DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.06.009

专利视角下的基于脑机接口的智能驾驶技术分析

丛文

国家知识产权局专利局专利审查协作天津中心　天津　300300

摘要：针对当前，在智能驾驶技术高速发展的同时，越来越多的热门技术也在逐渐结合到智能驾驶场景中，其中，脑机接口技术在智能驾驶场景中的应用为汽车领域带来了一个全新的方向。因此，将基于脑机接口的智能驾驶技术作为研究对象，以专利数据结合当前产业发展情况分析当前脑机接口技术在智能驾驶场景的技术发展方向和发展潜力，为我国智能驾驶技术在产业上的研发提供思路和技术支持。

关键词：智能驾驶；脑机接口；专利数据分析

脑机接口（BCI，Brain Computer Interface）作为一种人机交互技术，最早是由美国著名的神经科学家和计算机科学家Jacques J　Vidal在1973年发表的一篇学术论文中被提出并确立的[1]，早期BCI主要应用于医疗健康[2]、游戏娱乐及智能家居控制等场景中[3]，随着学术研究、企业投入以及政策支持等多方推动下，智能驾驶[4, 5]正处于迅速发展阶段，近年来逐渐出现脑机接口与智能驾驶场景相结合的发展趋势[6~8]，这可能成为汽车领域的一个全新的方向。目前，还没有出现对该方向的发展和趋势进行分析的相关报导，因此，本文将从专利角度出发，通过对获得的数据进行梳理，对基于脑机接口的智能驾驶技术的研究进展以及发展态势进行分析，为我国基于脑机接口的智能驾驶技术在产业上的研发提供思路和技术支持。

数据来源与研究方法

对于专利数据，以“incopat”作为专利检索数据源，以“智能驾驶”“脑机接口”作为关键词，并对关键词进行中英文扩展，检索结果的公开时间限定在2025年4月30日之前，利用关键词进行初步检索后获得的专利文献，笔者通过人工浏览、去噪和标引的手段[9]，获得包含303件专利（包括发明和实用新型）的数据集合，作为本文专利数据的研究基础和结论依据。需要说明的是，由于国际通行的专利从申请（有优先权的从优先权日起算）到公开的18个月期限要求，2024年以后的专利数据量仅作参考之用。

专利数据分析

1.专利申请趋势

基于脑机接口的智能驾驶技术的全球专利申请趋势，如图1所示，总体上专利申请量呈波动上升趋势，从2009年到2014年，年专利申请量较少都在个位数，技术处于早期探索阶段，转折点出现在2015年，从2015年起，年专利申请量均在十件以上，大致呈现逐年稳定上升的趋势，在2023年申请量达到48件。转折点出现的原因不难发现，2015年，智能驾驶技术驶入发展快速路，从技术层面分析，多家创新主体经过前期科研，在2015年前后陆续推出智能驾驶相关产品，开展自动驾驶测试，例如特斯拉在2015年首次面向市场推出辅助驾驶系统——Autopilot 1.0系统，百度在2015年首次开展自动驾驶。从政策层面分析，中国政府在2015年将发展智能网联汽车正式上升到国家战略高度，进一步激发了智能驾驶技术的研发热情，作为智能驾驶技术的一个新的发展方向，基于脑机接口的智能驾驶技术也随之进入快速发展阶段。

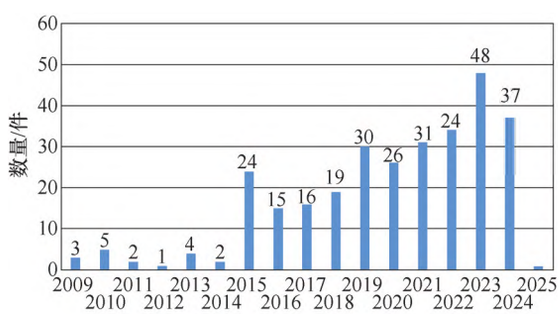


图1　全球专利申请趋势

2.全球专利布局情况

专利的目标市场国是基于专利发明公开国别为依据来统计确定的，专利的技术来源国是基于最早优先权国别为依据来统计确定的，基于脑机接口的智能驾驶技术专利申请的目标市场国（见图2）和技术来源国（见图3）情况，目标市场国和技术来源国专利申请量前四位的排名一致，分别为中国、美国、韩国以及德国。

我国作为最大的技术来源国，申请量远超其他国家，可见，我国对于基于脑机接口的智能驾驶技术的发展较为重视，进行了大量布局，中国作为目标市场国和技术来源国，申请量持平均为193件。

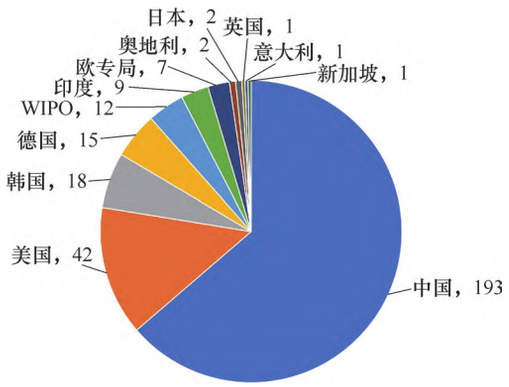


图2　目标市场国

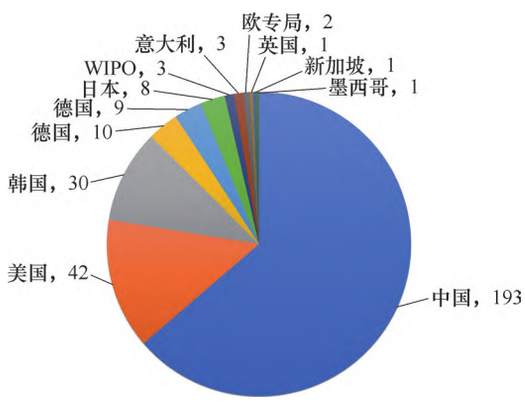


图3　技术来源国

排名位于第二位的美国，作为目标市场国和技术来源国，申请量均为42件。

韩国作为目标市场国，申请量为18件，作为技术来源国申请量为30件。

可见中国和美国的专利主要均由本国的创新主体申请，中美市场由本国技术主导，技术本土化程度较高，韩国在本国申请的同时，积极在海外进行布局，通过对比可以发现，中国存在海外布局较少的问题，若想加入国际市场竞争，海外布局较少或将成为中国创新主体需要补齐的短板。

3.分支发展趋势分析

对检索到的全球专利数据进行统计分析见表1，基于脑机接口的智能驾驶技术按照研究热点归类得到主要的三个技术分支：“驾驶人状态监测”“脑控与智驾协同作业”以及“全脑控驾驶”。

需要提出的一点是，除了上述三个技术分支，还包括研究方向：驾乘人员身份识别，在专利数据的检索结果中数量仅有四篇，可见目前针对该方向的研究较少。

表1　各技术分支中热点方向占比　（%）

技术分支	热点方向	占比	专利数量/件
驾驶人状态检测	驾驶人生理状况监测	86.80	151
	驾驶人注意力监测	13.20	23
脑控与智驾协同作业	辅助智能驾驶	81.20	82
	执行非驾驶任务	18.80	19
全脑控驾驶	全脑控驾驶	100	25

主要的三个技术分支中，专利数量排名依次为“驾驶人状态监测”“脑控与智驾协同作业”以及“全脑控驾驶”，其中，驾驶人状态监测和脑控与智驾协同作业的专利数量较多，均超过百件，而全脑控驾驶专利数量较少，仅25件。可见，目前的研究热点主要集中在驾驶人状态监测和脑控与智驾协同作业。从表1可以看出，各技术分支下同样分别具有各自的热点研究方向。对于驾驶人状态监测，通过对该分支下专利数据分析，发现驾驶人状态监测主要采用可穿戴设备实现，例如耳侧佩戴式或头戴式测量仪器等，其主要解决的的技术问题包括：监测精度提高、复杂性降低以及监测实时性提高，对该分支下的专利数据进行进一步统计分析，获得该分支下的热点方向包括以下两个：驾驶人生理状况监测和驾驶人注意力监测。

驾驶人生理状况监测技术下，最主要的监测内容为疲劳驾驶监测，驾驶人生理状况监测采用的数据主要包括以下三种情况：脑电信号（例如：CN105286890A，申请人：江西科技学院）、脑电信号结合眨眼频率（例如： CN105054951A，申请人：西安科技大学）或脑电信号和五官状态结合外部环境信息（例如：CN105336105A，申请人：宁波力芯科信息科技有限公司）。

驾驶人注意力监测主要采用的数据主要包括以下三种情况：脑电信号（CN110575163A，申请人：深圳大学）、脑电信号结合视野信息（例如：US20100156617A1，申请人：Nakada Toru）或脑电信号结合眼动信息（例如：CN103340637A，申请人：同济大学）。

对于脑控与智驾协同作业，通过对该分支下专利数据分析，其主要解决的的技术问题包括：车辆的精确实时控制，车辆的自动化提升，便利性提高以及可靠性提高。

脑控与智驾协同作业技术分支中的一个热点方向为通过监测脑电信号获得驾驶人操作意图生成操作指令，辅助智能驾驶完成驾驶决策。例如：执行变道、紧急刹车以及路径规划等，从而更好地符合驾驶人的驾驶意图，主要采用的数据包括以下两种情况：脑电信号（例如：CN112455461A，申请人：华为公司），脑电信号结合驾驶人的驾驶行为（例如：CN109658503A，申请人：北京理工大学），脑电信号结合当前车辆状态数据（例如：CN112000087A，申请人：天津大学）。

另一个热点方向为通过监测脑电信号获得驾驶人操作意图生成操作指令，执行非驾驶任务，例如车窗控制、空调起停、导航设备操作等，采集脑电信号的硬件设备包括：座椅头枕、耳侧佩戴式或头戴式测量仪器等。主要采用的数据包括以下两种情况：脑电信号（例如：US20210213958A1A，申请人：福特汽车），视觉刺激结合脑电信号（例如：CN104461007A，申请人：北京理工大学）。

对全脑控驾驶分支下的专利数据进行进一步统计分析，其主要解决的的技术问题包括：车辆的可控性提升，驾驶的安全性提升，便利性提高以及驾驶效率提升。该分支下主要的研究热点方向即为通过脑电信号来实现对智能车辆的整车控制，该分支对于脑电信号的采集和处理精度以及时间等都有着较高的要求，基于专利数量以及专利技术分析，该技术分支目前仍在初步研发阶段，涉及的专利主要是通过对脑电信号的采集和处理来实现（例如：CN107015632A，申请人南开大学、长城汽车）。

基于脑机接口的智能驾驶技术不论何种技术分支，对于脑电信号的提取和识别都是必须要攻克的技术难题，在专利数据中部分专利对特征提取算法以及识别模型进行研发。对于脑电信号的提取采用的主要技术手段包括：小波变换、频域比重、二阶盲辨识、能量熵以及相同步的方法等。对于脑电信号的识别采用的主要技术手段包括：深度学习模型、人工智能算法及机器学习算法。随着近年人工智能的爆发式发展，基于脑机接口的智能驾驶技术与人工智能的进一

步结合，或将成为一个热门的发展方向。

另外值得注意的是，部分专利中提及直接采用现有的设备来实现脑电信号的提取，例如TGAM(ThinkGear AM)模块（美国NeuroSky(神念科技)公司生产）。

问题与分析

1.技术层面

通过对专利数据的分析，发现不论驾驶人状态监测、脑控与智驾协同作业还是全脑控驾驶分支，对于脑电信号的特征提取以及识别，即是其研发重点又是其研发难点，原因不难理解，对于基于脑电信号的智能驾驶，能否对脑电信号实现及时又准确的识别，不仅影响驾乘人员的舒适度等乘车体验，更是直接影响着驾驶人和乘客人身的安全。在脑电信号特征提取过程中，个体差异、提取精度和速度以及外界噪声干扰是最常遇到的问题。在脑电信号识别过程中，脑电信号特征中的冗余以及噪声处理、识别速度、信号分类准确度是最常遇到的问题，在车辆驾驶过程中，对于采集和识别结果的实时和准确性影响巨大，稍有不慎就有可能造成严重的后果。因此，只有技术足够成熟才有可能实现从实验研发到市场化产品推出的过程转化。

2.成本层面

智能驾驶中应用的脑机接口设备需要满足轻便、体积小及便于穿戴等要求。从现阶段来说，满足以上要求的消费级可穿戴脑机接口设备的成本较高。

3.法律层面

由于脑电信号涉及生理参数、情绪等多重信息，采集过程中如何防止厂商的过度采集以及采集的个人隐私数据的滥用，利用脑电信号控制智能车辆行驶，在发生交通事故，尤其是涉及人身伤害问题时，责任如何划定，目前没有针对性的法律法规对该内容进行限定。

未来发展方向分析

对产业情况进行梳理，2018年，日产汽车在国际消费电子展，发布“脑控车”技术，其通过驾驶模拟器向观众展示了部分功能。2021年，现代摩比斯（Hyundai mobis）公司推出了M.Brain技术，通过佩戴式耳机，M.Brain能检测并分析脑电波，达到实时地监测驾驶人状态的效果。2021年，奔驰在德国国际车展上展示 Vision AVTR （视觉阿凡达）概念车的进阶版本，展会上的演示表明，AVTR可以通过用户大脑对仪表盘上的视觉刺激做出反应来实现控制。2024年，中国的山西帝仪通安科技有限公司研发的便携式脑机接口驾驶安全智能防控系统，通过实时监测驾驶人的脑部活动，在驾驶人出现疲劳等状态时能够实现及时预警，目前已推出产品并开展路测。

通过对市场调研发现，目前产业上的推出的产品主要涉及的技术分支为驾驶人状态监测。脑控与智驾协同作业实现以及全脑控驾驶目前仅存在概念产品，目前仍在研发过程中。

从目前的专利数据以及产业情况分析，当前的研发重点主要集中在驾驶人状态监测，实现疲劳驾驶监测等预警服务，考虑到技术的成熟度，成本以及法律法规等多重因素，在未来一段时间，驾驶人状态监测仍然是研发重点，但从各大厂商纷纷推出脑控车概念产品的态度上不难看出，随着脑机接口技术的不断成熟，脑控与智驾协同作业以及全脑控驾驶必将成为研发的一个重要方向。

结语

本文以基于脑机接口的智能驾驶技术作为研究对象，基于专利数据以及产业发展数据分析获知，随着智能驾驶技术的飞速发展以及国家政策的全面支持下，从2015年起进入快速发展阶段。对检索到的全球专利数据进行统计分析，得到主要的三个技术分支：驾驶人状态监测、脑控与智驾协同作业以及全脑控驾驶。该技术现阶段存在技术上的脑电信号的特征提取以及识别技术研发问题，成本层面的消费级可穿戴脑机接口设备的费用较高问题以及针对性的法律法规不完善问题等多方面问题，产业上的推出的产品主要涉及的技术分支为驾驶人状态监测，脑控与智驾协同作业实现以及全脑控驾驶目前仅存在概念产品态。

通过对我国专利布局情况分析，发现我国的专利主要由本国的创新主体申请，技术本土化程度较高，

（下转第34页）

间的电位均衡检测，也将包含上述两种线体高度工位的使用。

（2）制造成本　基于本文作者所在公司的检测工艺数据，检测一次电位均衡的操作时间（含设备探针取放、检测及结果判断等）约为10s。本文按此数据参考进行计算评估。

（3）价值提升机会　即使在步骤一和步骤二中所有15次（⑦～㉑）检测需求均无法满足不检测条件，但在选择一个可共用于高、低检测工位的电平台接地点时，实际该共用接地点可通过产品设计或工艺选择实现，车身纵梁在车辆结构上的位置使得其在高工位和低工位均能提供适合人机工程可达性的高度，则该15次检测需求均可进行等效替代。

按60JPH节拍计算，15次检测作业的工时约为150s，按需要两个工位检测排布，并去除每次检测10s中的单个工位重复设备探针取放时间（按3s计算），则检测工时预计（可节省）为111s。即111s对应的人工成本和两台检测设备的固定资产投入可进行优化降低。

参考文献：

[1] 中华人民共和国工业和信息化部.GB 18384—2020 电动汽车安全要求[S].北京：中国标准出版社，2020.

（上接第29页）

同时存在海外布局较少的问题。在未来一段时间，驾驶员状态监测仍然是研发重点，随着近年人工智能的爆发式发展，基于脑机接口的智能驾驶技术与人工智能的进一步结合，或将成为一个热门的发展方向，此外随着BCI技术的不断成熟，脑控与智驾协同作业以及全脑控驾驶必将成为研发的另一个重要方向。

参考文献：

[1] Jacques J.Vidal. Toward Direct Brain-Computer Communication [J]. Annual review of Biophysics and Bioengineering，1973.

[2] 何庆华，彭承琳，吴宝明. 脑机接口技术研究方法[J]. 重庆大学学报（自然科学版），2002.

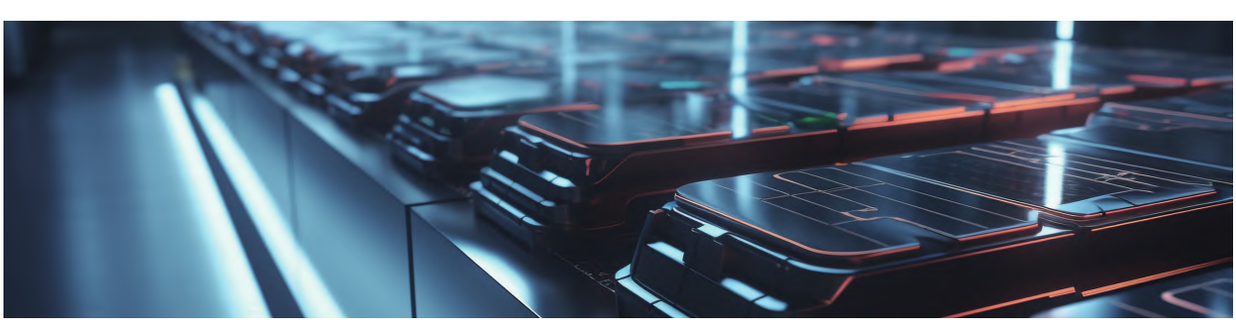
[3] 王行愚，金晶，张宇，等. 脑控: 基于脑-机接口的人机融合控制[J]. 自动化学报，2013.

[4] 徐昕，贺汉根，蔡自兴，等. 车辆智能驾驶技术的研究前沿与展望[C].2009中国自动化大会暨两化融合高峰会议论文集. 2009.

[5] Meiring GAM，Myburgh HC. A review of intelligent driving style analysis systems and related artificial intelligence algorithms[J]. Sensors. 2015（12）.

[6] Chin-Teng Lin，Yu-Chieh Chen，Teng-Yi Huang，et al. Development of wireless brain computer interface with embedded multitask scheduling and its application on real-time driver's drowsiness detection and warning[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering，2008（5）.

[7] Daniel G¨ohring，David Latotzky，Miao Wang，and Ra'ul Rojas. Semi-autonomous Car Control Using brain computer interfaces[J]. Springer，2013.

[8] Enrique Tomás Martínez Beltrán，Mario Quiles Pérez，Sergio López Bernal，Gregorio Martínez Pérez，Alberto Huertas Celdrán.SAFECAR：A Brain–Computer Interface and intelligent framework to detect drivers' distractions[J].Expert Systems with Applications，2022.

[9] 马天旗. 专利分析：检索、可视化与报告撰写[M].第2版.北京：知识产权出版社，2021.