

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.04.005

中国自然利率缺口与国债市场定价^①

——风险溢价还是到期收益率投资者需求

刘蕴霆¹, 赵康辰^{2*}

(1. 北京大学经济学院, 北京 100871; 2. 温州商学院金融贸易学院, 温州 325035)

摘要: 自然利率是经济处于理想无摩擦状态下的实际利率。随着中国货币政策向价格型货币政策转型, 自然利率也成为价格型货币政策的重要实际利率锚。自然利率缺口, 即实际利率与自然利率之差, 包含了经济基本面和央行货币政策的关键信息, 对国债市场定价具有重要影响。本文对中国经济中的自然利率缺口进行估计, 发现自然利率缺口包含国债远期利率所不包含的国债超额收益预测信息。自然利率缺口越大, 国债未来超额收益越高。与对发达金融市场的研究不同, 中国自然利率缺口中被宏观经济变量解释的部分对国债超额收益不具有显著预测力, 这意味着中国经济基本面的国债风险溢价机制尚未完全建立。中国国债的主要投资者是商业银行, 而商业银行由于资本税收等因素倾向于持有债券到期, 可能更多考虑到到期收益率而非期望收益。本文构建了一个包含到期收益率与期望回报投资者的理论模型, 阐释了自然利率缺口通过影响商业银行的长期国债持有比例, 从而传导到国债定价的机制, 并通过实证研究验证了这一理论预测。本文的研究对深入理解自然利率的周期性特征及债券市场的定价机制具有一定现实意义。

关键词: 自然利率缺口; 宏观经济; 货币政策; 到期收益率投资者; 债券定价

中图分类号: F832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2025)04-0063-17

0 引言

自然利率最早由魏克赛尔(Wicksell)^[1]提出, 是指无摩擦条件下经济中资源得到理想配置时的均衡利率水平。随着市场化利率调控机制的逐步深入, 中国的货币政策框架逐步从数量型向价格型转变。完备的利率体系要求货币政策能够锚定自然利率^[2], 以高效实现资源配置的优化, 自然利率逐渐成为宏观经济分析与货币政策的重要参考^[3-7]。

在利率市场化改革不断深化的背景下, 国债收益率曲线愈发成为市场化利率体系的重要组成部分^[2], 并为不同期限资产的定价提供参考。在

市场化条件下, 央行主要调节短端利率, 并通过影响市场对未来宏观经济走势、货币政策走向的预期等方式传导到收益率曲线的中长端。自然利率缺口即实际利率与自然利率之差, 亦是对宏观经济状况及货币政策态度的重要度量。研究自然利率缺口的决定因素及自然利率缺口如何在债券收益率曲线传导, 在宏观以及金融领域具有重要的现实和学术意义, 也对货币政策能否通过自然利率缺口传导到收益率曲线的长端提供决策参考。

为探究中国自然缺口与国债风险溢价的关系, 本文首先构建宏观半结构模型估计了中国经济的自然利率缺口。研究发现, 自然利率缺口具有国债风险溢价的重要信息。自然利率缺口越高, 国

① 收稿日期: 2022-10-30; 修订日期: 2024-09-17。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71903004; 72431001; 72173005); 北京大学经济学院种子基金项目。

通讯作者: 赵康辰(1994—), 男, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 讲师。Email: zhaokangchen1611@163.com

债未来超额收益越高,并且自然利率缺口在控制了远期利率以及名义周期性因子后仍对国债超额收益具有预测能力。

本文进一步从两个方向探讨自然利率缺口的风险溢价形成机制。从宏观基本面定价的角度,自然利率缺口可能包含人口结构^[8]、通货膨胀^[9, 10]、潜在产出^[11, 12]以及货币政策^[13]等经济基本面信息。当社会未来的经济活动(生产、消费等)活跃,自然利率变高^[14],若央行将实际利率目标与自然利率锚定,则会提升实际利率水平,抑制经济过热^[15],债券价格随之降低。因此,债券市场的收益可能呈现反周期特征,并产生反周期风险溢价^[16]。而本文发现,尽管宏观经济指标是中国自然利率缺口的重要决定因素,但是中国自然利率缺口中被宏观经济变量解释的部分对国债超额收益不具有显著的预测力,这表明中国国债市场风险溢价的宏观经济基本面机制可能尚未完全建立。

另一方面,中国国债市场的一个重要特征是国债主要由商业银行持有。由于持有国债的利息收入免征所得税和增值税,而买卖国债的资本利得不免税,商业银行为节约税收等因素往往选择持有国债到期,而非活跃地对国债进行交易。本文基于中国商业银行持有和交易国债的上述特点,创新地在 Hanson 和 Stein^[17]提出的到期收益率和期望回报投资者的框架下,研究自然利率缺口对中国国债的定价机制。理论研究发现,当自然利率缺口上升,即实际利率高于自然利率的程度变大时,国债市场投资者对于未来短期实际利率的预期降低,以商业银行为代表的收益率投资者将相对减持长期国债,使得均衡的长期国债超额收益率上升。实证研究验证了模型的核心推论,结果表明,自然利率缺口向中国国债超额收益的传导,主要是通过影响商业银行(到期收益率投资者)的长期国债持仓比例来实现。因此,本文的研究也表明央行需要关注自然利率缺口,当自然利率缺口较大时,货币政策对长期利率的风险溢价有较大的影响。从金融市场稳定性角度,锚定自然利率有

助于降低债券市场的波动。

本文的贡献主要有三点:第一,扩展了中国债券市场风险溢价形成机制的研究。从到期收益率投资者、期望回报投资者的角度,首次在中国国债市场探讨了以商业银行为代表的到期收益率投资者的持仓行为影响国债定价的机制;第二,系统研究了自然利率缺口向国债定价传导的机制。本文不仅从经济基本面视角探讨自然利率缺口对国债超额收益的影响机制,更进一步提出自然利率缺口通过改变到期收益率投资者的国债需求进而影响风险溢价的新机制。理论和实证分析进一步验证了这一机制,并且此机制可能更加符合中国债券市场的特征;第三,丰富了已有中国金融市场关于自然利率和债券定价的研究。与自然利率主要刻画经济以及债券市场的趋势性特征不同^[18],自然利率缺口包含更多周期性的波动信息。因此关注自然利率缺口深化了对自然利率与收益率曲线之间关系的理解,也为货币政策制定提供了有益参考。

1 自然利率缺口与国债超额收益

1.1 中国自然利率模型的构建

“自然利率”自魏克赛尔提出以来,已经发展成为许多国家货币政策的重要参考指标。自然利率估计的方法主要包括基于时间序列的计量模型^[19]、金融资产定价模型^[20, 21]、DSGE 模型^[22, 23]、宏观计量模型^[4]以及宏观半结构模型^[24, 25]。其中,基于时间序列的计量模型将实际利率的长期趋势作为对自然利率的有效测度。然而此方法受参数设定等约束影响较大,现使用不多。金融资产定价模型主要通过资产定价模型对自然利率进行估算,但准确性易受风险溢价波动的影响,存在局限性。虽然与前两方法相比,动态随机一般均衡(DSGE)模型可以更加系统估计工资和价格具有完全弹性时市场的均衡实际利率(自然利率),但实际工作中,估计 DSGE 模型较

复杂且易受设定偏误影响.如今,国内外自然利率相关研究多采用宏观半结构模型,该模型通过联立 IS 曲线与 Phillips 曲线,可以实现对存在不可观测经济变量(潜在产出、利率缺口等)的系统的估计,模型不仅兼具 DSGE 模型的理论基础以及计量模型的灵活性,还可以估计宏观计量模型中所难以观测的状态变量,在现有研究中^[4-7]应用更加广泛.因此,本文将新凯恩斯(NK)框架下 Laubach 和 Williams^[24, 26]的宏观半结构模型为基准,对中国的自然利率缺口进行估计.

宏观半结构模型中的 IS 曲线主要描述产出缺口与自然利率缺口之间的关系.为反映中国货币政策调控具有数量和价格调控并存的特征,参考徐忠和贾彦东^[4],构建“影子利率”刻画政策利率的变化. IS 曲线的具体形式为

$$x_t = a_x x_{t-1} + (\rho_a - a_x) x_{t-2} + \frac{a_r}{2} \sum_{j=1}^2 (sr_{t-j} - r_t^*) + \varepsilon_{y,t} \quad (1)$$

其中 y_t 为对数实际产出, y_t^* 为对数潜在产出, 产出缺口 $x_t = y_t - y_t^*$, sr_t 为影子政策利率, r_t^* 为自然利率. 根据本文的定义, 自然利率缺口 (natural rate gap, NG) 即为 $NG = r_t - r_t^*$. “影子利率” sr_t 满足 $sr_t = \lambda r_t + (1 - \lambda) m_{2,t}$, 其中 r_t 为实际可观测利率, $m_{2,t}$ 为货币供应量的变化率, λ 为权重参数并参考徐忠和贾彦东^[4]校准为 0.82.

Phillips 曲线刻画的是通胀缺口和产出缺口之间的关系. 同时, 为了更好地刻画中国通胀变化的特征, 参考徐忠和贾彦东^[4], 引入进口价格通胀率和房产通胀率对 Phillips 曲线进行调整. 扩展后的 Philips 曲线表示为

$$\begin{pmatrix} y_t^* \\ y_{t-1}^* \\ y_{t-2}^* \\ g_{t-1} \\ g_{t-2} \\ z_{t-1} \\ z_{t-2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_z & \rho_z - \gamma_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{t-1}^* \\ y_{t-2}^* \\ y_{t-3}^* \\ g_{t-2} \\ g_{t-3} \\ z_{t-2} \\ z_{t-3} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{y,t-1} + \varepsilon_{g,t-1} \\ 0 \\ 0 \\ \varepsilon_{g,t-1} \\ 0 \\ \varepsilon_{z,t} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\pi_t = b_x x_{t-1} + \sum_{j=1}^8 b_j \pi_{t-j} + b_l \pi_{t-1}^l + b_H \pi_{t-1}^H + \varepsilon_{\pi,t} \quad (2)$$

其中 π_t 为通货膨胀率, π_t^l 为中国进出口价格通胀率和 π_t^H 为房地产价格指数增速.

在自然利率动态设定方面, 参照 Laubach 和 Williams^[24, 26], 从短期和长期两方面设定自然利率的动态. 自然利率设定如下

$$r_t^* = \theta g_t + z_t \quad (3)$$

其中 g_t 为潜在产出的趋势变化, z_t 自然利率的周期性波动. 并假定潜在产出增长率 g_t 服从随机游走过程

$$g_t = g_{t-1} + \varepsilon_{g,t} \quad (4)$$

因此, 潜在产出 y_t^* 为随机趋势过程, 即

$$y_t^* = y_{t-1}^* + g_{t-1} + \varepsilon_{y,t} \quad (5)$$

同时, 假定自然利率的周期波动 z_t 服从下述平稳 AR(2) 过程, 并参照徐忠和贾彦东^[4]将 ρ_z 校准为 0.9, γ_z 校准为 0.77

$$z_t = \gamma_z z_{t-1} + (\rho_z - \gamma_z) z_{t-1} + \varepsilon_{z,t} \quad (6)$$

不失一般性, 假定状态变量所受的外生冲击均为独立同分布的高斯白噪声.

1.2 模型估计与数据说明

以上自然利率模型的方程(1)~方程(6)可以写成状态空间的形式, 由观测方程与状态方程两部分构成. 状态方程刻画状态变量潜在产出 y_t^* 、自然利率的周期波动 z_t 以及自然利率的趋势波动 g_t 的动态规律. 观测方程刻画可观测变量实际产出、通货膨胀率和实际利率与状态变量之间的关系. 状态方程的矩阵以及观测方程的形式分别为

$$\begin{pmatrix} y_t \\ \pi_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_x & \rho_a - a_x & \frac{a_r}{2} & \frac{a_r}{2} & 0e & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_x & 0 & 0 & 0 & b_1 & b_2 & 1 - b_1 - b_2 & b_H & b_I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ sr_{t-1} \\ sr_{t-2} \\ \pi_{t-1} \\ \pi_{t-2,4} \\ \pi_{t-5,8} \\ \pi_{t-1}^H - \pi_{t-1} \\ \pi_{t-1}^I - \pi_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_t^* \\ y_{t-1}^* \\ y_{t-2}^* \\ g_{t-1} \\ g_{t-2} \\ z_{t-1} \\ z_{t-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix}$$

上述状态空间模型包含实际产出 y_t 、影子利率 sr_t 、货币供应量增速 $m_{2,t}$ 、通货膨胀 π_t 、进出口价格通胀 π_{t-1}^I 以及房地产价格通胀 π_{t-1}^H 共 6 个观测变量。在数据选取方面,实际产出 y_t 为 X11 法季节调整后的实际 GDP 的对数;实际利率为 10 年期国债收益率与未来四季度通胀均值之差^②;货币供应量变化率 $m_{2,t}$ 采用 M2 同比增速;通货膨胀率为全商品 CPI 度量的价格指数同比增速,数据均来自于 Wind 与 Choice 数据库。样本时间区间为 2000 第一季度—2019 年第四季度^③。

对上述自然利率模型的参数,采用卡尔曼滤波极大似然法以及 EM 算法进行估计,参数估计结果如表 1 Panel A 所示^④。

表 1 Panel A 第 3 列的参数估计结果显示,在 IS 曲线中,自然利率缺口与产出缺口之间呈现出

同向变化特征,与徐忠和贾彦东^[4]对中国自然利率的估计结果一致。在 Phillips 曲线中,滞后一个季度的通胀系数与滞后 2 个季度~滞后 4 个季度通胀系数符号相反,而与滞后 5 个季度~滞后 8 个季度通胀系数符号相同,通胀与产出缺口之间的关系呈现出周期性变化特征。表 1 的 Panel A 第 4 列、第 5 列展示了状态空间模型参数的估计值、标准差以及 t 值,可以发现,影响 IS 曲线与 Phillips 曲线数值大小与形状的主要参数(产出缺口系数 a_x 与 $\rho_a - a_x$ 、通货膨胀水平系数 $b_1 - b_3$ 、房地产系数 b_H 、进出口系数 b_I)以及影响自然利率估计结果的主要参数(自然利率趋势增长系数 θ 、自然利率趋势增长标准差 σ_g 、自然利率外生冲击波动标准差 σ_z)均具有较高显著性,验证了本文自然利率参数估计结果的合理性与稳健性。

② 10 年期国债收益率具有时间序列长、数据频率高,与其它利率相关性高的特点,常作为中国自然利率研究中的实际可观测利率指标。

③ 由于模型估计需要满足估计结果时点之前的 8 期(即 8 个季度 2 年)范围内存在观测,自然利率估计结果起始时点为 2002 年第一季度。同时,为了避免新冠疫情冲击对自然利率估计以及后文债券超额收益预测的影响,样本截止时点为 2019 年第四季度。

④ 为提升参数估计结果的稳定性,本文将极大似然估计的收敛精度设为 10^{-6} 。同时,模型参数的标准差与 t 值由 Bootstrap 法得到,本文对原始数据进行有放回抽样,得到了 1 000 组模拟数据,并通过模拟数据重新拟合状态空间模型所得到的 1 000 组参数估计结果计算出各参数标准差以及 t 值。此外,为了避免抽样的极端值对估计结果的影响,本文在计算参数标准差时剔除了每个参数估计结果样本中最大 1% 与最小 1% 的极端样本。

表 1 状态空间模型参数与中国自然利率估计结果
Table 1 Estimation results of state space model parameters and China's natural interest rate

Panel A 半结构模型主要参数估计结果					
参数	参数含义		估计结果	标准差	t 值
a_x	滞后一阶实际产出缺口系数		0.772 465	0.181 088	4.27
$\rho_a - a_x$	滞后二阶实际产出缺口系数		0.145 437	0.178 859	0.81
a_r	滞后一、二阶利率缺口系数		0.014 087	0.052 494	0.27
b_1	滞后 1 个季度通胀系数		1.215 155	0.093 591	12.98
b_2	滞后 2 个季度 ~ 滞后 4 个季度通胀系数		-0.542 850	0.078 917	-6.88
b_3	滞后 5 个季度 ~ 滞后 8 个季度通胀系数		0.107 532	0.001 333	80.67
b_H	房价价格指数通胀系数		0.050 644	0.021 453	2.36
b_I	进口价格指数通胀系数		-0.039 200	0.021 304	-1.84
θ	自然利率趋势增长系数		0.999 736	0.544 796	1.84
σ_y	产出缺口波动标准差		0.878 142	0.225 393	3.90
σ_π	通货膨胀波动标准差		0.657 423	0.061 843	10.63
σ_g	趋势增长波动的标准差		0.410 909	0.093 758	4.38
σ_z	自然利率外生技术冲击波动标准差		0.113 996	0.051 482	2.21
Panel B 实际利率、自然利率与自然利率缺口描述性统计					
	N	均值	标准差	最小值	最大值
r_t	72	0.888	2.837	-6.138	7.337
r_t^*	72	2.252	0.262	1.761	2.655
$r_t - r_t^*$ (NG)	72	-1.364	2.893	-8.724	4.839

基于估计得出的模型参数,本文采用卡尔曼平滑(Kalman smoother)对中国自然利率缺口进行推断并做出描述性统计.表1的Panel B展示了自然利率、自然利率缺口以及实际利率的描述性统计.可以发现,本文估计的自然利率标准差远低于实际利率,具有平滑的特征.在数值大小方面,本文估计的自然利率在1.761与2.655之间波动,平均值为2.252%,与李宏瑾等^[3]以及徐忠和贾彦东^[4]的估计结果相近.本文所选实际利率指标平均值为0.888,因此本文自然利率在样本期内长期高于实际利率水平,自然利率缺口在样本期内均值为负,这一点与中国市场长期的低利率政策特征相符合^⑤,也与中国自然利率相关研究^[4, 18]的结论相一致^⑥.观察图1可知,本文自然利率缺口呈现出的阶段性特征^⑦,与中国经济的

运行状况一致.

1.3 自然利率缺口对国债超额收益的预测能力

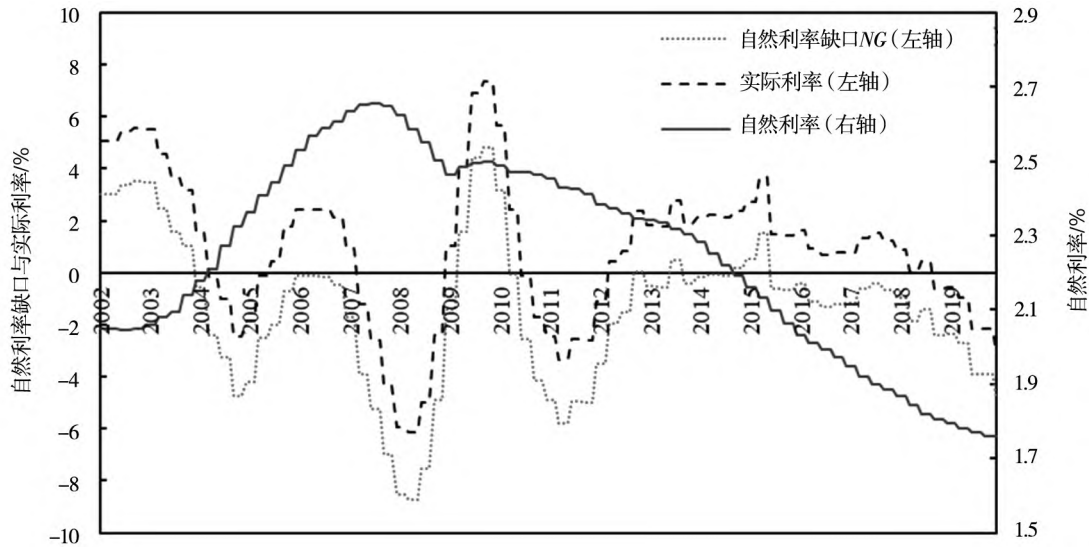
从对自然利率的估计结果可以看出,自然利率缺口的变化与中国经济运行状态密切相关.本节进一步探讨自然利率缺口中是否包含着远期利率以外的预测国债超额收益的有效信息.

本文使用期限为2年~5年债券的超额收益率平均值 $\bar{r}x_{t+1}$ 度量国债超额收益,即 $\bar{r}x_{t+1} = \sum_{i=2}^5 rx_{t+1}^i / 4$,其中 rx_{t+1}^i 为期限为*i*的债券的超额收益率.为分离名义价格的周期波动对国债超额收益的影响,参照Cieslak和Povala^[27]构建了名义周期性因子CF,并将国债平均超额收益 $\bar{r}x_{t+1}$ 对CF因子回归.回归得到的残差记为 $\bar{r}x_{t+1}^*$,代表了分离名义因素后的国债超额收益.

⑤ 较高利率会抑制消费,促进储蓄,提高企业融资成本.因此,在大部分时间内,中国的货币政策满足“黄金法则”约束,可观测实际利率都是低于经济理想状态的自然利率,该政策实践被称为留有余地的最优策略^[2].

⑥ 本文自然利率估计结果有需要者可向作者索取.

⑦ 2008年金融危机导致全球经济低迷,市场实际回报水平大幅度下降,而经济高速增长,因而实际利率水平远低于自然利率水平,导致自然利率缺口出现了大幅下滑;2013年中国金融市场所发生的“钱荒”导致了金融市场融资困难,拆借利率大幅提高不仅引起了企业融资成本上升,还大幅度推升了实际利率水平,使得自然利率缺口出现了持续上升,并在2015年达到极值.

图 1 中国自然利率与自然利率缺口 (NG_t)Fig. 1 China's natural rate and natural rate gap (NG_t)

国债超额收益的预测由方程(7)~方程(9)所示,分别代表只加入远期利率、只加入自然利率缺口、同时加入远期利率和自然利率缺口的国债超额收益预测回归

$$\bar{r}x_{t+1}^* = \delta_0 + \delta_1' f_t + \varepsilon_{t+1}^1 \quad (7)$$

$$\bar{r}x_{t+1}^* = \mu_0 + \mu_1' NG_t + \varepsilon_{t+1}^2 \quad (8)$$

$$\bar{r}x_{t+1}^* = \gamma_0 + \gamma_1' f_t + \gamma_2' NG_t + \varepsilon_{t+1}^3 \quad (9)$$

其中 $\bar{r}x_{t+1}^*$ 为分离名义因素后的国债超额收益, f_t 为 t 时点 1 年~5 年后到期的一年期远期利率向量,满足

$$f_t = [f_t^{(1)}, f_t^{(2)}, f_t^{(3)}, f_t^{(4)}, f_t^{(5)}]' \quad (10)$$

本文分别进行上述方程(7)~方程(9)三组回归:只包含远期利率的预测回归;只包含自然利率缺口的预测回归以及同时包含自然利率缺口和各期限远期的回归.样本时间区间为 2002 年 1 月—2019 年 12 月,频率为月度^⑧.

回归结果如表 2 的 Panel A 所示.表 2 Panel A 的第 1 列与第 2 列分别代表了仅选择各期限远期利率与仅选择自然利率缺口作为解释变量的超额收益预测回归结果,第 3 列则代表了同时引入远期利率和自然利率缺口作为解释变量的预测回归结果.可以发现,无论单独用自然利率缺口预测国债超额收益,还是用远期利率和自然利率缺口

共同预测超额收益,自然利率缺口系数均显著为正:即当自然利率缺口上升时,国债未来超额收益水平上升,自然利率缺口中包含了远期利率所不包含的风险溢价信息.对比表 2 Panel A 第 1 列与第 3 列结果发现,引入自然利率缺口使得预测回归的 R^2 由 0.527 上升至 0.620,单一变量的引入将回归整体拟合优度提升近 20%.结果表明自然利率缺口对国债超额收益预测信息的信息量较大,可以显著提升国债超额收益预测回归的拟合优度.

为避免自然利率缺口的非平稳性导致“伪回归”,也对自然利率缺口进行一阶差分平稳化处理^⑨,并重复方程(7)~方程(9)的回归,以验证自然利率缺口平稳化后是否仍然能够显著地预测国债的超额收益.回归结果如表 2 Panel B 所示.

可以发现,差分后的自然利率缺口 ΔNG_t 仍然对国债超额收益具有显著为正的预测能力.通过对比表 2 的 Panel B 第 1 列与第 3 列,引入 ΔNG_t 使得预测回归 R^2 由 0.527 上升至 0.607,差分后单一变量 ΔNG_t 的引入将回归整体拟合优度提升 15%,自然利率缺口对预测拟合优度的边际贡献仍然较大.差分后的预测结果也说明了表

⑧ 本文估计的自然利率缺口数据频率为季度,在月度频率预测回归中,将同一季度不同月的自然利率缺口均取为当季度值.本文也使用季度频率的回报数据进行了预测,结果与月度频率预测回归一致且显著.

⑨ 差分后的自然利率缺口时间序列 DF 检验的 p 值为 0.000,为严格平稳时间序列.

2 的 Panel A 预测结果的可靠性,排除了“伪回归”可能性。

表 2 国债平均超额收益预测回归

Table 2 Predictive regression analysis of average excess returns on government bonds

Panel A	自然利率缺口 NG_t			Panel B	自然利率缺口变化 ΔNG_t		
	$\tilde{r}x_{t+1}^*$				$\tilde{r}x_{t+1}^*$		
$f_t^{(1)}$	0.188 *** (8.39)		0.155 *** (6.67)	$f_t^{(1)}$	0.188 *** (8.39)		0.176 *** (7.59)
$f_t^{(2)}$	-0.316 *** (-10.33)		-0.233 *** (-6.66)	$f_t^{(2)}$	-0.316 *** (-10.33)		-0.305 *** (-9.37)
$f_t^{(3)}$	-0.051 * (-1.94)		-0.092 *** (-3.57)	$f_t^{(3)}$	-0.051 * (-1.94)		-0.045 * (-1.73)
$f_t^{(4)}$	0.052 * (1.95)		0.011 (0.41)	$f_t^{(4)}$	0.052 * (1.95)		0.041 (1.57)
$f_t^{(5)}$	0.092 *** (5.23)		0.145 *** (7.92)	$f_t^{(5)}$	0.092 *** (5.23)		0.094 *** (5.51)
NG_t		0.014 *** (7.19)	0.010 *** (5.34)	ΔNG_t		0.038 *** (4.53)	0.025 *** (4.31)
Cons.	0.104 *** (3.81)	0.022 *** (3.55)	0.042 (1.44)	Cons.	0.104 *** (3.81)	0.005 (0.77)	0.116 *** (4.28)
N	215	215	215	215	215	215	215
R^2	0.527	0.195	0.620	R^2	0.527	0.088	0.607

注：如无特别说明,本文实证回归结果表中***, ** 和 * 分别代表估计结果在 0.01, 0.05 以及 0.10 的置信水平上显著,括号内为 t 值。

总体而言,中国自然利率缺口包含着远期利率所不包含的中国国债市场的风险溢价信息,自然利率缺口越高,国债未来超额收益越低.将自然利率缺口引入超额收益预测,有助于深入理解国债市场的定价机制。

2 自然利率缺口对国债定价的传导机制

鉴于自然利率缺口对中国国债超额收益具有显著的预测能力,本节从经济基本面视角以及到期收益投资者视角这两个角度研究自然缺口预测超额收益的经济机制。

2.1 经济基本面视角

从经济基本面视角,自然利率是货币政策的重要参考,与通胀率、产出缺口等宏观经济指标有密切关系^[11, 28, 29]. 自然利率缺口中可能包含着经济基本面以及货币政策的周期性信息,而国债的期限结构作为利率系统的重要组成部分,可能受到自然利率缺口中的信息影响. Andrea 等^[16]探讨自然利率与国债收益率之间的关系,发现自然利

率缺口中包含着国债市场的反周期风险溢价信息,并且自然利率缺口对美国国债超额收益的预测能力来自于自然利率缺口中的经济基本面信息。

根据以往研究,中国国债超额收益可能会受到经济基本面的影响,而自然利率缺口可能包含着经济基本面的信息,那么中国自然利率缺口对中国国债超额收益的预测力就有可能来自于自然利率缺口中包含的经济基本面信息. 因此,本节首先探讨自然利率缺口中被经济基本面解释的部分是否能够预测国债超额收益。

2.1.1 数据选择

本文参考近年对影响债券市场收益的宏观经济基本面因素研究^[16, 30],以及对中国货币政策、物价指数、资本流动、经济增长预测以及资产价格的相互关系的研究^[31-34],筛选出五类经济基本面指标. 指标包括人口结构与收入指标(中年人口与年轻人口比^⑩、抚养比率、实际工资),资本流动指标(FDI/GDP 、 $OFDI/GDP$),生产活动指标(从事有效经济活动人口比例、劳动生产率指数、劳动

⑩ 定义 30 岁 ~ 45 岁为中年人口,定义 15 岁 ~ 29 岁为年轻人口,中年青年人口比率由这两类人群人口比例得到。

生产率),经济景气指标(房地产、工业、企业景气指数等)以及反映社会整体价格水平的通胀类指标(消费品、工业品价格指数同比增速),数据来自 Wind 与 Choice 数据库.

2.1.2 实证估计

首先将自然利率缺口分别对各宏观经济变量进行回归,探讨经济基本面对中国自然利率缺口的影响. 回归方程如下

$$NG_t = a_0 + a_1 F_t + \varepsilon_t \quad (11)$$

其中 F_t 代表经济基本面中的宏观变量. 将回归方

程(11)中所得到的自然利率缺口拟合值(即自然利率缺口中被经济基本变量解释的部分)记为 \hat{NG}_{F_t} , 记国债平均超额收益对国债远期利率回归的残差(即国债超额收益中不被远期利率解释的部分)为 $\bar{rx}_{t+1}^{residual}$, 将 $\bar{rx}_{t+1}^{residual}$ 对 \hat{NG}_{F_t} 回归探讨自然利率缺口中被经济基本面解释的部分是否能够预测中国国债超额收益. 回归方程如下

$$\bar{rx}_{t+1}^{residual} = b_0 + b_1 \hat{NG}_{F_t} + e_t \quad (12)$$

回归方程(11)与回归方程(12)的估计结果分别如表 3 中的 Panel A 与 Panel B 所示.

表 3 经济基本面对国债超额收益的预测

Table 3 Economic fundamentals for forecasting excess returns on government bonds

	Panel A $NG_t = a_0 + a_1 F_t + \varepsilon_t$			Panel B $\bar{rx}_{t+1}^{residual} = b_0 + b_1 \hat{NG}_{F_t} + e_t$		
	系数	t 值	R ²	系数	t 值	R ²
1. 人口结构与收入指标						
中青年人口比	-11.14	-1.34	0.015	-0.007	-0.09	0.000
抚养比率	-0.059	-0.7	0.004	-0.102	-0.69	0.004
实际工资指数	-0.266 **	-2.48	0.049	0.01	0.23	0.000
2. 资本流动指标						
FDI/GDP	-0.013 **	-2.25	0.041	-0.033	-0.71	0.004
OFDI/GDP	0.001 *	1.77	0.026	0.017	0.28	0.001
3. 生产活动指标						
经济活动人口比例	26.06	1.21	0.012	-0.079	-0.94	0.007
资本贡献率	0.113 ***	4.77	0.301	-0.078	-3.05	0.149
劳动生产率同比	2.76 ***	3.48	0.170	0.065	1.55	0.039
劳动生产率指数	0.006 *	1.91	0.030	0.025	0.46	0.002
工业产能利用率	-0.22 *	-1.92	0.053	-0.11	-1.54	0.035
4. 经济景气指标						
房地产景气指数	-0.076 ***	-3.88	0.112	-0.026	-0.94	0.007
工业景气指数	-0.125 ***	-5.42	0.198	-0.006	-0.3	0.001
企业景气指数	-0.14 ***	-6.14	0.241	0.011	0.59	0.003
宏观景气指数	-0.02	-0.28	0.001	-0.154	-0.42	0.002
克强指数	-0.011	-0.36	0.001	-0.029	-0.10	0.000
5. 价格通胀指标						
CPI 同比增长	-1.13 ***	-11.07	0.507	0.020	1.56	0.02
PPI 同比增长	-0.249 ***	-6.61	0.269	0.015	0.82	0.006

表 3 Panel A 的结果表明,自然利率缺口中主要包含着生产活动、经济景气以及价格通胀维度的信息. 生产活动类指标中的资本贡献率、劳动生产率指数越高,自然利率缺口:即实际利率与自然利率之差越大. 从经济景气指标来看,经济活动愈景气,潜在产出越容易被充分释放,产出缺口与自然利率缺口越容易收敛. 从价格通胀指标来看,通

胀率越高,自然利率缺口越低.

然而表 3 Panel B 的回归结果表明,自然利率缺口中被宏观变量解释的部分对国债未来超额收益不具有显著的预测能力. 因此,虽然自然利率缺口中包含着经济基本面中各维度宏观指标的相关信息,但是自然利率缺口对国债未来超额收益的预测能力并非来自上述基本面信息. 上述实证发

现与 Andrea 等^[16]对美国国债市场的研究中所得到的现象不同. 他们的研究发现美国自然利率缺口中包含的经济基本面信息均可以显著预测国债的超额收益. 这意味着与对发达金融市场的研究不同, 中国自然利率缺口向国债定价的传导机制可能并非通过经济基本面实现.

2.2 金融市场国债到期收益率投资者视角

从中国金融市场投资者构成来看, 中国国债市场的主要投资者为商业银行, 并且国债交易是中国商业银行流动性创造中最重要的一环之一, 与市场利率水平^[35]与货币政策传导^[36]高度相关. 结合中国国债主要由商业银行持有与交易这一重要特征, 中国自然利率缺口对国债市场定价的传导机制, 可能更受商业银行这个国债市场主要投资者的持仓行为影响.

根据 Hanson 和 Stein^[17]的研究, 以商业银行为代表的收益 (yield) 投资者出于避税和减少监管压力等因素, 更倾向于持有债券到期而非活跃交易. 因此, 以商业银行为代表的投资者可能更加关注国债的到期收益率, 而非期望回报, 其投资行为可能更加符合 Hanson 和 Stein^[17]提出的到期收益率投资者 (yield-oriented investors) 的特征, 呈现出与传统期望回报投资者 (return-oriented investors) 不同的特点.

总结上述研究, 中国自然利率缺口变化可能通过影响商业银行的持仓行为来进一步影响均衡国债定价. 为系统地探讨国债主要投资者商业银行的行为如何影响国债市场定价, 以及自然利率缺口对商业银行国债持仓行为和国债超额收益的影响, 本文基于 Hanson 和 Stein^[17]包含到期收益率 (yield) 与期望回报 (return) 投资者的框架构建一般均衡理论模型, 并通过实证研究检验自然利率缺口对国债定价的传导机制.

2.2.1 理论模型基本设定

为简约且不失一般性, 假设模型包含三个时点: 时点 1, 时点 2, 时点 3, 三个时点确定了两个时间区间, 时点 1 到时点 2, 时点 2 到时点 3. 记两个时段的短期实际利率分别为 r_1 与 r_2 , 自然利率假定为常数 r_n . 时点 1 的短期实际利率 r_1 由中央银行货币政策设定的名义利率以及当期经济通胀水平决定. 根据定义, 时点 1 时的自然利率缺口为

$NG_1 = r_1 - r_n$. 虽然未来的短期实际利率 r_2 在当期无法被投资者观测, 但假设货币政策将自然利率作为实际利率的利率锚, 则投资者对未来实际利率的预期与自然利率趋同, 即 $E(r_2) = r_n$. 记时点 1 的短期与长期国债的到期收益率分别为 y_1 与 y_2 , 根据无套利条件, $y_1 = r_1$, 而长期债券的到期收益率 y_2 则由模型内生决定.

本文假设国债市场中包含到期收益 (yield) 与回报 (return) 投资者这两种类型的投资者, 其中到期收益投资者 (称 Y 投资者) 在国债所有投资者中的比例为 α , 传统的收益率投资者 (称 R 投资者) 的比例为 $1 - \alpha$.

R 投资者是传统的均值 - 方差 (mean-variance) 投资者. R 投资者的初始财富为 0, 若记 R 投资者持有长期限国债的头寸为 L_R , 则未来财富 w_R 为 $w_R = 2y_2 - r_1 - r_2$. 其通过资产配置最大化效用 $E(w_R) - \text{Var}(w_R)/2$, 即

$$\max_{L_R} \left\{ L_R (2y_2 - r_1 - E(r_2)) - \frac{1}{2} L_R^2 \text{Var}(r_2) \right\}$$

Y 投资者往往持有国债到期, 持有期间对国债不进行活跃交易, 因而这类投资者会更加关注国债组合的整体到期收益率. 若记 Y 投资者持有长期限国债的头寸为 L_Y , 则 Y 投资者的资产配置目标为

$$\max_{L_Y} \left\{ L_Y (2y_2 - 2r_1) - \frac{1}{2} L_Y^2 \text{Var}(r_2) \right\}$$

Y 投资者与 R 投资者的主要区别在于 Y 投资者关注目前长短期债券的利差而收益率投资者关注持有期望回报.

2.2.2 均衡分析

两类投资者通过最大化各自的目标函数得到的最优的长期限国债持仓分别满足

$$L_Y = (\text{Var}(r_2))^{-1} (2y_2 - 2r_1)$$

$$L_R = (\text{Var}(r_2))^{-1} (2y_2 - r_1 - E(r_2))$$

假设国债市场上, 长期限国债的固定总供给为 Q , 则国债市场均衡的市场出清条件为

$$Q = \alpha L_Y + (1 - \alpha) L_R$$

从投资者最优长期国债持仓和市场出清条件, 可得市场均衡时长期国债与短期国债收益率之差 $\text{Spread}^{(2)}$, 商业银行 (Y 投资者) 长期国债持仓 L_Y 与长期国债超额收益 $rx_1^{(2)}$ 分别为

$$\begin{aligned}
 Spread^{(2)} &= 2y_2 - 2r_1 = QVar(r_2) + \\
 &\quad (1 - \alpha)[E(r_2) - r_1] \\
 &= QVar(r_2) - (1 - \alpha)NG_1 \\
 L_Y &= (Var(r_2))^{-1}(2y_2 - 2r_1) \\
 &= (Var(r_2))^{-1}[QVar(r_2) - \\
 &\quad (1 - \alpha)NG_1] \quad (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 rx_1^{(2)} &= 2y_2 - r_1 - E(r_2) \\
 &= QVar(r_2) - \alpha[E(r_2) - r_1] \\
 &= QVar(r_2) + \alpha NG_1 \quad (14)
 \end{aligned}$$

由式(14)可知,国债的超额收益包含两个部分.第一部分为市场上仅存在 R 投资者(即 $\alpha = 0$)时,国债的风险补偿 $QVar(r_2)$,第二部分是由于 Y 投资者存在而额外产生的风险溢价 αNG_1 . 并且第二部分的风险溢价的大小取决于 $E(r_2) - r_1$, 即自然利率缺口 NG 满足

$$NG = r_1 - r_n = r_1 - E(r_2) \quad (15)$$

当自然利率下降导致自然利率缺口 NG_1 上升时,投资者对于未来短期实际利率的预期也将下降, Y 投资者会相对减持长期国债,即

$$\frac{\partial L_Y}{\partial NG_1} = -(Var(r_2))^{-1}(1 - \alpha) < 0 \quad (16)$$

而 Y 投资者减持长期国债的决策,会导致长期国债相对需求降低,长期国债均衡超额收益上升,即

$$\frac{\partial rx_1^{(2)}}{\partial L_Y} = \frac{\frac{\partial rx_1^{(2)}}{\partial NG_1}}{\frac{\partial L_Y}{\partial NG_1}} = \frac{\alpha}{-(1 - \alpha)} < 0 \quad (17)$$

综上所述,当自然利率缺口 NG_1 上升,以商业银行为代表的 Y 投资者将降低长期国债持仓,导致国债均衡超额收益水平上升,即

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial rx_1^{(2)}}{\partial NG_1} &= \frac{\partial rx_1^{(2)}}{\partial L_Y} \frac{\partial L_Y}{\partial NG_1} \\
 &= -(Var(r_2))^{-1}(1 - \alpha) \frac{\alpha}{-(1 - \alpha)} \\
 &= \alpha (Var(r_2))^{-1} > 0 \quad (18)
 \end{aligned}$$

基于上述理论框架,自然利率缺口上升会降低投资者对未来短期实际利率的预期,而 Y 投资者为了增加组合的到期收益率,会减少长期国债持仓比例,进而使得均衡时的国债超额收益水平上升.因此,自然利率缺口对国债未来超额收益具

有正向预测能力(式(18)).

2.2.3 实证检验

根据模型均衡分析,自然利率缺口对国债超额收益的传导机制有以下两个核心推论:

推论 1 自然利率缺口的上升(下降)会使得到期收益率投资者长期国债持仓比例减少(增加)(式(16));

推论 2 到期收益率投资者的长期国债持仓与长期国债未来超额收益呈反向关系,到期收益率投资者长期国债持仓越低,国债均衡超额收益越高(式(17)).

基于前文所述,商业银行投资者也倾向于持有国债到期,其行为符合上述对到期收益率投资者的刻画.

根据中债公布的托管数据和商业银行年报数据,截至 2020 年 1 月,商业银行全国性商业银行及其分支持有的记账式国债存量 7.20 万亿元,国有商业银行 2020 年持有国债存量总量达到 3 万亿元以上,占全国性商业银行国债持有总量的近 50%. 因此,国有商业银行的国债持仓行为将对整个国债市场均衡产生重要影响.

本文选取五大国有商业银行作为到期收益率投资者的代表.通过手动整理五大商业银行半年报以及年报中与不同期限债券持仓的相关指标,选择按剩余期限划分的非重组类证券投资结构来度量商业银行国债的期限配置,对上述两条推论进行实证检验.为衡量到期收益率投资者对长期国债的相对需求,本文构建商业银行长期国债与短期国债的相对持仓比率 $LS_Ratio_{i,t}$

$$LS_Ratio_{i,t} = \frac{\sum_{n \geq 5} Volume_{i,t}^{(n)}}{\sum_{n < 5} Volume_{i,t}^{(n)}}$$

其中 $Volume_{i,t}^{(n)}$ 代表商业银行 i 在 t 时刻剩余期限为 n 年的债券持有量, $LS_Ratio_{i,t}$ 代表 5 年期及以上长期债券与 5 年期以下短期债券的持仓比率.受限于年报数据的完整性、可得性与时间前后会计统计指标的一致性,商业银行持仓数据为 2009 年 12 月—2019 年 12 月的半年度数据,共 21 个样本观测点.

针对模型推论,本文进行如下三组回归进行检验

$$LS_{Ratio_{i,t}} = \gamma_0 + \gamma_{i,1} NG_{t-1} + \gamma_{i,2} CF_t + \theta_{i,t} \quad (19)$$

$$\widehat{rx_{t+1}^{residual}} = k_{i,0} + k_{i,1} \widehat{LS_Ratio_{i,t}} + k_{i,2} CF_t + e_{i,t} \quad (20)$$

$$\widehat{rx_{t+1}^{residual}} = \vartheta_{i,0} + \vartheta_{i,1} \widehat{LS_Ratio_{i,t+1}^{residual}} + \vartheta_{i,2} CF_t + \tau_{i,t} \quad (21)$$

其中 $\widehat{LS_Ratio_{i,t}}$ 为回归方程 (19) 的拟合值, 代表银行持仓比率中被自然利率缺口变化所解释的部分. $\widehat{LS_Ratio_{i,t+1}^{residual}}$ 为回归方程 (19) 的残差, 代表银行长期国债持仓比率中不可被自然利率缺口解释的部分. $\widehat{rx_{t+1}^{residual}}$ 为国债未来平均超额收益对当期 1 年 ~ 5 年远期利率回归后的残差, 代表国债超额收益中无法被各期限远期利率解释的部分.

回归方程 (19) 可以检验自然利率缺口变化对到期收益率投资者长期国债持仓的影响 (推论 1). 基于模型推论, 若自然利率缺口上升, 以商业

银行为代表的 Y 投资者将降低对未来短期实际利率的预期, 并减少长期国债持仓比例, 因此回归 (19) 中自然利率缺口回归系数 $\gamma_{i,1}$ 应显著为负.

表 4 Panel A 前 5 列为回归方程 (19) 的估计结果. 实证结果显示, 在控制 CF 因子后, 自然利率缺口越高, 商业银行长期国债相对持仓比率越低, 验证了自然利率缺口变化对商业银行长期国债相对持仓比率的传导 (推论 1).

回归方程 (20) 可以检验到期收益率投资者长期国债持仓比例的调整对国债均衡风险溢价水平的影响 (推论 2). 根据模型预测, 自然利率缺口上升后, 以商业银行为代表的 Y 投资者会减少长期国债持仓比例, 导致国债超额收益上升, 回归方程 (20) 中长期国债相对持仓比率的系数 $k_{i,1}$ 应显著为负.

表 4 自然利率缺口对商业银行长期国债持仓与国债超额收益的传导

Table 4 Transmission of the natural rate gap to commercial banks' long-term government bond holdings and excess returns on government bonds

Panel A	$LS_Ratio_{i,t}$					
	ICBC	BOC	CCB	ABC	BCM	市值加权
NG_{t-1}	-0.086 ** (- 2.83)	-0.091 *** (- 3.65)	-0.113 ** (- 2.53)	-0.105 *** (- 3.98)	-0.082 *** (- 3.33)	-0.071 *** (- 3.16)
CF_t	0.568 *** (5.77)	0.527 *** (6.51)	0.744 *** (5.11)	0.574 *** (6.70)	0.601 *** (7.47)	0.435 *** (5.94)
N	21	21	21	21	21	21
R^2	0.715	0.773	0.664	0.789	0.802	0.735
Panel B	$\widehat{rx_{t+1}^{residual}}$					
	ICBC	BOC	CCB	ABC	BCM	市值加权
$\widehat{LS_Ratio_{i,t}}$	-0.569 *** (- 3.34)	-0.584 *** (- 3.29)	-0.434 *** (- 3.34)	-0.522 *** (- 3.26)	-0.553 *** (- 3.36)	-0.722 *** (- 3.31)
CF_t	0.388 *** (3.00)	0.381 *** (2.94)	0.388 *** (2.99)	0.377 *** (2.91)	0.391 *** (3.02)	0.384 *** (2.97)
N	21	21	21	21	21	21
R^2	0.383	0.376	0.383	0.372	0.386	0.379
Panel C	$\widehat{rx_{t+1}^{residual}}$					
	ICBC	BOC	CCB	ABC	BCM	市值加权
$\widehat{LS_Ratio_{i,t+1}^{residual}}$	-0.436 * (- 1.97)	-0.207 (- 0.69)	-0.104 (- 0.64)	-0.101 (- 0.35)	-0.291 (- 0.98)	0.370 (1.14)
CF_t	0.136 (1.28)	0.101 (0.86)	0.094 (0.81)	0.087 (0.72)	0.113 (0.97)	0.086 (0.79)
N	21	21	21	21	21	21
R^2	0.187	0.045	0.042	0.027	0.068	0.095

注：由方程 (15) 可知, 当国债市场仅有 R 投资者存在时, 国债超额收益完全由远期利率决定, 此时国债超额收益对各期限远期利率回

归的残差 $\widehat{rx_{t+1}^{residual}}$ 为 0, 因此依据模型理论设定, 需在回归中约束 $k_{i,0}$ 与 $\vartheta_{i,0}$ 为 0.

表 4 Panel B 中回归方程(20)的实证结果显示,长期国债相对持仓比率中被自然利率缺口解释的部分,对国债超额收益具有显著的影响.在控制 CF 因子后,商业长期国债相对持仓比率越低,国债超额收益越高.表 4 Panel B 的回归结果验证了商业银行长期国债持仓调整对国债市场均衡风险溢价水平的传导(推论 2),由自然利率缺口变化所解释的商业银行长期国债持仓可以传导到国债市场超额收益上;自然利率缺口导致的国债持仓比例降低,国债超额收益将升高.

最后,回归方程(21)可以检验自然利率缺口变化是否是长期国债持仓比率预测国债超额收益的主要原因.如果商业银行国债持仓比例对超额收益的预测能力只来自于自然利率缺口的变化,那么商业银行持仓中不能被自然利率缺口解释的部分应当无法预测国债未来超额收益,即 $\vartheta_{i,1}$ 估计结果不显著.回归结果如表 4 Panel C 所示,商业银行长期国债持仓残差(无法被自然利率缺口解释的部分)无法显著预测未来国债的超额收益,说明自然利率缺口变化是商业银行长期国债持仓比率预测超额收益的主要原因.

综合经济基本面与金融市场投资者行为视角的实证结果,可以发现,虽然中国的自然利率缺口中包含着经济基本面中各类经济变量的丰富信息,但是自然利率缺口可被经济基本面解释的部分并不能够预测国债超额收益,意味着经济基本面对中国国债定价的传导机制可能尚未完全建立,中国国债市场的有效性有待提高.而从金融市场投资者角度,以商业银行为代表的到期收益率投资者的国债的持仓行为对国债定价具有显著的影响;当自然利率缺口上升时,国债市场投资者对于未来实际利率的预期降低,以商业银行为代表的 Y 投资者将减持长期国债,导致长期国债相对于短期国债的需求与价格下降,均衡的国债超额收益率上升.

3 稳健性检验

自然利率估计是研究中国自然利率缺口对国

债超额收益影响的关键步骤,本节考虑不同的自然利率设定方程、不同的自然利率估计方法来估计自然利率,探究自然利率缺口对国债超额收益的预测能力的稳健性.

3.1 基于不同自然利率设定方程

在本文的模型设定下,自然利率由随机趋势增长 g_t 与周期性波动 z_t 这两个部分组成,其中趋势增长 g_t 代表了产出缺口的增长率.以往研究中均设定 g_t 服从随机游走过程^[4, 24, 26],而对于周期性波动 z_t 的随机过程,不同研究对其设定具有差异.本文参照徐忠和贾彦东^[4],设定自然利率的周期波动过程 z_t 服从方程(7)所示平稳 AR(2)过程.然而根据 Laubach 和 Williams^[24, 26]对美国自然利率的估计,美国自然利率的周期波动因素的波动率量纲可能显著高于随机趋势增长的波动率,因而周期波动过程可能非平稳,将其设定为平稳过程可能导致估计结果向 0 偏差(piled-up problem).因此,为了避免状态变量转移过程设定对自然利率估计的影响,本节放宽了周期波动过程 z_t 的平稳性假设,设定其服从非平稳随机游走过程

$$z_t = z_{t-1} + \varepsilon_{z,t}$$

将估计所得自然利率缺口作为解释变量重新代入国债超额收益预测回归,结果如表 5 所示.

表 5 Panel A 呈现了 z_t 服从随机游走设定下估计的 NG_t 对国债超额收益的预测结果.可以发现,放宽 z_t 平稳性约束之后估计得到的自然利率缺口无论单独预测国债超额收益,还是在控制远期利率时预测超额收益,自然利率缺口系数均显著为正.引入自然利率缺口可以使得拟合优度从 0.527 上升至 0.622,拟合效果提升近 20%,与前文结论完全一致.因此,状态空间中状态变量 z_t 转移过程的设定不会影响自然利率缺口对国债超额收益预测力的稳健性.同时,本文在表 6 Panel B 中对 NG_t 做了差分平稳处理,排除了可能的“伪回归”现象.

表 5 基于 z_t 随机游走设定所估计 NG_t 对国债超额收益的预测结果

Table 5 Prediction results of excess returns on government bonds based on NG_t estimated using the random walk assumption for z_t

Panel A	自然利率缺口 NG_t			Panel B	自然利率缺口变化 ΔNG_t		
	\overline{rx}_{t+1}^*				\overline{rx}_{t+1}^*		
$f_t^{(1)}$	0.188 *** (8.39)		0.152 *** (6.54)	$f_t^{(1)}$	0.188 *** (8.39)		0.176 *** (7.62)
$f_t^{(2)}$	-0.316 *** (-10.33)		-0.228 *** (-6.49)	$f_t^{(2)}$	-0.316 *** (-10.33)		-0.305 *** (-9.40)
$f_t^{(3)}$	-0.051 * (-1.94)		-0.097 *** (-3.76)	$f_t^{(3)}$	-0.051 * (-1.94)		-0.044 * (-1.71)
$f_t^{(4)}$	0.052 * (1.95)		0.013 (0.51)	$f_t^{(4)}$	0.052 * (1.95)		0.040 (1.56)
$f_t^{(5)}$	0.092 *** (5.23)		0.147 *** (8.00)	$f_t^{(5)}$	0.092 *** (5.23)		0.094 *** (5.54)
NG_t		0.014 *** (7.13)	0.010 *** (5.45)	ΔNG_t		0.038 *** (4.54)	0.025 *** (4.40)
Cons.	0.104 *** (3.81)	0.023 *** (3.66)	0.039 (1.31)	Cons.	0.104 *** (3.81)	0.005 (0.76)	0.116 *** (4.28)
R^2	0.527	0.192	0.622	R^2	0.527	0.088	0.609

3.2 基于宏观计量方法的自然利率估计结果

在自然利率的各种估计方法中,与宏观半结构模型最为相关的是宏观计量方法^[4, 37].该模型同样包含 IS 曲线与菲利普斯曲线等基本要素,并且设定相对于宏观半结构模型更为简单灵活.虽然宏观计量模型无法估计不可观测的状态变量,但是其估计结果仍可以作为宏观半结构模型的良好对照.因此,本文参照徐忠和贾彦东^[4]的宏观计量模型,重新估计中国的自然利率缺口.同时,为了保证宏观计量模型与状态空间模型经济学分析框架的一致性,宏观计量模型中 IS 曲线设定与前文一致,基本结构如下:

3.2.1 IS 曲线设定

$$\tilde{y}_t = \eta \tilde{y}_{t-1} - \sigma \sum_{j=1}^2 (r_{t-j} - r_{t-j}^*) + e_t^{IS}$$

其中 \tilde{y}_t 为产出缺口,满足 $\tilde{y}_t = y_t - y_t^*$,实际利率指标 r_t 仍使用上文的影子利率,并将 σ 与 η 校准为 2.5 与 0.75. 本文将产出缺口和自然利率缺口的平均值作为初始值,则自然利率时间序列可以通过如下等式向后迭代得到

$$r_{t-1}^* = \frac{\tilde{y}_t - \eta \tilde{y}_{t-1} - e_t^{IS}}{\sigma} + (r_{t-1} + r_{t-2}) - r_{t-2}^*$$

3.2.2 潜在产出估算计量方程

为了得到宏观计量模型中的自然利率,需要提前对 IS 曲线产出缺口中的潜在产出进行计量估计,具体方程如下

$$\ln y_t^* = 0.4 \ln(N_t \times AVHR_t) + 0.5 \ln(K_t) + 0.2 \ln(UPRT_t) + e_t^y$$

其中 N_t 为劳动人口数量, $AVHR_t$ 为平均每周劳动时间, $N_t \times AVHR_t$ 代表了中国的劳动要素总供给水平, K_t 为资本形成总额,代表了中国的资本存量水平. $UPRT_t$ 选取本科升学率,用以代表生产技术水平.

3.2.3 菲利普斯曲线计算

$$d \ln PI_t = -1.37 + \sum_{i=1}^4 (\alpha_i d \ln PI_{t-i}) + 0.0025 \times \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 \tilde{y}_{t-i} + e_t^{PI}$$

其中 PI_t 为核心物价指数. 上述宏观计量模型估计所得自然利率缺口如图 2 所示,利用宏观计量模型估计得到的 NG_t 预测国债超额收益预测,回归结果如表 6 所示.

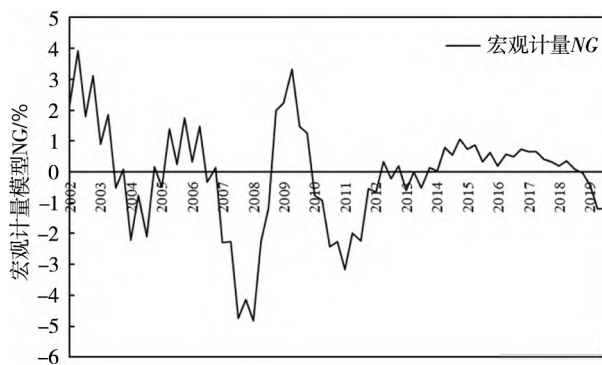


图 2 基于宏观计量模型的自然利率缺口 NG_t

Fig.2 Natural interest rate gap based on macroeconomic econometric models NG_t

表 6 基于宏观计量模型所估计 NG_t 对国债超额收益的预测回归结果

Table 6 Results of the predictive regression of the excess returns on government bonds based on estimated NG_t using macroeconomic econometric models

Panel A	自然利率缺口 NG_t			Panel B	自然利率缺口变化 ΔNG_t		
	\overline{rx}_{t+1}^*				\overline{rx}_{t+1}^*		
$f_t^{(1)}$	0.188 *** (8.39)		0.170 *** (7.70)	$f_t^{(1)}$	0.188 *** (8.39)		0.151 *** (6.80)
$f_t^{(2)}$	-0.316 *** (-10.33)		-0.242 *** (-7.36)	$f_t^{(2)}$	-0.316 *** (-10.33)		-0.213 *** (-6.34)
$f_t^{(3)}$	-0.051 * (-1.94)		-0.101 *** (-3.98)	$f_t^{(3)}$	-0.051 * (-1.94)		-0.102 *** (-4.14)
$f_t^{(4)}$	0.052 * (1.95)		0.031 (1.24)	$f_t^{(4)}$	0.052 * (1.95)		0.023 (0.93)
$f_t^{(5)}$	0.092 *** (5.23)		0.121 *** (7.30)	$f_t^{(5)}$	0.092 *** (5.23)		0.119 *** (7.42)
NG_t		0.027 *** (8.39)	0.017 *** (6.00)	ΔNG_t		0.030 *** (9.96)	0.020 *** (7.09)
Cons.	0.104 *** (3.81)	0.037 *** (5.39)	0.082 *** (3.12)	Cons.	0.104 *** (3.81)	0.003 (0.59)	0.064 ** (2.44)
R^2	0.527	0.246	0.629	R^2	0.527	0.315	0.649

表 6 Panel A 展示了宏观计量模型所估计 NG_t 对国债超额收益的预测结果. 可以发现, 利用宏观计量模型所估计的自然利率缺口 NG_t , 仍然对于国债未来超额收益有显著为正的预测力. 因此, 中国自然利率缺口对于中国国债定价的分析不受自然利率的估计方法影响, 有效地排除了宏观半结构模型本身可能存在的设定偏误对后续分析的影响.

4 结束语

自然利率是中国利率市场化改革中货币政策重要目标与决策参考, 自然利率缺口, 即实际利率

与自然利率之差, 也包含了宏观经济与货币政策的重要周期性信息. 本文研究中国自然利率缺口与国债定价之间的关系及背后定价机制, 发现自然利率缺口对国债超额收益有显著预测能力, 自然缺口越高, 国债未来超额收益越高, 并且自然利率缺口中包含着远期利率所不包含的国债风险溢价信息.

进一步, 本文从经济基本面视角与金融市场国债市场到期收益率投资者需求视角研究自然利率缺口影响中国国债定价的机制. 从经济基本面角度, 尽管中国自然利率缺口中包含着各类宏观经济变量的信息, 但是这些信息对国债超额收益不具有显著预测能力, 可能意味着中国国债市场

的经济基本面定价机制尚未完全建立。从金融市场投资者行为角度,立足于中国债券市场主要由商业银行持有,且商业银行出于税收等因素倾向于持有到期的重要特征,本文创新地将自然利率缺口引入到期收益率、期望回报投资者的一般均衡模型中,探讨了商业银行的国债的持仓行为对中国国债定价的影响。当自然利率下降导致自然利率缺口上升时,国债市场投资者对未来实际利率的预期降低,以商业银行为代表的投资者将增持长期国债,导致长期国债相对于短期国债的需求与价格下降,均衡的国债超额收益率上升。并且基于商业银行持仓的实证研究验证了模型的预测,表明商业银行对国债的需求是影响国债定价以

及自然利率缺口在收益率曲线传导的重要因素。

基于上述结论,本文得到以下启示:1)应及时关注自然利率缺口变化对国债市场的影响。自然利率缺口不仅是货币政策稳定宏观经济的政策参考,也是国债市场的风险溢价的有效信号,可为货币政策在收益率曲线远端的传导效果提供信息;2)应进一步提升国债市场的价格发现功能。目前国债市场的宏观基本面定价机制尚未完全建立,提升国债的有效性,将有助于金融市场发挥引导资源分配的作用;3)应进一步激发市场的活力。可通过税收制度优化、积极引入专业投资者等方法鼓励国债交易,提升国债二级市场的流动性,促进国债市场的高质量发展。

参考文献:

- [1] Wicksell K. The Influence of the Rate of Interest on Commodity Prices [C]. New York: Augustus M. Kelley, 1958: 67 - 89.
- [2] 易纲. 中国的利率体系与利率市场化改革[J]. 金融研究, 2021, (9): 1 - 11.
Yi Gang. China's interest rate system and market-based reform of interest rate[J]. Journal of Financial Research, 2021, (9): 1 - 11. (in Chinese)
- [3] 李宏瑾, 苏乃芳, 洪浩. 价格型货币政策调控中的实际利率锚——基于状态空间模型的中国自然利率估算[J]. 国际货币评论, 2016, (21): 849 - 869.
Li Hongjin, Su Naifang, Hong Hao. The real interest anchor for the price-based monetary policy: Estimation of the natural interest rate of China based on state space model[J]. International Monetary Review, 2016, (21): 849 - 869. (in Chinese)
- [4] 徐忠, 贾彦东. 自然利率与中国宏观政策选择[J]. 经济研究, 2019, (6): 22 - 39.
Xu Zhong, Jia Yandong. The natural rate of interest and China's macro policy choice[J]. Economic Research Journal, 2019, (6): 22 - 39. (in Chinese)
- [5] 徐忠, 李宏瑾. 货币价格调控模式下政策目标利率的期限选择[J]. 国际金融研究, 2019, (3): 3 - 12.
Xu Zhong, Li Hongjin. Maturity choice of the policy target interest rate in the monetary price regulation model[J]. Studies of International Finance, 2019, (3): 3 - 12. (in Chinese)
- [6] 李宏瑾, 苏乃芳. 数量规则还是利率规则? ——我国转型时期量价混合型货币规则的理论基础[J]. 金融研究, 2020, (10): 38 - 54.
Li Hongjin, Su Naifang. Quantity rule or price rule: Theoretical foundation of the admixed monetary rule in China's transition period [J]. Journal of Financial Research, 2020, (10): 38 - 54. (in Chinese)
- [7] 苏乃芳, 李宏瑾. 利率双轨制下的中国自然利率估算[J]. 财贸经济, 2021, (12): 69 - 84.
Su Naifang, Li Hongjin. China's natural rate of interest under the dual-track interest rate system[J]. Finance & Trade Economics, 2021, (12): 69 - 84. (in Chinese)
- [8] Lunsford K G, West K D. Some evidence on secular drivers of US safe real rates[J]. American Economic Journal: Macroeconomics, 2019, 11(4): 113 - 139.
- [9] Gurkaynak R S, Sack B, Wright J H. The TIPS yield curve and inflation compensation[J]. American Economic Journal Macroeconomics, 2010, 2(1): 70 - 92.
- [10] 石柱鲜, 邓创, 刘俊生, 等. 中国的自然利率与经济增长、通货膨胀的关系[J]. 世界经济, 2006, (4): 12 - 21.
Shi Zhuxian, Deng Chuang, Liu Junsheng, et al. The relationship between the natural rate of interest and economic growth

- and inflation in China [J]. *The Journal of World Economy*, 2006, (4): 12–21. (in Chinese)
- [11] Orphanides A, Williams J C. Inflation scares and forecast-based monetary policy [J]. *Review of Economic Dynamics*, 2005, (8): 498–527.
- [12] Berardi A, Torous W. Term structure forecasts of long-term consumption growth [J]. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 2005, 40 (2): 241–258.
- [13] 潘淑娟, 叶 斌. 中国自然利率及其货币政策意义——基于 1998–2012 年季度数据的实证分析 [J]. *金融经济学研究*, 2013, (1): 25–34.
- Pan Shujuan, Ye Bin. Estimating the natural real interest rate for China and its monetary policy implications: The empirical analysis of quarter data from 1998 to 2012 [J]. *Journal of Finance and Economics*, 2013, (1): 25–34. (in Chinese)
- [14] Wicksell K. *Interest and Prices: A Study of the Causes Regulating the Value of Money* [M]. London: Macmillan Publishing House, 1936.
- [15] Romer C D, Romer D H. Does monetary policy matter? A new test in the spirit of friedman and schwartz [J]. *NBER Macroeconomics Annual*, 1989, (4): 121–170.
- [16] Andrea B, Michael M, Alberto P, et al. Mind the (convergence) gap: Bond predictability strikes back! [J]. *Management Science*, 2021, 67(12): 7888–7911.
- [17] Hanson S G, Stein J C. Monetary policy and long-term real rates [J]. *Journal of Financial Economics*, 2015, 115 (3): 429–448.
- [18] 王 博, 陈开璞. 中国自然利率之谜与债券市场定价——基于宏观金融模型视角 [J]. *金融研究*, 2022, (6): 36–54.
- Wang Bo, Chen Kaipu. The natural interest rate puzzle in China and bond market pricing: Insights from a macrofinance model [J]. *Journal of Financial Research*, 2022, (6): 36–54. (in Chinese)
- [19] Hamilton J D, Harris E S, Hatzius J. The equilibrium real funds rate: Past, present, and future [J]. *IMF Economic Review*, 2016, 64 (4): 660–707.
- [20] Basdevant O, Björkstén N, Karagedikli Ö. Estimating a Time Varying Neutral Real Interest Rate for New Zealand [N]. Wellington: Reserve Bank of New Zealand, Reserve Bank of New Zealand Discussion Paper Series, No. DP 2004/01, 2004.
- [21] Bauer M D, Rudebusch G D. Interest rates under falling stars [J]. *American Economic Review*, 2020, 110(5): 1316–1354.
- [22] Edge R M, Kiley M T, Laforge J P. Natural rate measures in an estimated DSGE model of the US economy [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2008, 32(8): 2512–2535.
- [23] Barsky R, Justiniano A, Melosi L. The natural rate of interest and its usefulness for monetary policy [J]. *American Economic Review*, 2014, 104(5): 37–43.
- [24] Laubach T, Williams J C. Measuring the natural rate of interest [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2003, 85(4): 1063–1070.
- [25] Holston K, Laubach T, Williams J C. Measuring the natural rate of interest: International trends and determinants [J]. *Journal of International Economics*, 2017, 108(S1): 59–75.
- [26] Laubach T, Williams J C. Measuring the natural rate of interest redux [J]. *Business Economics*, 2016, 51(2): 57–67.
- [27] Cieslak A, Povala P. Expected returns in treasury bonds [J]. *Review of Financial Studies*, 2015, 28(10): 2859–2901.
- [28] Mésonnier J S, Renne J P. A time-varying “Natural” rate of interest for the Euro area [J]. *European Economic Review*, 2007, (51): 1768–1784.
- [29] Cúrdia V, Ferrero A, Ng G C, et al. Has U.S. monetary policy tracked the efficient interest rate? [J]. *Journal of Monetary Economics*, 2015, 70(C): 72–83.
- [30] Ludvigson S C, Ng S. Macro factors in bond risk premia [J]. *Review of Financial Studies*, 2009, 22(12): 5027–5067.
- [31] 逯 进, 华玉飞, 王秋苏. 货币政策、资产价格与消费者价格波动——基于庇古效应和超调理论的研究 [J]. *管理科学学报*, 2024, 27(1): 126–140.
- Lu Jin, Hua Yufei, Wang Qiusu. Monetary policy, asset prices, and consumer price fluctuations: A study based on the Pigou effect and overshooting theory [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2024, 27(1): 126–140. (in Chinese)
- [32] 荆中博, 贾妍妍, 方 意, 等. 中国货币政策与物价指数的相互溢出效应研究——基于行业视角 [J]. *管理科学学报*, 2023, 26(10): 114–137.

- Jing Zhongbo, Jia Yanyan, Fang Yi, et al. Research on the spillover effects between China's monetary policy and the price index: From an industry perspective[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2023, 26(10): 114–137. (in Chinese)
- [33] 谭小芬, 虞梦微, 朱菲菲. 跨境资本流动顺周期性及其异质性的微观机制——兼论 A 股被纳入国际基准指数的影响[J]. *管理科学学报*, 2023, 26(7): 32–53.
- Tan Xiaofen, Yu Mengwei, Zhu Feifei. The procyclicality and heterogeneous mechanism of cross-border capital flows: Analysis of the impact of China's A-shares inclusion in international benchmark indices[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2023, 26(7): 32–53. (in Chinese)
- [34] Lin W, Wei Y. Economic forecasting with big data: A literature review[J]. *Journal of Management Science and Engineering*, 2024, 9(2): 254–270.
- [35] 陆军, 黄嘉. 流动性创造、市场利率预期与银行利率动态调整[J]. *管理科学学报*, 2023, 26(3): 112–135.
- Lu Jun, Huang Jia. Liquidity creation, market interest rate expectations, and dynamic adjustment of bank interest rates [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2023, 26(3): 112–135. (in Chinese)
- [36] Xin B, Jiang K. Economic uncertainty, central bank digital currency, and negative interest rate policy[J]. *Journal of Management Science and Engineering*, 2023, 8(4): 430–452.
- [37] Roberts J M. An Estimate of the Long-term Neutral Rate of Interest[EB/OL]. *Finance and Economics Discussion Series* 2018—077, 2018, Board of Governors of the Federal Reserve System (U. S.), <https://doi.org/10.17016/2380-7172.2227>.

Natural rate gap and bond pricing: Risk premium or reaching for yield

LIU Yun-ting¹, ZHAO Kang-chen^{2*}

1. School of Economics, Peking University, Beijing 100871, China;

2. School of Finance and Trade, Wenzhou Business College, Wenzhou 325035, China

Abstract: The natural rate of interest, defined as the equilibrium real interest rate in an ideal, frictionless economy, serves as a critical real interest rate anchor for price-based monetary policy. The difference between the real interest rate and the natural rate of interest, referred to as the “natural rate gap”, contains valuable information about economic fundamentals and the central bank's monetary policy, which plays an important role in the pricing of treasury bonds. The paper estimates China's natural rate of interest through a semi-structural macroeconomic model and finds that the natural rate gap is informative for forecasting treasury bond excess returns. Specifically, the higher the natural rate gap, the higher the excess returns on China treasury bonds. In contrast to findings in developed financial markets, variations in the natural rate gap explained by macroeconomic variables do not exhibit significant predictive power for bond excess returns in China. This suggests that macroeconomic fundamentals are not fully priced into China's treasury bonds market. To further investigate the mechanism behind the return predictability of the natural rate gap, this paper analyzes it from the perspective of yield-oriented investors. Due to tax considerations on capital gains and other factors, commercial banks, which are the primary holders of China treasury bonds, tend to hold bonds till maturity and may place more emphasis on yield to maturity rather than expected return. Both theoretical and empirical results suggest that commercial banks' demand for treasury bonds is a key mechanism through which the natural rate gap influences bond pricing. Overall, this paper not only presents new insights into the cyclical characteristics of the natural rate of interest but also offers perspectives on the pricing mechanisms of treasury bonds.

Key words: natural rate gap; macroeconomy; monetary policy; yield-oriented investor; bond pricing