



运动控制行业研究

买入（维持评级）

行业深度研究

证券研究报告

机械组

分析师：满在朋（执业 S1130522030002） 分析师：李嘉伦（执业 S1130522060003）

manzaipeng@gjzq.com.cn

lijialun@gjzq.com.cn

高端装备“大脑”，机器人孕育新空间

投资逻辑：

运动控制器+执行器（驱动电机）+传感器构成运动控制系统，是数控机床、机器人等高端装备的核心基础部件：运动控制主要指按照运动轨迹要求，在复杂条件下把规划指令变成期望的机械运动，通过执行器（通常由伺服驱动+电机构成）实现驱动，并通过传感器完成闭环反馈。运动控制系统是高端装备的核心基础部件，决定了装备的精度、效率，同时其也是不同品牌高端装备形成差异化竞争的重要构成。

运动控制器为运动控制系统“大脑”，通用运动控制器主要分为 PLC、嵌入式、PC-Based 三大类：运动控制器主要任务是根据运动控制的要求和传感器件的信号进行必要的逻辑、数学运算，为电机或其它动力和执行装置提供正确的控制信号，性能直接决定了运动控制系统的性能水平。

工业机器人通常采用 PC 作为上位机完成人机交互/轨迹规划，基于 PLC 或 PC-Based 控制器通过关节控制、位置控制、力控制实现运动控制：工业机器人通常采用 PC 作为上位机完成人机交互和轨迹规划，确定运动控制参数，再通过单/多关节控制（由电机驱动，电流、速度、位置检测实现闭环），位置控制（可通过笛卡尔位置控制在关节控制基础上实现），力控制（采用多维力传感器获取笛卡尔坐标系中的力信息实现反馈）实现运动控制，最终经过电机驱动，经过齿轮组、减速器等为关节提供动能，通过关节速度、位置、力控制实现多自由度运动。

人形机器人在工业机器人基础上进一步强调“类人”属性，步态控制、手臂控制、轨迹规划要求均更高，难度预计将显著提升，有望带来市场需求增量：人形机器人采用“类人”结构，步行状态下的运动控制系统属于非线性和强耦合，易受环境因素干扰，假设髋关节、膝关节、踝关节分别为 3/1/3 个自由度，仅下肢就为一个 14 自由度系统，多关节联动控制难度较高。在手臂控制除多关节联动带来的难度外，其“类人”属性对于冲击（代表力矩变化的快慢，影响振动、机械磨损等因素）控制的要求更高，以实现平稳的抓取和抬举物品，并且为了实现与环境交互，需要引入视觉传感器来完成空间定位实现轨迹规划。更多的联动关节数量、更多的传感器都将加大运动控制难度，同时在工业机器人应用中，轨迹规划的应用需要专业工程师通过编程处理，学习成本较高，考虑人形机器人未来有消费级应用场景，轨迹规划必须通过软件进行封装，将功能集成并设计出可视化界面，从而降低使用门槛。

运动控制 22 年全球市场空间 155 亿美元，19 年国内市场空间 425 亿元人民币，中高端运动控制市场以海外品牌为主，国内企业在各自领域已实现一定突破：根据 MARKETS AND MARKETS 数据，22 年全球运动控制市场空间 155 亿美元，预计到 27 年达到 200 亿美元，CAGR5.2%。根据固高科技招股说明书数据，19 年国内运动控制系统市场规模 425 亿元人民币，其中运动控制器、伺服系统市场规模分别为 85/340 亿元人民币。目前高性能运动控制及伺服系统市场参与者主要为海外厂商如欧姆龙、倍福、ACS、Aerotech 等，国内企业分别在运动控制器、伺服驱动器等领域也实现了一定突破，根据雷赛智能招股说明书数据，通用运动控制器中的 PC-Based 控制卡市场，固高科技、雷赛智能、成都乐创、众为兴为代表的国内品牌占据了 70% 以上的市场份额；根据睿工业数据，21 年汇川技术、禾川科技伺服市场占有率分别达到了 16.3%/2.8% 实现突破，但仍有较大国产替代空间

投资建议

考虑运动控制行业市场空间较大，且随着人形机器人产业发展有良好成长前景，建议重点关注禾川科技、华中数控、埃斯顿、汇川技术、雷赛智能。

风险提示

国产替代进展不及预期，人形机器人产业化进展不及预期。



内容目录

1. 运动控制为数控机床、机器人等高端装备“大脑”	6
1.1 运动控制系统是数控机床、机器人等高端装备高效运行核心环节	6
1.2 运动控制器为运动控制开始，通用运动控制器分为 PLC 控制器、嵌入式控制器、PC-based 控制卡	7
1.3 运动控制器+执行器（驱动电机）+传感器构成了主流运动控制系统	8
2. 人形机器人运动控制难度预计将显著加大，有望带来市场需求增量	10
2.1 工业机器人通常采用 PC 作为上位机完成人机交互/轨迹规划，基于 PLC 或 PC-Based 控制器通过关节控制、位置控制、力控制实现运动控制	10
2.2 人形机器人强调“类人”属性，步态控制、抗冲击、轨迹规划要求均更高，难度显著提升	14
2.2.1 下肢控制：步行运动控制难度较高	14
2.2.2 手臂控制：视觉前馈+逆运动学求解实现轨迹规划，“类人”属性对于冲击等指标要求更高	16
2.2.3 轨迹规划：对于轨迹规划算法的集成化、智能化、可视化要求更高	17
3. 全球市场空间 155 亿美元，国内市场空间 425 亿元人民币	17
3.1 运动控制 22 年全球市场空间 155 亿美元，预计 27 年达到 200 亿美元	17
3.2 国内运动控制市场规模 19 年达到 425 亿元，后续有望保持高增长	18
4. 海外品牌领跑中高端运动控制市场，国内企业已实现突破	19
4.1 中高端运动控制与伺服驱动以欧美、日系厂商为主	19
4.2 国内企业在运动控制器、伺服驱动器等领域已实现一定突破	20
5. 投资建议	22
5.1 投资建议	22
5.2 禾川科技：工控新锐，伺服+PLC 打开成长空间	23
5.3 华中数控：高端数控系统龙头，具备机器人控制系统自制能力	25
5.4 埃斯顿：从机床数控系统起步，崛起为国产机器人龙头	27
5.5 汇川技术：工业自动化龙头，实现工业机器人电控、伺服系统自制	28
5.6 雷赛智能：运动控制系统层次全覆盖，有望进入加速成长期	31
5.7 柏楚电子：激光控制系统龙头，技术驱动实现长期发展	33
5.8 固高科技：专注运动控制核心技术，实现高端装备控制系统国产替代	34
6. 风险提示	36

图表目录

图表 1：运动控制系统通常包括运动控制器、驱动、执行器、运动反馈单元等	6
图表 2：运动控制系统发展历史	6
图表 3：运动控制系统为高端装备核心基础部件	7
图表 4：运动控制器构成	7



图表 5: 运动控制器按照核心器件组成分类	8
图表 6: 通用运动控制器主要分类	8
图表 7: 伺服系统通常由伺服驱动+电机+编码器组成	9
图表 8: 伺服系统包括交流伺服系统、直流伺服系统和步进系统	9
图表 9: 运动控制系统通过反馈装置实现闭环控制	9
图表 10: 运动控制系统通过传感器实现闭环控制	10
图表 11: 工业机器人通常采用 PC-Based 或 PLC 控制器架构	10
图表 12: 基本轨迹规划分为笛卡尔空间规划和关节空间规划	11
图表 13: 工业机器人控制以多轴运动控制为主	11
图表 14: 工业机器人的单关节控制原理	12
图表 15: 将其他关节的影响作为前馈项引入控制器构成多关节控制系统	12
图表 16: 工业机器人笛卡尔位置控制示意	12
图表 17: 电容式三维力传感器力敏元件构成	13
图表 18: 多维力传感器广泛装备在机器人机械臂	13
图表 19: 机械臂控制原理	14
图表 20: 人形机器人下肢可简化为 14 自由度系统	15
图表 21: 基于 PID 控制器与 PSO 优化控制可实现人形机器人步态控制优化	16
图表 22: 四自由度双臂人形机器人构成	16
图表 23: 人形机器人手臂通过机器视觉+逆运动学求解实现轨迹规划完成运动控制	17
图表 24: ABB RobotStudio Suite 提升了工业机器人的编程、模拟的易用性	17
图表 25: 22 年全球运动控制市场空间 155 亿美元, 预计 27 年达到 200 亿美元	18
图表 26: 19 年国内运动控制系统市场规模 425 亿元	18
图表 27: 中国智能制造装备及部分高端制造业国产化率有望持续提升, 推升运动控制系统需求	19
图表 28: 海外品牌较为成熟	19
图表 29: 倍福 22 年全球销售额 15.15 亿欧元同比增长 28%	20
图表 30: 倍福产品丰富度、成熟度较高	20
图表 31: 国内主要市场参与者	21
图表 32: 国内企业在对应领域已经实现突破, 取得了一定市场定位	21
图表 33: 21 年国内伺服系统竞争格局较为分散	22
图表 34: 重点关注公司	22
图表 35: 禾川科技工业自动化主要产品	23
图表 36: 22 年禾川科技营收结构	23
图表 37: 公司下游以先进制造业为主, 占比达 75%	23
图表 38: 禾川科技近年营收规模快速扩张	24
图表 39: 禾川科技 22 年利润规模有所下降	24



图表 40: 受市场开拓策略影响, 毛利率有所下降	24
图表 41: 禾川科技伺服、PLC 毛利率水平较高	24
图表 42: 禾川科技 IPO 募投项目概况	24
图表 43: 禾川科技伺服驱动器及 PLC 的产能情况	25
图表 44: 禾川科技伺服电机的产能情况	25
图表 45: 华中数控收入以工业机器人及智能产线、数控系统为主	25
图表 46: 公司自研数控系统实现与海外龙头全面对标	26
图表 47: 公司 20、21 年营收高增长	26
图表 48: 公司未来利润弹性较高	26
图表 49: 华中数控机器人本体 22 年实现收入 3.34 亿元, 同比增长 24.13%	26
图表 50: 埃斯顿主要产品	27
图表 51: 埃斯顿收入规模持续扩张	27
图表 52: 22 年归母净利润高增长, 1Q23 同比下降	27
图表 53: 埃斯顿收入以工业机器人为主	28
图表 54: 埃斯顿产品毛利率较高	28
图表 55: 埃斯顿运动控制相关产品	28
图表 56: 汇川技术主要产品	29
图表 57: 汇川技术通用自动化领域一体化解决方案	29
图表 58: 汇川技术收入以通用自动化业务为主	30
图表 59: 通用自动化业务毛利率较高	30
图表 60: 汇川技术近年收入快速增长	30
图表 61: 汇川技术近年归母净利润快速增长	30
图表 62: 公司通用伺服产品市占率国内领先	30
图表 63: 雷赛智能实现运动控制系统层次全覆盖	31
图表 64: 雷赛智能收入以步进系统、伺服系统为主	31
图表 65: 雷赛智能产品毛利率整体较高	31
图表 66: 受自动化行业需求放缓影响收入增速下降	32
图表 67: 受自动化行业需求放缓影响利润增速下降	32
图表 68: 雷赛智能毛利率较为稳定, 净利率有所下降	32
图表 69: 雷赛智能营业收入考核目标	32
图表 70: 雷赛智能净利润考核目标	32
图表 71: 柏楚电子主要产品	33
图表 72: 切割头、主战卡等新品收入占比提升	33
图表 73: 柏楚电子产品毛利率极高	33
图表 74: 1Q23 收入成长加速	34



图表 75: 1Q23 归母净利润成长加速.....	34
图表 76: 柏楚电子已自主研发并掌握五大核心技术, 技术体系完整性全球领先.....	34
图表 77: 固高科技业务布局.....	35
图表 78: 固高科技主要产品.....	35
图表 79: 3C 行业景气度较低 22 年收入小幅增长.....	36
图表 80: 成本费用增长角度 22 年归母净利润同比下降.....	36
图表 81: 固高科技收入主要来自运动控制部件类产品.....	36
图表 82: 固高科技部件类产品毛利率较高.....	36



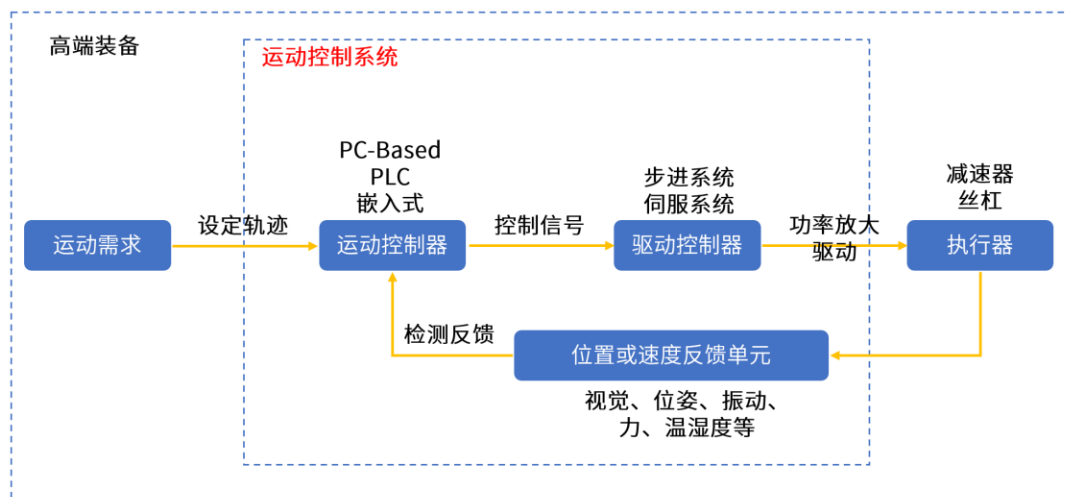
1.运动控制为数控机床、机器人等高端装备“大脑”

1.1 运动控制系统是数控机床、机器人等高端装备高效运行核心环节

运动控制系统是依照具体的运动轨迹要求，根据负载情况，通过驱动器、驱动执行电机完成相应运动轨迹要求的系统。通常包括运动控制器、驱动、执行器、运动反馈单元等。

运动控制系统是依照具体的运动轨迹要求，根据负载情况，通过驱动器、驱动执行电机完成相应运动轨迹要求的系统。通常包括运动控制器、驱动、执行器、运动反馈单元等。

图表1：运动控制系统通常包括运动控制器、驱动、执行器、运动反馈单元等



来源：《运动控制系统（第2版）》，固高科技招股说明书，国金证券研究所

运动控制系统经过多年发展，目前普遍以基于计算机的数字控制为基础，在云计算、工业互联网、人工智能等新技术加持下，运动控制系统的智能化、柔性化、控制精度等各方面能力均快速提升。

图表2：运动控制系统发展历史

发展阶段	技术分类	主要技术特征(典型代表)
最早期	模拟时代(步进时代)	步进控制器+步进电机+电液脉冲马达
20 世纪 70 年代	直流模拟时代	基于微处理器技术的控制器+大惯量直流电机
20 世纪 80 年代	交流模拟时代	基于微处理器的控制器+模拟式交流伺服系统
20 世纪 90 年代	数字化初级阶段	数字/模拟/脉冲混合控制，通用计算机控制器+脉冲控制式数字交流伺服系统
21 世纪初至 2014 年	全数字化时代	基于 PC 的控制器+网络数字通信+数字伺服系统+智能控制
2014 年至今	人工智能技术时代	人工智能+网络+全数字控制

来源：，国金证券研究所

运动控制系统属于国家战略物资，对于数控机床、机器人及各类高端装备高质高小运行至关重要，运动系统的智能化控制是装备领域和制造行业的核心技术，决定了装备的精度、效率。



图3：运动控制系统为高端装备核心基础部件

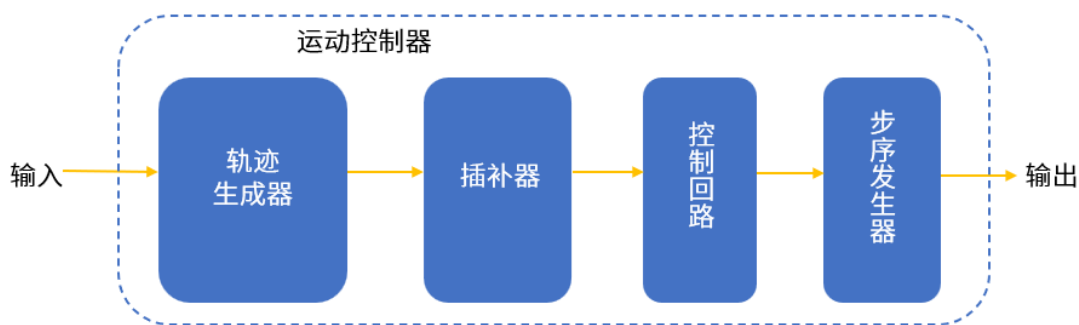


来源：固高科技招股说明书，国金证券研究所

1.2 运动控制器为运动控制开始，通用运动控制器分为 PLC 控制器、嵌入式控制器、PC-based 控制卡

运动控制器由轨迹生成器、插补器、控制回路和步序发生器四部分构成。首先由轨迹生成器计算出任务希望的理想轨迹，插补器根据位置或速度反馈单元的实际状态，按照轨迹生成器的要求，计算出驱动单元下一步将要执行的命令，然后交由控制回路进行精确控制。如果是步进电机，则还有一部分就是步序发生器，步序发生器根据控制回路控制指令进一步生成控制相序和脉冲，达到控制运动对象的目的。

图4：运动控制器构成



来源：《运动控制系统（第2版）》，国金证券研究所

运动控制器的硬件按照核心器件组成包括基于微处理器(MCU)、专用芯片(ASIC)、PC-Based、数字信号处理芯片(DSP)、可编程逻辑控制器(PLC)、多核处理器等。随着技术的进步和完善，运动控制器从以单片机、微处理器或专用芯片作为核心处理器，发展到以DSP和FPGA作为核心处理器的通用开放式运动控制器。



图表5：运动控制器按照核心器件组成分类

微处理器 (MCU)	可以实现一些简单的控制算法，具有一定的灵活性，能提供简单的人机界面管理
专用芯片 (ASIC)	使用相对容易，系统输入/输出指令跟随性强、响应快速、可靠性高，但不易升级，控制算法变更升级不易，硬件成本价格高
PC-Based	具有开放性、模块化、可嵌入的特点，为追加功能和实现功能个性化提供了保证。缺点是与专用运动控制系统相比实时性会差，可靠性也不如专用运动控制系统高，对实际编程者的水平要求较高
数字信号处理芯片DSP	DSP芯片因其高速运算能力而被越来越广泛地用于运动控制系统中。DSP芯片使复杂算法的实时性得到有效保证，运动控制器主流技术
可编程逻辑控制器PLC	在可编程逻辑控制器上实现运动控制器的算法和电路，可以提高系统的集成度和性能，具有很大的灵活性。但整个系统需要大量的逻辑单元，编程难度大，价格昂贵

来源：《运动控制系统（第2版）》，国金证券研究所

根据平台不同，通用运动控制器可以分为 PLC 控制器、嵌入式控制器和 PC-Based 控制卡三大类。

图表6：通用运动控制器主要分类

分类	特点	应用领域
PLC 控制器	系统简单，体积小，可靠性高，但不支持复杂算法，可以通过在 PLC 平台上，添加驱动步进电机或伺服电机的位置控制模块，在为各种机械设备提供逻辑控制的同时，提供运动控制功能	可以用于圆周运动或直线运动的控制，广泛应用于各种机械、机床、机器人和电梯等行业
嵌入式控制器	涵盖从简单到复杂的各种运用，具有应用灵活、稳定性高、定制性强、价格便宜、操作和维护方便的特点	在针织机械、激光、切割、点胶机等设备制造行业有广泛的应用
PC-Based 控制卡	系统通用性强、可拓展性强，能够满足复杂运动的算法要求、抗干扰能力强，可供用户根据不同的需求，在 DOS 或 Windows 等平台下自行开发应用软件，组成各种控制系统	主要应用于电子、半导体、工业机器人、包装等领域

来源：雷赛智能招股说明书，国金证券研究所

1.3 运动控制器+执行器（驱动电机）+传感器构成了主流运动控制系统

伺服系统是一种能对机械运动按预定要求进行自动控制的系统，其作用是使输出的机械位移（或转角）准确地跟踪输入的位移（或转角），实现输出变量精确跟随或复现输入变量。



图表7：伺服系统通常由伺服驱动+电机+编码器组成



来源：固高科技招股说明书，国金证券研究所

伺服系统目前主要包括交流伺服系统、直流伺服系统和步进系统三类。

图表8：伺服系统包括交流伺服系统、直流伺服系统和步进系统

类别	简介
交流伺服系统	交流伺服系统依据不同的电机运行原理分为永磁同步交流伺服系统、感应交流伺服系统、磁阻同步交流伺服系统、无刷直流伺服系统，当前市场以永磁同步电机及无刷直流伺服电机为主。交流伺服电机通过驱动器磁场换向实现电流的精确控制，同时它具备转矩密度大、效率高、力矩大，响应快，可靠性高等特点，在工业场景得到广泛应用。
直流伺服系统	直流伺服系统由直流伺服驱动器和直流伺服电机组构成。直流伺服电机通过电刷进行换向，驱动器只需输出正负直流电压即可驱动电机正反运行。由于直流电机的输出特性，它的力矩线性、平稳，通常被用在高精度的控制领域。同时，直流伺服电机可配备编码器形成闭环系统。因此，直流伺服系统可准确掌握电机的转动情况，实现精确的定位。
步进系统	步进系统由步进驱动器和步进电机组构成，步进驱动器接收指令信号后，驱动步进电机按设定的方向转动固定的角度，因此可通过驱动器发出的控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的。步进系统通常为开环系统，在步进电机添加编码器后也可形成闭环控制系统。

来源：固高科技招股说明书，国金证券研究所

为实现高速度、高精度运动控制，伺服系统需对距离、位移、速度、加速度（力）、角度、角速度、角加速度等参数进行检测，并通过实时监测实现闭环反馈，需要与传感器进行配套使用。

图表9：运动控制系统通过反馈装置实现闭环控制

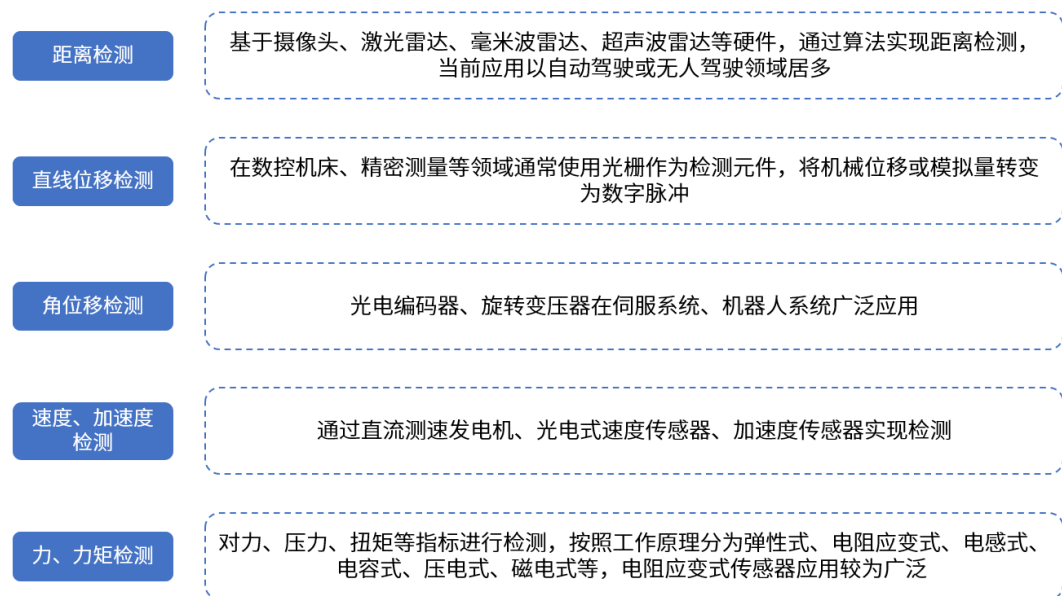
运动控制系统类别	简介
开环控制系统	没有反馈装置来验证输出的实际值是否达到期望结果的系统，步进电机通常为开环工作
闭环控制系统	使用反馈装置来验证是否达到期望的系统，例如采用编码器作为电机的反馈元件，将相关位置或速度信息反馈到运动控制器

来源：《运动控制系统（第2版）》，国金证券研究所

常见传感器包括光栅尺（直线位移检测）、编码器（角位移检测）、激光雷达/视觉检测（距离检测）、电阻应变式传感器（力矩检测）等。



图表10：运动控制系统通过传感器实现闭环控制



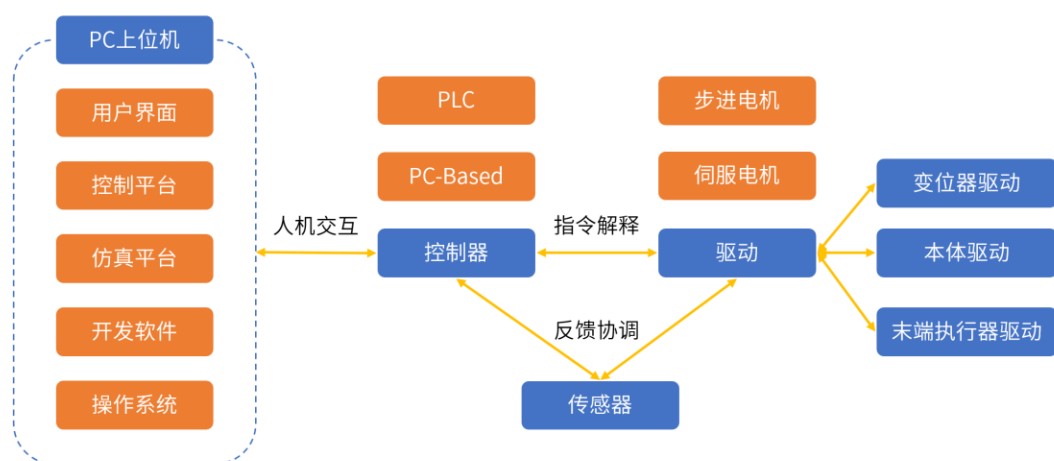
来源：《运动控制系统（第2版）》，国金证券研究所

2.人形机器人运动控制难度预计将显著加大，有望带来市场需求增量

2.1 工业机器人通常采用PC作为上位机完成人机交互/轨迹规划，基于PLC或PC-Based控制器通过关节控制、位置控制、力控制实现运动控制

工业机器人广泛应用于工业自动化领域，控制系统是机器人的核心部分，其功能强弱、性能优劣直接影响机器人的最终性能。通常采用PC上位机+专用运动控制器的架构，以PC为上位机完成人机交互和运动轨迹规划，重点设计了基于DSP和FPGA的专用运动控制器，其中DSP完成机器人运动控制任务的调度，实现对机器人关节空间的实时控制，FPGA则用于控制系统所需各功能接口的设计。实现了直角坐标空间的机器人轨迹规划和速度控制，具备直线和圆弧基本轨迹插补算法及S形曲线加减速算法，改善机器人前端运动的平稳性。

图表11：工业机器人通常采用PC-Based或PLC控制器架构



来源：《工业机器人完全应用手册》，国金证券研究所

轨迹规划直接决定了机器人的运动方式。轨迹规划为基于工作任务和机器人性能，求解机器人位姿等运动量关于时间的函数，输入为期望轨迹、运动学和动力学参数，输出机器人各关节或末端执行器的运动量，包括位移、速度、加速度等的时间序列。

工业机器人轨迹规划一般分为基本轨迹规划和最优轨迹规划，其中基本轨迹规划分为笛卡尔空间规划和关节空间规划。



图表12：基本轨迹规划分为笛卡尔空间规划和关节空间规划

轨迹规划方法	优点	缺点	工程应用
笛卡尔空间规划			
直线和圆弧	方法简单直观，计算量较小	适用面较窄，后期可调节性较低	应用于轨迹不太复杂的作业，如常见的码垛、搬运等
多项式	提高机器人的运动效率和平滑性，并且次数越高，精度和拟合性就越好	次数较高时容易出现龙格现象，在插值区的两端出现较大振动	一般用于直线和圆弧在路径点间的过渡曲线
S速度曲线	充分保证整个轨迹的速度、加速度平滑过渡，降低了机器人的振动和噪音，柔性扰动小	加速度曲线出现阶跃现象，容易造成机械磨损	应用于高精度曲线操作场合，尤其适用于速度较高的中间段
样条曲线	计算效率高、轨迹平滑，速度和加速度均连续	分段较多的情况下，计算量较大，需要高速处理芯片和较大内存的硬件支持	应用于较为复杂的自由路径，如焊接、切割等
关节空间规划			
三次多项式	方法简单，计算量较小	加速度存在冲击，局限性较大	适用于点到点的简单运动情况，使用广泛
高阶多项式	加速度平滑，避免了冲击和振动	阶数较高在计算时容易造成失真现象	适用于点到点的高速高性能运动情况
梯形速度插补	计算量较小，做到了速度的平稳过渡	加速度存在阶跃，容易引起冲击和振动	用于轨迹参数配置较多的情况
三次样条曲线	轨迹平滑，速度、加速度均连续	加速度不平滑，容易造成跟踪误差的积累，甚至引起共振	用于较为简单的连续轨迹控制
NBRUS	有效避免了振动、冲击，且有局部支撑性	计算量较大，需要高性能芯片的支持	用于高精度复杂轨迹控制

来源：《关节型工业机器人轨迹规划研究综述》，国金证券研究所

最优轨迹规划通常考虑效率、能量小、平稳性等因素，找到每种工况环境需要的最优轨迹规划方案：

- 1) 时间最优规划：最常见的最优轨迹规划需求，通常通过运动学或动力学约束寻找最优解；运用遗传算法等各种优化算法来求解最优解；将时间模型转化为其他更为通用的模型。
- 2) 能量最优规划：一方面试图寻找出最平滑的轨迹来减少关节间的能量损耗，另一方面也通过优化整个动力系统来达到能量分配最优。
- 3) 冲击最优规划：旨在找到使机器人冲击最小的轨迹，其目的方面是为了减小机器人在运动过程中的冲击，在很大程度上可以减小轨迹跟踪的误差，另一方面可以大大减少机器人因为冲击过大而产生的共振、抖动、机械磨损、使用寿命缩减等缺陷，使机器人能够稳定平顺运行。
- 4) 混合最优轨迹规划：综合考虑两种或以上最优性优化方案，其中时间-能量最优轨迹研究开展时间最长，也是工业生产中要求最高的两项指标。

工业机器人根据不同的结构形态、用途、作业要求等不同有较多分类，但控制上以多轴实时运动控制为主，基于关节控制、位置控制、力控制完成作业任务。

图表13：工业机器人控制以多轴运动控制为主

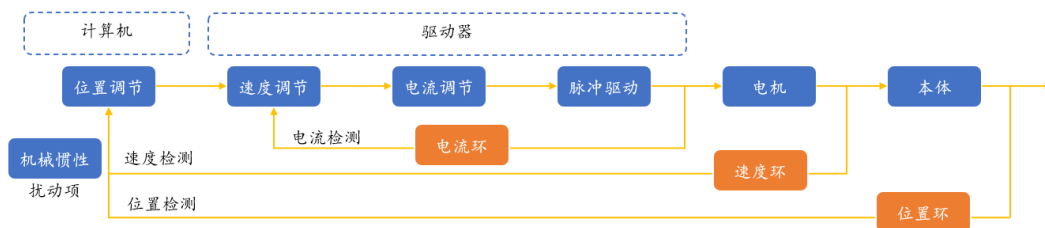
	类别	常见形态	控制轴数	承载能力(kg)	重复定位精度(mm)
加工类	弧焊、切割	垂直串联	6~7	3~20	0.05~0.1
	点焊	垂直串联	6~7	50~350	0.2~0.3
	通用装配	垂直串联	4~6	2~20	0.05~0.1
装配类	电子装配	SCARA	4~5	1~5	0.05~0.1
	涂装	垂直串联	6~7	5~30	0.2~0.5
搬运类	装卸	垂直串联	4~6	5~200	0.1~0.3
	输送	AGV	-	5~6500	0.2~0.5
包装类	分拣、包装	垂直串联、并联	4~6	2~20	0.05~0.1
	码垛	垂直串联	4~6	50~1500	0.5~1

来源：《工业机器人完全应用手册》，国金证券研究所



1) 关节控制：关节控制为工业机器人最基础和核心的控制过程，单关节控制不考虑关节之间的影响，机器人的机械惯性被当做扰动项来进行处理，通常通过电机实现驱动，由电流检测、速度检测、位置检测构成闭环控制。

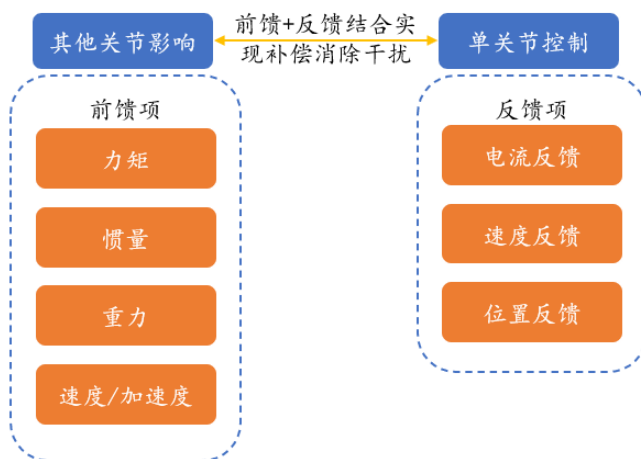
图14：工业机器人的单关节控制原理



来源：《工业机器人设计与控制》，国金证券研究所

多关节控制在单关节的基础上要考虑关节之间的影响，通常将其他关节的对当前关节的影响作为前馈项引入位置控制器，从而构成多关节控制系统。

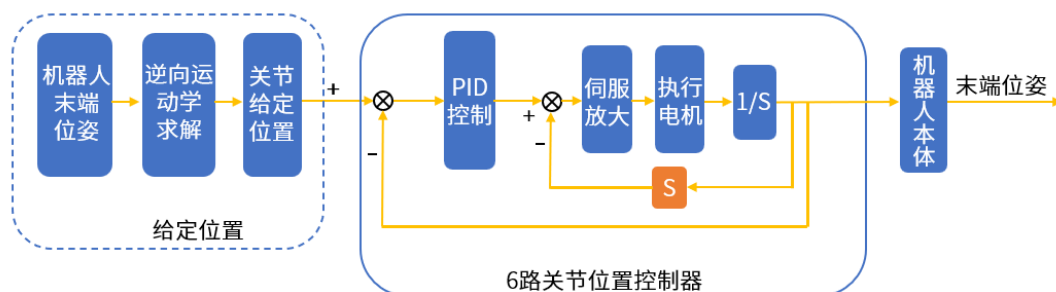
图15：将其他关节的影响作为前馈项引入控制器构成多关节控制系统



来源：《工业机器人设计与控制》，国金证券研究所

2) 位置控制：工业机器人位置控制与关节空间轨迹有紧密联系，以六自由度工业机器人为例，可通过笛卡尔位置控制由给定位置、关节空间位置转换、6路单关节位置控制器实现工业机器人末端按照给定的位置和姿态运动。

图16：工业机器人笛卡尔位置控制示意

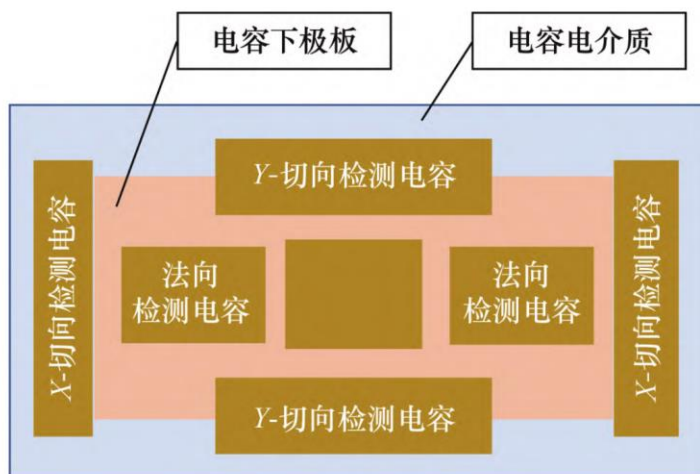


来源：《工业机器人设计及控制》，国金证券研究所

3) 力控制：采用多维力传感器获取笛卡尔坐标系中的多维力、力矩信息，多维力传感器主要由力敏元件、信号采集电路、信号调理电路、多维信号解耦系统(硬件或软件解耦)、上位机或嵌入式系统信息处理软件等构成。



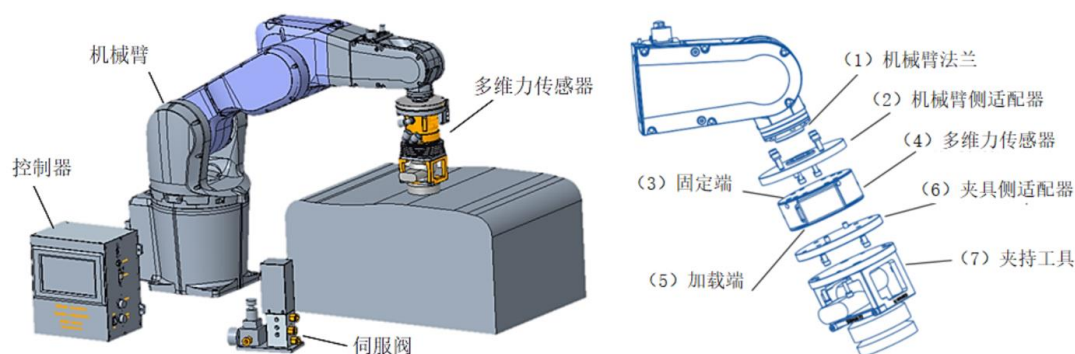
图表17：电容式三维力传感器力敏元件构成



来源：《机器人多维力传感器》，国金证券研究所

多维力传感器广泛装配在机器人机械臂。在工业现场生产线中，将多维力传感器装载于小型机械臂的前端或者机械手爪末端。协助机器人手臂实现力度的控制、轮廓追踪、孔位搜索以及机械臂防碰撞等功能，保障机器人操作安全与功能实现。

图表18：多维力传感器广泛装备在机器人机械臂

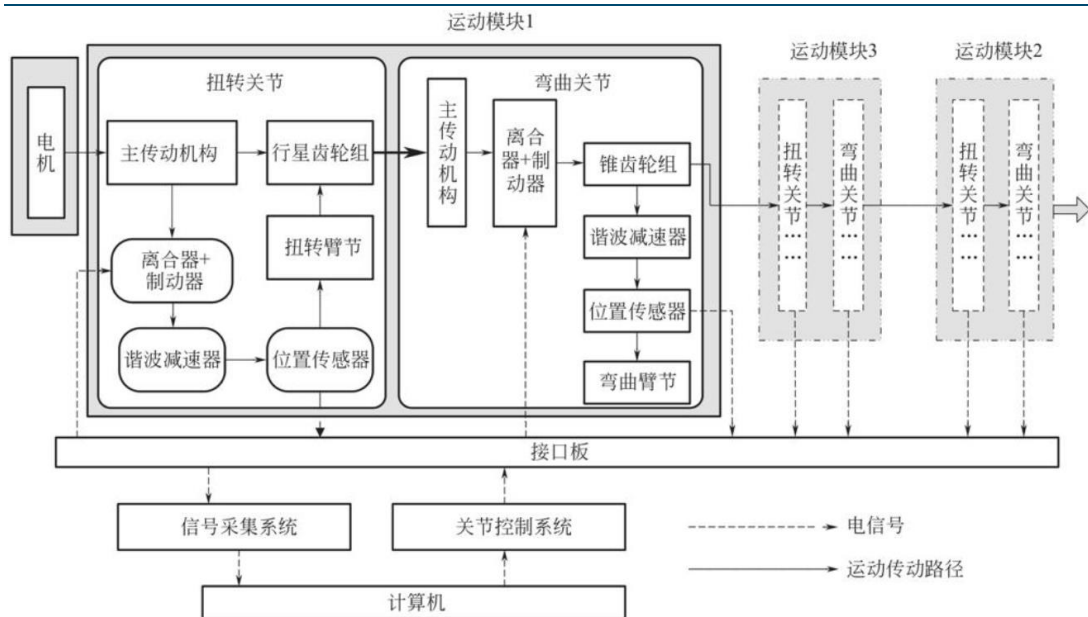


来源：《机器人用多维力传感器的设计与实现》，国金证券研究所

以机械臂控制为例，每个关节均含有离合器、制动器、谐波减速器，以电机为动力源，经齿轮组、减速器为关节提供动能，通过对关节速度、位置、力进行调节，完成多自由度旋转运动。



图表19：机械臂控制原理



来源：《工业机器人设计及控制》，国金证券研究所

2.2 人形机器人强调“类人”属性，步态控制、抗冲击、轨迹规划要求均更高，难度显著提升

2.2.1 下肢控制：步行运动控制难度较高

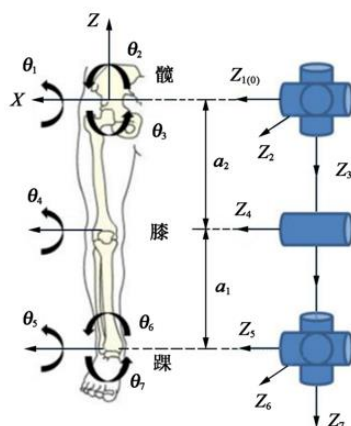
人形机器人由于采用了“类人”腿部结构，步行状态下的运动控制系统属于非线性和强耦合，人形机器人需保持步行稳定同时按照期望的轨迹行走，同时存在在地面不平整、路面障碍物的干扰，控制难度较高。

根据《基于动作捕捉技术对仿人机器人运动学分析与仿真》信息，人形机器人下肢可简化为14自由度系统，其中，髋关节为3个自由度，分别为横滚、俯仰和偏转，通过1个虎克副和1个旋转副来连接；同样的传动方式也作用于踝关节的3个自由度，每个膝关节1个前向自由度，通过1个旋转副连接。

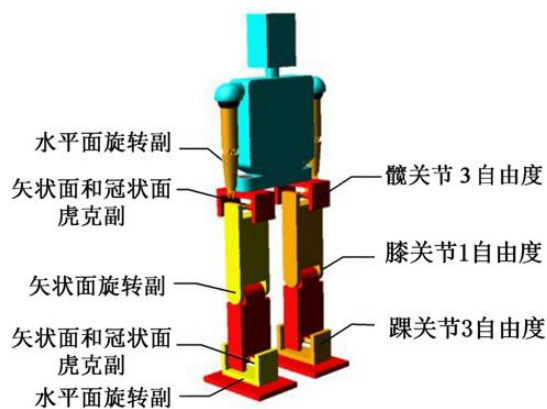


图表20：人形机器人下肢可简化为 14 自由度系统

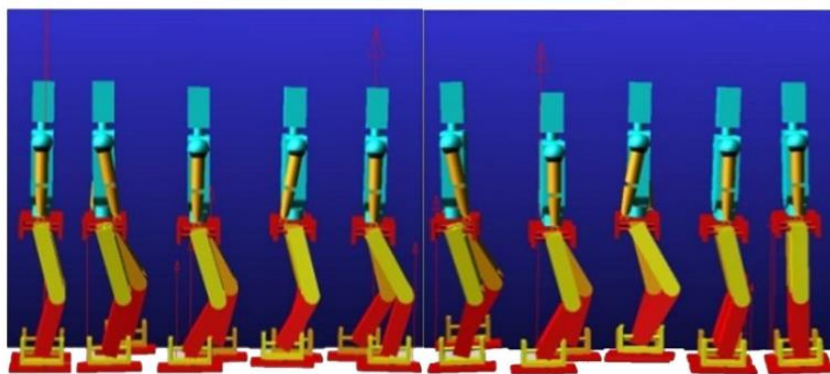
人形机器人下肢运动学模型



人形机器人下肢结构图



人形机器人运动侧视图

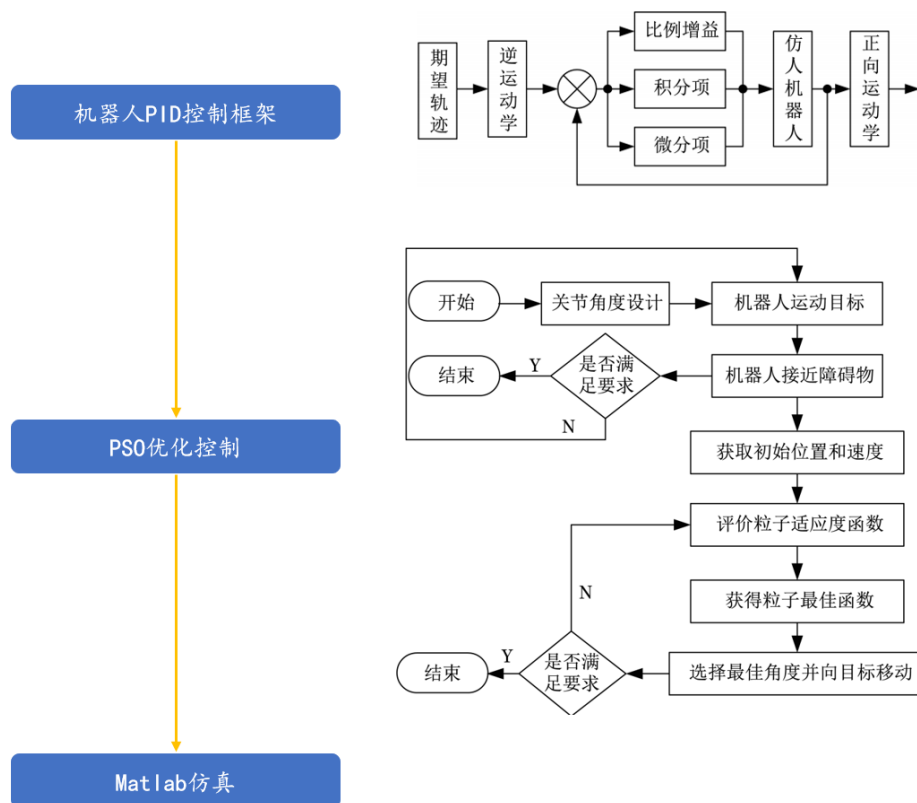


来源：《基于动作捕捉技术对仿人机器人运动学分析与仿真》，国金证券研究所

目前人形机器人的步态控制一种方式为基于具有反馈机制的控制回路 PID 控制器，通过 PSO 计算进行控制优化。优化后可通过 Matlab 仿真对于控制系统的响应速度、机器人跟踪路径是否有改善进行验证。



图表21：基于PID控制器与PSO优化控制可实现人形机器人步态控制优化

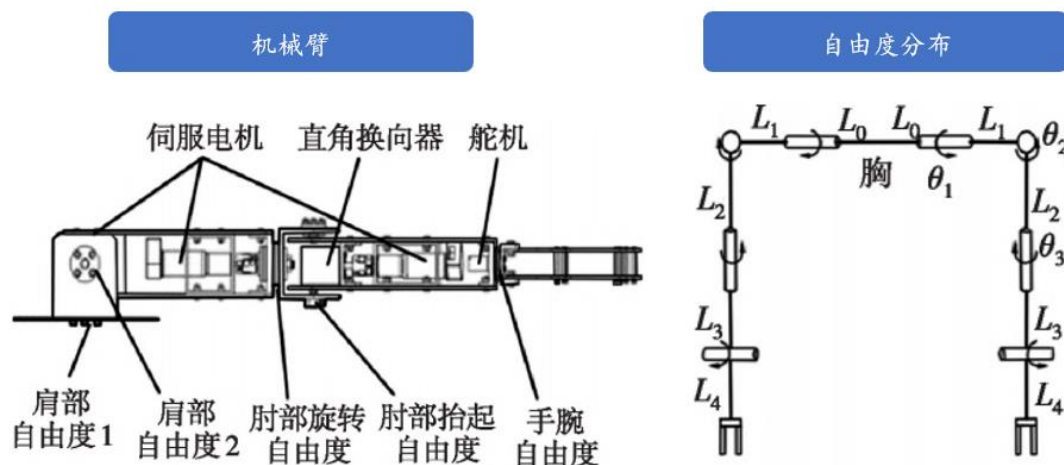


来源：《仿人机器人PID控制优化仿真研究》国金证券研究所

2.2.2 手臂控制：视觉前馈+逆运动学求解实现轨迹规划，“类人”属性对于冲击等指标要求更高

以一个四自由度双臂人形机器人为例，其运动控制系统包含机械臂与伺服电机及控制器，机械臂在肩部含有两个自由度、肘部含有两个自由度。

图表22：四自由度双臂人形机器人构成

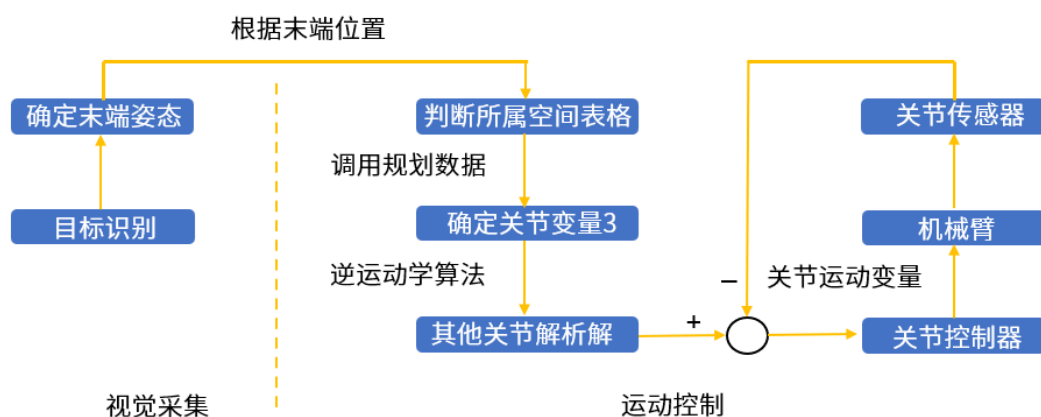


来源：《仿人机器人手臂动作模仿系统的研究与实现》，国金证券研究所

机械臂控制类似工业机器人多关节控制，以肩关节作为坐标系原点，通过机器视觉确定机械臂末端姿态与需要达到的定位，再通过逆运动学算法求解得到关节变量的解析解，最后控制各关节以“类人”姿态完成作业任务。



图表23：人形机器人手臂通过机器视觉+逆运动学求解实现轨迹规划完成运动控制



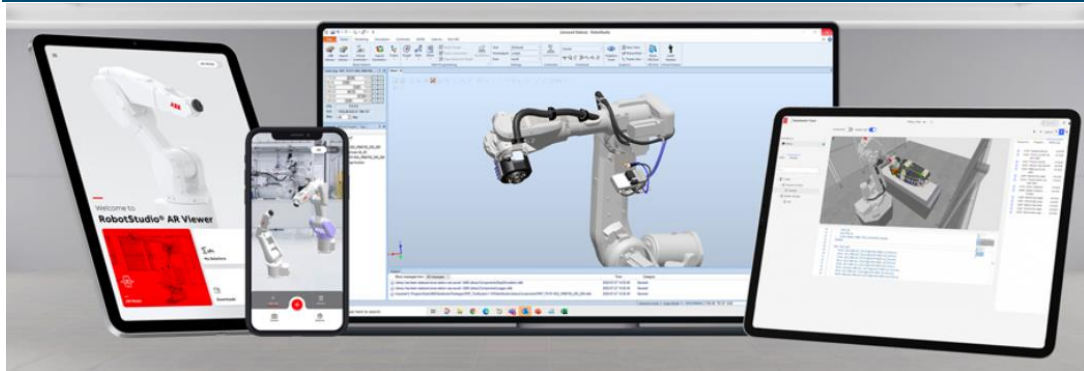
来源：《仿人机器人轻型高刚性手臂设计及运动学分析》，国金证券研究所

冲击(Jerk)为机器人运动过程中加速度的导数，代表力矩变化的快慢，冲击会产生振动、过冲、机械磨损和寿命减少等问题。考虑人形机器人的机械臂有“类人”属性，在操作上需要平稳地进行抓取和抬举物品，对于实现最小冲击要求更高。

2.2.3 轨迹规划：对于轨迹规划算法的集成化、智能化、可视化要求更高

人形机器人要实现“类人”行为，自由度相比工业机器人更高，传感器的应用也会明显增加，例如需要引入视觉传感以实现与环境交互和空间定位（用于轨迹规划）。在工业机器人应用中，轨迹规划的应用往往需要专业工程师通过编程处理，学习成本较高。考虑人形机器人未来有消费级应用场景，轨迹规划必须通过软件进行封装，将功能集成并设计出可视化界面，从而降低使用门槛。

图表24：ABB RobotStudio Suite 提升了工业机器人的编程、模拟的易用性



来源：ABB 官网，国金证券研究所

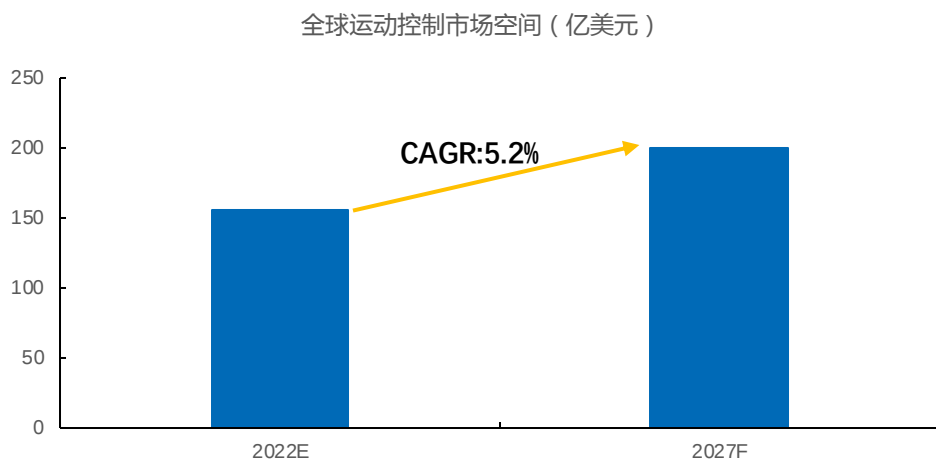
3.全球市场空间 155 亿美元，国内市场空间 425 亿元人民币

3.1 运动控制 22 年全球市场空间 155 亿美元，预计 27 年达到 200 亿美元

根据 MARKETS AND MARKETS 数据，22 年全球运动控制市场空间 155 亿美元，预计到 27 年达到 200 亿美元，期间复合增速 5.2%。增长主要来自于工业机器人需求持续增长、工业 4.0 持续发展等。



图表25：22 年全球运动控制市场空间 155 亿美元，预计 27 年达到 200 亿美元



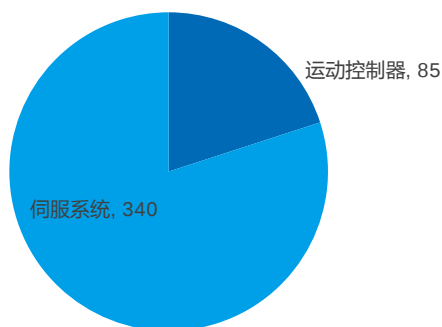
来源：MARKETS AND MARKETS，国金证券研究所

3.2 国内运动控制市场规模 19 年达到 425 亿元，后续有望保持高增长

根据固高科技招股说明书数据，2019 年中国运动控制系统的总体市场规模为 425 亿元，其中运动控制器市场规模 85 亿元，伺服系统市场规模 340 亿元。

图表26：19 年国内运动控制系统市场规模 425 亿元

国内运动控制系统市场规模（亿元）

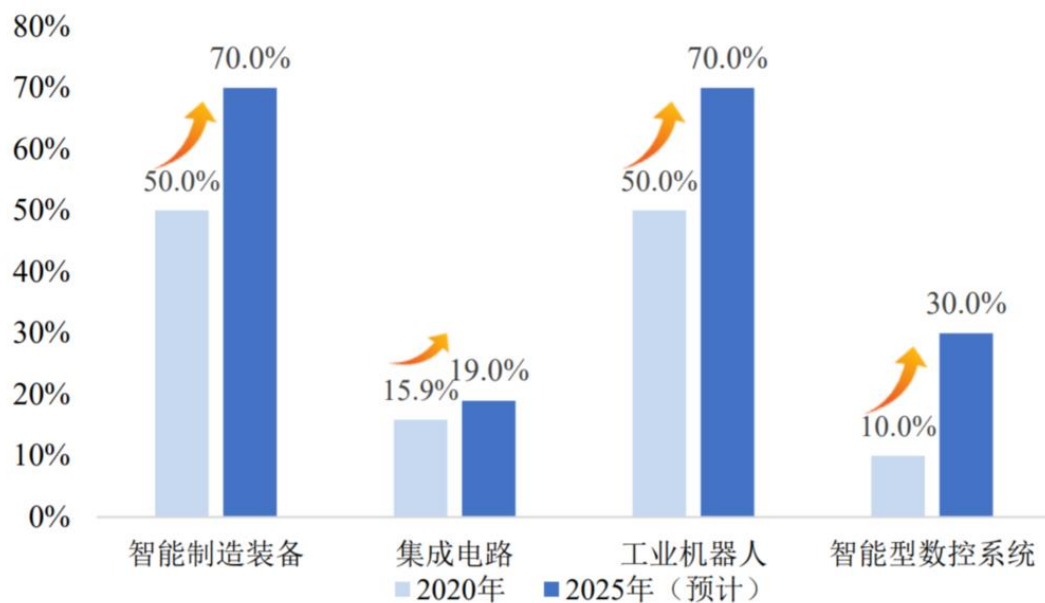


来源：固高科技招股说明书，国金证券研究所

《“十四五”智能制造发展规划》明确提出，到 2025 年，我国的供给能力明显增强，智能制造装备和工业软件技术水平和市场竞争力显著提升，国内市场满足率要分别超过 70% 和 50%，未来运动控制市场有望保持高增长。



图表27：中国智能制造装备及部分高端制造业国产化率有望持续提升，推升运动控制系统需求



来源：固高科技招股说明书，国金证券研究所

4.海外品牌领跑中高端运动控制市场，国内企业已实现突破

4.1 中高端运动控制与伺服驱动以欧美、日系厂商为主

目前高性能运动控制及伺服驱动产品的主要参与者为国外厂商。运动控制器生产商主要包括 Delta Tau Data Systems Inc.（美国泰道，已被欧姆龙收购）、ACS Motion Control Ltd.（以色列 ACS）、Aerotech Inc.（美国 Aerotech）等。伺服驱动器生产商主要包括 Kollmorgen Corp.（美国科尔摩根）、以色列 ElmoMotion Control Ltd（以色列 ELMO）等。

图表28：海外品牌较为成熟

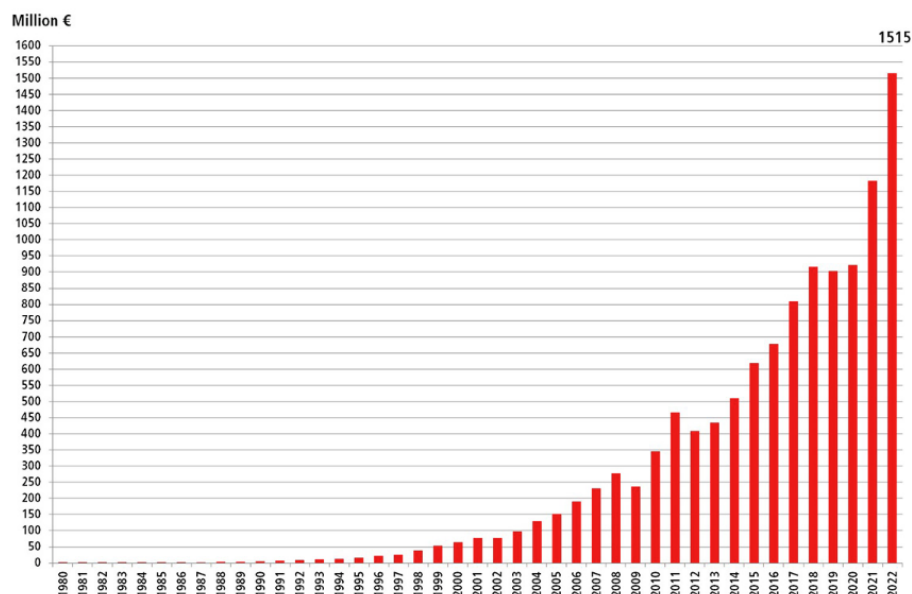
公司	简介
欧姆龙 (Omron)	欧姆龙成立于1996年，总部位于日本，是一家专注工业自动化产品和应用的跨国公司，主要产品有运动控制器、机器人、传感器和继电器等。欧姆龙于2015年收购美国泰道，美国泰道所生产的运动控制器主要定位于高端市场，运动控制器主要有机械自动化控制器、多轴运动控制器和可编程逻辑控制器，应用于电子制造、机器人、激光切割等领域。
倍福 (Beckhoff Automation)	倍福成立于1980年，总部位于德国，主营电气及自动化领域业务。倍福一直使用其基于PC的控制技术实施开放式自动化系统，其产品主要包括工业PC、驱动产品和自动化软件、I/O系统和现场总线组件等，可为各个工控领域提供开放式自动化系统和完整的解决方案。倍福在工业现场网络、工业软件领域具有深厚的积淀。
ACS	ACS公司成立于1985年，总部位于以色列，在美国、中国、德国和韩国设有技术支持中心，其专注于运动控制领域，通过集成多轴控制、电源和精确性实现最高性能、灵活、节省成本和友好的全套解决方案。ACS于2017年被德国普爱 (PI) 收购。普爱成立于1970年，总部位于德国，是多种集成度的精密设备的领先供应商，能够生产和调整压电陶瓷驱动器、传感器和紧凑型运动控制器等元件，并于2017年收购了ACS。
艾罗德克 (Aerotech)	艾罗德克自1970年起，专注于为客户提供高性能的运动控制产品和定位系统产品，用户覆盖全球的工业、政府、科学和研究机构，产品广泛应用于半导体、医疗、汽车、激光、电子制造等领域。
埃莫 (ELMO)	埃莫成立于1988年，总部位于以色列，研发活动主要在以色列，在美国、德国、新加坡、上海、深圳、北京等地设立了销售和技术支持的分支机构，主要为工业和恶劣环境的电机设计研发伺服驱动器，先进的网络运动多轴控制器和完整的运动控制解决方案，其主要产品有伺服驱动器、伺服电机和多轴运动控制器，应用于电子和半导体行业、遥控潜水器行业、物流仓储等行业。
科尔摩根 (Kollmorgen)	科尔摩根成立于1916年，是全球领先的运动控制系统和配件供应商，其主要产品包括运动控制器，伺服驱动器，伺服电机，无框电机，步进电机，减速机等产品，其中伺服驱动器的技术水平和市场份额处于领先地位。

来源：固高科技招股说明书，国金证券研究所



海外企业在产品丰富度、产品成熟度方面处于领先地位，以倍福（Beckhoff Automation）为例，其 22 年全球销售额为 15.15 亿欧元，同比增长 28%，全球员工人数 5680 人。

图表29：倍福 22 年全球销售额 15.15 亿欧元同比增长 28%



来源：倍福官网，国金证券研究所

倍福基于 PC 平台打造开放式自动化系统，产品包括工业 PC、I/O 和现场总线组件、驱动技术、自动化软件、无控制柜自动化系统以及机器视觉硬件等，产品丰富度、成熟度较高。

图表30：倍福产品丰富度、成熟度较高



来源：倍福官网，国金证券研究所

4.2 国内企业在运动控制器、伺服驱动器等领域已实现一定突破

目前国内市场参与者包括禾川科技、华中数控、埃斯顿、雷赛智能、汇川技术、固高科技等企业。



图表31：国内主要市场参与者

公司	简介
禾川科技	技术驱动的工业自动化控制核心部件及整体解决方案提供商，主要产品包括伺服系统、PLC等，其中伺服系统又分为伺服驱动器、伺服电机和伺服系统附件。目前，产品已经覆盖了工业自动化领域的控制层、驱动层和执行传感层，并在近年沿产业链上下游不断延伸，涉足上游的工控芯片、传感器和下游的高端精密数控机床等领域。
华中数控	国内机床数控系统龙头企业，为各类数控机床企业和航空航天、汽车、3C、木工、磨床等重点行业用户提供数控系统配套和服务，包括为各类专机、高速钻攻中心、加工中心、五轴机床等机型提供华中高档数控系统，以及针对普及型数控车床和数控铣床等提供系列数控系统、系列伺服驱动、系列伺服电机等。
埃斯顿	致力于提供运动控制解决方案，主要有自动化核心部件及运动控制系统，和工业机器人及智能制造系统两大核心业务板块。2017年埃斯顿全资收购翠欧（TRIO），协同交流伺服系统形成通用运动控制解决方案，目前其主要产品有电液混合伺服系统、运动控制系统（含运动控制器、交流伺服系统）、Puck微型直流伺服驱动器等。
柏楚电子	国家首批从事光纤激光切割成套控制系统开发的民营企业，为激光切割设备制造商提供以激光切割控制系统为核心的各类自动化产品，其主要产品包括随动控制系统、板卡控制系统、总线控制系统及其他相关配套产品。
汇川技术	聚焦于工业领域的自动化、数字化、智能化，其主要的业务包括通用自动化、工业机器人、轨道交通牵引系统、新能源汽车电驱及电源系统等，其产品包括变频器类、运动控制类、控制技术类、传感器类等。
雷赛智能	智能制造装备运动控制领域的高新企业，主要从事运动控制核心部件的研发、生产和销售，其主要产品分为伺服系统、步进系统、控制技术三大类，具体产品包括驱动器、运动控制器、电机等。
固高科技	二十余年来专注于运动控制及智能制造的核心技术研发，形成了运动控制、伺服驱动、多维感知、工业现场网络、工业软件等自主可控的技术体系，构建了“装备制造核心技术平台”，为各行业2,000多家装备制造制造商累计部署超过50万套先进运动控制系统，协助装备制造开发商开发出适应终端产业发展且具备高性能、高性价比的工业装备。
伟创电气	专注于电气传动和工业控制领域，产品包括变频器、伺服系统与运动控制器，覆盖0.4kW至1,200kW的变频器、50W至55kW的伺服系统、运动控制器、PLC和HMI。广泛应用于起重、矿用设备、轨道交通、机床、压缩机、塑胶、光伏供水、建材、机器人/机械手、印刷包装、纺织化纤等行业。
万讯自控	主要从事工业自动化仪表的研发、生产与销售业务，主要产品包括现场仪表、二次仪表及压力仪表等，积极在工业智能化仪表、传感器、高端数控系统以及工业机器人等新兴相关领域有所拓展。
海得控制	国内工业信息化和自动化领域领先的并拥有自主核心技术的系统制造商和系统集成服务商，为设备制造商的自动化与智能化生产场景提供综合的产品解决方案和技术服务、为工厂和基础设施领域的数字化与智能化提供系统解决方案、利用同属自动化领域范畴的电力电子技术为新能源电力及源网荷储提供专用设备及系统等。

来源：，各公司公告，固高科技招股说明书，国金证券研究所

国内企业在运动控制器、伺服驱动等领域的核心技术、市场份额上已实现一定突破。

图表32：国内企业在对应领域已经实现突破，取得了一定市场定位

公司	核心技术	市场地位
汇川技术	在电机驱动与控制、电力电子、工业网络通讯等工业自动化领域的核心技术方面具备领先优势	根据中国工控网统计，2019年在低压变频器、中高压变频器及伺服系统市场中，汇川技术市场占有率分别为14.6%、6.9%及10.7%；睿工业数据显示，2020年汇川技术在国内通用伺服市场的整体占有率约为9.8%，总体排名第四，在国内厂商中位列第一
雷赛智能	在控制器、步进系统、伺服系统、总线类电机驱动系统、编码器等运动控制细分领域内分别拥有了多项核心技术	根据雷赛智能招股说明书数据，2016-2018年步进系统市场份额国内排名第一；根据睿工业数据及禾川科技招股书披露，2020年雷赛智能在国内通用伺服系统的市场占有率为1.3%
华中数控	掌握数控系统的高速高精、多轴多通道技术等关键技术，覆盖五轴及以上高档数控机床、多通道、重型数控机床及高速高精、超精密机床配套，可以满足高端重点领域及通信、汽车、船舶等高精度复杂零件的加工	2020年公司在国产高端数控系统市占率近50%，在国产品牌中排名第一
埃斯顿	自主建立了数控系统、电液伺服系统、交流伺服系统、工业机器人及成套设备等核心技术平台，形成了一系列专有	根据睿工业《2021年中国工业机器人市场年度报告》，埃斯顿系国内工业机器人出货量最高，且唯一进入前十的国产工业机器人企业；



公司	核心技术	市场地位
柏楚电子	完整地掌握了激光切割控制系统研发所需的 CAD 技术、CAM 技术、NC 技术、传感器技术和硬件设计技术五大类关键技术	在 2020 年度中国工业机器人市场排名中位列全球机器人第 8 位。子公司翠欧 (Trio) 是国际知名的运动控制产品专业供应商 国内中低功率激光切割控制系统市场排名第一

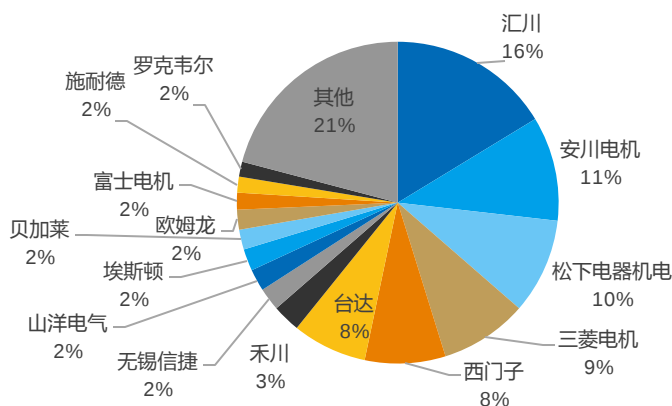
来源：固高科技招股说明书，各公司公告，国金证券研究所

通用控制器市场分为 PLC 控制器、专用控制器、PC-based 控制卡等，外资品牌定位高端，国内品牌在 PC-Based 控制卡市场形成一定突破：

- 1) PLC 控制器和嵌入式控制器市场，日本三菱、松下、西门子等外资品牌占据主要高端市场，中低端市场是完全市场化的竞争格局；
- 2) PC-Based 控制卡市场，高端市场由美国泰道、翠欧等外资品牌占据，但国内品牌逐渐向中高端发力，外资品牌市场份额呈现萎缩态势。目前，以固高科技、雷赛智能、成都乐创、众为兴为代表的国内品牌占据了 70% 以上的市场份额。

汇川技术、禾川科技等企业在伺服系统市场形成了突破，但仍有较大国产替代空间。

图表33：21 年国内伺服系统竞争格局较为分散



来源：MIR 睿工业，国金证券研究所

5.投资建议

5.1 投资建议

考虑运动控制行业市场空间较大，且随着人形机器人产业发展有良好成长前景，建议重点关注禾川科技、华中数控、埃斯顿、汇川技术、雷赛智能。

图表34：重点关注公司

代码	公司	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)					PE				
			2021A	2022A	2023E	2024E	2025E	2021A	2022A	2023E	2024E	2025E
688320.SH	禾川科技	74	1.10	0.90	1.52	2.40	3.13	67	82	49	31	24
300161.SZ	华中数控	107	0.31	0.17	1.12	2.00	3.09	342	635	95	53	35
002747.SZ	埃斯顿	240	1.22	1.66	2.83	4.94	7.91	197	144	85	49	30
300124.SZ	汇川技术	1,759	35.73	43.20	53.44	69.97	84.84	49	41	33	25	21
002979.SZ	雷赛智能	72	2.18	2.20	2.48	3.14	3.92	33	33	29	23	18
688188.SH	柏楚电子	277	5.50	4.80	6.89	9.36	12.24	50	58	40	30	23
A21624.SZ	固高科技	未上市	0.65	0.53	-	-	-	-	-	-	-	-
688698.SH	伟创电气	71	1.27	1.40	2.01	2.79	3.69	56	51	35	25	19
300112.SZ	万讯自控	33	0.93	0.95	-	-	-	36	35	-	-	-
002184.SZ	海得控制	56	1.34	1.42	1.94	2.45	-	42	40	29	23	-



来源：，国金证券研究所；除禾川科技、华中数控、埃斯顿外盈利预测取自 7 月 4 日一致预期

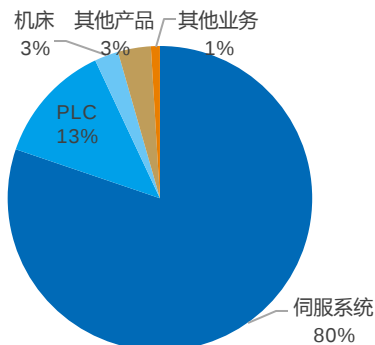
5.2 禾川科技：工控新锐，伺服+PLC 打开成长空间

禾川科技是一家技术驱动的工业自动化控制核心部件及整体解决方案提供商，主要产品包括伺服系统、PLC 等，其中伺服系统又分为伺服驱动器、伺服电机和伺服系统附件。目前，产品已经覆盖了工业自动化领域的控制层、驱动层和执行传感层，并在近年沿产业链上下游不断延伸，涉足上游的工控芯片、传感器和下游的高端精密数控机床等领域。

图表35：禾川科技工业自动化主要产品



图表36：22 年禾川科技营收结构



来源：禾川科技招股说明书，国金证券研究所

来源：，国金证券研究所

根据禾川科技公告，当前下游应用领域中光伏、锂电、激光、机器人等先进制造业占比 75%，木工、纺织、物流等传统制造业占比 25%。禾川科技下游客户资源优质，覆盖宁德时代、隆基股份、捷佳伟创、先导智能等多家行业龙头企业。

图表37：公司下游以先进制造业为主，占比达 75%

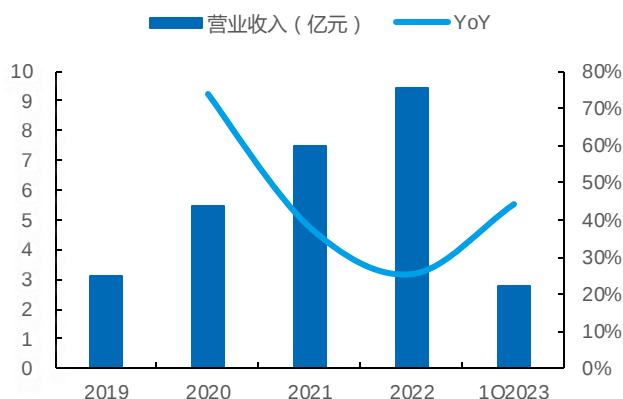


来源：禾川科技招股说明书，国金证券研究所

禾川科技近年收入规模持续扩张，22 年达到 9.44 亿元，同比增长 25.66%。22 年利润同比有所下降，主要由于客户在光伏、锂电等新能源行业上较为集中，为了快速进入市场，在产品销售价格上有所降低，同时受上游原材料价格上涨及产品更新换代影响，产品毛利率下降。伴随未来禾川科技产品在光伏、锂电行业销量大幅增加，业绩有望持续发力。

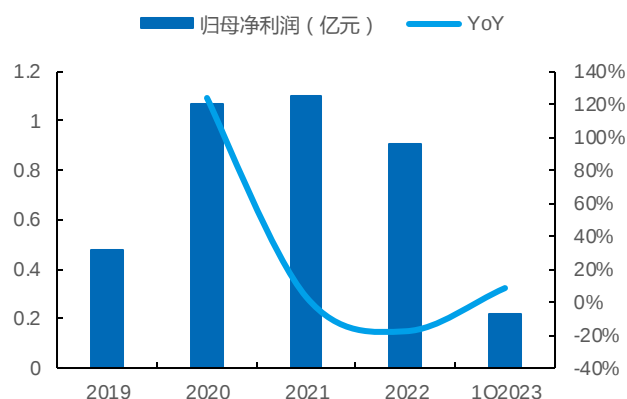


图表38：禾川科技近年营收规模快速扩张



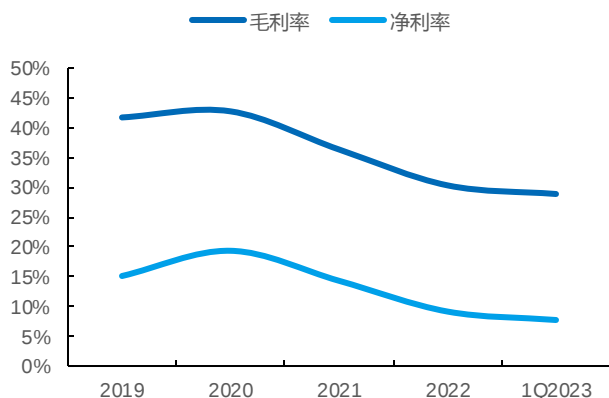
来源：，国金证券研究所

图表39：禾川科技 22 年利润规模有所下降



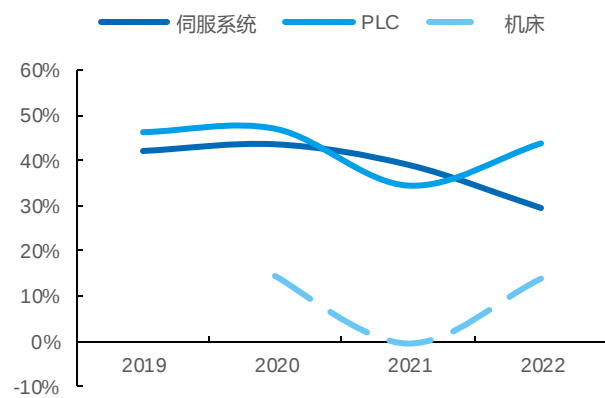
来源：，国金证券研究所

图表40：受市场开拓策略影响，毛利率有所下降



来源：，国金证券研究所

图表41：禾川科技伺服、PLC 毛利率水平较高



来源：，国金证券研究所

根据禾川科技招股说明书，IPO 公开发行为 3776 万股，募集资金 8 亿元，将投入数字化工厂项目、杭州研究院项目、营销服务网络建设项目等，以提高竞争力。其中，数字化工厂项目将针对伺服驱动、伺服电机等产品进行产能扩产建设，突破现有产能瓶颈；杭州研究院项目将协助完善研究开发和实验测试，持续进行新技术研究；营销网络建设项目将助力拓宽覆盖区域以及渗透率，营销体系进一步完善。

图表42：禾川科技 IPO 募投项目概况

项目名称	拟募集资金 (万元)	项目概况
数字化工厂	38545.12	本项目将购进先进的数字化、智能化制造设备，建设智能、高效的生产线，增强公司的智能制造能力，扩张伺服驱动、伺服电机、PLC、HMI、低压变频器等产品的产能，满足下游需求。
杭州研究院	14056.7	本项目将建设研发大楼和购买先进研发、检测、试验等软硬件设备，包括电子器件测试室，环境实验室等，围绕驱控一体集成电机等四个项目展开研发，提高公司的研发能力和技术水平。
营销服务网络建设	7522.69	本项目将在全国建设 5 个区域营销服务中心和 33 个办事处，形成“全国营销中心—区域营销服务中心—办事处”的三级营销服务网络架构，快速响应客户需求，提升公司市场开拓和营销服务能力。

来源：禾川科技招股说明书，国金证券研究所

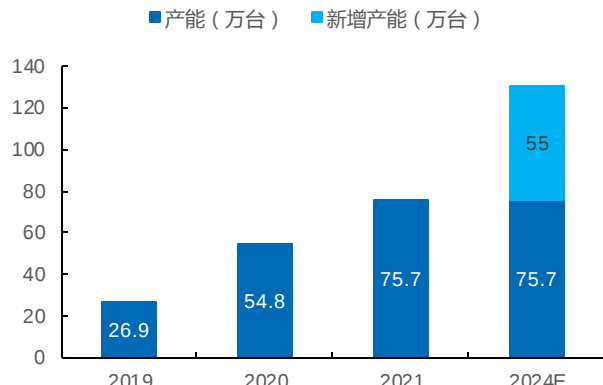
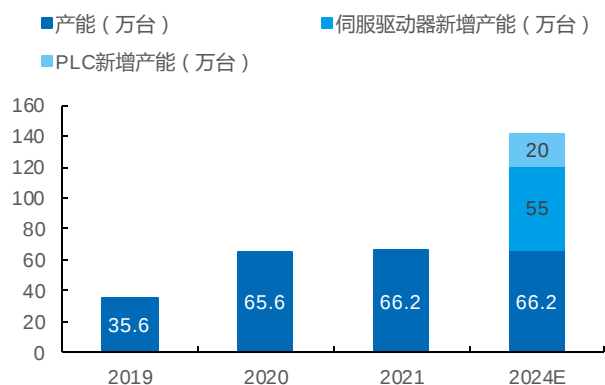
新增产能有望进一步提升竞争力。根据禾川科技招股说明书披露，数字化工厂项目计划建设期为 36 个月，预计投入 3.85 亿元，全部投产后可以新增产能 148.8 万台，其中包括伺服驱动器 55 万台、伺服电机 55 万台、PLC20 万台。预计禾川科技通过产能扩产建设，充



分满足下游市场需求，增强市场竞争力，提升工控领域市场份额。

图表43：禾川科技伺服驱动器及PLC的产能情况

图表44：禾川科技伺服电机的产能情况



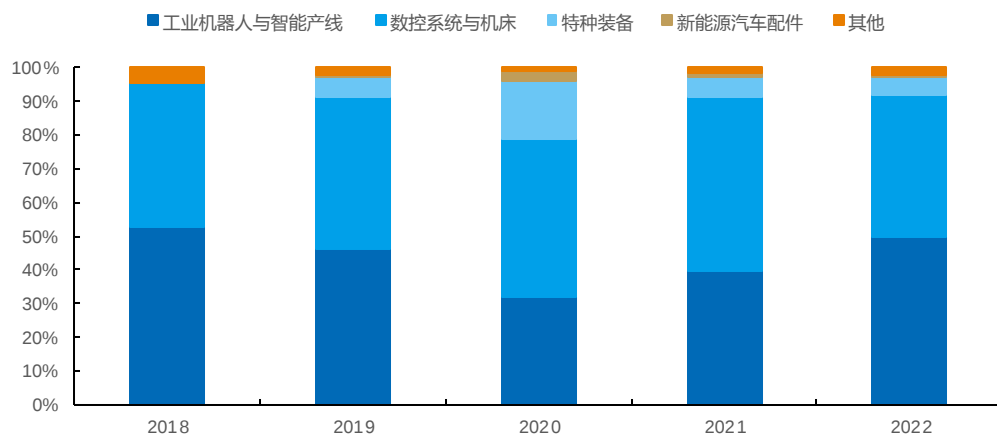
来源：禾川科技招股说明书，国金证券研究所

来源：禾川科技招股说明书，国金证券研究所

5.3 华中数控：高端数控系统龙头，具备机器人控制系统自制能力

华中数控目前收入以工业机器人及智能产线，数控系统与机床业务为主。数控系统配套业务主要为各类数控机床企业和航空航天、汽车、3C、木工、磨床等重点行业用户提供数控系统配套和服务，包括为各类专机、高速钻攻中心、加工中心、五轴机床等机型提供华中高档数控系统，以及针对普及型数控车床和数控铣床等提供系列数控系统、系列伺服驱动、系列伺服电机等。

图表45：华中数控收入以工业机器人及智能产线、数控系统为主

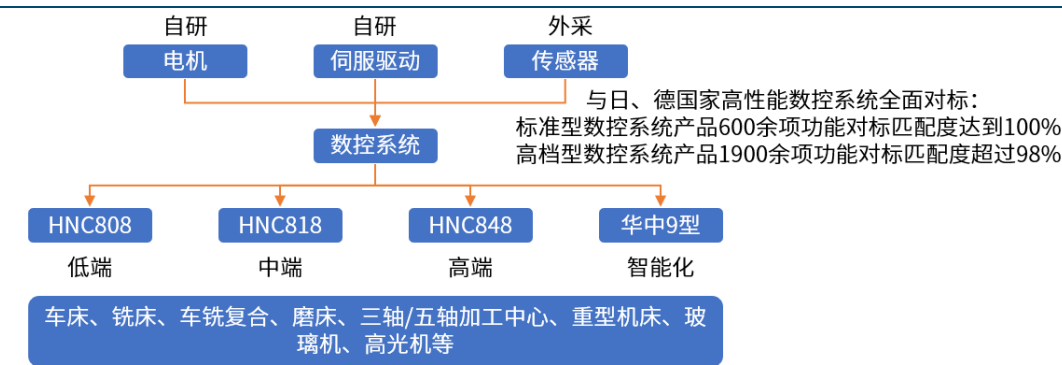


来源：，国金证券研究所

公司从1993年开发出华中1型数控系统，2018年公司华中8型数控系统的“04专项”课题通过验收，标志着公司在关键技术指标、产品可靠性达到国外主流数控系统技术水平。目前在航空航天、汽车零部件制造、3C制造、机床工具、通用机械加工、木工、玻璃加工等领域得到批量应用。根据公司公告信息，2020年公司在国产高端数控系统市占率近50%，在国产品牌中排名第一。



图46：公司自研数控系统实现与海外龙头全面对标



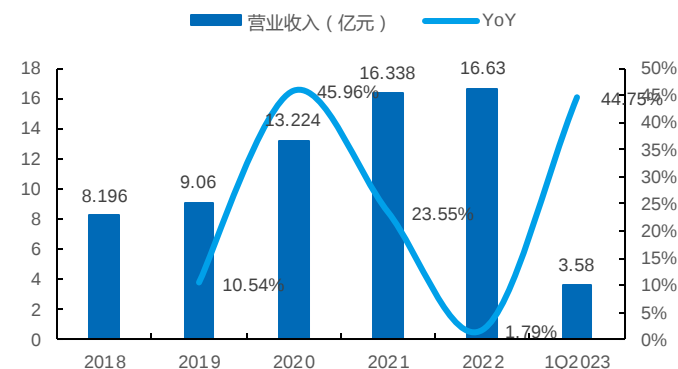
来源：华中数控官网，华中数控公告，国金证券研究所

收入端：伴随公司智能产线、数控系统高增长，20/21 年公司营收高增长，22 年后由于下游消费电子、通用机械需求疲软，公司营收增速下降。

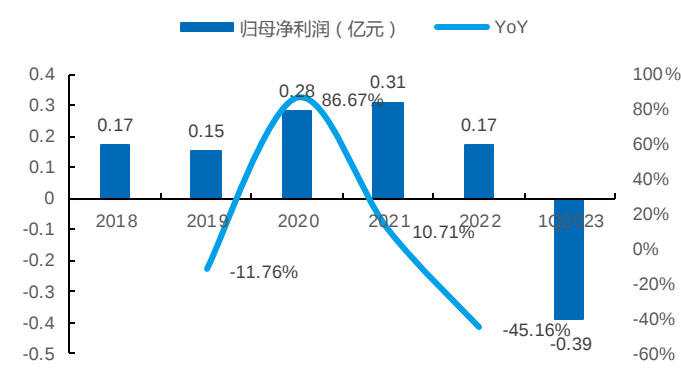
利润端：公司 20/21 年对子公司江苏锦明分别计提商誉减值 8174.49 万元、3745.90 万元，影响利润增长。22 年受经济环境影响营收增速下滑，考虑公司收入增速有望回暖，同时商誉减值影响逐步降低，公司利润有望回暖。

图47：公司 20、21 年营收高增长

图48：公司未来利润弹性较高



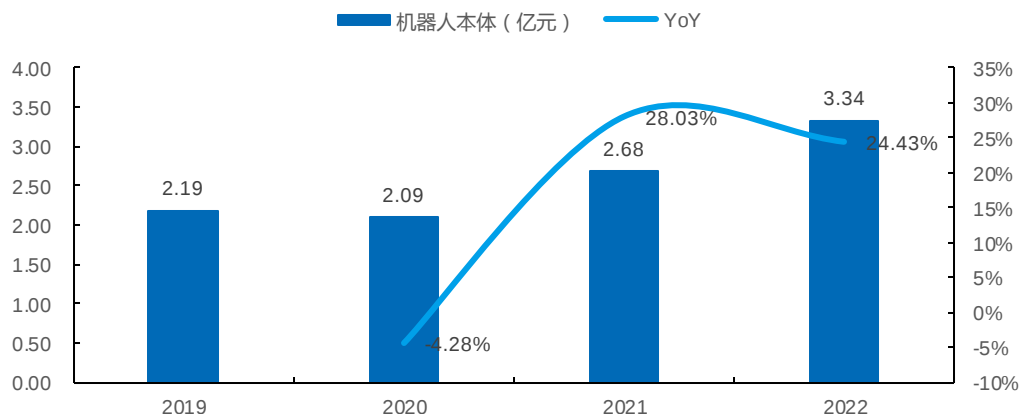
来源：，国金证券研究所



来源：，国金证券研究所

华中数控工业机器人核心的控制、伺服驱动均采用自研技术。机器人本体包括 BR 双旋、垂直多关节、水平多关节、SCARA、Delta、特殊系列六大系列的 40 余款产品，采用自研伺服控制技术、自制高性能伺服电机，零部件自主化比例超过 80%。机器人本体 22 年实现收入 3.34 亿元，同比增长 24.13%。

图49：华中数控机器人本体 22 年实现收入 3.34 亿元，同比增长 24.13%



来源：华中数控公司公告，国金证券研究所



5.4 埃斯顿：从机床数控系统起步，崛起为国产机器人龙头

埃斯顿产品线丰富，从机床数控系统到工业机器人实现业务拓展。埃斯顿成长初期以金属成型机床数控系统和电液伺服系统为主，2010年后凭借自身核心零部件优势开始布局工业机器人产品，15年登陆深交所中小板，依托品牌优势和技术优势加速扩张，“通用+细分”战略助公司跻身成为国内工业机器人行业龙头。

目前埃斯顿主营业务模块包括自动化核心部件及运动控制系统和工业机器人及智能制造系统两大板块。22年埃斯顿有64款工业机器人产品，包括六轴通用机器人、四轴码垛机器人、SCARA机器人以及行业专用定制机器人，工作负载从3kg到600kg。机器人标准化工作单元产品有20多种类别，主要应用于光伏、锂电、焊接、钣金折弯、冲压、压铸、木工打孔、装配、分拣、打磨、去毛刺、涂胶等，其中钣金折弯、冲压、光伏排版等均处于行业领先地位。

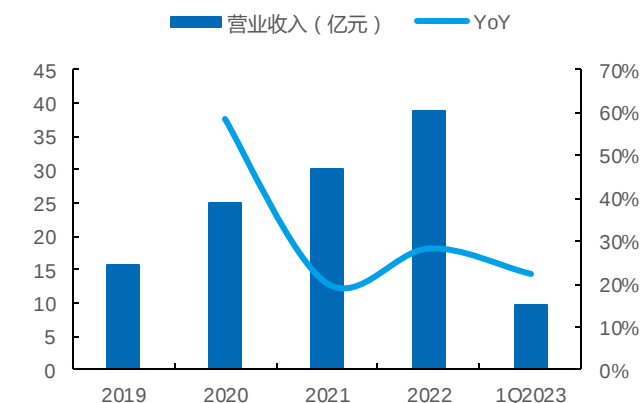
图表50：埃斯顿主要产品

主要业务	产品种类
自动化核心部件及运动控制系统	金属成型机床自动化完整解决方案
	全电动伺服压力机和伺服转塔冲自动化完整解决方案
	电液混合伺服系统
	运动控制系统（含运动控制器、交流伺服系统）
	Puck 微型直流伺服驱动器
工业机器人及智能制造系统	机器人专用控制器
	机器人专业伺服系统
	以机器人为中心的机器视觉和运动控制一体的机器自动化单元解决方案
	机器人本体产品：六轴通用机器人、四轴码垛机器人、SCARA 机器人以及行业专用定制机器人
	标准化工作单元，提供即插即用自动化设备
	机器人焊接系统及解决方案：焊接机器人
	智能制造系统集成

来源：埃斯顿官网，国金证券研究所

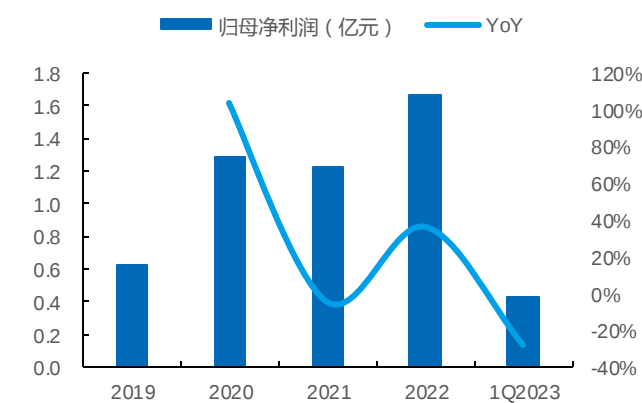
伴随中国高端制造业快速成长，埃斯顿收入规模持续提升，22年实现营收38.81亿元，同比增长28.49%；实现归母净利润1.66亿元，同比增长36.28%。埃斯顿产品毛利率较高但净利率较低，主要由于扩大市规模，提升品牌影响力仍是主要的发展策略，随着品牌知名度的提升，业务规模的扩大，大客户战略的有效实施和正在推进的降本增效及管理变革，盈利指标有望逐步改善。

图表51：埃斯顿收入规模持续扩张



来源：，国金证券研究所

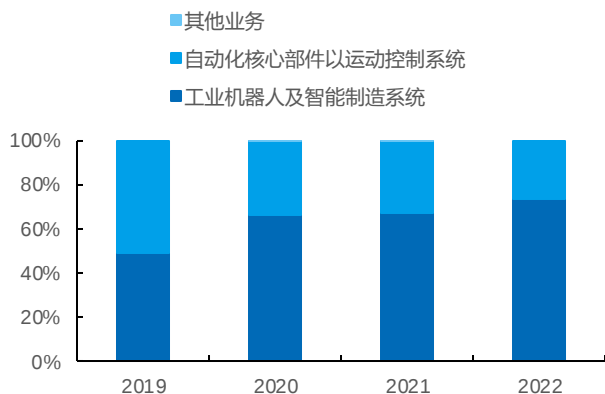
图表52：22年归母净利润高增长，1Q23同比下降



来源：，国金证券研究所

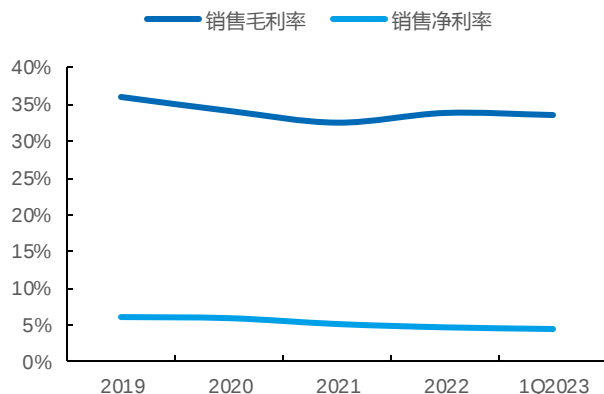


图表53：埃斯顿收入以工业机器人为主



来源：，国金证券研究所

图表54：埃斯顿产品毛利率较高



来源：，国金证券研究所

在运动控制方面，埃斯顿通过全资收购英国 TRIO，TRIO 的控制器产品可以完善埃斯顿在运动控制方面的布局，通过不断加强和 TRIO 的整合，加快提升以 TRIO 控制器为核心的解决方案供应能力。埃斯顿运动控制产品的行业定位将从核心部件生产商转化为行业高端运动控制解决方案提供商，与重要客户进行深度合作，以更多的产品价值创造，提升盈利水平。

图表55：埃斯顿运动控制相关产品



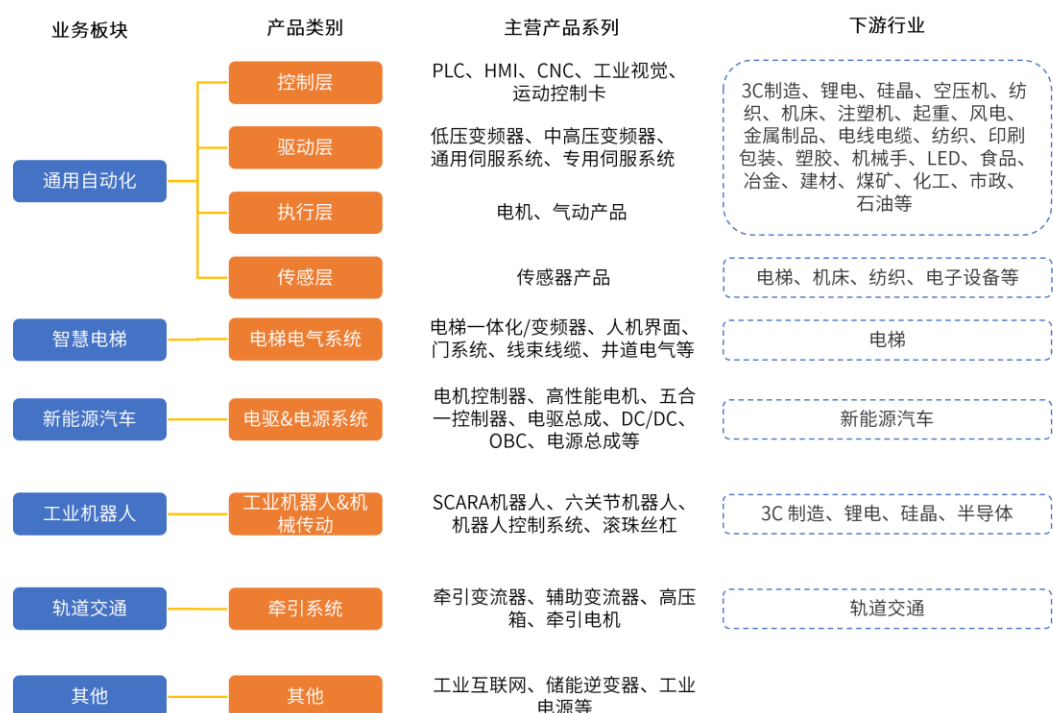
来源：埃斯顿官网，国金证券研究所

5.5 汇川技术：工业自动化龙头，实现工业机器人电控、伺服系统自制

汇川技术为国内工业自动化龙头企业，专注“信息层、控制层、驱动层、执行层、传感层”核心技术，形成了通用自动化、智慧电梯、新能源汽车、工业机器人、轨道交通五大业务板块。



图表56：汇川技术主要产品



来源：汇川技术年报，国金证券研究所

汇川技术通用自动化领域产品包括变频器、伺服系统、控制系统（PLC/CNC）、工业视觉系统、传感器、高性能电机、高精密丝杠、工业互联网等核心部件及光机电液一体化解决方案。

图表57：汇川技术通用自动化领域一体化解决方案

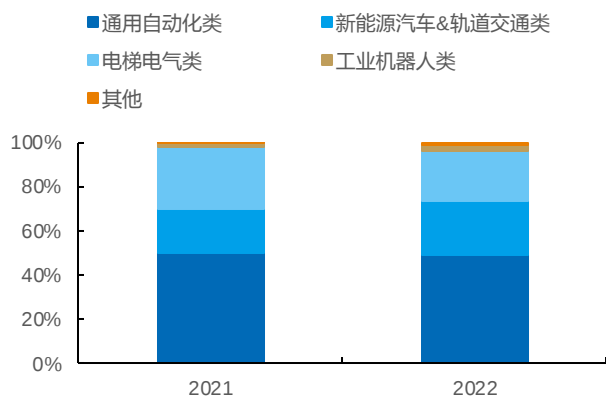


来源：汇川技术年报，国金证券研究所

汇川技术 22 年收入以通用自动化业务为主占比接近 50%，通用自动化业务实现销售收入 114.65 亿元，同比增长 27.64%，其中，通用变频器实现销售收入 43.29 亿元，通用伺服系统实现销售收入 49.89 亿元，PLC&HMI 实现销售收入 13.13 亿元，电液系统实现销售收入 4.50 亿元（含伊士通）。同时毛利率较高，22 年达到 45.64%。

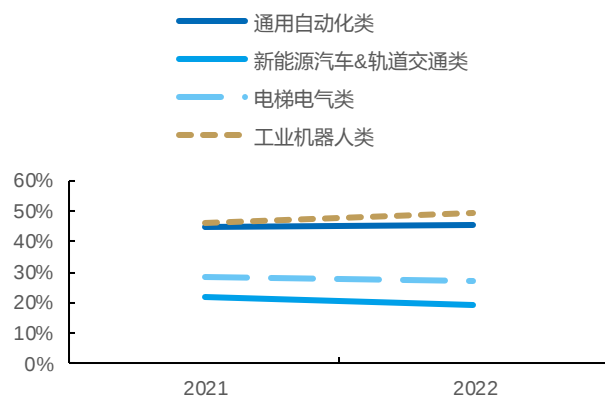


图表58：汇川技术收入以通用自动化业务为主



来源：，国金证券研究所

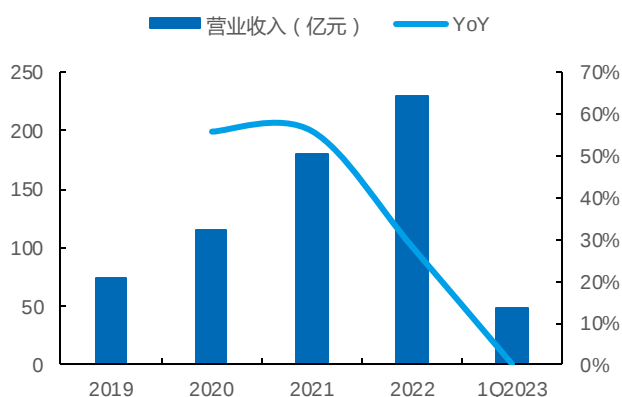
图表59：通用自动化业务毛利率较高



来源：，国金证券研究所

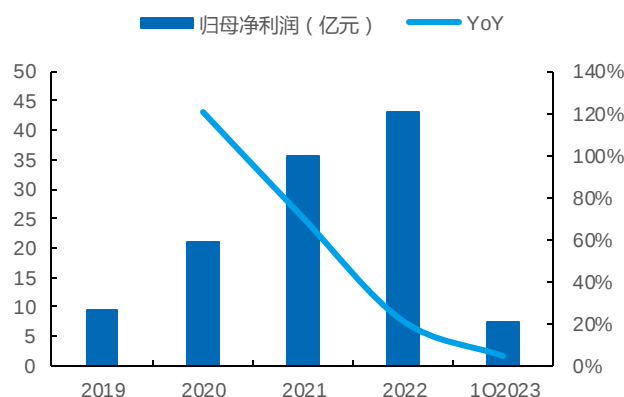
22 年汇川技术紧抓新能源汽车、光伏、风电等行业市场结构性机会，实现营业收入 230.08 亿元，同比增长 28.23%，实现归母净利润 43.2 亿元，同比增长 20.89%。

图表60：汇川技术近年收入快速增长



来源：，国金证券研究所

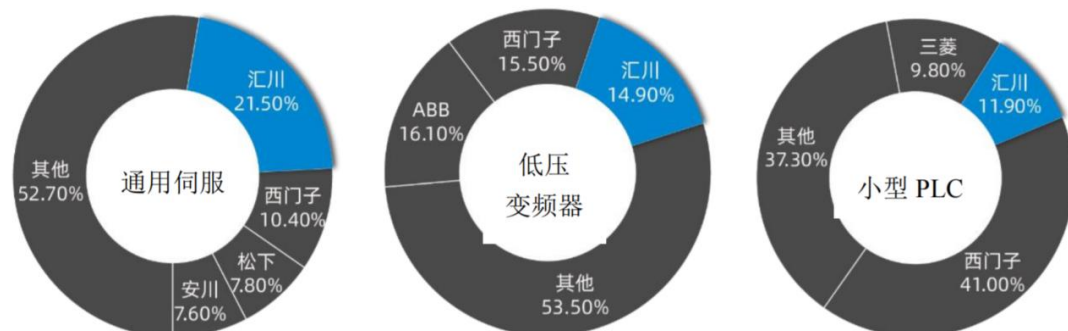
图表61：汇川技术近年归母净利润快速增长



来源：，国金证券研究所

根据公司年报、睿工业统计数据，2022 年，公司通用伺服系统在中国市场份额约 21.5%，位居第一名；低压变频器产品（含电梯专用变频器）在中国市场的份额约 14.9%，位居第三名，位列内资品牌第一名；小型 PLC 产品在中国市场的份额约 11.9%，位居第二名，位列内资品牌第一名。

图表62：公司通用伺服产品市占率国内领先



来源：汇川技术年报，国金证券研究所

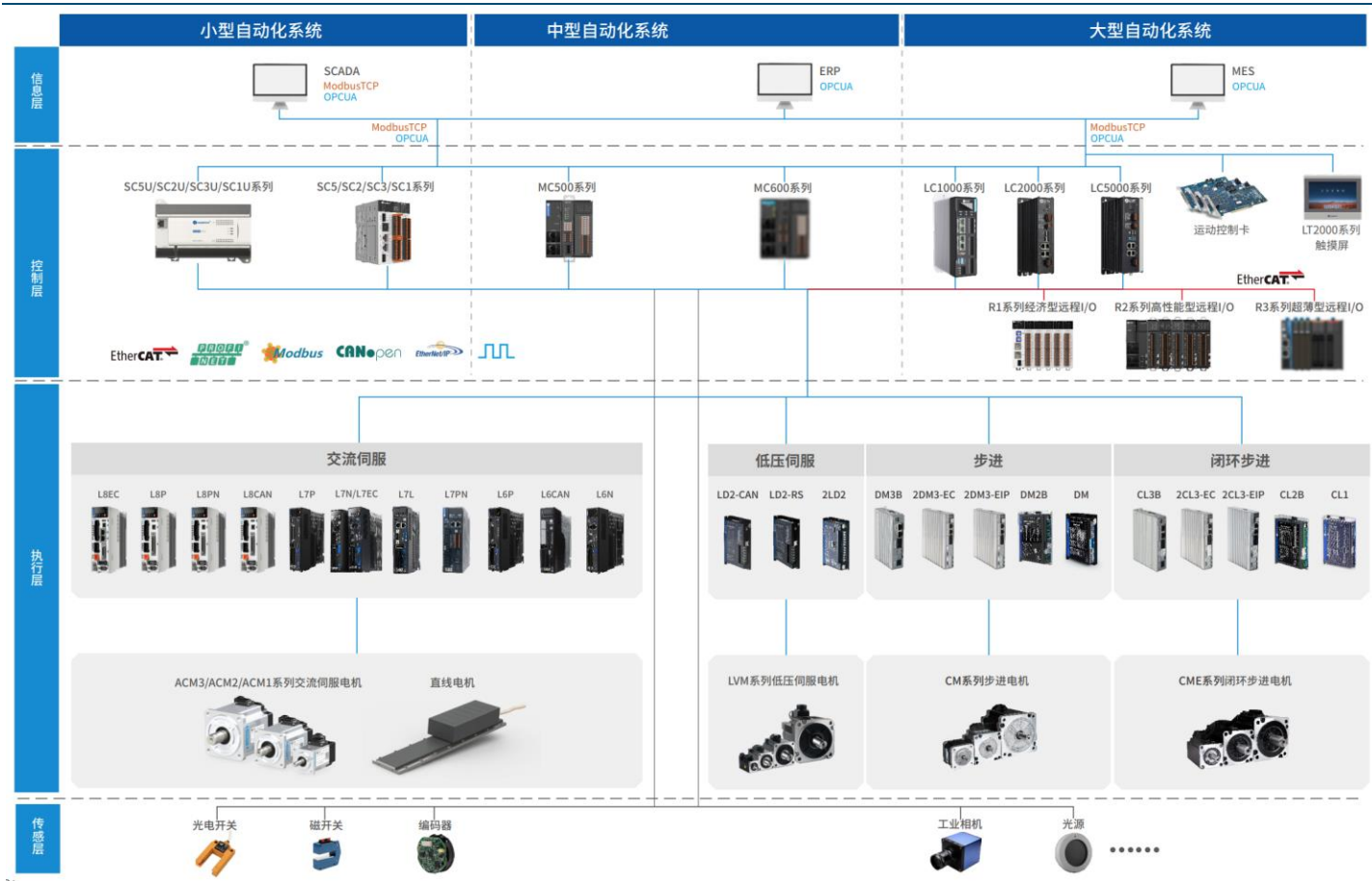
公司实现了工业机器人电控系统、伺服系统、丝杠、本体均自制，根据公司年报、睿工业统计数据，2022 年，公司工业机器人在中国市场的份额为 5.2%，排名第七；其中，SCARA 机器人在中国市场的份额为 17%，排名第二，且为内资品牌第一名。



5.6 雷赛智能：运动控制系统层次全覆盖，有望进入加速成长期

雷赛智能专注于智能制造装备业提供运动控制核心部件及行业运动控制解决方案，产品包括运动控制器、驱动器、电机等，产品已经广泛应用于智能制造和智能服务领域的各种精密设备，例如光伏设备、锂电设备、3C 制造设备、半导体设备、物流设备、特种机床、工业机器人、5G 制造设备、PCB/PCBA 制造设备、包装设备、医疗设备等。

图表63：雷赛智能实现运动控制系统层次全覆盖

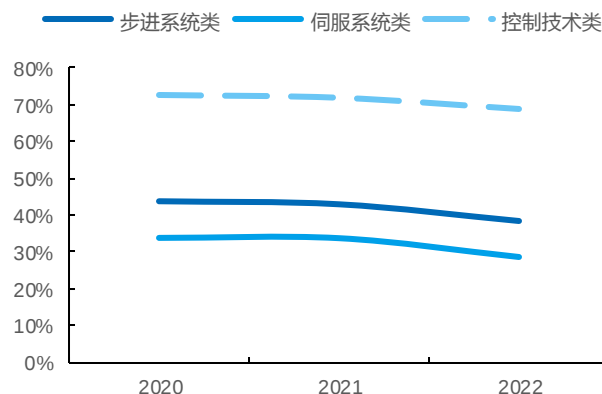
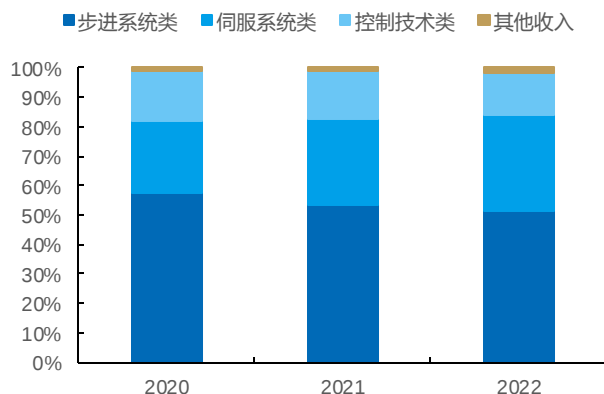


来源：雷赛智能官网，国金证券研究所

22 年雷赛智能收入中控制技术类收入占比 13.59%，驱动类（步进系统、伺服系统）收入占比 77.92%。整体产品毛利率较高，控制技术类产品毛利率高达 70%左右。根据雷赛智能公告信息，公司高端伺服产品已经达到并逐步超过外资品牌的中等水平，进口替代正在加速；预计带动伺服产品营收增长 30%以上。随着高端产品比例提升，自产的电机与编码器质量提升并且成本降低，伺服系统的平均毛利率预计会 1~2 年之内，逐步提升到 35%-40% 之间。

图表64：雷赛智能收入以步进系统、伺服系统为主

图表65：雷赛智能产品毛利率整体较高





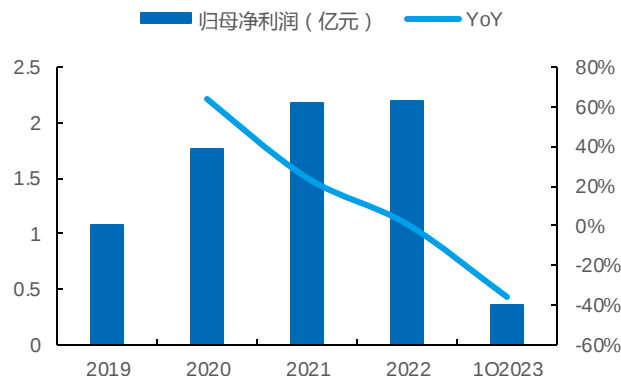
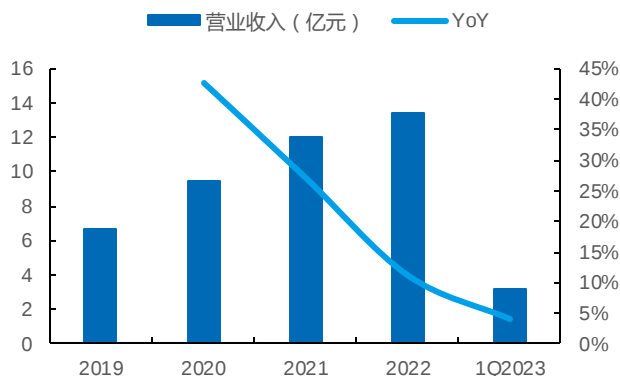
来源：，国金证券研究所

来源：，国金证券研究所

22 年公司实现营业收入 13.38 亿元，同比增长 11.2%；实现归母净利润 2.2 亿元，同比增长 0.91%，受自动化行业需求放缓影响公司增速也有下降。

图表66：受自动化行业需求放缓影响收入增速下降

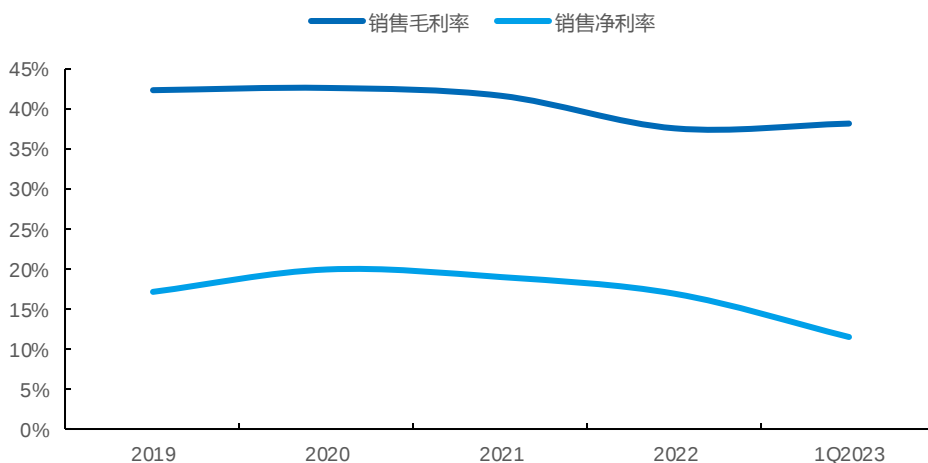
图表67：受自动化行业需求放缓影响利润增速下降



来源：，国金证券研究所

来源：，国金证券研究所

图表68：雷赛智能毛利率较为稳定，净利率有所下降

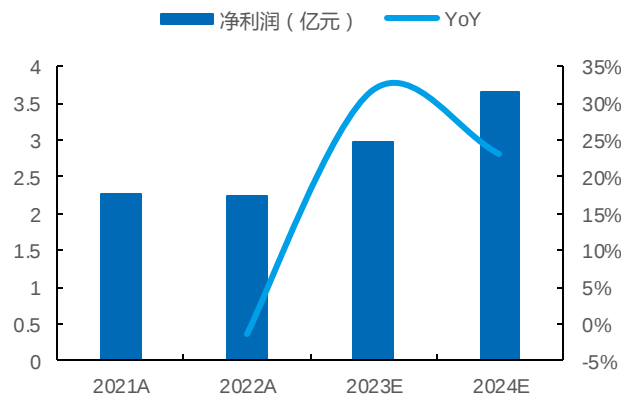
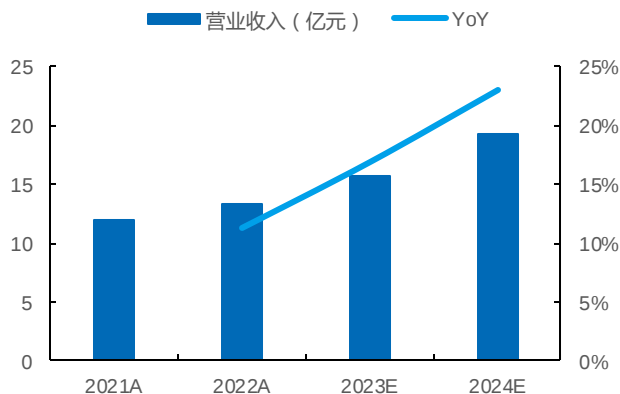


来源：，国金证券研究所

22 年公司分别发布限制性股票计划（草案）、股票期权激励计划（草案），限制性股票接触限售期考核目标、期权行权考核目标为 22 至 24 年，以 21 年营收、净利润为基数，22 至 24 年增长率分别不低于 10%、30%、60%。

图表69：雷赛智能营业收入考核目标

图表70：雷赛智能净利润考核目标



来源：雷赛智能公司公告，国金证券研究所

来源：雷赛智能公司公告，国金证券研究所



5.7 柏楚电子：激光控制系统龙头，技术驱动实现长期发展

技术领先的激光切割控制系统龙头，高功率产品持续进口替代。柏楚电子是一家从事激光切割控制系统研发、生产和销售的高新技术企业和重点软件公司，致力于发展成为工业自动化控制领域内优秀的品牌公司。主营产品包括随动控制系统、板卡控制系统、总线控制系统以及相关配套产品（智能切割头、套料软件）等。中低功率方面国内市场占有率稳居第一；高功率方面，总线系统进一步加快进口替代的步伐，国内市场占有率持续提升。

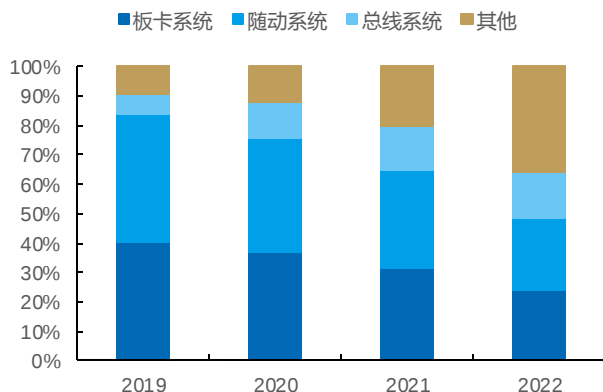
图表71：柏楚电子主要产品

产品分类	产品名称
激光切割控制系统	BSC100
板卡控制系统	FSCUT1000、FSCUT2000、FSCUT3000、FSCUT4000
总线控制系统	FSCUT5000、FSCUT7000、FSCUT8000
智能切割头	BLT420、BLT641、BMH510
激光智联	我的工厂、我的机床、智联工厂 MES、激光魔盒
其他配件	I/O 拓展板、轴拓展板、通用拓展板、线材配件等
视觉辅助系统	CypVision、调高器

来源：柏楚电子官网，国金证券研究所

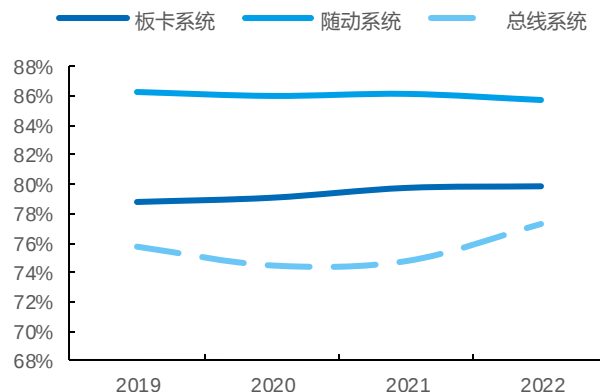
中低功率业务为柏楚电子拳头产品，高功率控制系统逐渐发力，新产品逐步放量。板卡系统和随动系统通常服务于中低功率激光切割设备，而高功率激光切割设备则部分使用板卡系统、绝大部分使用总线系统。具体看，柏楚电子收入集中在中低功率产品上，高功率业务逐渐发力、收入占比不断提升。高功率激光切割系统产品（主要指总线系统）的技术指标和使用性能已达国际领先水平，市场认可度不断提升，有望逐渐改变当前国际厂商近乎垄断的竞争格局。22 年柏楚电子收入中其他类产品同比增长 69.13%，主要是切割头、主战卡系列产品得到客户认可快速放量。

图表72：切割头、主战卡等新品收入占比提升



来源：，国金证券研究所

图表73：柏楚电子产品毛利率极高

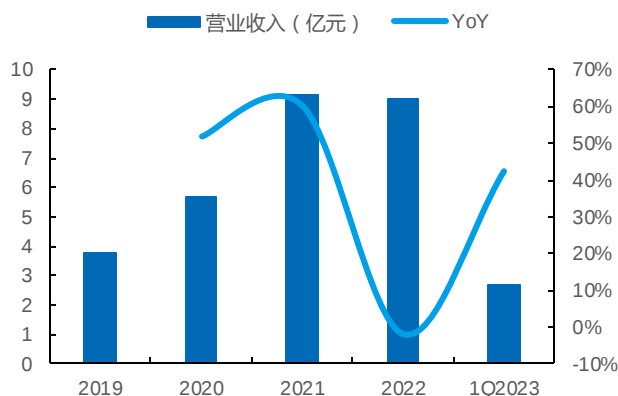


来源：，国金证券研究所

22 年受制造业景气度影响业绩小幅下降，1Q23 增长加速。柏楚电子 22 年实现营业收入 8.98 亿元，同比下降 1.64%，实现归母净利润 4.8 亿元，同比下降 12.85%，主要收到制造业景气度较低影响。1Q23 柏楚电子成长明显加速，营收、归母净利润增速分别达到 42.39%/28.52%。

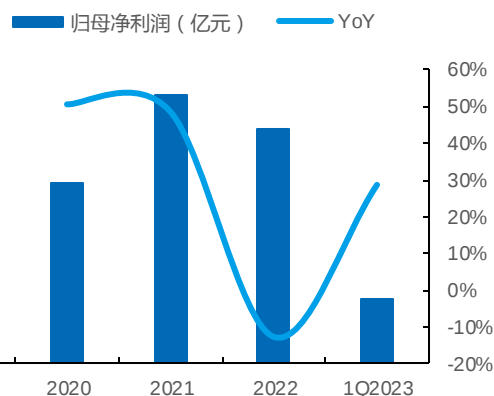


图表74：1Q23 收入成长加速



来源：，国金证券研究所

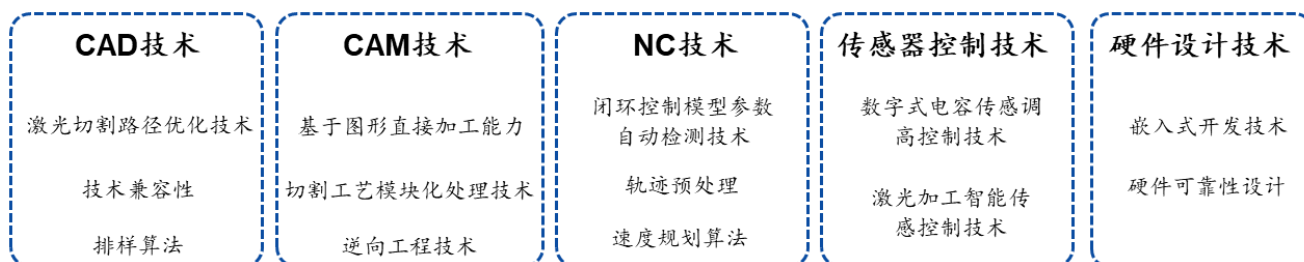
图表75：1Q23 归母净利润成长加速



来源：，国金证券研究所

掌握底层核心五大技术，融资加速扩张。公司是一家技术创新驱动型公司，在经验丰富的核心技术团队的带领下，公司已拥有 97 项专利技术及集中于五大技术领域等多项专有核心技术，形成了能够覆盖激光切割全流程的技术链，技术体系的完整性全球领先。工控领域底层技术具备通用性，下游工业应用场景领域可不断复制。2022 年 4 月，公司定向增发 366.5 万股、募集资金净额 9.58 亿元，拟投向智能切割头扩产项目、焊接机器人、高端驱控一体等应用领域。我们认为，公司有望凭借扎实的底层技术，不断拓展新行业新领域，实现长期健康发展。

图表76：柏楚电子已自主研发并掌握五大核心技术，技术体系完整性全球领先



来源：柏楚电子年报，国金证券研究所

5.8 固高科技：专注运动控制核心技术，实现高端装备控制系统国产替代

固高科技二十余年来专注于运动控制及智能制造的核心技术研发，形成了运动控制、伺服驱动、多维感知、工业现场网络、工业软件等自主可控的技术体系，构建了“装备制造核心技术平台”，为各行业 2,000 多家装备制造厂商累计部署超过 50 万套先进运动控制系统，协助装备制造厂商开发出适应终端产业发展且具备高性能、高性价比的工业装备。



图表77：固高科技业务布局



来源：固高科技招股说明书，国金证券研究所

固高科技以运动控制技术为核心，形成运动控制核心部件类、系统类、整机类的产品体系。

图表78：固高科技主要产品

业务分类	主要产品	核心功能
运动控制核心部件类	运动控制器 插卡式运动控制器(也即PC-Based运动控制卡)、嵌入式运动控制器、网络式运动控制器	运动控制系统的控制层和“大脑”，内置高性能处理器，高性能运动控制算法，可完成复杂控制逻辑及运动路径的规划；将操作方案及指令转化为控制指令发送给执行部件
	驱动器 伺服驱动器。包含通用型、行业专用伺服驱动器	运动控制系统的驱动层和“心脏”，保证机器设备的速度、位移及力矩等运动要素的精确控制，接收控制器信号并将其转化为能够运行电机的电流、电压信号，驱动电机(执行层)运转，带动机构系统(机械机构)运行
	驱控一体机 单轴系列、“拿云”系列四轴/六轴驱控一体机	集工业PC、运动控制、伺服驱动、供电系统及高精度传感器模块为一体，功率密度高、集成度高，极大简化了客户的电气设计，提高了设备性能和可靠性
运动控制系统类	工业自动化组件 通信模块、轴控模块、HMI显示屏、线缆、机器视觉部件(智能相机等)	运动控制系统配套功能组件，起到感知、通信、数据采集等作用。如gLink系列I/O模块可满足各种应用行业的逻辑控制及各种信号的输入输出需求；eHMI操作屏可以实现人机交互功能
	垂直行业专用控制系统 工业机器人、数控系统、纺织、印刷等行业系统解决方案	由开放、可重组的运动控制硬件平台和软件平台组成，是面向行业典型场景和细分领域的系统解决方案；可为客户定制工艺功能、操作界面、用户风格，形成量身定制的应用方案
运动控制整机类	教学培训 倒立摆、磁悬浮系统、仿真器、多关节机器人等	高等院校教学实验及企业应用培训相关设备仪器及配套教材
	设备及特种装备 力位控制装备，包括精密伺服压力机、螺丝机等	以力位(压力、位置)混合控制技术为基础，对压力、速度和位置进行精确控制，实现智能高精度扭力控制及零部件压装

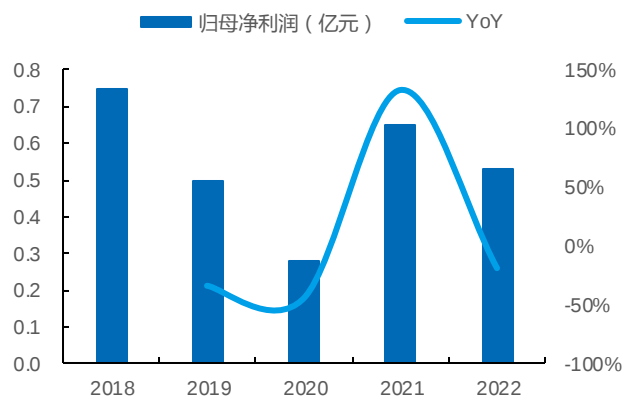
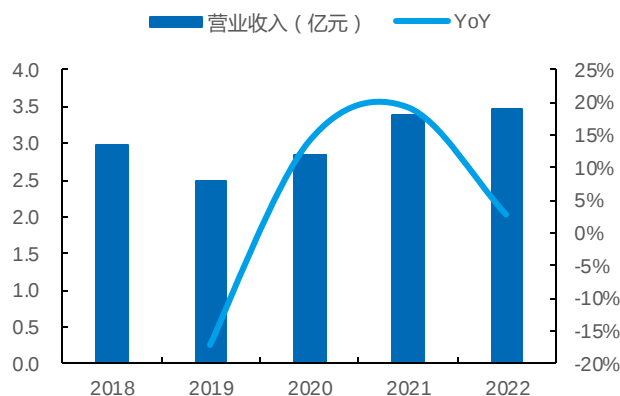
来源：固高科技招股说明书，国金证券研究所



固高科技 22 年实现营业收入 3.48 亿元，同比增长 3.15%，增速有所放缓，主要由于 3C 为公司最大下游应用领域，22 年 3C 需求疲软对公司业绩造成一定影响。22 年固高科技归母净利润增速低于收入增速，主要受股份支付费用、芯片等原材料涨价、员工薪酬等成本费用增长较多的影响。

图表79：3C 行业景气度较低 22 年收入小幅增长

图表80：成本费用增长角度 22 年归母净利润同比下降



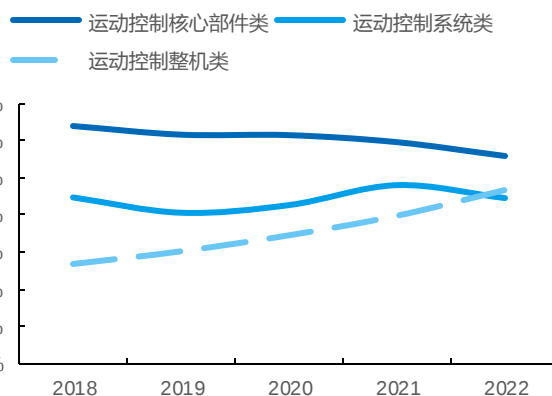
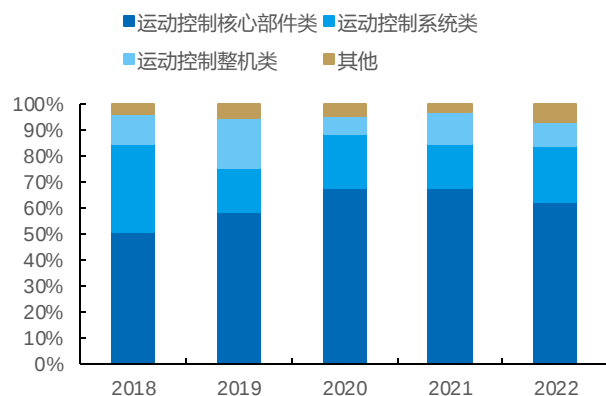
来源：，国金证券研究所

来源：，国金证券研究所

固高科技目前收入主要来自于运动控制核心部件类产品，包括运动控制器、伺服驱动器、驱控一体机等，部件类产品毛利率较高近年在 55% 以上。

图表81：固高科技收入主要来自运动控制部件类产品

图表82：固高科技部件类产品毛利率较高



来源：，国金证券研究所

来源：，国金证券研究所

在工业机器人控制领域，固高科技已实现了一定技术积累：

- 1) 固高科技从成立之初就尝试在机器人行业提出一套全新的控制解决方案，到 2008 年启动机器人驱控一体控制器硬件开发之时，软件算法层面已经形成了对机器人控制领域的创新型架构：将公司创始人李泽湘教授在机器人在非完整约束下的运动规划理论实际运用于公司面向机器人行业的复杂机器人构型运动学正逆解以及动力学优化，并形成算法层的硬件加速能力。
- 2) 基于开放性可重构的原则创新性地定义了面向机器人行业的驱控一体产品，更好地实现机器人系统部件间功率平衡，从系统可靠性和可维护性角度出发大大降低了客户的综合维护成本，同时又进一步提升了运动控制系统的易用性，近几年机器人行业已较为广泛采用驱控一体的控制系统架构。

6.风险提示

国产替代进展不及预期：目前在运动控制器、伺服驱动器领域国内企业已实现突破，部分国内企业已经步入第一梯队，但弱技术研发、市场开拓力度弱于海外企业，或导致国产替代进展不及预期，影响企业业绩增长。

人形机器人产业化进展不及预期：人形机器人由于对运动控制要求较高，人形机器人的产



业化将显著提升运动控制市场需求增量，弱人形机器人产业化进展不急预期，将影响企业业绩增长。



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。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、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》，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

电话：021-60753903

传真：021-61038200

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号

紫竹国际大厦 7 楼

北京

电话：010-85950438

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100005

地址：北京市东城区建国门内大街 26 号

新闻大厦 8 层南侧

深圳

电话：0755-83831378

传真：0755-83830558

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

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