

算法交易的兴起及最新研究进展

陈梦根

(北京师范大学国民核算研究院, 北京 100875)

摘要: 算法交易是一种全新的交易方式, 备受机构投资者青睐, 市场份额迅速上升。算法交易的快速发展对资本市场总体效率和微观结构影响深远, 资产定价、组合投资和风险测度可能因此发生革命性变革。本文介绍算法交易在国际资本市场中的发展历程与现状, 系统总结、归纳和评述了有关算法交易的最新研究进展, 并探讨了算法交易在中国的应用和发展前景, 以及未来的研究方向。

关键词: 算法交易, 资本市场, 市场微观结构

Abstract: Algorithmic trading is a relatively new trading form in the international capital markets and now it is very popular among the institutional investors. The volume of algorithmic trading grows very fast and it accounts for an increasing market share. The development of algorithmic trading has a great impact on the efficiency and micro-structure of the capital markets. It may bring revolutionary changes to asset pricing, portfolio investment and risk measurement. This paper introduced the development situation of algorithmic trading in the international capital markets and then reviewed the new research progress about it. Besides, this paper discussed the application and developing prospect of the algorithmic trading in the Chinese emerging capital markets, as well as some main research topics for the future.

Key words: Algorithmic Trading; Capital Markets; Micro-structure of the Capital Markets

作者简介: 陈梦根, 北京师范大学国民核算研究院教授、博导, 金融统计研究中心主任, 研究方向: 实证金融与经济统计。

中图分类号: F831 **文献标识码:** A

算法交易是一种全新的交易方式, 在国际资本市场中备受机构投资者青睐, 市场份额迅速上升。算法交易的快速发展对资本市场总体效率和微观结构影响深远, 许多经典金融理论如资产定价、EMH、风险理论等都将因此受到挑战。本文将深入探讨算法交易的兴起及演进历程, 系统总结、归纳和评述算法交易相关研究的最新进展, 分析算法交易对中国资本市场发展的影响及应用前景。

算法交易的兴起

2010年5月6日下午, 道琼斯30种工业股票平均价格指数盘中暴跌近1000点, 导致Excelon、Boston Beer、Centerpoint等公司股价瞬间最大跌幅高达99%, 举世震惊, 总统下令彻查。根据美国证券交易委员会和商品期货交易委员会2010年10月1日发布的调查报告称, “闪电暴跌”源于一家交易公司交易电脑在市场饱受压力时自动执行卖出指令, 造成市

场巨大的连锁反应。此外，类似的情况还曾在伦敦证券交易所、东京证券交易所、马来西亚证券交易所等发生过。于是，算法交易被推上了风口浪尖，成为理论界与实业界关注的焦点。

算法交易 (Algorithmic trading) 最早产生于美国，描述利用计算机自动完成的交易过程。算法交易的产生主要源于通信技术和电子交易系统的发展。上世纪 70 年代末以来金融市场委托指令流开始出现计算机化，新兴市场大都采用先进的电子交易系统，以手工方式为主的传统交易所也纷纷转向电子化交易系统，为算法交易的产生奠定了基础。算法交易采用数量化分析手段，由计算机根据算法模型决定交易委托的下单时机、委托价格、交易数量与委托笔数等，自动发出指令实现 (高频) 证券买卖和资产组合管理，无需人工干预。实际上，算法交易在资本市场的广阔领域内得到了广泛而快速的发展，包括股票市场、外汇市场、债券市场、期货、期权与衍生品市场等。

在国际资本市场中，算法交易很快得到机构投资者的青睐，开始全面采用计算机来分割交易指令以降低大额交易的成本，提高投资收益。但直到 2004 年后，算法交易才真正进入快速发展的时期。据 2007 年 David Leinweber 发表于《阿尔法》杂志的文章《Algo vs. Algo》介绍，当时美国已经有超过 90% 的对冲基金采用了算法交易。近几年，美国算法交易呈指数级增长，其市场份额从 2006 年约 30% 上升到 2009 年的 73%。在欧洲资本市场，算法交易也迅速增长，2007 年伦敦证券交易所约有 70% 的订单是通过算法交易执行的。同时，其他地区包括新兴市场也快速跟进，东京证券交易所、香港联交所、新加坡交易所和悉尼交易所是亚太地区采用算法交易的主要市场，据统计，2010 年香港、日本和新加坡证券市场中算法交易使用率已超过 30%。新加坡交易所为了满足算法交易的需要，投资 2.5 亿新元建设全球最快的交易引擎，新交易系统 Reach 已于 2011 年 8 月正式推出，使得每笔委托处理速度在 90 微秒以下。

算法交易的快速发展对资本市场影响深远，甚至可能带来一场革命性变革。一个最直观的例证就是算法交易的兴起引发各国交易机构 (如对冲基金、证券经纪商等) 在地理上向证券交易所靠拢与集聚，即所谓的协同定位现象 (Co-location) (见表 1)。具体而言，算法交易对资本市场的影响主要体现在：首先，算法交易的市场份额快速上升，通过大单分割、隐蔽交易减小了对市场产生的冲击，寻求最佳的交易执行路径，得到最好的报价，可以有效地降低交易成本，因而在股票、期货、外汇、期权和债券市场均得到广泛应用；其次，算法交易引致证券市场微观结构发生显著变化，投资者通过计算机程序发出委托指令，交易程序可以自动决定交易时间选择、委托价格与数量等；再次，算法交易对市场信息效率包括对信息的反应时间、速度、程度等具有显著影响，进而将影响市场的质量与总体效率。此外，算法交易者大量涌现，对资产定价、风险传导、市场监管等各个方面都将产生重大影响。

表1 全球主要交易所算法 (或高频) 交易起始时间

交易所	AT/HFT 开始时间	交易机构 协同定位	交易所	AT/HFT 开始时间	交易机构 协同定位

纽约证券交易所	2003/05	2008/04	伦敦证券交易所	2006/02	2009/09
纳斯达克	2003/03	2007/03	伦敦Chix	2003/03	2008/11
多伦多股票交易所	2005/05	2008/04	香港联交所	N/A	2012/4季度
瑞士证券交易所	2004/01	2012/04	新加坡证券交易所	N/A	2011/07
挪威OLSO	2005/04	2010/04	台湾证券交易所	N/A	2010/4季度
印度NSE	2009/05	2010/01	新西兰证券交易所	2004/11	N/A
孟买证券交易所	2009/05	2010/02	马来西亚Bursa	N/A	2009/11
东京证券交易所	2005/05	2010/01	韩国证券交易所	N/A	N/A
澳大利亚证券交易所	2006/04	2008/4季度	KOSDAQ	N/A	N/A
德国XETRA	2003/03	2006/08	上海证券交易所	N/A	N/A
斯德哥尔摩 证券交易所	2005/04	2011/03	深圳证券交易所	N/A	N/A

注：①N/A 表示尚未全面开始；②AT 表示算法交易，HFT 表示高频交易；③部分数据源自 Aitken、Cumming 和 Zhan（2012）^[1]，部分由申请者整理。

算法交易相关研究进展

算法交易在国际资本市场的发展时间不长，早期研究文献不多，近年来随着算法交易的逐步兴起，开始受到研究者的高度关注，相关文献有所增加，研究主题也不断拓展。

一、算法类型及绩效评估研究

算法交易通过计算机程序自动完成交易，算法设定至关重要，不同交易者通常采用不同的算法。例如，套利基金和经纪交易商利用算法提供流动性，与做市商竞争（Jovanovic & Menkveld, 2010）^[25]；流动性需求者常用智能指令路由系统（Smart order routers）来决定指令发送方向（Foucault & Menkveld, 2008）^[19]；机构投资者采用算法交易分割大单委托指令；统计套利基金采用算法程序分析数据特征展开高频交易（安德鲁·波尔，2011）^[39]；数量交易者运用算法程序决定组合选择与交易策略（Hendershott 等，2011）^[22]。

Almgren（2007）^[4]指出，算法交易所采用的算法随着时间不断发展，至今已历三代：第一代算法执行的策略目标是市场本身生成的基准，如交易量加权平均价格（Volume-weighted average price, VWAP）或每日开盘-最高-最低-收盘价格均值（Average of daily OHLC prices）；第二代算法围绕指令来设定交易策略执行基准，目标是决策价格与最后成交价格的差额最小化（或叫执行差异最小化）；第三代算法采用动态执行策略，每次交易决策时重新评估，根据市场形势变化对交易的进攻性作及时、充分的调整。由于电信网络技术的飞速发展和参与者的日渐广泛，新算法层出不穷（Almgren & Lorenz, 2007）^[2]。Konishi（2002）^[29]和 Morris、Kantor-Hendrick（2005）^[33]指出，投资者选择算法交易方案的决定因素包括交易风格与频率、技术基础设施投资、监管要求、交易者经验和效率等，而 Yang 与 Jiu（2006）^[38]建立了帮助投资者选择最合适算法的分析框架。

对于不同算法的绩效问题，Domowitz 与 Yengerman（2005）^[16]比较了算法交易与传统的经纪人手工交易在处理大单指令时的执行效果，发现 VWAP 算法能够通过更低的交易费率得到超额补偿。Kissell（2007）^[28]归纳了比较不同算法技术执行效果的统计方法。Rosenthal（2010）^[34]围绕大单指令分割探讨算法交易者的绩效测度问题，提出了一个算法交易价格影响的测度模型。

二、算法交易与市场效率

目前，算法交易在成熟资本市场被广泛采用，已远非计算机交易或程式交易的简单概念所能代表，技术变迁给金融资产交易带来了革命性变革（Hendershott 等，2011）^[22]。各国普遍大量投资来发展算法交易，仅 2010 年全球范围内在交易系统上的投资估计高达 134 亿美元（McPartland，2010）^[32]。算法交易市场份额快速上升，对资本市场质量和效率将产生显著影响。

长期以来，金融经济学文献中仅有少数的零星研究从市场总体层面来考察算法交易对资本市场的影响问题（Chiarella 和 Iori，2004）^[13]。Shwartz、Francioni 和 Weber（2006）^[37]采用连续双重拍卖机制（Continuous double auction）生成交易实验指令流，分析了证券市场的算法交易行为，认为算法交易减少了市场摩擦，促进了更有效的风险分担，使资产定价更具效率。Gsell（2008）^[21]采用近年来在经济学研究中非常流行的模拟分析方法，考察了算法交易规模大小对市场价格的影响。Brunnemeier 与 Pedersen（2009）^[11]进一步证实，算法交易增加的市场流动性会加快股票市场资金流动。Berke（2010）^[5]则指出，算法交易者通过分割大单指令可以隐藏 α 或降低执行成本，超过 30% 的交易量由此产生，这些指令高速发出，有利于争取最优成交价格。

在已有研究中，一些学者从投资者分类角度考察了不同类型交易者对资本市场的影响。按指令生成依据不同，投资者一般可划分为三类：知情交易者、动量交易者和噪声交易者，算法交易者与传统的这三类投资者在行为模式上存在较大差异。Gsell（2006）^[20]针对算法交易者与知情交易者、动量交易者和噪声交易者之间的差异特征进行了比较研究。Kissell 与 Malamut（2006）^[27]证实，算法交易者的目标是通过执行交易来达到或超越投资者所设定的基准，算法交易能够通过隐含的基准、交易风格或进攻性来加以识别。Schmitz（2012）^[35]以爱荷华电子市场（Iowa Electronic Markets, IEM）¹为对象，研究了算法交易做市商模型下的微观结构和交易绩效，发现算法交易能够取得超额收益，夏普比率达 9.9。

个别文献考察了算法交易通过信号传递所导致的对实体经济的影响，例如，Boehmer、Fong 和 Wu（2012a）^[8]研究表明，算法交易将影响公司股票回购行为，进而影响公司融资行为，算法交易频繁的公司一般会降低股票融资比例。相反，Scholtus、Van Dijk 和 Frijns（2012）^[36]则估算了宏观经济信息传播对算法交易的影响，算法交易的快速交易能够提高

¹ IEM 是一个以教育为目的、用实际资金支付的小型模拟市场。

收益水平，以 2009-2011 年 NASDAQ 市场中交易的高流动性 S&P500ETF 指令数据为样本的研究表明，相比即时交易，交易延迟 300 毫秒将使收益下降 3.08%，而延迟 1 秒则将下降 7.33%。Aitken、Cumming 和 Zhan（2012）^[11]研究证实，算法交易还将引发证券交易商向交易所所在地的集中或靠拢，以争取时间优势。

三、算法交易与微观结构、资产定价、组合投资

值得关注的是，还有一部分研究人员从微观结构、资产定价、组合投资、风险管理等不同侧面或角度初步考察了算法交易对资本市场某个（些）方面的局部影响，具体包括以下四个维度：

（1）算法交易对资本市场微观结构的影响。Easley 与 O'Hara（2010）^[17]发现，算法交易能够改进市场流动性，增加投资者的市场参与度，降低企业融资成本。Hendershott 等（2011）^[22]证实，算法交易与流动性正相关，市场更多地采用算法交易会缩小买卖价差，减少逆向选择行为，降低交易过程的价格发现能力但将增加市场流动性，使报价具有更高的信息含量。Hendershott 和 Riordan（2012）^[23]检验德国 DAX30 样本股票中算法交易者对流动性的供给与需求状况，发现 52% 的市价指令订单和 64% 的限价指令订单是由算法交易者发出。算法交易者比普通交易者更为关注市场流动性，当流动性便宜即买卖价差窄时算法交易者消费流动性，当流动性昂贵时则供给流动性，而且价差小时算法交易者更不可能提供新订单，也更不可能取消订单。Boehmer、Fong 和 Wu（2012b）^[9]采用 39 家交易所共 12800 只不同股票 2001-2009 年间的大样本数据，考察算法交易强度对股票市场流动性、短期波动率及股价信息效率的影响，发现算法交易比例越高，越能改善市场流动性和信息效率，但将增加市场波动率，当市场做市困难时算法交易提供的流动性也减少，却增加市场波动性。Breuer 和 Burghof（2013）^[10]研究也表明，算法交易将增加专业投资者盈利和噪声交易者损失的概率，同时降低买卖价差平均水平，却导致更高的波动率，而且相比于无算法交易市场，算法越复杂，基本分析者和图表交易者的收益降幅越明显，同时噪声交易者的收益也下降，市场买卖价差则更小。

（2）在算法交易对资产定价的影响方面，个别学者进行了尝试性研究。其中，Hendershott 和 Riordan（2009）^[24]以德国 30 只 DAX 指数股票为样本，证实算法交易在价格形成过程中具有显著的正面促进作用。Cartea 和 Jaimungal（2013）^[12]、Cvitanic 和 Kirilenko（2010）^[15]则研究了高频交易下证券定价的理论建模问题。

（3）有关算法交易对组合投资的影响问题，少数学者进行了初步研究。Kyle（1985）^[30]针对交易者大单指令分割现象研究发现，大单指令分割可以隐藏 α 。Bertsimas 与 Lo（1998）^[6]探讨了大单分割如何实现交易执行成本的最优化问题。Almgren 与 Chriss（2001）^[3]进一步证实，交易大单指令分割行为有助于降低均值-方差范式下的交易成本，并提出了有效执行前沿（Efficient execution frontier）的观点。Engle 与 Ferstenberg（2007）^[18]研究发现，算法

交易大单分割最优化可与组合投资最优化结合，二者的风险厌恶系数是一致的，两个最优化的结合将使有效投资组合前沿向下和向右移动。

(4) 算法交易风险分析。Lenglet (2010)^[31]指出，算法交易可能冲击市场，甚至造成大的危机，对现行的监管制度提出了不小的挑战。2010年5月6日下午美国股市“闪电暴跌”，道琼斯30种工业股票平均价格指数盘中暴跌近1000点，导致Excelon、Boston Beer、Centerpoint等公司股价瞬间最大跌幅高达99%。事后的调查报告指出，“闪电暴跌”源于一家交易公司在市场饱受压力时交易电脑自动执行卖出指令，造成市场巨大的连锁反应。此外，类似的情况还曾在伦敦证券交易所、东京证券交易所、马来西亚证券交易所等发生过。于是，算法交易被推上了风口浪尖，其风险管理问题成为理论界与实业界关注的焦点。Kirilenko等(2011)^[26]对2010年美国股市闪电暴跌的研究表明，高频算法交易者交易模式在市场崩盘时明显不同于传统的做市商，交易行为与价格变化方向高度一致，不愿累积巨额头寸或者承担大损失，他们的大量交易为基本交易员提供了不必要的流动性，同时将放大价格波动。Biais和Foucault(2011)^[7]证实，高频算法交易能够快速抓住市场机会，提高收益水平，但同时也存在巨大的负外部效应，将促使普通交易者产生逆向选择，而高频算法交易下的均衡投资水平要高于通常情况下的均衡水平，这也是导致闪电暴跌的原因之一。

算法交易与中国资本市场

近年来，算法交易无疑已成为国际资本市场中倍受关注的焦点之一。在欧美发达资本市场，投资者利用算法交易进行程序下单的交易量目前已超过70%。在亚洲金融市场，采用算法交易的主要有东京证券交易所、香港联交所和新加坡交易所。从实践上看，中国在这方面的发展还只是刚刚开始，与欧美市场相比，国内资本市场价差更大、流动性更差，发展算法交易的价值更为突出。

从国内来看，算法交易尚处于系统研究和初步试验阶段。国内一些证券、期货公司均高度关注算法交易，个别公司推出了相关的产品。其中较早开展算法交易研发的是国泰安信息技术有限公司，2008年即开始着手大力研究算法交易，已推出“国泰安算法交易系统V1.0”，成为国内第一个采用国际主流交易策略的算法交易平台。此外，海通证券开发了“海通彩虹算法交易平台”，国泰君安、华泰联合、中银国际、招商证券、光大证券、宏源证券等也都正大力开发算法交易系统。2012年7月，国内券商龙头中信证券宣布购买Progress Software公司的Apama算法交易平台，从而能够为机构投资者客户提供根据客户需求定制的低延迟、高频算法交易策略。此后不久，广发证券则宣布与美国Stream Base公司、Thomson Reuters公司合作开发基于复杂事件处理技术的算法交易系统，其响应速度预计可达毫秒至百万分之一秒级，将成为国内速度最快的算法交易系统。

针对期货市场，算法交易既能有效降低市场冲击成本，又可用以挖掘套利机会，利用其强大的复杂事件处理功能，有助于对突发事件流实施监控、模式探测并采取相应正确行动，

因此国内期货行业很早就高度重视算法交易。特别是随着股指期货的推出，算法交易在国内期货市场中开始流行，美国、英国、我国台湾地区及韩国的众多机构与软件开发公司也积极尝试进军我国期货行业算法交易领域。例如，2012年6月美国软件供应商 Progress 公司宣布向南华期货提供 Progress Apama 算法交易平台，助力其算法交易业务发展。但总体来看，目前国内商品、金融期货交易所对算法交易采取了一种相对谨慎、稳妥的态度，对高频类程序化交易的发展有所限制。

对中国资本市场而言，算法交易还是一个新生的事物，现有的文献中有关算法交易的研究很少。其中，但功伟（2007）^[40]研究了证券市场中算法交易损失分布和执行风险的建模问题，并分析了中国资本市场的完全信息交易成本。镇磊（2010）^[49]介绍了算法交易主流设计思想和常用算法，利用高频数据处理方法提出了一种适合 A 股市场交易规则的交易算法，考察了无交互效应和有交互效应两种情况下交易策略的设计，并利用 A 股市场 10 只股票 2008 年的高频交易数据进行模拟检验，表明该算法在一定的成交概率下能优于市场均价。李心丹与叶武（2011）^[43]采用计算实验的方法考察了算法交易对执行成本、买卖价差与交易系统的影响。方兆本与镇磊（2011）^[41]从实证角度研究基于非对称效应 ACD 模型和分时 VWAP 算法在 A 股市场的实际效果。张昶煜（2011）^[48]基于双向拍卖机制模拟市场，研究 VWAP 和 IS 算法交易策略对投资者交易成本的影响，证实算法交易能够通过减小大额订单对市场的冲击来降低证券市场的波动性，虽然 IS 算法保证了机构投资者的交易能够更快更早的完成，但其绩效表现的波动较大，执行成本的标准差大于 VWAP 算法，执行效果及其稳定性均逊于 VWAP 算法。燕汝贞、李平和曾勇（2012）^[46]提出一种估计交易策略机会成本的方法，分析同时考虑市场冲击成本和机会成本的投资者在总交易成本最小的目标下制定最优交易策略的问题，证实投资者同时关注市场冲击成本和机会成本时指令提交策略（MIOC）的总交易成本均小于交易量加权平均价格（VWAP）交易策略。

其他文献多为通俗介绍性文章或细分领域的一些研究，杨明秋（2010）^[47]、邹胜、喻华丽和王海（2008）^[52]在证券交易系统发展趋势探讨中提及算法交易在证券交易中具有广阔的发展前景；朱淋靖（2010）^[51]介绍了算法交易在期货市场的应用情况，黄伟（2009）^[42]在研究期货市场隐性交易成本时也提及算法交易发展问题；项立锋与孙建伶（2010）^[45]研究了基于股票市场复杂事件处理的算法交易架构和数据库建模方法；周健（2011）^[50]介绍了算法交易的基本概念及其在国内的运用前景；刘逖与卢涛（2012）^[44]分析指出，算法交易在中国目前尚处在初级的算法交易加经验判断阶段，基金交易技术和交易水平存在较大提升空间，交易技术和水平的提高可以为基金公司节省巨大的成本，基金之间的交易技术和交易水平差距较大，因此，算法交易在我国资本市场具有广阔的应用前景。

此外，在实际部门中，中信证券、海通证券、国信证券、联合证券、宏源证券等不少公司的研究人员已开始关注这个新兴领域，但相关研究报告大多仅限于对算法交易及其在国外发展情况的介绍或评析。

简评及研究展望

算法交易是一种全新的交易方式，发展异常迅速，在整个交易量中所占比重迅速上升，全球的交易所都将算法交易视为重要的增长驱动因素。算法交易不完全依赖于基本分析和技术分析，依靠程序自动实现交易和选时功能，算法交易快速发展对资本市场的定价、风险、流动性、信息传播、组合投资等各个领域都将产生影响，而相关的一些经典理论如微观市场结构、市场流动性、风险传导、组合投资理论等可能因此受到冲击或挑战。但总体而言，正如 Gsell (2006)^[20]、Cartea 和 Jaimungal (2013)^[12]等所指出的，以往文献尚未就算法交易对资本市场总体质量或效率的影响开展系统分析，这正是未来值得研究的一个重要课题。而且直到目前，研究人员对算法交易的择时功能、交易成本、收益分布、信息传播、风险传导等问题尚未进行深入研究，对算法交易与资产定价、组合投资关系等问题的研究也才刚刚开始，认识仍较为初浅。

国内理论界与实际部门对算法交易的关注尚处起步阶段。总的来看，首先，国内尚无从金融经济学和管理学理论的高度全面研究算法交易对资本市场影响的系统文献，对算法交易在中国的适用性也缺乏全面、深入的研究；其次，国内已有的少量研究多是从某一局部或角度考察算法交易的市场影响，结论的可信度与可靠性仍不确定，如算法绩效评估中多数仅涉及 VWAP 算法、时间加权平均价格算法 (Time weighted average price, TWAP)、执行落差算法 (Implementation shortfall, IS) 等，对其他一些算法及交易模式如统计套利等并未涉及，又如对算法交易的市场影响方面仅涉及对执行成本和交易系统等的影响，有关算法交易下市场效率、组合选择、风险传导与测度等命题的研究仍属空白；第三，中国资本市场的微观结构和运行环境不同于欧美发达国家成熟市场，无做市商制度、T+1、机构投资者比重较低等情形可能对发展算法交易产生影响；第四，国内有关对算法交易带来的市场操纵、交易异常、系统风险等的监管问题研究基本上是空白。

中国资本市场起步较晚，但拥有世界领先的电子交易系统，在算法交易方面具有潜在优势，本可以利用先进的技术设施走在世界前列，但由于研究开发落后，国内在算法交易方面才刚刚起步，反而落后于欧美国家。当前，国内一些证券、期货公司已开始关注算法交易，个别公司推出了相关的产品，如国泰安信息技术有限公司开发的“国泰安算法交易系统”、海通证券开发的“海通彩虹算法交易平台”，中银国际、招商证券、光大证券、联合证券等也正大力开发算法交易系统。但是多数公司还仅限于对算法交易的引进与介绍，算法策略研究也还停留在最简单的算法层面（如 VWAP、IS 和 TWAP 等）。因此，大力开展算法交易的理论与应用研究，对中国更好地推动算法交易发展具有重要的实际意义。

[基金项目：本文得到教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NECT-11-0029)、全国统计科研计划项目 (2012LZ042)、国家社会科学基金重大项目 (11&ZD045、09&ZD040) 和中央高校基本科研业务费专项资金的资助。]

参考文献:

- [1] Aitken, Michael J., Cumming, Douglas J. and Zhan, Feng. Identifying International Start Dates for Algorithmic Trading and High Frequency Trading. SSRN working paper, 2012, <http://ssrn.com/abstract=2172455>.
- [2] Almgren, R. and J. Lorenz, 2007, Adaptive Arrival Price[G]. In Algorithmic Trading III: Precision, Control, Execution (Bruce, B. Ed.), Institutional Investor Inc, pp.59-66.
- [3] Almgren, R. and N. Chriss Optimal Execution of Portfolio Transactions[J]. Journal of Risk, 2001, 3, pp.5-39.
- [4] Almgren, R.. Analytic Foundations of Algorithmic Trading[R]. Presentation at Trade Tech 2007, 2007, April 27, Paris.
- [5] Berke, L.J.. US Institutional Equity Brokerage 2010: Assets, Commission Management and Concentration Research Report[R]. TABB Group, 2010.
- [6] Bertsimas, D. and A. W. Lo. Optimal Control of Execution Costs[J]. Journal of Financial Markets, 1998, pp.1-50.
- [7] Biais, Bruno and Foucault, Thierry. Equilibrium High Frequency Trading. SSRN working paper, 2011, <http://ssrn.com/abstract=1834344>.
- [8] Boehmer, Ekkehart, Fong, Kingsley Y. L. and Wu, Juan. Algorithmic Trading and Changes in Firms' Equity Capital. SSRN working paper, 2012a, <http://ssrn.com/abstract=2050856>.
- [9] Boehmer, Ekkehart, Fong, Kingsley Y. L. and Wu, Juan. International Evidence on Algorithmic Trading. AFA 2013 San Diego Meetings Paper, 2012b, Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2022034>.
- [10] Breuer, Arne and Burghof, Hans-Peter. Algorithmic Trading vs. Bid-Offer Spreads, Volatility, and the Distribution of Profits and Losses: A Simulation. SSRN working paper, 2013, <http://ssrn.com/abstract=2200075>.
- [11] Brunneimeier, M. K. and L. H. Pedersen. Market Liquidity and Funding Liquidity[J]. Review of Financial Studies, 2009, 22, pp.2201-2238.
- [12] Cartea, Álvaro and Jaimungal, Sebastian. Modeling Asset Prices for Algorithmic and High Frequency Trading. Forthcoming, Applied Mathematical Finance, SSRN working paper, 2013, <http://ssrn.com/abstract=1722202>.
- [13] Chiarella, Carl and Iori, G.. A Simulation Analysis of the Microstructure of Double Auction Markets[J]. Quantitative Finance, 2002, Vol.2, pp.346-353.
- [14] Chiarella, Carl and Iori, G.. The Impact of Heterogeneous Trading Rules on the Limit Order Book and Order Flows[EB/OL]. University of Technology Sydney, Quantitative Finance Research Centre, Research Working Paper 162, 2004.
- [15] Cvitanic, Jaksza and Kirilenko, Andrei A. High Frequency Traders and Asset Prices[EB/OL]. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1569067, 2010.
- [16] Domowitz, Ian and Yegerman, H.. The Cost of Algorithmic Trading – A First Look at Comparative Performance[G]. In:Algorithmic Trading: Precision, Control, Execution-2005, Institutional Investor Inc., 2005.
- [17] Easley, D. and M. O'Hara. Microstructure and Ambiguity[J]. Journal of Finance, 2010, 65, pp.1817-1846.
- [18] Engle, Robert, and Robert Ferstenberg. Execution Risk[J]. Journal of Portfolio Management, 2007, 33, pp.34-45.
- [19] Foucault, Thierry, and Albert J. Menkveld. Competition for Order Flow and Smart Order Routing Systems[J]. Journal of Finance, 2008, 63, pp.119-158.
- [20] Gsell, M.. Is Algorithmic Trading Distinctively Different? Assessing its Behaviour in Comparison to Informed, Momentum and Noise Traders[G]. In Narender,V. and Malhotra, D.K.(eds): Advances in Business and Finance Studies, 2006, Vol.1, Capital Markets, The ICFAI University Press, pp.1-19.
- [21] Gsell, M.. Assessing the Impact of Algorithmic Trading on Markets: A Simulation Approach[G], In Proceedings of the 16th European Conference on Information Systems (Golden, W., Acton, T., Conboy, K., van der Heijden, H., Tuunainen, V.K. Eds), 2008, pp.587-598.

- [22] Hendershott, T., C. M. Jones, and A. J. Menkveld. Does Algorithmic Trading Improve Liquidity?[J]. *Journal of Finance*, 2011, 66, pp.1-33.
- [23] Hendershott, Terrence and Riordan, Ryan. Algorithmic Trading and the Market for Liquidity[J]. *Journal of Financial and Quantitative Analysis (JFQA)*, Forthcoming, 2012.
- [24] Hendershott, Terrence and Riordan, Ryan. Algorithmic Trading and Information[EB/OL]. SSRN working paper, 2009, <http://ssrn.com/abstract=1472050>.
- [25] Jovanovic, Boyan, and Albert J. Menkveld. Middlemen in Limit-order Markets[EB/OL]. New York University, Working paper, 2010.
- [26] Kirilenko, Andrei A., Kyle, Albert S., Samadi, Mehrdad and Tuzun, Tugkan. The Flash Crash: The Impact of High Frequency Trading on an Electronic Market. 2011, SSRN working paper, <http://ssrn.com/abstract=1686004>.
- [27] Kissel, R. and Malamut, R.. Algorithmic Decision-making Framework[J]. *Journal of Trading*, 2006, 1(1), pp.12-21.
- [28] Kissell, R.. Statistical Methods to Compare Algorithmic Performance[J]. *Journal of Trading*, 2007, 2(2), pp.53-62.
- [29] Konishi, Hizuru. Optimal Slice of a VWAP Trade[J]. *Journal of Financial Market*, 2002, Vol.5, pp.197-221.
- [30] Kyle, Albert. Continuous Auctions and Insider Trading[J]. *Econometrica*, 1985, Vol.53, No.6, pp.1315-1336.
- [31] Lenglet, Marc. Conflicting Codes and Codings: How Algorithmic Trading Is Reshaping Financial Regulation. SSRN working paper, 2010, <http://ssrn.com/abstract=1616043>.
- [32] McPartland, K.. Data Center Networking: Redefining the Total Area Network[R]. Research report, TABB Group, 2010.
- [33] Morris, D. and Kantor-Hendrick, L.. Key Considerations in Selecting an Algorithmic Trading Provider[G]. In Brian R. Bruce (Ed.): *Algorithmic Trading: Precision, Control, Execution*. Institutional Investor Inc., 2005, pp.20-28.
- [34] Rosenthal, Dale W.R.. Performance Metrics for Algorithmic Traders[EB/OL]. SSRN working paper, 2010, <http://ssrn.com/abstract=1439902>.
- [35] Schmitz, James E.. Algorithmic trading in the Iowa electronic markets[J]. *Algorithmic Finance*, 2012, Vol.1, No.2, pp.157-181.
- [36] Scholtus, Martin L., Van Dijk, Dick J. C. and Frijns, Bart Speed, Algorithmic Trading, and Market Quality Around Macroeconomic News Announcements. Tinbergen Institute Discussion Paper No. 12-121/III, 2012, Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2174901>.
- [37] Schwartz, Robert A., Francioni, R. and Weber, B.. Decision Making in Equity Trading: Using Simulation to Get a Grip[J], *Journal of Trading*, Winter 2006, pp.59-72.
- [38] Yang, Jian and Jiu, B.. Algorithm Selection: A Quantitative Approach[G], In: *Algorithmic Trading II: Precision, Control, Execution-2006*, Institutional Investor Inc, 2005, pp.26-34.
- [39] (美) 安德鲁·波尔, 2011: 《统计套利》(中译本) [M], 陈雄兵、张海珊译, 机械工业出版社。
- [40] 但功伟, 2007: 《中国证券市场执行风险的建模与应用研究》[D], 天津大学博士学位论文, 8月。
- [41] 方兆本、镇磊, 2011: 《基于非对称效应 ACD 模型和分时 VWAP 算法对 A 股市场算法交易的量化分析研究》[J], 《中国科学技术大学学报》第 9 期。
- [42] 黄伟, 2009: 《基于隐性交易成本的期货市场交易策略研究》[D], 上海交通大学博士学位论文, 3月。
- [43] 李心丹、叶武, 2011: 《算法交易对执行成本、市场质量以及交易系统的影响研究》[R], 上海证券报 9月2日。
- [44] 刘遯、卢涛, 2012: 《算法交易及在中国资本市场的应用前景》[J], 《上海金融》第 1 期。
- [45] 项立锋、孙建伶, 2010: 《基于复杂事件处理的算法交易研究》[J], 《计算机应用与软件》第 12 期。
- [46] 燕汝贞、李平、曾勇, 2012: 《基于市场冲击成本与机会成本的算法交易策略》[J], 《管理学报》第 7 期。
- [47] 杨明秋, 2010: 《论全球证券交易系统七大发展趋势》[J], 《世界经济研究》第 11 期。
- [48] 张昶煜, 2011: 《基于模拟股票市场的算法交易执行成本和市场质量研究》, 南京大学硕士学位论文。

- [49] 镇磊, 2010: 《基于高频数据处理方法对 A 股算法交易优化决策的量化分析研究》, 中国科技大学博士学位论文。
- [50] 周健, 2011: 《算法交易在国内的运用》[J], 《资本市场》第 4 期。
- [51] 朱淋靖, 2010: 《高频算法交易在跨月迁仓交易中的应用》[J], 《期货日报》8 月 3 日。
- [52] 邹胜、喻华丽和王海, 2008: 《技术驱动交易所变革——纳斯达克、纽交所交易系统最新发展的启示》[R], 深圳证券交易所研究报告, 4 月。