

利率曲线：可预测与不可预测的成分

宏观固收量化系列研究之（一）

东方证券
ORIENT SECURITIES

报告发布日期

2019 年 12 月 08 日

证券分析师

朱剑涛

021-63325888*6077

zhujiantao@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860515060001

研究结论

- 利率曲线是投资者交易出来的价格，期限结构中包含他们对未来经济增长、通胀、资金面等的预期信息，可以提取出来用于利率曲线变动的预测
- 即期利率曲线对债券定价更具价值，但它只是部分可观测，需要借助数学方法从债券市场成交价格估算出整条利率曲线。我们建议采用 Nelson-Siegel 方法对利率曲线建模，这样可通过三个参数捕捉绝大部分利率曲线里的信息。
- 国债即期利率曲线前三个主成分分别解释整个利率曲线波动的 89.3%、9.4% 和 0.7%，对应利率曲线的平均利率水平、斜率和曲率，也和 NS 模型的三个参数相对应。
- 国内市场由于固收证券品种缺乏，投资者没有工具参与套利，债券市场价格离资产定价理论里常用的无套利假设的状态距离较远。如果用无套利的利率期限结构模型，例如 G-ATSM 对利率曲线建模，模拟拟合误差是美国市场的几十倍，短端利率差距尤为明显，无套利类模型在目前国内市场的实用性有限。
- 投资者可以预测 NS 模型三个参数的变动来得到未来整条利率曲线，对债券组合进行定价；也可以预测零息债券的风险溢价（BRP），再用零息债券复制利率债投资组合的方式来研判组合的未来走势。
- 对国债和国开债的历史数据实证发现：利率曲线未来三个月、六个月的短期变化很难预测，未来一年的长线变动可以部分预测；非线性的机器学习模型预测效果强于 IVX 线性模型；基于现实世界概率测度的 VAR 模型好于风险中性世界下的 G-ATSM 模型。
- 国债和国开债未来三个月、六个月的短期 BRP 也不可预测，可能是由于计算 BRP 用到了三个月、六个月的短端利率，而国内市场短期产品较少，由多项式方法拟合出来的短端利率可靠性较差。一年期的 BRP 可以较准确预测。
- 报告尝试用几个关键期限零息债券分别复制中债国债 1-3 年、中债国债 3-5 年和中债国债 5-7 年总财富指数，实现组合久期与凸性的匹配，再通过预测 BRP 来预测指数未来一年的收益；实证预测效果总体良好，但在类似 2013 钱荒的事件性冲击时，预测偏差较大。
- 如需做债券组合的短线定量预测，找到一个市场化的可靠短端利率是当前迫切所需，我们后续研究将继续跟进。

风险提示

- 量化模型失效风险
- 市场极端环境的冲击

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

目 录

一、 利率债市场概览	4
二、 利率曲线构建	6
2.1 构建方法	6
2.2 即期利率统计特征	7
2.3 Nelson-Siegel 模型	10
2.4 高斯仿射模型	12
三、 利率曲线预测	14
3.1 预测目标的选择	14
3.2 预测模型与评判标准	15
3.3 利率曲线预测实证结果	16
3.4 BRP 预测实证结果	19
3.5 从 BRP 到投资组合分析	20
四、 总结	22
风险提示	22
附录	23
附录 1. 债券投资者投资规范	23
附录 2. 债券市场各品种存量统计	24
附录 3. 各期限国债年度发行与交易统计	25
附录 4. 各期限国开债年度发行与交易统计	26
附录 5. 国债利率曲线中短线变动预测	27
附录 6. 国开债利率曲线中短线变动预测	29
附录 7. 国开债 BRP 预测	31
参考文献	32

图表目录

图 1: 国债和国开债上市后单只券的月度日均成交额衰减(2011.01-2016.12)	5
图 2: 历史平均利率曲线(2007.01-2019.09)	8
图 3: 国债收益率曲线前三主成分数值变化	9
图 4: 国开债收益率曲线前三主成分数值变化	9
图 5: 国债收益率曲线前三主成分数值变化	9
图 6: 国开债收益率曲线前三主成分数值变化	9
图 7: 中债利率曲线与 NS 模型拟合曲线	10
图 8: NS 模型参数随时间的变化(2007.01-2019.09)	11
图 9: 无套利曲线与中债即期利率曲线的平均绝对值偏差(bps)	13
图 10: 国开债十年期即期利率未来一年变动预测结果对比	18
图 11: IVX 模型预测的持有期为 12 个月的 $rx(5)$	20
图 12: 国债总财富(1-3 年)指数复制组合权重	20
图 13: 国债总财富(5-7 年)指数复制组合权重	20
图 14: 国债总财富指数预测结果	21
表 1: 各债券品种的年度发行与交易量 (截至 2019.09.30)	4
表 2: 各国央行采用的利率曲线构建方法	7
表 3: 国债和国开债关键利率统计指标(2007.01-2019.09)	8
表 4: 国债利率曲线一年后变动的样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)	17
表 5: 国开债利率曲线一年后变动的样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)	18
表 6: 国债 BRP 样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)	19
表 7: 债券市场投资者投资规范	23
表 8: 各债券品种存量统计 (2019.09.30)	24
表 9: 各期限国债的年度发行与交易量 (截至 2019.09.30)	25
表 10: 各期限国开债的年度发行与交易量 (截至 2019.09.30)	26
表 11: 国债利率曲线三个月后变动的样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)	27
表 12: 国债利率曲线六个月后变动的样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)	28
表 13: 国开债利率曲线三个月后变动的样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)	29
表 14: 国开债利率曲线六个月后变动的样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)	30
表 15: 国开债 BRP 样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)	31

一、利率债市场概览

在前期与我们东证衍生品研究院合作的专题报告《中国债券市场历史发展与现状 2018.09.28》中仔细回顾了中国债券市场的历史发展，包括各品种诞生的背景和变迁、市场结构、市场参与者构成、投资者限制、发行制度、不同交易所的交易制度、结算和监管制度等。本节主要分析展示一些报告研究中涉及的利率债市场基本统计数据。

从 1981 年财政部发行 48.66 亿十年期国库券算起，国内债券市场历史有近四十年，进入 21 世纪后发展迅速。图 1 统计了各个债券品种近些年每年的发行和交易额。从发行量看，得益于中小银行的规模扩张需求和会计制度红利，同业存单从 2015 年出现并快速增长，目前已是市场上发行规模最大的品种，发行量大于金融债、地方债、国债之和；从交易量看，金融债交易最为活跃，截至 2019.09.30，其存量和国债相当，在 15 至 16 万亿之间（附录 2），但今年以来的成交量是国债的三倍多，达到 73.18 万亿，超过了 2018 年全年的 52.57 万亿。

表 1：各债券品种的年度发行与交易量（截至 2019.09.30）

发行量(万亿)	国债	地方政府债	央票	同业存单	金融债	企业债	公司债	中期票据	短期融资券	定向工具	国际机构债	政府支持机构债	资产支持债券	可转债	可交换债	可分离债	债券发行总额
2009	1.62	0.20	3.82	0.00	1.38	0.33	0.07	0.69	0.46	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	8.69
2010	1.78	0.20	4.24	0.00	1.36	0.28	0.05	0.50	0.69	0.00	0.00	0.19	0.00	0.07	0.00	0.00	9.35
2011	1.54	0.20	1.41	0.00	2.32	0.25	0.13	0.73	1.01	0.09	0.00	0.10	0.00	0.04	0.00	0.00	7.83
2012	1.44	0.25	0.00	0.00	2.65	0.65	0.26	0.86	1.42	0.38	0.00	0.15	0.03	0.02	0.00	0.00	8.10
2013	1.69	0.35	0.54	0.03	2.68	0.48	0.17	0.70	1.61	0.57	0.00	0.15	0.03	0.05	0.00	0.00	9.05
2014	1.77	0.40	0.00	0.90	3.57	0.70	0.14	0.98	2.18	1.03	0.00	0.15	0.33	0.03	0.00	0.01	12.19
2015	2.11	3.84	0.00	5.30	4.28	0.34	1.03	1.27	3.28	0.88	0.00	0.18	0.61	0.01	0.00	0.03	23.17
2016	3.07	6.05	0.00	13.02	4.61	0.59	2.79	1.14	3.37	0.60	0.01	0.14	0.89	0.02	0.00	0.07	36.36
2017	4.00	4.36	0.00	20.17	4.96	0.37	1.10	1.03	2.38	0.51	0.00	0.25	1.55	0.09	0.00	0.12	40.89
2018	3.67	4.17	0.00	21.10	5.25	0.24	1.66	1.70	3.13	0.55	0.01	0.25	2.01	0.08	0.00	0.05	43.85
2019.09	3.23	4.21	0.02	13.71	5.36	0.27	1.86	1.61	2.84	0.50	0.01	0.13	1.56	0.17	0.00	0.07	35.54

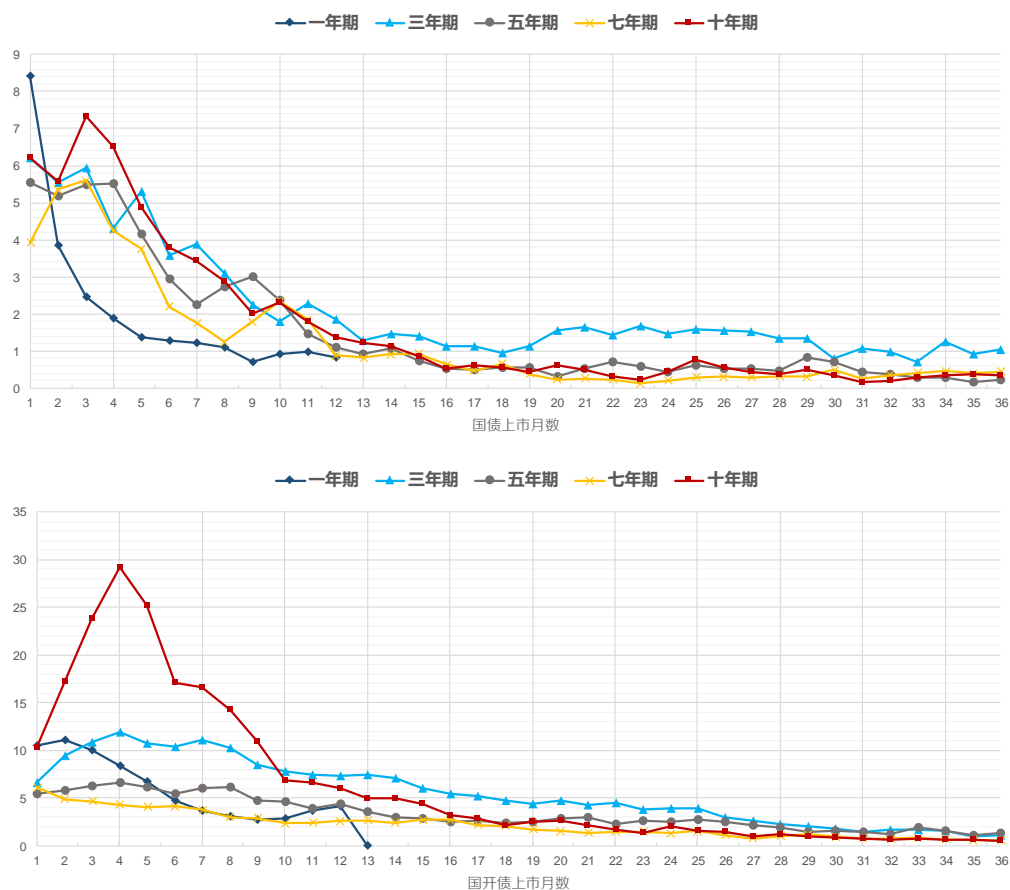
成交量(万亿)	国债	地方政府债	央票	同业存单	金融债	企业债	公司债	中期票据	短期融资券	定向工具	国际机构债	政府支持机构债	资产支持债券	可转债	可交换债	可分离债	债券成交总额
2009	4.01	0.11	13.97	0.00	17.87	2.02	0.03	5.95	2.52	0.00	0.00	0.28	0.00	0.06	0.00	0.05	46.89
2010	7.56	0.20	17.32	0.00	21.69	4.01	0.05	8.48	3.86	0.00	0.00	0.30	0.00	0.14	0.00	0.04	63.65
2011	8.57	0.66	11.80	0.00	19.12	4.94	0.06	12.28	5.12	0.00	0.02	0.43	0.00	0.21	0.00	0.04	63.25
2012	9.19	2.08	8.08	0.00	22.23	8.55	0.16	13.69	8.60	0.00	0.02	1.52	0.00	0.21	0.00	0.04	74.38
2013	5.56	0.23	1.05	0.00	12.92	6.99	0.23	8.27	4.89	0.00	0.03	0.72	0.00	0.49	0.00	0.05	41.43
2014	5.74	0.11	0.13	0.22	17.34	4.68	0.30	5.19	5.35	0.00	0.00	0.45	0.01	0.78	0.00	0.02	40.33
2015	9.71	0.27	0.63	4.20	41.05	6.72	0.37	9.24	11.80	0.00	0.00	0.75	0.02	0.81	0.04	0.01	85.61
2016	12.63	2.01	0.20	19.64	56.85	7.36	0.73	11.05	14.03	0.00	0.10	0.37	0.08	0.13	0.04	0.01	125.24
2017	12.02	0.84	0.00	35.83	32.76	2.73	0.97	6.31	6.46	0.49	0.10	0.26	0.17	0.22	0.09	0.00	99.26
2018	18.74	4.35	0.00	54.86	52.57	1.61	0.80	7.40	7.03	0.93	0.02	0.60	0.30	0.44	0.12	0.00	149.78
2019.09	22.78	8.15	0.00	39.21	73.18	1.07	0.53	7.11	6.59	1.15	0.02	0.87	0.44	1.17	0.10	0.00	162.37

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

本报告的研究对象是国债和金融债中交易最为活跃的国开债的利率期限结构，就这两个品种我们做了更详细的数据统计。附录 3 和附录 4 是各个期限国债和国开债不同年份的发行和交易量统计，可以看到期限 1、2、3、5、7、10 年的国债发行量最大，交易也最为活跃，分布也相对均匀；国开债的发行集中在 1、3、5、7、10 年期限上，交易则主要集中在 3、5、10 年期限上，十年期成交尤为活跃。

由于投机户对流动性的需求，“流通盘”较大的新券成交活跃度要明显好于配置户主导的旧券。下图分别统计了国债和国开债上市三年（36个月）内，每个月单个券的日均成交额，可以明显看到日均成交额随着上市时长逐渐衰减的趋势；国债上市一年后，国开债上市一年半后，成交额基本就进入长期低迷的区间窄幅震荡；与国债成交额的单调递减不同，国开债在上市3至6个月时，成交量高于上市初期，十年期国开表现尤为明显。

图 1：国债和国开债上市后单只券的月度日均成交额衰减(2011.01-2016.12)



资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

二、利率曲线构建

2.1 构建方法

债券的期限、票息条款多样，不同债券的价格没有可比性，更有可比性的是到期收益率；但是同样期限的债券，由于票息率、付息日设置的不同，到期收益率可能也不同，不具备唯一性，无法用于债券定价。能直接用于定价的是零息债券的到期收益率，也就是即期利率（spot rates）。

即期利率只是部分可观测的。对于国债而言，财政部在持续发行三个月、六个月和一年期的零息国债，2004 年时也曾发行过两年期零息国债；部分过了最后付息日，仍未到期的国债也可视作零息债券。如果这些债券有市场成交，其到期收益率即可观测得到；但这些能观测得点很零散，而且大多集中在一年期期限以内，更长期限的即期利率只能通过数值方法从付息债券中抽取出来。

初始的抽取方法是以可观测的短期即期利率为基础，用 bootstrap 方法计算远期即期利率，这在 Fabozzi(2015)的经典教材中有详细介绍。不过这种方法要求计算用到的债券的付息日和到期日都在一些固定的时间节点上，而实际上用于利率曲线计算的债券的付息日和到期日时间分布零散，需要用一些插值方法来获取固定节点上的数值再 bootstrap，选取何种插值方法有主观性。

Bootstrap 方法只能获取一些离散固定时间点的即期利率，而债券和其衍生品定价需要连续的利率曲线。通常做法是假设 t 时刻即期利率是期限 τ 的函数 $\eta(\tau; \theta)$ ， θ 为函数的参数；根据这条理论即期利率曲线，可以得到券池里所有债券的理论价格，它们是参数 θ 的函数；再用数值方法求解一个最优的 $\hat{\theta}$ ，使得观测到的理论价格和真实价格偏差最小，继而得到 t 时刻的利率曲线表达式 $\eta(\tau; \hat{\theta})$ ；拟合的目标除了债券价格，也可以是债券到期收益率。此类方法的缺点是，最优化问题一般不是凸问题，有多个局部最优解，数值求解对初始值的选取比较敏感。

函数表达式的主流选择有两种：三次多项式和 Nelson-Siegel 指数函数形式，具体可参考 BIS(2005)的技术文档。一般而言，三次多项式方法能拟合出的收益率曲线形态更多，局部细节好，但模型缺乏直观的经济含义，而且当期限 $\tau \rightarrow \infty$ 时，模型拟合的即期利率也将趋于无穷大，不符合经济理论；Nelson-Siegel 及其扩展的 Svensson 参数化模型，参数的经济含义明确，光滑性好，但会损失部分局部细节。**由于真实的即期利率不可完全观测，我们很难从理论上说哪个模型更好；可以考虑一些更实务的标准**，比方说，用不同模型构建即期利率曲线，给衍生品定价对冲，看哪个模型得到的对冲效果更好。

表 2 是 BIS(2005) 汇总的各国央行采用的利率曲线构建方法，可以看到北美国家比较偏好多项式样条方法，而欧洲国家则偏好 Nielson-Siegel 和 Svensson。国内最权威的中债利率曲线数据用的是 Hermite 三次多项式拟合，并对用到的结算价和双边报价中的异常值进行了剔除，但输入模型的剩余价格数据中还有不少是市场专家成员估值、业务人员自编和交易不活跃的柜台双边报价，不确定因素较多，有可能对利率曲线的定价能力产生影响，这点将在 2.4 节再探讨。

最后补充说明一点，利率债能够按照利率曲线把未来现金流折现方式进行定价的前提是，利率债可以本息剥离，套利交易将使其市场价格趋于折现模型定价；如果市场缺乏本息剥离的工具让投资者参与套利交易，债券市场价格有可能和折现模型定价产生较大偏离；不过此时折现模型仍是市场参与者做分析时的“估值中枢”，对投资组合的中长期价值研判有重要意义。

表 2：各国央行采用的利率曲线构建方法

Central bank	Estimation method	Minimised error	Shortest maturity in estimation	Adjustments for tax distortions	Relevant maturity spectrum
Belgium	Svensson or Nelson-Siegel	Weighted prices	Treasury certificates: > few days Bonds: > one year	No	Couple of days to 16 years
Canada	Merrill Lynch Exponential Spline	Weighted prices	Bills: 1 to 12 months Bonds: > 12 months	Effectively by excluding bonds	3 months to 30 years
Finland	Nelson-Siegel	Weighted prices	≥ 1 day	No	1 to 12 years
France	Svensson or Nelson-Siegel	Weighted prices	Treasury bills: all Treasury Notes: : ≥ 1 month Bonds: : ≥ 1 year	No	Up to 10 years
Germany	Svensson	Yields	> 3 months	No	1 to 10 years
Italy	Nelson-Siegel	Weighted prices	Money market rates: O/N and Libor rates from 1 to 12 months Bonds: > 1 year	No	Up to 30 years Up to 10 years (before Feb 2002)
Japan	Smoothing splines	Prices	≥ 1 day	Effectively by price adjustments for bills	1 to 10 years
Norway	Svensson	Yields	Money market rates: > 30 days Bonds: > 2 years	No	Up to 10 years
Spain	Svensson Nelson-Siegel (before 1995)	Weighted prices Prices	≥ 1 day ≥ 1 day	Yes No	Up to 10 years Up to 10 years
Sweden	Smoothing splines and Svensson	Yields	≥ 1 day	No	Up to 10 years
Switzerland	Svensson	Yields	Money market rates: ≥ 1 day Bonds: ≥ 1 year	No	1 to 30 years
United Kingdom ¹	VRP(government nominal)	Yields	1 week (GC repo yield)	No	Up to around 30 years
	VRP(government real/implied inflation)	Yields	1.4 years	No	Up to around 30 years
	VRP (bank liability curve)	Yields	1 week	No	Up to around 30 years
United States	Smoothing splines (two curves)	Bills: weighted prices	—	No	Up to 1 year
		Bonds: prices	≥ 30 days	No	1 to 10 years

资料来源：东方证券研究所 & BIS(2005)

2.2 即期利率统计特征

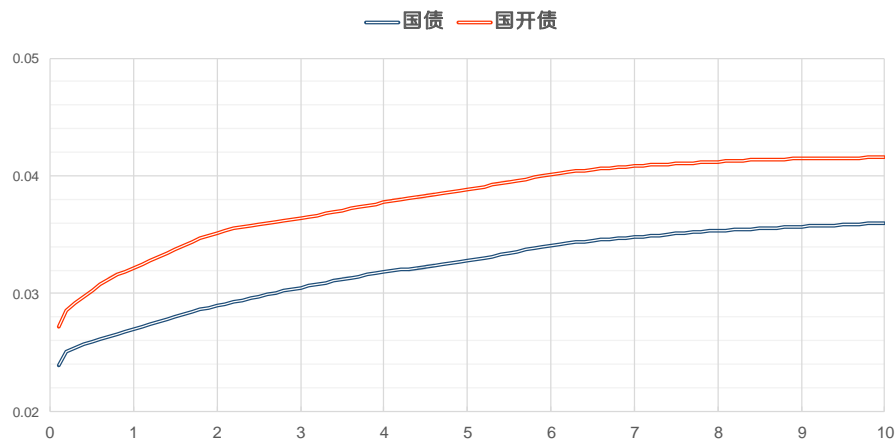
本节统计分析用到的是 2007.01.01-2019.09.30 间的中债即期利率曲线数据。国债和国开债关键利率的基本统计指标如表 3 所示，这里的“标准差”指的是利率月度变动的标准差（年化）。可以看到，即期利率随着期限的拉长，均值增大，波动减小，国开债长端利率波动明显高于国债。整个历史区间的平均利率曲线单调向上，国开债整体比国债即期利率平均高 50 bps 左右，反映了两税优惠和流动性的差异。

表 3：国债和国开债关键利率统计指标(2007.01-2019.09)

国债期限	0.25	1	3	5	7	10
均值	0.0252	0.0270	0.0305	0.0328	0.0348	0.0360
标准差	0.0101	0.0087	0.0071	0.0067	0.0063	0.0056
min	0.0080	0.0089	0.0124	0.0174	0.0214	0.0263
25%	0.0207	0.0226	0.0259	0.0292	0.0313	0.0330
50%	0.0257	0.0279	0.0305	0.0322	0.0346	0.0355
75%	0.0308	0.0328	0.0351	0.0365	0.0382	0.0390
max	0.0499	0.0416	0.0446	0.0449	0.0464	0.0469

国开债期限	0.25	1	3	5	7	10
均值	0.0289	0.0322	0.0364	0.0388	0.0408	0.0416
标准差	0.0108	0.0094	0.0083	0.0079	0.0075	0.0073
min	0.0104	0.0111	0.0150	0.0198	0.0244	0.0298
25%	0.0234	0.0261	0.0303	0.0340	0.0367	0.0373
50%	0.0290	0.0329	0.0368	0.0387	0.0405	0.0410
75%	0.0353	0.0391	0.0417	0.0428	0.0445	0.0456
max	0.0540	0.0541	0.0569	0.0573	0.0576	0.0577

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

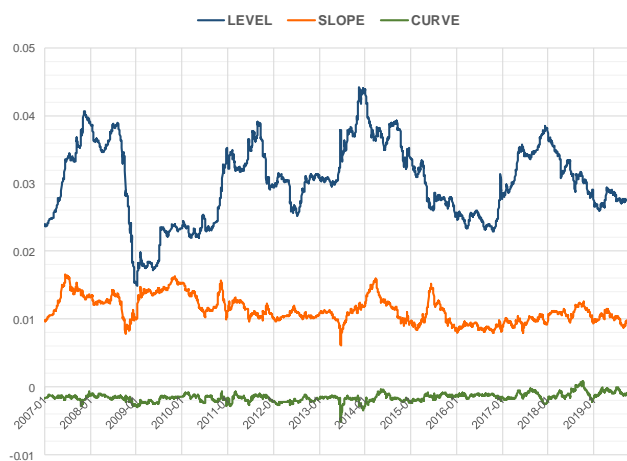
图 2：历史平均利率曲线(2007.01-2019.09)


资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

利率曲线是一条连续曲线，随时间的变化方式有无限多种，需要找到其中最主要的变动方式，最常用的方法是主成分分析，由 Litterman(1991)提出。这里我们对期限为 [0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] 的历史即期利率矩阵做了主成分分析，其第一、二、三主成分的历史走势和在各个期限上的系数如下图 3-图 6 所示。可以看到，第一主成分 LEVEL 在各个期限上的系数比较接近，近似等于所有利率的平均值，代表了利率曲线的平行移动；第二主成分 SLOPE 在长期限上系数为正，短期限上系数为负，有期限利差的含义，代表了利率曲线斜率的变化；第三主成分 CURVE 在中间期限系数为正，在短期限和长期限上系数为负，描述了曲线的曲度，代表利率曲线的曲率变化。三个主成

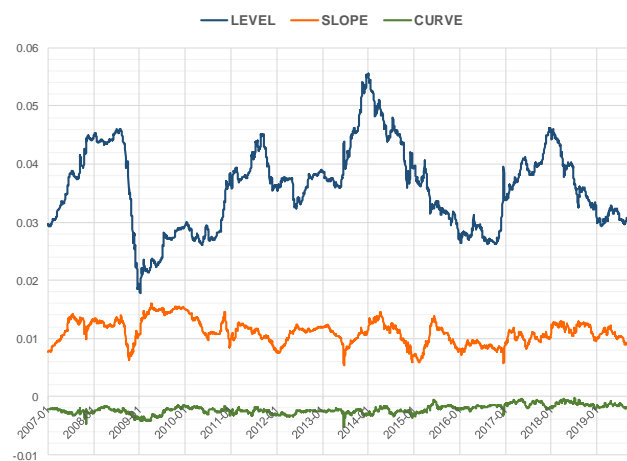
分别能解释国债即期利率曲线变动方差的 89.3%, 9.4% 和 0.7%, 加一起共解释 99.4%; 三个主成分能分别解释国开债即期利率曲线变动方差的 92.4%, 6.4%, 0.7%, 加一起共解释 99.5%。对比 Canabarro(1995)分析的 1986-1991 美国国债利率数据, 前三主成分分别能解释 85%, 10.3% 和 1.9% 的方差。主成分解释的方差占比和选取的期限、利率矩阵是否有做标准化处理有关。但总的来看, 平行移动是利率曲线的最主要变化, 其次是斜率变化, 曲率变化在国内的作用非常微弱, 能弄清这三者未来的走势, 基本上就完全确定了整条利率曲线的变化。不过需要注意的是, 从解释当期利率曲线的角度讲, 前三之后的主成分几乎没有什么信息含量; 但从预测角度讲, 比方说预测未来的债券风险溢价(bond risk premium), 后面的主成分里可能也包含有用信息(Cochrane (2005))。

图 3：国债收益率曲线前三主成分数值变化



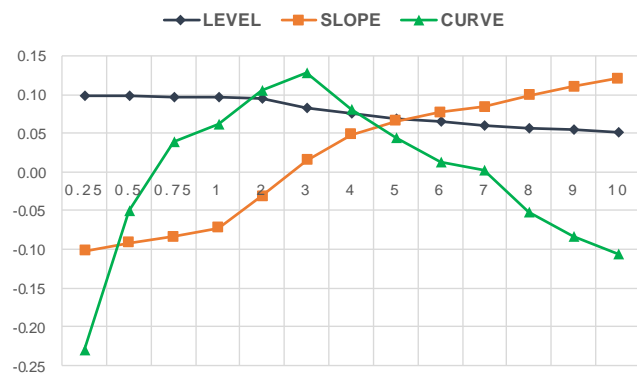
资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

图 4：国开债收益率曲线前三主成分数值变化



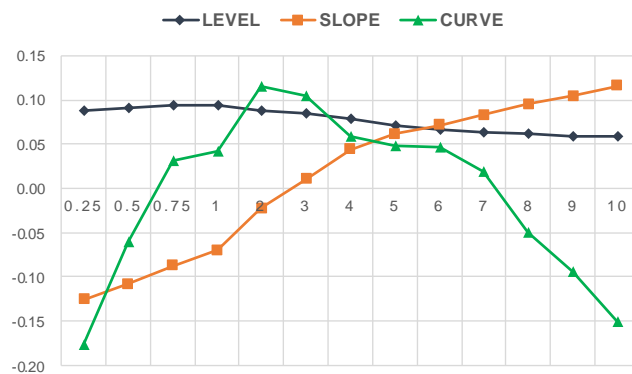
资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

图 5：国债收益率曲线前三主成分数值变化



资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

图 6：国开债收益率曲线前三主成分数值变化



资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

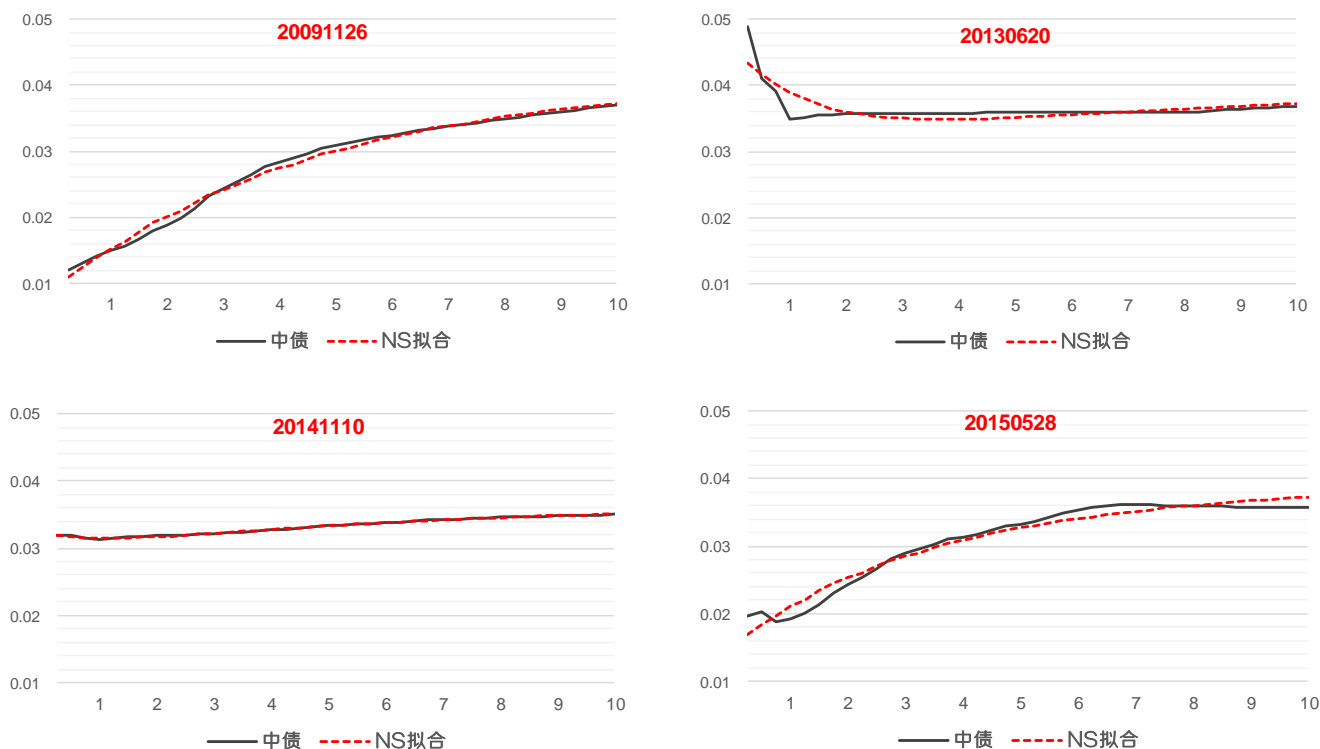
2.3 Nelson-Siegel 模型

传统实证分析里，如果要用到利率方面的信息，通常会选择一年期国债收益率和十年期减一年期的利差作为外生解释变量，但这样只用到了利率曲线上个别离散点的信息，利率曲线这个连续函数的剩余信息都被忽略。为了尽可能用到整条利率曲线的信息，我们报告里选择用 **Nelson-Siegel（简称 NS）** 模型对利率曲线建模。NS 模型原始假设是对远期利率建模，经过简单计算可得到 t 时刻的利率曲线表达式为：

$$y_t^{(\tau)} = a_t + b_t \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot \tau}}{\lambda \cdot \tau} + c_t \cdot e^{-\lambda \cdot \tau} \quad \dots \dots (1)$$

这里 τ 表示期限， $y_t^{(\tau)}$ 为对应的即期利率， $\{a_t, b_t, c_t, \lambda\}$ 是需要估计的参数。 λ 是和曲线形状有关的参数，如果从最优拟合角度讲，它也应该随着时间 t 改变，可以用 Grid Search 最大化回归方程 Rsquared 确定，但这样也增加了参数 $\{a_t, b_t, c_t\}$ 在时间序列上的波动。因此本文和 Diebold(2006) 一致，把 λ 固定为常数，牺牲部分模型拟合度。利率曲线 CURVE 因子在各个期限上的系数的最大值和 λ 取值有关，参考图 5、图 6，CURVE 因子在 2-3 年期限上的系数最大，因此我们这里取 $\lambda = 0.59776$ 。选定 λ 后，其余参数可以利用 t 时刻的中债即期利率数据做横截面线性回归估算得到。

图 7：中债利率曲线与 NS 模型拟合曲线



资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

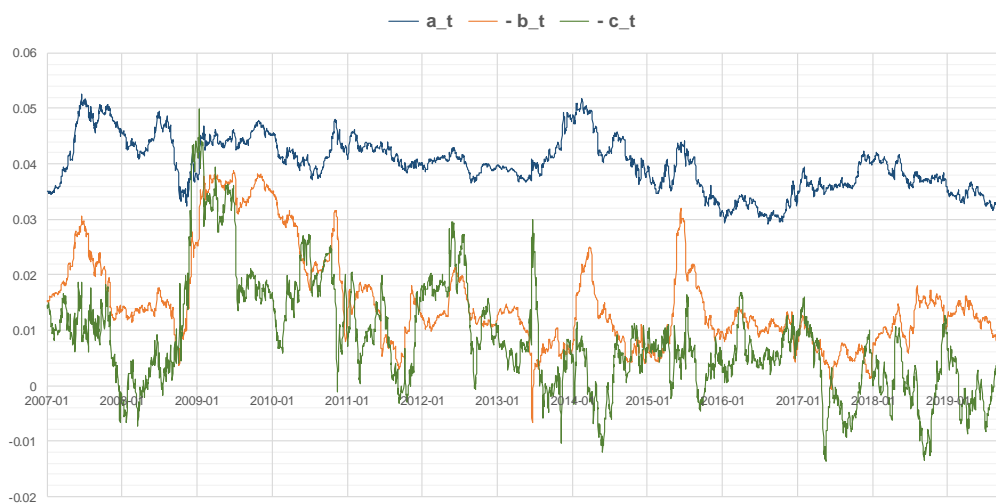
图 7 是我们选取的四个交易日里用 NS 模型拟合的利率曲线的展示，可以看到，中债和 NS 模型在短端利率的差别相对较大，但如前所述，这并不表明“NS 模型错误”，而可能是由于选取的利率曲线构建方法不一样，多项式方法对输入价格数据比较敏感，且利率曲线短端的波动本身就更大。

另外 NS 模型里的三个参数 $\{a_t, b_t, c_t\}$ 和之前利率曲线主成分分析里的 LEVEL、SLOPE

和 CURVE 因子有对应关系。比方说在(1)式中，令期限 $\tau \rightarrow \infty$ ，可以得到 $\lim_{\tau \rightarrow \infty} y_t^{(\tau)} = a_t$ 。

a_t 可以理解为永续债券的利率，所有期限利率在这个因子上的暴露（或者说系数）为 1，决定了整个利率曲线的平均水平，对应主成分分析里 LEVEL 因子的作用。投资里面的常用的十年期减一年期利差 ts_{10} ，用(1)式计算可以得 $t_{10} = 0.586 \cdot (-b_t) + 0.038 \cdot (-c_t)$ ，主要由 b_t 决定，对应 SLOPE 因子； c_t 在各个期限利率上的暴露和 CURVE 因子一样，中间高，两边低，可以和 CURVE 因子对应。三个系数随时间 t 的变化如下图所示，如果我们能够准确预测三个参数的未来数值，就相当于预测了整个利率曲线，也就可以对利率债投资组合的价值变动做分析。

图 8：NS 模型参数随时间的变化(2007.01-2019.09)



资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

2.4 高斯仿射模型

以上介绍的利率曲线构建方法是纯数据拟合过程，没有考虑到拟合出来的即期利率对应的零息债券之间是否存在套利机会；如果有的话，市场上会有人进行套利交易，修正价格，那么纯数据拟合出来的即期利率可能是一个和“无套利”假设不符的数据。

市场无套利是资产定价理论的一个常用假设，在一定技术条件约束下，它等价于存在一个风险中性测度和价格平减因子（price deflator），使得资产价格与其乘积过程是一个鞅（Martingale），进而对资产进行定价。市场无套利是一个理想假设，真实投资中，由于交易成本、融券难度等市场摩擦因素的影响，套利机会不一定能够被捕捉消灭；对于利率曲线而言，无套利假设可能会显得更加“牵强”，因为它要求即期利率曲线对应的这些零息债券之间没有套利机会，但国内市场上，这些零息债券品种绝大部分不存在，付息债券也极少能本息剥离；即使按照理论模型计算出来有套利机会，投资者也没有工具去获利。因此，无套利可能是一个经济意义上合理，但偏离真实市场较多的假设；基于此构建的风险中性世界模型（记作 Q-Model）是否比基于真实世界数据分布的模型（记作 P-Model）表现更好，需要拿数据实证。

经典单因子模型，例如 Vasicek 和 CIR 模型，是对瞬时即期利率（Instantaneous spot rate） r_t 进行建模，也就是即期利率曲线和 y 轴的交点；在无套利假设下，它们可以通过求解 Riccati 方程组，扩展出整条利率曲线。单因子模型的相关计算比较简便，但是模型得到的利率曲线只能做平行移动，无法做短端和长端利率反向的扭曲运动。因此，我们这里直接考虑多因子的高斯仿射模型（G-ATSM, Gaussian Affine Term Structure Model），它的基本框架由 Duffie(1996) 提出。

假设整个市场的信息可以由 K 维状态向量 $X_t = (x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{K,t})^T$ 描述，其随时间的演变满足如下 VAR(1) 方程：

$$X_{t+1} = \mu + \Phi \cdot X_t + v_{t+1} \quad v_{t+1} | \mathcal{F}_t \sim N(0, \Sigma)$$

如果市场无套利，那么存在折现因子（Stochastic Discount Factor） M_{t+1} 使得

$$P_t^{(n)} = E_Q(M_{t+1} P_{t+1}^{n-1} | \mathcal{F}_t)$$

其中 $P_t^{(n)}$ 为期限 n 的零息债券在 t 时刻的价格。进一步假设折现因子具备如下形式：

$$M_{t+1} = \exp\left(-r_t - \frac{1}{2} \lambda_t' \cdot \lambda_t - \lambda_t' \cdot \Sigma^{-\frac{1}{2}} \cdot v_{t+1}\right),$$

$$\lambda_t = \Sigma^{-\frac{1}{2}}(\lambda_0 + \lambda_1 \cdot X_t), \quad r_t = -\ln(P_t^{(1)})$$

状态变量的选择存在主观性，最常用的选择是把它取为利率曲线的主成分，也可以加入一些宏观指标（Ang(2003)），海外市场实务中最常用的因子数量是 3-5 个（Duffee(2013)）。

$\mu, \Phi, \Sigma, \lambda_0, \lambda_1$ 是需要估计的参数，我们采用 Adrian(2013) 的方法。这个方法只用了三次 OLS 回归，不用数值求解似然函数，运算效率非常之高；而且也可以很方便的对参数进

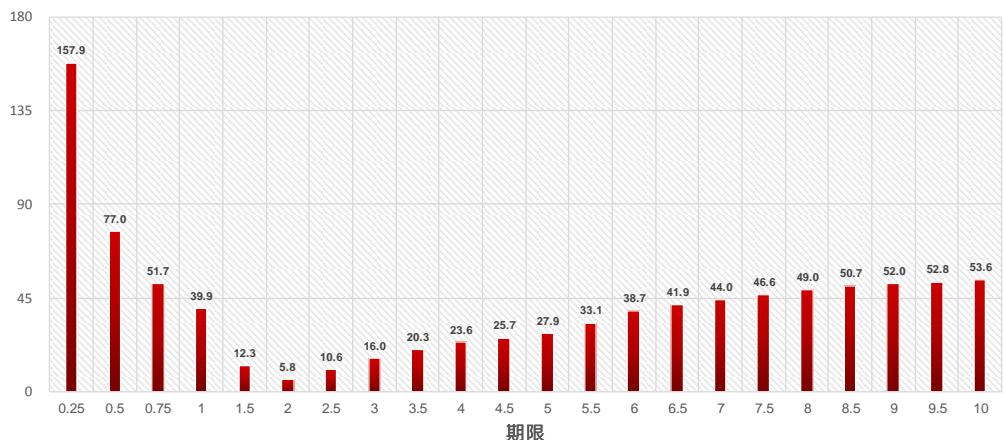
行统计检验，并引入 **Unspanned Factors**（在现实测度中对状态变量有预测作用，但不影响风险中性测度下的定价），参数估计用到的数据也可以是附息债券。

Adrian(2013)用利率曲线的前五个主成分作为状态变量，根据 1987.01 – 2011.12 期间美国市场的月频国债利率曲线数据实证发现，这个五个状态变量都非常显著。我们用 GitHub 上 Michael Abrahams¹提供的 1989.12-2018.02 间的月频美国国债利率数据也做了测试，结论和 Adrian(2013)相符，五个状态变量 Wald 检验的 pvalue 都在 $1e-9$ 以下，非常显著。

数据换成国内月频的中债国债收益率曲线数据后，对矩阵 β 和 λ_1 的 Wald 检验显示，第四和第五主成分都不是很显著，因此后文的实证中我们只取前三个主成分作为状态变量。

估算出 G-ATSM 模型参数后，我们可以使用递推公式获得模型拟合出的“无套利利率曲线”，把它和中债即期利率曲线作对比，看看“现实市场”和“无套利市场”的距离。图 9 统计了各个期限的中债即期利率和拟合的无套利即期利率之间的平均绝对误差（MAE, Mean Absolute Error），可以看到两者的 MAE 都有几十个 bps，短端的差距甚至超过 100 个 bps，国内国债市场利率曲线远未到无套利程度。用上述的美国市场数据做同样的分析，各个期限利率的 MAE 全部都在 1 个 bps 以内，市场利率非常接近于无套利水平，这可能和美国市场上金融工具多样、流动性好、套利机构众多有关系。利率衍生品的定价依赖于利率曲线的无套利假设，如果真实利率曲线和无套利模型拟合的相差太大，那么基于无套利模型去给衍生品做定价对冲，结果的不确定性会增加，衍生品卖方只能被迫提高价格去覆盖不确定性风险，衍生品买方的成本增加，对冲需求降低，不利于利率衍生品市场的发展。

图 9：无套利曲线与中债即期利率曲线的平均绝对值偏差(bps)



期限	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
US (bps)	0.9	0.9	0.4	0.3	0.6	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.4	0.6
China(bps)	157.9	77.0	51.7	39.9	12.3	5.8	10.6	16.0	20.3	23.6	25.7	27.9	33.1	38.7	41.9	44.0	46.6	49.0	50.7	52.0	52.8	53.6
倍数	177.9	86.3	134.3	137.6	21.1	13.5	35.8	45.0	44.8	49.6	60.9	79.3	113.1	136.1	135.5	123.8	127.7	150.5	197.4	208.7	147.0	82.9

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

¹ 网址: <https://github.com/miabrahams/PricingTermStructure>

三、利率曲线预测

3.1 预测目标的选择

最直接的预测目标是某个固定期限的利率，但分析债券投资组合需要整条利率曲线，因此一种常用的做法是提取利率曲线的主成分，然后对主成分进行建模预测，进而得到未来的利率曲线。Duffee(2011)采用的就是这种方法，用 VAR(1)对主成分建模预测，发现 1952-2010 年期间，美国市场利率的平行移动是不可预测的，斜率和曲率运动可预测性较强。本报告用 NS 模型对利率曲线进行建模，预测了参数 $\{a_t, b_t, c_t\}$ 即相当于预测了整条利率曲线，而这三个参数和利率曲线的前三个主成分正好对应。Diebold(2006)用 VAR(1)模型对这三个参数进行建模，来预测 1994-2000 年间的美国国债收益率，发现预测效果显著好于随机游走模型，长线预测比短线预测准。不过 Monch(2008)的研究发现，Diebold(2006)的模型存在明显的时间局限性，2001 年开始表现就变得很差，Pooter(2010)的研究也支持 Monch(2008)的观点。

参数 a_t 的变化描述了利率曲线的平行移动，和第一主成分对应，它的数值和某个期限的利率类似，虽然日频数据的 ADF 检验 pvalue 为 0.042，可以在 5%置信度下拒绝单位根假设，但一阶自相关系数高达 0.995，非常接近随机游走。海外的很多实证研究显示复杂模型的预测效果和简单的随机游走模型（用最新值作为未来值的预测）没有显著差别。我们也尝试过用不同模型在国内国债市场上去预测 a_t 的绝对值，发现模型预测结果和随机游走模型确实相差不大，预测值基本上相当于把 a_t 随时间变化的曲线向右平移。因此，本报告的第一个目标是把参数 $\{a_t, b_t, c_t\}$ 以及几个关键期限利率的变化值 $\Delta y_t = y_t - y_{t-h}$ 作为预测目标，来评判预测模型的优劣。

从后文的实证结果看，利率曲线整体变动的可预测性不佳，因此我们把预测目标转向学术研究里常用的**债券风险溢价（BRP, Bond Risk Premium）**，它可以表示为：

$$rx_t^{(n)} = \ln(P_{t+1}^{n-1}) - \ln(P_t^n) - y_t^{(1)}$$

相当于一个期限为 n 的零息债券持有 1 期获得的持有收益相对于当前无风险利率的超额部分，是投资者承担未来一期时间里利率曲线波动风险获得的风险补偿。BRP 是一个理论概念，很多期限的零息债券在市场上并不真实存在，但通过“零息债券复制投资组合”的方法，我们可以把 BRP 的预测用于利率债投资组合的价值分析（参考 3.5 节）。研究 BRP 的文献数量众多，其中有三篇值得重点关注：

第一篇是 Cochrane(2005)，他们把即期利率曲线拆成短期即期利率和多个远期利率，把它们线性合成了 CP 因子，在美国市场对短线和长线的 BRP 都有显著预测作用。在和我们东证衍生品研究院合作的报告《利率曲线里隐含的未来信息 - 债市可能进入调整期 2019.08.29》中，我们在国内国债市场上也验证了 CP 因子的预测能力，非常显著。CP 因子的构建方法将类似地运用到报告下文的预测模型里。

第二篇是 Ludvigson(2009)，这个研究特别之处在于选取了 132 个宏观经济层面的指标，用主成份方法提取主要信息，和由利率曲线数据获得的指标一起做回归预测 BRP，看看宏观数据能够提供额外的信息的增量。实证发现，加入宏观数据后，预测 2-5 年期的债

券超额收益的回归方程的 R^2 都可以显著提升，这说明宏观基本面数据在成熟的美国市场可能也并未完全定价到利率曲线中。

第三篇是 Bauer(2018)，文献重点说明的是一个统计上的技术问题，由于回归方程中变量的持续性 (Persistence) 和内生性 (endogeneity) 问题，传统的一些 HAC 方法会在小样本时低估估计量的方差，导致 “Standard Error Bias”。与之相关的小样本问题在股票 ERP (Equity Risk Premium) 的研究中很早就有涉及 (Stambaugh(2000))，我们之前专题报告《A 股风险溢价》中也有详细讨论，本报告中我们仍用 Kostakis(2015) 的 IVX 方法来处理。Bauer(2018) 用自己设计的 bootstrap 方法对过往文献 (包括 Ludvigson(2009)) 的结果重新验证后发现，宏观指标相对利率曲线数据的信息增量显著性要弱很多。这并不是说利率债投资里传统的 “经济增长+通胀” 基本面分析框架无效，而是说当期的基本面数据可能已经完全反映到利率曲线的期限结构中，对未来的基本面数据做出准确预测才能提供额外信息增量。

3.2 预测模型与评判标准

利率曲线在一个月内的变化波动幅度较小，因此本报告重点关注的是未来三个月、六个月和一年的变化。

数据样本我们是每隔半个月 (10 个交易日) 取一个观察值，这样预测目标 y 的前后两个观察值对应的数据时间段有两个半月重叠，模型的有效样本数量远没形式上看到的 (Boudoukh(2018))，而且回归方程 R^2 会成倍放大 (Boudoukh(2005))，因此下面实证里看到的 R^2 数值都会比较高，不能和非重叠抽样的回归方程进行比较。

模型做样本外预测时采用的是扩张窗口 (Expanding Window) 模式，每个时点用的都是 2007.01.01 至当前时点的所有历史数据。报告里测试了五个模型，简介如下：

- 1) IVX-CP 模型。如上节所述，我们采用 IVX 方法来处理线性回归模型中的内生性和持续性问题。在预测利率曲线变动时，把 $\Delta a_t, \Delta b_t, \Delta c_t$ 分别作为预测目标；把当期利率曲线拆出的即期利率和远期利率作为回归变量，远期利率拆解方法参考 Cochrane(2005)。
- 2) xgboost。用机器学习来做利率曲线的相关预测在海外已经有一些研究成果，例如：Bianchi(2019), Kozisek(2017)。报告里选用的是 chen(2016) 的 xgboost 模型，它是基于 Gradient Boosting 框架的决策树模型，运算效率高，在很多工程问题上取得良好效果，期望能在 IVX 线性模型基础上捕捉一些非线性特征，模型的输入变量和 IVX 模型一致。
- 3) IVX-CP+YC。Cochrane(2005) 的远期利率因子并不能完全描述整个利率曲线，因此我们尝试在 IVX 回归中加入当期利率曲线的 NS 模型拟合参数 $\{a_t, b_t, c_t\}$ 以期捕捉更多的利率曲线信息；另外也有研究发现滞后期的利率曲线中可能也包含有用预测信息，因此回归模型还加入了滞后一期的利率曲线变动， $\Delta a_{t-1}, \Delta b_{t-1}, \Delta c_{t-1}$ 。

- 4) VAR 模型。对 $\{a_t, b_t, c_t\}$ 用 VAR 模型建模，根据 BIC 准则选择 VAR 模型阶数。
- 5) G-ATSM。如 2.4 节所述，采用利率曲线的前三个主成分作为状态变量，基于滚动窗口历史数据估计参数，然后用 VAR(1) 模型预测状态变量的未来值，根据递推公式得到各个期限的预测利率；最后对预测利率进行 NS 拟合，得到预测的 $\{a_t, b_t, c_t\}$ 和对应的变动值。

在评判预测效果时，我们以随机游走模型为基准(该模型认为 $\{a_t, b_t, c_t\}$ 未来的变化值都是零)计算上述五个模型的样本外 Rsquared 算式如下：

$$OOS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (\hat{y}_t - y_t)^2}{\sum_{t=1}^T y_t^2}$$

其中 y_t 是真实值， \hat{y}_t 是预测值。然后用 Diebold(1995) 的 DM test 检验上述五个模型与随机游走模型的预测值 MSE (Mean Squared Error) 在统计上是否有显著差异；另外还统计了模型的方向预测准确率，预测正确的时候， y_t 的平均绝对值大小和预测错误时的平均绝对值大小，以及两者的比例 (PL ratio)。

3.3 利率曲线预测实证结果

历史回溯数据从 2007.01.01 开始，样本外测试从 2012.01.01 开始。首先看看国债利率曲线的相关预测结果，表 4 展示的是一年后利率曲线变动的先关结果，有显著预测能力的结果字体加粗；三个月和六个月的预测结果参考附录 5，可以看到：

- 1) **国债利率曲线短线变动预测很难。**附录 5 里，不同模型对利率曲线整体变动 ($\Delta a_t, \Delta b_t, \Delta c_t$) 和关键期限利率变动的样本外预测 OOS 或者小于零，或者大于零，但 DM 检验不显著；用复杂模型还不如随机游走模型，把利率曲线的当前值作为未来值的预测。
- 2) **国债利率曲线长线变动部分可预测。**可以看到用 VAR 模型预测 5、7、10 年期利率未来一年变动效果显著强于随机游走模型，方向准确率接近七成；用 G-ATSM 模型可以预测利率曲线未来一年的平行移动 (Δa_t)，但斜率 (Δb_t) 和曲度 (Δc_t) 的预测很差，导致各个关键期限利率的预测效果不佳。
- 3) **机器学习模型预测能力强于线性模型。**在预测未来一年利率曲线变动时，xgboost 模型的 OOS 都为正，预测精度优于随机游走模型，且在预测十年期利率变动时，这种精度优势在统计上显著。而同样输入变量的 IVX 模型，OOS 几乎都为负值，弱于随机游走模型和 xgboost。
- 4) **基于真实测度的 VAR 模型预测效果好于风险中性策略下的 G-ATSM 模型。**G-ATSM 和 VAR 模型的预测方式很像，采用 VAR(1) 来预测利率曲线前三个主成分的未来数值；如果不考虑无套利约束，可以直接利用特征向量矩阵计算预测的各期利率；如果考虑无套利约束，不同期限的即期利率存在关联，必须通过递推公式计算预测的各期利率 (Adrian(2013))。不过如前所述，国内国债市场离“无套利状态”的距离较远，G-ATSM 模型的表现弱于 VAR。

表 4：国债利率曲线一年后变动的样本外预测结果（2012.01.01 – 2019.09.30）

模型	评价指标	预测目标：NS模型参数			预测目标：关键期限利率变动（中债）					
		Δa	Δb	Δc	0.25	1	3	5	7	10
IVX-CP	OOS	0.043	-0.725	-1.034	-0.463	-0.349	-0.324	-0.155	-0.058	0.064
	DM test pvalue	0.671	0.009	0.000	0.006	0.025	0.021	0.205	0.637	0.572
	Hit Ratio	68.6%	62.1%	56.2%	66.3%	65.1%	62.1%	63.9%	66.9%	68.0%
	真实平均变动（正确）	0.0056	0.0062	0.0074	0.0072	0.0072	0.0070	0.0064	0.0059	0.0061
	真实平均变动（错误）	0.0037	0.0061	0.0069	0.0072	0.0060	0.0054	0.0054	0.0047	0.0043
	PL ratio	1.51	1.02	1.08	0.99	1.20	1.29	1.19	1.25	1.42
xgboost	OOS	0.048	-0.221	-0.899	0.232	0.190	0.090	0.137	0.145	0.223
	DM test pvalue	0.371	0.245	0.000	0.053	0.184	0.436	0.158	0.138	0.011
	Hit Ratio	56.2%	69.8%	65.1%	74.6%	74.6%	74.6%	72.8%	66.3%	61.5%
	真实平均变动（正确）	0.0051	0.0067	0.0081	0.0084	0.0080	0.0068	0.0063	0.0057	0.0059
	真实平均变动（错误）	0.0048	0.0048	0.0055	0.0036	0.0033	0.0053	0.0055	0.0051	0.0048
	PL ratio	1.07	1.38	1.46	2.36	2.40	1.27	1.13	1.12	1.24
IVX-CP+YC	OOS	-3.799	-66.554	-10.405	-38.129	-33.648	-19.397	-11.081	-7.544	-4.410
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	66.9%	44.4%	60.4%	45.0%	43.8%	46.2%	45.0%	40.8%	33.7%
	真实平均变动（正确）	0.0052	0.0071	0.0078	0.0074	0.0075	0.0069	0.0066	0.0064	0.0056
	真实平均变动（错误）	0.0045	0.0054	0.0063	0.0070	0.0062	0.0060	0.0056	0.0049	0.0054
	PL ratio	1.15	1.31	1.23	1.06	1.21	1.14	1.18	1.31	1.03
VAR	OOS	0.170	-0.879	-0.909	-0.256	-0.272	-0.062	0.150	0.274	0.348
	DM test pvalue	0.078	0.000	0.000	0.007	0.004	0.386	0.004	0.000	0.000
	Hit Ratio	66.3%	62.7%	47.3%	57.4%	55.0%	55.0%	69.8%	71.0%	67.5%
	真实平均变动（正确）	0.0054	0.0065	0.0078	0.0068	0.0065	0.0062	0.0062	0.0056	0.0058
	真实平均变动（错误）	0.0041	0.0056	0.0066	0.0077	0.0072	0.0066	0.0058	0.0055	0.0048
	PL ratio	1.32	1.15	1.18	0.89	0.90	0.94	1.07	1.01	1.21
G-ATSM	OOS	0.237	-2.406	-7.033	-0.989	-0.248	-0.331	-0.441	-0.426	-0.213
	DM test pvalue	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.065
	Hit Ratio	64.5%	46.2%	40.8%	45.0%	39.6%	53.8%	55.0%	55.0%	52.7%
	真实平均变动（正确）	0.0054	0.0069	0.0066	0.0065	0.0072	0.0060	0.0056	0.0052	0.0056
	真实平均变动（错误）	0.0044	0.0055	0.0076	0.0077	0.0065	0.0069	0.0066	0.0059	0.0054
	PL ratio	1.23	1.27	0.87	0.85	1.10	0.88	0.85	0.88	1.05

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

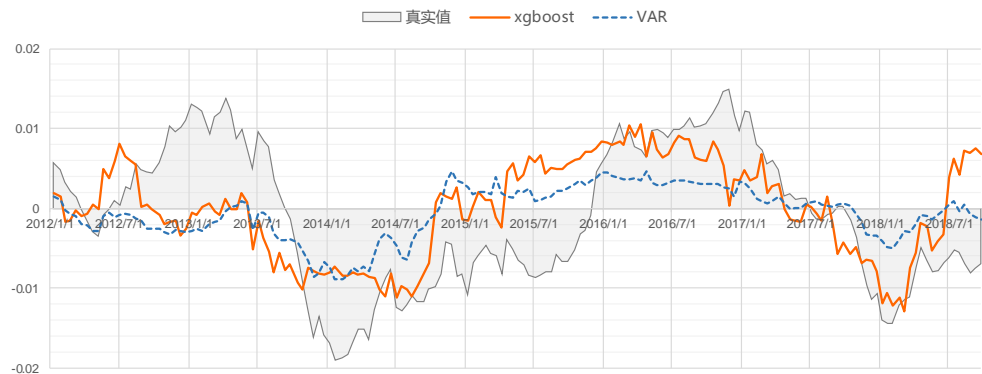
国开债利率曲线的一年期预测结果参考表 5，三个月和六个月期预测结果参考附录 6.结论和国债利率曲线基本一致，但 xgboost 相对 IVX、VAR 相对 G-ATSM 的优势更加明显。总体来看，按照传统现金流折现方法，如果要对所有利率债组合做投资分析，需要预测整条利率曲线的变化，但从以上实证结果看，利率曲线短期变化很难预测，长期变化也只是部分可预测，不便直接运用到实务中。因此下节我们将转到另一个预测标的：BRP，通过“多个零息债券复制组合”的方式来分析利率债投资组合。

表 5：国开债利率曲线一年后变动的样本外预测结果（2012.01.01 – 2019.09.30）

模型	评价指标	预测目标：NS模型参数			预测目标：关键期限利率变动（中债）					
		Δa	Δb	Δc	0.25	1	3	5	7	10
IVX-CP	OOS	-1.054	0.153	-0.591	-0.417	-0.272	-0.520	-0.655	-0.779	-0.613
	DM test pvalue	0.000	0.113	0.002	0.022	0.110	0.017	0.007	0.004	0.012
	Hit Ratio	66.3%	66.3%	59.2%	75.1%	75.1%	64.5%	66.3%	68.0%	65.7%
	真实平均变动（正确）	0.0069	0.0073	0.0115	0.0085	0.0104	0.0101	0.0091	0.0083	0.0089
	真实平均变动（错误）	0.0048	0.0056	0.0069	0.0076	0.0083	0.0074	0.0069	0.0066	0.0059
	PL ratio	1.43	1.29	1.67	1.12	1.26	1.36	1.33	1.26	1.51
xgboost	OOS	-0.057	-0.449	-0.339	0.277	0.419	0.370	0.351	0.285	0.316
	DM test pvalue	0.291	0.029	0.071	0.004	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000
	Hit Ratio	55.0%	82.2%	64.5%	79.9%	74.6%	71.0%	66.9%	64.5%	60.4%
	真实平均变动（正确）	0.0068	0.0070	0.0110	0.0092	0.0117	0.0103	0.0094	0.0088	0.0092
	真实平均变动（错误）	0.0055	0.0052	0.0071	0.0044	0.0045	0.0064	0.0062	0.0060	0.0057
	PL ratio	1.25	1.35	1.56	2.08	2.63	1.60	1.52	1.46	1.61
IVX-CP+YC	OOS	-0.823	-65.349	-0.184	-33.632	-15.940	-6.448	-3.408	-2.138	-1.125
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.218	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	58.6%	49.1%	64.5%	40.8%	40.2%	46.2%	49.7%	56.2%	57.4%
	真实平均变动（正确）	0.0067	0.0065	0.0117	0.0087	0.0112	0.0091	0.0093	0.0087	0.0088
	真实平均变动（错误）	0.0055	0.0069	0.0058	0.0080	0.0089	0.0092	0.0075	0.0066	0.0066
	PL ratio	1.22	0.94	2.01	1.09	1.26	0.99	1.24	1.33	1.33
VAR	OOS	0.219	-0.509	-0.861	-0.088	-0.091	0.029	0.143	0.209	0.277
	DM test pvalue	0.020	0.000	0.000	0.238	0.165	0.648	0.023	0.001	0.000
	Hit Ratio	66.3%	52.1%	52.1%	50.9%	53.8%	52.7%	54.4%	56.2%	58.0%
	真实平均变动（正确）	0.0069	0.0074	0.0095	0.0086	0.0096	0.0095	0.0089	0.0089	0.0093
	真实平均变动（错误）	0.0049	0.0059	0.0098	0.0079	0.0102	0.0088	0.0077	0.0064	0.0058
	PL ratio	1.41	1.25	0.97	1.09	0.95	1.09	1.16	1.39	1.61
G-ATSM	OOS	0.063	-5.666	-6.278	-2.090	-0.515	-0.170	-0.261	-0.303	-0.109
	DM test pvalue	0.632	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.025	0.017	0.362
	Hit Ratio	63.3%	54.4%	46.2%	47.3%	39.6%	53.8%	55.0%	52.7%	53.3%
	真实平均变动（正确）	0.0069	0.0071	0.0093	0.0088	0.0101	0.0092	0.0082	0.0078	0.0082
	真实平均变动（错误）	0.0050	0.0063	0.0099	0.0078	0.0097	0.0091	0.0086	0.0077	0.0074
	PL ratio	1.37	1.14	0.93	1.13	1.04	1.01	0.95	1.01	1.12

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

图 10：国开债十年期即期利率未来一年变动预测结果对比



资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

3.4 BRP 预测实证结果

国债 BRP 的预测结果如表 6 所示，由于持有期为 3 个月时，所有模型预测结果和随机游走模型比都不显著，因此只展示持有期为 6 个月和 12 个月的，国开债的结果参考附录 7。可以看到，持有期为 3 个月和 6 个月的短期 BRP 都是不可预测的，可能的原因是 BRP 在计算时用到对应的 3 个月和 6 个月期即期收益率数据，而国债和国开债此类短线品种较为缺乏，市场价格数据噪音多，多项式拟合出来短端利率数据可靠性较差。

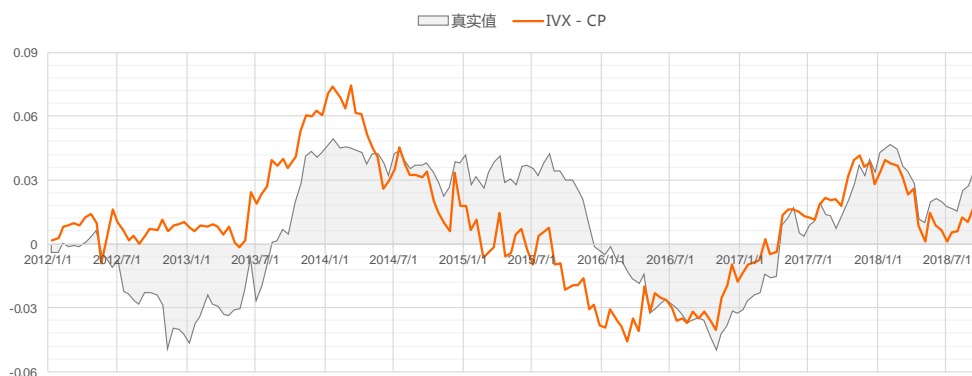
持有期一年的 BRP 可以较好预测；机器学习模型的提升作用不是很确定，国债上表现差，国开债上表现好。基于现实测度的 VAR 模型好于风险中性测度下 G-ATSM。

表 6：国债 BRP 样本外预测结果（2012.01.01 – 2019.09.30）

模型	评价指标	持有期：6个月						持有期：12个月					
		1	2	3	5	7	10	2	3	5	7	10	
IVX-CP	OOS	0.030	-0.115	-0.080	-0.101	-0.087	-0.089	0.186	0.232	0.291	0.322	0.140	
	DM test pvalue	0.619	0.135	0.240	0.232	0.298	0.258	0.044	0.014	0.001	0.000	0.160	
	Hit Ratio	66.3%	60.2%	61.9%	54.7%	56.4%	52.5%	77.5%	75.1%	71.0%	73.4%	61.5%	
	真实平均变动（正确）	0.0027	0.0071	0.0108	0.0196	0.0265	0.0365	0.0083	0.0158	0.0269	0.0353	0.0534	
	真实平均变动（错误）	0.0020	0.0064	0.0102	0.0139	0.0187	0.0263	0.0054	0.0104	0.0249	0.0374	0.0459	
	PL ratio	1.33	1.11	1.07	1.41	1.42	1.39	1.55	1.52	1.08	0.94	1.16	
xgboost	OOS	-0.180	-0.225	-0.268	-0.291	-0.217	-0.141	-0.147	-0.134	0.035	0.171	0.124	
	DM test pvalue	0.148	0.046	0.014	0.009	0.047	0.081	0.380	0.369	0.757	0.093	0.194	
	Hit Ratio	58.6%	54.7%	69.1%	63.5%	59.7%	54.7%	74.6%	81.7%	79.9%	77.5%	69.2%	
	真实平均变动（正确）	0.0028	0.0079	0.0112	0.0186	0.0244	0.0355	0.0085	0.0156	0.0264	0.0370	0.0557	
	真实平均变动（错误）	0.0020	0.0056	0.0092	0.0141	0.0210	0.0270	0.0052	0.0097	0.0261	0.0320	0.0387	
	PL ratio	1.42	1.41	1.21	1.32	1.16	1.32	1.61	1.61	1.01	1.16	1.44	
IVX CP+YC	OOS	-11.007	-13.155	-0.174	-0.145	-0.125	-0.111	0.206	0.075	0.281	0.275	0.128	
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.019	0.090	0.153	0.174	0.032	0.460	0.001	0.004	0.200	
	Hit Ratio	48.1%	47.5%	65.2%	54.1%	56.4%	51.9%	72.8%	66.9%	71.6%	72.8%	60.9%	
	真实平均变动（正确）	0.0024	0.0064	0.0106	0.0189	0.0268	0.0356	0.0084	0.0157	0.0271	0.0357	0.0536	
	真实平均变动（错误）	0.0026	0.0072	0.0105	0.0147	0.0183	0.0274	0.0056	0.0120	0.0243	0.0361	0.0456	
	PL ratio	0.94	0.88	1.01	1.29	1.47	1.30	1.49	1.31	1.12	0.99	1.18	
VAR	OOS	-0.388	-0.453	-0.404	-0.123	-0.029	0.055	-0.275	-0.200	0.098	0.224	0.318	
	DM test pvalue	0.001	0.000	0.000	0.076	0.674	0.373	0.003	0.025	0.095	0.000	0.000	
	Hit Ratio	66.3%	64.6%	67.4%	64.1%	62.4%	59.1%	65.1%	60.4%	59.2%	63.3%	69.8%	
	真实平均变动（正确）	0.0025	0.0070	0.0102	0.0164	0.0225	0.0326	0.0085	0.0162	0.0281	0.0369	0.0530	
	真实平均变动（错误）	0.0024	0.0066	0.0115	0.0180	0.0240	0.0303	0.0060	0.0119	0.0238	0.0340	0.0446	
	PL ratio	1.06	1.06	0.88	0.91	0.94	1.08	1.42	1.36	1.18	1.09	1.19	
G-ATSM	OOS	-1.482	-0.339	-0.715	-1.147	-1.725	-1.487	-0.221	-0.247	-0.279	-0.399	-0.289	
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.010	0.001	0.018	
	Hit Ratio	32.6%	63.5%	66.9%	63.5%	61.9%	60.8%	62.7%	60.4%	58.6%	60.4%	56.2%	
	真实平均变动（正确）	0.0020	0.0071	0.0101	0.0164	0.0225	0.0305	0.0085	0.0162	0.0282	0.0378	0.0538	
	真实平均变动（错误）	0.0027	0.0063	0.0115	0.0180	0.0240	0.0333	0.0062	0.0119	0.0237	0.0329	0.0462	
	PL ratio	0.76	1.13	0.88	0.91	0.93	0.92	1.38	1.36	1.19	1.15	1.16	

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

图 11: IVX 模型预测的持有期为 12 个月的 $r_x^{(5)}$



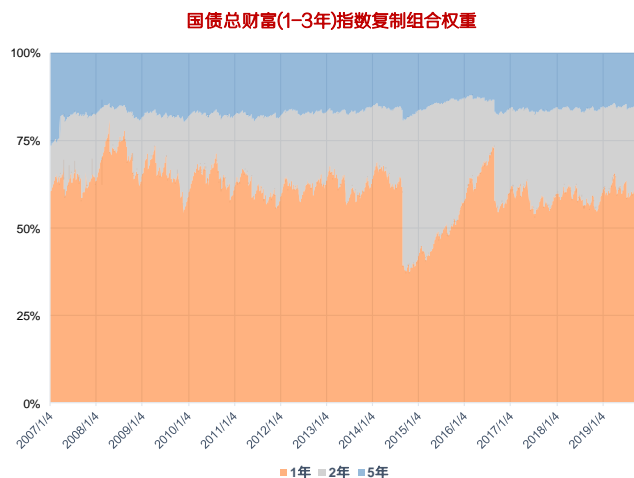
资料来源: 东方证券研究所 & Wind 资讯

3.5 从 BRP 到投资组合分析

BRP 计算用到的零息债券在真实市场上不一定存在, 为了能够对实际投资中的利率债组合做分析, 我们的想法是用多个零息债券复制投资组合, 使得复制组合和真实组合对利率曲线变化的敏感性一致。本节主要考虑复制组合久期和凸性的匹配, 利差久期的匹配我们在后续研究中再详细讨论。

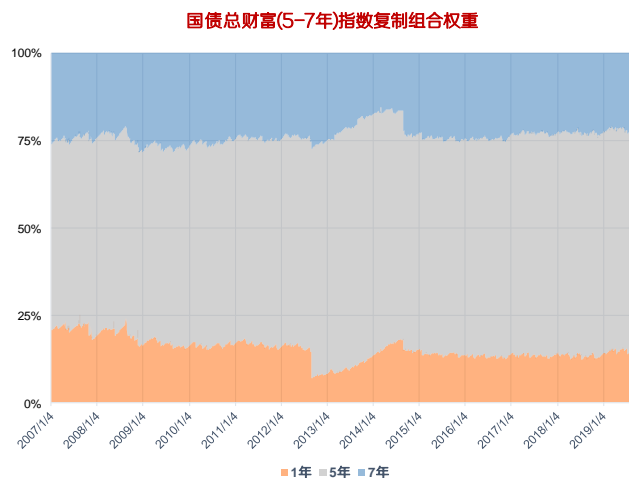
要匹配久期和凸性两个指标, 至少需要三个零息债券, 期限的选择并不唯一。假设投资者要分析的标的是三个指数组合: 中债国债 1-3 年、中债国债 3-5 年和中债国债 5-7 年总财富指数, 可以分别采用[1, 2, 5], [1, 3, 7], [1, 5, 7] 期限的零息债券组合来复制三个指数。在这样的期限选择下, 复制组合的多头和空头都不会出现过高的杠杆, 比较贴近实际投资限制。复制组合里各个券的权重如下所示

图 12: 国债总财富(1-3 年)指数复制组合权重



资料来源: 东方证券研究所 & Wind 资讯

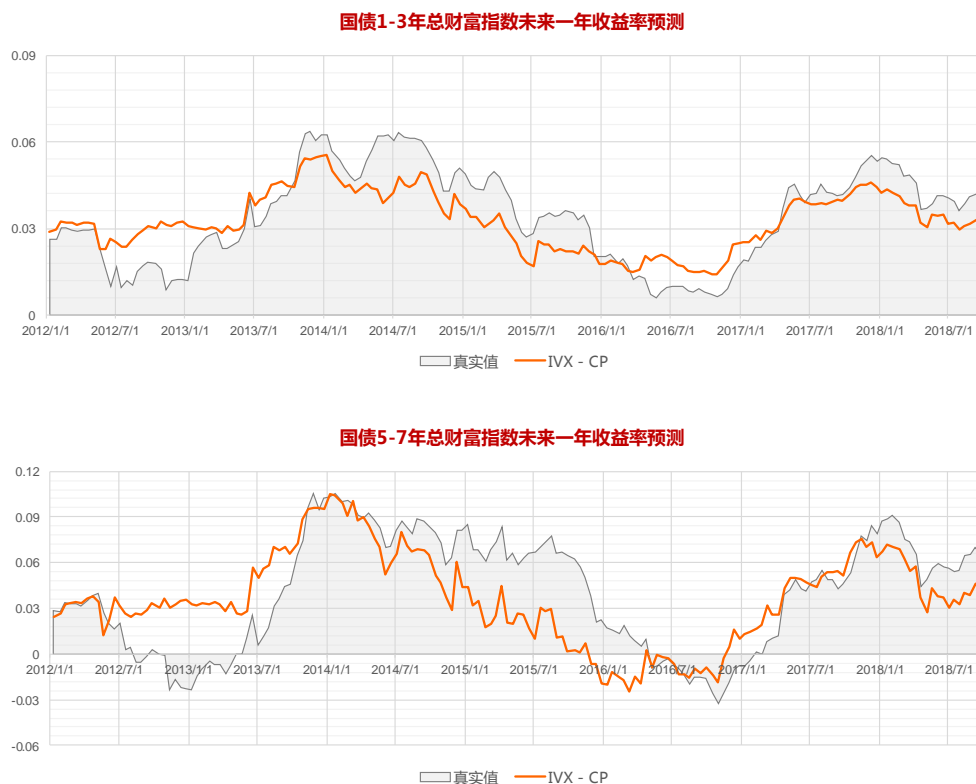
图 13: 国债总财富(5-7 年)指数复制组合权重



资料来源: 东方证券研究所 & Wind 资讯

通过预测几个关键期限零息债券未来一年的 BRP，我们可以预测上述几个指数未来的收益率，结果如下图所示。模型的预测结果都显著强于随机游走模型；由于财富指数包含票息再投资，一年跨度里亏钱的概率很小，所以此时统计的方向准确率相关指标参考意义可能不大；预测模型只用到了利率曲线数据，无法预料到 2013 钱荒、2015 股灾、汇改事件的影响，这些时间段模型预测偏差会比较大。

图 14：国债总财富指数预测结果



	国债1-3年总财富指数	国债3-5年总财富指数	国债5-7年总财富指数
OOS	0.432	0.403	0.396
DM test pvalue	0.000	0.000	0.000
Hit Ratio	100.0%	87.6%	79.9%
真实平均变动（正确）		0.0425	0.0538
真实平均变动（错误）		0.0074	0.0119
PL ratio		5.78	4.51

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

四、总结

利率曲线是投资者交易出来的价格，期限结构中包含了他们对未来市场经济增长、通胀、资金面等方面的预期信息，可以提取出来用于利率曲线变动的预测。投资者可以用 Nelson-Siegel 方法对利率曲线建模，这样用三个参数就可捕获利率曲线的绝大部分信息。对国债和国开债的历史数据实证发现，利率曲线未来三个月、六个月的短线变动很难预测，一年期的长线变动部分可预测；机器学习模型的预测效果好于传统线性模型，基于真实测度的 P-Model 好于风险中性测度的 Q-Model。

利率曲线的部分可预测性无法用到投资组合分析中，投资者可以考虑改为预测 BRP，再用零息债券复制投资组合的方式预测组合未来收益，对于一年期的实证效果不错。投资者可能更关心投资组合短线的价值变化，但短线 BRP 计算需要用到短端的即期利率；国内国债和国开债市场由于短线品种的缺乏，多项式拟合出来的短端利率可靠性较差；如果需要做债券组合的短线价值定量分析，找到一个市场化的可靠短期利率是当前迫切所需，我们后续研究将继续跟进。

风险提示

1. 量化模型基于历史数据分析得到，未来存在失效风险，建议投资者紧跟模型表现。
2. 极端市场环境可能对模型效果造成剧烈冲击，导致收益亏损。

附录

附录 1. 债券投资者投资规范

表 7：债券市场投资者投资规范

机构	投资规范	相关文件
银行业金融机构	1. 购买持有融资平台发行债券的审批权限上收至总行，并参照新增融资平台贷款条件，制定相应的融资平台债券管理制度，实行总行统一授信、全口径监控和逐笔审批。各银行不得为融资平台发行债券提供担保。 2. 单个银行业金融机构购买持有单支资产支持证券的比例，原则上不得超过该单资产支持证券发行规模的40%。 3. 不同债券评级计提不同比率的风险资本	《关于加强2013年地方政府融资平台贷款风险监管的指导意见》；《关于进一步扩大信贷资产证券化试点有关事项的通知》
证券公司	1. 拆入资金最长期限为7天，拆出资金期限不得超过对手方的由人民银行规定的拆入资金最长期限。 2. 债券回购的最长期限为1年，同业拆借和债券回购到期后不得展期。 3. 拆入、拆出资金余额均不得超过实收资本的80%，债券回购资金余额不得超过实收资本的80%。 4. 证券公司开展资产管理计划，除债券分销外，同一证券公司管理的各债券账户之间不得相互进行债券交易；	《关于印发〈基金管理公司进入银行间同业市场管理规定〉和〈证券公司进入银行间同业市场管理规定〉的通知》（银发[1999]288号）
基金管理公司	1. 进行债券回购的资金余额不得超过基金净资产的40%。 2. 单只证券投资基金持有的同一信用级别资产支持证券的比例，不得超过该资产支持证券规模的10%。单只证券投资基金投资于同一原始权益人的各类资产支持证券的比例，不得超过该基金净资产的10%。同一基金管理人管理的全部证券投资基金投资于同一原始权益人的各类资产支持证券，不得超过其各类资产支持证券合计规模的10%。单只证券投资基金持有的全部资产支持证券，其市值不超过该基金净资产的20%。	《关于印发〈基金管理公司进入银行间同业市场管理规定〉和〈证券公司进入银行间同业市场管理规定〉的通知》（银发[1999]288号）
保险公司	1. 保险公司投资有担保的企业（公司）债券，可以按照资产配置要求，自主确定投资总额；投资无担保非金融企业（公司）债券的余额，不超过该保险公司上季末总资产的50%。 2. 保险公司投资同一期单品种金融企业（公司）债券和有担保非金融企业（公司）债券的份额，不超过该期单品种发行额的40%；投资同一期单品种无担保非金融企业（公司）债券的份额，不超过该期单品种发行额20%。 3. 同一保险集团的保险公司，投资同一期单品种企业（公司）债券的份额，合计不超过该期单品种发行额的60%，保险公司及其投资控股的保险机构比照执行。 4. 保险公司投资同一发行人发行的企业（公司）债券的余额，不超过该发行人上一会计年度净资产的20%；投资关联方发行的企业（公司）债券的余额，不超过该保险公司上季末净资产的20%。 5. 评级要求：AA级及以上：商业银行混合资本债券、证券公司债（公开发行）、国际开发机构人民币债券、非金融企业（公司）债券。A级及以上：商业银行发行的金融企业（公司）债券、短期融资券（A-1级）。	《保险资金投资债券暂行办法》
境外机构	1. 正回购的融资余额不高于所持债券余额的100%，且回购资金可调出境外使用。 2. 境外机构不得与其母公司或同一母公司下的其他子公司（分支机构）等关联企业进行债券交易；合格投资者应当为自有资金或管理的客户资金分别申请开立债券账户。	《关于境外人民币业务清算行、境外参加银行开展银行间债券市场债券回购交易通知》 《关于境外人民币清算行等三类机构运用人民币投资银行间债券市场试点有关事宜通知》（银发[2010]217号）：
养老基金	1. 投资银行活期存款，一年期以内（含一年）的定期存款，中央银行票据，剩余期限在一年期以内（含一年）的国债，债券回购，货币型养老金产品，货币市场基金的比例，合计不得低于养老金资产净值的5%。 2. 投资一年期以上的银行定期存款、协议存款、同业存单，剩余期限在一年期以上的国债，政策性、开发性银行债券，金融债，企业（公司）债，地方政府债券，可转换债（含分离交易可转换债），短期融资券，中期票据，资产支持证券，固定收益型养老金产品，混合型养老金产品，债券基金的比例，合计不得高于养老金资产净值的135%。其中，债券正回购的资金余额在每个交易日均不得高于养老金资产净值的40%。 3. 投资的金融债、企业（公司）债、地方政府债券、可转换债（含分离交易可转换债）、短期融资券、中期票据、资产支持证券，债券回购需要在投资级以上	《基本养老保险基金投资管理办法》
个人投资者	1. 合格投资者中的个人投资者不得投资上交所：（1）债券信用评级在AAA以下（不含AAA）的公司债券、企业债券（不包括公开发行的可转换公司债券）（2）非公开发行的公司债券、企业债券；（3）资产支持证券	《上海证券交易所债券市场投资者适当性管理办法》

资料来源：东方证券研究所 & 东证衍生品研究院

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

附录 2. 债券市场各品种存量统计

截至 2019.09.30, 各个债券的存量如下

表 8: 各债券品种存量统计 (2019.09.30)

类别	债券数量(只)	数量比重(%)	债券余额(万亿)	余额比重(%)
国债	280	0.6	15.89	16.9
地方政府债	4905	10.4	21.14	22.5
央行票据	4	0.0	0.01	0.0
同业存单	14546	30.9	10.03	10.7
金融债	1952	4.2	22.31	23.7
政策银行债	311	0.7	15.44	16.4
商业银行债	295	0.6	1.48	1.6
商业银行次级债券	461	1.0	2.98	3.2
保险公司债	64	0.1	0.30	0.3
证券公司债	605	1.3	1.40	1.5
证券公司短期融资券	48	0.1	0.13	0.1
其它金融机构债	168	0.4	0.58	0.6
企业债	2586	5.5	2.42	2.6
一般企业债	2578	5.5	2.41	2.6
集合企业债	8	0.0	0.01	0.0
公司债	6096	13.0	6.48	6.9
一般公司债	2989	6.4	3.68	3.9
私募债	3107	6.6	2.80	3.0
中期票据	4968	10.6	6.37	6.8
短期融资券	2202	4.7	2.12	2.3
一般短期融资券	462	1.0	0.49	0.5
超短期融资债券	1740	3.7	1.63	1.7
定向工具	2607	5.6	2.01	2.1
国际机构债	17	0.0	0.03	0.0
政府支持机构债	160	0.3	1.68	1.8
资产支持证券	6312	13.4	3.10	3.3
交易商协会ABN	745	1.6	0.30	0.3
银保监会主管ABS	888	1.9	1.23	1.3
证监会主管ABS	4679	10.0	1.57	1.7
可转债	232	0.5	0.29	0.3
可交换债	144	0.3	0.23	0.2
合计	47011	100.0	94.11	100.0

资料来源: 东方证券研究所 & Wind 资讯

附录 3. 各期限国债年度发行与交易统计

截至 2019.09.30, 各个期限国债年度发行与交易统计数据如下:

表 9: 各期限国债的年度发行与交易量 (截至 2019.09.30)

发行额(亿)	0.25年	0.5年	0.75年	1年	2年	3年	5年	7年	10年	15年	20年	30年	50年
2001					200	200		300	400	120			
2002					260	260	584	1340	400	480			
2003							260	1420	260				
2004				381.6	891.9		304.6	1907.7	242.4				
2005				631.7	667.8	324.5		1642.4					
2006	1750			612.2		620.2	608	1658.5	300		310.9		
2007	600	280		1381.5		679.6	600	1925	1352.3	7819.7	560	900	
2008	960	260		780.4		260.7	280	1336.4	2086.4	280	240	240	
2009	624.8	1270.2	1000	548.6		1920.2	1966.9	1597.9	2197.6		440		
2010	1123.1	850	473.7	787.6	260	1660	3706.3	2266.1	2316.8		840	1640	560
2011		117.6		717.1		1760	1486	605.2	3310.1		280	900	580
2012	150	450	300	840		880	820	3068.7	4048		560	280	540
2013	300	150	545.3	1085	260	900.2	2274.2	2395.3	2665.2		1040	500	200
2014	600	600	150	1716.6	983.9	561	1800.8	3283.2	3578.4		520	260	260
2015	1000	1050	202.8	1342		2521	2445.6	2120.7	5811.6		520	260	1040
2016	4055.6	1570.2		2748.4	1191.8	4950.4	5109.6	4438.6	3993.2			3466.1	568.2
2017	5130.7	781		4509.5	2531.1	2402	7885.9	3090.8	4499.3			4152.9	878.9
2018	4503.1	900.3		5024.4	2349.6	6629	3253.6	4088.8	4260.8			2912.2	206.4
2019.09	2806.4	800.6		2706	2768.5	3902.2	5986.9	3480.5	3081			2440.1	1114.7

成交额(亿)	0.25年	0.5年	0.75年	1年	2年	3年	5年	7年	10年	15年	20年	30年	50年
2001					2.3	2.4	3.6	278.7	478.3	14.1	944.3		
2002				45.2	234.7	208.3	585.8	3445.8	2039.3	328.4	1638.3	127.5	
2003	5.5			57.8	349.9	495.1	1423.3	6259.6	1470.2	525.3	1027.1	103.3	
2004	126.7			821.1	772.1	359.5	940.8	3013.1	506.6	239.4	168.9	26.7	
2005	163.4			1093.9	1404.3	561.5	2441.8	4336.9	736.1	484.2	586.8	67.7	
2006	1121.1	391.8		527.3	583.7	677.4	2267.6	4809.2	1255.9	583.7	405.1	28.9	
2007	2217.8	879.6		5005.7	46.1	1013.5	2036.1	6630.2	1747.3	976.8	337.6	105.3	
2008	2745.9	1019.3		14269.2		2472.1	3692.5	4852.1	3218.5	1109.0	1248.8	1484.0	
2009	4211.1	478.3	681.0	2469.1		4990.4	5816.1	8142.8	6489.0	3588.6	1314.7	1360.1	159.5
2010	2150.4	10535.4	4742.8	12302.4	237.0	11059.4	8301.6	6942.4	10565.1	4143.0	826.3	3293.6	417.6
2011	2822.2	2010.0	1906.3	11525.5	43.0	15192.3	12975.1	22733.9	10577.6	2296.3	592.6	2514.4	490.3
2012	359.5	559.9	1443.8	13451.0	0.0	15544.6	14979.0	19238.7	19506.5	626.5	3866.3	2030.5	340.6
2013	834.0	582.9	1813.7	6122.2	765.5	9713.8	10473.8	13638.4	10422.9	89.2	512.1	558.8	56.2
2014	1794.3	3851.8	460.7	4024.2	2193.5	12691.5	7483.8	14666.4	9484.3	130.5	371.7	208.0	86.4
2015	1434.0	6321.7	4205.9	9137.9	5327.6	17303.0	12241.5	15385.5	24216.4	75.4	875.0	391.9	143.0
2016	5864.9	2066.1	84.7	11897.8	3769.7	16834.1	20301.5	21661.2	34793.5	343.2	917.6	7103.2	653.5
2017	8028.5	2074.8		15533.3	8209.8	18448.8	27313.8	15086.2	22352.4	262.7	592.0	1953.3	303.8
2018	6300.3	2525.9		20826.0	14138.9	29077.2	32172.5	30788.1	29618.8	2794.2	642.8	3526.8	356.6
2019.09	6179.6	2271.1		22135.4	19331.7	45272.5	26264.4	31107.1	44198.3	4513.4	444.7	6242.0	574.2

资料来源: 东方证券研究所 & Wind 资讯

附录 4. 各期限国开债年度发行与交易统计

截至 2019.09.30，各个期限国开债年度发行与交易统计数据如下：

表 10：各期限国开债的年度发行与交易量（截至 2019.09.30）

发行额(亿)	0.25年	0.5年	0.75年	1年	2年	3年	5年	7年	10年	15年	20年	30年	50年
2001		300				150	100	450	850		200		
2002		400				200	150	350	1100		100	150	
2003	200	300	200	400		600	300	300	1700		100		
2004		500		350	600	400	600	200	700				
2005		100	350		400		520.3		850	1000	200	200	
2006	500	600			469.9	400	1356	500	742.1	250	350	238	
2007				450	400		1307	990.7	2450				
2008					250	621.2	2239.7	1400	2449.1		350		
2009				800	2	300	600	1150	1530	300	950		
2010		400		400	150	404	1779.3	1851.3	1797.4		300	650	
2011		150		760		1853.6	2750	2055.5	2659.9			420.1	
2012				1276.4		1860	2990	2410	2160			80	100
2013		50		1890		2524	2468.65	2020	1810				
2014				2322	305	2669.42	2575	2420	2021.8	105			
2015	40			1789.36	30	2303.27	2200	1940	3339	45			
2016	40			1660.8		2096	2520	1940	5325		1345	100	
2017				3883.7	273.8	3458.26	2885	1472	5090		210		
2018	200	260		4010.8	832	5230.76	4642.04	2629.4	5363		515		
2019.09				2952.6	301.2	3845.2	4769.4	2485.8	6741.8		35		

成交额(亿)	0.25年	0.5年	0.75年	1年	2年	3年	5年	7年	10年	15年	20年	30年	50年
2001		0.5				7.0	0.2	12.3	27.0		10.7		
2002		17.1				34.5	57.2	139.5	569.4		179.3	151.1	
2003	42.3	68.1	398.9	764.7		568.3	445.8	1733.9	6112.8		456.3	204.5	
2004		215.0	73.8	268.7	300.7	753.5	273.8	3176.3	3308.4		124.7	59.8	
2005		68.3	129.9	325.9	1116.8	2640.8	2715.1	891.2	2849.9	215.0	643.1	108.2	
2006	283.5	550.9	15.5		1006.8	3253.6	9229.7	556.4	2357.1	152.0	334.2	80.3	
2007	20.1	147.4		2913.7	871.2	727.0	6835.9	1911.2	3879.2	111.6	348.6	84.8	
2008				999.2	1876.6	629.4	12393.3	3000.7	15350.5	48.8	278.8	12.7	
2009				636.3	118.6	8224.5	23099.0	15017.1	38660.8	323.8	1360.5	14.1	
2010		2129.3		5781.6	159.4	5033.9	47658.9	12640.6	49147.5	785.6	2696.5	729.9	
2011		859.5		8138.2	598.9	10133.7	35908.7	25643.4	27031.9	199.3	167.1	946.4	
2012		0.4		10801.3	105.1	15964.9	35251.3	22333.6	30658.3	130.9	97.3	75.3	
2013		55.3		10157.3		16950.6	17468.7	12301.9	18645.7	69.4	52.0	17.9	11.0
2014		68.2		16076.8	1540.2	27053.3	21718.1	19785.1	19607.4	50.6	4.5	5.1	
2015	73.8			20563.4	1752.4	81360.6	45052.9	46078.4	61676.7	708.0	8.5	13.3	
2016	64.8			11821.4	48.5	76638.1	45563.6	29295.3	133271.5	1135.2	8543.5	246.3	
2017				13342.0	124.7	46866.1	27407.8	16049.7	105359.4	227.7	1962.3	42.5	
2018	112.2	450.5		16621.6	6362.7	56595.8	61154.0	23703.8	163665.5	605.2	1244.1	71.1	
2019.09				16523.8	6155.3	80200.4	77802.5	26833.3	250043.8	280.0	2783.4	54.6	

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

附录 5. 国债利率曲线中短线变动预测

表 11: 国债利率曲线三个月后变动的样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)

模型	评价指标	预测目标：NS模型参数			预测目标：关键期限利率变动（中债）					
		Δa	Δb	Δc	0.25	1	3	5	7	10
IVX-CP	OOS	-0.095	-0.415	-0.055	-0.357	-0.360	-0.250	-0.176	-0.120	-0.192
	DM test pvalue	0.315	0.004	0.662	0.001	0.003	0.006	0.027	0.129	0.025
	Hit Ratio	60.8%	56.4%	70.2%	50.3%	55.2%	54.1%	55.8%	60.8%	59.1%
	真实平均变动（正确）	0.0041	0.0061	0.0078	0.0056	0.0043	0.0038	0.0037	0.0036	0.0036
	真实平均变动（错误）	0.0028	0.0045	0.0055	0.0045	0.0044	0.0035	0.0031	0.0029	0.0027
	PL ratio	1.48	1.35	1.40	1.25	0.98	1.08	1.22	1.26	1.33
xgboost	OOS	-0.267	-0.172	-0.423	-0.141	-0.118	-0.235	-0.261	-0.253	-0.226
	DM test pvalue	0.000	0.039	0.000	0.110	0.206	0.053	0.031	0.030	0.026
	Hit Ratio	40.9%	65.2%	50.3%	55.8%	59.7%	60.2%	58.0%	54.1%	51.9%
	真实平均变动（正确）	0.0033	0.0058	0.0072	0.0061	0.0051	0.0037	0.0034	0.0033	0.0031
	真实平均变动（错误）	0.0038	0.0048	0.0070	0.0037	0.0032	0.0035	0.0035	0.0034	0.0034
	PL ratio	0.86	1.20	1.02	1.66	1.57	1.05	0.99	0.97	0.92
IVX-CP+YC	OOS	-5.479	-31.378	-28.084	-29.327	-37.921	-33.391	-21.455	-13.129	-7.300
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	51.9%	54.7%	56.9%	48.6%	46.4%	44.8%	44.8%	44.8%	43.1%
	真实平均变动（正确）	0.0036	0.0051	0.0076	0.0049	0.0046	0.0041	0.0038	0.0036	0.0036
	真实平均变动（错误）	0.0035	0.0058	0.0065	0.0051	0.0041	0.0032	0.0031	0.0031	0.0029
	PL ratio	1.04	0.87	1.16	0.95	1.12	1.27	1.22	1.19	1.23
VAR	OOS	-0.071	-0.337	-0.570	-0.315	-0.412	-0.364	-0.135	0.016	0.087
	DM test pvalue	0.421	0.010	0.000	0.003	0.000	0.000	0.061	0.788	0.128
	Hit Ratio	55.2%	54.1%	55.2%	57.5%	58.0%	54.1%	59.1%	61.9%	60.8%
	真实平均变动（正确）	0.0042	0.0064	0.0077	0.0049	0.0039	0.0033	0.0031	0.0034	0.0035
	真实平均变动（错误）	0.0028	0.0043	0.0063	0.0052	0.0049	0.0040	0.0039	0.0032	0.0027
	PL ratio	1.47	1.47	1.22	0.95	0.80	0.84	0.79	1.06	1.30
G-ATSM	OOS	-0.207	-3.695	-7.862	-2.286	-0.565	-0.973	-1.629	-1.653	-1.380
	DM test pvalue	0.117	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	60.2%	54.7%	44.2%	50.3%	40.9%	55.2%	55.2%	55.2%	58.0%
	真实平均变动（正确）	0.0037	0.0051	0.0068	0.0049	0.0041	0.0032	0.0031	0.0031	0.0029
	真实平均变动（错误）	0.0034	0.0058	0.0073	0.0051	0.0045	0.0041	0.0038	0.0036	0.0036
	PL ratio	1.09	0.87	0.93	0.96	0.90	0.78	0.82	0.84	0.81

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

表 12：国债利率曲线六个月后变动的样本外预测结果（2012.01.01 – 2019.09.30）

模型	评价指标	预测目标：NS模型参数			预测目标：关键期限利率变动（中债）					
		Δa	Δb	Δc	0.25	1	3	5	7	10
IVX-CP	OOS	-0.095	-0.415	-0.055	-0.357	-0.360	-0.250	-0.176	-0.120	-0.192
	DM test pvalue	0.315	0.004	0.662	0.001	0.003	0.006	0.027	0.129	0.025
	Hit Ratio	60.8%	56.4%	70.2%	50.3%	55.2%	54.1%	55.8%	60.8%	59.1%
	真实平均变动（正确）	0.0041	0.0061	0.0078	0.0056	0.0043	0.0038	0.0037	0.0036	0.0036
	真实平均变动（错误）	0.0028	0.0045	0.0055	0.0045	0.0044	0.0035	0.0031	0.0029	0.0027
	PL ratio	1.48	1.35	1.40	1.25	0.98	1.08	1.22	1.26	1.33
xgboost	OOS	-0.267	-0.172	-0.423	-0.141	-0.118	-0.235	-0.261	-0.253	-0.226
	DM test pvalue	0.000	0.039	0.000	0.110	0.206	0.053	0.031	0.030	0.026
	Hit Ratio	40.9%	65.2%	50.3%	55.8%	59.7%	60.2%	58.0%	54.1%	51.9%
	真实平均变动（正确）	0.0033	0.0058	0.0072	0.0061	0.0051	0.0037	0.0034	0.0033	0.0031
	真实平均变动（错误）	0.0038	0.0048	0.0070	0.0037	0.0032	0.0035	0.0035	0.0034	0.0034
	PL ratio	0.86	1.20	1.02	1.66	1.57	1.05	0.99	0.97	0.92
IVX-CP+YC	OOS	-5.479	-31.378	-28.084	-29.327	-37.921	-33.391	-21.455	-13.129	-7.300
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	51.9%	54.7%	56.9%	48.6%	46.4%	44.8%	44.8%	44.8%	43.1%
	真实平均变动（正确）	0.0036	0.0051	0.0076	0.0049	0.0046	0.0041	0.0038	0.0036	0.0036
	真实平均变动（错误）	0.0035	0.0058	0.0065	0.0051	0.0041	0.0032	0.0031	0.0031	0.0029
	PL ratio	1.04	0.87	1.16	0.95	1.12	1.27	1.22	1.19	1.23
VAR	OOS	-0.071	-0.337	-0.570	-0.315	-0.412	-0.364	-0.135	0.016	0.087
	DM test pvalue	0.421	0.010	0.000	0.003	0.000	0.000	0.061	0.788	0.128
	Hit Ratio	55.2%	54.1%	55.2%	57.5%	58.0%	54.1%	59.1%	61.9%	60.8%
	真实平均变动（正确）	0.0042	0.0064	0.0077	0.0049	0.0039	0.0033	0.0031	0.0034	0.0035
	真实平均变动（错误）	0.0028	0.0043	0.0063	0.0052	0.0049	0.0040	0.0039	0.0032	0.0027
	PL ratio	1.47	1.47	1.22	0.95	0.80	0.84	0.79	1.06	1.30
G-ATSM	OOS	-0.207	-3.695	-7.862	-2.286	-0.565	-0.973	-1.629	-1.653	-1.380
	DM test pvalue	0.117	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	60.2%	54.7%	44.2%	50.3%	40.9%	55.2%	55.2%	55.2%	58.0%
	真实平均变动（正确）	0.0037	0.0051	0.0068	0.0049	0.0041	0.0032	0.0031	0.0031	0.0029
	真实平均变动（错误）	0.0034	0.0058	0.0073	0.0051	0.0045	0.0041	0.0038	0.0036	0.0036
	PL ratio	1.09	0.87	0.93	0.96	0.90	0.78	0.82	0.84	0.81

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

附录 6. 国开债利率曲线中短线变动预测

表 13: 国开债利率曲线三个月后变动的样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)

模型	评价指标	预测目标：NS模型参数			预测目标：关键期限利率变动（中债）					
		Δa	Δb	Δc	0.25	1	3	5	7	10
IVX-CP	OOS	-0.334	-0.221	-0.006	-0.523	-0.629	-0.600	-0.535	-0.410	-0.425
	DM test pvalue	0.013	0.019	0.947	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
	Hit Ratio	65.4%	56.9%	62.2%	55.3%	58.0%	55.9%	58.0%	60.1%	62.8%
	真实平均变动（正确）	0.0033	0.0047	0.0076	0.0041	0.0038	0.0036	0.0035	0.0034	0.0032
	真实平均变动（错误）	0.0029	0.0048	0.0052	0.0040	0.0039	0.0031	0.0029	0.0028	0.0030
	PL ratio	1.15	0.97	1.45	1.05	0.97	1.15	1.20	1.22	1.08
xgboost	OOS	-0.507	-0.133	-0.190	-0.304	-0.396	-0.615	-0.646	-0.641	-0.590
	DM test pvalue	0.000	0.008	0.007	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	44.7%	48.4%	51.6%	54.3%	52.1%	51.6%	50.5%	47.3%	47.9%
	真实平均变动（正确）	0.0030	0.0048	0.0066	0.0040	0.0037	0.0033	0.0032	0.0031	0.0031
	真实平均变动（错误）	0.0034	0.0047	0.0068	0.0041	0.0040	0.0035	0.0033	0.0032	0.0032
	PL ratio	0.89	1.02	0.97	0.96	0.93	0.94	0.96	0.96	0.95
IVX-CP+YC	OOS	-0.209	-17.924	-133.768	-29.444	-62.133	-92.456	-70.398	-46.827	-25.806
	DM test pvalue	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	60.1%	56.9%	48.9%	48.4%	44.7%	38.8%	43.1%	43.6%	41.0%
	真实平均变动（正确）	0.0033	0.0040	0.0070	0.0038	0.0039	0.0041	0.0035	0.0035	0.0035
	真实平均变动（错误）	0.0030	0.0057	0.0064	0.0043	0.0037	0.0029	0.0030	0.0029	0.0029
	PL ratio	1.09	0.69	1.10	0.90	1.05	1.38	1.15	1.20	1.22
VAR	OOS	-0.003	0.057	-0.438	0.051	-0.075	-0.139	-0.065	-0.015	0.032
	DM test pvalue	0.970	0.514	0.000	0.389	0.320	0.048	0.285	0.784	0.557
	Hit Ratio	63.8%	58.0%	56.9%	52.7%	49.5%	52.1%	53.7%	50.5%	57.4%
	真实平均变动（正确）	0.0034	0.0050	0.0067	0.0044	0.0038	0.0032	0.0032	0.0031	0.0033
	真实平均变动（错误）	0.0028	0.0044	0.0067	0.0037	0.0039	0.0036	0.0033	0.0032	0.0029
	PL ratio	1.23	1.15	1.00	1.16	0.98	0.87	0.96	0.95	1.15
G-ATSM	OOS	-0.489	-10.665	-10.077	-6.931	-2.753	-0.475	-0.945	-1.145	-0.957
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	54.8%	56.9%	51.1%	48.4%	45.2%	45.2%	56.9%	56.4%	59.0%
	真实平均变动（正确）	0.0033	0.0040	0.0064	0.0038	0.0038	0.0029	0.0030	0.0029	0.0029
	真实平均变动（错误）	0.0031	0.0057	0.0070	0.0043	0.0038	0.0038	0.0035	0.0035	0.0035
	PL ratio	1.08	0.69	0.91	0.90	1.01	0.75	0.87	0.83	0.82

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

表 14：国开债利率曲线六个月后变动的样本外预测结果（2012.01.01 – 2019.09.30）

模型	评价指标	预测目标：NS模型参数			预测目标：关键期限利率变动（中债）					
		Δa	Δb	Δc	0.25	1	3	5	7	10
IVX-CP	OOS	-0.193	-0.081	-0.043	-0.524	-0.388	-0.315	-0.293	-0.195	-0.180
	DM test pvalue	0.124	0.556	0.698	0.000	0.001	0.019	0.038	0.135	0.150
	Hit Ratio	72.9%	58.0%	64.1%	49.7%	50.3%	55.8%	60.2%	66.3%	70.2%
	真实平均变动（正确）	0.0046	0.0071	0.0081	0.0054	0.0067	0.0066	0.0061	0.0057	0.0054
	真实平均变动（错误）	0.0037	0.0038	0.0064	0.0052	0.0047	0.0038	0.0033	0.0033	0.0035
	PL ratio	1.25	1.88	1.25	1.05	1.41	1.74	1.84	1.72	1.53
xgboost	OOS	-0.236	0.110	-0.872	0.140	0.007	-0.207	-0.228	-0.254	-0.197
	DM test pvalue	0.000	0.306	0.000	0.193	0.944	0.071	0.032	0.007	0.013
	Hit Ratio	50.8%	70.2%	50.8%	64.6%	63.0%	58.6%	52.5%	49.7%	53.6%
	真实平均变动（正确）	0.0039	0.0064	0.0069	0.0066	0.0067	0.0060	0.0058	0.0054	0.0049
	真实平均变动（错误）	0.0049	0.0042	0.0081	0.0029	0.0040	0.0045	0.0041	0.0044	0.0048
	PL ratio	0.80	1.50	0.84	2.26	1.66	1.32	1.41	1.23	1.02
IVX-CP+YC	OOS	-4.061	-69.188	-122.080	-67.034	-70.003	-63.386	-43.413	-26.686	-13.669
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	59.7%	50.8%	54.7%	43.1%	45.9%	42.0%	42.0%	47.0%	44.8%
	真实平均变动（正确）	0.0046	0.0055	0.0078	0.0055	0.0059	0.0061	0.0057	0.0051	0.0050
	真实平均变动（错误）	0.0041	0.0060	0.0072	0.0051	0.0056	0.0048	0.0044	0.0047	0.0047
	PL ratio	1.12	0.91	1.08	1.09	1.07	1.27	1.29	1.08	1.06
VAR	OOS	0.131	0.005	-1.038	-0.134	-0.225	-0.166	-0.033	0.058	0.144
	DM test pvalue	0.112	0.965	0.000	0.174	0.022	0.031	0.592	0.284	0.006
	Hit Ratio	69.6%	53.0%	50.3%	54.7%	54.7%	52.5%	48.1%	51.9%	60.2%
	真实平均变动（正确）	0.0047	0.0068	0.0079	0.0050	0.0050	0.0048	0.0047	0.0055	0.0055
	真实平均变动（错误）	0.0036	0.0046	0.0071	0.0056	0.0066	0.0060	0.0052	0.0042	0.0038
	PL ratio	1.31	1.47	1.11	0.89	0.76	0.79	0.90	1.33	1.45
G-ATSM	OOS	-0.331	-7.875	-10.935	-4.570	-1.241	-0.573	-0.948	-1.015	-0.768
	DM test pvalue	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Hit Ratio	54.1%	51.9%	45.3%	44.8%	50.3%	58.0%	58.0%	53.0%	55.2%
	真实平均变动（正确）	0.0046	0.0056	0.0072	0.0056	0.0056	0.0048	0.0044	0.0047	0.0047
	真实平均变动（错误）	0.0040	0.0058	0.0078	0.0051	0.0059	0.0061	0.0057	0.0051	0.0050
	PL ratio	1.15	0.97	0.92	1.10	0.94	0.78	0.77	0.92	0.95

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

附录 7. 国开债 BRP 预测

表 15: 国开债 BRP 样本外预测结果 (2012.01.01 – 2019.09.30)

模型	评价指标	持有期：6个月						持有期：12个月				
		1	2	3	5	7	10	2	3	5	7	10
IVX-CP	OOS	-0.172	-0.084	-0.165	-0.237	-0.082	-0.135	0.186	0.084	0.053	0.123	-0.202
	DM test pvalue	0.054	0.335	0.131	0.059	0.478	0.249	0.029	0.438	0.657	0.295	0.224
	Hit Ratio	70.2%	68.0%	50.3%	48.1%	56.4%	61.3%	74.6%	65.1%	61.5%	63.3%	61.5%
	真实平均变动 (正确)	0.0038	0.0106	0.0180	0.0322	0.0391	0.0520	0.0124	0.0215	0.0409	0.0543	0.0777
	真实平均变动 (错误)	0.0028	0.0085	0.0108	0.0179	0.0253	0.0370	0.0060	0.0141	0.0283	0.0393	0.0558
	PL ratio	1.37	1.25	1.67	1.80	1.55	1.40	2.08	1.52	1.45	1.38	1.39
xgboost	OOS	-0.614	-0.731	-1.307	-1.001	-0.728	-0.418	0.185	0.102	0.206	0.248	0.232
	DM test pvalue	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.096	0.246	0.023	0.008	0.019
	Hit Ratio	53.0%	58.6%	48.1%	43.1%	61.9%	55.8%	71.6%	62.1%	62.7%	62.7%	59.2%
	真实平均变动 (正确)	0.0041	0.0103	0.0161	0.0314	0.0364	0.0487	0.0118	0.0210	0.0397	0.0532	0.0781
	真实平均变动 (错误)	0.0028	0.0094	0.0128	0.0198	0.0277	0.0431	0.0080	0.0155	0.0300	0.0413	0.0565
	PL ratio	1.49	1.10	1.26	1.58	1.31	1.13	1.48	1.35	1.32	1.29	1.38
IVX CP+YC	OOS	-78.774	-88.868	-38.882	-0.257	-0.092	-0.139	-0.073	-0.014	0.032	0.007	-0.244
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.000	0.037	0.425	0.240	0.503	0.887	0.783	0.956	0.155
	Hit Ratio	35.9%	26.5%	49.2%	47.0%	55.8%	61.3%	65.1%	60.9%	60.9%	61.5%	61.5%
	真实平均变动 (正确)	0.0035	0.0093	0.0180	0.0328	0.0393	0.0520	0.0119	0.0217	0.0403	0.0540	0.0777
	真实平均变动 (错误)	0.0035	0.0101	0.0109	0.0177	0.0252	0.0370	0.0086	0.0148	0.0294	0.0404	0.0558
	PL ratio	0.99	0.92	1.65	1.85	1.56	1.40	1.38	1.47	1.37	1.34	1.39
VAR	OOS	-0.229	-0.227	-0.239	-0.078	0.056	0.113	-0.019	-0.085	0.087	0.173	0.271
	DM test pvalue	0.034	0.011	0.008	0.219	0.339	0.042	0.752	0.258	0.162	0.008	0.000
	Hit Ratio	70.7%	72.9%	60.2%	57.5%	57.5%	59.1%	65.7%	60.4%	57.4%	53.8%	59.8%
	真实平均变动 (正确)	0.0036	0.0101	0.0147	0.0259	0.0333	0.0523	0.0133	0.0215	0.0410	0.0553	0.0796
	真实平均变动 (错误)	0.0032	0.0095	0.0140	0.0233	0.0329	0.0373	0.0059	0.0151	0.0294	0.0411	0.0540
	PL ratio	1.12	1.06	1.05	1.11	1.01	1.40	2.27	1.43	1.39	1.35	1.47
G-ATSM	OOS	-3.097	-0.470	-0.485	-0.779	-1.217	-0.672	-0.380	-0.181	-0.175	-0.394	-0.125
	DM test pvalue	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.070	0.003	0.302
	Hit Ratio	29.3%	65.7%	64.1%	61.3%	59.1%	58.0%	55.6%	59.8%	58.0%	56.2%	55.6%
	真实平均变动 (正确)	0.0032	0.0092	0.0143	0.0254	0.0331	0.0455	0.0126	0.0216	0.0411	0.0549	0.0732
	真实平均变动 (错误)	0.0036	0.0112	0.0146	0.0238	0.0331	0.0473	0.0085	0.0151	0.0292	0.0409	0.0644
	PL ratio	0.87	0.82	0.97	1.07	1.00	0.96	1.48	1.43	1.41	1.34	1.14

资料来源：东方证券研究所 & Wind 资讯

参考文献

- [1]. Andrian, T., Crump, R.K., Moench, E., (2013), "Pricing the term structure with linear regressions", Journal of Financial Economics, 110(1): 110-138.
- [2]. Ang, A., Piazzesi, (2003), "A no-arbitrage vector autoregression of term structure dynamics with macroeconomic and latent variables", Journal of Monetary Economics, 50:745-787
- [3]. Bauer, M.D., Hamilton, J.D., (2018), "Robust Bond Risk Premia", The Review of Financial Studies, 31(2): 399-448
- [4]. Bianchi, D., Büchner, M., Tamoni, A., (2019), "Bond Risk Premia with Machine Learning". Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3232721>.
- [5]. BIS, (2005), "Zero-coupon yield curves: technical documentation", Monetary and Economic Department, Bank of International Settlements.
- [6]. Boudoukh, J., Israel, R., Richardson, M.P., (2018), "Long Horizon Predictability: A Cautionary Tale", Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3142575>.
- [7]. Boudoukh, J., Richardson, M.P., Whitelaw, R., (2005), "The Myth of Long-Horizon Predictability", Review of Financial Studies, 21(4): 1577-1605
- [8]. Canabarro, E., (1995), "Where do one-factor interest rate model fails?", Journal of Fixed Income, 5(2): 31-52
- [9]. Chen, T.Q., Guestrin, C., (2016). "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System", Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, San Francisco, CA, USA, August 13-17, 2016. ACM. pp. 785-794.
- [10]. Cochrane, J.H., Piazzesi, M., (2005), "Bond risk premia", American Economic Review, 95:138-160.
- [11]. Diebold, F.X., Li, C., (2006), "Forecasting the term structure of government bond yields", Journal of Econometrics, 130:337-364.
- [12]. Diebold, F.X., Mariano, R.S., (1995), "Comparing predictive accuracy". Journal of Business and Economic Statistics, 13:253-263.
- [13]. Duffee, G., (2011), "Forecasting with the term structure: The role of no arbitrage", working paper.
- [14]. Duffee, G., (2013), "Forecasting Interest Rates", Handbook of Economic Forecasting(1st Edition), 2:385-426.
- [15]. Duffie, D., Kan, R., (1996), "A yield-factor of interest rates", Mathematical Finance, 6:379-406.
- [16]. Fabozzi, F.J., (2015), "Bond Markets, Analysis and Strategies (Ninth Edition)", Pearson.

- [17]. Gargano, A., Pettenuzzo, D., Timmermann, A., (2017), "Bond Return Predictability: Economic Value and Links to the Macroeconomy", working paper, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2471273>
- [18]. Kelly, B., Pruitt, S., (2015), " the Three-pass Regression Filter: A New Approach to Forecasting Using Many Predictors", Journal of Econometrics, 186(2): 294-316
- [19]. Kostakis, A., Magdalinos, T., Stamatogiannis, P., (2015). "Robust Econometric Inference for Stock Return Predictability," Review of Financial Studies, Society for Financial Studies, 28(5): 1506-1553
- [20]. Kozisek, J., (2017), "Forecasting term structure of government bonds using high frequency data", Master thesis.
- [21]. Litterman, R., Scheinkman, J., (1991), "Common factors affecting bond returns", Journal of Fixed Income, 1(1): 1-22
- [22]. Ludvigson, S. C., Serena, Ng., (2009), "Macro Factors in Bond Risk Premia", Review of Financial Studies, 22:5027-5067.
- [23]. Monch, E., (2008), "Forecasting the yield curve in a data-rich environment: A no-arbitrage factor-augmented VAR approach", Journal of Econometrics, 146:24-43.
- [24]. Pooter, M., Ravazzolo, F., Dijk, D., (2010), "Term Structure Forecasting Using Macro Factors and Forecast Combination", Norges Bank Working Paper 2010/01. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1585174>
- [25]. Stambaugh, R., (2000), "Predictive Regression", Journal of Financial Econometrics, 54: 375-421
- [26]. 张晓峒, (2010), "季节调整中国化与 NBS-SA 软件项目研发研究报告", 国家统计局.

分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内的公司的涨跌幅相对同期的上证指数/深证成指的涨跌幅为基准；

公司投资评级的量化标准

买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；

增持：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15%；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；

减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

行业投资评级的量化标准：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；

看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

联系人：王骏飞

电话：021-63325888*1131

传真：021-63326786

网址：www.dfzq.com.cn

Email：wangjunfei@orientsec.com.cn