

结构轻量化经验或可复制至人形机器人的 轴承、丝杠和减速器

——人形机器人系列报告

核心观点

- **特斯拉 Optimus Gen2 重量减轻 10kg，人形机器人轻量化是必然趋势。**2023 年 12 月 12 日，特斯拉发布了第二代人形机器人擎天柱 Optimus Gen2，重量减轻 10kg。轻量化发展有利于提升人形机器人的机动性、速度以及动作准确性和续航能力，是产业发展的必然趋势。
- **机器人的轻量化主要是从材料和结构这两个方面来实现。**但基于材料的方法，需采用新型材料，如镁、铝合金和碳纤维复材等，其成本高且加工难度大，同时材料轻量化也需和结构设计相互耦合。与其相比，基于结构优化的方法只需改变结构形状，其成本低且容易实现，因而**结构轻量化就成了机器人轻量化设计的主要方法。**
- **结构优化法在汽车轴承、RV 减速器、丝杠以及机器人等领域都有成功应用案例，可在性能不变或提升的情况下大幅减轻质量。**结构优化方法分为尺寸优化，形状优化和拓扑优化 3 种。根据相关文献，经过拓扑优化后的汽车 K57G0 后传动轴质量可减轻 10%；经过拓扑优化后，RV 减速器性能保持的情况下其主要部件质量有所减轻；经结构优化后，近满载航天伺服反向式行星滚柱丝杠副 IPRSM 相较于具有同等应用载荷的国外 IPRSM，体积和重量减小约 30%，同时具有更高的传动效率和传动精度，综合性能优异。此外，**结构优化法在机器人机械上臂、六轴机器人、机器人大腿等领域亦有成功应用案例。**BaiYunfei 等人对机器人 SR-165 的上臂实施了拓扑优化，优化后的上臂比原始结构各项性能均有所提高，且质量轻 55.6%。吕鑫等从材料和结构两方面对六轴机器人进行轻量化设计，成功将质量减轻 26.5%。王权等使用变密度法优化了 WABIAN-2R 机器人大腿结构，在强度、刚度、固有频率不变的情况下移除了 48.5%的材料。葛海波等用衍生式设计方法完全改变机器人腿部支架形状，将机器人腿部支架减轻了超过 50%。
- **我们认为结构轻量化的成功经验或可复制到人形机器人领域，**主要是由于当前人形机器人产业处在早期阶段，对应的设计方案在不断地更新迭代，其中也包含对轴承、丝杠、减速器类产品的优化升级。以特斯拉人形机器人为例，其包含了 14 个旋转执行器和 14 个线性执行器，即**56 个轴承类产品（14 个角接触球轴承+14 个交叉滚子轴承+14 个滚珠轴承+14 个四点接触轴承）、14 个行星滚柱丝杠和 14 个谐波减速器，假设旋转执行器和线性执行器相应的总质量减轻 10%、20%、30%、40%、50%，则人形机器人单机可减轻 3.8、7.7、11.5、15.3、19.1 千克。**

投资建议与投资标的

机器人轻量化后可大幅提高运动的机动性和工作效率，进而改善操作速度和动作准确度，同时减轻运动惯性，提高机器人的本质安全性。因此，轻量化后的人形机器人效率会更高，对控制或关节的要求可能会下降，所需的执行功能的难度也可能会降低，这有利于推动量产节点的提前和降低大规模量产的门槛。我们认为全球包括中国的优秀制造业企业积累了深厚的结构轻量化的成功经验，或将之复制到人形机器人领域，建议关注产业链相关公司：**1) 丝杠和轴承：**五洲新春(603667, 买入)、北特科技(603009, 未评级)、恒立液压(601100, 未评级)、贝斯特(300580, 未评级)、秦川机床(000837, 未评级)、鼎智科技(873593, 未评级)、禾川科技(688320, 未评级)、新坐标(603040, 未评级)、金沃股份(300984, 未评级)等；**2) 减速器：**绿的谐波(688017, 未评级)、夏厦精密(001306, 未评级)、中大德(002896, 未评级)、秦川机床(000837, 未评级)、丰立智能(301368, 未评级)、昊志机电(300503, 未评级)、国茂股份(603915, 未评级)、双环传动(002472, 未评级)、豪能股份(603809, 未评级)、精锻科技(300258, 买入)、汉宇集团(300403, 未评级)等。

风险提示：人形机器人进展不及预期；轻量化进展不及预期；国产替代进程不及预期；行业竞争加剧；假设条件变化影响测算结果。

行业评级	看好（维持）
国家/地区	中国
行业	机械设备行业
报告发布日期	2024 年 03 月 12 日



证券分析师

王天一	021-63325888*6126 wangtianyi@orientsec.com.cn 执业证书编号：S0860510120021
杨震	021-63325888*6090 yangzhen@orientsec.com.cn 执业证书编号：S0860520060002 香港证监会牌照：BSW113
丁昊	dinghao@orientsec.com.cn 执业证书编号：S0860522080002

联系人

刘嘉倩	liujiaqian@orientsec.com.cn
-----	-----------------------------

相关报告

机械装备助力新质生产力：——新质生产力系列研究	2024-03-09
上海争取人形机器人国家制造业创新中心落地，英伟达机器人最新成果值得期待：——机械行业周报	2024-02-24
灵巧手与传感器，拟人化与智能化：——人形机器人系列报告	2024-01-21
政策与产业趋势共振，人形机器人产业化有望提速：——机械行业周报	2024-01-06
精密减速器：国产替代有望提速，人形机器人旋转传动的重要纽带：——人形机器人系列报告	2023-12-20
复苏可见，海外可期，新兴可为：——机械行业 2024 年度投资策略	2023-11-22
人形机器人：国内蓝图开启，国产厂商有望突围	2023-11-03
丝杠：核心传动部件，人形机器人开启成长空间：——人形机器人系列报告	2023-10-25

目录

1. 轻量化：结构优化.....	4
1.1 拓扑优化在汽车轴承和 RV 减速器领域的应用.....	6
1.2 拓扑优化在机器人领域的应用.....	8
1.3 反向式行星滚柱丝杠的结构轻量化应用.....	9
1.4 人形机器人中线性和旋转执行器轻量化的测算分析.....	12
2. 轻量化：材料优化.....	14
2.1 镁合金、铝合金和碳纤维复材.....	14
2.2 机器人材料轻量化技术的发展方向.....	16
3. 投资建议.....	17
4. 风险提示.....	17

图表目录

图 1: 特斯拉 Optimus Gen2 重量减轻 10kg.....	4
图 2: 尺寸优化、形状优化和拓扑优化示意图	5
图 3: 汽车 K57G0 后传动轴几何模型图	6
图 4: RV 减速器中的行星架（左）和针齿壳（右）的拓扑优化	7
图 5: 拓扑优化后的行星架（左）和针齿壳（右）	8
图 6: 经拓扑优化等方法后，机器人 SR-165 的上臂质量减轻 55.6%.....	8
图 7: 经拓扑优化等方法后，机器人 IPR-1 减重 50.15%.....	9
图 8: 反向式行星滚柱丝杠副 IPRSM 结构示意图	10
图 9: 重大装备高集成度机电作动器 IEMA 结构示意图	10
图 10: 最终设计的航天伺服反向式行星滚柱丝杠副 IPRSM 示意图	11
图 11: 特斯拉人形机器人共 52 个自由度	12
图 12: 特斯拉人形机器人采用的旋转和线性执行器示意图	13
表 1: 工信部印发《人形机器人创新发展指导意见》指出要攻克的关键技术.....	4
表 2: 几类主要的拓扑优化方法比较.....	6
表 3: 汽车 K57G0 后传动轴拓扑优化前后的质量情况	7
表 4: 常规反向式行星滚柱丝杠副 IPRSM 初始设定的结构参数	10
表 5: 经近满载设计优化后，航天伺服反向式行星滚柱丝杠副 IPRSM 的结构参数	11
表 6: 短时高承载 IPRSM 和 RVI 27×5 IPRSM 性能指标对比	12
表 7: 特斯拉人形机器人包含 56 个轴承类产品、14 个丝杠类产品和 14 个减速器类产品	13
表 8: 不同情况下，第一代特斯拉人形机器人旋转和线性执行器减轻的质量/kg	13

1.轻量化：结构优化

2023年12月12日，特斯拉发布了第二代人形机器人擎天柱 Optimus Gen2。官方介绍文字中显示，新增的技术特点包括：Tesla 设计的全新执行器和传感器；2 自由度驱动的全新颈部；执行器集成电子元件和线束；步行速度提高 30%；脚力/扭矩感应，更类似人类；**重量减轻 10kg**；11 自由度驱动的全新手部。2022 年 10 月，特斯拉 CEO 马斯克启动 2022 年 AI 日活动，人形机器人擎天柱 Optimus 原型机正式亮相。在当时，Optimus 身高约为 5 尺 8 寸，重量约为 125 磅，行走速度为每小时 5 英里，最多可提 45 磅的物品，并且头部配有屏幕。

图 1：特斯拉 Optimus Gen2 重量减轻 10kg



数据来源：Tesla AI Day，东方证券研究所

骨架结构拓扑优化、高强度轻量化新材料是我国人形机器人亟需攻克机器人关键技术群之一。2023 年 11 月 2 日，工信部印发《人形机器人创新发展指导意见》，明确指出：人形机器人集成人工智能、高端制造、新材料等先进技术，有望成为继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性产品，将深刻变革人类生产生活方式，重塑全球产业发展格局。关键技术攻克：《指导意见》提出以大模型等人工智能技术突破为引领，在机器人已有成熟技术基础上，重点在人形机器人“大脑”和“小脑”、“肢体”关键技术、技术创新体系等领域取得突破。

- 一是开发基于人工智能大模型的人形机器人“大脑”，增强环境感知、行为控制、人机交互能力，开发控制人形机器人运动的“小脑”，搭建运动控制算法库，建立网络控制系统架构。
- 二是系统部署“机器肢”关键技术群，打造仿人机械臂、灵巧手和腿足，攻关“机器体”关键技术群，**突破轻量化骨骼、高强度本体结构、高精度传感等技术。**
- 三是构建完善人形机器人制造业技术创新体系，支持龙头企业牵头联合产学研用组成创新联合体，加快人形机器人与元宇宙、脑机接口等前沿技术融合，探索跨学科、跨领域的创新模式。

表 1：工信部印发《人形机器人创新发展指导意见》指出要攻克的关键技术

关键技术攻克	
机器人“大脑”关键技术群	围绕动态开放环境下人形机器人感知与控制，突破感知-决策-控制一体化的端到端通用大模型、大规模数据集管理、云边端一体计算架构、多模态感知与环境建模等技术，提高人形机器人的人-机-环境共融交互能力，支撑全场景落地应用。
机器人“小脑”关键技术群	面向人形机器人复杂地形通过、全身协同精细作业等任务需求，开展高保真系统建模与仿真、多体动力学建模与在线行为控制、典型仿生运动行为表征、全身协同运

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

	动自主学习等关键技术研究，提升人形机器人非结构化环境下全身协调鲁棒移动、灵巧操作及人机交互能力。
机器肢关键技术群	面向人形机器人高动态、高爆发和高精度等运动性能需求，研究人体力学特征及运动机理、人形机器人动力学模型及控制等基础理论，突破刚柔耦合仿生传动机构、高紧凑机器人四肢结构与灵巧手设计等关键技术，为人形机器人灵活运动夯实硬件基础。
机器体关键技术群	面向人形机器人本体高强度和高紧凑结构需求， 研究人工智能驱动的骨架结构拓扑优化、高强度轻量化新材料 、复杂身体结构增材制造、能源-结构-感知一体化设计以及恶劣环境防护等关键技术，打造具有高安全、高可靠、高环境适应性的人形机器人本体结构。

数据来源：工信部，东方证券研究所

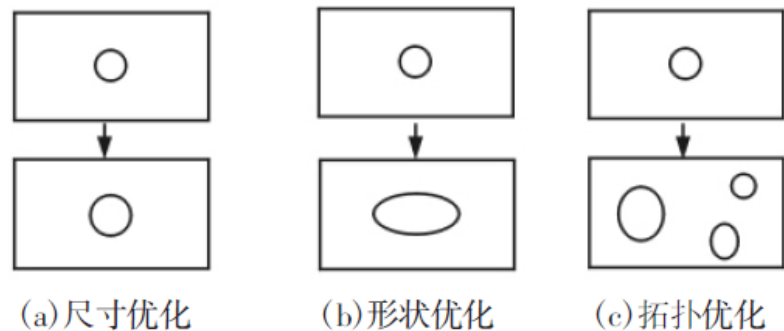
目前，机器人的轻量化主要是从材料和结构这两个方面来实现。基于材料的轻量化，即使用新型小密度材料来搭建机器人，如德国宇航局的 DLR LWR 系列机器人采用碳纤维材料来搭建主体。而基于结构轻量化的方法则是在原有结构材料的基础上，通过改变结构形状来实现轻量化，如 Albert 等对机器人胸部结构采用结构拓扑来实现轻量化。

两种方法均可达到轻量化的目标，但基于材料的方法，需采用新型材料，其成本高且加工难度大。与其相比基于结构优化的方法只需改变结构形状，其成本低且容易实现，因而基于结构的轻量化就成了机器人轻量化设计的主要方法。

结构优化方法分为尺寸优化，形状优化和拓扑优化这 3 种。

1. 尺寸优化就是通过改变结构尺寸大小，实现结构优化目的；
2. 形状优化就是以结构节点坐标为优化变量，达到优化结构形状和尺寸的目的；
3. 拓扑优化是通过优化结构的开孔数量和位置等拓扑信息达到优化结构的目的。

图 2：尺寸优化、形状优化和拓扑优化示意图



数据来源：魏春梅等《重载汽车传动轴的拓扑优化与轻量化设计》，东方证券研究所

在这三种方法中，拓扑优化不仅能够完成相应结构的形状和与尺寸优化，并且能够改变结构材料的分布状态，在节省材料的同时能够使结构形状与尺寸达到最优，其在建筑、机械、桥梁、航空等领域都有应用。由于拓扑优化方法具有自动收敛到最优材料分布的优点，有学者将该方法引入

重载机器人结构优化设计领域，表明其非常适合于机器人的结构优化设计。因此，运用拓扑优化方法，进行机器人的结构优化设计，是解决当前轻量化机器人的一个重要手段。

结构拓扑优化主要分为两类：一类是离散结构的拓扑优化，用来确定并设计离散化的分析对象中各个独立要素之间的连接形式、连接关系以及判断要素的存在与否；第二类是连续体结构的拓扑优化，大多数用来确定并设计均质连续体的空间构型，包括连接形式以及孔洞的形状与位置等等。对于连续体拓扑优化的描述方法，比较常用的几种方法有：变密度法，均匀化方法，水平集方法以及渐进结构优化法等。

表 2：几类主要的拓扑优化方法比较

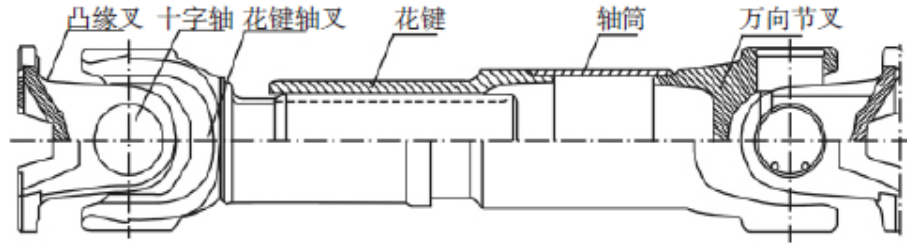
类型	发展	优点	缺点
均匀化法	最初的用于三维实体拓扑优化数学算法，总体上以单元的空间几何形态作为设计变量，现几乎被变密度法替代。	理论清晰简单，易于实现。	灵敏度计算复杂，并且优化后的结构含有多孔质材料，不易制造。
变密度法	由均匀化法发展而来，后来以 SIMP 以及 RAMP 作为典型数学模型，现成为被广大拓扑软件采用的计算方法。	由于该数学模型简单，可程序化程度高，适用于大多数三维实体结构，是目前最为常用的拓扑优化计算的模型。	灰度空间以及孔洞问题依赖过滤函数以及高次单元，收敛难度依赖人为惩罚因子的干预，拓扑边界不明显。
渐进结构法	较为新型的算法之一，以删除与保留单元作为特点，先慢慢融入其他算法的后续可操作处理中。	具有删除材料或者添加的双向性，可以在没有材料的设计空间内创建新的材料拓扑结构。	依赖于网格的密集度以及划分质量，拓扑边界不清晰，对复杂结构难以收敛。
水平集法	由处理图像分割问题发展而来的一种算法，将结构的拓扑形态转换为求高维函数的某个特殊水平面曲线的方法，正在发展中。	理论发展程度高，相较其他法，可以得到最清晰的拓扑结构边界信息。	计算规模大分质量，复杂结构难以收敛。

数据来源：姚屏等《结构拓扑优化方法及其机器人轻量化应用现状及发展》，东方证券研究所

1.1 拓扑优化在汽车轴承和 RV 减速器领域的应用

拓扑优化法在汽车等领域有所应用。根据魏春梅等的《重载汽车传动轴的拓扑优化与轻量化设计》，K57G0 传动轴是一款用于重型汽车的传动部件，主要由前传动轴和后传动轴两部分组成。经过研究发现，此款传动轴的后传动轴存在较大优化空间，因此，主要针对后传动轴进行轻量化设计。首先对后传动轴的三维模型进行简化，目的是提高有限元分析效率和可行性，简化原则是在符合实际应用的前提下去掉一些质量不大或结构复杂的小零件，例如滚针、螺纹、垫片等。

图 3：汽车 K57G0 后传动轴几何模型图



数据来源：魏春梅等《重载汽车传动轴的拓扑优化与轻量化设计》，东方证券研究所

后传动轴主要由万向节叉、凸缘叉、十字轴、花键、花键轴叉以及轴筒等六部分组成。经过研究后发现，此款传动轴的凸缘叉、花键轴叉及万向节叉偏重。因此，后传动轴的轻量化设计主要针对凸缘叉、花键轴叉及万向节叉进行。根据拓扑优化分析结果及前期大量实验数据可知：凸缘叉的两侧壁及中心应力较小，材料相对较多，存在较大的优化空间；花键轴叉最大应力集中在轴颈处，齿部应力较小，可适当减少齿数和中空化轴身来减轻重量；万向节叉最大应力集中在耳孔壁底部截面突变处，由于最大应力较小，可采取削减耳孔壁的材料及加大内孔中空化使其轻量化，可优化部位。

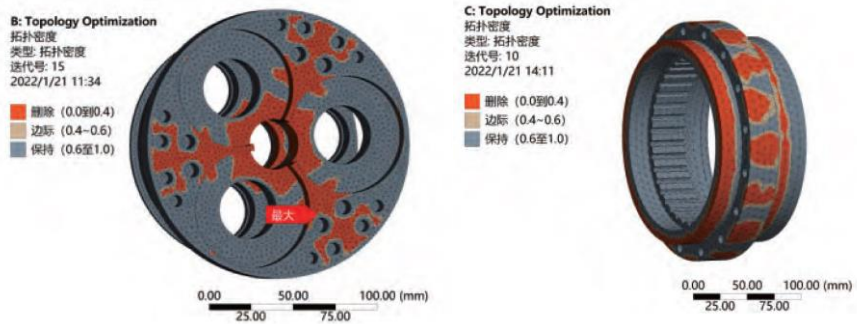
表 3：汽车 K57G0 后传动轴拓扑优化前后的质量情况

	优化前质量 kg	优化后质量 kg	质量减轻 kg	质量减轻比重%
凸缘叉	9.23	6.874	2.356	25.5%
花键轴叉	19.16	16.43	2.73	14.2%
万向节叉	10.304	9.512	0.792	7.7%
后传动轴总体	-	-	8.235	10%

数据来源：魏春梅等《重载汽车传动轴的拓扑优化与轻量化设计》东方证券研究所

根据王明楠等《基于拓扑优化的 RV 减速器轻量化优化设计》，行星架中心位置原始应力应变小的地方出现大量消融的区域，使得行星架的设计区域产生大量的掏空空间，大大降低材料的使用率。优化后的行星架保留部分为灰色部分，褐色部分为过渡区域，红色为去除部分。同理，对于针齿壳，褐色为过渡区域，灰色为保留区域，针齿壳的材料去除即红色部分的位置与针齿壳静力学分析应力云图位置应力较小的地方一致。

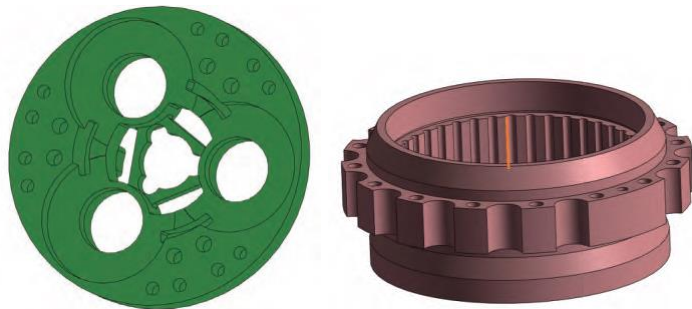
图 4：RV 减速器中的行星架（左）和针齿壳（右）的拓扑优化



数据来源：王明楠等《基于拓扑优化的RV减速器轻量化优化设计》，东方证券研究所

根据王明楠等《基于拓扑优化的RV减速器轻量化优化设计》，通过静力学分析得出优化后行星架与针齿壳最大应力值分别为 101.79 MPa、2.3913 MPa，相比于优化前应力有微小降低，使用拓扑优化在保证RV减速器性能基础上使主要部件质量得到了减轻。

图 5：拓扑优化后的行星架（左）和针齿壳（右）



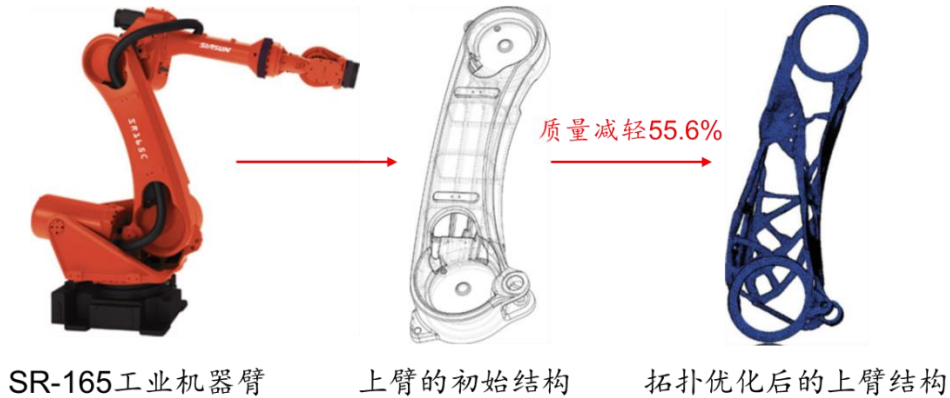
数据来源：王明楠等《基于拓扑优化的RV减速器轻量化优化设计》，东方证券研究所

1.2 拓扑优化在机器人领域的应用

除此之外，拓扑优化法也逐步应用于机器人领域。根据李锦忠等的《有限元和拓扑联合优化方法及其在机器人结构轻量化设计中的应用》，拓扑优化应用于机械体的结构分析都是先根据优化前零部件的受力约束等情况，将单个零部件脱离出整体对其施加约束和载荷再进行独立拓扑分析的过程，这种方法在机器人结构优化中也很常见。如 Albert Albers 等分别对人形机器人 ARMARIII 胸部和手腕等结构进行了多种载荷作用下的情况分析并对其独立施加相应载荷情况后采用结构拓扑来实现轻量化，使得整体重量大为减轻；BaiYunfei 等人在机器人 SR-165 上，先对机器人上臂进行了单独受力分析，然后在对上臂施加等效约束载荷后用 SIMP 法进行了上臂拓扑优化，优化后的上臂比原始结构各项性能均有所提高，且质量轻 55.6%。

图 6：经拓扑优化等方法后，机器人 SR-165 的上臂质量减轻 55.6%

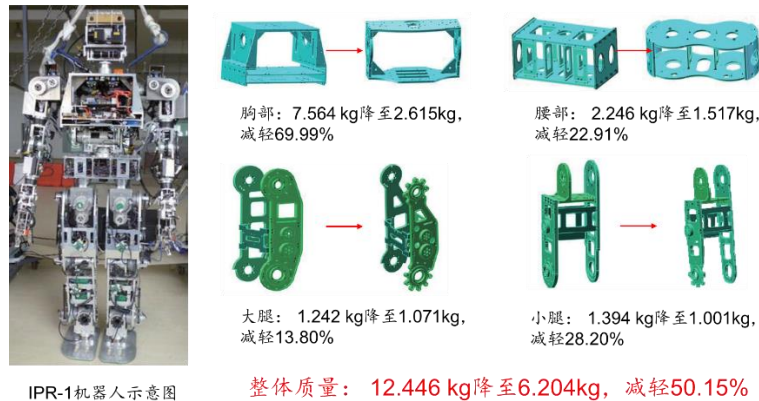
有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。



数据来源: BaiYunfei 等《Structural Topology Optimization for a Robot Upper Arm Based on SIMP Method》, 东方证券研究所

根据李锦忠等的《有限元和拓扑联合优化方法及其在机器人结构轻量化设计中的应用》, Dongsen Ye 采用有限元分析的方法找出每个部件材料最大应力远小于许用应力的位置, 再对其独立施加等效约束载荷, 采用结构进化拓扑的方法对其进行结构轻量化优化, 优化后的结构刚度和振动特性与之前相比均有所提高, 质量却减小了, 实现了机器人的轻量化。

图 7: 经拓扑优化等方法后, 机器人 IPR-1 减重 50.15%



数据来源: Dongsen Ye 等《The Lightweight Design of the Humanoid Robot Frameworks Based on Evolutionary Structural Optimization》, 东方证券研究所

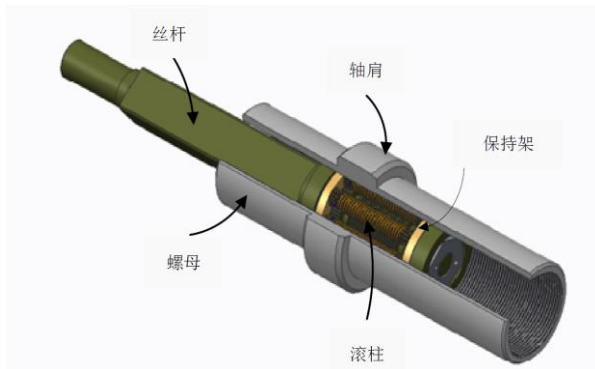
根据詹穗鑫《基于点阵结构的仿人机器人下肢轻量化研究》, 吕鑫等从材料和结构两方面对六轴机器人进行轻量化设计, 成功将质量减轻 26.5%。王权等使用变密度法优化了 WABIAN-2R 机器人的大腿结构, 在强度、刚度、固有频率不变的情况下移除了 48.5%的材料。段军涛等采用序列二次规划法对机器人腿部结构重要尺寸进行优化, 完成了仿人机器人腿部结构设计。葛海波等用衍生式设计方法完全改变机器人腿部支架形状, 将机器人腿部支架减轻了超过 50%。

1.3 反向式行星滚柱丝杠的结构轻量化应用

有关分析师的申明, 见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分, 或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

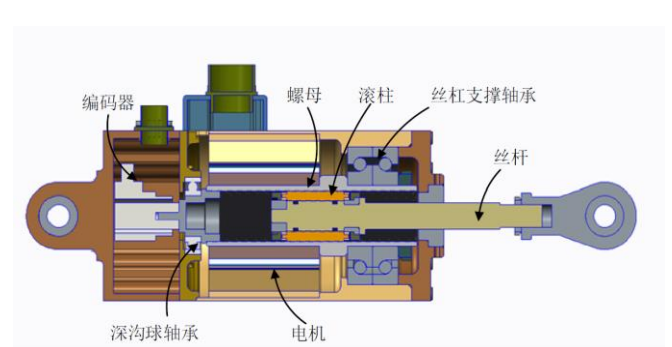
根据吴贵成《短时高承载反向式行星滚柱丝杠副关键技术研究》，新一代高性能航天重大武器装备的发展，促进了第三代新型反向式行星滚柱丝杠副（Inverted Planetary Roller Screw Mechanism, IPRSM）传动技术的发展，使其已逐步替代第二代滚珠丝杠副成为航天航空领域重大装备高集成度机电作动器（Integrative Electro-Mechanical Actuator, IEMA）的理想传动部件。但目前 IPRSM 仍按常规方法设计，存在体积重量大的问题，限制了其在对体积和重量敏感的航天小型武器装备上的应用。

图 8：反向式行星滚柱丝杠副 IPRSM 结构示意图



数据来源：吴贵成《短时高承载反向式行星滚柱丝杠副关键技术研究》，东方证券研究所

图 9：重大装备高集成度机电作动器 IEMA 结构示意图



数据来源：吴贵成《短时高承载反向式行星滚柱丝杠副关键技术研究》，东方证券研究所

因此，面向航天小型武器装备对伺服传动机构高承载轻量化的迫切需求，围绕典型航天伺服机构短时高应力使用工况，以新型高性能 IPRSM 为对象，针对常规设计的 IPRSM 应用在航天小型武器装备上存在的“冗余”问题，研究材料近屈服极限使用疲劳弹性失效行为与承载能力之间的关系，并以其为核心提出短时高应力 IPRSM 近满载轻量化设计准则，建立短时高承载 IPRSM 近满载轻量化设计制造及评估与验证方法，为实现航天伺服短时高应力传动机构的高承载轻量化设计提供理论基础和技术支撑。

材料与结构设计相结合，最大限度发挥材料的性能。首先作者吴贵成是从负载材料方面研究了典型航天伺服机构短时高应力工况下材料低周疲劳特性，建立了材料近限使用疲劳弹性失效寿命分散带预测模型，给出材料近屈服极限使用低周疲劳弹性失效应力循环次数与应力之间的关系。而后作者吴贵成提出基于材料近限使用的短时高应力 IPRSM 近满载设计方法，从结构设计制造方面，研究 IPRSM 啮合关系和螺纹牙载荷分布规律，建立短时高应力 IPRSM 近满载强度设计准则和参数精确设计准则，给出近满载设计流程；通过数值解算和干涉分析，完成设计算例，验证短时高应力 IPRSM 近满载设计方法的正确性和有效性。

作者吴贵成以材料近限使用许用应力作为 IPRSM 零件最大工作应力进行设计的方法定义为近满载设计，材料近限使用许用应力取值近屈服极限区间应力。近满载设计核心是为了实现材料的近限使用，提高机构的承载能力，而机构的承载能力又耦合零件结构参数精确设计及高精度制造等因素，因此，将近满载设计分为近满载强度设计和结构参数精确设计。

表 4：常规反向式行星滚柱丝杠副 IPRSM 初始设定的结构参数

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/696044214001010101>