# 第十章 3 电势差与电场强度的关系

## 问题？

如果只画出带电体空间分布的电场线和等势面的剖面图，等势面就成了等势线。图中每相邻两条等势线之间的电势差是相等的。电场线密的地方等势线也密，电场线稀疏的地方等势线也稀疏。这是为什么呢？

电场线是描述电场强度的，等势线是描述电势的，电场线和等势线的疏密存在对应关系，表明电场强度和电势之间存在一定的联系。下面以匀强电场为例讨论它们的关系。

如图 10.3–1，匀强电场的电场强度为 *E*，电荷 *q* 从 *A* 点移动到 *B* 点，静电力做的功 *W* 与 *A*、*B* 两点的电势差 *UAB* 的关系为 *W* = *qUAB* 。我们也可以从 *q* 所受的静电力来计算功，这个力是 *F* = *qE* 。在匀强电场中，电荷 *q* 所受的静电力 *F* 是恒力，它所做的功为

*W* = *Fd* = *qEd*

图 10.3–1 讨论匀强电场的电势差与电场强度的关系

*d*

*q*

*B*

*A*

*E*

比较功的两个计算结果，得到

*U*AB = *Ed*

即：**匀强电场中两点间的电势差等于电场强度与这两点沿电场方向的距离的乘积**。

### 思考与讨论

在上面的讨论中，如果 *A*、*B* 两点不在同一条电场线上（图 10.3–2），还能得出以上结论吗？请尝试进行论证。

*B*

*A*

*E*

*q*

*l*

*d*

图 10.3–2 不在一条电场线上电势差与电场强度的关系

电场强度与电势差的关系也可以写作

*E* =

它的意义是：在匀强电场中，电场强度的大小等于两点之间的电势差与两点沿电场强度方向的距离之比。也就是说，电场强度在数值上等于沿电场方向单位距离上降低的电势。

上式表明，两相邻等势线之间的电势差 *U* 相同时，电场强度 *E* 越大的地方，两相邻等势线之间的距离 *d* 越小，这就是电场线较密的地方等势线也较密的原因。

此关系式可以得到电场强度的单位是伏每米（V/m）。这个单位与前面学过的单位牛每库（N/C）是相同的。即

1 V/m = 1 N/C

### 【例题】

如图 10.3–3，真空中平行金属板 M、N 之间的距离 *d* 为0.04 m，有一个 2×10−15 kg 的带电粒子位于 M 板旁，粒子的电荷量为 8×10−15 C，给两金属板加 200 V 直流电压。

N

M

*U*

图 10.3–3

（1）求带电粒子所受的静电力的大小。

（2）求带电粒子从 M 板由静止开始运动到达 N 板时的速度。

（3）如果两金属板距离增大为原来的 2 倍，其他条件不变，则上述问题（1）（2）的答案又如何？

解 （1）两金属板间的电场强度 *E* = ，带电粒子所受的静电力*F* = *Eq*，则有

*F* = *Eq* = = N = 4×10−11 N

（2）静电力远大于重力 2×10−14 N，因此重力可忽略不计。

带电粒子运动的加速度 *a* = ，设带电粒子到达 N 板时速度为 *v*。根据匀变速直线运动的速度与时间的关系有 *v*2 = 2*ad*，则

*v* = = m/s = 40 m/s

（3）当 *d*ʹ = 2*d* 时，*E*ʹ = = ，*F*′ = *E*′*q* = 2*F*，*a*′ = = ，则

*v*′ = = = *v* = 40 m/s

带电粒子所受的静电力的大小是 4×10−11 N，到达 N 板时的速度是 40 m/s；两金属板距离增大为原来的 2 倍时，静电力的大小是 2×10−11 N，速度仍然是 40 m/s。

上述例题告诉我们，当 M、N 板间的距离增大时，只要它们之间的电势差没有变化，带电粒子到达 N 板的速度大小也不会变化。这很容易运用动能定理来解释。由于静电力做的功等于带电粒子动能的变化，得

*qU* = *mv*2

只要加速电压*U*是一定的，带电粒子加速后所获得的动能就是一定的。

### 思考与讨论

上述例题中，M、N 是两块平行金属板，两板间的电场是匀强电场。如果 M、N 是其他形状，中间的电场不再均匀，例题中的三个问题还有确定答案吗？为什么？

## 练习与应用

本节共 3 道习题，设置重点围绕电势差与电场强度的关系问题。有平行板电容器内部电场强度的计算、静电力做功的计算和电势大小的计算，还有应用类比法判断电势降落快慢的练习。其中注意兼顾知识与技能训练和科学方法的练习。第1题结合生活实际介绍空气击穿现象。做过这样的练习题后，应该让学生知道，雷击就是空气被击穿的现象，击穿电压的数量级高达 108 V。第2 题巩固公式 *U* = *Ed* 的应用，同时体会电势的相对性和电势差的不变性，重温静电力做功与路径无关。第 3 题要求通过与等高线类比，体会电场强度大的地方是电势降落得快的地方。这类习题对拓宽知识面、培养知识迁移能力有较强的作用。

1．空气是不导电的。但是如果空气中的电场很强，使得气体分子中带正、负电荷的微粒所受的方向相反的静电力很大，以至于分子“破碎”，空气中出现可以自由移动的电荷，空气就变成了导体。这个现象叫作空气的“击穿”。

一次实验中，电压为 4×104 V 的直流电源的两极连在一对平行金属板上，如果把两金属板的距离减小到 1.3 cm，两板之间就会放电。这次实验中空气被击穿时的电场强度是多少？

**参考解答**：3.1×106 V/m

提示：空气击穿时的电势差 *U* = 4×104 V，*d* = 1.3×10−2 m，所以 *E* = = 3.1×106 V/m。

2．带有等量异种电荷、相距 10 cm 的平行板 A 和 B 之间有匀强电场（图 10.3–4），电场强度 *E* 为 2×104 V/m，方向向下。电场中 *C* 点距 B 板 3 cm，*D* 点距 A 板 2 cm。

*A*

*B*

*P*

*C*

*D*

图 10.3–4

（1）*C*、*D* 两点哪点电势高？两点的电势差 *UCD* 等于多少？

（2）如果把 B 板接地，则 *C* 点和 *D* 点的电势 *φC* 和 *φD* 各是多少？如果把 A 板接地，则 *φ*C 和*φ*D 各是多少？在这两种情况中，*UCD* 相同吗？

（3）一个电子从 *C* 点移动到 *D* 点，静电力做多少功？如果使电子从 *C* 点先移到 *P* 点，再移到 *D* 点，静电力做的功是否会发生变化？

**参考解答**：（1）D 点，− 1 000V；

（2）B 板接地时 *φ*C = 600 V、*φ*D = 1 600 V，A 板接地时 *φ*C = − 1 400 V、*φ*D = − 400 V，相同

（3）1.6×10−16 J，不会变化

提示：根据 *U* = *Ed* 公式解答下列问题。

（1）由电场线方向知，D 点电势比 C 点电势高，有 *U*CD = *Ed*CD = 2×104×（− 5）×10−2 V = − 1 000 V。

（2）B 板接地时，*φ*C = *Ed*CB = 2×104×3×10−2 V = 600 V，*φ*D = *Ed*DB = 2×104×8×10−2 V = 1 600 V，*U*CD = *φ*C − *φ*D = − 1 000 V。A 板接地时，*φ*C = *Ed*CA = 2×104×（− 7）×10−2 V = − 1 400 V，*φ*D = *Ed*DA = 2×104×（− 2）×10−2 V = − 400 V，*U*CD = *φ*C − *φ*D = [− 1 400 − （− 400）] V = − 1 000 V。可见，不管哪一板接地，*U*CD 都是 − 1 000 V。

（3）*W*CD = *eU*CD = − 1.6×10−19×（− 1 000）J = 1.6×10−16 J。如果电子先移到 P 点再移到 D 点，静电力做的功不会改变。这是因为静电力做功与路径无关，只与初、末位置有关。

3．图 10.3–5 是某初中地理教科书中的等高线图（图中数字的单位是米）。小山坡的左边 a和右边 b，哪一边的地势更陡些？如果把一个球分别从山坡左右两边滚下（把山坡的两边看成两个斜面，不考虑摩擦等阻碍），哪边的加速度更大？

现在把该图看成一个描述电势高低的等势线图，图中的单位是伏特，a 和 b 哪一边电势降落得快？哪一边的电场强度大？

*a*

*b*

0

10

20

30

40

图 10.3–5

**参考解答**：b 边；b 边；b 边；b边

提示：小山坡的 b 边比以 a 地势更陡些，球沿 b 边滚下加速度更大些。b 边电势降落比 a 边电势降落得快，b 边的电场强度比 a 边的大。可见，电势降落得快的地方是电场强度大的地方。

# 第 3 节 电势差与电场强度的关系 教学建议

## 1，教学目标

（1）经历探究匀强电场中电势差与电场强度的定量关系的过程，理解关系式的意义。

（2）知道电场强度另一个单位“伏每米”的物理意义。

## 2．教材分析与教学建议

教科书在上一章引入电场强度描述电场的力的特性以及本章引入电势描述电场的能的特性后，又建立起电势差与电场强度间的关系，并以此关系构建电场的“力”与“能”这两方面间的联系，从而帮助学生整体认识电场。

本节涉及“问题提出、关系建立、关系意义、应用”四部分内容。在“关系建立”“应用”部分均有“思考与讨论”。教学中要引导学生积极思考，经历分析、逻辑推理过程，不仅体会所建立起来的关系的物理含义，而且要把握建立两个事物，或者是一个事物的两个方面间关系的一般思路。

本节重点是匀强电场中 *U*AB = *Ed* 的推导，因为此关系式体现了电场两个核心概念之间的联系。难点是电场强度新的物理意义：电场强度在数值上等于沿电场方向单位距离上降低的电势。学生所熟悉的变化率大多是相对时间的变化快慢，很少涉及相对空间距离的变化问题。虽然电场强度是矢量，电势是标量，但通过静电力做功，两者之间建立了联系。对于一般的电场，学生只要定性了解电势差与电场强度的关系就可以了。对于匀强电场，学生应能推导出电场强度与电势差之间的关系式，并通过公式变形，得出电场强度新的表达式。

### （1）问题引入

引导学生观察带电体周罔空间分布的电场线和等势面的疏密分布特点，提出要探究的问题：为什么电场线与等势面疏密存在对应关系？然后推断电场强度与电势之间存在着关系，将要探究的问题转化为：电势差与电场强度之间存在怎样的关系？

### （2）电势差与电场强度的关系

在定量推导电势差与电场强度的关系之前，应强调：一、论证二者关系必定存在；二、探究二者关系的思路。探究二者间的关系建议按以下顺序展开：首先说明，既然电场强度和电势是量化同一事物（电场）不同方面（力与能量）的物理量，那么，两者之间必然存在着某种关系；其次，从逻辑角度选择探究的方法——通过功为媒介来寻找关系，一方面因为做功必须有力，另一方面做功必然引起能量变化；最后才进入探究关系的过程。

**教学片段**

**电势差与电场强度的关系的探究思路**

提问 1：既然我们已经确认电场强度与电势间存在某种关系，那么怎样探究二者之间的关系呢？

提问 2：是否可以寻找到一个与双方都有联系的媒介呢？

提问 3：什么物理量与“力”和“能”都有联系呢？

学生思考讨论：做功必须有力，同时引起能量变化。所以选择“功”作为媒介来研究。

提问 4：从最简单的情况入手，即用正试探电荷在匀强电场中沿电场线方向从 A 移动到 B，见教科书图 10.3–1。静电力在此过程中做的功是多少？

关系的建立过程中，注意引导学生从不同角度来计算功：从恒力做功的角度计算静电力在此过程中做的功；从静电力做功与电势差的关系计算此过程做的功。在同一电场的两点间移动同一电荷，静电力做功应该相等。这里 *E* 和 *d* 分别表示电场强度的大小和两点间距离的大小，都是正值；此情景中 *U*AB 为正，其他情景可负。在这里，教科书“思考与讨论”栏目的设计，不是为了学习新知识，而是要求对刚刚讨论的电势差与电场强度的关系问题进行更深入的研讨。对前提条件“*d* 是沿电场强度方向的距离”的认识，通过与“不沿电场强度方向的两点间的电势差”对比，便能得到进一步强化。即，将前述特殊条件下得来的结论，推广到更一般的情况。这对于学生理性思维的训练以及科学研究方法的渗透都是十分有益的。

对关系的意义的理解有两个层次：

①公式 *U* = *Ed* 的物理意义是：匀理电场中两点间的电势差等于电场强度与这两点沿电场方向的距离的乘积。这是本节内容的重点。

②*E* = 不是 *U* = *Ed* 的简单变形，这一变形有丰富的物理内涵。*E* = 的物理意义是：电场强度的大小等于两点间的电势差与这两点沿电场方向的距离之比。这个比在非匀强电场中也有意义，它表示两点间的平均电场强度。这是本节内容的难点。

对于学有余力的学生，可以引导他们把 *E* = 与速度定义式 *v* = 进行比较，指出速度是位置对时间的变化率，而电场强度是电势对空间位置的变化率。位置随时间变化得越快，则速度越大；电势随空间位置变化得越快，则电场强度越强。这样的比较，对于理解用物理量之比定义物理量的实质是有帮助的。

建议利用教科书图 10.3–1 让学生尝试独立证明，利用教科书图 10.3–2 组织学生讨论 *d* 的意义与电场强度另一个单位的物理意义。引导学生注意 *d* 仍然表示 A、B 两点沿电场方向的距离，或 A、B 所在两等势面间的距离，而不是两点的实际距离。视学生情况，还可以证明电场强度的单位“牛每库”与“伏每米”是相同的。

匀强电场电场强度与电势差关系的应用部分，教科书安排了例题与“思考与讨论”。

例题第（1）问应用匀强电场电场强度与电势差关系求电场强度，比较简单。第（2）问强调：通过计算比较两种力的大小，说明忽略重力的理由。学生处理带电粒子在电场中运动的问题时，常常对“重力是否可以忽略”感到迷茫。应该说明：一般地说，微观带电粒子如电子、质子、离子、α 粒子的重力远远小于静电力，它们的重力可以忽略；而带电的液滴、小球等宏观物体的重力与静电力可比，应考虑它们的重力。这里为本章第 5 节在研究带电粒子加速与偏转时通常不计重力提供了依据。第（2）、（3）问强调让学生经历分别用牛顿定律和功能关系解题的过程，体会从不同角度解决问题的特点和利用能量观点解决问题的简洁性。

“思考与讨论”针对非匀强电场中的加速情景，强调关系式 *E* = 与 *W*AB = *qU*AB 的适用条件不同。

利用图形研究电势差与电场强度的关系有形象直观、印象深刻、不易遗忘的优点，并且可以加深对公式的理解。

**教学片段**

**电场强度与电势差关系的应用**

请学生完成下列问题。

如图 10–7，正点电荷电场中的一条电场线上有 A、B、C 三点，AB = BC。

问题 1：比较 A 与 B 间、B 与 C 间电势差的大小 *U*AB\_\_\_\_\_\_\_*U*BC。

问题 2：若要 *U*AB = *U*BC，则 *l*AB\_\_\_\_*l*BC。

问题 3：按相邻等势面间电势差大小相等的要求，画出正点电荷周围的等势面分布。

问题 4：在静电场中，是否有“电场强度 *E* 越大的地方，电势 *φ* 也越大”的结论？谈谈你的理解。

学生体会：

①非匀强电场 *U* ≠ *Ed*。

②等势面密集的地方电场强度大，电势变化快。

③电场强度 *E* 与电势 *φ* 的区别。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 3 道习题，设置重点围绕电势差与电场强度的关系问题。有平行板电容器内部电场强度的计算、静电力做功的计算和电势大小的计算，还有应用类比法判断电势降落快慢的练习。其中注意兼顾知识与技能训练和科学方法的练习。第1题结合生活实际介绍空气击穿现象。做过这样的练习题后，应该让学生知道，雷击就是空气被击穿的现象，击穿电压的数量级高达 108 V。第 2 题巩固公式 *U* = *Ed* 的应用，同时体会电势的相对性和电势差的不变性，重温静电力做功与路径无关。第 3 题要求通过与等高线类比，体会电场强度大的地方是电势降落得快的地方。这类习题对拓宽知识面、培养知识迁移能力有较强的作用。

1．3.1×106 V/m

提示：空气击穿时的电势差 *U* = 4×104 V，*d* = 1.3×10−2 m，所以 *E* = = 3.1×106 V/m。

2．（1）D 点，− 1 000V；

（2）B 板接地时 *φ*C = 600 V、*φ*D = 1 600 V，A 板接地时 *φ*C = − 1 400 V、*φ*D = − 400 V，相同

（3）1.6×10−16 J，不会变化

提示：根据 *U* = *Ed* 公式解答下列问题。

（1）由电场线方向知，D 点电势比 C 点电势高，有 *U*CD = *Ed*CD = 2×104×（− 5）×10−2 V = − 1 000 V。

（2）B 板接地时，*φ*C = *Ed*CB = 2×104×3×10−2 V = 600 V，*φ*D = *Ed*DB = 2×104×8×10−2 V = 1 600 V，*U*CD = *φ*C − *φ*D = − 1 000 V。A 板接地时，*φ*C = *Ed*CA = 2×104×（− 7）×10−2 V = − 1 400 V，*φ*D = *Ed*DA = 2×104×（− 2）×10−2 V = − 400 V，*U*CD = *φ*C − *φ*D = [− 1 400 − （− 400）] V = − 1 000 V。可见，不管哪一板接地，*U*CD 都是 − 1 000 V。

（3）*W*CD = *eU*CD = − 1.6×10−19×（− 1 000）J = 1.6×10−16 J。如果电子先移到 P 点再移到 D 点，静电力做的功不会改变。这是因为静电力做功与路径无关，只与初、末位置有关。

3．b 边；b 边；b 边；b边

提示：小山坡的 b 边比以 a 地势更陡些，球沿 b 边滚下加速度更大些。b 边电势降落比 a 边电势降落得快，b 边的电场强度比 a 边的大。可见，电势降落得快的地方是电场强度大的地方。