

人合作关系网络图,分析港珠澳大桥创新生态系统的要素构成和演化逻辑,并研究其创新生态网络结构对于创新力的影响。

本文研究的数据主要来自于 Incopat 专利数据库和 SIPO 专利数据库。首先,在 Incopat 专利数据库共获得 390 项与港珠澳大桥相关的专利,其中 99.74% 专利属于发明专利和实用新型专利。其次,为了进一步测量创新主体的创新能力,共获得相关企业的 12526 项专利,通过计算 3 年内的平均专利价值度以度量其创新能力,为保证数据可靠性,本文同时采用前 5 年的平均专利价值度。同时,本文同时检索 SIPO 专利数据库,与现有数据一致。

(一)创新生态系统的主体构成

从创新主体类型来看,港珠澳大桥创新生态系统包含了创新核心主体,例如政府部门、设计方、承包方、监理方、科研机构、大学等,还涵盖了航空航天企业、新材料提供商、装备制造企业等创新扩展主体(如图 3)。

从技术演化趋势来看,在项目初期,创新主体主要围绕施工技术等创新活动展开,例如水利基础施工技术、道路桥梁施工技术等,并在 2015 年达到峰值。同时,创新主体也开展其他类型的创新活动,包括新材料研发、装备制造研发、数据处理预测技术等(如图 4)。

从行业分布特征来看,专利除涉及传统土木工程建筑业外,还有约 42% 的专利来自于仪器仪表制造业、专用设备制造业等其他行业(见表 1),反映了重大工程创新生态系统中来自于其他行业创新主体的积极融入,体现了重大工程创新的集成性。

(二)创新生态系统的动态演化

1. 创新生态网络演化

基于 UCINET 软件和 Gephi 软件,根据专利申请人的关联关系,绘制出港珠澳大桥创新生态网络演化图(如图 5 所示)及网络关系强度图(如图 6 所示)。图 5 表明在项目建设前期,创新生态系统中覆盖较少的创新主体,以承包商和主管部门为主。随着工程建设逐步推进,越来越多创新主体加入并形成创新生态网络,进而构建了创新生态系统。从图 6 可以看出,主管部门(港珠澳大桥管理局)在创新生态网络中的网络节点较大,一方面显示其在创新生态网络中突出的管理和协调能力,另一方面也凸显其技术人员在创新生态系统发挥的重要作用。

从创新群落视角来看,在项目前期,创新活动呈现出明显的孤岛现象(Chen et al., 2018),该阶段创新群落表现出明显的割裂状态。从纵向维度看,由于重大工程全生命周期不同阶段所导致的创新资源割裂,易于形成创新孤岛(Sheffer & Levitt, 2012);从横向维度看,重大工程需要不同专业化主体间承担不同项目,难以分享资源和知识,进而形成创新孤岛(Chen et al., 2018)。因此,在创新孤岛显现的状态下,创新资源难以实现高

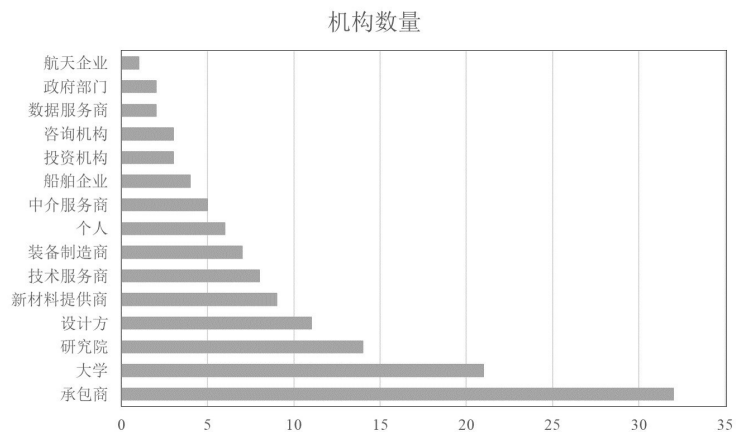


图3 专利申请机构类别图

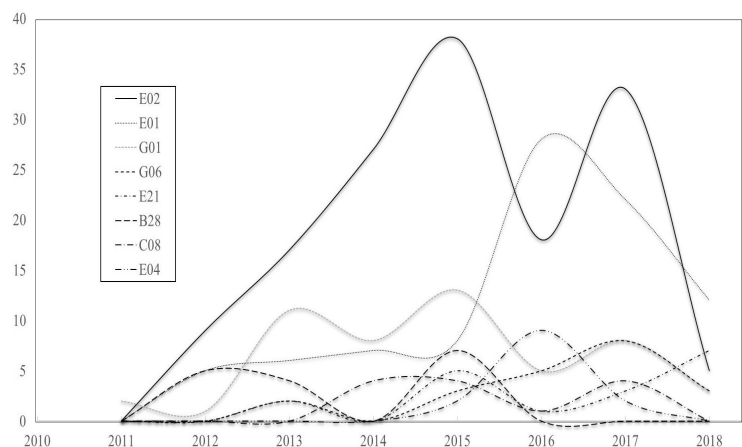


图4 港珠澳大桥专利技术申请趋势图

注:该图表示为创新技术类型的演化趋势,选取前8类IPC大类。

表1 港珠澳大桥专利申请隶属行业(前10大类行业)

国民经济行业分类	E48	C40	C35	C34	C39	C30	C26	C33	C37	C25
专利数量	224	48	34	18	16	15	14	7	5	2

效互动,阻碍创新生态系统内的组织学习、知识互补和创新耦合,创新主体的共同进化难以实现。

结合图5和图6来看,由于重大工程创新网络复杂度更高、动态性更强,多样性和网络异质性更加明显,需要来自不同部门、不同行业 and 不同地区的创新主体参与到创新活动中,创新生态系统中创新主体的合作关系

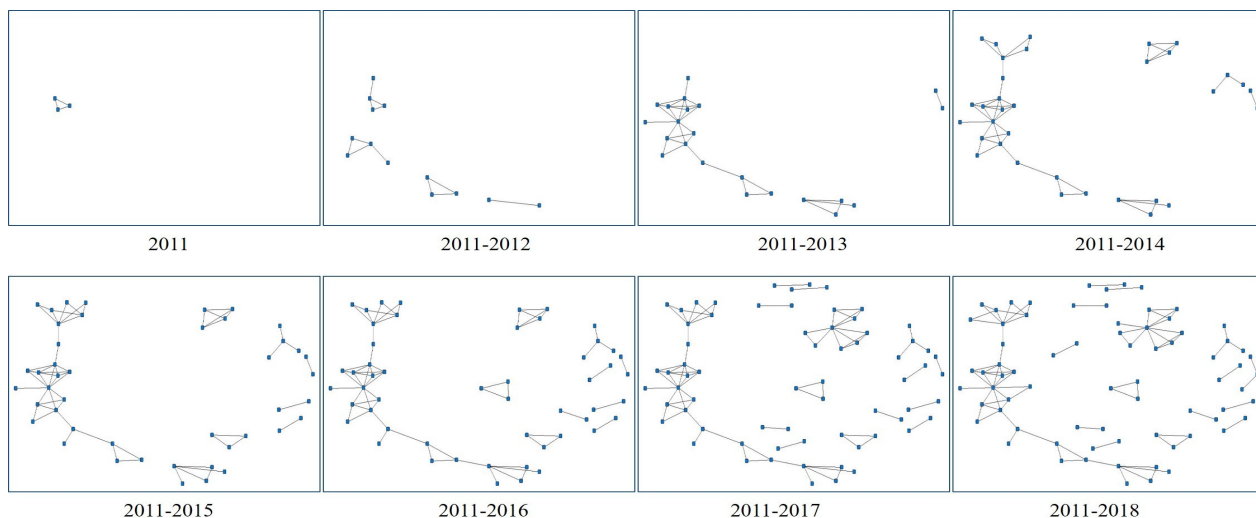


图5 港珠澳大桥专利关系网络演化图



图6 港珠澳大桥专利关系网络图

注:节点大小表明其在创新生态网络中的连接其他创新要素的数量,亦是创新网络中心度。

越来越紧密,创新孤岛现象得以逐渐消除。

2. 创新生态位和生态势演化

创新生态势是指创新主体通过其创新能力所获得的在创新生态系统中的作用,表现为其在创新生态系统中的创新势能。创新生态位是指创新主体在创新生态系统中的技术创新领域跨度和范围。为刻画创新主体的生态位和生态势在全生命期不同阶段的交互演化特征,本文通过计算各单位申请专利的领域类型总计来刻画其创新生态位(Baum & Singh, 1994);计算其在重大工程创新生态系统中申请的专利价值总和,来刻画创新主体在创新生态系统中的创新生态势。

专利价值度可以按照专利战略价值和专利保护价值两个维度来测算(Wang & Hsieh, 2015)。

$$Patent\ Value = \sum_{i=1}^5 \alpha_i S_i + \sum_{i=1}^5 \beta_i P_i \quad (1)$$

基于公式(1), S_i 是指专利战略价值指标:专利类型、同族专利引用数量、专利涵盖IPC子领域数量、是否发生许可或转让、研发申请人员数量(Fischer & Leidinger, 2014; Harhoff et al., 2003; Lerner, 1994)。 P_i 是指专利保护价值的指标:权利要求数量、是否有诉讼行为、是否有质押保全、是否提出复审请求、是否被宣告无效(Gitelman & Kogut, 2003; Wang & Hsieh, 2015)。

本文选取了在港珠澳大桥创新生态系统中申请专利数量排名前10位的创新主体,绘制创新生态位和创新生态势动态演化图,如图7所示。可以看出承包商仍然承担最主要的创新职能,其次是科研机构和设备提供商;不同创新主体在创新生态系统中呈现出不同的演化特征,一部分创新主体的生态势和生态位在前期缓慢上升,而另一部分创新主体在后期保持平稳状态。

同时,随着创新生态系统中创新主体的不断交互演化,其创新能力不断增强。在创新生态势的变化过程中,积极参与创新的主体随着创新生态系统的演化而不断成长,两者均表现出显著的相关性。

(三) 创新生态网络结构与创新力分析

为检验创新生态系统中网络结构对于创新主体创新力的影响,本文计算创新生态网络中创新主体的中心度和创新主体的平均专利价值度。

由于重大工程创新主体间的异质性,本文剔除科研院所及高校、政府部门等单位,仅聚焦于重大工程创新生态系统中的企业,剔除缺失数据后共获得404个样本。根据公式(1),以3年为周期,计算出每个企业平均专利价值度。其次,基于创新生态网络计算创新网络中心度(Centrality),测量方法如公式(2)所示。

$$C_d(N_i) = \sum_{j=1}^n x_{ij} (i \neq j) \quad (2)$$

式中, $C_d(N_i)$ 表示创新主体的中心度程度, x_{ij} 表示创新主体*i*与创新主体*j*共同申请专利。

为控制企业层面和区域层面的其他要素对于企业创新力的影响,控制变量选取企业年龄(Age)、企业规模

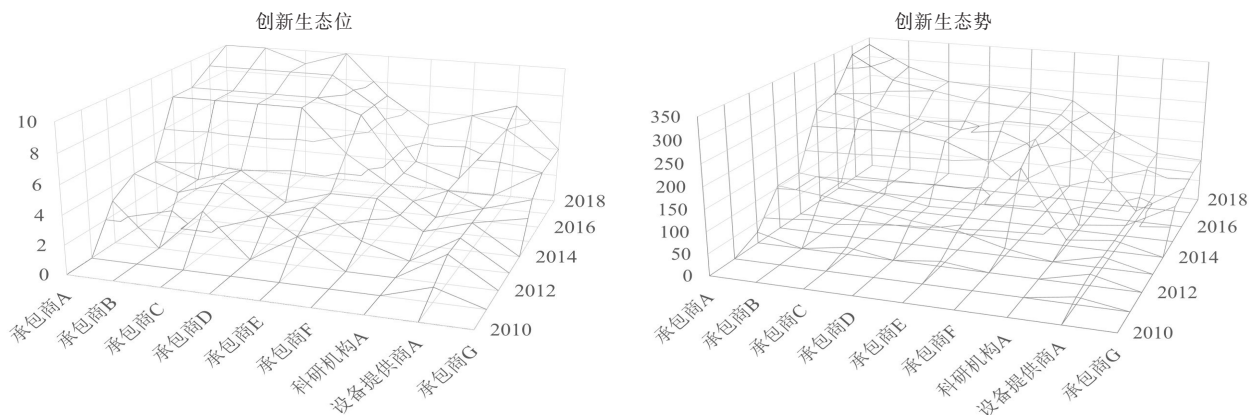


图7 重大工程创新生态位和创新生态势动态演化图

(Size)、区域发展水平(Regional Development)、是否隶属于商业集团(Business Group)、是否是高科技企业(High-tech)、年度和行业的固定效应。现有文献发现专利被引频次(Patent Citations)与专利价值(Patent value)和创新质量有显著的正相关关系(Fischer & Leidinger, 2014; Gitelman & Kogut, 2003),本文还计算专利的平均被引频次来进行稳健性检验。考虑到专利价值度和专利平均被引次数的偏态性,对其取对数之后再进行分析。描述性统计分析如表2所示。

基于广义估计方程估计模型(结果如表3所示),发现创新主体中心度可正向影响创新主体的专利平均价值度($b=0.434$, $p<0.001$),即创新主体在生态系统中的中心度越高,其创新能力越强。同时,为比较具有不同创新生态位和生态势的创新主体在创新生态系统中的创新力提升的差异效应,本文将其分为高生态势和低生态势、高生态位和低生态位4组样本(结果如表3所示)。基于Chow检验,创新生态势不同的创新主体在该效应方面存在显著差异($p<0.001$),结果表明创新生态势越低的创新主体,创新生态网络中心度对于其创新价值度正向效应越明显;同理,创新生态位不同的创新主体在此效应方面存在显著差异($p<0.001$),结果表明创新生态位越专一的创新主体,创新生态系统中心度对于其创新价值度的正向效应越明显。上述结果表明,在重大工程创新生态系统中,创新主体通过提高其在创新生态系统的活跃度,通过吸附效应增加其中心度,可有效促进其创新力提升。

为保证模型稳健性,本文采用专利的平均被引频次来测算其创新质量(Gittelman & Kogut, 2003)。分析结果(如表4所示)与前文所述一致($b=0.449$, $p<0.001$),即创新主体的创新生态网络中心度越高,其创新能力亦越强。同时通过Chow检验来验证分样本的差异性,研究结果与前文

表2 描述性统计分析

变量	均值	方差	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Patent value	4.919	2.495	1.000							
2. Patent Citations	1.327	1.606	0.421*	1.000						
3. Centrality	1.022	1.707	0.282*	0.002	1.000					
4. Age	17.374	8.833	0.302*	0.052	0.249*	1.000				
5. Size	9.838	2.216	0.182*	0.057	0.075	0.328*	1.000			
6. Regional Development	6.821	2.459	0.219*	-0.108*	0.183*	0.180*	-0.164*	1.000		
7. Business group	0.488	0.500	0.185*	0.185*	0.362*	0.348*	0.043	0.041	1.000	
8. High-tech	0.564	0.496	0.172*	0.186*	0.029	0.113*	-0.005	0.335*	0.028	

表3 创新生态系统中心度与创新主体创新力的关系

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
	全样本	全样本	高生态势 创新主体	低生态势 创新主体	高生态位 创新主体	低生态位 创新主体
因变量: 专利平均价值度						
Age	0.293** (0.119)	0.263** (0.110)	0.035 (0.033)	0.325** (0.129)	0.123 (0.108)	0.553*** (0.173)
Size	1.260** (0.536)	1.275** (0.496)	0.034 (0.200)	1.532*** (0.570)	1.052** (0.507)	1.234* (0.732)
Regional Development	0.549 (0.439)	0.453 (0.409)	-0.198 (0.150)	0.552 (0.485)	0.164 (0.359)	0.019 (0.759)
Business group	-0.229 (2.062)	-1.190 (1.925)	-1.113 (1.148)	-0.309 (2.196)	0.348 (1.933)	-9.449*** (3.185)
High-tech	0.754 (2.023)	0.888 (1.874)	1.431** (0.689)	1.755 (2.153)	-0.262 (1.651)	6.734** (3.010)
Centrality(Log)		0.434*** (0.112)	0.186* (0.096)	0.616*** (0.134)	0.192* (0.114)	1.018*** (0.210)
Year fixed effect	Included	Included	Included	Included	Included	Included
Industry fixed effect	Included	Included	Included	Included	Included	Included
Constant	-28.185*** (9.415)	-20.417** (8.940)	-1.109 (2.936)	-24.600** (10.048)	-14.108** (6.590)	-22.680* (13.769)
Number of observations	404	404	110	325	266	138
Chi-squared	122.275	148.134	50.494	147.612	43.402	180.622
P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注: * $p<0.1$, ** $p<0.05$, *** $p<0.01$ 。

表4 创新生态系统中心度与专利被引频次的关系

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
	全样本	全样本	高生态势 创新主体	低生态势 创新主体	高生态位 创新主体	低生态位 创新主体
因变量: 专利平均被引用次数						
Age	0.277** (0.122)	0.246** (0.113)	0.012 (0.029)	0.309** (0.130)	0.092 (0.121)	0.544*** (0.166)
Size	1.504*** (0.552)	1.521*** (0.510)	0.119 (0.178)	1.822*** (0.579)	1.439** (0.567)	1.340* (0.708)
Regional Development	0.472 (0.446)	0.382 (0.415)	-0.354*** (0.133)	0.447 (0.486)	0.025 (0.398)	-0.063 (0.727)
Business group	-0.299 (2.121)	-1.296 (1.973)	-1.015 (1.019)	-0.672 (2.227)	0.767 (2.167)	-10.311*** (3.069)
High-tech	1.316 (2.080)	1.444 (1.923)	2.497*** (0.605)	2.353 (2.179)	0.312 (1.853)	7.053** (2.903)
Centrality(Log)		0.449*** (0.102)	0.203** (0.091)	0.610*** (0.119)	0.245** (0.106)	0.938*** (0.189)
Year fixed effect	Included	Included	Included	Included	Included	Included
Industry fixed effect	Included	Included	Included	Included	Included	Included
Constant	-31.542*** (9.674)	-23.572*** (9.119)	-2.944 (2.671)	-28.228*** (10.178)	-18.458** (7.274)	-24.967* (13.133)
N	404	404	110	325	266	138
Chi-squared	107.721	138.515	91.058	142.779	43.426	176.199
P value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注: * $p<0.1$, ** $p<0.05$, *** $p<0.01$ 。