



张玉敏

Tel:0755-83753914

Email: zym@wkqh.cn

深圳福田区益田路 6009 号  
新世界中心 48 层

## L/PVC 套利量化分析与程式优化

### 报告摘要:

- ◆ L/PVC 产业链关联性使二者具备套利基础
- ◆ L/PVC 期价序列进行量化检验证实统计套利具备可行性
- ◆ 运用普通最小二乘法、程序化参数遍历测试等方式确定最终系统模型

### 风险提示:

本程序化系统从统计套利角度出发，在比价序列具备正态性的前提下，通过在历史数据的样本上对参数进行遍历实验，将实验中表现最优的策略，并视为系统最优方案。此类方法得到的最优方案，其长期有效性在业内尚存分歧，我们对系统不做盈利保证，设计思路仅供研究交流。

## § 1 L/PVC 套利理论基础

从套利机制分类，可将商品期货套利划分为两种套利类型：内因套利和关联套利。所谓关联套利是指套利对象之间没有必然的内因约束，但价格受共同因素所主导，但受影响程度不同，通过两种对象对同一影响因素表现不同而建立的套利关系称之为关联套利。属于关联套利范畴的套利交易有：

- (1) 农产品跨品种套利（如玉米与小麦之间、不同油脂类品种之间）；
- (2) 基本金属跨品种套利（如铜、铝、锌之间的套利）；
- (3) 金融衍生品跨市场跨品种套利（如不同国家的股票指数套利）。

下文将对同是石油化工品种的 LLDPE、PVC 之间的关联套利进行量化分析。

LLDPE、PVC 二者同为石油化工的下游品种。如图 1 所示，LLDPE 的生产链条是：原油→石脑油→乙烯→LLDPE；虽然国内 PVC 生产以电石法为主，但进口 PVC 也是着供应链中重要的一环，国际上乙烯法的 PVC 价格变化也将传导和带动国内价格产生相应的变动。如图 2 所示，国际上乙烯法 PVC 的生产链是：原油→石脑油→乙烯→PVC。

图 1 LLDPE 生产工艺流程图

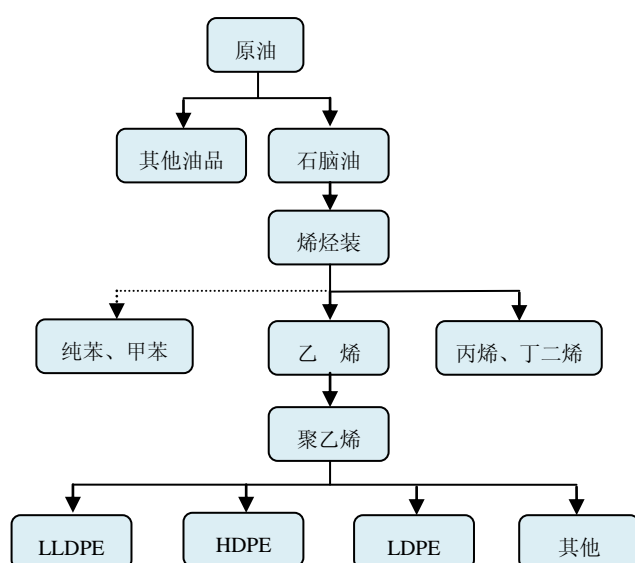
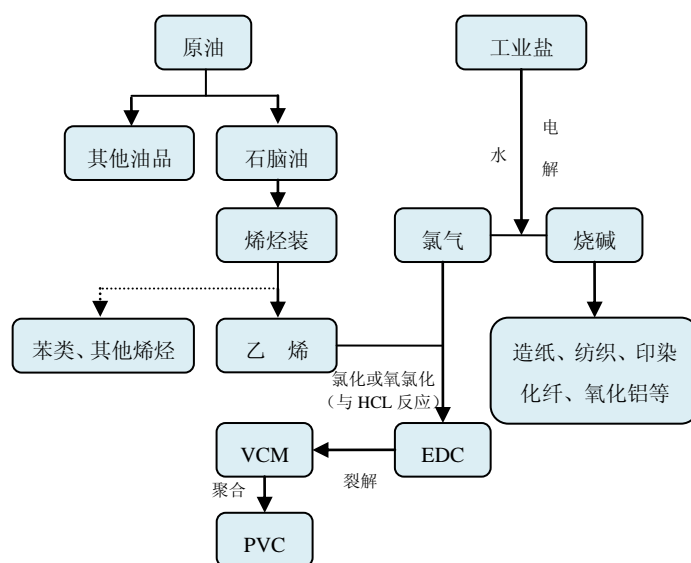


图 2 乙烯法 PVC 生产工艺流程图



LLDPE 与 PVC 产业链在乙烯这一环节紧紧联系在一起。数据显示：生产 1 吨 PVC 理论上需要消耗 0.5 吨乙烯，乙烯约占 PVC 生产成本的 60%，而生产 1 吨 LLDPE 理论上需要消耗 1 吨乙烯，乙烯约占 LLDPE 生产成本的 87%。

LLDPE 与 PVC 的下游用途在部分领域也具有重合性（见表 1）。从国内 LLDPE 的消费情况分析，薄膜消费仍占统治地位，LDPE/LLDPE 产品中约有 77% 用于薄膜，农膜的消费占据了 22% 的份额；PVC 则主要应用于电线电缆及各种用途的膜等产品为主的软制品，和以门窗、各种型材和管材、硬片、瓶等产品为代表的硬制品。最值得注意的是，与 LLDPE 一样，薄膜也为 PVC 的消费领域，约占其消费量的 12% 左右，宽幅的透明薄膜可以建造温室和塑料大棚，或者用作地膜。

表 1 LLDPE 与 PVC 各类用途消费比例

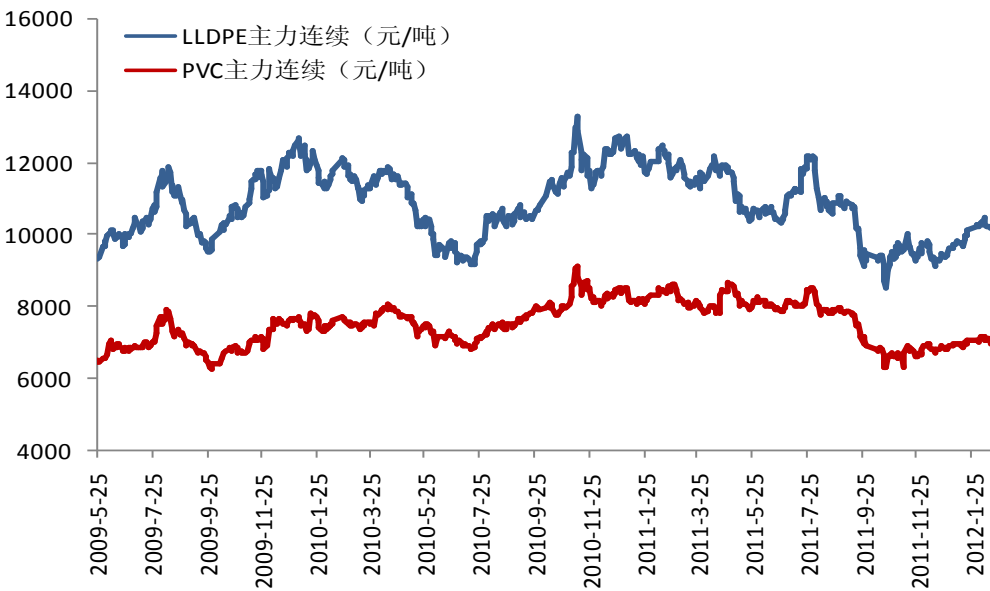
PE 制品	用途	消费比例%	PVC 制品	用途	消费比例%	合计
LLDPE /LDPE	农膜	22.4	软制品	鞋及鞋底材料	5.2	40.8
	包装膜	49		人造革	6.0	
	特殊包装膜	5.4		薄膜	12.0	
	电线电缆	2.4		电缆料	7.0	
	注塑制品	9.6		地板革、壁纸材料	2.1	
	管材	3.3		其他	8.5	
	涂层制品	4.7	硬制品	管材	13.3	59.2
	其他	3.2		管件	2.3	
	合计	100		型材、门窗	22.9	
				硬片、板材及其他	9.0	
				其他	11.7	

数据来源：国家统计局

图 3 所示为 LLDPE 与 PVC 自 2009 年 5 月 25 日以来的期货价格走势。从图中我们大致可以看出，因两者产业链上下游存在的相关性，其价格变动趋势基本相同，表现为大趋势上同升同降。

以上属性均是 PVC 和 LLDPE 的套利交易的理论基础，下文将通过量化分析，深入寻找两者内在的联动关系，并用程序化参数遍历的方法为交易策略进行优化定型。

图 3 LLDPE 与 PVC 期货价格走势



数据来源：DCE 五矿期货研究所整理

## § 2 L/PVC 套利量化分析

### 2.1 相关性检验

基于上一节的基础分析，我们对 LLDPE 与 PVC 期价序列进行系统性量化分析。首先，对 2009 年 5 月 25 日至 2012 年 2 月 15 日二者的样本序列做相关性检验。表 2 所示即为相关性检验结果，可以看到，LLDPE 和 PVC 相关系数为 0.788453，该值越趋近 1，说明线性正相关性越强。0.788453 属于较高水平，证明二者期价有较高的同向性，可以进一步搜寻其定量联系。

Sample: 5/25/2009 2/15/2012

Included observations: 663

Covariance		
Correlation	L	PVC
L	901037.9 1.000000	
PVC	440301.1 <b>0.788453</b>	346102.6 1.000000

### 2.2 格兰杰因果关系检验

在验证 LLDPE 与 PVC 期价存在因果关系之前，按数学原理，我们必须检验其对数序列平稳性，即单位根检验。

#### (1) 单位根检验

对 LLDPE 期价序列进行对数运算后，得到新序列 LNL，其单位根检验结果如下：

		t-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-27.62855	0.0000	
Test critical values:	1% level	-2.568465		
	5% level	-1.941303		
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LNL(-1))	-1.072605	0.038822	-27.62855	0.0000
Durbin-Watson stat		1.990327		

对 PVC 期价序列进行对数运算后，得到新序列 LNV，其单位根检验结果如下：

		t-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-26.84190	0.0000	
Test critical values:	1% level	-2.568465		
	5% level	-1.941303		
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LNV(-1))	-1.044155	0.038900	-26.84190	0.0000
Durbin-Watson stat		1.996326		

可以看到两个新序列 DW 统计值均接近 2，Prob 均小于 0.05，并且单整阶数相同，因而接下来可以进一步进行协整检验。

## (2) Jonhansen 协整检验

将 LNL 与 LNV 两个新序列导入后，其 Jonhansen 协整检验结果如下：

Hypothesized		Trace	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None *	0.013602	<b>16.66001</b>	<b>15.49471</b>	0.0332
At most 1 *	0.011556	<b>7.648429</b>	<b>3.841466</b>	0.0057

得到临界值 15.49471 和 3.841466 均小于迹统计量，协整关系成立。

## (3) 格兰杰因果关系检验

最后，格兰杰因果关系法显示，LNL和LNV只存在单方向上的因果关系，其结果不尽完美，但仍然确认了套利策略在统计上具备可行性。

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
<b>LNL does not Granger Cause LNV</b>	661	2.94331	<b>0.0534</b>
<b>LNV does not Granger Cause LNL</b>		4.24961	<b>0.0147</b>

### § 3 程序化系统设计及优化定型

上节中的量化检验，为我们提出套利策略提供了数理依据。

接下来，我们需要确定程序下单手数配比、系统承载资金上限、开平仓条件等交易要素，以完善程序化交易系统。

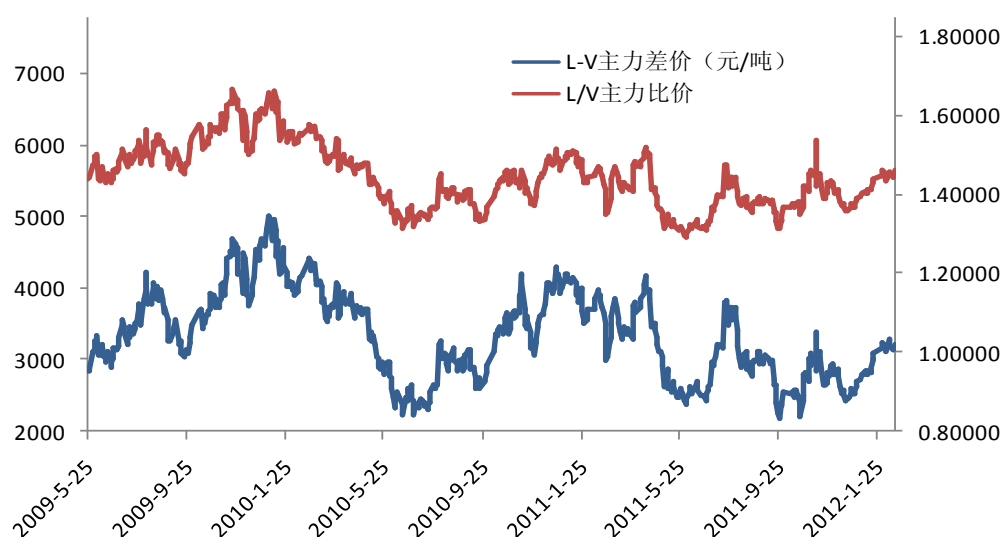
#### 3.1 程序下单手数配比：双边波动性对称原理

确定 L/PVC 双边下单手数配比，是程序化系统设计的第一步。

目前投资者习惯用双边最新价格比值，或者差值来确定下单手数配比（见图 4），实质上这样得出的结果只是科学配比值的近似值。

下单配比原则是，资金入市后，多空双边波动性趋近，即：波动率对称。

图 4 L/PVC 比价、差价序列



数据来源：DCE 五矿期货研究所整理

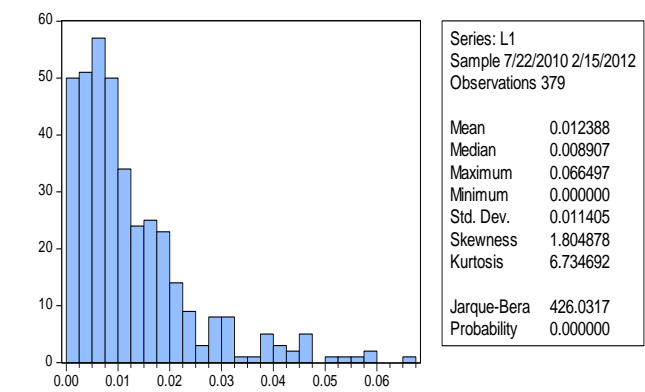
依据波动性对称原则，我们算出 LLDPE 期价的波动率数学期望值约为 0.0124（见图 5），而 PVC 期价的波动率数学期望值约为 0.009（见图 6），二者相除约等于 1.4。

基于这一结果，我们将程序 L/PVC 双边下单配比确定为（表 2）：

表 2 L/PVC 交易手数配比

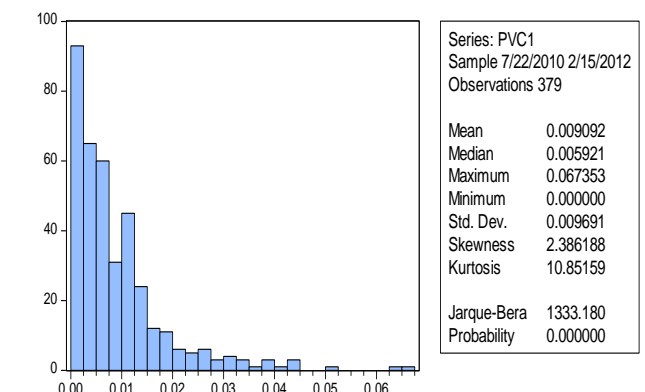
品种	波动率匹配
L : PVC	5: 7

图5 LLDPE 期价波动性



数据来源：五矿期货研究所

图6 PVC 期价波动性



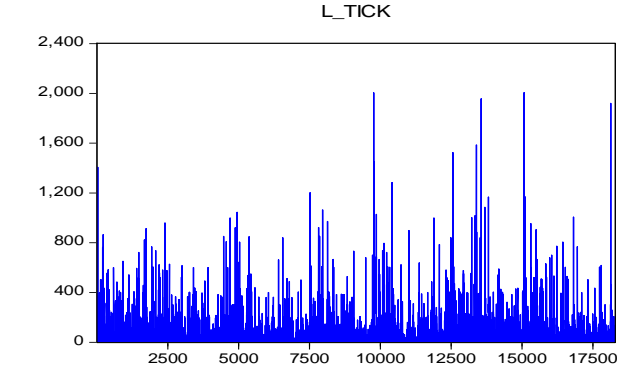
数据来源：五矿期货研究所

3.2 程序化系统可承载的资金预估：流动性风险控制

能否短时间内完成双边成交，是所有套利方案实践应用中必须考虑的问题，否则下单量过大、程序加载的合约不活跃等问题将直接导致交易滑价严重、甚至“瘸腿”（只有一边成交）。

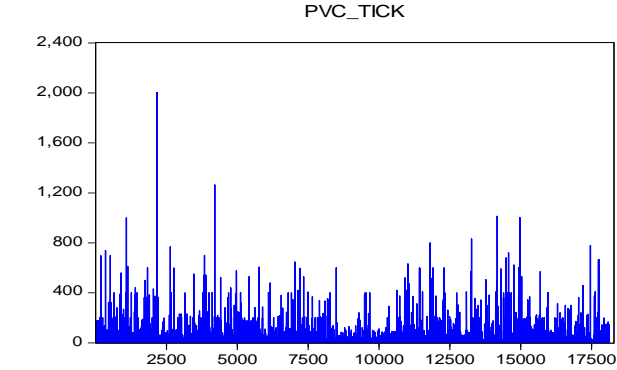
通过分析 L 和 PVC 每隔 250ms 报价数据（见图 7、图 8），我们发现在市场流动性最差的时候，L 和 PVC 每隔 250ms 最低成交量 2 手。

图7 L/TICK（level2 周期约为 250ms）成交量分布



数据来源：五矿期货研究所

图8 PVC/TICK（level2 周期约为 250ms）成交量分布



数据来源：五矿期货研究所

因本程序持仓周期定位为中长线周期，进出场时完成成交的时间限制可以适当放宽，这里我们将每次进出场完成全部交易时限设定为 10 秒钟（表 3）：

表3 假设市场流动性极端低时的成交量

周期 /毫秒	极端低流动性下 单边成交量 /手
250	2
1000	8
10000	80

可计算出在保证 10 秒钟内所有挂单全部成交、极端低流动性行情出现的条件下，程序仍可触发约 11 对双边下单，即：55 手 LLDPE 和 77 手 PVC，假设保证金比例为 15%，则可承载资金约为（表 4）：

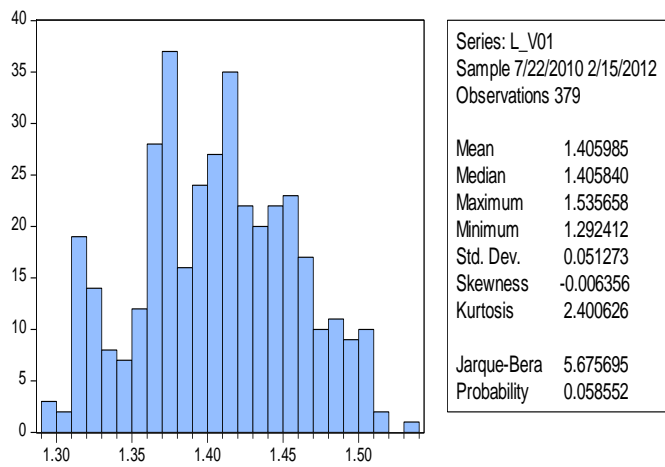
表 4 市场流动性极端低时可承载的资金量

品种	完全成交时限	保证金资金量
LLDPE	10s	12000 x 5 x 55 x 15%=495000 元
PVC	10s	7200 x 5 x 77 x 15%=415800 元
合计		910800 元

3.3 程序化系统参数遍历与普通最小二乘法(OLS)优化

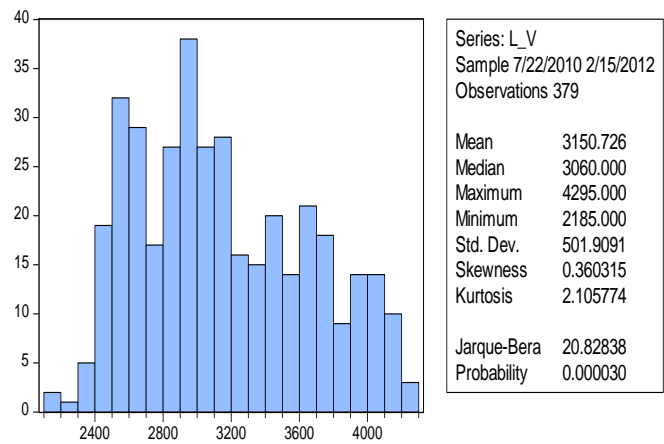
有了以上分析，我们还需要确定套利程序的开平仓相关参数。分析 L、PVC 的比价、差价序列概率分布图（图 9、图 10），我们发现 L/PVC 比价的概率期望值为 1.4，与我们前面 5：7 的手数配比是吻合的（7/5=1.4）；概率分布图 Prob=0.058，大于临界值 5%；偏度值 Skewness=-0.006356，处于中值 0 值附近，且反映出概率分布略利好于空 L 多 PVC 的交易方向；不过峰度 Kurtosis=2.400626，此值不够接近于 3，表明比价分布集中度略逊。由于在比价分布图形上 Prob>5% 正态性成立，从统计角度数据已经反映出了比价回归的内在逻辑，我们可将程序加载在比价图上。

图 9 L/PVC 比价序列具备正态性，数理回归逻辑成立



数据来源：五矿期货研究所

图 10 L-PVC 差价序列概率分布图



数据来源：五矿期货研究所

接下来，我们编写程序雏形，并在佣金达 4%%、最高滑点达 5 个最小变动价的恶劣假设条件下，开始对参数进行遍历回测（见表 5）。

表 5 市场流动性极端低时可承载的资金量

测试时间范围	参数定义	参数名	参数遍历区间
2009/05/25 -2012/2/15	空 L 多 PVC 开仓比价	Numeric ArbShrinkOpen	1.46-1.66
	空 L 多 PVC 平仓比价	Numeric ArbShrinkExit	1.26-1.46
	多 L 空 PVC 开仓比价	Numeric ArbSpreadOpen	1.26-1.42
	多 L 空 PVC 平仓比价	Numeric ArbSpreadExit	1.42-1.66

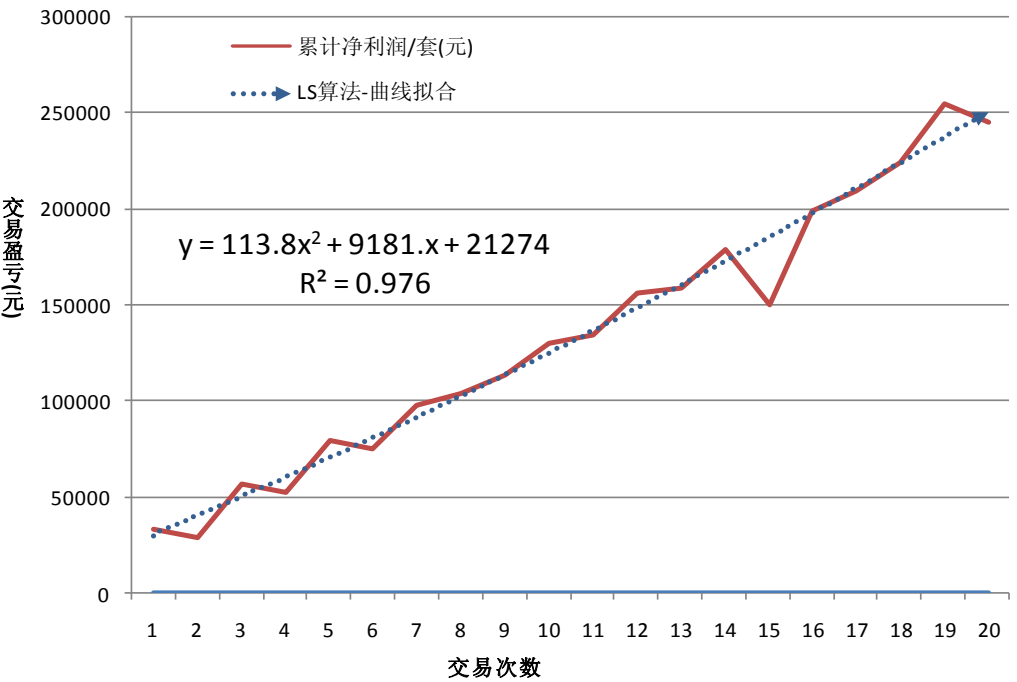


表 6 参数组合 B 程序演练记录

序列	类型	商品	开仓时间	开仓价格	平仓时间	平仓价格	手	佣金	净利	累计净利
1	空头	19888	2010-3-29 9:00	11615	2010-5-25 14:00	10270	5	218.85	33406.15	33406.15
2	多头	v9888	2010-3-29 9:00	7590	2010-5-25 14:00	7460	7	210.7	-4760.7	28645.45
3	多头	19888	2010-6-7 9:00	9425	2010-8-3 13:00	10565	5	199.9	28300.1	56945.55
4	空头	v9888	2010-6-7 9:00	7120	2010-8-3 13:00	7260	7	201.32	-5101.32	51844.23
5	多头	19888	2010-9-16 9:00	10440	2010-10-25 10:00	11550	5	219.9	27530.1	79374.33
6	空头	v9888	2010-9-16 9:00	7790	2010-10-25 10:00	7920	7	219.94	-4769.94	74604.39
7	空头	19888	2010-12-24 9:00	12735	2011-2-23 10:00	11800	5	245.35	23129.65	97734.04
8	多头	v9888	2010-12-24 9:00	8415	2011-2-23 10:00	8585	7	238	5712	103446.04
9	多头	19888	2011-2-25 9:00	11605	2011-3-7 10:00	12005	5	236.1	9763.9	113209.94
10	空头	v9888	2011-2-25 9:00	8715	2011-3-7 10:00	8220	7	237.09	17087.91	130297.85
11	空头	19888	2011-4-12 11:00	12065	2011-4-28 11:00	11885	5	239.5	4260.5	134558.35
12	多头	v9888	2011-4-12 11:00	7985	2011-4-28 11:00	8620	7	232.47	21992.53	156550.88
13	多头	19888	2011-5-3 10:00	11725	2011-7-19 9:00	11825	5	235.5	2264.5	158815.38
14	空头	v9888	2011-5-3 10:00	8630	2011-7-19 9:00	8045	7	233.45	20241.55	179056.93
15	多头	19888	2011-8-8 13:00	10945	2011-11-4 10:00	9780	5	207.25	-29332.2	149724.68
16	空头	v9888	2011-8-8 13:00	8070	2011-11-4 10:00	6665	7	206.29	48968.71	198693.39
17	空头	19888	2011-11-10 10:00	9690	2011-11-18 9:00	9255	5	189.45	10685.55	209378.94
18	多头	v9888	2011-11-10 10:00	6405	2011-11-18 9:00	6825	7	185.22	14514.78	223893.72
19	多头	19888	2011-12-15 9:00	9025	2012-1-31 11:00	10270	5	192.95	30932.05	254825.77
20	空头	v9888	2011-12-15 9:00	6770	2012-1-31 11:00	7040	7	193.34	-9643.34	245182.43

数据来源：五矿期货研究所

图 11 参数组合 B 净利润累计图



数据来源：五矿期货研究所

程序经过参数遍历后，得到多个较好的参数组合，其中包括每 1 组套利净利润高达 260629.63 元的 A 组（见表 7）：

表 7 参数组合 A：净利润最高

测试时间范围	参数定义	参数名	参数遍历区间
2009/05/25 -2012/2/15	空 L 多 PVC 开仓比价	Numeric ArbShrinkOpen	1.505
	空 L 多 PVC 平仓比价	Numeric ArbShrinkExit	1.38
	多 L 空 PVC 开仓比价	Numeric ArbSpreadOpen	1.36
	多 L 空 PVC 平仓比价	Numeric ArbSpreadExit	1.44

以及在普通最小二乘法（OLS）下得到的线性耦合程度、即决策系数  $R^2$  最大的 B 组（见表 6、表 8）：

表 8 参数组合 B：线性耦合程度  $R^2$ （OLS）最大

测试时间范围	参数定义	参数名	参数遍历区间
2009/05/25 -2012/2/15	空 L 多 PVC 开仓比价	Numeric ArbShrinkOpen	1.515
	空 L 多 PVC 平仓比价	Numeric ArbShrinkExit	1.38
	多 L 空 PVC 开仓比价	Numeric ArbSpreadOpen	1.34
	多 L 空 PVC 平仓比价	Numeric ArbSpreadExit	1.42

最后，我们从系统稳定性、交易安全性等角度出发，选用普通最小二乘法（OLS）下最优表现的 B 组参数，其耦合方程式为（请见图 11、式 1）：

$$Y = 113.8 \cdot X^2 + 9181 \cdot X + 21274$$

（式 1）

至此，程式系统基本框架形成，后续我们还将在系统中引入浮动止损算法，在实时行情中进行演练，并持续改进。

风险提示：

本程序化系统从统计套利角度出发，在比价序列具备正态性的前提下，通过在历史数据的样本上对参数进行遍历实验，将实验中表现最优的策略，并视为系统最优方案。此类方法得到的最优方案，其长期有效性在业内尚存分歧，我们对系统不做盈利保证，设计思路仅供研究交流。

## 免责声明

如果您对本报告有任何意见或建议，您可在我们的网站（[www.wkqh.cn](http://www.wkqh.cn)）论坛上留言，或致信于研究所信箱（[research@wkqh.cn](mailto:research@wkqh.cn)），欢迎您及时告诉我们您对本刊的任何想法！

本刊所有信息均建立在可靠的资料来源基础上。我们力求能为您提供精确的数据，客观的分析和全面的观点。但我们必须声明，对所有信息可能导致的任何损失概不负责。

本报告并不提供量身定制的投资建议。报告的撰写并未虑及读者的具体财务状况及目标。五矿期货研究团队建议投资者应独立评估特定的投资和战略，并鼓励投资者征求专业财务顾问的意见。具体的投资或战略是否恰当取决于投资者自身的状况和目标。

**版权声明：**本报告版权为五矿期货有限公司所有。本刊所含文字、数据和图表未经五矿期货有限公司书面许可，任何人不得以电子、机械、影印、录音或其它任何形式复制、传播或存储于任何检索系统。未经许可，复制本刊任何内容皆属违反版权法行为，可能将受到法律起诉，并承担与之相关的所有损失赔偿和法律费用。

## 五矿期货分支机构

### 深圳总部

深圳市福田区益田路6009号新世界中心48层

电话：400-888-5398    0755-23982090

传真：0755-82078340    82078331

邮编：518026

E-mail: [wkqh@wkqh.cn](mailto:wkqh@wkqh.cn)

### 深圳总部业务一部

电话：0755- 83753931

E-mail: [hr@wkqh.cn](mailto:hr@wkqh.cn)

### 深圳总部业务三部

电话：0755- 83752356

E-mail: [wjl@wkqh.cn](mailto:wjl@wkqh.cn)

### 金融事业二部

电话：0755-23946589

E-mail: [zyl@wkqh.cn](mailto:zyl@wkqh.cn)

### 郑州营业部

郑州市郑东新区CBD商务外环路13号绿地峰会天下2207室

电话：0371-69102803    传真：0371-65628781

邮编：450018    E-mail: [zhengzhou@wkqh.cn](mailto:zhengzhou@wkqh.cn)

### 深圳营业部

深圳市福田区上步南路锦峰大厦12B

电话：0755-83752310

传真：0755-83752312

邮编：518031

E-mail: [shenzhen@wkqh.cn](mailto:shenzhen@wkqh.cn)

### 深圳总部研究所

深圳市福田区益田路6009号新世界中心48层

电话：0755-23982260

传真：0755-82078340    82078331

邮编：518026

E-mail: [research@wkqh.cn](mailto:research@wkqh.cn)

### 深圳总部业务二部

电话：0755-83002942

E-mail: [hs@wkqh.cn](mailto:hs@wkqh.cn)

### 深圳总部业务四部

电话：0755- 82895237

E-mail: [xsj@wkqh.cn](mailto:xsj@wkqh.cn)

### 上海营业部

上海浦东新区松林路 300 号期货大厦 2101

电话：021-68401485    传真：021-68401620

邮编：200122    E-mail: [shanghai@wkqh.cn](mailto:shanghai@wkqh.cn)

### 北京营业部

北京市东城区东环广场A座6层6F

电话：010-64185203    传真：010-64185842

邮编：100027    E-mail: [beijing@wkqh.cn](mailto:beijing@wkqh.cn)

### 昆明营业部

昆明市北京路1088号领域时代大厦1302室

电话：0871-3338262

传真：0871-3331782

邮编：650224

E-mail: [kdz@wkqh.cn](mailto:kdz@wkqh.cn)