



比特币与黄金 避险功能的差异研究 ——基于 VAR-BEKK-GARCH 模型

王倩^{1,2}, 杜卓雅²

1 吉林大学 中国国有经济研究中心, 长春 130012

2 吉林大学 经济学院, 长春 130012

摘要: 黄金凭借其内在价值和在金融危机中的良好表现, 被当作对冲不确定性的避险工具。次贷危机后, 伴随着泡沫破灭、纸币贬值, 货币发行和交易去中心化的呼声越来越高。在此背景下诞生的比特币倍受投资者关注。比特币凭借稀缺性、耐久性和全球性等特性, 被冠以“数字黄金”称号。已有研究围绕比特币的属性展开探讨, 认为理论上比特币可以作为某些资产的对冲工具, 但缺乏实证支撑, 更缺乏对“数字黄金”与黄金的对比分析。

基于波动性理论, 以2015年7月1日至2019年12月31日中国比特币市场、黄金市场、股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场的每日对数收益率为样本, 将指标分为比特币组和黄金组, 利用五元 VAR-BEKK-GARCH (1, 1) 模型, 探讨两个潜在避险资产与股票市场、债券市场、期货市场、外汇市场之间是否存在均值溢出效应和波动溢出效应, 并进行联合显著性检验和稳健性检验。

研究表明, 比特币是高收益、高风险的投资资产, 适合高净值投资者; 比特币与各个资产的对数收益率互不影响, 出于多元化的目的, 比特币可以作为资产配置中的一部分; 外汇市场对数收益率与黄金市场对数收益率互不影响, 已经持有外汇的投资者可以增持黄金; 比特币可以对冲期货市场和外汇市场的投资风险, 黄金可以对冲股票市场、债券市场和期货市场的投资风险。

探讨了比特币作为“数字黄金”的属性, 并强调了比特币与黄金相比具有的低成本和易分割特性, 为研究数字货币提供借鉴; 利用实证分析, 证实比特币具有对冲传统金融市场风险的避险功能, 得到数字货币可以对冲的资产种类, 并对比分析“数字黄金”与黄金避险功能的差异, 从实证角度丰富了数字货币的应用理论; 为投资者资产配置和避险选择提供理论指导。

关键词: 避险工具; 均值溢出效应; 波动溢出效应; 联合显著性检验; 资产配置

中图分类号: F830.9

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2022.02.011

文章编号: 1672-0334(2022)02-0134-13

引言

由于黄金本身具有内在价值, 并存在永不违约的特点, 理论上黄金可以对冲国家信用风险, 因此黄金成为普遍认同的对冲资产。当主权国家出现重大政治经济危机时, 黄金可以天然地承担起共同货币的

职能, 发挥安全港的作用, 投资者会减少持有主权货币转而持有黄金。在2008年金融危机时, 黄金表现出较强的避险属性^[1]。

为应对2008年金融危机, 各国央行纷纷采取扩张性货币政策, 在这一背景下, 比特币的出现将数字

收稿日期: 2020-05-03 **修返日期:** 2021-01-06

作者简介: 王倩, 经济学博士, 吉林大学中国国有经济研究中心研究员、吉林大学经济学院教授, 研究方向为金融理论与政策、数字金融与碳金融等, 代表性学术成果为“Information disclosure and the default risk of online peer to peer lending platform”, 发表在2021年第38卷《Finance Research Letter》, E-mail: wangqian@jlu.edu.cn
杜卓雅, 吉林大学经济学院硕士研究生, 研究方向为数字金融和数字化创新等, E-mail: 13194395987@163.com

货币带入人们的视野,使其迅速成为投资热点^[2]。比特币与黄金一样具有稀缺性、耐久性和全球性,全球黄金存量约为13.74万吨,比特币总量约2100万枚,还剩20%没有开采。无法增加的供应量是稀缺性的核心,保证了其价值稳定、不受人为因素控制。纸币容易腐烂氧化,铜币容易生锈,黄金和比特币物理性质稳定,不易变质磨损,在成为长期持有资产方面具有先天优势。黄金作为自然界独立资源,不受限于某个国家或公司,可以在全世界流通;比特币基于互联网发行和流通,只要存在互联网,比特币全球流通就不存在技术障碍。比特币和黄金拥有的共性使比特币被称为“数字黄金”。

与黄金相比,比特币基于区块链这一底层技术发展,借助通信渠道传输,不需要运输和存储成本。比特币比黄金具有更强的可分性,比特币最小单位聪为亿分之一比特币,而对黄金的分割不仅需要借助专业工具,而且会造成材料的损耗。比特币交易记录是一串私钥,存在于每一个节点上,可识别性强,而黄金的鉴别较复杂,每笔交易都要检查黄金成色和真伪。因此,比特币在便捷性、可分性和可识别性方面具有黄金无法比拟的优势。

虽然中国政府考虑到比特币的风险而对其交易严加防范,但是比特币在法律层面并没有被归为非法持有物品,且中国人民银行等金融管理部门并未否认其作为商品的财产属性。因此,中国投资者也将其纳入自己的投资组合篮子中,在全球比特币交易市场上也占有一定的份额。据Bitcoin.org的数据显示,中国三大比特币交易所曾在2016年占据全球90%以上的交易量^[3]。中国比特币交易所虽然在2017年已经关闭,但剑桥大学替代金融中心(CCAF)发布的关于比特币挖矿全球算力分布报告显示,“在经历了2021年7月和8月暴跌为零后,2021年9月至2022年1月,中国比特币挖矿算力再次跃居全球第二,中国仍是比特币的生产大国”。除此之外,境内资本仍然可以通过其他途径流入比特币市场,如场外交易平台OTCBTC等^[4]。央行金融稳定局在官网“关注‘两会’共话金融”专栏中指出,直到2022年中国境内比特币交易量全球占比仍有10%,这说明比特币在中国投资者眼中具有投机价值。因此,对比分析黄金与比特币的资产属性,厘清比特币与其他主要资产之间的关系,不仅有助于明晰比特币的“数字黄金”属性,丰富货币理论,也有助于为中国投资者配置比特币资产组合篮子提供投资建议。

1 相关研究评述

1.1 黄金的避险属性

黄金避险属性的研究由来已久,学术界的研究结果也不尽相同。从研究对象看,部分研究证实了黄金能对冲部分金融资产的风险。在欧洲和美国的金融市场,黄金是股票的短期避风港,但是无法对冲债券市场^[5];金价对原油价格有负面影响,可对冲原油市场的风险^[6];但无法作为大宗商品的对冲^[7]。在黄

金与货币关系的研究中,证明黄金与美元存在负相关的长期均衡,虽然有短期偏离,但从长期看黄金可以对冲美元风险^[8];黄金只对中国内地和中国香港以外的亚洲货币起到避险作用^[9]。另外一些研究则持有不同的看法,认为黄金对某些资产的避险功能较弱,虽然黄金一直充当部分金融资产的对冲工具,但对冲效果却不太显著^[10-12]。从研究的不同样本区间看,一些研究认为黄金的避险功能具有时变性,有长期或短期、危机或正常情况之分,黄金与金融资产的波动关联度在不同时段存在显著差异^[13],在正常市场条件下,美元比黄金更适合作为对冲资产^[14],只有在超长时期^[15]或者在金融危机期间^[16-17],黄金才有可能有效的对冲工具,在实际投资期限内黄金没有对冲效果。

1.2 比特币的避险属性

当比特币表现出与黄金相似的属性后,比特币能否作为其他金融资产的对冲工具已经引起广泛讨论。有学者认为在预期市场受到负面冲击的情况下,比特币是避险投资者的理想选择,其避险属性介于黄金与美元之间^[18-19];另外一些研究承认比特币确实起到了抵御不确定性风险的作用,但比特币的避风港性质是时变且薄弱的,仅在较高分位数和对较短频率变动的不确定性起到对冲作用^[20];除此之外,在对比特币友好的经济体中,比特币被证实是股票指数的避风港^[21],它能对股票市场起到弱对冲作用,在其他国家仅能起到分散投资的作用^[22]。同样的,也有研究持有完全相反的观点,认为比特币不是合格的避风港,与传统资产的相关性较低,仅适用于多元化目的^[23],无法作为世界主要股指、债券、石油、黄金、一般商品指数和美元指数的对冲和避险工具^[24]。即使在正常的市场条件下,比特币也比其他资产波动性更大、流动性更低、交易成本更高^[25]。因此,在市场成熟之前,比特币只适合被期待高收益投资者纳入投资组合篮子中^[26],将比特币视为避风港是不值得的。还有一些学者从比特币高风险、高收益的特征^[27-28]以及存在结构性突变点^[29]和价格泡沫^[30]的角度,间接证实比特币不适合作为避险工具。

1.3 比特币与黄金避险属性差异

作为“数字黄金”的比特币是否会替代黄金成为更优质的避险工具,亦或是二者是否能够作用于不同市场互相配合发挥避风港的作用。有研究对比分析了比特币和黄金以及其他资产的条件方差属性和结构差异,认为除了方差的不对称响应外,比特币还没有反映出任何不同于黄金的独特属性^[22],且黄金对股市的对冲有效性高于比特币^[31-32]。

学术界对比特币和黄金各自的避险功能都有大量的研究,但关于二者的对比却主要集中在稀缺性、耐久性、全球性等属性方面,对于黄金与比特币能对哪些资产进行对冲多局限于单一市场且仍没有统一的结论。本研究将已有关于比特币和黄金对单一市场避险功能的分析扩展至股票市场、债券市场、期货市场 and 外汇市场,更全面地考察比特币与黄金的

避险功能的差异。此外,本研究基于比特币作为数字货币的投资和支付功能,讨论数字货币如何依据波动行为与传统金融资产建立联系。虽然比特币因其与黄金具有相似的属性而被称为“数字黄金”,但本研究发现比特币与黄金相比还有作为货币的支付功能,这可能会导致黄金与比特币在对冲外汇市场风险的功能上有显著差异。

2 研究假设和模型选择

分析投资者行为的跃迁效应理论认为投资者配置某种资产的比重会受到其他资产回报率的影响,股市与债市类别转让之间的相关性为负,转让与不同基准的同期回报率显著相关。当股票市场回报率下降,股票获利能力下降,投资者提高债券在资产篮子中的比重;同理,当债券市场回报率下降,投资者就会提高股票在资产篮子中的比重。转让的过程被称为“向资产跃迁”。资产跃迁引发了市场波动^[33]。作为一种新的资产,比特币成为投资者可选择的跃迁对象。中国的数字货币交易与黄金交易环境不同,黄金不仅有以上海市黄金交易所为代表的专门交易所,更成为各商业银行代理的投资品。人民银行虽未禁止比特币网上交易,但禁止银行为比特币提供开户、充值、支付和提现等金融服务。因此,本研究提出假设。

H₁ 比特币对传统金融资产的跃迁效应弱于黄金。

波动性理论从金融市场之间共振现象入手,研究不同金融资产之间的价格走向。波动性理论认为能够引起一个金融市场波动的因素可能也会引起其他金融市场的波动,所以不同的金融市场之间的波动不是独立的,可能存在波动共振现象^[34]。不同的金融市场可以是不同经济体之间同一金融资产的波动共振,也可以是一个经济体内部不同金融资产的波动共振。已有研究认为中国外汇市场与股票市场存在波动溢出效应^[35],美国、中国香港和中国内地的股市收益率存在动态条件相关关系^[36]。比特币和黄金都具有资产属性,理论上可以与其他金融市场的波动互相影响。同时,由于中国人民银行对比特币和黄金交易态度的差异,比特币和黄金可以对冲的资产很可能不同。因此,本研究提出假设。

H₂ 比特币与黄金对传统金融资产的波动溢出效应存在差异。

有多种模型研究金融市场的波动及不同金融市场之间的波动共振现象。协整分析理论可以用来检验非平稳变量之间是否具有稳定的均衡关系,通过误差修正模型(vector error correction model, VECM)引入“相对平稳”对模型进行调整,以消除随机趋势^[37]。自回归条件异方差模型(autoregressive conditional heteroskedasticity model, ARCH)认为时间序列模型中的扰动项方差稳定性通常比假设的情况要差,预测误差的方差中有某种相关性,金融市场也会出现波动集聚^[38],1986年该模型被扩展为GARCH模型^[39]。上述模型被广泛用于研究不同经济体之间某金融市场的

溢出效应。许多学者开始用新的方法和模型研究在同一经济体内两个或多个金融市场之间的波动溢出效应,比较典型的是多变量ARCH过程参数化方法^[40-41],BEKK-GARCH模型利用条件协方差侧重考察不同金融市场之间的均值溢出和波动溢出效应,DCC-GARCH模型侧重考察不同金融市场之间的条件相关性。BEKK-GARCH模型突破了金融变量之间的相关系数保持恒定的假设限制^[42],波动率方程组采用矩阵相乘的形式消除了潜在的协方差矩阵非正定性的问题^[43],而且可以同时反映均值溢出效应和波动溢出效应,对考察比特币、黄金与其他市场之间的收益率溢出和波动率溢出具有优势。因此,本研究选取BEKK-GARCH作为研究模型。

3 研究设计

3.1 样本选择和数据来源

目前,存款、股票、债券和大宗商品是中国投资者进行资产配置的主要大类品种,而存款中又含有大量的外汇^[44],因此本研究选取中国比特币、黄金、股票、债券、期货和外汇6个市场作为研究对象,选取的代表性指标见表1。股票市场选取的指标为沪深300指数,市场中的股票指数,无论是综合指数还是成份股指数,只是分别表征了两个市场各自的行情走势,都不具有反映沪深两个市场整体走势的能力,而沪深300指数样本选自沪深两个证券市场,覆盖了大部分流通市值,更具典型性。债券市场选取的指标为中债综合指数,中债综合指数因涵盖的债券范围全面而被普遍用于反映中国债券市场价格变动趋势。期货市场选取中国期货市场监控中心的中国商品期货指数,以反映中国期货市场的运行状况。外汇市场选取的指标为美元兑人民币汇率,测量人民币与外汇市场交易量最大的币种美元的价格趋势。

表1 中国金融市场的相关指标
Table 1 Indicators of China's Financial Markets

市场	指标	数据来源
比特币市场	BITCOIN/CNY	Cryptocurrency Market Capitalizations
黄金市场	XAU/CNY	英为财经
股票市场	沪深300指数	英为财经
债券市场	中债综合指数	万德数据库
期货市场	中国商品期货指数	中国期货市场监控中心
外汇市场	美元兑人民币汇率	英为财经

比特币历史价格数据来自 Cryptocurrency Market Capitalizations 网站,该网站提供数字货币现货数据和历史交易行情数据,中债综合指数数据来自万德数据库,中国商品期货指数数据来自中国期货市场监

控中心,其余数据均来自全球第四大财经网站英为财经。由于XAU的数据在英为财经网站只公布了2015年6月22日以来的数据,因此本研究选取的样本数据时段从2015年下半年开始,具体为2015年7月1日至2019年12月31日,频率为日,剔除交易时间不一致的数据后,共得到1045组样本观测值。由于比特币价格与其他几种金融资产的价格不在同一个数量级,为避免价格差距过大,对数据均采用对数收益率计算^[45],即

$$R_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}} \times 100\% \quad (1)$$

其中, t 为期, R_t 为样本的收益率, S_t 为原价格序列。

3.2 VAR-BEKK-GARCH 模型设定

本研究将指标分为比特币组和黄金组进行对比分析,建立均值方程模型和方差方程模型,分别考察:①比特币市场、股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场的均值溢出效应和波动溢出效应;②黄金市场、股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场的均值溢出效应和波动溢出效应。分析比特币作为“数字黄金”是否与黄金一样可以成为良好的对冲资产。

3.2.1 建立均值方程和均值效应检验

(1) 均值方程模型 VAR(p)

通过在 BEKK-GARCH 中加入 VAR 项,能够在条件均值和条件方差下定义模型^[46]。VAR(1)的条件均值方程模型可以概括为

$$\begin{aligned} Bit_t/Xau_t = & \mu_1 + \sum_{i=1}^p \phi_{1,i} Bit_{t-i}/Xau_{t-i} + \sum_{i=1}^p \phi_{1,i} Csi_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \gamma_{1,i} Bci_{t-i} + \sum_{i=1}^p \eta_{1,i} Ccf_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_{1,i} Ecr_{t-i} + \varepsilon_{1,t} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Csi_t = & \mu_2 + \sum_{i=1}^p \phi_{2,i} Bit_{t-i}/Xau_{t-i} + \sum_{i=1}^p \phi_{2,i} Csi_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \gamma_{2,i} Bci_{t-i} + \sum_{i=1}^p \eta_{2,i} Ccf_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_{2,i} Ecr_{t-i} + \varepsilon_{2,t} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Bci_t = & \mu_3 + \sum_{i=1}^p \phi_{3,i} Bit_{t-i}/Xau_{t-i} + \sum_{i=1}^p \phi_{3,i} Csi_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \gamma_{3,i} Bci_{t-i} + \sum_{i=1}^p \eta_{3,i} Ccf_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_{3,i} Ecr_{t-i} + \varepsilon_{3,t} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Ccf_t = & \mu_4 + \sum_{i=1}^p \phi_{4,i} Bit_{t-i}/Xau_{t-i} + \sum_{i=1}^p \phi_{4,i} Csi_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \gamma_{4,i} Bci_{t-i} + \sum_{i=1}^p \eta_{4,i} Ccf_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_{4,i} Ecr_{t-i} + \varepsilon_{4,t} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Ecr_t = & \mu_5 + \sum_{i=1}^p \phi_{5,i} Bit_{t-i}/Xau_{t-i} + \sum_{i=1}^p \phi_{5,i} Csi_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \gamma_{5,i} Bci_{t-i} + \sum_{i=1}^p \eta_{5,i} Ccf_{t-i} + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_{5,i} Ecr_{t-i} + \varepsilon_{5,t} \end{aligned} \quad (6)$$

其中, Bit 为比特币市场的对数收益率; Xau 为黄金市场的对数收益率; Csi 为股票市场的对数收益率; Bci 为债券市场的对数收益率; Ccf 为期货市场的对数收益率; Ecr 为外汇市场的对数收益率; i 为滞后期数, $i=1, 2, \dots, p$, p 为 VAR 模型最优滞后期数; μ_j 为常数项, $j=1, 2, \dots, 5$,分别代表比特币市场或黄金市场、股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场; $\phi_{j,i}$ 、 $\gamma_{j,i}$ 、 $\eta_{j,i}$ 和 $\lambda_{j,i}$ 为参数; $\varepsilon_{j,t}$ 为残差项。 $\phi_{j,i}$ 为滞后 i 阶的比特币市场或黄金市场的对数收益率对 j 市场的均值溢出效应, $\phi_{j,i}$ 为滞后 i 阶的股票市场的对数收益率对 j 市场的均值溢出效应, $\gamma_{j,i}$ 为滞后 i 阶的债券市场的对数收益率对 j 市场的均值溢出效应, $\eta_{j,i}$ 为滞后 i 阶的期货市场的对数收益率对 j 市场的均值溢出效应, $\lambda_{j,i}$ 为滞后 i 阶的外汇市场的对数收益率对 j 市场的均值溢出效应。

(2) 均值溢出效应检验

在均值方程模型 VAR(p)中,若(2)式~(6)式中的 $\phi_{2,i}$ 、 $\phi_{3,i}$ 、 $\phi_{4,i}$ 和 $\phi_{5,i}$ 等于0或不显著,表示比特币市场或黄金市场对其他4个市场无均值溢出效应;若 $\phi_{1,i}$ 、 $\phi_{3,i}$ 、 $\phi_{4,i}$ 和 $\phi_{5,i}$ 等于0或不显著,表示股票市场对其他市场无均值溢出效应;若 $\gamma_{1,i}$ 、 $\gamma_{2,i}$ 、 $\gamma_{4,i}$ 和 $\gamma_{5,i}$ 等于0或不显著,表示债券市场对其他市场无均值溢出效应;若 $\eta_{1,i}$ 、 $\eta_{2,i}$ 、 $\eta_{3,i}$ 和 $\eta_{5,i}$ 等于0或不显著,表示期货市场对其他市场无均值溢出效应;若 $\lambda_{1,i}$ 、 $\lambda_{2,i}$ 、 $\lambda_{3,i}$ 和 $\lambda_{4,i}$ 等于0或不显著,表示外汇市场对其他市场无均值溢出效应。本研究的样本服从F分布。

3.2.2 建立方差方程和波动效应检验

(1) 方差方程模型 BEKK-GARCH(1,1)

为保证协方差矩阵正定,并简化估计过程,本研究构建的方差方程模型 BEKK-GARCH(1,1)为

$$\begin{aligned} H_t = & C'C + A'\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}A + B'H_{t-1}B \\ \varepsilon_t = & (\varepsilon_{1,t}, \varepsilon_{2,t}, \varepsilon_{3,t}, \varepsilon_{4,t}, \varepsilon_{5,t})' \end{aligned} \quad (7)$$

其中, H_t 为条件方差协方差矩阵, C 为下三角的常数项矩阵, A 为 ARCH 项系数矩阵, B 为 GARCH 项系数矩阵, ε_t 为残差项矩阵。进一步对残差项进行标准化处理,即

$$\begin{aligned} z_t = & H_t^{-\frac{1}{2}} \varepsilon_t = (z_{1,t}, z_{2,t}, z_{3,t}, z_{4,t}, z_{5,t})' \\ \varepsilon_t | I_{t-1} \sim & N(0, H_t) \end{aligned} \quad (8)$$

其中, z_t 为残差项标准化后的矩阵,测算标准化残差矩阵是为了检验方差方程,当 $z_t \sim N(0, 1)$ 时标准化残差具有随机性,模型具有较好的拟合效果。 A 矩阵和 B 矩阵中的每一个元素均代表波动溢出效应,具体为

$$\begin{aligned}
 \mathbf{H}_t &= \begin{bmatrix} h_{11,t} & h_{12,t} & h_{13,t} & h_{14,t} & h_{15,t} \\ h_{21,t} & h_{22,t} & h_{23,t} & h_{24,t} & h_{25,t} \\ h_{31,t} & h_{32,t} & h_{33,t} & h_{34,t} & h_{35,t} \\ h_{41,t} & h_{42,t} & h_{43,t} & h_{44,t} & h_{45,t} \\ h_{51,t} & h_{52,t} & h_{53,t} & h_{54,t} & h_{55,t} \end{bmatrix} \\
 \mathbf{C} &= \begin{bmatrix} c_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{21} & c_{22} & 0 & 0 & 0 \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & 0 & 0 \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & 0 \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} \end{bmatrix} \\
 \mathbf{A} &= \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_{14} & \alpha_{15} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} & \alpha_{25} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} & \alpha_{35} \\ \alpha_{41} & \alpha_{42} & \alpha_{43} & \alpha_{44} & \alpha_{45} \\ \alpha_{51} & \alpha_{52} & \alpha_{53} & \alpha_{54} & \alpha_{55} \end{bmatrix} \\
 \mathbf{B} &= \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \beta_{13} & \beta_{14} & \beta_{15} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} & \beta_{24} & \beta_{25} \\ \beta_{31} & \beta_{32} & \beta_{33} & \beta_{34} & \beta_{35} \\ \beta_{41} & \beta_{42} & \beta_{43} & \beta_{44} & \beta_{45} \\ \beta_{51} & \beta_{52} & \beta_{53} & \beta_{54} & \beta_{55} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

\mathbf{H}_t 矩阵的对角线元素是 j 市场的条件方差, 其余各项分别是两个市场之间的条件协方差。 \mathbf{A} 矩阵和 \mathbf{B} 矩阵中的对角线元素表示自身的波动溢出效应。因此, 将 BEKK-GARCH (1, 1) 模型矩阵形式的方差方程展开为方程组的形式可以得到

$$h_{11,t} = c_{11}^2 + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 \alpha_{k1} \alpha_{j1} \varepsilon_{j,t-1} \varepsilon_{k,t-1} + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 \beta_{k1} \beta_{j1} h_{k,j,t-1} \tag{9}$$

$$h_{12,t} = c_{11} c_{12} + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 \alpha_{k1} \alpha_{j2} \varepsilon_{j,t-1} \varepsilon_{k,t-1} + \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^5 \beta_{k1} \beta_{j2} h_{k,j,t-1} \tag{10}$$

其中, k 为市场, $k = 1, 2, \dots, 5$; $h_{11,t}$ 为比特币市场或黄金市场的条件方差; $h_{12,t}$ 为比特币市场或黄金市场与股票市场的条件协方差; c_{11}^2 和 $c_{11}c_{12}$ 为常数项; α_{kj} 和 β_{kj} 为参数, 分别表示 j 市场对 k 市场的波动溢出效应;

$\varepsilon_{k,t-1}$ 为 k 市场在 $(t-1)$ 期的随机误差。(9) 式探讨了影响比特币市场或黄金市场条件方差的因素, 由于模型设定为 BEKK-GARCH (1, 1), 因此影响因素均滞后 1 期。(10) 式探讨了比特币市场或黄金市场与股票市场条件协方差的影响因素, 与 (9) 式和 (10) 式类似, 比特币市场或黄金市场与其他市场的条件协方差, 以及股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场各自与其他市场的条件协方差不再一一列出。

(2) 波动溢出效应检验

若 \mathbf{A} 矩阵和 \mathbf{B} 矩阵中的对角线元素等于 0 或不显著, 表示滞后 1 期的误差项和滞后 1 期的条件方差对 j 市场当期条件方差没有影响; 若 \mathbf{A} 矩阵和 \mathbf{B} 矩阵中的非对角线元素等于 0 或不显著, 表示 j 市场对 k 市场不存在波动溢出效应。检验样本服从 χ^2 分布, 本研究采用 wald 检验对两类避险资产与股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场之间的波动溢出效应进行检验。

4 实证结果和分析

表 2 给出指标的描述性统计结果。除 Csi 外, 其他指标的均值均为正值。 Bit 的均值和标准差最高, 表示 Bit 符合高收益、高风险的特征。 Xau 、 Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 的均值和标准差均接近于 0, 表示收益和风险较低。从偏度和峰度看, Xau 和 Ecr 是尖峰右偏的, Bit 、 Csi 、 Bci 和 Ccf 都是尖峰左偏的, 意味着所有序列都不符合正态分布的特征。进一步利用 JB 检验分析样本数据的分布, 结果表明所有样本数据均在 1% 水平上显著拒绝原假设, 即所有样本数据不服从正态分布。根据 ADF 检验结果, 所有的指标序列都是平稳的。

4.1 VAR (p) 参数估计和模型检验

为了确定均值方程 VAR (p) 的最优滞后阶数, 根据 LR、AIC、SC 和 HQ 共 4 种检验法则的结果进行综合判断, LogL 为对数似然函数, LR 为修正的 LR 统计

表 2 指标描述性统计结果
Table 2 Results for Descriptive Statistics of Indicators

	<i>Bit</i>	<i>Xau</i>	<i>Csi</i>	<i>Bci</i>	<i>Ccf</i>	<i>Ecr</i>
均值	0.003	0.0003	-0.00007	0.00003	0.0003	0.00008
中位数	0.003	0.0002	0.0004	0.00007	0.0003	0.00008
最大值	0.225	0.054	0.062	0.006	0.035	0.016
最小值	-0.239	-0.038	-0.092	-0.007	-0.041	-0.012
标准差	0.046	0.008	0.015	0.001	0.008	0.002
偏度	-0.059	0.407	-1.015	-0.728	-0.091	0.032
峰度	7.279	6.827	10.035	18.243	5.049	7.027
JB 检验	839.924***	701.725***	2 457.402***	10 746.790***	193.915***	706.428***
ADF 检验	-32.082***	-33.566***	-31.886***	-21.336***	-32.669***	-32.378***

注: ***为在 1% 水平上显著, 下同。

量(显著性水平为5%), AIC为赤池信息准则, SC为施瓦兹准则, HQ为汉南-奎因信息准则。选取结果见表3。在比特币组和黄金组中, LR检验法则在所检验的滞后期内没有最优的滞后阶数, AIC、SC和HQ最优滞后阶数均为滞后1阶, 根据少数服从多数原则, 确定模型为VAR(1)模型。

AR根检验能够检验VAR整体模型的稳定性, 在定阶完成后, 应该对所有序列的特征根进行AR根稳

定性检验。若模型特征方程单位根均落在单位圆内, 则模型平稳。本研究的AR根检验结果表明, 比特币组和黄金组的VAR模型估计结果是平稳有效的。

估计由(2)式~(6)式组成的均值方程模型, 估计结果见表4。由表4可知, 比特币组中, 滞后1期的Ecr对Bit的估计结果在10%水平上显著, 参数值为负, 表明外汇市场滞后1期的对数收益率对比特币市场当期的对数收益率具有负向影响; 滞后1期的Bit

表3 最优滞后阶数选取
Table 3 Selection of Optimal Lag Order

滞后期	LogL	LR	AIC	SC	HQ
比特币组					
0	18 882.570	N/A	-36.408	-36.384	-36.399
1	18 985.090	203.861	-36.558	-36.415	-36.503
2	18 997.430	24.416	-36.533	-36.271	-36.434
3	19 014.410	33.435	-36.518	-36.136	-36.373
黄金组					
0	20 752.760	N/A	-40.015	-39.991	-40.006
1	20 872.040	237.183	-40.197	-40.054	-40.143
2	20 882.550	20.810	-40.169	-39.907	-40.069
3	20 898.130	30.679	-40.151	-39.769	-40.006

注: 黑体数据为在对应准则下模型推荐采用的滞后阶数。

表4 均值方程模型估计结果
Table 4 Estimation Results for Mean Equation Model

	比特币组					黄金组				
	Bit	Csi	Bci	Ccf	Ecr	Xau	Csi	Bci	Ccf	Ecr
Bit(-1)	0.023 (0.726)	-0.001 (-0.114)	-0.0001 (-0.433)	0.0007 (0.131)	-0.002 (-1.357)					
Xau(-1)						-0.031 (-1.024)	0.118** (2.006)	0.0001 (0.042)	0.020 (0.598)	0.003 (0.300)
Csi(-1)	0.004 (0.043)	0.036 (1.113)	0.0003 (0.203)	0.052*** (2.833)	-0.0005 (-0.097)	-0.029* (-1.694)	0.042 (1.285)	0.0003 (0.206)	0.053*** (2.875)	-0.0003 (-0.069)
Bci(-1)	-2.016 (-1.041)	-0.995 (-1.643)	0.405*** (14.192)	-0.270 (-0.786)	0.008 (0.076)	1.096*** (3.468)	-1.094* (-1.805)	0.405*** (14.155)	-0.288 (-0.836)	0.009 (0.085)
Ccf(-1)	0.020 (0.111)	-0.077 (-1.351)	0.007** (2.470)	-0.045 (-1.404)	-0.012 (-1.285)	0.169*** (5.712)	-0.081 (-1.432)	0.007*** (2.459)	-0.046 (-1.425)	-0.012 (-1.319)
Ecr(-1)	-1.013* (-1.681)	0.092 (0.487)	0.011 (1.246)	0.038 (0.351)	0.002 (0.050)	0.082 (0.840)	0.092 (0.490)	0.011 (1.220)	0.039 (0.363)	-0.001 (-0.036)
常数项	0.003** (2.240)	0.00002 (0.038)	0.00002 (0.875)	0.0003 (1.311)	0.0001 (1.319)	0.0003 (1.145)	-0.00002 (-0.052)	0.00001 (0.8460)	0.0003 (1.297)	0.00009 (1.217)
最大似然估计			19 126.150					21 024.960		
AIC			-36.583					-40.220		
SC			-36.440					-40.078		

注: (-1)为滞后1期, 括号内数据为t值, **为在5%水平上显著, *为在10%水平上显著, 下同。

对 Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 的估计结果均不显著,表明比特币市场滞后 1 期的对数收益率对股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场当期的对数收益率没有影响。

黄金组中,滞后 1 期的 Xau 对 Csi 的估计结果在 5% 水平上显著,参数值为正,表明中国黄金市场滞后 1 期的对数收益率的变动对股票市场当期的对数收益率产生同向影响;滞后 1 期的 Csi 对 Xau 的估计结果在 10% 水平上显著,参数值为负,表明中国股票市场滞后 1 期的对数收益率的变动对黄金市场当期的对数收益率产生反向影响;滞后 1 期的 Bci 和 Ccf 对 Xau 的估计结果均在 1% 水平上显著,参数值为正,表明中国债券市场和期货市场滞后 1 期的对数收益率的变动对黄金市场当期的对数收益率产生同向影响。

均值溢出效应检验结果见表 5。比特币组 Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 对 Bit 的检验均拒绝原假设,即没有通过均值溢出效应检验,意味着股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场对比特币市场不存在均值溢出效应; Bit 对 Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 的检验也均拒绝原假设,意味着 Bit 对股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场不存在均值溢出效应。

表 5 均值溢出效应检验结果

Table 5 Test Results for Mean Spillover Effects

	比特币组		黄金组	
	$Csi \rightarrow Bit$	$Bit \rightarrow Csi$	$Csi \rightarrow Xau$	$Xau \rightarrow Csi$
H_0	$\phi_{1,1} = 0$	$\phi_{2,1} = 0$	$\phi_{1,1} = 0$	$\phi_{2,1} = 0$
F 值	0.001	0.013	2.883*	4.025**
	$Bci \rightarrow Bit$	$Bit \rightarrow Bci$	$Bci \rightarrow Xau$	$Xau \rightarrow Bci$
	H_0	$\gamma_{1,1} = 0$	$\phi_{3,1} = 0$	$\gamma_{1,1} = 0$
F 值	0.851	0.141	12.429***	0.006
	$Ccf \rightarrow Bit$	$Bit \rightarrow Ccf$	$Ccf \rightarrow Xau$	$Xau \rightarrow Ccf$
	H_0	$\eta_{1,1} = 0$	$\phi_{4,1} = 0$	$\eta_{1,1} = 0$
F 值	0.041	0.047	33.208***	0.425
	$Ecr \rightarrow Bit$	$Bit \rightarrow Ecr$	$Ecr \rightarrow Xau$	$Xau \rightarrow Ecr$
	H_0	$\lambda_{1,1} = 0$	$\phi_{4,1} = 0$	$\lambda_{1,1} = 0$
F 值	2.604	1.620	0.771	0.123

注: H_0 为原假设。

黄金组检验结果与模型估计结果一致, Csi 对 Xau 在 10% 水平上显著拒绝原假设 $\phi_{1,1} = 0$, Xau 对 Csi 在 5% 水平上显著拒绝原假设 $\phi_{2,1} = 0$, 表明黄金市场和股票市场具有双向均值溢出效应; Bci 对 Xau 在 1% 水平上显著拒绝原假设 $\gamma_{1,1} = 0$, Ccf 对 Xau 在 1% 水平上显著拒绝原假设 $\eta_{1,1} = 0$, 意味着债券市场和期货市场黄金市场具有均值溢出效应。

4.2 BEKK-GARCH 参数估计及模型检验

表 6 给出利用 WinRats 7.0 软件计算的 BEKK-GARCH (1, 1) 模型的参数估计结果。比特币组中, 由方差方程模型 A 矩阵可知, 对角元素均在 1% 水平上显著, 表明 Bit 、 Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 序列呈现波动聚集现象, 即大波动跟在大波动后面, 小波动跟在小波动后面; α_{41} 估计结果显著, 表明 Bit 对 Ccf 的 ARCH 效应显著。由方差方程模型 B 矩阵可知, 对角元素参数估计结果显著, 表明 Bit 、 Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 序列的条件方差受到自身历史序列条件方差的影响; β_{14} 在 5% 水平上显著, 表明 Ccf 对 Bit 的 GARCH 效应显著, 即 Ccf 的前期方差对 Bit 当期条件方差影响显著; β_{21} 在 10% 水平上显著, 表明 Bit 对 Csi 的 GARCH 效应显著, 即 Bit 的前期方差对 Csi 当期条件方差影响显著; β_{41} 和 β_{51} 均在 1% 水平上显著, 表明 Bit 对 Ccf 和 Ecr 的 GARCH 效应显著, 即 Bit 的前期方差对 Ccf 和 Ecr 当期条件方差影响显著。

黄金组中, 由方差方程模型 A 矩阵可知, 与比特币组一样, 对角元素均在 1% 水平上显著, 表明 Xau 、 Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 对数收益率序列呈现波动聚集现象; Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 对 Xau 的 ARCH 参数估计结果均不显著, 表明 Csi 、 Bci 、 Ccf 和 Ecr 对 Xau 不存在 ARCH 效应; α_{31} 在 5% 水平上显著, 表明 Xau 对 Bci 的 ARCH 效应显著; α_{41} 参数估计结果显著, 表明 Xau 对 Ccf 的 ARCH 效应显著。由方差方程模型 B 矩阵可知, β_{14} 在 10% 水平上显著, 表明 Ccf 对 Xau 具有显著的 GARCH 效应; β_{21} 、 β_{31} 和 β_{41} 在 1% 水平上显著, 表明 Xau 对 Csi 、 Bci 、 Ccf 具有显著的 GARCH 效应。

表 7 给出波动溢出效应的检验结果。比特币组中, Ccf 对 Bit 的波动溢出效应通过 wald 检验, 在 5% 水平上显著拒绝原假设 $\alpha_{14} = \beta_{14} = 0$; Bit 对 Ccf 通过 wald 检验, 在 1% 水平上显著拒绝原假设 $\alpha_{41} = \beta_{41} = 0$ 。因此, Bit 与 Ccf 存在双向波动溢出效应。 Ecr 对 Bit 没有通过 wald 检验, 表明 Ecr 对 Bit 不存在波动溢出效应; 但 Bit 对 Ecr 通过 wald 检验, 在 1% 水平上显著拒绝原假设 $\alpha_{51} = \beta_{51} = 0$, Bit 对 Ecr 存在波动溢出效应。因此, Bit 与 Ecr 之间仅存在 Bit 对 Ecr 的单向波动溢出效应。

黄金组中, Ccf 对 Xau 通过 wald 检验, 在 5% 水平上显著拒绝原假设 $\alpha_{14} = \beta_{14} = 0$, 表明 Ccf 对 Xau 存在波动溢出效应; Xau 对 Ccf 通过 wald 检验, 在 1% 水平上显著拒绝原假设 $\alpha_{41} = \beta_{41} = 0$, 表明 Xau 对 Ccf 存在波动溢出效应。因此, Xau 与 Ccf 存在双向波动溢出效应。 Csi 对 Xau 没有通过 wald 检验, 表明 Csi 对 Xau 不存在波动溢出效应; Xau 对 Csi 通过 wald 检验, 在 1% 水平上显著拒绝原假设 $\alpha_{21} = \beta_{21} = 0$, 表明 Xau 对 Csi 存在波动溢出效应。因此, Xau 与 Csi 之间仅存在 Xau 对 Csi 的单向波动溢出效应。 Bci 对 Xau 没有通过 wald 检验, 表明 Bci 对 Xau 不存在波动溢出效应; Xau 对 Bci 通过 wald 检验, 在 1% 水平上显著拒绝原假设 $\alpha_{31} = \beta_{31} = 0$, 表明 Xau 对 Bci 存在波动溢出效应。因此, Xau 与 Bci 之间仅存在 Xau 对 Bci 的单向波动溢

表 6 BEKK-GARCH 模型估计结果
Table 6 Estimation Results for BEKK-GARCH Model

矩阵	比特币组参数矩阵					黄金组参数矩阵					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
C	1	0.007*** (3.780)					4E-04 (0.597)				
	2	-1E-04 (-0.558)	6E-04 (1.622)				-3E-04 (-1.437)	-6E-04** (-2.205)			
	3	-9E-06 (-0.247)	1E-04*** (4.459)	1E-04*** (3.260)			-2E-04*** (-9.051)	-7E-05** (-2.496)	1E-04*** (3.790)		
	4	-0.001*** (-2.989)	0.003** (2.228)	-4E-04 (-0.446)	0.006*** (10.446)		-6E-04 (-0.852)	-0.004*** (-7.698)	-7E-04 (-0.732)	0.006*** (11.576)	
	5	-9E-04*** (-3.888)	-2E-04 (-1.408)	6E-05 (0.511)	5E-04*** (3.535)	9E-04*** (5.504)	-3E-04** (-2.363)	2E-04 (1.439)	-0.001*** (-7.259)	-1E-04 (-0.498)	8E-04*** (4.545)
A	1	0.374*** (8.297)	-0.002 (-0.296)	4E-04 (0.849)	-0.007 (-0.748)	0.001 (0.406)	-0.189*** (-3.346)	0.049 (1.268)	0.001 (0.358)	0.092 (1.598)	-0.007 (-0.348)
	2	0.129 (1.102)	0.199*** (8.545)	-9E-04 (-0.524)	0.033 (1.079)	-0.010 (-1.250)	0.013 (0.467)	0.220*** (8.291)	0.001 (0.892)	0.117*** (4.384)	0.002 (0.282)
	3	-0.966 (-0.599)	0.566** (2.001)	0.273*** (7.554)	2.310*** (4.727)	-0.049 (-0.399)	1.291** (2.868)	0.352 (1.269)	0.313*** (7.816)	1.468*** (2.945)	-0.099 (-0.580)
	4	-0.242* (-1.837)	0.005 (0.192)	0.002 (0.401)	0.260*** (4.258)	0.007 (0.496)	0.125* (1.946)	-0.018 (-0.584)	8E-04 (0.184)	0.220*** (3.521)	-0.009 (-0.533)
	5	-0.035 (-0.057)	-0.079 (-0.665)	-4E-04 (-0.044)	-0.091 (-0.599)	-0.386*** (-6.533)	-0.104 (-0.794)	-0.045 (-0.358)	0.009 (0.949)	-0.169 (-1.067)	0.405*** (6.313)
B	1	0.912*** (56.447)	5E-04 (0.279)	-8E-04 (-0.411)	0.011** (2.503)	0.002 (1.326)	0.859*** (24.705)	0.015 (0.779)	0.001 (0.437)	-0.080* (-1.739)	-0.015 (-1.119)
	2	-0.055* (-1.749)	0.980*** (205.465)	-0.001** (-2.067)	0.053*** (5.008)	0.006* (1.865)	0.051*** (5.489)	0.980*** (183.789)	-8E-04 (-0.139)	0.118*** (8.788)	0.002 (0.503)
	3	-0.036 (-0.041)	-0.389*** (-2.599)	0.932*** (53.022)	-2.326*** (-4.929)	0.150* (1.678)	-0.825*** (-2.630)	-0.312** (-2.024)	0.884*** (43.181)	-2.261*** (-7.930)	0.171 (1.349)
	4	0.390*** (3.020)	3E-04 (0.014)	0.008** (2.407)	0.370*** (7.540)	-0.039** (-2.459)	-0.482*** (-11.628)	-0.021 (-0.989)	-0.006* (-1.712)	-0.187** (-2.482)	-0.016 (-0.809)
	5	1.311*** (2.645)	0.003 (0.040)	-0.007 (-0.936)	-0.422*** (-2.753)	0.752*** (16.064)	0.180 (1.174)	-0.009 (-0.097)	0.006 (0.447)	0.303 (1.149)	0.701*** (7.466)

出效应。

4.3 稳健性检验

为了保证研究结果的稳健性,本研究使用VECH模型再次对比特币组和黄金组波动溢出效应进行测算,结果见表8。比特币组中,与BEKK-GARCH模型结果一样, α_{41} 在10%水平上显著,表明Bit和Ccf的联合扰动项冲击信息对二者本期条件协方差产生影响。 β_{21} 、 β_{41} 和 β_{51} 均在1%水平上显著,表明滞后1期的Bit与Csi、Ccf、Ecr各自的条件协方差对当期条件协方差影响显著。

黄金组中,与BEKK-GARCH模型结果不同,只有 α_{31} 在1%水平上显著,表明Xau与Bci的联合扰动项冲击信息对二者当期条件协方差产生影响;但是 α_{41} 不显著,表明Xau与Ccf条件协方差不会对二者当期

条件协方差产生影响。 β_{21} 不显著, β_{31} 和 β_{41} 均在1%水平上显著,表明Xau与Csi条件协方差不会对当期条件协方差产生影响,Xau与Bci、Ccf各自的条件协方差对Bci和Ccf当期条件方差影响显著。

4.4 讨论

综合表4得出的均值溢出效应和表5的F检验结果,在比特币组中,股票市场、债券市场和期货市场滞后1期的对数收益率对比特币市场当期收益率的影响系数均不显著,只有外汇市场滞后1期的对数收益率对比特币市场当期收益率具有负向影响,但是没有通过F检验。因此,所有市场对比特币市场均不存在均值溢出效应。表4中比特币市场滞后1期的对数收益率对股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场对数收益率的系数均不显著,表明比特

表7 波动溢出效应检验结果
Table 7 Test Results for Volatility Spillover Effects

	比特币组		黄金组	
	<i>Csi</i> → <i>Bit</i>	<i>Bit</i> → <i>Csi</i>	<i>Csi</i> → <i>Xau</i>	<i>Xau</i> → <i>Csi</i>
H_0	$\alpha_{12} = \beta_{12} = 0$	$\alpha_{21} = \beta_{21} = 0$	$\alpha_{12} = \beta_{12} = 0$	$\alpha_{21} = \beta_{21} = 0$
χ^2	0.092	3.140	1.710	40.563***
	<i>Bci</i> → <i>Bit</i>	<i>Bit</i> → <i>Bci</i>	<i>Bci</i> → <i>Xau</i>	<i>Xau</i> → <i>Bci</i>
H_0	$\alpha_{13} = \beta_{13} = 0$	$\alpha_{31} = \beta_{31} = 0$	$\alpha_{13} = \beta_{13} = 0$	$\alpha_{31} = \beta_{31} = 0$
χ^2	0.868	0.642	0.224	11.084***
	<i>Ccf</i> → <i>Bit</i>	<i>Bit</i> → <i>Ccf</i>	<i>Ccf</i> → <i>Xau</i>	<i>Xau</i> → <i>Ccf</i>
H_0	$\alpha_{14} = \beta_{14} = 0$	$\alpha_{41} = \beta_{41} = 0$	$\alpha_{14} = \beta_{14} = 0$	$\alpha_{41} = \beta_{41} = 0$
χ^2	7.509**	10.150***	6.022**	135.306***
	<i>Ecr</i> → <i>Bit</i>	<i>Bit</i> → <i>Ecr</i>	<i>Ecr</i> → <i>Xau</i>	<i>Xau</i> → <i>Ecr</i>
H_0	$\alpha_{15} = \beta_{15} = 0$	$\alpha_{51} = \beta_{51} = 0$	$\alpha_{15} = \beta_{15} = 0$	$\alpha_{51} = \beta_{51} = 0$
χ^2	4.561	9.591***	1.252	1.557

币市场对股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场也不存在均值溢出效应,即各个资产的对数收益率互不影响。在黄金组中,黄金市场与股票市场存在双向均值溢出效应,且通过对均值溢出效应进行的F检验;债券市场和期货市场对黄金市场存在单向均值溢出效应,且通过对均值溢出效应进行的F检验。黄金市场的对数收益率能够影响股票市场的对数收益率,债券市场和期货市场的对数收益率能够影响黄金市场的对数收益率,外汇市场的对数收益率与黄金市场的对数收益率互不影响,因此在持有外汇的基础上想增加投资种类,持有黄金是最理想的投资选择。

对比表4和表5中比特币组和黄金组的实证结果,比特币对其他资产没有均值溢出效应,可能的原因在于:①比特币的交易规模较小,没有足够的体量能够对其他资产产生影响;②由于中国市场的特殊性,比特币风险较大,监管难度高,政府对比特币的交易始终是严加防范的态度,这也就导致比特币市场的对数收益率与中国传统资产对数收益率互不影响。在此前提下,中国传统资产市场与比特币市场之间资金的流动并不明显。而黄金组除了外汇,其他资产对数收益率都与黄金的对数收益率有单向或双向波动溢出效应,由表4可知,滞后1期股票市场的对数收益率对黄金市场的对数收益率的均值溢出效应参数估计结果为负,表明当期股市收益率下降,会提高当期黄金收益率。原因在于资本是逐利的,股市投资收益率下降投资者会减少持有股票,当投资者将一部分资金配置给黄金时,黄金的需求增加,价格抬高,收益率就会提高。而债券和期货的表现与股市联系密切,滞后1期的债券和期货的对数收益率与股票的对数收益率的均值溢出效应参数估计结果均为负。当债券和期货收益率下降时,由于资本

是逐利的,投资者会增加持有收益率相对较高的资产股票,需求增加,股市的收益率就会上升。根据股票与黄金的关系,黄金的收益率下降。这也解释了为什么债券和期货的对数收益率与黄金的对数收益率的均值溢出效应参数估计结果为正,资本流动的这一过程也符合跃迁效应理论。综合比特币与其他资产的对数收益率互不影响的结果,比特币对传统金融资产的跃迁效应弱于黄金, H_1 得到验证。

综合表6得出的波动溢出效应和表7的wald检验结果,在比特币组中,期货市场对比特币市场具有显著的GARCH效应,波动溢出效应通过wald检验,表明期货市场对比特币市场存在波动溢出效应;比特币市场对期货市场具有显著的ARCH效应和GARCH效应,并通过wald检验,表明比特币市场对期货市场存在波动溢出效应,即比特币市场与期货市场存在双向波动溢出效应。比特币市场对股票市场和外汇市场具有显著的GARCH效应,但只有对外汇市场波动溢出效应通过wald检验。因此,比特币市场对外汇市场存在单向波动溢出效应。综上,比特币理论上可以对冲期货市场和外汇市场的投资风险。在黄金组中,期货市场对黄金市场具有显著的GARCH效应,波动溢出效应通过wald检验,表明期货市场对黄金市场具有波动溢出效应,该结果也在稳健性检验中得到验证;黄金市场对股票市场具有显著的GARCH效应,对债券市场和期货市场具有显著的ARCH效应和GARCH效应,波动溢出效应通过wald检验,但是黄金市场对股票市场的波动溢出效应却没有通过稳健性检验。因此,黄金市场对债券市场和期货市场具有波动溢出效应,即黄金可以对冲债券市场和期货市场的投资风险。

对比表6和表7中比特币组和黄金组的实证结果,比特币对商品期货和外汇具有波动溢出效应。

表 8 VECM 模型估计结果
Table 8 Estimation Results for VECM Model

矩阵	比特币组参数矩阵					黄金组参数矩阵				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
C	1	9E-05*** (3.110)				2E-07 (0.973)				
	2	1E-05 (0.582)	1E-07 (1.174)			-3E-06 (-0.794)	1E-06 (1.498)			
	3	-3E-08 (-0.155)	-1E-08 (-0.448)	1E-07*** (4.258)		3E-07 (4E-05)	-2E-07 (-0.321)	1E-07*** (4.279)		
	4	2E-05 (0.915)	3E-05*** (4.077)	1E-06** (-2.156)	1E-07 (0.641)	-1E-07*** (-0.852)	2E-05*** (4.812)	-1E-07** (-2.438)	1E-09 (0.581)	
	5	3E-06 (0.824)	-2E-06 (-1.579)	1E-09 (0.461)	1E-08 (0.134)	2E-06*** (4.118)	-2E-08 (-0.079)	-1E-06 (-0.768)	1E-08 (0.139)	-3E-08 (-0.027)
A	1	0.241*** (8.719)				0.040*** (2.443)				
	2	0.008 (0.448)	0.043*** (4.717)			-0.002 (-0.049)	0.043*** (4.942)			
	3	-0.014 (-0.655)	0.009* (1.809)	0.211*** (5.047)		0.041*** (2.892)	0.008** (1.971)	0.198*** (7.111)		
	4	-0.049* (-1.950)	0.060*** (2.701)	0.002 (1.112)	0.038** (2.569)	-0.013 (-1.436)	0.066*** (3.032)	-0.010 (-0.558)	0.030** (2.055)	
	5	-0.095 (-1.617)	8E-04 (0.663)	-0.015 (-0.566)	0.073 (1.554)	0.330*** (5.281)	0.034 (1.351)	0.006 (0.383)	-0.019 (-0.582)	0.078 (1.254)
B	1	0.756*** (31.449)				0.958*** (52.536)				
	2	-0.900*** (-12.047)	0.961*** (122.952)			0.037 (0.155)	0.958*** (133.564)			
	3	-0.385 (-1.506)	0.987*** (133.861)	0.701*** (15.001)		0.727*** (9.125)	0.987*** (175.721)	0.703*** (23.738)		
	4	-0.792*** (-22.123)	-0.500* (-1.912)	-0.998*** (-290.403)	0.967*** (70.868)	1.005*** (1158.869)	0.074 (1.122)	-0.322 (-0.957)	0.971*** (64.997)	
	5	-0.272*** (-2.612)	-1.001*** (-685.463)	-0.876*** (-7.366)	-0.402 (-1.517)	0.502*** (6.307)	-0.251 (-0.613)	-0.890*** (-35.993)	-0.352*** (-3.249)	-0.362 (-1.277)

可能的原因在于比特币不仅可以作为资产进行投资,还可以用于支付。比特币的支付功能与商品联系紧密,从这个角度看就不难解释为什么比特币与商品期货的波动溢出效应显著了。虽然学术界对比特币是否是货币的争论一直没有停止,但是无法否认,比特币确实发挥了部分货币的职能,而外汇的本质也是货币,所以理论上比特币可以作为外汇的对冲工具。黄金可以对冲债券市场和期货市场的投资风险,但对外汇市场的对冲作用不显著。对于中国外汇市场来说,由于实行有管理的浮动汇率,黄金对人民币汇率的对冲效果会比较小。通过对比发现,比特币与黄金对传统金融资产的波动溢出效应存在差异, H_2 得到验证。

5 结论

5.1 研究结果

本研究利用 VAR(1)-BEKK-GARCH(1,1) 模型,从市场联系的角度对比分析比特币和黄金分别对股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场的溢出效应,检验比特币和黄金的避险属性,得到以下研究结果。

① 比特币市场与股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场之间不存在均值溢出效应,因此部分投机者倾向于利用比特币交易达到多元化投资的目的,将“鸡蛋放入收益率不同的篮子里”。② 黄金市场的对数收益率能够影响股票市场的对数收益率,债券市场和期货市场的对数收益率能够影响黄金市场的对数收益率,外汇市场的对数收益率与黄金市场

的对数收益率互不影响,即黄金市场与除外汇市场之外的股票市场、债券市场和期货市场在对数收益率上具有联动性。③比特币市场与期货市场之间存在双向波动溢出效应,对外汇市场存在单向波动溢出效应。因此,比特币在理论上可以对冲期货市场和外汇市场的投资风险。④期货市场对黄金市场具有波动溢出效应,黄金市场对债券市场和期货市场具有波动溢出效应,即黄金市场受到期货市场波动的影响,但可以对冲债券市场和期货市场的投资风险。

5.2 理论贡献

①目前中国大多数学者对于数字货币的研究局限于理论分析,本研究利用计量模型进行实证分析,探讨比特币的应用价值,推动比特币研究的深入。②本研究深化了中国国情下资产配置的分析,立足于比特币对冲传统金融市场风险的效应,研究比特币与中国股票市场、债券市场、期货市场和外汇市场之间是否存在对数收益率的联动或方差的联动,有利于中国投资者全面理解比特币的收益和波动风险以及资产配置的原则和依据。③将比特币与普遍接受的避险资产黄金进行对比分析,从实证角度丰富了数字货币的应用理论,为投资者资产配置和避险选择提供理论指导。

5.3 实践指导

基于以上结果,本研究为有兴趣投资数字货币的投资者提供几点建议:①虽然分散投资不存在均值溢出效应的各种资产有利于投资收益最大化,但还是建议有分散投资需求的高净值投资者尽量避免在资产组合里配置比特币,因为不存在均值溢出效应的另一方面意味着比特币收益的高不可控性。②对于在政府监管压力下仍进行比特币交易的少数群体来说,比特币的高回报也包含相当大的波动风险。即使比特币在理论上可以对冲期货市场和外汇市场的投资风险,但由于国内外经济政策的不确定性及其他非法定数字货币的迭出,最稳妥的避险方式还是逐渐减小比特币的资产配置占比。③比特币无法取代黄金在资产组合中的位置。首先,黄金可以对冲的资产种类多于比特币;其次,黄金经过国际上多数政府的多次经济政策更迭的检验,是较为稳定的避险资产,比起诞生仅有14年的、在经济政策冲击下具有极强不确定性的比特币有更大的优势。

5.4 局限和不足

实证研究证实了比特币具有避险的作用,但本研究仍存一些局限。①本研究对比特币和黄金属性的讨论主要是基于理论分析,比特币市场和黄金市场的长记忆性和杠杆性还有待利用数据进一步深入研究。②本研究主要基于比特币和黄金对不同市场溢出效应的分析,但此框架势必缺失比特币与黄金二者之间的溢出效应分析,未来研究可考虑构建一个包括数字货币市场和黄金市场的分析框架。③本研究没有给出比特币和黄金加入投资资产组合时的最优配置比例,后续研究可以围绕给定的市场环境和

投资目标下求解最优配置权重的问题。

参考文献:

- [1] 范为, 房四海. 金融危机期间黄金价格的影响因素研究. *管理评论*, 2012, 24(3): 8-16.
FAN Wei, FANG Sihai. On the gold pricing model during the financial crisis. *Management Review*, 2012, 24(3): 8-16.
- [2] NAKAMOTO S. *Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system*. Satoshi Nakamoto Institute, 2008. <https://nakamotoinstitute.org/bitcoin/>.
- [3] 明雷, 吴一凡, 熊熊, 等. 比特币价格泡沫检验、演化机制与风险防范. *经济评论*, 2022(1): 96-113.
MING Lei, WU Yifan, XIONG Xiong, et al. Tests of bitcoin price bubbles, evolution mechanism and risk prevention. *Economic Review*, 2022(1): 96-113.
- [4] 薛玲玲. *比特币是资本外逃渠道吗? 基于DCC-GARCH模型的汇率价差联动性研究*. 成都: 西南财经大学, 2019: 23.
XUE Lingling. *Is bitcoin a capital flight channel; research on the linkage of the CNY-CNH pricing differential based on DCC-GARCH model*. Chengdu: Southwestern University of Finance and Economics, 2019: 23.
- [5] BAUR D G, LUCEY B M. Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold. *The Financial Review*, 2010, 45(2): 217-229.
- [6] WANG Y S, CHUEH Y L. Dynamic transmission effects between the interest rate, the US dollar, and gold and crude oil prices. *Economic Modelling*, 2013, 30: 792-798.
- [7] 邹子昂, 彭啸帆, 皮俊. 国际黄金现货市场的避险能力研究: 基于DCC-GARCH模型. *财经理论与实践*, 2018, 39(6): 44-50.
ZOU Ziang, PENG Xiaofan, PI Jun. Research on the hedging ability of international gold spot market: based on DCC-GARCH model. *The Theory and Practice of Finance and Economics*, 2018, 39(6): 44-50.
- [8] 聂佳蕾, 降谷君. 黄金价格和美元指数间的长期均衡关系. *经济师*, 2019(9): 55-57.
NIE Jialei, JIANG Gujun. Long-term equilibrium between gold price and dollar index. *China Economist*, 2019(9): 55-57.
- [9] AFTAB M, SHAH S Z A, ISMAIL I. Does gold act as a hedge or a safe haven against equity and currency in Asia?. *Global Business Review*, 2019, 20(1): 105-118.
- [10] JOY M. Gold and the US dollar: hedge or haven?. *Finance Research Letters*, 2011, 8(3): 120-131.
- [11] 袁晨, 傅强, 彭选华. 我国股票与债券、黄金间的资产组合功能研究: 基于DCC-MVGARCH模型的动态相关性分析. *数理统计与管理*, 2014, 33(4): 714-723.
YUAN Chen, FU Qiang, PENG Xuanhua. Research on the portfolio implications of stock, bonds and gold in China: an analysis of dynamic relationships based on DCC-MVGARCH model. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2014, 33(4): 714-723.
- [12] 刘志蛟, 刘力臻. 黄金能对冲人民币汇率和股市风险吗?. *金融论坛*, 2018, 23(4): 43-55.
LIU Zhijiao, LIU Lizhen. Can gold hedge the RMB exchange rate and the stock market risk?. *Finance Forum*, 2018, 23(4): 43-55.
- [13] 徐照宜, 蒋文倩, 杨胜刚. 国际黄金和原油价格波动与上证指数的相关性: 基于小波分析方法的研究. *金融论坛*, 2019, 24(6): 54-61.

- XU Zhaoyi, JIANG Wenqian, YANG Shenggang. The correlation between the fluctuations in international gold and crude oil prices and the Shanghai composite index: an analysis based on the wavelet theory. *Finance Forum*, 2019, 24(6): 54–61.
- [14] LIU C S, CHANG M S, WU X, et al. Hedges or safe havens: revisit the role of gold and USD against stock: a multivariate extended skew- t copula approach. *Quantitative Finance*, 2016, 16(11): 1763–1789.
- [15] ERB C B, HARVEY C R. The golden dilemma. *Financial Analysts Journal*, 2013, 69(4): 10–42.
- [16] 尹力博, 柳依依. 黄金是稳定的避险资产吗? 基于宏观经济不确定性的视角. *国际金融研究*, 2015(7): 87–96.
YIN Libo, LIU Yiyi. Is gold a stable safe haven asset? Research from the perspective of macroeconomic uncertainties. *Studies of International Finance*, 2015(7): 87–96.
- [17] CONLON T, LUCEY B M, UDDIN G S. Is gold a hedge against inflation? A wavelet time-scale perspective. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 2018, 51(2): 317–345.
- [18] DYHRBERG A H. Bitcoin, gold and the dollar: a GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*, 2016, 16: 85–92.
- [19] 吴孟泽. 基于供求角度的加密货币影响因素及价格走势分析: 以比特币为例. *黑龙江金融*, 2018(8): 55–57.
WU Mengze. Analysis on the influencing factors and price trend of cryptocurrency based on supply and demand: taking bitcoin as an example. *Heilongjiang Finance*, 2018(8): 55–57.
- [20] BOURI E, GUPTA R, TIWARI A K, et al. Does bitcoin hedge global uncertainty? Evidence from wavelet-based quantile-in-quantile regressions. *Finance Research Letters*, 2017, 23: 87–95.
- [21] BOURI E, SHAHZAD S J H, ROUBAUD D. Cryptocurrencies as hedges and safe-havens for US equity sectors. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 2020, 75(C): 294–307.
- [22] KLEIN T, THU H P, WALTHER T. Bitcoin is not the new gold: a comparison of volatility, correlation, and portfolio performance. *International Review of Financial Analysis*, 2018, 59: 105–116.
- [23] BOURI E, MOLNÁR P, AZZI G, et al. On the hedge and safe haven properties of bitcoin: is it really more than a diversifier?. *Finance Research Letters*, 2017, 20: 192–198.
- [24] GIUDICI P, ABU-HASHISH I. What determines bitcoin exchange prices? A network VAR approach. *Finance Research Letters*, 2019, 28: 309–318.
- [25] SMALES L A. Bitcoin as a safe haven: is it even worth considering?. *Finance Research Letters*, 2019, 30: 385–393.
- [26] HENRIQUES I, SADORSKY P. Can bitcoin replace gold in an investment portfolio?. *Journal of Risk & Financial Management*, 2018, 11(3): 48–67.
- [27] 郭建峰, 傅一玮, 靳洋. 监管视角下比特币市场动态变化的实证研究: 基于政策事件的对比分析. *金融与经济*, 2019(2): 16–22.
GUO Jianfeng, FU Yiwei, JIN Yang. An Empirical study on the dynamic changes of bitcoin market from the perspective of regulation: a comparative analysis based on policy events. *Finance and Economy*, 2019(2): 16–22.
- [28] 黄哲豪, 李正辉, 董浩. 虚拟金融资产收益率分布特征研究: 以比特币为例. *系统科学与数学*, 2018, 38(4): 468–483.
HUANG Zhehao, LI Zhenghui, DONG Hao. The distribution of virtual financial assets return: based on bitcoin market. *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2018, 38(4): 468–483.
- [29] 郭文伟, 刘英迪, 袁媛, 等. 比特币价格波动极端风险、演化模式与监管政策响应: 基于结构突变点CAViaR-EVT模型的实证研究. *南方金融*, 2018(10): 41–48.
GUO Wenwei, LIU Yingdi, YUAN Yuan, et al. Extreme risk, evolution model and policy response of bitcoin price fluctuation: an empirical study based on CAViaR-EVT model with structural break point. *South China Finance*, 2018(10): 41–48.
- [30] 邓伟. 比特币价格泡沫: 证据、原因与启示. *上海财经大学学报*, 2017, 19(2): 50–62.
DENG Wei. Price bubbles in bitcoin: evidence, causes and implications. *Journal of Shanghai University of Finance and Economics*, 2017, 19(2): 50–62.
- [31] SHAHZAD S J H, BOURI E, ROUBAUD D, et al. Safe haven, hedge and diversification for G7 stock markets: gold versus bitcoin. *Economic Modelling*, 2020, 87: 212–224.
- [32] BOURI E, SHAHZAD S J H, ROUBAUD D, et al. Bitcoin, gold, and commodities as safe havens for stocks: new insight through wavelet analysis. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 2020, 77: 156–164.
- [33] AGNEW J, BALDUZZI P. *Rebalancing activity in 401(k) plans*. Williamsburg: The College of William and Mary, 2006.
- [34] FORBES K J, RIGOBON R. No contagion, only interdependence: measuring stock market comovements. *The Journal of Finance*, 2002, 57(5): 2223–2261.
- [35] 陈云, 陈浪南, 林鲁东. 人民币汇率与股票市场波动溢出效应研究. *管理科学*, 2009, 22(3): 104–112.
CHEN Yun, CHEN Langnan, LIN Ludong. Volatility spillover effects between RMB exchange rate and stock market. *Journal of Management Science*, 2009, 22(3): 104–112.
- [36] 陈云. 中外股市收益率的非对称动态相关性研究. *管理科学*, 2013, 26(4): 79–88.
CHEN Yun. Empirical study on asymmetric dynamic correlations among stock returns in the US, Hong Kong and Mainland China. *Journal of Management Science*, 2013, 26(4): 79–88.
- [37] GRANGER C W J. Some properties of time series data and their use in econometric model specification. *Journal of Econometrics*, 1981, 16(1): 121–130.
- [38] ENGLE R F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 1982, 50(4): 987–1007.
- [39] BOLLERSLEV T. Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, 1986, 31(3): 307–327.
- [40] ENGLE R F, KRONER K F. Multivariate simultaneous generalized ARCH. *Econometric Theory*, 1995, 11(1): 122–150.
- [41] 谭小芬, 张峻晓, 郑辛如. 国际大宗商品市场与金融市场的双向溢出效应: 基于BEKK-GARCH模型和溢出指数法的实证研究. *中国软科学*, 2018(8): 31–48.
TAN Xiaofen, ZHANG Junxiao, ZHENG Xinru. The two-way spillover effects among international commodity markets and financial markets: an empirical study based on BEKK-GARCH model and spillover index method. *China Soft Science*, 2018(8): 31–48.
- [42] 袁圆, 戚逸康, 刘国山. 我国货币政策与股票市场以及房地产板块的溢出效应分析. *数理统计与管理*, 2018, 37(3): 520–532.

- YUAN Yuan, QI Yikang, LIU Guoshan. An empirical analysis of the spillover effect between China's monetary policy and both the stock market and the real estate market. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2018, 37(3): 520–532.
- [43] ENGLE R. Dynamic conditional correlation: a simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 2002, 20(3): 339–350.
- [44] 谢峰. 我国大类资产的溢出效应及影响因素研究. *软科学*, 2017, 31(12): 140–144.
- XIE Feng. Spillover effect and its determinants among assets classes in China. *Soft Science*, 2017, 31(12): 140–144.
- [45] 李嘉弘, 李平. COVID-19 疫情期间比特币与中国金融市场主要资产的关系研究. *管理评论*, 2021, 33(11): 286–297.
- LI Jiahong, LI Ping. The relationship between bitcoin and Chinese financial markets during COVID-19. *Management Review*, 2021, 33(11): 286–297.
- [46] AHMED A D, HUO R. Volatility transmissions across international oil market, commodity futures and stock markets: empirical evidence from China. *Energy Economics*, 2021, 93: 104741–1–104741–14.

Research on the Difference of Bitcoin and Gold Hedging Function: Based on VAR-BEKK-GARCH Model

WANG Qian^{1,2}, DU Zhuoya²

1 China Center for Public Sector Economy Research, Jilin University, Changchun 130012, China

2 School of Economics, Jilin University, Changchun 130012, China

Abstract: With its intrinsic value and good performance in the financial crisis, gold has been used as a hedge tool against uncertainty. After the “subprime mortgage crisis”, with the burst of bubbles and the depreciation of paper currency, the call for decentralization of issuance and trading of currency is increasing. Bitcoin, given this background, has attracted much attention from investors. Bitcoin is nicknamed “Digital Gold” for its scarcity, durability, and global characteristics. Existing research focuses on the properties of bitcoin, and believes that in theory bitcoin can be used as a hedge tool for certain assets, but lacks empirical support and a comparative analysis between “Digital Gold” and gold.

Based on the theory of spillover effect, taking the daily logarithm yield of bitcoin market, gold market, stock market, bond market, futures market and exchange market from July 1, 2015 to December 31, 2019 as samples, the indexes are divided into digital currency group and gold group. Using VAR-BEKK-GARCH (1, 1) model, this study discusses whether there are mean spillover effect and volatility spillover effect between two hedging tools and stock market, bond market, futures market, exchange market, and conducts joint significance test and robustness tests.

This study finds that bitcoin is an investment asset with high return and high risk, which is suitable for high net worth investors. The logarithm rate of return of bitcoin and various assets does not affect each other. For the purpose of diversification, bitcoin can be used as a part of asset allocation. The logarithm rate of return of foreign exchange market and the gold market do not affect each other, and investors who have held foreign exchange can increase their holdings of gold. Bitcoin can hedge the investment risk of futures market and exchange market. Gold can hedge the investment risk of stock market, bond market and futures market.

This study discusses the reasons why bitcoin can be called “Digital Gold”, clarifies the special effect of bitcoin, and provides reference for scholars to study digital currency. By using empirical analysis, based on whether bitcoin can hedge the risk of traditional financial market, this study obtains the types of assets that digital currency can hedge, and compares its functional difference with gold, which enriches the response of digital currency from the perspective of empirical analysis, and provides theoretical guidance for investors' asset allocation and risk aversion.

Keywords: hedging tools; mean spillover effect; volatility spillover effect; joint significance test; asset allocation

Received Date: May 3rd, 2020 **Accepted Date:** January 6th, 2021

Biography: WANG Qian, doctor in economics, is a researcher in the China Center for Public Sector Economy Research and a professor in the School of Economics at Jilin University. Her research interests cover financial policy and theory, digital finance, and carbon finance. Her representative paper titled “Information disclosure and the default risk of online peer to peer lending platform” was published in the *Finance Research Letter* (Volume 38, 2021). E-mail: wangqian@jlu.edu.cn

DU Zhuoya is a master degree candidate in the School of Economics at Jilin University. Her research interests include digital finance and digital innovation. E-mail: 13194395987@163.com

□
(责任编辑: 李祎博)