# 55．电场线的功能与局限性是什么？

电场线可以形象地描述电场的分布情况：电场线的方向就是该点的电场方向，也是电势降落最快的方向，电场线的疏密表示电场的强弱。

电场线只是粗略地描述电场的分布情况。首先电场线不可能覆盖电场的每一个点，没有画电场线的地方，不能说没有电场。其次，画出的电场线图只是一个平面图，而电场是分布在整个空间的，特别是在空间呈不对称分布的电场，一个平面上的电场线图很难反映它的全貌。

电场线能直观、形象地描述电场的分布情况，但对电场线的了解似有进一步深入的必要。

## 一、什么是电场线？

如果在电场中画出许多曲线，使这些曲线上每一点的切线方向都与该点的场强方向一致，那么，所有这样画出的曲线，叫作电场的电场线。

这样，电场线就描绘了电场中各点场强的方向，从而对电场有了一个总体的了解。电场线不仅能表示各点场强的方向，还能定性地表示各处电场强度的大小：电场线密的地方电场强度大，电场线疏的地方电场强度小。为了说明电场线的疏密能表示场强大小的分布情况，需要引入另一个物理概念——电场线数密度。我们规定：在电场中任意一点取一个与该点电场方向垂直的小面元 Δ*S*，设穿过该小面元的电场线条数为 Δ*N*，则 Δ*N* 与 Δ*S* 的比值的极限，即 = $\lim\_{∆S\to 0}\frac{∆N}{∆S}$，，称为电场线数密度。通俗地说，电场线数密度就是单位面积内（垂直于电场方向的）穿过的电场线条数，它与该点的电场强度成正比，即 *E* ∝ 。这就是电场线的疏密能表示电场强度的大小的根据。

## 二、电场线疏密表示电场强度大小的定量讨论

会有学生产生疑问：电场线条数不是随便画的吗？单位面积内穿过的电场线条数有什么意义呢？这是一种误解，电场线的条数不是随便画的，为了更清楚地说明这个问题，我们先介绍另一个物理量以及相关的定理。

这个物理量是电场强度通量密度。设电场强度为 *E* 的匀强电场中有一小面元 Δ*S* 与电场方向垂直，如图 1 中虚线所示，则穿过 Δ*S* 的电场强度通量为 *φ*电 = *E*·Δ*S*。如果 Δ*S* 不与电场方向垂直，而是有一个夹角 *θ*，如图 1 中实线所示，则穿过 Δ*S* 的电场强度通量为 *φ*电 = *E*·Δ*S* cos*θ*。

图 1 电场强度通量

*n*（法线）

Δ*S*

*E*

*θ*

如果不是匀强电场，则各处的电场强度不相同，那么当 Δ*S* → 0 时电场强度通量的极限就等于电场强度，即 = $\lim\_{∆S\to 0}\frac{∆φ\_{电}}{∆S}$ = *E*，因此电场强度又称为电场强度通量密度，简称为电通量密度。

这个定理是高斯定理：穿过任意一个闭合曲面 *S* 的电场强度通量 *Φ*电 与该面所包围的所有电荷的代数和 $\sum\_{(S内)}^{}q\_{i}$ 之比等于一个常量，该常量为真空中介电常量 *ε*0 的倒数，即 *Φ*电 = $\sum\_{(S内)}^{}q\_{i}$。

如图 2 所示为一个正点电荷，电荷量为 *Q*，以它为中心作一个半径为 *r* 的球面，其表面积为 *S* = 4π*r*2。该球面就是一个闭合曲面（称为高斯面），球面上任意一点的电场强度大小都相等，穿过整个球面的电场强度通量 *Φ*电 = *E*·4π*r*2 = *k* ·4π*r*2，由于 *k* = ，因此 *Φ*电 = *Q*，这与运用高斯定理得到的结果相同。

图 2 点电荷的一个高斯面及电场线

*S*

*Q*

*r*

点电荷的电场线呈对称的放射状（如图 2 所示，是一个平面图，实际的电场是立体分布的），设共有 *N* 条电场线，我们可以把点电荷的电荷理解为是均匀分布在一个小的球面上的，每 个立体角内分布着 的电荷，这样每一条电场线就对应着 的电荷。

可以这样说，每画一条电场线就对应着它的源头有一个单位的电荷。在如图 3 所示的点电荷的半径为 *r*1 的高斯面上取一块面积为 Δ*S*1 的曲面，设穿过它的电场线有 *n* 条，在半径为 *r*2 的高斯面上取一块面积为 Δ*S*2 的曲面，二者的立体角相等，则穿过 Δ*S*2 曲面的电场线也是 *n* 条，即穿过 Δ*S*1 和 Δ*S*2 的电场强度通量相等，但电场强度通量密度却不相等，即电场强度不相等，由于 = ，因此 = ，即电场强度与 *r* 的二次方成反比。

图 3 同一立体角的曲面面积不同

*Q*

*r*1

*r*2

Δ*S*2

Δ*S*1

结论：①穿过某面积的电场线条数，反映了电场线的源头对应的电荷量；②电场线的数密度反映了电场强度通量的密度，即等于电场强度的大小。

## 三、电场线的局限

用电场线来描述电场的分布，具有形象、直观的优点，却也有其局限性。

①电场是连续分布在空间的，但我们画出的电场线图则是一些分立的曲线，容易让人造成分立的错觉。电场线图中会有很多地方是空白，没有画出电场线，但不能说明这些地方没有电场。

②电场在空间是立体分布的，而我们画出的电场线图只是一张平面图，对于空间完全对称的电场，例如点电荷的电场，有一张平面的电场线图，就可以很容易地想象出电场的全貌，但对于不是空间完全对称的电场，例如，两个等量同种电荷的电场或两个等量异种电荷的电场，以及更复杂的带电物体的电场，只用一张平面的电场线图，并不能反映电场的全貌，甚至会得出不正确的结论，对于这一点，我们将在下面一篇中进行较细致的论述。