

清华大学

攻读硕士学位研究生选题报告

(申请清华大学工程管理硕士专业学位论文)

培 养 单 位： 电力电子及电机工程系

专 业 领 域： 工程管理硕士

申 请 人： 刘 祥 林

指 导 教 师： 慈 松 教 授

联合指导教师： 徐 著 华 高级工程师

二〇二四年十一月

Title

Thesis submitted to
Tsinghua University
in partial fulfillment of the requirement
for the professional degree of
Master of Engineering Management

by
Liu Xianglin
(Master of Engineering Management)

Thesis Supervisor: Professor Ci Song

Co-supervisor: Senior Engineer Xu Zhuhua

November, 2024

目 录

目 录	D
第 1 章 研究背景	1
1.1 复杂系统的定义与特征	1
1.2 NPI 过程的复杂性	1
1.3 复杂系统与网络分析的应用	2
第 2 章 研究目标	3
第 3 章 文献综述	4
3.1 NPI 过程管理的研究现状	4
3.2 复杂系统理论的发展与应用	4
3.3 网络分析方法的理论与工具	5
3.4 复杂系统与网络分析在 NPI 中的应用研究	5
3.5 研究评述与展望	5
3.6 证据	6
3.7 结论	6
第 4 章 研究方法	7
4.1 总体研究思路	7
4.2 研究方法的具体内容	7
4.3 技术路线	9
4.4 研究方法的可行性与创新性	9
第 5 章 研究难点	11
5.1 复杂系统特征的准确识别与建模	11
5.2 网络模型的构建与数据获取	11
5.3 网络分析方法的选择与应用	11
5.4 优化策略的制定与可行性验证	12
5.5 案例研究的代表性与普适性	12
5.6 跨学科知识的融合	12
第 6 章 预期成果	13
6.1 理论贡献	13
6.2 实践意义	13
6.3 应用价值	13

目 录

第 7 章 时间安排	15
参考文献.....	17

第 1 章 研究背景

在全球竞争日益激烈和技术迅速发展的背景下，企业必须不断推出新产品以维持和提升市场竞争力。新产品导入（New Product Introduction, NPI）过程是企业产品生命周期管理的关键环节，其成败直接影响新产品的市场表现和企业的盈利能力。

1.1 复杂系统的定义与特征

复杂系统是由大量相互作用的组成部分构成，其整体行为难以通过简单地叠加各部分的行为来预测^[1]。复杂系统的主要特征包括^[2]：

- **非线性：**系统的输出与输入不成比例，微小的变化可能导致巨大影响。
- **自组织性：**系统能够自发地形成有序结构或行为模式，无需外部指令。
- **涌现性：**整体系统表现出单个部分所不具备的性质或功能。
- **适应性：**系统能够根据环境变化进行调整和进化。

复杂系统理论为理解和管理高度复杂、动态变化的系统提供了理论基础^[3]。

1.2 NPI 过程的复杂性

NPI 过程具备典型的复杂系统特征，主要体现在以下方面：

1. **多元参与者的相互作用：**涉及研发、生产、供应链、市场营销等多个部门和外部合作伙伴，各参与者之间存在高度的相互依赖和互动^[4]。
2. **非线性流程：**NPI 过程中的决策和反馈机制使其呈现非线性特征，局部的变化可引发全局性的影响^[5]。
3. **不确定性和动态性：**技术创新和市场需求的快速变化增加了 NPI 过程的不确定性，需要持续的调整 and 适应^[6]。
4. **涌现特性：**通过各部门的协同工作，NPI 过程可能产生新的知识和创新，这些是单个部门无法独立实现的^[7]。

由于上述复杂性，传统的线性和阶段式项目管理方法（如瀑布模型）难以有效管理 NPI 过程^[8]。因此，引入复杂系统理论和**网络分析方法**，可以更好地理解 NPI 过程中的复杂互动关系，为优化流程和提高协作效率提供新的思路^[9]。

1.3 复杂系统与网络分析的应用

网络分析是研究复杂系统的重要工具，通过构建节点和边的关系，揭示系统内在的结构和动态特性^[10]。在 NPI 过程中，网络分析可以用于：

- 分析部门之间的协作关系，识别关键节点和瓶颈。
- 评估信息流动和资源分配的效率。
- 模拟不同管理策略对整体系统的影响。

因此，探索基于复杂系统理论和网络分析的方法来优化 NPI 过程，具有重要的理论意义和实践价值。这有助于企业在高度竞争和不确定的环境中，提高新产品导入的成功率和效率。

第2章 研究目标

针对新产品导入（NPI）过程的复杂性特征和传统项目管理方法的局限性，本文的研究目标是：

1. 分析 NPI 过程的复杂系统特征：

从复杂系统理论的角度，深入剖析 NPI 过程中各组成部分的相互作用、非线性特征和动态演化机制，明确其作为复杂系统的内在特征和表现形式。

2. 构建 NPI 过程的网络模型：

利用网络科学的方法，将 NPI 过程中的各关键要素（如部门、任务、信息流等）抽象为网络中的节点和边，建立反映 NPI 过程结构和动态特性的网络模型。

3. 应用网络分析方法优化 NPI 过程：

采用网络分析的工具和算法，识别 NPI 网络中的关键节点、关键路径和潜在瓶颈，评估网络的整体效率和稳健性。

4. 提出基于网络分析的 NPI 优化策略：

根据分析结果，提出针对性的方法和策略，以优化 NPI 过程中的协作效率、信息共享和资源配置，提升新产品导入的成功率 and 市场现。

5. 验证优化策略的有效性：

通过案例研究或模拟实验，验证所提出的优化策略在实际应用中的有效性和可行性，为企业实践提供指导。

通过实现上述研究目标，期望为 NPI 过程的管理提供新的理论视角和方法工具，丰富复杂系统和网络分析在工程管理领域的应用研究，同时为企业提升新产品导入效率和竞争力提供实用的解决方案。

第3章 文献综述

简介

新产品导入（NPI）涉及产品从概念到市场投放的完整流程，通常需要跨部门协调和复杂系统管理。本文综述了相关领域的研究，特别是关于复杂系统与网络分析工具在 NPI 中的应用。

3.1 NPI 过程管理的研究现状

新产品导入（NPI）过程是产品生命周期管理中至关重要的环节，对企业的市场竞争力和创新能力具有直接影响^[4]。传统的 NPI 管理方法主要关注流程的标准化和阶段性控制，如 Stage-Gate 模型^[11]，强调在每个阶段进行评估和决策。然而，随着市场环境的复杂化和技术进步的加速，NPI 过程面临的不确定性和复杂性显著增加^[12]。

近年来，学者们开始关注如何提高 NPI 过程的敏捷性和适应性。例如，Takeuchi et al.^[13] 提出了敏捷型产品开发模式，强调跨职能团队的协作和同步开发。另一方面，一些研究探讨了供应链管理对 NPI 过程的影响，指出供应链的协同和整合是成功的新产品导入的关键因素^[14]。

尽管上述研究为 NPI 管理提供了重要的理论和实践指导，但在应对复杂系统特性和多元参与者的相互作用方面仍存在不足。

3.2 复杂系统理论的发展与应用

复杂系统理论起源于对自然和社会系统中复杂现象的研究，强调系统整体行为的涌现性和不可预测性^[1]。在工程管理领域，复杂系统理论被用于解释和管理复杂项目、组织和供应链等^[15]。

Holland^[3] 指出，复杂系统具有适应性和自组织性，传统的线性管理方法难以有效控制。为此，Cilliers^[16] 提出了在管理复杂系统时应关注系统的网络结构和信息流动。

3.3 网络分析方法的理论与工具

网络分析作为研究复杂系统的重要方法，已在社会学、生物学、物理学等领域得到广泛应用^[9]。网络分析通过描述节点和边的关系，揭示系统的结构特征和动态行为^[10]。

在管理学领域，Borgatti et al.^[17]总结了网络分析在组织行为、创新扩散和供应链管理等方面的应用。网络分析工具包括度中心性、介数中心性、聚类系数等指标，用于评估节点的重要性和网络的整体特征^[18]。

3.4 复杂系统与网络分析在 NPI 中的应用研究

将复杂系统理论和网络分析方法应用于 NPI 过程管理的研究尚处于起步阶段。一些学者开始探索这一领域的可能性。

Browning^[19]将设计结构矩阵（Design Structure Matrix, DSM）方法应用于新产品开发项目，构建了任务依赖网络，分析了项目的复杂性和风险。结果表明，网络结构特征对项目绩效有显著影响。

Sosa et al.^[20]研究了复杂产品开发过程中的信息流，发现信息传递的效率和准确性受到产品架构与组织结构匹配程度的影响。通过优化两者的匹配，可以提高 NPI 过程的效率和成功率。

此外，Reagans et al.^[21]采用社会网络分析方法，研究了研发团队的沟通网络对创新绩效的影响。结果显示，团队内部的网络密度和多样性与生产力和创新绩效正相关。

3.5 研究评述与展望

综上所述，复杂系统理论和网络分析方法为理解和优化 NPI 过程提供了新的视角，然而现有研究主要集中在：

- **局部应用：**多侧重于 NPI 过程的某一方面，如任务依赖或信息流动，缺乏对整个 NPI 系统的全面分析。
- **方法单一：**多数研究采用静态的网络分析，未充分考虑 NPI 过程的动态演化特征。
- **实践验证不足：**缺乏在真实企业环境中的应用和验证，影响了研究成果的实用性。

因此，本研究将针对以上不足，结合复杂系统理论和动态网络分析方法，构建 NPI 过程的综合网络模型，并通过实证研究验证优化策略的有效性，为 NPI 管

理提供系统性的解决方案。

3.6 证据

- **复杂系统与 NPI 的关系：**复杂适应系统（CAS）框架被应用于 NPI 研究，认为 NPI 不仅是线性过程，而是受多层次决策影响的复杂系统，这种系统包含非线性、自组织和涌现特性，能够适应不同市场需求^[22]。社会-技术网络可以通过网络分析来评估，帮助理解复杂的系统行为和关键变量，以提升工程性能^[23]。
- **网络分析工具的应用：**网络分析在新产品开发过程中被用于评估成功因素，这些因素包括项目的组织、技术和社会因素。通过网络分析可以识别系统行为模式，从而指导研发管理者优化开发过程^[24]。网络分析还用于多个案例研究中，通过评估因果网络来分析新产品开发的成功因素，显示出这些因素在不同项目中的相互关联性^[23]。
- **管理和评估工具的创新：**在 NPI 过程中引入自评估工具，如 Hoshin Kanri（方针管理），以实现实时组织学习和持续改进。这种工具在汽车行业中成功应用，提高了项目绩效^[25]。通过重新设计和持续评估 NPI 系统，改进了传统的审计模式，使其能够提供持续的反馈和改进建议^[26]。

3.7 结论

复杂系统和网络分析工具在新产品导入过程中提供了新的视角和方法，有助于更好地理解和管理复杂性，提高项目成功率和组织绩效。

第4章 研究方法

本研究旨在探索基于复杂系统理论和网络分析方法的新产品导入（NPI）过程优化策略。为此，本文将采用理论分析、模型构建、实证研究和案例验证相结合的研究方法。具体方法如下：

4.1 总体研究思路

本研究将按照以下步骤开展：

1. 理论基础研究：

深入研究复杂系统理论和网络分析方法，理解其基本原理和适用范围，为 NPI 过程的网络建模提供理论支持。

2. NPI 过程分析与建模：

基于对 NPI 过程深入剖析，识别关键要素和相互关系，构建 NPI 过程的网络模型。

3. 网络特征分析：

利用网络分析工具，计算网络的结构特征指标，如度分布、聚类系数、中心性等，揭示 NPI 过程中的关键节点和关键路径。

4. 优化策略制定：

根据网络特征分析的结果，提出针对性的 NPI 过程优化策略，旨在提高协作效率、信息共享和资源配置。

5. 案例研究与验证：

选取典型企业或项目作为案例，应用所提出的模型和方法，对 NPI 过程进行分析和优化验证，评估方法的有效性和可行性。

4.2 研究方法的具体内容

4.2.0.1 理论研究方法

通过文献研究，系统梳理复杂系统理论和网络分析方法的核心概念、理论框架和应用现状。重点关注以下方面：

- 复杂系统的特征和分类^[2]。
- 网络科学的基本原理和分析方法^[9-10]。
- 复杂网络在工程管理和项目管理中的应用^[27]。

4.2.0.2 网络建模方法

根据 NPI 过程的特点，选择适当的网络建模方法，将 NPI 过程中的关键要素映射为网络的节点和边。可能的建模思路包括：

- **任务依赖网络**：将 NPI 过程中的各项任务作为节点，任务之间的依赖关系作为边^[19]。
- **组织关系网络**：将参与 NPI 过程的部门或团队作为节点，协作关系作为边^[21]。
- **信息流动网络**：将信息源和信息接收者作为节点，信息传递路径作为边^[20]。

在建模过程中，需要明确：

- 节点和边的定义与类型。
- 网络的边权重和方向性。
- 动态网络特征的考虑（如网络的演化）。

4.2.0.3 网络分析方法

采用复杂网络分析的常用指标和方法，对所构建的 NPI 网络模型进行分析，包括但不限于：

- **度分布**：分析节点的连接数量，识别高连接度的关键节点^[28]。
- **中心性分析**：计算节点的度中心性、介数中心性、接近中心性等，评估节点在网络中的重要程度^[18]。
- **社群划分**：通过社群检测算法，识别网络中的模块化结构，了解网络的协作子群^[29]。
- **网络效率和稳健性**：评估网络的整体效率和对节点或边故障的容忍度^[30]。

4.2.0.4 优化策略制定方法

基于网络分析的结果，制定优化 NPI 过程的策略，主要包括：

- **关键节点优化**：针对关键节点，采取措施加强其能力或减少其负担，以防止瓶颈^[31]。
- **网络结构优化**：调整网络结构，促进信息的高效流动和资源的合理分配^[32]。
- **协作机制优化**：建立有效的协作机制，增强团队之间的互动和信任^[33]。

4.2.0.5 案例研究方法

采用案例研究法，对实际企业的 NPI 过程进行分析和验证：

- **案例选择**：选取具有代表性的企业或项目，确保案例的典型性和数据的可获得性。

- **数据收集：**通过访谈、问卷调查和文档分析等方法，获取 NPI 过程的相关数据。
- **模型应用：**将所构建的网络模型和分析方法应用于案例，得到具体的分析结果。
- **结果验证：**与企业的实际绩效和反馈进行比较，验证优化策略的有效性。

4.3 技术路线

基于上述研究方法，本文的技术路线如图4.1 所示。

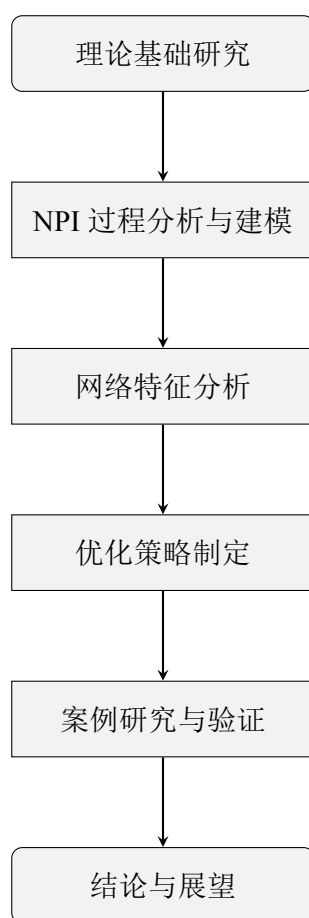


图 4.1 研究技术路线图

4.4 研究方法的可行性与创新性

本研究方法具有以下可行性和创新性：

- **可行性：**
复杂系统理论和网络分析方法已经在多个领域得到成功应用，为本研究提供了成熟的理论和方法支持。案例研究能够结合实际情况，确保研究成果的实

践价值。

- **创新性:**

将复杂系统理论和网络分析方法系统地应用于 NPI 过程优化, 构建综合性的网络模型, 考虑了 NPI 过程的动态特征, 填补了现有研究的空白。

第 5 章 研究难点

在本研究中，针对基于复杂系统理论和网络分析方法的新产品导入（NPI）过程优化，可能面临以下研究难点：

5.1 复杂系统特征的准确识别与建模

NPI 过程作为一个复杂系统，具有多层次、多尺度和动态演化等特征^[2]。准确识别 NPI 过程中的复杂系统特征，并将其转化为可操作的网络模型，是研究的首要难点。

- **多维度要素的抽象与映射：**NPI 过程涉及任务、资源、人员、信息等多种要素，如何将这些要素合理地抽象为网络中的节点和边，需要深入的分析和判断。
- **动态性的刻画：**NPI 过程具有动态演化的特征，节点和边可能随时间发生变化。如何在模型中有效地刻画和分析这种动态性，是一个挑战^[34]。

5.2 网络模型的构建与数据获取

建准确反映 NPI 过程的网络模型，需要全面且高质量的数据支持。然而，在实际研究中，数据获取可能面临以下难点：

- **数据的复杂性与多样性：**NPI 过程的数据来源多样，包括企业内部的项目管理数据、沟通记录、文档资料等，数据格式和质量参差不齐^[17]。
- **数据的敏感性与获取难度：**涉及企业的核心业务和机密信息，企业可能不愿意提供完整的数据支持，需要确保数据获取的合法性和保密性。

5.3 网络分析方法的选择与应用

在对网络模型进行分析时，选择合适的网络分析方法和指标，以揭示 NPI 过程中的关键问题，是研究的另一个难点。

- **方法适用性的评估：**网络分析方法众多，不同方法适用于不同类型的网络和问题。需要根据 NPI 网络的特征，评估并选择最合适的分析方法^[9]。
- **复杂网络指标的解释：**一些复杂网络指标可能具有较高的数学复杂度，其物理意义和管理含义需要结合 NPI 过程进行深入解读^[35]。

5.4 优化策略的制定与可行性验证

基于网络分析结果制定的优化策略，需要在实践中具备可行性和有效性。然而，将理论成果转化为实践方案，可能面临以下难点：

- **策略的实施成本与阻力：**优化策略可能涉及组织结构调整、流程再造等，实施过程中可能面临资源限制和人员抵触^[36]。
- **多目标优化的权衡：**NPI 过程的优化可能需要在效率、成本、质量等多个目标之间进行权衡，如何找到最优的平衡点具有挑战性^[37]。

5.5 案例研究的代表性与普适性

案例研究作为验证方法有效性的手段，其代表性和普适性直接影响研究结论的可靠性。

- **案例的选择与限制：**受限于时间和资源，可能只能选择有限的案例，如何确保所选案例具有代表性是一个难点^[38]。
- **结论的推广性：**基于个案研究得出的结论，可能具有特定的适用范围，如何提炼具有普适性的管理建议，需要谨慎处理^[39]。

5.6 跨学科知识的融合

本研究涉及工程管理、复杂系统科学、网络科学等多个学科领域，要求研究者具备跨学科的知识 and 能力。

- **理论知识的综合应用：**需要将不同学科的理论和方法有机结合，避免片面性和割裂性^[40]。
- **沟通与协作：**在与企业、专家和团队成员的合作中，需要有效地沟通不同领域的观点和需求^[41]。

综上所述，本研究需要在理论探索、方法应用和实践验证等方面克服多重挑战。这些研究难点的解决，将为 NPI 过程的优化提供坚实的基础，也将为复杂系统和网络分析方法在工程管理中的应用拓展新的路径。

第 6 章 预期成果

本研究旨在探索基于复杂系统理论和网络分析方法的新产品导入（NPI）过程优化策略，预期将取得以下成果：

6.1 理论贡献

1. 构建 NPI 过程的复杂系统网络模型：

提出了将 NPI 过程视为复杂系统的方法，建立了涵盖任务、组织和信息流等多层次要素的网络模型，丰富了复杂系统理论在工程管理领域的应用。

2. 发展 NPI 过程的网络分析方法：

将复杂网络分析的方法应用于 NPI 过程，提出了适用于 NPI 网络特征分析的指标和算法，拓展了网络科学在工程管理中的应用范围。

3. 揭示 NPI 过程中的关键因素和机制：

通过网络分析，揭示了影响 NPI 成功的关键节点、关键路径和协同机制，为理解 NPI 过程的复杂性提供了新的视角。

6.2 实践意义

1. 提供 NPI 过程优化的实用方法：

基于网络分析的结果，提出了具体的 NPI 过程优化策略，为企业提升新产品导入效率和成功率提供了可操作的工具和方法。

2. 提高企业协同管理能力：

通过优化 NPI 网络结构，改善部门间的协作和信息共享，增强企业应对市场变化和技术挑战的能力。

3. 支持决策的可视化和量化分析：

利用网络模型和分析结果，为企业管理者提供直观的决策支持工具，帮助识别潜在问题和改进机会。

6.3 应用价值

1. 案例研究的实践应用：

通过对实际企业 NPI 过程的分析和优化，为企业实践提供了可借鉴的经验和方法，有助于提升企业的 NPI 管理水平。

2. 开发相关工具或指南:

基于本研究的方法和模型,编制 NPI 过程网络分析和优化的指导手册或工具,帮助企业实施和应用本研究成果。

3. 促进学科知识的综合应用:

本研究融合了复杂系统科学、网络科学和工程管理学科的知识,促进了学科间的交叉融合,为工程管理实践提供了新的思路。

第 7 章 时间安排

为确保研究工作的有序开展和顺利完成，结合本研究的内容和难度，制定如下时间安排：

时间	主要工作内容
2023 年 10 月	<ul style="list-style-type: none">• 开题报告的准备和答辩• 明确研究目标和研究计划
2023 年 11 月 – 2024 年 1 月	<ul style="list-style-type: none">• 深入开展文献综述，系统学习复杂系统理论和网络分析方法• 分析新产品导入（NPI）过程的复杂性特征• 初步构建 NPI 过程的网络模型框架
2024 年 2 月 – 2024 年 3 月	<ul style="list-style-type: none">• 完善 NPI 过程的网络模型• 确定网络分析的指标和方法• 开发或选择适当的网络分析工具
2024 年 4 月 – 2024 年 5 月	<ul style="list-style-type: none">• 收集案例研究所需的数据• 对 NPI 网络模型进行实证分析• 识别关键节点、关键路径和瓶颈问题
2024 年 6 月 – 2024 年 7 月	<ul style="list-style-type: none">• 基于分析结果提出 NPI 过程的优化策略• 与企业相关人员讨论并修正优化方案• 初步验证优化策略的可行性
2024 年 8 月 – 2024 年 9 月	<ul style="list-style-type: none">• 完成论文初稿的撰写• 对论文进行修改和完善• 与导师多次沟通，征求修改意见
2024 年 10 月	<ul style="list-style-type: none">• 论文定稿，准备论文答辩材料• 参加论文预答辩，根据反馈意见进行修改
2024 年 11 月	<ul style="list-style-type: none">• 完成论文的最终定稿• 提交论文，准备正式答辩
2024 年 12 月	<ul style="list-style-type: none">• 参加硕士学位论文答辩• 根据答辩委员会意见进行必要的修改• 办理毕业相关手续

参考文献

- [1] Anderson P W. More Is Different: Broken symmetry and the nature of the hierarchical structure of science.[J/OL]. Science, 1972, 177(4047): 393-396. DOI: 10.1126/science.177.4047.393.
- [2] Mitchell M. Complexity: A guided tour[M]. Oxford University Press, 2009.
- [3] Holland J H. Studying complex adaptive systems[J]. Journal of Systems Science and Complexity, 2006, 19(1): 1-8.
- [4] Clark K B, Fujimoto T. Kim B. CLARK and Takahiro FUJIMOTO, *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*: No. 1 [M/OL]. 东京大学大学院経済学研究科, 1992. DOI: 10.32173/jeut.58.1_83.
- [5] Wheelwright S C, Clark K B. Revolutionizing product development: Quantum leaps in speed, efficiency, and quality[M]. Free Press, 1992.
- [6] Trent R J, Monczka R M. International purchasing and global sourcing—what are the differences?[J]. Journal of Supply Chain Management, 2003, 39(4): 26-37.
- [7] Tidd J, Bessant J. Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change[M]. 5th ed. John Wiley & Sons, 2013.
- [8] Cooper R G. Third-generation new product processes[J]. Journal of Product Innovation Management, 1994, 11(1): 3-14.
- [9] Newman M. Networks: An introduction[M]. Oxford University Press, 2010.
- [10] Barabási A L. Network science[J/OL]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2013, 371(1987): 20120375. DOI: 10.1098/rsta.2012.0375.
- [11] Cooper R G. Stage-gate systems: A new tool for managing new products[J]. Business Horizons, 1990, 33(3): 44-54.
- [12] Kim B. Managing the transition of technology life cycle[J/OL]. Technovation, 2003, 23(5): 371-381. DOI: 10.1016/S0166-4972(02)00168-2.
- [13] Takeuchi H, Nonaka I. The new new product development game[J]. Harvard Business Review, 1986, 64(1): 137-146.
- [14] Van Echtelt F E A, Wynstra F, Van Weele A J, et al. Managing Supplier Involvement in New Product Development: A Multiple-Case Study *[J/OL]. Journal of Product Innovation Management, 2008, 25(2): 180-201. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2008.00293.x.
- [15] Maylor H, Brady T, Cooke-Davies T, et al. Managing complex projects: A case study of baa's heathrow terminal 5[J]. Project Management Journal, 2008, 39: S44-S59.
- [16] Cilliers P. Complexity and postmodernism: Understanding complex systems[M]. Routledge, 1998.
- [17] Borgatti S P, Mehra A, Brass D J, et al. Network analysis in the social sciences[J]. Science, 2009, 323(5916): 892-895.

- [18] Freeman L C. Centrality in social networks conceptual clarification[J]. *Social Networks*, 1978, 1(3): 215-239.
- [19] Browning T R. Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: A review and new directions[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2001, 48(3): 292-306.
- [20] Sosa M E, Eppinger S D, Rowles C M. The misalignment of product architecture and organizational structure in complex product development[J]. *Management Science*, 2004, 50(12): 1674-1689.
- [21] Reagans R, Zuckerman E W. Networks, diversity, and productivity: The social capital of corporate r&d teams[J]. *Organization Science*, 2001, 12(4): 502-517.
- [22] McCarthy I P, Tsinopoulos C, Allen P, et al. New product development as a complex adaptive system of decisions[J/OL]. *Journal of Product Innovation Management*, 2006, 23: 437-456. https://consensus.app/papers/product-development-complex-adaptive-system-decisions-mccarthy/80ed2e3606c15dbbbe7c8620bcbe1edb/?utm_source=chatgpt. DOI: 10.1111/J.1540-5885.2006.00215.X.
- [23] Pflaum B, Weissenberger-Eibl M A. Using network analysis to evaluate success factors for new product development[C/OL]//2017 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS). 2017: 1-6. https://consensus.app/papers/using-network-analysis-evaluate-success-factors-product-pflaum/36fede8dbeba547ba1e4914d1890aeb9/?utm_source=chatgpt. DOI: 10.1109/E-TEMS.2017.8244224.
- [24] Kallenborn O, Täube F. Complex adaptive socio-technical systems: The role of socio-technical networks in new product development[J/OL]. *Organization Studies*, 2014. https://consensus.app/papers/complex-adaptive-sociotechnical-systems-role-kallenborn/cb9e7ad7d6ef5bf89d6997f7d704061a/?utm_source=chatgpt. DOI: 10.2139/SSRN.2387287.
- [25] Tennant C, Roberts P. The creation and application of a self-assessment process for new product introduction[J/OL]. *International Journal of Project Management*, 2003, 21: 77-87. https://consensus.app/papers/creation-application-selfassessment-process-product-tennant/79faab10cd905360b253aa15c932c3f1/?utm_source=chatgpt. DOI: 10.1016/S0263-7863(02)00019-4.
- [26] Gardiner G, Gregory M. An audit□based approach to the analysis, redesign and continuing assessment of a new product introduction system[J/OL]. *Integrated Manufacturing Systems*, 1996, 7: 52-59. https://consensus.app/papers/audit□based-approach-analysis-redesign-continuing-gardiner/d5920cca0aae5135bf3b06ea4ee816c9/?utm_source=chatgpt. DOI: 10.1108/09576069610111909.
- [27] Wang J, Chen J, Wang Y. Complex network analysis of project task relationships in construction projects[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2015, 429: 176-184.
- [28] Albert R, Barabási A L. Statistical mechanics of complex networks[J]. *Reviews of Modern Physics*, 2002, 74(1): 47-97.
- [29] Girvan M, Newman M E. Community structure in social and biological networks[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, 99(12): 7821-7826.
- [30] Latora V, Marchiori M. Efficient behavior of small-world networks[J]. *Physical Review Letters*, 2001, 87(19): 198701.

-
- [31] Guimerà R, Mossa S, Turtshi A, et al. The worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities' global roles[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2005, 102(22): 7794-7799.
- [32] Cross R, Parker A. The hidden power of social networks: Understanding how work really gets done in organizations[M]. Harvard Business School Press, 2004.
- [33] Reagans R, McEvily B. Network structure and knowledge transfer: The effects of cohesion and range[J]. *Administrative Science Quarterly*, 2003, 48(2): 240-267.
- [34] Holme P, Saramäki J. Temporal networks[J/OL]. *Physics Reports*, 2012, 519(3): 97-125. DOI: 10.1016/j.physrep.2012.03.001.
- [35] Estrada E. The structure of complex networks: Theory and applications[M]. Oxford University Press, 2011.
- [36] Reppenning N P. Understanding fire fighting in new product development[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2001, 18(5): 285-300.
- [37] Marler T, Arora J. Survey of multi-objective optimization methods for engineering[J]. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2004, 26(6): 369-395.
- [38] Yin R K. Case study research and applications: Design and methods[M]. 6th ed. SAGE Publications, 2017.
- [39] Flyvbjerg B. Five misunderstandings about case-study research[J]. *Qualitative Inquiry*, 2006, 12(2): 219-245.
- [40] Rhee Y P. Complex systems approach to the study of politics[J/OL]. *Systems Research and Behavioral Science*, 2000, 17(6): 487-491. DOI: 10.1002/1099-1743(200011/12)17:6<487::AID-SRES350>3.0.CO;2-E.
- [41] Lattuca L R. Creating interdisciplinarity: Interdisciplinary research and teaching among college and university faculty[M]. Vanderbilt University Press, 2001.