

NOAA卫星探测数据对B-模式分 析预报系统性误差的影响*

王宗皓 毛建平 黄继红

(国家气象局卫星气象中心, 100081)

A. Gruber A. Thomasell T. S. Chen

(NOAA/NESDIS, U. S. A.)

提 要

本文报告极轨气象卫星探测数据对B-模式的海平面气压场预报和500 hPa 高度预报的系统性误差的影响。主要结果是, (1) B-模式预报海平面气压的强度偏弱, 即高压系统太低, 低压太高; (2) 500 hPa 高度预报的系统性误差情况不如海平面气压场误差情况明显。但也能发现槽区的高度预报不够低, 而脊区的高度预报不够高; (3) 应用卫星数据对B-模式分析预报系统的预报有正作用, 对海洋上的地面低压和500 hPa 槽区附近的系统性误差有明显减小, 但对其它地区天气系统预报的正负影响参差不齐, 其作用难下结论。

关键词: 卫星数据, 预报, 系统误差。

1 引 言

许多国家的业务预报中心的数值天气分析预报模式系统, 都有不同程度的系统性误差。这种误差的分布地区和天气系统的关联方面有其相似性。目前看来一种分析预报模式系统的系统性误差是诸多因素综合影响的结果。许多研究者对此非常重视, 企图找出产生系统误差的原因的主要方面, 和其中诸因素之间的相对重要性和相互制约关系。目前, 比较一致的认识有模式物理考虑差异的影响, 模式分辨率影响, 资料同化和初值化影响, 模式地形作用和海陆影响等^[1-6]。本文则是研究NOAA极轨气象卫星TOVS反演数据对B-模式预报的系统误差的作用, 是中美大气科技合作项目的卫星数据影响研究的最后研究报告的一部分。主要分析卫星反演数据应用于初始场分析, 对海平面气压分析预报和500 hPa 高度分析预报的系统性误差的影响, 分析产生的正负影响及其分布的统计学显著性, 以及产生作用的可能原因。这可为短、中期全球范围大尺度天气数值预报提供卫星数据应用的参考, 其中有些研究方案及其结果, 对中尺度天气系统的数值分析预报也有可借鉴和引起注意的方面。

2 系统误差分析试验设计

当前美国的业务分析预报系统的工作步骤是: 用六小时的数值预报值作为数值分析

*1991年1月14日收到原稿, 1991年7月8日收到修改稿。该文系中美大气科学合作卫星数据影响试验项目的结题报告之一。

的第一近似, 卫星反演数据和常规数据同化, 模式初值化协调, 时间积分得出预报值和产品分给用户, 并以之作为下一步分析场和卫星探测反演的第一近似; 然后重复所述步骤, 组成良性循环的“分析、预报、反演”系统。这样, 卫星探测数据的作用, 除受反演方法制约之外, 显然更加受数据同化分析技术和模式物理性能的综合反馈作用的影响。

本文所用的卫星数据是指NOAA极轨气象卫星TOVS探测数据, 其反演未受B-模式系统的反馈作用。B-模式系统的详细材料, 请参看文献[6-8]。本文不重复介绍。

本试验分四种。每种试验都用B-模式系统产生分析图和预报图。不同试验的差别在于改变数据同化分析步骤, 而模式本身不变。用四种分析场作初值, 作出24, 48和72小时的预报, 只检验48小时的预报。

第一种试验表示为NOSAT。主要用常规数据作北半球分析预报。NOSAT分析预报实际上是B-模式系统的北半球分析预报。所用数据包括地面气压、气温、露点、风向风速、等压面高度、飞机测风, 以及全球通用信线路上传来的静止卫星云图等。但不包括NOAA极轨卫星TOVS反演数据。NOSAT分析在常规测站密的地区作为真实场的最优估计是可信的, 在测站稀少或空白地区, NOSAT分析误差可能较大。本文仍将NOSAT分析预报结果作为其余三种分析预报结果的对比标准。分析时刻1200GMT前后三小时的所列数据都作为分析时刻的数据参加分析。地面分析要素有气压、气温、温度露点差、风向风速; 高空分析有850hPa, 700hPa和500hPa的高度、温度露点差; 300, 400, 250, 200, 150, 100hPa的高度和风向风速。

第二种试验为SAT。用TOVS探测数据和常规数据产生分析和预报, 但卫星数据只用海洋上, 和常规数据等权综合, 不考虑时间间隙的补偿。时间窗为12小时, 从0400GMT到1600GMT, 以便卫星数据复盖全球洋面。

第三种试验为ALLSAT。只用TOVS探测数据产生分析和预报, 用以模拟卫星探测系统的功能。用地面常规数据作为参考层数据, 并产生1000hPa高度, 以便将层平均温度转换成等压面高度。

第四种试验为SATGUESS试验, 用卫星数据提供分析场的第一近似, 用常规数据进行订正。这样是利用卫星数据填充常规数据空白区。在常规数据空白区, SATGUESS分析实际上是ALLSAT分析。

本文所用的卫星数据是美国NESDIS提供的1979年1月6日到31日的TOVS反演温度, 平均水平分辨率250km。

本文研究格点 p 上的系统误差 $E_x(p)$ 定义如下:

$$E_x(p) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [X_f(p, n) - X_o(p, n)]$$

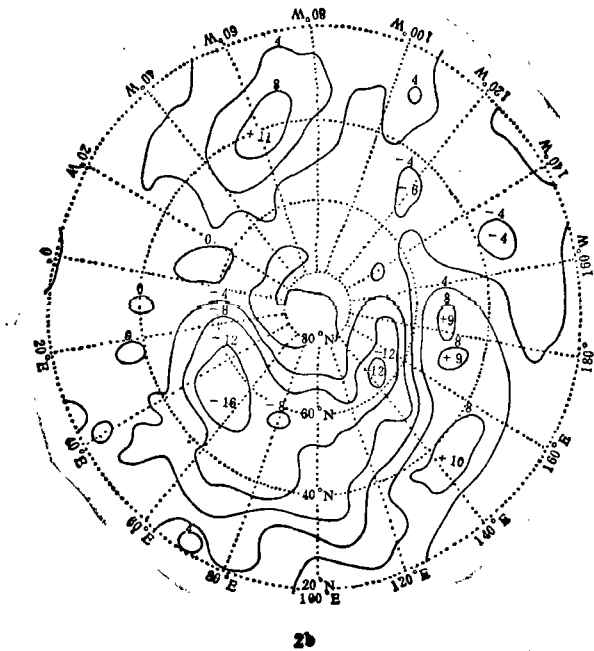
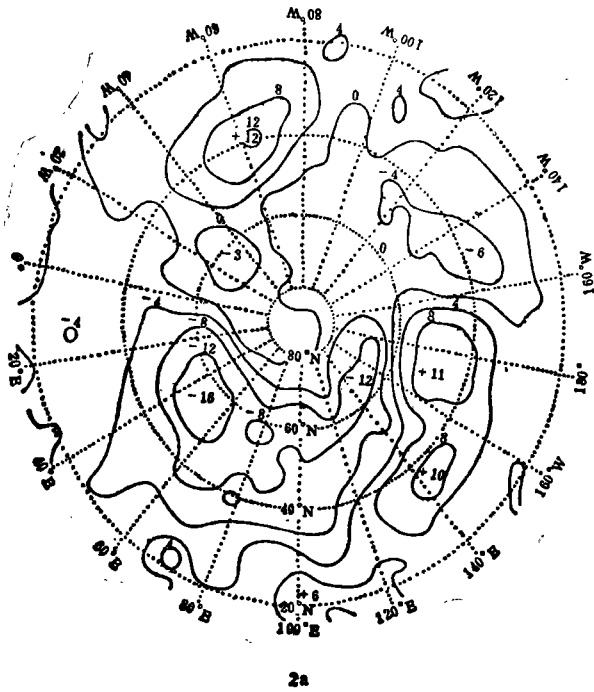
式中 X_o 为检验用的分析值。本文用常规数据分析(NOSAT)图代替。 X_f 是预报值。

N 表示参加平均计算的样本数, 即分析和预报图的数目。 $E_x(p)$ 的表达式可改写为

$$E_x(p) = \bar{X}_f(p) - \bar{X}_o(p)$$

表示平均预报值与平均分析值之差。 $E_x(p)$ 称为分析预报模式系统的系统性误差。下面讨论预报区域内 $E_x(p)$ 的格点分布图。并且用Student's-t检验方法^[7]检查每个 p 点上系统误差的显著性。

为-16, -16, -14和-16hPa。四种初值的平均48小时预报, 都能预报出高压中心的位置,



但是中心气压预报太低, 大约负10hPa。其它国家的分析预报模式报西伯利亚高压的强度也出现负误差, 这有一定共同性。例如美国的NMC七层原始方程模式^[2, 9], 以色列的五层PE模式^[4], 都有类似的情况。在图2a—d的(50°N, 50°E附近)。本文的四种试验都出现负极大误差。这与黑海和里海北部的槽脊位置有关系。对照图1可以看出这四种初值的48小时SLP预报都没有预报出向西北延伸到斯堪的纳维亚的强高压脊。实际预报出来的是从斯堪的纳维亚到苏联中部北边的东伸脊, 而图1中对应的槽轴线更偏北, 穿过白海。四种预报都未预报出进入北欧的高压脊。原因是图1中不列颠岛低压中心预报偏东, 靠近波罗的海, 中心气压低1至8hPa。而且本来西伸的槽轴线预报太偏南。这样就更加大从苏联西北部延伸到北欧的大片负误差。四种48小时SLP平均预报都较好预报出西伯利亚高压脊线向北极延伸的趋向。但是都报出明显的虚假高压脊, 从高压中心进入西太平洋, 在日本东部引出正10hPa误差。另一个可注意的-12hPa的负误差区, 主要是由于阿留申低压预报的位置太靠近苏联海岸。

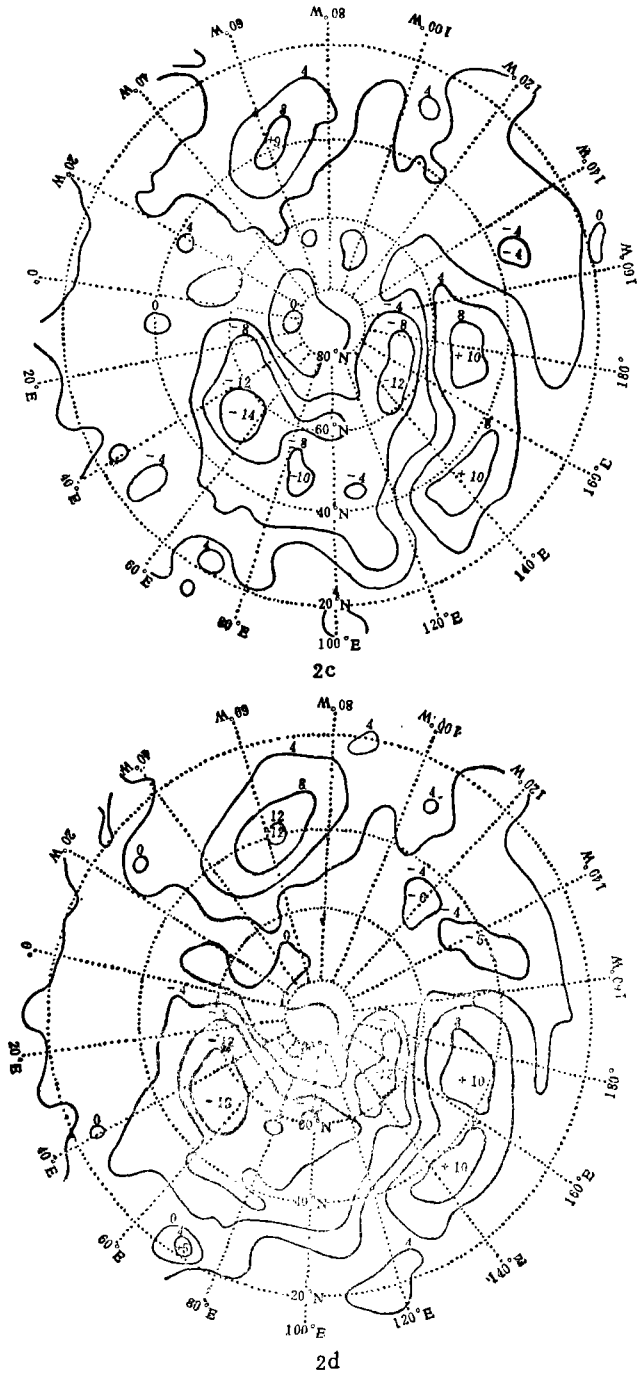


图2 1979年1月9-31日, 1200GMT海平面气压预报系统性误差(单位hPa)
(a. NOSAT, b. SAT, c. ALLSAT, d. SATGUESS)

上述系统性误差分布情况, 说明B-模式系统的预报, 在地面低压系统附近常常产生正误差(SLP太高); 而在地面高压系统附近常产生负误差(SLP太低)。

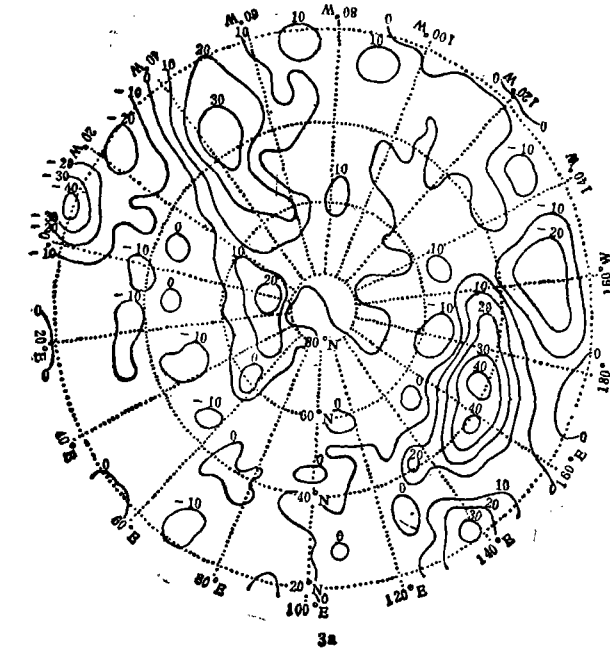
3.2 太平洋地区

图2a—d中与阿留申低压有关联的正误差区, 其中心极值分别有+11, +9, 和+10和+10hPa。引起误差的可能原因: 低中心预报偏高+4到+7hPa。四种预报都报出低中心位置太靠近苏联海岸, 不象图1实况移出白令海。这种错位引起沿阿留申群岛及其南面出现较大误差。图2a—d中, 中东太平洋出现负误差区。最明显的误差-6hPa出现在平均的NOSAT预报图2a中, 最大误差在西太平洋高压中心的南边。原因是四种预报都报出主中心的位置, 但预报的高压范围不够宽, 中心气压低-2到-4hPa。

3.3 大西洋西部

图2a—d表明四种预报试验都难于预报出西北大西洋上的平均低压。平均NOSAT分析图1中出现的加拿大纽芬兰和斯科舍等省沿岸外边有1005hPa低压。这在48小时预报平均图中几乎没有出现, 引起图2a—d出现大片正误差区, 极值分别为+12, +11, +9和+12hPa, 引起正误差区的另一原因是预报试验有一种使美国东南海岸副高发展的倾向。平均NOSAT分析图1中表示有关的大片高压区位于纽芬兰低压之南, 而且强度较弱, 极值气压1018hPa, 中心远离预报的高压的东边。

4 500hPa 高度预报的系统性误差



用上节同样的方法计算出 500 hPa 高度预报的系统性误差分布, NOSAT, SAT, ALLSAT和SATGUESS的500hPa平均的高度分析, 和历史天气图月平均图极为相似。所用数据是 1979 年 1 月 6—31 日 1200 GMT。图3a—c是 SAT 分析、ALLSAT分析、SAT-GUESS分析与 NOSAT 分析之差的分布图, 从中看出用卫星数据和不用卫星数据的差别。高度差图3a和图3c表示 SAT 分析和SATGUESS分析中在海洋上应用卫星数据的差别。图3b反映陆地和海洋上都有明显差别, 这是由于分析中全用卫星数据代替常规探空数据引起的。这些差别也常和高的地形有关联, 比如格林兰冰峰区和青藏高原卫星反演数据的差别较大。和四种试验的 48小时 500 hPa 高度预报平均图相应的系统误差图分别表示在图4a—d中。下面分地区讨论系统误差的主要情况。

4.1. 欧亚地区

图4a—d的欧亚地区都出现大片负误差区, 其中心靠近 NOSAT 分析图(略)(50°N, 40°E)附近的高压脊轴线上。四种试验的最大

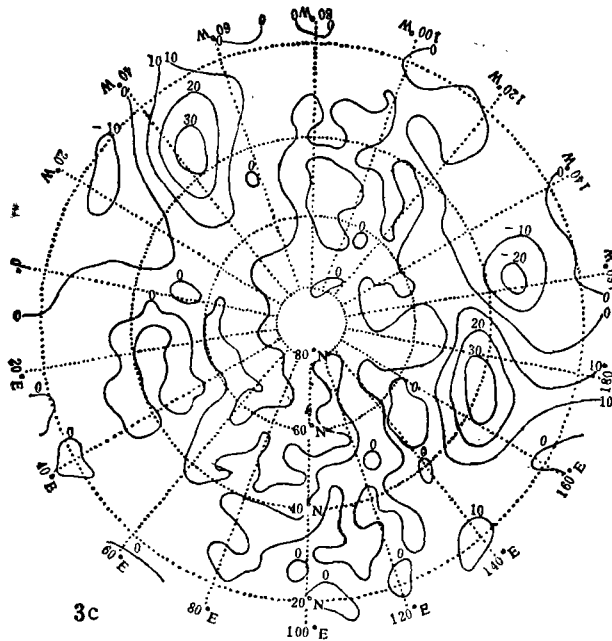
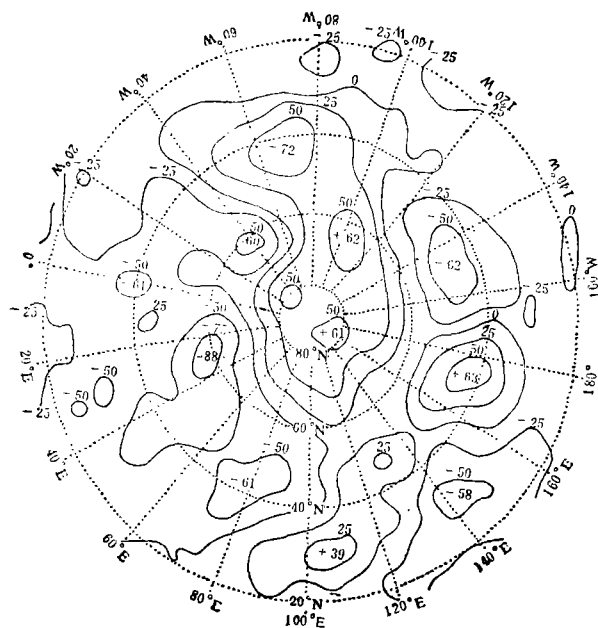
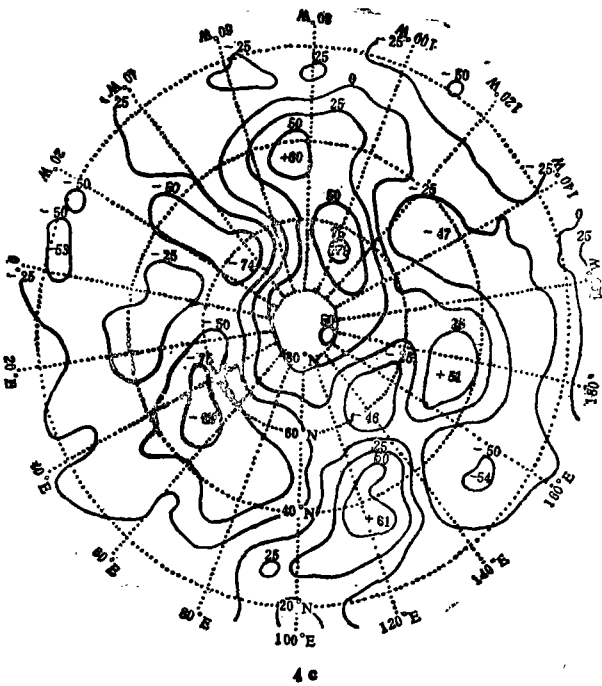
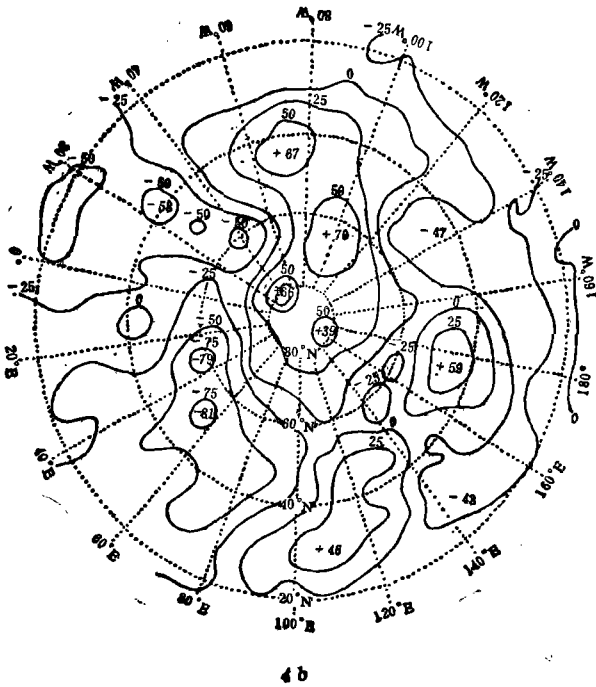


图3 1979年1月9—31日1200 GMT平衡500 hPa高度分析之差(单位: gmp)
(a. SAT-NOSAT, b. ALLSAT-NOSAT, c. SATGUESS-NOSAT)



4a

误差分别为-88,



压槽，其主轴线于位阿留申群岛南边，而四种预报都拉长此槽，绕主轴反时针转到白令海。因而抬升阿留申群岛附近的500hPa高度，导致正误差区。全部试验对苏联东北部闭合中心的位置和高度都报得较好，此处的误差极值只有 -10 gpm 的量级。NOSAT分析图中，东太平洋脊的位置，四种试验都预报较好，只高度预报偏低，误差极值分别为 -62 ， -47 ， -47 和 -66 gpm 。值得注意这个伸入极地的脊的强度预报过高，约 $+50\text{ gpm}$ 到 $+60\text{ gpm}$ 。

4.3 北美洲地区

图4a—d表示大片正误差区从极地延伸到加拿大中部，进入美国东南方。四种试验的48小时预报出现个极值两误差区：其一，中心位于加拿大西北部；另一中心位于美国的东北部，误差极值范围为 $+60\text{ gpm}$ 到 $+80\text{ gpm}$ 。四种试验对此两地区的槽轴线位置预报较好，但高度预报过高。

4.4 大西洋地区

此地区有两个值得注意的天气形势：其一是北大西洋的脊，在平均NOSAT分析图上，脊的轴线走向，大致沿 30°W 到 40°W 。如同前段讨论的情形，四种试验都对脊的平均位置预报很好，强度预报不好，高度预报过

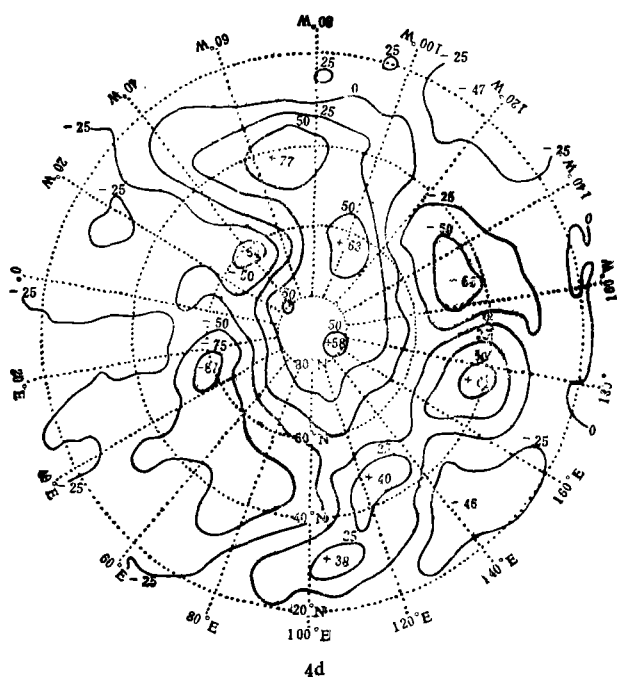


图4 1979年1月9—31日1200 GMT 500hPa高度48小时预报系统误差 (单位: gpm)
(a. NOSAT, b. SAT, c. ALLSAT, d. SATGUESS)

低。极值误差分别达到 - 60, - 58, - 74和 - 64gpm。离开北非洲西海岸的槽, SAT和ALLSAT试验都报出槽轴线位置, 但加深太大, 引起误差极值分别为 - 60gpm和 - 53gpm。

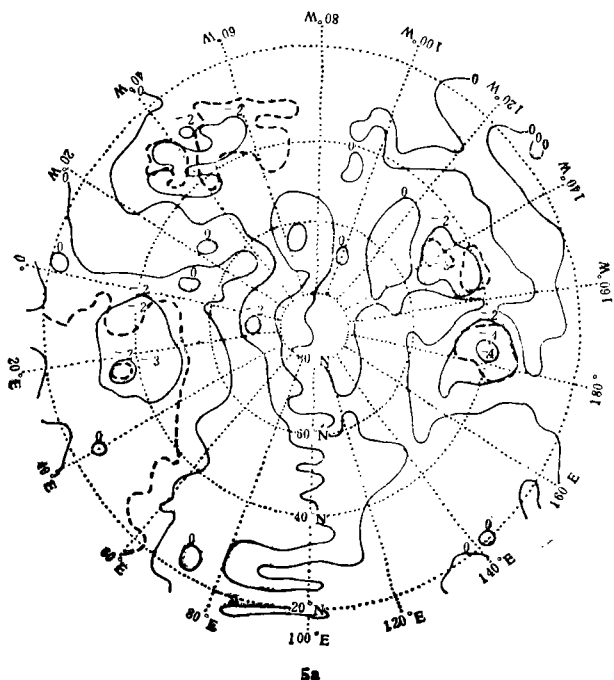
总之, B-模式系统的500 hPa高度预报不象海平面气压预报那样容易解释。上述各种试验表明: 在槽区出现正预报系统误差, 在脊区出现负误差。然而也不都是这样的情况。欧洲上空和西北非洲沿岸的槽的平均高度预报太低, 而东太平洋脊峰预报太高。不过, 四种试验的平均场中的闭合低压的平均高度预报十分好。

5 系统性误差的差别

5.1 SLP 气压预报系统性误差的差别

本节讨论用卫星数据和不用卫星数据对系统性误差的作用。这两种预报的系统误差之间绝对值的差值图5a—b中, 负值区表示用卫星数据减少系统误差, 正值表示系统误差增大, 粗短线区表示系统误差之间有统计学上显著差别的地区。本段讨论海平面气压预报系统性误差之间的差别。

5.1.1 SAT 预报误差与 NOSAT 预报误差绝对值之间差图5a, 表示三个地区用卫星数据SAT的48小时预



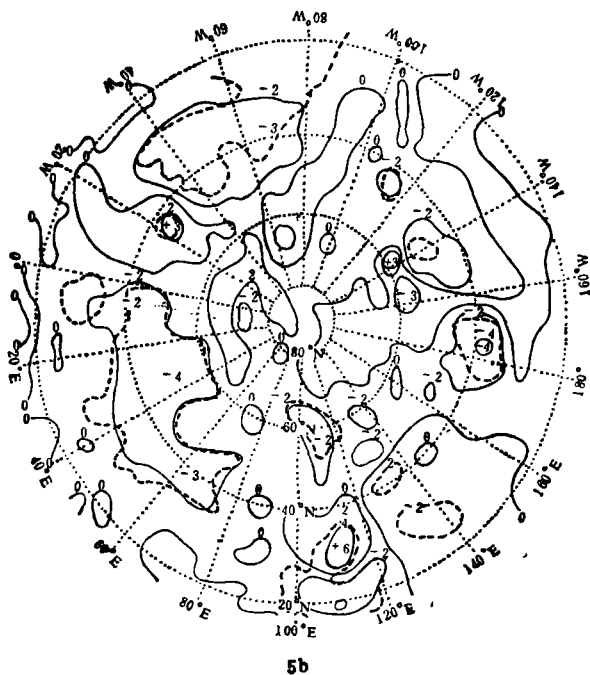
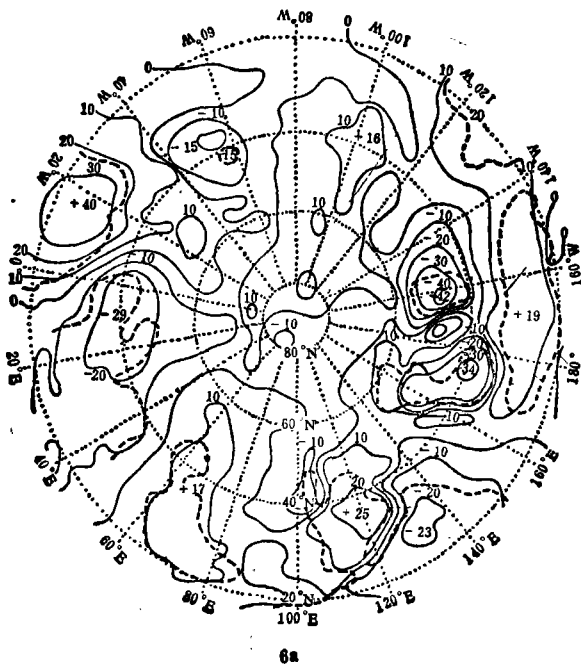


图5 1979年1月9—31日1200 GMT海平面
气压48小时预报系统误差之差
(a. SAT—NOSAT, b. ALLSAT—NOSAT)



报有显著影响, 系统性误差有明显减小。这三个地区一般位于平均NOSAT分析图1中地面低气压系统的东南边。特别明显的广大地区是平均分析图低压东南边的误差减小地区, 从欧洲中部伸展到中东。

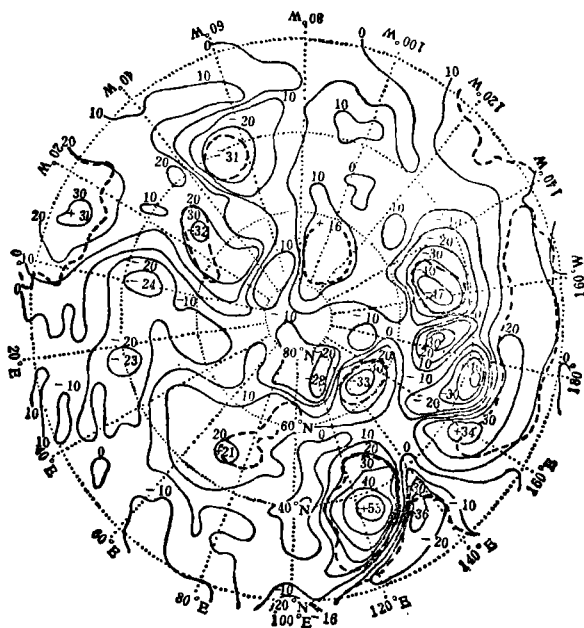
5.1.2 ALLSAT预报误差与NOSAT预报误差绝对值之差图5b, 表示许多地区卫星数据产生显著影响, 大部分影响系统性误差减小。明显减小系统性误差的大片地区, 从西欧延伸到中亚。苏联东北部有小片误差减小区, 但在中国东部和日本的北边和南边, 误差明显增大。

5.1.3 SATGUESS试验中, 卫星数据应用的影响不大明显。试验结果也表示卫星数据对海洋上大部分地区地面低气压发展有作用, 另外欧亚地区西部也看出预报误差减小(图略), 但不如图5b明显。

5.2 500 hPa高度预报系统性误差的差别

如同上段讨论海平面气压预报系统误差的差别一样, 计算出系统性误差绝对值之差别图6a—b, 同样负值表示系统性误差减小, 正值表示加大。粗短线表示差别显著地区。

5.2.1 SAT预报误差与



6b

图6 1979年1月9—31日1200 GMT 500 hPa

高度48小时预报系统误差之差

(a. SAT—NOSAT, b. ALLSAT—NOSAT)

空是系统误差减小区, 而北非洲上空是误差增加区, 在平均 NOSAT 分析图上这两个地区都是槽区。在海洋上应用卫星数据明显地有利于欧洲发展槽的预报, 对中国大陆沿海和离开非洲沿岸的弱槽的预报不一定有帮助。

5.2.2 图6b表示 ALLSAT 与 NOSAT 预报系统误差的差别, 代表 ALLSAT 的影响。其中展示北太平洋、中国和日本沿海的误差情况如同 SAT 和 NOSAT 预报误差情况。图6b中欧洲上空出现大片的误差减少区, 但统计学上不显著。非洲西北沿岸再度出现明显的误差增大区。图6b也展示出北大西洋地区两处的影响, 分别对应于 NOSAT 分析图北大西洋上空从东部加拿大延伸的槽和北大西洋上的脊。ALLSAT 试验减小槽区误差, 增大脊区误差。在陆地上加进卫星数据引起苏联中部和东北部若干显著性误差增大。

5.2.3 SATGUESS 试验和 NOSAT 的差别, 类似于上述 SAT 和 ALLSAT 的差别, 但影响程度微弱, 而且不显著 (图略)。

总之, 上述结果表示卫星数据对 B-模式的 500hPa 高度预报系统性误差分布有影响。在海洋上应用卫星数据, 一段能减小海洋槽区系统性误差。大陆上应用卫星数据对 500 hPa 高度预报也有显著性影响, 但对系统性误差减小或增大的典型性, 从本项试验结果还看不清楚。综观陆地和海洋上的试验情况, 发现应用卫星数据, 一般都在发展的海洋槽区附近减少系统性误差; 然而也发现, 在海洋脊区, 应用卫星数据有可能增大系统性误差。图6b中在东亚地区的显著性误差增加区, 说明陆地上空应用卫星数据, 对 B-模式系统的 500 hPa 高度预报是不利的。

NOSAT 预报误差的绝对值之差别图6a, 表示在海洋上用卫星数据参加48小时预报有显著影响。北太平洋上有两个大的误差减小区夹着一个小的误差增大区, 这两个误差减小区是统计学上显著的, 而增大区不是统计上显著的。此外, 显著影响区位于中国和日本沿海。日本南边海洋上是误差减小区, 中国内陆有一片误差增加区, 这与该地区纬向气流预报的微小差别有关(图略)。在中亚南边有一系统误差增加区, 处于平均 NOSAT 分析图中的同一地区的槽区。图6a中的欧洲和非洲西部有两个显著的影响区: 欧洲上

6 讨 论

在B-模式分析预报系统中应用1979年1月的卫星数据,对海平面气压预报和500 hPa高度预报的系统性误差都有影响。SAT和ALLSAT试验表明,发展成熟的海面低压,对应的500 hPa槽区附近,卫星数据应用可以显著减少系统性预报误差。然而也发现这些显著影响,与海上高压(脊),以及陆上低压(槽)和高压(脊)等各类天气系统有关联,影响的正负号,即系统性误差的增大或减小是不一致的。这可能与所用的卫星数据反演、数据分析同化、模式预报系统、地面参考层数据的选取等有关联。即使这些因素相同,系统性误差比较与平均图有关,各月的多年平均图天气形势不一样。不同月份,不同季节,卫星数据影响也是不完全一致的。而且与卫星数据应用方式有关系,不能象对常规数据一样对待卫星数据,象应用常规数据一样应用卫星数据。

◆ 考 文 献

- [1] Holling Sworth A, Lorenc A C, Tracton M S, Arpe K, Cats G, Uppala S, Kallberg P. The response of numerical weather prediction system to FGGE level 11—b data. Part I, Analysis. Part II, Forecast verifications and implications for predictability. *Quart J Roy Meteor soc.* 1985, 111, 1—101.
- [2] Wallace J M, Tibaldi S, Simmons A J. Reduction of systematic forecast errors in ECMWF model through the introduction of envelope orography. *Quart J Roy Meteor Soc.* 1983, 109:683—718.
- [3] Leary C. Systematic errors in operational national meteorological center primitive equation surface prognoses. *Mon Wea Rev.* 1971, 99:360—373.
- [4] Wolfson N, Thomasell A, Gruber A, Ohring G. The impact of satellite sounding data on the systematic errors of a numerical weather prediction model. *Mon Wea Rev.* 1985, 113:1031—1049.
- [5] 葛霏芬, 朱抱真等. 北半球五层原始方程模式的预报试验. 中国气象学会汇编,《数值天气预报文集》, 38—49, 气象出版社, 1984.
- [6] 朱抱真等. 一个修改的 σ 坐标初始方程斜压模式. *气象学报*, 1983, 41(2): 167—182.
- [7] 王宗皓, 李麦村等. 天气预报中的概率统计方法. 科学出版社, 1974.
- [8] 王耀生, 屠伟铭, 吴辉旋. 北京气象中心的客观分析业务系统. 第三次全国数值预报会议文件, 1981年8月.
- [9] Bettge T. An analysis of recent improvement in NMC operational forecasts. *Ninth Conf Weather Forecasting and Analysis, Seattle, Amer Meteor Soc.* 79—83, 192.

THE IMPACT OF NOAA SATELLITE SOUNDING DATA ON THE SYSTEMATIC FORECAST ERROR OF B-MODEL

Wang Zonghao Mao Jianping Huang Jihong

(Satellite Meteorology Center, State Meteorological

Administration, Beijing 100081)

Arnold Gruber Albert Thomasell Tan Sun Chen

(NOAA/NESDIS, U. S. A.)

Abstract

This paper is to examine the impact of satellite data on the systematic error of operational B-model in P.R.China. It is to put emphasis on the study of the impact of satellite sounding data on forecasts of the sea level pressure field and 500 hPa height. The major findings are listed below.

1) The B-model usually underforecasts the strength of features in the sea level pressure (SLP) field, i.e. pressures are too low near high pressure systems and too high near low pressure systems.

2) The nature of the systematic errors found in the 500 hPa height forecasts is not as clear out as that of the SLP forecasts, but most often the same type of pattern is seen, i.e., the heights in troughs are not low enough and those in ridges are not high enough.

3) The use of satellite data in the B-model analysis/forecast system is found to have an impact upon the model's forecast of SLP and 500 hPa height systematic errors in the vicinity of surface lows/500hPa troughs over the oceans were usually found to be significantly reduced. A less conclusive mix of positive and negative impact was found for all other types of features.

Key words : Satellite data, Forecast, Systematic error.