

浙江省哲学社会科学重点研究基地、浙江财经
学院政府管制与公共政策研究中心研究成果

WAIHUIQIQUANZUHE
SHICHANGFENGXIANDULIANGHEJIANGUAN

外汇期权组合 市场风险度量和监管

——理论、模型和数值方法研究

陈荣达 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

浙江省哲学社会科学重点研究基地、浙江财经
学院政府管制与公共政策研究中心研究成果

WAIHUIQIQUANZUHE
SHICHANGFENGXIANDULIANGHEJIANGUAN

外汇期权组合 市场风险度量和监管

——理论、模型和数值方法研究

陈荣达 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

外汇期权组合市场风险度量和监管: 理论、模型和数值方法研究/陈荣达著. —北京: 经济管理出版社, 2007. 8

ISBN 978 - 7 - 5096 - 0005 - 4

I. 外... II. 陈... III. 外汇市场—研究
IV. F830.92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 112495 号

出版发行: **经济管理出版社**

北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 11 层

电话: (010) 51915602 邮编: 100038

印刷: 北京晨旭印刷厂

经销: 新华书店

责任编辑: 张 马

技术编辑: 杨 玲

责任校对: 全志云

880mm × 1230mm/32

6 印张 135 千字

2007 年 8 月第 1 版

2007 年 8 月第 1 次印刷

定价: 22.00 元

书号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 0005 - 4/F · 5

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部

负责调换。联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974

邮编: 100836

前 言

随着中国加入 WTO 和中国经济进一步融入世界经济环境进程的加快,我国的一些银行已在国际金融市场上开展金融衍生交易,2002 年我国几大国有银行均已推出个人外汇期权交易产品,我国金融机构和投资者的投资、融资环境也发生了巨大变化,可供投资、套期保值的金融产品也有显著地增加。因此,外汇期权等金融衍生工具以小博大的同时也带来更大的风险,频繁的汇率价格波动是导致外汇期权资产组合价值损益变化的主要原因,如果没有一个系统的测量资产组合所面临的市场风险的模型,那么就不会得到量化的市场风险度,也无法使管理者对资产组合的营运做密切的监控,因而就不会减少出现较大资产组合损失的可能性。

本书针对外汇期权交易的特征,在国外近期相关理论研究的基础上,针对如何度量外汇期权投资组合的市场风险存在的问题,提出了一种改进的非线性 VaR 度量模型。已有的 Delta-Gamma-Theta-Johnson 分布族模型、Delta-Gamma-Theta-Solomon & Stephens 近似模型、Delta-Gamma-Theta-Cornish-Fisher 模型、Delta-Gamma-Theta-Fourier-Inversion 模型是基于汇率回报序列为多元正态分布的来计算的外汇期权投资组合 VaR 值,由于汇率回报的厚尾特征,为了使得计算出的外汇期权投资组合 VaR 值更加接

近于现实世界的实际值，本书假设多个汇率回报的联合分布为多元 t -分布。本书研究和探讨的内容如下：

第一部分引入 EM 算法估计出汇率日回报序列的时变协方差矩阵。由于对外汇期权组合多维非线性 VaR 度量要涉及对汇率回报序列的时变协方差矩阵的估计，本书利用 t -分布能捕获汇率回报序列厚尾特征的优势，引入 EM 算法估计多个汇率回报的联合分布为多元 t -分布的协方差矩阵，并和等权重模型、多元 EWMA 模型、多元 GARCH 模型结果进行比较分析。结果表明：等权重模型估计的结果明显失真；多元 EWMA 模型对实际时间序列不是自相关的，估计效果并不理想；多元 GARCH (1, 1) 模型虽然能描述实际时间序列厚尾现象，但计算烦琐，待估参数众多，这大大影响了它的使用；EM 算法最大的优点是有解析迭代公式、计算简单和稳定。

第二部分提出了基于 t -分布的外汇期权定价模型。对外汇期权风险度量很自然要用到外汇期权定价模型，为了计算基于多元 t -分布的外汇期权组合非线性 VaR 值，对 BSGK 的外汇期权定价模型进行修正，利用数理方程关于前向热传导方程结果，推导出基于 t -分布外汇期权定价模型的解析表达式，结果显示该定价模型比 BSGK 模型更逼近期权的真实价值。

第三部分研究了基于 Delta-Gamma-Theta-Cornish-Fisher 模型和基于 Delta-Gamma-Theta-Fourier-Inversion 模型的对外汇期权市场风险进行度量的两种模型。Cornish-Fisher 模型是利用外汇期权的投资组合头寸价值变化的前四阶矩来匹配外汇期权组合价值变化的分布的，体现了矩匹配的思想；而 Fourier-Inversion 模型利用外汇期权组合价值变化的分布的特征函数试算出组合的风险

度, 由于外汇期权组合价值变化的特征函数完全刻画了随机变量的概率分布, 就统计性质而言是充分的, 没有损失外汇期权组合价值变化分布的信息, 因而, 该方法比 Cornish-Fisher 方法更合理度量 VaR 值, 但是 Cornish-Fisher 模型也有优点: 计算简单快速。

第四部分提出了改进的基于多元 t -分布的外汇期权市场风险非线性 VaR 度量模型。把 EM 算法估计多元 t -分布的协方差矩阵和基于 t -分布外汇期权定价模型用于外汇期权市场风险非线性 VaR 度量模型中, 接着引入多个期权的投资组合的二次近似的矩母函数, 再利用特征函数与矩母函数的关系以及关于概率分布的逆变换傅里叶变换方法得到外汇期权组合价值变化的特征函数和分布函数, 然后提出用切比雪夫不等式及数值积分的近似计算的迭代算法——自适应 Simpson 法则试算出外汇期权组合的 VaR 值, 并和 Delta-Gamma-Theta-Cornish-Fisher 模型、Delta-Gamma-Theta-Fourier-Inversion 模型以及 Delta-正态线性模型计算出的 VaR 值进行比较分析, 结果显示了这种改进的优越性, 使得到的 VaR 的值更加接近于现实世界的真实值, 这种改进的模型克服了厚尾分布的 VaR 计算的困难, 进一步可为金融机构、投资者制定投资、套期保值和规避风险决策提供有益参考。

目 录

第一章 绪 论	1
一、研究背景	1
二、目的和意义	5
三、主要内容	7
第二章 相关理论背景	9
一、相关研究领域文献综述	10
二、外汇期权非线性 VaR 度量研究面临的问题	28
三、本研究的主要创新点	43
四、小结	48
第三章 汇率回报序列的统计特性	49
一、汇率回报序列的统计分析	50
二、汇率的协整分析	53
三、实证结果	62
四、小结	80

第四章 基于 EM 算法汇率日回报序列的时变协方差矩阵估计	82
一、常用的汇率日回报时变协方差矩阵估计模型	83
二、基于 EM 算法的时变协方差矩阵估计模型	88
三、汇率日回报时变协方差矩阵估计的实证分析	92
四、小结	95
第五章 外汇期权定价的 BSGK 模型分析	97
一、外汇期权概述	98
二、外汇期权定价的 BSGK 模型	104
三、外汇期权敏感性分析	105
四、小结	115
第六章 基于汇率回报厚尾性的外汇期权定价模型	116
一、引言	117
二、基于 t-分布的外汇期权定价模型	118
三、t-分布的自由度 ν 的估计	124
四、两种外汇期权定价模型的实证分析	126
五、小结	128
第七章 基于 Delta-Gamma-Theta 正态模型外汇期权风险度量	129
一、Delta-Gamma-Theta 模型	130
二、Cornish-Fisher 方法	138
三、Fourier-Inversion 方法	140

四、基于 Delta-Gamma-Theta 正态模型实证分析	141
五、小结	146
第八章 基于多元 t-分布的外汇期权组合 VaR 度量模型 ...	148
一、基于 t-分布的 Delta, Gamma, Theta	149
二、Delta-Gamma-Theta 模型变换	150
三、基于多元 t-分布外汇期权非线性 VaR 计算	151
四、外汇期权投资组合的风险度量实证分析	156
五、小结	160
第九章 总结与展望	162
一、本书总结	162
二、研究展望	165
参考文献	168
后 记	182

第一章 绪 论

金融商品的不断创新和复杂化，信息技术革命性发展以及金融国际化的不断深入，使得金融领域的风险问题越来越引起人们的重视。无论是监管当局还是金融机构本身，都在思考一个共同的问题：如何对金融机构的风险进行有效的度量和监管。

一、研究背景

风险的常用定义是指未来净收益的不确定程度。根据风险不确定性的来源大致可以分成以下几类：市场风险、信用风险、流动性风险、交割风险、法律风险操作风险和道德风险等，其中很多风险只能作定性的分析，可以量化的风险包括市场风险、信用风险和流动性风险，本书研究的对象限于市场风险。所谓市场风险就是指由于市场条件的变化而导致的金融资产收益的不确定性。

而关于风险的度量，在不同的领域出于不同的目的，投资者或管理者所关心的侧重面不同，度量的方法也就不同。在马克维兹提出投资组合理论之前的很长一段时间里，风险的度量方法始终停留在非定量的主观判断阶段。1952年，马克维兹在他的

《投资组合选择》一文中提出，投资风险可用方差或标准差来度量。此后对风险的数量研究得到长足的进步，如理论上更完美的半方差（Semi-variance）方法以及 20 世纪 90 年代以后发展起来的新型风险管理工具——VaR（Value-at-Risk，风险价值）方法。

VaR 的基本含义是：某一金融资产或证券组合在给定的概率水平（置信度）和未来特定的一段时间内，在正常市场的条件下的最大可能损失（Jorion，1996）。相对于传统的风险管理工具，它提供了一种现代金融风险管理的理念和思路，不仅可以把各种金融工具、资产组合以及金融机构总体的市场风险具体化为一个简单的数值，使管理者能十分清楚地了解，他所持有的资产在某段时间内所面临的最大的风险，而且有利于金融监管部门掌握其成员的风险，以便更好地进行监管。而且，市场风险管理中的一个核心问题是“情况会变得有多糟糕？”这就是 VaR 试图回答的问题。大多数机构担心的是当市场发生反方向变化时他们可能遭受多大的损失，VaR 是一种测定潜在损失而非潜在收益的计量技术。采用 VaR 技术来量化风险最早出现于 J. P. Morgan 银行 1989 年发表的 Risk Metrics 风险控制模型，阐述了 VaR 风险值的计算方法和应用。VaR 技术因其在量化风险和动态监管方面独特的优势，在短时间内得到了迅速的发展和广泛的接受。1993 年 7 月 G30（Group of Thirty）发表了名为《金融衍生产品习惯与原则》的报告，这个报告成为关于金融衍生工具的具有里程碑意义的报告。G30 的主要建议是引入“VaR 来给交易头寸估价和评估金融风险”。一些资信评估机构，如穆迪公司和标准普尔公司，以及国际互换和衍生工具联合会 ISDA，也提出过相似的建议。1994 年 8 月成立的金融衍生产品政策小组（DGP）提

倡使用观测时间为两周的 99% 的 VaR 系统, 1994 年 10 月 J. P. Morgan 公开 Risk Metrics 系统, 并促使摩根的竞争对手开发出新一代的风险管理系统, 如信孚银行的 RAROC2020。同时监管局逐渐接受 VaR 分析工具。1995 年 4 月, 巴塞尔委员会宣布, 商业银行的资本充足性要求必须建立在 VaR 基础之上; 1995 年 12 月, 美国证券交易委员会 (SEC) 建议, 上市交易的美国公司在披露其信息时应将 VaR 作为一项重要指标; 1996 年 12 月, 巴塞尔委员会发布《巴塞尔资本协议市场风险修正案》, 设立了度量市场风险和计算应用市场风险的资本金储备的指导性条款; 1996 年 6 月 3 日巴塞尔委员会公布了《新的资本充足率框架》(征求意见稿), 提出了“标准化方法”来约束市场风险, 同时也允许各银行采用自己设计的 VaR 模型来确定所应设置的充足性资本水平。而且 VaR 技术具有全面性、简明性和实用性, 这些特点决定了其成为银行、证券公司、投资基金等金融机构、市场监管者以及各类非银行金融公司进行风险度量与管理、资产配置、绩效评价等的重要工具。现在 VaR 正逐渐成为金融风险管理的新标准, 正如约翰·比尔特所说: “很显然, 在 21 世纪, 以金融风险管理为目的的监管环境将建立在 VaR 基础之上, 每一家银行、经纪商、公司或政府机构将来都必须以 VaR 的形式表明他们资产负债表中的风险状况。”“对于某种标准探索也许就要结束。” (Jorion, 1996)

近年来, VaR 计量技术已成为金融行业风险度量与风险管理的工业标准。在银行界, 无论是国际银行业的巴塞尔委员会 (Basel Committee)、美联储、国际清算银行 (Bank of International Settlements), 还是新近成立的欧洲中央银行, 都倡导将 VaR 作

为一种可行的风险管理方法。1996年9月6日,美国三大金融管理机构,财政部货币监管署、联邦储备系统、联邦存款保险公司联合作出决议,从1998年1月1日起美国所有银行必须实施VaR风险管理方法,并定期报告评估结果。在证券界,VaR已得到了国际掉换与衍生工具协会(the International Swaps and Derivatives Association)、美国标准普尔公司、穆迪投资服务公司等权威机构的支持。美国证券交易委员会与华尔街六大证券公司也达成协议,用VaR并结合其他方法来制定资本金的最低要求。目前,许多国家央行决定在金融监管中引入VaR技术核算银行资本金要求(Jackson, 1997)。

以期权为代表的金融衍生产品设计的初衷是创造避险工具,增强市场对风险的承受能力和定价能力,实现风险对冲,提高资本配置能力。但是,近年来金融衍生工具交易却越来越从套期保值的避险功能向高投机、高风险转化。自20世纪90年代以来,在国际金融市场上,以期权为代表的金融衍生产品一直是人们关注的焦点,与金融衍生产品交易联系在一起的触目惊心的事件接二连三地发生,特别是1995年2月英国巴林银行的倒闭、1995年9月日本大和银行的巨额交易亏损、1998年秋长期资本管理公司(Long-Term Capital Management)濒临倒闭以及2002年发生在华尔街种种金融丑闻等无不与金融衍生工具有关,说明它确实能制造市场的动荡,一再引起人们对它在市场上存在风险的关注和反省,使金融市场风险的定量测量变得越来越重要。这同时也使金融机构所承担的风险越来越广泛和复杂,越来越难以被机构的管理者全面地衡量和掌握。

以往的风险衡量技术,如标准差、 β 系数、久期(Duration)

和 Delta 等方法都只能适应特定的金融工具或在特定的范围内使用,难以综合反映风险承担情况,而且即使引入凸性 (Convexity),当标的 (Underlying) 资产价格发生巨大变动时也不能准确地估计风险。在这种情况下,金融机构的管理者,尤其是高层管理者,越来越需要一种既便于掌握和理解,又能全面反映金融机构或投资组合所承担的风险,特别是市场风险的技术方法。VaR 就是适应当前风险管理需求,既能处理非线性的期权,又可提供总体风险的市场风险测量方法,以规范的统计技术全面衡量市场风险的方法。研究指出,如果执行严格的 VaR 管理,一些金融交易的重大亏损也许就完全可以避免 (Jorion, 1997)。综合以上原因,对以期权为代表的金融衍生产品市场风险采用 VaR 进行度量,使隐性风险显性化,便于风险的管理和控制。因此, VaR 计量技术在外汇期权市场风险度量方面得到了广泛的应用 (Zangari, Britten-Jones & Schaefer, 1996, 1999)。

二、目的和意义

随着中国正式加入 WTO,中国金融市场将进一步开放,一切都必须按照国际规则办事;2003 年 5 月中旬,中国银行北京分行在京首家推出个人外汇期权交易产品“期权宝”和“两得宝”,工行北京市分行于 2003 年 7 月,推出了他们的个人外汇期权产品,9 月,中国建设银行也正式推出了个人外汇期权交易产品。这些迹象表明如何建立一个中国的期权交易所,以外汇为突破点,最终做期货期权、股票期权;我国的一些银行已经在国际

金融市场上开展金融衍生交易，但由于缺乏对金融衍生产品的市场风险管理经验，抵御金融风险的能力较差。所以对外汇期权的多维非线性 VaR 度量模型研究并且用于我国衍生产品交易的市场风险管理，使隐性风险显性化，便于风险的管理和控制，必将大大提高我国金融机构在国际金融市场上的抗风险能力。

外汇期权市场风险非线性 VaR 度量模型的研究始于 20 世纪 90 年代后期，经过七八年的发展，模型研究得到不断的深入。目前的研究存在的问题：模型通常假设汇率回报之间服从多元正态分布来进行 VaR 测算，但是汇率回报经验分布显示厚尾分布，这时对外汇期权组合的风险度量，需要估计多变量（多个不同的汇率回报时间序列）的联合分布，这是比较难的；对外汇期权市场风险度量时要涉及外汇期权的定价模型和时变协方差矩阵估计，目前的研究在这两方面考虑得并不多，例如大多数模型计算中，当汇率即期回报呈现厚尾分布时，仍用基于正态分布的外汇期权定价模型（BSGK）和基于多元正态分布来估计时变协方差矩阵，这大大影响了 VaR 的真实值。为此，本书打算在以下几方面进行着重研究：一是如何估计多变量（多个不同的汇率回报时间序列）之间的时变方差—协方差矩阵问题，特别是汇率回报呈厚尾分布时；二是汇率回报呈厚尾分布时，外汇期权在这种情况下的定价问题；三是多变量联合分布服从多元非正态分布时，这时如何解决对外汇期权组合的风险进行度量。这些问题的解决，将有助于非线性 VaR 风险计量技术的发展与应用。

三、主要内容

本研究的内容主要有以下几个方面:

(1) 对汇率回报序列的统计特性(如偏度、峰度、自相关性等)进行了研究,然后对汇率对数价格序列进行单位根检验,接着引入 Engle 和 Granger (1987) 的协整理论(Cointegration Theory),来研究多个汇率时间序列之间是否存在长期稳定的相关关系问题。

(2) 汇率回报序列时变协方差矩阵的估计问题。对汇率回报时变协方差矩阵的估计是当前外汇市场风险管理中一个重要部分,并且要对外汇期权组合非线性 VaR 度量要涉及对汇率回报序列的时变协方差矩阵的估计,本书采用加拿大元、英镑、瑞士法郎三个币种对美元每日收盘价历史数据,利用 t-分布能捕获汇率回报序列厚尾特征的优势,引入 EM 算法估计多元 t-分布的协方差矩阵并和其他常用的估计模型(等权重模型、多元 EWMA 模型、多元 GARCH 模型)结果进行比较分析。

(3) 外汇期权定价模型研究方面。对外汇期权风险度量很自然要用到外汇期权定价模型,本书为了计算基于多元 t-分布的外汇期权组合非线性 VaR 值,对 Garman 和 Kohlhagen (1983) 的外汇期权定价模型进行修正,推导出基于 t-分布外汇期权定价模型并且进行了灵敏度分析。

(4) 外汇期权组合价值变化的 Delta-Gamma-Theta 模型。对多个外汇期权的投资组合头寸价值变化 ΔV 的近似表达式进行谱

分解,分别得到基于汇率回报序列为多元正态分布和多元 t -分布投资组合头寸价值变化 ΔV 矩母函数和特征函数。

(5) 外汇期权组合非线性 VaR 的计算方面。首先,对基于汇率回报序列为多元正态分布的 Delta-Gamma-Theta-Cornish-Fisher 模型、Delta-Gamma-Theta-Fourier-Inversion 模型进行探讨;其次,把 EM 算法估计出的多元 t -分布的协方差矩阵和基于 t -分布外汇期权定价模型,用到汇率回报序列为多元 t -分布的外汇期权非线性 VaR 的计算上,得到 VaR 的值更加精确。

(6) 实证研究方面。利用加拿大元、英镑、瑞士法郎三个币种对美元每日收盘价的历史数据,对这三种币种的回报(基于美元)进行 Jarque-Bera 正态分布检验、Ljung-Box 自相关性检验、扩展的 Dickey-Fuller 单位根检验、PP 非参数检验,以及三种币种是否存在长期稳定的相关关系的协整检验;利用 EM 算法估计多元 t -分布的协方差矩阵并和等权重模型、多元 EWMA 模型、多元 GARCH 模型结果进行比较分析;使用矩估计法(Method of Moments Estimator, MME)估计出三种币种的回报 t -分布的自由度(形状参数) v ,然后进行基于汇率回报 t -分布外汇期权定价模型和 BSGK 外汇期权定价模型的比较;最后用 Delta-Gamma-Theta-Cornish-Fisher 模型、Delta-Gamma-Theta-Fourier-Inversion 模型和基于多元 t -分布模型计算出的 VaR 的值进行比较分析。

本书的数据来源于 <http://www.oanda.com>,样本采用加拿大元、英镑、瑞士法郎三种币种对美元交易日的收盘价的历史数据,具体研究方法需要对数据做特别处理的将在文章中予以说明。所有的分析和计算均采用 Excel、Eviews 和 Matlab 软件编程完成。