利用 *AE* 指数重构磁层相空间*
——对存在问题的讨论

高玉芬 周荣茂 杨冬梅
(国家地震局地球物理研究所 北京 100081)

关键词 *AE* 指数—相空间—吸引子—关联维

1 引 言

由于磁层的物理过程受到太阳风到电离层诸多过程的影响并包含了许多空间和时间尺度，因此磁层是个相当复杂的系统. 人们希望通过新的非线性科学理论了解这一系统的基本参数. 因而许多学者纷纷用目前能较好反映磁层活动的极光电集流指数 *AE*(或 *AL*)及常用的相空间重构方法对磁层进行研究. 他们利用不同时间段的 *AE* 指数和 GP 方法[1]或 SVD 法[2]得到的吸引子的关联维在 2—4 之间，因此，认为磁层是一个具有低维吸引子的动力学系统. 然而有人用修正的 QP 法[3]详细计算了多个时间段 *AE* 指数的关联维，发现计算的关联维大小依赖于磁层的活动水平，活动水平较高时期维数较小；这些作者认为，虽然有明显的关联维，但不能认定磁层系统就是低维的，因为他们发现双噪声系统也具有同样维数. 以上的这些处理，都是把磁层作为自治系统. 但有人认为，磁层是强烈地受太阳风驱动的，应主要讨论磁层对太阳风的响应是否为非线性，他们把 *AE* 指数作为非线性输入/输出系统处理，虽然得到了一些确定性非线性耦合的证据，但不足以肯定这种耦合的性质.

以上研究结果表明，不管是把磁层视为自治系统还是视为太阳风驱动的输入/输出系统，在具体处理上一般都采用相空间重构法求吸引子关联维，然而得到的结论却是不一致的. 比较共同的看法是：采用不同时段的 *AE* 指数结果不同. 虽然我们也曾利用 *AE* 指数得到磁层是有低维的吸引子的结论[4]，但深入的工作也遇到了同样问题. 最近，Sharma[5]就美国在这方面的研究进行了总结. 他认为已经用许多方法和许多时间序列资料组研究了磁层动力学系统的非线性，虽然不是所有的方法在所有的资料组都产生非线性特征，但在这一系统中存在一些非线性证据和低维行为，缺乏清楚证据的原因在于磁层行为显示出直接驱动和加卸载两方面的特性. 本文则认为缺乏清楚证据的更重要的原因在于 *AE* 指数本身不能在所有的地磁活动水平下都能真实地反应磁层活动的物理过程. 以下将用两个典型例子予以说明和讨论.

---

* 国家自然科学基金资助的课题
1995-12-19 收到原稿，1996-09-28 收到修定稿

2 两 个 例 子

利用 *AE* 指数讨论磁层系统的性质时，大多数作者采用相空间重构技术，求吸引子的关联维，用关联维作为判断磁层性质的基本参数．这里也将采用同样方法，选取两个典型的时间段进行分析对比．

所选用的两个典型的 *AE* 时间段为：1982 年 1 月 13 — 14 日非常平静期，*AE* 指数平均值为 20nT；1983 年 2 月 4 — 5 日扰动期，*AE* 平均值为 800nT．两段均采用分辨率为 1 分钟的 1906 个数据点，利用修正的 GP 算法从 *AE* 时间序列重构相空间，求吸引子的关联维．图 1(a) 和 1(b) 分别给出了这两段时间的主要结果．其中各参数意义及具体算法见参考文献[3, 4].

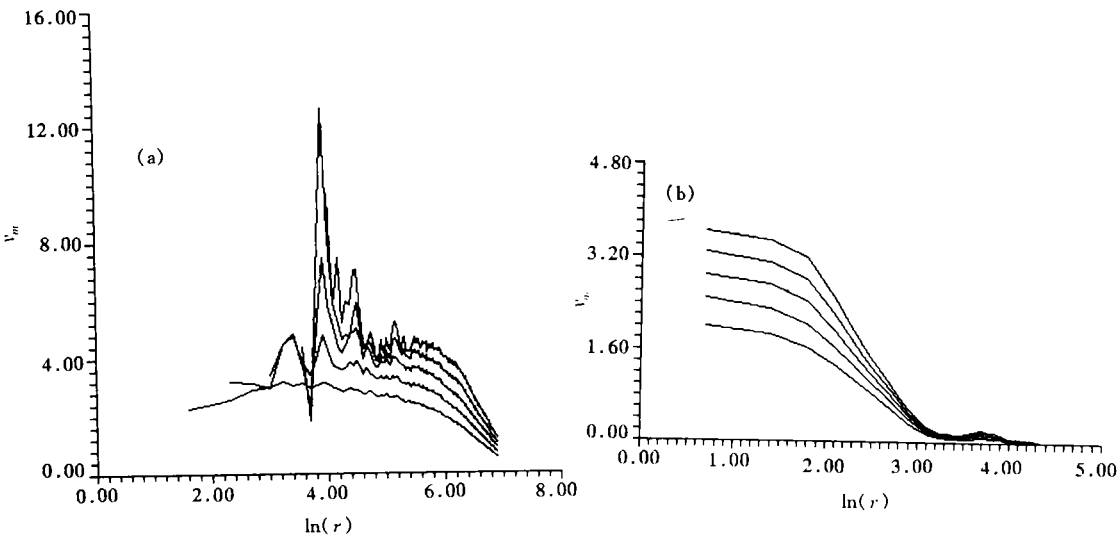

图 1 利用修正的 GP 法得到的 $v_m \sim \ln(r)$

($\tau=20$ $w=20$，从下到上值 $m=3-7$)

(a) 1983－02－04—05；(b) 1982－01－13—14

Fig. 1 $v_m \sim \ln(r)$ (by modified GP method)

在上图中，如果随 m 的增加，在某一区间 v_m 值达到饱和，饱和值为 v，就定义 v 为产生时间序列的动力学系统的吸引子的关联维．当 v 较小时，我们就说系统具有低维吸引子．当找不到收敛的标度区时，则认为系统为非确定性的或随机系统．

对比图 1(a) 和 1(b)，可以看出明显的差别，在图 1(b) 中随着 m 的增加 v_m 也增加而没有任何饱和趋势，这意味着，在平静期 *AE* 显示出是随机序列的特征．而在图 1(a) 中，在 $\ln(r)$ 为 1.7 — 2.4 的区间，存在有饱和的趋势，其值约在 4 — 5，虽然标度区较小，资料点也不足，不能肯定这一扰动段的 *AE* 指数显示确定性的非线性特征，但是与图 1(b) 的明显的差异却可一目了然．这两个例子明显说明，当选用既包含不同扰动程度又包含平

静时间段的资料进行分析时，可能会得到非常不同的结果．这就是我们所说缺乏清楚证据的事实．

3　讨　论

由于 *AE* 指数是由布设在极光椭圆带内不同经度的台站记录到的 *H* 分量的最大偏差之和推导出来的，这些台站不但有限，而且由于地理条件限制，在经纬度上分布不可能非常均匀合理，更不可能随着极光椭圆的移动而移动．在一个给定台站的记录中无法区别哪些是源场强度的变化哪些是空间上的移动引起的变化；也无法保证在已有台站以外的位置没有比 *AL*、*AU* 指数更大的偏离．因此严格地说，*AE* 指数不算是极光电集流活动的定量量度．在地磁强烈扰动期，极光椭圆向低纬度扩展，由于台站不能跟着移动，因此会出现 *AE* 指数趋于饱和的现象，这一现象早已被发现并认为是由于在强磁暴期间极光椭圆纬度降低的结果．而当地磁活动非常平静时，极区无任何亚暴活动，极光椭圆会大大向极盖方向收缩，这时的 *AE* 指数完全失去了原有的物理意义．只有当极光椭圆正好与监测台站分布一致时，才能较好地监测极光电集流的变化．从以上分析可知，*AE* 指数所反映的磁层活动，在某些情况下是不真实的．

用 *AE* 指数对磁层系统动力学性质的非线性研究与统计研究不同，这些研究的第一步是要利用 *AE* 指数对磁层系统进行相空间重构，严格的相空间重构公式推导中涉及到的嵌入等概念是在无噪声的假设条件下应用的，在现实中则要求低噪声．由已有的理论可知，噪声会增加吸引子维数，当噪声超过一定限度就会出现随机系统特征的假像，完全不能真实地反映系统的本质特征．因此，对于系统非线性特征的研究需要低噪声、真正反映系统动力学过程的测量数据。

在第 2 部分给出的例子中，图 1(a)是地磁扰动期，极区有较强的电集流活动，在大部分时间，极光椭圆的分布可能与 *AE* 台站相一致．此时 *AE* 指数能较好地反映电集流活动，因此在图 1(a)中可看出关联指数有一段呈饱和趋势．饱和区约在 4 — 5 之间，即意味着系统可能为确定性的非线性系统，至少有这种趋向．而在对应平静期的图 1(b)，随嵌入维的增加 v_m 也增加，无任何饱和趋势，这意味着系统是随机的．正如前面所说，对应这段极平静期的 *AE* 指数失去了原有的物理意义．由这样没有明确物理意义的资料计算得到的结果显示出随机的性质是合理的，但这并不是系统内在特性的真实反应．

相空间重构要求数据点要足够长．因此人们往往取成千上万甚至更多的点．然而典型的亚暴活动时间约为 3 小时．因此在重构相空间所要求的长时间序列内必然包括各种各样的地磁活动水平，例如像前面例子中极平静和扰动情况，在这种情况下，*AE* 指数中包含的噪声是相当大甚至是不可估计的，用这种资料重构磁层相空间研究非线性特征时不可能得到真正反映磁层活动的非线性动力学过程的可靠的信息，这就是找不到磁层非线性特征清楚证据的原因所在．但 *AE* 指数中的这种噪声来自观测本身，与亚暴形成的直接驱动模型或加载卸载模型并无直接的联系．磁层可能为确定性的低维非线性系统，但不能期望通过利用 *AE* 指数相空间重构计算关联维等非线性方法的研究得到清楚

的证据.

综上所述，由于 *AE* 指数台站数量的限制和台站分布不均匀等原因，使它不能完全正确地监测所有地磁活动水平的磁层活动过程，因而不是通过重构相空间计算磁层关联维的理想观测指数.

参 考 文 献

[1] Grassberger P, Procaccia I. Measuring the strangeness of strange attractors. *Physica D*, 1983, **9**: 189—208

[2] Broomhead D S, King G P. Extracting qualitative dynamics from experimental data. *Physica D*, 1986, **20**: 217—236

[3] Theiler J. Spurious dimension from correlation algorithms applied to limited timeseries data. *Phys. Rev. A*, 1986, **34**: 2427—2432

[4] 高玉芬，周荣茂. *AE* 指数表现出的磁层的浑沌行为，空间科学学报，1994, **14**(2): 101—108

[5] Sharma A S. Assessing the magnetosphere's nonlinear behavior: Its dimension is low, its predictability, high. U. S. National Report 1991—1994, (Space Sciences), IUGG, 1995, 645—650

PHASE SPACE RECONSTRUCTION OF MAGNETOSPHERE FROM *AE* INDEX

—— DISCUSSION OF THE PROBLEMS EXISTED

GAO Yufen ZHOU Rongmao YANG Dongmei

(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau, Beijing* 100081)

Abstract

It is short of clear evidences for judging whether the magnetosphere is a deterministic nonlinear system from correlation dimensions, which are computed from *AE* index by phase space reconstruction. This is because *AE* index can not correctly reflect geomagnetic activities with various different levels. So *AE* index is not an ideal index for phase space reconstruction of magnetosphere.

Key words *AE* index, Phase space, Attractor, Correlation dimension