面向自下而上任务分配的组织设计：激励的作用

Stephan Leitner

克拉根福大学，大学街 *65-67* 号，*9020* 克拉根福，奥地利

arXiv:2301.00410v1 [econ.GN] 1 Jan 2023

摘要

近年来，各种去中心化组织形式不断涌现，对组织设计提出了挑战。一些设计要素，例如任务分配，成为无法完全自上而下控制的涌现属性。在此背景下，核心问题是：如何引导自下而上的任务分配，使其形成有效的组织结构？为回答这一问题，本文提出了一种新颖的组织基于智能体的模型，其中的自下而上任务分配可由智能体的长期或短期导向驱动。该模型还纳入了一种激励机制，用于引导自下而上的任务分配过程，并创造从利他主义到个人主义的各种激励。我们的分析表明，当自下而上的任务分配由短期导向驱动，并与激励机制相一致时，组织绩效会得到提升，超过传统设计组织的绩效。此外，我们发现，组织内存在利他主义激励机制会降低任务分配中镜像的重要性。

关键词： 基于主体的建模与仿真、引导式自组织、学习、
贝叶斯信念更新、模块化

1. 引言

近年来，无论在研究领域还是企业实践中，组织形式都呈现出层级化程度降低的趋势（Vergne，2020年；Lee 和 Edmondson，2017；Ben-Menahem 等人，

电子邮件地址： stephan.leitner@aau.at (Stephan Leitner)

提交至 *arXiv* 的预印本 *2023*年*1*月*3*日

2016；Puranam 等，2014；Zárraga 和 Bonache，2003）。这一趋势催生了许多相关概念。其中一个概念是全息圈组织（Robertson，2015），指由多个团队构成、采用去中心化管理结构的组织。在全息圈组织中，个人可以同时加入多个团队、担任多个角色并履行领导职能。这种灵活的设计有助于促进组织内部的个性化和响应能力（Bernstein 等，2016；Kumar 和 Mukherjee，2018）。另一个概念是自我管理型组织；与全息圈组织相比，这类组织赋予员工更多权利（Lee 和 Edmondson，2017）。在自我管理型组织中，决策权在正式制度和系统层面上实现了彻底的去中心化。因此，每位员工都拥有一定程度的决策权，而且决策一旦作出，便不能被他人推翻。自我管理型组织与无老板组织（Puranam 和 Håkonsson，2015；Burton 等人，2017）和自组织型组织（Daft 和 Lewin，1993）等概念相关；这些组织允许员工在组织各个层级作出战略和战术决策，包括发起新项目并自行选择参与其中（Puranam，2018；Raveendran 等，2022）。这些新近出现的概念属于组织设计演化方法这一范畴。这些方法不同于传统方法，因为它们将组织设计视为一种涌现属性，而非有意规划的结果（Tsoukas，1993；Lawrence 和 Lorsch，1967；Galbraith，1974）。

组织设计研究历史悠久，早期研究聚焦于官僚组织和多部门组织（Chandler，1969；Weber，2009）。后来，权变理论提出了基于情境因素进行差异化的概念，并强调组织结构内部一致性的重要性（Miller et al.，1984）。相关文献探讨了多种组织设计要素，包括目标、技术、参与者、社会结构和环境（Scott，1998）。例如，Baligh et al.（1996）区分了权变因素（如技术、战略、环境）和组织设计参数；后者包括组织结构及其属性，如复杂性、规则和程序。Daft（2015）认为规模和文化也是相关的设计参数，并特别

关注组织的结构属性。同样，Gebaueret al.（2010年）等人也关注文化、结构和人力资源管理实践。 Goodet al. （2019年）回顾了有关组织设计要素的文献，并指出此前识别这些要素的研究之间存在大量重叠。他们总结认为，有若干要素始终被视为重要因素。具体而言，他们以组织目的（例如，将其编入目标）为出发点，并由此推导出以下三个额外的设计参数： *(i)* 组织为实现其目的必须开展的活动， *(ii)* 支持开展这些活动的结构，以及 *(iii)* 组织中的人员、用于促使其采取特定行为的激励机制，以及组织的内部文化。本文聚焦于*(ii)* 结构，尤其强调劳动分工，即组织内部如何在个人之间分配任务（Goodet al.，2019），以及*(iii)* 用于引导个体行为的激励机制。本文将*(i)* 组织实现其目的所需开展的活动视为固定不变，即组织无法对其产生影响。不过，本文考虑了复杂程度不同的活动。

先前研究表明，组织设计要素之间的良好匹配对绩效至关重要，而不匹配往往会导致组织混乱和绩效下降（Schlevogt，2002年；Donaldson 和 Joffe，2014；Baligh et al.，1996）。以往关于组织设计的研究大多从自上而下视角关注这种匹配：组织设计要素在实施前由中央设计者规划。然而，本文关注的是面向自下而上任务分配的组织设计，在这种情况下，结构成为组织的一种涌现属性，而非能够自上而下规划的要素。由此产生了一个核心问题：如何按照引导式自组织的理念，引导自下而上任务分配的过程形成有效结构（Prokopenko，2009）？本研究旨在通过探讨自下而上的任务分配、激励机制与组织绩效之间的关系，为这一研究领域作出贡献，并加深对涌现式组织设计的理解。具体而言，本文将探讨以下研究问题：

(1) 自下而上的任务分配机制与激励机制如何相互作用并影响组织绩效？(2) 自下而上任务分配所形成的结构在多大程度上具有模块化特征？这又会如何影响组织绩效？(3) 任务复杂性如何影响关于自下而上的任务分配与激励机制之间的相互作用以及模块化所观察到的结果？

为回答这些问题，我们提出了一种新颖的组织基于智能体的模型，该模型采用自下而上的任务分配，并包含多种用于引导智能体行为的激励机制。通过分析，我们发现，以短期目标为驱动并与适当激励机制相一致的自下而上的任务分配能够提升组织绩效，甚至优于传统设计的组织。此外，我们还发现，在组织中采用某些激励机制可以降低任务分配中镜像的重要性。借助这一模型，我们旨在解决如何引导自下而上的任务分配，从而形成有效组织结构这一难题。

本文的结构安排如下：第2节讨论任务分配中的镜像概念。第3节介绍基于智能体的模型，并详细说明仿真设置和数据分析。第4节呈现并讨论仿真结果。最后，第5节总结全文并作出结论。

2. 任务分配中的镜像

组织设计研究通常建议遵循“镜像假说”，该假说认为，组织的正式结构（就任务分配而言）应反映其所面临任务的技术特征，尤其是任务之间的相互依赖关系（Sanchez and Mahoney，1996；Langlois 和 Robertson，1992年；Colfer and Baldwin，2016）。为与这一假说保持一致，组织可以考虑实施一种模块化结构，以尽量减少模块之间的依赖关系（Lawrence 和 Lorsch，1967年）。

镜像假说可以建立在复杂系统的概念之上（Simon，1991）。这类系统由许多组件构成，这些组件通常以非线性方式相互作用（Langlois，2002年）。在设计此类系统时，模块化——将系统分解为具有相互依赖关系、接口彼此解耦的模块（Ulrich，1995）——是管理复杂性的有效战略。这一逻辑可以应用于组织设计，其中模块化呈现为一个连续谱：一端是完全模块化（相互独立的模块），另一端是整体性（不进行分解，或将模块重新组合成一个系统）（Schilling，2000；Chen，2017）。

对于产品设计的情境，Ulrich (1995) 对模块化设计给出了更为详细的定义，其中包括功能组件层面的模块化，以及模块之间接口的模块化（另见 Schilling, 2000; Sanchez and Mahoney,1996; Sanchez et al.,2013）。Peng 和 Mu (2018) 还区分了模块化的两个层次：组件模块化（模块在复杂系统中的独立性）和产品模块化（整个系统的模块化程度）。他们认为，即使某些模块之间高度解耦，只要其他模块之间存在任何相互依赖关系，整个系统就可能并非模块化。模块化产品架构会形成一种内含于各模块的信息结构；从组织设计视角来看，这种结构有助于创建与产品架构相对应的组织单元，并促进解耦单元内部的协调。只要底层产品或任务特征不发生变化，这就能降低协调的需求和成本（Colfer and Baldwin, 2016），使模块化成为一种颇具前景的长期组织设计战略。

镜像假说这一概念也源于交易成本经济学（交易成本经济学）（Williamson，1985）。Chen 等人（2019 年）认为，与企业之间相比，在企业内部解决冲突和交换信息更容易、成本效益也更高，因此，当相互依赖的任务分配给不同企业时，交易治理成本会高于将其分配给同一家企业时的成本。[1] 然而，企业内部层级治理的行政成本可能低于相应的交易成本。因此，组织应将相互依赖的任务分配给智能体

[1]请注意，根据分析范围，这一论点既适用于企业内部的单位，也适用于企业。

在同一家企业内，以优化交易成本和行政成本。因此，交易成本经济学认为，组织边界应设定为使交易成本最小化（Baldwin，2008），而镜像假说指出，这些边界应反映底层任务的技术特征（Colfer andBaldwin，2016）。

以往研究在各种情境下为镜像假说提供了支持。例如，Cabigiosu and Camuffo (2012)发现，在空调行业中，产品架构与组织架构的耦合之间存在正相关关系。Tee等人(2019年)表明，模块化有助于克服协调问题，但可能会阻碍项目环境中的协作。Wei等人(2021年)分析了中国跨国企业中的镜像现象，并确定了不同组织原型的边界条件和绩效影响。Alochet等人(2022年)和Chen等人(2019年)发现了生产电动汽车的组织中存在部分镜像（“雾化”）的证据。以往研究还表明，在产品架构不断变化的行业中，雾化是一种有效的战略（Kosaka，2021年；Burton等人，2020年）。

然而，并非所有研究都支持镜像假说。Colfer andBaldwin (2016)回顾了142项实证研究，发现70%的描述性研究（关注技术任务特征与组织结构之间的联系）支持镜像假说，22% 提供了部分支持，8% 则予以否定。他们对规范性研究（关注镜像与非镜像架构的绩效）的分析表明，在采用动态技术的行业中，部分镜像更具优势。然而，56%关于协作项目的研究并不支持镜像假说。Colfer andBaldwin (2016)提出，技术进步带来的新型协调方式或许可以解释这些结果。同样，Sanchez andMahoney (2013)认为，*(i)* 认知、风险与能力，以及承诺与纪律因素，可能解释组织为何未能采用镜像假说。

3. 基于智能体的模型

3.1. 模型概述

本文的主要目的是研究采用自下而上的决策任务分配方式的组织（例如运营或采购决策），并分析组织中现行激励机制以及任务复杂性对绩效的影响。决策任务这一概念较为抽象，可应用于其他领域，例如社会互动与团队韧性（Massari等人，2023）或产品开发（Ma和Nakamori，2005年）。[2]

该模型考虑了智能体，这些智能体代表由人类决策者组成的组织部门，所有智能体共同代表一个采用分散式决策的组织。这种分散式结构符合近年来兴起的组织理念，例如自组织型或自我管理型组织。智能体之间的协调完全通过激励机制实现。受组织中的信息处理相关文献启发，该模型还假设物理限制使沟通成本过高（Marschak和Radner，1972）。然而，该模型假设智能体仍会自利地行事，因此需要协调以确保各部门采取协调一致的行动，而通过激励实现协调是可行的方式（Fischer and Huddart，2008）。

智能体受到时间有限、认知能力有限等因素的制约。这些限制使他们无法独自解决复杂的决策问题，因此他们组成团队共同应对这一问题。智能体在劳动分工方面拥有完全的自主权。这意味着他们可以自主决定如何分配子任务，也可以随时间推移调整任务分配。他们知道决策任务之间可能存在相互依赖关系，但并不完全了解确切的相互依赖结构。不过，他们有能力随着时间推移逐步了解这些缺失的信息。该模型考虑了两类智能体：一类会做出短视决策，专注于即时效用

[2]本文中，“任务”和“决策”两个术语可互换使用，均指决策任务。

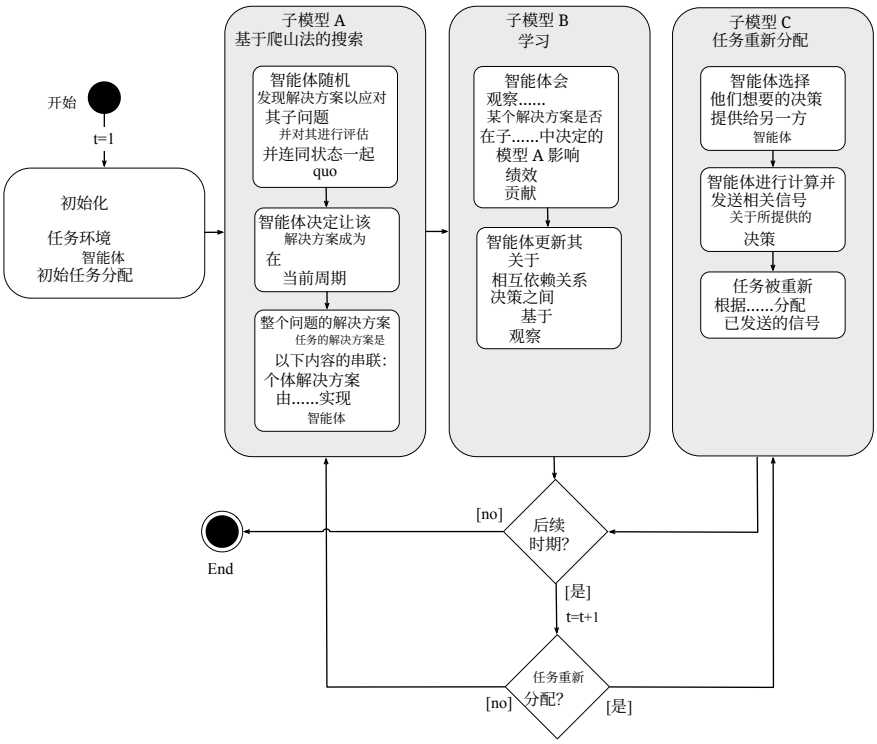


图1：模型架构与事件序列

最大化而不考虑长期影响；另一类在分配任务时会考虑长期影响。后一类智能体旨在尽可能减少分配给不同智能体的子任务之间的相互依赖关系，同时最大化各自职责范围内的相互依赖关系，这与镜像假说一致。预计从长远来看，优化相互依赖关系将带来益处。

图 1 展示了仿真期间的模型结构和事件序列。初始化绩效景观（第 3.2节）、智能体以及初始任务分解（第 3.3节）后，智能体开始通过爬山搜索，为其局部决策问题寻找解决方案（第 3.4节），并了解任务的复杂性（第 3.5节）。每隔 $\tau \in \mathbb{N}$ 个时期，智能体都有机会自主调整当前的任务分配（第 3.6节）。我们观察自主分配过程所形成的总体任务绩效和任务分配，观察期为 $t \in \{1, \ldots, T\} \subset \mathbb{N}$ 个时期。仿真模型使用 Matlab® R2022a 实现。

3.2. 任务环境

风格化组织的模型建立在 NK框架之上（Levinthal，1997年；Wall 和 Leitner，2021年）。一个组织由 $M \in \mathbb{N}$ 个智能体组成，这些智能体面临一个复杂的决策问题。我们用 N维向量表示该决策问题

$$\mathbf{d} = (d_1, \ldots, d_N) \ , \tag{1}$$

其中 $d_n \in 0, \ n \in 1$ 为 1，.....，N。[3] 整体问题的解决方案数量为 2^N，每个解决方案都是一个 N 位的位串。决策 d_n 之间最多存在 $K \leq N-1$ 个相互依赖关系，这意味着决策 d_n 对任务绩效的贡献至多受到 K 个其他决策的影响。该关系可以用收益函数形式化表示

$$c_n = f\left(d_n, d_{i_1}, \ldots, d_{i_K}\right) \ , \tag{2}$$

其中 $\{i_1, \ldots, i_K\} \subseteq \{1, \ldots, n-1, n+1, \ldots, N\}$。性能贡献彼此独立地从均匀分布中抽取，使得 $c_n \sim U(0,1)$。解决方案 $\mathbf{d}$ 的整体任务绩效是各项单独性能贡献 c_n 的平均值：

$$c(\mathbf{d}) = \frac{1}{|\mathbf{d}|} \sum_{n=1}^{|\mathbf{d}|} c_n \ , \tag{3}$$

其中，函数 $|\cdot|$ 返回向量的长度。

决策问题的解决方案 $\mathbf{d}$ 与其对应绩效之间的映射关系（如公式中所定义）2 和3，用于构建绩效景观。决策之间的相互依赖关系会通过影响所得景观的崎岖度，塑造决策问题的复杂性。随着相互依赖关系的数量 K 增加，峰值（和局部极大值）的数量也会增加。例如，如果 $K = 0$，景观是平滑的，全局最大值相对容易找到。相反，如果 $K = N-1$，景观则达到最大崎岖度，包含许多局部极大值，因此搜索全局最优解会更加困难。[4]

[3]为便于阅读，第 t 节中省略了3.2这一概念。[4]在这种情况下，全局最优解的预期数量为 $2^N/(N+1)$。对于 K取中间值的景观，峰值数量介于极端情况 1 和 $2^N/(N+1)$ (Kauffman，1993年；Tomassini 等人，2008)。

3.3. 智能体与任务分解

组织中的智能体能力和/或资源有限，例如认知能力、时间或其他资源有限，无法独自解决整个 N 维决策问题。因此，他们需要协作并共同努力寻找问题的解决方案。我们用 $Q \in \mathbb{N}$ 表示智能体一次最多能够处理的决策数量。为防止智能体退出团队，每个智能体一次必须至少负责一项决策。这意味着 $1 \leq Q < N$。

智能体将决策问题 $\mathbf{d}$ 分解为 M 个互不相交的子问题。我们将时间 t时智能体 m职责范围内的决策记为

$$\mathbf{d}_{mt} = [d_{j_i}, \ldots, d_{j_Q}] \ , \tag{4}$$

其中 $\{j_1, \ldots, j_Q\} \subset \{1, \ldots, N\}$且 $m \in \{1, \ldots, M\} \subset \mathbb{N}$。$\mathbf{d}_{mt}$在 $\mathbf{d}$ 中的补集称为时期 t智能体 m的剩余决策：

$$\mathbf{d}_{-mt} = \mathbf{d} \setminus \mathbf{d}_{mt} \tag{5}$$

最初，子任务按顺序对称地分配给智能体，因此在时期 $t = 0$，每个智能体负责的决策数量都相同，即 $|\mathbf{d}_{m0}| = M/N$。在仿真过程中，智能体可以按照第 3.6 节所述的过程调整任务分配。我们假设决策过程中存在隐蔽行动，这意味着智能体始终知晓其子问题 $\mathbf{d}_{mt}$ 的解决方案。然而，其他智能体所做的决策，即剩余决策问题 $\mathbf{d}_{-mt}$ 的解决方案，只有在实施后才能于 $t + 1$ 被观察到。

智能体从决策问题的已实施解决方案中获得效用（第3.4节）。组织采用线性激励方案，奖励智能体的贡献。对于每个智能体 m，激励方案会区分由该智能体职责范围内的决策所产生的任务绩效贡献与剩余绩效。智能体 m的效用函数如下：

$$U(\mathbf{d}_{mt}, \mathbf{d}_{-mt}) = a \cdot c\,(\mathbf{d}_{mt}) + (1 - a) \cdot c\,(\mathbf{d}_{-mt}) \ , \tag{6}$$

其中， $c(\mathbf{d}_{mt})$ 和 $c\left(\mathbf{d}_{-mt}\right)$ 分别是智能体 m在时期 t的自身绩效和剩余绩效（见公式 3）。参数 $a=[0,1] \in \mathbb{R}^{+}$ 是激励参数，用于定义这两种绩效在多大程度上影响智能体的薪酬。

3.4. 子模型 *A*：爬山搜索

智能体可以在满足 $t \bmod \tau \neq 0$ 的时期使用以下爬山算法来提升效用。该算法会在先前已实施的解决方案 $\mathbf{d}_{mt-1}$ 的邻域中搜索效用更高的解决方案。我们将邻域定义为汉明距离为 1 的范围。找到邻域中的候选解 $\mathbf{d}_{mt}^{*}$ 后，智能体会将其与其他近期已实施的解决方案一并评估。这使智能体能够随着时间推移调整并改进其决策。

在此阶段，智能体之间不允许直接通信，因此智能体 m 在评估潜在解决方案时，必须依赖其他智能体在上一时期做出的决策 $\mathbf{d}_{-mt-1}$。智能体根据以下规则，决定在时期 t 实施哪个解决方案 $\mathbf{d}_{mt}$：

$$\mathbf{d}_{mt}=\begin{cases}\mathbf{d}_{mt-1} & \text{if } U(\mathbf{d}_{mt-1},\mathbf{d}_{-mt-1}) \geq U(\mathbf{d}_{mt}^{*},\mathbf{d}_{-mt-1}) \ , \\ \mathbf{d}_{mt}^{*} & \text{otherwise} \ . \end{cases} \tag{7}$$

第一种情况描述的是候选解无法提供比先前解决方案更高效用的情形，因此智能体会继续采用 $\mathbf{d}_{mt-1}$。第二种情况中，候选解提供了更高的效用，因此智能体决定在时期 t 实施该方案。

时期 t 实施的整个决策问题的解决方案，是所有 M 个智能体各自决策的组合：

$$\mathbf{d}_{t}=[\mathbf{d}_{1t},\ldots,\mathbf{d}_{Mt}] \ , \tag{8}$$

而组织在该时期取得的绩效为 $c(\mathbf{d}_{t})$（公式 3）。因此，组织的绩效取决于所有智能体的集体行动。

3.5. 子模型 *B*：学习相互依赖关系

智能体意识到决策之间可能存在相互依赖关系，但并不了解这些相互依赖关系的确切结构。不过，智能体对

这些相互依赖关系有所信念，这些信念基于它们在各自职责范围内观察到的决策后果。智能体 m 截至时期 t 观察到和未观察到决策 d_i 与 d_j 之间存在相互依赖关系的案例数，分别存储在 $\alpha_{mt}^{ij} \in \mathbb{N}$ 和 $\beta_{mt}^{ij} \in \mathbb{N}$中。我们可以根据这些观察，利用相应的贝塔分布，将智能体 m对决策 d_i 与 d_j之间相互依赖关系的信念形式化为：

$$\mu_{mt}^{ij} = E(X) = \frac{\alpha_{mt}^{ij}}{\alpha_{mt}^{ij} + \beta_{mt}^{ij}} , \tag{9}$$

其中 $X \sim B(\alpha_{mt}^{ij}, \beta_{mt}^{ij})$。

在仿真开始时，所有观察值均设为 1，这意味着对于所有满足 α_{m0}^{ij} 和 β_{m0}^{ij} 不相同的 m，i和 j 的 i 和 j，初始值均为 1。因此，初始信念为 0.5，这表明智能体最初假设存在50% 的相互依赖关系可能性。随后，在每个时期 t 模 $\tau \neq 0$，智能体执行第3.4 节介绍的搜索程序，并按照以下程序更新其信念：

1. 回想一下，智能体 m在时期t 实施的部分决策问题的解决方案为$\mathbf{d}_{mt}$。如果智能体决定翻转一项决策（即方程7中的第二种情况），则用 i表示该决策，其中 $d_{it} \in \mathbf{d}_{mt}$。实施$\mathbf{d}_{mt}$后，智能体 m 会观测其职责范围内所有其他决策 c_{jt} 的绩效贡献 $d_{jt} \in \mathbf{d}_{mt}$，其中 $i \neq j$。

2. 接下来，智能体 m 按如下方式更新其职责范围内所有决策 $j \neq i$ 的观察：

$$\left(\alpha_{mt}^{ij}, \beta_{mt}^{ij}\right) = \begin{cases} \left(\alpha_{mt-1}^{ij}, \beta_{mt-1}^{ij}\right) & \text{if } \mathbf{d}_{mt} = \mathbf{d}_{mt-1}, \\ \left(\alpha_{mt-1}^{ij} + 1, \beta_{mt-1}^{ij}\right) & \text{if } c_{jt} \neq c_{jt-1} \text{ and } \mathbf{d}_{mt} = \mathbf{d}_{mt}^{*}, \\ \left(\alpha_{mt-1}^{ij}, \beta_{mt-1}^{ij} + 1\right) & \text{if } c_{jt} = c_{jt-1} \text{ and } \mathbf{d}_{mt} = \mathbf{d}_{mt}^{*}, \end{cases} \tag{10}$$

其中 $\forall i: \ d_{it} \in \mathbf{d}_{mt}$ 且 $\forall j: \ d_{jt} \in \mathbf{d}_{mt}: \ j \neq i$。每当智能体 m观察到决策 j的绩效贡献因决策 $t-1$ 从时期 t到时期 i发生翻转而改变时，α_{mt}^{ij} 就增加一（如式 10中的第二种情况所示）。

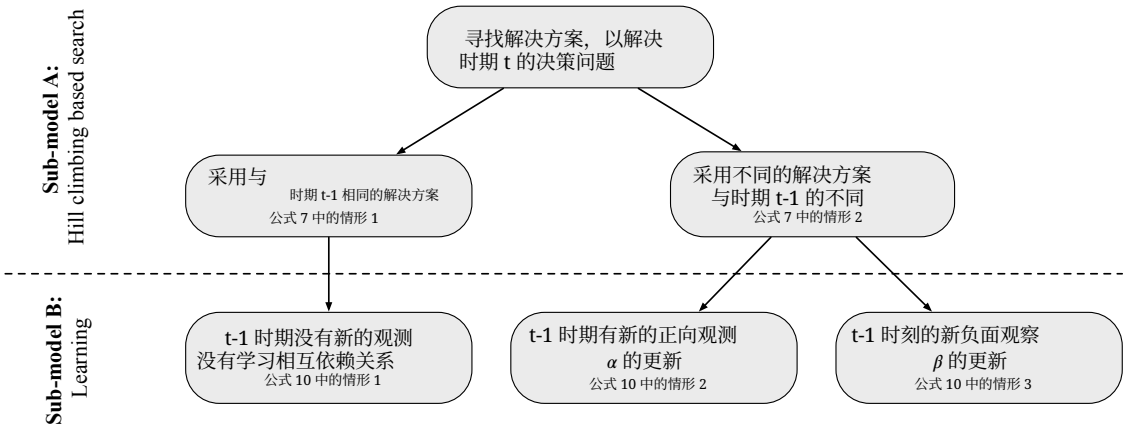


图 2：子模型 A 和 B 之间的相互关系：学习路径

否则，β_{mt}^{ij} 就增加一（如式 10中的第三种情况所示）。如果智能体m 在当前周期没有翻转某项决策，那么观测就与上一时期相同（如式 10中的第一种情况所示）。这些学习路径见图 2。

3. 最后，智能体在时期 t 根据方程 9重新计算其信念。

请注意，智能体只能观测其自身职责范围内的绩效贡献。如果决策问题的分解方式导致某项决策与智能体职责范围之外的决策存在相互依赖关系，那么绩效贡献可能受到外部影响，而智能体无法识别这种影响。因此，智能体可能会从观察中错误地推断出相互依赖关系的存在，从而产生学习错误。

3.6. 子模型 *C*：任务分配

每经过 τ 个时期，智能体都可以重新组织任务分配。在这些时期，智能体不会针对其决策问题调整已实施的解决方案，也不会进行观察并更新对相互依赖关系的信念。相反，他们只专注于任务重新分配。需要注意的是，重新分配任务可能会改变智能体的职责范围，因此可能影响他们从哪些任务中获得效用。

首先，智能体 m 向其他智能体提供其职责范围内的一项决策。我们将智能体 m 提供的决策称为 $i_m \in \{1, \ldots, N\}$。[5] 接下来，除提供决策的智能体外，所有智能体都通过发送信号表明是否有意接手这些任务。在此过程中，智能体可以采取两种策略：可以短视，只关注即时绩效而不考虑长期影响（如第 3.6.1 节所述）；也可以做出长远决策，旨在最大化其职责范围内各项决策之间的相互依赖关系（内部相互依赖关系），并最小化与分配给其他智能体的决策之间的相互依赖关系（外部相互依赖关系）（如第 3.6.2 节所述）。收到所有信号后，任务将重新分配给发送最强信号的智能体，而提供该决策的智能体将获得一笔金额等于第二高信号值的补偿金。

3.6.1. 基于绩效的方法

采用这一战略的智能体是短视决策者，只关注自己负责的决策所带来的即时绩效贡献。他们会向其他智能体提供绩效贡献相对较低的决策，并针对其他决策提交信号，希望分配到一项任务，使其带来的绩效贡献高于他们必须支付给提供任务的智能体的相应薪酬金额。这样，智能体的行动会立即影响其效用。任务分配过程组织如下：

1. 智能体 m 选择愿意在时期 t 交换的决策 i_m，并将提供内容告知其他智能体 $r \in \{1, \ldots, m-1, m+1, \ldots, M\}$。选择决策 i_m 的依据是上一时期的绩效，具体而言，是智能体 m的职责范围内与 $t-1$中的最低绩效贡献相关联的决策：

[5] 请注意，每个智能体都必须至少负责一项任务，因此，只有当前负责两项或更多任务的智能体才能参与任务分配过程，并向其他智能体提供任务。

$$i_m \in \underset{i':d_{it}\in \mathbf{d}_{mt-1}}{\arg\min}\ c_{i't-1}\ . \tag{11}$$

2. 此外，智能体 m 为在 t重新分配该决策设定阈值 p_{i_mt} 。该阈值即所提供决策的绩效贡献，因此

$$p_{i_mt} = c_{i_mt-1}\ . \tag{12}$$

只有当该智能体发送的信号大于 p_{i_mt} 时，所提供的决策才会重新分配给另一个智能体。

3. 所有智能体选定想要提供的任务后，即可提交信号。不过，只有拥有可用资源的智能体才能参与分配过程。这意味着，智能体 m 只有在满足 $|\mathbf{d}_{mt-1}| < Q$时，才会进入下一步。

4. 如果智能体拥有可用资源，就会针对除自身提供的任务以外的所有任务计算信号。智能体 r 针对给定的所提供决策 i_m提交的信号 $\tilde{p}^r_{i_mt}$ ，是该智能体预计该决策在第 t 期带来的绩效贡献。不过，由于所提供的决策 i_m 不属于智能体 r的职责范围，因此只能使用以下公式估算相关的绩效贡献：

$$\tilde{p}^r_{i_mt} = c_{i_mt-1} + \epsilon\ , \tag{13}$$

其中， $\epsilon \sim N(0, \sigma)$表示一个误差项，用于反映估算中的不确定性。

3.6.2. 基于相互依赖的方法

如果智能体遵循这一战略，他们不仅会关注即时绩效，还会考虑镜像假说。这意味着，智能体会力求最大化各自职责范围内决策之间的相互依赖关系。任务分配过程的组织方式如下：

1. 智能体 m 识别本轮向其他智能体提供的决策 i_m ，依据以下标准：

在当前轮次中，依据以下标准：

$$i_m \in \underset{i':d_{it}\in \mathbf{d}_{mt-1}}{\arg\min} \left(\frac{1}{|\mathbf{d}_{mt-1}|-1} \sum_{\substack{j:d_{jt}\in \mathbf{d_{mt-1}} \\ j\neq i'}} \mu_{mt}^{i'j} \right) \tag{14}$$

提醒一下，在这一战略中，智能体希望最大化内部相互依赖关系，并最小化外部相互依赖关系。方程 15 返回与以下信念均值最小值相关联的决策：该均值反映了决策之间的相互依赖关系 i_m 以及智能体 m职责范围内的其他决策之间的相互依赖关系。

2. 同样，智能体 m 将在时期 t设定一个阈值 p_{i_mt}，以便将决策 i_m 重新分配给其他智能体。为简化起见，采用内部相互依赖关系的平均信念作为阈值：

$$p_{i_mt} = \frac{1}{|\mathbf{d}_{mt-1}|-1} \sum_{\substack{j:d_{jt}\in \mathbf{d_{mt-1}} \\ j\neq i_m}} \mu_{mt}^{i_mj} \tag{15}$$

3. 所有智能体准备好报价后，即可继续计算并发送信号。不过，只有资源充足时，也就是满足 $|\mathbf{d}_{mt-1}| < Q$ 时，它们才会进入下一步。

4. 在时期 t，智能体 $r \in \{1,\ldots,m-1,m+1,\ldots,M\}$ 发送信号，其中包含对所提供决策 i_m 与其职责范围内的决策 $\mathbf{d}_{rt-1}$之间相互依赖关系的平均信念。智能体 r在时期 t 针对决策 i_m 发送的信号按以下方式计算：

$$\tilde{p}_{i_mt}^{r} = \frac{1}{|\mathbf{d}_{rt}|} \sum_{j:d_{jt}\in \mathbf{d_{rt}}} \mu_{rt}^{i_mj} \tag{16}$$

3.6.3. 任务分配

所有智能体都发送信号后，每个提供 i_m 恰好有 $M-1$ 个信号。回想一下，智能体 m 在阈值信号为 p_{i_mt} 时提供了决策 i_m，而其他智能体发送了信号 $\tilde{p}_{i_mt}^{r}$。我们可以用向量 $\mathbf{P}_{it}$ 表示时期t 内决策 i_m 所收到的信号集合，并计算时期 t内决策 i_m 的最大信号

为 $p^{r*}_{i_m t} = \max_{p' \in \mathbf{P}_{it}}(p')$。发送此信号的智能体记为 r^*。任务重新分配如下

1. 如果最大信号 $p^{r*}_{i_m t}$ 等于或超过阈值 $p_{i_m t}$，则决策i_m 将根据以下规则从智能体 m 重新分配给智能体 r^*

$$\mathbf{d}_{mt} = \mathbf{d}_{i_m t-1} \setminus \{d_{i_m t-1}\} \text{ and} \tag{17a}$$

$$\mathbf{d}_{r^* t} = [\mathbf{d}_{r^* t-1}, d_{i_m t-1}] \ , \tag{17b}$$

其中，$\setminus$ 表示补集。如果第二高信号超过（未超过）阈值，则向智能体 r^* 收取第二高出价（阈值）。

2. 如果最大信号 $p^{r*}_{i_m t}$ 未超过阈值 $p_{i_m t}$，则智能体 m 仍负责决策 i_m，因此

$$\mathbf{d}_{mt} := \mathbf{d}_{mt-1} \ . \tag{18}$$

3. 最后，在任务被重新分配的时期内，智能体不会更新其关于相互依赖关系的信念。因此，观察结果与上一时期相同，即 $(\alpha^{ij}_{mt}, \beta^{ij}_{mt}) = (\alpha^{ij}_{mt-1}, \beta^{ij}_{mt-1})$。

两种方法的比较。用于确定报价和计算信号的两种方法，以不同方式定义智能体的行为。基于绩效的策略着重于提高即时绩效贡献，而不考虑长期影响。采用该策略的智能体会提供其职责范围内与最低绩效相关的任务，并希望获得高于其自行执行这些任务所能获得效用的补偿金。这种行为符合短视效用最大化的概念（Simon，1967年）。相比之下，基于相互依赖关系的策略并不优先考虑短期效用。相反，它遵循镜像假说的概念，即智能体旨在最大限度地减少自身职责范围与其他智能体职责范围之间的相互依赖关系（Colfer and Baldwin，2016）。他们希望这能在长期内带来更大的控制力和更高的效用。总体而言，策略的选择会影响智能体的行为方式及其所作出的决策。

3.7. 仿真设置和观察

本文重点分析四个主要参数对绩效和涌现任务分配的影响。这些参数包括:

(i) 任务分配过程所使用的信息，具体而言，即本文前文介绍的基于绩效的策略和基于相互依赖的策略。

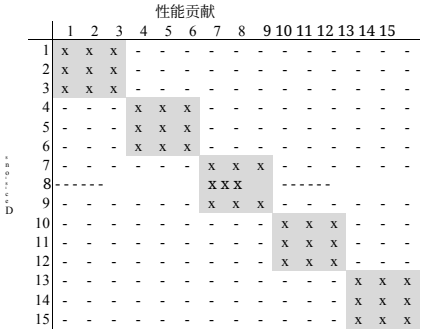
(ii) 线性激励方案中的参数 a，该方案在公式 6 中引入，其范围涵盖从非常利他主义到非常个人主义的激励。具体而言，考虑 a 介于0.05 和 1 之间、步长为0.05 的取值。

(iii) 由参数 τ 表示的任务分配过程频率。本文考虑 5、15、25 和 35 这几个取值。此外，还考虑了任务分配外生固定且此后无法更改的基准情景。对于基准情形，$\tau = \infty$。

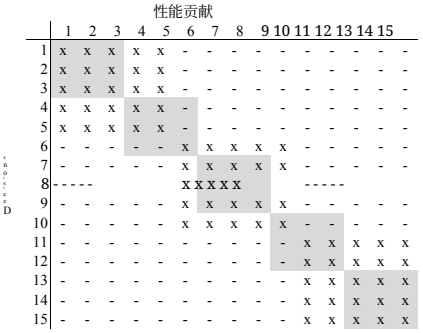
(iv) 图 3 中包含的八种任务间交互模式，其主对角线上具有大、小对角块（图 3a 和3b），这些块之间存在互惠的相互依赖关系（图 3c和 3d），以及环状相互依赖关系（图 3e 和 3f）。此外，图 3g 和 3h 在小型对角块的模式中加入了随机相互依赖关系。基准任务分配由阴影区域表示，体现了顺序且对称的任务分配。这意味着智能体 1 负责任务 1 至 3，智能体 2 负责任务 4 至 6，依此类推。因此，基准情形中的任务分配反映了图 3a 中所包含的相互依赖关系。

在仿真实验中，有三个变量需要观测：任务绩效、涌现任务分配，以及重新分配的任务数量。每个时期 t 和仿真运行 $s \in \{1, \ldots, S\} \subset \mathbb{N}$ 中，都会观测整个决策问题的解决方案绩效，并将其记为$\mathbf{d}_{ts}$（见公式8）。随后，通过 $c(\mathbf{d}_{ts})$（见公式3）来衡量该解决方案的绩效。为了比较不同

(a) 小型对角块（$K = 2$）

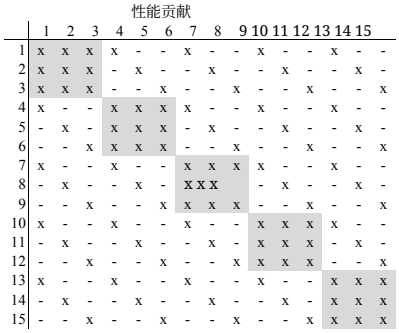


(b) 大型对角块 ($K = 4$)

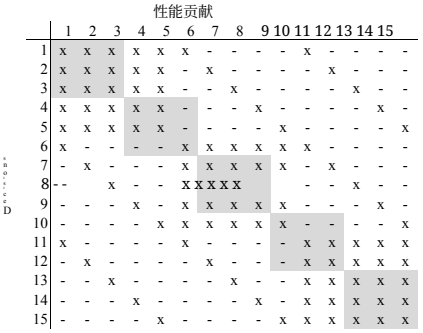


(c) 小块：互惠（$K = 6$）

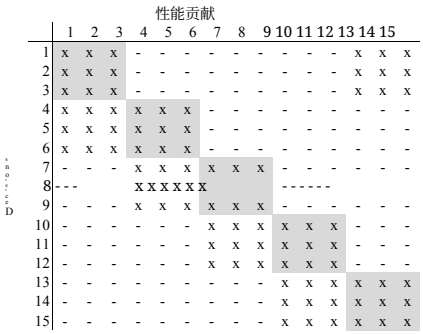
(d) 大区块：互惠（$K = 6$）



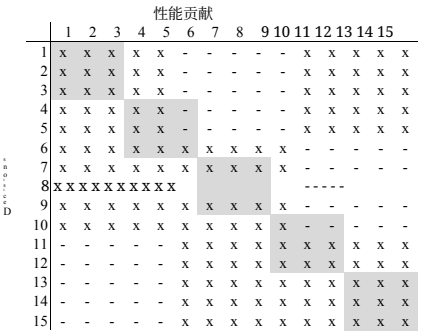
(e) 小区块：环 ($K = 5$)



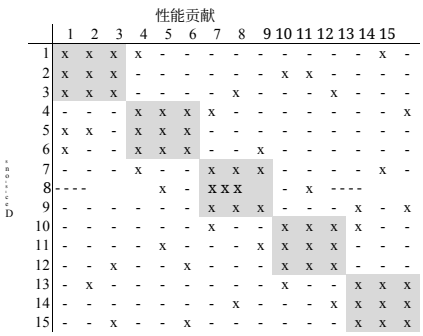
(f) 大区块：环 ($K = 9$)



(g) 随机模式 ($K = 4$)



（h）随机模式（$K = 6$）



(h) 小区块：互惠（$K = 6$）

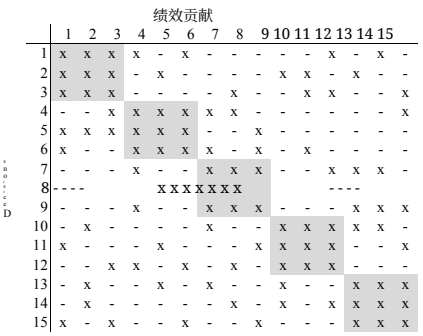


图3：相互依赖模式

表 1：仿真参数

Type	Name	符号	取值
自变量	计算报价/信号的依据	—	绩效、相互依赖关系
	激励参数	a	$\{0.05 : 0.05 : 1\}$
	任务重新分配间隔期数	τ	$\{5, 15, 25, 35, \infty\}$
	任务复杂性	—	参见图 3
因变量	任务绩效	$\tilde{c}(\mathbf{d}_{ts})$	$[0, 1]$
	任务分配	$\mathbf{d}_{mts}$	决策向量
	重新分配的任务数量	$\mathbf{d}_t^{\text{swap}}$	$\{1, \ldots, 5\}$
其他参数	时间步	t	$\{1, \ldots, 200\}$
	观测期	T	200
	决策数量	N	15
	代理数量	M	5
	认知能力	Q	5
	模拟次数	S	800

在模拟运行中，我们使用以下公式，将观测到的绩效 $c(\mathbf{d}_{ts})$按该景观上可达到的最大绩效 $c(\mathbf{d}_s^*)$ 进行归一化：

$$\tilde{c}(\mathbf{d}_{ts}) = \frac{c(\mathbf{d}_{ts})}{c(\mathbf{d}_s^*)} \ . \tag{19}$$

除了绩效之外，我们还会在每个时期观察任务向智能体的分配情况。具体而言，我们记录所有时期和模拟运行中所有智能体的职责范围 $\mathbf{d}_{mts}$ 。需要注意的是，绩效是根据整个决策问题的解决方案进行衡量的，而任务分配则基于智能体子问题中包含的决策。因此，第一个观察结果提供了绩效视角，而第二个观察结果则揭示了涌现组织结构的相关信息。最后，为了了解涌现任务分配的动态变化，我们还会跟踪每次仿真运行期间重新分配的任务数量。

3.8. 数据分析

为了分析因变量与自变量之间的函数依赖关系（见表 1），我们使用回归神经网络并计算偏依赖。这种方法与 Patel 等人

(2018）、Law (2015）以及Blanco-Fernández 等人(2021年）提出的数据分析方法一致；他们建议使用回归分析来研究参数重要性，并理解模式的出现。设$\mathbf{X}$ 为表 1中包含的所有自变量的集合。子集 $\mathbf{X}^s$ 包含分析范围内的一个或多个自变量，而 $\mathbf{X}^c$ 由 $\mathbf{X}^s$中 $\mathbf{X}$的补集组成。于是， $f(\mathbf{X}) = f(\mathbf{X}^s, \mathbf{X}^c)$表示训练得到的回归模型。范围内自变量对绩效的偏依赖定义为绩效相对于补集自变量的期望，如下所示：

$$f^s(\mathbf{X}^s) = E_c(f(\mathbf{X}^s, \mathbf{X}^c)) \approx \frac{1}{V}\sum_{i=1}^{V} f(\mathbf{X}^s, \mathbf{X}^c_{(i)}) \ , \tag{20}$$

其中， V 是 $\mathbf{X}^c$ 中自变量的数量，$\mathbf{X}^c_{(i)}$ 是 i^{th} 元素。通过对 $\mathbf{X}^c$中的自变量进行边缘化，我们得到一个仅取决于 $\mathbf{X}^s$中自变量的函数。

为了研究涌现任务分配的模块化程度，我们采用以下指标（Leitner，2022年）：我们已经知道，智能体 m 在时期 t、仿真运行 s 中的决策问题涵盖了 $\mathbf{d}_{mts}$中包含的决策，而参数 K 描述了某项决策与所有绩效贡献之间的相互依赖关系。设 K^{int}_{mts} 为智能体 m 在时期 t 、仿真运行 s的子问题中的相互依赖关系数量，$K^{\text{all}}_{mts} = |\mathbf{d}_{mts}| \cdot K$为智能体 m职责范围内的决策与所有绩效贡献之间的相互依赖关系总数。[6] 模块度指标定义为智能体 m 决策问题内部的相互依赖关系数量（K^{int}_{mts}，分子）与分配给智能体 m 的决策影响所有绩效贡献的总次数（K^{all}_{mts}，分母）之比：

$$\text{Mod}_{mts} = \frac{K^{\text{int}}_{mts}}{K^{\text{all}}_{mts}} \ . \tag{21}$$

为了说明模块度指标如何发挥作用，我们以智能体1为例，并假设任务分配遵循对称且顺序的基准情形

[6]请记住， $|\cdot|$ 返回向量的长度。因此， $|\mathbf{d}_{mts}|$ 表示智能体 m 在时期 t 和仿真运行 s中负责的决策数量。

分配，如图中阴影区域所示。图3中，在这种情形下，智能体1负责决策1至3。对于小型对角块（图3a），智能体1的内部相互依赖关系数量为 $K^{\text{int}}_{1ts} = 6$，而分配给智能体1的决策所涉及的相互依赖关系总数也为 $K^{\text{all}}_{ts} = 6$。在这种情况下，基准解的模块度为 $\text{Mod}_{mts} = 1$。如果转而采用小区块和互惠模式（图3d），内部相互依赖关系的数量仍为 $K^{\text{int}}_{1ts} = 6$。然而，由于决策问题更为复杂，相互依赖关系总数增加至 $K^{\text{all}}_{ts} = 18$。因此，基准解的模块度变为 $\text{Mod}_{mts} = 0.33$。需要注意的是，在分析中，计算相应模块度时采用的是由智能体决策产生的任务分配（而非基准任务分配），目标是将涌现解决方案的模块度与基准解的模块度进行比较。有关相关模块度指标的综述，参见Peng 和 Mu(2018）。他们指出，这类指标应具备三个理想特征[7]：*(i)* 该指标是否在任务和组织层面考量模块度？*(ii)* 是否考量任务之间的相互依赖关系和绩效贡献？*(iii)* 组织模块度是否考量任务分配给智能体的情况？本文采用的任务分配指标满足这些要求，因为它将实际任务分配（要求*(iii)*）与根据任务间相互依赖关系推导出的基准任务分配进行比较（要求*(i)* 和*(ii)*）。

4. 结果与讨论

4.1. 激励对自下而上的任务分配的影响

本节考察自下而上的任务分配对绩效的影响，并将其与更为传统的自上而下任务分配模式进行比较。如第3.8节所述，我们使用模拟数据训练了回归神经网络，并估算了表示所取得的绩效对所选参数的偏依赖函数。

[7]请注意，他们的分析背景包括产品模块化，而本文关注的是任务而非产品。因此，每当Peng 和 Mu (2018) 提及组件和功能时，在本文语境中分别指任务和绩效贡献

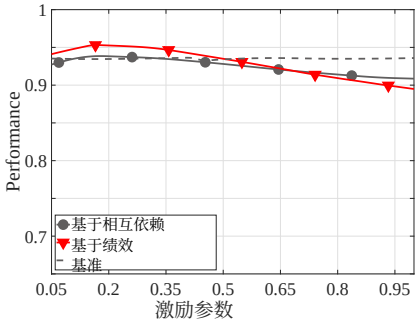
图4 展示了所有经分析的相互依赖模式下，组织绩效（y 轴）对激励参数（x 轴）的相应函数依赖关系。红线（三角形）和黑线（圆形）分别代表智能体按照基于绩效和基于相互依赖的策略行事的情景。组织结构由外部自上而下固定的基准情景以虚线表示。值得注意的是，激励参数的取值较低（x 轴左侧）表示采用利他型激励方案，更加注重剩余绩效；而激励参数的取值较高（x 轴右侧）则会形成非常个人主义的激励方案，更加注重来自智能体责任范围的绩效（见公式6）。

自上而下、基于相互依赖以及基于绩效的任务分配策略，其有效性取决于组织内部采用的激励机制。当激励机制相对偏向利他主义（位于 x 轴左侧）时，无论相互依赖模式如何，基于绩效的策略始终优于其他策略。就组织绩效而言，基准情形与基于相互依赖的策略表现同样出色。这些发现适用于所有相互依赖模式，不过在较复杂且不可分解的任务中最为明显（如图 4c 至 4h所示），在可分解和几乎可分解的任务中则最不明显（如图 4a 和 4b所示）。

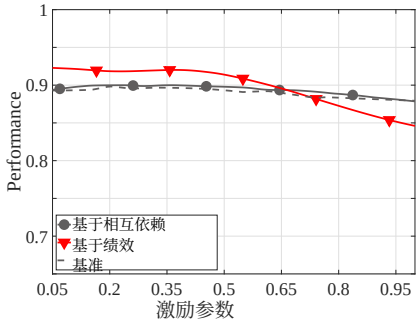
随着激励机制从利他主义转向个人主义（沿 x 轴向右移动），采用自下而上任务分配的情境，其绩效会下降。有趣的是，基于绩效的策略似乎对激励参数的变化最为敏感。因此，当利他主义激励发挥作用时占优的基于绩效的任务分配，在激励机制更加个人主义时反而成为较差的策略。对于所有相互依赖结构，任务分配策略优劣发生转换的现象都出现在激励参数的中间取值处。基于相互依赖的任务分配策略的绩效也会下降，但降幅显著小于基于绩效的策略。

需要注意的是，对于采用高度个人主义激励机制的情况，

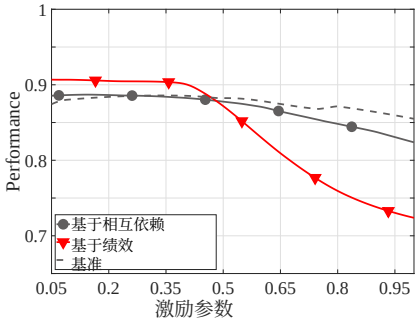
(a) 小型对角块（$K = 2$）



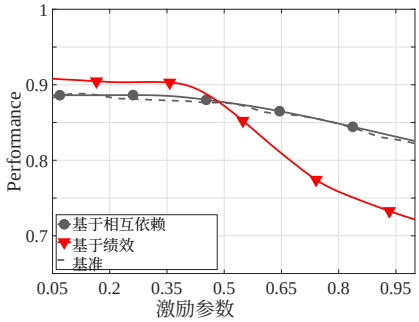
(b) 大型对角块（$K = 4$）



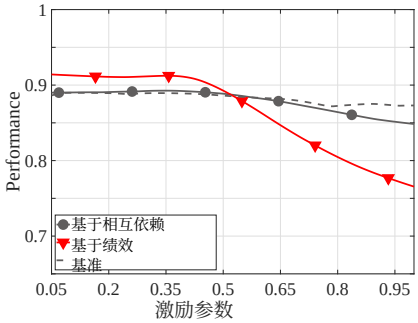
（c）小块：互惠（$K = 6$）



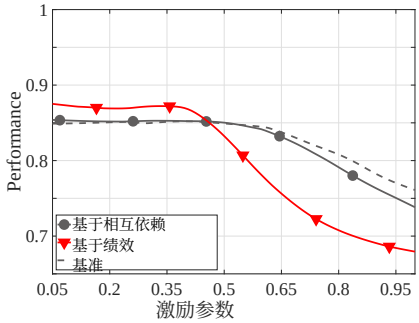
(d) 大区块：互惠（$K = 6$）



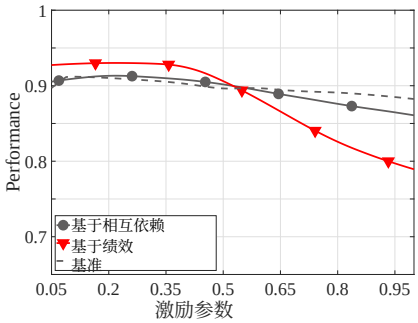
（e）小区块：环（$K = 5$）



（f）大区块：环（$K = 9$）



(g) 随机模式（$K = 4$）



(h) 随机模式（$K = 6$）

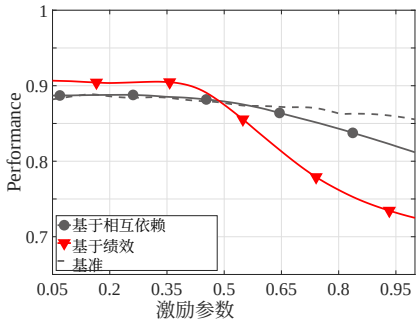


图4：绩效对激励参数的部分依赖关系

在几乎所有情形下，基准情形的表现都优于其他方法。然而，结果也表明，如果激励是平衡的或具有利他主义，且任务足够复杂，使已分配任务之间存在外部性（如图4c 至4h 所示），则可以实现更高水平的绩效。相反，对于可分解和几乎可分解的任务（图4a 和4b），激励参数对绩效没有显著影响。

4.2. 模块化与自下而上的任务分配

本节考察独立参数对智能体在任务分配过程中的行为所产生的影响。研究这些影响对于理解自下而上的任务分配动态至关重要。通过研究这些参数如何影响智能体的行为，我们可以深入了解如何有效引导自组织，从而提升组织绩效。

图5 展示了智能体可以重新分配任务时，平均交换的任务数量。如图所示，红线（三角形）表示智能体采用基于绩效的策略的情形，黑线（圆形）则表示智能体依据相互依赖关系作出重新分配决策的情形。结果表明，智能体采用基于绩效的策略时，任务分配更加动态：重新分配约4 个时期后，交换任务的数量稳定在4 个左右。相比之下，基于相互依赖关系的策略导致交换任务数量较少，并在重新分配约7 个时期后最终收敛至零。此外，结果表明，相互依赖模式（图5a）、激励参数（图5d）以及任务分配之间的时期数（图5c）对平均交换任务数量没有影响或影响甚微。不过，智能体有更多时间了解相互依赖关系时，重新分配的任务数量略多（图5c）。

图6 展示了模块度指标的概率分布，该指标用于衡量组织结构与相互依赖模式之间的一致性（定义见式 21）。如第 2节所述，一致性越高，预期组织绩效也越高。图中的每个子图表示以下模式的分布：

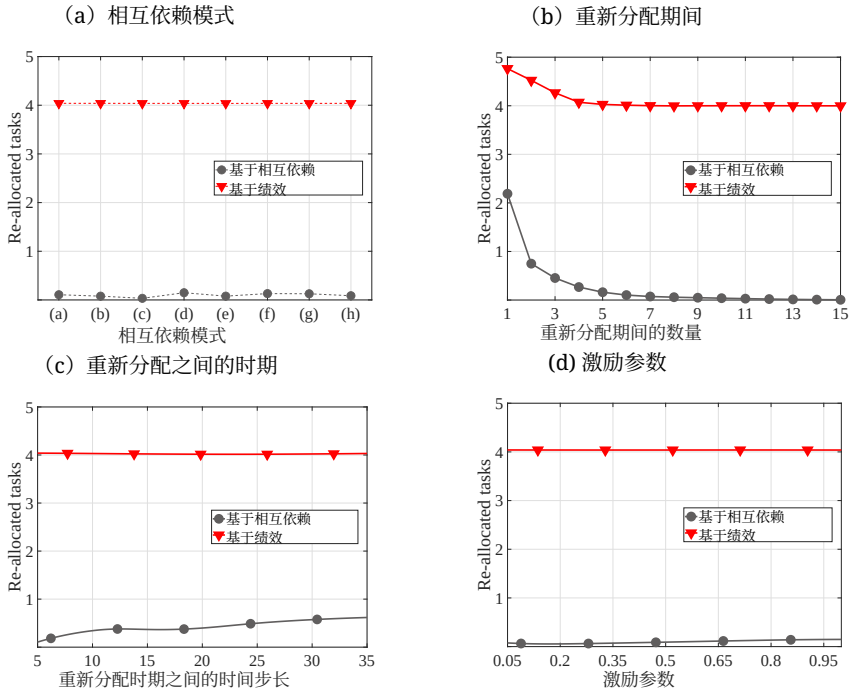


图5：重新分配的任务数量对选定参数的偏依赖

图 3中引入的相互依赖模式。红线表示基于绩效的任务分配策略，灰线表示基于相互依赖关系的策略。彩色区域显示了不同激励参数下的概率范围。在所有情况下，利他主义激励都会带来最高的模块度（位于彩色区域的上边缘），而个人主义激励则会导致最低的模块度（位于彩色区域的下边缘）。例如，在图 6a左侧可以看到，如果智能体遵循基于相互依赖关系的分配机制，涌现结构的模块度等于或低于 45%的概率约为 0。2 。对于采用基于绩效的任务分配策略的情形，相应概率约为 60%。此外，灰色区域比红色区域更宽，表明与基于相互依赖关系的策略相比，基于绩效的策略中的模块度对激励参数不那么敏感，尤其是在模块度指标取值较高时。

虚线　　图 6 中的红线表示基准解的模块度指标。它

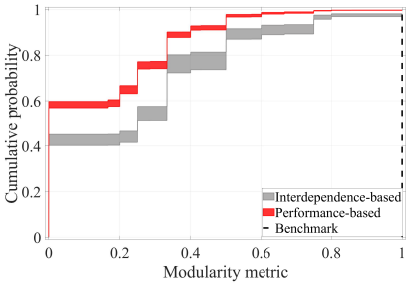
值得注意的是，对于更复杂的决策问题，由于决策之间存在大量相互依赖关系，基准解的模块化程度会降低。例如，图 6a 展示了图 3a中小型对角块模式的结果。在这种模式下，基准解能够将智能体责任范围内的所有相互依赖关系内部化，从而实现最高模块化程度 1。另一方面，图 6f 展示了图 3f中小区块和环状相互依赖结构的结果。由于任务复杂性相对较高，基准解只能将智能体责任范围内一部分相互依赖关系内部化，因此模块化程度为 0。4。另请注意，对于具有大型对角块的结构，基准解中的子问题并非都具有相同的模块化程度，因此图 6b、6d和6f中的基准模块度呈现阶梯状模式。

总的来说，我们发现，当智能体采用基于绩效的任务分配策略时，涌现的任务分配模式更有可能呈现较低的模块化程度。另一方面，如果智能体随着时间推移了解相互依赖关系，并据此优化任务分配，那么最终形成的任务分配模式则更有可能更加模块化。不过，令人意外的是，在大多数情况下，涌现任务分配的模块化程度低于基准解。例如，图6c显示，在采用基于相互依赖的方法的案例中，约有20%，而在采用基于绩效的任务分配策略的案例中，约有10% ，其模块化程度达到或超过了基准解。对于大多数其他情形，这一模式甚至更加明显。例如，在小型对角块和环状相互依赖模式的结果中，基准模块化程度在不到10%的案例中得以实现。

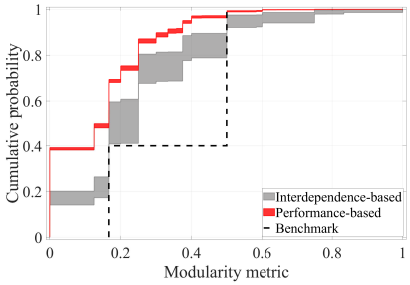
4.3. 讨论

前几节介绍的结果汇总于表2，并结合引言中提出的研究问题加以讨论。结果表明，根据绩效考量进行任务重新分配往往会导致结构的模块化程度较低；而允许智能体随着时间推移了解相互依赖关系，并依据所学信息进行任务分配，则会形成模块化程度略高的结构。前——

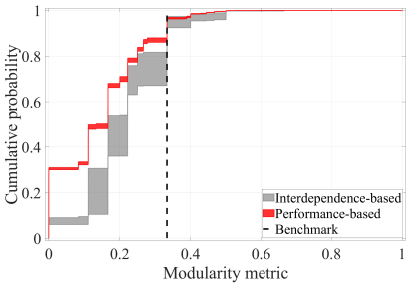
(a) 小型对角块（$K = 2$）



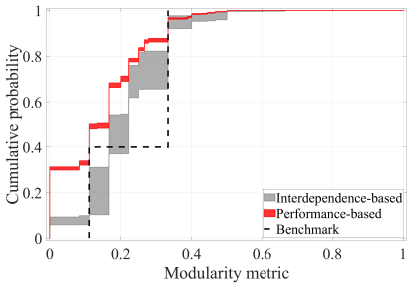
(b) 大型对角块（$K = 4$）



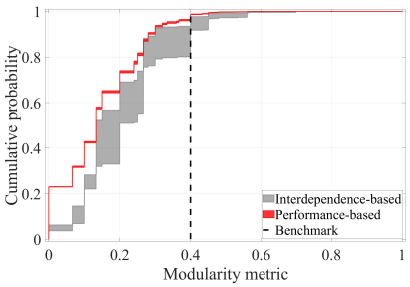
(c) 小块：互惠（$K = 6$）



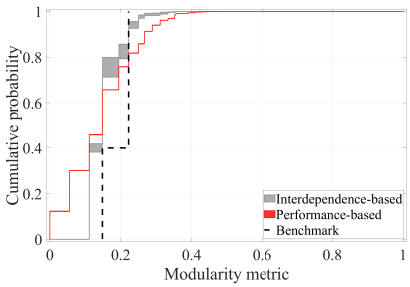
(d) 大区块：互惠（$K = 6$）



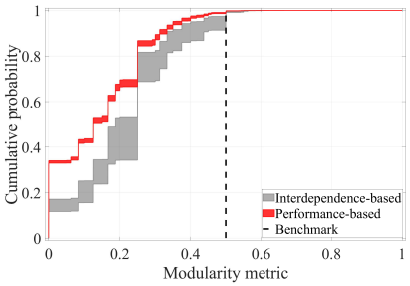
(e) 小区块：环（$K = 5$）



(f) 大区块：环（$K = 9$）



（g）随机模式（$K = 4$）



（h）随机模式（$K = 6$）

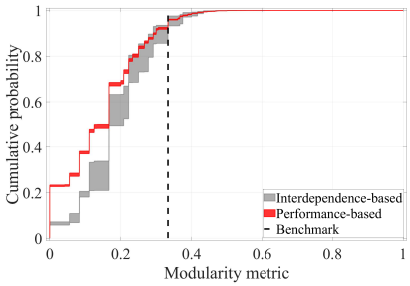


图6：模块化度指标的累积分布

关于组织设计的既有研究对镜像假说得出了不同结论：一些研究支持该假说，另一些则予以否定（见第 2节）。本文呈现的结果进一步深化了对这一主题的认识，并有助于解释既有研究中模棱两可的发现。

本研究结果表明，在为自下而上的任务重新分配设计组织时，应在更广泛的背景下考量镜像关系，并将与其他设计要素的内部契合度（例如激励机制和任务不确定性）等因素纳入考虑。既有研究表明，自主任务重新分配常规与其他设计要素之间的内部契合度，以及任务不确定性，都会影响组织绩效（Donaldson 和 Joffe，2014；Schlevogt，2002年；Burns 和 Stalker，1961；Lawrence 和 Lorsch，1967年）。在本研究提出的模型中，任务不确定性源于个体决策之间的相互依赖关系，由此导致每个智能体的决策结果具有不确定性。任务越复杂，不确定性就越大。需要指出的是，组织设计涉及许多复杂的选择，远不止本文考察的这些要素。[8] 要使所有设计要素都达到契合，实际上不可行（Simon，1967年）。因此，秉持将自主任务分配视为一种自组织过程，并引导其朝着预期结果发展的理念（Prokopenko，2009），本文聚焦于自下而上的任务分配常规、控制行为的激励机制与组织绩效之间的相互作用，尤其关注由此形成的结构模块化。

以下两个部分将探讨新兴的动态。具体而言，第4.3.1节根据研究结果和既有研究，考察复杂任务带来的不确定情形，并解释为何利他主义激励与基于绩效的任务重新分配机制相契合。第4.3.2 节聚焦于采用个人主义激励机制的情形，并强调考虑镜像的重要性，以减轻组织设计中不匹配造成的负面影响。

[8]关于组织设计选择复杂性的全面讨论，请参阅Puranam 等人(2012）和Caspin-Wagner 等人(2013），以及其中引用的文献。

表 2：结果概要

研究问题	结果
(1) 自下而上的任务分配 机制与激励机 制如何相互作用并影响组织—— 组织绩效?	• 组织采用利他主义 激励和基于绩效的方法进行任务重新分配时，绩效最高。 • 存在个人主义激励时，通过 基于相互依赖或自上而下的任务分配，可以实现最佳绩效。 • 当.....时，绩效对激励参数的敏感度最大 任务分配是基于绩效的。
(2) 自下而上的任务分配所 涌现出的结构在多大程度上具有模块化， 这种模块化又会如何影 响组织绩效?	• 涌现结构所实现的模块化程度低于基 标记解决方案。 • 利他主义激励机制往往会产生模块化程度略高的 结构，相较于个人主义激励。 • 与基于绩效的策略相比，基于相互依赖的策略能带来更高的模块化 程度。 • 当个人主义激励机制 nisms are in 位置 .
（3）任务复杂性如何影响 关于以下因素相互作用的研究结果： 自下而上的任务 分配与激励机制 以及模块化?	• 激励机制对组织绩效的影响更为 显著，尤其是在复杂性较高的任务中。 • 绩效对激励参数的敏感度更高，尤其是对于 复杂性较高的任务 • 这些结果在不同的相互依赖结构下均具有稳健性。

4.3.1. 利他主义激励机制与自下而上的任务分配

第 4.1 节的研究结果表明，将利他主义激励与基于绩效的任务分配策略相结合，在任务复杂且相互依存的情况下尤其有效。这似乎有悖直觉，因为人们可能会认为，智能体以自利和短视的方式行事，并不会提升组织绩效。然而，我们的结果表明，情况并非总是如此。

自私与利他行为相结合所产生的微观层面动态，或许有助于阐明这些发现。以往研究表明，个体行为往往同时受到自私和利他动机的影响。例如，在提供用户生成内容的在线平台上，人们可能会通过贡献信息来提升声誉、获得认可，同时也帮助他人（Hennig-Thurau 等，2004年；Daugherty 等，2008；Qiao 等，2017）。人们通常认为，利他动机主要源于内在驱动，但该模型指出，这类行为实际上可能是出于效用最大化以及对他人回报的期望（Gneezy 等，2011；Deci，1971）。利他激励机制非常重视其他个人的绩效贡献。因此，个人可能会尝试使自己的行动与他人保持一致，以增加自身效用，并期待他人也以类似方式回应，这一概念称为互惠（Fehr 和 Gächter，2000；Fehr 和 Schmidt，2006；Falk 和 Fischbacher，2006）。因此，个人之间的相互支持表面上可能具有亲社会性质，但其动机实际上可能是自利，而非真正的利他主义。

结果表明，基于绩效的任务重新分配机制通过确保每个智能体负责自己最擅长的任务，促进了任务的高效分配。这一发现或许源于两种机制的相互强化：一种激励机制通过协调智能体的决策，鼓励它们相互支持；另一种任务重新分配机制则在考虑智能体之间相互支持的基础上，将各自最擅长的任务分配给每个智能体。此外，我们的结果表明，当智能体的职责范围之间存在相互依赖关系时，这些机制尤为有效。

自下而上的任务分配具有动态性，这也可能有助于提升复杂任务中利他主义激励机制和基于绩效的任务重新分配的有效性。如图 5 所示，基于绩效的策略会导致智能体之间频繁交换任务，从而形成一种类似于工作轮换的机制。在这一过程中，智能体在组织内承担不同的任务，并借助基于绩效的重新分配机制，最终承担最适合自己的任务。将利他主义激励机制与基于绩效的任务重新分配相结合，不仅能够解决 Ortega (2001）提出的工作分配问题——该问题指出，组织可以通过工作轮换了解员工（另见 Jovanovic，1979；Meyer，1994）——还使智能体能够 自主学习 自己最擅长执行哪些任务。随后，这些知识将用于确定劳动分工，而利他主义激励则确保组织单元之间采取协调一致的行动，最终提升组织绩效。

4.3.2. 个人主义激励机制与自下而上的任务分配

一旦任务变得足够复杂，以至于无法再分解，采用个人主义激励的组织就会处于劣势（Fischer and Huddart，2008）。本文提出的模型重现了这一发现，并进一步揭示了个人主义激励下自下而上的任务分配动态。与第4.3.1节所讨论的发现相反，个人主义激励在自上而下的任务分配或基于相互依赖的自下而上任务分配方法下效果最佳；而采用基于绩效的方法进行任务分配时，组织的绩效则会显著降低。

将相互依赖关系纳入组织单元的职责范围，可以减少对行为控制的需求，从而防止智能体之间出现自私行为（Foss and Dobrajska，2015）。这一方法与交易成本经济学提出的建议一致。交易成本经济学通常假设智能体会表现出自私行为，这与个人主义激励机制所诱发的行为类似（Williamson，1985；Boyacigiller andAdler，1991；Erezand Earley，1987）。自上而下的任务分配方法遵循这一逻辑，

通过将大量相互依赖关系纳入其中，有助于缓解个人主义激励带来的负面影响。与自下而上的任务分配相比，这能提升组织绩效。图 6 的结果支持这一观点：自下而上的方法无法实现理想的模块化，而基于相互依赖的方法比基于绩效的方法更具模块化。组织绩效也呈现出相同的模式。因此，我们可以得出结论：如果采用个人主义激励，那么无论是自上而下的方法，还是基于相互依赖的自下而上任务分配方法，都能有效用于组织设计。然而，正如第 4.3.1 节所述，将利他主义激励机制与基于绩效的激励相结合，可能会带来更高的绩效。

5. 总结与结论

本文提出了一个风格化组织的基于智能体的模型，该组织采用自下而上的任务分配，以考察任务分配与激励机制之间的相互作用，以及任务复杂性的影响。结果表明，在某些情况下，自下而上的方法是有效的，尤其是在激励相对利他，且任务复杂、已分配任务之间存在外部性时。在这些情况下，基于绩效的任务分配优于传统的自上而下方法和基于相互依赖的任务分配。然而，随着激励变得更加个人主义，自下而上的方法绩效会下降，传统的自上而下方法则成为更优的战略。这些发现与先前关于组织中激励的研究一致（例如，Fischer andHuddart，2008）。结果还表明，自上而下设计的组织通常无法通过自下而上的任务分配实现模块化。不过，本文也指出，只有当组织中存在个人主义激励时，模块化才具有相关性。

在解读研究结果时，应考虑到本研究存在若干局限。首先，该模型假设协调仅通过激励机制实现，未考虑智能体之间的沟通。尽管这一假设在某些情况下可能符合实际，但未来研究可以通过纳入智能体之间的沟通来提高结果的有效性，包括

智能体之间的沟通。其次，该模型聚焦于单个组织，未考虑外部影响。未来研究可以考察多个相互依存的组织的共同演化（Volberda 和 Lewin，2003），这些组织可能采用较少层级化的理念进行组织，例如自组织或自我管理形式。最后，本文的分析基于对称的NK框架，该框架假设相互依赖关系均匀分布于整个景观之中。然而，现实中相互依赖关系可能集中分布，从而形成高原景观（Hebbron 等人，2008），而本研究未对此加以考虑。

参考文献

Alochet, M., MacDuffie, J.P., Midler, C., 2022年。《生产中的镜像？来自纯电动汽车（BEV）规模化的早期证据》。Industrial and Corporate Change dtac028。doi：10.1093/icc/dtac028。Baldwin, C.Y., 2008。交易从何而来？模块化、交易与企业边界。Industrial and Corporate Change 17, 155–195。Baligh, H.H., Burton, R.M., Obel, B., 1996。组织顾问：为组织设计创建一套可用的理论。《管理科学》42, 1648–1662。Ben-Menahem, S.M., Von Krogh, G., Erden, Z., Schneider, A., 2016。协调多学科团队中的知识创造：来自药物发现早期阶段的证据。《管理学会杂志》59, 1308–1338。Bernstein, E., Bunch, J., Canner, N., Lee, M., 2016。超越合弄制热潮。《哈佛商业评论》94, 38–49。Blanco-Fernández, D., Leitner, S., Rausch, A., 2021。复杂任务环境中的动态联盟：是否要更换获胜团队？载于：《2021年运筹学会仿真研讨会论文集》，第346–355页。Boyacigiller, N.A., Adler, N.J., 1991。狭隘的恐龙：全球背景下的组织科学。《管理学会评论》16, 262–290。Burns, T., Stalker, G.M., 1961。《创新管理》。Tavistock 出版社。Burton, N., Sarpong, D., O'Regan, N., 2020。架构对应、架构雾化与创新：新视角。《战略变革》29, 5–11。Burton, R.M., Håkonsson, D.D., Nickerson, J., Puranam, P., Workiewicz, M., Zenger, T., 2017。GitHub：探索无老板组织形式与层级组织形式之间的空间。《组织设计杂志》6, 1–19。

Cabigiosu, A., Camuffo, A., 2012。超越“镜像”假说：空调行业中的产品模块化与组织间关系。《组织科学》23, 686–703。Caspin-Wagner, K., Lewin, A.Y., Massini, S., Peeters, C., 2013。组织设计与绩效中管理相互依存契合这一作用尚未得到充分探讨。《组织设计杂志》2, 34–41。Chandler, A.D., 1969。《战略与结构：美国工业企业史论》。麻省理工学院出版社。Chen, Y., 2017。镜像假说背后是什么？市场创造中模块化与整合之间的动态关系：来自电动汽车行业的案例。载于：第77届管理学会年会，技术创新管理研讨会，第1–5页。Chen, Y., Chowdhury, S.D., Donada, C., 2019。镜像假说与整体性：来自特斯拉汽车的证据。《工程与技术管理杂志》54, 41–55。Colfer, L.J., Baldwin, C.Y., 2016。镜像假说：理论、证据与例外。《产业与企业变革》25, 709–738。Daft, R.L., 2015。《组织理论与设计》。圣智学习。Daft, R.L., Lewin, A.Y., 1993。“新型”组织形式的理论在哪里？编者按。《组织科学》4, i–vi。Daugherty, T., Eastin, M.S., Bright, L., 2008。探究消费者创造用户生成内容的动机。《互动广告杂志》8, 16–25。Deci, E.L., 1971。外部中介奖励对内在动机的影响。《人格与社会心理学杂志》18, 105–115。Donaldson, L., Joffe, G., 2014。契合——组织设计的关键。《组织设计杂志》3, 38–45。Erez, M., Earley, P.C., 1987。不同文化背景下目标设定策略的比较分析。《应用心理学杂志》72, 658。Falk, A., Fischbacher, U., 2006。互惠理论。《博弈与经济行为》54, 293–315。Fehr, E., Gächter, S., 2000。公平与报复：互惠经济学。Journal of Economic Perspectives 14, 159–181。Fehr, E., Schmidt, K.M., 2006。公平、互惠与利他主义经济学——实验性证据与新理论。载于：《给予、利他主义与互惠经济学手册》。爱思唯尔。第1卷，第615–691页。Fischer, P., Huddart, S., 2008。内生社会规范下的最优契约。《美国经济评论》98, 1459–75。Foss, N.J., Dobrajska, M., 2015。Valve之道：离经叛道、富有远见，还是赶时髦？《组织设计杂志》4, 12–15。

Galbraith, J.R., 1974年。《组织设计：信息处理视角》。Interfaces 4, 28–36。Gebauer, H., Fischer, T., Fleisch, E., 2010年。探讨服务战略变革模式与组织设计要素之间的相互关系。《Journal of Service Management》21, 103–129。Gneezy, U., Meier, S., Rey-Biel, P., 2011年。激励何时以及为何（不）能改变行为。《Journal of Economic Perspectives》25, 191–210。Good, M., Knockaert, M., Soppe, B., Wright, M., 2019年。学术界的技术转移生态系统：组织设计视角。Technovation 82, 35–50。Hebbron, T., Bullock, S., Cliff, D., 2008。NKalpha：扩展NK模型中的非均匀上位性相互作用，载于：人工生命XI：第十一届生命系统模拟与合成国际会议论文集。麻省理工学院出版社，马萨诸塞州剑桥，页码234–241。Hennig-Thurau, T., Gwinner, K.P., Walsh, G., Gremler, D.D., 2004。通过消费者意见平台传播电子口碑：是什么促使消费者在互联网上表达自我？Journal of Interactive Marketing 18, 38–52。Jovanovic, B., 1979年。职位匹配与人员流动理论。Journal of Political Economy 87, 972–990。Kauffman, S.A., 1993年。《秩序的起源：自组织与进化中的选择》。牛津大学出版社，美国。Kosaka, G., 2021年。在组件专业化企业中实现部分镜像：来自硬盘驱动器行业的证据。Technology Analysis & Strategic Management 34, 989–1003。Kumar, V., Mukherjee, S., 2018。合弄制——组织方式的未来？Zappos案例。Human Resource Management International Digest 26, 12–15。Langlois, R.N., 2002。技术与组织中的模块化。Journal of Economic Behavior & Organi-zation 49, 19–37。Langlois, R.N., Robertson, P.L., 1992。模块化系统中的网络与创新：来自微型计算机和立体声音响组件行业的经验。Research Policy 21, 297–313。Law, A.M., 2015。《仿真建模与分析》。第5版，麦格劳-希尔，纽约，美国。Lawrence, P.R., Lorsch, J.W., 1967。复杂组织中的差异化与整合。Administrative Science Quarterly 12, 1–47。Lee, M.Y., Edmondson, A.C., 2017。自我管理型组织：探索低层级化组织的限度。Research in Organizational Behavior 37, 35–58。Leitner, S., 2022。学习型智能体组织中的协作搜索与自主任务分配。doi：arXiv.2206.02142。Levinthal, D.A., 1997。崎岖景观中的适应。《管理科学》43, 934–950。Ma, T., Nakamori, Y., 2005。技术创新作为演化过程的基于智能体的建模。European Journal of Operational Research 166, 741–755。

Marschak, J., Radner, R., 1972。团队经济理论。考尔斯基金会。Massari, G.F., Giannoccaro, I., Carbone, G., 2023。团队社会网络结构与韧性：一种复杂系统方法。IEEE工程管理汇刊 70, 209–219。Meyer, M.A., 1994。团队生产中的学习动态：对任务分配的启示。《经济学季刊》109, 1157–1184。Miller, M., Friesen, P., Mintzberg, H., 1984。PH（1984）：《组织：量子视角》。Prentice-Hall，新泽西州，恩格尔伍德克利夫斯。Ortega, J., 2001。工作轮换作为一种学习机制。《管理科学》47, 1361–1370。Patel, M.H., Abbasi, M.A., Saeed, M., Alam, S.J., 2018。运用探索性数据挖掘技术分析基于智能体的社会仿真的一种方案。《复杂自适应系统建模》6, 1–17。Peng, G., Mu, J., 2018。模块化产品会带来模块化组织吗？来自开源软件开发的证据。《国际生产研究杂志》56, 6719–6733。Prokopenko, M., 2009。引导式自组织。《HFSP期刊》3, 297–289。Puranam, P., 2018。《组织微观结构》。牛津大学出版社。Puranam, P., Alexy, O., Reitzig, M., 2014。新型组织形式“新”在哪里？《管理学会评论》39, 162–180。Puranam, P., Håkonsson, D.D., 2015。Valve之道。《组织设计杂志》4, 2–4。Puranam, P., Raveendran, M., Knudsen, T., 2012。组织设计：认识论相互依赖视角。《管理学会评论》37, 419–440。Qiao, D., Lee, S.Y., Whinston, A., Wei, Q., 2017。激励供给与亲社会行为，载于：第50届夏威夷国际系统科学会议论文集。HICSS，页码5599–5608。Raveendran, M., Puranam, P., Warglien, M., 2022。通过自我选择实现劳动分工。《组织科学》33, 810–830。Robertson, B.J., 2015。《合弄制：快速变化世界中的新型管理体系》。亨利·霍尔特公司。Sanchez, R., Galvin, P., Bach, N., 2013。“闭环”：战略组织的架构视角——迈向反向镜像假说。工作论文，哥本哈根商学院创新与组织经济学系。Sanchez, R., Mahoney, J.T., 1996。产品与组织设计中的模块化、灵活性与知识管理。《战略管理杂志》17, 63–76。Sanchez, R., Mahoney, J.T., 2013。模块化与经济组织：概念、理论、观察与预测，载于：《经济组织手册》。爱德华·埃尔加出版社，页码383–399。Schilling, M.A., 2000。迈向一般模块化系统理论及其在企业间产品模块化中的应用。《管理学会评论》25, 312–334。

Schlevogt, K.A., 2002. 中国管理的艺术：理论、证据与应用。牛津大学出版社。Scott, W.R., 1998. 组织：自然系统、理性系统与开放系统。普伦蒂斯-霍尔国际出版社。Simon, H.A., 1967年。商学院：组织设计中的一个问题。《管理研究杂志》4, 1–16。Simon, H.A., 1991. 复杂性的架构，载于：《系统科学的多个方面》。施普林格，第457–476页。Tee, R., Davies, A., Whyte, J., 2019. 模块化设计与整合实践：通过协调与合作管理协作。Research Policy 48, 51–61。Tomassini, M., Verel, S., Ochoa, G., 2008. 组合空间的复杂网络分析：NK景观案例。《物理评论E辑》78, 066114。Tsoukas, H., 1993. 作为肥皂泡的组织：组织设计的演化视角。《系统实践》6, 501–515。Ulrich, K., 1995. 产品架构在制造企业中的作用。Research Policy 24, 419–440。Vergne, J.P., 2020年。去中心化组织与分布式组织：区块链、机器学习与数字平台的未来。《组织理论》1. doi:10.1177/26317877209770。Volberda, H.W., Lewin, A.Y., 2003. 企业内部及企业之间的共同演化动态：从演化到共同演化。《管理研究杂志》40, 2111–2136。Wall, F., Leitner, S., 2021年。管理会计研究中的基于主体的计算经济学：机遇与挑战。《管理会计研究杂志》33, 189–212。Weber, M., 2009. 社会与经济组织理论。西蒙与舒斯特。Wei, J., Yang, Y., Li, S., 2021年。镜像与否？中国跨国企业跨境整合的架构设计。《亚太管理杂志》38, 1399–1430。Williamson, O.E., 1985. 资本主义的经济制度。自由出版社。Zárraga, C., Bonache, J., 2003. 评估团队环境中的知识共享：实证分析。《国际人力资源管理杂志》14, 1227–1245。