

脑机接口：未来正在到来

---脑机接口行业深度报告

优于大势

上次评级:优于大势

报告摘要:

脑机接口目前有三种技术路线，其中非侵入式脑机接口为目前主流，侵入式脑机接口为未来发展方向。根据脑信号的采集路径，脑机接口技术路线分为非侵入式（脑外）、半侵入式（颅骨和大脑皮层之间的脑膜上）、侵入式（大脑皮层内）。脑机接口需要高精度的脑信号以提高性能，侵入式脑机接口虽然能深入采集神经信号，然而其属于有创伤植入，技术难度大，可能出现继发感染、排异风险，会对人体造成严重影响，提升材料生物相容性是侵入式技术进步的关键；非侵入式无需植入任何设备，只需将传感器放置于头皮表面即可测量大脑活动状况，安全性能最高，对人体基本无创伤，因此也是目前最为主流的脑机接口形式，

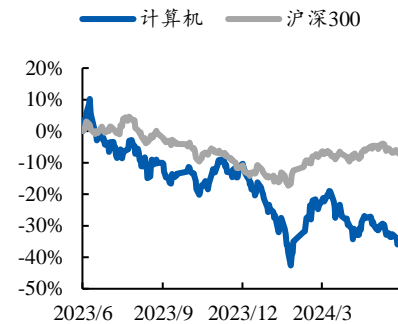
政策与技术持续催化，行业进入爆发前夜。政策方面，近期政府发布一系列行动方案 and 措施，旨在推动脑机接口产业的发展。2024年两会期间，脑机接口被定位为“新质生产力”之一；4月26日，北京市经信局发布《加快北京市脑机接口产业发展行动方案（2024-2030）（征求意见稿）》。工信部将脑机接口作为未来产业发展的重要方向，给予政策扶持、资金投入和人才培养等多方面支持。国际市场研究机构 IMARC Groupe 的数据显示，2021年，全球脑机接口市场规模达15亿美元，2022年市场规模增至17.4亿美元，预计2027年全球脑机接口市场规模将达到33亿美元，中国市场在其中将占有重要地位。

脑机接口目前发展阶段大部分处于实验室阶段，国内侵入式脑机接口技术与美国仍存在代差，而非侵入式技术则处于领先地位。从全球范围来看，当前脑机接口产品大部分处于实验室验证阶段，少数处于临床试验阶段，并未实现商业化，特别是侵入式和半侵入式脑机接口的技术难度、临床试验的监管门槛和成本都很高，全球尚没有获批上市的医疗器械产品。侵入式脑机接口，国外Neuralink、Synchron等公司处于领先地位，中国仍落后5年左右。非侵入式脑机接口方面，中国处于领先地位，尤其是天津大学、西安交大、中科院、天坛医院等知名科研机构。天津大学脑机接口团队已构建了从芯片、电极、算法到系统的国产全链条非侵入式脑机信息交互技术体系，在脑电识别精度、控制指令数量和信息传输率三项核心指标达到国际最高水平。

短期建议关注脑机接口在医疗场景的落地进度，尤其非侵入式的消费级市场，中长期建议关注侵入式技术突破所带来的巨大应用市场。短期来看，与严肃医疗领域相比，消费医疗市场以及某些非医疗应用在技术要求、认证标准和法规限制上相对宽松。这使得脑机接口公司能够以较低的研发和合规成本，在较短的时间内进入市场。例如，辅助正念和冥想的设备，这些产品利用脑电波技术帮助用户监测情绪、提高注意力或促进放松，无需经历严格的医疗器械认证流程即可面市。对于非侵入式技术，开发新型高灵敏度传感器材料、优化传感器布局和提高信噪比是迫切需要解决的问题。高质量的、精确的神经信号采集是后续的处理、解码和应用的必然条件。同时未来脑机接口技术的应用将远超出了医疗领域的边界，无论是在教育、工业生产到娱乐、体育还是家事管理，脑机接口融入都将带来前所未有的变革。

风险提示：脑机接口技术突破不及预期，政策推动不及预期，法律合规及伦理风险

历史收益率曲线



涨跌幅 (%)	1M	3M	12M
绝对收益	-7%	-16%	-34%
相对收益	-3%	-15%	-27%

行业数据

成分股数量 (只)	333
总市值 (亿)	31,391
流通市值 (亿)	26,941
市盈率 (倍)	100.47
市净率 (倍)	2.95
成分股总营收 (亿)	11,812
成分股总净利润 (亿)	318
成分股资产负债率 (%)	42.31

相关报告

- 《AI 向端侧渗透，电力 IT 成电改核心》
--20240602
- 《铁路信息化景气度提升，线路安全环境智能管控迎发展机遇》
--20240530
- 《OpenHarmony 发布 4.1 版本，国产算力+OS 生态持续火热》
--20240526
- 《昇腾一体机深度报告：打造 AI 大模型“最后一公里”》
--20240523
- 《AIGC 赋能企业效率提升系列报告（一）》
--20240522

证券分析师：吴源恒

执业证书编号：S0550522100004
15767875282 wuyh1@nesc.cn

目 录

1.	大脑如何控制我们人体行为，从脑科学开始讲起	4
2.	脑机接口：大脑与外部环境之间的全新交互模式	6
2.1.	非侵入式脑机接口：目前的主流落地路径	8
2.2.	半侵入式脑机接口：部分特定情况的选择	9
2.3.	侵入式脑机接口：目前最准确的采集信号手段	11
3.	政策+技术持续催化，行业进入爆发前夜	13
3.1.	政府高度重视，推动行业快速发展	13
3.2.	产业发展仍处于初期阶段，软硬件上都有较多研究重点	16
3.3.	下游市场空间：医疗及其他	18
3.3.1.	医疗	18
3.3.2.	其他	22
3.3.2.1.	教育	22
3.3.2.2.	工业	23
3.3.2.3.	军事	24
3.3.2.4.	娱乐	25
4.	国外代表公司	26
4.1.	Neuralink（美国）	26
4.2.	Paradromics（美国）	27
4.3.	Precision Neuroscience（美国）	28
4.4.	Synchron（美国）	28
4.5.	Blackrock Neurotech（美国）	29
5.	A 股脑机接口部分标的	31
5.1.	诚益通	31
5.2.	翔宇医疗	32
5.3.	岩山科技	32
5.4.	狄耐克	32
6.	投资建议	33
7.	风险提示	34

图表目录

图 1:	神经元示意图	4
图 2:	大脑的部分行为可以通过电信号解读	5
图 3:	大脑的两种可塑性	5
图 4:	Neuralink 展示脑控光标	6
图 5:	脑机接口实现步骤示意图	7
图 6:	三种不同检测大脑电活动的方式	8
图 7:	脑电波的几种种类	9
图 8:	临床数据、记录仪和外骨骼	10
图 9:	脑机接口治疗难治性抑郁症起搏器设备模拟图	11
图 10:	Neuralink 侵入式脑机接口示意图	13
图 11:	2021-2027 年全球脑机接口市场规模预测趋势图（亿美元）	13
图 12:	脑机接口核心技术流程及产业链	16
图 13:	国内脑机接口应用场景分布情况	18

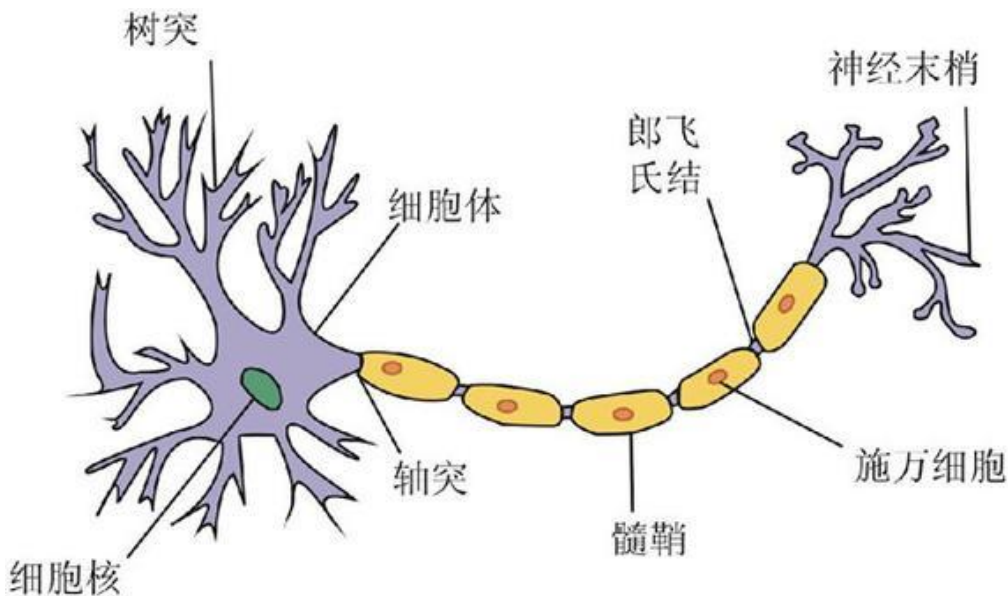
图 14: 人工耳蜗原理示意图	21
图 15: BrainCo 消费产品	22
图 16: BrainCo 品牌旗下的 Focus 专注力提升系统	23
图 17: 脑机接口智能监控平台	24
图 18: 脑机操控无人装备	25
图 19: Neuralink 相关产品	26
图 20: Paradromics 相关产品	27
图 21: Precision Neuroscience 相关产品	28
图 22: Synchron 相关产品	29
图 23: Blackrock Neurotech 相关产品	30
图 24: 脑连科技股权结构	31
图 25: 岩思类脑研究院股权结构	32
图 26: 狄耐克睡眠治疗解决方案	33
表 1: 国内脑机接口相关政策	14
表 2: 脑机接口产业链各环节主要供应商	17
表 3: 中国脑机接口专利所解决问题的趋势	17
表 4: 脑机接口在医疗健康领域的应用	19
表 5: 我国医疗器械分类目录	20
表 6: 脑机接口在教育行业的应用	22

1. 大脑如何控制我们人体行为，从脑科学开始讲起

神经系统由脑、脊髓及与之相连的脑神经、脊神经组成，大脑通过神经元的网络控制和协调人体运动。运动皮层对肌肉发出运动指令，并执行精细和复杂的运动任务；小脑负责协调和平衡身体运动；基底神经节在整个运动过程中起到筛选和调整运动指令的作用。三个区域通过神经元的连接形成复杂的神经网络，其相互配合，实现了人体运动控制。

神经元是神经系统的基本单位，由细胞体、树突、轴突和突触组成。其中，树突接收其他神经元发送的信号，并将其传递到细胞体；轴突将信号从细胞体传递到突触；突触是神经元之间的连接点，其通过化学物质的释放来传递信号。当人类想要进行身体运动时，大脑运动皮层中的神经元会被激活，产生电信号。这些电信号通过神经元的轴突传递，并在突触末端释放出化学信号（神经递质）。神经递质穿过突触间隙，并作用于相邻神经元上的接受器结构。神经递质与接受器结合后，会引起接受器上的一系列细胞内反应，从而改变目标神经元的电位。这个电位变化可以是兴奋性的（导致神经元激活）或抑制性的（阻止神经元激活），这取决于具体的神经递质和接受器类型。

图 1：神经元示意图



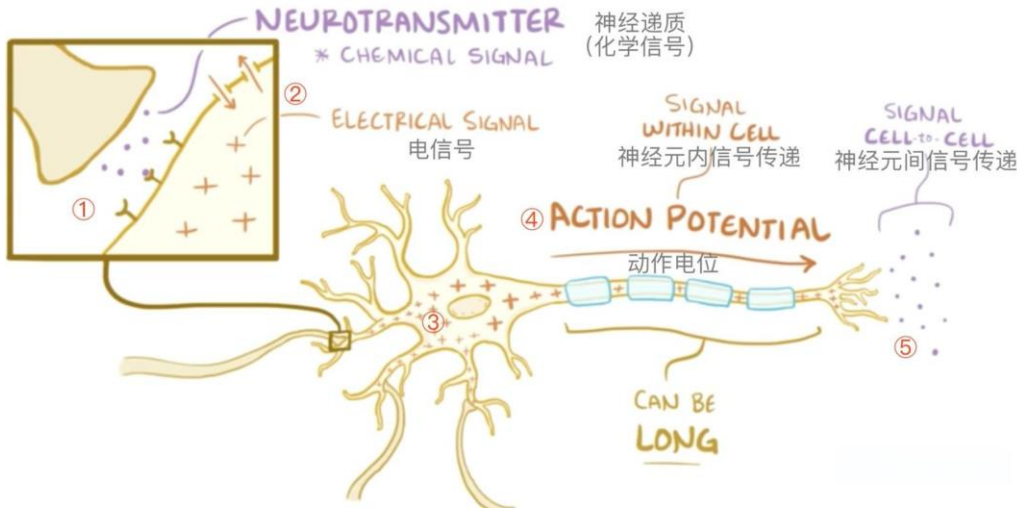
数据来源：百度、东北证券

电信号和化学信号是大脑传递信息的“两种语言”。电信号在神经元内部传递速度快，适合进行短距离的信息传递和处理，而化学信号传递能够实现神经元之间的远距离传递，并且对信号的强度和持续时间有更精细的调控。两种信号传递方式相互作用，共同完成大脑中信息的传递与处理。

总的来说，大脑完成信息传递从而控制人体是依靠“电信号—化学信号—电信号”的转化。电信号在单个神经元上传递，在两个神经元之间的突触，电信号转化为化学信号（神经递质），神经递质作用于下一个神经元，激活下一个神经元的电信号，从而完成一个信息从一个神经元到另一个神经元的的有效传递。

目前，读取并解译电信号的技术已较为成熟，而对于神经递质等化学信号的译读尚未实现。脑电波已大量应用于医学领域，通过在头皮上放置电极测量电信号，以了解人脑的功能和表现。脑电波的应用也正在向游戏、教育等其他领域拓展。

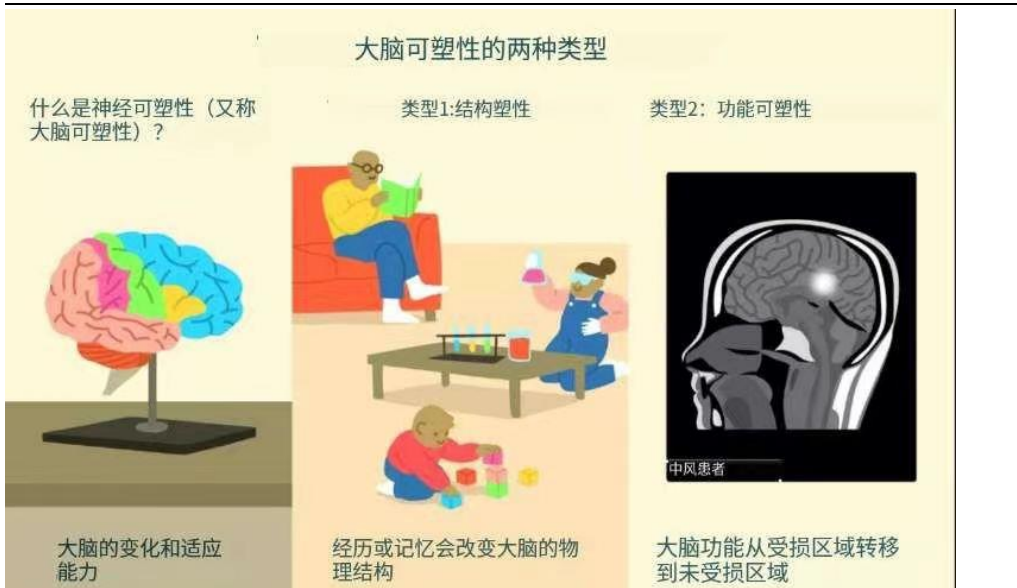
图 2：大脑的部分行为可以通过电信号解读



数据来源：知乎、东北证券

大脑具有很强的可塑性，这也是脑机接口得以实现的理论基础。大脑能够修改其连接或自我重新连接的能力，使得人脑能够通过后天的训练，利用一些外部装置作为人类的外置大脑和躯壳。大脑在结构和功能上通过自身修改以适应环境变化，分为结构可塑性和功能可塑性。结构可塑性是指大脑通过学习实际改变其物理结构的能力，而功能可塑性是指大脑将功能从大脑受损区域转移到其他未受损区域的能力。许多实验都已证明大脑可塑性的存在，并利用这种可塑性进行研发。例如 2000 年，Sharma 等人将幼年触鼠的视觉神经和听觉神经剪断并交换后接合：眼睛接到听觉中枢，耳朵接到视觉中枢，发现触鼠长大后，依然发展出了视觉和听觉。2009 年，Vuilleme 和 Cuisinier 为盲人发明了一套装置，将摄像机的输出表示成二维微电极矩阵，放在舌头表面。盲人经过一段时间的学习训练，可以用舌头“看到”障碍物，这也是脑机接口得以实现的理论基础。

图 3：大脑的两种可塑性



数据来源：VeryWell、东北证券

2. 脑机接口：大脑与外部环境之间的全新交互模式

脑机接口（brain-computer interface, BCI）是在大脑与外部环境之间建立一种全新的不依赖于外周神经或肌肉的交流与控制通道，从而实现大脑与外部设备的直接交互。其工作流程包括脑电信号的采集、处理、输出和执行，最终再将信号反馈给大脑。从这个意义上说，任何大脑与外部设备直接相互作用的系统都可以被视为脑机接口系统。

脑机接口技术在近 100 年内迅速发展，目前其理论技术在实验室环境下已较为成熟。1924 年 6 月，德国神经内科专家汉斯·贝格尔在一名 17 岁颅骨缺陷的病人头皮上记录到了电流计镜面的微小振动，这是人类历史上第一次记录到人脑的电活动。1969 年，德裔美国神经学家埃伯哈德·费兹将猴子大脑中的一个神经元连接到仪表盘，当神经元被触发的时候，仪表盘的指针会转动，完成了人类历史上第一个真正的脑机接口实验。1973 年，UCLA 计算机科学家雅克·维达尔创造了脑机接口一词，将其用于基于视觉事件相关电位的脑机接口系统中，并给出了沿用至今的标准定义。1998 年，埃默里大学研究人员菲利普·肯尼迪首次将脑机接口装备植入人体内，通过对脑部进行手术，可以用电线将人脑和大型主机相连，实现了人脑对电脑光标的远程控制，是 BCI 研究的一大里程碑。2004 年，美国 Cyberkinetics 公司的“犹他电极”在 9 位患者身上展开了运动皮层脑机接口临床试验，其中，四肢瘫痪的马特·内格尔成为了第一位用侵入式脑机接口来控制机械臂的病人。由此，BCI 技术在实验室内逐渐成熟，正式由科研走向临床。2021 年，埃隆马斯克旗下的 Neuralink 展示一只名叫帕格的猕猴玩“Mind Ping”的视频。起初，帕格被训练使用操纵杆玩游戏，过程中给予奶昔作为反馈奖励，同步地，设备记录了帕格手部运动对应脑神经元活动。训练一段时间后，成功解码了猕猴用来控制手部运动的大脑信号。至此，脑机接口行业的关注度开始大幅度上升。

图 4：Neuralink 展示脑控光标



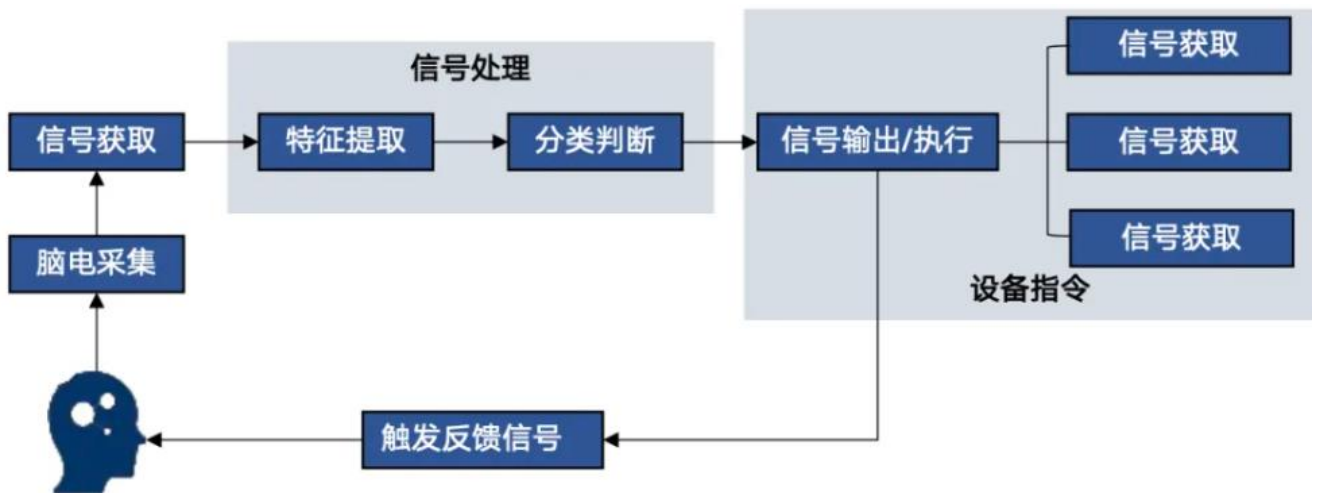
数据来源：Neuralink、东北证券

脑机接口的实现流程如下：

- **信号采集：**使用电极或传感器将大脑发出的电信号捕捉并记录下来。常用的采集方法包括脑电图（EEG）、功能磁共振成像（fMRI）、近红外光谱（NIRS）等。
- **信号预处理：**对采集到的信号进行滤波、去噪等预处理操作，以提高信号的质量和可靠性。

- **特征提取**：从预处理后的信号中提取出特定的特征，如频率、振幅、时域特征等，用于表征大脑活动的模式和特点。
- **信号解码**：将提取到的特征与预先建立的模型进行比对和分析，以确定用户的意图或意愿。常用的解码方法包括模式识别、机器学习等。
- **指令生成**：根据解码结果生成相应的指令或控制信号，用于控制外部设备、机器或虚拟现实环境。
- **控制与反馈**：将生成的指令或控制信号传送给目标设备，实现人脑对其的控制。同时，通过反馈机制，将设备的状态或反馈信息传回给用户，以便调整和优化控制过程。

图 5：脑机接口实现步骤示意图

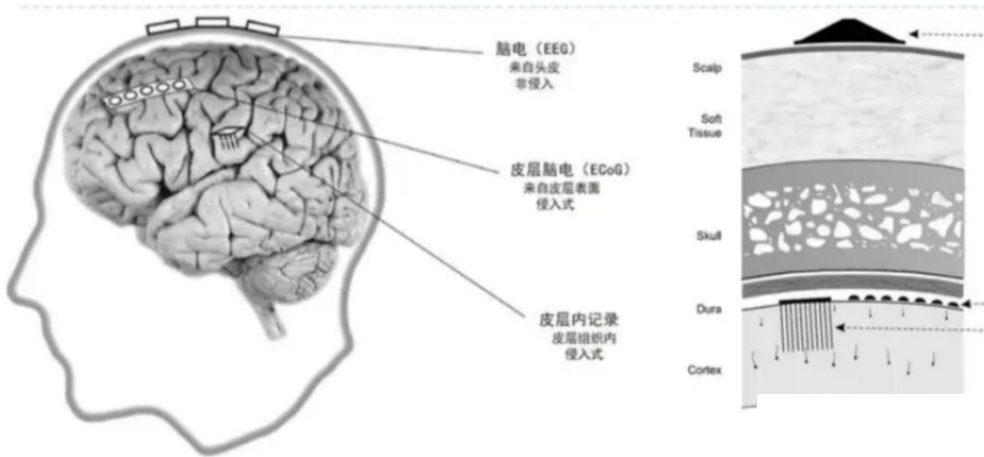


数据来源：知乎，东北证券

按照采集模式来分，通常将脑机接口技术分为侵入式和非侵入式两类，部分论文中还存在半侵入式的技术路径。

- **非侵入式脑机接口**是一种无需手术即可使用的设备，它通过将电极附着在头皮上来采集脑电信号。这种方式避免了对大脑组织的直接侵入，因此具有较高的安全性和便携性。目前我国 80%的脑机企业选择了非侵入式采集技术路线，对于侵入式脑机设备，绝大多数都处在临床性研究和动物实验阶段。
- **半侵入式脑机接口**则是在颅骨内侧磨薄后，将微型脑机接口处理器植入，但不直接接触脑细胞。这种设计可以有效避免脑内感染和炎症风险，同时获得较高的信号强度和分辨率。例如，我国的无线微创脑机接口就是一种半侵入式设备，它将处理器植入患者颅骨内、大脑硬膜外，不破坏神经组织。国内首个半侵入式设备的发布，有望解决多项医学难题。
- **侵入式脑机接口**是通过开颅手术，将电极直接植入大脑中，以获取更高质量的神经信号。这种方式虽然能够提供最高精度的脑电信号，但手术风险较高，成本也相对较大。埃隆·马斯克旗下的 Neuralink 公司就是采用侵入式技术的一个例子。侵入式脑机接口面向的医疗应用范围更广，可以对一些临床无解的医学难题提供治疗方案。

图 6：三种不同检测大脑电活动的方式



数据来源：知乎，东北证券

三种脑机接口技术各有特点和适用场景，最大区别在于信噪比和安全性之间的取舍。目前非侵入式仍是主流，不过侵入式相关研究也在持续加速。非侵入式和半侵入式技术因其较低的风险和较高的便利性而受到重视，而侵入式技术则因其高精度的信号获取能力在特定领域显示出其独特的优势。在市场准入方面，非侵入式相较于侵入式，其法规限制及监管审批过程较为简化；作为医疗器械类产品，侵入式的监管门槛较高、审批周期较长，导致从研发至市场化的时间框架显著延长。非侵入式脑机接口因其便利性、安全性和较低成本而被广泛应用，这些优势为其在未来一段时间内主导消费级脑机接口技术发展奠定了基础。

非侵入式脑机接口方面，中国处于领先地位。尤其是天津大学、西安交大、中科院、天坛医院等知名科研机构。天津大学脑机接口团队已构建了从芯片、电极、算法到系统的国产全链条非侵入式脑机信息交互技术体系，在脑电识别精度、控制指令数量和传输率三项核心指标达到国际最高水平；在半侵入式设备上，中国与美国处于并列地位。在侵入式这块国外 Neuralink、Synchron 等公司处于领先地位，中国仍落后 5 年左右。2020 年，Synchron 实现了首例人体植入，于 2021 年 7 月获得美国 FDA 初步人体试验的授权，已在六名患者中植入了其设备，且受试者没有出现严重的不良副作用；2024 年 1 月，Neuralink 完成第一项侵入式脑机接口人体手术实验，受试者恢复良好；

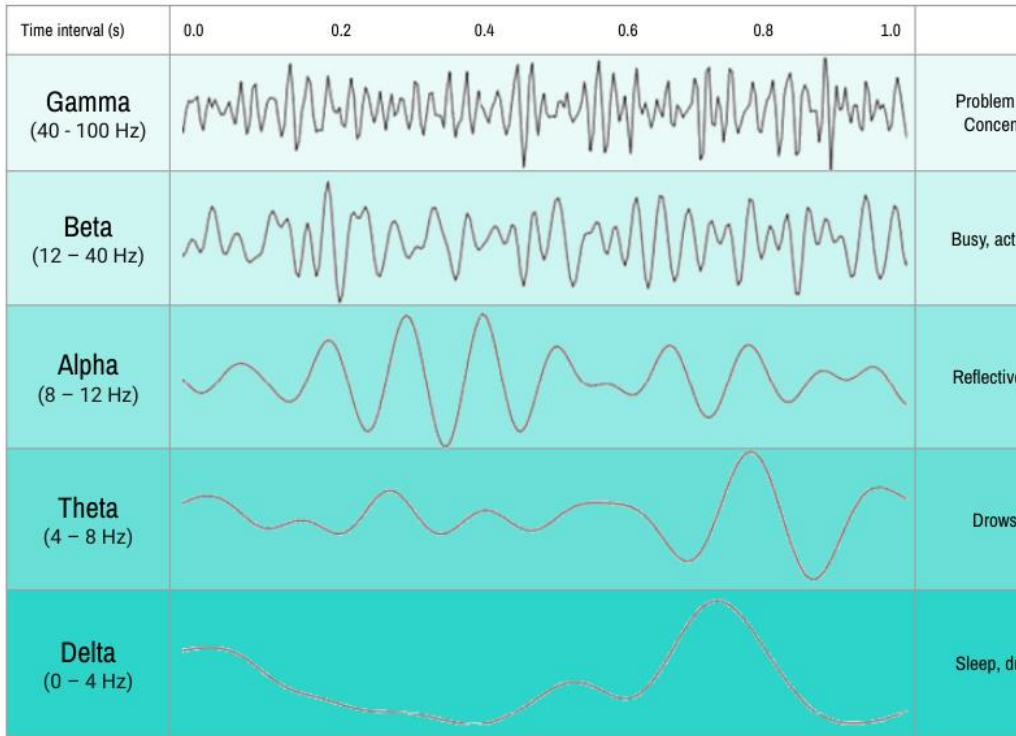
2.1. 非侵入式脑机接口：目前的主流落地路径

这类脑机无需植入任何设备，只需将传感器放置于头皮表面即可测量大脑活动状况。这是目前最为主流的脑机接口形式，安全性能最高，对人体基本无创伤。非侵入式脑机接口目前适用于消费娱乐、残疾人士交互等场景，脑机接口不进入大脑，只需要用电极连接头皮来获取信号，对人体伤害较小，技术难度较低，如使用脑电帽采集脑电信号；但由于颅骨对神经信号的衰减作用和对神经元发出的电场活动的分散和模糊效应，使得信号分辨率不高。

脑电图（EEG）是一种非侵入性的脑机接口技术，通过放置电极在头皮上记录脑内神经元的电活动。这些电极探测到的电信号经过放大、滤波和数字化后用于分析和解释脑机接口系统。脑电信号是由皮层内大量神经元突触后点位（包括兴奋性突出后电位和抑制性突触后电位两种）总和所形成的，是许多神经元共同活动的结果。按 BCI 使用的脑电信号类型分类，可分为自发脑电和诱发脑电。自发脑电是指在无明显刺激的情况下，大脑皮层经常性自发产生节律性点位变化；诱发脑电是指在给

予特定刺激时诱发引起的脑电位变化，这种诱发产生的脑电反应通常称为事件相关电位（ERP）。从频率分段来看，脑电图记录的四种简单周期波为 α 波（8~13Hz）、 β 波（14~30Hz）、 δ 波（0.5~3Hz）和 θ 波（4~7Hz）等几个频率段。

图 7：脑电波的几种种类



数据来源：宏勃，东北证券

基于 EEG 信号的 BCI 系统可以分为基于单一模式的 BCI 系统以及基于混合模式的 BCI 系统，其中基于单一模式的 BCI 系统主要包括：基于慢皮层电位（Slowcorticalpotential, SCP）的 BCI 系统、基于运动想象（MotorImage, MI）的 BCI 系统、基于事件相关电位（Eventrelatepotential, ERP）P300 的 BCI 系统以及基于稳态视觉诱发电位（Steady-statevisualevokedpotential, SSVEP）的 BCI 系统。目前来看，基于 EEG 的脑机接口技术还存在较多的技术困难有待攻克，但其发展前景仍然十分广阔。在技术层面上，除了不断提升 EEG 采集技术和研究改进高复杂度的算法外，基于 EEG 的混合脑机接口（hybrid, hBCI）是当前学者们寻求技术突破的一个主要研究方向，包括基于多种范式的 hBCI、基于多种感官刺激的 hBCI、基于多种信号的 hBCI 等方向，该方法在当前技术下可以有效提高 BCI 系统的分类准确率和 ITR，尤其在系统性能和灵活性上具有显著优势，也能更加灵活的应用于更多的商业场景。

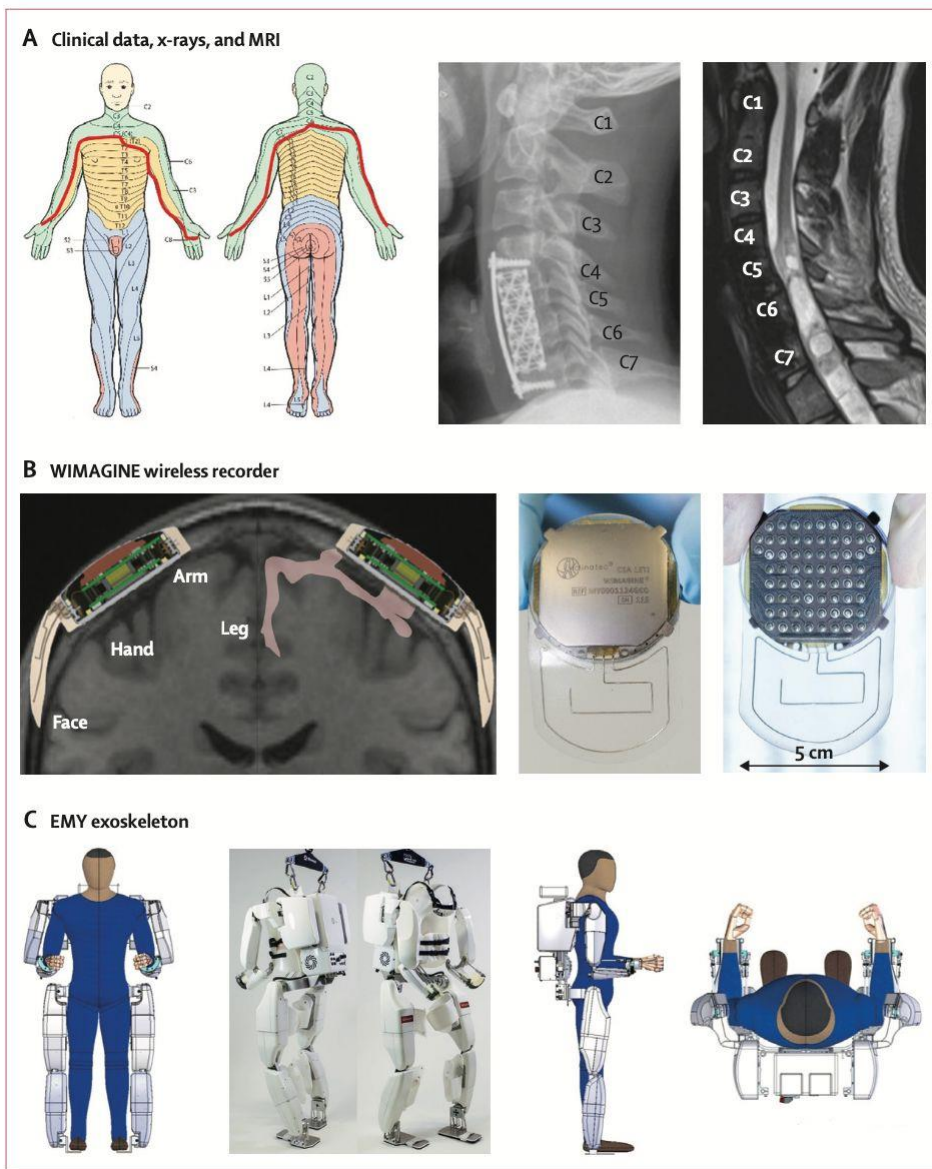
2.2. 半侵入式脑机接口：部分特定情况的选择

半侵入式脑机接口，也称微创脑机接口，即基于皮层表面记录的脑机接口。半侵入式脑机将脑机接口植入到颅腔内，但是在大脑皮层之外，主要基于皮层脑电图（ECoG）进行信息分析。这种技术通过开颅手术将电极放置到大脑表面，借助植入的电极对神经元活动进行观测和干预。一般采用柔性较大的电极材质，避免对大脑的正常活动产生更多的干扰。相比于侵入式技术和非侵入式技术，半侵入式技术是

一个折中：一方面，相比于非侵入性技术，它可以避免颅骨带来的干扰，因而在性能上更佳；另一方面，它也能比侵入性技术对大脑造成更小的损伤。

2019 年法国格勒诺布尔大学 AlimLouisBenabid 教授团队为四肢瘫痪患者设计了神经假体，并首次通过 2 名患者进行了临床应用。第一名受试者在皮肤闭合时，植入物被探测到，很快被激活并停止了通讯，而该技术问题在第二个病人植入前被识别和纠正。第二个病人脊髓 C4-C5 损伤后四肢瘫痪，研究人员将两个双侧无线硬膜外记录仪植入其大脑的上肢感觉运动区域，硬膜外脑电图信号通过自适应解码算法在线处理，再将命令发送到效应器（虚拟化身或外骨骼）。结果表明，自 2017 年 6 月至 2019 年 7 月两年间，这名受试者通过在家中使用时使用虚拟化身（成功率 64%），或在实验室使用外骨骼（成功率 70.9%），控制了一个运动程序，该程序可以模拟步行并在各种伸手触摸任务和手腕旋转过程中以八个自由度进行双手、多关节的上肢运动。这表明完整的脑机接口系统可以使用连续的在线硬膜外脑电图 (ECoG) 解码四肢瘫痪患者的大脑活动，以长期（24 个月）激活四肢神经假体外骨骼。患者可以通过大脑的控制能够执行各种运动任务，随着患者使用假体时间的延长，外骨骼活动性增强。

图 8：临床数据、记录仪和外骨骼



数据来源：思影科技、东北证券

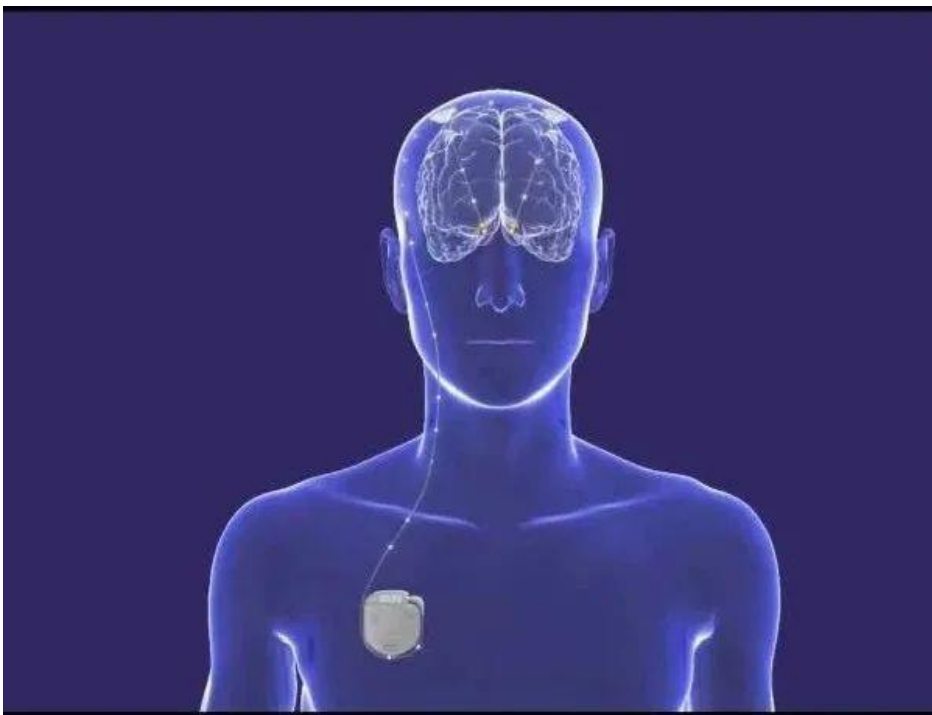
半侵入式脑机接口技术较为成熟，具备一定临床应用优势。半侵入式脑机接口将电极植入颅腔而非脑内部位，主要借助皮层脑电图进行脑信号记录。这种方式相比侵入式手术风险较低、创伤较小，但仍需一定程度的开颅手术；与非侵入式相比，其获取的神经信号更为清晰精准，空间分辨率和识别准确性也更高，因此市场关注度也较高。

2.3. 侵入式脑机接口：目前最准确的采集信号手段

侵入式脑机接口，也称植入型脑机接口，需要借助一定形式的外科手术来实现，其过程为移除一部分颅骨，在大脑中植入电极或植入物，再将移除的颅骨部分放回原处。这种方法所获得的大脑信号效果最好，因为头戴式脑电图（EEG）脑电波损失最大，因为经过了颅骨和软组织的阻挡。ECoG 信号强度有所提升，但是 ECoG 接收的大多数是全脑汇集的零散电信号的总和电流，因为神经传导的方向是从皮层往下传递神经电位，最后达到目标部位，因此如果要测量靶标部分的脑电信号的话就显得不够准确，挖出特征性的脑电波的难度堪比大海捞针。因此 MEA 和深部电极这种侵入式脑电采集才能采集到真正有用的脑电信号。但是即使是侵入式脑机接口，目前我认为目前来讲，离真正完整并准确地解析脑电信息还有一段距离。

目前侵入式脑机接口技术主要应用于医疗健康领域。比如 2020 年底，上海瑞金医院成立“脑机接口治疗难治性抑郁症”的临床研究小组，通过脑机接口手术在患者大脑两侧分别钻开一个小口，将两根直径大约两毫米、各带有 8 个触点的电极插进深脑区的指定核团，并在胸前埋入起搏器负责供电。电极放电后，会对周边几毫米内的区域进行不同频率和强度刺激。电流刺激神经，抑郁症状随之消失。23 年 4 月，上海瑞金医院发布临床研究成果：运用脑机接口技术对神经进行调控，患者术后抑郁症状平均改善超过 60%。

图 9：脑机接口治疗难治性抑郁症起搏器设备模拟图



数据来源：医学界、东北证券

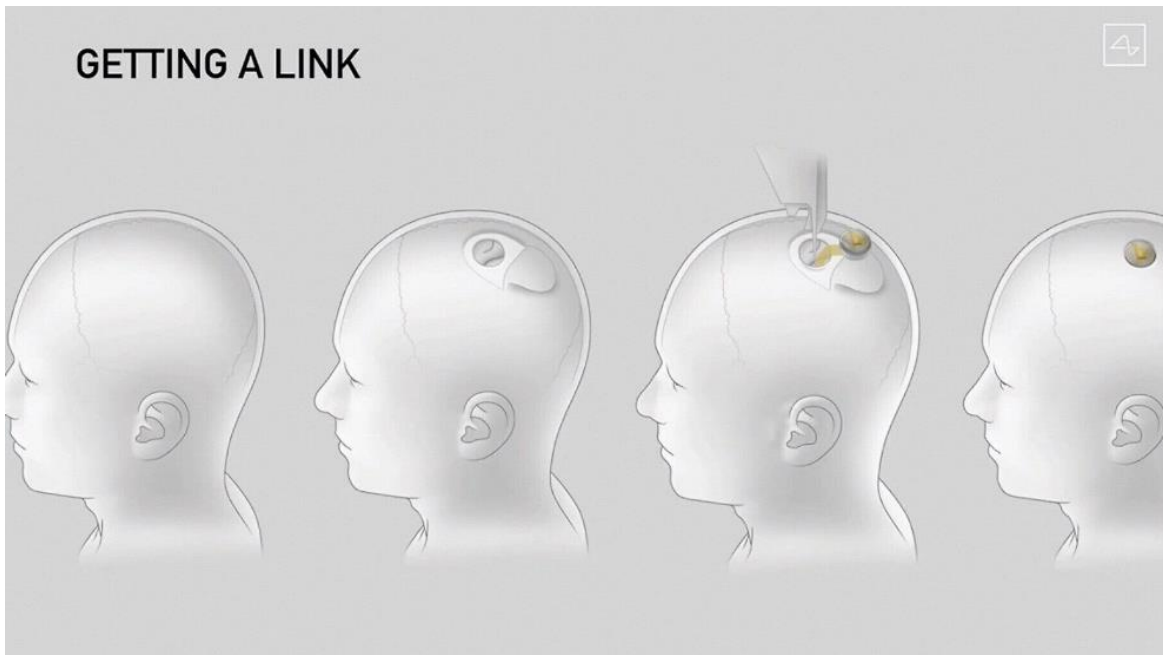
不过侵入式脑机接口虽然能深入采集神经信号，然而其属于有创伤植入，技术难度大，可能出现继发感染、排异风险，会对人体造成严重影响，提升材料生物相容性是侵入式技术进步的关键。首先，侵入式BCI的植入过程本身就是一种创伤。手术植入电极需要穿透皮肤和颅骨，这可能导致疼痛、出血和感染。手术过程中的任何微小差错都可能对患者造成长期甚至永久的伤害；其次，侵入式BCI存在继发感染的风险。植入物可能成为细菌和其他病原体的滋生地，导致感染。一旦发生感染，治疗过程可能非常复杂；排异反应是侵入式BCI另一个主要的担忧。人体免疫系统可能会将植入的电极视为外来物质，引发免疫反应，导致炎症和组织损伤。长期的免疫反应可能导致植入物周围形成纤维包囊，影响电极的功能并增加移除难度；除了上述健康风险，侵入式BCI的技术难度也相当大。电极的设计需要兼顾信号采集的精确性和长期稳定性。电极材料必须具备良好的电导性、生物相容性和机械稳定性。此外，电极的植入位置、深度和方向都需要精确控制，以确保能够有效地监测到目标神经元的活动。

提升材料的生物相容性成为侵入式脑机接口技术进步的关键。生物相容性是指材料与生物组织接触时，不引起或最大程度减少不良反应的能力。高生物相容性的材料可以减少免疫反应和炎症，降低感染风险，并有助于长期稳定地与大脑组织共存。目前，研究者们正在探索各种新型材料和表面处理技术，以提高电极的生物相容性。例如，使用生物可降解材料可以减少长期的异物反应；纳米技术的应用可以改善电极与神经组织的整合；特殊的表面涂层可以提供抗菌和抗炎的效果。理想的神经记录技术用于映射单个神经元和神经回路活动的“理想”探针可能还需要几十年才能实现，但是近乎理想的探针需要包含以下特征：

- **大规模高分辨率记录：**高计数密集电极阵列以高度灵活地访问大量神经元对于准确绘制大脑图至关重要。
- **3D空间覆盖：**可以监测具有3D不规则形状的大脑结构的不同深度和跨度的神经元，例如海马的角形结构。理想情况下，在植入后精确控制记录/刺激部位的位置和布置。
- **材料和结构坚固性：**足够的机械强度确保成功插入和植入后的耐久性，材料的生物相容性可防止细胞毒性或触发细胞免疫反应，电极在组织恶劣环境中的长期体内稳定性可实现神经元的长期稳定接入 特别适用于临床应用。
- **微创：**通过减小电极尺寸、增加尖端锐度和减少大脑与探头杨氏模量之间的不匹配来最大限度地减少组织体积位移和组织损伤。
- **多模态：**通过单个柄进行电记录/刺激以及光学和化学接口的能力。

目前行业中最领先的技术来源于 **Neuralink**，其致力于通过研究侵入式脑机接口改变患者生活。公司创始人马斯克提出“神经环”概念，将人脑与人工智能连接起来，使人类能够与人工智能同步发展，人脑成为超级脑，由此避免被超级人工智能所取代。在该愿景中，人脑将可以直接访问互联网，获取和处理信息的速度将大大提高，甚至可能实现直接从脑中“下载”知识。此外，这种连接还可能改变人类之间的交流方式，使我们能够直接分享思想和感觉，而无需通过语言或其他方式表达。目前，Neuralink的PRIME研究（精确机器人植入脑机接口研究）已获得FDA批准，将在首家医院站点开始首次人体临床试验的招募，招募对象为颈脊髓损伤或肌萎缩侧索硬化症患者。计划由手术机器人将硬币大小的植入物放置到控制运动意图的大脑区域，记录大脑信号并将其传输至解码运动意图的程序，使瘫痪患者能够用自己的思想控制外部设备。

图 10: Neuralink 侵入式脑机接口示意图



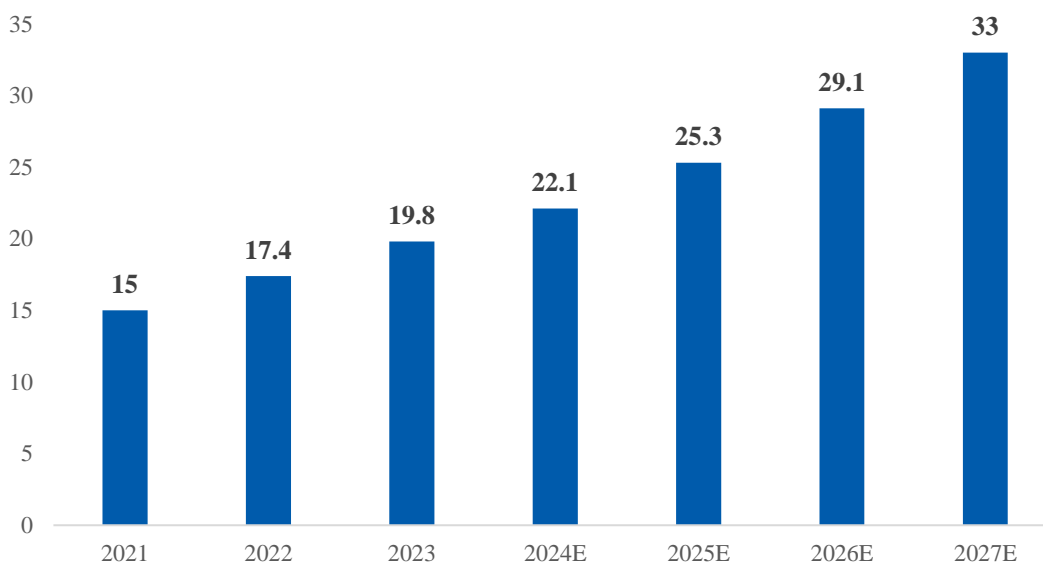
数据来源: Neuralink、东北证券

3. 政策+技术持续催化，行业进入爆发前夜

3.1. 政府高度重视，推动行业快速发展

脑机接口市场规模持续扩大，行业快速发展。国际市场研究机构 IMARC Groupe 的数据显示，2021 年，全球脑机接口市场规模达 15 亿美元，2022 年市场规模增至 17.4 亿美元，预计 2027 年全球脑机接口市场规模将达到 33 亿美元。目前，我国脑机接口市场规模约 10 亿元。虽然我国脑机接口行业起步较晚，目前与国外存在一定差距，同时遭受世界主要科技大国在脑机接口领域设立的技术壁垒，限制技术对外出口。但在各大科研院校及相关企业的努力下，我国脑机接口行业正在加快追赶步伐，具有较大发展潜力。

图 11: 2021-2027 年全球脑机接口市场规模预测趋势图 (亿美元)



数据来源: IMARC Groupe、东北证券

近期政府发布一系列行动方案和措施，旨在推动脑机接口产业的发展。2024年两会期间，脑机接口被定位为“新质生产力”之一；国家层面出台了一系列利好政策，明确了脑机接口的战略性地位，支持脑机接口技术的研究和应用。工信部等七部门发文布局未来产业，加强脑机接口应用场景探索，提升与医疗健康、消费电子、教育、民生等领域的融合应用水平。鼓励和支持脑机接口在“产学研用”领域开展广泛的国内和国际合作，加强脑机接口基础理论、信号采集、先进算法等前沿技术研发能力指导成立脑机接口产业联盟，推动构建跨应用领域的脑机接口数据库和算法库，加强数据和样本共享。这些政策的推动，为脑机接口技术的发展和應用提供了有力的支持和保障，促进了该领域的快速成长和产业化进程。

表 1：国内脑机接口相关政策

发布时间	发布部门	政策名称	重点内容解读
2018年12月	工业和信息化部	《工业和信息化部关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》	研发自内向外追踪定位装置、高性能3D摄像头以及高精度交互手柄、数据手套、眼球追踪装备、数据衣、力反馈设备、脑机接口等感知交互设备。
2019年12月	工业和信息化部、民政部、国家卫生健康委员会、国家市场监督管理总局、全国老龄工作委员会办公室	《关于促进老年用品产业发展的指导意见》	发展康复训练及健康促进辅具。针对老年人功能障碍康复健康管理需求，加快人工智能、脑科学、虚拟现实、可穿戴等新技术在康复训练及健康促进辅具中的集成应用。
2020年8月	国家标准化管理委员会、中央网信办、国家发展改革委、科技部、工业和信息化部	《国家新一代人工智能标准体系建设指南》	解决语音、手势、体感、脑机等多模态交互的融合协调和高效应用的问题，确保高可靠性和安全性交互模式。人际交互标准包括智能感知、动态识别、多态交互三个部分。
2021年3月	中央政治局	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	在事关国家安全和發展全局的基础核心领域，制定实施战略性科学计划和科学工程。瞄准人脑科学等前沿领域，实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技项目。
2021年9月	人力资源社会保障部、财政部、工业和信息化部 科技	《专业技术人才知识更新工程实施方案》	瞄准量子信息、生命健康、脑科学、生物育种、空天科技、深地深海等前沿领域，攻坚关键核心技术，推动传统产业高端化、智能化、绿色化，按照高水平、小规模、重特色的要求，主要面向中高层次专业技术人员和经营管理人员，每年举办300期左

	部、教育部、中国科学院		右国家级高级研修班，培养培训2万左右高层次专业技术人才和经营管理人才，培养造就一素质优良、创新能力强、具有较强竞争力的专业技术人才。
2021年10月	国务院	《“十四五”国家知识产权保护和运用规划》	促进知识产权高质量创造。健全高质量创造支持政策，加强人工智能、量子信息、集成电路、基础软件、生命健康、脑科学、生物育种，空天科技、深地深海探测等领域自主知识产权创造和储备。
2021年12月	国务院	《“十四五”国家老龄事业发展和养老服务体系规划》	发展健康促进类康复辅助器具。加快人工智能、脑科学、虚拟现实可穿戴等新技术在健康促进类康复辅助器具中的集成应用。发展外骨骼康复训练、认知障碍评估和训练、通训练、失禁康复训练、运动肌力和平衡训练、老年能力评估和日常活动训练等康复辅助器具。
2022年4月	国务院	《“十四五”国民健康规划》	面向人民生命健康，开展卫生健康领域科技体制改革试点，启动卫生健康领域科技创新2030一重大项目，“十四五”重点研发计划够国家科技计划，实施”脑科学与类脑研”等重大项目以及”常见多发病防治研究”、“生育健康及妇女儿童健康保障“等重点专项。
2022年8月	科技部、中央宣传部、中国科协	《“十四五”国家科学技术普及发展规划》	面向关键核心技术攻关，聚焦国家科技发展的重点方向，强化脑科学、量子计算等战略导向基础研究领域的科替，引导科研人员从实践中提炼重大科学问题，为科学家潜心研究创造良好氛围。
2022年10月	工业和信息化部、教育部、文化和旅游部、国家广播电视总局、国家体育总局	《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022-2026年)》	重点推动由内向外追踪定位技术研究，发展手势追踪、眼动追踪表情追踪、全身动捕、沉浸声场、高精度环境理解与三维重建技术加强肌电传感、气味模拟、虚拟移动、触觉反馈、跨机接口等多通道交互技术研究，促进感知交互向自然化、情景化、智能化方发展。
2023年8月	工业和信息化部、科技部、国家能源局、国家标准化管理委员会	《新产业标准化领航工程实施方案(2023-2035年)》	开展脑机接口标准化路线图研究。加快研制脑机接口术语、参考架构等基础共性标准。开展脑信息读取与写入等输入输出接口标准，数据格式、传输、存储、表示及预处理准，脑信息编解码算法标准研究。开展制造、医疗健康、教育、娱乐等行业应用以及安全伦理标准预研
2024年1月	工业和信息化部 教育部 科技部 交通运输部 文化和旅游部 国务院 国资委 中国科学院	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	至2025年和2027年的发展目标，公布6项重点任务，包括前瞻布局6个新赛道、10大标志的实施意见》性产品等。其中就包括加速类脑智能、群体智能等产业。

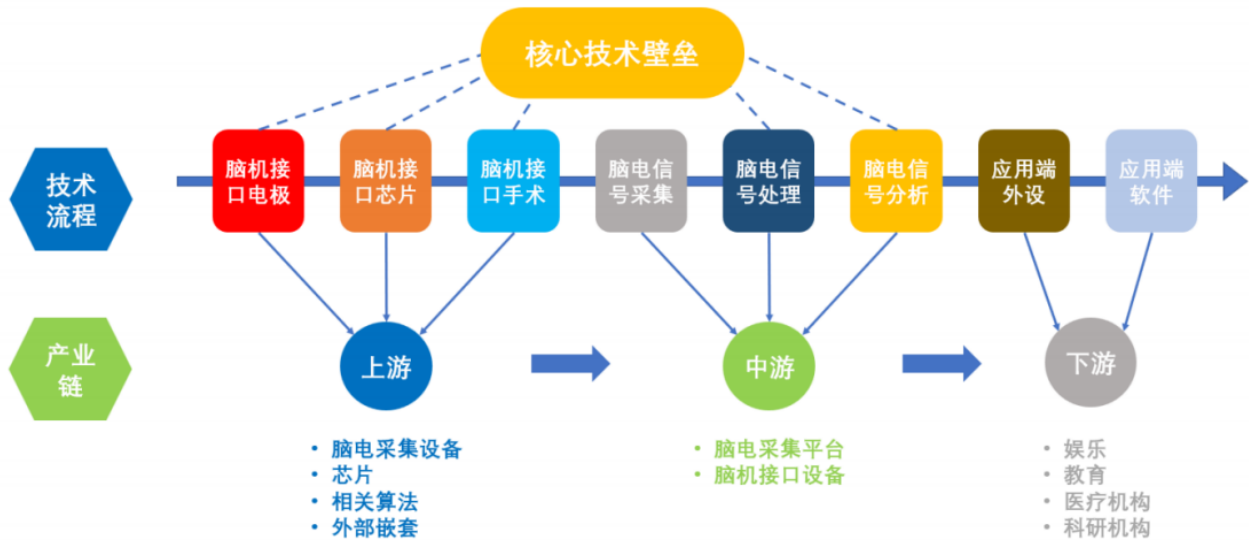
2024年2月	科技部	《脑机接口研究伦理指引》	明确开展脑机接口研究，应确保研究具有社会价值，应主要致力于修复型脑机接口技术，强调通过技术的发展服务公众的健康需求。
2024年5月	中央网信办、市场监管总局、工业和信息化部	《信息化标准建设行动计划（2024—2027年）》	完善云计算标准，加快量子信息标准布局，推进脑机接口标准研究，加快建设下一代互联网、Web3.0、元宇宙等新兴领域标准化项目研究组，推进基础类标准研制，探索融合应用标准。

数据来源：各政府网站、东北证券

3.2. 产业发展仍处于初期阶段，软硬件上都有较多研究重点

脑机接口的技术流程可分为上游、中游、下游三个环节：上游包括脑机接口电极、脑机接口芯片、脑机接口手术，中游包括脑电信号采集、脑电信号处理、脑电信号分析，下游包括应用端外设和应用端软件。基于脑机接口的技术流程，脑机接口行业形成了完整的产业链。上游包括脑电采集设备（如非侵入式电极和侵入式微电极）、BCI芯片、处理计算机/数据集和处理算法、操作系统级分析软件和外部嵌套等；中游主要包括脑机接口产品提供商；下游则包括医疗保健、教育培训、游戏娱乐、智能家居、军事国防等各种应用领域。

图 12：脑机接口核心技术流程及产业链



数据来源：国家金融研究院、东北证券

表 2：脑机接口产业链各环节主要供应商

	产业链环节	供应商
上游	脑电采集设备	BrainProducts, NeuroScan, BrainCo 等
	BCI 主芯片	TI, ST 等
	BLE 芯片及 IP 供应商	泰凌微, 锐成芯微, 博通集成等
	外部嵌套	RexBionics, Oculus, Ekso 等
中游	脑电采集平台	Neuracle, Neuralink, BrainGate, NeuroSky, Synchron, g.tec, NeuraMatrix, NeuroXess 等
	脑机接口设备	柔灵科技, MindMaze, BrainCo, NeuroPace, CTRL-Labs 等
下游	应用领域	创新医疗, 世纪华通, 浙大网新, 汤姆猫, 科大讯飞 (医疗、科研、教育、娱乐、军事国防等领域)

数据来源：国家金融研究院、东北证券

我国脑机接口产业链发展仍处于初期阶段，其上游设备尚未实现标准化量产，行业发展依赖多种混合学科的协作与融合。目前脑机接口技术正处于由技术研发向实际应用转化的关键阶段。为了推动其发展，需要强化跨学科的协同机制，实现不同领域知识的相互渗透和融合。在工程技术领域，攻克信号处理、编解码等难题；持续深化生物学基础研究，探索神经编码与信息传递的内在机制，为技术创新提供不竭动力。此外，积极融入计算机和人工智能的前沿理论与技术，为脑机接口系统赋予更强大的智能化能力。立足国内实际需求，重视跨学科转化应用，将加快该领域技术和产业发展。从国内的专利角度来看，研究聚焦于数据处理、人机交互、神经科学理论以及临床应用等关键领域，反映了脑机接口在算法创新、硬件改进、理论加深和临床应用转化等方面的全方位发展需求。

表 3：中国脑机接口专利所解决问题的趋势

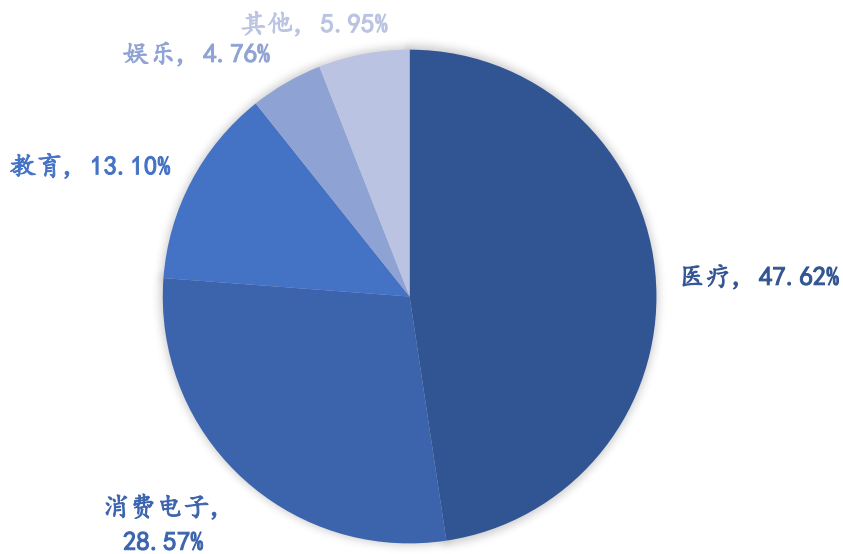
技术功效	特征提起	运动心像	视觉	电极	信号采集	信号处理	脑计算机接口	神经网络	信号分类
提高效率	17	9	16	18	18	15	20	0	5
降低成本	22	7	14	45	33	22	10	6	0
提高鲁棒性	44	31	17	0	13	9	11	20	10
提高稳定性	37	19	17	29	16	12	18	5	6
精度高	26	22	28	20	14	20	15	10	10
提高性能	31	30	23	15	12	17	16	19	15
提高分类准确性	46	51	17	10	10	24	14	34	32
使用方便	19	12	28	52	45	24	28	0	0
操作方便	38	25	53	50	37	27	39	8	9
提高准确性	129	97	78	36	70	72	39	64	57

数据来源：智慧芽、蛋壳研究院、东北证券

3.3. 下游市场空间：医疗及其他

医疗健康领域是主要应用场景，其他市场仍在培育阶段。医疗健康领域是脑机接口技术最初且最主要的应用领域，也是目前离商业化最近的应用领域，其应用市场占比约为 47.62%。随着技术的发展，脑机接口应用领域不断拓宽，并逐步应用于消费电子、教育、娱乐和其他领域，应用市场分别占比 28.57%、13.10%、4.76%、5.95%。根据中国残联统计数据，我国肢体残疾 2472 万人，视觉障碍群体将近 1800 万，有听力残疾人数达 2780 万人。据不完全统计，我国老年痴呆患病率有 6%，抑郁症和焦虑症的患病率接近 7%，其它神经系统疾病患者过千万，并随着老龄化程度提高而快速增长。从前期政策推动角度来看，主要推动方向为解决老龄化所带来的新问题，而脑机接口的发展有望为老年人提供更多智能化、人性化的解决方案。

图 13：国内脑机接口应用场景分布情况



数据来源：中商产业研究院、东北证券

3.3.1. 医疗

随着我国加速走向老龄化社会，老年脑疾病患者数量的增加，BCI 技术在医疗领域的应用前景广阔。据估计，老年脑疾病患者占到老年人总数的 10% 左右。这一庞大的疾病人群对医疗保健系统提出了严峻的挑战，在肢体运动障碍、慢性意识障碍、精神疾病等病种的诊断和康复方面，脑机接口技术正在发挥着不可替代的作用。

我国在脑机接口技术方面还在保持持续突破，为未来在医疗健康领域的广泛应用奠定了坚实的基础。清华大学医学院洪波教授带领的团队设计研发了无线微创植入脑机接口 NEO (Neural Electronic Opportunity)，并在宣武医院成功进行了首例临床植入试验。这项技术通过神经外科医生的操作，将脑机接口处理器植入高位截瘫患者的颅骨中，成功采集感觉运动脑区的颅内神经信号。在这项技术的帮助下，一名四肢瘫痪 14 年的患者通过“意念”控制光标移动和手套外骨骼持握，实现了自主喝水的功能。此外，另一名 35 岁的颈椎高位截瘫男性也通过脑电活动驱动气动手套，实现了自主喝水等脑控功能。自 2022 年宣武医院开始进行脑机接口临床试验以来，已有近 40 例患者接受了脑机接口的微创植入，并且尚无受试者发生并发症和排异反应。这表明无线微创植入脑机接口的便捷性和安全性得到了可靠保障，使得受试患者的居家康复成为可能。脑机接口技术还被用于语言解码、运动解码以及治疗癫痫等疾病。例如，利用半植入式方案，洪波团队联合天坛医院完成了第二例脑机接口临床试验，进一步拓展了该技术在医疗领域的应用范围。

表 4：脑机接口在医疗健康领域的应用

研究类型	适应症	数量	内容
研究类型	中风 (Stroke)	38 项	改善运动功能和语言沟通方面
	四肢瘫痪 (Tetraplegia)	12 项	帮助运动障碍患者恢复一定的自主性和生活质量
	脊髓损伤 (Spinal Cord Injuries)	11 项	恢复脊髓损伤患者运动功能
	偏瘫 (Hemiparesis)	6 项	改善中风后遗症患者的运动功能
	闭锁综合症 (Locked-in Syndrome) 健康受试者 (Healthy) 脊髓损伤 (Spinal Cord Injury)	各 5 项	治疗运动和沟通障碍以及在健康入群中进行基础研究，用于多样化应用
	四肢麻痹 (Quadriplegia) 运动障碍 (Motor Disorders)	各 4 项	进一步证明脑机接口技术对辅助运动功能严重受损患者的重要性
观察性	肌萎缩侧索硬化症 (ALS) 中风 (Stroke)	各 3 项	观察疾病自然进程，长期影响及患者管理
	健康受试者 (Healthy Subjects) 创伤性脑损伤 (Traumatic Brain Injury)	各 2 项	健康受试者的研究集中在评估脑机接口技术对正常功能的影响成作为对照组，创伤性脑损伤的研究关注于疾病的长期影响和康复过程
	个体差异 (Individuality) 言语障碍 (Speech Disorders) 脑瘫 (Cerebral Palsy) 脑干中风 (Brain Stem Stroke)	各 1 项	观察在特定疾病或状态下的应用

数据来源：智慧芽、蛋壳研究院、东北证券

当前脑机技术在医疗领域中的应用最为广泛，主要围绕在短期内的“监测、改善/恢复、替代/增强”三个阶段为主。其中“监测”阶段的功能体现在辅助脑电波的监测和脑疾病确诊，“替代”为辅助重大残疾群体恢复正常生活。随着技术的不断成熟，脑机技术将更深入的服务患病人群。

- **监测领域**，脑机接口技术可以实时监测大脑活动，帮助医生了解患者的意识状态和神经功能。例如，通过脑电图 (EEG) 记录大脑活动时的电信号变化，可以评估受试者的认知和行为表现。此外，脑机接口系统还可以用于监测精神心理疾病患者的情绪状态，并通过实时监测和预测编码来调节他们的情绪；
- **改善/恢复领域**，脑机接口技术在康复领域有显著应用，能够改善某些疾病的症状或恢复某些功能。例如，Neuralink 的人体临床试验通过脑机接口让失去正常生活能力的患者用意念控制外部设备，如电脑、手机和机械臂，从而实现与外界的交流和操作。此外，脑机接口技术也被用于治疗帕金森病合并帕金森痴呆，通过精准定位脑部活动来实现意识恢复和神经功能改善；
- **替代、增强领域**，脑机接口系统的输出可以取代由于损伤或疾病而丧失的自然输出。例如，对于高位截瘫患者，脑机接口技术可以帮助他们通过意念控制光标移动和手套外骨骼持握，从而实现基本的自主控制能力。此外，脑机接口技术还可以帮助失语症患者通过 AI 技术实现沟通自由；脑机接口技术还可以增强人的感知、认知和运动能力。例如，非侵入式脑机接口技术通过分析头皮上的电活动，驱动 BCI 能够恢复或增强人类的交流能力。

目前上述应用的相关产品大多都属于严肃医疗器具，依据广义脑机接口的定义以及我国《医疗器械分类目录》的现行规定，与脑机接口相关设备主要被划分为II类和III类。鉴于III类医疗器械在注册难度、监管要求、申请受理部门层级和申请时长等方面都远高于II类医疗器械，目前我国80%的脑机企业选择了非侵入式采集技术路线，对于侵入式脑机设备，绝大多数都处在临床性研究和动物实验阶段。

表 5：我国医疗器械分类目录

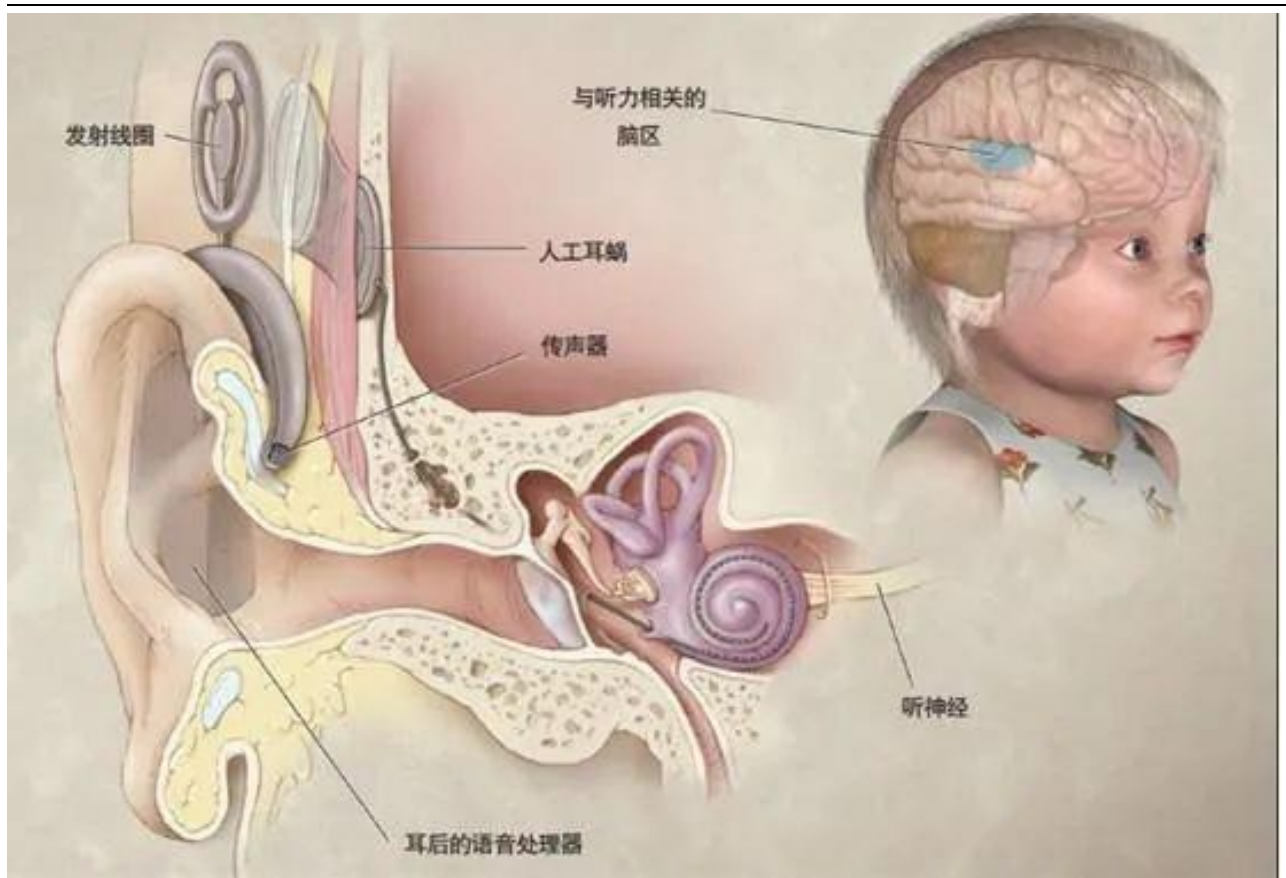
分类	器械类型描述	说明	分类目录相关产品类别	相关产品举例
III类	侵入式脑机	对于人体的伤害性大、风险性大	12 有源植入设备-02 神经调控设备-01 植入式神经刺激器、02 植入式神经电刺激电极	植入式(可充电)脑深部神经刺激器 植入式脑深部神经刺激电极、植入式脑深部神经刺激延伸导线
	具有增强或刺激类等辅助治疗功效的非侵入式脑机	虽然其不植入人体但基于对机体施加的直接影响参考对于预期用途为如刺激瘫痪部位运动及抑郁症等疾病的辅助治疗的“动磁场治疗设备”，纳入第三类医疗器械监管	09 物理治疗器械-05 磁疗设备/器具-01 动磁场治疗设备	经颅刺激仪、磁刺激器
II类	其他一般类型的非侵入式脑机		07 医用诊察和监护器械-03 生理参数分析测量设备-06 生理参数诱发诊断设备	脑电图机
			09 其他测量、分析设备-03 睡眠呼吸监测设备-脑电电极	睡眠监测记录仪
			10 附件、耗材-03 体表电极-脑电电极	脑电电极
			19 医用康复器械-02 运动康复训练器械、05 关节训练设备	肢体运动康复仪、肢体功能康复评定与训练系统
			21 医用软件-03 数据处理软件-02 生理信号处理软件	脑电分析处理和/或传输

数据来源：智慧芽、蛋壳研究院、东北证券

不过面向医疗市场的脑机接口也不一定非要完全侵入人脑，比如人工耳蜗也属于脑机接口，被誉为迄今为止最成功、临床应用最普及的技术。人工耳蜗可以大概归类为“半侵入式脑机接口”，读取装置无需植入到颅内，但仍然需要以微创手术的方式放置在耳蜗中。人工耳蜗需要以微创手术的方式放置在耳蜗中，植入装置包括接收器、解码器和刺激电极。其中电极用于刺激使用者仍然完好的听觉神经。听觉神经受到电刺激后，听觉信息的传递能力得到强化，从而能让使用者的大脑读取相关信息，最终让其恢复一定程度的听觉。人工耳蜗还包括外部装置，一般由方向性麦克风、言语信号处理器和传送器组成。从20世纪70年代发展至今，人工耳蜗技术日

益成熟，外部装置的大小与普通助听器无异，所以脑机接口并非像科幻电影描述的那样必须是花里胡哨的仪器设备，也可以用“低调”方式来运作。

图 14：人工耳蜗原理示意图



数据来源：看世界杂志、东北证券

面对消费领域，脑机厂商开始尝试睡眠、注意力监测等产品面向大众消费者。关于睡眠监测设备，虽然市场需求潜力巨大，且预计未来几年将保持高速增长，但目前市场集中度较低，竞争激烈。例如，2022年中国家用睡眠监测设备行业市场现状及竞争格局分析显示，市场集中度较低，主要企业包括深圳市迈迪加科技发展有限公司、深圳和而泰智能控制股份有限公司等。此外，全球家用睡眠监测设备市场也在快速增长，预计到2028年市场规模将达到51亿美元。关于注意力监测设备，虽然技术逐渐成熟并被应用于多个领域，如驾驶员疲劳和注意力预警系统，但在消费端的普及程度仍有限。例如，基于脑电信号的青少年注意力检测和训练系统虽然在研究中取得了一定进展，但其分类类别少且准确率不佳，仍需进一步改进。此外，头环技术虽然可以实时检测大脑注意力的变化，但其可靠性和精准度仍需验证。尽管脑机玩家在睡眠和注意力监测领域的产品具有巨大的市场潜力，但目前还没有走向大规模消费的场景，整体市场集中度较低，技术成熟度和用户接受度仍需进一步提升。

图 15: BrainCo 消费产品



数据来源：公司官网、东北证券

3.3.2. 其他

3.3.2.1. 教育

脑机接口技术在教育领域的应用包括注意力监测、压力监测、教学设计、智能学习和记忆增强，甚至会颠覆现有教育模式。脑机接口学术界在教育相关领域开辟了多项实验，有实验数据表明，脑机接口技术有助于治疗阅读障碍、多动症等儿童。同时清华大学心理学系和教育研究院联合团队研究发现，数学期末考试中可以记录到与学生数学焦虑特质显著相关的神经生理标志物，基于脑机接口技术和神经反馈技术，可以通过调控该神经生理标志物缓解和改善学生的数学焦虑。现有的应用研究大多集中于对脑信号的分析以及脑反馈刺激的单项传输，教学主体之间的交互机制仍是缺失状态。因此，脑机技术为进一步探索人与人之间直接的信息传输和和情感交流，为解决教育主体间的距离和互动障碍提供了解决思路。

表 6: 脑机接口在教育行业的应用

	应用场景	发展空间
增强学习乐趣	帮助识别学生的动机和兴趣； 教师根据认知负荷和学生兴趣调整内容	基于 EEG 的 BCI 的进式训练游戏
提高注意力	直接用于认知行为干预； 通过注意力焦点的即时反馈 增强参与者的能力	在诊断阅读障碍和改善拼写障碍方面具有很高的潜力； 被证明可以提高注意力、注意力和意识水平； 提高多动症儿童的认知技能
检测及诊断	激励学生学习更多并专注； 帮助学生减轻压力缓解焦虑； 社交认知技能训练	智慧课堂教学实践中的应用； 自闭症谱系障碍（ASD）人的社交认知技能训练
特殊教育支持	教育资源匮乏的地区，脑机接口技术有助于缓解师资紧缺的局面	智慧课堂教学实践中的应用； 自闭症谱系障碍（ASD）人的社交认知技能训练

数据来源：亿欧智库、东北证券

我国在脑机接口技术的教育应用方面已经取得了显著进展，并且在智慧教育、混合式教学、XR 教育以及个体化学习等多个领域展现出巨大的潜力和实际效果。在混合式教学平台下，基于脑机接口技术的实验课程改革与实践，通过传统课堂、在线

课堂和虚拟仿真结合的“三堂联动”模式，多维引导学生发展。这种模式使不同层次的学生都能参与课程并有所收获，实验建设将基于学习产出的教育模式（OBE）引入课堂教学，通过趣味性实践来提高学生的学习效果。脑机接口技术在虚拟现实（VR）、增强现实（AR）和混合现实（MR）教学中得到了广泛应用。这些技术通过精确捕捉脑电信号，能够实现更加互动和沉浸式的学习体验，从而提升学习效率和效果。脑机接口技术在教育领域的应用还包括学习状态识别、学习者个体特质测评和学习障碍干预等方面。这些技术特点使得脑机接口能够实现个体化、实时化和场景化的教育应用，从而更好地满足不同学生的需求。中国教学仪器设备有限公司与全球领先的非侵入式脑机接口技术解决方案供应商 BrainCo 强脑科技签约，共同开发与落地人工智能和脑科学相关的教育教学应用方案。强脑科技发布了脑科学智慧教育应用方案，这一方案旨在通过脑机接口技术提升教育质量和效率。基于脑机接口（BCI）的系统可以记录和分析学习者在学习过程中的脑活动状态，通过基于BCI的系统进行认知训练，可以有效改善脑活动状态，增强学习者对脑部的控制能力。这使得脑机接口技术在教育教学中具有广泛而深远的应用前景。BrainCo 品牌旗下的 Focus 专注力提升系统，是一款以脑机接口技术赋能传统教育的产品。Focus 专注力提升系统根据 5~12 岁孩子的特性制定高效学习追踪，多维度脑力训练等内容，与其他脑电设备相比，Focus 配备有 3 块电极，单块电极精度就有医疗级脑电采集精度的 95%，其脑电信号独有算法可以做到全频段脑波信号采集分析。

图 16: BrainCo 品牌旗下的 Focus 专注力提升系统



数据来源：华夏教育网、东北证券

3.3.2.2. 工业

工业领域是除医疗领域外，目前应用比较广泛的一个领域。把脑机接口硬件嵌入到日常的安全帽里，作业时可以通过这个安全帽进行预警和干预，实时对精细化操作的工人进行状态分析，根据其状态给予及时干预，避免由于状态不佳出现操作失误，造成重大损失；另外，通过对工人身体状况进行实时监测，避免其身体状况急剧下降出现伤亡。目前，我国高原建设施工、地铁施工，像北京的 13 号线延长线，重庆、广州的地铁建设，都用到了脑机接口这个功能。

此外，驾驶领域也将被惠及。像危化品运输、长途客运等，一旦出事，就会造成严重的群死群伤。脑机接口可以对司机状态进行实时识别，以及预警干预，会在出现风险隐患时，就提前通知到人。”

图 17: 脑机接口智能监控平台



数据来源：央视新闻、东北证券

3.3.2.3. 军事

脑机接口在军事领域主要应用于“替代”和“增强”两个方向。脑机接口系统能够辅助操纵各类无人设备，代替士兵深入危险或高风险场合执行任务。脑控武器是军事武器自动化和智能化的一个重要发展方向。结合脑控和手控可以发挥士兵个体控制的^{最大}潜能，这是武器研制和使用的智能化目标。脑控外骨骼是提升单兵作战能力的最有效手段之一，将机械外骨骼附着在人体外部，利用想象思维控制外骨骼的运动和动作，增加单兵作战的力量、速度和准确度，是脑控外骨骼的最终目标。此外，动物侦察兵利用动物的侦察能力，将脑控芯片植入动物体内，由人类远程控制动物的行动和侦察路线，延伸人类侦察范围和时间。还可以借助脑机接口进行更高效和更保密的军事通信，提高作战人员的认知能力。

图 18：脑机操控无人装备



数据来源：Spectrum、东北证券

3.3.2.4. 娱乐

脑机接口技术在娱乐领域中有着广泛的应用前景。通过采集大脑信号并进行分析，可以实现一系列的人机交互应用，例如电影、游戏和音乐等方面。其中，脑机接口技术在游戏领域的应用较为突出。通过采集玩家的大脑信号，游戏开发者可以设计出更具有沉浸感和互动性的游戏。比如，脑机接口技术可以通过玩家的大脑信号来识别他们的注意力水平，然后根据这一信号来调整游戏的难度和挑战性，从而实现更好的游戏体验。

除了游戏领域，脑机接口技术在音乐和电影方面的应用也很有前途。通过采集听众或观众的大脑信号，可以了解他们对音乐或电影的反应和情感状态，从而设计更加个性化和优质的音乐和电影作品。例如，在音乐演唱会上，通过采集听众的大脑信号，可以实时了解他们对音乐的反应和情感状态，然后根据这些反馈来调整音乐的演唱和演出方式，从而实现更加动态和个性化的演出。

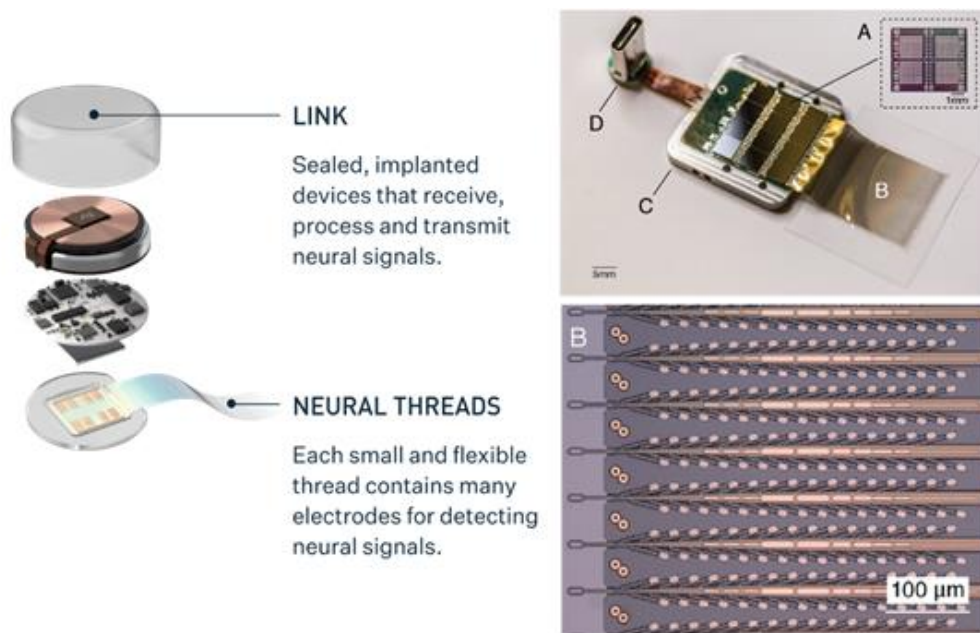
脑机接口呈现出与玩具、VR/AR 结合的发展特征，出现脑控小车、脑控 VR/AR 等产品，还可以作为更加沉浸的“元宇宙”入口。美国科技公司 Cognixion 在 2020 年发布了基于脑机接口的 AR 头显，可在屏幕、游戏、电话、办公影音等多个场景实现沉浸式体验。云睿智能 (EEGSmart) 开发出了基于脑机接口技术用一年操控的意念无人机 Udronne。目前脑机接口游戏产品主要以评估专注力为主的初级游戏为主。游戏模式相对简单，与移动游戏产业最初的“捕鱼”“切水果”模式类似。在科睿唯安 (Clarivate) 旗下的 Web of Science 数据库平台中，展示了近 15 年游戏 BCI 论文发表和引用数量。可以看出游戏 BCI 整体发展呈现逐步增长趋势，表明游戏领域正处于快速增长期，未来有较大的发展空间。

4. 国外代表公司

4.1. Neuralink (美国)

Neuralink 公司成立于 2015 年，公司专注于研究侵入式脑机接口，旨在开发能够将人工智能植入人类大脑皮层的脑机接口技术。成立 7 年来，Neuralink 公布了多份研究成果，包括研发出“脑机神经织网”设备 N1、植入芯片设备 Link V0.9、手术机器人 V2 等成果。2019 年，Neuralink 首次推出了植入物的设计，其自主研发的 N1 脑部传感器芯片将在大脑的一块区域内植入 1024 根微小的电线，将细胞膜表面电位记录下来，并通过滤波等处理将其转化为数字信号。2021 年，Neuralink 展示了猴子通过脑电游玩“意念乒乓球”游戏的场景。2022 年 11 月底，埃隆·马斯克在 Neuralink 的发布会上，向公众展示了猴子用意念打字场景。

图 19: Neuralink 相关产品



数据来源：Neuralink、东北证券

Neuralink 进展加速，已进入人体临床实验阶段。2023 年 5 月，美国 FDA（美国食品药品监督管理局）批准了 Neuralink 的完全植入式无线脑机接口设备试验用器械豁免权限，Neuralink 与 FDA 协商能参与试验的患者人数；9 月，Neuralink 招募因颈脊髓损伤或肌萎缩侧索硬化症（ALS）导致四肢瘫痪的患者，成为其首批植入脑机接口设备的临床试验对象，该试验被称为 PRIME 研究，患者将先参加为期 18 个月九次回访的一轮研究，后续 5 年再进行 20 次探访，最终整体需要六年左右的时间完成这起临床试验。11 月 7 日，Musk 在其社交媒体平台 X 上表示，他旗下的脑机接口公司 Neuralink 正在开发一款视觉芯片，这款视觉芯片将在几年内准备就绪。2024 年 1 月 29 日，Neuralink 完成了首例人类大脑设备植入手术。患者恢复良好，并且已经能够通过思维控制电脑光标或键盘。马斯克表示，患者似乎已经完全康复，并且已经观察到了神经系统反应，病人可以通过思考在屏幕上移动鼠标。FDA 批准了 Neuralink 为第二名患者植入脑芯片，并批准了该公司针对首位受试者出现的问题提出的改进方案。Neuralink 计划在 2024 年进行 11 例手术，2025 年 27 例，2026 年 79 例，到 2030 年，则增加到 22204 例。

4.2. Paradromics (美国)

Paradromics 成立于 2015 年，总部位于 Austin, Texas。该公司专注于打造并推广高传输速率的脑机接口技术。Paradromics 的标志性产品—Connexus Direct Data Interface (DDI)，是一种先进的辅助通讯设备，它能够将大脑中的神经信号转换为文字或合成语音，从而实现交流。Connexus 的神经信号处理过程由其内部的三个核心组件共同完成：

- **皮质模块：**该模块采用 Paradromics 的专利技术—Quartet™ Neural Signal Transform，以一种密封的方式，高效且低功耗地将神经信号转化为可读数据。
- **颅中樞：**这个组件设计成与头骨平行，为皮质模块提供所需的能量，并完成信号的进一步处理。
- **收发器：**它通过外部的计算和用户界面系统，提供无线电力供应和安全的数据中继，确保高带宽数据的传输。

图 20: Paradromics 相关产品



数据来源：Paradromics、东北证券

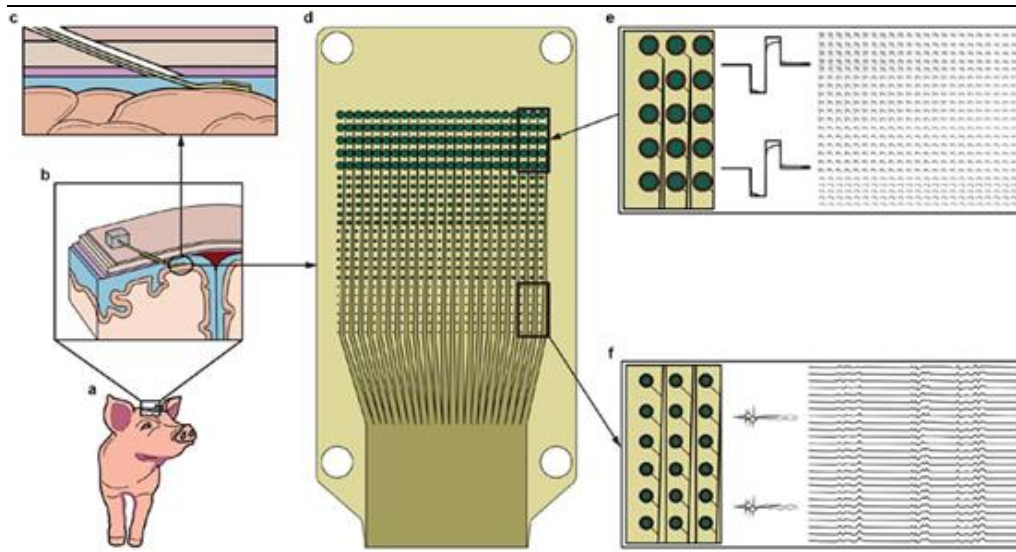
Paradromics 的这一创新技术，不仅推动了脑机接口领域的发展，也为那些需要辅助通讯的人士提供了新的解决方案。Paradromics 的产品将实现人脑与机器之间的无线双向通信通过植入的芯片，他们的思想和知识可以无缝地传输到电脑中，从而克服身体的限制。对于失去听觉或视觉等感官的病人，芯片能够将电脑中存储的信息直接输入到大脑中，为他们提供一种全新的感知世界的方式。PARADROMICS 公司已经成功研发出成熟的原型机，并正在进行动物临床试验，以验证技术路径的可行性。公司研发的微丝电极阵列技术，解决了神经信号高带宽传输的难题，为脑机接口的进一步应用奠定了基础。目前，Paradromics 正在进行动物安全试验，收集的数据将对 FDA 是否批准人体研究起到关键作用。公司计划在 2024 年上半年对人类患者进行首次临床试验，这将是脑机接口技术发展史上的重要一步。

4.3. Precision Neuroscience (美国)

Precision Neuroscience 于 2021 年创立于纽约，该公司脑机接口被设计成微创的、安全可拆卸的，并能够处理大量数据，该阵列的配置符合大脑表面，最大限度地提高带宽，而不损害脑组织。Precision Neuroscience 是一家位于纽约的创新公司，成立于 2021 年，专注于开发一种新型的脑机接口 (BCI) 技术。该公司的脑机接口设计注重微创性、安全性以及可拆卸性，同时具备处理大量数据的能力。这种设计旨在与大脑表面紧密贴合，以最大化数据传输的带宽，同时尽可能减少对脑组织的损伤。

Precision 的 BCI 植入物采用了一种透明胶带状的柔性薄膜，其厚度仅为人类头发的五分之一。这种薄膜的植入过程是通过一种专有的微创颅骨微缝技术实现的，该技术利用实时成像和光纤内窥镜引导，将薄膜精确地插入硬膜下区域，覆盖在大脑表面的任意位置。与传统的开颅手术相比，这种植入方式的侵入性要小得多。BCI 的植入过程是通过在人的头骨上切开一条微小的缝隙，然后将芯片滑入其中，直至其稳定地停留在大脑上。这种植入方式不会对脑组织造成损伤，与传统的需要切除部分颅骨的 BCI 植入手术相比，风险更低，恢复时间更短。虽然 Precision 的设备由于没有直接插入脑组织，其收集到的大脑信号的分辨率可能低于一些开颅植入式 BCI 设备，但它仍然远高于头骨外部来源的数据分辨率。这种平衡了安全性、微创性和数据质量的 BCI 技术，为脑机接口领域带来了新的可能性，有望为患者提供更加安全、舒适的使用体验。

图 21: Precision Neuroscience 相关产品



数据来源： Precision Neuroscience、东北证券

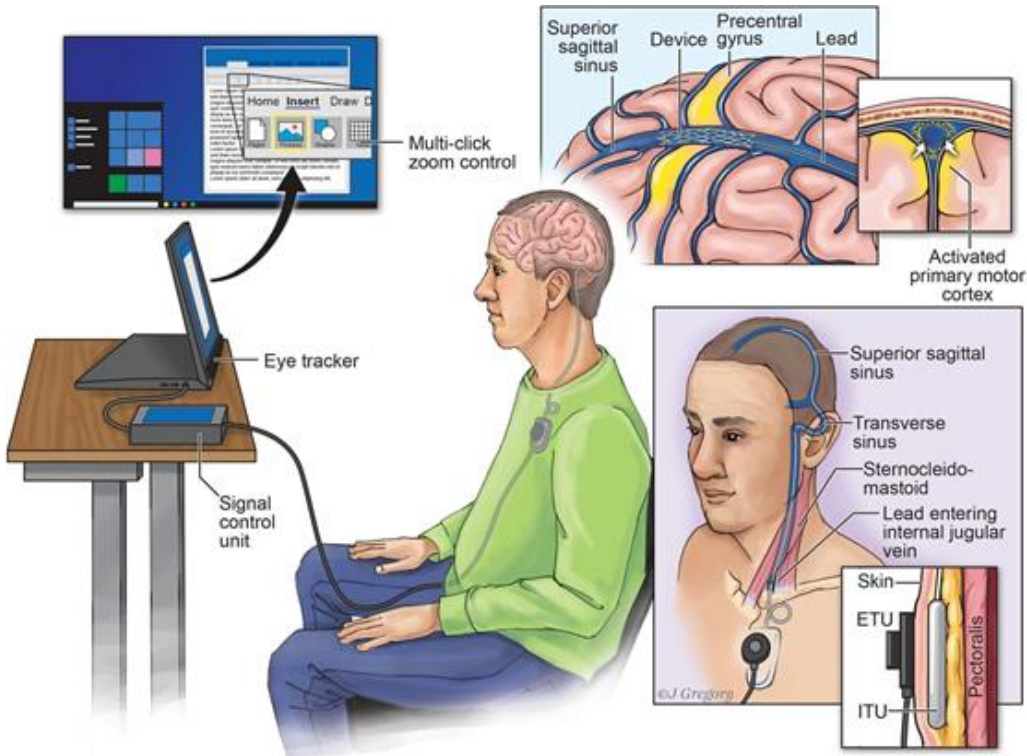
这些电极不仅可以收集大脑信号，将其传输到计算机并通过机器学习算法转化为代码，而且电极可以发射脉冲刺激大脑特定区域，以治疗癫痫、中风等神经系统疾病。如果患者决定不再需要植入物或想要更新设备版本，该过程也是可逆的，因为 Layer 7 是目前唯一一款可安全移除的脑机接口植入物。目前团队已完成高分辨率脑机接口系统的临床前验证，解码动物的神经信号，预计将在 2023 年获得 FDA 的批准开始临床试验。

4.4. Synchron (美国)

Synchron 成立于 2012 年，公司专注于研究微创技术以进行脑机接口植入。由 Synchron 研发的 Stentrode，直径仅为 8 毫米，长度仅为 40 毫米，能够携带 16 个电极传感装置；体积的小巧使得 Stentrode 产品易于植入，仅需 2h 即可完成；此外 Stentrode 产品使用柔性镍钛合金制成，该种材料被广泛应用于植入式医疗器械，具有良好的生物相容性。该接口通过微创手术放置在大脑血管中，经过几天的细胞生

长期，与大脑建立链接，采集人脑数据。Stentrode 连接着 50cm 柔性经血管导线，采集到的人脑信号将通过“皮下隧道”连接到置于胸部皮下的内部遥测单元 (ITU)，再通过红外光无线传输到外部遥测单元 (ETU)，并将其发送到体外设备。由于该设备不是直接插入脑组织，因此大脑输出信号的质量并不完美。

图 22: Synchron 相关产品



数据来源：Synchron、东北证券

Synchron 是第一家获得 FDA 临床研究性器械豁免以进行永久植入 BCI 临床试验的公司。2019 年 Synchron 在澳大利亚对四名渐冻症患者进行了实验，术后患者可完成发送电子邮件甚至推文，以及访问网上银行、完成远程医疗访问等操作。一年期的数据显示该实验未发生任何不良反应。2020 年 8 月，美国食品和药物管理局授予 Synchron 的产品“突破性器械”称号，该称号适用于具有潜力为衰弱或危及生命的疾病提供改善治疗的医疗器械。2021 年，Synchron 成为第一家获得 FDA IDE（临床研究性器械豁免）的公司，可以在人类患者中进行永久植入 BCI 的试验。2022 年 7 月，Synchron 又在美国 FDA 批准下，在美国西奈山医院招募了一名患者进行临床试验，目前未发现不良事件。2023 年 1 月，医学杂志《美国医学会神经病学》发表了对 Synchron 在澳大利亚进行的 BCI 系统试验的长期安全性结果评价。研究发现，该技术仍然安全，在 12 个月的试验期间，其信号质量或性能没有恶化。2023 年 2 月为止，Synchron 的脑机接口技术已经在美国的 3 名患者和澳大利亚的 4 名患者身上得到了应用。

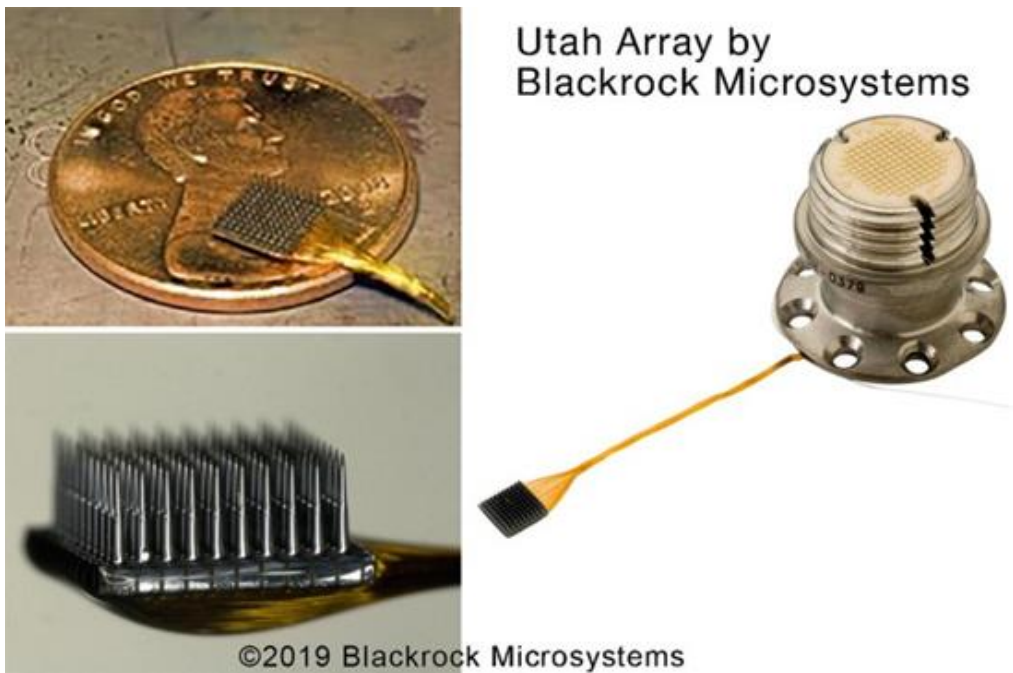
4.5. Blackrock Neurotech（美国）

Blackrock Neurotech 成立于 2008 年，是全球领先的神经工程、神经假体和临床神经科学研究工具的供应商，自 2004 年以来，其产品一直是全球脑机接口领域突破性研究创新的核心。Blackrock 汇聚了来自密歇根大学、犹他大学、纽约大学等知名高校的博士人才，拥有超过 20 年的脑机接口专业知识，技术专长覆盖材料、植入式

电子、微型化、系统集成和规范，产品涵盖了电极、前端探头、数据采集系统、刺激器、无线探头、行为系统、配件、适配器等八大类。Blackrock 为患者、临床决策者和医疗设备公司提供诊断和治疗神经系统的工具和产品，致力于让患有神经障碍的人能够重新走、说、看、听和感觉，目前已经和 500 多家研究和临床机构建立了合作关系。

2022 年，Blackrock 发布了用于脑机接口（BCI）技术的下一代神经接口 —— Neuralace。Neuralace 在 2022 年神经科学学会上正式亮相，其设计比睫毛更薄，采用了多种材料和图案设计，以便与大脑表面的更多区域相连接。超高通道数，灵活的电极提供了一个重要的创新技术，将推动该公司未来 BCI 的研发。10000 多个通道和整个可扩展系统集成在一个非常灵活的蕾丝结构芯片上，它可以捕获比现有电极大几个数量级的数据，从而实现能力和直观性的指数级增长。Neuralace 比睫毛还薄，可以用多种材料和图案进行设计，以与大脑表面的大片区域相连接。由于其结构很薄，Neuralace 可以与大脑的裂缝和沟相吻合，从而增加了数据收集的表面积。此外，Neuralace 的适应性结构也意味着更好的生物相容性。人体的免疫反应对所有神经植入物来说都是一个挑战，但 Neuralace 的多孔结构将允许其与神经组织更自然地融合，支持细胞液的流动和生物分子的扩散，否则可能引发免疫反应和/或炎症。

图 23: Blackrock Neurotech 相关产品



数据来源：Blackrock Neurotech、东北证券

公司预计 Neuralace 将于 2024 年用于神经科学研究：Blackrock 正在准备其基于 NeuroPort Array 的 BCI MoveAgain 作为医疗设备进行商业推出（该产品曾于 2021 年底获得 FDA 突破性设备认定），公司预计 Neuralace 将于 2024 年用于神经科学研究，加入其广泛的临床和研究电极产品组合。该公司随后将探索视觉假体在人类中的应用，目标是在 2028 年实现 Neuralace 视觉假肢的首次人体演示。

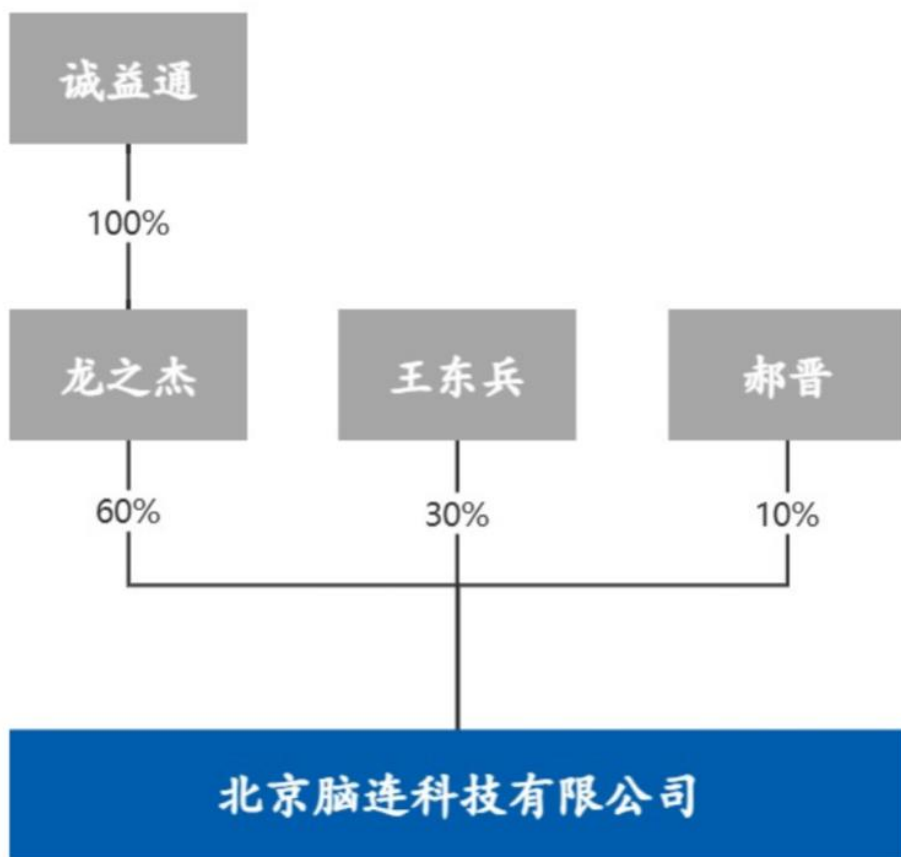
5. A 股脑机接口部分标的

5.1. 诚益通

公司是脑机接口产业联盟理事单位。脑机接口产业联盟是 2023 年 2 月由中国信息通信研究院牵头并联合几十家脑机接口领域高校、科研机构、企业共同发起成立的，2024 年 3 月 11 日，该产业联盟在京召开 2024 年第一次全会，公司成为新增理事单位。公司与高校就脑机接口展开深度合作。公司主要与清华大学、华南理工大学等高校合作。这种产学研相结合的模式，有助于公司在脑机接口领域的技术创新和应用推广。

成立子公司龙之杰(全资子公司)、脑连科技(持股 60%) 探索脑机接口相关技术。龙之杰自 2020 年起，便开启了相关技术探索，目前已研发了经颅磁导航系统及脑部的磁刺激治疗仪等产品，未来公司将持续加强脑科学及脑机接口的相关探索，开展相关技术研究及产品开发工作，为大健康产业带来更多创新性的应用。2024 年 3 月，龙之杰控股子公司“北京脑连科技有限公司”正式成立，公司将依托脑连科技公司平台深入探索脑机接口相关技术，先以龙之杰现有产品为基础，实现非侵入式为主的脑机功能升级，同时支持研发团队探索侵入式脑机技术研发，公司目前正持续与知名高校资深团队深度合作，积极探索脑科学在康复领域及医学方向的应用。

图 24：脑连科技股权结构



数据来源：Wind，东北证券

5.2. 翔宇医疗

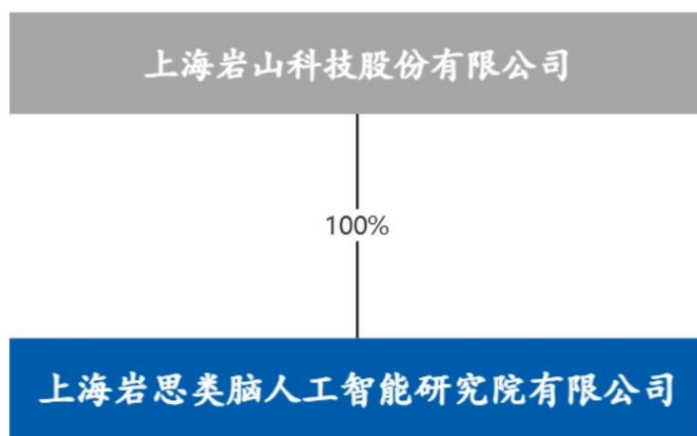
公司与天津大学、西安交通大学等高校合作探索脑机接口技术。在非侵入式脑机接口方面，中国处于领先地位，尤其是天津大学、西安交大、中科院、天坛医院等知名科研机构。天津大学，其脑机接口团队已构建了从芯片、电极、算法到系统的国产全链条非侵入式脑机信息交互技术体系，在脑电识别精度、控制指令数量和信息传输率三项核心指标达到国际最高水平。公司 2017 年和天津大学、西安交通大学等联合承担国家重点专项“生-机智能交互与生机电一体化机器人技术”项目已结项，去年公司牵头与天津大学等承担的又一个国家重点专项“高精度生物感知觉反馈操纵技术与系统”已正式启动。

目前公司已有多项运用国内非侵入脑机接口初代技术的产品，比如已取证的下肢反馈康复训练系统、肌电生物反馈系统，以及正在办理 II 类及 III 类注册证中的产品，实现了脑电的采集、评估及团体的训练等，前者还应用到高校“脑控”和“脑机接口”的研究，通过捕捉瘫痪患者的运动意念，将运动意念与机器结合，激发神经重塑，帮助瘫痪患者重新站立。公司还在脑电采集、新生儿脑功能监测等方面申报了众多专利，且已有专利获得授权，针对新生儿脑监测、大脑注意力问题、焦虑、抑郁及情绪控制等问题，形成脑功能诊疗一体的解决方案。

5.3. 岩山科技

公司于 2023 年 8 月成立了上海岩思类脑人工智能研究院有限公司（以下简称“岩思类脑研究院”）。岩思类脑研究院以脑电大数据与脑电大模型为核心技术底座，面向脑科学和人工智能领域的前瞻性研究，开展脑机接口解码算法与系统、非器质性脑疾病（例如癫痫、抑郁症、严重失眠等）的诊断和评估、大脑内在状态调控等方向的科学研究和产品开发，推动研究成果商业化落地。岩思类脑研究院目前尚处于研究阶段，尚未产生营业收入。

图 25：岩思类脑研究院股权结构



数据来源：Wind，东北证券

5.4. 狄耐克

公司深入开展脑电波交互领域的技术前瞻性研究和战略布局。狄耐克围绕智慧社区和智慧医院领域，以人工智能、脑电波控制技术等先进技术为核心，深入开展大力发展新质生产力的实践。面对脑机交互行业良好的发展机遇，公司积极布局了脑电波交互新兴领域，重点聚焦睡眠健康、专注培优和康复器械三个细分领域，例如开

发基于脑电波监测技术的额贴式睡眠监测仪、脑波监测头环、智能失眠治疗仪、经颅磁脉冲治疗仪等智慧睡眠产品，为公司的持续发展注入强劲动力。以技术突破推动产业升级，致力于开辟全新的市场和业务赛道，引领行业发展新方向。目前，公司脑电波领域产品尚处于研究开发阶段，尚未产生实质性的业务收入。

睡眠治疗解决方案基于脑电波交互技术，实现脑电信号实时捕捉，通过可视化 AI 模型分析睡眠状态和质量，根据患者的睡眠特征和问题定制个性化的 rTMS（重复经颅磁刺激）治疗方案，进行精准的神经调节，实现个性化、精准的睡眠管理与治疗。

图 26：狄耐克睡眠治疗解决方案



数据来源：公司公众号，东北证券

6. 投资建议

目前来看，脑机接口赛道仍处于发展初级阶段，离商业化还有很长的距离要走。目前，脑机接口领域尚未形成一套统一的基础理论架构，也缺少一套科学的评估标准来衡量脑机接口系统的性能。这导致了脑机接口产业的规模不明确，产品合规性问题突出，以及相关法律法规的缺失，使得脑机接口的商业化进程难以顺利推进。为了促进脑机接口的商业化发展，可以深入学习医疗领域在非技术层面的多个方面。虽然脑机接口与传统医疗器械存在差异，但在产业化发展模式上，可以从医疗器械行业借鉴许多有价值的经验，特别是在法规政策、审批程序、伦理标准和服务模式等方面的制度建设。

从市场的维度来看，我们建议去关注脑机接口在医疗场景的落地进度，尤其非侵入式的消费级市场。与严肃医疗领域相比，消费医疗市场以及某些非医疗应用在技术要求、认证标准和法规限制上相对宽松。这使得脑机接口公司能够以较低的研发和合规成本，在较短的时间内进入市场。例如，辅助正念和冥想的设备，这些产品利用脑电波技术帮助用户监测情绪、提高注意力或促进放松，无需经历严格的医疗器械认证流程即可面市。此外，消费级脑机接口产品能够迅速收集用户反馈，并据此快速改进产品。这种敏捷的产品开发方式让企业能够更好地适应市场的变化，不断提升产品的市场竞争力。与那些研发周期长、投资巨大、回报周期长的严肃医疗产品相比，消费医疗产品通常具有更短的开发周期和更快的投资回报。这种快速的市场反馈和盈利模式对于初创企业尤其重要，因为它们经常面临资金紧张的问题，迫切需要在短期内实现盈利，以维持运营并继续投入研发。因此，大部分的企业都是选择这块市场，我们认为前期的热点产品可能也会源于此。

从技术层面来看，我们建议去关注一些上游的电极、芯片、脑电采集设备等在数据采集质量上的突破，这也是近期的热门研发方向。技术发展的核心方向还是让脑电波解析技术变得更加精确，从而让基于脑机接口的消费医疗产品更加高效和用户友好。侵入式技术通过在体内植入电极阵列来直接监测神经元的活动，从而能够提供更清晰的信号，因为它们能更接近大脑活动的核心。然而，长期植入体内可能会引发组织排斥等生物兼容性问题，这可能会影响信号的稳定性和可靠性。延长植入体内电极的使用寿命和解决生物兼容性问题至关重要；对于非侵入式技术，开发新型高灵敏度传感器材料、优化传感器布局和提高信噪比是迫切需要解决的问题。高质量的、精确的神经信号采集是脑机接口技术的基石。只有在信号源的质量得到保证的前提下，后续的处理、解码和应用才有可能实现理想的效果，这也是未来实现严肃医疗及其他深度应用场景的必经之路。

7. 风险提示

脑机接口技术突破不及预期：该技术的发展仍处于初级阶段，许多技术难题尚未攻克。如果脑机接口技术的突破不及预期，可能会给投资者带来较大风险，同时即使技术取得一定突破，如果脑机接口产品的用户体验不佳或者市场需求不足，也可能影响其商业化进程。

政策推动不及预期：政府对新兴技术的支持是推动行业发展的重要因素，包括资金支持、法律法规完善以及其他有助于行业发展的官方支持，如果相关政策未能及时出台，可能会导致行业发展缺乏明确的指导，增加投资的不确定性。

法律合规及伦理风险：随着脑机接口技术的发展，相关的法律和伦理问题也日益凸显。脑机接口技术涉及个人大脑数据的收集和处理，如何确保用户数据的隐私和安全是一个重要问题。同时脑机接口技术可能会引发一系列伦理争议，如人类增强、意识控制等。如果没有严格的伦理审查和监管机制，可能会引发公众对这些技术的担忧和抵制。法律的不明确可能会增加业内企业的运营风险，增加投资的不确定性。

研究团队简介：

吴源恒：武汉大学遥感工程学士，伯明翰大学国际商务硕士，曾在湖北省测绘局从事测绘地理信息数据处理、遥感地理信息解译等工作，对卫星遥感应用产业有较深的认识。2020 年加入万联证券 TMT 团队，2022 年加入东北证券数字经济团队。目前主要研究 5G、卫星互联网、遥感、物联网、光通信等数字经济相关领域。

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，并在中国证券业协会注册登记为证券分析师。本报告遵循合规、客观、专业、审慎的制作原则，所采用数据、资料的来源合法合规，文字阐述反映了作者的真实观点，报告结论未受任何第三方的授意或影响，特此声明。

投资评级说明

股票 投资 评级 说明	买入	未来 6 个月内，股价涨幅超越市场基准 15%以上。	投资评级中所涉及的市场基准： A 股市场以沪深 300 指数为市场基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为市场基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为市场基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为市场基准。
	增持	未来 6 个月内，股价涨幅超越市场基准 5%至 15%之间。	
	中性	未来 6 个月内，股价涨幅介于市场基准-5%至 5%之间。	
	减持	未来 6 个月内，股价涨幅落后市场基准 5%至 15%之间。	
	卖出	未来 6 个月内，股价涨幅落后市场基准 15%以上。	
行业 投资 评级 说明	优于大势	未来 6 个月内，行业指数的收益超越市场基准。	
	同步大势	未来 6 个月内，行业指数的收益与市场基准持平。	
	落后大势	未来 6 个月内，行业指数的收益落后于市场基准。	

重要声明

本报告由东北证券股份有限公司（以下称“本公司”）制作并仅向本公司客户发布，本公司不会因任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本公司具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。

本报告中的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。报告中的内容和意见仅反映本公司于发布本报告当日的判断，不保证所包含的内容和意见不发生变化。

本报告仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价或征价。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的证券买卖建议。本公司及其雇员不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，在任何情况下，我公司及其雇员对任何人使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。

本公司或其关联机构可能会持有本报告中涉及到的公司所发行的证券头寸并进行交易，并在法律许可的情况下不进行披露；可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务、财务顾问等相关服务。

本报告版权归本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用。如征得本公司同意进行引用、刊发的，须在本公司允许的范围内使用，并注明本报告的发布人和发布日期，提示使用本报告的风险。

若本公司客户（以下称“该客户”）向第三方发送本报告，则由该客户独自为此发送行为负责。提醒通过此途径获得本报告的投资者注意，本公司不对通过此种途径获得本报告所引起的任何损失承担任何责任。

东北证券股份有限公司

网址：<http://www.nesc.cn> 电话：95360,400-600-0686 研究所公众号：dbzqyanjiusuo

地址	邮编
中国吉林省长春市生态大街 6666 号	130119
中国北京市西城区锦什坊街 28 号恒奥中心 D 座	100033
中国上海市浦东新区杨高南路 799 号	200127
中国深圳市福田区福中三路 1006 号诺德中心 34D	518038
中国广东省广州市天河区冼村街道黄埔大道西 122 号之二星辉中心 15 楼	510630

