

气候风险被定价了吗？——基于地方债发行定价的证据

顾乃康¹ 邱奇唯¹ 陈黄庆²

(1. 中山大学管理学院, 广东广州, 510275;

2. 易方达基金管理有限公司, 广东广州, 510620)

Is Climate Risk Priced? Evidence from Pricing of Municipal Bonds' Issuing

Gu Naikang¹ Qiu Qiwei¹ Chen Huangqing²

(1. School of Business, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275;

2. E-Fund Management Co., Ltd, Guangzhou, 510620)

顾乃康 (Gu Naikang), 中山大学管理学院教授、博士生导师; 电子邮箱: mmsgnk@mail.sysu.edu.cn。

邱奇唯 (Qiu Qiwei), 中山大学管理学院博士生; 电子邮箱: qiuqw@mail2.sysu.edu.cn。

陈黄庆 (Chen Huangqing), 易方达基金管理有限公司; 电子邮箱: chenhuangqing@efunds.com.cn。

通信作者及地址: 顾乃康, 广州市海珠区新港西路 135 号中山大学管理学院, 510275; 电子邮箱: mmsgnk@mail.sysu.edu.cn。

本研究获得国家自然科学基金项目“卖空机制引入、企业的投融资行为与资源配置效率: 兼评融资融券制度的政策效果”(批准号: 71772185)的资助。

2022 年 5 月

气候风险被定价了吗？——基于地方债发行定价的证据

摘要：气候风险是否已在金融市场的资产定价中得以反映是正在形成中的气候金融学所关注的重要问题之一。本文以由气候变化引起的气候风险中最具破坏性、影响范围最广的干旱风险为例，实证检验了干旱风险对地方债发行定价的影响。研究发现，干旱风险显著提高了地方债发行时的信用利差和到期收益率，且在农业产量较高、经济发展水平较低的省市自治区地方债发行时存在更高的干旱风险溢价，而投资者对气候变化的关注度是干旱风险影响地方债发行定价的可能机制。进一步的研究表明，诸如地方水利建设、森林资源投入、南水北调工程建设等基于水资源改善的环境行动在总体上能够减轻投资者对未来气候风险的负面预期，进而降低地方债发行时的干旱风险溢价。总之，气候风险已开始成为影响我国地方债发行定价的重要因素之一，且基于水资源改善的环境行动在抑制气候风险所引起的融资成本提升中正发挥着积极作用。

关键词：气候风险 干旱风险 地方政府债券 信用利差 环境行动

JEL 分类号： G12, H74, Q54

Is Climate Risk Priced? Evidence from Pricing of Municipal Bonds' Issuing

Abstract: One of the most important issues in the emerging climate finance is whether climate change risks are reflected in asset pricing in the financial markets. This paper takes drought risk, which is the most destructive and widely climate risk caused by climate change, as an example and empirically examines its impact on the pricing of municipal bonds' issuing. We found that drought risk would significantly increase the credit spread and yield of municipal bonds, and the drought risk premium is higher in municipal bonds issued by provinces and autonomous regions with higher agricultural output and lower economic scale. Investors' attention to climate change is a possible mechanism by which drought risk affects the pricing of municipal bonds' issuing. Further research shows that environmental actions committed to improving water resources, such as local water conservancy construction, investment in forest resources and the South-to-North Water Diversion Project, can generally mitigate investors' negative concerns about future climate risks, and then reduce the drought risk premium in municipal bonds. In conclusion, climate risks have become one of the important factors affecting the pricing of municipal bonds' issuing in China, and environmental actions committed to improving water resources are playing a positive role in restraining the increase in financing costs caused by climate risks.

Key Words: Climate risk; Drought risk; Municipal bonds; Credit spread; Environmental actions

JEL Classification: G12, H74, Q54

一、引言

自工业革命以来,人为活动产生的温室气体排放加剧了气候变化,并引致全球气候变暖,海平面上升,极端天气频发,对社会发展和人类健康造成了严重的长期风险和威胁。2021年8月政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次《气候变化评估报告》依据最新观测资料分析后得出如下结论:2011-2020年平均温升相比工业化前提高了 1.09°C ,并且全球气候变暖对气候系统的影响在未来数百年都是不可逆的。为应对气候变化带来的严峻挑战,世界诸多国家于2015年12月共同签署了《巴黎协定》,致力于在21世纪内将气温上升幅度控制在 2°C 以内,并力争实现控制在 1.5°C 以内的目标。作为《巴黎协定》的缔约方之一,中国于2020年9月在联合国大会上向全世界宣布,将采取更加有力的政策和措施,使碳排放量在2030年前达到峰值,努力争取在2060年前实现碳中和。气候变化也引起了经济学界的广泛关注。诺贝尔经济学奖得主诺德豪斯率先揭示了气候变化的物理过程与经济关系的相互关系,由此开启了气候经济学。气候经济学不仅强调了气候变化对当前的经济增长可能造成的风险和危害,而且还强调经济活动本身也会促进气候变化,也即当前的经济增长促进了更多的碳排放,而更多的碳排放会对未来的经济增长带来更大的风险和负面效应(Nordhaus, 1977, 1991, 1992)。近年来学者们开始考察由气候变化引起的风险是否已经引起投资者的足够关注并在金融市场的资产定价中得以合理反映(例如, Dietz et al., 2016; Painter, 2020),并正在形成气候金融学的雏形。然而,到目前为止我国还鲜有学者探讨由气候变化引起的风险的定价问题。我们将以我国地方政府发行的地方政府债券(以下简称地方债)为例,探讨和检验气候变化风险是否已经引起我国金融市场的足够关注并在地方债的发行定价给予了反映。这对金融市场进一步改善资源配置效率,有效应对气候变化引起的风险具有理论与应用价值。

本文所指的气候风险是指由气候变化而不是气候条件所产生的风险,也即气候变化风险(以下简称气候风险)。气候条件本身通常不会独自地导致风险的产生,只有当气候变化改变了生存环境、社会关系才会对经济发展、人类健康产生风险。由碳排放引发的气候变化的直接物理后果包括气温增高、海平面上升以及干旱、洪涝、热带气旋和风暴、热浪、低温冰冻等自然灾害的频发。在本文中,我们将气候风险聚焦于干旱风险,并将干旱风险视作气候风险的代理变量,其原因在于以下三个方面:第一,气候变化造成的干旱风险所带来的经济危害最为严重。有研究表明,气候变化在全球范围内造成的各种自然灾害中,干旱灾害被认为是对经济活动最具破坏性的气候灾害(Lesk et al., 2016)。第二,气候变化带来的干旱风险并非只集中于某些特定区域而是在全球范围内广泛存在,其不仅具有外生性、普遍性而且还具有随机性的特点(Huynh et al., 2020)。第三,气候学中存在一个被广泛用于干旱监测的物理指标即PDSI指数,该指数能够反映由时间序列的气候变化引起的而不是当前横截面的气候条件决定的干旱程度,也即与其他反映干旱程度的物理指标不同,PDSI指数是与过去至少30年的气候干湿数据比较而得到反映随时间变化的干旱程度指标(Palmer, 1965),因此,将其作为反映气候风险的代理变量具有理论上的合理性(Huynh et al., 2020)¹。

本文以地方债作为研究对象来检验气候风险对金融资产定价的影响主要出于以下原因:

1 在气候学中,降水量指数、土壤含水量等指标也是衡量干旱程度的常用指标,这些指标通过特定时点的横截面对比来判断该地区特定气候条件所决定的干旱程度,但却无法反映本文试图研究的由气候变化引起的干旱程度。例如,在以横截面的降水量指数来衡量干旱程度时,与其他省市自治区相比新疆通常会被认为是干旱较为严重的地区,但在基于时间序列的帕尔默干旱指数(PDSI)衡量干旱程度时,与新疆过去至少30年的历史相比当前新疆的干旱程度并没有变得更为严重。投资者可能不会对常年干旱的地区所发生的干旱风险做出定价反应,因为在常年干旱的地区其人口与经济活动早已变得稀少。相反地,当气候相对湿润的地区发生干旱时更有可能引起投资者的关注并在金融资产的定价中给予体现,因为在这些地区存在着大量的人口和密集的经济活动,一旦发生由气候变化引起的干旱就会对人类健康和经济发展产生重大的负面效应。因此,降水量指数、土壤含水量等基于横截面对比来判断干旱发生的指标并不能反映气候变化引起的干旱风险,而本文所选取的PDSI却能够基于时间序列比较而较好地反映由气候变化引起的干旱风险。PDSI的具体构建思路参见本文的“变量设定”。

第一,地方债发行主体的特殊性为研究金融市场是否对气候风险进行合理定价提供了有力设定。一方面,地方政府无法像企业那样可以通过将资金转移投资到所在地之外的方式规避气候风险,另一方面,作为应对地方气候风险的主要责任主体,地方政府需要承担自然灾害造成的直接经济损失以及应对气候变化而引起的转型支出。有鉴于此,相较于企业债券或股票而言,金融市场更有可能在地方债发行时对气候风险进行定价,这为研究气候风险对金融资产定价的影响提供了合适的研究机会。第二,自2015年《新预算法》颁布后,我国地方政府债券市场正式走向市场化和规范化。在本文的样本期间内(2015年1月至2019年12月),全国共发行了4874只地方政府债券,发行规模总额超过21万亿元,且发行主体涉及31个省市自治区。地方债市场的迅猛发展不仅为本文的研究提供了足够的样本,而且发行主体的广泛区域分布也为研究各地干旱风险在地方债发行中的定价作用提供了可能。

我们基于Palmer(1965)的PDSI指数构建模型,采用卫捷和马柱国(2003)提出的更能准确反映中国各地区特定干湿情景的模型参数修正建议,得到我国31个省市自治区2015-2019年逐月的PDSI指数以反映当地的干旱风险。我们采用地方债发行时的信用利差和到期收益率来反映其发行定价。在此基础上,我们首先检验了基于PDSI指数测定的各省市自治区的干旱风险与地方债发行定价的关系,以考察金融市场是否在定价中关注到了干旱风险以及对干旱风险所要求的溢价程度,并针对上述结论进行了多项稳健性检验和内生性检验。其次,我们基于投资者对气候变化的关注度检验了干旱风险可能的定价机制,并考察了包括地方农业产量、经济发展水平等在内的不同地方特征对地方债发行时的干旱风险溢价所产生的异质性影响。第三,我们通过检验地方水利建设、森林资源投入、南水北调工程建设等基于水资源改善的环境行动是否能够缓解金融市场对气候变化影响的负面预期,以考察金融市场是否认可政府所采取的环境行动在应对干旱风险中的有效性。

我们发现,所在省市自治区以PDSI指数测定的干旱程度、干旱发生、严重干旱和持续干旱均会显著提高地方债发行时的信用利差和到期收益率,这意味着金融市场关注到了由气候变化引起的干旱风险并由此要求了额外的干旱风险溢价,该结论在使用标准化降水蒸散发量指数SPEI、干旱造成的实际灾害程度替换干旱风险指标,采用不同的地方债信用利差定义,以及使用各省市自治区的平均光照强度进行工具变量检验后依然成立。机制检验的结果表明,地方债中的干旱风险溢价主要发生于投资者对气候变化和全球变暖关注度较高的时期,由此投资者对气候变化的关注度是干旱风险影响地方债发行定价的可能机制。基于地方特征的异质性检验结果表明,金融市场对农业产量较高、经济发展水平较低的省市自治区所发行的地方债会要求更高的干旱风险溢价。在进一步的检验中我们发现,金融市场对地方债发行时所要求的干旱风险溢价受到环境行动的直接影响,也即所在省市自治区的水利建设程度越高、森林资源覆盖程度越高,南水北调工程的受益程度越大,金融市场对其地方债发行时要求的干旱风险溢价越低,这意味着政府的环境行动能够缓解金融市场对气候变化影响的负面预期,该结果也在一定程度上体现出现有的环境行动在应对气候变化方面的有效性。

本文的贡献主要体现在以下三个方面:第一,本文通过气候风险(干旱风险)与金融资产定价之间关系的研究,拓展了气候学和金融学的交叉研究,尤其是有助于推动针对我国情景的气候金融学的发展。经研究发现,由气候变化引起的最具破坏性和普遍性的干旱灾害已经影响我国投资者在金融资产投资中所要求的回报率,并具体体现在地方债的发行定价中。第二,本文丰富了地方债发行定价决定因素的研究。以往的研究主要是围绕地方特征和债券特征来探索地方债发行定价的影响因素(刘穷志和刘夏波,2017;刘锐和攸频,2020),而本文则在此基础上发现气候风险也是影响我国地方债发行定价的重要因素之一,从而拓展了地方债领域的研究。第三,本文丰富了我国针对水资源改善的环境行动的经济效果检验。我们发现诸如地方水利建设、森林资源投入和南水北调工程建设等基于水资源改善的环境行动能够有效降低干旱风险的溢价水平,这不仅为降低我国地方政府的融资成本增添了新的视

角，而且也在一定程度反映了我国政府所采取的环境行动的有效性，并为我国实现绿色经济转型、完成碳中和目标提供了证据支持。

本文的其余部分结构如下，第二部分为文献综述与研究假设；第三部分阐述了本文的数据和样本选取、变量设定与模型构建；第四部分为气候风险与地方债发行定价关系的检验结果与分析，并进行了稳健性检验、内生性检验、机制检验和基于地方特征的异质性检验；第五部分为环境行动对干旱风险与地方债发行定价关系影响的检验结果与分析；第六部分为结论与讨论。

二、文献综述与研究假设

（一）文献综述

本文主要对有关气候风险及其定价以及地方债发行定价影响因素的文献做出综述。

1. 气候风险及其定价

从 20 世纪 70 年代起，全球变暖这一世界性难题开始受到关注，而全球变暖所引起的气候变化对经济发展的影响始终是学者们关注的研究重点，并逐步形成了气候经济学。从整体来看，一方面气候变化制约了经济增长，Burke 等（2015）在研究中指出，气候变化使得全球的经济增长遭受巨大损失，且预计到 2100 年因气候变化导致的全球经济增长率的下降幅度将达到 0.28%；另一方面气候变化降低了劳动生产率，Hsiang 等（2017）和政府间气候变化专门委员会（IPCC）（2019）均发现，随着气温的升高，工人的总劳动时间越来越短，从而降低了劳动生产率。

鉴于气候变化会对经济发展带来冲击和长期影响，所以学者们近来开始关注由气候变化而产生的风险问题以及气候风险的定价问题，并正在形成气候金融学的雏形。一方面，学者们检验了气候风险对整体金融资产价值造成的影响。例如，Dietz 等（2016）发现，若各国不采取更积极的措施控制碳排放，气候风险将造成全球金融资产损失的期望值达到 2.5 万亿美元，占总资产的 1.8%。另一方面，学者们还检验了气候风险对个体金融资产价格造成的影响。例如，Painter（2020）以海平面上升作为气候风险的测度指标并发现，受海平面上升影响较大的地区在发行市政债券时面临更高的发行成本。

尽管由全球变暖所引起的气候变化及其物理风险可以体现在干旱、洪涝、热带气旋和风暴、热浪、低温冰冻等物理灾害上，也可反映在碳排放、海平面上升等诸多指标上，但近来有些学者开始将注意力放在干早上，也即基于干旱测定由气候变化引起的物理风险并据此做出定价检验。这是因为干旱不仅是对经济活动影响最大的气候灾害，还是发生区域非常广泛且发生时间相当随机的气候灾害（Huynh et al., 2020）。Do 等（2021）发现，商业银行在向遭受干旱风险的企业发放贷款时会收取更高的信贷利差，尤其是食品行业的企业。然而，Hong 等（2019）基于 PDSI 指数对 31 个国家食品行业做出实证检验后发现，金融市场对由气候变化引起的干旱风险的反应不够充分，而 Huynh 等（2020）同样基于 PDSI 指数检验后发现，干旱风险与权益资本成本之间存在着显著的正向关系，且干旱持续时间越长、干旱强度越高，投资者对权益资本所要求的风险溢价也就越大，由此验证了美国的股票市场对于干旱风险具有定价功能。

从国内现有的研究成果看，国内学者主要集中于以气温变化为主的气候经济学研究，而对气候风险定价的研究尚处于起步阶段。在气候经济学领域，国内研究主要围绕气温变化对经济发展及其后果展开，例如，金刚等（2020）发现气温变化会对发达城市的绿色经济效率造成负面影响，杨璐等（2020）发现气温变化会降低企业的全要素生产率、投资以及创新能力，刘波等（2021）发现气温波动会显著提升农村金融机构的信用风险水平，同时该影响存在阶段性特征，其中冬季气温波动的影响最为显著。在气候金融学中，仅有少数学者对气候

风险以及定价问题展开初步讨论,例如,王遥和王文蔚(2021)从气候物理风险的视角切入,通过模型模拟和实证检验发现环境灾害冲击会导致银行违约率的显著提升。谢平和段兵(2010)通过建模研究了气候变化风险溢价的决定问题,且发现气候变化的风险溢价取决于气候风险总损失与社会支付意愿的相对大小,当社会支付意愿更高时,气候风险溢价为正,表明人类社会愿意支付一定的风险溢价以规避气候风险。陈国进等(2021)则基于气候转型风险的视角,考察绿色债券纳入央行合格抵押品范围这一绿色金融政策的影响,他们发现绿色金融政策的实施会显著降低绿色债券的信用利差,同时提高棕色债券的信用利差,且绿色金融政策还可以倒逼棕色企业进行绿色转型,实现棕色企业绿色创新数量和质量的双重提升。

2. 地方债发行定价的影响因素

市政债券在经历了二战时期的高速发展后,已经成为发达国家债券市场的重要组成部分(Hastie, 1972),针对其发行定价的研究成果也较为成熟。然而,我国的地方债发行在2015年才正式步入市场化和规范化的新阶段。尽管针对我国地方债发行定价影响因素的研究起步不久,但也取得了诸多进展。地方债发行定价的决定因素主要包括债券特征因素和地区特征因素。就债券特征而言,地方债的发行规模越大、期限越短、信用评级越高,则地方债的发行定价就越低(同生辉和黄张凯, 2014),从债券类型和发行方式看,一般地方债的发行定价通常低于专项地方债,而定向发行的地方债其发行定价通常高于公开发行的地方债(刘穷志和刘夏波, 2017)。就地区特征而言,地区的经济发展水平越高,地方政府财政状况越好,则地方政府债券的信用风险越低且地方债的发行定价也就越低(刘锐和攸频, 2020);此外,政府隐性担保(汪莉和陈诗一, 2015)、地区金融生态环境(潘俊等, 2015)等地区特征也会影响地方债的发行定价。

总之,目前国内针对气候变化问题的研究主要是围绕气候经济学展开的,而针对基于气候风险及其定价的气候金融学研究尚不多见。鉴于2020年9月我国政府提出“碳中和”目标并做出了相应的国际承诺,所以针对气候风险定价的研究成为一个迫切需要关注的研究领域。通过在金融资产定价中合理关注气候风险将有助于优化资源的配置,更好地为减缓全球气候变暖承担应有的国际责任。此外,尽管针对基于债券特征和地区特征的地方债发行定价影响因素的研究较为丰富,但尚未有文献直接检验气候风险是否会影响我国地方债的发行定价。有鉴于此,本文基于干旱风险这一气候风险就其对我国地方债发行定价的影响做出拓展性研究。

(二) 研究假设

传统债券定价理论认为,债券价格反映了诸多风险因子的影响。作为一种常见的债券种类,地方债的定价也受到包括通货膨胀风险、利率风险(Katz, 1974)、流动性风险(Harris和Piwowar, 2010)、违约风险(Schwert, 2017)等风险因子的影响。随着对气候变化的日趋关注,人类社会和各国政府开始认识到由气候变化而引起的气候风险将会是人类社会所面临的一种长期风险,而《京都议定书》和《巴黎协定》的实施将控制碳排放以应对气候变化的目标转化成了各国政府的应尽责任,并一层层地压在各级地方政府身上。这使得地方政府不仅要面临气候变化引发的更为频繁的极端自然灾害,承担气候物理风险对各个经济部门带来的直接经济损失,而且还要担负起向绿色经济、低碳经济转型的职责,承担转型过程中必不可少的气候转型成本,包括推进温室气体减排、提升自然生态碳汇能力、推动绿色技术开发、促进清洁能源发展、优化产业结构、提高各领域气候适应能力等方面的支出,进而增加了地方政府的财政压力。不仅如此,作为地方债的投资主体,商业银行和部分非银行机构已经开始关注气候变化所带来的影响,并将气候风险纳入其投资决策中(陈国进等, 2021)。因此,随着气候变化影响的进一步加剧,考虑到地方政府的转型压力和财政负担将随之提升,

地方债投资者有可能会要求额外的气候风险溢价，并使得气候风险成为一个新的定价因子（Painter, 2020）。

进一步地，就本文所设定的气候风险的代理变量——干旱风险而言，干旱风险是否有可能成为地方债发行定价的一个重要定价因子呢？已有研究表明，干旱灾害不仅会对依赖水资源的农业和食品业、冶炼业、化工业、水力发电以及居民供水等造成直接的不利影响（Hong et al., 2019），而且还会通过各经济部门的关联性给整个经济系统带来严重的不利冲击（张强等, 2014）。其结果，一方面，地方政府作为应对包括干旱在内的自然灾害的第一责任人，不得不增加抗旱救灾支出以缓解干旱造成的社会民生问题。另一方面，地方政府还不得不在温室气体减排、污染防治、自然资源保护等多方面投入更多的气候转型支出以提高未来应对包括干旱风险在内的诸多气候风险的适应能力。这些财政支出的压力不仅会提高地方政府的财政负担，而且还会削弱地方政府的偿债能力，并由此而促使投资者对其发行的地方债要求额外的风险溢价。基于上述分析，我们得到如下基本假设 H：

H：所在地的干旱风险越大，地方债的发行定价越高，也即所在地的干旱风险越大，地方债发行时的信用利差或到期收益率越大。

气候风险能否在地方债发行中给予定价，可能在较大程度上取决于投资者对气候变化的关注。一方面，气候风险是一种长期风险，其引发的全球平均气温上升，海平面上升等严重后果需要经过几十年甚至上百年的时间才会变得显而易见，而在较短的期限内投资者可能察觉不到气候的变化；另一方面，随着近年来《巴黎协定》等全球性气候政策的颁布和实施，气候变化开始引发人们的广泛关注，但人们可能仍然没有建立起对气候变化及其风险的坚定意识和信念。Choi et al. (2020)指出，人们对于气候变化的信念受到自身有限注意力的影响，异常炎热的天气可能会使人们更加相信气候变化和全球变暖的现实，但这种信念在经历了异常寒冷的天气后又可能被彻底动摇。也就是说，只有当气候变化引发的各种极端自然灾害风险日益突显时，投资者才会关注并认识到气候变化在未来可能造成的负面影响，进而将气候风险纳入投资决策中，因此，本文认为，投资者对气候变化的关注程度可能是干旱风险影响地方债发行定价的重要机制，并预期当投资者对气候变化的关注程度较高时，干旱风险在地方债发行时更易得以定价。

三、数据、变量和模型构建

（一）数据来源与样本选取

随着 2015 年 1 月 1 日新《预算法》的正式生效，我国地方债发行步入市场化和规范化的新阶段。有鉴于此，本文选取在 2015 年至 2019 年间发行的地方政府债券作为研究样本，并进行了如下处理：第一，剔除了所有以宁波、青岛、厦门、大连和深圳五个计划单列市以及新疆生产建设兵团作为发行主体的地方债，这主要是为了与干旱程度统一以省市自治区维度做出衡量相一致。第二，剔除了含权地方债，也即剔除了 14 只含有提前偿还权利和 12 只含有提前赎回权利的地方债。第三，剔除了 5 只到期一次还本付息的地方债。第四，剔除了非平价发行的地方债，也即剔除了 2 只折价发行和 15 只溢价发行的地方债。经上述筛选后，本文共得到 4826 只地方政府发行的债券并将其作为本文的研究样本。上述地方债的相关数据来源于 Wind 数据库。此外，本文还从 Wind 数据库获取了国债收益率的数据，从中经网统计数据库获取了地区特征、宏观经济等方面的相关数据。

本文借鉴 Palmer (1965) 的 PDSI 指数构建方法并根据卫捷和马柱国 (2003) 的建议进行了适应中国情景的参数修正，且由此而构建了更能反映各省市自治区干湿情况的 PDSI 指数。计算 PDSI 指数所需的基础数据尤其是蒸散发量、土壤水分供给量、径流量和土壤水分损失量等数据来源于中国气象数据网的中国地面气候资料日值数据集 (V3.0)，该数据集涵盖了 1960-2019 年间分布于不同省市自治区的 828 个气象站的气象原始数据。根据这些气象

站的原始数据，我们还测算出本文用于稳健性检验的各省市自治区的标准化降水蒸散指数（SPEI 指数）。此外，为了衡量干旱实际灾害程度，本文还从《中国统计年鉴》获取了 2015-2019 年各省市自治区农作物的旱灾受灾、成灾和绝收面积数据。为了控制异常值对研究结论的影响，本文对所有连续变量均采用上下 1% 的缩尾处理。

（二）变量设定

1. 地方债的发行定价。本文以地方债发行时的信用利差 *Spread* 和到期收益率 *Yield* 作为被解释变量，以此衡量地方债的发行定价。由于本文所选取的样本为平价发行的地方债，所以其发行时的到期收益率 *Yield* 便是地方债的票面利率。发行时的信用利差 *Spread* 定义为发行时的到期收益率与发行前 5 个工作日内同期限国债平均收益率之差值。

2. 干旱风险。本文主要采用干旱监测领域广泛使用的 PDSI 指数和 SPEI 指数来构建反映干旱风险的相关指标；除此之外，本文还使用干旱的实际灾害程度来反映干旱风险。这些解释变量的定义和构建过程如下。

（1）PDSI 指数

Palmer（1965）创立的 PDSI 指数被誉为干旱指数发展史上的一个重要里程碑，在干旱事件分析、干旱序列重建以及干旱监测上有着广泛的应用（刘庚山等，2004），是目前国内外应用最为广泛的气象干旱指标之一（李忆平和李耀辉，2017）。不同于仅依据实际降水量、土壤含水量等单一指标对干旱情况进行测定，PDSI 综合考虑了地区接收到的水分、存储在土壤中的水分以及温度导致的潜在水分流失且依据至少 30 年以上的历史数据来预测地区的水分供需情况而做出测定，故而能够较好地测定一个地区在一段时期内由气候变化而引起的干旱（Dai，2011）。然而，由于 PDSI 指数测定模型的原始参数是基于美国中西部地区情形所设定的，所以国内学者在针对中国情景的研究基础上，修正了模型参数并构建了更能准确反映中国各地区干湿情况的修正 PDSI 指标（卫捷和马柱国，2003）。本文采用这种经修正的 PDSI 指标来反映干旱风险。

PDSI 的测定原理是根据水分供需平衡情况判断某地区特定时间段内经时间序列对比的干旱程度，当水分供给量少于水分需求量时即表示发生了干旱。其中，水分供给量采用当月的实际降水量衡量，水分需求量则需要结合当地至少 30 年以上的历史平均数据进行估计。本文测定经修正的 PDSI 指数的具体思路如下：首先，根据各气象站 30 年以上的气象历史资料计算或预测出每月的气候适宜条件下的水分需求量，其等于气候适宜条件下的蒸散发量，加上土壤水分供给量，加上径流量，减去土壤水分损失量；其次，计算得到各气象站每月的水分盈亏量，也即实际的降水量（即水分供给量）减去上述气候适宜条件下的水分需求量；第三，基于水分盈亏量，通过引入不同月份气候修正系数并经标准化处理得到帕默尔 Z 指数，该指数反映了某气象站所在地当月的实际干湿情况与往年平均干湿情况的差异程度；第四，鉴于某地区某月的干湿情况具有明显的持续性，所以还需对上月干湿情况的影响进行修正，具体地，根据卫捷和马柱国（2003）建议的更符合中国情形的参数设定，得到气象站所在地当月的 PDSI 指数，即 0.805 乘以上月的 PDSI 指数，加上当月的帕默尔 Z 指数与 57.136 之比。基于上述测定思路，本文使用 MATLAB 计算得到分布于不同省市自治区 828 个气象站的月度 PDSI 数据。为了将各气象站所在地的月度 PDSI 数据转换成各省市自治区的月度 PDSI 数据，本文以各省市自治区内各气象站月度的 PDSI 中位数作为各省市自治区月度的 PDSI 数据，最终得到 2015 年 1 月至 2019 年 12 月间 31 个省市自治区共计 1860 个月度的 PDSI 数据。

由上述 PDSI 指数的测定过程可以看出，PDSI 具有以下特点：一是 PDSI 不仅综合反映了地区的降水量数据和土壤层面的水分数据，而且更为重要的是其以 30 年以上的历史气象数据为依据，通过时间序列的历史比较以及针对不同月份的气候做出修正而得到，由此 PDSI

能够较为准确地体现基于土壤干湿度的地区气候变化，合理地反映气候变化引起的干旱风险。二是 PDSI 避免了仅仅通过地区之间的横截面比较来判断是否发生干旱所引起的问题，也即横截面比较的判断结果是基于特定气候条件下的地区干旱情况，可能导致某些地区因特定气候条件始终处于干旱状态，从而难以反映气候变化引起的干旱。

PDSI 指数的取值范围介于-10 到 10 之间，当 PDSI 取值小于等于-1 时表示发生干旱，且取值越小干旱程度越严重²。有鉴于此，我们使用连续变量 PDSI 直接来反映地方债发行前 1 个月所在省市自治区的干旱风险。然而，PDSI 只有小于等于-1 时才表示发生了干旱，而 PDSI 指数大于等于 1 的情形反映的是湿润状况。鉴于我们的研究关注的是气候变化引起的干旱风险，而 PDSI 数据中含有反映湿润状况的噪音信息，所以我们还构建了反映是否发生干旱的虚拟变量 *Drought*，当地方债发行前 1 个月的 PDSI 指数小于等于-1 时 *Drought* 取 1，即表示发生了干旱；反之取 0。

由干旱反映的气候变化不仅具有外生性和随机性，而且其发生的严重程度以及持续时间也可能是不同的，有鉴于此，我们还引入了反映严重干旱的虚拟变量 *Severe_D* 和反映持续干旱的虚拟变量 *Last_D*。具体地，当地方债发行前 12 个月内发生过严重干旱 ($PDSI \leq -3$) 的情况时，*Severe_D* 取 1，反之取 0；当地方债发行前出现持续 6 个月的干旱情况时，*Last_D* 取 1，反之取 0。

(2) SPEI 指数

考虑到中国地域辽阔，气候类型多样，仅用一种干旱指标难以准确地测度所有地的干旱状况，由此本文采用另一种在干旱监测领域应用广泛且在中国具有较好适用性的标准化降水蒸散指数 (SPEI) 来构建相应的干旱风险指标 (Vicente-Serrano et al., 2010; 王林等, 2012)，并用于本文的稳健性检验。SPEI 指数是在仅考虑降水量的标准化降水指数 (SPI) 基础上进一步考虑了温度的影响后构建的，它不仅保留了 PDSI 指数考虑水分蒸散的优点，同时作为标准化指数，它还能够进行不同时间、不同地区的比较分析，适用于检测和监测全球变暖背景下干旱的变化特征，并广泛应用于干旱评估、水温干旱分析等研究领域 (李伟光等, 2012)。我们根据如下步骤对各省市自治区逐月的 SPEI 指数进行测定：首先，基于各气象站的基础数据，采用 Thornthwaite 的方法计算各月的潜在蒸散量；其次，计算各月实际降水量与潜在蒸散量的差值，得到各月累积水分盈亏量的时间序列，并计算其概率分布；最后，将概率分布进行标准化处理后得到各气象站逐月的 SPEI 数值。当 SPEI 指数小于等于-0.5 时表示发生干旱，且取值越小干旱程度越严重³。为了取得各省市自治区逐月的 SPEI 数据，我们同样以各省市自治区内各气象站月度的 SPEI 中位数作为各省市自治区月度的 SPEI 数据。

在此基础上，我们采用所测定的 SPEI 指数直接构建连续变量 *SPEI* 来反映地方债发行前 1 个月所在省市自治区的干旱风险。此外，我们基于 SPEI 指数大小所对应的干旱等级关系构建以下三个反映干旱风险的虚拟变量：是否发生干旱的虚拟变量 *SPEI_Drought*，即当地方债发行前 1 个月所在省市自治区的 SPEI 指数小于等于-0.5 时取 1，反之取 0；反映是否发生严重干旱的虚拟变量 *SPEI_Severe*，即当地方债发行前 12 个月内所在省市自治区存在 SPEI 指数小于等于-2.0 的情况时取 1，反之取 0；反映是否发生持续干旱的虚拟变量 *SPEI_Last*，即当地方债发行前所在省市自治区出现持续至少 6 个月的干旱时取 1，反之取 0。

(3) 干旱灾害程度

除了使用 PDSI 和 SPEI 指数等物理指标外，本文还使用干旱灾害造成的实际经济损失来反映干旱风险，并用于稳健性检验。具体地，本文采用农作物的旱灾受灾 (即主要农作物

2 Palmer (1965) 对 PDSI 指数与干旱程度的对应关系设定如下：当 PDSI 取值在(-2,-1)、(-3,-2)、(-4,-3)、(-5,-4)和[-10,-5]时，分别表示轻度干旱 (即发生干旱)、中度干旱、严重干旱、极端干旱和异常干旱。

3 SPEI 指数的取值范围及其对应的干旱等级关系如下：当 SPEI 取值在(-1,-0.5)、(-2,-1)和 $(-\infty,-2]$ 时，分别表示轻度干旱 (即发生干旱)、中度干旱和严重干旱。

收成减少 1 成以上) 面积、旱灾成灾 (即主要农作物收成减少 3 成以上) 面积、旱灾绝收 (即主要农作物收成减少 8 成以上) 面积来反映干旱风险。在指标构建时, 采用各省市自治区的旱灾受灾、成灾和绝收面积加 1 取对数后分别得到相应的干旱灾害程度指标 $\ln Damage$ 、 $\ln Disaster$ 和 $\ln Crops$ 。

3. 控制变量

本文借鉴 Painter (2020)、刘锐和攸频 (2017) 与刘穷志和刘夏波 (2019) 的研究, 选取了债券特征、地区特征和宏观因素三大类控制变量。通过尽可能控制更多的影响地方债发行定价的因素可减轻由遗漏变量引起的内生性问题。在债券特征方面, 本文控制了地方债发行规模的对数 $\ln Size$ 、地方债期限的对数 $\ln Maturity$ 、反映地方债类型的虚拟变量 $Type$ (即当地方债为专项债券时 $Type$ 取 1, 当地方债为一般债券时 $Type$ 取 0)、反映地方债发行方式的虚拟变量 $Mode$ (即当发行方式为公开招标时 $Mode$ 取 1, 当发行方式为定向发行时 $Mode$ 取 0)、反映地方债发行时是否进行评级的虚拟变量 $Rating$ (即当地方债发行时进行了信用评级 $Rating$ 取值为 1, 否则取 0)。在地区特征方面, 本文控制了地方债发行主体的年度人均地区生产总值 GDP , 以反映当地的经济状况; 控制了地方债发行主体的年度第二产业产值在地区生产总值中的占比 $Structure$, 以反映当地的产业结构; 控制了地方债发行主体的公共财政收入对地区生产总值的占比 $Fiscal$, 以反映当地的财政状况。在宏观因素方面, 本文控制地方债发行主体当月的居民消费价格指数 (减去 100) $Inflation$, 以反映通货膨胀状况; 控制了地方债发行当月全国广义货币供给量的增长率 $M2$, 以反映货币政策。

(三) 模型构建

为了检验干旱风险与地方债发行定价的关系, 本文构建了如下基本回归模型式 (1):

$$Spread_{ijt}(Yield_{ijt}) = \alpha + \beta \cdot DR_{jt} + \gamma \cdot Controls_{ijt} + Province_j + Year_t + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

其中, 被解释变量为地方债的发行定价, 分别用省、市、自治区 j 在 t 月发行的地方债 i 的信用利差 $Spread$ 和到期收益率 $Yield$ 来衡量。解释变量 DR 为 t 月发行的地方债所在省、市、自治区 j 的干旱风险指标, 包括基于 PDSI 指数测定的 $PDSI$ 、 $Drought$ 、 $Severe_D$ 和 $Last_D$ 等。 $Controls$ 为控制变量, 包括债券特征、地区特征和宏观因素等 3 类控制变量。此外, 回归模型中还控制了省份固定效应 $Province$ 和年度固定效应 $Year$, 以控制资源禀赋等省份层面不随时间变化的遗漏变量以及宏观经济冲击对本文结果产生的影响。本文所使用的各变量的符号、名称、定义和解释详见表 1。

表 1 变量定义表

	变量符号	变量名称	变量定义及解释
被解释变量	$Spread$	信用利差	地方债发行时的到期收益率与发行前 5 个工作日内同期国债平均收益率之差值。
	$Yield$	到期收益率	地方债发行时的到期收益率即票面利率。
干旱风险	$PDSI$	PDSI 指数	地方债发行前 1 个月所在省市自治区的 PDSI 指数。
	$Drought$	发生干旱	地方债发行前 1 个月所在省市自治区是否发生干旱的虚拟变量, 当发行前 1 个月 PDSI 小于等于 -1 时取 1, 否则取 0。
	$Severe_D$	严重干旱	地方债发行前 12 个月内所在省市自治区是否发生过严重干旱的虚拟变量, 当发行前 12 个月内发生过 PDSI 小于等于 -3 的情况时取 1, 否则取 0。
	$Last_D$	持续干旱	地方债发行前 6 个月内所在省市自治区是否发生了持续干旱的虚拟变量, 当发行前出现连续 6 个月 PDSI 均小于等于 -1 的情况时取 1, 否则取 0。
	$SPEI$	SPEI 指数	地方债发行前 1 个月所在省市自治区的 SPEI 指数。
	$SPEI_Drought$	发生干旱	地方债发行前 1 个月所在省市自治区是否发生干旱的虚拟变量, 当发行前 1 个月 SPEI 小于等于 -0.5 时取 1, 否则取 0。
	$SPEI_Severe$	严重干旱	地方债发行前 12 个月内所在省市自治区是否发生过严重干旱的虚拟变量, 当发行前 12 个月内发生过 SPEI 小于等于 -2 的情况时取 1, 否则取 0。
	$SPEI_Last$	持续干旱	地方债发行前 6 个月内所在省市自治区是否发生了持续干旱的虚拟变量, 当发行前出现连续 6 个月 SPEI 均小于等于 -0.5 的情况时取 1, 否则取 0。
	$\ln Disaster$	旱灾受灾面积	地方债发行当年所在省市自治区农作物的旱灾受灾 (主要农作物收成减少 1 成以上) 面积加 1 后取对数。

控制变量	<i>lnDamage</i>	旱灾成灾面积	地方债发行当年所在省市自治区农作物的旱灾成灾（主要农作物收成减少3成以上）面积加1后取对数。
	<i>lnCrops</i>	旱灾绝收面积	地方债发行当年所在省市自治区农作物的旱灾绝收（主要农作物收成减少8成以上）面积加1后取对数。
	<i>lnSize</i>	发行规模	地方债的发行规模并取对数。
	<i>lnMaturity</i>	发行期限	地方债的发行期限并取对数。
	<i>Type</i>	债券种类	虚拟变量，专项债券取1，一般债券取0。
	<i>Mode</i>	发行方式	虚拟变量，公开招标的地方债取1，定向发行的地方债取0。
	<i>Rating</i>	债券评级	虚拟变量，进行评级的地方债取1，未评级的地方债取0。
	<i>GDP</i>	人均GDP	地方债发行主体的年度人均地区生产总值。
	<i>Structure</i>	产业结构	地方债发行主体的年度第二产业产值在地区生产总值中的占比。
	<i>Fiscal</i>	财政收入占比	地方债发行主体的年度公共财政收入与地区生产总值之比。
	<i>Inflation</i>	通货膨胀率	地方债发行主体当月的居民消费价格指数-100。
	<i>M2</i>	广义货币增长率	地方债发行当月全国广义货币供给量的增长率。

四、气候风险与地方债发行定价的检验结果与分析

（一）描述性统计结果与分析

1、样本期间的干旱概况

依据各省市自治区的月度PDSI指数，我们统计了2015年1月至2019年12月期间（共60个月）31个省市自治区发生干旱（PDSI≤-1）的月度频率，详见表2。从表2中可以看出，在这60个月中，发生干旱频率最高的是辽宁省，在60个月中有53个月发生了干旱，而发生干旱频率最低的是西藏省。我国干旱灾害的发生频率具有以下三个特征：第一，干旱较为集中在辽宁、天津、吉林、内蒙古、河北、北京和河南等省市自治区，也即我国干旱的发生具有区域集中性。第二，我国所有省市自治区均有干旱发生，但发生的频率有较大差异，也即我国干旱的发生具有较大的随机性和广泛性。第三，一旦某省市自治区发生干旱，则干旱不会仅发生在某个月，而通常会持续几个月才能得以缓解，例如，安徽省在2015、2016及2018年均未发生过干旱，但在2019年发生的干旱就持续了8个月之久，也即干旱的发生具有持续性。

表1 各省市自治区每年发生干旱的月度频率统计结果 单位：个月

省份	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	合计
西藏	0	1	0	1	0	2
新疆	5	0	0	0	0	5
贵州	0	0	0	2	4	6
甘肃	7	0	0	0	0	7
湖南	3	0	0	1	4	8
青海	4	5	0	0	0	9
广西	3	0	3	2	2	10
江西	2	0	0	5	3	10
湖北	0	0	0	2	8	10
安徽	0	0	3	0	8	11
上海	3	0	0	6	3	12
海南	6	0	0	0	7	13
福建	6	0	0	4	3	13
重庆	3	0	0	3	7	13
广东	8	0	0	4	3	15
江苏	4	0	3	0	8	15
浙江	4	0	1	8	2	15
云南	11	0	0	0	8	19
山西	4	0	0	4	11	19
陕西	4	3	9	0	9	25
四川	8	6	8	0	5	27
宁夏	7	2	8	3	8	28
山东	6	0	10	4	8	28
黑龙江	10	6	6	6	2	30
河南	7	4	7	6	12	36
北京	5	6	10	9	8	38
河北	8	1	9	11	9	38
内蒙古	11	6	9	7	10	43

吉林	12	6	9	12	9	48
天津	11	10	11	10	7	49
辽宁	12	7	10	12	12	53
合计	174	63	116	122	180	655

2. 描述性统计结果

在样本期间（2015-2019年）内本文共获得由31个省市自治区发行的4826只地方债样本。依据表1所列示的变量及其定义，我们对各变量进行了描述性统计，具体结果见表3。各变量的数据已根据各省市自治区地方债发行以及所在地发行前的各干旱风险指标进行了时间上的匹配，且所有连续变量均经过了上下1%的缩尾处理。从表3可以看出，31个省市自治区发行的地方债的信用利差*Spread*其中位值为0.295%，发行时的到期收益率（即票面利率）*Yield*的中位值为3.505%。所在省市自治区地方债发行前1个月的*PDSI*中位值为-0.291，最小值为-3.672。根据发生干旱*Drought*、严重干旱*Severe_D*和持续干旱*Last_D*的统计结果可以看出，有36.1%的地方债在发行前的1个月所在地发生了干旱，16.3%的地方债在发行前12个月中所在地出现过严重干旱，12.9%的地方债在发行前6个月中所在地发生了持续干旱。在债券特征方面，77.6%的地方债选择公开招标的发行方式，44.3%的地方债进行了信用评级且均获得了AAA评级，但剩余的55.7%没有进行信用评级。

除此之外，我们还进行了各主要变量之间的Pearson相关系数统计。统计结果表明，本文的两个被解释变量*Spread*和*Yield*之间的相关系数为0.649，*PDSI*与*Spread*、*Yield*均呈显著的负相关性，*Drought*与*Spread*、*Yield*均呈显著的正相关性。其他变量之间的相关系数均在合理范围内，也即本文的统计结果不会受到多重共线性的影响。出于篇幅的原因，我们未报告相关性检验的结果。

表3 描述性统计结果

变量名	样本量	均值	标准差	最小值	中位值	最大值
<i>Spread</i>	4,826	0.312	0.178	-0.073	0.295	0.710
<i>Yield</i>	4,826	3.526	0.472	2.440	3.505	4.490
<i>PDSI</i>	4,826	0.060	2.090	-3.672	-0.291	6.440
<i>Drought</i>	4,826	0.361	0.480	0.000	0.000	1.000
<i>Severe_D</i>	4,826	0.163	0.369	0.000	0.000	1.000
<i>Last_D</i>	4,826	0.129	0.335	0.000	0.000	1.000
<i>SPEI</i>	4,826	-0.298	0.739	-2.171	-0.364	1.623
<i>SPEI_Drought</i>	4,826	0.416	0.493	0.000	0.000	1.000
<i>SPEI_Severe</i>	4,826	0.014	0.117	0.000	0.000	1.000
<i>SPEI_Last</i>	4,826	0.254	0.435	0.000	0.000	1.000
<i>lnDisaster</i>	4,826	3.601	2.649	0.000	3.934	8.083
<i>lnDamage</i>	4,826	3.092	2.357	0.000	3.440	7.681
<i>lnCrops</i>	4,826	1.899	1.841	0.000	1.589	6.195
<i>lnSize</i>	4,826	21.577	1.300	17.926	21.766	23.838
<i>lnMaturity</i>	4,826	1.816	0.476	0.693	1.609	3.401
<i>Type</i>	4,826	0.544	0.498	0.000	1.000	1.000
<i>Mode</i>	4,826	0.776	0.417	0.000	1.000	1.000
<i>Rating</i>	4,826	0.443	0.497	0.000	0.000	1.000
<i>GDP</i>	4,826	5.835	2.425	2.843	5.092	15.103
<i>Structure</i>	4,826	0.401	0.070	0.169	0.407	0.499
<i>Fiscal</i>	4,826	0.115	0.031	0.075	0.108	0.237
<i>Inflation</i>	4,826	1.883	0.654	0.300	1.880	3.410
<i>M2</i>	4,826	10.183	2.042	7.970	9.120	13.680

（二）回归统计结果与分析

为检验本文的基本假设即干旱风险对地方债发行定价的影响，本文在控制了债券特征、地方特征、宏观因素、省份和年度固定效应的基础上，将反映地方债发行定价的信用利差*Spread*和到期收益率*Yield*对反映干旱风险的四个指标*PDSI*、*Drought*、*Severe_D*和*Last_D*分别

按基本模型式（1）进行回归，其回归统计结果如表 4 所示。由表 4 列（1）至（4）可知，*PDSI*与地方债发行时的信用利差*Spread*、到期收益率*Yield*的回归系数分别为-0.005 和-0.010，且均在 1%的水平上显著为负，也即平均而言，地方债发行前 1 个月的*PDSI*每减少一个标准差（2.090），其信用利差（或到期收益率）相应增加 104.5bp（或 209bp）。*Drought*与*Spread*、*Yield*的回归系数也均在 1%的水平上显著为正，且平均而言当地方债发行前 1 个月发生干旱时，其信用利差（或到期收益率）相应增加 180bp（或 350bp）。上述结果表明，地方债的投资者已开始关注干旱风险，并在地方债发行时给予了定价，且干旱风险越大，地方债的发行定价越高，这支持了本文的基本假设 H。进一步地，从表 4 列（5）至（8）还可以发现，*Severe_D*和*Last_D*与*Spread*和*Yield*的回归系数也均在 1%的水平上显著为正，且平均而言发行前 12 个月内若发生过严重干旱将使得地方债发行时的信用利差（或到期收益率）增加 300bp（或 570bp），发行前 6 个月内若发生了持续干旱将导致地方债发行时的信用利差（或到期收益率）增加 280bp（或 880bp）。不仅如此，无论是对信用利差*Spread*还是对到期收益率*Yield*而言，*Severe_D*和*Last_D*的回归系数均明显大于*Drought*的回归系数，由此可见，严重干旱和持续干旱会引发地方债投资者更广泛的关注，并使其在地方债发行时要求更高的干旱风险溢价，这也支持了本文的基本假设 H。

为尽可能减轻遗漏变量对本文研究结论的影响，在控制省份和年度固定效应的同时，本文还控制了债券特征、地方特征和宏观因素等方面的变量。由表 4 可知，在债券特征方面，发行规模*lnSize*越小、发行期限*lnMaturity*越长，地方债的发行定价越高，且进行了评级的地方债（*Rating*）其发行定价更低，这些结果与 Painter（2020）的结果一致；此外，专项地方债（*Type*）相较于一般地方债而言定价更高，公开招标的地方债（*Mode*）相较于定向发行的地方债其发行定价更低，该结果与刘穷志和刘夏波（2017）的结果一致。在地区特征和宏观因素方面，所在省市自治区的人均 GDP 越高、财政收入占 GDP 的比重*Fiscal*越高，通货膨胀率*Inflation*越低，地方债的发行定价越低，这些结果与刘锐和攸频（2020）的结论一致。

表 4 气候风险与地方债发行定价关系的检验

	(1) <i>Spread</i>	(2) <i>Yield</i>	(3) <i>Spread</i>	(4) <i>Yield</i>	(5) <i>Spread</i>	(6) <i>Yield</i>	(7) <i>Spread</i>	(8) <i>Yield</i>
<i>PDSI</i>	-0.005*** (-3.610)	-0.010*** (-4.520)						
<i>Drought</i>			0.018*** (3.434)	0.035*** (4.702)				
<i>Severe_D</i>					0.030*** (3.733)	0.057*** (3.916)		
<i>Last_D</i>							0.028*** (3.572)	0.088*** (7.590)
<i>lnSize</i>	-0.003** (-2.035)	-0.007*** (-2.776)	-0.003* (-1.781)	-0.006** (-2.456)	-0.003* (-1.900)	-0.007*** (-2.615)	-0.003* (-1.940)	-0.007*** (-2.648)
<i>lnMaturity</i>	0.035*** (9.350)	0.351*** (60.285)	0.035*** (9.365)	0.351*** (60.262)	0.034*** (9.175)	0.350*** (59.977)	0.035*** (9.375)	0.352*** (60.458)
<i>Type</i>	0.015*** (3.800)	0.017*** (2.825)	0.015*** (3.811)	0.017*** (2.842)	0.015*** (3.800)	0.017*** (2.820)	0.015*** (3.796)	0.017*** (2.879)
<i>Mode</i>	-0.153*** (-22.396)	-0.141*** (-13.781)	-0.153*** (-22.400)	-0.142*** (-13.811)	-0.153*** (-22.513)	-0.142*** (-13.862)	-0.153*** (-22.527)	-0.142*** (-13.848)
<i>Rating</i>	-0.085*** (-11.177)	-0.084*** (-7.563)	-0.085*** (-11.186)	-0.084*** (-7.561)	-0.085*** (-11.139)	-0.083*** (-7.501)	-0.085*** (-11.123)	-0.082*** (-7.419)
<i>GDP</i>	-0.018** (-2.417)	-0.001 (-0.117)	-0.015** (-2.083)	0.004 (0.392)	-0.011 (-1.622)	0.011 (1.091)	-0.011 (-1.565)	0.013 (1.324)
<i>Structure</i>	-0.377*** (-2.916)	0.005 (0.029)	-0.395*** (-3.075)	-0.028 (-0.153)	-0.483*** (-3.661)	-0.198 (-1.057)	-0.477*** (-3.674)	-0.259 (-1.411)
<i>Fiscal</i>	-0.605** (-2.425)	-0.945*** (-2.603)	-0.610** (-2.437)	-0.958*** (-2.624)	-0.749*** (-2.911)	-1.221*** (-3.245)	-0.614** (-2.439)	-1.013*** (-2.785)
<i>Inflation</i>	-0.005 (-1.398)	0.079*** (13.755)	-0.005 (-1.426)	0.079*** (13.731)	-0.004 (-1.339)	0.079*** (13.692)	-0.005 (-1.410)	0.078*** (13.395)
<i>M2</i>	0.041*** (11.909)	-0.042*** (-7.503)	0.041*** (11.907)	-0.042*** (-7.530)	0.040*** (11.695)	-0.044*** (-7.869)	0.041*** (12.036)	-0.040*** (-7.254)
截距项	0.381*** (4.805)	3.570*** (30.130)	0.360*** (4.559)	3.530*** (29.741)	0.407*** (5.044)	3.619*** (29.980)	0.376*** (4.742)	3.570*** (30.427)
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826
R ²	0.528	0.841	0.528	0.841	0.527	0.841	0.528	0.842

注：*、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误均按债券层面聚类调整。

（三）稳健性与内生性检验

1. 基于 SPEI 指数的稳健性检验

为了检验本文结果的稳健性，我们按照基本模型式（1）基于 SPEI 指数所构建的干旱指标重新对于干旱风险与地方债发行定价的关系做出检验，统计结果如表 5 所示。由表 5 可知，SPEI 与 *Spread* 和 *Yield* 的回归系数均显著为负，这意味着地方债发行前一个月的 SPEI 指数越小也即干旱风险越大，其发行时的信用利差 *Spread* 和到期收益率 *Yield* 越高。此外，基于 SPEI 指数构建的反映发生干旱、严重干旱和持续干旱的虚拟变量 *SPEI_Drought*、*SPEI_Severe* 和 *SPEI_Last* 的回归系数都在 1% 的水平上显著为正，这表明当发生干旱、严重干旱或持续干旱时，地方债的发行定价均出现显著上升。总之，在采用不同的干旱测度方法后本文的研究结论依然成立且支持了基本假设 H。

表 5 基于标准化降水蒸散指数的稳健性检验

	(1) <i>Spread</i>	(2) <i>Yield</i>	(3) <i>Spread</i>	(4) <i>Yield</i>	(5) <i>Spread</i>	(6) <i>Yield</i>	(7) <i>Spread</i>	(8) <i>Yield</i>
<i>SPEI</i>	-0.012*** (-3.361)	-0.014** (-2.453)						
<i>SPEI_Drought</i>			0.022*** (4.471)	0.023*** (3.119)				
<i>SPEI_Severe</i>					0.084*** (4.238)	0.083*** (2.953)		
<i>SPEI_Last</i>							0.023*** (4.519)	0.038*** (4.747)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826
R ²	0.527	0.840	0.529	0.840	0.528	0.840	0.528	0.841

注：1）*、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误均按债券层面聚类调整。2）出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量 *Controls* 的统计结果；这些控制变量 *Controls* 同表 4，包括发行规模 (*lnSize*)、发行期限 (*lnMaturity*)、债券种类 (*Type*)、发行方式 (*Mode*)、债券评级 (*Rating*)、人均 GDP (*GDP*)、产业结构 (*Structure*)、财政收入对 GDP 的占比 (*Fiscal*)、通货膨胀率 (*Inflation*) 和广义货币增长率 (*M2*)。

2. 基于干旱灾害程度的稳健性检验

现有研究表明，农业生产是受干旱影响最为严重的生产活动 (Do et al., 2021)，由此我们使用旱灾对农业产生的实际受损程度替代 PDSI 指数来衡量干旱风险并依据基本模型式（1）做出检验。表 6 报告了基于干旱实际灾害程度的稳健性检验结果。由表 6 可以看出，尽管干旱受灾面积 *lnDisaster* 的回归系数并不显著，但随着旱灾程度的提高，干旱成灾面积 *lnDamage* 和干旱绝收面积 *lnCrops* 的回归系数分别在 10% 和 5% 的水平上显著为正，并且这三个变量的回归系数均呈增大的趋势。这意味着干旱造成的灾害程度越严重，其对地方债发行定价的影响越大。该结果在一定程度上再次验证了本文的基本假设 H 且表明本文的研究结论具有稳健性。

表 6 基于干旱实际灾害程度的稳健性检验

	(1) <i>Spread</i>	(2) <i>Yield</i>	(3) <i>Spread</i>	(4) <i>Yield</i>	(5) <i>Spread</i>	(6) <i>Yield</i>
<i>lnDisaster</i>	0.001 (0.629)	0.002 (1.151)				
<i>lnDamage</i>			0.002* (1.777)	0.003* (1.846)		
<i>lnCrops</i>					0.003** (2.384)	0.004** (2.039)

<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4826	4826	4826	4826	4826	4826
R ²	0.527	0.840	0.527	0.840	0.527	0.840

注：1) *、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误均按债券层面聚类调整。2) 出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，在此未报告控制变量*Controls*的统计结果；这些控制变量*Controls*同表 4。

3. 基于不同债券信用利差定义的稳健性检验

在上述检验中，我们使用地方债发行时的到期收益率减去发行前五个工作日同期限国债的平均收益率之差值来测度地方债的信用利差。为了检验不同的信用利差测度方法是否会影 响检验结果，本文在此使用地方债发行时的到期收益率减去发行当日同期限国债收益率之差值*Spread0*重新测度信用利差并依据基本模型式（1）做出检验，统计结果如表 7 所示。可以看出，干旱风险*PDSI*、*Drought*、*Severe_D*和*Last_D*的回归系数均至少在 5%的水平上显著，且符号分别与表 4 列（1）、（3）、（5）和（7）相一致，也即干旱风险越大，地方债发行时的信用利差越大，该结果再次支持了本文的基本假设 H，并表明不同的地方债信用利差定义不会影响本文的研究结论。

表 7 基于不同债券利差的稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Spread0</i>	<i>Spread0</i>	<i>Spread0</i>	<i>Spread0</i>
<i>PDSI</i>	-0.003** (-2.347)			
<i>Drought</i>		0.014*** (2.789)		
<i>Severe_D</i>			0.021*** (2.768)	
<i>Last_D</i>				0.021*** (2.684)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4826	4826	4826	4826
R ²	0.538	0.538	0.538	0.538

注,1) *、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误均按债券层面聚类调整。2) 出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量*Controls*的统计结果；这些控制变量*Controls*同表 4。

4. 内生性检验

尽管本文通过省份和年份固定效应分别控制了要素禀赋等省市自治区层面不随时间变化的遗漏变量和宏观经济冲击对本文结论的影响，但仍有可能存在其他遗漏变量产生的内生性问题。对此，我们采用工具变量法进一步缓解遗漏变量对本文结论的影响。干旱的发生与土壤含水量密切相关，而太阳辐射是影响土壤含水量的重要因素之一。当太阳辐射强烈、光照强度高、日照时数长时，土壤温度将显著提升，加速土壤水分的蒸发，甚至出现土壤水分蒸发量远超降雨量的情况（何其华等，2003），进而导致干旱的发生。可见，太阳辐射强度与干旱的发生具有较强的相关性，但太阳辐射强度又不大可能直接影响地方债的发行定价，由此其满足工具变量的相关性和外生性条件。有鉴于此，我们采用地方债发行前一个月所在省市自治区的平均日照时数（取自然对数并以*lnSunlight*表示）作为各省市自治区太阳辐射强度的代理变量，并以此作为干旱风险的工具变量进行检验。

表 8 报告了基于平均日照时数的工具变量检验结果。在第一阶段的回归结果中，*lnSunlight*与*PDSI*的回归系数为-0.839 且在 1%的水平上显著，与*Drought*、*Severe_D*和*Last_D*的回归系数分别为 0.140、0.058 和 0.033 且均在 1%的水平上显著，这表明平均日照时数越大，干旱程度越大且发生严重干旱或持续干旱的可能性越大，满足了工具变量与干旱风险之间存在相关性的前提条件。此外，在弱工具变量检验中，Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量分

别为 267.732、127.074、103.508 和 18.459，均大于 10%显著水平的临界值 16.38，这表明在此不存在弱工具变量问题。由此可见，本文所选取的平均日照时数这一工具变量是具有合理性的。在第二阶段的回归结果中，*PDSI*、*Drought*、*Severe_D*和*Last_D*的回归结果均与表 4 相一致，即干旱风险越大，地方债的发行定价越高。这个结果支持了本文的基本假设 H，也即本文前述所得出的结论受到由遗漏变量产生的内生性问题的影响较小。

表 8 基于平均日照时长的工具变量检验

	(1) <i>PDSI</i> 第一阶段	(2) <i>Spread</i> 第二阶段	(3) <i>Yield</i> 第二阶段	(4) <i>Drought</i> 第一阶段	(5) <i>Spread</i> 第二阶段	(6) <i>Yield</i> 第二阶段
<i>InSunlight</i>	-0.839*** (-18.684)			0.140*** (11.829)		
<i>PDSI</i>		-0.010** (-2.000)	-0.035*** (-4.274)			
<i>Drought</i>					0.062** (1.973)	0.211*** (4.060)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4826	4826	4826	4826	4826	4826
R ²	0.480	0.343	0.473	0.339	0.333	0.431
Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量	267.732			127.074		
	(7) <i>Severe_D</i> 第一阶段	(8) <i>Spread</i> 第二阶段	(9) <i>Yield</i> 第二阶段	(10) <i>Last_D</i> 第一阶段	(11) <i>Spread</i> 第二阶段	(12) <i>Yield</i> 第二阶段
<i>InSunlight</i>	0.058*** (9.948)			0.033*** (4.332)		
<i>Severe_D</i>		0.150** (1.979)	0.509*** (3.960)			
<i>Last_D</i>					0.264* (1.828)	0.894*** (3.157)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4826	4826	4826	4826	4826	4826
R ²	0.540	0.324	0.392	0.421	0.228	0.039
Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量	103.508			18.459		

注：1) *、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误差均按债券层面聚类调整。2) 出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量*Controls*的统计结果；这些控制变量*Controls*同表 4。

(四) 基于投资者气候变化关注度的机制检验

如本文在研究假设中所述，以干旱风险为代表的气候风险能否在地方债发行时给予定价，在某种程度上取决于投资者对气候变化的关注度，只有当投资者关注并认识到气候变化在未来可能造成的负面影响或风险后，才有可能在地方债发行时要求额外的风险溢价。为了验证这一机制，我们以各省市自治区逐月的“气候变化”和“全球变暖”的百度搜索指数之和作为投资者气候变化关注度的代理变量，并按其中位数将样本划分为高关注和低关注两个时期，然后分别针对这两个时期并依据基本模型式（1）重新检验干旱风险与地方债发行定价的关系，统计结果如表 9 所示。由表 9 的分组回归结果可知，在高关注时期，各类干旱风险指标与地方债的发行利差*Spread*、到期收益率*Yield*的回归系数均在 1%的水平上显著，且回归系数的符号也与表 4 一致。而在低关注时期，除持续干旱*Last_D*外，其余干旱风险指标均没有显著影响地方债发行时的信用利差*Spread*和到期收益率*Yield*。此外，组间系数差异检验的结果表明，各类干旱风险指标的回归系数在高关注时期与低关注时期之间均存在显著差异。上述结果表明，投资者对气候变化的关注度是干旱风险影响地方债发行定价的一种重要机制，且受限于投资者的有限注意力，地方债发行中的干旱风险溢价主要发生在投资者高度关注气候变化的时期。

表 9 基于投资者气候变化关注度的机制检验

	(1) <i>Spread</i> 高关注	(2) <i>Spread</i> 低关注	(3) <i>Yield</i> 高关注	(4) <i>Yield</i> 低关注	(5) <i>Spread</i> 高关注	(6) <i>Spread</i> 低关注	(7) <i>Yield</i> 高关注	(8) <i>Yield</i> 低关注
<i>PDSI</i>	-0.010*** (-5.099)	-0.001 (-0.342)	-0.023*** (-8.044)	0.003 (1.105)				
<i>Drought</i>					0.024*** (3.537)	0.007 (0.860)	0.074*** (7.596)	-0.012 (-1.066)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	2406	2420	2406	2420	2406	2420	2406	2420
R ²	0.556	0.521	0.859	0.826	0.554	0.521	0.859	0.826
经验 p 值	0.000***		0.000***		0.000***		0.000***	
	(9) <i>Spread</i> 高关注	(10) <i>Spread</i> 低关注	(11) <i>Yield</i> 高关注	(12) <i>Yield</i> 低关注	(13) <i>Spread</i> 高关注	(14) <i>Spread</i> 低关注	(15) <i>Yield</i> 高关注	(16) <i>Yield</i> 低关注
<i>Severe_D</i>	0.055*** (4.307)	0.009 (0.868)	0.065*** (2.691)	0.024 (1.237)				
<i>Last_D</i>					0.080*** (6.125)	-0.015 (-1.550)	0.124*** (6.614)	0.051*** (3.336)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	2406	2420	2406	2420	2406	2420	2406	2420
R ²	0.554	0.521	0.856	0.826	0.558	0.521	0.858	0.827
经验 p 值	0.000***		0.010***		0.000***		0.000***	

注：1) *、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误差均按债券层面聚类调整。2) 出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量*Controls*的统计结果；这些控制变量*Controls*同表 4。

(五) 基于地方特征的异质性检验

1. 基于地方农业产量的异质性检验

由于农业作为最依赖水资源的产业其受到干旱的影响最大 (Do et al., 2021)，所以对于更依赖农业生产的省市自治区而言，干旱风险造成的负面影响可能更大，而金融市场对其发行的地方债所要求的干旱风险溢价也应相对更大。为了检验干旱风险对不同农业产量的省市自治区的地方债发行定价所产生的异质性影响，我们使用第一产业生产总值占 GDP 的比重来衡量各省市自治区的农业产量，并以该指标的中位数构建虚拟变量*Agriculture*，即当第一产业占比大于样本中位数时*Agriculture*取 1，反之取 0。我们在基本模型式 (1) 的基础上引入*Agriculture*及其与各类干旱风险指标的交乘项做出检验，统计结果见表 10。无论被解释变量是信用利差*Spread*还是到期收益率*Yield*，除了表 10 列(6)中交乘项*Severe_D*×*Agriculture*的回归系数不显著外，在其余各列中，*Agriculture*与*PDSI*交乘项的回归系数在 1%的水平上显著为负，而与*Drought*、*Severe_D*和*Last_D*交乘项的回归系数至少在 10%的水平上显著为正。这表明由于干旱风险会对农业生产活动造成直接的负面冲击，所以金融市场对农业产量更高的省市自治区所发行的地方债要求更高的干旱风险溢价。这一结果与我们的预期相一致。

表 10 基于地方农业产量的异质性检验

	(1) <i>Spread</i>	(2) <i>Yield</i>	(3) <i>Spread</i>	(4) <i>Yield</i>	(5) <i>Spread</i>	(6) <i>Yield</i>	(7) <i>Spread</i>	(8) <i>Yield</i>
<i>PDSI</i>	-0.000 (-0.126)	0.002 (0.808)						
<i>PDSI</i> × <i>Agriculture</i>	-0.011*** (-4.701)	-0.027*** (-7.150)						
<i>Drought</i>			-0.008 (-1.243)	0.004 (0.403)				
<i>Drought</i> × <i>Agriculture</i>			0.057*** (6.068)	0.068*** (4.829)				

<i>Severe_D</i>					0.026***	0.054***		
					(3.205)	(3.636)		
<i>Severe_D</i> × <i>Agriculture</i>					0.050**	0.033		
					(2.359)	(0.932)		
<i>Last_D</i>							0.019**	0.073***
							(2.446)	(5.707)
<i>Last_D</i> × <i>Agriculture</i>							0.030*	0.049**
							(1.842)	(2.151)
<i>Agriculture</i>	-0.000	-0.004	-0.020**	-0.031**	-0.010	-0.018	-0.009	-0.020
	(-0.001)	(-0.260)	(-2.343)	(-2.169)	(-1.240)	(-1.268)	(-1.137)	(-1.409)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826
R ²	0.530	0.842	0.531	0.842	0.528	0.841	0.528	0.842

注：1）*、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误差均按债券层面聚类调整。2）出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量*Controls*的统计结果；这些控制变量*Controls*同表 4。

2. 基于经济发展水平的异质性检验

地方经济水平是影响地方债发行定价的重要因素之一。经济水平较高的省市自治区其信用风险通常较低，由此可能会减弱由干旱风险所引起的地方债信用风险上升的预期，使得经济水平较高的省市自治区在发行地方债时具有相对较低的干旱风险溢价。为了检验干旱风险对不同经济发展水平的省市自治区的地方债发行定价所产生的异质性影响，本文以各省市自治区的国民生产总值来衡量经济发展水平，并以各年度国民生产总值的中位数对样本进行划分，构建反映地方经济水平的虚拟变量*Economic*，即当地方国民生产总值大于样本中位数时*Economic*取 1，反之取 0。我们在基本模型式（1）中引入*Economic*及其与各类干旱风险指标的交乘项做出检验，统计结果见表 11。由表 11 可知，无论被解释变量是信用利差*Spread*还是到期收益率*Yield*，除了列（6）中*Severe_D*×*Economic*的回归系数不显著外，*Economic*与*PDSI*交乘项的回归系数在 1%的水平上显著为正，而与*Drought*、*Severe_D*和*Last_D*交乘项的回归系数至少在 5%水平上显著为负。这表明较高的地方经济水平有可能为地方政府应对气候风险提供有力保障，由此面对经济水平较高的省市自治区发行的地方债，金融市场所要求的干旱风险溢价显著降低了，这与我们的预期相一致。

表 11 基于地方经济水平的异质性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>
<i>PDSI</i>	-0.010***	-0.020***						
	(-5.604)	(-7.234)						
<i>PDSI</i> × <i>Economic</i>	0.010***	0.021***						
	(4.327)	(5.809)						
<i>Drought</i>			0.026***	0.058***				
			(3.923)	(5.743)				
<i>Drought</i> × <i>Economic</i>			-0.019**	-0.051***				
			(-2.020)	(-3.721)				
<i>Severe_D</i>					0.048***	0.073***		
					(4.511)	(3.983)		
<i>Severe_D</i> × <i>Economic</i>					-0.030**	-0.027		
					(-2.354)	(-1.255)		
<i>Last_D</i>							0.082***	0.141***
							(6.896)	(8.482)
<i>Last_D</i> × <i>Economic</i>							-0.085***	-0.084***
							(-6.123)	(-4.224)
<i>Economic</i>	0.000	0.021	0.003	0.030**	0.002	0.017	0.009	0.023
	(0.050)	(1.410)	(0.315)	(1.978)	(0.163)	(1.114)	(0.943)	(1.571)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

N	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826
R ²	0.529	0.842	0.528	0.841	0.528	0.841	0.531	0.842

注：1）*、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误差均按债券层面聚类调整。2）出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量 *Controls* 的统计结果；这些控制变量 *Controls* 同表 4。

五、基于环境行动的进一步检验和分析

全球变暖导致的干旱灾害频发、区域性水资源匮乏、土地沙漠化程度上升，严重影响了我国社会经济的可持续和协调发展（王涛，2016）。为应对干旱带来的威胁和不利影响，我国采取了包括加强地方水利建设、加大森林资源投入、兴建南水北调工程等一系列基于水资源改善的环境行动。那么这些环境行动是否能够缓解金融市场对未来气候变化影响的负面预期，进而降低地方债发行定价中干旱风险的溢价水平呢？

（一）基于水利建设程度的检验

已有研究表明，农业作为最依赖水资源的产业，受到干旱的影响最大（Do et al., 2021）。在我国，干旱灾害严重影响了地方粮食安全，而水利工程是农业生产的重要命脉，通过对水资源的合理调控、提高水资源的利用率，能够有效缓解干旱造成的水资源匮乏问题。因此，地方的水利建设不仅是提高粮食产量、保障粮食安全的重要手段（冯颖等，2012），也是减轻由干旱风险引起的地方经济损失的有力保障。我们预期，如果水利建设能够缓解干旱灾害造成的负面冲击，那么水利建设程度更高的省市自治区其干旱风险对地方债发行定价的影响应相对较低，而金融市场所要求的干旱风险溢价也会相应较低。为了衡量不同省市自治区的水利建设程度，本文从《中国统计年鉴》中获取各省市自治区的水库数量和总库容量，并以这两个变量的中位数分别构建虚拟变量 *Reservoir* 和 *Capacity*，即当水库数量或总库容量大于样本中位数时，*Reservoir* 或 *Capacity* 取 1，反之取 0。在基本模型式（1）的基础上，我们分别引入 *Reservoir* 和 *Capacity* 及其与各干旱风险指标之交乘项，统计结果如表 12 所示，由于上海市的水库数量和总库容量存在数据缺失，因此表 12 的回归样本中不包含上海市的地方债样本。表 12 的列（1）至（8）报告了基于水库数量 *Reservoir* 的统计结果，列（9）至（16）报告了基于总库容量 *Capacity* 的统计结果。结果表明，无论被解释变量是信用利差 *Spread* 还是到期收益率 *Yield*，除了表 12 列（11）中交乘项 *Drought* × *Capacity* 的回归系数不显著外，*Reservoir* 和 *Capacity* 与 *PDSI* 交乘项的回归系数在 1% 的水平上显著为正，而与 *Drought*、*Severe_D* 和 *Last_D* 交乘项的回归系数至少在 10% 的水平显著为负。这表明各个省市自治区的水利建设水平能够在降低干旱灾害冲击的同时，缓解金融市场对未来气候变化影响的负面预期，进而降低其在地方债发行时的干旱风险溢价，这与我们的预期相一致。

表 12 水利建设程度对干旱风险与地方债发行定价关系的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>
<i>PDSI</i>	-0.015*** (-8.270)	-0.024*** (-8.637)						
<i>PDSI</i> × <i>Reservoir</i>	0.020*** (7.751)	0.028*** (6.972)						
<i>Drought</i>			0.046*** (7.290)	0.068*** (7.593)				
<i>Drought</i> × <i>Reservoir</i>			-0.065*** (-6.539)	-0.079*** (-5.320)				
<i>Severe_D</i>					0.060*** (5.252)	0.083*** (4.209)		
<i>Severe_D</i> × <i>Reservoir</i>					-0.060*** (-4.023)	-0.066** (-2.300)		
<i>Last_D</i>							0.048*** (4.664)	0.112*** (8.179)
<i>Last_D</i> × <i>Reservoir</i>							-0.058*** (-4.229)	-0.088*** (-3.874)
<i>Reservoir</i>	-0.074***	0.043	-0.051**	0.078***	-0.046**	0.087***	-0.044*	0.087***

	(-3.078)	(1.431)	(-2.168)	(2.611)	(-1.965)	(2.900)	(-1.879)	(2.886)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4737	4737	4737	4737	4737	4737	4737	4737
R ²	0.530	0.843	0.529	0.843	0.525	0.841	0.526	0.843
	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>
<i>PDSI</i>	-0.010***	-0.019***						
	(-5.156)	(-6.979)						
<i>PDSI</i> × <i>Capacity</i>	0.010***	0.018***						
	(3.934)	(4.617)						
<i>Drought</i>			0.020***	0.050***				
			(3.086)	(5.452)				
<i>Drought</i> × <i>Capacity</i>			-0.005	-0.033**				
			(-0.465)	(-2.238)				
<i>Severe_D</i>					0.039***	0.075***		
					(3.903)	(4.778)		
<i>Severe_D</i> × <i>Capacity</i>					-0.030*	-0.075**		
					(-1.960)	(-2.210)		
<i>Last_D</i>							0.037***	0.111***
							(3.807)	(8.547)
<i>Last_D</i> × <i>Capacity</i>							-0.030**	-0.098***
							(-2.259)	(-4.129)
<i>Capacity</i>	-0.025	-0.015	-0.009	0.017	-0.010	0.012	-0.012	0.006
	(-1.520)	(-0.582)	(-0.552)	(0.653)	(-0.638)	(0.485)	(-0.740)	(0.256)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4737	4737	4737	4737	4737	4737	4737	4737
R ²	0.525	0.842	0.524	0.842	0.524	0.841	0.524	0.843

注：1）*、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误差均按债券层面聚类调整。2）出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量*Controls*的统计结果；这些控制变量*Controls*同表 4。

（二）基于森林覆盖程度的检验

森林生态系统是地球陆地生态系统的主体，具有调节气候、涵养水源等不可替代的功能（Trumbore et al., 2015）。近 40 年来，我国实施了三北防护林工程、退耕还林工程、天然林保护工程等一系列大型植树造林工程，其结果使得中国的森林覆盖率从 20 世纪 80 年代的 12%增加到目前的 23.04%，成为全球森林资源增长最快的国家。人工植树造林和森林覆盖率的提升，改善了当地的气候环境，提高了土壤的蓄水能力，减少了水土流失，从而降低了干旱发生的可能性。我们预期，如果森林覆盖程度能够降低干旱灾害发生的可能性，那么森林覆盖程度更高的省市自治区其干旱风险对地方债发行定价的影响应相对较低，而金融市场所要求的干旱风险溢价也会相应较低。为了衡量各地对森林资源的投入水平，本文从《中国统计年鉴》中获取了各省市自治区各年度的森林覆盖率指标，并按其中位数构建虚拟变量 *Forest*，当森林覆盖率大于样本中位数时取 1，反之取 0。类似地，本文在基本模型式（1）中引入 *Forest* 及其与各干旱风险指标的交乘项并做出检验，统计结果如表 13 所示。结果表明，无论被解释变量是信用利差 *Spread* 还是到期收益率 *Yield*，交乘项 *PDSI*×*Forest* 的回归系数分别为 0.018 和 0.017，交乘项 *Drought*×*Forest* 的回归系数分别为 -0.054 和 -0.046，且均在 1% 水平上显著，这表明当干旱发生时，各省市自治区的森林覆盖程度能够缓解金融市场对未来气候变化影响的负面预期，从而降低地方债发行时的干旱风险溢价。然而，交乘项 *Severe_D*×*Forest* 和 *Last_D*×*Forest* 的回归系数均不显著，这意味着在发生严重干旱和持续干旱时，各省市自治区基于森林资源投入的环境行动尚无法缓解金融市场的负面预期。

表 13 森林资源对于干旱风险与地方债发行定价关系的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>
<i>PDSI</i>	-0.015***	-0.019***						
	(-8.276)	(-6.713)						
<i>PDSI</i> × <i>Forest</i>	0.018***	0.017***						

		(7.376)	(4.504)					
<i>Drought</i>				0.041***	0.055***			
				(6.524)	(5.955)			
<i>Drought</i> × <i>Forest</i>				-0.054***	-0.046***			
				(-5.355)	(-3.133)			
<i>Severe_D</i>						0.025***	0.061***	
						(2.953)	(3.935)	
<i>Severe_D</i> × <i>Forest</i>						0.035	-0.026	
						(1.415)	(-0.597)	
<i>Last_D</i>								0.024***
								(2.712)
<i>Last_D</i> × <i>Forest</i>								0.024
								(1.358)
								(0.752)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826	4826
R ²	0.512	0.831	0.512	0.831	0.514	0.832	0.513	0.832

注：1）*、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误差均按债券层面聚类调整。2）出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量*Controls*的统计结果；这些控制变量*Controls*同表 4。

（三）基于南水北调工程受益程度的检验

南水北调工程自 1952 年提出后，经过了数十年的方案设计与论证，最终确定了东线、中线和西线三条调水线路来缓解北方地区的缺水状况。东线及中线一期工程分别在 2013 年 11 月和 2014 年 12 月完工通水，西线工程尚处于设计论证阶段。截至 2020 年 12 月，南水北调中东线工程已累计向北调水超过 394 亿立方米，沿线城市超过 1.2 亿人直接受益。我们预期，如果南水北调工程能缓解干旱灾害对沿线受益省市带来的负面影响，那么受益程度越大的省市自治区其干旱风险对地方债发行定价的影响应相对较低，而金融市场所要求的干旱风险溢价也会相应较低。为了对此做出检验，本文从各年度的《南水北调中线工程年度水量调度计划》、《南水北调东线工程年度水量调度计划》和各省市自治区年鉴中收集了南水北调工程对湖北、北京、天津、河南、河北、山东、江苏等七个中东线主要受益省市的输水量，在取对数后用*lnDiversio*n表示，以此衡量这七个省市的受益程度。同样地，在基本模型式(1)的基础上，我们引入南水北调中东线沿线省市的受益程度变量*lnDiversio*n及其与各干旱风险指标的交乘项，统计结果如表 14 所示。由表 14 可以看出，无论被解释变量是信用利差*Spread*还是到期收益率*Yield*，*lnDiversio*n与*PDSI*交乘项的回归系数在 1%的水平上显著为正，而与*Drought*、*Severe_D*和*Last_D*交乘项的回归系数至少在 5%的水平上显著为负。这表明，南水北调工程建设因保障了受益省市自治区的水资源供应而缓解了金融市场对未来气候变化影响的负面预期，并降低了地方债发行时的干旱风险溢价。

表 14 南水北调对于干旱风险与地方债发行定价关系的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>	<i>Spread</i>	<i>Yield</i>
<i>PDSI</i>	-0.065***	-0.077***						
	(-6.119)	(-4.775)						
<i>PDSI</i> × <i>lnDiversio</i> n	0.018***	0.025***						
	(4.336)	(4.016)						
<i>Drought</i>			0.129***	0.175***				
			(3.284)	(3.004)				
<i>Drought</i> × <i>lnDiversio</i> n			-0.031**	-0.052**				
			(-2.215)	(-2.495)				
<i>Severe_D</i>					0.194***	0.321***		
					(5.339)	(5.873)		
<i>Severe_D</i> × <i>lnDiversio</i> n					-0.066***	-0.110***		
					(-5.053)	(-5.298)		
<i>Last_D</i>							0.180***	0.327***
							(4.178)	(5.381)
<i>Last_D</i> × <i>lnDiversio</i> n							-0.072***	-0.096***
							(-4.903)	(-4.483)
<i>lnDiversio</i> n	0.076***	-0.007	0.075***	-0.005	0.063***	-0.025	0.093***	0.028
	(3.232)	(-0.215)	(2.637)	(-0.116)	(3.067)	(-0.843)	(3.609)	(0.779)

<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Province FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	1199	1199	1199	1199	1199	1199	1199	1199
R ²	0.514	0.836	0.501	0.835	0.500	0.837	0.499	0.838

注：1）*、**、***分别表示 10%、5%、1%水平显著；括号内为 T 值，且所有回归的标准误均按债券层面聚类调整。2）出于篇幅的原因且因回归结果与表 4 一致，所以在此未报告控制变量*Controls*的统计结果；这些控制变量*Controls*同表 4。

六、结论与讨论

由碳排放和全球变暖所引起的气候变化及其风险已经受到各国政府和学术界的高度关注并已开始采取积极的应对行动，但气候风险有没有引起金融市场的关注呢？这是一个悬而未决的实证问题。气候风险有无引起金融市场足够关注的重要标志之一就是气候风险有无得到合理定价。本文将我国地方债作为研究对象，以发生最为广泛且造成灾害最为严重的干旱风险来反映气候风险，经检验发现，基于 PDSI 指数测定的干旱风险会显著提高地方债发行时的信用利差或到期收益率，且该结论在不同的干旱测度指标、不同的信用利差定义、基于平均日照时长的工具变量检验后均稳健成立。不仅如此，金融市场会对农业产量较高或经济发展水平较低的省市自治区所发行的地方债要求更高的干旱风险溢价。我们还发现，只有当投资者充分关注和认识到气候变化的影响后，才会在地方债发行时要求额外的干旱风险溢价，这意味着投资者对气候变化的关注度是干旱风险影响地方债发行定价的可能机制。由此可见，气候风险尤其是干旱风险已成为我国地方债发行定价的重要影响因素之一，且我国的金融市场已经开始在应对气候变化的过程中通过定价机制而起到配置资源的现实作用。

进一步的研究表明，基于水资源改善的环境行动（包括地方水利建设、森林资源投入以及南水北调工程建设）在总体上有效地降低了地方债发行时的干旱风险溢价。这意味着，这些环境行动能够通过减轻干旱风险所引发的干旱灾害程度而缓解金融市场对未来气候变化影响的负面预期，从而降低干旱风险的溢价程度，也就是说，基于水资源改善的环境行动至少能够通过影响金融市场的定价而在应对干旱风险方面产生了积极作用。

我们可以得出如下的政策性启示：首先，尽管干旱风险已显著地在我国地方债发行中给予了定价，但鉴于包括干旱风险在内的气候风险将成为投资者、金融市场乃至整个社会不得不长期面对的、无法回避的系统性风险，所以在应对气候变化的过程中，应采取更为坚定的转型政策和措施以强化投资者对全球变暖及气候风险的关注和信念，并通过完善各类金融市场对气候风险的定价功能而提升其资源配置的效率。其次，鉴于已有的基于水资源改善的环境行动在总体上能够有效地降低地方债发行时的干旱风险溢价，所以宜切实有效地将应对气候变化的环境行动扩大到推进温室气体减排、提升自然生态碳汇能力、推动绿色技术开发、促进清洁能源发展等诸多更为广阔的领域，这不仅有助于提升各地的气候适应能力和转型能力，也有助于降低地方政府自身的融资成本。

参考文献：

- [1] 陈国进, 丁赛杰, 赵向琴, 蒋晓宇, 中国绿色金融政策、融资成本与企业绿色转型——基于央行担保政策视角, *金融研究*, 2021(12): 75-95.
- [2] 陈国进, 郭珺莹, 赵向琴, 气候金融研究进展, *经济学动态*, 2021(08): 131-145.
- [3] 冯颖, 姚顺波, 郭亚军, 基于面板数据的有效灌溉对中国粮食单产的影响, *资源科学*, 2012(09): 1734-1740.
- [4] 何其华, 何永华, 包维楷, 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化, *山地学报*, 2003(02): 149-156.
- [5] 金刚, 沈坤荣, 孙雨亭, 气候变化的经济后果真的“亲贫”吗? *中国工业经济*, 2020(09): 42-60.
- [6] 李伟光, 易雪, 侯美亭, 陈汇林, 陈珍莉, 基于标准化降水蒸散指数的中国干旱趋势研究, *中国生态农业学报*, 2012, 20(05): 643-649.
- [7] 李忆平, 李耀辉, 气象干旱指数在中国的适应性研究进展, *干旱气象*, 2017, 35(05): 709-723.
- [8] 刘波, 王修华, 李明贤, 气候变化冲击下的涉农信用风险——基于 2010-2019 年 256 家农村金融机构

- 的实证研究, 金融研究, 2021(12): 96-115。
- [9] 刘庚山, 郭安红, 安顺清, 刘巍巍, 帕默尔干旱指标及其应用研究进展, 自然灾害学报, 2004(04): 21-27.
- [10] 刘穷志, 刘夏波, 经济结构、政府债务与地方政府债券发行成本——来自 1589 只地方政府债券的证据, 经济理论与经济管理, 2017(11): 85-97.
- [11] 刘锐和攸频, 地方政府债券发行溢价研究, 证券市场导报, 2020(06): 51-59.
- [12] 潘俊, 王亮亮, 沈晓峰, 金融生态环境与地方政府债务融资成本——基于省级城投债数据的实证检验, 会计研究, 2015(06): 34-41+96.
- [13] 同生辉, 黄张凯, 我国城投债券发行利率影响因素的实证分析, 财政研究, 2014(06): 72-74.
- [14] 汪莉, 陈诗一, 政府隐性担保、债务违约与利率决定, 金融研究, 2015(09): 66-81.
- [15] 王林, 陈文, 标准化降水蒸散指数在中国干旱监测的适用性分析, 高原气象, 2014, 33(02): 423-431.
- [16] 王遥, 王文蔚, 环境灾害冲击对银行违约率的影响效应研究: 理论与实证分析, 金融研究, 2021(12): 38-56.
- [17] 卫捷, 马柱国, Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较, 地理学报, 2003(S1): 117-124.
- [18] 谢平, 段兵, 气候变化风险溢价研究, 金融研究, 2010(08): 16-32.
- [19] 杨璐, 史京晔, 陈晓光, 温度变化对中国工业生产的影响及其机制分析, 经济学(季刊), 2020(10): 299-320.
- [20] 俞庆进, 张兵, 投资者有限关注与股票收益——以百度指数作为关注度的一项实证研究, 金融研究, 2012(08): 152-165.
- [21] 张强, 韩兰英, 张立阳, 王劲松, 论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略, 地球科学进展, 2014(01): 80-91.
- [22] Burke, M., S. M. Hsiang, E. Miguel, 2015, Climate and Conflict, *Annual Review of Economics*, 7: 577-617.
- [23] Choi, D., Z. Gao, W. Jiang, 2020, Attention to Global Warming, *Review of Financial Studies*, 33(3): 1112-1145.
- [24] Dai, A., 2011, Drought under Global Warming: A Review, *Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change*, 2(1): 45-65.
- [25] Delis, M., K. De Greiff, S. Ongena, 2018, Being Stranded on the Carbon Bubble? Climate Policy Risk and the Pricing of Bank Loans. *Working Paper*.
- [26] Dietz, S., A. Bowen, C. Dixon, P. Gradwell, 2016, "Climate Value at Risk" of Global Financial Assets, *Nature Climate Change*, 6(7): 676-679.
- [27] Do, V., T. H. Nguyen, C. Truong, T. Vu, 2020, Is Drought Risk Priced in Private Debt Contracts? *International Review of Finance*, 21(2): 724-737.
- [28] Harris, L. E., M. S. Piwowar, 2010, Secondary Trading Costs in the Municipal Bond Market, *Journal of Finance*, 61(3): 1361-1397.
- [29] Hastie, K. L., 1972, Determinants of Municipal Bond Yields, *Journal of Finance*, 7(3): 1729-1748.
- [30] Hong, H., F. W. Li, J. Xu, 2019, Climate Risks and Market Efficiency, *Journal of Econometrics*, 208(1): 265-281.
- [31] Hsiang, S., R. Kopp, A. Jina, et al. Estimating Economic Damage from Climate Change in the United States, *Science*, 2017, 356(6345): 1362.
- [32] Huynh, T. D., T. H. Nguyena, C. Truongb, 2020, Climate Risk: The Price of Drought, *Journal of Corporate Finance*, 65: 1-26.
- [33] Katz, S., 1974, The Price and Adjustment Process of Bonds to Rating Reclassification: A Test of Bond Market Efficiency, *Journal of Finance*, 29(2): 551-559.
- [34] Lesk, C., P. Rowhani, N. Ramankutty, 2016, Influence of Extreme Weather Disasters on Global Crop Production, *Nature*, 529(7584): 84-87.
- [35] Nordhaus, W. D., 1977, Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem, *American Economic Review*, 67(1): 341-346.
- [36] Nordhaus, W. D., 1991, To Slow or not to Slow: The Economics of The Greenhouse Effect, *Economic Journal*, 101(407): 920-937.
- [37] Nordhaus, W. D., 1992, An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases, *Science*, 258(5086): 1315-1319.
- [38] Painter M., 2020, An Inconvenient Cost: The Effects of Climate Change on Municipal Bonds. *Journal of Financial Economics*, 135(2):468-482.
- [39] Palmer, W. C., 1965, Meteorological Drought, Research paper 45, *Washington, DC: US Weather Bureau*.
- [40] Schwert, M., 2017, Municipal Bond Liquidity and Default Risk, *Journal of Finance*, 72(4): 1683-1722.
- [41] Trumbore, S., P. Brando, H. Hartmann, 2015, Forest Health and Global Change, *Science*, 349(6250): 814-818.
- [42] Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería, J. I. López-Moreno, 2010, A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *Journal of Climate*, 23(7): 1696-1718.