

§ 7.3 静电场中的导体

①导体：金属导体由大量的带负电的自由电子和带正电的晶体点阵构成。在静电场中，自由电子在电场力的作用下形成宏观的定向移动，这种移动反过来可改变原来的电荷分布和电场。

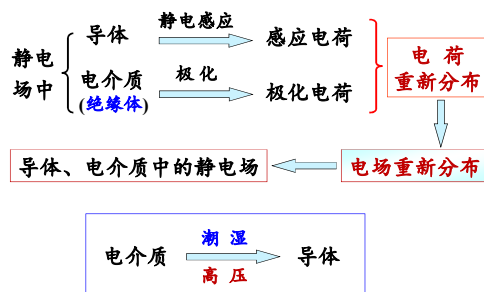
②电介质：其内部几乎不存在可以自由移动的电荷的物质，通常表现出很弱的导电性。在静电场中，束缚电荷在电场力的作用下形成宏观的微弱显现，这种显现反过来可改变原来的电荷分布和电场。

由于电介质的导电性能很差，所以常被称做绝缘体。

③半导体：导电性能介于导体和电介质之间的物质。

2018年5月31日

1

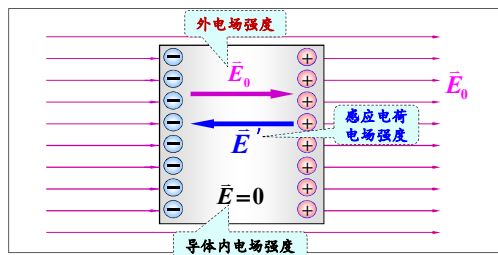


2018年5月31日

2

一、静电平衡状态和条件

1. 静电感应现象：当把导体放在外电场中，导体内部的自由电子因受到电场力的作用而做宏观的定向运动，引起导体中的电荷重新分布的现象。



2018年5月31日

3

2. 导体静电平衡的概念：

在导体内部和导体表面都没有自由电荷的定向移动。

3. 导体静电平衡的条件：

场强：导体内部 $E_{内}=0$ ，导体表面 $E_{表面} \perp$ 表面

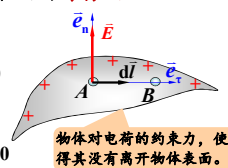
电势：导体为等势体，其表面为等势面。

导体内各点电势相等

$$\because \vec{E}=0 \quad \therefore U_{ab} = \int_{ab} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

导体表面为等势面

$$\because \vec{E} \perp d\vec{l} \quad \therefore U_{AB} = \int_{AB} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$



只注重导体静电平衡的结果，不考虑实现的过程。

2018年5月31日

4

二、导体上电荷的分布

1. 实心导体：电荷只能分布在导体表面；内部无净电荷。

证明：在导体内部任取一体积元 ΔV ，

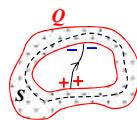
$$\oiint_{\Delta V} \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \iiint_{\Delta V} \rho dV = \rho \Delta V = 0 \Rightarrow \rho = 0$$



2. 有空腔导体：①空腔内无电荷。

电荷分布在外表面，内表面无电荷。

$$\Phi_e = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 \quad q_{内表面} = 0$$



若内表面某点有正电荷，则该表面其它点一定存在等量的负电荷。腔的内空间中有电力线，且由正电荷指向负电荷，与导体是等势体相矛盾。

2018年5月31日

5

2. 有空腔导体

②腔内有电荷：

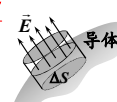
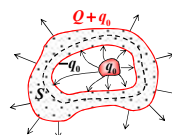
电荷分布在导体内、外两个表面，其中内表面的电荷是空腔内带电体的感应电荷，与腔内带电体的电荷等量异号。

外表面的感应电荷与内表面的电荷等量异号。

3. 导体表面电荷面密度为 σ ，则 $E_{表} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

证明：过导体表面取封闭高斯面 S ，

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \sigma \Delta S / \epsilon_0 \quad E_{表} \Delta S = \sigma \Delta S / \epsilon_0$$



当空间电荷发生变化时，导体表面的电荷分布——面密度 σ 会发生变化，因而表面外临近处的电场强度也随之变化。

2018年5月31日

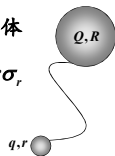
6

4. 孤立导体电荷面密度与曲率关系

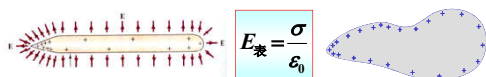
证明：用导线连接远离的两个孤立导体

$$U_0 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \Rightarrow R\sigma_R = r\sigma_r$$

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_r} = \frac{r}{R} \Rightarrow \sigma \propto \frac{1}{R}$$



孤立导体处于静电平衡时，表面电荷面密度 σ 与该处曲率有关，**曲率(1/R)越大处电荷面密度也越大。**



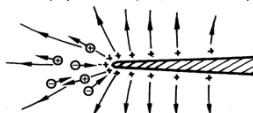
2018年5月31日

7

尖端放电：带电导体尖端附近的电场特别大，可使尖端附近的空气发生电离而成为导体产生放电现象。尖端附近的空气被电离成正负粒子，产生大量的新的带电粒子，与尖端导体上同号的电荷受电场的排斥逆着导体加速运动。

为防止尖端放电，高压器件表面必须做得光滑并且常常做成球形。

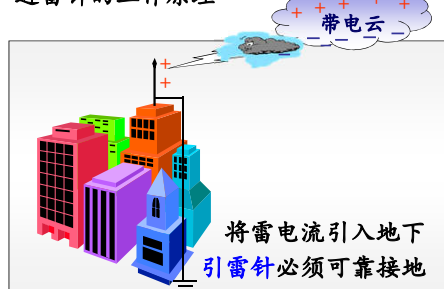
利用尖端放电的例子有避雷针、电子点火器、火花放电设备中的电极。



2018年5月31日

8

避雷针的工作原理



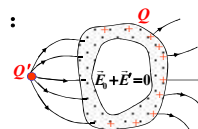
2018年5月31日

9

三、导体的静电屏蔽

1. 腔内无电荷（屏蔽内空间）：

导体表面电荷与导体外部电荷产生的电场在导体内部叠加的总效果，使得**腔内和导体内部**的空间场强为零。



空腔导体可以屏蔽外电场，因此，用一个空腔导体可以使其**内的物体不受外面的电场影响**。

整个空腔导体和腔内的电势也处处相等。

静电屏蔽：腔外电荷的电场会影响腔外表面的电荷分布，最终导致腔内及导体内部总场强为零。

2018年5月31日

10

2. 腔内有电荷（空腔接地屏蔽外空间）：

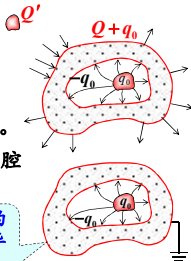
①由于静电感应使得腔内、外表面感应出**等值异号**电荷。从而**影响空腔导体外部电场分布**。

②**腔内的电荷与腔内表面的电荷**在内表面**以外**的空间，场强为零。

③**腔外的电荷及导体上的电荷**在腔外表面**以内**产生的合场强为零。

如果将导体空腔接地，则其外表面的电荷将与来自大地的负电荷中和，导体外的电场也就消失了。

静电屏蔽：若导体腔接地，**腔内的电荷与腔内表面的电荷**在内表面**以外**的空间，场强为零。



2018年5月31日

11

◆ 综上所述，空腔导体（无论接地与否）将使**腔内空间不受外电场的影响**；而**接地的空腔导体**将使**外部空间不受空腔内的电场的影响**，这就是空腔导体的**静电屏蔽作用**。

静电屏蔽的应用

静电屏蔽



法拉第笼



汽车是个静电屏蔽室



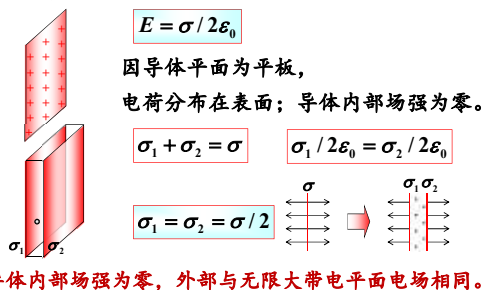
静电屏蔽服

2018年5月31日

12

例1 无限大均匀带电 σ 的导体平面的电场分布。

解：无限大带电平面电场为**面对称**分布。



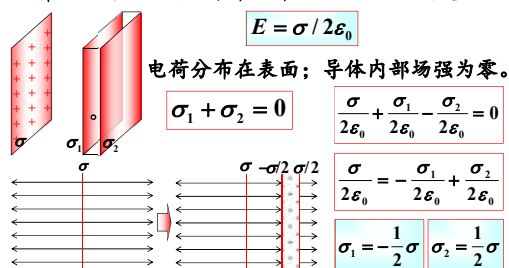
2018年5月31日

13

例2 带电平面 σ 的场中平行放置一无电导体板。

求：导体板两面的电荷面密度。

解：空间电场是三个带电平面的电场的矢量叠加。



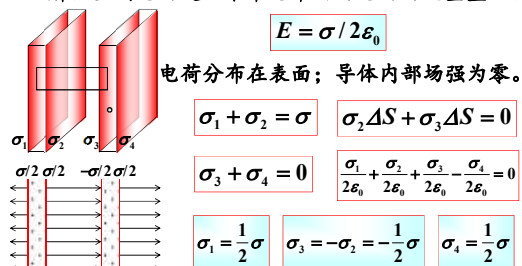
2018年5月31日

14

例3 带电导体板 σ 的场中平行放置无电导体板。

求：导体板两面的电荷面密度。

解：空间电场是四个带电平面的电场的矢量叠加。



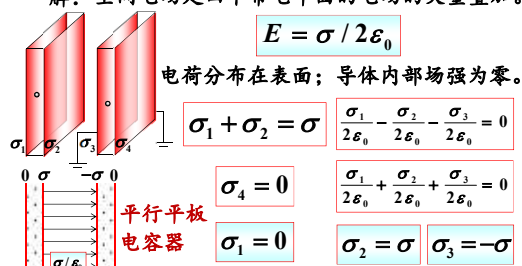
2018年5月31日

15

例4 带电导体板 σ 的场中平行放置接地导体板。

求：导体板两面的电荷面密度。

解：空间电场是四个带电平面的电场的矢量叠加。



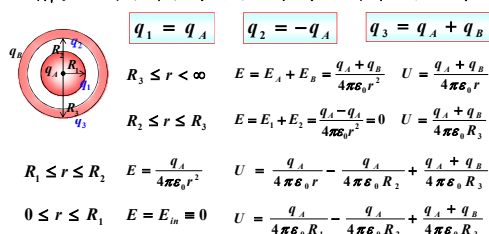
2018年5月31日

16

例5 一带电为 q_A 半径为 R_1 的导体球 A ，外面套一带电为 q_B 半径为 R_2 和 R_3 的同心导体壳 B 。

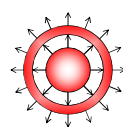
求：全空间电荷、电势和场强的分布。

解：电荷分布在导体表面；导体内部场强为零。



2018年5月31日

17



导体球和导体壳内场强为零。

$$R_3 \leq r < \infty \quad E = \frac{q_A + q_B}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$R_1 \leq r \leq R_2 \quad E = \frac{q_A}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

导体球和导体壳用导线联接。

$$R_3 \leq r < \infty \quad E = \frac{q_A + q_B}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$R_1 \leq r \leq R_2 \quad E = \frac{0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

导体壳接地后电量分布改变。

$$R_3 \leq r < \infty \quad E = \frac{q_A - q_A}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$R_1 \leq r \leq R_2 \quad E = \frac{q_A}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



2018年5月31日

18

静电场的基本定律和定理

库仑定律 $\vec{F} = \frac{Qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$

高斯定理 $\Phi_e = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V dq$

环路定理 $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$

描述静电场的两个基本物理量

场强 $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^2} \vec{r}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dQ}{r^2} \vec{r}_0$

电场线

电势 $U_a = \frac{W_a}{q_0} = \int_a^{+\infty} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i}$

等势面

静电场是无旋有源场，静电场也是保守场。 $\vec{E} = -\nabla U$

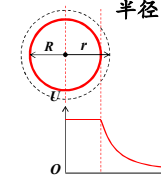
2018年5月31日 19

思考题：两个带电球面半径 R 相同，所带电量相等均为 q ，其中一个均匀带电，另一个表面电荷分布不均匀。问：(1) 圆心 O 点的电势是否相等？(2) 两球面内的场强和电势是否相等？

半径为 R 均匀带电量为 q 的球面的电势

$r < R$ $U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$

$r > R$ $U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$



(1) 圆心 O 点的电势相等。

(2) 两球面内的场强和电势不相等。

2018年5月31日 20