

证券研究报告·行业深度

人形机器人供应链梳理

分析师：吕娟

lyujuan@csc.com.cn

021-68821610

SAC编号：S1440519080001

SFC编号：BOU764

分析师：程似骐

chengsiqizgs@csc.com.cn

021-68821600

SAC编号：S1440520070001

SFC编号：BQR089

分析师：陈怀山

chenhuaishan@csc.com.cn

SAC编号：S1440521110006

分析师：许光坦

xuguangtan@csc.com.cn

SAC编号：S1440523060002

研究助理：籍星博

jixingbo@csc.com.cn

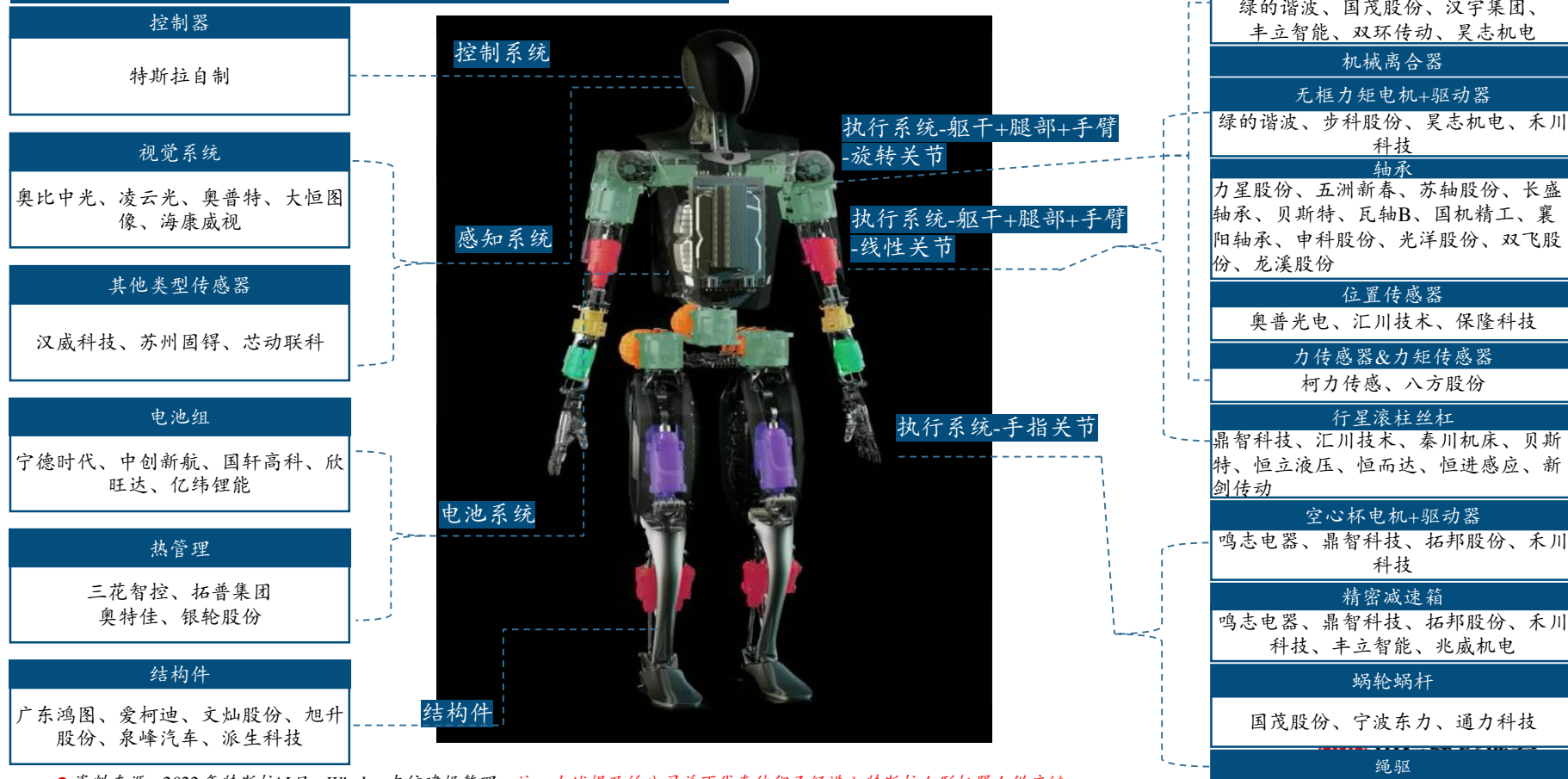
发布日期：2023年7月6日

核心观点

- 人形机器人是AI最有前景的落地方向之一，未来不仅能将人类从低级和高危行业中解放出来，提升人类生产力水平和工作效率，还可以在工业、商业、家庭、外太空探索等领域具有广阔应用场景。预计当人形机器人产业迭代成熟之后，所对应的年度市场规模会有数万亿元。
- 特斯拉人形机器人借鉴电动车的生产管理经验，有望推动产业链成本下降，进而带动机器人需求爆发，预计未来零部件供应商的单价和利润率预虽然会呈现下行趋势，但是可以以价换量实现市场空间的极大增长。
- **投资建议：**过去，人形机器人参与者主要为波士顿动力、Ameca等没有实现商业化量产的厂商，零部件主要为定制产品，参与的供应商较少。现在，随着特斯拉发布人形机器人量产展望，越来越多的零部件供应商以及整机企业将切入人形机器人领域。建议关注两类公司：①技术实力强、已有成功经验，未来参与人形机器人市场的确定性非常高的标的；②具有同源技术产品的厂商，可能会横向拓展切入人形机器人产业链。
- **推荐标的：**汇川技术、恒立液压、绿的谐波、三花智控（汽车组覆盖）、拓普集团（汽车组覆盖）、禾川科技、埃斯顿、博众精工、上海机电、国茂股份、秦川机床、鼎智科技、雷赛智能、凌云光、奥普特、银轮股份（汽车组覆盖）、双环传动（汽车组覆盖）、伟创电气（中小盘组覆盖）、奥普光电（军工组覆盖）、宁德时代（电新组覆盖）。
- **建议关注：**鸣志电器、五洲新春、八方股份、苏轴股份、中大力德等。

总结：人形机器人供应链全景图

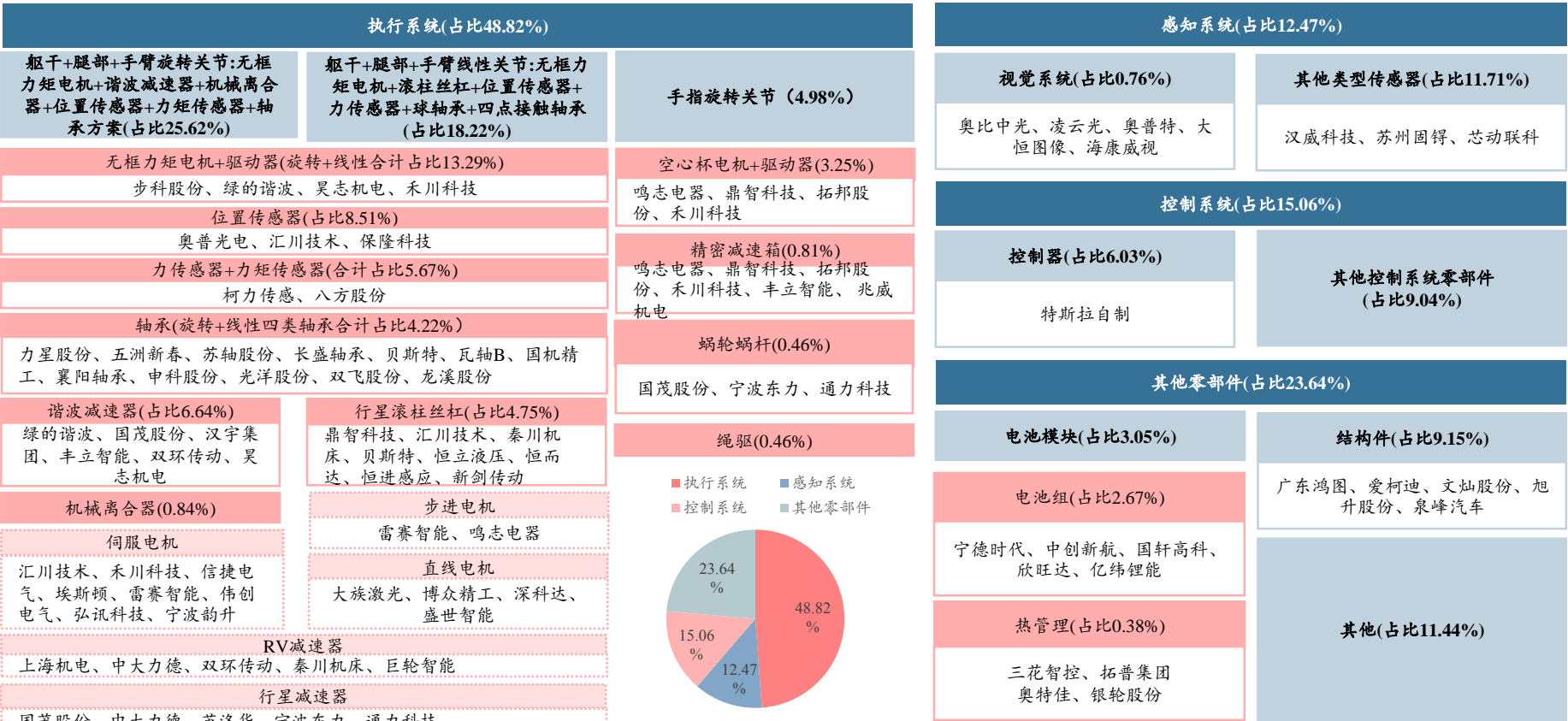
图表：人形机器人潜在供应链总览图（以Tesla Bot为例）



●资料来源：2022年特斯拉AI日，Wind，中信建投整理；注：上述提及的公司并不代表他们已经进入特斯拉人形机器人供应链

总结：人形机器人供应链全景图

图表：人形机器人潜在供应链全景图



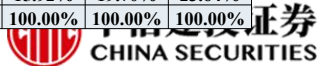
●资料来源：各公司官网，京东工业品，百度爱采购，中信建投；注：①上述提及的公司并不代表他们已经进入特斯拉人形机器人供应链；②成本占比依据Tesla Bot 现有零部件方案以及完全批量化生产后的降价幅度进行测算，虚线框内是特斯拉机器人目前没有使用、但是未来人形机器人产业可能会使用的零部件

总结：人形机器人供应链全景图

图表：人形机器人硬件各零部件成本测算

分类	部件	零部件	单个部件用量 (个)	单个机器人使用部件量 (个)	降价幅度	单价 (元)			单台机器人成本 (元)			价值量占比		
						阶段一	阶段二	阶段三	阶段一	阶段二	阶段三	阶段一	阶段二	阶段三
执行系统	躯干+腿部+手臂旋转关节	无框力矩电机 (含驱动器)	1	14	40%	1400	840	504	19600	11760	7056	10.06%	8.31%	6.64%
		谐波减速器	1	14	40%	1400	840	504	19600	11760	7056	10.06%	8.31%	6.64%
		无接触力矩传感器	1	14	40%	750	450	270	10500	6300	3780	5.39%	4.45%	3.56%
		位置传感器 (编码器)	2	14	20%	350	280	224	9800	7840	6272	5.03%	5.54%	5.91%
		机械离合器	1	14	20%	100	80	64	1400	1120	896	0.72%	0.79%	0.84%
		交叉滚子轴承	1	14	20%	150	120	96	2100	1680	1344	1.08%	1.19%	1.27%
		角接触轴承	1	14	20%	90	72	57.6	1260	1008	806	0.65%	0.71%	0.76%
		合计	-	-	-	-	-	-	64260	41468	27210	33.00%	29.29%	25.62%
	躯干+腿部+手臂线性关节	无框力矩电机 (含驱动器)	1	14	40%	1400	840	504	19600	11760	7056	10.06%	8.31%	6.64%
		行星滚柱丝杠	1	14	40%	1000	600	360	14000	8400	5040	7.19%	5.93%	4.75%
		力传感器	1	14	20%	250	200	160	3500	2800	2240	1.80%	1.98%	2.11%
		位置传感器 (编码器)	1	14	20%	300	240	192	4200	3360	2688	2.16%	2.37%	2.53%
		球轴承	1	14	20%	60	48	38.4	840	672	538	0.43%	0.47%	0.51%
		四点接触轴承	1	14	20%	200	160	128	2800	2240	1792	1.44%	1.58%	1.69%
		合计	-	-	-	-	-	-	44940	29232	19354	23.08%	20.64%	18.22%
	手指关节	空心杯电机 (含驱动器)	1	12	40%	800	480	288	9600	5760	3456	4.93%	4.07%	3.25%
		精密减速箱	1	12	40%	200	120	72	2400	1440	864	1.23%	1.02%	0.81%
		蜗轮蜗杆	1	12	10%	50	45	40.5	600	540	486	0.31%	0.38%	0.46%
		绳驱	1	12	10%	50	45	40.5	600	540	486	0.31%	0.38%	0.46%
		合计	-	-	-	-	-	-	13200	8280	5292	6.78%	5.85%	4.98%
	执行系统合计		-	-	-	-	-	-	122400	78980	51856	62.85%	55.78%	48.82%
感知系统	视觉系统	常规摄像头	1	2	10%	300	270	243	600	540	486	0.31%	0.38%	0.46%
		鱼眼摄像头	1	1	10%	400	360	324	400	360	324	0.21%	0.25%	0.31%
	其他类型传感器	毫米波雷达	1	1	10%	350	315	283.5	350	315	284	0.18%	0.22%	0.27%
		其他传感器	-	-	10%	15000	13500	12150	15000	13500	12150	7.70%	9.53%	11.44%
	感知系统合计		-	-	-	-	-	-	16350	14715	13244	8.40%	10.39%	12.47%
控制系统	控制器	控制器	-	-	20%	10000	8000	6400	10000	8000	6400	5.13%	5.65%	6.03%
	其他控制系统零部件	-	-	-	20%	15000	12000	9600	15000	12000	9600	7.70%	8.47%	9.04%
控制系统合计		-	-	-	-	-	-	25000	20000	16000	12.84%	14.12%	15.06%	
其他零部件	电池模块	电池组	1	1	10%	3500	3150	2835	3500	3150	2835	1.80%	2.22%	2.67%
		热管理	-	-	10%	500	450	405	500	450	405	0.26%	0.32%	0.38%
	结构件	结构件	-	-	10%	12000	10800	9720	12000	10800	9720	6.16%	7.63%	9.15%
	其他	-	-	10%	15000	13500	12150	15000	13500	12150	7.70%	9.53%	11.44%	
	其他零部件合计		-	-	-	-	-	-	31000	27900	25110	15.92%	19.70%	23.64%
总计		-	-	-	-	-	-	194750	141595	106210	100.00%	100.00%	100.00%	

●资料来源：鸣志电器官网，绿的谐波历年年报，京东工业品，百度爱采购，中信建投（备注：降价幅度是指阶段二相比阶段一、阶段三相比阶段二）



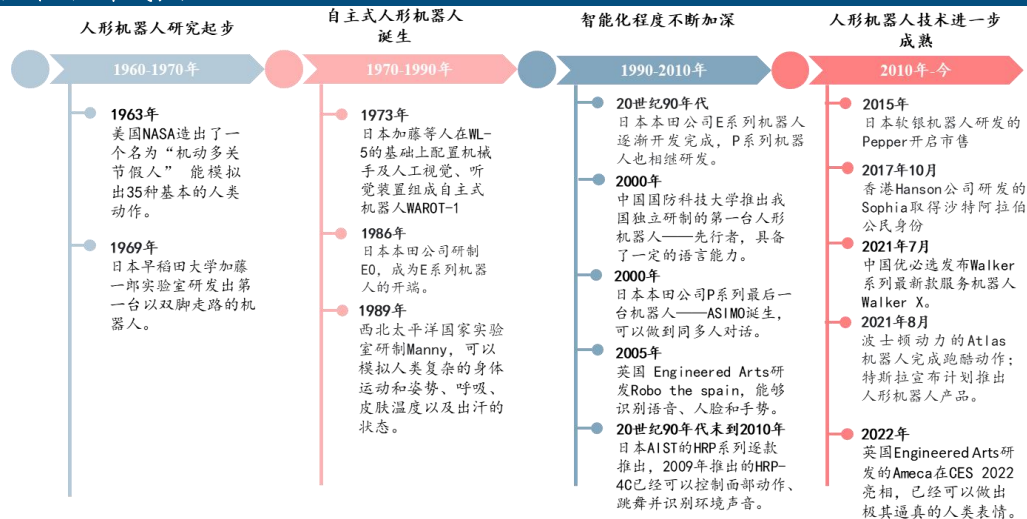
- 1. 特斯拉推进人形机器人产业链快速发展
 - 1.1 人形机器人厂商不断涌现
 - 1.2 Tesla Bot坚持仿人设计，向高性能方向发展
 - 1.3 Tesla Bot将推动机器人更便宜更好用，带来需求爆发
- 2. 人形机器人执行系统供应链分析
- 3. 人形机器人感知系统供应链分析
- 4. 人形机器人其他零部件供应链分析
- 5. 推荐标的
- 6. 风险提示

1.1 人形机器人厂商不断涌现

1.1.1 人形机器人发展历程

- 人形机器人研究起步于双足行走的模仿，拓展至人工智能的研发。由日本早稻田大学加藤一郎教授率先解决了人形机器人的双足行走问题，至此揭开了人形机器人研究的序幕。行走机构的设计以及相应控制方法的解决推动着人形机器人迈向自主式：1973年，加藤一郎等人在WL-5的基础上配置了机械手以及人工视觉、听力装置组成了自主式机器人WAROT-1，人形机器人的研究也逐渐扩展到人工智能方面。
- 人形机器人在控制方法和人工智能技术不断更迭的基础上取得了迅速发展，商业化条件日益成熟。1990年以来，机器人的行走能力、智能化和功能也越来越强大，本田公司的ASIMO是行业的典范。2010以来，互联网的发展推动人形机器人受到了更多大众关注，技术也愈发成熟，2015年，Pepper的市售是人形机器人走入大众市场的重大尝试，2021年波士顿动力旗下Atlas的跑酷视频一经发出便收获百万点赞，电动车巨头Tesla也于2021年宣布将推出人形机器人产品“擎天柱”，预计该项目的价值将超过电动车和FSD芯片。

图表：人形机器人技术不断成熟



资料来源：《中国智能机器人白皮书（2015年）》，《通信世界》杂志，中信建投

1.1 人形机器人厂商不断涌现

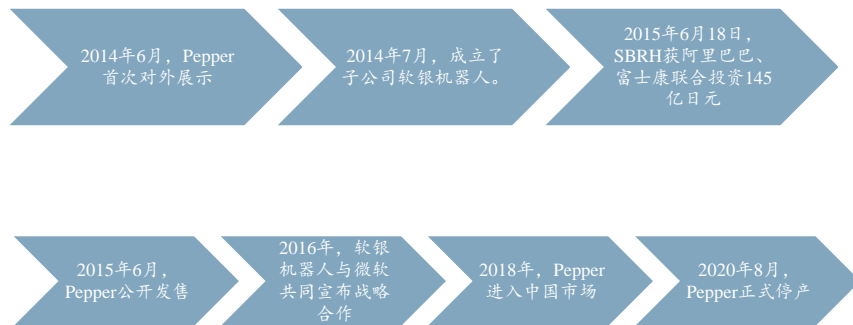
1.1.2 软银/Pepper：性能较弱、商业化失败的人形机器人

- **Pepper**是由日本软银集团和法国Aldebaran Robotics研发的类人型情感机器人，主要被用于商业以及教育情景。Pepper通过视野系统来察觉人类表情，通过**语音识别系统**来识别人类的语音语调以及特定表现人类强烈感情的字眼。然后**情感引擎**把上述一系列面部表情、语音语调和特地字眼量化处理，通过量化评分最终做出对人类积极或者消极情绪的判断，并用表情、动作、语音与人类交流、反馈。Pepper于2015年进入市场，并于**2020年8月份停产**，其面向普通消费者的销售价格折合人民币约为1.27万元。Pepper自推出以来，迄今为止只生产了约**2.7万台**，并且**库存不足2000台**。
- **Pepper发展内外交困，商业化进程中断。**①Pepper只有20个电机，只有上半身为类人形，硬件条件薄弱且难以捡起精细的物体，可靠性也较弱；② Pepper 情感引擎开发较为落后，完成的指令都是事先设定好的，这让 Pepper的对话能力难以解决实际问题；③法国企业和东京管理层之间的文化冲突使得Pepper的开发节奏缓慢。

图表：Pepper外形展示



图表：Pepper发展历程

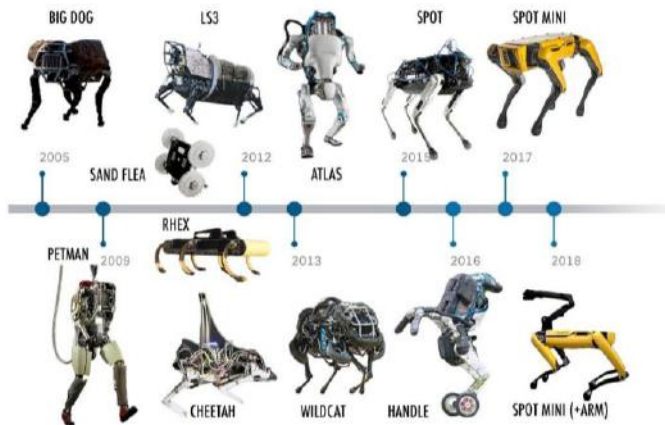


1.1 人形机器人厂商不断涌现

1.1.3 波士顿动力/Atlas：运动性能优异的双足人形机器人，未实现商业化

- 波士顿动力成立于1992年，致力于研究AI仿真和具有高机动性、灵活性和移动速度的先进机器人。Atlas是波士顿动力旗下旨在突破全身运动极限的研发平台，被设计用于各种搜救任务，但目前仍处于实验室阶段，没有市售。
- Atlas高性能结构件与模型预测技术打造优异运动性能。①定制电池、阀门和液压动力单元使Atlas能够为其28个液压关节提供高功率，以实现高度的灵活性；②Atlas执行的每个动作都源自其行为库中的动作模板，在运动过程中，Atlas的模型预测控制器（MPC）会调整其发力、姿势、动作发生时机等细节，并允许Atlas跨行为边界预测下一步的行动，使每一步动作都自然的连贯起来；③Atlas通过头部的RGB摄像头和TOF深度传感器获取更加全面的环境信息，并利用多平面分割算法从点云中提取平面，构建出Atlas看到的不同对象的模型，再基于它构建的模型来规划路径；④3D打印零件赋予其跳跃和翻腾所需的强度/重量比。

图表：波士顿动力旗下机器人发展历程



图表：展现“跑酷”技能的第三代Atlas外形展示

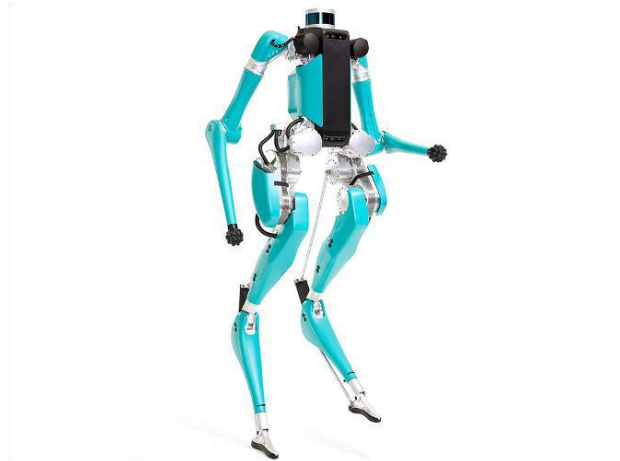


1.1 人形机器人厂商不断涌现

1.1.4 Agility Robotics/Digit: 亚马逊参投的兼具移动性和操纵能力的人形机器人，价格昂贵

- Digit是Agility Robotics公司推出的兼具移动性和操纵能力的人形机器人。主要将被投入到物流、仓库等使用场景，同时也会被出售给执法和军事部门，但只提供非武器化功能。截止2022年4月，Amazon已宣布计划建造的多层机器人配送中心多达11个，部署了超过35万台各种各样的机器人，而即便如此，依然无法满足其对物流的需求，因此Amazon依旧在加速对机器人配送上的布局。2022年4月，Agility Robotics获得AIIF（亚马逊旗下）参投的1.5亿美元B+轮融资，将用于提高Amazon仓库的自动化程度，减少工作人员可能收到的伤害。
- Digit应用场景灵活多样，但价格昂贵，商业化规模小。Digit的膝盖关节可以做到向后弯曲，这意味着它可在各种表面上改善平衡性和稳定性。Digit支持大多数的软件API，用户可利用其控件和视觉算法来开发用户应用程序，也可将Digit用作开发平台并编写低级代码，Digit是一个数据执行机构，在与福特的合作案例中，自动驾驶汽车和云端之间的数据交换可以用于操纵Digit机器人。同时Digit具有可折叠性，能够实现随车叠放甚至车内充电，应用场景更加灵活。目前官网公布的成套价格为25万美元，2021年度出货量为40到60台。

图表：Digit外形展示



图表：Digit发展历程

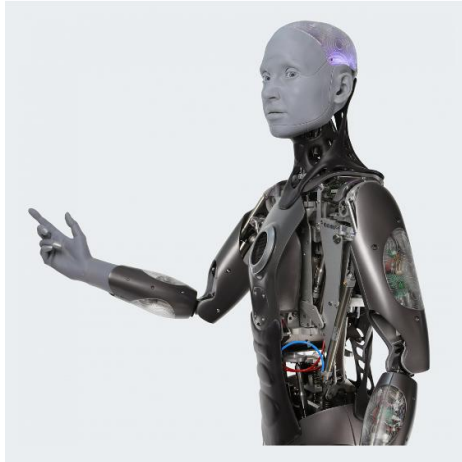


1.1 人形机器人厂商不断涌现

1.1.5 Engineered Arts/Ameca：面部表情逼真但是运动性能较弱的娱乐人形机器人

- Ameca由英国科技公司Engineered Arts开发，重49kg，高1.87m，身体共有52个模块，支持51种关节运动，被称为“机器人的未来面孔”。Ameca是用于娱乐的人形机器人，可能会成为场地和活动的关注中心。Ameca可供购买或出租，但购买价格超过13.3万美元。
- Ameca实现人类面部表情的高度模仿，但运动功能有限。Ameca结合了AI与AB（Artificial Body）技术，底层系统是机器人操作系统Tritium和工程艺术系统Mesmer，同时配备广泛的传感器，包括摄像头、麦克风、位置编码器以及具有数千个参数的智能电子设备，以确保Ameca具有高标准的响应性与交互性。Ameca具有模块化机制和云智能，可以随着技术进步进行升级。Ameca虽然有逼真的面庞，但它还不能步行、跳跃或跑酷。

图表：Ameca外形展示



图表：Ameca发展历程



1.1 人形机器人厂商不断涌现

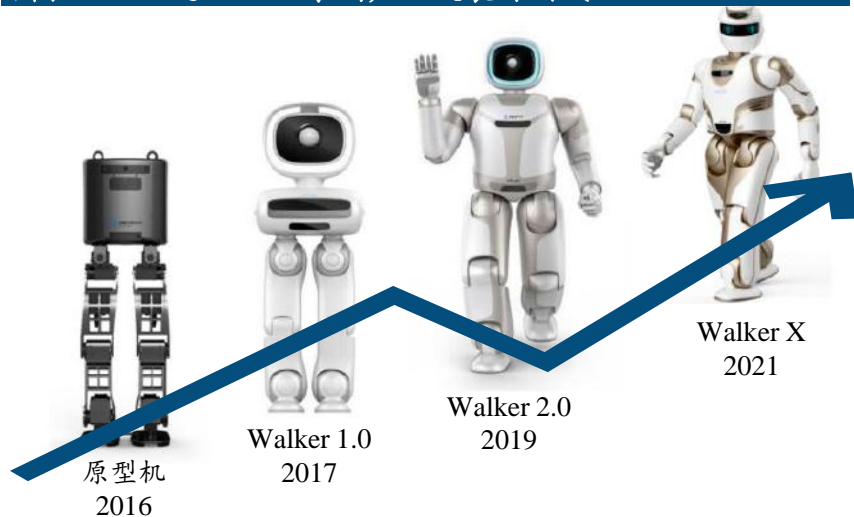
1.1.6 优必选/Walker：国产人形机器人佼佼者，主攻娱乐服务性能

- 优必选Walker系列运动能力不断优化，娱乐性能亮眼。2016年，优必选原型机诞生，腿部拥有12个自由度，实现了多种场景下的行走。此后，Walker系列的运动性能和稳定性不断提升，发展到Walker 2.0，已经可以上下楼梯、弹琴跳舞、倒水、写字等，且具有更加类人的可爱外形。2021年Walker X发布，视觉定位导航和手眼协调操作技术全面升级，使得Walker X可以更生动地与人交互，还学会了下象棋。

图表：优必选人形机器人产品发展历程

时间	产品
2012	推出人形机器人Alpha 1，共16个伺服舵机，可编程、跳舞、说话。
2014	推出Alpha 1S。
2016	Alpha 2上市；推出Walker系列原型机，可以全向行走。
2017	正式推出Walker 1.0，共14个自由度，可上下楼梯、踢球、舞蹈等。
2019	推出Walker 2.0，共36个自由度，可弹琴、倒水、写字画画、类人行走。
2021	发布Walker X，提高了运动性能和交互性，行走速度达到3km/h，可以与人下象棋。

图表：优必选Walker系列产品发展时间线

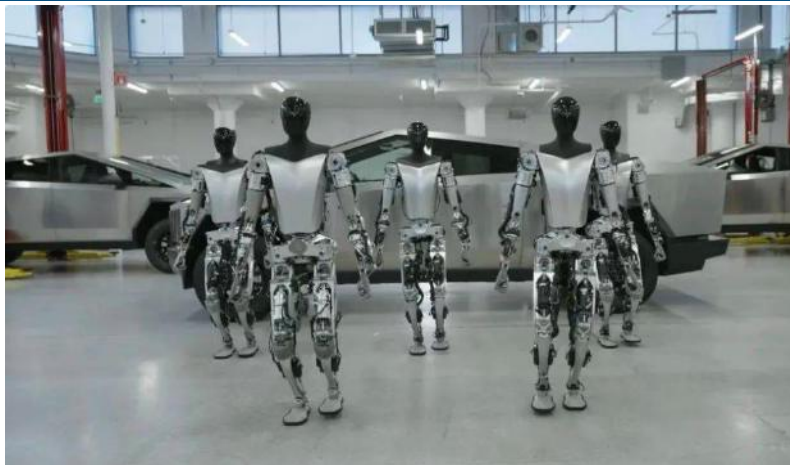


1.2 Tesla Bot坚持仿人设计，向高性能方向发展

1.2.1 Tesla Bot研发进展超预期

- 首先，从研发进展来看，自2021年AI日推出概念机以来，特斯拉人形机器人已经完成多个版本迭代，2022年AI日展示了平台机型第二代版本，目前仍在第二代版本的基础上持续改进。
- 其次，从步态行走技术来看，Tesla Bot在2022年4月就完成了第一次步态行走，其后在6月、8月、9月持续完善行走功能，在2023年5月的股东大会上，Tesla Bot已经能够在工厂内实现稳步行走。
- 最后，从功能来看，2022年10月，Tesla Bot具备了一定的抓取、搬运、上下料功能；2023年3月，Tesla Bot展示了使用螺丝刀的功能；2023年5月股东大会上，Tesla Bot展示了双手处理复杂任务的能力，这是当前人形机器人最难做到的一部分。此外，在2023年5月的股东大会展示的新版本中，Tesla Bot还表现出了：①精准的控制力，Tesla Bot电机转矩控制已经可以达到十分精密的水平，能够在运动过程中不打碎脚下的鸡蛋。②探索并记忆环境功能，特斯拉汽车的FSD（全自动驾驶）系统和人形机器人的底层模块已经打通，人形机器人可以使用FSD构建强大的视觉系统，通过摄像头让模型快速迁移，有望构建有史以来最大的人形机器人数据飞轮。

图表：2023年5月，特斯拉股东大会中展示了人形机器人最新进展



1.2 Tesla Bot坚持仿人设计，向高性能方向发展

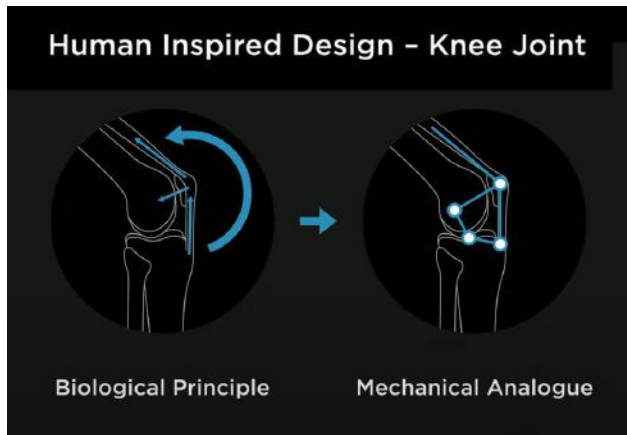
1.2.2 Tesla Bot坚持仿人结构

- **Tesla Bot对人的模拟体现在：**①外形上，Tesla Bot概念机中机器人身高1.73米，体重53千克，最新版本的人形机器人体重有所增加，但外形仍然坚持仿人设计；②结构上，关节结构使用通过非线性结构来实现对不同形态下的压力、扭矩控制，进而完成实现流畅动作，在执行器连接中使用模仿肌腱的弹簧设计，手部形态上模仿人类手掌，从而实现高灵敏度以抓取重物 and 轻薄物体；③情感沟通上，未来Tesla Bot能够实现日常交流和肢体动作的表达，并且在安全上也会有保障。
- **Tesla Bot坚持仿人结构的原因在于：**①现实中许多场景是根据人体工学设计的，机器人如果是人形就能够在这些场景中直接使用；②人体具备较高灵活度，模仿人类的关节、感官系统让人形机器人更加灵活；③与其他类型相比，未来人形机器人在情感沟通上面临的壁垒更低。

图表：2022年AI日展示的特斯拉机器人外形



图表：特斯拉机器人关节处采用仿人设计

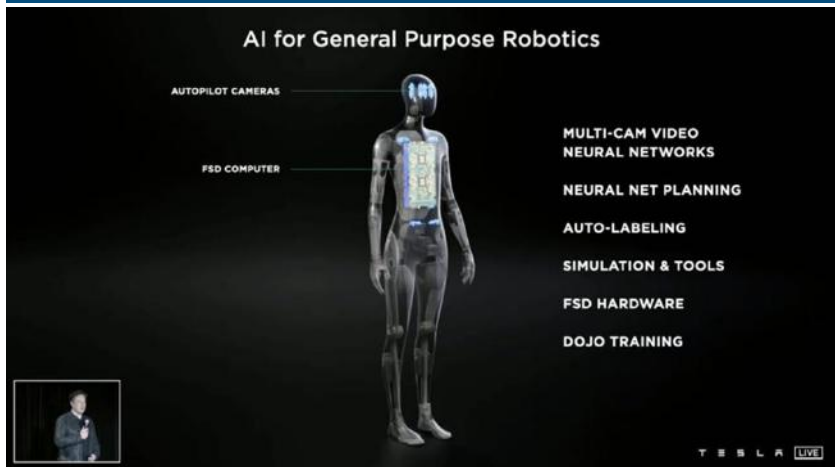


1.2 Tesla Bot坚持仿人设计，向高性能方向发展

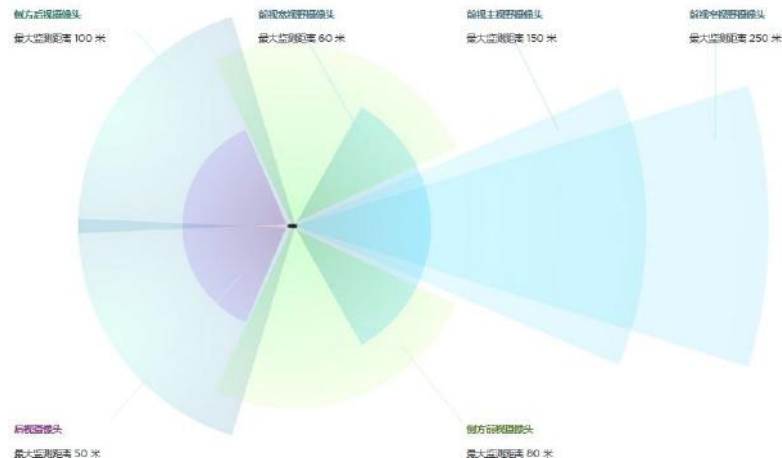
1.2.3 Tesla Bot与特斯拉车辆共享核心自研的感知技术

- **Tesla Bot与特斯拉电动车共享核心的感知技术。**比如，自动驾驶相机（Autopilot Camera）将基本上充当Tesla Bot的视觉，全自动驾驶计算机芯片（FSD芯片）放置在胸腔处，为机器人提供算力支持；Tesla Bot集合了多摄像头视频神经网络的规划能力、自动标签、仿真工具等，并且利用Dojo超级计算机的训练机制来提高机器人的功能。
- **特斯拉自动驾驶相机（Autopilot Camera）拥有强大的视觉处理能力：**特斯拉的自动驾驶相机有8个摄像头，可以实现360度视野范围，对周围环境的监测距离最远可达250米。前部有3个摄像头，分别为前视主视野摄像头、前视宽视野摄像头及前视窄视野摄像头，左右两侧各有2个摄像头，分别为侧方前视摄像头和侧方后视摄像头，后部有1个后视摄像头。

图表：Tesla Bot的AI能力设计



图表：Autopilot Camera可实现360°视野

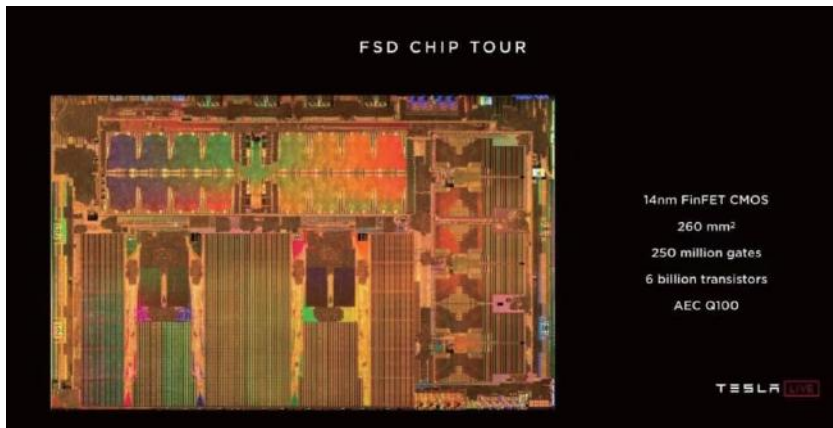


1.2 Tesla Bot坚持仿人设计，向高性能方向发展

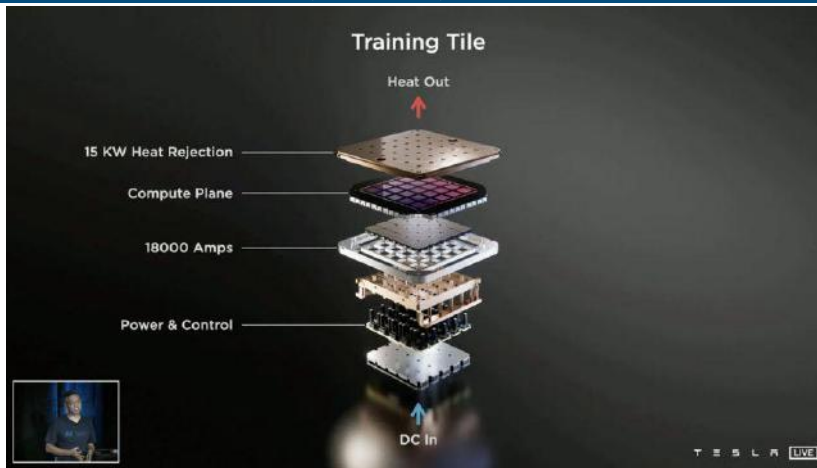
1.2.3 Tesla Bot与特斯拉车辆共享核心自研的感知技术

- **FSD计算机芯片（FSD Computer）**：FSD Computer利用8台相机采集的图像进行超过1000种不同任务的感知预测，基于栅格输出，容许更多不确定性。
- **DOJO超级计算机（DOJO Training）**：DOJO是一种通过网络连接的分布式计算机架构，它具有高带宽、低延时等特点，将会使人工智能拥有更高速的学习能力。其内核是D1芯片，每个DOJO由25颗D1芯片组成，形成36TB/s的带宽和9PetaFLOPS算力。

图表：FSD芯片具体参数



图表：DOJO计算机单个训练单元由25个D1芯片组成



1.2 Tesla Bot坚持仿人设计，向高性能方向发展

1.2.4 Tesla Bot未来可在多个场景投入应用

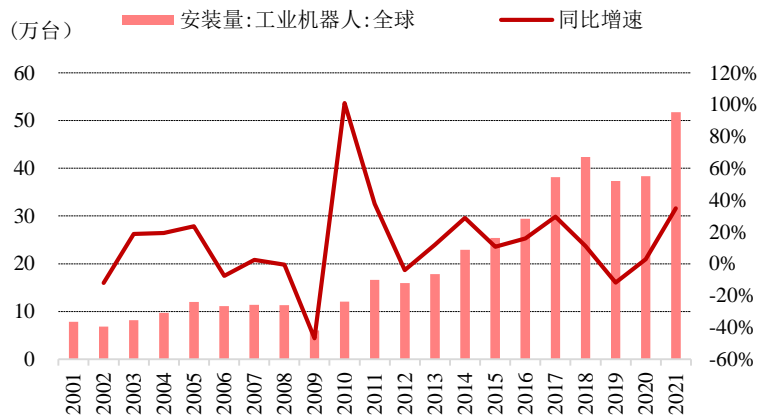
- 马斯克在首届AI智能日提及Tesla Bot的研发目标：“我们要确保它会一直对人友好，能把人从危险的、重复的，无聊的任务中解放出来，甚至还能跟已经高度自动化的特斯拉车辆生产进一步结合协作。”
- 考虑到Tesla Bot的人形形态，同时具有较高的自由度，能够实现平衡和敏捷的动作，承担20kg左右的负载，我们预计它适用于车辆周边、生活居家、工商业等通用或定制化应用场景，甚至可能被派往火星等外太空环境中工作。
- 1) 车辆周边场景：特斯拉机器人和汽车在底层算法上互通，因此预计Tesla Bot能够协同电动车实现多个场景应用，机器人将成为电动车智能场景中的一环。
- 2) 生活居家场景：①初期预计只能完成简单工作，例如室内场景中实现搬东西、收快递、倒垃圾等功能，在外出场景中实现陪伴、监测外界环境等功能；②在经过真实场景积累，迭代更新算法和功能后，Tesla Bot预计能够进一步从事精细化工作。
- 3) 工商业等应用场景：特斯拉人形机器人，作为人类生产力的延伸，预计未来可以用于节拍要求不高、灵活性要求高的工商业场景，替代人类从事一些危险或者重复单调的工作。
- 4) 外太空场景：马斯克在2021年AI日上宣称希望未来能将机器人送到外太空，做一些人类无法从事的工作。

1.3 Tesla Bot将推动机器人更便宜更好用，带来需求爆发

1.3.1 全球工业机器人年销量还处于较低水平

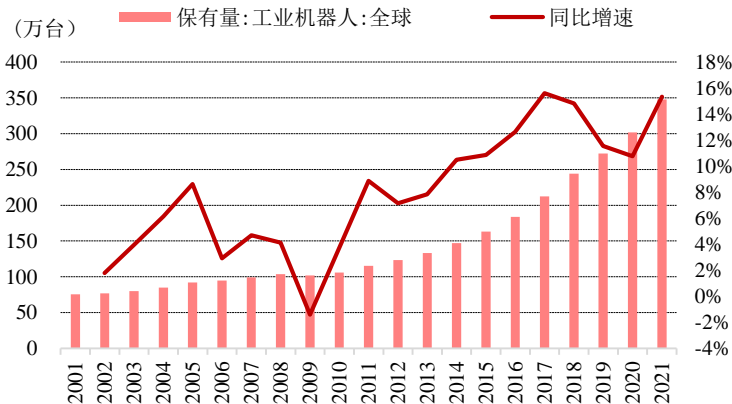
- 2020年，全球工业机器人安装量约达到38.35万台，同比增长2.76%；2021年全球工业机器人安装量达到51.74万台，同比增长34.90%。2021年全球工业机器人保有量达到347.71万台，同比增长15.33%。
- 目前全球工业机器人的年安装量水平，还不如全球挖机的年销量（超过60万台，其中中国市场2022年销量15.2万台），工业机器人与挖机都是人工替代，且前者应用场景更多，理论上工业机器人年安装量应该远高于挖机年销量。

图表：全球工业机器人安装量恢复增长



资料来源：IFR，中信建投

图表：全球工业机器人保有量持续增长



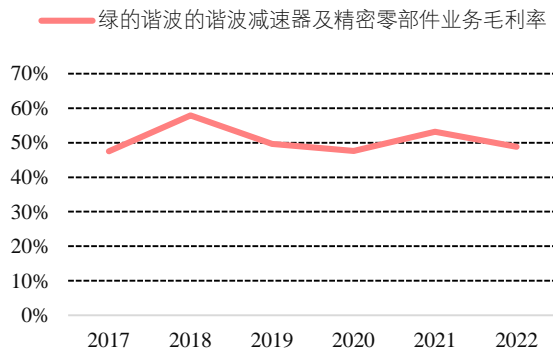
资料来源：IFR，中信建投

1.3 Tesla Bot将推动机器人更便宜更好用，带来需求爆发

1.3.2 Tesla Bot将推动机器人需求爆发

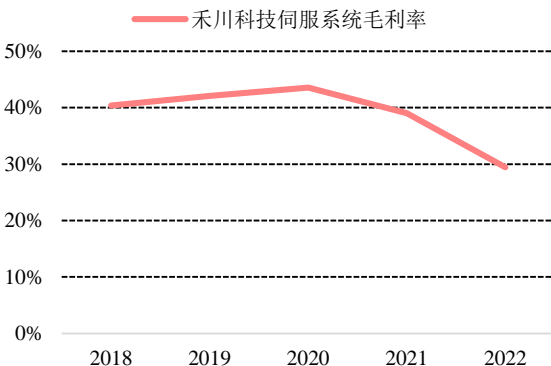
- **Tesla Bot将推动供应链快速降本，推动机器人需求爆发。**我们认为有两个重要原因导致全球工业机器人市场规模还比较低：一是价格还不够便宜，二是智能化程度还不够高。马斯克曾于2022年特斯拉AI日表示特斯拉人形机器人最终售价可能少于2万美元，并且在2023年5月的股东大会上表示“需求可能会上百亿（台）”，据此计算整个人形机器人市场规模总量约200万亿美元。我们认为：首先，要达到这样的市场总量需要很长的时间；其次，这是一个总量市场规模而非年度市场规模的概念。根据马斯克公开发言、麦肯锡相关咨询报告以及我们自己的判断，预计当人形机器人产业迭代成熟之后，所对应的年度市场规模会有数万亿元。按照马斯克对特斯拉人形机器人未来的量价指引，预计Tesla Bot会借鉴特斯拉电动车的生产、管理经验，要求供应商具备批量、低价交付能力，同时将特斯拉电动车的FSD芯片和DOJO算法应用到人形机器人上，会让机器人又便宜又好用，推动需求爆发。由于工业机器人与人形机器人在零部件和算法上有众多重叠和相似之处，上述人形机器人产生的潜在成果会扩散到工业机器人领域，推动工业机器人变得更便宜更好用，激发市场更多的需求，反过来又会推动供应链降本，可以预见，未来在工业机器人和人形机器人市场，零部件供应商的单价和利润率都会呈现下行趋势，但是以价换量，需求会极大爆发。

图表：绿的谐波的谐波减速器及精密零部件业务毛利率较高



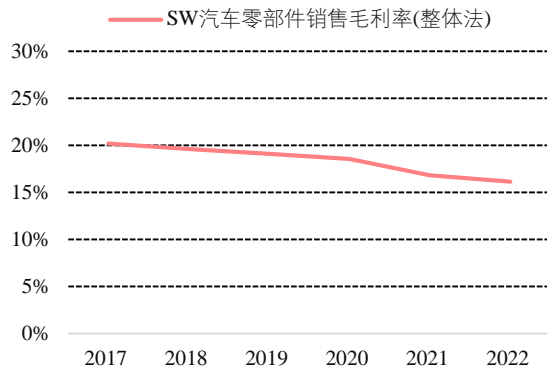
● 资料来源：Wind，中信建投

图表：禾川科技伺服系统毛利率



● 资料来源：Wind，中信建投

图表：汽车零部件毛利率较低



● 资料来源：Wind，中信建投

1.3 Tesla Bot将推动机器人更便宜更好用，带来需求爆发

1.3.3 Tesla Bot成本构成测算

- **特斯拉将推动机器人各零部件成本明显下降。**特斯拉要实现供应链做到批量、低价供货，我们判断需要从两方面推进：①预计特斯拉机器人将和电动车共享部分零部件供应链从而降低成本，这部分零部件目前在汽车、汽车电子已经有成熟的应用，如常规摄像头、鱼眼摄像头、电池组、热管理、毫米波雷达等，产业已经比较成熟，生产企业毛利率已经较低，我们将其定义**汽车通用类零部件**。②对于无法共享汽车零部件的部分，特斯拉预计将通过减少零部件规格、提高单一品类用量的方式实现成本降低，如将躯干+手臂+腿部的28个关节分为6个规格的执行器。其中位置传感器（编码器）、力传感器、交叉滚子轴承、角接触轴承等零部件过去在工业自动化等领域已经有批量化应用，人形机器人批量化生产以后，价格会明显下降，我们将其定义为**自动化通用类零部件**；无框力矩电机（含驱动器）、谐波减速器、行星滚柱丝杠、空心杯电机（含驱动器）、精密减速箱、无接触力矩传感器等零部件由于生产成本、生产工艺等原因目前批量化生产水平较低，有很大的降本空间，我们将其定义为**待规模化生产零部件**。
- **随着人形机器人逐步实现批量化生产，各零部件成本较目前预计会有所降低。**我们按照人形机器人批量化生产水平，将人形机器人生产分为三个阶段，其中**阶段一**是量产前，产业链还不完善，各零部件成本主要参考目前市场价格；**阶段二**是实现批量化生产过程中，产业链还没有完全成熟，但是各零部件成本较目前已经有所降低；**阶段三**是已经完全实现批量化生产，产业链已经成熟，各零部件成本较目前大幅降低。
- **不同类别零部件降价幅度会有所不同，待规模化生产零部件预计未来降幅最大。**汽车通用类零部件目前已经实现规模化生产，未来新增人形机器人批量化生产以后，生产规模的进一步扩大有望推动其价格继续降低，但是降幅有限，我们假设阶段二、阶段三分别较前一阶段下降10%；**自动化通用类零部件**在工业自动化生产中已经有大批量应用，但是人形机器人新增的广阔的空间有望推动其价格明显下降，假设其阶段二、阶段三分别较前一阶段下降20%；**待规模化生产零部件**目前产品规模化生产水平较低，如果人形机器人实现量产，未来单一品类用量将大幅提升，规模化生产水平将推动价格大幅降低，假设其阶段二、阶段三分别较前一阶段下降40%。
- **经过我们测算，完全实现批量化生产后，特斯拉人形机器人硬件成本执行系统、感知系统、控制系统和其他零部件在人形机器人分别占比48.82%、12.47%、15.06%、23.64%。**根据京东工业品、百度爱采购等网站列示的相关零部件价格，我们对各部件目前市场价格做了初步估算，考虑人形机器人大规模生产以后，零部件供应价格将大幅降低，经过测算，完全实现批量化生产后（阶段三），特斯拉人形机器人执行系统、感知系统、控制系统和其他零部件在人形机器人分别占比48.82%、12.47%、15.06%、23.64%。

图表：特斯拉将推动机器人各零部件成本明显下降

分类	降价幅度	包含零部件
待规模化生产零部件	40%	无框力矩电机（含驱动器）、谐波减速器、无接触力矩传感器、行星滚柱丝杠、空心杯电机（含驱动器）、精密减速箱
自动化通用类零部件	20%	位置传感器（编码器）、力传感器、球轴承、四点接触轴承、交叉滚子轴承、角接触轴承、控制器、其他控制系统零部件
汽车通用类零部件	10%	蜗轮蜗杆、绳驱、常规摄像头、鱼眼摄像头、电池组、热管理、毫米波雷达、其他传感器、结构件、其他零部件

1.3 Tesla Bot将推动机器人更便宜更好用，带来需求爆发

1.3.3 Tesla Bot成本构成测算

图表：人形机器人硬件各零部件成本测算

分类	部件	零部件	单个部件用量 (个)	单个机器人使用部 件量 (个)	降价幅度	单价 (元)			单台机器人成本 (元)			价值量占比		
						阶段一	阶段二	阶段三	阶段一	阶段二	阶段三	阶段一	阶段二	阶段三
执行系统	躯干+腿部+手臂旋转关节	无框力矩电机 (含驱动器)	1	14	40%	1400	840	504	19600	11760	7056	10.06%	8.31%	6.64%
		谐波减速器	1	14	40%	1400	840	504	19600	11760	7056	10.06%	8.31%	6.64%
		无接触力矩传感器	1	14	40%	750	450	270	10500	6300	3780	5.39%	4.45%	3.56%
		位置传感器 (编码器)	2	14	20%	350	280	224	9800	7840	6272	5.03%	5.54%	5.91%
		机械离合器	1	14	20%	100	80	64	1400	1120	896	0.72%	0.79%	0.84%
		交叉滚子轴承	1	14	20%	150	120	96	2100	1680	1344	1.08%	1.19%	1.27%
		角接触轴承	1	14	20%	90	72	57.6	1260	1008	806	0.65%	0.71%	0.76%
		合计	-	-	-	-	-	-	64260	41468	27210	33.00%	29.29%	25.62%
	躯干+腿部+手臂线性关节	无框力矩电机 (含驱动器)	1	14	40%	1400	840	504	19600	11760	7056	10.06%	8.31%	6.64%
		行星滚柱丝杠	1	14	40%	1000	600	360	14000	8400	5040	7.19%	5.93%	4.75%
		力传感器	1	14	20%	250	200	160	3500	2800	2240	1.80%	1.98%	2.11%
		位置传感器 (编码器)	1	14	20%	300	240	192	4200	3360	2688	2.16%	2.37%	2.53%
		球轴承	1	14	20%	60	48	38.4	840	672	538	0.43%	0.47%	0.51%
		四点接触轴承	1	14	20%	200	160	128	2800	2240	1792	1.44%	1.58%	1.69%
		合计	-	-	-	-	-	-	44940	29232	19354	23.08%	20.64%	18.22%
	手指关节	空心杯电机 (含驱动器)	1	12	40%	800	480	288	9600	5760	3456	4.93%	4.07%	3.25%
		精密减速箱	1	12	40%	200	120	72	2400	1440	864	1.23%	1.02%	0.81%
		蜗轮蜗杆	1	12	10%	50	45	40.5	600	540	486	0.31%	0.38%	0.46%
		绳驱	1	12	10%	50	45	40.5	600	540	486	0.31%	0.38%	0.46%
		合计	-	-	-	-	-	-	13200	8280	5292	6.78%	5.85%	4.98%
	执行系统合计		-	-	-	-	-	-	122400	78980	51856	62.85%	55.78%	48.82%
感知系统	视觉系统	常规摄像头	1	2	10%	300	270	243	600	540	486	0.31%	0.38%	0.46%
		鱼眼摄像头	1	1	10%	400	360	324	400	360	324	0.21%	0.25%	0.31%
	其他类型传感器	毫米波雷达	1	1	10%	350	315	283.5	350	315	284	0.18%	0.22%	0.27%
		其他传感器	-	-	10%	15000	13500	12150	15000	13500	12150	7.70%	9.53%	11.44%
	感知系统合计		-	-	-	-	-	-	16350	14715	13244	8.40%	10.39%	12.47%
控制系统	控制器	控制器	-	-	20%	10000	8000	6400	10000	8000	6400	5.13%	5.65%	6.03%
	其他控制系统零部件	-	-	20%	15000	12000	9600	15000	12000	9600	7.70%	8.47%	9.04%	
	控制系统合计		-	-	-	-	-	-	25000	20000	16000	12.84%	14.12%	15.06%
其他零部件	电池模块	电池组	1	1	10%	3500	3150	2835	3500	3150	2835	1.80%	2.22%	2.67%
		热管理	-	-	10%	500	450	405	500	450	405	0.26%	0.32%	0.38%
	结构件	-	-	10%	12000	10800	9720	12000	10800	9720	6.16%	7.63%	9.15%	
	其他	-	-	10%	15000	13500	12150	15000	13500	12150	7.70%	9.53%	11.44%	
	其他零部件合计		-	-	-	-	-	-	31000	27900	25110	15.92%	19.70%	23.64%
总计		-	-	-	-	-	-	194750	141595	106210	100.00%	100.00%	100.00%	

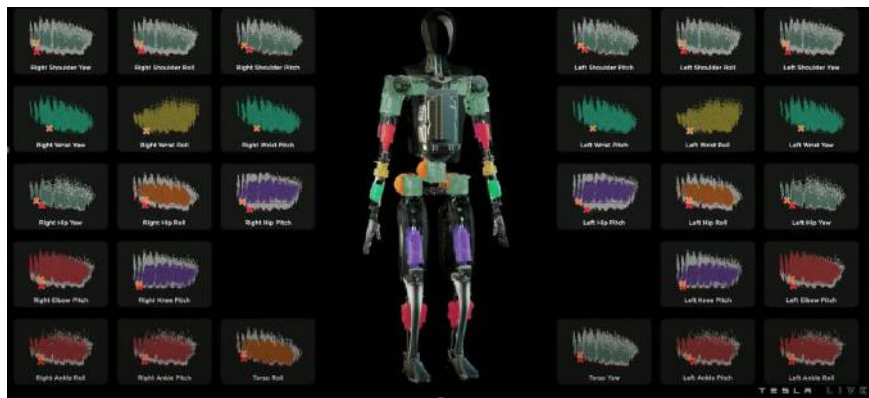
- 1. 特斯拉推进人形机器人产业链快速发展
- 2. 人形机器人执行系统供应链分析
 - 2.1 人形机器人执行系统总览
 - 2.2 电机：为人形机器人提供驱动力
 - 2.3 编码器：实现电机位置&速度反馈，助力精准运动控制
 - 2.4 减速机：实现动力传动的重要部件
 - 2.5 轴承：支撑旋转体，助力精准传动
 - 2.6 丝杠：线性执行器重要部件，模拟人体肌肉功能
 - 2.7 关节总成：集成多个重要零部件，成本占比高
- 3. 人形机器人感知系统供应链分析
- 4. 人形机器人其他零部件供应链分析
- 5. 推荐标的
- 6. 风险提示

2.1 人形机器人执行系统总览

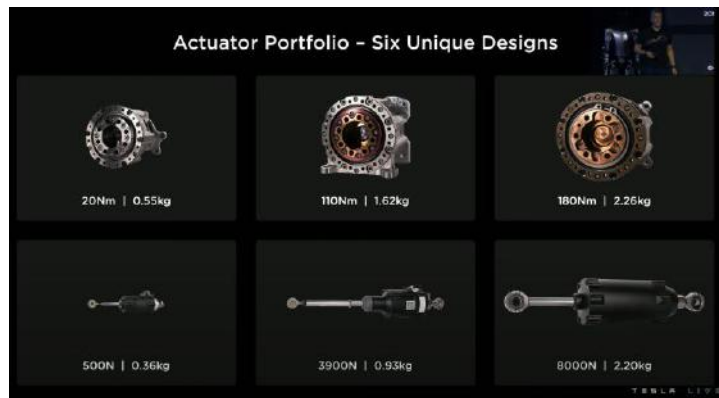
2.1.1 Tesla Bot执行器概览

- 从执行系统来看，根据特斯拉2022年的AI日展示的细节，Tesla Bot拥有40个机电执行器，其中躯干+腿部+手臂共有28个执行器，包括14个旋转执行器、14个线性执行器；手指有12个执行器。
- Tesla Bot躯干+腿部+手臂的28个执行器又可以分为6类，包括扭矩为20、110、180Nm的旋转执行器和牵引力为500、3900、8000N的线性执行器。
- Tesla Bot手指的12个执行器分布于两只手，单个手拥有6个执行器、11个自由度。

图表：Tesla Bot躯干+腿部+手臂有28个执行器



图表：特斯拉机器人使用的执行器规格

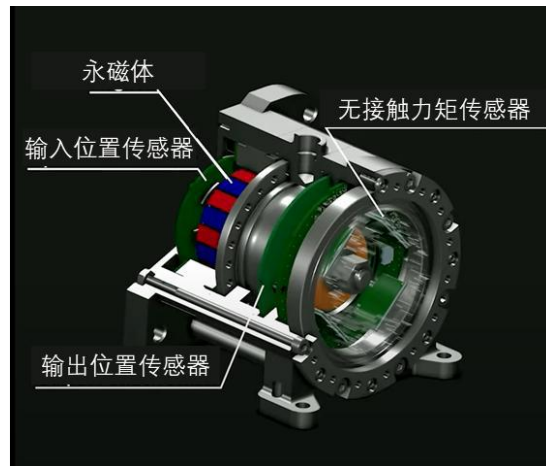
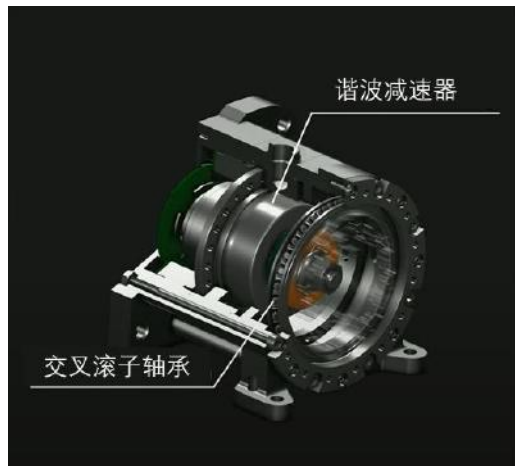
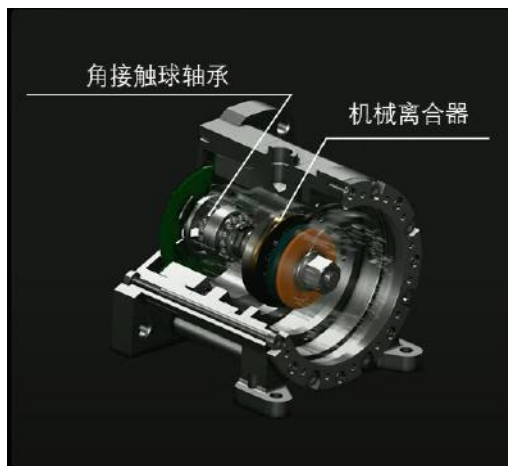


2.1 人形机器人执行系统总览

2.1.2 Tesla Bot躯干+腿部+手臂旋转执行器分析

- **Tesla Bot躯干+腿部+手臂的旋转执行器**一共有14个，按照扭矩不同分为20、110、180Nm三类。从结构来看，包括无框力矩电机、谐波减速器、机械离合器、无接触力矩传感器、输入&输出位置传感器、交叉滚子轴承、角接触球轴承等。从工作原理来看，旋转执行环节主要包括以下环节：①电机是动力输入源，其中永磁体（转子）发生旋转运动；②电机产生的动力经过谐波减速机转换，实现了降低转速、增大扭矩的目的，可满足驱动负载的要求；③谐波减速器输出端通过交叉滚子轴承连接至输出轴，以实现部分关节的旋转运动。在此过程中，无接触力矩传感器测量输出扭矩，输入、输出位置传感器用于测量位置和速度，并实现及时的反馈，便于进行精确的控制；机械离合器主要实现传动通断状态的切换。

图表：特斯拉机器人躯干+腿部+手臂使用的旋转执行器示意图

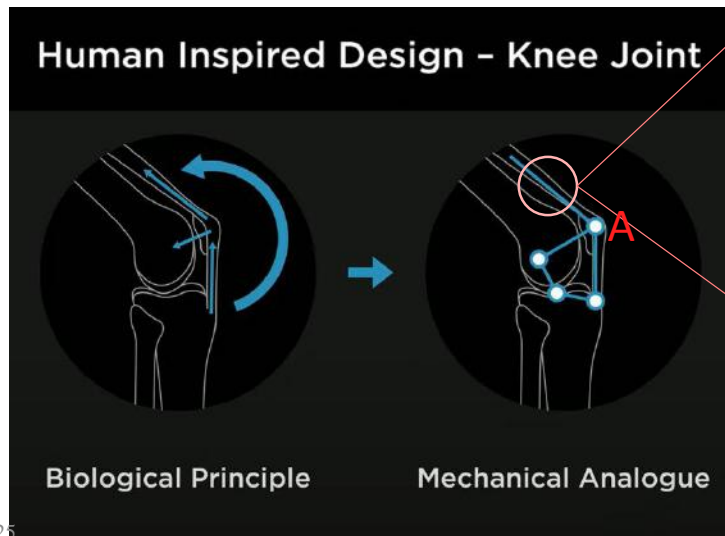


2.1 人形机器人执行系统总览

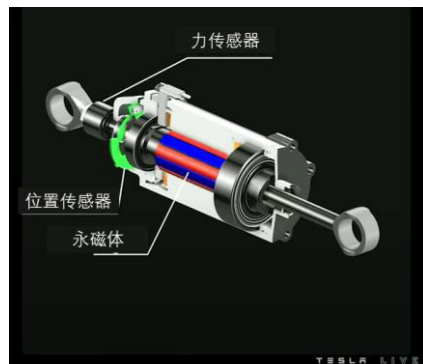
2.1.3 Tesla Bot躯干+腿部+手臂线性执行器分析

- Tesla Bot躯干+腿部+手臂的线性关节一共有14个，从结构来看，包括无框力矩电机、行星滚柱丝杠、力传感器、四点接触轴承、球轴承、位置传感器。从工作原理来看，以膝盖处为例，行星滚柱丝杠处于人形机器人的“大腿”位置，当腿需要伸直时，丝杠收缩，拉动A点，通过其他连杆，小腿即可伸直，具体流程如下：①无框力矩电机驱动螺母旋转；②螺母此时因轴向固定，不做直线运动，推动丝杠进行直线运动（此为反向行星滚柱丝杠的表现）；③丝杠推或者拉A点，即可带动腿部运动。力传感器和位置传感器负责采集、反馈、矫正，使控制更精准。

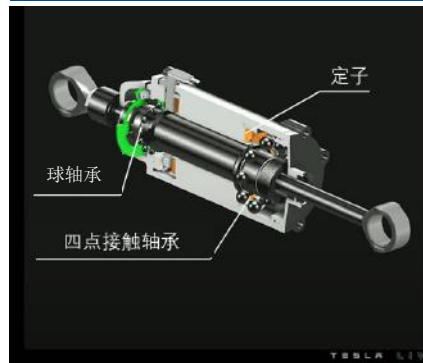
图表：线性执行机构工作示意图



图：线性执行机构的传感器



图：线性执行机构的轴承



2.1 人形机器人执行系统总览

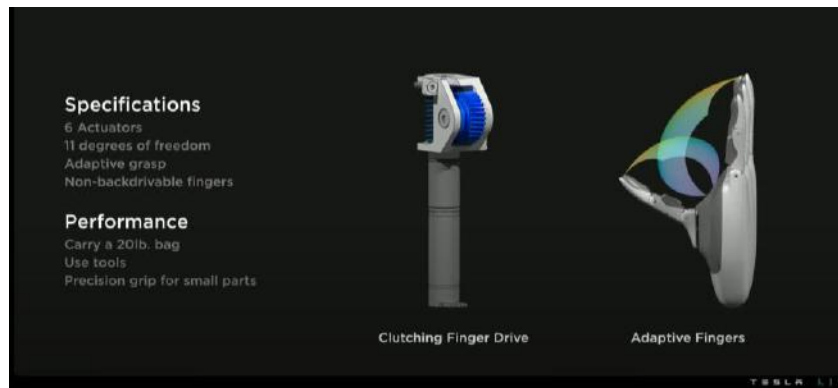
2.1.4 Tesla Bot手指执行器分析

- **Tesla Bot手指执行器**一共有12个，单个手拥有6个执行器。从结构来看，Tesla Bot手指的执行器主要包括空心杯电机、蜗轮蜗杆、绳驱，具备“自适应能力(Adaptive grasp)”和“防反向驱动手指(Non-backdrivable fingers)”的能力，能够携带20磅重的背包、使用工具、精确抓取小型零件；从工作原理来看，食指到小拇指的四根手指分别被一个空心杯电机模组驱动，四个空心杯电机模组沿手指方向纵置在手掌内，拇指有两个空心杯电机模组，驱动拇指的电机横置在手掌内；空心杯电机输出端连接蜗杆，带动蜗轮旋转，同时蜗轮上有绳驱的绕线轴会随其转动，当电机转动时，绕线轴会转动通过卷线来实现手指运动。这样设计的手指具有防反驱特性，可以避免电机在抓握物体时长时间堵转发热。

图表：特斯拉机器人手部使用12个执行器（6*2）



图表：特斯拉机器人手部执行器工作原理

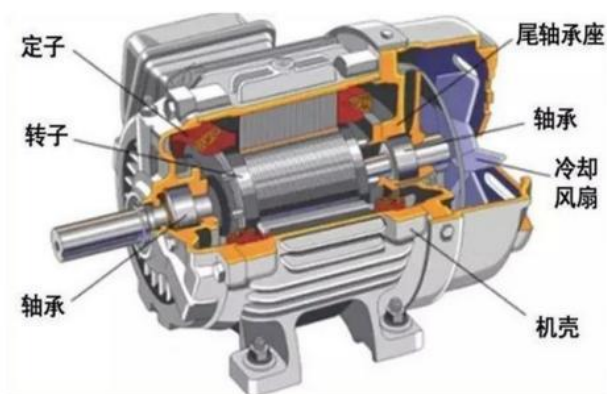


2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

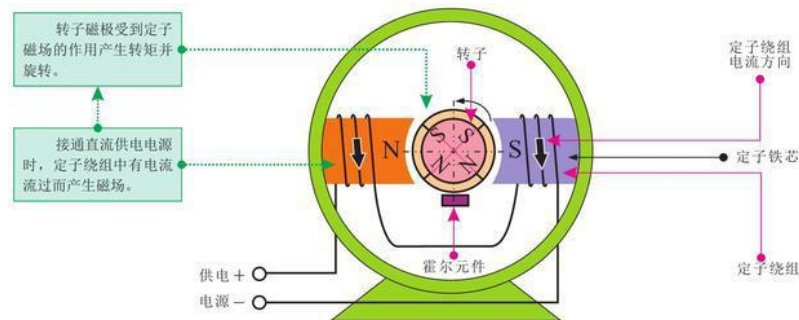
2.2.1 电机行业概览

- 电机是指依据电磁感应定律实现电能转换或传递的一种电磁装置，通常由定子、转子、壳体、结构件构成。电机可分为电动机与发电机两个大类。电动机也称电机（俗称马达），它的主要作用是将电能转换为机械能，利用通电线圈产生旋转磁场并作用转子形成磁电动力旋转扭矩，作为用电器或机械的动力源。发电机的主要作用是把机械能转化为电能。本报告中所提到电机指电动机，以电磁场作为媒介将电能转化为机械能，实现旋转或直线运动，作为用电器或各种机械的动力源。

图表：直流电机结构示意图



图表：典型无刷直流电动机的工作原理



●资料来源：金属加工官方公众号，中信建投

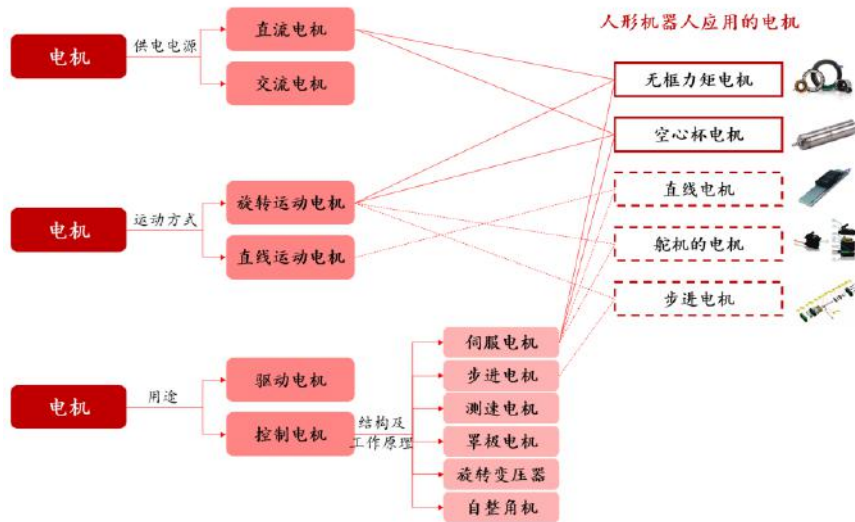
●资料来源：化工仪器网，中信建投

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.1 电机行业概览

- 电机种类多样，可按照供电电源、电机运动方式、电机用途等不同方式进行分类。
- 根据功能与用途差异可将电机分为驱动电机与控制电机两大类。驱动电机主要实现机电能量转换，重点在于力能指标（效率和功率因数等）。控制电机是指在自动控制系统中作状态监测、信号处理或伺服驱动等用途的各种电机、电机组件及其系统，主要实现控制信号的变换与传递，实现对运动状态（如位置、速度、扭矩等）较为精确的控制，通常在自动控制系统中作执行元件或信号元件。伺服电机、步进电机便是典型的控制电机，前者控制精度相对更高。
- 人形机器人电机需要满足高效率、高动态和高功率密度的要求。①**高效率**：机器人通常由电池供电，需要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，因此低能耗和低摩擦损失很重要。②**高动态**：整个驱动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，电机还需要小巧，紧凑，轻巧。根据这些应用要求，我们判断人形机器人电机应以控制电机为主，尤其是对于运动控制更加精确的伺服电机有望得到更多应用。
- Tesla Bot主要应用两类特殊的伺服电机，即无框力矩电机和空心杯电机。参考Tesla Bot方案，其躯体共有40个执行器，每个执行器都会搭配一个电机：①Tesla Bot躯干+腿部的旋转执行器和线性执行器均使用无框力矩电机；这些部分应用的电机对扭矩、牵引力要求较高，我们判断可满足要求的电机类型还包括直线电机、步进电机。②Tesla Bot手部执行器使用的是空心杯电机，我们判断可满足要求的电机还包括舵机电机等。

图表：电机按结构与工作原理分类



●资料来源：《电机学》，中信建投；注：红实线框内的电机为目前Tesla Bot现有方案中应用的电机类型，红虚线框内表示未来人形机器人中存在应用可能性的电机类型

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

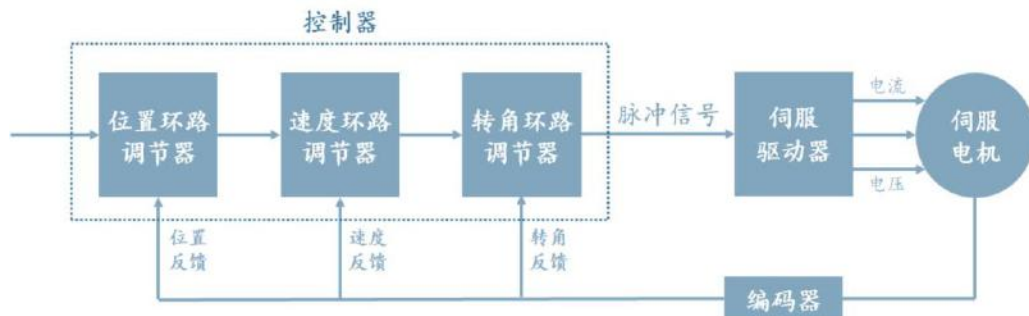
2.2.2 伺服电机：伺服系统中控制机械元件运转的发动机

- 伺服系统可以实现精确、快速、稳定的位置控制、速度控制和转矩控制。伺服系统是以物体的位移、角度、速度为控制量组成的能够动态跟踪目标位置变化的电机系统，可实现精确、快速、稳定的位置控制、速度控制和转矩控制，主要应用于对定位精度和运转速度要求较高的自动化控制领域。伺服系统主要由伺服电机、驱动器、编码器组成。其中，伺服电机是伺服系统的执行元件，伺服驱动器是伺服电机的一种控制器，一般通过位置、速度和力矩三种方式对伺服电机进行控制，以实现高精度的传动系统定位；编码器将信号或数据进行编制，转换为可用于通讯、传输和存储的信号形式。
- 伺服电机是伺服系统中控制机械元件运转的发动机。伺服电机的作用是把接收的电信号转换为电动机转轴的角位移或角速度，以驱动控制对象。伺服电机在伺服系统中用作执行元件，具有机电时间常数小、过载能力强、线性度高等特性。

图表：伺服系统实物图例



图表：伺服系统由伺服驱动器、伺服电机与编码器组成



2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

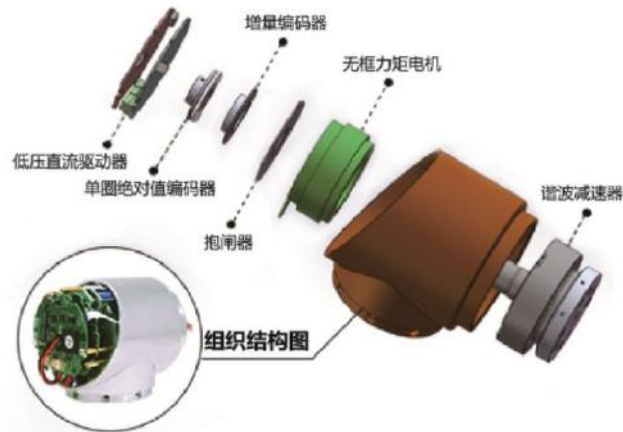
2.2.2.1 无框力矩电机：结构紧凑、高效率的伺服电机

- 无框力矩电机，全称为永磁无刷无框力矩电机，是一种特殊的伺服电机。和传统伺服电机相比，无框力矩电机没有轴、轴承、外壳或端盖。根据Kollmorgen官网，无框电机只有转子和定子两个部件，其中转子通常是内部部件，定子是外部部件。
- 无框力矩电机具有高紧凑度、高效率&转速、低噪音、高稳定性&低维护等特点：
①高紧凑度：无框力矩电机没有轴、轴承、外壳或端盖，体积较小、整体结构紧凑。
②高效率 and 转速：无框力矩电机可以直接嵌入机械的内部结构中能够降低磨损、提高效率 and 转速。
③低噪音：由于无框力矩电机嵌入在机械的内部结构中，噪音相比一般有外壳的电机更小。
④高稳定性&低维护性：由于无框力矩电机减少了大量零件，结构简单、更易稳定工作。

图表：无框力矩电机示意图



图表：无框力矩电机在机器人关节中的应用

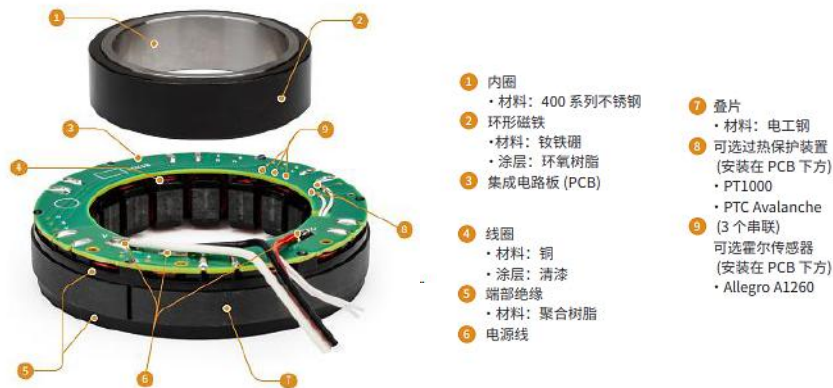


2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.2.1 无框力矩电机：结构紧凑、高效率的伺服电机

- 无框力矩电机由独立的转子和定子部件组成，可以和安全制动器、编码器构成一个无框力矩电机模组。无框力矩电动机是一种为了某些特殊用途而设计的永磁式直流伺服电机，以Kollmorgen TBM2G系列无框电机为例，电动机的转子内圈是不锈钢做成的环，环外嵌入环形磁铁作为电动机的主磁场；电动机的定子是由导磁材料的冲片叠压成电枢，并压放在非导磁的支架上。在转子的槽中嵌入线圈，特殊形状的槽楔一端构成换向器片，另一端与线圈的尾端焊接在一起，并与转子绝缘，然后以聚合树脂将整个转子灌封成为一个整体。无框力矩电机模组包括定转子、安全制动器、编码器等部件。

图表：Kollmorgen TBM2G系列无框电机示意图



图表：TQ Robodrive无框电机模组结构

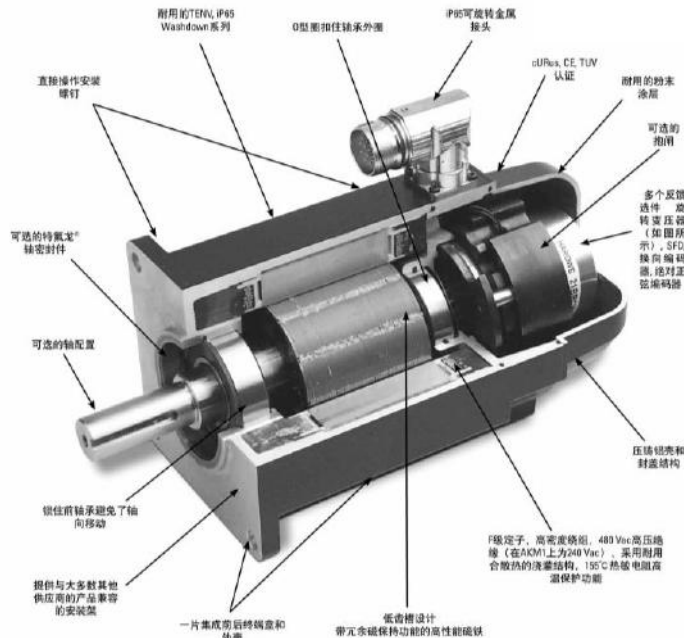


2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.2.1 无框力矩电机：结构紧凑、高效率的伺服电机

- 无框力矩电动机的基本原理类似于普通伺服电动机，但在结构、性能和应用场景等方面具有较大差异。
- ①电机结构：**普通伺服电动机为了减小电动机的转动惯量，大都做成细长圆柱形。而无框力矩电动机为了能在相同体积和电枢电压下产生比较大的转矩及较低的转速，一般做成扁平状，电枢长度与直径比很小，为0.2左右，某些特殊场合可达0.05；考虑结构的合理性，其定转子一般做成永磁多极的；为了减少转矩和转速的脉动，一般选取较多的电枢槽数、换向片数和串联导体数。
- ②性能：**普通伺服电机转子转速受输入信号控制，并能快速反应，在自动控制系统中，用作执行元件，且具有机电时间常数小、线性度高、始动电压等特性；无框力矩电机低速甚至堵转（即转子无法转动）时仍能持续运转，不会造成电动机的损坏。
- ③应用场景：**伺服电机主要应用于需要高精度控制的场合，如数控机床、印刷机、自动化生产线等；无框力矩电机主要应用于需要输出大扭矩的场合，如风力发电、电动汽车、机器人等。

图表：普通伺服电机结构示意图



●资料来源：拓达自动化官网，中信建投

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.2.1 无框力矩电机：结构紧凑、高效率的伺服电机

- 外资无框力矩电机厂商占据主要市场份额，国内厂商发展快速。国外无框力矩电机代表性厂商有TQ Robodrive、Kollmorgen、Allied motion、Aerotech、TMT ECH、Axsys、ETEL、Parker、Muirhead Aerospace、Gomtec、Nidec等，用于协作机器人关节上的无框力矩电机厂商主要有Kollmorgen和TQ Robodrive。国内涌现绿的谐波旗下的开璇智能、步科股份、昊志机电等研发、制造和生产无框力矩电机的科技型企业，但产品的转矩密度、过载能力、转矩脉动和国外高端无框力矩电机相比具有一定差距。

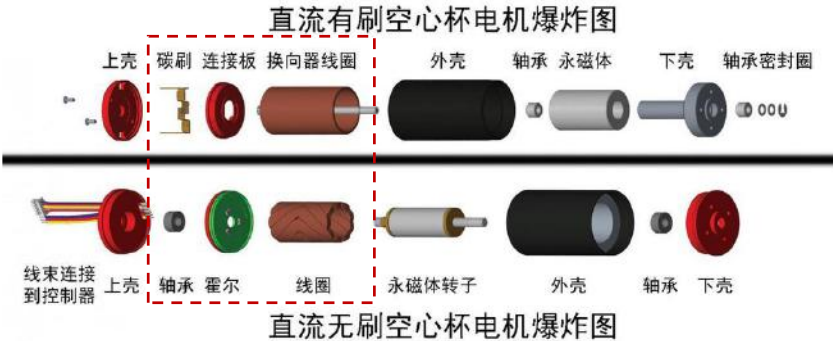
图表：国内外无框力矩电机厂商基本情况			
国家	公司名称	主要产品	无框力矩电机情况
美国	Kollmorgen	运动控制器、电机、驱动器、线性执行器、AGV车辆控制系统、减速机	转矩密度达到1.1Nm/kg-2.5Nm/kg，齿槽转矩及转矩脉动较低，主要是采用分数槽分布绕组的少极多槽的方案。
德国	TQ Robodrive	电机、减速机、线性致动器、编码器、电子控制、配件等	电机转矩密度达到3.2Nm/kg-3.6Nm/kg，与同类的无框分体式力矩电机（如Kollmorgen力矩电机）相比，损耗降低一半，质量也减轻一半。采用的是集中绕组的多极少槽的方案，同时模块化的定子结构有效提高绕组槽满率，采用环氧灌封提高电机散热能力，进而有效提高电机转矩密度。
日本	Nidec	精密小型马达、车载及家电/商用/工业用马达电机、机器装置、电子/光学零部件等	电机额定扭矩为0.15-4Nm，额定功率为75-670W，采用机器绕线，具有高可靠性，可绑定磁铁线，形成紧凑的，自支撑的线圈；采用缓蚀材料建造；在电机中使用钕磁铁，有助于为电机创造高扭矩。
中国	绿的谐波（开璇智能）	旋转执行器、数控转台、谐波减速模组、EtherCAT总线型伺服驱动器、无框力矩电机等	电机覆盖60mm到145mm多种框架尺寸，采用低齿槽转矩，保证低噪音平稳运行。转矩密度高，小体积实现大转矩输出；绝缘等级高，霍尔传感器提供反馈信号输出，通过欧盟CE和北美ETL认证。
中国	步科股份	工业人机界面、伺服系统、步进系统、可编程逻辑控制器、变频器等	电机额定扭矩0.45Nm-3.5Nm，外径范围包括52mm-132mm；采用多槽极（非普通的8极10极伺服电机的改版）齿槽定位力矩小；反馈可选配，提供高分辨率绝对值编码器及霍尔反馈；成本优势明显，助力国产协作机器人成本控制；提供定制化解决方案。
中国	昊志机电	高端主轴、转台、直线电机、数控系统、谐波减速器、伺服电机、驱动器、传感器等	公司开发的无框力矩电机，具有如下特点：（1）转矩波动≤1%，更利于机器人力矩控制；（2）3.5倍过载能力，使得机器人负载能力大大加强。
中国	禾川科技	交流伺服电机、步进电机、空心杯电机、无框电机等各类电机及相关传感器产品	有实现量产，但无框力矩电机产品收入占总收入比重较少

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.2.2 空心杯电机：功率体积比大、效率高、运行稳定的小型直流电机

- 空心杯电机是一种特殊结构的直流电机。空心杯电机，又称“直流无刷无齿槽电机”，是一种特殊结构的直流电机。和传统直流有刷电机相比，空心杯电机省去铁芯作为支撑结构，靠空心杯状的线圈绕组与连接板、主轴等共同组成转子。空心杯电机具有效率高、灵敏度高、运行稳定、控制性强等特点。与传统直流有刷电机相比，空心杯电机具有以下优势：①**节能、效率高**：空心杯电机的结构没有齿槽结构和铁芯，减少电机运行时磁阻力矩，从而降低输出转矩波动，消除铁芯涡流效应引起损耗，减少电机运行时的能量损耗。因此，空心杯电机效率可达到85%，高于传统直流电机的75%左右；②**重量小、功率体积比大**：空心杯电机没有铁芯，在同等条件下空心杯电机重量减轻1/3-1/2，体积减小1/3-1/2，因此功率体积比较大；③**灵敏度高**：空心杯电机机械时间常数较小，仅为28ms，甚至小于10ms，远低于一般铁芯的100ms，因此空心杯电机响应速度快，灵敏性高；④**运行稳定**：空心杯电机转速波动率一般可控制在2%以内，转动稳定，噪声较小。

图表：有刷空心杯电机和无刷空心杯电机结构



图表：传统直流电机与空心杯电机对比

电机类型	传统直流电机	空心杯电机
效率	一般在75%左右	效率可达85%以上
重量	同功率条件，较大	同功率条件，与同等功率的一般铁芯电机相比，空心杯电机重量减轻1/3~1/2，体积减小1/3~1/2
功率体积比	较小	较大的功率体积比，一般达30mW/cm ³
响应速度	铁芯电机机械时间常数一般在100ms以上	灵敏度高，响应速度快，机械时间常数小，一般在28ms以内，部分产品机械时间常数甚至小于10ms
转速	一般在500rpm以上	最高可以达到30000rpm
转速波动	转速波动较难控制	转速波动容易控制，一般可控制在2%以内，噪声小

34 ● 资料来源：天孚电机科技官网，中信建投

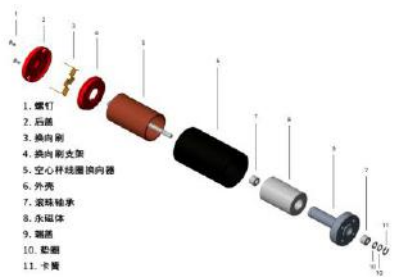

● 资料来源：《新型空心杯电机线圈精准机设计》，鸣志电器官网，中信建投

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.2.2 空心杯电机：功率体积比大、效率高、运行稳定的小型直流电机

- 空心杯电机可以按照换向方式分为空心杯有刷电机和空心杯无刷电机，部分需要搭配驱动器使用。空心杯有刷电机采用机械电刷换向，而无刷空心杯电机采用霍尔传感器探测转子磁场信号，将机械换向变成电子信号换向，进一步简化空心杯电机物理结构。其中，无刷空心杯电机和部分有刷空心杯电机需要搭配驱动器使用
- 空心杯电机关键零件是空心杯线圈。空心杯电机的零件包括空心杯线圈、外壳、轴承、下壳、上壳、永磁体等，空心杯有刷、无刷电机的零件有所区别。①空心杯有刷电机：关键零件包括带有换向器的空心杯线圈、换向刷和换向刷支架。②空心杯无刷电机：关键零件包括空心杯线圈、永磁体转子和霍尔传感器PCB。其中，霍尔传感器是一种电子换向器，能将变化的磁场转化为输出电压的变化，用于检测电机的电枢电流，起到控制无刷电机速度的作用。

图表：空心杯有刷、无刷电机结构对比

电机类型	空心杯有刷电机	空心杯无刷电机
换向方式	机械电刷换向	电子换向
主要结构	一般由机壳、软磁材料内定子、永磁体外定子、空心杯型转子电枢组成。	一般由机壳，软磁材料、绝缘材料和空心杯电枢构成的定子及永磁钢转子等组成。
图例		

35 ● 资料来源：《新型空心杯电机线圈精准机设计》，《永磁无刷空心杯电机及控制器研究》，深圳正元电机官网，中信建投

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.2.2 空心杯电机：功率体积比大、效率高、运行稳定的小型直流电机

- **瑞士、德国和美国等外资龙头企业占据主要市场份额。**根据《空心杯电机定制化应用研究》，外资厂商占据空心杯电机绝大多数市场份额，瑞士MAXON和德国FAULHABER共同占据全球空心杯电机主要份额。外资空心杯电机制造技术有着先进的技术和竞争优势，自动化程度相对较高，同时西方发达国家如德国、瑞士以及日本等国对其较为重视，保证了其产品有着较高的市场占有率，形成一定程度的垄断。
- **内资厂商和外资企业相比仍有差距。**根据《永磁无刷空心杯电机及控制器研究》，国内民用工业机电设备厂商，为了提高产品的寿命与质量，常常采购外资品牌电机。近年来，内资厂商技术得到较快的发展，鸣志电器、鼎智科技等企业不但在国内市场替代进口产品，而且开始逐步参与国际市场的竞争，但对比外资知名企业，内资厂商在应用场景、高精尖产品性能等方面竞争力仍显不足。

图表：海外空心杯电机厂商基本情况

国家	公司名称	主要产品	空心杯电机情况	空心杯电机应用场景	营收情况
瑞士	MAXON	机电驱动系统、驱动装置、直流电机、AC电机、齿轮箱、传感器、控制器、配件等	公司产品包括有刷、无刷空心杯电机，直径从6mm到65mm，拥有中高端和经济型系列	医疗技术、航空航天、工业自动化和机器人、移动解决方案等	2021年全球总营收为6.26亿欧元；2016年中国境内营收为2亿人民币左右
德国	FAULHABER	电机、减速箱、线性致动器、编码器、电子控制、配件等	公司包括有刷、无刷空心杯电机，直径从6mm到38mm，专注高端应用的品牌	航天航空、工业和自动化、医疗、运动控制器、计量和测试等	2016年全球总营收为2亿欧元；中国境内营收为1亿人民币左右。
美国	Portescap	无刷直流电机、有刷直流电机、永磁步进电机、直线步进电机、配件等	公司包括有刷、无刷空心杯电机，直径从10mm到24mm	航空航天国防、自动化、工业电动工具、医疗输液系统、医疗设备、机器人、手术电动工具等	
中国	鸣志电器	控制电机及其驱动系统产品、贸易代理业务、LED控制与驱动产品、设备状态管理系统产品等	公司空心杯电机包括EC系列直流无刷无齿槽电机和DCU系列直流有刷空心杯电机两大类，提供Ø8mm~Ø24mm多种外径及机身长度规格型号，主要用于医疗等场景	医疗、工业机器人、自动化等	2022年总营收为29.59亿元，控制电机及其驱动系统产品（包含空心杯电机）营收为23.2亿元，占总营收比重78.43%。
中国	鼎智科技	线性执行器、混合式步进电机、直流电机、音圈电机等	公司产品包括直流无槽电机，提供Ø16mm~Ø42mm等6个机座号	实验室自动化、工程自动化、机器人、生物医学等	2022年总营收为3.18亿元；直流电机（包含空心杯电机）营收为0.46亿元，占总营收比重14.47%。
中国	拓邦股份	工具、家电、新能源等	公司包括有刷、无刷空心杯电机，提供Ø16mm~Ø40mm多种外径及机身长度规格型号	电动窗帘、工业机器人、工业夹具、电子换挡系统、医疗泵、口腔医疗设备、自动化设备等	2022年实现营收88.75亿元。
中国	禾川科技	伺服电机、步进电机、空心杯电机、无框电机等各类电机及相关传感器产品	已经实现量产，但是销量较少	半导体设备	2022年实现营收9.44亿元。

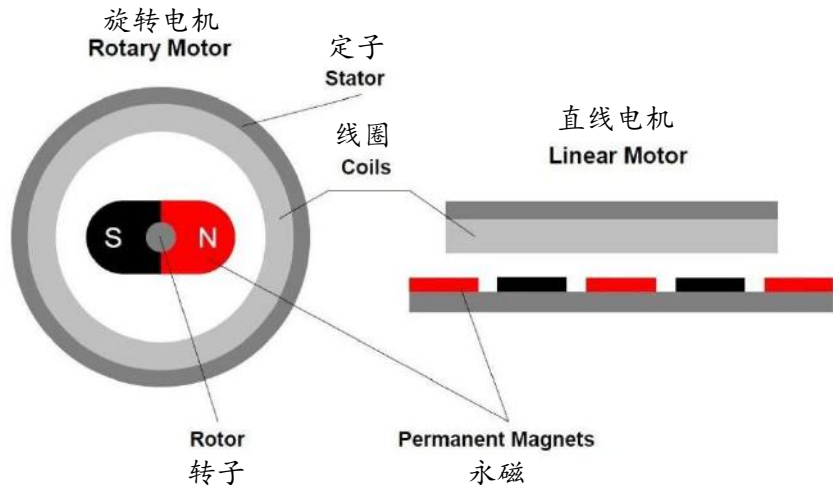
资料来源：MAXON官网，FAULHABER官网，Portescap官网，鸣志电器官网，鼎智科技官网，拓邦股份官网，中信建投

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

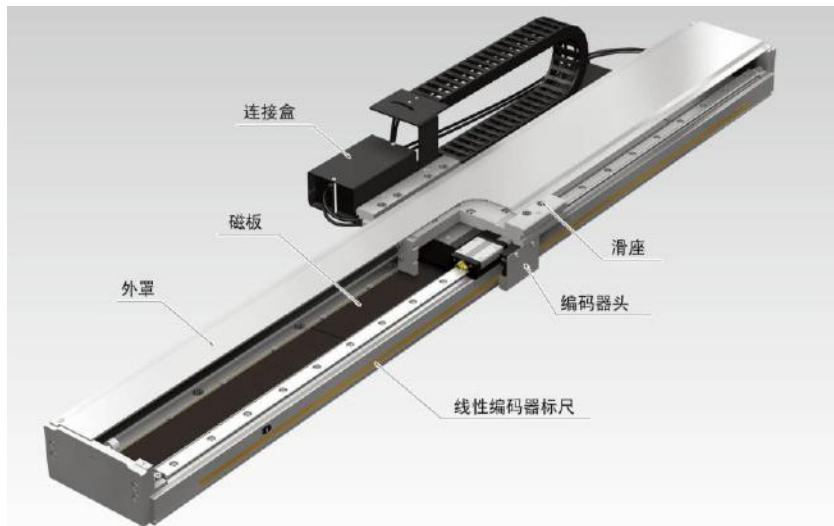
2.2.2.3 直线电机：精度更高、响应速度更快的线性执行装置

- 直线电机是一种将电能直接转换成直线运动机械能，而不需要中间转换机械的传动装置，通常也称为线性电机，线性马达。
- 直线电机的结构主要包括定子（初级）、动子（次级）和直线运动的支撑部三部分。

图表：直线电机可视为从径向切割旋转电机并将其平放



图表：直线电机示意图



• 资料来源：Linear Motor，中信建投

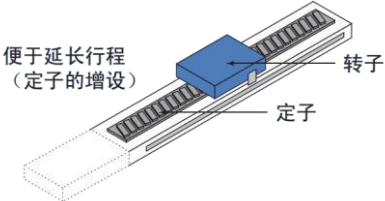
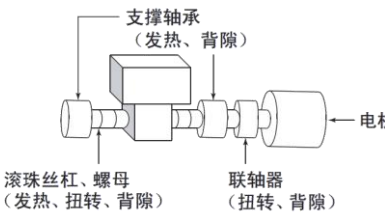
• 资料来源：THK官网，中信建投

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.2.3 直线电机：精度更高、响应速度更快的线性执行装置

- 与丝杠相比较，直线电机直接驱动的特点减小了机械上的误差，加速度更快，行程更大，噪音更小，后期维护保养更容易；但同时具有成本较高、耗电量大、发热量大等缺点。
- 直线电机适用于需要短时间、短距离内提供巨大的直线运动能的装置中。

图表：直线电机方案与电机+丝杠方案对比

	示意图	速度	定位精度	行程	缺点	适用场景
直线电机方案		直接驱动负载，因此无速度限制因素	可通过传感器分辨率进行超微粒定位	可通过连接定子实现长行程	耗电量大，发热量大，不能自锁紧	需要短时间、短距离内提供巨大的直线运动能的装置中
电机+丝杠方案		低于直线电机，高速时易共振	在扭转、背隙的作用下，目标位置与实际位置易产生误差	需使用与行程一致的滚珠丝杠	重复定位精度等指标弱于直线电机	较为普遍，成本较低

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

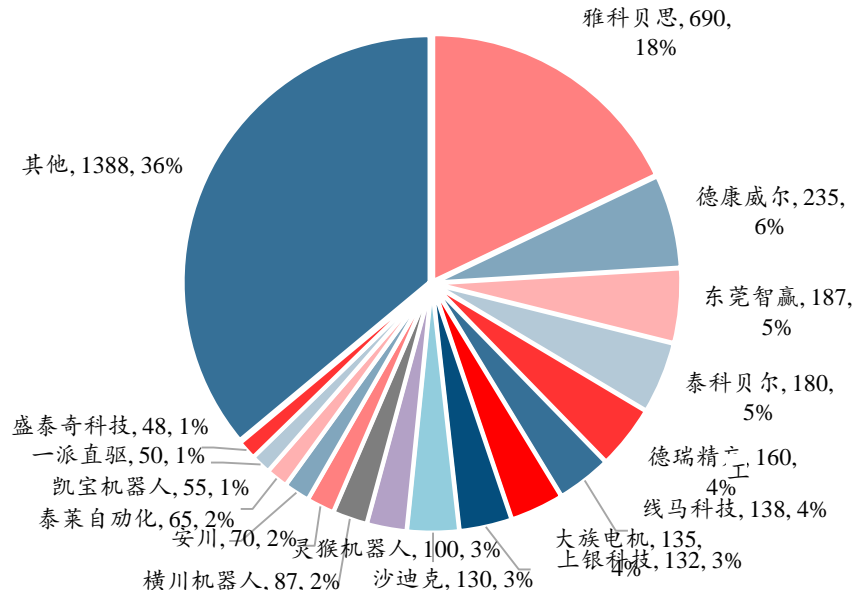
2.2.2.3 直线电机：精度更高、响应速度更快的线性执行装置

- 2022年，在直线电机行业中，外资公司雅科贝思市占率最高；内资公司中，德瑞精工（盛世智能全资子公司）、线马科技（深科达全资子公司）、大族电机（大族激光全资子公司）、灵猴机器人（博众精工控股子公司）等上市公司持股公司2022年市占率分别为4%、4%、4%、3%。

图表：直线电机领域相关公司

公司简称	公司简介	经营情况
大族电机	大族激光全资子公司，产品涉及直线电机、力矩电机，振镜，驱动器，自动化设备等	大族电机2022年营收3.8亿元，净利润1.75亿元
灵猴机器人	博众精工控股（99.7%）子公司，产品涉及直驱电机、机器视觉、工业机器人、移动机器人系列	灵猴机器人2022年营收2.45亿元
线马科技	深科达控股（54.4%）子公司，产品涉及直线电机、直线电机模组、音圈电机、力矩电机和选配件	线马科技2022年营收1.25亿元，净利润0.15亿元
德瑞精工	盛世智能全资子公司，产品涉及标准直线电机产品及标准直线电机模组产品	德瑞精工2022年营收1.63亿元，净利润0.15亿元

图表：中国大陆直线电机市占率（2022年，百万人民币）

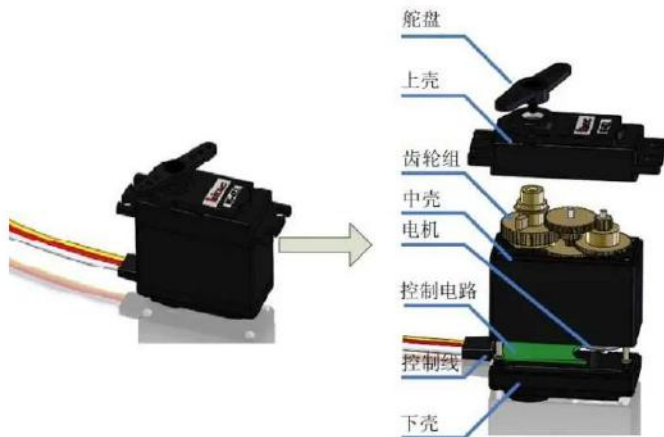


2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

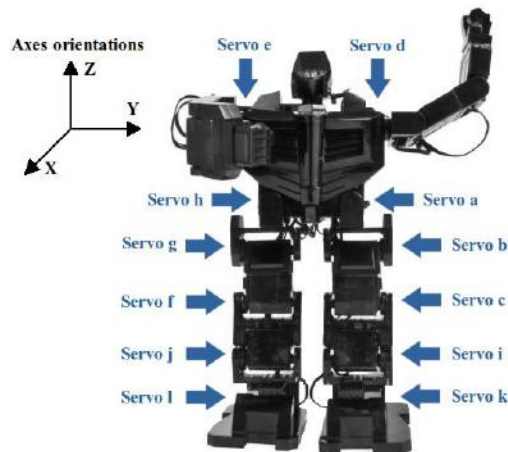
2.2.2.4 舵机的电机：伺服电机是舵机中的核心部件

- 舵机的本质是一套小型的闭环伺服系统，伺服电机是舵机中的核心部件。舵机是机器人系统中常见的执行机构，在足机器人、人形机器人以及低成本机械臂中都可得到应用。舵机接收目标信号，通过驱动内部的直流电机，经过减速齿轮组，调整输出轴的角度。该输出角度通过电位器采样，再由反馈控制系统调整其输出角度与目标值匹配。整个过程构成一个闭环反馈控制系统。
- 舵机适合应用于控制性能要求不高、体积要求较小的场合。舵机的优势在于结构紧凑、使用方便、价格便宜，但其位置精度、负载能力及维持位置的能力有限，因此适合对控制性能要求不高、体积要求小的场合。

图表：舵机结构示意图



图表：舵机在机器人系统中广泛应用



2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.2.4 舵机的电机：伺服电机是舵机中的核心部件

图表：舵机领域主要上市公司

上市公司简称	公司简介	舵机产品品类	舵机业务现状
兆威机电	公司成立于2001年，2020年于深交所主板上市（003021.SZ），是一家专业从事微型传动系统、精密注塑件和精密模具的研发、生产与销售的高新技术企业，主要为通信设备、智能手机、汽车电子、智能家居、服务机器人、个人护理、医疗器械等诸多领域的客户提供定制化微型传动系统和精密注塑件。	机器人关节无刷舵机、航模舵机等	可以根据客户需求定制生产机器人关节无刷舵机、航模舵机等，2022年面向机器人的舵机关键技术开发项目取得240万元政府补助。

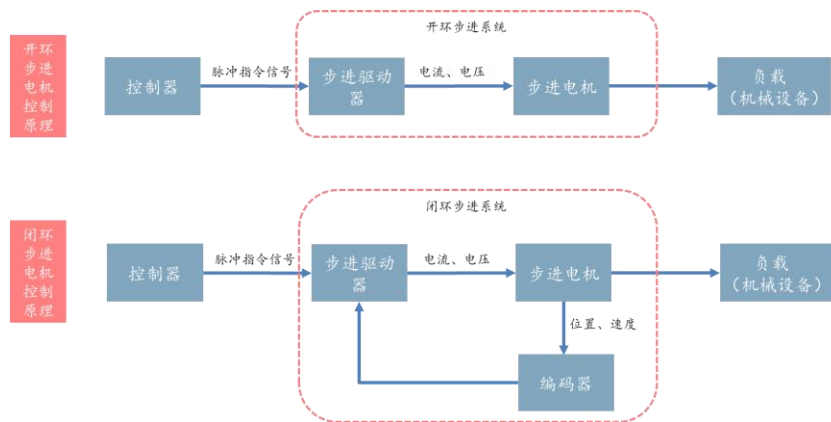
●资料来源：Wind，兆威机电公告，中信建投

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

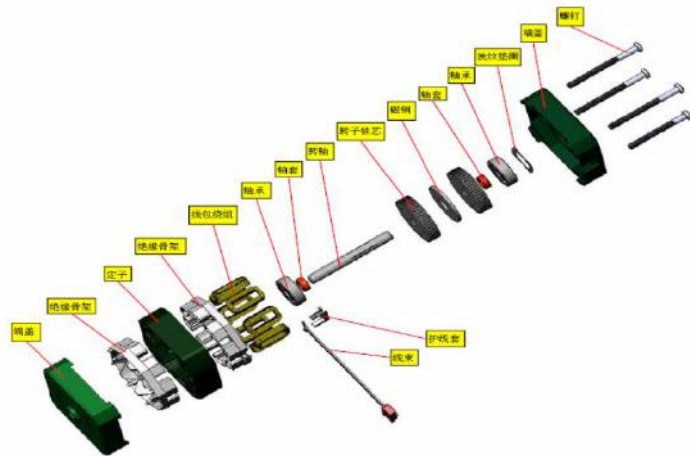
2.2.3 步进电机：高性价比的电机选择

- **步进电机和步进驱动共同构成步进系统。**步进系统可以根据输入的脉冲信号，每改变一次励磁状态就前进一定的角度，励磁状态不变时则保持一定位置静止。由此，步进系统可以将输入的脉冲信号转化为对应的角位移进行输出。通过控制输入脉冲的数量可以准确确定输出的角位移以实现定位的功能；而通过控制输入脉冲的频率可以准确控制输出的角速度而达调速的目的。根据是否设置位置检测反馈装置，步进系统可以分为开环步进系统和闭环步进系统。
- **步进电机通常由法兰、轴承、定子、转子、线圈等构成。**步进电机的内部结构包括定子、转子、定转子构成，定子上安装有多个磁铁，转子上安装有多个传感器，定转子上安装有多个磁铁，定子、转子和定转子之间有一个空隙。步进电机驱动通过控制定子上的磁铁在定子、转子、定转子之间产生磁力，从而使转子转动，进而产生电机的转动，从而实现控制电机的目的。电机还包括传感器，用于检测定子和转子之间的磁场，使控制系统了解定子和转子之间的距离；还会装有控制电路，根据外部输入的信号，通过电路控制定子上的磁铁，实现控制电机的目的。

图表：步进系统技术原理



图表：步进电机通常由法兰、轴承、定子、转子、线圈等构成



2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.3 步进电机：高性价比的电机选择

- 步进系统性能一般弱于伺服系统。伺服系统比步进系统精度更高，两相混合式步进电机步距角一般为 1.8° 、 0.9° ，伺服电机的控制精度由编码器保证，对于带17位编码器的电机而言，驱动器每接收 $2^{17}=131072$ 个脉冲电机转一圈，其脉冲当量为 $360^{\circ}/131072=0.0027466^{\circ}$ ，是步距角为 1.8° 的步进电机的脉冲当量的1/655；**伺服系统响应更快**，步进系统从静止加速到工作转速需要200~400毫秒，伺服系统仅需几毫秒；**伺服系统可靠性更强**，步进多为开环控制，易出现丢步、过冲现象，伺服系统为闭环控制，编码器会反馈信号内部构成位置环和速度环，实时调整；**伺服系统具备过载能力**，步进系统一般不具有过载能力，伺服系统具有较强的过载能力，可用于克服惯性负载在启动瞬间的惯性力矩。
- 步进系统成本较伺服更低。根据雷赛智能招股说明书，2017-2019年，公司销售的步进系统整套均价平均值为293.70元/台，伺服系统整套均价平均值为1134.19元/台，步进系统整套价格平均值为伺服系统的25.90%。
- 步进电机在成本敏感、精度要求一般的领域得到较多应用。由于步进电机具有结构简单、可靠性高和成本低的特点，所以步进电机广泛应用在生产实践的成本敏感领域；特别是在定位精度要求不是很高的同步带传动、平带输送机等场合经常使用步进电机。

图表：步进系统成本更低（单位：元/台）

	2017	2018	2019	平均值
步进驱动器均价	174.71	168.62	168.4	170.58
步进电机均价	126.72	122.83	119.83	123.13
步进系统整套均价	301.43	291.45	288.23	293.70
伺服驱动均价	503.03	550.16	582.12	545.10
伺服电机均价	536.71	597.29	633.27	589.09
伺服系统整套均价	1039.74	1147.45	1215.39	1134.19

2.2 电机：为人形机器人提供驱动力

2.2.3 步进电机：高性价比的电机选择

图表：步进电机行业主要国内参与者介绍

国家	公司	公司主要产品	步进电机品类	步进电机业务现状
中国	雷赛智能	伺服电机驱动系统、步进电机驱动系统、运动控制卡、运动控制PLC等系列。	公司产品包括数字步进电机、闭环步进电机、一体式步进电机等，主要应用于雕刻机、电子加工设备、医疗、电池生产设备、自动生产线设备等领域。	2022年总营收为13.38亿元，步进系统类营收为6.41亿元，占总营收比重47.89%。
中国	鸣志电器	控制电机及其驱动系统产品、贸易代理业务、LED控制与驱动产品、设备状态管理系统等。	公司产品包括Φ14mm~110mmHB型混合式步进电机，Φ3.3mm~55mmPM型永磁式步进电机，主要应用于办公自动化以及医疗设备、半导体制造设备、机器人等工业设备领域。	2022年总营收为29.59亿元，控制电机及其驱动系统产品（包含步进电机）营收为23.2亿元，占总营收比重78.43%。

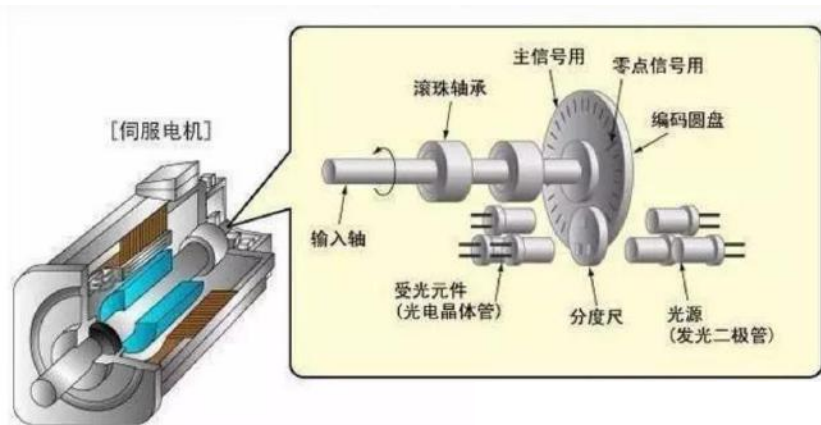
●资料来源：Wind，各公司官网，各公司公告，各公司投资者问答，中信建投

2.3 编码器：实现电机位置&速度反馈，助力精准运动控制

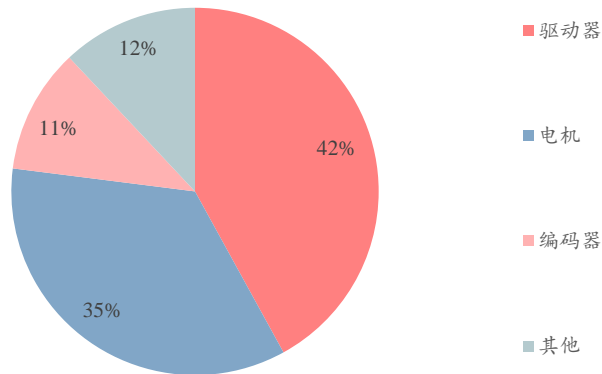
2.3.1 编码器基本介绍与行业情况

- 编码器主要用来测量磁极位置和电机转角及转速。编码器是一种可以将角位移或直线位移转换成电信号，并将电信号进行解析、编制和转换为可用以通讯、传输和存储的信号形式的设备。编码器通常安装在闭环控制的电机系统上用以测量磁极位置和电机转角及转速。
- 编码器分辨率对电机系统的控制精度具有重要影响。编码器在电机系统中成本占比并不高，以伺服系统为例，编码器占其成本中占比约为11%。但是，编码器对电机系统性能起决定性作用，对电机的定位精度、速度稳定性、功率损耗和安全性都有重要影响。

图表：编码器是安装在伺服电机上的一种传感器



图表：编码器在伺服系统成本占比约11%



2.3 编码器：实现电机位置&速度反馈，助力精准运动控制

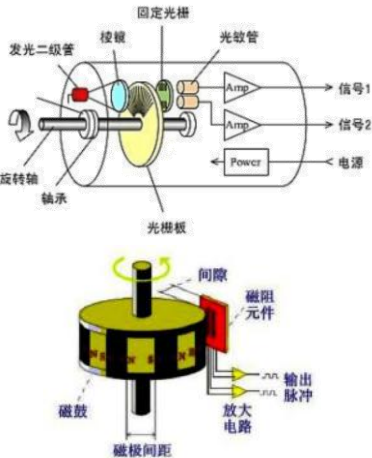
2.3.2 编码器基本介绍与行业情况

- 根据工作原理不同，可分为光学编码器、磁性编码器、霍尔式编码器和电容式编码器。四者的主要区别在成本、精度和环境要求等方面。
①**光学编码器**由光源、码盘和光电敏感元件所组成，是一种利用高精度光学原理，将光线与光栅交错投射，通过对感光元件读取信号确定物体位置的传感器。光学编码器具有高分辨率、高精度、动态响应速度快、使用寿命长的特点，但成本也较高。
②**磁性编码器**由磁阻传感器、磁鼓和信号处理电路组成，应用了电磁感应的原理，将磁鼓刻录成等间距小磁极，旋转时产生周期分布的漏磁场，磁传感器探头把变化的磁场信号加以处理转化成计算机可识别的信号。磁编码器由于结构较光编码器更简单，因此成本低，耐用性好，具有高度稳定工作性能、抗干扰能力强、可靠性高等特点，但精度一般不如光编。

图表：四种编码器性能对比

参数	光电编码器	磁性编码器	霍尔式编码器	电容式编码器
结构	复杂	较复杂	简单	灵活
体积	较小	较小	小	小
精度	高	高	较高	高
成本	较高	较低	低	较低
环境要求	高	低	低	低
抗干扰能量	弱	强	一般	高

图表：光学编码器、磁性编码器工作原理



光学编码器

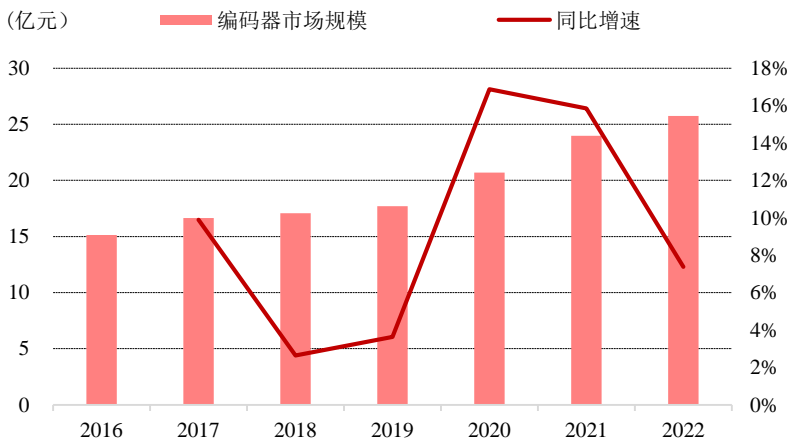
磁性编码器

2.3 编码器：实现电机位置&速度反馈，助力精准运动控制

2.3.3 国内编码器厂商逐步崛起

- 国内编码器市场稳步增长。2022年编码器市场规模为25.75亿元，同比增长7.38%，呈现小幅度增长，核心原因是整体OEM行业低迷。
- 外资编码器厂商占据主要份额，但是国内厂商逐步崛起。全球编码器的头部厂商分别包括多摩川、海德汉等，前两大厂商合计占有国内约42%的市场份额；国内的头部厂商有奥普光电（禹衡光学）、汇川技术（长春汇通）、宜科等，2022年市场份额分别为7.70%、4.20%、4.00%。

图表：2016-2022年中国编码器市场规模



图表：2022年国内编码器市场份额

公司	2022年国内市场份额	公司	2022年国内市场份额
多摩川	27.60%	宜科	4.00%
海德汉	14.30%	倍加福	3.50%
奥普光电 (禹衡光学)	7.70%	库伯勒	3.30%
堡盟电子	5.70%	欧姆龙	2.90%
西克	4.80%	光洋电子	2.40%
汇川技术 (长春汇通)	4.20%	其他	15.6%
内密控	4.00%		

2.4 减速机：实现动力传动的重要部件

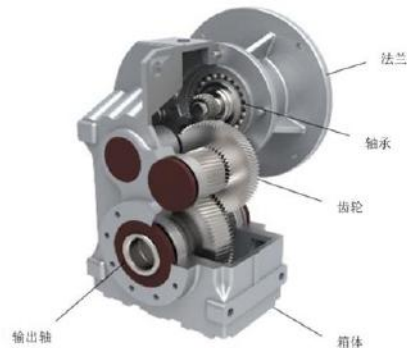
2.4.1 减速机是工业动力传动不可缺少的重要基础部件之一

- **减速机是原动机和工作机之间的独立的闭式传动装置，起到匹配转速和传递扭矩的作用。**减速机是一种相对精密的传动装置，其主要针对的减速对象是电机，在原动机与工作机之间起到匹配转速和传递扭矩的作用。减速机的工作原理是将原动机提供到输入轴的动力，通过减速机的输入轴上齿数少的齿轮啮合输出轴上的大齿轮传动到输出轴上，从而达到降低转速、增大扭矩的作用。
- **减速机通常由齿轮、箱体、轴承、法兰、输出轴等主要部件组成。**齿轮是轮缘上有齿、能连续啮合传递运动和动力的机械元件；轴承是减速机中支撑相对旋转轴的部件；箱体指减速机的基座；法兰是减速机中的重要连接部件；输出轴是减速机向工作机输出动力的轴。
- **减速机是工业动力传动不可缺少的重要基础部件之一。**绝大多数工作机负载大、转速低，不适宜用原动机直接驱动，需通过减速机来降低转速、增加扭矩，因此绝大多数的工作机均需要配用减速机。作为工业动力传动不可缺少的重要基础部件之一，减速机广泛应用于环保、建筑、电力、化工、食品、物流、塑料、橡胶、矿山、冶金、石油、水泥、船舶、水利等行业。

图表：减速机与原动机、工作机关系示意图



图表：减速机各主要部件示意图



2.4 减速机：实现动力传动的重要部件

2.4.2 减速机在人形机器人执行系统中起到匹配转速和传递扭矩的作用

- 可能应用于人形机器人领域的减速机主要包括谐波减速机、精密行星减速机、RV减速机、蜗轮蜗杆减速机等。
- 谐波减速机具有体积小、传动比高、精密度高等特点。谐波减速器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。谐波减速器可以在密闭空间内传递运动，运动精度高，质量和体积小，转动惯量小，多级谐波齿轮具有较大传动比；但是工作时柔轮每转一次就会产生椭圆变形两次，容易引起材料疲劳，并在工作时产生一定的传动误差。
- 精密行星减速机结构较为简单，传动效率较高。精密行星减速机主要由行星轮、太阳轮和内齿圈组成，传动比通常都在10以内，且减速级数一般不会超过3级。精密行星减速机运行过程中一个太阳轮有3个行星轮绕转，因此体积小、质量较轻，相较于其他减速机启动更加平稳，且刚性、精度和扭矩高。
- RV减速机在工业机器人领域应用广泛。RV减速机主要包括两级传动装置，分别为渐开线行星齿轮传动和摆线针轮行星传动。渐开线行星齿轮传动机构中包括行星直齿轮、偏心轴和中心轮，摆线针轮行星传动机构中包括摆线轮、偏心轴、针齿和行星架。相比于传统的摆线针轮行星传动，RV减速机的传动比范围更大、传动效率更高；RV减速机低速级摆线轮结构为180°对称分布，使得摆线轮的结构受力均匀、啮合次数增加，提高了减速机的传动平稳性和承载能力；RV减速机采用两端支撑输出结构，相比普通摆线减速机，刚性和耐过载冲击性能得到大幅度提升，传动精度与传动误差得到显著优化。

图表：谐波、行星、RV精密减速机对比

具体类别	谐波减速机	精密行星减速机	RV减速机
图示			
技术特点	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	传动结构主要由行星轮、太阳轮、内齿圈三部分组成的精密减速器，其结构简单并且传动效率高	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，组成零部件较多
性能特点	体积小、传动比高、精密度高	体积小、质量较轻，相较于其他减速机启动更加平稳，且刚性、精度和扭矩高	大体积、高负载能力和高刚度
工业机器人应用场景	机器人末端关节，例如小臂、腕部等，小型化应用	直角坐标机器人等	多关节机器人的机座、大臂、肩部等重负载关节
下游领域	工业及服务机器人、半导体、机床、医疗器械等	数控机床、工业机器人、服务机器人、机械手、食品机械、包装机械；激光切割机、木工雕刻机、印刷机械等其他自动化设备	工业机器人、工作母机、变位机、医疗设备等
价格区间	1000-5000元/台	200-3000元/台	4000-8000元/台

● 资料来源：绿的谐波招股说明书，中大力德招股说明书，京东工业品，绿的谐波官网，纳博特斯克官网，中信建投

2.4 减速机：实现动力传动的重要部件

2.4.2 减速机在人形机器人执行系统中起到匹配转速和传递扭矩的作用

- **蜗轮蜗杆减速机**可以传递两个交错轴之间的运动和动力，并实现减速和增加输出转矩的效果。蜗轮蜗杆减速机的主要功能是通过原动机（例如电动机）驱动蜗杆旋转，蜗杆上的螺纹与蜗轮的齿轮啮合，从而驱动蜗轮使原动机提供的高速运动转换为较低速度但较大转矩的输出。蜗轮蜗杆减速机基本结构包括箱体、蜗轮蜗杆、轴承与轴组合。箱体是减速机的基座，用于支承和固定轴系部件，确保传动配件的正确相对位置，并承受载荷；蜗轮蜗杆的主要作用是传递两个交错轴之间的运动和动力；而轴承与轴的组合主要用于动力传递、运转和提高效率。
- **蜗轮蜗杆减速机的优点包括：**①机械结构紧凑、体积外形轻巧、小型高效；②热交换性能好、散热快；③安装简易、灵活轻捷、性能优越、易于维护检修；④运行平稳、噪音小、经久耐用；⑤使用性强、安全可靠；**其缺点包括：**①传动效率低；②长时间工作磨损严重。
- **蜗轮蜗杆传动可以应用到人形机器人灵巧手部位。**电机提供的驱动力经过蜗轮蜗杆的机械传动，拉动电机和手指之间的弹簧或绳驱来驱动手指产生动作，各个手指动作相互独立，具有多种的抓取构形。德国Vincent Systems公司研发的Vincent Hand、英国Touch Bionics公司研发的i-limb ultra Hand以及现有Tesla Bot的灵巧手设计方案中均采用了蜗轮蜗杆传动。

图表：蜗轮蜗杆减速机各主要部件示意图



图表：机械手使用蜗轮蜗杆传动的典型案例



2.4 减速机：实现动力传动的重要部件

图表：减速机领域主要上市公司

上市公司简称	公司简介	减速机品类	减速机业务现状
绿的谐波	成立于2011年1月，公司是一家专业从事精密传动装置研发、设计、生产和销售的高新技术企业，产品包括谐波减速器及精密零部件、机电一体化产品、智能化装备等。	谐波减速机	国内谐波减速器行业龙头企业，2022年谐波减速机产品实现收入4.16亿元
国茂股份	成立于2013年3月，公司主营产品为齿轮减速机和摆线针轮减速机，年产量超70万台，产品广泛应用于工程机械、智能物流与仓储、工业自动化、冶金、环保、新能源、食品轻工、港口机械、资源开采等通用机械行业各领域。	齿轮减速机、摆线针轮减速机、GNORD减速机、谐波减速机、蜗轮蜗杆减速机	公司规模在国内通用减速机制造企业中处于领先地位，2022年减速机业务实现收入24.40亿元
中大力德	成立于2006年8月，位于浙江省宁波市，2017年于深交所主板上市，主营业务为机械传动与控制应用领域关键零部件的研发、生产、销售和服务，产品包括精密减速器、传动行星减速器、各类小型及微型减速电机等。	精密行星减速机、RV减速机、谐波减速机、传动行星减速机等	2022年精密减速器业务实现收入2.03亿元
双环传动	成立于2005年8月，公司始终专注于机械传动齿轮的研发、设计、制造与销售，形成涵盖传统汽车、电动汽车、高铁轨道交通、非道路机械、摩托车及沙滩车、电动工具及工业机器人等多个领域门类齐全的产品结构。	非道路机械减速机、新能源汽车传动齿轮产品、RV减速机	2022年减速机业务实现收入3.82亿元
秦川机床	成立于1998年7月，秦川机床是中国机床工具行业龙头骨干，中国精密数控机床与复杂工具研发制造基地，工业机器人减速器研发制造基地，国家级高新技术企业和创新型试点企业，	RV减速机、谐波减速机（研发与试制中）	秦川机床机器人关节减速器占国产机器人关节减速器市场的20-25%
汉字集团（同川科技）	成立于2002年11月，子公司同川科技专注于工业机器人核心技术，旨在为工业自动化提供更加智能、可靠、高精度、高柔性、模块化的产品，助力工业生产制造转向自动化、柔性化、智能化。	谐波减速机	实现谐波减速器产品的批量生产及销售
丰立智能	成立于1995年4月，主要产品包括钢齿轮、精密减速器及零部件、精密机械件、粉末冶金制品以及气动工具等产品。	谐波减速机	2022年减速机业务实现收入0.98亿元

2.4 减速机：实现动力传动的重要部件

图表：减速机领域主要上市公司（续）

上市公司简称	公司简介	减速机品类	减速机业务现状
昊志机电	成立于2006年12月，公司是一家专业从事高精密电主轴及其零配件的研发设计、生产制造、销售与维修服务的环保型高新技术、创业板上市企业。	谐波减速器、RV减速机（研发中）	2022年转台、直线电机、减速器等功能部件实现收入1.13亿元
巨轮智能	成立于2001年12月，公司是目前国内规模较大、技术领先和首家上市的轮胎模具开发制造企业。公司主要研制开发、生产子午线轮胎模具、液压式轮胎硫化机、精密机床和工业机器人。	RV减速机	公司自主研发的RV减速器目前已进入新的产业化阶段，将继续扩大产能。
英洛华	成立于1997年8月，公司产品涉及磁性新材料、电机电气及高端设备，主营业务为稀土永磁材料与制品、电机系列、物流与消防智能装备。	行星减速器	公司具备行星减速器的量产能力，目前有小批量应用于工业机器人领域
宁波东力	成立于1998年6月，公司确立了以传动设备、供应链综合服务、门控系统、工程技术服务四大产业为主体，多元并进、专业化发展的经营格局。	齿轮减速机、蜗轮蜗杆减速机、行星减速机、起重机专用减速机、橡塑设备专用减速机	2022年子公司东力传动（主要业务减速电机、减速机）实现收入13.26亿元
通力科技	成立于2008年11月，公司是一家专业从事减速机的研发、生产、销售及服务的高新技术企业，自成立以来专注于减速机行业，作为我国工业传动系统领域具备明显竞争力的标杆企业之一。	通用减速机（包含蜗轮蜗杆减速机等）、工业齿轮箱	2022年通用减速机、工业齿轮箱业务分别实现收入3.32、1.25亿元
蓝黛科技	公司成立于1996年，公司主营业务是乘用车变速器齿轮及壳体等零部件、变速器总成、摩托车主副轴组件的研发、生产与销售，产品主要应用于主机市场。	新能源汽车减速机	目前公司减速器相关产品主要应用于新能源汽车
中马传动	公司成立于2005年，公司主要从事汽车变速器及车辆齿轮的研发、生产和销售。公司主要产品为汽车变速器、汽车齿轮、摩托车齿轮和农机齿轮。	新能源汽车减速器	2022年新能源汽车减速器产品收入0.044亿元

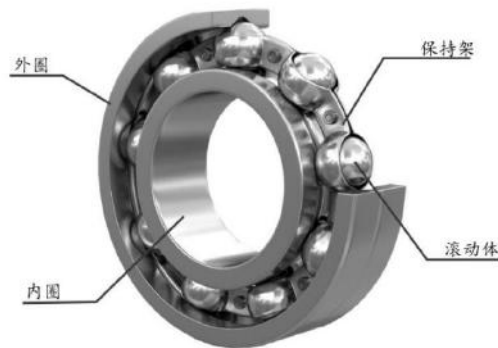
●资料来源：Wind，各公司公告，各公司投资者问答，各公司官网，中信建投

2.5 轴承：支撑旋转体，助力精准传动

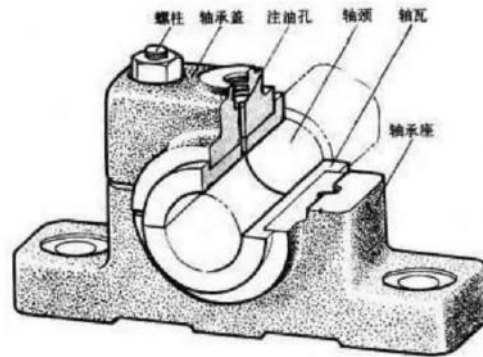
2.5.1 轴承的功能：支撑旋转体、降低摩擦系数的重要零部件

- 轴承是机械设备中的一种重要零部件。轴承作为现代机械设备中应用广泛的一种高精密机械基础运动部件，其主要功能是支承旋转轴或其它运动体，保证旋转精度，降低设备在传动过程中的载荷摩擦系数。轴承的精度、性能和可靠性对机械设备的性能起着关键作用，轴承技术水平直接影响着工业发展的水平。
- 根据轴承工作时运转的轴与轴承座之间的摩擦性质，轴承可分为滚动轴承和滑动轴承两类。滚动轴承的摩擦系数小，摩擦阻力及启动摩擦力矩小，功率消耗少，并且标准化、产业化程度高，应用最广泛，通常所说的轴承，一般也指滚动轴承。
- 滚动轴承基本由外圈、内圈、滚动体和保持架等构成。轴承套圈包括内圈、外圈，每个套圈上都有滚道，内圈的滚道在外表面，外圈的滚道在内表面。滚动体在滚道上滚动，两者的接触面支撑施加在轴承上的负荷。滚动体可分为球和滚子两大类，滚子按形状又分为圆柱滚子、滚针、圆锥滚子和球面滚子。滚动体在轴承套圈之间滚动，承担载重的任务。轴承按照滚动体的列数可以分为单列、双列和多列。保持架并不直接承受载荷，其作用是按照一定的间隔将滚动体保持在正确的位置上，同时防止滚动体脱落。

图表：滚动轴承结构示意图



图表：滑动轴承结构示意图

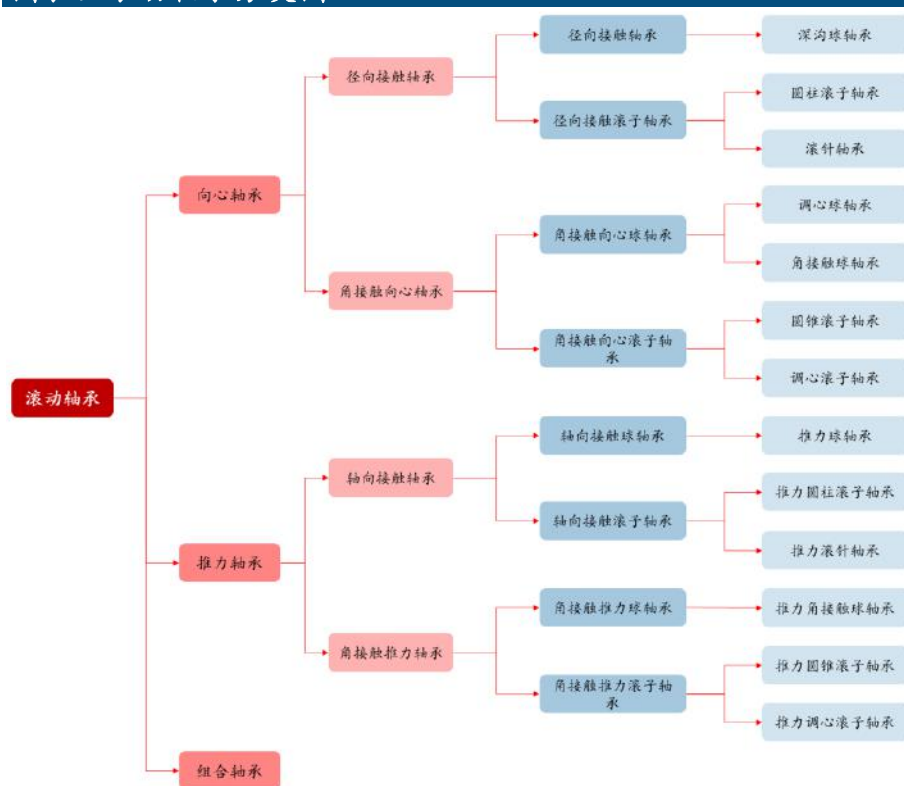


2.5 轴承：支撑旋转体，助力精准传动

2.5.2 滚动轴承的分类：分类方式多样，轴承特点各有不同

- 滚动轴承的主要分类如下：
- ①按其所能承受的载荷方向或公称接触角的不同，分为向心轴承和推力轴承。向心轴承主要用于承受径向载荷的滚动轴承，其公称接触角为 $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ ，推力轴承主要用于承受轴向载荷的滚动轴承，其公称接触角为 $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 。
- ②按滚动体的种类分为滚动体为球的球轴承和滚动体为滚子的滚子轴承。球轴承的特点是与滚道的接触为点接触，当受力时，接触面为椭圆形，因为是点接触，所以阻力小，球轴承适合于低扭力、高转速的应用条件，亦有低噪音的特点；滚子轴承特点是与滚道的接触为线接触，当受力时，接触面是长方形。因为是线接触，滚子轴承的扭力高于球轴承，刚性亦较高。
- ③按主要用途分为通用轴承和专用轴承。通用轴承指应用于通用机械或一般用途的轴承，专用轴承指专门用于或主要用于特定主机或特殊工况的轴承。
- ④按外形尺寸是否符合标准尺寸系列分为标准轴承和非标轴承。标准轴承指外形尺寸符合标准尺寸系列规定的轴承，而非标轴承指外形尺寸中任一尺寸不符合标准尺寸系列规定的轴承。

图表：滚动轴承分类图







●资料来源：中华轴承网，中信建投

2.5 轴承：支撑旋转体，助力精准传动

2.5.3 滚动轴承的应用：机器人轴承须具备高承载能力、高精度、高刚度、低摩擦力矩、长寿命、高可靠性的性能

- 精密滚动轴承为机器人执行系统关键零部件，对机器人减速器的承载能力、回转精度、运转平稳性、重复定位精度等性能起到重要作用。精密轴承具有轻量化、高精度、良好的旋转精度和可靠性等特点，满足机器人精密减速器苛刻的性能要求。机器人轴承普遍安装在有限的空间，必须体积小、重量轻，也就是轻量化。但同时，机器人的高载荷、高回转精度、高运转平稳性、高定位速度、高重复定位精度、长寿命、高可靠性的性能，要求配套的机器人轴承必须具备高承载能力、高精度、高刚度、低摩擦力矩、长寿命、高可靠性的性能。
- 特斯拉人形机器人执行系统中应用多个轴承。根据2022年特斯拉AI日发布会资料，特斯拉人形机器人旋转执行器中使用了角接触球轴承、交叉滚子轴承，线性执行器使用了球轴承和四点接触轴承。

图表：工业机器人轴承种类

类别	轴承类型与系列	特点	应用部位	图示
等截面薄壁类轴承	薄壁四点接触球轴承 薄壁角接触球轴承 薄壁深沟球轴承	通过增加钢球改善了轴承内部受力分布，减小了钢球与沟道接触处的弹性变形，轴承承载能力高	工业机器人腰部、肘部、腕部	
薄壁交叉圆柱滚子类轴承	薄壁交叉圆柱滚子轴承轻窄系列、超轻系列	滚子垂直交叉排列结构避免滚子锁死，轴承内外圈分割结构，间隙可调，即使被施加压力，也能获得较高旋转精度	工业机器人机械手臂、肩部、腰部、臂部	
RV减速机轴承	薄壁轴承 圆柱滚子轴承 圆锥滚子轴承 滚针保持架组件	RV减速机体积小，抗冲击力强，扭矩大，定位精度高，轴承的外形结构、精密定位是其结构紧凑、刚性优良、传动精密的关键因素	广泛应用于工业机器人的减速机	
谐波减速机轴承	柔性轴承	柔性轴承是谐波减速器的核心部件，通过轴承的弹性变形达到高减速比的要求；柔性轴承工作中随柔轮的弹性变形不断的发生变化，不仅承受循环应力载荷，而且承受交变应力载荷	中小转矩负荷机器人关节部位减速机	

●资料来源：中国轴承工业协会，工业机器人公众号，中信建投

2.5 轴承：支撑旋转体，助力精准传动

图表：轴承领域主要上市公司

上市公司简称	公司简介	轴承产品品类	轴承业务现状
力星股份	公司成立于2000年，主营业务为精密轴承滚动体的研发、生产和销售，公司产品为轴承滚动体，包括轴承钢球和轴承滚子。	轴承滚动体，包括轴承钢球和轴承滚子	国内精密轴承钢球领域的龙头企业，2022年轴承制造业实现收入9.67亿元。
五洲新春	公司成立于1999年，是一家以轴承产业为核心，涉足汽车配件和设备制造等领域的集团化企业。产品销售与自营出口列居全国轴承行业前列。公司通过多年努力，实现了纵向一体化的产业布局，从轴承成品开始延伸，依次进入热处理、车加工、锻造及钢管等领域，是中国轴承产业链经营领先者。	各类精密深沟球轴承、圆锥滚子轴承、滚针轴承和调心滚子轴承	2022年轴承产品取得收入18.85亿元，持续推进轴承研发以及下游应用突破，其中转向系统四点角接触轴承已经配套北美宝马汽车；已成功开发RV减速器轴承和谐波减速器柔性轴承。
国机精工	公司成立于2001年，公司重点为国民经济和国防建设关键主机研制高性能轴承产品，批量生产内径0.6毫米至外径6.8米的各种类型高端装备轴承和组件。主要业务为精密及特种轴承、高速机床主轴、轴承专用装备和检测仪器、轴承试验机以及轴承特种材料的研究、开发、生产和销售。	特种轴承、精密机床轴承、重型机械用大型（特大型）轴承、机床用电主轴	公司在轴承行业中集中于高、中端产品，在行业内以综合技术实力强而闻名，是公司在轴承行业的竞争优势所在。
苏轴股份 (创元科技控股子公司)	公司成立于1980年，公司是滚针轴承、圆柱滚子轴承和滚针的专业设计与制造公司，主要产品系列有冲压外圈滚针轴承、冲压外圈滚针离合器、圆柱滚子轴承、圆柱滚子离合器和球轴承组件、推力轴承、滚轮轴承、直线运动滚子导轨支承和滚动体等。	滚针轴承、圆柱滚子轴承	公司在上世纪六十年代初，即生产出了我国第一支滚针，目前已成为国内滚针轴承领域品种最多、规格最全的专业制造商之一。
长盛轴承	公司成立于1995年，主要产品双金属自润滑轴承、金属塑料自润滑轴承、金属基自润滑轴承、塑料自润滑轴承，出口欧美、日本等多个国家和地区，主要用于汽车、工程机械、农业机械、建筑机械、轻工机械、高速高精数控机床等领域。	自润滑轴承	浙江嘉善的自润滑轴承产值占全国生产总值的70%以上，2017-2021年公司在嘉善县规模以上轴承工业企业中资产总额、营业收入两项指标均名列第一
贝斯特	公司成立于1997年，主要产品包括涡轮增压器精密轴承件、涡轮增压器叶轮、涡轮增压器中间壳、发动机缸体等关键汽车零部件，座椅构件等飞机机舱零部件，用于汽车、轨道交通等领域的工装夹具，以及飞机机身自动化钻铆系统、自动化工业生产线等智能制造系统集成产品。	涡轮增压器精密轴承件	适用于燃油汽车及混合动力汽车的涡轮增压器精密轴承件是公司的主要产品之一
瓦轴B	公司成立于1997年，公司是以瓦房店轴承集团有限责任公司作为独家发起人，以社会募集方式设立的中国轴承业第一家B股上市公司。公司的经营范围为轴承、机械设、汽车零部件及相关产品的制造与销售等。	交通轴承、专用轴承、通用轴承	公司是国内轴承制造的龙头企业，参与了行业多项标准的制订。

2.5 轴承：支撑旋转体，助力精准传动

图表：轴承领域主要上市公司（续）

上市公司简称	公司简介	轴承产品品类	轴承业务现状
人本股份	公司系从事轴承领域相关产品研发、生产和销售的大型企业集团，系国内轴承制造行业的龙头企业。公司生产的轴承产品规格型号达三万余种，广泛应用于汽车、轻工机械、重型机械及重大装备等众多国民经济关键领域。	球轴承、滚子轴承、专用轴承和轴承部件	2021年实现营业收入91.21亿元。
襄阳轴承	公司成立于1993年，公司主要从事轴承及其零部件的生产、科研、销售及相关业务。主要经营范围包括：制造销售轴承及其零部件、汽车零部件、机电设备、轴承设备及备件。	汽车轴承	2022年轴承产品取得收入8.14亿元，公司主要产品为汽车轴承、等速万向节等，是目前国内主要的汽车轴承专业生产基地之一。
申科股份	公司成立于1996年，公司坚持以科技创新为主导，先后开发了DQY系列端盖式球面滑动轴承、VTB系列推力滑动轴承、60万千瓦汽轮发电机可倾瓦轴承、ZQK系列座式滑动轴承以及电机用ZH型动静压座式滑动轴承等新产品。	厚壁滑动轴承	公司是我国厚壁滑动轴承领域的重点企业，系国家高新技术企业。
光洋股份	公司成立于1995年，公司专注于汽车各类精密轴承、智能机器人轴承单元、同步器、行星排、精密锻件等高精度、高可靠性产品的研发、制造和销售。	滚针轴承、圆柱滚子轴承、离合器分离轴承、圆锥滚子轴承、深沟球轴承	公司是国内汽车变速器用滚针轴承、滚子轴承以及离合器分离轴承的主要供应商之一。
双飞股份	公司成立于2000年，公司是我国较早专业从事自润滑轴承和自润滑轴承用复合材料的研发、生产及销售的龙头企业之一，主营业务为自润滑轴承和自润滑轴承用复合材料的研发、生产及销售。	自润滑轴承	公司生产的自润滑轴承及自润滑轴承用复合材料在自主研发、科技成果转化、生产管理、产品品牌等方面形成了较为明显的竞争优势。
龙溪股份	公司成立于1997年，公司主营关节轴承等特种轴承、汽车配件等，产品不仅广泛应用于国民经济各行业的各类机械设备，并为国家重点工程等配套，而且大量出口欧美亚等四十多个工业发达国家和地区。	关节轴承、圆锥滚子轴承	作为国内最大的关节轴承供应商和最大出口商，公司关节轴承品种齐全，制造链完整，拥有向心、角接触、推力、杆端、球头杆端和带座带锁口等六大类型、60个系列、10,000多个品种的关节轴承产品。

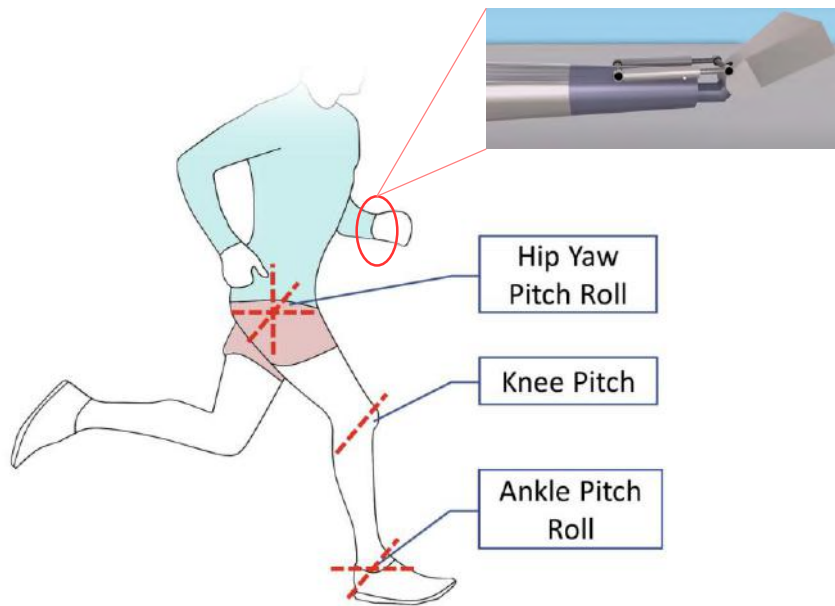
●资料来源：Wind，各公司公告，各公司投资者问答，中信建投

2.6 丝杠：线性执行器重要部件，模拟人体肌肉功能

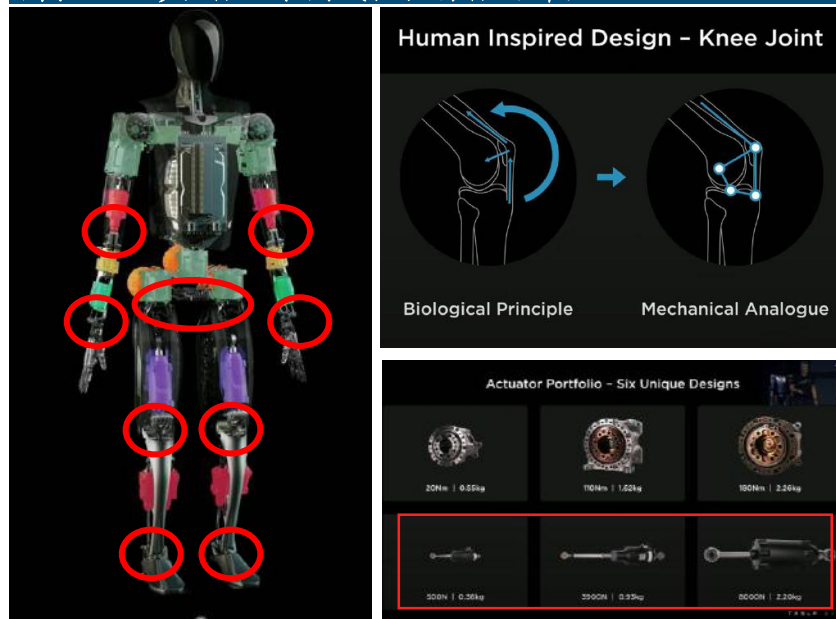
2.6.1 丝杠的功能：用在对力矩要求较高的部位，如膝部、肘部俯仰角

- 根据2022年特斯拉AI日，新版本的Tesla Bot依然拥有40个机电执行器——手臂8个、躯干8个、手部12个、腿部12个；其中采用线性执行器的有14个，分别为腕部、踝部的俯仰（pitch）、偏航（yaw）角，髋部、肘部、膝部的俯仰（pitch）角。
- 线性执行器主要采用“电机+行星滚柱丝杠+轴承+传感器”实现，行星滚柱丝杠是核心部件之一。

图表：人体髋部、膝盖等部位受力较大



图表：人形机器人采用线性执行器的部位

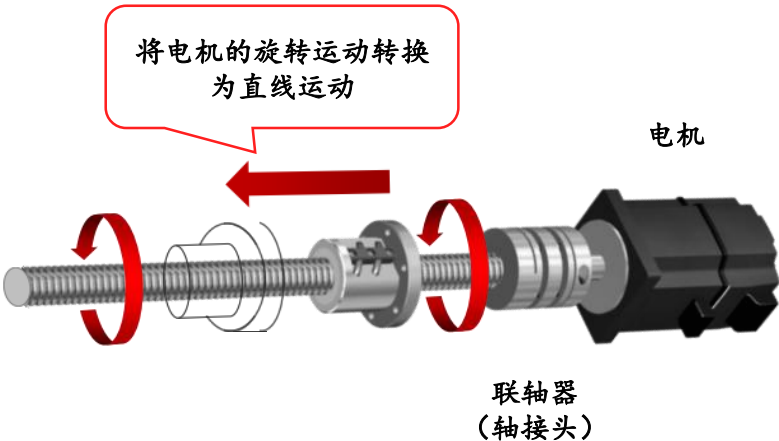


2.6 丝杠：线性执行器重要部件，模拟人体肌肉功能

2.6.2 丝杠的原理：将旋转运动转换为直线运动

- 由于电机往往只能做旋转运动，因此采用螺旋杆的形式，将电机的旋转运动转换为直线运动。
- 与各种驱动方式相比，“滚珠/柱丝杠+旋转电机”的组合在定位精度、推理、速度等方面具备稳定性能，应用广泛。

图表：滚珠丝杠的原理示意图



图表：多种驱动方式对比

种类	图例	效率	推力	定位精度	速度	姿态
滚珠丝杠+旋转电机		约90%以上	○	◎	○	◎
直线电机		约90%以上	△	◎	◎	△*
齿条&小齿轮+旋转电机		约90%以上	○	△	○	◎
传动皮带+旋转电机		约90%以上	△	△	○	△*
汽缸（空压·油压）		约50%以上	◎	×	△	○

备注：◎表示非常适合；○表示适合；△表示有条件的适合；×表示不适合；

*表示根据使用方式，姿态会有所变化

2.6 丝杠：线性执行器重要部件，模拟人体肌肉功能

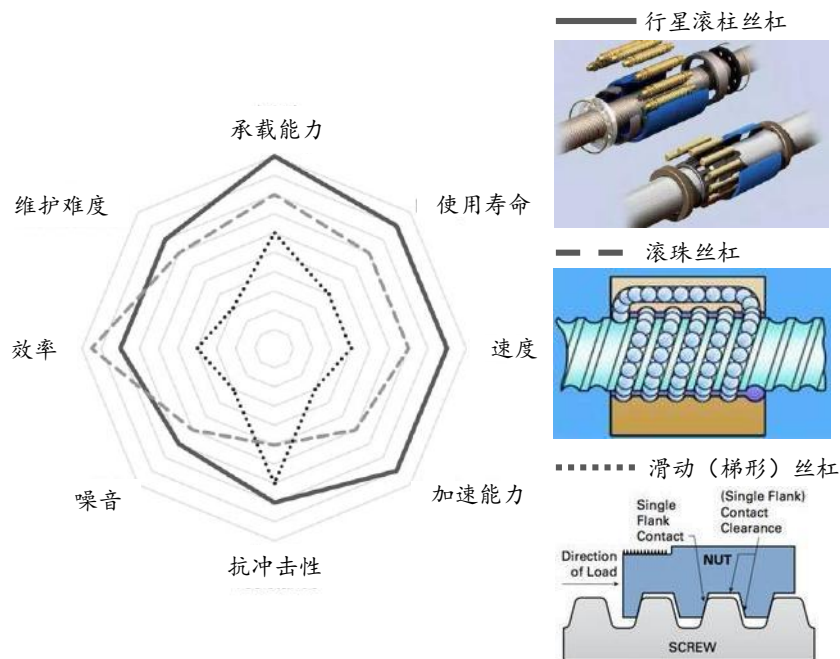
2.6.3 丝杠的选型：人形机器人使用场景要求高承载、耐冲击等性能，行星滚柱丝杠优势明显

- 根据滑动方式的不同，丝杠主要包括滑动丝杠（滑动摩擦，精度差）、滚柱丝杠（间隙为滚珠）、行星滚柱丝杠（间隙为螺纹滚柱）等，行星滚柱丝杠有更大的接触面积、更大的直线速度、更小的振动和噪音，适合人形机器人的使用场景。

图表：三类丝杠性能对比

	行星滚柱丝杠	滚珠丝杠	滑动丝杠
承载能力	非常大	大	大
使用寿命	非常长	长	非常短
速度	非常快	一般	慢
加速能力	非常大	一般	小
刚性	非常高	一般	非常高
抗冲击性	非常高	一般	非常高
耐热性能	非常耐热	一般	耐热
所需活动空间	非常小	一般	一般
摩擦	小	非常小	大
振动/噪声	非常小	小	稍大
效率	75%-90%	85%-95%	40%左右
维护难度	非常低	一般	非常低
环境负荷	非常小	非常小	小
定制化程度	非常高	高	一般

图表：三类丝杠示意图及性能对比



● 资料来源：Moog官网，中信建投

● 资料来源：Moog官网，中信建投

2.6 丝杠：线性执行器重要部件，模拟人体肌肉功能

- 2.6.4 当前格局：全球丝杠领先的外资企业有THK、上银、斯凯孚、舍弗勒等，国内企业恒立液压、秦川机床、鼎智科技、贝斯特等有相关潜力。

图表：丝杠领域相关公司

公司简称	公司简介	丝杠产品品类	丝杠业务现状
鼎智科技	立足于精密运动控制组件的设计、生产与销售。所售产品主要为线性执行器、各类微电机及其组件，下游客户主要为医疗设备、工业自动化控制设备等制造企业	滑动丝杠、滚动丝杠，行星滚柱丝杠	在 微型行星滚柱丝杠 的研发与生产上已有里程碑式达成。2022年线性执行器营收1.92亿元
秦川机床	秦川机床拥有秦川机床本部、宝鸡机床、汉江机床、汉江工具、沃克齿轮、秦川格兰德、秦川宝仪等多家子公司，是我国精密数控机床与复杂工具研发制造基地、中国机床工具行业的龙头骨干企业。数控磨床、滚珠丝杠等领域领先	滚珠丝杠及加工设备：磨床	汉江机床子公司滚珠丝杠2022年营收过亿，同时公司募投滚柱丝杠项目，达产后滚珠丝杠/精密螺杆副产品产能将提升至38万件/年；滑动直线导轨产能将提升至18万米/年
贝斯特	公司主要产品包括涡轮增压器精密轴承件、涡轮增压器叶轮、涡轮增压器中间壳、发动机缸体等关键汽车零部件，座椅构件等飞机机舱零部件，用于汽车、轨道交通等领域的工装夹具，以及飞机机身自动化钻铆系统、自动化工业生产线上等智能制造系统集成产品。	滚珠丝杠	2023年5月底产品发布，目前处于送样验证阶段
恒立液压	成立于2005年，是一家专业生产液压元件及液压系统的公司。公司从液压油缸制造发展成为涵盖高压油缸、高压柱塞泵、液压多路阀、工业阀、液压系统、液压测试台及高精度液压铸件等产品研发和制造的大型综合性企业。	滚珠丝杠	研发及试制阶段
汇川技术	主要为设备自动化/产线自动化/工厂自动化提供变频器、伺服系统、PLC/HMI、高性能电机、传感器、机器视觉等工业自动化核心部件及工业机器人产品，为新能源汽车行业提供电驱&电源系统，为轨道交通行业提供牵引与控制系统	滚珠丝杠	收购上海莱恩，生产三轴以上数据机床的高精度滚珠丝杠
恒而达	基于多年对金属材料与热处理的研究积累，形成了金属热处理工艺、金属材料加工技术和自动化专用装备制造三大核心自主知识产权与技术优势，主要从事模切工具、锯切工具、裁切工具等金属切削工具研发、生产和销售，并逐步延伸至产业链下游，为客户提供配套智能数控装备	滚珠丝杠	加强滚珠丝杠副的研发
恒进感应	北交所上市公司，中高挡数控感应热处理成套设备（淬火机床为主）	滚珠丝杠淬火自动线	研发滚珠丝杠淬火自动线项目，实现高端滚珠丝杠类工件感应淬火自动化加工能力
新剑传动	新三板上市公司，属于精密传动件制造企业，主营业务是为半导体通讯、计算机、电子、汽车、工程机械、人机协作及服务机器人等行业提供蜗轮、蜗杆传动部件和精密零部件产品。战略布局人机协作及服务机器人行业；行星滚柱丝杠及电动缸专项系列产品等行业公司在产品上具有专业性和拓展空间。	行星滚柱丝杠及电动缸	战略布局人机协作及服务机器人行业；行星滚柱丝杠及电动缸专项系列产品等行业公司在产品上具有专业性和拓展空间
长盛轴承	专业从事自润滑轴承的研发、生产和销售的高新技术企业。主要产品双金属自润滑轴承、金属塑料自润滑轴承、金属基自润滑轴承、塑料自润滑轴承	滚珠丝杠	2022年9月发布定增预案，建设年产滚珠丝杠3万套项目

● 资料来源：Wind，各公司公告，中信建投

2.7 关节总成：集成多个重要零部件，成本占比高

- **关节总成包含多个重要零部件，成本占比高，市场空间巨大。**关节总成是机器人的核心部件之一，由于人型机器人需要模拟人类的各种行动，因此需要较多的关节才能实现此要求，且每个关节需要使用无框力矩电机、位置传感器、谐波减速器或丝杠等多个重要零部件。以Tesla Bot为例，根据我们测算，完全批量化生产后，其40个关节的执行系统成本占整个人形机器人零部件成本的48.82%，未来市场空间巨大。
- **国内厂商积极布局。**目前国内机器人关节总成领域主要有两类参与者：①三花智控、拓普集团由于过去和特斯拉在电动车领域有良好的合作，因此开始逐步配合其人形机器人关节总成项目研发。②绿的谐波凭借自身谐波减速器、无框力矩电机、电液驱动关节等技术积累，有望切入人形机器人关节总成。

图标：国内主要公司人形机器人关节总成布局

公司简称	人形机器人关节总成布局
三花智控	公司积极布局机器人产业，重点聚焦仿生机器人机电执行器业务，机电执行器是仿生机器人的核心部件，主要由伺服电机、减速机构和编码器组成，公司通过持续投入和联合研发，已与多个客户建立合作具备先发优势，积极迎接“机器人代”时代的到来。
拓普集团	公司布局人形机器人的运动执行器，该赛道是面向人类未来的百万亿级别的赛道，发展前景广阔。的运动执行器包括电机、电控及减速机构等部件组成，样品也获得客户的认可，后续发展潜力巨大。
绿的谐波	公司研发机电一体化产品，融合集成谐波减速器、超扁平力矩电机、EtherCAT总线型驱动器、编码器、制动器、智能传感器等于一体，研发液压控制产品，适应精密传动装置的未来市场需求，具体产品包括工业机器人关节、电液驱动关节、机床数控转台、移动机器人旋转关节。

- 1. 特斯拉推进人形机器人产业链快速发展
- 2. 人形机器人执行系统供应链分析
- 3. 人形机器人感知系统供应链分析
 - 3.1 传感器：机器人感知系统的重要器件
 - 3.2 视觉传感器：纯视觉感知方案，与Tesla自动驾驶同源
- 4. 人形机器人其他零部件供应链分析
- 5. 推荐标的
- 6. 风险提示

3.1 传感器：机器人感知系统的重要器件

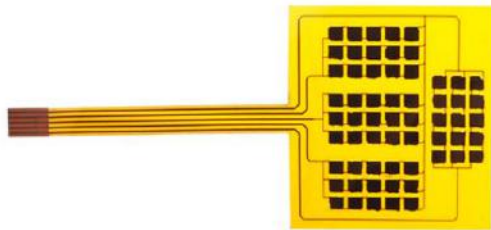
3.1.1 传感器的功能：感受规定的被测量并按一定规律将其转换为有用信号

- 传感器(Sensor)是感受规定的被测量并按一定规律将其转换为有用信号的器件或装置。根据国家标准GB7665-87，传感器可被定义为：“能感受规定的被测量并按照一定的规律（数学函数法则）转换成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成”。对于传感器来说，按照输入的状态，输入可以分成静态量和动态量。在各个值处于稳定的状态下，根据输出量和输入量的关系可得到传感器的静态特性。传感器的静态特性的主要指标有线性度、迟滞、重复性、灵敏度和准确度等。传感器的动态特性则指的是对于输入量随着时间变化的响应特性，动态特性通常采用传递函数等自动控制的模型来描述。

图表：钢质传感器示意图



图表：柔性微压力传感器



3.1 传感器：机器人感知系统的重要器件

3.1.2 传感器的分类：根据使用功能可以分为内部传感器和外部传感器

- 传感器是机器人感知系统的重要组成部分。多种不同功能的传感器根据需要合理地组合在一起，能为机器人提供更为详细的外界环境信息。机器人感知技术通过获取和分析位置、触觉、力觉、视觉等传递来的信息，实现对外部环境和内部状态的理解，为机器人的智能交互和机器人的柔性作业提供决策依据。
- 机器人的传感器根据使用功能可以分为内部传感器和外部传感器。内部传感器是用于测量机器人自身状态的功能元件，其功能是测量机器人自身状态的运动学量和力学量，用于机器人感知自身的运动状态，使得机器人可以按照规定的位置、轨迹和速度等参数运动；机器人外部传感器主要是感知机器人自身所处环境以及自身和环境之间的相互信息，包括视觉、力觉等。

图表：机器人内部传感器分类		
类型	分类	基本种类
内部传感器	位置传感器	电位器、旋转变压器、码盘
	速度传感器	测速发电机、码盘
	力（力矩）传感器	应变式、压电式
	倾斜角传感器	液体式、垂直振子式
	加速度传感器	应变片式、伺服式、压电式、电动式

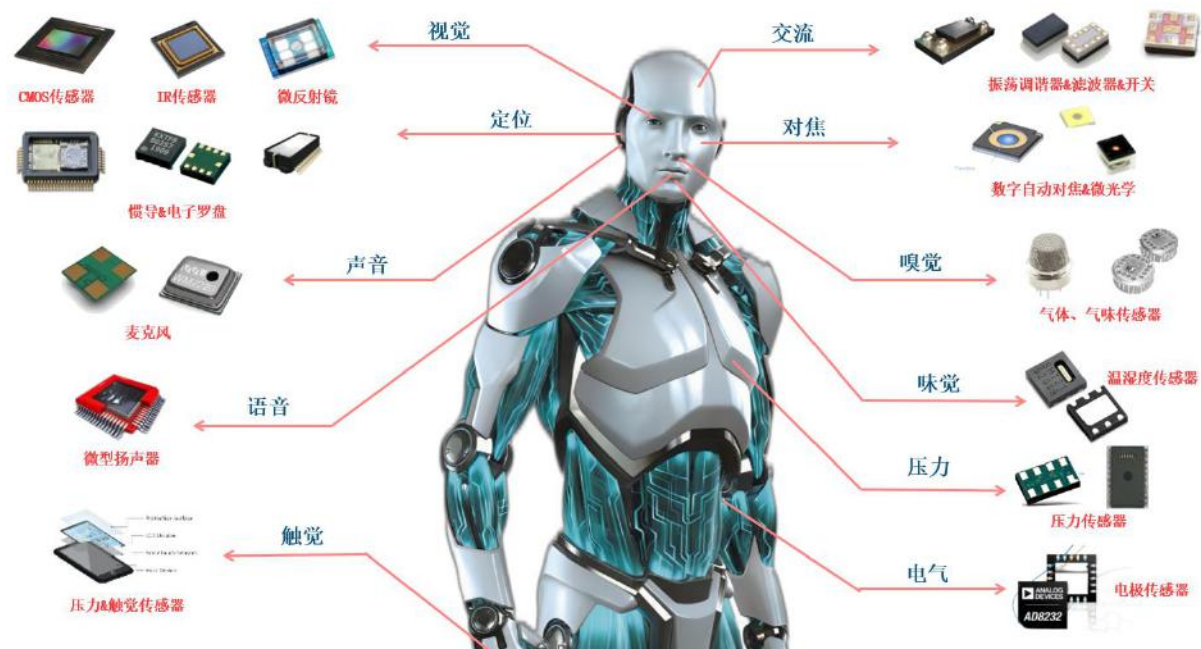
图表：机器人外部传感器分类		
功能	外部传感器	基本种类
视觉传感器	测量传感器	光学式（点状、线状、圆形、螺旋形、光束）
	识别传感器	光学式、声波式
触觉传感器	触觉传感器	单点式、分布式
	压觉传感器	单点式、高密度集成、分布式
	滑觉传感器	点接触式、线接触式、面接触式
接近度传感器	接近度传感器	空气式、磁场式、电场式、光学式、声波式
	距离传感器	光学式（反射光量、定时、相位信息） 声波式（反射音量、传输时间信息）

3.1 传感器：机器人感知系统的重要器件

3.1.3 传感器的应用：机器人感知系统的重要器件

- 传感器在机器人工作中发挥到重要的感知作用。机器人要想接近人类的灵敏度，充分发挥传感器的感知功能至关重要。参考人体的感知系统，相应机器人需要在视觉、定位、声音、语音、触觉、交流、对焦、嗅觉、味觉、压力等多个维度上应用传感器。根据2022年特斯拉AI日发布会资料，特斯拉人形机器人旋转执行器中使用了位置传感器、力矩传感器，线性执行器使用了位置传感器和力传感器。

图表：机器人传感器分布



3.1 传感器：机器人感知系统的重要器件

图表：传感器领域主要上市公司

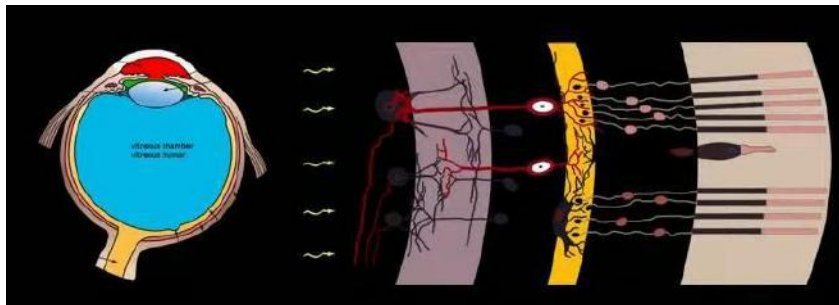
上市公司简称	公司简介	传感器产品品类	传感器业务现状
柯力传感	公司成立于2002年，主营业务为研制、生产和销售应变式传感器、仪表等元器件；提供系统集成及干粉砂浆第三方系统服务、不停车检测系统、无人值守一卡通智能称重系统、制造业人工智能系统、企业数字化建设软件开发服务、移动资产管理系统、物流分拣系统等。	应变式传感器	全国第一市场占有率力学传感器品牌。公司可用于机器人相关领域的传感器目前大部分处于小批量试制阶段。
汉威科技	公司成立于1998年，公司主要是以传感器为核心，将传感技术、智能终端、通讯技术、云计算和地理信息等物联网技术紧密结合，形成了“传感器+监测终端+数据采集+空间信息技术+云应用”的系统解决方案，业务应用覆盖物联网综合解决方案及居家智能与健康等行业领域。	气体传感器、压力传感器、流量传感器、红外传感器、温湿度传感器、加速度传感器、振动传感器、柔性微纳传感器	国内领先的气体传感器制造商，也是综合传感器制造商，横向拓展多个品类。公司目前部分产品已经在医疗机器人上实现应用，同时也在人形机器人触觉交互方面进行一些研究。
八方股份	公司成立于2003年，专业从事电踏车电机及配套电气系统的研发、生产、销售和技术服务的高新技术企业。经过多年的发展，已形成包括轮毂电机、中置电机两大类型共计80余种产品型号的电机产品系列，并具备控制器、传感器、仪表、电池等电气系统产品的配套供应能力。	力矩传感器、速度传感器	公司是全球少数掌握力矩传感器核心技术的企业之一，产品技术指标达到国际先进水平。
保隆科技	公司于1997年创立于上海松江，保隆立足于汽车工业，核心产品包括汽车电子类的轮胎压力监测系统、压力传感器、光雨量传感器、360环视系统等；汽车轻量化结构件类的仪表梁、扭力梁、副车架等；通用部件类的气门嘴、平衡块、排气尾管、空气弹簧等。	车用传感器（压力、光雨量、速度、位置、加速度和电流类为主）	公司丰富的传感器产品应用、建立了一定竞争优势的核心产品以及全球化的研发与制造布局，2022年公司传感器业务实现收入3.66亿元。
康斯特	公司成立于2004年，是一家专业从事数字压力检测、温度校准仪器仪表产品研发、生产和销售的高新技术企业。公司已成为国内数字压力检测、温度校准行业中最具规模的生产商之一，产品广泛应用于石油、化工、电力、冶金、机械制造、国防工业、计量、铁路等行业。	MEMS压力传感器	目前传感器生产产线正在延庆基地建设中，在公司总部试验线上自制的中量程段压力传感器，已开始根据订单情况优先用于替换主营产品中的外采压力传感器。
芯动联科	公司简介：公司成立于2012年，公司长期致力于自主研发高性能MEMS惯性传感器，经过多年的探索和发展，公司高性能MEMS惯性传感器的核心性能指标达到国际先进水平，复杂环境下适应性强。目前，公司产品已实现批量化应用并在应用的过程中不断升级和迭代。	传感器业务：高性能硅基MEMS惯性传感器	公司已形成自主知识产权的高性能MEMS惯性传感器产品体系并批量生产及应用，在MEMS惯性传感器芯片设计、MEMS工艺方案开发、封装与测试等主要环节形成了技术闭环，建立了完整的业务流程和供应链体系。
苏州固锟	公司成立于1990年，公司专注于半导体芯片、功率半导体器件和集成电路封装测试领域，目前已经拥有从产品设计到最终产品研发、制造的整套解决方案。苏州固锟全资子公司晶银新材是国际知名的导电银浆供应商，也是太阳能电池银浆全面国产化的先行者。	IMU（惯性传感器）	参股公司明镭尚未生产IMU，但是正在研发IMU，目前尚没有相关样品。

3.2 视觉传感器：纯视觉感知方案，与Tesla自动驾驶同源

3.2.1 功能：效仿人类视觉系统原理

- 根据2021年8月特斯拉AI日上的展示，特斯拉电动车的感知方案采用纯视觉感知方案，完全摒弃掉激光雷达、毫米波雷达等非摄像头传感器，仅采用摄像头进行感知，在自动驾驶领域独树一帜。
- 人类通过眼睛感知世界的原理为：光线通过眼睛被视网膜采集信息，经过传递与预处理，信息抵达大脑视觉皮层，神经元从视网膜传递的信息中提取出颜色、方向、边缘等特征结构，再传递给下颞叶皮层，然后经过认知神经网络的复杂处理最终输出感知结果。
- 自动驾驶视觉感知方案是效仿人类视觉系统原理，摄像头便是“汽车之眼”，特斯拉汽车共计采用八个摄像头分布在车体四周，车身前部有三个摄像头，分别为前视主视野摄像头、前视宽视野摄像头（鱼眼镜头）以及前视窄视野摄像头（长聚焦镜头），左右两侧各有两个摄像头，分别为侧方前视摄像头和侧方后视摄像头，车身后部有一个后视摄像头，整体实现360度全局环视视野，最大监测距离可以达到250米。

图表：人类视觉感知的原理



图表：特斯拉自动驾驶采用纯视觉感知方案



3.2 视觉传感器：纯视觉感知方案，与Tesla自动驾驶同源

3.2.2 选型：2D/3D视觉传感器

- 3D视觉感知技术与产品经过多年的发展，目前已在生物识别、AIoT、消费电子（中期市场）、工业三维测量、汽车应用（长期市场）等多个领域实现了推广应用。生物识别是一种通过计算机、光学、声学、生物传感器等多个技术领域密切结合，利用人体固有的生理特性，如指纹、人脸、虹膜等和行为特征如笔迹、声音、步态等进行个人身份鉴定的方法。随着对于身份识别和保密需求的日益增加，各类新兴生物识别的技术不断发展，通过3D视觉感知技术实现的生物识别方法逐渐落地于不同的应用场景。

图表：指纹、虹膜、2D人脸识别及掌纹，3D人脸识别对比

生物识别方法	3D人脸识别	2D人脸识别	虹膜	指纹	掌纹
精度	高	一般	极高	高	高
安全系数	高	一般	高	一般，容易被仿造	较高
稳定性	稳定	一般	终生不变	易磨损	易磨损
采集成本	中	中	高	低	中
便利程度	高	高	低	一般，接触式识别，部分人无法识别	一般，接触式识别
常用应用场景	刷脸支付、门禁、交通、身份核验等	门禁、安防等	目前应用场景较少	手机、考勤、金融等	目前应用场景较少

图表：3D视觉测量技术

3D视觉感知主要技术	最佳测量距离	分辨率	测量精度	主要适用场景
结构光	<5m	高	近距离：高中 远距离：低	手机前置、刷脸支付、门锁服务机器人、安防监控、屏下3D结构光
iToF	<3.5m	中	近距离：中中 距离：高	手机前置、后置、扫地机器人、AR/VR、门禁
dToF	<5m	低	近距离：低远 距离：高	手机后置、平板后置、扫地机器人等
双目	<15m	高	低	汽车侧面、室外机器人、智能安防等
Lidar	<200m	低	近距离：低远 距离：高	汽车自动驾驶、汽车ADAS、低速物流车自动驾驶等
工业三维测量	20mm-30m	极高	极高	高精度工业测量，材料、结构检测

69 ● 资料来源：奥比中光招股说明书，中信建投

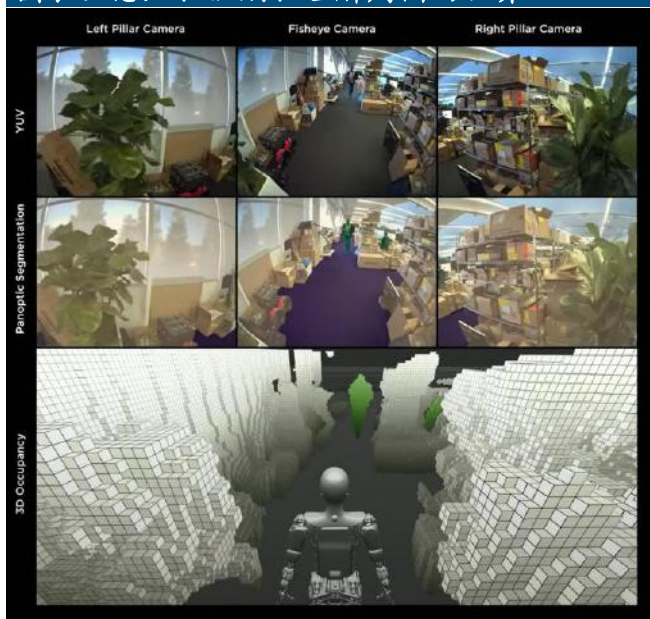
● 资料来源：奥比中光招股说明书，中信建投

3.2 视觉传感器：纯视觉感知方案，与Tesla自动驾驶同源

3.2.3 方案：3个已知摄像头，纯视觉识别物体，机器学习，创建向量空间

- 特斯拉在2023年股东日上展示了Optimus最新成果，包括成队列地在Cybertruck生产车间行走，并且在行走的同时进行环境感知与记忆。马斯克表示，特斯拉已经打通了FSD和机器人的底层模块，实现了一定程度的算法复用。FSD算法利用传感器数据进行环境感知，这些传感器也可以帮助机器人感知周围环境，识别物体、人和障碍物等。
- 2022年特斯拉AI日展示的人形机器人使用了2台常规摄像头和1台鱼眼摄像头。

图表：感知、识别、理解周围的世界



图表：理解周围的世界并规划轨迹



3.2 视觉传感器：纯视觉感知方案，与Tesla自动驾驶同源

- 3.2.4 当前格局：视觉传感器领域国内企业崭露头角，在消费场景已有应用。海外以安森美、基恩士、康耐视为主，国内有奥比中光、凌云光、奥普特、海康机器、联创电子、韦尔股份等企业。

图表：视觉领域相关公司

公司简称	公司简介	视觉传感器产品品类	视觉传感器业务现状
奥比中光	公司致力于将3D视觉感知产品应用于“衣、食、住、行、工、娱、医”等领域，在生物识别、机器人、AIoT、三维扫描、工业三维测量、消费电子等市场上实现了多项具有代表性的商业应用。	3D视觉传感器	2022年营收2.1亿元。客户包括蚂蚁集团等
凌云光	聚焦机器视觉，在消费电子、新能源、元宇宙等领域开拓较好	CMOS相机、CCD相机 红外相机、光谱相机等	自研+参股长步道公司
奥普特	成立于2006年，是我国国内较早进入机器视觉领域的企业之一。聚焦机器视觉，在消费电子、新能源、及光源等硬件领域开拓较好	3D传感器	2021年“相机类”销售1.44亿元
大恒图像	大恒科技旗下子公司，专业的机器视觉核心部件及解决方案供应商。	线阵相机、面阵图像传感器、红外相机、紫外相机等	为客户提供包括工业数字摄像机、图像采集卡、图像处理软件和智能摄像机等机器视觉系统中核心零部件
海康威视 (海康机器)	海康威视旗下子公司海康机器为机器视觉和移动机器人产品及解决方案提供商。	全系线阵相机、智能相机、立体相机等	2022年，海康机器成立3D产品线，开始从2D向3D领域迈进，发布多个系列的3D相机产品，并面向高精度测量和无序抓取应用推出相应的3D算法软件平台
联创电子	公司重点发展光学镜头及影像模组、触控显示器件等新型光学光电子产业，布局和培育集成电路模拟芯片产业，产品可广泛应用于智能终端、智能汽车、智慧家庭	高清广角镜头和全景影像模组、车载镜头等	保持高清广角镜头和全景影像模组的全球行业领先地位
韦尔股份	半导体产品设计业务主要由图像传感器解决方案、触控与显示解决方案和模拟解决方案三大业务体系构成，作为全球知名的提供先进数字成像解决方案的芯片设计公司，产品已经广泛应用于消费电子和工业应用领域	图像传感器解决方案、触控与显示解决方案	CMOS图像传感器2022年实现125亿元的收入

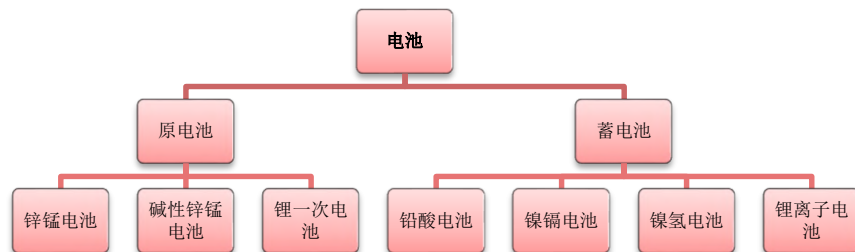
- 1. 特斯拉推进人形机器人产业链快速发展
- 2. 人形机器人执行系统供应链分析
- 3. 人形机器人感知系统供应链分析
- 4. 人形机器人其他零部件供应链分析
 - 4.1 电池：为人形机器人提供动力源
 - 4.2 热管理：提升能效、控制温度
 - 4.3 结构件：铝合金压铸件有望在人形机器人中继续使用
- 5. 推荐标的
- 6. 风险提示

4.1 电池：为人形机器人提供动力源

4.1.1 电池的基本原理、组成结构与分类

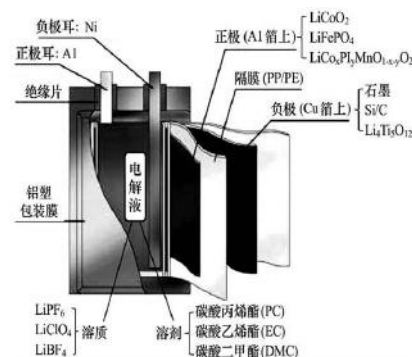
- 锂离子电池在新能源电动车中应用较为广泛。电池是能将化学能转化成电能的装置，按照是否可重复使用进行划分，电池可以分成原电池与蓄电池。原电池也叫一次电池，制成后即可产生电流，但在放电完毕即被废弃。蓄电池又称为二次电池，使用前须先进行充电，充电后可放电使用，放电完毕后还可以反复充电循环使用。蓄电池按所用电芯的正负极材料可以进一步铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池和锂离子电池。其中，锂离子电池由于比能量高、循环寿命高等优势目前在新能源电动车中应用较为广泛。
- 锂离子电池主要由正极材料、负极材料、电解质、隔膜4个部分组成。其中正负极材料能够使得锂离子在其中进行可逆地嵌入和脱出，以达到储存和释放能量的目的。电解质一般具有的锂离子电导率和极低的电子电导率，能够让锂离子可以在电解液中快速传导并减少自放电。隔膜处于正负极材料中间，避免电池因两电极直接接触而短路，并且对电解质具有较好的浸润性，能够形成锂离子的迁移通道。

图表：电池分类



● 资料来源：欣旺达招股说明书，中信建投

图表：锂电池构造示意图



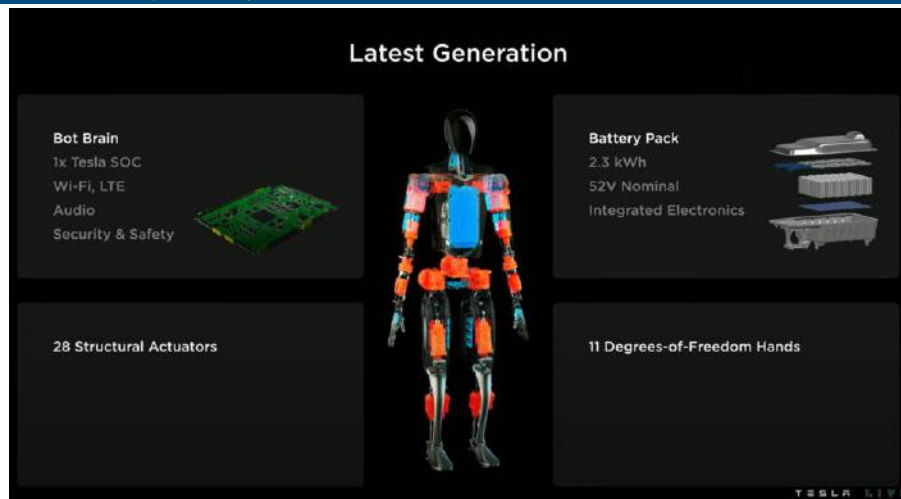
● 资料来源：宁德时代微信公众号，中信建投

4.1 电池：为人形机器人提供动力源

4.1.2 Tesla Bot搭载的电池细节

- 从电池系统来看，Tesla Bot在躯干中搭载了容量为2.3kWh的电池组，额定电压为52V，这款电池组的模组中封装了充电管理等电池电子设备，机器人的核心计算、传感功能也被集成到了躯干以减少元件数量和线路复杂程度，进而降低功耗，能够支持Tesla Bot一整天的连续工作。

图表：特斯拉最新版机器人的电池系统细节



4.1 电池：为人形机器人提供动力源

4.1.3 电池主要参与者及竞争格局

- 宁德时代市占率较高，内资厂商成为全球锂电池市场主力。根据SNE数据显示，全球范围内，从各电池厂商的出货量来看，宁德时代、LG新能源、比亚迪、松下、三星SDI占据前五位置。2022年宁德时代依然稳坐第一名的宝座，其动力电池出货量为270GWh，储能电池出货量为53GWh；市占率从2021年的约30%增长至2022年的约40%。第四至六位分别为松下、三星SDI、SK On；中创新航、国轩高科、亿纬锂能、欣旺达等内资厂商分别为第七至第十名。

图表：锂电池行业主要参与者

国家	企业	2022年动力电池出货量 (GWh)	2022年动力电池出货量市占率	2022年储能电池出货量 (GWh)	2022年储能电池出货量市占率	主营业务
中国	宁德时代	270	39.13%	53	43.44%	动力和储能电池领域，材料、电芯、电池系统、电池回收二次利用等全产业链研发及制造能力
中国	中创新航	24	3.48%	0	0.00%	主要从事动力电池及储能系统产品的设计、研发、生产及销售
中国	国轩高科	17	2.46%	6	4.92%	动力锂离子电池组产品、单体锂离子电池(电芯)、动力锂电池正极材料等
中国	欣旺达	11	1.59%	0	0.00%	主要从事锂离子电池模组研发制造业务
中国	亿纬锂能	9	1.30%	9	7.38%	主要从事锂原电池和锂离子电池的研发、生产、销售，也以客户需求为导向提供锂电池相关的配套产品和服务
韩国	LG新能源	92	13.33%	9	7.38%	动力电池、小型电池、储能电池等
日本	松下	49	7.10%	0	0.00%	主要从事动力电池及的设计、研发、生产及销售

●资料来源：SNE Research，各公司官网，中信建投

4.2 热管理：提升能效、控制温度

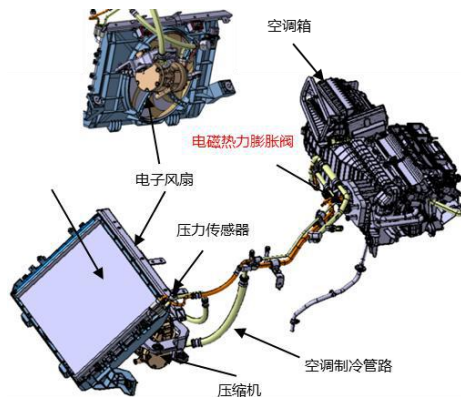
4.2.1 在不同场景下应用不同的热管理架构

- 热管理需要满足能效提升和控制温度需求，根据不同场景应用不同的架构。①家用空调：变频控制是空调技术升级核心方向，涉及电动压缩机、电子膨胀阀、换热器等部件应用；②燃油车汽车空调：发动机提供动力源并作为热源，空调冷媒（制冷）回路结构简单。③新能源车热管理系统：目标是降低电池实现制冷与制热功能的能耗，实现各回路热量与冷量需求的内部匹配以及三电系统及座舱温度平稳可控。

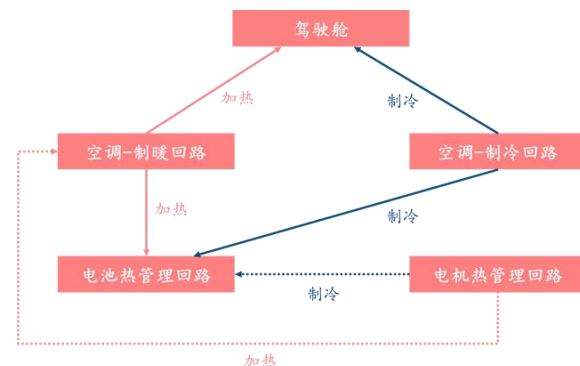
图表：家用空调制冷/制暖（冷媒）回路产品架构



图表：燃油车空调制冷（冷媒）回路产品架构



图表：新能源车各热管理回路能量传输结构



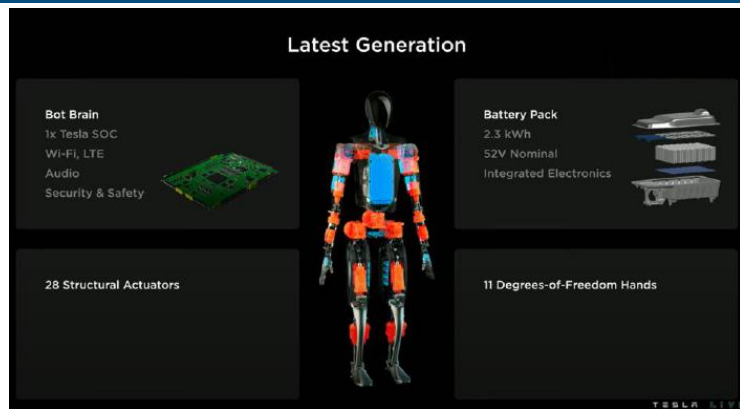
●资料来源：三花智控官网及债券募集说明书，焉知冷暖，中信建投

4.2 热管理：提升能效、控制温度

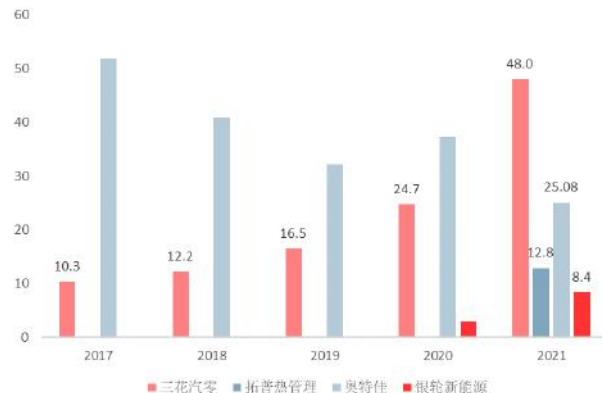
4.2.2 热管理在人形机器人中的应用和主要参与企业

- 未来会针对人形机器人产生新的热管理需求并产生新的架构。以Tesla Bot为例，①从电池系统来看，其躯干中搭载了容量为2.3kWh的电池组，作为最终会面向消费者的产品，人形机器人需要提高其电池系统的安全性、续航时间和使用寿命，因此我们判断会需要使用热管理；②从执行系统来看，人形机器人将无框力矩电机、谐波减速器、机械离合器、位置传感器、力&力矩传感器等零部件集成到单一外壳中以最大限度减小占用空间，在正常工作时，机器人关节外壳内存在各种热源，比如电机绕组、谐波减速器（或精密减速箱）齿轮啮合摩擦、润滑剂中的粘性剪切摩擦，以及金属柔轮在每圈多次重复形变的能量，如果无法有效散热，将会导致机器人快速升温，使得各种关键部件的性能降低。
- 结合家用空调、燃油车、电动车领域不同的热管理架构，因此我们判断：①人形机器人也将会根据自身需求表现出独特的热管理架构；②在未来热管理市场中，目前已经在电动车领域，尤其是和特斯拉有密切合作的企业，有望先一步切入人形机器人热管理供应链。目前，国内热管理行业主要参与者包括三花智控（三花汽零）、拓普集团（拓普热管理）、奥特佳、银轮股份（银轮新能源）等。

图表：Tesla Bot躯干中搭载了电池



图表：国内热管理Tier1汽零业务年营收（亿元）

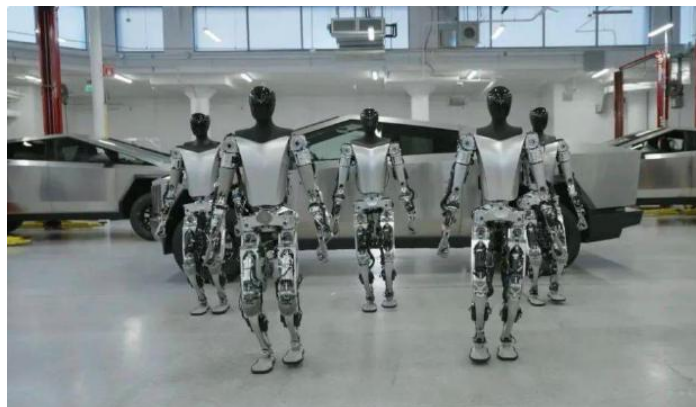


4.3 结构件：铝合金压铸件有望在人形机器人中继续使用

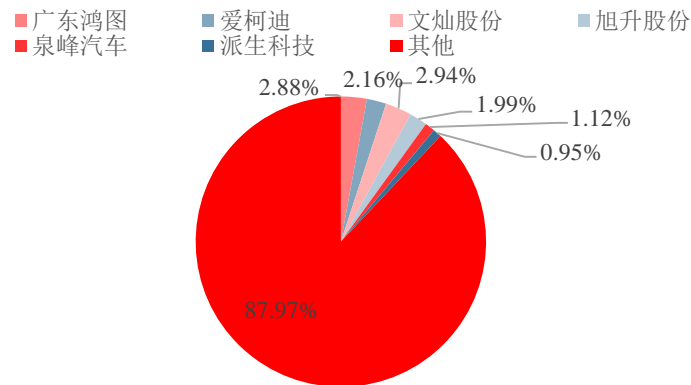
4.3.1 铝合金压铸件有望在人形机器人中继续使用，汽车零部件企业有望切入

- 铝合金兼顾减重率和性价比，有望在人形机器人中继续使用。根据2023年特斯拉股东大会中展示的人形机器人形象，Tesla Bot使用铝合金作为外壳。我们判断 Tesla Bot在后续版本中仍将继续使用铝合金结构件，主要由于铝合金结构及成本、轻量化、工艺成熟度、环保优势明显：①成本：铝合金材料价格略高于高强度钢，远低于镁合金与碳纤维材料；②从减重率看：铝合金密度为2.8g/cm³，减重率在40%~50%之间，仅弱于碳纤维和镁合金，大幅强于高强度钢；③工艺难度：铝合金相关工艺已十分成熟，生产效率较高，铝压铸、铝压延、铝挤压、铝锻造工艺已实现大规模应用；④回收率：铝合金的回收率最高，可推动再生铝产业发展，符合当前节能减排迫切需求，也可降低上游原材料成本。
- 汽车铝合金压铸零部件企业有望切入。汽车铝合金压铸零部件企业过去在成本控制、减重设计、生产工艺上积累的技术十分丰富，这些技术在一定程度上也可以满足人形机器人结构件的要求。结合特斯拉目前主要业务为电动车，我们判断，在汽车铝合金压铸零部件行业成熟供应的部分企业可能会考虑切入人形机器人结构件。中国铸造协会数据显示，我国有3000多家压铸企业，其中体量较大的仅数十家，因此这一行业属于典型的红海市场，市场内企业数量多且竞争格局分散。目前国内主要有6家公司主营汽车铝压铸零部件业务，分别是：广东鸿图、爱柯迪、文灿股份、旭升股份、泉峰汽车、派生科技。其中，旭升股份、爱柯迪已经在向特斯拉供应汽车铝合金压铸零部件。

图表：2023年特斯拉股东大会展示的特斯拉机器人外形



图表：2021年汽车铝压铸零部件行业国内上市公司市场占有率



- 1. 特斯拉推进人形机器人产业链快速发展
- 2. 人形机器人执行系统供应链分析
- 3. 人形机器人感知系统供应链分析
- 4. 人形机器人其他零部件供应链分析
- 5. 推荐标的
- 6. 风险提示

5. 推荐标的

- **预计人形机器人将会成为数万亿大赛道。**人形机器人是AI最有前景的落地方向之一，未来不仅能将人类从低级和高危行业中解放出来，提升人类生产力水平和工作效率，还可以在工业、商业、家庭、外太空探索等领域具有广阔应用场景。根据马斯克公开发言对量价的指引、麦肯锡相关咨询报告以及我们自己的判断，预计当人形机器人产业迭代成熟之后，所对应的年度市场规模会有数万亿元。
- **特斯拉人形机器人有望推动产业链成本下降，进而带动需求爆发。**按照马斯克对Tesla Bot未来的量价指引，预计Tesla Bot会借鉴特斯拉电动车的生产、管理经验，要求供应商具备批量、低价交付能力，同时将特斯拉电动车的FSD芯片和DOJO算法应用到人形机器人上，会让机器人又便宜又好用，推动需求爆发。未来，机器人产业链零部件供应商的单价和利润率预计都会呈现下行趋势，但是以价换量，需求会极大爆发。
- **投资建议：**过去，人形机器人参与者主要为波士顿动力、Ameca等没有实现商业化量产的厂商，零部件主要为定制产品，参与的供应商较少。现在，随着特斯拉发布人形机器人量产展望，越来越多的零部件供应商以及整机企业将切入人形机器人领域。建议关注两类公司：①技术实力强、已有成功经验，未来参与人形机器人市场的确定性非常高的标的；②具有同源技术产品的厂商，可能会横向拓展切入人形机器人产业链。
- **推荐标的：**汇川技术、恒立液压、绿的谐波、三花智控（汽车组覆盖）、拓普集团（汽车组覆盖）、禾川科技、埃斯顿、博众精工、上海机电、国茂股份、秦川机床、鼎智科技、雷赛智能、凌云光、奥普特、银轮股份（汽车组覆盖）、双环传动（汽车组覆盖）、伟创电气（中小盘组覆盖）、奥普光电（军工组覆盖）、宁德时代（电新组覆盖）。
- **建议关注：**鸣志电器、五洲新春、八方股份、苏轴股份、中大力德等。

- 1. 特斯拉推进人形机器人产业链快速发展
- 2. 人形机器人执行系统供应链分析
- 3. 人形机器人感知系统供应链分析
- 4. 人形机器人其他零部件供应链分析
- 5. 推荐标的
- 6. 风险提示

6. 风险提示

- ①**宏观经济和制造业景气度下滑风险**：机器人行业受宏观经济波动影响较大，产业与宏观经济波动的相关性明显，尤其是和工业制造的需求、基础设施投资等宏观经济重要影响因素强相关。若未来国内外宏观经济环境发生变化，下游行业投资放缓，将可能影响机器人产业链的发展环境和市场需求。
- ②**供应链波动风险**：受全球宏观经济、贸易战、自然灾害等影响，若原材料紧缺，芯片等关键物料供应持续出现失衡，将引起机器人零部件制造业厂商生产成本增加甚至无法正常生产，经营业绩可能会受影响。
- ③**研发进展不及预期风险**：目前，机器人领域，尤其是人形机器人领域，研发仍然面临较多的困难和不确定性。

分析师

吕娟：董事总经理，上海区域总监，高端制造组组长&首席分析师，机械行业首席分析师。复旦大学经济学硕士，法国 EDHEC 商学院金融工程交换生，河海大学机械工程及自动化学士，2007.07-2016.12 曾就职于国泰君安证券研究所任机械首席分析师，2017.01-2019.07 曾就职于方正证券研究所任董事总经理、副所长、机械首席分析师。曾获新财富、金牛、IAMAC、水晶球、第一财经、Wind 最佳分析师第一名。

程似骐：汽车行业首席分析师，上海交通大学车辆工程硕士，师从发动机所所长，曾任职于东吴证券、国盛证券，4年证券行业研究经验。2017年新财富第二团队核心成员，2020年新浪财经新锐分析师第一名团队。深度覆盖整车，零部件，把握智能化电动化浪潮。

陈怀山：汽车行业分析师，上海交通大学机械工程硕士。曾任职于长江证券研究所，4年证券行业研究经验，2017-2019年新财富第一团队成员。2021年加入中信建投证券，对新能源车、零部件及整车等均有研究。

许光坦：上海交通大学硕士，2021.4-2023.5曾就职于东北证券研究所，2023年5月加入中信建投证券，专注于机床、机器视觉、复合集流体、注塑机、包装机械等行业的研究。

研究助理

籍星博 jixingbo@csc.com.cn

评级说明

投资评级标准		评级	说明
报告中投资建议涉及的评级标准为报告发布日后6个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的6个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A股市场以沪深300指数作为基准；新三板市场以三板成指为基准；香港市场以恒生指数作为基准；美国市场以标普 500 指数为基准。	股票评级	买入	相对涨幅15%以上
		增持	相对涨幅5%—15%
		中性	相对涨幅-5%—5%之间
		减持	相对跌幅5%—15%
		卖出	相对跌幅15%以上
	行业评级	强于大市	相对涨幅10%以上
		中性	相对涨幅-10-10%之间
		弱于大市	相对跌幅10%以上

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：(i) 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，结论不受任何第三方的授意或影响。(ii) 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。

法律主体说明

本报告由中信建投证券股份有限公司及/或其附属机构（以下合称“中信建投”）制作，由中信建投证券股份有限公司在中华人民共和国（仅为本报告目的，不包括香港、澳门、台湾）提供。中信建投证券股份有限公司具有中国证监会许可的投资咨询业务资格，本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格证书编号已披露在报告首页。

在遵守适用的法律法规情况下，本报告亦可能由中信建投（国际）证券有限公司在香港提供。本报告作者所持香港证监会牌照的中央编号已披露在报告首页。

一般性声明

本报告由中信建投制作。发送本报告不构成任何合同或承诺的基础，不因接收者收到本报告而视其为中信建投客户。

本报告的信息均来源于中信建投认为可靠的公开资料，但中信建投对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载观点、评估和预测仅反映本报告出具日该分析师的判断，该等观点、评估和预测可能在不发出通知的情况下有所变更，亦有可能因使用不同假设和标准或者采用不同分析方法而与中信建投其他部门、人员口头或书面表达的意见不同或相反。本报告所引证券或其他金融工具的过往业绩不代表其未来表现。报告中所含任何具有预测性质的内容皆基于相应的假设条件，而任何假设条件都可能随时发生变化并影响实际投资收益。中信建投不承诺、不保证本报告所含具有预测性质的内容必然得以实现。

本报告内容的全部或部分均不构成投资建议。本报告所包含的观点、建议并未考虑报告接收人在财务状况、投资目的、风险偏好等方面的具体情况，报告接收者应当独立评估本报告所含信息，基于自身投资目标、需求、市场机会、风险及其他因素自主做出决策并自行承担投资风险。中信建投建议所有投资者应就任何潜在投资向其税务、会计或法律顾问咨询。不论报告接收者是否根据本报告做出投资决策，中信建投都不对该等投资决策提供任何形式的担保，亦不以任何形式分享投资收益或者分担投资损失。中信建投不对使用本报告所产生的任何直接或间接损失承担责任。

在法律法规及监管规定允许的范围内，中信建投可能持有并交易本报告中所提公司的股份或其他财产权益，也可能在过去12个月、目前或者将来为本报告中所提公司提供或者争取为其提供投资银行、做市交易、财务顾问或其他金融服务。本报告内容真实、准确、完整地反映了署名分析师的观点，分析师的薪酬无论过去、现在或未来都不会直接或间接与其所撰写报告中的具体观点相联系，分析师亦不会因撰写本报告而获取不当利益。

本报告为中信建投所有。未经中信建投事先书面许可，任何机构和/或个人不得以任何形式转发、翻版、复制、发布或引用本报告全部或部分内容，亦不得从未经中信建投书面授权的任何机构、个人或其运营的媒体平台接收、翻版、复制或引用本报告全部或部分内容。版权所有，违者必究。

中信建投证券研究发展部

北京
东城区朝内大街2号凯恒中心B
座12层
电话：(8610) 8513-0588
联系人：李祉瑶
邮箱：lizhiyao@csc.com.cn

上海
上海浦东新区浦东南路528号南塔
2103室
电话：(8621) 6882-1600
联系人：翁起帆
邮箱：wengqifan@csc.com.cn

深圳
福田区福中三路与鹏程一路交汇处
广电金融中心35楼
电话：(86755) 8252-1369
联系人：曹莹
邮箱：caoying@csc.com.cn

中信建投（国际）

香港
中环交易广场2期18楼
电话：(852) 3465-5600
联系人：刘泓麟
邮箱：charleneliu@csc.hk



中信建投证券
CHINA SECURITIES