



## 证券研究报告·行业深度报告

# 仿人机器人：赋予机器“生命”，机器替人不再是想象

分析师：朱玥

zhuyue@csc.com.cn

SAC 执证编号：S1440521100008

分析师：张亦弛

zhangyichi@csc.com.cn

SAC执证编号:S1440520040001

发布日期：2022年8月11日

# 核心观点

- **当下市场对仿人机器人的认知仍有重大偏差**：目前市场简单复刻工业机器人的硬件构成和技术要求对其供应链进行分析，认为仿机器人与工业机器人在供应链上相差无几。我们认为，无论是从研发设计角度，还是规模量产角度，仿机器人与工业机器人差异非常大，在结构设计、硬件构成、控制算法、核心性能要求以及零部件选择上都有很大的差异。
- **仿人机器人技术壁垒极高，非普通机器人厂家可短期转型**。仿人机器人涉及工程学和控制科学，汇集电子、机械、自动化控制及计算机等领域的研究成果，并非简单买来零部件组装就可实现仿人功能。仿人机器人核心设计要求也与普通机器人不同，哪怕是国际领先的工业机器人厂家也很难短期切入。
- **仿人机器人赋予机器“生命”，高度渗透各行业应用场景，未来市场空间非常广阔**。海外高校及研究机构从上世纪70年代开始研发仿人机器人，经过多年技术的探索与积累，仿人机器人可以实现稳步行走，上下楼梯，跳跃，快速奔跑等功能，应用于野外探查，灾区救援，科技展示，人机相互等场景，未来市场空间非常广阔。
- **仿人机器人的巨大市场蓝海能否兑现，核心还要看产品量产和成本控制**。由于结构复杂，控制性能要求高，仿人机器人成本非常昂贵，现实情况是超过百万人民币，在保证性能的前提下，同时能实现量产降低成本，将成为打开市场的关键。
- **电机、减速器、结构件等硬件环节具备产业链机会，目前芯片以海外为主，软件算法为机器人核心技术，绝大部分公司选择自主研发**。  
。1) **电机**：我们认为仿人机器人50%以上的成本来自于关节，其关节数量一般为25-50个（甚至更多），远超工业机器人（通常3-6个）。如用电机驱动，一个关节使用一个电机，电机用量非常可观，国内电机厂商在性能上与海外厂商差距不大；2) **减速器**：仿人机器人需要控制自重，更多使用**谐波减速器**，从性能上来看，部分国内厂商基本可以满足；3) **结构件**：机构件成本占比为20%左右，仅次于关节，需根据仿人机器人的设计进行定制化生产，作为传统机加工技术，国内厂商可以满足要求。

# 核心观点

## ➤ 投资建议：

1. 仿人机器人关节数量多（一般约25-50个），成本占比高（50%+），价值量大，**电机作为关节里的核心驱动部件，影响关节的输出力大小和运动性能**。区别于工业机器人，仿人机器人需控制整体质量和体积，要求电机性能更高，质量更轻。**仿人机器人的规模量产带动电机需求快速爆发，新增电机市场规模有望近千亿元**，建议关注国内电机龙头企业；
  2. **减速器作为仿人机器人关节里的另一核心部件，作为精密的动力传达机构，将电机的转速减速到所需的转速，实现扭矩的增加，直接影响关节的输出力矩和精度**。在精度要求较高的关节里，通常选择谐波减速器，随着仿人机器人的规模量产，**新增谐波减速器的市场规模将远超工业机器人**，建议关注国内龙头企业；
  3. **结构件作为仿人机器人的“骨骼”，形成机器人的内在基本架构，连接全身结构于一体，承受负载和支撑全身，影响机器人结构的刚度，以及负载大小**。我们预计结构件成本占比约20%，需按照机器人结构进行定制化生产，**大部分国内机加工企业可满足加工要求**；
  4. 区别于工业机器人，**每台仿人机器人需要配置至少一块电池或一套电池模组**，电池容量将直接影响机器人**正常运行时长**。建议关注国内电池性能良好、性价比高的龙头企业；
  5. **传感器是实现仿人机器人环境感知与交互功能的核心部件**，其使用数量或将是**工业机器人的几倍，甚至十倍以上**。通常一台机器人配置一套机器视觉系统，选择性配置一套语音系统，但**每个关节都可能配置位置、角速度、力矩传感器等内部传感器**，其市场需求也将迎来高速增长，建议关注国内传感器、机器视觉龙头企业；
  6. 机器人壳体作为“皮肤”，覆盖面积较大，**将影响其工作场景和环境适应能力**，需使用例如硅胶、碳纤维等质量轻、性能好的柔性材料，建议关注国内柔性材料企业。
- **风险提示**：机器人成本控制不及预期，仿人机器人开发进度推迟，应用场景开发不及预期。

- **仿人机器人：多领域研究成果的跨学科杰作**
- **仿人为核心，赋予机器人“生命”**
- **液压/电机/气动驱动代替人的关节，硬件技术设计有巧思**
- **仿人机器人电池？能量优先兼顾功率的顶级需求**
- **环境适应能力与行为决策能力强，有别于工业机器人追求高精度**
- **Tesla bot，是实践物也是打开想象之窗的使者**
- **投资建议：电机、减速器需求开启上量趋势，看好国内企业量价齐升**

# 仿人机器人：多领域研究成果的跨学科杰作

- 仿人机器人（Humanoid Robot），又称拟人机器人，具有类人的感知、决策、行为和交互能力。其有类人的外形外观、感觉系统、智能思维方式，控制系统和决策能力，最终表现“行为类人”。
- 仿人机器人涉及工程学和控制科学，汇集电子、机械、自动化控制及计算机等领域的研究成果，不是简单买来零部件组装就可实现仿人功能。
- 仿人机器人按照高度进行分类，可分为大仿人机器人、中小仿人机器人。

图、仿人机器人概览



资料来源：公司官网，中信建投

- 仿人机器人：多领域研究成果的跨学科杰作
- **仿人为核心，赋予机器人“生命”**
- 液压/电机/气动驱动代替人的关节，硬件技术设计有巧思
- 仿人机器人电池？能量优先兼顾功率的顶级需求
- 环境适应能力与行为决策能力强，有别于工业机器人追求高精度
- Tesla bot，是实践物也是打开想象之窗的使者
- 投资建议：电机、减速器需求开启上量趋势，看好国内企业量价齐升

# 仿人机器人研究始于日本，目前进入高动态运动发展阶段

回顾仿人机器人发展历程，有三个重要标志：

- 第一阶段：以早稻田大学仿人机器人为代表的早期发展阶段；
- 第二阶段：以本田仿人机器人为代表的系统高度集成发展阶段；
- 第三阶段：以波士顿动力公司仿人机器人为代表的高动态运动发展阶段；

## 图、日本早稻田大学推出最早的双足步行机器人

第一阶段	第二阶段	第三阶段
<ul style="list-style-type: none"><li>• 1967年，日本早稻田大学加藤一郎教授研发了双足机器人WL-1。</li><li>• 1973年，日本早稻田大学研制的WABOT-1是世界上最早的具有全身类人结构的仿人机器人。可以实现双足行走。</li><li>• 1980年，美国Marc Raibert先后在CMU和MIT领导腿足机器人研究，1985-1990年研制的二维双足机器人，实现不平整地面的运动。1992年，Marc Raibert创立波士顿动力公司</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1996年，本田公司推出仿人机器人P2，将电源、传感器集成于一体，应用基于传感器的平衡控制方法。</li><li>• 1997年，本田公司推出P3，不仅在平地上行走，还可以在台阶和倾斜的路面上运动。</li><li>• 2000年，本田推出ASIMO，实现行走、上下楼梯、舞蹈等复杂运动，能跑步，装配视觉感应器、超声波感应器等，实现系统高度集成。</li><li>• 2011年，IIT推出COMAN，随后推出Walkman，采用串联弹性驱动（SEA）方式，优化身体架构，提高机器人高动态性能。</li><li>• 2014年，美国俄勒冈州立大学ATRIAS，驱动电机位置较高，腿部加入弹簧，能够实现高效步态能快速从扰动中恢复稳定运动。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2009年，波士顿动力发布PETProto，使用液压驱动，驱动力强，高动态运动性能。</li><li>• 2011年，本田发布最新一代ASIMO，奔跑速度可达9km/h，展现较好高动态运动能力和平衡控制技术。</li><li>• 2013年，波士顿动力发布Atlas，采用液压驱动，3D打印机械机构，初具人类外形，能够在碎石堆上行走，可以单脚站立。</li><li>• 2017年，日本东京大学发布Kengoro，基于人体生理结构、驱动和感知方式设计，可完成俯卧撑、仰卧起坐等复杂运动。</li><li>• 2017-2020年，Atlas持续更新迭代，最新一代重量80kg，身高1.5m，运动速度1.5m/s，可以实现空翻、跳远、上台阶三级跳、倒立、前滚翻、控制360度转体等高难度的高动态运动。</li></ul>

资料来源：高校官网，中信建投



# 日本率先开启仿人机器人的研究，实现双足行走

- 1971年，日本早稻田大学的加藤教授推出了基于液压系统的双足机器人WL-3以及WL-5，**实现了步长15cm、周期45s的静态步行。**
- 之后设计的基于电机驱动的WL-9R以及WL-10DR通过踝关节力矩控制，实现动态行走，单步周期缩短到1.3s。
- 2006年，加藤一郎的学生高西淳夫教授推出仿人机器人WABIAN-2R（拥有41个自由度的），**实现1.8km/h的行走，且能适应软硬不同的地面。**

图、日本早稻田大学推出最早的双足步行机器人



WL3(1969)



WL5(1971)



WL9R(1980)



WL10DR(1981)



WABIAN-2R(2006)



# HONDA推出的Asimo代表当时最先进技术水平

- 1996年日本HONDA公司研制出第一台仿人机器人P1，之后推出P2，可在普通路面行走，后续推出P3。
- 2000年11月12日，发布最具代表性的基于电机控制的双足机器人Asimo，高120cm，重52kg，步行速度0~1.6km/h。
- **第三代 ASIMO 机器人于2011 年发布，步速可达 9km/h，可以上下台阶、单腿踢足球和单腿跳跃，行走步幅可连续调整，自由度数目达到 57 个，基本可适应固定环境的服务机器人应用场景。**

图、日本HONDA推出当时最具影响力，最先进的双足机器人Asimo

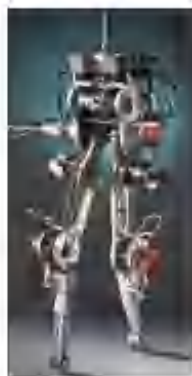


资料来源：知网，浙江大学，中信建投

## Cassie体现新型驱动设计，丰富驱动技术路线

- 1997年，密歇根大学的Grizzle等人研制了欠驱动双足机器人RABBIT，其可实现无脚动态行走。
- 基于RABBIT，相继研发了MEBAL，MARLO，ATRIAS一系列欠驱动行走机器人，实现了三维欠驱动的行走。
- 2017年发布机器人Cassie，售价约7万美元，其驱动电机位置较高，在腿部加入弹簧，实现高效步态，同时能静止站在原地。
- 2022年，在Cassie基础上推出Digit，具有稳健的步行和跑步步态，具备爬楼梯、自主导航的感知能力，可应用于搬运包裹。

图、1997年，密歇根大学的Grizzle等人研制了欠驱动双足机器人RABBIT



RABBIT



MEBAL



MARLO



ATRIAS



Cassie



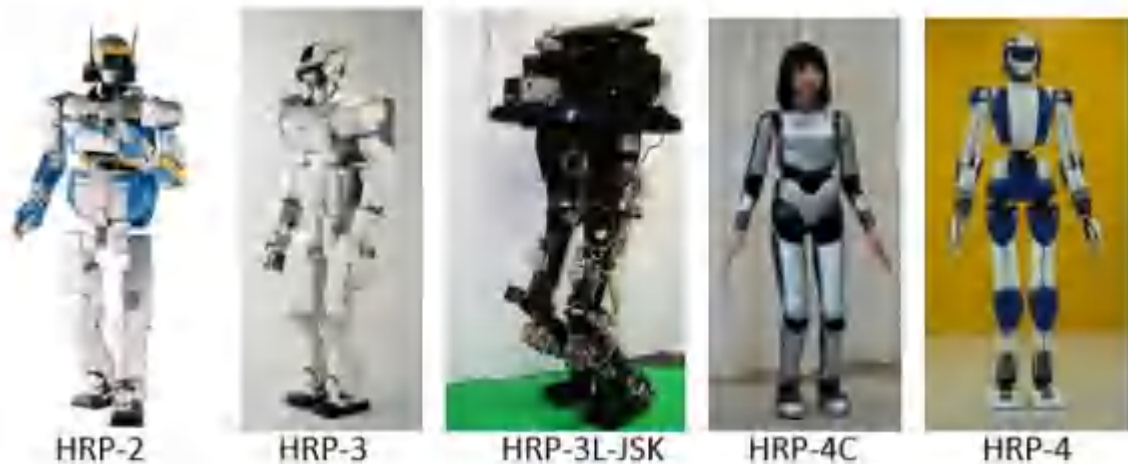
DIGIT V2/V3

资料来源：知网，浙江大学，中信建投

# HRP系列机器人可实现稳定行走，并与人合作

- 1998年，日本产业技术综合研究院开始主导的HRP系列计划，该计划旨在开发“在人类作业、生活环境中的与人协调、共存，能够完成复杂作业任务的仿人机器人系统”
- HRP-2、HRP-3能够稳定行走，完成多种灵巧的运动（如日本舞蹈），与人合作抬物品，跨越障碍物，从地面搬起物体，跌倒时能够保护自己并重新站起来等。

图、日本产业技术综合研究院推出HRP系统双足机器人



资料来源：公司官网，浙江大学，中信建投

# Atlas使用自主设计的液压驱动系统，运动能力全球第一

- 波士顿动力公司在美国国防部先进研究项目局（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）的资助下研发出了液压驱动的四足机器人BigDog第一代样机。
- 2009年10月，波士顿动力公司发布 PETMAN，作为美国实验防护服装设计军事设备的军事设备，具有强大的自平衡能力和运动性能，可在受到外部环境干扰下及时调整步态，保持平衡。
- Atlas 从 2013 年发布至今已经迭代了三个大版本，其全地形的适应能力代表目前最高水平。

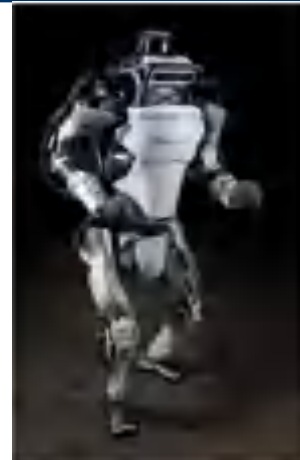
图、波士顿动力推出的液压驱动仿人机器人Atlas，其运动能力代表目前全球最高水平



双足及四足机器人



PETMAN



Atlas

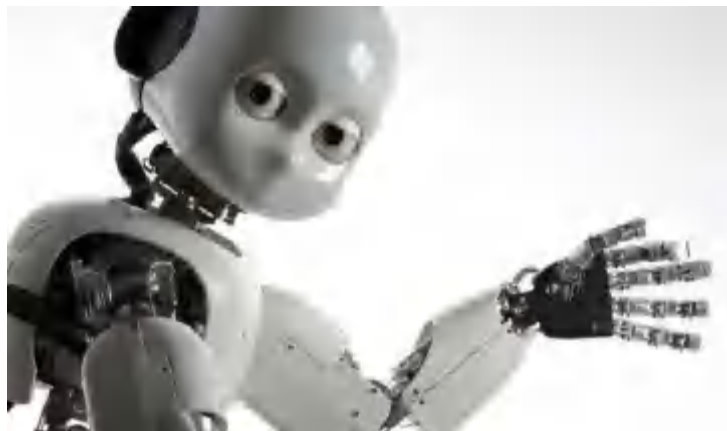
## IIT推出WALK-MAN，在欧洲具有影响力

- IIT推出的WALK-MAN消防机器人，加入力控形成有力矩控制的手关节，但牺牲了机器人的部分刚性。
- 2008年，IIT制造了开源仿人机器人iCub，用以研究感知学习与人机交互，具备非常好的人机交互性。其参照三岁半儿童的体型设计，身高1米，共有53个自由度，能够进行行走以及单腿平衡。
- 2012年，研制了双足机器人COMAN，其前向平面内关节均采用SEA驱动。

图、意大利技术研究院（IIT）推出WAKL-MAN和iCub，在欧洲非常有影响力



WALK-MAN



iCub



COMAN

资料来源：公司官网，中信建投

# 瑞士研究机构运用被动柔性，进一步提升跳跃与地形适应能力

- 2011年，瑞士苏黎世联邦理工学院机器人与智能系统研究所下属的机器人系统实验室，基于SEA关节研制了单腿机器人ScarIETH，**运用机器人的被动柔性，实现了高能效的跳跃与地形适应能力。**
- 基于此研制出了一款电机驱动的四足机器人StarIETH以及ANYmal。

图、瑞士苏黎世联邦理工学院机器人与智能系统研究所下属的机器人系统实验室，研制出基于SEA关节的单腿机器人



ScarIETH



StarIETH



ANYmal

资料来源：高校官网，浙江大学，中信建投



# HUBO获得DRC比赛第一名，推动亚洲研究发展

- 韩国先进科学研究院(KAIST)的双足机器人HUBO凭借其轮式与足式混合运动方式，获得2015年的DRC比赛第一名。
- 在 Rainbow Robotics 的帮助下，HUBO2 成为了全球第一个商业化的人形机器人平台。它被世界领先的研究机构（麻省理工学院、谷歌等）购买作为研究平台。
- “HUBO2” 机器人直膝每小时行走1.4km，奔跑速度达到 3.6km/h。

图、HUBO凭借其轮式与足式混合运动方式，获得2015年的DRC比赛第一名。



HUBO



HUBO2

资料来源：高校官网，中信建投



## 东京大学推出Schafft新版，降低成本和能耗

- 2013年，被google收购的东京大学仿人机器人团队Schafft在DRC2013年的比赛中获得冠军，其身高 1480mm，体重 95kg，臂展 1309mm，具有行走，爬楼梯等功能。
- 2016年发布了低成本低能耗的新型仿人机器人，能够负载66千克，并在复杂路面上行走。

图、东京大学仿人机器人团队Schafft在DRC2013年的比赛中获得冠军



2013 DRC 比赛用机



2016新版机器人

资料来源：高校官网，中信建投

## 中小型仿人机器人研发如火如荼，丰富扩大应用场景

- 法国的Aldebaran Robotics公司推出NAO典型机器人，销量达一万多台，公司一直坚持商业化的路径，与波士顿动力，Asimo有很大的差异，后来被日本的软银收购。后续推出Pepper，Romeo机器人。
- 在高度小于50厘米的小型双足机器人，韩国Robotis公司的Darwin-OP机器人比较出名，可稳定行走与颜色识别。
- 韩国Hitec公司推出Robonova-1，国内乐聚（深圳）机器人分公司推出” Aleos “机器人。

图、中小型仿人机器人研究也如火如荼，其中以NAO最为有名



NAO



Darwin-OP



Robonova-1



乐聚Aelos PRO

资料来源：公司官网，中信建投

## 国内仿人机器人研究起步较晚，多以高校和研究机构为主

- 清华大学、浙江大学、上海交通大学、北京理工大学、中科院等高校或研究机构也相继开展仿人机器人的研究。
- 国防科大起步较早，2000年研制“先行者”，2003年研发Blackman，身高1.55m，重63.5kg，共36个自由度，最快步行速度可以达到1km/h，**在机器人转弯、不平整地面上行走等方面研究深入。**
- 2002年，清华研制THBIP-I机器人，高1.7m，重130kg，**能够实现稳定步行、上下台阶；**
- 2022年，北理工推出汇童“BHR-1”，**首次实现无外接电缆独立行走；**2005年BHR-2突破**稳定行走、复杂运动规划**等关节技术。

图、国内仿人机器人研制起步较晚，以高校和军工研究为主



国防科大Blackman



清华HTBIP-I



北理工BHR

# 国内已推出多款机器人，在“仿人”方面取得巨大进步

- 2017年北理工研制BHR-6实现国际首创的摔倒保护、翻滚、行走、奔跑、跳跃等模态运动及转换功能，摔倒后可重新站立。
- 浙江大学研制“悟空”，开展以打乒乓球为例的环境感知与全身协调作业研究，**实现仿人机器人打乒乓球的演示验证。**
- 中国科学院合肥物质科学研究院研制的仿人机器人已**实现行走、作业等功能**，并报名参加2013年DARPA机器人挑战赛。
- 国内外的研究者对仿人机器人进行了大量的研究，在动力学建模、运动规划、系统集成、双足步行平衡控制等方面取得了巨大

图、国内仿人机器人研制起步较晚，以高校和军工研究为主



北理工BHR-4



浙大“悟空-II”



合肥物质科学院机器人

# 目前仿人机器人关节数量多，重量大，成本高

表、大仿人机器人关节数量多，重量重

名字	高度 (cm)	重量 (Kg)	材质	驱动方式	驱动器/关节数	发布时间	成本 (美金)
Asimo(2011)	130	48	合金	电机+谐波	57	2011	250万 (2016)
Valkyrie	187	129	-	电机+SEA	44	2013	-
Toro	174	76.4	-	<b>电机+谐波</b>	39	2014	-
WALK-MAN	191	132	-	电机+SEA	29	2015	-
Atlas2015	188	182	-	<b>液压+伺服阀</b>	30	2015	-
Atlas2016	150	75	-	<b>液压+伺服阀</b>	28	2016	-
Hydra	185	135	-	液压+EHA	41	2016	-
Kengoro	168	55.9	-	电机+肌腱	106	2016	-
NimbRo-OP2	135	19	3D打印	电机+谐波	34	2017	-
Talos	175	95	-	电机+谐波	32	2017	-
HRP-5P	183	101	-	电机+谐波	37	2018	-
Digit	155	42.2	-	电机+摆线	16	2019	-

资料来源：公司官网，A comprehensive survey on humanoid robot development，双足机器人复杂环境下定位、导航和规划，中信建投

# 小仿人机器人成本相对较低，在成本上有优势

表、小仿人机器人基本都以电机驱动，成本在8000美金以上

名字	高度(cm)	重量 ( Kg )	材质	驱动方式	处理单元	发布时间	成本 ( 美金 )
DARwIn-OP	45.4	2.9	铝，塑料	电机	Atom Z530 1.6GHz CPU(32 bit)	2011	9600(2019)
ROBOTIS-OP3	51.04	3.5	铝	电机	Intel	2019	11000
NAO	57	5.2	ABS		ATOM Z530 1.6GHz CPU	2009	9000
Poppy	83	3.5	3D打印	电机	Raspberry Pi	2014	10250(2013)
iCub	104	22	3D打印	电机	Microcontroller based Freescale 56F807 chip	2010	270000(2016)
ARC	54	2.9	3D打印	电机	Intel i5, 1,8GHz CPU	2018	-
Surena mini	53.4	3.3	3D打印	电机	Intel	2017	8000(2017)

资料来源：A comprehensive survey on humanoid robot development，中信建投

- 仿人机器人：多领域研究成果的跨学科杰作
- 仿人为核心，赋予机器人“生命”
- **液压/电机/气动驱动代替人的关节，硬件技术设计有巧思**
- 仿人机器人电池？能量优先兼顾功率的顶级需求
- 环境适应能力与行为决策能力强，有别于工业机器人追求高精度
- Tesla bot，是实践物也是打开想象之窗的使者
- 投资建议：电机、减速器需求开启上量趋势，看好国内企业量价齐升



# 仿人为核心，通过技术巧思赋予机器人“生命”

- 人形机器人需要解决的核心问题是，走得稳，走得快，适应不同类型的地面，适应不同类型的复杂环境。

表、仿人机器人需要解决的核心问题门槛高，需互相协同方可实现仿人目标

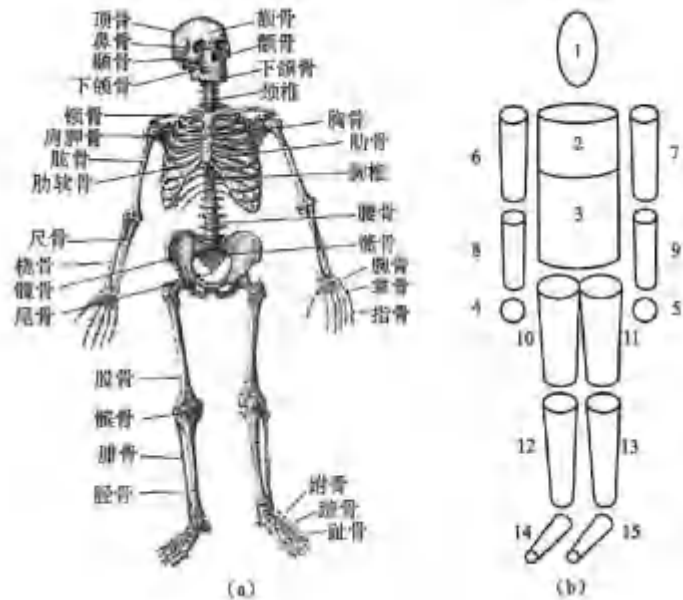
核心问题	对机器人的影响
仿生机构的设计	决定机器人的性能与运动模式 通过仿生物结构，提高机器人的运动能力 在仿生结构上改进，获取更高的运动能力
关节驱动的设计	关节体积与关节能力的权衡 位置精度与被动柔性的权衡
平衡控制与抗扰动	关键在于控制器的设计与选择
基于环境感知的运动与交互	对环境的认知和理解，可行区域的计算，接触点的选择
续航能力的提升	电池容量的提升 机械结构的减重 高能效的结构设计

资料来源：浙江大学，中信建投

# 仿生机构设计：基于人体骨骼建立简化模型

- 一个普通成年人一般具有206块骨骼和近230个关节，构成由630肌肉控制的244个自由度。
- 如果对人体精确建模，工作将极其复杂，Hanavan提出将人体模型简化，通常分为15个部分，对应人体的头部、胸部、大臂、小臂、手、大腿、小腿及脚部。
- 仿人机器人是一种具有高自由度、强非线性的动力学系统，通常采用多刚体力学系统和仿真数值计算结合的方法进行动力学和运动学分析。
- 在机器人运动分析中，包含动力学分析和运动学分析，其中运动学分为正运动学和逆运动学。

图、在人体骨骼模型基础上，仿人机器人模型会进行简化



资料来源：仿人机器人基础理论，中信建投



## 关节驱动路线一：液压驱动力量大，爆发力强

- 优点：输出功率大，不需要减速器，力量大，爆发力强，可承受机械冲击和损伤的能力强。
- 缺点：液压系统易漏油，体积大，噪声大，功耗高，必须配置液压源。

图、液压驱动多用于力量要求高的场合

图、波士顿动力的Atlas使用液压驱动，运动性能优越

压力源

大功率、大噪声、大体积

压力控制器

力矩信息反馈

液压缸

高力矩、高速度

负载



资料来源：浙江大学，中信建投

## 关节驱动路线二：电机驱动最传统，结构简单应用广

- 优点：结构简单，位置伺服精确
- 缺点：力矩伺服差，传动损耗高，爆发力不如液压驱动

图、传统电机驱动+力矩传感器

电机

高转速、低扭矩

减速器

高减速比、高损耗

力矩传感器

力矩信息反馈

负载

图、传统电机驱动广泛应用于仿人机器人



资料来源：浙江大学，中信建投

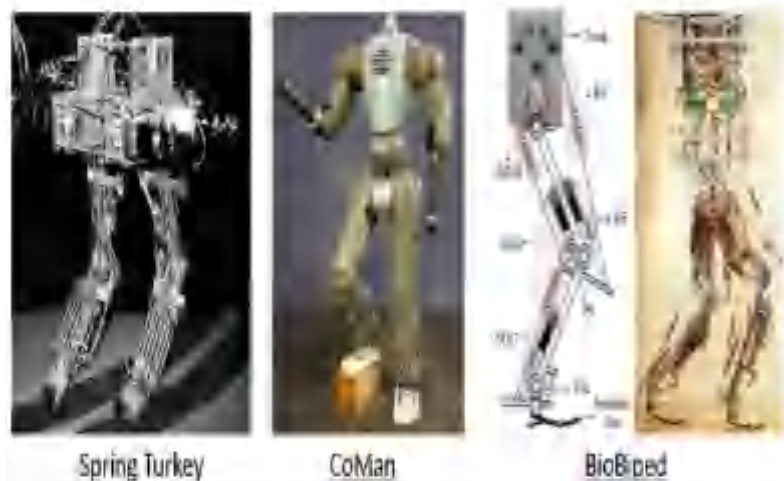
## 关节驱动路线二：电机驱动 + 柔性软件，提升能量储存循环能力

- 优点：力矩精度高，被动柔性，可实现能量储存循环
- 缺点：位置伺服差，响应带宽有限

图、传统电机驱动+柔性元件，提升力储存循环能力

电机	高转速、低扭矩
减速器	高减速比、高损耗
柔性元件	被动柔性，力矩信息反馈，能量储存循环
负载	

图、传统电机驱动+柔性元件方案也广泛使用



资料来源：浙江大学，中信建投

## 关节驱动路线二：电机直驱方案实现位置精度高，响应速度快

- 优点：力矩精度高，位置精度高，响应速度快
- 缺点：电机需要特制，电机体积大

图、电机直驱提升位置精度，但对电机要求高

电机

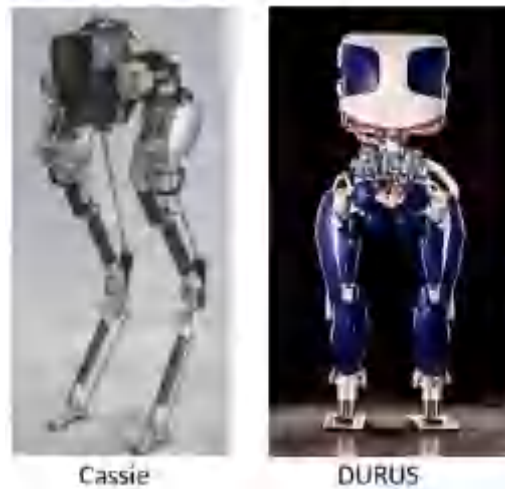
低转速，大扭矩，大体积

减速器

低减速比，低损耗

负载

图、Cassie独特的结构设计中，采用电机直驱方案



资料来源：浙江大学，中信建投



## 关节驱动路线三：气动驱动质量轻，价格低，但控制精度不高

- 优点：气动人工肌肉质量轻、价格低、易维护，与汽缸相比，具有较大的功率体积比和功率质量比。
- 缺点：控制精度不高。工作效率较低，工作速度稳定性差。

图、气动人工肌肉参考人类肌肉运动原理，具有很好的柔顺性



图、英国Shadow公司研制出基于气动人工肌肉的仿人机器人



资料来源：仿人机器人理论与技术，Shadow官网，中信建投

## 三种驱动方式各有特点，电机驱动最传统，液压驱动最昂贵

- 液压、电机和气动驱动方式各有特点，其中电机驱动最为传统，技术进步迭代速度快，全球应用范围广；液压驱动难度高，液压阀难度极高，系统成本非常昂贵，机器人运动性能最优秀；气动驱动性能介于液压和电机直接，目前应用相对较少。

图、在机器人设计时，企业会综合考虑性能和成本选择驱动方式

特性	电机	液压	气动
基本组成	逻辑电子器件，功率放大器，直流/交流电机，减速器，冷却器等	泵，压力调节器，过滤器，热交换器，伺服阀，驱动器，蓄能器	空气压缩机，中间冷却器，压力调节器，过滤器，干燥器，驱动器，气阀等
工作介质	电	高品质油，水机溶液等	空气、氮气等
工作供应源	0-460V电压	0.4-70MPa	0.04-0.9MPa
工作效率	大系统90%以上	不超过60%	不超过30%
额定输出	低	好	一般
驱动力与质量比	不好，各自子系统承载电机齿轮	好，高的压力输出	一般，低重量，低压力输出
温度敏感性	正常工作条件下低	低，影响油液的粘度除外	高，气体体积和压力都和温度有关
热耗散	低，水冷却	好，自带冷却器	基本没问题
工作安全性	最安全，防电机，接地处理	油液泄露，防火灾，油液对人体有害，污染环境	飞屑比较危险
成本	低	很高	低

资料来源：仿人机器人下肢机构设计与分析，中信建投

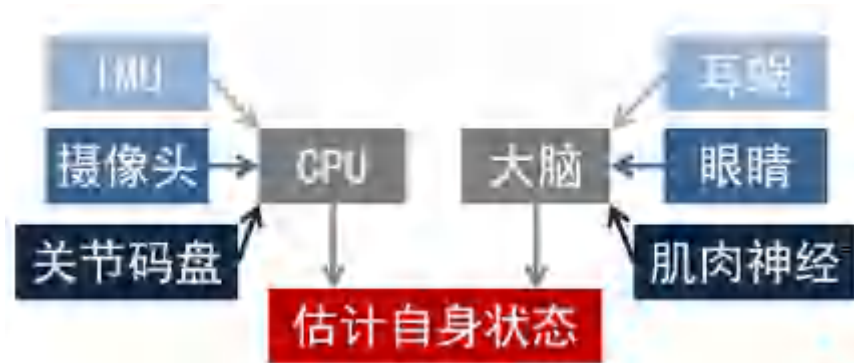
# 平衡控制直接影响行走性能，通常公司自主研发核心控制算法

- 机器人状态估计的核心问题包含：传感器的选择与布置，传感器数据的标定，机器人本体的建模，多传感器数据融合。
- 控制器的设计选择中，通常根据自身状态与机器人模型，进行控制策略的选择，再执行控制指令。控制器的设计是机器人设计中最核心的部分。

图、通过控制器和传感器实现机器人的平衡控制



图、CPU和传感器非常重要，实现机器人自身状态估计



资料来源：浙江大学，中信建投

# 要实现良好的人机交互性能，算法、AI技术、传感器都不可少

- 在基于环境感知的运动规划与交互设计中，需要对环境有良好的的认知和理解，对可行区域进行计算，合理选择接触点（例如双足、双手或手脚并用），以及步长的选择与模型的优化。

图、复杂场景的应用需要仿人机器人具备良好的交互功能



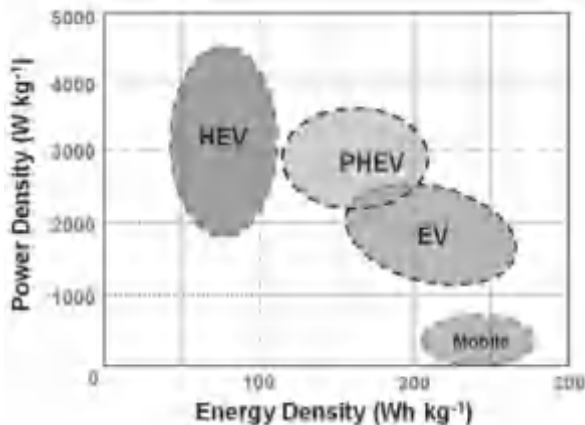
资料来源：浙江大学，中信建投

- 仿人机器人：多领域研究成果的跨学科杰作
- 仿人为核心，赋予机器人“生命”
- 液压/电机/气动驱动代替人的关节，硬件技术设计有巧思
- **仿人机器人电池？能量优先兼顾功率的顶级需求**
- 环境适应能力与行为决策能力强，有别于工业机器人追求高精度
- Tesla bot，是实践物也是打开想象之窗的使者
- 投资建议：电机、减速器需求开启上量趋势，看好国内企业量价齐升

# 仿人机器人电池：从有限的性能指标估计电池组的基本参数

- 波士顿动力机器人Atlas的最大功率5kW，机器人整体质量80kg。以搭载的48V锂离子电池组重5-10kg，质量能量密度200-250Wh/kg，体积能量密度500Wh/L估算，该电池组的放电倍率2C-5C，体积2-5L，质量功率密度0.5-1kW/kg，体积功率密度1-2.5kW/L。
- 根据质量能量密度、质量功率密度两个指标的性能范围，我们估计Atlas使用的电池组类似于高性能动力电池组。

图、不同类型锂电池的能量、功率密度示意



资料来源：The Current Move of Lithium Ion Batteries Towards the Next Phase，中信建投

# 动力电池最新进展：CTP3.0 “麒麟电池” 呼之欲出

- 根据宁德时代官网，采用CTP3.0技术的“麒麟电池”可实现255Wh/kg（三元）或160Wh/kg（铁锂）的质量能量密度、72%的体积利用率、4C快充、5分钟热启动及安全无热扩散的多项性能指标。

图、宁德时代“麒麟电池”的关键性能指标



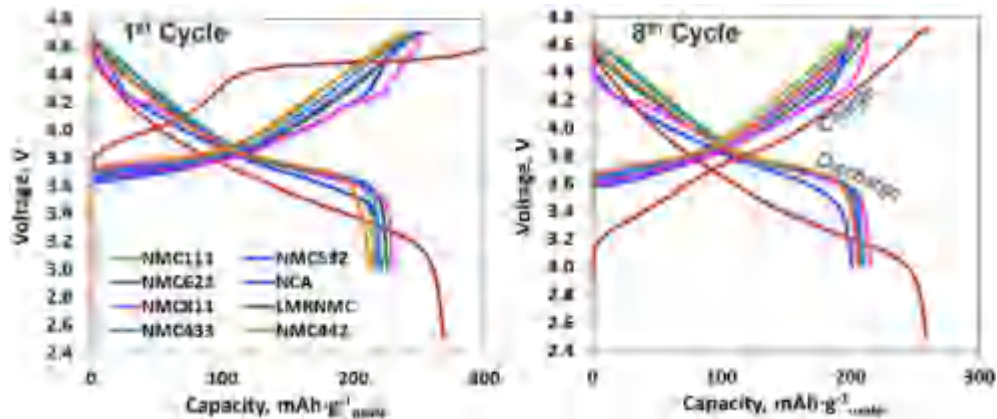
资料来源：宁德时代，智选车，中信建投



# 展望未来：仿人机器人电池材料需求方向是什么

- 可以看出，仿人机器人对放电倍率、循环寿命要求不高，但对质量、体积能量密度要求高，且对快充能力有潜在要求。
- 所以，具备高能量密度，最好兼顾快充能力的电池及电池材料是仿人机器人电池的需求方向。
- 隶属层状氧化物正极的高镍/中镍高电压三元正极是当前的优选，未来富锂锰基正极可能也会占据一席之地。

图、不同类型层状氧化物正极材料的初始循环容量-电压特性

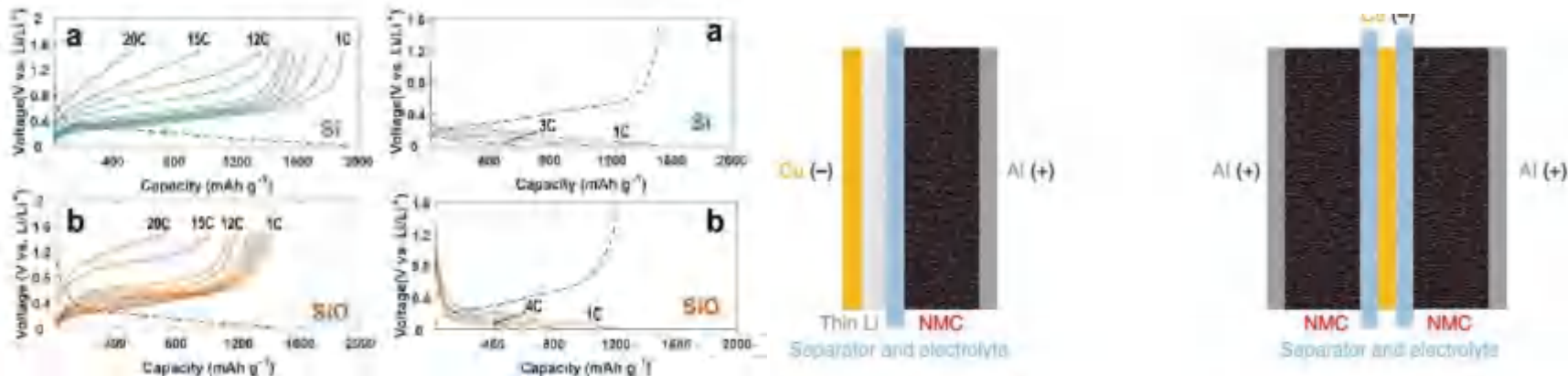


资料来源：Cost of automotive lithium-ion batteries operating at high upper cutoff voltages，中信建投

# 展望未来：仿人机器人电池材料需求方向是什么

- 硅基负极材料（硅碳、氧化亚硅碳）可在高容量基础上兼顾倍率，提升电池综合性能。
- 锂金属电池、无负极锂金属电池可提升电池能量密度，综合性能尚待评估。

图、硅碳、氧化亚硅碳负极的倍率-容量特性，锂金属电池和无负极锂金属电池示意

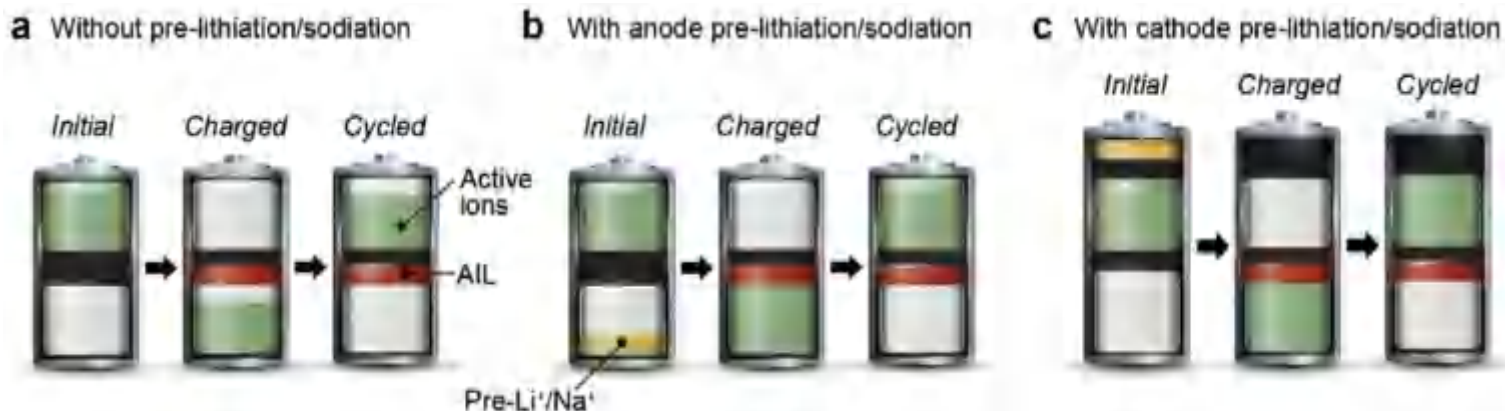


资料来源：Systematic electrochemical characterizations of Si and SiO anodes for highcapacity Li-Ion batteries, Molecular design for electrolyte solvents enabling energy-dense and long-cycling lithium metal batteries, 中信建投

# 展望未来：仿人机器人电池材料需求方向是什么

- 对锂电池材料体系进行补锂，即在电池材料体系中引入高锂含量物质，并使得该高含锂量物质有效释放锂离子和电子，弥补活性锂损失。
- 不论负极还是正极预锂化后，虽然锂耗仍然存在，但电池中活性物质空缺的容量不复存在，电池的实际能量密度得到提高。

图、不预锂化、负极预锂化、正极预锂化的效果示意

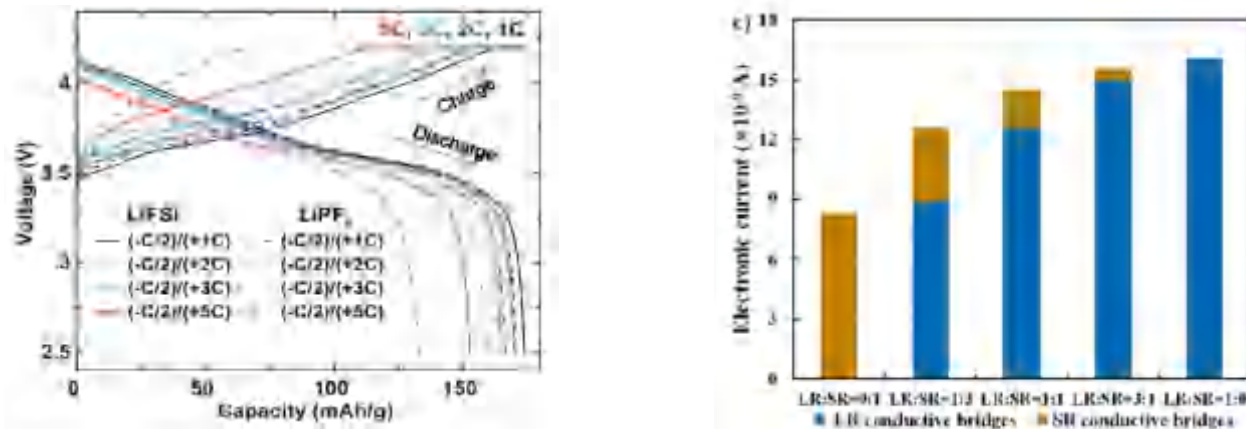


资料来源：Cathode pre-lithiation/sodiation for next-generation batteries，中信建投

# 展望未来：仿人机器人电池材料需求方向是什么

- LiFSI等新型锂盐可以提升电池的倍率性能、温度特性，快充能力等。
- 碳纳米管对电池倍率性能的提升有积极作用。

图、LiFSI提升电池倍率性能，碳管长径比越大电极电子电导越高

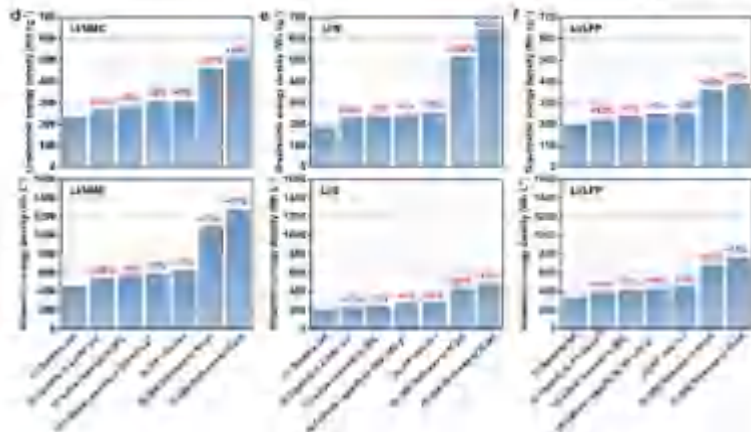


资料来源：Enabling fast charging of high energy density Li-ion cells with high lithium ion transport electrolytes, Blending fiber-shaped long-range conductive additives for better battery performance: Mechanism study based on heterogeneous electrode model, 中信建投

# 展望未来：仿人机器人电池材料需求方向是什么

- 如果固体电解质可以做到轻薄强韧高稳定性，则对电池能量密度提升有重要作用。
- 仿人机器人电池对循环寿命要求相对不高，对安全性要求可能高，不失为高能量密度固态电池的潜在优质应用场景。

图、固态电池能量密度提升手段示意

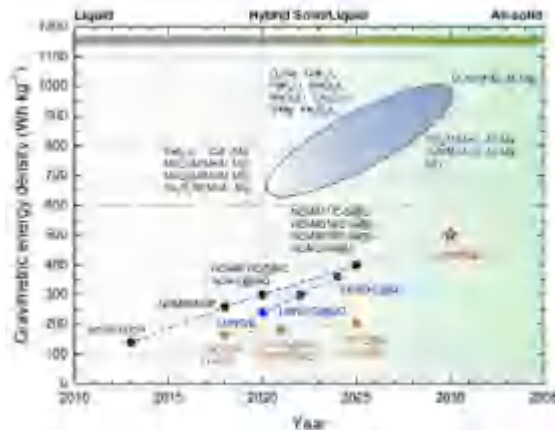


资料来源：Reducing the thickness of solid-state electrolyte membranes for high-energy lithium batteries，中信建投

# 展望未来：仿人机器人电池还有20%以上能量密度进步空间

- 我们预计，至2030年，仿人机器人锂电池的系统能量密度或提升至300Wh/kg以上，具备超过20%的进步空间。
- 届时，单机器人带电量3-6kWh，支持较长时间的工作可能成为常态。高能量密度、兼顾倍率性能的优质电池有望成为仿人机器人实际应用的重要支撑。

图、锂电池质量能量密度提升路径估计



资料来源：Batteries with high theoretical energy densities，中信建投

- 仿人机器人：多领域研究成果的跨学科杰作
- 仿人为核心，赋予机器人“生命”
- 液压/电机/气动驱动代替人的关节，硬件技术设计有巧思
- 仿人机器人电池？能量优先兼顾功率的顶级需求
- 环境适应能力与行为决策能力强，有别于工业机器人追求高精度
- Tesla bot，是实践物也是打开想象之窗的使者
- 投资建议：电机、减速器需求开启上量趋势，看好国内企业量价齐升

# 仿人机器人追求感知和反应速度，工业机器人要求高精度

- 仿人机器人在硬件结构设计、自由度配置、控制方法和内容上有显著差别。

图、放入机器人最核心的优势是能够在复杂环境下完成多种任务

核心指标	仿人机器人	工业机器人
关节数量	一般25~50个，多则68个	一般3~6个，多则14个
关节驱动方式	电机驱动，液压驱动	多为电机驱动
减速器	谐波减速，精密行星减速器	RV减速器，谐波减速器
电池	需要	不需要
传感器	至少包含视觉、声觉、力觉等传感器	选配视觉、力觉传感器，一般无声觉传感器
壳体材料	多为柔性材料	铸件刚性材料
工作场景&任务	负责场景、多种任务	单一场景，重复单一任务
控制方式	Model base运动控制，感知多用AI控制	Model base 运动控制
控制内容	基于动力学的运动轨迹生产，基于欠驱动系统的身体平衡控制，以及基于环境感知落脚点选择控制	确定路径的时间最优规划，抖动抑制
核心性能要求	不确定环境下的环境感知、自身状态感知、行为决策，感知和反应速度要求高，精度要求较低	确定环境、任务下的高速度规划和高精度控制

资料来源：中信建投



# 仿人机器人自由度数量远高于工业机器人，设计和控制难度更高

表、仿人机器人的自由度数量远高于工业机器人，少则20，多则达68个

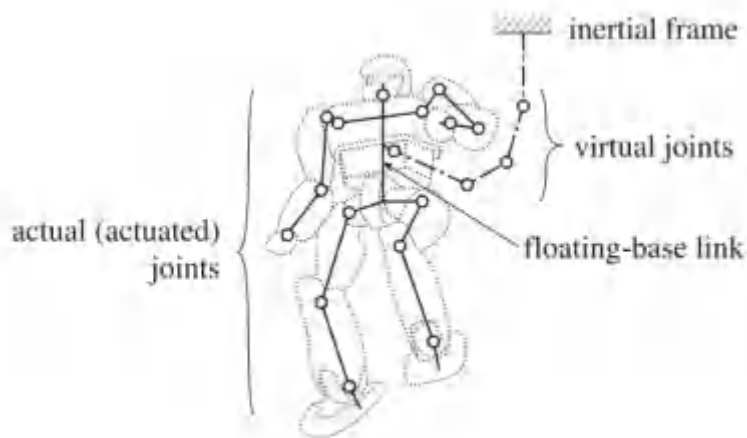
Size	Name	Head	Arms	Hands	Hip	Legs	Total	Size	Name	Head	Arms	Hands	Hip	Legs	Total
		DOF								DOF					
Child size	DARwin-OP (Ha <i>et al.</i> , 2011)	2	6	0	6	6	20	Adult size	ASIMO (Sakagami <i>et al.</i> , 2002)	3	14	26	2	12	57
	ROBOTIS-OP3 (‘ROBOTIS OP2-OP3’)	2	6	0	6	6	20		HRP-4 (Kaneko <i>et al.</i> , 2009)	11	12	4	9	8	44
	NAO (Gouaillier <i>et al.</i> , 2009)	2	10	2	5	6	25		REEM-C (Ferro & Marchionni, 2014)	2	14	38	8	6	68
	Poppy (Lapeyre <i>et al.</i> , 2014)	2	8	0	9	6	25		Atlas (Kuindersma <i>et al.</i> , 2016)	2	14	0	6	6	28
	Igus (Allgeuer <i>et al.</i> , 2015)	2	6	0	6	6	20		HUBO+ (Jung <i>et al.</i> , 2018)	1	14	2	7	6	30+ 2 wheels
	iCub (Metta <i>et al.</i> , 2010)	6	14	18	9	6	53		Lola (Lohmeier <i>et al.</i> , 2009)	2	6	0	6	10	24
	ARC (Saeedvand <i>et al.</i> , 2018)	2	6	0		6	20		Nimbro-OP2 (Ficht <i>et al.</i> , 2018)	2	6	0	6	6	20
	Surena mini (Nikkhah <i>et al.</i> , 2017)	2	8	0	7	6	23		IRC (Saeedvand <i>et al.</i> , 2017)	2	6	0	6	6	20

资料来源：A comprehensive survey on humanoid robot development，中信建投

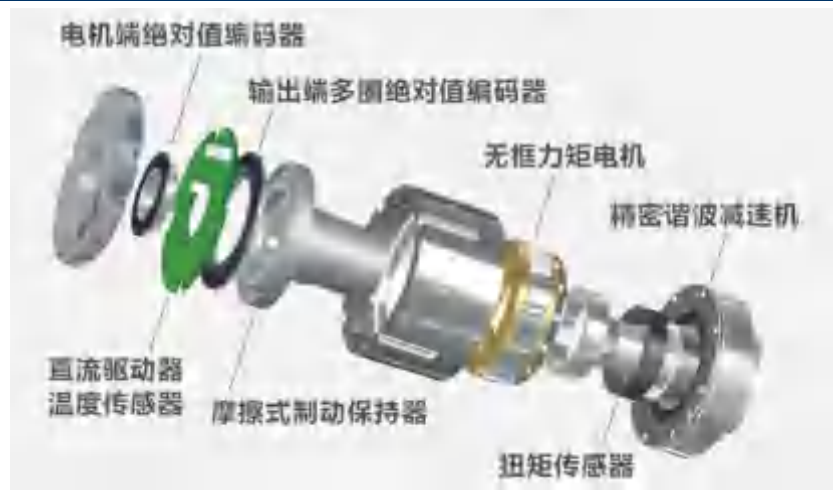
# 仿人机器人关节/电机数量远高于工业机器人，价值量更可期

- 在仿人机器人的硬件结构上，**关节是其非常核心的部件**。人体的下肢决定行走、跑步等运动性能，主要包括三大关节髋关节、膝关节和踝关节。仿人机器人的关节自由度不可能完全像人，需要分析提炼下肢全方位行走时不可或缺的自由度，通过关节的设计来实现。**机器人整体的自由度/关节数量通常为20-50个，甚至更高，设计和控制难度更高，电机、减速器价值量更可期。**
- 仿人机器人关节通常采用一体化关节，以舵机方案为例，包含八大零部件，其中电机、减速器、驱动器是核心零部件。

图、仿人机器人关节数一般为25-50个，多则超过60个



图、在舵机方案里，电机、减速器、驱动器是一体化关节的核心部件

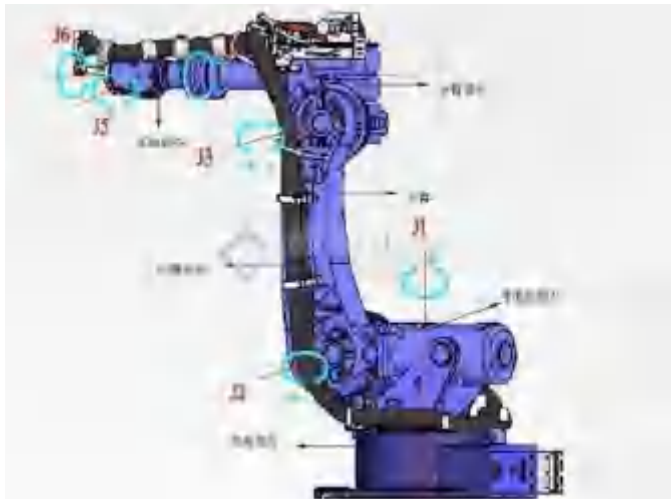


资料来源：A survey: dynamics of humanoid robots，公司官网，中信建投

# 仿人机器人关节/电机数量远高于工业机器人，价值量更可期

- 仿人机器人在结构上更加复杂，不仅包含两个手臂，同时包含双足和头部，**机器人整体的自由度/关节数量通常为20-50个，甚至更高，设计和控制难度更高，电机、减速器价值量更可期。**
- 工业机器人形态为机械臂，包含大臂、小臂、腕部和手部，自由度/关节的数量通常为3-6个，极少数会超过10个。

图、工业机器人的自由度数量通常为3~6个



图、ABB双臂协作机器人的自由度为14个，市场上仅此一款



资料来源：《工业机器人》，零差云控公司官网，中信建投

# 仿人机器人视觉系统性能要求、数量需求更高

- 仿人机器人视觉系统为标配，且要求高，大多为双目视觉（需要2个相机），有时需用到3D视觉，相机数量与整体价格比工业机器人视觉更高。
- 工业机器人视觉并非标准配置，属于可选择的高配选项，通常包含一个工业相机，大多为2D视觉。

图、仿人机器人的视觉系统要求更高，数量需求更多

图、工业机器人视觉需求更简单，硬件通常由光源、镜头和工业相机组成

Size	Name	Mono vision	Stereo vision	Laser scanner	Other vision sensors
Adult size	ASIMO (Sakagami et al., 2002)	-	✓	✓	IR
	HRP-4 (Kanehiro et al., 2009)	✓	✓	-	-
	BEEM-C (Tero & Marchionni 2014)	-	✓	✓	-
	Atlas (Kamdemou et al., 2016)	-	✓	✓	LIDAR
	HUBO+ (Jung et al., 2018)	-	✓	✓	-
	Lotu (Lobmayr et al., 2009)	-	✓	-	-
	NimbRo-OP2 (Fuchs et al., 2016)	✓	-	-	-
	IRC (Saeedvand et al., 2017)	✓	-	-	-



Mech-Eye UHP-140  
工业级3D相机



视野图 (mm)

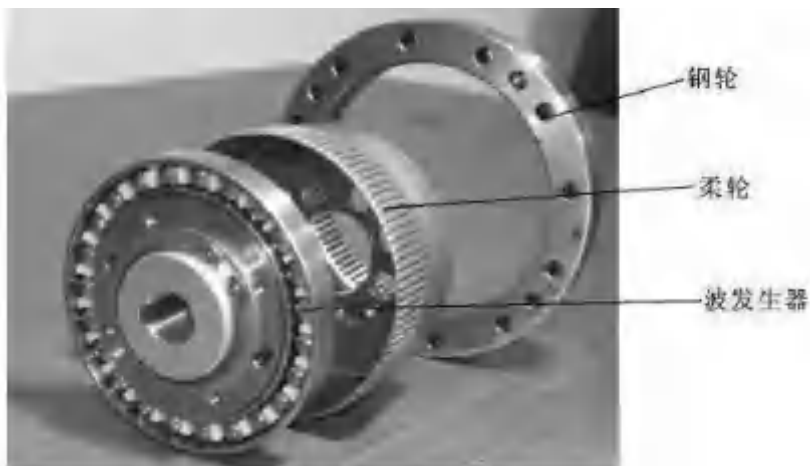
资料来源：A comprehensive survey on humanoid robot development，梅卡曼德公司官网，中信建投

# 仿人机器人更多使用谐波减速器，工业机器人减速器选择面更广

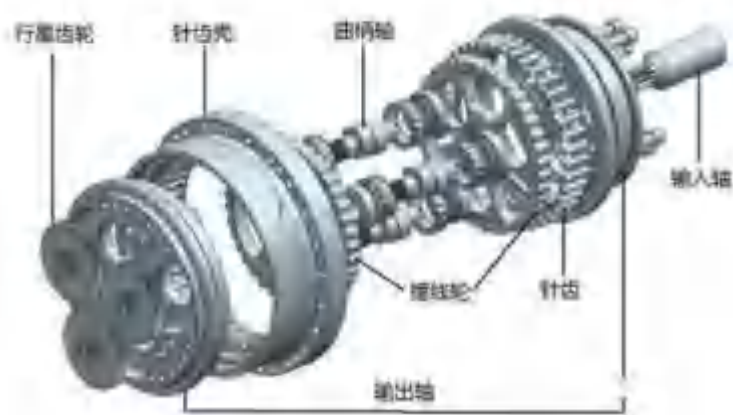
- 在电机驱动的仿人机器人里，实际更多用到谐波减速器，同时会用到传统齿轮、精密型齿轮等其他减速器。
- 工业机器人在减速器选择上面更广，尤其在大负载的机型里，其一二三轴必须用到RV减速器。

图、仿人机器人主要用谐波齿轮，部分用精密行星

图、工业机器人既会用到RV减速器，也会用到谐波



谐波减速器



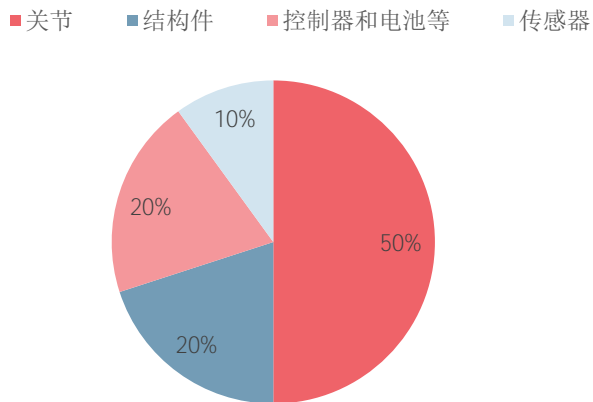
RV减速器

资料来源：机器人网，中信建投

# 关节在仿人机器人成本里占比50%+，看好国内电机、减速器企业

- 仿人机器人的关节成本占比最高，达50%以上，其中包含电机，减速器和传感器等，国内企业在性能方面可满足要求，看好国内电机、减速器企业的产业链机会。
- 除去关节，成本占比其次是结构件，控制器和电池等，传感器。国内厂商在结构件方面性能较好，选择余地较多。

图、关节成本占比最高，达50%以上



图、国内厂商在电机，减速机，结构件方面或有机会

## 关键零部件

## 国内外厂商情况

### 减速器

国内厂商性能较好，基本能满足，如和人形机器人做到较好结合，需更多研发提升技术

### 传感器

大部分以进口为主，国内机器视觉企业成本优势明显

### 主控芯片

以海外供应商为主

### 驱动芯片

以海外供应商为主

### 电机

部分国内厂商性能能和海外厂商相差不多，略差一点体现在寿命后半程

### 控制算法

基本为机器人公司自己研发，是最核心的控制部分

### 结构件

国内厂商可满足加工要求

### 电池

国内厂商基本可以满足要求

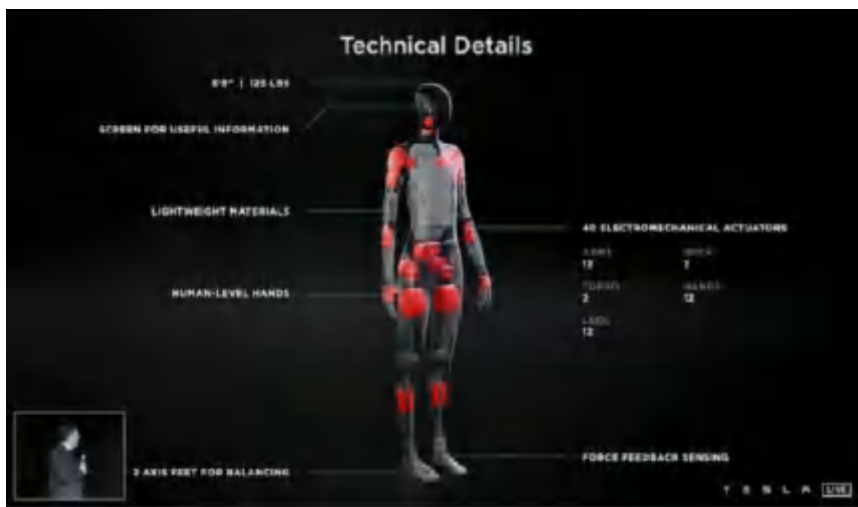
资料来源：中信建投

- 仿人机器人：多领域研究成果的跨学科杰作
- 仿人为核心，赋予机器人“生命”
- 液压/电机/气动驱动代替人的关节，硬件技术设计有巧思
- 仿人机器人电池？能量优先兼顾功率的顶级需求
- 环境适应能力与行为决策能力强，有别于工业机器人追求高精度
- Tesla bot，是实践物也是打开想象之窗的使者
- 投资建议：电机、减速器需求开启上量趋势，看好国内企业量价齐升

# Tesla bot，是实践物也是打开想象之窗的使者

- **技术路线预测：**采用准直驱QDD方式，控制方法仍使用传统的model base控制方法，8个摄像头，利用高性能的计算机芯片进行计算。
- **成本方面：**我们认为成本压力比较大，40个电机所带来的一体化关节成本较大，按一个关节4000元测算，关节成本超10万人民币。同时轻质柔性壳体材料价格仍较贵，准直驱使得电流大，电池也面临挑战。但如果实现量产，成本有很大的下降空间。

图、仿人机器人50%以上的成本来自于关节



## 关键参数

## 具体描述

外形	身高5尺8寸，头部带有显示屏
视觉系统	采用Autopilot摄像头作为视觉感知传感器，8个摄像头
驱动电机	共40个，包含脖子、胳膊、腿等
控制算法	搭载多相机神经网络、基于神经网络的规化、自动标记、算法训练等
材质	轻量材质
步速	最高时速达5英里/小时



# 未来感控一体化的实现与量产降本，仿人机器人市场空间非常广阔

- 基于目前的机器人控制水平与AI感知水平，我们认为目前仿人机器人在教育、科研、以及科技展示等场景应用需求更大。
- 随着机器人的运动性能与感知决策能力提升，规模量产带来成本下降，我们认为仿人机器人将渗透至以陪伴、教育为代表的服务业，市场空间非常广阔。

图、目前主要应用在高风险、比赛、服务三类场景，未来将渗透至各行各业

Size	Name	High-risk environments							Competition			Service					
		Nuclear	Mine	Military	Industrial	Rescue	Task allocation	Astronavigation	DARPA	RoboCup	FIRA	Home	Education	Cognitive	Medical	Simple tasks	Entertainment
Child-sized	DARwIn-OP	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓
	NAO	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
	Poppy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
	Igus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓
	iCub	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓
	ARC	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
	Surena mini	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
Adult-sized	ASIMO	✓	-	-	-	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NimbRo-OP2	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	HRP-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓
	REEM-C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓
	Atlas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	✓
	HUBO+	-	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓
	Lola	-	-	-	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓	-

资料来源：A comprehensive survey on humanoid robot development，中信建投

# Tesla bot实现量产后，新增电机市场规模有望达千亿元

- 目前仿人机器人成本非常昂贵，而准直驱的技术路线对电机性能提出很高要求。目前来看，进口电机价格通常为5000~6000元，甚至上万元，国产电机价格也在2000元以上。考虑到Tesla bot规模量产后，规模效应带来成本下降，当出货量分别为50、100、200万台时，假设电机单价分别为1500、1000、600元。
- **按一台机器人有40个关节进行测算，假设2024年伺服电机市场空间为442亿元，当机器人出货量为200万台时，新增电机市场空间超过原本伺服电机的市场空间，带来电机市场的高速增长，看好国内电机企业迎来量利齐升。**

图、当仿人机器人出货量达200万台时，新增电机市场空间超过原本伺服电机市场空间

	单位	情景1	情景2	情景3
仿人机器人出货量	万台	50	100	200
仿人机器人电机单价	元/个	2000	1500	1000
仿人机器人关节数量	个/台	40	40	40
仿人机器人电机数量	个/台	40	40	40
仿人机器人新增电机需求	万个	2000	4000	8000
<b>仿人机器人新增电机市场空间</b>	<b>亿元</b>	400	600	800
工业机器人出货量 (2024年E)	万台	50	50	50
工业机器人关节数量	个/台	5	5	5
新增工业机器人电机数量	万个	250	250	250
<b>工业机器人电机市场规模</b>	<b>亿元</b>	50	37.5	25
伺服电机市场空间 (2024年E)	亿元	442	442	442
<b>全球合计市场规模</b>	<b>亿元</b>	842	1042	1242
<b>新增电机空间占比</b>	<b>%</b>	47.5%	57.6%	64.4%

资料来源：华经产业研究院，IFR，中信建投

# Tesla bot 实现量产后，新增谐波减速器需求占比将超过60%

- **仿人机器人是否需要减速器由驱动方式决定。**以液压驱动的机器人不需要使用谐波减速器；以电机驱动的仿人机器人，可以不用RV减速器，在对力矩、精度、力臂要求大的关节通常使用谐波减速器，精度要求低的关节可使用精密行星减速器等。
- 工业机器人关节数量通常为3~6个，RV减速器和谐波减速器都会使用。我们按照每台工业机器人需要3个谐波减速器，每台协作机器人需要6个谐波减速器，假设谐波减速器单价相同进行测算。

图、当仿人机器人出货量达50万台时，新增谐波减速器市场空间将占总需求的69.6%

	单位	情景1	情景2	情景3
仿人机器人出货量	万台	50	100	200
谐波减速器单价	元/个	1600	1200	800
仿人机器人关节数量	个/台	40	40	40
仿人机器人谐波减速器数量	个/台	22	22	22
仿人机器人新增谐波减速器需求	万个	1100	2200	4400
仿人机器人新增谐波减速器市场规模	亿元	176	264	352
工业机器人出货量 (2024年)	万台	80	80	80
非协作机器人出货量 (2024年)	万台	72	72	72
协作机器人出货量 (2024年)	万台	8	8	8
非协作机器人谐波减速器数量	个/台	3	3	3
协作机器人谐波减速器数量	个/台	6	6	6
新增工业机器人谐波减速器数量	万个	264	264	264
工业机器人谐波减速器市场空间	亿元	42.24	31.68	21.12
工业机器人谐波减速器使用量占比	%	55%	55%	55%
全球谐波减速器市场规模 (2024年)	亿元	76.8	57.6	38.4
全球合计市场空间	亿元	252.8	321.6	390.4
仿人机器人新增谐波减速器空间占比	%	69.6%	82.1%	90.2%

资料来源：IFR，MIR，中信建投

# Tesla bot实现量产后，看好国内电池企业明显成本优势

- 仿人机器人需要电池保证电能供给，区别于工业机器人不需要电池。** 仿人机器人对电池、放电系统、BMS要求高。参考波士顿动力的Atlas机器人，其电池容量为605Wh，续航时间90min。作为商业化量产仿人机器人，我们按续航时间4.5小时，电池容量1.8KWh，电池价格1.1元/Wh进行测算，仿人机器人电池价格在2000元左右。当仿人机器人出货量为200万台时，其市场空间约40亿元。

**图、区别于工业机器人，仿人机器人电池为标准配置，仿人机器人出货量带来新增市场需求**

	单位	情景1	情景2	情景3
仿人机器人出货量	万台	50	100	200
仿人机器人电池容量	KWh	1.8	1.8	1.8
仿人机器人电池单价	元/Wh	1.1	1.1	1.1
仿人机器人电池单价	元/个	1980	1980	1980
仿人机器人电池数量	个/台	1	1	1
仿人机器人新增电池需求	万个	50	100	200
<b>仿人机器人新增电机市场规模</b>	<b>亿元</b>	<b>9.9</b>	<b>19.8</b>	<b>39.6</b>
消费锂电需求(2024E)	GWh	107	107	107
消费锂电价格	元/Wh	1	1	1
消费电池市场规模 (2024E)	亿元	1070	1070	1070
<b>全球合计市场规模</b>	<b>亿元</b>	<b>1079.9</b>	<b>1089.8</b>	<b>1109.6</b>
<b>新增电池市场占比</b>	<b>%</b>	<b>0.9%</b>	<b>1.8%</b>	<b>3.6%</b>

资料来源：波士顿动力官网，中信建投

- 仿人机器人：多领域研究成果的跨学科杰作
- 仿人为核心，赋予机器人“生命”
- 液压/电机/气动驱动代替人的关节，硬件技术设计有巧思
- 仿人机器人电池？能量优先兼顾功率的顶级需求
- 环境适应能力与行为决策能力强，有别于工业机器人追求高精度
- Tesla bot，是实践物也是打开想象之窗的使者
- **投资建议：电机、减速器需求开启上量趋势，看好国内企业量价齐升**

# 投资建议：Tesla bot大规模量产后，电机、减速器、电池需求开启上量趋势

## 机械结构

### 关节-电机

电机数量远高于工业机器人，电机用量：40个/台。  
电机性能要求高，仿机器人的体积和重量需尽可能轻便，对电机性能提出高要求。

### 关节-谐波减速器

谐波减速器数量远高于工业机器人，我们认为每台数量约15-25个，工业机器人每台使用3-6个，在上肢力矩、精度要求不高的关节里，也可能使用精密行星减速器、摆线针轮减速器。

### 关节-驱动器

驱动器数量远高于工业机器人。一体化关节里需要配置驱动器，通常一个关节配置一个驱动器，用于驱动电机。  
驱动电路一般都是功率性半导体元件（如MOSFET、IGBT等）组建的桥式驱动电路，需要大量的功率元器件进行搭建。



### 肢体结构-结构件

结构件成本占比约20%。  
结构件类似于人体的骨骼，形成仿人机器人内在基本架构，连接全身结构于一体，承受负载和支撑全身。  
我们认为，结构件一般为定制化加工，按特定机器人的结构设计进行加工，材料要求重量轻，同时具备足够的刚度和强度。

### 连接线束

线束用量大幅增加，我们预计至少需要40根线束，根据机器人结构定制化生产。  
仿人机器人的主控系统与关节通过线束进行连接，完成控制信号的传递。  
仿人机器人线束应具备高柔性、耐磨性以及更强的耐曲绕性。

# 投资建议：Tesla bot大规模量产后，电机、减速器、电池需求开启上量趋势

## 机器人内部信息获取-内部传感器

### 内部传感器-角度传感器等

仿人机器人的内部传感器，主要用来测量各个关节和其他部件的位置、速度、加速度用于控制机器人的运动，例如位置、角速度传感器、电机扭矩传感器等，获取的都是机器人本身的信息。内部传感器多用于关节处，随着仿人机器人关节数量的增多，其需求数量相应高速增长。

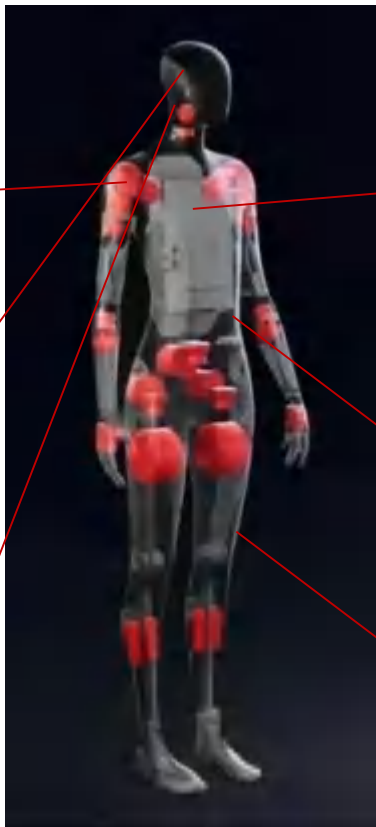
## 环境感知与交互-外部传感器

### 外部传感器-机器视觉

机器视觉为仿人机器人的必选配置，拟代替人的眼睛完成物体的识别及环境的感知。机器视觉的需求量随机器人的量产快速增长，一台机器人至少需要一个摄像头，Tesla bot则有8个摄像头。机器视觉是实现仿人机器人的环境感知与交互的核心部件。

### 外部传感器-语音系统

仿人机器人要实现良好的人机交互能力，声音感知也非常重要。常用的传感器有定向麦克风，声呐测距仪等。



## 控制系统

### 控制芯片

控制系统相当于人类的大脑，完成机器人的路径规划，步态行走控制以及全身运动的控制。仿人机器人多个自由度的计算以及复杂场景下的运动控制，要求芯片具备良好的算力、通信功能。

### 控制算法

控制算法是机器人控制中最为核心的部分，直接决定机器人的运动性能。

### 电池

电池是仿人机器人的必选配置，通常一台机器人配置一块或者一套电池组。新增电池市场空间也很可观。

### 壳体-柔性材料

仿人机器人壳体选用柔性材料，应具备重量轻、柔性好等特点，例如硅胶、碳纤维等。每台机器人壳体面积大，其价值量随机器人规模量产快速增加。

## 投资建议：单台Tesla bot电机数量为40个，新增电机需求有望近千亿

### 关节-电机拆解

Tesla bot共40个关节，即40个驱动电机。其中，颈部2个，手臂12个，手12个，腰部2个，腿部12个。

腰部和腿部需要承受全身重量及完成双足运动，所需电机功率更大，价格更贵。假设跨部和膝盖关节电机功率为1kW，预计量产后价格4000-6000元。

其余电机力矩要求和功率次之，假设功率为0.5 kW，量产后价格为1000-2000元。

脖子和手所需力矩较小，假设电机功率为0.1kW，量产后价格为500元。



#### 颈部

2个关节，需要2个电机  
功率、力矩要求较小

#### 手臂

12个关节，需要12个电机  
功率、力矩要求中等

#### 腰部

2个关节，需要2个电机  
功率、力矩要求高，价格贵

#### 手部

12个关节，需要12个电机  
功率、力矩要求小，价格便宜相对

#### 腿部

12个关节，需要12个电机  
膝盖关节功率、力矩要高，价格贵



## 投资建议：关节数量的增加，使得新增谐波减速器需求远超工业机器人

### 关节-减速器拆解

Tesla bot共40个关节，即40个驱动电机。其中，颈部2个，手臂12个，手12个，腰部2个，腿部12个。

通常更多使用谐波减速器。

我们认为，机器人腰部及以下关节力矩要求大，精度要求高，使用谐波减速器。

从降本角度来看，我们认为腰部以上关节不一定使用谐波减速器。



#### 颈部

2个关节

#### 手臂

12个关节

#### 手部

12个关节

可能使用谐波减速器

#### 腰部

2个关节，需要2个电机  
功率、力矩要求高，价格贵

谐波减速器

#### 腿部

12个关节，需要12个电机  
膝盖关节功率、力矩要高，  
价格贵

## 投资建议：要实现良好的环境感知与交互，内/外传感器使用量将大幅提升

### 传感器拆解

Tesla bot共40个关节，即40个驱动电机。其中，颈部2个，手臂12个，手12个，腰部2个，腿部12个。

位置、角速度、力矩传感器多用于关节，测量关节或机器人其他部位的内部信息，具体使用数量根据实际控制要求，有时为实现精准控制，其使用数量等于关节数量。

一台仿人机器人通常使用由一台或多台摄像头和视觉算法构成的机器视觉系统。

一台仿人机器人通常包含一套语音系统，由麦克风、语音识别算法，扬声器等组成。



#### 机器视觉

使用一个或多个摄像头，Tesla bot共有8个摄像头。

#### 语音系统

使用一套语音系统，包含麦克风、扬声器等。

#### 颈部

2个关节，使用内部传感器。

#### 手臂

12个关节，使用内部传感器

#### 手部

12个关节，使用内部传感器。

#### 腰部

2个关节，使用内部传感器。

#### 腿部

12个关节，使用内部传感器。通常在踝关节靠近地面的地方，使用六维力/力矩传感器。

## 分析师介绍

**朱玥：**中信建投证券电力设备新能源行业首席分析师。2021年加入中信建投证券研究发展部，2016-2021年任兴业证券电新团队首席分析师，2011-2015年任《财经》新能源行业高级记者。专注于新能源产业链研究和国家政策解读跟踪，获2020年新财富评选第四名，金麒麟第三名，水晶球评选第三名。

**张亦弛：**清华大学工学学士、博士，2年能源材料领域实业工作经验，2年清华大学下属研究院研究经验，储能技术与产业政策专家。承担了多项国家部委、地方政府、央企咨询项目，并为多个汽车、能源、材料领域投资项目提供咨询顾问服务。在学及就业期间发表多篇SCI及中文核心论文，申请多项国家专利并获得授权。主要覆盖新能源汽车领域。

## 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：li zhi yao@csc. com. cn

上海  
浦东新区浦东南路528号南塔2106室  
电话：(8621) 6882-1612  
联系人：翁起帆  
邮箱：wengqifan@csc.com.cn

深圳  
福田区益田路6003号荣超商务中心B座22层  
电话：(86755) 8252-1369  
联系人：曹莹  
邮箱：caoyi ng@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：charl eneli u@csci .hk