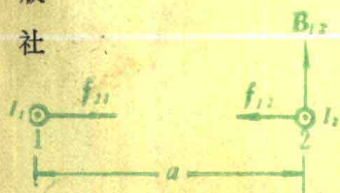
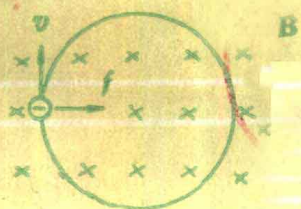
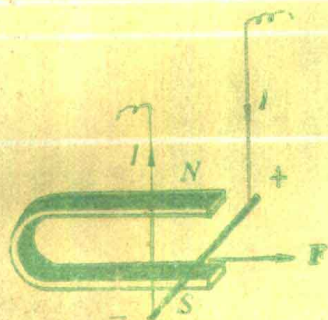
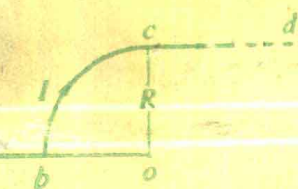


电磁学复习指导

报考硕士研究生复习参考丛书之一

谢 苏 龄



河北人民出版社

电 磁 学 复 习 指 导

报考硕士研究生复习参考丛书之一

谢 苏 龄

河 北 人 民 出 版 社

前 言

为指导大、专院校理工科学生在报考硕士学位研究生前对电磁学进行全面系统的复习，我们编写了这本复习指导书。本书也可供各类大专院校、电视大学、业余大学等的在校师生、以及其他自学人员和物理爱好者学习时参考。

本书是在读者已经学习或正在学习电磁学的基础上，对概念、规律的重点和解题方法进行了比较全面的综合概述。在每章的“应用举例”中，对同一问题，尽量从不同角度，用多种方法来进行计算，旨在开拓思路，以增强其灵活运用知识的实际能力。全书共八章，包括真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒电流、真空中的静磁场、电磁感应和暂态过程、磁介质、交流电、电磁场和电磁波等。书末附录的常用公式，对于提高考试时的答题速度，至关重要，建议读者在考试前一定要尽量记住。

书中收录了近几年来一些兄弟院校、科研单位和国外某些研究生入学考试试题，计二百多道。对这些考题一一作了解答，以便于复习中巩固知识和自我检查。由于多数考题属于综合性质，所以分类时大体上按学习的先后次序编排，凡涉及后续内容的题目，一般都排列在后面相关的内容之中。

本书在编写过程中，承蒙许多兄弟院校和科研单位，及时地为我们提供了大量的研究生考题，创造了充分地参考和筛选的条件。对于他们的大力支持，谨表谢忱。

马瑞芝、孔小均二同志阅读了全部书稿，并提出了许多宝贵意见。特此致以衷心的感谢。

由于作者水平所限，经验不足，加之一些考题属于抄件，因此，书中的疏漏与错谬之处一定不少，冀希读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 真空中的静电场	(1)
第一节 概念和规律.....	(1)
一、实验现象和实验结果.....	(1)
二、基本概念.....	(2)
三、基本规律.....	(5)
第二节 解题方法.....	(5)
一、求电场力.....	(5)
二、求电场强度 E	(7)
三、求电位 U	(11)
四、求能量.....	(13)
五、有关带电粒子在匀强电场中的运动.....	(15)
第三节 应用举例.....	(16)
第四节 研究生入学考题与解题要点.....	(28)
第二章 静电场中的导体和电介质	(80)
第一节 概念和规律.....	(80)
一、实验现象和实验结果.....	(80)
二、基本概念.....	(82)
三、基本规律.....	(86)
第二节 解题方法.....	(86)
一、求电容.....	(86)
二、求极化强度.....	(88)

三、求极化电荷·····	(89)
四、求电位移·····	(90)
五、求电介质中的场强·····	(91)
六、求能量的变化·····	(92)
第三节 应用举例·····	(93)
第四节 研究生入学试题及解题要点·····	(100)
第三章 稳恒电流 ·····	(157)
第一节 概念和规律·····	(157)
一、实验现象和实验结果·····	(157)
二、基本概念·····	(158)
三、基本规律·····	(162)
第二节 解题方法·····	(169)
一、求等效电阻·····	(169)
二、简单电路的计算·····	(172)
三、复杂电路的计算·····	(172)
第三节 应用举例·····	(173)
第四节 研究生入学试题及解题要点·····	(186)
第四章 真空中的静磁场 ·····	(223)
第一节 概念和规律·····	(223)
一、实验现象和实验结果·····	(223)
二、基本概念·····	(226)
三、基本规律·····	(229)
第二节 解题方法·····	(230)
一、求磁感强度·····	(230)
二、求磁力·····	(233)
三、求带电粒子在匀强磁场中的运动·····	(234)

四、求磁场能量·····	(235)
第三节 应用举例·····	(236)
第四节 研究生入学试题及解题要点·····	(247)
第五章 电磁感应和暂态过程 ·····	(295)
第一节 概念和规律·····	(295)
一、实验现象和实验结果·····	(295)
二、基本概念·····	(297)
三、基本规律·····	(300)
第二节 解题方法·····	(306)
一、求动生电动势·····	(306)
二、求感生电动势·····	(309)
三、求自感和互感·····	(311)
四、求磁能·····	(313)
第三节 应用举例·····	(314)
第四节 研究生入学试题及解题要点·····	(321)
第六章 磁介质 ·····	(395)
第一节 概念和规律·····	(395)
一、实验现象和实验结果·····	(395)
二、基本概念·····	(397)
三、基本规律·····	(404)
第二节 解题方法·····	(407)
一、求磁化强度·····	(407)
二、求磁化电流·····	(408)
三、求磁荷·····	(408)
四、求磁场强度·····	(410)
五、求磁感强度·····	(411)

六、求磁场的能量	(412)
七、求等效磁阻	(412)
八、求气隙中的磁场强度	(413)
第三节 应用举例	(413)
第四节 研究生入学试题与解题要点	(422)
第七章 交流电	(439)
第一节 概念和规律	(439)
一、实验现象和实验结果	(439)
二、基本概念和基本规律	(441)
第二节 解题方法	(466)
一、Y- Δ 电路的等效代换	(466)
二、有关交流电路的计算	(467)
三、有关功率的计算	(467)
四、有关变压器的计算	(467)
五、有关三相交流电的计算	(468)
第三节 应用举例	(468)
第四节 研究生入学试题及解题要点	(479)
第八章 电磁场和电磁波	(489)
第一节 概念和规律	(489)
一、实验现象和实验结果	(489)
二、基本概念	(489)
三、基本规律	(491)
第二节 解题方法	(496)
一、求位移电流	(496)
二、求电磁波的能量	(496)
三、求电磁波的速度	(497)

四、求电磁波的频率、周期和波长·····	(497)
第三节 应用举例·····	(497)
第四节 研究生入学试题及解题要点·····	(503)
附 录 常用公式·····	(510)

第一章 真空中的静电场

第一节 概念和规律

一、实验现象和实验结果

1. **两种电荷** 自然界只存在两种电荷，一种称为正电荷，一种称为负电荷。同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

2. **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。也就是说，在任何物理过程中，孤立系统内电荷的代数和是守恒的。

3. **库仑定律** 库仑根据实验得到：两个电量分别为 q_1 、 q_2 的点电荷，它们之间的相互作用力 F 的大小，与它们的电量 q_1 、 q_2 的乘积成正比，与它们之间的距离 r 的平方成反比；作用力的方向在它们的连线上。在国际单位制中库仑定律的矢量式为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

4. **电场** 凡是有电荷的地方，四周就存在着电场。电场对处于其中的任何其他电荷，都有作用力。电场是一种物

质，具有能量、质量、动量。

5. **迭加原理** 电场是可以迭加的。如果电场是由几个带电体共同形成，则

(1) 当各个带电体单独存在时，场中某点 P 的场强分别为 E_1 、 E_2 、…… E_n 。那么， P 点的合场强为各个带电体单独存在时， P 点的场强的矢量和，即

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \cdots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i.$$

上式称为场强迭加原理。

(2) 当各个带电体单独存在时，场中某点 P 的电位分别为 U_1 、 U_2 、…… U_n 。那么，场中 P 点的总电位为各个带电体单独存在时， P 点的电位的代数和，即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n = \sum_{i=1}^n U_i.$$

上式称为电位迭加原理。

二、基本概念

1. **电场强度 E** 电场强度是描述电场性质的物理量，它是一个矢量。场中某点 A 的电场强度 E ，其大小等于单位电荷在该点所受电场力的大小，其方向与正电荷在该点所受电场力的方向一致。若引入场中的试探电荷为 q_0 ， q_0 在 A 点所受的电场力为 F ，则比值 $\frac{F}{q_0}$ 定义为 A 点的电场强度，即

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0}.$$

在计算场强时必须注意，当带电体是一个几何点或几何

面时，如点电荷或球面电荷，若求这个几何点或几何面上的场强，那是没有意义的。当带电体是一个宏观大小的带电体时，如均匀带电球体，那么，求带电体上任何一个几何点或几何面上的场强，则是有意义的。

2. 电位 U 电位也是描述电场性质的物理量，它是一个标量。场中某点 P 的电位 U ，其数值是相对的，视零点的选择而定。若选择场中 C 点为零点，则 P 点的电位在数值上等于将单位正电荷从该点经任意路径移到 C 点时，电场力所作的功；或者说，其数值等于放在该点处的单位正电荷与带电系统相对 C 点所共同具有的电位能。若引入场中的试探电荷为 q_0 ，将 q_0 从 P 点移到 C 点时，电场力所作的功为 A_{PC} ；或者是， q_0 在 P 点与电场所组成的系统中，相对 C 点的电位能为 W_{PC} ，则 P 点的电位定义为

$$U = \frac{A_{PC}}{q_0} = \frac{W_{PC}}{q_0} = \int_P^C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}.$$

若带电体的大小是有限时，则可选无穷远处为零点，此时电位的定义相应为：

$$U = \frac{A_{P\infty}}{q_0} = \frac{W_{P\infty}}{q_0} = \int_P^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}.$$

在计算电位时，必须注意以下四点：

(1) 电位的相对性 所谓场中某点的电位，无非是该点和零点之间的电位差。零点选取得不同，当然电位差也就不一样，因而某点的电位值也就不一样，这就是电位的相对性。

(2) 电位差的绝对性 不管电位的零点选在什么地方，场中两点之间的电位差，其值是不变的。这就是电位差值的绝对性。在实际工作中，有意义的正是两点之间的电位

差，而不是某点的电位。

(3) 电位零点选取的局限性 在静电场中，任何一点都可以选为电位零点，这只对带电体局限在有限的空间里才是正确的。在这种有限大小的带电体所形成的电场中，往往选取无穷远处为电位零点。对于无限大的带电体，如无限大带电平板，无限长带电直导线等，它们所形成的电场，就不能选取无穷远处为电位的零点，只能选取场中的某点来作为电位的零点。这就是电位零点选取的局限性。

(4) 分段积分 在利用场强积分法求电位时，必须注意：从 P 点到 C 点的全部路径上，场强的函数关系是否相同。如果不同，就必须分段积分。如从 P 点到 C 点的路径上，场强的函数关系不同，从 P 点到 C' 点的函数关系为 E_a ，从 C' 点到 C 点的函数关系为 E_b ，则 P 点电位应为

$$U_P = \int_P^C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_P^{C'} \mathbf{E}_a \cdot d\mathbf{l} + \int_{C'}^C \mathbf{E}_b \cdot d\mathbf{l}.$$

3. 场强与电位的关系 场强与电位的积分关系为

$$U = \int_P^C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}.$$

场强与电位的微分关系为

$$\mathbf{E} = -\nabla U = -\frac{dU}{dn} \mathbf{n}_n.$$

根据上述积分关系可以看到，场强与电位是整体与整体之间的关系，而不是点与点的关系。只知道场中某点的场强，无法知道该点的电位；只有知道某点与零点间一条路径上电场的场强分布，才能知道场中该点的电位。从微分关系可以看到，只知道场中某点的电位，是无法知道该点场强的；只

有知道某点附近的电场的电位分布，才能知道场中该点的场强。

4. 电场的能量 电荷之间都存在相互作用的电场力，任何物体的带电过程，都是电荷之间的相对移动过程。所以在形成带电系统的过程中，外力必须克服电场力而作功。因此，必须消耗外界的能量，这部分能量就转换为带电系统所具有的能量，也就是电场所具有的能量，并分布在电场所占有的整个空间中。

三、基本规律

1. 高斯定理 在任何静电场中，通过任一闭合曲面 S 的电通量 Φ_e ，等于该闭合曲面所包围的所有电荷的代数和 $\sum q$ 除以 ϵ_0 ，其数学表达式为

$$\Phi_e = \oiint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{(\text{内})} q_i.$$

2. 环路定理 在任何静电场中，沿任意闭合曲线 L ，场强 $\mathbf{E}$ 的线积分恒等于零。其数学表达式为

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

第二节 解 题 方 法

一、求电场力

1. 利用库仑定律来计算 若能知道形成电场的点电

荷 q_1 为 r 处有另一点电荷 q_2 ，则由库仑定律可以算得 q_2 所受的电场力为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}.$$

2. 利用场强定义来计算 若能知道点电荷的电量为 q ， q 所在处的场强为 $\mathbf{E}$ ，则由场强的定义可以算得 q 所受的电场力为

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}.$$

3. 利用虚功原理来计算 设处在一定位形的带电体系，在外电场中的电位能为 W ，当它的位形发生微小变化时，电位能将相应的有一改变 δW 。根据能量守恒定律，这个改变与外电场力对此带电体系所作的功 δA 应有如下关系

$$\delta A = -\delta W.$$

当带电体系在 l 方向上发生微小位移 δl ，在此方向上所受的电场力为 F_l 时，则

$$\delta A = F_l \delta l = -\delta W.$$

由上式可得，带电体系在 l 方向上所受的力为

$$F_l = -\frac{\partial W}{\partial l}.$$

当带电体系绕某方向的轴发生微小角位移 $\delta\theta$ ，在此转轴方向上所受的力矩为 L_θ ，则

$$\delta A = L_\theta \delta\theta = -\delta W.$$

因此，带电体系在转轴方向上所受的力矩为

$$L_\theta = -\frac{\partial W}{\partial \theta}.$$

二、求电场强度 E

1. 利用场强的定义来计算 若能知道试探电荷 q_0 在场中某点 A 所受的电场力为 F ，则由场强的定义可以算得场中该点的场强为

$$E = \frac{F}{q_0}.$$

2. 点电荷所形成的电场 若电场是点电荷 q 所形成，在距 q 为 r 处的 P 点，其场强可由场强的定义和库仑定律算得，即

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}.$$

上式称为点电荷的场强公式。式中 q_0 为试探电荷， $\hat{r}$ 为单位矢径。 q 为正时， E 与 $\hat{r}$ 的方向一致； q 为负时， E 与 $\hat{r}$ 的方向相反。

3. 点电荷系所形成的电场 若电场是由一系列点电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 所形成，场中 P 点的合场强 E ，可由场强迭加原理和点电荷的场强公式算得，即

$$\begin{aligned} E &= E_1 + E_2 + \dots + E_n \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1^2} \hat{r}_1 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_2^2} \hat{r}_2 + \dots + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_n}{r_n^2} \hat{r}_n \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i. \end{aligned}$$

上式是矢量和，称为点电荷系的场强公式。

4. 连续带电体所形成的电场 若电场是由一个所带电量为 Q 的连续带电体所形成, 可以把连续带电体分割成许多可以看成是点电荷的电荷元。场中某点 P 处的场强, 可以看成是这些电荷元所共同形成的。设某电荷元为 dq , 距场中 P 点的距离为 r , 则在 P 点形成的场强为 dE 。由点电荷的场强公式可得

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r}.$$

由场强迭加原理, 对上式积分可得整个连续带电体在 P 点产生的场强为

$$E = \int dE = \int_Q \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r}.$$

若带电体为均匀分布的体电荷, 设体密度为 ρ , 体积为 V , 则场强为

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\rho dV}{r^2} \hat{r},$$

若带电体为均匀分布的面电荷, 设面密度为 σ , 面积为 S , 则场强为

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iint_S \frac{\sigma dS}{r^2} \hat{r},$$

若带电体为均匀分布的线电荷, 设线密度为 λ , 长度为 l , 则场强为

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_l \frac{\lambda dl}{r^2} \hat{r}.$$

上述四个积分应遍及所有有电荷分布的空间。计算时还