

| 证券研究报告 |

# 人形机器人专题2：编码器

2023.12.31

分析师：曾彪

S0740522020001

研究助理：农誉

nongyu@zts.com.cn



1

# 编码器：原理&分类

## 编码器：伺服系统实现闭环控制的关键

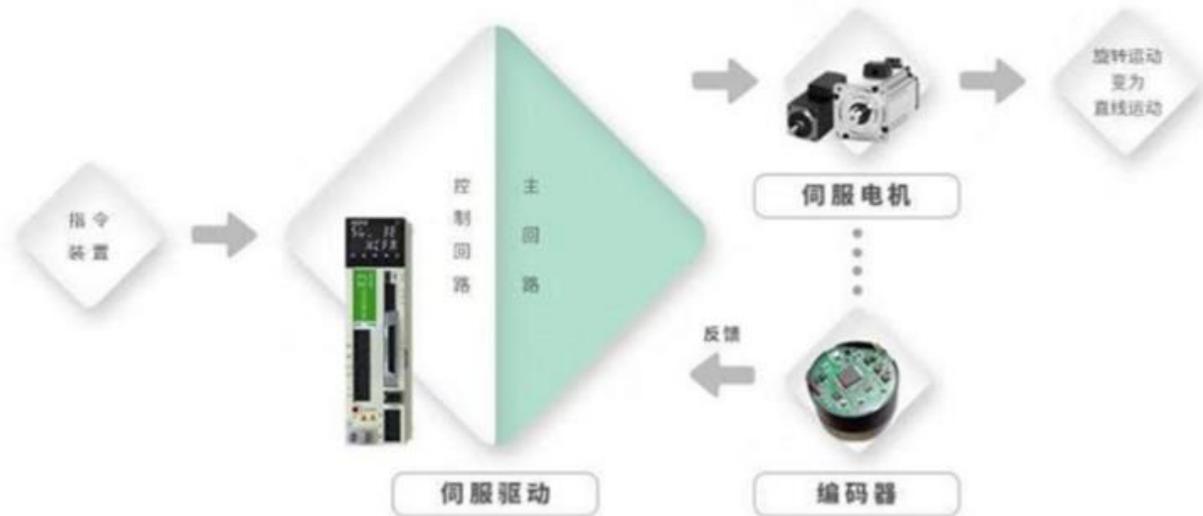
■ 伺服系统的特点：对动作状态时刻进行确认，并通过不断反馈避免与指令信号发生偏差，从而使机械实现灵敏和高精度的运动

➤ 伺服系统工作原理：

1) 控制指令发出：控制器（如PLC、HMI等）向伺服系统发出指令信号；

2) 控制&驱动：伺服驱动器（伺服放大器）接收到指令信号后，控制伺服电机运转；

3) 执行&反馈：编码器通常与电机相连，检测其状态，并把信号反馈回驱动器，驱动器对反馈信号进行汇总、分析、修正，从而精确控制执行机构的位置、速度、转矩等输出变量，实现闭环。



- 伺服电机控制性能的关键：获取准确的反馈信息，形成闭环控制。编码器作为闭环反馈信号的提供者，在电机运行过程中，将位置信号反馈至驱动器，驱动器依照反馈信号保证电机稳定和良好地输出性能。



## 编码器：分类&应用

### ■ 编码器分类：2) 绝对式 vs 增量式 (使用条件)

#### ➤ 线性编码器

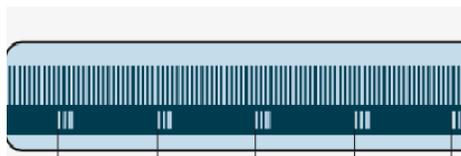
##### 绝对式

光栅：由一系列绝对码编排而成，位置信息由一系列绝对码编排的光栅读取，每个位置是唯一的：



##### 增量式

光栅：由周期性的栅线组成光栅，位置信息通过计算自某参考点开始的增量数获得：



通电时立即提取位置信息，无需回零

抗干扰、数据可靠，生产效率高

通电时必须进行参考点回零操作

可连续运动，可用于速度测量

#### ➤ 旋转编码器

##### 绝对式

码盘：N圈光通道刻线，按2线、4线、8线...依次编排，可获取2的N次方个绝对位置



无需回零复位

结构复杂，价格高

可获取：角度信息

##### 增量式

码盘：均匀刻出N条通光码道，旋转一圈产生N次光信号



需要回零复位

结构简单，价格便宜

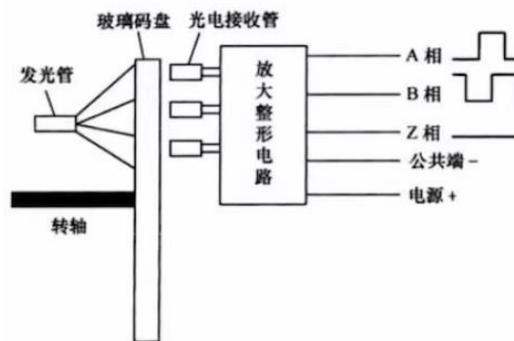
可获取：距离、速度、位置信息

## 编码器：按技术类型分类

### ■ 编码器分类：3) 按技术类型

➢ 技术原理不同进行分类，编码器可分为光电式编码器、磁电式编码器、电感式编码器等类别。

光电式编码器

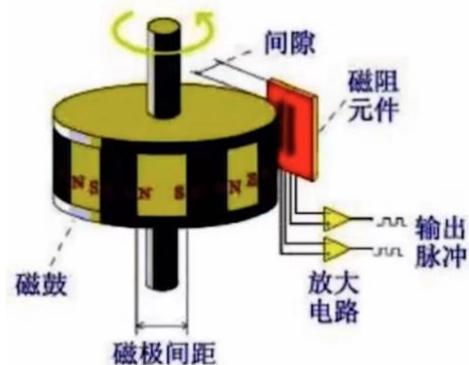


原理：光源发射出的光线经过码盘光栅形成光信号，通过光敏元件转化为电信号发送给输出电路

构成：光源、码盘、光敏元件（接收器）、输出电路

测量：角度、位移、速度、位置

磁电式编码器 (Magnetic)

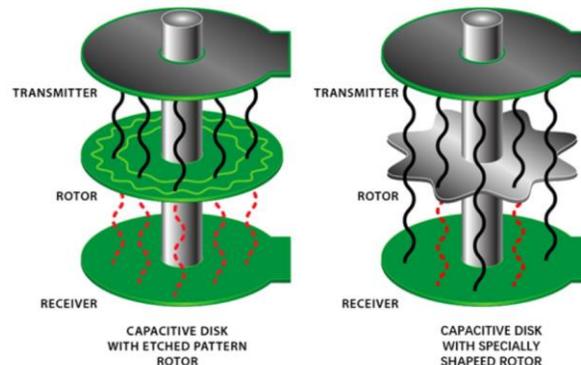


原理：磁性材料的角度或位移变化电阻、电压的变化，通过磁感应原件可以对其进行测量

构成：码盘、磁感应元件（磁阻或霍尔元件）、调节电路等

测量：角度、位移

电感式编码器 (Inductive)

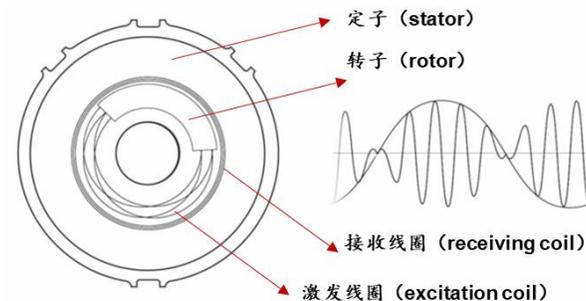


原理：转子上蚀刻了正弦波纹路，轴的转动可产生特殊的信号，依靠电极间电容值的变化来反映被测电极运动状态

构成：转子、固定发射器、固定接收器

测量：位置、旋转方向

电感式编码器 (Inductive)



原理：定子上的激发线圈通交流电，产生变化磁场，其在转子转动过程被部分屏蔽，定子中的接收线圈产生电压，发生周期性的变化

构成：定子（含激发线圈和接收线圈）、转子（震荡发生器）、调节电路等

测量：位置、速度（需添加FPGA）

## 编码器：按技术类型分类

### ■ 编码器分类：3) 按技术类型

➢ 技术原理不同进行分类，编码器可分为光学编码器、磁电式编码器、电感式编码器等类别。

项目	光学编码器 (Optical)	磁电式编码器 (Magnetic)	电容式编码器 (Capacitive)	电感式编码器 (Inductive)
耐灰尘、油污性	低	高	中	高
精准度	高	低	低	高
温度范围	中等	窄	宽	-
能耗	高	中	低	-
可编程	否	否	是	-
小型化	中	中	小	小
抗电场干扰	高	中	高	高
抗磁场干扰	高	低	高	高
分辨率	宽	窄	宽	宽

- 光学编码器的优势为分辨率、准确度较高，但是码盘在灰尘、油污环境中易受污，影响可靠性和精度；磁编码器在精度和分辨率逊色于光学编码器，其优势在于感应原理为未接触式（通过测量磁场的变化感应），不易受到恶劣环境的影响，更耐用、抗振和抗冲击；
- 区别于光、磁编码器，电容编码器通过测量电机间电场变化来实现信息反馈，具有可编程的特点，同时，电路板元件的体积相对码盘更小，易于实现封装尺寸小型化。电容编码器的不足在于精准度相对低，对制造工艺要求比较高，价格相对昂贵；
- 电感式编码器精度、分辨率均较高，且耐受灰尘、油污，但其对磁铁的距离和方向非常敏感，稍有偏离则容易造成测量误差。



2

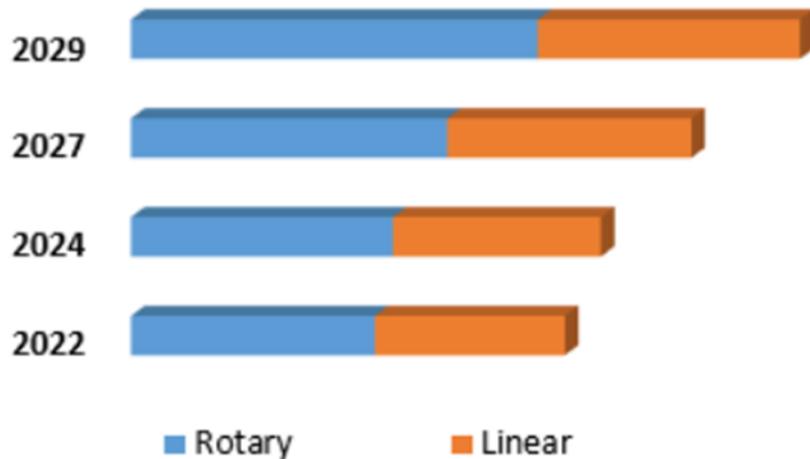
# 编码器市场格局

领先企业

## 编码器市场细分：使用场景和技术类型

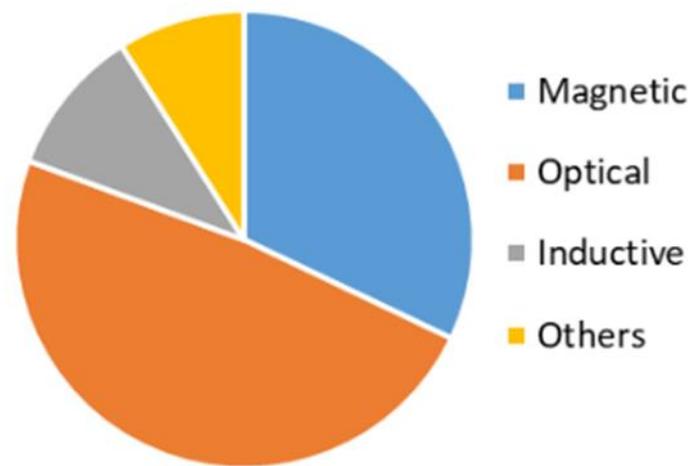
### ■ 编码器市场细分情况：使用场景和技术类型

#### ➤ 2022年编码器市场细分情况：旋转和线性编码器



- 根据Global Market Insights预测，2022-2029年，编码器市场持续增长，全球工业自动化升级和机器人技术的发展而产生较大的需求。
- 其中，旋转编码器的占比相对更高，由于其具有高精度、可测量角位置或旋转、高准确度的特性，主要用于对精确定位和运动控制要求相对较高的领域，如工业控制、机器人、和航空航天等。

#### ➤ 2022年编码器市场细分情况：按技术类型划分/%

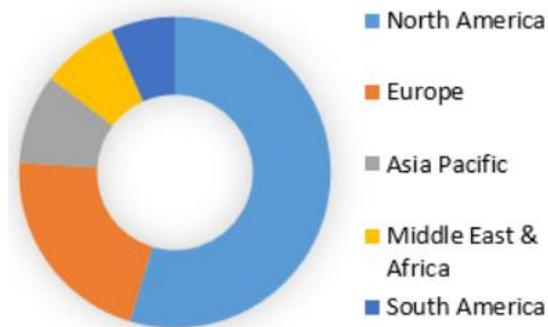
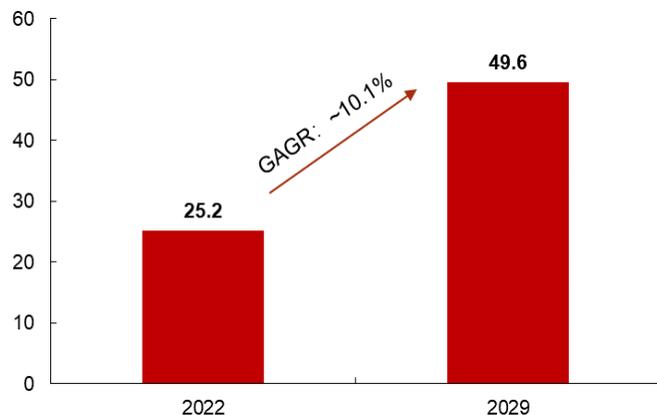


- 根据Global Market Insights预测，2022年，光学、光电编码器市场占比接近一半，磁编码器占比接近30%；虽然光电编码器在精度上更高，但是磁编码器更佳的耐震动、耐油污、耐灰尘性能，使其更适配环境相对恶劣的工业生产环节。
- 此外，从传感技术上看，磁编码器的传感器和码盘表面之间无物理接触，可减少磨损、维护要求，使用寿命更长；加上更具优势的成本，在CNC、半导体工业制造、机器人等领域的使用数量有望逐步增长。

## 编码器市场规模

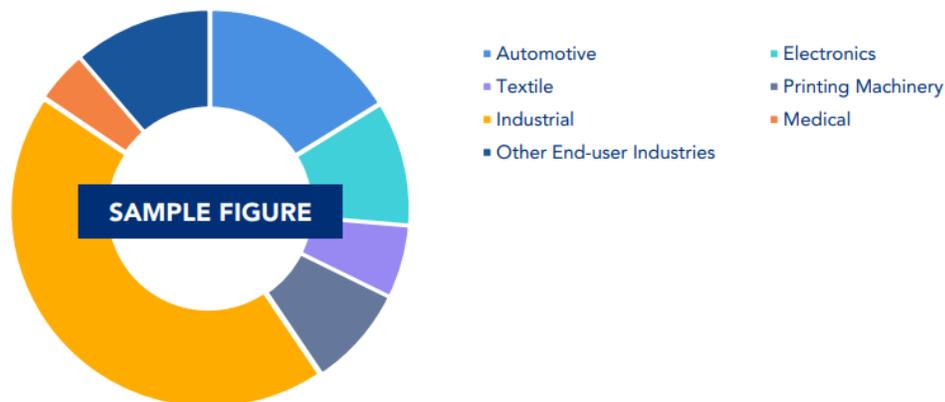
### ■ 编码器市场规模

#### ➤ 2022年-2029年编码器市场规模预测（单位：亿美元）



- 根据Global Market Insights预测，编码器市场规模有望从2022年的25.2亿美元增长至2029年的49.6亿美元，年复合增长率接近10.1%。
- 其中，2022年北美占据最大的市场份额，根据GMI预测，随着亚太地区汽车行业、工业自动化领域的快速增长，预计2028年亚太地区将在全球编码器市场中占有最高份额。

#### ➤ 2022年编码器市场细分情况：下游应用场景



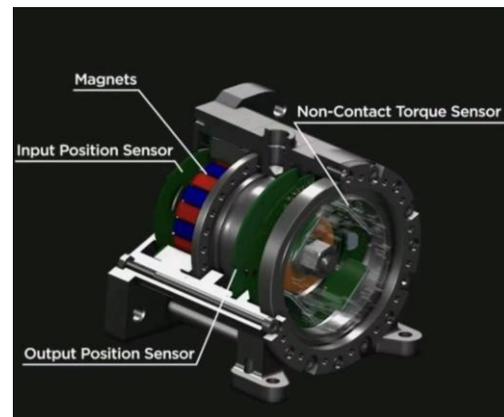
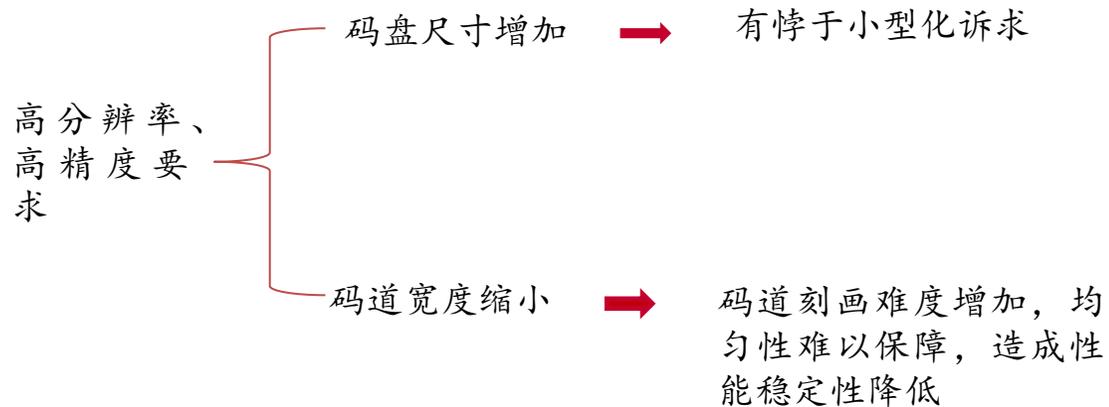
- 根据Mordor Intelligence统计，2022年，市场分为工业、医疗、消费电子、汽车、印刷、纺织品和其他终端应用，其中工业领域占比最大。
- 随着汽车、消费电子等工业的兴起，预计工业领域编码器市场占比逐步下滑，预计2028年工业领域用编码器市场规模接近10亿美元，占总计市场规模接近20.8%。

## 编码器新增量：人形机器人

### ■ 人形机器人编码器要求

➢ 高分辨率、小型化、高稳定性

➢ 高度集成化要求：旋转关节—双编码器



- 光编码器在小型化、高稳定性的要求下，难以通过简单的增加码盘尺寸、或增加码道的方式达到更高的分辨率和精度，需要探寻新的工艺方案，例如利用MEMS工艺让LED和PD芯片实现结合、对电路结构进行特殊降噪设计、调整芯片晶体结构等；
- 磁编码器方向：传统霍尔效应的磁编码器发展较为成熟，但受限于精度，技术方向有望转向AMR/TMR类磁阻编码器；另一方面，编码器芯片的迭代是关键，解码芯片需要向更高频率升级，通过集成动态角度误差补偿等算法技术，提高抗干扰性。

- 人形机器人关节集成，串联了电机和减速器，电机的旋转与另一侧的减速器旋转可能存在差异，双编码器可以同时提供电机输入端和减速之后的输出端的位置信息，以弥补传动装置的不准确性。

## 编码器新增量：人形机器人

### ■ 人形机器人编码器市场空间测算

➢ Tesla在2022年的Ai day展示了其人形机器人产品采用的关节执行器方案，为了降低研发、生产成本，公司将执行器方案缩减至六种。

执行器	部位	数量	全身	示例
旋转执行器	肩膀 (yaw/ roll/pitch)	3	6	 110Nm   1.62kg
	髋部/身体	右边 1 (hip yaw) 左边 2 (hip/ torso yaw)	3	
	手腕 (roll)	1	2	 20Nm   0.55kg
	髋部/身体	右边 2 (hip/torso roll) 左边 1 (hip roll)	3	 180Nm   2.26kg

- 旋转关节合计三种方案（肩膀、髋部方案相同），单台机器人总共需要14个。

执行器	部位	数量	全身	示例
线性执行器	手腕 (pitch/ya w)	2	4	 500N   0.36kg
	膝盖+髋部 (pitch)	2	4	 8000N   2.20kg
	脚踝 (roll/pitch)	2	4	 3900N   0.93kg
	肘部 (pitch)	1	2	
手部执行器	指关节	6	12	

- 线性执行器合计三种方案（手腕、膝盖采用相同方案），单台机器人总共需要14个执行器；
- 此外，Optimus灵巧手采用电机驱动+腱绳传动方案，保留11个自由度，单手6个执行器（拇指两个，其他手指一个），单台机器人总共需要12个执行器。

## 编码器新增量：人形机器人

### ■ 人形机器人编码器市场空间测算

➤ 假设 1) 旋转执行器上采用双编码器方案；2) 编码器价值量接近80-200元，则预计单台人形机器人中编码器的价值量接近6140元。

执行器	部位	单侧数量	单台机器人用量	单台机器人编码器数量	编码器价格/元	单台机器人价值量/元
旋转执行器	肩膀	3	6	12	120	1440
	髋部		3	6	120	720
	手腕	1	2	4	100	400
	肘部		3	6	150	900
线性执行器	手腕	2	4	4	100	400
	膝盖	2	4	4	150	600
	脚踝	2	4	4	120	480
	肘部	1	2	2	120	240
手部执行器	指关节	6	12	12	80	960
<b>合计</b>				<b>54</b>		<b>6140</b>



3

# 产业链主要公司梳理

领先

## 奥普光电：光编码器国产化替代先行者

### ■ 奥普光电

#### ➢ 禹衡光学：光编码器国产化替代先行者

- 编码器市场长期被海外企业占据，例如海德汉、多摩川等，二者分别于1889年、1938年成立；
- 禹衡光学前身长春第一光学仪器厂于1965年成立，1986年开始引进日本制造技术，确立编码器产品为发展重点，逐步形成自主知识产权和品牌；

禹衡光学业绩情况	2019	2020	2021	2022	2023H1
营业收入/百万元	148.33	166.47	208.76	178.99	86.84
净利润/百万元	5.96	9.86	13.61	12.45	3.10

- 2013年，奥普光电收购禹衡光学，切入光栅传感器业务，2019-2023H1持股比例接近65%；
- 时至今日，禹衡光学主持制定了我国多项光学编码器行业标准，成为国内标杆企业，产量接近150万台/年；
- 禹衡光学应用于伺服行业的产品年销量超50万台，面向中端市场，有望逐步向中高端产品市场实现突破。

#### ➢ 光栅刻画技术领衔国内

项目	参数	示例
室温准确度	±0.5"	
电气允许转速	360r/min	
绝对位数	23-29 bit	
最高电流消耗	<700 mA	
尺寸	轴径14mm	

- 优异的光栅刻划制造技术体现公司的核心竞争力，光栅线条均匀性、线条准直性、光栅精度在中端市场具备较佳的竞争力；
- 产品最高绝对位数做到29 bit，且采用自主知识产权芯片，具备体积小、高分辨率等特点。

## 禾川科技：携手博世，有望实现技术跃迁

### ■ 禾川科技

#### ➢ 禾川科技&博世力士乐达成深度合作：

1) 2023年11月2日，博世中国与禾川的控股股东越超有限公司签署《股份转让协议》，本次权益变动后，博世中国持有公司7,550,684股股份，占公司总股本的5%；

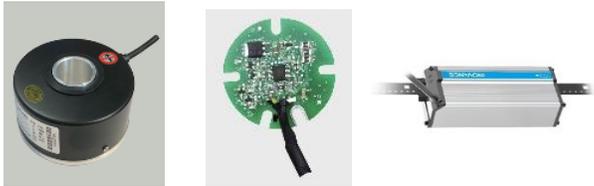
2) 同日，公司宣布与罗伯特博世、博世中国共同出资设立合资公司乐达博川，合资公司注册资本为12,000万元，罗伯特博世/博世中国/禾川科技 分别持股40%/ 10%/ 50%。

项目	产品协同	
公司	禾川科技	乐达博华（罗伯特博士控股子公司）
驱动器、控制器	伺服驱动器、伺服电机和编码器 	伺服驱动器、控制器 
编码器	21位磁编码器，23位光编码器 	23位高精度绝对值编码器 
线性传动	公司拟发行可转债，募集资金总额 7.5 亿元，其中5.65亿元投向规划生产精密传动部件滚珠丝杠副和滚动直线导轨等 	柔性输送系统，滚柱导轨导向系统 

- 2023年11月9日，乐达博华与Fortive福迪威传感技术平台旗下HENGSTLER，联手探索新一代编码器技术的应用，结合博世力士乐在工业自动化领域的沉淀和禾川的生产制造、渠道能力，双方有望在高端工控领域实现协同突破。

## 编码器：国内企业相关布局

### ■ 编码器：主要公司及产品布局

公司	相关业务	产品示例
汇川技术	2011年通过外延收购设立长春汇通光电技术有限公司，具备关键光电编码器自主生产能力； 汇通光电产品涵盖旋转/直线，增量/绝对式光电、磁编码器	
昊志机电	公司攻克智能机器人用高精度编码器，产品具备下述特点性能特点： 1) 高精度（定位精度 $\leq \pm 40''$ ，重复定位精度 $\leq \pm 10''$ ） 2) 工作温度范围宽（ $-40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$ ，满足严苛气候条件下的应用） 3) 高可靠性（耐油污粉尘和水汽，维护方便，性能稳定可靠） 4) 高分辨率（通过对时钟脉冲累加计数实现位移测量，具有高分辨率特点）	
伟创电气	公司自制光电、磁编码器均进入小批量验证阶段，在通用伺服上启动试用，同时，公司在机器人领域布局的伺服一体轮和轴关节均采用自制编码器。 公司计划逐步推进提升编码器自用比例，预计在2024年，待市场验证成熟稳定后逐步实现替代	-
鸣志电器	拥有超过10个系列的编码器产品，搭配空心杯和无齿槽电机，尺寸覆盖 $\phi 8$ - $\phi 22$ ，技术类型为磁编，光编等 推出全新MH13/MH22高性能编码器，更高规格的芯片拓宽性能和应用场景，为公司首款匹配高速无齿槽电机的高速编码器，设计紧凑，实现小型化（直径约13mm）	



4

风险提示

领先一步

## 4. 风险提示

---

- 人形机器人产业化进度不及预期。
- 其他新型传感技术持续迭代。
- 测算结果基于一定假设导致的结果不确定性的风险。
- 研究报告使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。

## 重要声明

- 中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。
- 本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，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，可能会随时调整。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。
- 市场有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。
- 投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司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投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。
- 本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。事先未经本公司书面授权，任何机构和个人，不得对本报告进行任何形式的翻版、发布、复制、转载、刊登、篡改，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。