

海洋资料同化今后的挑战

朱江

中国科学院大气物理研究所

海洋资料同化是海洋预报的关键技术之一。在过去十余年里,伴随着海洋观测系统和海洋模式的发展,海洋资料同化为全球和区域海洋预报和气候预报提供大中尺度海洋初始条件方面取得了很大的进展。随着业务化海洋学的发展,今后海洋资料同化也将面临如下一些主要的挑战。

第一、新的海洋观测带来的挑战。盐度卫星遥感观测、海洋水色卫星观测、海洋浮标的 Lagrangian 特点,以及日益增多的地波雷达观测资料和潜标海流观测如何被有效地同化到海洋模式中,将是今后海洋资料同化研究的热点。这些新的观测资料在哪些方面能够补充已有观测对海洋现象和过程的描述,还需要通过资料同化来加以量化。

第二、近岸海洋预报的挑战。近岸海洋资料同化的发展落后于海盆或区域尺度的海洋资料同化。由于近岸海洋过程复杂,包含各种时间、空间尺度信号,从外海的大中尺度信号到局地的河口入流、潮汐和小尺度波动信号等。以往海洋资料同化对海洋模式误差的假设不再满足:近岸海洋模式误差不再是平稳的,也不满足高斯分布。近岸具有多种类型的海洋观测如岸边站、地波雷达等,目前对这些观测的代表性误差还不甚了解,因此还难以被同化。同时,近岸海洋观测网今后的建设如何做到优化布局,也是目前一个急迫解决的问题。相对于已开展的大洋观测系统模拟试验研究,针对近岸海洋预报的观测系统模拟试验研究还刚刚起步。

第三、海洋生物地球化学方面的挑战。今后对及时、准确的海洋生态系统信息需求将越来越大。为海洋模式的生物地球化学模块发展,有效的资料同化系统将促进今后业务化海洋学的发展。然而,海洋生态模拟相对于物理海洋模拟还有很大差距,同时海洋生态模拟对物理海洋模拟的误差十分敏感,因此海洋生态资料同化与物理海洋资料同化应有相互作用:即通过改进海洋环流模拟来改进海洋生态模拟,而海洋生态变量的观测用来验证和改进海洋环流的模拟。

第四、海气耦合资料同化的挑战。海气相互作用从年代际气候变化现象（如 PDO, AMOC）、年际变化现象（如 ENSO）、季节尺度现象（如 MJO），直到天气尺度现象（如台风），都起了重要作用。因此，利用海气耦合模式进行从年代际到天气尺度的模拟和预报已经越来越普遍，把大气、海洋观测资料同化到海气耦合模式中将是今后研究的一个重要方向。目前常用的方法是分别进行不耦合的海洋和大气资料同化/初始化，这不能较好反映实际的耦合系统。比如大气观测包含了 SST 影响的信息，海洋观测包含了大气热通量影响的信息。耦合同化系统应该能够充分利用这些信息，在耦合模态空间为海气耦合模式提供初始条件。

第五、资料同化方法的挑战。目前大多数海洋资料同化系统都采用相对简单的方法如三维变分或最优插值等，而四维变分和集合卡尔曼滤波等先进的方法将在今后得到更多的应用。由于海洋中尺度现象的强非线性，四维变分方法是否完全适用还不清楚。一个可能的解决途径是四维变分方法与集合方法的某种综合。另外，海洋资料同化不应仅用来估计海洋状态。目前的海洋预报受到大气风场和通量预报不确定性的影响很大，如何改进海洋资料同化系统，使之能够某种程度控制大气风场和通量预报的不确定性也将是对海洋资料同化方法上的一个挑战。

第六、海洋资料同化作为理解海洋动力过程的新工具。传统上资料同化主要用在提供预报初值、生成再分析资料、进行目标观测设计等。如何拓展海洋资料同化的应用，将其作为一种理解海洋动力过程的有力工具也将是今后的一个重要方向。

如何应对以上这些挑战？希望和各位同行在第 8 届海洋资料同化研讨会上共同探讨。

印度洋和太平洋的资料同化系统

闫长香，朱江，谢基平，吕国坤，成里京

中国科学院大气物理研究所

不同的观测数据类型，由于时空分布的不同特征以及所代表的不同信息，采用的同化方案会有所区别。针对等密度面模式，温盐观测的同化方案较其他观测资料有所不同，不是廓线的直接同化，而是先由温盐观测得到层厚，将其作为观测进行同化来调整模式的层厚以及正斜压变量，这样可以减小由非线性算子带来

的次优化问题。为了保证观测数据的准确度，针对 XBT 观测由于观测系统问题和计算公式问题带来的系统误差问题，在同化前利用较好的方法(Cheng and Zhu,2011)对此进行了处理。基于并行的集合同化方法，将多种不同类型的观测资料如：卫星遥感海表温度 SST,卫星高度计资料 SLA，以及来自 Argo,CTD,TAO,XBT 的现场温盐廓线资料结合海洋模式 HYCOM 版本 2.2，在印度洋和太平洋建立了同化系统，实施了同化试验。并从气候平均态、变率以及与独立观测资料的对比等方面，对同化系统进行了评估。

北印度洋海域海浪场背景误差分析与数据同化

齐鹏，曹蕾

中国科学院海洋研究所，中国科学院海洋环流与波动重点实验室

在波浪资料同化中，背景误差协方差的表达非常重要，但由于其依赖于真值的定义使得难以对其精确表达。此外，其各向异性的空间结构特征又使得难以对其进行准确的参数化。本文结合卫星高度计有效波高测量和海浪模式后报，分别用观测法和集合法对北印度洋海域（包括南海）海浪场背景误差和观测误差特征进行对比分析。在此基础上，分别建立了基于最优插值（OI）和集合最优插值（EnOI）的海浪数据同化分析预报系统，并进行了检验。这些同化系统的建立可望能满足国家海洋环境预报业务化需求。

结合连续 3 年（2008~2010 年）Jason-2 卫星高度计有效波高观测和 WAVEWATCH III 海浪模式后报，首先采用观测法，获得了北印度洋海域海浪场观测误差方差分布和背景误差方差分布，及各向同性假设下背景误差相关长度等参量，发现季风海域上述参量空间分布随季节变化显著。其中，对观测误差方差分布来说，冬季为北高南低和西高东低；夏季为北低南高和西低中高；春季和秋季则表现为过渡的性质；对背景误差方差分布来说，冬季为东部海域高其余海域低；夏季为北低南高和西低中高，赤道以南大于赤道以北；春秋两季分布呈过渡性质。各向同性假设下相关长度尺度冬季整体最小，夏季整体最大；其空间分布特征为：高值中心为北印度洋中部海域和南海；夏季大洋中部高值区范围和量值增大，南海海域的范围和量值小；冬季正好相反。

其次，分别选取连续 3 年（2008-2010 年）中相同月份内和相同季节内日平

均有效波高作为样本,用集合法研究北印度洋海域海浪场背景误差方差和观测误差方差特征,以及分别在各向同性和各向异性假设下背景误差的相关长度等 4 个参量。按前一种(即逐月的)样本选择方案发现上述 4 个参量均存在月变化,但同一季节内各月空间分布形势大致相同;按后一种(即按季节的)样本方案发现上述 4 个参量的空间分布形势随季节变化显著。与上述观测法的结果比较,对于背景误差方差,虽然二者整体趋势相似,但集合法给出的结果整体偏大,且高值中心的位置不同;对于各向同性假设下背景误差的空间相关性,二者都有明显的季节变化,且它们主要的空间分布形势是一致的,而集合法更能体现与该海域冬夏季风特征的明显对应关系,但在量级上集合法与观测法结果差别明显。另外,两种方法的相关长度大小相差太大,说明样本选择方案有待改进。

上述分析结果为海浪数据同化中背景误差协方差表达的参数化选择提供了参考依据。

在 EnOI 同化方案中,分别选取连续 3 年(2008-2010 年)中相同月份和相同季节日平均有效波高作为样本;背景误差协方差矩阵则由样本得到。观测误差协方差用与 OI 同化方案一致的对角阵表示。

同化分析和预报试验是热启动海浪模式 WAVEWATCH III ver.3.14,在积分运算过程中,将 Jason-2 卫星高度计沿轨有效波高观测数据顺序同化进入海浪模式,即首先进行 24 小时边积分边同化,并以同化结束时刻为初始场进行 72 小时预报。检验数据分别采用 Jason-2, Jason-1 和 Envisat 的有效波高数据。根据有效波高均方根误差的改进情况,分别对各同化时刻的分析场、连续同化形成的预报初始场以及 0~72 小时预报进行了评估。结果表明,两种同化方案对海浪同化初始场和短期预报的改进都较明显。

高海况下考虑波浪破碎对散射计风场反演的改进 及其在数据同化中的作用

李大伟^{1,2} 申辉¹

- 1.中国科学院海洋研究所海洋环流与波动重点实验室;
- 2.中国科学院大学

常规海况下星载散射计获取海面风场具有较高的精度,且广泛应用于目前海

洋、气象和气候学研究资料同化当中。然而，高风速海况下，波浪破碎对散射计回波散射强度产生影响，导致按照常规方法获取的风场与真实风场存在偏差。本文针对波浪破碎下的散射计风场反演算法开展研究，通过引入海面白冠覆盖率与风速经验关系模型，利用神经网络法，构建了波浪破碎影响下的散射计风场反演新方法，提高了高海况下的风场反演精度。在此基础上，讨论了改进后的高海况风场产品对海洋资料同化的作用，这对提高海洋资料同化的准确性有重要意义。

南海海域中尺度涡的自动识别方法及其时空分布特征研究

夏琼 申辉

中国科学院海洋研究所

中尺度涡在中国南海海域广泛分布，研究南海中尺度涡有助于更好地了解中尺度涡对大洋环流以及对气候所带来的影响。本文首先针对南海海域中尺度涡的自动识别方法开展研究，进而获取南海海域中尺度涡的时空分布与演变等特征。

论文基于 Francesco Nencioli 提出的通过流场的几何特征寻找中尺度涡的方法对比了 Okubo-Wesis 参数方法与该方法的准确性，得到了可行的中尺度涡识别方法。又对比了通过相似性参数和背景流场等跟踪中尺度涡的方法，提出了依据中尺度涡大小的中尺度涡跟踪方法。并将中尺度涡的识别跟踪方法应用于 SODA 月平均资料，获得了南海海域中尺度涡的统计特征。最后，通过 Argo 浮标资料得到了南海海域中尺度涡的温、盐度特性。

Midlatitude Heat Transport of North Pacific: time series and mean

Tingting Yang and Yongs Xu

Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences (IOCAS)

Combining trajectory, temperature and salinity data from Argo profiles with satellite sea surface height, time series and mean of the Pacific meridional heat transport at 35° N from January 2004 to June 2011 was obtained. The proportion of

Ekman and geostrophic and deep ocean transport were also estimated. The results were compared with output from the ECCO ocean data, and the method was proved to be reasonable. Mean heat transport is consistent well with previous estimates, and time series indicate the heat transport has an annual cycle. Though the short timescale of data, the correlation between SST, SSH and heat transport show a clear physical relationship. As the progress of Argo project, data from profiles of long timescale could suggest the relationship between heat transport and ENSO.

Typhoon Haitang induced oceanic bio-response from Argo and satellite data

GUAN Yu Ping¹, SHAN HaiXia^{1,2}, &HUANG Jian Ping²

1. State Key Laboratory of Tropical Oceanography, South China Sea Institute of Oceanology,
Chinese academy of sciences
2. Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education, College of
Atmospheric Sciences, Lanzhou University

The responses of the upper ocean to typhoon Haitang in July 2005 are investigated using Argo floats and multiplatform satellite data. The results show decreasing sea surface temperature (SST), a deepening of the mixed layer depth, and enhanced Chlorophyll-a (Chl-a) concentration. Two extreme cool regions are identified. While the magnitude of SST cooling in the two regions is similar, the biological response (Chl-a enhancement) differs. In order to facilitate comparison, the region to the northeast of Taiwan is defined as 'region A' and the region east of Taiwan as 'region B'. Ekman pumping and the intrusion of the Kuroshio play an important role in the enhancement of Chl-a in region A. Cold eddies provide the material source for the formation of the cold center in region B, where mixing is dominant. Because of the relatively high translation speed (5 m/s) in region B, Ekman pumping has little influence on the cooling and Chl-a enhancement processes. Moreover, the mixed layer depth is shallower than the nutricline, which means that mixing can't make nutrients have a marked increase in the euphotic layer (where the nutrient concentration is uniformly depleted). Sea temperatures, in contrast, gradually decrease with depth below the bottom of the mixed layer. In contrast to region A, region B showed no significant enhancement of Chl-a but strong SST cooling.

基于等位势密度面混合投影算法的海洋多尺度分析方法

李威

国家海洋局海洋环境信息保障技术重点实验室, 国家海洋信息中心

海洋中, 相比于沿等位势密度面的混合, 跨等位势密度面的混合是很小的。数据同化和普通的插值、统计平均以及平滑等都可以看成是一种混合过程, 然而不论是传统三维变分还是多尺度三维变分, 均未考虑对跨等位势密度面混合进行抑制, 因此容易造成过度的跨等位势密度面混合, 如此构建的分析场作为初始场输入到海洋模式中后, 其部分信息很难在模式中得到有效保持, 从而很快弥散掉。本研究在海洋多尺度三维变分分析中, 将模式积分结果作为背景场, 并依据该背景场的位势密度信息, 建立了一种投影算法, 在将观测点的观测增量信息(观测与背景场的差值)向网格点投影时, 如果观测点的位势密度值和待投影的网格点的位势密度值差别较大(小), 则给与该网格点较小(大)的观测增量投影值, 最后利用多尺度三维变分数据分析方法同化上述投影到网格点的观测增量, 得到分析场。分别利用海洋多尺度数据同化试验和海温后报试验验证了该方法的有效性。海洋多尺度数据同化试验结果表明, 相比于之前的海洋多尺度分析方法, 该方法得到的分析场相对于背景场的增量信息主要沿等位势密度面分布, 而跨等位势密度面的增量则较小, 垂向上得到的海温结构与实测结果更为接近; 海温后报试验结果表明, 相比于之前的海洋多尺度分析方法, 该方法得到的分析场作为初始场输入到海洋模式中后, 其信息能够得到很好地保留, 且预报精度更高。

A Study of 4D-Var and EnKF Coupling Parameter Estimation with a Simple Coupled System

Xinrong Wu

Key Laboratory of Marine Environmental Information Technology,
National Marine Data and Information Service, SOA

Coupling parameter estimation (CPE) that uses observations in a medium to estimate the parameters in another medium through the co-varying relationship between variables residing in different media may increase the consistence of estimated parameters in a coupled system. However, it is very challenging to

accurately evaluate the strength of co-varying of different media due to the different characteristic time scales at which flows vary in different media. With a simple Lorenz-atmosphere and slab ocean coupled system that characterizes the interaction of multiple-timescale media in a coupled climate system, this study explores the feasibility of CPE with four dimensional variational analysis (4D-Var) and ensemble Kalman filtering (EnKF). It is found that both algorithms can effectively estimate the atmospheric and oceanic parameters and subsequently improve the quality of state estimation if an appropriate minimization time window (for 4D-Var) and a suitable ensemble size (for EnKF) are used. Compared to 4D-Var that successfully estimates atmospheric parameter but is sensitive to minimization time windows for oceanic parameter estimation, EnKF has less sensitivity on ensemble sizes for both the atmospheric and oceanic parameter estimation. These simple model results provide some insights for coupled model parameter estimation when a coupled general circulation model is combined with the modern climate observing system for climate estimation and prediction initialization.

中尺度涡在海洋对台风海棠（2005）响应中的作用

付红丽

海洋局海洋环境信息保障技术重点实验室，国家海洋信息中心

本文基于 Argo 观测剖面，卫星遥感数据和 CORA（China Ocean Reanalysis Data）再分析数据，研究在台风海棠期间中尺度涡对海洋响应的影响。海棠于 2005 年 7 月 11 日至 21 日由东向西经过西北太平洋区域，在台风经过的前中后期，卫星遥感和 CORA 再分析的海表面高度异常均显示该区域交替存在多个中尺度冷/暖涡，这些涡向西传播；台风经过后卫星遥感和 CORA 再分析的海表面温度均有不同程度的降低。通过分析三个不同位置处台风前后的 Argo 剖面，发现：台风经过中期，在暖涡处，海表面高度增加，混合层厚度加深并且温度增加，而混合层以下到 600m 深度内温度剖面下降。在冷涡处，海表面高度降低，混合层深度变化不大但温度增加，在 200-600m 深度范围内温度剖面变化不大；在台风经过后期，在暖涡处，海表面高度持续增加，混合层底温度持续增加，但在混合层以下到 600m 深度内温度剖面转为上升。在冷涡处，海表面高度持续降低，混合层厚度变浅，温度急剧减小，在 200-600m 深度范围内温度剖面上升。利用

各种诊断模式研究上述现象，分析讨论中尺度冷/暖涡，以及相应的中尺度环流在海洋对台风响应中的作用。

应用 Argo 资料分析热带东印度洋上层水团

宣莉莉

海洋局海洋环境信息保障技术重点实验室，国家海洋信息中心

本文利用 Argo 剖面资料分析了热带东印度洋上层两个主要水团阿拉伯海水及孟加拉湾水的分布特征，探讨了两水团在研究海域各季节的分布范围。分析结果显示，孟加拉湾水在湾外主要分布在阿拉伯海、苏门答腊岛外海及赤道海域。其分布范围随季节交替而改变：11月~次年3月孟加拉湾水主要分布在阿拉伯海东南部海域；6~10月出现在苏门答腊岛外海及赤道海域，并持续至次年2月。阿拉伯海水在赤道海域分布范围呈半年变化，在5~6月及10月~次年1月沿赤道向东延伸最远，可至90°E以东海域。另外，在大多数月份（6月~次年4月）阿拉伯海水还出现在湾内。

两水团分布的季节性变化主要是由上层环流决定。11月~次年3月，沿孟加拉湾西边界及斯里兰卡岛沿岸南下的东印度沿岸流及西南向的东北季风漂流是孟加拉湾水从湾内输运进入阿拉伯海东南部海域的两个主要流路，6~10月孟加拉湾水通过湾口东侧至赤道海域之间的连续南向流输送至苏门答腊岛外海乃至赤道海域。阿拉伯海水在赤道海域分布范围的半年波动与春季及秋季的 Wyrcki 急流有关。阿拉伯海水入侵湾内有两个路径：11月~次年4月是由赤道至湾口之间的连续北向流经湾口东侧进入湾内，而在6~9月，阿拉伯海水由西南季风漂流输运至湾内。

评估 Argo 资料在全球再分析中的作用

张连新^{1, 2}，韩桂军²，李威²，张学峰²

1. 中国海洋大学海洋环境学院

2. 国家海洋局海洋信息中心

基于一个已建立的全球海洋再分析系统，通过一系列数据同化孪生试验，对

Argo 资料在全球海域海洋再分析中的作用进行了系统的评估。结果表明，同化 Argo 的温盐资料显著地改善了全球的海洋温度、盐度和流速的再分析场。其中，改善最明显的海域是南大洋。首先，就上层海洋而言，Argo 资料对改进全球海洋上层温度场、盐度场和流场的再分析效果显著。在热带海洋区域，Argo 资料的同化明显地减小了系统的均方根误差，尤其是对盐度再分析场。当同化 Argo 温盐资料时，由于调整了模式的密度场，最终优化了海洋次表层流场的再分析结果。其次，着重地分析了 Argo 的温盐资料对深层海洋以及海洋年际信号的影响。值得注意的是，Argo 资料对改进较深层的热带太平洋的温度再分析效果显著，可以较准确地反映出该海域温度异常信号的传播。同化 Argo 资料后，海洋再分析结果能够较准确地反映出包括年变化在内的温度、盐度和流场的变化特征。由此可见，Argo 资料在全球海洋再分析系统中起到了至关重要的作用。此外，温盐多变量调整是不可或缺的，它可以有效地改进赤道区域盐度场再分析结果。

南北太平洋副热带东部模态水的年际变化

鲁轶群 刘秦玉

中国海洋大学物理海洋实验室

本文通过 2004-2011 年 Argo 资料证实了南、北太平洋副热带环流圈东部存在模态水，并研究了该模态水的气候平均特性、年际变化及形成机制。太平洋副热带东部模态水的体积以及位势密度、位势涡度等特征均具有明显的年际变化：北太平洋副热带东部模态水在 2004 年、2005 年体积较少，2006 年、2008 年则较多，呈现明显的年际变化，且具有微弱的上升趋势；而南太平洋副热带东部模态水的体积存在明显的上升趋势，只有 2009 年体积稍有减少。晚冬混合层深度年际变化是南北太平洋副热带东部模态水年际变化的主要原因，混合层底部地转流年际变化的作用不明显。影响北太平洋副热带东部模态水生成区晚冬混合层深度年际变化的主要因素是同期海面风速异常；而对于南太平洋副热带东部模态水，同期海面风速和前期海洋潜热通量对其生成区晚冬混合层深度年际变化都具有重要影响。

带有模式偏差的变分同化初值反问题

张瑰^{1,2} 杜华栋³ 毛磊¹

1. 解放军理工大学理学院数学教研中心
2. 热带海洋环境国家重点实验室（中国科学院南海海洋研究所）
3. 解放军理工大学气象海洋学院

随着社会经济的发展和人们对各类自然现象的深入理解,越来越多的科学技术领域正在提出和研究各自领域中的反问题,无论是对理论研究还是实际应用,数学物理反问题的研究都具有重要意义。其中,初值的确定问题是数学物理反问题研究中的一项重要内容。对于一维抛物型偏微分方程的初值反问题,数学上已经有比较系统的研究,其结果表明,在适当的假设条件下,利用整体信息来反演初值的反问题是适定的。由于上述工作没有考虑观测误差和模式误差对于初值的影响,同时未对所得初值的误差进行估计。因此,本研究进一步以简化的一维抛物型偏微分方程:

$$\begin{cases} \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = 0, & (0 < x < 1, t > 0) \\ u(0,t) = 0, u(1,t) = 0, \\ u(x,0) = u_0(x). \end{cases}$$

为例,研究其初值的变分同化反问题。假设初值未知,同时模式中带有如下的模式偏差:

$$\begin{cases} \frac{\partial \hat{u}(x,t)}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 \hat{u}(x,t)}{\partial x^2} = R(x,t,\hat{u}), & (0 < x < 1, t > 0) \\ \hat{u}(0,t) = 0, \hat{u}(1,t) = 0, \\ \hat{u}(x,0) = \hat{u}_0(x). \end{cases}$$

这里 $\hat{u}(x,t)$ 为预报值, $\hat{u}_0(x)$ 为预报模式中待求的初值, $R(x,t,\hat{u})$ 为预报模式的模式误差(或模式偏差)。同时,整体观测资料 $u^{obs}(x,t)$ 中带有观测误差,它与精确值 $u(x,t)$ 之间满足

$$u^{obs}(x,t) = u(x,t) + \varepsilon H(x,t),$$

假设 $H(x,t) \in L^2[0,1]$, 且 $\|H(x,t)\|_{L^2[0,1]} \leq 1$, 其中 $\varepsilon > 0$ 为观测误差的界。

在整体观测资料 $u^{obs}(x,t)$ 下,利用变分同化方法来对模式中的初值进行最优确定,

即考虑极值问题

$$J[\hat{u}_0(x)] = \int_0^T \int_0^1 |\hat{u}(x,t) - u^{obs}(x,t)|^2 dx dt = \min.$$

其中 $T > 0$ 表示变分同化时间。

本文通过求解泛函极值问题，得到了预报模式的最优变分同化初值 $\hat{u}_0(x)$ ，进一步对初值误差进行分析，分析观测误差和预报模式中的模式偏差对于变分同化初值的影响。分析表明：变分同化初值收敛于原问题的真实初值，并且，初值连续依赖于观测误差与模式误差，收敛精度为 $O(\varepsilon)$ 。因此整体观测资料条件下，利用变分同化方法反演初值是一种有效的方法。

斜压罗斯贝变形半径优化的误差相关尺度对 最优插值效果的改进

王公杰，张韧，陈建，王辉赞，王璐华

解放军理工大学气象海洋学院全军海洋水文数值模拟中心

基于最优插值的三维温盐场重构要求正确估算背景场误差协方差，而误差相关尺度由斜压罗斯贝变形半径决定。本文利用东中国海及其附近海域的高分辨率气候态数据，计算斜压罗斯贝变形半径，并采用基于变形半径优化的相关尺度方案，对比均一化相关尺度方案和法国 ISAS 系统尺度方案，探讨了变形半径对最优插值的影响。结果表明：均一化相关尺度方案的均方根误差小于 ISAS 方案，但温度场过于平滑且出现不合理极值，无法刻画一些重要的物理现象；而基于变形半径的相关尺度方案取 2 倍变形半径时整体效果最好，不仅均方根误差在各水平层都较小，且温度场能够更好地刻画四国海盆海域涡旋及黑潮影响的温度场的三维结构。由于实际海洋中各层物理过程的尺度存在差异，各层的最优尺度设置也不尽相同。

时空插值与最优插值在三维温盐场重构中的应用试验

王璐华，张韧，王辉赞，陈建，王公杰，高飞

解放军理工大学气象海洋学院，军事海洋环境实验室

基于 Argo 浮标资料，分析了太平洋的温、盐度特征，并选取西北太平洋海域，分别采用两种方案进行了三维温盐的重构试验。一是基于时空权重插值与奇异谱相结合方法的网格化方案；二是基于最优插值方法的网格化方案。结果表明：方案一耗时较多，利用单站点温盐度剖面进行的对比检验表明，其重构的温盐场在 Argo 数据较多时与 SODA 场一致，效果较好，而在 Argo 数据较少时重构效果不理想；方案二基于改进的法国现场数据分析系统(ISAS)，其重构的温盐场，在表层与卫星反演的温盐度结果一致，在表层以下与现场剖面观测基本一致，整体效果较好。

南海区域海洋资料四维变分同化系统研制方案及进展

杜华栋

中国人民解放军理工大学气象海洋学院

针对南海海域海洋水文环境研究及保障需求，基于四维变分同化理论，设计了高效的海洋资料变分系统建设方案。该方案中背景场误差协方差矩阵中空间相关采用反应扩散方程技术，变量间相关引入地转平衡、静力平衡、状态方程等约束；为提高求解效率，下降算法采用内外循环增量物理空间分析技术；并借助于区域海洋环流模式及其伴随模式实现了同化系统的建立。单点试验表明，利用该系统进行同化后模式变量场的增量场分布是合理的，同时与真实模式场分布相一致，充分表明了四维变分同化系统的流刻画优势，同时为开展海洋资料四维变分同化系统的实际应用奠定了基础。

SMOS 遥感海表盐度资料在反演盐度垂直廓线中的性能评估

陈建，张韧，王璐华，王公杰

解放军理工大学气象海洋学院军事海洋环境全军重点实验室

针对盐度垂直廓线($S(z)$)的反演问题，将全球尺度、不同时空分辨率的 SMOS 遥感海表盐度 (SSS) 观测作为其输入，其目的是评估遥感海表盐度观测在以下几个方面的性能：反演廓线的误差、能有效分辨的空间尺度，以及海表误差投射到深层的方式。结果表明，SMOS 海表盐度观测误差在热带海域较小，而在热带

以外海域较大；影响误差的关键因素是其空间分辨率而非时间分辨率。在大约 100 米以浅的混合层，平均来说，在热带海域，对于 $1/4^\circ$ 、 $1/2^\circ$ 和 1° 分辨率的海表输入，反演廓线的误差均方根分别大于、约等于和小于信号均方根，而在热带海域以外，前者总是大于后者；这主要是由于混合层 SSS-S(z) 间较大的回归系数保留了海表观测的误差特征。此外，垂向投影减弱了 $1/4^\circ$ 海表盐度场的中尺度特征。在混合层以下，反演廓线主要受海表高度异常 (SLA) 影响，反演廓线精度较高的区域主要集中在高纬海域；海表盐度的误差特征逐渐消失，但大洋南部 SSS-S(z) 间异常偏大的回归系数将海表盐度误差特征投影到 400~500 深处。

南海北部海洋中尺度涡的温度、盐度和声速特征分析

陈奕德，蒋国荣，刘科峰，沈春，安玉柱

解放军理工大学气象海洋学院军事海洋环境军队重点实验室

南海北部海域长期存在大量的海洋中尺度涡，对该海域的温度场和盐度场分布起了重要影响。我们利用卫星高度计资料反演海面流场，根据最外围闭合流线和速度场信息提取了南海北部海域的中尺度涡位置及其半径等信息，在此基础上，查找出被中尺度涡捕获的 Argo 浮标，再将 Argo 浮标温盐资料与气候态温盐资料比较，得出中尺度涡旋区域温盐的异常值，采用合成方法分析中尺度涡的温度和盐度三维结构特征，认为：(1) 气旋涡向上抽吸，底层较冷海水上涌，使得上层海水温度下降、盐度降低，反气旋涡与之相反；(2) 气旋涡和反气旋涡都是中心位置处温盐异常值最大，在中心向外 100-150 km 处温盐异常值都迅速减小；(3) 气旋涡的涡核比反气旋涡要深，而且中心异常值更大。根据中尺度涡的温盐分布，我们还比较了中尺度涡区域的声速异常情况，认为中尺度涡内部的海水声速要素与周围海水相比，也存在着相当大的差异，可对水下通信等形成较大影响。

Argo 浮标温盐剖面观测资料的质量控制技术

王辉赞，张韧，王桂华，安玉柱，金宝刚

解放军理工大学

Argo 浮标可用来监测全球大洋从海洋表层到 2000 m 深层的变化,鉴于 Argo 浮标的剖面观测数据存在位置错误、可疑剖面、异常数据以及盐度漂移等诸多问题,必须对 Argo 浮标资料进行有效的质量控制。本文基于 Argo 观测剖面资料与法国海洋开发研究院(IFREMER)提供的可靠历史观测数据集,提出了一种 Argo 资料质量控制的新途径.该方法通过寻找 Argo 浮标不同剖面位置与其"最佳匹配"历史剖面资料对比判别的途径,可以有效地识别 Argo 观测误差,特别是能够将由于 Argo 位置环境变化引起和由 Argo 浮标自身漂移引起的两类 Argo 浮标盐度偏移现象进行有效甄别,减少了对 Argo 浮标盐度剖面偏移的误判,有效节约了 Argo 浮标质量控制时间.本文还提出基于"三倍标准差"的异常数据检测方法,并将其与传统异常数据检测法相结合进行剖面异常数据剔除,有效实现了对异常数据的剔除.基于本文提出的 Argo 资料质量控制方法,对中国 Argo 实时资料中心网站提供的全球 Argo 浮标剖面进行了质量控制再分析,进一步剔除和订正了其中的一些数据误差,生成了经新的质量再控制后的全球 Argo 浮标剖面资料集.通过将质量再控制处理前后的数据与 Ishii 资料进行比较发现,处理后的数据比处理前的数据误差减小,表明本文提出的方法合理有效.

Argo 资料处理以及在海洋热力动力学研究中的应用与进展

安玉柱^{1,3}, 陈奕德², 李璨², 张阳³, 王凯¹

1. 解放军 61828 部队

2. 解放军理工大学气象海洋学院, 军事海洋环境军队重点实验室

3. 解放军 61741 部队

全球实时海洋观测网 (Argo 计划) 是目前唯一的全球尺度海洋实时三维观测系统,自 2001 年正式实施以来,Argo 资料已在海洋科学研究中得到了广泛应用,取得了丰硕的成果。本文基于近年来国内外 Argo 研究成果文献,分别从 Argo 资料对上层海洋物理状况描述和温盐结构特征揭示、气候变化与海洋变异监测、海洋资料同化以及短期气候预测等角度,系统地总结和评述了 Argo 资料在海洋动力和热力学研究中取得的新成果、新进展及其未来在深海和极地海洋研究、海洋盐度与气候变化、多源数据同化等领域中的发展前景。

基于 Flex RIA WebGIS 的 Argo 资料共享与可视化平台研究

吴森森, 张丰, 杜震洪, 刘仁义

浙江大学地理信息科学研究所

Argo 资料已成为当前海洋环境和气候变化研究最重要的数据来源和基础支撑。自 2007 年全球 Argo 实时海洋观测网建成以来, 每年观测网提供的 Argo 剖面数据稳固增长, 面对 Argo 资料不断加快的增长速度和不断加大的数据规模, 如何实时有效地对其进行组织管理和信息服务已成为目前 Argo 资料共享亟需解决的关键问题。本文基于 Argo 数据的时空特点和信息服务需求, 设计了适合多源异构 Argo 资料一体化管理的数据组织模型, 提出了基于 Flex RIA WebGIS 的 Argo 资料共享平台构建思路, 重点讨论了多源数据组织、地图切片与双缓存等关键技术, 最后给出了“Argo 资料共享与可视化平台”实例。

基于元数据分类的分布式 Argo 数据抽取算法研究

吴森森, 张丰, 杜震洪, 刘仁义

浙江大学地理信息科学研究所

随着 Argo 产品数量的快速增长以及获取途径的愈加多样化, 存储在各个网络节点中的 Argo 数据正逐渐汇聚成一个具有超大规模的分布式存储的多源异构 Argo 数据集。为了对这些数据进行有效管理, 并根据用户需求快速检索和高效抽取所需信息, 本文在分析了 Argo 元数据的时空特点与分布式存储的结构特性的基础上, 提出了一种基于 Argo 元数据分类机制的分布式 Argo 数据高效抽取算法, 重点阐述了 Argo 元数据管理、元数据时空分类机制、分布式环境下 Argo 数据快速检索与高效传输等关键技术。性能测试的结果表明, 上述算法能有效并高效地提取用户所需数据, 为科学研究工作及时获取海洋环境信息提供方便。

基于 Argo 的台风中心海洋上层温度研究

朱炯^{1, 2}、康建成²、Guoqi Han³

1. 上海师范大学城市生态与环境研究中心
2. 上海师范大学城市生态与环境研究中心

为了还原台风过境时，其中心海洋区域海水温度结构和变化过程。利用附近海域数个 Argo 浮标的海温资料，通过反距离权重插值法计算台风内部某点海温，并与其他资料进行对比。

结果表明：在 0-400m 深度海温计算结果的相对误差小于 0.3%，在 0-50m 深度的误差最小，相对误差几乎为 0。

所计算的温度值的精度，敏感于已知数据点的空间分布和数量、以及计算时的权重系数。当 24h 内已知点距离待测点非常接近，且空间分布均匀时，误差最小；已知点数量的增加能使总体误差趋于平稳，此时已知点数量可取 3-6 个，权重可取值为 2，不同权重间的误差接近。当 24h 内已知点距离待测点较远，空间分布在待测点两侧时，误差较大，增加已知点数量将降低误差，此时已知点数量可取 6 个，权重取 2 时误差最小；当 24h 内已知点距离待测点较远，空间分布在待测点一侧时，误差最大，增加已知点数量会降低误差，此时已知点数量可取 6 个，权重取 2、3 时误差最小。

热带大西洋大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼渔场温跃层的 时空变化特征

杨胜龙^{1,2}，范秀梅¹

1. 中国农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室

2. 中国水产科学研究院渔业资源与遥感信息技术重点开放实验室

采用 2007~2012 年 Argo 浮标剖面温度资料研究了大西洋黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 和大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 延绳钓主要作业渔场温跃层的时空变化特征。研究表明，热带大西洋黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼延绳钓主要作业渔场温跃层的上界深度和温度存在着明显的季节性变化。温跃层上界深度呈现出冬深夏浅的季节性变化特征，大致呈纬向带状分布，12 月至翌年 4 月份，15° N 以北海域温跃层上界深度超过 80m，同期 10° S 以南海域的多低于 50m；6~11 月份的则相反。在赤道纬向区域温跃层上界温度在 27°C 以上，往南北两侧 30° 区域温度值依次递减至 20°C 及以下。温跃层下界深度和温度没有明显的季节性变化。温跃层下界深度高值区域的空间分布呈现“W”

形状，深度值在 220m 以上。在 25° S 以南，从南美洲到非洲西沿岸海域并延伸到安哥拉外海，以及 10° N 非洲西海岸外海，在一年的大部分月份里，温跃层下界深度浅于 150m。在 15° N 以北和 15° S 以南区域下界温度大于 15°C，在这之间的纬向区域下界温度低于 14°C。全年在大西洋西部 5° ~15° N 和 5° ~15° S 区域的厚度最大，在 80~150m 之间，冬季和夏季呈现相反的分布特征；温跃层强度高值在 5° S~15° N 纬向区域，尤其是大西洋东部，在 0.15~0.25°C/m 之间。根据文中揭示的大西洋金枪鱼延绳钓主要作业渔场区温跃层的分布特征，作者建议晚上大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼投钩深度应该在温跃层上界深度分布的附近水域；白天捕捞黄鳍金枪鱼投钩深度应该在温跃层下界深度分布的水域附近，大眼金枪鱼投钩深度要比黄鳍金枪鱼的更深。

热带大西洋大眼金枪鱼渔场时空分布与温跃层关系

范秀梅

中国水产研究所

为了解热带大西洋延绳钓大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 适宜的温跃层参数分布区间,采用 2007-2011 年 Argo 浮标温度信息和大西洋金枪鱼委员会(ICCAT)的大眼金枪鱼延绳钓渔获数据,绘制了热带大西洋月平均温跃层特征参数和月平均单位补充量渔获量 (CPUE) 的空间叠加图,用于分析其中心渔场时空分布和温跃层特征参数关系。结果表明:热带大西洋温跃层上界深度、温度具有明显的季节性变化,大眼金枪鱼中心渔场分布和温跃层季节性变化有关。大眼金枪鱼中心渔场分布在温跃层上界深度高值和低值交界的曲线区域,深度值在 40-70m;赤道低纬度上界温度在 24-26.9°C,在纳米比亚外海则低至 18°C;温跃层下界深度、温度没有明显的季节变化特征。在低纬度,中心渔场主要分布在深度 150-250m;在赤道深度可达 280m,而在纳米比亚外海,高值 CPUE 分布在深度 140-160m;在低纬度,高值 CPUE 分布的下界温度在 12°C 左右,纳米比亚外海在 14°C 左右。频次分析和经验累积分布函数计算其适宜温跃层特征参数分布,得出热带大西洋大眼金枪鱼适宜的温跃层上界温度和深度分别是 23-27°C 和 30-70m;适宜的温跃层下界温度和深度分别是 12-14.9°C 和 150-230m。

海洋温度网格数据的可靠性分析

陈显尧, 张远凌

国家海洋局数据分析与应用重点实验室

国家海洋局第一海洋研究所

不规则分布的海洋观测数据需要通过最优插值的方法投影到规则网格上, 形成规则分布的四维(三维空间-时间)数据。这些数据已广泛地应用于海洋与气候变化过程分析、海洋模式的初始场、模拟结果的检验等方面。由于制作这些数据时已经尽可能多地使用了实际观测的数据, 因此这些数据不能再重复用于检验规则网格数据, 这就限制了对网格数据可靠性的定量分析。已有一些工作尝试通过检验规则网格数据是否可以再现已熟知的物理过程来了解其可靠性, 但是这类分析一方面是定性的, 另一方面仍或多或少地存在重复论证的问题。

为了确定网格数据反映实际海洋变化过程的能力, 我们发展了利用温度变化的瞬时频率来检验网格数据可靠性的方法。这种方法以经验模分解和希尔伯特-黄变换为主, 通过定量分析海洋温度网格数据在季节时间尺度上的变化特征与实际物理过程之间的关系, 可以确定通过最优插值方法制作的网格数据在物理上是否可靠。

分析结果表明, 多数网格数据能够较好地再现北半球海域 150 米上层海洋温度的季节变化, 但是在 150 米以深的部分海域, 以及南半球大部分海域, 网格数据所反映的物理特征与实际温度季节变化的物理过程存在明显差别。显然, 导致这一现象的原因与观测数据的空间分布和时间连续性有关。利用这一分析方法, 可以明确显示大量使用 Argo 浮标后网格数据质量得到了明显的改善, 但是仍没有根除上述问题。确定温度的季节变化是研究其它时间尺度变化过程的基础, 因此亟需改进最优插值方法, 提高网格数据的可靠性。而持续并加强 Argo 浮标观测是关键基础, 否则任何数据分析方法的发展也只能是“无米之炊”。

Data assimilation and adaptive observation

F. Fang, C.C.Pain, Z. Che, J.Du, I.M.Navon, P.A.Allison

The most important requirement for improving the predictability of numerical modelling is in reduction of uncertainties in models. This can be achieved by assimilating observational data, into the models so that the modelled flows better match observed patterns. Adaptive (targeted) observation methods can be used to rapidly obtain the error covariance matrix associated with a particular deployment of observational resources and enables the assessment of a large number of future feasible sequences of observational networks to reduce forecast error variance over a verification region at some verification time. By identifying the area where the errors are rapidly growing and will mostly influence the forecast over the verification region and time, we are able to design an optimal observational network. In our work we use both adjoint sensitivity and ensemble approaches to identify the optimal space and time locations for targeted observations at future time, aimed at providing an improved forecast. The approaches developed here have been assessed in the test case -Gyre.

Evolution of the tidal system in the South China Sea over the last 50 million years

Peter A. Allison, Jon Hill, Alex Avdis, Daniel Collins, Howard Johnson

We use a series of commercially available palaeobathymetries to model the evolution of the tidal system in the South China Sea over the last 50 million years in response to changes in basin shape brought about by movement of tectonic plates. Potential variation in tidal change might be expected to due to:- the extent to which the South China Sea is an open seaway or a blind gulf, the orientation of the seaway with respect to the boundary tide, the relative position of the Philippines and coastline rugosity.

The coastal region offshore of modern Borneo includes spectacular oil reserves sourced from mangrove debris that are preserved in ancient shallow-marine sediments. Understanding the evolution of the tidal system is important because tidal

range controls the size of the tidal biome and tidal bed shear stress impacts upon the rate at which carbon may have been buried.

SMOS 卫星海表盐度资料同化试验

路泽廷朱江

61741 部队, 中科院大气物理研究所

本文采用先进的集合最优插值同化方案, 利用全球海洋模式 (LICOM) 对 SMOS 卫星海表盐度资料开展了探索性的同化试验研究。

SMOS 是世界上第一个提供探索性的全球 SSS 观测的卫星, 于 2009 年 11 月发射, 设计寿命 3 年, 可以同时测量土壤湿度和海表盐度。由于 SSS 遥感困难重重, 误差来源很多, 而且误差量值与信号相比非常可观, 因此实现起来很困难, SMOS 反演算法十分复杂, 产品精度与预期目标还有差距 (全球范围对现场观测的误差标准差大约 0.4psu, 在热带太平洋则能达到 0.26psu 的准确度)。

本文是最早将 SMOS 卫星遥感的 SSS 资料同化到全球海洋模式中的探索性工作之一。首先对 level3 级的 SMOS-SSS 资料进行了进一步的质量控制, 通过计算全球各点的 SSS 梯度, 剔除了一些与周围观测明显不协调的数据; 然后以 ZFL_GODAS 再分析产品 (即 2010 年 1 月的资料) 作为初值, 用 Era-interim 月平均风应力驱动, 取不同的观测误差, 分别进行了 4 个 SSS 同化试验, 将这些试验结果与 SMOS 资料、en3 现场盐度廓线资料、ZFL_GODAS 再分析资料以及 WOA09 气候态资料分别对比, 进行了统计检验。结果表明, 就总体而言, 对 SMOS-SSS 资料进行同化后, 对海表盐度和次表层盐度廓线都有所改善。几个试验相比, 综合评价 test3(观测误差 0.8psu)较好。

但是, 利用 EnOI 方案对 SMOS-SSS 资料进行同化也存在问题: 表现在澳大利亚东部海域、中美洲沿岸、非洲几内亚湾沿岸等处同化后出现异常高温。本文对出现异常的原因进行了细致的分析。由于 EnOI 是多变量同时同化, 通过静态样本建立温度、盐度、海面高度以及水平流速等变量之间的相关关系, 当对一种资料同化时, 同时对其它变量进行调整。由于与温度相比, 盐度的变率要小得多, 如果历史样本中得到的某处温盐相关关系与当时实际情况有较大误差, 特别是相关系数出现反号的情况, 当对盐度进行调整时, 温度会向实测温度的反方向调整,

而且由于温度变率比盐度大得多,这种向错误方向的调整更新量值还很大,经过一段时间积累后出现很大的温度异常,甚至导致模式溢出。为此,本文对这一问题提出了可行的解决方案。

全球 Argo 实时海洋观测最新进展与展望

许建平

卫星海洋环境动力学国家重点实验室、国家海洋局第二海洋研究所

最早由美国和日本等国科学家发起的国际 Argo 计划已经走过了十多个年头。十余年来,该计划从无到有、从小到大,得到迅速发展。最初确定的由 3000 个自动剖面浮标组成的全球 Argo 实时海洋观测网于 2007 年 10 月末已经正式建成,成为全球海洋观测系统的重要支柱,正以前所未有的规模和速度,源源不断地为国际社会提供全球海洋 0~2000 米深度范围内的海洋温度、盐度和海流资料,迄今所获剖面资料总数已超过 100 万条,并正以每年约 12 万条剖面的速度增加。

早在 2009 年全球海洋观测大会上,向 2000 米以深的深海扩展被公认为是使 Argo 计划成为真正意义上的全球海洋观测系统的一个关键指标。这对正确了解不断变化的全球热量、淡水和其他属性的储存,以及全球能量收支、海平面上升、经向翻转流等问题都是必不可少的。也就是说,Argo 将迎来一些新的观测需求(例如生物地球化学观测、深海、极地海洋、边缘海等)。目前,已经有几百个 Argo 浮标布放在南极海冰带及北半球高纬度海区。在北极地区,一种适用于常年冰封海域的冰系浮标收集到了数万条剖面,已经可以提供海冰覆盖区域的平均状况和季节变化。由于极地海洋与冰冻圈的变化,人们也越来越迫切地需要对极地海域进行实时监测,以及时了解海冰的变化情况。在未来的十年里,随着 Argo 浮标扩展到西边界流海域,对解决诸如锋面弯曲与不稳定过程,中尺度涡与跨锋面交换,上层海洋热/盐含量异常,再生环流,通风/潜沉过程,以及与整个西边界流系统内在变化的关系等各种时空尺度的相关科学问题之间关系将显得意义重大。下一个十年,Argo 计划也将在海洋生物地球化学循环研究中发挥越来越重要的作用,从而能更详细地揭示出海洋对气候变化的响应过程。

然而,Argo 计划也面临着严峻的挑战:一是未来十年常规观测网(温度、盐度观测)的维持问题,每年需要投放 800—900 个浮标。气候变化研究要求像

Argo 计划这样的全球海洋观测系统至少持续一个相当长的时期 (>20 年), 并且 Argo 计划本身的潜在价值也需要数十年才能得到体现。没有一个持续稳定的 Argo 观测网, 业务化海洋服务、季节和年代际预报预测和气候服务都无法持续; 二是扩展 Argo 计划的覆盖区域 (包括高纬度海域、边缘海和西边界海域), 将由“核心 Argo”向“全球 Argo”扩张, 观测区域的扩展也意味着布放浮标数量的增加, 将目前由 3000 多个 Argo 剖面浮标组成的“核心 Argo”观测网增加到由近 4000 个 Argo 剖面浮标组成的“全球 Argo”观测网, 这将是 Argo 计划未来十年的发展目标。

Argo 观测网是一个庞大的系统工程, 无论是浮标的布放和维护还是海量观测资料的处理与分发, 单靠任何一个国家的力量都是难以完成的, 国际合作是使 Argo 计划继续进行并不断发展的唯一途径。随着 Argo 计划的不断深入, 特别是史无前例的深海大洋环境资料的不断积累, 全球 Argo 实时海洋观测网在促进海洋和大气科学领域发展及其在业务化预测预报中的作用, 并有望帮助人类应对日益严重的海洋和气象灾害, 尤其是应对全球气候变化所带来的憧憬。相信在世界各沿海国家的高度重视和共同努力下, 全球 Argo 实时海洋观测系统至少能再维持 10—20 年以上, 甚至能持续更长一个时期。

利用 Argo 剖面浮标分析上层海洋对台风过程的响应

刘增宏^{1, 2} 许建平^{1, 2} 吴晓芬² 孙朝辉²

1. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室
2. 国家海洋局第二海洋研究所

本文利用 2012 年 8 月 20-28 日期间 BOLAVEN 台风经过海区的 Argo 浮标观测资料, 并结合卫星遥感 SST 和降水资料, 分析了海洋上层对该台风的响应及响应过程, 并对台风路径两侧的海水热含量变化进行了探讨。台风过后混合层内的响应主要包括混合层深度 (MLD) 的加深、混合层温度 (MLT) 下降, 但混合层盐度 (MLS) 的变化受降水、蒸发、混合和跃层抬升等过程的影响, 其变化没有倾向性。MLD 和 MLT 的变化具有明显的右偏特征, 而 MLS 的变化在台风左侧下降、右侧增加。台风左侧的浮标观测到混合层加深约 26.6-33.7 dbar, 并可持续 4-6 d 时间; 位于台风右侧的 MLD 增加及 MLT 下降比左侧更为显著,

MLS 的变化相对复杂, 取决于混合、蒸发和降水等过程的竞争结果, 而混合层内溶解氧浓度在台风经过后呈微弱的上升趋势, 并能持续至少一周时间。

台风路径左右两侧温、盐度断面变化则完全不同, 位于左侧的浮标观测到近表层海水降温, 并能持续一周或更长的时间; 而次表层 (40 dbar 以下) 出现大范围的增温现象, 30-100 dbar 范围内海水盐度下降最为明显; 台风右侧观测到 0-200 dbar 内海水大范围的降温, 以 40 dbar 以浅和 60-170 dbar 降温最明显, 同时近表层盐度明显增加 (最大可以达到 0.49), 而在 40 dbar 以下盐度平均下降约 0.10, 以上过程均能维持一周以上时间。热含量的变化在左右两侧也不相同, 左侧在台风过后 3-4 d 内热含量并没有下降的趋势, 随后出现的热含量下降也很短暂; 台风右侧上层海洋热含量呈明显的下降趋势, 至少能维持一周时间, 与风速增强所导致的海面向大气输送热量相应增加有关。研究表明, 新颖的 Argo 剖面浮标有望为人们进一步了解上层海洋对台风过程的响应, 甚至揭示上层海洋是如何影响台风生成及其移动路径等预测、预报台风的关键科学问题提供鲜为人知的第一手现场观测资料。

西太平洋暖池体积变化及暖水来源分析

吴晓芬^{1, 2} 许建平^{1, 2} 张启龙³ 刘增宏^{1, 2}

1. 国家海洋局第二海洋研究所

2. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室

3. 中国科学院海洋研究所, 中国科学院海洋环流与波动重点实验室

基于 2004 年 1 月-2010 年 12 月期间的 Argo 剖面资料, 分析了西太平洋暖池的三维结构以及暖池体积的变化特征, 并探讨了进出暖池的经、纬向流量变化及暖池暖水可能的维持机制。结果表明, 西太平洋暖池最深可达 120m, 且由表层向下, 面积逐渐缩小并向南倾斜, 以水团结构计算暖池体积约为 $1.86 \times 10^{15} \text{m}^3$; 暖池体积的年变化明显, 但年际信号较弱; 从多年平均的角度分析, 纬向上进入暖池的暖水流量约 52Sv, 主要集中在暖池上层, 且以东边界流入为主, 而流出暖水约 49Sv, 主要集中在暖池中下层, 且以西边界损耗为主; 经向上流进暖池的暖水约 28Sv, 主要以南边界和北边界的上层为主, 而从南、北边界流出暖池的暖水 (总量约 23Sv) 在数值上不相上下, 并计算得出, 经向和纬向上暖水在暖

池中的停留时间分别为 1.1a 和 1.5a，表明暖池中水体交换较为频繁；暖水进出暖池 1-12 个月的变化特征显示，暖池在纬向上以暖水损耗为主，而经向上则可以获取大量的暖水，但在 2007 年和 2010 年两次强 La Nina 事件中，经向和纬向各边界进出暖池的暖水净流量均异于其它年份。

海洋资料同化中的滤波器方法比较及非线性同化方法的探索

沈浙奇

国家海洋局第二海洋研究所

对于海洋资料同化来说，集合卡尔曼滤波 (EnKF) 是一种非常有效的方法，目前得到了广泛的研究和应用。EnKF 方法的本质是利用线性回归将资料中的信息引入模式系统，更新模式结果，产生分析，并进一步应用于模式。EnKF 使用一个前提的假定，即模式噪声和观测误差都是高斯分布的，对于非高斯的模式和观测，EnKF 只是一种近似方法，其效果会受到一定限制。我们比较了两种同化方法在强非线性的洛伦茨 (1963) 模式中的同化表现：EnKF 和重取样粒子滤波器 (SIR-PF)。比较的结果表明：如果集合成员数 (或者粒子数) 足够多，SIR-PF 的效果比 EnKF 好；而反过来则 EnKF 占优。其基本原因在于 SIR-PF 不使用高斯假设，能够同化非高斯的信息，但是同时需要使用大量的集合成员来防止滤波退化。基于比较的结论，我们引入了一种 EnKF 和 SIR-PF 的混合方法，称为集合卡尔曼粒子滤波器 (EnKPF)。该方法通过使用含有两个阶段的分析，来结合 EnKF 和 SIR-PF 两种方法的优势；使用较为有限集合成员数来同化预报集合和观测资料中的非高斯信息，从而产生优于 EnKF 的分析。EnKPF 的计算量和 EnKF 相比只增加了少许，在实际可以接受的范围内，意味着该方法有进一步引入大模式的潜力。

一种能有效提高 Argo 资料客观分析精度的方法

张春玲^{1,3} 许建平^{1,2} 鲍献文¹ 王振峰⁴

1. 国家海洋局第二海洋研究所

2. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室

3. 中国海洋大学海洋环境学院

4. 东海舰队司令部海洋水文气象中心

本文基于Argo资料最优插值客观分析实验,对目前被广泛应用的背景误差协方差矩阵经验公式进行了改进,发展了一种能有效提高Argo资料客观分析精度的相关尺度估计方法,使之能自动适应海洋水文要素梯度的变化,简称“梯度依赖相关尺度法”。利用高斯脉冲和空间能量谱分析方法,在理论上验证了梯度依赖相关尺度对Argo客观分析精度改进的有效性;并进行了一维模拟试验,结果证明:利用海洋水文要素梯度变化对相关尺度进行自动调整可以提高分析方案的适应能力,能够使目前普遍使用的资料客观分析方法在具有较大海洋梯度的海区充分吸收观测资料的短波信息;尝试应用于太平洋海区Argo温、盐度资料的客观分析系统中,得到了更接近真实海洋的分析结果。

多源卫星高度计海洋动力环境参数融合研究

徐圆, 杨劲松, 徐广珺, 陈小燕, 郑罡

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

卫星高度计是一种星载主动式微波探测器,它以海表面作为目标,向星下点发射雷达脉冲信号,得到信号的往返时间和回波波形,从而可以从中反演得到海平面高度、有效波高、后向散射系数、海面风速等信息,因此卫星高度计被广泛应用于海洋动力环境的探测。

卫星高度计探测海洋动力环境除了具有微波传感器的全天时全天候的优势以外,还具有沿轨分辨率明显高于其它传感器,精度也较高,并且能够提供同步的风场和浪场的数据,其缺点就是只能探测到星下点,且重复周期较长,至少为10天(目前还在轨的卫星高度计中,Jason-2为10天,Cryosat-2为30天,HY-2为14天,SARAL为35天),因此较大的限制了其数据的应用。为了弥补单一卫星高度计数据在时间和空间分辨率上存在的不足,多源卫星高度计数据融合成为解决这一问题的有效途径之一,并且同一时期多颗卫星同时运行也为这一途径的实现提供了可能,这对研究海浪理论、海况变化、海洋预报模型等有着重要意义。

本文先对GFO、T/P、Jason-1、Jason-2、Envisat、HY-2、Cryosat-2等6颗卫星高度计的海面风速和有效波高数据分别进行质量控制,去除陆地、冰上以及

其它不符合要求的数据，再与 NDBC 提供的浮标数据进行匹配和拟合，验证了各颗卫星高度计数据的有效性，得到校准系数，并进行了校准。最后对多颗卫星高度计在同一时间段的海面风速及有效波高数据进行融合，利用浮标数据和其它资料对融合结果进行验证，并对影响融合结果的因素进行了分析探讨。融合结果表明：（1）在融合之前有必要对各个卫星的数据进行质量控制和数据校准，以去除不可用的数据和保证不同源的数据的一致性；（2）参与融合的卫星数目至少需要 3 颗，数目越多则融合的结果越好；（3）比较不同融合算法得出的结果，得出了不同算法对融合结果并没有太大的影响。

利用 Argo 剖面资料评估海洋混合层

深度计算方法的适用性

李宏¹ 刘增宏^{2,3} 孙朝辉³

1. 浙江省水利河口研究院

2. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室

3. 国家海洋局第二海洋研究所

本文利用 Argo 资料评估了多种海洋混合层深度 (Mix Layer Depth, MLD) 计算方法的适用性。根据收集的太平洋海域 (120°E-290°E, 60°S-60°N) 2012 年 1~12 月期间获得的约 5 万条 Argo 剖面资料，选用密度参数，并分别利用阈值法 (Threshold Method, 以下简称 thld)、梯度法 (Gradient Method, grad)、几何模型法 (Geometric Model Method, GMM)、Holte 等在 2009 年提出的新算法 (简称 HOLT 方法)、最优线性拟合方法 (Optimal Linear Fit, OLF) 以及最大角度法 (Maximum Angle Method, MAM) 等 6 种方法，计算了太平洋海域混合层深度。结果表明，各种方法计算得到的太平洋海域混合层深度基本是可信的，但不同方法计算的结果存在一定差异。GMM 与 MAM 方法计算的混合层深度偏深，而 OLF 与 grad 方法计算的混合层深度则偏浅，thld 方法的结果相对适中。各种方法计算的混合层深度值从深至浅的顺序依次为 GMM、MAM、thld、HOLT 及 grad，以提供人们在采用不同方法计算混合层深度时参考。

南半球微波遥感 SST 与 Argo 浮标 NST 的异同分析

卢少磊¹, 许建平^{1,2}, 刘增宏^{1,2}

1. 国家海洋局第二海洋研究所

2. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室

利用 Argo 剖面浮标观测得到的近表层温度数据(NST),与两种卫星微波传感器(TMI 和 AMSR-E)反演的海表温度(SST)进行较为系统的对比分析。结果表明,在南半球海域 SST 与 NST 虽存在显著的线性关系,但两者之间的差异(ΔT)还是十分明显的。无论是 TMI 还是 AMSR-E 反演的 SST,与 Argo NST 相比, ΔT 均存在昼夜和季节变化: ΔT 夜间较白天大,冬季达到最大,而春季则是最小。此外, ΔT 还表现出沿纬线呈带状分布的特征。进一步研究表明,造成南半球海域 SST 与 NST 的差异主要由风速所致,且与海面流速和大气水汽含量也有一定的关系。为此,建议改进卫星遥感 SST 反演方法,缩小其与实测 NST 之间的差异,从而为南半球乃至全球海域多源 SST 融合提供更加可靠的统计学依据。

Data Assimilation and Observing System

Simulation Experiments

陈长胜

美国麻省大学

Argo 剖面浮标数据在业务化海洋预报系统中的应用

刘桂梅 李 云

国家海洋环境预报中心

Argo 资料在我国短期气候预测科研和业务中的应用

李清泉

国家气候中心

Argo 资料的客观分析与诊断应用研究

张韧

解放军理工大学

**Optimal Spectral Decomposition (OSD) for
Ocean Data Assimilation**

朱伯承

美国海军研究生院

**Effects of Interannual Salinity Variability on the Development of
ENSO Events Diagnosed from Argo**

郑飞

中国科学院大气物理研究所

**Parameter Estimation in an Intermediate Coupled Climate
Model with Biased Physics**

张学峰

国家海洋信息中心

**全球海洋热含量变化估计：
从基于 XBT 的观测系统到 Argo 系统**

成里京

中国科学院大气物理研究所

**Characteristics of Mesoscale Eddies off Philippines and their
effects on variations of the North Equatorial Current
Bifurcation Latitude**

周慧

中国科学院海洋研究所

北印度洋海域海浪预报背景误差特征分析以及统计学同化方法

在波浪预报中的应用

曹蕾

中国科学院海洋研究所

条件非线性最优扰动方法在南海冬季 西边界流最优观测中的应用

李毅能

中国科学院南海海洋研究所

基于 **Argo** 的台风中心海洋上层温度研究

朱炯

上海师范大学城市生态与环境研究中心

海洋声层析及其数据同化

郑红

浙江海洋学院

Argo 浮标技术研究进展

张少永

国家海洋技术中心

C-Argo 浮标研制情况报告

曾军财

中船重工七一〇研究