

# 统计理论的气象应用

TONGJI LILUN DE QIXIANG YINGYONG

丁裕国 论文选集

主编 江志红

# 统计理论的气象应用

——丁裕国论文选集

主编 江志红

 气象出版社  
China Meteorological Press

## 内容简介

本书是为纪念丁裕国教授(1941—2012)而出版的,全书内容是从丁裕国教授已发表的论文中精选、汇编而成。主要涉及气候统计理论和应用、短期气候预测、极端气候事件、陆气相互作用等气候研究主要领域。

本书可供气象、气候、水文、统计应用及其他相关学科的科研与业务人员参考,也可供高等院校有关专业的师生阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

统计理论的气象应用:丁裕国论文选集 / 江志红主

编. —北京:气象出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-5029-6152-7

I. ①统… II. ①江… III. ①统计学—应用—气象学—文集 IV. ①P4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 138909 号

Tongji Lilun de Qixiang Yingyong—Dingyuguo Lunwen Xuanji

统计理论的气象应用——丁裕国论文选集

江志红 主编

---

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.qxcbs.com>

责任编辑:齐 翟

封面设计:易普锐创意

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:698 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版

定 价:110.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: [qxcbs@cma.gov.cn](mailto:qxcbs@cma.gov.cn)

终 审:黄润恒

责任技编:赵相宁

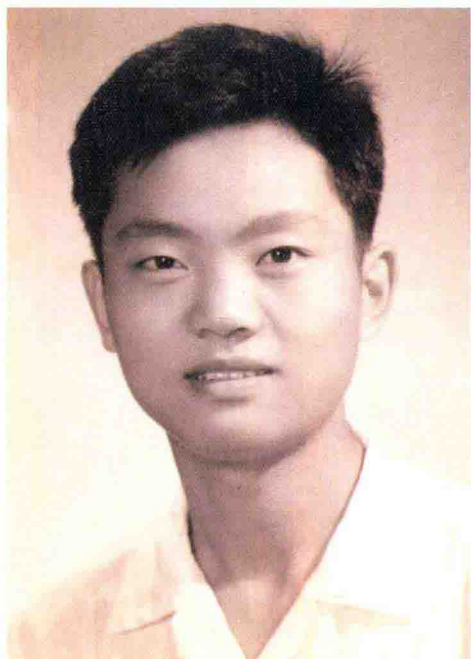
印 张:27.25

彩 插:2

印 次:2015 年 8 月第 1 次印刷

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。



△ 毕业照(1964年毕业于南京大学气象系)



△ 青春岁月(1965年2月于镇江市)



△ 1963年与父母和三个妹妹合影



△ 结婚照片(1967年春节  
与夫人范家珠于镇江市)



△ 1986年7月于南京气象学院



△ 2011年五一劳动节与夫人范家珠合影



△ 1999年摄于苏州拙政园



△ 2011年5月于南京



△ 2002年5月于高教新村家中



△ 1990年初与夫人范家珠于家门前院中菜地



＜ 1990年5月14日校庆三十周年在家中与么枕生先生合影



△ 2000年在南京气象学院校园与气候教研室部分教师合影

▽ 2004年于南京大学校园（左起陈万龙、丁裕国、马开玉、黄厚康）



➤ 1998年1月于南京  
气象学院北辰楼前  
与气候教研室老师  
合影



2005年12月26日师生聚会于高教新村



△ 2005年12月与学生聚会于高教新村

▽ 2011年3月70华诞与历届学生在珍珠泉聚会



《统计理论的气象应用  
——丁裕国论文选集》

编辑委员会名单

主编：江志红

编委：张耀存 翟盘茂 刘晶淼

程炳岩 况雪源

## 序 言

我与丁裕国教授是差不多同时代的人,我们都是学气象的,也都从事气候学方面的研究,在几十年的工作中我们有过很多交流与合作。丁裕国教授的离去是我国气候学,尤其是统计气候学研究的损失和遗憾。在丁裕国教授离开我们的日子里,他的同事、学生精心整理、编辑出版其论文选集,既是对他很好的纪念,也让我们作为同行感到十分欣慰。

丁裕国教授 1964 年从南京大学毕业后,就一直在南京信息工程大学(原南京气象学院)任教。他长期从事气候学理论及其应用方面的研究,是我国著名的气象统计学家,在统计气候学理论、气候变化、短期气候预测与诊断等学科领域做出了重要贡献,也在南京信息工程大学这一中国气象界的重镇,为学校气候学科的发展、相关学位点的建立以及后续人才的培养做出了重要贡献。

1996—2000 年,我主持了国家“九五”攻关重中之重项目“我国短期气候预测系统的研究”。这个项目研制了一套有物理依据的短期气候异常监测、预测和影响评估系统,这个系统是把动力气候模式和统计方法综合在一起应用的。丁裕国教授带领相关团队承担了其中近百年气候变化事实以及 ENSO 预测的统计方法研究,项目部分成果直接用于国家气候中心的 ENSO 预测业务系统,为我国第一代业务短期气候预测系统的建立做出了重要贡献。在我们合作的过程中,丁裕国教授对气象事业高度的责任感、使命感,以及求真务实、锐意创新的科学精神给我留下了深刻的印象。

除了承担并完成国家“八五”“九五”攻关课题,多年来,丁裕国教授还在国内外刊物发表研究论文数百篇,出版学术专著和教科书 7 部,并承担了国家重点基础研究课题、国家自然科学基金项目及省部级重点课题、省自然科学基金项目等数十项。尤其是从 1981 年起,他受么枕生教授委托,花了整整 10 年时间,全部依靠手算手写,补充修订完成了 75 万字的巨著《气候统计》(修订版),系统全面地总结了 1963 年以后的 20 多年气候统计学领域国内外最新研究成果,在么枕生教授奠定的我国统计气象学科基础上,进一步发展了新的内涵,开拓了新的应用,使气候统计的学科体系更加完整。20 世纪 90 年代后期,丁裕国教授又与江志红教授合著了《气象数据时间序列信号处理》一书,这是一本专门叙述气象数据时间序列分析方法的重要参考书,至今一直受到国内统计气象学界的重视。退休后,虽然丁裕国教授长期经受心脏病的折磨,但仍笔耕不辍,新作不断,在区域尺度气候异常及其强信号的诊断分析、中国

区域极端气候事件预估方法研究、陆气相互作用及地理信息系统等方面又有新建树。尤其值得提及的是他深入研究和总结了马尔科夫(Markov)过程和马尔科夫链,并出版了相应的专著。这是在《气象数据时间序列信号处理》一书的基础上,由平稳随机过程过渡到马尔科夫随机过程和马尔科夫链理论,以更实际地描述大气变化和运动的过程,明显扩大了随机过程理论的应用范围。

丁裕国教授在提携后学方面始终不遗余力,投入了大量精力。他不仅在科学网的博客中与青年气象人探讨交流,为他们释疑解惑,还专门出版了多部关于当代科学理念的著述。在这些著述中,他结合自身经验和体会,畅谈了对当代科学领域的重要基础观念的个人认识,对于想跟上科学前沿的青年,无疑是深层的专业基础教育。

同样,这本文集,对于有志于从事气候研究和气候业务的青年,也是一份难得的好教材。这本文集从丁裕国教授已发表的论文中精选、汇编而成,主要涉及气候统计理论和应用、短期气候预测、极端气候事件、陆气相互作用等四部分内容。论文具有很高的学术水平,不仅是丁裕国教授在气候研究领域诸多成果的代表,也是编者作为同行们精心准备的一本统计气候及其应用领域的重要文献汇编。相信读者们能从中感受到丁裕国教授踏实严谨的治学精神和对气象研究的执着热爱。

丁-汇  
2015年6月28日

## 前 言

丁裕国教授(1941—2012)是我国著名的气象统计学家,他长期从事气候学理论及其应用方面的研究,在统计气候学理论、气候变化、短期气候预测与诊断等学科领域颇有建树。在丁裕国教授离开我们两周年的日子,我们怀着崇敬与缅怀的心情,整理、编辑出版丁裕国教授论文选集,以志纪念。

丁裕国教授 1964 年从南京大学毕业后,就一直在南京信息工程大学(原南京气象学院)任教,作为气候变化研究领域的带头人,他担任学校气候教研室负责人近 20 年,为气候学科的发展以及相关学位点的建立做出了重要贡献。多年来,丁裕国教授在国内外刊物发表研究论文数百篇,出版学术专著和教科书 7 部,承担并完成“八五”“九五”攻关课题、国家重点基础研究课题、国家自然科学基金项目及省部级重点课题、省自然科学基金项目等数十项。尤其是在丁一汇院士牵头的国家“九五”重中之重项目中,丁裕国教授带领相关团队承担了十分重要的气候预测方法研究,为我国短期气候预测业务的发展做出了重要贡献。丁先生还长期讲授《气候统计学》《气候变化》《气象时间序列谱分析》《气候诊断与预测》等课程,指导和培养研究生 40 多人,其中有不少已成为海内外知名专家学者。

丁裕国教授为气象教学和研究事业辛勤耕耘近 50 年,他怀着高度的事业心和责任感,刻苦钻研,硕果累累,并形成了自己的学术特色。1964 年初,他就在《功率谱分析及其在上海降水资料分析中的应用》一文中,最早在国内气象研究中引入谱分析方法,紧跟国际前沿。1973 年,丁裕国教授经过 3 年的努力,查阅了大量中外文献,并深入基层台站熟悉业务,完成了《十万个为什么(地球史)》中的“古气候史”部分写作。1981 年起,他又受么枕生教授委托,花了整整 10 年时间,全部依靠手算手写,补充修订完成了 75 万字的巨著《气候统计》(修订版),该著作系统全面地总结了 1963 年以后的 20 多年气候统计学领域国内外最新研究成果,在么枕生教授奠定的我国统计气象学科基础上,进一步发展了新的内涵,开拓了新的应用,使气候统计的学科体系更加完整,该书至今仍是大气科学工作者的重要参考书之一。1990 年代后期,丁裕国教授与江志红教授合著了《气象数据时间序列信号处理》一书,这是一本专门叙述气象数据时间序列分析方法的重要参考书,至今一直受到国内统计气象学界的重视。近年来,在极端气候研究中,他们又完成了另一部专著《极端气候研究方法导论》。自 1979 年以来,丁裕国教授曾荣获省部级以上奖励 8 项,1993 年起享受政府特殊津贴(由国务院颁发证书)。

进入新世纪以来,丁裕国教授虽然长期经受心脏病的折磨,但仍退而不休,新作不断,在区域尺度气候异常及其强信号的诊断分析、中国区域极端气候事件预估方法研究等方面不断求实创新,并拓展到陆气相互作用及地理信息系统等新兴领域。直到去世前的几天,他还在致力于动力数值预报模式中非均匀地表陆面过程参数化及卫星遥感(RS)和地理信息系统(GIS)在地表过程参数化中的应用等研究。

自与气象结缘,无论世道沧海桑田,还是人生曲折坎坷,丁裕国教授始终甘之如饴、孜孜以求,投入了毕生精力,用一生诠释了对这门学科的热爱,也用一生践行了求真务实的科学精神。他从不拘泥于对前人研究成果的生搬硬套,而常常对最新文献成果兼收并蓄,融会贯通,提出自己的新观点、新方法、新思想。他信奉的科学格言是:创见是一切科学研究的生命线,没有创见,科学事业就不可能前进。对待学生、青年教师,丁裕国教授和蔼宽厚,传道授业,从无保留,并在生活中给予热情的帮助和鼓励;而退休后,他也一直心系校院,关心大气科学特别是气候学科的发展,多次向学校提出宝贵意见和建议,不遗余力地奉献才智。

这本论文集遴选了丁裕国教授在气候统计理论和应用,特别是在短期气候预测、极端气候事件、陆气相互作用等多个领域应用方面的创见性成果和前沿性工作,期望为后来者提供参考与借鉴,也希望从一个侧面帮助大家了解我国相关学科的发展历史和研究轨迹。本书的出版得到了南京信息工程大学、南京大学、中国气象科学研究院等单位的大力支持。本书编制过程中李蕾、韩薇、赵灿、施逸、沈雨辰、周莉等研究生参与了大量工作。同时丁裕国教授家人丁峰、丁晓涛、范家珠老师给予了大力的积极配合,在此一并表示感谢!

本文集的收集、编制过程也是再一次梳理丁裕国教授学术思想、追忆先生音容笑貌的过程。丁裕国教授执着求索的工作状态仍历历在目,先生的谆谆教诲犹在耳畔,谨以此文集告慰先生在天之灵,并祝丁裕国教授的家人健康安乐!

本书编辑委员会

2014年12月

# 目 录

序言  
前言

## 第一部分 气候统计理论和应用

|                                                                           |             |         |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|
| 气象要素的多频振动对相关性的初步探讨 .....                                                  | 丁裕国         | ( 3 )   |
| 气象时间序列的自相关性对抽样相关系数的影响 .....                                               | 丁裕国         | ( 13 )  |
| 气象变量间相关系数的序贯检验及其应用 .....                                                  | 丁裕国         | ( 21 )  |
| A Statistical Model for Investigating Climatic Trend Turning Points ..... |             |         |
| ..... Ding Yuguo, Tu Qipu, Wen Min                                        |             | ( 27 )  |
| 超长波波谱参数持续和转折规律的统计研究 .....                                                 | 丁裕国 柳又春 戴福山 | ( 37 )  |
| 诊断天气气候时间序列极值特征的一种新方法 .....                                                | 丁裕国 金莲姬 刘晶森 | ( 44 )  |
| 降水量概率分布的一种间接模式 .....                                                      | 丁裕国         | ( 53 )  |
| 降水气候特征的随机模拟试验 .....                                                       | 丁裕国 张耀存     | ( 60 )  |
| 干、湿月游程的 Markov 链模拟 .....                                                  | 丁裕国 牛 涛     | ( 68 )  |
| 降水量概率分布的一种 $\Gamma$ 型通用模式 .....                                           | 张耀存 丁裕国     | ( 79 )  |
| 降水量 $\Gamma$ 分布模式的普适性研究 .....                                             | 丁裕国         | ( 84 )  |
| 气象场经验正交函数不同展开方案收敛性问题的探讨 .....                                             | 丁裕国 施 能     | ( 92 )  |
| 气象场相关结构对 EOFs 展开稳定性的影响 .....                                              | 丁裕国 江志红     | ( 99 )  |
| 经验正交函数展开气象场收敛性的研究 .....                                                   | 丁裕国 吴 息     | ( 108 ) |
| 非均匀站网 EOFs 展开的失真性及其修正 .....                                               | 丁裕国 江志红     | ( 118 ) |
| SVD 方法在气象场诊断分析中的普适性 .....                                                 | 丁裕国 江志红     | ( 124 ) |
| 奇异交叉谱分析及其在气候诊断中的应用 .....                                                  | 丁裕国 江志红 施 能 | ( 131 ) |
| EOF/PCA 诊断气象变量场问题的新探讨 .....                                               | 丁裕国 梁建茵 刘吉峰 | ( 140 ) |
| 一种新的气候分型区划方法 .....                                                        | 丁裕国 张耀存 刘吉峰 | ( 151 ) |
| 非正态分布的天气气候序列极值特征诊断方法研究 .....                                              | 程炳岩 丁裕国 汪 方 | ( 160 ) |
| 重建历史降水量场的统计模拟方法 .....                                                     | 丁裕国 冯燕华     | ( 168 ) |
| 用统计模式重建热带太平洋环流场资料的可行性试验 .....                                             | 丁裕国 冯燕华 袁立新 | ( 175 ) |
| 一种基于 SVD 的迭代方法及其用于气候资料场的插补试验 .....                                        |             |         |
| ..... 张永领 丁裕国 高全洲 王兆礼                                                     |             | ( 183 ) |

## 第二部分 短期气候预测

|                              |         |         |
|------------------------------|---------|---------|
| 具有门限的一种非线性随机—动力模式 .....      | 丁裕国 江志红 | ( 193 ) |
| 基于 Bayes 准则的时间序列判别预报模式 ..... | 丁裕国 江志红 | ( 200 ) |

单站气温信息传递及其可预报性研究 ..... 丁裕国 况雪源(205)

Study On Canonical Autoregression Prediction of Meteorological Element Fields .....  
..... Ding Yuguo, Jiang Zhihong (210)

Nino 海区 SSTA 短期气候预测模型试验 ..... 丁裕国 江志红 朱艳峰(222)

Theoretical Relationship between SSA and MESA with Both Application .....  
..... Ding Yuguo, Jiang Zhihong (230)

MSSA-SVD 典型回归模型及其用于 ENSO 预报的试验 ... 丁裕国 程正泉 程炳岩(243)

Nino 区 SST 与 SOI 的耦合振荡信号及其预测试验 ..... 余锦华 丁裕国(254)

用于 ENSO 预测的一种广义典型混合回归模式及其预报试验 .....  
..... 江志红 丁裕国 周琴芳(262)

第三部分 极端气候事件

A Newly-Discovered GPD-GEV Relationship Together with Comparing Their Models of  
Extreme Precipitation in Summer ..... Ding Yuguo, Cheng Bingyan, Jiang Zhihong (273)

基于多状态 Markov 链模式的极端降水模拟试验 ..... 丁裕国 张金铃 江志红(288)

未来极端降水对气候平均变暖敏感性的蒙特卡罗模拟试验 ... 江志红 丁裕国 蔡 敏(298)

极值统计理论的进展及其在气候变化研究中的应用 .....  
..... 丁裕国 李佳耘 江志红 余锦华(308)

基于概率加权估计的中国极端气温时空分布模拟试验 ..... 丁裕国 刘吉峰 张耀存(314)

极端气候对平均气候变化的非线性响应及其敏感性试验 .....  
..... 程炳岩 丁裕国 郑春雨 申红艳(326)

第四部分 陆-气相互作用

Land Surface Hydrology Parameterization over Heterogeneous Surface for the Study  
of Regional Mean Runoff Ratio with Its Simulations .....  
..... Liu Jingmiao, Ding Yuguo, Zhou Xiuji, Wang Jijun (341)

地表非均匀性对区域平均水分通量参数化的影响 .....  
..... 刘晶森 丁裕国 周秀骥 汪 方(355)

基于降水气候强迫的一种地表径流估计方法 ..... 刘晶森 丁裕国 周秀骥 李 云(363)

地形非均匀性对网格区地面长波辐射通量计算的影响 ..... 张耀存 丁裕国 陈 斌(374)

湿润气候区非均匀地表平均蒸散发率参数化方案研究 .....  
..... 刘晶森 丁裕国 周秀骥 汪 方(386)

非均匀地表陆面过程参数化研究 ..... 陈 斌 丁裕国 刘晶森 张耀存(395)

降水气候强迫下非均匀地表区域平均径流的一种参数化方案 .....  
..... 刘晶森 丁裕国 周秀骥 李 云(408)

论著目录 ..... (416)



第一部分

气候统计理论和应用



# 气象要素的多频振动对相关性影响的初步探讨

丁裕国

(南京气象学院, 南京 210044)

**摘 要:** 本文据随机过程的互谱理论, 通过若干实例的统计计算, 初步讨论研究了序列的多频振动对相关性的影响。气象要素相关性大小, 取决于两个序列中各种频率分量共振涨落的总效果, 即共谱总和; 由于大气运动在时间域上的多频特点, 相关系数具有相对阶段性, 且相关性概念应与大气振动尺度相联系相对应; 由于大气过程的非正常性, 采用互谱变动来反映各频率分量的变动, 进而说明在各种分量中有较稳定性因素与不稳定性因素, 何者占优势, 则构成相关系数具有何种时变特点。

## 引 言

文献[1]指出, 大气运动在空间上是多尺度的, 在时间上是多频率的, 亦即大气中存在各种波长和各种周期的波动运动。就以时域上的多频振动而言, 由于各频率振动并非在指定时段内定常存在, 而总是有它们的生消涨落, 构成极为复杂的大气过程。这种复杂性必然反映在作为大气运动状态的某一物理属性——气象要素的历史演变中。故通常从统计学观点出发, 将要素(按时序)记录视为具有时变特点的多频振动。另一方面, 当我们考察两个变量(包括非气象的)相关性时, 这些变量的记录, 往往总是按时序排列的。因此, 它们的相关性从另一种意义上说, 也是两个序列的相关性。而事实证明<sup>[2]</sup>, 气象要素之间的相关系数在时域上是具有明显波动的, 这就使我们联想到, 相关波动的原因是否与样本序列的多频振动有关。本文就此问题, 在若干统计事实的基础上进行了初步探讨。由此出发或许能对进一步分析相关的物理成因有所帮助。

## 1 共谱密度与相关系数的统计联系

根据随机过程理论<sup>[3]</sup>, 两个序列的互相关函数系数(又称标准化互协方差函数)可定义为

$$\rho_{xy}(t, t') = \frac{C_{xy}(t, t')}{\sqrt{R_x(0)R_y(0)}} \quad (1)$$

式中  $C_{xy}(t, t')$  为两序列在  $t$  与  $t'$  时刻的互协方差函数,  $R_x(0), R_y(0)$  分别为两序列各自的方差。在平稳性条件下, 若两序列的均值皆为零, 上式又可写为

$$\rho_{xy}(\tau) = \frac{R_{xy}(\tau)}{\sqrt{R_x(0)R_y(0)}} \quad (2)$$

(2)式中  $\tau$  表示两个序列的时间后延。显然, 由上式, 当  $\tau=0$  时, 有