

工程机器人的发展与展望

戴 炬 李小凡 姚 辰 原培章

(中国科学院沈阳自动化研究所 中国科学院机器人学开放研究实验室)

摘 要: 本文简述了工程机器人的国际发展潮流,国内工程机械工业的现状及其与国外的差距,介绍了 863 计划智能机器人主题促进我国工程机器人发展的行动、立项情况和取得的成果,进一步对三种通用性土方机械的机器人化的技术成果作了介绍,最后论述了发展工程机器人的科学、社会和经济意义,对其发展前景作了展望。

关键词: (工程机械;工程机器人;建设机器人;推土机;挖掘机;装载机)

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

1 引言

机械产业是国民经济四大支柱产业之一,工程机械则是其重要的组成部分。随着现代大规模能源、水利、交通、原料、市政建设等的快速发展,工程机械的技术水平和性能直接影响着一个国家国民经济的发展。日本、美国和欧洲一些国家首先认识到这个问题的重要性,大约在 70 年代就开始对有近百年历史的工程机械开展机电一体化、机器人化高技术的研究与开发,利用最新发展的电子技术、计算机控制技术、机器人技术等对传统工程机械产品进行更新换代改造。通过高新技术含量的增加,达到提高工程机械的作业效率、作业质量,降低油耗,降低施工成本,改善操作性能,降低操作者劳动强度和操作技术等级等目的。他们在较短的时间内就开发出多种新产品,迅速投放市场。工程机械产品发展更新换代的过程,也从一个侧面反映出了一个国家科学技术发展的水平。

国外工程机械机器人化产品大量进入我国市场大约是在 1993 年底,其数量逐年递增,对国产工程机械产生了很大的冲击,国产产品市场份额逐年下降,使得国产产品失去了相当大的一部分市场,例如在挖掘机市场上,国外产品现在已经占据了国内 80% 以上的市场份额。巨大的压力迫使我们必须改变国产工程机械技术含量低,产品结构落后的状况。

我国工程机器人或工程机械机器人化技术的研究工作始于 90 年代初。1991 年在 863 计划自动化领域首席科学家蒋新松的倡导下,我们在国内首先开展了工程机械机器人化技术的研究工作,查阅了大量国外文献资料,了解掌握了国际上工程机械的发展动态,结合已掌握的机器人技术,与工程机械生产企业合作,先后开展了挖掘机机器人化和推土机机器人化技术的研究开发工作。其后,在 863 智能机器人主题的支持下,沈阳自动化所和一些兄弟单位相继开展了工程机器人关键技术和产品化的许多项研究工作,取得了可喜的进展。

2 863 工程机器人的发展

工程机械就其工作装置(作业臂)机构、行走机构、能源管理、人机作业等诸多方面,都与机器人有相似之处。从七、八十年代开始,国外就开展工程机械机电一体化研究工作。进入 90 年

代,机器人技术得到迅速发展,其某些单元技术,如机器人电控技术、液控技术、机电信息一体化控制技术、传感器技术、计算机控制技术等逐渐应用到工程机械上.工程机械向机器人化发展并逐渐成为机器人家族中新的成员,国际上多称其为建设机器人,我们叫做工程机器人.随着各单元及控制系统新技术的不断出现与完善,使得工程机械机器人化成为工程机械发展的必然趋势.我国工程机械行业也不例外的要加入到这个更新换代的行列中来.

由于我国工程机械工业基础薄弱,七、八十年代国外开始开展工程机械机电一体化研究开发工作的时候,国内正在完成机械式控制向机械—液压控制的转变,落后了一大步.目前,工程机械生产企业还没有足够的技术力量使其产品实现机器人化更新换代,不能完全独立地进行工程机械机器人化高技术的研究与开发.面对这种状况,863计划智能机器人主题在90年代初开展了机器人化机器专题研究内容,后来又设立了工程机器人专题.

沈阳自动化研究所科研人员在此专题的支持下,先后开展了“机器人化推土机”、“机器人化装载机”、“挖掘机机器人”的研究开发.这些课题都是采取国家支持、企业与研究所合作的方式来进行的.其中“机器人化推土机”项目已于1997年1月完成,通过专家组验收,取得了多项技术成果.为了检验由微处理器、电子电路和其它电气元件组成的控制器在工程机械这样恶劣的使用环境下工作的可靠性,我们花了两年的时间进行了野外环境运行实验,实验结果证明控制器是可靠的、稳定的.这也说明,近年来,随着计算机和电子产品的快速发展和普及应用,它们的可靠性比过去有了很大的提高,完全适于工程机械的工作环境.

工程机械机器人化技术主要包括节能技术,行走传动控制技术,工作装置操纵控制技术,人机智能作业技术,电子监测与故障诊断等技术.与这些技术相关的一些技术,国内的高等院校和科研院所都有储备,在市场经济的推动下,近些年的许多研究开发工作都是针对市场需求而进行的,许多项目得到了国家各部门的支持.

3 某些研究成果

智能机器人主题资助了许多机器人化机器的项目的研究,涉及面也很广,其中有:

通用土方机械:·机器人化推土机;·机器人化装载机;·挖掘机机器人.

井巷和隧道机械:·矿井喷浆机器人;·隧道凿岩机器人;

筑路机械:·自动化摊铺机;·遥控压路机;

水泥机械:·智能化混凝土搅拌站.

专用机械:·高炉清渣机器人.

这些项目都已取得了或者正在取得国内领先的成果,有的成果已经少量地转化为产品.下面简单介绍中国科学院沈阳自动化研究所承担的“机器人化推土机”、“机器人化装载机”、“挖掘机机器人工作装置控制系统”研究开发项目.

3.1 机器人化推土机

这是以推土机自动水平作业技术为中心开展的研究开发工作.取得了如下五项技术成果.

(1)推土机工装系统电控单杆控制技术

传统推土机工装系统(推铲和松土器)多由三台手动换向阀来控制,因为司机不能同时操纵两个操纵杆,而且操作力大,在推土作业时,司机容易疲劳.

该技术将推土机工装系统手动三杆控制集中于电控单杆控制,主要包括:电控单杆、控制器和电液换向阀系统,整个工装系统只用一个单杆操纵.电控单杆既可单独控制推土铲上下

和侧倾运动,也可使二者同时复合运动.在切换到松土器状态时,又能控制松土器运动.使用此控制技术的推土机作业,方便、省时;电动杆非常轻便,司机不易疲劳,作业效率高.

(2)推土机自动推土控制技术

利用电液比例控制技术对推土机推土铲实现电液伺服控制,使推土铲在推土作业中,自动跟踪初始设定的切土位置进行作业.系统主要包括:控制器、电液比例系统和位置反馈传感器等.在推土机开始进行推土作业时,司机控制推土铲.进入自动状态后,司机只负责推土机的行走,而不需要再控制推土铲的升降,通过电液位置伺服控制推土铲的升降运动,实现自动推土.从而减轻了司机的劳动强度,提高了作业效率.

(3)推土机自动水平作业技术

水平作业是推土机作业方式之一,俗称操平.该控制技术是利用电液比例控制技术对推土机、推土铲实现电液伺服控制,在进行水平作业时,将推土铲初始位置设定为水平状态或与水平面成某一倾角,推土铲即可自动推出水平面或者坡面.系统主要包括:控制器、液压比例系统和水平仪.用推土机进行操平作业要求司机有非常高的技术等级.由于应用了该技术的推土机能够自动推出水平面和坡面,降低了司机技术等级要求,减轻了劳动强度,提高了作业效率.

(4)推土铲位置与负载力复合控制技术

利用电液比例控制技术与载荷力控制技术相结合来实现推土铲位置和负载力控制,使推土机在自动推土和自动水平作业中始终保证外负载力一定.系统主要包括:控制器、液压比例系统,传感器和负载力控制系统.在推土机推土作业时,根据负载情况,自动调节推土铲的位置,保证负载为一定值.从而可以避免发动机因超载而熄火,履带打滑等,减轻司机劳动强度,提高发动机使用寿命和作业效率.

(5)新型固定式推土铲及电液控制技术

这是一项已经获得专利权的技术.它是采用一种具有两自由度(升降和侧倾)四杆并联机构的新型固定式推土铲和相应的电液控制技术.把传统推土铲的八杆机构变为四杆机构,且保证推土铲的功能不变.在配上前述四种电液控制系统后,亦可实现这四种作业功能.

这项技术在减少推土铲的四根支撑杆的同时,减化了制造工艺,降低了制造成本,从根本上改进了推土铲机构.

3.2 机器人化装载机

“机器人化装载机”是新产品的研究开发项目.项目首先确定的新产品的定位—技术水平定位和市场定位.

- 技术水平定位:博采国际上最知名装载机企业的 90 年代中后期最先进产品的优点,用机器人等高技术改造传统产品,使目标产品达到同样的技术水平.

- 市场定位:针对不同的用户群体,把市场区分为三类,它们这三类市场是:国内普通用户市场,国内大型工程、大型港口等用户市场,国际市场.相应地推出三个改型产品.以第二类市场为中心,在国内市场上与国外先进产品竞争.其次辐射到第一类和第三类市场.本项目的持续发展将会产生大吨位的先进装载机机型.项目的主要研究内容有:

- (1)传动电液控制系统,主要实现电控变速箱的速度和前进后退方向的控制,包括 Kick-down 功能和自动换档功能,自动换档的变档范围可以设定.

- (2)新型转向操纵系统,实现单杆左右转向操纵,转向单杆与方向盘可以并存.在此基础上能够很容易地把变速箱控制开关集成在转向单杆上,驾驶员即可用一只手(左手)操纵装载机

的前进后退、左右方向和速度快慢。

(3)工作装置电液控制系统.采用电控手杆电液比例控制.由于在安装了检测动臂和铲斗角位置的传感器,驾驶员可以在驾驶室内任意设定动臂和铲斗的位置,实现工作装置远程定位控制;也能实现铲斗持平控制,即在工作装置运动的过程中使铲斗总保持预先设定的姿态角.

(4)电子监测与系统故障诊断系统.由传感器集合、监控控制器和显示面板三个部分组成,实现

- 工作状态监视:通过显示屏指示当前的档位、方向、水温、油温和燃油油位等信息.
- 三级报警.

• 故障诊断代码显示和查询:利用它的显示屏可以对工装控制系统和传动操纵系统的故障情况进行显示和查询.这些故障信息是通过数据通信线路从其它系统传送过来的故障诊断代码.故障诊断代码由三部分组成,即系统模块(传动控制模块、转向操纵模块、工作装置控制模块)识别码,零部件识别码(指示相应系统模块中某个有故障的零件或部件),故障模式识别码(指示该零件或部件发生故障的性质).

• 远程通讯.监控系统与工装控制、传动操纵等系统之间有通讯功能,并配有与外界诊断仪的远程通讯接口,以实现行车状态的监测和故障诊断.

3.3 挖掘机器人工作装置控制系统

挖掘机在工程机械行业中占有极重要的地位,本身的技术含量较高,围绕挖掘机开展的研究和产品开发在国外进行得最深入.挖掘机器人产品可以带动其它工程机械机器人化的发展.国外挖掘机械已发展了四代产品,我国自有品牌产品仍是空白,国外产品对国内产品产生了强烈冲击,国产产品市场逐年缩小.该项目的最终目标是发展国产品牌的有高技术含量的产品,逐步形成自主开发能力和技术创新能力.

挖掘臂运动轨迹的精确控制可以保证在各种坡面条件下挖掘的平整度,提高作业质量;降低对操作工人技术等级的要求,减轻劳动强度;缩短作业循环时间,提高劳动生产率.挖掘机的铲斗是挖掘机的主要作业工具,但不是唯一的作业工具.基于挖掘机器人技术和不同的作业工具可以比较容易地构成各种建设机器人.国外已有的例子如深坑基础机器人,全坝机器人等.

本项目以挖掘臂轨迹和工作循环的自动/半自动控制为目标,开发研制相应的控制装置,安装在原挖掘机上形成挖掘机器人产品.项目的阶段目标是研制一台挖掘机器人产品功能样机.研究工程机器人人机智能作业的原理,串联式4自由度挖掘臂的电液伺服控制,实现手动操作,自动挖掘/手动卸载,自动挖掘/自动卸载,自动作业的速度和坡度可调,实现多种作业模式.达到国外年90代中后期的水平.

4 科学、社会及经济意义

一般说来,工程机械包括土木机械(挖掘机、推土机、装载机),建筑机械,路面机械,起重机械,采掘机械,高空消防车等.挖掘机、推土机、装载机为三大通用性主流机种,应用面最广.国外80年代初首先把微电子技术应用到工程机械,美国卡特彼勒公司,德国利勃海尔公司,日本的小松、日立、东芝、神钢、东急等公司(株式会社)都一直致力于这方面的研究,先后推出了几代节能型式产品;又将研究开发工作扩大到工作装置(挖掘臂,装载机臂,推土机铲)的控制,例如,铲斗运动轨迹的精确控制,工作循环的自动控制,工作面的激光导引,基于GPS定位作业,遥控操作,远程故障诊断等内容.产品的发展走过了从工程机械机电一体化逐

步发展到工程机器人的过程,工程机器人是本世纪90年代工程机械发展的重要标志,也将是二十一世纪各类工程机械发展的总趋势。

我国挖掘机、推土机、装载机机电一体化新产品的研究开发远远落后于国外的发展,一些科研院所和大专院校在此方面做过一些工作,但是在企业界还没有产生重要影响。九十年代,国内有若干家企业与国外合资引进了比较先进的工程机械产品,它们均为八十年代水平的产品,而且对关键的控制技术保守得很严。至今,国有品牌产品仍然是传统产品,自有品牌的机电一体化产品直至工程机器人产品基本上还都是空白。

5 展望

随着国家基建规模的扩大,铁路、公路、水利、住宅建设等建设工地的土方量巨大,从1994年我国机械行业出现转机以来,工程机械年年在机械行业中保持着最快的增长率。

因此,面对工程机械的巨大市场,国产产品技术落后,国外先进技术产品的强大压力,开展工程机器人的研究和产品开发是必要的。

(1) 微电子技术、电液控制技术、机器人技术的应用是工程机械产品更新换代的必由之路,国际潮流不可抗拒。

(2) 销售市场欢迎高技术产品。例如 $0.7\text{m}^3-1.0\text{m}^3$ 级挖掘机国产价约40万元,仅仅第二代节能型进口产品的售价就为80万元左右,且进口产品看好,国产产品滞销。

(3) 我国自有品牌的高技术产品仍是空白,国外产品对国内产品发生了强烈冲击,国产产品市场逐年缩小。我们应当发展国产品牌的有高技术含量的产品,逐步形成自主开发能力和技术创新能力。

(4) 基建规模的大幅度扩大,为工程机械提供了更大的市场,随着工程机械传统产品市场的萎缩,工程机器人这一类高技术产品将获得更多的市场份额。

(5) 工程机械高技术产品发展有两条道路,一是全面引进国外产品的生产技术;另一条是对传统产品进行改造。我们应当首先走第二条道路,即用机电信息一体化技术和机器人技术改造传统的工程机械产品,改善产品的性能,扩展功能,提高产品在国际上的竞争力。如果采取这种方式,那末80%以上的零部件暂时不用改变,只有不到20%的部分需要增加高技术成分,研究开发周期短,见效快;产品更新换代的成本低。然后在此基础上再求取得进一步地提高。