# 第十章 静电场中的能量

古代，人们用弩来加速箭，箭的速度能达到 102 m/s 数量级；后来，人们又在枪膛中用火药加速子弹，子弹的速度能达到 103 m/s 数量级；而现代，人们需要用高速的微观粒子轰击另一微观粒子来进行科学研究，其速度的数量级达到 107 m/s，那是怎样加速的呢？



科学是可以解答的艺术。科学的前沿是介于可解与难解、已知与未知之间的全新疆域。致力于这个领域的科学家们竭尽全力将可解的边界朝难解方向推进，尽其所能揭示未知领域。

——梅达瓦[[1]](#footnote-1)

# 第十章 1 电势能和电势

## 问题？

一个正电荷在电场中只受到静电力 *F* 的作用，它在电场中由 A 点运动到 B 点时，静电力做了正功 *W*AB。由动能定理可知，该电荷的动能增加了 *W*AB。

A

B

*E*

*F*

从能量转化的角度思考，物体动能增加了，意味着有另外一种形式的能量减少了。这是一种什么形式的能量呢？

## 静电力做功的特点

### 思考与讨论

一个质量为 *m* 的物体在地面某位置所受的重力是一定的，不管它怎样运动，其所受重力的大小都等于 *mg*，方向竖直向下（图 10.1-1 甲）；一个带正电的电荷量为 *q* 的试探电荷在匀强电场中某位置所受的静电力也是一定的，不管它怎样运动，其所受静电力的大小都等于 *qE*，方向跟电场强度*E*的方向相同（图 10.1-1 乙）。

甲

乙

*qE*

*mg*

图 10.1-1

重力做功具有跟路径无关的特点，静电力做功是否也具有这一特点？

如图 10.1-2，在电场强度为 *E* 的匀强电场中任取 A、B 两点，把试探电荷 *q* 沿两条不同路径从 A 点移动到 B 点，计算这两种情况下静电力对电荷所做的功。

A

*q*

*F*

*θ*

B

M

图 10.1-2

把 *q* 沿直线 AB 从 A 点移动到 B 点。在这个过程中，*q* 受到的静电力 *F* 与位移 AB 的夹角始终为 *θ*，静电力对 *q* 所做的功为

*W* AB = *F* cos*θ* |AB| = *qE* cos*θ* |AB| = *qE* |AM|

再把 *q* 沿折线 AMB 从 A 点移动到 B 点。在位移 AM 方向上，静电力对 *q* 所做的功

*W*AM = *qE* |AM|

在位移 MB 方向上，由于移动方向跟静电力方向垂直，静电力不做功，*W*MB = 0。

在整个移动过程中，静电力对 *q* 所做的功

*W*AMB = *W*AM ＋ *W*MB = *qE* |AM|

所以，以上两种不同路径中静电力对 *q* 所做的功是一样的。

另外，还可以使 *q* 沿任意曲线 ANB 从 A 点移动到 B 点（图 10.1-3）。这时，我们把曲线分成无数小段，每一小段中，设想 *q* 都从起点先沿电场方向、再沿垂直电场方向到达终点。各小段沿垂直电场方向运动时，静电力是不做功的，各小段沿电场方向移动的位移之和等于 |AM| 。因此，*q* 沿任意曲线从 A 点移动到 B 点静电力所做的功也是

*W* = *qE* |AM|

图 10.1-3

A

N

B

M

*E*

可见，不论 *q* 经由什么路径从 A 点移动到 B 点，静电力所做的功都是一样的。因此，在匀强电场中移动电荷时，静电力所做的功与电荷的起始位置和终止位置有关，与电荷经过的路径无关。

这个结论虽然是从匀强电场中推导出来的，但是可以证明对非匀强电场也是适用的。

## 电势能

我们知道，功和能量的变化密切相关。例如，重力做功等于重力势能的减少量。节前“问题”中电荷所减少的能量，必定跟静电力做的功相关。静电力做功具有跟重力做功一样的特点，即静电力做功的多少与路径无关，只与电荷在电场中的始、末位置有关。电荷在电场中也具有势能，我们称这种形式的能为**电势能**（electric potential energy），用 *E*p 表示。

这里我们又用到了通过某种力做的功来研究与它相关的能量问题的方法。

如果用 *W*AB 表示电荷由 A 点运动到 B 点静电力所做的功，*E*pA 和*E*pB 分别表示电荷在 A 点和 B 点的电势能，它们之间的关系为

*W*AB = *E*pA － *E*pB

当 *W*AB 为正值时，*E*pA ＞ *E*pB，表明静电力做正功，电势能减少。

当 *W*AB 为负值时，*E*pA ＜ *E*pB，表明静电力做负功，电势能增加。

这跟重力做正功或负功时，重力势能的变化情况相似。应该注意，静电力做的功只能决定电势能的变化量，而不能决定电荷在电场中某点电势能的数值。只有先把电场中某点的电势能规定为 0，才能确定电荷在电场中其他点的电势能。

例如，若规定图 10.1-2 中的电荷在 B 点的电势能为 0，则电荷在 A 点的电势能数值上等于 *W*AB。也就是说，电荷在某点的电势能，等于把它从这点移动到零势能位置时静电力所做的功。

通常把电荷在离场源电荷无限远处的电势能规定为 0，或把电荷在大地表面的电势能规定为 0。

重力势能属于地球和物体组成的系统，是地球和物体相互作用产生的。同样，电势能是相互作用的电荷所共有的，或者说是电荷及对它作用的电场所共有的。我们说某个电荷的电势能，只是一种简略的说法。

多远是“无限远”？在研究静电场的问题中，如果离场源电荷已经很远，以至于试探电荷已经不能探测到电场了，这点就可以算是“无限远”。

## 电势

前面我们通过对静电力的研究，认识了电场强度。现在我们要通过对电势能的研究来认识另一个物理量——电势，它同样是表征电场性质的重要物理量。

有一个电场强度为 *E* 的匀强电场（图 10.1-4），规定电荷在 O 点的电势能为 0。A 为电场中的任意一点，电荷 *q* 在 A 点的电势能为 *E*pA，等于电荷 *q* 由 A 点移动到 O 点的过程中静电力所做的功，数值为 *W*AO。如果把一个电荷量为 *nq* 的电荷也由 A 点移动到 O 点，由于移动过程中该电荷在任何一点所受的静电力始终是电荷量为 *q* 的电荷的 *n* 倍，它们的位移一样，因此，移动该电荷所做的功必定是 *nW*AO。

图 10.1-4

*E*

*l*

A

O

*θ*

### 思考与讨论

这个功与电荷的多少有关，显然不能用它来表示电场某点的性质，不过，以上分析会给我们一些启示。请你进一步分析，是否能找到反映电场某点性质的物理量。

由前面的分析可知，置于 A 点的电荷，如果它的电荷量变为原来的几倍，其电势能也变为原来的几倍，电势能与电荷量之比却是一定的，与放在 A 点的电荷量多少无关。它是由电场中该点的性质决定的，与试探电荷本身无关。

这个结论虽然是从匀强电场得出的，但可以证明对于其他电场同样适用。

电荷在电场中某一点的电势能与它的电荷量之比，叫作电场在这一点的**电势**（electric potential）。如果用 *φ* 表示电势，用 *E*p 表示电荷 *q* 的电势能，则

*φ* =

在国际单位制中，电势的单位是**伏特**（volt），符号是 V。在电场中的某一点，如果电荷量为 1 C 的电荷在这点的电势能是 1 J，这一点的电势就是 1 V，即

1 V = 1 J/C

在图 10.1-4 中，假如正的试探电荷沿着电场线从左向右移向 O 点，它的电势能是逐渐减少的。可以说，沿着电场线方向电势逐渐降低。

与电势能的情况相似，应该先规定电场中某处的电势为 0，然后才能确定电场中其他各点的电势。

在规定了零电势点之后，电场中各点的电势可以是正值，也可以是负值。

在物理学的理论研究中常取离场源电荷无限远处的电势为 0，在实际应用中常取大地的电势为 0。[[2]](#footnote-2)

电势只有大小，没有方向，是个标量。

## 练习与应用

本节共 7 道题，是围绕静电力做功、电势能的计算和电势高低的判断三个内容编写的。问题紧扣教科书内容，对巩固基本概念十分有益。题目着眼于教科书的基本概念的得来、物理意义和概念间的相互关系，体现了物理观念的学科素养。第 1 题通过计算来加深“静电力做功与路径无关，只与初、末位置有关”这一认识。第 2 题巩同电势和电势能的计算。 3 题根据试探电荷的电性和电势能的大小判断电势的高低。第 4 题应用电场线判断电势的高低。第 5 题考查场源电荷某一条电场线上静电力做功与电势能变化的关系及其特点。第 6 题研究静电力做功与电势能变化的关系。第 7 题探讨等量同种电荷周围的电势与电势能。

1．如图 10.1-5，在电场强度为 60 N/C 的匀强电场中有 A、B、C 三个点，AB 为 5 cm，BC 为 12 cm，其中 AB 沿电场方向，BC 和电场方向的夹角为 60°。将电荷量为 4×10−8 C 的正电荷从 A 点移到 B 点，再从 B 点移到 C 点，静电力做了多少功？若将该电荷沿直线由 A 点移到 C 点，静电力做的功又是多少？

C

*E*

A

B

60°

图 10.1-5

**参考解答**：2.64×10−7 J；2.64×10−7 J

2．电荷量 *q*1 为 4×10−9 C 的试探电荷放在电场中的 A 点，具有 6×10−8 J 的电势能。A 点的电势是多少？若把 *q*2 为 − 2×10−10 C 的试探电荷放在电场中的 A 点，*q*2 所具有的电势能是多少？

**参考解答**：15 V：− 3×10−9 J

3．回答下列题目后小结：如何根据试探电荷的电势能来判断电场中两点电势的高低？

（1）*q* 在 A 点的电势能比在 B 点的大，A、B 两点哪点电势高？

（2）− *q* 在 C 点的电势能比在 D 点的大，C、D 两点哪点电势高？

（3）*q* 在 E 点的电势能为负值，− *q* 在 F 点的电势能是负值，E、F 两点哪点电势高？

**参考解答**：（1）A 点电势高；（2）D 点电势高；（3）F 点电势高

小结：第（1）问表明在电场中，同一正试探电荷的电势能越大的点，电势越高；同一正试探电荷在电势越高的点，电势能越大。

第（2）问表明在电场中，同一负试探电荷的电势能越大的点，电势越低；同一负试探电荷在电势越高的点，电势能越小。

第（3）问表明正试探电荷的电势能为负值的点的电势小于负试探电荷的电势能为负值的点的电势。

4．根据图 10.1-6 解答以下题目，然后进行小结：如何根据匀强电场的电场线来判断两点电势的高低？

*E*

A

B

M

P

N

图 10.1-6

（1）M、N 是匀强电场中同一条电场线上的两点，哪点电势高？

（2）M、P 是匀强电场中不在同一条电场线上的两点，AB 是过 M 点与电场线垂直的直线，则 M、P 两点哪点电势高？

**参考解答**：（1）M 点电势高；（2）M 点电势高

小结：（1）在同一条电场线上，沿着电场线的方向，电势逐渐降低。

（2）研究不在同一条电场线上的两个点电势的高低时，可以先过其中的一个点，作出等势面（即图中的直线 AB）。设该等势面与 P 点所在的电场线交于 M′ 点，显然，M′ 点的电势与 M 点的电势相等。而在同一条电场线上，M′ 点的电势比 P 点的电势高。所以，M 点的电势比 P 点的电势高。

提示：（1）沿着电场线的方向，电势是逐渐降低的，所以 M 点的电势比 N 点的高。

（2）先假设正试探电荷从 M 点沿着与电场线始终垂直的路径移动到与 P 点在同一条电场线上的 M′ 点，这一过程中静电力不做功。再把这一电荷从 M′ 点移动到 P 点，全过程静电力做正功。所以，从 M 点移动到 P 点静电力做正功，电势能减少， > ，M 点的电势比 P 点的电势高。

5．如图 10.1-7，A、B 是点电荷电场中同一条电场线上的两点，把电荷量 *q*1 为 10−9 C 的试探电荷从无穷远移到 A 点，静电力做的功为 4×10−8 J； 把 *q*2 为 − 2×10−9 C 的试探电荷从无穷远移到 B 点，静电力做的功为 − 6×10−8 J。请判断：场源电荷是正电荷还是负电荷？场源电荷的位置是在 A、B 的左边还是右边？

图 10.1-7

A

B

**参考解答**：负电荷；A 的左边

6．一个电场中有 A、B 两点，电荷量 *q*1 为 2×10−9 C 的试探电荷放在电场中的 A 点，具有 − 4×10−8 J 的电势能 ；*q*2 为－3×10−9 C 的试探电荷放在电场中的 B 点，具有 9×10−8 J 的电势能。现把 *q*3 为 − 5×10−9 C 的试探电荷由 A点移到 B 点，静电力做正功还是负功？数值是多少？

**参考解答**：负功；5×10−8 J

7．如图 10.1-8， A、B 为一对等量同种电荷连线上的两点 （其中 B 为中点），C 为连线中垂线上的一点。今将一个电荷量为 *q* 的负点电荷自 A 沿直线移到 B 再沿直线移到 C，请分析在此过程中该电荷的电势能的变化情况。

A

B

C

图 10.1-8

**参考解答**：将电荷量为 *q* 的负点电荷 A 沿直线移到 B 点，静电力做负功，电势能增加；再沿直线移到 C 点，静电力做负功，电势能增加。

1. 梅达瓦（Peter Brian Medawar， 1915 — 1987），阿拉伯裔英国免疫学家，因组织移植方面的研究获 1960 年诺贝尔生理学或医学奖。 [↑](#footnote-ref-1)
2. 与实验室相比，地球的体积巨大。实验器材中的电荷无论流入大地或从大地流出，对地球的电学状态几乎没有影响，地球的电势十分稳定，通常可以把地球的电势定为零电势。 [↑](#footnote-ref-2)