

# 国外几套再分析资料的对比与分析

邓小花<sup>1,2</sup> 翟盘茂<sup>3</sup> 袁春红<sup>1</sup>

(1 中国气象科学研究院, 2 国家海洋环境预报中心, 3 国家气候中心, 北京 100081)

**摘要** 针对目前最主要的 3 种再分析资料 NCEP、ECMWF、JMA, 从各家再分析中心所采用的同化方案、所用到的数据、质量控制方法及相关的偏差校正方法方面, 进行相关介绍和对比, 以便对再分析资料的特点有更为充分的了解, 对我国未来再分析工作的发展起到借鉴作用。通过对比发现, 各家再分析中心采用的同化方案主要为三维、四维变分方法和最优插值法。各家最主要的差别在于所选用的数据类型不同, 以及所采用模式在分辨率上的差异。此外, 还从经验出发简要给出了各类再分析资料在不同方面的优缺点, 从而为各类再分析资料的选择使用方面提供参考。简单陈述了国内再分析工作的进展, 并给出了提高我国再分析工作质量所需要关注和亟待解决的问题。

**关键词** 再分析资料 对比分析 NCEP ECMWF JMA

## 引言

在当前的气候及相关科学研究中, 如气候的年际变率、数值模拟等, 再分析资料已经成为一种最主要的资料来源。最初, 再分析计划只是美国气象中心气候数据同化系统的一个“副产品”。后因业务需求, 对全球数据同化系统的某些参数做了一些改变, 却导致了明显的“气候变化”。这些气候参数的骤变在一定程度上有可能掩盖真实的短期气候变化和年际气候变率的信号。而观测系统及一些观测手段的变更, 如新型卫星资料的引入等使得不同时期的资料种类和来源不同, 以及采用的同化系统各有不同, 很容易产生一些不是因为气候本身真实发生变化却又出现“气候变化”的现象。因此, 极有必要利用同一套再分析系统对以前的资料进行同化, 并延续下去。只有运用这样一套长时间内未发生变化的数据同化系统, 气候研究者才能通过相关对比, 来判断当前的气候是否确实异常。在这种情况下, 再分析计划应运而生<sup>[1]</sup>。

目前, 国际上主要的几家再分析中心有 NCEP、ECMWF、JMA、NASA/DAO 等。许多科学家对这些再分析资料的可信度进行了诸多分析, 得出了许多有用的结论。然而, 各家再分析资料都具有各自

的优缺点, 任何一种再分析资料在针对不同地区和时间段时的表现并不一致。如赵天保、符淙斌<sup>[2]</sup>就 ERA-40 与 NCEP-2 两种再分析资料各自与观测资料进行比较与分析后发现, ERA-40 可信度要高于 NCEP-2。而黄刚<sup>[3]</sup>则利用中国探空资料与这两种再分析资料研究后指出, 20 世纪 70 年代以前, 在研究东亚气候的年代际变化时, 应用 ERA-40 资料更好。70 年代以后, 对于我国内蒙古和华北地区的对流层位势高度和温度的描述上, NCEP/NCAR 资料则要好于 ERA-40。与这两家再分析计划相比, JRA-25 与 JCDAS 所制作的 6 h 全球总降水分布和数量在时间和空间上则是最好的。但由于 JRA-25 分辨率精度不足, 不适合于中尺度分析<sup>[4]</sup>。因此, 在选择应用再分析资料时, 应该对这些再分析资料各自的优缺点有充分的了解, 从而使得再分析资料在使用过程中能够充分发挥其优势。下面就从 NCEP、ECMWF、JMA 3 家再分析中心所使用的同化模式、数据等方面出发, 讨论它们之间的区别, 各自所表现出的优缺点。此外, 本文还结合中国开展再分析工作必须面对的问题进行了讨论。

## 1 NCEP/NCAR、ECMWF、JMA 再分析资料简介

NCEP 是 National Centers for Environmental

Prediction(国家环境预报中心)的简称,其包含两个子计划:NCEP-NCAR(Reanalysis-1)、NCEP-DOE AMIP-II(Reanalysis-2)。前者是 NCEP 与 NCAR(National Center for Atmospheric Research)共同合作的一个项目。该项目建立了一个全球大气领域 40 年数据的分析记录,目的在于为满足研究及气候监测的需要。此项计划由 NOAA 支持,其中,NCEP 负责再分析系统的设计,NCAR 主要负责数据的收集工作。国际上有很多组织对其提供了各种支持,如 UKMO、JMA、ECMWF、NASA/GLA、NOAA/ERL/CDC 等。与此相比,NCEP-DOE AMIP-II 采用了改进的同化系统,修正了 NCEP-NCAR 中的人为误差,并在土壤湿度、短波辐射通量几个方面做了较大的改进,被认为是一种较好的全球再分析资料。

ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts,欧洲中期天气预报中心)也是全球几家最主要的再分析中心之一。ECMWF 再分析中心所包括的子计划有:ERA-15、ERA-40、ERA-Interim 以及以后的 ERA-70。另外,针对 20 世纪 90 年代以来数据较丰富的时期,ECMWF 还进行了一个“额外”的再分析计划。此计划采用四维变分同化方案,并进行了 4D-Var 12 h、4D-Var 6 h 与 ERA-40 中的 3D-Var 6 h 的对比试验,被称为 ERA-Interim 的预备版本。此试验所采用的模式与 ERA-40 一样,为 T159L60,但偏差校正方法使用的是一个新的变分偏差校正(VarBC)方案。试验结果表明:4D-Var 12 h 在水循环、降水-蒸发的差值以及平流层的空气龄等方面都比 ERA-40 中的结果更接

近实际。

JMA(Japan Meteorological Agency,日本气象厅)所实施的再分析计划是 JRA-25 以及从 2006 年开始实施的 JCDAS(JMA Climate Data Assimilation System)计划。二者所使用的数据同化系统相同。JRA-25 再分析计划是 JMA 与 CRIEPI(Central Research Institute of Electric Power Industry)合作进行的一项包含 25 年再分析资料的再分析计划。JRA-25 同时还是全球首家对如 TCR(Wind profile retrievals surrounding tropical cyclones)、SSM/I 的雪盖资料、数字化的中国雪深数据、再加工得到的静止地球卫星 AMV 数据等进行再分析工作的再分析中心。在近地表的参考高度上,JRA-25 做了一系列的分析,大气再分析采用的是三维变分方案,而对地表再分析则采用二维最优插值方案<sup>[4]</sup>。

由于各家再分析中心实施的子计划中使用的数据、覆盖时间段、同化方案、质量控制方法和偏差校正都有很大的差别,下面就从这些方面进行较为具体的对比。

## 2 同化方案的对比

表 1 列出了各家再分析中心进行再分析时所用到的数据时段、同化方案。从表中可看出:ERA-15 使用的是最优插值方法,因而必须进行线性近似;而其他几种再分析工作使用的都是变分同化方案。因为在变分框架内,可使用复杂的观测算子,所以对与模式变量非直接或非线性相关的观测量的同化更为简易。

表 1 各家再分析中心所实施子计划中同化方案对比

	ERA-15 (1979~1993 年)	ERA-40 (1957~2002 年)	ERA-Interim (1989 年始)	NCEP/NCAR (1949 年~至今)	JRA-25 (1979~2004 年)
分辨率	T106L31(模式的最顶层离地表 32 km 左右,达 10 hPa)	T159L60(模式的最顶层离地表 65 km 左右,达 0.1 hPa)	T255L91(模式的最顶层离地表 81 km 左右,达 0.01 hPa)	T62L28(模式的最顶层达 3 hPa)	T106L40(模式的最顶层达 0.4 hPa)
同化方案	3D-OI(最优插值)	3D-Var FGAT 臭氧的分析	4D-Var 12 h 新的湿度分析对 SSMI 辐射数据是进行直接同化	谱统计插值 SSI(一种 3D-Var)	地表变量中的温度、风、相对湿度等用 2D-OI 同化;对大气及地表气压而言,用 3D-Var

注:由于 JCDAS 的各个方面与 JRA-25 基本一致,只是时间段上是从 2006 年开始,所以对其的相关介绍略。

在最优插值方法中,格点上的分析值为订正值加上初估值。其中,订正值由周围各测站的观测值与初估值之间的偏差加权所得;而初估值形成的方法较多,主要有观测值内插、模式预报值或对观测值运用逐次订正法形成等。考虑到计算量方面的问题,一般只选择有限几何区域内的部分测站进行计算。具体的测站选择方法包括点态选择、盒式选择等。

最优插值法的优点在于其运用简单。若能够对测站选择做出合适的假设,则最优插值法的计算量相对较小,缺点为若使用的是不同的观测值,在分析场则容易生成寄生噪声,并且大尺度分析与小尺度分析的一致性较难得到保证。

由表 1 可知,变分法已成为数据同化的主流。与纯粹的统计插值方法相比,变分法更能够体现复杂的非线性约束关系。文中所涉及的 4D-Var 12 h、4D-Var 6 h、3D-Var 6 h 等变分法采用的背景场都是模式的预报值(即 6 h 或 12 h 预报),包含了同化时刻之前的观测信息,因而分析结果也更具连续性。如潘宁<sup>[5]</sup>等所陈述的,变分数据同化可抽象为最优控制论中的泛函极小化问题,即通过对构造公式(1)求其函数最小值。这涉及到 3 个方面:代表大气状态的模式变量选取,观测标量和最小化算法。其中,代表大气状态的模式变量即为式中的控制变量向量  $\mathbf{x}$ ,需考虑观测标量数据的特点进行选取。可以看出,这个价值函数表征的是模式的分析值  $\mathbf{x}$  与模式背景场  $\mathbf{x}^b$  和观测资料  $\mathbf{y}^o$  的拟合。若拟合得好,则这两部分的差值  $J^b(\mathbf{x})$  及  $J^o(\mathbf{x})$  都将很小,价值函数  $J(\mathbf{x})$  也就得到了最小化。在最小化算法方面,一般通过求价值函数的梯度来求解,当函数的梯度为零时,价值函数就达到了极小值。变分方法就是要求得这样一个值,它能使价值函数达到极小值。而这个值也就是模式的分析值  $\mathbf{x}$ ,即用来作为模式的“最终”初始值。一维、二维、三维变分即为在各自的维数空间里头寻求拟和模式初始时刻有效观测资料的最佳模式初值分析场,因此有可能需要观测资料做相应的时间和空间插值。四维的变分则与数值模式预报同时进行,所形成的模式初值能够使模式预报轨迹与同化时间窗内的有效观测资料最佳拟合。

$$J(\mathbf{x}) = J^b(\mathbf{x}) + J^o(\mathbf{x}) + J^c$$

$$J^b(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T B^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)$$

$$J^o(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}[\mathbf{y}^o - H(\mathbf{x})]^T R^{-1}[\mathbf{y}^o - H(\mathbf{x})] \quad (1)$$

### 3 所用数据对比

各家再分析中心所用到的数据来自于不同的观测手段和不同的途径。其中,卫星、雷达等非常规观测资料已经达到气象观测资料总量的 80% 左右。因此,对卫星、雷达资料的同化占据了一个相当重要的地位。

目前,美国 NOAA 系列极轨卫星星载的 TIROS 业务垂直探测器(TOVS)数据及 NOAA-15、16 携带的先进的 TIROS 垂直探测器(ATOVS)数据是同化中用得比较多的两种卫星数据。TOVS 具有大气垂直探测能力,所探测的数据统称为 TOVS 资料。而一般采用较多的是 RTOVS 资料,即修正过的 TOVS 资料。ATOVS 探测器中包括先进的微波探测装置(AMSU),其中的 AMSU-A/AMSU-B 分别可以对大气的垂直温度和湿度进行探测。与 TOVS 相比,ATOVS 的优点在于可直接探测晴空及云天。

表 2 为各家再分析中心所采用的各种资料。从表中可以看出,卫星数据是其中应用较广的一类数据。

对卫星资料的同化方案目前主要包括反演同化与直接同化。反演同化首先利用卫星的辐射率探测资料以确定温度和湿度等大气参数的垂直廓线,之后再对其进行同化。耦合法(交互反演)是其中一种重要的反演同化方案,即将卫星辐射率转换为模式的参数过程与数值模式的时间积分过程相结合。卫星资料反演以数值模式预报场为初估廓线,反演结果与预估值的偏差作为同化量插值回模式格点,再以经过偏差订正的模式预报场为模式初始值开始模式的预报积分,然后模式预报结果又作为下一次的反演初估值,如此往复循环。

直接同化应用了观测算子中的正演模式,用变分法等数据同化方案对原始的卫星辐射率探测资料进行同化。研究表明,直接同化对数值模式能够产生一致的正影响。

表 2 各家再分析中心所实施子计划中使用的数据

采用的数据	
ERA-15	MARS 数据,CCR 数据,NESDIS 1-b 数据,通过一维变分恢复的 TOVS 晴空辐射率数据(HIRS/MSU)。ECMWF 业务上的主要的常规观测数据,还有 COADS,FGGE,ALPEX 等资料进行补充;SST,SIC 数据库
ERA-40	对卫星资料使用得更多(如 VTPR,TOVS,SSMI,ATOVS 等),常规观测资料的应用也加大,再加工过的气象卫星的风资料,CSR 数据,改进的 SST/ICE 数据库
ERA-Interim	ERA-40 及 ECMWF 业务上用的观测数据,卫星 level-1c 辐射数据,无线电探空仪的数据,再加工过的气象卫星的风资料,高度计波高度数据,静止卫星的晴空辐射数据,对受降水影响的 SSM/I 辐射数据进行一维修复
NCEP/NCAR	全球无线电探空仪数据、表面航海数据、航行器数据、地表天气数据、卫星探测数据、SSM/I 表层风速数据、云导风数据(SSM/I 的风速数据在 Reanalysis-1 未使用,在 Reanalysis-2 中运用了 SSM/I 风速数据以及总的可降水量等参数)
JRA-25	ERA-40 中的观测数据、热带气旋周围的风数据(TCR)、数字化的中国雪深数据;SSM/I PW、TOVS 以及 ATOVS 数据、修复的 GMS-AMV、SSM/I 雪覆盖;逐日的臭氧资料、逐日的 COBE SST 和海冰数据等

#### 4 质量控制方法及相关偏差校正

数据进行同化之前以及同化结果输出时,都需进行质量控制。以 NCEP/NCAR 中的一些质量控制方法<sup>[1]</sup>为例加以说明。

##### 4.1 进入同化系统之前的质量控制

在实际再分析模块执行之前的数据预处理工作中,可通过人工方法发现并改正一些有明显错误的数,如数据的日期出现错误、卫星资料的经纬度有误等。另外,自动检测系统也很有用,这些系统通常建立在每月计算一次的三维统计值的气候检测上。在再分析的前导试验中,这些统计值的时空特征可用于发现试验中的问题。

无线电探空仪数据是再分析资料的一项重要来源。对其使用的综合质量控制方法包括对若干次独立检测进行残差计算,再使用 DMA(Decision Making Algorithm)方法对数据进行取舍或订正。针对其中的高度和温度资料,所包含的检测还有流体静力学检测、6 h 预报的增量检测、水平及垂直插值检测、基线检测与时间插值检测等。其中,基线检测是用来确定测站位置的正确与否;而时间插值检测则是将观测时刻的值与 12 h 以前或以后的相应值进行对照,以发现是否存在问题。这种检测在数据的预处理阶段极为有用。

针对不同的数据,所采取的质量控制方法也不尽相同,但所有的数据都要经过最优插值方法的质量控制(OIQC)。这种质量控制是对数据进行同化之前的最终筛选,它不仅可以检测出由于仪器本身、人为原因所造成的错误数据,还能检测出一些本身正确,但是获得此数据的测量设备所表现的空间和时间尺度在分析预报系统中无法适当解决的数据。

本着能够最大限度地利用有用信息的前提,虽然对数据进行了各种方法的筛选,但仍必须在确认此数据存在问题后才舍弃。

##### 4.2 再分析结果输出后的质量控制

在每个月的再分析工作结束时,将对每隔 6 h 生成一次的位势高度、纬向风、经向风,温度、湿度等变量的时间序列进行检测。

为检测气压的时间序列,运用了基于 NCEP 的 GDAS(Global Data Assimilation System)中 1986~1993 年的初始气候值。针对每个三维格点和每个月,还要进行一些统计检测,如场的异常值检测、识别单个的格点异常值。这些检测在识别无线电探空仪数据和卫星风数据的无效数据时很重要。另外,也用到时间插值检测。

表 3 和表 4 分别是各家分析中心使用的质量控制方法和偏差校正方法。

表 3 各家再分析中心所实施的子计划中采用的质量控制方法

质量控制方法	
ERA-15	黑名单(从观测资料的诊断学自身出发,或者结合对监测结果的分析,一些不符合需要的观测资料将被人工列入后面几个月的黑名单中)
ERA-40	黑名单
ERA-Interim	在 JRA-25 基础上更新的黑名单方法
NCEP/NCAR	无线电探空仪数据:时间插值检验、对高度值和温度值的置信度校正; 卫星数据:对每个格点内的数据的平均值、变量等都要与气候值进行对比;其他数据:最优插值法质量控制; 在预处理工作中,将卫星数据等与气候值进行对比,通过与气候值的标准偏差来表征观测是否异常;综合质量控制和基线检测;在再分析结果输出时,需进行气候质量控制测试;对于边界流场的分析值或气候值,如海面温度,雪盖,海冰等可进行较简单的检测
JRA-25	对常规数据及卫星风资料采用黑名单方法,即极不规则数据的观测站和浮标观测站采用黑名单方法; 针对 TOVS 和 ATOVS 数据,初步的质量检测即可将某些数据列入黑名单; 对所有的数据采用气候值检查;对一些移动观测站的数据采用跟踪检查,另外还有一些动态的质量控制和群控制方法; 对无线电探空仪的温度、风等数据采用一致性检验的方法

表 4 各家再分析中心所实施的子计划中进行的偏差校正

偏差校正	
ERA-15	CCR(Cloud Cleared Radiances)的偏差订正; 无线电探空仪的高度偏差订正
ERA-40	对 1980 年以来的无线电探空仪所测的温度数据的偏差校正; VTPR、TOVS、SSMI、ATOVS 的辐射率数据偏差校正; ERS 散射仪的风数据的偏差校正
ERA-Interim	对卫星数据 level-1c 辐射资料采用的是自适应偏差校正; 对无线电探空仪数据进行均一化和偏差校正处理(建立在 ERA-40 基础上);对 SHIP/SYNOP 的表面气压偏差进行订正
NCEP/NCAR	最优化插值所带有的偏差校正方法
JRA-25	针对 TOVS 数据,利用观测值与最优解之间的平均距平用以校正; 针对无线电探空仪所测温度,校正方案包括:无订正、只订正辐射偏差、订正系统偏差及辐射偏差

## 5 各种再分析资料的一些优缺点

### 5.1 ECMWF 再分析数据的优缺点

ERA-40 是第 1 次在较长时间段内对卫星辐射率数据进行同化的再分析计划。与 ERA-15 相比,其自适应的偏差校正优势更为明显,并从中能发现更真实的气候变化信号。由于使用了三维变分同化方案,ERA-40 再分析结果在天气尺度方面的时间连贯性比 ERA-15 的要好;且因为时间尺度较长,观测系统的变更更易导致分析结果的质量随之改变。如各种类型卫星数据的不断补充,使得再分析的结果呈阶梯式的上升。

将 ERA-15 与 ERA-40 进行对照可以发现:后者纠正了前者在地面或近地层温度的严重的冷偏

差,并且通过修正的地形描述,使得后者在地面气压和其他近地表参数方面有了很大的改进。

### 5.2 NCEP 再分析数据的优缺点

目前,很多科学家对 NCEP 资料的各种数据在中国的具体应用进行了研究分析,主要包括一些要素在不同时间段、不同的区域所表现出的可信度方面,以及与观测资料进行对比分析后普遍存在的问题等,并获得了一些有用的结论。

徐影、丁一汇<sup>[6]</sup>等对 NCEP 资料在中国气候变化研究中的可信度进行了相关分析,指出 NCEP 资料针对气候的长期趋势变化研究时不确定性比较大;而他们通过对温度和气压的比较分析则发现温度的可靠性比气压好;NCEP 资料在我国东部和低纬度地区的可信度比西部和高纬度地区的要好;

1979 年之后的 NCEP 资料的可信度较之前有所提高。

施晓晖、徐祥德<sup>[7]</sup>等则通过 NCEP/NCAR 再分析风速、表面气温距平在中国的相关应用研究发现, NCEP 再分析风速距平在春、夏、秋季具有一定的可信度, 但冬季的可信度较差; 表面气温距平则是冬季的可信度最好, 夏季的可信度较差。

赵天保、艾丽坤<sup>[8]</sup>等人对 NCEP 资料和观测资料进行了对比分析后发现, NCEP 再分析资料的月平均温度较观测值普遍偏低, 而月降水总量较观测值则偏高; 从季节变化而言, NCEP 再分析值在夏季和年平均模拟得较好, 冬季较差。

苏志侠、吕世华<sup>[9]</sup>等选择 NCEP 中 13 年(1982~1994 年)月平均值, 在中国尤其是青藏高原及其附近地区作了较为全面的分析检验。其结果认为在温、压、风、湿、降水等分布形式上, NCEP 再分析资料与气候分析基本相似; 但 1 月山区及复杂地形区, 再分析资料的降水中心值比气候分析的要大得多。

### 5.3 JRA-25 与 JCDAS 数据的优缺点

在降水方面, JRA-25 与 JCDAS 具有较多的优越性。与其他的再分析计划相比, 它所制作的 6 h 全球总降水分布和数量在时间和空间上是最好的。在与东亚夏季风相关的降水方面, JRA-25 能够较合理地重现年际变率, 但对降水的量级略有高估; 由于应用了修复后的热带气旋周围的风剖面数据, JRA-25 的再分析资料能更真实地表现热带气旋。由于在 JRA-25 模式中使用了最新的边界层参数方案, 使得其对副热带海洋的模拟变得更好, 对副热带地区的加利福尼亚, 秘鲁等大陆西海岸的低层云的再现也较为成功。在应用了数字化的中国 SYNOP 的雪深资料和从 SSM/I 得到的雪覆盖数据后, 对雪的分析方面也表现得更好。

在平流层的温度和风这两方面, JRA-25 的质量也很高。但在湿度方面, 可能是由于平流层的水汽短缺, 还有所用到的谱对流方案等因素, 导致了 JRA-25 的结果与观测数据相比显得较干<sup>[2]</sup>。

由于时间和计算机资源等原因, JRA-25 经由两个阶段才得以完成。这两个阶段分别是 1979~1990 年和 1991~2004 年。因此, 气温、位势高度等一些变量在这两阶段存在着不连续性。

由于 GMS-AMV 数据质量不高, 以及 TCR 数据的问题, JRA-25 进行了重新计算, 因此数据存在

着不连贯性。并且, 由于地表参数中的地表气压选用 2D-OI 进行同化, 而其他参数则都采用三维变分同化方案进行计算, 因此在参数之间也存在着不一致性; 另外, 由于 JRA-25 的水平分辨率只有 120 km, 不太适合于中尺度的分析; 与其他的再分析相比, JRA-25 没有经过从没有卫星数据到有卫星数据的观测系统变化, 但卫星数据本身的变化仍导致了再分析结果一定程度上的不连续。如 SSM/I PW 数据的加入, ATOVS 取代 TOVS 数据所造成的平流层温度的变化等。

### 5.4 国外 3 种再分析数据之间的相互对比

针对中国区域, 赵天保、符淙斌<sup>[2]</sup>就 ERA-40 与 NCEP-2 两种再分析资料各自与观测资料进行比较与分析后发现, 两者基本上都能反映中国区域的温度场和降水场的时空分布; 在地理区域上, 东部的可信度高于西部; 温度场的可信度高于降水场; ERA-40 可信度要高于 NCEP-2。

关于 NCEP/NCAR 和 ERA-40 之间的孰优孰劣, 黄刚<sup>[3]</sup>利用中国探空资料与这两种再分析资料研究后指出, 20 世纪 70 年代以前, NCEP/NCAR 资料存在着很明显的虚假年代际变化趋势。相对而言, 在研究东亚气候的年代际变化时, 应用 ERA-40 资料更好。70 年代以后, 对于我国内蒙古和华北地区的对流层位势高度和温度的描述上, NCEP/NCAR 资料则要好于 ERA-40。

通过与高层无线电探空测风仪的观测数据进行的对比, JRA-25 在 300 hPa 以上的纬向风方面与 ERA-40 的结果差不多, 但比 NCEP/NCAR R1 和 R2 好; 而径向风则比 ERA-40 要差一些。在温度方面, JRA-25 在 100 hPa 以上的结果有负向的偏差。

与其他几个再分析计划相比, JRA-25 与 JCDAS 所制作的 6 h 全球总降水分布和数量在时间和空间上表现最好, 尤其在 1987 年从 SSM/I 辐射数据中获得可降水的数据之后, 其全球平均降水的表现更为稳定。另外, 在存在 CRU 格栅数据的地区, 在长期偏暖的趋势上, JRA-25 和 ERA-40 是一致的, 而 NCEP/NCAR R1 则略偏小; 若无 CRU 格栅数据, 尽管空间分布类似, 但 JRA-25 的变暖趋势比 ERA-40 偏小。

由此可知, 上面所述的 3 种再分析资料在不同的时间段或不同的要素场上各有其优缺点, 在使用时要针对具体情况, 选择合适的再分析资料, 以充分

发挥不同再分析资料在各自优势领域内的作用。其中,两方面的问题尤其引起了大家的关注:首先,即前面所提及的需对资料变分同化方案进行提高,使得更多的卫星、雷达资料得以同化,从而提高数值预报的初值场质量;其次,在进行观测数据的处理时,需考虑数据的不均一性问题。

翟盘茂<sup>[10~12]</sup>等研究发现,由于无线电探空仪传感器(由 RZ-049 模型改为 GZZ-2 模型)、太阳辐射校正方法的改变及观测时间的改变,中国和美国的无线电探空仪等常规观测所得的温度、湿度数据都存在一定程度上的不均一性问题。这直接影响到了观测资料的质量。例如,从 1959 年开始,针对 300 hPa 以上高度的日间探测温度,我国开始使用一种太阳-辐射方法对其进行校正,因此日间数据序列存在较大程度的不均一性问题。而日间与夜间数据的时间序列之间有着高度的相关性,因而后者可以作为参考来检测甚至调整日间数据的不均一性。针对美国的湿度数据,由于仪器的改变和数据的截尾,导致其数据的不均一。例如,当相对湿度低于 20% 时,所报告的数据则为 19%;当温度低于 -40 °C 则称为截尾。而这种情况与仪器的改变相结合,就使得对数据的偏差检测和调整更为困难。相关试验结果表明,一种改进过的 E-P 方法(Easterling and Peterson method)适合于这种数据时间序列的检验和调整。否则,这些明显的偏差如果在再分析中不加以有效订正,会对再分析产品在气候变化中的应用大打折扣。事实上,国际上最新的再分析计划中也都关注了这些问题。

针对上述所提的优缺点,各家再分析中心都在技术方面进行了积极的改进,包括同化技术改进、分辨率提高、模拟顶高更高、应用资料更加丰富、对资料质量控制和非均一性问题的考虑越来越细致等。ERA-70(ERA-Extended)是 ECMWF 再分析中心将于 2010 年前后开始实施的计划。该计划将针对 1940 年以后的数据,增加了新的观测数据,并使用更为先进的同化方案进行数据同化。这样能够使得在较弱约束条件下的 4D-Var 系统中,数据同化的时间窗得以延长,从而提高可用观测信息的利用率。另外,在观测和模式偏差方面,也将采用新的办法。由于 JRA-25 的再分析工作针对的是 1979~2004 年的数据,因而对气候变化的综合分析以及全球变暖等而言不够充分,因此 JMA 即将实施一项新的

再分析计划——JRA-50。此计划将覆盖从 1958~2012 年的数据,从而弥补了 JRA-25 在数据时间段方面的不足。JRA-50 所使用的模式分辨率也将提高到 TL319L60,模式顶高达到 0.1 hPa,采用 4D-Var 数据同化系统,同时所使用的数据类型也将大大增加。

## 6 结论

通过对 NCEP、ECMWF、JMA 等几家再分析中心各自所使用的同化方案、应用到的数据以及所采取的质量控制方法和偏差校正方面的对比,可以发现:

(1)各家再分析使用的都是变分同化方案:包括三维变分、四维变分以及最优插值方法等。

(2)所选用的模式水平分辨率和垂直分辨率差别较大,有些再分析资料,如 JMA 再分析资料,由于其水平分辨率不够,不适合于中尺度的分析。

(3)所使用的数据类型差别较大,同时各家也都拥有一些别家可能没有的数据。

(4)从质量控制方法和偏差校正方面来看,各家基本上都应用了黑名单的质量控制方法,除此之外,NCEP/NCAR 与 JRA-25 还应用了其他多方面的质量控制检测。

综合来看,各家再分析结果的优缺点主要表现在:

(1)JMA 所制作的 6 h 全球总降水分布和数量在时间和空间上是最好的,尤其 1987 年从 SSM/I 辐射数据中获得可降水的数据之后,其全球平均降水表现最为稳定。

(2)在平流层温度和风两方面,JRA-25 与观测数据相比也很不错。但由于各方面的原因,数据存在着一定的不连贯性,并且由于其水平分辨率不够,不太适合中尺度的分析。

(3)NCEP 资料在用于气候长期趋势变化研究时,不确定性比较大。对比其温度场、气压场以及降水场的可信度,温度场的可信度最高;NCEP 再分析第 2 阶段的结果优于第 1 阶段。

(4)针对中国区域,NCEP 与 ERA-40 两者在不同的时间段,都有其各自的优缺点。

我国的再分析工作,一方面要提高我国气象资料同化技术水平;另外一方面要对长序列的资料,特别是探空和卫星资料的时空一致性问题高度关注,

努力克服原始资料的不均一性问题。

## 参考文献

- [1] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40 years reanalysis project [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, 77(3): 437-471.
- [2] 赵天保, 符淙斌. 中国区域 ERA-40、NCEP-2 再分析资料与观测资料的初步比较与分析[J]. *气候与环境研究*, 2006, 11(1): 14-32.
- [3] 黄刚. NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化[J]. *气候与环境研究*, 2006, 13(3): 310-320.
- [4] Onogi K, Tsutsui J, Koide H, et al. The JRA-25 Reanalysis [J]. *J Meter Soc*, 2007, 85(3): 369-432.
- [5] 潘宁, 董超华, 张文建, 等. 变分同化及卫星资料同化[J]. *气象科技*, 2001, 29(2): 20-36.
- [6] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析[J]. *应用气象学报*, 2001, 12(3): 337-347.
- [7] 施晓晖, 徐祥德, 谢立安. NCEP/NCAR 再分析风速、表面气温距平在中国区域气候变化研究中的可信度分析[J]. *气象学报*, 2006, 64(6): 709-722.
- [8] 赵天保, 艾丽坤, 冯锦明. NCEP 再分析资料和中国站点观测资料的分析与比较[J]. *气候与环境研究*, 2004, 9(2): 278-294.
- [9] 苏志侠, 吕世华, 罗四维. 美国 NCEP/NCAR 全球再分析资料及其初步分析[J]. *高原气象*, 1995, 18(2): 209-218.
- [10] 翟盘茂. 中国历史探空资料中的一些过失误差及偏差问题[J]. *气象学报*, 1997, 55(5): 563-572.
- [11] Zhai P, Eskridge R E. Analyses of inhomogeneities in radiosonde temperature and humidity time series [J]. *Journal of Climate*, 1996, 9: 884-894.
- [12] Zhai P, Eskridge R E. Atmospheric water vapor over China [J]. *Journal of Climate*, 1997, 10: 2643-2652.

# Comparative Analysis of NCEP/NCAR, ECMWF and JMA Reanalysis

Deng Xiaohua<sup>1,2</sup> Zhai Panmao<sup>3</sup> Yuan Chunhong<sup>1</sup>

(1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2 National Marine Environmental Forecasting Center,  
3 National Climate Center, Beijing 100081)

**Abstract:** An introduction of the main reanalysis data of NCEP, ECMWF, JMA and the preliminary comparison among them are given from the following aspects: (1) assimilation systems, including the assimilation module and method; (2) the data used in the reanalysis; and (3) the methods of quality control and bias correction. The main assimilation methods of all reanalysis datasets include the 3D variational method, 4D variational method, and optimum interpolation. The dominating differences of these reanalysis datasets are data types and the resolution of modules. In addition, the advantages and deficiencies of these reanalysis datasets are given by empirical analysis. It is helpful for selecting the correct reanalysis dataset. The advances in reanalysis in China are introduced simply and some problems on the improvement of the reanalysis in China are discussed.

**Key words:** reanalysis data, comparative analysis, NCEP, ECMWF, JMA