



# 机器人新技术专题

买入（维持评级）

行业年度报告

证券研究报告

国金证券研究所

分析师：陈传红（执业 S1130522030001） 分析师：苏晨（执业 S1130522010001）

chenchuanhong@gjzq.com.cn

suchen@gjzq.com.cn

## 如何看冷锻工艺在机器人领域的应用？

### ——机器人新技术专题（二）

#### 行业观点

冷锻工艺是制作行星滚柱丝杠螺纹的主流路线之一，应用场景与车铣磨工艺重合度较高。螺纹加工方法最广泛使用的是滚压法（锻压的一种，含搓丝和滚丝）和切削法（含车削、铣削、磨削等）。两类具体用于加工螺纹的方法是（1）车铣磨，指对粗坯件进行热加工后，先用车削和铣削进行粗加工，后续余量精加工由磨削完成，以实现高精度；（2）冷锻+磨削，指先采用冷轧技术直接将粗坯件加工至一定精度，后续余量精加工由磨削完成。

冷锻工艺效率高&成本低，最高加工精度可达 C5 级，有望助力行星滚柱丝杠批量量产。采用车铣磨工艺制作行星滚柱丝杠在质量稳定性、制造成本和生产效率等都面临诸多难题，限制其在实践中的应用与推广。冷锻具备多重优势①螺纹表面质量较好；②提高被加工件表面金属的硬度和强度；③经济效率比切削螺纹提高工效几倍至几十倍；④无屑加工，可以节省原材料；⑤可加工细长螺杆；⑥更高的耐腐蚀性。

供应链看，建议关注冷锻工艺设备和加工。

（1）设备环节：滚丝机（已国产替代）用于制作梯形丝杠，滚压机（依赖进口）用于制作行星滚柱丝杠。主流梯形丝杠采用滚丝机生产，滚丝机已基本实现国产替代。大部分梯形丝杠通过冷成形加工生产，成本低且产量大。滚珠和滚柱丝杠采用冷成型滚压机可达到较高的精度，我国主要依赖海外进口。目前宝飞螺、肯尼福、伊瓦格已具备 C5 精度能力，国内建议关注思进智能（A 股首家冷成形装备制造行业的上市公司）。

（2）模具环节：冷锻工艺最核心技术环节，内外螺纹均可加工，同时制造螺纹和齿轮可大幅提升效率。外螺纹和齿轮可通过模具改进一次成型，利于降本增效，且成品具备较好的稳定性。冷挤压内螺纹相比切削具备高强度、高精度、高光洁度、低耗材等优势。建议关注内外螺纹模具兼备的恒锋工具。

（3）加工环节：我国冷锻技术已被批量用于螺纹生产。我国冷锻成形技术出现较早，已批量用于生产螺纹、齿轮、花键和螺杆等轴类零件，但对于成形设备的认识、成形精度的控制和成形机理的理解方面有所欠缺，因此实际生产的零件质量有待提升。国内已经掌握冷锻技术的主体包含新剑、北京齿轮、南京工艺、新坐标（内冷精锻细分领域的龙头企业）、青岛生建机械厂、太原科技大学、重庆大学等。

#### 投资建议

人形机器人正在迈入快速的技术和成本迭代阶段，与“车铣+磨”工艺相比，“冷锻+磨”工艺具备高效率 and 低成本特性，冷锻精度上已能达到 C5 级，磨床使用可稳定实现人形机器人滚柱丝杠合格件的加工，是适合高效率批量生产滚柱丝杠的方法。建议关注制造、模具和设备：制造环节建议关注冷锻精密件供应商新坐标（具备模具设计加工、冷锻工艺研发、专用工装与设备设计等全产业链研发能力）；模具环节建议关注恒锋工具（布局多种冷挤压刀具，精密拉削刀具、花键量具等产品市占率第一）；设备环节包括搓丝机、滚丝机和滚压机，核心看点是滚压机国产化，建议关注思进智能（处国内冷成形装备行业的技术领先地位）。

#### 风险提示

技术路线不确定风险，人形机器人放量不及预期风险。



## 内容目录

一、冷锻 VS 车铣磨：性能、效率和成本均具有优势.....	4
1.1 性能对比：冷锻工艺有更高的强度和表面质量.....	4
1.2 效率和成本对比：冷锻工艺大幅提速和降本.....	5
二、冷锻工艺供应链和竞争格局.....	9
2.1 加工端：已被新剑、南京工艺等批量应用.....	9
2.2 模具端：冷锻工艺最核心技术环节，同时制造螺纹和齿轮可大幅提升效率.....	11
2.3 设备端：滚压机是最核心设备，进口替代进行时.....	13
三、投资建议.....	15
四、风险提示.....	16

## 图表目录

图表 1： 丝杠螺母分类.....	4
图表 2： 螺纹加工方法分类.....	4
图表 3： 车铣磨工艺与冷锻工艺加工精度对比.....	4
图表 4： 车铣磨工艺与冷锻工艺应用领域具备较高重复度.....	5
图表 5： 丝杠产业链情况.....	6
图表 6： 车/铣/磨削/滚压技术原理.....	6
图表 7： 滚珠丝杠软车+磨削工艺路线.....	7
图表 8： 硬铣削螺纹设备及螺距误差补偿技术.....	7
图表 9： 精密冷锻铸件生产工艺流程.....	7
图表 10： 五工位冷成形装备经过五次加工变形流程.....	7
图表 11： 螺纹滚压技术路线.....	7
图表 12： 滚压螺纹相比切削具有高效率低成本优势.....	8
图表 13： 滚压螺纹效率较传统车削加工提高近十倍.....	8
图表 14： 丝杠工艺路线加工流程对比.....	9
图表 15： 冷锻技术布局者进展.....	9
图表 16： 新坐标覆盖材料、模具、设备、产品的全产业链技术研发.....	10
图表 17： 新坐标已布局丝杠技术.....	10
图表 18： 行星滚柱丝杠传动机构主要结构.....	11
图表 19： 螺纹滚柱轧制成型.....	11
图表 20： 同一个轴上成形螺纹和齿轮的加工工艺的比较.....	11
图表 21： 内螺纹冷挤压原理.....	12



图表 22: 使用旋锻芯棒工件.....	12
图表 23: 冷挤压内螺纹相比切削具备较多优势.....	12
图表 24: 恒锋工具布局了多种冷挤压成型刀具.....	12
图表 25: 恒锋工具布局了多种冷挤压成型刀具.....	13
图表 26: 特斯拉人形机器人丝杠方案.....	13
图表 27: 滚压机公司布局.....	14
图表 28: 思进智能冷锻机列表.....	15



## 一、冷锻 VS 车铣磨：性能、效率和成本均具有优势

### 1.1 性能对比：冷锻工艺有更高的强度和表面质量

行星滚柱丝杠是人形机器人最卡脖子环节，其主要加工工艺为螺纹加工。丝杠螺母传动将旋转运动变换为直线运动(或相反传递)，主要分为滑动丝杠、滚珠丝杠和行星滚柱丝杠。滑动丝杠是滑动摩擦、结构简单但精度差，传动效率 25%-50%；滚珠丝杠是滚动摩擦，传动效率约 90%-99%，精度高、效率高、但价格高。行星滚柱丝杠承载力强、耐冲击、体积小，但是由于结构复杂、加工难度大且成本高，一直没有得到广泛应用。行星丝杠与滚柱丝杠主要的区别在于负载的传递单元使用螺纹滚柱而不是滚珠。

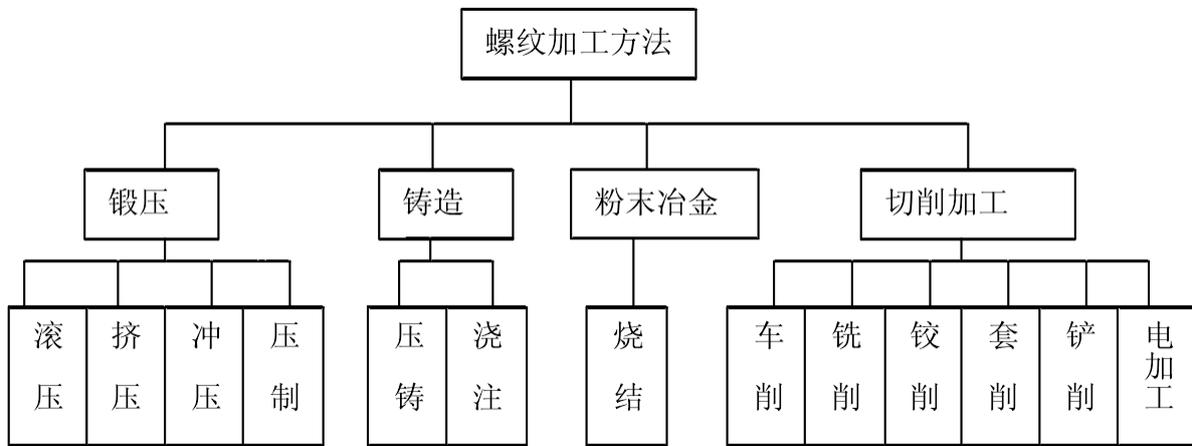
图表1：丝杠螺母分类



来源：《机电一体化》，国金证券研究所

螺纹加工方法很多，其中最广泛使用的是滚压法（锻压的一种，含搓丝和滚丝）和切削法（含车削、铣削、磨削等）。两类具体用于加工螺纹的方法是（1）车铣磨，指对粗坯件进行热加工后，先用车削和铣削进行粗加工，后续余量精加工由磨削完成，以实现高精度；（2）冷锻+磨削，指先采用冷轧技术直接将粗坯件加工至一定精度，后续余量精加工由磨削完成。

图表2：螺纹加工方法分类



来源：王旭《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压成形机理与实验研究》，国金证券研究所

与车铣磨工艺相比，冷锻工艺加工的产品有更高的强度和表面质量。车铣磨工艺可以满足对零件尺寸精度和表面光洁度要求较高的应用领域，通常用于制造金属零件的加工。冷锻工艺可以提供更高的材料强度和表面质量，因此在对零件性能要求较高的领域得到广泛应用，通常用于生产高强度、高精度的金属零件。

图表3：车铣磨工艺与冷锻工艺加工精度对比

	极限精度	加工精度	表面粗糙度	加工速度
车	0.1 μ	IT7~IT5	Ra0.04-0.01 μm	快
铣	-	IT16~IT8	Ra0.63-5 μm	快
磨	好于 0.01 μ	IT8~IT5 甚至更高	好于 Ra0.01 μm	慢
车+铣+磨	好于 0.01 μ			较快
冷锻	-	-	C5, 导程精度在 300 毫米的标准测	快



	极限精度	加工精度	表面粗糙度	加工速度
			量长度上为±23微米。	
冷锻+磨	好于 0.01 μ	-	-	较快

来源：荷兰汉布雷格机床公司官网，《金属切削刀具与机床》，宝飞螺官网，调研资料，国金证券研究所

图表4：车铣磨工艺与冷锻工艺应用领域具备较高重复度

	应用领域	加工部件	
车铣磨工艺	汽车制造	发动机零部件、传动系统零部件、底盘零部件等。例如，发动机曲轴、凸轮轴等零部件。	
	航空航天领域	飞机发动机零部件、飞行控制系统零部件、航天器零部件等。	
	通用机械制造	机械零部件、轴承、齿轮、螺纹等。	
	电子通讯设备制造	各种精密零部件，如连接器、天线、微型电机等。	
	模具制造	高精度、高表面质量的零部件。	
	机器人领域		零部件加工：丝杠、机器人的关节部件、传动系统的齿轮、蜗轮蜗杆 外壳和外部结构加工：车铣磨工艺用于加工机器人外壳、外壳上的安装孔、连接孔等。
冷锻工艺	汽车制造	发动机曲轴、传动轴、齿轮、万向节等关键零部件。	
	航空航天领域	航空发动机零部件、飞机结构件等。	
	重型机械制造	机械传动零部件、液压元件、轴承等。	
	机器人领域		关节零部件：冷锻工艺常用于生产机器人的关节部件，如关节轴承、传动轴等。
			执行器零部件：冷锻工艺生产高强度的执行器零部件，如齿轮、传动轴等。
			机械手部件：冷锻工艺常用于生产机械手部件，如机械手臂、夹持器等。

来源：浙江三维大通精锻股份有限公司官网，国金证券研究所整理

进口设备冷锻精度已能达到 C5 加工精度，后续通过磨床可以稳定达到机器人需求精度。据宝飞螺披露，使用其冷成型机床可以使精度稳定在 C5，即导程精度在 300 毫米的标准测量长度上为±23 μm。因此若前道工序采用冷锻，后续采用磨床，可以做到 C5 级以上精度并保持较好的稳定性和一致性。同时可以大幅减少后续磨床的工作量，从而降低对进口磨床的依赖。

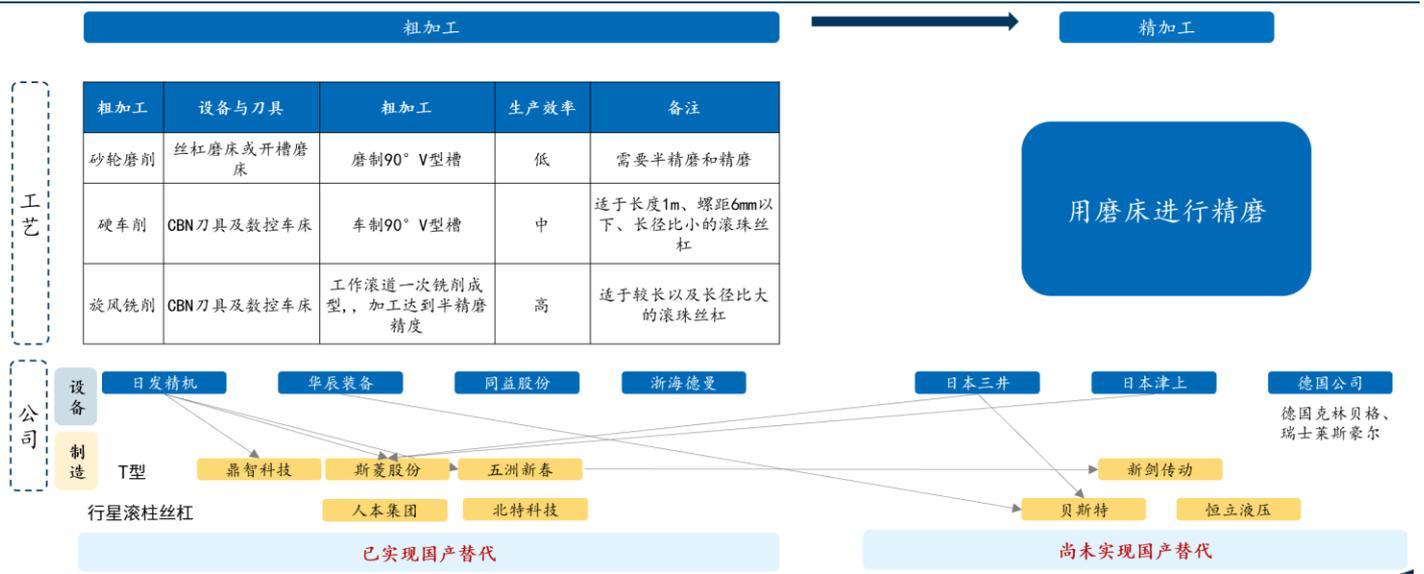
## 1.2 效率和成本对比：冷锻工艺大幅提速和降本

### 1.2.1 车铣磨复生产周期长、工艺流程较为复杂

丝杠是机器人木桶短板，亟待高效率和高精度国产滚柱丝杠磨床出现。目前 T 型丝杠、滚珠丝磨床基本已能国产替代，但高精度数控磨床仍依赖进口，主要厂家有日本三井、日本精尚、德国克林贝格、瑞士莱斯豪尔等。国内有望突破高精数控磨床技术的公司包含日发精机、华辰装备和秦川机床等。



图表5：丝杠产业链情况

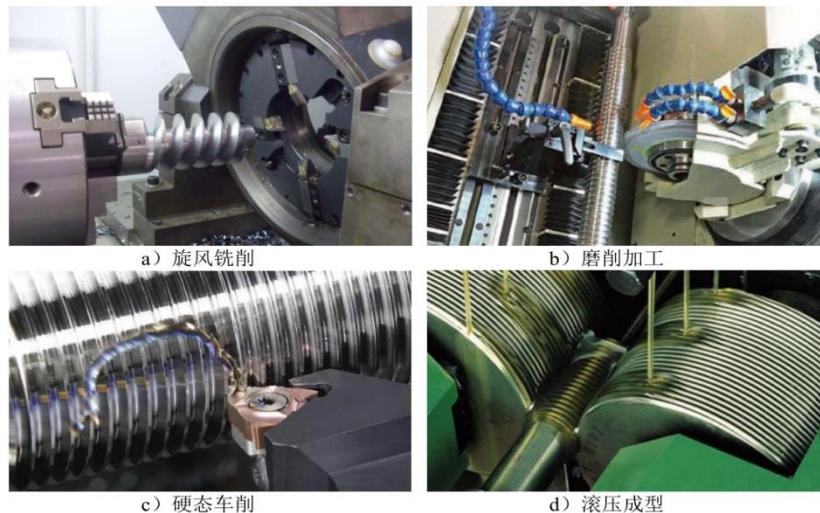


来源：公司公告，调研资料，国金证券研究所

车铣磨复合生产工艺较为复杂，且速度较低。其粗加工采用车削或铣削，后道精加工采用磨削，具体可细分为车削、铣削和磨削三道工艺。

- (1) 车削 (Turning)：车削通过旋转工件并用刀具切削工件表面来形成所需的形状，通常用于加工圆柱形零件，例如轴、轴承等。
- (2) 铣削 (Milling)：铣削使用旋转刀具在工件表面上切削材料，以产生所需的形状、轮廓和孔，通常用于制造平面、凹槽、齿轮等形状复杂的零件。
- (3) 磨削 (Grinding)：磨削是一种高精度的加工工艺，通过磨削轮对工件表面进行切削，以获得更高的表面精度和尺寸精度。磨削通常用于加工高精度的零件，例如模具、轴承等。

图表6：车/铣/磨削/滚压技术原理



来源：齿轮与机床公众号，梯伦豪斯加工，国金证券研究所

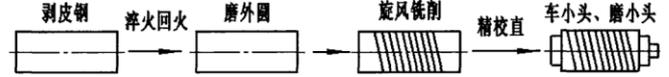
目前常用的滚柱丝杠的加工工艺主要以车削+磨削工艺以及硬铣工艺为主，前者精度更高。1) 车削+磨削工艺：螺纹滚道部分通过软车—淬火—硬车螺纹—磨削螺纹的方式加工成型。该工艺较以前全磨削工艺效率提高，精度也较高。2) 硬铣削螺纹工艺：螺纹部分在专用精密数控旋风铣床上采用CBN刀具在淬硬的光杠上将螺纹滚道一次铣削成型，齿形精度高，表面光洁度好，加工效率高。



图表7: 滚珠丝杠软车+磨削工艺路线



图表8: 硬铣削螺纹设备及螺距误差补偿技术



来源: 黄娟《滚珠丝杠关键制造工艺优化及精度控制方法研究》, 国金证券研究所

来源: 黄娟《滚珠丝杠关键制造工艺优化及精度控制方法研究》, 国金证券研究所

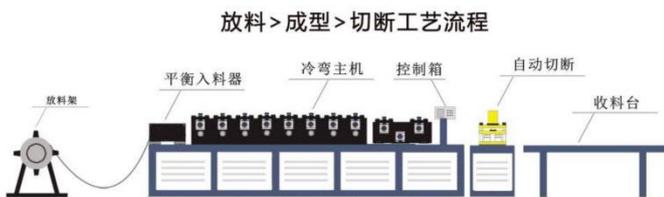
1.2.2 冷锻工艺的优势: 流程较短, 效率较高

1、冷锻工艺流程:

冷锻通过在室温下对金属坯料施加压力,使其发生塑性变形,从而形成所需的形状和尺寸。冷锻通常用于生产高强度、高精度的金属零件,例如汽车零部件、航空航天零件、工程机械零件等。

冷锻的完整工艺流程通常包括以下步骤: 1. 材料准备: 选择合适的金属坯料,通常是圆形或方形的棒料或型材。2. 加热(可选): 有些情况下,金属坯料需要进行加热以提高其塑性,但在一些情况下也可以在室温下进行冷锻。3. 冷锻成形: 将金属坯料放置在冷锻机上,施加高压使其在模具中进行塑性变形,形成所需的形状和尺寸。4. 冷却: 冷却冷锻件,以固化其形状和结构。

图表9: 精密冷锻铸件生产工艺流程



图表10: 五工位冷成形装备经过五次加工变形流程



来源: 佛山昊通机械设备有限公司官网, 国金证券研究所

来源: 思进智能公司公告, 国金证券研究所

一般会使用成形滚压模具使工件产生塑性变形以获得螺纹,按滚压模具的不同,螺纹滚压可分为搓丝和滚丝两类。

(1) 搓丝: 使两块带螺纹牙形的搓丝板错开 1/2 螺距相对布置,静板固定不动,动板作平行于静板的往复直线运动。当工件送入两板之间时,动板前进搓压工件,使其表面塑性变形而形成螺纹。

(2) 滚丝: 利用较硬的模具对工件表面进行挤压,分为径向滚丝、切向滚丝和滚压头滚丝 3 种。

1) 径向滚丝: 采用两个或三个带螺纹牙形的滚丝安装在互相平行的轴上,工件置放于两轮之间的支承上,两轮同向等速旋转,其中一轮还作径向进给运动。工件在滚丝轮带动下旋转,表面受径向挤压形成螺纹。

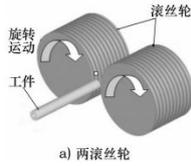
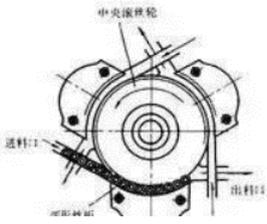
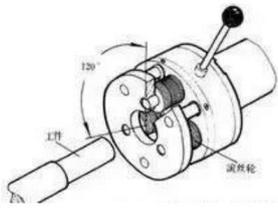
2) 切向滚丝: 又称行星式滚丝,滚压工具由一个旋转的中央滚丝轮和 3 块固定的弧形丝板组成,滚丝时,工件可以连续松紧,所以生产率比搓丝或径向滚丝高。

3) 滚丝头滚丝: 一般用于加工短螺纹。滚压头有 3-4 个均匀分布于工件外周的滚丝轮,滚丝时,工件旋转,滚压头轴向进给,将工件滚压出螺纹。

图表11: 螺纹滚压技术路线

分类		原理图	原理	加工速率
螺纹滚压	搓丝		两块带螺纹牙形的搓丝板错开 1/2 螺距相对布置,静板固定不动,动板作平行于静板的往复直线运动。当工件送入两板之间时,动板前进搓压工件,使其表面塑性变形而成螺纹。	165pcs/min



滚丝	径向滚丝	 <p>2个(或3个)带螺纹牙形的滚丝轮安装在互相平行的轴上,工件放在两轮之间的支承上,两轮同向等速旋转,其中一轮还作径向进给运动。工件在滚丝轮带动下旋转,表面受径向挤压形成螺纹。</p>	30pcs/min
	切向滚丝	 <p>又称行星式滚丝,滚压工具由1个旋转的中央滚丝轮和3块固定的弧形丝板组成。</p>	-
	滚丝头滚丝	 <p>在自动车床上进行,一般用于加工工件上的短螺纹。滚压头中有3~4个均布于工件外周的滚丝轮。滚丝时,工件旋转,滚压头轴向进给,将工件滚压出螺纹。</p>	-

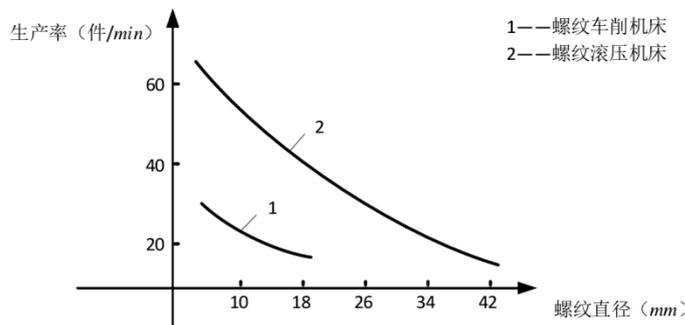
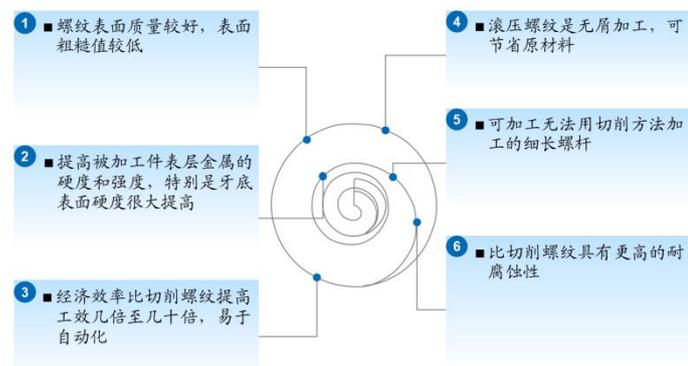
来源:金属加工,国金证券研究所

2、冷锻工艺的优势:通过提高生产效率和减少废料降本

滚压相比切削是一种更加高效、低成本和高强度的螺纹加工方法。滚压螺纹是一种无屑加工方法,其实质是利用某些材料在冷态下的可塑性来进行加工,使得工件在滚压工具压力的作用下产生塑性变形,滚制出相应的螺纹,其相比切削的优势在于:①螺纹表面质量较好,表面粗糙值较低;②提高被加工件表面金属的硬度和强度;③经济效率比切削螺纹提高工效几倍至几十倍,易于实现自动化;④滚压螺纹是无屑加工,可以节省原材料;⑤可加工无法用切削方法加工的细长螺杆;⑥比切削螺纹具有更高的耐腐蚀性。

图表12:滚压螺纹相比切削具有高效率低成本优势

图表13:滚压螺纹效率较传统车削加工提高近十倍



来源:齐会萍《螺纹冷滚压理论与工艺参数研究》,国金证券研究所

来源:王旭《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压成形机理与实验研究》,国金证券研究所

冷锻加工螺纹相比车削加工螺纹、磨削加工螺纹效率更高,适合批量生产。磨削的丝杠工艺流程和生产周期都比较大,导致成本较高;而冷锻加工螺纹的生产周期和工艺路线都比较短,生产效率比较高,因此制造成本相对较低,因此冷锻丝杠更适合批量生产,磨制丝杠批量生产较为困难。



图表14: 丝杠工艺路线加工流程对比

工艺路线	加工流程	适合加工
车	刀具不动，零件在转轴上旋转，同时沿着旋转的轴向移动	圆柱体、车螺纹
铣	刀具旋转，零件固定	平面
磨	刀具旋转，刀具是高速旋转的砂轮，切削量小	精细加工
车+铣+磨	热处理-车-铣-磨（外圆磨、内外螺纹磨）	高精度丝杠
冷锻	冲压/冷锻	高强度、高精度的零部件
冷锻+磨	热处理-冷锻-磨	高强度、高精度的零部件

来源：调研资料，锻压世界，国金证券研究所

## 二、冷锻工艺供应链和竞争格局

### 2.1 加工端：已被新剑、南京工艺等批量应用

冷锻成形技术出现较早，国内已批量用于生产螺纹、齿轮、花键和螺杆等轴类零件。据《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压成形机理与实验研究》，杭州新剑机器人股份有限公司、北京齿轮总厂和南京工艺装备厂等均有使用。但对于成形设备的认识、成形精度的控制和成形机理的理解方面有所欠缺，因此实际生产的零件质量有待提升。

国内已经掌握冷锻技术的主体包含新剑、北京齿轮、南京工艺、新坐标、青岛生建机械厂、太原科技大学、重庆大学等。

图表15: 冷锻技术布局者进展

	名称	进展
上市公司	新坐标	拥有应用于驻车制动系统的滚珠丝杠传动结构相关专利，国内精密冷锻件龙头。
非上市公司	青岛生建	产品涵盖两轴滚丝机、数控立式滚丝机、三轴滚丝机，可解决不便卧式装夹的扁平、短小端部异形等零件的滚丝加工。
	北京北齿	国内轻型变速箱，分动箱和驱动桥的专业化生产厂家，公司产品涵盖圆柱齿轮、螺旋锥齿轮等一系列高精度传动齿轮。
	南京工艺	公司建成了高精度滚珠丝杠副、大型滚珠丝杠副、滚动导轨副生产线。轧制研磨滚珠丝杠产品已量产。
	新剑传动	反向式行星滚珠丝杠成功应用于仿生机器人。

来源：各公司公告，李承胜《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压校直机理与实验研究》，国金证券研究所

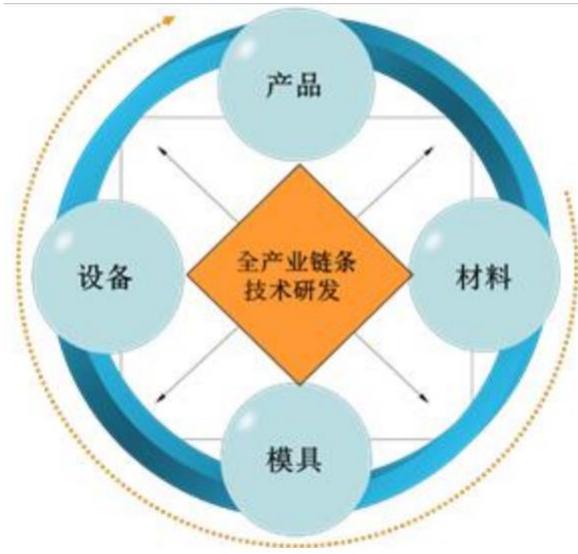
新坐标作为国内冷加工龙头，布局全产业链技术能力。覆盖材料、模具、设备、产品的全产业链技术研发。

(1) 材料：新坐标在材料选择、线材自制等方面有专业判断能力，能够选出适合制造高质量产品的材料及供应商，并同时拥有材料锻造前处理和润滑技术，从源头上保证了新坐标产品质量的稳定性。

(2) 模具：新坐标运用国际先进的冷锻模拟软件，对模具进行自主开发设计，凭借在模具材料、加工工艺上积累的多年经验，自主研发并生产出使用寿命长、性能稳定的模具。



图表16: 新坐标覆盖材料、模具、设备、产品的全产业链技术研发



来源: 新坐标年报, 国金证券研究所

(3) 设备: 新坐标引进国际先进的多工位冷镦机、压力机等关键生产设备, 设备自动化程度高。在检测设备方面, 新坐标引进包括粗糙度轮廓仪、全谱直读光谱仪、图像分析正立显微镜等多种检测设备以确保检测结果的精确度、权威性和可靠性。另外, 新坐标具备专用和非标设备的设计开发能力, 可自主改造关键设备。新坐标自主设计制造了无酸洗环保磷化生产线、异形线材的加工设备、独特高效剖分面磨削设备、内圆磨床和装配线等。

(4) 产品: 新坐标已具备多种类产品的生产能力且产品质量稳定。在气门精密零部件产品方面, 新坐标已具备生产超过 100 种气门锁夹以及 300 种气门弹簧盘的能力, 其中气门锁夹的产品结构也从单槽型拓展至精度要求更高的多槽型, 产品设计持续向轻量化方向发展。在气门传动组精密零部件产品方面, 新坐标针对液压挺柱中每个零件进行制造工艺的优化, 其关键零件如柱塞和壳体已拥有多项专利。新坐标已有多种形态的滚轮摇臂量产, 并拥有专利保护, 适用于不同型号的发动机配气机构。

新坐标已布局丝杠工艺。据国家知识产权局披露, 2023 年 5 月 6 日, 新坐标申请了“一种应用于驻车制动系统的滚珠丝杠传动结构”, 通过过盈连接结构连接在一起, 改变了现有滚珠丝杠传动结构的制造工艺路径, 使得滚珠丝杠传动结构的整体制造工艺得到了优化。

图表17: 新坐标已布局丝杠技术

(19) 国家知识产权局



(12) 实用新型专利



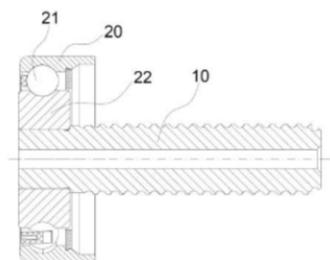
(10) 授权公告号 CN 219866118 U  
(45) 授权公告日 2023.10.20

(21) 申请号 202321066240.2  
(22) 申请日 2023.05.06  
(73) 专利权人 杭州新坐标科技股份有限公司  
地址 311100 浙江省杭州市余杭区仓前街道龙潭路18号1-5幢  
(72) 发明人 徐韵 俞晓东  
(74) 专利代理机构 杭州宇信联合知识产权代理有限公司 33401  
专利代理师 乔占雄  
(51) Int. Cl.  
F16H 25/22 (2006.01)  
F16H 25/24 (2006.01)

(54) 实用新型名称  
一种应用于驻车制动系统的滚珠丝杠传动结构

(57) 摘要  
本实用新型公开了一种应用于驻车制动系统的滚珠丝杠传动结构, 包括丝杠轴、轴承外圈、轴承内圈以及轴承钢球, 所述丝杠轴包括滚珠丝杠段和轴承连接段, 所述轴承内圈设置有与所述轴承连接段适配连接的轴承连接孔, 所述轴承连接段与轴承连接孔之间设置有过盈连接结构, 上述结构的滚珠丝杠传动结构, 轴承内圈与丝杠轴分体式设计, 通过过盈连接结构连接在一起, 改变了现有滚珠丝杠传动结构的制造工艺路径, 使得滚珠丝杠传动结构的整体制造工艺得到了极大地优化, 产品成本大幅降低。

权利要求书1页 说明书4页 附图17页



来源: 国家知识产权局, 国金证券研究所

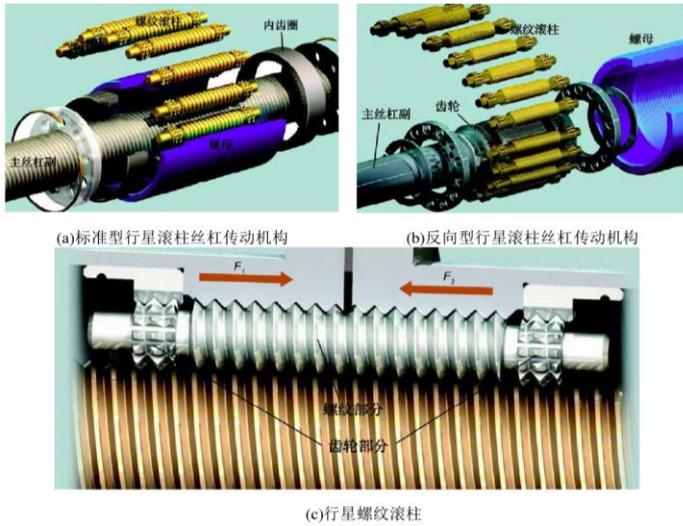


## 2.2 模具端：冷锻工艺最核心技术环节，同时制造螺纹和齿轮可大幅提升效率

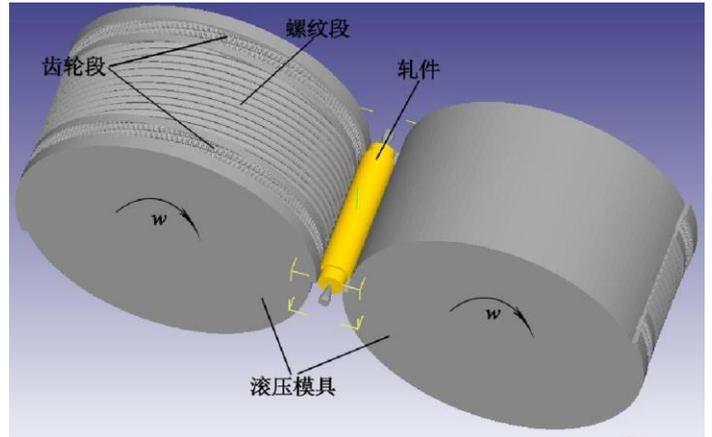
### 2.2.1 外螺纹和齿轮可通过模具改进一次成型

模具的设计与制造是冷锻工艺最核心的技术，改进模具可大幅提升生产效率。《螺纹滚柱轧制工艺研究\_段体清》中提出，可以通过对滚压模具的设计使得螺纹和齿轮能够一次成型。具体原理是将表面加工有螺纹牙形和齿轮齿形的两个轧辊安装在两个处于同一水平面且互相平行的传动主轴上，其中两个轧辊上的螺纹在主轴方向上相差半个螺距且两个轧辊的中心距离保持不变；两个轧辊跟随主轴作同步顺时针（逆时针）旋转，带动轧件做逆时针（顺时针）旋转，同时在轧件的不同部位轧制成形螺纹和齿轮，轧辊旋转一周后，成功轧制出符合要求的螺纹滚柱。

图表18：行星滚柱丝杠传动机构主要结构



图表19：螺纹滚柱轧制成型



来源：段体清《螺纹滚柱轧制工艺研究》，国金证券研究所

来源：段体清《螺纹滚柱轧制工艺研究》，国金证券研究所

这种轧制成形加工工艺效率高、节约能耗和资源，且生产的螺纹滚柱丝杠具备较好的稳定性，符合行星滚柱丝杠传动结构对螺纹滚柱的高刚度、高承载、高精度、耐冲击和寿命长的需求。

图表20：同一个轴上成形螺纹和齿轮的加工工艺的比较

成形方法	设备数量	设备复杂程度	成形过程	成形时间
现有成形方法	≥2	普通设备	按先后顺序切削成形 螺纹和齿轮	比较长
现有成形方法	≥2	普通设备	按先后顺序轧制成形 螺纹和齿轮	长
现有成形方法	1	设备比较复杂	按先后顺序轧制成形 螺纹和齿轮	短
本文方法	1	基于普通设备	同时轧制形螺纹和齿 轮	最短

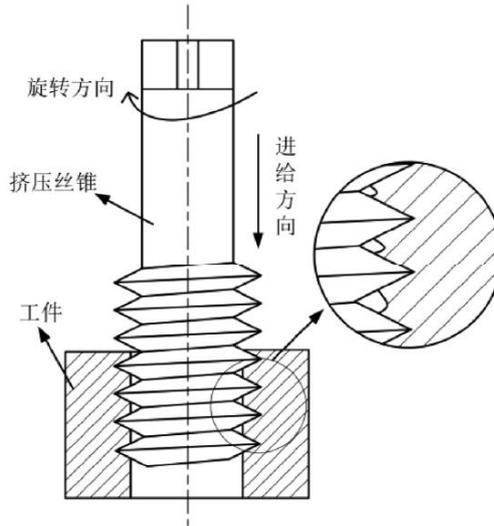
来源：段体清《螺纹滚柱轧制工艺研究》，国金证券研究所

### 2.2.2 旋锻芯棒助力内螺纹锻造

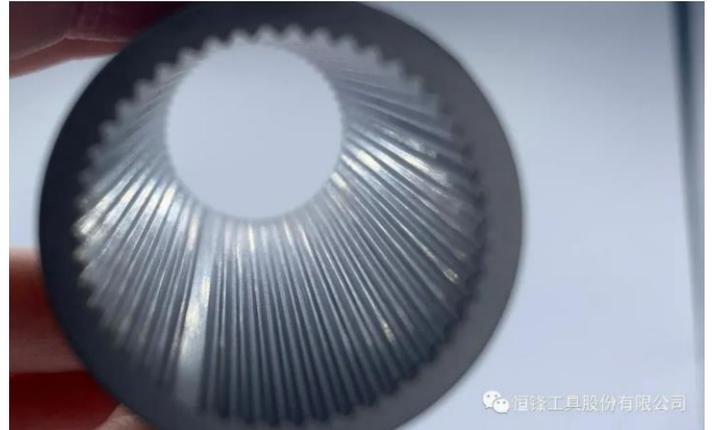
内螺纹冷挤压加工是通过挤压丝锥（旋段芯棒）对预制孔孔壁进行挤压，齿尖刺穿孔壁材料，金属组织受力向着不同的方向移动，不断在挤压丝锥的V形槽内堆积并初步形成螺纹牙形。



图表21: 内螺纹冷挤压原理



图表22: 使用旋锻芯棒工件



来源: 陈鑫《内螺纹冷挤压工艺的研究现状与发展趋势》, 国金证券研究所

来源: 恒锋工具官方公众号, 国金证券研究所

冷挤压内螺纹相比切削具备高强度、高精度、高光洁度、低耗材等优势。据《内螺纹冷挤压工艺的研究现状与发展趋势\_陈鑫》, 冷挤压内螺纹具备的优势包括 (1) 高强度: 内螺纹冷挤压金属产生形变时, 材料内部的晶粒发生滑移, 晶格扭曲, 金属纤维呈连续的流线型, 组织结构紧密, 使螺纹的强度大幅提升, 抗拉强度提升 20% 以上, 抗剪强度提升 5%-10%, 硬度提升 40% 以上。(2) 高精度: 使用冷挤压方式加工内螺纹, 螺纹孔扩张量极小, 内螺纹行位误差小, 成形精度高, 质量稳定。(3) 高光洁度: 挤压丝锥的挤压棱齿表面对内螺纹表面产生挤光作用, 成形后的内螺纹表面光洁度极好, 表面粗糙度可以达 Ra0.4-0.8。(4) 省耗材: 加工过程中没有切屑产生, 大幅提升材料的利用率。(5) 适合深孔和盲孔加工: 由于挤压过程中不需要清除切屑, 从而避免了因排屑困难或切屑堵塞而导致的丝锥崩刃、折断。

图表23: 冷挤压内螺纹相比切削具备较多优势

考核指标	冷挤压相比切削内螺纹优势
强度	提升。抗拉强度提高 20% 以上, 抗剪强度提高 5%~10%, 内螺纹表面的冷作硬化层厚度约为 0.15 mm, 硬度提高 40% 以上
内螺纹精度	提升。螺纹孔扩张量极小, 内螺纹行位误差小, 成形精度高, 质量稳定
表面质量	提升。挤压丝锥的挤压棱齿表面对内螺纹表面产生挤光作用, 成形后的内螺纹表面光洁度极好, 表面粗糙度可以达 Ra0.4-0.8
耗材	更省。加工过程中没有切屑产生, 大幅提升材料的利用率
深孔和盲孔加工	更适合。由于挤压过程中不需要清除切屑, 从而避免了因排屑困难或切屑堵塞而导致的丝锥崩刃、折断

来源: 陈鑫《内螺纹冷挤压工艺的研究现状与发展趋势》, 国金证券研究所

### 2.2.3 模具环节关注恒锋工具, 精密拉削刀具、花键量具等产品市占率第一

恒锋工具已布局多种冷挤压成型刀具, 包含螺纹滚轧轮和旋锻芯棒等产品。目前公司研制了拉削刀具、冷挤压成型刀具、精密量具、齿轮刀具等精密复杂刃量具以及高效钻铣刀具、高效钢板钻、精密螺纹工具等精密高效类产品, 成熟应用于国内汽车核心零部件、电站及舰船燃气轮机、航空发动机等各大主机厂。

图表24: 恒锋工具布局了多种冷挤压成型刀具



来源: 恒锋工具公司官网, 国金证券研究所



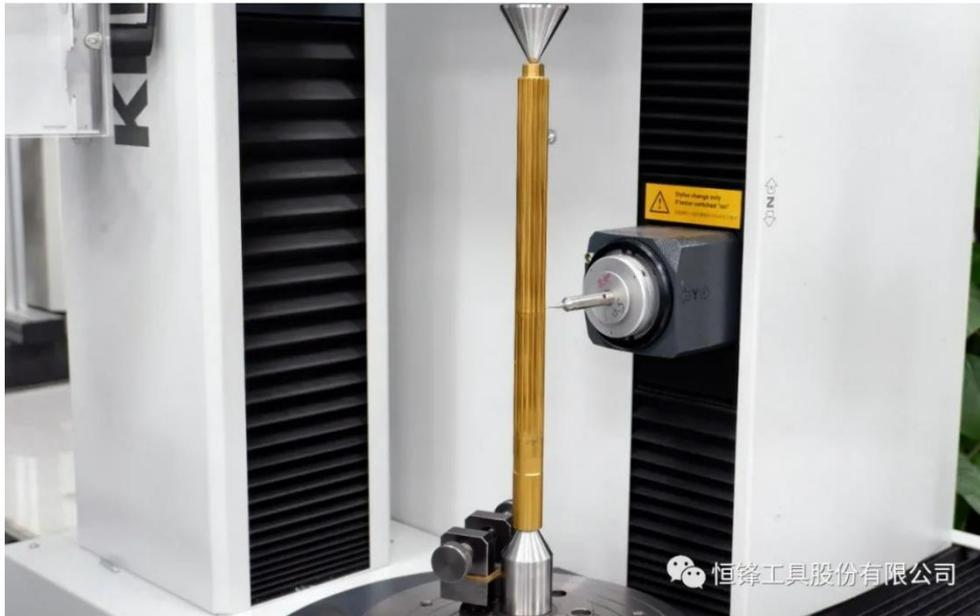
多种刀具市占率第一，旋锻芯棒性能较好。根据中国机床工具工业协会工具分会统计，恒锋工具精密拉削刀具、花键量具等产品连续十多年市场占有率国内第一。恒锋旋锻芯棒通过采用高品质材料，专业的加工和检测设备，特有的花键抛光工艺和新进的涂层技术，可以综合提升芯棒的使用寿命。

图表25：恒锋工具布局了多种冷挤压成型刀具

### 恒锋旋锻芯棒的技术特点

**芯棒材质：**采用高硬度、高耐磨性和高耐热性的高速钢，提高芯棒使用寿命以达到最佳使用性能；

**芯棒加工：**专业的加工设备、检测设备，为生产加工提供强有力的保障；



**加工工艺：**特有的花键抛光工艺，提高涂层的附着力，提升芯棒精度和使用寿命；

**芯棒涂层：**采用国际先进的涂层技术、涂层设备，提高芯棒的使用寿命。

来源：恒锋工具官方公众号，国金证券研究所

### 2.3 设备端：滚压机是最核心设备，进口替代进行时

机器人通常采用的丝杠包含梯形、行星滚珠和行星滚柱丝杠。以特斯拉人形机器人为例，其人形机器人采用行星滚柱丝杠约 10 根，梯形丝杠约 4 根。行星滚柱丝杠用于肘部、髋部、大腿、小腿，梯形丝杠用于腕部。梯形丝杠采用滚丝机可以生产，滚珠丝杠需要采用滚压机生产。

图表26：特斯拉人形机器人丝杠方案

环节	特斯拉人形机器人丝杠方案	
技术路线	行星滚柱丝杠*10 个	梯形丝杠*4 个
使用部位	肘部、髋部、大腿、小腿	腕部
技术壁垒/瓶颈	原材料、高精度磨床	国产替代已实现
新技术方向	1) 设备：以车/铣代磨（精度要求不高）；多线共磨；2) 产品：降低配置	

来源：Tesla，国金证券研究所

主流梯形丝杠采用滚丝机生产，滚丝机已基本实现国产替代。大部分梯形丝杠通过冷成形加工生产，成本低且产量大。由于梯形丝杠对于功能直径的误差要求较低，所以主要采用滚丝机生产。据《螺纹冷滚压理论与工艺参数研究\_齐会萍》，我国普通滚丝机的技术水平已接近海外同类产品水平，滚压螺纹精度可达 4 级水平。

滚珠和滚柱丝杠采用冷成型滚压机可达到较高的精度，我国主要依赖海外进口。行星滚柱丝杠要求精度较高，能满足 C5 级精度及以上的滚压机公司包含宝飞螺、肯尼福、伊瓦格等，此外，法国领英公司、日本 NACHI 公司、意大利 ORT 公司、德国 ROLLWALZTECHNIK 均有较好的布局。



据思进智能招股说明书显示，国内冷成形装备行业的企业数量较多，行业集中度较低，是一个竞争较为充分的行业，尚未形成一家独大或寡头垄断的情形。

**图表27：滚压机公司布局**

公司	布局
宝飞螺	精度达 C5 级。在过去的 60 年中，共有 5 代的螺纹及成形滚轧机被制造并交付用户使用。从 1974 年至今共有 227 台 UPAW 8 型的全自动行星式螺纹及滚轧机用于螺纹的大批量生产
安德森库克	齿轮滚压技术提出者。其两滚压轮径向滚压设备，能加工出精度 ISO6~7 级的花键，同时生产效率能达到 15 件/min 左右
肯尼福	精度达 C5 级。推出的高精密花键轴三滚压轮轴向滚轧设备，能加工出精度等级达到 ISO5 的大模数花键
伊瓦格	精度达 C5 级
法国领英公司	在螺纹冷滚压、模具设计方面颇有建树
日本 NACHI 公司	在滚丝机、花键滚压机、冷挤压成形机等机型
意大利 ORT 公司	在滚丝机、花键滚压机、冷挤压成形机等机型

来源：王旭《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压成形机理与实验研究》，李承胜《行星滚柱丝杠滚柱滚压校直机理与实验研究》，宝飞螺官网，国金证券研究所

国内冷成型装备建议关注思进智能。其为 A 股首家冷成形装备制造行业的上市公司，为国内机械基础件行业提供了多种型号的多工位中、高端冷成形装备，部分产品实现了进口替代，其产品技术性能处于国内同类产品领先水平，产品的部分技术性能达到或接近国际先进水平，公司多工位冷成形装备产销量在国内位居行业前列。



图表28: 思进智能冷锻机列表

主要产品	公司产品图示	特点及用途	用途示例	
冷锻机	SJBF 系列多工位自动冷成形装备		该系列机型结构紧凑、性能稳定，配备了夹钳系统自动开启与闭合装置，主要用于制造各类外六角螺栓、内六角螺钉等杆类零件产品。	
	SJBP 系列零件多工位自动冷成形装备		该系列机型与螺栓多工位自动冷锻成形机相比，增加了夹钳系统翻转装置，主要用于制造各类异形件，目前被广泛应用于汽车、船舶、航空航天、建筑、五金等行业。	
	SJNF 系列多工位自动冷成形装备		该系列机型结构紧凑、整机传动平稳、噪音低并配备精密的轴承定位装置，主要用于制造各类螺母、套筒等筒类零件产品。	
	SJNP 系列、SJPF 系列特殊零件多工位自动冷锻复合成形装备		该系列机型采用伺服送料机构，操作便捷，有效结合了SJBP 系列和 SJNF 系列的功能装置，主要用于制造各类紧固件以及异形件，应用范围较广。	

来源：思进智能年报，国金证券研究所

### 三、投资建议

人形机器人正在迈入快速的技术和成本迭代阶段，与“车铣+磨”工艺相比，“冷锻+磨”工艺具备高效率 and 低成本特性，冷锻精度上已能达到 C5 级，磨床使用可稳定实现人形机器人滚柱丝杠合格件的加工，是适合高效率批量生产滚柱丝杠的方法。建议关注制造、模具和设备：制造环节建议关注冷锻精密件供应商新坐标（具备模具设计加工、冷锻工艺研发、专用工装与设备设计等全产业链研发能力）；模具环节建议关注恒锋工具（布局多种冷挤压刀具，精密拉削刀具、花键量具等产品市占率第一）；设备环节包括滚丝机和滚压机，核心看点是滚压机国产化，建议关注思进智能（处国内冷成形装备行业的技术领先地位）。



## 四、风险提示

技术路线不确定风险。由于丝杠螺纹的加工技术路线具备多样化，主流技术路线除冷锻外还包含车铣磨等切削技术路线，随企业实际能力发展具体可能选择非冷锻技术路线，导致相关公司的经营业绩增长不及预期。

人形机器人放量不及预期风险。若人形机器人因其性能或供需方面的原因导致放量不及预期，相关设备厂商和制造厂商的经营业绩增长都可能不及预期。



**行业投资评级的说明：**

- 买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
- 增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
- 中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
- 减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



**特别声明：**

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级(含C3级)的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-80234211	电话：010-85950438	电话：0755-83831378
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	传真：0755-83830558
邮编：201204	邮编：100005	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号 紫竹国际大厦 5 楼	地址：北京市东城区建国内大街 26 号 新闻大厦 8 层南侧	邮编：518000 地址：深圳市福田区金田路 2028 号皇岗商务中心 18 楼 1806



**【小程序】**  
国金证券研究服务



**【公众号】**  
国金证券研究