

1987—2010 年 PN、TK 断面 黑潮流场的时空变化*

魏艳州¹ 黄大吉^{1,2} 朱小华^{1,2}

(1. 国家海洋局第二海洋研究所卫星海洋环境动力学国家重点实验室 杭州 310012;

2. 浙江大学海洋科学与工程学系 杭州 310058)

提要 基于 1987—2010 年 PN 断面和 TK 断面长期水文调查资料, 使用逆方法计算了黑潮在这两个断面的流场, 进而分析了其时空变化。结果表明, 黑潮流量变化的主要周期为准 4 年和 1 年, 季节变化呈夏强秋弱。两个断面流场的 EOF 分解的主模态表明: 在 PN 断面, 流场变化主要是同位相的, 说明了黑潮流量的变化对流场起调控作用; 而在 TK 断面, 南北两个海沟中流场呈反位相变化, 说明黑潮的路径变化是影响流场变化的主要因素。

关键词 黑潮, EOF, PN 断面, TK 断面

中图分类号 P731

作为北太平洋环流体系的一部分, 黑潮携带高温高盐水通过台湾东北角进入东海并沿陆坡北上, 在九州西南转向并经过吐噶喇海峡流出东海 (图 1A), 这一段在东海境内的黑潮通常被学者称为东海黑潮 (Nitani, 1972; Su *et al.*, 1990)。PN 断面和 TK 断面 (图 1A) 是东海黑潮经过的两个主要断面, 拥有丰富的实测资料。基于这两个断面的实测水文资料, 国内外学者对黑潮流场结构、流量变化等特征做了大量研究。比如, 袁耀初等 (2006) 使用改进逆方法计算了 2000 年 PN 断面和 TK 断面流场, 对这两个断面的流量和流场结构进行了分析; Oka 等 (2003) 使用 1987—1997 年水文资料及表层流速资料计算了黑潮在两个断面的流场, 并讨论了位势涡度与黑潮路径变化的关系; 张启龙等 (2008) 则使用 1956—2003 年 PN 断面的地转流资料和水文资料研究了黑潮热量运输的年际及年代际变化。

对这两个断面长期流量和流场的研究不仅可以得到黑潮流量的变化规律, 也可以得到东海黑潮流场在中部和出口处的时空变化特征。比如, 汤毓祥等

(1994) 对 1955—1990 年 PN 断面的流量做最大熵谱分析, 结果表明黑潮流量存在 1.8 年和 8 年周期的变化; 林葵等 (1995) 则对 1977—1991 年 TK 断面的流量进行了分析。多年流量的季节平均分别给出: PN 断面的流量在秋季最小 (汤毓祥等, 1994), 而 TK 断面的流量在冬季最小 (林葵等, 1995)。另外, 陈红霞等 (2006) 使用 1955—2003 年 PN 断面水文资料计算了流场结构, 通过对流核个数进行统计分析, 指出黑潮流场存在秋季多核结构的特征。

以上基于长期资料对黑潮流量和流场变化规律的研究虽然取得了较好认识, 但是仍然存在一些问题值得探讨。首先, 1987 年之前两个断面的观测站位非常稀少, 因此使用这些资料并不能充分地给出黑潮的时空变化特征。其次, 虽然逆方法已经被较为广泛地应用于流场的估算, 但是长期的使用逆方法计算的流场序列还未见报道。最后, PN 和 TK 断面处的黑潮流场的时空变化模态还没有得到研究。因此, 本文使用 1987 年春季以来 PN 断面和 TK 断面长期的水文调查资料, 使用逆方法计算黑潮在这两个断面长

* 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目, 2006CB400603 号、2011CB409803 号; 国家海洋局 908 专项, 908-01-BC06 号; 国家自然科学基金, 40776021 号和 41176021 号。魏艳州, E-mail: weiyanzhou@sio.org.cn

收稿日期: 2010-05-18, 收修改稿日期: 2012-08-06

期的流场。在此基础上, 分析总流量的变化特征, 并探讨 PN、TK 断面黑潮流场的时空变化特征。

1 数据及流场计算

PN 断面和 TK 断面(图 1)的水文调查主要由日本长崎海洋气象台进行定期观测。PN 断面的前身是 G 断面, 自 1955 年开始有观测, 每年 2—3 个航次; 自 1972 年 4 月开始更名为 PN 断面并得到了季节性观测, 站位为 PN-1—PN-9 共 9 个点, 向西延伸到与 30°N 线相接; 1977 年 7 月增加 PN-3' 和 PN-4'; 1987 年 4 月使用 CTD 观测, 并增加 PN-a、b、c、h、i; 1987 年 9 月增加 PN-b'; 1989 年 10 月, 增加 PN-d'、f'; 1996 年 10 月至今, PN-7、8、9 这三个在 126°E 以东的站位被取消形成了至今 16 个站位的观测(<http://www.jma-net.go.jp/nagasaki/kaiyo/knowledge/pn/index.html>)。TK 断面的观测站位从 1987 年春季开始一直是固定的 12 个。可见, 1987 年之前 PN 断面站位较少。由于站位分辨率较低对流量的计算结果存在影响(Ichikawa *et*

al, 1993; 陈红霞等, 2007), 因此, 本文主要使用 1987 年春季以来, PN 断面和 TK 断面站位较密的水文调查资料。资料是从 JODC(Japan Oceanographic Data Center)获得。从 1987 年 4 月到 2010 年 2 月, 共有 92 个季节的调查资料。

PN 断面和 TK 断面的流场使用逆方法计算(Wunsch, 1978)。在使用逆方法计算之前, 首先要将 PN 断面和 TK 断面数据根据季节进行配对。1992 年秋季和 1998 年夏季, 由于 TK 断面没有观测, 此时 TK 断面的资料使用气候态季节平均资料和 PN 断面的观测资料进行配对; 有的季节 PN(TK)断面有两次观测, 而 TK(PN)断面有一次观测, 为了充分利用数据, 分别将一个断面的两次观测和另一个断面的一次观测配对, 最终得到 105 组配对断面。

在参考层流速已知的情况下, 由热风关系可以得到整个断面的流速。假设一个由多条断面构成的封闭箱体, 各条断面等密面之间水体的质量和盐度的进出是平衡的, 基于这一关系可以得到关于每条断

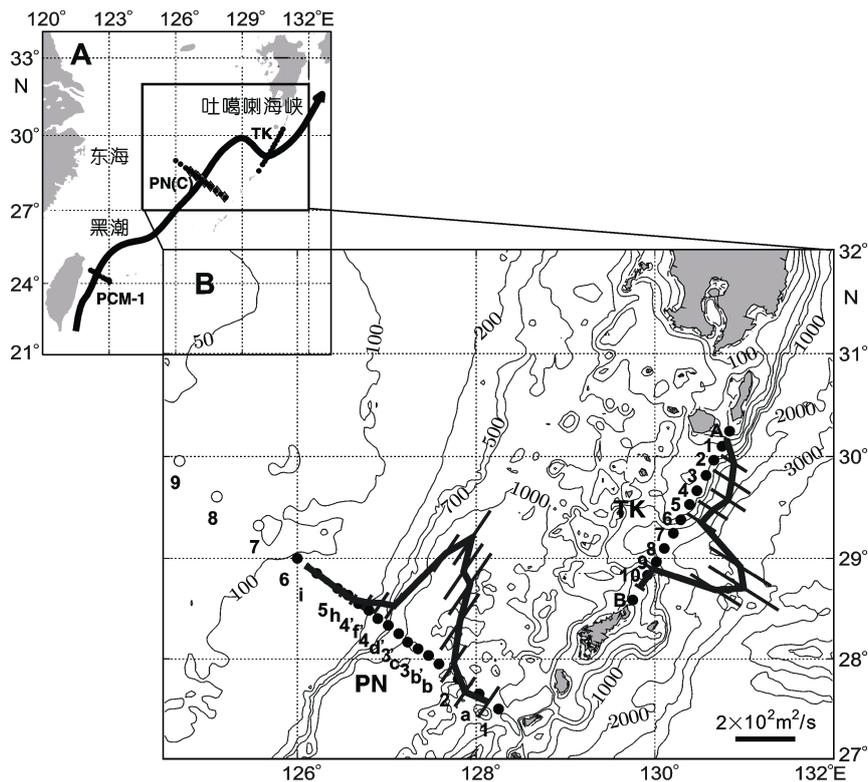


图 1 黑潮路径, PN、TK、PCM-1 断面和 C 线的位置(A), 以及黑潮单位宽度流量的空间分布及方差特征(B)。粗线为多年平均的黑潮在 PN 断面和 TK 断面单位宽度流量, 细线为对应位置处的标准差。黑点标出了站位的位置, 数字和字母表示 PN 断面和 TK 断面站位的名称, 空心圆表示的是 1996 年之后被放弃观测的站点, 等深线单位是 m

Fig.1 Schematic map of the Kuroshio path and the locations of PN, TK, PCM-1 sections and C line (A), as well as the Kuroshio volume transport per unit width (bold lines) and its standard deviation (thin lines) shown in the enlarged map (B). The black dots indicate the positions of stations, while the numbers and letters indicate the names of stations, the open circles indicate the stations that were not observed after 1996. The contours indicate the topography (unit: m)

面参考层流速的方程,从而使用逆方法求得参考流速。参照 Zhu 等(2006)的研究,水体由四个等密面(24.5, 25.5, 26.5, 27.2 σ_θ)分成 5 层。由于东海黑潮每年大约有 1.4 Sv(1 Sv=1 $\times 10^6$ m³/s)的水入侵陆架(Guo *et al.*, 2006; Isobe, 2008), PN 断面在东海陆坡中部, 横截东海黑潮, 因此我们粗略地假定黑潮经过 PN 断面之后到达 TK 断面之前, 约有二分之一(0.7Sv)的水自表层损失(入侵东海陆架)。由于这个值的大小还要依赖于黑潮向陆架入侵的空间分布, 而且其它水道处也会有流量进出, 流况复杂(Guo *et al.*, 2006), 在此统一作为噪音处理, 并且认为这一层的噪音要强于其它层。考虑了表层水的损失之后, 可以得到每层质量和盐度的守恒关系。由于表层盐度容易受到陆源冲淡水的影响, 其盐度平衡不予约束。质量平衡方程除以 1025 ρ_θ , 盐度平衡方程除以 34.5, 使得质量和盐度平衡方程的系数单位一致, 体现为体积平衡。

在求解时与 Wunsch(1978)的处理略有不同。Wunsch(1978)使用奇异值分解的方法, 求取 Franklin 解。求 Franklin 解本身体现了一个优化思想, 即保证参考层流速尽可能小而且每层尽可能平衡。自 Wunsch 以来, 许多学者提出了不同的优化标准和约束条件, 舒良华等(1994)认为总体的不平衡最小也应作为求解的一个标准, 袁耀初等(2006)认为热通量应予以约束, Zhu 等(2006)认为每层的不平衡应该予以

约束。可以看出, 由于不同的作者在处理这一问题时往往会给出不同的优化标准和一些约束条件, 能够灵活的处理这些问题的方法是建立约束优化模型。考虑到中尺度涡影响和测量本身固有的误差, 每层严格平衡及总体完全平衡是不切实际的, 另外, 底层流速的正压贡献也不应太大。所以本文的优化标准定为每层的不平衡、总体的不平衡及底层流速贡献的正压流这三者平方的总和最小。在假定底层参考流速为 0 的情况下, 每层的不平衡为初始不平衡。对于每层的最终不平衡, 仅在初始不平衡小于 0.25 Sv(表层取 2 Sv)的情况下, 允许最终不平衡可以在小于 0.25 Sv(2 Sv)的约束下大于初始不平衡。总体的不平衡不可以超过 5 Sv。底层流速加以 0.2 m/s 的约束以避免出现奇异流速。这样, 则构成了一个关于参考层流速的凸二次规划模型, 求解时使用有效集方法。

在求得参考层流速之后, 根据热风关系可以计算出整个断面的流场, 继而得到断面的总流量。为了验证我们的结果, 将逆方法计算得到的结果与有限的锚系实测结果进行比较(图 2), 其中细线为黑潮通过 PCM-1 断面(Johns *et al.*, 2001)和 C 线(Andres *et al.*, 2008)的流量, 作者在此重绘。结果显示, 逆方法计算得到的结果与锚系实测结果有很好的 consistency。值得注意的是, 虽然此处 PN 断面的流量和 PCM-1 断面锚系实测流量是相吻合的, 但是事实上这两个断面的流

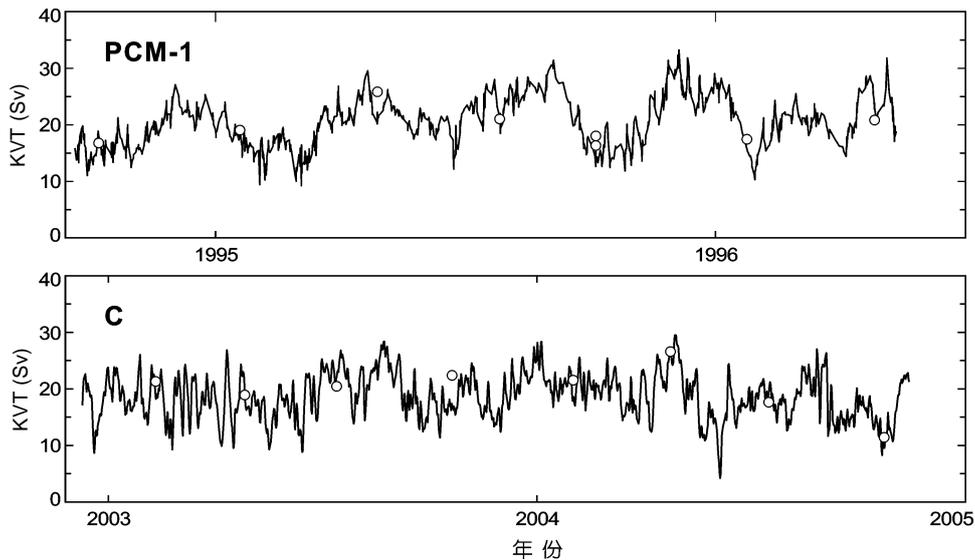


图 2 逆方法计算的黑潮流量与锚系实测流量的比较。细线为锚系实测得到的黑潮通过 PCM-1 断面和 C 线的流量, 空心点表示本文用逆方法得到的调查期间 PN 断面流量

Fig.2 Comparisons of the Kuroshio volume transport across the PN section (open circles) estimated from inverse method at survey time with that across the PCM-1 section and C line (solid line) obtained from moored observations

量变化并不一定是完全一致的。

2 黑潮的时空变化特征

2.1 流量的变化特征

图 3a 是用逆方法计算得到的 PN 断面和 TK 断面黑潮的总流量, 可以看出, 黑潮在 PN 断面和 TK 断面的流量变化有着较好的一致性。因此, 本文仅对 PN 断面的流量做谱分析(图 3b)。此处及后面谱分析结果均由 Matlab 中 Burg 功率谱(Burg, 1967)给出, 谱分析之前先对数据做[0.1 次/a, 1.1 次/a]的带通滤波。Burg 功率谱的优点是对时间采样点少的数据有较好的适应性。

从图 3b 功率谱的结果可以看出, 黑潮总流量季节变化明显, 并且存在准 4 年周期的年际变化。对 23 年的黑潮总流量按季节划分然后进行平均, 得到黑潮流量整体上夏季和冬季最大, 秋季最小。其中通过 PN 断面的流量为: 春季 22.72Sv, 夏季 23.50Sv, 秋季 20.98Sv, 冬季 23.62Sv; 通过 TK 断面的流量为: 春季 21.60Sv, 夏季 22.57Sv, 秋季 19.84Sv, 冬季 22.04Sv。

2.2 单位宽度流量的空间分布及时空变化

用两个站位之间的流量除以这两个站位之间的水平距离, 可以得到黑潮在 PN 断面和 TK 断面单位宽度流量分布。由图 1 可以看出, 就 23 年平均而言, 黑潮在 PN 断面的单位宽度流量呈单峰结构并且在 1000m 水深线处达到最大, 标准差的最大值出现在峰值的外海侧, PN-3—PN-b'; 在 TK 断面单位宽度流量呈双峰结构, 最大值在南侧海沟中, 并且此处标准差也最大。其中, 通过 PN 断面的流量主要集中在 PN-4—PN-b, 占总流量的 98%; 而通过 TK 断面的流量主要集中在南侧海沟中, 即 TK-6—TK-9, 占总流量的 64%。从平均情况下单位宽度流量的分布可以看

出, 黑潮流量在 PN 断面相对集中而在 TK 断面较分散。单位宽度流量在 PN 断面的最大值 $3.97 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ 大于其在 TK 断面的最大值 $2.88 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$, 然而在 TK 断面单位宽度流量的标准差的最大值 $1.42 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ 却大于其在 PN 断面的最大值 $1.31 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ 。这一结果表明黑潮单位宽度流量在 PN 断面变化要比在 TK 断面变化小。

随着时间演变, 黑潮单位宽度流量的大小和流轴都存在时空变化(图 4)。此处, 选取 PN 断面单位宽度流量最大值的位置作为流轴, 这与其他文献中用表层流速判断的标准有所不同(Andres *et al.*, 2008)。从图 4a 可以看出, PN 断面黑潮的流量主要集中在 PN-4—PN-b, 流轴的位置相对比较稳定, 主要位于 PN-3'—PN-c 两个相邻站位间。个别年份(如 1997—1998 和 2000—2002)单位宽度流量时空变化复杂, 流轴的摆动比较明显; 1991 年和 2007 年夏季, 流轴向右侧偏移明显。在 TK 断面黑潮流量主要集中在南侧海沟, 流轴位置也主要出现在 TK-6—TK-9 之间; 1994—1996 年流轴主要在 TK-7—TK-8 处; 2001—2004 年黑潮北向偏转明显, 流轴主要在 TK-6—TK-7 处出现; 这一特征说明黑潮在 TK 断面的摆动可能有年际变化。另外, 在 1993 年 2 月和 2006 年 4 月, 南侧海沟中出现了微弱的逆流这一异常现象。

2.3 流场的时空变化

图 5 给出了黑潮在 PN 和 TK 断面流场的平均结构和方差特征。可以看出, 平均状况下, 黑潮在 PN 断面呈单核结构, 流速在 PN-d'—PN-3' 最大(约 1.0 m/s); 方差的最大值则在流核的两侧出现, 在表层最大。在 TK 断面, 黑潮呈双核结构, 其中北侧海沟中流速最大值(约 0.5 m/s)在表层出现, 南侧海沟中流速最大值(约 0.5 m/s)在大约 200 m 深处出现; 方差在两

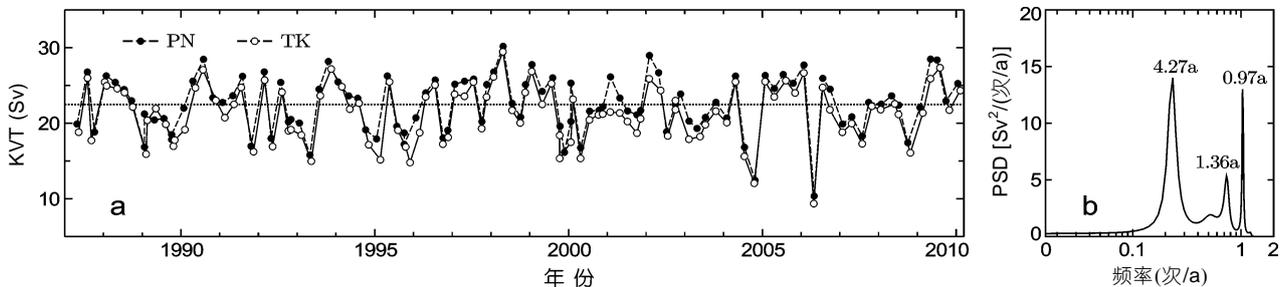


图 3 黑潮总流量及谱分析。(a)PN 断面和 TK 断面的总流量, 虚线为 PN 断面多年平均流量;
(b)PN 断面总流量的 Burg 功率谱分析

Fig.3 Time series of the Kuroshio volume transport across the PN and TK sections (a), and the Burg's power spectrum of the KVT at the PN section (b). The horizontal dashed line in (a) indicates the 23-year averaged transport across the PN section

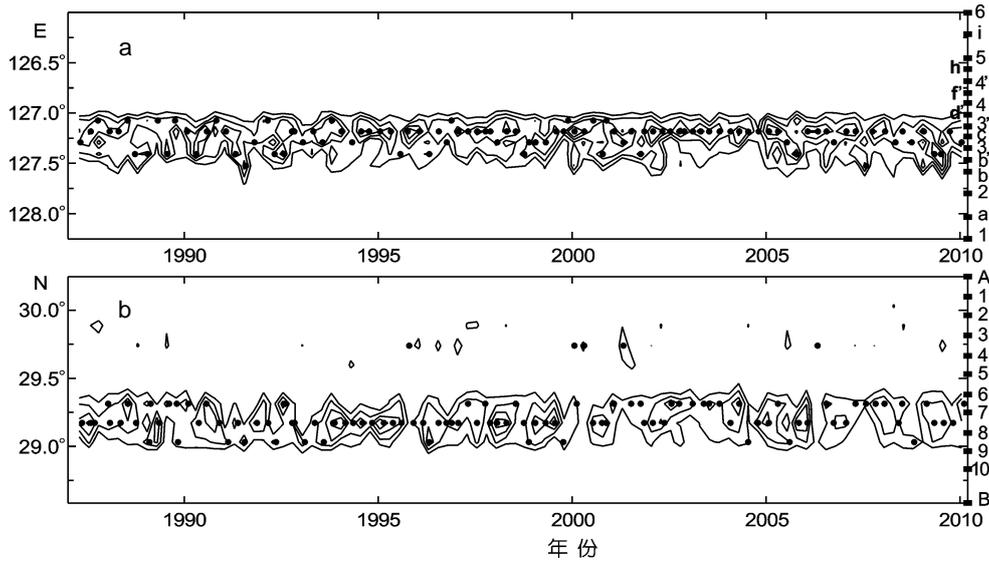


图 4 黑潮在 PN 断面和 TK 断面单位宽度流量和流轴的时空变化。右侧标记为站点名称；图中黑点表示黑潮流轴的位置；黑线为单位宽度流量的等值线，范围是 $[2, 5] \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ ，间隔为 $1 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$

Fig.4 Temporal and spatial variability of the Kuroshio volume transport per unit width (uKVT) at PN and TK sections. The positions of the maximum uKVT are denoted by black dots. The black lines indicate contours of uKVT in the range of $[2, 5] \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ with $1 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ per interval. The stations names are labeled on the right side of each panel

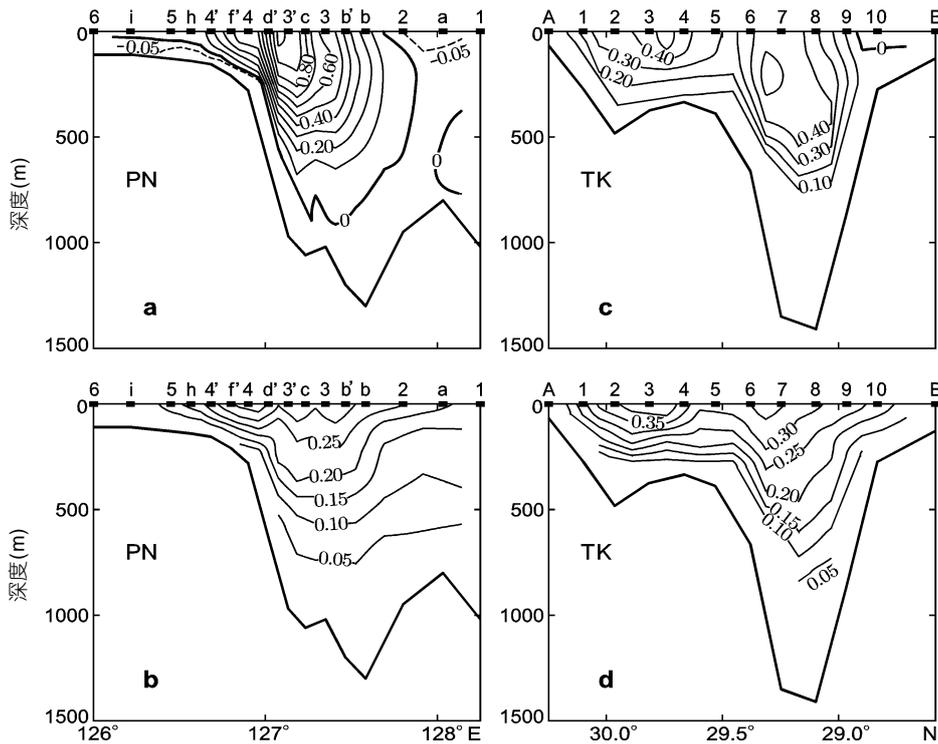


图 5 PN 断面(左列)和 TK 断面(右列)流场的平均结构(上排)和方差特征(下排)(单位: m/s)

Fig.5 Mean (top panel) and standard deviation (bottom panel) of the geostrophic current at the PN section (left panel) and the TK section (right panel) (Unit: m/s)

个海沟中表层较大，尤其是北侧海沟。

为了进一步研究黑潮的时空变化规律，选取这两个断面垂向标准层处的流速，对两个断面处的流

场进行 EOF(Empirical Orthogonal Function)分解。图 6a—f 分别给出了 PN 断面和 TK 断面流场的 EOF 主模态，包括空间模态、时间模态及对应的功率谱。这

两个断面主模态所解释的方差分别为 20%和 22%。

从图 6a 可以看出, PN 断面流场在 PN-4—PN-b 之间的变化有比较好的同步性, 与陆坡处(PN-5—PN-4)的变化位相相反。PN 断面流场的时间模式的振幅大约在 0.3 m/s(图 6b), 时间模式乘以空间模式可以看出流速在 PN-3'—PN-c 处(图 6a)的振幅约为 0.6 m/s。除了中尺度涡的影响造成的高频变化, 流场变化模态还存在明显的准 5 年和 1 年周期(图 6c)。而在 TK 断面(图 6d), 流场在南北两侧海沟中的变化位相相反。时间模式(图 6e)的振幅大约在 0.3 m/s, 而且主

要的变化周期(图 6f)也和 PN 断面类似。

图 7a—d 分别给出了 PN 断面和 TK 断面的流场在对应的时间模态比较显著(超出二倍标准差区间)时的结构特征。可以看出, 当 PN 断面的时间模态(图 6b)呈显著正值时, 主流核处(PN-d'—PN-c)的流速增强, 达到 1.8 m/s, 并且整体流域向右侧扩大(图 7a); 相反的是, 在时间模态呈显著负值时, 主流核处的流速减弱到 0.6m/s, 并且其左侧的流速增强(图 7b)。在 TK 断面, 当流场时间模态(图 6e)呈显著正值时, 北侧海沟中的流速增强到 1.4m/s, 南侧海沟的次表层最大流

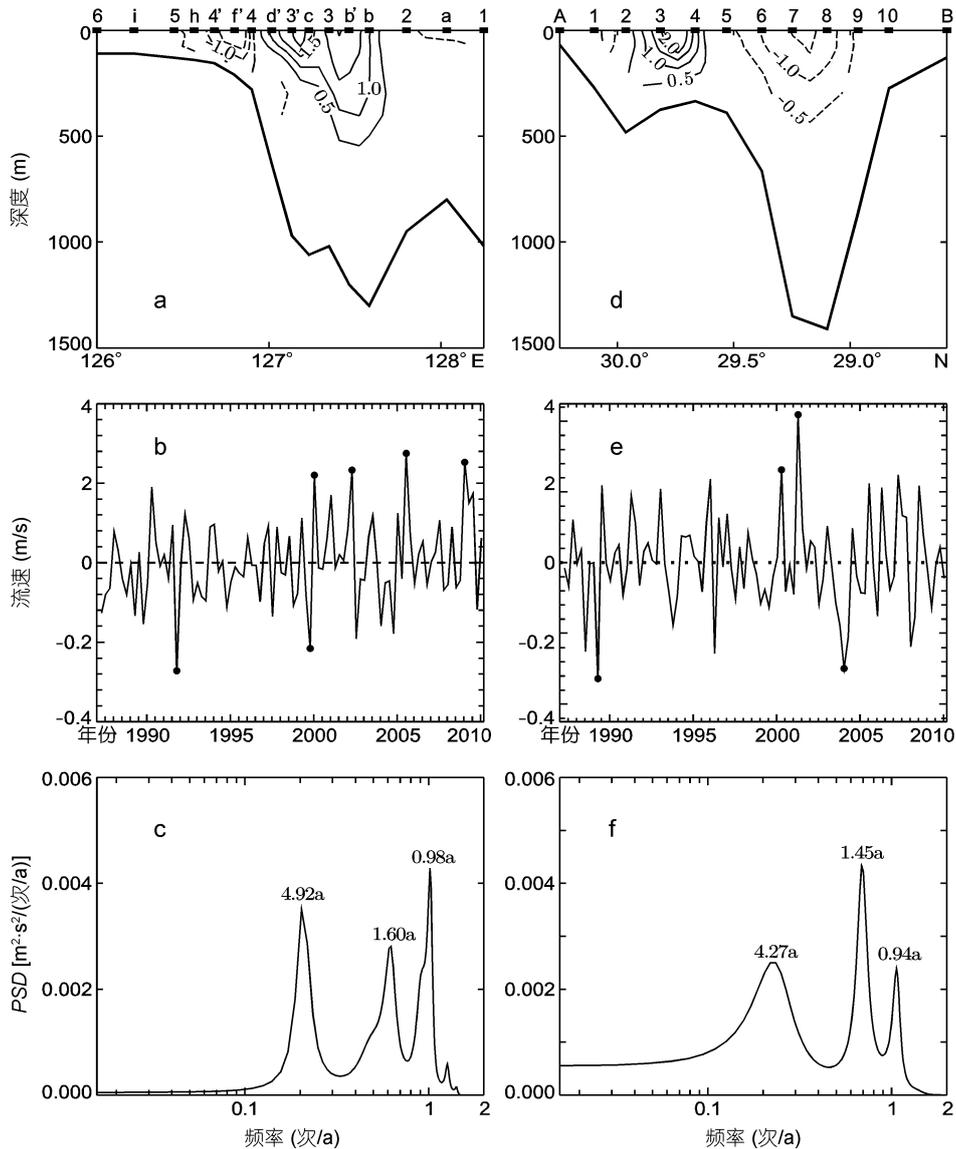


图 6 PN 断面(左)和 TK 断面(右)流场 EOF 分解的主模态。(a,d)空间模态; (b,e)时间模态; (c,f)时间模态对应的功率谱。图 (a,d)中的空间模态进行了无量纲化, 图(b,e)中的黑点表示超出二倍标准差区间的值

Fig.6 The principal EOF modes for the velocities at the standard level at PN (left column) and TK (right column) sections. (a) and (d) are the space modes, (b) and (e) are the time modes, (c) and (f) are the Burg's power spectra of the time modes. Space modes (a, d) are dimensionless, the black dots in (b) and (e) indicate the values that are larger than twice of the standard deviations of the time series

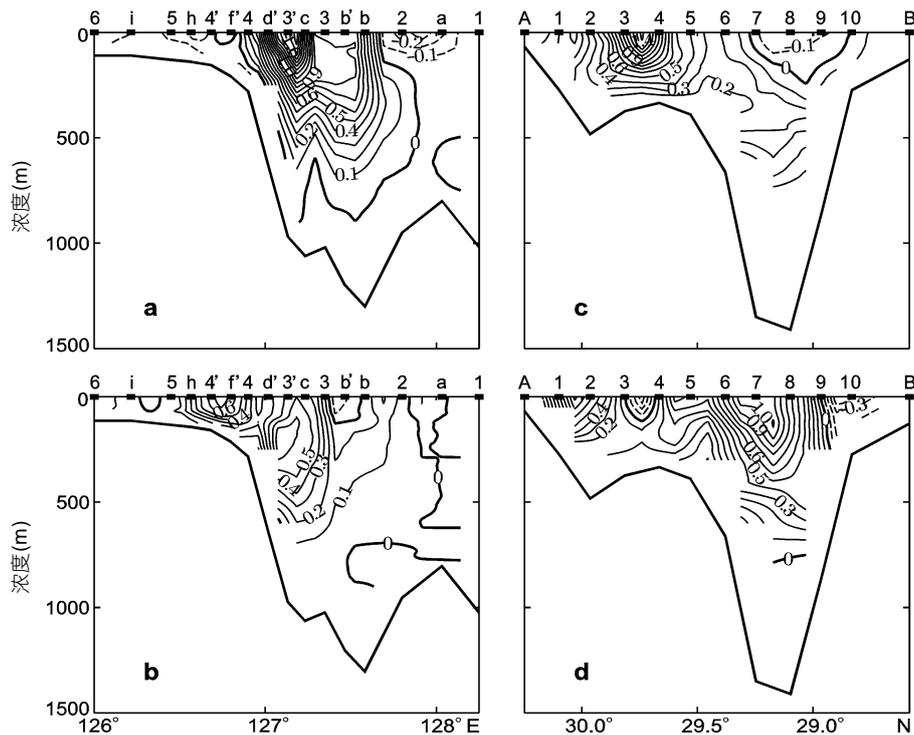


图7 PN断面(左列)和TK断面(右列)流场的 EOF 时间模态(图 6b 和 6e)呈显著(超过二倍标准差区间)正值(a,c)和负值(b,d)时对应的平均流场(单位: m/s)

Fig.7 The mean velocity structures at PN (left panel) and TK (right panel) sections corresponding to the EOF time modes (Fig.6b & 6e) exceeding twice of the positive (a,c) and negative (b,d) standard deviation (Unit: m/s)

速减弱到 0.3 m/s, 并且在表层出现逆流(图 7c); 当时间模态呈显著负值时, 北侧海沟中 TK-3—TK-4 处出现逆流, 而南侧海沟的中流速得到增强, 最大值达到 1.1m/s(图 7d)。

3 结果与讨论

使用 1987—2010 年 PN 断面和 TK 断面的温盐数据, 逆方法计算了黑潮在这两个断面的长期流量和流场, 进而分析了其时空变化特征。

计算结果表明, 黑潮流量存在季节变化和年际变化。季节平均而言, PN 断面和 TK 断面的流量均呈夏强秋弱。TK 断面流量的季节变化特征和林葵等(1995)的结果略有区别, 林葵等(1995)对 1977—1991 年 TK 断面动力计算得到的流量进行分析, 给出黑潮流量冬季最弱, 这一差异可能和计算方法及时间区段的不同有关。黑潮流量的年际变化主要有 1—2 年和准 4 年的周期(图 3), 这一点和汤毓祥等(1994)对 1955—1990 年 PN 断面流量分析给出的 1.8 年和 8 年周期不同。这一差异暗示, 黑潮流量在不同时间段的年际变化周期可能是不同的。

PN 断面和 TK 断面流场的 EOF 分解揭示黑潮流

场不仅存在空间变化, 而且存在季节变化和年际变化。两个断面流场的 EOF 空间模态的结构说明, PN 断面流场主要是同位相变化, 而在 TK 断面南北两个海沟中的流场呈反位相变化。当 PN 断面主流核处流速增强时, 流核会向右侧膨胀, 而在主流核处流速减弱时, 左侧的流速则会增强。

致谢 文中所用温盐资料由 JMA(Japan Meteorological Agency)观测, JODC (Japan Oceanographic Data Center)提供下载链接, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 陈红霞, 袁业立, 华 锋, 2006. 东海黑潮主段 G-PN 断面的多核结构. 科学通报, 51(6): 730—737
- 陈红霞, 刘 娜, 袁业立等, 2007. 东海黑潮地转流计算中的零流面选取问题. 海洋科学进展, 25(4): 383—390
- 汤毓祥, 林 葵, 田代知二, 1994. 关于东海黑潮流量某些特征的分析. 海洋与湖沼, 25(6): 643—651
- 张启龙, 侯一筠, 齐庆华等, 2008. 东海黑潮热输送变异与经向风异常. 海洋科学进展, 26(2): 126—134
- 林 葵, 汤毓祥, 郭炳火, 1995. 吐噶喇海峡黑潮流速结构和流量的研究. 海洋与湖沼, 26(3): 247—253
- 袁耀初, 杨成浩, 王彰贵, 2006. 2000 年东海黑潮和琉球群岛

- 以东海流的变异 I. 东海黑潮及其附近中尺度涡的变异. 海洋学报, 28(2): 1—13
- 舒良华, 郭炳火, 寄高博行等, 1994. 逆方法最优解确定九州近海流速、流量. 海洋学报, 16(2): 124—133
- Andres M, Wimbush M, Park J-H *et al*, 2008. Observations of Kuroshio flow variations in the East China Sea. *J Geophys Res*, 113: C05013
- Burg J-P, 1967. Maximum entropy spectral analysis, paper presented at the 37th Annual International Meeting of the Society of Exploration Geophysicists, Oklahoma City, Okla. IEEE Press, 42—48
- Guo X, Miyazawa Y, Yamagata T, 2006. The Kuroshio on shore intrusion along the shelf break of the East China Sea: the origin of the Tsushima Warm Current. *J Phys Oceanogr*, 36:2205—2231
- Ichikawa H, Beardsley R-C, 1993. Temporal and spatial variability of volume transport of the Kuroshio in the East China Sea. *Deep Sea Res*, 40(3): 583—605
- Isobe A, 2008. Recent advances in ocean-circulation research on the Yellow Sea and East China Sea Shelves. *J Oceanogr*, 64(4): 569—584
- Johns W-E, Lee T-N, Zhang D-X *et al*, 2001. The Kuroshio east of Taiwan: moored transport observations from the WOCE PCM-1 array. *J Phys Oceanogr*, 31(4):1031—1053
- Nitani H, 1972. Beginning of the Kuroshio. USA Seattle: University of Washington Press, 129—164
- Oka E, Kawabe M, 2003. Dynamic structure of the Kuroshio South of Kyushu in relation to the Kuroshio path variations. *J Oceanogr*, 59(5): 595—608
- Wunsch C, 1978. The North Atlantic general circulation west of 50°W determined by inverse methods. *Rev Geophys*, 16: 583—620
- Su J-L, Guan B-X, Jiang J-Z, 1990. The Kuroshio, Part 1, Physical Features. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, 28: 11—71
- Zhu X-H, Park J-H, Kaneko I, 2006. Velocity structures and transports of the Kuroshio and the Ryukyu Current during fall of 2000 estimated by an inverse technique. *J Oceanogr*, 62(4): 587—596

TEMPORAL AND SPATIAL VARIABILITY OF THE KUROSHIO AT PN AND TK SECTIONS DURING 1987—2010

WEI Yan-Zhou¹, HUANG Da-Ji^{1,2}, ZHU Xiao-Hua^{1,2}

(1. *State Key Laboratory of Satellite Ocean Dynamics, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou, 310012*; 2. *Department of Ocean Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310058*)

Abstract Temporal and spatial variability of the Kuroshio at PN and TK sections is studied, based on the geostrophic velocities estimated from the hydrographic data from April 1987 to February 2010 using an inverse method. The Kuroshio volume transport (KVT) exhibits significant seasonal and interannual variability in about 4-year and 1-year periods indicated on the Burg's Power Spectrum. Explained by the principal Empirical Orthogonal Function modes, the Kuroshio velocities at the two sections exhibit distinct temporal and spatial variability. The principal variability mode is almost in-phase at PN section, while anti-phase at the two gaps of the Tokara Strait. That means the variability of velocity structure is mainly controlled by the variation of KVT at PN section, while the migration of the Kuroshio axis at TK section.

Key words Kuroshio, EOF, PN section, TK section