

近十年来国家气象中心业务客观分析技术介绍

屠伟铭

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

文章介绍了1980年以来国家气象中心客观分析进展情况,及前后用于业务的3个客观分析方案,并进行了比较.文章认为,近十年来国家气象中心业务客观分析取得了令人满意的进展,为国家气象中心数值预报系统建立和业务化作出了应有的贡献.分析结果还提供给各地气象台站业务和科研使用.

关键词:客观分析;技术方案;数值预报系统.

1 引 言

1978年国家气象中心引进了两台M-160和一台M-170计算机,为气象通信和开展数值天气预报创造了有利的物质条件.

为了尽快地实现数值天气预报业务,从上海气象局研究所数值预报组引进了第一个客观分析方案^[1],于1980年初实现了“A”数值天气分析业务系统,分析结果提供给三层原始方程模式使用,同年7月1日开始向全国发布传真.

1980年末,采用Cressman的逐步订正法^[2]的客观分析方案^[3],于1982年2月16日投入业务运行,分析结果提供给北半球五层原始方程预报模式^[4]和有限区域五层原始方程细网格预报模式^[5,6]使用,即目前仍在运行的短期数值预报业务“B”系统,由它代替了“A”系统的业务.

1984年末,开发了最优插值的客观分析方案^[7].另外,1985年国家气象中心装备了M-360计算机,使T42客观分析方案能在M-360计算机上进行调试.在1989年9月16日此方案加入到中期数值天气预报同化系统中进行准业务运行,分析结果提供给T42L9中期数值天气预报谱模式使用.1990年上半年国家气象中心装备了Cyber-962和VAX-6320等大型计算机,1991年又装备了Cyber-992计算机,从而大大增强了计算机能力.在1991年9月12日建立了每天4次的全球资料分析同化系统和全球中期数值天气预报业务系统并实现了业务化.

2 业务客观分析方案简介

2.1 “A”系统客观分析方案

为了充分利用当前的资料,采用多项式插值法产生初估场.对初估场的加权订正是在观测基础上进行的,在订正时不仅考虑高度观测,同时应用地转关系考虑风观测对高度的订正作用,还利用多项式插值所得的网格点高度值.

根据 1980 年 2 月至 5 月的验证统计,其误差如表 1:

表 1 A 系统在各等压面(hPa)上客观分析的平均均方根误差(单位:dgpm)

月份	850	700	500	300	200	100
二月	0.926	1.245	1.631	2.454	2.851	3.488
三月	0.948	1.049	1.465	2.444	2.855	3.410
四月	0.812	1.076	1.540	2.477	2.854	3.338
五月	0.884	1.024	1.424	2.369	2.794	3.438
平均	0.893	1.099	1.515	2.436	2.839	3.419

原则上,用这种技术能够计算高度和风,可是在本方案中仅分析位势高度,允许风的观测通过地转近似的使用来影响位势高度的分析,所以,使用的第一个业务客观分析方法,着重考虑了主观分析中的 3 个重要原则之一,即严守动力约束的原则.但是水平空间的连贯性需依赖于资料密度、资料的连贯性和分析格点的分辨率.垂直方向上的分析保持相互的独立性.另外,没有考虑先前大气的历史状况(时间连续的原则).总之,此方法在资料稠密地区得到的分析值在空间连贯性方面是合理的,但在资料稀少地区较差.

2.2 “B”系统客观分析方案

初估场的质量对分析结果往往影响很大.地面温度、地面气压场和高空位势场是用预报场和气候值的加权线性组合作为初估场;地面、850、700 和 500hPa 温度露点差的初估场是由分析值乘上经验系数得到;高空风的初估场利用高度场分析计算地转风,对于地面风的初估场,在计算时考虑了摩擦作用.

将上述的初估场内插到观测位置,被观测值相减得到观测偏差值 D ,在一定影响范围内,加权 W 插值到网格点上,得到各网格点的订正值:

$$C = \frac{\sum_i W_i D_i}{\sum_i W_i} \quad (1)$$

并与初估场相加得到第 1 次分析值,然后将它作为下一次分析的初估场.

当进行第 2 次计算时,除了考虑观测资料外,还考虑分析格点周围的 8 个格点的订正值作为资料使用.

“B”方案采用 4 次扫描订正,影响半径分别为 4.5、3.5、2.5 和 1.5 格距.在每一次扫

插中,决定格点的分析值要进行上述两次计算。

当 4 次扫描结束后,可先后得到地面气压、高度和温度露点差及 u 、 v 风分量的分析值。如果把分析得到的风,利用地转风关系对气压和高度进行再次订正,对于精度低的分析值,由于考虑了风的影响,有适当的改进,所以还要对气压和高度进行再分析。

首先取各分析格点半径 2.5 格距内气压或高度值,求出与其密度有关的权重:

$$Q_i = \sum_j \frac{1}{1 + 2r_j^2} \quad (2)$$

另外,还用到周围 25 个格点的资料,权重 R_j 可作为资料密度 Q_j 和分析格点间距离 r_j 的函数:

$$R_j = \frac{Q_j}{1 + \alpha Q_0 r_j^2} \quad (3)$$

式中 α 取 16,下标 0 为分析格点, j 为周围格点, i 为观测资料。

根据地转风关系可得高度或气压的估值 D_j 。从而由周围格点的估值的加权平均,得到分析格点的订正值:

$$D_0 = \frac{\sum_j R_j D_j}{\sum_j R_j} \quad (4)$$

表 2 “B”系统客观分析检验(对探空资料)
(1989 年 11 月 29 日至 1989 年 12 月 5 日)

层次	高度(gpm)	
	平均误差	均方根误差
500hPa	5.5	23.3
850hPa	-1.8	14.9

表 2 给出了 1989 年 11 月 29 日至 1989 年 12 月 5 日“B”系统客观分析的检验情况,从 500hPa 和 850hPa 两个层次的北半球高度场的统计检验的平均误差和均方根误差可见,分析结果是较好的。

“B”系统客观分析方案正如“A”系统一样,允许风的信息通过质量场和运动场之间的地转

近似的假定影响位势高度的分析。在业务使用中,高度分析是二维的,并使用 24 小时预报高度场作为初估场。所以,虽然分析方法本身是二维的,但连续的应用和垂直检查对垂直一致的结构产生了很强的影响。另外,在减小扫描半径时,对离散的观测样本应用权重函数将导致有害的分析,这就需要使用过滤来保证空间连贯性。在分析中,预报值用作初估场体现了时间的连续,对空间的连贯性也有较大的贡献。内插方法本身较稳定的特性同样增强了空间的连贯性。

另外,由于使用质量场和运动场之间的地转近似的假定,所以在一定程度上,高度分析有效地反映了风场,而风场的分析反映了高度的信息。因此,在一定程度上遵守了动力约束的原则。

2.3 T42 最优插值客观分析方案

用 A 表示任一标量,用 E 表示它的估值均方根误差,用上标 i 、 p 、 o 分别表示插值、预报值和观测值。基本插值方程为:

$$\frac{A_k^i - A_k^f}{E_k^f} = \sum_{n=1}^N W_{kn} \frac{A_n^o - A_n^f}{E_n^f} \quad (5)$$

其中下标 k 代表分析点及所要进行分析的变量,而下标 $n = 1, N$ 列出了被选中参加点 k 变量分析的所有观测资料的点和变量.

利用期望分析误差最小的方法来确定每个观测资料的权重. 最优权重向量就是使归一化内插误差方差的期望值达到最小,从而我们得到最优权重的一组线性方程组:

$$W_k = M^{-1}P_k \quad (6)$$

相应于这些权重的内插误差方差 $\epsilon_k^2 (= E_k^i/E_k^f)$ 的最小值为:

$$\epsilon_k^2 = 1 - W_k^T P_k \quad (7)$$

因此,与预报的归一化偏差的最优内插方程为:

$$\frac{A_k^i - A_k^f}{E_k^f} = B^T W_k \quad (8)$$

从式(6)及式(8)消去 W_k 得到:

$$\frac{A_k^i - A_k^f}{E_k^f} = B^T M^{-1}P_k \quad (9)$$

因为 M 和 B 独立于被分析的点,因此它们的乘积可一次性的算出,得到系数向量 C ,则得到基本插值方程:

$$\frac{A_k^i - A_k^f}{E_k^f} = C^T P_k \quad (10)$$

上述所用的向量和矩阵分别表示:

W_k 是权重的列向量, $M = P + O$, P 是预报误差的相关矩阵, O 是观测误差的相关矩阵, B 是归一化增量值 $\frac{A_n^o - A_n^f}{E_n^f}$ 的向量.

由此可知,权重的解取决于以下 4 个统计量:预报误差相关,观测误差相关,观测误差标准差,预报误差标准差.一旦 4 个统计量确定之后,便可以通过求解线性权重方程组得到系数向量 C ,由式(10)便可得到格点 k 的分析增量 $A_k^i - A_k^f$.

上述的 4 个统计量使最优插值分析有能力处理不同类型的观测资料.而最优插值分析对资料的拟合程度取决于观测误差标准差对预报误差标准差的比.当它偏小时,分析结果将更接近观测值.但是,当它偏大时,分析将逼近初估值.预报误差相关的结构给出了最优插值分析的空间连贯性.实际上,仅仅定义了高度—高度预报误差相关,利用地转近似,从它可以计算所有其它的预报误差相关,这使最优插值分析在一定程度上严守动力约束.另外,使用 6 小时预报值作为分析的初估场,保证了时间的连续性.

表 3 给出了从 1989 年 12 月 22 日至 1990 年 1 月 10 日 T42 最优插值客观分析方案的检验情况.根据 WMO 的规定在北美、欧洲和亚洲 3 个区域分别选择了 97 个、85 个和 153 个探空站作为标准站,对 3 个分析层次(250、500 和 850hPa)的高度场和风场分析分别进行统计检验.由表 3 可见,T42 分析对观测资料的拟合很好.与表 2 比较可见,对于平均误差和均方根误差,T42 分析优于“B”分析.

为了把 T42 北半球预报效果与“B”系统预报进行对比,从 1990 年 1 月至 3 月的 500hPa

表3 T42客观分析检验(对探空资料)(1989年12月22日—1990年1月10日)

区域	层次 (hPa)	高度			风	
		均值 (gpm)	均方根 (gpm)	相关	均值 (m/s)	均方根 (m/s)
北美	250	-1.7	22.8	0.975	0.5	5.1
	500	-1.6	13.6	0.983	0.4	4.4
	850	-1.2	7.3	0.989	0.3	3.4
欧洲	250	-0.6	19.0	0.997	0.6	6.0
	500	0.3	15.1	0.996	0.3	4.6
	850	0.6	15.8	0.975	0.4	4.1
亚洲	250	-1.3	24.5	0.997	0.3	5.1
	500	-0.3	13.1	0.997	0.2	4.5
	850	-1.2	8.5	0.991	0.3	3.7

北半球(20°—90°N)预报对分析的检验计算平均倾向相关系数和均方根误差可见^[8](图略),T42的预报比“B”模式的预报有明显的改进,T42的120小时预报的倾向相关与“B”模式的72小时预报的倾向相关相当.这除了预报模式本身原因外,与使用大量的非常规资料和好的最优插值分析方案是分不开的.

3 小 结

表4给出了国家气象中心3个客观分析方案的内容及比较.由表4可见,十年来,随着计算机和预报模式的发展,分析方案在水平范围、垂直层次、分析的要素、使用的观测报告的类型和数量以及分析产品的输出也都有很大的发展.

表4 国家气象中心3个客观分析方案介绍

	A系统	B系统	T42
每天作业数	1次:12Z	2次:00Z、12Z	4次:00Z、06Z、12Z、18Z
分析范围	亚欧	北半球	全球
水平分辨率	300km	381km	300km
垂直层次	6层 850、700、500、300、200、100hPa	7层 地面、850、700、500、300、200、100hPa	12层 1000、850、700、500、400、300、250、200、150、100、70、50hPa
所用观测资料	探空、测风	探空、测风、地面/船舶、飞机、低层卫星测风	探空、测风、地面/船舶、飞机、高低层卫星测风、卫星测厚、漂浮站、高空人造站
初估场构成	多项式插值、气候值	24小时预报值、气候值、持续值	6小时预报值
分析方法	逐步订正法	逐步订正法	最优插值法
分析输出的要素场	高度	地面气压、高度、温度露点差	高度、 u 、 v 风分量、相对湿度
每次计算时间 CPU	3min	18min	10min
所用计算机装备(时间)	M-170(1978年)	M-170(M-360 备份 1985年)	M-360(准业务)Cyber-962、VAX3320(业务1990年)Cyber-992(业务1991年)
模式简况	亚欧三层原始方程、48小时预报、简单物理过程	北半球五层原始方程、72小时预报和五层有限区域原始方程、36小时降水预报、一般物理过程	全球 T42L9 原始方程谱预报模式 96—120小时预报和15层有限区域原始方程、48小时降水预报、较复杂的物理过程
业务化日期	1980年初	1982年2月16日	1989年9月16日(准业务)
图形输出方式	宽行打印	X-Y 绘图仪	快速激光打印

3个客观分析业务方案均为相应的模式提供了满意的初值,为国家气象中心建立和发展数值预报业务系统作出了应有的贡献。目前,国家气象中心已成功的开发了新一代谱预报模式和装备了银河Ⅱ系巨型计算机,这些将再次促使我们研制新一代分析方案,更新现有的客观分析方案。利用新的资料源,进行海温和雪深的分析以及客观分析直接在模式层上进行,提高分析质量。研究伴随方法,以便在我国建立起更好的中期数值天气预报业务系统和四维资料分析同化业务系统,期望预报时效达到5至7天。

致谢:徐一鸣先生,吉田、大河内、柏木、平木先生,和 Clifford H. Dey 先生对本工作曾给予热情指导和帮助,以及王跃生、吴辉碇先生和国家气象中心数值预报室资料同化科的全体同志参加了这项工作,在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 上海市气象局研究所数值预报组(徐一鸣执笔). 高空图的业务客观分析. *大气科学*, 1979, 3(2).
- 2 Cressman G. P. An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 1959, 87:367—474.
- 3 Masuda Y. and Arakawa A. On the objective analysis for surface and upper level maps. *Japan Meteorological Agency*, Tokyo, Japan.
- 4 葛蔼芬等. 国家气象中心业务预报模式. *气象*, 1984, 1(1):38—42.
- 5 北京大学地球物理系数值预报协作组. 一个用于降水预报的五层原始方程模式, 第二次全国数值预报会议论文集, 北京: 科学出版社, 1980.
- 6 章基嘉, 廖洞贤, 陈受钧, 朱抱真. 关于两年来我国数值预报业务的初步报告. 北京气象中心论文集. 1985. 198—210.
- 7 McPherson R. D., Bergman K. H., Kistler R. E., Rasch G. E. and Gordon D. S. The NMC operational global data assimilation system. *Mon. Wea. Rev.*, 1979, 107:1445—1461.
- 8 国家气象中心. 数值预报产品应用指南(第一册). 北京: 气象出版社, 1991. 94—138.

INTRODUCTION OF THE OPERATIONAL OBJECTIVE ANALYSIS TECHNIQUE IN NATIONAL METEOROLOGICAL CENTER (NMC) IN THE LAST TEN YEARS

Tu Weiming

(National Meteorological Centre, Beijing 100081)

Abstract

The three objective analysis schemes in NMC since 1980 are introduced and compared with each other. During this decade the objective analysis in NMC has acquired the satisfactory progress, and NWP system in NMC has been established and used in operation. The analysis results are provided for the weather stations to forecast and study weather.

Key words: Objective analysis; Technical schemes; Numerical weather prediction system.