基于德尔菲法和层次分析法的“卡脖子”关键技术甄选研究*

——以生物医药领域为例

郑国雄** 李 伟 刘 溉 练冠华

（广州生产力促进中心（广州创新战略研究院），广州 510091）

摘　要：本文通过收集生物医药领域的国家、各地科学发展计划、重点研发计划项目及企业技术需求等信息，建立起生物医药领域的关键核心技术数据库，构建了关键核心技术的“重要-垄断-先进-难度-价值”的甄选指标体系，结合德尔菲法以及层次分析模型，甄选出生物医药领域的“卡脖子”程度最高的技术，再通过专利分析的方法对甄选出的“卡脖子”程度高技术进行验证。结果发现，通过本文模型甄选出来卡脖子程度最高的 3 项关键核心技术，从专利数上看，都属于全球研究热点，但其国内专利数量都比国外专利数量少，并且各项技术国内专利的数量在全球都不是第一。说明甄选出来的 3 项技术，中国处于相对落后的位置，也说明甄选出的技术处于价值链核心位置和产业链的重要环节。最后本文根据甄选结果以及分析，提出解决生物医药领域“卡脖子”技术的相关政策建议。

关键词：“卡脖子”技术；德尔菲法；层次分析模型；生物医药

DOI：10.16507/j.issn.1006 - 6055.2021.01.016

A Research Based on Careful and Thorough Selection of “Neck-jamming” Technologies Using Delphi Method and AHP: a Case Study in Biomedical Field*

ZHENG Guoxiong** LI Wei LIU Gai LIAN Guanhua

(Guangzhou Productivity Promotion Center (Guangzhou Innovation Strategy Research Institute), Guangzhou 510091, China)

Abstract: This research has built a database of key and core technologies in bio-medicine field through collection of information on national scientific development plans, key research and development project and corporate technological demand at first, and then an index system for thorough selection of key and core technologies with an escalation label from being important, monopoly, advanced, difficult to being valuable is build. With the system, based on the Delphi method and analytic hierarchy process model, the exclusively “Neck-jamming” technologies in the bio-medicine field are carefully and thoroughly selected. The selected “Neck-jamming” technologies are verified by patent analysis method. The results demonstrate that the three selected “Neck-jamming” technologies are all global research hotspots, but foreign patents

* 国家重点研发计划“珠三角城市群综合科技服务平台研发与应用示范”（2018YFB1404200），广州市科技计划“聚焦创新举措与重点产业的科技智库建设研究”（201901040008）

** E-mial：8983464@qq.com；Tel：13631464789

outnumber domestic patents. The number of domestic patents is lower the that of top countries. It is indicated that China relatively lags behind on the selected three technologies and these technologies are located in important place of the value chain and industrial chain. Finally, according to the analysis of the selection results, the relevant policy suggestions aiming to fill in the gaps in the "Neck-jamming" technologies in the bio-medicine field are put forward.

Keywords: "Neck-jamming" Technologies; Delphi Method; Analytic Hierarchy Process Model; Biological Medicine

"卡脖子"技术的概念业界尚未形成统一定义,白春礼院士认为除了已经受到限制,需要及时攻克的核心技术外,"卡脖子"技术还应考虑未来发展长远布局的影响[1]。中科院院士高福教授认为"卡脖子"问题是我们跟世界科技强国相比,遇到的关键核心技术瓶颈。清华大学教授肖广岭认为,"卡脖子"技术具有垄断性、复杂性、重要性等特点[2,3]。苏州大学邢冬梅教授认为"卡脖子"技术是在关键共性技术范围内的一种成熟的、经过市场检验的系统性高新技术,具有先发优势、强积累性及垄断集群效应等特点[4]。电子科技大学教授汤志伟认为,"卡脖子"技术除了在技术领域上有极高的价值外,在国际上的可获得途径也非常少。"卡脖子"技术是属于某个领域的关键核心技术,具有关键核心的战略性、无法替代的垄断性及难以突破的复杂性等[5]。"卡脖子"技术不同于诸如高精尖技术和突破性技术之类的概念,它更多是一项战略技术,对资源限制、经济发展、社会发展、甚至国家安全等方面的因素都要全面考虑,这与技术预见的概念基本一致。技术预见最早追溯到 1983 年,英国萨塞克斯大学科学技术政策研究中心的一项研究中使用"前瞻性"(远见)术语,该词当时的意思是"找到并确认可以带来最大效益的研究领域"[6,7]。到了 1984 年,"技术预见"才正式被提议作为一个学术术语[8],该词的定义是"在研究领域尝试建立起具有战略潜力的技术,机制和程序"。随着对技术预见的研究热潮的兴起,不同组织已经详细阐述了技术预见的定义。经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)将其定义为:系统地探索科学、技术、经济和社会的长期的过程,目的是寻找可能产生最大经济和社会效益的新技术[9]。亚太经合组织(Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC)对技术预见的定义与经合组织的定义基本相同,不同之处在于它强调技术的环境效益[10]。技术预见在很多发达国家和地区已经成为进行科学技术政策研究的重要工具。

结合上述分析,本文认为"卡脖子"技术有以下几个特点:

1)是某个产业的核心技术,对产业链起关键性作用。该技术与企业的生存发展、国家的安全稳定、社会经济的发展都有着密切关系,是产业链高速运行的关键核心技术,同时也是国家发展战略的重要战略技术。

2)为某个团体(联盟、国家、企业)所掌握,具有相对唯一性。"卡脖子"技术内容以及技术相关的产品在全球存在唯一的,难以替代的,存在个别企业或国家、地区对技术垄断的现象。

3)技术的复杂性决定其在短时间内难以突破,往往会成为制约产业发展的瓶颈,首先攻克"卡脖子"技术的一方将拥有巨大的竞争优势。

基于以上分析,可以得到"卡脖子"技术的内涵:"卡脖子"技术是某个产业领域中的关键核心技术,不仅对产业链发展起关键性作用,而且在国际上可以获得的途径很少,从而形成技术垄断的局面。由于技术的复杂性难以突破,技术的垄断带来巨大的竞争优势,将直接威胁到技术需求方

企业的生存和国家经济的安全。

生物医药领域一直属于世界各国科研不断取得突破的研究热点,是各国争相抢占的科技创新制高点,是关系国计民生的战略性新兴产业,是继汽车、机械制造业之后的第三大产业,是最具成长性的产业之一,世界主要国家都将生物医药领域作为新的经济增长点。国际上生物医药技术不断取得新突破:考拉、金枪鱼、小龙虾、海蟾蜍、乌龟和鹦鹉等的基因组已得到全面解析[11];来自美国研究团队采用规律间隔成簇短回文重复序列(Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats,CRISPR)介导的基因编辑技术推出一种新的病毒感染检测系统[12,13],美国的霍华德·休斯医学研究所和其他机构完成的果蝇完整脑成像技术,清晰度已达到纳米级[14];哈佛大学基于可折叠脱氧核糖核酸(Deoxyribo Nucleic Acid,DNA)转子的成像和跟踪(Origami-Rotor-Based Imaging and Tracking,ORBIT)技术,开发了新的单分子成像跟踪技术可用于高通量以及高时空分辨率条件下跟踪 DNA 分子的旋转[15],为 DNA 提供了新的旋转测量和酶动力学研究工具;美国生物科技公司的研究人员将生命的"字母表"数量增加到原来的两倍,并率先合成了 8 碱基脱氧核糖核酸[16],因此系统地证明了天然碱基可以和合成碱基互相识别并结合,继而形成稳定的双螺旋结构;英国医学研究理事会分子生物学实验室完成了在完整的基因组水平重新对大肠杆菌进行编码,并用一套人工合成的新遗传密码对其天然基因组进行替代[17],此举奠定了各种非标准氨基酸重新编码的基础,未来将可用于生产依赖细菌合成的药物。

虽然中国科学家在生物医药技术上在不断探索,在生物制造方面也取得一些突破[18-20],但是我国生物医药自主创新能力与欧美等发达国家差距仍较为明显,基础研究投入薄弱、突破性进展不多等问题仍然突出。《2019 年全国科技经费投入统计公报》指出,我国研发人员人均研发经费以 15 万美元/人年在国际上处于第三层级,与美国 39.6 万美元/人年的人均研发经费差距极大;另一方面美国政府医学科研经费支出占国内生产总值(Gross Domestic Product,GDP)的比例超过我国 13 倍,英、澳的比例约为我们的 4 倍,我国在财政医学研究经费投入相对较少[21]。随着世界发达国家及主要经济体把科技创新作为未来竞争的焦点,美国等国家凭借其在生物医药等领域拥有的多项关键核心技术垄断权,对我国进行技术封锁,使我国面临"卡脖子"技术困境[22]。

因此,本文选取生物医药领域作为研究对象,参照技术预见方法,设计以德尔菲法为基础、融合社会经济需求调查分析法、层次分析模型、专利分析法等多种定量与定性方法的组合方法,对生物医药领域"卡脖子"关键技术进行甄选,从而清楚呈现我国生物医药领域的技术创新现状,对突破该领域关键核心技术起到指引作用。

1 生物医药领域关键技术梳理

1.1 建立技术数据库

"卡脖子"技术一般来说是某个产业领域的关键核心技术。为了确定某个产业领域的关键核心技术的范围,并同时获得各项技术相应的技术内涵等信息,保证后续识别过程的顺利进行,本文通过搜集国家、各地科学发展计划、相关调查及研究成果、科技白皮书、政府报告、企业调研报告、重点研发计划项目及企业技术需求等信息,建立起生物医药领域重点项目技术数据库。

1.2 识别过程

1.2.1 识别方法

对关键技术梳理方法采用德尔菲法。德尔菲

法是一种反馈匿名函询法，在获得专家对要预测的问题的意见后，对其进行整理，汇总和分析，得到的初步结论再匿名反馈给专家。接着展开下一轮意见征求，然后再集中、反馈，直到达成共识。德尔菲法具有匿名性、多次反馈性、小组的统计回答等特征[23,24]。

1.2.2　识别标准

根据目前学术界对“卡脖子”技术定义的主流观点，“卡脖子”技术具有战略布局重要性，技术水平高、不容易突破，以及目前对国外依赖程度高、容易被垄断等特点。本文梳理识别关键技术的标准时参考了“卡脖子”技术的特点，包括技术重要性，技术水平高低，技术获得的难易程度。生物医药领域关键技术梳理识别过程如图 1 所示。

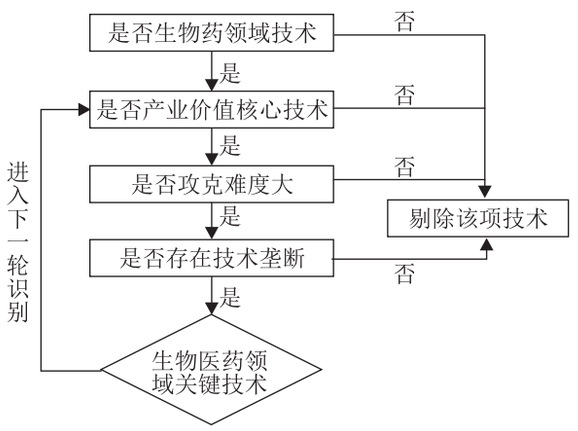

图 1　生物医药领域关键技术识别过程

Fig. 1　Identification Process of Key Technologies in Biomedical Field

技术的重要性，判断是否属于产业价值链核心技术。部分技术虽然国内外的技术水平差距明显，而且对技术来源的依赖度较高，但是如果这些技术在产业链的价值不高，或者不处于关键核心环节，那么即使技术被垄断，对我国经济发展造成的影响也很小。

技术水平高低，判断技术与国际上的差距，攻克难度是否很大。如果一项技术是我国可以通过加强独立研发以在短期内满足技术需求的，那么即便现阶段不完全掌握该技术，也不存在被垄断的风险，这也不属于“卡脖子”技术的范畴。

技术获得的难易程度，判断是否存在技术垄断，是根据特定技术在特定时空范围内对某个国家或地区的依赖程度来判断的。根据依赖程度的不同，判断是否存在技术垄断问题或者技术垄断的严重性。

1.3　关键技术识别梳理结果

识别工作邀请了两位从事创新战略研究工作的专家来完成。专家对前期建立的生物医药领域重点项目技术数据库识别梳理。根据技术的重要性、技术水平高低、技术获得的难度等进行两轮识别，识别梳理出 25 项技术作为生物医药领域“卡脖子”关键技术备选清单（表 1）。

2　生物医药领域“卡脖子”关键技术甄选

2.1　生物医药领域“卡脖子”关键技术评价指标体系构建

经过生物医药领域的关键技术梳理、识别后，为了进一步实现对技术的甄选，本文通过邀请专家，采用德尔菲法对上述技术进行评价，构建了技术重要性、技术垄断性、技术先进性、技术获得难度、社会经济价值 5 个指标生物医药领域“卡脖子”关键技术评价指标体系（表 2、3）。

根据生物医药领域“卡脖子”关键技术指标体系及指标内涵，专家匿名对全部 5 个指标进行两两比较，判断指标对于甄选卡脖子技术的重要性。然后根据技术评价指标体系，对关键技术备选清单中的技术进行评价。德尔菲法主要是强调依靠专家的专业知识进行判断，以定性分析为主。

表 1　生物医药领域“卡脖子”关键技术备选清单

Tab. 1　Alternative List of “Neck-jamming” Technologies in Biomedical Field

序号	技术名称
1	超高时空分辨、高灵敏度的生物成像技术
2	先进显微内窥镜成像技术
3	先进磁共振成像技术
4	精准微创诊疗一体化前沿技术
5	精准外科诊疗一体化前沿技术
6	精准放射诊疗一体化前沿技术
7	在体基因编辑及示踪新技术
8	合成基因信息存储
9	生命组学数据质量控制关键技术开发
10	新药创制的核心技术
11	靶标建立及新药成药性评价的关键技术研发
12	256 排(512 层)宽体高清能谱电子计算机断层扫描(Computed Tomography, CT)核心部件与整机研发及产业化
13	单孔腔镜手术机器人研发及产业化
14	组织器官替代与再生修复材料和医用原材料的研发
15	临床用单细胞组学技术研发与应用
16	临床用基因组和表观基因组技术研发与应用
17	超时空分辨活细胞分子结构与功能成像与分析
18	面向意识障碍患者的脑机接口技术及其临床应用
19	用于结直肠癌早期筛查和复发性预测的液体活检新型技术
20	肿瘤早筛早诊液体活检和人工智能辅助诊断技术开发和产业化
21	基因工程噬菌体联合计算机辅助药物设计靶向多重耐药鲍曼不动杆菌的关键技术研发
22	基于绿色、智能制造理念的中药生产“膜一体化”及在线检测关键技术装备研发与应用
23	动物疫苗冷冻保存技术研究
24	海洋微生物天然药物发现和合成生物学技术优化
25	可移动术中放射治疗系统关键技术

表 2　德尔菲法专家信息

Tab. 2　Information Sheet of Experts

专家序号	单位	简介
1	中山大学	二级教授、博导,主要从事普外科临床及科研工作
2	南方医科大学	教授、博导,主要从事心血管病临床及科研工作
3	华南理工大学医学院	教授、博导,主要从事生物信息学工作
4	广州白云山拜迪生物医药有限公司	高级工程师,主要从事新药研发工作
5	广西中医药大学	教授、博导,主要从事海洋药物研发
6	广州医科大学	教授,主要从事神经内科临床与科研工作
7	广东药科大学	教授,主要从事肿瘤学临床与科研工作

表 3　生物医药领域卡脖子关键技术指标

Tab. 3　Key Technical Indicators of “Neck-jamming” Technologies in Biomedical Field

指标名字	指标内容
技术重要性	是否处于领域的核心关键位置
技术垄断性	对其他国家的依赖程度
技术先进性	在全球的领先程度
技术获得难度	攻克难度、替代获得方案难度
社会经济价值	在全球,特别是我国社会经济发展中地位

因为层次分析模型能够为难以完全量化的复杂系统提供结合定量与定性的分析,使甄选机制更加科学合理[22,23]。因此,本文下一步利用层次分析模型对调查数据进行分析处理。

2.2　基于层次分析法的“卡脖子”技术甄选模型构建

本文利用层次分析的原理,构建一个基于层次分析法的生物医药领域“卡脖子”技术甄选模型,把特定问题拆解成多个独立的构成因素,并根据每一个因素的相互关系和从属关系在不同的层面上进行有序组合,重新得到一个拥有不同层次的模型以进行分析。使问题演化为最底层(具体的关键技术项目)相对于最高层(甄选卡脖子关键技术)的权值比较[24-26]。“卡脖子”指数的分析分为 4 个步骤,具体如下。

第一步是根据“卡脖子”技术的标准和技术创新的需求,建立一个识别筛选“卡脖子”技术的层次分析模型。该模型分为 3 个层次,分别为目标层 O,指标层 C 和技术层 T。模型层次结构图如图 2 所示。最高层(目标层)O:“卡脖子技术”的甄选;中间层(指标层)C:判断一项技术是否是卡脖子技术的指标;最底层(技术层)T:甄选卡脖子技术的备选技术(图 2)。

第二步是构造指标重要性判断矩阵。在确定各个层次上各个因素的权重时,采用一致矩阵法,

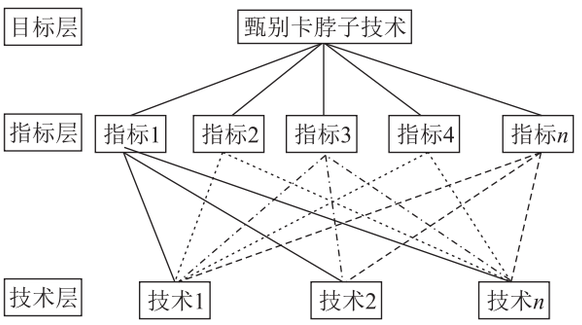

图 2　基于层次分析法的“卡脖子”技术甄选模型

Fig. 2　Selection Model of " Jammed Neck " Technology based on Analytic Hierarchy Process

即:1)把 5 大因素进行两两比较;2)为了减少比较具有不同属性的因素的难度并提高准确性,使用了相对尺度。指标重要性判断矩阵是表示指标层所有因素针对目标层的总目标“甄选卡脖子技术”的相对重要性的比较。指标重要性判断矩阵的元素 c_{ij}表示第 i 个因素于第 j 个因素的比较结果,该值由 1 ~9 标度方法给出(表 4)。

表 4　指标重要性判断矩阵标度方法[27]

Tab. 4　Index Importance Judgment Matrix Scaling Method

标度	含义
1	表示两个因素同等重要
3	表示因素 i 比因素 j 稍微重要
5	表示因素 i 比因素 j 明显重要
7	表示因素 i 比因素 j 强烈重要
9	表示因素 i 比因素 j 极端重要
2、4、6、8	上述两重要性相邻判断值的中值
倒数	因素 i 与 j 比较的判断 c_{ij},则因素 j 与因素 i 比较的判断 $c_{ji}=1/c_{ij}$

通过根据德尔菲法,邀请专家对指标层各指标两两比较,获得各个指标的相对重要性判断,构造指标判断矩阵 c_{ij}(表 5)。

第三步检查指标判断矩阵的一致性。如果指标重要性判断矩阵属于可接受的一致性或者是一致性矩阵,则可以计算指标层单排序权重,即指标层的每个指标对于目标层“甄选卡脖子技术”相对重要性的排序权值。如果一致性得不到满足,需要重新构造判断矩阵 C,对 c_{ij}加以必要的调整。

表 5　指标判断矩阵[28]

Tab. 5　Index Matrix

C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C_1	1	c_{12}	c_{13}	c_{14}	c_{15}
C_2	c_{21}	1	c_{23}	c_{24}	c_{25}
C_3	c_{31}	c_{32}	1	c_{34}	c_{35}
C_4	c_{41}	c_{42}	c_{43}	1	c_{45}
C_5	c_{51}	c_{52}	c_{53}	c_{54}	1

关于矩阵的一致性,用以下例子说明。

$$A=\begin{bmatrix}1 & 1/2 & 4\\ 2 & 1 & 7\\ 1/4 & 1/7 & 1\end{bmatrix} \quad (1)$$

矩阵 A 中,$a_{21}=2$,$a_{13}=4$,如果是一致性矩阵,应该有 $a_{23}=a_{21}\cdot a_{13}=8$。但例子中 $a_{23}=7$,成对比较出现不一致的情况,也就是说这个矩阵不是一致阵,在构造成对矩阵的时候很容易出现这种情况。在实际情况中,成对比较矩阵允许不一致,但要确定不一致的允许范围。

指标重要性判断矩阵有两种可能,一种是一致阵,另一种则不是一致阵。如果它是一个一致矩阵,则自然回取对应于最大特征根 n 的归一化特征向量$\{w_1,w_2,\cdots,w_n\}$,且 $\sum_{i=1}^{n}w_i=1$,w_i 表示第 i 个指标对总目标“甄选卡脖子技术”影响程度的权值。

如果不是一致阵,那么就使用其最大特征根对应的归一化特征向量作为权向量 W,有 $AW=\lambda W$,$W=\{w_1,w_2,\cdots,w_n\}$,A 的最大特征根为 λ。由于 λ 连续地依赖于 a_{ij},因此 λ 比 n 大的越多,A 的不一致性越严重。把与最大特征值对应的特征向量用作比较因子对上层中某个因子的影响程度的权重向量。特征根的不一致程度越大,则引起的判断误差也越大。因此,采用 λ-n 的值对矩阵

A 的不一致性进行测量。定义一致性指标 CI = $\frac{\lambda - n}{n - 1}$，CI 越接近于 0，一致性越令人满意。为了衡量 CI 的大小，引入了随机一致性指数 RI。根据统计数值，当 n = 5 时，RI = 1.12。定义一致性比率：CR = $\frac{CI}{RI}$。通常，当一致性比率 CR < 0.1 时，认为不一致程度在允许的范围内，其一致性令人满意，可以通过一致性检验，可以将归一化特征向量用作权向量。

第四步，对专家评分进行标准化处理以消除不同专家的评估差异，实现分数的等值化，以更好、更科学地解释每一项技术在备选技术中的相对位置。标准化处理后的“卡脖子”指数，由正负号和绝对数值两部分组成。正负号说明该项技术在备选技术中高于还是低于平均值，绝对数值的大小说明其距离平均说明的远近程度。标准化公式为：

标准分 =（原始分 - 原始平均分）/原始分标准差

由第三步得到指标层 C 层 5 项因素 $C_1, C_2, \cdots, C_5$，对总目标层 O 的单排序权重为 $w_1, w_2, \cdots, w_5$。技术层 T 层有 N 项技术，每项技术对指标层层 C 中因素为 C_j 的标准分为 $t_{1j}, t_{2j}, \cdots, t_{nj}$（j = 1, 2, 3, 4, 5）。T 层第 i 项技术对总目标“甄选卡脖子”的得分计算公式为：

$$T_i = \sum_{j=1}^{5} t_{ij} w_j \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, n) \qquad (2)$$

最后对各专家给出的得分做数值平均得到对应技术的卡脖子指数。

2.3　甄选结果与分析

邀请的专家对该领域甄选“卡脖子”技术的 5 个指标的重要性进行判断，并对生物医药领域备选技术清单上的各项技术的每个指标进行打分。通过处理计算及分析，甄选出 3 项“卡脖子”关键技术。同时，专家根据对产业的理解，对以下 5 项甄选“卡脖子”技术指标的重要性作出判断。每位专家通过对指标两两的比较，形成初步的判断矩阵。然后对专家的判断矩阵进行综合处理，并检验其一致性得出最终的生物医药“卡脖子”指标重要性判断矩阵（表 6）。

表 6　生物医药领域“卡脖子”指标重要性判断矩阵

Tab. 6　The Importance Judgment Matrix of "Neck-jamming" Index in Biomedical Field

原始矩阵	技术重要性	技术被垄断性	技术先进性	技术获得难度	社会经济价值
技术重要性	1.0000	3.0000	0.3333	5.0000	0.2000
技术垄断性	0.3333	1.0000	0.2000	3.0000	0.1429
技术先进性	3.0000	5.0000	1.0000	7.0000	0.3333
技术获得难度	0.2000	0.3333	0.1429	1.0000	0.1111
社会经济价值	5.0000	7.0000	3.0000	9.0000	1.0000

计算得到归一化特征向量 $W = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\} = \{0.134, 0.068, 0.260, 0.035, 0.503\}$。即各个指标的归一化权重如表 7 所示。

表 7　生物医药领域各指标权重归一化处理

Tab. 7　Normalized Weight of Each Index in Biomedical Field

指标名称	技术重要性	技术被垄断性	技术先进性	技术获得难度	社会经济价值
权重	0.134	0.068	0.260	0.035	0.503

这说明在生物医药领域，甄选一项技术是否是卡脖子关键技术时，技术经济价值以及技术先进性这 2 个指标起主导作用（图 3）。

为消除不同专家的评估差异，实现分数的等值化，以更好、更科学地解释每一项技术、指标的相对位置，对专家评分结果进行标准化处理。通过对指标重要性判断矩阵的计算，得到各个指标的归一化权重，结合每项技术的标准分以及各个指标的归一化权重，根据公式（1）得出各项技术

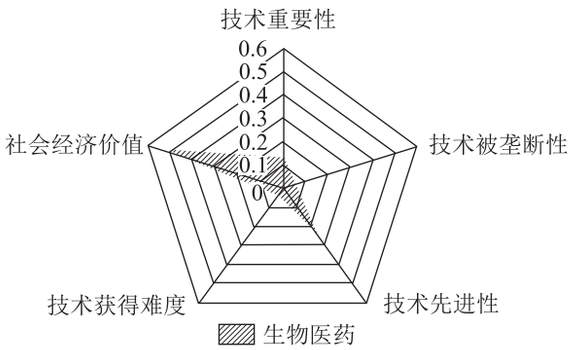

图 3　生物医药领域指标权重

Fig. 3　Indicator Weights of "Neck-jamming" Technologies in Biomedical Field

的“卡脖子”得分。最后对专家给出的“卡脖子”得分取算数平均值,从而得到对应技术的“卡脖子”指数(表 8)。

基于关键核心技术的“重要—垄断—先进—难度—价值”建立甄选指标,结合德尔菲法以及层次分析模型,经过通过评价分析以及相应的计算得出的结果,最终识别出生物医药产业领域关键技术“卡脖子”程度最高的 3 项技术如表 9 所示。

2.4　生物医药领域“卡脖子”关键技术的专利分析

专利是技术信息最有效的载体,专利比一般比技术刊物提供的信息早 5 ~6 年,专利涉及的信息有 80% ~94% 无法通过其它渠道获得,涵盖了全球 90% 以上的最新技术信息[29]。通过文献计量和分析的方法,可以通过各领域专利集中度来判断未来技术的发展趋势[30,31]。

根据生物医药领域“卡脖子”关键技术甄选结果,对 3 项生物医药领域“卡脖子”关键技术提炼相应的中英文专利关键词,检索其近 10 年公开(公开日为 2010 年 9 月—2020 年 9 月)的专利数量,对中国专利及外国专利的数量、专利数排名第一的国家等情况进行对比分析,评估生物医药领域“卡脖子”关键技术的甄选效果,为对“卡脖子”技术甄选结果进行评估提供参考(表 10、图 4)。

表 8　生物医药领域关键技术“卡脖子”指数

Tab. 8　Key Technology " Neck-jamming " Index in Biomedical Field

总分排名	技术名称	卡脖子指数
1	256 排(512 层)宽体高清能谱 CT 核心部件与整机研发	1.56
2	超时空分辨活细胞分子结构与功能成像与分析	0.85
3	组织器官替代与再生修复材料和医用原材料的研发	0.76
4	先进磁共振成像技术	0.72
5	可移动术中放射治疗系统关键技术	0.69
6	单孔腔镜手术机器人研发及产业化	0.62
7	新药创制的核心技术	0.36
8	肿瘤早筛早诊液体活检和人工智能辅助诊断技术开发和产业化	0.35
9	海洋微生物天然药物发现和合成生物学技术优化	0.22
10	先进显微内窥镜成像技术	0.12
11	超高时空分辨、高灵敏度的生物成像技术	0.05
12	精准微创诊疗一体化前沿技术	0.03
13	靶标建立及新药成药性评价的关键技术研发	0.01
14	基于绿色、智能制造理念的中药生产“膜一体化”及在线检测关键技术装备研发与应用	-0.06
15	基因工程噬菌体联合计算机辅助药物设计靶向多重耐药鲍曼不动杆菌的关键技术研发	-0.17
16	精准外科诊疗一体化前沿技术	-0.27
17	面向意识障碍患者的脑机接口技术及其临床应用	-0.31
18	临床用单细胞组学技术研发与应用	-0.43
19	动物疫苗冷冻保存技术研究	-0.46
20	在体基因编辑及示踪新技术	-0.46
21	用于结直肠癌早期筛查和复发性预测的液体活检新型技术	-0.48
22	生命组学数据质量控制关键技术开发	-0.53
23	临床用基因组和表观基因组技术研发与应用	-0.93
24	精准放射诊疗一体化前沿技术	-1.07
25	合成基因信息存储	-1.16

从专利数量角度看,3 项“卡脖子”技术其相应的国内专利数量都比国外专利数量少,而且各项技术国内专利的数量在全球都不是第一。一方面,说明在这些方面的技术,中国处于相对落后的

表 9　生物医药领域关键技术“卡脖子”程度最高的 3 项技术

Tab. 9　Technologies with the Highest Degree of "Neck-jamming" in Biomedical Field

技术名称	“卡脖子”指数
256 排(512 层)宽体高清能谱 CT 核心部件与整机研发	1.56
超时空分辨活细胞分子结构与功能成像与分析	0.85
组织器官替代与再生修复材料和医用原材料的研发	0.76

表 10　生物医药领域卡脖子关键技术国内外专利数量情况

Tab. 10　The Number of Patents of "Neck-jamming" in Biomedical Field

技术名称	核心技术(中文/英文关键词检索)	中国/国外专利数量(件)(公开日 2010.09—2020.09)
256 排(512 层)宽体高清能谱 CT 核心部件与整机研发	能谱 CT/Spectral CT	93/583(美国 252、知识产权组织 103、欧洲专利局 89)
超时空分辨活细胞分子结构与功能成像与分析	活细胞成像/Live Cell Imaging	105/305(美国 118、世界知识产权组织 88、欧洲专利局 28)
组织器官替代与再生修复材料和医用原材料的研发	再生修复材料/Wound Healing Material	39/2310(美国 556、世界知识产权组织 300、日本 266)

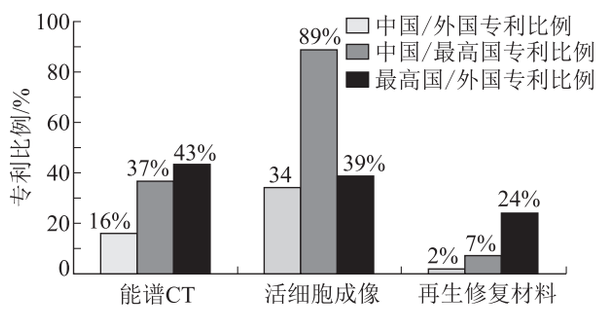

图 4　生物医药领域“卡脖子”关键技术国内外专利对比

Fig. 4　Comparison of Chinese and Foreign Patents of "Neck-jamming" Technologies in Biomedical Field

位置。如果出现国外技术断供的情况,需要通过加强自主研发、攻克技术难关、突破技术垄断,才能实现自主的技术供给。另一方面,对于这些技术,国外比国内更早地开始研究,研究成果也比国内更多,说明甄选得出的 3 项技术处于价值链核心位置,产业链的重要环节,如果被国外管制,可能会对我国经济发展造成巨大冲击。

从技术占有率的角度看,我们发现再生修复材料技术中国专利的占有率特别低,中国/外国专利数的比例,以及中国/排名第一国家专利数的比例都非常低,而相对专利排名最高的国家占外国专利的比例相当高。我国在这些方面的技术落后程度更明显,技术攻克的难度更大,更容易出现技术垄断的现象。

3　结论与建议

本文通过德尔菲专家调查法结合层次分析模型,甄选出 3 项卡脖子程度最高的生物医药领域关键核心技术。通过专利分析结果显示,甄选得出的 3 项“卡脖子”技术都属于全球研究热点,但其国内专利数量都比国外专利数量少,且专利占有率不高。说明甄选出的“卡脖子”技术处于价值链核心位置和产业链的重要环节,而中国在这些方面处于相对落后的位置,特别是再生修复材料方面更容易出现技术垄断的现象。针对甄选结果及专利分析结果,本文提出以下建议:

1)充分发挥制度的优势,突出科研院所、重点高校、企业的带头作用,通过产业集群的发展来提升整个产业链的创新能力。建立科研平台协同新机制,发挥协同创新和科技金融的“双引擎”作用;实施有针对性的人才政策以及技术和财务计划,为科技创新提供强有力的要素。

2)通过政策引导,推动社会资本投入生物医药领域,引导更多人关注生物医药领域科研发展。加大政府经费对生物医药领域科研的投入,逐步缩小与发达国家的差距。建议分别在国家重大科

技计划、基础和前沿技术研究、生物医药领域科技人才培养和团队建设等领域加大投入,着力补齐学科发展短板。

3)不断强化生物材料等领域的基础研究和应用基础研究,特别是组织器官替代与再生修复材料和医用原材料等薄弱领域。健全和优化基础与应用基础研究支持体系,坚持引导多元投入机制,积极拓展与地方政府、行业管理部门、产业界的战略合作,引导社会资本对基础研发的投入,提高对基础研究投入的积极性和主动性。针对国际领先的前沿技术或可能存在“卡脖子”困境的技术领域进行重点布局,在高端生物材料等领域实现一批从“0”到“1”的原始技术创新突破,排除对我国科技创新及经济发展产生影响的外部隐患[32]。

4)探索专利分析与产业决策的深度融合,培育并形成专利导航产业发展模型和知识产权战略,以支持创新驱动的发展。利用专利导航识别与分析技术,实时跟踪国际前沿技术动向,完善技术预警机制。根据自身的基础和优势提出技术发展方向,绘制产业技术路线图,强优势、补短板,避免陷入“卡脖子”困境。

参考文献

[1]张治河,苗欣苑.“卡脖子”关键核心技术的甄选机制研究[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2020,49(6):5-15.
ZHANG Zhihe, MIAO Xinyuan. Study on Selection Mechanism of Key Core Technology of " Jam Neck" [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2020, 49(6):5-15.

[2]张守明,张斌,张笔峰,等.颠覆性技术的特征与预见方法[J].科技导报.2019,37(19):19-25.
ZHANG Shouming, ZHANG Bin, ZHANG Bifeng, et al. Review on Characterization and Foresight Methods of Disruptive Technology[J]. Science & Technology Review, 2019, 37(19):19-25.

[3]张秀妮,辛一,任蔷.技术壁垒环境下产业核心技术预见方法研究——以航空航天产业为例[J].中国科技论坛.2020,37(8):15-23.
ZHANG Xiuni, XIN Yi, REN Qiang. Research on Foresighting Method of Industrial Core Technologies in the Environment of Technical Barriers: Taking the Aerospace Industry as an Example [J]. China Science and Technology Forum, 2020, 37(8):15-23.

[4]邢冬梅.“卡脖子”技术问题的成因与规避——技术轨道的分析视角[J].国家治理,2020(45):21-25.
XING Dongmei. The Causes and Evasion of the Technical Problem of " Jamming the Neck" —— From the Analytical Perspective of the Technical Track[J]. National Governance, 2020 (45): 21-25.

[5]汤志伟,李昱璇,张龙鹏.中美贸易摩擦背景下“卡脖子”技术识别方法与突破路径——以电子信息产业为例[J].科技进步与对策,2021,38(1):1-9.
TANG Zhiwei, LI Yuxuan, ZHANG Longpeng. Identification Method and Breakthrough Path of "Neck-jamming" Technologies under the Background of Sino-US Trade Friction: a Case of the Electronic Information Industry[J]. Scientific and Technological Progress and Countermeasures, 2021, 38(1):1-9.

[6]徐苑琳,孟繁芸.推进科技成果转化的技术预见研究[J].科学管理研究.2018,36(5):15-23.

XU Yuanlin, MENG Fanyun. Research on Technology Foresight to Promote the Transformation of Scientific and Technological Achievements[J]. Scientific Management Research, 2018, 36(5): 15-23.

[7]李牧南. 技术预见研究热点的演进分析:内容挖掘视角[J]. 科研管理. 2018, 39(3): 141-153.
LI Munan. An Analysis of the Evolution of Hot Issues on Technology Foresight based on Content mining[J]. Science Research Management, 2018, 39(3): 141-153.

[8]张乔木. 基于德尔菲调查和聚类分析的关键共性技术预见研究——以山西省新材料行业为例[J]. 科技管理研究. 2017, 37(13): 121-124.
ZHANG Qiaomu. Critical Common Technique Foresight Research Based on Delphi Survey and Cluster Analysis——Taking New Material Industry in Shanxi Province as an Example[J]. Scientific Management Research, 2017, 37(13): 121-124.

[9]巫英. 基于德尔菲法的能源领域技术预见研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版). 2017, 39(3): 338-341.
WU Ying. The Field of Energy Technology Foresight Research Based on the Delphi Method[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Information and Management Engineering Edition), 2017, 39(3): 338-341.

[10]王辉, 赵霞霞, 司晓悦. 高校中层领导干部考核指标体系研究——基于德尔菲法和层次分析法的应用[J]. 东北大学学报(社会科学版). 2019, 21(2): 195-201.
WANG Hui, ZHAO Xiaxia, SI Xiaoyue. Research on the Assessment Index System for Middle-level Leading Cadres in Colleges and Universities: Based on the Application of Delphi Method and Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Northeastern University (Social Science Edition), 2019, 21(2): 195-201.

[11]生物通. 2018 年基因组测序盘点——各种有趣的动物[EB/OL]. 2018-12-27. http://www.ebiotrade.com/newsf/2018-12/20181226173318275.htm.
BIOTRADE. Genome Sequencing Inventory 2018-A Variety of Interesting Animals[EB/OL]. 2018-12-27. http://www.ebiotrade.com/newsf/2018-12/20181226173318275.htm.

[12]LUO J C, SUN X J, CORMACK B P, et al. Karyotype Engineering by Chromosome Fusion Leads to Reproductive Isolation in Yeast[J]. Nature, 2018, 560: 392-396.

[13]CHEN J S, MA E, HARRINGTON L B, et al. CRISPR-Cas12a Target Binding Unleashes Indiscriminate Single-Stranded DNase Activity[J]. Science, 2018, 360(6387): 436-439.

[14]GAO R X, ASANO S M, UPADHYAYULA S, et al. Cortical Column and Whole-brain Imaging with Molecular Contrast and Nanoscale Resolution[J]. Science, 2019, 363(6424): eaau8302.

[15]PALLAV K, ALTHEIMER B D, DAI M J, et al. Rotation Tracking of Genome-processing Enzymes Using DNA Origami Rotors[J]. Nature, 2019, 572: 136-140.

[16]BOZHÜYÜK K J, FLEISCHHACKER F, LINCK A, et al. De Novo Design and Engineering of Nonribosomal Peptide Synthetases[J]. Nature Chemistry, 2018, 10: 275-281

[17]ISABELLA V M, HA N B, CASTILLO M Y, et al. Development of a Synthetic Live Bacterial

Therapeutic for the Human Metabolic Disease Phenylketonuria[J]. Nature Biotechnology,2018, 36:857-864.

[18]XU J,DONG Q L,YU Y,et al. Mass Spider Silk Production through Targeted Gene Replacement in Bombyx Mori[J]. PNAS, 2018, 115(35): 8757-8762.

[19]LI R F, WIJMA H J, SONG L, et al. Computational Redesign of Enzymes for Regio- and Enantioselective Hydroam ination[J]. Nature Chem ical Biology,2018,14:664-670.

[20]ZUO E,SUN Y D,WEI W,et al. Cytosine Base Editor Generates Substantial Off-target Single-Nucleotide Variants in Mouse Embryos[J]. Science,2019,364(6437):289-292.

[21]张铭洛,茅宁莹. 基于动态 TOPSIS 法的中、美、日医药创新能力与潜力评价研究[J]. ,2020, 40(21):23-30.

ZHANG Mingming, Mao Ningying. Research on Evaluation of Chinese, American and Japanese Pharmaceutical Innovation Capability Based on Dynamic TOPSIS[J]. Science and Technology Management Research,2020,40(21):23-30.

[22]肖广岭. 以颠覆性技术和“卡脖子”技术驱动创新发展[J]. 学术前沿,2019,8(13):55-61.

XIAO Guangling. Driving Innovation-based Development by Disruptive and "Neck-jamming" Technologies[J]. Academic Pioneer, 2019, 8(13):55-61.

[23]杨世军,顾光海. 基于德尔菲-层次分析法和灰色关联分析的城市公共服务设施承载力评价研究[J]. 数学的实践与认识. 2018,48(20): 311-320.

YANG Shijun,GU Guanghai. Evaluation of Urban Public Service Facilities Carrying Capacity Based on Delphi-AHP and Grey Relational Analysis[J]. The practice and understanding of mathematics,2018,48(20):311-320.

[24]刘梦明,何文英,李珂等. 联合使用德尔菲法与层次分析法构建某附属医院学科建设评价指标体系的研究[J]. 中国医药科学. 2019,9(17):18-22.

LIU Mengmign,HE Wenying,LI Ke,et al. Study on the Combination of Delphi Method and Analytic Hierarchy Process to Construct the Evaluation Index System of Discipline Construction in an Affiliated Hospital[J]. China Medicine and Pharmacy,2019,9(17):18-22.

[25]贾荣言,刘涛. 基于层次分析法的河北省战略新兴产业 SWOT 分析[J]. 科学管理研究. 2019,37(1):55-58.

JIA RongYan, LIU Tao. SWOT Analysis on Strategic Emerging Industries in Hebei Based on AHP[J]. Scientific Management Research,2019, 37(1):55-58.

[26]冯建霞. 基于层次分析法的扬州市高新技术产业竞争力研究[J]. 南通大学学报(自然科学版). 2018,17(2):84-89.

FENG Jianxia. Study on Competitiveness of High and New Technology Industry in Yangzhou Based on AHP Model[J]. Journal of Nantong University (Natural Science Edition),2018,17(2):84-89.

[27]阎凌宇,程丽云,李威君,等. 基于 AHP-联系熵的应急预案实施过程风险评估[J]. 中国安全生产科学技术,2020,16(2):130-135.

YAN Lingyu,CHENG Liyun,LI Wei,et al. Risk Assessment on Implementation Process of Emergency Plan based on AHP-connection

Entropy Method[J]. Journal of Safety Science and Technology,2020,16(2):130-135.

[28]郑国雄. 基于模糊层次分析法的区域创新环境评价研究[J]. 科技创新与生产力,2017,38(9):15-17.
ZHENG Guoxiong. Research and Evaluation of Regional Innovation Environment Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Taiyuan Science and Technology,2017. 38(9):15-17.

[29]吴品昌,梁旭,史锐,等. 辽宁生物医药产业关键技术预见研究[J]. 科技和产业. 2019,19(9):47-50.
WU Jingchagn, LIANG Xu, SHI Rui, et al. Research on Key Technologies Forecast of Biomedical Industry in Liaoning Province[J]. Science Technology and Industry,2019,19(9):47-50.

[30]李洁,葛燕飞,姚玲,等. 江苏生物医药产业关键技术预见与技术发展策略[J]. 南京中医药大学学报(社会科学版). 2018,19(3):178-184.
LI Jie, GE Yanfei, YAO Ling, et al. Key Technology Foresight and Technology Development Strategy of Biomedical Industry in Jiangsu Province[J]. Journal of Nanjing University of Chinese Medicine(Social Science Edition),2018,19(3):178-184.

[31]彭靖里,胡凝珠,Jeanne·杨. 技术竞争情报在战略性新兴产业技术预见中的应用:以 2030 年云南生物医药产业技术预见为例[J]. 情报科学. 2014,32(11):19-23.
PENG Jingli, HU Ningzhu, YANG Jeanne. Application of Competitive Technical Intelligence to Technologies Foresight in Strategic Emerging Industries:Case of Technologies Foresight in Bio-Pharmaceutical Industry in Yunnan in 2030[J]. information science,2014,32(11):19-23.

[32]谭冲,王笑,李琨. 辽宁省生物医药产业发展现状与对策研究[J]. 微生物学杂志. 2018,17(2):84-89.
TAN Chong, WANG Xiao, LI Kun. Development Status Quo and Solution of Bio-Pharmaceutical Industry in Liaoning Province[J]. Journal of Microbiology,2018,17(2):84-89.

作者贡献说明

郑国雄:项目设计及撰写文章;

李　伟:文章框架设计;

刘　溉:修改稿件;

练冠华:资料收集与整理。