

磁层状态与地磁脉动分类

朱岗昆 孙 炜

(中国科学院地球物理研究所)

1. 对于地磁脉动分类的讨论, 应从两种不同的意义上进行

(1) 从观测角度, 为便于直观地从记录上加以区分, 因此利用脉动的形态、周期等参量是方便的, 目前国际上使用的Berkeley 1963分类法, 就是这种性质的。

(2) 从物理上, 对脉动的产生机制进行讨论来区分脉动的种种不同类型。这在理论研究中是重要的, 同时也是理论研究发展的结果。这篇短文打算在这个方面谈一些初步看法。

2. 目前分类中存在的一些问题

(1) 有些脉动要跨越几种脉动类型, 如“珠”型脉动(PP), 其周期范围在 $pc\ 1 \sim pc\ 3$ 之内。

(2) 在同一类型脉动中(即同一周期范围), 又可区分出很多不同性质的脉动, 如 pc 内又可区分出PP、CE、HMC、IPDP等类型。

(3) 连续脉动 $pc\ 3$ 、 $pc\ 4$ 的特性和变化规律完全相似, 有混合的趋向, $pc\ 2$ 的特点也不十分清晰。

(4) 无规脉动(pi)中各种不同的类型很多, 并且有不同的机制。

(5) 还存在许多类型的脉动, 既不属于PC类, 也不属于 pi 类。

3. 目前脉动理论研究集中在三个方面:

(1) 磁流体波的共振理论: 它研究HM波在磁层的不同状态区构成的谐振腔内如何共振, 而使得某种类型具有一定频率的波得到放大。这个理论在解释长周期规则脉动的形成、周期特性和时空分布上比较成功。这类称为R型。

(2) 脉动激发源的研究:

1) 在磁层顶和等离子体层顶有关的某些边界层区域, 由于Kelvin—Helmholtz不稳定性形成表面波(S_f 型)。

2) 磁鞘波直接穿透磁层顶进入磁层(Tr 型)。

3) 由于太阳风的压力产生的整个磁层的压缩、膨胀(CP 型)。

4) 磁亚暴扩散期间, 磁尾中磁力线重连, 使磁场贮存的能量被释放, 并转变为等离子体动能而造成不稳定性(Ta 型)。

5) 波粒相互作用。这种作用主要包括粒子的回旋共振和漂移不稳定性等(Cy 型和 Dr 型)。

6) 电离层电导率的突变激发MHD波(Cd)。

(3) 电离层对HM波的屏蔽和修正作用。

4. 从以上分析, 我们可以得出如下结论:

(1) 波的共振激发与磁层的特殊的物理状态有关。

(2) 不管波的那一种激发机制, 除受太阳风、行星际磁场等外界因素影响以外, 其内在因素都与磁层中等离子体的分布和变化有关。

由此使我们考虑根据磁层等离子体分布、变化的特性, 划分出一些特殊的区域, 它们对HM波的产生和传播起着不同的作用, 得以区分不同类型的脉动。

1) 从磁层顶到等离子体层顶(白天一边), 也称等离子体槽(Plasmatrough)(记作M区): 这是个无碰撞冷等离子体区, 位置大约 $4 \sim 10R_E$, 阿尔芬速度在等离子体层顶有极大值。因此可通过谐振腔作用, 激发长周期脉动, 在这两个边界层, 都可以激发表面波作HM波源。

2) 从等离子体层顶到阻挡层(记作P区): 位置由 $2000\text{km} \sim 4R_E$, 2000km 附近的阻挡层是阿尔芬速度的另一个极大值位置。这个区域正处于地球辐射带区, 等离子体的数密度、能流密度都比较高, 是波粒相互作用的活跃区域, 所以是短周期脉动主要激发区。

3) 电离层, 2000km 以下(记作I区): 由太阳电磁辐射或场向电流引起电导率的突变(Cd)。

4) 磁尾(记作T区): 这里有等离子体片、中性片等复杂结构, 又有多种电流和电场系统, 其中的物理过程也比较复杂, 特别是在磁亚暴期间, 是无规脉动活跃的地区。

5) 极尖区(Cusp)(记作C区): 这个地区, 由于其磁场的中性状态而具有独特的性质。太阳风粒子只有在这个区域可以直达电离层。现在发现这个区域的边界处, 由于Kelvin-Helmholtz不稳定性而产生强烈的波动, 波动主要特点是高频(1Hz 以上)的宽带噪音。

根据上述五个区不同的磁层状态、不同的脉动激发源以及周期范围, 列成下表:

磁层状态	激发机制	周期范围	与目前分类的关系
M	S_f-R	10—600秒	pc 3—pc 5
	Tr—R	10—600秒	pc 3—pc 5
	Cp—R	10—600秒	pc 3—pc 5
P	Cy	0.2—10秒	pc 1—pc 2
	Dr	10—600秒	pc 3—pc 5
I	Cd	5—150秒	pi 1—pi 2
T	Ta	0.2—10秒 150—600秒(R)	pc 1—pc 2, pi 1—pi 2, pc 5
C	S_f	0.2—5秒	pc 1, pi 1