



中华人民共和国国家标准

GB/T 33555—2017

洁净室及相关受控环境 静电控制技术指南

Cleanroom and associated controlled environments
technical guidelines of electrostatic discharge control

2017-05-12 发布

2017-09-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 Ⅲ

引言 Ⅳ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 静电控制 2

5 培训与规范 7

附录 A（资料性附录） 防静电洁净工作服主要性能 8

参考文献..... 9

CHAOJING360.CN

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国洁净室及相关受控环境标准化技术委员会(SAC/TC 319)提出并归口。

本标准起草单位:中电投工程研究检测评定中心、苏州天华超净科技股份有限公司、中天道成(苏州)洁净技术有限公司、中国电子学会洁净技术分会、中国标准化协会、中国电子仪器行业协会防静电装备分会、信息产业防静电产品质量监督检验中心、北京世源希达工程技术公司、北京希达建设监理有限责任公司、深圳市亿天净化技术有限公司、浙江三威防静电装备有限公司、上海阳森精细化工有限公司、深圳市亨达洋静电技术有限公司。

本标准主要起草人:王尧、王大千、姜伟康、翟传明、裴振华、杨子强、殷晓冬、孙延林、赵长明、宋竞男、刘清松、陈霖新、张利群、苏钢民、刘玥、王鸿明、王样、孙玉荣、夏群艳、庄晓荣、马敏生。

CHAOJING360.CC

引 言

洁净室及相关受控环境的污染包括悬浮粒子污染(控制洁净度)、生物污染(控制菌落数 CFU)、空气分子污染(控制环境中 10 亿级至万亿级微量气相酸性、碱性、有机及掺杂物质)、静电污染(静电带电和静电放电)等。

静电污染是不可忽视的危害,静电荷产生“力学效应”能吸附尘埃粒子,而“放电效应”和“感应效应”严重时对电子元器件产品(微电子线路、分立半导体器件、厚膜和薄膜电阻、混合器件、印刷线路板及晶体管等)造成损坏;对洁净室设施造成破坏(如电气、管道接地系统失灵)。信息产业(如微电子、光电子……)、航天航空业(如大飞机、航天器……)的静电污染控制技术受到高度重视和广泛应用。

CHAOJING360.CC

洁净室及相关受控环境 静电控制技术指南

1 范围

本标准给出了洁净室及相关受控环境控制静电的术语和定义、静电控制、培训与规范等要求。
本标准适用于洁净室及相关受控环境的静电控制。

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 4824—2013 工业、科学和医疗(ISM)射频设备 骚扰特性 限值和测量方法

GB/T 18202 室内空气中臭氧卫生标准

GB 50073—2013 洁净厂房设计规范

IEC 61340-5-1 电子设备的静电防护 通用要求 (Protection of electronic devices from electrostatic phenomena—General requirements)

IEC/TR 61340-5-2 电子设备的静电防护 用户指南 (Protection of electronic devices from electrostatic phenomena—User guide)

IEC 61340-5-3 电子设备的静电防护 静电敏感设备包装特性和要求分级 (Protection of electronic devices from electrostatic phenomena—Properties and requirements classification for packaging intended for electrostatic discharge sensitive devices)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

静电耗散材料 static-dissipative materials

表面电阻率在 $10^5 \Omega \sim 10^{12} \Omega$ 之间,或体积电阻率在 $10^4 \Omega \cdot \text{cm} \sim 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间的材料。

3.2

静电场 electrostatic field

静电荷在其周围所激发的电场,基本特征是在压差作用下,对位于该场中的其他电荷施以作用力。

注:改写 GB/T 15463—2008,定义 3.3。

3.3

静电势 electrostatic potential

一点与另一个规定参照点之间的电位差。

3.4

静电控制 electrostatic charge control;ESCC

对于定产品或工艺,将静电效应控制在允许限度之下的,由设施、材料、附件、操作规程构成的系统。

3.5

静电放电 **electrostatic discharge; ESD**

静电势不同的物体,因接近或接触导致静电荷的转移。

3.6

静电放电控制 **electrostatic discharge control; ESDC**

限制或消除静电荷的传递。

3.7

衰减时间 **decay time**

静电势衰减至初始值的某一规定比值(一般规定为初始值的10%)所消耗的时间。

4 静电控制

4.1 静电来源、危害及监测

4.1.1 来源

常见的静电来源有:工艺设备、某些塑料、人的活动。绝缘体(通常为合成材料)上的电荷不易转移,若不与其他导体接触,绝缘体上的静电电压可能非常高。

表1列出受控环境中容易出现静电的地方。

表2列出因人的活动产生的静电电压。

表1 受控环境中静电的来源

物体或工艺	材料或活动
工作表面	打蜡表面、漆面、清漆面、某些塑料
地面	水泥; 打蜡的、涂表面饰层的木制品; 100%乙烯地砖或地板革
服装	化纤、天然纤维、混纺;非导电性的鞋
椅子和家具	有饰层的木制品; 塑料(如乙烯或乙烯包覆的物品); 玻璃纤维
包装和装运材料	塑料袋、缠材和包封; 气泡包装材料、泡沫塑料; 塑料盘、塑料包装箱、玻璃瓶和零件箱; 胶带(封口,加固缠绕)
装配、清洁、试验和维修区	喷雾清洁装置; 塑料焊料析出物; 焊头未接地的焊铁; 刷子(合成硬毛); 利用液体或液体蒸发进行清洁和干燥; 温度控制腔; 低温喷洒; 加热枪和电热风; 静电复印机等

表 2 由生产人员产生的常见电压

静电产生的途径	静电电压 V	
	湿度 10%~20%	湿度 65%~90%
地毯上行走	35 000	1 500
乙烯材料地面上行走	12 000	250
在工作台工作的工人	6 000	100
翻阅带乙烯封套的工作文件	7 000	600
从工作台上拿起普通塑料袋	20 000	1 200
使用带泡沫聚氨酯坐垫的椅子	18 000	1 500
塑料薄膜放卷(例如在包装区的操作)	40 000	2 800

4.1.2 危害

- 4.1.2.1 带静电物体和人员对污染物的吸引,以及随后的污染物向关键表面的转移。
- 4.1.2.2 静电电流虽然很小,但电位高达几千伏,甚至上万伏。静电荷可以产生“力学效应”“放电效应”“感应效应”对洁净室受控环境和电子产品、设备、设施产生危害:
- a) 静电放电(ESD)对产品造成的损坏;
 - b) 静电放电造成的生产设备故障。

4.1.3 静电监测

洁净室及其他受控环境中,通常采用静电电压计或静电场强计对静电进行定位和定量测量。利用这些仪器,可以观测到静电的位置和极性及其变化,测定静电问题的严重程度,并测定静电控制方法的效果。

应按照仪器制造商的建议将仪器正确接地并使用。使用时应保持仪表在规定的标定距离,有些仪器无法在离子化环境中使用。

4.2 控制

4.2.1 静电控制分类

- 4.2.1.1 静电带电控制(ESCC)——避免因静电荷聚集而造成的问题。
- 4.2.1.2 静电放电控制(ESDC)——避免因带静电物体与敏感元件之间电荷的传输而造成的问题。

4.2.2 控制方法

- 4.2.2.1 等电位系统,系统中所有的物体(包括人员)都处在同一电位上。对于表面电阻率小于 $10^{12} \Omega$ 、或体积电阻率小于 $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 、或两者均符合的设施元件(墙、地面、工作台等)、材料、设备,进行接地处理。
- 4.2.2.2 空气电离装置:空气离子化对环境必要的非导体(如电路板材料,器件封装)实施电荷中和。可采用局部或全室空气离子化中和手段。
- 4.2.2.3 静电防护材料:在静电保护区内,采用低带电和静电耗散材料;静电保护区外,推荐使用低带电和静电放电屏蔽材料。合理地使用导电材料和静电耗散材料(包括工作服的选择)。

4.2.3 控制区域

4.2.3.1 地面。

4.2.3.2 工作台表面和工作表面。

4.2.3.3 控制区域宜有明显的可视标识。

4.2.4 控制注意点

4.2.4.1 防静电技术本身应尽可能不产生污染。实施防静电措施时,应考虑:环境的空气悬浮粒子洁净度、产品和工艺的敏感性、对人的潜在影响、设施运行的安全性。

4.2.4.2 考虑产品和工艺对静电影响的敏感性,建立有效的防静电系统。系统中要确定最大允许的静电电压或电场,并规定允许的衰变时间。

4.2.4.3 培训员工提高其防范意识,使其了解静电,在处理静电敏感产品时使用正确的方法和正确的材料。

4.2.4.4 不宜使用放静电液等化学方式,以免造成分子级化学污染。

4.3 控制措施

4.3.1 概述

与洁净室相关的有效静电控制是一套综合系统。首先了解对静电的特殊要求,例如安全要求和产品灵敏度要求。选择用于防静电系统的材料、产品和服装时,应考虑到所选材料的潜在颗粒物污染、释气、化学残留物等问题,针对每项具体产品和工艺的独特要求来确定使用的具体防静电措施。

采用静电耗散型服装,配合其他防静电技术,可以达到对静电的控制。有效控制静电的核心是系统接地,配合以防止和控制静电的静电中和措施,就可以达到良好的静电防护。

4.3.2 环境——相对湿度和温度

大多数洁净室控制在 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $50\% \pm 5\%$ 。静电的影响随相对湿度的降低而增加;静电的产生与相对湿度的大小呈反比(湿度影响着静电的产生,但如果静电已经存在,很难用改变湿度的方法来中和静电)。

4.3.3 接地

4.3.3.1 原理

导静电或静电耗散材料,通过接地可以泄漏静电荷,实现等电位。静电电势(电压)是相对大地而言。若一个导电物体(通常定义为电阻率小于 $10^{10}\text{ }\Omega$ 的物体)与大地接通(通过电阻率相对低的通道),该导体上不会留有静电,也不会产生静电或出现静电放电。因此,将物体保持在一个相同电势的区域,可以提供最好的静电放电(ESD)防护。相关技术要求,详见 IEC 61340-5-1 和 IEC/TR 61340-5-2。

4.3.3.2 人员相关用品

4.3.3.2.1 腕带

腕带包括接地带、导线和接点(搭扣)。腕带的作用是将人体静电迅速、安全地耗散接地,并保持人与工作表面相同的静电电位。

应定期对腕带进行检测;在工作台开始工作前,应对腕带进行检测。

4.3.3.2.2 足带(脚跟带)

足带是将人体静电通过地面泄漏的一种接地装置。两只脚都应配带足带,进入控制区时要对足带

进行检测。

4.3.3.2.3 鞋带(后脚跟或脚趾)

与穿戴者接通的部分是插入鞋具的一条带子或其他物品,接地点与足带类似。穿戴者的两只脚都要佩戴鞋带,并在进入控制区时对鞋带进行检测。

4.3.3.2.4 防静电鞋具

在静电控制区,所有人员从脚到鞋具的底部表面应有一条低电阻通路。通过采用静电耗散型鞋具、静电耗散型鞋带、腿及靴的接地组件,可以实现低电阻通路。

4.3.3.2.5 静电耗散型手部护具——防静电手套和指套

应对防静电手套的残留静电和接地时的衰减时间进行评估(佩戴手套或指套的人可能偶尔不接地,接地通路可能会通过 ESD 敏感器件)。

应评估防静电手套的“电场叠加”,即手套内表面与手以及手套外表面与工作环境不断接触可能产生的局部电荷。

应评估添加剂。添加剂不应成为新的污染源,诸如颗粒物(例如,碳黑脱落),可析出物(例如,因带水操作或接触湿物而析出氨盐)。

4.3.3.2.6 静电耗散型工作服

静电耗散型服装防静电特性的全面测定中包括下述参数:

- a) 摩擦感应产生的电压或电荷(摩擦电压或电荷);
- b) 电压或电荷衰减到规定值或公称零的时间;
- c) 服装接地后的残留电压或电荷;
- d) 洁净工作服性能可参见附录 A。

4.3.3.3 设备

静电控制 ESCC 的接地一般与设施的接地系统相通。考虑 ESCC 接地系统时,应符合电气和建筑国家规范的相关要求。GB 50073—2013 的 9.5 规定了静电防护及接地的相关技术要求。

4.3.4 离子化

4.3.4.1 常用除静电的电离器

常用除静电的电离器有以下 4 种:

- a) 放射性电离器;
- b) 交流高压电离器;
- c) 直流高压电离器;
- d) X 射线电离器。

4.3.4.2 离子化静电消除器的应用形式

离子化静电消除器的应用形式主要有以下几种:

- a) 全室离子化是大面积静电中和系统。在靠近天花板的位置,通过电晕放电产生正负两种离子,通过电场的作用,离子扩散至洁净室的气流。在确保静电消除效果的前提下,不破坏洁净室的气流组织。
- b) 单向流工作台离子化系统是靠气流提供局部区域的离子化。
- c) 台面离子化系统用于控制工作台的静电放电,包括工作台上部的离子风机和离子发生器(洁净

室环境中的层流状态和风速是关键参数)。为了控制气流和离子扩散,应仔细布置离子风机;所用风机应符合洁净区的污染控制要求。

- d) 离子枪,在中和表面静电的同时利用高压气体清除表面颗粒物,离子枪还可用于处理生产设备的内部。

4.3.4.3 离子消除器的性能

不同类型的离子化静电消除器性能见表 3。

表 3 离子化静电消除器性能表

类型	分级	残余电压绝对值 ^a V	静电消散时间 ^b s	臭氧浓度 mg/m ³	电磁骚扰 EMI	噪声控制 dB(A)
离子风机	A	<5	<20	≤0.3	不同频段限值， 符合 GB 4824—2013 中 2 组 B 类设备	≤65 符合 GB 50073—2013
	B	<10				
	C	<50				
离子风枪 或风嘴	A	<10				
	B	<50				
离子棒	A	<20				
	B	<50				

注：离子化静电消除器 ionizing electrostatic eliminator

利用电极放电，使空气电离产生正负离子，并使带电体表面静电荷被中和的静电消除器。按结构和外表分类为：离子风机 ionizing air blower；离子风枪 ionizing air gun、离子风嘴 ionizing air nozzle；离子棒。其工作原理是用气流将带电离子输送到带电体表面中和静电荷。

^a 残余电压 offset voltage

离子化静电消除器正常工作情况下，充电板监测仪测量的某一位置的电压值。

^b 静电消散时间 static decay time

使带电体上静电电位减少到起始值的设定百分数（通常 10%）所需的时间。实际应用中是指充电板监测仪测得的静电压从±1 000 V 降到±100 V 的时间间隔，反映静电消除器消除静电的速度。

4.3.4.4 监测应用效果

4.3.4.4.1 测量衰减时间

用充电板监测仪测量带电的绝缘导电板上的电压衰减时间,来评估控制静电效果。

4.3.4.4.2 测量残余电压

先将绝缘的导电板接地,使其不存在任何残余电荷。然后切断接地,让该板在离子源的影响下达到一种电荷不平衡状态。将这种不平衡的最大值和极性记为残余电压(若观察到该残余电压有所波动,应同时记录电压的最大值、最小值、极性)。

4.3.4.5 安全

4.3.4.5.1 电气

高压电离器中各电晕点或暴露部件的短路电流,常用限值为 25 μA~200 μA,同时从人身安全和工艺安全的角度对可能触及的发射器或发射器部件的电流进行评估。

4.3.4.5.2 臭氧

符合 GB/T 18202 的有关要求。

4.3.4.5.3 放射性

放射性离子发生器安装就位后的辐射水平应符合国家相关的规定和标准。

4.3.4.5.4 电磁骚扰(EMI)

离子发生器产生的电磁骚扰(EMI)不应超出关键环境中其他设备的允许水平使用辐射计和频谱分析仪进行测量。

4.3.5 控制区

4.3.5.1 地面

工作区的一个常见静电源是人的行走和轮的滚动(摩擦带电)。正确地选择和处理地面材料,可以减少并控制因行走和滚动而产生的静电,所选地面材料和地面处理方法应在最终用户规定的静电耗散范围之内。微电子工业中的静电场应控制在低水平,建议试验电压为 10 V~100 V。

可用的地面材料和地面处理方法包括:

- a) 隔栅地面:主要用于单向流洁净室的高架地板,常用材料为铸铝,表面喷涂或复合其他材料;
- b) 地面覆盖物:主要用于非单向流洁净室,与地面粘接,接缝用密封胶填封;
 - 地面油漆、涂料、面漆:主要用于环境控制区和静电控制区;
 - 地垫:主要用于静电放电 ESDC 控制点。

安装完工后应对地面进行检测,而后每半年检测一次,以查验已磨损的地面是否仍然符合技术要求。测试标准依据 IEC 61340-4-1。

4.3.5.2 工作台和工作表面

工作台和工作表面往往是最接近敏感产品和敏感工艺的表面,应仔细规定工作台和工作表面的技术要求并仔细对其进行评估。需要考虑的部分特性包括:电导率、电阻率、脱尘和磨损特性,与其他元件之间的相互联系等。

4.3.6 包装材料

对用于洁净室产品防护、操作、储存、运输的柔性和硬质塑料包装材料进行综合性能评估,包括强度、隔离特性、ESD 防护、污染控制等。

应根据产品的敏感水平来选择包装材料,见 IEC 61340-5-3 要求。

5 培训与规范

5.1 根据受控环境内人员作业性质的区别,进行针对性的培训。

5.2 对相关技术、管理人员进行系列培训,要求其掌握静电产生原理、相关标准、控制技术和措施。

5.3 对普通作业人员进行一般性培训,使其了解静电的危害和操作规章的重要性。

5.4 制定相关作业规章,要求控制区内人员严格遵守。

附录 A

(资料性附录)

防静电洁净工作服主要性能

经无尘清洗的防静电洁净工作服(antistatic and cleanroom garmen),具有防静电与洁净性能,其防静电性能参见表 A.1,发尘限值参见表 A.2。

表 A.1 防静电洁净工作服的防静电性能表

分级	电荷面密度 (防静电织物) $\mu\text{C}/\text{m}^2$	带电电荷量 (防静电工作服) $\mu\text{C}/\text{件}$	防静电织物及工作服摩擦电位 V	
			衰减电位 $V_{2.0}$	峰值电位 V_p
一级	<1.0	≤ 0.1	<1.0	<2.0
二级	<2.5	≤ 0.3	<3.0	<4.0
三级	<7.0	≤ 0.6	<8.0	<10.0

表 A.1 中,电荷面密度(dlectric charge surface density)是单位面积织物表面所带的电荷量。 $V_{2.0}$ 衰减电位(attenuating voltage)是被测织物经摩擦、剥离后衰减 2.0 s 时表面电位的瞬时值。 V_p 峰值电位(peak voltage)是被测织物经摩擦、剥离后表面电位的最大值。

表 A.2 防静电洁净工作服发尘限值表

分级	发尘性 P/c 颗/min		不挥发性 残留物 NVR	离子含量 ng/cm^2				防静电性能 (点对点电阻)
	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$		Ce^-	SO_4^{2-}	Na^+	Ca^{2+}	
一级	$<2,000$	$<1,200$	$<3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	<100	<100	<100	<200	$10^5 \Omega \sim 10^{10} \Omega$
二级	$2,000 \leq P/c < 20,000$	$1,200 \leq P/c < 12,000$	$<10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	<200	<200	<200	<300	
三级	$20,000 \leq P/c < 200,000$	$12,000 \leq P/c < 120,000$	$<10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	<300	<300	<300	<500	

表 A.2 中,不挥发性残留物 NVR(non volatile residue)是指残留在织物表面的不挥发性物质,即该物质为通过化学溶剂溶解挥发后剩余物质。离子含量 IC(ion chromatography)是指单位面积织物表面的离子的质量。

防静电工作服、防静电洁净工作服透气、透湿、耐洗涤性能对比见表 A.3。

表 A.3 防静电工作服、防静电洁净服透气、透湿及耐洗涤性能对比表

种类	透气率 mm^3/s	透湿量 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	耐洗涤性能 (洗涤后满足表 A.1、表 A.2 要求)
防静电工作服	≥ 10	$\geq 2,000$	—
防静电洁净工作服	≥ 4	$\geq 1,000$	A 级洗涤 100 次 B 级洗涤 50 次

表 A.3 中,透湿量(moisture permeability)是指每天单位面积(m^2)织物透过的含湿量克数,单位为 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,透湿量测定参见 GB/T 12704.1—2009。透气率(air permeability)是指单位时间内,每平方毫米织物通过的空气量,单位为立方毫米每秒(mm^3/s),透气率测定参见 GB/T 5453。

参 考 文 献

- [1] GB 4706.45—2008 家用和类似用途电器的安全 空气净化器的特殊要求
- [2] GB 4793.9—2013 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第9部分:实验室用分析和
其他目的自动和半自动设备的特殊要求
- [3] GB/T 5453 纺织品 织物透气性的测定
- [4] GB/T 6882—2016 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 消声室和半消声室精密法
- [5] GB/T 12704.1—2009 纺织品 织物透湿性试验方法 第1部分:吸湿法
- [6] GB/T 15463—2008 静电安全术语
- [7] GB/T 25915.1—2010 洁净室及相关受控环境 第1部分:空气洁净度等级
- [8] SJ/T 11412—2010 防静电洁净工作服及织物通用规范
- [9] SJ/T 11446—2013 离子化静电消除器通用规范
- [10] SJ/T 11480—2014 防静电无尘擦拭布通用规范
- [11] IEC 61340-2-1 测量方法 材料和产品的静电耗散能力 (Measurement methods—Ability of materials and products to dissipate static electric charge)
- [12] IEC/TR 61340-2-2 测量方法 荷电率测量 (Measurement methods—Measurement of chargeability)
- [13] IEC 61340-2-3 防静电积累用固体平面材料电阻和电阻率的测试方法 (Methods of test for determining the resistance and resistivity of solid planar materials used to avoid electrostatic charge accumulation)
- [14] IEC 61340-4-1 专用标准测试方法 地坪涂层与已装地坪的电阻 (Standard test methods for specific applications—Electrical resistance of floor coverings and installed floors)
- [15] IEC 61340-4-3 专用标准测试方法 鞋类 (Standard test methods for specific applications—Footwear)
- [16] IEC 61340-4-5 专用标准测试方法 鞋类与地坪加上人的防静电分类方法 (Standard test methods for specific applications—Methods for characterizing the electrostatic protection of footwear and flooring in combination with a person)
- [17] IEC 61340-4-6 专用标准测试方法 腕带 (Standard test methods for specific applications—Wrist straps)
- [18] IEC 61340-4-7 专用标准测试方法 电离 (Standard test methods for specific applications—Ionization)
- [19] IEC 61340-4-8 专用标准测试方法 屏蔽·口袋 (Standard test methods for specific applications—Discharge shielding—Bags)
- [20] IEC 61340-4-9 专用标准测试方法 服装 (Standard test methods for specific applications—Garments)
- [21] IEST-RP-CC022.2 洁净室及相关受控环境中的静电 (Electrostatic charge in cleanroom and other controlled environments)