

---

# 静电学手册

---

## 第三册

### 静电消除方法基础

---

导体的静电消除方法

绝缘体的静电消除方法

静电消除器（电离器）的运行原理

<b>III</b>	<b>静电消除方法基础</b> .....	<b>III-3</b>
III-1	导体的静电消除方法 .....	III-3
	地/防静电腕带 .....	III-3
	防静电地板材料 .....	III-6
	防静电地板 .....	III-7
	防静电鞋 .....	III-7
	防静电衣物 .....	III-7
III-2	绝缘体的静电消除方法 .....	III-8
	让物体具有导电性 .....	III-8
	涂布型防静电剂的静电防护效果 .....	III-9
	湿度控制 .....	III-9
III-3	静电消除器（电离器）的运行原理 .....	III-10
	自放电型 .....	III-11
	“电压应用”型 .....	III-12
	软X光型 .....	III-13

# III. 静电消除方法基础

## III-1 导体的静电消除方法

如前章所述，只要两个物体接触就会发生电荷分离，从而产生静电。

防止产生静电问题的最佳方法是防止产生静电。然而，这在现实中是不可能的。

切实可行的方法是最大限度地减少静电的产生或快速释放电荷。具体来说，一种方法是使用静电消除器（例如电离器）通过产生与带电物体相反极性的电荷来中和物体中的电荷，从而消除静电。另一种方法是通过增湿或接地从物体中释放静电。必须将两种手段结合起来以设计出一种合适的方法。

抗静电方法要求充分了解目标物的带电性能以及有利于消除静电的环境。

例如，在电子业中需要应对各种静电，从影响IC和LSI等静电高度敏感元件的静电一直到释放大量能量造成灰尘吸附在包装材料上的静电。

这类包装材料通常不要求像IC一样采取严格的抗静电控制。但是，如果IC有接近包装材料的可能，则需要此类严格控制。

本章说明带电物体为导体时的抗静电方法。

### 接地/防静电腕带

当带电物体是金属之类的导体时，典型的抗静电方法就是“接地”。接地法是利用地球是一个表面电位为零的大导体，从而将积聚的静电完全释放给“地面”。也就是说，地面是一个“永无止境的静电吸收器”。当把带电物体接地时，它的电荷立即流入地面，该物体也就不再带电。

图3-1-1显示电荷释放的时间与速度之间的关系。电荷衰减的时间常数表示为 $\tau=RC$ ，其中接地电阻为 $R[\Omega]$ ，导体电容为 $C[F]$ 。

$C$ 的值取决于导体的形状、大小以及位置。假设 $C=1 \times 10^{-9} F$  (1000pF，约为人体电容的5倍)且 $R=1 [M\Omega]$  ( $M=10^6$ )，则 $\tau=1/1000s$ 。

根据规定， $1 [M\Omega]$  或以下的接地电阻为合格，不再需要纳入其它考虑因素。

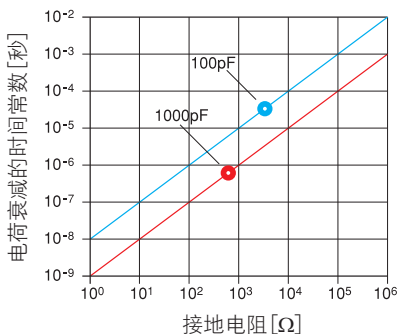
接地法是一种轻松有效的抗静电方法，被广泛用于各种应用。

另一方面，由于接地法过于常见，人们可能会忘记将机器接地。有时接地法会因为机器不经意间产生腐蚀而失去作用。

接地法只有在带电物体是导体是方才有效。它无法用于玻璃或塑料之类的绝缘体。

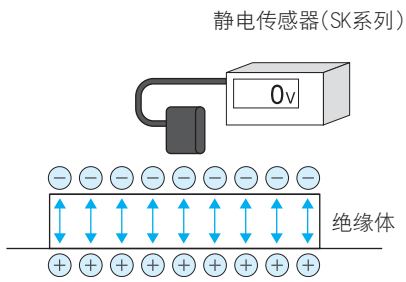
即使将带电绝缘体接地，电荷也不会流出而是留在绝缘体内，因而无法消除静电。

图 3-1-1: 接地电阻与释放时间



释放时间常数 $\tau$ 是导体电容 $C$ 和接地电阻 $R$ 的乘积。无论接地电阻是 $10\Omega$ 或 $100\Omega$ 电荷都可以立即释放。

图 3-1-2: 背面贴在接地导电板上的绝缘薄膜



当带电绝缘体与接地导体接触时，绝缘体内的静电似乎消失了，电位也有所下降。

当带电绝缘体与接地导体接触时，绝缘体内的静电似乎消失了。如果测量该绝缘体的电位，电位值确实比接触前要低。这就造成误解，以为对于绝缘体接地法也是一种有效的静电消除手段（图3-1-2）。

电位之所以降低的原因如下：当导体接地时，电荷可自由移动。当带电绝缘体与该导体接触时，带有与绝缘体相反极性的导体电荷被吸到导体的表面。于是，在带电绝缘体与接地导体的接触面上，正负电荷中和，两者的静电似乎都被消除了。然而，绝缘体中的电荷实际上并未被消除。当绝缘体与导体分离时，可以发现表面上已消失的静电依然存在于绝缘体中。

因此，即使将绝缘体接地，积聚在绝缘体中的电荷也不会漏出。如果该绝缘体带有一些导体特性，则电荷可能会通过接地逐渐消失。

要消除极易带电的人体中的静电，可以使用接地法，因为人体和导体很相似。用于将人体接地的一种途径是“防静电腕带”。防静电腕带能够通过将工人的皮肤接地从而降低人体的电位，这样由人体产生的静电就不会影响其它物体。处理静电敏感物体的工人必须佩戴防静电腕带，以免产生静电问题。图3-1-3显示防静电腕带的配置。它的组成部分包括：包在手腕上的护腕、护腕接头、导线以及接地连线。图3-1-4列出各种防静电腕带。

图 3-1-4: 各种防静电腕带

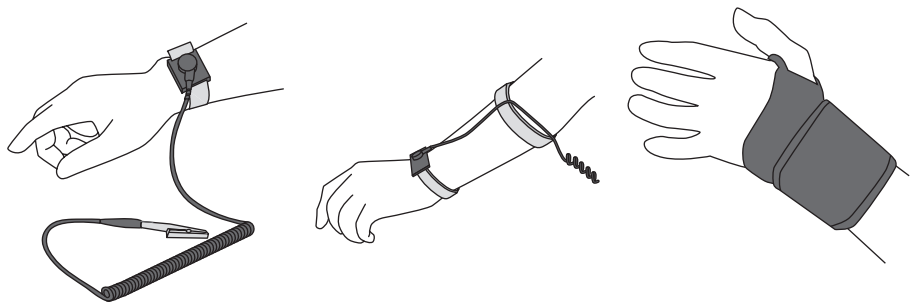
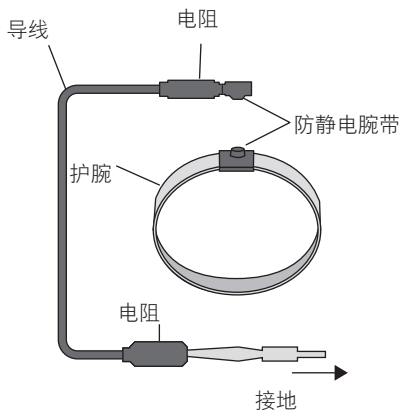


图 3-1-3: 防静电腕带的配置



根据配置或用途有各种防静电腕带。为了有效使用防静电腕带，选择一种可紧固在手腕上的腕带，这样就能与皮肤充分接触，同时佩戴者也不会有不适感。您还应考虑人员安全、可操作性及质量控制。

以下是选择防静电腕带时需要考虑的要点。

### 1. 耐溶剂性

确认所有在工作区中可能用到的溶剂都不会损伤防静电腕带的材质或改变其性质。由于防静电腕带是包在手腕上，护腕或导线部分可能会因意外而溅上溶剂。

### 2. 耐汗性

确认防静电腕带的金属部分能够抵御身上的汗水而不生锈或腐蚀。若使用纤维或塑料制成的护腕，汗水中的盐分或污垢会因吸收而积聚起来，可能造成污染或使电阻变大。防静电腕带必须针对生锈、腐蚀以及污染等情况进行测试。

### 3. 佩戴简易性

检查防静电腕带是否可以方便地戴上及取下。

防静电腕带必须可以方便地戴上及取下，同时要非常牢固，这样才不会在工作时发生腕带滑落的情况。连接部分（护腕与导线，导线与接地端）必须具有一定的牢固度，因为如果防静电腕带容易滑落，就会减弱静电消除的效果。另一方面，防静电腕带必须能够在超额电流流过或发生机械危险时立即取下。

### 4. 导线的强度

确认导线的强度高于戴上/取下测试中得出的参考值。

### 5. 使用寿命

使用寿命测试器确定防静电腕带的更换周期。但是，防静电腕带的结构或故障模式不同，其使用寿命也不同。必须每隔一段时间检查接口是否松开、代码是否损坏以及护腕与皮肤之间是否均匀接触。

### 6. 临界电流耐性

临界电流耐性的值从根本上被设定为小于高压电源的某个水平段上的电流值。通常，这个值在 $1\text{M}\Omega$ 到 $800\text{k}\Omega$ 之间（耐性值较低的防静电腕带可用于某些范围）。要检测该耐性，将腕带绕在不锈钢圆柱体上，然后测量圆柱体与地面之间的耐性。

### 7. 使用舒适性

确认工人在佩戴腕带时感到舒适。

由于腕带是直接戴在身体上，佩带者通常会感到一些不适。最近，由于设计上的改进，这种不适感有所缓解，但是仍有各种问题，例如佩戴/取下过程繁琐或腕部压力过大等。选择合适的腕带可解决一些问题，例如因腕带无法清洗而产生的污秽感，或因护腕上的金属按钮的印记留在手腕上而产生的不适感。必须尽可能的改进腕带，以免降低工作效率。

总之，尽管佩戴腕带的主要目的是消除积聚在人体内的静电，但选择一种在设计上不会降低操作性，不会造成污染，即使长期使用也不会对工人造成压力的腕带也至关重要。

### 抗静电地板材料

在静电控制过程中，由某个区域中的地板所产生的电荷是造成机械中或走动的人体中产生静电的巨大因素。针对地板的抗静电控制方法大致可分为两种：一种是通过“限制因工人接触而造成的电荷积聚”来遏制电荷，另一种是通过接地来“平稳地消除产生的电荷”。

本章的研究内容是针对地毯、地垫以及瓷砖等主要地板材料的抗静电方法。表格3-1-5列出了抗静电地板材料的结构特征及优点。

表格 3-1-5: 抗静电地板材料之比较

名称	优点	问题	电性能
地毯	外观佳, 舒适	不能用于电子业生产厂。	一般约 $10^{10}\Omega$ , 某些电阻更低。
地垫 1) 导电型 2) 抗静电型	铺设简单  良好的抗静电特性 可用在现有地板上	只能保护局部  容易卷起。 受湿度限制 脏污	  $10^7\Omega$ 或更低 $10^9$ 至 $10^{12}\Omega$
涂在地板表面的抗静电剂 1) 导电涂料 2) 涂布型抗静电剂 3) 地板专用抗静电剂	可用在现有地板上  良好的抗静电特性 使用方便, 价格低廉  使用方便, 价格低廉	脏物, 耐久性 寿命, 性能  种类, 受湿度限制, 维护/ 再使用成本	  $10^7\Omega$ 或更低 $10^9$ 至 $10^{12}\Omega$  $10^9$ 至 $10^{12}\Omega$
抗静电地板	出色的抗静电特性  良好的耐久性/ 效果持久  某些产品可用于 干净的房间。	成本 在现有设施中铺设	约 $10^9\Omega$

#### ●地毯

地毯因其良好的外观及舒适性而被用在电脑房或其它设施中。但是，地毯不适用于对抗静电控制有严格要求的场所，例如IC生产场所。

#### ●地垫

地垫适用于在有限的区域内控制静电。它们主要用于实验室中的工作台周围或特定区域内，在那里不使用抗静电地板材料。大部分地垫都是双层结构，由橡胶、乙烯基或聚烯烃材料加上导电碳化合物与腈聚合物组成。至于地垫的特点，就是铺设相对简单；但是仍有问题存在，例如地垫变脏，抗静电材料老化以及地垫容易卷起等。

### ●涂有抗静电剂的地板

有三种抗静电剂可用作地板涂层：导电涂料、涂布型抗静电剂以及地板专用抗静电剂。

导电涂料是一种包含导电碳纤维或金属纤维的地板材料。由于它的易用性及良好的抗静电性能，可在整个工厂内作为抗静电方法实施。但是，由于产生灰尘及耐久性问题，导电涂料不适合干净的房间。

涂布型抗静电剂最初的设计目的不是用在地板上。因此，它存在着耐久性及其再使用周期（寿命）等问题。低成本是它的优势。

主要类型的地板专用抗静电剂使用以下三类解决办法：一是除掉地板表面上的蜡或残屑，二是清洁表面，三是使用抗静电剂。它的一大优势就是只需相对较低的成本却可在首次使用时提供出色的性能。而问题在于，一些产品的有效期要取决于湿度和其它外部因素，并且在借助专业人士再度使用时要花费比预期更多的成本。

### 抗静电地板

有两种抗静电地板可供选择：一种是由导电乙烯基材料制成的砖状/薄片状地板，另一种是包含金属纤维的地毯式地板。砖状/薄片状地板中包含导电材料，均匀分布在表面。因此，这种地板能够提供极高的抗静电性能及耐久性，非常适合用于静电控制。然而，其成本却十分高昂。

### 抗静电鞋

要防止静电电荷在鞋中积聚，可以在普通的鞋子上系上脚腕带或踝扎以形成接地，或穿上附有导电特性的抗静电安全鞋。这些方式的导电性取决于结构和材料。在静电控制区域中，地板和鞋都是重点。

### 抗静电衣物

人体与衣物在静电方面互无联系或互相绝缘。因此，即使人体接地，也无法消除衣物上的电荷。

有各种各样的衣物可以防止静电积聚。然而，这些衣物的性能在很大程度上要取决于衣物内的温度和湿度，两者产生的根据是内层衣物的类型，工人的汗水或其它因素。

当工人在静电控制区内身着没有经过抗静电处理的衣物时，需要测量所产生的静电的电压。当工人在该区内身着普通的抗静电衣物时，需要测量由摩擦产生的电量及其衰减特性，以及衣物表面的电阻。然后根据这些特性考虑对策。

## III-2 绝缘体的静电消除方法

### 让物体具有导电性

由于电流无法穿过绝缘体，因此将绝缘体接地不能消除静电。但是，如果带有静电的绝缘体具有导电性，将该物体的一端接地就能很轻松地消除电荷。有两种方法可使绝缘体带有导电性：一种是在表面覆上导电材料，另一种是将导电材料混入绝缘体。

#### ●提供表面导电性

提供表面导电性就是只使物体表面具有导电性。这是一种针对绝缘体的典型静电消除方法，因为这样既可以阻止绝缘体内产生电荷，同时也不会损害物体的原有特性。通常会使用抗静电剂。

实际范例有：

- 在聚合材料的表面上覆上一层具有高度电感应性的金属薄膜。这样就可以通过金属层的导电性加大电荷的释放量。
- 涂上一层含有碳黑或银粒等导电材料的导电涂层。
- 使物体表面具有亲水性。这样就可以通过物体表面上吸收的湿气加大电荷的释放量。

该方法的缺点在于会因清洁表面或表面老化而失去抗静电作用。

#### ●提供体积导电性

提供体积导电性就是通过混入导电材料（例如将碳纤维混入聚合物材料）使物体本身具有导电性。

由于这种方式可确实使聚合物材料具有导电性，因此可通过接地轻松地消除静电。由于物体自身获得导电性，因此与表面导电性相比，即使反复清洁表面，效果也能够一直持续下去。

而缺点在于混入导电材料会损害物体的原有特性。当把碳黑混入聚合物材料后，聚合物材料变黑且不透明，应用范围也因此受到限制。

该方法主要用于包装袋，以保护带有电路的PC板等静电敏感产品或其它电子元件。



表格 3-2-2: 抗静电剂的类型

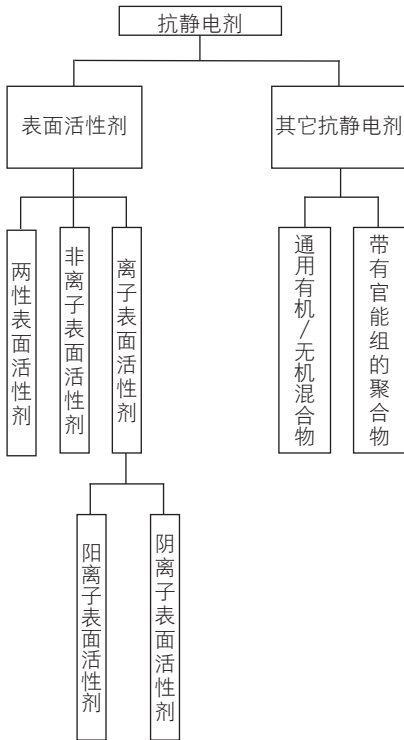
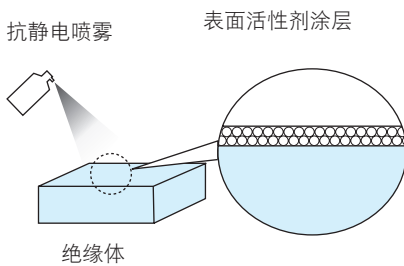


图 3-2-3: 抗静电喷雾的原理



优点：可简单轻松地实现抗静电效果。  
 缺点：效果不持久。

### 涂布型抗静电剂的静电防护效果

涂布型抗静电剂被用于通过将特殊液体涂在物体表面从而达到控制静电的效果。它的作用是通过提高物体表面的导电性使电荷消散在周围的空气中。这种抗静电剂可以实现以下效果：

- 提高物体表面的导电性。当两个物体带上静电时，该抗静电剂加快两个物体间的电子交换。也就是说，两个物体间的电子处于平衡状态，不会再产生摩擦电荷，物体表面的电荷也因表面导电性而消散在空气中。
- 可使物体表面的正负电荷达到平衡。这是由于物体表面产生的摩擦电荷因离子中和或离子交换而消散在空气中。
- 使物体表面光滑，以免因摩擦而积聚电荷。

### 【参考】

#### 抗静电喷雾的原理

抗静电喷雾是一种简单的抗静电方法。

如图3-2-3所示，抗静电喷雾在绝缘体的表面生成一层表面活性剂。当活性剂吸收空气中的水分后，电流可从表面通过。也就是说，抗静电喷雾通过在绝缘体表面生成导电层从而提供电流通过的途径。

在生产场所，抗静电喷雾常常伴随送料器使用。当送料器夹住零件时就使用抗静电喷雾。

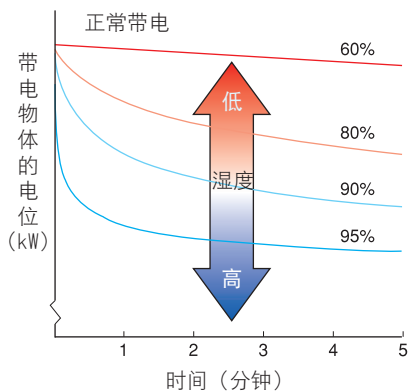
### 湿度控制

解决静电问题的另一种方法是湿度控制（增湿）。这种方法可保持一定的空气湿度，使得物体表面带有水分，以提高导电性。相反，当空气干燥时，具有导电性的水分含量下降，使电流流动受阻，从而造成静电释放。之所以冬天比夏天更容易产生静电问题的原因就是湿度下降并且暖气设备使空气更加干燥。这使得工厂中因季节因素而造成的瑕疵品比率增高。

湿度可表示为相对湿度和绝对湿度，前者较为常用。假设目前空气在没有冷凝的情况下能够包含的水蒸气含量为“1”，则相对湿度就是实际水蒸气含量的百分比。

棉花或木头等天然物质通常被认为几乎不会带电，但当相对湿度降低 35% 以下时，即使是这些物质也会产生静电。当相对湿度超过 65% 时，很难产生静电。即使产生静电，也会自行释放。

图 3-2-4: 向空气中释放的静电电荷与湿度的关系



当物体带上一定的电位后，提高湿度就可以使电荷释放到空气中。

图3-2-4显示向空气中释放的静电电荷与空气湿度的关系。

在湿度较大的空气中，物体表面的电荷密度越高，电荷向空气中释放的速度就越快。于是，表面上的电荷就会减少到一定程度。尽管随后衰减速度变缓且仍有电荷残留，但可以通过湿度控制来将物体中的电荷减少并保持在不容易产生问题的水平上。

最常见的增湿办法是使用增湿器。另外，还可以在地板上增加水汽或洒水。但是，这些方法仍存在问题，例如因工人感到不便而使工作效率降低，或使冷凝、生锈或发霉的可能性增大。

### III-3. 静电消除器（电离器）的运行原理

空气中含有78%的氮分子，余下的大部分都是氧分子。另外还有少量的二氧化碳和水蒸气。

空气中的这些分子因刮风、风暴、闪电等气候条件或太阳照射或地球表面的放射性物质而发生正极或负极离子化，继而产生空气离子。

这些空气离子有正极性或负极性，并还具备可通过吸收相反极性达到中和的特性。静电消除器（电离器）便是利用这一特性，提供带电物体具有相反极性的离子。它们迫使物体中的电荷被中和，达到为物体消除静电的目的。

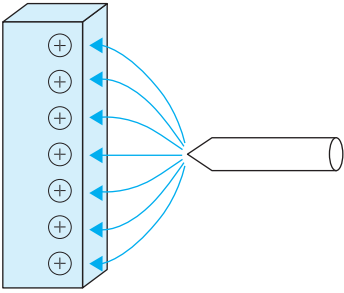
静电消除器（电离器）不仅能有效地中和（消除）静电，还能防止物质或空气中的小颗粒带电。它们还常常在无法使用增湿法或接地法的情况下作为补充手段，并已成为抗静电控制中不可或缺的一环。

根据电离空气分子的方式，静电消除器（电离器）可分为两类：“电晕放电”型和“光照”型。

“电晕放电”型静电消除器将电场集中在针形的放电电极中，以产生电晕放电并通过离子化空气消除静电。“电晕放电”型还能进一步分成“自放电”型和“高压应用”型。

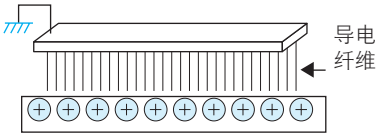
“光照”型静电消除器也称为“软X光”型，因为它使用柔和或微弱的X光。以下各部分对这些静电消除器的功能、应用及结构进行说明。

图 3-3-1: 感应电荷聚集在针形电极处



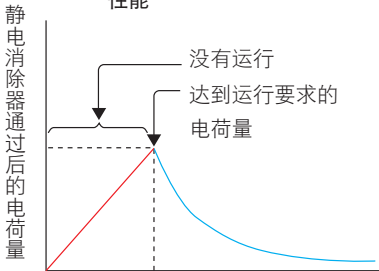
感应电荷聚集在针形电极的顶端，使电场变强。

图 3-3-2: “自放电”型静电消除器的结构



“自放电”型静电消除器由接地的刷状导电纤维构成。它在接近带电物体时会产生电晕放电。随之产生的电荷与物体具有相反的极性，使物体中和。

图 3-3-3: “自放电”型静电消除器的性能



由于“自放电”型静电消除器根据目标物的电荷所生成的电场来产生电晕放电，因此除非物体的电荷超过一定的标准，否则它不会工作。

### 自放电型

当纤维或电线等带有针状顶端的导体（例如金属）接近带电物体时，感应电荷会聚集在顶端。结果，顶端周围的电场变得更加强大，从而产生一种空气放电形式，电晕放电（图3-3-1）。由于针状顶端（电极）周围以外的电场强度并未超出介质击穿强度，因此只有顶端产生放电。

当电晕放电开始时，会产生与物体电荷相反极性的离子，从而使得电场被中和。“电晕放电”型静电消除器利用该现象消除静电。

“自放电”型静电消除器结构简单，它是将碳或其它导电纤维捆在一起呈刷子状，并且接地。（图3-3-2）

当带电物体靠近静电消除器时，会发生静电感应，同时拥有与物体相反极性的电荷流过地面并集中在导电纤维刷的顶端。当电荷数量超过一定水平后，便会发生电晕放电。随之产生的空气离子吸附在带电物体上并与该物体的电荷相结合，从而使物体的电荷达到平衡。

“自放电”型静电消除器受到广泛应用，因为它不需要电压源，同时价格低廉，安装也十分方便。常见的例子有：将该消除器安装在传真机或复印机的出纸口，以便消除纸张产生的静电。

图3-3-3显示“自放电”型静电消除器的性能。“自放电”型静电消除器基于目标物的电荷生成电场。目标物所带的电荷越多，电场就越强。但是，对于电荷量较少的物体，可能不会发生电晕放电。因此，这种静电消除器不能完全消除物体的静电，不适用于精确度要求较高的工作。

### “电压应用”型

“电压应用”型静电消除器通过高电压释放技术中和静电，该技术可借助针形电极和高电压电源自主产生电晕放电。

如图3-3-4所示，“电压应用”型静电消除器由三部分组成：通过施加高电压来产生电晕放电的针形电极、高电压电源以及接地电极。它通过向电极针施加高电压（3kV或更高）从而在电极针顶端周围产生电晕放电。

当发生电晕放电时，电极针周围的空气被离子化。生成的离子被提供给带电物体，以便消除静电。

“自放电”型静电消除器所产生的离子量要取决于物体的电荷量，与之形成对比的是，“电压应用”型静电消除器通过向电极针施加高电压迫使电晕放电形成。由于只需打开电源就能确保稳定强力的静电消除效果，“电压应用”型静电消除器被广泛用于要求精确操作的生产场所中。

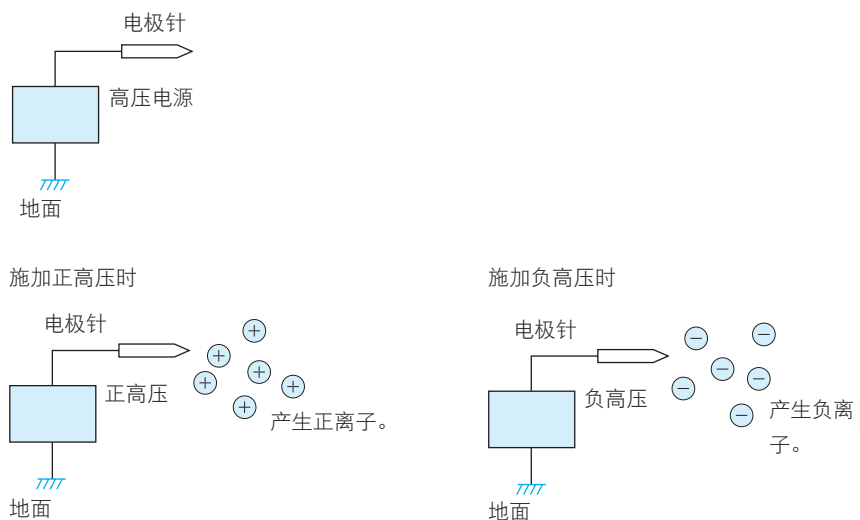


图 3-3-4：“电晕放电高压应用”型静电消除器的结构  
施加正电压时产生正离子。施加负电压时产生负离子。

图 3-3-5：AC型静电消除器的结构

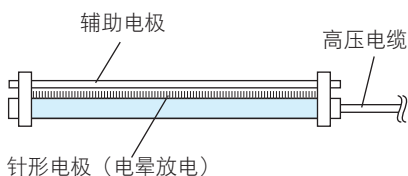


图3-3-5显示AC（交流电源）型静电消除器，它是一种常见型号的“电压应用”型静电消除器。它的组成部分如下：电极针为等距排列的电极和一块接地的长方形金属板充当的辅助电极。

AC型静电消除器通过不断释放出正电荷或负电荷来产生离子。产生的离子中有部分被辅助电极吸收，剩下的离子穿过辅助电极，到达带电物体的表面并中和电荷。

“电压应用”型静电消除器的电极针越尖锐，可产生的离子就越多。电极针的顶端必须由高耐压性的材料制成，因为它很容易因离子碰撞而受到损害。钢制电极针加工起来非常简单，但其耐压性较弱。钨制电极针可耐压且寿命长，但成本较高。

### **软X光型**

软X光是一种波长小于紫外线的X光，波长范围在十分之一nm到几十nm之间。软X光具有能够电离空气的特性。软X光（光照型）静电消除器通过直接电离空气中的气体分子消除静电。

它的优点在于能够以较短的时间在较大的范围内消除静电，这是因为它只依靠发射软X光工作。

而缺点在于，虽然软X光较弱，但还是X光。这种光线对人体有害，且法律规定在有软X光的地方必须予以通知。此外，使用软X光必须有实质性的控制手段以及专用的防护设施，从而导致成本上升。

因此，当电晕放电型生成的离子在某些狭窄的空间内很难到达目标物时（例如粒子穿过管道时），经常会使用软X光型来消除静电。