

文章编号:1006-7639(2005)-01-0068-04

我国西北高原地区数值预报的几个科学问题

薛纪善

(中国气象科学研究院,北京 100081)

摘要:分析了与我国西北地区数值预报相关的几个主要科学问题。指出随着数值预报模式分辨率的提高与预报的精细化,需要关注不同尺度地形对于大气的动力与热力作用的准确数值描述,包括过去被过滤掉的一些动力过程的描写的精度并解决好次网格地形的作用的参数化。还分析了高原地区资料同化的特殊性与集合预报技术的可能应用等。

关键词:数值预报;高原;中国西北;科学问题

中图分类号:P456.7

文献标识码:A

引言

我国西北部处于远离海洋的内陆高原,地形地表条件复杂,加之常规观测资料缺乏,一直被认为是数值预报难以取得良好效果的一个地区。尽管如此,从事数值预报研究开发的科学家,特别是我国的科学家一直在进行不懈的努力来改进高原地区的数值预报,并取得了多方面的进展。近十几年来国际与国内数值预报在科学技术上取得一系列新的突破,特别是新的资料同化技术与中尺度模式的发展不仅使得有效天气形势预报的时间不断延长,还使数值预报向精细化方向发展,灾害性天气事件与包括定量降水预报在内的局地要素预报,已经有相当的可用性。相比之下,我国高原地区的预报改进依然显得迟缓,新的数值预报技术至今在我国西北地区的业务数值预报中还很少得到有效的应用。简单的照搬其他地区行之有效的新的方法与技术似乎总难以达到预期的效果,但不能因此而得出结论认为数值预报的一般理论或方法不适合于我国的西北高原地区。需要注意的是尽管数值预报的基本原理与基本方法是具有普适性的,但实际表明,如数值近似方案、物理参数化方案都可能在不同的天气气候条件与自然地理环境有不同的应用效果。我国西北地区数值预报的改进依赖于针对本地区特殊环境条件的

数值预报的技术的发展与系统的优化,而后者离不开对高原地区数值预报有关科学问题的深入研究。本文将对作者认为重要的有关高原地区数值预报的几个科学问题进行讨论,重点是过去注意较少但随着模式分辨率的提高其重要性愈加显现的问题。希望能引起数值预报研究与业务工作者的关注,从而推进有关的研究与技术开发。

1 高原地形的动力作用

高原地形的动力作用是最早引起研究天气、气候动力学与数值预报的科学家注意的一个问题。在数值预报领域,研究大部分集中于如何表达地形倾斜条件下的水平气压梯度力的问题。有关这方面的研究已经有很多成果,这里不再赘述。当前需要注意的是随着模式分辨率的提高,中小尺度地形被引入模式中,其陡峭程度会大大超过已经过平滑的大尺度地形。传统的思路是把高原作为一个整体,关心的重点是高原对天气或次天气尺度的天气系统的总体影响。但实际的高原是众多山脉、台地、盆地的复合体,需要同时关注多种尺度的地形对于多种尺度的天气系统的作用,因此在研究思路与重点上须作重大转变。过去在静力平衡预报模式中不作为主要关注对象,甚至需要过滤掉的一些动力学过程,或者已成为模式预报的主题,如与中尺度天气系统与降水

收稿日期:2005-03-01;改回日期:2005-03-03

基金项目:国家自然科学基金项目(40175028)资助

作者简介:薛纪善(1943-),男,研究员,主要从事数值预报研究。

过程有密切联系的重力波过程;或者已被模式保留下来,如声波过程。提高对这些过去被忽略的过程的计算精度,应是当前研究的一个重点。由于这些过程的基本动力学特性与缓慢的天气波动有很大差异,低分辨率模式中行之有效的地形处理方案在描述以上过程时的精度需要从新考察。例如国外的一些研究已经指出个别垂直坐标的选取方案会在山脉附近产生虚假的重力波列。由于这些波动与非绝热过程存在着强的正反馈,它们的误差会被模式的云雨过程所放大,而造成灾难性的后果。因此在保证大尺度水平气压梯度力计算精度的前提下,提高对更细致的动力学过程的描述精度,例如描写与山脉联系的重力内波的位相与传播速度的精度应成为数值方案选择的一个重要依据。这些波动的三维传播与垂直稳定度有关,所涉及的问题已不局限在水平气压梯度的计算。此外数值预报模式的分辨率总是有限的,模式对地形的分辨也总是有限的。次网格地形对于网格尺度的动力过程的作用需要通过参数化的过程来解决。随着数值预报的主要关注对象向中、小尺度系统转移,这一问题的重要性也增加了,需要进行更多的研究。

2 高原地形的热力作用与高原的特殊陆气相互作用

高原地形的热力作用包括高原复杂下垫面对大气辐射过程的影响、高原地面与大气热量(感热与潜热)的交换、高原的特殊云对大气凝结加热和辐射过程的影响等。地形对辐射过程的影响过去在模式中的表达比较粗糙,现在已经注意到坡向与日变化的影响,但坡向的作用不能简单地用模式网格上的地形高度来计算。包括坡向作用在内的各种地形热力影响,除了网格数据可表示的部分,还必须注意对次网格尺度不均匀性的作用的参数化。高原的对流过程曾引起研究大气环流的科学家的很大兴趣,但在数值预报领域,却缺乏对相关的对流参数化过程的专门研究。例如目前对高原与周边地区深、浅积云的宏观与微物理特征、它们在水汽与热量垂直输送中的作用与效果,它们对大尺度参数的依赖与反馈等等的理解都很浅,模式中的云与降水的计算多数是套用平原地区的方案。这方面的研究需要与观测试验结合起来,并尽可能多地使用可以获取的各种遥感资料,这也是遥感应用于数值预报研究的重要

方面。

我国西北部地区下垫面种类复杂多变,陆气相互作用性质多样。过去较注意陆面过程在气候系统中的影响。近几年科学家也开始关注陆面过程对天气系统的影响。高原地区的陆面过程有很多独特之处,陆面过程与天气过程的相互作用是一个有丰富内涵的研究领域。除了高原的下垫面复杂,在有限范围内既有裸露的土地、沙漠、又有不同的植被,还有冰雪与水面,致使大气与地面间的动量、热量及水分交换过程多样化外,对于我国的西北高原,还有一些很特殊的陆气相互作用过程,例如过去有学者注意到冷锋经过河西走廊可能引起沙尘暴,而大气中的沙尘又会改变大气的辐射特性,并进一步加强锋面前后的温度对比,形成一种正反馈机制。过去的研究基本上还是定性的,数值预报模式中也不能反映出这类过程。当前我国的科学家已经将大气动力学模式与包含起沙过程的气溶胶与沙尘模式耦合起来,为对上述过程的定量数值模拟与预报创造了条件。由于沙漠的面积在我国西北占的比例很大,这方面的研究可能对改进该地区的数值预报有意义。另一个重要的问题是地表状态的变化对于天气过程与局地天气系统发生发展的影响。这里既包含精确的地表分类数据的应用,也包括不同地表状态下大气与陆面过程的相互作用的准确表达。当下垫面变化后,除了地面反照率、拖曳系数等的变化对大气过程影响以外,还需要考虑大气过程,例如降水、风蚀对地表特性的影响。这些研究与气候系统模式中的陆面过程有相似之处,但更着重于短时间尺度的变化,因而支配的物理过程可能是很不相同的。

高原地区的天气的日变化特点是高原热力作用的一个重要方面。当前数值预报模式研究十分重视模式对于大气日变化的描述能力。高原地表已接近对流层中层,自由大气的日变化比平原地区更加强烈,有的天气系统的生消直接与日变化密切相关。在模式中正确反映日变化的特点是十分重要的。由于目前很多模式在反映日变化方面还存在各种问题,因此模式大气日变化应是检验模式的重要内容。

3 高原的特殊天气系统

高原地区的特殊天气系统的发生与演变是高原数值天气预报的重要内容,高原数值预报的成功与失败本质上就是对这些天气系统的模拟与预报能力。我国的科学家在有关高原天气系统的天气动力

学研究方面取得丰硕的成果,这些研究表明高原特殊天气系统如高原上对流层中、低层的低涡、切变线的发生、发展以及相应的天气表现与高原地形的动力与热力作用有关,并且对其机理已经有了一定深度的理解,这些成果是数值预报研究宝贵的基础。需要注意的是,这些系统本身的空间尺度不大,进行高原地形对这些系统的影响的数值模拟与数值预报研究,必须注意高原多尺度地形的共同作用。为此提高模式本身与所用地形数据的分辨率是研究的必要条件,使用的数值方案也应该能精确反映所研究的系统尺度的大气过程。过去数值预报模式的分辨率较低,注意力集中于大尺度形势的演变,因此选取数值方案时也主要强调减小对大尺度气压场的计算误差,但对在大尺度天气系统的演变中不起主要作用的一些动力或热力过程的精度考虑不多。当注意力转移到上述尺度较小的高原天气系统时,数值方案的选取必须在保留对大尺度环流系统的预报精度的同时,充分考虑对某些过去被忽略的过程的模拟与预报能力。例如天气动力学研究表明,气流过山后在山脉背风方向形成的波动对高原某些天气系统很有意义,但对山脉背风方向重力波的计算不少数值方案往往不关注并有重大误差,甚至计算的位相与实际正好相反。另一个问题是模式中对高原热力作用的描述的细化。在高原天气系统的演变中,地形性的积云或层状云过程扮演着重要的角色,要提高对高原特殊天气系统预报的能力,必须改进模式对地形性云的过程,包括它们的日变化与地形性云及辐射效应的描述。也就是说为了提高对高原特殊天气系统的数值预报能力,需要对高原的动力与热力作用有深入的理解,并在数值方案的选取中充分考虑对支配动力、热力过程的描写精度。

4 高原地区的资料同化

将高原地区的资料同化作为一个特殊问题提出来有观测与模式两方面的原因:从观测方面说,这一地区缺乏常规的探测资料,并且由于地形复杂,常规资料的代表性误差大;从模式方面说由于模式的地形数值处理方案,高原地区的模式变量与通常的分析变量的差异较平原地区大得多,分析中的动力学约束的提法也有很大困难。解决高原地区的分析问题需要将资料的重点放到遥感观测上,特别是卫星遥感资料的同化。首先要考虑的是卫星对大气温、湿度廓线的遥感资料即星载的探空观测资料。以

NOAA 卫星的 ATOVS 为例,红外、微波波段的 40 个通道的资料包含了大量的大气温、湿度信息,并且已经在数值预报中发挥了重要的作用,用好这些资料无疑会对高原数值预报有好的作用。但高原地区的卫星资料的同化有一些特殊的问题需要加以深入研究。一个重要的问题是高原复杂的地形与下垫面条件下的地表比辐射率的计算。某些波段的卫星观测的大气辐射值对地表比辐射率是敏感的。因此地表比辐射率的计算误差直接影响到资料同化的精度。但地表比辐射率的计算又取决于波长与地表状态,而后者在高原地区极不均匀,在时间上也会有急剧变化,如积雪的融化造成地表辐射特性的剧烈变化,即使对积雪,新、旧雪的辐射性质也不同。同样,沙漠、冰川、绿地的情况也很复杂,目前简单地根据气候地表状况的计算显然是不行的。比辐射率的准确计算取决于下垫面性质的正确判断与特定下垫面计算方案的精度。对于业务方案还需要顾及到业务运行的可能性,即对资料与计算机的需求不能很高。目前国际上这也是一个研究的热点,由于我们有较好的直接观测条件与资料积累,理应走在研究这一问题的前列。与观测相关的另一个问题是如何有效使用现有的观测资料,特别是地面观测资料。我国的西北高原地区,地面气象观测资料的密度还是较高的。但很多观测站位于河谷地区,分析使用时要考虑代表性误差。另外,地面观测要素属于近地层变量,这类变量与自由大气的变量的联系很复杂,同化过程还必须与模式的边界层方案协调。由于以上的原因,大部分资料同化系统对地面资料的利用率极低。前面曾指出高原地面已接近对流层中部,地面资料可能比平原地区在天气分析中更有价值,但必须处理好上述问题,为此需要专门的研究。

关于高原分析的动力学约束实质上是陡峭地形条件下动力学平衡的一级近似的表述。这种表述既要反映基本的平衡关系,又要在同化方案中可以通过简单的计算来实现。目前还没有很有效的方法既能反映基本平衡关系又简单、容易实施,也有待深入的研究。

5 高原地区的集合预报

如前面所述,高原地区的数值预报存在着众多的困难与误差,它们使预报变得十分不确定。集合预报被认为是处理预报不确定性的有效途径,但集合预报的形成需要针对预报不确定性的具体内涵。对

高原地区来讲模式的数值方案,特别是地形处理方案、模式的物理过程参数化、高原地区的初值都是预报不确定性的重要来源。针对数值方案、物理参数化方案与初值构造集合预报的模式扰动与初值扰动方案,形成多个集合预报成员,可能会对改进高原地区的数值预报有明显的效果。由于目前我国的业务数值预报中心对高原地区的数值预报多数是利用有限区域模式进行的,边值的扰动也值得研究。集合预报各成员的预报需要有足够的离散度,并且这种离散度应与集合预报所考虑的预报不确定性相联系。关于不同的模式地形处理数值方案能否产生预报的足够离散度的问题还需要作深入的研究。这种离散度还可能因物理过程的引入而被放大,从这个角度讲,模式扰动需要综合考虑数值方案与物理参数化的搭配。

6 小 结

高原地区的数值预报的成效取决于对高原数值预报特殊科学问题的理解认识的深度,而主要科学问题的提法随着模式的发展而变化。当前数值预报已经进入到以中尺度系统为主要对象的新的发展阶段,过去被忽视的一些问题的重要性显现出来,需要对地形数值处理方案进行新的考察与提出新的要求。在地形的动力学作用方面,在保证对大尺度水平气压梯度力计算的精度的同时,还要改进对地形引起的重力波的三维传播的模拟精度。在地形的热力学作用方面,需要细化重要的物理过程方案,包括高原陆面过程方案,特别关注西北高原特殊的陆—气相互作用,并将次网格尺度的地形的作用反映到模式中。由于高原是常规观测资料稀缺的地区,一方面要改进高原上空卫星遥感资料同化的效果,同时还要研究有效利用常规地面观测资料的同化方案。随着对这些问题的深入展开,西北高原地区数值预报是可望取得与其他地区相似的良好效果的。

Some Scientific Issues on Numerical Weather Prediction in Northwest China

XUE Ji-shan

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The main scientific issues related to the numerical weather prediction (NWP) in the northwest China are reviewed in this paper. It is emphasized that in order to meet the increasing spatial resolution of NWP models and the requirements for the more accurate weather prediction, more attention should be paid to the accurate numerical depiction of the dynamic and heating effects, among which are the dynamic processes neglected in the low resolution models and the sub-grid inhomogeneity of the terrain, the multi scale features of the terrain on the evolution of the weather system. The particularity and importance of the data assimilation and the possible application of ensemble forecast techniques are also stressed.

Keywords: numerical weather prediction; plateau; northwest China; scientific issue