

数字液压推动我国大功率机器人弯道超车

◆ 杨涛

(北京亿美博科技有限公司, 北京, 100010)

编者按:在美国波士顿动力公司的大狗机器人进入人们视野之前,全球的机器人技术主流是以“电机+减速机”为传动核心的实现方案,大狗以惊人的技术性能让人们意识到还有其他技术可以更好地实现机器人的一些功能,这就是液压直驱的方式。本文作者杨涛,毕业于清华大学自动化专业,曾任四通集团研究开发部副总工程师,亿美博科技创始人。从事数字液压传动与自动化控制工程、技术及产品研发和研发管理多年,现从事公司管理工作。

0 前言

机器人不是用来炒作、用来表演作秀、用来炫耀所谓高科技的,在人工智能尚需时日发展的阶段,机器人要做的事情应该是:人做不了的工作或效率更高的工作。我国作为制造业大国,探索符合中国国情的机器人产业发展路径,实现核心技术突破,利用数字液压实现产业发展弯道超车,共享机器人盛宴,这是笔者的初衷。

1 工业机器人产业发展的“红海”与“蓝海”

1.1 我国工业机器人产业现状

1.1.1 政策

我国工业机器人(以下简称:机器人)产业目前正大力发展,上至党中央国务院、国家各部委、地方政府、下至科研院所、企业、民间投资等,出台鼓励政策、设立专项、建立产业园区、可说是红火至极。2015年北京举办“世界机器人大会”,习近平总书记专门发了贺电,可见国家对机器人产业发展的重视,各地方政府亦纷纷建立机器人及相关产业园区大力推动其发展。

1.1.2 技术及成本

2015年全年机器人销售量约小于5万台,其中国产不足一半,国产机器人由于核心部件基本依靠进口,因此我国机器人产业虽表面红火,但几乎机器人企业无不依靠旁业(系统集成或解决方案)生存,而真正工业机器人都是赔钱,有业内专家称,我国的机器人能自主掌握的成本约15~18%,也就是结构件成本,如果我们想与进口机器人竞争,在技术不占优势的前提下,唯有低价尚有一线生机,而机器人关键件中的RV减速机这一个部件,在我国机器人成本构成中要占到百分之三十以上,而在日本其仅占百分之十几,如果进口机器人的想打价格战,人家一个部件的利润差值就顶上了咱们的所有可掌控资源,所以说,中国机器人如果不能掌控核心部件,几乎没有任何竞

争和赢利的可能性。目前几乎所有机器人本体企业均处于亏损,企业投资的目标基本上是“赚取”政府补贴而非产品附加值。

1.1.3 产业生态

机器人在国际上是一个集中度非常高的产业,而国内机器人企业据称大大小小有近千家,大约可以分为五种类型:第一类是以沈阳自动化所和哈尔滨工业大学为主的国家队,两家公司分别孵化了新松机器人和博实股份;第二类是以埃夫特、埃斯顿、广州数控为代表的工业机器人整机企业;第三类是以首钢为代表的合资企业;第四类是各种消费机器人;第五类是以振康为代表的机器人零部件企业,其中销售超过千台的企业仅1、2家,绝大多数机器人企业无法实现规模经营。机器人的核心(减速机、电机、驱动控制、高级算法)全部依赖进口。由于中国机器人企业规模不及国外竞争对手,因此无论是核心技术、规模效益、构成成本等,都缺乏竞争力,中国的机器人产业生态其实堪忧。

1.2 中国大功率机器人的“蓝海”市场

中国与西方发达国家产业结构有巨大的不同,30年的改革开放为我们积累了世界最大规模的制造能力。钢铁、水泥、煤炭、工程机械、造船、军工、重型机床等的制造能力均领先世界,以至于被称之为“世界工厂”,体现出巨大的市场优势。因此,探索真正适合中国制造业需要的大功率机器人,是我国机器人产业发展应该首先认真思考和研究的问题。

1.2.1 大功率机器人的意义和价值

机器人最大的意义在于可以完成人无法完成的工作,例如:核生化、深海、高磁、高低温、危险环境、建筑工程、矿产、石化、冶金、重金属加工等,这些自动化装备结合大数据、云计算和智能控制,会逐步向着机器人方

向发展。

在目前人工智能尚需时日发展的阶段，机器人取代人最大的优势就是作业能力与效率。例如，在最近的机器人展上，日本发那科（FANUC）推出的1700kg载荷能力的机器人应用于汽车制造领域，其可单臂抓举一辆乘用车，受到了机器人业界的关注。



图1 FANUC 抓举汽车的大功率机器人

大功率机器人的驱动主要有两类器件：电机、液压。电机最适合的领域是高速转动；液压则更适合低速大功率高精度运动。其中直线往复依靠油缸，旋转则通过液压马达实现。以往由于液压技术水平发展比较慢，技术门槛比较高，使用维护的难度很大，这些年由于电动技术的不断发展，很多传动领域被电动取代，如机器人由电机加减速机实现关节控制等。但是直至今日，液压的高功率密度依然是电传动无法比拟的。所谓的功率密度大，是指相同重量体积下能输出更大的功率，或者说更高的速度。

高功率电机+减速机的方案以日本发那科、安川，欧洲的KUKA、ABB等企业为代表，他们在家电、汽车制造领域等大量采用这类型机器人替代人工，在电机、精密减速机、控制算法等方面垄断着行业。这类产品功率小导致负重能力有限或者速度慢、自身体积重量庞大。

液压直驱的方式以美国波士顿动力公司为代表，它颠覆了以电机+减速机为传动核心的机器人方案，让机器人真正能跑能跳，更接近于人类的行为需要。这种核心技术主要在液压伺服控制方面，这也正是美国技术的优势所在。采用液压驱动的机器人，由于液压功率密度大于电机约5~10倍，因而机器人自身体积重量远小于电驱动方式。

图2是ABB公司的200kg载荷能力机械手，自重约1000kg。图3是Kraft公司的液压机械手，载荷能力200kg，自重仅81kg。通过对比可以清晰看出两种机器人

作业能力和体积重量之差。



图2 ABB 的 200kg 载荷能力机械手



图3 Kraft 液压机械手

1.2.2 大功率机器人市场

1) 特种作业液压机器人。

在核、深潜、生化、高磁、高温、高危等环境中，人需要远离，借助精细化的自动或者智能设备完成作业，而这样的自动化设备载荷能力越强，则更能适应实际生产需要。目前我国在这些领域均依靠进口机器人产品。



图4 特种作业机器人



图 5 潜水机器人

2) 工程机械(液压)机器人。

谁能说液压挖掘机、装载机、摊铺机、水泥臂架泵车等不是机器人呢? 虽说他们目前的自动化能力还很不足、更谈不上信息化和智能化, 但不代表它们未来不能实现自动化、信息化和智能化。以发展的眼光看, 一台挖掘机、一台臂架泵车, 远比现在的机械手更像一个机器人, 至少它是当下时髦的“外骨骼机器人”。工程机械智能化和机器人化其实早在上世纪末就被日本小松公司和美国卡特公司提出并一直研发推进至今。小松公司 2015 年初向开发自动驾驶汽车和机器人等的创业企业 ZMP 出资数亿日元, 获得该公司不到 5% 的股份, 小松与 ZMP 在工程机械和矿山机械的自动驾驶以及无人化技术研发等方面展开合作。卡特彼勒公司与 Trimble 公司于 2002 和 2008 年合资成立两家公司, 主要借助 Trimble 在 GPS、激光、光学及惯导等定位技术、无线通信技术和软件技术的优势, 提高其工程机械的智能化水平。目前两家合资公司开发的卡特彼勒 AccuGrade® 坡度控制系统已经投入市场。除了建筑工程机械外, 包括石油工程机械、煤炭工程机械等, 未来也将会实现自动化、信息化、智能化和机器人化发展。而以上这些装备每年的新增产量都在千、万、乃至十万台套级, 这个数字说明, 即便是 2015 年整个中国经济陷入低迷, 单就挖掘机全年销售量也超过了中国的机器人销售总量。

3) 金属加工操作液压机器人。

压力机械配套操作机器人是金属压力加工设备配套生产的核心装备, 有了大功率操作机器人, 不仅可以保证设备生产的高效率、高精度, 而且也能是产品质量的基本保证。

4) 智能物流等大功率搬运机器人。

港口机场物资转运、智能仓库装卸及堆储、生产线堆

垛等大量涉及人机协作物资搬运需求的地方, 大功率搬运机器人的需求日益凸显。

2 数字液压推动大功率机器人“弯道超车”

基于以上分析可知, 液压技术更适合大功率机器人应用, 且大功率机器人在我国以制造业为主的产业发展进程中, 会有巨大的市场和前景。液压技术核心问题是需要突破和创新, 而数字液压的先进性不仅可以弥补我国液压技术的不足和落后, 更有机会带领我国大功率机器人跨越式发展, 实现弯道超车。

2.1 液压技术分析

2.1.1 分立液压器件技术

这是由完成不同功能或性能的独立器件组合, 实现对液压执行器(油缸或油马达)的方向、力和速度控制的液压技术。由于这种方式构成的液压系统元件多, 特性复杂, 因此需要设计人员必须有丰富的经验, 但这样的技术并不能精确的实现液压执行器件的位置控制, 速度控制精度也有限, 因而只能适应较低特性要求的需要。

2.1.2 伺服液压技术

伺服液压是万能液压控制技术, 它几乎可以适应所有的液压使用需求。伺服液压系统的构成包含了流体力学、机械、自动化、电子技术等, 是一个多学科复合的自动化工程, 加之伺服液压对使用环境(油液清洁度、温度、电磁兼容环境、冲击震动等)要求苛刻, 因而类似的高端液压应用一直是限制我国装备制造业发展的“锁喉之痛”。

2.1.3 数字液压技术

目前行业中称之为“数字液压”的技术有不少, 简单归纳为以下几种:

1) 控制方式数字化。

所谓的控制方式数字化包括早期的比例阀电磁铁或者伺服阀力矩马达采用 PWM 电脉冲宽度控制驱动方式, 相比线性比例电流驱动控制更稳定且动态响应特性更好; 近些年出现将比例电磁铁换成步进电机控制的方式。

2) 流道通径数字化。

简单说就是通过 1、2、4、8……成平方倍关系的流道不同组合, 实现通流面积数字化, 从而可以使定差下执行元件(缸、马达)实现对应速度的控制。

3) 流量特性数字化。

无论驱动控制方式, 还是流道通径等各种数字化, 其根本目的都是要实现液压执行器件的方向、速度、位移的精确控制。但是, 仅完成了驱动控制的数字化, 或流道通径等的数字化, 由于负载、系统压力、油液流动性等的

时变，依然无法保证最终液压执行器件的速度稳定，更不用说它们的位置根本无法控制，必须借助其他检测、控制手段。而无论是液压缸还是马达，其核心都是容积控制，也就是送入它们的流量控制。无论液压缸或者马达的负载如何变化，亦或是液压系统压力如何波动，再有流体的流动特性，甚至是外泄内泄等，只要我们能精确地将送入并保持在缸或马达腔体内的流量控制好，液压缸或马达就可以实现精确的运动特性（方向、位置、速度、力）控制。因此可以简单地说液压传动研究的是流量控制。如果精确地实现控制送入执行器件的流量，就可以精确控制缸或者马达的运动特性，无论其行程或速度都可以控制。亿美博数字液压就是这样一种可以精确控制送入并保持在执行器件腔体内流量的先进液压控制技术。

亿美博数字液压是一种内建闭环、使用开环的系统工程级单一元件。使用者只需将电脉冲送入接上高低压油管的数字缸（马达）即可，而无需各种参数的复杂设定和调整，即可实现微米级的控制精度。数字液压由于结构设计精妙，使得缸、阀、反馈和控制有机地结合在一起，形成了完全数字化的运动特性，不仅其构成由原本伺服液压系统工程简化成为一个数字化元件，更让设计、调试、使用和维护大大简化。

数字液压通过一套巧妙的内反馈方式，实现了液压对电机特性的随动，而且功率得到成千上万倍的放大。数字液压器件（缸、马达）的运动特性与电脉冲一一对应，电脉冲的频率对应数字油缸的运动速度（数字油马达角速度），电脉冲的数量对应数字油缸的运动行程（数字油马达角度），执行器件的精度几乎不受负载、油压甚至是泄漏等的影响。数字液压大幅度降低了高性能运动控制系统的应用门槛，正如“十五”科技攻关鉴定验收时专家画龙点睛的评价：“数字液压的成功，推动了工业自动化的发展”。工程院周济院长总结说：“数字液压是将控制还给电，而数字化的功率放大留给液压”。

2.2 数字液压的优势

数字液压的应用，使得传动与运动控制的综合门槛大幅度降低。它包括：

1) 系统设计门槛降低。

由于液压体系简单化，以前众多的液压器件不再需要，最简单的数字液压系统仅包含：泵、溢流阀、管路和数字液压缸或者数字液压马达，因此液压传动乃至自动化系统设计都变得简单和透明化。

2) 安装调试门槛降低。

液压系统构成变得简单，因而调试也简单，加上数字

液压无需进行任何控制参数整定，从而安装调试工作量极低。

3) 使用维护门槛降低。

数字液压抗污染能力极强，因而降低了液压系统维护的需求，使得维护工作量降低。液压系统可靠性提升，自然维护工作降低，对技术要求的门槛也降低了。

4) 综合成本降低。

液压系统最主要的构成环节由于大幅度降低了门槛、简化了构成等，因而数字液压系统的综合构成成本大幅度降低。

3 亿美博推动装备制造业智能化升级

亿美博公司创始人杨世祥教授潜心研究数字液压及相关应用已经近 40 年时间，积累了大量行业解决方案及对工艺、自动化系统构成的理解，这是任何一个企业或者个人难以具备的优势。亿美博虽仅是一家小微企业，但在近 18 年发展历程中，却承担了众多国家级甚至是国际首创项目的攻关、研发和实施，在传动和自动化领域创造出许许多多的“不可能”甚至是奇迹。第一代的数字液压在上世纪 90 年代初期就列装在国防重点应用中，至今还在生产；第二代技术也在国防重点项目上成功应用，至今超过 13 年；在军工应用中包括航天、海军、陆军等装备。而在冶金领域几乎全线进口，国产技术被严重边缘化的现实状态下，公司数字液压在炼铁、连铸、轧钢、锻造等领域，也斩获了众多突出的业绩，包括国际首创的高炉热风应用、多环布料、连铸的钢水液面控制、轧钢薄带 AGC、多向模锻等，都是国际先进或是领先水平。在水利能源领域，公司应用在国家大型重点水力发电工程上的数字液压缸已经近 200 台套，最长已经创造了近 8 年无故障免维护工作，相比之下，原进口德国某著名传动和控制公司的系统却要每年不断维修维护。

目前，亿美博数字液压受到各行业龙头企业的高度重视，建立起战略或产品合作，包括如：金属加工、锻造、挖掘、装载、水泥泵送、掘进、采煤、石油排管、仓储港口码头物流、码垛搬运等；在特种机器人方面，包括如：核操作、深海探测、危险物品搬运等的机器人化和智能化。亿美博数字液压正在快速推动我国装备制造业数字化升级。工程院周济院长到访亿美博调研数字液压时指出，数字液压可以快速推动我国装备制造业实现数字化一代，而数字化的根本意义是推动装备的智能化发展。数字液压是互联网+ 中典型的智能化硬件，是“中国制造 2025”实现的有力保证。

亿美博数字液压已经完成的大功率机器人案例如图 6-

图 10 所示, 图 6 是数字液压挖掘机器人, 图 7 是数字液压装载机器人, 图 8 是港口码垛机器人, 图 9 是核生化及深潜机器人, 图 10 是采煤机器人。



图 6 数字液压挖掘机器人



图 7 数字液压装载机器人



图 8 港口码垛机器人

4 与伙伴共享的产业发展模式

改革开放 30 年, 让中国积累下世界最大规模的制造能力。虽然我国机器人行业在电动机器人方面欠缺关键技



图 9 核生化及深潜机器人

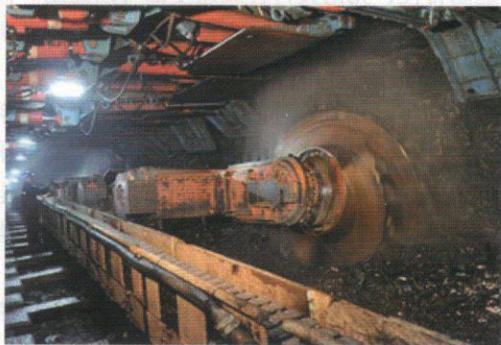


图 10 采煤机器人

术, 但小功率电机、驱动器、编码器、滚珠丝杆等, 我们并不落后, 或者说数字液压配套已经远远满足需求。周济院长认为: “数字液压是将控制交给电(机), 液压实现特性随动和功率放大”。因此我国目前小功率电动机器人的产业积累正好为数字液压应用于大功率机器人市场做好了前期准备, 亿美博希望通过与机器人现有产业企业协作实现共赢式发展, 形成设计、制造、配套、金融、服务等一体化的协同发展平台, 在降低重复投资避免恶性竞争前提下, 以价值链管理为核心创新发展, 让整个大功率机器人乃至我国整个机器人行业共同受益、共同发展, 创造适合中国制造业特色的机器人行业发展模式。

我国的机器人行业乃至整个装备制造业正面临着严峻的考验, 低端产能过剩、无核心技术、竞争力弱、行业生态环境差导致的恶性竞争等, 短时间内很可能就会出现制造业“熄火”甚至破产倒闭潮。此时, 谁能抓住机遇、快速推动技术和产业升级, 谁可能就是竞争的赢家, 就是未来的领导者。数字液压正是这样一个机遇, 一个推动技术和产业升级、带领装备制造业摆脱困局、与行业伙伴共享发展的机遇。