

基于尾部风险管理的期权动态套保策略研究

李腊生¹ 周猛¹ 赵未夏²

(1.天津财经大学统计学院, 天津 300222; 2.一德期货有限公司, 天津 300222)

摘要: 本文以满足一致性风险度量准则的CVaR为套保目标函数, 采取从期货到期权的两步法估计期权动态最优套保比率, 建立了基于尾部风险管理的期权动态套保模型, 并以沪深300指数系列衍生品为样本开展了实证分析和稳健性检验。研究表明: (1) 通过两步法建立的期权套保模型估计出的期权最优套保比率, 既充分反映了衍生品市场与现货市场的动态相依关系, 又有效克服了期权价格在不同到期阶段受标的资产价格之外因素的影响; (2) 实证结果显示, 不管沪深300ETF价格处于上涨周期还是下跌周期, 期权动态套保效果均优于期货动态套保, 充分体现了期权非线性特点在尾部风险管理中的优势; (3) 策略选择上, 在市场大幅波动背景下, 多行权价期权组合套保效果优于单一行权价期权套保; (4) 较宽的调仓阈值设置在市场涨跌幅较大时套保效果更显著。

关键词: 尾部风险; 期权非线性特征; 最优套保比率; DCC-GARCH-CVaR

Abstract: This paper takes CVaR, which meets the consistent risk measurement criteria, as the hedging objective function, estimates the dynamic optimal hedge ratio of options using the two-step method from futures to options, establishes the dynamic hedge model of options based on tail risk management, and conducts empirical analysis and robustness test on the samples of the derivatives of the Shanghai and Shenzhen 300 Index series. The research shows the following findings. (1) The optimal hedge ratio, which is estimated by the option hedge model established by the two-step method, not only fully reflects the dynamic dependence between the derivatives market and the spot market, but also effectively overcomes the impact of factors other than the underlying assets on the option price at different maturity stages. (2) The empirical result shows that the dynamic hedging effect of options is better than futures whether the CSI 300ETF is in the rising cycle or the falling cycle, which fully reflects the advantages of nonlinear characteristics of options in tail risk management. (3) In terms of strategy selection, under the background of large market fluctuations, the effect of the multi-exercise option combination hedge is better than that of the single-exercise option hedge. (4) The wider position adjustment threshold settings have a more significant hedging effect when the market fluctuations are significant.

Key words: tail risk, nonlinear characteristics of options, optimal hedge ratio, DCC-GARCH-CVaR

作者简介: 李腊生, 经济学博士, 天津财经大学统计学院教授、博士生导师, 研究方向: 金融风险分析技术、货币理论与政策。周猛(通讯作者), 天津财经大学统计学院博士生, 研究方向: 金融投资统计分析与风险管理。赵未夏, 一德期货有限公司副总经理, 研究方向: 衍生品投资与风险管理。

中图分类号: F830.9 **文献标识码:** A

一、引言

基于不确定性, 任何经济活动都存在风险, 只是人们对待不同性质的风险具有不同的态度。从行为金融学视角, 依据心理特征可将风险划分为意愿承担风险和非

意愿承担风险。意愿承担风险, 是指经济活动主体为了获得相应的预期收益而愿意承担的风险, 它往往体现在日常经营活动之中; 非意愿承担风险则是指超越经济主体风险偏好特征或不在预期范围内的风险, 这类风险要么影响特别大, 要么是缺乏认知的意外(李腊生和翟淑

萍, 2014)^[34]。尾部风险是指发生概率较低, 但破坏性极大的风险, 这种风险一旦发生, 往往会给经济活动主体造成重大的经济损失, 甚至关系到生死存亡, 通常它属于非意愿承担风险(蒋坤良, 2022)^[31]。非意愿承担风险中经济主体的非意愿性带来了尾部风险的避险需求, 而满足经济主体避险需求的途径只能有两条, 一是化解风险, 即想办法让非意愿承担风险消失; 另一是转移风险, 即将非意愿承担风险转移给那些愿意承担者, 从而使其演变为意愿承担风险。尾部风险存在的客观性决定了它不可能消失, 这就意味着规避尾部风险的唯一出路就只能是转移风险。金融创新, 尤其是金融工具的创新为经济主体转移非意愿承担风险创造了条件并提供了相应的工具。套期保值交易(以下简称套保)作为利用相关性管理风险的一种手段, 利用风险与收益的对冲关系来化解风险, 从而成为实现风险转移的有效手段被广泛应用于实践(付胜华和檀向球, 2009)^[26], 现已成为尾部风险管理最重要的基础性策略。

套保的运用及其研究得益于期货工具的创造以及期货市场的发展。有关套保交易的研究主要集中于两个方面, 一是期货标的的选择(鲍君洁等, 2010; 金太阳, 2017)^{[21][32]}, 二是套保比率的确定(黄文彬等, 2016)^[29], 其中最优套保比率是该领域的核心问题。伴随着理论研究的不断深入以及实践经验的积累, 人们渐渐认识到期货价格与现货价格变动可能存在不一致性, 基差风险及其管理便成为研究的重点(陈冲等, 2012)^[23]。对基差风险的研究开始使人们认识到期货套保的局限性, 这种局限性表明期货套保有时并非是一种好的避险策略, 尤其是它可能不适合尾部风险管理, 因为: (1) 现货与期货市场是两个联系紧密、但又相对独立的市场, 噪声交易或套利交易的失灵可能导致基差风险管理的失败(姚远等, 2019)^[40]; (2) 重大突发事件的冲击所引起短期价格巨震可能引发期货头寸的“爆仓”, 从而导致套保失败。尤其是在现代互联网信息传播技术使得信息全球性无时滞接收以及金融市场全球一体化的背景下, 重大事件冲击所带来的过度反应无论在广度还是在深度上都会加剧期货市场价格更为频繁的波动, 运用期货工具套保所面临的风险显著增大, 实践中期货套保失败的案例明显增多。比如2019年初中国

石化子公司因原油套保业务巨亏46.5亿元, 2022年4月份青山集团伦镍逼空事件等都是近期期货套保失败的典型案例。

期权作为非线性金融衍生工具, 其权利与义务的非对称性决定了它更适宜成为尾部风险管理的重要工具之一, 这不仅表现在套保过程中它能有效克服期货套保的上述缺陷, 尤其是可以克服因期货结算制度可能遭致的强平风险, 而且还可以获取有利状态的超额收益。期权作为套保工具的这些特征也引起了广泛关注, 有一些相关研究探讨了期权标的的选择、套保比率的确定、套保效果以及跨类工具(主要是期货与期权)组合套保(刘定国, 2017; 高扬和刘起材, 2019)^{[35][27]}。但现有的研究均是建立在风险中性假设的基础上, 不仅脱离了实践中行为主体的心理特征, 而且也制约了期权套保研究的深化。事实上, 人们对于尾部收益或尾部风险的评价并不满足风险中性设定, 而更符合行为金融学前景理论中的亏损规避与非贝叶斯期望价值评价(加权函数期望效用理论), 即人们以不同的态度看待盈利与亏损, 如与盈利的正效用相比, 相同值的亏损会被赋予更大的负效用, 价值评价中的期望效用并不遵循贝叶斯概率权重期望, 而是基于权重函数的期望, 权重函数通常遵从小概率大权数, 大概率小权数的规则(邹德强和赵平, 2008; 李腊生和翟淑萍, 2014)^{[45][34]}。这就是说, 相比于风险中性下的尾部期望, 人们对尾部风险价值的评价要高得多, 通常情形下它远远大于期权费。因此, 期权费的存在且大于贝叶斯期望收益, 并不能成为放弃期权套保的理由。如果说期货套保适宜于日常的风险管理, 那么, 期权套保则是尾部风险管理不可或缺的重要手段。

进入新世纪后, 外部经济环境不确定性的明显增大以及越来越频繁的重大事件冲击, 使得尾部风险管理变得愈来愈重要。本文试图利用期权管理尾部风险的优势, 以CVaR尾部风险度量为基础, 借助多元动态条件相关GARCH模型估计的期货动态最优套保比率, 通过引入期权定价模型及delta管理风险的特性, 具体探讨期权套保的最优动态策略, 并对其进行实证检验。本文的边际贡献主要体现在: (1) 从尾部风险管理视角出发, 选择满足一致性风险度量准则的CVaR作为风险测度指标构建目

标函数,更符合套保实践中尾部风险管理的需求;(2)分两步估计了单一行权价期权动态最优套保比率和多行权价期权组合动态套保比率,不仅很好地实现了期权套保比率的动态化,而且有效克服了期权价格在不同到期阶段受标的资产价格之外因素的影响,更符合市场实际情况;(3)通过选择具有代表性的沪深300指数系列衍生品市场开展实证分析和稳健性检验,验证了上述套保模型,分别对比评估了期货套保与期权套保、单一期权套保与期权组合套保及不同调仓阈值设置下的期权套保策略在尾部风险管理中的效果,为基于尾部风险管理的套保实践提供参考。

二、文献综述

作为风险管理理论与方法的重要组成部分,套保问题一直受到经济学家和经济实践者的高度关注,它随着风险管理科学的发展而不断向前推进。归纳起来看,该领域的研究经历了从期货到期权、从静态到动态的演化过程。

(一)套保理论发展及风险测度指标选择研究

传统套保理论通常被认为最早由Keynes(1923)^[13]和Hicks(1939)^[11]提出,他们指出套保的动机在于转移现货交易中所面临的价格波动风险,目标在于保证经营稳定,实际的操作是在期货和现货市场同时建立品种相同、数量相等、方向相反的头寸。目前国内很多投资机构和企业依然在采用这种模式开展套保,但由于市场价格剧烈波动及现货贸易定价模式多样性等诸多问题,基差(现货价格-期货价格)变动趋势和节奏不易把握,所以按传统套保理论操作的实际效果往往不尽如人意。Working(1953)^[20]提出了基差逐利型套保理论,该理论是认识到基差风险后发展起来的,他指出基差的变化会直接影响套保的效果,主张对基差实施主动管理。陈冲等(2012)^[23]通过实证分析发现,考虑基差非对称效应的动态套保策略比其他模型有更好的套保效果。但事实上,目前国内市场只有油脂油料等少数品种能比较容易通过基差贸易实现基差风险管理,很多品种可操作性不强。Johnson(1960)^[12]和Ederington(1979)^[7]等人提出通过采用马科维茨的投资组合理论来解释套保概念进行操作更合理,即将期货头寸和现货头寸作为资

产组合来看待,按照收益最大或风险最小的原则确定最优套保比率。

在以往的期货套保研究中,通常选择以套保组合方差最小为目标函数估计套保比率,即常见的最小方差套保比率(付胜华和檀向球,2009;佟孟华,2011)^{[26][39]}。但由于使用方差从平均的角度来度量风险,只能同时评估亏损和盈利之和的可能性,这成为很多投资者的困扰。而且一般的金融风险研究往往更注重正常状态下的风险管理问题,忽略了投资者对极端事件风险的重视,所以当VaR(风险值)被提出后即备受青睐,得到金融机构广泛应用,有学者以套保组合VaR最小构建模型估计套保比率,实证发现基于最小VaR方法的套保效率要优于最小方差法(迟国泰等,2008;刘定国,2017;曹志鹏和路华,2018)^{[25][35][22]}。VaR解决了方差等传统风险度量指标对于非线性金融工具适用性差、难以描述组合风险等缺点,把风险量化进而为金融风险管理决策提供参考。但VaR只反映资产组合在一定持有期内给定的显著性水平下潜在的最大损失,即VaR度量的是给定置信水平下尾部风险的最小值,而无法考察超过分位点的下方风险信息。后来的研究也证明,VaR不满足一致性风险度量准则,尤其是不满足次可加性(Artzner et al., 1999)^[2],这就意味着用VaR来度量风险与风险分散化的理论相违背(杨青等,2009)^[41]。针对VaR不满足一致性且对尾部风险测量的非充分性等缺点,后来几乎在同一时期,有学者分别提出了满足一致性风险度量准则的ES(expected shortfall)度量方法和CVaR(condition value at risk)度量方法,根据定义两者本质相同,均表示在给定风险显著性水平下超预期损失的平均值(Rockafeller and Uryasev, 2000; Acerbi and Tasche, 2002)^{[19][1]},而且有学者证明当损失密度函数连续时,ES模型的结果与CVaR模型的结果完全相同,CVaR计算相对容易实现,ES可以在非连续分布场景下进行风险分析,但实际操作存在较多困难(杨青等,2009;陈文财和齐肖阳,2014)^{[41][24]}。因此,本文选择满足一致性准则的CVaR指标度量风险并以其最小为目标函数开展期货和期权套保研究,以期估计充分考虑超过分位点下方风险信息的套保比率,为尾部风险管理提供更有价值的参考。

(二) 套保工具的选择及套保比率估计

1. 期货套保比率估计及套保效果研究

期货套保研究成果较多, 主要体现在套保比率的估计和实证分析方面。如何确定期货最优套保比率是期货套保研究的核心, 很多研究发现, 期货静态套保模型忽略了金融时间序列的异方差性, 而异方差性会使套保比率随着时间的变化而变化(时变效应), 因此, 建立动态套保模型更符合实际需要。Engle(1982)^[8]提出的自回归条件异方差模型能准确模拟时间序列变量的波动性变化, 因此在金融工程的实证研究中被广泛应用。由于GARCH模型可以很好地刻画现货和期货价格的动态波动关系, 所以用GARCH模型估计的套保比率也被称为动态套保比率。通常单变量GARCH模型可以用来分析时间序列的波动集聚特征, 多变量GARCH模型可以用来分析不同时间序列的波动是否相关、相关性有多大。按照多元GARCH模型提出的时间排序, 经实践验证比较经典的模型主要有CCC-GARCH模型、BEEK-GARCH模型和DCC-GARCH模型(Bollerslev, 1990; Engle and Kroner, 1995; Engle, 2001)^{[4][9][10]}。很多文献通过实证比较分析了上述模型在不同市场环境下的套保效果, 其中DCC-GARCH模型更适合对由金融市场不确定因素导致的不同金融资产之间存在的动态相关关系进行研究(Olfa and Chiraz, 2021; 黄文彬等, 2016; 李国勇, 2022)^{[17][29][33]}。基于收益率序列的异方差性和波动集聚特征, 本文选择能够刻画期货和现货市场动态相依结构关系的DCC-GARCH模型来估计期货套保模型中的相关参数。

套保有效性是指评估套保模型的实际效果, 即风险规避的程度。套保有效性评估一般有夏普比率测度方法和Ederington测度方法, 前者主要考察套保对夏普比率的改进效果, 后者在风险最小化的框架下给出了套保绩效的衡量指标He(Ederington, 1979)^[7]。由于Ederington测度方法简单易懂, 故被普遍作为评估套保策略效果的标尺, 在其他相关研究文献中大多也采用此方法(刘定国, 2017; 任仙玲和邓磊, 2020)^{[35][38]}, 本文同样采取该方法对期货最优动态套保比率效果进行评估。

2. 期权套保模型及适用场景研究

期货工具套保, 不管是单一品种期货套保, 还是多品种期货组合套保, 在线性波动和常态风险管理中是非

常有效的(鲍君洁等, 2010; 金太阳, 2017)^{[21][32]}, 但受限于期货市场实行的当日无负债结算的保证金制度, 无论是单一期货套保还是多期货组合套保, 在尾部风险管理中都存在因保证金不足而被强平的风险, 因此其可能不适合尾部风险管理。

期权作为非线性工具在套保中有其独特优势。套保研究关心的第一个问题就是, 什么情况下选择期权工具套保相较于期货效果更好? 很多学者对此开展了研究。归纳来看, 一方面, 因基差风险等客观因素的存在导致风险暴露非线性时, 期权是更好的套保工具, 此时采用期权工具开展套保更有效(Lapan and Moschini, 1995; Lien and Tse, 2002; Broll et al., 2015)^{[14][16][5]}; 另一方面, 在不完全的市场环境下, 当期货市场不是无偏时, 期权的非对称性收益也更适用于对冲偏度价格风险(Benninga and Oosterhof, 2004; Osaki et al., 2017)^{[3][18]}。总体来看, 当风险暴露非线性或者有偏时, 现有研究指出期权是更有效的套保工具。事实上, 在投资实践中, 非线性风险是普遍存在的, 而期权价格波动具有非线性特点, 这为期权套保可行性提供了理论基础。客观来说, 不管是选择线性的期货还是非线性的期权进行套保, 都不可能适用所有的场景和解决所有的风险管理问题。在基差稳定和现金流充裕的情况下, 采用期货工具套保简单高效。但当市场大幅波动引发尾部风险、可能面临着保证金不足甚至穿仓风险时, 期权优势就可以充分显现出来, 因为其最大亏损就是初期支出的权利金。

早期的期权套保研究更多聚焦于理论求解方面, 比如有学者构建连续时间均值方差套保模型, 利用动态规划法推导均值方差下的显式头寸(Laurent and Pham, 1999; Capinski, 2015)^{[15][6]}; 余星等(2018)^[42]通过构造等价鞅测度, 在风险厌恶型一般效用函数下证明了模型最优解是唯一存在的, 给出了求解模型的算法步骤并在负指数效用函数下得到期货和期权最优头寸的显式表达式。近几年, 随着我国场内期权市场的快速发展, 对诸多品种开展实证分析的研究也比较多, 通常主要考察支出成本与期权执行价格选择(虚实程度)、基差风险与最优合约选择以及风险与收益平衡等方面, 目的在于讨论如何选择合适的期权合约构建更优的套保策略(刘定国, 2017; 高扬和刘起材, 2019)^{[35][27]}, 整体上看以静态分

析为主。在期权动态对冲研究中，大多是针对期权定价的风险中性对冲展开的，即基于期权各阶希腊字母中性对冲进行研究(张卫国和杜谦，2016；郑祥和韦勇凤，2018)^{[43][44]}，此类研究对于没有任何风险偏好的做市商可能更适用。

总体来看，当前的期权套保研究主要存在以下问题：一是研究侧重考察预算成本与期权合约选择及期权策略构建等，忽略了现货和衍生品市场的动态波动关系；二是动态对冲研究主要关注期权定价和对冲方面，对期权动态套保关注较少；三是期权套保实证分析大多直接对标的资产与期权价格建模做统计分析，无法剔除期权价格在不同到期阶段受其他因素的影响，可能导致研究结果与市场实际情况不符。基于此，本文尝试首先估计期货最优动态套保比率，再通过delta中性桥梁过渡到期权套保的两步法对期权最优套保比率进行估计。

3. 期权套保动态调仓方法研究

根据市场波动，对套保持仓动态调整，本质上就是一定程度放弃潜在收益进行止盈，防止行情反复导致利润回吐。在上涨周期，随着标的资产价格上涨，套保持仓期权合约虚值程度变高，对现货头寸保护程度降低，向上调仓(换执行价格更高的看跌期权合约)是为了提高套保头寸对现货盈利的保护程度；在下跌周期，随着标的资产价格下跌，套保期权持仓合约可能变为深度实值合约，向下动态调仓(换执行价格更低的看跌期权合约)可以兑现部分套保盈利，降低期权头寸成本，防止行情反复导致利润回吐。但是，如果为了使套保组合始终处于风险中性状态而频繁调仓，可能会带来很高的交易成本，尤其当市场波动率较高时，应选择较大的可容忍区间来减少对冲次数以降低成本(胡姜等，2021)^[28]。从期权定价角度看，过度调仓也会极大削弱期权工具的非线性优势。因此，如何保持风险敞口与动态调仓的平衡，本质上是调仓成本(包括交易成本、冲击成本和资金成本等)与预期收益的平衡(马子舜，2015)^[36]，常见操作方法基于delta中性，有固定delta区间对冲、固定时点对冲等，其中固定delta区间对冲在实践中使用更为普遍(蒋论政，2018；浦江燕等，2022)^{[30][37]}。本文采取固定区间对冲，即通过设置阈值，跟踪风险敞口动态调仓，以求在风险和成本可控的情况下，尽量保留期权特性所带来的

优势。

三、基于尾部风险管理的期权动态最优套保比率模型

考虑到期权价格在剩余期限的不同阶段，各参数变量对其影响权重不同，而且因期权在值程度的变化，期权价格对高阶希腊字母的敏感性差异也非常大，本文不直接采取计量模型对期权价格与标的资产价格进行建模分析，而是尝试基于尾部风险管理，分两步来实现期权动态最优套保比率的估计。第一步，以CVaR最小为目标函数，构建标的资产与期货套保组合，通过DCC-GARCH模型估计期货动态最优套保比率；第二步，选择标的资产期货期权，通过期权定价模型及delta中性桥梁，把第一步得到的期货动态最优套保比率转化为期权动态最优套保比率。

(一) 基于尾部风险管理的期货最优套保模型的构建及估计

1. 以CVaR最小为目标函数的期货最优套保比率

依文献综述，本文选择CVaR指标度量风险并以其最小为目标函数构建套保模型。CVaR含义为在特定投资期内某投资组合的损失超过某个给定VaR值的条件下，该投资组合的平均损失值。CVaR的数学公式表示为： $CVaR_{\alpha} = -E[-X | -X \leq -VaR_{\alpha}]$ ，其中 $-X(X > 0)$ 为投资组合的损失， VaR_{α} 为置信水平为 α 的VaR值(Rockafeller and Uryasev, 2000)^[19]。与VaR相比，CVaR具有平移不变性、正齐次性、单调可加性及次可加性等特点，是一种一致性的风险测度方法，即使用CVaR度量的投资组合风险均小于或等于该组合中单项资产风险相加之和，符合市场分散化理论(Artzner, 1999, 杨青等, 2009)^{[2][41]}。

在模型中，现货和期货价格分别用为 S_t 、 F_t 表示，其对数收益率分别用 R_s 、 R_f 表示，套保比率用 h 表示，则使用期货对大宗商品现货进行套保后资产组合的收益率可表示为：

$$R_h = R_s - hR_f \quad (1)$$

$$\text{则期货套保组合收益率期望为：} E(R_h) = E(R_s) - hE(R_f) \quad (2)$$

$$\text{方差为：} \sigma_h^2 = \sigma_s^2 + h^2\sigma_f^2 - 2h\sigma_{sf} \quad (3)$$

其中， σ_h^2 为期货套保组合的方差， σ_s^2 、 σ_f^2 分别为大宗商品现货收益率和期货收益率的方差， σ_{sf} 为现货收益率与期货收益率的协方差。

根据CVaR的定义可得:

$$CVaR(h) = -E[R_h | R_h \leq -VaR(h)]$$

$$= -E \left[\frac{R_h - E(R_h)}{\sigma_h} \mid \frac{R_h - E(R_h)}{\sigma_h} \leq \frac{-VaR(h) - E(R_h)}{\sigma_h} \right] \sigma_h - E(R_h) \quad (4)$$

假设期货套保资产组合的期望收益率服从正态分布, 则有:

$$VaR(h) = \phi^{-1}(\alpha) \sigma_h - E(R_h) \quad (5)$$

$$CVaR(h) = -E \left[\frac{R_h - E(R_h)}{\sigma_h} \mid \frac{R_h - E(R_h)}{\sigma_h} \leq \phi^{-1}(\alpha) \right] \sigma_h - E(R_h) \quad (6)$$

$$\text{令 } x = \frac{R_h - E(R_h)}{\sigma_h}, \text{ 则 } CVaR(h) = \frac{\int_{-\infty}^{\phi^{-1}(\alpha)} x \phi(x) dx}{\int_{-\infty}^{\phi^{-1}(\alpha)} \phi(x) dx} \sigma_h - E(R_h) \quad (7)$$

$$\text{因 } \int_{-\infty}^{\phi^{-1}(\alpha)} \phi(x) dx = \alpha, \text{ 设 } k_\alpha = \frac{\int_{-\infty}^{\phi^{-1}(\alpha)} x \phi(x) dx}{\alpha},$$

$$\text{则上式可变形为: } CVaR(h) = -k_\alpha \sigma_h - E(R_h) \quad (8)$$

$$\text{结合前面式(2)和式(3)有:}$$

$$CVaR(h) = hE(R_f) - E(R_s) - k_\alpha \sqrt{\sigma_s^2 + h^2 \sigma_f^2 - 2h\sigma_{sf}} \quad (9)$$

构建以CVaR最小为目标函数, 即Min CVaR(h), 并根据求极值一阶和二阶条件, 可求得期货最优套保比率如下:

$$h_{CVaR}^*(\text{future}) = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_f^2} - \frac{E(R_f)}{\sigma_f^2} \sqrt{\frac{\sigma_{sf}^2 - \sigma_f^2 \sigma_s^2}{(E(R_f))^2 - (k_\alpha)^2 \sigma_f^2}} \quad (10)$$

又因为 $\sigma_{sf} = \rho \sigma_s \sigma_f$ 且 $-1 \leq \rho \leq 1$, 则期货最优套保比率 h 可继续化简为:

$$h_{CVaR}^*(\text{future}) = \rho \frac{\sigma_s}{\sigma_f} - \frac{E(R_f)}{\sigma_f^2} \sqrt{\frac{1 - \rho^2}{(k_\alpha)^2 \sigma_f^2 - (E(R_f))^2}} \quad (11)$$

2. 基于尾部风险管理的期货动态最优套保比率估计

由式(11)可知, 基于尾部风险管理, 以CVaR最小为目标函数所计算的期货最优套保比率本质上由期货和现货的波动率、相关系数、期货收益率的期望以及置信水平等变量决定, 其中期货和现货的波动率及相关系数的估计是确定期货最优套保比率的关键。

为充分揭示尾部风险信息并克服尾部分布时变带来的风险, 观察现货与期货之间的动态相依结构, 本部分选择DCC-GARCH模型对式(11)中现货和期货波动率以及相关系数进行估计。研究期货与现货之间的动态相关结构关系, 即为DCC-GARCH基本模型范式的二元特例。所以现货和期货资产的收益率序列用 $r_t = (r_{s,t}, r_{f,t})$ 表示, 可构建二元DCC-GARCH-CVaR模型如下:

$$r_{s,t} = \mu_s + \varepsilon_{s,t} \quad (12)$$

$$r_{f,t} = \mu_f + \varepsilon_{f,t} \quad (13)$$

$$\varepsilon_t = (\varepsilon_{s,t}, \varepsilon_{f,t})' \sim N(0, H_t) \quad (14)$$

$$h_{s,t} = c_s + a_s \varepsilon_{s,t-1}^2 + b_s h_{s,t-1} \quad (15)$$

$$h_{f,t} = c_f + a_f \varepsilon_{f,t-1}^2 + b_f h_{f,t-1} \quad (16)$$

$$H_t = D_t R_t D_t' = \begin{pmatrix} \sqrt{h_{s,t}} & 0 \\ 0 & \sqrt{h_{f,t}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \rho_t \\ \rho_t & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sqrt{h_{s,t}} & 0 \\ 0 & \sqrt{h_{f,t}} \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$R_t = \text{diag}(Q_t^{-1/2}) Q_t \text{diag}(Q_t^{-1/2}) \quad (18)$$

$$Q_t = (1 - \alpha - \beta) \bar{Q} + \alpha \zeta_{t-1} \zeta_{t-1}' + \beta Q_{t-1} \quad (19)$$

其中, c_s 、 c_f 、 a_s 、 a_f 、 b_s 、 b_f 为大于0的参数, D_t 为条件标准差矩阵, R_t 为条件相关系数矩阵, ζ_t 表示标准化残差, 即 $\zeta_t = D_t^{-1} \varepsilon_t$, Q_t 为一个 2×2 的正定矩阵, \bar{Q} 表示 ζ_t 的无条件相关系数矩阵, α 是正的标量参数, β 是非负的标量参数, 且满足 $\alpha + \beta < 1$ 。

根据上述模型, 首先分别估计出现货和期货的GARCH过程, 然后通过获得的条件方差标准化残差估计出其动态相关系数, 并最终结合前文基于CVaR最小的期货最优套保比率公式, 求出期货最优套保比率。

(二) 基于尾部风险管理的期权动态最优套保比率

上一步通过DCC-GARCH-CVaR模型估计出期货动态最优套保比率。此处通过Delta中性桥梁, 进一步估计期权动态最优套保比率。

1. 单一行权价期权动态最优套保比率

根据著名的Black-Scholes期权定价模型, 可以分别得到欧式看涨期权和看跌期权的Delta值:

$$\Delta_c = \frac{\partial c}{\partial S} = \frac{\partial (SN(d_1) - Ke^{-r(T-t)}N(d_2))}{\partial S} = N(d_1) \quad (20)$$

$$\Delta_p = \frac{\partial p}{\partial S} = \frac{\partial (Ke^{-r(T-t)}N(-d_2) - SN(d_1))}{\partial S} = N(d_1) - 1 \quad (21)$$

其中, S 表示标的资产价格, K 表示期权执行价格, σ 为标的资产价格的波动率, r 为无风险利率, $(T-t)$ 表示期权剩余期限, $N(d_1)$ 表示在标准正态分布中出现结果小于 d_1 的累计概率, $d_1 = \frac{\ln(\frac{S}{K}) + (r + \frac{\sigma^2}{2})(T-t)}{\sigma \sqrt{T-t}}$ 。

若投资者在期权套保中只选用单一行权价期权作为套保头寸, 则在 t 时刻看涨期权最优套保比率:

$$h_{CVaR}^*(\text{call}) = \frac{\rho \frac{\sigma_s}{\sigma_f} - \frac{E(R_f)}{\sigma_f^2} \sqrt{\frac{1 - \rho^2}{(k_\alpha)^2 \sigma_f^2 - (E(R_f))^2}}}{\left| \int_{-\infty}^{d_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du \right|} \quad (22)$$

同理可得, 在 t 时刻看跌期权最优套保比率:

$$h_{CVaR}^*(\text{put}) = \frac{\rho \frac{\sigma_s}{\sigma_f} - \frac{E(R_f)}{\sigma_f^2} \sqrt{\frac{1 - \rho^2}{(k_\alpha)^2 \sigma_f^2 - (E(R_f))^2}}}{\left| \int_{-\infty}^{d_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du - 1 \right|} \quad (23)$$

2. 多行权价期权组合动态最优套保比率

若投资者选用 m 个标的相同、到期日相同但行权价不同的期权组合(只看看涨或看跌期权中的一类)对大宗商品现货进行套保,将 t 时刻期权的动态最优套保比率记为 $h=(h_1, h_2, \dots, h_m)$,期权对应Delta值表示为 $\Delta=(\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m)$,给每个期权分配相同的风险敞口(可根据实际需要赋权),即满足约束条件 $h_1\Delta_1=h_2\Delta_2=\dots=h_m\Delta_m$, $h_m \geq 0$ 。

则第 i 个看涨期权在 t 时刻的最优套保比率:

$$h_i^*(call) = \frac{\rho \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \frac{E(R_f)}{\sigma_f^2} \sqrt{\frac{1-\rho^2}{(k_i)^2 \sigma_f^2 - (E(R_f))^2}}}{m|\Delta_i|} = \frac{\rho \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \frac{E(R_f)}{\sigma_f^2} \sqrt{\frac{1-\rho^2}{(k_i)^2 \sigma_f^2 - (E(R_f))^2}}}{m \left| \int_{-\infty}^{d_{i1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du \right|} \quad (24)$$

$$\text{其中, } d_{i1} = \frac{\ln\left(\frac{S}{K_i}\right) + \left(r + \frac{\sigma_f^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma \sqrt{T-t}}$$

同理可得,第 i 个看跌期权在 t 时刻的最优套保比率:

$$h_i^*(put) = \frac{\rho \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \frac{E(R_f)}{\sigma_f^2} \sqrt{\frac{1-\rho^2}{(k_i)^2 \sigma_f^2 - (E(R_f))^2}}}{m|\Delta_i|} = \frac{\rho \frac{\sigma_s}{\sigma_f} \frac{E(R_f)}{\sigma_f^2} \sqrt{\frac{1-\rho^2}{(k_i)^2 \sigma_f^2 - (E(R_f))^2}}}{m \left| \int_{-\infty}^{d_{i1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du - 1 \right|} \quad (25)$$

四、实证结果与分析

(一) 数据选取与说明

基于前一部分建立的期货及期权套保理论模型,本部分选择以沪深300指数为标的的系列衍生品作为对象,开展实证分析和稳健性检验(因沪深300指数是由沪深市场中规模大、流动性好的最具代表性的300只股票组成,可以充分反映沪深市场上市公司股票的整体表现)。数据选取方面,现货数据选取深交所上市的嘉实沪深300ETF(159919);期货数据选取中金所沪深300股指期货价格指数,该价格指数是通过上市各月份期货合约价格依持仓量进行加权平均处理而产生,可有效规避连续时间序列数据中因期货合约移仓换月而导致的价格跳跃;期权数据选取深交所上市的嘉实沪深300ETF期权合约。由于深交所嘉实沪深300ETF期权合约于2019年末上市,故数据选取时间段为2020年1月至2022年9月,使用 R_f 表示沪深300股指期货的日收益率时间序列数据,

表1 收益率序列描述性统计特征

变量	均值	标准差	最小值	中位数	最大值	偏度	峰度	JB
R_f	-0.0001	0.0140	-0.1064	-0.0001	0.0716	-0.7606	7.1423	1457.0817
R_s	-0.0001	0.0129	-0.0813	0.0002	0.0745	-0.4239	4.6301	604.5049

使用 R_s 表示深交所嘉实沪深300ETF的日收益率时间序列数据。稳健性分析样本选择上交所上市的华泰柏瑞沪深300ETF及对应系列期权合约数据,样本周期与嘉实沪深300ETF及对应系列期权保持一致。数据来源为Wind资讯终端。

(二) 基于DCC-GARCH-CVaR模型的期货动态最优套保比率

1. 描述性统计分析

首先对沪深300股指期货和嘉实沪深300ETF日收益率序列进行描述性统计分析。由表1可以发现,沪深300股指期货的收益率序列即 R_f 是左偏的且数据的分布峰态比较平缓,且JB统计量数值较大,拒绝变量服从正态分布的假设。同理,嘉实沪深300ETF的收益率序列即 R_s 也呈现相似的左偏低峰度的特点,同样拒绝了变量服从正态分布的假设。

2. 平稳性检验

因为本文选取的样本数据均为时间序列,在建模前需要对其进行平稳性检验,ADF检验结果如表2所示,从检验结果看,拒绝存在单位根的原假设, R_f 及 R_s 均为平稳序列。

3. ARCH效应检验

本文对收益率序列 R_f 和 R_s 在普通最小二乘法回归下的

表2 收益率序列平稳性检验结果

变量	检验类型(c,t,l)	ADF检验	平稳性
R_f	(0,0,0)	-27.7483*** (0.0000)	平稳
R_s	(0,0,0)	-26.1601*** (0.0000)	平稳

注:(c,t,l)分别为常数项、截距项及滞后阶数;括号里为p值,***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平下显著,下表同。

表3 收益率序列ARCH效应检验结果

滞后阶数	沪深300股指期货		嘉实沪深300ETF	
	卡方统计量	p值	卡方统计量	p值
1	24.5698	0.0000	13.8865	0.0002
2	24.5277	0.0000	16.2465	0.0003
3	25.2635	0.0000	16.8159	0.0008
4	25.3331	0.0000	16.7896	0.0021
5	25.3625	0.0001	16.9940	0.0045
6	26.9221	0.0001	19.6585	0.0032
7	26.9400	0.0003	19.5946	0.0065
8	27.3872	0.0006	22.4078	0.0042
9	27.3983	0.0012	22.4863	0.0075
10	29.8088	0.0009	26.4527	0.0032

表4 GARCH模型在不同阶数下的估计结果

参数	沪深300股指期货				嘉实沪深300ETF			
	(1,1)	(1,2)	(2,1)	(2,2)	(1,1)	(1,2)	(2,1)	(2,2)
$\alpha[1]$	0.20**	0.20**	0.1	0.1	0.2***	0.17**	0.1	0.1
$\alpha[2]$			0.1	0.1			0.1	0.1
$\beta[1]$	0.70***	0.35*	0.5***	0.35	0.7***	0.47*	0.7***	0.35
$\beta[2]$		0.35**		0.35		0.28		0.35
AIC	-3884.55	-3880.76	-3858.96	-3864.74	-3966.83	-3959.95	-3959.30	-3962.15
BIC	-3863.54	-3858.25	-3836.45	-3837.72	-3948.82	-3947.43	-3936.78	-3935.14

表5 DCC-GARCH模型参数估计结果

参数	α	β	$\alpha+\beta$
参数	0.0165***	0.9267***	0.9432

残差分别进行不同滞后阶数下的ARCH-LM检验，以判断是否存在条件异方差。由检验结果表3不难发现，较多滞后阶数下的 p 值仍小于显著性水平0.05，说明存在ARCH效应且长期自相关，可建立GARCH模型。

4. GARCH模型的建立及估计

根据表3检验结果，选定GARCH模型来消除残差序列中的ARCH效应，并建立波动率方程。由表4可知，根据不同阶数下模型参数的显著性并结合AIC、BIC准则，选择GARCH(1,1)模型对沪深300股指期货及现货的波动率模型进行统计分析是稳健的。

5. DCC-GARCH模型参数估计

结合前文沪深300股指期货及现货波动率模型的估计，本文选取基于正态分布下的DCC-GARCH模型对相关参数进行估计，结果见表5。

DCC-GARCH模型估计结果显示系数 α 与 β 的系数均为正，且通过了显著性水平检验， β 的系数越大说明动态相关性有较强的持续性， $\alpha+\beta<1$ 说明满足平稳的条件。进一步本文得到DCC-GARCH模型下动态波动率及条件相关系数，如图1和图2所示。

6. 基于DCC-GARCH-CVaR模型的期货动态最优套保比率估计及套保效果评估

将前面估计得到的期货与现货的波动率及动态的相关系数结果代入前文推导的期货最优套保比率公式(11)，即可得到在95%置信水平的最优套保比率时间序列，如图3所示(因估计结果表格较大，此处以图展示)。

至此，本文得到了基于DCC-GARCH-CVaR模型的期货动态最优套保比率。在进一步将结果应用至期权套



图1 DCC-GARCH模型下的动态波动率估计

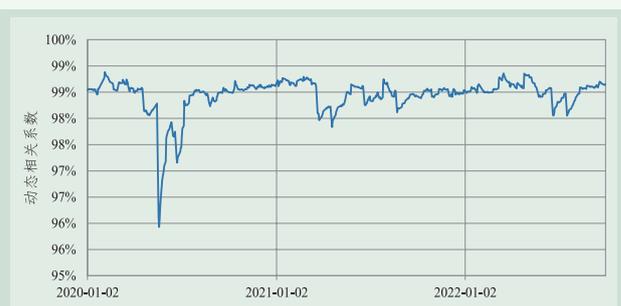


图2 DCC-GARCH模型下的动态相关系数估计



图3 DCC-GARCH-CVaR模型下最优套保比率

保之前，对上述模型估计结果的风险管理效果进行评估，检验角度有两个：一是比较基于DCC-GARCH估计的期货动态最优套保比率与传统静态套保比率的套保效果；二是比较分别基于CVaR与基于VaR的动态套保效果。

依文献综述，本文选择He指标来评估上述模型的套保有效性，He指标主要用来估算套保后方差减小的程度，方法如下：

$$He = \frac{\text{var}(R_t^s) - \text{var}(R_t^p)}{\text{var}(R_t^s)} = 1 - \frac{\text{var}(R_t^p)}{\text{var}(R_t^s)} \quad (26)$$

其中： $\text{var}(R_t^p)$ 表示开展套保后的组合收益率方差， $\text{var}(R_t^s)$ 表示未进行套保的现货收益率方差。

因本文是基于尾部风险管理构建套保模型，所以除

表6 基于DCC-GARCH-CVaR模型的期货套保效果评估(一)

置信度	He (方差视角)		H_{VaR} (风险值视角)		H_{CVaR} (条件风险值视角)	
	动态比率	静态比率	动态比率	静态比率	动态比率	静态比率
90%	80.0811%	78.8607%	84.4202%	83.7106%	84.4202%	83.7106%
95%	80.0819%	78.3735%	84.4226%	83.2936%	80.0819%	78.3735%
99%	80.0814%	77.8341%	84.4179%	83.4043%	84.3543%	83.2258%

了使用传统He指标来评估套保后的方差减小程度，还借鉴He指标的构建思路，尝试构建以下指标来评估给定显著性水平下的风险值和条件风险值的减小程度。

$$H_{VaR} = \frac{VaR(R_t^s) - VaR(R_t^i)}{VaR(R_t^s)} \quad (27)$$

其中， $VaR(R_t^s)$ 和 $VaR(R_t^i)$ 分别表示给定显著性水平下期货套保组合和未套保资产的风险值。

$$H_{CVaR} = \frac{CVaR(R_t^s) - CVaR(R_t^i)}{CVaR(R_t^s)} \quad (28)$$

其中， $CVaR(R_t^s)$ 和 $CVaR(R_t^i)$ 分别表示给定显著性水平下期货套保组合和未套保资产的条件风险值。

基于以上套保有效性评估思路，通过计算得到如表6所示的数据。

从表6可知，动态套保后组合收益方差较静态进一步下降，说明基于DCC-GARCH-CVaR的动态套保模型进一步降低了组合收益的波动性。从套保组合风险值及条件风险值的降低情况看也均有明显改善，说明基于DCC-GARCH-CVaR动态套保模型可以更好地管理套保中的尾部风险。动态与静态套保的效果比较，理论上在时间周期足够长忽略过程的情况下，静态套保肯定是非常有效的，因为不交易就不产生任何成本，最后期货价格总会收敛于现货。但问题的关键是，在期货价格收敛于现货价格之前，期现的严重背离可能产生严重亏损或导致套保失败，所以动态套保在过程管理中是非常重要的。

在套保目标函数的选择方面，分别以CVaR和VaR作为目标函数构建期货动态套保模型估计最优套保比率，

表7 基于DCC-GARCH-CVaR模型的期货套保效果评估(二)

置信度	He (方差视角)		H_{VaR} (风险值视角)		H_{CVaR} (条件风险值视角)	
	VaR方法	CVaR方法	VaR方法	CVaR方法	VaR方法	CVaR方法
90%	78.49%	79.47%	82.69%	83.07%	80.98%	81.89%
95%	79.32%	79.76%	83.00%	84.33%	81.73%	82.21%
99%	79.91%	80.03%	84.50%	84.67%	82.32%	82.42%

并计算两种模型的相关套保绩效指标值如表7所示。

由表7可知，从套保组合方差降低视角看，基于CVaR方法下的He指标较VaR方法有所提高，说明CVaR方法在一定程度上进一步降低了组合收益的波动性；从套保组合风险值及条件风险值降低视角看，基于CVaR方法下的 H_{VaR} 和 H_{CVaR} 指标较VaR方法也均有改善，说明基于CVaR方法的套保比率，对于尾部风险防范和管理更有效。总体来看，基于CVaR方法的套保管理在上述风险指标下均有更优的效果，且随着显著性水平的提升，两者差异逐步缩小。事实上，基于CVaR方法和VaR方法的最优套保比率在计算上的主要区别在于式(11)中参数 k_a 的取值大小，在相同显著性水平下，CVaR方法中参数 k_a 的取值要高于VaR方法，但随着显著性水平的提升，两者将会逐渐接近，实证结论与理论分析基本相符。

基于上述对比评估分析，可见基于DCC-GARCH-CVaR模型在最优套保比率的估计上具有一定优势，结果是稳健的，因此本文将上述估计结果进一步应用于期权动态套保模型中。

(三)基于DCC-GARCH-CVaR模型的期权动态套保效果评估

为评估采取期权进行套保管理尾部风险的效果，本文选取深交所嘉实沪深300ETF期权上市后(2020年至今)较为典型的上涨区间和下跌区间(拟选取的测试区间见图4)，分别考察极端行情下期权套保与期货套保的效果差异。选取测试的上涨行情时间区间为[2020年6月1日,2020年7月7日]及[2020年12月25日,2021年1月13日]，下跌行情时间区间为[2021年2月10日,2021年3月11日]及[2021年12月15日,2022年3月16日]，即图中的阴影区域。

结合前文建立的期权动态套保模型及套保比率公式，



图4 沪深300价格指数近年走势及典型行情测试区间

本文选择单一行权价期权及多行权价期权组合两种策略进行套保效果评估。单一行权价期权套保策略下，初期选择买入平值看跌期权管理沪深300ETF价格下跌的风险，套保数量根据单一行权价期权最优套保比率公式(23)计算。

在多元行权价期权组合套保中，套保数量可根据多元行权价期权组合最优套保比率公式(25)进行计算。到底需要选择几个行权价的期权进行组合更合适，实践中需要考虑市场流动性和交易成本等因素。比如，如果套保规模较大，考虑到期权市场流动性，会多选择几个行权价期权进行建仓，便于进场和离场。事实上，从理论分析角度，选择平值与一档虚值的组合足以检验模型的效果，只需满足约束条件 $h_1\Delta_1=h_2\Delta_2=\dots=h_m\Delta_m$ ， $h_m\geq 0$ 即可。为便于呈现和论述，本文选择 $m=2$ 。本文选择平值看跌期权合约和虚值程度在10%的看跌期权合约，并在等分风险敞口的前提下进行套保建仓操作。

动态调仓阈值设置方面，依文献综述讨论，再结合沪深300指数价格的量级水平(4000点左右)及年化波动率和日均波动幅度(样本期间沪深300指数年化波动率20%左右，日均波动70点)，根据经验，将调仓阈值分别设置为200点和400点进行对比分析(10%为交易所规定的停板限制，5%幅度为200点，10%为400点)。当价格变动超出所

设阈值时，对所持期权合约和头寸进行调整。在调仓阈值设置及调仓逻辑方面，期权组合套保与单一期权套保保持一致。

以2021年2—3月市场快速下跌行情区间为例，沪深300ETF价格下跌超过14%，采取单一期权与期权组合开展套保。根据前一部分通过DCC-GARCH-CVaR估计的期货动态最优套保比率，结合期权最优套保比率公式以及调仓阈值的设置，可估计出期权动态最优套保比率(如表8所示)。同理，可得到其他3个所选取时间区间的期权

表8 期权动态最优套保比率(2022年6—7月)

日期	IF2103	嘉实沪深300ETF	动态相关系数	单一期权套保比率		期权组合套保比率	
				阈值=200	阈值=400	阈值=200	阈值=400
2021-02-10	5787.2	5.797	0.9871	0.9810	0.9810	0.9810	0.9810
2021-02-18	5735.8	5.752	0.9875	1.0637	1.0637	0.9859	0.9859
2021-02-19	5746.2	5.76	0.9874	1.0476	1.0476	0.8805	0.8805
2021-02-22	5578	5.592	0.9871	0.9641	1.4037	0.9641	1.3586
2021-02-23	5563.6	5.555	0.9879	1.0572	1.5094	1.1246	1.5046
2021-02-24	5419.6	5.423	0.9873	1.4165	1.7277	1.7162	2.0435
2021-02-25	5466.8	5.458	0.9876	1.3286	1.6909	1.4794	1.8792
2021-02-26	5315	5.314	0.9874	0.9402	0.9402	0.9402	0.9402
2021-03-01	5391.2	5.396	0.9878	0.9300	0.7203	0.9300	0.6090
2021-03-02	5310	5.329	0.9877	0.9421	0.8840	0.9421	0.7573
2021-03-03	5411	5.429	0.9875	0.9311	0.6198	0.9311	0.4869
2021-03-04	5268.6	5.268	0.9876	0.9344	1.0571	0.9344	0.9102
2021-03-05	5255.4	5.249	0.9874	0.9840	1.1132	0.9951	0.9603
2021-03-08	5049.6	5.068	0.9872	0.9770	1.5716	0.9770	1.8034
2021-03-09	4966.2	4.956	0.9875	1.3316	1.8616	1.3455	2.4296
2021-03-10	4981	4.983	0.9867	1.2473	1.9412	1.1405	2.2426



图5 上涨行情下(2020年6—7月)套保损益对比



图6 上涨行情下(2020年12月—2021年1月)套保损益对比

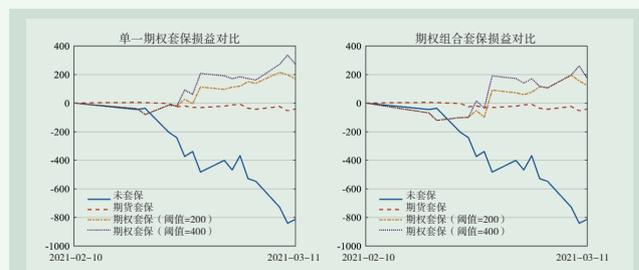


图7 下跌行情下(2021年2—3月)套保损益对比



图8 下跌行情下(2021年12月—2022年3月)套保损益对比

动态最优套保比率(因篇幅关系,此处只展示一个时间区间的表格)。

计算得到4个所选时间段的期权动态套保比率时间序列后,对期货动态套保、单一期权套保、多期权组合套保在不同阈值设置下的每日损益情况进行比较分析,结果如图5~8所示。其中,图5和图6表示上涨行情下不同策略的套保情况,图7和图8表示下跌行情下不同策略的套保效果。

由图5和图6可知,当市场处于上涨周期时,采用期货套保会完全抵补现货的上涨幅度,效果较差,所选的两个时间段内期货套保均出现一定程度亏损。期权策略,不管是单一期权套保还是期权组合套保,效果都要远优于期货套保。使用单一行权价期权套保,市场大幅上涨时,期权价格会下跌,但因期权的非线性特征,其跌幅会逐渐收窄,期权价格极限趋于0,此时套保组合的价值会随着现货的上涨而获益。图5和图6中,单一期权套保和期权组合套保均获得了较好的正向收益。图5所示的时间段相比图6,市场上涨幅度更大,表现更加显著。另外,调仓阈值越宽在单边行情上涨幅度越大的时候效果更好。

由图7和图8可知,当市场处于下跌周期时,采用期货套保可以一定程度上抵补现货的亏损。使用期权进行套保,市场大幅下跌时,期权价格也会大幅上涨,同时由于期权实值程度越来越大,再叠加波动率对期权价格的驱动作用,期权套保效果也要优于期货套保。图8所选时间段,现货市场下跌幅度更大,期权套保表现相比期货套保也更好。

为进一步比较分析不同策略的套保效果,将选取的4个典型行情区间在所选时间段内套保损益结果按时间先后排序,结果见表9。

表9 不同行情下套保组合损益比较(嘉实沪深300ETF)

对冲时间区间	类型	未套保	期货套保	单一期权套保		期权组合套保	
				阈值=200	阈值=400	阈值=200	阈值=400
[2020-06-01, 2020-07-07]	↑	20.99%	2.49%	11.12%	12.85%	13.50%	15.00%
[2020-12-25, 2021-01-13]	↑	10.97%	0.73%	2.86%	4.29%	4.37%	5.52%
[2021-02-10, 2021-03-11]	↓	-14.04%	-0.71%	2.89%	4.68%	2.12%	3.01%
[2021-12-15, 2022-03-16]	↓	-20.35%	-0.22%	9.64%	15.66%	15.02%	28.90%

结合表9及图7和图8可知,2021年2—3月时间段沪深300ETF下跌14.04%,期货套保策略亏损0.71%,单一期权套保策略盈利2.89%,期权组合套保策略盈利2.12%,期货及期权工具均能有效减少现货的亏损,较好地完成任务。针对2021年12月—2022年3月市场下跌行情进行风险管理的过程中,沪深300ETF下跌20.35%,期货套保策略亏损0.22%,单一期权套保策略盈利9.64%,期权组合套保策略盈利15.02%。可以看到,尽管期货工具可以对冲价格下行风险,但期权工具能够产生更好的风险管理效果,在期权波动率快速上行过程中,为套保操作带来多维度收益,期权组合的风险管理效果要优于单一期权的风险管理效果,且较大调仓阈值的风险管理方案要优于较小调仓阈值的风险管理方案。

(四)稳健性检验

为验证前文结论的可靠性,本部分选择上市时间更早的华泰柏瑞沪深300ETF及对应该期权进行稳健性检验。

在验证样本数据满足平稳性的基础上,首先使用DCC-GARCH-CVaR模型对华泰柏瑞沪深300ETF与沪深300股指期货之间的动态关系进行估计,模型参数估计结果如表10所示。

上述结果通过了显著性水平检验,说明其动态相关性有较强的持续性且满足平稳条件。进一步可计算DCC-GARCH模型下动态波动率及条件相关系数,并利用式(11)可以得到期货最优套保比率,并计算其套保效果评估指标值如表11所示。

由表11可以发现,使用DCC-GARCH-CVaR模型对华泰柏瑞沪深300ETF期货套保比率估计的结果显示,动态模型相比静态模型,套保组合方差改善不明显,但风险值有明显改善,一定程度上说明对于开展尾部风险

表10 DCC-GARCH模型参数估计结果(华泰柏瑞沪深300ETF)

	α	β	$\alpha+\beta$
参数	0.0275***	0.9344***	0.9619

表11 基于DCC-GARCH-CVaR模型的期货套保效果评估(华泰柏瑞沪深300ETF)

置信度	H_e (方差视角)		H_{VaR} (风险值视角)		H_{CVaR} (条件风险值视角)	
	动态比率	静态比率	动态比率	静态比率	动态比率	静态比率
90%	79.5783%	80.1923%	82.2231%	79.8756%	76.3433%	76.0378%
95%	79.9084%	80.4340%	82.5312%	80.6135%	76.5272%	76.1898%
99%	80.2568%	80.6163%	82.7184%	81.3513%	76.7348%	76.3419%

表12 不同行情下套保组合损益比较(华泰柏瑞沪深300ETF)

对冲时间区间	类型	未套保	期货套保	单一期权套保		期权组合套保	
				阈值=200	阈值=400	阈值=200	阈值=400
[2020-06-01, 2020-07-07]	↑	20.56%	1.86%	8.32%	10.92%	10.21%	12.58%
[2020-12-25, 2021-01-13]	↑	10.79%	0.53%	2.70%	4.14%	3.81%	4.74%
[2021-02-10, 2021-03-11]	↓	-13.90%	0.54%	3.48%	6.01%	3.13%	5.73%
[2021-12-15, 2022-03-16]	↓	-21.78%	-2.06%	6.11%	16.05%	11.31%	22.48%

管理是有效的。正如前文所述，动态模型重在对套保过程，尤其是对发生极端波动的过程进行管理是非常有意义的。

为进一步评估期权套保管理尾部风险效果的稳健性，根据式(23)式和(25)可得到期权套保比率。此处华泰柏瑞沪深300ETF样本所选取的4个典型行情区间与嘉实沪深300ETF保持一致，在所选时间段内套保损益结果按时间先后排序，结果如表12所示。

从表12可见，期权策略的套保效果整体同样优于期货套保，在市场下跌行情中，期货及期权工具均能有效减少现货的亏损；市场上涨行情中，期权工具能够产生更好的风险管理效果，可见使用华泰柏瑞沪深300ETF及其期权作为样本的结论与以嘉实沪深300ETF为样本的结论基本一致，说明前文采取嘉实沪深300ETF及其期权为样本开展实证分析得到的期权套保在尾部风险管理中效果优于期货套保的结论是稳健可信的。

此外，由表12可知，在大幅波动单边行情中，无论是单一期权进行套保或期权组合进行套保，在调仓阈值增加的情况下，套保均能产生一定超额收益，较高的调仓阈值一定程度上可以降低调仓成本，这一结论也与上文使用嘉实沪深300ETF及其期权为样本所得结论相一致。正如文献综述所论，动态调仓一定程度上放弃了未来的潜在收益，避免市场价格波动导致亏损。但如果阈值设定较小，调仓过于频繁，又可能导致交易成本过大。因此，如何在预期收益和潜在风险之间进行相机抉择，是一个非常值得进一步深入研究的问题。

五、结论与建议

本文从尾部风险管理视角出发，选择满足一致性风险度量准则的CVaR作为套保目标函数，采取两步法估计

期权动态最优套保比率，建立了由期货动态到期权动态的套保模型，选择具有代表性的沪深300指数系列衍生品开展实证验证和稳健性分析，得到以下主要结论：(1)通过两步法估计出的期权动态最优套保比率，既充分反映了衍生品市场与现货市场的动态相依关系，又有效克服了期权价格除标的资产之外因素潜在影响的问题。(2)通过选取的4个典型区间测试结果看，不管沪深300ETF处于上涨周期还是下跌周期，期权动态套保效果均优于期货动态套保，充分体现了期权非线性特点在尾部风险管理中的优势。当市场处于上涨周期，期货套保亏损基本抵消了现货的上涨，而期权套保组合由于其收益风险的非对称性保留了潜在的收益空间，可以享受更多现货市场上涨带来的好处。当市场处于下跌周期，期货和期权套保均可起到抵补现货市场下跌带来的亏损，但通常市场大幅下跌会伴随着波动率的大幅上升，由于波动率上升对期权价格具有正向驱动作用，所以期权套保不仅可以带来方向性的套保收益，还可以带来波动率收益。(3)市场大幅波动场景下，多行权价格期权组合套保效果优于单一行权价期权套保，主要原因之一是Gamma推动Delta的快速变动，使得风险管理敞口可以向有利方向调整。(4)期权动态调仓阈值设置方面，在大幅波动单边行情中，较宽的调仓阈值设置更能体现期权的非线性优势，套保效果更显著。

基于上述研究思路和结论，相关建议如下：第一，由于极端事件频发，忽视尾部风险的套保模式有效性越来越差，投资者在进行套保时应充分考虑尾部风险。第二，灵活运用不同类型的套保工具，积极将期权工具纳入使用。针对短期套保需求(比如库存管理或者订单需求)，可以采用期权买入套保策略；针对中长期套保需求，由于长期限的期权成本较高，可以先采用期货工具套保策略，待期限临近再转换为期权套保。第三，实时跟踪市场波动演变，动态测算和调整套保比率，主动管理持仓组合的风险敞口和收益波动。根据不同品种价格波动特点，合理设置调仓阈值，根据市场波动及波动率变化，动态调仓期权合约和期权头寸，保障套保的实际效果。 ■

[基金项目：国家社科基金一般项目“我国金融风险底线识别及风险化解路径研究”(项目编号：20BTJ038)]

参考文献:

- [1] Acerbi C, Tasche D. Expected shortfall: a natural coherent alternative to value at risk[J]. *Economic Notes*, 2002, 31(2): 379-388.
- [2] Artzner P, Delbaen F, Eber J M, Heath D. Coherent measures of risk[J]. *Mathematical Finance*, 1999, 9(3): 203-228.
- [3] Benninga S Z, Oosterhof C M. Hedging with forwards and puts in complete and incomplete markets[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2004, 28(1): 1-17.
- [4] Bollerslev T. Modelling the coherence in short-run nominal exchange rates: a multivariate generalized ARCH approach[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1990, 72: 489-505.
- [5] Broll U, Welzel P, Wong K P. Futures hedging with basis risk and expectation dependence[J]. *International Review of Economics*, 2015, 62(3): 213-221.
- [6] Capiński M J. Hedging conditional value at risk with options[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 242(2): 688-691.
- [7] Ederington L H. The hedging performance of the new futures markets[J]. *Journal of Finance*, 1979, 34: 157-170.
- [8] Engle R F. Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation[J]. *Econometrica*, 1982, 50: 987-1007.
- [9] Engle R F, Kroner K F. Multivariate simultaneous generalized ARCH[J]. *Econometric Theory*, 1995, 11: 122-150.
- [10] Engle R F, Sheppard K. Theoretical and empirical properties of dynamic conditional correlation multivariate GARCH[R]. NBER Working Paper, 2001.
- [11] Hicks J R. Value and capital: an inquiry into some fundamental principles of economic theory[M]. Oxford, UK: Clarendon Press, 1939.
- [12] Johnson L L. The theory of hedging and speculation in commodity futures[J]. *Review of Economic Studies*, 1960, 27(3): 139-151.
- [13] Keynes J M. Some aspects of commodity markets[J]. *Manchester Guardian Commercial*, 1923, 13: 784-786.
- [14] Lapan H E, Moschini G. The hedging role of options and futures under joint price, basis, and production risk[J]. *International Economic Review*, 1995, 36(4): 1025-1049.
- [15] Laurent J P, Pham H. Dynamic programming and mean-variance hedging[J]. *Finance & Stochastics*, 1999, 3(1): 83-110.
- [16] Lien D, Tse Y K. Hedging downside risk: futures vs. options[J]. *International Review of Economics & Finance*, 2002, 10(2): 159-169.
- [17] Olf B, Chiraz K. Volatility spillovers and hedging effectiveness between oil and stock markets: evidence from a wavelet-based and structural breaks analysis[J]. *Energy Economics*, 2021, 102: 105513.
- [18] Osaki Y, Wong K P, Yi L. Hedging and the competitive firm under ambiguous price and background risk[J]. *Bulletin of Economic Research*, 2017, 69(4): 307-318.
- [19] Rockafeller R T, Uryasev S. Optimization of conditional value-at-risk[J]. *Journal of Risk*, 2000, 2(3): 21-41.
- [20] Working H. Futures trading and hedging[J]. *American Economic Review*, 1953, 43(3): 314-343.
- [21] 鲍君洁, 焦建玲, 葛虹珍. 基于VaR的多品种原油期货最优套保比模型[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2010, 33(5): 759-762.
- [22] 曹志鹏, 路华. 基于GARCH-VaR方法的套期保值比率与效率的实证[J]. *统计与决策*, 2018, 34(16): 157-160.
- [23] 陈冲, 刘向丽, 徐山鹰, 汪寿阳. 基于基差角度的中国铜期货动态套保策略研究[J]. *管理科学学报*, 2012, 15(6): 49-58.
- [24] 陈文财, 齐肖阳. 风险度量与风险管理的新工具ES[J]. *南昌大学学报(工科版)*, 2014, 36(2): 195-199.
- [25] 迟国泰, 余方平, 刘轶芳. 基于VaR的期货最优套期保值模型及应用研究[J]. *系统工程学报*, 2008, 23(04): 417-423.
- [26] 付胜华, 檀向球. 股指期货套期保值研究及其实证分析[J]. *金融研究*, 2009, (4): 113-119.
- [27] 高扬, 刘起材. 白糖现货价格与期权价格的关联性研究——基于GARCH族模型的实证分析[J]. *价格理论与实践*, 2019, (3): 101-104.
- [28] 胡姜, 陈迪芳, 李雪涛. 商品期权的Delta动态对冲策略研究——以豆粕期权定价为例[J]. *价格理论与实践*, 2021, (7): 125-128.
- [29] 黄文彬, 郑丽娟, 林银瑞. 套期保值比率模型的选择研究: 基于沪深300指数的分析[J]. *福州大学学报(哲学社会科学版)*, 2016, 30(3): 38-47.
- [30] 蒋论政. 期权定价与动态对冲策略分析——基于豆粕期权[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018.
- [31] 蒋坤良. 基于宏观经济因素的金融市场尾部风险传染与度量研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2022.
- [32] 金太阳. 多品种股指期货组合套期保值模型研究及实证分析[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2017.
- [33] 李国勇. 股指期货与现货之间的波动溢出研究: 基于DCC-GARCH方法[J]. *产业创新研究*, 2022, (11): 106-110.
- [34] 李腊生, 翟淑萍. 不确定性、概率分布设定错误与风险管理方法研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2014.
- [35] 刘定国. 国际棉花期权与期货套保模型选择[J]. *经济与管理研究*, 2017, 38(3): 61-71.
- [36] 马子舜. 结构化产品构建模式研究——基于Delta动态对冲策略的实证分析[J]. *武汉金融*, 2015, (10): 18-23.
- [37] 浦江燕, 王艺天, 周子凯. 基于最小方差Delta的沪铜期货期权对冲效果回测[J]. *上海立信会计金融学院学报*, 2022, 34(3): 24-34.
- [38] 任仙玲, 邓磊. 基于Copula分位数回归原油期货套保模型及效率研究[J]. *数理统计与管理*, 2020, 39(4): 746-760.
- [39] 佟孟华. 沪深300股指期货动态套期保值比率模型估计及比较——基于修正的ECM-BGARCH(1,1)模型的实证研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2011, 28(4): 137-149.
- [40] 姚远, 钟琪, 姚贝贝. 投资者情绪与股票市场波动关系研究——基于噪声交易与股票市场价格非理性波动关系的分析[J]. *价格理论与实践*, 2019, (2): 92-95.
- [41] 杨青, 薛宇宁, 蒋科. 极端金融风险度量模型述评——基于一致性原理的VaR改进方法[J]. *复旦学报(自然科学版)*, 2009, 48(6): 783-792.
- [42] 余星, 张卫国, 刘勇军. 基于等价鞅测度的动态套期保值模型研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2018, 38(2): 287-298.
- [43] 张卫国, 杜谦. 基于随机模型预测控制的欧式期权动态对冲研究[J]. *华南理工大学学报(社会科学版)*, 2016, 18(4): 1-9.
- [44] 郑祥, 韦勇凤. 基于Merton模型与Monte Carlo模拟的障碍期权定价对冲[J]. *中国科学技术大学学报*, 2018, 48(11): 906-922.
- [45] 邹德强, 赵平. 期望不一致对满意影响的函数形式: 展望理论的预测[J]. *南开管理评论*, 2008, 11(6): 79-85.

(责任编辑: 武帅、吴林祥)