

谐谱分析中期天气预报文集

《谐谱分析中期天气预报文集》

编 委 会 编

气象出版社

谐谱分析中期天气预报文集

《谐谱分析中期天气预报文集》

编委会编

气象出版社

内 容 简 介

本文集反映了近年来我国谐谱分析在中期天气分析预报研究应用方面的较新成果。内容主要包括谱分析技术在气象上应用的进展,谐谱中期天气分析方法和预报经验等。

本文集可供气象科研、业务人员以及大专院校有关专业师生等阅读参考。

谐谱分析中期天气预报文集

《谐谱分析中期天气预报文集》编委会 编

责任编辑 顾仁俭

* * *

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

* * *

开本: 787×1092 1/16 印张: 24 字数: 590千字

1987年11月第一版 1987年11月第一次印刷

印数: 1—1,700

统一书号: 13194·0402

定价: 5.60元

前 言

七十年代后期,国内在应用谱分析方法研究气象要素场空间序列超长波长波时、空演变特征及其在中期天气分析与预报上的应用,得到较快发展。为了及时交流总结,国家气象局气象科学研究所曾于1978年(岳阳市)、1981年(武汉市)和1984年(无锡市)先后召开暴雨(中期)以及谐谱(谐波与能谱)分析中期预报专题学术交流会,并于1983年春(武汉市)举办了讲习讨论班,尔后有许多省市相继举办了类似的讲习班。通过交流讨论以及近几年来实践,表明谐谱分析既是一种分析方法,也可结合统计分析建立预报工具;既可单独使用,也可结合其他方法或中期数值预报产品等分析应用,且有较好的应用效果。

综观1984年无锡会议的交流材料,谐谱分析中期预报应用在广度和深度上均存显著的进展。为了广泛交流和推动谐谱分析中期预报工作的开展和深入,无锡会议决定从本次会议和征集到的共233篇论文和技术材料中选出49篇全文和32篇摘要编印为本文集。由于篇幅所限,大部分文章未能选入(已经发表或作者准备在其他刊物上刊登的亦未列进),有的只采用摘要登载,加之选编水平关系,难免有遗珠之憾,谨请鉴谅。

本文集选编内容着眼于预报应用,以揭露中期天气过程演变规律和交流预报经验为主,兼顾理论分析和方法探讨。大致分综述、分析和预报三方面编排;另为提供业务应用参考,还附一个BASIC算法语言的纬圆谱计算程序。内容大体反映了我国在上述诸方面的较新成果。

本文集由章淹、陈新强、黄忠恕、李黄、张敬业、周曾奎、姜芝豪等同志负责审编。由于水平和经验所限,不妥之处,敬请读者批评指正。在审编过程中,还得到气象科学研究所、北京大学地球物理系、北京气象学院、南京气象学院、北京气象中心等单位有关同志的大力协助;在出版过程中,气象科学研究所陈新强、仪清菊等同志做了许多具体工作;齐淑芬同志协助部分绘图,在此一并致谢!

编 者

一九八五年四月

目 录

综 述

中期天气预报的回顾与“波谱分析中期预报方法”的提出	章 淹(1)
近代谱分析技术的进展	黄忠恕(9)
谱分析在我国天气分析预报上应用的进展	陈新强(23)

分 析

瞬变超长波和长波有效位能不同周期振动的机制	缪锦海、樊凤泉(35)
时-空谱分析及应用	李 黄、刘桂芝(44)
用富里叶-车贝雪夫多项式分析大型环流的演变特征	李 黄、刘桂芝(53)
大型波动预报误差初步分析	余鹤书、李晓东(61)
欧洲中期预报中心500百帕谐波和格点高度预报误差检验	周曾奎、邱孔明(68)
谐波分析中的数值可靠性和谐波显著性临界值	陈寅生(76)
春、夏暴雨中期过程的研究	张敬业(83)
角动量谱不同计算的误差分析	陈新强(90)
时间序列的谱分析与中期天气分析和预报	陆龙骅(98)
广西逐日平均气温的周期性及其时空分布	丁裕国、蒋伯仁、尚 化(106)
经向涡动动能与宁夏降水关系的初步分析和应用	陈晓光、王英素(111)
中低纬波谱特征与夏季副热带高压的南北移动	许晨海、陈新强(116)
1983年夏季副热带高压系统谱特征及其对新疆降水的影响	蔡承侠(124)
江苏省南部汛期雨量与100百帕副热带地区波谱的某些关系	黄润龙(130)
中期天气过程的超长波背景分析	付立林(138)
夏汛期一次转折性天气的中期分析	黄小莉(144)
四川盛夏大暴雨高空环流波谱特征的初步分析	沈素红、陈新强(148)
春季连阴雨过程500百帕波谱特征的初步分析	张学智(155)
春季500百帕波谱变化及其与寒潮的关系	赵勤炳、喻 葳(160)
寒潮的合成分析	仪清菊(166)
南方寒潮500百帕谐谱特征的初步分析	张 建、陈新强(171)
华北暴雨的波谱型(摘要)	余鹤书、晁淑懿(179)
500百帕谐波参数与特大暴雨关系的初步分析(摘要)	钱春生(180)
500百帕谐波分析在天气周期转换中的应用(摘要)	吴孝祥、蒋乐怡(181)
入梅期500百帕合成波在中期预报中的效应分析(摘要)	苏培仁(182)
用500百帕波谱参数分析西风波动对副热带高压的影响(摘要)	吴 震(184)

副热带高压东西移动波谱特征的初步分析 (摘要)	袁 燕、陈新强(185)
影响广西的强冷空气及其波谱分析 (摘要)	杨振球(186)
1983年春播期四川盆地低温及连晴天气的谐波特征 (摘要)	夏佩珊、范晓宏(188)
1983年前汛期中期天气阶段的长波超长波背景和预报信息 (摘要)	邱孔明(189)
两次连续暴雨过程的谐波特征分析 (摘要)	彭正权、徐长保、罗安居(190)
1983年福建春涝的谱分析 (摘要)	张瑞桂(191)
异常梅雨年 500 百帕波谱特征的初步分析 (摘要)	蔡 鸣、陈新强(192)

预 报

寒潮和强降水的中期预报流程	张敬业、杨景勋、吴致英(193)
长波增值过程与梅雨期暴雨	周曾奎(198)
谐波分析在中期暴雨预报中的应用	王淑静(206)
盛夏黑龙江省大一暴雨的分型及“西方类”中期预报方法	郑静娥(211)
中高纬谐波参数和副热带高压天气周期相结合做持续大一暴雨中期预报	邱孔明(218)
四川盆地区域性暴雨的一种中期预报方法	童文林(224)
利用500百帕波参数作苏州地区 大一暴雨预报	席林华(232)
谐波分析在广西4—5月暴雨中期过程预报上的应用	赵大烈(236)
春季大型环流的演变与黑龙江省降水过程	李 黄、刘桂芝(241)
超长波、长波曲线演变图在中期预报上的应用	许晨海(248)
优势波分型下的多因子 LOGIT 回归模型	张玉瑾、任 健、占丰兴(255)
试用谐波分析方法作大雨过程的中期预报	吴旭珊(262)
早春 500 百帕超长波特征与黑河地区较大雨雪过程的中期预报	刘荣青、谢玉坤(265)
谐波分析与春季较大降水过程	杨悦兰(271)
谱分析在寒潮 (冷空气活动) 中期预报中的应用	李桂来(274)
春季中纬度优势波演变特征与包头地区寒潮天气过程的关系	姜芝豪(283)
用谐波分析作贵州1—3月份寒潮凝冻中期预报	曹玉梅(290)
谱参数的演变在赤峰市春季寒潮和降水中期预报上的应用	刘昭昕、徐玉强(294)
波谱分析在出梅环流调整中的应用	周曾奎(300)
超长波演变与天文因子关系及其在入出梅中期预报中的试用	张素琴(303)
利用谐波分析方法分析上海地区连阴雨和连晴天气	王皎明(311)
谐波分析在我区中期预报中的应用	张学仁、杨德成(317)
谐波分析在春季连阴雨中中期预报中的应用	武 全(323)
谐波分析在单站中期预报中的应用	蔡娴茹、王子缘(327)
谐波分析在葛洲坝工程水文气象预报中的应用	陈新强、许晨海(333)
北半球 500 百帕长波、超长波的变化与黑龙江省大一暴雨 的关系 (摘要)	王玉玺(338)
谐波分析及台风大一暴雨的中期预报 (摘要)	郑静娥(339)
谐波分析在7—8月大到暴雨中期预报中的应用 (摘要)	宁 娜(340)

长波演变与黑龙江省春季中期降水过程的关系 (摘要)	史继坤(341)
“关键区”的长波演变特征与北京汛期中期强降水过程的关系 (摘要)	弓学忠(342)
长波、超长波的特征及强降水过程的预报 (摘要)	张大旭(343)
中期降水预报长波权重方程 (摘要)	武际光、张雅谦(344)
优势波及其转换在降雪过程中期预报中的应用 (摘要)	唐美玲(345)
谐波分析在中期降水预报中的初步应用 (摘要)	
.....宁夏石咀山市气象台预报服务组	(346)
谐谱参数在中期降水过程预报中的试用 (摘要)	刘彩凤、郭惠宇(347)
谐波分析在5—8月中期降水预报中的应用 (摘要)	施国清(349)
用超长波、长波曲线演变图作连阴雨过程中期预报 (摘要)	许晨海、郭龙海(350)
谐波分析在春播期透雨中期预报中的应用 (摘要)	陈 洪(352)
应用低纬谐波参数作台风中期预报的尝试 (摘要)	荆艳琴(354)
波谱分析在北京中期天气过程预报中的应用 (摘要)	空军司令部气象室(356)
用谐波参数作寒潮强冷空气中期预报 (摘要)	邱孔明、许 浒、彭正权等(357)
100百帕长波、超长波的演变特征与1982年倒春寒天气过程的中期预报	
思路 (摘要)	丁光美(359)
谐波分析用于麦收季节中期过程预报 (摘要)	余德敏、张晓馨(360)
用环流型模糊聚类分析作四川盆地汛期洪涝的长期预报 (摘要)	方之芳、李贤琅(361)
用前期波谱特征作春夏旱涝趋势预报的探讨 (摘要)	林大强、赵淑荣、任素琴(362)

附 录

BASIC语言的纬圈谱程序及 PC-1500机的计算操作	陈新强(363)
------------------------------------	----------

中期天气预报的回顾与 “波谱分析中期预报方法”的提出

章 淹

(北京气象学院)

一、引言

七十年代中期, 由于防汛抗旱、水库调度以及日常预报等对中期天气预报的迫切要求, 在国内已有工作的基础上, 并参考国外的一些进展, 我们提出了一种“波谱分析的中期预报方法”^[1]。于1976—1978年间, 先后通过与湘、浙、苏等省气象局和长江流域规划办公室、葛洲坝水利枢纽工程等单位的协作, 进行了较大量的试用与扩大再试验。得到了一些台站的支持, 反映在当前的实际运用中, 有一定效果。同时总结了经验并提出若干问题。有些台站, 还将这一方法与其他工作结合起来, 进一步开展工作。这在本文集的其他篇幅中已有部份介绍。而本文则主要是简要的阐述“波谱分析的中期预报方法”之所以提出的一些考虑。这自然与国内外已有的不少中期天气预报方法及其实用效果有关。不过, 为论述简便起见, 这里着重从新中国气象事业开展以前, 我国中期天气预报实际业务工作开展的情况来加以讨论。因为, 众所周知, 解放以前, 这方面的基础, 可以说是聊胜于无。

二、初期, 在引进国外方法的基础上开展工作

解放后, 新中国的国家气象机构很快成立了。当时, 技术力量还很薄弱, 但是, 在党的领导下, 通过有关方面的协同努力, 尽量集中了国内的一些力量, 在短期天气预报的正规业务工作建立后不久, 自1951年下半年起, 中央气象台便在北京开始了中期天气预报的业务试验工作。那时, 高空天气图资料, 国内尚无积累; 我国上空的探空纪录, 还很稀少。而且预报员们亦尚缺乏中期天气预报的实际经验。因此, 在当时情况下, 无论是要引用德国鲍尔的方法, 整理大量大型天气 (Grosswetter) 的档案卡片, 或引用美国纳米阿斯 (J. Namias) 等之平均环流型式的方法, 都缺乏一定的资料基础。于是, 在建国初期, 主要是引用罗斯贝 (C. G. Rossby) 的长波理论来制作中期预报^[2]。即大气中长波槽脊的移动速度 c , 与西风风速 U 和波动的波长 L , 具有如下关系:

$$c = U - \frac{\beta L^2}{4\pi^2} \quad (1)$$

其中, 静止波动的波长 L 。

$$L_s = 2\pi \sqrt{\frac{UR}{2\Omega \cos\varphi}} \quad (2)$$

式中, R 为地球半径, Ω 为地球自转角速度, φ 为纬度。

因此, 随着波长、西风风速与纬度的不同变化, 可以推算大型槽脊未来的移动变化, 作出高空环流形势的中期预报图, 并从而提供中期天气的预报。

同时, 对于大尺度的大气运动来说, 大气是近似于不可压缩的流体, 将涡度方程应用于准无辐散层 (500毫巴), 考虑在无辐散的情况下, 空气质点在运动过程中绝对涡度守恒, 即

$$-\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \beta v = 0 \quad (3)$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} = \beta v \quad (4)$$

所以

$$\frac{d(f + \zeta)}{dt} = 0 \quad (5)$$

因此, 还将预报起始时刻, 长波系统上各有代表性点上的空气质点, 沿等绝对涡度路径来外推其未来48或72小时以后的位置, 与前述 (1) (2) 式所算得的结果, 结合起来, 用以推算未来的长波系统分布位置。

这一方法具有一定的理论依据, 且简便易于实用; 在历史资料较差的情况下亦可进行。只要将预报所需的计算量, 事先做成便于应用的查算表。通过查表外推, 很快便可以做出未来高空环流形势的预报图。所以, 在当时条件下, 用以解答一些急需问题, 还是起了一定作用。然而, 通过实践, 人们感到这一方法存在的主要问题是 (1) 在形势发展 (消亡) 变化的预报上, 缺乏预报能力, 尤其是在环流形势发生调整或转折性变化时。一般只适用于当前形势的平移外推。而这种简单的外推, 在操作一段时间后, 预报员较快便能熟练掌握, 这时就会感到许多槽脊特征点的外推, 实际上, 无需查算, 一看便可大致推知。因此, 这一步计算操作实际上可省略。并且, 当预报员逐渐积累了一定的预报经验后, 通过他们的思维, 甚至有时还常可以外推出一张变化更较复杂的形势预报图。也就是说, 这种方法, 在初期阶段, 简便易行, 优点比较明显; 但是, 相对于复杂的大气中期变化过程来讲, 它所能反映出来的问题, 看来是过于简单了。(2) 对于三天或以上的预报, 已不大好用, 有时会外推出不合理的形势布局。且当时引用此法做亚欧环流形势的预报图, 更嫌范围太小, 不少特征点的外推位置, 常会落到图外, 以致所能推算的点子, 往往很少, 有相当大的局限性。所以要用整个半球的图来作, 才较合适。(3) 对于波长 L 很长的波动, 波动西退的速度与长波公式所给出的关系, 往往相差较大。而且, 各地西风风速的变化很大, 静止波长与风速的关系也不大相符。

采用上述方法开展我国的中期天气预报后不久, 中央气象台联合天气分析预报中心又对当时国外的一些中期预报方法进行了比较。认为苏联帕加瓦 (C. T. пагава) 的“自然天气周期”方法采用不固定日期, 而视天气过程演变特征来划分中期时段的做法, 似较固定日数 (5或7天) 之平均环流形势的方法, 更符合天气演变的自然情况。并且, 在学习苏联方法上, 当时有较好的条件。于是, 自1953年起, 国内由联合天气分析预报中心开

始，后曾扩展到部份中心台或个别省台，在苏联专家的指导下，开展了引用苏联“自然天气周期”方法的中期预报业务工作。即主要考虑：大型天气的演变，一般是由一个个不同时段的中期天气过程联串起来的。当某些大气活动中心或大型天气系统的演变特点，具有一定（几天）的持续性或某种一致的演变趋势时，在它们的影响下，该区这一时段的大范围天气也随之具有此种特点。这种时段即称为一个“自然天气周期”。据苏联的经验，每个自然天气周期头两天的变化，可以代表其后本周期内的变化趋势，称为该“周期”的“趋势期”。并且，在同一个自然天气季节中，相邻两个周期的长短，大致相同。因此可以根据前一个周期的变化和长度以及周期趋势期的特征等来制定一系列反映该“周期”演变特征的变高、变压和气旋、反气旋中心的路径图等等，然后据以报出其相应的天气变化。这种方法，需有一定的人力，来从事图表的制作与预报工作。

通过对我国中期天气变化过程的分析以及几年的实际应用与总结，人们发现：这种方法在中期天气时段的划分上，虽有一定优点，但另一方面，也还存在着不少问题。其中主要的是（1）作为这种预报基础的“自然天气周期”，在实际运用时，并不象想象的或事后分析那么容易确定。在我国这种南北跨度甚大的中、低纬地区，再加上面临海洋与青藏高原等复杂的地形地理变化，影响中期天气变化的天气系统和过程要比高纬地区复杂而活跃。“自然天气周期”的划分尚缺乏较客观的办法。在我国，有时甚至到了事后都仍有不少分歧的看法。这对于其相应的一系列预报工具图表的制定，影响很大。（2）就我国情况看，“趋势期”的特征并不都能代表该周期后几天的变化趋势。有些周期中间插入的天气系统，在中低纬地区，迅速发展加强时，往往可导致较大的中期变化，以致“周期”前两天的趋势常与其后几天的变化有较大差别。（3）对环流形势的调整和转折性变化，尚缺乏足够的物理认识，仅仅依靠统计规律来做中期预报是很不够的。特别是在需要作订正预报的时候，难以根据复杂的具体变化来作修改。（4）“周期”的长短，变化很大。并且，各周期的持续、转换以及系统的移动等变化多端，具有明显的地域性特征，不能简单地照搬苏联的一套办法。

由于这些原因，这一方法在运用了几年之后，除在个别地区，有所改进和推行外，未能在国内广泛的开展。不过，总的看来，在引用以上两种方法的同时，我国预报工作者对大型环流型式及其演变的特征，加深了认识，为此后国内中期预报工作的开展，打下了一定基础。

三、针对国内需要开展工作

在总结前一段工作的基础上，1957年以后，中期天气预报的工作，更加发展。特别是在某些专项需要的促进之下。如当时“三峡”建设对长江中、上游降水的中期预报，提出了新的要求——需要1—5天的逐日降水量预告图以及10天总降水量分布的预报。于是，于1957—1959年，国家气象局天气研究所组织了湘、鄂、豫、陕、川、黔、滇七省六十九个气象台站，设计了一种“大一小”结合的预报方法，即一方面是与北京大学等协作，引用环流形势分型及物理量“综合迭套”的方法来制作长江中、上游“大”范围的雨量预报；另一方面是开展县气象站“相似法”及“要素曲线演变过程”等的中期预报，使县气象站逐个“小”点上的本地预报与“大”范围的雨量预报结合起来，制作降水量的中期预报图。

经过在武汉中心台及“长办”的实地试用，于1959年末至1960年，又增加了专区气象台的“中”片预报，并在四川省试点，称之为“大、中、小结合的中期预报方法”（或简称四川方法）。其主要特点是在大范围环流形势分类模型的基础上，以影响系统和要素的演变过程以及指标相结合的方法来做3—5天的预报。这对当时有些重大水利建设所急需的降水中期预报，提供了一种解决办法；并对综合国内各级台站的预报能力，以保证重点服务的需要，进行了尝试，曾一度在国内较多地方推广。但是，在推广之前，未能客观认真地，从技术上来论证这一方法的主要优缺点和存在的问题，缺乏中间试验，效果不理想。人们看到：这种大、中、小结合的方法，还缺乏有机的联系；中、小台站，限于工具，在此种中期预报上，所能提供的信息不多。而且，不少先兆指标，特别是取自谚语中的指标，一时还弄不清其物理意义，难以很好的判别“结合”。并且，与大量实际降水出现的情况对照看来，人们感到：目前，我们对各地降水发生发展与消亡的认识，还很不足。没有这种基础，预报方法的设计与改进，存在着很大的局限性。加以当时对这一尚未成熟的初步方法，过分夸大和肯定了它的“成绩”，影响了它的改进与提高。不过，通过此项工作，不少台站认为：分析归纳各种环流形势的特征，找出典型型式（模式）和主要影响系统及其演变过程与相应的天气，至今仍不失为中期预报中，可用的一种方法。四川及有些省的气象台在这方面积累了较多经验，有一定实用效果。

此外，到1960年后，国内又开展了引用时间或空间平均环流图、平流层环流形势、西风指数循环以及将高度场 $H(x, y, t)$ 分解为：

$$H(x, y, t) = \sum_k C_k(t) F_k(x, y) \quad (6)$$

以车贝雪夫多项式或球函数等来展开环流形势场 $F_k(x, y)$ ，并预报其典型场权重系数 $C_k(t)$ 的方法。

同时，有的台站又对过去某些工作，加以改进。如新疆提出了“综合自然周期”，河南提出了“中期时段”，福建、上海和四川等对原来的四川方法加以改进，提出了“模式加指标”等方法。并且，通过对某些重点问题，如寒潮、台风、凌汛、封冻、副热带高压和阻塞高压等的研究，提出了这些专项问题的中期预报方法，增强了针对性，具有一定的中国特点。然而，经实用检验，人们发现，这一阶段的工作，还存在如下一些问题：

(1) 固定五天或七天的时间平均环流图，很难与实际的自然天气过程合拍。因此，不是将一个自然天气过程不恰当的截断，就是将两（或三）个自然天气过程的各一段平均在一起，抹煞或冲淡了各“周期”本身的特点，不利于反映其相应的天气。

(2) 由于这种固定时间的平均环流图，一般是与其中间一天（如五天或七天平均中的第三天或第四天）的形势最接近。因此，据以作预报之时，预报员们常感这种信息过于“陈旧”。若再加上计算与传真上的耽搁，对于为期仅几天的中期预报来说，就更为不及时了。

(3) 五或七天平均图，不宜于反映逐日间的演变过程与趋向。三天平均图可以减轻上述缺点，但工作量比较大些。

(4) 无论是时间或空间平均图，虽均可以对大尺度环流增强显示，但由于这种图只是将短波系统加以平滑，而不是彻底的滤去。因此，对于某些发展很深而移动缓慢的短波系统（如气旋波等），往往在几天的平均图中滤不掉，起不到应有的作用。它们常在其

中干扰人们分析判断的视线。另外，用平流层高空图虽可滤去一些低层的短波系统，但平流层高空图的记录少，且500毫巴接近无辐散层，国内很多地方的预报员在这面积累了较多经验。

(5) 综合自然周期方法将几个自然天气周期的特点综合起来，时效比较长。但连续几个周期的特征往往就更复杂多样，预报时较难掌握，对于我国大部分中、低纬地区来看，不很适用。

(6) 西风环流指数循环的优点是简单明瞭，可以较好地反映比较基本的经向或纬向环流特征。但随之而来的缺点就是对于反映复杂的中期天气演变过程，过于简单。因此，一般只是作为一种辅助工具。一些专项预报也有类似的问题，需与其他方法配合起来，才可做出较全面的中期天气预报。

(7) 一些计算工作量较大或复杂的方法，在缺乏计算机条件的这一时期，亦难于应用。因此，对于业务预报来讲，方法过于简单，信息过少；而操作过于繁杂，则影响时效，均不大相宜。

四、十年动乱的维持时期

六十年代中至七十年代中的文化大革命时期，气象部门的台站，还是坚持了日常的预报服务工作。但在这一段时期，科研与技术交流中断，人员大为减少，对较为繁复或尚属初步的方法，多已无力再研究和开展。当时，国内的中期天气预报基本上处于维持阶段，主要是采用以下两种方法来作预报：

1. 短期预报的延伸

文化大革命期间，由于短期预报的业务图表，始终是未间断的。因此，对于某些特约或临时的中期预报任务，往往是由较有经验的预报员，引用对“中期天气演变过程”的认识和经验，在短期预报的基础上，作3—5天左右的延长预报。比如，当冷锋进入我国西北之后，预报员们常能较好地预测出未来几日之后，该冷锋及其相应的天气变化将于几天之后，影响其本地区。这种方法，对地面天气图的运用较多，与未来的“天气”变化，联系比较直接；对于预报某些影响系统下游的中期天气来说，有一定效果。有些预报员称它为没有办法中的一种方法，其实，在维持时期的实际预报中，却也解决了一些问题，发挥了一定作用。缺点是不够客观，主要是经验预报。

2. 长期预报的分段

除上述短期预报的延伸外，另一种方法是在长期的月预报之基础上，将月预报截为上、中、下旬三段，基本上采用长期预报的思路与方法，即主要是依据统计与气候规律，并参考预报时的实况等，来预报未来三个旬内，将各有几次天气过程及其相应的天气。这一般可以为人们提供逐旬变化的气候特征。不过，目前，在中期预报的准确率还不够高的情况下，有时，也会遇上3—5天的预报未报准，而旬报反而报对的情况。

五、波谱分析中期预报方法的提出

1975年8月河南特大暴雨发生之后,各方面对降水中期预报的要求更加迫切,特别是对于雨季末期的大一暴雨。因为这时江河塘坝的水位均已很高,在防汛与水库调度上,既需要保证这一时期的安全渡汛;又要为其后随之而来的伏旱期,尽可能的积蓄水资源。于是,文化大革命后,中期天气预报的研究工作又转趋活跃。有的工作又提出了三天平均环流,“候-差图”^[3]逐日变化与候平均之差的动态演变过程,逐日要素演变曲线减去月或季振动等方法来做一般天气的中期预报。而有的工作,针对江淮流域降水的主要影响系统,提出了“两线法”^[4](西风环流指数与副高脊线位置两条时间演变曲线)来做江淮地区降水过程的中期预报,如图1。这均有一定效果。

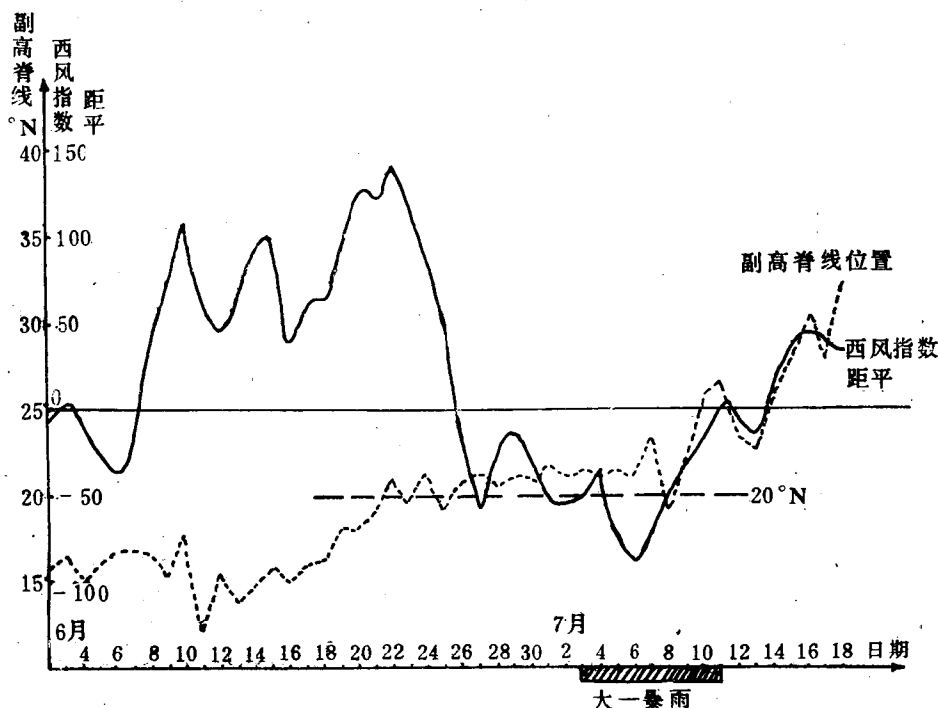


图1 两线法预报大一暴雨的示意图(1969年)

于此同时,我们回顾了建国以来,国内的中期天气预报工作,考虑可以波谱分析方法来做中期预报,而在开始试验阶段,可先采用比较简单的谐波分析,以后再逐步由简到繁,应用开拓。这主要是由于:

(1) 过去,在长期天气预报上,有的工作已引用谐波分析来做温度或降水的预报。这虽可将若干个谐波来拟合某要素的历史演变曲线,并分解出某些波动的时间振荡周期。但这种分析,随着资料年代的长短,受人为因素的影响较大。因为不论资料序列长短如何,都需将其视为在 $0-2\pi$ 间闭合振荡的,这就不一定与实际情况相符。而用谐波分析来分析北(南)半球的环流时则不然,大气环流在整个地球上的分布,从 0° 到 360° 经度,实际上在 2π 区间内是连续的。因此,试用它来分析各纬圈大气波动的空间分布状态,或与自

然状况更为接近。此外，过去有的工作亦曾对月平均环流形势进行过谐波分析^[5]。也揭示了若干月际变化的特征。但还不宜于在中期预报上应用。

(2) 在我国各不同地区，它们的中期时段常各有不同。并且，鉴于上述固定日数的平均环流图以及“自然天气周期”等方法中所发现的问题，我们考虑先不去确定其平均时段或“周期”，而主要是对逐日500毫巴高空天气图进行波谱分析，这样可能便于各不同的台站，根据其本地的地域及季节特点，来确定其各自的中期时段。

(3) 从长波活动的分析中，可以看到：大气中还有波长更长的超长波变化，它们对中期天气也有较大的影响。而且，在环流形势的转换与调整上，超长波与长波常有不同的作用。有时是长波先发生明显的变化，然后影响到超长波变化；而有时却是超长波先发生明显的变化，然后影响到长波，随之发生一系列的大型变化。超长波与长波在不同的季节，各有其不同的优势形势，这与月平均环流的谐波分析上所反映的情况有很大差别。比如亚洲大陆东岸的东西大槽，在月平均形势的波谱分析上，经常是稳定少变的。而在逐日谐波分析图上，常有各种不同的变动，这不仅对人们进一步了解这些波动的形成很有启发；而且，可用作中期预报。因此，我们考虑采用波谱分析方法，可将各不同波数的超长波与长波分解出来，以便探讨它们各自的变化和它们之间的相互作用。并且，也可以分别加以合成，如0波加1—3波、0波加4—6波或0波加4—7波；或1+2波、3+4波……等等，可以提供更多的信息。

同时，从超长波和长波的分析上，可以看出，波长较长的波动虽有西退现象，但并不象长波公式所表示的那样与波长的平方相关。波长较长者并非均是大幅的西退，有不少是东移的。

(4) 由于我国纬度较低，特别是对于江南的降水来讲，象日本的工作那样，分析0—5波的合成波，我们感到不够，有些降水波动反映不出来。对于我国南方来说，分析0至6或7个波，可能比较合适。这样，波数虽略多，但如上段所述，欲将各波分开或合成起来分析均可，对于人们了解各波之间的相互作用，无甚影响。

(5) 采用波谱分析方法，将大气中的超长波与长波离析出来，而将其他的短波全部舍去，这样可以减少某些短波在分析图表中的干扰。

(6) 考虑到这种方法，机算与手算均较快。计算多个纬圈或个别纬圈，离析个别波数的波动或多个波数的波动均可。而且，也可以分别绘制空间或时间的演变图^[6]，如图2和图3；还可以从波长、振幅、位相、周期等波参数的变化上进行分析，不但可以反映较多

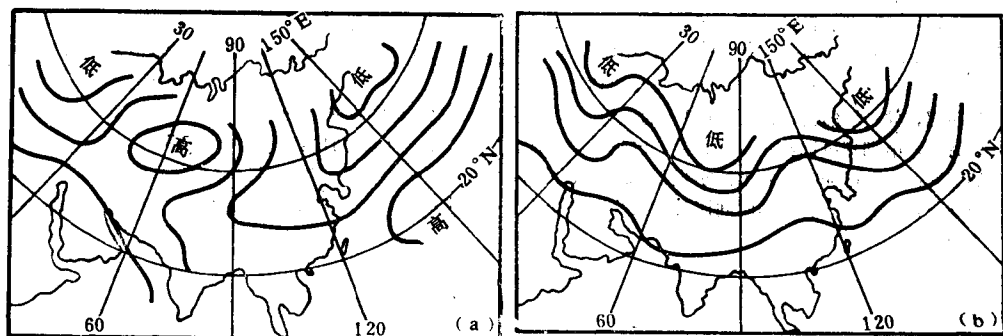


图2 1960年6月15日超长波(a)与长波(b)的空间分布图

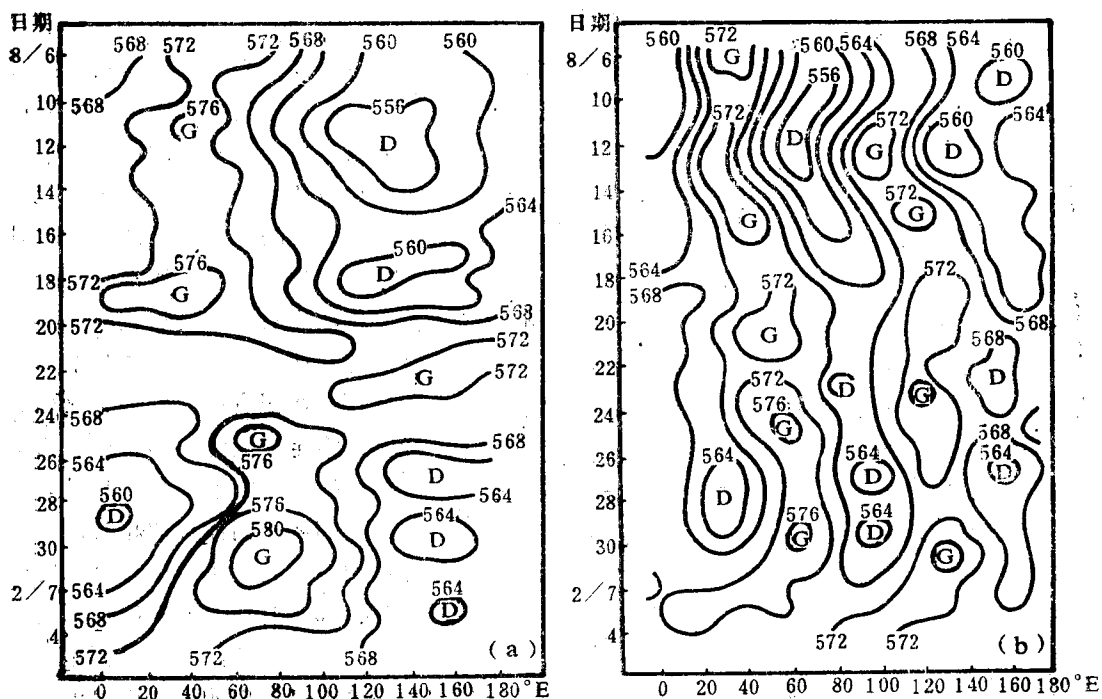


图 3 50°N 纬圈的超长波(a)、长波(b)时间变化图(1956年6月8日—7月4日)

的信息；并且，还可以适应台站上不同的人力条件。在应用上，比较方便。

近10年来，在各方面的协同努力下，这一方法在国内一些台站的预报上得到了初步应用，并先后开过三次有关的学术会议。八十年代初，在葛洲坝水利枢纽建设的强降雨中期预报上，发挥了作用。此外，在寒潮、春播和中期天气转换等的预报上，也曾加以应用，武汉中心气象台在春播期，还将算得的部分波动之波参数定期广播，提供台站使用，反映有一定效果。经过这一阶段的应用，目前看来，这一方法还是比较初步而简单的，在转折性天气的预报上，也存在着难点，有待进一步的改进。

参 考 文 献

- [1] 章淹等，超长波与长波演变形势在中期预报上的试验，中长期水文气象预报文集（第一集），水利电力出版社，（1978）。
- [2] Rossby, C.G., Relation between variation in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. *J. Marine Res.*, 2 (1), 38—55 (1939).
- [3] 陈新强，候-差图及其在中期预报上的应用，气象科学研究院（油印本），（1978）。
- [4] 李月洪，中期预报试验——二线法，山西气象科技，（2），7—11（1981）。
- [5] 王绍武，北半球 500mb 月平均环流特征及演变规律的研究——超长波，气象学报，34（3），316—327（1964）。
- [6] 毕慕莹，超长波、长波的时间演变特征及在中期预报中的应用，气象科学技术集刊（1），气象出版社，50—（1981）。

近代谱分析技术的进展

黄 忠 恕

(水利电力部长江流域规划办公室水文局)

波谱分析为近代科学技术广泛应用的一种数据分析方法,气象学是最早应用谱分析技术的学科之一。气象要素时空分布的准周期具有非常宽广的频带,时间场的多频性和空间场的多尺度特征为气象谱分析奠定了坚实的应用基础。谱分析技术的每一进展都会在气象学中得到即时响应。因此,从气象应用角度讨论近代谱分析的进展是有益的。

一、历史回顾

概括地说,波谱分析包括模拟法和解析法两种基本途径。前者是应用声、光、电的原理直接获得振动过程的图形和波参数,如各种摄谱仪、示波器和谐振器等;而后者则是应用数值方法分析函数(振动过程)的频域特性。解析法起源于数学家 J. 富里叶 (Fourier, 1807年) 提出函数式 $f(t)$ 作正交三角函数级数展开的法则:

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t) \quad (1)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{T} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} f(t) dt \\ a_k &= \frac{2}{T} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} f(t) \cos k\omega t dt \\ b_k &= \frac{2}{T} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} f(t) \sin k\omega t dt \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(1) 式右边的无穷级数称为富里叶级数, a_k , b_k 为富里叶系数, T 为基本周期, ω 为基本角频率。随后,狄里希利 (Dirichlet, 1829年) 提出函数富里叶展开的充分条件,使函数展开法则在数学中得到广泛应用。同时,调和分析(谐波分析)应用于随机序列 f_j ($j = 1, 2, 3 \dots N$), 得到离散型的幅谱和相谱。这时, (1) 式取有限项, 得到

$$f_j = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{k=1}^l (a_k \cos k\omega j + b_k \sin k\omega j) \quad (3)$$

l 的最大取值为

$$l = \left[\frac{N}{2} \right] = \begin{cases} \frac{N}{2}, & \text{当 } N \text{ 为偶数} \\ \frac{N-1}{2}, & \text{当 } N \text{ 为奇数} \end{cases}$$

当 $l \leq \left[\frac{N}{2} \right]$ 时, 展开式为原序列的近似拟合。富里叶系数取 (2) 式的差分近似公式代

替:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N f_j \\ a_k &= \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N f_j \cos k \frac{2\pi j}{N} \\ b_k &= \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N f_j \sin k \frac{2\pi j}{N} \end{aligned} \quad (4)$$

应用谐波分析方法寻求气象要素时空分布的显著周期分量, 探讨气候变化的规律, 是谱分析在气象中早期的应用问题, 亦称经典谱分析。它揭露出气象变化存在着几分钟至1年左右的短周期和1年以上至数百年的长周期振动, 数千年乃至几万年的超长周期变化。对气象要素序列作周期外延预报也是早期谱分析应用的重要内容, 但其分析方法已较原始的富里叶级数展开有所不同, 采用最小二乘法则的回归算法代替富里叶系数的差分公式, 使谐波周期可以取2以上的任意实数, 使离散谱向连续谱靠近。这种分析方法在长期天气预报中称为周期图方法。

以后, 非周期函数的富里叶变换算法被应用于随机序列的功率谱分析, 函数 $f(t)$ 与其富里叶变换 (富里叶谱) $F(\omega)$ 的关系可以写成

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (5)$$

$$\begin{aligned} F(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \\ &= a(\omega) - ib(\omega) \\ &= |F(\omega)| e^{i\phi(\omega)} \end{aligned} \quad (6)$$

由此得到: 幅谱 $|F(\omega)| = [a^2(\omega) + b^2(\omega)]^{\frac{1}{2}}$, 功率谱 $E(\omega) = |F(\omega)|^2$ 和相谱 $\phi(\omega) = \text{tg}^{-1} \left[\frac{-b(\omega)}{a(\omega)} \right]$ 。

在布拉克曼和图基 (R.B.Blackman and J.W.Tukey, 1959年) 提出自相关函数与功率谱的富里叶变换关系以后, 应用自相关函数计算随机序列功率谱估计的方法 (称为功率谱的间接算法) 广泛开展, 形成一种划时代的谱方法。在时间序列分析中已取代了经典的富里叶级数展开。以后的20多年中, 谱分析技术飞速发展。各种谱方法应运而生, 谱分析原理逐步深刻和充实, 电子计算机和快速富里叶变换算法使谱分析速度大大提高, 谱分析在气象学中的应用愈来愈广泛, 即使对于经典的谐波分析方法, 也得到很大的改进。

我国气象学中的谱分析始于四十年代初, 程纯枢 (1942年) 首先应用调和函数讨论了青藏高原东部地区气压年变程的年波和半年波特征。六十年代, 气象谱分析得到较大发展。么枕生 (1963年) 将谐波分析作为一种气候统计方法论述其在气温统计分析中的应用。陈受钧 (1962年)、王绍武 (1962年)、李小泉 (1964年) 和朱福康 (1964年) 等人分别讨论了大型天气转换、气候振动和平均环流的谱分析问题。黄忠恕 (1964年) 等将谐波分析方法引用到水文序列分析中, 讨论了长江汉口站年最高水位的周期变化。七十年代后期以来, 国家气象局气象科学研究所天气气候研究所章淹等人先后在我国南方和北方一些省区