM E1294。

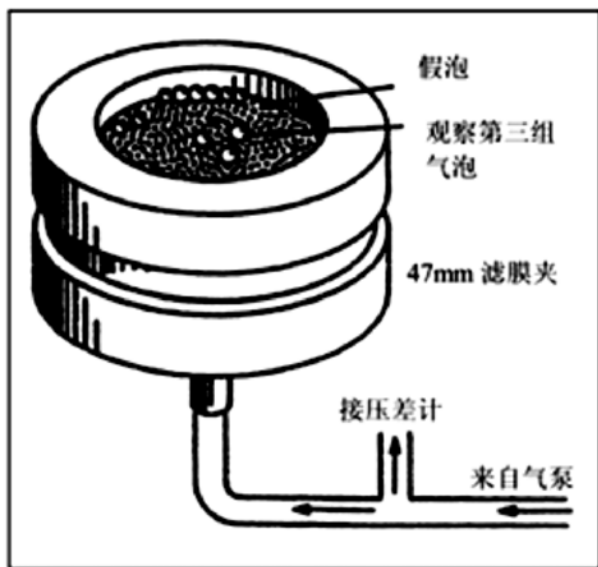


图 B2 当量孔径测量装置

采样与分析

a) 在溶剂中浸泡 5 块布料试样, 每块直径约 5cm (2in.), 浸泡 5min。

b) 用镊子夹起一片试样, 放在滤膜夹的两层密

封垫之间, 夹紧滤膜夹。

c) 开启气泵, 打开阀门, 向布料加上少许气压, 在布料上添加少许液体, 使其刚好覆盖布料表面。

d) 慢慢的提高压力, 直到布料上的某点出现一组气泡, 继续提高压力直到出现第三组气泡。

e) 用同样步骤试验其他 4 片布料, 计算起泡点压力的平均值。

f) 利用下式计算布料的当量孔径, D:

$$\text{当量孔径 } D, \mu\text{m} = \frac{4T \times 10^6}{ZPg}$$

式中: T= 试验温度下液体的表面张力, mN/m

Z= 试验温度下液体的密度, mg/mm³

g= 重力加速度, mm/s²

P= 起泡压力, mm w.g.

若取重力加速度 9810mm/s², 水的密度 1mg/mm³, 上式可简化为:

$$D, \mu\text{m} = \frac{408T}{P}$$

g) 记录计算值, 该值既是以微米为单位的当量孔径。

3.2 服装洁净度

工作服的洁净度表明它在规定条件下释放颗粒物、纤维、以及其他有害外源污染物的倾向。原材料或布料样品试验可以给出某些有用的对比数据, 但工作服的真实洁净度只有在清洗后的真实使用条件下才能确定。所有工作服试验都应由受过训练的、有经验的人员, 穿着合适的工作服, 在不低于清洗工作服场所洁净度水平的洁净室内进行。在较差环境中进行的试验不可信, 因为外界污染物可能干扰试样。对于经过清洗且包装好的工作服, 应按可靠的统计学采样方案进行试验。

3.2.1 适用于服装洁净度的试验

应按用户要求确定分析方法。在确定洁净工作服的试验要求时, 用户应考虑下列要素:

● 关键粒径或关注粒径;

注:ASTM F51 (见 B2.3) 测量的是 $\geq 5.0\mu\text{m}$ 的颗粒物和纤维,主要针对的是制药、食品、生物和汽车喷涂行业;汉姆克滚筒试验 (见 B2.5) 测量的颗粒 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 和 $0.5\mu\text{m}$,针对的是半导体、集成电路、光子学、信息存储介质等行业。

● 试验频率和采样方案;

● 验收、比较、重复性、一致性和趋势分析所需的数据类型;

● 整体质量控制要求 (技术要求);

● 试验费用。

选择试验方法时应注意前因后果,例如,某项试验也许仅对工作服的清洗过程提供有用的趋势分析数据,但可能不适用于对新产品新方法进行完整的特征描述和验收。为了避免对试验结果的曲解,应确定并记录各项试验方法的精度和准确度。影响试验准确度和精度的因素有:制造商、型号、标定、设置,以及试验条件、人员、周围空气的洁净度、温度、湿度、粒子计数、颗粒物类型,等等。推荐使用统计分析和修正评估能力分析技术来确定试验方法的重复性和再现性。然而,评估能力分析源自机械测量技术,所以必须改变某些前提,以使这种分析适应洁净度测量。

3.2.2 可脱落大颗粒物试验

将服装的一个局部放在支撑网上,然后抽真空。用滤膜过滤空气,对滤膜收集的颗粒物进行显微分析。本方法与 ASTM F51 中所列方法 (包括附录 X1:可选的工作服粒子采样方法) 的主要不同在于,后者是恒定压力的气体通过布料,而本方法用的是可控的恒定体积流量的气体通过不同渗透率的布料。此外,本方法规定的滤膜孔径比 ASTM F51 规定的孔径要小。

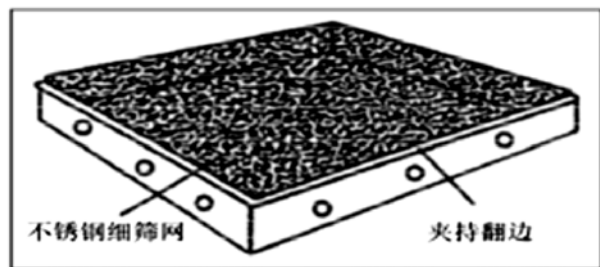


图 B3 颗粒物分析支撑网

3.2.2.1 设备准备

a) 按制造商提供的操作说明,用镜台测微计校准目镜测微计。

b) 使用制药等级的、过滤后的异丙醇与去离子水溶液 (70:30 的溶液),或其他适用溶剂,彻底清洗支撑网、滤膜夹、镊子和培养皿,确保不存在可能干扰最终试验结果的污染物。清洁时可能需要无尘抹布和吸尘器。

c) 从一批采样分析确认足够干净的滤膜产品中取出一片滤膜,将其放在一个平面上,用过滤后的异丙醇与去离子水溶液冲洗,或用去除了大于 $0.2\mu\text{m}$ 粒子的其他适用溶剂冲洗。每件包装中检查一片未用过的滤膜,以验证空白滤膜。

d) 将滤膜放入滤膜夹,用塑料管连接滤膜夹与压差计。

e) 用适当长度的塑料管连接滤膜夹和真空泵。连接流量计至真空泵或压力泵。

3.2.2.2 采样

下列操作需在洁净室内进行,试验洁净室的级别应与服装的最终使用场所相当。

a) 从包装物中取出作为试样的服装,悬空举着,不要让服装接触地面。试验时要打开试样上所有拉链或摁扣。

b) 将试样服装平放在支撑网上,尽量避开接缝。若可行,将多余布料折到格栅下面。在服装和支撑网上安装夹具,将服装试样定位。

c) 将滤膜放入滤膜夹并锁紧,将滤膜夹放在布料支撑网的底部的左边或右边角落。

d) 支撑框可以水平放在多孔工作台上,否则应垂直放置。

e) 打开流量计,调整空气流量至 20 l/min ($0.71\text{ ft}^3/\text{min}$)。

f) 用真空泵从支撑网的背面吸尘。沿布料表面 X 方向和 Y 方向慢慢移动 10 次,吸尘扫描遍及整个试样表面,总计吸尘时间为 1 分钟,灰尘被滤膜采集。吸尘口边沿应完全接触试样表面。除采样头沿样品表面移动的力量和真空对布料抽力外,不要对布

料施加其他任何作用力。关闭真空泵,从服装上取下滤膜夹。

g) 用不锈钢镊子从滤膜夹内取出滤膜,放入去离子培养皿。

h) 按要求鉴定样品。

3.2.2.3 显微镜分析

a) 确保每个所用放大倍数的目镜测微计都经过镜台测微计标定。

b) 将培养皿放在显微镜的载物台上。

注:在 $100\times$ 的放大倍数下,使用 $10\times$ 物镜对大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒物进行显微镜分析前,可能需要拿走培养皿的上盖。该放大倍数下应使用倾光照明。

c) 调整显微镜的焦距和光强,使颗粒物的清晰度达到最佳。

d) 大于 $25\mu\text{m}$ 的颗粒物采用放大倍数 $40\times$, $5\mu\text{m}$ – $25\mu\text{m}$ 的颗粒物采用放大倍数 $100\times$ 。

e) 对大于等于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒物粒子技术并列表。

纤维定义为长径比 $10:1$ 的颗粒物。

f) 沿滤膜的 X 轴(水平中心线)方向扫描 10 个完整的方格,对大于 $25\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$ – $25\mu\text{m}$ 之间的颗粒物进行计数。

g) 若估计每个方格的颗粒物计数小于 10,则需对 20 个完整的方格内 $5\mu\text{m}$ 及更大颗粒物进行计数,其中 10 个方格沿 X 轴方向,另 10 个沿 Y 轴(垂直中心线)方向。用 20 个完整的方格内的总计数乘以 5,作为 100 个方格的统计值。

h) 若沿 X 轴方向上每个方格中估计的颗粒物计数大于 10,则对 X 轴方向的 10 个方格计数,总计数乘以 10,作为 100 个方格的统计值。

i) 按这种方法试验时,服装的所有颗粒物和纤维计数应符合表 B1 中的计数规定(合同中应确定洁净度等级)。

表 B1 各洁净等级服装的可释放粒子数

等级	每 0.1m^2 布料上颗粒物和纤维计数上限
A	999 个 $>5\mu\text{m}$ 的颗粒物, 10 根纤维
B	4999 个 $>5\mu\text{m}$ 的颗粒物, 25 根纤维
C	9999 个 $>5\mu\text{m}$ 的颗粒物, 50 根纤维
D	14999 个 $>5\mu\text{m}$ 的颗粒物, 125 根纤维
E	25000 个 $>5\mu\text{m}$ 的颗粒物, 175 根纤维
注1: 工作服、抹布、帽子、头套、靴子和布料表面出现碎纤维或带绒毛的缝合线时, 应判定不合格。洁净室专用布料不应带有持久异味。注2: 修正的 ASTM F51 (见 B2.3) 试验方法与汉姆克滚筒法 (见 B2.5) 所得结果之间没有对应关系, 本推荐规范也未涉及可能的对应关系。	

3.2.3 颗粒物扩散试验(试衣仓试验)

志愿者在受控的更衣区穿上被试服装, 然后进入一间扩散试验仓(试衣间), 在里面做一些规定动作, 其间对室内空气采样, 以测定试验条件下服装释放出的一般性颗粒物试衣仓实例见图 B4。

a) 试验仓的尺寸为 $1.22\text{m} \times 1.22\text{m} \times 2.44\text{m}$ 高 ($4\text{ft} \times 4\text{ft} \times 8\text{ft}$), 用符合洁净室要求的材料建造。顶棚布满 HEPA 过滤器(或 ULPA 过滤器), 单向流, 风速可调。按下列两种方式之一排气:

1) 从抬高的地板的下面通过风道到达试验仓的一边。在长约 1.2m (4ft) 的距离, 风道的横截面从宽 1.2m (4ft) 渐缩至 30.5cm – 35.6cm (12in. – 14in.)

见方。试验仓地面为直径 2.5cm (1in.) 的不锈钢棒, 钢棒间的空隙距离 2.5cm (1in.)。地面也可选用洁净室专用通风格板;

2) 贯穿侧墙底部的孔洞。

b) 可以每秒击打一次的节拍器或其他设备。

c) 粒子计数用采样探头, 探头尺寸的大小应在选定采样点实现等动力采样。

注: 采样探头可放在排风风道的末端, 或试验仓地板上方 10cm (4in.) 处的侧墙孔。采样点位置的选择应使采样能代表试验仓内释放颗粒物的状况。

d) 经标定的粒子计数器, 采样流量 28L/min ($1\text{ft}^3/\text{min}$)。

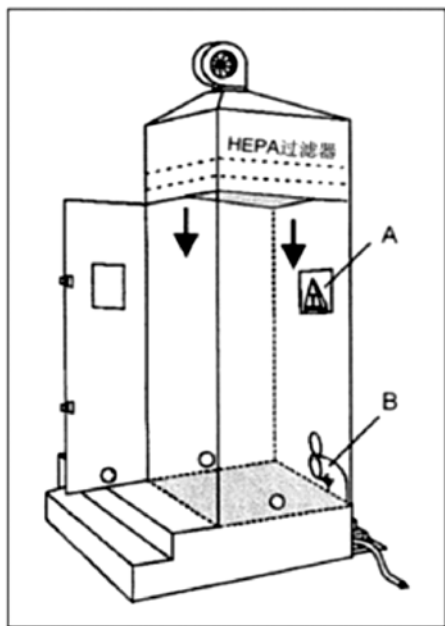


图 B4 试衣仓
A= 节拍器 B- 采样点

e) 活性细菌采样器采样流量不低于 100L/min (3.5ft³/min), 含胰蛋白大豆琼脂培养基。

注: 应购买已包装好并经灭菌处理过的琼脂培养基。

3.2.3.1 一般性颗粒物扩散的采样和分析

按一下规程进行扩散性试验的采样和数据分析:

a) 将扩散试验仓内向下的风速调整至 0.45 (± 0.1) m/s (90【± 20】ft/min)。

b) 将计数器采样探头连接到采样端口, 开启粒子计数器, 调整采样流量至 28L/min (1ft³/min)。设定计数器采样周期为 1 分钟, 两次采样的间隔为最小 (例如: 1 秒)。

c) 为了防止服装被污染, 在受控更衣区穿上被试服装。所有试验的穿衣方案应一致。服装穿戴顺序应从头到脚。穿好洁净靴后, 接触地面的唯一允许方式是站在粘尘垫上。穿好工作服的人进入试验仓并静止站立。若工作服带有接地装置, 就应接地。

d) 试验仓内大于等于 0.3μm 的粒子计数应降至接近为零。达到此状态后, 按下列方案开始进行实验:

● 在开始粒子计数的同时, 向前伸展双臂至与肩同高, 再曲臂使双手搭肩膀。随着设定为每分钟 60 拍的节拍器重复运动 5 分钟。此套动作命名为“双臂伸展”。

● 静止站立 1 分钟。

● 在开始粒子计数的同时, 原地踏步 5 分钟, 并按每分钟 60 拍的节拍, 交替将右手移到左肩, 左手移到右肩。此套动作称“步行触摸”。

● 静止站立 1 分钟。

按每五拍三次的速度进行深屈膝。

● 静止站立 1 分钟。

e) 脱下已试验过的服装, 由同一个人穿上新的服装。重复上述试验, 检测新服装的颗粒物扩散率。

f) 关闭粒子计数器, 保存粒子计数器数据。

g) 由于三套动作中的每套动作服装受力不同, 因此应对三个阶段中收集的数据分别处理。对双臂伸展 5 分钟产生的粒子计数平均, 得到该动作每分钟产生的粒子计数。以同样方式处理步行触摸的数据。深屈膝是 1 分钟之内完成的, 因此无须平均值。

h) 用公式 (B4) 计算每套被试服装的平均扩散率:

$$D_{avg} = \frac{C_{app}}{N} \times \frac{\text{试验仓体积供气量}}{\text{体积采样量}}$$

式中: D_{avg} = 平均扩散率, 粒 / min

C_{app} = 同一套服装的粒子总计数

N = 以 1min 为单位的计数测量周期, $N=11$

i) 计算两套服装扩散率的相对偏差, 以小值扩散率为基准 (分母)。

j) 报告两套被试服装的平均扩散率。

k) 报告两套服装扩散率的相对偏差, 以小值扩散率为基准。

注: 也可能需要试验其他类型的服装。试验可能有多个项目, 例如由三到五个人试穿同一服装, 然后取平均值。为了补偿粒子扩散率随时间的变化, 可以让同一穿着者按相反次序再次进行试验。

层布)



图 B5 汉姆克滚筒

率,再与表 B2 中的数值比较,确定特定类型服装的

测试需要注意以下方面:

法见 B2.3,也可以采用 ASTM F51。

的平均计数)。

表 B2 汉姆克服服装洁净度等级

注：上表所列的各类服装的粒子散发率与各自所用布料的面积成正比。编制此表时所考虑的各类服装面积如下：

注：上表所列的各类服装的粒子散发率与各自所用布料的面积成正比。编制此表时所考虑的各类服装面积如下：

• 中 52

4 总结

升有很好的借鉴意义。

涂料、油墨中的导电物质浅析

李文楷

华东理工大学华昌聚合物有限公司, 上海 200237

科学技术发展到今天,发现或是研发出的导电物质上万种,但是受加工、涂装条件等原因限制,应用在涂料和油墨领域的导电物质却并不是太多。静电防护类涂料和油墨目前最遗憾的一点就是颜色还不够丰富,特别是受限于成本和导电物质本身的缺陷,很难调配出稳定的具有色彩感染力的油墨和涂料。本文从颜色这一角度介绍了目前涂料和油墨领域常见的导电物质。由于知识水平有限,错漏之处欢迎指正。

1、黑色

(1) 炭黑

要说颜色最正的静电防护涂料和油墨就是黑色了,这里面导电物质兼颜料就是炭黑。炭黑作为目前应用最广泛的导电材料之一,由于其原生颗粒和二级结构具有多变性,所以导电性能也可以在很宽的范围内变化,目前笔者用炭黑可以做到表面电阻最低在 $10^3\Omega$ 级别,不排除还有导电性能更好的炭黑。同时炭黑的价格区间也是非常大的,每公斤从二十几元到四五百元,甚至更贵都有,综合性能价格因素选择产品很重要。炭黑都是导电的,没有例外,任何说加入炭黑不导电的涂料和油墨只是加入量不够。

(2) 石墨粉

石墨粉呈现的并不是纯正的黑色,它略微发灰,并且由于片层结构朝向不一致,导致涂料和油墨外观呈现类似浮色发花的状态,无法完全消除,限制了它的应用范围。石墨粉的导电性能也不错,表面电阻可以做到 $10^3\Omega$ 级别,不过添加量较大。石墨粉价格便宜,在外观很低甚至无要求的情况下可以使用。

(3) 碳纳米管

碳纳米管的黑色也是比较纯正的,目前已知最黑的颜料就是碳纳米管的复合物。碳纳米管的产品谱系也是很多的,导电能力可以从金属级别到半导

体级别,做成涂料和油墨的表面电阻可以达到欧姆级甚至微欧级别。碳纳米管的缺点就是价格偏高(普遍在每公斤 300 元以上),而且导电性能的越好的碳纳米管越不好分散,需要较高的调漆技术。

(4) 石墨烯

石墨烯的颜色和层数有很大关系,单层的石墨烯基本是透明的,层数越多越偏棕色,超过 10 层向黑色过渡。石墨烯的应用研究目前非常火热,但其实单纯利用其导电特性来做静电防护涂料和油墨的非常少。原因很简单,导电性能好的石墨烯非常贵。石墨烯不同制备方法制出的产品性能差别非常大,最便宜的制备法氧化还原法制出的产品导电性能较差,极端情况下甚至是绝缘体,而即使氧化还原法的石墨烯价格也超过了每公斤 500 元。未来若是技术突破,使得石墨烯价格大幅度下降,石墨烯静电防护涂料和油墨应用的领域应该是很广泛的。

(5) 聚吡咯

聚吡咯通常是无定型黑色固体,但是遮盖力着色力较差。聚吡咯是一种高分子导电材料,导电性能和聚合度有一定关系,一般来说聚合度越高导电性越好;和掺杂物关系很大,有些掺杂物可使材料达到金属级。聚吡咯在导电涂料和油墨中应用有一定困难,比如聚吡咯可在电极上直接成膜,但是多数应用场合并不具备通电条件;聚吡咯溶解性低,可加工性很差,在树脂分散性稳定性差,造成涂膜中浓度很低,实际做出的涂料和油墨机械性能和导电性能并不令人满意,应用不多。但是最近有很多文章专利提到了对聚吡咯的改性及应用,相信不久就会有大量应用案例出现。

2、白色

(1) 导电钛白粉

严格意义上导电钛白粉不是纯白色,而是略微

发灰。它是以钛白粉为基质,通过表面处理、半导体掺杂处理(掺杂锡、锑及其氧化物),得到的产物,白度比普通钛白粉要差一些,遮盖力也略差一些。在通常情况下,当导电钛白粉添加量为 12~15%(重量百分比)时,表面电阻可达到 $10^6 \sim 10^8 \Omega$,继续添加可达到 $10^4 \sim 10^5 \Omega$ 。导电钛白粉价格很高,进口价格在每公斤 500~800 元左右,国产的也在每公斤 300 元左右,过高的价格限制了它的应用。

(2) 氧化锌

氧化锌是一种著名的白色颜料,俗名叫锌白,但是这种氧化锌是 N 型半导体,导电性能非常差,一般不做导电材料来用。市面上的导电氧化锌也是普通氧化锌通过掺杂处理后才作为导电材料使用的,但是处理后的氧化锌也呈现灰色,白度比较差。添加量为 15~20%(重量百分比)时,表面电阻可达到 $10^5 \sim 10^6 \Omega$ 。导电氧化锌的价格比导电钛白粉略低,在 150~280 元每公斤范围内。

3、绿色

(1) 导电聚苯胺

导电聚苯胺是墨绿色固体,属于高分子导电物质。可以单独成膜也可以用溶剂溶解后融入其他树脂中,甚至可以通过接枝磺酸基团用于水性体系中。导电聚苯胺的导电率不是特别高,添加量为 10~15%(重量百分比)时,表面电阻到 $10^8 \sim 10^9 \Omega$ 时,继续增加也可以略微提高,但是由于其价格较高(150~300 元每公斤),并不经济。

(2) 导电云母粉

导电云母粉是浅灰绿色粉末,绿色很淡,一般是通过在云母粉表面包覆导电氧化物来实现导电。导电云母粉价格便宜,一般在 60~140 元每公斤,添加量为 15~20%(重量百分比 PWC) 时表面电阻可以达到在到 $10^5 \sim 10^6 \Omega$,所以最近用量很大。不过它在调漆时惧怕较强的剪切力,会破坏其结构,造成导电性能下降甚至消失。

4、蓝色

蓝色的导电物质很少见,聚噻吩其实也仅仅只是略微发蓝,它的透明度是很高的。聚噻吩目前很少以固体粉末形式应用,主要是以单体(或改性单体)

和其他反应物以溶液存在,需要应用时现场聚合。聚噻吩的表面电阻可以做到很低,可以达到几十欧姆左右,但是其价格不便宜(固含量不到 10%的溶液就要几十元甚至几百元),同时固化需要加热一段时间,应用范围较窄。

5、无色透明

(1) 抗静电剂

抗静电剂是很大一类物质,有类似于表面活性剂的结构,有内加型和外涂型两大类,涂料和油墨主要应用内加型。抗静电剂有液态也有固态,有很多种类是无色透明的,有些有淡淡颜色,但都非常浅。抗静电剂的添加量不能太大,否则会影响涂膜性能,这就造成了以其作为导电物质的涂料和油墨的导电性不是特别好,表面电阻最高只能达到 $10^7 \Omega$ 级别,一般都在 $10^9 \Omega$ 左右。抗静电剂的价格变化幅度也很大,最便宜的只有几十元甚至十几元每公斤,贵的有 300 到 500 元每公斤,但是抗静电剂或多或少都会有吸潮表面发雾的现象,一般来说价格越便宜越严重。

(2) 导电氧化锡

导电氧化锡是第一个投入商用的透明导电材料,但是纯的氧化锡导电性并不算太好,一般都掺杂其他物质(铟、锑最常见)来提高导电性,掺杂后的氧化锡会略微带一些其他颜色。掺杂后的导电氧化锡导电性很好,可以达到欧姆级。氧化锡对空气和热都很稳定,不溶于水,也难溶于酸或碱溶液,它的缺点还是价格高,一般每公斤都在 200 元以上,纳米级的每公斤都在 500 元以上。

6、其他

(1) 金属色

金属色导电物质其实就是金属粉末了。导电最好的是银的粉末,其次是铜粉和镍粉。最好的银纳米线做的涂层表面电阻可以到 $10^{-6} \Omega$ (微欧)级别,镍粉做的可以达到 10^{-3} 欧姆(毫欧)级别。但是金属粉添加量大,易沉降,价格贵(镍粉每公斤 500 元,银粉上千元),而且易氧化导致电阻增大(虽然最近改进很大,但是对比其他导电材料问题依然存在),目前应用最多的就是电子行业,其他行业的应用很有限。

(下转第 43 页)

高功率固体激光超洁净制造技术研究进展

袁晓东、苗心向、吕海兵等

中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900

张飞虎、白清顺、陈家轩等

哈尔滨工业大学哈尔滨, 哈尔滨

【摘要】对高功率激光系统而言, 洁净控制十分重要。为了满足高洁净控制的要求, 我们首次提出了“超洁净制造”的概念。本文描述了我们在高功率激光装置上超洁净制造的进展。首先研究了不同污染物对不同光学元件的损伤规律, 给出了高功率固体激光装置稳定运行的洁净控制上限和下限(红线和绿线)。其次, 针对不同的光学元件发展了不同的清洗技术, 清洗后的表面洁净度达到 ISO SCP 4 级。接着分别针对元件表面颗粒污染和有机污染发展了检测与监测技术。发展了可在线清洗元件的洁净保持技术。采用“风刀技术”和“激光清洗技术”实现了元件表面在线洁净处理。为了更好研究表面污染控制技术, 建立了 ISO 1 级的洁净环境, 为洁净处理工艺研究提供保障。

1. 引言

高能、高功率固体激光在科学研究、军事领域和工业领域都有着广泛的应用。以激光驱动的惯性约束聚变研究为例, 为了在表面获得足够高的温度和密度, 通常需要输出数百万焦耳的激光能量。这就使得这类激光装置规模宏大, 单束激光输出能量极高, 对光学元件表面洁净提出了很高的要求。以

2009 年建成的美国国家点火设施(简称 NIF)为例^[1], 它包含 192 束激光, 单束基频激光输出能量大于 15kJ, 三倍频激光输出能量大于 10kJ, 总体最高输出能量达到 2.03MJ, 如图 1 所示。对于末级的终端光学元件而言, 需要承受大于 $8\text{J}/\text{cm}^2$ 的三倍频紫外激光通量。这种通量下, 任何污染都可能导致元件损伤。

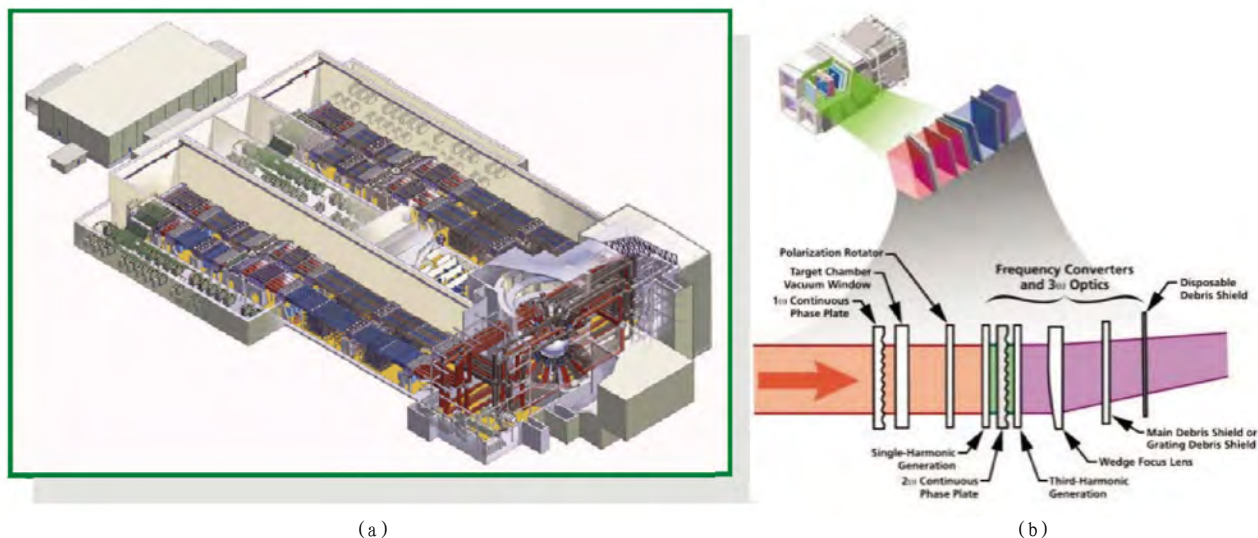


图 1 美国国家点火设施示意图

(a) NIF 设计效果图 (b) 终端光学组件示意图

在神光-III激光装置运行过程中,我们也发现了非常严重的污染诱导损伤问题^[2]。典型的污染物可分为三类,如图2所示。一是有机分子态污染,主要来源是润滑脂、电机和真空系统。二是无机颗粒污染,主要来源于清洗残留,安装、调试、维护过程中引入的污染和元件损伤点喷溅导致的污染。三是金属颗粒状污染,主要源于安装

过程中的摩擦和反激光作用于金属框架产生的喷溅。这些污染物对元件损伤阈值的影响与污染物的浓度、尺寸和材料性质关系密切,我们针对装置中发现的典型污染物开展了污染物诱导损伤机理与规律研究,表面污染物去除与检测技术研究,表面洁净控制技术研究等,通过这些研究,确保了装置高通量稳定运行。

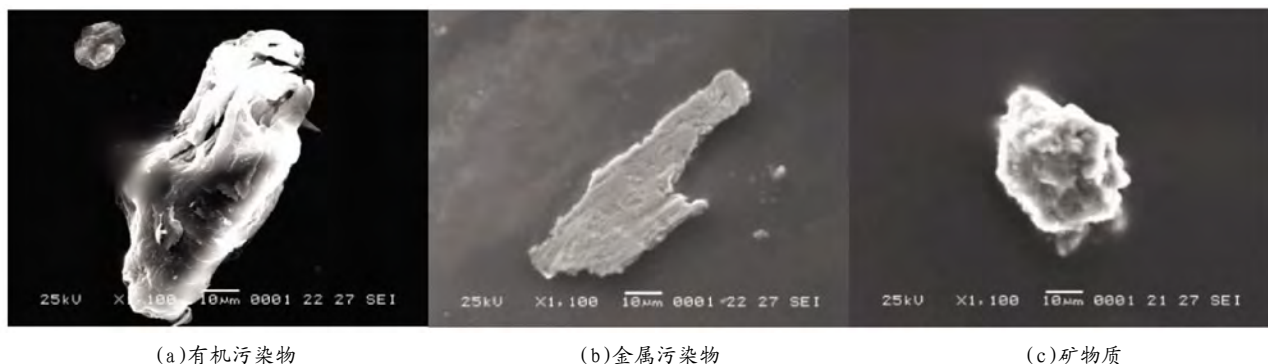


图2 神光-III激光装置上典型的污染物

2. 表面污染诱导光学元件损伤研究

为了弄清楚表面污染与损伤的关系,我们建立了污染诱导损伤测试平台,如图3所示。针对几种典

型的污染源,开展了污染诱导光学元件损伤规律研究,主要研究结果如下:

为了使损伤阈值的测试更准确,采用固定激光

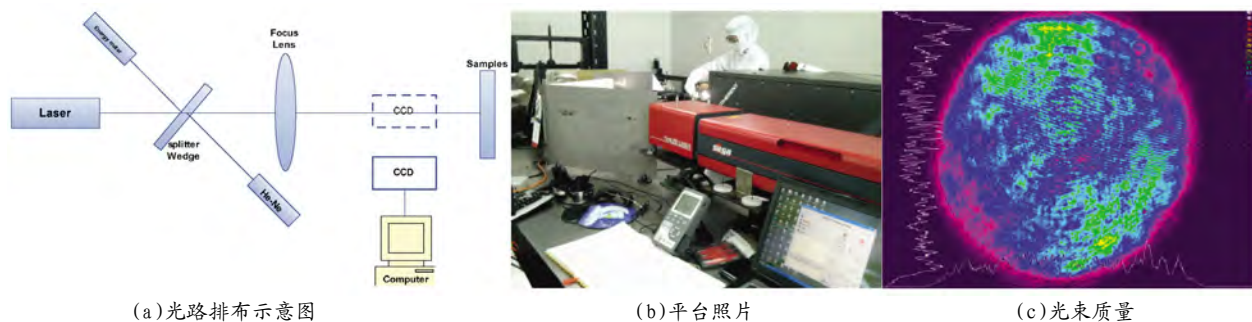


图3 污染物诱导损伤规律研究平台

光斑,衰减激光能量的方法改变入射激光通量。同时采用劈板分光实时监测激光器输出能量。待测元件放置于可精密程控、分辨率为 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的二维移动平移台上,采用科学级在线CCD相机测量并记录激光在样片表面处光束的空间分布、测量激光光斑的有效面积、观测样片表面损伤状况。

实验采用1-on-1的方法测试损伤阈值。首先测出被测元件的本征损伤阈值,再在元件的前、后表面分别制备不同的污染物。研究颗粒物尺寸、有

机污染物浓度等对元件损伤阈值的影响,获得不同污染物诱导研究损伤的规律,为装置洁净控制提供

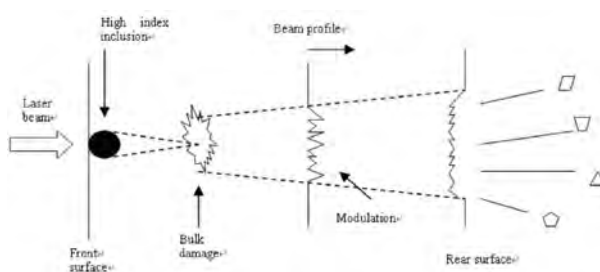


图4 前表面颗粒污染物诱导损伤机理示意图

依据。

2.1 污染物诱导损伤机理

根据污染物类型和位置不同,损伤机理也有所不同。当颗粒污染物位于光学元件前表面时,可诱导两种损伤。一是污染物吸收激光能量,生成高温等离子体,烧蚀光学元件的前表面,或者产生激光冲击波,造成前表面的损伤。同时它还会产生光场调制,

引起元件体损伤和后表面的损伤,如图4,图5所示。当颗粒物位于元件后表面时,只存在第一种效应引起的损伤。

当污染物为有机分子态污染时,其主要机理是污染物吸收激光能量,生成高温等离子体,烧蚀光学元件的表面产生损伤,形成熔融性损伤,麻点型损伤和坑状损伤等,如图6所示。

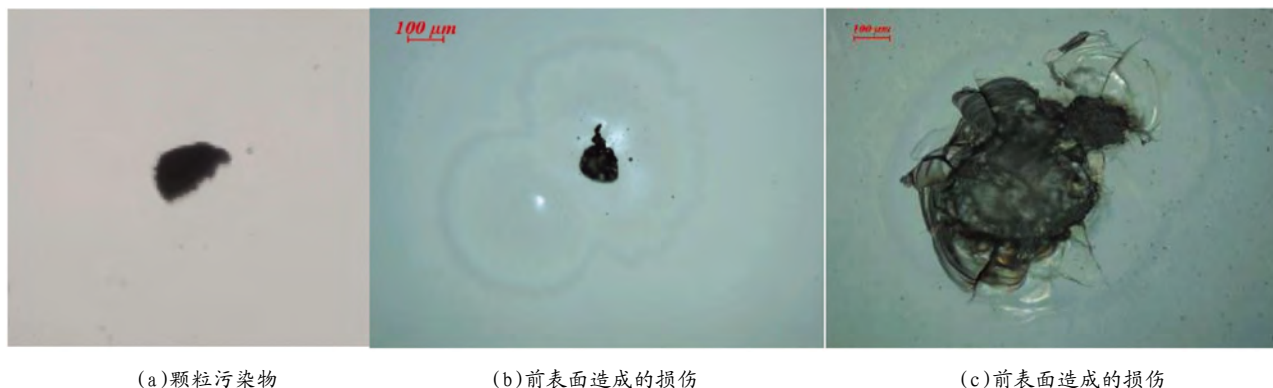


图5 元件前表面颗粒污染物诱导的损伤

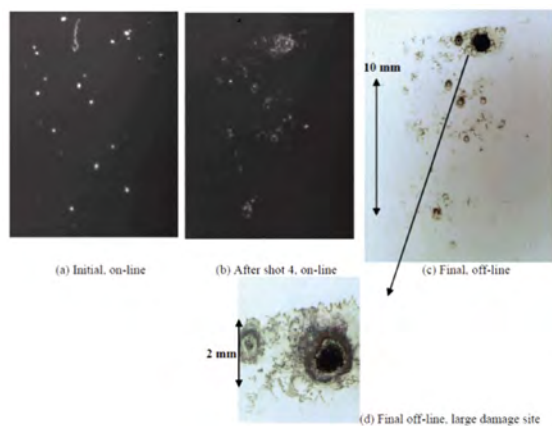


图6 有机污染物造成的元件损伤

2.2 无机颗粒污染物诱导元件损伤规律

根据对污染物成分分析的结果,无机颗粒污染物基本上是元件损伤后的喷溅物。因此制备直径在 $20\mu\text{m}$ 至 $500\mu\text{m}$ 之间的玻璃粉末,再涂覆到待测样品上。样品制备流程与方法如图7所示。

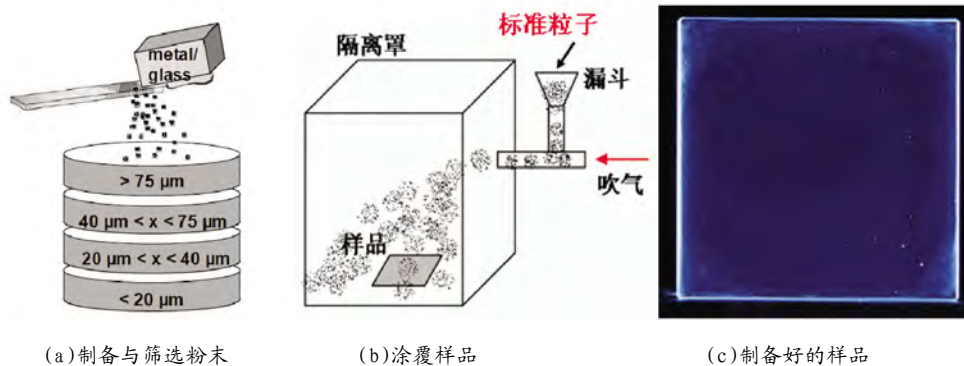


图7 制备颗粒污染的样品

通过在元件表面涂覆不同粒径的颗粒,按上述损伤测试方法测试不同颗粒污染物对损伤阈值的影响,获得了无机颗粒污染物对高反膜层,减反膜层和玻璃本体的影响规律,分别如图8,图9和图10所示。

从图中的规律曲线可以看出, $20\mu\text{m}$ 以上的颗粒可以明显降低元件的损伤阈值, $150\mu\text{m}$ 以上的颗粒可使损伤阈值降低一倍以上。

2.3 有机分子态污染物诱导元件损伤规律

有机污染物同样会吸收激光能量,产生热冲击破坏。当有机物是以微小的油滴状存在时,还可能形成透镜效应,导致体内和表面损伤。典型的有机污染

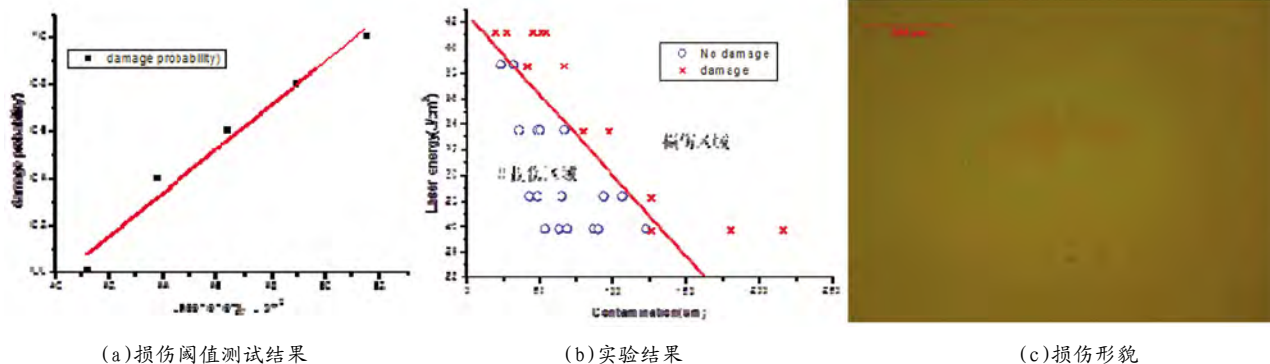


图8 高反膜层表面颗粒污染诱导损伤规律

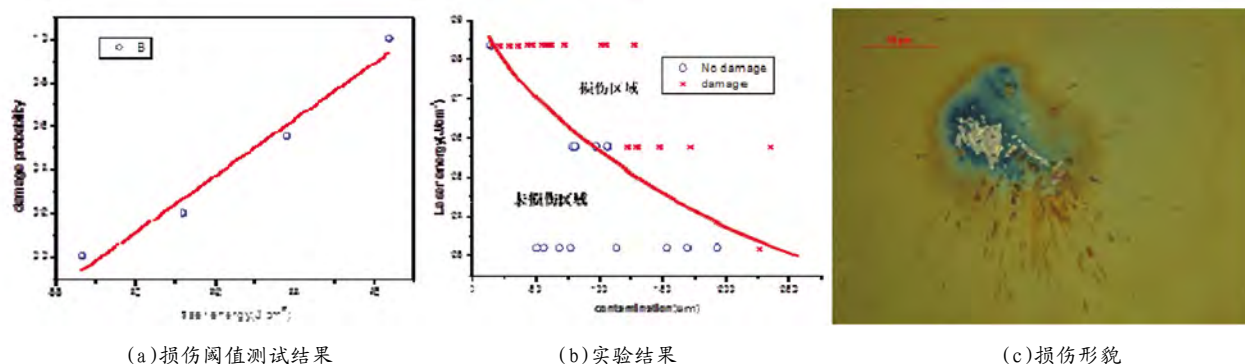


图9 减反膜层表面颗粒污染诱导损伤规律

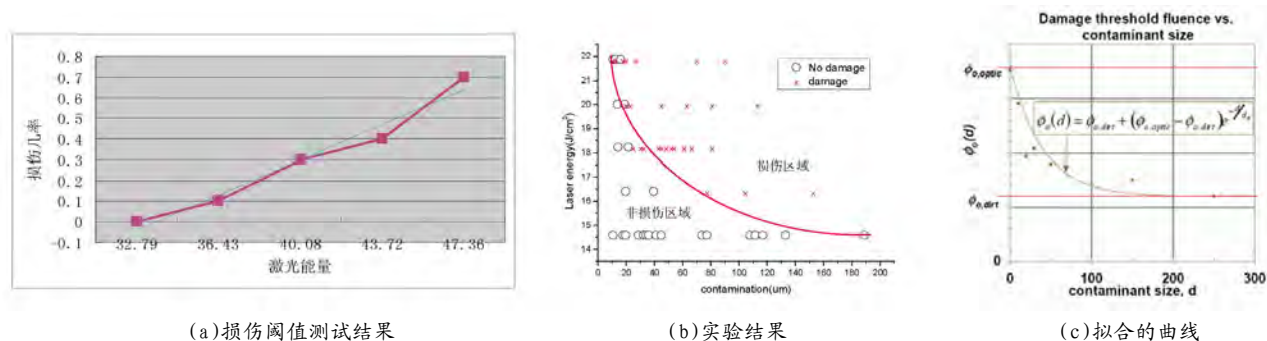


图10 玻璃表面颗粒污染诱导损伤规律

物如图 11 (a,b) 所示,有机污染物诱导熔石英玻璃和化学膜的损伤规律如图 11 (c,d) 所示。

由于熔石英表面疏油,表面的有机污染物多呈油滴状分布,在化学膜表面基本上是均布。当有机物

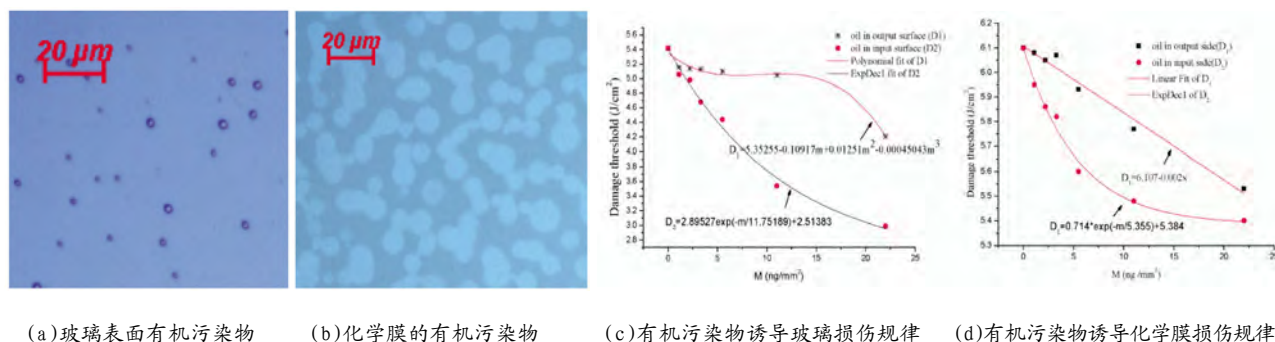


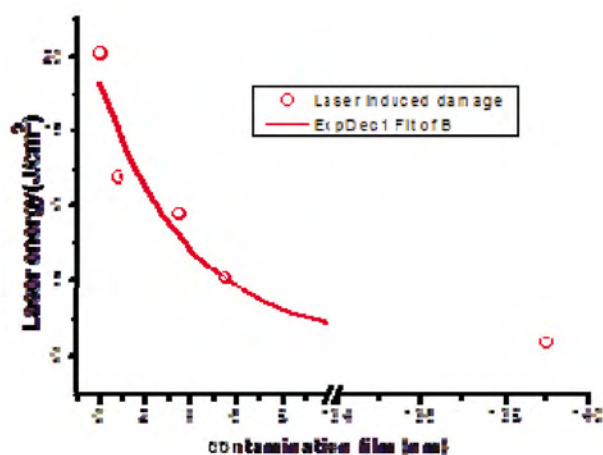
图11 典型的有机污染物及其对元件和膜层的损伤影响规律

在前表面时,影响与颗粒物相似。有机污染物对化学膜的影响主要是改变膜的折射率,影响透射性能,而对熔石英元件损伤的影响大得多,主要是透镜效应在起作用。

2.4 金属污染物诱导元件损伤规律

金属的激光损伤阈值通常在数百毫焦每平方厘米,因此金属污染物对元件损伤阈值的影响特

别大,我们采用激光溅射的方法在元件表面制备金属污染物,通过监测元件透过率变化来控制金属污染物的厚度。损伤阈值测试结果如图 12 所示,结果表明,当金属污染物厚度约 1nm 时,激光损伤阈值就会下降 50%。因此,装置在建设、运行和维护过程中应严格避免金属污染(包括金属原子沉积和颗粒沉积)。



(a) 损伤阈值测试结果



(b) 损伤形貌

图 12 金属污染诱导损伤规律

2.5 光学元件表面洁净控制要求

根据上述损伤规律研究结果,我们给出了颗粒污染物诱导诱导光学元件损伤的上限(红线)和元件安全运行的条件(绿线),如图 13 所示。

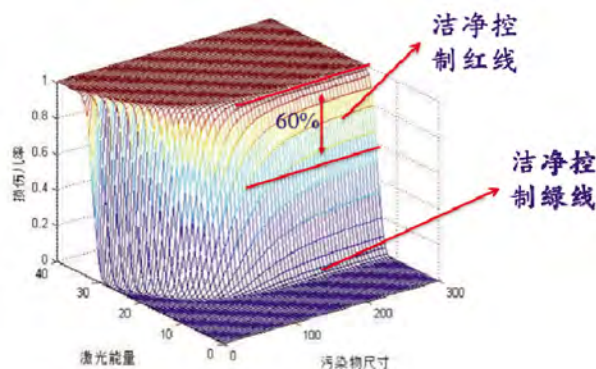


图 13 光学元件表面颗粒污染、激光能量与损伤几率的关系

从图 13 可知,要使装置稳定运行,表面不允许存在大于 20 μm 的颗粒污染物。

3. 超洁净制造简述

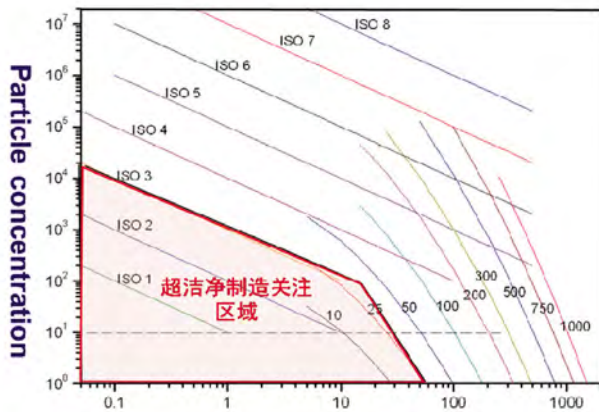
为了满足高功率固体激光装置高通量稳定运行的要求,我们首次提出了超洁净制造的概念,并将超洁净制造技术定义为:“创造和维持超洁净表面的所有科学与技术的总称”。超洁净表面则定义为同时满足 ISO14644-9 中 ISO SCP4 和 IEST-STD-1246C 中 25 级的表面,如图 14(a) 所示。超洁净制造在制造领域与其它技术的关系如图 14(b) 所示。

我们定义的超洁净制造,是一个全流程、全方位洁净闭环控制的概念。需要从洁净设计、洁净制造、洁净清洗、洁净检测、洁净维持与洁净恢复等方面进行研究。目前在高功率固体装置上采用的洁净闭环控制技术,就是超洁净制造技术的一种。

4. 表面洁净技术研究进展

4.1 光学元件表面洁净技术

(1) 熔石英元件兆声、超声联合清洗技术



(a)超洁净表面的定义



(b)超洁净制造与其它技术的关系

图 14 超洁净制造技术的内涵

熔石英元件主要用于三倍频的终端光学系统，是装置上损伤风险最高的光学元件。为了获得近乎完美的表面，设计了一套兆声波辅助助蚀

刻加多频超声波清洗系统，用于去除熔石英元件表面和亚表面缺陷。兆声、超声联合清洗机如图 15 所示。



图 15 兆声、超声联合清洗机及其清洗原理示意图

首先采用浓度为 5%~10% 的 HF 去除亚表面缺陷。为了去除刻蚀过程中的残留物，采用 1.3MHz 的高频兆声波降低边界层厚度，同时将反应残留物带走。酸洗后的熔石英元件首先采用高压喷淋漂洗，再经过 40kHz、80kHz、120kHz、170kHz、210kHz、240kHz 和 270kHz 的七频复频超声波清洗，去除元件表面大于 0.5 微米的颗粒。最后为慢拉脱水。整个清洗机采用自动上下料，工作环境优于 ISO 5 级。

采用暗场成像技术检测了熔石英元件清洗前后的表面洁净度，如图 16 所示。通过这些技术的组合应用，实现了大口径熔石英玻璃的精密清洗，清洗后玻璃表面洁净度达到 ISO SCP 4 级以上。

(2) 介质膜元件精密清洗技术

介质膜元件通常不适合水基清洗，传统的清洗方式主要依靠酒精加异丙醇等有机溶剂擦拭，很难满足高洁净度要求。针对介质膜的特点，我们开发了相应的激光清洗工艺，获得了很高的表面洁净度。

实验结果表明，激光清洗适合于较小的颗粒污染物。对尺寸过大的污染物，在清洗过程中有可能造成膜层损伤。应用精密擦拭和激光清洗相结合的手段，可去除介质膜元件的表面污染。采用组合式清洗工艺，可有效去除大于 1 μm 的颗粒污染物，清洗后的元件表面洁净度达到 ISO SCP 5 级以上。介质膜元件清洗前后的图片如图 17 所示。

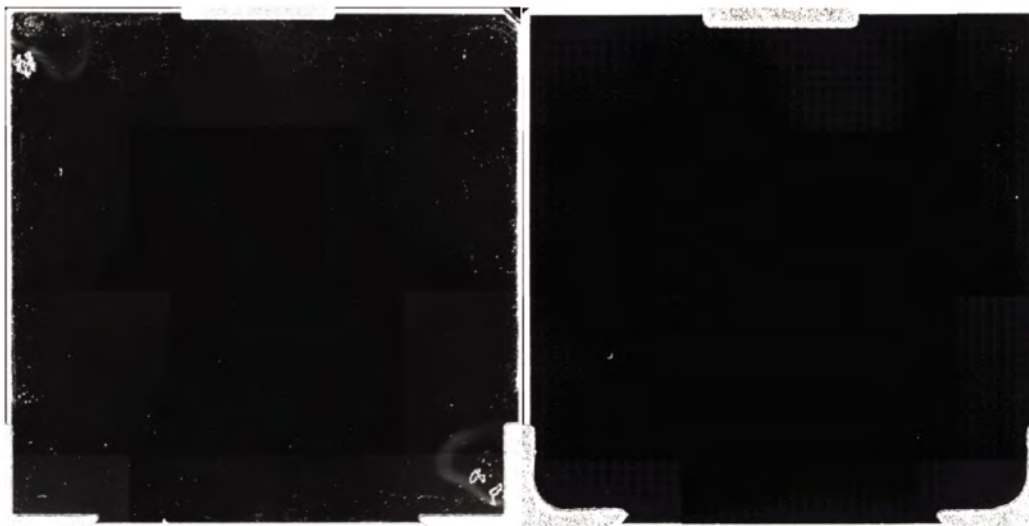


图 16 熔石英元件清洗前后效果对比

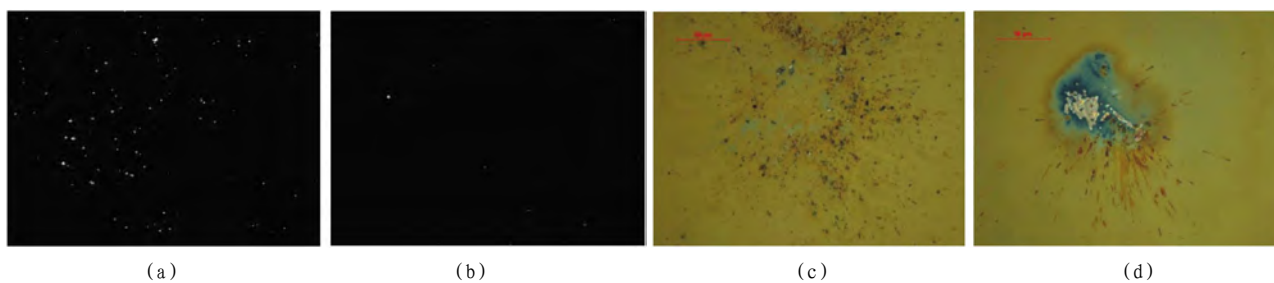


图 17 介质膜元件激光清洗与损伤情况, (a)清洗前的暗场照片, (b)清洗后的暗场照片, (c)清洗中,大尺寸颗粒被激光打成小颗粒,引起损伤, (d)清洗中大颗粒直接造成损伤

4.2 钹玻璃元件精密清洗技术

钹玻璃是激光装置中提供能量的增益介质,与熔石英玻璃和介质膜元件相比,它表面软,易风化、易潮解、易划伤。传统的钹玻璃元件清洗只能采用无水溶剂擦拭的方法,费时费力,表面洁净度也不高。

我们利用钹玻璃容易潮解的特点,采用高纯水漂洗,有效地去除钹玻璃表面残留的污渍,达到非常好的清洗效果,如图 18 所示。同时采用无水溶剂快速脱水,保证了玻璃表面不潮解。清洗后玻璃表面洁净度达到 ISO SCP 4 级以上。



图 18 传统的钹玻璃清洗工艺与超声波清洗工艺

(未完待续)

电子工业用防静电装备(用品)与防静电工程(续)

孙延林

中国电子仪器行业协会防静电装备分会, 北京 100040

1.2.6 防静电橡胶板、橡塑板

防静电橡胶板是一种应用范围非常广泛的产品,主要用于做桌垫(货架台垫)、地垫、传输带和火工生产车间的不发火防静电地坪。它是在硫化橡胶加入导电炭黑、金属氧化物和防静电剂制备而成。目前使用最多的有两种:一种是复合型防静电橡胶板(见图 1-18(a)),即表层为绿色或浅蓝色(通常加入抗静电剂制备),下层为黑色(通常加入乙炔导电炭黑)。这种类型防静电橡胶板用量最多。另一种是加入导电炭黑的黑色硫化橡胶板(见图 1-19(b))。这

种多用于火工生产场所的地坪。还有一种是在帆布材料中掺入了橡胶材料制备成传输带,用于生产线转运产品。防静电复合型橡胶板多用于桌垫、货架垫、运转车垫。具有铺设方便、使用简单、柔软度高等特点。缺点是易老化、表层防静电性能不稳定、耐高温性能较差。黑色底面易逸出导电炭黑,污染工作场所,不适用洁净度要求非常高的场所中。黑色橡胶板防静电性能较稳定,柔软度高,但耐污、耐温性较差。防静电橡胶板技术指标见表 1-24。



图 1-18(a) 防静电复合橡胶板



图 1-19(b) 防静电黑色橡胶板

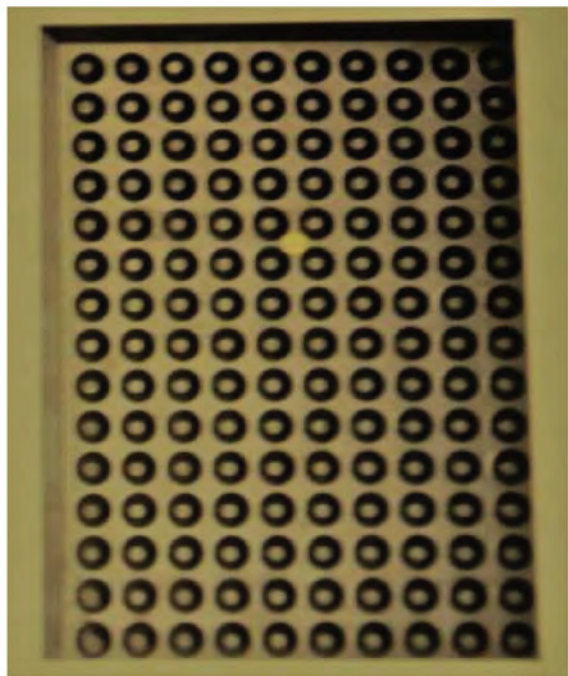


图 1-18(c) 防静电聚氨酯防滑地垫

防静电传输带所用橡胶板技术指标除拉伸强度

大于 40MPa;扯断伸长率大于 110%外,其一般是在帆布涂覆防静电橡胶制备,其它和普通防静电橡胶板基本一样。

防静电橡塑板有多种,像聚氨酯合成板(见图 1-18(c))、氯丁合成橡胶、丙烯丁合成橡胶、聚乙烯合成塑胶板等等,这类胶板国外用的较多,颜色有多种,防静电性能也比较稳定。物理化学性能、环保性等优于国内同类产品,但价格较高。

防静电橡胶板有长效型和短效型。一般用抗静电剂的橡胶板防静电性能维持时间较短,而用无机氧化物或乙炔炭黑的,则防静电性能维持较长。对于判定防静电橡胶版长效与短效型可参考 1.2.2.1.(2).4)规定的方法判定。

1.2.7 防静电包装、箱、盒等有关产品

SSD 产品包装、存储、运输必须使用防静电包装。防静电包装种类繁多,主要有柔性包装袋、周转箱、元件盒、吸塑盒、发泡垫、中空箱等等见图 1-20。

表 1-24 防静电橡胶板技术指标

项目	体积、表面电阻 (Ω)	硬度 $^{\circ}\text{C}$ (邵氏 A)	拉伸强度 (MPa)	扯断伸长率 (%)	阻燃 (GB/T 2408)	有害物质限量	使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)	表面光泽性
技术指标	1X104---1X109	50-70	>10	>300	FV-1	符合 GB/T 22374	0---45	无明显差异

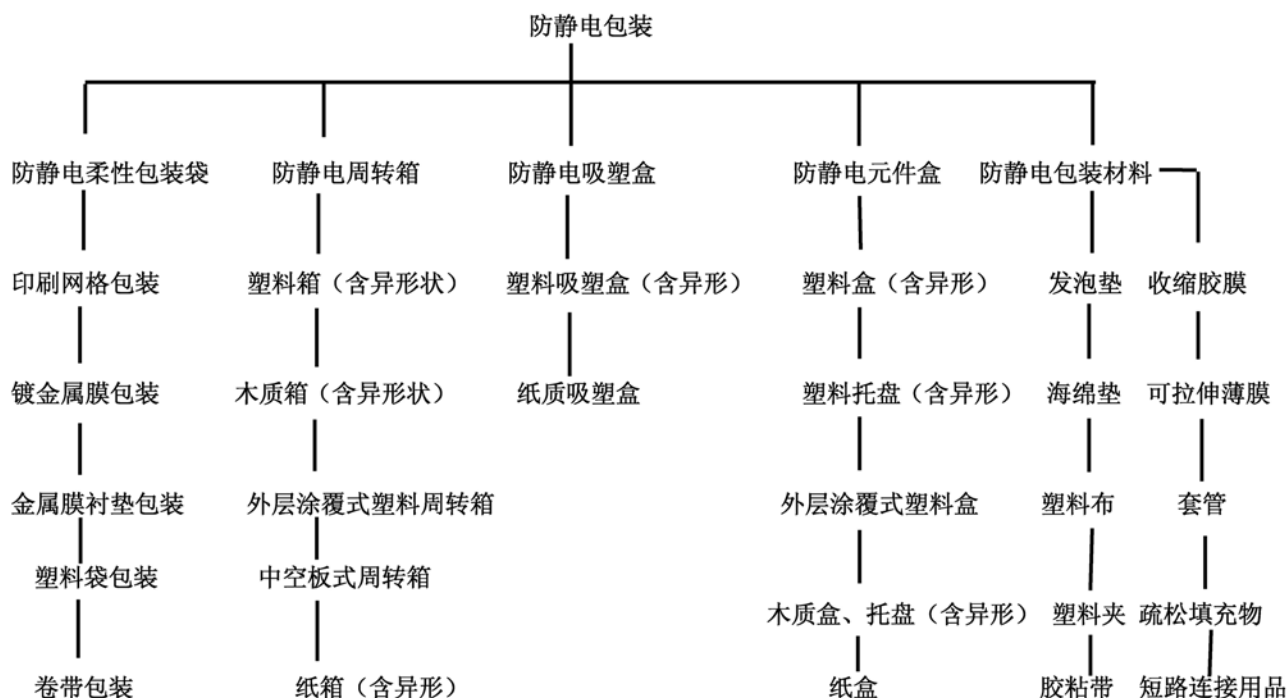


图 1-20 防静电包装种类

防静电包装、吸塑盒、箱、衬材、发泡等有用抗静电剂处理的防静电短效型和用乙炔导电炭黑或其它金属氧化物等导电材料处理的防静电长效型两种。也有在硬质塑料箱、盒表面涂覆防静电树脂或漆的表面涂覆型包装。除此之外在环境湿度较高地区,还有使用木质、纸质的防静电容器(相对湿度高于 55%RH)。通常短时效防静电包装的防静电性能一年(有的几个月)之内几乎丧失,而长效型包装只要不破损,通常防静电性能可长期保持至包装使用损坏。

1.2.7.1 包装的防静电性能

防静电包装、箱(元件盒)、吸塑盒、发泡、衬材等的防静电性能分四类:导静电;静电耗散;静电放电屏蔽;低起电型(见表 1-25)。其结构见图 1-21。

1.2.7.2 包装物理性能

防静电包装在使用中有些基本性能应当满足,否则在实际使用当中会出现一些问题,如机械摩擦、潮气等影响,使包装内 SSD 产品受到损害。防静电柔性包装袋的物理性能见表 1-26。

硬质包装盒或箱的物理性能见表 1-27。

表 1-25 防静电包装防静电性能分类

防静电性能分类	导静电包装	静电耗散包装	静电放电屏蔽包装	低起电包装
内、外表面或体积电阻 (Ω)	$<1\text{X}10^4$	$1\text{X}10^4\sim 1\text{X}10^{11}$	屏蔽层 $<1\text{X}10^3$ 内、外表面 $1\text{X}10^4\sim 1\text{X}10^{11}$	
静电放电耦合能量 (nJ)			$<50\text{nJ}$	
静电放电耦合电压 (V)			$<30\text{V}$	
包装内、外表面接触摩擦分离起电电量				$<0.1\mu\text{C}/\text{m}^2$

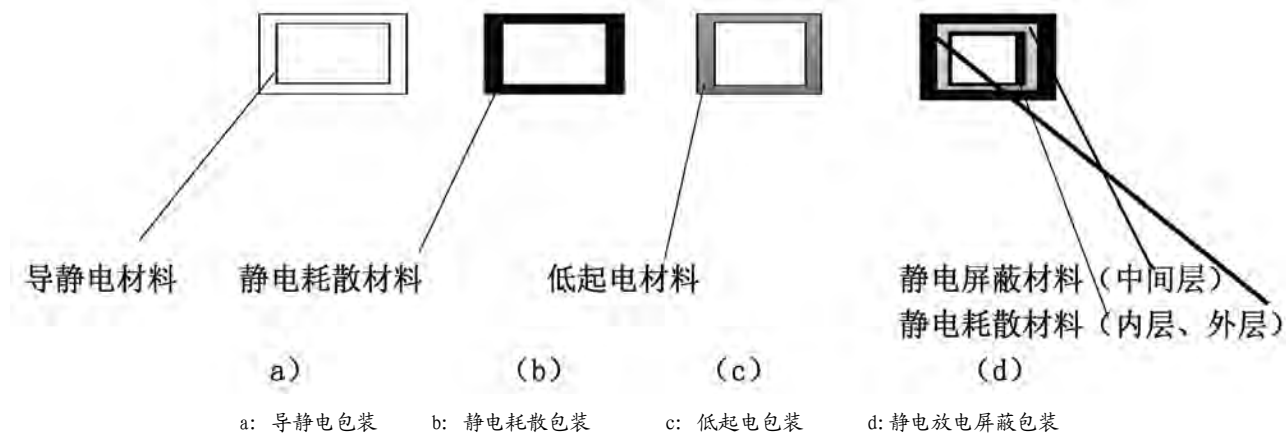


图 1-21 包装防静电结构示意图

表 1-26 防静电柔性包装的物理性能(SJ/T11578)

检验项目	一级	二级	三级	四级	五级	单位
	防潮袋	防潮袋	屏蔽袋	导静电袋	静电耗散袋	
水蒸气渗透率(MVTR)	≤ 0.002	≤ 0.02	N/A	N/A	N/A	g/100 英寸 ² /天
抗穿刺性	> 15	> 15	> 8	> 5	> 5	英磅
密封强度	> 12	> 12	> 8	> 5	> 5	英磅/英寸
厚度	≥ 0.004	≥ 0.003	≥ 0.002	≥ 0.002	≥ 0.002	英寸
透明度	N/A	N/A	30-50	N/A	70-100	%

注:N/A 表示不适用

表 1-27 硬质周转箱、盒的物理性能

检验项目	要求	检验项目	要求
冲击强度(缺口冲击试验)	$\geq 5\text{KJ/m}^2$	维卡软化温度	普通系列 $\geq 80^\circ\text{C}$; 高温系列 $\geq 120^\circ\text{C}$
加热尺寸变化率(纵向、横向)	$\pm 3\%$	耐老化性能	外观不出现裂纹或变形, 表面无析出物。

1.2.7.3 防静电包装环保、洁净要求

防静电包装在洁净度要求较高的环境中(GB50073 中 1 级—4 级)使用或包装一些精密、微小的 SSD 产品,像磁头、磁带、光学器件、CCD、液晶显示器件等等,对包装的环保、洁净要求很高,如果满足不了要求,会直接导致不良品出现并污染 SSD 产品与环境。

(1) 环保要求

防静电包装材料中,有害物质不能超过:铅(Pb),汞(Hg),六价铬(Cr6+),多溴联苯(PBB)和多溴二苯醚(PBDE)的含量不得超过 0.1%(质量分数),镉(Cd)的含量不得超过 0.01%(质量分数)或 SJ/T11363 规定的限量以内。

对于有洁净性能要求的防静电包装制成品或材料,需要考虑下列指标限量:LPC(表面微颗粒物)、IC(表面阴离子)、NVR(非挥发性残留物)、FTIR(硅油)、Outgassing(挥发性残留物)。

(2) 指标限量要求

防静电包装材料表面洁净度限量如下所述。见表 1-28。

- 1) LPC: 直径 ≥ 0.5 的粒子数量不得大于 1200 个/平方厘米。
- 2) IC: $\leq 0.01 \text{ ug/cm}^2$ 。
- 3) NVR: $\leq 4.5 \text{ ug/cm}^2$ 。
- 4) FTIR: $\leq 5 \text{ ng/cm}^2$ 。
- 5) Outgassing: $\leq 1709 \text{ ng/cm}^2$ 。

表 1-28 包装表面洁净度限量

F	$\leq 0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
C ₁	$\leq 0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
NO ₂	$\leq 0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
Br	$\leq 0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
NO ₃	$\leq 0.06 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
PO ₄	$\leq 0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
SO ₄	$\leq 0.01 \mu\text{g}/\text{cm}^2$

1.2.7.4 防静电包装识别及使用场所

防静电柔性静电放电屏蔽包装（有镀金属膜和内衬金属层两类），见图 1-22。有的静电屏蔽包装兼具射频电磁屏蔽功能（军用）。防静电柔性放电屏蔽包装主要用于防静电工作区以外 SSD 产品包装、运输、存储和防静电工作区内有特殊要求的 SSD 产品包装，防止人体静电放电造成包装内 SSD 产品损害。内衬金属层的防静电放电屏蔽袋见图 1-23 所示屏蔽防湿袋。通常静电放电屏蔽包装内层为静电耗散型材料，不允许使用导电材料、导电材料，以防 SSD 带电对包装表面放电造成 SSD 损害。

导静电柔性包装见图 1-23、图 1-25、图 1-26 (e) 所示导静电海绵垫。导静电海绵、PCB 保护罩、短路棒、短路弹簧片等用品主要用于 SSD 元器件等电位连接使用，防止管腿悬空，在受到静电影响时，管腿之间电位不同造成损害。需要提示的是由于导静电包装其电阻较低可能会产生 CDM 效应，造成 SSD 产品损害。导静电包装静电放电屏蔽功效较差。

静电耗散类柔性包装见图 1-23、图 1-24 所示。粉红色或其它无色透明包装大都是用抗静电剂处理，其防静电性能属于短时效型，一般使用期不超过一年。这种包装价格较低廉。导电网格包装袋是利用印刷技术将导电炭黑涂料印制在包装表面。图 1-24 所示包装是利用乙炔炭黑添加在塑料中制备的，其具有防静电较好、持久、稳定等特点。这种包装使用广泛，价格高于粉红色、其它透明的短时效防静电包装。静电耗散类包装不会产生 CDM 效应，但其静电放电屏蔽效果较差。



图 1-22 防静电镀金属膜屏蔽包装袋

图 1-26、图 1-27 所示的是静电耗散类周转箱、盒、托盘、吸塑盒、PCB 保护罩等主要用于 IC、SSD 产品等存放、周转等。PCB 保护罩用于 PCB 板等电位保护。静电耗散类包装可用于有防静电要求的任何场所。

集成电路包装管是采用抗静电剂改性的 PP、PS、ABS 等塑料注塑而成，专用于集成电路等微电子器件的包装。



图 1-23 几种常用柔性防静电包装袋(材料)



图 1-24 柔性静电耗散包装袋

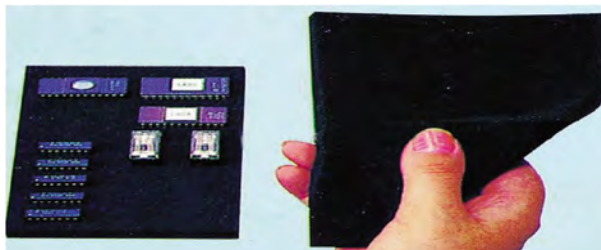


图 1-25 导静电海绵垫



图 1-26 静电耗散类元件盒、导静电 PCB 保护罩



图 1-27 静电耗散类周转箱、托盘、元件盒

图 1-28 所示为计算机键盘静电防护带。用静电耗散材料制成成片状。使用时需接地,用于泄放人体静电,防止静电从计算机键盘耦合对计算机造成干扰或损害。

低起电包装是当表面受到接触摩擦分离时,产生静电荷较少,表面的起电电压很低。目前国内对这类包装材料评判标准还没有,但在实际工作中会常常遇到。像一些吸湿性较强的木质、纸质包装(见图 1-29、图 1-30),还有电工胶木板和利用摩擦序列组合的两种塑料物质混合包装材料等,这类包装的使用可以大大降低防静电包装购置成本。

1.2.7.5 防静电包装使用的一些注意事项

一般硬质周转箱、盒的静电屏蔽效果较差。只有其包装表面电阻低于 1×10^3 , 且导电均匀, 没有孔洞、缝隙、破损, 并在使用时, 呈全封闭状态(有盖子), 才具有屏蔽效果。

对于柔性屏蔽包装, 除静电放电屏蔽指标符合表 1-25 要求外, 包装表面不能出现破损, 在使用时一定封口, 不能成开口状。

防静电包装有防静电长效性和短效型两类, 在使用时应注意时效性。如有要求判定可将包装材料放入 50°C 蒸馏水浸泡 24 小时, 并用刷子刷洗材料

表面 2 分钟取出, 用烘箱在 50°C 温度和相对湿度低于 40% 的环境中烘干 2 小时。按上述要求重复 5 次操作后, 在相关标准规定环境要求下检测其防静电性能。如果防静电性能符合表 1-25 要求即可判定长效性防静电包装, 反之则为短效型防静电包装。

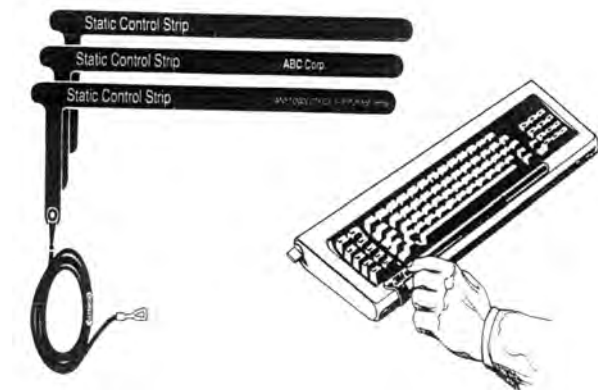


图 1-28 计算机键盘静电防护带



图 1-29 纸质低起电包装箱



图 1-30 木质低起电包装箱

防静电包装在使用过程中, 如有条件尽可能实现接地。要避免将绝缘制品直接放置在静电耗散类、低起电防静电包装外表面或邻近。使用转运车运送带有 PCB 板的周转箱时, 尽可能使其与防静电地坪实现等电位接地。如地坪不具有防静电性能或人员没采取防静电措施, 则运转车上的 SSD 产品尽可能采用静电隔离措施或静电放电屏蔽包装, 且不允许随意打开包装。

1.2.8 防静电工作台、运转车、椅子、存放柜

目前所用防静电工作台、存放柜大都是根据企业使用要求, 将普通的工作台(台面可制作多层)、存放柜加铺防静电桌垫并采取防静电接地来完成的。也有少部分是根据用户需要利用防静电贴面板(三

聚氨酯、PVC、塑胶等)制作成工作台(或存放柜)面并实现防静电接地来完成。防静电工作台、椅子结构及接地图见 1-31 (a)、(b)、(c)。运转车则是车体为金属构件,台面铺设防静电台垫并与车金属体实现电气连接。运转车车体通过导电轮或导电金属链与防静电地坪连接实现防静电接地。椅子是采用防静电材料(防静电人造革、防静电 PU、防静电布料、导电塑料制品)做椅面,和金属椅子框架结构进行电气

连接,椅子通过导电脚轮、导电链与防静电地坪实现防静电接地。工作台、存放柜、运转车、椅子除满足使用时所要求的机械强度和便于使用外,其防静电性能要满足表 1-30 要求。防静电工作台、椅子见图 1-32。防静电运转车见图 1-33。多层台面的工作台和存放柜,各防静电台面采取并联接地。工作台、椅子可以采用低起电性防静电材料制作。

表 1-30 防静电工作台、存放柜、椅子等防静电指标

防静电指标	台面(椅子表面)点对点电阻 (Ω)	静电泄漏电阻 (Ω)	等电位接地电阻 (Ω)
工作台	$1 \times 10^5 \sim < 1 \times 10^9$	$1 \times 10^5 \sim < 1 \times 10^9$	$< 1 \times 10^9$
椅子	$1 \times 10^5 \sim < 1 \times 10^9$	$1 \times 10^5 \sim < 1 \times 10^9$	$< 1 \times 10^9$
存放柜	$1 \times 10^5 \sim < 1 \times 10^9$	$1 \times 10^5 \sim < 1 \times 10^9$	$< 1 \times 10^9$
运转车	$1 \times 10^5 \sim < 1 \times 10^9$	$1 \times 10^5 \sim < 1 \times 10^9$	$< 1 \times 10^9$

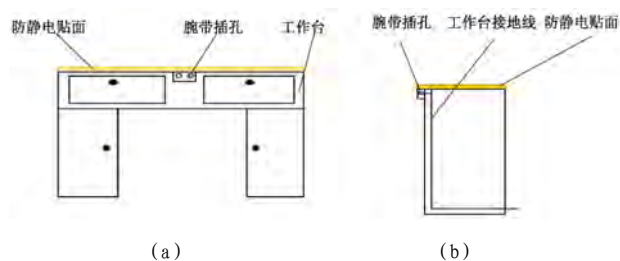


图 1-31 防静电工作台结构与接地连接

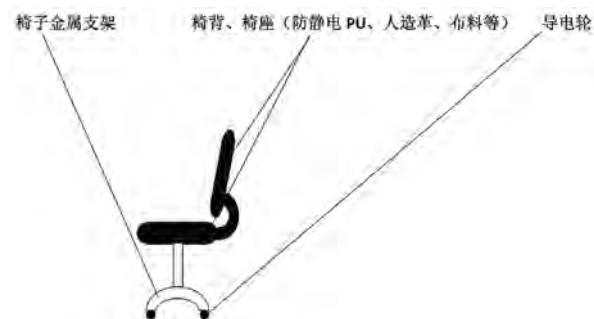


图 1-31(c) 防静电椅结构与接地连接



(a)



(b)

图 1-32 防静电工作台(a)、工作椅(b)



图 1-33 防静电运转车

1.2.9 防静电鞋、脚束、鞋套

防静电(导静电)鞋、袜、鞋束:该类鞋的鞋底是用加入防静电剂(导电炭黑、导电金属氧化物、抗静电活性剂等)的合成橡胶(橡塑)、PVC、皮革等制成的。能将操作 SSD 的人员所带静电荷泄漏到大地,

防止人体静电积累,实现人员防静电接地。国家标准规定的防静电鞋鞋底电阻值为 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^9 \Omega$, 导电鞋电阻不大于 $1.0 \times 10^5 \Omega$ 。

为了确保消除人体静电,穿用上述鞋时,鞋底内面与防静电地坪表面之间的电阻值分别应不大于 $1 \times 10^9 \Omega$ 和 $1.0 \times 10^5 \Omega$ 。

在穿用过程中,鞋底部不得沾有任何绝缘物和破损,并且禁止穿用绝缘性袜子,而用薄丝或防静电袜(袜底有导电丝)。防静电袜的内、外两点电阻值应在 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^9 \Omega$ 之间。操作人员在防静电工作区,地坪为防静电地坪时,必须穿着防静电鞋。

1.2.9.1 防静电鞋、防静电鞋使用要求

(1) 必须在尽可能的最短时间内将静电荷减至最小,例如在有易燃、易爆气体和物质的环境中使用,则必须使用导电鞋。如果来自任何电器或带电部件的电击危险不能完全消除,则不能使用导电鞋。为确保鞋是导电的,规定鞋底电阻值小于 $100k \Omega$ 。

(2) 在使用期间,由于屈挠和污染,导电材料制成的鞋底电阻值可能会发生显著变化,那么必须确保鞋在整个使用期限内能履行消散静电荷的功能。因此,建议使用者定期测试鞋底电阻。这项测试应成为例行检查。

(3) 如果鞋可能在增加鞋电阻的场所穿用,穿着者每次进入防护区域前必须检查所穿鞋的电阻值。

(4) 在使用导电鞋、防静电鞋的场所,地面对地电阻不应使鞋提供的防护失效。

(5) 在使用中,除了防静电袜子,鞋内底与穿着者的脚之间不得有绝缘部品或厚的化纤、毛料袜子。如果内底和脚之间有鞋垫,则应检查鞋/鞋垫组合体的电阻值。

(6) 这类鞋的电阻会由于屈挠、污染或潮湿而发生显著变化。如果在干燥条件下穿用,有时鞋不能实现其防静电功能。因而必须确保产品在整个使用期限内能实现泄漏静电功能并同时提供安全保护。

(7) 有些种类的鞋能吸潮并在潮湿条件下导电,因此必须引起关注。

(8) 在存有易燃、易爆物质的工作区工作时,穿

用的导电鞋、防静电鞋底部不允许带有铁钉或撞击易产生火花的铁磁性物体。

1.2.9.2 导电鞋、防静电鞋物理化学技术参数及检测要求

(1) 鞋底结构

有内底时,在不损坏鞋的情况下内底应不能移动。

(2) 鞋帮/外底结合强度

除缝合底外,鞋按照 GB/T20091—2007 中 5.2 方法测试时,结合强度不应小于 $4.0N/mm$;如果鞋底有撕裂现象,则结合强度不应小于 $3.0N/mm$ 。

(3) 防漏性

按照 GB/T20091—2007 中 5.7 方法测试时,应没有空气泄漏。

(4) 撕裂强度

按照 GB/T20091—2007 中 6.3 方法测定时,I 类鞋的鞋帮撕裂强度应符合表 1-31 要求。

表 1-31 鞋帮撕裂强度

材料种类	最小力(N)
	60
涂覆织物/纺织品	120

(5) 鞋底拉伸性能

按照 GB/T20091—2007 中 6.4 方法测试时,拉伸性能应符合表 1-32 要求。

表 1-32 拉伸性能

材料种类	抗张强度/ (N/mm^2)	扯断强力/ /N	100%定伸应力/ (N/mm^2)	扯断伸长率/ /%
剖层皮革	≥ 15	-	-	-
橡胶	-	≥ 180	-	-
聚合材料	-	-	1.3-4.6	≥ 250

(6) 耐折性

按照 GB/T 20991-2007 中 6.5 方法测试时,耐折性应符合表 1-33 要求。

表 1-33 耐折性

材料种类	耐折性
橡胶	连续屈挠 125 000 次,应无裂纹
聚合材料	连续屈挠 150 000 次,应无裂纹

(7) pH 值

皮革鞋帮按照 GB/T 20991-2007 中 6.9 方法测试时, pH 值不应小于 3.2。如果 pH 值小于 4, 则稀释差应小于 0.7。

皮革内底或皮革鞋垫按照 GB/T 20991-2007 中 6.9 方法测试时, pH 值不应小于 3.2。如果 pH 值小于 4, 则稀释差应小于 0.7。

(8) 六价铬含量

皮革鞋帮按照 GB/T 20991-2007 中 6.11 方法测试时, 六价铬含量应没有检出。

皮革内底按照 GB/T 20991-2007 中 6.11 方法测试时, 六价铬含量应没有检出。

(9) 吸水性和水解吸性

按照 GB/T 20991-2007 中方法测试时, 吸水性不应小于 70mg/m², 水解吸性不应小于水吸收的 80%。

(10) 耐磨性

1) 内底

非皮革内底按照 GB/T 20991-2007 中 7.3 方法测试时, 完成 400 次前, 不应有严重磨损。

2) 鞋垫

非皮革鞋垫按照 GB/T 20991-2007 中 6.12 方法测试时, 完成下列次数前, 磨擦表面不应产生任何破洞。

—干燥: 25 600 次;

—潮湿: 12 800 次。

3) 外底

除全橡胶和全聚合材料鞋外的非皮革外底按照 GB/T 20991-2007 中 8.3 方法测试时, 密度等于或小于 0.9 g/ml、材料的相应体积磨耗量不应大于 250mm³, 密度大于 0.9 g/ml 材料的相应体积磨耗量不应大于 250mm³。

全橡胶或全聚合材料外底按照 GB/T 20991-2007 中 8.3 方法测试时, 相对体积磨耗量不应大于 250 mm³。

(11) 撕裂强度

非皮革外底按照 GB/T 20991-2007 中 8.2 方法测试时, 撕裂强度不应小于:

—8 KN/m, 适用密度大于 0.9 g/cm³ 的材料;

—5 KN/m, 适用密度小于或等于 0.9 g/cm³

的材料。

(12) 耐折性

非皮革外底按照 GB/T 20991-2007 中 8.4 方法测试时, 连续屈挠 30 000 次, 切口增长不应大于 4 mm。

(13) 水解

聚氨酯外底和外层由聚氨酯组成的鞋底按照 GB/T 20991-2007 中 8.5 方法测试时, 连续屈挠 150 000 次, 切口增长不应大于 6mm。

1.2.9.3 导电鞋、防静电鞋种类

防静电鞋种类很多 (见图 1-34), 适用于不同工作场所, 在使用时要兼顾舒适性、使用方便和各工种需求。

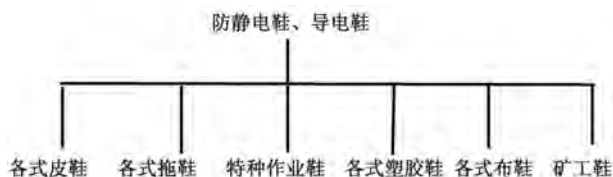


图 1-34 各式防静电鞋、导电鞋



(a) 凉鞋、鞋套、脚束



(b) 拖鞋

(c) 脚束

图 1-35 各式防静电、导电鞋

1.2.9.4 防静电脚束、鞋套

防静电脚束 (见图 1-35 (c)) 的作用与防静电鞋一样, 实现人体的接地。使用时将其脚束套在操作职

工穿用的普通鞋上,将脚束的导电带与操作职工腿部裸露皮肤紧密接触形成人员接地。这时人体静电

可以通过导电带和脚束底部(与防静电地面接触)实现人体接地并泄漏静电。



(a) 防砸鞋



(b) 长筒胶底洁净鞋

图 1-36 防静电特种作业鞋

防静电鞋套(图 1-35 (a))主要用于有较高洁净要求的环境中,它采用洁净布料或其它洁净材料制备,在鞋套底部设置导电网络(导电丝、导电纤维等)。该导电网络通过导电带与操作职工腿部紧

密接触实现人体接地和泄漏静电。防静电防砸鞋是一种头部安装钢护套的作业鞋用于搬运重物且有静电防护要求的场所(见图 1-36 (a))。

(上接第 27 页)

(2) 导电纤维

导电纤维的种类很丰富,有本身导电的碳纤维、金属纤维、有通过包覆导电的纤维、有通过掺杂导电的纤维,颜色有黑色、白色、灰色、透明等。纤维的遮盖力较差,对涂料或者油墨的颜色影响不大。导电纤维的导电能力差别是很大的,电阻从 10^{-3} (金属纤维) $\sim 10^9$ (金属氧化物包覆) Ω 都有;在涂料和油墨领域来说,同一种纤维越长导电越好,但是越长的纤维越难分散(易聚团),分散的剪切力过大还可能使纤维断裂,这需要用户根据自己的调漆能力来取舍。纤维的价格差别也是挺大的从每公斤几十元到几百元甚至上千元都有,客户可根据需要来选择,这使得导电纤维的使用范围非常广泛。

(3) 导电粉料

这类导电材料以导电硫酸钡为代表,一般都以体制填料形式存在(所以油墨中基本不用),没有遮盖力,呈淡灰、淡棕、淡黄等颜色,价格从每公斤几十元到每公斤几百元都有,而且一般添加量都不小(15%质量百分比以上)。这类物质导电性能都不算太好,达到预定的表面电阻时价格方面也没有明显的优势,所以目前应用的也不广泛。如果未来技术进步,添加量降低同时价格下降或者持平,它的可塑性可能是最强的,因其类似硫酸钡、滑石粉等体制填料性质,添加各种颜料就可以改善静电防护涂料颜色不丰富的局面。

科技在不断进步,导电材料也在不断的发展,相信未来会有越来越多价优质佳导电材料的出现。

防静电地坪涂料通用规范

报批稿

1 范围

本标准规定了防静电涂装地坪的术语和定义、分类和标记、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输与贮存。

本标准适用于各种防静电涂装地坪涂料，可应用于电子、航空、医疗设备、印刷、有机溶剂厂等需要防静电涂装地坪，涂装在水泥砂浆、混凝土等基面上。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1766 色漆和清漆 涂层老化的评级方法

GB/T 1768 色漆和清漆耐磨性的测定旋转橡胶砂轮法

GB/T 1865 色漆和清漆人工气候老化和人工辐射暴露（滤过的氙弧辐射）

GB/T 2411-2008 塑料和硬橡胶 使用硬度计测定压痕硬度（邵氏硬度）

GB/T 3186 色漆、清漆和色漆与清漆用原材料取样

GB/T 4100-2015 陶瓷砖

GB/T 6379.6-2009 测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 8170-2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB 8624 建筑材料的燃烧等级分级

GB/T 9271-1988 色漆和清漆标准试板（eqv ISO 1514:1984）

GB/T 9274-1988 色漆和清漆耐液体介质的

测定（eqv ISO 2812:1974）

GB/T 11186.2 漆膜颜色的测量方法第二部分：颜色测量

GB 12014-2009 防静电服

GB/T 13491 涂料产品包装通则

GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）

GB 21147-2007 个体防护装备职业鞋

GB/T 22374 地坪涂装材料

GB 50222 建筑内部装修设计防火规范

GB 50515-2010 导（防）静电地面设计标准

GB 50994-2013 防静电工程与质量验收标准

JG/T 25 建筑涂料涂层耐冻融循环性测定法

JC/T 412.2-2006 纤维水泥平板第2部分：温石棉纤维水泥平板（ISO 396-1980, NEQ）

JG/T 481-2015 低挥发性有机化合物（VOC）水性内墙涂覆材料

JC/T 547-2005 陶瓷墙地砖胶粘剂

JC/T 985-2005 地面用水泥基自流平砂浆

JC/T 2327-2015 水性聚氨酯地坪

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 防静电地坪 electrostatic protection flooring

以防静电树脂类自流平、防静电树脂薄涂或涂层、防静电树脂砂浆、防静电多层地坪等形式实现的具有防静电功能的地坪。

3.2 点对点电阻 point-to-point resistance

在给定的时间内，施加在地坪的同一表面上指定距离的两个电极之间的直流电压与直流电流之比。

3.3 对地电阻 resistance to ground

地坪表面上的一点对接地连接点或者等电位电极之间的电阻。

3.4 人 / 鞋 / 地系统电阻 floor/footwear system

穿鞋站在防静电地坪上,测试手持电极和防静电地坪接地端或等电位之间的电阻

3.5 人体电压 body voltage generation

在工作环境中,人体由于自行行动或与其他带电物体接触或相接近而在人体上产生并积累的静电,用人体电压来度量该静电量的多少,通常以电压V表示。

4 分类和标记

4.1 分类

防静电地坪按其实现防静电功能的组成为四类,即防静电自流平地坪(S)、防静电地坪薄涂或涂层地坪(C)、防静电砂浆地坪(M)、防静电多层涂料地坪(M-L)

4.2 标记

按分类和标准号的顺序标记。

示例:

防静电自流平地坪标记为:防静电地坪涂装材料 S SJ/T 11294—****

5 一般要求

5.1 环保安全性能要求

防静电地坪涂装材料环保安全性能要求表1的规定。

表1 防静电地坪材料环保安全性能要求

序号	项目	要求
1	有害物质限量要求	符合 GB/T 22374
2	燃烧性能	符合 GB 50222

5.2 物理化学性能要求

防静电地坪面层的物理性能应符合表2和表3的规定。

5.3 防静电性能要求

防静电地坪的防静电性能应符合表4的规定

表2 基本性能要求

序号	项目		指标
1	涂膜外观		涂膜外观正常
2	拉伸粘结强度 /MPa	标准条件 ≥	2.0
		浸水后 ≥	
3	防滑性（干摩擦系数） ≥		0.5
4	耐冲击性	轻载（500g钢球）	涂膜无裂纹、无剥落
		重载（1000g钢球）	
5	耐水性（168h）		不起泡，不剥落，允许轻微变色，2h 后恢复
6	耐化学性	耐油性（120#溶剂汽油，72h）	不起泡，不剥落，允许轻微变色
		耐碱性（20%NaOH，72h）	不起泡，不剥落，允许轻微变色
		耐酸性（10% H_2SO_4 ，48h）	不起泡，不剥落，允许轻微变色
7	耐人工气候老化性 ^a		400h，不起泡，不剥落，无裂纹；粉化≤1级，E≤6.0（单色、平状）；变色≤2级（彩色、立体状）
^a 仅针对室外用防静电地坪涂装材料			

表3 耐磨性能要求

项目	水性	溶剂型	无溶剂型	砂浆型
耐磨性 $\leq$ g	0.050	0.030		0.15

表4 防静电性能要求

序号	项目		指标
1	A	人/鞋/地系统电阻Ω	$< 1.0 \times 10^9$
		人体电压V	< 100
2	B	点对点电阻Ω	$5.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^9$
		对地电阻Ω	
防爆区域满足不发火前提下为B，其他均为A、B两项			

6 试验方法

按 GB/T22374 规定进行。

6.1 标准试验条件

除另有规定外,所有检验应在标准试验条件下进行,温度为 $(23.0 \pm 2.0) ^\circ\text{C}$,相对湿度为 $(50.0 \pm 5.0)\%$ 。样品试验前应在此条件下至少放置 24h。

6.2.2 燃烧性能试验方法

按 GB 8624 规定进行。

6.3 物理化学性能试验方法

6.3.1 概述

防静电地坪测试样板制备,试板类型、尺寸均采用 GB/T22374 规定;并说明如表 5。

6.2 环保安全性能要求

6.2.1 有害物质限量要求试验方法

表 5 防静电样板参数说明

样板厚度 mm	样板层次数目 (含基材和导电层)				
材料简要说明(可另附页说明)	样板结构层	厚度 mm	单层材料用量 kg/m^2	单层最大密度 kg/m^2	备注

6.3.2 涂膜外观

在试板上涂刷试样,放置 24h 后,在散射日光下目视检查涂膜表面状态,若涂膜平整、无明显浮色发花、针孔现象,则认为“涂膜外观正常”。对于墙面防静电涂料,若涂膜平整、无明显浮色发花、针孔、可见的流挂、起皱等现象,则认为“涂膜外观正常”。

静电地坪系统,切割到混凝土板下 3 mm~5mm,使用直径为 50mm 粘结拉拔头。五个粘结拉拔头一组,共计 2 组。

6.3.3 拉伸粘结强度

6.3.3.2 标准条件拉伸粘结强度

按 GB/T 22374 规定进行。

6.3.3.3 浸水后拉伸粘结强度

按 GB/T 22374 规定进行。

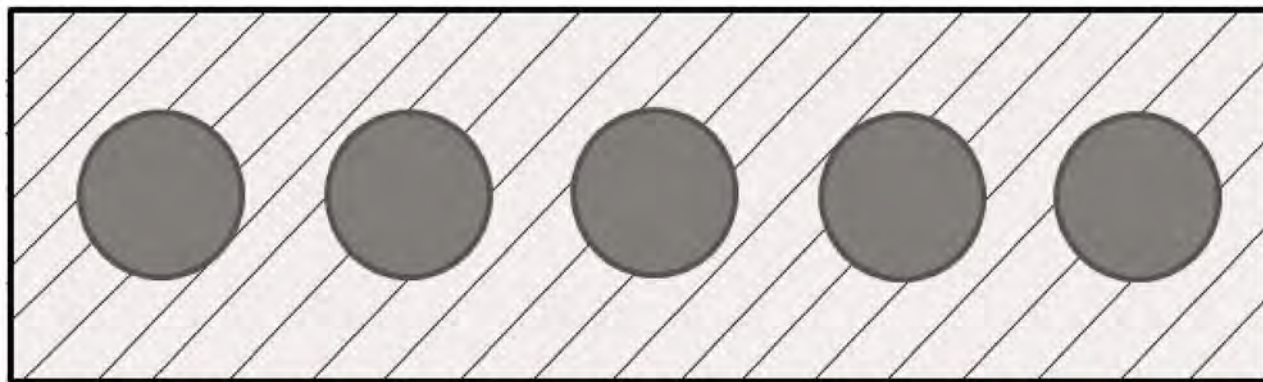
6.3.3.1 试件制备

用符合规定的混凝土板,按照厂家规定的系统工艺进行样板制作。预处理后,采用切割工具切割防

6.3.3.4 结果评价与表示

按 GB/T 22374 规定进行。

6.3.4 耐磨性



注:单位为毫米 切割孔尺寸:直径 $d=50\text{mm}$ 。

图 1 拉伸粘结强度切割成型

按 GB/T 1768 规定进行。防静电自流平地坪、防静电涂料地坪、防静电多层地坪采用 750g/500r, 使用橡胶砂轮的型号为 CS-17, 也可使用磨耗作用与 CS-17 相当的橡胶砂轮。仲裁检验用 CS-17 橡胶砂轮。防静电砂浆地坪采用 500g/100r, 使用粘有 P60 砂纸的砂轮。

6.3.5 耐冲击性

将试件紧贴于厚度为 20mm 的细砂上面, 涂膜面向上, 然后把规定质量的钢质球形砝码固定在规定的规定高度处自由落下, 在试件上选择各相距不少于 50mm, 且距试件边缘不小于 50mm 的三个位置进行试验, 用肉眼观察试件表面涂层有无裂纹、剥落。

6.3.6 防滑性

按 GB/T 4100-2015 中附录 M 规定进行。

6.3.7 耐碱性

按 GB/T 9274-1988 中 7 丙法 (点滴法) 进行。若 3 块试板中有 2 块未出现起泡、剥落等涂膜病态现象, 则评为合格。若出现以上涂膜病态现象, 按 GB/T 1766 规定进行描述。

6.3.8 耐水性

按 6.3.7 进行, 试液为符合 GB/T 6682 中规定的三级水。

6.3.9 耐酸性

按 6.3.7 进行, 试液为 10% 硫酸溶液。

6.3.10 耐油性

按 6.3.7 进行, 试液为 120# 溶剂汽油。

6.3.11 耐人工气候老化性

试验按 GB/T 1865 规定进行。结果的评定按 GB/T 1766 规定进行。

6.4 防静电性能试验方法

6.4.1 概述

标准试验条件为温度 $(23.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $(30.0 \pm 5.0)\%$ 。样板试验前必须在此条件下至少放置 24h, 并在此条件下进行试验。基板采用无石棉纤维水泥平板或者轻质混凝土板, 样板应能够承载不小于 75kg 成人步行; 样板参数必须满足表 5; 样板

面积不小于 $1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$; 样板中标示出接地端子 / 等电位的连接位置。

6.4.2 配套用品

防静电鞋满足 GB 21147-2007 个体防护装备职业鞋要求; 防静电服装满足 GB 12014-2009 防静电服要求; 人鞋电阻小于 $1.0 \times 10^9 \Omega$ 。

6.4.3 A 项测试 人 / 鞋 / 地系统电阻和人体电压

应按照本标准附录 A 要求进行测试。

6.4.4 B 项测试 点对点电阻和对地电阻

应按照本标准附录 A 的要求进行测试。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品检验出厂检验、分型式检验。

7.2 出厂检验

按 GB/T 22374 规定进行。

7.3 型式检验

7.3.1 概述

本标准表 1、表 2、表 3 和表 4 中全部项目均为型式检验项目, 并将表 5 内容附于报告。

7.3.2 检验条件

有下列情况之一时, 需进行型式检验:

- a) 正常生产条件下, 每年至少进行一次;
- b) 新产品投产或产品定型鉴定时;
- c) 产品主要原料、配比或生产工艺有重大改变时;
- d) 停产半年以上恢复生产时;
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时;
- f) 国家质量监督机构有相关要求时

7.4 组批

检验以批为单位, 对同一原料、同一配方、同一工艺连续生产的产品作为一批。

7.5 抽样

出厂检验每个批次均抽样检查, 抽样重量不少于 0.3kg, 并留样保存;

型式检验是在每批产品或生产线中随机抽取不少于 2 组。样品总质量不少于 3kg。抽样按 GB/T 3186 规定进行。抽取样品分为两组：一组为检验用样品，一组为异议复检备用样品。

7.6 判定规则

7.6.1 检验结果的判定一

按 GB/T 8170 中修约值（修约到小数点后一位）比较法进行。

7.6.2 检验结果的判定二

产品按照第 6 章进行试验，试验结果符合第 5 章中环保安全性能要求、物理性能基本要求和防静电性能要求时，即判为合格。若有任一项不符合本标准规定时，允许在同批产品中，用备用样品取双倍试样对不符合项进行双倍复验。若复验结果均符合本标准规定，则判定该批产品合格；否则，则判定该批产品不合格。

8 包装、运输与贮存

8.1 包装

8.1.1 要求

按 GB/T 13491 中二级包装要求的规定进行。按组分分别包装，不同组分的包装应有明显区别。产品应用清洁、干燥、密封的容器包装，装量不超过容积的 95%，并附有使用说明书。

8.1.2 标志

产品包装上标志应有下列内容：

- 产品名称、类别、颜色及组分；
- 制造商产地；
- 产品标记；
- 产品合格证；
- 产品配比与产品净质量；
- 使用说明；
- 安全说明；
- 生产日期或批号；
- 贮存与运输注意事项，贮存期限；
- 必须标明产品的安全属性，例如，危险品、易燃品或普通品。

8.2 运输

产品运输时应防止雨淋、日光暴晒、冻害和包装损坏，并应符合相关规定。

8.3 贮存

产品在存放时，应保持通风，干燥、防止日光直接照射。溶剂型产品应隔绝远离火源，水性产品冬季时应采取防冻措施。

附录 A

(规范性附录)

静电性能测试方法

A.1 范围

本方法适用于防静电地坪涂装材料防静电性能的测试，包括点对点电阻和对地电阻、人 / 鞋 / 地系统电阻和人体电压的测试。

A.2 点对点电阻和对地电阻测试

A.2.1 电阻测试仪器

测量阻值范围 $\geq 1.0 \times 10^6 \Omega$ 时，测试（开路）电压为 $100.0V \pm 5\%$ ；

测量阻值范围 $< 1.0 \times 10^6 \Omega$ 时，测试（开路）电压为 $10.0V \pm 5\%$ 。

测试仪器所需读数范围： $1.0 \times 10^3 \Omega \sim 1.0 \times 10^{12} \Omega$ 。准确度不大于 $\pm 5\%$ 。

A.2.2 电极组件

该电极组件是由一个（对地 / 对接地点的电阻）或两个（点对点电阻）柱状电极组成，见图 A.1。

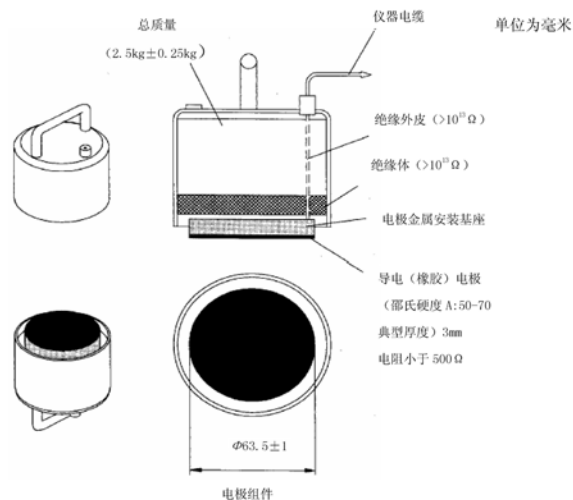


图 A.1 点对点电阻和对地电阻测量的电极组件

A.2.3 测试平台

材料放置在光滑平坦的平台上进行试验。该平台施加 500V 电压时,其点对点电阻大于 $(1.0 \times 10^{13}) \Omega$ 。测试平台大小至少应比被测样品的长度和宽度多 10mm,厚度不小于 1mm。

A.2.4 试样的准备和处理

被测试样板应未经化学、物理处理。样品平面尺寸应不小于 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 。

A.2.5 点对点的电阻测试

将 A.2.2 所述的两个柱状电极与仪器连接,试样被侧面朝上平放在测试平台上。两电极放置在样品被测表面上,电极纵轴测试距离保持 300mm,距离样板边缘不小于 50mm (见图 A.2)。

仪器加载 10.0V 测试电压,15s 后记录读数。若电阻读数小于 $(1.0 \times 10^6) \Omega$,记录结果。如果显示电阻值等于或大于 $(1.0 \times 10^6) \Omega$,仪器卸载。仪器再加载 100.0V 测试电压,重述以上步骤并记录测量结果。

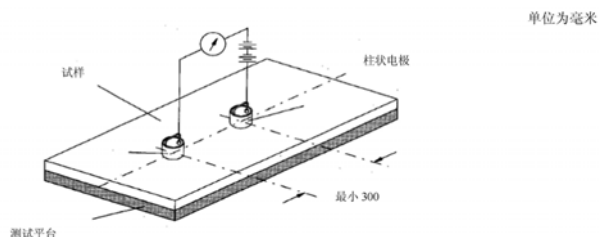


图 A.2 点对点电阻的测量原理

A.2.6 对地电阻的测量

A.2.6.1 实验室样品的测量

测试样品上应有接地端子。将试样待测面朝上,放在测试平台上。柱状电极放在试样上,距离试样边缘或接地端子至少 50mm (见图 3)。测试仪表一端连接样品接地端子,另一端连接柱状电极。按照 A.2.5 的读数方法记录数据。

A.2.6.2 已安装材料的测量

柱状电极连接方法同 A.2.6.1,测试仪表一端连接到已安装材料的接地端子。

按照 A.2.5 的读数方法记录数据。

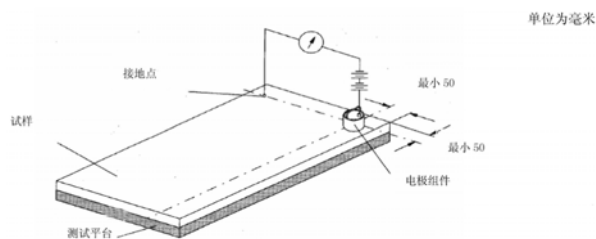


图 A.3 对地点电阻的测量原理

A.3 人 / 鞋 / 地系统电阻测试

A.3.1 人 / 鞋 / 地系统准备

防静电鞋应该干燥清洁,必要时可以使用 300 目砂纸打磨,并使用 95% 医用酒精擦洗,无明显污渍存在。防静电地坪样板表面无明显可见的污渍污染物,必要时使用干燥的低棉绒布擦拭干净。

A.3.2 电阻测量仪器

符合 A2.1 要求,并最大电流不超过 5mA。

A.3.3 手持电极

直径 25mm / 长 75mm 钢管,其一端含有连接导线装置。

A.3.4 人 / 鞋 / 地系统电阻测试程序

人 / 鞋 / 地系统电阻测试程序按照以下程序进行:

a) 将电阻测量仪器 (A.3.2) 的负极引线连接到在测防静电地坪样板的接地端 (实验室测试),或连接到接地处 (工程测试)。把另一引线连接到手持电极 (A.3.3)。测试人员穿着防静电服装及防静电鞋 10 分钟后站立于被测试样上,牢固地抓住手持电极 (见图 A.4)。

b) 测试电压选择:

初次选择 10.0V 测试电压,15s 后记录读数。若电阻读数小于 $(1.0 \times 10^6) \Omega$,使用 10.0V 测试,记录电阻值。如果显示电阻值等于或大于 $(1.0 \times 10^6) \Omega$,加载 100.0V 测试电压,并记录电阻值

c) 测试过程:

1) 仅用左脚接触地板覆盖层,右脚抬起在高于地板覆盖层约 150mm 处,根据 b) 记录电阻值,重复测试步骤。

2) 仅用右脚接触地板覆盖层,左脚抬起在高于

地板覆盖层约 150mm 处,根据 b) 记录电阻值,重复测试步骤。

3) 进行实验室测试时,要在样本上均匀分布的 5 个不同位置上进行测量。

A.4 人体电压测试

A.4.1 仪器

A.4.1.1 人体电压测量系统

静电电压表、手持电极 (A.3.3) 和自动记录仪符合下述要求:

- a) 静电电压表的输入电阻 $\geq 1.0 \times 10^{14} \Omega$;
- b) 静电电压表、手持电极和连接引线的输入电容 $\leq 30\text{pF}$;
- c) 系统反应时间应在 0.25s 内达到满刻度;
- d) 系统分辨率至少为待测试电压值的 10%;例如测试 100V 的人体电压,测量系统的分辨率应为 10V;
- e) 系统的准确度为 $\leq \pm 10\%$ 。

A.4.1.2 离子化静电消除器

离子化静电消除器应能够消除鞋具和防静电地坪表面的静电荷。在测试时应遵循各种相关的安全预防措施和规定。

A.4.2 测试步骤

对防静电地坪实验室测试时,防静电地坪必须留有接地端,并接通大地(或者等电位);并对接地端的是否时通路进行判断。对没有特定接地连接的防静电地坪进行评估时,不能直接在测试样本不安装接地点,并且在测量时样本与接地系统和接地线不能接触。

进行实验室评估时,每个待测鞋具和地板覆盖层组合按 A.4.2.1 至 A.4.2.4 中描述的步骤进行 3 次。

对已装的地板覆盖层的测试,每个待测鞋具和地板覆盖层组合按 A.4.2.1 至 A.4.2.4 中描述的步骤,至少要进行 5 次。对大面积地板或施工现场测试时,每种地板覆盖材料划分若干个局部区域至少在每个测量局部区域按 A.4.2.1 至 A.4.2.4 中描述的步骤进行 5 次测量。测量多少个区域由验收方

根据有关标准决定或与施工方协商决定。

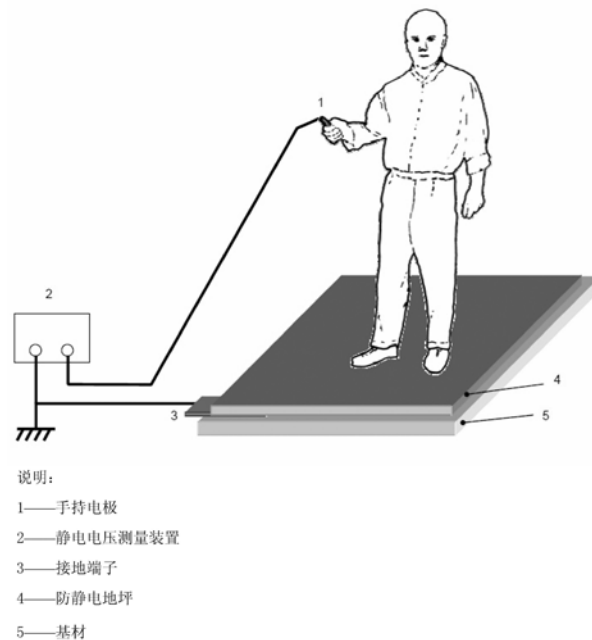


图 A.4 实验室测试图

A.4.2.1 测试项目放电

使用静电消除器 (A.4.1.2) 消除鞋具和防静电地坪样板上的残余静电荷。实验室评估松散放置的样本时,应在支撑材料不滑动的情况下进行。测试时,先对两侧进行放电,然后对其准确复位。

A.4.2.2 系统准备

同 A.3.1 人 / 鞋 / 地系统准备。

A.4.2.3 穿戴鞋具

测试人员穿上鞋具后应接地,对鞋具的鞋跟用静电消除器 (A.4.1.2) 消电,然后站在防静电地坪样板上。

A.4.2.4 系统归零

测试人员要手持与人体电压测量系统 (A.4.1.1) 相连的手持电极,并瞬间触碰接地点,使系统归零。

A.4.2.5 行走

在整个测试过程中,测试人员要在前后走动时要覆盖尽可能多的面积,使身体保持相同的朝向,但要避免划伤或旋转。并以 2 步 / 秒的速率在防静电地坪样板上走动。

测试面积是实验室评估的整个防静电地坪样本

的面积。迈步的动作要使鞋底与地坪保持平行,鞋抬起高度在 50mm 至 80mm 之间。测试人员距墙壁或室内障碍物应大于 0.5m。并不断走动,单次测试持续时间为 60s。

人体行走进行方式参照图 A.5 行走模式。

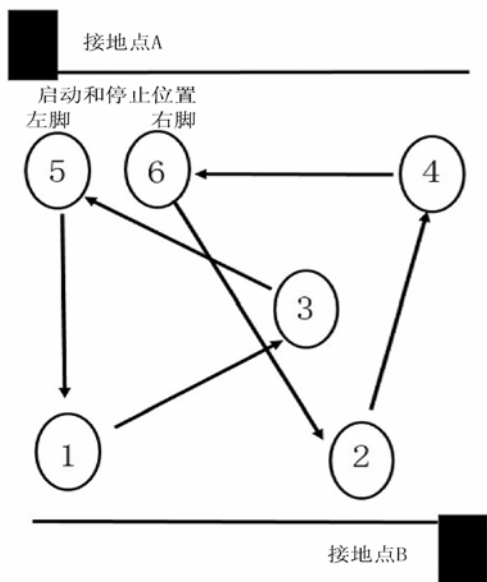


图 A.5 行走模式

行走以后,如测试人员脱掉鞋具,则要求再次清洁鞋底并合理放置。

A.4.3 结果的计算和表示

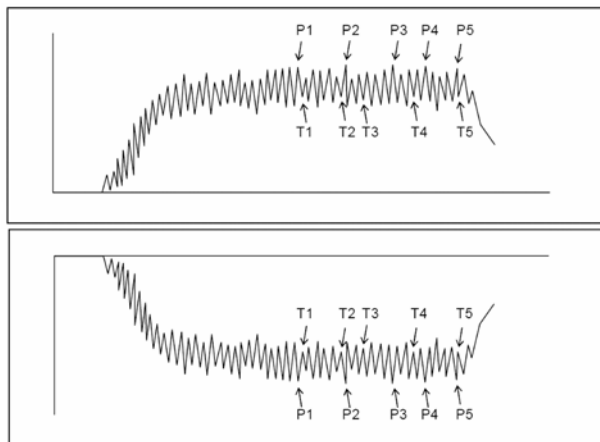
每次走动测量后,计算出 5 个最大谷底的算术平均值 $T = (T1+T2+T3+T4+T5)/5$ 和 5 个最高峰值的算术平均值 $P = (P1+P2+P3+P4+P5)/5$ (见图 A.6)。

结果要用测出电压峰值谷值算术平均值,以 V 单位。以 P 值的绝对值为测试结果

A.4.4 结果的记录

记录人 / 鞋 / 地系统电阻和人体电压检测数值,同时记录试验中使用的鞋结构特征和鞋底电阻,

防静电工作服特征和袖对袖电阻值以及试验的环境温湿度。



说明:

- 1——P1 至 P5 是五个最高峰值点
- 2——T1 至 T5 是五个最高峰谷点

图 A.6 用于计算算术平均值的人体电压记录曲线上正、负各 5 个峰值点示意图

参考文献

- [1]IEC61340-2-3:2003 防静电固体平面材料电阻和电阻率的测试方法
- [2]IEC61340-4-1:2003 特定应用的标准测试方法——地面覆盖物和安装地板的静电性能
- [3]IEC61340-4-5:2004 特定应用的标准测试方法——与人组合的鞋和地板材料静电防护的系统
- [4]ANSI/ESD S20.20-2014 静电放电控制方案
- [5]ANSI/ESD STM97.1 地板材料和鞋类——与人员相组合的电阻测量
- [6]ANSI/ESD STM97.2 地板材料和鞋类——与人员相组合的电压测量
- [7]ANSI/ESD TR53-2015 静电放电保护设备和材料认证检验标准

静电专业常识解答

不是所有的无尘鞋都可以进行净化清洗

近日,有客户打算清洗无尘鞋,但由于该客户的无尘鞋特别脏,且鞋面基本上都是油渍,根本无法进行无尘清洗。

专业的无尘净化清洗为什么不能清洗这样的无尘鞋呢?原因如下:

1. 由于无尘清洗所用的清洗剂为中性,油污无法去除,只能保证将汗渍、尘埃污垢等水溶性污渍去除干净。

2. 如果批量清洗类似重污染无尘鞋,将会造成净化车间环境、净化设备的污染。因此,净化靴使用后应及时进行清洗,如果长期使用会造成净化靴过度污染,这种重污染的鞋就不建议作为净化鞋来使用了。

3. 净化车间环境及净化设备需保证所有客户的无尘服清洗后的洁净度,因而不能清洗类似重污染的样鞋。

为什么防静电服穿久了会失去其作用

防静电工作服是适用于电子、光学仪器、制药、微生物工程、精密仪器等行业的具有无尘和抗静电性能的特种工作服,然而很多企业都会忽略其清洗,这也就使防静电服的功能慢慢的减退。

防静电服是采用专用涤纶长丝与高性能永久性导电纤维,经特殊工艺织造而成。主要通过防静电纤维结合加工来达到防静电效果。但随着防静电工作服的长期使用,服装里的防静电纤维上会产生灰尘,从而失去防静电作用。为了维持产品的防静电作

用,防静电工作服必须定期清洗,比如连体式的防静电工作服最好一周进行两次专业净化清洗,而防静电大褂可以一星期洗一次。另外,防静电工作服除了定期清洗,还必须进行静电指标测试,如果发现静电参数减弱超出正常范围的应该及时更换一批,防止出现不必要的工作事故。

采购防静电服不仅产品质量这一关要严格把控,它的使用方法以及后期清洗也必须引起重视来,不然一件功能性的衣服就会丧失它的作用。

五个小细节是穿戴无尘服时容易被忽视的

为了有更好的生产环境和质量保证,无尘车间要求工人穿着无尘服和无尘靴,然而有些人却对此不是很在乎,总是容易忽略一些细节问题,而往往这些小细节却会造成大的影响。

细节一:无尘服的拉链要求拉到衣领处,并且把衣领处的魔术贴贴好,扣紧衣领,不能让自己穿着的内部衣服外露。

细节二:无尘服不可套在无尘靴外面,而是要把

裤子塞进无尘靴内,并且要把无尘靴拉链拉好。

细节三:穿无尘服、无尘靴时不能坐在地上,必须在规定的区域内穿戴好。

细节四:因为工作时头发或头屑难免会掉落,对洁净室造成污染,所以工作人员在进入无尘车间之前应将头发全部套进无尘帽内,不能露在无尘帽外面。

细节五:由于无尘服透气性差,工作人员会偶感闷热,而此时最忌讳将无尘服衣袖卷起或撸起来,无尘车间要坚决杜绝这种现象。

以上五个细节问题虽小,但不要总是存有侥幸心理,如果忽视将可能造成严重后果。

穿着无尘服对身体有副作用吗

技术水平的提高使得现在越来越多的行业重视无尘服的重要性,但是对于员工而言,由于不了解无尘服的特性、是否会对人体有副作用而不能很规范的穿着使用。下面 ESD 技术咨询就来讲解一下。

无尘服是防护类服装,主要面料是导电纤维加上涤纶长丝。涤纶具有不吸尘、不发尘的特点,导电纤维保证防静电的功能。想要洁净无尘,防静电其实也是必不可少的,因为静电本身具有很强的吸附能力,如果没有防静电的功能,依然容易吸附尘埃,影响洁净。

无尘服一般都是用在制药、食品这样的行业,它

们对于洁净度的要求非常高,所以需要穿着无尘服来防止外界的尘埃被带进无尘室内,保证生产环境洁净无尘。

虽然穿着无尘服透气性差,长期穿着容易感到憋闷不适,但是穿着无尘服本身对于身体是没有伤害的。具有防静电功能的服装不仅无害,还能保护人体的身体健康。

在有些行业中,穿着无尘服、无尘鞋都是不可避免的,否则会严重影响产品的质量,甚至在某些行业还会发生火灾、爆炸等事故。大家一定要重视起来,不能因为个人的不舒服而不规范的穿着无尘服。

根据什么标准判断无尘服的替换时间

大多数无尘服清洗商认为无尘服一般可以清洗100次,究竟应该根据什么标准来判断无尘服的替换时间呢?

其实对于无尘服的寿命实际上是没有确切指标的,就如服装也没有保质期和使用期限的说法是一样的。概括来说,大多数的无尘服、防静电服是按照《IEST-RP-CC003.3》操作规程建议的规定,经过

100次有效清洗后,在实时应用中还能使用更长时间并且微粒测试符合 IEST-RP-CC003.3 和 ASTM F-51 标准。

倘若穿着者对无尘服始终坚持遵守无尘室规章,无尘服应能满足至少6年的无尘室使用。须由指定的面料或无尘服制造生产商负责对无尘服的修补,以确保其修补的效果和耐久性。

新会员单位介绍

北京金科复合材料有限公司

北京金科复合材料有限公司创建于1985年,其前身为昌平沙河东一铁粉加工厂,于1999年更名为北京金科复合材料有限公司。公司座落在北京市昌平区沙河镇西东一工业园,公司占地26640平方米,车间18000平方米。主要制造粉末冶金材料、复合材料、金属砂粒、制动材料、环保水处理材料、污水处理材料等等。目前下设金科材料研究所、北京金万科粉末冶金制品有限责任公司。

公司机构由七部分组成:办公室、技术部、生产部、质检部、销售部、工程部、财务部。现有职工300名,其中科研及管理人员30人、高级技术人员14人、中级技术人员32人。公司自成立以来始终坚持与大专院校、科研院及相关的各大公司广泛合作的产、学、研联合发展模式,以兰州交通大学、铁道部科学院、环境科学院为技术依托,以高端摩擦材料及环保水处理材料的研发与实际应用为主要经营方向,拥有一批国内外知名的国家级专家作为公司高级顾问,多名博士教授以及大批年富力强的中青年开拓型科技骨干参与公司新产品研发工作;拥有一支素质高、业务精、专业搭配合理的高质高效的管理团队;拥有先进的产品开发实验室以及完善的产品加工及质量保证体系。公司不仅高新技术层出不穷,而且在环保水处理工程的设计、施工、环境评价等方面具有丰富的经验。公司已持续通过ISO9001:2008质量管理体系和ISO14001:2004环境管理体系认证。2010年被上海世博会联合国馆授予推荐高新技术产品企业。多次被评为昌平区重合同守信用单位,作为昌平区人大代表的董事长曹洪生先生被评为2005年北京市十大杰出农民企业家。

公司始终注重品牌建设,于1985年起开始使用自己的商标。并于2001年注册成功,2012年拓展为10多个系列商标,在建筑界具有较高的知名度。

公司自主研发的金属骨料防静电地面、防爆地面开创了以金属骨料为添加料,无需添加导电粉(石墨等)既满足国标要求的先河。在国内外具有较高的知名度。

公司拥有20多项国家发明专利,两项国际专利,产品被多次录入建筑标准图集。作为全球领先的铁基材料研发应用企业,公司致力于以减少军工、化工等领域爆炸事故发生,减少生命财产损失、降低因大气污染造成的灾害、促进我国军工航天、石油化工企业的长足发展为使命,立足于铁基粉材料研究成果在航天军工、石油化工、大气污染治理等行业的应用,着力打造防爆、重载地坪、环保材料产业学术研究、中试、批量化生产为一体的高新技术企业。

地址:北京市昌平区沙河东一工业园

电话:010-81742091

联系人:姜总 18901396555

天津雷泰物流设备有限公司

天津雷泰物流设备有限公司是一家专注于防静电装备设计、制造与销售的专业公司。公司总部设在天津,并在全国各地陆续设立了分支机构,现已成为国内规模最大、产品最全的防静电装备制造厂商之一。

公司的产品主要有防静电工作台、防静电生产线、防静电储物柜、防静电货架、防静电周转箱等产品,是现代企业提高效率,节约空间,创造利润不可或缺的生产设备。产品广泛应用于航天、航空、军工、船舶、机械、汽车、电子、食品、医药、科研院所等行业。公司生产设备先进,产品质量可靠,服务专业、信誉良好,深受国内外众多用户的好评。

公司拥有一支经验丰富、热情敬业的团队,在长期的客户服务中积累了丰富的企业内部物流的设计经验。本着“客户第一、诚信为本”的企业宗旨,以客户的需求为导向,将持续紧跟国际、国内先进的防静电装备的发展方向,开发出更优质的产品,用更高标准的服务,为用户提供更多个性化的产品和服务,协助用户提高生产效率,优化物流成本,增强用户的核心竞争力。

地址:天津市北辰区小淀镇小淀工业区 3 号路

电话:022-26991816 26995392

传真:022-26993708

联系人:赵艳东 13612005718

网址:http://leitai-tj.com

惠亚科技(赣州)有限公司

惠亚科技(赣州)有限公司系外商独资企业,2018年2月13日,在赣州市定南县委、县政府的大力支持下,注册成立了“惠亚科技(赣州)有限公司”,2018年10月正式投产,总投资2000万美元。

公司采用当前国际上最先进的技术和设备,主要生产铝合金、镁合金、合金钢高架活动地板及空间架构配套系列产品,产品适用于信息室、控制室、无菌室、计算机房、洁净室、QA 智慧化办公室,具有较强的防盗、防震等性能。另外公司新生产隔间、吊顶等系列产品。

公司地址:江西省赣州市定南县富田工业小区富工一路西侧 邮编:341900

联系电话:0797-4215009

15070793512 黄小姐

邮箱 dnvero@126.com

会员单位介绍

深圳市倍特丽建材有限公司

深圳市倍特丽建材有限公司成立于2006年,是一家专门从事现代工业地坪、环氧树脂地坪漆、环氧自流平地坪漆、停车场环氧地坪漆、环氧防静电地坪漆等地坪技术研发、生产、销售的专业型企业,是中国建筑材料联合会地坪材料分会会员单位、中国电子仪器行业协会防静电装备分会会员单位。公司拥有一批掌握各种地坪施工技术的人才队伍,为用户提供相应的工程配套施工服务,如施工环氧树脂防静电地坪、环氧树脂自流平地坪、环氧树脂滚涂地坪、环氧树脂彩砂地坪、停车场环氧地坪、水性环氧树脂地坪以及防腐地坪等地坪工程;此外,还代理销售PVC防静电地板、全钢防静电活动地板及进口自流平水泥等产品。

我公司技术力量雄厚,拥有一支由高级工程师、硕士组成的研发团队和一支经验丰富、技术精湛的施工队伍,同时拥有国内领先水平的工业地坪涂料研发设备和施工设备,能够持续不断的开发出各式新产品,以满足客户的需要,争做中国工业地坪的先锋企业。

公司产品已销售到全国各地,工程遍布大江南

北,得到了广大用户的一致称誉。公司所生产的环氧地坪漆环氧无尘墙面漆具有耐磨、防尘、防水、防腐、防静电、附着力强等优良性能,广泛用于电子、食品、制药等行业的涂装工程。

公司自成立以来,以严格的生产及经验丰富的施工队伍,走专业路线,为广大客户提供一条龙服务。本着“以人为本、弘扬团结、进取、创新”的企业精神,以客户需求为导向,以质量信誉求生存,以不断创新求发展,是公司一贯宗旨及无上的荣耀,让我们一起携手合作,创造出更多的优质产品,为社会各界创造更美好的未来!

公司奉行“质量是企业的生命”的宗旨,严格按照ISO9001-2000国际质量管理体系规范来操作。倍特丽公司从工程的设计、材料采购到现场的施工均有严格的操作程序,能为客户提供符合ISO14644-1国际标准和GB50073-2001国标要求与GMP规范要求的厂房工业地坪系统设计、施工、检测等综合性成套服务。

本着“高技术、高投入、高质量、高管理”的现代策略为客户服务,以客户需求为导向,以质量信誉求生存,以不断创新求发展,以合法经营创佳绩,以确保向客户提供最专业的地坪工程整体解决方案,争取

超越客户的期望而努力。是公司一贯宗旨及无上的荣耀,让我们一起携手合作,创造出更多的优质产品。

公司地址:深圳市龙岗区坂田吉华路南蛇坑 A2 号三楼

邮 编:518129

电 话:0755-84193890

传 真:755-84193776

邮 箱:pkbbc@pkbbc.com

网 址:<http://www.pkbbc.com/>

<http://pkbbccom.cn.trustexporter.com/>

联 系 人:曾毅辉(先生)

联系电话:13823535173

江苏辉映地板科技有限公司

江苏辉映地板科技有限公司(原常州市振荣装饰材料有限公司)是集科研、开发、生产销售、工程服务、技术咨询为一体的防静电地板厂家,坐落在江苏常州常州市武进区横林镇。产品有防静电活动地板,OA 智能化网络地板,陶瓷地板,硫酸钙地板,铝制活动地板等。

本公司以选择精良的材质,引进精密的设备,采用精湛的工艺,精心管理,打造精致的产品,奉献精诚的服务、创造精品的经营理念。始终坚持“质量立业、用户至上、竭诚服务”的经营思想,各种防静电高架地板年生产能力达到 500000m², 广泛应用于科研、教育、电力、航天、金融等单位,取得稳定的社会效益和经济效应。

公司在创造经济效益的同时,“以质量求生存,以效益求发展”,从未忽视社会效益和自身企业形象,本着“耐用、时尚、健康”的地板产品理念,不断创新逐步改良。从选材到产品出库均实行国际质量体系标准进行全程监控,使地板产品的科技含量大大超越传统,地板产品的耐磨性,耐炙性,环保性等所有理化性能均优于国家标准,成为行业典范。

我们愿以优质的产品质量,完美的服务与广大用户携手并进,共创辉煌。

公司地址:江苏省常州市武进区横林镇崔蓉路

34 号

邮 编:213103

电 话:0519-88509767

传 真:0519-88501933

网 址:www.jshydb.com

深圳市华联兴业静电科技有限公司

深圳市华联兴业静电科技有限公司成立于 2008 年,坐落于深圳市宝安区松岗河滨北路华联兴业大厦,是一家集防静电产品、洁净室耗材的研发、生产、代工、销售以及洁净室的设计、施工与维护于一体的多元化企业。所生产的防静电手腕带、无尘布等产品远销欧美、日本、韩国、越南、泰国、印尼、马来西亚、印度、台湾、香港等国家和地区。公司以优质的产品、完善的服务,得到了广大客户的一致好评和信赖。

华联兴业公司以科技为导向,以质量求发展,力求在每一个细节精益求精。长期以来,公司与多家国际著名高科技跨国企业进行合作交流。依托自身的行业优势,不断开拓创新高科技成果,利用网络时代的信息优势,整合资源,在立足于国内市场的同时进一步加大对海外市场的开发力度。当下,信心百倍的华联兴业人,正以稳健的步伐迈向美好的明天!

公司使命:为客户创造价值,为员工创造机会,为企业创造效益,为社会创造财富。

经营宗旨:诚信、务实、高效、共赢。

质量方针:诚信为本、品质至上、持续改进、客户满意。

公司目标:成为国际一流的“防静电与净化方案提供商”。

地 址:深圳市宝安区松岗街道红星大朗工业区二排一栋

邮 编:518105

电 话:0755-82595900

传 真:0755-27505282

邮 箱:459302645@qq.com

上海佰斯特电子工程有限公司
Shanghai POUSTO Electronic Engineering Co., Ltd

企业简介

佰斯特位于国家级制造基地——上海青浦工业园，占地30亩，拥有两万平方米的生产厂房，佰斯特拥有十多名经验丰富的设计研发人员以及多名业内高级工程师，佰斯特防静电系列产品能避免静电敏感产品在制造环节中受到静电侵害，佰斯特机加工系列产品能提供一个优美整齐的生产环境；实验室系列产品坚固耐用，尽显高贵品质而收到青睐；智能制造自动化系列产品能帮助用户大大提高生产效率。2013年，佰斯特并购德国FPS GMBH，通过自身研发和国际合作，佰斯特不断提高产品性能，产品远销国际市场。

佰斯特防静电产品是国内各大航天、军工企业的首选制造商，备受青睐。

通过ISO9001质量体系认证

ISO 140001环境体系认证，OHSAS 18001职业健康安全体系认证

佰斯特产品符合国军标GJB3007A-2009，SEFA 8M-2016实验室等级金属柜检测标准

航天电子产品静电防护技术要求Q/AJA119-2013

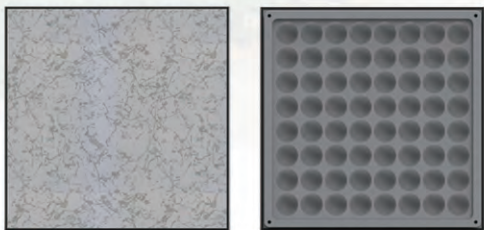
欧盟EN61340防静电标准

SJ/T11236及欧盟EN61457：1995+2000电磁兼容性标准



防静电活动地板系列

Anti-Static Floor Panel Series



规格：600×600×35 (mm)

地板采用双层优质冷轧钢板。下层钢板经液压拉直，在成型后的窝状圆心最高点采用高频程控自动碰焊与上层钢板连接，经除油、磷化，表面喷涂亚光柔性环氧树脂粉末，中间填充发泡水泥。板表面黏贴三聚氰胺（HPL）或者永久性防静电PVC贴面，四周镶嵌导电胶条。

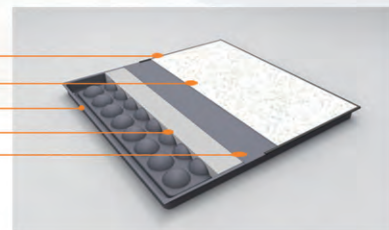
*适用：微机室、程控机房、电子工程、航天领域等防静电场所。

*特点：地板全钢组合，承载强度高，防火，防腐。

*支撑：带横梁四周支撑，支架高度可调。

*性能：防静电指数： $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^{10} \Omega$ ，防静电性能优良，抗污染，便清洗，装饰效果好。

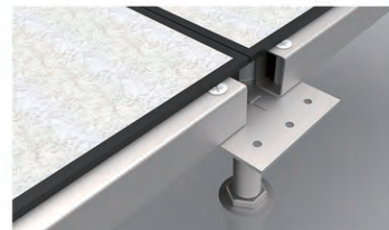
导电边条
防静电贴面
底钢板
水泥填充层
面钢板



支架系统



局部节点



江苏·佳辰地板常州有限公司

地址：江苏省常州市武进区横林镇长虹东路18号

总机：0519-88509690 传真0519-88500260

邮件：info@jiachencn.com.cn

