

“机器人+”系列：机器人研究框架

——机器人行业深度报告

行业评级：看好

2023年1月31日

分析师	邱世梁	分析师	王华君	分析师	施毅	分析师	陈杭
邮箱	qiushiliang@stocke.com.cn	邮箱	wanghuajun@stocke.com.cn	邮箱	shiyi@stocke.com.cn	邮箱	chenhang@stocke.com.cn
电话	18516256639	电话	18610723118	电话	18621369158	电话	18616115287
证书编号	S1230520050001	证书编号	S1230520080005	证书编号	S1230522100002	证书编号	S1230522110004

目录

CONTENTS

- 01 工业机器人**
驱动因素：人工替代、国产替代、技术升级
产业链：上游核心部件、中游本体制造、下游集成
未来：人形机器人风起
- 02 电控系统**
控制和驱动是机器人关键电路
控制：需求引领MCU向更高性能升级
驱动：需求升级+工艺换代，功率半导体快速发展
- 03 传感器**
识别外部信息的“器官”
在机器人中的应用繁多
机器视觉：为机器植入“眼睛”和大脑
- 04 AI芯片**
特斯拉人形机器人使用自研FSD芯片
自动驾驶领域即为机器人芯片落脚点
AI芯片与模型算法交替发展

目录

CONTENTS

05 软件

开源化加速新技术研发与传播

智能算法赋能机器人工作能力

伴随算法进步，机器人应用领域深化

06 磁材

稀土永磁钕铁硼具有显著优势

高性能钕铁硼需求旺盛，新能源与机器人引领需求结构变化

预计2025年工业机器人销量对应的高性能钕铁硼需求超2万吨

07 电机

机器人运动驱动力

电机主要分类

电机市场竞争格局

08 轻量化

机器人轻量化发展分析

机器人轻量化材料对比

对标汽车轻量化市场分析

01

工业机器人

驱动因素：人工替代、国
产替代、技术升级

产业链：上游核心部件、
中游本体制造、下游集成

未来：人形机器人风起

01 中国将机器人分类为工业、服务、特种机器人三大类

□ 机器人分类：国际标准中，ISO（2021）将机器人划分为工业机器人、服务机器人以及医疗机器人。IFR将机器人划分为工业机器人以及服务机器人；我国2020年新标准将机器人划分为工业机器人、服务机器人、特种机器人和其他机器人。

机器人分类IFR标准与国内标准分类存在差异

机器人（IFR）

服务机器人

个人家用
(40%)

专业服务机器人(19%)

工业机器人 (41%)

多关节机器人

SCARA机器人

并联机器人

线性机器人

圆柱机器人

家政服务机器人

教育娱乐机器人

养老助残机器人

农业机器人

专用清洁机器人

医用机器人

物流机器人

巡检维护机器人

建筑破拆机器人

水下机器人

救援安保机器人

国防机器人

动力人体外骨骼

移动平台

公共游乐机器人

机器人（中国）

工业机器人(53%)

服务机器人
(35%)

特种机器人
(13%)

焊接机器人

搬运机器人

码垛机器人

喷涂机器人

包装机器人

切割机器人

家用服务机器人

医疗服务机器人

公共服务机器人

军事应用机器人

极限作业机器人

01 机器人政策持续推出，推动行业发展

时间	名称	内容
2016.3	十三五规划	加快构建智能穿戴设备、高级机器人、智能汽车等新兴智能终端产业体系和政策环境。
2016.3	《机器人产业发展规划（2016-2020）》	重点发展弧焊机器人、真空（洁净）机器人、全自主编程智能工业机器人、人机协作机器人、双臂机器人、重载AGV等六种标志性工业机器人产品。
2016.9	《智能制造发展规划（2016-2020）》	研发高档数控机床与工业机器人、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备等关键技术装备。
2016.12	《关于促进机器人产业健康发展的通知》	推动机器人产业理性发展，强化技术创新能力，加快创新科技成果转化。
2017.4	《国务院关于推进供给侧结构性改革加快制造业转型升级工作情况的报告》	培育创建新材料、机器人等制造业创新中心，启动国家制造业创新中心网络化布局的顶层设计。
2017.9	《国务院办公厅关于进一步激发民间有效投资活力促进经济持续健康发展的指导意见》	鼓励民营企业进入“互联网+”、大数据和工业机器人等产业链长、带动效应显著的行业领域。
2017.11	《增强制造业核心竞争力三年行动计划（2018-2020年）》	重点发展智能机器人、现代农业机械、新材料、制造业智能化、重大技术装备等九大重点领域。
2017.11	《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》	围绕数控机床、工业机器人、大型动力装备等关键领域，实现智能控制、智能传感、工业级芯片与网络通信模块的集成创新。
2018	福建、江苏、黑龙江、辽宁、山西、河北等省级行政区纷纷制定符合地区产业发展进程的政策，促进智能机器人、伺服电机、控制技术等发展。	
2019.10	《产业结构调整指导目录》	重点鼓励发展人机协作机器人、双臂机器人、弧焊机器人、重载AGV、专用检测与装配机器人集成系统等产品，以满足我国量大面广制造业转型升级的需求
2019.10	《制造业设计能力提升专项行动计划（2019-2022年）》	在高档数控机床和机器人领域，重点突破系统开发平台和伺服机构设计，多功能工业机器人、服务机器人、特种机器人设计等。
2021.3	十四五规划	推动机器人、先进轨道交通装备、先进电力装备、工程机械、高端数控机床、医药及医疗设备等产业创新发展。
2021.4	《“十四五”智能制造发展规划》	研发智能焊接机器人、智能移动机器人、半导体（洁净）机器人等工业机器人。
2021.12	《“十四五”机器人产业发展规划》	到2025年我国成为全球机器人技术创新策源地、高端制造集聚地和集成应用新高地。“十四五”期间，将推动一批机器人核心技术和高端产品取得突破，整机综合指标达到国际先进水平，关键零部件性能和可靠性达到国际同类产品水平；机器人产业营业收入年均增速超过20%。
2023.1	《“机器人+”应用行动实施方案》	目标到2025年，制造业机器人密度较2020年实现翻番，服务机器人、特种机器人行业应用深度和广度显著提升。

01 “机器人+”，类比之前“新能源+”，战略意义重大！

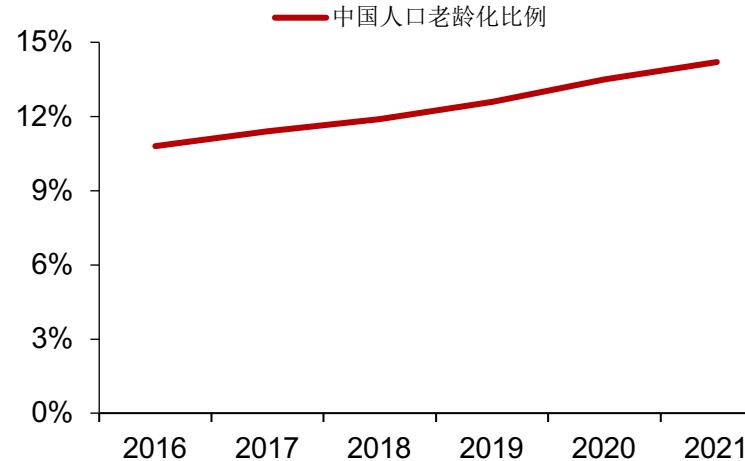
- 1月19日，工业和信息化部等17部门联合印发《“机器人+”应用行动实施方案》，要求到2025年，**制造业机器人密度较20年实现翻番**，服务机器人、特种机器人行业应用深度和广度显著提升，机器人促进经济社会高质量发展的能力明显增强。
- 相较于过去诸多机器人行业政策，此次行动方案着眼点更加具体。方案聚焦10大重点领域：**1) 经济发展**：①制造业、②农业、③建筑、④能源、⑤商贸物流；**2) 社会民生**：⑥医疗健康、⑦养老服务、⑧教育、⑨商业社区服务、⑩安全应急和极限环境。

2022-2024年机器人行业平均PE分别为51、35、26X

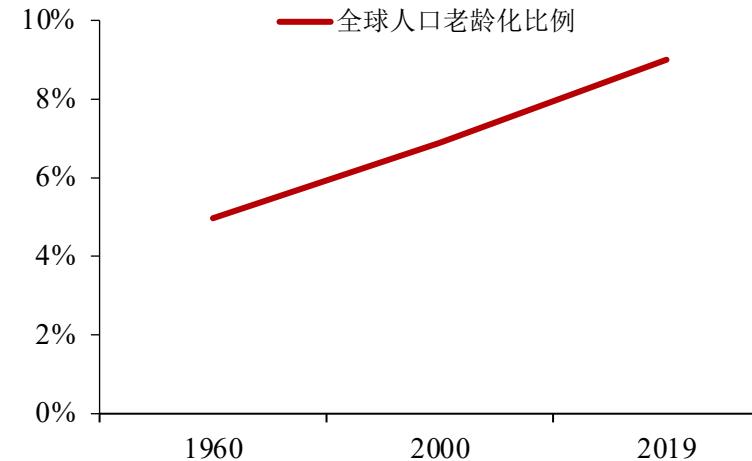
子行业	证券代码	可比公司	市值 (亿元)	归母净利润(亿元)			EPS			PE			PB (LF)	ROE	
				2022E	2023E	2024E	2022E	2023E	2024E	2022E	2023E	2024E	(2021)		
机器人本体	002747	埃斯顿	218	1.84	3.05	4.35	0.21	0.35	0.50	119	72	50	8.2	5%	
	300607	拓斯达	65	2.03	2.74	3.53	0.48	0.64	0.83	32	24	18	2.9	3%	
	688255	凯尔达	30	0.53	0.88	1.27	0.68	1.12	1.62	57	34	24	2.7	5%	
	688097	博众精工	138	4.06	5.55	8.05	0.91	1.25	1.81	34	25	17	3.9	8%	
	603666	亿嘉和	79	5.18	7.11	9.31	2.49	3.42	4.48	15	11	8	3.0	18%	
	688290	景业智能	66	1.20	1.68	2.34	1.45	2.04	2.84	55	40	28	6.8	25%	
	688084	晶品特装	62	0.71	1.04	1.52	0.94	1.37	2.00	87	59	41	3.7	10%	
	002698	博实股份	153	5.72	7.69	10.37	0.56	0.75	1.01	27	20	15	4.9	17%	
核心零部件-减速器	002472	双环传动	240	5.65	8.08	10.73	0.66	0.95	1.26	42	30	22	2.6	7%	
	688017	绿的谐波	202	2.31	3.21	4.36	1.37	1.91	2.59	88	63	46	10.7	10%	
	002896	中大力德	37	0.72	1.09	1.77	0.48	0.72	1.17	51	34	21	3.6	11%	
核心零部件-工控	300403	汉宇集团	39	2.36	2.63	-	0.39	0.44	-	16	15	-	2.2	14%	
	300124	汇川技术	1803	42.06	54.35	69.65	1.58	2.04	2.62	43	33	26	9.6	22%	
	688320	禾川科技	79	1.50	2.41	3.43	0.99	1.59	2.27	53	33	23	5.2	17%	
行业平均											51	35	26	5.0	12%

01 驱动因素一：人工替代

中国65岁以上人口比例连续5年增长，2021年达14%



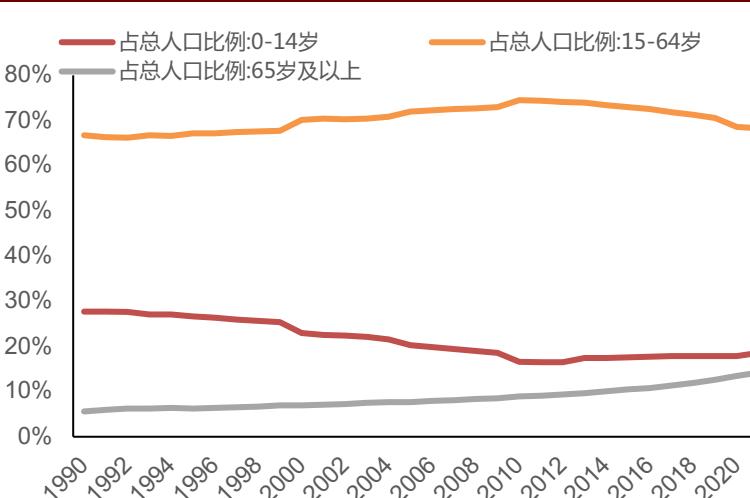
2019年世界65岁以上人口比例达9%



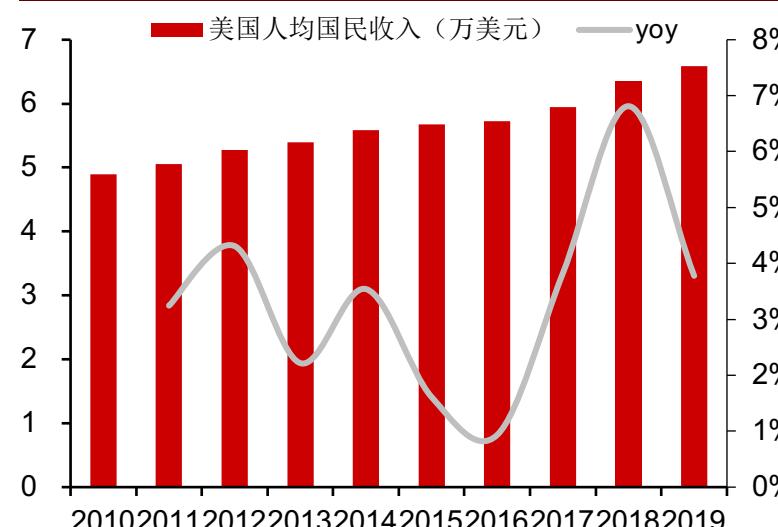
2022年我国总人数负增长，同比下滑0.1%



我国15-64岁人口比例自2010年开始下滑



2010-2019美国人均国民收入复合增速约3%



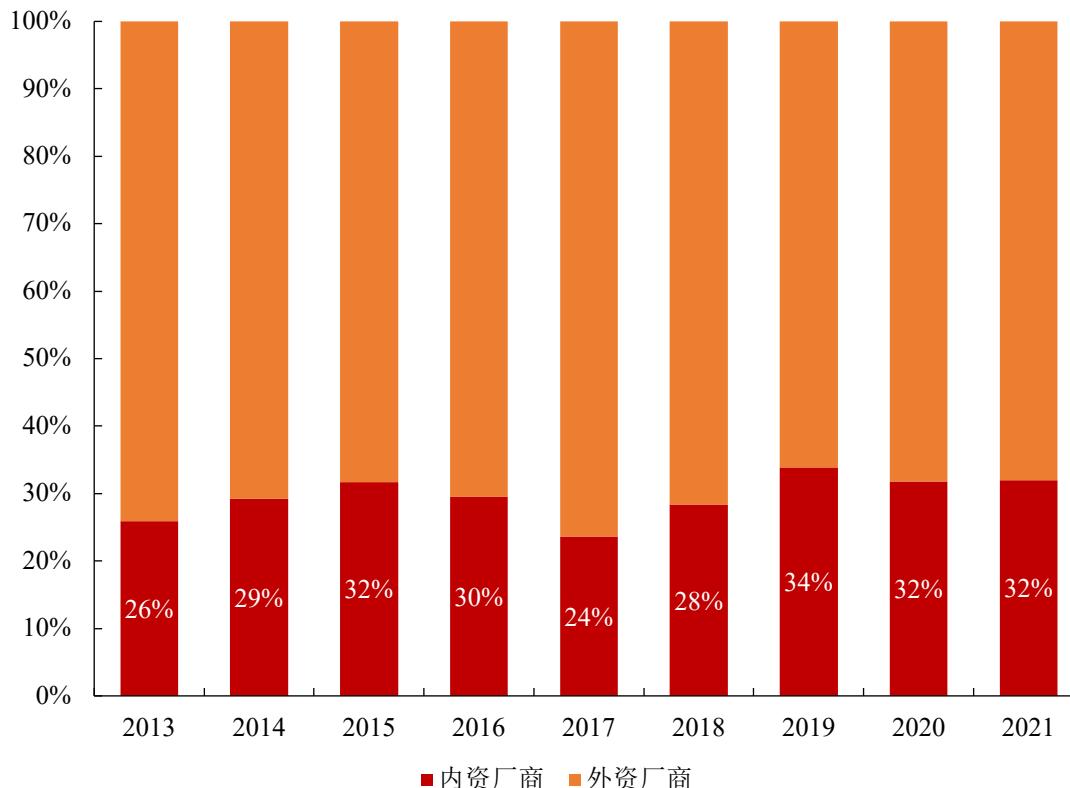
2016-2021年中国就业人员平均工资CAGR约9%



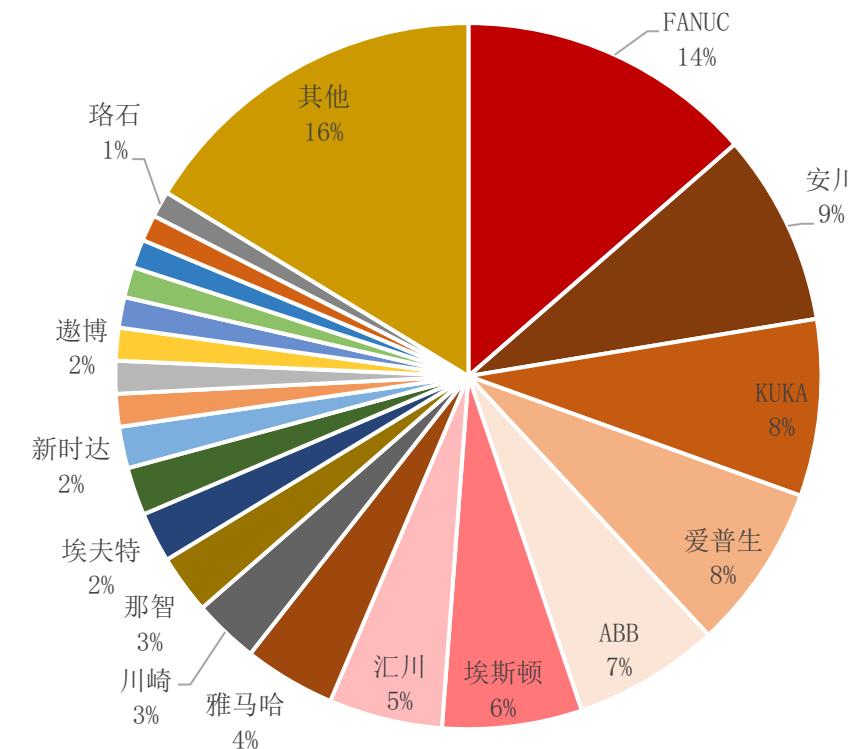
驱动因素二：工业机器人国产替代加速

- 外资机器人占据我国主要市场份额，国产替代仍在继续。根据CRIA与IFR数据，2021年国产工业机器人销量约8.7万台，同比增长51%，国产市场占有率约32%。
- 根据MIR DATABANK数据，前三季度内资厂商市场份额约36%，较2021年前三季度比例提升约4个百分点。

2021年国产机器人品牌市占率为32%，较去年回升约0.2pct



国产工业机器人出货市占率不断提升 (2022Q1-Q3)



新技术迭代，人形机器人不断发展



公元前4世纪，亚里士多德提出了“机器人”的设想



1927年，国西屋工程师温斯利制造了“Televox”机器人”



1963 年，NASA造出了“机动多关节假人”的机器人



1986年，本田开发了双足机器人E0



2000年，P系列中的第4台也是最后一台机器人——P4诞生



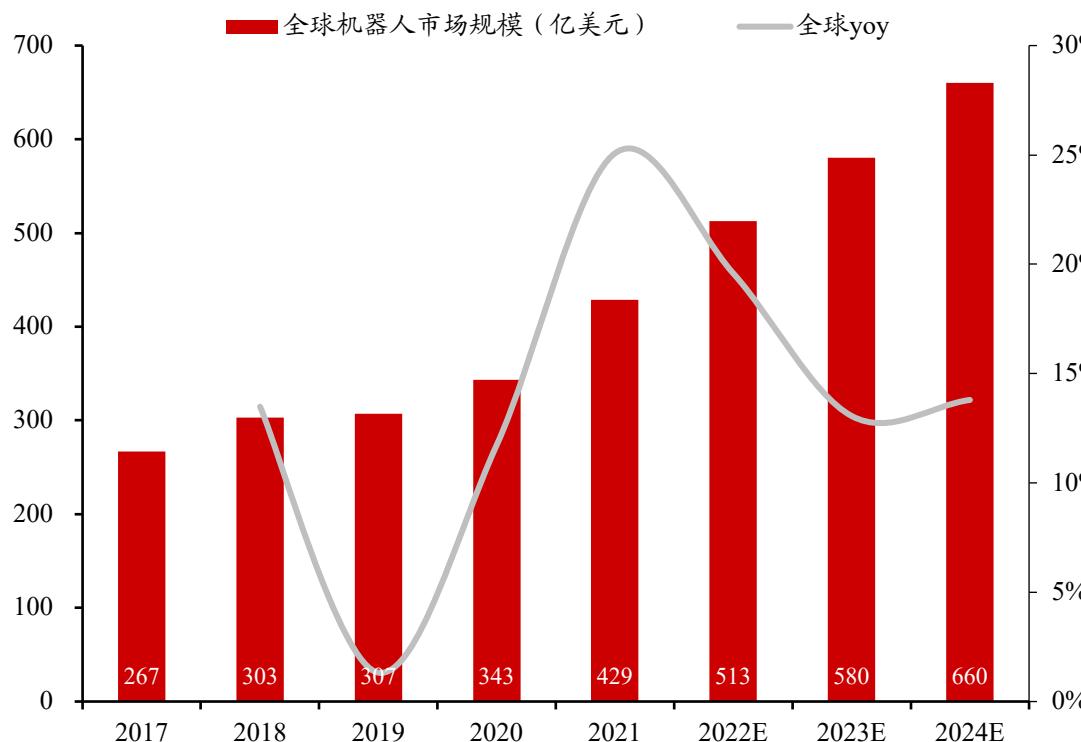
2014年，初代Atlas机器人正式发布



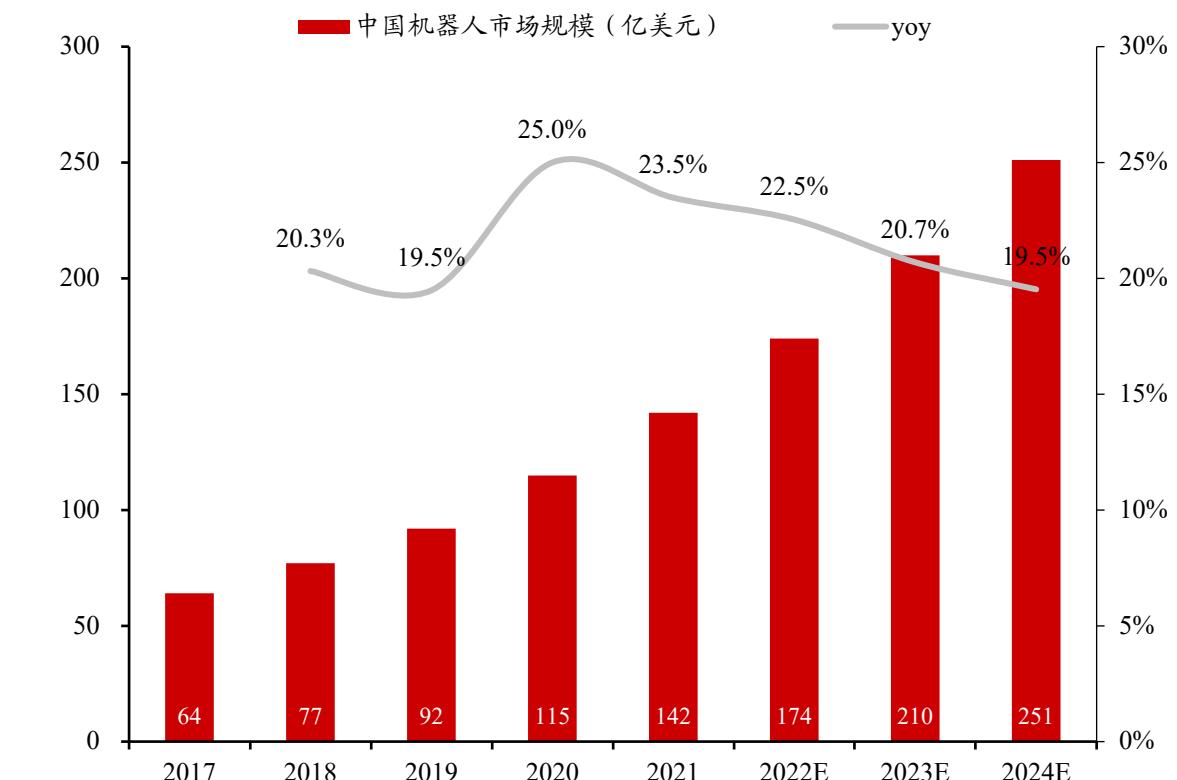
预计2020-2024年全球、中国机器人市场规模CAGR约18%、22%

- 根据IFR、中国电子学会数据，预计全球机器人市场规模2024年有望达到660亿美元，2020-2024年CAGR约18%。
- 国内机器人2024年有望达251亿美元市场规模，2020-2024年CAGR约22%。

预计2020-2024年全球机器人市场规模CAGR约18%

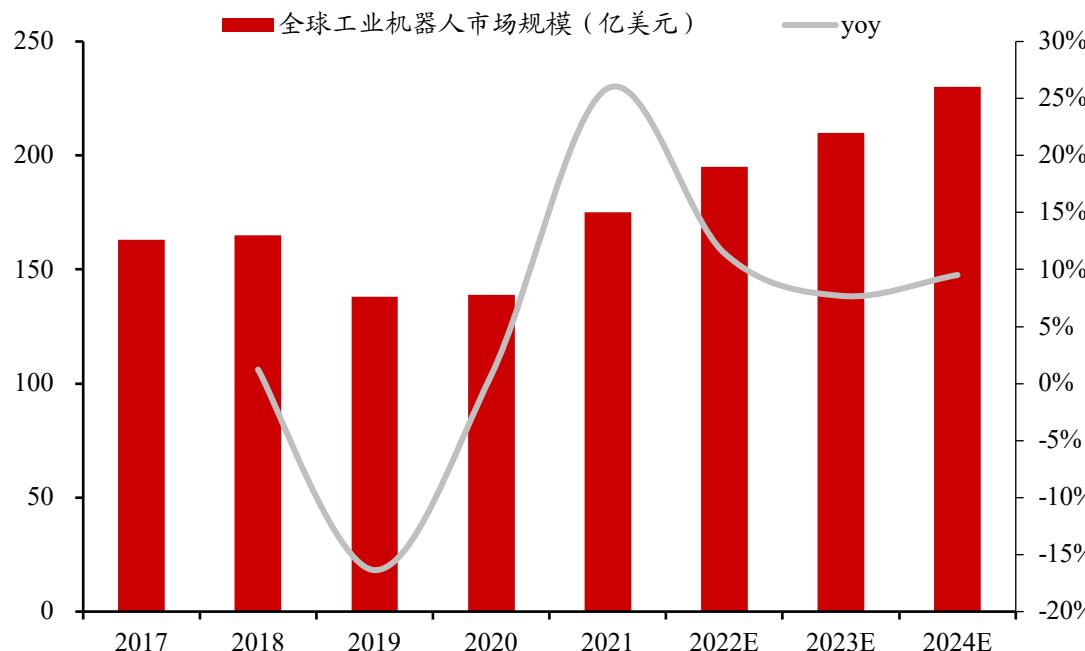


预计2020-2024年中国机器人市场规模CAGR约22%

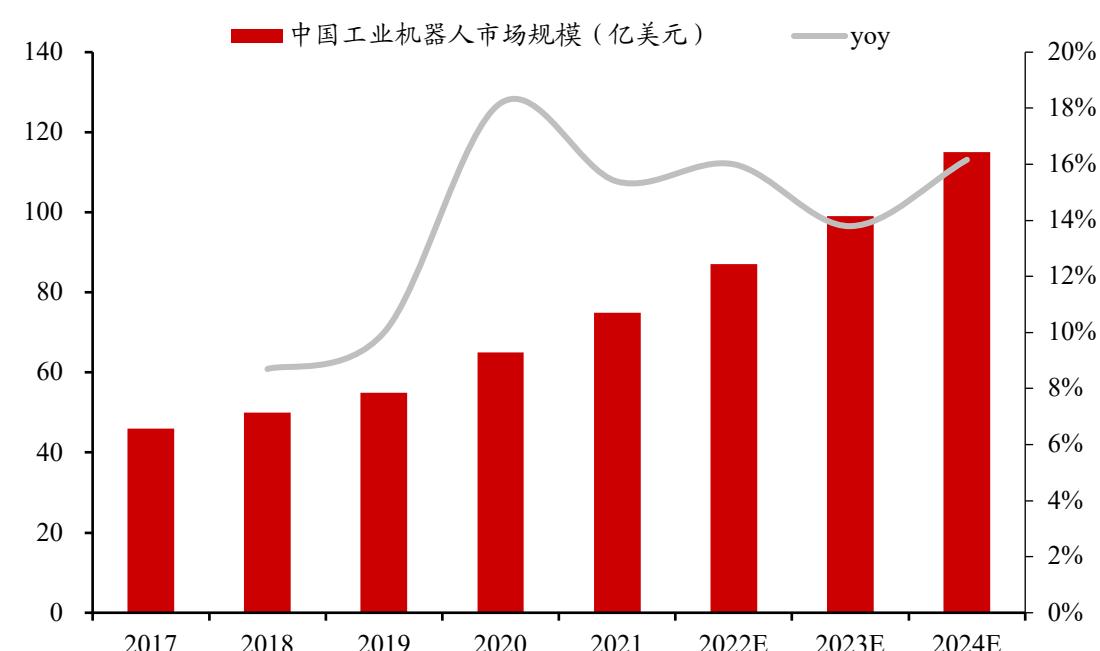


- 根据中国电子学会数据，2020-2024年全球工业机器人市场规模CAGR约13%，同期中国工业机器人市场规模CAGR约15%。
- 目前我国是全球最大的工业机器人市场，工业机器人市场规模占比全球规模不断提升。2021年我国工业机器人市场规模约75亿美元，占比全球43%，预计2024年我国工业机器人市场规模有望达115亿美元，在全球工业机器人销售额比重有望达50%。**

2020-2024年全球工业机器人市场规模CAGR约13%

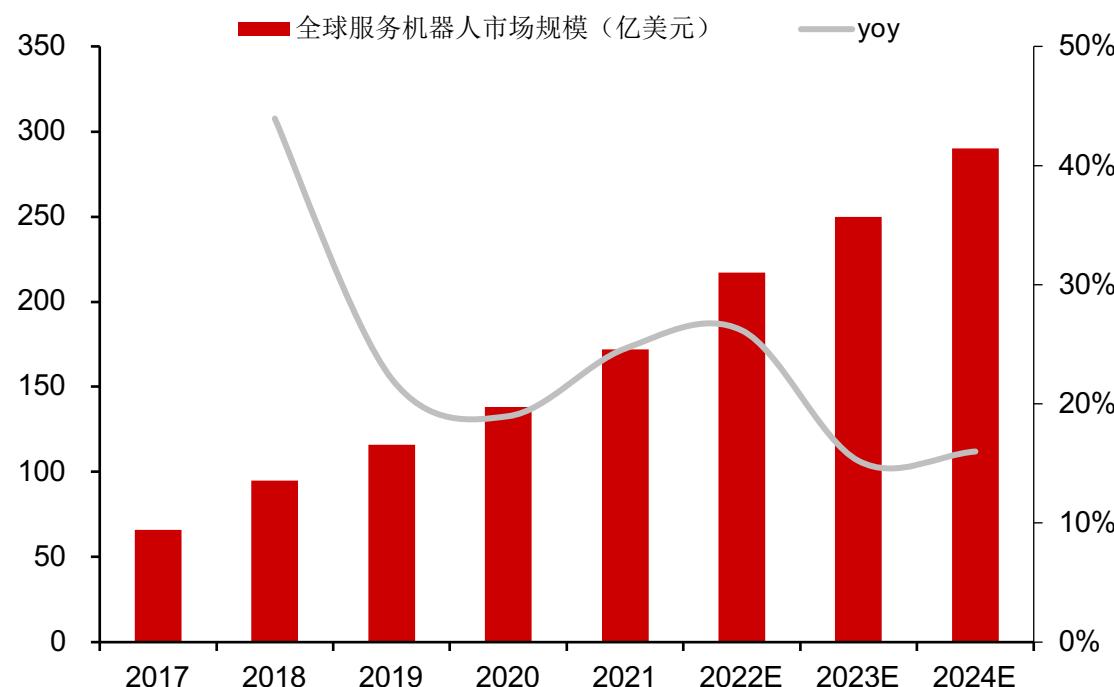


2020-2024年中国工业机器人市场规模CAGR约15%

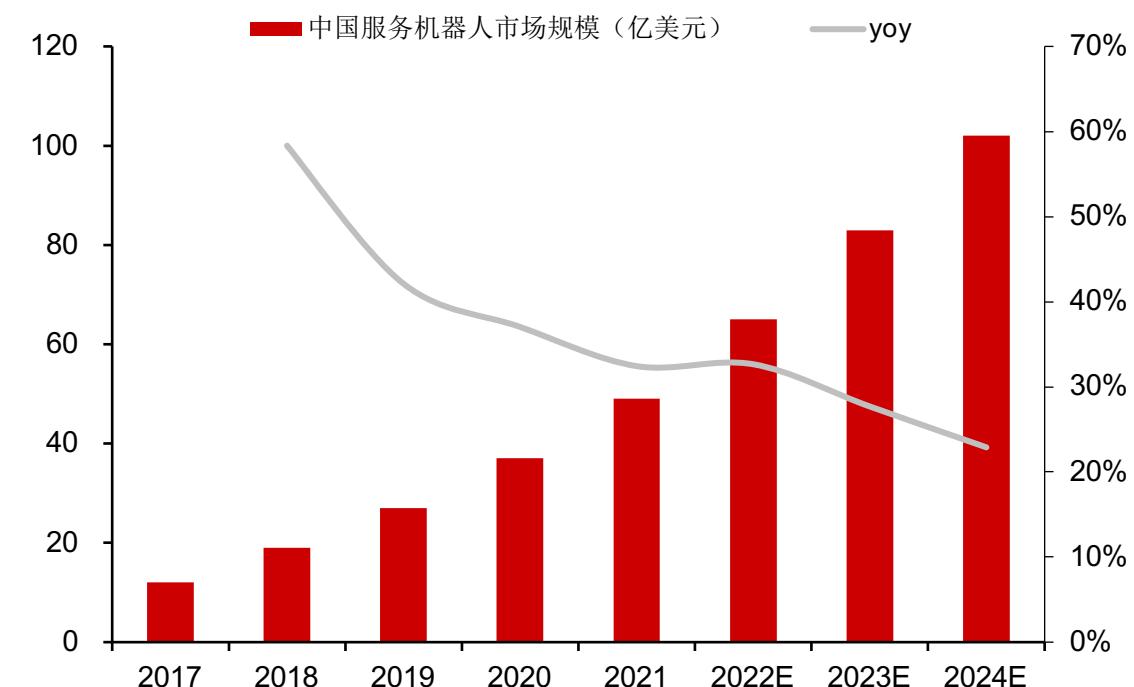


□ **服务机器人市场规模稳定增长。**据中国电子学会数据，预计全球服务机器人市场规模将从2020年的138亿美元增长至2024年的290亿美元，2020-2024年CAGR约20%。从国内看，2024年我国服务机器人市场规模将达102亿美元，2020-2024年CAGR约29%。

2020-2024全球服务机器人市场规模CAGR约20%

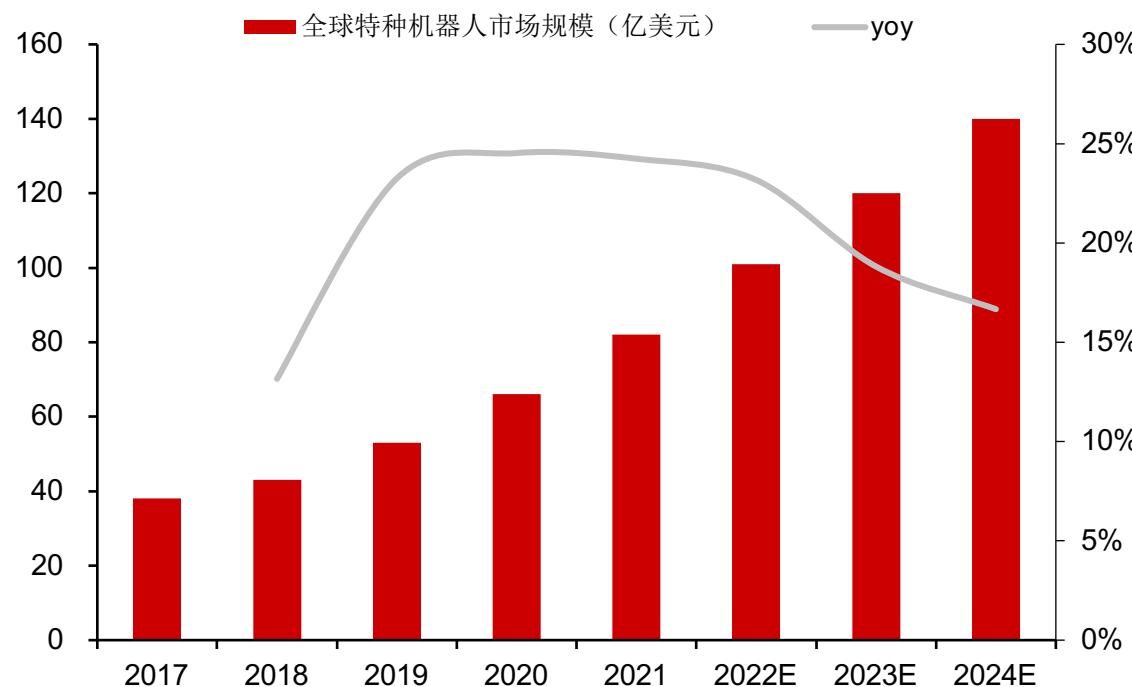


2024中国服务机器人市场规模预计已达102亿美元

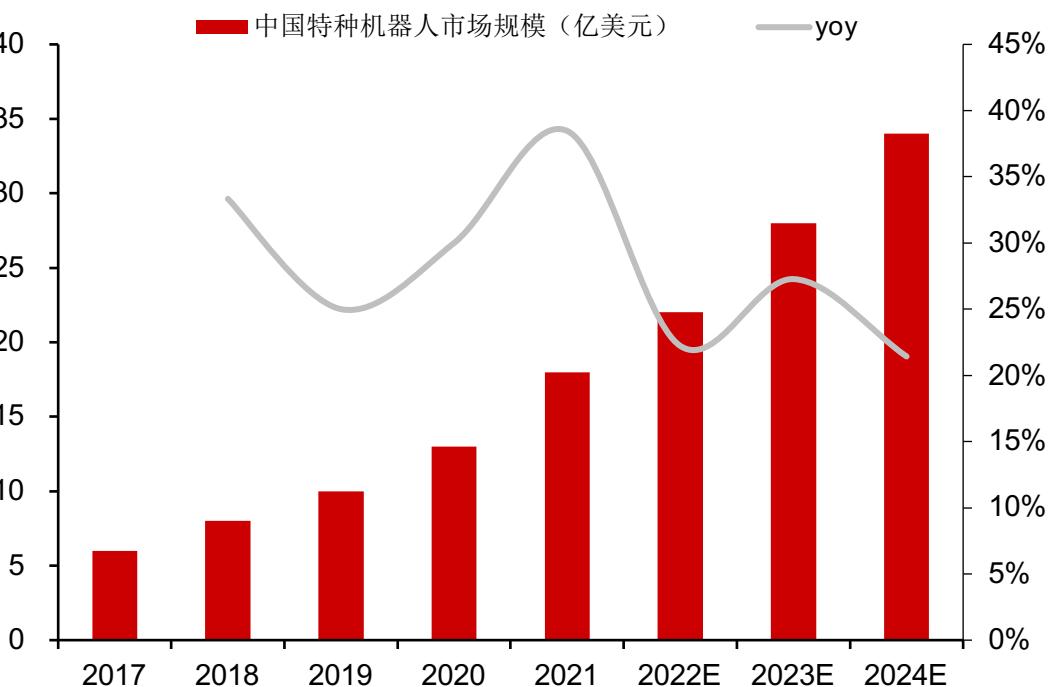


□ 特种机器人市场规模快速增长。据中国电子学会预测，全球特种机器人市场规模将从2020年的66亿美元增长至2024年的140亿美元，复合增速21%。从国内看，2024年我国特种机器人市场规模可达34亿美元。特种机器人同期复合增速预计可达27%，高于全球6个pct。

2020-2024年全球特种机器人市场规模CAGR约21%



2020-2024年中国特种机器人市场规模CAGR约27%



01

产业链：上游核心零部件、中游本体制造、下游系统集成

上游



中游（本体制造）



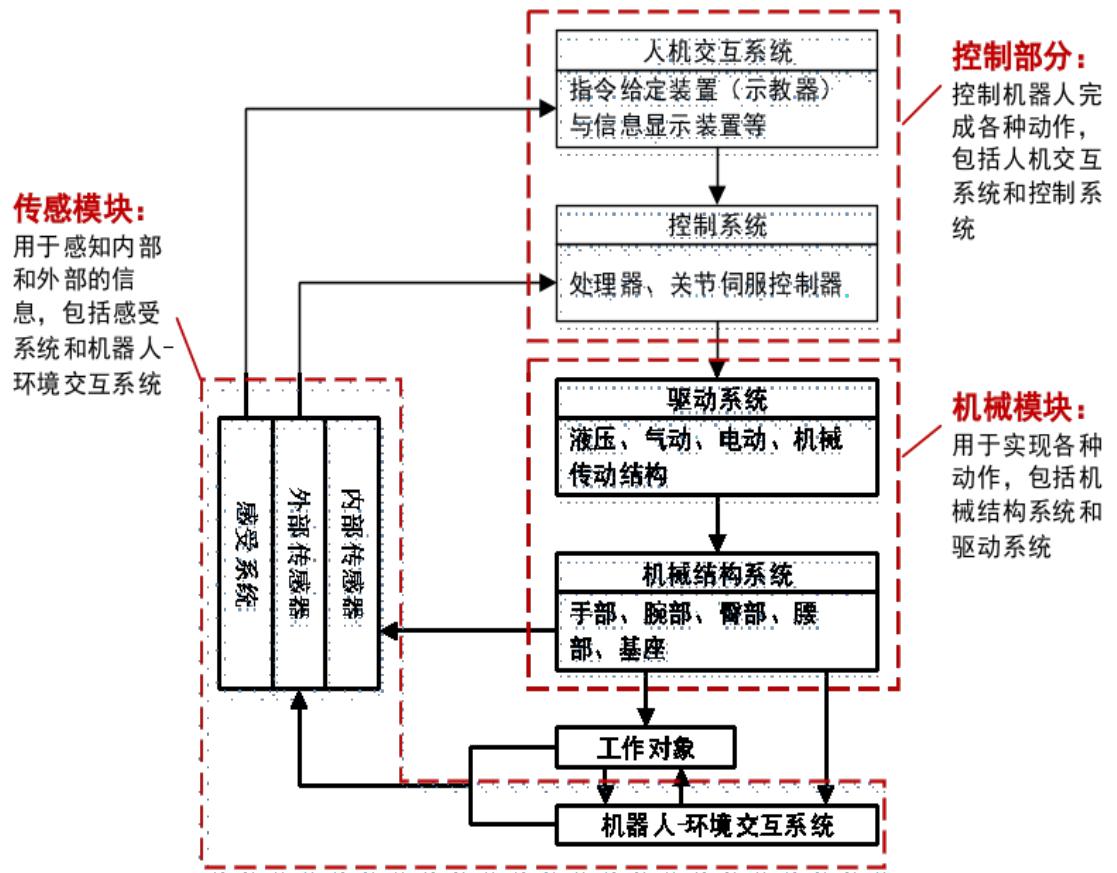
下游



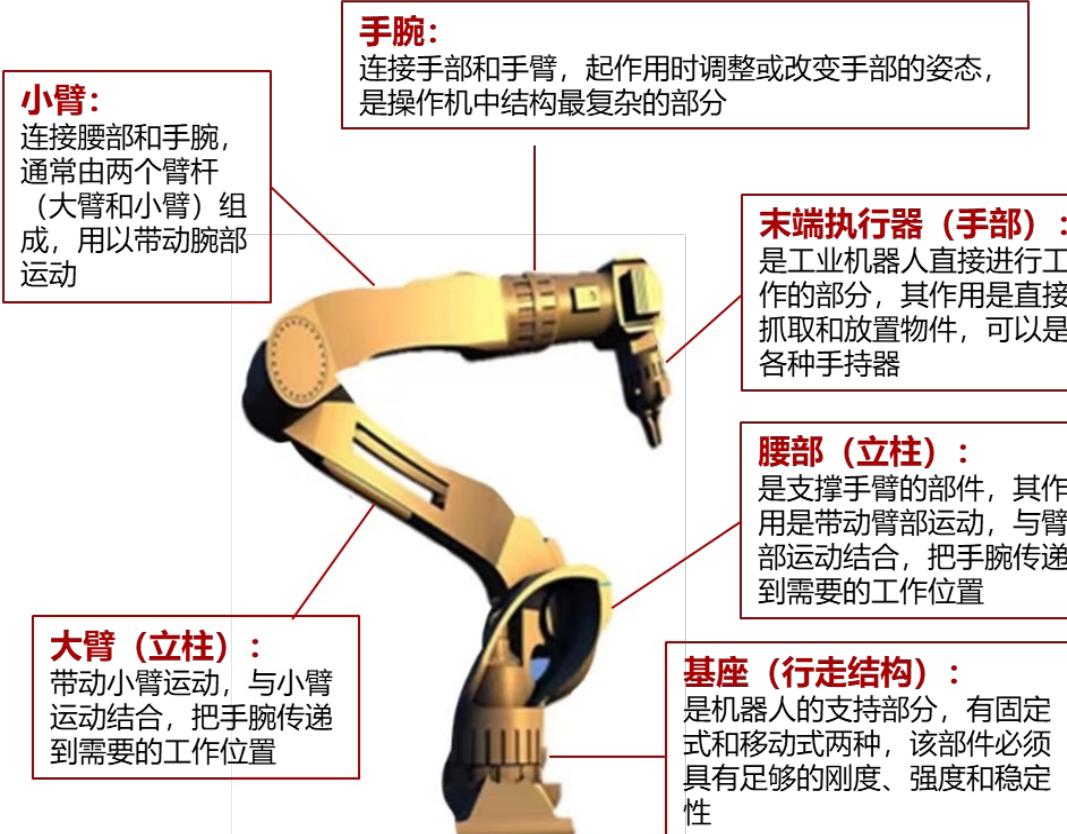
大类	子类	下游	毛利率	国产份额	外资企业	国产企业
核心零部件	控制器	本体	20-40%	20%	四大家族(发那科、ABB、安川、库卡)	埃斯顿、汇川技术
	伺服系统	本体/集成		30%	松下、安川、三菱、台达等	埃斯顿、汇川技术
	RV减速器	本体		25%	纳博特斯克	上海机电、中大力德、双环传动
	谐波减速器	本体		25%	哈默纳克	绿的谐波、中大力德
本体	多关节	汽车、3C	20-30%	20%	四大家族(发那科、ABB、安川、库卡)	埃斯顿、埃夫特等
	SCARA	3C		15%		
	直角坐标	3C、物流		70%		
系统集成	汽车	零部件/整机厂	20-60%	70%	ABB、柯马、杜尔	克来机电
	3C	零部件/整机厂		80%	/	博众精工、拓斯达等
	长尾	各行业制造厂		90%	/	博实股份

- **工业机器人主要分为三大模块**：传感模块、控制模块和机械模块。其中传感模块负责感知内部和外部的信息，控制模块控制机器人完成各种活动，机械模块接受控制指令实现各种动作。
- 目前，多数工业机器人为“机械臂”，和人的手臂相似，包括手部、腕部、臂部、腰部和基座，每个关节都需要共同配合以完成任务。

机器人模块组成



工业机器人机械结构细分

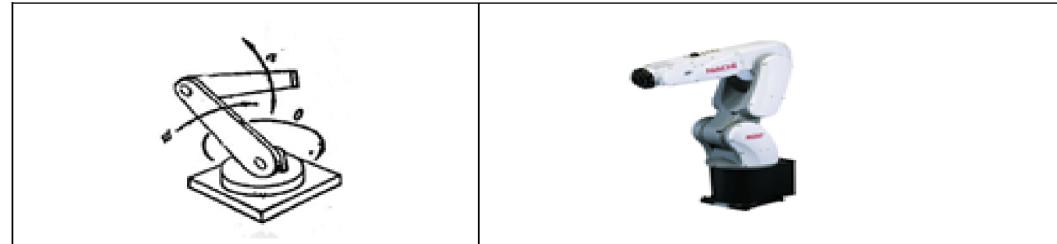


工业机器人按结构分类可分为6类

- 工业机器人可以按照机械结构方式、操作机坐标形式、程序输入方式、运动坐标形式、驱动方式、应用领域等六个方面进行分类。按照机械结构可分为多关节机器人、平面多关节（SCARA）机器人、并联机器人、直角坐标机器人、圆柱坐标机器人以及协作机器人。

工业机器人按机械结构分类

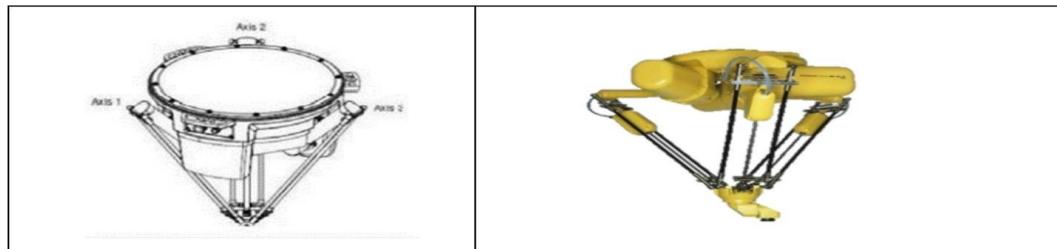
多关节机器人



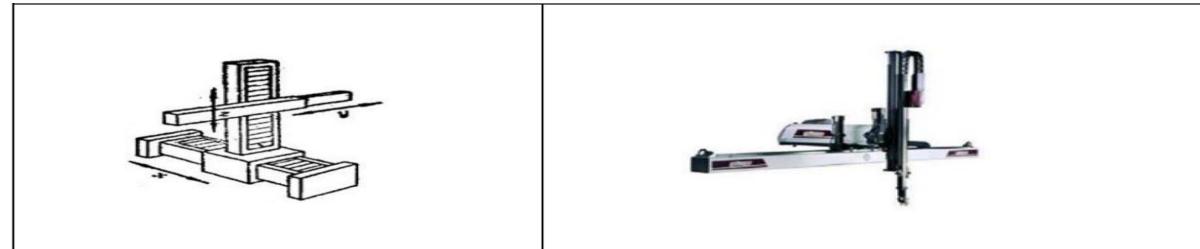
SCARA
机器人



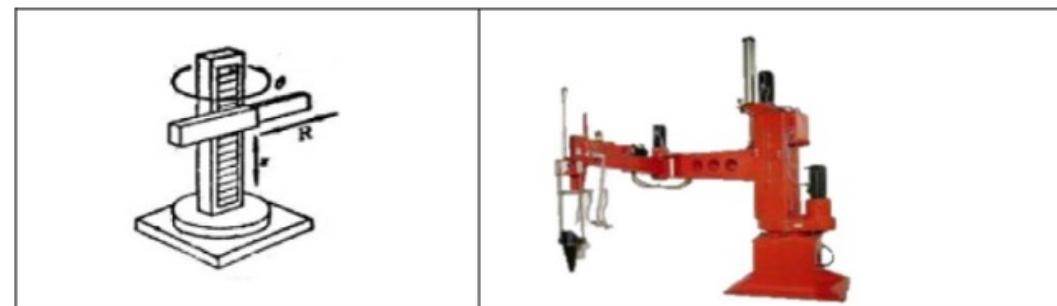
并联机器人



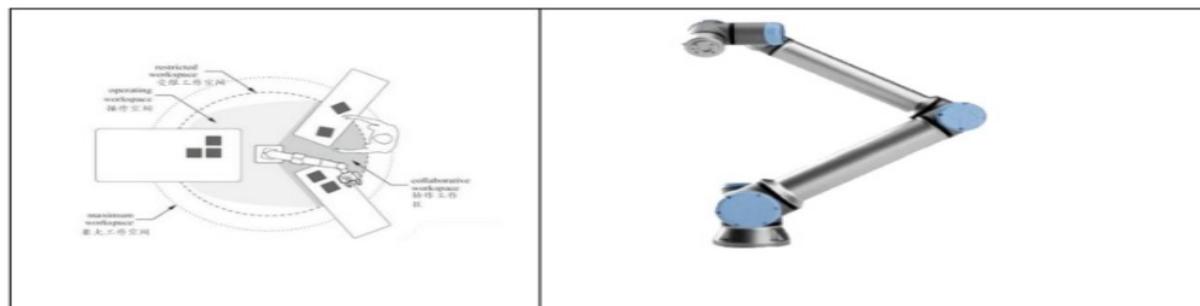
直角坐标
机器人



圆柱坐标
机器人



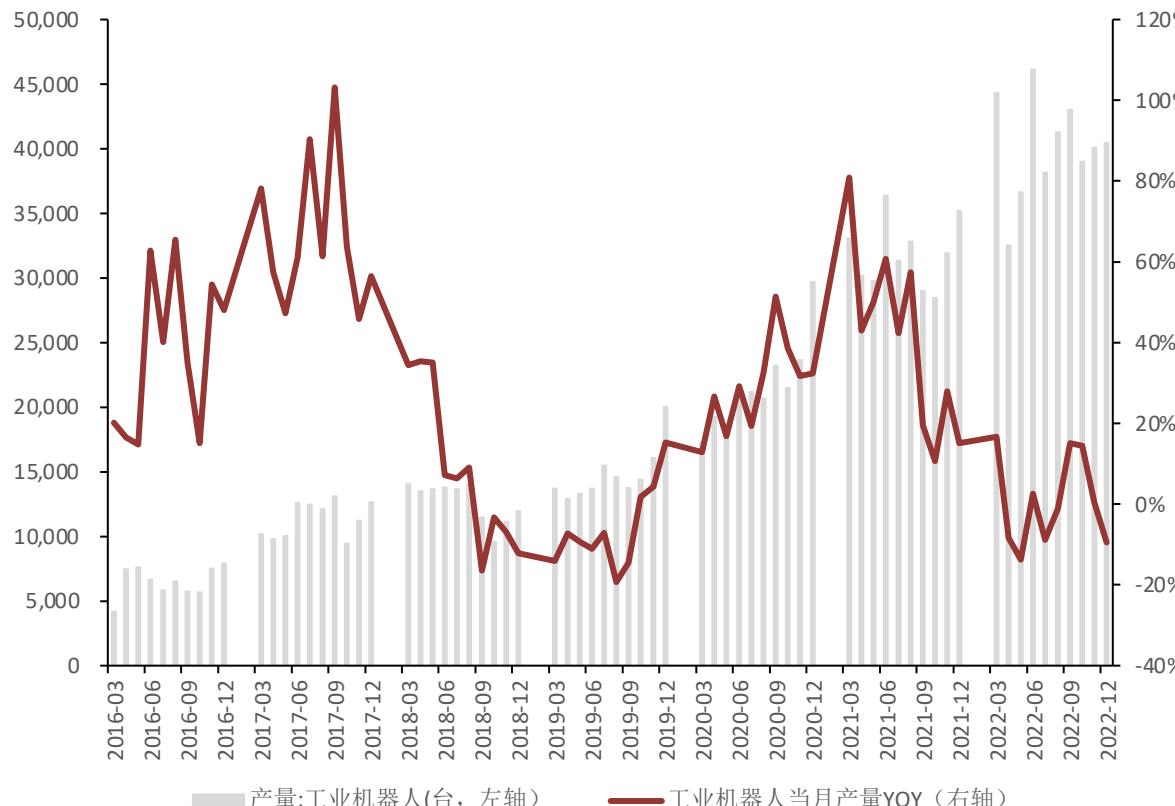
协作机器人



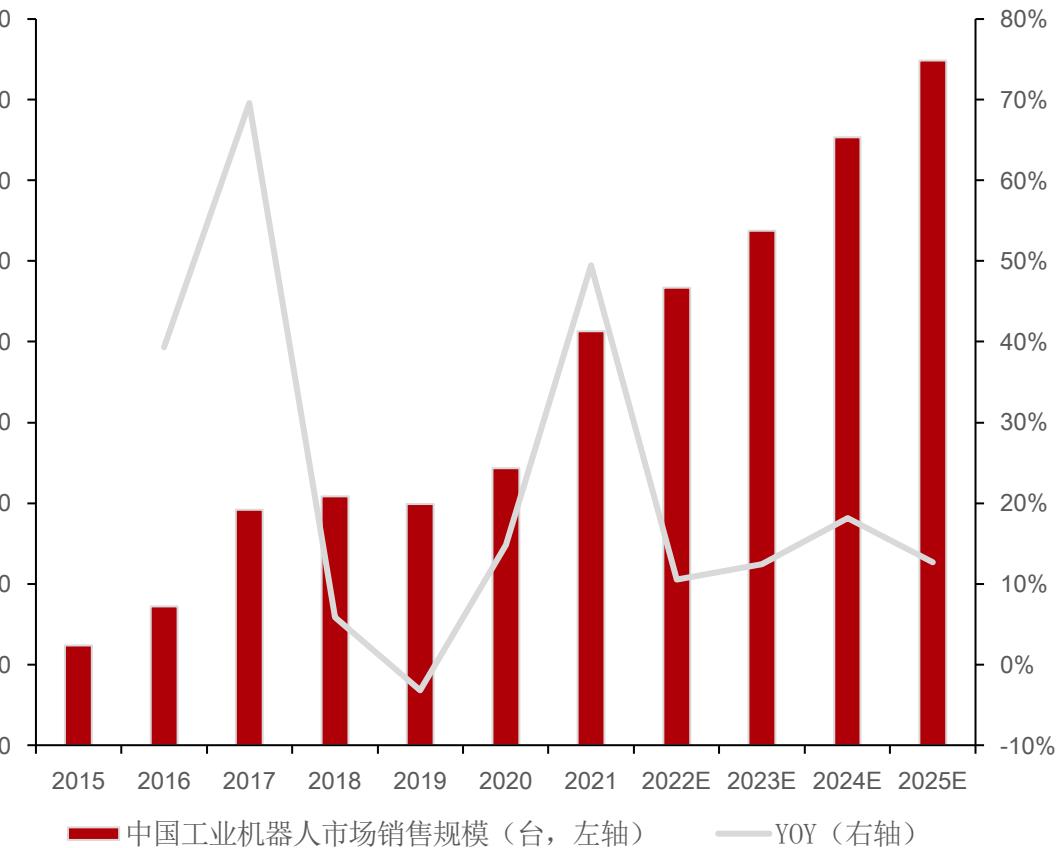
工业机器人：预计2022年销量有望同比增长约11%

- **产量**：根据国家统计局数据，2022年12月份国内工业机器人产量40457套，同比下滑9.5%；2022年全年（1-12月）国内工业机器人产量为443055套，同比下降4.8%。
- **销量**：根据MIR数据，预计2022年中国工业机器人销量有望达28万台，同比增长约11%。

工业机器人产量：2022年12月同比下滑9.5%



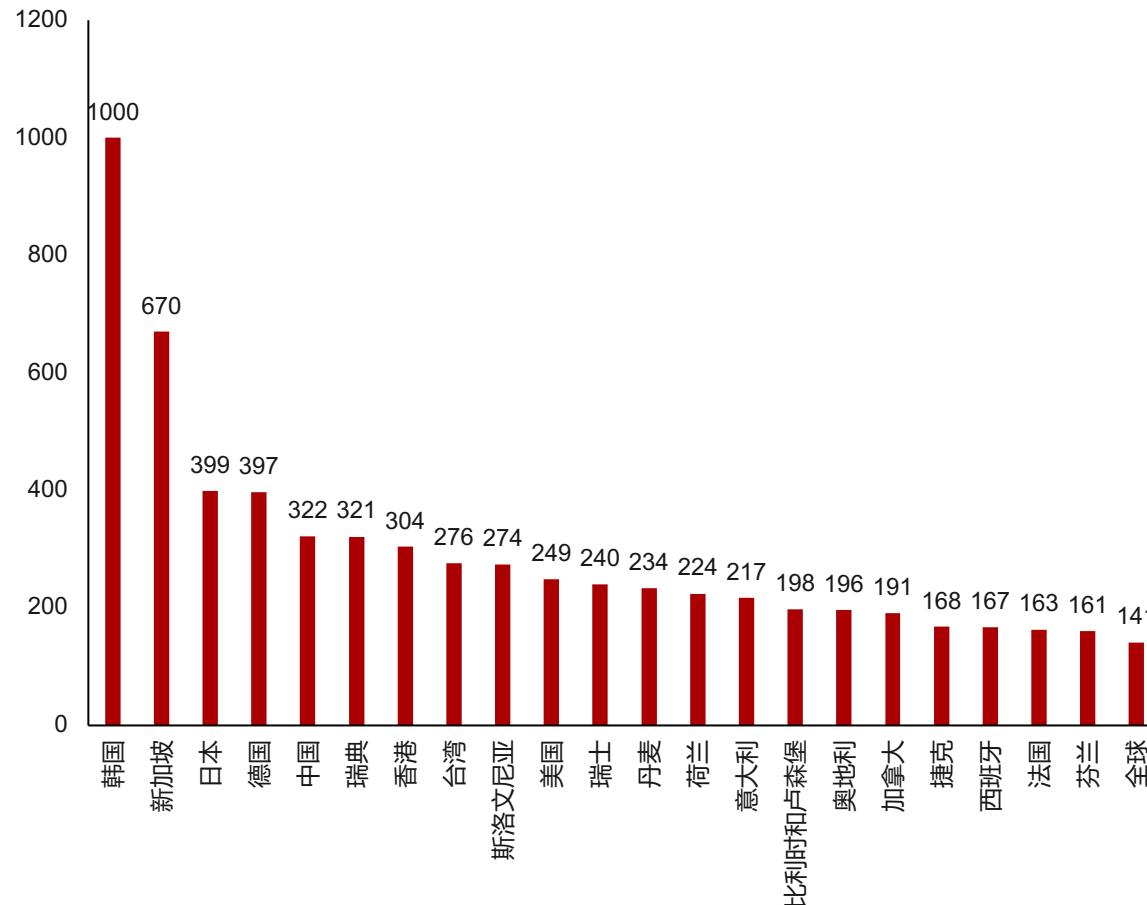
2022年中国工业机器人销量有望同比增长约11%



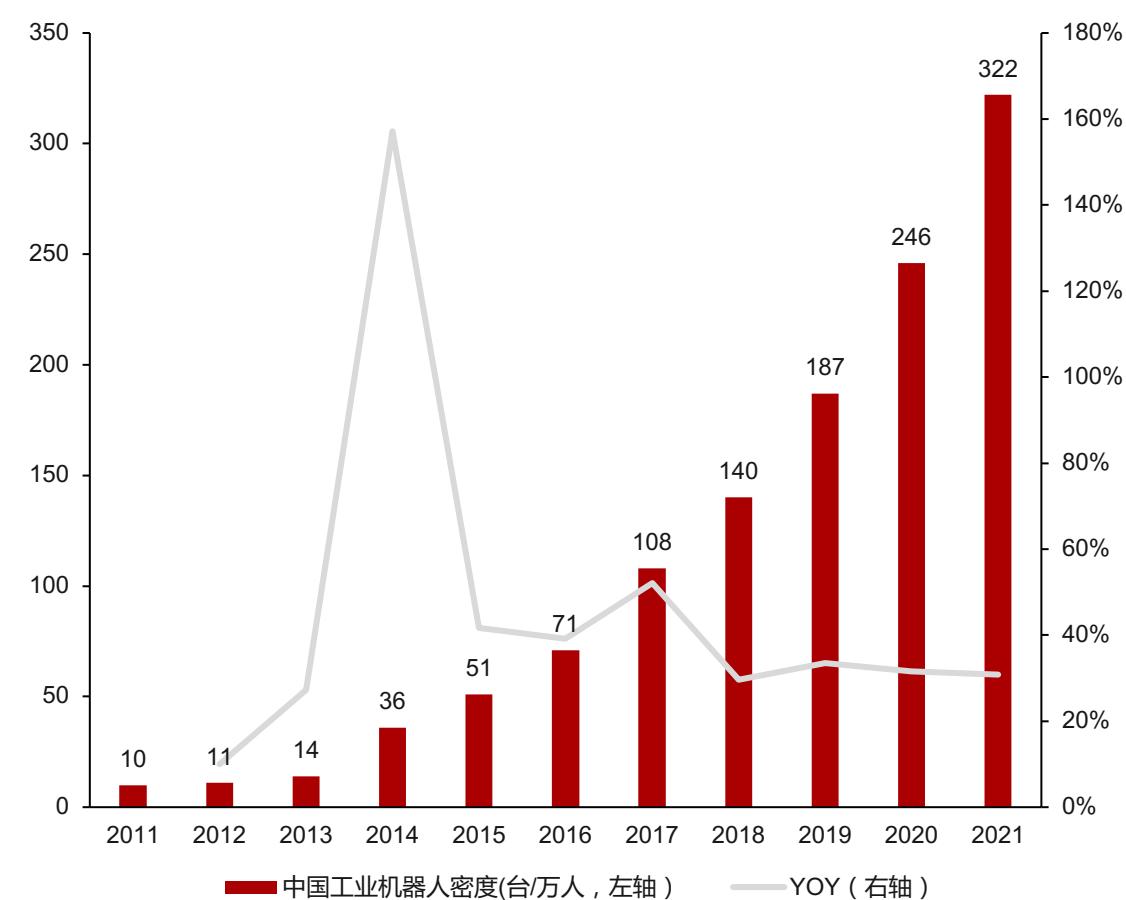
制造业机器人密度：2021年约322台/万人，仍有提升空间

根据 IFR 数据，2021 年我国制造业机器人密度约 322 台/万人，从 2020 年的全球第九大自动化国家跃升至全球第五大自动化国家。按工信部方案，到 2025 制造业机器人密度为 2020 年的翻倍数值进行测算，预计 2025 年我国制造业机器人密度约 492 台/万人，仍有巨大增长空间。

2021年我国工业机器人密度为322台/万人，位居全球第五



中国制造业机器人密度迅速提升



应用领域：中国工业机器人仍以搬运、焊接为主

	搬运	焊接	装配	加工	喷涂	洁净	其他
产品占比 (2021)	55%	25%	10%	5%	3%	2%	-
功能	运输、搬运、码垛、机床上下料	点焊、弧焊等	装配	切割、磨削、抛光等	喷涂	在洁净室作业	-
应用行业	对仓储物流有需求的行业	汽车制造、工业机械、通用机械、金属结构、航空航天等	汽车制造、电器制造、小型电机、计算机、玩具等	汽车制造、金属加工、家具家居、工程机械等	汽车制造、航空航天、铝合金型材和板材、家具家居等	化学制药、医疗器械、精密机械等	-
市场特征	1、技术含量不高，但需求旺盛，尤其是大负载的搬运； 2、AGV、ACR等移动机器人发展迅速	1、主要分为点焊和弧焊两大类，点焊主要应用于汽车制造，弧焊的应用范围更广； 2、焊接速度好焊机稳定性是主要指标	1、装配自动化水平低； 2、装配机器人多为轻量型； 3、对生产纲领、生产品质、装配数量等有一定的要求	1、以切割机器人为主； 2、视觉识别和跟踪技术是核心	1、工艺不复杂、难度在于流量控制、喷涂线； 2、由于喷涂均匀度和速度的限制，现有机器人使用的工件不宜过大形状也不宜太复杂	需求很少，一般只有医药行业有需求	-
使用工业机器人的优势(相比人工和传统机械/机器)	1、提高效率； 2、降低人工成本	1、降低人力焊接成本； 2、提高焊接质量； 3、降低焊接之后的不利后果	1、提高效率； 2、提高装配质量； 3、装配生产面积更小； 4、可在危险环境下完成装配	1、更柔性； 2、更灵活； 3、成本更低	1、提高效率； 2、提高喷涂质量和材料使用率； 3、易操作和维护； 4、设备利用率高	1、更洁净 2、更安全	-

搬运作业/上下料



焊接



加工



洁净



装配



喷涂



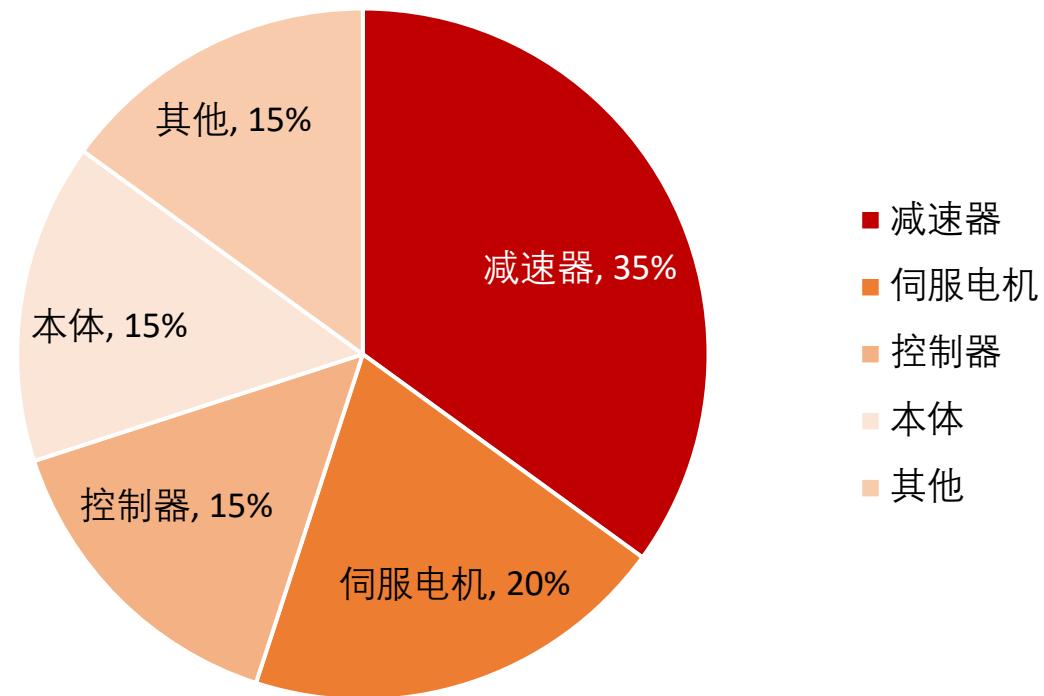
协作



减速器、伺服电机、控制器占比工业机器人成本约70%

根据 OFweek 数据，核心零部件占比工业机器人成本约 70%，其中减速器、伺服电机、控制器占比分别约为 35%/20%/15%

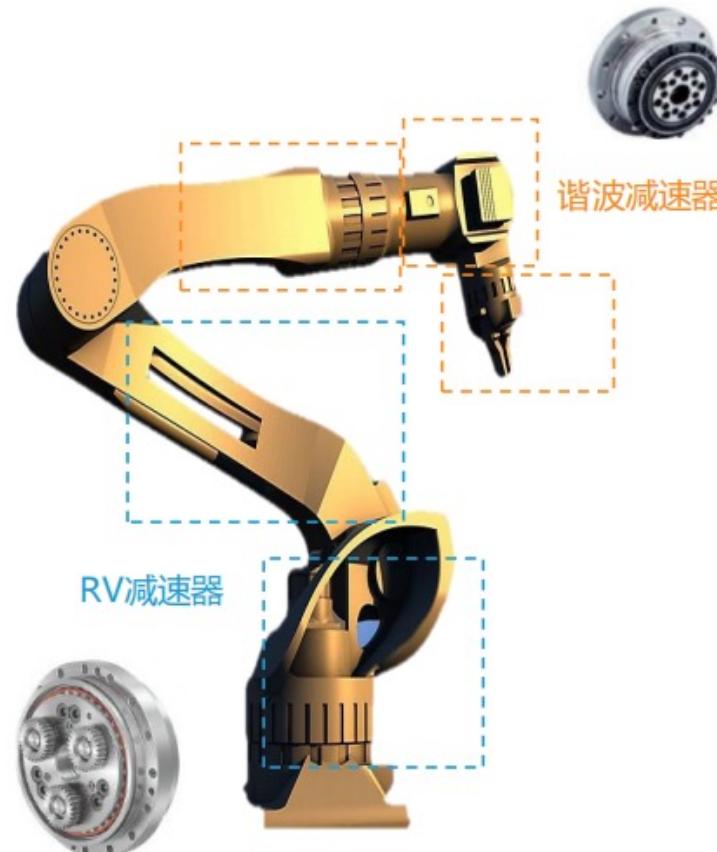
核心零部件成本占比工业机器人总成本的70%



01 工业机器人中减速器主要是RV减速器和谐波减速器

□ 减速器是连接动力源和执行机构的中间机构，具有匹配转速和传递转矩的作用。一般情况下，工业机器人的每个关节都会配备一个减速器，以达到精准控制的目的。工业机器人中减速器主要是RV减速器和谐波减速器。RV减速器多用于工业机器人的基座、大臂等部位；而谐波减速器多用于工业机器人的小臂、腕部或手部。

谐波减速器主要用在机器人手臂关节，RV减速器用于基座

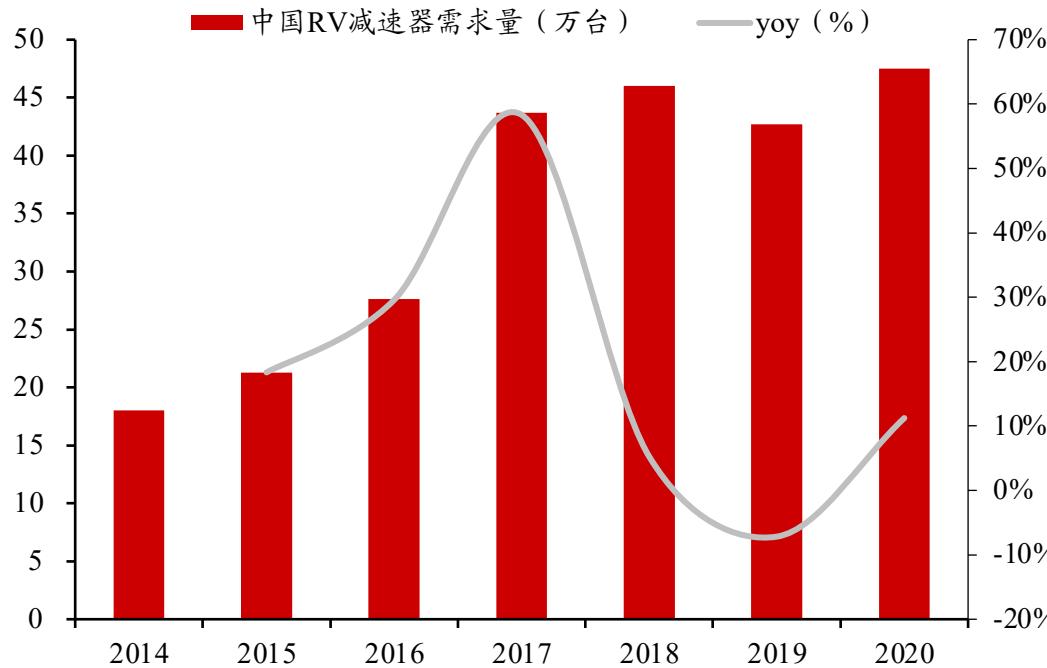


RV减速器对比谐波减速器

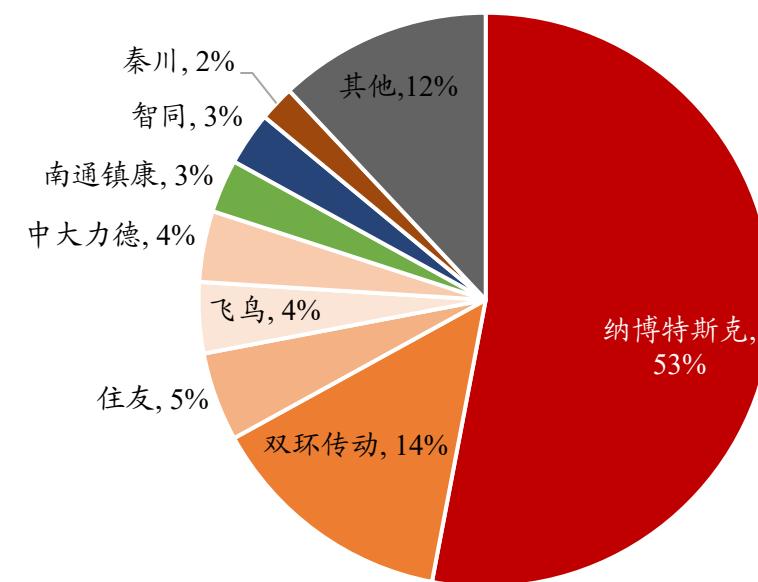
	RV减速器	谐波减速器
技术特点	通过多级减速实现传动，一般由行星齿轮减速器的前级和摆线针轮减速器的后级组成，组成的零部件较多。	通过柔轮的弹性变形传递运动，主要由柔轮、刚轮、波发生器三个核心零部件组成。与RV及其他精密减速器相比，谐波减速器使用的材料、体积及重量大幅度下降。
产品性能	大体积、高负载能力和高刚度	体积小、传动比高、精密度高
应用场景	一般应用于多关节机器人中机座、大臂、肩部等重负载的位置。	主要应用于机器人小臂、腕部或手部。
终端领域	汽车、运输、港口码头等行业中通常使用配有RV减速器的重负载机器人。	3C、半导体、食品、注塑、模具、医疗等行业中通常使用由谐波减速器组成的30kg负载以下的机器人。
价格区间	5000-8000元人民币/台	1000-5000元人民币/台

- 受下游机器人行业高景气度带动，国内RV减速器行业市场规模快速增长。据前瞻产业研究院数据，机器人用RV减速器需求量从2014年的18万台增长至2020年的47.5万台。按照RV减速器均价6000元测算，2020年RV减速器市场规模约29亿元。
- 从竞争格局看，日系厂商占据主导地位。据GGII数据，2021年纳博特斯克（Nab）市场占有率为53%，位居第一。国内厂商双环传动市场占有率从2020年的9%增长至2021年的14%，提升明显。

2014-2020机器人RV减速器需求量CAGR约18%



日系厂商占据RV减速器市场主导地位 (2021)

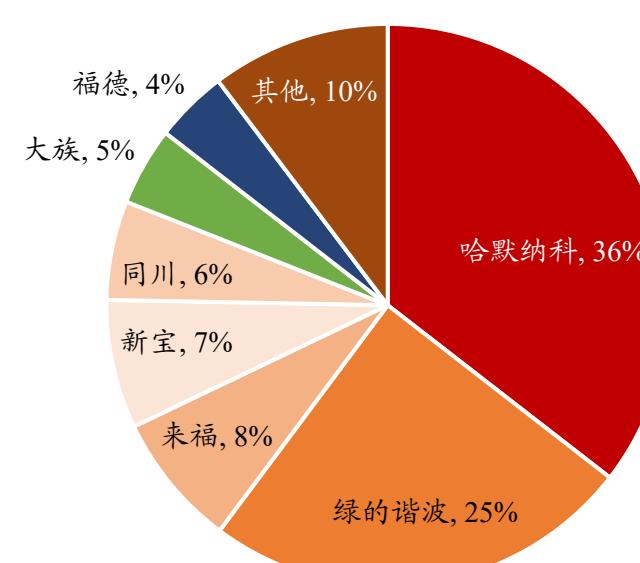
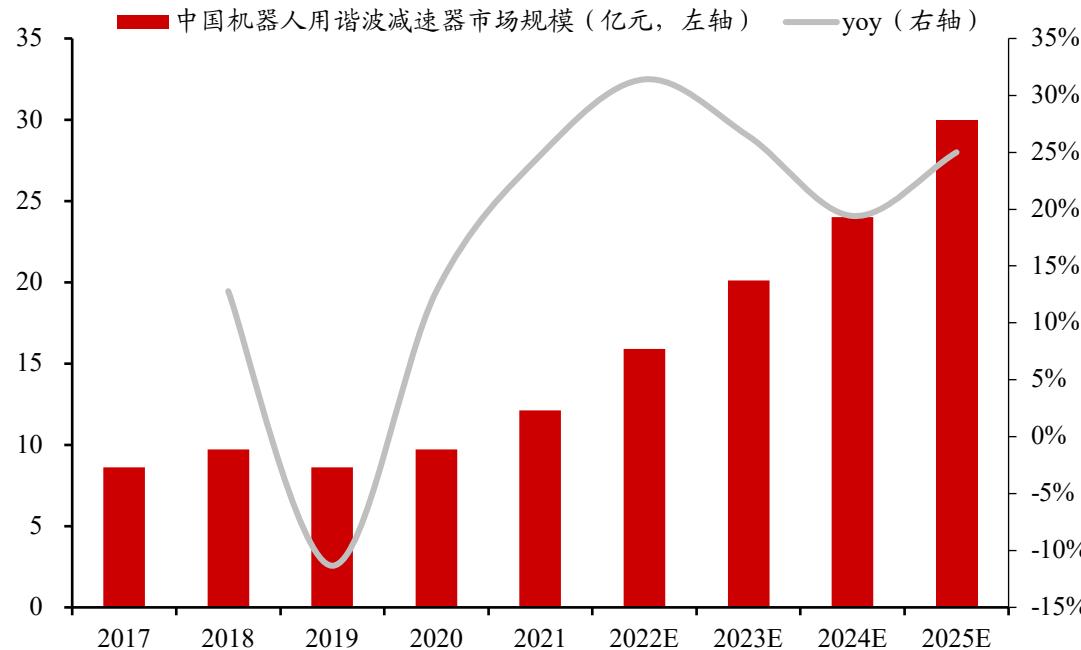


谐波减速器：预计2021-2025年国内机器人用谐波减速器市场规模CAGR约25%

- **我国机器人用谐波减速器市场规模2021-2025年复合增速约25%。**根据华经产业研究院数据，我国谐波减速器市场规模2020年约15.7亿元，预计到2025年谐波减速器市场规模有望达47亿元。其中机器人用谐波减速器市场规模约30亿元，2021-2025年CAGR约25%。
- **从竞争格局看，日系厂商为谐波减速器主要玩家。**头豹研究院数据显示，2021年哈默纳科市场占有率达36%。伴随关键技术的攻克，国内厂商竞争力显著增加，2021年绿的谐波市场占有率达25%，位居第二。

预计2021-2025年国内机器人谐波减速器市场规模复合增速25%

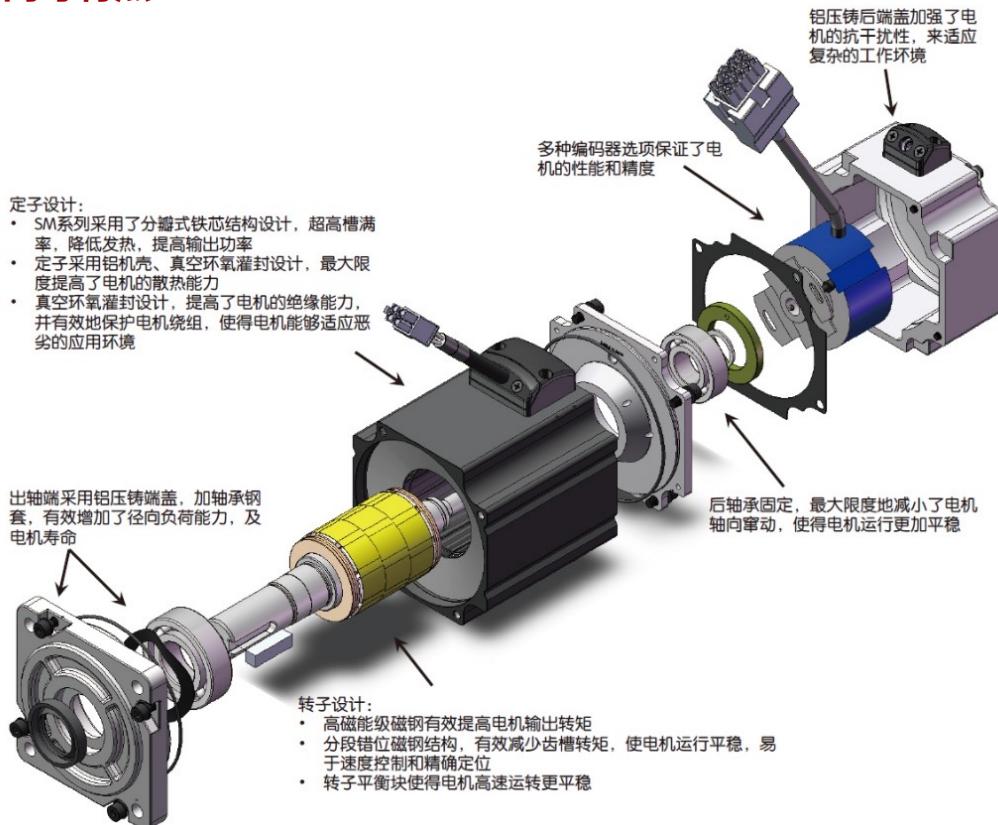
日系厂商占据谐波减速器市场主导地位（2021）



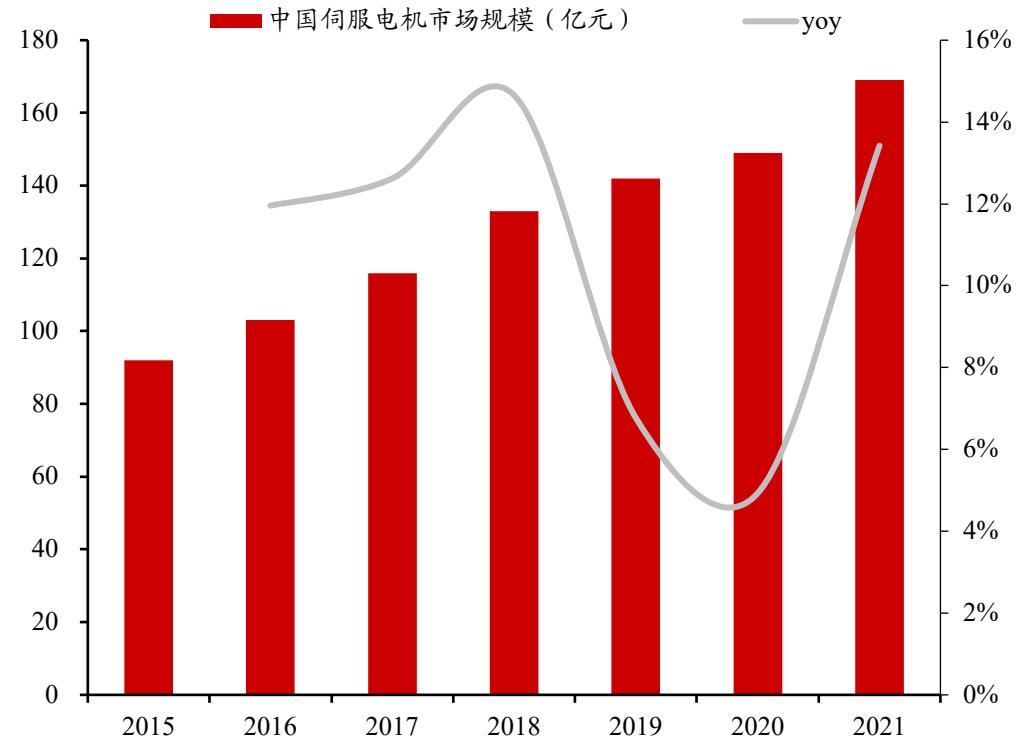
03 伺服电机：2015-2021年国内伺服电机市场规模CAGR约11%

- 伺服电机广泛应用于机器人关节部位，直接影响机器人性能参数。
- 我国2015-2021年伺服电机市场规模CAGR约11%。据工控网统计，2021年我国伺服电机市场规模为169亿元，2015-2021年复合增速11%。从下游应用领域看，据MIR DATABANK数据，2019年机器人市场占比伺服电机下游约8.7%。

图：伺服电机具有体积小、质量小、机电时间常数小、线性度高等特点



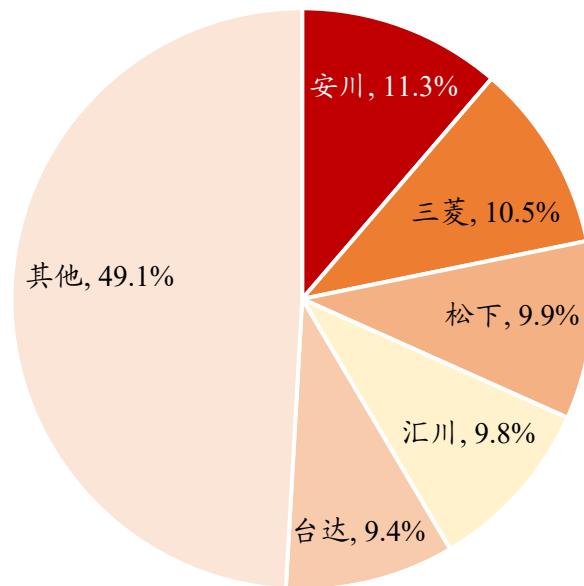
图：2015-2021年国内伺服电机市场规模复合增速11%



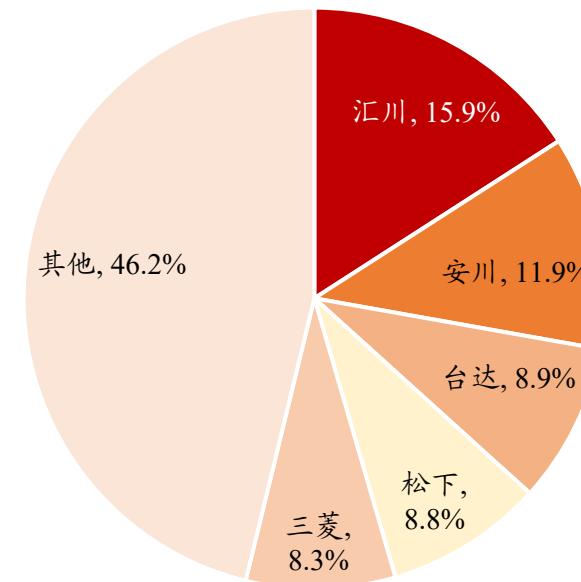
01 伺服电机：国内厂商竞争力大幅提升

□ 国产伺服电机品牌市场竞争力逐步提升。据MIR DATABANK统计，2021年上半年，国产品牌汇川技术市场占有率为15.9%，反超安川等日系厂商，首次问鼎。排名第二第三的厂商为安川和台达，市场占有率为11.9%和8.9%。

伺服电机市场占有率前三甲均为日系厂商（2020）



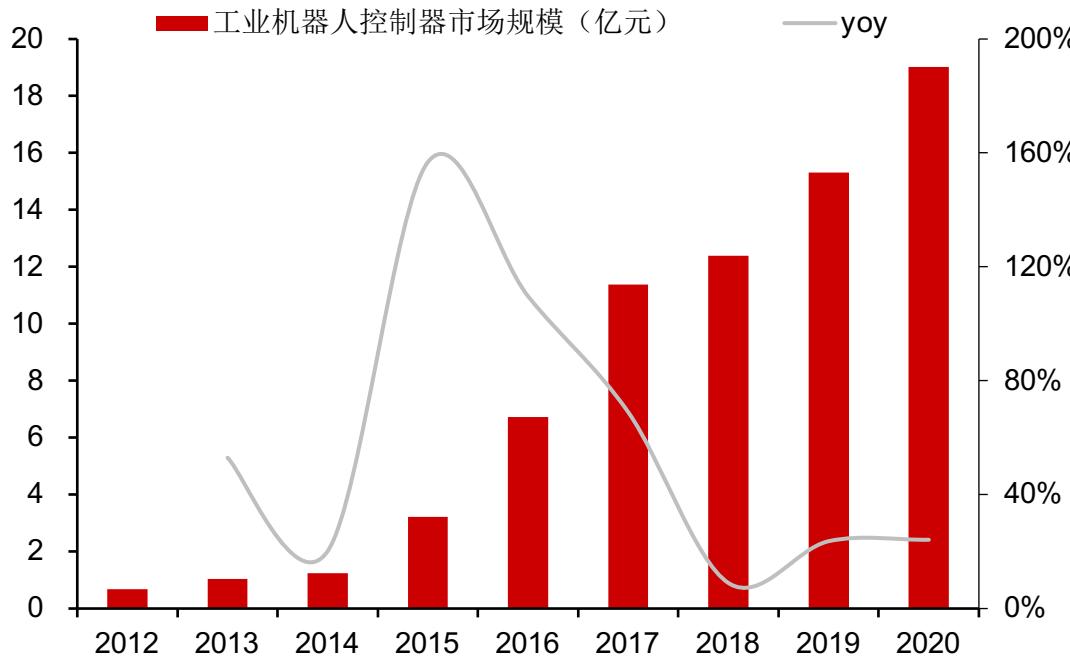
汇川技术市场份额排名第一（2021H1）



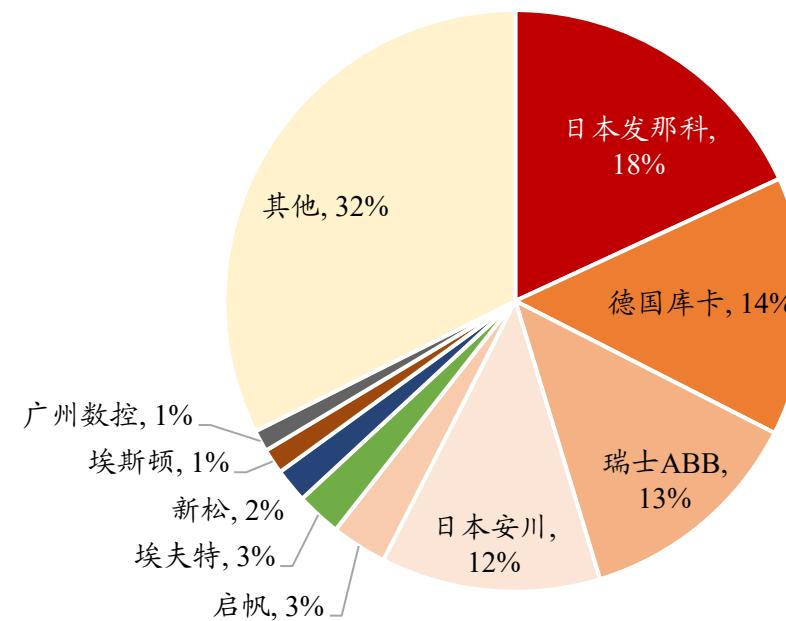
01 控制器：2012-2020市场规模CAGR约52%

- 控制器负责处理用户指令并驱动伺服电机完成相应动作，其性能直接关系到机器人运行的稳定性、可靠性和精准性。经验积累叠加技术进步促进机器人控制器需求量高涨，机器人控制器需求量从2012年的0.6万套增长为2020年的24万套，复合增速59%。**同期机器人控制器市场规模从0.68亿元增长至19.02亿元，复合增速52%。**
- 从竞争格局看，国外厂商占据主导地位。**根据头豹研究院数据，2021年发那科、库卡、ABB和安川占据国内机器人控制器约58%的市场份额，国内厂商竞争力较弱，市占率不足20%。

2012-2020工业机器人控制器市场规模CAGR约52%



中国机器人控制器主要以外资为主，2021年CR4超50%



下游集成：国内集成模式向“美+日”转变

- 系统集成主要分为三种模式：日本模式、欧洲模式和美国模式。
- 根据国际经验来看，过去国内的机器人产业发展更接近于美国模式，即以系统集成商为主，单元产品外购或贴牌，为客户提供交钥匙工程。现阶段由于核心零部件产品进步，国产替代提升，逐渐向“美+日”模式转变。

机器人集成三大模式

日本模式

欧洲模式

美国模式

特点

本体制造和集成完全分离

本体制造和集成聚合

采购和成套设计相结合

本体制造

本体制造商负责制造本体

本体制造商负责制造本体

美国国内基本不生产中低端的工业机器人，而是配套进口

系统集成

子公司或其他公司负责系统集成，并完成交钥匙工程

本体制造商负责系统集成

进口之后再自行设计，制造配套的外围设备，并提供包含系统集成的解决方案

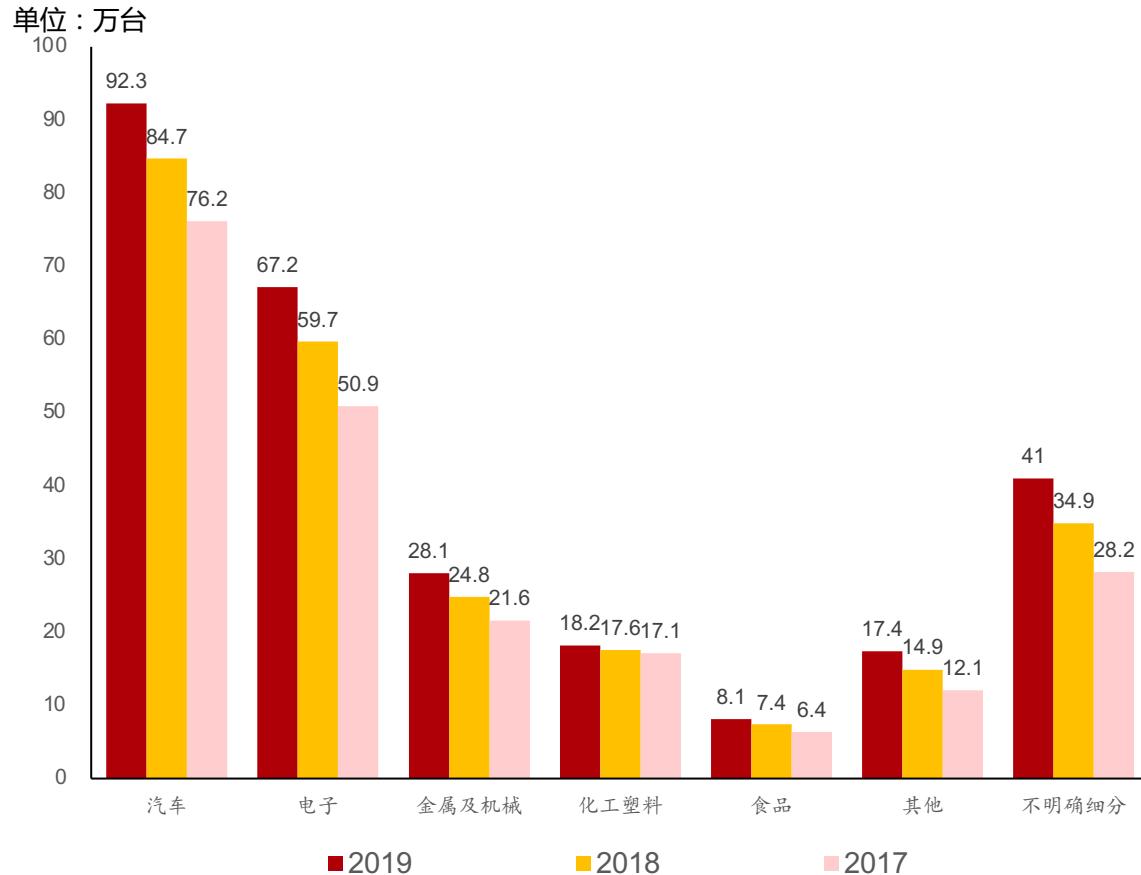
“欧+美”：少数国内内本体制造商负责“本体制造+系统集成”，谈此类本体制造商基本上只聚焦在大体量的行业；系统集成商代理国际厂商的工业机器人产品，并为用户提供解决方案。

中国

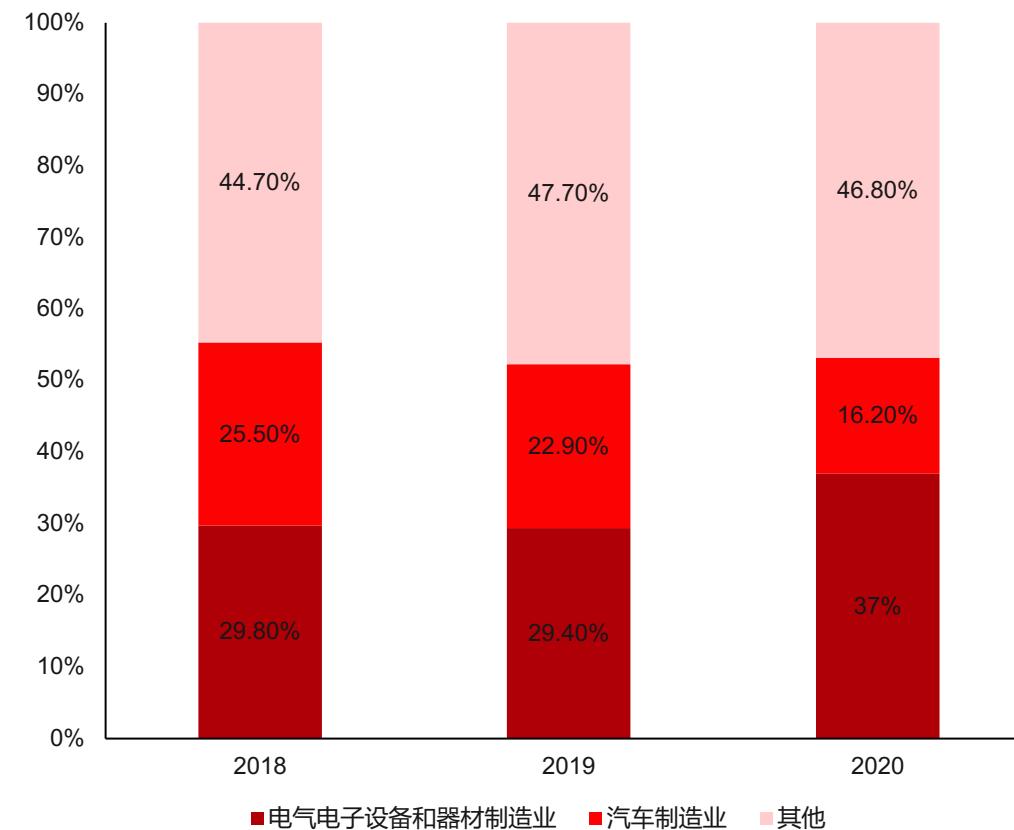
“日+美”：多数国内本体制造商仅负责“本体制造”；系统集成商负责系统集成，同时还代理国际厂商的工业机器人产品，并为用户提供解决方案。

下游集成行业：客户以电气电子设备及汽车行业为主

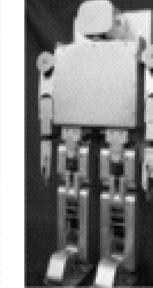
全球在运工业机器人下游客户主要以汽车及电子制造业为主



中国工业机器人下游以电气电子设备及汽车为主



- 群雄并起，逐鹿人形机器人。**日韩在人形机器人领域布局早，研究表现活跃；美国在人形机器人领域后来居上。波士顿动力研发的代表产品Atlas身高1.8m，体重80kg，具有28个关节，可完成原地起跳转身一周等流畅、高难度的“跑酷”动作，但主要聚焦在科研领域，商业价值低。
- 国内人形机器人成果喜人。**在科研领域，清华大学开发的“THBIP-II”身高0.75m，体重18 kg，具有24个自由度；北理工推出的“汇童”机器人可完成摔倒起立，“摔滚走爬”等动作。在产业领域，深圳优必选推出的“Walker”机器人能完成上、下台阶等动作。

各国积极布局人形机器人领域							国内机器人技术进步迅速							
名称	国家	高度(m)	重量(kg)	自由度(个)	发布时间	特点								
ASIMO (新)	日	1.30	48	57	2005	运动稳定，集成度高								
HRP-5P	日	1.80	101	37	2019	全身协调动作	(a) 先行者	(b) HIT-IIT	(c) THBIP	(d) “悟空”	(e) 汇童-6	(f) Walker	(g) CyberOne	
E2-DR	日	1.68	85	33	2015	双足、四足切换行走								
HUBO+	韩	1.70	80	32	2015	轮足结合、步态稳定								
Atlas (新)	美	1.80	80	28	2017	液压传动、适应性强								
TORO	德	1.74	76	28	2013	力控性能突出								
COMAN	意	0.92	24	25	2013	SEA驱动、柔顺性高								

01 小米发布人形机器人CyberOne

- 小米于2022年8月公布首款全尺寸人形机器人CyberOne。
- 环境感知上，小米自研Mi-Sense深度视觉模组+AI算法帮助CyberOne实现对真实世界的三维虚拟重建。
- 情绪感知上，CyberOne 搭载自研MiAI环境语义识别引擎+MiAI语音情绪识别引擎，能够实现85种环境音识别和6大类45种人类情绪识别。

小米机器人45种情绪感知强化人机交互体验



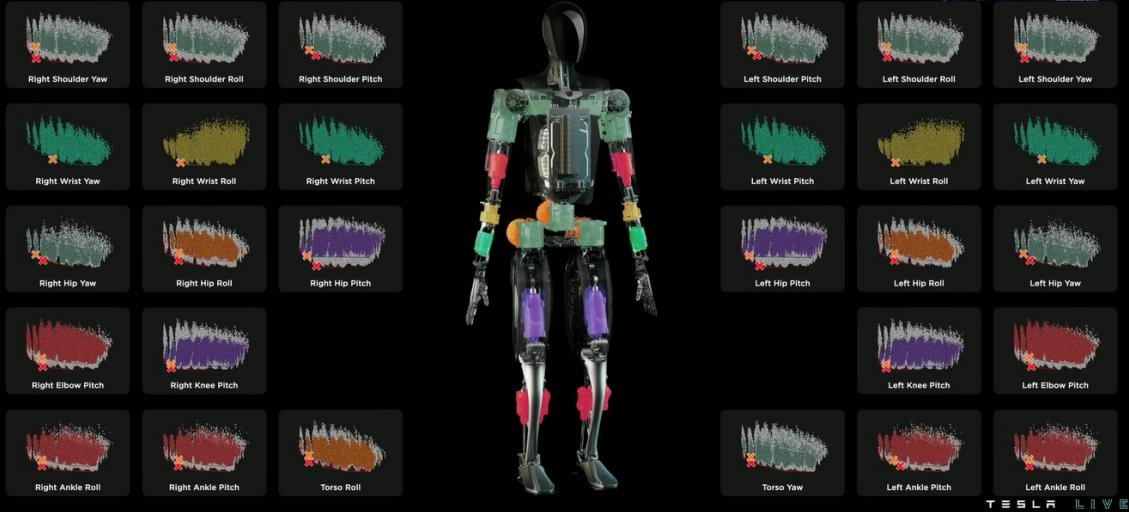
CyberOne全身13个关节和21个自由度，实现双足运动姿态平衡



- 特斯拉人形机器人“擎天柱”于2022年9月底亮相。硬件方面，Optimus身高172CM，整体重量73KG；行走功率500W，坐下功率100W，整体参数与2021年概念机略有出入（概念机参数：身高172CM，体重57KG，负载20KG，行走速度最高可达每小时8公里）。
- 电机驱动上，Optimus拥有2.3KWH、52V电压的电池组，内置电子电器元件的一体单位，支持人形机器人工作一整天；选用28个定制关节驱动器，复用汽车动力总成设计经验，设计6种关节驱动器，包括3种不同规格的舵机（采用谐波减速器）和3种不同规格的直线执行器（采用永磁电机，可抬动1.5吨三角钢琴的），找到成本与效率的最佳组合。

Optimus解析驱动器云端数据进行共性研究，减少定制设计

Commonality Study
Reduction of Unique Actuator Designs



Optimus拥有6种不同规格的关节驱动器

Actuator Portfolio – Six Unique Designs

20Nm | 0.55kg



500N | 0.36kg



110Nm | 1.62kg



3900N | 0.93kg



180Nm | 2.26kg



8000N | 2.20kg

TESLA LIVE

01 人形机器人应用领域有望逐渐打开

□ AI Day上，“擎天柱”演示了浇花、搬运纸箱、金属块等工作，能够很好地完成视觉识别、抓握、下蹲、直立行走等动作，研发团队也在不断更新优化，有望在未来解锁更多应用场景。

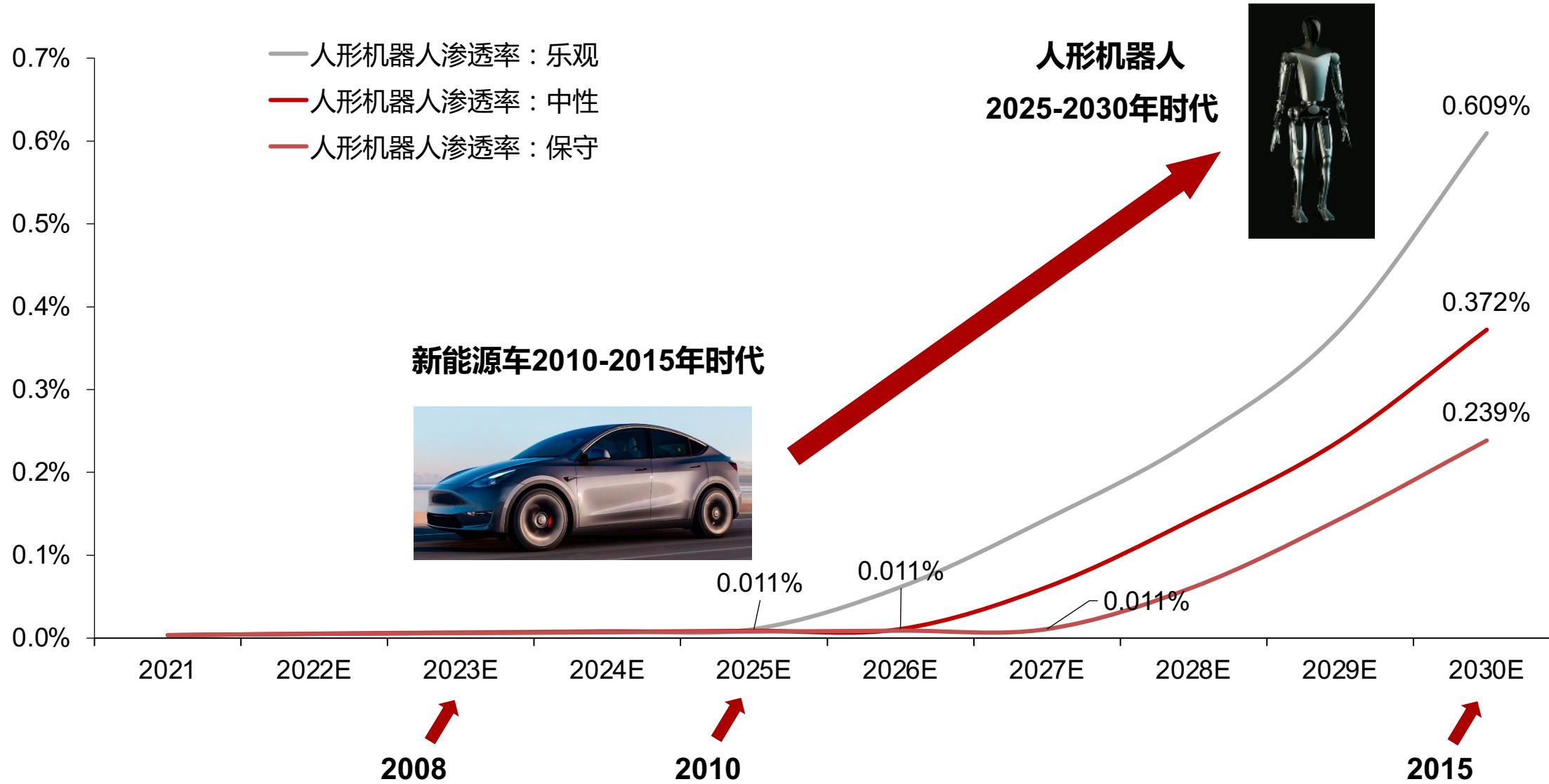
Optimus搬运纸箱，在Fremont超级工厂中工作



近年来具有代表性的人形机器人正在解锁更多的应用场景

类人机器人产品	Atlas	CyberOne	Optimus
所属公司	波士顿动力	小米	特斯拉
身高 (CM)	150	177	172
体重 (KG)	89	52	73
自由度	28	21	50
最大负荷 (KG)	10	1.5	9
成本	约200万美元	约70万人民币	不到2万美元 (售价)
应用场景	勘探、救援、科研	生活服务	工厂搬运工作、浇花等

参考电动车渗透率，看未来人形机器人渗透率走势



我们预测2030年全球人形机器人市场规模保守/中性/乐观预估下，分别有望达548/855/1400亿元

名称	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2021-2030 CAGR
全球机器人销量(万台)	2807	3417	4157	5058	6154	7488	9110	11084	13485	16407	22%
全球工业机器人销量(万台)	47	64	73	84	95	108	123	140	160	182	16%
全球服务机器人销量(万台)	2298	2797	3389	4106	4973	6024	7296	8836	10700	12957	21%
全球其他机器人销量(万台)	461	555	695	869	1086	1355	1691	2108	2626	3269	24%
人形机器人渗透率(乐观情况)	0.004%	0.006%	0.007%	0.009%	0.011%	0.062%	0.144%	0.239%	0.372%	0.609%	-
人形机器人渗透率(中性情况)	0.004%	0.005%	0.006%	0.008%	0.009%	0.011%	0.062%	0.144%	0.239%	0.372%	-
人形机器人渗透率(保守情况)	0.004%	0.005%	0.006%	0.007%	0.008%	0.009%	0.011%	0.062%	0.144%	0.239%	-
全球人形机器人销量(乐观情况)(万台)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	4.6	13.1	26.4	50.2	100.0	115%
全球人形机器人销量(中性情况)(万台)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	5.6	16.0	32.2	61.1	104%
全球人形机器人销量(保守情况)(万台)	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	1.0	6.8	19.4	39.1	94%
人形机器人售价(万元)	70	58.5	49.0	40.9	34.2	28.6	23.9	20.0	16.7	14.0	-16%
全球人形机器人市场规模(乐观情况)(亿元)	7	11	14	18	23	132	314	529	840	1400	80%
YOY	-	57%	29%	24%	31%	474%	137%	69%	59%	67%	-
全球人形机器人市场规模(中性情况)(亿元)	7	10	13	16	19	23	134	319	539	855	71%
YOY	-	49%	25%	21%	18%	26%	474%	137%	69%	59%	-
全球人形机器人市场规模(保守情况)(亿元)	7	10	12	14	17	19	24	137	325	548	62%
YOY	-	43%	22%	19%	16%	14%	24%	474%	137%	69%	-

02

电控系统

**控制和驱动是机器人关键
电路**

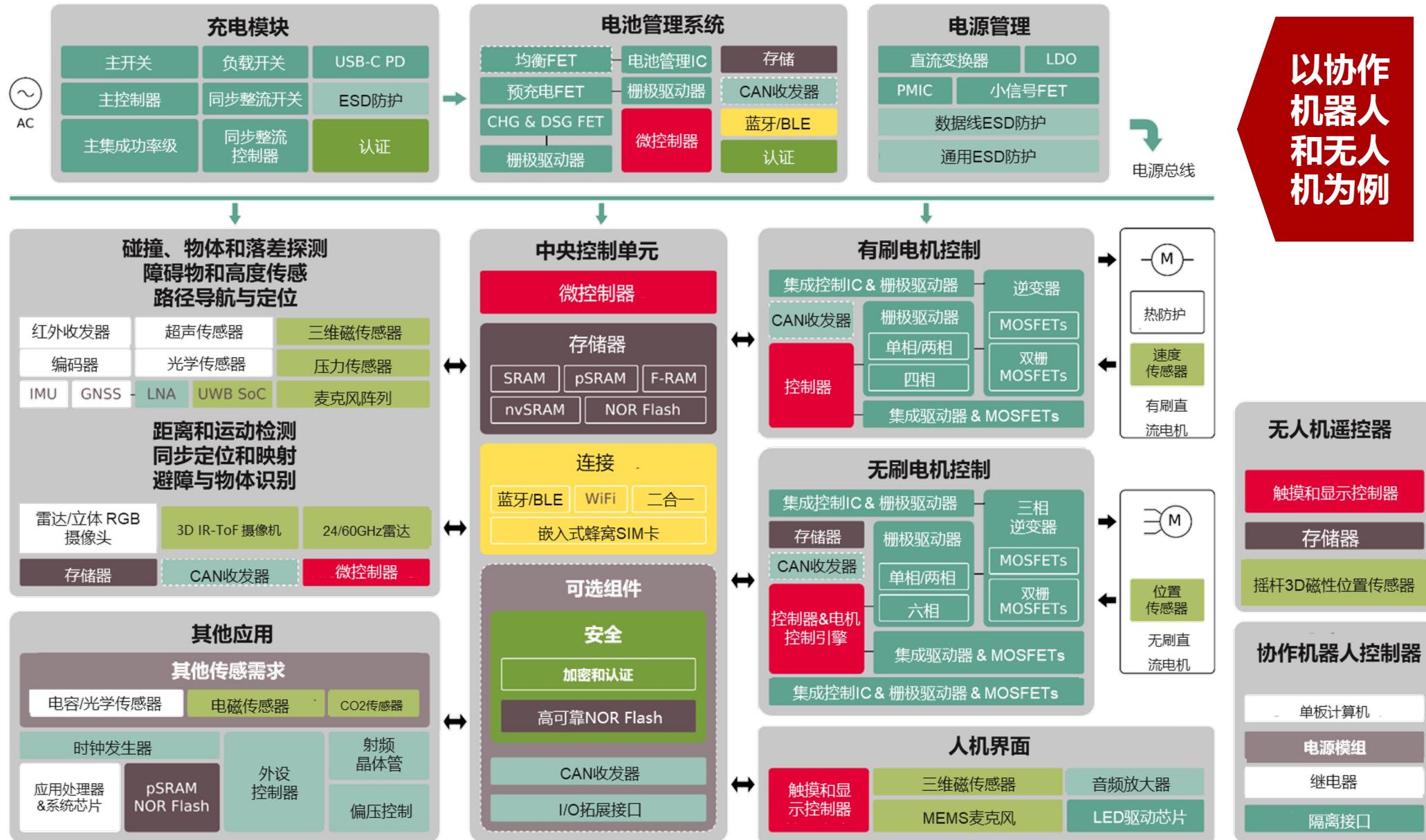
**控制：需求引领MCU向更
高性能升级**

**驱动：需求升级+工艺换
代，功率半导体快速发展**

典型的机器人电子电气结构主要由以下部分组成：

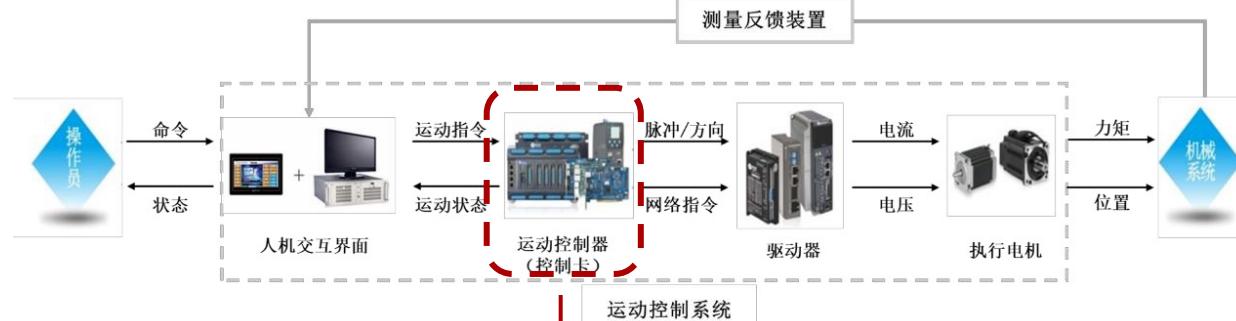
- 电源管理
- 环境感知
- 中央控制单元
- 电机控制
- 人机界面
- 可选组件和其它应用

而对于以人形机器人为代表的智能移动机器人，在感知、决策、控制等方面均提出更高要求，必须引入AI芯片和神经网络等高级算法。



控制器在运动控制系统中发挥核心作用

运动控制器是指以中央逻辑控制单元为核心，以传感器为信号敏感元件，以电机或动力装置和执行单元为控制对象的一种控制装置，其主要任务是根据运动控制的要求和传感器件的信号进行必要的逻辑、数学运算，为电机或其它动力和执行装置提供正确的控制信号。



起到“大脑”的核心作用，直接决定整个运动控制系统的性能水平

运动控制器结构

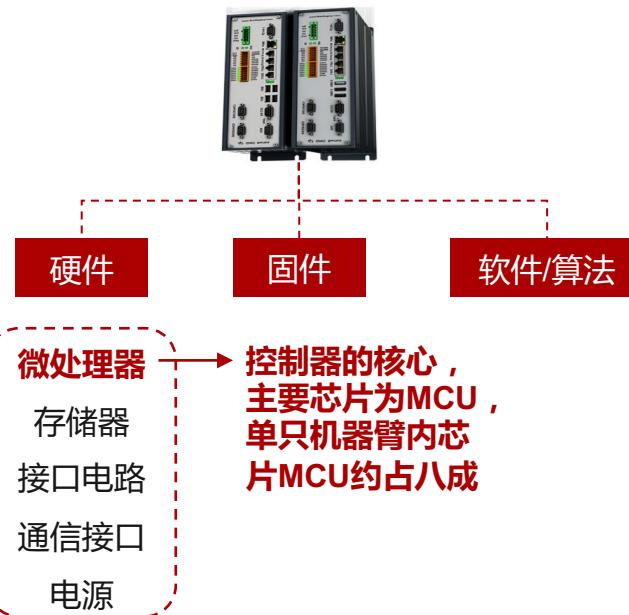


分类	特点	应用领域
PLC控制器	系统简单，体积小，可靠性高，但不支持复杂算法	可以用于圆周运动或直线运动的控制，广泛应用于各种机械、机床、机器人和电梯等行业
嵌入式控制器	涵盖从简单到复杂的各种运用，具有应用灵活、稳定性高、定制性强、价格便宜、操作和维护方便的特点	在针织机械、激光、切割、点胶机等设备制造行业有广泛的应用
PC-Based 控制卡	系统通用性强、可拓展性强，能够满足复杂运动的算法要求、抗干扰能力强，可供用户根据不同的需求	主要应用于电子、半导体、工业机器人、包装等领域
网络式控制器	形态可以是插卡式，也可以是嵌入式，或者是独立运行模式，其与伺服驱动系统的链接是采用各类工业总线形式	半导体加工、激光加工设备、PCB钻孔设备、机器人、数控机床、木工机械、印刷机械、电子加工设备和自动化生产线

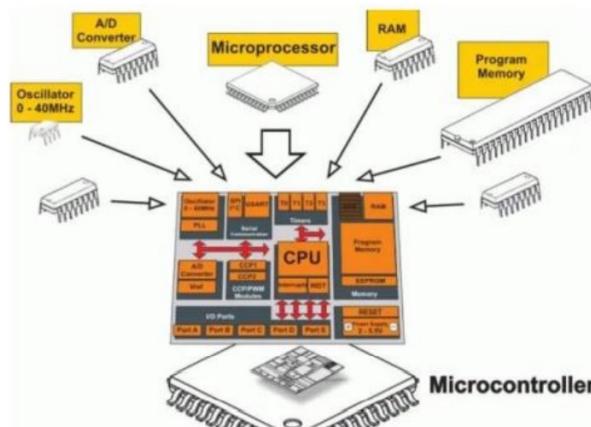
MCU : Micro Control Unit , 即多点控制单元 , 又称单片微型计算机(Single Chip Microcomputer) , 是指随着大规模集成电路的出现及发展 , 将计算机的CPU、 RAM、 ROM、 定时器和多种I/O接口集成在一片芯片上 , 形成 **芯片级的计算机 , 为不同的应用场合做不同组合控制**

目前40nm已成为MCU的成熟工艺 , **未来在更先进工艺下设计的MCU,采用更高性能的内核 , 其性能将得到大幅度提升** , 同时将部分核心控制算法进行硬件化加速 , 内置更高精度的ADC等 , 在提升机器人控制响应速度和精度的同时 , 还可降低系统成本

运动控制器结构



MCU结构示意图



MCU

下游需求

物联网 汽车电子 智能家居 ...

**工业控制
机器人**

产业升级，在位置、速度、
动作顺序等控制方式上更
加复杂、精细和智能化

**促使MCU受
需求影响向更
高性能升级**

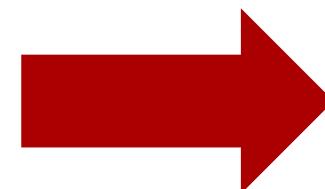
人形机器人多自由度有望大幅提升MCU需求

相较于传统工业机器人，人形机器人有更复杂的运动形态，为了实现人形机器人所需的复杂运动，需要对电机的位置、方向、速度和扭矩进行高精度控制，而MCU则可以执行电机控制所需的复杂、高速运算。目前工控/机器人解决方案中包括单电机平台（一颗MCU控制一个电机）、双电机平台（一颗MCU控制两个电机），其中双电机平台的两个电机功率和小于单电机最大功率。未来随技术发展，有望出现三电机平台。**小米CyberOne人形机器人全身有21个自由度，特斯拉Bot中将包含40个微型电机，参考现在工业控制及工业机器人解决方案，我们预计特斯拉Bot上将使用10-20颗MCU进行电机驱动。**

ABB公司 IRB 4600工业机器人



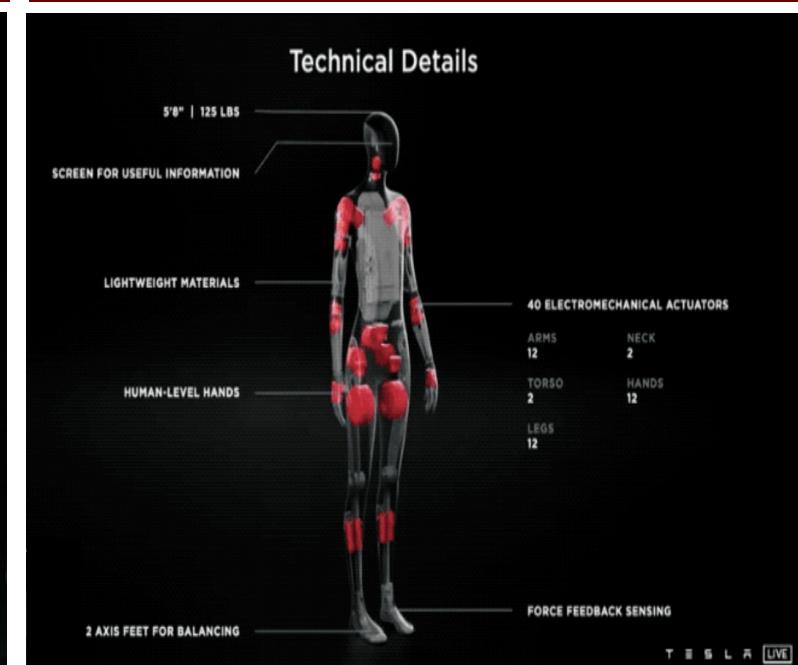
自由度增加，
电机数量增加，
带来MCU需求增加



小米CyberOne人形机器人



特斯拉Bot人形机器人



功率半导体是控制电压和电流的半导体，其作用主要为功率转换、功率放大、功率开关、线路保护和整流等，包括功率器件和功率IC。

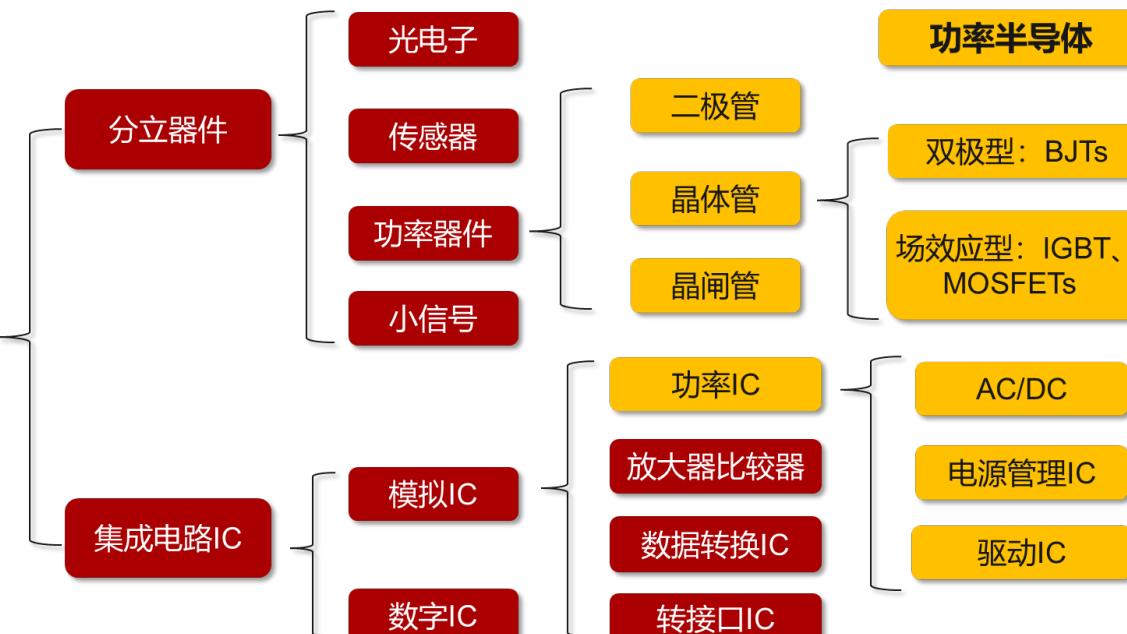
其中功率器件主要包括功率二极管、功率三极管、晶闸管、MOSFET、IGBT等，而功率IC则是将功率半导体分立器件与各种功能的外围电路集成得来。

功率半导体广泛应用于新能源汽车、光伏、轨道交通、智能电网等领域。

功率半导体主要包括IGBT、MOSFET和功率IC

功率半导体应用场景十分广泛

半
导
体



需求升级+工艺换代，推动功率半导体快速发展

第三代半导体

无刷电机

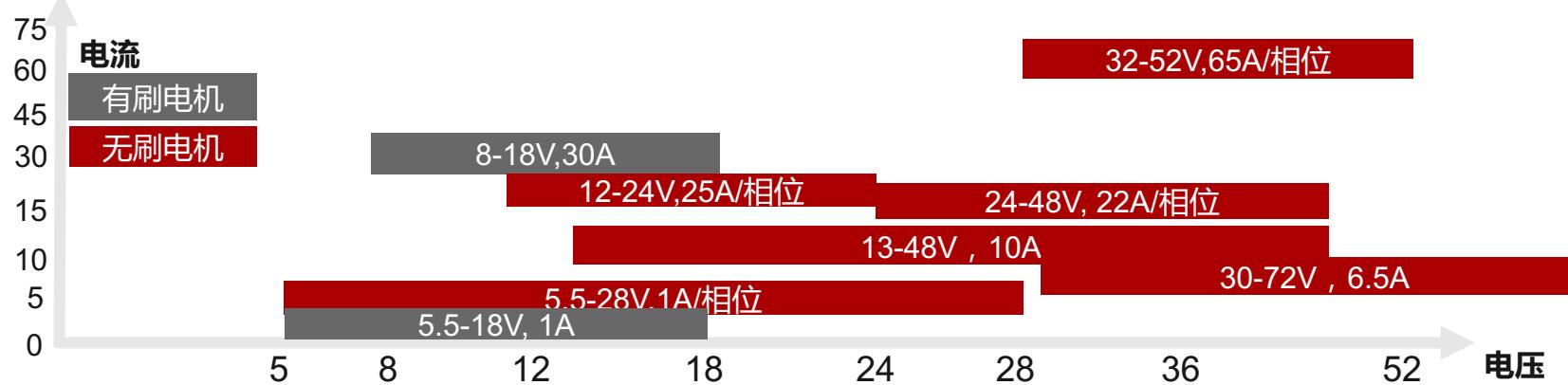
功率半导体

属性	第一代 半导体	第二代 半导体	第三代半导体	
半导体材料	Si	GaAs	GaN	SiC
禁带宽度 (eV)	1.12	1.43	3.4	3.2
击穿场强 (MV/cm)	0.3	0.4	3.3	3.5
电子饱和漂移速度 (10^7cm/s)	1.0	1.0	2.5	2.0
热导率 (W/cm*K)	1.5	0.54	1.3	4.0

耐高压

耐高温

耐高频



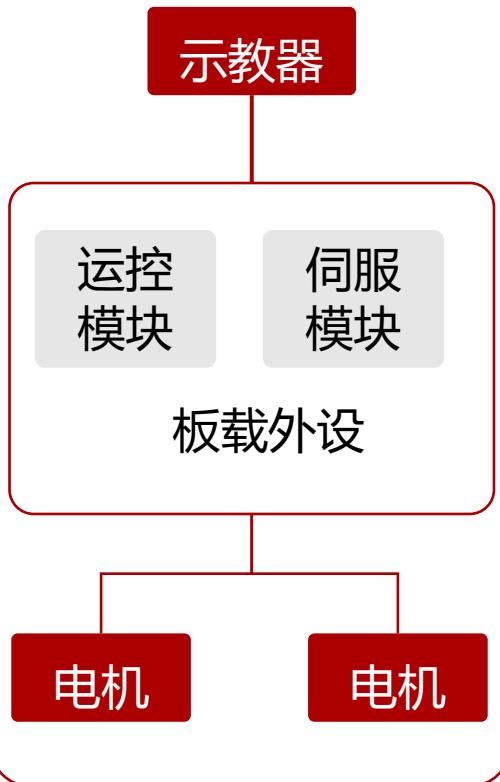
相较于有刷电机，无刷电机有高精度、低噪声的特点和高输出功率，应用范围广阔。



人形机器人等下游应用场景对电机提出了更高的要求，电机带动了逆变器和其他功率半导体的发展。

- **传统机器人运动控制系统存在缺陷**：通常采用一个运动控制器加多个伺服驱动器的结构，传统的运动控制策略逐渐显示出高能耗、高成本、低可靠性、线缆比较复杂，安装部署比较耗时等缺点。
- **微电子技术的发展推动驱控一体**：工业控制器已经可以逐渐实现复杂紧凑高性能的要求。将控制与驱动部分进行集成，可以完成对多个伺服电机的闭环控制和驱动，节约空间，避免硬件重复浪费且降低成本，具有很高的研究价值和实用价值。

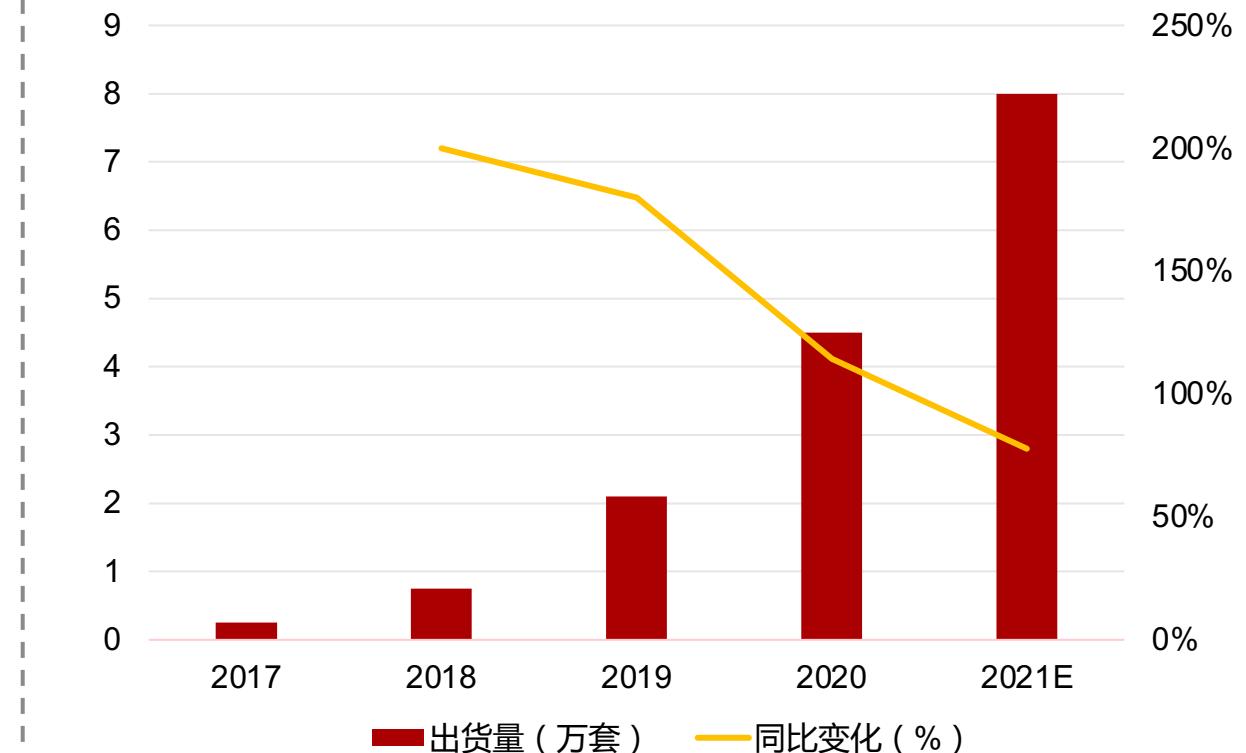
驱控一体化架构



驱控一体化优势

- 集成度高
- 成本较低
- 应用简单
- 安装调试简单方便
- 维护检修更加便捷
- 反应速度更快

2017-2021年驱控一体出货高速增长



03

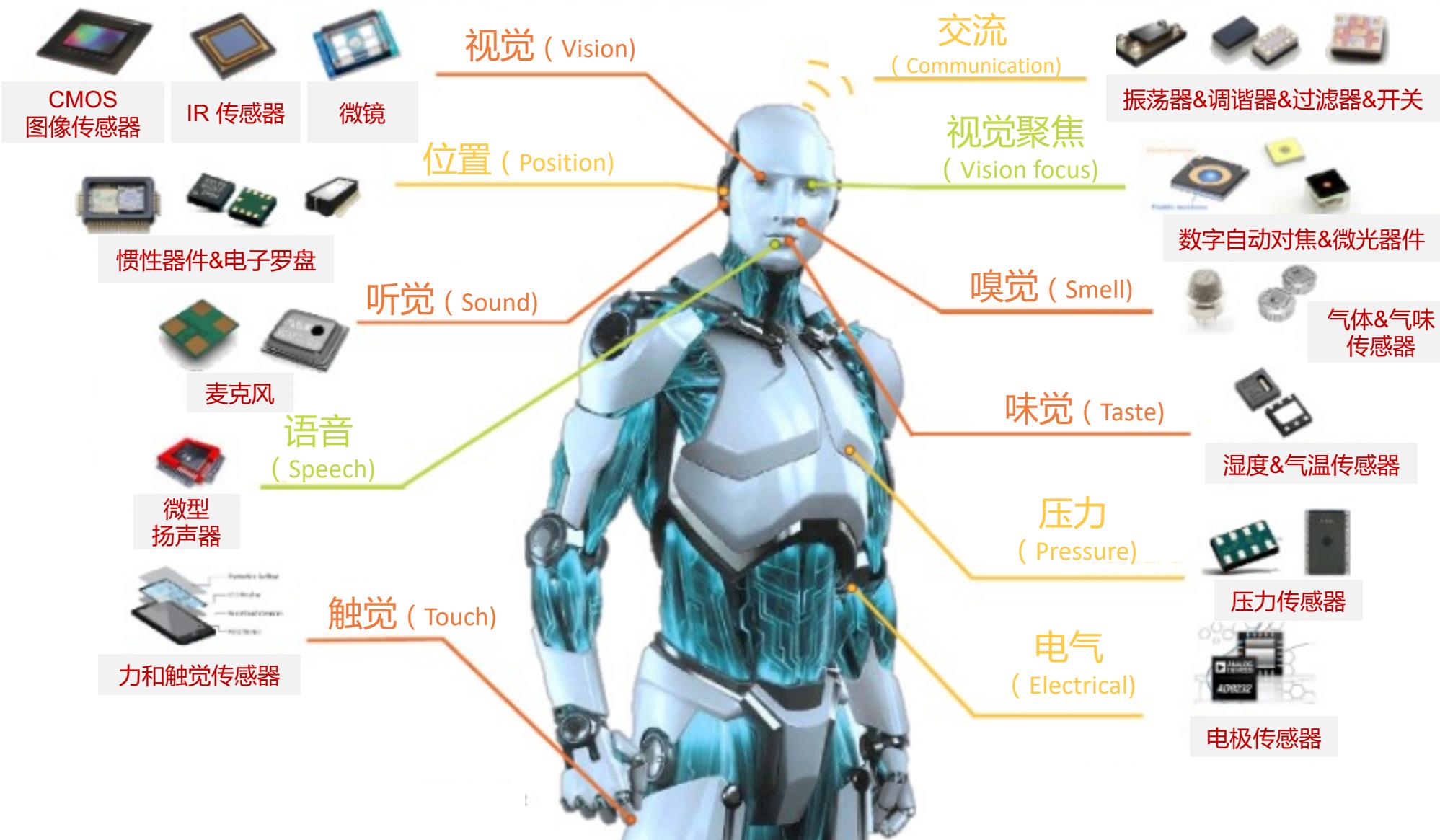
传感器

识别外部信息的“器官”

在机器人中的应用繁多

机器视觉：为机器植入
“眼睛”和大脑

传感器：机器人识别外部信息的“器官”



机器人传感器可以根据检测对象不同分为**内部传感器**和**外部传感器**。

• 内部传感器：

用来感知机器人的自身状态的传感器

位置、速度、加速度

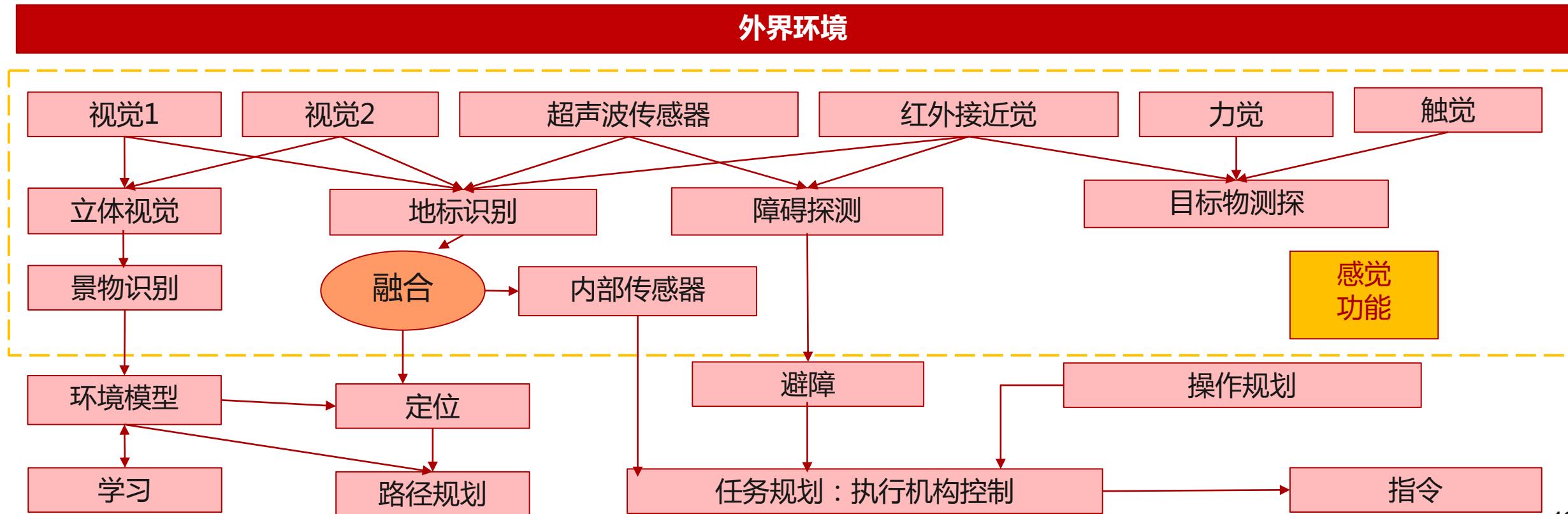
• 外部传感器

用以感受机器人周围环境、目标物的状态信息的传感器

视觉、触觉、听觉、嗅觉、温度、力觉

机器人三大核心模块为感知、认知交互、运动控制：感知功能主要由各类传感器和摄像头实现，相当于人的眼、鼻、耳、皮肤等；交互模块通过机器深度学习算法实现，相当于人的大脑；运动控制模块主要包括舵机、电机、芯片，服务机器人的运动控制主要涉及定位导航和运动协调控制。

机器人对传感器的三大要求：**强抗干扰性、高精度、高可靠性。**强抗干扰帮助机器人面对恶劣环境，高精度帮助有效完成高质量作业，高可靠性保证不发生重大故障。据Global Market Insights预测，2026年全球机器人传感器市场价值超过40亿美元。



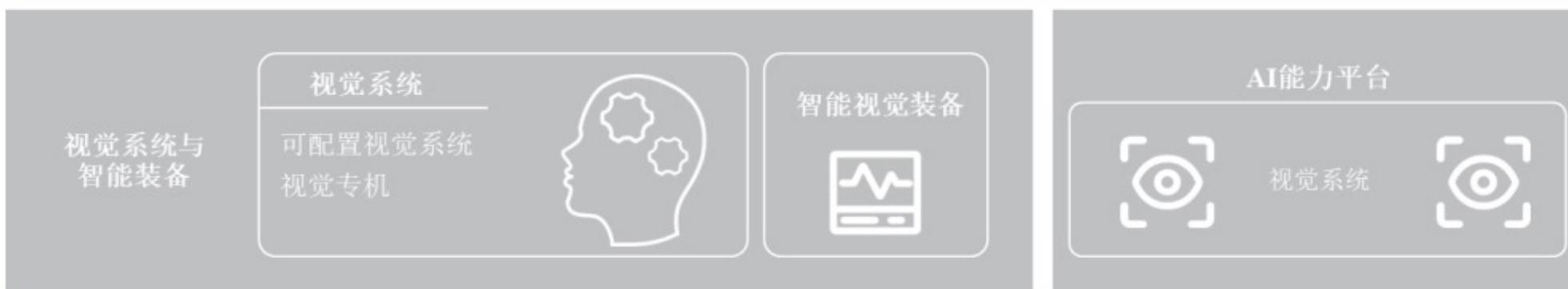
传感器	检测内容	应用目的	主要适用场景
阴暗觉	是否有光、亮度多少	判断有无对象，并得到定量结果	光敏管、光电断续器
位置觉	物体的位置、角度、距离	物体空间位置、判断物体移动	光敏阵列、CCD
色觉	对象的色彩及浓度	利用颜色识别对象的场合	彩色摄像机、滤波器、彩色CCD
形状觉	物体的外形	提取物体轮廓及固有特征，识别物体	光敏阵列、CCD
接触觉	与对象是否接触、接触的位置	确定对象位置，识别对象形态，控制速度，安全保障，一场停止，寻径	光电传感器、微动开关、薄膜特点、压敏高分子材料
压觉	对物体的压力、握力、压力分布	控制握力、识别握持物，测量物体弹性	压电元件、导电橡胶、压敏高分子材料
力觉	有关部件（如手指）所受外力及转矩	控制手腕移动，伺服控制，正解完成作业	应变片、导电橡胶
接近觉	对象物是否接近，接近距离，对象面的倾斜	控制位置，寻径，安全保障，异常停止	光传感器、气压传感器、超声波传感器、电涡流传感器、霍尔传感器
滑觉	垂直握持面方向物体的位移，重力引起的变形	修正握力，防止打滑，判断物体重量及表面状态	球形接点式、光电旋转传感器、角编码器、震动检测器
听觉	感受和解释在气体、液体、固体中的声波	对连续自然语言中的单独语音和词汇进行辨别	电容式驻极体话筒、驻极体振动膜、场效应管

机器视觉为机器人植入“眼睛”和“大脑”，是第四次工业革命（工业4.0）的核心要素之一。



硬件端

植入眼睛，代表着机器视觉利用环境和物体对光的反射来获取及感知信息。



软件端

植入大脑，意味着机器视觉需要对信息进行智能处理与分析，并应用分析得到的结果来执行相应的活动。



人形机器人识别外部环境主要使用摄像头、激光雷达等传感器，与自动驾驶场景存在类似之处。在自动驾驶场景中，智能汽车需要对车辆、行人、交通信号灯、障碍物等行车环境做出既快速又准确的识别，特斯拉在算法和数据方面的长期积累，在传感器方面仅借助车载摄像头就奠定了其**纯视觉路线**在自动驾驶中的领先地位。而在绝大多数车企所采用的**多器件融合路线**中，毫米波雷达、激光雷达具备其独特优势，能够使传感器系统更好地实现优势互补，因此毫米波雷达、激光雷达等传感器在自动驾驶中的广泛应用是必然趋势。

摄像头

优势：图像识别分辨率高，技术成熟度高、成本低
劣势：算法要求高、容易受到恶劣天气影响、复杂环境下抗干扰能力弱
成本：<10美元



纯视觉



多器件融合



对机器人来说，在摄像头提供的机器视觉以外，在一些复杂和恶劣环境下，激光雷达、毫米波雷达等传感器也有望大大加强机器人的环境感知能力。因此，预计将来会有更多搭载激光雷达、毫米波雷达的机器人问世。

激光雷达

优势：抗干扰能力强；测量精度极高，可以实时建立3D模型；探测距离远、速度快
劣势：成本较高、受雾霾天气影响
成本：>1000美元

红外线传感器

优势：夜视功能应用极佳
劣势：径向运动辨别能力差、没有角度测量能力
成本：100美元左右

毫米波雷达

优势：不受天气影响，探测距离远。能同时探测目标物体的距离和速度。
劣势：精度低，识别行人、道路指示能力弱
成本：200~300美元

超声波雷达

优势：价格低、体积小，近距离停车应用极佳
劣势：传播慢、测距短，高速行驶中测量和远距离测量都存在较大误差
成本：10美元左右

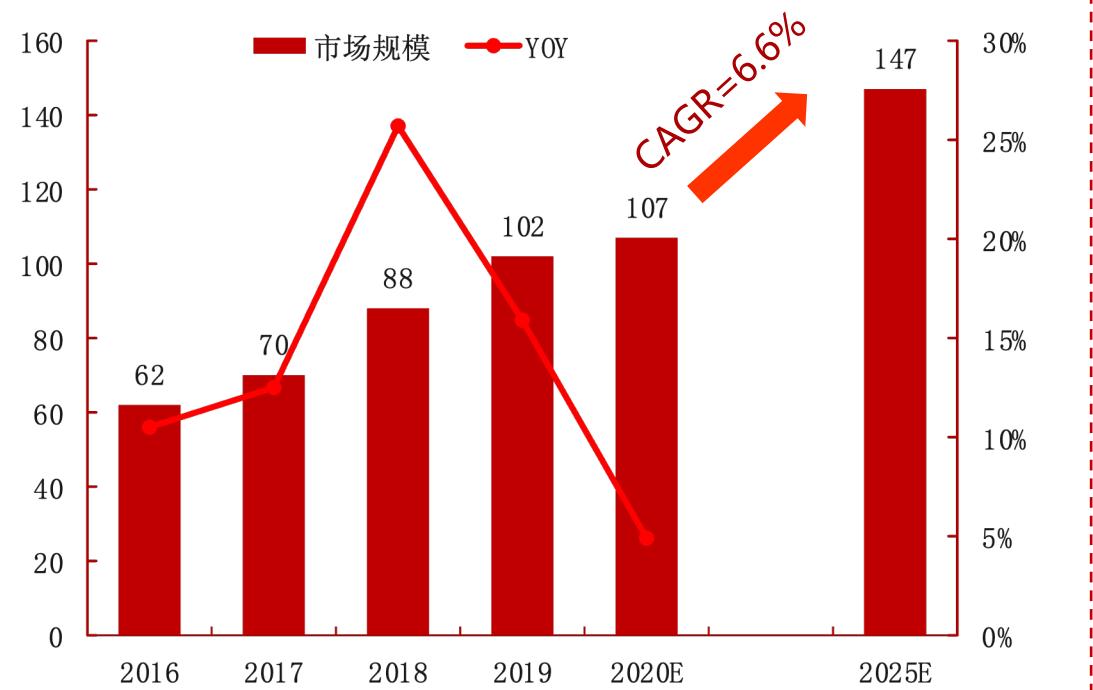
毫米波雷达技术优势

- 1 对环境条件不敏感
- 2 可检测玻璃墙、家具
- 3 提供物体的多普勒信息
- 4 机械复杂程度低
- 5 材料成本低、尺寸小

机器视觉：视觉器件持续扩容，从2D到3D视觉升级

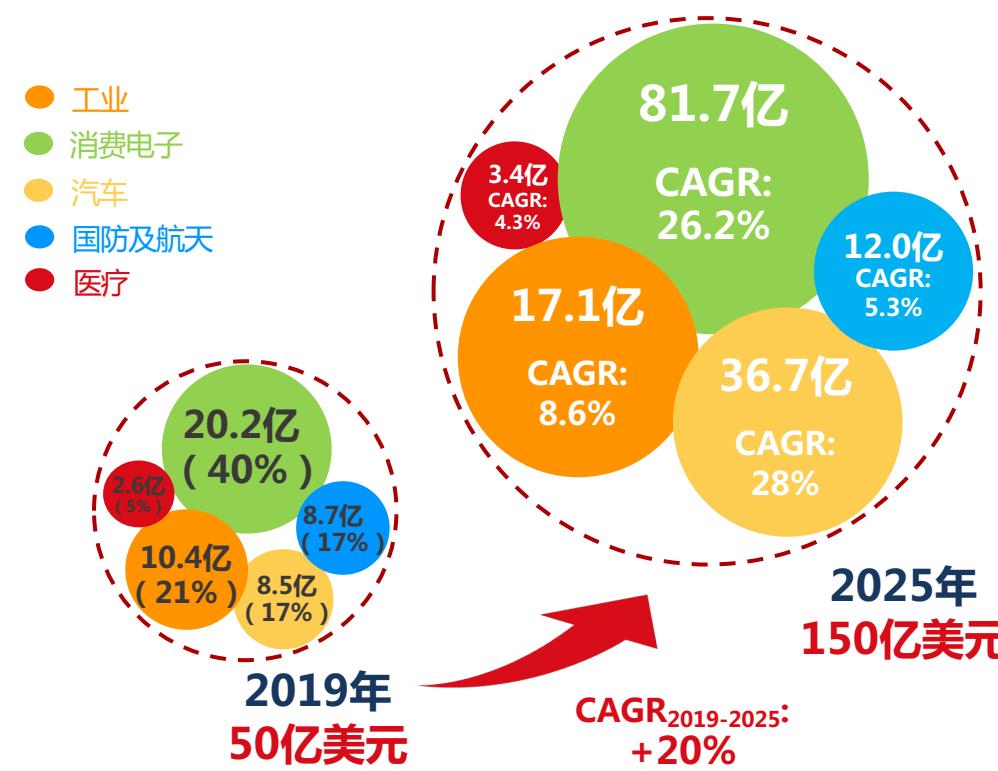
全球机器视觉器件市场规模(亿美元)

- 市场持续扩容：**根据 Markets and Markets 统计，2015-2020年全球机器视觉器件市场的CAGR为13.83%，市场规模至2020年达到107亿美元；2021-2025年，预计全球机器视觉器件市场规模的CAGR将为6.56%，至2025年市场规模将达147亿美元。



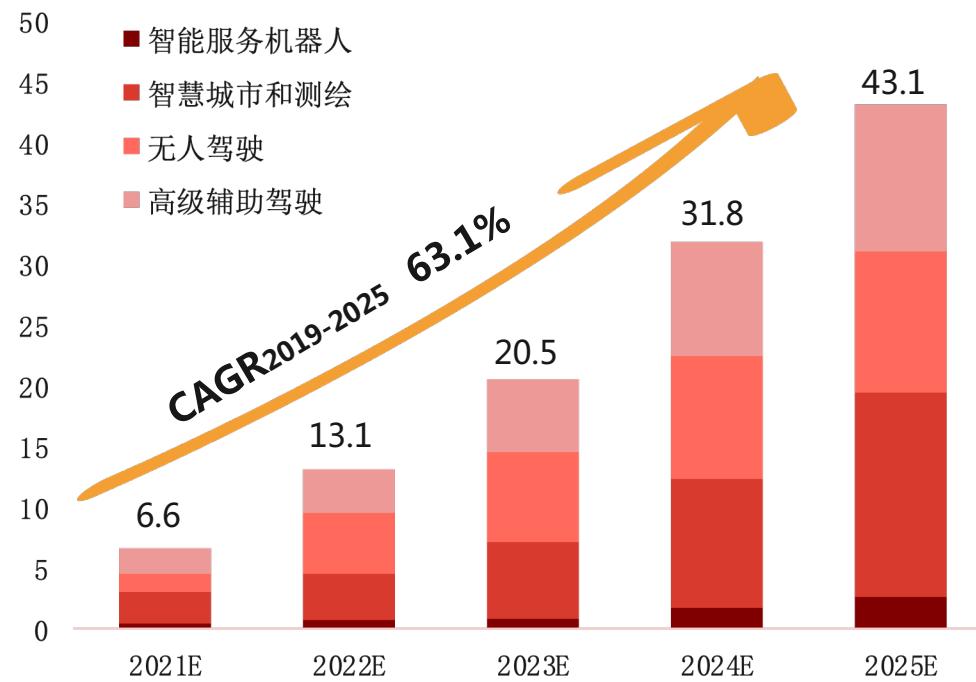
2019-2025年3D视觉感知市场规模（亿美元）

- 向3D机器视觉升级：**机器视觉将逐步从2D升级到3D，实现跨度极大的技术革命。3D视觉技术的突破将进一步推动视觉技术在高端场景的应用，传统的2D机器视觉将快速向3D机器视觉升级，推动机器视觉市场持续增长。



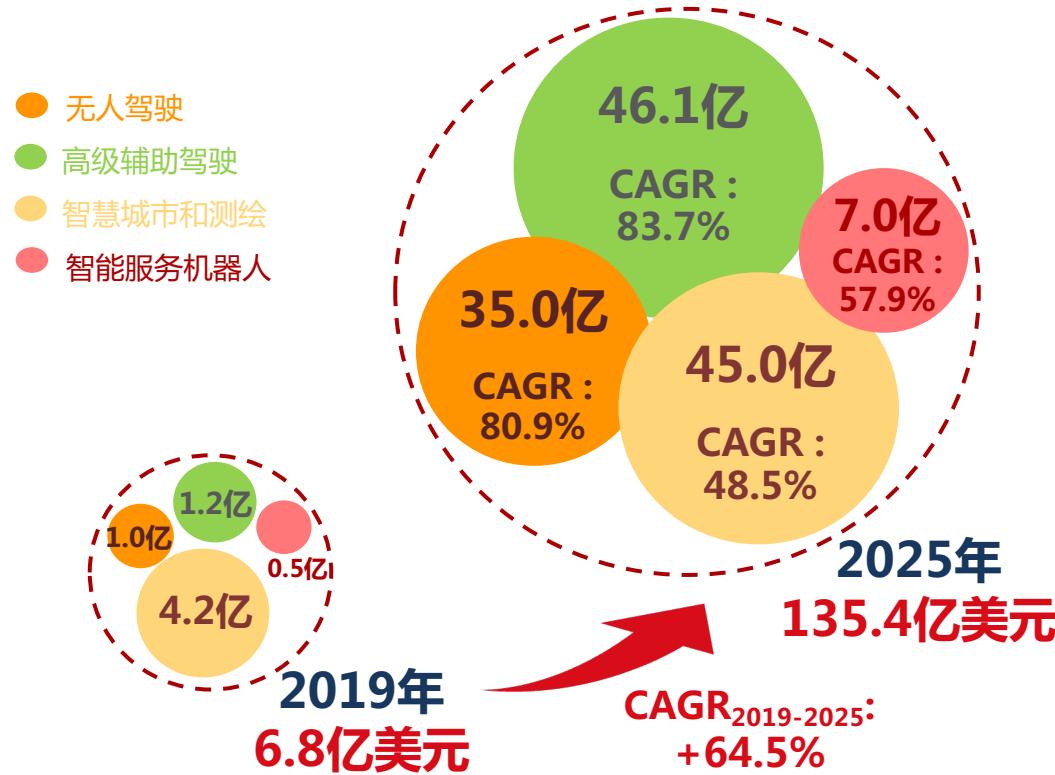
中国激光雷达市场规模预测（亿美元）

除了测绘和无人驾驶领域，包括以汽车整车厂、Tier 1为代表的高级辅助驾驶，以智能服务机器人为代表的避障导航系统，还有随着5G技术逐渐普及而产生的车联网应用，都为激光雷达带来了更广阔的市场。



全球激光雷达市场规模预测（美元）

根据沙利文预测，随着下游应用领域的不断拓宽，激光雷达整体市场规模将从2019年的6.8亿美元快速增长至2025年的135.4亿美元，2019-2025年CAGR高达64.5%。其中预计智能服务机器人在此期间的CAGR为57.9%。



美国

重视传感器功能材料研究；重视传感器技术开发；重视工艺研究



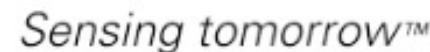
德国

德国视军用传感器为优先发展技术，发挥老牌工业强国固有优势



日本

日本约有800家生产和开发传感器的厂家。



中国

初步建立了敏感元件和传感器产业，目前我国已有1688家从事传感器的生产和研发的企业



矩子科技

04

AI芯片

特斯拉人形机器人使用自研FSD芯片

自动驾驶领域即为机器人芯片落脚点

AI芯片与模型算法交替发展

- 2021年特斯拉宣布研发人形机器人擎天柱（Optimus），以汽车设计过程为基础，优化调参至机器人平台。
- 特斯拉智能汽车≈自动驾驶+轮式机器人，电车自动驾驶技术赋能人形机器人，使用单颗自研SoC芯片——FSD，以与汽车相同的底层技术为支撑。因此我们可以将特斯拉人形机器人看作是智能电车的延伸。

FSD芯片架构		
功能	模块	设计特点
计算功能模块	CPU	• Cortex-A72架构；3组四核，共12个核心；最高运行频率2.2GHz。
	GPU	• 支持FP32和FP64；主频最高1GHz；最高算力约600GFLOPS。
	NPU	• 自研神经网络处理器NNA设计两个核心，每个核心都可以执行8位整数计算；运行频率2GHz；单个NNA的峰值计算能力为36.86TOPS，2个NNA的总能力为73.73TOPS。
输入模块	视频编码器	• 集成了支持H.265（HEVC）的视频编码器，可以用于备用摄像头显示、行车记录仪、剪辑视频等内容。
	摄像头接口	• 摄像头串行接口CSI，最高可以支持输入并处理每秒25亿像素。
辅助功能模块	ISP	• 专门针对特斯拉汽车上配备的八个HDR传感器而设计，可以每秒钟处理十亿像素图像信息，在处理中加入色调映射等功能和降噪设计，且允许芯片自主处理阴影、亮点、暗点等细节。
	安全模块	• 包含一组双核心同步CPU，用于执行汽车信息的仲裁。 • 可以决定FSD整个模块上2个FSD芯片发出的执行计划是否匹配，以及驱动执行器的过程是否安全。
	加密模块	• 确保整个FSD系统只执行经过特斯拉签名授权的代码，而不是任何其他代码，保证系统的安全性。
存储	内存	• 采用双通道LPDDR4-2133方案，位宽128bit，带宽63.58GB/s； • 每个芯片有4颗LP DDR4内存。

个人电脑

智能手机

智能汽车

智能机器人

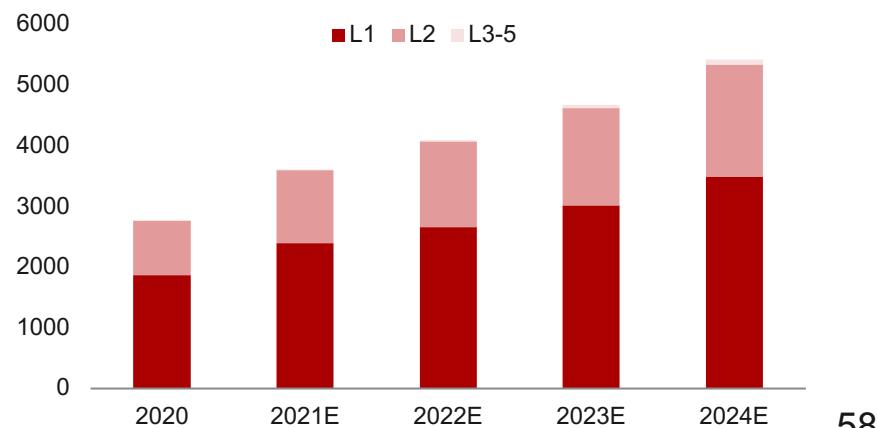
目前主要自动驾驶芯片对比

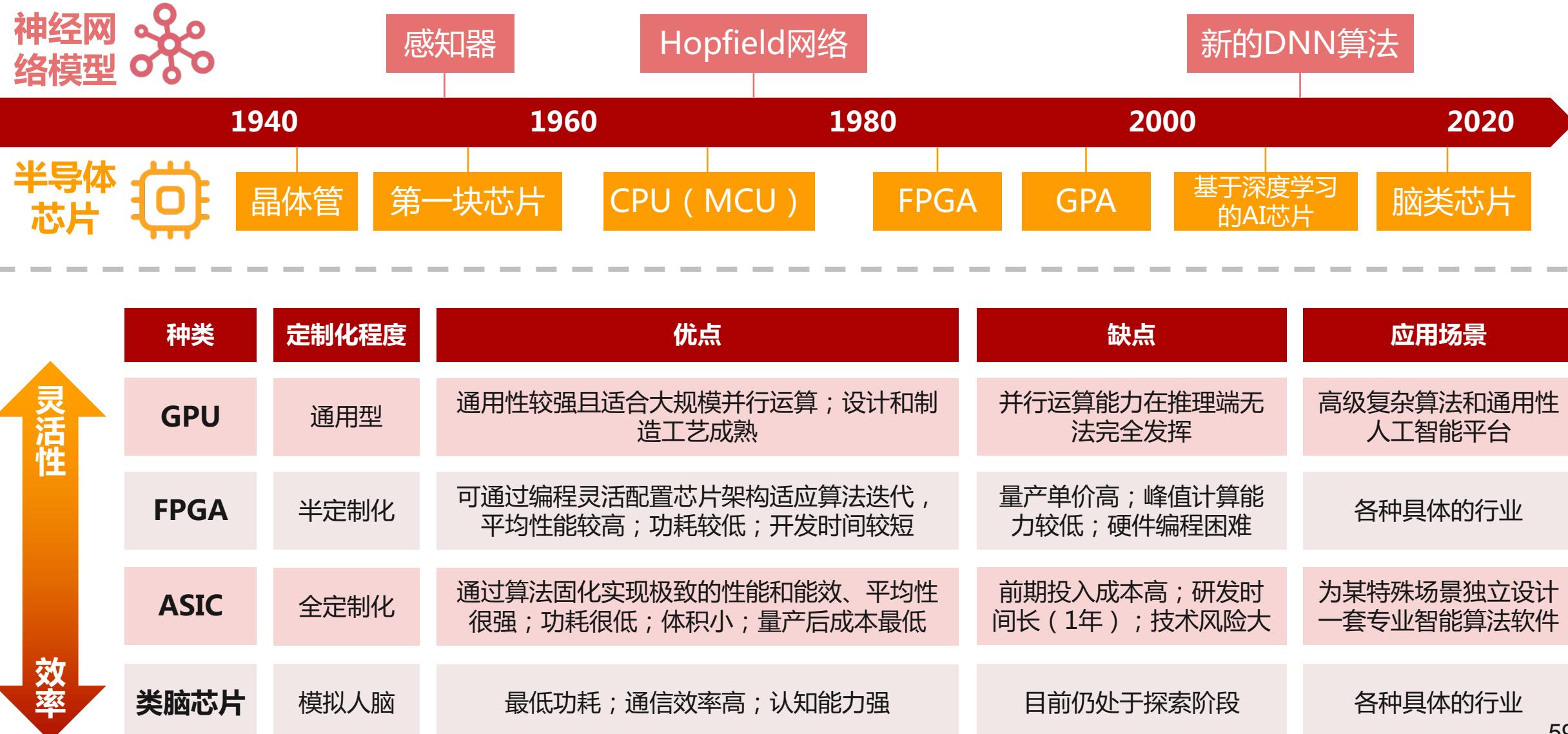
厂商	产品	工艺制程 (nm)	算力 (TOPS)	功耗 (W)	内核	自动驾驶等级	发布时间	量产时间
Mobileye	EyeQ5	7nm	24	10	/	L3	2016.05	2021
英伟达	Orin	7nm	200	30	NVIDIA CPU及12核Arm CPU	L4	2019.12	2022
特斯拉	FSD	14nm	72	36	/	L2	2019.04	2019.11
华为	MCD610	7nm	160	/	鲲鹏916+昇腾610	L3~L4	2020.09	2021Q4
	MCD810	7nm	400+	/	昇腾610	L4~L5	2021.04	2021.04
黑芝麻	A1000	16nm	58或116	8	/	L2+	2020.06	2021
	A1000 Pro	16nm	106或196	25	16核Arm V8CPU	L3~L4	2020.04	2022
地平线	征程3	16nm	5	2.5	4核Arm-A53CPU	L2	2020.09	2021.06
	征程5	16nm	128	30	8核Arm-AV55CPU	L3~L4	2021.07	2022H2

自动驾驶汽车是四个轮子的机器人

- 自动驾驶芯片主要公司包括英伟达、Mobileye、特斯拉，国内的华为、地平线、黑芝麻等。除特斯拉自供外，英伟达、Mobileye、华为是提供高级别自动驾驶方案的主要玩家。

全球自动驾驶汽车出货量（万辆）





技术创新和应用需求共同驱动AI芯片发展

新型材料、工艺和器件的迅速发展，如3D堆叠内存、工艺演进等为AI 芯片提供了显著提升性能和降低功耗的可行性。

工艺

- 片上存储器：分布式 SRAM、ReRAM、PCRAM 等
- CMOS 工艺：工艺节点（16, 7, 5 nm）
- CMOS 多层集成：2.5D IC/SiP、3D-stack 技术等
- 新型工艺：3D NAND、FeFET、FinFET等

器件

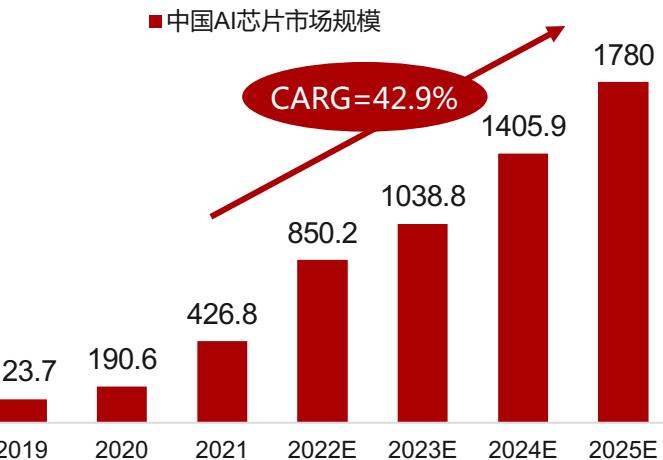
- 高带宽片外存储器：HBM、DRAM、高速 GDDR等
- 高速互联：SerDes，光互连通信
- 仿生器件（人工突触，人工神经元）：忆阻器
- 新型计算器件：模拟计算，内存计算

提供可行性

芯片

- 算法优化芯片：效能优化，低功耗优化，高速优化等
- 神经形态芯片：仿生类脑，生物脑启发，脑机制模拟
- 可编程芯片：DSP、GPU、FPGA.....
- 芯片系统级结构：多核、众核、SIMD、等
- 开发工具链：编译器、仿真器、优化器（量化、裁剪）等

需求驱动



应用和算法的快速发展，尤其是深度学习、卷积神经网络对AI 芯片提出了2-3个数量级的性能优化需求，引发了AI片研发的热潮。

算法

- 神经网络互联结构：多层感知机、卷积神经网络等
- 深度神经网络系统：AlexNet、ResNet、VGGNet等
- 神经网络算法：反向传播算法、迁移学习、强化学习等
- 机器学习算法：K 近邻、贝叶斯、决策树等

应用

- 视频图像类：人脸识别、目标检测、图像生成等
- 声音语音类：语音识别、语音合成、语音唤醒等
- 文本类：文本分析、语言翻译、人机对话等
- 控制类：自动驾驶、无人机、机器人等

云端训练/推理

云端AI芯片框架

AI服务

语音识别
计算机视觉
自然语言处理

深度学习训练/推理

深度学习框架
(PaaS)

CNTK
Torch
TensorFlow

异构计算平台

CUDA
OpenCL

AI加速芯片

GPU
“CPU+加速硬件”
异构计算

边缘计算

物联网
(物理世界)

↓ Data

边缘计算
(桥梁)

↓ Data

人工智能
(数字世界)

大量设备要求低
延时、高带宽

实现数据的存储、
计算与应用

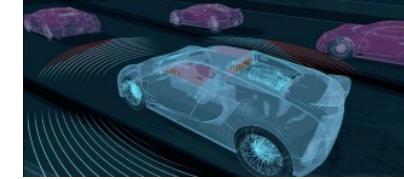
智能化、突出本地
协同、高计算效率

边缘计算主要场景

物联网	工业	智慧家庭/城市
广域接入网络	边缘云	多接入

终端设备

智能驾驶



商用/工业
机器人



智能家居



消费电子



智慧安防



随AI处理和智能交互需求提升，SoC成为必然趋势



终端

芯片特征：高吞吐量、高精确率、可编程性、分布式、可扩展性、高内存与带宽
计算能力与功耗：>30TOPS, >50W
应用：云/HPC/数据中心

芯片特征：降低AI计算延迟、可单独部署或与其他设备组合（如5G基站）、可将多个终端用户进行虚拟化、较小的机架空间、扩展性及加速算法
计算能力与功耗：5 ~ 30TOPS, 4 ~ 15W
应用：智能制造、智慧家居、智慧交通、智慧金融等众多领域

云端

边缘

AI
芯片发展
趋势

AI
芯片

传感器AI芯片

类脑芯片及深度学
习芯片

未来带意识、带自
主性的芯片

可实现的功能

感知：视觉、听觉、触觉等

人类特征

人体

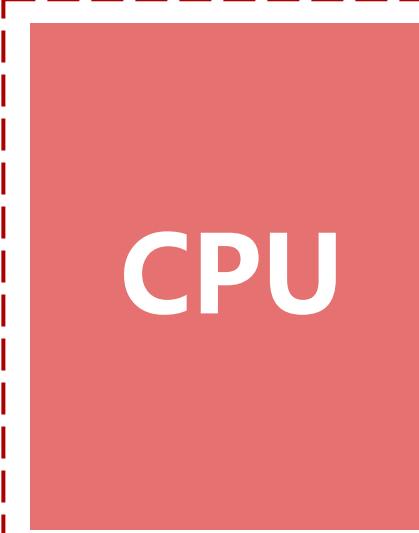
识别、分类、决策、预测、
分析、推理等

人脑

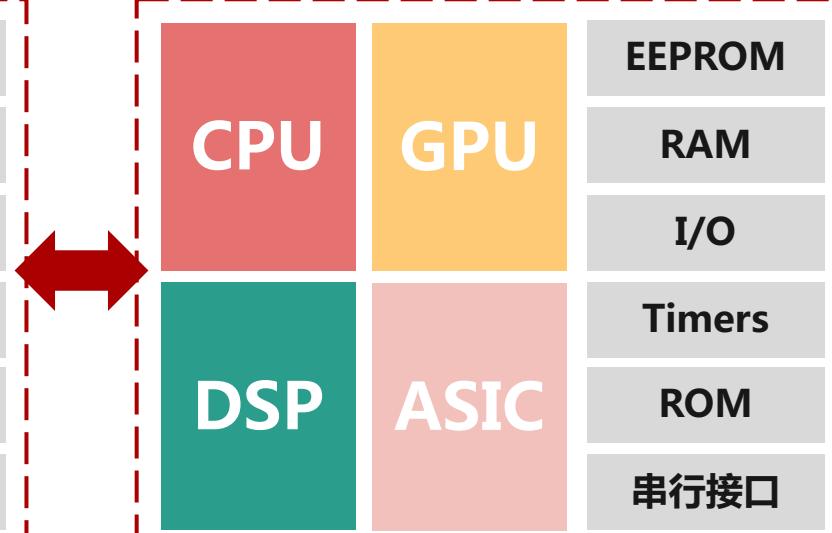
情感、想象力、创造力等

人性

MCU芯片示意图



SoC芯片示意图



SoC优点

芯片尺寸小

SoC缺点

生产周期长

低功耗

设计验证时间长

EEPROM

RAM

I/O

Timers

ROM

串行接口

EEPROM

RAM

I/O

Timers

ROM

串行接口

可再编程

可靠性强

成本效益高

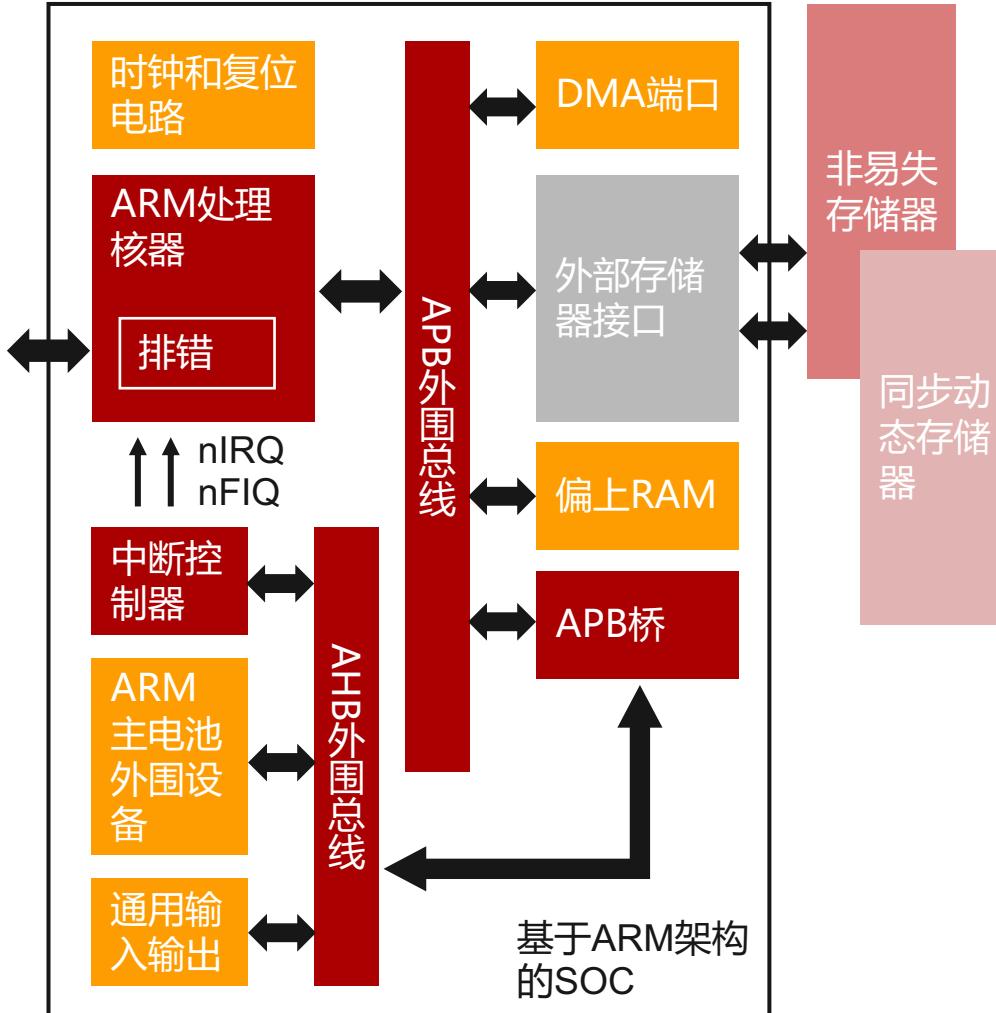
更快的运行速度

IP核的授权和兼容
情况大大影响产品
上市时间

成本指数型增长

不适合小批量 62

SoC架构图



SoC产业链



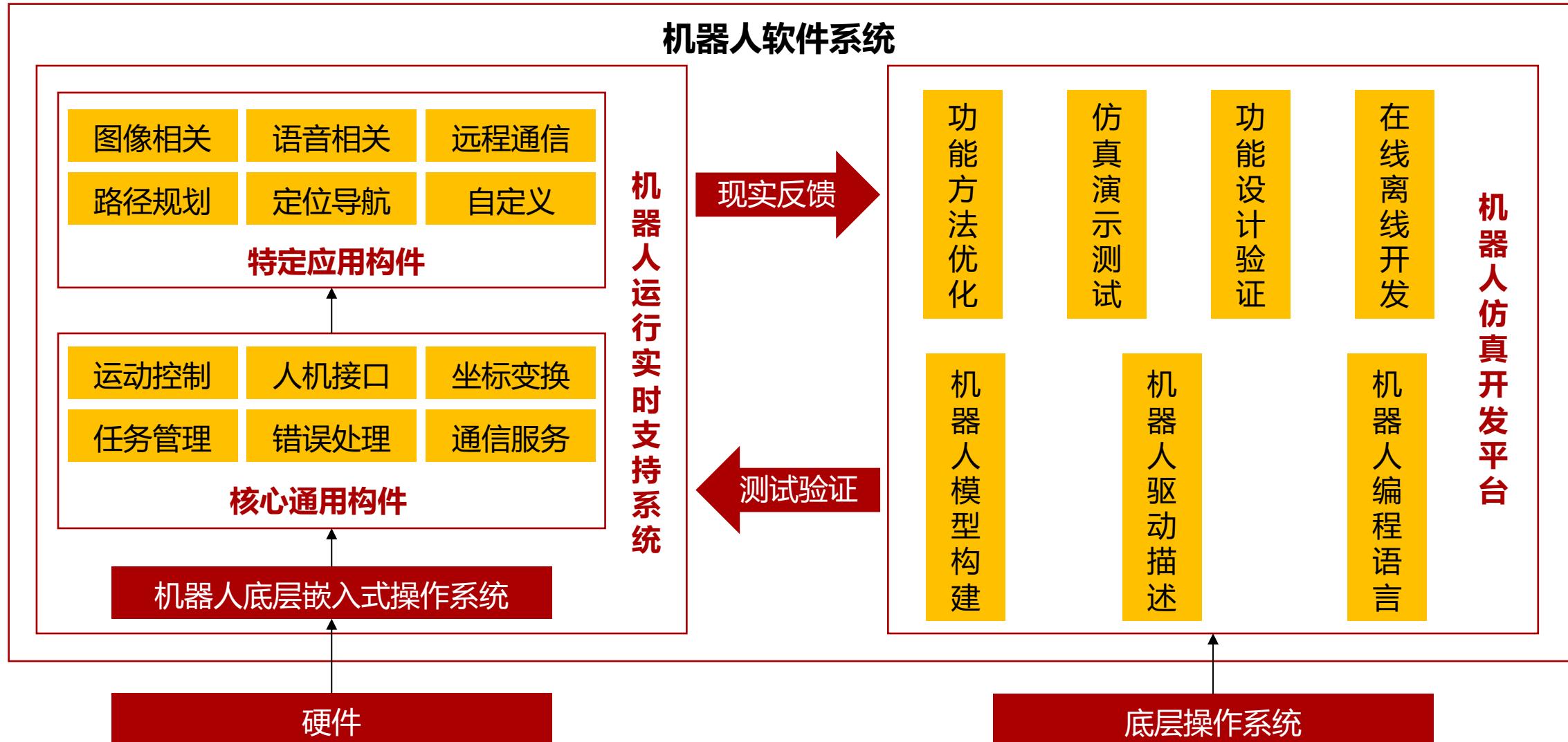
05

软件部分

开源化加速新技术研发与传播

智能算法赋能机器人工作能力

伴随算法进步，机器人应用领域深化



- **机器人软件开发设计面广泛而复杂**，将软件功能模块化并且开源实现代码复用，有助于让开发者各自发挥自己的专长，降低开发成本，提高效率。
- **机器人操作系统ROS (Robot Operating System) 是机器人软件通用框架中的佼佼者**。ROS (Robot Operating System)，是运行在Linux上的中间件，提供了类似操作系统的功能。广义上ROS是一个机器人开发软件工具集，由开源社区运营。

机器人软件开发涉及领域广，任务量大



机械结构



电子电路



驱动程序



通信架构



组装集成

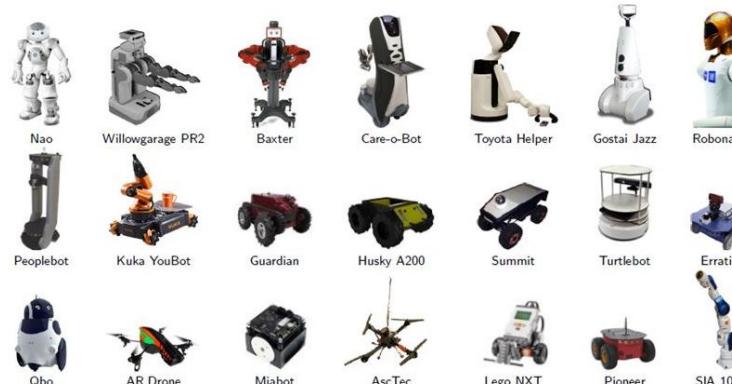


调试

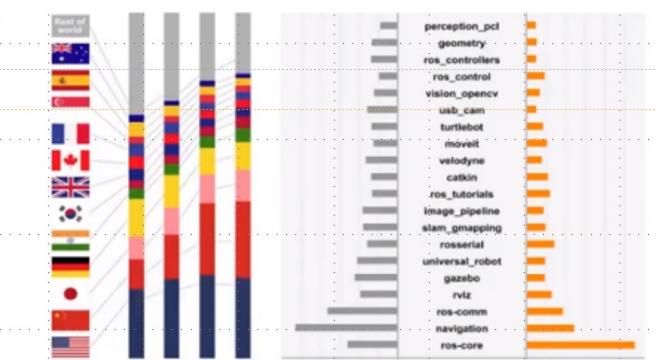
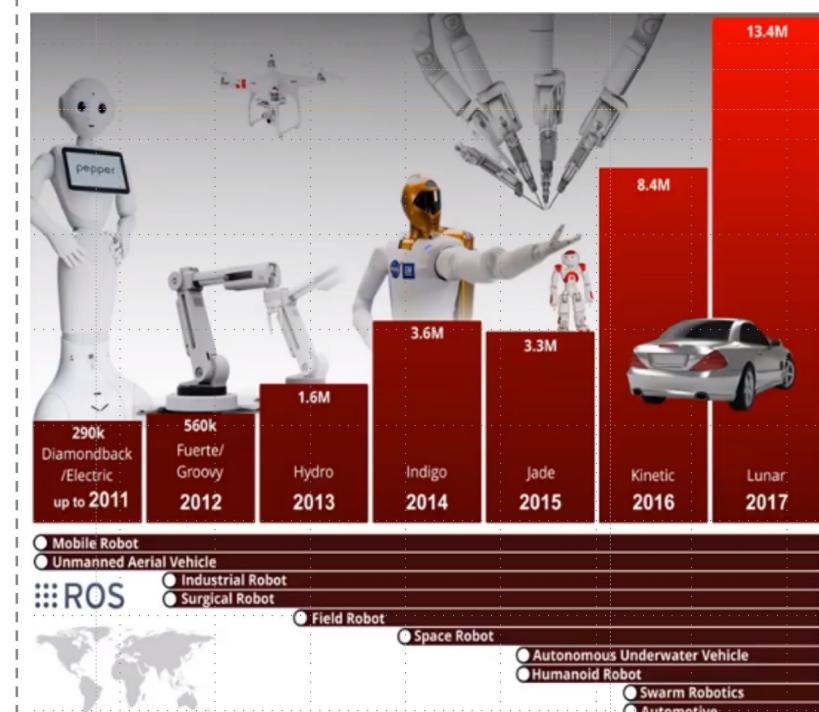


上层算法

ROS支持了多种机器人软件开发



ROS社区功能包数量、关注度、相关文章数量快速上涨



- 机器人主要包含感知和控制算法。
- **感知算法**：将摄像头、雷达等传感器中的数据转换为对决策置顶和规划形体等动作，包含环境感知、视觉、物体检测、路径规划等
- **控制算法**：一般分为决策算法、运动控制算法，通过智能大脑反馈行动，进行自助式移动、交流、语言理解等。

感知算法

环境感知

机器视觉

物体检测

路径规划

传感器硬件支撑

单目、多目相机

毫米波雷达

激光雷达

Real Sense 3D摄像头

其他传感器

控制算法

决策算法

运动控制算法

运动控制能力：通过智能大脑反馈行动，进行自助式移动等

舵机

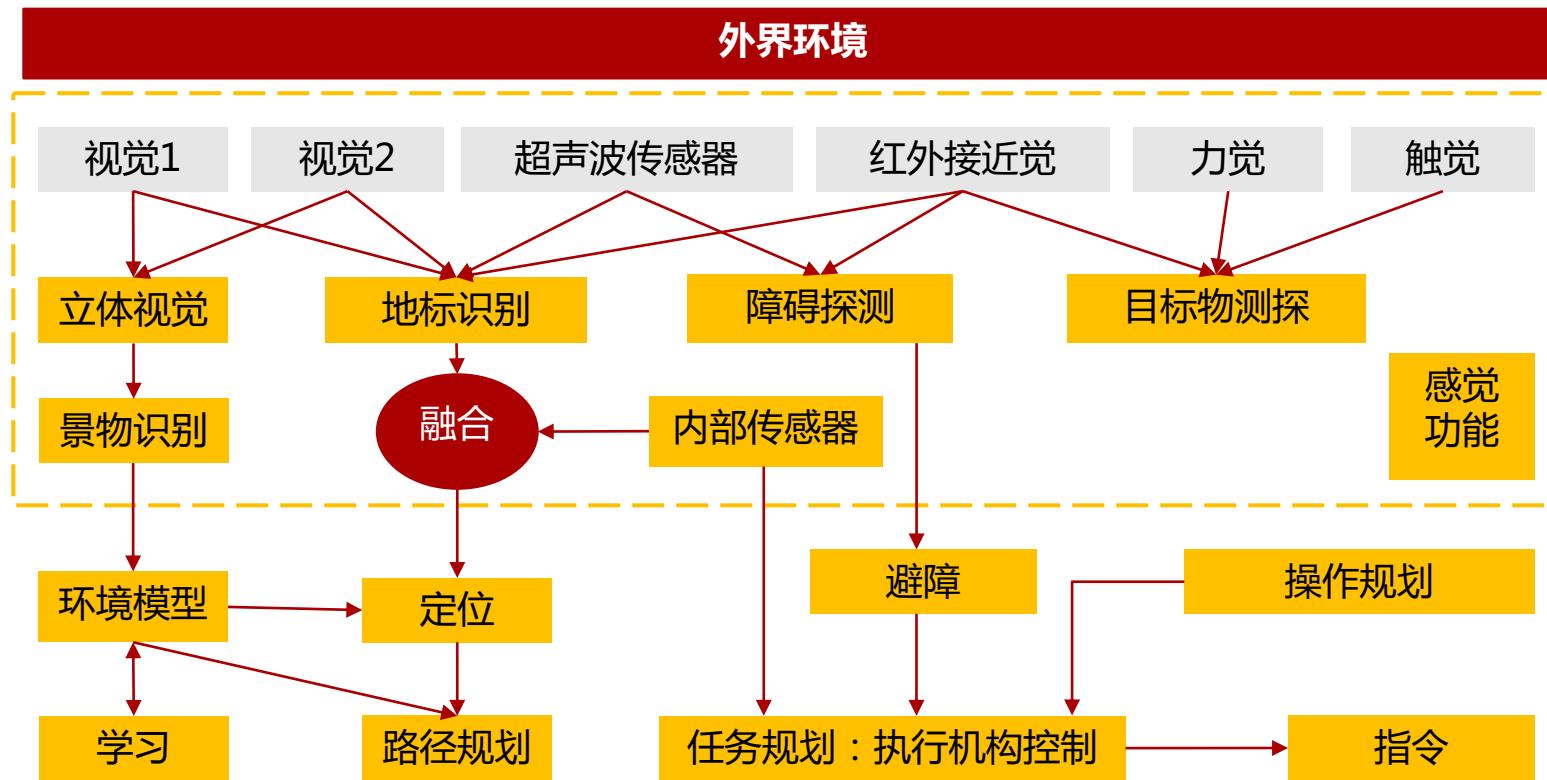
电机

芯片

交流能力：对话和肢体语言理解

- 伴随着机器人实现对人类劳动更为广泛的替代过程，机器人需要在更加复杂的场景作业。
- 多模态技术通过吸收环境中各种模态的信息帮助机器人实现最优的感知，在部分模态信息不完整的情况下依然能够实现感知。
- 认知机器人技术使机器人能够主动认知环境，在与人和环境的交互中学习。

将环境中多种模态融合，有助于机器人在复杂环境中感知



机器人开始主动认知环境

智能体	知行体
认知基础	大脑信息处理
外界信息	被动输入
交互方式	信息交互
应用领域	推理、决策
	认知、行动

传统控制系统

运动控制

伺服机构控制

- 位置控制
- 速度控制
- 坐标变换
- 动作执行

机械臂控制

- 精密点位控制
- 速度反馈

轨迹控制

轨迹规划

- 计算预期运动路径
- 实时计算运动位移、速度、加速度，生成运动规划

轨迹控制

- 确保末端执行器实现良好位置跟踪

力控制

柔顺控制

- 机器人与外界环境接触时的控制

传统控制系统面临难题

依赖精确数学模型

- 控制系统的设计与分析依赖已知系统精确的数学模型
- 数学模型受限于实际系统的复杂性、非线性、不确定性和不完全性，精确性有偏差

遵循严苛假设

假设与实际并不完全吻合

系统复杂，成本增加

通过复杂化集成提升系统性能，但设备成本及维护费用相应增高

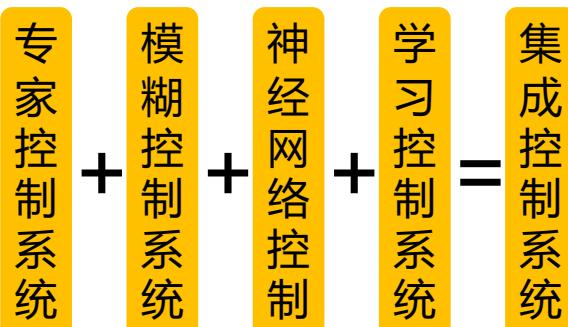
系统价值

- 集合控制硬件、软件与人工智能，推进控制系统智能化
- 融合自动控制科学、信息科学、系统科学与AI，完善智能控制

系统特点

- 具备学习、抽象、推理、决策能力
- 适应环境变换
- 自动完成任务
- 数学模型+知识系统

智能系统类型



智能控制系统

智能制造深化，深度赋能工业机器人



5G的发展将为工业机器人“互联”、“上云”提供高速网络支持。

- 机器人可以将大量的数据和信息处理在云端运行。
- 其次，机器人与机器人之间可以互相协同工作，提高工作效率。

5G



大数据服务可监测工业机器人的生命健康，分析工业机器人的工作效率。

大数据



人工智能技术的发展将促使工业机器人更加“智能”，能完成更加复杂的工作，例如无序抓取。

人工智能

智能控制算法赋能协作机器人

视觉感知控制

- 基于2D、3D摄像头信息采集，实现目标感知
- 利用反馈的位置信息构建图像，形成当前未知与目标位姿的映射关系
- 依赖关节控制器，实现机器人运动

高精度控制

- 约束控制系统的输入和状态，满足系统运行及安全性要求
- 基于神经网络优化协作机器人系统模型的不确定性

多模态融合控制

- 以视觉、触觉为核心，进行感知模态信息融合
- 全面、准确获取信息，进行运动预测与意图识别
- 依托神经网络等智能技术，加强作业执行中的主动性与稳定性

交互力控制

- 控制协作机器人与外界环境、与人的交互作用力
- 依托阻抗控制方法调节交互过程中的位置偏差与力偏差
- 交互力控制是提升协作机器人安全性的重要保障

- **自动驾驶技术进步**：机器人导航识别周边环境更加及时与精准，避障更加灵活，推动清洁机器人、配送机器人进步。
- **自然语言处理技术进步**：以ChatGPT为例的大规模预训练模型使机器人能够准确领会人类意图，提升机器人的人机互动能力，未来有望赋能陪伴、导览、教育、客服、康复护理机器人应用。

配送机器人核心诉求：安全配送+智慧服务



安全配送

机器人精准识别周边环境，
做出避障、急停、减速等
动作，保证作业安全



多功能智慧服务

跨场景递送，人性化互动，
多功能应用；作为移动载体，
成为企业与消费者互动终端及数字化转型抓手

大规模预训练模型互动能力实现突破

回答问题语言流畅、
内容自洽

可生成代码、进行数
学计算和逻辑推理

答案不偏不倚考虑多
方利益视角

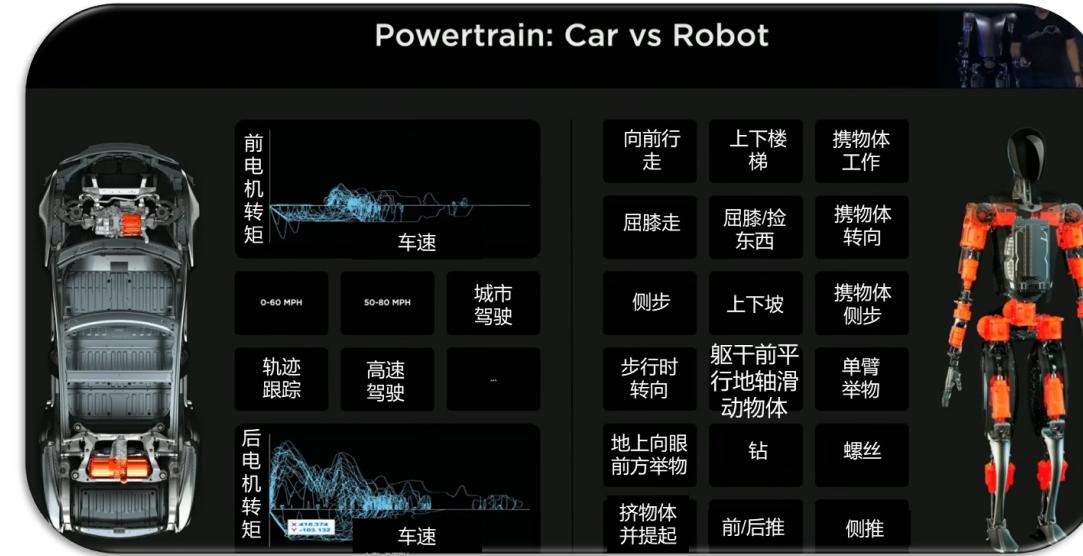
ChatGPT亮点

会承认之前对话中它
自己出现的错误

能指出用户要求中不
正确的前提假设

拒绝用户违反道德和
法律的请求

通过将自动驾驶技术迁移，有望推动人形机器人发展：Optimus 搭载特斯拉自研芯片，配备与特斯拉车辆相同的自动驾驶软件，软件系统经过重新设计以适应机器人操作环境。我们认为伴随着自动驾驶数据积累、技术进步，有望同时带动人形机器人成熟。



任务执行

行走

工作

步态规划

运动控制

示教

优化

业界有多种稳定性判据，可用于指导机器人动作规划



属性	判据				
	ZMP	庞加莱映射法	FPE	外推质心法	GSN
判断稳定性的依据	脚掌是否相对地面翻转	扰动在一步之后的变化趋势	机器人能否在一步之内达到静止	质心在地面上的投影是否在支撑区域外	扰动对运动特征的影响
衡量稳定性的指标	ZMP与支撑区域边界的距离	映射函数雅可比矩阵特征值的模	摆动脚着地点与FPE 的关系	外推质心与压力中心的位置关系	步态特征对扰动的响应参数
需要测量/掌握的信息	支撑多边形位置；地面反作用力；机器人运动状态	映射函数的表达式	质心运动状态；系统相对质心角速度、转动惯量	支撑多边形的位置；系统质心的运动状态	扰动的大小，扰动后每步的特征指标
适用的前提	机器人脚掌有一定的面积；在平坦地形上行走	机器人的运动存在周期解	系统角动量守恒	与ZMP方法类似	可以用于基于被动行走的仿人机器人
方法的局限性	不能判断机器人脚底与地面的滑动	只适用于分析周期解附近的小扰动	通过达到静止状态来分析稳定性		不易根据稳定性判据得到相应的控制方法

06

磁材

稀土永磁钕铁硼具有显著优势

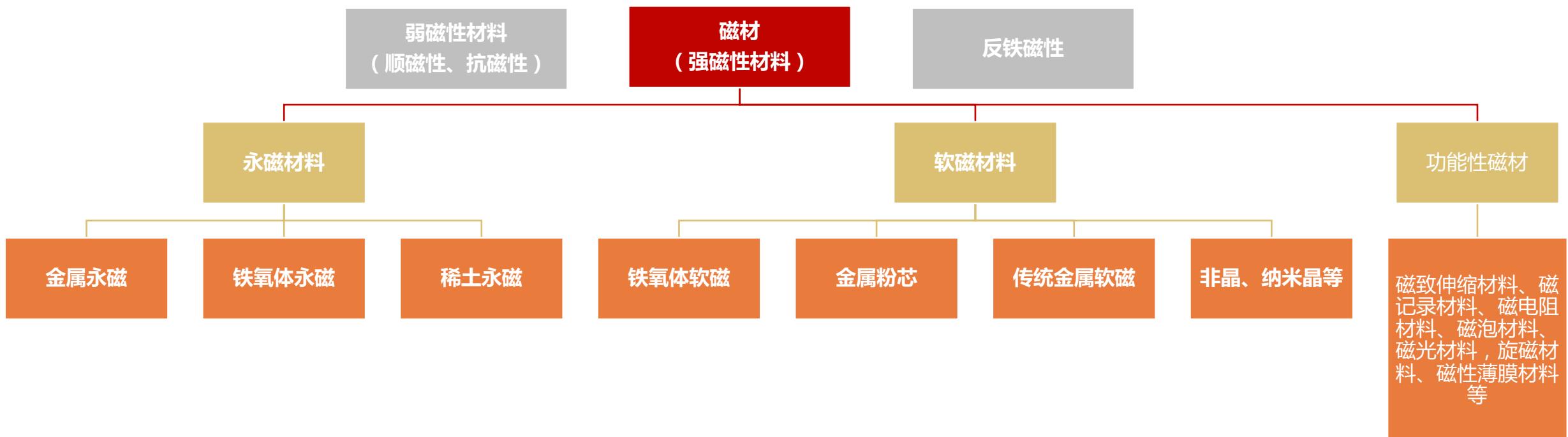
高性能钕铁硼需求旺盛，
新能源与机器人引领需求
结构变化

预计2025年工业机器人销
量对应的高性能钕铁硼需
求超2万吨

□ **磁材在狭义上特指强磁性材料。**磁性材料可以对磁场作出某种方式的反应，按性质可分为顺磁性、抗磁性、反铁磁性、铁磁性以及亚铁磁性；其中，铁磁性和亚铁磁性对外磁场反应较强，被称为强磁性材料，也即狭义上的磁材。

□ **磁材主要包括永磁、软磁和功能性磁材。**(1) 永磁：一经磁化，不易退磁。 (2) 软磁：易磁化，但磁化后也易退磁。

磁材：永磁+软磁+其他

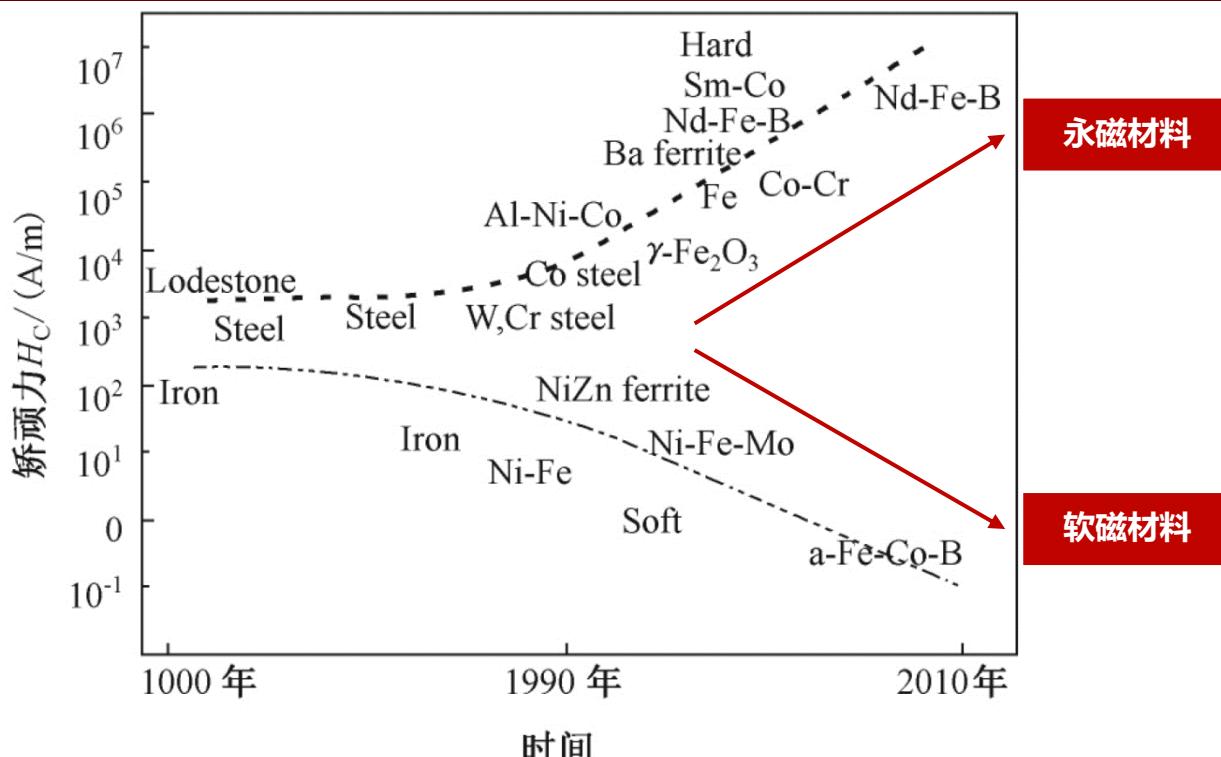


□ 矫顽力：使已磁化的磁材无法向外磁路提供能量（但磁体内部仍具有一定能量）而必须施加的、与原磁化方向相反的外磁场强度；单位为Oe或A/m。

□ 矫顽力越高，磁材越不容易退磁。

□ 自20世纪初以来，磁材的制备和研究发展走向两个极端：永磁材料不断追求高矫顽力，软磁材料不断追求低矫顽力，以满足不同需求，此即二者的核心区别。

磁性材料矫顽力随年代的变化



【1】金属永磁：初代永磁合金

概述

初代永磁合金，泛指金属Fe基和Co基（不包括稀土金属）的合金永磁体。

主要细分种类

铝镍钴系

1931年，由日本冶金学家三岛德七发明。剩磁高、耐高温，但矫顽力低、加工困难，**常用于军工仪表等高可靠性要求领域**。

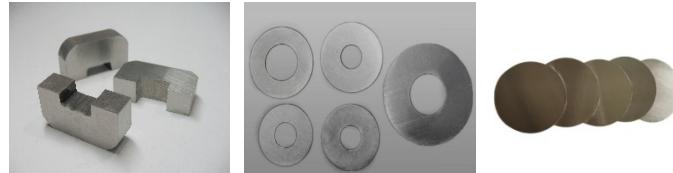
铁铬钴系

上世纪70年代初问世，属于时效硬化型的可变形永磁，可进行机加工、冲压等操作，**常用于制造形状复杂的小巧磁性元件**。

铂钴

以等原子组成的铂钴合金制成的有序硬化型可变形永磁体，具有耐氢、抗腐蚀等性质，**常用于航天、航海、军事等领域的器件制造**。

依次示例



【2】铁氧体永磁：性价比高、产能分散

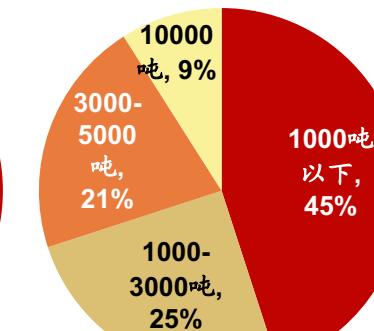
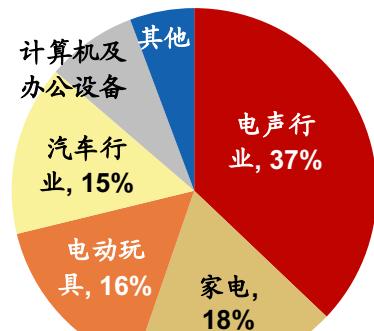
概述

1933年，由加藤与五郎、武井武共同发明，以 Fe_2O_3 为主要原料，被誉为**第二代永磁体**。

主要细分种类及特点

- (1) 按主要成分分类：**钡铁氧体**和**锶铁氧体**。
- (2) 特点：尽管性能并非最优，但原料丰富、制备工艺简单、价格低廉，有望与钕铁硼磁材长期共存。
- (3) 关注点：高性能铁氧体磁瓦可用于制造汽车的微特电机、变频家电电机。

62%用于制造电机，终端应用广泛，但国内产能分散



【3】稀土永磁：需求旺盛，烧结钕铁硼占据主流

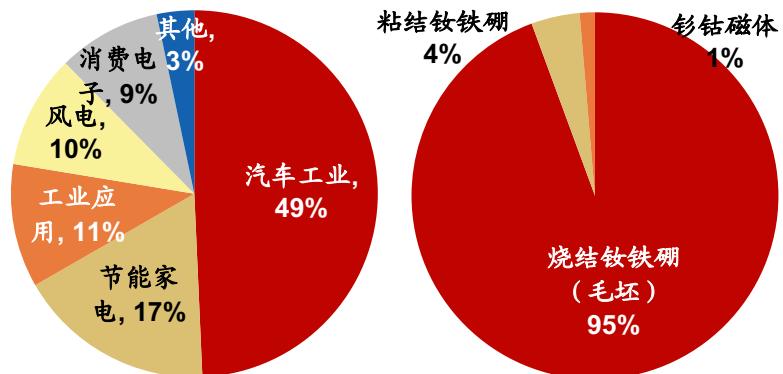
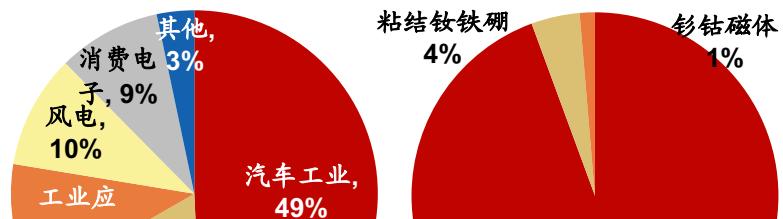
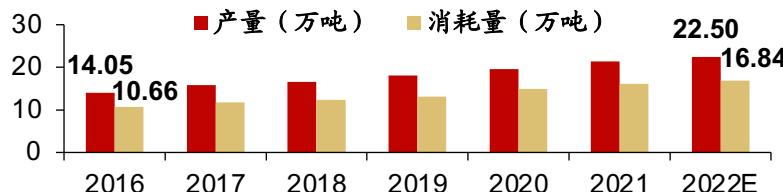
概述

混合稀土金属元素和过渡金属元素形成的永磁材料，自1967年起**已有三代产品量产应用**。

产品迭代



产量上行、汽车需求旺盛，钕铁硼产量占比极高



永磁：稀土永磁钕铁硼具有显著优势

□ 永磁材料因其优异的抗退磁能力（矫顽力高），是制造各类电机的重要原材料。

□ 衡量永磁材料性能的关键指标：

- **剩磁感应强度**，指永磁经磁化至技术饱和、去掉外磁场后，保留的表面场；数值越高，越有利于提升电机效率。
- **内禀矫顽力**，使永磁体完全无磁场能量储存而必须施加的、与原磁化方向相反的外磁场强度；数值越高，电机抗退磁能力越强。
- **最大磁能积**：永磁体向外磁路提供磁场能量的最大值；数值越高，产生单位磁场强度所需的永磁体积越小，利于节省电机空间。

□ 横向对比各类永磁材料，钕铁硼具有显著的指标优势，有望凭借优异性能持续拓展市场，进而市场迎来快速发展。

主要永磁体性能对比：钕铁硼占优				
	金属永磁-铝镍钴	铁氧体永磁	稀土永磁-钐钴永磁	稀土永磁-烧结钕铁硼
剩磁强度 (T)	0.58~1.35	0.32~0.43	0.8~1.2	1.17~1.48
内禀矫顽力 (kOe)	0.38~1.53	1.76~4.21	15~21	11~40
最大磁能积 (MGOe)	1.4~13.2	0.17~5.2	24~33	33~50
居里温度 (°C)	890	450	740~926	310
工作温度 (°C)	-250~550	-40~250	-250~525	-125~220
主要应用领域	仪表、电能表	大体积扬声器、电动工具、玩具、军事及航空航天领域风扇电机等		各类永磁电机、汽车EPS、VCM、MRI等
优点	温度稳定性、时间稳定性、耐腐蚀性高	资源丰富，价格低廉	工作温度高、耐腐蚀性好，磁性能优于铝镍钴和铁氧体	关键指标领先，机械力学性能好，可切削和钻孔
缺点	含有战略元素钴，性价比较低	磁性能较差、温度稳定性差	含有战略元素钴，性价比低	居里温度低、温度稳定性差，但可以通过添加镝来改善

单位磁场强度下，钕铁硼的相对体积最小，利于节省电机空间



口 软磁的种类：主要包括铁氧体永磁、金属粉芯和金属软磁（以硅钢为主），并逐渐发展非晶&纳米晶合金软磁。

口 软磁的特点：1. 初始磁导率高、矫顽力小，易于磁化和退磁。2. 电阻率较高，减少感应电流损耗、提高效率。3. 饱和磁感强度较高，减小单位磁通量所需的磁芯截面积。

口 软磁的应用：依托特点1，软磁可以起到导磁作用，实现电能参数变换；依托特点2和特点3，软磁可提高磁性元件效率并节省空间。具体来说，软磁可作为各类电机、变压器、继电器、电感器、滤波器等元器件的磁芯，最终应用于新能源汽车、机器人、家电、光伏、风电等诸多领域。

主要软磁材料的对比

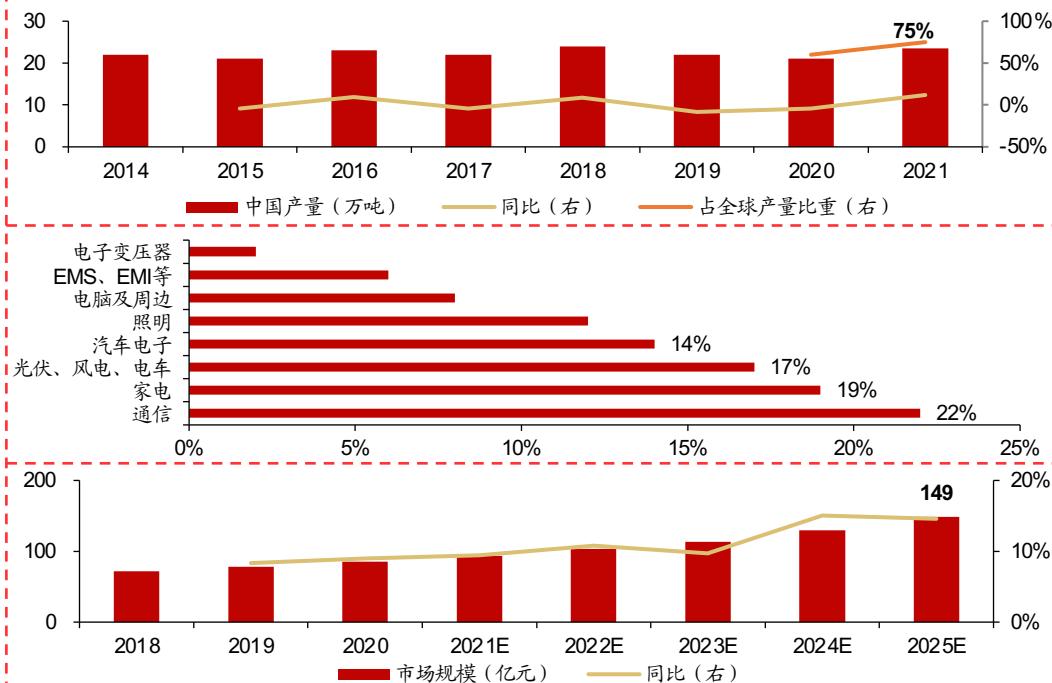
指标	铁氧体		金属粉芯		金属软磁			非晶合金		纳米晶合金	
	Mn-Zn	铁粉芯	铁硅铝	铁镍钼	硅钢片	坡莫合金50Ni	坡莫合金80Ni	钴基	铁基	铁基	铁基
饱和磁感强度 (T)	0.5	1~1.4	1.05	0.7	2.03	1.55	0.74	0.55	1.56	1.25	
矫顽力 (A/m)	8		掺杂Ti元素可降低矫顽力		40	12	2.4	<1	<4	<2	
初始磁导率 (10^4)	0.3	6~125*10^-4	26~125*10^-4	60~160*10^-4	0.15	0.6	4	10	0.5	8	
电阻率 ($\mu\Omega\cdot cm$)	5×10^7		与绝缘粘接剂混合，电阻率整体较高		50	30	60	120	130	90	
居里温度 (°C)	220	500	>400	>400	750	500	450	400	410	570	

铁氧体软磁：中高频、低功率场景的成熟磁材

概述

以为 Fe_2O_3 为主要原料。饱和磁钢强度略低，但中高频下电阻率等指标表现优秀，且加工性好、技术成熟、成本低，因此在中高频、低功率&电流场景占据优势，作为各类电子元器件的原材料，最终用于通信、家电、新能源、汽车电子等终端领域。

75%产量集中于国内，应用广泛；2025年我国市场规模有望近150亿元



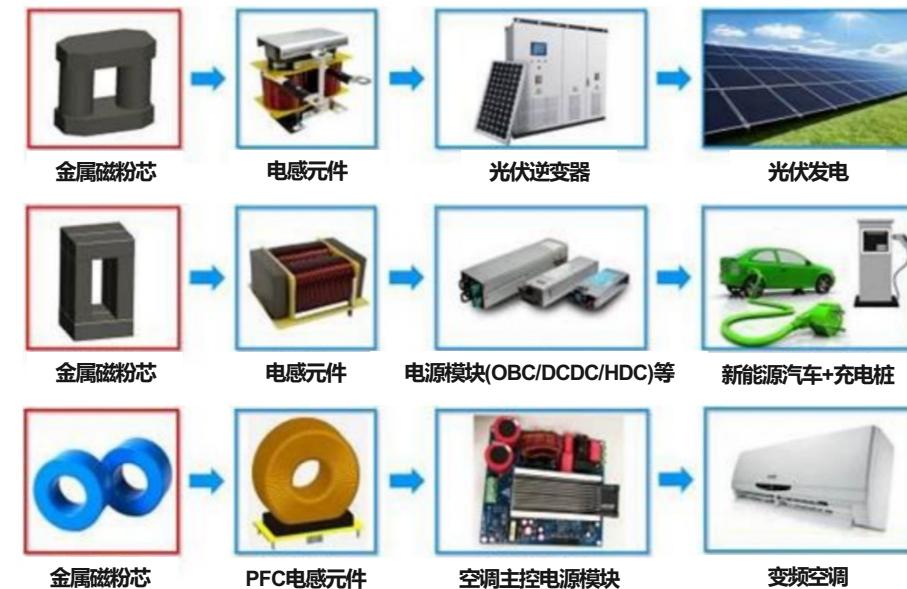
V. S.
互补关系

金属粉芯：用于大功率、小型化场景

概述

由低损失金属合金粉末构成，气隙分布均匀，集合铁氧体软磁和金属软磁的优势，拥有高电阻率和饱和磁感强度，但存在老化快等问题，因此在大功率、小型化场景应用较多，终端领域包括光伏逆变器、变频空调、新能源汽车等，与铁氧体软磁互补。

主要应用领域



金属软磁：价格低廉，用作铁芯，以无取向硅钢为主

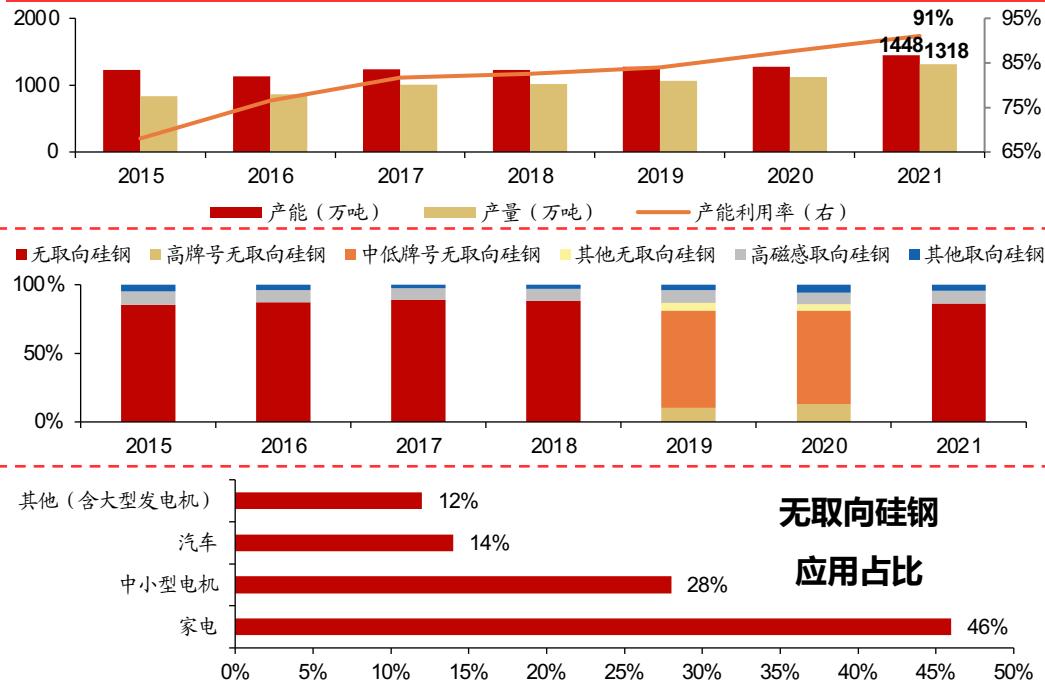
概述及种类

又称电工钢，价格低廉且具有可塑性，常作为磁性元件的铁芯。

(1) 冷轧无取向硅钢：主流种类，生产工艺相对低，饱和磁感强度高于取向硅钢，常用于家电、各类电机、新能源汽车等领域。

(2) 冷轧取向硅钢，主要用于变压器的制造。

硅钢产能利用率提高，高牌号产量快速增长，应用领域广泛



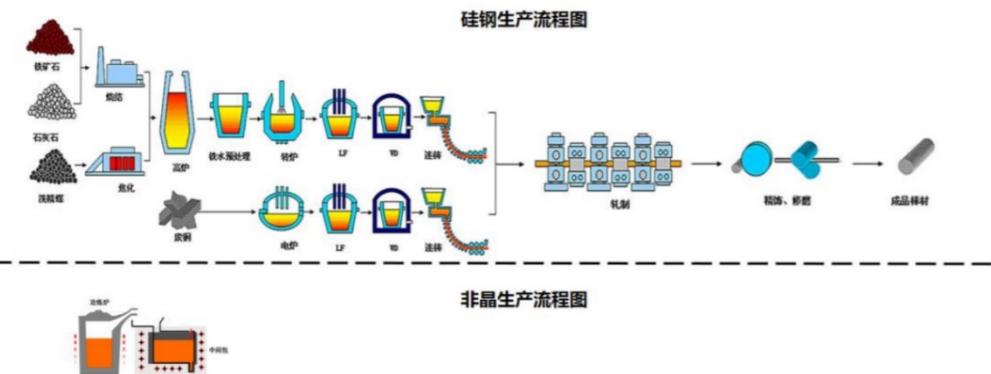
非晶合金：新型材料，与硅钢互有优劣

概述及特点

主要含铁、硅、硼等元素，表现为合金薄带（约0.03mm厚），金属原子呈无序非晶体排列。主要与取向硅钢在变压器领域竞争：2020年非晶合金招标占比27%，硅钢为65%。

主要特点：高频下磁导率几乎不变（硅钢会变小），且制造流程约10米，显著短于硅钢的1000米，但缺点是成形后加工困难、高频振动噪声大，制造工艺尚需进一步完善。

非晶合金生产流程线显著小于硅钢



V. S.
变压器领
域有竞争

聚焦：高性能钕铁硼磁材

性能优秀+政策支持

口 **高性能钕铁硼永磁**：内禀矫顽力（kOe）和最大磁能积（MGOe）之和大于60的烧结钕铁硼永磁。

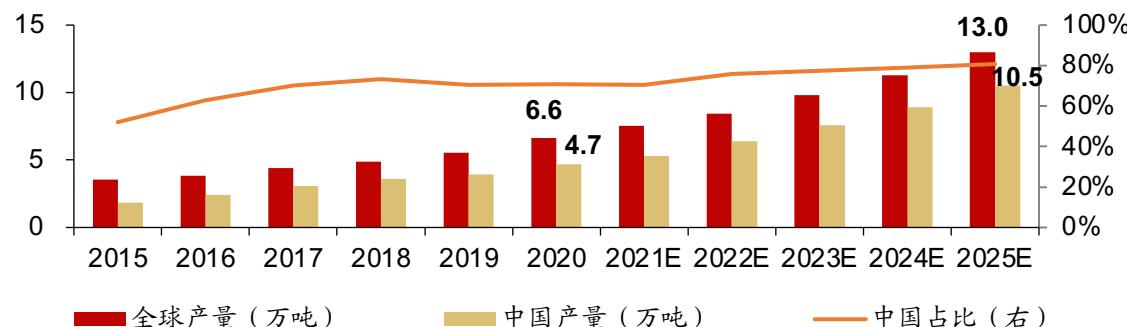
口 凭借显著优异的性能，叠加“双碳”目标和“机器替人”大趋势下新能源汽车、风电、节能家电、机器人等领域对永磁电机的旺盛需求和效率要求，高性能钕铁硼永磁逐渐脱颖而出，近年来持续获得国家的政策支持，有望迎来发展的快车道。

以钕铁硼为代表的高性能稀土永磁持续获得国家政策支持

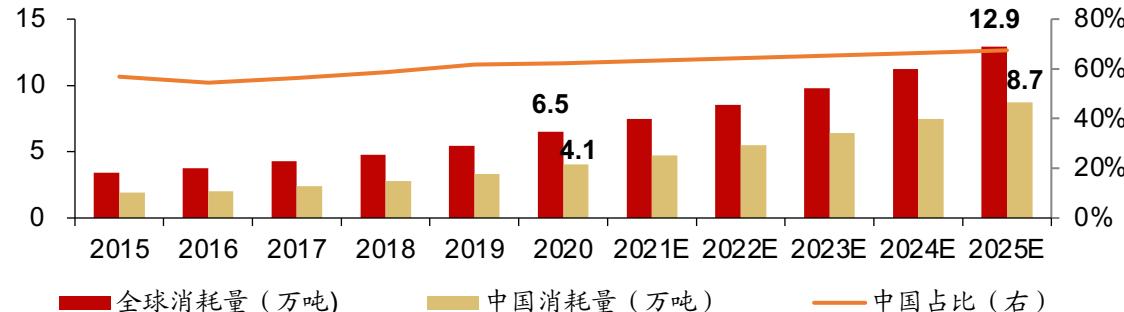
发布时间	文件名称	发布部门	相关内容
2016年12月	《新材料产业发展指南》	工信部、发改委、科技部、财政部	将 高性能永磁材料 列入“关键战略材料”，大力发展战略性新兴产业及配套稀士永磁材料。
2019年9月	《关于促进制造业产品和服务质量提升的实施意见》	工信部	加快稀土功能材料创新中心和行业测试评价中心建设，支持开发稀土绿色开采和冶炼分离技术，加快 稀土新材料及高端应用产业发展 。
2021年3月	《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》	发改委	推动 高端稀土功能材料 等高端新材料取得突破。
2021年10月	《电机能效提升计划（2021-2023年）》	工信部、市监局	加快高效节能电机关键配套材料创新升级（含稀土永磁）；加快突破 永磁电机效率最优控制技术 ；针对使用变速箱、耦合器的传动系统， 鼓励采用低速直驱和高速直驱式永磁电机 。2023年，高效节能电机年产量达1.7亿千瓦。
2021年12月	《原材料工业发展规划》	工信部、科技部、自然资源部	重点突破 高性能稀土磁性 等一批关键材料，建立健全 新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料等上下游合作机制 ，推进高性能稀土永磁材料选区精准渗透等技术。
2021年12月	《重点新材料首批次应用示范指导目录（2021年版）》	工信部	再次将 高性能钕铁硼 等稀土功能材料列入新材料重点领域中的“ 关键战略材料 ”。

高性能钕铁硼产量、消耗量稳步上行，展现旺盛需求。中国占比较高，且增速高于全球

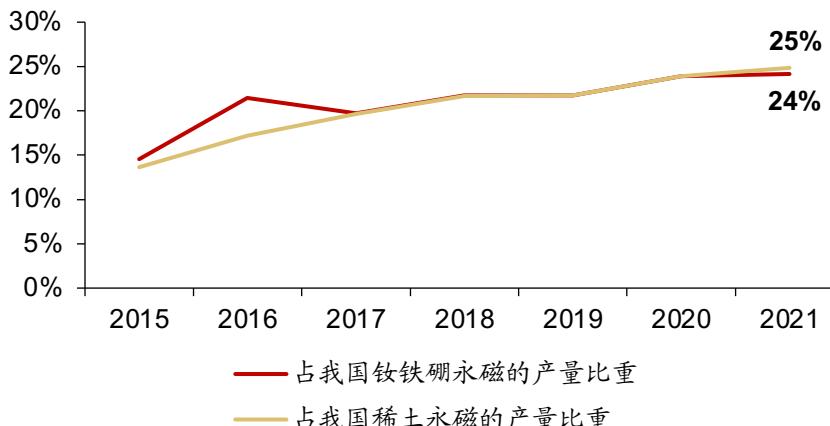
(1) 中国占比超70%，未来有望升至80%；(2) 20-25产量CAGR：全球14%，中国17%



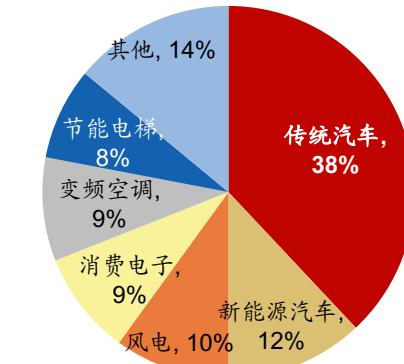
(1) 中国占比超60%；(2) 20-25消耗量CAGR：全球15%，中国17%



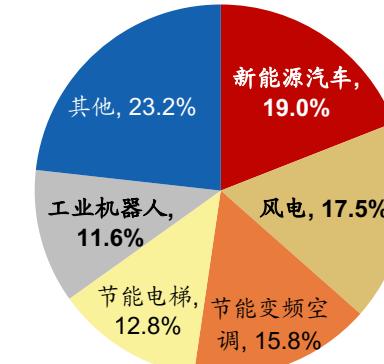
高性能钕铁硼的产量占比上行，未来仍有发展潜力



新能源与机器人引领高性能钕铁硼的需求结构变化



2018年



2021年

预计2025年工业机器人销量对应的高性能钕铁硼需求超2万吨

增长动力：工业机器人+人形机器人+智能化

- **工业机器人**：目前每台工业机器人需求高性能钕铁硼20-25kg，取中间值22.5kg/台，则**预计2025年全球工业机器人销量对应的高性能钕铁硼需求超2万吨**，相较2021年有大概翻倍的增长。
- **人形机器人**：人形机器人的永磁伺服电机同样需求高性能钕铁硼。假设单台人形机器人的需求量为2.5kg，则**在乐观/中观/悲观情况下，预计2030年的销量（100万台/61.1万台/39.1万台）将分别对应2500吨、1528吨、978吨的高性能钕铁硼需求**。
- **智能化**：广义上，新能源汽车≈机器人。参考新能源汽车由电动化向智能化的发展趋势，长期看，机器人有望同样发展智能化功能，进而增加各类电气电路、电子元器件的需求，或带动铁氧体软磁、金属粉芯、非晶&纳米晶合金等磁性材料的需求。

高性能钕铁硼的产量占比上行，未来仍有发展潜力

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
全球工业机器人销量（万台）	47	64	73	84	95
中国工业机器人销量（万台）	26	28	32	38	42
单台工业机器人的高性能钕铁硼用量（千克）	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
全球工业机器人销量对应的高性能钕铁硼需求量（吨）	10575	14400	16425	18900	21375
中国工业机器人销量对应的高性能钕铁硼需求量（吨）	5768	6376	7170	8473	9548

07

电机

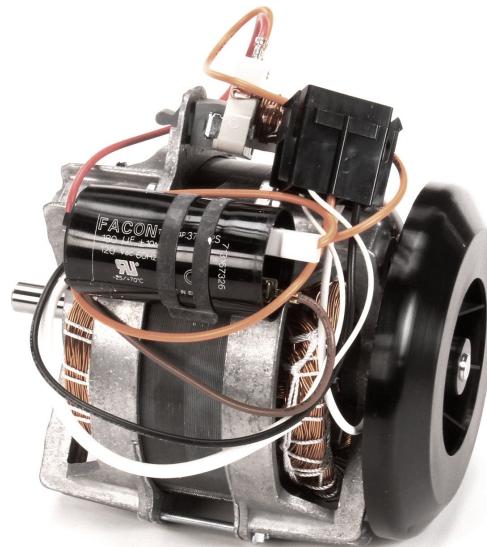
机器人运动驱动力

电机分类

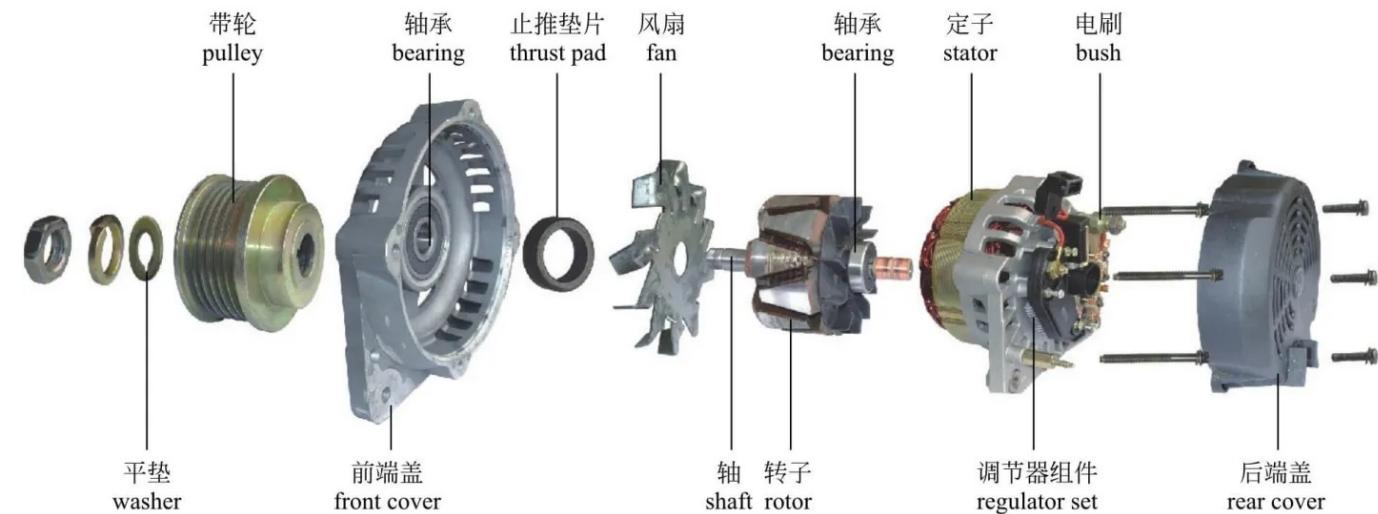
电机市场竞争格局

机器人电机是驱动机器人做出各种动作的核心部件，依据电磁感应定律实现电能转换或传递，将电能转化为动能，给机器人赋予动力。主要部件包含调节器、轴承、定子等组件。

机器人电机外观



电机结构（以有刷电机为例）



对电机进行细化分类，常用电机主要分为两类：伺服电机与步进电机。伺服电机方面，进一步细分可分为直流伺服电机与交流伺服电机。其中直流电机按电刷分类分为有刷与无刷。交流电动机一般不含电刷，分为同步交流与异步交流。步进电机按驱动原理不同分为永磁式步进电机、反应式步进电机与混合式步进电机。

机器人电机主要分类



不同种类电机之间特点差异较大。因为机器人的工作对精确度的要求较高。目前，同步交流伺服电机是主要的选择。我们认为，精度方面具备优势的高精度、高性能β类型电机是未来机器人电机发展的方向。

机器人电机主要分类

电机种类	特点	应用领域
有刷直流伺服电机	成本低，结构简单，启动扭矩大	成本敏感的民用，工业领域
无刷直流伺服电机	无电刷、体积小，重量轻，出力大，成本高于有刷电机	精度要求较高的领域
同步交流伺服电机（含永磁体）	通过传感器进行磁场定向实现控制，需要永磁体。电动机效率和功率密度较高	机器人，机床设备等有较高要求的设备
异步交流伺服电机（不含永磁体）	人为励磁形成转差速度，分为三相和单相，多为鼠笼式三相电机，结构简单，质量轻	
永磁式步进电机		
反应式步进电机	无电刷，寿命较长。与计算机连接较为方便，数字信号转换为各项动作更加便捷，但能量转换效率低	医疗仪器，工业控制系统，机器人领域
混合式步进电机		

不同电机参数对比

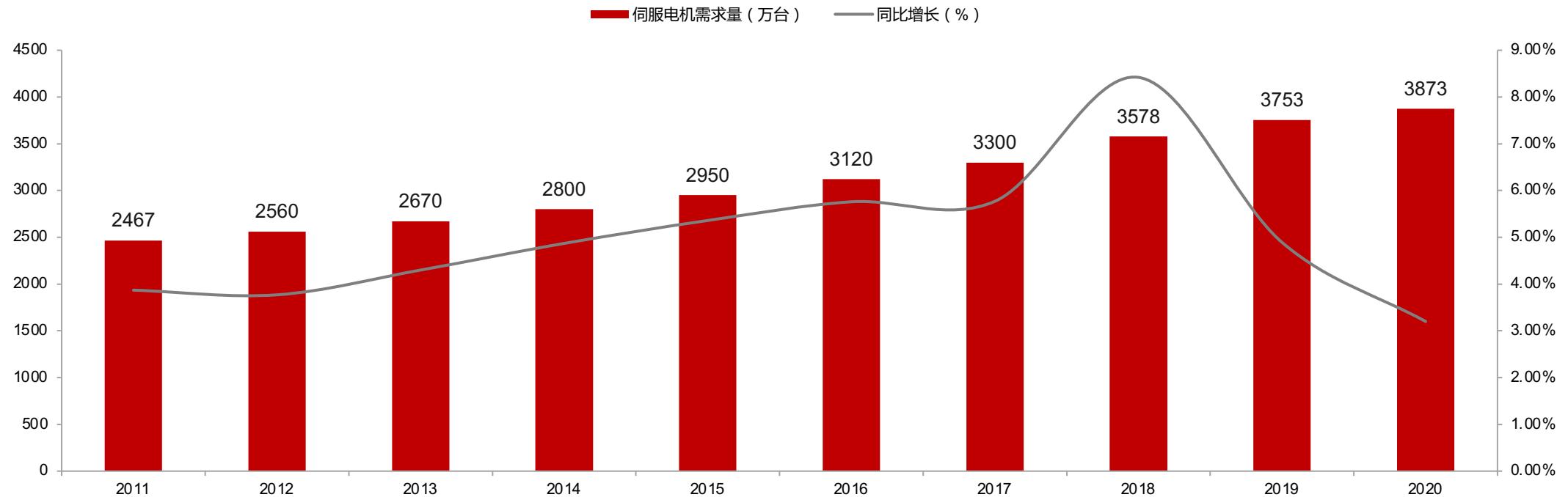
	直流有刷伺服电机	交流同步伺服电机	交流异步伺服电机
设计	复杂	中等	简单
定子	永磁体	-	-
转子	-	永磁体	-
反馈	编码器 (A,B,C)	编码器 (A,B,C,U,V,W)	编码器 (A,B,C)
转速	3000 (r/min)	1000 ~ 5000 (r/min)	20000 (r/min)
输出功率范围	0 ~ 5kw	0 ~ 22kw	2.2 ~ 55kw
寿命	电刷寿命	设备寿命	设备寿命

电机产业链主要包含上游材料，以稀土永磁材料最为昂贵与稀有，还有铜、铝、钢铁等金属材料。中游有伺服电机制造、伺服驱动器制造、伺服系统研发等环节。下游应用于工业设备、医疗器械、汽车制造与人形机器人等领域。



机器人伺服电机需求量逐年走高：从2011年到2020年间，机器人伺服电机需求量从2467万台上升到3873万台，需求逐渐放量。我们预计，随着未来人形机器人对电机性能要求逐渐提高、机器人电机将迎来量价齐升的上升阶段。

全球伺服电机需求量逐渐走高



资料来源：MIR，浙商证券研究所

国内机器人电机竞争格局：欧美日占比较大

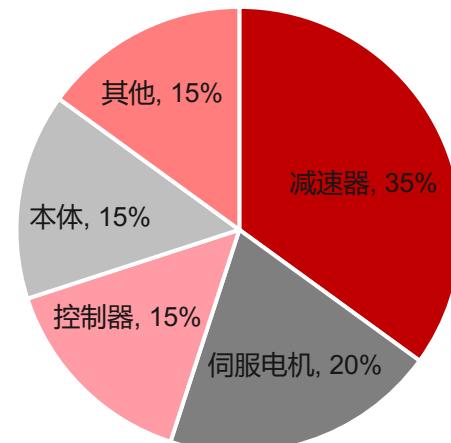
国内机器人电机市场竞争格局中，欧美、日本仍占据主导地位，二者合计占比约65%。国产品牌则以东元、台达、英威腾、汇川技术等品牌为主。随着国内对机器人需求的逐渐上升及自主可控的大背景下，国产品牌占比将有望进一步走高。

电机是机器人的主要价值组成部分，价值约占机器人价值的20%，仅次于减速器。

国内机器人电机竞争格局

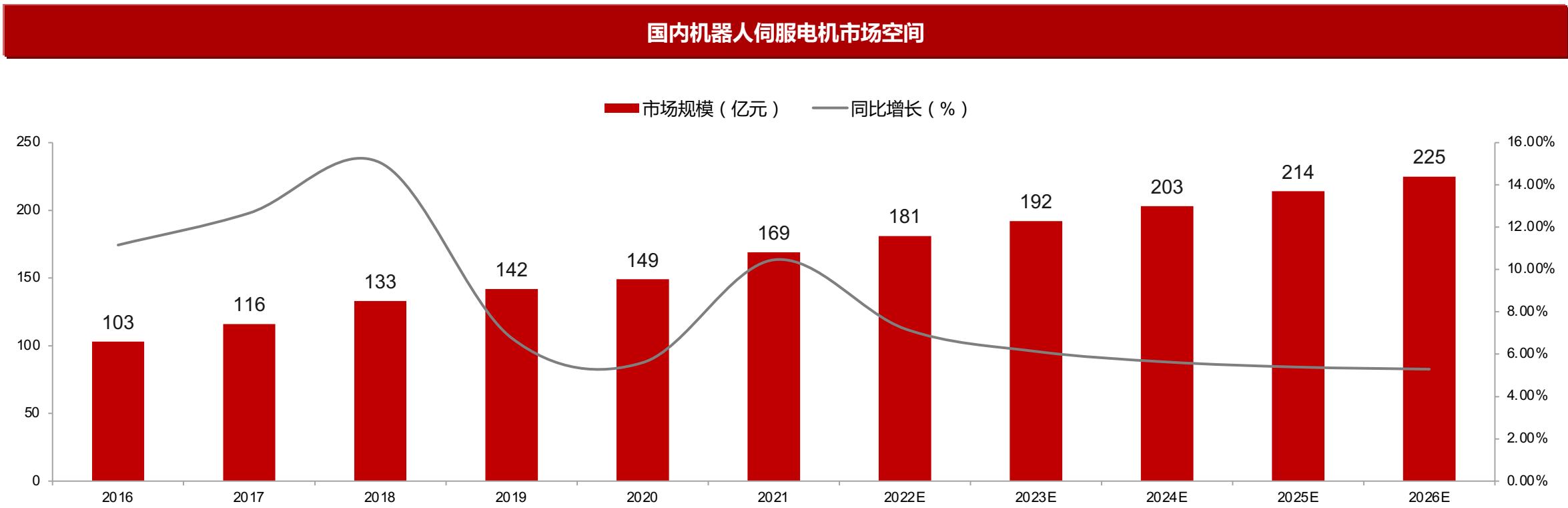
所属地	代表品牌	占中国市场份额
日本品牌	松下、三菱电机、安川、三洋、富士等	45%
欧美品牌	美国：罗克韦尔、丹纳赫、帕光 德国：西门子、伦茨、博世、施耐德 英国：Control Technology、SEW等	20%
中国品牌	东元（TECO）、台达（Delta） 英威腾、汇川技术、华中数控、广数、埃斯顿等	35%

机器人价值占比



国内伺服电机市场空间：2026年达225亿元

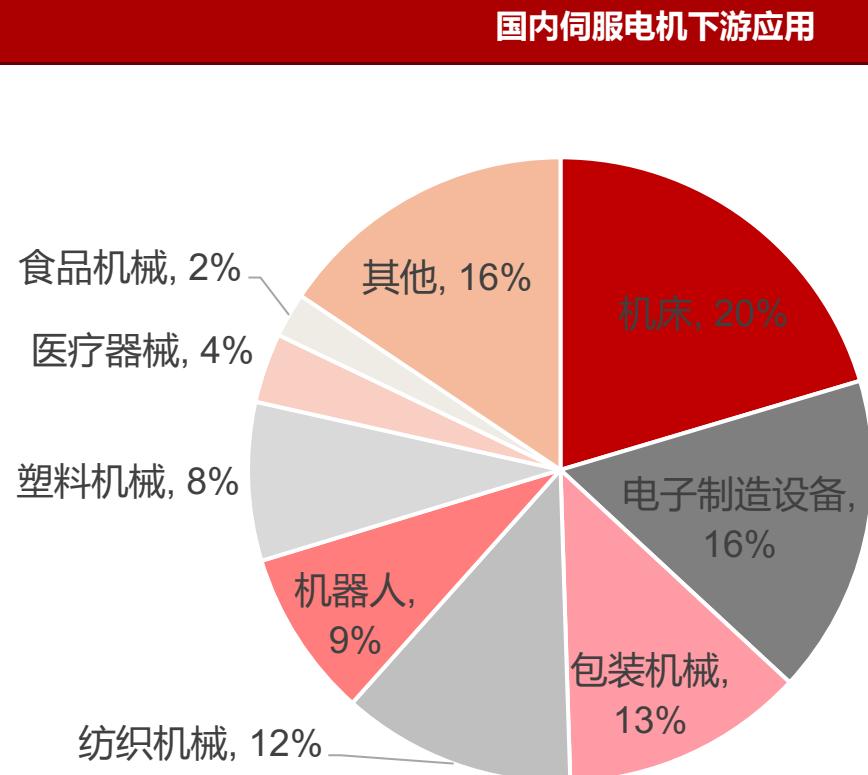
根据国际统计机构MIR预测，中国伺服电机市场规模将于2026年达到225亿元。中国国内机器人伺服电机市场未来几年市场空间继续增长，且维持5%左右的同比增速。



资料来源：工控网,前瞻产业研究院,浙商证券研究所

国内伺服电机下游应用：机器人占比仍然偏少

目前国内伺服电机下游应用中，机器人占比较少，仅占9%。相对于前几位机床、电子制造设备与包装机械等相比仍有很大的增长空间。



资料来源：MIR Databank,浙商证券研究所

08

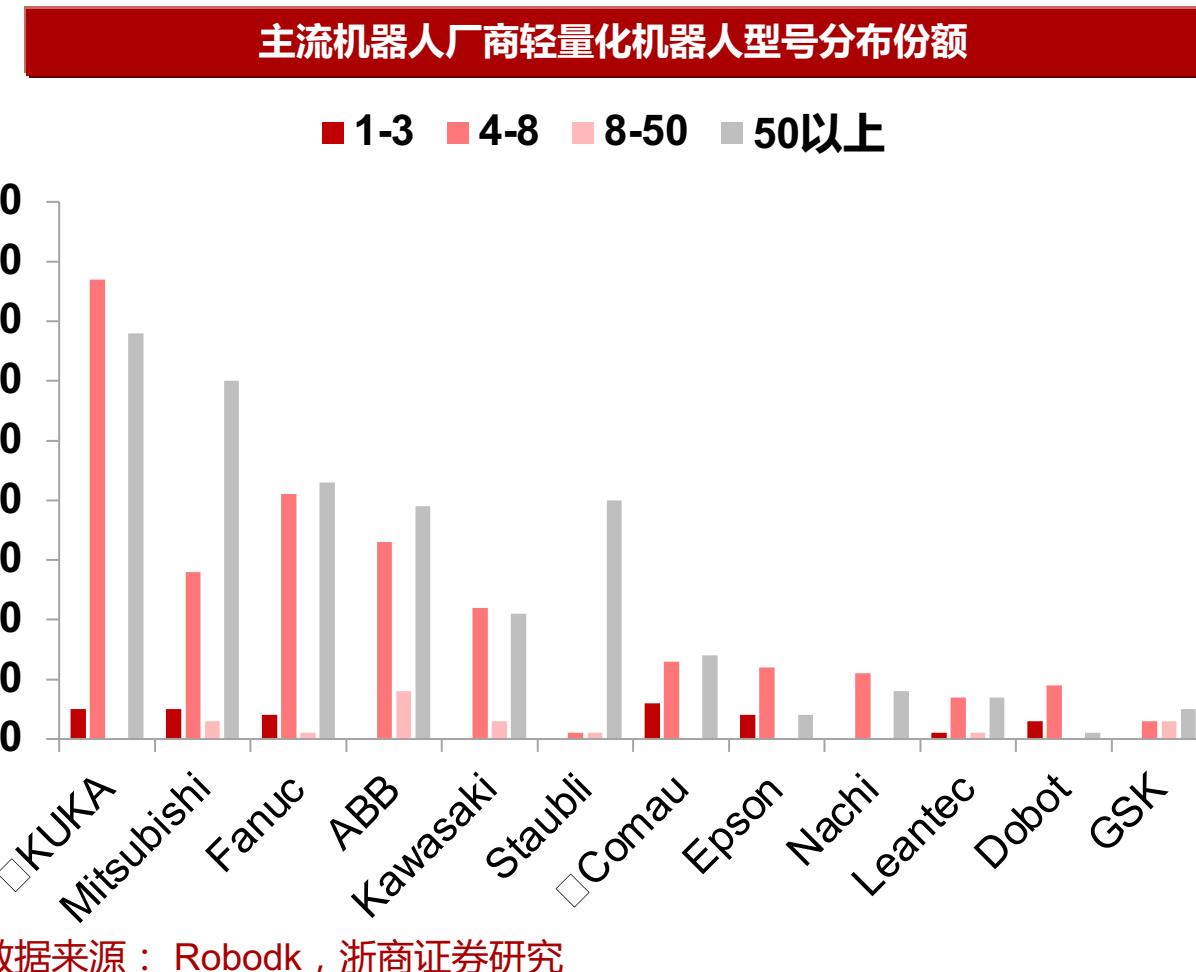
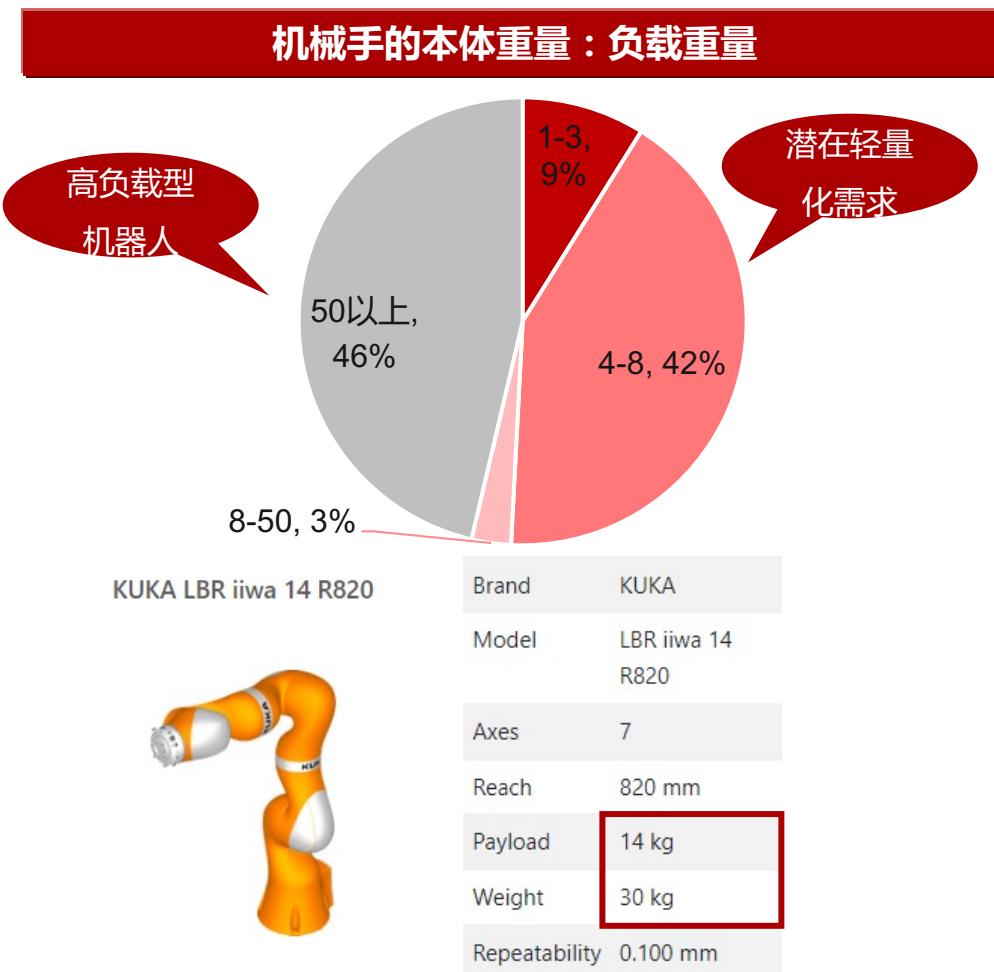
轻量化

机器人轻量化发展分析

机器人轻量化材料对比

对标汽车轻量化市场分析

- 口 所谓轻量化是指负载重量和机械手的本体重量比值近似1：2。如KUKA的LBRiiwaR820，其负载在14kg，而本体的重量仅为30kg。而传统的工业机器人负载质量和工业机械手的本体质量比值在1：8以上。
- 口 在主流机器人厂商中，轻量化机器人和高负载型机器人呈现“双面开花”局面。其中，载重比低于3的轻量化机器人型号占比为9%，位于4-8之间的存在潜在轻量化需求的机器人型号占比为42%，在8以上的高负荷型机器人占比约为50%。



口 传统的工业机器人：

- ✓ 主要用于结构良好和先验确定环境中的重复定位任务。为了获得高定位精度和可重复性，工业机械臂是非常僵硬和隐含沉重的机械手，可以仅使用相对简单且具有成本效益的位置反馈控制来完成任务。

口 机器人的轻量化：

- ✓ 提高能量效率，减少机器人执行任务时的能量消耗，尤其是对依靠自身有限资源来维持日常工作的机器人；
- ✓ 提高机械臂与人类交互时的安全性以及作业的灵活性，在发生碰撞时要比质量大的手臂造成的伤害更小；



服务机器人

- 工业服务使用的生产辅助机器人
- 家庭和公共服务机器人



空间机器人

- 将重物运送到太空成本较高，对机动性和自主性提出了更高要求



医疗机器人

- 外科手术机器人提高手术精度



主要的轻型机器人



NASA Robonaut : 专为太空远程操作和探索而设计



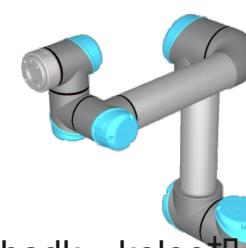
DLR MIRO 医疗机器人 : 专为外科应用而开发，有效载荷为 3 公斤（重量为 10 公斤）。它集成了 7 个扭矩可控关节和针对标准和内窥镜仪器的手腕设计

SARCOS
人机协作
机器人

08 轻量化机器人发展历史

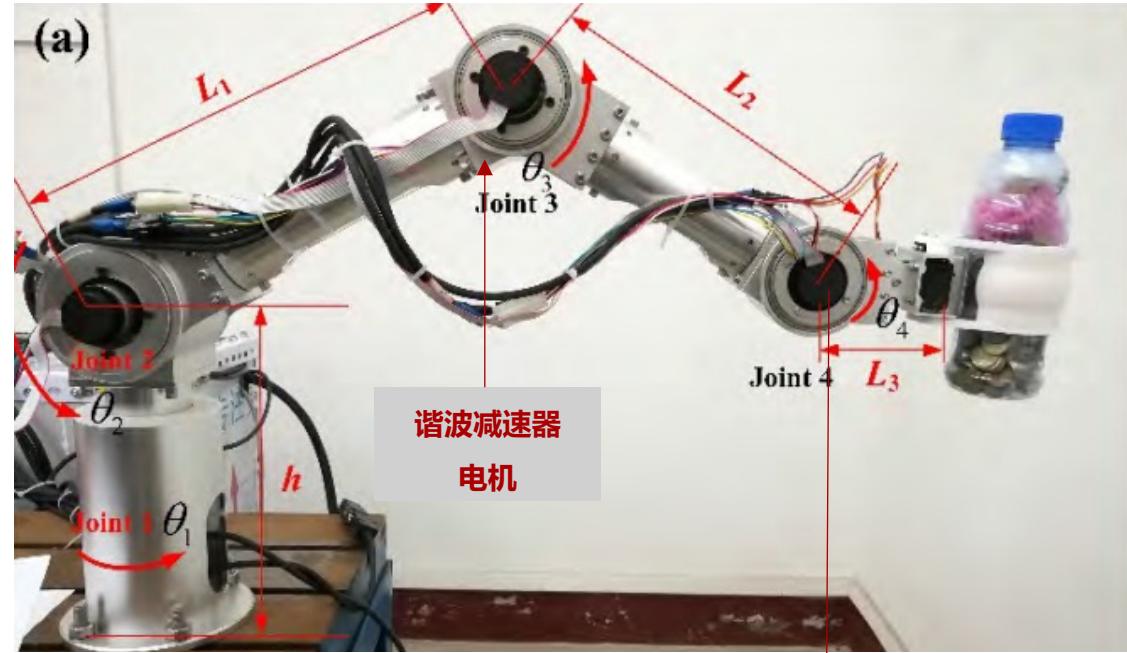
轻量化机器人发展关键节点

德国宇航中心 (DLR)	Universal Robots	日本本田	KUKA	ABB	Kinova Robotics	
2003	2008	2011	2014/11	2015/4	2015	
高安全性、高可靠性、 便捷使用	全球首款协作机器人	最早具备人类双足行 走能力的类人机器人	首款轻型人机协作机 器人	全球第一款双臂协作 机器人	主要用于服务行业及 残疾人辅助事业	
碳纤维	铝合金	镁合金	全铝制材料	轻质钢化镁+漂浮塑料	碳纤维+铝合金	
型号	LWR III	UR5	第三代ASIMO	LBRiiwa14R820	YuMi (IRB14000)	JACO2
轴数	7	6	-	7	7	7
有效负荷	15	5.0kg	-	14	0.5Kg	1.3
臂展	-	850mm	-	820	500mm	900
自重	13.5	18kg	48kg	30	38Kg	5.2

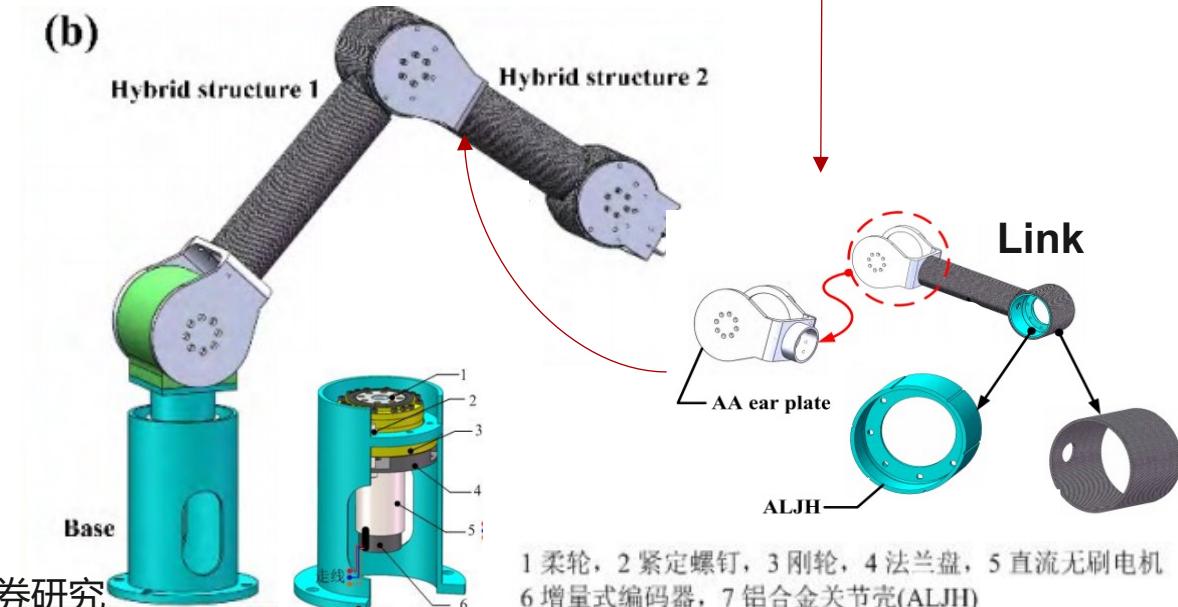


数据来源：万方数据，robodk，koloe机器人等，浙商证券研究

08 机器人轻量化关键技术



- (1) 轻量化机械手将执行机构及驱动部分都集成在本体上，形成模块化。传统的工业机器人本体上一般仅安装有电机及减速装置，而驱动部分一般在机械手附近的控制柜内，不仅体积大质量重，而且两者之间需要互连线，不方便整体改变工作位置。
- (2) 新材料新工艺的发展。一些著名的轻型机器人手臂，如UR和KUKA，都由低成本的铝合金材料制成，在降低自身重量的同时，提升了系统的动态稳定性。



数据来源：《浅谈轻量化机械手发展前景》，IEEE等，浙商证券研究

□ 铝合金、（碳纤维增强塑料）CFRP、钛合金等材料也被广泛应用于轻量化机械臂。

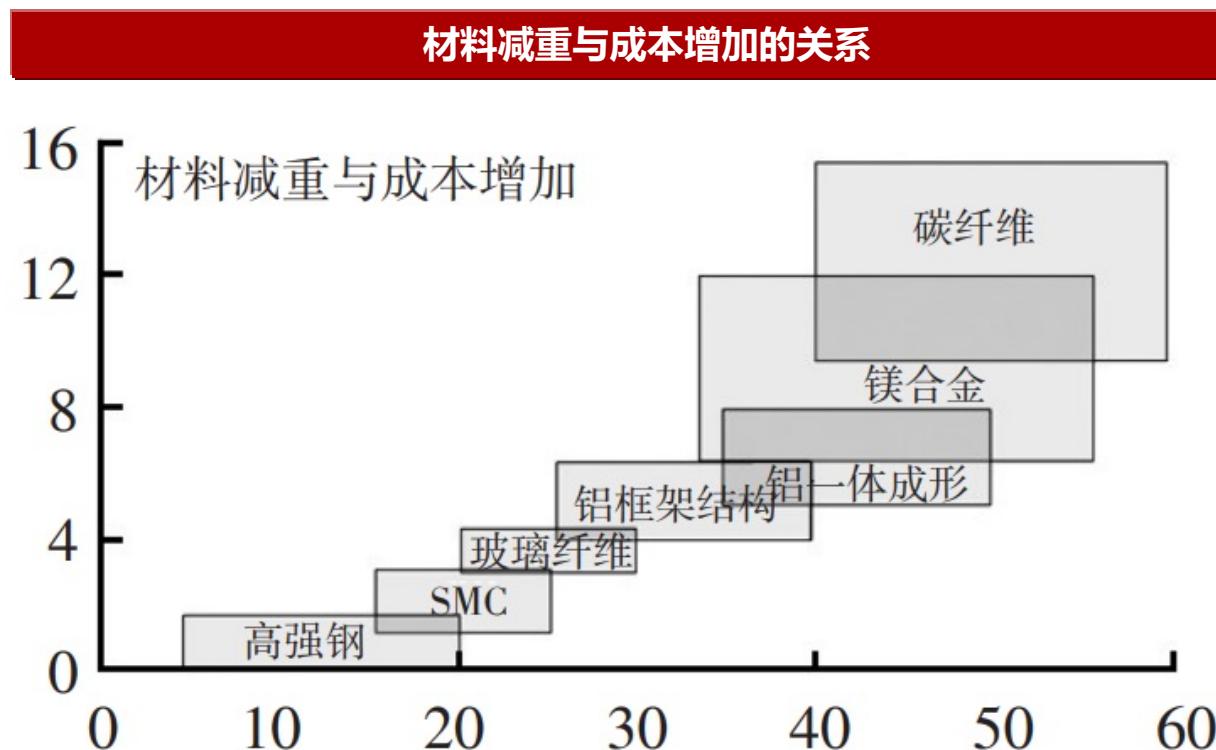
- 钢的密度达到铝合金的3倍，利用其设计零部件不利于机械臂减轻重量；
- 钛合金尽管比刚度、比强度均大于铝合金，但在高温环境下其导热性差以及化学性能不稳定导致切削加工难度大，所以不适合用于设计存在复杂零件的机械臂；
- 镁合金密度略高于CFRP为 1780Kg/m^3 ，但其比刚度低于铝合金；
- CFRP各项指标均最优，但对复合材料加工装配所需孔槽时，对其强度有较大影响。

机器人轻量化材料的密度、比刚度和比强度值

材料	典型类型	ρ (kg/m^3)	R_s ($\text{Mpa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}$)	R_σ ($\text{Mpa}\cdot\text{m}^3/\text{tone}$)
钢	不锈钢 (SUS)	7930	25	44
铝合金	A16005A	2700	25.5	79.6
钛合金	Ti6AL-4V	4400	26	205
镁合金	AZ31	1780	23	100
CFRP	C/E($0/90^\circ/\pm 45^\circ$)	1700	42	326

目前轻质材料的高成本是轻量化的最大障碍，材料成本的降低和性能的提升至关重要。

- ✓ 钢材价格最低，但是降重效果较差；铝价格区间和降重范围均处于较佳区间；钛和镁价格相对较高；碳纤维材料的降重效果最好，但是目前成本过高。
- ✓ 根据美国能源部门预测，碳纤维和碳纤维复合材料2025年时成本可降到3和5美元/磅，假设部件制作成本从24欧元/kg降至13欧元/kg，则总成本降至20-30欧元/kg，制作周期可由2020年的5 min，2030年的2 min，缩短到2050年的1 min。



轻量化材料价格材料表

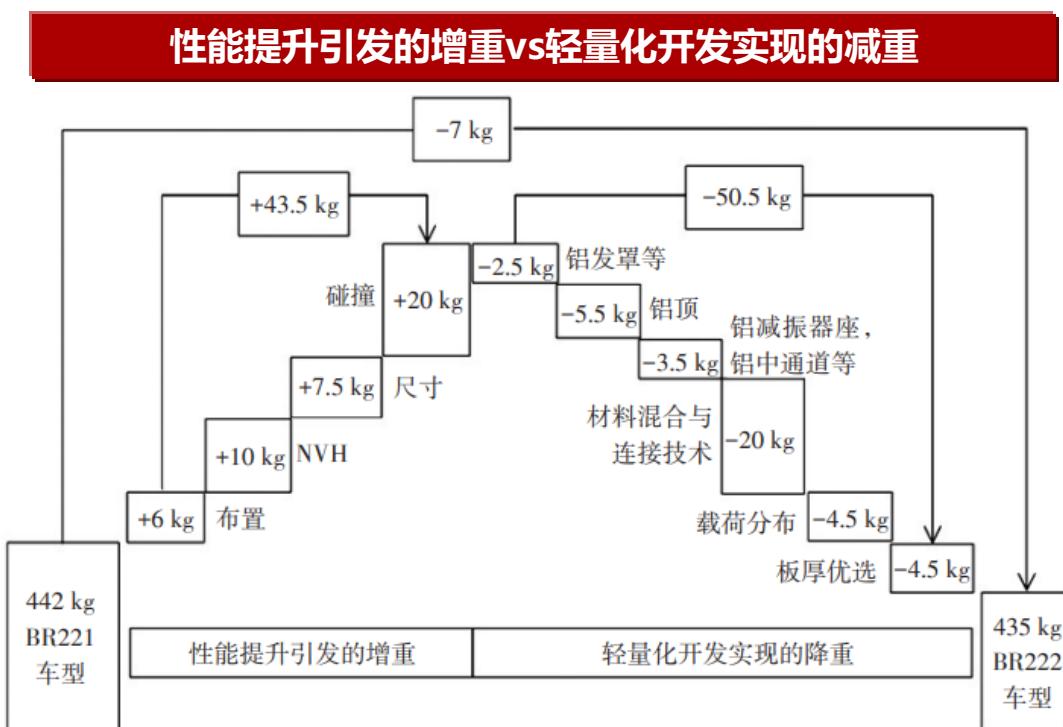
材料	价格/欧元·(kg)-1	与钢相比降重 (%)
钢-UHSS/AHSS	0.8~1.5	10~20
铝	3~5	30~50
钛	9~11	40~50
镁	10~20	40~60
碳纤维复合材料	40~80	60~70

数据来源：《车身材料与车身轻量化》，金投网，浙商证券研究

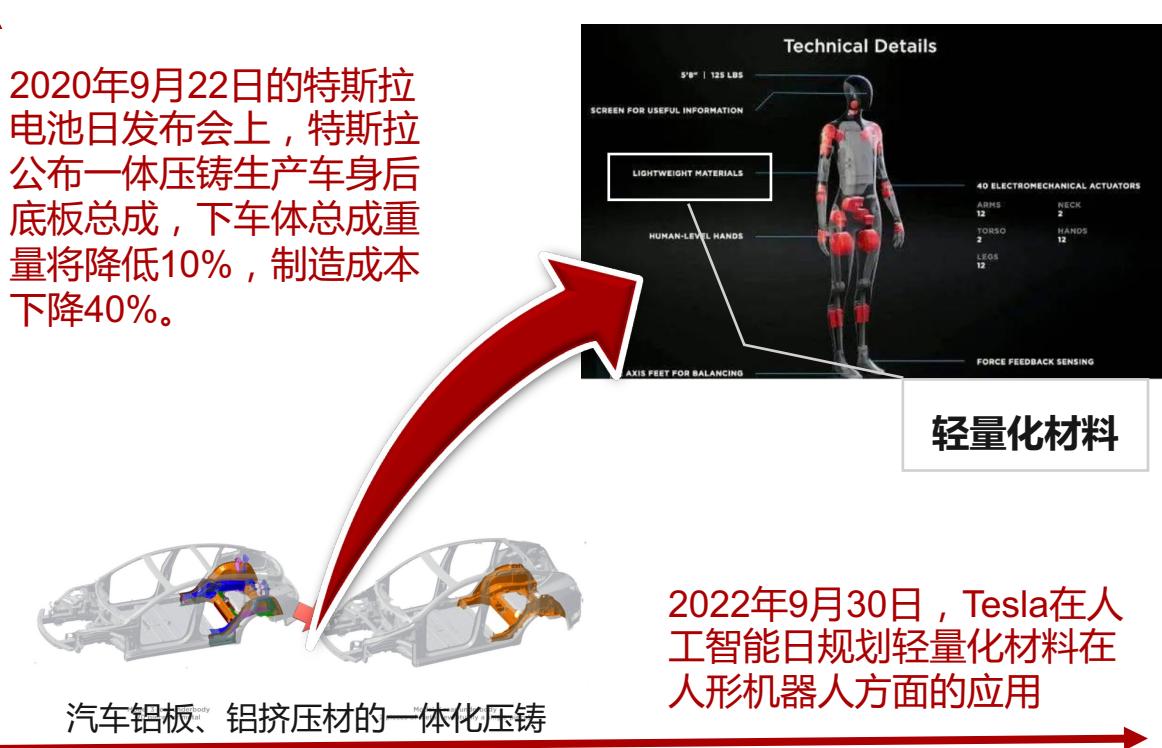
□ 驱动因素一：机器人结构存在对安全功能、集成控制、一致和快速移动以及电源的需求等各种潜在挑战，通过使用铝和定制挤压铝型材提供的轻量化解决方案可以应对其中许多挑战，汽车结构件方面的应用已经提供了范本。

□ 驱动因素二：特斯拉头部效应逐步打开轻量化市场。

- ✓ 汽车轻量化结构件：燃油车发动机、轮毂、传动系统、热交换等部件铝的渗透率普遍达到80%以上，车身结构像四门两盖、悬架、副车架等领域依旧以钢为主，特斯拉计划用3个大型压铸件拼接成整个下车体总成，替换掉原来的370个零件。
- ✓ 工业机器人的结构件主要包括定制外壳、机器人组件、视觉引导系统框架和臂端工具支撑等。



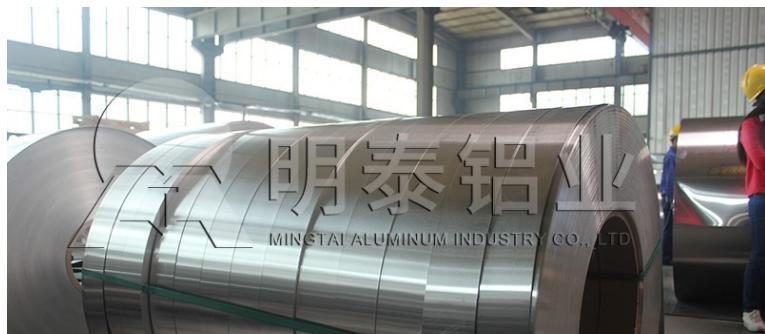
2020年9月22日的特斯拉电池日发布会上，特斯拉公布一体压铸生产车身后底板总成，下车体总成重量将降低10%，制造成本下降40%。



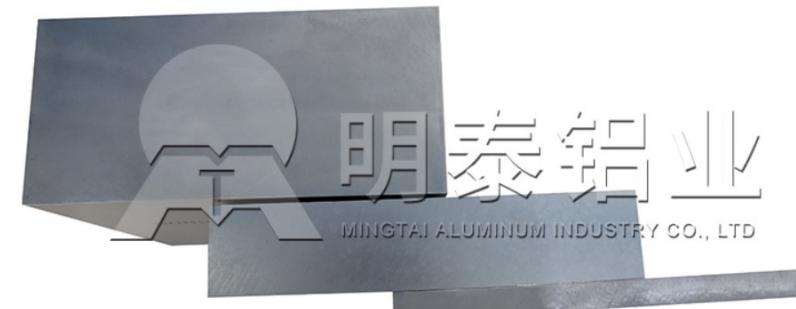
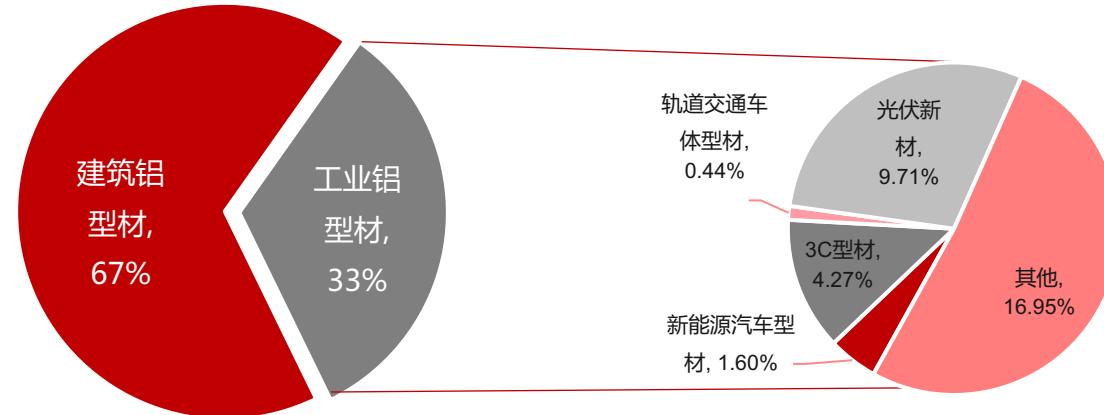
- 汽车铝型材渗透率仅有1.60%，处于高速发展的布局初期。
- 机器人铝型材目前尚处于萌芽期，国内目前没有专门从事机器人铝型材的上市公司。

□ 工业机器人选用的铝合金：

- ✓ 铝 A380 是压铸中最常用的合金，可提供材料特性和可铸性的最佳组合，可用于铸造机器人手臂、手腕、底座、“肘部”和工业机器人的其他几个部件的外壳。
- ✓ 以6061为代表的6000系列铝合金，主要合金元素为镁与硅，强度中等，具有良好的抗腐蚀性、可焊接性，氧化效果较好。硬度没7075高，但抗腐蚀比较好，市面上机器人手臂大多使用这种铝合金材质。
- ✓ 以7075型号为代表的7000系列铝合金主要是铝镁锌铜合金，属于超硬铝合金，可热处理合金，有良好的耐磨性和焊接性，但耐腐蚀性较差，多应用于航空环境。



6061铝板



7075铝板

参考特斯拉汽车国内供应链占比，人形机器人量产阶段或将引入国内供应商，国产结构件供应商有望迎来新增量。人形机器人量产阶段或依托现有汽车供应链体系，其中结构件部分技术难度低于动力系统和AI系统，国内龙头企业已形成规模，切入机器人供应链的可能性较高。

- ✓ 材料端：国外免热处理铝合金材料厂商主要有美国铝业、德国莱茵菲尔德和特斯拉，国内厂商中立中集团、上海交大、广东鸿图、湖北新金洋已研制成功。除此之外，传统的铝业公司也有望开展机器人用铝合金布局，逐步切入该赛道。
- ✓ 设备与零部件端：中游压铸厂商纷纷布局，文灿、鸿图、拓普、爱科迪等较为领先。



技术进步不及预期

机器人产业链上各项技术仍处于发展期，可能存在部分环节技术进步较慢，影响行业整体发展。同时，技术进步不及预期带来的成本高企也可能影响机器人行业的发展。

机器人普及进度不及预期

因市场推广、下游接受程度影响，导致机器人渗透率可能存在不及预期的风险。

下游需求不及预期

因宏观经济不景气预期影响，企业生产制造环节减少资本开支，使得企业、个人对机器人整体需求减少，导致市场规模不及预期。

行业的投资评级

以报告日后的6个月内，行业指数相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

- 1、看好：行业指数相对于沪深300指数表现 + 10%以上；
- 2、中性：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10% ~ + 10%以上；
- 3、看淡：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10%以下。

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。投资者不应仅仅依靠投资评级来推断结论

行业评级与免责声明

法律声明及风险提示

本报告由浙商证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，经营许可证编号为：Z39833000）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但浙商证券股份有限公司及其关联机构（以下统称“本公司”）对这些信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不发生任何变更。本公司没有将变更的信息和建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本报告仅供本公司的客户作参考之用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告仅反映报告作者的出具日的观点和判断，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投资建议，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本公司的交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理公司、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

本报告版权均归本公司所有，未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、发布、传播本报告的全部或部分内容。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明本报告发布人和发布日期，并提示使用本报告的风险。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

联系方式

浙商证券研究所

上海总部地址：杨高南路729号陆家嘴世纪金融广场1号楼25层

北京地址：北京市东城区朝阳门北大街8号富华大厦E座4层

深圳地址：广东省深圳市福田区广电金融中心33层

邮政编码：200127

电话：(8621)80108518

传真：(8621)80106010

浙商证券研究所：<http://research.stocke.com.cn>