**电磁场的能量守恒 坡印廷矢量**

2014/11/17

(未完成)

(这个概念太神奇了, 要好好介绍其实电荷的势能不是由电荷本身携带, 而是通过电磁场传播的). 举例: 同轴电缆. 不要说介质, 太复杂了, 或者顺带提一下就行)

“转换速率+流出速率+增加速率=0”

预备知识: [麦克斯韦方程组](#_麦克斯韦方程组); [电场的能量](#_电场的能量); [磁场的能量](#_磁场的能量)

**1.结论**

(1)坡印廷矢量

真空中电磁场的能流密度为



就是坡印廷矢量.

(2)电磁场能量守恒积分形式



选取任意的一个闭合曲面, 内部空间记为, 以下三者之和为零.

1.电磁场对中所有电荷做功的功率

2.中电磁场能量增加的速率

3.以及通过曲面流出的能量的速率

(3)电磁场能量守恒微分形式



空间中选取任意一点, 以下三者之和为零.

1.电磁场对电荷的做功功率密度

2.电磁场能量密度增量

3.能流密度散度

**2.推导**

类比[电流的连续性方程](#_电流连续性方程)(即电荷守恒), 若电磁场不对电荷做功, 能量守恒可以写成

 (1)

的形式. 其中是电磁场的能流密度(也叫**坡印廷矢量**) (参考[流密度](#_线密度)). 但若再考虑上电磁场对电荷做功, 则还需要加上一项做功做功功率密度, 即“单位时间单位体积电磁场对电荷做的功).

 (2)

第一项中电磁场对电荷做功即[广义洛伦兹力](#_洛伦兹力)做功(功率密度)



假设电磁场的能量守恒(2)成立, 那么, 等式右边只与场有关, 所以应该把电流密度用[麦克斯韦方程组](#_麦克斯韦方程组)替换成场的表达式, 即



代入得

 (3)

式(2)第二项中, 是电[场能量密度](#_电场的能量)和[磁场能量密](#_磁场的能量)度之和, 即

 (4)

现在我们可以把(3)(4)式代入(2)式中, 求出.



其中, 因为([Gibbs算子相关公式](#_Gibbs算子相关公式)). 代入得



其中, 代入得

 (5)

即

 (6)

这就是电磁场的能流密度.

事实上, 给再加上任意一个散度为零的场, (5)式都能满足, 但为了简洁起见, 一般写成(6)式.

**3.电荷的势能传递**

(未完成)

其实所谓电荷的势能根本就不是由电荷携带并传递, 而是通过电磁场来传递的呀!