# 71．到底是动生电动势还是感生电动势？

磁铁与线圈相对运动，产生的感应电动势是动生电动势还是感生电动势，与选择的参考系有关。选择地面参考系：线圈不动而插入或拔出磁铁，线圈所在位置的磁场发生变化，因此是感生电动势；磁铁不动而线圈切割磁感线运动，则是动生电动势。但如果转换为相对地面运动的参考系，结论可能正好相反。

如图 1 所示的把条形磁铁插入或拔出螺线管的实验是中学物理教学中常见的实验，在这个过程中，螺线管将产生感应电动势，如果线圈是闭合的，则会有感应电流流过。但对于这个感应电动势是动生电动势还是感生电动势的问题，教师难免会有不同意见，甚至会发生争论。

图 1 磁铁插入螺线管

## 一、什么是动生电动势和感生电动势？

由电磁感应所产生的电动势称为感应电动势，它又分为两种类型，动生电动势和感生电动势。动生电动势是指磁场不变，导体做切割磁感线的运动而产生的电动势；感生电动势是指产生电动势的导体静止不动，由于所在空间的磁场发生变化而产生的电动势。

关于动生电动势，要强调导体“切割磁感线运动”，这里有两点需要说明：①这里的“磁感线”是指恒定磁场的磁感线，静止的磁体以及恒定电流产生的磁场是恒定磁场，它的主要特征是其在空间的分布不随时间变化，恒定二字指的就是这一特征，如果不是恒定磁场，那就是变化的磁场，而变化的磁场要产生感应电场，感应电场不是静电场，它是涡旋场，感应电场对电荷的作用力不是静电力，而是非静电力，有非静电力做功是产生电动势的必要条件，因此，如果导体在变化的磁场中运动，一定会受到感应电场的作用力，至少不能说是纯粹的动生电动势了；②中学阶段讲产生感应电流的条件时说，闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动，电路中就会产生感应电流，什么是“切割磁感线运动”呢，就是在运动过程中要“切断”磁感线，但不一定是垂直切割，也可以是斜切割，只要导体运动方向不与磁感线平行，就算是切割，另外，产生感应电流的条件中切割磁感线的导体，也不一定必须是“闭合电路的部分导体”，如图 2 所示，一个条形磁铁固定在桌面上，一个闭合线圈从上向下套入，或从下向上拔出，线圈中都会产生感应电流，静止的条形磁铁周围的磁场是恒定磁场，线圈在向下运动过程中，每一小段的运动方向都不与磁感线平行，因此都在切割磁感线，产生动生电动势，这些小段产生的动生电动势的总和就是总的电动势，并在线圈中产生感应电流。

线圈

磁铁

图 2 闭合线圈套入磁铁

关于感生电动势，如图 3 所示，把线圈静止放置在桌面上，使磁铁由远及近靠近线圈运动，线圈中会产生感应电动势和感应电流。这时的感应电动势不能称为动生电动势，首先，线圈（导体）是静止不动的，总不能说磁场切割线圈吧。其次，该磁场虽然也是磁铁产生的，但磁铁不是静止的，而是运动的，因此它周围的磁场不是恒定磁场，而是变化的磁场，这里说的变化，指的是磁场在空间的分布随时间而变化，以线圈所围的面积来说，开始时磁铁离线圈较远，线圈内部的磁场较弱，随着磁铁向下运动，距离线圈越来越近，线圈内部的磁场越来越强，因此说该磁场是变化的磁场。变化的磁场要产生感应电场，感应电场的电场线是闭合曲线。如果磁铁是圆柱状的，并且它的申心轴线与线圈的中心轴线是同一条直线，则磁铁向下运动过程中产生的感应电场有一条电场线与线圈完全重合，感应电场对线圈中的自由电荷做功，其中的作用力是非静电力。线圈中的感应电流也要产生磁场，该磁场对磁铁也有作用力，它的方向与磁铁运动的方向相反，磁铁向下运动过程中要克服这个阻碍的力做功，磁铁与线圈的相互作用使得磁铁的一部分机械能转化为感应电流的能量。

线圈

磁铁

图 3 磁铁插入闭合线圈

## 二、是动生电动势还是感生电动势与参考系有关

如图 1 所示的情况，线圈静止不动，磁铁插入（或拔出）的过程，产生的感应电动势到底是动生电动势还是感生电动势，其实与选择的参考系有关：选择地面参考系，线圈静止不动，其内部空间中的磁场发生了变化，属于感生电动势；选择向下运动的磁铁为参考系，则磁铁是静止的，它周围的磁场是恒定磁场，线圈向上做切割磁感线的运动，产生的电动势是动生电动势。

同一个物理过程，只因选择了不同的参考系，得出的结论就会不同，这说明了什么问题。

①很多物理量的数值都与参考系有关。例如，物体的运动速度，对某个参考系可以不为零，而对另一个参考系则可能为零。因此，一个电荷是静止的还是运动的，就与参考系有关，对某个参考系，该电荷是静止的，它的电场就是静电场，而对另一个参考系，它就是运动电荷，它的电场是变化的电场。对磁体也是如此，对某个参考系，该磁体是静止的，它周围的磁场就是恒定磁场，而对另一个参考系，它就是运动的，它周围的磁场就是变化的磁场。又例如，在地面上两个静止的点电荷，它们周围的电场都是静电场，它们之间只有相互作用的电场力——库仑力，但变换到另一个相对地面匀速运动的参考系，这两个电荷都变成了运动电荷，它们之间的相互作用力除了电场力以外，还有磁场力。因此，由电磁感应而产生的电动势，是动生电动势还是感生电动势，也不是绝对的，而是相对某个参考系而言的。

②我们在力学的学习中知道，很多物理量的数值都与参考系有关，但力学的规律在不同的参考系（指惯性参考系，下同）中是相同的。例如，速度就与参考系有关，因此在变换参考系时，物体的动量、动能等数值都相应发生变化，但动量定理、动能定理等物理规律的形式仍然不变。这就是说，所有的参考系都是平权的，没有任何一个参考系处于特殊的地位，或者说不存在所谓的绝对参考系。

但在电磁学中，似乎有所不同。例如，电磁学的基本规律——库仑定律，它是关于两个静止点电荷间的相互作用力的规律，如果两个静止的点电荷，电荷量分别是 *q*1 和 *q*2，距离为 *r*，则它们的相互作用力大小为 *F* = *k*，方向沿两电荷的连线。如果转换到另一个参考系，这两个点电荷就变成了运动的电荷，设速度大小为 *v*，方向垂直于它们连线的方向，如图 4 所示，它们之间的相互作用力除了电场力以外，还有磁场力。

*q*1

图 4 两个运动的点电荷

*q*2

*v*

*v*

这是否说明电磁学规律在不同参考系中就不同呢？如果是，那么各参考系就不再是平权的了。是否存在着一个特殊的参考系，在这个参考系中电磁学规律最为简单，这个参考系在哪里？爱因斯坦在创立狭义相对论时，对此做了认真的思考，他认为对于电磁学的规律，在不同的参考系中也应该是相同的，电场和磁场是相互联系的，在变换参考系的过程中，必须作为一个整体对待，即在不同的参考系中，电场和磁场间应该有一种变换关系，称为电磁场的相对论变换，变换过程遵守洛伦兹变换的规律。

仍以图 4 的两个点电荷为例，如果在某参考系中两电荷都保持静止，它们之间只有电场力 *F* = *k*，为斥力。在另一参考系中，它们以相同的速度 *v* 运动，两电荷间的相互作用力应该包括两项，用矢量形式表示是：***F*** = *q****E*** + *q****v***×***B***，式中第一项是电场力，第二项是磁场力，也就是狭义的洛伦兹力。需要注意的是，这时的电场 *E* 已不是原来的静电场，而需要进行变换，这时的磁场也是经过电磁变换而得出的。静止点电荷的电场，它的电场线呈放射状均匀分布，而运动的点电荷的电场是变化的电场，它的电场线呈不对称分布，沿运动方向变得稀疏，而垂直于运动方向则变得密集，如图 5 所示。位于它下方的另一个点电荷受到的电场力仍为斥力，数值要大于两电荷静止时的电场力，但它还多受到了一个磁场力。两个电荷间的磁场力是相互吸引的力。

图 5 运动的点电荷电场线分布

*v*

最后回到动生电动势和感生电动势的讨论上来，实际上它们是人们在不同的参考系中对同一物理现象的不同描述，也可以说是在不同参考系间进行电磁变换所得到的结果。

对中学物理教学而言，由于我们不涉及电磁变换的问题，所有讨论电磁学的问题都以地面为参考系，而不随意变换参考系，因此应该说，在地面参考系中，图 1 中产生的电动势是感生电动势。若坚持说它是动生电动势，也不应简单否定，但必须说明这是在变换参考系后的结论，即在以运动的磁铁为参考系时，它是动生电动势。