

大气超长期过程的性质

[苏] И. А. 穆萨耶梁 著

科学出版社

大气超长期过程的性质

〔苏〕И. А. 穆萨耶梁 著

刘树泽 杨玉梅 译

科学出版社

1982

内 容 简 介

本书介绍了对超长期海-气过程性质的初步研究成果。海-气过程形成了使广阔欧洲大陆地区冷半年持续了数月之久的温度正距平,并对这些过程形成的原因做了解释。

作为这项研究的基本原理,是假设海洋活动层含热量距平的形成是发生在暖半年,在这一过程中起决定性作用的因子是云的特征。广泛地利用了北大西洋上空云量距平与苏联欧洲地区地面温度距平间的非同步关系,为采用新方法研究大尺度海-气过程提供了可能性。

最后,书中还利用这种非同步关系对海洋热“记忆”进行参数化的尝试,提出了海-气相互作用大尺度过程参数化的动力统计方法,非绝热因子的流体力学方程等。

本书可供从事长期天气预报和气候理论等方面的气象工作者、大专院校有关专业的师生参考。

Ш. А. Мусаелян
О ПРИРОДЕ НЕКОТОРЫХ СВЕРХДЛИТЕЛЬНЫХ
АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ
Гидрометеиздат Ленинград, 1978

大气超长期过程的性质

[苏] Ш. А. 穆萨耶梁 著

刘树泽 杨玉梅 译

责任编辑 赵徐懿

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982 年 7 月 第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1982 年 7 月 第一次印刷 印张: 4 3/8

印数: 0001—1,800 字数: 97,000

统一书号: 13031·1932

本社书号: 2631·13—15

定价: 1.10 元

译 者 的 话

在本世纪五十年代以前，人们偏重于考虑气象条件对海洋的影响，而在某种程度上忽视了海洋对大气的作用。

随着气象和海洋科学的发展，各种现代化探测手段的运用，观测资料日益增多以及大规模的科学试验的进行，人们越来越认识到围绕我们的各种环境介质，首先是大气和海洋是一个统一的相互联系的整体，对于成功的天气预报，特别是长期天气预报，还必须掌握大气以外的情报资料及其演变的规律，这里首先指的是占整个地球面积 71% 的全球海洋资料及其规律。

五十年代以后，一些新的海-气相互作用的自然现象及其规律逐渐被揭露，不少学者相继指出：海洋与大气在时间和空间上都存在着连续的相互作用，它们是一双对偶的系统，单纯地把海洋看作是气象变化的结果而忽视海洋对大气的作用以及它们之间的错综复杂的相互关系，是不恰当的。到六十年代后期，海-气相互作用的研究以及试验工作的进展更为显著，其中有些成果已初步应用于长期天气预报和气候异常预报上。

和许多其他学科一样，研究海-气相互作用的机制也有两种方法：一种叫做本质论法。这种方法研究海-气相互作用时，要求占有完备的海洋和大气状态观测资料；要求详尽地掌握大气和海洋两介质中的热量、水汽和动量的交换规律，尤其是海-气交界面的特性；另一种方法，叫做现象法。在许多学科的研究中，均广为使用现象法。本书就是运用这一方法。从大气科学来说，研究大型大气过程的变化机制的外部表现乃是现象方法的基础。研究云量与大气温度场之间的非同步关系，就是从现象方面入手，进而去揭示其内在的规律性。

海-气相互作用的研究引起世界许多国家和学者们的极大兴

趣。包括我国在内的世界上的一些国家都已进行了大量的海-气相互作用的研究。在这方面,苏联是开展得比较早、方法研究得较多的国家之一。本书作者在从事数值天气预报和大气环流的研究工作中,积累了二十多年的经验。这部专著就是他和有关研究人员的经验和成果的总结。作者以欧洲大西洋为具体实例,用现象法探讨了造成 1974 年—1975 年的冬半年苏联欧洲广大地区的超长期异常的温度正距平的原因与性质。本研究中所依据的假设是:在西风盛行的条件下,造成冬半年苏联欧洲地区异常大气过程的主要天气形成因子是北大西洋对大气的热力作用。同时,还认为在夏季海洋活动层贮热过程的形成中以及在冬季海-气热交换的过程中,海洋上空的云量(调节因子)是起着决定性作用的。在研究中,作者运用了北大西洋上空云量距平与苏联欧洲地区地面温度距平间的非同步关系。这种非同步关系的获得,为采用新办法研究大尺度海-气相互作用提供了可能性;为研究新的更有效的长期天气预报方法奠定了基础。

尽管此项研究只局限于有限的海域和陆地范围,所获结果也只是初步成果,但是,作者所采用的方法和思想却具有普遍意义。所以,本书可供我国广大气象、海洋等环境科学的实际和研究工作者参考,也可作为高等院校有关专业高年级和研究生的阅读材料。

译文承蒙曾庆存、杜行远和史久恩同志审校,在此一并向他们表示衷心感谢!

前 言

在 20 至 30 年前,研究天气预报,其中包括长期天气预报的气象学领域还是处于牛顿之前的物理学发展阶段,其中的一些假说并未经过充分的实验验证。不少气象学假说和海洋学假说,常常带有任意性,这主要因为缺少必要的观测和实验资料。尽管近 10 至 20 年中,情况有所改善,但还有许多重要问题,研究很少。这首先就是指对于模拟大气环流和研究长期数值天气预报方法有着十分重要意义的海-气系统中能量相互作用过程的问题。

1. 牛顿,在其名著《原理》¹⁾一书中写道:“如果创立假说,只是因为它是可能的,那么,在任何科学中什么也不能精确地定出来”。牛顿这一名著的问世,标志着原理物理学取代了假设物理学。

毫无疑问,如果一种假说不经过必要的实验验证,它会导致荒谬的结果。显然,经过了严格验证的假说系统,可以成为研制长期天气预报方法的现实基础。

但是,正如大家熟知,时至今日,对地球大气与世界海洋进行实验研究还很不够。就拿高空气象站网来说吧,只有 1/5 的地球表面上的高空站数,还可以满足需要。同时,现有的无线电探空探测高度,大体上是 20—30 公里。然而,即使在这个极其有限的大气领域里,也不可能获得较为完整的大气状态资料,因为至今还有许多重要自然参数(如云中含水量)尚未进行系统观测。至于剩下的 4/5 地球表面,或者根本没有高空站,或者零星地有几个。仅根据这几个高空站的资料,根本谈不上什么高质量的分析。

海洋观测情况更坏。世界海洋面积占整个地球面积的 71%。全球洋面上总共才有 7 艘天气船进行定点深水水文观测,其中 5 艘停泊在大西洋,两艘停泊在太平洋北部水域。这 5 艘天气船的

1) 1. 牛顿,自然哲学的数学原理。

观测资料，就连绘制一张北半球中纬地区的大西洋实况图也是不够用的。如果把这 7 艘天气船均匀地配置在整个世界海洋上，两艘船的间距就要大于 7000 公里！这就是深水海洋观测的空间分辨能力。至于现行的一些海洋观测方法，情况也好不了多少。这里，仅举一例。众所周知，有 50% 的水汽是通过蒸发途径从低纬度的海洋输入到大气中去^[32]。同样，大家也都知道，水汽(按 Д. С. Малкус 的精确的评语，水汽是大气的基本“可燃”气体^[85])对世界海洋和全球大气动力学是至关重要的。然而，至今还没有研究出多少能令人满意的海面蒸发测定法。

顺便指出，著名意大利海洋学家 А. Лаконб 写过一本很有价值的科普著作，其中有这样一句话^[32, 第 22 页]，现引用于下：“测定整个地球的水汽平衡是测定平均蒸发值的一种好办法”。应指出，为此需要这样一些资料：海洋上的降水量、河流迳流、以及冰融化等资料。这就产生一个问题：例如到哪儿去索取大洋上的降水资料？须知，世界海洋赤道区域的观测资料或者是没有，或者是很少，已至于像气压场那样平滑的空间分布情况都反映不了，况且降水的分布又十分复杂，对于这一气象要素，内插法又根本不能用。

看来，在上述情况下，大洋赤道水域卫星云图照片是能够带来巨大的益处。例如，假定我们能够根据现有的卫星观测资料估算出(那怕是大体上估计出)海洋上各种云层水汽特征值，及其各季的垂直厚度，那么在每一具体情况下就可以根据这些卫星云图照片近似地估算水汽凝结量和蒸发量。通过这样的办法所获得的资料，再加上现有其他观测资料，肯定就能够得出较接近于实际的水汽状态。获得像这样的云层资料已有十多年了，即从 1965 年开始，气象卫星就开始对全球云层进行系统观测。鉴于上述情况，不管怎样，我们认为，卫星观测途径是最现实、最有发展前景的办法。因为，直至今日气象卫星获得的云图照片是关于海洋上空大气状态的唯一系统、连续(就空间上来说，这对我们的研究目的十分重要)、有代表性的资料。

几年前，苏联水文气象中心大气环流数值模拟实验室，曾对苏

联欧洲一些地区作了类似工作^[69]。

近年来情况有了很大变化。不仅苏联学者^[2],许多外国学者^[92]也同样根据气象卫星短波探测结果完成了确定降水区和降水强度的大量工作。尤其是,在空间研究委员会第 19 次大会上(1976 年 6 月 8—19 日,在美国费城召开),美国一些学者如艾博特、拉奥和西奥思等人介绍的世界海洋上降水分布图,就是根据气象卫星上的短波辐射仪测量结果绘制的^[92]。但是,在使用这些重要资料时,须对其精确度进行仔细检查。

上面所讲的有关海洋上的降水资料的情况,并不是针对 Лакотин(他只是指出这一事实)的指责,或任何其他作者的。相反,有不少学者(包括苏联和外国)在观测资料极端缺乏的条件下,获得了十分有价值的有关海洋上降水分布、蒸发和其他特征资料(见参考文献)。这些资料在进行大气环流和气候数值模拟实验时,得到了应用。这里,我们只想再次强调,应该比今天更多地关心气象和海洋资料问题。

但是,谈到这一点时,还必须强调指出的是,近年来由于许多国际性的计划(如全球大气研究计划、热带试验计划、环境计划等等)的提出和实施(苏联均积极参加),很有希望在可以预见的未来,气象和海洋观测资料问题将会得到较好地解决^[62,66,67]。并且十分清楚,许多其他气象课题,尤其是长期天气预报方法能否顺利解决,也完全取决于这一问题解决的好坏。

本文宗旨是试图研究冷季大范围大陆上空超长期异常温度正距平形成的性质。如果着眼于全球性观测资料,则应将获取全球资料看成是开展这方面研究必不可少的一步。研究 1974 年秋—1975 年冬* 的苏联欧洲地区出现的异常天气过程就是一例。在这个时期内,苏联欧洲地区都为正距平,而且还是很大的正距平。这一过程就其持续时间和强度来说,都是历史上罕见的。类似这种过程,或稍许比这弱一点的过程,也算是十分罕见的。观测资料证

* 本书中的“1974 年秋—1975 年冬”均指 1974 年 9,10,11,12 月至 1975 年 1,2 月这六个月。——译者注

明,近 84 年来(1891—1975 年)这样反常的大气过程曾出现过四次 1905—1906 年、1943—1944 年、1954—1955 年、1974—1975 年,就是说平均约 20 年一遇。

正因为像这样反常的大气过程是少见的,所以它们就显得更加重要,必须大力加强研究。这样异常的大气过程之所以重要,还因为它对国民经济具有重大的实际意义。研究这些反常过程在理论上和实际上重要的意义在于,通过研究便可探寻出新的预报因子和规律,为提出新的长期天气预报方法奠定基础。

在本研究中我们所依据的假设是:在西风盛行的条件下,造成冷半年苏联欧洲地区强大正距平的超长期大气过程的主要天气形成因子是北大西洋对大气的热力作用。同时,还认为,无论是在夏季海洋活动层贮热过程的形成中,或是在冬季海-气热交换过程中,海洋上空的云量(调节因子)起着决定性的作用。

实际上,根据我们占有的海洋和大气状态资料,验证这一假设也是该项研究的目的之一。

我们并不认为,在本研究中对上述假设进行的验证是尽善尽美的。相反,按我们的意见对上述成果必须用新的观测资料进一步做更加细致的全面验证。不过其中有许多问题超出我们的视野,因为这些问题超出我们的研究范围了,需要进行专门研究。例如,甚至连像北极水域上空的大气过程对欧亚大陆天气形成和影响的重要问题,我们都未涉及到。那么,上述事实 and 初步获得的结论具有多大信服力呢?请读者裁决!然而,作者的期望是这些结论和事实,对研究大尺度大气过程能有所裨益。

本研究中的一问题,作者曾于不同时间,不只一次地与 Г. И. Марчук 院士、М. А. Петросяниц 教授以及 В. П. Садоков 博士进行过讨论研究。作者向他们表示深切感谢。此外,第一章第三节和第四节由作者和 А. И. Угрюмов 合写,第二章第一节由 А. И. Угрюмов 执笔,第二章第五节由 Т. Ш. Мусаелян 执笔;第三章第二节由 Г. Н. Милейков 和 Н. Н. Кольчицкий 合写。作者向所有这些合作者表示衷心感谢!

序

在研究长期大尺度大气过程的时候，应把太阳-地球-大气系统视为一个统一的、不可分割的整体。该系统中唯一的能源是太阳。太阳辐射能在时间上¹⁾几乎是不变的。由于大气和地球的成分和热物理特性的不同，所以当太阳辐射能到达地球大气和地球上的时候，其分布是不均匀的。若不考虑电离层中所发生的过程，那末可以认为太阳辐射能的主要转化过程发生在离地面 70 公里的低层大气中。众所周知，这一大气层是非均一的。根据其各自不同的物理化学特性，这 70 公里的大气层又分为三层。

紫外辐射主要集中在 40 公里的上层—中层大气。大家知道，按 Чепмен 的理论，由于光化学反应，从氧分子形成臭氧。由于臭氧的存在，25% 的太阳辐射能被中层大气所吸收。因此，中层大气是比较暖和的。在大约 50 公里的高度上，温度接近于 0°C (即所谓中层顶)²⁾。

众所周知，平流层中太阳辐射变化大，主要是由于臭氧的影响。至于对流层，这里扩散反射过程以及云层上界和地面反射过程发展强烈。但是，因为大气是一个十分不稳定的介质，其中有强烈发展的湍流运动，致使大气中的云量、水汽、二氧化碳、臭氧、气溶胶以及其它要素的分布随时间变化很大。结果，到达地球上的太阳辐射能，在其表面上的分布也是很不均匀的，这与云层特点关

1) 有一些专家认为，太阳常数是有变化的，其变化范围为 1—2%^[1]，而另一部分专家认为，太阳常数只变化 0.1—0.2%^[41]。看来，无论哪种情况，只能对大气不稳定区发生的过程起到一定作用。至于对长期大尺度大气过程来说，特别是对研究较长期的平均气象场 (这是我们首先要研究的问题) 而言，太阳常数的这种变化未必能起到什么重要作用。

2) 有时中层大气中的温度能降到 -60°C。按一些作者的意见，此时会出现夜光云。但是，这是十分罕见的现象。

系极大。

本研究中首先关心的是到达地球表面上的被大洋所吸收的那一部分太阳能。

世界海洋同样也是非静止的、涡动的介质,虽然海洋中的这些特性表现得不像大气中那么强烈。因此,严格地讲每一时刻的海洋状况与前一时刻的状况是不一样的,于是随之而来的海洋中太阳能转换过程也是随时间变化着的。

太阳辐射到达海面之后,其中部分的又重新反射回大气中去,部分的进入大洋深处。首先,在水介质中太阳能被吸收和被扩散。根据我们研究的目的,我们所关心的是海水中吸收太阳能的过程。按照 A. C. Мошин 的说法,海洋所吸收的太阳能的数量与云层特点有着“至关重要的关系”^[44]。

总起来讲,海洋从太阳那里获得的热量,平均约等于 $0.22 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分}$ ^[32]。海洋所消耗的热量,平均也必须这么多。这种热量消耗主要发生在下列过程中:热传导过程、对流热输送过程,蒸发过程和海洋反射过程。

下面简单地谈谈这些过程。

当冷空气在暖洋面上移动时,由于热传导作用,紧贴水面的空气质点也变暖。因为,这个变暖过程发生在紧贴洋面薄薄的气层中,所以这时产生的不稳定性促使对流过程发展,把海洋中的热量和水汽输送到大气中去。伴随这些过程常常产生湍流运动,便把液体和气体质点,从一个层次输送到另一些层次中去。与此同时,湍流运动也把这些介质的特性,从这个层次带到另一个层次中去,也就是说通过湍流扩散把海水的某些物理化学特征带到大气中去。我们将在第二章第二节中介绍一种计算海洋对流热输送的具体方法。

海洋与大气间的水汽交换是通过蒸发过程实现的。如上所述,蒸发过程与对流热输送过程密切相关。因为,在信风带中海水温度总是比空气暖和(甚至夏季也是如此)。这样在发生对流和湍流热输送的情况下,不仅热量,连水汽也一起被输送到大气中去。

• x •

海面上的风速愈大,海温和气温的正较差愈大,这一过程发展得就愈强烈。

专家们一致认为,由于蒸发,海洋失掉巨大的热量,然后这些热量在形成各种形状的云层过程中,以潜热的形式释放到大气的不同高度上。

这样,海洋以蒸发、对流和湍流进行水汽交换等形式把热量输送给大气的过程,与相应水域上空云层之间,应该有着密切的关系。

最终,海洋内部能量同样也是以长波辐射的方式,从水面上散失的。在波长近于 10 微米的红外波段内,这种长波辐射强度最大。海洋长波辐射能量在很大程度上也与云层性质有关。例如,晴天时长波辐射最大值接近于 $0.17 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分}$,这个数值是很大的,它相当于海洋所吸收的全部太阳辐射能的 $3/4$ 。云层是红外辐射的良好吸收体。在有云的实际大气中,这些能量又部分地被辐射回到地球表面。大气中的水汽和二氧化碳同样也促进这一过程的发展。因此,阴天时洋面上的辐射量少于晴天的。计算结果证明,在云层密集的情况下,“有效辐射”大约是晴天时辐射的 $1/5$ 。

故根据上述情况得出,云是下面两个过程的主要调节者:一是海洋吸收短波太阳辐射过程:二是海洋以长波辐射形式经过水面把能量射出的过程。

根据本书研究目的,最重要的是,云层有利于海洋所吸收的太阳辐射能的保存,然后又以长波辐射形式把能量输送给大气(或宇宙),当然也与云层性质有关。

上述结论,是具有原则性的。正是这些结论阐明,海洋上空的云量和大气温度场之间存在着非同步关系,后者我们将在下面论述。

最后,在大陆土壤表层中所发生的过程,同样也是随时间变化的,也是与大气状态以及土壤表层和地球表面的状态和热物理特性有关的。

这样,就是对上述过程粗略的、很一般性的描述也说明了,在

地球和大气系统中,严格地讲,每一时刻都发生太阳辐射能复杂的再分配过程。而这些过程又与大气状态和地球状态(自然介质)及其中所发生的过程有着十分密切的关系。

假设,对于长时间的天气形成说来,最重要的,只是经过多次转化最终保留在水圈、岩石圈和我们行星的大气圈中的那部分太阳辐射。那么,看来在研究大尺度的海-气过程时,是可以把地球-大气系统看成是一个闭合系统。这个系统的唯一能源是距地球 1.5×10^8 公里的太阳。

因此,为了研究我们所感兴趣的大尺度大气过程,必须:

- 1) 了解与掌握支配着太阳-地球-大气系统中过程发生的规律以及运用这些规律的可靠方法;
- 2) 掌握反映大气、海洋和陆地状态的具有必要质量和时、空分辨能力的资料。

预报某种大气过程或者说实质上就是解释大气过程变化的性质,严格地讲就是在熟悉了这些规律,而且又具备了我們周围环境(大气、世界海洋、大陆)过去时间的和初始时刻状态的资料之后,判断其未来的发展。

按现代的概念,支配着发生在太阳-地球-大气系统中的过程规律的数学表达式,实质上就是描述长时间的大尺度海-气过程的数学表达式,就是地球和大气的流体热力学方程组。这些方程组考虑到了我们三大环境介质中的太阳能的转换过程。

我们用 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{l_1}$, 代表大气和海洋状态特征量,即风速分量、温度、臭氧、盐度、密度等等。

为了下一步叙述问题方便起见,我们把描写任一特征量 x_{l_0} ($1 \leq l_0 \leq l_1$) 的时、空变化的方程写成下面形式

$$\frac{\partial x_{l_0}}{\partial t} + N_0(x_1, x_2, \dots, x_{l_0}, \dots, x_{l_1}, \varphi, \lambda, z, t) = f_1^{(l_0)}(\varphi, \lambda, z, t) + f_2^{(l_0)}(\varphi, \lambda, z, t) + \dots + f_{l_2}^{(l_0)}(\varphi, \lambda, z, t). \quad (1)$$

式中 N_0 一般来说为某一非线性的算符; $f_1^{(l_0)}, f_2^{(l_0)}, \dots, f_{l_2}^{(l_0)}$ 为描写不同扰动因子的某些函数。在 l_0 取某些值的情况下,方程

组(1)是描写大气的;而在取另一些值的情况下,就是描述海洋的。这样,方程组(1),以符号形式写出了海-气系统的流体热力学方程组。

为要对方程组(1)进行积分,必须给出初始条件

$$x_{l_0}(\varphi, \lambda, z, t)|_{t=0} = x_{l_0}^{(0)}(\varphi, \lambda, z) \quad (2)$$

和适当的边界条件。

所谓做 δt 时段的 $x_{l_0}(\varphi, \lambda, z, t)$ 特征量场的预报,就是指根据(1)和(2)方程组的解,计算这一特征量(即函数 $x_{l_0}^{(0)}(\varphi, \lambda, z)$)的初始场在 δt 时间内受扰动因子 $f_1^{(l_0)}, f_2^{(l_0)}, \dots, f_{l_0}^{(l_0)}$ 的影响后,变化多大,假如这一变化是遵循(1)的规律的话。

假设,流体热力学方程组(1)是精确地描述大尺度海-气过程,则只有在下述场合下才能得出具有科学根据的精确预报来,即如果:

- 1) 有准确的求解(1)-(2)方程组的方法;
- 2) 给出整个大气、世界海洋、大陆精确的函数值 $x_{l_0}^{(0)}(\varphi, \lambda, z)$;
- 3) 给出准确的边界条件;
- 4) 给出精确的各个扰动函数值 $f_1^{(l_0)}, f_2^{(l_0)}, f_3^{(l_0)} \dots \dots f_{l_0}^{(l_0)}$ (或者有精确地计算这些函数值的方法);
- 5) 给出所有参数(湍流系数、热物理特征量等等)的精确值,或者说有精确地计算这些参数值的方法。

根据当今科学发展的水平,上述任何一个条件均不能实现,所以现在不可能谈论什么准确预报的问题。目前(或者说在可预见的未来)只能讲具有一定精确性的近似预报。

同样,当要求我们对某一大尺度海-气过程或海-气现象,给予科学的解释时,也存在着类似困难。对某一大气过程给予科学的解释,这意味着什么? 综上所述,这就是说,根据数值实验得出大气、海洋、陆地的某一初始状态,用电子计算机对(1)-(2)方程组进行多次运算,加入或剔除某些影响因子后,对上述问题做出回答。从这个意义上讲,既使能够用过去的(包括出现我们所感兴趣的大气过程的时期在内)大量的有关大气、海洋、大陆状态的资料进

行所有各种必要的数值实验，但这一情况对于帮助回答上述问题也不会起到什么关键性的作用。

因此，在许多场合下，科学地阐明（那怕近似地）某一大气过程的实质，差不多与预报这一大气过程一样的困难。

在研究长时间的大尺度大气过程时，了解和掌握海-气系统的相互作用机制是十分重要的。也象现代科学许多其它领域一样，研究海-气相互作用的机制有两个途径：一是本质论（онтологический）法。此种方法要求有完备的海洋和大气状况的资料，要求详细了解大气和海洋两介质中热量、水汽和动量交换规律，尤其是它们交界面的特性。众所周知，苏联学者^[21]和许多外国学者，在这方面都作了大量的探索性研究^[79,81]。

是的，用上述方法研究海-气相互作用乃是现代环境科学的最主要的基本课题之一。因此，可以断定，将来在这方面必将获得更大成果。同时，会对海水温度观测资料的精度，提出更高的要求。但是，目前，人们还是分开地研究海洋和大气，因此，关于这两个介质状态资料精度的问题，还不那么尖锐。但是，正如文献[44]所指，如果世界海洋100米厚的表层水温降低 0.1°C ，并且假定释放出来的热量全部用于大气增温，那么整个大气温度将升高 $5^{\circ}-6^{\circ}\text{C}$ 。1976年在塔什干召开的苏美气候模拟学术讨论会上，Гейтс教授曾经介绍了美国国家大气研究中心（Г. Болдер）大气环境模拟实验的结果。证明，当世界海洋表层水温变化 $0.1^{\circ}-0.2^{\circ}\text{C}$ 时，就会引起其它气象要素场的巨大变化^[75]。所有这些都说明，在采用本质论方法时，必须十分精确地了解世界海洋表面水温的变化状况。

但是，研究海-气相互作用机制，也有另外一种方法，即现象方法（феноменологический）。这一方法在各个知识领域中，无论过去和现在都在广泛使用。研究我们所感兴趣的大型大气过程变化机制的外部表现乃是这种方法的基础。在谈到现象法的优点时，В. М. Глушков院士在其发表的一篇讲话中曾恰当地举了一个例子。这个例子是大家都已熟知的，而对我们来说又非常有说服力和非常有价值。在此我们不妨引用一下：“古代人不知道万有引

力规律的概念,并认为太阳是绕地球转的,可是他们却有惊人准确的日历”,也就是说当人们谈论某一种自然现象的实际应用时,“日历”往往是十分重要的。

研究云量与大气温度场之间的非同步变化关系^[51,52]就是从现象方面入手解决海-气系统大尺度相互作用过程参数化问题的方法之一。

有了这种非同步关系,在没有海洋状况直接观测资料和水-气交界层的交换过程的资料情况下,用间接法就能够考虑到水质对太阳辐射能的吸收,水圈中太阳能如何转换成热能和能量的贮存,以及随后又如何把热能输送给大气等问题。换句话说,有了上述关系就可以计算海洋热能的“记忆”对长期大尺度大气温度场形成过程的影响。

我们认为,对于解决长期天气预报来说,考虑这一因子是绝对必要的。

现在让我们简略叙述一下: 什么叫做长期天气预报,它与短期天气预报有哪些基本差别?

众所周知,描述这些介质的流体热力学方程组是控制着地-气系统过程的规律。根据这一观点,无论是解决短期的,或是长期的流体力学天气预报,总都是以类似的微分方程组为依据的。但是,短期和长期之间有着重要的原则区别。

看来,是 A. C. Мошин 第一个提出长期数值天气预报定义的,他并且证明,天气过程的“衰减时间”大约为一周左右。所以,小于一周的预报,可称之为短期天气预报。对短期天气预报来说,初始资料起着十分重要的作用。大于一周的预报,就叫做长期天气预报。对于长期天气预报来说,起主要作用的是能源。因为“长期天气变化的实质,实际上是非绝热过程”^[45]。

因此,只有在作短期天气预报时,才能把大气看成一个孤立的介质。然而,在做长期天气预报时,无论如何是不能这样看待的。

用流函数写成的涡度方程对纬向气流线性化后,便不难证明初始资料的作用是随时间递减的。大家熟知,此时方程式如下^[5,46]:

$$\frac{\partial \Delta \phi}{\partial t} + \alpha \frac{\partial \Delta \phi}{\partial \lambda} + 2\omega \frac{\partial \phi}{\partial \lambda} - \frac{k}{a^2} \Delta \Delta \phi = f(\theta, \lambda, t) \quad (3)$$

这里, $\varphi(\theta, \lambda, t)$ 是在某一大气层内对高度平均后的流函数与其纬向值的偏差,

$$\Delta \equiv \frac{1}{\sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} \right]$$

是球坐标系中的拉普拉斯算子, $f(\theta, \lambda, t)$ 是某已知的函数。

未知函数 $\phi(\theta, \lambda, t)$ 的初始条件, 我们写成下式

$$\phi(\theta, \lambda, t)|_{t=0} = \phi^{(0)}(\theta, \lambda). \quad (4)$$

现在让我们求方程式 (3) 的对 λ 是周期的解, 对赤道是对称的, 在极圈变成零。它还满足初始条件 (4)。通过球函数序列, 我们给出已知函数 $f(\theta, \lambda, t)$ 和 $\phi^{(0)}(\theta, \lambda)$

$$f(\theta, \lambda, t) = \operatorname{Re} \sum_n \sum_m \bar{f}_n^m(t) e^{-im\lambda} P_n^m(\cos \theta);$$

$$\phi^{(0)}(\theta, \lambda) = \operatorname{Re} \sum_n \sum_m \bar{\phi}_{0n}^m e^{-im\lambda} P_n^m(\cos \theta).$$

并将 (3) 和 (4) 的解, 同样写成

$$\phi(\theta, \lambda, t) = \operatorname{Re} \sum_n \sum_m \bar{\phi}_n^m(t) e^{-im\lambda} P_n^m(\cos \theta).$$

这里 $P_n^m(\cos \theta)$ 是 Лежандр 的伴随多项式

$$\bar{f}_n^m = f_n^m + i f_n^{\prime m};$$

$$\bar{\phi}_{0n}^m = \phi_{0n}^m + i \phi_{0n}^{\prime m};$$

$$\bar{\phi}_n^m = \phi_n^m + i \phi_n^{\prime m}.$$

不难证明, 任务归结为求积分方程

$$\frac{d \bar{\phi}_n^m}{dt} + \sigma_n^m \bar{\phi}_n^m = -\frac{\bar{f}_n^m}{n(n+1)}, \quad (5)$$

用初始条件

$$\text{当 } t=0 \text{ 时, } \bar{\phi}_n^m = \bar{\phi}_{0n}^m, \quad (6)$$

这里使用下列符号