



产业经济评论
REVIEW OF INDUSTRIAL ECONOMICS
Review of Industrial Economics
ISSN 2095-7572, CN 10-1223/F

《产业经济评论》网络首发论文

题目：元宇宙的秩序：一个不完全契约理论的视角
作者：聂辉华，李靖
DOI：10.19313/j.cnki.cn10-1223/f.20211227.001
网络首发日期：2022-01-04
引用格式：聂辉华，李靖. 元宇宙的秩序：一个不完全契约理论的视角[J/OL]. 产业经济评论. <https://doi.org/10.19313/j.cnki.cn10-1223/f.20211227.001>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

元宇宙的秩序：一个不完全契约理论的视角

聂辉华 李靖*

摘要：本文把现阶段的元宇宙理解为一种不完全契约的世界，并构建了一个不完全契约理论模型来分析元宇宙的秩序。我们根据互联互通的程度比较了四种模式：诸侯国模式、联合国模式、大一统模式和区块链模式。主要结论是：第一，无论是考虑互联互通的投资，还是考虑社会总福利水平，区块链模式都优于联合国模式，后者又优于诸侯国模式；第二，相对于大企业，小企业更愿意在互联互通方面投资；第三，当互联互通的收益比较低时，两个企业组成一个小的元宇宙比三个企业组建一个大的元宇宙能够带来更多的利润。本文的研究表明，目前应该鼓励元宇宙平台做大做强，加强互联互通，并争取制定国际规则的主导权。

关键词：元宇宙，数字经济，互联互通，不完全契约

一、元宇宙是一个不完全契约

2021年可谓元宇宙（Metaverse）的元年。3月，游戏平台公司 Roblox 在纽约交易所上市，成为“元宇宙第一股”；4月，芯片公司英伟达（Nvidia）发布了元宇宙虚拟工作平台 Omniverse；10月，社交媒体网站脸书（Facebook）宣布公司改名为 Meta（元宇宙）。11月，软件巨头微软推出新的视频会议软件 Mesh for Teams，以实现全息体验。中国企业同样跃跃欲试，以各种形式进入元宇宙领域。腾讯、阿里巴巴、百度、字节跳动、华为、中国电信等互联网公司或者对元宇宙平台（游戏）进行股权投资，或者准备开发相关产品。工商登记注册数据显示，至少有 960 家公司正在申请包含“元宇宙”名称的商标，申请总量接近 6400 条（天眼查数据研究院，2021）。

目前，并没有一个元宇宙的统一定义。一般认为，元宇宙是整合多种新技术而产生的新型虚实相融的互联网应用和社会形态。它基于扩展现实技术提供沉浸式体验，以及数字孪生技术生成现实世界的镜像，通过区块链技术搭建经济体系，将虚拟世界与现实世界在经济系统、社交系统、身份系统上密切融合，并且允许每个用户进行内容生产和编辑。^① 相对而言，定义元宇宙不是什么比较容易。元宇宙的最早研究者之一鲍尔认为，元宇宙不只是一种虚拟世界或 VR（虚拟现实），也不只是一种数字经济或游戏，也不只是一种新的应用程序（App）或用户原创内容平台（UGC）（Ball，2020）。在他看来，元宇宙至少需要以下八种要素的支撑：硬件（比如 AR、VR），网络，算力，虚拟平台，交换工具和标准，支付手段，内容、服务和资产，用户行为（包括消费、投资和决策）（Ball，2021）。简单地说，元宇宙是一个与现实世界平行的、并且与现实世界实现互动的虚拟世界。乐观地说，元宇宙就是既 PC（电脑）互联网、移动互联网之后的第三代互联网。

本文认为，现阶段的元宇宙具有不完全契约（incomplete contract）的典型特征。因为目前的元宇宙，完全是一种野蛮生长的状态，在很多方面缺乏基本的规则，甚至脱离了政府的监管。第一，在技术标准方面，缺乏互联互通的规则。互联网的本质是联通，因此不同平台开发的各个小元宇宙，必须能够联通才能发挥最大价值。由于元宇宙产业处于萌生初期，不

* 聂辉华，中国人民大学经济学院、中国人民大学企业与组织研究中心，niehuihua@vip.163.com；李靖，中国人民大学经济学院。本文是聂辉华主持的教育部重大课题《深化“放管服”改革促进营商环境持续优化研究》（18JZD048）的阶段成果。本文在华东理工大学哈特合同研究中心报告时，得到 Oliver Hart、蒋士诚、秦向东、王永钦等人的有益评论，特此感谢。

^① 《清华大学：2021 元宇宙发展研究报告》，腾讯网，<https://new.qq.com/rain/a/20210930a0717q00>。

同的元宇宙之间在硬件和软件的兼容标准、用户在不同平台的转换、系统内外的支付标准（例如代币或 NTF）等涉及互联互通的重要事项上，都没有形成共识和国际标准，只能通过双边谈判来解决。而双边谈判又涉及对各方投资成本、权益的计算，但这些关键变量往往是可观察而不可证实的。例如，对于游戏平台来说，决定营业收入的用户日活量（DAU）是一个行业内企业都可以测度和证实的数字，但是它带来的收益却很难向外界证实，也无法转移。在这个意义上，用户日活量类似于企业经理人的在职消费、职业声誉、人力资本积累等私人收益，是一种不可证实、不可转移的变量（Hart and Holmstrom, 2002）。第二，在内容方面，元宇宙里没有明确的道德和法律标准。目前，元宇宙的主要内容是各大平台（例如美国 Roblox）提供的各种游戏。每个玩家都可以自己开发游戏，游戏规则由自己决定，而且游戏之间存在激烈的竞争，开发者必须标新立异。在这种虚拟世界里，玩家可以为所欲为，包括打斗、杀人、组建军队和建立帝国。第三，在产权方面，存在很多模糊地带。不管是数字资产的确权，还是用户数据的所有权和使用权归属，目前都属于法律的灰色地带。此外，还有虚拟世界对现实世界的侵权责任归属问题（类似自动驾驶撞人问题），也缺乏明确的法律法规。第四，在国际监管方面，法律法规非常不完善。在现实世界的国际贸易方面，由于涉及各个国家不同法律体系、行政管理的差异和巨大的协调成本，这导致国际贸易契约通常是高度不完全的（Rodrik, 2000）。在元宇宙里，除了内容的合规性，还涉及货币发行、税收、意识形态、恐怖主义等关乎国家安全和国家主权的问题，并且由于数字技术可以更好地穿越国际贸易壁垒，这就导致元宇宙的国际监管更加不完善。既然元宇宙涉及国家主权和国家安全，那么各个国家之间会为了争夺虚拟世界的控制权或者国际互联网的主导权而竞争，这种国际博弈格局无疑会进一步加剧元宇宙在监管规则方面的不完善和政策不确定性。总而言之，如果把元宇宙内部和不同元宇宙之间的所有交易、协议和互动行为都看作是一种契约的话，那么这种契约在很大程度上体现了不可预见的因素，难以描述的特征以及难以向第三方证实的变量。这种契约是一种典型的不完全契约（Hart, 1995; Tirole, 1999）。

在这样一个不完全契约的世界里，我们关心的是：什么是元宇宙的最优秩序？具体来说，如果每个企业都创办了小的元宇宙，那么不同的元宇宙之间以什么关系共存？它们之间如何互动？什么样的治理机构能够鼓励企业投资并实现利润最大化？为了回答上述问题，本文聚焦于元宇宙的关键问题——互联互通问题。我们假定，如果两个企业（小的元宇宙）能够实现互联互通，就意味着它们之间就技术标准、内容生产、产权和交易规则达成了一致意见。互联互通可以看做是一种介于一体化（integration）和非一体化（non-integration）之间的组织边界。

本文构造了一个不完全契约模型来研究元宇宙的秩序。我们聚焦于互联互通问题，并根据互联互通的程度比较了四种模式：诸侯国模式、联合国模式、大一统模式和区块链模式。我们假设每个企业（小的元宇宙）可以做出两种投资：一种是企业专用性投资，它通过增强企业的特色带来收益；另一种是互联互通投资，它会增加企业的协调收益，但是会导致额外的成本（例如部分深度用户的使用时间下降）。因此，每个企业必须在专用性投资和互联互通投资之间权衡取舍。两种投资的成本和收益都是不可证实的，其投资激励依赖于特定模式。我们发现了如下结论：第一，无论是考虑互联互通的投资，还是考虑社会总福利水平，区块链模式都优于联合国模式，后者又优于诸侯国模式；第二，相对于大企业，小企业更愿意在互联互通方面投资；第三，当互联互通的收益比较低时，两个企业组成一个小的元宇宙比三个企业组建一个大的元宇宙能够带来更多的利润。

本文在以下三个方面对现有文献提供了贡献。第一，本文丰富了不完全契约理论的应用。经典的不完全契约理论假定企业的边界由它所包含的物质资产所构成（Grossman and Hart, 1986; Hart and Moore, 1990）。本文从两个方面扩展了不完全契约理论的应用。一是将不完全契约理论扩展到一个包含了数字资产的虚拟世界之中，并且发现在虚拟世界中（数字）资

产所有权也是重要的，它同样会影响收益分配并进而影响投资激励。二是讨论了一种新的契约关系：互联互通，它既不是两个企业完全独立的非一体化状态，也不是两个企业合并为一家企业的状态。它有点类似于上下游企业之间的供应链关系或者企业联盟（Bolton and Whinston, 1993）。

第二，本文将企业理论和政治经济学文献结合起来。哈特认识到，在不完全契约下，权力是重要的，并且应该是企业理论的核心问题（Hart, 1995）。但是，已有的企业理论在讨论企业的边界或内部组织设计时，主要讨论的权力是资产控制权（例如 Rajan and Zingales, 1998）。本文则将国家竞争引入企业的互联互通问题，除了讨论企业之间的协调问题（Hart and Holmstrom, 2002），还讨论了企业及其背后的国家之间的联盟问题，从而将企业理论和政治经济学结合起来。此外，尽管已有文献讨论了电信企业之间的互联互通问题（例如，Laffont et al., 1997; Armstrong, 1998），但都是基于产业组织理论的视角，而没有考虑不完全契约和国家之间的竞争。

第三，本文为元宇宙文献提供了数理模型。尽管元宇宙已经成为一种热门现象，但是关于元宇宙的学术文献还非常稀少。例如，吴桐、王龙（2021）认为，大型互联网平台构建的元宇宙存在三个缺陷，过于中心化、加剧数据垄断和金融渗透、难以解决互操作性问题（即形成各自封闭的小圈子），因此他们认为基于区块链技术可以实现去中心化，完成数据的确权、定价和交易，应该是未来元宇宙的基本形态。吕鹏（2021）从人的发展视角，指出元宇宙既促进劳动时间的自由，又能促进劳动空间的自由，甚至使得人类有可能在虚拟世界实现永存。方凌智、沈煌南（2021）分析了元宇宙构建的技术基础和人文基础，以及技术、人文的交互促进作用。此外，他们还讨论了元宇宙实现的必然性和元宇宙对产业发展的作用。郑磊、郑扬洋（2021）讨论了元宇宙发展可能存在的问题，包括虚拟数字商品的价格可能导致收入差距扩大，去中心化的区块链技术在中高频交易场合仍很难投入使用，以及元宇宙带来的社会治理和监管难题。与上述文献不同，本文是第一篇构建了元宇宙数理模型的文章，并从经济效率的角度，讨论了元宇宙的治理模式问题。

本文剩余部分的结构是：第二节构建了一个不完全契约理论视角下的互联互通模型；第三节比较了四种元宇宙模式，得出了本文的主要命题或推论；第四节是结论和政策启示。

二、一个不完全契约下的互联互通模型

1、模型假设

在一个元宇宙中，有两个参与者，它们是两个企业或者两个小的元宇宙，记为企业 i ， $i \in \{1,2\}$ 。每个企业都拥有一些资产 A_i ，比如深度活跃用户群、专利、应用场景、算法或设备。这些物质资产或数字资产是可以证实的，并且成为识别企业边界的关键变量（Hart, 1995）。每个企业可以做出企业专用性投资^①（firm-specific investment） e_i ，比如适用于特定客户群体的算法、某些虚拟场景的渲染方法，这样可以通过塑造游戏或社交平台的特色来提高自身价值；也可以做出互联互通的投资 o_i ，通过提高和对方企业在技术、设备、内容等方面的兼容性以及降低用户转换成本，这样可以增加两个企业之间的协调收益。如果两个企业实现了互联互通，那么每个企业的利润为：

$$\pi_i = \alpha_i A_i e_i + \mu \beta_i A_i A_j (o_i + o_j) - \frac{\delta_i}{2} o_i^2 A_i - \frac{1}{2} (e_i + o_i)^2 \quad (1)$$

其中， $j = 3 - i$ ，代表另外一个企业。等式（1）右边第一项代表了企业专用性投资带来的收

^① 这里的企业专用性投资类似于员工为了适应本企业的技能进行的专用性人力资本投资，它不是针对特定交易对象进行的投资。因此，它不同于关系专用性投资（relationship-specific investment）（Hart, 1995）。后者是某个企业为了和签订契约的企业交易而做出的事前专用性投资。

益，第二项代表互联互通带来的收益，第三项代表企业推进互联互通的额外成本，第四项代表企业付出的总投资成本。这样设定的理由是：假设企业进行专用性投资的带来的收益与其用户数量、应用场景等资产正相关；互联互通能够为用户带来更丰富和便捷的体验，为用户创造更大价值，这部分收益与两家企业原本的业务量和两家企业付出的互联互通努力都有正向关系，其中 $\mu \in [0,1]$ ，代表了协调效率；企业 i 为互联互通付出的投资，可能会导致其损失一定的原有收益，这部分损失与企业资产有关，比如开源部分代码意味着放弃部分收费权，允许用户自由转移会存在深度用户将部分精力转移到其他平台的风险，等等。此外， α_i 、 β_i 、 δ_i 分别代表了各项成本、收益的影响程度。对于苹果公司这样已经形成了独立生态的企业来说，用户数比较稳定，在原有系统上继续优化会带来很高收益，一旦开放给竞争对手可能对原有业务造成较大冲击，此时 α_i 和 δ_i 很大， β_i 很小；反之，对于一些初创企业来说， α_i 和 δ_i 很小， β_i 很大。

由于元宇宙里没有统一的法律法规，并且所处的虚拟环境非常复杂和非常独特，因此企业的投资水平、投资成本和收益都是双方可以观察但是难以向第三方证实的。例如，某个企业为了和对方企业互联互通，减少了用户转换成本，但是这种努力的成本和收益很难被法院或者其它第三方所证实。这意味着，双方之间的信息是对称的，但是双方之间的任何协议或交易都是一种不完全契约（Grossman and Hart, 1986）。

如果企业付出努力 e_i 和 o_i ，但是最终两家企业的系统没有互联互通，则企业 i 的利润如下，此时企业没有互联互通的收益，但是也不需要承担互联互通的额外成本。

$$\pi_i = \alpha_i A_i e_i - \frac{1}{2}(e_i + o_i)^2 \quad (2)$$

为了简便，假设两家企业之间的博弈只持续一期，双方均不存在财富约束，也不考虑贴现。博弈时序如下：

- (1) 在日期 0，两个企业签订一个契约，以资产为界确定两者的关系或产权结构；
- (2) 在日期 1，两个企业分别做出专用性投资和（或）互联互通投资；
- (3) 在日期 2，两个企业根据它们之间的关系，通过再谈判分配互联互通产生的收益（如果有的话），最终两个企业都实现利润最大化。

2、四种模式

我们将讨论两个企业或者更多企业之间存在的四种模式（如图 1 所示），或者说四种治理结构。（1）诸侯国模式（Ducal states mode）：两个企业保持独立，但每个企业可以与对方进行单向联通，并且对方不能拒绝。如果联通发生，每个企业单独得到联通带来的协调收益，但必须单独承担联通的成本。接受单向联通的一方可以得到额外的协调收益，且无需为此付费。（2）联合国模式（United Nations mode）：每个企业保持独立，当且仅当双方都同意时，才能进行互联互通。由于投资的成本和收益都是不可证实的，因此在分配互联互通的收益时，会发生再谈判。一方可以拒绝互联互通为威胁来索取更多租金，这就是所谓的敲竹杠（holdup）。我们遵循已有文献的做法（Grossman and Hart, 1986；Hart, 1995），假设双方在再谈判时根据纳什谈判解（Nash bargaining solution）分配互联互通所产生的额外收益，即每个企业得到一半的合作剩余。（3）大一统模式（Single mode）：企业 1 兼并了企业 2，即获得了企业 2 的所有资产，此时两个企业就变成了一个企业内部的两个相对独立的业务单元。企业 1 可以决定是否进行互联互通，并且双方按照纳什谈判解分配协调收益。这意味着，企业 2 的经理人具有一定的人力资本专用性，因此即便失去了资产所有权，也有一定的谈判力。（4）区块链模式（Blockchain mode）：借助区块链技术的可证实性（聂辉华和李靖，2021），所有的成本和收益均可证实，此时双方在事前签订一个智能契约（smart contract），然后根据某个规则分配互联互通产生的收益，没有讨价还价问题。如果互联互通没有发生，则不存在收益分享。注意到，在所有四种模式下，互联互通都是每个企业的内生决策。由于双方能够

预期到各自的投资成本和收益，并且总是可以进行事后科斯式谈判，因此理性的双方一定会在日期 0 选择一种能够实现总利润最大化的契约安排（Hart and Moore, 2008）。这意味着，我们根据逆向归纳法求解每种模式下的博弈问题时，我们得到的解都是约束条件下的最优解。然后，我们对不同模式下的最优解进行比较，进而找出最能够实现社会福利最大化的模式。

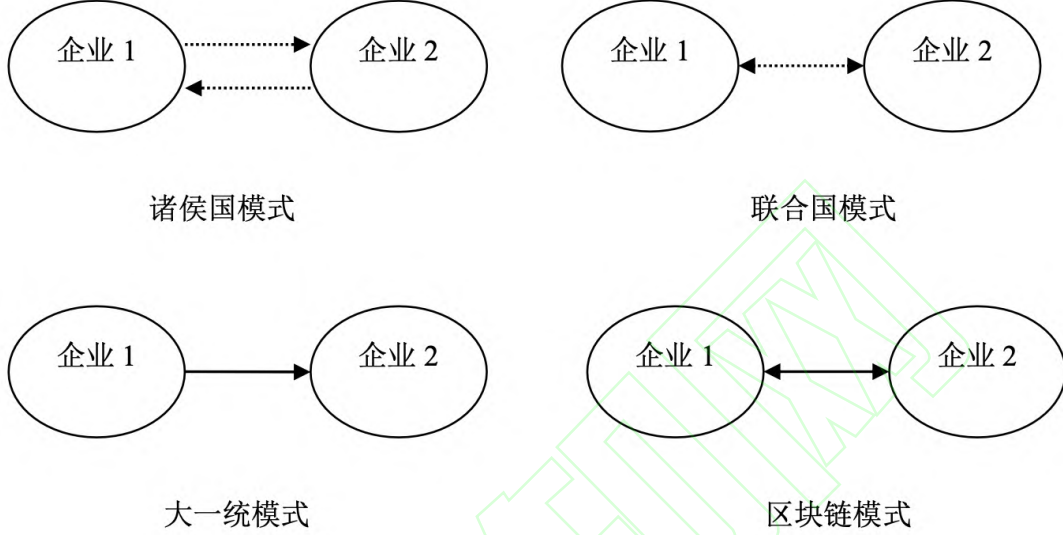


图 1 元宇宙的四种模式

(1) 情形 1: 社会最优

作为一个标尺，我们先考虑最理想的状况“社会最优”（first best）。在社会最优情况下，不存在信息不对称、契约不完全和利益冲突，协调效率达到最高值 1。最大两个企业的总利润，得到社会福利最大化的数学规划：

$$\max_{e_1, o_1, e_2, o_2} \pi_1 + \pi_2 = (\beta_1 + \beta_2)(o_1 + o_2)A_1A_2 + \sum_{i=1,2} \left[\alpha_i A_i e_i - \frac{\delta_i}{2} o_i^2 A_i - \frac{1}{2} (e_i + o_i)^2 \right] \quad (3)$$

s. t. $e_i \geq 0, o_i \geq 0, i \in \{1,2\}$

求解上述规划，得知：当 $(\beta_i + \beta_j)A_iA_j - \alpha_i A_i < \alpha_i \delta_i A_i^2$ 时，企业 i 的最优投资组合为：

$$\begin{cases} o_i^{FB} = \max\left(\frac{(\beta_i + \beta_j)A_j - \alpha_i}{\delta_i}, 0\right) \\ e_i^{FB} = \alpha_i A_i - o_i^{FB} \end{cases} \quad (4)$$

当 $(\beta_i + \beta_j)A_iA_j - \alpha_i A_i \geq \alpha_i \delta_i A_i^2$ 时，企业 i 的最优投资组合为：

$$\begin{cases} o_i^{FB} = \frac{(\beta_i + \beta_j)A_iA_j - \alpha_i A_i}{\delta_i A_i + 1} \\ e_i^{FB} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

由于我们主要关注互联互通投资 o_i ，因此简便起见，假设对于 $i \in \{1,2\}$ ，均有 $(\beta_i + \beta_j)A_iA_j - \alpha_i A_i < \alpha_i \delta_i A_i^2$ ，则不需要考虑专用性投资 e_i 的角点解。此时两个企业的总利润所构成的社会福利水平为：

$$\Pi^{FB} = \pi_1^{FB} + \pi_2^{FB} = \sum_{i=1,2} \frac{1}{2} [\alpha_i^2 A_i^2 + (o_i^{FB})^2 \delta_i A_i] \quad (6)$$

(2) 情形 2: 诸侯国模式

社会最优毕竟只是理想情况。因此, 接下来我们考虑四种在目前以及未来的元宇宙里可能存在的四种模式。首先考虑诸侯国模式。此时, 每个企业的投资水平、投资成本和收益都是不可证实的, 两个企业之间处于一种不完全契约状态。每个企业非合作地做出专用性投资和互联互通投资。每个企业都不能阻止交易对手的单向联通, 并可以从单向联通中获得额外的协调收益, 但不能在事后以中止互联互通为威胁进行敲竹杠。在诸侯国模式下, 企业*i*的利润最大化问题为:

$$\begin{aligned} \max_{e_i, o_i} \pi_i &= \alpha_i A_i e_i + \mu^D \beta_i A_i A_j (o_i + o_j) - \frac{\delta_i}{2} o_i^2 A_i - \frac{1}{2} (e_i + o_i)^2 \quad (7) \\ \text{s. t. } &e_i \geq 0, o_i \geq 0 \end{aligned}$$

企业*i*的最优投资组合为:

$$\begin{cases} o_i^D = \max\left(\frac{\mu^D \beta_i A_j - \alpha_i}{\delta_i}, 0\right) \\ e_i^D = \alpha_i A_i - o_i^D \end{cases}$$

社会福利为:

$$\Pi^D = \pi_1^D + \pi_2^D = \sum_{i=1,2} \frac{1}{2} [\alpha_i^2 A_i^2 + (o_i^D)^2 \delta_i A_i + \mu^D \beta_i o_j^D A_i A_j] \quad (8)$$

当双方协调效率极低, 即 $\mu^D \rightarrow 0$ 时, 可以认为双方无法进行互联互通, 这是一种极端的诸侯国模式。此时有 $o_i^D = 0$, $e_i^D = \alpha_i A_i$, $\Pi^D = \frac{1}{2} [\alpha_1^2 A_1^2 + \alpha_2^2 A_2^2]$ 。

(3) 情形 3: 联合国模式

在联合国模式下, 两个企业仍然保持独立。与诸侯国模式不同的是, 此时只有双方一致同意才能实现互联互通。如果实现了互联互通, 那么双方在不完全契约下根据纳什谈判解分配协调收益; 如果没有实现互联互通, 那么双方将只获得专用性投资带来的收益, 并且没有单向联通的收益。此时, 企业*i*的规划变为

$$\begin{aligned} \max_{e_i, o_i} \pi_i &= \alpha_i A_i e_i + \frac{1}{2} [\mu^U (\beta_i + \beta_j) (o_i + o_j) A_i A_j - \frac{\delta_i}{2} o_i^2 A_i - \frac{\delta_j}{2} o_j^2 A_j] - \frac{1}{2} (e_i + o_i)^2 \quad (9) \\ \text{s. t. } &e_i \geq 0, o_i \geq 0 \end{aligned}$$

企业*i*的最优投资组合为:

$$\begin{cases} o_i^U = \max\left(\frac{\mu^U (\beta_i + \beta_j) A_j - 2\alpha_i}{\delta_i}, 0\right) \\ e_i^U = \alpha_i A_i - o_i^U \end{cases} \quad (10)$$

企业*i*利润为:

$$\pi_i^U = \frac{\alpha_i^2 A_i^2}{2} + \frac{(o_i^U)^2 \delta_i A_i + (o_j^U)^2 \delta_j A_j}{4} + \alpha_j o_j^U A_j \quad (11)$$

社会福利为:

$$\Pi^U = \pi_1^U + \pi_2^U = \sum_{i=1,2} \frac{1}{2} [\alpha_i^2 A_i^2 + (o_i^U)^2 \delta_i A_i + 2\alpha_i o_i^U A_i] \quad (12)$$

(4) 情形 4: 大一统模式

在大一统模式下, 假设企业 1 兼并了企业 2。两个企业合并或者一体化之后, 企业 1 掌握获得了企业 2 的全部资产, 并拥有控制权。两家企业从市场关系变成了企业内部的契约滚西, 相当于一个企业内部的两个经营单元, 它们仍然独立运营、独立决策, 双方在不完全契约下根据纳什谈判解分配互联互通带来的净收益。^① 但是有两点变化: 一是企业 1 从企业 2

^① 之所以如此假设, 是因为哈特指出, 两个企业合并为一个企业之后, 并不会消除企业内部的敲竹杠问题,

那里获得了更多的资产，从而提高了其专用性投资收益和互联互通收益，这可以理解为资产增多导致外部选择权（outside option）提高；二是企业 1 兼并企业 2 之后，可以用命令或权威机制取代价格机制，从而大幅提高内部的协调效率（Coase, 1937; Williamson, 1985），使得互联互通的效率系数 μ 达到最大值 1。

则有，企业 1 的规划问题变为：

$$\begin{aligned} \max_{e_1, o_1} \pi_1 &= \alpha_1(A_1 + \lambda A_2)e_1 + \frac{1}{2}[(\beta_1 + \beta_2)(o_1 + o_2)A_1A_2 - \frac{\delta_1}{2}o_1^2A_1 - \frac{\delta_2}{2}o_2^2A_2] - \frac{1}{2}(e_1 + o_1)^2 \\ \text{s.t. } &e_1 \geq 0, o_1 \geq 0 \end{aligned} \quad (13)$$

企业 2 的规划问题变为：

$$\begin{aligned} \max_{e_2, o_2} \pi_2 &= \frac{1}{2}[(\beta_1 + \beta_2)(o_1 + o_2)A_1A_2 - \frac{\delta_1}{2}o_1^2A_1 - \frac{\delta_2}{2}o_2^2A_2] - \frac{1}{2}(e_2 + o_2)^2 \\ \text{s.t. } &e_2 \geq 0, o_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (14)$$

其中， $\lambda \in [0,1]$ 表示企业 2 的资产对企业 2 经理人专用性人力资本的依赖程度。如果经理人的专用性人力资本完全缺乏，那么 $\lambda = 1$ ；反之， $\lambda = 0$ 。

对企业 1 的利润最大化问题求解后得到：

$$\begin{cases} o_1^S = \max\left(\frac{(\beta_1 + \beta_2)A_1A_2 - 2\alpha_1(A_1 + \lambda A_2)}{\delta_1 A_1}, 0\right) \\ e_1^S = \alpha_1(A_1 + \lambda A_2) - o_1^S \end{cases} \quad (15)$$

对企业 2 的利润最大化问题求解后可以得到：

$$\begin{cases} o_2^S = \frac{(\beta_1 + \beta_2)A_1A_2}{\delta_2 A_2 + 2} \\ e_2^S = 0 \end{cases} \quad (16)$$

与诸侯国模式相比，企业 2 在互联互通方面的投资 o_2 提高了，而专用性投资 e_2 下降为 0。利润变化情况则由参数决定。

企业 1 的利润为：

$$\pi_1^S = \frac{\alpha_1^2(A_1 + \lambda A_2)^2}{2} + \frac{(o_1^S)^2\delta_1 A_1 + (o_2^S)^2(\delta_2 A_2 + 4)}{4} \quad (17)$$

企业 2 的利润为：

$$\pi_2^S = \frac{(o_1^S)^2\delta_1 A_1 + (o_2^S)^2(\delta_2 A_2 + 2)}{4} + \alpha_1(A_1 + \lambda A_2)o_1^S \quad (18)$$

社会福利为：

$$\Pi^S = \pi_1^S + \pi_2^S = \frac{\alpha_1^2(A_1 + \lambda A_2)^2 + (o_1^S)^2\delta_1 A_1 + (o_2^S)^2(\delta_2 A_2 + 3) + 2\alpha_1(A_1 + \lambda A_2)o_1^S}{2} \quad (19)$$

(5) 情形 5：区块链模式

区块链是一种基于互联网的交易记账方式，它具有分布式、防篡改和匿名性的特点（聂辉华和李靖，2021）。假设随着区块链技术的成熟，企业间可以无成本完成信息互认，即企业的投资成本和收益以及参数 α_i 、 β_i 、 δ_i 均可向第三方证实，而且企业 i 可以通过智能契约设计一种支付规则，自动根据 o_j 向企业 j 支付报酬，无需进行事后谈判。假设由企业 1 制定规则，博弈时序如下。在日期 1/3，企业 1 设定利润转移系数 τ ， $\tau \in [0,1]$ ；在日期 2/3，企业 1 和企业 2 各自选择投资水平 e_i 和 o_i ；在日期 1，双方互联互通，产出实现，然后企业 1 向企业 2 自动支付 $\tau\beta_1 A_1 A_2 o_2$ ，企业 2 自动向企业 1 支付 $\tau\beta_2 A_1 A_2 o_1$ 。

只是敲竹杠的形式发生了变化（Hart, 1995）。这一点不同于 Williamson（1985）的假设，后者认为一体化会消除敲竹杠问题。

在时期 1, τ 已经确定, 此时, 企业 i 的规划问题为:

$$\max_{e_i, o_i} \pi_i = \alpha_i A_i e_i + \mu^B [(\beta_i + \tau \beta_j) o_i + (1 - \tau) \beta_i o_j] A_i A_j - \frac{\delta_i}{2} o_i^2 A_i - \frac{1}{2} (e_i + o_i)^2 \quad (20)$$

企业 i 的最优投资组合为:

$$\begin{cases} o_i^B(\tau) = \max\left(\frac{\mu^B(\beta_i + \tau \beta_j) A_j - \alpha_i}{\delta_i}, 0\right) \\ e_i^B(\tau) = \alpha_i A_i - o_i^B(\tau) \end{cases} \quad (21)$$

将 $e_1^B(\tau)$ 、 $o_1^B(\tau)$ 和 $o_2^B(\tau)$ 代入企业 1 的利润函数, 可以得到企业 1 在日期 1/3 的规划:

$$\begin{aligned} \max_{\tau} \pi_1^B(\tau) &= \alpha_1 A_1 \left[\alpha_1 A_1 - \max\left(\frac{\mu^B(\beta_1 + \tau \beta_2) A_2 - \alpha_1}{\delta_1}, 0\right) \right] + \mu^B A_1 A_2 \left[(\beta_1 + \right. \\ &\tau \beta_2) \max\left(\frac{\mu^B(\beta_1 + \tau \beta_2) A_2 - \alpha_1}{\delta_1}, 0\right) + (1 - \tau) \beta_1 \max\left(\frac{\mu^B(\beta_2 + \tau \beta_1) A_1 - \alpha_2}{\delta_2}, 0\right) \left. \right] - \\ &\frac{\delta_1 A_1}{2} \max\left(\frac{\mu^B(\beta_1 + \tau \beta_2) A_2 - \alpha_1}{\delta_1}, 0\right)^2 - \frac{1}{2} (\alpha_1 A_1)^2 \quad (22) \\ &\text{s.t. } \tau \in [0, 1] \end{aligned}$$

当 $\mu^B \beta_1 A_2 > \alpha_1$ 且 $\mu^B \beta_2 A_1 > \alpha_2$ 时, 对于任意的 $\tau \in [0, 1]$ 均有 $o_i^B(\tau) > 0$, 上式对 τ 求解一阶条件, 可以得到企业 1 设定的最优利润转移系数为:

$$\tau^B = \frac{\mu^B \delta_1 \beta_1^2 A_1 + \mu^B (\delta_2 A_2 - \delta_1 A_1) \beta_1 \beta_2 + \delta_1 \beta_1 \alpha_2 - \delta_2 \beta_2 \alpha_1}{\mu^B (2 \delta_1 \beta_1^2 A_1 - \delta_2 \beta_2^2 A_2)} \quad (23)$$

最优利润转移系数 τ 的存在, 表明理论上我们可以通过机制设计来实现区块链技术。此时, 企业 i 的利润为:

$$\pi_i^B(\tau^B) = \frac{1}{2} [\alpha_i^2 A_i^2 + \delta_i A_i (o_i^B(\tau^B))^2] + \mu^B (1 - \tau^B) \beta_i A_i A_j o_j^B(\tau^B) \quad (24)$$

社会福利为:

$$\begin{aligned} \Pi^B(\tau^B) &= \pi_1^B(\tau^B) + \pi_2^B(\tau^B) = \sum_{i=1,2} \frac{1}{2} \left[\alpha_i^2 A_i^2 + (o_i^B(\tau^B))^2 \delta_i A_i \right] + \mu^B (1 - \\ &\tau^B) [\beta_1 o_2^B(\tau^B) + \beta_2 o_1^B(\tau^B)] A_1 A_2 \quad (25) \end{aligned}$$

三、元宇宙的最优秩序分析

1、企业同质情形

在两个企业完全同质时, 哪种元宇宙的秩序接近社会最优呢? 此时, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, $\beta_1 = \beta_2 = \beta$, $\delta_1 = \delta_2 = \delta$, $A_1 = A_2 = A$ 。为了方便比较, 我们假设 $\mu^D = \mu^U = \mu^B = \mu$, 即企业不合并时, 无论选择什么样的治理结构, 两家企业之间的协调效率是相同的, 并记 $\theta \equiv \beta/\alpha$ 。通过比较不同模式下的互联互通投资水平, 可以得到命题 1。^①

命题 1: 当 $\theta < (\delta A + 1)/2A$ 时,

- (1) 对于任意的 θ 和 μ , 均有 $o^{FB} \geq o^B \geq o^U \geq o^D$;
- (2) 对于 $\lambda \in (0, 1)$, $o_1^S + e_1^S > \alpha A > o_2^S + e_2^S$;
- (3) 当 $\mu \geq 1 - \lambda/\theta A$ 时, $o^U \geq o_1^S$, 反之则 $o^U \leq o_1^S$; 对于任意的 μ , 均有 $o^U < o_2^S$;
- (4) 当 $\mu \geq 1 - (1 + 2\lambda)/2\theta A$ 时, $o^B \geq o_1^S$, 反之则 $o^B \leq o_1^S$;
- (5) 当 $\theta < (\delta A + 2)/4A$ 时, 对于任意的 μ , 均有 $o^B < o_2^S$; 反之, 若 $\mu \geq 1 - \frac{4\theta A - \delta A - 2}{2(\delta A + 2)\theta A}$,

^① 本文所有命题的证明过程放在附录中。

则 $o^B \geq o_2^S$, 若 $\mu < 1 - \frac{4\theta A - \delta A - 2}{2(\delta A + 2)\theta A}$, 则 $o^B < o_2^S$ 。

命题 1 的经济学含义如下：

(1) 企业 i 的互联互通投资水平在区块链模式下最高，在联合国模式下次之，在诸侯国模式下最弱，且三种模式下的互联互通投资水平均低于社会最优水平。这是因为，在诸侯国模式下，企业 i 仅能从自身的互联互通投入中获得部分利润，同时要完全承担开放成本，而企业 j 搭便车不需要承担任何成本，并可以获得一定的净利润。因此，企业 i 缺乏足够的激励去投资于互联互通。类似地，在联合国模式下，双方根据纳什谈判解分配互联互通的净利润，这会导致企业 i 在互联互通方面的投入积极性下降。在区块链模式下，所有变量均可证实，又借助智能契约，此时企业的投资不存在外部性，低效率的唯一来源是协调效率系数，因此投资于互联互通的激励最高。

(2) 在大一统模式下，企业 1 收购了企业 2 的资产，而投资收益与企业资产规模有关，因此企业 1 的总投资力度增大，而企业 2 的总投资力度减小。这符合经典的企业的产权理论：权力（产权或控制权）是重要的，因为它影响了企业的投资激励（Hart, 1995）。

(3) 在大一统模式下，失去资产的企业 2 在总投资水平上减小了，因此只能全部投资于互联互通，这使得企业 2 投资于互联互通的激励很高。相反，企业 1 虽然总投资力度增大了，但是因为企业专用性投资可以获得更高的保留收益，所以投资于互联互通的激励减少了。在联合国模式下， o^U 是 μ 的增函数。当 μ 比较大的时候，联合国模式下投资于互联互通的激励也很高，可能会超过大一统模式下企业 1 投资于互联互通的力度，但是即使 $\mu = 1$ ，也仍然低于大一统模式下企业 2 投资于互联互通的力度。

(4) 类似于联合国模式，在区块链模式下， o^B 也是 μ 的增函数。当 θ 和 μ 都较大的时候，区块链模式下的互联互通水平将是所有模式下最高的。反之，如果 μ 比较低，区块链模式下的互联互通水平可能会低于大一统模式。也就是说，区块链技术虽然可以在理论上解决变量的不可证实问题，但若其协调效率较低的话，投资激励未必超过一体化状态（大一统）。

根据命题 1，可以得到实现社会最优的两个必要条件：一是区块链技术成熟，使得每个企业对网络发展的贡献能够得到证实，从而减少不完全契约和专用性投资导致的敲竹杠问题；二是企业间协调效率的提升，这主要依赖于全网能否形成互联互通的统一规则。

推论 1： 当两个企业完全同质时，对于任意的 θ 和 μ ， $\Pi^B \geq \Pi^U \geq \Pi^D$ 。

推论 1 的含义是，因为互联互通相比于各自封闭能够为社会整体带来正的净收益，相当于创造了一种正的外部性。因此，从社会福利的角度讲，哪种模式带来的互联互通投资水平越高，哪种模式带来的社会福利水平就越高。根据命题 1 的主要结论 $o^B > o^U \geq o^D$ ，我们发现：区块链模式带来的社会福利水平最高，联合国模式次之，诸侯国模式最低。大一统模式无法与诸侯国模式和联合国模式直接相比，因为它在增加了企业 1 的利润时，又减少了企业 2 的利润。

推论 2： 当 $\theta > \frac{\sqrt{2\delta A + 4}}{2A}$ 时， $\pi_2^S > \frac{\alpha^2 A^2}{2}$ ，若此时有 $\mu < \frac{1}{2\theta A}$ ，则有 $\pi_2^S > \pi^B$ 。

推论 2 的经济学含义是，大一统模式相比于其他模式的主要优势是提高了协调效率，但代价是降低了企业 2 的总努力水平。如果互联互通的收益足够高，且企业合并带来的协调效率提升足够大，大一统模式下企业 2 的收益将超过区块链模式。推论 2 是一个有趣的发现。因为根据经典的企业产权理论，被兼并的企业会因为失去控制权而降低专用性投资激励，从而利润水平下降（Hart, 1995）。但推论 2 表明，一旦我们考虑了互联互通带来的协调收益，那么被兼并未一定是坏事！^①

^① Cai (2003) 在模型中引入了专用性投资和通用性投资，发现当两种投资是互补的时，联合所有权 (joint ownership) 通过抑制通用性投资而鼓励了专用性投资，从而优于其它所有权。本文与其相反，强调的是互

推论 3: 当 $\lambda < \sqrt{2} - 1$ 时, 存在一个 $\underline{\theta}$, 使得 $\theta < \underline{\theta}$ 时, 对于任意的 $\mu \in [0, 1]$, 均有 $\Pi^S < \Pi^D$ 。当 $\theta > \max(\underline{\theta}, \frac{1}{2A})$ 时, 存在关于 θ 的函数 $\bar{\mu}^B$, 满足 $\frac{1}{2\theta A} < \bar{\mu}^B(\theta) \leq 1$, 若 $\mu < \bar{\mu}^B(\theta)$, 则有 $\Pi^S > \Pi^B$; 若 $\mu > \bar{\mu}^B(\theta)$, 则有 $\Pi^B > \Pi^S$; 若 $2(2\lambda + 1)(2\lambda + 2) < \lambda(\lambda + 2)\delta A$, 且 $\theta > \max(\frac{\delta A + 2}{4A}, \frac{1 + \lambda}{A})$ 时, $\bar{\mu}^B(\theta) < 1$ 。

推论 3 的经济学含义是, 在元宇宙发展的初期, 因为各个主体的专用性投资非常重要, 如果企业合并后的规模效应不强, λ 比较小, 则此时诸侯国模式是最优的; 在元宇宙发展的中期, 专用性投资的重要性下降, 协调(互联互通)的重要性上升了, 此时大一统模式是最优的; 在元宇宙发展的成熟阶段, 互联互通的重要性上升, 互联互通的规则已有共识, 则区块链模式在激励企业互联互通方面最有效, 社会福利水平最高。

2、企业异质情形

企业异质分为很多种情形, 本文重点关注企业规模异质性带来的影响。此时, 仍然假设 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, $\beta_1 = \beta_2 = \beta$, $\delta_1 = \delta_2 = \delta$, $\mu^D = \mu^U = \mu^B = \mu$, 但 $A_1 \neq A_2$ 。不失一般性, 假设 $A_1 > A_2$ 。它类似于这样一种市场结构: 企业 1 是一个掌握垄断地位的大企业, 企业 2 是一个规模较小的初创企业。

命题 2: 当两个企业完全其他属性完全相同, 但 $A_1 > A_2$ 时:

(1) 在所有模式下, 对于任意的 μ 和 θ , 均有 $o_2 \geq o_1$;

(2) 在区块链模式下, $\frac{\partial \tau^B}{\partial A_1} < 0$, 且 $\lim_{A_1 \rightarrow +\infty} \tau^B = 0$ 。

命题 2 的经济学含义为, 小企业相比于大企业更愿意在互联互通方面加强投入。在现实中, 这可能是由于小企业自身的客户群不多, 独立拓展业务能够接触到的潜在客户有限, 只有与大企业互联互通才能快速拓展业务。在区块链模式下, 仍然是小企业更有动力推进互联互通, 而大企业通过互联互通得到的收益不高, 更希望搭便车, 借助小企业的努力直接分得收益。如果区块链模式下智能契约由大企业制定, 且企业规模差距极为悬殊, 区块链模式将退化成诸侯国模式。根据命题 1 和推论 1, 诸侯国模式的社会福利水平是最低的。因此, 我们可以得到实现社会最优的第三个必要条件: 市场结构应该比较平均, 企业大小相似, 不能一家独大。

3、企业(国家)之间的联盟问题

由于企业可以通过元宇宙发行货币, 影响舆论, 并进而主导虚拟世界的控制权, 所以政府为了国家安全和国家主权可能会进行干预。假设有三个国家, 各自拥有一个内部互联互通的元宇宙平台(或小的元宇宙), 并且三个国家有两种意识形态或者政治制度, 那么此时可能出现一种国家联盟的情况。我们关心的是, 如果两个国家为了共同的意识形态或政治目的, 联合起来与第三个国家争夺元宇宙的规则主导权, 那么这种国家联盟是一种稳定的均衡吗?

为了分析三个国家的情形, 我们假设三个企业(国家)处于联合国模式, 并且三个企业是同质的。若三个企业均进行了互联互通投资, 则企业间的互联互通只有在所有参与方均同意的情况下才能进行, 如果有一方不同意则无法联通。博弈时序与两个企业时相同, 即所有企业先做出专用性投资和针对另外两个企业的互联互通投资, 然后所有企业根据纳什谈判解分配互联互通产生的额外收益。此时, 企业 1 的规划变为:

$$\max_{e_1, o_1} \pi_1 = \alpha A e_1 + \frac{1}{3} [2\mu^U \beta (o_{12} + o_{21} + o_{13} + o_{31} + o_{23} + o_{32}) A^2 - \frac{\delta}{2} (o_{12}^2 + o_{13}^2 + o_{21}^2 +$$

$$o_{23}^2 + o_{31}^2 + o_{32}^2)A] - \frac{1}{2}(e_1 + o_{12} + o_{13})^2 \quad (26)$$

$$\text{s. t. } e_1 \geq 0, o_{12} \geq 0, o_{13} \geq 0$$

企业 2 和企业 3 的规划类似，不再列出。求解一阶条件，可得

$$\begin{cases} o_{12} = o_{13} = \tilde{o}^U = \max\left(\frac{2\mu^U\beta A - 3\alpha}{\delta}, 0\right) \\ e_1 = \alpha A - o_{12} - o_{13} \end{cases} \quad (27)$$

类似的，可得 $o_{21} = o_{23} = o_{31} = o_{32} = \tilde{o}^U$ ，以及 $e_2 = e_3 = e_1$ ，于是

$$\tilde{\pi}_1 = \frac{\alpha^2 A^2}{2} + \frac{(o^*)^2}{3} \delta A + \frac{1}{3} [2\mu^U \beta (o_{21} + o_{23} + o_{31} + o_{32}) A^2 - \frac{\delta}{2} (o_{21}^2 + o_{23}^2 + o_{31}^2 + o_{32}^2) A]$$

社会福利为：

$$\begin{aligned} \tilde{\Pi}^U &= \tilde{\pi}_1 + \tilde{\pi}_2 + \tilde{\pi}_3 = \frac{3\alpha^2 A^2}{2} + 8\mu^U \beta A^2 o^* - \delta A (o^*)^2 \\ &= \frac{3\alpha^2 A^2}{2} + 8\mu^U \beta A^2 \max\left(\frac{2\mu^U \beta A - 3\alpha}{\delta}, 0\right) - \delta A \max\left(\frac{2\mu^U \beta A - 3\alpha}{\delta}, 0\right)^2 \end{aligned}$$

如果有两个企业结盟，不与第三个企业联通，则结盟企业的收益与前文两个企业的情况相同，未结盟企业的收益为完全封闭时的收益 $\frac{\alpha^2 A^2}{2}$ ，此时的社会福利为：

$$\Pi = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = \frac{3\alpha^2 A^2}{2} + 4\mu^U \beta A^2 \max\left(\frac{2\mu^U \beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right) - \delta A \max\left(\frac{2\mu^U \beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right)^2$$

由此，可以得到命题 3。

命题 3：当存在三个企业（国家）时，若两个企业结盟，并拒绝与第三个企业互联互通，

那么：（1）结盟企业间互联互通力度会加强；（2）当 $\frac{1}{\mu^U A} < \theta < \frac{2+\sqrt{6}}{2\mu^U A}$ 时，企业结盟后的利润比结盟前和全面互联互通都更高。

命题 3 的含义是，尽管交易对象增加会在互联互通带来的利润较高时带来更高收益，但是增加交易对象意味着协调成本的增加，这会降低企业对每一种双边互联互通的投入激励。当互联互通带来的收益比较低时，企业间组成“小圈子”比建立一个全面互联互通的网络能获得的利润更高。这说明，在争夺互联网主导权的“三国演义”中，两个企业结盟排斥第三个企业，可以构成一个稳定的均衡。这一结论对于我们理解国际互联网控制权竞争具有重要的意义。

四、结论和政策含义

元宇宙代表着人们对下一代互联网的构想，因此对元宇宙的研究具有重要的理论意义和现实价值。本文把元宇宙理解为一个不完全契约的世界，并讨论了什么是最优的元宇宙秩序。我们比较了四种元宇宙的治理结构：诸侯国模式、联合国模式、大一统模式和区块链模式。我们认为：（1）区块链模式优于联合国模式，联合国模式优于诸侯国模式；（2）相对于大企业，小企业更愿意在互联互通方面投资；（3）当协调成本较高时，两个企业组成一个联盟与第三个企业对抗是一种均衡。

本文的研究对元宇宙治理以及对我国争取国际互联网主导权提供了重要的政策含义。

首先，不同的发展有不同的元宇宙最佳模式。在元宇宙发展的初期，各个元宇宙平台规模较小，规模效应不显著，同时每个元宇宙平台的专用性投资非常重要，此时诸侯国模式是最佳的；在元宇宙发展的中期，元宇宙的规模效应比较明显，而专用性投资的重要性下降，

此时大一统模式是最佳的;在元宇宙发展的成熟阶段,互联互通带来的网络外部性更加重要,并且互联互通的规则逐渐形成了共识,此时区块链模式是最佳的。

其次,推动元宇宙平台产业大力发展,关键是推动区块链技术落地,提高元宇宙平台企业之间的协调效率,并且鼓励元宇宙企业均匀发展。目前,我国的元宇宙产业在硬件设备方面具有一定的优势,但元宇宙平台之间缺乏互联互通,并且企业规模不均匀。下一步的政策要鼓励元宇宙企业百花齐放,防止一家独大,这样才能通过同质竞争提高整个产业的效率。

再次,鼓励国内元宇宙平台做大,并利用中国网民数量大、数字经济发达的优势,进一步走出国门,争取元宇宙的国际规则主导权。目前,美国企业在元宇宙产业中占据了技术优势,韩国和日本政府对此高度重视。例如,2021年5月18日,韩国科学技术和信息通信部发起成立了“元宇宙联盟”,成员包括三星、韩国电信(KT)、SK电信、现代汽车等500多家公司和机构。日本经济产业省发布了《关于虚拟空间行业未来可能性与课题的调查报告》,指导元宇宙产业的发展。中国必须利用后发优势,迎头赶上。2021年12月21日,上海市委经济工作会议指出,要引导企业加紧研究未来虚拟世界与现实社会相交互的重要平台,高度重视终端产品具有的技术迭代主导权、行业标准定义权、价值格局分配权。我们认为,这是非常有远见的政策。

参考文献

- 方凌智、沈煌南,2021,《技术和文明的变迁:元宇宙的概念研究》,《产业经济评论》,即将发表。
- 聂辉华、李靖,2021,《区块链经济学的形成与展望》,《浙江工商大学学报》,第5期。
- 天眼查数据研究院,2021,《时代微光 大国气象——天眼查2021年年终盘点报告》。
- 吴桐、王龙,2021,《元宇宙:一个广义通证经济的实践》,《东北财经大学学报》,即将发表。
- 吕鹏,2021,《“元宇宙”技术:促进人的自由全面发展》,《产业经济评论》,即将发表。
- 郑磊、郑扬洋,2021,《“元宇宙”经济的非共识》,《产业经济评论》,即将发表。
- Armstrong, Mark, 1998, “Network Interconnection in Telecommunications”, *Economic Journal*, 108(448): 545-564.
- Ball, Matthew, 2020, “The Metaverse: What It Is, Where to Find it, and Who Will Build It”, <https://www.matthewball.vc/all/themetaverse>.
- Ball, Matthew, 2021, “Framework for the Metaverse”, <https://www.matthewball.vc/all/forwardtothemetaverseprimer>.
- Bolton, Patrick, and M. Whinston, 1993, “Incomplete Contracts, Vertical Integration, and Supply Assurance”, *Review of Economic Studies* 60: 121-148
- Cai, Hongbin, 2003, “A theory of Joint Asset Ownership”, *Rand Journal of Economics*, 34(1): 63-77.
- Coase, Ronald, 1937, “The Nature of the Firm”, *Economica*, 4(16): 386-405
- Grossman, Sanford J., and Oliver D. Hart, 1986. “The costs and benefits of ownership: A theory of vertical and lateral integration.” *Journal of political economy*, 94(4): 691-719.
- Hart, Oliver D., 1995, *Firm, Contract and Financial Structure*, New York: Oxford University Press.
- Hart, Oliver D., and Bengt Holmstrom, 2002, “A Theory of Firm Scope”, http://papers.ssrn.com/abstract_id=355860.
- Hart, Oliver D., and John Moore, 1990, “Property Rights and Nature of the Firm”, *Journal of*

Political Economy, 98(6): 1119-1158.

Hart, Oliver D., and John Moore, 2008, “Contracts as Reference Points”, *Quarterly Journal of Economics*, 123(1): 1-48.

Laffont, Jean-Jacques, Patrick Rey, Jean Tirole, 1997, “Network competition: I. Overview and nondiscriminatory pricing; II. Discriminatory pricing”, *Rand Journal of Economics*, 29(1): 1-37.

Rajan, Raghuram G., and Luigi Zingales, 1998, “Power in a Theory of the Firm”, *Quarterly Journal of Economics*, 2: 387-432.

Rodrik, Dani, 2000, “How Far Will International Economic Integration Go?,” *Journal of Economic Perspectives*, 14(1): 177-86.

Tirole, Jean, 1999, “Incomplete Contracts: Where Do We Stand?” *Econometrica*, 67(4): 741-781.

Williamson, Oliver, 1985, *The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting*, New York: Free Press.

The Order of the Metaverse: A Perspective of Incomplete Contract Theory

Huihua NIE (Renmin University of China)

Jing LI (Renmin University of China)

Abstract: This paper argues that nowadays metaverse is a world with incomplete contracts, and analyzes the order of the metaverse from the perspective of incomplete contract theory. We focus on interconnection under four modes: Ducal states mode, Single mode, United Nations mode and Blockchain mode. We find that: (1) Whether considering the investment in interconnection or the social welfare, the Blockchain mode is superior to the United Nations mode, which is superior to the Ducal states mode; (2) Compared with large firms, small firms are more willing to invest in interconnection; (3) When coordination benefits are relatively low, two firms forming a small metaverse can bring more profits than three firms forming a large metaverse. This paper provides theoretical support for the governance of the metaverse and the dominance of the Internet.

Key words: Metaverse, digital economy, interconnection, incomplete contracts

附录

1、命题 1 的证明。

在社会最优、诸侯国、联合国、区块链模式下，两个企业是完全对称的，因此省略这四种模式下的企业下标 i 。我们先提供各个模式下企业在互联互通上的投入 o 以及社会福利 Π 的简化形式。

在社会最优模式下，企业在互联互通方面的投入为：

$$o^{FB} = \max\left(\frac{2\beta A - \alpha}{\delta}, 0\right)$$

社会福利为：

$$\Pi^{FB} = \alpha^2 A^2 + \max\left(\frac{2\beta A - \alpha}{\delta}, 0\right)^2 * \delta A$$

在诸侯国模式下，企业在互联互通方面的投入为：

$$o^D = \max\left(\frac{\mu\beta A - \alpha}{\delta}, 0\right)$$

社会福利为:

$$\Pi^D = \alpha^2 A^2 + \delta A \max\left(\frac{\mu\beta A - \alpha}{\delta}, 0\right)^2 + 2\mu\beta A^2 \max\left(\frac{\mu\beta A - \alpha}{\delta}, 0\right)$$

在联合国模式下, 企业在互联互通方面的投入为:

$$o^U = \max\left(\frac{2\mu\beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right)$$

社会福利为:

$$\Pi^U = \alpha^2 A^2 + \delta A \max\left(\frac{2\mu\beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right)^2 + 2\alpha A \max\left(\frac{2\mu\beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right)$$

在大一统模式下, 企业 1 和企业 2 在互联互通方面的投入分别为:

$$o_1^S = \max\left(\frac{2\beta A - 2\alpha(1+\lambda)}{\delta}, 0\right)$$

$$o_2^S = \frac{2\beta A^2}{\delta A + 2}$$

企业 1 利润为:

$$\pi_1^S = \frac{(1+\lambda)^2 \alpha^2 A^2}{2} + \frac{(o_1^S)^2 \delta A + (o_2^S)^2 (\delta A + 4)}{4}$$

企业 2 利润为:

$$\pi_2^S = \frac{(o_1^S)^2 \delta A + (o_2^S)^2 (\delta A + 2)}{4} + (1+\lambda)\alpha A o_1^S$$

社会福利为:

$$\Pi^S = \pi_1^S + \pi_2^S = \frac{(1+\lambda)^2 \alpha^2 A^2 + (o_1^S)^2 \delta A + (o_2^S)^2 (\delta A + 3) + 2(1+\lambda)\alpha A o_1^S}{2}$$

在区块链模式下, 可以求得 $\tau^B = 1$, 此时, 企业在互联互通方面的投入为:

$$o^B = \max\left(\frac{2\mu\beta A - \alpha}{\delta}, 0\right)$$

社会福利为:

$$\Pi^B = \alpha^2 A^2 + \delta A \max\left(\frac{2\mu\beta A - \alpha}{\delta}, 0\right)^2$$

比较各种模式下的 e_i 和 o_i , 可以得到命题 1 对应的 5 个要点。

(1) 对于任意的 θ 和 μ , 均有 $o^{FB} \geq o^B \geq o^U \geq o^D$ 。由于 $\theta < (\delta A + 1)/2A$, $(2\beta A - \alpha)/\delta - \alpha A = (2\theta A - \delta A - 1)\alpha/\delta < 0$, 因此 $o^{FB} = \max((2\beta A - \alpha)/\delta, 0) < \alpha A$, 进而可知 $e^D \geq e^U \geq e^B \geq e^{FB} > 0$, 此时有 $o^{FB} + e^{FB} = o^B + e^B = o^U + e^U = o^D + e^D = \alpha A$ 。

(2) 当 $\lambda > 0$ 时, $o^{FB} \geq o_1^S$, $o_1^S + e_1^S = (1+\lambda)\alpha A > \alpha A$ 。根据前文计算, $e_2^S = 0$, $o_2^S - \alpha A = \frac{(2\theta A - \delta A - 2)\alpha A}{\delta A + 2}$ 。由于 $\theta < (\delta A + 1)/2A$, 所以 $2\theta A - \delta A - 2 < 0$, 继而可知 $\alpha A > o_2^S + e_2^S$ 。

(3) 由于 $\frac{2\mu\beta A - 2\alpha}{\delta} - \frac{2\beta A - 2\alpha(1+\lambda)}{\delta} = \frac{2\alpha(\mu\theta A - \theta A - \lambda)}{\delta}$, 当 $\mu \geq 1 - \lambda/\theta A$ 时, $\frac{2\alpha(\mu\theta A - \theta A - \lambda)}{\delta} \geq 0$,

$o^U \geq o_1^S$; 当 $\mu < 1 - \lambda/\theta A$ 时, $\frac{2\alpha(\mu\theta A - \theta A - \lambda)}{\delta} < 0$, 但是 o^U 和 o_1^S 可能同时取得角点解 0, 因此

$o^U \leq o_1^S$ 。 $\frac{2\mu\beta A - 2\alpha}{\delta} - \frac{2\beta A^2}{\delta A + 2} = \frac{(2\mu\beta A - 2\alpha)(\delta A + 2) - 2\delta\beta A^2}{\delta(\delta A + 2)} \leq \frac{(2\beta A - 2\alpha)(\delta A + 2) - 2\delta\beta A^2}{\delta(\delta A + 2)} = \frac{2\alpha(2\theta A - \delta A - 2)}{\delta(\delta A + 2)} < 0$,

所以，对于任意的 $\mu \in [0,1]$ ，均有 $o^U = \max\left(\frac{2\mu\beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right) < o_2^S$ 。

(4) 由于 $\frac{2\mu\beta A - \alpha}{\delta} - \frac{2\beta A - 2\alpha(1+\lambda)}{\delta} = \frac{\alpha(2\mu\theta A - 2\theta A + 1 + 2\lambda)}{\delta}$ ，类似于(3)的证明，可知当 $\mu \geq 1 - (1 + 2\lambda)/2\theta A$ 时， $o^B \geq o_1^S$ ，反之则 $o^B \leq o_1^S$ 。

(5) 由于 $\frac{2\mu\beta A - \alpha}{\delta} - \frac{2\beta A^2}{\delta A + 2} = \frac{2\mu\theta A(\delta A + 2) - \delta A - 2 - 2\theta\delta A^2}{\delta(\delta A + 2)}\alpha$ ，可知若 $\mu \geq 1 - \frac{4\theta A - \delta A - 2}{2(\delta A + 2)\theta A}$ ，则 $o^B \geq o_2^S$ ，若 $\mu < 1 - \frac{4\theta A - \delta A - 2}{2(\delta A + 2)\theta A}$ ，则 $o^B < o_2^S$ 。当 $\theta < (\delta A + 2)/4A$ 时，由于 $\mu \leq 1$ ， $\mu < 1 - \frac{4\theta A - \delta A - 2}{2(\delta A + 2)\theta A}$ 一定成立，此时对于任意的 μ ，均有 $o^B < o_2^S$ 。

2、推论 1 的证明。

由于企业完全同质，在这三种模式下，将社会总福利写作 o 的函数，则

$$\begin{aligned}\Pi(o) &= \alpha^2 A^2 + 4\mu\beta A^2 o - 2\alpha A o - \delta A o^2 \\ \frac{\partial \Pi}{\partial o} &= 2(2\mu\beta A - \alpha - \delta o)A\end{aligned}$$

当 $o < \frac{2\mu\beta A - \alpha}{\delta}$ 时， $\frac{\partial \Pi}{\partial o} > 0$ 。当 $2\mu\theta A > 1$ 时， $o^B = \frac{2\mu\beta A - \alpha}{\delta} > o^U \geq o^D$ ，此时有 $\Pi^B > \Pi^U \geq \Pi^D$ ；当 $2\mu\theta A \leq 1$ 时， $o^B = o^U = o^D = 0$ ，此时有 $\Pi^B = \Pi^U = \Pi^D$ 。因此，对于任意的 θ 和 μ ，均有 $\Pi^B \geq \Pi^U \geq \Pi^D$ 。

3、推论 2 的证明。

证明：由于 $o_1^S \geq 0$ ， $o_2^S > 0$ ，如果忽略 o_1^S 只考虑 o_2^S ，则有

$$\pi_2^S = \frac{(o_1^S)^2 \delta A + (o_2^S)^2 (\delta A + 2)}{4} + (1 + \lambda)\alpha A o_1^S \geq \frac{(o_2^S)^2 (\delta A + 2)}{4} = \frac{\theta^2 A^2}{\delta A + 2} \alpha^2 A^2$$

当 $\theta > \frac{\sqrt{2\delta A + 4}}{2A}$ 时， $\pi_2^S > \frac{\alpha^2 A^2}{2}$ 。若同时有 $\mu < \frac{1}{2\theta A}$ ，则 $o^B = \max\left(\frac{2\mu\theta A - 1}{\delta} \alpha, 0\right) = 0$ ，此时有 $\pi^B = \frac{\alpha^2 A^2}{2}$ ，则 $\pi_2^S > \pi^B$ 。

4、推论 3 的证明。

Π^D 是关于 μ 的增函数，对于任意的 $\mu \in [0,1]$ ，一定有 $\Pi^D(\mu, \theta, \alpha) \geq \Pi^D(0, \theta, \alpha) = \alpha^2 A^2 / 2$ 。将 Π^S 写成 θ 和 α 的函数，则

$$\begin{aligned}\Pi^S(\theta, \alpha) &= \frac{(1 + \lambda)^2}{2} \alpha^2 A^2 + \frac{\delta \alpha^2 A}{2} \max\left(\frac{2\theta A - 2 - 2\lambda}{\delta}, 0\right)^2 \\ &\quad + (1 + \lambda)\alpha^2 A \max\left(\frac{2\theta A - 2 - 2\lambda}{\delta}, 0\right) + \frac{2(\delta A + 3)\theta^2 A^2}{(\delta A + 2)^2} \alpha^2 A^2\end{aligned}$$

$\Pi^S(0, \alpha) = \frac{(1 + \lambda)^2}{2} \alpha^2 A^2 < \frac{\alpha^2 A^2}{2}$ ，且 $\lim_{\theta \rightarrow +\infty} \Pi^S(\theta, \alpha) = +\infty$ 。由于 Π^S 关于 θ 连续，所以一定存在 $\underline{\theta}$ ，满足 $\Pi^S(\underline{\theta}, \alpha) = \frac{\alpha^2 A^2}{2}$ ，当 $\theta < \underline{\theta}$ 时， $\Pi^S(\theta, \alpha) < \Pi^S(\underline{\theta}, \alpha) = \Pi^D(0, \theta, \alpha) \leq \Pi^D(\mu, \theta, \alpha)$ 。

同理，当 $\theta > \underline{\theta}$ 时， $\Pi^S(\theta, \alpha) > \Pi^S(\underline{\theta}, \alpha)$ ，而 Π^B 是关于 μ 的增函数， $\Pi^B\left(\frac{1}{2\theta A}, \theta, \alpha\right) = \alpha^2 A^2 / 2$ ， $\Pi^B(\bar{\mu}_b(\theta), \theta, \alpha) = \Pi^S(\theta, \alpha) > \Pi^S(\underline{\theta}, \alpha) = \frac{\alpha^2 A^2}{2} = \Pi^B\left(\frac{1}{2\theta A}, \theta, \alpha\right)$ ，所以 $\bar{\mu}_b(\theta) > \frac{1}{2\theta A}$ 。

根据前文证明， $\Pi^B(1, \theta, \alpha) = \Pi^{FB}(\theta, \alpha)$ 。当 $\theta > \max\left(\frac{\delta A + 2}{4A}, \frac{1 + \lambda}{A}\right)$ 时，

$$\begin{aligned}\Pi^{FB}(\theta, \alpha) - \Pi^S(\theta, \alpha) &= \frac{\lambda(\lambda + 2)\delta A - 2(2\lambda + 1)(2\lambda + 2)}{2\delta} + \frac{(\alpha A - o^{FB})^2}{2} \\ &\quad + \left[2\theta\alpha A^2 o^{FB} - \frac{\delta A + 1}{2} (o^{FB})^2 \right] - \left[2\theta\alpha A^2 o_2^S - \frac{\delta A + 1}{2} (o_2^S)^2 \right]\end{aligned}$$

由于 $\frac{\partial(2\theta\alpha A^2 o - \frac{\delta A + 1}{2} o^2)}{\partial o} = 2\theta\alpha A^2 - (\delta A + 1)o$, 且 $2\theta\alpha A^2 - (\delta A + 1)o^{FB} = \alpha A - o^{FB} > 0$, 根据命题 1, $o_2^S < o^{FB}$, 可得 $2\theta\alpha A^2 - (\delta A + 1)o_2^S > 2\theta\alpha A^2 - (\delta A + 1)o^{FB} > 0$, 进而 $\left[2\theta\alpha A^2 o^{FB} - \frac{\delta A + 1}{2} (o^{FB})^2 \right] > \left[2\theta\alpha A^2 o_2^S - \frac{\delta A + 1}{2} (o_2^S)^2 \right]$, $\Pi^B(1, \theta, \alpha) = \Pi^{FB}(\theta, \alpha) > \Pi^S(\theta, \alpha)$, 所以一定有 $\bar{\mu}^B(\theta) < 1$ 。

5、命题 2 的证明。

(1) 在诸侯国模式下, 企业在互联互通方面的投入为:

$$o_i^D = \max\left(\frac{\mu\beta A_j - \alpha}{\delta}, 0\right)$$

在联合国模式下, 企业在互联互通方面的投入为:

$$o_i^U = \max\left(\frac{2\mu\beta A_j - 2\alpha}{\delta}, 0\right)$$

在大一统模式下, 企业 1 和企业 2 在互联互通方面的投入分别为:

$$o_1^S = \max\left(\frac{2\beta A_1 A_2 - 2\alpha(A_1 + \lambda A_2)}{\delta A_1}, 0\right)$$

$$o_2^S = \max\left(\frac{2\beta A_1 A_2}{\delta A_2 + 2}, 0\right)$$

在区块链模式下, τ^B 确定后, 在时期 1, 企业在互联互通方面的投入为:

$$o_i^B(\tau^B) = \max\left(\frac{(1 + \tau^B)\mu\beta A_j - \alpha_i}{\delta_i}, 0\right)$$

由于 $A_1 > A_2$, 代入以上各式均可得到 $o_2 \geq o_1$ 。

(2) 在区块链模式下, $\tau^B = \frac{A_2}{2A_1 - A_2}$, 因此 $\frac{\partial\tau^B}{\partial A_1} < 0$, 且 $\lim_{A_1 \rightarrow +\infty} \tau^B = 0$ 。

6、命题 3 的证明。

(1) 由于 $\max\left(\frac{2\mu^U\beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right) \geq \max\left(\frac{2\mu^U\beta A - 3\alpha}{\delta}, 0\right)$, 结盟企业之间互联互通投入超过结盟前。

(2) 结盟前企业利润为:

$$\tilde{\pi}^U = \frac{\alpha^2 A^2}{2} - \frac{\delta A}{3} \max\left(\frac{2\mu^U\beta A - 3\alpha}{\delta}, 0\right)^2 + \frac{8\mu^U\beta A^2}{3} \max\left(\frac{2\mu^U\beta A - 3\alpha}{\delta}, 0\right)$$

结盟后企业利润为:

$$\pi^U = \frac{\alpha^2 A^2}{2} - \frac{\delta A}{2} \max\left(\frac{2\mu^U\beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right)^2 + 2\mu^U\beta A^2 \max\left(\frac{2\mu^U\beta A - 2\alpha}{\delta}, 0\right)$$

当 $\frac{1}{\mu^U A} < \theta \leq \frac{3}{2\mu^U A}$ 时, $\delta^U = 0$ 而 $o^U > 0$, $\pi^U > \frac{\alpha^2 A^2}{2} = \tilde{\pi}^U$ 。

当 $\frac{3}{2\mu^U A} < \theta < \frac{2+\sqrt{6}}{2\mu^U A}$ 时, $\pi^U - \tilde{\pi}^U = \frac{-2(\mu^U\theta A)^2 + 4\mu^U\theta A + 1}{\delta} \alpha^2 > 0$ 。

综上, 当 $\frac{1}{\mu^U A} < \theta < \frac{2+\sqrt{6}}{2\mu^U A}$ 时, $\pi^U - \tilde{\pi}^U > 0$ 。