

机械设备

人形机器人行业报告六：伺服电机再探讨

电机技术日趋成熟，伺服电机在众多种类产品中脱颖而出。电机一般指的是电动机，也称马达，其作用是将电能转化为机械能，产生驱动力矩，作为用电器和机械设备的动力源。电机的种类繁多，按用途可分为动力电机和控制电机两大类，而控制电机又可分为步进电机、伺服电机、力矩电机等。在数字控制的发展趋势下，运动控制系统中大多采用步进电机或全数字式交流伺服电机作为执行电动机，而由于伺服电机在控制精度、过载能力、速度响应等许多性能方面表现优异，被广泛应用于工业自动化、机器人等领域。对于人形机器人而言，单台人形机器人电机用量有望超40个，而具备更高控制精度的伺服电机将是未来人形机器人的主要配置，占据绝大部分用量份额。此外，对于步进电机而言，步进电机可以实现无位置传感器的位置控制，并保证平稳运行，因此在人形机器人眼部安装步进电机具备较好适配性。

人形机器人时代来临，伺服电机需求量有望迎来指数级增长。对于伺服电机而言，主要包括直流伺服电机和交流伺服电机，而直流伺服电机根据有无碳刷又分为有刷电机和无刷电机，此外以空心杯电机、伺服电缸、无槽无刷电机等为代表的高效率、轻量化、低成本的电机有望成为产业发展方向。从产业链角度看，特斯拉将于9月30日发布特斯拉 Bot，人形机器人时代有望开启。根据其公布的参数看，人形机器人关节预计在40个以上，我们按照40个关节数量计算，则对应40台伺服电机用量，随着人形机器人销量的逐步攀升，电机需求量有望迎来指数级增长。保守估计，按照在人形机器人销量达到100万台，单台人形机器人电机用量40台的中性假设下，我们预计对应机器人伺服电机用量有望达到4000万台。

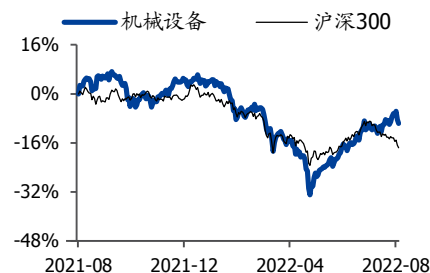
空心杯电机和伺服电缸契合人形机器人要求，产品需求有望持续向上。对细分种类的电机而言，更加灵活的应用场景驱动下人形机器人手指应具备更高的自由度，因此，人形机器人手指关节需配备更多小型化且能够输出较大力的电机，属于直流永磁伺服电动机的空心杯电机完美契合人形机器人对应手指关节轻量化、高精度等需求。而将伺服电机与丝杠一体化设计的模块化产品伺服电缸，具备噪音低，节能，干净，高刚性，抗冲击力，等优势，相比于传统的液压驱动方式，其具备较好的降功耗、提效率的优势，符合人形机器人产品未来的要求。根据我们的测算，按照销量100万台，单台人形机器人电机空心杯电机和伺服电缸均为6个的用量假设下，对应人形机器人空心杯电机/伺服电缸用量有望达到600/600万台。

重点公司推荐：电机作为机器人产业链的核心部件，人形机器人时代来临背景下需求量有望迎来指数级增长，建议重点关注国内优质的伺服电机供应商：**1) 江苏雷利：**中高端微特电机领军企业；**2) 鸣志电器：**混合式步进电机龙头，加码无刷电机打造解决方案供应商。

风险提示：特斯拉人形机器人延迟发布风险；销量不达预期、经济下行超预期。

增持（维持）

行业走势



作者

分析师 张一鸣

执业证书编号：S0680522070009

邮箱：zhangyiming@gszq.com

分析师 刘高畅

执业证书编号：S0680518090001

邮箱：liugaochang@gszq.com

研究助理 欧阳蕊

执业证书编号：S0680121120007

邮箱：ouyangrui3@gszq.com

相关研究

- 《机械设备：人形机器人行业报告三：重视减速器环节机会》2022-07-18
- 《机械设备：人形机器人深度二：TESLA BOT 硬件拆解》2022-07-04
- 《机械设备：特斯拉人形机器人即将推出，相关产业链有望持续受益》2022-06-21



内容目录

一、电机技术日趋成熟，伺服电机和步进电机是行业主流.....	4
1.1 历经 200 年技术更迭与产业磨砺，电机逐步走向成熟.....	4
1.2 人形机器人新增电机需求，伺服电机在众多分类中脱颖而出.....	5
二、人形机器人时代来临，伺服电机需求有望爆发.....	7
2.1 伺服电机种类众多，高效+轻量化+微型化产品是未来发展方向.....	7
2.2 仿真人形结构带动伺服电机用量迎来指数级增长.....	10
2.3 人形机器人手指关节自由度提升，空心杯电机具备较强契合度.....	13
2.4 伺服电机缸符合人形机器人降能耗目标，产品需求有望持续推升.....	15
三、重点公司推荐.....	18
3.1 江苏雷利：中高端微特电机领军企业.....	18
3.2 鸣志电器：混合式步进电机龙头，加码无刷电机打造解决方案供应商.....	19
风险提示.....	21

图表目录

图表 1: 电机发展历程.....	5
图表 2: 电机分类（按照用途划分）.....	5
图表 3: 步进电机结构图.....	6
图表 4: 伺服电机结构图.....	6
图表 5: 伺服电机与步进电机性能对比.....	6
图表 6: 人形机器人电机使用类型.....	7
图表 7: 四自由度仿真眼球硬件结构.....	7
图表 8: 伺服电机产业链.....	7
图表 9: 中国伺服电机市场规模.....	8
图表 10: 中国伺服电机市场竞争格局（2021H1）.....	8
图表 11: 伺服电机产业链.....	8
图表 12: 碳刷产品展示图.....	9
图表 13: 有刷电机和无刷电机构造.....	9
图表 14: 空心杯电机和普通电机结构存在差异.....	9
图表 15: 传统有槽无刷直流电机结构.....	10
图表 16: 无槽无刷直流电机结构.....	10
图表 17: Tesla Bot 硬件配置.....	11
图表 18: 多关节（六轴）机器人和 SCARA 机器人展示.....	11
图表 19: Delta 机器人结构图.....	11
图表 20: 人形机器人电机用量较传统工业机器人大幅增长.....	12
图表 21: 工业机器人伺服电机需求量.....	12
图表 22: 人形机器人电机需求量的敏感性分析（万台）.....	13
图表 23: 五自由度手指机器人展示.....	13
图表 24: 有刷空心杯电机结构图.....	14
图表 25: 无刷空心杯电机结构图.....	14
图表 26: 微特电机下游应用领域分布.....	14
图表 27: 微特电机市场竞争格局.....	14

图表 28: 鸣志电器部分类型产品价格展示	15
图表 29: 人形机器人空心杯电机需求量的敏感性分析 (万台)	15
图表 30: 波士顿动力 BigDog 足部理想轨迹图	16
图表 31: 波士顿动力机器人的期望驱动力仍以液压驱动为主	16
图表 32: 高性能电缸结构图	16
图表 33: 直线式电缸与平行式电缸的典型内部结构	17
图表 34: 人形机器人伺服电缸需求量的敏感性分析 (万台)	17
图表 35: 江苏雷利营业收入 (亿元)	18
图表 36: 江苏雷利归母净利润及增速 (亿元)	18
图表 37: 江苏雷利各业务收入占比	18
图表 38: 江苏雷利综合毛利率及各产品毛利率	18
图表 39: 公司股权结构图	19
图表 40: 鸣志电器营业收入 (亿元)	19
图表 41: 鸣志电器归母净利润 (亿元)	19
图表 42: 鸣志电器各业务收入占比	20
图表 43: 鸣志电器综合毛利率及分产品毛利率	20
图表 44: 公司部分产品种类展示	20

一、电机技术日趋成熟，伺服电机和步进电机是行业主流

1.1 历经 200 年技术更迭与产业磨砺，电机逐步走向成熟

“电机”广义上来说包括电动机、发动机和原动机等所有可实现电能、机械能相互转化的装置，但通常情况下所谓电机指的是电动机。电动机也称马达，它的作用是将电能转化为机械能，产生驱动力矩，作为用电器和机械设备的动力源。电机发展至今已有 200 多年的历史，其发展历程可分为以下四个重要阶段。

第一阶段：基本理论建立，直流电机产生（1821-1870）。1821 年法拉第制成了世界上第一个实验电机的模型，并在 1831 年发现了电磁感应定律。1832 年皮克西利用磁铁和线圈的相对运动，制成了一台原始型旋转磁极式直流发电机，这就是现在直流发电机的雏形。1834-1870 年期间，发电机领域产生了三项重大发明和改进，即永磁体转变到电流线圈、西门子兄弟从蓄电池他励发展到发电机自励、格拉姆提出环形绕组，此后发电机与电动机的可逆原理被广泛接受，两者同步发展。

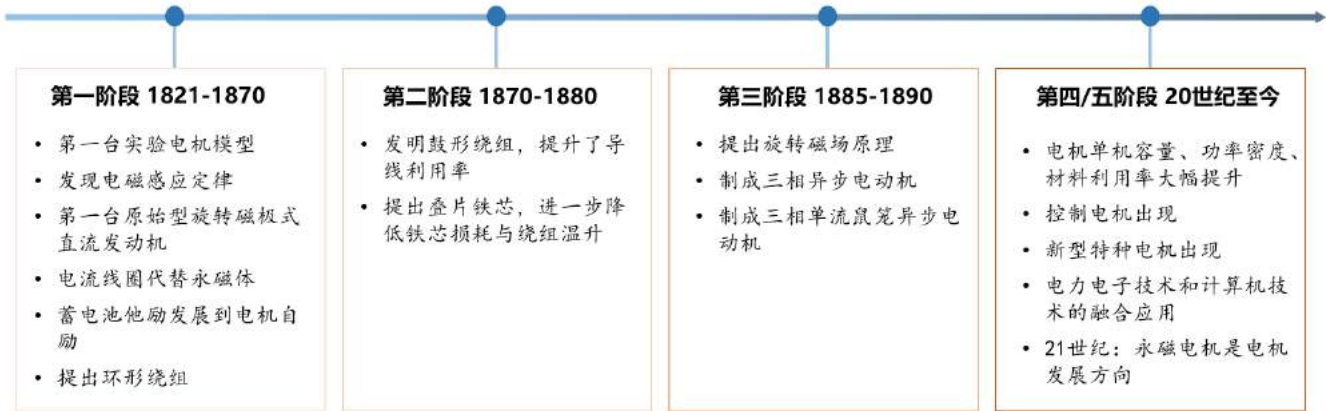
第二阶段：直流电机趋于成熟，交流电机开始受到关注（1870-1880）。1873 年，海夫纳阿尔泰涅克发明了鼓形绕组，提高了导线的利用率。1880 年爱迪生提出采用叠片铁芯，进一步降低了铁芯损耗与绕组温升。鼓形电枢绕组和有槽叠片铁芯结构一直沿用至今。随着直流电机的广泛应用，其固有缺点也很快暴露出来，主要问题在于远距离输电、电机换向存在困难，因此 19 世纪 80 年代后，人们注意力逐渐向交流电机方向转移。

第三阶段：交流电机诞生并不断向前发展（1885-1890）。1885 年加利莱奥费拉里斯提出了旋转磁场原理，并研制出厂二相异步电动机模型，1886 年移居尼古拉·特斯拉也独立地研制出二相异步电动机。1889 年多利沃多勃·罗沃利斯基制成一台三相交流单鼠笼异步电动机，与单相和两相系统相比，三相系统效率高、用铜少，电机性价比、容量体积比和材料利用率均有明显改进。交流电机的研制和发展，特别是三相交流电机的研制成功为远距离输电创造了条件，把电工技术提高到一个新的阶段。

第四阶段：电机理论和设计、制造技术逐步完善（20 世纪至 21 世纪）。进入 20 世纪，工业的高速发展不断对电机提出新的要求，而自动化方面的特殊需要则使控制电机和特种电机迅速发展。同时，这一时期电机理论不断丰富，材料和冷却技术不断改进，交、直流电机的单机容量、功率密度与材料利用率都有显著提高。

第五阶段：永磁电机是 21 世纪电机发展方向（21 世纪至今）。进入 21 世纪，专用性、轻量化、高性能是电机行业发展方向。在专门化的基础上，专用电机的节电潜能很大。而永磁电机控制性能好，节能且体积小，可通过频率的变化调速，又容易做成低速直接驱动等优点，在医疗器械、视听产品、计算机、数控机床、电动车辆、航空航天产品等领域得到广泛应用。同时轻量化需求下，属于永磁伺服电机中的小功率的空心杯电机等微型电机开始得到各个行业的重视。

图表 1: 电机发展历程



资料来源:《电机学》，国盛证券研究所

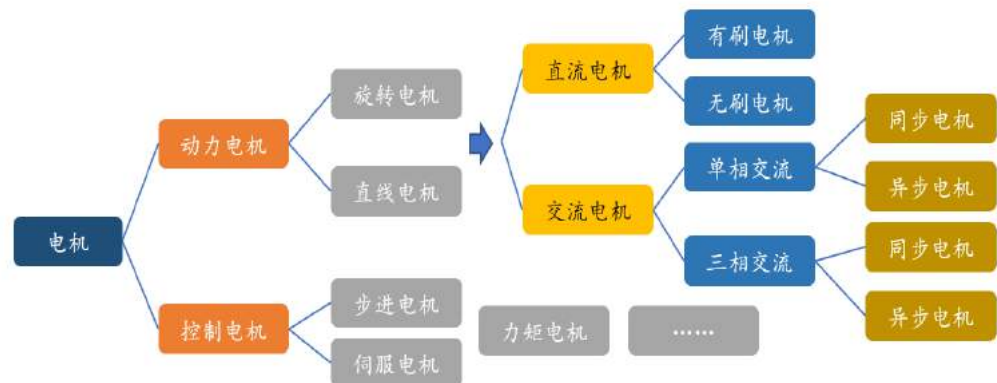
1.2 人形机器人新增电机需求，伺服电机在众多分类中脱颖而出

电机种类繁多，按用途可分为动力电机和控制电机两大类，动力电机功率较大，侧重于电机的启动、运行和制动方面的性能指标，而控制电机输出功率较小，侧重于电机控制精度和响应速度等指标。

动力电机：按运动方式，可分为旋转电机和直线电机。旋转电机按电压性质分为直流电机与交流电机，其中直流电机按内部有无碳刷可分为有刷电机和无刷电机两种；交流电机按结构可分为同步电机和异步电机，按相数不同可分为三相交流电机和单相交流电机。交流电机按其转子结构不同，还可分为笼型和绕线转子型，其中笼型三相异步电动机为应用最广的动力电机。

控制电机：根据控制方法与用途的不同，可分为步进电机、伺服电机、测速电机、力矩电机（也叫直驱电机）等，其中步进电机是一种电脉冲信号转换成角位移或者线位移的电动机，每一个脉冲信号，对应的有一个角度，转速与脉冲频率有关。整体看，控制电机相较于动力电机，增加了控制电路，但电机部分与动力电机并无本质区别，仍可按动力电机的分类方式进行划分。

图表 2: 电机分类（按照用途划分）

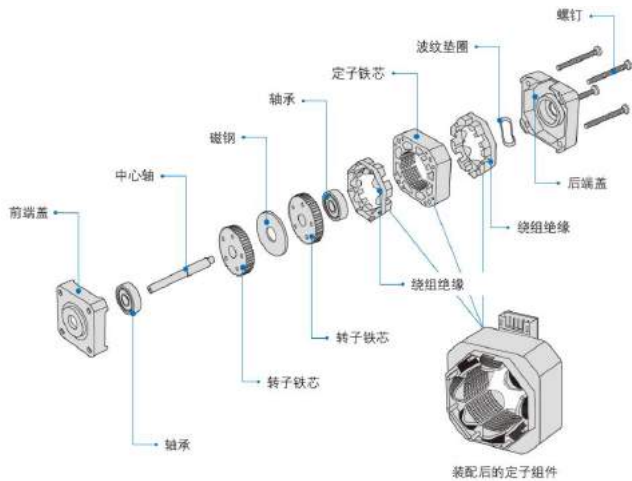


资料来源:工控网，国盛证券研究所

伺服和步进电机是控制电机下的主要产品，其中伺服电机优势更加明显。步进电机是一

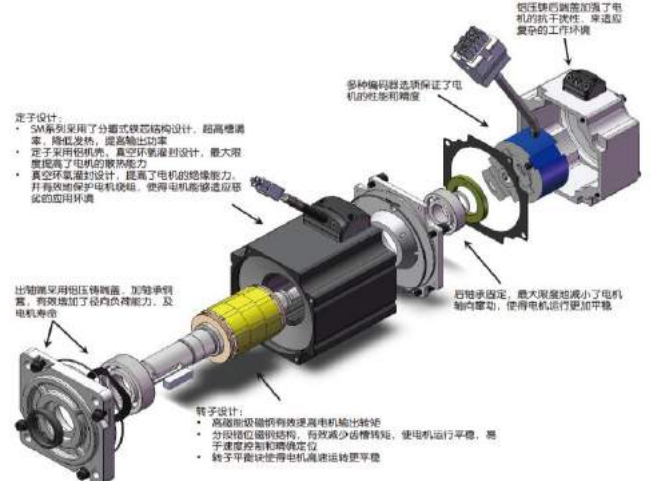
种将电脉冲信号转换成相应角位移或线位移的电动机，每输入一个脉冲信号，转子就转动一个角度或前进一步，其输出的角位移或线位移与输入的脉冲数成正比，转速与脉冲频率成正比。伺服电机则是一种补助马达间接变速装置，其可以控制速度，位置精度非常准确，伺服电机分为直流和交流伺服电动机两大类，其主要特点是当信号电压为零时无自转现象，转速随着转矩的增加而匀速下降。在数字控制的发展趋势下，运动控制系统中大多采用步进电机或全数字式交流伺服电机作为执行电动机。两者在控制方式上相似（脉冲和方向信号），但在使用性能和应用场合上存在着差异。步进电机通常为开环控制，易出现失速或与控制器失去同步的情况。伺服电机为闭环控制，通过实时的闭环信号反馈来调整，实现更精密的控制。综合来讲，伺服电机在控制精度、低频特性、过载能力、速度响应等许多性能方面都优于步进电机，更适用于工业自动化、机器人等领域，但步进电机具备性价比优势，在一些要求不高的场合仍可使用。

图表 3: 步进电机结构图



资料来源: 鸣志电器官网, 国盛证券研究所

图表 4: 伺服电机结构图



资料来源: 鸣志电器官网, 国盛证券研究所

图表 5: 伺服电机与步进电机性能对比

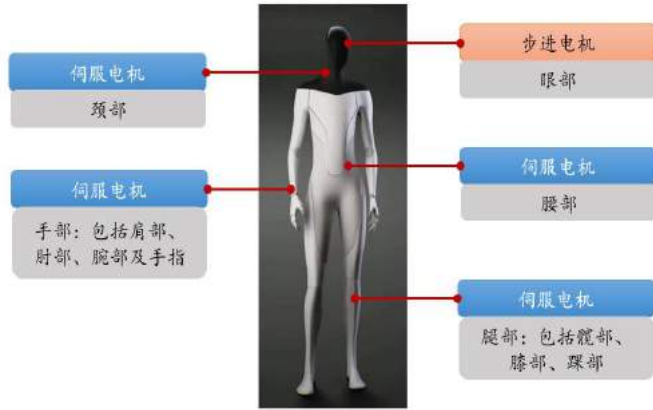
性能	步进电机	伺服电机
控制精度	取决于相数和拍数, 两相混合式步进电机的步距角一般为 1.8°、0.9°	取决于编码器, 2500 线增量式编码器电机精度为 0.036°
低频特性	低速时易出现低频振动现象	具备振动抑制功能
矩频特性	输出力矩随转速升高而下降, 低速时转矩较高, 高速时转矩会急剧下降	恒力矩输出
过载能力	一般不具有过载能力	具有较强的过载能力
运行性能	开环控制, 启动频率过高或负载过大易出现失步或堵转的现象, 停止时转速过高易出现过冲现象	闭环控制, 一般不会出现失步或过冲现象
速度响应性能 (从静止加速到工作转速)	200~400 毫秒	<10 毫秒 (以鸣志 400W 交流伺服电机为例)
悬停能力	停转时转矩达到峰值, 保持力矩较大, 可以在不使用刹车的情况下保持在停止位置	一般没有保持力矩, 依靠动态调节保持在停止位置
经济性	结构简单, 成本较低	结构较复杂, 成本较高

资料来源: 鸣志电器官网, 国盛证券研究所

人形机器人新增更多电机需求, 伺服电机和步进电机均具备适配性。特斯拉预计在 9 月 30 日的特斯拉第二个人工智能日 (AI Day) 发布人形机器人产品, 人形机器人有望催生更大的电机用量需求。从电机用量来看, 单台人型机器人电机用量超 40 个, 而对于所使用的电机产品而言, 具备更高控制精度并广泛使用于工业机器人、通用自动化领域的伺服电机将是未来人形机器人的主要配置。此外, 对于步进电机而言, 其在人形机器人

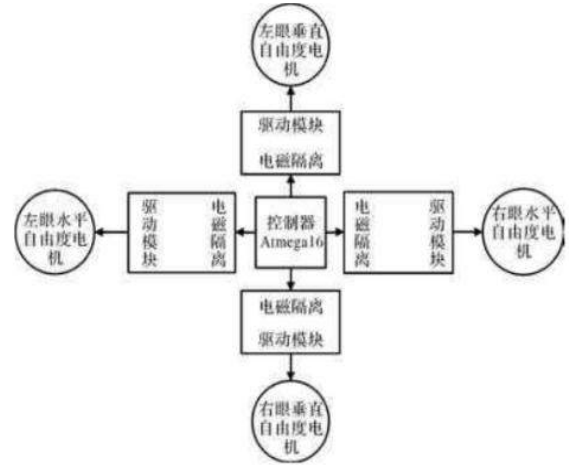
的眼睛部位具备较好适配性，目前现有学术研究和实验设计中，在机器人仿生眼中使用步进电机是较为理想和可靠的选择，因为仿生眼在需要具有人类一样的视觉功能，并且体积较小，要求驱动摄像头的驱动机构具备小体积并能提供各自的两个自由度运动（180°），而步进电机可以实现无位置传感器的位置控制，并保证平稳运行，因此在人形机器人眼部安装步进电机具备较好适配性。

图表 6: 人形机器人电机使用类型



资料来源：特斯拉，国盛证券研究所

图表 7: 四自由度仿真眼球硬件结构



资料来源：《仿生眼球用四自由度步进电机驱动控制系统研究》，国盛证券研究所

二、人形机器人时代来临，伺服电机需求有望爆发

2.1 伺服电机种类繁多，高效+轻量化+微型化产品是未来发展方向

伺服电机产业链层次明晰，稀土磁材是必备原材料。伺服电机产业链涉及稀土磁材、电子原器件、伺服系统制造、机器人等，上游来看，伺服电机行业的上游主要是稀土磁材和电子零部件等其他材料，稀土磁材是伺服电机制造过程中必需的重要原材料。中游来看，除伺服电机制造以外，伺服系统还包括伺服驱动器制造以及数控系统研发等环节。下游来看，伺服电机可以广泛应用于医疗器械、机器人制造、汽车制造和工业装备制造等领域，具备广阔的应用前景。

图表 8: 伺服电机产业链

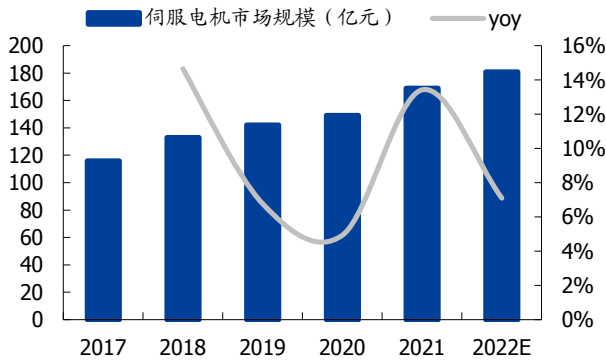


资料来源：前瞻产业研究院，国盛证券研究所

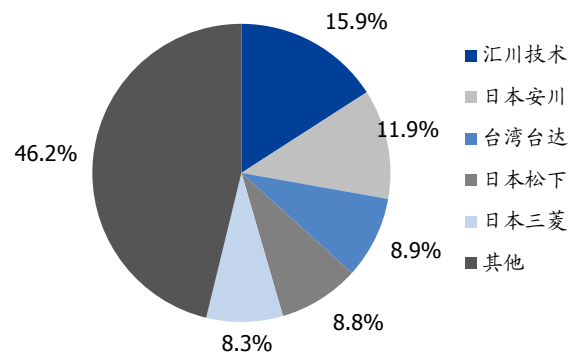
国内伺服电机市场规模近 200 亿元，汇川技术引领国产替代浪潮。近看来，我国伺服电机市场规模稳步增长，根据工控网数据，2021 年我国伺服电机市场约 169 亿元，2017-2021 年 CAGR 约为 10%，受到下游工业机器人、医疗器械、电子制造设备等产业扩张的影响，伺服电机在新兴产业应用规模也不断增加。从竞争格局上看，汇川技术已占领国内龙头地位，根据 MIR DATABANK 的数据显示，2021 年上半年，国产品牌中，汇川技术在国内市场份额首次排名第一，市占率达 15.9%，除汇川外，排名靠前的电机厂商依然以日本和台湾为主，包括日本安川（11.9%）、台湾台达（8.9%）、日本松下（8.8%）和日本三菱（8.3%），行业 CR5 为 53.8%，集中度较高。但从国内其他厂商竞争力角度看，在汇川引领下，众多国内电机企业开始奋起直追，包括禾川科技、江苏雷利、鸣志电器在内的众多国内品牌都推出自己成熟的伺服电机产品，并开始在市场上崭露头角。

图表 9: 中国伺服电机市场规模

图表 10: 中国伺服电机市场竞争格局 (2021H1)



资料来源: 工控网, 国盛证券研究所



资料来源: MIR DATEBANK, 国盛证券研究所

从分类上看，普通伺服电机、舵机和空心杯电机是主要类型。普通的伺服电机主要分为直流伺服电机和交流伺服电机，其中直流电机是将直流电能转换为机械能，其按励磁方式分为永磁、他励和自励 3 类，此外，对于直流电机而言，其还可以按照有无电刷（碳刷）分为有刷直流伺服电机和无刷直流伺服电机。

图表 11: 伺服电机产业链



资料来源: 知乎, 国盛证券研究所

✓ **碳刷:** 碳刷是用于电机的换向器或滑环上，作为导出导入电流的滑动接触体。其导电，导热以及润滑性能良好，并具有一定的机械强度和换向性火花的本能，几乎所有的有刷电机都使用碳刷，它是有刷电机的重要组成部分。根据有无碳刷，直流伺服电机分为有刷电机和无刷电机，有刷电机成本低，结构简单，控制容易，需要维护，但由于维护不方便（换碳刷），产生电磁干扰，为了提高直流电机的使用寿命、

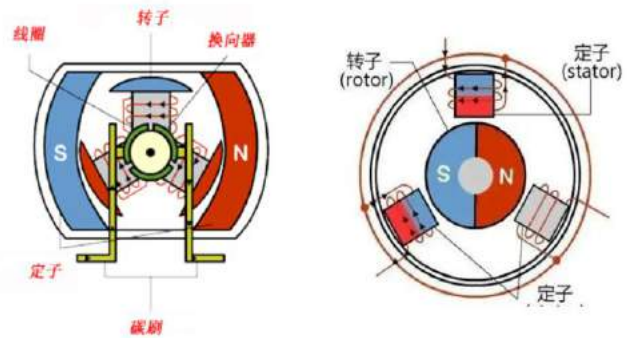
运转稳定性以及降低直流电机的噪声和电磁干扰，无刷直流电机有逐步取代有刷电机的趋势。对于交流伺服电机来说，一般不用恒磁场，所以用不着换向器，也就无须电刷，故其也是无刷电机一种，分为同步和异步电机。

图表 12: 碳刷产品展示图



资料来源: 工控网, 国盛证券研究所

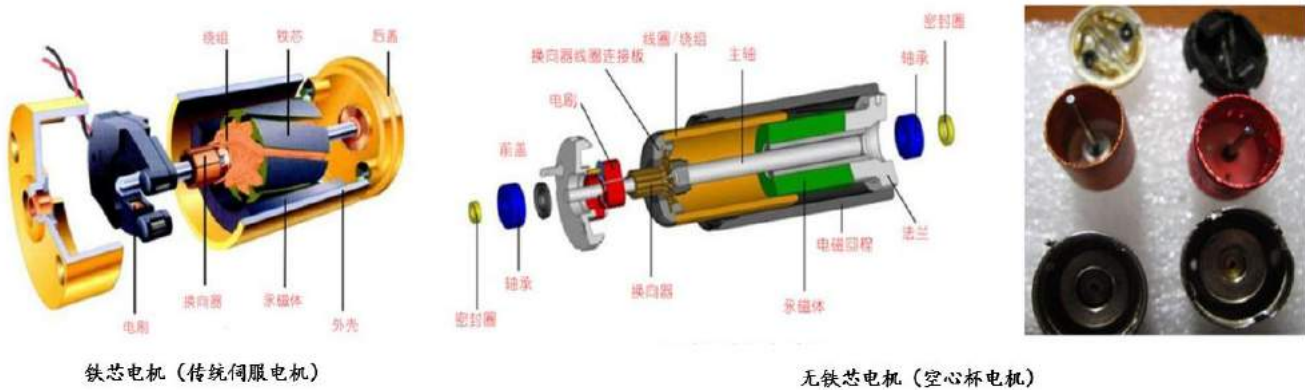
图表 13: 有刷电机和无刷电机构造



资料来源: 天孚电机官网, 国盛证券研究所

- ✓ **空心杯电机是直流电机的特殊形式。** 伺服电机中还存在着一种直流永磁的伺服控制电机，即空心杯电机，其体积较小且效率较高，属于微特电机的一种。空心杯电动机由机壳、线圈、后盖、磁体和换向器组成，线圈看起来像一个水杯，故称空心杯，其在结构上突破了传统电机的转子结构形式，采用的是无铁芯转子，也叫空心杯型转子，这种转子结构彻底消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗，同时其重量和转动惯量大幅降低，从而减少了转子自身的机械能损耗。此外，根据有无电刷，空心杯电机亦可分为有刷空心杯电机和无刷空心杯电机。

图表 14: 空心杯电机和普通电机结构存在差异



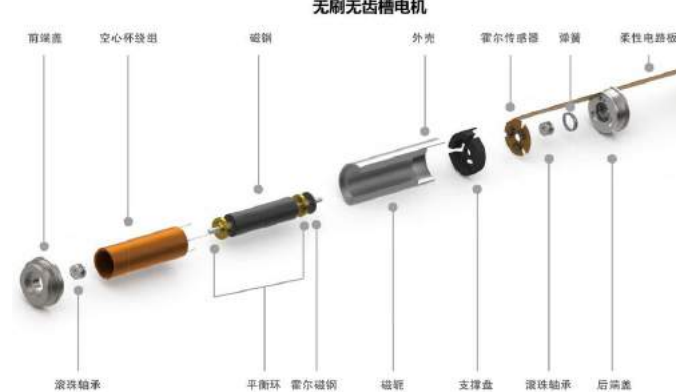
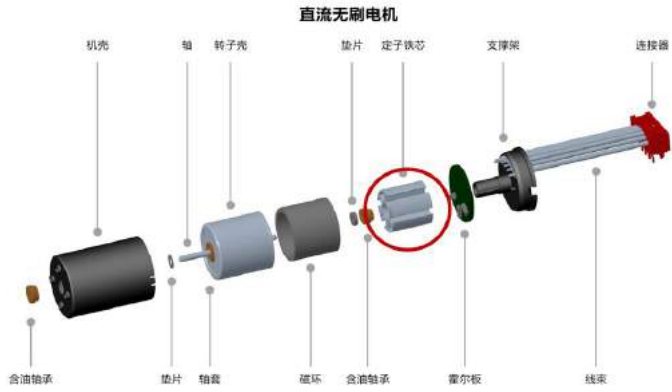
资料来源: 天孚微电机, 国盛证券研究所

以空心杯电机为代表的新型电机具备高效、轻量化、微型化等特点，其亦是伺服电机的未来发展方向。在全世界节能环保理念广泛普及的背景下，高效率环保节能电机变成全世界电机产业发展规划的共识，空心杯电机、直流无刷电机、伺服电机等电机均具备更高功率密度，符合绿色环保和低碳理念，未来在耗电量大、使用频率高的家电、机器人等领域还将逐步渗透。此外，工业机器人、家用电器等设备越来越趋于高效节能化、小型化及智能化，电机作为执行元器件的重要组成部分，对轻量化、微型化和响应速度的要求也越来越高。以无槽无刷电机为例，近年来无刷直流电机已越来越多地替代有刷直流电机，尤其在高速和长使用寿命的应用场景中，而无刷直流电机的铁芯为了安放电子绕组，一般采用开槽设计，而铁芯的齿槽在磁场中会产生齿槽转矩，造成电机转矩波动、

振动和噪音，影响电机在速度控制系统中的低速性能和精度。因此无槽设计的无刷直流电机逐渐被开发出来，与传统有槽无刷电机相比，其具备体积更小、成本低、功率密度更高、过载能力更强等多个优点。整体看，我们认为，以空心杯电机、伺服电缸、无槽无刷电机等为代表的新型电机在技术路径上正逐步向高效率、轻量化、低成本的方向持续突破，这种技术导向有望成为一种产业发展趋势，各类产品也将在在机器人、家电、汽车等领域进一步加速渗透。

图表 15: 传统有槽无刷直流电机结构

图表 16: 无槽无刷直流电机结构



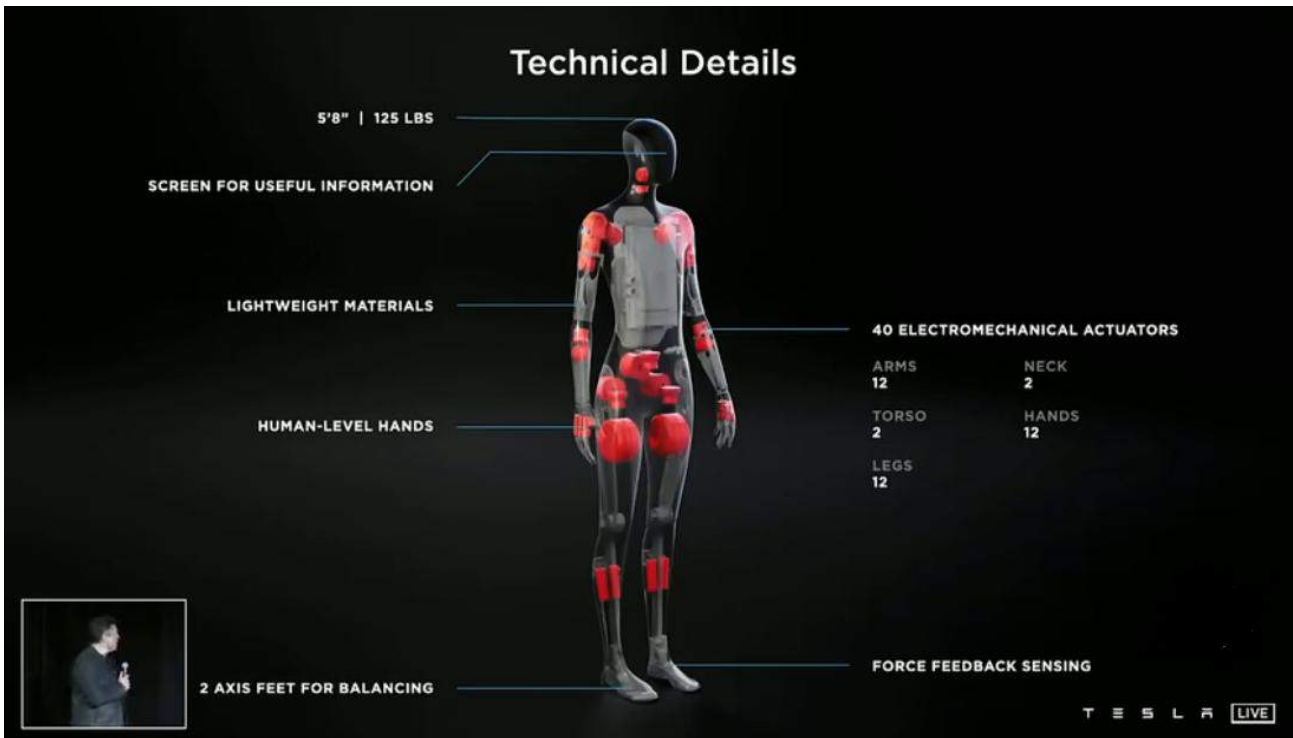
资料来源：鸣志电器官网，国盛证券研究所

资料来源：中骏电机，国盛证券研究所

2.2 仿真人形结构带动伺服电机用量迎来指数级增长

特斯拉 Bot 即将推出，人形机器人带来更大想象空间。特斯拉预计在 9 月 30 日的特斯拉第二个人工智能日（AI Day）发布人形机器人产品。这款机器人运用了特斯拉最先进的 AI 技术，基于特斯拉在自动驾驶领域的技术积累进行开发，被称为是 2022 年最重要的产品开发项目，甚至可能比汽车业务更重要。从已公布的参数看，特斯拉人形机器人主要配置包括：1) 身高 5 尺 8 寸（约 1.73 米）；2) 头部带有显示屏，用以展示信息；3) 采用 Autopilot 的摄像头作为视觉感知传感器，共八个摄像头；4) 采用 FSD Computer 作为计算核心；5) 脖子、胳膊、手、腿、躯干累计搭载了 40 个机电传动器；6) 搭载多相机神经网络、基于神经网络的规化、自动标记、算法训练等；7) 以轻量材料打造，最高时速达 5 英里/小时。

图表 17: Tesla Bot 硬件配置

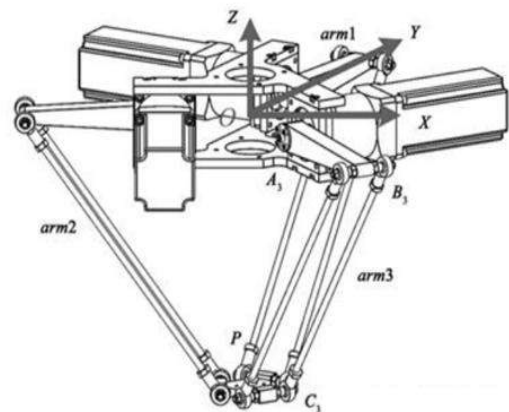


资料来源: 特斯拉, 国盛证券研究所

单台人形机器人电机用量超 40 个, 较传统工业机器人的电机用量大幅增长。从传统工业机器人看, 其可以分为多关节、SCARA、delta、协作机器人几大类, 我们按照其各自的自由度(关节数量)进行细分, 多关节机器人和协作机器人多以六轴为主, 单台六轴机器人的六个自由度对应 6 台电机需求, SCARA 机器人拥有三个互相平行的旋转轴和一个线性轴, 故 4 个自由度对应 4 台电机, delta 机器人是并联结构, 由三条从动臂组成, 对应 3 台电机, 同时在旋转末端执行器位置配备第四台电机, 目前新一代的 Delta 机器人一般是用直驱力矩电机取代伺服电机的设计, 但数量上看单台机器人电机用量仍为 4 个。而特斯拉 Optimus 将搭载约 40 个电机, 实现对颈部、手臂、手指、躯干、腿部等部位的控制, 电机数量较传统工业机器人和服务机器人有大幅提升。

图表 18: 多关节(六轴)机器人和 SCARA 机器人展示

图表 19: Delta 机器人结构图



资料来源: 百度百科, 国盛证券研究所

资料来源: CSDN, 国盛证券研究所

图表 20: 人形机器人电机用量较传统工业机器人大幅增长

机器人类型	电机数量(台)
多关节机器人(六轴)	6
SCARA 机器人	4
协作机器人(六轴)	6
Delta 机器人	4
人形机器人	大于 40

资料来源: 特斯拉, Wind, 国盛证券研究所

- **工业机器人: 伺服电机用量需求保持稳定增长。**根据 MIR 数据, 2021 年我国工业机器人销量为 25.7 万台, 其中多关节/SCARA/delta/协作机器人占比分别为 61.9%/29.1%/6.0%/3.0%。假设各类机器人销量占比保持基本稳定, 预计 2025 年我国工业机器人销量有望突破 45 万台。同时, 我们做出如下假设: 1) 假设多关节机器人和协作机器人均为六轴机器人; 2) delta 机器人均采用伺服电机而非新一代的力矩电机; 3) 按照多关节/SCARA/delta/协作机器人的单台伺服电机用量 6/4/4/6 台进行计算。在此假设下, 预计 2025 年我国工业机器人电机用量有望超过 240 万台, 整体需求保持稳定向上增长。

图表 21: 工业机器人伺服电机需求量

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
多关节机器人(六轴)					
销量(万台)	15.9	18.9	21.4	24.3	27.0
单台电机用量(台)	6	6	6	6	6
伺服电机需求量(万台)	95.2	113.1	128.7	145.6	161.9
SCARA 机器人					
销量(万台)	7.5	9.0	10.4	11.6	12.8
单台电机用量(台)	4	4	4	4	4
伺服电机需求量(万台)	29.8	35.8	41.5	46.5	51.2
delta 机器人					
销量(万台)	1.5	1.9	2.1	2.4	2.7
单台电机用量(台)	4	4	4	4	4
伺服电机需求量(万台)	6.2	7.4	8.6	9.8	11.0
协作机器人(六轴)					
销量(万台)	0.8	1.2	1.8	2.4	3.2
单台电机用量(台)	6	6	6	6	6
伺服电机需求量(万台)	4.6	7.4	10.7	14.7	19.2
合计(万台)	135.8	163.8	189.4	216.5	243.2

资料来源: MIR, 国盛证券研究所

注: 测算过程包含主观假设, 结论与实际可能存在误差

- **人形机器人: 伺服电机需求量呈指数级增长, 产业链迎来黄金时代。**人形机器人关节预计在 40 个以上, 我们按照 40 个关节数量计算, 对应 40 台电机用量, 包括颈部、手臂、手指、躯干、腿部等各个部位, 我们在人形机器人销量达到 100 万台的中性假设下, 预计对应人形机器人电机用量达到 4000 万台, 较传统工业机器人电机需求量大幅增长。考虑到不同部位配置的电机功率、大小存在差异, 其价格也存在差异, 我们假设单台电机均价 1200 元, 则单台人形机器人电机价值量有望达到 4.8 万元, 按 100 万台销量计算, 人形机器人有望带来 480 亿的增量市场空间。

图表 22: 人形机器人电机需求量的敏感性分析 (万台)

销量 单台用量	20	50	100	200	500
38	760	1900	3800	7600	19000
40	800	2000	4000	8000	20000
42	840	2100	4200	8400	21000

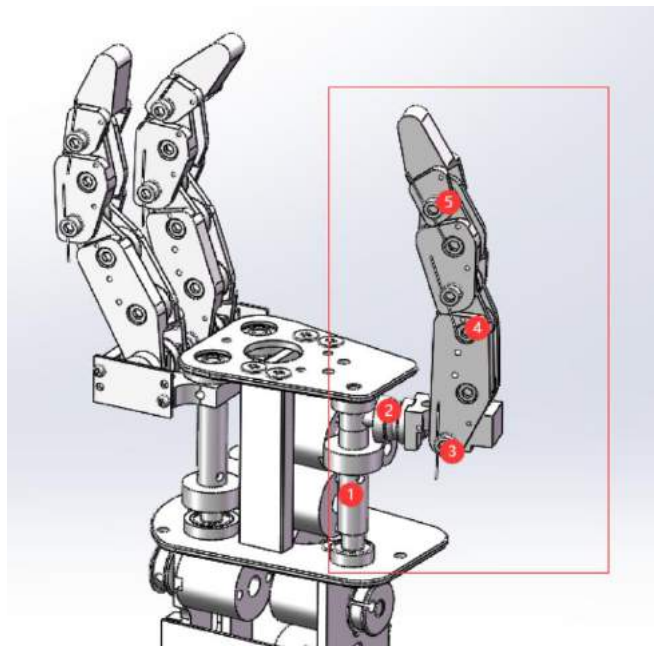
资料来源: wind, 国盛证券研究所

注: 横轴为特斯拉人形机器人销量, 纵轴为单台人形机器人配备电机数量

2.3 人形机器人手指关节自由度提升, 空心杯电机具备较强契合度

更加灵活的应用场景驱动下人形机器人手指应具备更高的自由度。人形机器人的重点在于替代人的部分工作场景, 同时进行更好的交互以辅助人进行工作, 因此其会面临更加多样化、更加复杂的应用场景, 故赋予其手指关节更高自由度使得其具备抓取、传递等基本功能是关键。考虑到人形机器人的仿真性, 其手指关节处需要配备体积小且能输出较大力的电机。我们认为, 具备节能、灵敏且体积较小的空心杯电机和将伺服电机与丝杠集成的模块化产品电缸, 天然适配于人形机器人手指关节。

图表 23: 五自由度手指机器人展示



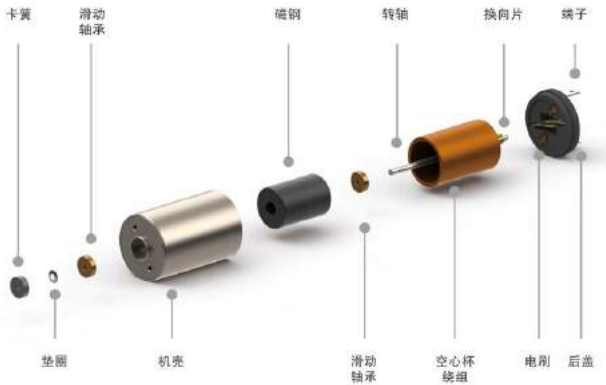
资料来源: CSDN, 国盛证券研究所

- **空心杯电机: 优点明显, 与人形机器人完美适配。**空心杯电动机属于微型直流永磁伺服电动机, 它可以利用永磁铁产生磁场, 从而实现直流供电。与传统电机的不同之处在于, 空心杯电机结构为转子无铁芯, 转子无铁芯的结构设计一是可以降低电机质量, 二是可以降低电机的机械损耗, 便于延长电机寿命, 从根本上杜绝了因铁芯而产生的铁耗, 提升效率。空心杯电机可以分为无刷空心杯电机和有刷空心杯电机, 作为高效率的能量转换装置, 优点明显: 1) 节能性: 能量转换效率高, 其最大效率一般在 70%以上; 2) 控制特性: 起动、制动迅速, 响应极快, 在高速运转状态下, 可以方便地对转速进行灵敏的调节; 3) 运行稳定且十分可靠, 转速波动很小, 能够容易的控制 在 2%以内; 4) 重量轻, 体积小: 空心杯电动机的能量密度大幅度提高, 与同等功率的铁芯电动机相比, 其重量、体积减轻超过三分之一。由于空心

杯电动机克服了有铁芯电动机不可逾越的技术障碍，其在军事、各类工业产品、高科技、民用电器等各领域应用广泛。而对工业机器人、仿生义肢等，空心杯电机凭借其快速响应的随动系统能够很好发挥作用。对于人形机器人而言，空心杯电机除快速响应外，体积小、重量轻、节能等各种特点都符合人形机器人需要，随着人形机器人时代来临，空心杯电机有望迎来需求爆发。

图表 24: 有刷空心杯电机结构图

图表 25: 无刷空心杯电机结构图



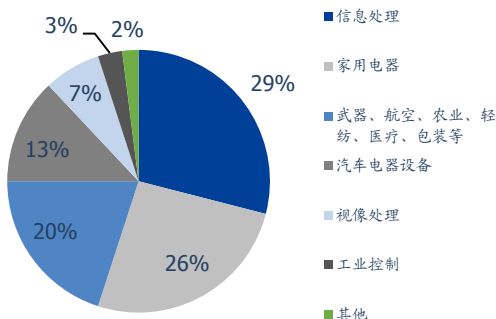
资料来源: 鸣志电器官网, 国盛证券研究所

资料来源: 中骏电机官网, 国盛证券研究所

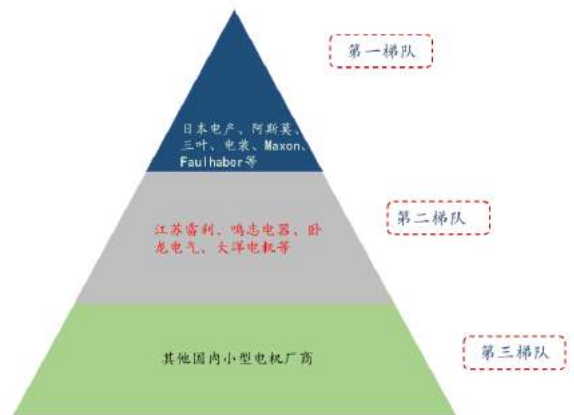
海外品牌占据高端市场，国内产品性价比优势明显。由于空心杯电机属于微特电机的一种，而微特电机属于技术密集行业，其兴起于瑞士，发展于日本，而后随技术扩散逐步向发展中国家转移，因此我国的空心杯电机产品较国外还存在一定差距。从微特电机的下游看，信息处理、家用电器和武器、航空等领域占据主要份额，而目前在 IT 微特电机领域，日本企业相对领先，其中硬盘主轴电机是技术含量较高的微电机，Nidec（电产）、inebea（美蓓亚）都是代表厂商，手机用线性震动电机仅 SEMCO（三星电机）等少数企业可以供货。在汽车微特电机领域，同样是日本企业主导市场，Nidec（电产）、ASMO（阿斯莫）、Mitsuba（三叶）、Denso（电装）占据主要市场份额，空心杯电机作为电机的新的发展方向，国外厂商也纷纷加强产品布局，如 Maxon（瑞士）、Faulhaber（德国）等著名微电机厂商都已经大量申请空心杯电机相关的专利技术。目前，国内厂商在微特电机，尤其是空心杯电机领域开始奋起直追，不断加速国产替代，从价格上看，国内厂商微特电机产品价格价格在几百元不等，且性能上开始逐步收敛国外同类型产品，性价比优势凸显。

图表 26: 微特电机下游应用领域分布

图表 27: 微特电机市场竞争格局



资料来源: 科创中国, 国盛证券研究所



资料来源: 科创中国, 国盛证券研究所

图表 28: 鸣志电器部分类型产品价格展示

产品类型	型号/参数	价格(元)
有刷空心杯电机	基座尺寸 16mm/功率 2W	400-800
	基座尺寸 10mm/功率 1.1W	1000-1500
直流无刷电机	基座尺寸 36mm/功率 4-28W	200-300
无刷无齿槽电机	基座尺寸 13mm/功率 10W	约 1000
微型电缸	丝杆导程 3mm/最大水平和垂直负载: 3/2kg	约 3300

资料来源: 鸣志电器官网, 国盛证券研究所

人形机器人有望带动空心杯电机用量大幅增长。考虑到空心杯电机体积较小, 更易于装配在机器人小关节处, 保守假设下, 我们假设空心杯电机仅用在人形机器人手指关节处, 且仅考虑三根手指装配空心杯电机(一只手臂), 则单台机器人所需空心杯电机数量为 6 台, 中性假设人形机器人销量达到 100 万台, 对应空心杯电机需求量为 600 万台。

图表 29: 人形机器人空心杯电机需求量的敏感性分析(万台)

销量 单台用量	20	50	100	200	500
6	120	300	600	1200	3000
8	160	400	800	1600	4000
10	200	500	1000	2000	5000

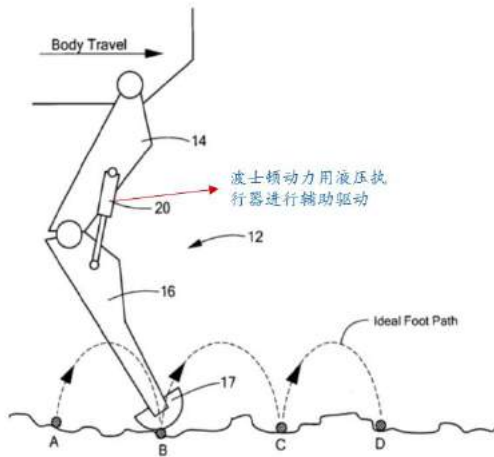
资料来源: wind, 国盛证券研究所

注: 横轴为特斯拉人形机器人销量, 纵轴为单台人形机器人配备空心杯电机数量

2.4 伺服电缸符合人形机器人降能耗目标, 产品需求有望持续推升

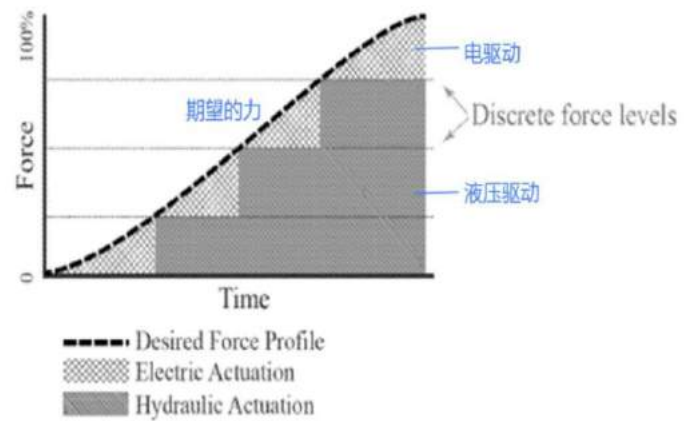
动力问题是机器人的核心问题, 波士顿动力采用液压执行器进行辅助驱动。波士顿动力早期机器人主要是电机通过齿轮驱动连杆机构, 对于没有载荷要求的机器人而言足够, 但 BigDog 这类以内燃机为动力且需搭载较大负荷的机器人产品系统能耗高, 能量的多次转换、多环节传递造成了大能量损失, 原有设计方案无法满足。为了提高机器人运行的效率、减小功率消耗以及提高运动稳健性, 波士顿动力通过判断关节承受的载荷类型和大小, 以选择适当的液压或电动制动器, 使得机器人的功率消耗最低。但从其动力来源看, 最主要依靠的驱动方式仍为液压驱动, 在腿部上肢和下肢的连接处采取的多以液压执行器为主, 相比于纯电动执行器, 在降功耗、提效率上仍存在一定不足。

图表 30: 波士顿动力 BigDog 足部理想轨迹图



资料来源: 波士顿动力, 国盛证券研究所

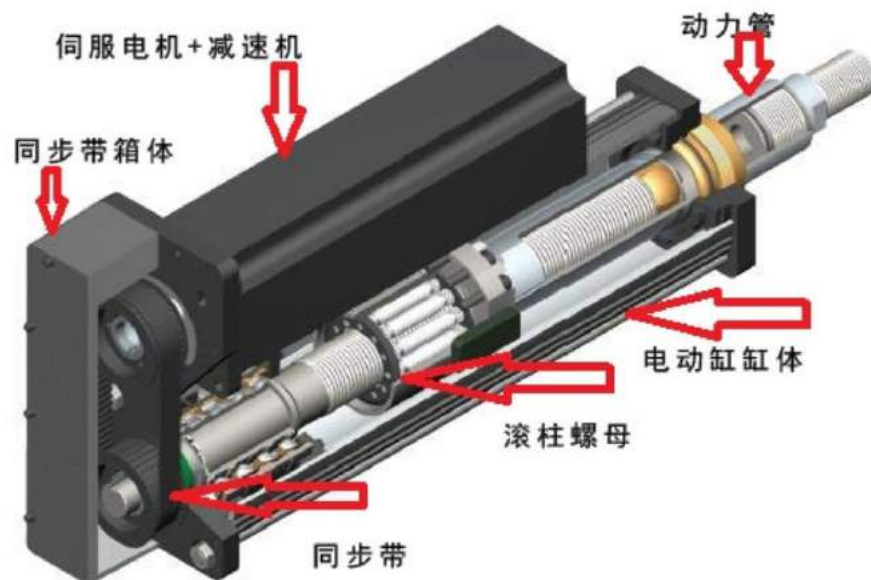
图表 31: 波士顿动力机器人的期望驱动力仍以液压驱动为主



资料来源: 波士顿动力, 国盛证券研究所

- **伺服电缸: 有望替代液压执行器, 完美符合人形机器人产品需求导向。** 伺服电缸是将伺服电机与丝杠一体化设计的模块化产品, 将伺服电机的旋转运动转换成直线运动。伺服电缸通过结构上的改造将伺服电机自身优势转变成精确速度控制, 精确位置控制和精确推力控制, 从而实现高精度直线运动。从优点上看, 伺服电缸能够快速与 PLC 等控制系统连接, 实现高精运动控制, 同时具备噪音低, 节能, 干净, 高刚性, 抗冲击力, 超长寿命, 操作维护简单等优势, 并且可以适应在恶劣环境下的工作, 广泛适用于造纸行业, 化工行业, 汽车行业, 电子行业, 机械自动化行业, 焊接行业等各领域。对于人形机器人而言, 伺服电缸的节能、轻量化特点相比于液压驱动具备较好的优势, 符合特斯拉本身的电动化导向, 也符合人形机器人产品未来的要求。

图表 32: 高性能电缸结构图

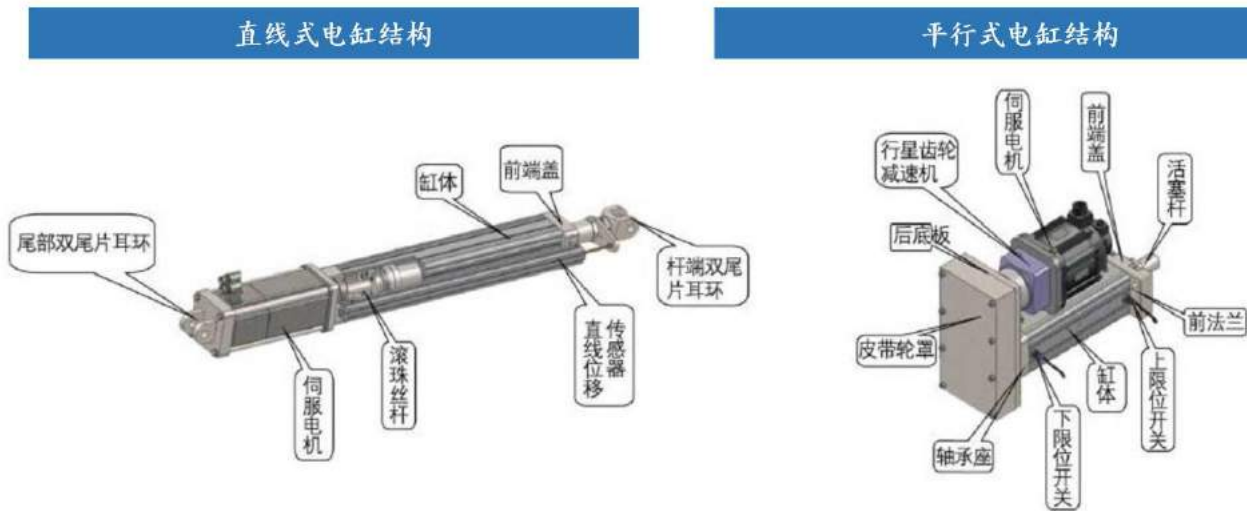


资料来源: 神威气动官网, 国盛证券研究所

伺服电缸常见类型有直流伺服电缸、交流伺服电缸和步进伺服电缸等。从结构上看, 电缸一般由丝杆、缸体、电机、动力管组成, 从外形结构上可分为直线式(直连式)、平行式(折返式)。1) 直线式: 典型的直线式电缸由伺服电机、伺服驱动器、高精

度滚珠丝杠或行星滚珠丝杠、直线位移传感器和缸体等组成，伺服电机与传动丝杠安装在一条直线上，通过联轴器相连。直线式整体结构紧凑，能快速响应，且具备高刚性、低噪音特点；2) 平行式：平行式电缸的电机与缸体部分平行安装，通过同步带及同步带轮与电缸的传动丝杠相连接。平行式电缸具有直线式的优点，而且由于整体长度小，更加适用于空间较小的应用场景。

图表 33: 直线式电缸与平行式电缸的典型内部结构



资料来源：神威气动官网，国盛证券研究所

伺服电缸契合人形机器人未来多方位的应用场景，需求量有望随之提升。伺服电缸高精运动控制的特点符合人形机器人的要求，同时低噪、节能、高刚性以及能够适应恶劣环境工作的特点符合当前用户对人形机器人应用场景的期望。从产品适配上看，伺服电缸主要针对人形机器人膝关节、肘关节和肩关节的连接处，起到辅助驱动的作用，使用伺服电缸相比于采用液压执行器，在控制成本的同时，也能够降低机器人的重量，降低耗电量。我们按照保守情况做出预测，假设伺服电缸仅用在人形机器人膝关节、肘关节和肩关节三处使用，则单台机器人所需伺服电缸数量为6台，中性假设人形机器人销量达到100万台，对应空心杯电机需求量为600万台。

图表 34: 人形机器人伺服电缸需求量的敏感性分析 (万台)

销量 单台用量	20	50	100	200	500
4	80	200	400	800	2000
6	120	300	600	1200	3000
8	160	400	800	1600	4000

资料来源：wind，国盛证券研究所

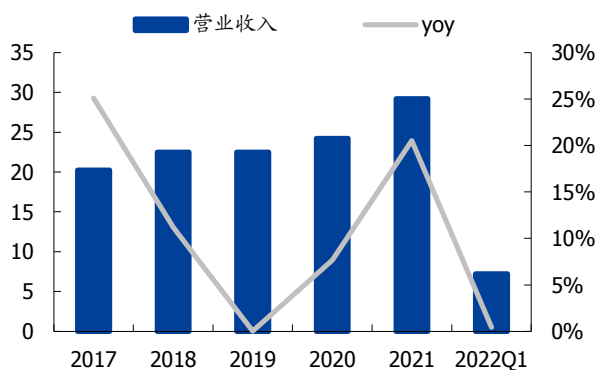
注：横轴为特斯拉人形机器人销量，纵轴为单台人形机器人配备伺服电缸数量

三、重点公司推荐

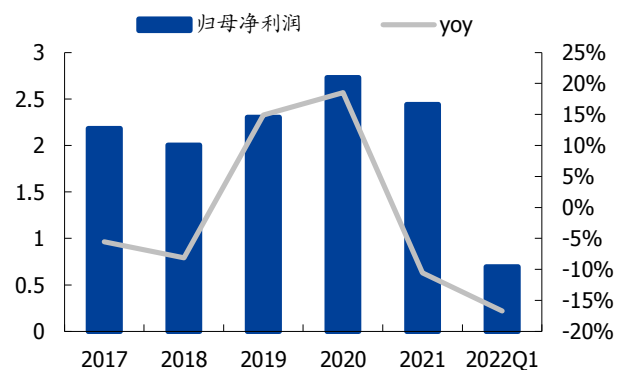
3.1 江苏雷利：中高端微特电机领军企业

公司是全球家用微特电机领军企业，通过外延并购切入医疗器械、新能源汽车零部件、工控等高景气赛道，打开新的成长空间。通过横向拓展应用领域，公司2021年实现收入29.2亿元，同比增长20.5%，收入增速边际改善。公司经过多年经营，已成为全球知名的微特电机供应商。公司借鉴海外龙头经验，通过并购等方式切入医疗器械、新能源、工控等高端应用场景。2021年公司“多应用领域”战略成效显著，实现了工控市场的重大突破，同时新能源、医疗器械领域也取得快速增长，实现营业收入29.2亿元，同比增长20.5%，收入增速边际改善。

图表 35: 江苏雷利营业收入 (亿元)



图表 36: 江苏雷利归母净利润及增速 (亿元)

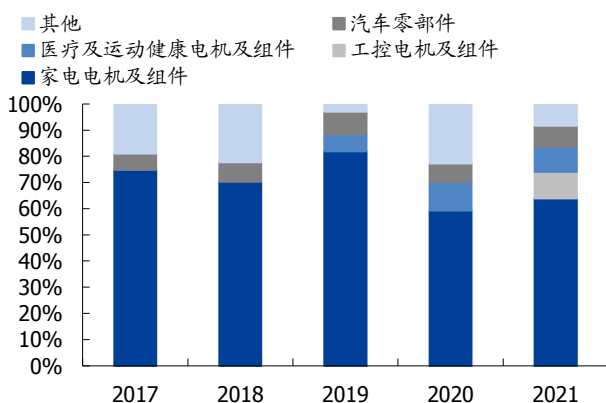


资料来源: wind, 国盛证券研究所

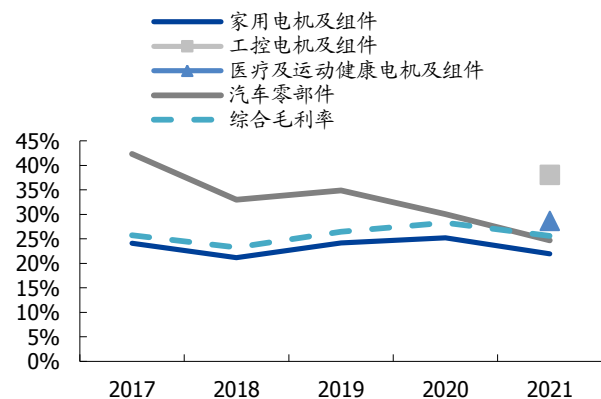
资料来源: wind, 国盛证券研究所

家用电机为基本盘，工控、医疗、新能源等高毛利产品快速放量。公司基本盘为家用电机及组件，包括空调、冰箱、洗衣机等电机和组件，2021年家用电机及组件（空调+冰箱+洗衣机）收入为16.4亿元，占总收入比重64.0%。工控产品主要为丝杆电机、无刷电机及组件，主要应用于工业设备的阀门电机等，2021年实现收入2.95亿元，同比增长60%。汽车零部件主要为汽车水泵、汽车电机及冲压件，医疗及运动健康电机及组件主要为丝杆电机、跑步机电机及组件。从毛利率来看，工控、医疗等产品相较于传统家电产品毛利率更高，有利于公司产品结构优化。

图表 37: 江苏雷利各业务收入占比



图表 38: 江苏雷利综合毛利率及各产品毛利率



资料来源: wind, 国盛证券研究所

资料来源: wind, 国盛证券研究所

风险提示：人形机器人销量不及预期、特斯拉机器人延迟发布

3.2 鸣志电器：混合式步进电机龙头，加码无刷电机打造解决方案供应商

公司是全球领先的电机及驱动系统制造商，在步入电机、伺服系统、无刷电机、空心杯电机及驱动系统等方面实现了深入布局。其中混合式步进电机产品在全球市场一直享有较高的市场地位，占据全球10%以上市场份额，打破了日本企业对混合式步进电机的垄断。从股权结构看，公司实控人为常建鸣先生，持有鸣志投资90%股权，目前公司已形成了以控制电机、驱动控制系统为核心，贸易代理及工业互联网等业务协同发展的业务架构，其中鸣志国贸和鸣志美洲控股等核心子公司加速了公司全球范围内的业务布局。

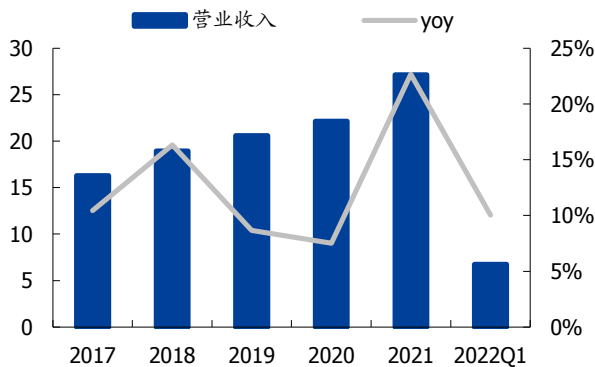
图表 39：公司股权结构图



资料来源：Wind，国盛证券研究所

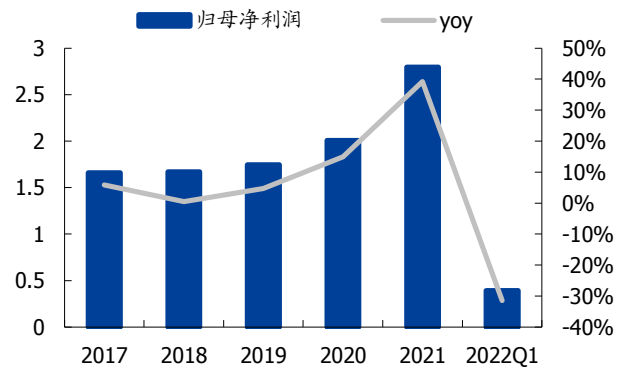
业绩稳定增长，2021 年增长提速。公司深耕运动控制领域二十余年，业绩增长稳健，2017-2020 年营业收入 CAGR 为 10.8%，归母净利润 CAGR 为 6.6%。2021 年公司布局的工厂自动化、医疗器械、生化分析、移动服务机器人等新兴、高附加值领域业务成效显著，通用自动化、驱动控制系统类业务也取得快速成长，实现营业收入 27.1 亿元，同比增长 22.7%；实现归母净利润 2.8 亿元，同比增长 39.3%。2022 年以来受疫情影响，业绩增速有所下滑。

图表 40：鸣志电器营业收入（亿元）



资料来源：wind，国盛证券研究所

图表 41：鸣志电器归母净利润（亿元）

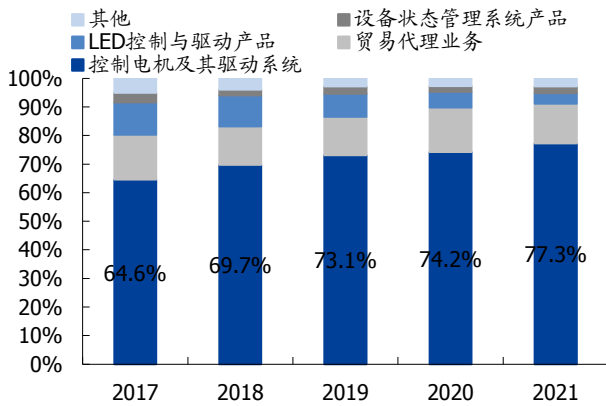


资料来源：wind，国盛证券研究所

控制电机及其驱动系统为公司核心业务，占比 77.3%。公司专注于运动控制领域核心技术及系统级解决方案的研发和经营，经过二十余年的发展，形成了以控制电机，通用自动化驱动控制系统及 LED 智能照明控制驱动系统为核心，贸易代理及工业互联网等

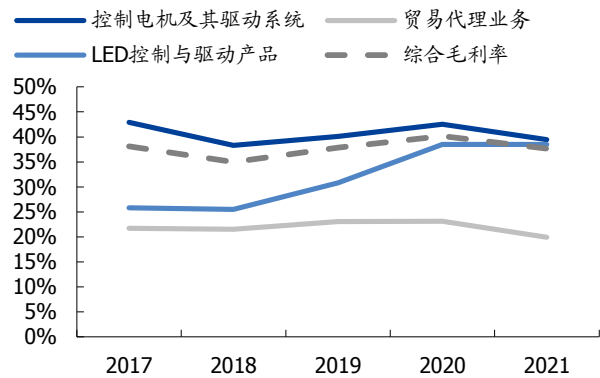
业务协同发展的业务架构。核心业务控制电机及其驱动系统优势明显，2021年该业务占比提升至77.3%。此外，控制电机及其驱动系统业务具有较高的毛利率，2021年为39.5%，该业务占比逐年提升带动公司整体毛利率上行。

图表 42: 鸣志电器各业务收入占比



资料来源: wind, 国盛证券研究所

图表 43: 鸣志电器综合毛利率及分产品毛利率



资料来源: wind, 国盛证券研究所

加码无刷电机，公司着力打造电机与丝杠一体化设计的模块化产品，优势明显。2020年，公司通过变更募集资金投资约0.62亿元设立“无刷电机的新增产能项目”，项目达产后将形成新增年产227万台高标准无刷电机的生产能力，预计将为公司新增营业收入约2.5亿元/年。2021年公司无刷电机业务实现营收1.1亿元，同比增长81.5%，主要源于产能的稳步提升以及得益于在移动服务机器人、高端医疗仪器等应用领域的增长。此外，公司自2015年开始组建精密直线传动系统业务，专注于打造电机与丝杠一体化设计的模块化产品，目前公司精密直线传动系统业务聚焦重点行业，努力扩大存量市场份额，通过持续完善平台化产品在增量市场上获得竞争优势，2021年公司精密直线传动系统业务实现营业收入7310万元，较上年同期增长73.6%。整体看，公司“运动控制器+电机驱动器+控制电机+精密直线传动系统”的组合形成了完整的运动控制业务系统，标志着公司在自动化领域真正向解决方案级供应商的目标迈进。

图表 44: 公司部分产品种类展示



资料来源: 鸣志电器官网, 国盛证券研究所

风险提示: 人形机器人销量不及预期、特斯拉机器人延迟发布

风险提示

特斯拉人形机器人延迟发布风险：特斯拉人形机器人预计9月30日发布，若产品尚未达到公司预定效果、产品测试出现技术故障等因素导致公司推迟产品发布，则对产业链相关公司会造成一定不利影响。

销量不达预期风险：假若特斯拉人形机器人如期发布，并在2023年如期量产，但如果因为价格、消费者认可度等多重因素影响，产品销量不及预期，人形机器人对人力替代的效果不及预期，机器人渗透率依旧缓慢，则对产业链发展造成不利影响。

经济下行超预期风险：若宏观经济景气度下行，固定资产投资额放缓，影响企业再投资意愿，从而影响消费者消费意愿和产业链生产意愿，对整个行业将会造成不利影响，人形机器人渗透率也会放缓。

免责声明

国盛证券有限责任公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，但本公司及其研究人员对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，可能会随时调整。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，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，但本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。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。

投资者应注意，在法律许可的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有本报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。

本报告版权归“国盛证券有限责任公司”所有。未经事先本公司书面授权，任何机构或个人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。任何机构或个人如引用、刊发本报告，需注明出处为“国盛证券研究所”，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的任何观点均精准地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法，结论不受任何第三方的授意或影响。我们所得报酬的任何部分无论是在过去、现在及将来均不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

投资评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
评级标准为报告发布日后的6个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现。其中A股市场以沪深300指数为基准；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）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准，美股市场以标普500指数或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	相对同期基准指数涨幅在15%以上
		增持	相对同期基准指数涨幅在5%~15%之间
		持有	相对同期基准指数涨幅在-5%~+5%之间
		减持	相对同期基准指数跌幅在5%以上
	行业评级	增持	相对同期基准指数涨幅在10%以上
		中性	相对同期基准指数涨幅在-10%~+10%之间
减持		相对同期基准指数跌幅在10%以上	

国盛证券研究所

北京

地址：北京市西城区平安里西大街26号楼3层

邮编：100032

传真：010-57671718

邮箱：gsresearch@gszq.com

南昌

地址：南昌市红谷滩新区凤凰中大道1115号北京银行大厦

邮编：330038

传真：0791-86281485

邮箱：gsresearch@gszq.com

上海

地址：上海市浦明路868号保利One56 1号楼10层

邮编：200120

电话：021-38124100

邮箱：gsresearch@gszq.com

深圳

地址：深圳市福田区福华三路100号鼎和大厦24楼

邮编：518033

邮箱：gsresearch@gszq.com