arXiv:2601.09944v1 [cs.CY] 15 Jan 2026

草稿第5版

工程类高年级毕业设计项目中的冲突激励建模：一种多参与者博弈论方法

Richard Q. Blac kwell[1], Eman Hammad[2], 靳聪睿[2], Jisoo Park[2], Albert E. Patterson[2*]

[1] *University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois, USA*
[2] *Texas A&M University, College Station, Texas, USA*

[*] *Correspondence: Albert E. Patterson at aepatterson5@tamu.edu*

摘要

大学工程毕业设计项目涉及学生、教师和行业赞助商之间持续的互动，而各方目标仅部分一致。尽管毕业设计项目在工程教育中广泛采用，现有分析通常只是非正式或描述性地探讨利益相关者行为，因此对激励冲突、信息不对称和战略依赖关系的研究仍不充分。本文构建了一个正式的博弈论框架，将毕业设计项目建模为涉及三类参与者的序贯贝叶斯博弈：（1）大学；（2）行业赞助方；（3）学生团队。该框架旨在作为分析和解释工具，用于理解评分结构、知识产权规则和赞助方参与预期等制度政策选择如何影响利益相关者行为和项目成果，而非作为经过校准的预测模型。大学通过承诺采取课程政策和评估结构，在不完全信息条件下预判赞助方和学生的策略响应，从而充当受约束的斯塔克尔伯格领导者。约化式结果函数涵盖技术质量、文档质量、及时性、与赞助方需求的对齐程度以及可发表性；收益函数则反映各利益相关者特定的目标和成本。在标准假设下，该模型存在稳定的均衡状态，与实践中可观察到、且在实证中易于辨识的顶点项目动态相对应，包括合作参与、赞助方主导的剥削以及学生成绩投机。该框架并不声称能够进行精确预测，而是旨在作为分析工具，用于探讨项目式学习环境中的激励设计、政策权衡和结构性失效模式。研究结果为比较分析不同毕业设计项目结构奠定了严谨基础，也为未来纳入更丰富的动态因素、重复互动和实证校准的扩展研究提供了依据。

关键词：毕业设计项目设计、博弈论建模、工程教育、利益相关者激励、贝叶斯均衡

1. 引言

大学工程毕业设计项目处于教育、应用工程实践与行业合作的交汇点 [1–3]。这些项目旨在同时发挥综合性学术体验、结构化学习环境以及学生与真实利益相关者互动的真实机会等作用。然而，这些项目存在于一个

复杂的激励生态系统中，该系统塑造着参与其中的三类主要参与者的行为 [4]：学生团队、赞助公司以及负责组织和监督课程的大学 [4–6]。尽管人们通常认为这些关系是合作且互利的，但它们往往涉及利益不一致、优先事项冲突和不对称期望。理解这些矛盾，对于设计可持续、公平且能有效促进教育的毕业设计项目至关重要。在实践中，每个参与方都带着各自的目标进入毕业设计生态系统 [6, 7]。学生希望尽可能多地学习、取得优异成绩、构建有趣的作品集并拓展职业人脉，同时还要应对其他课程带来的学业负担和有限的时间。与此同时，大学有责任确保毕业设计项目符合认证要求、取得可衡量的学习成果、遵循学术标准，并满足伦理、法律和安全合规要求 [7, 8]。大学要在学生和行业合作伙伴中树立良好声誉，既要提供高质量的教育体验，也要与赞助方维持长期、可信的关系。另一方面，赞助方可能希望以最低成本获得可用的原型、探索性分析或创新概念。一些赞助方主要将毕业设计项目视为教育推广和招聘渠道，而另一些则暗中把它们当作获取低成本工程劳动力的机会。

这些目标差异会造成可预见的冲突点。学生往往更倾向于选择新颖或有助于提升简历的项目方向，而这些方向可能与赞助方的实际需求不一致。赞助方的业务时间表或期望可能与学术日历不相符。大学必须落实文档、反思和评估要求，而学生和赞助方可能会将这些要求视为额外负担。知识产权限制可能会妨碍学生展示自己的成果，而不明确的指导期望则可能导致赞助方参与过多或不足。在某些情况下，每个参与方只有让另一方处于不利地位，自己才能“获胜” [9–11]。例如，学生为了满足评分标准而尽量少付出努力；赞助方获取价值却未提供充分指导；或者大学优先采用给学生造成负担、同时降低赞助方所得价值的评估结构。这种固有的多方张力使毕业设计项目特别适合采用博弈论解释。毕业设计生态系统可以建模为一种三方策略互动：大学设定规则和限制，赞助方选择从支持性到剥削型的立场，而学生则将努力投入学业成果或面向赞助方的交付成果。各参与方都不完全了解其他参与方的真实优先事项，而且互动会跨学期重复，从而形成声誉和关系反馈循环。此类模型有助于系统地探索均衡行为、激励不一致，以及合作或剥削性结果出现的条件。

本文提出了一个用于分析顶点项目利益相关者动态的概念性博弈论框架，强调教育目标、行业期望与学生动机如何相互交织。本研究的贡献在于明确毕业设计项目中的激励结构与决策顺序，而不是提出具体的函数形式或经过校准的参数数值。该框架旨在解释稳定的行为模式如何从利益相关者对机构政策和参与期望所作出的理性回应中产生。通过将大学建模为承诺采取可观察课程政策的先行者，并刻画赞助方和学生在不完全信息下的回应，本文分析为思考激励主导、政策权衡和反复出现的顶点项目动态提供了一种结构化方式。本文的目标并非预测某一特定项目的成果，而是提供一个诊断视角，用于解释为何某些顶点项目模式会在不同机构中反复出现。通过考察三位参与者之间的激励、策略和潜在均衡，该框架提供了一个结构化视角，以理解大学—产业顶点项目合作中的成功与反复出现的功能失调。

第2 节探讨了一些已经完成的相关工作，为第3节的框架构建提供了动机。第4节介绍了三个说明性案例研究，并在第5节对其经验教训进行了详细讨论。最后，第6 节对总体研究工作作出总结性评论。

2. 相关工作

产业赞助的顶点项目在工程教育领域得到了广泛研究，被视为整合设计、专业实践与体验式学习的一种机制 [9]。早期调查与综述记录了毕业设计课程的普及程度、结构多样性，以及在平衡教育目标与赞助方期望方面持续存在的挑战 [12–16]。尽管已有大量描述性文献 [8], ，此前大多数研究仍以非正式方式处理利益相关者行为，侧重于课程组织、评估实践或报告的成果，而非促成反复出现的成功与失败模式的策略互动 [17]。高等教育研究中的另一类相关文献则强调评估结构在塑造学生行为方面的作用。有关建构性对齐和评估驱动学习的研究表明，学生会理性地响应评分激励；当评估信号强烈时，他们往往优先追求评分标准可见成果，而非更深入的概念理解 [10, 11]。这些文献为理解顶点项目环境中观察到的分数博弈行为提供了重要背景，但通常缺乏形式化框架，无法分析这种行为如何在多个利益相关者之间的互动中产生 [18]。策略互动的形式化模型，包括斯塔克尔伯格博弈和委托—代理框架，为分析此类系统提供了工具：其中一个参与者承诺实施某些政策，同时预期其他参与者会作出理性响应 [19, 20]。尽管这些方法在经济学和组织理论领域已发展成熟，但其在工程教育和毕业设计设计中的应用仍然有限。现有教育模型很少纳入不完全信息、策略响应，或制度、产业与学生参与者之间的均衡推理。更广泛而言，教育领域的系统导向视角强调激励协调与制度结构在塑造行为方面的重要性 [21, 22]。这些视角为本研究提供了依据：本研究将毕业设计项目视为策略系统，而非彼此孤立的教学干预。通过整合工程教育、评估理论与博弈论的见解，本文提出的框架既补充了现有描述性研究，也为分析激励主导、政策权衡及持续存在的顶点项目弊病提供了形式化视角。

3. 利益相关者激励的博弈论框架

本研究构建了一个形式化的博弈论模型，用于描述大学毕业设计项目中三类主要利益相关者之间的互动：(1) 大学，(2) 产业赞助方，以及 (3) 完成项目的学生团队。该框架旨在捕捉毕业设计项目过程中自然产生的激励结构、相互冲突的目标、不完全信息和序贯依赖关系。通过将系统表述为动态贝叶斯博弈，该模型能够考察政策选择、赞助方行为和学生努力分配如何共同塑造教育成果和技术成果。

3.1. 参与者与行动顺序

毕业设计项目具有层级决策结构。在本模型中，假设大学首先规定课程政策、评分标准和知识产权

规则。在这个基准模型中，大学代表项目层面的机构行为者，负责设定课程政策和评估结构。随后，赞助方会在这些约束范围内选择项目立场和监督程度。最后，学生团队会根据大学政策和赞助方期望分配有限的努力。对这一假定事件顺序，最适合采用序贯扩展式博弈进行建模。在这个博弈中，有三位参与者：(1) 大学U、(2) 赞助方 C，以及 (3) 学生团队 S。在这一表述中，行动顺序为

$$U \to C \to S \to \text{Outcomes} \to \text{Payoffs}. \tag{1}$$

该表述是一个具有不完全信息和非对称观察的序贯博弈。机制设计者负责规定策略互动发生的制度环境。在本研究中，大学（通过其课程政策、评估结构和监督实践）设计了这样一种机制，决定赞助方参与、学生投入、文档质量和技术表现如何转化为效用。大学作为受约束的机制设计者，选择政策工具，而非完整的或有合同或货币转移。其角色类似于委托—代理理论中的委托人。大学无法直接支配利益相关者行为，但可以通过安排激励来鼓励理想的均衡结果。假设所有大学政策在赞助方行动之前均为公开可观察信息。学生可以观察到赞助方行动，但大学直到项目完成后才能完全观察到这些行动，这反映了学期中期监督的有限性。项目进行期间，学生的选择仅为团队内部所知，但其结果会在学期末体现于可观测结果变量中。

3.2. 类型空间（不完全信息的性质）

每位参与者都拥有会影响策略行为、但其他参与者无法直接观察到的私人特征（类型）。大学在教学取向和学术优先事项方面各不相同；赞助方在支持学生学习与传播方面的意愿有所差异；学生在付出努力的内在成本方面也各不相同。对这些类型进行显式建模，使信念和信号传递能够影响均衡策略。大学的类型是

$$\theta_U \in \{\theta_U^L, \theta_U^H\}, \tag{2}$$

代表不同的机构优先事项（例如，对学术严谨性、文档记录和可发表性的重视程度较低或较高）。大学类型 θ_U 反映的是机构优先事项的异质性，而非策略能力。具体而言， θ_U 用于对大学相对于行政成本而言如何看待教育成果进行参数化。其他参与者无法直接观察到这一类型，但它会影响大学政策如何转化为效用。尽管大学会策略性地选择可观察的政策（r， i， m），其内在取向 θ_U会影响这些政策如何转化为收益。赞助方具有连续型类型

$$\theta_C \in [0, 1], \tag{3}$$

体现其对学术目标的内在取向（ θ_C 越高，表示组织越支持学术）。除类型外，赞助方还会选择一种离散立场$s \in$ {支持性，剥削型}，反映其在学期期间实际参与项目的方式。赞助方的立场 s代表短期策略行为，而 θ_C 体现长期组织取向；两者不必一致。立场是一种策略选择，而非对类型的直接揭示：高类型赞助方更可能（但并非必须）

采取支持性行为，低类型赞助方也仍可能采取合作的行为。连续型类型θ_C 直接进入收益函数和结果函数，而 s 则体现取决于类型和激励的粗略行为模式。学生的努力成本各不相同，其类型

$$\theta_S \in \{\ell, h\}, \qquad 0 < k(\ell) < k(h), \tag{4}$$

其中， $k(\theta_S)$决定努力的边际成本（ℓ = 低成本、 h = 高成本）。无论高低，努力的成本都大于零。类型的共同先验记为$p_U(\theta_U)$、 $f_C(\theta_C)$和 $p_S(\theta_S)$。这些先验表示在观察到任何行动之前，对于各利益相关者类型的共同初始不确定性。它们概括了参与者在采取行动前对其他参与者的看法。随着博弈推进，每当行动揭示有关潜在类型的信息时，参与者便会运用贝叶斯法则更新这些信念。

3.3. 行动空间

每位利益相关者都会选择符合其在毕业设计生态系统中角色且有利于自身的行动。大学制定学术项目要求的正式政策和期望，赞助方设定技术期望并提供监督，学生则选择努力的程度和战略重点。各参与者的行动如下。

- **大学的行动**：大学选择

$$a_U = (r, i, m), \tag{5}$$

其中， $r \in [0, 1]$ 表示项目评分标准或学术期望的严格程度，($i \in \mathcal{I}$规定知识产权/发表政策， $m \in \{0, 1, 2\}$则定义大学期望赞助方为学生提供指导的最低强度。指导要求 m 以离散方式建模，以反映大学通常以定性层级（例如，不干预、定期跟进或高度参与）而非连续数值来规定参与程度。

- **赞助方的行动**：赞助方选择

$$a_C = (s, o, d), \tag{6}$$

其中， $s \in \{$支持性、剥削型$\}$ 表示其立场， $o \in \{0, 1, 2\}$ 表示指导强度， $\bar{}$ $\bar{}$ 表示指导， $d \in [0, d]$ 表示项目/范围的严格程度，且该值为某个有限 d 。对于指导强度，0 表示赞助方采取不干预的方式，不会与学生进行有实质意义的互动；1 表示赞助方定期了解进展，并与学生进行设计评审；2 则表示赞助方积极指导学生并定期提供技术支持。指导强度被建模为离散变量，因为赞助方的参与通常表现为性质不同的几种模式（不干预、定期参与或高度投入）；而范围严格度在不同项目间的变化更为连续，因此用非负实数表示。指导要求 m 在学期期间无法直接强制执行，因此不会限制赞助方对o的可行选择，但会通过监控成本影响大学的收益。

- **学生行动**：学生选择

$$a_S = (e, x), \tag{7}$$

其中，努力 $e \in [0, 1]$ 表示团队分配给项目的工作时间占可用总工作时间的标准化比例；战略取向 $x \in \{L, D, M\}$则对应于一种

学习导向方法（L）、交付导向方法（D）或最小化努力分配策略（M）。导向变量采用离散方式建模，以捕捉毕业设计团队中经常观察到的、在定性上截然不同的行为模式。

3.4. 结果函数

所有参与者的联合行动决定了项目的可观测结果。为简化符号表示，每项结果都建模为一个期望值，该值以相关行动以及适用情况下的利益相关者类型为条件。这些结果包括技术质量、文档质量、及时性、与赞助方期望的一致性以及可发表性。在此模型中，可发表性指项目成果促成学术出版物的概率，而这些出版物主要使大学受益。这些结果函数将激励如何转化为毕业设计项目的实际绩效形式化。在此，“项目绩效”指最终项目实现的质量成果，而非利益相关者的效用或项目进行期间的中间行为。所有结果函数均建模为相关行动和类型的线性（仿射）映射。这种选择能够清晰地分析敏感性、效应单调性，并使系数易于解释；对于复杂教育或组织互动的简化式表示而言，这也是一种标准做法。本模型并非旨在捕捉详细的生产函数非线性，而是用于编码行动对可观测项目成果的方向性影响。在这种表述中，设结果函数为

- Q =技术质量，其中

$$\mathbb{E}[Q \mid e, o, x, s, d] = q_0 + q_1 e + q_2 o - q_3 1[s = \text{exploitative}] - q_4 d + q_5\, 1[x = L] \cdot o. \tag{8}$$

该函数表明，技术质量随学生投入 e和赞助方指导强度 o的提高而提升，但当赞助方采取剥削型姿态（s = 剥削型）或项目范围过于严格（d）时，技术质量会下降。交互项 $q_5\, 1[x = L]\, o$ 体现了这样一种观点：以学习为重点的导向（$x = L$）主要在存在有意义的指导时才能提升技术质量。在这一设定中，以学习为导向的团队能够从指导中受益，因为指导有助于将概念理解转化为有效的工程产出；而缺乏支持的、以学习为重点的工作可能无法提升短期技术交付成果。系数 $q_0, \ldots, q_5$ 表示基准质量水平以及各因素的边际效应。

- $D_{\text{文档}}$ =文档质量，其中

$$\mathbb{E}[D_{\text{doc}} \mid e, x, r, o] = d_0 + d_1 e + d_2 \mathbf{1}[x = L] + d_3 r + d_4 o. \tag{9}$$

文档质量随学生投入 e、以学习为重点的导向（x =L）以及更严格的大学评分标准 r而提高，这体现了该机构对报告、反思和过程透明度的重视。指导强度的正系数 o表明，赞助方的参与能够通过向学生提供更明确的技术期望、结构化反馈，以及如何有效传达工程决策的指导，来改善文档。参数 $d_0, \ldots, d_4$ 决定文档质量的基准水平以及各因素的边际影响。

- T =及时性，其中

$$\mathbb{E}[T \mid e, o, d] = t_0 + t_1 e + t_2 o - t_3 d. \tag{10}$$

随着学生努力程度 e 和赞助方指导强度o的提升，及时性也会提高；这两者都有助于团队保持稳定进展，并高效解决技术问题。

相反，范围要求越严格 d，及时性就越低，因为要求更高的项目要求需要更长时间才能完成。系数 $t_0, \ldots, t_3$ 定义了该简化式表示中的基准及时性水平以及各因素的边际效应。

- A =赞助方契合度，其中

$$\mathbb{E}[A \mid x, s, d] = a_0 + a_1 \mathbf{1}[x = D] + a_2 \mathbf{1}[s = \text{supportive}] - a_3 d. \tag{11}$$

当学生采取交付成果导向（$x = D$），优先产出符合赞助方期望的成果时，赞助方契合度最高。赞助方提供支持（s =支持性）时，契合度也会更高，而剥削型赞助方不会对契合度产生积极影响。项目范围越严格 d，契合度越低，因为这会提高期望，并增加未能达标的风险。参数 a_0、……、a_3 对这些关系进行编码。

- P =可发表性，其中

$$\mathbb{E}[P \mid i, \theta_C, Q, D_{\text{doc}}] = p_0 + p_1 1[i = \text{permissive}] + p_2 \theta_C + p_3 Q + p_4 D_{\text{doc}}, \tag{12}$$

参数的选取满足 $\mathbb{E}[P] \in [0, 1]$。可发表性是指项目产出可作为学术文献发表的成果（如会议论文、专利、技术报告等）的预期似然。当大学采用宽松的知识产权政策（$i =$ 宽松）时、赞助方类型 θ_C 在学术方面更具支持性时，以及项目技术质量更高 Q 且文档质量更高 D_{doc} 时，可发表性会提高。后两种影响体现了这样一种观点：工程成果扎实且方法说明清晰的项目，更有可能产出可发表的成果。参数 p_0、……、p_4 经过选取，使预期可发表性处于概率范围 $[0, 1]$内。系数受到限制，满足 $p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 \leq 1$，且所有输入均归一化至 $[0, 1]$。

对于方程 8、9、11和 12，$\mathbf{1}[\cdot]$ 表示一个示性函数：当括号内的条件为真时取值为 **1**，否则取值为 **0**。示性项使模型能够捕捉取决于类别选择（如学生导向或赞助方姿态）的成果定性变化。

3.5. 利益相关者收益函数

每个利益相关者都通过一个根据可观测结果推导出的收益函数来评估项目。这些收益决定了战略激励，并用于均衡分析。

- **大学收益**：大学重视技术学习、文档质量和发表潜力，同时承担与执行严格评分标准及指导要求相关的行政成本

$$U_U = \alpha_Q(\theta_U) Q + \alpha_D(\theta_U) D_{\text{doc}} + \alpha_P(\theta_U) P - c_r r - c_m m. \tag{13}$$

权重函数 $\alpha_Q(\theta_U)$、$\alpha_D(\theta_U)$ 和 $\alpha_P(\theta_U)$ 均为非负函数，用于体现不同类型大学在机构优先事项上的差异。例如，研究型大学更看重可发表性，而教学型机构则优先考虑学习和文档成果。这些组成部分体现了核心教育目标，以及大学通过产出“可发表”的学生作品来实现更广泛使命的追求。成本 $c_r r$ 和 $c_m m$反映了执行严格评分标准和要求赞助方达到最低指导水平所带来的行政负担。评分标准严格度 r 越高，所需的教师监督就越多

也需要投入更多评估努力，而规定的指导水平 m 越高，则需要进行监控并确保合规。因此，U_U 权衡了良好学生成果带来的教育效益，以及管理毕业设计项目所需的行政和运营成本。

- **赞助方收益**：赞助方重视进展的及时性以及与其期望的对齐，但密集指导会给他们带来负效用

$$U_C = \beta_A A + \beta_T T - c_o o - c_d d^2. \tag{14}$$

其中 β_A, β_T 是非负权重， c_o, c_d 是成本系数。对齐程度 A 越高、及时性 T越强，赞助方效用就越高，这反映了赞助方对项目可靠进展以及符合其期望的成果的偏好。提供指导所需的努力 o 会给赞助方带来线性成本 $c_o o$，因为这需要投入时间和人力资源。项目范围严格度的成本 d以二次形式 $c_d d^2$计入，这体现了这样一种观点：具有适度挑战性的范围是有价值的，但极为严格或要求苛刻的项目要求会给赞助方带来越来越大的内部负担，例如需要增加评审、监督和技术支持。这些假设确保范围选择存在一个内部最优解，并避免赞助方总是选择最小范围的角点解。

- **学生收益**：学生从成绩中获得效用，此处的成绩由一组可观察的项目成果加权组合表示，这些成果取决于技术、文档和及时性方面的成果，减去努力带来的负效用

$$U_S = \gamma_Q Q + \gamma_D D_{\text{doc}} + \gamma_T T - k(\theta_S) e, \tag{15}$$

其中， $k(\theta_S)$体现了学生边际努力成本的差异。学生效用采用简化式表示，涵盖与成绩相关的收益以及努力带来的负效用。在这一简化形式的设定中，成绩表示为技术质量 Q、文档质量 D_{doc} 和及时性 T 的线性加权组合，权重系数为（γ_Q、 γ_D、 γ_T）。 $\gamma_Q Q$、 $\gamma_D D_{\text{doc}}$ 和 $\gamma_T T$ 体现了学生成绩取决于技术质量、文档质量和项目是否按时完成，而各项权重则反映了课程评估中各个维度的相对重要性。努力成本 $k(\theta_S)e$ 表示付出努力所带来的负效用，其中 $k(\theta_S)$ 体现了学生边际努力成本的异质性。可发表性不会直接计入学生收益，因为短期课程成果通常比长期传播收益对学生福利的影响更大。因此，学生只有通过对与成绩相关的成果（如Q 和 D_{doc}）作出贡献，才能间接从可发表性中受益。假设可发表性给学生带来的任何长期收益，相较于课程成绩都只是次要因素，因此在这一简化形式的设定中不予考虑。

3.6. 信息结构、策略与信念

由于每位参与者只能观察到环境的一部分，因此对其他参与者类型的信念会影响策略行为。博弈按顺序进行：大学首先行动；赞助方在观察到大学的政策后行动；学生团队最后行动，此时已观察到大学和赞助方双方的行动。该博弈的信息结构如下：

1. 大学只能观察到自己的类型 θ_U。
2. 赞助方观察其类型 θ_C 和大学的政策（r， i， m）。

3. 学生团队观察其类型 θ_S、大学的政策以及赞助方可观察到的选择（s， o， d）。

这些信息结构为策略函数提供输入。每个参与者的纯策略都将其信息集映射到一个行动

$$\sigma_U : \Theta_U \to [0,1] \times \{\text{permissive}, \text{restrictive}\} \times \{0,1,2\} \tag{16}$$

$$\sigma_C : \Theta_C \times A_U \to \{\text{supportive}, \text{exploitative}\} \times \{0,1,2\} \times [0, \bar{d}] \tag{17}$$

$$\sigma_S : \Theta_S \times A_U \times \mathcal{A}_C \to [0,1] \times \{\text{L}, \text{D}, \text{M}\}. \tag{18}$$

令 $A_U = [0,1] \times \{$宽松、限制性$\} \times \{0,1,2\}$ 和 $A_C = \{$支持性、剥削型$\} \times \{0,1,2\} \times [0,d]$ 分别表示大学和赞助方的行动空间。由于大学政策是策略性选择的，观察到 (r,i,m) 后，赞助方可以通过贝叶斯法则更新对 θ_U 的信念，尽管 θ_U 并不直接限制政策空间。这些策略函数体现了博弈的序贯结构；赞助方根据大学的政策调整自身行为，而学生则根据大学和赞助方双方的行动调整自身行为。由于参与者并不完全了解彼此的类型，因此会持有信念，并在观察到的行动提供有关类型的信息时更新这些信念。令 $\mu_C(\theta_U \mid r,i,m)$ 表示赞助方在观察到大学的政策 $a_U = (r,i,m)$ 后对大学类型的后验信念；令 $\mu_S(\theta_C \mid r,i,m,s,o,d)$ 表示学生团队在观察到赞助方的行动 $a_C = (s,o,d)$ 后对赞助方类型的后验信念。

在均衡路径上，信念依据贝叶斯法则进行更新

$$\mu_C(\theta_U \mid a_U) = \frac{p(\theta_U)\,\ell(a_U \mid \theta_U)}{\sum_{\theta'_U} p(\theta'_U)\,\ell(a_U \mid \theta'_U)}, \tag{19}$$

$$\mu_S(\theta_C \mid a_U, a_C) = \frac{f_C(\theta_C)\,\ell(a_C \mid a_U, \theta_C)}{\int_0^1 f_C(t)\,\ell(a_C \mid a_U, t)\,dt}. \tag{20}$$

其中，$\ell(a \mid \theta)$表示当相应玩家的类型为 θ时，观察到行动 a的似然，该似然由该玩家的策略决定。均衡路径外的信念可以用任何符合均衡精炼的方式加以指定。这些后验信念决定了各玩家的期望效用，进而影响其最优行动。本文采用的解概念是完美贝叶斯均衡，它要求满足序贯理性，并在均衡路径上进行贝叶斯更新。

在第4节所呈现的说明性案例研究中，信念固定为具有代表性的数值，以突出均衡结构，而非信念动态。贝叶斯更新通过影响期望效用，进而影响策略选择而纳入模型，并不会改变简化后的结果函数本身。具体而言，后验信念会影响赞助方姿态和学生取向对观察到的行动作出何种理性回应；但一旦确定了具有代表性的均衡配置，结果计算便直接以这些策略为条件。因此，贝叶斯更新的作用在于解释为何不完全信息下会出现特定的战略制度，而非生成案例内随时间变化的数值信念轨迹。

3.7. 均衡概念

这一不完全信息序贯博弈的适当解概念是完美贝叶斯均衡。每位参与者的策略都必须在给定其对其他参与者类型的信念时，使其期望收益最大化。具体而言：

- 大学选择 $(r,\ i,\ m) = \sigma_U(\theta_U)$ 以最大化

$$\mathbb{E}_{\theta_C,\theta_S}\left[U_U(r,i,m;\sigma_C,\sigma_S)\right]. \tag{21}$$

- 赞助方选择（$s,\ o,\ d$）$= \sigma_C$（$\theta_C,\ r,\ i,\ m$），以最大化

$$\mathbb{E}_{\theta_U,\theta_S}\left[U_C(s,o,d;r,i,m,\sigma_S) \mid \mu_C(\theta_U \mid r,i,m)\right]. \tag{22}$$

- 学生团队选择（$e,\ x$）$= \sigma_S$（$\theta_S,\ r,\ i,\ m,\ s,\ o,\ d$），以最大化

$$\mathbb{E}_{\theta_C}\left[U_S(e,x;r,i,m,s,o,d) \mid \mu_S(\theta_C \mid r,i,m,s,o,d)\right]. \tag{23}$$

在均衡路径上，信念根据贝叶斯法则进行更新

$$\mu_C(\theta_U \mid r,i,m) = \frac{p(\theta_U)\,\ell(r,i,m \mid \theta_U)}{\sum_{\theta'_U} p(\theta'_U)\,\ell(r,i,m \mid \theta'_U)}, \tag{24}$$

$$\mu_S(\theta_C \mid r,i,m,s,o,d) = \frac{f_C(\theta_C)\,\ell(s,o,d \mid r,i,m,\theta_C)}{\int_0^1 f_C(t)\,\ell(s,o,d \mid r,i,m,t)\,dt}. \tag{25}$$

其中 ℓ（$a \mid \theta$）是类型 θ采用策略 σ 时采取行动 a 的似然。均衡路径外的信念可以任意指定，但须与均衡精炼相容。在此博弈中，一个策略组合

$$(\sigma_U,\sigma_C,\sigma_S,\mu_C,\mu_S) \tag{26}$$

若满足以下条件，则为完美贝叶斯均衡：

1. 每位参与者的策略在每个信息集上都是序贯理性的。2. 均衡路径上的信念满足基于均衡策略的贝叶斯法则。3. 均衡路径外的信念须以与博弈结构一致的方式指定。

这一均衡概念确保策略、信念与毕业设计项目环境的信息结构之间保持内在一致。

3.8. 代表性均衡类型

根据参数配置的不同，该博弈可能存在若干在性质上截然不同的代表性均衡机制。这些机制概括了稳定的行为模式，其中每位参与者的行动都是对其他参与者预期行动的最佳回应。应将这些机制理解为在实证上可识别的均衡模式，而非声称在所有参数设定下均具有唯一性。最明显的三种模式是：

- **合作型教育均衡**：当赞助方类型具有支持性、大学政策平衡、指导强度高，且学生面临的激励能够奖励学习和持续努力时，就会形成合作型教育均衡。在这种情形下，学生会选择高努力程度 e 和学习导向策略 $x = L$，因为支持性赞助方和适度的范围严格度 d 使技能习得投资物有所值。赞助方会提供高强度指导 $o = 2$，大学则会选择评分标准的严格程度r，以同时奖励技术深度和文档质量。最终的项目具有较高的技术质量、完善的文档和较高的可发表性。这种均衡体现了毕业设计项目预期的教学设计：激励对齐能够带来强劲的协同表现。总之，当所有参与方的激励平衡且聚焦于项目质量时，就会形成这种均衡。

• **剥削型赞助方均衡**：当赞助方类型具有剥削性、指导强度较低或为零，且赞助方在未提供充分支持的情况下强加严格的范围要求 d 时，就会出现剥削型赞助方均衡。在这种情况下，由于学习收益较低，学生会选择将努力转向满足赞助方期望，采取交付成果导向策略$x = D$ ，同时减少整体努力 e 。除非指导要求 m具有约束力，否则大学政策的影响有限；在其他情况下，赞助方的剥削行为会决定战略环境。技术质量中等偏低，文档质量受损，及时性难以保证；赞助方契合度可能看似很高，但这只是因为学生优先完成表面上的交付成果。这种情形代表一种由赞助方越权和制度保障不足所驱动的失配均衡。当赞助方期望学生承担大量工程工作，牺牲教育体验和学习要求时，就会出现这种均衡。关注点过度集中于项目交付成果，而对学习和学术工作重视不足。

• **成绩博弈均衡**：当大学采用极其严格或侧重文档的评分标准 r，而赞助方参与度仍然很低，且项目范围模糊或缺乏严格约束时，就会出现成绩博弈均衡。在这种环境下，学生会通过选择极简策略或文档导向策略 $x = M$ ，以最少的技术投入满足评分标准的要求，从而最大化效用；他们会将努力 e投入到有助于提高成绩的活动中，而非学习或取得工程成果。赞助方几乎不提供指导（$o = 0$），对交付成果要求的影响也很弱，因此学生理性地将策略重点放在文档材料上，而不是实质性的工程进展上。最终的项目呈现出较高的文档质量，但技术深度不足、创新有限、可发表性较低。这种均衡反映了毕业设计课程中的一种常见失效模式：评分标准激励挤占了有意义的工程工作。当对学术交付成果的关注过度，并使学生不愿从事工程工作、转而进行学术练习时，就会出现这种均衡。课程过于注重学术工作（以最大化成绩为目标）和学习，而对面向赞助方的项目交付成果关注不足。

3.9. 大学的机制设计问题

由于大学在博弈的序贯结构中率先行动，因此实际上扮演着斯塔克尔伯格领导者的角色。通过选择可观察的政策变量（r， i， m），大学可以预判赞助方和学生团队在均衡中的响应。这些响应由完美贝叶斯均衡策略刻画

$$\sigma_C^*(\theta_C; r, i, m), \tag{27}$$

$$\sigma_S^*(\theta_S; r, i, m). \tag{28}$$

对于这个博弈，设

$$\sigma^*(\theta; r, i, m) = \big(\sigma_U(\theta_U), \sigma_C^*(\theta_C; r, i, m), \sigma_S^*(\theta_S; r, i, m)\big) \tag{29}$$

表示在大学所选政策下，类型向量 $\theta = (\theta_U, \theta_C, \theta_S)$ 对应的诱导均衡策略组合。期望是针对参与者类型的联合分布取值，其中包括由 θ_U 表示的大学优先事项异质性。给定政策 (r, i, m) 和均衡策略 σ^*，各利益相关者的期望效用为

$$\mathbb{E}_\theta[U_U(\sigma^*)], \tag{30}$$

$$\mathbb{E}_\theta[U_S(\sigma^*)], \tag{31}$$

$$\mathbb{E}_\theta[U_C(\sigma^*)], \tag{32}$$

其中，期望是相对于共同先验 $p(\theta) = p_U(\theta_U)f_C(\theta_C)p_S(\theta_S)$ 取值的，其中 $f_C(\theta_C)$ 表示连续型赞助方类型在 $[0,1]$ 上的概率密度函数。大学选择 (r,i,m)，以最大化加权福利目标

$$\max_{r,i,m} \mathbb{E}_\theta \left[U_U(\sigma^*) + \lambda U_S(\sigma^*) + \eta U_C(\sigma^*)\right], \tag{33}$$

其中，λ和 η 是标量化权重，用于表示大学对学生福利和赞助方满意度的相对重视程度。对（λ、η）作出不同选择，可以描绘出教学成果、公平考量与外部合作关系稳定性之间的政策权衡。大学必须选择（r、i、m），使赞助方和学生的响应与完美贝叶斯均衡策略一致

$$\sigma_C^*(\theta_C; r, i, m) \in \arg\max_{(s,o,d)} \mathbb{E}_{\theta_U,\theta_S}\left[U_C(s,o,d; r, i, m, \sigma_S^*) \mid \mu_C\right], \tag{34}$$

$$\sigma_S^*(\theta_S; r, i, m) \in \arg\max_{(e,x)} \mathbb{E}_{\theta_U,\theta_C}\left[U_S(e,x; r, i, m, \sigma_C^*) \mid \mu_S\right], \tag{35}$$

其中的信念 μ_C 和 μ_S 依据第3.6节所述的贝叶斯法则形成。政策选择必须满足行政可行性 $0 \le r \le 1$、$i \in$ {宽松、限制性}和 $m \in \{0,1,2\}$。这一斯塔克尔伯格机制设计表述刻画了大学政策如何塑造下游行为。大学通过先行决策并预见均衡响应，在确定最优学术政策时将赞助方和学生的策略性反应纳入考量。激励相容约束确保赞助方和学生的行动是针对所选政策的均衡最优响应，从而使最终的均衡行为与先前分析的完美贝叶斯均衡一致。

3.10. 采用简化形式结果函数的理由

本模型所使用的结果函数采用简化形式的仿射表示。这一选择遵循机制设计和应用贝叶斯博弈中的标准做法 [20], ，其目标是捕捉激励效应的方向，而非估计结构性生产技术。线性表示能让边际效应一目了然，使参数保持易于解释，并且无需引入无关的函数复杂性即可推导比较静态分析。更复杂的非线性设定可以在不改变模型定性见解的情况下引入，但会模糊政策选择与利益相关者激励之间的联系。因此，约化式方法提供了一种便于处理且分析清晰的映射，将策略选择与项目成果联系起来，同时保留毕业设计合作项目中观察到的显著行为关系。这些约化式设定旨在清晰呈现激励效应和决策依赖关系，而非描述经过校准的生产关系，也不用于预测特定项目的结果。

尽管后文呈现的案例研究依赖于代表性参数值，但赞助方拥有有限单边影响力这一质性结果在结构上是稳健的。赞助方影响力主要通过指导强度和范围严格度发挥作用，而由于努力响应和成本项的影响，这两者进入结果函数时都会产生递减收益或相互抵消的收益。改变收益权重或结果系数会影响赞助方效用的大小，但不会消除攫取与教育质量之间的权衡。从这个意义上说，观察到的赞助方限制反映的是激励体系的结构，而非某一特定的参数选择。

3.11. 均衡的存在性

由于每位参与者的行动空间要么是有限的（对于姿态、方向和指导层级选择），要么是实数的紧区间（对于努力、评分标准严格度和范围严格度），并且所有收益函数和结果函数都关于参与者的行动和类型连续，因此，该博弈至少存在一个完美贝叶斯均衡（可能采用混合策略或行为策略）。这一结论源于不完全信息序贯博弈和紧策略集的标准存在性结果 [23–25]。本文其余部分的分析将重点放在刻画简化式模型在不同参数化条件下的代表性均衡类型上。

3.12. 形式模型总结

该模型整合了类型不确定性、序贯决策和受政策影响的激励，研究的毕业设计项目环境涉及一所大学、一个产业赞助方和一个学生团队。每位利益相关者都有一个只有自身知晓的类型，该类型会影响其激励；各方观察到前序行动的一部分，并在可能的情况下运用贝叶斯法则形成信念。大学首先行动，选择评分标准的严格程度、知识产权政策以及最低指导要求。赞助方观察大学的政策后，选择其行为姿态、指导力度以及范围的严格程度。最后，学生团队在观察前两个阶段后，选择项目的努力程度和方向。约化式结果函数将这些选择转化为技术质量、文档质量、及时性、赞助方契合度和可发表性。收益函数将这些成果与努力成本和行为惩罚结合起来，并采用完美贝叶斯均衡精炼来分析由此产生的策略互动。该模型为探究政策、赞助方行为与学生投入如何相互作用并塑造毕业设计项目成果，提供了连贯的理论基础。

4. 案例研究

4.1. 案例研究*1*：高度协作的毕业设计合作

案例研究1描述了一个毕业设计项目，其中大学、赞助方和学生团队之间的激励相当一致。与其说这是理想化的最佳案例，不如说它是一个有用的参照，说明项目要按预期运行，需要哪些条件到位。赞助方以真诚的支持型姿态参与毕业设计课程，定期沟通，并提供切实有效的技术指导。在模型中，这对应于中等指导强度（$o = 1$）下的支持性立场，以及范围设置合理的项目（$d = 0.3$）。大学则通过设定严格程度适中的评分标准（$r = 0.6$）、要求达到最低指导参与度（$m = 1$），并允许采用宽松的知识产权政策（$i = \text{permissive}$），使学生能够分享和发表其工作成果的部分内容。上述选择体现了一种平衡的教育理念：在保持学术严谨性的同时，给予学生足够的灵活性，以探索技术构想并产出具有公共价值的成果。在这一情景中，学生团队的表现很像一个运作良好的毕业设计小组。学生为项目投入了大量努力（$e = 0.85$），并采取以学习为导向的心态（$x = L$），优先关注概念理解和技能发展，而非只着眼于交付成果完成。赞助方类型被设定为在学术方面具有支持性的（$\theta_C = 0.8$），这与行业合作伙伴的情况一致：其受到长期合作、教育影响以及与该项目持续互动的驱动。这些选择营造出高度合作的环境，使大学、赞助方和学生之间的激励大体一致，同时仍体现了以学习为导向的项目所固有的权衡。本案例采用的参数值经过选择，使结果严格处于单位区间内，并保留其方向性影响

其编码于方程8-12中，从而能够清晰地分析模型在高度协作条件下的敏感性。

表1 总结了该情景所采用的参数与行动配置，而表2报告了模型生成的项目成果。技术质量较高（$Q \approx 0.863$），文档质量良好（$D_{\text{doc}} \approx 0.873$），及时性极佳（$T \approx 0.805$），这反映了学生高度投入与持续指导支持的综合作用。赞助方契合度较高（$A \approx 0.570$），体现了教育导向与交付成果导向的契合之间的权衡。可发表性较高（$P \approx 0.767$），这得益于宽松的知识产权政策、赞助方的学术支持型类型，以及此配置下取得的优异技术成果和文档成果。表3报告了由此产生的利益相关者效用。学生获得了最高收益（$U_S \approx 0.721$），在学习收益与高投入所带来的负效用之间取得平衡。大学也获得了较高收益（$U_U \approx 0.677$），受益于出色的技术表现、文档质量和可发表性。赞助方获得中等收益（$U_C \approx 0.503$），反映了在指导成本可接受的情况下，项目进展顺利且契合度良好。表1 中报告的数值并非经验估计，而是为展示模型的定性行为而选取的一组内部一致的参数。这些系数符合方程8-12中规定的符号结构，在 $[0, 1]$, 中保持结果值归一化，并支持对均衡结果如何响应指导强度、项目范围和制度政策选择的变化进行透明的敏感性分析。这种数值示例在理论和机制设计建模中十分常见，其目标是阐明均衡行为，而非生成校准预测。具有相同符号结构的其他参数值也会产生定性相似的结果模式。总体而言，本案例展示了一种高度合作的结果模式：支持型赞助方行为与平衡的机构政策为所有利益相关者带来了互利的结果。

表1： 案例研究1（合作型教育均衡）的参数与行动配置。

符号	数值	描述	符号	数值	描述
Outcome function coefficients					
q_0	0.50	基准技术质量	q_1	0.30	对 Q的努力效应
q_2	0.10	对 Q的指导效应	q_3	0.08	Q中剥削型 s 的惩罚
q_4	0.04	Q中的范围惩罚	q_5	0.02	Q中的交互效应
d_0	0.40	基线文档质量	d_1	0.25	D_{doc}上的努力效应
d_2	0.20	$x = L$ 在 D_{doc}中的奖励	d_3	0.05	D_{doc}上的评分标准效应
d_4	0.03	对 D_{doc}的指导效应	t_0	0.50	基线及时性
t_1	0.20	对 T的努力效应	t_2	0.15	对 T的指导效应
t_3	0.05	T中的范围惩罚	a_0	0.50	基线对齐 A
a_1	0.30	$x = D$ 在 A中的奖励	a_2	0.10	支持性 s 在 A中的奖励
a_3	0.10	A中的范围惩罚	p_0	0.10	基线可发表性
p_1	0.25	宽松的知识产权政策的影响	p_2	0.25	赞助方类型 θ_C的影响
p_3	0.15	质量影响于 P	p_4	0.10	文档影响于 P
Policy and action choices					
r	0.60	评分标准严格度	m	1.00	指导要求
i	宽松	知识产权／发表政策	e	0.85	学生投入
x	L	以学习为重点的导向	s	支持性	赞助方姿态
o	1	指导强度	d	0.30	范围严格度
θ_C	0.80	赞助方类型			
Payoff weights and costs					
α_Q	0.40	对 Q在 U_U中的权重	α_D	0.30	对 D_{doc} 在 U_U中的权重

续见下页

表1——接上页

符号	数值	描述	符号	数值	描述
α_P	0.30	U_U中 P 的权重	c_r	0.10	评分标准严格度成本
c_m	0.10	指导要求成本	β_A	0.50	U_C中 A 的权重
β_T	0.40	U_C中 T 的权重	c_o	0.10	指导成本 o
c_d	0.05	范围成本 d	γ_Q	0.40	Q在 U_S中的权重
γ_D	0.30	D_{doc} 在 U_S中的权重	γ_T	0.30	T 在 U_S中的权重
$k(\theta_S)$	0.15	低努力成本学生类型的努力成本			

表 2： 案例研究1的模型生成的结果。

结果	数值	解释
Q	0.863	技术质量
D_{doc}	0.873	文档质量
T	0.805	项目完成的及时性
A	0.570	与赞助方期望的一致性
P	0.767	项目成果的可发表性

表3： 案例研究1的利益相关者效用。

利益相关者	效用	解释
大学（U_U）	0.677	从学习、文档和可发表性中获得的收益
赞助方（U_C）	0.503	从对齐和及时性中获得的益处扣除指导成本
学生（U_S）	0.721	成果收益扣除努力负效用

均衡验证：给定案例研究1中指定的行动组合，根据约化式收益和结果映射，所得配置对三位参与者而言均符合局部最佳响应。在此运行点，对于大学而言，评分标准严格度 r 或指导要求m 的微小调整不会带来更高的期望效用，因为由此引发的文档质量和可发表性变化不足以使 U_U净增。对于赞助方而言，降低指导强度 o 会降低及时性和技术质量，而扩大项目范围 d会降低契合度和及时性；根据所设定的权重，这两种偏离都无利可图。对于学生团队而言，减少投入 e 会降低技术质量、文档质量和及时性，其影响足以抵消努力负效用的减少；偏离学习导向策略$x = L$ 则会使项目成果失去与学习相关的贡献。因此，没有任何参与者能够通过微小的单边偏离提高其期望效用，案例研究1中的配置构成了该简化式贝叶斯博弈的一个局部最佳响应一致均衡实例。

4.2. 案例研究*2*：剥削型赞助方均衡

案例研究2考察了一个由赞助方激励主导的毕业设计项目，反映了一种熟悉的情形：外部合作伙伴主要将项目视为获取交付成果的机制，而非教育合作。在模型中，这对应于采取明确剥削型姿态的赞助方（$s = $ 剥削型），其未提供有意义的指导支持（$o = 0$），并设定了要求极高的项目范围（$d = 0.8$）。赞助方的潜在类型体现出较弱的学术导向（$\theta_C = 0.2$），这与其对学习成果或传播潜力兴趣有限的情况相符。项目启动时，大学无法观察到赞助方的参与意向，因此采用与合作型情景相同的基准政策。具体而言，大学维持中等严格的评分标准（$r = 0.6$），要求达到最低指导水平（$m = 1$），并采取宽松的知识产权政策

（i = 宽松），体现了机构优先事项对学术严谨性及成果发表可能性的重视。然而，由于指导要求在学期内无法直接强制执行，这些政策并未促使赞助方增加参与。缺乏指导，再加上激进的项目范围，很快便限制了学生团队所处的学习环境。

面对高期望、有限反馈和紧迫的时间安排，学生会以符合理性努力分配的方式调整策略。在模型中，团队将总体努力程度降低至中等水平（$e = 0.40$），并从学习导向方法转向交付成果导向（$x = D$）。学生不再投入精力进行探索或技能发展，而是在时间压力下优先产出最低限度可接受的成果；这种行为在支持不足的行业赞助项目中十分常见。表4-6所总结的结果，反映了这种激励错配。与合作情形相比，技术质量、文档质量和及时性均大幅降低，而由于学生重视交付成果完成，赞助方契合度似乎相对较高。技术成果较弱且文档深度有限，可发表性也相应降低。尽管大学政策与案例研究1相比没有变化，但仅赞助方行为的转变就足以使系统陷入低学习、合规驱动型机制。因此，本案例研究说明，即使机构政策设计得当，剥削性赞助方激励仍可能主导战略环境并损害教育成果。

表4： 案例研究2（剥削型赞助方均衡）的参数与行动配置。

符号	数值	描述	符号	数值	描述
Outcome function coefficients					
q_0	0.50	基准技术质量	q_1	0.30	Q上的努力效应
q_2	0.10	对 Q的指导效应	q_3	0.08	在 Q中的剥削型 s 惩罚
q_4	0.04	Q中的范围惩罚	q_5	0.02	Q中的交互效应
d_0	0.40	基线文档质量	d_1	0.25	D_{doc}上的努力效应
d_2	0.20	$x = L$ 在 D_{doc}中的奖励	d_3	0.05	D_{doc}上的评分标准效应
d_4	0.03	D_{doc}上的指导效应	t_0	0.50	基线及时性
t_1	0.20	对 T的努力效应	t_2	0.15	对 T的指导效应
t_3	0.05	T中的范围惩罚	a_0	0.50	基线对齐 A
a_1	0.30	$x = D$ 在 A中的奖励	a_2	0.10	支持性 s的奖励 A
a_3	0.10	A中的范围惩罚	p_0	0.10	基线可发表性
p_1	0.25	宽松的知识产权政策的影响	p_2	0.25	赞助方类型的影响 θ_C
p_3	0.15	P上的质量影响	p_4	0.10	文档影响 P
Policy and action choices					
r	0.60	评分标准严格度	m	1.00	指导要求
i	宽松	知识产权／发表政策	e	0.40	学生投入
x	D	交付成果导向	s	剥削型	赞助方姿态
o	0	指导强度	d	0.80	范围严格度
θ_C	0.20	赞助方类型			
Payoff weights and costs					
α_Q	0.40	U_U中 Q的权重	α_D	0.30	U_U中 D_{doc} 的权重
α_P	0.30	U_U中 P 的权重	c_r	0.10	评分标准严格度成本
c_m	0.10	指导要求成本	β_A	0.50	U_C中 A 的权重
β_T	0.40	U_C中 T 的权重	c_o	0.10	指导成本 o
c_d	0.05	范围成本 d	γ_Q	0.40	U_S中 Q 的权重
γ_D	0.30	U_S中 D_{doc} 的权重	γ_T	0.30	U_S中 T 的权重
k (θ_S)	0.15	低努力成本学生类型的努力成本			

表5： 案例研究2的模型生成的结果。

结果	数值	解释
Q	0.508	技术质量
D_{doc}	0.530	文档质量
T	0.540	项目完成的及时性
A	0.720	与资助方期望的一致性
P	0.529	项目成果的可发表性

表6： 案例研究2的利益相关者效用。

利益相关者	效用	解释
大学（U_U）	0.361	从学习、文档和可发表性中获得的收益
赞助方（U_C）	0.544	对齐和及时性带来的收益扣除指导成本后的净收益
学生（U_S）	0.464	成果收益扣除努力负效用

均衡验证：给定案例研究2中指定的行动组合，在简化式收益和结果映射下，所得配置对所有三位参与者而言均符合局部最佳响应。对赞助方来说，在这一运行点采取剥削型姿态 s =剥削型并且不提供指导 $o = 0$是局部最优的：提高 o会增加指导成本，而在由此引发的学生响应下，对契合度和及时性带来的边际收益有限。同样，将范围收紧至超过所选水平 $d = 0.8$ 会进一步降低契合度和及时性，并增加范围相关成本项，因此在 d 上的小幅偏离并不会改善 U_C。在给定赞助方行为的情况下，学生团队会选择交付成果导向$x = D$ 和中等努力程度 $e = 0.40$。提高努力程度会增加不效用项 $k(\theta_S)$ e ，但在缺乏指导时，对技术质量、文档质量和及时性的改善有限。转向学习导向策略 $x = L$ 会失去交付成果契合度优势，且无法通过指导带来的交互效应获得补偿性收益，因此此时不会提高 U_S 。最后，给定赞助方和学生的响应，大学政策变量（r、i、m）的小幅偏离无法在这一运行点带来更高的期望效用。因此，没有任何参与者能够通过小幅单边偏离提高其期望效用，而案例研究2中的配置构成了代表剥削型赞助方机制的简化式贝叶斯博弈的一个局部最佳响应一致均衡实例。

4.3. 案例研究*3*：成绩博弈均衡

案例研究3探讨了一个主要受评估激励影响的毕业设计项目，展现了一种常见模式：学生会理性地响应评分结构，将优化评分细则遵循和作业成绩置于技术深度或探索之上。当评分标准高度重视文档、正式交付物以及对规定要求的合规时，这类情景十分常见；这会向学生传递一种信号，即成绩更多取决于评分标准可见成果，而非实质性的技术深度或探索式学习。在模型中，这对应于一所采用极为严格的评分标准（$r = 0.9$），同时保持宽松的知识产权政策（i = 宽松）和适度指导预期（$m = 1$）的大学。在这一情景中，赞助方采取支持型姿态（s = 支持性），并提供适度指导（$o = 1$），这与定期设计评审和进度检查相符，而非深入参与技术工作。赞助方的内在类型与学术目标相当一致（$\theta_C = 0.6$），项目范围具有挑战性，但并非难度极高（$d = 0.6$）。

尽管赞助方愿意参与，大学的评分结构仍主导着学生团队所面临的激励格局。

面对这些评估信号，学生会调整行为，优先开展评分标准直接给予奖励的活动。在模型中，团队投入适度的总体努力（$e = 0.60$），但采取最低限度的技术取向（$x = M$），避免开展可能无法立即转化为评分标准分数的探索性或高风险工程工作。相反，他们将努力集中于制作格式规范的文档、满足正式要求以及管理截止期限。这种响应体现的是理性的成绩最大化行为，而非缺乏动力或能力。表格 7-9中总结的结果反映了战略重点的这一转变。文档质量和及时性仍相对较高，而与合作情形相比，技术质量和可发表性有所下降。由于按时交付了所需成果，赞助方契合度仍处于中等水平，但赞助方从项目技术深度中获得的价值有限。在这一情景中，赞助方行为虽非剥削型，但仅凭大学对评估严谨性的强调，就足以诱发应付评分机制，使合规挤压更深入的工程学习。本案例研究说明，原本出于善意的学术政策可能会无意中促使学生采取策略性行为，追求局部最优却缺乏教育深度的结果。

表7： 案例研究3的参数与行动配置（成绩博弈均衡).

符号	数值	描述	符号	数值	描述
Outcome function coefficients					
q_0	0.50	基准技术质量	q_1	0.30	对 Q的努力效应
q_2	0.10	对 Q的指导效应	q_3	0.08	在 Q中对剥削型 s 的惩罚
q_4	0.04	Q中的范围惩罚	q_5	0.02	Q中的交互效应
d_0	0.40	基线文档质量	d_1	0.25	对 D_{doc}的努力效应
d_2	0.20	$x = L$ 在 D_{doc}中的奖励	d_3	0.05	对 D_{doc}的评分标准效应
d_4	0.03	对 D_{doc}的指导效应	t_0	0.50	基线及时性
t_1	0.20	对 T的努力效应	t_2	0.15	对 T的指导效应
t_3	0.05	T中的范围惩罚	a_0	0.50	基线对齐 A
a_1	0.30	$x = D$ 在 A中的奖励	a_2	0.10	支持性 s 的奖励（ A）
a_3	0.10	A中的范围惩罚	p_0	0.10	基线可发表性
p_1	0.25	宽松的知识产权政策的影响	p_2	0.25	赞助方类型 θ_C 的影响
p_3	0.15	P上的质量影响	p_4	0.10	文档影响 P
Policy and action choices					
r	0.90	评分标准严格度	m	1.00	指导要求
i	宽松	知识产权／发表政策	e	0.60	学生投入
x	M	极简主义导向	s	支持性	赞助方姿态
o	1	指导强度	d	0.60	范围严格度
θ_C	0.60	赞助方类型			
Payoff weights and costs					
α_Q	0.40	Q在 U_U中的权重	α_D	0.30	D_{doc} 在 U_U中的权重
α_P	0.30	P 在 U_U中的权重	c_r	0.10	评分标准严格度成本
c_m	0.10	指导要求成本	β_A	0.50	A 在 U_C中的权重
β_T	0.40	U_C中 T 的权重	c_o	0.10	指导成本 o
c_d	0.05	范围成本 d	γ_Q	0.40	U_S中 Q的权重
γ_D	0.30	U_S中 D_{doc} 的权重	γ_T	0.30	U_S中 T 的权重
$k(\theta_S)$	0.15	低努力成本学生类型的努力成本			

表8： 案例研究3的模型生成的结果。

结果	数值	解释
Q	0.756	技术质量
D_{doc}	0.625	文档质量
T	0.740	项目完成的及时性
A	0.540	与资助方期望的一致性
P	0.676	项目成果的可发表性

表9： 案例研究3的利益相关者效用。

利益相关者	效用	解释
大学（U_U）	0.503	来自学习、文档和可发表性的收益
赞助方（U_C）	0.448	对齐和及时性带来的收益扣除指导成本
学生（U_S）	0.622	扣除努力负效用后的成果收益

均衡验证：给定案例研究3中指定的行动组合，根据约化式收益和结果映射，所得配置对所有三名参与者而言均满足局部最佳响应一致性。对于学生团队而言，评分标准极为严格（$r = 0.9$）且指导支持适度，这会形成评分主导的激励环境。在这一运行状态下，采取最低限度的技术取向 $x = M$ 并付出适度努力$e = 0.60$，可使学生效用最大化。若转向学习导向策略 $x = L$ ，与文档相关的成果贡献就会减少，而这些贡献在评分标准中占有很大权重；与此同时，技术质量的增量提升不足以弥补这一损失。同样，努力超过所选水平会增加努力负效用，却无法按比例提升评分标准可见的成果。鉴于学生响应已定，赞助方选择采取支持型姿态并保持适度的指导强度（$s =$ 支持型， $o = 1$）在局部上是最优的。提高指导强度会增加赞助方成本，但由于学生没有追求更深入的技术探索，因此在赞助方契合度或项目价值方面只能带来有限的边际收益。另一方面，减少指导会降低及时性和技术质量，却无法在此时提升赞助方效用。最后，在赞助方和学生行为既定的情况下，大学无法通过对政策变量进行小幅调整来提高期望效用。放宽评分标准严格度会直接降低文档质量和可发表性，而进一步收紧要求并不能促使学生付出更多努力或采取以学习为导向的行为。鉴于赞助方和学生的均衡响应，调整指导预期同样无法带来效用提升。因此，没有任何参与者能通过小幅单边偏离来提高自身期望效用；案例研究3中的配置构成了简化式贝叶斯博弈的一个局部最佳响应一致均衡实例，代表由评估激励驱动的应付评分机制。

4.4. 跨案例结果与效用综合分析

为便于比较三种代表性均衡机制，图1 分别总结了所取得的成果和利益相关者的效用。本综合分析并非旨在引入新结果，而是要突出跨案例的规律；这些规律难以直接从各个案例表格中推断出来。图1 展示了不同的激励结构如何在模型系数固定的情况下，产生定性上截然不同的结果概况。在合作机制（CS1）中，所有成果指标的数值都相对较高，反映出激励平衡以及利益相关者之间的相互参与。相比之下，剥削型赞助方机制（CS2）虽然赞助方契合度较高，但技术质量和文档质量有所下降，这表明攫取交付成果可能伴随着学习成果和沟通成果的弱化。应付评分机制

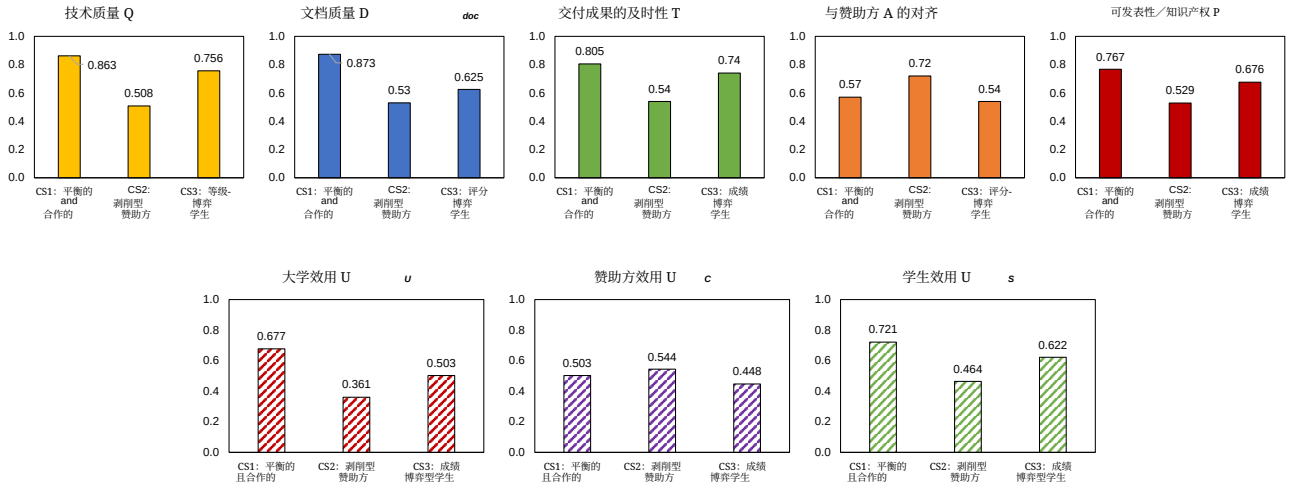


图 1： 不同均衡体制下的利益相关者效用，展现了激励主导现象。CS2 中赞助方效用最大化，CS3 中学生效用最大化，而只有在合作激励下（CS1）才能实现平衡的回报。

（CS3）则呈现出互补的模式：严格评估下，文档质量仍然较高，而技术质量和可发表性有所下降，这反映出学生遵循评分激励，而非深入参与技术工作。图1进一步阐明了这些机制背后的激励主导关系。在 CS1 中，利益相关者的效用相对协调，从而支持持续合作。在 CS2 中，赞助方效用占主导地位，而学生效用和大学效用相对较低，这体现了一种优先攫取价值而非实现教育成果的机制。在 CS3 中，尽管赞助方和大学的回报有所减少，学生效用仍相对较高，这符合在严格评估标准下理性地追求最高分的行为。总之，这些图示总结进一步印证了模型的一个核心见解：毕业设计成果与其说取决于个体的善意，不如说取决于主导战略环境的利益相关者所拥有的激励。因此，类似的机构政策可能产生显著不同的教育成果和技术成果，具体取决于评分结构、指导行为和赞助方参与如何相互作用并塑造均衡行为。这一综合分析引出了第5 节中对激励主导、政策权衡以及行业赞助型毕业设计设计中的结构性失效模式的进一步讨论。

5. 讨论与分析

本文构建了一种简化形式的博弈论框架，用于分析产业赞助的毕业设计项目，将其视为由相互作用的激励所支配的战略系统，而非孤立的教育体验。通过明确将大学、赞助方和学生团队建模为具有不同（且可能相互冲突）目标的理性主体，该框架解释了即使所有利益相关者都本着善意行事，稳定的结果模式如何仍会在利益相关方互动和团队结构中形成。由此产生的均衡与有详实记录的毕业设计项目模式高度吻合，并有助于解释为何某些弊病尽管经过审慎的项目设计仍持续存在。

5.1. 理性与均衡：长期存在的问题

该模型的一项核心贡献是指出，不理想的毕业设计成果未必源于任何单个利益相关者的疏忽、沟通不畅或缺乏承诺。在全部三个案例研究中，大学、赞助方和学生团队的行为

都合乎局部理性，会根据他人的行动选择使自身期望效用最大化的策略。重要的是，剥削型赞助方机制和应付评分机制并非暂时性的失灵，而是稳定的均衡配置，在这种配置下，任何利益相关者都无法通过小幅单方面调整来改善结果。这种均衡视角重新审视了常见的毕业设计挑战。模型没有将学习成果不佳归咎于缺乏动力的学生或缺乏投入的赞助方，而是表明，这些行为往往是对激励环境的最优回应。一旦在固定的政策和监督结构下形成某种均衡机制，除非改变潜在的激励或信息结构，否则诉诸专业精神、善意或教育使命都不太可能奏效。这一洞见有助于解释，为纠正毕业设计中的功能失调而反复尝试进行渐进式政策调整，为何往往只能带来有限的改善。

本建模有意不考虑课程中期政策修订以及大学的自适应监督。在实践中，教师顾问和项目管理人员可能会针对新出现的问题采取干预措施，例如调整范围、加强监督或重新协商预期。这些干预措施可以视为信息结构的变化，或对修订后政策的部分重新承诺。要纳入这些动态因素，需要采用重复博弈或自适应控制建模，这超出了本文分析的范围，但自然构成了未来研究的一个方向。

5.2. 主导激励机制与利益相关者对结果的控制

在全部三个案例研究中，结果均由主导战略环境的利益相关者所拥有的激励决定。在合作机制中，没有任何一方的目标压倒其他各方，因此以学习为导向的行为得以在利益相关者团队中自然形成。相比之下，剥削型赞助方机制和应付评分机制表明，单一利益相关者占据主导地位会使整个系统沦为单目标优化问题。当赞助方的激励占主导地位时，如案例研究2所示，学生行为会转向满足交付成果合规性要求并控制范围，而学习和探索则受到挤压。相反，当大学评估激励占主导地位时，如案例研究3所示，学生会理性地优先产出评分标准可见成果（与成绩相关），而牺牲项目本身的技术探索。尤其值得注意的是，即使其他利益相关者行为合理，这些机制仍会出现：支持性赞助方无法完全抵消高度奖励合规行为的评分结构；而在指导无法强制执行的情况下，设计完善的大学政策也无法弥补赞助方不参与的问题。这种主导激励视角为各种已观察到的毕业设计成果提供了统一解释，并凸显了平衡的激励结构有多么脆弱。赞助方行为或评估重点的细微变化，都可能使系统转入性质迥异的均衡。这表明，成功的毕业设计项目处于不同机制之间的临界边界附近，而非深陷于某个稳定的最优状态之中。

5.3. 以政策为中心的方法在毕业设计设计中的局限

分析的一项重要启示是，仅有强有力的机构政策并不足以保证获得理想的教育成果。在各项案例研究中，大学评分政策和知识产权政策保持不变，但随着赞助方行为和学生策略的变化，成果却大相径庭。这表明，政策质量是成功的必要条件，但并非充分条件。模型还指出，某些政策杠杆单独实施时会产生边际收益递减。提高评分标准严格度或许能改善文档质量，却可能无意中助长成绩博弈。同样，如果指导要求无法执行，或者赞助方缺乏参与的内在动机，那么名义上的指导要求也不会奏效。这些发现对以下观点提出了质疑：

毕业设计成果可以通过孤立的政策优化来实现最优；相反，它们表明，有必要协调不同利益相关者之间的激励并使之对齐。

5.4. 对成果指标与表面成功的解释

案例研究还揭示，常用的绩效指标可能会误导人们对教育成效的判断。较高的赞助方契合度、及时完成交付成果或较高的文档质量，可能与浅层学习和有限的技术发展并存。在剥削型赞助方机制中，赞助方契合度之所以显得相对较高，恰恰是因为学生优先完成由赞助方定义的交付成果，即使技术质量和可发表性有所下降。在应付评分机制中，文档质量仍然较高，而探索式学习受到抑制。这些结果凸显了根据产生这些成果的激励结构来解释毕业设计成果的重要性。对于问责或评估而言有价值的指标，除非嵌入平衡的激励体系之中，否则未必能可靠地反映教育深度。因此，该框架提供了一个诊断视角，用于判断表面上的成功何时掩盖了更深层的结构性问题。

5.5. 作为解释性而非预测性工具的均衡体制

每一种均衡机制都应被理解为一种诊断性表征，用于说明哪些利益相关者激励主导着战略环境，而不应被视为对成功或失败的事后标签。本文提出的均衡体制也并非旨在根据特定参数值，对毕业设计成果作出唯一预测。相反，它们应被理解为具有代表性的配置，用于捕捉经验上可识别的行为模式。模型的简化形式结构能够清晰识别激励驱动的动态，但必然抽象掉机构、学科和项目类型之间的情境差异。这一区分对于避免过度解释十分重要。该框架的价值在于其解释力：它阐明了为什么某些模式会在多样化的环境中反复出现，以及为什么忽视策略互动的干预措施往往会失败。通过聚焦于均衡行为，该模型揭示了塑造毕业设计经历的结构性力量，而不局限于任何单一实施方式。

5.6. 设计启示与杠杆点

尽管本文没有规定具体的项目设计，但分析结果表明，有几个杠杆点可以改善毕业设计成果。首先，可执行性至关重要：指导预期和参与要求必须与相应机制相结合，使偏离行为付出代价或变得可见。其次，评估结构会传递强烈信号；如果评分标准过度强调合规，即使存在其他支持措施，也可能在无意中抑制学习。第三，与事后进行政策调整相比，赞助方遴选和筛选可能更有效地防止剥削型机制。更广泛地说，研究结果表明，应将毕业设计视为制度约束下的机制设计问题。有效的干预措施应使系统摆脱主导激励机制，转向平衡的配置，在这种配置下，以学习为导向的行为对所有利益相关者而言都是个体理性的。

5.7. 局限性与拓展机会

该模型有意采用简化形式的单期结构，以单独考察激励互动。它没有涵盖不同届之间的重复互动、赞助方与机构之间的声誉效应、同期项目团队之间的溢出效应，或团队内部异质性，而这些都是现实毕业设计项目的重要特征。教师顾问被隐含地视为制度机制的一部分，而非具有独立激励和

约束条件的独立战略行为者。这些省略是有意为之，使分析能够聚焦于均衡结构，而非动态复杂性或项目特定的复杂因素。未来研究可以将该框架扩展到重复博弈环境，让赞助方和大学从以往成果中学习；也可以扩展到包含异质学生类型和内部团队动态的模型。纳入赞助方筛选、信号传递或合约机制，将进一步丰富分析，并使该框架与机制设计和组织经济学领域更广泛的文献相联系。

5.8. 更广泛的意义

本研究的核心洞见是：毕业设计项目成果与其说取决于个人的善意，不如说取决于哪一方利益相关者的激励在战略环境中占据主导地位。通过将毕业设计项目建模为战略系统，该框架为持续存在的教育挑战提供了有理有据的解释，并为更有效的设计干预奠定了基础。因此，认识并管理激励主导，是创造能够可靠支持深度学习、有意义的行业参与及机构目标的毕业设计经历的必要条件。

6. 结束语

本文提出了一个正式的博弈论框架，用于分析由行业赞助的工程毕业设计项目。该框架将其视为由相互作用的激励塑造的战略系统，而非孤立的教育体验。通过将大学、赞助方和学生团队建模为在不完全信息下行动的理性行为者，该框架解释了常见的毕业设计成果如何内生地产生，其中包括富有成效的合作以及持续存在的失败模式。重要的是，分析表明，即使所有利益相关者都以善意行事，且机构政策保持不变，这些结果仍可能出现。案例研究凸显，毕业设计项目的成功并非单独由政策质量、赞助方意图或学生动机决定，而是取决于哪些激励在战略环境中占据主导地位。激励达到平衡时，以学习为导向的行为便可能自然涌现。当主导权转向赞助方攫取或评估合规时，学生和赞助方的理性应对可能会挤压更深层次的教育目标。这些动态有助于解释，为什么渐进式政策调整往往无法解决持续存在的毕业设计挑战。该框架并非旨在预测具体的项目成果，也不旨在规定普适的设计解决方案。相反，它提供了一个有理有据的视角，用于思考项目式学习环境中的激励协调、政策权衡和结构性脆弱点。通过明确呈现激励互动，该模型有助于教育工作者和项目设计者更深入地讨论毕业设计系统在何处以及为何成功或失败。更广泛而言，本研究将毕业设计项目的设计视为工程教育中的一个受约束机制设计问题。未来若纳入重复互动、赞助方筛选或实证校准，或可进一步丰富这一分析。核心结论仍然是：要长期改善毕业设计成果，不仅需要关注个人行为，也需要关注支配利益相关者互动方式的战略结构。

利益冲突

作者声明不存在利益冲突。

致谢

完成本研究未使用外部资金。ChatGPT 5.1/5.2（OpenAI）和 Grammarly 被用于前期头脑风暴，并作为编辑助手协助文本的组织、措辞、清晰度、

以及语法。这些工具未用于参与核心技术工作、分析文献或对结果进行核心技术分析。作者已仔细审阅最终稿件，并对其承担全部责任。所有意见和结论仅代表署名作者本人，并不一定代表其所属机构或本作品出版商的立场或观点。

参考文献

[1] T. A. Ward，《全球排名顶尖工程类大学毕业设计项目的共同要素》，《欧洲工程教育杂志》38 (2013) 211–218。[2] A. P. Ritenour、C. W. Ferguson、P. Gardner、B. R. Banther、J. L. Ray，《面向工程及工程技术专业学生的协作式项目学习毕业设计项目》，载于：2020年美国工程教育学会虚拟年度会议论文集。[3] J. V. Farr、M. A. Lee、R. A. Metro、J. P. Sutton，《运用系统工程设计流程开展本科工程管理毕业设计项目》，《工程教育杂志》90 (2001) 193–197。[4] V. Rawal、S. T. O'Shields、J. D. Summers，《行业赞助方对毕业设计项目的动机与收益认知比较：一项针对教师和行业人士的访谈研究》，《国际机械工程教育杂志》49 (2021) 269–290。[5] G. K. Watkins，《教师指导毕业设计项目的最佳实践》，载于：2011年美国工程教育学会年度会议暨博览会论文集。[6] S. Howe、J. Goldberg，《工程顶点设计教育：当前实践、新兴趋势与成功策略》，载于：D. Schaefer、G. Coates、C. Eckert（编），《当今设计教育》，施普林格，瑞士沙姆，2019年，第115–148页。[7] B. Nassersharif，《工程顶点设计》，CRC出版社、泰勒与弗朗西斯集团，佛罗里达州博卡拉顿，2022年。[8] L. Zheng、D. Hu、B. K. Jesiek，《多学科工程教育系统性综述：认证项目、教育方法与顶点设计》，载于：2021年美国工程教育学会虚拟年度会议论文集。[9] M. J. Prince、R. M. Felder，《归纳式教与学方法：定义、比较与研究基础》，《工程教育杂志》95 (2006) 123–138。[10] J. Biggs，《通过建构性对齐提升教学效果》，《高等教育》32 (1996) 347–364。[11] G. Gibbs，《策略性运用评估改变学生的学习方式》，载于：S. Brown、A. Glasner（编），《评估关乎高等教育：选择与运用多样化方法》，开放大学出版社，英国白金汉，1999年，第41–53页。[12] A. J. Dutson、R. H. Todd、S. P. Magleby、C. D. Sorensen，《通过项目导向的顶点课程教授工程设计的文献综述》，《工程教育杂志》86 (1997) 17–28。[13] R. H. Todd、S. P. Magleby、C. D. Sorensen、B. R. Swan、D. K. Anthony，《北美工程毕业设计课程调查》，《工程教育杂志》84 (1995) 165–174。[14] S. Howe、J. Wilbarger，《2005年全国工程顶点设计课程调查》，载于：2006年美国工程教育学会年度会议暨博览会论文集，美国工程教育学会，美国伊利诺伊州芝加哥，2006年。[15] S. Howe，《我们现在身处何处？全国毕业设计课程统计数据》，载于：美国工程教育学会年度会议暨博览会论文集，美国工程教育学会，2010年。[16] A. Badir、R. O'Neill、K.-D. Kinzli、S. Komisar、J.-Y. Kim，《通过行业参与促进毕业设计项目中的项目式学习》，《教育科学》13 (2023) 361。

[17] M. M. Morsy、M. N. Uddin、F. Znidi，《多学科毕业设计综合项目：行业赞助项目与教师赞助项目的比较分析》，《教育科学》14 (2024年) 314。[18] A. D. Suleiman 等，《软件工程教育中项目式学习的系统性文献综述》，载于：ACM 出版物。[19] D. Fudenberg、J. Tirole，《博弈论》，麻省理工学院出版社，马萨诸塞州剑桥，1991年。[20] P. Bolton、M. Dewatripont，《契约理论》，麻省理工学院出版社，马萨诸塞州剑桥，2005年。[21] H. A. Simon，《人工科学》，麻省理工学院出版社，马萨诸塞州剑桥，第3版，1996年。[22] W. R. Scott，《制度与组织：思想、利益与身份》，Sage 出版社，加利福尼亚州千橡市，第4版，2014年。[23] D. M. Kreps、R. Wilson，《序贯均衡》，《计量经济学》50 (1982) 863–894。[24] J. Bergin，《无限重复不完全信息博弈中序贯均衡策略的刻画》，《经济理论杂志》47 (1989) 51–65。[25] A. Gershkov、B. Moldovanu，《不完全信息下的有效序贯分配》，《博弈与经济行为》68 (2010) 144–154。