

# 黄渤海大气气溶胶卫星观测与 长期变化趋势分析\*

于 颢<sup>1,2</sup>, 李紫薇<sup>2</sup>, 杨晓峰<sup>2</sup>, 郑全安<sup>3</sup>, 刘书明<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛, 266071; 2. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101;  
3. 马里兰大学, 美国 马里兰, 20742-2425)

**摘 要:** 收集了中国黄渤海区域(112°~125°E, 35°~45°N) 2000—2009 年 10 a 内 MODIS 气溶胶光学厚度 AOD 月均标准数据, 按陆地和海洋(陆海)像元及海洋像元两类分别进行经验模态分解(EMD), 结合南方涛动指数(SOD)和我国年度化石燃料消耗总量讨论黄渤海海区气溶胶时间变化特征及成因。研究表明该陆海区域大气气溶胶光学厚度 6 月份多为全年最高, 海洋区域最高值出现在 4—7 月之间; 秋冬季(10—次年 2 月)气溶胶光学厚度达到最低; EMD 分解获得气溶胶具有 4 a 变化周期特性, 与南方涛动指数的相关性均达到 0.7, 说明大气气溶胶同样受到全球气候变化的影响; 与我国煤炭化石年消耗量相关系数达到 0.98, 该研究区气溶胶受陆源影响明显, 人类活动对海洋环境的作用不容忽视。

**关键词:** 黄渤海海区; 气溶胶; 经验模态分解(EMD); 南方涛动指数(SOD); 煤炭化石消耗量

中图分类号: P407.4

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2010)04-0507-09

在气象学上, 将空气中由直径在 0.01~100  $\mu\text{m}$  之间的固态和液态微粒混合物称为大气气溶胶。依据气溶胶的形成机制, 大气气溶胶主要分为自然气溶胶和人类活动产生的气溶胶两大类。自然气溶胶主要来源于沙尘暴、森林火灾、火山喷发和海水溅沫。人类活动产生的气溶胶主要来源为燃烧化石燃料(煤炭、石油等)和燃烧生物物质(秸秆等)。对流层气溶胶是陆地-大气-海洋系统的重要组成成分。大气气溶胶颗粒反射和散射太阳光从而改变辐射能量的分布和传输方向, 影响云特性及全球地面辐射收支, 对大气辐射传输和水循环均有重要影响, 因此开展大气气溶胶研究对气象与气候学具有重要意义<sup>[1]</sup>。

大气气溶胶含量是衡量空气质量的重要指标。我国城市大气污染物主要为可吸入气溶胶颗粒物。气溶胶可导致地面能见度下降, 为人民生活 and 经济发展带来不便。直径小于 5  $\mu\text{m}$  的气溶胶颗粒可直接进入肺部形成沉积, 对人体健康造成极大威胁。所以, 准确测量大气气溶胶分布和变化趋势对大气污染监测、生态环境治理以及社会经济发展有着重要指导意义。

我国从 20 世纪 60 年代就开展了大气遥感研究, 气溶胶的监测与分析作为其重要组成部分也随之发展起来<sup>[2]</sup>。早期海洋上空气溶胶研究资料主要来源于船测和海洋站观测数据, 马玉娟、刘玉光等利用手持五波段太阳光度计和臭氧监测仪对青岛崂山区域和渤海海域的大气衰减进行了长时间观测, 分析得到气溶胶散射是大气衰减的主要原因之一; 同时分析了不同季节崂山区域和渤海海域的气溶胶分布特点<sup>[3]</sup>。刘亚豪、刘玉光等利用 2003—2005 年 3 a 夏季渤海及黄海海上调查资料, 对海域上空气溶胶分布特征进行了分析, 并在数据分析基础上提出了二尺度气溶胶光学厚度模型<sup>[4]</sup>。由于大气气溶胶具有空间分布复杂, 随时间变化快等特点, 采用传统的岸基、船载测量方式难以满足同步、大范围时空研究的要求。而卫星遥感具有高空间和高时间分辨率、高观测频率、同步大范围、廉价的特点, 对广阔观测区域更能显示其技术优势。陈本清、杨

\* 收稿日期: 2009-08-10

资助项目: 国家海洋局节能减排专项——渤海环境立体监测与动态评价创新型业务体系构建和运行之子课题: 渤海环境遥感监测技术开发和业务化应用(08Q0090334)

作者简介: 于 颢(1982-), 女, 上海人, 硕士, 主要从事海洋遥感方面研究, E-mail: yuyang@fio.org.cn

(张 骞 编辑)

燕明收集连续 3 a(2002—2004 年)的 MODIS 气溶胶卫星遥感资料分析了台湾海峡及周边海区的气溶胶时空分布特征<sup>[5]</sup>。邓学良,潘德炉等利用 MODIS 气溶胶产品中 550 nm 气溶胶光学厚度和小颗粒比例 2 个参数的关系,得到我国海域人为和沙尘气溶胶光学厚度,并对其分布进行了分析<sup>[6]</sup>。

本研究收集了中国黄渤海区域 2000—2009 年 10 a 内中等分辨率成像光谱仪(MODIS)大气气溶胶光学厚度(aerosol optical depth, AOD)月均数据,按陆地和海洋(陆海)像元及海洋像元两类分别进行 EMD,对分解得到的本征模式函数(IMF)、趋势项进行分析,并结合我国年度化石燃料消耗总量和南方涛动指数(SOI)讨论了黄渤海海区气溶胶时间变化特征及成因。

## 1 数据与处理方法

### 1.1 MODIS 气溶胶数据

MODIS 传感器是搭载在美国国家宇航局(NASA)发射的 TERRA (EOS-AM1) 和 AQUA (EOS-PM1) 卫星上,是新一代的“图谱合一”式光学遥感仪器,具有 36 个光谱通道,分布在 0.4~14  $\mu\text{m}$  的电磁波谱范围内。其多波段数据可以同时提供反映陆地、云边界、云特性、海洋水色、地表温度、大气温度、臭氧等特征的信息,用于对陆表、生物圈、固态地球、大气和海洋进行长期全球观测<sup>[7]</sup>。利用 MODIS 高精度多光谱辐射观测数据,可反演大气气溶胶光学厚度及其尺寸参数<sup>[8]</sup>。本研究使用的气溶胶数据来自 NASA 官方提供的 MODIS 全球气溶胶光学厚度月均标准数据产品(MOD08\_M3),该产品空间分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ ,时间覆盖从 2000 年 2 月至今,MOD08\_M3 数据可从 NASA 网站预订<sup>[9]</sup>。大量地基观测验证试验表明,MODIS 大气气溶胶光学厚度反演精度在陆地上空达到  $\Delta\tau = \pm 0.03 \pm 0.05\tau$ ;在海洋上空达到  $\Delta\tau = \pm 0.05 \pm 0.15\tau$ <sup>[10]</sup>,可以满足本课题量化分析的需求。本研究选取了从 2000 年 2 月至 2009 年 9 月共 116 个月的黄渤海区域气溶胶光学厚度月均数据,范围覆盖了  $112^\circ \sim 125^\circ\text{E}$ ,  $35^\circ \sim 45^\circ\text{N}$ 。图 1 为 2009 年 2 月 MODIS 获取的我国渤海黄及周边地区大气气溶胶光学厚度月平均分布图像。

### 1.2 EMD 算法简介

1998 年黄锷等人提出了一种非常适合非线性和非平稳特征数据的信号分析方法希尔伯特-黄变换(Hilbert-Huang Transform, HHT)。该方法主要分为 2 步:首先,将信号作经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD),得到一组本征模式函数(Intrinsic Mode Function, IMF)和最终的趋势分量;之后,对每一个本征模式函数作希尔伯特变换(Hilbert Transform)。通过 EMD 分解,每个本征模式函数都满足 Hilbert 变换的要求,从而可以得到具有实际物理意义的瞬时频率(Instantaneous Frequency),使原本只适用于单分量(mono-component)信号的 Hilbert 变换可以应用于复杂信号。希尔伯特-黄变换给出的时间-频率-能量分布比传统的时频分析方法具有更高的分辨率,虽然尚未有严格的数学基础,但其有效性在大量实践检验中得到证实,并迅速地在地震学、机械故障诊断以及大气科学等领域得到应用<sup>[11]</sup>。

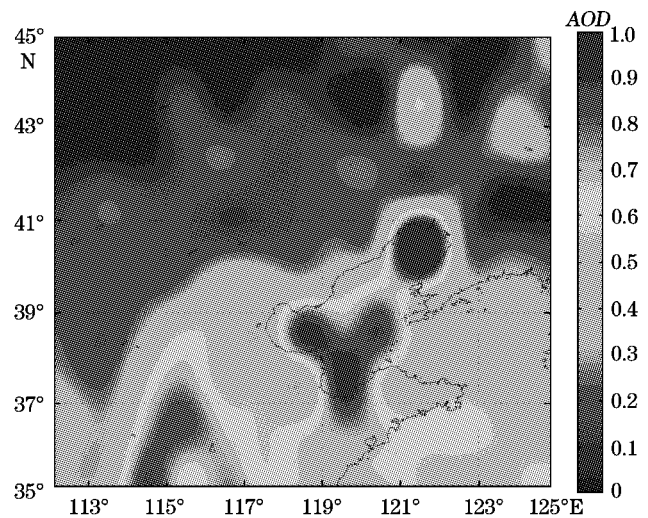


图 1 MODIS 大气气溶胶光学厚度月平均监测数据(2009 年 2 月)

Fig. 1 Monthly average data of atmospheric AOD from MODIS (February 2009)

EMD 方法的目的是将一个时间信号  $x(t)$  分解成一组本征模态函数 IMF,且要求得到的 IMF 具备以下 2 个特征:1)信号的极值点(极大值或极小值)数目和过零点数目相等或相差一个;2)由局部极大值构成的上包络线和局部极小值构成的下包络线的平均值等于零。

EMD 分解算法也可以认为是一个筛选过程,这种方法的本质是通过数据的特征时间尺度来获得基本模式分量,然后分解数据,图 2 表示 EMD 方法的具体分解步骤,其中 IMF 和趋势项  $r$  作为分解的最终输出结果。

从信号分解基函数理论角度来说,不同的基函数可以对信号实现不同的分解,从而得到性质迥然不同的结果,而 EMD 方法则得到了一个自适应的广义基,基函数没有固定的表达式,不同的信号有不同的基函数,具有自适应性。

EMD 分解中,由于信号在端点处信息部分缺失,很难准确求出其包络线,随着循环过程的进行以及后续的模式分解,由端点问题造成的误差会逐渐向信号内部扩散,严重情况下会造成分解的数据失去意义。本研究在分解中采用镜像对称延拓方法<sup>[12]</sup>,该方法能较好地解决 EMD 分解过程中端点问题。

## 2 研究区大气气溶胶光学厚度 EMD 分析

本研究选取的研究区域(112°~125°E, 35°~45°N)包含陆地和海洋,由于大气气溶胶的形成机制、组分以及卫星数据反演方法在这两类区域有一定差异,因此利用数据本身提供的海陆边界标示将研究区数据分为陆地和海洋像元(陆海像元)、仅海洋像元两组分别进行讨论,图 3 和图 4 分别为研究区陆海像元、仅海洋像元的空间平均气溶胶光学厚度时间序列。

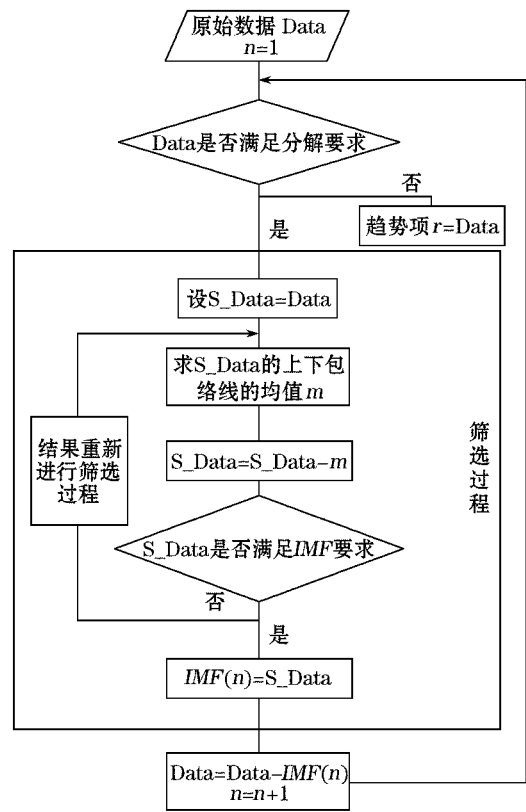


图 2 EMD 流程图  
Fig. 2 EMD flow chart

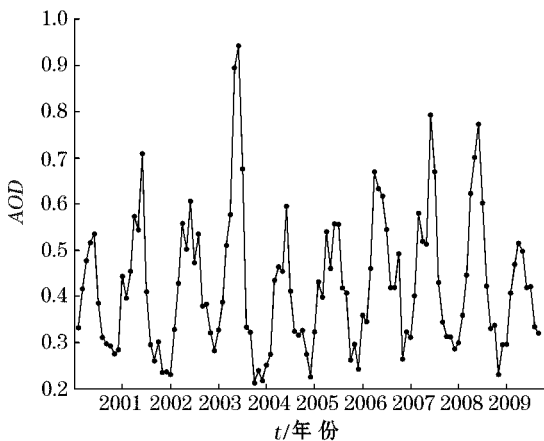


图 3 研究区陆海像元空间平均气溶胶光学厚度时间序列 (2000—2009 年)

Fig. 3 Time series of spatial-averaged AOD over the land-ocean boundary area (2000—2009)

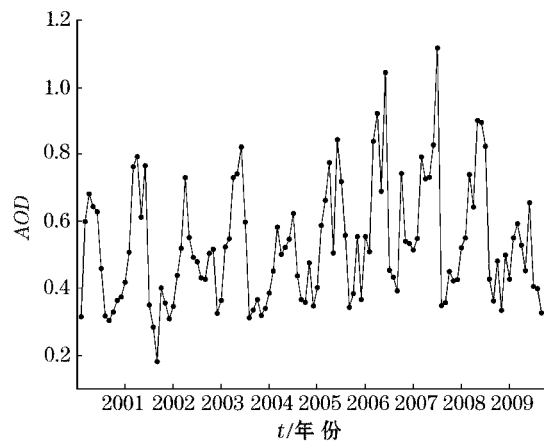


图 4 研究区仅海洋像元平均气溶胶光学厚度时间序列 (2000—2009 年)

Fig. 4 Time series of spatial-averaged AOD over the ocean area (2000—2009)

由图可见,整个研究区的气溶胶光学厚度总体呈现出非常明显的年际变化特征。无论是整个陆海区域还是仅海洋区域,气溶胶光学厚度的最高值一般出现在每年的春夏季,其中陆海区域 6 月份多为全年最高,海洋区域年际最高出现在 4—7 月之间;秋冬季(10 月到次年 2 月)气溶胶光学厚度达到最低。

用 EMD 方法对黄渤海海区陆海像元、海洋像元的大气气溶胶光学厚度 10 a 月均数据进行了处理。陆海和海洋像元 10 a 气溶胶数据经过 EMD 分解得到 4 个 IMF 分量以及最后的趋势分量(图 5)。由图 5 可见,各 IMF 分量表示不同尺度的变化。IMF1 为高频分量,表现尺度约 1 个月的周期,IMF2 表示约 1 a 的波动,IMF4 表示一个 4 a 左右的周期。月波动和年际变化从原始数据中可以直观的得到,针对 IMF4 表现的 4 a 周期从数据中也可以找到对应,气溶胶光学厚度从 2000 年开始至 2003 年出现高值,再从 2004 年的较低值至 2007 年的高值基本符合 4 a 周期规律。可见通过 EMD 方法可以得到从原始数据中较难直观分析得到的规律。IMF3 表示的周期需要进一步研究。

采用同样的方法对研究区域的海洋像元数据进行处理,得到 5 个 IMF 分量和最后的趋势分量(图 6)。IMF1 和 IMF2 分别为高频分量表示月波动、年际变化。IMF3 表示一个 2 a 尺度的振荡,IMF4 表示 3~4 a 的波动,IMF5 则是更长尺度的变化。

由以上 2 组数据分解结果可见,EMD 方法可以很好的将数据本身的高频信息以及难以直观获得的低频周期显示出来,同时获得数据的趋势项。而从图 5、图 6 可以发现 2 组数据的趋势像存在很大的差异,海洋像元数据从 2000 年开始一直呈现增长趋势,2009 年略有回落,陆海像元数据则出现了先降后升的情况,在 2003 年达到 10 a 最低水平,这是从原始数据无法直观获得的信息,下面结合南方涛动指数和我国年度化石燃料消耗总量完成进一步分析。

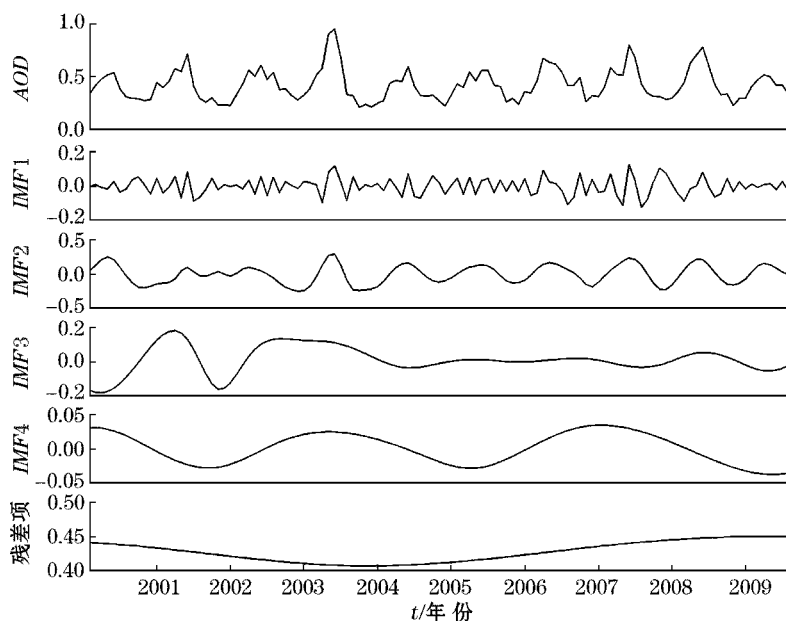


图 5 黄渤海区域陆海像元气溶胶光学厚度 EMD 分析结果

Fig. 5 Results from the EMD analysis of AOD over the land-ocean boundary area in the Yellow Sea and the Bohai Sea

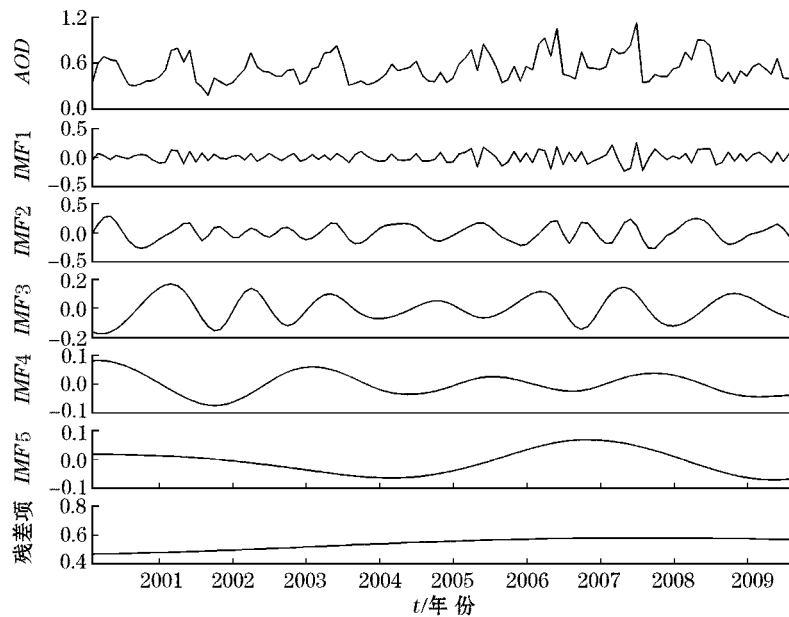


图 6 黄渤海区域仅海洋像元气溶胶光学厚度 EMD 分析结果

Fig. 6 Results from the EMD analysis of AOD over the ocean area in the Yellow Sea and the Bohai Sea

### 3 研究区大气气溶胶相关性分析

#### 3.1 黄渤海海区大气气溶胶 EMD 分析结果与南方涛动指数的相关性分析

El Niño 是指厄瓜多尔和秘鲁附近几千千米的东太平洋海面温度的异常增暖现象,具体标志为厄瓜多尔和秘鲁沿海(多数测站)标准化的海表温度距平(Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA)至少连续 4 个月超过一倍标准差  $\sigma$  的事件。El Niño 是大尺度海洋与大气交互作用的事件,与全球大气环流紧密相关,其中最直接的就是东南太平洋和西太平洋-印度洋之间海平面气压的反相关系,即南方涛动(Southern Oscillation, SO)。鉴于厄尔尼诺与南方涛动之间的密切关系,气象上把两者合成为 ENSO,这种全球尺度的气候震荡被称为 ENSO 循环。厄尔尼诺是 ENSO 循环中的暖状态,它的发生通常会引起全球气候的异常,带来严重灾害,受到全世界的普遍关注<sup>[13]</sup>。南方涛动指数(Southern Oscillation Index, SOI)作为表征 ENSO 事件的传统指标,也成为监测 El Niño 现象的常规指数。

本研究采用美国气候预测中心发布的 2000—2009 年 10 a 的 SOI 月报数据,使用滑动平均方法(窗口长度 13 个月)去除数据曲线毛糙,与黄渤海陆海区域相同时间段大气气溶胶数据 EMD 方法获得的趋势项做相关性分析(图 7),得到 2 组数据的相关系数为 0.77,相关性较好,可见黄渤海陆海区域气溶胶的变化与南方涛动指数具有相似的周期和发展趋势。

仅海洋像元的大气气溶胶 EMD 分解得到的趋势项与 IMF4、IMF5 累加数据与 SOI 相关处理(图 8),两者相关性 0.133 3,相关性较差。

从图 8 可以发现,实线表示的海洋像元大气气溶胶数据与 SOI 数据的变化趋势基本一致,只是 SOI 数据在时间上存在滞后。SOI 数据较气溶胶数据存在一个约 12 个月的延迟响应,将这个时间延迟去除,两者之间的相关性达到 0.763 2,相关性较好。也就是说海洋上空大气气溶胶对气候异常的响应要早于 SOI,其本质原因需进一步讨论。

由南方涛动指数和黄渤海海区气溶胶数据的相关处理可以得到大气气溶胶与 ENSO 事件相关性较好,

这也反映出研究区大气气溶胶的变化与发展分布对全体气候变化的响应。

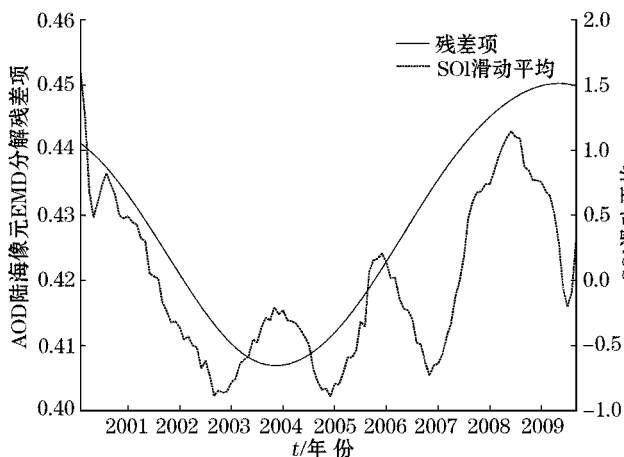


图7 黄渤海海区陆海像元气溶胶光学厚度 EMD 分解结果与 SOI 的关系对比

Fig. 7 Comparison between SOI and the EMD result of AOD over the land-ocean boundary area in the Yellow Sea and the Bohai Sea

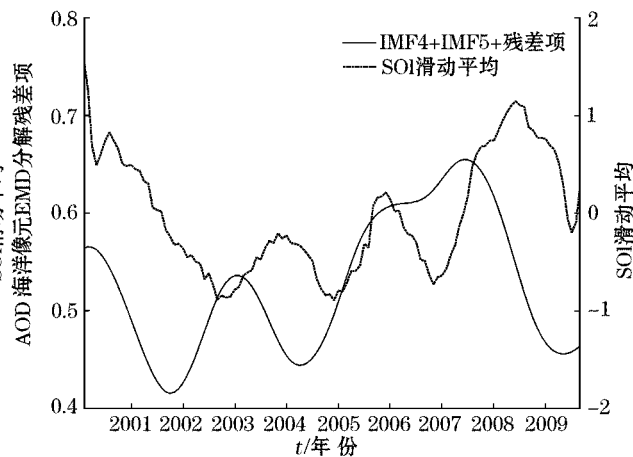


图8 黄渤海海区海洋像元气溶胶光学厚度 EMD 分解结果与 SOI 的关系对比

Fig. 8 Comparison between SOI and the EMD result of AOD over the ocean area in the Yellow Sea and the Bohai Sea

### 3.2 黄渤海海区大气气溶胶 EMD 分析结果与我国煤炭消耗量的相关性分析

从我们获得黄渤海区域陆海像元、海洋像元气溶胶光学厚度 2 组月均数据可以看出,黄渤海海上气溶胶光学厚度在每年的秋冬季节高于陆地区域,即黄渤海区域气溶胶光学厚度的最大值出现在渤海海区(图 1)。海洋上空存在的气溶胶随离岸距离,其主要成分存在很大的差异,在广阔海域,海盐是主要成分;而在近海,主要由陆地源和海洋源成分混合而成。渤海三面被陆地包围,为一个近似封闭的内海,人类活动严重影响着其环境质量。从图 1 可以看到渤海海域范围内有 3 处气溶胶呈现极高值,结合 2008 年国家海洋局发布的渤海海洋公告(图 9)可以发现,环渤海地区的热点经济发展地带(如营口沿海产业基地、曹妃甸循环经济示范区、黄河三角洲高效生态经济区等)与海上气溶胶极大值区域有明显的对应关系。综合海洋公报提供的以上产业区的主要产业包含船舶制造、石油化工、钢铁等重工业,其气溶胶的主要来源为煤炭等化石燃料产生的煤烟<sup>[14]</sup>。

由于气溶胶的空间分布随时间变化快,局地气溶胶光学厚度含量可能受到较大区域地区的影响,研究区西面太行山的高地势作用对于华东地区气溶胶向西扩散造成阻挡,所以在黄渤海地区形成汇集。根据王玉浚对全国年均煤炭消耗量的统计分析的科学推算可以发现从 2000 年至 2007 年华东地区煤炭消耗量占全国煤炭消耗量的比重基本保持不变<sup>[15]</sup>,因此,在缺乏研究区煤炭化石消耗量数据的情况下,使用全国煤炭化石消耗量增减变化趋势代表研究区煤炭化石消耗量的变化趋势具有一定的可行性。本研究选用国家统计局发布的我国年度煤炭化石消耗量结合 EMD 方法得到的海上气溶胶 10 a 趋势项进行相关处理,以期探讨黄渤海

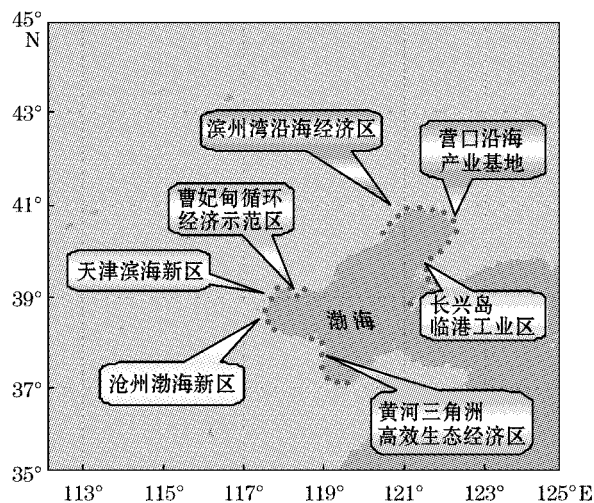


图9 环渤海经济区分布图

Fig. 9 Distribution of the economic zones around the Bohai sea

海区海上气溶胶产生的原因。

由于煤炭化石消耗量数据为 2000—2008 年,所以对海洋像元气溶胶数据 EMD 获得的趋势项截取 2000—2008 年的部分作相关处理(图 10),2 组数据的相关系数为 0.98,存在高相关性。

综合以上数据分析,可以发现黄渤海特别是渤海海域大气气溶胶产生受陆源影响,人类活动消耗产生的大量烟尘被输送到海洋上空聚集,对海洋环境造成极大的危害。

## 4 结 论

本研究利用 EMD 方法分析了连续 10 a 的 MODIS 气溶胶卫星遥感标准数据资料,按照陆海像元、海洋像元分别进行分解,将气溶胶数据不同尺度的变化分离出来,并得到了气溶胶在这 10 a 间的变化趋势。结合南方涛动指数分析了黄渤海海区大气气溶胶与 ENSO 现象的关系。由相关性分析可以看出,黄渤海海区大气气溶胶光学厚度与南方涛动指数有较好的相关性,但其变化提前于南方涛动指数 12 个月。我们认为,同受全球气候变化的影响,黄渤海海区大气气溶胶光学厚度的响应要比南方涛动指数(SOI)更为迅速,但其物理本质仍需更多资料来确认和解释。分析对比了黄渤海海域大气气溶胶与煤炭化石消耗量的变化趋势,发现该区域大气气溶胶光学厚度受陆源影响明显,人类陆上活动对海洋环境的影响不容忽视。

## 参考文献(References):

- [1] KAUFMAN Y J, TANRE D, GORDON H R, et al. Passive remote sensing tropospheric aerosols and atmospheric correction for the aerosol effect [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D14):16815-16830.
- [2] MAO J T, ZHANG J H, WANG M H. Summary comment on research of atmospheric aerosol in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2002, 60(5):625-634. 毛节泰,张军华,王美华. 中国大气气溶胶研究综述[J]. *气象学报*, 2002, 60(5):625-634.
- [3] MA Y J, LIU Y G, LI Y F, et al. Characteristics analysis on aerosol optical thicknesses observed in Qingdao onshore site and comparison with those observed in the Bohai Sea [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2009, 1:1-11. 马玉娟,刘玉光,李艳芳,等. 青岛陆上观测点的气溶胶光学厚度特征分析及与渤海气溶胶光学厚度的比较[J]. *海洋湖沼通报*, 2009, 1:1-11.
- [4] LIU Y H, LIU Y G, GU Y Z. A study of aerosol distribution character and atmospheric correction in Bohai Sea and north Huanghai Sea [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008, 3:13-14. 刘亚豪,刘玉光,顾艳镇. 渤海及北黄海气溶胶分布特征和大气校正研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2008, 3:13-14.
- [5] CHEN B Q, YANG Y M. Remote sensing of the spatio-temporal pattern of aerosol over Taiwan Strait and its adjacent sea areas [J]. *Acta Scientiae Circum Stantiae*, 2008, 28(12):2597-2604. 陈本清,杨燕明. 台湾海峡及周边海区气溶胶时空分布特征的遥感分析[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(12):2597-2604.
- [6] DENG X L, PAN D L, HE D Y, et al. Anthropogenic and dust aerosol components estimated by satellite data over the China's seas [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 31(4):58-68. 邓学良,潘德炉,何冬燕,等. 卫星遥感中国海域人为和沙尘气溶胶时空分布的研究[J]. *海洋学报*, 2009, 31(4):58-68.
- [7] LIU Y J, YANG Z D. MODIS remote sensing information processing theory and algorithms[M]. Beijing: Science Press, 2001:17-24. 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京:科学出版社, 2001:17-24.
- [8] KAUFMAN Y J, WALD A E, REMERL A, et al. The MODIS 2.1  $\mu\text{m}$  Channel-Correlation with visible reflectance for use in remote

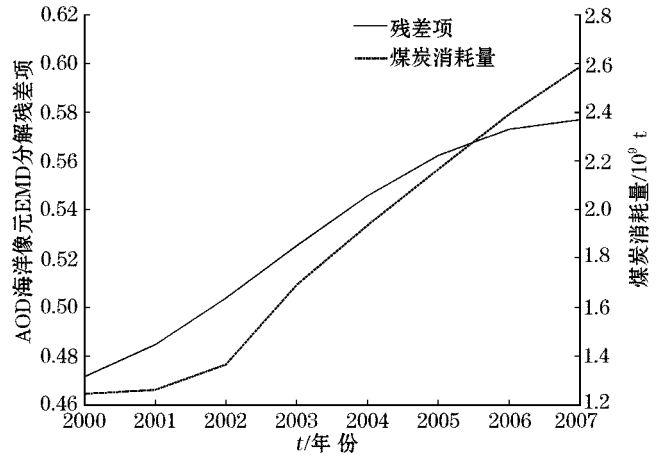


图 10 黄渤海海区海洋像元 EMD 分解结果与我国煤炭消耗量的关系对比

Fig. 10 Comparison between the coal consumption amount of China and the EMD result of AOD over the ocean area in the Yellow Sea and the Bohai Sea

- sensing of aerosol[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35:1286-1298.
- [9] HUBANKS P A, KING M D, PLATNICK S, et al. MODIS atmosphere L3 gridded product algorithm theoretical basis document, 2008. [EB/OL]. [2008-11-06]. [http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/\\_docs/MOD08MYD08%20ATBD%20C005.pdf](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/MOD08MYD08%20ATBD%20C005.pdf).
- [10] REMER L A, KAUFMAN Y J, TANRE D. et al. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation [J]. Journal of the Atmospheric Society, 2005, 62:947-973.
- [11] HE Z J, ZI Y Y, ZHANG X N. Modern signal processing and engineering applications[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2007:219-227. 何正嘉, 晷艳阳, 张西宁. 现代信号处理及工程应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007:219-227.
- [12] RILLING G, FLANDRIN P, GONCALVES P. On Empirical Mode Decomposition and its algorithms [D]. Italy: IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing NSIP-03, 2003.
- [13] XU W C, WANG W, MA J S, et al. ENSO events during 1951-2007 and their characteristic indices [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(4):18-24. 许武成, 王文, 马劲松, 等. 1951-2007 年的 ENSO 事件及其特征[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(4):18-24.
- [14] State Oceanic Administration. China Bohai Sea marine environment quality bulletin in 2008 [EB/OL]. [2005-08-05]. <http://www.soa.gov.cn/hyjww/hygb/yhsshjhjzlgblbn/webinfo/2009/08/1238639586451342.htm>. 国家海洋局. 2008 年渤海海洋环境质量公报 [EB/OL]. [2005-08-05] <http://www.soa.gov.cn/hyjww/hygb/yhsshjhjzlgblbn/webinfo/2009/08/1238639586451342.htm>.
- [15] WANG Y J. A adaptability analysis of coal production and consumption in China [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1997, 26(3):5-9 王玉浚. 我国煤炭生产与消费的适应性分析[J]. 中国矿业大学学报, 1997, 26(3):5-9.

## Satellite Observation of Atmospheric Aerosol Over Yellow and Bohai Seas and EMD Analysis of Its Long-term Variation

YU Yang<sup>1,2</sup>, LI Zi-wei<sup>2</sup>, YANG Xiao-feng<sup>2</sup>, ZHENG Quan-an<sup>3</sup>, LIU Shu-ming<sup>1,2</sup>

(1. *First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao, 266071, China;*

2. *Institute of remote sensing applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

3. *University of Maryland, Maryland 20742-2425, USA*)

**Abstract:** The monthly averaged standard MODIS data (2000~2009) of atmospheric aerosol optical depth (AOD) over the Yellow Sea and the Bohai Sea (112°~125°E, 35°~45°N) are collected, and the empirical mode decomposition (EMD) method are used to analyze respectively AOD over the land/ocean boundary area and AOD over the ocean area. In addition to AOD data, Southern oscillation index (SOI) and annual coal-consumption amount of China are also utilized to discuss the aerosol time variation and its causality over the Yellow Sea and the Bohai Sea. It is learnt from the study that AOD over the boundary area reaches its maximum in June while the AOD maximum over the ocean area appears sometime in the period from April to July. AOD fall down to its minimum in autumn and winter, i. e. in the period from October to February of the following year. It is also learnt from the EMD analysis results that aerosol over the whole studied area has its 4-year periodicity, and the correlation between the aerosol variation and the SOI variation is about 0.7, implying some effects of the global climatic variation on aerosol. The correlation between the aerosol variation and the coal consumption amount is 0.98, which means the former is greatly impacted by the source from land. Therefore it may not be ignored that human activities exert their impacts on the environments.

**Key words:** the Yellow Sea and the Bohai Sea; atmospheric aerosol; empirical mode decomposition; southern oscillation index; coal consumption amount

**Received:** August 10, 2009