

研究报告

(2022 年第 10 期 总第 119 期)

2022 年 10 月 17 日

谢菲尔德大学先进制造业研究中心：以工业需求为出发点的科技成果转化模式

资本市场与公司金融研究中心

刘罗瑞 刘碧波

【摘要】 工业强国英国在金融危机后开始重新审视制造业对于维持国家竞争力的作用，并推出“高价值制造”战略通过建立弹射中心促进重点产业技术革新与发展。谢菲尔德大学先进制造业研究中心（AMRC）作为弹射中心之一，专注于先进制造业技术的研发，具备复合材料制造、原型设计、增材制造等核心技术环节的研发能力，成为英国领先的先进制造研发集成地。AMRC 通过会员制聚集航空航天、汽车、装备制造等领域的企业成为联盟，并基于会员企业的需求开展科学研究和成果转化，最终形成一套针对不同生命周期企业的科技成果

转化模式，实现原始创新与技术产业化的顺利衔接。本文详细解析了AMRC基于工业需求的科技成果转化模式，并对其核心机制以及对我国高校科技成果转化的启示进行了全面探讨。

目录

一、英国制造业振兴计划推动弹射中心与 AMRC 发展	1
(一) “高价值制造”战略下英国建立弹射中心.....	1
(二) AMRC 依托区域产业结构，发展制造业研发能力.....	2
二、AMRC 聚焦先进制造业，构建全方位研发和产业化能力	3
(一) 依托研发和设施中心进行先进制造技术开发与产品生产	3
(二) 以培训中心为主体开展学徒教育，为企业输送制造业人才	5
三、聚集企业成为联盟，基于工业需求开展成果转化.....	6
(一) 会员制聚集企业成为联盟，由会员决策整体研究规划	6
(二) 依照企业需求的通用程度，提供多层级研发方案	7
(三) 形成针对不同生命周期企业的科技成果转化模式	7
四、核心机制分析及对我国高校科技成果转化的启示.....	13
(一) 通过激发创新企业活力、吸引投资促进区域经济发展	13
(二) 构建以企业需求为主导的科技成果转化模式	14
(三) 整合工业界和学术界资源，帮助基础研究跨越死亡谷	15
(四) 将创新和制造、工程和研发聚集在一起，形成产业集群	16
(五) 政府创新政策对产学研和开放式创新起到促进作用	17

图表目录

表 2-1 AMRC 下属研发中心及其研发方向	3
表 3-1 未来大型起落架计划项目参与方及资金预算	11
表 4-1 技术获取与转移过程	16
图 2-1 2050 工厂	5
图 3-1 采用 DES 模型模拟的波音在欧洲的第一个生产设施	9

一、英国制造业振兴计划推动弹射中心与 AMRC 发展

（一）“高价值制造”战略下英国建立弹射中心

工业革命推动英国成为世界上技术最先进和最大的制造商，并形成以钢铁制造、纺织、造船和工程为制造业主要部门的格局。但二战后，英国制造业就业和占国民生产总值的比重开始下降，制造业和重工业加速衰退，经济发展逐渐转变为以金融服务为中心。直到 2008 年金融危机给经济带来巨大冲击，英国才重新开始重视实体经济尤其是制造业对维持国家国际竞争力的作用。

2008 年英国政府提出“高价值制造”（High Value Manufacturing, HVM）战略，其中一大重点措施是建立高价值制造弹射中心（HVM Catapult），旨在将高价值制造打造为推动英国经济发展的重要动力，发展包括精密设备、药物和生物科学、交通等一批有条件开展高价值制造的重点行业。2011 年，高价值制造弹射中心由创新英国¹（Innovate UK）正式创建，成为英国九大弹射中心²之一，目标是提高英国制造业对经济发展的贡献。

高价值制造弹射中心由七个技术创新中心组成，包括先进制造业研究中心（AMRC）、流程创新中心（CPI）、制造技术中心（MTC）、国家复合材料中心（NCC）、高级成型研究中心（AFRC）、核先进制造中心（Nuclear AMRC）、华威大学制造工程学院（WMG）。以上各中心主要服务于航空及其他高端制造产业，具备增材制造、减材制造、

¹ 创新英国即英国技术战略委员会，是英国的创新机构，通过实施一系列项目加速可持续的经济增长。

² 弹射中心是独立运营的非盈利性私人组织，通常具备研发、测试、生产能力，可以加速研究应用、开发实现新技术，同时促进产业、研究机构和政府之间的合作。

高价值设计、复合材料、新材料、自动化生产等方面的技术能力，拥有尖端研发基础设施、各类实验室、工厂以及技术专家，帮助制造业公司在早期研究和技术商业应用之间架起桥梁，加速技术熟化、降低企业投资风险。

（二）AMRC 依托区域产业结构，发展制造业研发能力

AMRC 是高价值制造弹射中心的核心机构之一，专注于高价值制造业技术的研发工作。AMRC 成立于 2001 年，位于谢菲尔德罗瑟勒姆，起源于谢菲尔德大学与航空航天巨头波音公司之间耗资 1500 万英镑的合作项目。依托罗瑟勒姆地区的传统铸造和加工技术，结合谢菲尔德大学在制造业方面的科研能力，AMRC 实现了地区产业和高校科研的结合，将谢菲尔德的传统专长应用于新材料，专注于高价值制造和机械加工研究。

2007 年 Keith Bennett 担任谢菲尔德大学校长后，学校投入大量财力、人力、物力，并斥资 2000 万英镑把铸造相关工程师和办公人员招募进来，AMRC 迅速壮大。2011 年 3 月，AMRC 成为政府支持发展的高价值制造弹射中心之一。2017 年，大学斥资 8000 多万英镑研究发展钛合金技术，并帮劳斯莱斯公司测试工艺熔炉。此后还设立了 AMRC 的平级机构 Nuclear AMRC (NAMRC)，主攻核能源设备工艺，进行核废料处理。

自 AMRC 落成以来吸引谢菲尔德地区先进制造公司在此聚集：2016 年，劳斯莱斯公司在 AMRC 投资发动机制造厂，2017 年麦卡伦建厂，波音投资建设欧洲工厂，形成大量高端制造业回流的良好态势。

二、AMRC 聚焦先进制造业，建设全方位研发和产业化能力

AMRC 下设多个子中心，包括五个核心研发中心、两个设施中心、培训中心、多个区域合作中心和技术转移中心。以上中心职能各有侧重，集合起来成为具备综合性先进制造能力的研发网络。

（一）依托研发和设施中心进行先进制造技术开发与产品生产

AMRC 的五个核心研发中心分别为复合材料中心、设计和原型中心、铸件中心、高级结构测试中心、国家金属技术中心。研发方向包含先进复合材料的制造研发以及部件加工、从概念设计到全功能的原型开发、材料和部件的结构测试、铸件工艺研究设计及小批量生产、粉末冶金学及金属增材制造等。以上技术领域覆盖了高端制造业的关键技术环节，形成英国领先的先进制造研发集成地。

表 2-1 AMRC 下属研发中心及其研发方向

研发中心	研发方向
复合材料中心 (Composite Centre)	负责先进复合材料制造研发，并以复合材料生产和加工超轻质部件。由于具备强度高、重量轻等特性，这些材料和部件可以在大幅减轻重量的同时保持最高的材料和结构性能，因此被广泛应用于航空航天、海洋、汽车和其他高价值行业，从而提高运输业燃料效率。
设计和原型设计中心 (Design and Prototyping Centre)	为运输、医疗、能源等行业提供从概念设计到全功能原型的开发，利用高精度加工工艺、增材制造、织造技术等开发下一代原型。除了具备 CAD、数字设计等软件设计能力，此中心也配备包括激光切割器、增材制造机器等在内的硬件设备，可以帮助企业开发创新和优化的工程解决方案。

<p>先进结构测试中心 (Advanced Structural Testing Centre)</p>	<p>为物理验证技术可行性并帮助企业和研究者获得产品和系统的认证，验证对象包括研究分析、材料特性、部件、子组件和整个组件等，可测试的材料范围包含复合材料、陶瓷、钢、高科技合金以及其他金属。该中心得到了英国鉴定服务机构（the United Kingdom Accreditation Service, UKAS）的认证，并且是目前全英国大学中唯一拥有“内部方法”（in-house methods）鉴定资质的结构测试机构。</p>
<p>铸件中心 (AMRC Castings)</p>	<p>提供先进的铸造专业知识和制造能力的职能，包括计算机工艺建模、铸件制造设计、精密铸件的快速小批量制造以及用于航空航天和其他高价值制造领域的铸造工艺和材料研究。</p>
<p>国家金属技术中心 (The National Metals Technology Centre)</p>	<p>聚焦于粉末冶金学方面的研究，尤其是金属增材制造的材料和工艺。主要研究领域包括：粉末表征和粉末冶金加工技术。在为英国制造业供应链提供服务数年后，该中心于2012年与波音公司一起加入 AMRC。</p>

除了聚焦技术开发，AMRC 还配备有两处研发设施中心——2050 工厂、劳斯莱斯未来工厂，进行前沿技术探索与小批量生产。其中，2050 工厂于 2015 年正式启动，占地面积达到 7000 平方米，作为英国领先的制造技术研发基地之一，研究重点是探索可能构成未来几十年制造基础的技术，目前主攻机器人和自动化、集成大容量计量、数字辅助装配、制造信息学四个领域。劳斯莱斯未来工厂则主要进行机械加工研究，该建筑于 2008 年启用，并在 2012 年进行了扩建，在未来工厂 6400 平方米的设施内设有车间、实验室、办公室和会议厅，工厂主要的开放式车间容纳了一系列最先进的加工中心和其他制造设备，用于合作伙伴公司在将新技术和新工艺引入自己的工厂之前的开发和试用。



图 2-1 2050 工厂

（二）以培训中心为主体开展学徒教育，为企业输送制造业人才

除了先进制造业技术开发，AMRC 的另一个重要任务是人才培养。2013 年 AMRC 开设了独立的培训中心，以学徒制、学位制、提供高阶技能培训的方式培育工程师，为年轻学生和学徒培训学术和实践技能。最具特色的是其学位制学徒培训，培训中心通过与谢菲尔德大学和谢菲尔德哈勒姆大学建立联系，为学徒提供明确的学习途径，以获得更高等级的资格证书，包括从学士、硕士、直至工程和机械工程领域的博士和 MBA 水平。学徒的培养方向包括：机械师学徒、机械装配工学徒、金属加工师学徒、金属板焊工学徒、管道焊工学徒、复合材料技术员学徒等。具体培养项目由 AMRC 管理，培养方向通常与先进制造园区内企业的需求匹配，且学徒可以参与由 AMRC 理事会和各会员企业所确定的研究项目。

学徒们非常看重将工作和由雇主资助的高水平技术教育结合起来的机会，而不必直接从学校上大学，学徒在经济负担得到减轻的

同时也获得宝贵的工作经验以及 AMRC 的前沿研究。对于培训中心，通过向企业输出工程师人才，也起到吸引会员企业选择 AMRC 的作用，两者之间的合作通过人才的流动得到进一步加强。

三、聚集企业成为联盟，基于工业需求开展成果转化

（一）会员制聚集企业成为联盟，由会员决策整体研究规划

AMRC 依托其在高端制造领域的研发实力，吸引了航空航天、汽车、电气设备等领域的数百家企业成为合作伙伴。通过会员制模式与企业伙伴建立长期稳定的合作关系、输出研究成果，并依据会员企业在实际研发和生产过程中产生的需求确定总体研发方向。

企业会员共分为两档：一级会员会费每年 200,000 英镑，参与者主要是行业领导者，包括供应商和顶级供应商，比如波音、空客、劳斯莱斯、西门子等企业；二级会员会费每年 30,000 英镑，参与者主要是供应链公司和中小企业。目前，AMRC 的会员公司已经达到一百多家，其中一级会员超过 30 个，二级会员 80 多个，会员公司多来自航空航天和其他高价值制造和工程机械领域供应链，不仅包含全球企业、也有本地中小企业。所有级别的会员均有权使用 AMRC 董事会通用项目研究成果，但是不同级别的会员在通用项目研究方向上的话语权有所不同。

AMRC 通过董事会的机制确保整体研发方向与企业需求紧密接轨。AMRC 设置有核心董事会，董事会成员来自会员企业和谢菲尔德大学的核心研究人员。不同级别的会员在董事会上享有的席位数量不同，每个一级成员在核心董事会上享有一个单独的席位，所有二级成员

在董事会共拥有四个席位。董事会每年在 5 月和 11 月举行会议审查 AMRC 的运作，并通过投票确定未来研发方向，会员企业可以通过这一渠道参与 AMRC 发展战略和研究规划的决策，以确保整体研发方向符合产业实际需求，而在董事会拥有更多席位的一级会员则享有更高的话语权。

(二) 依照企业需求的通用程度，提供多层次研发方案

AMRC 与企业的具体合作研发模式是，由企业提出研发需求，AMRC 针对企业需求提供相应的研发外包服务。不同重要层级的研发项目，对应的合作方式与知识产权所有权不同，以保证研发服务高效进行。

AMRC 为会员企业提供的研究项目可以分为三类：（1）一般性研究：由研究中心代表 AMRC 会员企业进行一般性研究，这一类通用项目通过成员委员会确定，研究成果由全体会员共享；（2）特定研究：针对个别公司的具体研究项目，通常由该公司直接投资于研究，并且拥有由此产生的所有知识产权的独家使用权；（3）创新项目：针对处于开发早期阶段的技术和流程，与外部研发机构和工业合作伙伴通过合作项目进行转化，这些项目通常由 EPSRC、Innovate UK、欧盟委员会等机构资助。可以看到，AMRC 内部已经建立了一个系统，对所有研发需求进行分类并选择合适的方式进行开发，以高效率地解决先进制造业企业面临的问题。

(三) 形成针对不同生命周期企业的科技成果转化模式

随着和会员企业的合作日渐成熟，AMRC 针对处于不同生命周期和规模的企业形成了相应的科技成果转化模式：

1、大型企业通过深度合作和投资，实现协同发展

对于大型企业，AMRC 与之进行深度合作，双方开展长时间、多领域的合作研发，企业也在 AMRC 进行场地和设备投资，双方实现协同发展。

波音公司是 AMRC 最重要的合作伙伴之一。波音通过与全球高校广泛合作实现全球化布局、提高技术竞争力、降低生产成本，谢菲尔德大学是波音与英国高校合作的主要对象，两者的合作起始于 2001 年共同创办 AMRC 研究中心。AMRC 在创办之初的重要里程碑成就，则是在 2004 年为波音 787 梦想客机成功研制钛起落架零件。AMRC 与 Messier-Dowty 合作，成功用钛 5553 制造起落架，这是首次将钛 5333 材料用于商业起落架组件建工，实现了减轻重量、降低操作成本的目的；此外，零件加工时间缩短了 18 倍，生产成本降低 30%。波音公司通过 AMRC 实现了飞机起落架材料及技术的改良。

飞机起落架项目为波音和 AMRC 的合作打下坚实基础，此后双方在航空制造技术领域共同开展了一系列其他研究。基于与 AMRC 的长期成功合作关系，2018 年波音公司 AMRC 附近的谢菲尔德商业园开设了波音谢菲尔德工厂，这是其在欧洲的第一个生产基地，工厂总共耗资 4000 万英镑，占地 6200 平方米。波音谢菲尔德工厂是波音工业 4.0 的旗舰工厂，在此与 AMRC 共同进行前沿技术研发，探索数字化生产与加工。最重要项目之一是智能工厂，由波音信息技术和数据

分析团队与由 Ruby Hughes 博士领导的 AMRC 智能制造 (MI) 团队合作进行, 以帮助改善波音谢菲尔德的运营。AMRC 的制造智能小组使用离散事件模拟 (DES) 技术创建了波音谢菲尔德工厂的虚拟仿真模型, 以模拟当前的工厂概念, 检查新工厂的潜在能力, 该模型将有助于验证波音将生产率提高至多 50% 的机会。另外, 波音谢菲尔德工厂也为波音提供高科技组件的研发和生产, 主要生产用于波音下一代飞机的高科技驱动部件和系统, 在英国供应高强度、复杂和多芯的铝铸件。通过投资建厂, 波音在谢菲尔德与 AMRC 共同开展航空领域的尖端工艺开发与测试, 形成深度合作、协同发展的科技成果转化模式。



图 3-1 采用 DES 模型模拟的波音在欧洲的第一个生产设施

2、以委托研发和合作研发助力中型企业完成技术熟化

对于中型企业和供应链公司, AMRC 以项目制的委托研发和合作研发为主。部分创新型合作项目还可以获得外部机构如 Innovate UK 的研发资助。

赛风公司是 AMRC 的二级会员，也是世界上最大的飞机起落架制造商。2016 年，赛风起落架公司提出了未来大型起落架计划项目，由 AMRC 和谢菲尔德大学负责主要研发工作，其他参与方包括产业链上的重要公司、英国高校和研究中心。项目总预算达到 2670 万英镑，其中有 1421 万英镑来自于 Innovate UK 的资助，属于 BIS 资助项目，计划持续到 2023 年，总时长约 7 年。

研发项目的主要目的是探索全新的起落架设计方法，以实现大幅减轻部件重量、缩短大修间隔时间的目标，提高飞机起落架在制造和运营成本方面的效率。赛峰集团从根本上重新设计了转向架梁和车轴，并将其与修改后的材料供应相结合，研究认为这一改进将减轻 20% 的结构重量，并将大修间隔时间 (TBO) 从 12 年增加到 20 年。产品的具体开发和实现主要由 AMRC 完成，AMRC 航空结构和起落架工程师团队负责加工飞机转向架梁和车轴组件。

研发和制造的重点难点在于组件材料的优化。通常钢和铝材料被广泛用于起落架部件，但赛峰集团要求 AMRC 使用钛合金加工两个转向架梁。钛合金相比钢和铝更坚固更轻，具有很好的机械性能，但由于加工难度大很少用于航空航天；而且此种材料在加工过程中会经常导致快速运行的加速工具磨损，生产成本大大增加。为了解决这一难题，AMRC 在实际生产之前在虚拟加工上投入大量时间进行研发，由于实验均在虚拟空间进行，不需要消耗增值组件，大大节约了研发费用。目前设计完成的车轴已经在未来工厂投产。对于赛风集团这样的中型企业，通过将研发项目委托给 AMRC，不仅能够借

助其超强的研发实力和生产设备完成关键技术的熟化，从而实现新技术、新产品的开发；同时也可以利用 AMRC 先进的虚拟加工技术，提高研发效率、降低研发成本。

表 3-1 未来大型起落架计划项目参与方及资金预算

项目主导公司	项目计划成本
赛峰起落架系统英国有限公司	£18,911,902
项目参与方	
AMRC	£2,037,001
英国谢菲尔德大学	£2,037,001
Trelleborg 密封解决方案英国有限公司	£853,787
Alvant 有限公司	£737,588
国家复合材料中心	£619,502
英国克兰菲尔德大学	£548,944
英国剑桥大学	£381,193
英国布里斯托大学	£363,860
伯明翰邓禄普飞机轮胎有限公司	£249,732
合计	£26,740,510

3、助力孵化小微企业，提供研发、设备、人才等多方位资源

AMRC 的第一个合作伙伴是谢菲尔德的小型家族企业，因此有与小微企业合作的传统。对中小企业甚至小微企业，AMRC 则更着重于企业孵化，包括提供先进设备、研发能力、经验和专业知识、专业技术人才等，提高小企业的业绩和生产力，协助其构建核心竞争力。

AMRC 通常为每个小企业量身定制项目，服务内容涵盖：降低采用新技术、原型设计和测试的风险；改进设计和制造流程以将新产品推向市场等。例如初创公司 New Motion Labs 发明了 Infi Gear 链

条技术，这种技术创新将极大减少滚子链条的磨损。传统的滚子链和以及驱动齿轮被广泛用于自行车、汽车、轮船上，目前的链条技术超过 60%的过渡动力只作用在一个齿上，容易导致高机械磨损；采用 Infi Gear 技术的滚子链条，力分布在链条路径的所有链轮齿上，使峰值应力降低了 85%，链轮和链条的使用寿命也将增加十倍。

New Motion Labs 希望对其设计理论进行测试，但通过传统创建物理模型的方式进行生产测试所需开支较大，初创公司无法负担。因此，AMRC 的设计和原型设计小组承担了此项目，项目费用由 AMRC 使用高价值制造弹射中心提供的资金承担。工程师通过 New Motion Labs 公司提供的 CAD 设计，利用激光切割技术在 0.9 毫米不锈钢板制造两种尺寸的链板，再从链板中生产了 100 个零件，使 New Motion Labs 成功实现小批量组装 Infi Gear 链条。使用传统工艺制造原型链的支出对于小型企业来说费用高昂，而 AMRC 的参与使原型部件能够在不需要复杂工具的情况下，以适合测试的数量水平生产。原型产品制造出后，企业得以向投资者展示产品成品和技术，并为更先进的原型设计和测试筹集资金。

对于小企业而言，能够寻求 AMRC 提供的技术支持是一项巨大的资产，不仅为其研发和制造能力提供了强力的支持，与 AMRC 的合作也成为其研发能力的背书。与 AMRC 合作是小企业扩展研发设施和能力的重要方式，而小企业在 AMRC 的全方位协助下也得到顺利孵化。

四、核心机制分析及对我国高校科技成果转化的启示

（一）通过激发创新企业活力、吸引投资促进区域经济发展

根据安永公司 2017 年为英国国家推进器计划做的第三方评估，AMRC 是第一批选中的先进制造业研究中心里规模最大、产值最高且唯一实现了自负盈亏的研究中心。根据英国高等教育统计局数据，2019 年谢菲尔德大学在英国的工程研究收入排名中位居榜首，总收入达到 1.24 亿英镑，其中大约 57%来自 AMRC。

除了自身获得大量的研究收入实现盈利，AMRC 在促进经济发展方面也起到重要作用。2021 年 AMRC 委托 Lichfields 公司对其成立二十年以来产生的经济效益进行全面分析，根据报告结果，AMRC 在以下方面做出了重大贡献：（1）激发区域创新活力：2019/20 年度，AMRC 承担的创新活动总价值达 3210 万英镑，包括通过提高生产力、提高竞争力和开发新产品和流程来支持区域产业；（2）支持中小企业发展：2017/18 至 2019/20 年间，AMRC 平均每年为 1100 多家私营部门企业提供制造业创新和技术支持，其中 42%为中小企业；（3）吸引企业投资：依托 AMRC 提供的研发、创新和培训能力，位于罗瑟勒姆的先进制造园和邻近的谢菲尔德商业园也吸引了包括波音、迈凯伦、劳斯莱斯等企业的大量投资，初步估计两个地点吸引的总投资额达到 2.6 亿英镑；（4）带动就业：自 2013 年培训中心成立以来，已培训超过 1700 名学徒，学徒中 80%居住在南约克郡，表明 AMRC 对提高当地居民的技能和确保本地企业能够获得熟练工人做出了重要贡献。

目前，AMRC 的良好形象和声誉已经使其成为南约克郡的标志性资产，帮助该地区吸引先进制造企业的投资，这些投资又有助于在当地经济中创造高价值、高生产力的工作岗位，形成良性循环。AMRC 的成功运作被认为是高价值制造弹射中心的典范，也成为其他地区为了提升区域经济水平而寻求复制的成功模式。

（二）构建以企业需求为主导的科技成果转化模式

科技成果转化实质上是实现科技供给与市场需求对接的过程。一项科技成果从研发到成功转化，至少需要经过两个主要阶段：一是技术的基础研究和开发，通常在科研机构 and 高校进行；二是从技术转化为有经济价值的产品，这一流程则需要在工厂进行。由于技术开发和科技成果转化往往由不同的主体实施，两阶段的衔接容易出现脱节的问题。研发机构如果能产出符合市场需求的科技成果，那么整个和市场对接、转化实施流程将会变得更加顺利和通畅。

AMRC 则构建了一套成功的以企业需求为主导的科技成果转化模式。首先，由会员企业依据实际生产经营过程中需要突破的技术难点决定中心的整体研发策略和方向；其次，AMRC 根据各公司的具体需求，组织相应领域的工程师团队与高校科研团队一起开展特定研发项目，工程师负责具体操作层面的实施工作，高校科研团队则更着重于相关领域理论研究，由 AMRC 提供研发场地、实验设备等；最后，研发成果在 AMRC 进行试验生产和测试，以确保产品的质量和适配性。以上模式可以很好实现“产学研”的联合：企业的研发需求得到满足，研发能力得到提升；科研院所在开展联合研究过程中也

可以充分了解市场需求，有助于在后续基础研究上输出更贴合市场需求的科技成果；技术研发和转化得以顺利衔接，实现基础科研和技术产业化方向的统一，大大提高科技成果商业化的成功率。

（三）整合工业界和学术界资源，帮助基础研究跨越死亡谷

NASA 在 1990 年代后期设计的技术准备水平（TRL）从工程的角度对技术成熟度进行划分。TRL1-TRL3 为理论研究和初步试验阶段：基于技术基本原理，提出或确定实际应用设想，并对开发技术进行基础研究与可行性分析。TRL4 级-TRL6 级为应用性研发阶段：进行试验或详细分析，验证应用设想的可行性，开始开展研发活动形成成果示范，同时进行技术改进。TRL7 级-TRL9 级为技术实施阶段：通过试片或验件、对产品或关键技术进行试验验证，为继续开发的可行性提供最终结论。同时进行系统调试及子系统进行下一步实施与改进。

学术研究机构在 TRL1-TRL3 阶段的早期开发中表现出色，但是由于没有商业知识，也缺乏相应资金解决应用开发问题，技术往往难以发展到 TRL4-TRL6 的阶段。对于工业合作伙伴，在技术发展到 TRL7-TRL9 的完全成熟阶段、得到商业证明之前，极少考虑使用未经证实的技术潜在风险，并认为应用开发阶段应该由学术合作伙伴资助。AMRC 的运作则恰好弥补了应用研究阶段的空白，将学术界与工业界联合起来将基础研究转化为可以实施的技术。在资金层面，通过会员制的参与方式吸纳企业成员，并收取会员费和研发合同费用，提高工业企业资助学术研究的意愿；同时，作为创新型科研机构，

AMRC 的运营也受到政府基金的支持，由创新英国和欧洲区域发展基金提供一部分运营资金，通过政策性资金的资助实施应用研究。在技术研发层面，高校和企业 在 AMRC 合作进行原型验证、生产设备验证等，由 AMRC 提供航空、高端制造等领域进行试验生产的各类加工设备和场地。通过撮合资金、技术、硬件设备层面的合作，成功帮助基础研究跨越死亡谷。

表 4-1 技术获取与转移过程

技术准备水平	转移过程	机构
TRL 9: 完全工业化		
TRL 8: 优化	技术转让与实施	企业
TRL 7: 进入生产		
TRL 6: 产品中的应用开发		
TRL 5: 生产设备验证	应用研究	学术与工业界的合作——AMRC
TRL 4: 代表性原型验证		
TRL 3: 实验室验证		
TRL 2: 可行性和盈利能力分析	基础研究	大学
TRL 1: 技术基础研究		

(四) 将创新和制造、工程和研发聚集在一起，形成产业集群

AMRC 从最初和波音公司合作，到现在发展为拥有 100 多家会员企业的合作网络，成功地将创新和制造、工程和研发聚集在一起，并且在先进制造业园区内形成了一个航空和高端制造业的产业集群。除了聚集高校的人才和科技成果，众多产业链上下游的企业也聚合在 AMRC 内进行研发活动，包括飞机生产商波音、空中客车、劳斯莱斯，供应商赛风 BAE 系统，以及诸多其他供应链上的中小企业。通过将研发聚集在 AMRC 这个主体内，实现了集中研发、产业链配合技

术升级的效果，有效降低企业研发成本、提高整个产业链技术升级迭代的效率。

（五）政府创新政策对产学研和开放式创新起到促进作用

英国创新政策始终支持开放式创新和产学研发展，构建弹射中心则是其中一项重要举措。弹射中心聚焦具有增长潜力和能够带动经济转型升级的重要技术，意图通过政府的参与解决以上领域私人部门在原始创新层面投资动力缺乏的问题。在具体实施层面，政府主要通过参与筹建研发中心和提供资金进行支持。弹射中心通过连接大学和企业，促进想法的实现，并为英国公司提供世界一流的研发设施和专业知识，以及单个公司和大学无法单独投资的研究设备。

目前英国已经推出了 9 个推进器中心，每个中心都专注于在具有重要战略意义的全球市场中具有潜在增长潜力的领域。除了包括 AMRC 在内的高价值制造弹射器外，弹射器还涉及细胞治疗、化合物半导体、ICT、能源、未来城市、可再生能源、个性化医疗、药物发现、交通系统和卫星技术等研究领域。通过设立各个领域的弹射，把成功经验广泛扩展，以政策倾斜和资金支持引导重点领域技术的推广和转化，对于提高创新能力、推进产学研合作、提高科技成果转化效率起到重要作用。

参考文献

- [1]马兆远.智造中国.[M].北京:北京联合出版公司,2022:159-160
- [2]张友丰.英国制造业发展经验及启示[J].管理现代化,2021.03
- [3]刘亚威.英国高价值制造战略与航空制造创新[J].科研管理,2018
- [4]李振兴.技术与创新中心在解决创新的“死亡之谷”问题中的作用——基于对英国 Catapults 项目实施效果的实证分析[J].全球科技经济瞭望,2015
- [5]孙彦红.探寻政府经济角色的新定位——试析国际金融危机爆发以来英国的产业战略[J].欧洲研究,2019

（作者：刘罗瑞为清华大学国家金融研究院资本市场与公司金融研究中心中级研究专员。刘碧波为清华大学五道口金融学院副教授，资本市场与公司金融研究中心联席主任。）

联系人：刘罗瑞

邮箱：liulr@pbcfsf.tsinghua.edu.cn
