

基于非线性时间序列分析经验模态分解和小波分解异同性的研究^{*}

龚志强¹⁾²⁾ 邹明玮¹⁾³⁾ 高新全²⁾ 董文杰²⁾

¹⁾扬州大学物理科学与技术学院,扬州 225009)

²⁾国家气候中心气候研究开放实验室,北京 100081)

³⁾中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

(2004 年 12 月 3 日收到,2005 年 2 月 21 日收到修改稿)

基于经验模态分解(EMD)的希尔伯特变换(HT),是对非线性时间序列基于 EMD 进行分解,然后通过 HT 获得频谱.利用理想时间序列和青藏高原古里雅冰芯¹⁸O 时间序列,系统地分析比较了 EMD 和小波分解(WD)以及 HT 和小波变换在非线性时间序列处理中的优劣,并针对它们各自的缺点提出了可能改进的设想.研究结果表明,将基于 EMD 的方法和基于 WD 的方法有机结合起来应用,可以更有效地识别原时间序列的特征信息.

关键词:经验模态分解,小波分解,理想时间序列,古里雅冰芯

PACC: 9260X

了可能改进的设想.

1. 引 言

1998 年 Huang 提出希尔伯特-黄变换(HHT)^[1],随后又对其进行了改进^[2].HHT 本质上是对一个信号(或其导数,视所需的分解精度而定)进行平稳化处理,其结果是可以把不同特征尺度或层次的波动或趋势从原信号中分解出来,得到一系列具有不同特征尺度的本征模函数(IMF)分量,然后各个分量经希尔伯特变换(HT)得到希尔伯特谱.该方法被认为是近年来以傅里叶变换为基础的线性和稳态谱分析的一个重大突破.

小波变换(WT)是泛函分析、傅里叶变换、样条分析、调和分析、数值分析的完美结晶,其在时频域中具有良好的局部化特征,能够比较有效地从变化的信号中提取突变信息.通过对基函数的伸缩、平移运算,达到对信号的多分辨率分析^[3-6].本文利用基于经验模态分解(EMD)和基于小波分解(WD)的分析方法^[7,8]对由正弦函数和余弦函数构建的理想时间序列 $x(t)$ (10 个周期,每个周期 100 点,共计 1000 点)和青藏高原古里雅冰芯¹⁸O 时间序列 S_{18} (公元 301—1990 年)资料进行分析处理,系统地比较了两种方法的优劣,并针对它们各自的缺点提出

2. 理想时间序列的构建和分析

理想时间序列为

$$x(t) = 3\sin(2\pi \times 0.2t) + \cos(2\pi \times 0.8t). \quad (1)$$

该时间序列由频率为 0.2 Hz 的正弦函数和 0.8 Hz 的余弦函数叠加而成,原序列以 0.2 Hz 为基频,采集 10 个周期,每个周期 100 点,共计 1000 点(见图 1).

图 2 为 $x(t)$ 基于 EMD 的 IMF 分量的时域图. IMF1 是从原序列中分解出的振幅 A 最小、频率 f 最高的 IMF 分量,各 IMF 分量的振幅依次逐渐增大、频率逐渐降低,直到频率很低的 IMF6. IMF7 的振幅明显比 IMF6 的振幅大,这种异常是 EMD 中经常会出现的情况,但只可能出现在较低频的部分,不会影响整体的变化趋势. IMF 分量的这种分布状况是由其本身的特性决定的,EMD 总是把最主要的信息先提取出来,即最先由 EMD 方法分解出的几个 IMF 分量,包含了原序列最主要的信息,所以 EMD 方法也是一种新的主成分分析法^[1,9].图 2 中 IMF1, IMF2 即为原序列最主要的 IMF 分量. IMF1 频率最高,振幅较小,对应原序列 0.8 Hz 的余弦部分; IMF2 频率略

^{*} 国家重点基础研究发展规划(批准号:2004CB418300)和国家自然科学基金(批准号:90411008,40231006)资助的课题.

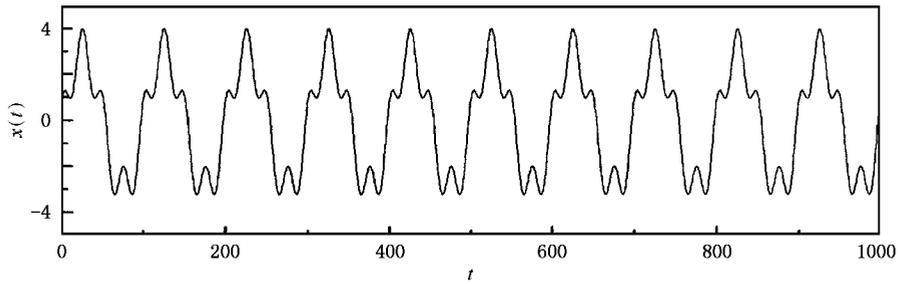
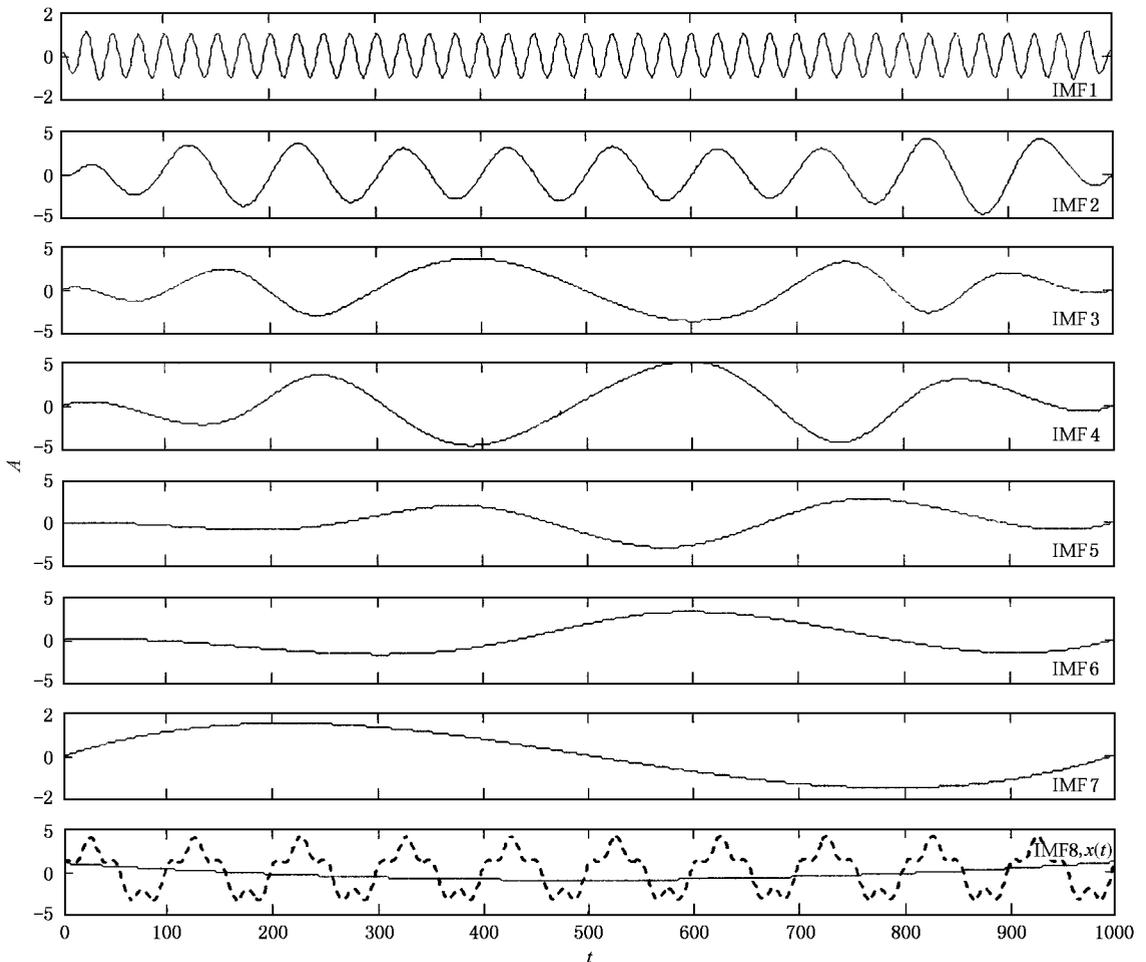


图 1 理想时间序列

图 2 $x(t)$ 基于 EMD 的 IMF 分量的时域图 IMF1—IMF8 依次为 EMD 的 8 个 IMF 分量, IMF8, $x(t)$ 中实线为 IMF8, 虚线为 $x(t)$

低于 IMF1, 振幅较大, 对应原序列 0.2 Hz 的正弦部分. IMF2 的振幅和频率有微小的波动, 主要原因是在分解中采用了 3 次样条拟合近似, 分解得到的分量并不是真正的原序列波形, 但这些小的波动不会影响对原序列总体性质的分析. IMF8 是一个近似单调变化的序列, 表征原序列的整体趋势, 即平常所说的线性趋势项, 它具有非常明确的物理含义.

图 3 为 $x(t)$ 基于 WD 的细节分量和近似分量的时域图. 小波基函数采用 Daubechies 小波, 重构滤波器的阶数为 5, 分解滤波器的阶数为 9. D1—D3 这 3 层细节分量所包含的信息, 无论是频率还是振幅都不能体现原序列的特点, 故 WD 并不是将最主要的分量最先提取出来. 相反, 最初的细节分量往往包含了干扰和噪声等一些无用的信息, 所以这 3 个分

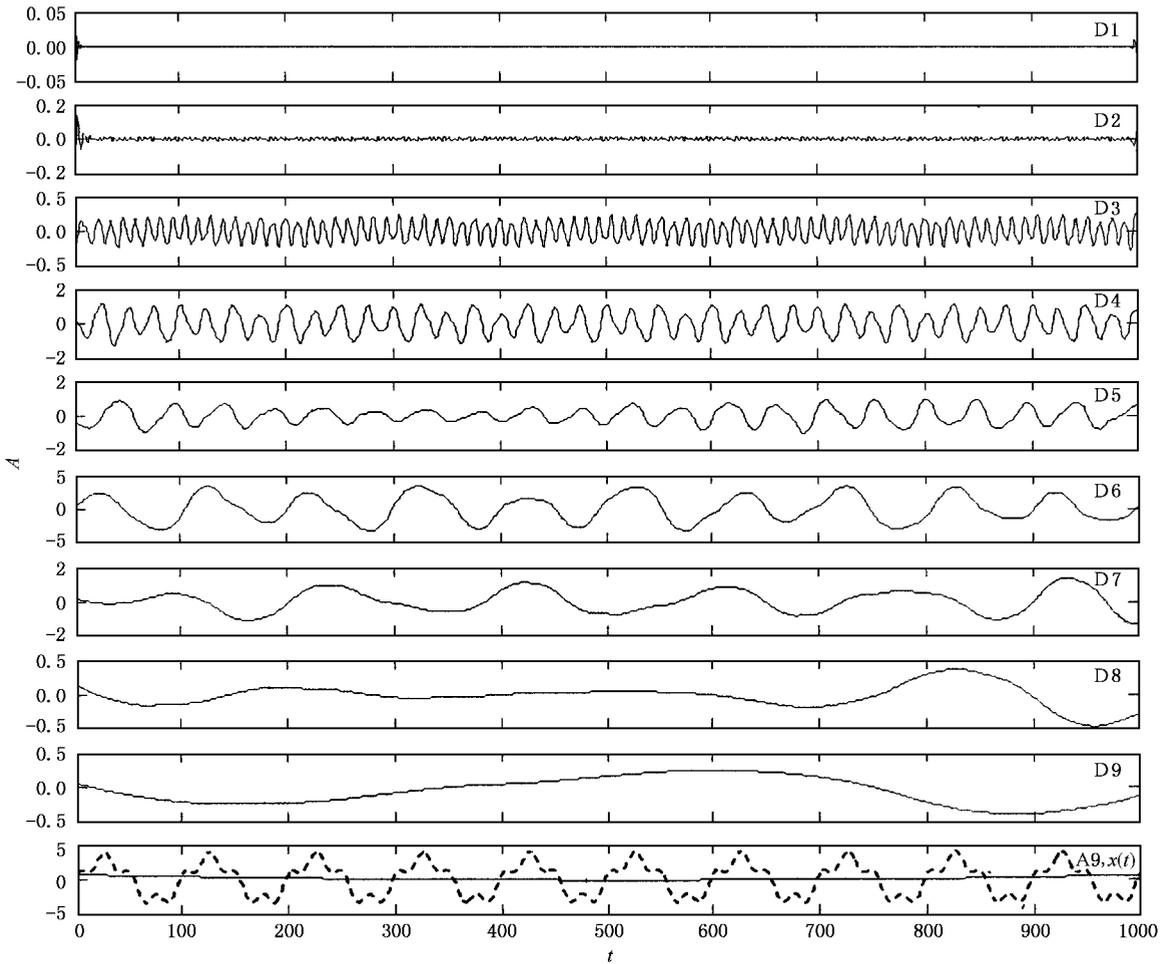


图3 $x(t)$ 基于 WD 的细节分量和近似分量的时域图 D1—D9 依次为 WD 的 9 层细节分量, A9, $x(t)$ 中实线为近似分量 A9, 虚线为 $x(t)$

量是虚假的, D4 与 IMF1 相似, 对应原序列中振幅较小的余弦部分; D6 与 IMF2 相似, 对应原序列中振幅较大的正弦部分。其他的一些细节分量(D7—D9)的振幅比 D6 小, 这同样也是反常现象。A9 为 WD 的第 9 层近似分量, 反映了原序列的线性趋势。

显然, 上述两种方法存在着一个共同问题, 即分解中产生了虚假分量, 如何选择包含原序列最主要信息的分量? 表 1 列出了各 IMF 和细节分量分别与原序列的相关系数。其中 IMF1 和 IMF2 的相关系数较大, 与原序列的相关性很明显, 其余几个 IMF 分量的相关系数都很小, 即与原序列没有显著的相关性。D4, D5, D6, D7 的相关系数较大, 与原序列的相关性较明显, 其余的细节分量与原序列的相关性不显著。借助相关系数我们可以对各分量进行第一步筛选, 但显著相关的分量并非一定是最主要分量, 还必须通过计算与原序列显著相关的各 IMF 和细节

表 1 $x(t)$ 各 IMF 和细节分量分别与原序列的相关系数

EMD		WD	
模态	相关系数	模态	相关系数
IMF1	0.316	D1	0.012
IMF2	0.896	D2	0.004
IMF3	-0.017	D3	0.059
IMF4	0.016	D4	0.290
IMF5	0.005	D5	0.220
IMF6	0.002	D6	0.886
IMF7	0.001	D7	0.320
IMF8	-0.001	D8	0.045
		D9	0.016
		A9	0.007

分量相互之间的相关系数并比较它们图像的相似性, 进行第二步筛选。相关系数较大、图像相似性较

好的才是最主要的分量. IMF1 与 D4 ,IMF2 与 D6 ,它们均与原序列显著相关,而且相互相似性较好,则 IMF1 ,IMF2 和 D4 ,D6 分别为包含 $x(t)$ 最主要信息的分量. 换言之,为了识别原序列的最主要信息,可以将 EMD 和 WD 有机地结合起来应用.

图 4 为 $x(t)$ 基于 EMD 的主要 IMF 分量 HT 的时频和时幅谱图. 图 4(a) 中, IMF1 的频率 f 谱线在 0.8 Hz 附近作微小波动,其均值为 0.796 Hz, 图 4(b) 中, IMF1 的振幅 A 谱线在 1 附近作微小波动,其均值为 1.003,这与原序列中振幅为 1 的高频部分相符. 图 4(a) 中 IMF2 的频率谱线在 0.2 Hz 附近作微小波动,其均值为 0.199 Hz, 图 4(b) 中 IMF2 振幅谱线的均值为 3.056,这又与原序列中振幅为 3 的低频部分相符. 通过 EMD 和 HT,能够很好地将原序列中所包含的各种频率和振幅的信息分解出来,得到清晰的时频和时幅谱图.

图 5 为 $x(t)$ 基于 WT 的小波系数 W 等值线图,是采用 Morlet 小波基,进行离散 WT 得到的. $T = 5$ 附近等值线相对稀疏,对应原序列的低频部分; $T = 1.25$ 附近等值线相对较密,与原序列的高频部分相对应. 图 6 为 $x(t)$ 基于 WT 的小波系数方差 V_w 图和两个主周期上的小波系数图. 由图 6(a) 容易得到原序列的主周期 T 近似为 1.25 和 5, 图 6(b) 为小波系数在这两个主周期($T = 1.25, 5$)上的变化曲线.

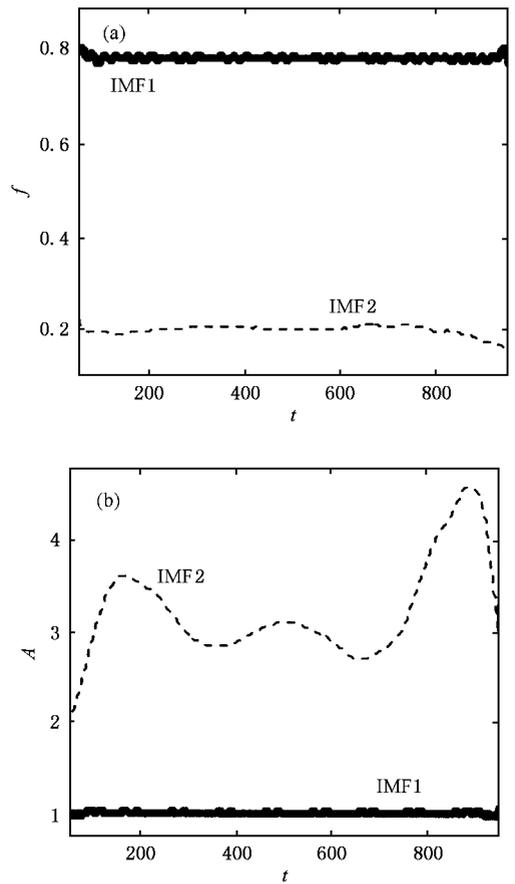


图 4 $x(t)$ 基于 EMD 的主要 IMF 分量 HT 的时频和时幅谱图 (a) 为时频谱图 (b) 为时幅谱图

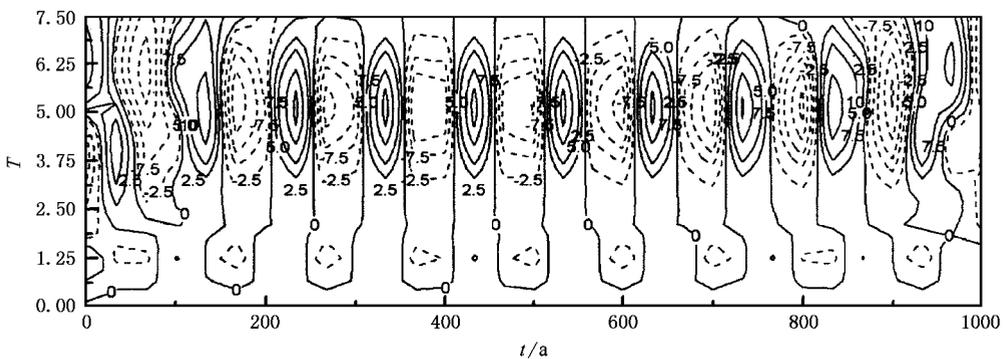


图 5 $x(t)$ 基于 WT 的小波系数等值线图

对比包含原序列最主要信息的 IMF 和细节分量(IMF1 与 D4 ,IMF2 与 D6)的图像,基于 EMD 得到的 IMF 分量的周期和振幅的变化像比基于 WD 得到的细节分量更清晰、更能反映原序列的物理意义. EMD 方法是用波动上、下包络的平均值去确定“瞬时平衡位置”,进而分解出各 IMF 分量,故能够将原序列中的各种不同频率和振幅的信息逐一分解,而

且其主要分量首先分解出来,但各 IMF 分量之间的正交性较差. WD 虽然也能够将原序列分解成各个不同频率和振幅的细节分量,但因为 WD 的实质是带通滤波器,所以不同的分量一般与固定频带相对应,故分解的结果不如 EMD 精确^[10],原序列的最主要的信息也不是首先分离. 在用 WD 进行分解时采用不同的小波基和分解层次对结果的影响较大,如

何选择小波基和分解层次是 WD 一个很难解决的问题^[11,12],但用 WD 可以解决 EMD 的各个 IMF 分量正交性较差的问题.基于 EMD 的 HT 分析方法,既适合于线性序列的分析,又适合于非线性序列的分析,能够将原序列中的不同频率和振幅的信息很好地分解出来,从而得到瞬时频率和瞬时振幅随时间变化的比较准确、清晰的图像. WT 能得到等值线图、小波系数方差图以及某一尺度上小波系数的变化图

像,也能够一定程度上分析原序列的时频特性,并得到主周期,对线性序列的分析效果较好,但对非线性序列分析的效果一般.由于利用 WT 进行处理时,某一尺度对应的窗宽范围内的能量只占总能量的一部分,所以这个窗口内的能量必然会扩展到其他频段,同时其他频段的能量也会渗透到这一频段内,各尺度之间因存在频域混叠现象而产生误差^[13],故其分析结果不如 EMD 清晰和准确.

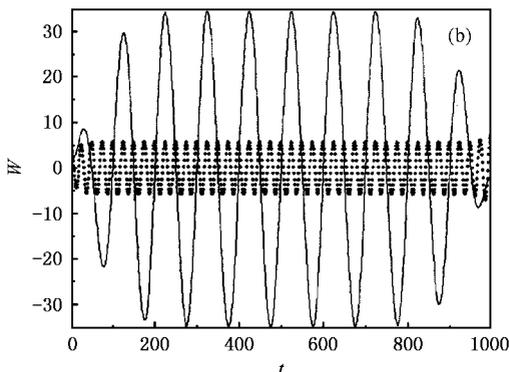
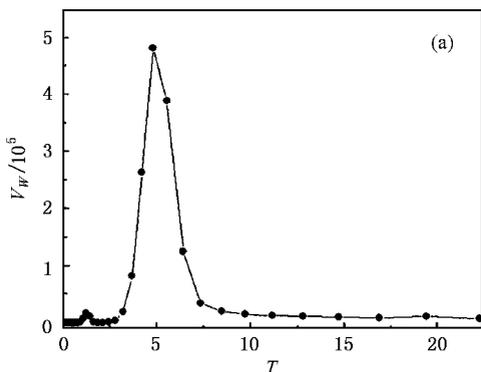


图 6 $x(t)$ 小波系数方差图和两个主周期上的小波系数图 (a)为小波系数方差图 (b)为小波系数图(实线为 $T=5$ 的小波系数,虚线为 $T=1.25$ 的小波系数)

3. 青藏高原古里雅冰芯资料分析

青藏高原古里雅冰帽是目前发现的亚洲中部面积最大、海拔最高、冰层最厚、冰温最低的冰帽,它能提供该地区过去大气变化的完整记录^[14],因此对青藏高原冰芯的研究具有十分重要的意义^[15].图 7 为公元 301—1990 年青藏高原古里雅冰芯¹⁸O 时间序列

S_{18O} .该序列中包含着各种不同周期的信息^[16],这些周期的变化与温度变化有关^[17].由图 7 可以看出,公元 5 世纪以前青藏高原温度很低,其后进入了相对暖期,在 11 世纪末开始又出现了较大的降温,13—15 世纪早期为暖期,15,17,19 世纪为现代小冰期,然后气温又转暖并一直持续至今,但气温的总体趋势是上升的.

图 8 为 S_{18O} 基于 EMD 的 IMF 分量的时域图.

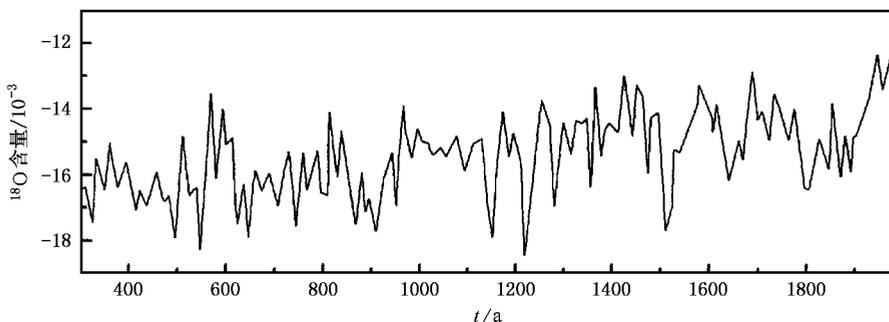


图 7 青藏高原古里雅冰芯¹⁸O 时间序列

IMF1 是从原序列中分解出的周期最小、振幅最大的分量,依次下去各个 IMF 分量的周期不断增大,振幅不断减小,直至 IMF7.这些 IMF 分量,分别代表了

近 2000 a 来 S_{18O} 中不同周期和振幅的信息,反映了青藏高原温度变化的特点,包含了原序列的主要信息. IMF6, IMF8—IMF10 的振幅比 IMF5 要大,这显然

是反常现象 故这几个分量代表的信息可能是因为分解中的 3 次样条拟合近似而带来的虚假信息.

IMF11 则代表了原序列的线性趋势,即近 2000 a 来青藏高原温度总体上是不不断上升的.

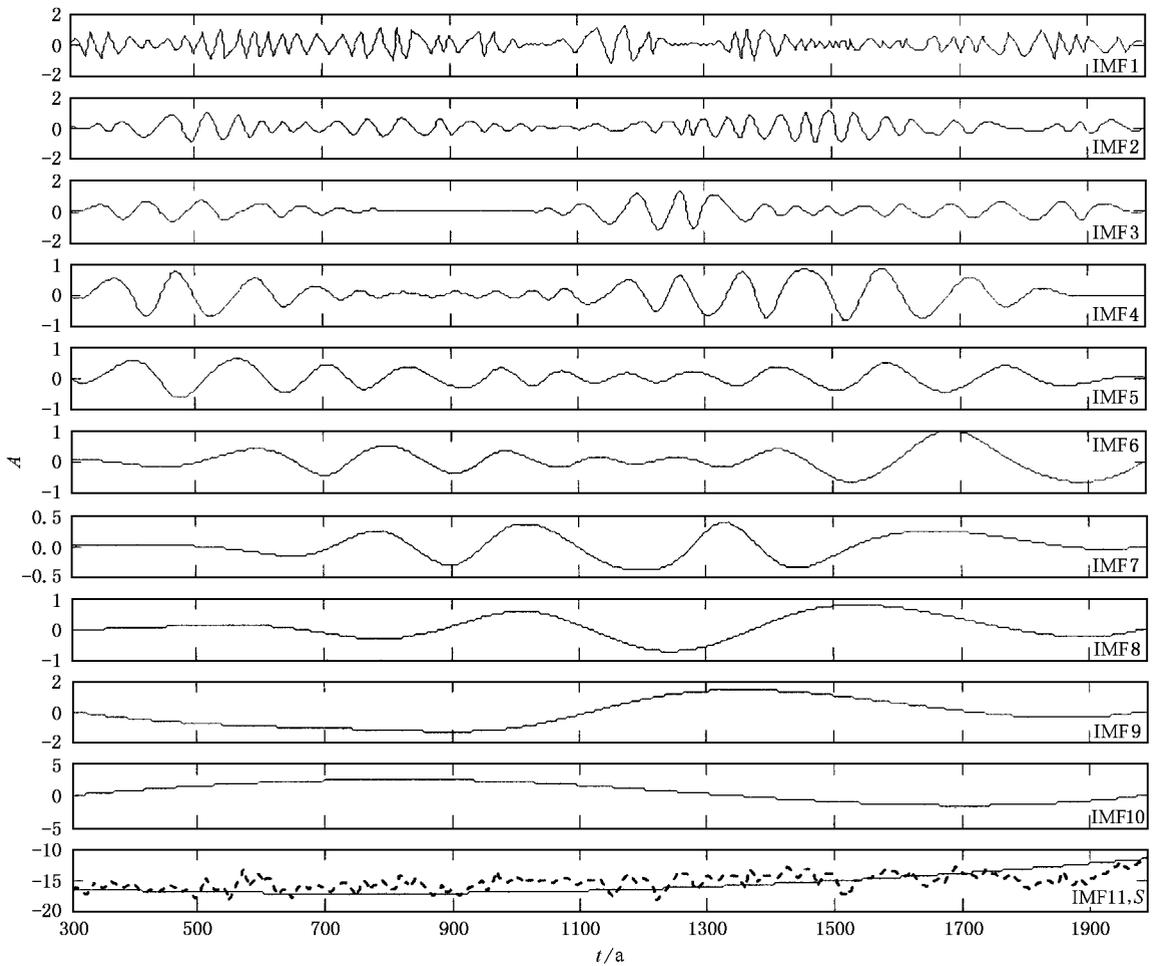


图 8 S_{180} 基于 EMD 的 IMF 分量的时域图 IMF1—IMF11 依次为 EMD 的 11 个分量, IMF11 ,S 中实线为 IMF11 ,虚线为 S_{180}

图 9 为 S_{180} 基于 WD 的细节分量和近似分量的时域图.小波基函数采用 Daubechies 小波,重构滤波器的阶数为 6,分解滤波器的阶数为 10. D1—D3 包含了主要是原序列中的干扰、噪声等信息. D4—D8 为分解得到的周期依次逐渐增大,振幅逐渐减小的细节分量,包含了原序列的显著信息. D9, D10 的振幅比 D8 大,这同样也属虚假信息, A10 则代表原序列的线性趋势.表 2 为 S_{180} 各 IMF 和细节分量分别与原序列的相关系数.从各 IMF 分量的相关系数可以看出,它们都与原序列有一定的相关性.各细节分量中 D4, D5, D6, D7, D8, D10, A10 的相关系数较大,与原序列有较好的相关性.计算与原序列显著相关的各 IMF 与细节分量相互之间的相关系数,并比较它们图像的相似性: IMF1 与 D4, IMF2 与 D5, IMF3 与 D6, IMF5 与 D7, IMF7 与 D8, IMF11 与 A10 的相似性

较好.表 3 为各主要 IMF 和细节分量相互之间的相关系数.图 10 为 IMF3 与 D6 的时域图.由图 10 可以看出它们具有很好的相似性,其他各个分量图像之间的相似性与图 10 类似(图略),所以这些 IMF 和细节分量是包含了 S_{180} 最主要信息的分量.

图 11 为 S_{180} 基于 EMD 的主要 IMF 分量 HT 的时频和时幅谱图.由图 11(a)可以看出,3 个主要 IMF 分量的频率 f 不是一个定常量,而是围绕中心频率波动,频率越高波动的振幅越大.尽管 IMF 的频率是围绕中心频率波动的,但其波动范围是有限的,相互间很少有交叉重叠的现象,保持了一种很清晰的分布.由图 11(b)可以看出,周期越大 S_{180} 在该周期上瞬时频率的波动就越小,振幅 A 的变化也越小,即对于大尺度周期, S_{180} 的变化相对较稳定,但是能量较小,反之则相反.表 4 为 5 个主要 IMF 分量

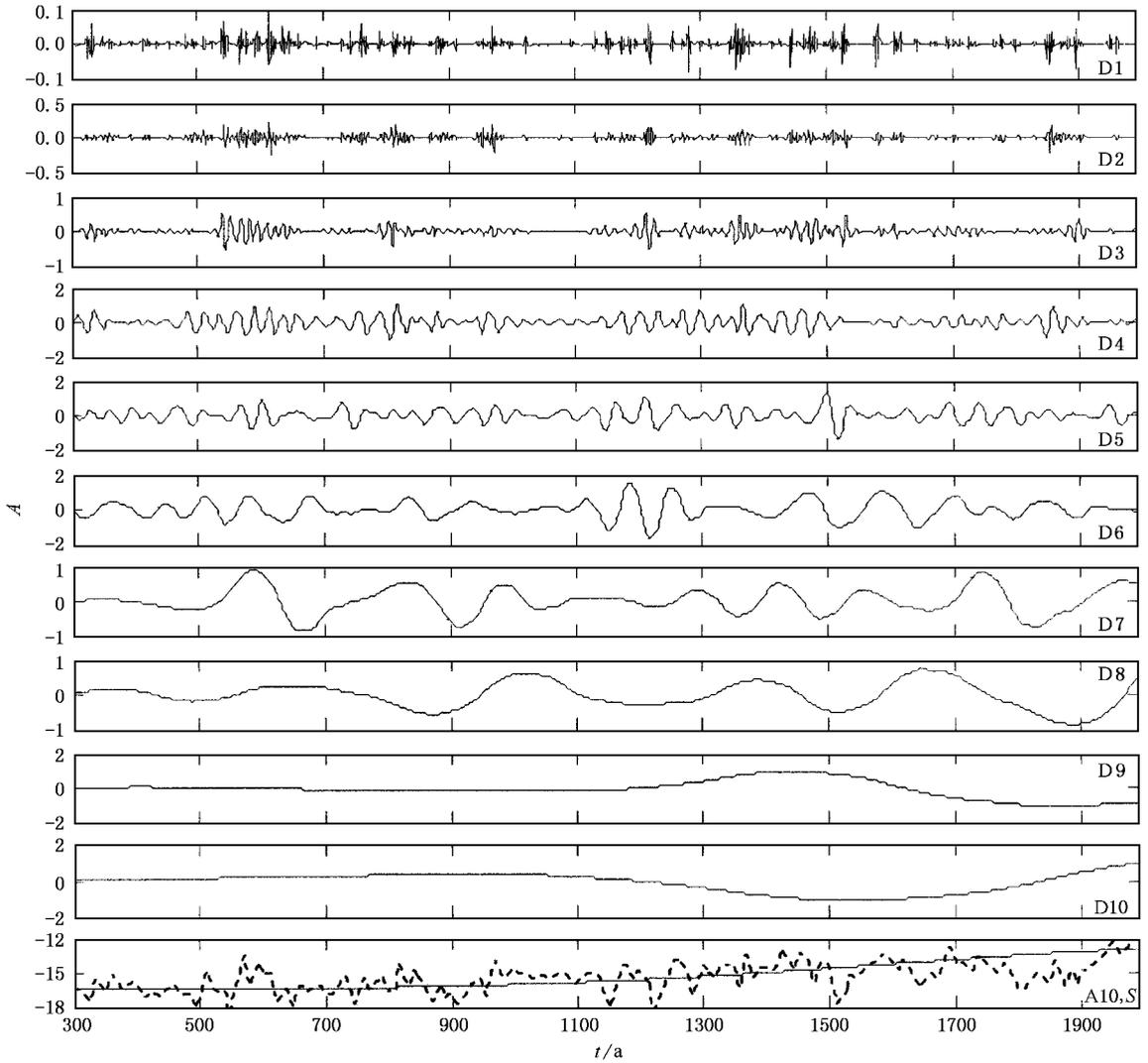


图9 S_{180} 基于 WD 的细节分量和近似分量的时域图 D1—D10 依次为 WD 的 10 层细节分量, A10, S 中实线为近似分量 A10, 虚线为 S_{180}

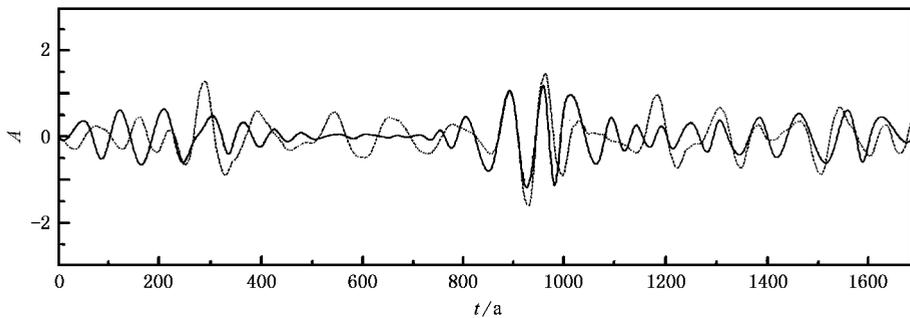


图 10 IMF3 与 D6 的时域图 虚线为 D6 实线为 IMF3

HT 的统计特征值. 这与它们各自在图 8 中所对应的周期和振幅相符, 所以 S_{180} 可能存在着 30, 50, 70, 130 和 300 a 左右变化的周期 T , 即青藏高原温度变

化可能存在着这 5 种不同的周期. 图 12 为 S_{180} 基于 WT 的小波系数 W 等值线图. 由图 12 可以看出, 1100—1300 a 间 $T = 75$ a 尺度附近、1300—1700 a 间

$T = 125a$ 尺度附近、1100—1800 a 间 $T = 300a$ 尺度附近等值线有对称的闭合中心,这说明青藏高原温度的变化可能存在 3 种不同的周期.图 13 为 S_{18O} 基于 WT 的小波系数方差 V_W 图和 3 个主周期上的小

波系数图.由图 13(a)可以看出,近 2000 a 来青藏高原温度变化可能存在 73,128 和 294 a 左右变化的主周期.图 13(b)(c)(d)则为这 3 种周期的小波系数随时间变化的曲线.

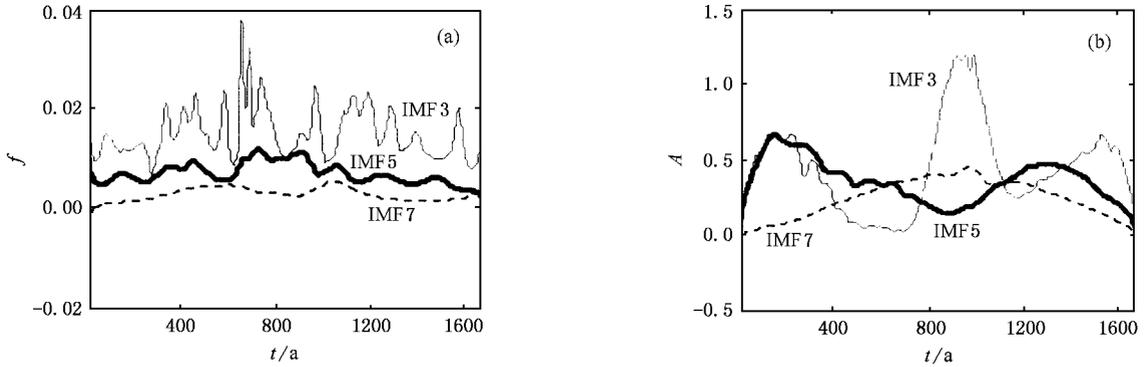


图 11 S_{18O} 基于 EMD 的主要 IMF 分量 HT 的时频和时幅谱图 (a)为时频谱图 (b)为时幅谱图

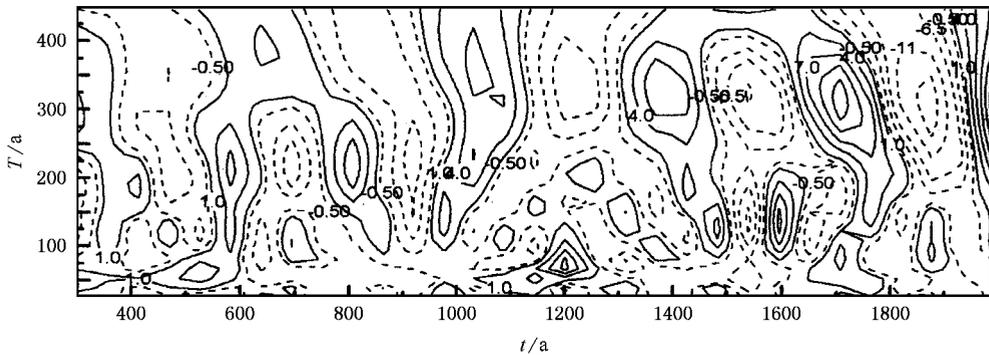


图 12 S_{18O} 基于 WT 的小波系数等值线图

表 2 S_{18O} 的各 IMF 和细节分量分别与原序列的相关系数

EMD		WD	
模态	相关系数	模态	相关系数
IMF1	0.266	D1	-0.003
IMF2	0.301	D2	0.020
IMF3	0.302	D3	0.091
IMF4	0.305	D4	0.270
IMF5	0.201	D5	0.339
IMF6	0.131	D6	0.388
IMF7	0.183	D7	0.359
IMF8	0.166	D8	0.229
IMF9	0.387	D9	0.024
IMF10	-0.482	D10	-0.276
IMF11	0.548	A10	0.584

表 3 各主要 IMF 和细节分量之间的相关系数

模态	IMF1	IMF2	IMF3	IMF5	IMF7	IMF11
	-D4	-D5	-D6	-D7	-D8	-A10
相关系数	0.587	0.508	0.438	0.515	0.539	0.975

表 4 古里雅冰芯 ^{18}O 时间序列的各个主要本征模函数分量的统计特征值

模态	平均频率	平均周期/a	平均振幅	最大振幅
IMF1	0.036	30	0.534	1.449
IMF2	0.021	50	0.488	1.328
IMF3	0.014	70	0.444	1.192
IMF5	0.008	130	0.356	0.660
IMF7	0.0033	300	0.241	0.444

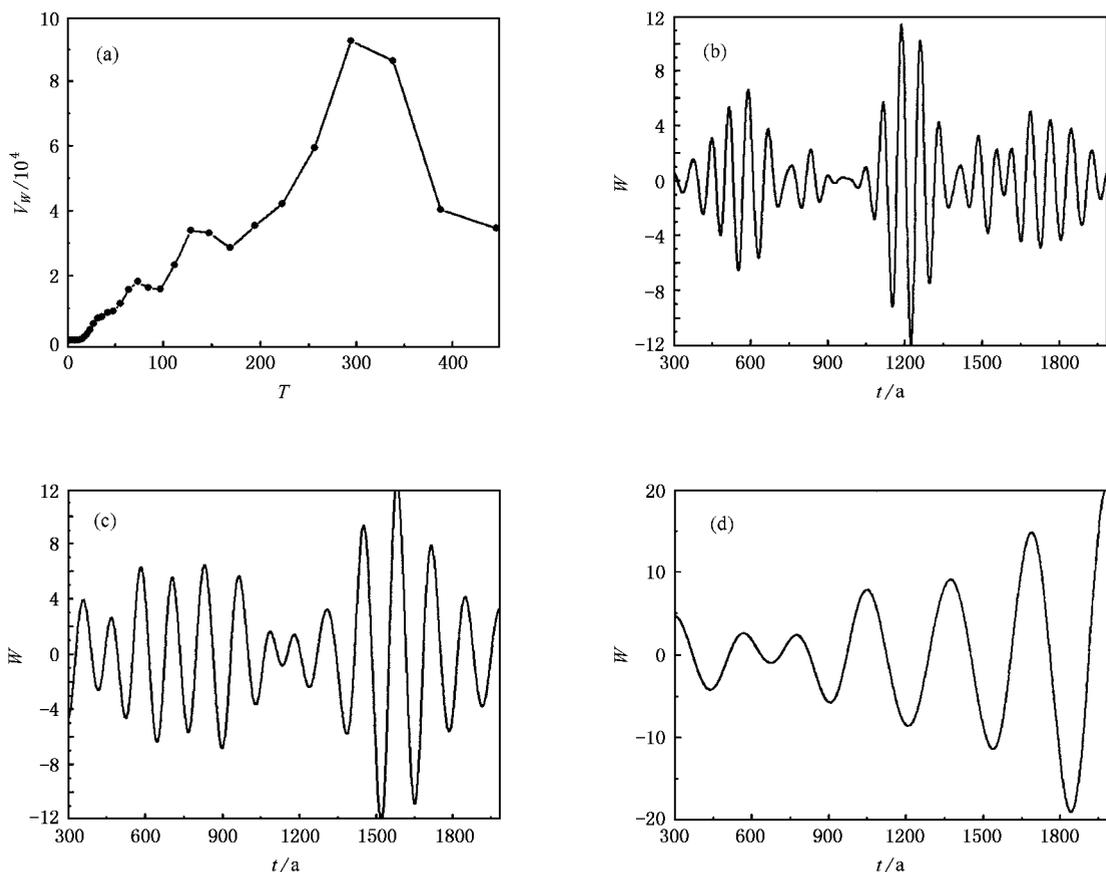


图 13 S_{18O} 小波系数方差图和三个主周期上的小波系数图 (a) 为小波系数方差图 (b) 为 $T = 73$ a 的小波系数 (c) 为 $T = 128$ a 的小波系数 (d) 为 $T = 294$ a 的小波系数

通过对 EMD 和 WD 分析结果比较, 我们可以得到 IMF1, IMF2, IMF3, IMF5 和 IMF7 分别代表了青藏高原近 2000 a 来温度变化的 30, 50, 70, 130 和 300 a 左右变化的周期, IMF11 则代表温度变化的线性趋势. 由 S_{18O} 基于 EMD 的 HT 得到的时频和时幅谱图可以看出, 周期越大冰芯 ^{18}O 时间序列在该周期上的瞬时频率的波动就越小, 即对于大尺度的周期变化, 其瞬时频率相对较稳定, 振幅的变化较小, 即能量较小; 反之则相反. 通过 WT 我们可以得到温度变化可能存在 73, 128 和 294 a 左右变化的周期, 这显然没有能检测到高频部分的信息, 在低频部分与基于 EMD 分析得到的结果一致. 利用树轮资料可以恢复过去数百至数千年不同地区的气温、降水和干旱的历史. 根据树轮资料可以重建北半球 600 a 以来气温的变化曲线^[18-20]. 北半球树木年轮序列(公元 301—1995 年)存在着 20, 50, 90, 130, 300 和 500 a 左右变化的周期^[21], 都兰树轮序列存在着 25 和 40 a 左右变化的周期^[14]. S_{18O} 与同样能够反映温度变化的北半球树轮序列和都兰树轮序列之间在周期变化

上都有一定的相关性^[14, 21], 故 S_{18O} 所反映的温度变化也很可能存在 30 和 50 a 等相对较短尺度的周期. 用基于 EMD 的 HT 对北京石花洞石笋微层厚度序列(公元 301—1980 年)进行分析, 其存在 2, 10, 35, 50, 70, 150, 330 和 510 a 左右的变化周期, 这些周期与 S_{18O} 的分析结果也有一定的相似性. WT 对高频分量的分辨率相对较差, 其小波系数方差图可能会掩盖一些高频部分的主周期^[6, 22], 故在 S_{18O} 的分析中得不到 30 和 50 a 左右的变化周期.

4. 结 论

1) EMD 方法是用波动上、下包络的平均值去确定“瞬时平衡位置”, 进而分解 IMF 分量; WD 方法的实质是带通滤波器, 分解得到的各个细节分量一般与固定频带相对应, 故分解的结果不及 EMD 精确. 用 WD 进行分解时采用不同的小波基和分解层次对结果的影响较大, 如何选择小波基和分解层次是

WD 的一个很难解决的问题,但 WD 可以解决 EMD 各个 IMF 分量的正交性较差的问题.同时,两种方法的分解结果中都可能存在虚假分量.我们通过第一步计算 IMF 和细节分量与原序列的相关系数,得到与原序列显著相关的 IMF 和细节分量;第二步比较与原序列显著相关的各个 IMF 和细节分量的图像及它们相互之间的相关系数,能够很好地从 EMD 和 WD 的分解结果中找出包含原序列最主要信息的 IMF 和细节分量,即将 EMD 和 WD 两者有机地结合起来应用能够更有效地识别原序列的特征信息.

2)基于 EMD 的 HT 分析方法,既适合于线性序列的分析,又适合于非线性序列的分析;基于 WT 的分析方法,对线性序列的分析效果较好,对于非线性序列分析的效果一般,特别是对高频的分辨率相对

较差,其小波系数方差可能会掩盖一些高频的周期.利用 WT 进行处理时,各尺度之间因存在的频域混叠现象也会产生误差,但是考虑到 EMD 的各个 IMF 分量正交性较差的问题,我们提出可以用基于 WD 的 HT 来弥补这些缺陷.

3)将基于 EMD 的 HT 和 WT 有机结合起来应用发现,近 2000 a 来青藏高原古里雅冰芯¹⁸O 时间序列的变化可能存在着 30,50,70,130 和 300 a 左右的变化周期,即该地区的温度变化存在着不同尺度的周期.将分析结果与近 2000 a 来北半球树轮序列、都兰树轮序列和北京石花洞石笋微层厚度序列对比,它们存在相似的周期.这说明反映同一个气候特征的不同类型的序列之间,它们所包含的信息存在一定的联系,这对于气候资料的分析具有一定的现实意义.

- [1] Huang N E , Shen Z , Long R S *et al* 1998 *Proc. R. Soc. Lond. A* **454** 899
- [2] Huang N E 1999 *Ann. Rev. Fluid Mech.* **31** 417
- [3] Feng G L , Chou J M , Dong W J 2004 *Chin. Phys.* **13** 1582
- [4] Feng G L , Dong W J 2003 *Chin. Phys.* **13** 413
- [5] Dai X G , Wang P , Chou J F 2004 *Prog. Nat. Sci.* **14** 73
- [6] Li J P , Tang Y Y 1999 *Application of Wavelet Analysis* (Chongqing : Chongqing University Press) [in Chinese] 李建平、唐远延 1999 小波分析方法的应用(重庆:重庆大学出版社)
- [7] Mallat S 1989 *IEEE Trans. Signal Proces.* **37** 2091
- [8] Mallat S , Hwang W L 1992 *IEEE Trans. Inform. Theory* **38** 617
- [9] Xiong X J , Guo B H , Xu Y M 2002 *J. Ocean. HB Seas* **20** 12 [in Chinese] 熊学军、郭炳火、胡筱敏 2002 黄渤海海洋 **20** 12]
- [10] Farge M 1992 *Ann. Rev. Fluid Mech.* **24** 395
- [11] Tewfiki A H 1992 *IEEE Trans. Inform. Theory* **38** 747
- [12] Li B B 1994 *J. Electron.* **16** 646 [in Chinese] 李兵兵 1994 电子科学学刊 **16** 646]
- [13] Wang J Z 1998 *Auto. Elec. Power Sys.* **22** 40 [in Chinese] 王健 1998 电力系统自动化 **22** 40]
- [14] Yao T D , Yang X M , Kang X C 2001 *Quatern. Sci.* **21** 514 [in Chinese] 姚檀栋、杨学梅、康兴成 2001 第四纪研究 **21** 514]
- [15] Zhang X P , Yao T D , Jin H J 2000 *J. Glaci. Geocr.* **22** 23 [in Chinese] 章新平、姚檀栋、金会军 2000 冰川冻土 **22** 23]
- [16] Zhang X P , Shi Y F , Yao T D 1995 *Sci. China D* **38** 854 [in Chinese] 章新平、施雅风、姚檀栋 1995 中国科学 D **38** 854]
- [17] Yao T D , Jiao K Q , Li Z Q 1994 *Sci. China B* **24** 763 [in Chinese] [姚檀栋、焦克勤、李忠勤 1994 中国科学 B **24** 763]
- [18] Briffa K R 1998 *Nature* **391** 678
- [19] Briffa K R 1998 *Nature* **393** 450
- [20] Stagke D W 1998 *Science* **280** 564
- [21] Briffa K R 1998 *Quatern. Sci. Rev.* **19** 87
- [22] Liu C X 2001 *J. Trop. Meteor.* **17** 381 [in Chinese] 刘春霞 2001 热带气象学报 **17** 381]

On the difference between empirical mode decomposition and wavelet decomposition in the nonlinear time series^{*}

Gong Zhi-Qiang^{1,2)} Zou Ming-Wei^{1,3)} Gao Xin-Quan²⁾ Dong Wen-Jie²⁾

¹⁾ College of Physics Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

²⁾ Key Laboratory of National Meteorological Bureau, Climate Research Center, Beijing 100081, China)

³⁾ Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

(Received 3 December 2004 ; revised manuscript received 21 February 2005)

Abstract

The method of empirical mode decomposition (EMD) based Hilbert transformation is that separate the nonlinear time series into intrinsic mode functions (IMFs) with different time scale by using EMD , then apply the Hilbert transformation to every IMF to get the Hilbert spectrum. By systematically comparing the advantages and disadvantages between EMD and wavelet decomposition (WD) , between Hilbert transformation and wavelet transformation in transacting nonlinear time series using ideal time series and ¹⁸O time series of Guliya ice core on the Tibetan Plateau , we present some improving measures to reduce the disadvantages. The result of investigation show that the combination of EMD-based and WD-based methods may be more effectively in recognizing the main information of the time series.

Keywords : empirical mode decomposition , wavelet decomposition , ideal time series , Guliya ice core

PACC : 9260X

^{*} Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2004CB418300) and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 90411008 , 40231006).