

第零章 绪论

1. **电磁学**是经典物理学的一部分，主要研究电荷、电流产生电场、磁场的规律，电场和磁场的相互联系，电磁场对电荷、电流的作用，以及电磁场对物质的各种效应等；

第一章 静电场

1.1 静电的基本现象和基本规律 (我也不知道整理这一节有什么意义, 权当强迫症)

2. 带电的物体叫做**带电体**，使物体带电叫做**起电**，用摩擦方法使物体带电叫做**摩擦起电**；
3. 自然界中只存在两种电荷，**同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引**；
4. 物体所带电荷数量的多少叫做**电荷量**，测量电荷量的仪器是**验电器**，**静电计**可以定量确定电荷的多少；静电计实际是测量**电势**的仪器，为了定量地测量电荷量，需在静电计的金属杆上接一金属圆筒（法拉第圆筒），要测量的电荷与圆筒的内表面接触；静电计的测量原理：**静电平衡**；
5. 用绸子摩擦过的玻璃棒所带的电荷叫做**正电荷**，用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷叫做**负电荷**；
6. 正、负电荷互相完全抵消的状态叫做**中和**；任何所谓不带电的物体，并不意味着其中根本没有电荷，而是其中具有**等量异号**的电荷，以至于其整体处在中和状态，所以对外界不呈现电性；
7. 相互摩擦的两个物体总是**同时带电**，所带电荷**等量异号**；
8. **静电感应** (P_{12})；起电过程是电荷从一个物体（或物体的一部分）转移到另一物体（或同一物体的另一部分）的过程；
9. **电荷守恒定律**：电荷既不能被创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分；在任何物理过程中，电荷的代数和是守恒的；
10. 按照电荷是否容易转移或传导，习惯上可以把物体大致分成两类：
 - ① 电荷能够从产生的地方迅速转移或传导到其他地方的物体，叫做**导体**（金属、石墨、电解液、人体、地、电离了的气体等）；
 - ② 电荷几乎只能停留在产生的地方的物体，叫做**绝缘体**（玻璃、橡胶、丝绸、琥珀、松香、硫磺、瓷器、油类、未电离的气体等）；
导体和绝缘体之间并没有严格的界限，绝缘体在强电力作用下将被**击穿**而成为导体；还有很多导电能力介于导体和绝缘体之间的**半导体**，对温度、光照、杂质、压力、电磁场等外加条件极为敏感；
11. 在金属导体里，原子的最外层电子（价电子）可以摆脱原子的束缚，在整个导体中自由运动，这类电子叫做**自由电子**；原子中除价电子外的其余部分称为**原子实**；在固态金属中原子实排列成整齐的点阵，称为**晶格**或**晶体点阵**；
自由电子在晶体点阵间跑来跑去，像气体的分子那样做无规运动，并不时地彼此碰撞或与点阵上的原子实碰撞，这就是**金属微观结构的经典图像**；
12. 一切导体所以能够导电，是因为它们内部都存在着可以自由移动的电荷，这种电荷叫做**自由电荷**；金属中的自由电荷就是自由电子；电解液中的自由电荷是溶解在其中的酸、碱、盐等溶质分子离解成的正、负离子；在电离的气体（如日光灯中的汞蒸气）中，自由电子也是正、负离子，不过气体中的负离子往往就是电子；
在绝缘体中，绝大部分电荷都只能在一个原子或分子的范围内做微小的位移，这种电荷叫做**束缚电荷**；由于绝缘体中自由电子很少，所以它们的导电性能很差；
在半导体中导电的粒子（叫做**载流子**），除带负电的电子外，还有带正电的“空穴”；
当半导体中多数载流子是电子时，称为**n型半导体**；
当多数载流子是“空穴”时，称为**p型半导体**；
13. 电荷的量值是不连续的（**量子化的**），一个质子或一个电子所带电荷量的绝对值 e 称为**元电荷**；每个原子核、原子或离子、分子以至宏观物体所带的电荷量都只能是元电荷 e 的整数倍；

$$e = 1.602 \times 10^{-19} C$$

14. **库仑定律**: 在真空中, 两个静止的点电荷 q_1 及 q_2 之间的相互作用力的大小和 q_1 与 q_2 的乘积成正比, 和它们之间距离 r 的平方成反比; 作用力的方向沿着它们的连线, 同号电荷相斥, 异号电荷相吸;

$$\mathbf{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_{12} \quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2) \quad k = 8.99 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

1.2 电场 电场强度

15. 存在于直接接触的物体之间的力的作用叫做**接触作用**或**近距作用**;

电力和磁力通过**电场**和**磁场**作用; 电荷与电荷之间通过电场发生相互作用;

凡是有电荷的地方, 四周就存在着电场, 即任何电荷都在自己周围的空间激发电场;

电场的基本性质: 对于处在其中的任何其他电荷都有作用力, 称为**电场力**;

16. **试探电荷**的条件: ①电荷量 q_0 充分小; ②几何线度充分小, 可以看作是点电荷;

17. 对于电场中的固定点来说, 比值 \mathbf{F}/q_0 是一个无论大小和方向都与试探电荷无关的矢量, 反映电场本身的性质, 定义为**电场强度**, 简称**场强**, 用 \mathbf{E} 来表示: $\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0}$

某处电场强度定义为矢量 \mathbf{E} , 其大小等于单位电荷在该处所受电场力的大小, 其方向与正电荷在该处所受电场力的方向一致;

如果电场中空间各点的场强大小和方向都相同, 即叫做**均匀电场**;

电场强度的单位是 N/C 或 V/m ;

18. 点电荷 q 所产生的电场中各点的电场强度: $\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{e}_r$

19. **电场强度叠加原理**: 点电荷组所产生的电场在某点的场强等于各点电荷单独存在时所产生的电场在该点场强的矢量叠加: $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_k$;

20. **电偶极子的场强公式**: 电偶极矩 $\mathbf{p} = q\mathbf{l}$;

当 $r \gg l$ 时, 延长线上: $E \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3}$; 中垂面上: $E \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$

21. 电荷**体密度**: $\rho_e = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Sigma q}{\Delta V}$; 电荷**面密度**: $\sigma_e = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S}$; 电荷**线密度**: $\eta_e = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l}$;

22. 无限长均匀带电细棒周围的场强分布: $E = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{\eta_e l}{2\pi\epsilon_0 r \sqrt{r^2 + l^2}} = \frac{\eta_e}{2\pi\epsilon_0 r}$

23. 电偶极子在均匀电场中所受的力矩: $\mathbf{L} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$

1.3 高斯定理

24. **电场线**具有的普遍性质:

- 1) 电场线起自正电荷 (或来自无穷远处), 止于负电荷 (或伸向无穷远), 但不会在没有电荷的地方中断;
- 2) 若带电体系中正、负电荷一样多, 则由正电荷触发的全部电场线都集中到负电荷上去;
- 3) 两条电场线不会相交;
- 4) 静电场中的电场线不形成闭合线;

25. **电场强度通量**:

通过一面元 ΔS 的电场强度通量定义为该点电场强度的大小 E 与 ΔS 在垂直于场强方向的投影面积 $\Delta S' = \Delta S \cos\theta$ 的乘积, 即 $\Delta\Phi_E = E\Delta S \cos\theta$;

通过非无限小的曲面 S 的电场强度通量: $\Phi_E = \iint_S E \cos\theta dS$;

26. **高斯定理**: 通过一个任意闭合曲面 S 的电场强度通量 Φ_E 等于该面所包围的所有电荷电量的代数和 Σq 除以 ϵ_0 , 与闭合面外的电荷无关;

$$\Phi_E = \oiint_S E \cos\theta dS = \oiint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \Sigma q_i$$

27. 均匀带电球壳在外部空间产生的电场与其上电荷全部集中在球心时产生的电场一样, 内部空间的场强处处为 0 ;

28. 均匀带电球体在外部空间产生的电场与其上电荷全部集中在球心时产生的电场一样, 内部空间的场强 E 与 r 成正比的增加: $\mathbf{E} = \frac{\rho_e r}{3\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qr}{R^3}$;

29. 电荷线密度为 η_e 均匀带正电的无限长细棒的场强 $E = \frac{\eta_e}{2\pi\epsilon_0 r}$;

30. 电荷面密度为 σ_e 均匀带正电的无限大平面薄板的场强 $E = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0}$;

带等量异号电荷的一对无限大平行平面薄板之间的场强 $E = \frac{\sigma_e}{\epsilon_0}$;

1.4 电势及其梯度

31. 试探电荷在任何静电场中移动时, 电场力所做的功, 只与这试探电荷电量的大小及其起点、终点的位置有关, 与路径无关 ;

32. 静电场的环路定理: 静电场中场强沿任意闭合回路的线积分恒等于 0: $\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$;

33. 任何做功与路径无关的力场, 叫做保守力场 (或势场) ;

电场中把一个试探电荷 q_0 从 P 点移至 Q 点, 它的电势能的减少 W_{PQ} 定义为在此过程中静电力对它做的功 A_{PQ} , 即 $W_{PQ} = A_{PQ} = q_0 \int_P^Q \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$;

比值 $\frac{W_{PQ}}{q_0}$ 定义为电场中 P、Q 两点间的电势差 (或电势降落、电压), 即从 P 到 Q 移动单位正电荷

时电场力所做的功: $U_{PQ} = \frac{W_{PQ}}{q_0} = \frac{A_{PQ}}{q_0} = \int_P^Q \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = U(P) - U(Q)$;

若选定无穷远点为电势的参考点, 空间任一点 P 的电势 $U(P) = U_{P\infty} = \frac{A_{P\infty}}{q_0} = \int_P^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$;

34. 单个点电荷 q 产生的电场中各点的电势 $U(P) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$;

35. 均匀带电球壳产生的电场中电势的分布: $U(P) = \begin{cases} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} & (r > R), \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} & (r < R), \end{cases}$;

36. 电势叠加原理: 点电荷组的电场中某点的电势, 是各个点电荷单独存在时的电场在该点电势的代数和 ;

37. 距电偶极子充分远的地方任一点的电势 $U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{p} \cdot \mathbf{e}_r}{r^2}$;

38. 等势面: 电势相等的点所组成的面 ;

电场强度与等势面处处正交 ; 等势面较密集的地方场强大, 较稀疏的地方场强小 ;

39. 电势的梯度记为 ∇U ; 电场强度 $\mathbf{E} = -\nabla U$;

1.5 带点体系的静电能

40. 带电体系的总静电能 W_e 由各带电体之间的相互作用能 $W_{\text{互}}$ 和每个带电体的自能 $W_{\text{自}}$ 组成 ;

把每一个带电体看作一个不可分割的整体, 将各带电体从无限远移到现在位置所做的功, 等于它们之间的相互作用能 ;

把每一个带电体上的各部分电荷从无限分散的状态聚集起来时所做的功, 等于这个带电体的自能 ;

41. 点电荷之间的相互作用能 $W_{互} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{i-1} \frac{q_i q_j}{r_{ij}} = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{q_i q_j}{r_{ij}} (j \neq i) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i U_i$, U_i

是除 q_i 外其余点电荷在 q_i 的位置 P_i 上产生的电势 ;

42. 电荷连续分布情形的静电能 $W_e = \frac{1}{2} \iiint_V \rho_e U dV = \frac{1}{2} \iint_S \sigma_e U dS = \frac{1}{2} \int_l \eta_e U dl$;

43. 均匀带电球壳的静电自能 : $W_{自} = \frac{1}{2} U \oint_{球面} \sigma_e dS = \frac{1}{2} U q = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R}$;

44. 均匀带电球体的静电自能 : $W_{自} = \frac{1}{2} \rho_e \iiint_{球体} U dV = \frac{3q^2}{20\pi\epsilon_0 R}$;

45. 电偶极子在均匀外电场 E 中的电势能 : $W = -p \cdot E$

电偶极子在外电场中所受的力矩、所受的力 (P77-P78) ;

第二章 静电场中的导体和电介质

2.1 静电场中的导体

46. 当一带点体系中的电荷静止不动, 从而电场分布不随时间变化时, 该带电体系达到静电平衡 ;

47. 均匀导体的静电平衡条件是其体内场强处处为 0 ;

48. 静电平衡的推论 :

- 1) 导体是个**等势体**, 导体表面是个**等势面** ;
- 2) 导体以外靠近其表面地方的**场强处处与表面垂直** ;

49. 电荷分布的规律 :

- 1) **体内无电荷** : 在达到静电平衡时, 导体内部处处没有未抵消的净电荷 (电荷体密度 $\rho_e = 0$), 电荷只分布在导体的表面 ;
- 2) **电荷面密度与场强的关系** : 在静电平衡状态下, 导体表面之外附近空间的场强 E 与该处导体表面的电荷面密度 σ_e 有如下关系 : $E = \frac{\sigma_e}{\epsilon_0}$
- 3) **表面曲率的影响、尖端放电** (P96) : 在一个孤立导体上电荷面密度的大小与表面的曲率有关, 导体表面凸出而尖锐的地方 (曲率较大), 电荷就比较密集, 即电荷面密度 σ_e 较大 ; 表面较平坦的地方 (曲率较小), σ_e 较小 ; 表面凹进去的地方 (曲率为负), σ_e 更小 ; 但孤立导体表面的电荷密度 σ_e 与曲率之间并不存在单一的函数关系 ;

50. 导体壳 (腔内无带电体的情形) :

- 1) 基本性质 : ①导体壳的内表面上处处没有电荷, 电荷只能分布在外表面 ; ②空腔内没有电场, 电势处处相等 ;
- 2) **法拉第圆筒实验** (P98) ; 测量电量时要在静电计上安装法拉第圆筒的原因 (P98) ;
- 3) 库仑平方反比律的精确验证 (P98-P99) ;
- 4) **范德格拉夫起电机** (P99-P100) ;

51. 导体壳 (腔内有带电体的情形) :

- 1) 基本性质 : 当导体壳腔内有其他带电体时, 在静电平衡状态下, 导体壳的内表面所带电荷与腔内电荷的代数和为 0 ; 若腔内有一物体带电荷 q , 则内表面带电荷 $-q$;
- 2) **静电屏蔽** (P101-P102) ;

2.2 电容和电容器

52. 孤立导体的电容 C : 使导体每升高单位电势所需的电荷量, 单位 : 法拉 F ; $C = \frac{q}{U}$

53. 电容器的定义 (P109-P110) ; $C_{AB} = \frac{q_A}{U_A - U_B}$

54. 常见电容器的电容公式：

1) 平行板电容器： $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$

2) 同心球形电容器： $C = \frac{4\pi\epsilon_0 R_A R_B}{R_B - R_A}$

3) 同轴柱形电容器： $C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(R_B/R_A)}$

4) 计算电容的步骤：①设电容器两极上分别带电荷 $\pm q$ ，计算电容两极间的场强分布，从而计算出两极板间的电势差 U_{AB} ；②利用电容的定义 $C = q/U_{AB}$ 求出电容；电容一定与 q 无关，完全由电容器本身的性质（如几何性质、尺寸等）所决定；

55. 电容器的并联、串联：

1) 并联：加在各电容器 C_1 、 C_2 、 \dots 、 C_n 上的电压是相同的（设为 U ）；

分配在每个电容器上的电荷量不同， $q_1 = C_1 U, q_2 = C_2 U, \dots, q_n = C_n U$

电荷量与电容成正比地分配在各个电容器上， $q_1 : q_2 : \dots : q_n = C_1 : C_2 : \dots : C_n$

在所有电容器上的总电荷量为 $q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = (C_1 + C_2 + \dots + C_n)U$

整个系统的总电容 $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

2) 串联：串联的每一个电容器都带偶相等的电荷量 q ；

每个电容器上的电压 $U_1 = \frac{q}{C_1}, U_2 = \frac{q}{C_2}, \dots, U_n = \frac{q}{C_n}$

电压与电容成反比地分配在各电容器上， $U_1 : U_2 : \dots : U_n = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \dots : \frac{1}{C_n}$

整个串联电容器组两端的电压等于每一个电容器两极板上电压之和，

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \right)$$

整个系统的总电容 $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$

56. 电容器储能的公式 $W_e = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} Q U$ ，电容 C 是电容器储能本领大小的标志；

2.3 电介质

57. 插入电介质板可起到增大电容的作用，原理（P₁₂₄-P₁₂₅）；

58. 极化和极化电荷（P₁₂₅）；

导体板引起电容增大的原因在于自由电荷的重新分布；

电介质引起电容增大的原因在于束缚电荷的极化；

59. 电介质可以分为两类：外电场不存在时正负电荷“重心”重合的分子叫做无极分子；外电场不存在时正负电荷“重心”不重合的分子叫做有极分子；有极分子等量的正负电荷“重心”互相错开形成的电偶极矩叫做分子的固有电矩；

60. 极化的微观机制：

1) 无极分子的位移极化（P₁₂₆）；

2) 有极分子的取向极化（P₁₂₆-P₁₂₇）；

3) 电子位移极化效应在任何电介质中都存在，而分子取向极化只是由有极分子构成的电介质所独有的；在有极分子构成的电介质中，取向极化的效应比位移极化强得多（约大一个数量级），因而其中取向极化是主要的；

61. 电极化强度 P ：单位体积内的电矩矢量和， $P = \frac{\Sigma p_{分子}}{\Delta V}$ ；

电极化强度 P 是量度电介质极化状态（包含极化的程度和极化的方向）的物理量，单位是 C/m^2 ；

62.如果在电介质中各点的极化强度矢量大小和方向都相同,则称该极化是均匀的;否则极化是不均匀的;

63.极化电荷的分布与极化强度矢量的关系 (P127-P129):

对于均匀的电介质(并不是要求均匀极化),极化电荷集中在它的表面上;

电极化强度 \mathbf{P} 与极化电荷分布的普遍关系: $\oint_S \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S} = -\sum_{(S/\partial V)} q'$ (详见 P128);

如果介质是均匀的,其体内不会出现净余的束缚电荷,即极化电荷的体密度 $\rho'_e = 0$;

对于非均匀电介质,其体内是可能有极化电荷的;

极化电荷的面密度 $\sigma'_e = \frac{dq'}{dS} = P \cos\theta = \mathbf{P} \cdot \mathbf{e}_n = P_n$ (详见 P129);

64.退极化场 (P129-P130):极化电荷在介质内部的附加场 \mathbf{E}' ,起着减弱极化的作用;

1) 插在平行板电容器中的电介质板内的退极化场大小 $E' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0} = \frac{P}{\epsilon_0}$,方向与原外场 \mathbf{E}_0 相反;

2) 均匀极化的电介质球在球心产生的退极化场大小 $E' = \frac{P}{3\epsilon_0}$ (P130-P131);

3) 沿轴均匀极化的介质细棒中点的退极化场大小 $E' = \frac{2PS}{\pi\epsilon_0 l^2}$, $S \ll l^2$ 时退极化场忽略不计;

65.对于大多数常见的各向同性线性电介质, $\mathbf{P} = \chi_0 \epsilon_0 \mathbf{E}$

χ_0 叫做极化率,与总场强 \mathbf{E} 无关,与电介质的种类有关,是介质材料的属性;

电滞效应和驻极体 (P132-P133); **例题 6** (P133)、**例题 7** (P135);

66.电位移矢量 (电感应强度矢量) $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$;

67.有介质时的高斯定理: $\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \sum_{(S/\partial V)} q_0$,不包含极化电荷;

$\mathbf{D} = (1 + \chi_0) \epsilon_0 \mathbf{E} = \epsilon \epsilon_0 \mathbf{E}$,其中比例系数 $\epsilon = (1 + \chi_0)$ 叫做电介质的介电常量 (相对介电常量);

68.压电效应及其逆效应 (P138-P139);

2.4 电场的能量和能量密度

69.平行板电容器储存的电能 $W_e = \frac{1}{2} Q_0 U = \frac{1}{2} D E V$

70.单位体积内的电能 $w_e = \frac{W_e}{V} = \frac{1}{2} D E = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2$ 称为电能密度;

71.静电场能 $W_e = \iiint_V \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 dV$,适用于任何静电场能的计算;

1) 均匀带电导体球的静电能 $W_e = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R}$ (P147);

2) 均匀带电球体的静电能 $W_e = \frac{3q^2}{20\pi\epsilon_0 R}$ (P147-P148);

(未完待续)