



欢迎进入**王迈迈英语教学网**网络课堂
聊天室语音讲课 BBS课后提问 专用信箱答疑解惑
<http://www.wmmenglish.com>

与高等教育出版社第五版《普通物理学》配套

普通物理学 教与学参考

2

主编 张智立



中国致公出版社



欢迎进入王迈迈英语教学网网络课堂
聊天室语音讲课 BBS课后提问 专用信箱答疑解惑
<http://www.wmmenglish.com>

与高等教育出版社第五版《普通物理学》配套

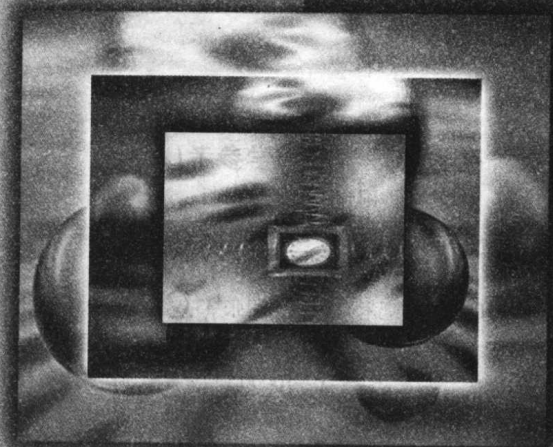
普通物理学

教与学参考

2



主编 张智立 副主编 王斌
编者 张智立 王斌 余功奇 刘向绯



中国致公出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学教与学参考/张智立主编. —北京:中国
致公出版社, 2003. 6

ISBN 7-80179-164-9

I. 普... II. 张... III. 普通物理学 - 高等学校 -
教学参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 041713 号

普通物理学教与学参考(二)

中国致公出版社出版

新华书店经销

文字六〇三厂印刷

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张 33 字数 780 千字

2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—10000 册

ISBN 7-80179-164-9/G · 068

定价: 36.00 元(本册 13.00 元)

Foreword

前言

本书是根据国家教委大学物理课程指导委员会制订的《物理课程教学基本要求》，结合编者多年的教学经验编写的一本大学物理学习参考书。工科大学生在学习大学物理课程时普遍感到物理学“头绪”多，抓不住重点，同学们听着明白，却做不了题，很多人都感到物理很难学。为了解决这一难题，我们编写了《普通物理学教与学参考》，来帮助同学们搞清大学物理的基本概念、基本规律，提高同学们分析问题解决问题的能力。

本书共分 20 章，覆盖了大学物理的全部内容。每章以基本要求、知识导航、内容提要、疑难辨析、典型题解、习题详解、同步自测为主要内容。每章的基本要求为学生指明了该章学习的方向、重点。知识导航帮助读者了解各个知识点之间的关系，使学生对该章的全貌一目了然。内容提要则进一步简要介绍了该章重要的物理概念、物理规律、物理方法及重要结论。疑难辨析提出了若干重点、难点、疑点问题进行分析、讨论，澄清一些常见错误和模糊认识，加深了对基本规律的理解，使同学们在学习中尽量少走弯路。典型题解部分，我们没有选用大多数教材中已有的该章最基本的题型和最基本的解题方法的例题，而多选用以这些基本题型和基本解题方法为基础的拓展题型，使大家了解物理习题的演变，拓展解题的思路，达到举一反三的目的。习题详解对《普通物理学》的所有习题，都作了详细地解答。自测试题题型以选择题、填空题、计算题为达到融会贯通的目的要求。

合,自测试题是为学生学习本章后检查学习效果提供的一种手段。

我们在编写本书时参考了清华大学、北京大学、大连理工大学、东北大学、四川师范大学等兄弟院校编写的相关书籍,因参考书籍很多,就不一一列举了。在此,一并表示深深的谢意。

本书共分三册。本册内容主要包括电磁场部分。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

2003 年 11 月

CONTENTS

目录



第八章 真空中的静电场

一、本章要求	1
二、知识导航	2
三、内容提要	2
四、疑难辨析	7
五、典型题解	10
六、习题详解	32
七、同步自测	67



第九章 导体和电介质中的静电场

一、本章要求	73
二、知识导航	74
三、内容提要	74
四、疑难辨析	78
五、典型题解	83
六、习题详解	110
七、同步自测	136



第十章 恒定电流和恒定电场

一、本章要求	142
二、知识导航	143

三、内容提要	143
四、疑难辨析	147
五、典型题解	149
六、习题详解	159
七、同步自测	177



第十一章 真空中的恒定磁场

一、本章要求	181
二、知识导航	182
三、内容提要	183
四、疑难辨析	187
五、典型题解	192
六、习题详解	216
七、同步自测	247



第十二章 磁介质中的磁场

一、本章要求	254
二、知识导航	255
三、内容提要	255
四、疑难辨析	258
五、典型题解	261
六、习题详解	270
七、同步自测	282

**第十三章****电磁感应和暂态过程**

..... 286

一、本章要求	286
二、知识导航	287
三、内容提要	287
四、疑难辨析	291
五、典型题解	294
六、习题详解	321
七、同步自测	343

**第十四章****麦克斯韦方程组 电磁场**

..... 351

一、本章要求	351
二、知识导航	352
三、内容提要	352
四、疑难辨析	355
五、典型题解	358
六、习题详解	366
七、同步自测	372

第8章

真空中的静电场

任何电荷周围都存在一种特殊的物质,我们称为电场,相对于观察者是静止的电荷在其周围所激发的电场称为静电场,本章研究真空中静电场的基本特性,并从电场对电荷有力的作用以及电荷在电场中移动时电场力将对电荷作功这两个方面引入描述电场的两个物理量:电场强度和电势.同时介绍描述静电场基本性质的场强叠加原理,高斯定理和场强环路定理.静电场是电磁场中首次遇到的矢量场,其用空间点函数来描述场,用计算场量的通量和环流来揭示场的基本特性,利用典型场分布及叠加原理来研究和处理问题的方法,对研究其他的相互作用和场具有普遍意义.

一、本章要求

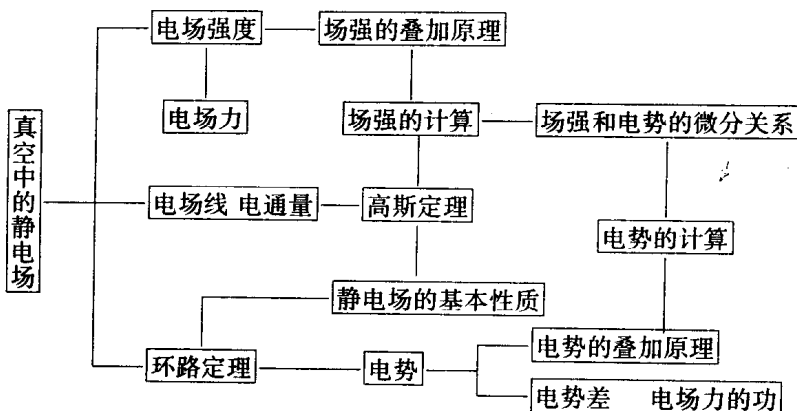
1 掌握静电场电场强度、电势概念和物理意义以及点电荷的电场强度公式、电势分布.

2 掌握电场强度、电势的叠加原理及点电荷系和连续分布电荷的电场强度分布和电势分布的计算.

3 掌握电场强度和电势两者之间的积分形式和微分形式.

4 理解静电场的规律(高斯定理和场强环路定理).掌握用高斯定理计算电场强度的条件和方法,并能熟练应用.

二、知识导航



三、内容提要

1 电荷及电荷守恒定律

(1) 电荷 有正、负电荷. 表示物体所带电荷量值的物理量, 称为电量. 电量不能连续地取任意值, 只能是基本电荷量 ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) 的整数倍值, 称为电荷的量子化. 电荷相互作用是同种电荷相斥, 异种电荷相吸.

(2) 电荷守恒定律 与外界没有电荷交换的系统 (孤立系统) 内, 正负电荷的代数和在任何物理过程中始终保持不变.

(3) 电荷的相对论不变性 粒子所带的电量在一切参考系中具有相同的量值.

2 电荷的相互作用

(1) 库仑定律

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \left(\frac{r}{r} \right) = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}^0$$

表示两个静止点电荷的相互作用, 遵守牛顿第三定律, 在真空中, $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$.

(2) 静电力叠加原理 静电力遵守力的叠加原理,即作用在某一点电荷上的力为其他点电荷单独存在时对该点电荷静电力的矢量和。

$$\mathbf{F} = \sum_i^n \mathbf{F}_i$$

电荷与电荷之间是通过电场这种特殊物质而相互作用的。即

电荷 $\longleftrightarrow$ 场 $\longleftrightarrow$ 电荷

库仑定律与静电力叠加原理是静电学的最基本规律。原则上,有关静电学的问题都可用这两条规律解决。例如,在求两个带电体之间作用力时,若不能把它们当作点电荷,就无法直接应用库仑定律,这时根据上述叠加原理,可将它们划分成无数个能看成为点电荷的微元,求出一个带电体上每一微元对另一带电体上每一微元的相互作用力,再求其矢量和,就可得到两个带电体之间相互作用的静电力。

3 电场、电场强度

(1) 电场 电场也是一种客观存在的物质形态,它与分子、原子等组成的实物一样,具有质量、能量、动量和角动量。静电场是电磁场的一种特殊形态。电场对外表现的性质有:对引入电场中的电荷有作用力,称为电场力,库仑力本质上是电场力;电荷在电场中移动时电场力做功,这也表明电场具有能量;

(2) 电场强度 E 定量描述电场对电荷有作用力性质的物理量。定义式为

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

式中: q_0 为试验电荷电量, F 为 q_0 在该点所受的电场力。

注意: 电场强度 E 是矢量, 表征电场中某一点电场力特性的物理量, 反映了场的性质与试验电荷的大小、符号无关。电场强度的方向为正试验电荷在该点的受力方向, 大小为单位正试验电荷在该点受力的大小。在国际单位制(SI)中, 电场强度的单位是牛顿/库仑(N/C)或伏特/米(V/m)。 E 一般是空间位置的函数, 可表示为 $\mathbf{E} = \mathbf{E}(x, y, z)$, 所有的 $\mathbf{E}(x, y, z)$ 构成矢量场。

(3) 场强叠加原理 在由若干个电荷形成的电场中, 任一点的总场强等于各点电荷在该点单独产生的场强的矢量和, 即

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \cdots + \mathbf{E}_n = \sum_i \mathbf{E}_i$$

高斯定理

(1) 电场线 电场线是形象描述电场分布的一簇空间曲线。电场线上任一点的切线方向表示该点场强 E 的方向, 电场线分布的疏密程度表示该处场强的大小。电场线在电场中并非真实存在的曲线。

静电场中的电场线, 起自正电荷(或来自无穷远处), 止于负电荷(或伸向无穷远), 不会在没有电荷的地方中断, 不会形成闭合的回线; 在没有电荷存在处任

何两条电场线不可能相交.

(2) 电通量 设在电场中有一曲面 S , 我们定义一个物理量 Φ , 令

$$\Phi = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$$

称为通过该曲面的电场强度通量. 可以形象地说为穿过该曲面的电场线“数目”.

上式中 $d\mathbf{S} = dS\mathbf{n}$, $\mathbf{n}$ 为该曲面面积元 dS 的法向单位矢量.

通过任意封闭曲面的电通量为 Φ

$$\Phi = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$$

式中, 规定 $d\mathbf{S}$ 的方向为面积元的外法线方向. 因此, 电场从封闭曲面内向外穿出时电通量为正值, 由外向内穿进时电通量为负值.

(3) 高斯定理 在真空中的任何静电场中, 通过任一闭合曲面的电通量等于该闭合曲面所包围的电荷的代数和除以 ϵ_0 , 数学表达式为

$$\Phi = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sum_i q_i}{\epsilon_0}$$

高斯定理是描述静电场规律的基本方程之一. 它反映了电场和形成电场的场源电荷之间的关系, 说明静电场是有源场. 在电荷分布具有较高对称性时可求解电场强度的分布.



电势

(1) 环路定理

静电场力做功的特点 电荷 q_0 在静电场中从 a 点经某一路径移到 b 点, 电场力做的功

$$A_{ab} = q_0 \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$$

只与起点 a 和终点 b 的位置有关, 而与电荷移动的路径无关. 也可以表示为

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

环路定理 $\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$ 反映静电场基本特性的一个重要规律. 任何具备场强的环流为 0 的特性的力场为保守力场.

(2) 电势能 静电场是保守力场, 可以引入电势能的概念. 即电荷在电场中一定的位置处, 具有一定的势能. 电场力做的功即电势能改变的量度. 将电荷 q_0 从 a 移到 b 点, 电场力做的功 A_{ab} 等于其电势能 W_a 、 W_b 增量的负值, 即

$$A_{ab} = -\Delta W_{ab} = W_a - W_b$$

电势能与重力势能相似, 是一个相对的量. 为表明电荷在电场中某一点势能的大

小,必须有一个作为参考的标度,即零电势能点. 通常在电荷分布于有限区域内时,规定无限远处电势能为零,这时 a 点电势能为

$$W_a = A_{a\infty} = q_0 \int_a^{\infty} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$$

与重力势能相似,电势能属于电荷 q_0 和静电场整个系统.

(3) 电势 为直接描述某给定点 a 处电场的性质,将 W_a 与 q_0 的比值定义为该点的电势,即

$$U_a = \frac{W_a}{q_0} = \int_a^{\infty} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$$

电势是描述电场力做功性质的物理量,该式表明了电势与电场强度之间的积分关系.

电势的值只具有相对意义. 理论研究中,对有限的电荷分布,通常取无穷远处为电势零点;对无限大的电荷分布,电势零点的选择是任意的;实际问题中常以大地或电器的金属外壳为电势零点. 在国际单位制(SI)中,电势的单位是焦耳每库仑(J/C),称做伏特(V)

(4) 电势差 静电场中,任意两点电势之差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b = \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$$

电势差与选择的零电势点无关.

(5) 电势叠加原理 空间中任一点的电势等于各场源电荷在该点单独产生的电势的代数和,即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n = \sum_i U_i$$

(6) 电场力做的功

$$A = q_0 U_{ab} = q_0 (U_a - U_b)$$

(7) 等势面 电场中电势相等的点连成的曲面

等势面与电场线处处正交,在等势面上移动电荷时电场力不做功. 电场线方向指向电势降落方向. 规定相邻等势面间电势差相等,则等势面越密场强越大,越疏处场强越小.

(8) 电势梯度矢量

其方向与等势面垂直,指向 U 增加的方向.

电势梯度与场强的关系

$$\mathbf{E} = -\text{grad}U$$

电场中各点的场强大小等于该点电势梯度的大小,场强方向与电势梯度方向相反. 表明了电场强度与电势的微分关系.



电场对电荷的作用.

(1) 电场力 F : 电荷 q 在电场中受到场的作用.

$$F = qE$$

(2) 点电荷 q 受到电场力: $F = qE$

如场源电荷也为点电荷 Q_0 , 则 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ_0}{r^2} \mathbf{r}$

(3) 带电体受到的电场力: $F = \int dF = \int E dq$

(4) 电偶极子在均匀电场 E 中受到的作用

A. 力 F $F = 0$

B. 力矩 M $M = \mathbf{P}_e \times \mathbf{E}$ 其中 $\mathbf{P}_e = q\mathbf{l}$, 称为电偶极矩, $\mathbf{l}$ 为从 $-q$ 指向 $+q$ 的有向线段. 力矩的作用总是使偶极子转向平行于 E 的方向



须记忆的电荷典型分布的场强、电势

(1) 点电荷

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{r}, U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$$

(2) 均匀带电圆环轴线上

$$E = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + R^2)^{3/2}}$$

(3) 均匀带电球面

$$E = 0 \quad (r > R)$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (r > R)$$

(4) 均匀带电球体

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qr}{R^3} \quad (r < R)$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (r > R)$$

(5) 均匀带电无限长直线

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

(6) 均匀带电无限长圆柱面

$$E = 0 \quad (r < R)$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (r > R)$$

(7) 均匀带电无限大平面

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

四、疑难辨析

怎样认识电荷的量子化和宏观带电体电量的连续分布?

答 常见的宏观带电体所带的电荷远大于基本电荷量,在一般灵敏度的电学测试仪器中,电荷的量子性是显示不出来的.因此在分析带电情况时,可以认为电荷是连续分布的.这正象人们看到流水时,认为它是连续的,而并不感觉到水是由一个个分子、原子等微观粒子组成的一样.

比较场与实物的同和异

答 同:都是物质存在的形式,客观存在并能为人所认识;存在的形式都具有多样性;都有质量、能量、动量、角动量;进行的物理过程,也遵从质量守恒、能量守恒、动量守恒和角动量守恒等普遍规律;都不能创生,不能消灭,只能从一种形式转变为另一种形式.

异:实物由原子分子组成,具有不可入性.而场所占据的空间能为其他场同时占有,且互不影响;实物的质量密度较大(10^3 千克/米³),场的质量密度很小(10^{-23} 千克/米³);实物不能达到光速,场一般以光速传播,实物受力可产生加速度,场不能被加速;实物可作参考系,场不能当参考系.

怎样理解高斯定理?

答 真空中的静电场,高斯定理为

$$\Phi = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sum_i q_i}{\epsilon_0}$$

$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$ 是通过闭合面 S 的电场强度 $\mathbf{E}$ 的总通量, $\sum_i q_i$ 是闭合面 S 所包围的电荷的代数和. 闭合面 S 上各点的电场强度 $\mathbf{E}$ 是 S 面内、外所有电荷共同产生的合场强,不仅仅是高斯面内电荷产生的场强. 如闭合面内电荷代数和为零,只能说明通过闭合面的电通量为零,而其面上各点 $\mathbf{E}$ 却不一定为零.

高斯面 S 是一个几何曲面,无厚度可言,如 S 面穿过带电体,则带电体只分为面内、面外两部分,不存在面上电荷问题.

高斯定理是反映静电场性质的基本定理之一,对任意的静电场和任意形状的闭合曲面都适用.但在求解电场强度的分布时必须要求电荷分布具有较高对称

性.

4 能否单独用电场强度来描述电场的性质?为什么要引入电势?

答 可以只用电场强度来描述电场性质.但是,引入电势后,即可从不同角度加深对电场的认识,也可简化运算,因为电势 U 是标量,一般情况下计算 U 比计算 E 方便,求得 U 后根据 $E = -\text{grad}U$,即可得电场强度 E 了.

5 电势零点的选择是完全任意的吗?

答 由定义来看,电势只具有相对值,从此意义上说,电势零点选择是完全可以任意的.但在理论研究中,往往要采用一些抽象模型,如无限大带电体、点电荷等,在这种情况下,电势零点就有一定的限制,即必须使得电场中各点的电势具有确定的值,这才有物理意义.例如,无限大均匀带电平面,由于电荷分布在无限范围,就不能选无限远处的电势为零,通常选带电平面本身的电势为零.又如点电荷,因为电荷集中在一个点上,因此不能选点电荷本身作为电势零点,而通常选无限远处为电势零点.无限长带电直线的电势零点,既不能选在其本身上,也不能选无限远处,只能选空间中的其他任意点.实际问题中常以大地或电器的金属外壳为电势零点.另外电势零点选择应尽量使计算简单.

6 电势与场强的关系式有积分形式和微分形式.计算时在怎样的情况下使用较方便.

答 电势与场强的关系有

微分形式 $E = -\text{grad}U$

积分形式 $U_a = \int_a^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$

当场强分布已知或带电系统的电荷分布具有一定对称性,因场强较宜用高斯定理求出,用积分式计算电势方便.

当带电系统的电荷分布已知,电荷分布的对称性又不明显时,宜用电势叠加法,即

$$U_a = \int dU = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r}$$

计算电势,再用微分式计算场强方便.

7 假如电场力做功与路径有关,定义电势的公式 $U_a = \int_a^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$ 还有没有意义?从原则上讲,这时还能不能引入电势的概念?

答 假如电场力的功与路径有关,那么积分 $U_a = \int_a^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$ 在未指明积分路径以前就没有意义,因为它与路径有关,路径不同,积分的结果也不同,相同的初

位置,可以有无限多积分值,则 $U_a = \int_a^{\infty} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$ 就没有确定的意义,即不能根据它引入电势的概念。

8 电场力做功与反抗电场力做功.

答 功是能量变化的量度. 电场力做功,电势能减少,电能转变成其他形式的能量;外力反抗电场力做功,电势能增加,其他形式的能量转变成电能. 如果用电场力做功计算电势,起点是待求电势的场点,终点是选定的零点;如果用外力反抗电场力做功计算电势,则起点是零点,终点是场点. 二者是等效的,因为反抗电场力的外力,总是与电场力大小相等,方向相反.

8 怎样判断电势能、电势的正负与高低?

答 判断正负,必须首先选定参考零点. 将给定电荷(可正可负)移至零点,根据电场力做功的正负,决定该电荷在给定点电势能的正负;将单位正电荷(必须是正)从给定点移至零点,电场力做功的正负,决定给定点电势的正负.

比较高低,与零点选择无关. 将给定电荷(可正可负)从 A 点移至 B 点,若电场力作正功,则 $W_A > W_B$ 电场力作负功, $W_A < W_B$. 将单位正电荷(必须是正)从 A 移至 B,电场力作正功, $U_A > U_B$; 电场力作负功, $U_A < U_B$.

10 库仑定律与高斯定理、环路定理的关系.

答 库仑定律是直接来自实验中总结出来的,是整个静电学理论的实验基础. 由于它只是从电荷相互作用的角度研究静电现象,局限性较大,只适用于相对静止的点电荷的场. 高斯定理和环路定理是库仑定律的推论,由于它们是用场的观点,从两个不同的侧面,对静电场的基本性质给出了完整的描述,适用于一切场源电荷激发的场.

当然,从另外一个角度,也可以先从实验中总结出高斯定理和环路定理,再由它们导出库仑定律. 比如,可根据检验空腔导体内不带电的实验,得到高斯定理. 再把高斯定理用于中心置一点电荷的闭合球面,即可导出库仑定律. 因此高斯定理和环路定理又叫做静电场的第一、第二定律,这时库仑定律就只处于一种推论的地位.

11 电场线与等势面;场强与电势.

答 它们都是假想的辅助概念. 电场线的方向表示场强的方向,电场线的疏密表示场强的大小,两条电场线不可相交,电场线一般与电荷运动轨迹不重合;由高斯定理,电场线起于正电荷止于负电荷,在没有电荷的地方不可中断;由环路定理,电场线不可闭合;由电势与场强的关系,沿电场线方向电势越来越低,电场线与等势面处处正交,等势面越密的地方电场线也越密.

应当注意,场强只与电势沿某方向变化快慢有关,与电势在某点取值无直接