

数据要素化背景下的数字新基建招标 机制设计

——最优机制的视角

荣健欣 王大中*

摘 要 本研究假设在数字新基建项目建成后,政府可以通过分享数字新基建产生的数据以提升项目回报。基于机制设计理论,本文探讨这一存在机制设计者事后投入的招标问题。本文证明,当企业仅存在逆向选择时,政府可以采用“事后分成+固定支付”的线性支付方式,实现对竞标企业的完全抽租和社会最优配置。本文还探讨了当企业同时存在逆向选择和道德风险时,政府的最优招标机制。本文能为数字新基建招标与数据要素市场化改革提供思路。

关键词 数字新基建,数据要素市场化,机制设计

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2022.05.13

一、引 言

数字新基建是当前新基建中的重要组成部分,而数字新基建建成后积累的大量政府数据,又引出数据要素化的重要动能。理论上,若能将数字新基建建成后产生的大量数据投入市场运营获取收入,将有助于提升社会效率,降低政府基建投入。然而,现实中数字新基建项目普遍存在数据所有方(政府)和数据运营收益方(企业)的割裂,需要设计合理的招标机制对接政府和企业,实现数据要素化。特别是数字新基建还存在一些与传统基建不同的特性,例如政府需要事后持续投入以确保数据要素化过程中的数据安全和隐私保障。因此数字新基建中的数据要素化是一类特殊的招标机制设计问题。政府作为机制设计方,如何通过调整事后投入、分成比例和固定支付从数字新基建项目中获得最大收益?政府是否有激励有效分享数据?引入广义支付

* 荣健欣,中山大学港澳珠江三角洲研究中心;王大中,南京大学数字经济与管理学院。通信作者及地址:王大中,江苏省苏州市太湖大道1520号南京大学(苏州校区),215163;电话:(025)83621124;E-mail:wangdazhong@nju.edu.cn。本研究受国家自然科学基金重大项目(18ZDA041)、国家自然科学基金重点项目(U1601218)、国家自然科学基金面上项目(71972191)、国家自然科学基金青年项目(72003207)、教育部人文社会科学研究青年基金项目(19YJC790129)的资助。作者感谢主编和匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

方式会怎样影响数字新基建项目招标机制的社会效率?同时存在企业道德风险和逆向选择时如何设计数字新基建招标机制?本文拟回答以上问题。

本文通过构建存在政府事后投入的招标模型,探讨在数字新基建项目中能实现政府目标最优化的招标机制设计。具体而言,本文首先考察企业仅存在逆向选择(企业类型是私有信息)的情形。假设政府可以对数字新基建项目分享数据实现数据要素化,并可以在事前招标阶段设立包含事后分成和固定支付的广义支付机制捕捉数据的收益。借鉴 Liu and Bernhardt (2021) 的机制设计思路,本研究设计存在政府事后投入时的最优线性支付机制,证明在相当一般的假设下,政府目标最优化招标机制能实现对竞标企业的完全抽租和社会配置最优化。此外,本文还考察企业同时存在逆向选择(类型是私有信息)和道德风险(不可观察验证的努力)的情形,将 Laffont and Tirole (1987) 的分析框架拓展到存在政府事后投入(即数据分享)的情形,给出了政府最大化自身目标的招标机制。

本文将为数字新基建竞标模式提供理论和实践两方面的贡献。理论方面,本文首先创新广义支付下的机制设计理论,证明存在机制设计者事后投入时,通过合理设定固定支付结合分成支付,能在仅存在企业逆向选择时使招标机制同时实现社会效率最优和政府目标(包含政府收入和社会福利)最优;本文还将 Laffont and Tirole (1987) 的框架拓展到存在招标者事后投入的情形,刻画同时存在竞标者道德风险和逆向选择时的最优招标机制。实践方面,研究结论具有以下政策意义。首先,在当前地方政府债务高企的背景下,数字新基建的政府融资模式成为人们关注的焦点。本文发现,如果数字新基建项目能带来可验证收入,政府可以通过“数据入股”的形式提升社会效率和自身收益。其次,数据所有权归属和个人隐私保护等议题日益成为数据要素市场化配置不可绕开的重要问题。本文基于理论分析探讨了数字新基建竞标中通过合理设计拍卖支付方式,政府在保障自身数据所有权和确保数据安全的前提下实现数字新基建项目社会效益和经济效益的统一,为数据要素市场化配置提供了新思路。最后,在追求高质量发展背景下,地方政府普遍补贴企业科创,但缺乏客观度量标准的科创扶持政策容易出现骗补和政府负担过重等负面后果。本文的研究显示政府可以通过在数字新基建项目中分享数据,实现对承建企业的高效准确科创补贴扶持。

余下内容安排如下:第二部分将列举与数字新基建相关的各类文献,通过探讨现有文献的优点与不足明确本文的研究重点;第三部分将总结数字新基建的特征事实和制度背景并提炼研究问题;第四部分将刻画适合数字新基建特征的招标机制基准模型;第五部分给出仅存在企业逆向选择时的政府目标最优化的广义支付竞标机制;第六部分探讨企业同时存在逆向选择和道德风险时的数字新基建最优招标机制;第七部分将总结全文,给出政策建议和进一步研究的拓展方向。

二、相关研究评述

本文从数据要素化的一般理论、最优招标机制、中国基建招标机制的研究进展三个方面对已有相关研究成果进行简要回顾与评述。

（一）信息及数据市场

数十年来信息技术迅速发展，有关数据要素市场化的国际前沿研究有多支文献，聚焦于数据产权归属（Jones and Tonetti, 2020; Dosis and Sand-Zantman, 2022）、数据交易机制设计（Bergemann and Bonatti, 2015; Bergemann *et al.*, 2018）、数据要素的特性（Jones and Tonetti, 2020; Posner and Weyl, 2018）、数据隐私保护（Varian, 2009; Dosis and Sand-Zantman, 2022）等。在中文文献中，徐翔和赵墨菲（2020）分析了我国数据资本对经济增长的影响。徐翔等（2021）、熊巧琴和汤珂（2021）以及荣健欣和王大中（2021）等都综述了数据要素的概念、特性、经济效应和交易机制。赵云辉等（2019）研究表明大数据发展水平有助于政府绩效的提升并能有效抑制腐败行为。Beraja *et al.*（2022）选择我国的人脸识别 AI 行业开展研究，发现获得政府合同的企业能够使用这些非公开政府数据，开发合同规定生产的软件。政府产品所需的技术也用于开发商业人脸识别 AI 应用。实证分析结果表明政府数据确实能够导致范围经济。

现有文献较为全面地述及了数字时代数据的各项重要功用，并讨论了数据要素市场化的重要议题，例如市场机制、数据所有权归属、隐私保护等。然后，现有文献存在一些缺失：（1）多数文献聚焦于微观产业组织，特别是垄断/寡头垄断市场上消费者个人信息对企业收益的影响，对政府分享数据价值的讨论较为缺失；（2）通常假定个人数据所有权来处理新生数据隐私保护和经济效率的权衡，没有触及已经存储的大数据在保护隐私和规范安全可靠前提下的数据分享问题；（3）在数据要素市场化机制方面，聚焦分散的数据集市（marketplace）以及信息不完全的微观个体通过补充信息完善决策的问题，尚未触及宏观数据市场和其他传统交易结合的形式。

本文在以下几方面做出补充：（1）结合政府和公共部门拥有大量数据的实际情况，将数据要素市场化的关注点聚焦于政府数据分享；（2）通过假设政府需要付出成本保护分享数据的规范和安全，将个人隐私保护等议题抽象为政府的机制设计参数；（3）通过将政府数据分享与数字新基建项目招标结合，寻找在现实背景下实现大数据要素市场化的可行路径。

（二）完全抽租机制设计理论

众多机制设计文献探讨了能实现机制设计者完全攫取代理人信息租金的

机制。在不对称信息资源配置中,代理人的信息租金源于私有信息。Riley (1988)指出,作为拍卖理论中联结原则(linkage principle)的自然拓展,拍卖方或招标方可以将买家/竞标者的支付与事后实现的信息(例如可观察验证的总产出)关联,从而利用事后实现的信息与竞标者私有信息之间的联系减少买家/竞标者的信息租。Crémer and McLean (1985, 1988)论证了拍卖中卖家可以利用买家估价之间的关联,消除私有信息的影响实现完全抽租。Crémer (1987)也指出当并购竞标企业的机会成本是公共信息且均等时(因此不存在逆向选择问题),拍卖者能通过补偿企业机会成本并索取全部股权的机制实现完全抽租。Liu and Bernhardt (2021)给出了结合股权与现金支付,实现存在逆向选择时完全抽租的最优并购竞标机制。而本文假设竞标者成本不可观测(与Cr mer (1987)不同),也假设竞标者类型不存在关联(不同于Cr mer and McLean (1985, 1988)),在类似Liu and Bernhardt (2021)的经济环境中,证明完全抽租结论可拓展到竞标者的类型同时决定成本和产出且机制设计者有事后投入的情形,从而实现对完全抽租文献的拓展。

(三) 广义支付下的拍卖和机制设计

包含现金和股权支付的广义支付方式是拍卖理论和机制设计理论的重要创新。已有研究在机制设计框架下刻画最优直接机制的特征并对机制的实施进行探讨。Liu (2016)刻画了股份支付下竞标者存在事前异质特征时的最优机制。Sun *et al.* (2018)进一步考虑竞标者的外部选择,对最优股份拍卖机制的特征进行刻画,并分析如何通过一价和二价拍卖机制加以实施。Liu and Bernhardt (2019)分析了二维私有信息下最优股份拍卖机制的特征。Liu and Bernhardt (2021)考虑广义支付方式下如何通过支付方式设计降低逆向选择对卖家收益的影响,发现卖家通过设定不同倾斜度的组合式支付可以实现完全抽租。Sogo *et al.* (2016)针对竞标者内生参与问题,刻画“固定收益分成+现金竞价”的最优拍卖机制。

现实中,基建项目招标结束后中标者需要进行事后投资。在广义支付的最优竞标者投资在改变社会收益的同时也会影响中标者获得的收益,以收益最大化为目标的拍卖者会通过机制选择影响竞标者投资激励,平衡投资和资产配置产生的社会剩余和中标者收益,实现收益目标。Piccione and Tan (1996)从机制设计的角度刻画投资激励约束下的最优机制及其实施机制。Gershkov *et al.* (2021)考虑竞标者事前投资产生的内生估值拍卖问题,刻画最优的对称拍卖机制并论证了附带最优保留价格的标准拍卖机制可实现最优结果。Chen *et al.* (2022)讨论当卖家可承诺事后投入时的份额拍卖(share auction)机制。

现有文献对广义支付的机制设计理论各方面均有讨论,但缺失对大数据

和数字新基建背景下广义支付机制应用的探讨。文献中与本文最为相关的研究是 Liu and Bernhardt (2021)。但与其不同，本文考察机制设计方可通过事后投入成本分享数据提升项目整体收益情况下的最优广义支付招标机制。此外，相对于现有文献，本文拓展了广义支付机制中事后分成比例的经济学含义，并不要求其像狭义的股权支付一样将分成比例取值限于 $[0, 1]$ ，从而放松了实现完全抽租的条件。

（四）中国的数字新基建项目和基建机制

郭凯明等（2020）提出了新型基础设施和传统基础设施在供给侧所影响的具体生产技术和在需求侧所涉及的投资的产业来源构成上均存在差别。然而，在融资建设方面，新基建与传统基建存在一定相似性。为了丰富融资模式，实现良好运营，较多的基建项目采用 PPP 合约并规定合约双方在基建项目建成后的义务。由于合约的不完全性导致 PPP 模式在实际开展中面临各种困境（Iossa and Martimort, 2012），投入专用资产的一方容易被另一方“敲竹杠”。龚强等（2019）以及李三希等（2016）均探讨了公私合营项目下捆绑与非捆绑招标的福利对比或最优机制设计。本文与文献的差异在于，我们虽然引入了政府与企业招标后的双边投入，但没有考虑两阶段分开招标。这是基于数字新基建项目出于标准兼容和数据安全等考虑普遍实行不可分割合约，同时也是为了聚焦政府分享数据这一特殊的合作方式。

三、特征事实与问题提炼

2018年12月，中央经济工作会议确定2019年重点工作任务时提出“加强人工智能、工业互联网、物联网等新型基础设施建设”。数据的积累和应用是数字新基建的重要内容。在2020年公布的《中共中央国务院关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》中，“数据”被纳入市场化配置改革的五大基础生产要素，与土地、劳动力、资本、技术等传统要素并列。近年来，我国包含智慧城市、大数据中心等在内的数字新基建项目快速发展，成效显著。然而，当前数字新基建建设仍存在企业回报机制（即政府支付方式）单一，政府与企业加强数据共联和隐私保护的持续投入不足等问题。通过数据要素化实现数字新基建支付方式的多元化，是解决上述两大问题的核心思路。

现实中，数字新基建项目创造的数据存在所有者和使用者的分离，因此需要设计合理的招标机制实现数据要素化。数字新基建项目创造的数据一般情况下由政府拥有数据所有权。例如移动基站建设为政府提供大量的个人用户地理位置信息，而监控探头网的建设则直接增加了政府拥有的视频监控数

据。另外,数字新基建的承建企业可以通过多种方式从数据中获得收益。例如,“天眼查”等信用查询机构打通了各政府和金融部门的数据壁垒,通过商业化运作直接获得收入。

然而,数字新基建与传统基建存在以下区别,导致应用于传统基建的招标机制难以应用于数字新基建。

第一,由于技术标准的多样化,数字新基建项目往往难以剥离建设和运营:智慧城市、工业物联网等领域,众多核心技术缺乏统一标准。往往由各地市政府根据自身理解和需求订立招标原则,中标企业依据自身技术标准建设项目。技术标准甚至数据格式的不统一不仅容易导致出现“信息孤岛”,还导致数字新基建项目的运营维护需要依赖项目建设方的自有技术标准,因此往往难以剥离建设和运营。¹传统基建虽然也存在建设与运营之间的正外部性,但传统基建存在较为成熟规范的技术标准,因此建设与运营难以剥离的情形比数字新基建少。数字新基建建设和运营难以剥离,导致事后数据要素化难以绕过承建企业,同时也为政府通过绑定数字新基建建设和数据要素化运营,降低基建中的政府投入创造条件。

第二,数字新基建项目需要政府事后持续投入保障数据安全可控,而在传统基建中,极少需要政府的特定事后投入。²在数字新基建项目的后续数据要素化运营中,政府的投入无法由其他各方替代:一方面分享的数据产权归属于政府,另一方面政府必须投入成本出面管控数据分享的安全保护。数字新基建项目可能搜集大量个人信息,积累海量数据。政府作为数据所有者有义务保证数据收集、存储、访问、传输中的安全可控,保障国家安全和个人隐私。中国《网络安全法》规定“网络运营者不得泄露、篡改、毁损其收集的个人信息;未经被收集者同意,不得向他人提供个人信息。但是经过处理无法识别特定个人且不能复原的除外”。政府需主动投入成本,监控数据收集、存储、访问、传输等各环节,且数据搜集和存储的规模越大,政府需要投入的数据安全和隐私保护成本越大。

本文将刻画包含数字新基建建设与运营难以分割、政府需要持续事后投入两大特征的经济环境并设计数字新基建最优招标机制。

¹ 根据财新报道,地方政府难以脱离建设全国交通监管平台的千方公司使用数据。“据业内人士介绍,地方政府可以向货运车辆公共平台索要数据,但全国平台下发的是原始数据,‘可能看不懂’。如果地方政府要自建一个平台,‘千方系’有机会成为重要合作伙伴。”(方祖望等,“谁在使用货车司机跑出来的数据?”,财新网, <https://www.caixin.com/2021-04-12/101689894.html>, 访问时间:2022年5月31日。)

² 一般基建项目的技术运营往往并非政府擅长,而由企业负责;而运营成本投入作为无差别的现金投入,可以用项目现金收入补偿,并不一定需要政府的特定投入。仅有少量特殊基建项目,确实需要政府后续不断出台政策,从而直接影响运营收入。例如港珠澳大桥的运营收入非常依赖于粤港澳三地政府在大桥开通后的通行过境政策协调。但这些后续政策无论成本还是效益都难以量化。

四、模型基准设定

(一) 模型时序与基本参数

本节构建一个政府采购数字新基建（例如智慧城市）建设项目的分析框架，政府试图完成一项不可分割的数字新基建项目，政府首先公布竞标机制， n 家企业（ $n \geq 2$ ）参与竞标。企业 $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ 汇报自身类型 θ_i 。 θ_i 是企业 i 的私有信息，外生给定，服从分布函数 $F(\cdot)$ ，密度函数为 $f(\cdot)$ ，分布区间为 $\Delta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 。 $F(\cdot)$ 、 $f(\cdot)$ 是公共知识。

根据所有企业汇报的类型 $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ 以及竞标机制的规则，政府决定中标企业 i 并指定其建设运营数字新基建项目。企业投入成本 $c(\theta_i)$ 建成数字新基建项目，并使其能利用政府数据对外运营。³ $c(\cdot)$ 是公共信息。政府根据事前承诺（假设政府有完全承诺能力）对企业分享数据。 $d_i \in [0, \bar{d}]$ 代表政府对中标企业 i 分享的数据量。政府分享 d_i 数据量成本为 $\frac{\lambda d_i^2}{2}$ ， λ 是公开信息。政府分享数据且企业投入成本后，项目产生可观察验证的现金回报 V_i 。 V_i 是随机变量，其实现值事后可观察验证，其事前期望值由政府的事后数据分享量 d_i 和企业的类型 θ_i 决定，即 $E[V_i | d_i, \theta_i] = d_i \theta_i$ 。政府和企业根据线性招标机制规定的比例 s_i 和 $1 - s_i$ 分享收益 V_i 的实现值，政府向企业支付 t_i （如果为负数则代表企业向政府的支付）。具体时序如下（见图1）：

(1) 政府公布竞标机制，企业参与竞标并汇报自身类型；

(2) 政府根据企业汇报类型和竞标规则，决定中标的企业 i 并指定其建设运营数字新基建项目；

(3) 中标的企业将投入成本 $c(\theta_i)$ 建设数字新基建项目，政府依照承诺分享数据 d_i ，项目产生随机现金回报 V_i 。政府和企业根据比例 s_i 和 $1 - s_i$ 分享收益 V_i 的实现值，政府向企业支付 t_i 的固定支付。

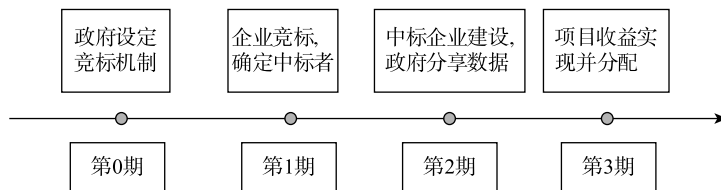


图1 时间轴

³ 由于前一部分已经提到“由于技术标准的多样化，数字新基建项目往往难以剥离建设和运营”，这里外生假定数字新基建的建设与运营无法分离给不同的企业。

(二) 几个说明

对机制时序的说明：虽然第三部分的背景介绍中已经提到，数字新基建相对于传统基建的一大特征就是建设和运营难以分离。但在本文经济环境对模型时序的刻画不再划分建设和运营两阶段。原因是本文的研究重点聚焦于竞标企业的静态激励相容问题，所使用的最优直接机制设计的分析框架只需要静态时序设定，而引入动态特性会导致额外复杂性。未来的拓展中可以增加建设—运营两阶段时序导致的行为主体动态激励。

对企业成本的说明：在本文设定中，企业在中标后，只能根据自己的真实固定类型 θ_i 投入对应的成本 $c(\theta_i)$ ，不能选择其他的投入水平。 $c(\theta_i)$ 的值是企业的私有信息，事前事后均不可观察验证。在数字新基建项目中，这一成本函数特性以及特殊的时间顺序可以理解为：首先，数字新基建项目若要充分发挥政府分享数据的效果，需要企业在基建方面做额外的投入（例如数据存储硬件设施）。而不同企业在额外的基建方面有不同的技术水平和路线，企业难以轻易更改自身的技术路线。更高级的技术路线对应事后更高的运营收入，但也需要投入更高的成本。⁴其次，由于现实中的企业数据要素化投入具有固定成本（例如服务器、人才）占比高的特点，呈现规模报酬递增性，出于简便，本文假设给定相当一般的政府数据分享量变动范围，企业的数据要素化投入不变。

对政府成本的说明：政府投入 d_i 可以解释为政府打通并分享多部门数据的量。越大的 d_i 对应越大量的数据分享，产生的收益越大。政府对 d_i 的投入具有完全的事前承诺能力。政府的数据分享造成的成本 $\frac{\lambda d_i^2}{2}$ 可以解释为政府需要投入资金，通过监控数据访问、限制数据存储、实现数据分享匿名化等技术手段确保分享数据的安全可控。或者可以将这一成本理解为政府作为全民利益的代表，需要将数据分享造成的公民隐私成本全部纳入考量。将隐私成本刻画为数据量的二次形式是文献中的通行做法（Dosis and Sand-Zantman, 2020; Jones and Tonetti, 2020）。需要指出，即使政府的数据分享没有成本，只需假设数据分享存在上限，则后文的分析和结论同样成立。

对分成比例参数 s_i 的说明：本文假设，新基建项目产生随机现金回报 V_i 。政府和企业根据分成比例 s_i 和 $1-s_i$ 分享收益 V_i 的实现值。下文中，作者并不要求比例参数 s_i 的取值范围限制在 $[0, 1]$ 。本文假设，如果 $s_i < 0$ ，则相当于

⁴ 现实中，确实存在不同企业处理类似数字新基建问题使用不同技术架构的现象，“目前，在 AI 领域中‘机器学习’最为普及，并已融入公司的一线业务应用程序与为客户提供的实际服务中。众多科技公司现在几乎都拥有自己的「机器学习」平台，……各家规模不同，都在结合自身情况、所处阶段并根据自己的特点解决平台化的问题。”（《CNCC 技术论坛 | 云计算与机器学习——新基建下的 IT 发展与变化》，https://mp.weixin.qq.com/s/afK5tBL04JUdYvhCDPg_hw，访问时间：2022 年 7 月 15 日。）

政府不仅将收益 V_i 的实现值全额让给企业，还给企业 $|s_i|$ 乘以全部现金回报的额外补贴；如果 $s_i > 1$ ，就相当于政府不仅攫取收益 V_i 的全部实现值，还向企业额外索取 $(s_i - 1)$ 乘以全部现金回报的收益。下文中的“线性机制”指不限制分成比例 s_i 的取值范围的“固定支付十分成支付”机制，作者另以“股权机制”或“股权支付”指代类似文献中限制分成比例在 $[0, 1]$ 的分成支付机制。

五、数字新基建最优线性竞标机制

基于第四部分设定的经济环境，本部分将给出政府最大化自身目标（政府收入与社会福利加权和）的数字新基建最优线性招标机制。

（一）直接机制设定

根据显示原理（revelation principle），不失一般性，首先考虑政府使用一个直接机制（direct mechanism），每个竞标企业汇报自己的类型 θ_i 。令 $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ 和 $\theta_{-i} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{i-1}, \theta_{i+1}, \dots, \theta_n\}$ 分别代表所有竞标企业和除了企业 i 之外竞标企业的类型向量，取值空间分别为 Θ 和 Θ_{-i} 。两者的联合密度函数分别为 $f(\theta)$ 和 $f_{-i}(\theta_{-i})$ 。

一个竞标直接机制 $\{q(\theta), d(\theta), s(\theta), t(\theta)\}$ 由 $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)(\theta)$ ($q_i: \Theta \rightarrow [0, 1]$, $\sum_{i=1}^n q_i \leq 1$), $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)(\theta)$ ($d_i: \Theta \rightarrow [0, \bar{d}]$), $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)(\theta)$ ($s_i: \Theta \rightarrow R$), $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)(\theta)$ ($t_i: \Theta \rightarrow R$) 组成。其中 θ 代表所有竞标者汇报的类型； q_i 代表企业 i 竞标中标的概率； d_i 代表在项目运营阶段政府对中标企业 i 分享数据的量； s_i 代表政府分享中标企业 i 事后收益 V_i 比例； t_i 代表政府对中标企业 i 的现金支付。 $\{q_i(\theta), d_i(\theta), s_i(\theta), t_i(\theta)\}$ 代表竞标企业 i 面临的机制。

给定一个招标方案 $\{q(\theta), d(\theta), s(\theta), t(\theta)\}$ ，政府的收入为：

$$\int_{\Theta} \sum_{i=1}^n q_i(\theta) \left\{ s_i(\theta) E[V_i | d_i(\theta), \theta_i] - t_i(\theta) - \frac{\lambda d_i^2(\theta)}{2} \right\} f(\theta) d\theta.$$

当多个风险中性的企业参与竞标并且都汇报自身真实类型时，类型为 θ_i 的企业 i 的收益为：

$$\int_{\Theta_{-i}} q_i(\theta) \{ (1 - s_i(\theta)) E[V_i | d_i(\theta), \theta_i] + t_i(\theta) - c(\theta_i) \} f_{-i}(\theta_{-i}) d\theta_{-i}.$$

定义假设所有其他企业汇报自己的真实类型 θ_{-i} ，真实类型为 θ_i 的竞标企业 i 汇报类型 θ'_i 时的预期收益为：

$$H_i(\theta'_i, \theta_i) \equiv \int q_i(\theta'_i, \theta_{-i}) \left\{ (1 - s_i(\theta'_i, \theta_{-i})) d_i(\theta'_i, \theta_{-i}) \theta_i + t_i(\theta'_i, \theta_{-i}) - c(\theta_i) \right\} f_{-i}(\theta_{-i}) d\theta_{-i}.$$

记 M 为所有满足以下性质的直接机制 $\{q_i(\boldsymbol{\theta}), d_i(\boldsymbol{\theta}), s_i(\boldsymbol{\theta}), t_i(\boldsymbol{\theta})\}$ 的集合:

(1) 激励相容: $\forall m \in M, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall \theta_i, \theta_i' \in \Delta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$, $H_i(\theta_i, \theta_i) \geq H_i(\theta_i', \theta_i)$;

(2) 个体理性: $\forall m \in M, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall \theta_i, \theta_i' \in \Delta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$, $H_i(\theta_i, \theta_i) \geq 0$ 。

假设政府的目标函数为自身收入(权重为 β) 和社会福利(权重为 $1 - \beta$) 的混合。政府从集合 M 中选择机制最大化自身预期收益, 政府的目标函数可以写为:

$$\max_{m \in M} \int_{\Theta} \left\{ \sum_{i=1}^n q_i(\boldsymbol{\theta}) \beta \left\{ s_i(\boldsymbol{\theta}) E[V_i | d_i(\boldsymbol{\theta}), \theta_i] - t_i(\boldsymbol{\theta}) - \frac{\lambda d_i^2(\boldsymbol{\theta})}{2} \right\} + (1 - \beta) \left\{ E[V_i | d_i(\boldsymbol{\theta}), \theta_i] - c(\theta_i) - \frac{\lambda d_i^2(\boldsymbol{\theta})}{2} \right\} \right\} f(\boldsymbol{\theta}) d\boldsymbol{\theta}.$$

(二) 完全抽租条件

本小节将验证, 通过结合事后分成和固定支付的广义支付招标机制, 政府可以实现对企业的完全抽租。这里“完全抽租”定义为政府独占社会最优配置下的所有社会剩余, 即直接机制实现社会有效配置, 且在此直接机制下政府完全抽取了企业的信息租金。

为找出政府对企业完全抽租的必要条件, 令 $\Pi_i(\theta_i)$ 代表给定所有竞标企业汇报真实类型时, 真实类型为 θ_i 的竞标企业 i 的净收益(信息租金), $\Pi_i(\theta_i)$ 定义为:

$$\Pi_i(\theta_i) \equiv \int \left\{ q_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i}) \left\{ (1 - s_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i})) d_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i}) \theta_i + t_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i}) - c(\theta_i) \right\} f_{-i}(\boldsymbol{\theta}_{-i}) d\boldsymbol{\theta}_{-i} \right\}.$$

政府对于竞标企业 i 的目标最优化规划可以写成:

$$\max_{m \in M} \int_{i=1}^n \left\{ q_i(\boldsymbol{\theta}) \left[d_i(\boldsymbol{\theta}) \theta_i - \frac{\lambda d_i^2(\boldsymbol{\theta})}{2} - c(\theta_i) - \beta \Pi_i(\theta_i) \right] \right\} f_{-i}(\boldsymbol{\theta}_{-i}) d\boldsymbol{\theta}_{-i},$$

其中 M 代表所有满足竞标企业参与约束和激励相容约束的机制 $\{q(\boldsymbol{\theta}), d(\boldsymbol{\theta}), s(\boldsymbol{\theta}), t(\boldsymbol{\theta})\}$ 。

由完全抽租, 可得 $\Pi_i(\theta_i) = 0$ 。对一个中标企业 i , 政府只需最大化 $d_i(\boldsymbol{\theta}) \theta_i - \frac{\lambda d_i^2(\boldsymbol{\theta})}{2} - c(\theta_i)$, 即数字新基建项目带来的社会净剩余。易得最优化的投入数据分享为 $d_i(\boldsymbol{\theta}) = \frac{\theta_i}{\lambda}$, 政府的最优化目标可转为 $W(\theta_i) = \frac{\theta_i^2}{2\lambda} - c(\theta_i)$ 。因此 $W(\theta_i) \equiv \frac{\theta_i^2}{2\lambda} - c(\theta_i)$ 就是当政府实现完全抽租时, 真实类型 θ_i

的企业带来的社会剩余。下文中，我们将假设 $\forall \theta \in \Delta$, $W(\theta) \geq 0$ ，以排除一些琐碎 (trivial) 情形。

引理 1⁵ 假设给定 $\forall \theta \in \Delta$, $W(\theta) \geq 0$ 。若政府能通过线性直接机制对数字新基建企业完全抽租，则 $c(\theta)$ 在 $\Delta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 上几乎处处是非递减的凸函数。

与 Liu and Bernhardt (2021) 的完全抽租条件相比，本文不再要求社会剩余 $W(\theta_i)$ 为单调函数，从而在一个更一般的经济环境假设中刻画了完全抽租的必要条件。⁶

由 $H_i(\theta, \theta) = 0$ ，得到：

$$\int [d_i(\theta, \theta_{-i}) (1 - s_i(\theta, \theta_{-i})) \theta + t_i(\theta, \theta_{-i})] f_{-i}(\theta_{-i}) d\theta_{-i} = c(\theta).$$

由此可以总结能实现政府对竞标企业完全抽租的政府目标最优化的招标机制。

(三) 最优机制

如前所述， $W(\theta) \equiv \frac{\theta^2}{2\lambda} - c(\theta)$ 是政府实现完全抽租时类型 θ 的竞标企业创造的社会剩余，下面将证明，政府可以通过合理组合事后分成和固定支付，实施一个直接机制，抽取所有竞标企业的信息租金，并实现自身收入的最大化。这个机制是可占优策略执行的，即 $\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$, $\forall \theta_i, \theta_i' \in \Delta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$, $\forall \theta_{-i} \in \Theta_{-i}$ ，如果竞标企业 i 真实类型为 θ_i ，则成立

$$q_i(\theta_i, \theta_{-i}) \{ (1 - s_i(\theta_i, \theta_{-i})) d_i(\theta_i, \theta_{-i}) \theta_i + t_i(\theta_i, \theta_{-i}) - c(\theta_i) \} \geq q_i(\theta_i', \theta_{-i}) \{ (1 - s_i(\theta_i', \theta_{-i})) d_i(\theta_i', \theta_{-i}) \theta_i + t_i(\theta_i', \theta_{-i}) - c(\theta_i) \}.$$

为了分析简洁，下面刻画最优机制时我们将假设企业成本函数 $c(\theta)$ 在 $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 上是非递减的凸函数。

定理 1 当 $\forall \theta \in \Delta$, $W(\theta) \geq 0$ ，且企业成本函数 $c(\theta)$ 在 $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 上是非递减的凸函数时，政府可通过以下描述的占优策略激励相容 (dominant strategy incentive compatible) 的直接机制抽取所有竞标企业的信息全部租金，并且其目标最优化的机制能实现社会效率最高的最优 (first-best) 结果：

(1) 中标规则为：将合约授予汇报类型 θ_i 使 $W(\theta_i)$ 最大化的企业。

$$q_i(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } W(\theta_i) \geq \max_{j \neq i} W(\theta_j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}.$$

(2) 政府将为中标企业 i 分享 $d_i(\theta) = \frac{\theta_i}{\lambda}$ 量的数据。

⁵ 因篇幅限制，未提供包括引理 1 在内大部分结论的具体证明。感兴趣的读者可向作者索取。

⁶ 匿名审稿人指出了社会剩余函数单调性非必要，作者感谢匿名审稿人的建议。

(3) 中标企业 i 会投入成本 $c(\theta_i)$ 使项目运营。从运营收益中, 政府获得的分成份额为:

$$s_i(\boldsymbol{\theta}) = 1 - \frac{\lambda c'(\theta_i)}{\theta_i}.$$

政府对企业的支付(若为负数则代表是企业对政府的支付)为:

$$t_i(\boldsymbol{\theta}) = c(\theta_i) - c'(\theta_i) \theta_i.$$

证明:

首先验证政府对汇报自己真实类型的企业完全抽租: 假设一个竞标企业 i 汇报自己的真实类型 θ_i 并中标, 则他的期望收益为 $d_i(\theta_i)(1 - s_i(\theta_i)) \theta_i + t_i(\theta_i) - c(\theta_i) = 0$ 。而如果竞标企业 i 没有中标, 其收益也是 0。

接下来证明, 无论其他企业汇报什么类型, 所有竞标企业 i 没有动机虚报自己的真实类型 θ_i 。假设一个真实类型为 θ_i 的企业汇报类型 θ'_i 并中标, 它的收益为:

$$\begin{aligned} (1 - s_i(\theta'_i)) d_i(\theta'_i) \theta_i + t_i(\theta'_i) - c(\theta_i) &= \frac{\theta'_i \lambda c'(\theta'_i)}{\lambda \theta'_i} + c(\theta'_i) - c'(\theta'_i) \theta'_i - c(\theta_i) \\ &= \theta_i c'(\theta'_i) - \theta'_i c'(\theta'_i) + c(\theta'_i) - c(\theta_i) \\ &= c'(\theta'_i)(\theta_i - \theta'_i) + (c(\theta'_i) - c(\theta_i)) \leq 0. \end{aligned}$$

而任意类型的企业汇报类型 θ'_i 且没有中标, 它的收益为 0。因此无论其他企业汇报什么类型, 所有竞标企业 i 没有动机虚报自己的真实类型 θ 。上面已经证明上述机制是占优策略激励相容的, 并能实现竞标企业的完全抽租。接下来证明上述机制实现了政府目标函数的最大化和社会最优 (first-best)。给定政府目标函数:

$$\int \left\{ \sum_{i=1}^n q_i(\boldsymbol{\theta}) \left[d_i(\theta) \theta_i - \frac{\lambda d_i^2(\boldsymbol{\theta})}{2} - c(\theta_i) - \beta \Pi_i(\theta_i) \right] \right\} f_{-i}(\boldsymbol{\theta}_{-i}) d\boldsymbol{\theta}_{-i}.$$

由完全抽租, 可得 $\Pi_i(\theta_i) = 0$ 。对一个中标企业 i , 政府只需最大化 $d_i(\boldsymbol{\theta}) \theta_i - \frac{\lambda d_i^2(\boldsymbol{\theta})}{2} - c(\theta_i)$, 即数字新基建项目带来的社会净剩余。易得最优化的投入数据分享为 $d_i(\boldsymbol{\theta}) = \frac{\theta_i}{\lambda}$, 政府的最优化目标可转化为 $W(\theta_i) = \frac{\theta_i^2}{2\lambda} - c(\theta_i)$ 。给定 $\forall \theta \in \Delta$, $W(\theta) \geq 0$, 政府只需选择汇报类型 θ_i 使 $W(\theta_i)$ 最大化的竞标企业 i 即可最大化自身收益并实现社会最优结果。证毕。

(四) 对最优机制的讨论

由于政府可以完全抽租, 定理 1 给出了能实现社会最优结果, 并能实现政府目标最优化的直接机制。这表明: 在较为一般的条件下, 政府能够通过一个固定支付和事后分成相结合的线性支付机制, 实现政府目标(包含政府收入和社会福利)最优化和效率最优化的统一。在这一机制中, 政府挑

选出最合适（实现数据收益和运营成本的最优权衡）的企业建设运营数字新基建项目，并分享社会最优的数据水平。数据要素化所实现的社会效率改进被政府完全捕捉，用以降低数字新基建的成本，因此有助于现实中同时实现数据要素市场化和数字新基建成本降低。

这一机制有如下特性值得讨论：

第一，最优机制能实现完全抽租和社会最有效结果。直觉解释是不对称信息资源配置中，代理人的信息租金源于私有信息。而如果存在一种事后实现且可观察验证的信息，且与竞标者的私有信息有关联，那么招标方可以利用这一事后信息降低竞标者私有信息的影响。而在一个事前承诺的机制中，事后分成支付能有效绑定事后信息（总产出）与竞标者支付，从而使竞标者支付与其私有信息紧密关联，进而减少竞标者私有信息对其净收益的影响，即降低信息租。

第二，最优机制可被占优策略执行（dominant strategy implementable），即无论任何其他竞标企业如何行动，任一竞标企业汇报真实类型并按真实类型投入成本都是最优选择。相对于较弱的贝叶斯-纳什可执行（Bayesian-Nash Implementable）机制，这一最优机制对于行为人的偶然偏离和随机因素更稳健。

第三，较多的广义支付文献将分成支付比例限制在 $[0, 1]$ ，而本文没有限制分成比例 $s_i(\theta_i) \in [0, 1]$ 。事实上，如果需要通过直观的 $s_i(\theta_i) \in [0, 1]$ 的“股权+固定支付”的机制实现完全抽租，只需假定 $\frac{\theta}{\lambda} \geq c'(\theta)$ 。在这一条件下，政府投入最优化的数据分享 $d_i(\theta)$ 时，社会总剩余 $W(\theta) \equiv \frac{\theta^2}{2\lambda} - c(\theta)$ 是随 θ 递增的，由此引出最优招标机制只需挑选最高类型的企业类型。同时也能保证政府分成比例 $s_i(\theta_i) \in [0, 1]$ 下实现政府完全抽租。⁷

接下来讨论企业支付的单调性。

命题 1 最优机制中，给定 $c(\underline{\theta}) = 0$ （即类型最低的企业成本为0），则类

⁷ 这两个条件的等价不是偶然的。事实上，政府如果能够通过狭义的“现金+股权支付”（即限定分成比例在 $[0, 1]$ ）招标机制实现完全抽租，原因就在于企业的分成比例 $1 - s_i(\theta) \in [0, 1]$ 确保企业从自身真实类型 θ 增加导致的社会产出边际增量中恰好获取对自身成本边际增加的补偿，没有额外的信息租收益。假设中标企业 i 的真实类型 θ_i 从最低可能类型 $\underline{\theta}$ （此时中标企业信息租和社会剩余都为0）单调上升，伴随 θ_i 增加，政府可以通过 $s_i(\theta_i) \in [0, 1]$ 全额捕捉 θ_i 上升带来的社会剩余的边际增量，同时维持中标企业 i 的激励相容和参与约束严格成立。即政府股权份额 $s_i(\theta_i) = (\theta_i \text{ 边际增加导致的社会剩余边际增量}) / (\theta_i \text{ 边际增加导致的社会总产出边际增量})$ 。因此社会剩余随 θ_i 递增的条件也正好能确保良好定义的企业分成比例 $s_i(\theta_i)$ 下政府实现完全抽租。如果 $\frac{\theta}{\lambda} \geq c'(\theta)$ 不成立，社会剩余可能没有对于部分 θ_i 类型的单调性，对于某些 θ_i 类型可能成立（ θ_i 边际增加导致的社会剩余边际增量）/（ θ_i 边际增加导致的社会总产出边际增量） $\notin [0, 1]$ ，股权比例 $s_i(\theta_i) \in [0, 1]$ 无法全额捕捉社会剩余增量，因此“股权+固定支付”机制无法实现完全抽租。

型为 θ_i ($\theta_i > \underline{\theta}$) 的中标企业 i 需要向政府支付现金 ($t_i(\boldsymbol{\theta}) \leq 0$), 且企业类型越高, 政府收取的现金支付越高 ($\frac{\partial t_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i})}{\partial \theta_i} \leq 0$)。

说明 给定 $c(\underline{\theta}) = 0$, 成立 $t_i(\boldsymbol{\theta}) \leq 0$ 。即与标准的招标机制不同, 中标企业一般需要向政府支付现金。这是因为给定招标机制同时包含固定支付和事后分成支付, 政府可以将自己分享的数据作为有价值的筹码, 吸引企业向政府出让利益。另外, 对于高类型的竞标企业, 政府向它收取的固定支付增加。

最后, 对于企业获得的项目事后分成比例, 有如下命题:

命题 2 最优机制中, 类型为 θ_i 的中标企业 i 获得项目事后分成比例 $1 - s_i(\boldsymbol{\theta}) = \frac{\lambda c'(\theta_i)}{\theta_i}$ 随 θ 递增的条件为 $\frac{\theta c''(\theta)}{c'(\theta)} > 1$ 。

命题 2 的经济学含义为: 如果边际成本对企业类型的弹性小于 1, 则政府留成比例递增。若边际成本对企业类型的弹性大于 1, 则是递减。因此政府可能会对高类型的竞标者收取更高的事后经营收入分成, 来获取企业剩余。

(五) 最优机制的实施机制

定理 1 给出了一个竞标企业 i 汇报自身的真实类型 θ_i , 政府根据所有竞标企业的类型汇报决定机制结果的直接机制。现实中, 如果施加单调性条件 $\frac{\theta}{\lambda} \geq c'(\theta)$, 则政府只需要选择类型最高的竞标企业。这一直接机制可以应用两种第一价格拍卖实施, 具体设计如下:

实施最优机制的现金第一价格拍卖。当 $\forall \theta \in \Delta, W(\theta) \geq 0$, 竞标企业的成本函数 $c(\theta)$ 是凸函数, 且 $\frac{\theta}{\lambda} \geq c'(\theta)$ 时, 政府可通过以下描述的现金第一价格拍卖机制实施前述的最优机制, 这一拍卖是占优策略激励相容, 且能实现政府目标最优化和社会效率最优。具体来说, 政府要求企业汇报企业要求政府支付的现金 t_i 。给定前述直接机制中支付函数 t_i 的单调性, $\frac{\partial t_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i})}{\partial \theta_i} = -c''(\theta_i) \theta_i \leq 0$, 政府可以反解出每个竞标企业 i 的类型 θ_i , 并根据上述直接机制, 给出政府投入的数据分享量 $d_i(\boldsymbol{\theta})$ 和政府事后运营收入的分成比例 $s_i(\boldsymbol{\theta})$ 。

推论 1 在上述拍卖机制中, 所有竞标企业根据自身类型 θ 提交支付方案 $t_i(\boldsymbol{\theta}) = c(\theta) - c'(\theta)\theta$ 是一个占优策略。政府将授予出价最低的竞标企业合约, 并根据与直接机制相同的设定投入数据分享量 $d_i(\boldsymbol{\theta})$ 、收取运营收入分成比例 $s_i(\theta_i)$ 以及现金支付 $-t_i$ 。这一机制的均衡结果对应于直接机制结果, 可以实现政府对竞标企业完全抽租以及社会最优配置。

如果 $\frac{\theta c''(\theta)}{c'(\theta)} > 1$, 可以通过另一种拍卖机制实施最优机制。

实施最优机制的股权第一价格拍卖。当 $\forall \theta \in \Delta$, $W(\theta) \geq 0$, $\forall \theta \in \Delta$, $W(\theta) \geq 0$ 竞标企业的成本函数 $c(\theta)$ 是凸函数, 且 $\frac{\theta}{\lambda} \geq c'(\theta)$, $\frac{\theta c''(\theta)}{c'(\theta)} > 1$ 时, 政府可通过以下描述的股权第一价格拍卖机制实施前述的最优机制, 这一拍卖是占优策略激励相容的, 且能实现政府目标最优化和社会效率最优。具体来说, 政府要求企业汇报企业索取的股权比例 $1-s_i$ 。给定命题 2 中最优直接机制中股权函数 s_i 的单调性, 政府可以反解出每个竞标企业 i 的类型 θ_i , 并根据上述直接机制, 给出政府投入的数据分享量 $d_i(\theta)$ 和政府对企业现金支付 $t_i(\theta)$ 。

推论 2 在上述拍卖机制中, 所有竞标企业根据自身类型 θ 提交股权支付方案 $1-s_i(\theta) = \frac{\lambda c'(\theta_i)}{\theta_i}$ 是一个占优策略。政府将授予出价最高的竞标企业合约, 并根据与直接机制相同的设定投入数据分享量 $d_i(\theta)$ 、收取现金支付 $-t_i(\theta)$ 。这一机制的均衡结果对应于直接机制结果, 可以实现政府对竞标企业完全抽租以及社会最优配置。

六、拓展：企业同时存在逆向选择和道德风险时的招标机制

(一) 模型设定

这一部分讨论竞标企业不仅存在逆向选择（即企业类型影响最终产出并且是企业私有信息），还有道德风险（假设企业能做出政府不可观测的努力影响最终产出）的情形。本部分借鉴 Laffont and Tirole (1987) 的框架以探讨同时存在竞标者逆向选择和道德风险时的招标机制，并将其拓展到存在招标者事后投入的情形，以体现数字新基建招标机制中政府数据分享的重要作用。得出了政府最大化自身目标（政府收入与社会福利加权混合）的招标机制。

假设政府试图完成一项不可分割的数字新基建项目，政府首先公布竞标机制， n 家企业（ $n \geq 2$ ）参与竞标。企业 $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ 汇报自身类型 θ_i 。 θ_i 是企业 i 的私有信息，外生给定，服从分布函数 $F(\cdot)$ ，密度函数为 $f(\cdot)$ ，分布区间为 $\Delta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 。 $F(\cdot)$ 、 $f(\cdot)$ 是公共知识。根据所有企业汇报的类型 $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ 以及竞标机制的规则，政府决定中标的企业 i 并指定其建设运营数字新基建项目。中标企业需要付出成本 $c(\theta_i)$ 建成项目（ $c(\cdot)$ 是单调非递减的凸函数⁸， $c(\cdot)$ 是公共知识）并投入努力 e_i （ e_i 不可观察验证，并且产生不可观察验证的成本 $\psi(e_i)$ ， $\psi(\cdot)$ 是公共知识， $\psi'(\cdot)$ ， $\psi''(\cdot)$ ， $\psi'''(\cdot) > 0$ ）运营项目；政府根据事前承诺（政府有完全承诺能力）

⁸ 需要说明，本部分的分析结论并不依赖于这一假设。

对企业分享数据。 $d_i \in [0, \bar{d}]$ 代表政府对中标企业 i 分享的数据量。政府分享 d_i 数据量成本为 $\frac{\lambda d_i^2}{2}$, λ 是公开知识。企业类型 θ_i 、投入努力 e_i 和政府数据分享量 d_i 共同决定项目产生可观察验证的确定性现金回报 $V_i = d_i \theta_i e_i$ 。政府获取全部现金回报 V_i , 并给企业固定支付 t_i 。

说明 相对于第四部分和第五部分的模型设定, 为求简便, 本部分的设定主要有两点不同: (1) 假定项目现金回报 V_i 是确定性变量 (而非随机变量); (2) 类似于 Laffont and Tirole (1987), 本节将政府与企业间的转移支付设置为由项目最终收益和企业汇报类型共同决定的广义支付, 不再专门设定事后收入分成参数。

(二) 直接机制的描述

根据显示原理, 不失一般性, 首先考虑政府使用一个直接机制, 每个竞标企业汇报自己的类型 θ_i 。令 $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ 和 $\theta_{-i} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{i-1}, \theta_{i+1}, \dots, \theta_n\}$ 分别代表所有竞标企业和除了企业 i 之外竞标企业的类型向量, 取值空间分别为 Θ 和 Θ_{-i} , 两者的联合密度函数分别为 $f(\theta)$ 和 $f_{-i}(\theta_{-i})$ 。一个竞标直接机制 $\{q(\theta), V(\theta), d(\theta), t(\theta)\}$ 由 $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)(\theta)$ ($q_i: \Theta \rightarrow [0, 1]$, $\sum_{i=1}^n q_i \leq 1$), $V = (V_1, V_2, \dots, V_n)(\theta)$ ($V_i: \Theta \rightarrow R^+$), $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)(\theta)$ ($d_i: \Theta \rightarrow [0, \bar{d}]$), $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)(\theta)$ ($t_i: \Theta \rightarrow R$) 组成。其中 θ 代表所有竞标者汇报的类型; q_i 代表企业 i 中标的概率; V_i 代表政府要求中标企业 i 实现的总产出; d_i 代表政府对中标企业 i 分享数据的量; t_i 代表政府对中标企业 i 的现金支付。 $\{q(\theta), V(\theta), d(\theta), t(\theta)\}$ 代表竞标企业 i 面临的机制。

多个风险中性的企业参与竞标并都汇报自身真实类型时, 类型为 θ_i 的企业 i 的收益为:

$$\int_{\Theta_{-i}} q_i(\theta) \left\{ t_i(\theta) - c(\theta_i) - \psi \left(\frac{V_i(\theta)}{d_i(\theta) \theta_i} \right) \right\} f_{-i}(\theta_{-i}) d\theta_{-i}.$$

定义假设所有其他企业汇报自己的真实类型 θ_{-i} , 真实类型为 θ_i 的竞标企业 i 汇报类型 θ'_i 时的预期收益为:

$$H_i(\theta'_i, \theta_i) \equiv \int q_i(\theta'_i, \theta_{-i}) \left\{ t_i(\theta'_i, \theta_{-i}) - c(\theta_i) - \psi \left(\frac{V_i(\theta'_i, \theta_{-i})}{d_i(\theta'_i, \theta_{-i}) \theta_i} \right) \right\} f_{-i}(\theta_{-i}) d\theta_{-i}.$$

注意竞标企业 i 的努力 e_i 虽然不可观察验证, 但政府能通过控制数据分享 d_i , 获得企业对自身类型汇报 θ'_i , 并控制最终产出 V_i (方法是: 决定一个理想产出 $V_i(\theta)$, 如果最终产出与理想产出偏离, 则给企业惩罚), 从而间接

控制企业努力 e_i 。

记 M 为所有满足以下性质的直接机制 $\{q(\boldsymbol{\theta}), \mathbf{V}(\boldsymbol{\theta}), \mathbf{d}(\boldsymbol{\theta}), \mathbf{t}(\boldsymbol{\theta})\}$ 的集合：

(1) 激励相容： $\forall m \in M, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall \theta_i, \theta_i' \in \Delta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$, $H_i(\theta_i, \theta_i) \geq H_i(\theta_i', \theta_i)$ 。

(2) 个体理性： $\forall m \in M, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall \theta_i, \theta_i' \in \Delta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$, $H_i(\theta_i, \theta_i) \geq 0$ 。

(三) 最优机制的刻画

假设政府的目标函数为自身收入（权重为 β ）和社会福利（权重为 $1 - \beta$ ）的混合。政府从集合 M 中选择机制最大化自身预期收益，政府的目标函数可以写为：

$$\begin{aligned} \max_{m \in M} \int_{\Theta} & \left\{ \beta \sum_{i=1}^n q_i(\boldsymbol{\theta}) \left\{ V_i(\boldsymbol{\theta}) - t_i(\boldsymbol{\theta}) - \frac{\lambda d_i^2(\boldsymbol{\theta})}{2} \right\} + (1 - \beta) \sum_{i=1}^n q_i(\boldsymbol{\theta}) \right. \\ & \left. * \left\{ V_i(\boldsymbol{\theta}) - c(\theta_i) - \psi \left(\frac{V_i(\boldsymbol{\theta})}{d_i(\boldsymbol{\theta}) \theta_i} \right) - \frac{\lambda d_i^2(\boldsymbol{\theta})}{2} \right\} \right\} f(\boldsymbol{\theta}) d\boldsymbol{\theta}. \end{aligned}$$

定义 $\eta_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i}) \equiv \frac{V_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i})}{d_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i})}$ ，有以下结论：

引理 2 在政府选择的最优机制中， $V_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i})$ 、 $d_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i})$ 进而 $\eta_i(\theta_i, \boldsymbol{\theta}_{-i})$ 只与 θ_i 有关。

引理 2 表明对于任何竞标企业 i ，给定其中标与否，政府要求的最终产出和承诺分享的数据量只与它的汇报类型有关，与其他人汇报类型无关。

为刻画存在企业道德风险时的政府招标机制，施加如下假设条件：

正则性条件 $\forall \theta$ 成立 $\left\{ \left[V_i(\theta_i) - \frac{\lambda d_i^2(\theta_i)}{2} - c(\theta_i) - \psi \left(\frac{V_i(\theta_i)}{d_i(\theta_i) \theta_i} \right) \right] - \beta \frac{(1 - F(\theta_i))}{f(\theta_i)} \left[\psi' \left(\frac{V_i(\theta_i)}{d_i(\theta_i) \theta_i} \right) \frac{1}{\theta_i^2} \frac{V_i(\theta_i)}{d_i(\theta_i)} - c'(\theta_i) \right] \right\}'_{\theta_i} > 0^9$ ，其中 $d_i(\theta_i)$ 由 $\psi' \left(\frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i} \right) + \beta \frac{1 - F(\theta_i)}{f(\theta_i)} \left[\psi'' \left(\frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i} \right) \frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i^2} + \psi' \left(\frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i} \right) \frac{1}{\theta_i} \right] = \theta_i d_i(\theta_i)$ 确定， $V_i(\theta_i) = \lambda d_i^2(\theta_i)$ 。

正则性条件确保虚拟估值随竞标企业真实类型单调递增。由此有定理 2。

定理 2 当正则性条件成立时，政府可通过以下描述的贝叶斯-纳什激励相容 (Bayesian-Nash Incentive Compatible) 的直接机制最大化其目标函数：

⁹ 在本部分的模型设定下，正则性条件的形式非常复杂，因此这里只给出一个一般表达式。但如果将最终产出的函数形式改为相加形式即 $V_i = d_i(e_i + \theta_i)$ ，则能得出较为简洁的正则性条件，且能给出满足正则性条件的常见函数形式和参数分布算例。

(1) 中标规则为：将合约授予汇报类型最高的企业。

$$q_i(\boldsymbol{\theta}) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta_i \geq \max_{j \neq i} \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2) 政府将为中标企业 i 分享 $d_i(\theta_i)$ 量的数据, $d_i(\theta_i)$ 由下式决定:

$$\begin{aligned} \psi' \left(\frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i} \right) + \beta \frac{1 - F(\theta_i)}{f(\theta_i)} \left[\psi'' \left(\frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i} \right) \frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i^2} \right. \\ \left. + \psi' \left(\frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i} \right) \frac{1}{\theta_i} \right] = \theta_i d_i(\theta_i). \end{aligned}$$

(3) 给定政府数据分享量 $d_i(\theta_i)$, 政府规定中标企业 i 必须实现 $V_i(\theta_i) = \lambda d_i^2(\theta_i)$ 的总产出。

(4) 中标企业 i 会投入努力 $e_i(\theta_i) = \frac{\lambda d_i(\theta_i)}{\theta_i}$ 使项目运营。

(5) 政府对企业的支付为:

$$t_i(\theta_i) = U_i(\theta_i) - c(\theta_i) - \psi(e_i(\theta_i)),$$

其中:

$$\begin{aligned} U_i(\theta_i) = \int_{\underline{\theta}}^{\theta_i} \int_{\boldsymbol{\theta}_{-i}} q_i(t, \boldsymbol{\theta}_{-i}) \left[\psi' \left(\frac{V_i(t)}{d_i(t)t} \right) \frac{1}{t^2} \frac{V_i(t)}{d_i(t)} - c'(t) \right] \\ f_{-i}(\boldsymbol{\theta}_{-i}) d\boldsymbol{\theta}_{-i} dt. \end{aligned}$$

根据定理 2, 给定一些条件, 政府作为招标者可以选择汇报类型最高的竞标企业, 并通过规定最终产出、承诺数据分享量来控制企业的努力水平。当然, 由于同时引入了道德风险和逆向选择, 此时政府不再像第四部分中的最优机制一样, 能实现完全抽租和社会最优配置。可以对比定理 2 中的政府目标最优配置与完全信息时的最优配置。假设不存在信息不对称, 所有竞标企业 i 的类型 θ_i 都是公开信息, 此时政府可完全通过规定总产出 V_i 和数据分享量 d_i 控制企业 i 的努力水平 e_i , 无论企业努力 e_i 是否可观察验证。容易验证, 如果 $\left\{ e_i(\theta_i) \theta_i d_i(\theta_i) - \frac{\lambda d_i^2(\theta_i)}{2} - \psi(e_i(\theta_i)) - c(\theta_i) \right\}'_{\theta_i} > 0$, 则政府会选择类型最高的企业 i 建设运营数字新基建项目。此时最优的 $e_i^*(\theta_i)$ 和 $d_i^*(\theta_i)$ 满足 $e_i^*(\theta_i) \theta_i^2 = \lambda \psi'(e_i^*(\theta_i))$ 和 $d_i^*(\theta_i) = \frac{e_i^*(\theta_i) \theta_i}{\lambda}$ 。对比信息不对称下的最优化的 $e_i(\theta_i)$ 和 $d_i(\theta_i)$ (记为 $e_i^{sb}(\theta_i)$ 和 $d_i^{sb}(\theta_i)$) 的决定式:

$$\begin{aligned} \psi'(e_i^{sb}(\theta_i)) + \beta \frac{1 - F(\theta_i)}{f(\theta_i)} \left[\psi''(e_i^{sb}(\theta_i)) \frac{e_i^{sb}(\theta_i)}{\theta_i} + \psi'(e_i^{sb}(\theta_i)) \frac{1}{\theta_i} \right] \\ = \frac{e_i^{sb}(\theta_i) \theta_i^2}{\lambda} d_i^{sb}(\theta_i) = \frac{\theta_i}{\lambda} e_i^{sb}(\theta_i). \end{aligned}$$

基于 ψ' 、 ψ'' 、 $\psi''' > 0$ 的性质, 易得函数 $\psi'(x)$ 和函数 $\frac{\theta_i^2}{\lambda} x$ 满足单交叉条

件，因此对任何 $e_i(\theta_i) \geq e_i^*(\theta_i)$ 均成立 $\psi'(e_i(\theta_i)) \geq \frac{e_i(\theta_i)\theta_i^2}{\lambda}$ 。结合 $\psi'(e_i^{sb}(\theta_i)) < \frac{e_i^{sb}(\theta_i)\theta_i^2}{\lambda}$ 因此有 $e_i^*(\theta_i) > e_i^{sb}(\theta_i)$ ，同时 $d_i^*(\theta_i) > d_i^{sb}(\theta_i)$ 。

因此同时存在企业逆向选择和道德风险时，企业努力水平和政府数据分享水平相对社会最优都有向下扭曲。

七、结论与启示

本文应用机制设计理论，探讨数据要素化背景下的中国数字新基建项目的最优招标机制。数字新基建所需的巨额投资亟须创新多元化资金来源，而数字新基建创造的大量政府所有的数据具有巨大的要素市场化的潜力。结合现实背景，本文假设政府可以通过与企业分享数据创造社会价值。在企业仅存在逆向选择时，本文给出一个占优策略可执行的直接机制，通过结合事后分成与固定支付，政府可以获取企业的全部信息租金，在最大化政府目标函数（政府收入和社会福利的加权和）的同时实现社会最优的配置。本文同样讨论了企业同时存在道德风险和逆向选择时的数字新基建招标机制，给出了最大化政府目标函数的机制。

本文为数字新基建项目招投标和数据要素市场化带来新思路。

第一，政府应充分认识到数字时代大数据的重要价值，政府作为数据的重要拥有方，可以通过合理设计机制获取收益。在新基建项目融资、扶持补贴自主创新等方面，分享数据可以成为一种创新融资模式、提升科创扶持识别效率的有效政策工具。例如，通过“数据入股”等创新机制，政府可以充分发挥数字新基建带来的大量数据的效益，从而降低数字新基建的财政负担；而大数据天然与高科技企业存在高匹配度，也使得政府可以通过分享数据有效识别和扶持高科技企业。

第二，政府应着力解决数据分享中存在的数据安全和个人隐私等问题。本文假设政府需要投入成本实现数据分享的规范安全，因此政府分享数据的量一般来说存在最优上界。通过完善数据分享和交易的规范，节省成本，政府数据能发挥更大的作用。

本文的研究可以做如下拓展。首先，本文中讨论了企业私有收益是公开信息的情况，如果企业私有收益是其私有信息，则政府可能难以实现完全抽租。我们将探讨存在企业成本—私有收益二维私有信息时的政府目标最优化机制。其次，数字新基建实现数据互联的重要目标之一是接入政府和建设企业之外的社会数据，我们将探讨运营方可以从民间购买数据时的数字新基建共建机制。再次，本文主要关注单个城市的数字新基建采购竞标，但在当前中国各地市普遍兴建数字新基建项目的背景下，跨地市的数字新基建协调以

及数据互通成为亟须解决的紧迫问题。我们将探讨两个或多个城市在数字新基建建设项目竞标和数据互通中的博弈。然后,建设与运营难以分离是数字新基建相对于传统基建的一大特点,后续研究中可以探讨数字新基建招标中建设与运营合一导致的复杂动态特性。最后,文献(例如:徐翔等,2021; Jones and Tonetti, 2020)普遍认为数据要素存在非竞争性(non-rivalry),本文的研究框架可以拓展到政府数据可以向多个企业分享的情形。

参 考 文 献

- [1] Acemoglu, D., A. Makhdoumi, A. Malekian, and A. Ozdaglar, "Too Much Data; Prices and Inefficiencies in Data Markets", *American Economic Journal: Microeconomics*, forthcoming, 2022.
- [2] Bagnoli, M., and T. Bergstrom, "Log-concave Probability and Its Applications", *Economic Theory*, 2005, 26, 445-469.
- [3] Beraja, M., D. Y. Yang, and N. Yuchtman, "Data-intensive Innovation and the State: Evidence from AI Firms in China", *The Review of Economic Studies*, forthcoming, 2022.
- [4] Bergemann, D., and A. Bonatti, "Selling Cookies", *American Economic Journal: Microeconomics*, 2015, 7 (3), 259-94.
- [5] Bergemann, D., A. Bonatti, and A. Smolin, "The Design and Price of Information", *American Economic Review*, 2018, 108 (1), 1-48.
- [6] Chen, X., S. Li, and D. Wang, "Optimal Revenue-sharing Mechanisms with Seller Commitment to Ex-post Effort", *Social Choice and Welfare*, 2022, 58, 141-159.
- [7] Crémer, J., and R. P. McLean, "Optimal Selling Strategies under Uncertainty for a Discriminating Monopolist When Demands Are Interdependent", *Econometrica*, 1985, 53 (2), 345-362.
- [8] Crémer, J., "Auctions with Contingent Payments: Comment", *American Economic Review*, 1987, 77 (4), 746-746.
- [9] Crémer, J., and R. P. McLean, "Full Extraction of the Surplus in Bayesian and Dominant Strategy Auctions", *Econometrica*, 1988, 56 (6), 1247-1257.
- [10] Dosis, A., and W. Sand-Zantman, "The Ownership of Data", *The Journal of Law Economics, and Organization*, forthcoming, 2022.
- [11] Gershkov, A., B. Moldovanu, P. Strack, and M. Zhang, "A Theory of Auctions with Endogenous Valuations", *Journal of Political Economy*, 2021, 129 (4), 1011-1051.
- [12] 龚强、张一林、雷丽衡, "政府与社会资本合作 (PPP): 不完全合约视角下的公共品负担理论", 《经济研究》, 2019年第4期, 第133—148页。
- [13] 郭凯明、潘珊、颜色, "新型基础设施投资与产业结构转型升级", 《中国工业经济》, 2020年第3期, 第63—80页。
- [14] Hart, O., "Incomplete Contracts and Public Ownership: Remarks, and an Application to Public-Private Partnerships", *The Economic Journal*, 2003, 113, C69-C76.
- [15] Iossa, E., and D. Martimort, "Risk Allocation and the Costs and Benefits of Public-Private Partnerships", *RAND Journal of Economics*, 2012, 43 (3), 442-474.
- [16] Jones, C., and C. Tonetti, "Nonrivalry and the Economics of Data", *American Economic Review*, 2020, 110 (9), 2819-2858.
- [17] Laffont, J.-J., and J. Tirole, "Auctioning Incentive Contracts", *Journal of Political Economy*,

- 1987, 95 (5), 921-937.
- [18] Lewis, T. R., and D. E. M. Sappington, "Countervailing Incentives in Agency Problems", *Journal of Economic Theory*, 1989, 49 (2), 294-313.
- [19] 李三希、喻俊、尹训东, "是否捆绑拍卖? 公私合营下最优招标的机制设计", 《经济学》(季刊), 2016年第15卷第1期, 第321—340页。
- [20] Liu, T., "Optimal Equity Auctions with Heterogeneous Bidders", *Journal of Economic Theory*, 2016, 166, 94-123.
- [21] Liu, T., and D. Bernhardt, "Optimal Equity Auctions with Two-dimensional Types", *Journal of Economic Theory*, 2019, 184, No. 104913.
- [22] Liu, T., and D. Bernhardt, "Rent Extraction with Securities Plus Cash", *Journal of Finance*, 2021, 76 (4), 1869-1912.
- [23] Myerson, R., "Optimal Auction Design", *Mathematics of Operations Research*, 1981, 6 (1), 58-73.
- [24] Piccione, M., and G. Tan, "Cost-reducing Investment, Optimal Procurement and Implementation by Auctions", *International Economic Review*, 1996, 37 (3), 663-685.
- [25] Posner, E. A., and E. G. Weyl, *Radical Markets: Uprooting Capitalism and Democracy for a Just Society*. Princeton: Princeton University Press, 2018.
- [26] Riley, J., "Ex Post Information in Auctions", *The Review of Economic Studies*, 1988, 55 (3), 409-429.
- [27] 荣健欣、王大中, "前沿经济理论视野下的数据要素研究进展", 《南方经济》, 2021年第11期, 第18—43页。
- [28] Sogo, T., D. Bernhardt, and T. Liu, "Endogenous Entry to Security-bid Auctions", *American Economic Review*, 2016, 106 (11), 3577-3589.
- [29] Sun, W., D. Wang, and Y. Zhang, "Optimal Profit Sharing Mechanisms with Type-dependent Outside Options", *Journal of Mathematical Economics*, 2018, 75, 57-66.
- [30] Varian, H. R., "Economic Aspects of Personal Privacy", In: William, H. and L. Puppillo (eds.), *Internet Policy and Economics: Challenges and Perspectives*. Berlin: Springer, 2009, 101-109.
- [31] 熊巧琴、汤珂, "数据要素的界权、交易和定价研究进展", 《经济学动态》, 2021年第2期, 第143—158页。
- [32] 徐翔、厉克奥博、田晓轩, "数据生产要素研究进展", 《经济学动态》, 2021年第4期, 第142—158页。
- [33] 徐翔、赵墨非, "数据资本与经济增长路径", 《经济研究》, 2020年第10期, 第38—54页。
- [34] 赵云辉、张哲、冯泰文、陶克涛, "大数据发展、制度环境与政府治理效率", 《管理世界》, 2019年第11期, 第119—132页。

Digital Infrastructure Procurement Mechanism Design under Data Factorization —The Perspective of Optimal Mechanism

RONG Jianxin

(SunYat-sun University)

WANG Dazhong*

(Nanjing University)

Abstract We assume that by sharing data, the government can improve the return of a digital new infrastructure construction project. By applying the theory of mechanism design in this procurement problem with designer's ex-post investment, we prove that by using a fixed-plus-share payment procurement mechanism, the government can extract all rent of bidding firms and achieve the social optimal when firms have adverse-selection problem. In addition, we discuss the optimal procurement mechanism when both adverse-selection and moral-hazard problems arise. Our research will contribute to resolving problems in the digital new infrastructure construction, and will also contribute to the marketization of digital factor.

Keywords digital new infrastructure construction, marketization of data factor, mechanism design

JEL Classification D44, D47, L86

* Corresponding Author: Wang Dazhong, School of Digital Economics and Management, Nanjing University, No.1520 Taihu Avenue, Suzhou, Jiangsu 215163, China; Tel: 86-25-83621124; E-mail: wangdazhong@nju.edu.cn.