

中美碳捕集与封存技术专利布局研究

苑朋彬, 赵蕴华, 周肖贝

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 本文从时间、空间、内容 3 个维度和技术生命周期、同族专利申请布局、专利权人申请布局、技术热点、技术关联 6 个指标, 对比分析了中美两国碳捕集与封存技术发展的异同。在此基础上发现, 中国专利申请的数量虽然发展迅速但在核心专利市场核心技术领域核心技术点的发展仍处于起步阶段, 美国的发展经验值得借鉴。

关键词: 中美; 碳捕集与封存技术; 技术生命周期; 技术关联图

中图分类号: X701.2; X701.712 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2016.02.010

碳捕集与封存技术 (CCS) 是指通过一定的技术手段, 将工业、能源废气排放中产生的二氧化碳进行捕捉, 并将其运输存储到海洋与地下储层中, 从而使其与大气隔绝的一项技术^[1]。根据国际能源署 (IEA) 预测的 2050 年温室气体减排目标, 若要实现全球温室气体减半的目标, CCS 必将承担 20% 的减排任务^[2]。这足以凸显出 CCS 作为清洁机制的一部分, 其重要地位是不可替代的。

《BP2035 世界能源展望》(2015 版) 的最新数据显示: 在中国的能源消耗结构中, 煤炭仍是主导燃料, 占消耗总量的 66%, 到 2035 年, 中国的二氧化碳排放量将会增长 37%, 占世界总量的 30%^[3]。作为发展中国家里的能源大国, 中国的减排计划和技术市场仍备受关注。

从专利技术角度来看, 近几年, 中国 CCS 专利申请量处于快速增长的水平, 申请总量已经几乎和美国持平, 但专利的质量仍有待深究。美国在 CCS 的商业化应用方面走在世界的前列, 从技术研发、项目示范, 到商业化运用, 都形成了一定技术规模。把握国内外技术发展的热点, 了解技术发展的布局, 对于我国部署 CCS 发展重点、确定发

展方向和制定相关政策具有较强的理论意义。本文将从 CCS 技术的时间布局、空间布局和内容布局这 3 方面进行相关对比研究, 从技术角度辅助企业技术的研发和国家政策的制定, 具有一定的现实意义。

本文选取 DII (Derwent innovation index) 数据库中收录的 1963 年至 2015 年的所有关于 CCS 的专利数据, 运用关键词进行检索, 检索时间为 2015 年 11 月 30 日, 共检索得到查重后的 CCS 专利数据 3 210 条, 其中优先权国家为中国的专利 952 条, 美国专利 1 183 条; 并采用 TDA、EXCEL 等统计分析工具对专利申请数量、申请国别、申请机构、分类号分别进行统计和作图。由于专利申请具有一定的延迟性, 所以 2015 年的数据仅供参考。

1 中美 CCS 技术对比研究

1.1 CCS 技术时间布局研究

1.1.1 技术生命周期阶段划分

生命周期是来自于生物学领域的一个概念, 用来描述生物发展过程中所经历的萌芽期、成长期、成熟期、衰退期, 见图 1。1845 年 Verhulst 首先提

第一作者简介: 苑朋彬 (1990—), 男, 硕士, 主要研究方向为技术竞争情报。

项目来源: 国家科技支撑计划课题任务书“专利信息支撑项目科研项目管理应用示范”(编号: 2013BAH21B05)。

收稿日期: 2016-01-12

出了 S 曲线数学模型，并将其用来描述人口变化。1985 年，美国学者 Foster^[4] 将 S 曲线运用到技术领域，发现技术的发展趋势同样呈现 S 曲线增长趋势。目前专利分析中常用的判断技术生命周期的方法有图示法、指标法、技术层次矩阵、TCT 计算方法、S 曲线法^[5]，利用 S 曲线数学模型描述技术的发展过程不仅可以推测技术发展的饱和值（Saturation），也可以推测技术成长的时间（Dt）以及各个阶段的分界点，可以从更宏观的角度进行技术时间预测，具有一定的参考价值。本文采用美国洛克菲勒大学研究开发的专门用于 S 曲线模拟的 Loglet Lab 软件进行拟合，以时间为横坐标，专利累积申请量为纵坐标，并通过计算回归相似度 r 和对照相关系数临界值 $r_{0.05}$ 进行置信区间判别，从而判定模型拟合的效果，计算出中美当前技术发展所处的阶段、饱和值和转折点。

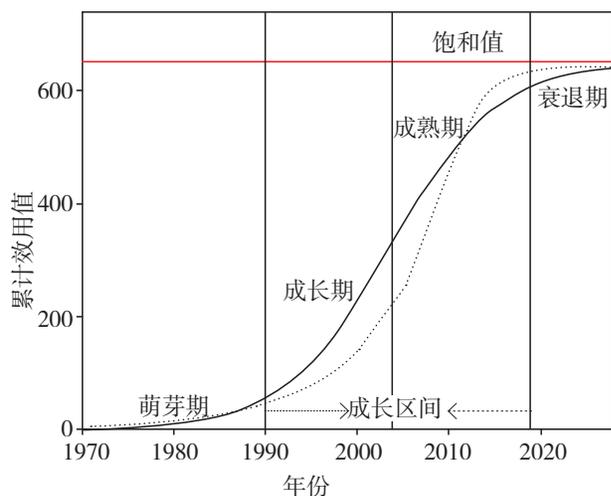


图1 技术生命周期的阶段划分

1.1.2 技术生命周期阶段对比研究

一项技术的发展并不一定遵循完整的技术生命周期，环境的变化和新技术的提出都可能使其进入一个新的技术生命周期。图2和图3分别为采用 Logistic 回归算法拟合的中美 CCS 发展的技术生命周期阶段图，其中美国采用一个技术生命周期的拟合效果不佳，故采用 Bi-Logistic 回归进行拟合，拟合度大大提高。分别利用相似度进行检验，相似度都达到 0.99 以上，并且对照相似度临界值，模型在 95% 的置信区间可信，说明可以用模型进行拟合。

由表1可以看出，中国 CCS 专利申请正处于

第一个生命周期。1985—2005 年（潜伏期）：专利申请整体处于低迷状态；2005—2009 年（萌芽期）：专利申请有所起色，申请数量开始缓慢增加；2009—2013 年（成长期）：申请累积量大幅度上升，进入到快速的成长期；2013 年至今（成熟期）：目前我国正处于成熟期，预计到 2017 年以后便会进入到一个缓慢发展的阶段。

美国技术的发展已经经历了两个生命周期过程。申请活动始于 1974 年，2000 年左右进入到第二个技术生命周期阶段。美国的 CCS 发展历史是有其特色的。20 世纪 70 年代，美国将开采得到的天然二氧化碳运输到西部进行强化采油（Enhance Oil Resource, EOR）、强化采气（Enhance Gas Resource, EGR）等，但随着温室效应加剧，将工业二氧化碳进行捕捉作为封存利用对象在 2000 年以后逐渐被提上议程^[6]。相应发展起来的捕捉、运输、封存的新技术最终造就了美国 CCS 技术发展的两个阶段。美国第二阶段的发展与中国几乎同步进行，其发展态势不相上下，足可以看出 21 世纪中美两国作为能源大国对于二氧化碳减排的重视程度。

中国发展较美国虽然起步晚、阶段少，但速度快。2000 年以后，中美专利申请速度差距减少，但是以美国第一阶段技术生命周期为代表的传统运输、封存等技术，中美两国还是存在一定的差距。

1.2 CCS 技术空间布局研究

1.2.1 同族专利申请布局

同族专利是具有共同优先权、由不同国家公布的内容相同或者基本相同的一组专利^[7]，通过对比优先权国家为中国、美国的同族专利，可以清楚地了解中美专利空间布局上的差距。通过对同族专利国近 3 年研发活跃度进行排名，可以大致了解中美两国近几年对于国际市场的重视程度。表 2 对中美同族专利排名前 10 的国家进行了统计，并且对其研发的活跃度进行了计算。

可以看出，中美两国都比较重视本国市场和国际市场的专利申请，共同关注欧洲、加拿大、澳大利亚、韩国、日本、印度等国家的专利布局。但就其数量差异来看，中国的国际同族专利少，美国的国际同族专利多。从专利申请的活跃度来看，中国已经开始重视印度、俄罗斯、加拿大市场的开发，

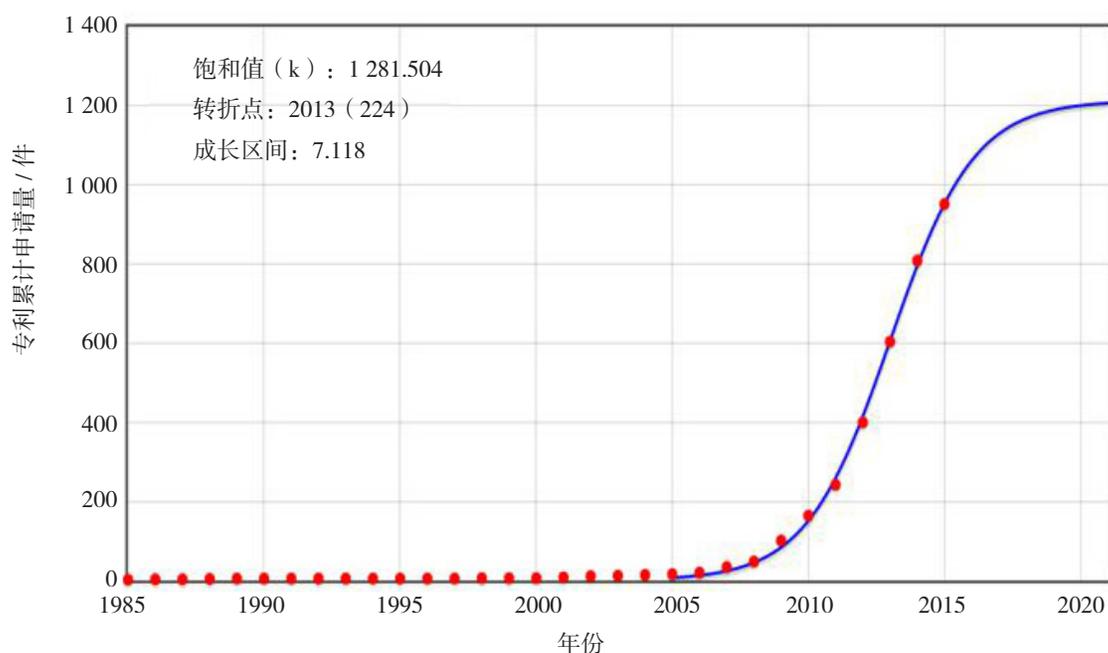


图 2 中国 CCS 技术 S 曲线回归拟合

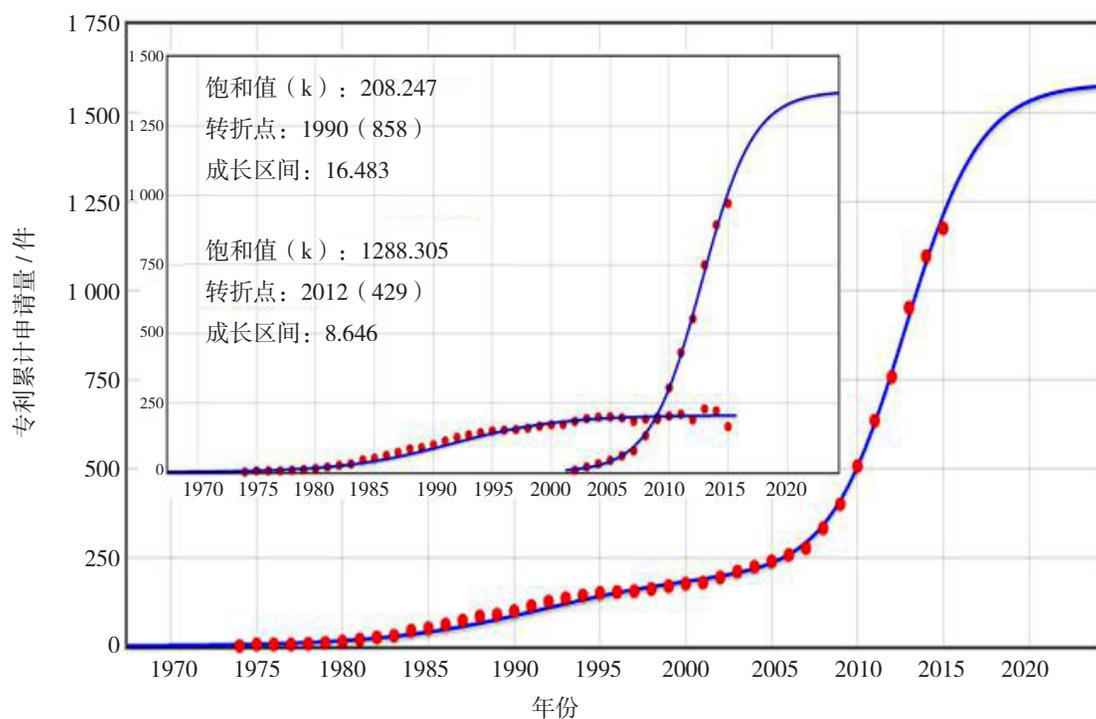


图 3 美国 CCS 技术 S 曲线回归拟合

表 1 中美 CCS 技术生命周期各阶段转折点划分

国别	阶段	萌芽期	成长期	成熟期	衰退期	饱和值	转折点	成长区间	相似度
中国	第一阶段	1985	2009	2013	2017	1 281.504	2013 (224)	7.12	0.999 0
美国	第一阶段	1974	1983	1991	1999	208.247	1990 (858)	16.483	0.999 5
	第二阶段	2001	2008	2012	2017	1 288.305	2012 (429)	8.646	

表 2 中美前 10 名同族专利国家分布及活跃度排名

优先权国家		中国				美国				
同族专利 国家/组织 TOP10	专利数 量(A)	近3年专 利数量(B)	活跃度 A/B(%)	活跃度 排名	同族专利 国家/组织 TOP10	专利数量 (A)	近3年专 利数量(B)	活跃度 A/B(%)	活跃度 排名	
1	中国	951	652	68.56	10	美国	1 091	649	59.49	10
2	WIPO	35	27	77.14	6	WIPO	608	436	71.71	3
3	美国	27	20	74.07	7	欧洲	340	237	69.71	5
4	欧洲	24	17	70.83	8	加拿大	327	224	68.50	7
5	加拿大	15	13	86.67	2	中国	256	199	77.73	1
6	澳大利亚	15	12	80.00	5	澳大利亚	222	158	71.17	4
7	日本	13	9	69.23	9	日本	178	107	60.11	9
8	印度	9	8	88.89	1	印度	89	69	77.53	2
9	俄罗斯	7	6	85.71	3	韩国	82	56	68.29	8
10	韩国	6	5	83.33	4	墨西哥	64	44	68.75	6

专利申请量不多，但其 85% 以上的专利申请是在近 3 年内申请的，活跃度较高。而中国、印度、世界知识产权组织是美国近 3 年申请比较活跃的地方，其 71% 以上的专利申请是在近 3 年内申请的。美国是较早研究 CCS 技术的国家，技术相对成熟，而中国技术起步晚，专利申请不完善，因此，美国比较重视中国市场的开发，其申请活跃度也排名第一。印度是世界六大能源消耗国之一，同时也是三大煤炭生产国之一。美国也很注重印度市场的开发，已经申请了 89 条专利，其中有 69 条是在近 3 年内申请的。

中国国际同族专利申请数量少，较美国有一定的差距。美国大力发展中国专利市场、积极开拓印度专利市场对于我国专利布局具有一定的借鉴意义。

1.2.2 专利权人申请布局

专利权人分布不仅可以反映出技术研发的主体，还可以从侧面反映出技术研发是处于理论研究阶段还是商业化应用阶段。

对比中美专利申请排名前 10 的专利权人申请机构，发现（表 3），中国专利人主要以大学、科研机构为主，而美国专利权人则主要以公司为主。目前我国专利申请排名前 10 的机构中，仅有华能

集团、中国石油化工有限公司这两家公司对 CCS 相关技术进行了专利申请；而在美国专利权人申请排名前 10 的机构中，9 家为公司。以贝克休斯为代表的全球石油开发与加工公司极大地促进了美国技术的商业化。科研院所及大学是先进理论知识来源的主要阵地，而公司是商业化技术的孵化者。美国 CCS 商业化走在世界前列，从 20 世纪 70 年代利用二氧化碳提高采油率，到 21 世纪通过《美国清洁能源领导法》为 CCS 提供财政补助，同时期提出《碳捕集与封存技术及早期法案》鼓励相关行业及早部署 CCS 技术。2010 年奥巴马总统以备忘录形式要求美国国务院、能源部、环保署、财政部、科技政策办公室等 14 个联邦部门和机构建立 CCS 部际工作组，企图在联邦层面制定一个全面协调的 CCS 商业化发展战略。美国在其政策、财政上对企业技术发展给予大力支持，形成了一系列的示范项目，并计划在 2016 年建成 10 个商业化示范项目，在 2020 年全面部署 CCS。而在我国，仅有少数公司开展了相关项目：中石油于 2008 年在吉林开展了二氧化碳的驱油与封存的先导试验；华能集团在 2008 年和 2010 年分别在北京和上海建成了燃煤发电捕获工程示范基地^[8]；中电投在 2010 年于重庆建成了二氧化碳捕集示范装置。

表 3 中美前 10 名专利权人申请布局

排名	中国专利权人	专利数量	美国专利权人	专利数量
1	华北电力大学	15	贝克休斯	103
2	东南大学	15	通用电气	61
3	清华大学	13	埃克森美孚研究和工程中心	41
4	华能集团	12	空气化工产品有限公司	28
5	中国石油化工有限公司	12	斯伦贝谢	24
6	中国石油大学	11	康菲石油公司	21
7	西南化工研究设计院有限公司	8	雪弗龙研究公司	19
8	北京科技大学	8	PRAD 研究发展有限公司	19
9	西安交通大学	8	壳牌石油	16
10	浙江大学	7	美国能源部	12

中国专利权人申请布局以科研机构为主，企业为辅，较美国商业化发展还有很长的一段路要走，而这离不开政策的支持、资金的投入和标准化示范项目的引导作用。

1.3 CCS 技术内容布局研究

1.3.1 技术热点分布对比研究

《国际专利分类表》(IPC)分类是国际上通用的分类标准，通过对 IPC 分类进行统计，不仅可以了解专利研发的重点，还可以发现专利研发的薄弱环节。IPC 分为部、大类、小类、大组和小组，通过统计不同的 IPC 部、类、组，可以了解技术不同环节的发展状况。图 4 列举了中美两国在全球技术排名前 10 的 IPC 小组的专利布局情况。

由表 4 可以看出，中美两国在技术内容的分布上各有自己的偏重点。全球 TOP10 技术主要分布在以 B (作业、运输)、C (化学、冶金)、E (固定建筑物)、F (机械工程、照明、加热、武器、爆破) 大类为代表的技术领域下。其中以 B01D-053、C01B-003 小组为代表的技术分支，主要围绕燃烧前、燃烧后、富氧燃烧产生的二氧化碳混合气体进行氢气、氮气、水蒸气的分离处理。以 F25J-003、B01J-019、B01J-020 小组为代表的技术分支主要围绕二氧化碳的捕捉技术方法如吸收技术、吸附技术、膜技术、低温技术^[9]。以 C01B-031、E21B-043 小组为代表的技术分支主要围绕二氧化

碳的应用，如工业合成、强化采油 (EOR)、强化采气 (EGR)、强化煤层气开采 (ECBM) 等，以 F23J-015、F02C-003 为代表的技术分支则主要围绕处理废气的装置和工作流体燃气轮机装置等，如其中具有代表性的整体煤气化联合循环发电系统 (IGCC)。在气体分离、捕获手段、燃烧装置以及应用方面，中美技术布局存在很大的差距。中美双方都比较重视 B01D-053、C01B-031 技术 (气体和蒸汽的分离)，在 C10L-003 技术分支上，中国要强于美国，但其他方面都与美国存在差距。

中国比较重视碳化合物生产，而在低温吸附技术、燃气轮机循环发电、废气处理装置、强化油气生产等方面都比不上美国；但中国在天然气与合成天然气、液化石油气技术的加工生产方面比美国要强，这是发展的契机。

1.3.2 技术关联性对比研究

关联分析是寻找在同一事件中出现不同数据项的相关性。运用到专利分类号中可以识别技术之间的相关性、寻找技术研发的空白点。由于一件专利可能有一个或多个主题相关的专利分类号，所以通过统计目标专利号与全部专利号共现的情况，利用 Person 函数计算目标专利号之间的相关系数，绘制图 6、图 7 的中美 CCS 领域的技术关联图，图中仅统计了专利数量超过 10 的 IPC 小类，其中圆点大小代表专利申请数量的大小，线的粗细表示相关

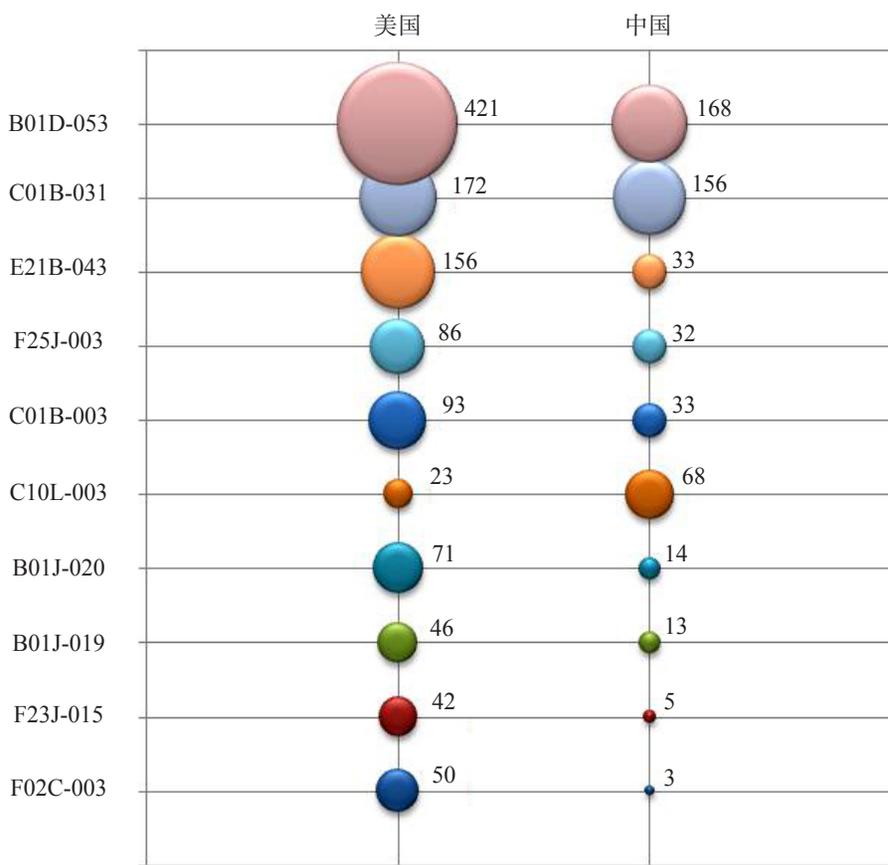


图 4 中美前 10 名技术分布差异图

表 4 技术热点 IPC 小组注释

IPC 大组	IPC 注释
B01D-053	气体或蒸汽的分离；从气体中回收挥发性溶剂的蒸汽
C01B-031	碳；其化合物
E21B-043	从井中开采油、气、水、可溶解或可熔物质或矿物泥浆的方法或设备
F25J-003	通过加压和冷却处理使气体或气体混合物进行液化、固化或分离
C01B-003	氢；含氢混合气；从含氢混合气中分离氢
C10L-003	气体燃料；天然气；液化石油气
B01J-020	固体吸附剂组合物或过滤助剂组合物；用于色谱的吸附剂；用于制备、再生或再活化的方法
B01J-019	化学的，物理的，物化的一般方法
F23J-015	处理烟或废气装置的配置
F02C-003	以利用燃烧产物作为工作流体的燃气轮机装置

性大小。

可以看出，中美在分类号数量和网络密度上存在很明显的差距。中国的技术关联点少、密度低，

仅有 F01K-F01D 和 C12N-C12P 两对分类号之间的连线较粗，相似度值在 0.5 ~ 0.75 之间，说明它们之间的相似度比较强，技术关联比较密切。而美

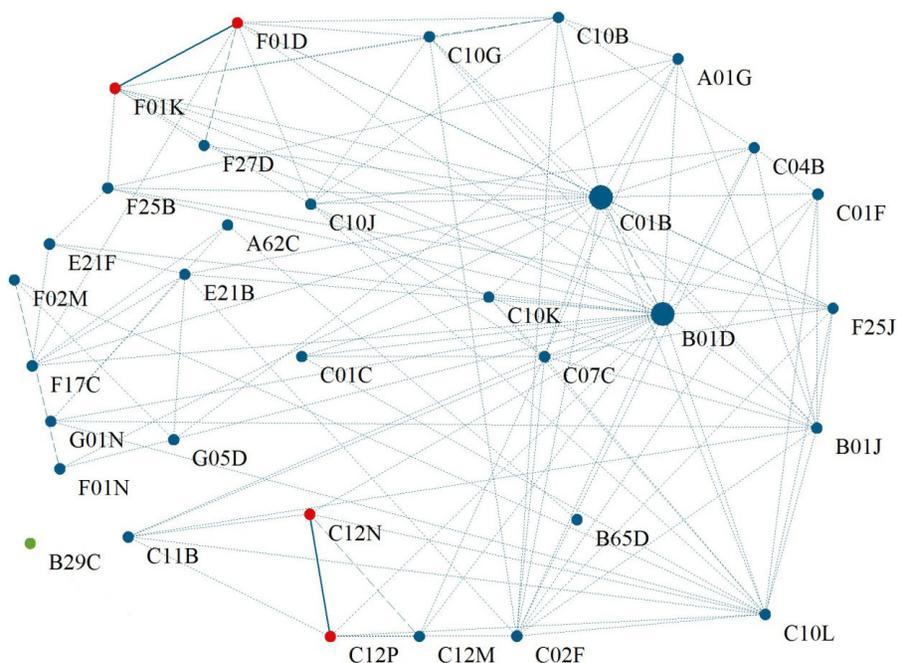


图 5 中国 CCS 领域的技术关联图

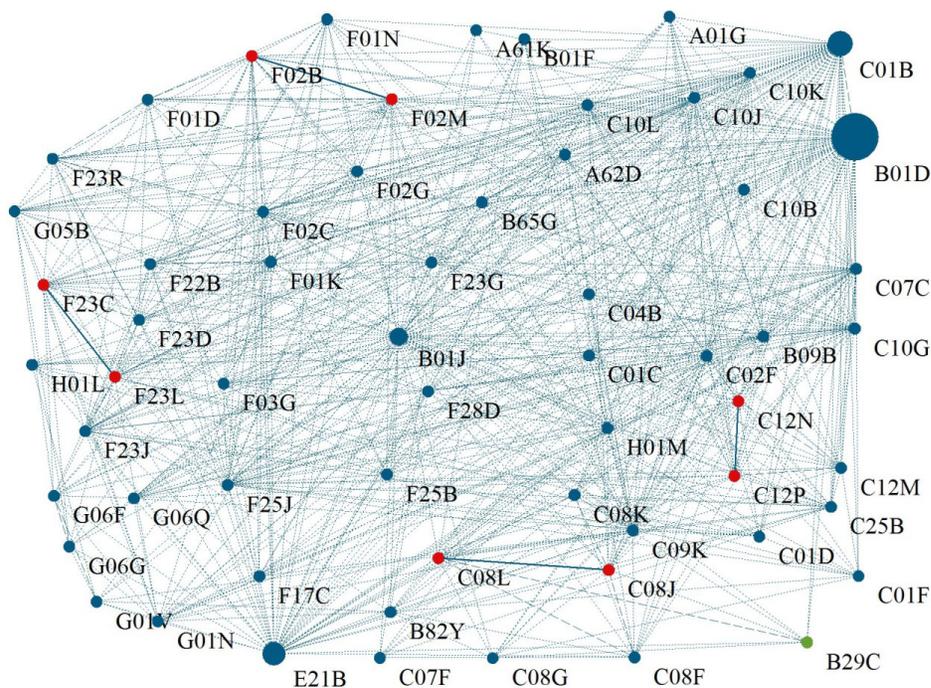


图 6 美国 CCS 领域的技术关联图

国技术关联点多、密度大，在 F02B-F02M、F23L-F23C、C08L-C08J、C12P-C12N 这 4 对分类号之间均有较强联系。其中 F01K、F01D 分别代表非变容式机器或发动机和蒸汽机装置；F02B、F02M 分别代表燃烧发动机、热气或燃烧生成物的发动机装置，以及一般燃烧发动机可燃混合物的供给或其组成部分；F23L-F23C 分别代表一般燃烧设备空

气、不可燃液体或气体的输送，以及使用流体燃料的燃烧方法或设备；C08L-C08J 分别代表高分子化合物的组合物，以及加工、配料的一般工艺过程；C12N、C12P 分别代表微生物、酶或其组合物，以及发酵或使用酶的方法合成目标化合物、组合物或从外消旋混合物中分离旋光异构体。可见中美都比较重视化石能源的充分燃烧装置的专利技术，

技术之间多关联性。继续分析,可以看出中国在 B29C 技术点是孤立的,但在美国的技术关联图中, B29C 与 C08L、C08J 是存在技术相关性的。B29C 代表塑料的成型或连接,塑性状态物质的一般成型,已成型产品的后处理,例如修整。在分子化合物合成和塑料成型技术上,中国应该向美国学习。

F02B-F02M、F23L-F23C、C08L-C08J 都是技术研发的潜在点。中国应该向美国学习,尤其是在 B29C 为代表的成型技术上,中国技术交叉应用市场还处于空白。

2 结论

在时间维度上,中国的发展经历了一个技术生命周期阶段,美国的发展经历了两个技术生命周期的变革。中国的技术发展周期在数量上虽然少于美国,但是,近 10 年的发展态势并不亚于美国,不过在传统运输、封存方面,中国的实力较美国还具有一定的差距。

在空间维度上,中美都比较重视国际市场的专利申请。中国申请量少,近 3 年已经开始逐步重视印度、加拿大、俄罗斯市场的开发,申请活跃度比较高。美国申请量多,近 3 年在中国、印度、世界知识产权组织的申请比较活跃。美国注重中国和印度市场的开发,中国应该在做好本国专利布局、维权的基础上,积极地开拓海外市场,美国在印度的研发动向给我们提供了一个很好的警示。另外,中国专利权人分布主要以科研院所为主,企业参与度少,这与美国恰恰相反。只有推动企业的研发转化,才能产生实际的社会效益,美国在推动 CCS 技术商业化发展上起到了示范作用,无论政策、财政还是示范项目,都是可以借鉴的。

在内容布局上,中国在天然气与合成天然气、液化石油气技术的加工生产方面比美国要强,这是发展的契机;但是在低温吸附技术、燃气轮机循环发电、废气处理装置、强化油气生产等方面都与美国存在差距。气体分离和化合物生成都是中美研究的重点,尤其在燃烧设备和分子化合物合成这一领域, F02B-F02M、F23L-F23C、C08L-C08J 都是

技术研发的潜在点。在以 B29C 为代表的成型技术方面,中国技术交叉应用市场还处于空白阶段,这一点需向美国学习。

中国专利申请的数量虽然发展迅速,但在核心专利市场、核心技术领域、核心技术点方面的发展仍处于起步阶段,未来还有很长的一段路要走,而这离不开政府在政策、标准、财政上的支持,以及企业、科研院所在技术研发、转化、商业化上的共同努力。■

参考文献:

- [1] Metz B, Davidson O, De Coninck H C, et al. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage: Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge University Press, 2005.
- [2] International Energy Agency. Carbon Capture and Storage [R/OL]. (2010-02)[2015-12]. <http://hub.globalCCSInstitute.com/sites/default/files/publications/5701/iea-cslf-report-muskoka-2010-g8-summit.pdf>.
- [3] BP Stats. BP2035 世界能源展望 -2035[R/OL]. (2015-02)[2015-12]. http://www.bp.com/zh_cn/china/reports-and-publications/bp_20351.html.
- [4] Foster R N. Assessing technological threats[J]. Research Management, 1986:17-20.
- [5] 王新, 乔晓东, 徐硕. 基于事实型数据的技术生命周期判别方法综述[J]. 数字图书馆论坛, 2013, 12(115):35-43.
- [6] 任韶然, 张莉, 张亮, 等. CO₂ 地质封存: 国外示范工程及其对中国的启示. 中国石油大学学报[J], 2010, 34(1):93-97.
- [7] 张冬梅, 曾忠禄. 专利竞争情报分析指标体系、分析方法与技术[J]. 情报杂志. 2006, (3):55-56.
- [8] 仲平, 彭斯震, 张九天. 发达国家碳捕集、利用、封存技术及其启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(4): 25-27.
- [9] 陈文颖, 吴宗鑫, 王伟忠. CO₂ 收集封存战略及其对我国远期减缓 CO₂ 排放的潜在作用[J]. 环境科学, 2007, 28(6):1178-1180.

(下转第 76 页)

Prevention and Control Experiences of Air Pollution of United States and Its Enlightenment to China

AdiLi Yakefu

(Environmental Protection Monitoring Station of Hami District, Hami, Xinjiang 839000)

Abstract: As an advanced and developed capitalist country, the United States also had severe environment problems in history, like air pollution. After summarized its experiences on prevention and control of the air pollution, it is found the United States has formed a set of comprehensive laws and regulations system, such as “Clean Air Act”. At the same time, the United States has done a lot of effective works on new energy technology research, optimization of industrial structure, etc. Based on present situation of air pollution in China, this paper provides a valuable reference on the revision of “Law of the People’s Republic of China on the Prevention and Control of Atmospheric Pollution”, energy consumption structure adjustment, industrial system improvement, the public mobilization and participation, etc.

Key words: The United States; air pollution; control measures; climate change

(上接第 72 页)

Patents Layout Research on Carbon Capture and Storage Technology of China and the United States

YUAN Peng-bin, ZHAO Yun-hua, ZHOU Xiao-bei

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing, 100038)

Abstract: This paper mainly analyzes the similarities and differences of Carbon Capture and Storage (CCS) development between China and the United States from three dimensions (time, space and content) and six indexes (technology life cycle, family patents application layout, the patentee application layout, technical hot points and technical association figure). According to the analysis, it is easy to find the development of Chinese core patent market, core technology fields and core technology points is only in its infancy, although its number of patent applications developed rapidly. America’s experience on this field is a valuable reference.

Key words: China and the United States; CCS; technical life cycle; technical association figure