

## 脑机接口：让大脑连接未来

### 风口洞察·脑机接口系列（一）

#### 核心结论

**脑机接口时代正在到来：**1月28日，美国知名企业家埃隆·马斯克表示，他旗下的脑机接口公司Neuralink进行了脑机接口设备的首例人体移植，移植者目前恢复良好。我国脑机接口也处于创新突破关键期，清华大学与宣武医院团队成功进行首例无线微创脑机接口临床试验，四肢截瘫患者实现自主脑控喝水。3月8日，全国人大代表、武汉高德红外股份有限公司董事长黄立介绍称，他带领袁华脑机接口公司团队成功研发65000通道双向的脑机接口芯片，居于国际领先水平。

**脑机接口（BCI）技术作为一种前沿的通信和控制手段，正迅速成为连接大脑与计算机或其他电子设备的重要桥梁。**BCI技术不依赖于传统的大脑输出路径，能够通过直接与大脑进行通信来控制外部设备，展现了巨大的潜力与应用前景。该技术包含侵入式、非侵入式和半侵入式三种主要形式，各自具有特定的优势和应用范围。尽管存在技术发展和应用的潜在风险，如安全性问题和行业政策监管变化的不确定性，但其在多个领域的应用前景依然令人期待。

**脑机接口技术前景广阔，医疗应用领域在未来10年有望突破400亿美元规模。**脑机接口中游已经形成了规模化的脑机采集分析设备生产销售体系，而预计下游市场将成为增长的主要驱动力。脑机接口技术在医疗健康、教育、娱乐、智能家居以及军事领域都展现出广泛的应用潜力。①医疗健康领域特别受益，BCI技术能够辅助残疾人进行康复训练或日常操作，同时可能用于治疗多动症、中风和癫痫等疾病；据麦肯锡测算，全球脑机接口医疗应用的潜在市场规模在2030-2040年有望达到400亿美元。②娱乐方面，结合虚拟现实技术的BCI可以提供更加沉浸式的体验，教育应用包括通过BCI技术实时监测和训练学生的注意力；③智能家居领域，以通过意念控制家居设备，提升生活质量。远期来看，脑机接口将向着人机双向交互的方向发展。

**投资建议：**大脑是人体最神秘且复杂的器官，人类的大脑拥有大约860亿个神经元，脑科学与类脑研究是“十四五”七大科技前沿领域攻关项目之一，脑机接口是当前来看应用有望落地的核心关键技术之一。建议关注0-1阶段相关海外标的，以及国内映射。**海外相关标的：**Neuralink（马斯克）、Synchron（比尔·盖茨和杰夫·贝索斯支持）、Blackrock Neurotech、BrianCo等；**国内相关标的：**南京熊猫、三博脑科、创新医疗、诚益通、博济医药、佳禾智能、博瑞康（非上市）、脑虎科技（非上市，微创侵入式柔性脑机接口）、汉威科技（子公司苏州能斯达，推出类脑相关应用）。

**风险提示：**脑机接口技术处于快速发展阶段，技术与商业化应用存在不及预期的风险。脑机接口涉及到人体健康和伦理等敏感领域，以及存在行业政策监管变化风险。

#### 分析师



蕊蕊 S0800523050004



13916466506



ciweiwei@research.xbmail.com.cn

## 索引

## 内容目录

一、脑机接口概念及运作原理.....	3
脑机接口运作原理 .....	3
侵入式 or 非侵入式？脑机接口电极分类及运用 .....	4
未来电极系统的主要路径 .....	5
临床试验进展：Neuralink 进行了可植入式电极的动物实验 .....	7
可植入式电极面临的核心技术问题 .....	8
二、脑机接口产业链分析.....	9
上游：硬件和软件设备供应 .....	9
中游：脑机接口产品开发 .....	9
下游：脑机接口技术应用 .....	10
三、脑机接口前景广阔.....	11
脑机接口应用未来可期 .....	11
医疗会是核心应用领域 .....	12
四、风险提示 .....	15

## 图表目录

图 1：脑机接口技术流程图 .....	3
图 2：硅基电极示意图 .....	5
图 3：血管支架电极示意图 .....	6
图 4：柔性电极的分类与植入位置 .....	7
图 5：左下角的 Neuralink 公司演示者描述了一只猴子如何使用无线发射器在键盘上“输入”字符 .....	7
图 6：脑机接口技术流程及产业链 .....	9
表 1：脑机接口类型，运作原理及优劣势对比 .....	4
表 2：脑机接口发展规律.....	11

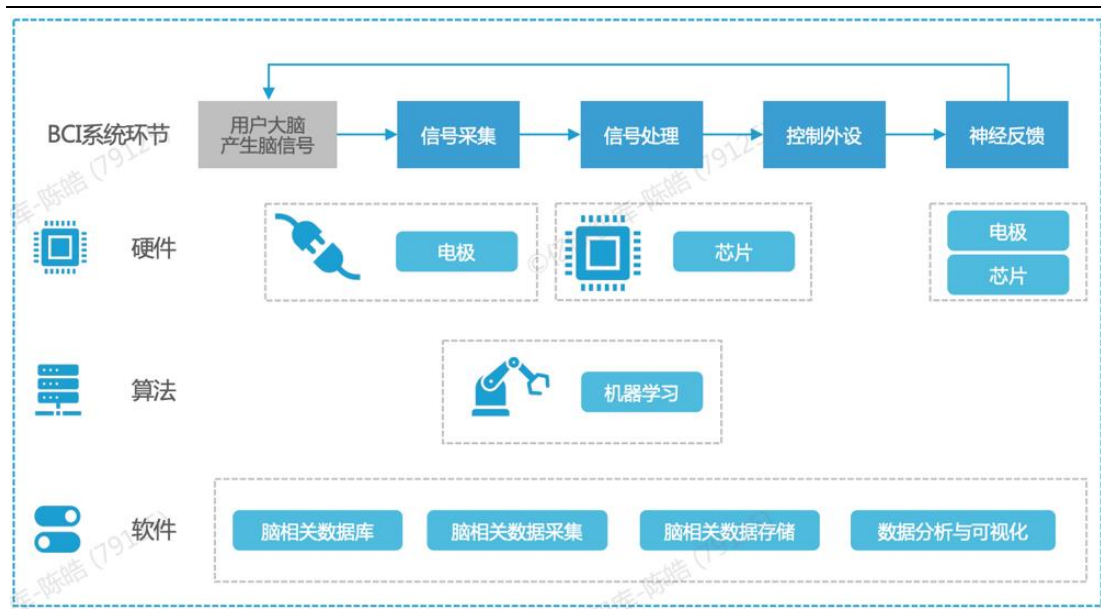
## 一、脑机接口概念及运作原理

### 脑机接口运作原理

脑机接口（BCI）是一种新型的通讯和控制技术，通过建立在大脑与计算机或其他电子设备之间的连接，实现大脑和外部设备之间直接通信的技术。脑机接口系统通常由信号采集部分、信号分析部分、控制设备部分和反馈环节组成。

- 1) **信号采集**，涉及到从大脑中采集电生理信号评估信息采集手段的优劣主要考虑规模、分辨率和侵入性三个方面的标准。电生理信号通常是通过电极来测量的，电极可以是非侵入式、半侵入式或侵入式的。信号采集部分的目标是捕捉与特定思维活动或意图相关的大脑活动。
- 2) 在**信息分析**方面，需要对采集到的原始信号进行过滤、解码和再编码以处理干扰。分析模型是信息解码环节的关键，可采用脑电图（EGG）、皮层脑电图（ECoG）等模型辅助分析。信号处理、分析及特征提取的方法包括去噪滤波、P300 信号分析、小波分析+奇异值分解等。
- 3) 机器会根据从信号分析部分得到的用户意图信息转化为**控制外部设备**的指令，控制设备部分负责将这些意图转化为对外部设备的控制命令。具体的编码形式取决于外部设备的功能，这些设备可以是计算机光标、轮椅、假肢、机器人等。控制设备部分的目标是实现用户意图的精确和实时转换，以便用户可以有效地与外部环境互动。
- 4) 最后，**反馈环节**将用户对他们的控制命令执行情况信息传递给大脑进行反馈。反馈包括包括视觉、触觉、听觉、嗅觉和味觉等感知，帮助用户调整他们的大脑活动以提高控制的准确性。整个脑机接口系统实现了大脑与外部设备的高效交互，具有广阔的应用前景和发展空间。这个环节可以帮助用户有效的学习使用脑机接口系统，是脑机接口系统的重要组成部分。

图 1：脑机接口技术流程图



资料来源：亿欧智库，西部证券研发中心

## 侵入式or非侵入式？脑机接口电极分类及运用

电极在脑机接口系统中用于采集大脑的活动信号。脑机接口的电极分类通常根据侵入性划分为非侵入式（脑外）、侵入式和半侵入式。

- 1) **侵入式脑机接口**通过手术直接将电极植入到大脑皮层，如微电极阵列。这种电极能够获得高质量的神经信号，具有很高的空间分辨率和信号强度，能够捕捉到单个神经元的活动。但是，侵入式电极需要复杂的外科手术，存在较高的安全风险和成本。因此主要用于严重疾病的治疗或高级脑机接口系统的研究。
- 2) **半侵入式脑机接口**需要经过小型外科手术将电极植入到颅腔内，电极直接接触大脑表面但在大脑皮层之外。电极通过皮层脑电图（ECoG）进行信息分析，既获得了较高的信号质量和空间分辨率，又降低了免疫反应和愈伤组织的几率。但电极仍然存在一定的外界干扰和信号质量问题。
- 3) **非侵入式脑机接口**通过附着在头皮上的穿戴设备记录和解读大脑信息，如脑电图（EEG）电极。这种电极的优点是使用方便、安全性高，避免了外科手术的危險和昂贵，但由于颅骨的影响，记录到的信号强度较弱，易受到外界干扰，且空间分辨率较低，因此在信号质量和精确度方面存在局限。

表 1：脑机接口类型，运作原理及优劣势对比

	侵入式脑机	半侵入式脑机	非侵入式脑机
机理	通过手术等方式将电极直接植入患者大脑皮层	通过手术方式植入电极，但电极处于颅腔内，未达到大脑皮层	无需手术，只需将电极附着在头皮上
优势	可以获得高强度、高质量的信号	相较于侵入式脑机接口，免疫反应和炎症反应发生率均更低，安全系数更高。	避免昂贵的手术费用和不良反应的发生
劣势	经济成本和安全风险均较高，极有可能引发免疫反应和炎症反应从而导致信号质量下降	相较于侵入式脑机接口，采集到的信号较弱采集信号弱	
对科学研究的贡献	更微观更精确，擅长提取控制类信号，但采集数据量少，个体特征差异大		更宏观，擅长反映趋势性和用户行为，但不够精确

资料来源：创业邦研究中心《2023 脑机接口行业研究报告》，西部证券研发中心

侵入式、半侵入式的脑机接口各有其优劣势，两种类型的接口不能相互替代，原因在于它们各自在设计和应用上的独特考量。1月28日，马斯克表示他旗下的脑机接口公司 Neuralink 进行了脑机接口设备的首例人体移植，移植者目前恢复良好。清华大学与宣武医院团队也宣布成功进行首例无线微创脑机接口临床试验，四肢截瘫患者实现自主脑控喝水。马斯克 Neuralink 采用的是侵入式方案，我国宣武清华团队将电极放在大脑硬膜外，不会破坏神经组织，所采用的是半侵入式的方案。

- **侵入式脑机接口具备更灵敏的信号检测能力和高分辨率**，能够在神经科学研究中提供精确的数据。对于需要极端精确控制和高级数据分析的应用至关重要，如精细的神经科学实验或特定的医疗程序。
- **半侵入式脑机接口在易用性和安全性方面具有优势**，这使得它们在长期监测和康复训练中特别有价值。半侵入式接口可以放置在头皮之下或者头骨之内，虽然它们的信号传输效率可能低于完全植入的设备，但仍然能够捕捉到有用的脑信号，同时降低了手术风险和维护的复杂性。在减轻患者负担和保证操作安全的前提下，这种技术会比较

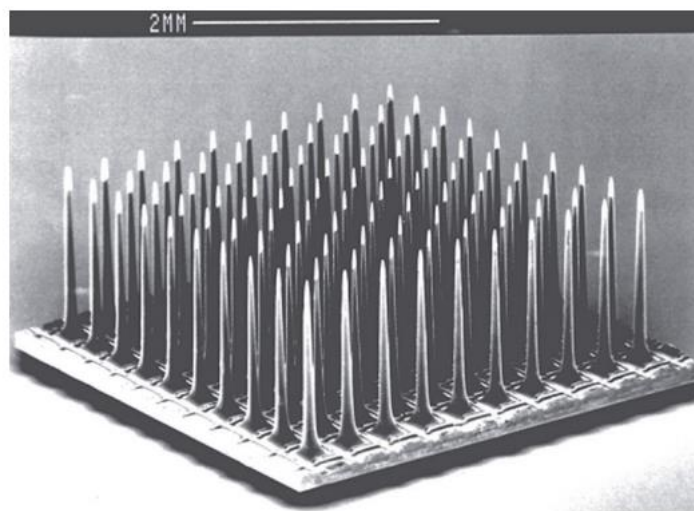
适用于需要持续监测或康复训练的情境。

### 未来电极系统的主要路径

电极植入方式和植入深度会影响信号强弱与对人体的伤害程度。从植入材料上看，可以分为硅基硬质电极、血管支架电极、柔性电极。柔性电极舒适度更高，具有更广阔的商业化前景。

**刚性电极**起源于1949年，已经在科学领域使用多年。随着时代的发展为记录更丰富的神经活动信息，电极的通道数量也逐渐增多。例如现在可以临床使用的**硅基电极**——犹他电极。密歇根型电极阵列（Michigan electrodes）和犹他电极阵列（Utah array），它们都是利用半导体制造技术发展而来的神经电极。犹他电极的电极尖端暴露，尺寸和通道数相对固定，通常为64通道或100通道。由于制造工艺标准化，已被批准临床使用。这两种电极阵列都是神经电极技术的重要里程碑，它们利用半导体制造加工技术逐渐推进，硅基电极实现了对形状和尺寸的精确控制，并且电极的通道数量逐渐上升，尺寸逐渐下降。

图2：硅基电极示意图



资料来源：微米/纳米加工技术国家级重点实验室，西部证券研发中心

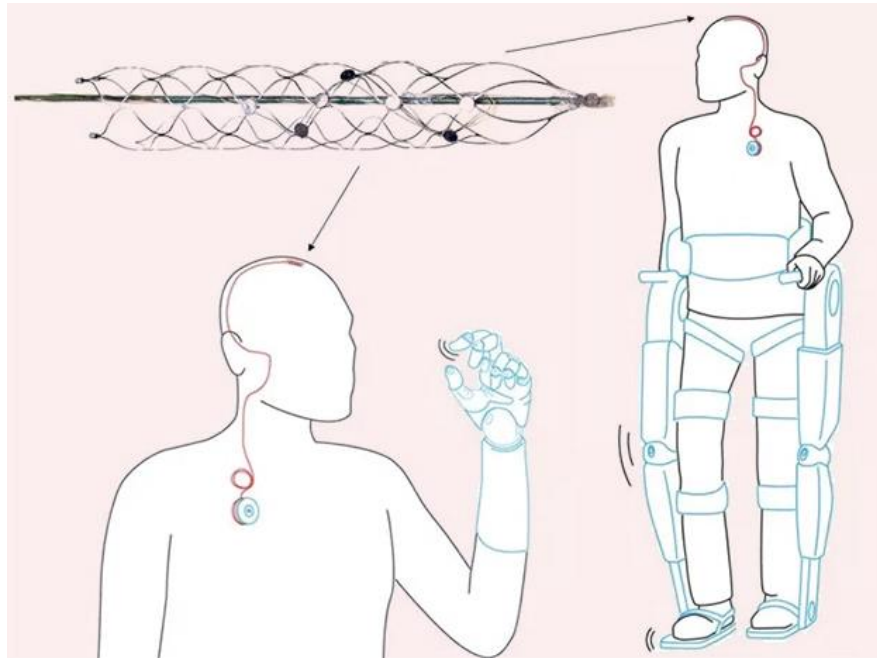
**血管支架电极**由墨尔本大学的神经科学家和工程师团队于2012年开始创立 Synchron 公司并投入开发。这项技术使得无需打开头骨即可将电极植入大脑，为神经科学和医疗领域带来了新的可能性。血管支架电极的工作原理是将电极连接到一根金属网管上，通过颈部颈静脉的一个小切口进入大脑的血管内，通过血管造影术输送至大脑。电极能够测量血管壁附近脑细胞的信号，从而实现了对脑活动的监测和控制。这种设计灵感来源于心脏病学中使用的血管支架技术，采用微创方法通过血管途径将电极送入大脑，避免了传统的开颅手术。血管支架电极通常由柔性且可生物相容的材料制成，如聚合物或薄金属网，可以轻松通过血管导管送达目标位置。到达目标区域后，电极会自动展开并贴合于血管内壁，形成一种支架状结构。这种结构确保了电极的稳定性，并允许其紧密地与周围的神经组织接触，提高信号采集的质量和精度。

血管支架电极的应用范围非常广泛，包括但不限于治疗瘫痪、肢体缺失等疾病，以及在脑机接口技术中的应用。它们能够提供更为精确的脑区定位，使得神经调控治疗更为有效，

同时减少了患者的术后恢复时间和并发症风险。

Synchron 团队在 2016 年首次使用血管支架电极的技术对绵羊进行测试，并在植入的 6 天后清晰地捕捉到了连续的脑信息。2019 年 8 月，他们开始对人类进行植入临床测试。迄今为止，已有 8 名患者被植入，并能够通过 Stentrode 脑机接口使用直接思维无线控制操作系统发送短信、电子邮件、购物和银行。

图 3：血管支架电极示意图

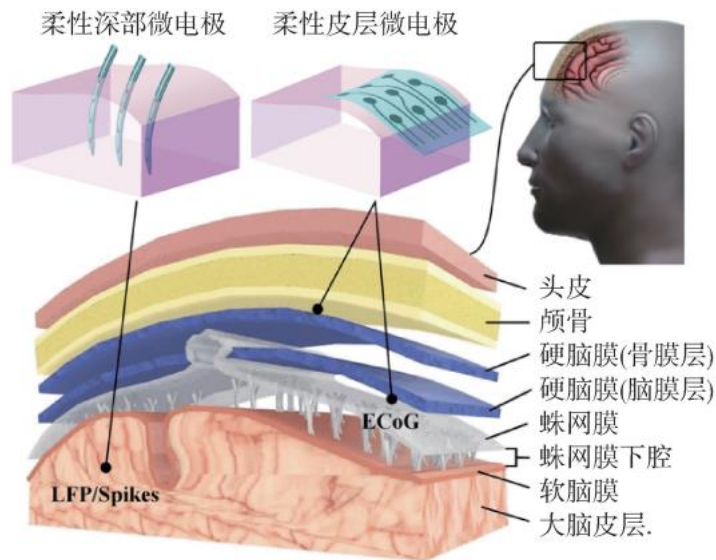


资料来源：中国数字科技馆，西部证券研发中心

**柔性电极是未来的趋势。**低损伤、长期可植入是主要研究趋势，中国信通院表示植入式电极在未来可能趋于柔性化，以适应脑组织。**柔性电极基本基于三明治结构，其中包括两层绝缘层和一层金属导电层。**绝缘层常用的材料包括聚酰亚胺（PI）、聚二甲基硅氧烷（PDMS）、Parylene-C、SU-8 树脂等。导电层多采用 Cr/Au 微线，通过刻蚀部分绝缘层暴露出记录位点。

现如今被研发出的柔性电极大多分为**薄膜电极**，**柔性微丝电极**和**网状电极**三种。**1) 薄膜电极**，主要用于皮层电记录，具有良好的柔性和在特定条件下的透明性，适用于多模态神经界面。**2) 网状电极**，网状电极在 2015 年被 Liebar 团队提出，采用类似于渔网的条带状网格设计。网状电极在植入展开后，具有极低的弯曲刚度，几乎与脑组织一致。并且，能够实现对小鼠皮层长达 8 个月的稳定电记录，展现了与脑组织的完全亲和性。**3) 柔性微丝电极**，当前最值得关注的是柔性微丝电极，其结构类似于密集根型电极阵列，可植入皮层内部较浅的区域。相比于薄膜电极，微丝电极可以植入到皮层内部，并且对植入组织的损伤较小。但由于柔性电极无法通过自身硬度穿过硬脑膜，所以需要借助刚性微针完成植入实验。据上海脑虎科技介绍，**脑虎科技采用蚕丝蛋白技术植入柔性电极。**先用蚕丝蛋白包裹住柔性电极，蚕丝蛋白使其表面坚硬。再把被包裹的电极穿透脑膜，植入完成后蚕丝蛋白会溶解，电极也会恢复之前的柔软状态。

图 4：柔性电极的分类与植入位置

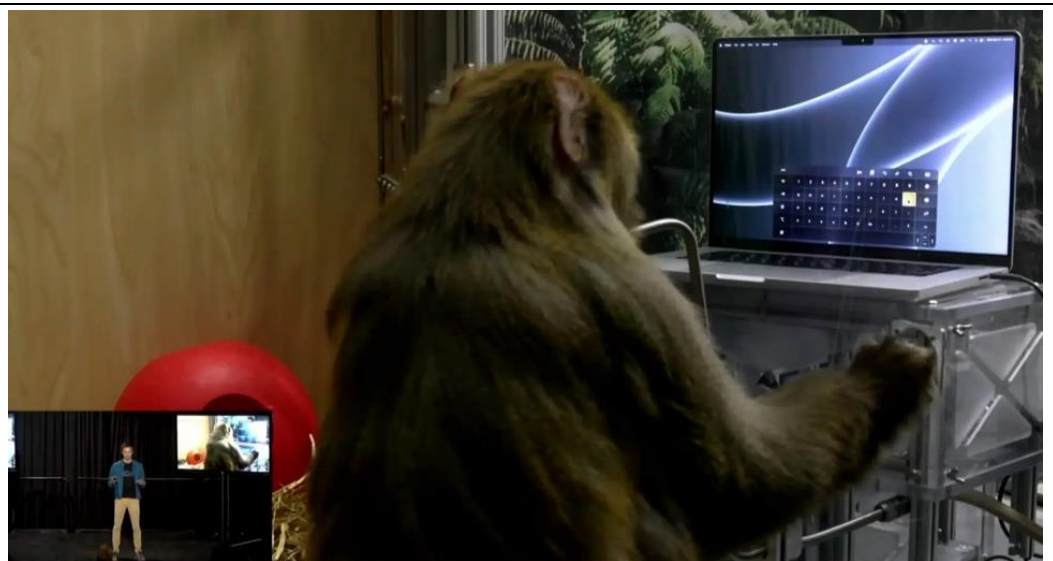


资料来源：植入式柔性神经微电极最新进展[J].微纳电子与智能制造,2022,v.4(03): 8-18., 西部证券研发中心

### 临床试验进展：Neuralink进行了可植入式电极的动物实验

Neuralink 公司开发了 N1 芯片，芯片是 5 个硬币大小的设备，包括了 64 根线和 1024 个通道的微丝电极级记录系统，并且公司研发了相应的手术机器人将电极安装至人脑。只要把芯片固定到机器手臂的针头上，芯片就可以借助机器手臂的针头的硬度穿透脑膜。2017-2020 年间，Neuralink 对猴子进行了植入实验并且做了相关发布会。发布会上称猴子可以通过被植入的 N1 芯片追踪控制、滑动和点击电脑屏幕的鼠标光标，并且拼写下了“can i please have snakes”。在 2023 年末 Neuralink 开展了其公司首例人脑芯片植入，并且在 2024 年 3 月 20 日公开了被植入者的信息。植入者展示了可以通过 N1 芯片追踪鼠标光标并且控制光标玩国际象棋和控制音乐。

图 5：左下角的 Neuralink 公司演示者描述了一只猴子如何使用无线发射器在键盘上“输入”字符



资料来源：Neruallink, 西部证券研发中心

## 可植入式电极面临的核心技术问题

目前脑机接口面临很多关键技术难题等待解决。脑虎科技提出，**核心关键是如何最大限度地利用神经元细胞，同时最小限度地损伤它们**。这个核心问题可以细分为以下挑战，而这些挑战限制了脑机接口技术的发展和广泛应用。

首先，现如今脑机接口面临的最大问题就是**芯片技术问题**，现在市场缺乏针对脑机接口的芯片开发。脑机接口需要集数字处理和计算集成为一体并且可实现小型化、高通量和全植入的芯片，而现在大多数研究都依赖于通用的信号处理芯片。所以只有加大对脑机接口专用芯片研发的投入，发展更高效、低功耗的芯片技术，才能解决这个问题。

其次，**减少植入设备对大脑的损害**是脑机接口技术发展的重要目标。由于为获取清晰、稳定、高准确率的大脑信号，通常需要进行开颅手术来植入设备。现如今的技术只能达到厘米级的开颅窗口，且这种植入可能会导致永久性的脑功能损伤和其他后遗症。所以研究人员需缩小植入创口，争取未来可以使脑机接口的手术风险达到类似于激光近视眼手术的低创伤。

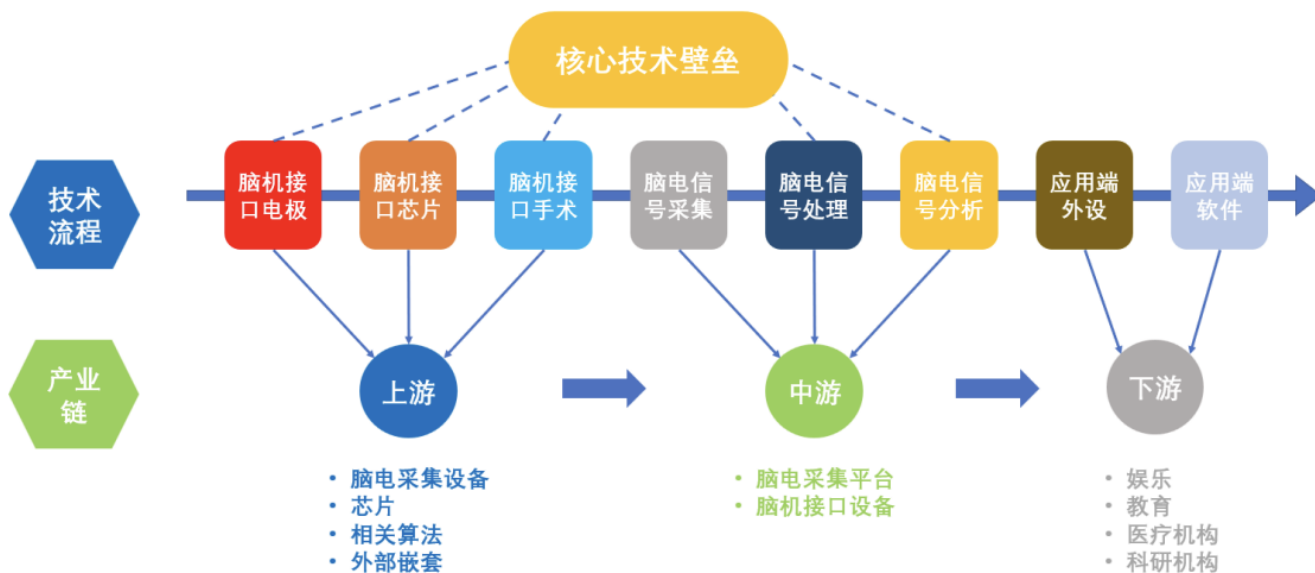
最后，**寻找可以制作脑机载体的高相容性材料**是脑机接口技术的另一个关键挑战。这种相容性材料被植入后需要与神经元、脑组织长期共存，这对材料、表面工艺和生物相容性提出了很高的要求。



## 二、脑机接口产业链分析

脑机接口产业链主要包括上游的硬件和软件设备供应商、中游的脑机接口产品开发商，以及下游的应用领域。

图 6：脑机接口技术流程及产业链



资料来源：清华五道口国家金融研究院，西部证券研发中心

### 上游：硬件和软件设备供应

**电极：**脑机接口技术的核心组件，用于采集脑电信号。根据信号采集方式的不同，主要分为侵入式、非侵入式和半侵入式电极。

**芯片：**用于信号处理的核心硬件。脑机接口芯片主要有通用芯片和 ASIC 两种方案，用于实现更高性能和更低功耗的信号处理。

**人工智能算法：**用于信号解码和特征提取的关键软件技术，是实现脑机接口功能的重要支撑。

**外部设备：**与脑机接口通信或可控制的设备，包括计算机系统、机器人、机械臂、无人机等。

### 中游：脑机接口产品开发

**市场规模：**脑机接口市场处于快速增长阶段，《2022-2027 年中国脑机接口产业发展趋势及投资风险研究报告》显示脑机接口市场年均复合增长率达 13.19%。

**市场结构：**非侵入式脑机接口是主流的研究方向，占据市场的主要份额，侵入式脑机接口技术壁垒和成本较高，市场占比较小。

**投融资情况：**近年来，脑机接口技术备受关注，创业公司数量持续上升，融资事件频发，投资金额加大。

## 下游：脑机接口技术应用

脑机接口的应用领域广泛，涵盖了医疗健康、教育领域、游戏开发和军事等多个领域。

**医疗健康：**脑机接口技术可用于帮助残疾人通过思维控制机器人进行康复训练或日常生活操作，同时也可用于治疗多动症、中风、癫痫等疾病。在医疗方向上，脑机接口技术可分为“强化”和“恢复”两个方向，前者主要是通过植入芯片增强大脑功能，后者主要是通过神经反馈训练恢复运动能力或感知能力。

**娱乐：**脑机接口技术与虚拟现实技术结合，使用户无需额外操控设备，通过思维控制游戏中的角色，获得更加沉浸式的游戏体验。

**教育：**脑机接口技术可用于实时探测和训练学生的注意力值，帮助教师及时了解课堂情况改变教学情况，同时也能帮助学生提高注意力。

**智能家居：**脑机接口技术可用作智能家居系统的遥控器，帮助人们通过意念控制开关灯、开关门、开关窗帘等，进一步控制家庭服务机器人。

**军事：**脑机接口技术可帮助军人操控无人机、无人车、机器人等设备，代替人类从事各种危险任务，也可提升军人的作战能力，如通过控制外骨骼机器人提升单兵作战能力。

### 三、脑机接口前景广阔

#### 脑机接口应用未来可期

根据信息通信研究院在 2023 年《脑机接口技术发展与应用研究报告》称，当前脑机接口市场规模主要集中在中游市场，主要涉及脑机采集分析设备的生产和销售。随着技术的发展和应用领域的拓展，预计未来十年脑机接口将进入应用普及期，下游市场将成为增长的主要驱动力。

表 2：脑机接口发展规律

脑机接口发展规律			
基础研究期 1973-1992	实验验证期 1993-2012	应用期 2013-2032	
		应用萌芽期 2013-2022	应用普及期 2023-2032
基础理论得到发展，相关范式被实验验证	上中游逐渐成熟，实验广泛开展，技术得到积累和迭代	应用解决方案出现和增多，应用范围由医疗扩展到非医疗	应用解决方案效果好，开始成熟商用
1988 年诞生基于 P300 的范式。 1991 年诞生基于感觉运动节律的范式。 1992 年诞生基于视觉诱发电位的范式	植入式:2004 年 BrainGate 系统植入人体代表临床试验开始。多例知名人体和动物实验证实可通过不同范式实现脑控外设、对外交流。 非植入式:上中游开始成熟，相关厂商开始供货以提供实验设备和工具。	植入式:特定疾病治疗成效显著，脑机植入式领域:核心技术逐步攻破，里程碑事件频出。多类产品取得医疗器械资质走向商用。 非植入式:医疗领域数字处方、中风康复设备陆续获得上市准许。工业、教育、非植入式领域:检测脑、作用脑和控制营销领域已经商用，康养、娱乐、交通脑的方案成熟且广泛应用，成为人机领域解决方案日渐增多。	交互新模式催生更多应用。

资料来源：中国信通院，西部证券研发中心

医疗市场和非医疗市场都将迎来显著增长，尤其是医疗市场。据麦肯锡测算，全球脑机接口医疗应用的潜在市场规模在 2030-2040 年有望达到 400 亿美元，其中以中枢神经系统疾病治疗为主的严肃医疗，应用潜在规模在 150 亿美元，而以情绪评估与干预为主的消费医疗，应用潜在规模则大致在 250 亿美元。脑机接口有望取代传统应用，推动市场增长。2022 年全球神经药物市场规模已达千亿美元，脑机接口在神经药物替代方面具有潜力。另外，脑机接口技术可以有效提高生活质量，在睡眠、康养、消费娱乐等领域有望发挥重要作用。

从技术发展趋势来看，脑机接口技术将越来越多地实现人机双向交互。人机结合让残障人群恢复功能或增强功能，改善生活质量。浙江大学的侵入式脑机接口研究团队在感知运动环路方面取得了重要进展。在 2014 年，他们研究了从单向到双向再到闭环的发展路线，并成功将研究成果应用于临床，实现了临床病人意念控制机械手的里程碑。同时，2020 年 1 月，他们还发布了世界首例高龄志愿者临床侵入式 3D 运动控制闭环脑机接口系统，取得了喝水、进食、握手等动作的成功。这些成果为失能者功能重建、老年机能增强等问题提供了希望，并为超高带宽脑机接口系统的发展奠定了基础。此外，机器人化类则有助于提供更个性化的商品和公共服务，降低生产制造过程中的人为安全隐患。2019 年 4 月，加州大学旧金山分校在志愿者大脑运动脑区植入电极，完成了解码脑电波、在大脑中直接合成语音等工作。2019 年 7 月，Facebook 发布了问答脑机接口系统。从应用普及程度来看，脑机接口即将进入应用普及期。其广泛应用于多个行业，激发了人们对其的兴趣，推动了多个领域的研究和应用。

## 医疗会是核心应用领域

医疗领域是脑机接口收入空间最为可观的领域。据中国信息通信研究院的《脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书》中指出，在医疗健康领域中脑机接口的功效可以分为输出功效和刺激功效。其中以输出为主的脑机接口主要被应用于“监测”、“改善/恢复”、“替代”和“增强”4个领域。

- 1) 在“监测”方面，脑机接口可以实时监控人体神经系统状态，对于处于微小意识状态的患者，如深度昏迷患者，脑机接口可以帮助测量并评定他们的意识等级。对于视觉或听觉障碍患者，视觉或听觉诱发类脑机接口可以用于测量他们的神经通路状态，协助医生定位障碍成因。
- 2) 在“改善/恢复”方面，脑机接口可用于多动症、中风、癫痫等疾病的恢复训练。例如，对于中风患者，脑机接口可以采集受损皮层区的信号，刺激失能肌肉或控制矫形器以改善手臂运动。对于癫痫患者，脑机接口技术可以检测到大脑中神经元异常放电，通过电刺激抑制癫痫发作。此外，运动想象类脑机接口可以用于孤独症儿童的康复训练，提升他们对感觉运动皮层激活程度的自我控制能力，从而改善孤独症状。脑机接口技术在医疗领域的应用日益广泛，不仅在传统医院中得到应用，许多创业公司也在研发相关设备，以进一步拓展脑机接口技术在神经系统监测和功能恢复方面的应用前景。
- 3) 在“替代”方面，针对因损伤或疾病而丧失某种功能的患者。例如，失去说话能力的人可以通过脑机接口输出文字或通过语音合成器发声。对于脊髓侧索硬化症、重症肌无力以及高位截瘫等重度运动障碍患者群体，脑机接口系统能够帮助他们将大脑中的信息传达出来，从而在一定程度上恢复沟通能力和生活自理能力。
- 4) 在“增强”方面，通过将芯片植入大脑来增强人类的记忆能力、思维能力等，推动人脑和计算设备的直接连接。基于刺激的脑机接口可用于神经类疾病的康复治疗，例如帕金森疾病、癫痫、轻度认知障碍、阿尔茨海默病、焦虑障碍、抑郁障碍等。

在此基础上，科学家早已在以上几种脑机接口的功效进行广泛运用于脑功能区定位，渐冻症，高位截瘫等与神经相关的疾病中。

**脑功能区定位：**脑功能区定位是指确定大脑中特定功能区域的精确位置的过程。这些功能区域包括控制语言、运动、感觉、视觉、听觉等不同功能的区域。脑功能区定位对于神经科学研究、神经外科手术等领域至关重要。通过脑机接口精确定位这些功能区域，医生和科学家可以更好地理解大脑的工作机制，进行更为精准的脑部手术，以及开发更有效的脑机接口技术。

**渐冻症：**渐冻症，又称为肌萎缩侧索硬化症，被称为世界五大绝症之首。渐冻症是一种进展性的神经退行性疾病，主要影响大脑和脊髓中控制肌肉运动的神经细胞。随着疾病的发展，患者会逐渐出现肌肉无力、萎缩、痉挛等症状，最终导致呼吸困难和吞咽困难。著名的物理学家斯蒂芬·霍金就是渐冻症的患者之一。

《科学进展》曾在2023年底发表过一项来自美国约翰斯·霍普金斯大学的研究成果，该研究开发出一种针对渐冻症的脑机接口。这种脑机接口在3个月内能够保持90%的准确率，无需重新训练或重新校准算法。研究人员在62岁的渐冻症患者蒂姆·埃文斯的大脑

表面放置了两个皮质电图网格，通过这些微型传感器记录神经元产生的电信号。这些信号经过特殊的计算机算法转换，使埃文斯能够控制智能设备，如房间灯和流媒体电视应用程序。测试表明，使用大脑运动和感觉区域的信号产生最佳结果，尤其是与嘴唇、舌头和颈部运动相关的大脑区域。这项研究的成功表明，未来渐冻症患者有望仅使用大脑信号就能控制周围环境，提高生活质量。

**高位截瘫：**高位截瘫是一种由于脊髓损伤导致的运动和感觉障碍，通常发生在颈部脊髓，也称为颈髓损伤。由于颈部脊髓控制身体的上肢和下肢，高位截瘫患者通常会丧失四肢的运动能力和感觉，甚至可能影响到呼吸功能。脊髓损伤导致神经传导受阻，影响大脑与身体其他部分的通信，进而导致肌肉无法正常运动和感觉丧失。世界卫生组织称全球患病人数为千分之一。

清华大学报道了一项由首都医科大学附属北京天坛医院神经外科贾旺教授团队和清华大学洪波教授团队联合完成的研究。该研究利用微创脑机接口技术，成功帮助一名35岁的高位截瘫患者实现了意念控制光标移动。患者在5年前因意外事故导致颈椎C3-C4节段高位截瘫，完全失去自理能力。通过微创无线脑机接口的植入，患者在家庭环境中进行了两个月的康复训练，最终实现了通过意念控制电脑屏幕上光标的移动，甚至能够驱动气动手套抓握物品。这项研究不仅展示了脑机接口技术在神经功能障碍康复领域的应用潜力，也为高位截瘫和其他神经功能障碍患者提供了新的康复治疗方向。

**视觉/听力障碍：**视觉障碍是指由于眼部或视觉系统的损伤、疾病或功能障碍导致的视力下降。视觉障碍的程度可以从轻微的视力减退到完全失明不等。听力障碍是指由于内耳、中耳、外耳或听神经的损伤、疾病或功能障碍导致的听力下降。

据《Cell》杂志报道，在2020年5月14日，美国贝勒医学院的Daniel Yoshor教授领导的团队通过脑机接口技术，在盲人受试者的大脑皮层中成功地使用动态电流电极刺激来呈现指定图像，帮助恢复视觉功能。此外，天津大学神经工程团队与国家儿童医学中心和首都医科大学附属北京儿童医院听力学团队的联合研究，使用脑电技术为人工耳蜗植入儿童提供了有效的听觉康复评估方法，为脑机接口在儿童听力康复方面的应用奠定了基础。这项研究成果发表在权威的国际听力学学术期刊《Hearing Research》上。

**截肢残疾：**截肢残疾是指由于疾病、外伤、先天性缺陷等原因导致的身体部分的缺失。

脑机接口技术在肢体运动障碍诊疗中主要有两种应用方式——辅助性脑机接口和康复性脑机接口。辅助性脑机接口主要用于获取患者的运动意图，以实现对外部设备的控制。例如，BrainCo的BrainRobotics智能假肢就是一款基于脑机接口技术的产品，它能够直接与患者的神经和肌肉对接，实现逼真的控制效果。浙江大学的“双脑计划”则是国内首例植入式脑机接口临床研究，患者可以利用大脑运动皮层信号精准控制外部机械臂与机械手。斯坦福大学的研究团队也在研究如何通过脑机接口技术帮助瘫痪患者重新操控四肢或控制假肢。康复性脑机接口利用大脑的可塑性，通过直接作用于大脑进行反复刺激，以增强神经元间的联系并实现修复。对于脑卒中患者，脑机接口治疗已被证明能够诱导大脑的神经可塑性，重组大脑连接，并促进残存神经通路的重塑，从而改善运动功能。意大利的PERCRO实验室和北京工业大学李明爱团队等都在使用基于运动想象的脑机接口设备辅助患者进行肢体康复训练。此外，康复性脑机接口常与虚拟现实技术结合，创建同步闭环康复系统，提供三维空间的虚拟场景并进行视觉反馈。

**帕金森症：**帕金森病是一种慢性神经退行性疾病，主要影响大脑中控制运动的部分，导致运动障碍、震颤、肌肉僵硬和平衡问题。该疾病通常发生在中老年人群中，其病因尚不完

全清楚，可能与遗传因素、环境因素和老化有关。全球范围内，帕金森病的患病率和发病率都在增加。

脑机接口技术在帮助帕金森患者方面的应用主要集中在通过闭环脑机接口系统调控神经电信号，以改善患者的运动功能和减轻症状。在宣武医院“重拾行走计划”中，科研团队正在开发各种有创的闭环脑机接口技术，其中一种方法是结合丘脑引出的电信号与电磁刺激，用于调控帕金森、癫痫等功能性脑疾病。具体来说，脑机接口系统可以捕捉患者大脑中与运动控制相关的神经活动，然后将这些信号转化为电刺激，并传递到特定的脑区或神经结构，如丘脑。通过精确控制电刺激的强度和频率，可以调节帕金森病患者的神经回路，从而改善运动障碍症状，如震颤、僵硬和运动迟缓。此外，闭环脑机接口系统还可以实时监测患者的神经活动和运动状况，根据反馈调整刺激参数，以优化治疗效果。这种个性化和动态的治疗方式为帕金森病患者提供了更精准和有效的干预手段。目前，基于脑机接口技术的帕金森病治疗仍处于研究和开发阶段，但已显示出巨大的潜力。随着技术的进步和临床试验的推进，未来有望为帕金森病患者带来更加有效的治疗方案。

**阿尔兹海默症：**阿尔兹海默病是一种慢性神经退行性疾病，主要表现为记忆力丧失、认知功能下降、行为和语言能力受损等。它是最常见的老年痴呆症类型，通常发生在65岁以上的老年人中。随着病情的进展，患者的日常生活能力会逐渐丧失，最终需要全天候的护理。全球范围内，阿尔兹海默病的患病率和发病率都在增加。

对于阿尔兹海默病的治疗，脑机接口技术展现出了新的可能性。通过监测和刺激大脑的特定区域，这项技术有望帮助患者改善认知和记忆功能。例如，麻省理工学院的蔡立慧教授团队研究发现，通过光和声音刺激可以促进大脑产生有益的脑电波，从而对认知和记忆产生积极影响。此外，海马体是大脑中与记忆密切相关的区域，南加州大学的研究团队已经在实验中证明了大脑信息可以通过电信号进行复制和移植，从而帮助恢复记忆功能。Elon Musk的Neuralink公司也在探索利用侵入式脑机接口技术帮助失去记忆的患者找回记忆。尽管这些研究仍处于初级阶段，但它们为阿尔兹海默病的未来治疗提供了新的思路和希望。随着技术的进步和更多实验的开展，脑机接口技术在阿尔兹海默病治疗领域的应用前景值得期待。

**慢性疼痛：**纽约大学格罗斯曼医学院的研究人员使用一个闭环脑机接口（BMI）系统，通过将伤害感受的神经代码与治疗性皮层刺激耦合来实时调节大鼠的感官-情感体验。在实验中闭环脑机接口有效地抑制了急性机械性疼痛或热性疼痛以及慢性炎症性疼痛或神经性疼痛引起的感觉和情感行为。该方法为脑机接口缓解慢性疼痛提供了蓝图，并可进一步用于疼痛机制的研究。

**抑郁症：**脑机接口技术在精神疾病的治疗领域展现出前所未有的潜力。传统的治疗方法对难治性抑郁症往往效果不佳，然而脑机接口技术通过捕捉和分析脑电信号，提供了一种新的治疗途径。Elon Musk的Neuralink公司的技术团队在试图研究侵入式脑机接口对精神分裂症的治疗方法。在中国，上海瑞金医院成立了脑机接口及神经调控中心，启动了针对难治性抑郁症的脑机接口神经调控治疗临床研究，通过多模态情感脑机接口和脑深部电刺激方法治疗难治性抑郁症。国家心理健康和精神卫生防治中心也计划发起基于5G通讯网络的国家心理健康和精神卫生服务管理体系构建及应用试点项目，以提高精神疾病的预防与筛查效率。总之，随着脑机接口技术的不断发展和完善，未来在精神疾病的诊疗领域将有更多的应用和创新。

#### 四、风险提示

脑机接口技术处于快速发展阶段，技术发展与商业化应用存在不及预期的风险；脑机接口涉及到人体健康和伦理等敏感领域，以及存在行业政策监管变化风险。

## 西部证券—投资评级说明

行业评级	<b>超配:</b> 行业预期未来 6-12 个月内的涨幅超过市场基准指数 10%以上
	<b>中配:</b> 行业预期未来 6-12 个月内的波动幅度介于市场基准指数-10%到 10%之间
	<b>低配:</b> 行业预期未来 6-12 个月内的跌幅超过市场基准指数 10%以上
公司评级	<b>买入:</b> 公司未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 20%以上
	<b>增持:</b> 公司未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%到 20%之间
	<b>中性:</b> 公司未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数变动幅度相差-5%到 5%
	<b>卖出:</b> 公司未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数大于 5%

报告中所涉及的投资评级采用相对评级体系，基于报告发布日后 6-12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期当地市场基准指数的市场表现预期。其中，A 股市场以沪深 300 指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 指数为基准。

## 分析师声明

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

## 联系地址

联系地址：上海市浦东新区耀体路 276 号 12 层

北京市西城区丰盛胡同 28 号太平洋保险大厦 513 室

深圳市福田区深南大道 6008 号深圳特区报业大厦 10C

联系电话：021-38584209

## 免责声明

本报告由西部证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告仅供西部证券股份有限公司（以下简称“本公司”）机构客户使用。本报告在未经本公司公开披露或者同意披露前，系本公司机密材料，如非收件人（或收到的电子邮件含错误信息），请立即通知发件人，及时删除该邮件及所附报告并予以保密。发送本报告的电子邮件可能含有保密信息、版权专有信息或私人信息，未经授权者请勿针对邮件内容进行任何更改或以任何方式传播、复制、转发或以其他任何形式使用，发件人保留与该邮件相关的一切权利。同时本公司无法保证互联网传送本报告的及时、安全、无遗漏、无错误或无病毒，敬请谅解。

本报告基于已公开的信息编制，但本公司对该等信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断，该等意见、评估及预测在出具日外无需通知即可随时更改。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。对于本公司其他专业人士（包括但不限于销售人员、交易人员）根据不同假设、研究方法、即时动态信息及市场表现，发表的与本报告不一致的分析评论或交易观点，本公司没有义务向本报告所有接收者进行更新。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供投资者参考之用，并非作为购买或出售证券或其他投资标的的邀请或保证。客户不应以本报告取代其独立判断或根据本报告做出决策。该等观点、建议并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素，必要时应就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业财务顾问的意见。本公司以往相关研究报告预测与分析的准确，不预示与担保本报告及本公司今后相关研究报告的表现。对依据或者使用本报告及本公司其他相关研究报告所造成的一切后果，本公司及作者不承担任何法律责任。

在法律许可的情况下，本公司可能与本报告中提及公司正在建立或争取建立业务关系或服务关系。因此，投资者应当考虑到本公司及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。对于本报告可能附带的其它网站地址或超级链接，本公司不对其内容负责，链接内容不构成本报告的任何部分，仅为方便客户查阅所用，浏览这些网站可能产生的费用和风险由使用者自行承担。

本公司关于本报告的提示（包括但不限于本公司工作人员通过电话、短信、邮件、微信、微博、博客、QQ、视频网站、百度官方贴吧、论坛、BBS）仅为研究观点的简要沟通，投资者对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“西部证券研究发展中心”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。如未经西部证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司保留追究相关责任的权力。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

本公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格，经营许可证编号为：91610000719782242D。