

用青藏高原考察订正的 FGGE III b 资料 作中期预报的数值试验

刘晓东 罗四维

(中国科学院兰州高原大气物理研究所, 兰州, 730000)

纪立人

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

提 要

利用 1979 年 5—8 月青藏高原科学实验取得的资料, 对 1979 年 6 月 15 日 00GMT100—850hPa 等 9 层 FGGE III b 分析的高度和风场进行了客观分析订正, 并以订正前后的资料为初值, 用 T21L5 和 T42L9 两种不同分辨率的北半球谱模式作了 5 个 5 天预报的数值试验。研究表明, 通过高原实验资料对 FGGE III b 资料的订正, 将使 FGGE III b 资料在高原地区的分析得到改善。对流层上层的资料订正比下层效果明显。高原地区初值场的订正对数值预报结果有显著影响, 并且对较高分辨率模式的预报结果影响更大。初值订正后不仅影响未来高原地区的预报, 而且通过能量频散可以影响到我国东部和日本, 大约经过 5 天左右, 甚至可以影响到阿拉斯加和北美。

一、引 言

全球大气研究计划(GARP)第一次全球试验(FGGE)期间(1978年12月—1979年11月), 世界范围内的综合观测取得了迄今为止最为完善的全球气象资料^[1]。欧洲中期天气预报中心(ECMWF)又通过四维同化整理成全球网格点资料, 即 FGGE III b 资料^[2]。FGGE 资料的获取极大地促进了大气环流、季风及短、中期数值天气预报的研究^[3]。由于青藏高原观测台站少, 为了配合全球试验, 我国也于 1979 年 5—8 月进行了青藏高原科学实验(TIPEX)^[4], 但可惜在加工 FGGE III b 资料的四维同化处理中未能包括 TIPEX 所增加台站的资料。罗四维等^[5,6]的研究指出, 用 500hPa 上 FGGE III b 资料在青藏高原地区经常漏分析一些中、小尺度系统, 利用 TIPEX 资料对 FGGE III b 资料进行客观分析订正, 将使青藏高原地区的分析场与实际场更加吻合。

以前的工作仅就 500hPa 作了订正和分析,本文将讨论 TIPEX 资料对 FGGE III b 其它层次的订正效果,以及将青藏高原上资料进行订正之后,对于高原附近、特别是其下游的数值预报结果会有什么影响。

二、青藏高原地区 FGGE III b 资料的客观分析订正

1. 订正方法

本文所用的客观分析方法是 Gressman^[7]的逐步订正法。以 FGGE III b 资料作为第一猜测场(初始迭代场)。试验结果表明,5次迭代后,对高度场的迭代误差已不足 0.1m,订正场已能很好地反映实际天气系统。图 1 给出进行客观分析订正的范围及台站分布(取自文献[5])。图中高原附近参加客观分析的台站共 64 个,其中向世界公开发报的台站 12 个,其余 52 个都是 TIPEX 期间增加的测站。

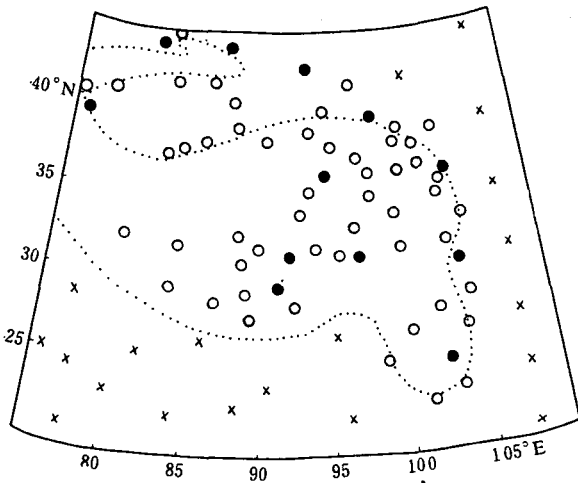


图 1 订正范围及台站分布

(○为科学实验增加的台站,●为向世界公开发报的台站,×为无观测而用距离最近的 FGGE III b 资料代替的站)

2. 订正结果

我们按照以上方法,随意地选 1979 年 6 月 15 日 00 GMT 100、150、200、250、300、400、500、700 和 850hPa 等 9 个等压面的高度场和风场进行订正。FGGE III b 资料的分辨率是 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$;订正后资料的分辨率不变,为了方便以后进行数值试验,将此分辨率的资料插值得到 T21 和 T42 高斯格网系下两种分辨率的资料。

T21 分辨率下 FGGE III b 资料订正前、后的 500hPa 高度场除订正后巴尔喀什湖以东多一小槽外,其它形势没有什么变化(图略)。但在 T42 高斯网格的分辨率下(图 2a、2b),订正后不仅使巴尔喀什湖以东的小槽加深,而且订正前巴尔喀什湖以南的低涡也不见了。由此可见,如果分辨率太低,高原地区资料太少,则订正的效果就不太明显。

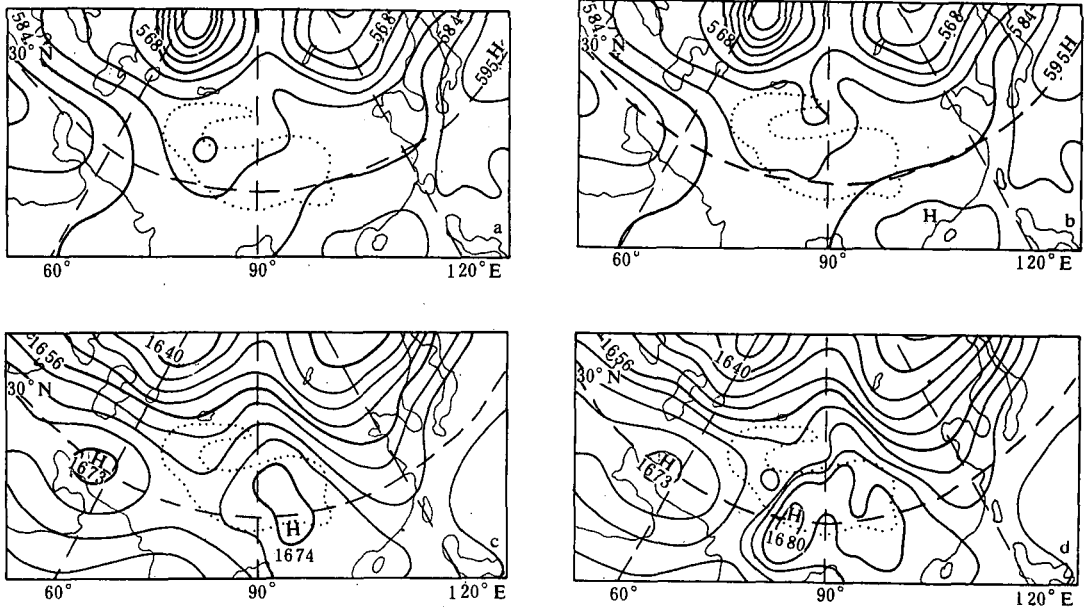


图 2 1979 年 6 月 15 日 00GMT T42 分辨率下 FGGE III b 资料客观分析
500hPa 订正前(a)、订正后(b)和 100hPa 订正前(c)、订正后(d)

事实上,从这两种分辨率下订正前、后的谱模式(见本文之三)相应高斯格点上高度差的数值来看,T21L5 模式初值订正后与订正前 500hPa 高度差在 20m 以上的只有 3 个模式格点;T42L9 模式,500hPa 高度差在 20m 以上的有 11 个模式格点,而 200hPa 高度差的绝对值大于 20m 的有 73 个格点之多。可见高层的订正比低层效果明显。

与 500hPa 相比;200hPa 高度场订正前后的差异十分显著(图略),订正后在高原西南侧出现一很强的高压(即青藏高原高压),而订正前由于这里缺乏资料而未被分析出来,因此表现为一个相对低值区。在 100hPa 上的情况更明显(图 2c、2d),订正前高压中心在(95°E, 27°N)附近,订正后高压中心出现在高原西南部(85°E, 30°N),且中心强度比订正前增加 80gpm 以上。

总的来看,100—200hPa 对 FGGE III b 资料的订正效果最明显。经过订正后高原地区的分析场与历史天气图更加接近。

三、客观分析订正对数值预报影响的试验

1. 数值模式简介

我们利用一个标准层结近似下的北半球谱模式^[8]进行了一系列数值试验,以研究青藏高原地区的客观分析订正对数值预报结果的影响。

设模式大气的温度 T 和位势高度 ϕ 可以写成标准大气相应的量 \bar{T} 、 $\bar{\phi}$ 与其扰动量 T' 、 ϕ' 之和。

$$T(\lambda, \theta, p, t) = \bar{T}(p) + T'(\lambda, \theta, p, t)$$

$$\phi(\lambda, \theta, p, t) = \bar{\phi}(p) + \phi'(\lambda, \theta, p, t)$$

且标准大气满足静力关系及标准层结近似^[9]

$$\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial \ln p} = -R\bar{T}$$

$$\frac{R^2 \bar{T}_0}{g} \left(\frac{g}{c_p} + \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right) = C_0^2$$

这样从 ECMWF 谱模式方程^[10]中扣除标准大气,则得到标准层结近似下模式大气的控制方程组

$$\begin{cases} \frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial F_v}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial F_u}{\partial \mu} \\ \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial F_u}{\partial \lambda} + \frac{1}{a} \frac{\partial F_v}{\partial \mu} - \nabla^2 \left[\frac{U^2 + V^2}{2(1-\mu^2)} + \phi' \right] \\ \frac{\partial T'}{\partial t} = - \left[\frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial}{\partial \lambda} (UT') + \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \mu} (VT') + \sigma \frac{\partial T'}{\partial \sigma} \right] + DT' - \left(\frac{R}{C_p} T' + \frac{C_0^2}{R} \right) \frac{\omega}{p} \\ \frac{\partial (\ln p_*)'}{\partial t} = - \int_1^0 (D + \vec{V} \cdot \nabla \ln p_*) d\sigma \\ \frac{\partial \phi'}{\partial \ln \sigma} = -RT' \end{cases}$$

其中

$$\begin{cases} \ln p_* = \overline{\ln p_*} + (\ln p_*)' \\ \frac{\omega}{p} = \vec{V} \cdot \nabla \ln p_* - \frac{1}{\sigma} \int_0^\sigma (D + \vec{V} \cdot \nabla \ln p_*) d\sigma \\ \dot{\sigma} = \sigma \int_0^1 (D + \vec{V} \cdot \nabla \ln p_*) d\sigma - \int_0^\sigma (D + \vec{V} \cdot \nabla \ln p_*) d\sigma \\ F_u = V\xi - \sigma \frac{\partial U}{\partial \sigma} - RT' \frac{\partial \ln p_*}{a \partial \lambda} \\ F_v = -U\xi - \sigma \frac{\partial V}{\partial \sigma} - RT' (1-\mu^2) \frac{\partial \ln p_*}{a \partial \mu} \end{cases}$$

方程组中, ξ 、 D 分别为垂直涡度和水平散度, $\mu = \sin \theta$, $U = u \sin \theta$, $V = v \sin \theta$, θ 为纬度, $\overline{\ln p_*}$ 完全由地形高度决定, 其它均为气象常用符号。

该模式中并没有包括非绝热物理过程的计算。对于北半球, 假定 U 、 T' 、 $\ln p$ 和 D 以赤道为对称, V 、 ξ 以赤道为反对称。模式在离散化时, 水平方向用球函数作谱展开, 取 21 或 42 个波的三角形截断, 与之相对应的高斯网格距在纬向分别为 5.625° 和 2.815° , 大气在垂直方向上分别取为 5 层和 9 层, 故简称 T21L5 模式和 T42L9 模式。

2. 数值试验方案

以 1979 年 6 月 15 日 00 GMT、FGGE III b(10—1000hPa 15 个等压面上的高度场和场资料, 分别用 500hPa 层进行订正的资料及 850—100hPa 9 层进行客观分析订正的资料为初值。首先将等压面高斯格点上的高度和风样条插值到 σ 面, 然后用最靠近地面 3 层的位势高度, 通过 Lagrangian 插值求出地面气压的对数, 再根据静力方程求出 σ 面上的温

表 1 数值试验方案

模式	FGGE II b	仅 500hPa 一层 进行订正	100—850hPa9 层 进行订正
T21L5	FG21	OA211	
T42L9	FG42	OA421	OA429

度,最后计算谱系数并开始时间积分。

利用 T21L5 和 T42L9 模式,我们共作了 5 个不同初值和不同分辨率的试验,每个试验积分 5 天,详见表 1。表中 EG21 表示用 T21L5 模式以 FGGE II b 资料为初值的试验,OA211 表示用 T21L5 模式对 500hPa 一层作过订正的资料为初值的试验,其余类推。

3. 数值试验结果

从 FG21 与 OA211 的结果看,其差异甚微,在第 48 小时的 500hPa 预报图上,只是 OA211 试验的高原低涡范围比 FG21 的略小。48 小时以后这两个试验的预报结果完全一致(图略)。

FG42 与 OA421 试验的差异比以上两个试验的差别大。同样在 48 小时预报的 500hPa 图上(图略),不仅 OA421 预报的高原低涡比 FG42 的范围更小,而且高原东侧的槽也更为平缓。OA421 的预报场比 FG42 的更接近实况。这两个试验第 3 天的预报仍有一定差异,3 天后才趋于一致。

这些试验表明,高原地区不同分辨率下的初值订正对预报结果的影响不同。这是因为不同分辨率下对 FGGE II b 资料的订正程度不一样,前面的分析表明 T42 比 T21 的高斯格点下对 FGGE II b 资料的订正强。而且高层的订正比低层明显。可以想象,将 100—850hPa9 层都作客观分析订正比仅对 500hPa 一层作订正对数值预报结果的影响更大。以

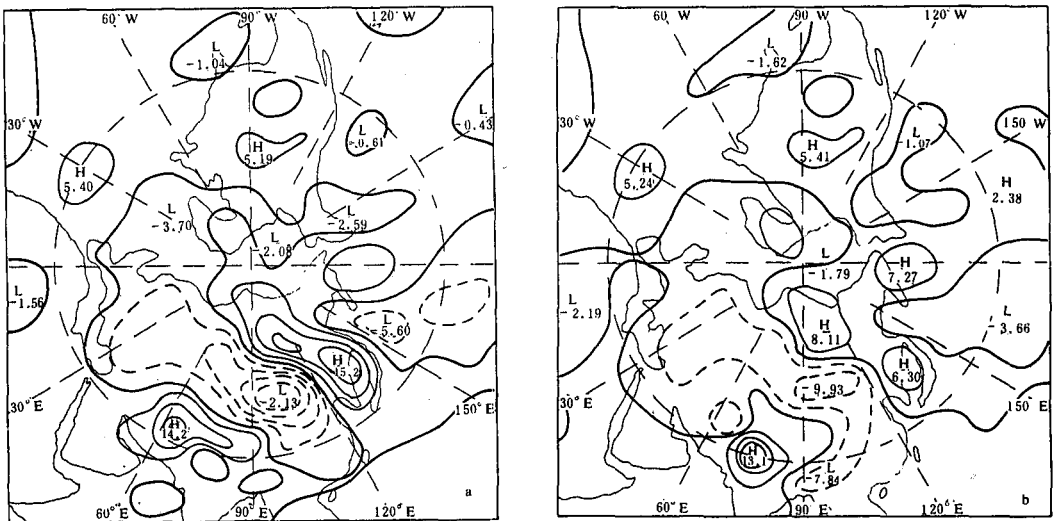


图 3 OA429 和 FG42 试验 120 小时预报的 300hPa 高度差(a)、500hPa 高度差(b)
(粗实线为零线,细实线为正值,虚线为负值,等值线间隔 4gpm)

下 FG42 与 OA429 试验的比较正说明了这一点。以 OA429 与 FG42 试验 300hPa 高度差为例,通过订正主要使对流层上层高原西南边缘的高压增加(参见图 2c. 2d),相当于在高原地区加了一扰源,在两个试验预报的高度差图上,高原附近及其下游产生一系列高低中心。随着积分时间增长,在远离高原的地区逐次产生一些新的高低中心(图 3a),将这些中心位置相连,类似于能量频散引起的 Rossby 波列的传播过程^[1]。500hPa 上差值中心的数值明显小于高层(图 3b),但仍比 OA421 与 FG42 试验 500hPa 高度的差值大(图略),在各个层次的差值图上,正、负中心都出现在固定的地理位置,具有相当正压结构。

在近似沿大圆路径 OA429 与 FG42 试验逐日 200hPa 高度差的时间演变图上(图 4, 6月 15 日—6 月 20 日)可以看出,高原地区资料订正引起的扰动是向东传播的,其速度与 Rossby 波能量的传播速度相当,大约 5 天左右即可影响到北美。

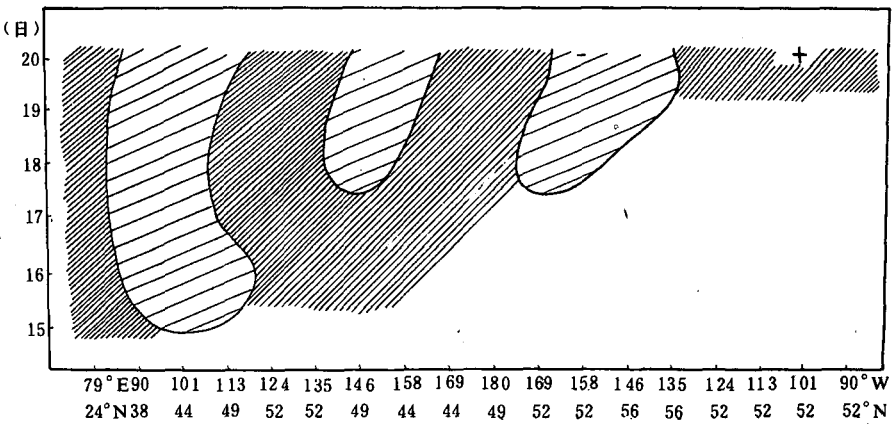


图 4 沿大圆路径 OA429 与 FG42 试验 200hPa 高度差的逐日演变
(密阴影区为正变高区,稀阴影区为负变高区,空白区高度差接近于零)

在 OA429 与 FG42 试验的 200hPa 风场差图上,差值最大的区域由高原西南逐渐向东北方向移动。预报的第 1 天高原西南的反气旋增强,而第二天高原东北方的气旋则开始增强,第 3 天高原东南的反气旋及高原东北的气旋同时增强(图 5a),第 4 天形成了明显地与高度场对应的波列,高原东北方的气旋仍然很强,范围很大,第 5 天高原西南的反气旋已开始减弱。第 3 天预报的 500hPa 风场差(图 5b)也存在与高度场一样的波列,这时高原东部边缘有一很深的低压槽,我国东部的偏南气流明显加强,而经向气流的变化对我国东

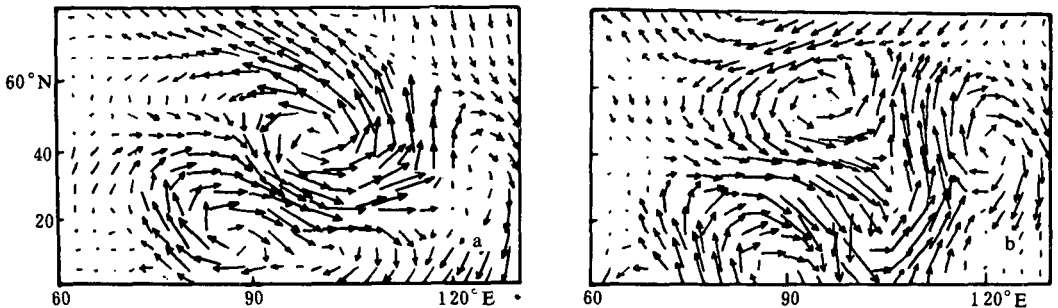


图 5 OA429 与 FG42 试验 72 小时预报风场差(a)200hPa(b)500hPa

部的中期天气可能会带来较大影响。

四、结论与讨论

1. FGGE 在青藏高原大部分地区是空白的,因而影响了 FGGE III b 资料在高原地区的分析。利用 TIPEX 增加的高原测站资料对 FGGE III b 资料进行客观分析订正,将使高原地区的天气分析得到改善。分析表明,对流层上层比对流层下层资料的订正效果明显,逐步订正法是高原地区客观分析的一种有效方法。

2. 青藏高原地区初值场的客观分析订正对短、中期数值预报结果有明显改进。而且对较高分辨率(T42L9)模式预报结果的影响比对较低分辨率(T21L5)模式预报结果的影响更显著。初值进行多层订正比一层订正对预报结果的影响大。高原地区的初值订正不仅影响未来高原地区的预报,而且通过能量频散可以影响到我国东部和日本一带,大约经过 5 天左右可以影响到阿拉斯加和北美。

3. 由于青藏高原大部分地区缺乏常规观测资料,必然对青藏高原客观分析的初始场带来误差。而且高原分析中的误差在中期数值预报中会影响到很大范围,所以改进和完善高原地区资料的观测、分析和处理,对于提高中期数值预报水平可能具有重要意义。由于本文用的是干模式,没有降水的动力反馈作用,可能会使初值订正对预报结果的影响减弱。故用非绝热模式作进一步的数值试验及分析是必要的。

4. 本文仅研究了一个时次的客观分析订正及以此为初值的数值试验,其它时次高原地区的订正情况可能与这个例子不同,而且不同时次的环流背景不同,因而能量频散的形式也可能有所差别。这些问题有待于进一步研究。

致谢:惠小英同志帮助整理了科考期间的高原站点的资料,张明娟清绘了附图,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] World Meteorological Organization, GARP Special Report, No. 35, 1980.
- [2] 颜宏等,全球大气研究计划(GARP)第一次全球试验(FGGE)全球网格点资料(LEVEL III b)及其使用方法,高原气象,1983年,第2期。
- [3] FGGE Advisory Panel, Proceedings of the First National Workshop on the Global Weather Experiment, Vol. 1 & 2, National Academy Press, Washington, D. C., 1989.
- [4] 章基嘉等,青藏高原气象学进展,科学出版社,1988年。
- [5] 罗四维等,青藏高原地区 500hPa FGGE III b 风场订正方法及其分析,高原气象,1990年,第9期。
- [6] 黄敏、罗四维,青藏高原及其附近地区资料的统计同化方案与试验,高原气象,1989年,第8期。
- [7] Cressman, G. P., An operational objective analysis system, *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 376—374, 1959.
- [8] Chen Liabin, Ji Liren and Wu Wanli, Design and test of an improved scheme for global spectral model with reduced error, *Adv. Atmos. Sci.*, **4**, 2, 1987.
- [9] 曾庆存,数值天气预报的数学物理基础, 22—25, 科学出版社, 1979年。
- [10] Baede, A. P. M. et al., Adiabatic formulation and organization of ECMWF's spectral model, ECMWF Technical Report, No. 5, 1980.
- [11] Hoskins, B. J. and D. Karoly, The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179—1196, 1981.

NUMERICAL STUDY OF MID-RANGE WEATHER FORECAST USING CORRECTED FGGE- III b DATA OVER QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Liu Xiaodong Luo Siwei

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica, Lanzhou, 730000)

Ji Liren

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica, Beijing, 100080)

Abstract

Five numerical tests were performed by using a northern hemispheric spectrum model with two different resolutions, T21L5 and T42L9, for 00 GMT 15—20 June, 1979. The initial fields used are the FGGE- III b data at 00 GMT over the Qinghai-Xizang Plateau. The results show that there are certain errors on FGGE III b data over the Plateau, and the errors in the upper troposphere are larger than those in lower troposphere. The correction of initial data over the Plateau has a remarkable effect on numerical forecast results, especially on the results of the model with higher resolution. The corrected initial fields affect not only the forecast over the Plateau, but also the east of China and Japan through energy dispersion, even Alaska and Northern America in about five days.