

2022 年 10 月 14 日

看好

伺服电机：机器人关节动力源，看好国产厂商崛起

——机器人系列深度报告

证券分析师

王珂 A0230521120002
wangke@swsresearch.com
刘建伟 A0230521100003
liujw@swsresearch.com
李蕾 A0230519080008
lilei@swsresearch.com

研究支持

胡书捷 A0230122070007
husj@swsresearch.com

联系人

胡书捷
(8621)23297818x
husj@swsresearch.com

本期投资提示：

- **电机行业：万亿级市场，细分领域众多。**电机为用电器和各种机械提供驱动力，在现代工业和生活中应用极为普遍。根据 Grandview Research, 2020 年全球电机市场规模为 1427 亿美元，下游市场包括汽车、工业机械、HVAC 设备、空调、运输、家电等。电机技术经过 200 年更新迭代，类型庞杂，下游需求分散化和长尾化，非标定制属性较强，导致电机行业不存在“赢家通吃”的情况，大多表现为深耕细分领域的中小型企业。行业涌现出的优秀公司主要有三类：1) 聚焦于单品销量较大的下游行业，例如汽车电机、空调电机、洗衣机电机等，公司产品具有性价比优势；2) 电机平台型公司，电机 SKU 多+快速定制化能力强，产品具有价格优势、快速响应客户需求；3) 协同效应显著，电机作为核心竞争力为下游集成产品赋能，使集成产品具有更强竞争力。
- **本文聚焦机器人细分领域，对三种机器人典型电机类型进行阐述。**电机作为机器人的“肌肉”，向机械结构系统各部件提供动力，其与控制器的减速机被称为三大核心零部件，在机器人中具有关键作用。机器人行业的典型电机类型包括：1) 伺服电机：具有响应速度快、精度高、加减速快、转速范围宽、抗过载能力强等特点，广泛用于工业自动化行业；2) 步进电机：相比伺服电机控制精度略差，但经济性更高，适合低精度要求、成本敏感场景；3) 空心杯电机：具有结构紧凑、节能、控制性能好、能量密度高等优点，但功率较低，适用于高精度、高速响应、紧凑高效场景。
- **机器人对电机性能要求较高，尤其是足式机器人，依然存在亟待突破的技术瓶颈。**不同类型机器人对电机性能的侧重点存在差异：工业机器人用于工业加工，对电机的响应速度、控制精度有严格要求；四足机器人侧重运动能力，要求电机具有高功率密度、高扭矩密度；人形机器人更注重轻量化和灵活性，要求电机具有高效率、高动态和高功率密度。目前工业机器人伺服电机已经较为成熟，而四足和人形机器人目前多处于实验室阶段，现有电机难以同时满足灵活、抗冲击、快速响应、高功率密度等要求，存在巨大的技术迭代空间；从另一维度看，更先进的电机或许能推动足式机器人产业向前迈进。
- **电机领域国产份额较低，高端领域亟待突破，看好国内厂商崛起。**根据 Grand View Research 与 MIR 数据，我国伺服电机市场规模约 149 亿元，外资品牌占 65%，且高端市场基本被外资垄断，国内起步较晚，本土品牌加速追赶，已取得显著进步。建议关注：①**汇川技术**：工控自动化国内龙头，伺服电机领军品牌，变频器和伺服系统的市占率在内资品牌中稳居第一；②**埃斯顿**：国内工业机器人龙头，伺服电机自研，全产业链发展快速崛起。③**鸣志电器**：电机产品线涵盖 25 个系列，空心杯电机具备 AMP、T-Motion 多年的核心技术优势，有望在需求放量时占得先机；④**兆威机电**：精密传动行业翘楚，重视基础性研究，重点发力汽车电子领域等高景气领域，拓展比亚迪、长城、蔚小理等头部客户；⑤**江苏雷利**：深耕家电微电机行业 30 载，医疗+新能源车+储能+工控四大赛道并进，拥抱蓝海市场。
- **风险提示：**制造业投资不及预期风险、人形机器人技术突破不及预期风险、国产电机技术进步不及预期风险。



申万宏源研究微信服务号

投资案件

结论和投资分析意见

机器人行业或发生重大变革，国产厂商有望把握机遇，实现快速发展。1) 工业机器人：国内伺服电机技术发展起步较晚，本土品牌加速追赶，目前中端电机已实现规模化量产，高端市场依然被外资品牌垄断，国产替代空间广阔，看好未来伺服电机与工业机器人产业协同发展，建议关注：汇川技术、埃斯顿；2) 足式机器人：四足机器人和人形机器人正在从实验室走向商业化场景，随着特斯拉、戴森、小米、腾讯等国内外巨头的加入，产业化进程有望加速，微特电机增量空间和技术变革需求巨大，国内微特电机龙头有望受益，建议关注：鸣志电器、兆威机电、江苏雷利。

原因及逻辑

1) **工业机器人**：伺服电机作为工业自动化设备和工业机器人的核心零部件，尚处于成长阶段，市场规模随产业自动化升级稳步增长，根据 MIR，2020 年我国伺服电机市场规模约 149 亿元，预计 2026 年有望达到 225 亿元，国产品牌目前份额仅为 35%，国产化替代空间巨大。

2) **足式机器人**：四足机器人和人形机器人大多处于实验室阶段，随着特斯拉、戴森、小米的加入，足式机器人正在从实验室走向显示。但现有电机难以同时满足灵活、抗冲击、快速响应、高功率密度等要求，存在巨大的技术迭代空间。电机技术是足式机器人的核心技术突破点，也是未来实现商业化应用的关键环节，国内电机公司若能抓住机遇，进入主机厂供应链体系，将实现收入和估值的双重提升。

有别于大众的认识

市场认为伺服电机技术壁垒低，技术提升空间不足，市场竞争激烈。我们认为，伺服电机&微电机行业仅仅是进入门槛低，而高性能电机的壁垒较高，基本被欧美和日系厂商长期垄断，特别是工业机器人对电机的功率密度、扭矩、惯量、调速范围等综合性能要求都十分高，电机质量的高低也决定了机器人整体的性能，因此，电机在工业机器人产业链中至关重要，高端领域依然是蓝海市场。

市场对足式机器人对电机行业的增量空间与技术要求关注不足。我们认为，电机技术是足式机器人的关键突破点，国内电机厂商迎来重大机遇。目前量产的电机难以满足足式机器人灵活移动、抗冲击、快速响应等要求，四足机器人以及人形机器人未来要拓展商业化应用场景，实现在工业、商业和家庭中的应用，电机技术是关键突破点。目前全球科研机构和公司不断寻求电机在高扭矩密度、响应速度、轻量化小型化等方向的技术突破。

目录

1. 电机行业概览：万亿级市场，细分领域众多.....	6
1.1 电机技术：技术原理共通，延展性较强.....	6
1.2 行业特征：市场容量万亿级，诞生细分领域龙头.....	9
2. 机器人行业的典型电机类型一览.....	11
2.1 伺服电机：控制精度高，广泛应用于工业自动化.....	11
2.2 步进电机：经济性更高，适合低精度要求场景.....	14
2.3 空心杯电机：结构紧凑，能量转换效率高.....	15
3. 解析不同机器人对电机的差异化需求.....	17
3.1 工业机器人：工业场景要求响应速度和控制精度.....	17
3.2 四足机器人：侧重高功率密度、高扭矩密度.....	18
3.3 人形机器人：要求高效率、高动态、高功率密度.....	19
3.4 机器人手部：侧重轻量化、高效率、低成本.....	20
4. 国内相关公司梳理.....	21
4.1 汇川技术：工控自动化国内标杆，伺服电机领军品牌.....	21
4.2 埃斯顿：国内工业机器人龙头，全产业链发展快速崛起.....	23
4.3 鸣志电器：运动控制平台企业，空心杯电机国内龙头新锐.....	25
4.4 兆威机电：精密传动行业翘楚，布局蓝海前景广阔.....	27
4.5 江苏雷利：微电机领先方案商，纵横拓展高景气赛道.....	29
4.6 重点公司估值表.....	31
5. 风险提示.....	32

图表目录

图 1：电机工作原理：实现机械能与电动之间的转化	6
图 2：典型的直流电机结构：定子+ 转子+ 电刷等配件	6
图 3：电机分类：种类繁多复杂，延展性较强	7
图 4：2020 年全球电机市场规模 1427 亿美元	9
图 5：电机下游市场分布	9
图 6：典型的电机选型过程	10
图 7：伺服电机的构成：驱动器、电机和编码器等	11
图 8：全球伺服电机市场规模及预测	13
图 9：中国伺服电机行业市场规模及预测	13
图 10：我国伺服电机下游应用情况	13
图 11：中国伺服电机行业市场份额（2021H1）	14
图 12：伺服电机 VS 步进电机	15
图 13：空心杯电机及其构成示意图	16
图 14：全球空心杯市场规模预测（亿美元）	17
图 15：2021 年全球空心杯市场分布情况	17
图 16：电机在工业机器人当中的位置	17
图 17：伺服电机在工业机器人中成本占比 20%	17
图 18：四足机器人示意图	18
图 19：典型四足机器人的电机分布情况	18
图 20：机器人电机侧重三点：高效率、高动态和高功率密度	20
图 21：汇川技术围绕电机的相关布局	21
图 22：汇川技术通用自动化产品矩阵	22
图 23：汇川技术营业收入与归母净利润（亿元、%）	22
图 24：汇川技术毛利率与净利率变化（%）	22
图 25：2021 年汇川技术各业务收入占比（%）	22
图 26：埃斯顿产品矩阵	23
图 27：埃斯顿营业收入与归母净利润变化（亿元、%）	24
图 28：埃斯顿毛利率与净利率变化（%）	24

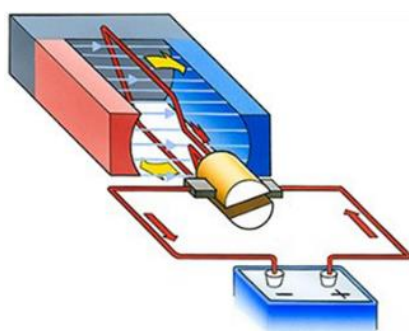
图 29：埃斯顿研发费用与研发费用率（亿元、%）	24
图 30：2021 年埃斯顿各业务收入占比（%）	24
图 31：通过多次收购与合资实现快速发展，不断完善电机产品矩阵	25
图 32：鸣志电器运动控制产品矩阵	26
图 33：鸣志电器营业收入与归母净利润（亿元、%）	26
图 34：鸣志电器毛利率与净利率（%）	26
图 35：2021 年鸣志电器各业务收入占比（%）	26
图 36：兆威机电在各个应用领域的产品	27
图 37：兆威机电营业收入与归母净利润（亿元、%）	28
图 38：兆威机电毛利率与净利率变化（%）	28
图 39：2021 年兆威机电各业务收入占比（%）	28
图 40：兆威机电研发费用与研发费用率（亿元、%）	28
图 41：江苏雷利产品矩阵	29
图 42：江苏雷利营业收入与归母净利润（亿元、%）	30
图 43：江苏雷利毛利率与净利率变化（%）	30
图 44：2021 年江苏雷利各业务收入占比-分产品（%）	30
图 45：2021 年江苏雷利各业务收入占比-分行业（%）	30
表 1：核心参数：功率、转速、扭矩、电压等	8
表 2：典型电机企业可归为三种类型	10
表 3：直流伺服电机 VS 交流伺服电机	12
表 4：步进电机分类：反应式、永磁式、混合式	15
表 5：全球目前主要人形机器人对比	19
表 6：全球部分灵巧手对比	21
表 7：重点公司估值表	31

1. 电机行业概览：万亿级市场，细分领域众多

1.1 电机技术：技术原理共通，延展性较强

电机一般指电动机，亦称“马达”，可将电能转换为机械能，为用电器或各种机械提供驱动力，在现代工业和生活中应用极为普遍。电机的基本原理为电磁感应定律——电能在线圈上产生旋转磁场，并推动转子转动。电机的基本构造包括：定子（铁芯、绕组和基座）、转子（铁芯、绕组），此外不同类别电机可能配有电刷、传感器、驱动器、风扇等配件。电机原理虽然简单，但高端设计十分复杂，牵涉设计、工艺和设备等环节，涵盖电磁学、摩擦学、热、流体、振动、声学等自然科学和相关技术工程领域。

图 1：电机工作原理：实现机械能与电动之间的转化



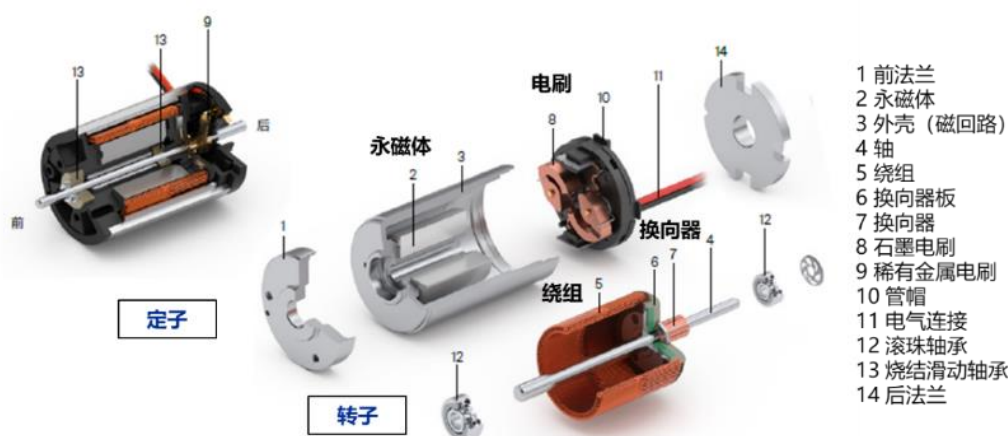
“弗莱明的左手定则”：当电流流过磁场里的线圈时，所产生的力使电机轴旋转；

“电磁感应原理”：1821年，法拉第完成用电流产生的磁场和磁铁使导线旋转的实验，1831年，发现电磁感应定则

“电机”：电动机将电能转换为旋转力等机械能，发电机将机械能转换为电能。

资料来源：艾斯湃纳官网、申万宏源研究

图 2：典型的直流电机结构：定子+转子+电刷等配件

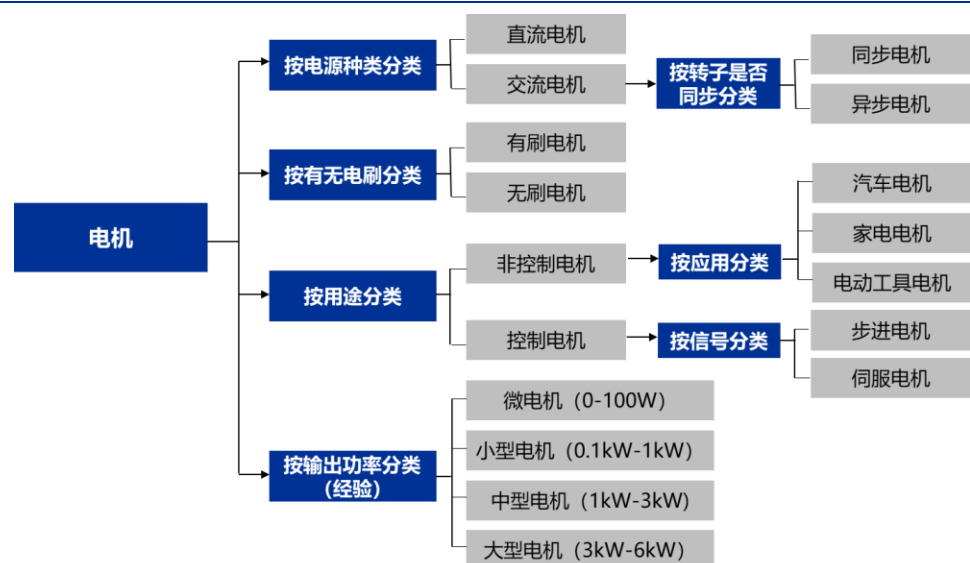


资料来源：Maxon 官网、申万宏源研究

电机技术种类非常多。法拉第 1921 年制成世界第一台电机，1831 年发现电磁感应定律，经过 200 年技术更新迭代，电机品类已十分庞杂。

- **根据电源种类不同，分为直流电机和交流电机。**直流电机响应快，启动转矩大，调速性能好（转子受力由电流和磁场强度决定），调速范围宽，缺点是需要换向，结构更复杂，后续维护不便利，且限制了电机容量和速度，功率范围0.01W-1000kW；交流电机不需要换向器，因此结构简单、制造方便，牢固，使用寿命长，功率覆盖范围大（几W-百万kW）。
- **根据有无电刷，分为有刷电机和无刷电机。**交流电机不需要电刷换向，因此有刷无刷仅涉及直流电机。无刷电机的换向和调速工作由霍尔传感器、控制器、磁编码器等电子元件完成，替代了电刷，同时赋予电机更多的控制性能，数字变频的可控性更强。无刷电机解决了电刷运转产生的电火花问题，且运转时的摩擦减少，噪音降低，寿命延长；缺点在于成本较高，技术难度较高，因此常用在控制要求较高、转速较高的设备上。
- **根据转子定子是否同步，分为同步电机和异步电机，两者均属于交流电机。**同步电机较复杂，效率高，造价高，大多用于大型发电场合和2000KW以上的电动机上；异步电动机简单，成本低，易于安装，效率略低，应用更广泛。
- **根据用途不同，分为非控制电机和控制电机。**非控制电机用于电动工具、家电和其他通用小型设备中，侧重电机在启动和运行过程中的力能指标；控制电机可以对电机的转速、位置和转矩进行精准控制，更侧重于高精度和快速响应，因此多用于自动化设备中。**常见的控制电机包括步进电机和伺服电机两种。**步进电机利用电脉冲信号进行控制，并将电脉冲信号转换成相应的角位移，也称脉冲电机；伺服电机利用输入的电压信号转换成角位移或角速度输出，通过改变控制电压改变电机的转速和转向。伺服电机在精度、可靠性、噪音、过载能力、能量转换效率等方面性能优于步进电机，但是成本较高，因此两者呈互补关系。

图3：电机分类：种类繁多复杂，延展性较强



资料来源：申万宏源研究

电机核心指标为转速、功率、扭矩等。电机参数指标是选择电机的重要参考，包括：输入功率，输出功率，额定电流，堵转电流，额定转速，加速度，减速度，震动，噪音，功率因素，效率，堵转转矩，额定转矩，最大转矩，转动惯量，相间绝缘电阻，相对地绝缘电阻等。其中，重要参数以及含义分别为：1) 额定功率：电机设计时的理想功率也是最大功率；2) 额定电压：该电机的建议工作电压，电压决定了转速和一系列参数，超过电压可能会出现局部过热问题，不可以长期运行；3) 额定转速：额定功率下电机的转速；4) 额定转矩：力矩=力×力臂，相当于电机的“力气”，在机器人领域，转矩一般用于使得机器人移动或者使得机械臂完成各种动作；5) 电机效率：电机输出的机械能与消耗的电能之比；6) 噪音：电动机在空载稳态运行时的分贝数；7) 物理参数：尺寸、重量、固定孔的位置等；8) 寿命；9) 价格。

此外，控制电机还需考虑控制精度和响应时间等。1) 响应时间：电机的转速从零开始增长的过程。为了满足自动控制快速响应的要求，转速变化时间应尽可能短，即电机转速变化应迅速跟上控制信号的要求。2) 控制精度：电机运行的实际位置与控制器输出位置之间的偏误程度。**不同应用场景的侧重点不同，因此关注的核心指标也有差别。**例如汽车电机更侧重功率密度（单位体积对外输出密度），机器人电机更侧重控制精度，重型机械电机更侧重扭矩等。

表 1：核心参数：功率、转速、扭矩、电压等

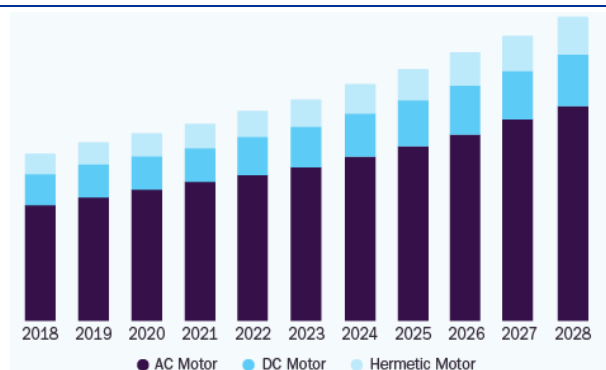
明细参数		参数意义
功率	额定功率	电机正常工作情况下的理想功率，也是最大功率。
	最大输出功率	在额定电压下的最大输出功率。
	电机效率	电机消耗的电能与转换成的机械动能之比。
转速	空载转速	反映电机在规定电压下最大的转速。
	额定转速	额定功率下工作时电机的转速，也即满载时的电机转速。
	最大转速	是指不考虑扭矩和功率输出，可以实现的电机最大输出转速。
扭矩	堵转转矩	电机受反向外力使其停止转动时的需要的力矩，是除了转速以外首先考虑的参数。
	额定转矩	额定功率及转速条件下能够输出的最大驱动力矩。力矩=力×力臂，相当于电机的“力气”。
	最大连续转矩	特定转速条件下能够输出的最大驱动力矩，是衡量电机负载能力的重要指标。
	转子惯量	刚体绕轴转动时惯性的量度，反映电机的加减速性能。
电压及电流	空载电流	空载电流指电机在无负载条件下运转时的电流消耗值，该值越小越好。
	额定电流	额定电压及功率下电机工作的电流。
	起动电流	电机在额定电压及功率下起动时的电流。该值越小代表电机起动性能越好。
	最大连续电流	指电机携带负载运转时的电流。
性能	额定电压	该电机的建议工作电压，该电压决定了转速和其他一系列参数，超过该电压可能会出现局部过热问题，不可以长期运行。
	控制精度	电机运行的实际位置与控制器输出位置之间的偏误程度。
其他	响应时间	为了满足自动控制快速响应的要求，转速变化时间应尽可能短，即电机转速变化应迅速跟上控制信号的要求。
	噪音、物理参数（尺寸、重量等）、寿命、价格等。	

资料来源：实能高科、申万宏源研究

1.2 行业特征：市场容量万亿级，诞生细分领域龙头

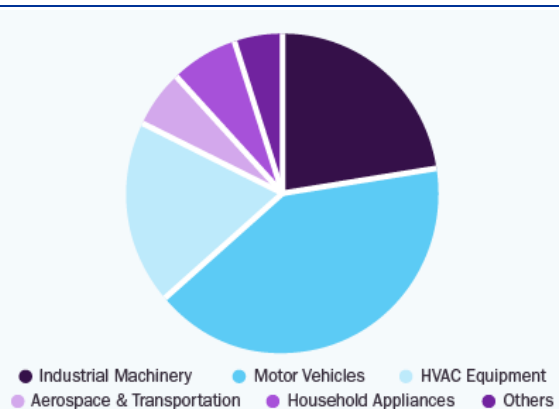
电机的下游应用市场极为广泛，空间千亿美元。电机作为必不可少的基础机电部件，广泛应用于家电、汽车、信息处理器、视听设备、工业自动化等领域。以家庭场景为例，根据祥明智能招股说明书援引高工咨询的数据，发达国家微特电机的家庭平均拥有量为 80-130 台，而中国大城市家庭平均拥有量大约在 20-40 台；汽车为最主要电机细分市场，一辆商用车采用超过 40 个电动机，从低功率到高功率不等。根据 Grandview Research 的研究数据，2020 年全球电机市场规模为 1427 亿美元，预计 2021-2028 年全球电机市场规模复合增长率将达到 6.40%。从下游细分市场来看，汽车占比最高，占 40.5%，其次为工业机械、HVAC 设备（供热、通风与空气调节）、空调、运输、家电等。

图 4：2020 年全球电机市场规模 1427 亿美元



资料来源：Grandview Research、申万宏源研究

图 5：电机下游市场分布



资料来源：Grandview Research、申万宏源研究

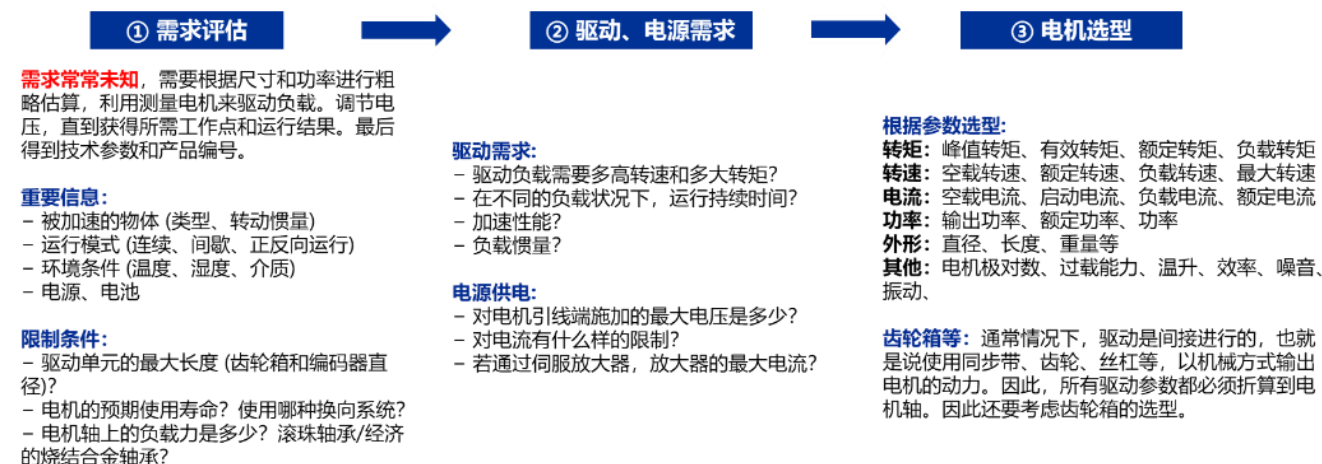
电机需求分散化和长尾化，选型考虑因素众多。电机的选择取决于终端产品设计，电机选型贯穿于工程师设计和生产产品的全过程中，与产品特征和工程师设计理念紧密相关，因此其需求表现出极强的分散和长尾特征。

参考 Maxon 的产品说明书，电机选型考虑因素众多：

- **首先，驱动需求必须明确：**驱动负载需要多高的转速和多大的转矩？在不同的负载状况下，运行持续时间是多少？对加速性能有什么要求？负载惯量是多少？驱动参数还需考虑同步带、齿轮、丝杠等，全部折算到电机轴。
- **其次，电源供电的要求：**对电机引线端施加的最大电压是多少？对电流有什么样的限制？如果使用电池或太阳能电池供电，还需使用伺服放大器，放大器的最大电流通常是一个重要的限制参数。
- **此外，其它重要信息也需考虑：**被加速的物体（类型、转动惯量）、运行模式（连续、间歇、正反向运行）、环境条件（温度、湿度、介质）、电源、电池。
- **最后，还需考虑限制条件包括：**驱动单元的最大长度是多少（含齿轮箱和编码器的直径）？电机的预期使用寿命是多少？使用哪种换向系统？稀有金属换向系统适合于低电流连续运行工况、石墨换向系统适合于高电流连续运行工况以及频繁出现电流峰值的场合（启动/停止操作、正反向运行）。如果希望获得最高转速和最

长使用寿命，则应采用电子换向系统。电机轴上的负载力是多少？必须使用滚珠轴承还是可以使用经济的烧结合金轴承？

图 6：典型的电机选型过程



资料来源：Maxon 官网、申万宏源研究

电机行业总量大、单品产量小、需求长尾化、定制属性强，导致电机行业不存在“赢家通吃”的情况，大多表现为深耕细分领域的中小型企业，竞争格局高度分散。电机行业涌现出的优秀公司主要有三类：1) 聚焦于单品销量较大的下游行业，例如汽车电机、空调电机、洗衣机电机等，公司产品具有性价比优势，国内上市公司如大洋电机、江苏雷利、微光股份、方正电机、祥明智能等；2) 电机平台型公司，电机 SKU 多+快速定制化能力强，产品具有价格优势、快速响应客户需求，国内外上市公司如瑞士 Maxon、鸣志电器、兆威机电等；3) 电机产品与其他产品产生协同效应，作为核心竞争力为下游产品赋能，如安川电机、汇川技术、金龙机电等。

表 2：典型电机企业可归为三种类型

公司简称	市值 (亿)	营收 (亿)	下游领域	客户
大洋电机	131	100	微特电机：家居家用电器、建筑领域、传统汽车及新能源电动车等领域	中国：海尔、格力、美的、长虹、TCL 等；亚洲：三星、LG、松下等；北美及欧洲：惠而浦、Goodman、开利、特林、Chamberlain 等
江苏雷利	66	29	微特电机：空调、洗衣机、冰箱、汽车、医疗健康等领域	国内：格力、美的、海尔等；国外：伊莱克斯、LG、三星、松下、惠普、富士通、GE
微光股份	62	11	冷柜电机、外转子风机及 ECM 电机，	PANASONIC、FRIGOGLOSS、UGUR、WHIRLPOOL、A.O.SMITH、海信容声等企业
方正电机	40	19	家用缝纫机电机、汽车应用类产品	上汽通用五菱、吉利汽车、上汽集团、奇瑞汽车、蜂巢传动、蔚然动力、小鹏汽车
祥明智能	22	7	HVACR、交通车辆、通信系统、医疗健康、工业空气洁净领域	海信日立空调、松下环境、天加环境科技等

平台化	鸣志电器	124	27	医疗器械和生化分析仪器、移动服务机器人、太阳能光伏设备、通信设备、安防、智能水阀控制、舞台灯光、纺织机械、3D 打印、航空航天电子、新能源汽车等自动化应用领域	富士通、浩洋电子、四方继保自动化等
	兆威机电	88	11	汽车电子、智能家居与机器人、移动通信、智能医疗、个人护理、VR&AR	博世、比亚迪、长城等
协同效应	金龙机电	46	19	可穿戴设备、智能手机及其周边硬件、汽车	华为、三星、中兴、步步高
	汇川技术	1627	179	新能源汽车、3C、锂电、硅晶、电梯、轨道交通等行业	伊士通、金菱自动化、明科电子、合润自动化、嘉捷电梯股份、美高工业器材、天宇机电等

资料来源：Wind、申万宏源研究 注：市值数据为 2022/10/13 收盘价，营收数据为 2021 年度

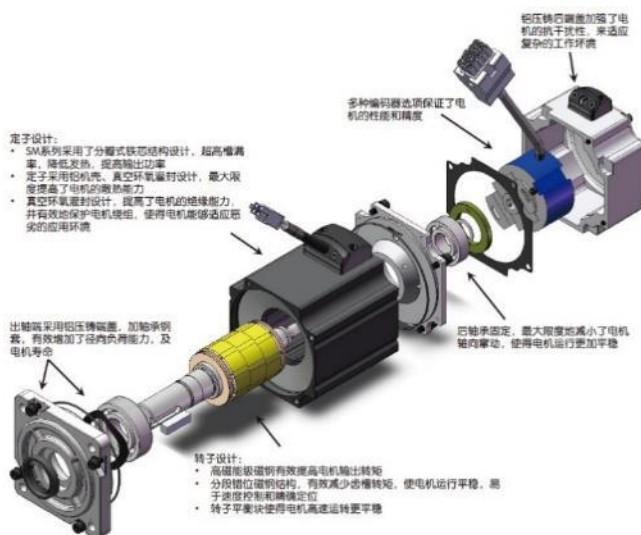
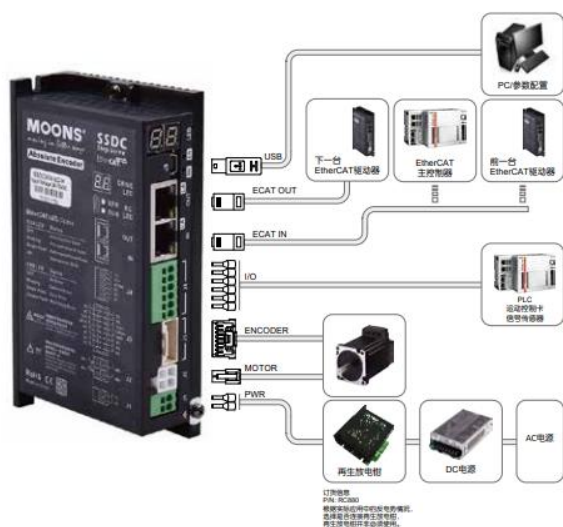
2. 机器人行业的典型电机类型一览

2.1 伺服电机：控制精度高，广泛应用于工业自动化

伺服电机是工业自动化行业中应用最广的电机。伺服来自英文 servo，指系统跟随外部指令进行人们所期望的运动，实现对位置、速度、加速度和力矩的精准控制。伺服电机具有响应速度快、精度高、加减速快、速度不受负载影响等优点，且转速范围宽、高速性能好、低速运行平稳，同时抗过载能力强，能承受 3 倍于额定转矩的负载，适用于对有瞬间负载波动和要求快速起动的场合。

伺服系统一般由驱动器、电机、编码器构成。①**伺服驱动器（指令装置）**属于驱动层，又称“伺服控制器”、“伺服放大器”，一般通过位置、速度和力矩三种方式对伺服电机进行控制，实现高精度的传动系统定位；改变控制电压可以变更伺服电机的转速及转向。②**伺服电机属于执行层**，伺服电机在自动控制系统中作为执行元件，把输入的电压信号转换成转轴的角位移或角速度输出。③**编码器（反馈装置）**通常内置在伺服电机末端，用来测量电机的转角、转速和位置，对控制精度具有关键作用。驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整转子转动的角度，达到伺服控制的目的。

图 7：伺服电机的构成：驱动器、电机和编码器等



资料来源：鸣志电器官网、申万宏源研究

伺服电机分为直流和交流伺服电动机。1) 直流伺服电机分为有刷和无刷电机：①有刷电机成本低，结构简单，启动转矩大，调速范围宽，控制容易，需要维护，但维护方便（换碳刷），产生电磁干扰，对使用环境有要求（无尘、易爆环境不宜），通常用于对成本敏感的普通工业和民用场合；②无刷电机体积小重量轻，出力大响应快，速度高惯量小，力矩稳定转动平滑，控制复杂，智能化，电子换相方式灵活，可以实现方波或正弦波换相，电机免维护，高效节能，电磁辐射小，温升低寿命长，适用于各种环境。2) 交流伺服电动机又分为异步伺服电动机和同步伺服电动机。交流伺服电机优点在于速度控制特性良好，在整个速度区内可实现平滑控制，几乎无振荡，90%以上的高效率，发热少，高速控制，高精度位置控制，额定运行区域内可实现恒力矩，惯量低，低噪音，无电刷磨损，免维护。缺点在于控制较复杂，驱动器参数需要现场调整 PID 参数确定，需要更多的连线。**高性能的伺服系统大多采用永磁同步交流伺服电动机，控制驱动器多采用快速、准确定位的全数字位置伺服系统。**

表 3：直流伺服电机 VS 交流伺服电机

	直流伺服电机	交流伺服电机
机械性能和调节性能	机械特性硬，线性度好，不同控制电压下斜率相同，堵转转矩大，调速范围广	机械特性软、非线性，不同控制电压下斜率不同，系统的品质因数变换，调速范围较小，受频率及极对数限制
体积、重量和效率	功率较大、体积较小、重量较轻、效率高	功率小、体积和重量大、效率低
放大器	直流放大器产生“零点漂移”现象，精度低、结构复杂、体积和重量较大	交流放大器结构简单、体积和重量较小
结构，运行可靠性	有电刷和换向器，结构和工艺复杂，维修不便，运行的可靠性差，电火花会产生无线电干扰、摩擦转矩大	无电刷和换向器，结构简单、运行可靠、没有电火花干扰

资料来源：《永磁无刷直流电机技术》、申万宏源研究

伺服电机作为工业自动化的核心零部件，市场规模随产业自动化升级稳步增长。1) 替代需求：在机床、纺织机械、印刷机械和包装机械等领域，伺服电机相比步进电机具有精度、扭矩、过载等性能方面的优势，渗透率不断提升；2) 新增需求：工业机器人、电子智造装备等行业对精度性能要求较高，其迅速增长为伺服电机市场贡献较大增量。根据 Grand View Research 与 MIR 数据统计，2020 年全球伺服电机市场规模 367 亿元，预计 2026 年有望达到 539 亿元。我国伺服电机起步较晚，尚处于成长阶段，2020 年我国伺服电机市场规模约 149 亿元，预计 2026 年有望达到 225 亿元。

图 8：全球伺服电机市场规模及预测



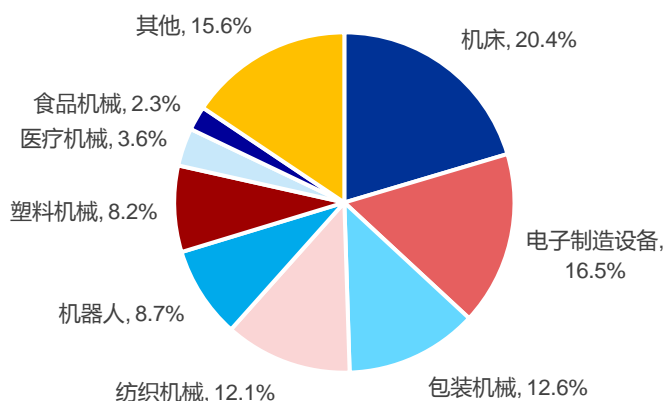
资料来源：Grand View Research、前瞻产业研究院、申万宏源研究 注：按照美元汇率为 7 换算

图 9：中国伺服电机行业市场规模及预测



资料来源：工控网、前瞻产业研究院、申万宏源研究

图 10：我国伺服电机下游应用情况



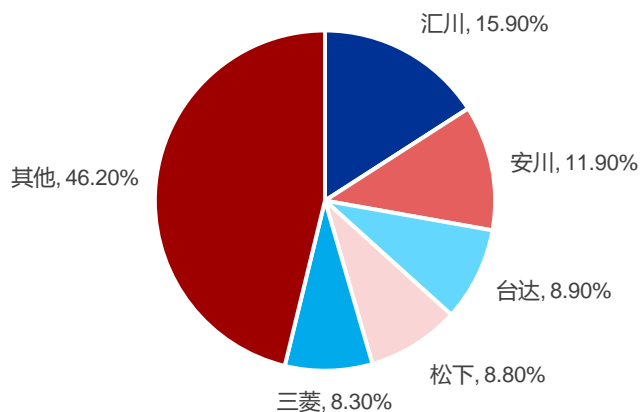
资料来源：MIR、前瞻产业研究院、申万宏源研究

伺服电机的核心难度，即导致各国差距之处，主要在于电机的基础性研究、高精度伺服驱动器和编码器。1) 基础性技术研究：包括高端电机的结构设计、产业化制造技术、生产工艺的突破、性能指标的实用性检验，导致高端伺服电机的性能、质量和稳定性的差异；2) 材料，特别是适应高温的材料；磁材和绝缘性材料等，国内的磁材总体性能差，伸缩长度会发生变化；3) 驱动系统：目前的伺服系统标准仍然依靠国外定义，包括共母线结构体系，先进的控制算法，自适应振动抑制，自适应参数整定，齿槽转矩补偿，磁饱和控制，

弱磁控制、安全控制等，需要时间和经验的积累、大量的数据逐步实现各项功能；4）编码器：目前高精度编码器严重依赖进口，小型化仍待突破，而编码器对定位精度影响很大。

伺服电机行业 65% 份额为外资品牌，高端市场基本被外资垄断。根据 MIR 数据，我国伺服电机竞争格局中外资品牌占 65%，国产品牌占 35%。根据前瞻产业研究院报告，目前主流品牌可分为欧系、日系和国产品牌等类别，其中欧系日系占据中高端市场，国产主要集中在中低端市场。①**欧系品牌占比 20%**：如西门子、伦茨、博世力士乐等，过载能力高、动态响应好、驱动器开放性强，但价格昂贵、体积重量大；②**日系品牌占比 45%**：如安川、三菱、松下等，品牌性能和价格相对低、体积小、重量轻、可靠性和稳定性强，但动态响应能力较弱、开放性较差，总体上性价比更高，最适合中端需求；③**国产伺服占比 35%**：如台湾台达、汇川技术、华中数控等，产品基本成熟，精度和可靠性较差，中小功率居多，中低端伺服系统已实现大规模量产，但高端伺服系统尚未形成商品化和批量生产能力。

图 11：中国伺服电机行业市场份额（2021H1）



资料来源：MIR、前瞻产业研究院、申万宏源研究

2.2 步进电机：经济性更高，适合低精度要求场景

步进电机也是一种控制电机。步进电机源于自英语单词“Step”，意为“走一步”，是一种形象的翻译。步进电机能将电脉冲信号转换为角位移/直线位移，并且位移量与脉冲数成正比，转速或线速度与脉冲频率成正比。通过调整电脉冲信号或脉冲频率就可以实现对电机的运动控制。步进电机能根据控制脉冲的要求迅速启动、反转、制动和无级调速；工作时能不失步，精度高，停止时能锁住。

步进电机包括 VR、PM、HB 三种。1) VR 步进电机，即反应式 (Variable Reluctance)，由绕组、转子由软磁材料组成，结构简单，成本低，但动态性能差，效率低，发热大，已逐步被欧美国家淘汰。2) PM 步进电机，即永磁式 (Permanent Magnet)，由永磁材料制成，动态性能好，体积相对较小，但精度较差，输出力矩较小，是一种成本较为经济的选择。3) HB 步进电机，即混合式 (Hybrid)，综合了前两者的优点，可以实现精确的小增量步距运动，转子和定子上有多个小齿以提高步距精度，输出力矩大，动态性能好，步距角小，但结构相对复杂，成本相对较高。

表 4：步进电机分类：反应式、永磁式、混合式

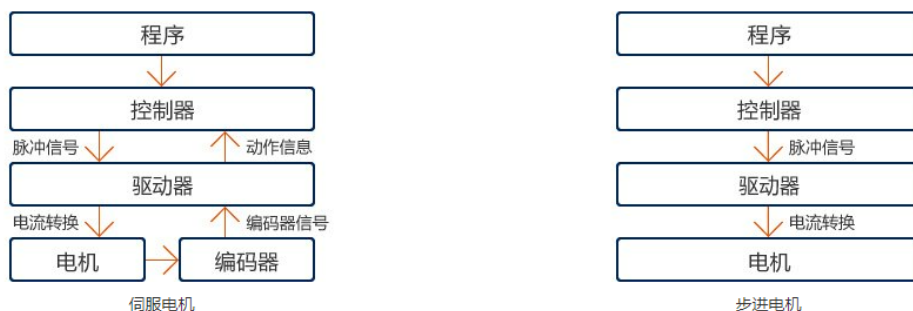
类型	特点
反应式步进电机（VR）	定子上有绕组、转子由软磁材料组成，结构简单、成本低、步距角小，可达 1.2°
永磁式步进电机（PM）	永磁式步进电机的转子用永磁材料制成，转子的极数与定子的极数相同，其特点是动态性能好、输出力矩大，步距角大（一般为 7.5° 或 15° ）
混合式步进电机（HS）	输出力矩大、动态性能好，步距角小，同时结构复杂、成本相对较高

资料来源：鸣志电器公告、申万宏源研究

步进电机控制方式类似于伺服电机，包括驱动器和编码器。驱动器在负载能力的范围内，通过改变脉冲频率来调速；编码器信号检测转子位置，进行控制信号的反馈和电流调节。作为开环的控制系统，由于过载能力较低、调速范围相对较小、低速运动有脉动、不平衡等问题，一般应用于小型或简易型机器人中。

步进电机 VS 伺服系统，可靠性低，经济性高。步进电机相比伺服电机，不足之处在于：精度略低；开环系统的低可靠性，低速存在共振区；运行噪音较高；无过载能力，易失步；能量转化效率低，自身损耗及发热较高；动态响应慢，加减速低；优势在于：调试较为简单，伺服驱动器涉及的参数多、使用手册长，且不同品牌的驱动器区别可能很大；成本更低；精度方面，在大多数场合，步进的分辨率已远高于机械要求的精度，对于高要求场合，通过细分驱动、添加闭环控制等方式，也可以达到很高的控制精度。因此，**伺服电机更适用于要求高效率、高速高响应、高可靠性的场合，步进电机用于要求不高、成本敏感的场合，控制系统的设计须综合考虑控制要求、成本等因素，选择适当的控制电机。**

图 12：伺服电机 VS 步进电机



资料来源：艾斯湃纳官网、申万宏源研究

2.3 空心杯电机：结构紧凑，能量转换效率高

空心杯电机属于直流、永磁、伺服电机。空心杯电机与传统电机的转子结构不同，采用无铁芯转子，线圈通过连接板，和换向器、主轴链接到一起，共同组成转子。由于线圈形状像个杯子，因此称为空心杯。无铁芯结构消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗，

能量转换效率提高，最高可达 90%+，同时降低电机重量和转动惯性，可达到更高的控制和拖动特性。

空心杯电机分为有刷和无刷两种。1) 空心杯有刷电机：采用电刷换向，转动过程中会摩擦碳刷，造成损耗，需要定期更换碳刷，电机寿命有限，平均为几千小时；容易产生电火花和电磁波，干扰电子设备；优势在于，有刷电机不存在涡流损耗，特别是在高速运转下，相比无刷电机的损耗显著更低；结构更简单，成本更低；2) 空心杯无刷电机：采用电子换向，通过霍尔元件感知永磁体位置，电子线路切换线圈中电流的方向，进而改变磁力，其优势在于消除了电刷的损耗和电火花对电子设备的干扰，寿命可达到数万小时，但无刷电机存在涡流损耗，涡流功率损耗随速度的平方增加；另外添加了换向器和控制器等，增加了系统的组件和成本。

图 13：空心杯电机及其构成示意图



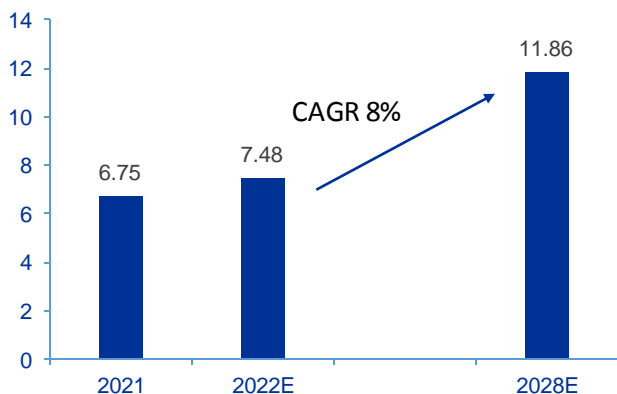
资料来源：Maxon 官网、申万宏源研究

空心杯电机具有节能、控制性能好、能量密度高等优点，但功率较低。空心杯电机的优点在于：1) **节能**：能量转换效率很高，其最大效率一般在 70%以上，部分产品可达到 90%以上（铁芯电动机一般在 70%）；2) **控制性能好**：起动、制动迅速，响应极快，机械时间常数小于 28 毫秒，部分产品可以达到 10 毫秒以内（铁芯电动机一般在 100 毫秒以上）；在推荐运行区域内的高速运转状态下，可以方便地对转速进行灵敏的调节；3) **拖动性能好**：运行稳定性十分可靠，转速波动能控制在 2%以内；4) **能量密度高**：与同等功率的铁芯电动机相比，其重量、体积减轻 1/3-1/2；5) **散热效果好**：铜板线圈内外表面都有空气流动，温升较小。但缺点在于功率上限低：由于没有牢固的铁芯支撑，线圈厚度较薄，且线圈和输出轴的连接强度有限，因此体积、功率等无法做到很大，一般空心杯电机最大功率仅几百瓦，属于一种微特电机。

空心杯电机在高精度、高速响应、紧凑高效场景得到广泛应用。1) 需要快速响应的系统：军用领域导弹方向的快速调节、高灵敏度的记录和检测设备、工业机器人、仿生义肢；2) 对重量和能耗要求的飞行器，包括无人机、航模等；3) 其他家电、工业产品，可以替代传统电机，提高产品性能。根据国际咨询机构 QY Research 统计数据，预计 2022 年全球空心杯直流电机市场规模为 7.5 亿美元，2022-2028 年复合增速 8%，至 2028 年增加至 11.9 亿美元；2021 年中国、欧洲市场份额分别为 35%、26%。

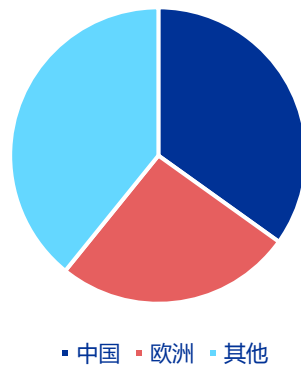
空心杯市场长期被外资垄断，蕴藏大量国产替代机遇。空心杯电机的产品制造和量产的难度高，绕线和自动化工艺复杂，对绕线工人的技能水平要求高，难以实现大规模量产。目前空心杯市场被德国 FAULHABER 与瑞士 Maxon 主导，随着国内市场对空心杯电机认知程度不断提高，国产厂商的量产工艺水平不断突破，未来有望实现国产替代。

图 14：全球空心杯市场规模预测（亿美元）



资料来源：QY Research、申万宏源研究

图 15：2021 年全球空心杯市场分布情况



资料来源：QY Research、申万宏源研究

3. 解析不同机器人对电机的差异化需求

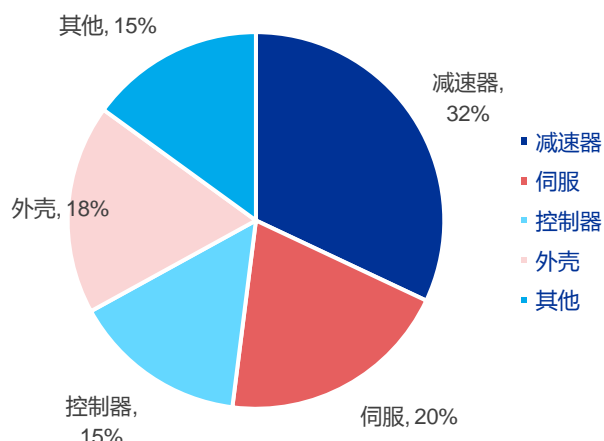
3.1 工业机器人：工业场景要求响应速度和控制精度

工业机器人（多关节机器人）通常有 6 个关节，对应 6 个电机。控制器、伺服电机和减速器被称为工业机器人的三大零部件：1）控制器是机器人的“大脑”，通过硬软件结合来控制机器人的运动位置、姿态和轨迹；2）伺服电机是机器人的“驱动力”，根据控制器发出的命令输出力矩，动态控制机器人的速度和位置；3）减速器用于降速增矩：伺服电机一般输出的转速高、力矩小，不能满足机器人本体的运动需求，需要通过减速器来降低转速、增加力矩。根据高工机器人数据，伺服电机在工业机器人总成本中占比 20%。

图 16：电机在工业机器人当中的位置



图 17：伺服电机在工业机器人中成本占比 20%



资料来源：安川电机官网、埃斯顿官网、申万宏源研究

资料来源：GGII、申万宏源研究

工业机器人对电机性能要求较高：高功率密度、高扭矩惯量比、高启动转矩、低惯量和较宽广且平滑的调速范围。1) 高功率密度：工业机器人的体积和负载要求电机重量轻、体积小；2) 高扭矩惯量：代表更高加减速性能，更快响应速度；3) 高启动转矩：启动转矩越大，电动机加速越快，启动过程越短，也越能带重负载启动；4) 低惯量：惯量越低，精度和响应速度越好；5) 宽广平滑的调速范围：随着控制信号的变化，电动机的转速能连续变化，调速范围 1:1000 ~ 10000，功率范围一般为 0.1 ~ 10kW。

3.2 四足机器人：侧重高功率密度、高扭矩密度

四足机器人是学术界产业界积极研发的、具有发展前景的一类机器人。相比轮式和履带式机器人，具有良好的环境适应能力，在复杂的地理地形环境下，不平整地面上，保证机器人运动的灵活性、稳定性和人际协调性，因此可以协助人类完成危险性高、工作环境恶劣的任务，如抢险救灾、高位巡检、安全侦查、地形勘测、太空探索等。高动态特性，参考猎豹的奔跑模式，在高速奔跑中依然能快速调整步态和运动方式。

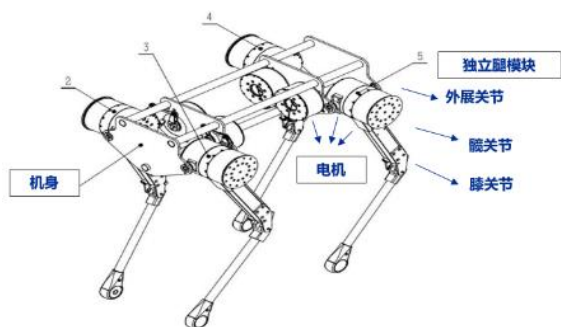
四足机器人通常采用 12 个伺服电机，每条腿三个关节：外展关节、髌关节和膝关节。为了避免膝关节电机外置易造成损坏，将膝关节电机置于髌关节处上，采用连杆机构驱动膝盖关节自由度，这种设计可以减少腿部的传动惯量，有利于机器人高速奔跑。此外，踝关节拥有类似于髌关节的 2 个自由度，但由于踝关节主要作用是调节足端和地面的接触，基本不提供动力，因此一般设计为被动的弹性关节，如橡胶、海绵等。

图 18：四足机器人示意图



资料来源：宇树科技官网、申万宏源研究

图 19：典型四足机器人的电机分布情况



资料来源：宇树科技技术专利、申万宏源研究

四足机器人电机更侧重高扭矩密度、高功率密度、转动惯量小、响应速度快。1) 四足机器人在行走、奔跑、跳跃时步态都不相同，电机一直处于正反转交替状态，转矩输出并不是处于额定值，而是一个随着运动状态不断变化的量，因此电机转矩在较短时间内达到峰值；2) 电机不停运行在正转和反转的状态下，需要有较高的响应速度，要求电机的转动惯量小、重量轻；3) 四足机器人采用 12 个电机，每个电机安装空间有限，直径和长度要短，扁平化结构；4) 其他约束条件：电机的散热和温升、电机控制器的最高频率限制、激励电流的有效值等。5) 另外，为了使机器人的关节输出足够的扭矩，需要增加减速器，将高速低扭矩的电机输出转化为低速大扭矩的关节输出。

四足机器人电机的商业化程度较低。由于四足机器人商业化应用较少，因此还未形成标准化产品。电机厂商主要由四足机器人公司自主设计，或者找伺服电机厂商定制化生产。四足机器人电机的进入壁垒不高，但是能做到高扭矩密度、响应速度快、轻量化小型设计等综合性能的难度很高，全球各高校和科研机构也在不断寻求技术突破，从而突破四足机器人的性能优化，例如 MIT 自主研发的猎豹系列的电机，可以达到 $33\text{ N}\cdot\text{m}$ 的扭矩而质量仅 1 kg 。

3.3 人形机器人：要求高效率、高动态、高功率密度

人形机器人的自由度决定电机数量，机器人灵活性越高，电机越多。当前全球人形机器人玩家较少，已实现推出原型机/产品的公司包括日本本田、美国波士顿动力、美国敏捷机器人、中国优必选、中国小米和美国特斯拉等。其中，本田 ASIMO 有 34 个自由度，均为旋转执行器，采用伺服电机+谐波减速器方案，优必选 Walker 有 40 个自由度，采用相似架构；敏捷机器人 Digit Robot 有 20 个自由度，采取伺服电机+谐波减速器/摆线减速器方案，小米 CyberOne 有 21 个自由度，采取相似架构；波士顿动力 Atlas 有 28 个自由度，采用液压驱动方案；特斯拉 Optimus 有 28 个自由度，采用 6 种执行器，旋转执行器为电机+谐波减速器，线性执行器为电机+滚柱丝杠。

表 5：全球目前主要人形机器人对比

	本田 ASIMO	波士顿 Atlas	敏捷机器人 Digit	优必选 Walkers	小米 CyberOne	特斯拉 Optimus
国家	日本	美国	美国	中国	中国	美国
自由度	34	28	20	40	21	28
产业化水平	未产业化，停产	未商业化	商业化早期	已商业化落地	推出一代原型机	推出一代原型机
应用场景	展览	搜索、救援等特种场景	物流、仓库远程控制和工业检测等	教育、物流、医疗康养、展览		家务、工业等
技术方案	旋转电机：伺服电机+谐波减速器	液压驱动	伺服电机+谐波减速器/摆线减速器	旋转电机：伺服电机+谐波减速器	伺服电机+谐波减速器/摆线减速器	旋转执行器为电机+谐波减速器，线性执行器为电机+滚柱丝杠
示意图						

资料来源：各公司官网、申万宏源研究

人形机器人电机有三个关键点：高效率、高动态和高功率密度。①**高效率**：低能耗和低摩擦损失很重要，因为机器人通常由电池供电，能经受得起苛刻的运行条件，可进行十分频繁的正反向和加减速运行，并能在短时间内承受过载。②**高动态**：整个驱动器（电机、机构、接线、传感器和控制器）的惯性应尽可能低，电动机从获得指令信号到完成指令所

要求的工作状态的时间应短。③**高功率密度**：机器人应用需要高速、高扭矩电机，这些电机还需要小巧，紧凑，轻巧。

图 20：机器人电机侧重三点：高效率、高动态和高功率密度



资料来源：Maxon 官网、申万宏源研究

3.4 机器人手部：侧重轻量化、高效率、低成本

关于灵巧手的研究最早可追溯至 1960s，21 世纪以来研究进程加快，但目前仍处于实验室阶段，少数实现商用。在应用端，灵巧手可以代替人手完成多种抓取和操作任务，具有极大的应用价值，例如，家用领域可以完成家务、陪护、康养等任务，工业领域可以完成装配等精细化作业任务，特种领域可以在太空、深海、核电站等代替人手实现精准操作；在技术端，灵巧手在灵活性、适应性、可控性、敏锐感知、小型化等方面仍有挑战。灵巧手有多种驱动技术方案，柔性驱动包括气动型、液压驱动型、肌腱驱动型等；刚性驱动包括齿轮连杆驱动型、连杆驱动型、关节电机驱动型等。目前最常见的灵巧手均为电机驱动，具有能耗低、控制系统简单、电路设计方便等优点。

不同灵巧手方案的电机数量不等。2002 年日本岐阜大学合作开发 Gifu-III 灵巧手，合计 20 个关节和 16 个自由度，采用 Maxon 公司直流伺服电机；英国 Shadow 公司的灵巧手已投入商业化应用，合计 24 个自由度，其中 20 个电机驱动，4 个欠驱动，每个手指都集成了力、位置和触觉传感器，可以抓取柔软或易碎的物体；韩国 IRIM 实验室研制了线驱动灵巧手 FLLEX Hand，合计 15 个自由度；清华大学机械系 PESA 手具有 20 个关节，15 个自由度，15 个电机驱动；**特斯拉 Optimus 单手有 11 个自由度，采用 6 个执行器，采用空心杯电机+蜗轮蜗杆+金属肌腱驱动的方案。**

灵巧手电机大多采用微特电机，结构紧凑，效率高。灵巧手需要满足质量轻、结构紧凑和抓取力强的要求，因此采用的电机应该具有尺寸小、质量轻、精度高、扭矩大的特点，多采用微特电机+行星减速器的方式。空心杯电机具有尺寸小、质量轻、精度高、控制好、能量密度高等特点，能够满足手指高度紧凑的结构要求和驱动性能要求以 Maxon 的空

心杯电机为例：德国航空航天中心（DRL）与哈尔滨工业大学（HIT）合作研发的 DLR-HIT Hand 采用 15 个带霍尔传感器的无刷主流电机，长度 10.4 mm、外径为 21.2 mm，重量 15g，安装谐波驱动齿轮，最大扭矩 8.04mNm，结构紧凑、功率密度高、价格低廉。

表 6：全球部分灵巧手对比

研究机构	日本岐阜大学	英国 Shadow 公司	韩国 IRIM 实验室	清华大学机械系	特斯拉
名称	Gifu-III	Shadow	FLLEX Hand2	PESA	Optimus
年份	2002 年	2004 年	2020 年	2013 年	2022 年
特点	合计 20 个关节和 16 个自由度，采用 Maxon 公司直流伺服电机	24 个自由度，其中 20 个电机驱动，4 个欠驱动，每个手指都集成了力、位置和触觉传感器	合计 15 个自由度，坚固耐用，能提取 12kg 物体	20 个关节，15 个自由度	11 个自由度，6 个执行器，采用无刷空心杯电机
示意图					

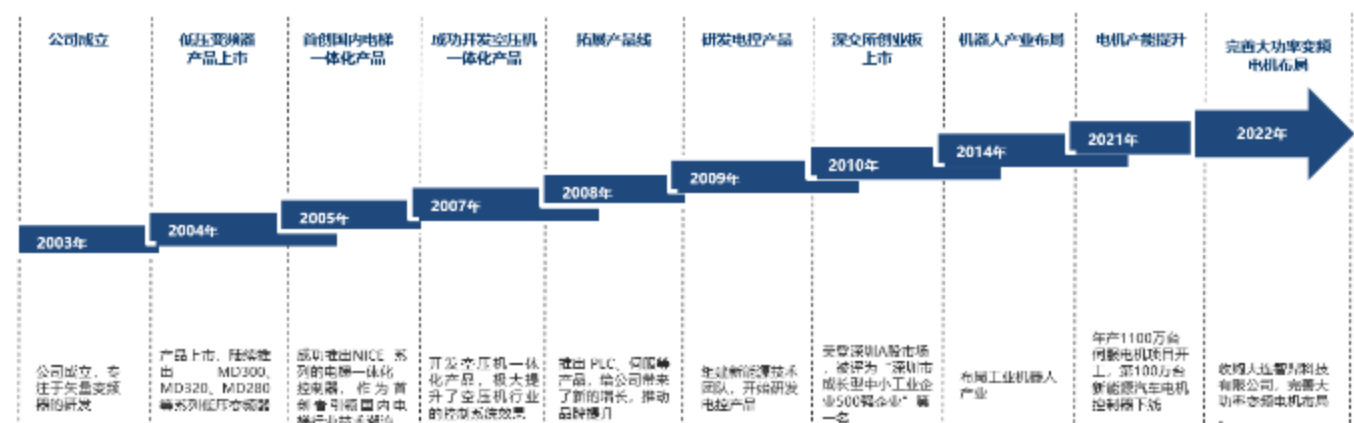
资料来源：《一种新型灵巧手结构设计与控制研究》、申万宏源研究

4. 国内相关公司梳理

4.1 汇川技术：工控自动化国内标杆，伺服电机领军品牌

汇川技术是国内工业自动化控制龙头。公司成立于 2003 年，2004 年生产出第一批电机，2008 年推出 PLC、伺服产品，2009 年“汇川永磁同步电机驱动控制软件”荣获中国国际软件博览会金奖，2010 年上市，2010-2019 年历经三次组织变革，取得远超行业平均的持续增长，2021 年年产 1100 万台伺服电机项目进一步扩大产能，2022 年收购大连智鼎科技，完善大功率变频电机布局。目前，公司产品覆盖通用自动化、电梯电气大配套、新能源汽车、工业机器人、轨道交通五大类，其中通用自动化包括变频器、伺服系统、控制系统、工业视觉系统、传感器、高性能电机等核心部件，产品线齐全。

图 21：汇川技术围绕电机的相关布局



资料来源：公司官网、公司公告、申万宏源研究

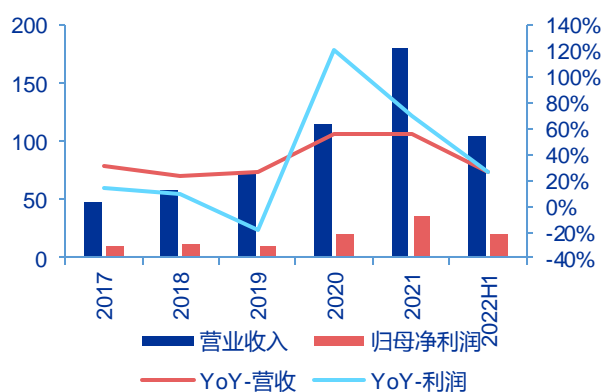
图 22：汇川技术通用自动化产品矩阵



资料来源：公司官网、申万宏源研究

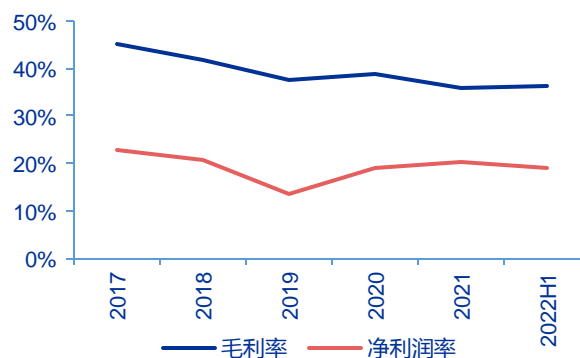
业绩稳健增长，抗周期能力显著。2021 年公司实现营业收入 179.43 亿元，同比增长 56%；归母净利润 35.73 亿元，同比增长 70%，其中通用自动化、电梯、新能源分别占比 50%、28%、20%。2021 年公司毛利率、净利率分别为 35.82%、20.51%。2022H1 公司实现营业收入和归母净利润 103.97 亿元、19.75 亿元，分别同比增长 25.65%、26.36%，在疫情和宏观环境不利影响下取得逆势增长，行业龙头地位进一步巩固。

图 23：汇川技术营业收入与归母净利润（亿元、%）



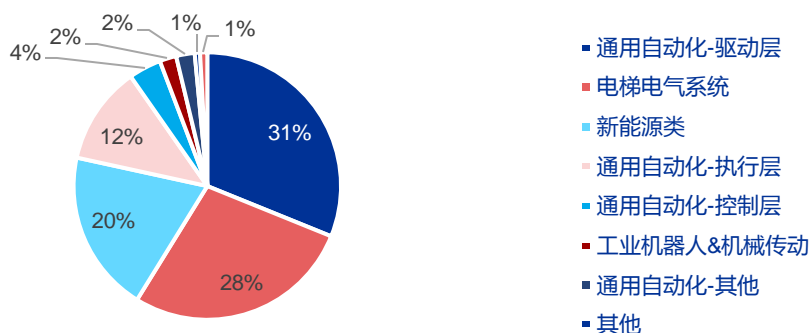
资料来源：Wind、申万宏源研究

图 24：汇川技术毛利率与净利率变化（%）



资料来源：Wind、申万宏源研究

图 25：2021 年汇川技术各业务收入占比（%）



资料来源：Wind、申万宏源研究

作为工控自动化龙头，公司充分受益自动化大浪潮，产品条线持续扩张，业务多点开花。1) 变频器和伺服系统的市占率在内资品牌中稳居第一，市场竞争力强劲。公司掌握高性能伺服控制技术、高性能伺服电机技术等核心技术，产品矩阵丰富，覆盖单轴/多轴伺服系统、通用/专用伺服系统、新一代伺服系统、电液伺服系统、高精度伺服驱动系统等，广泛应用于 3C 制造、机械手、LED、锂电、印刷包装、纺织、机床、注塑机等业务领域。2) 工业机器人业务高速增长，产品品类扩张。公司的工业机器人产品包括 SCARA 机器人、六轴机器人、视觉系统、高精密丝杠、控制系统等整机及零部件。根据睿工业，2021 年公司 SCARA 机器人的国内市场份额为 14%，名列第三，内资第一。目前公司工业机器人业务已经实现盈利，未来有望高速增长。3) 战略布局新能源车景气赛道，电控产品放量在即。公司已进入理想、小鹏、威马等造车新势力及长城、广汽等传统车企供应链，2022H1 产品迭代至第四代高压电驱总成、异步电机总成，新能源车业务可期。

4.2 埃斯顿：国内工业机器人龙头，全产业链发展快速崛起

埃斯顿是国内工业机器人龙头企业，立足自主研发，技术创新驱动进步。公司成立于 1993 年，2002 年研发金属成形机床数控系统，2006 年拓展金属成形机床电液伺服系统等核心部件业务，2008 年推出交流伺服系统，2012 年布局工业机器人产品线，2019 年收购德国 CLOOS，取得焊接机器人全球前沿技术，2021 年全面进军工业智能化和数字化制造领域。公司形成工业自动化系列产品、工业机器人系列产品、工业数字化系列产品三大核心业务；其中工业自动化系列产品线包括全系列交流伺服系统，变频器，PLC，触摸屏，视觉产品和运动控制系统等。

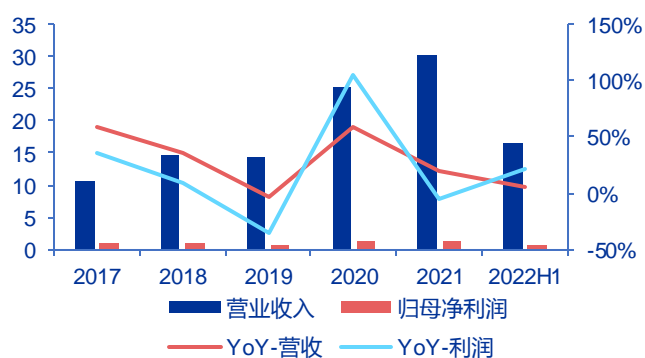
图 26：埃斯顿产品矩阵



资料来源：公司公告、公司官网、申万宏源研究

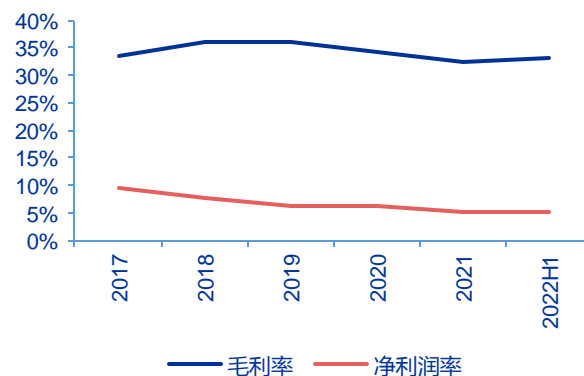
市场份额持续扩张，盈利略有承压。2021 年公司实现营业收入 30.20 亿元，同比增长 20%；归母净利润 1.22 亿元，同比下降 5%；2022H1 公司实现营业收入和归母净利润分别为 16.55 亿元、0.76 亿元，同比增长 6%、21.3%。公司重视自主研发，2017-2021 年研发支出由 1.06 亿元上升至 2.82 亿元，研发费用率长期维持 10%的较高水平。2020 年 6 月福布斯发布 2020 中国最具创新能力榜单，埃斯顿荣登“2020 年中国最具创新力企业榜”，成为工业机器人企业唯一登榜者。

图 27：埃斯顿营业收入与归母净利润变化(亿元、%)



资料来源：Wind、申万宏源研究

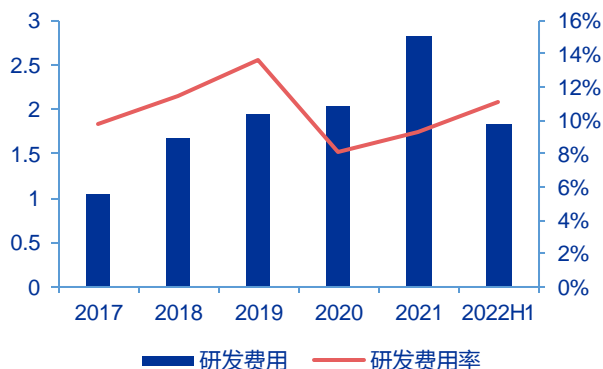
图 28：埃斯顿毛利率与净利率变化(%)



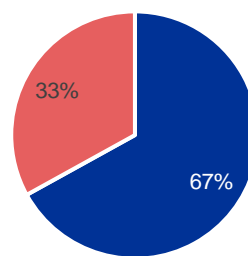
资料来源：Wind、申万宏源研究

图 29：埃斯顿研发费用与研发费用率(亿元、%)

图 30：2021 年埃斯顿各业务收入占比(%)



资料来源：Wind、申万宏源研究



■ 工业机器人及成套设备 ■ 智能装备核心控制功能部件

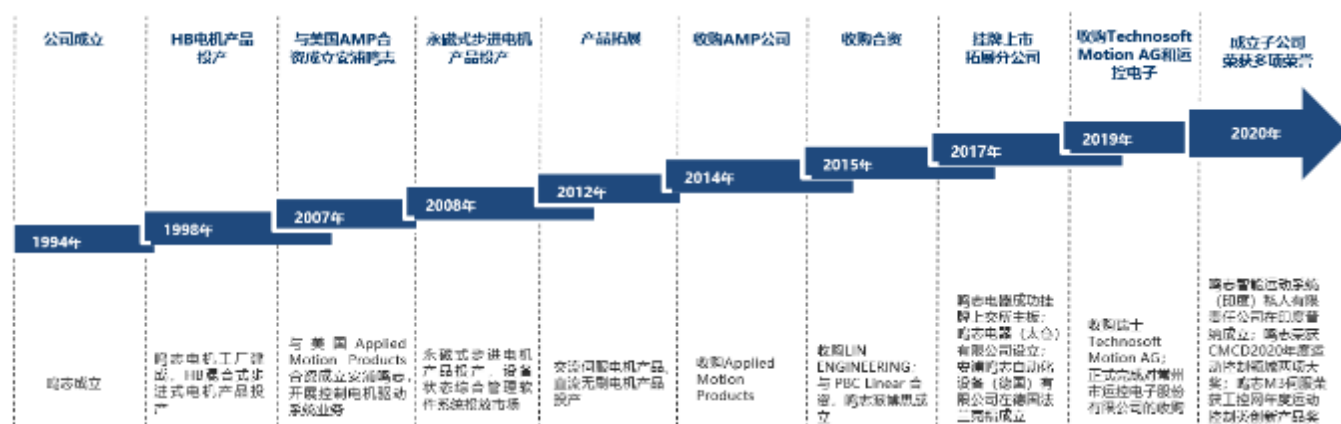
资料来源：Wind、申万宏源研究

机器人叠加国产替代，公司发展前景广阔。1) 机器人销量快速增长，空间广阔。2021年公司工业机器人出货量约1.1万台/套，国内市占率为4.4%，在人力成本上升+劳动力短缺+产业自动化升级+国产替代等多重驱动下，工业机器人有望持续渗透，公司作为龙头将首先受益。2) 股权激励彰显信心。2022年8月公司发布长期激励计划和员工持股计划，员工持股计划考核目标是2022/2023年公司收入分别不低于38亿元、52亿元，同比分别+25.83%、36.84%，彰显公司对于未来发展的信心。

4.3 鸣志电器：运动控制平台企业，空心杯电机国内龙头新锐

鸣志电器聚焦运动控制及智能电源领域关键部件制造，产品品类齐全。公司成立于1994年，1998年鸣志电机工厂建成，HB步进电机产品投产，2007年与美国AMP公司合资安浦鸣志，开展控制电机驱动系统业务，2008年永磁式步进电机产品投产，2012年交流伺服电机产品、直流无刷电机产品投产，2014年收购美国AMP，2015年收购美国LIN ENGINEERING，与PBC Linear合资成立鸣志派博思，2018年收购瑞士Technosoft Motion AG，通过内生+外延双轮驱动实现快速发展。目前产品已覆盖混合步进电机、永磁步进电机、线性电机、伺服电机、直流无刷电机、无刷无槽电机、电机驱动与集成、电动滑台、智能LED调光、LED智能控制与驱动、大型设备管理与故障诊断等多个领域。

图 31：通过多次收购与合资实现快速发展，不断完善电机产品矩阵



资料来源：公司官网、公司公告、申万宏源研究

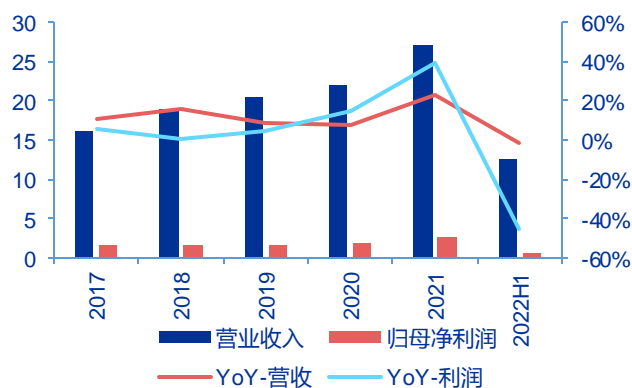
图 32：鸣志电器运动控制产品矩阵



资料来源：公司官网、申万宏源研究

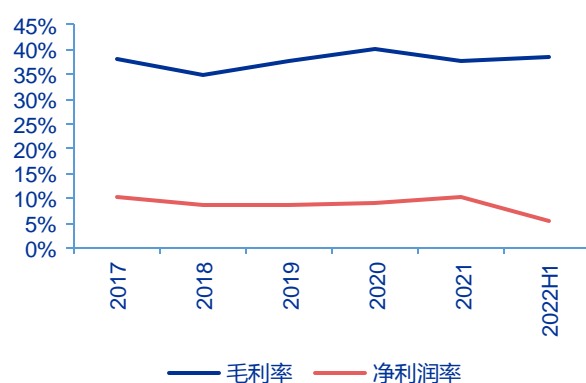
业绩持续高增，毛利率稳定在较高水平。2021 年公司实现营业收入 27.14 亿元，同比增长 22.66%，2017-2022 复合增长率 13.6%；归母净利润 2.80 亿元，同比增长 39.27%；其中控制电机及其驱动系统产品收入 20.98 亿元，占比 77%。2021 年毛利率、净利率分别为 37.66%、10.37%。2022H1 实现营业收入和归母净利润分别 12.7 亿元、0.7 亿元，分别同比-1.9%、-45.4%，主要因为公司及工厂位处上海，3 月以来受疫情影响较大，工厂停工、物流受限、仓库封闭、原材料供应不稳定等情况对境内外业务造成多重不利影响，6 月以来复工复产后公司经营情况已得到迅速恢复，预计下半年有望恢复高增态势。

图 33：鸣志电器营业收入与归母净利润（亿元、%）



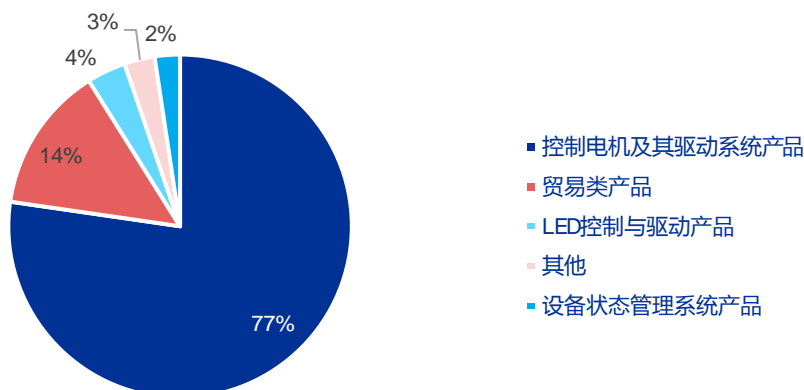
资料来源：Wind、申万宏源研究

图 34：鸣志电器毛利率与净利率（%）



资料来源：Wind、申万宏源研究

图 35：2021 年鸣志电器各业务收入占比（%）



资料来源：Wind、申万宏源研究

产品品类齐全形成平台化运营，新兴高附加值占比持续提升，产能有序释放支撑公司高增长。1) 产品线不断完善，高附加值应用领域快速成长。公司产品线涵盖 25 个系列，覆盖运动控制、智能电源、工业互联网等五大领域，形成平台化运营模式。2014 -2018 年陆续收购美国 AMP、美国 LIN ENGINEERING、瑞士 Technosoft Motion AG 等外资高端品牌，公司不断吸纳核心研发技术与客户群体，强化研发实力。2022H1，工业自动化、生化医疗、服务机器人、半导体工厂等新兴高附加值领域收入增长 20%、21%、50%和 85%，上述领域收入同比增加 1.04 亿元。2) 深入布局空心杯电机，把握产业发展导向。在无刷空心杯领域，鸣志 EC 系列直流无刷无槽电机提供 Ø13mm~Ø30mm 多种规格，空载转速达 15000rpm~50000rpm；在有刷空心杯领域，鸣志 DCU 系列直流有刷电机提供 Ø8mm~Ø24mm 多种规格，空载转速达 10000rpm~16000rpm，采用空心转子设计方案，具有高加速度、低转动惯量、无齿槽效应、无铁损小巧轻便等特点。公司具备 AMP、T Motion 两家公司在空心杯电机领域多年的核心技术优势，并广泛吸收了其客户资源，有望在空心杯电机市场抢占先机。3) 全球产能布局有序推进。公司上海工厂产能预计于 22Q4 迁移至太仓工厂，越南年产 400 万台 HB 步进电机项目预计 23Q1 开始试运行，公司生产效率与产能规模将得到有效提升。

4.4 兆威机电：精密传动行业翘楚，布局蓝海前景广阔

兆威机电专注于微型驱动领域，产品包括微型传动系统、精密注塑件和精密模具三大类。公司成立于 2001 年，制定了“精密微小超薄”的发展路线，2002-2004 年先后成为三协、松下、三洋等企业供应商，2008 年成为德国博世 BOSCH 汽车的认证供应商，2014 年成功开发 3.4mm 直径微型减速齿轮箱，2021 年完成 C 款标准品齿轮箱的全系列升级，启动正齿轮箱产品系列化的研发。目前，公司产品覆盖汽车电子、通讯、医疗器械、智能家居、AI 机器人等领域，重点聚焦 5G 商用、智慧医疗、人工智能、IOT 等领域的开拓，为客户的智能化驱动提供定制化服务。

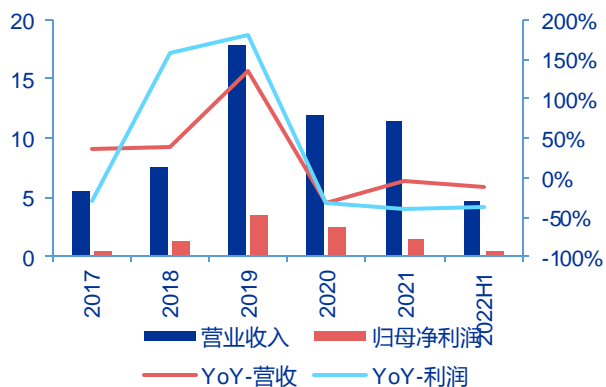
图 36：兆威机电在各个应用领域的产品



资料来源：公司公告、申万宏源研究

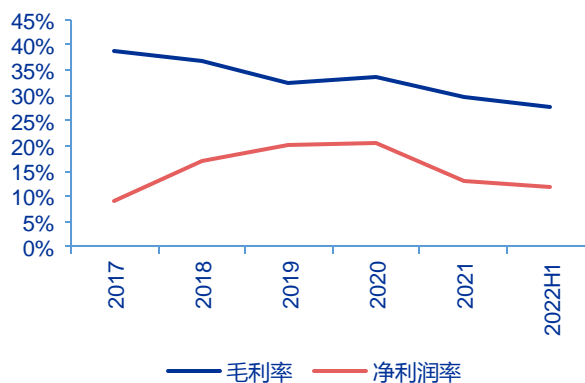
疫情下消费市场承压，导致短期业绩扰动。2021 年公司实现营业收入 11.40 亿元，同比下降 5%；归母净利润 1.48 亿元，同比下降 40%，其中微型传动系统、精密注塑件和精密模具分别占比 65%、30%和 5%。2021 年毛利率、净利率分别为 29.73%、12.94%。2022H1 公司实现收入和归母净利润 4.69 亿元、0.55 亿元，分别同比-12.44%、-37.86%，主要受到智能家居、服务机器人、通讯业务板块的负面影响；汽车电子和医疗领域分别实现 26.77%和 16.46%的正增长，为公司积极拓展的重点领域。

图 37：兆威机电营业收入与归母净利润（亿元、%）



资料来源：Wind、申万宏源研究

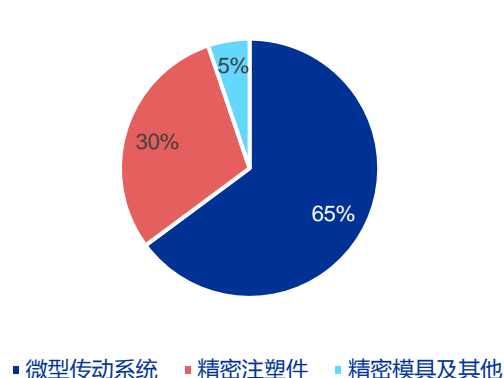
图 38：兆威机电毛利率与净利率变化（%）



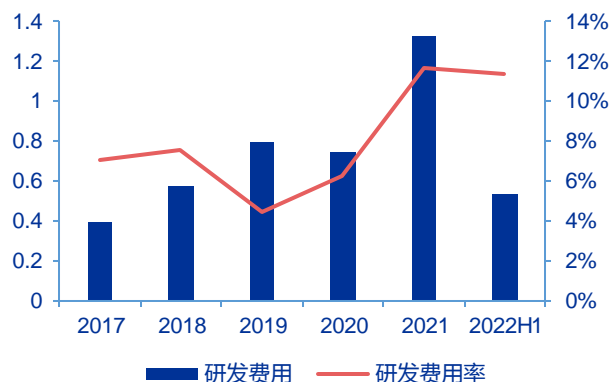
资料来源：Wind、申万宏源研究

图 39：2021 年兆威机电各业务收入占比（%）

图 40：兆威机电研发费用与研发费用率（亿元、%）



资料来源：Wind、申万宏源研究



资料来源：Wind、申万宏源研究

重视基础性研究+加码高景气赛道，看好公司长期成长价值。1) 重视微型驱动领域的理论和技术研究，高研发锻造产品竞争力。2021 年公司研发投入 1.3 亿元，同比+77.98%，研发费用率 11.65%，近五年研发投入持续提升；研发人员占比 23.14%，比重不断增加。2021 年研发成果丰厚：平台化领域，C 款标准品齿轮箱全系列升级；工业装备领域，开发线性升降机构等 6 款产品，实现齿轮箱与驱动控制的一体化集成设计；服务机器人领域全面升级，积极提升批量化生产能力；通讯领域，开发大容量基站天线齿轮箱、RCU（远程控制单元）模组，该模组可实现信号的最强发射；基础技术研究领域，完成高性能 PEEK 塑料齿轮的精密制造技术研究；粉末冶金部门在小模数粉末冶金齿轮高精度大批量制造技术上，最优精度和技术水平达到国际前列。2) 重点发力汽车电子领域等高景气领域，客户拓展顺利。公司拓展比亚迪、长城、蔚小理等国内新能源汽车客户，参与智能屏、电动尾翼、隐藏式门把手、PLG 等项目研发。此外积极拓展医疗、智能家居、AI 机器人、AR/VR、5G 商用等战略新型产业，未来潜在增长空间大。

4.5 江苏雷利：微电机领先方案商，纵横拓展高景气赛道

江苏雷利深耕微电机行业 30 载，由家电延伸至多个细分领域。1993 年品牌初创，开始生产步进电机，2006 年雷利电机科技成立，2017 年于科创板上市，2019 年收购鼎智机电切入高端医疗器械领域，2021 年收购太仓凯斯汀，成立安徽凯斯汀、江苏雷利艾德思，布局汽车零部件业务。目前，公司已形成步进电机、同步电机、直流有刷电机、直流无刷电机、水泵等多种电机产品为主导，配套相关精密结构、驱动控制设计和制造解决方案的业务布局。

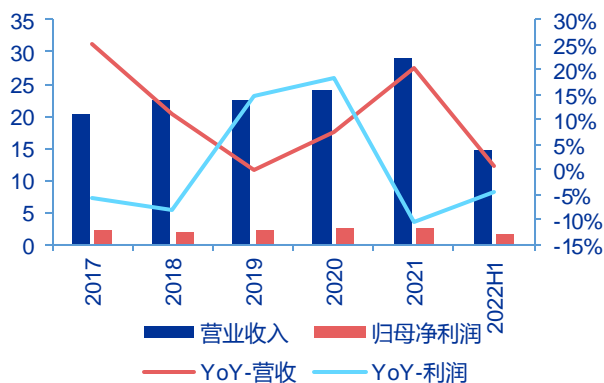
图 41：江苏雷利产品矩阵



资料来源：公司官网、申万宏源研究

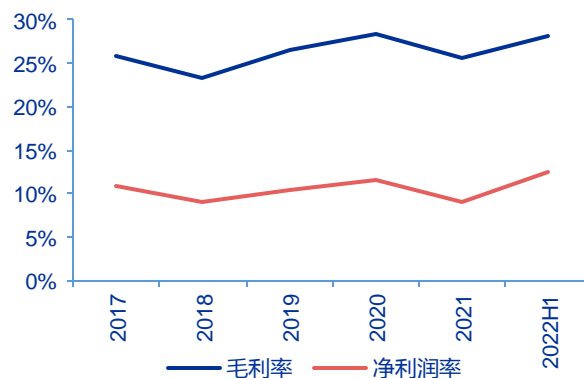
业绩稳步增长，新业务贡献增速。2021 年公司实现营业收入 29.19 亿元，同比增长 21%；归母净利润 2.44 亿元，同比下降 11%。2021 年公司毛利率、归母净利率分别为 25.57%、9.01%。按产品类别分，2021 年步进电机、泵、MA 电机及组件、直流电机、PP-冲压件、排水电机分别占比 41%、16%、16%、8%、6%、6%；按下游分，空调、洗衣机、工控、医疗、冰箱、汽车分别占比 28%、20%、10%、9%、9%、8%。2022 年实现营业收入 14.65 亿元，同比增长 0.75%；归母净利润 1.55 亿元，同比下降 4.34%；其中，汽车零部件、工控、小家电分别同比+65%、+27%、+23%，新兴领域实现快速增长。

图 42：江苏雷利营业收入与归母净利润（亿元、%）



资料来源：Wind、申万宏源研究

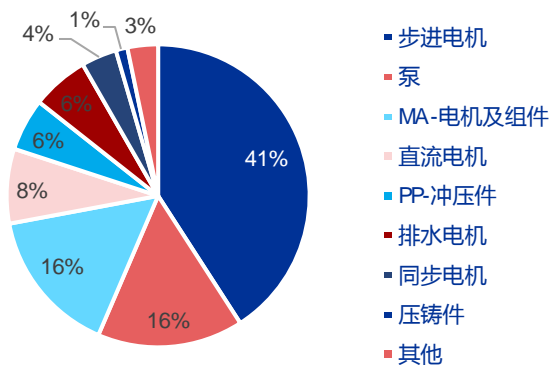
图 43：江苏雷利毛利率与净利率变化（%）



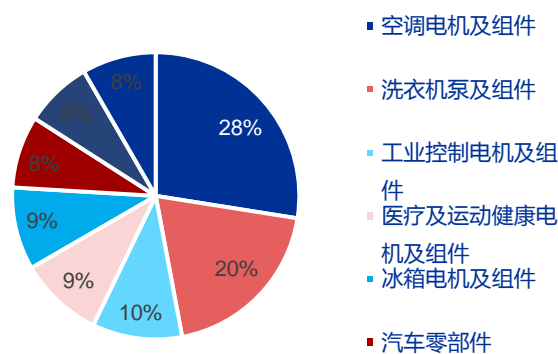
资料来源：Wind、申万宏源研究

图 44：2021 年江苏雷利各业务收入占比-分产品（%）

图 45 2021 年江苏雷利各业务收入占比-分行业（%）



资料来源：Wind、申万宏源研究



资料来源：Wind、申万宏源研究

医疗+新能源车+储能+工控四大赛道并进，拥抱蓝海市场，国产化替代空间巨大。1)

医疗：子公司鼎智科技主要产品直流无刷电机、音圈电机、步进电机等已广泛应用于体外诊断 IVD 行业、核酸检测仪、呼吸机、牙科影像仪等高端医疗设备，与迈瑞、万孚、天隆、凯格、优利特、帝迈、IDEXX 等国内外知名企业合作；2) **新能源车：**公司相关产品包括汽车电子水泵、冲压件、铝压铸、电子油泵、激光雷达电机等，21 年 10 月发布公告称拟在六安投资 5.5 亿元建设“新能源汽车核心零部件生产基地项目”，将生产驱动电机、电动轮毂压缩机、精密铝压铸和冲压零部件等产品，25-26 年规划产能为 7 亿产值；3) **储能：**公司的电子水泵用于储能液冷系统及电化学储能电池，直接或间接进入比亚迪、国轩高科、英维克等头部厂商供应链，未来还将延伸至储能电机、冲压件、控制器等配套产品；4) **工控：**公司 2020 年参股洛源智能加大对伺服系统和电机领域的布局，现有产品丝杆电机、伺服电机、无刷空心杯电机等产品可广泛应用于机床、3C、印刷包装、机器人等多个行业，该领域尚处于起步阶段，未来增长空间广阔。

4.6 重点公司估值表

表 7：重点公司估值表

公司代码	公司简称	2022/10/13	EPS (元/股)				PE				PB
		收盘价 (元/股)	21A	22E	23E	24E	21A	22E	23E	24E	
300124.SZ	汇川技术	61.49	1.35	1.59	2.06	2.63	46	39	30	23	10
002747.SZ	埃斯顿	18.44	0.14	0.23	0.36	0.52	131	80	51	36	6
603728.SH	鸣志电器	29.50	0.67	0.76	1.29	2.18	44	39	23	14	5
003021.SZ	兆威机电	51.24	0.86	0.95	1.65	2.17	60	54	31	24	3
300660.SZ	江苏雷利	25.14	0.93	1.19	1.62	2.18	27	21	16	12	2

资料来源：Wind、申万宏源研究 注：盈利预测均为 Wind 一致预测

5 . 风险提示

（1）制造业投资不及预期风险

工业机器人下游广泛，终端需求来自于汽车、3C 电子、金属加工、化工等，受到宏观经济的扰动，如果未来汽车、3C 电子等下游行业需求低迷或者增速停滞，削减资本开支，固定资产投资规模萎缩，将会导致工业机器人及作为核心零部件的伺服电机需求量降低。

（2）人形机器人技术突破不及预期风险

智能汽车、智能家电领域的国际巨头入局机器人赛道，对人形机器人行业发展形成强大助推作用，但目前 AI 技术、传感技术、硬件技术仍在不断发展过程中，人形机器人的应用场景尚未明确。如果各环节技术突破不及预期，将会导致人形机器人的发展停留在概念阶段，难以实现规模化生产，进而影响伺服电机和空心杯电机的市场需求。

（3）国产电机技术进步不及预期风险

目前电机市场高端领域被外资垄断，国内厂商已实现中低端电机的大规模量产，高端领域的国产替代空间巨大。但是欧系和日系厂商已在电机行业深耕数十年，技术积累深厚，国内基础性研究较为薄弱，如果国内厂商不能快速提升自身技术，国产替代难度依然较大。

信息披露

证券分析师承诺

本报告署名分析师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，并对本报告的内容和观点负责。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。

与公司有关的信息披露

本公司隶属于申万宏源证券有限公司。本公司经中国证券监督管理委员会核准，取得证券投资咨询业务许可。本公司关联机构在法律许可情况下可能持有或交易本报告提到的投资标的，还可能为或争取为这些标的提供投资银行服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。客户可通过 compliance@swsresearch.com 索取有关披露资料或登录 www.swsresearch.com 信息披露栏目查询从业人员资质情况、静默期安排及其他有关的信息披露。

机构销售团队联系人

华东 A 组	陈陶	021-33388362	chentao1@swhyse.com
华东 B 组	谢文霓	18930809211	xiewenni@swhyse.com
华北组	李丹	010-66500631	lidan4@swhyse.com
华南组	李昇	0755-82990609	Lisheng5@swhyse.com

股票投资评级说明

证券的投资评级：

以报告日后的 6 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

买入 (Buy)	：相对强于市场表现 20% 以上；
增持 (Outperform)	：相对强于市场表现 5% ~ 20%；
中性 (Neutral)	：相对市场表现在 - 5% ~ + 5% 之间波动；
减持 (Underperform)	：相对弱于市场表现 5% 以下。

行业的投资评级：

以报告日后的 6 个月内，行业相对于市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

看好 (Overweight)	：行业超越整体市场表现；
中性 (Neutral)	：行业与整体市场表现基本持平；
看淡 (Underweight)	：行业弱于整体市场表现。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。申银万国使用自己的行业分类体系，如果您对我们的行业分类有兴趣，可以向我们的销售员索取。

本报告采用的基准指数：沪深 300 指数

法律声明

本报告仅供上海申银万国证券研究所有限公司（以下简称“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。

客户应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司 <http://www.swsresearch.com> 网站刊载的完整报告为准，本公司并接受客户的后续问询。本报告首页列示的联系人，除非另有说明，仅作为本公司就本报告与客户的联络人，承担联络工作，不从事任何证券投资咨询服务业务。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，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。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。

客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为作出投资决策的惟一因素。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本公司特别提示，本公司不会与任何客户以任何形式分享证券投资收益或分担证券投资损失，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。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。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。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。市场有风险，投资需谨慎。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告作出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告的版权归本公司所有，属于非公开资料。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。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。