

将灵感、经验转化为理论和公式

数学工具降低并联机器人设计门槛

◎本报记者 陈曦

如今,工业机器人已成为制造业的重要“劳动力”。相比于常见的串联机器人,并联机器人具有负载大、精度高、动态特性好、可重构能力强等优点,是航空航天、医疗健康等领域的核心装备。

但“好机构难综合、优性能难设计、高精度难调控”等科学难题提高了并联机器人设计与应用门槛,阻碍其发展。天津大学机械学院教授孙涛团队提出并联机器人创新设计与调控新理论,改变传统方法利用工程经验反复试错、迭代设计的流程,从发现数学新定律、揭示力学新机理、提出机构学新方法三个层面入手,提出高性能并联机器人发明、设计和调控的方法。“并联机器人创新设计与调控理论”项目日前荣获2023年度天津市自然科学奖特等奖。

实现并联机构
拓扑简洁描述

机构是机器人的“基因”,直接确定了其功能,并且从根本上决定了机器人的性能。从机器人机构学角度分类,现有机器人主要分为串联和并联。

“串联机器人就像一个手臂,由各个关节串联在一起;并联机器人是把几个串联结构形成闭环结构,就像两只手或者多只手握在一起,由多条手臂共同完成一件事。”孙涛介绍,显然,一条手臂负载能力有限,但通过多条手臂的配合,机器人则可以负载更多重量,从而实现更优性能的作业。

由于需要各个支链之间的配合,并联机器人的机构具有多闭环结构、多传递回路、多运动构型等特点,其机构综合一直是机构学和数学交叉领域的研究热点与难点问题。

“现有方法难以实现复杂多样并联机构拓扑的简洁描述和精准计算。这导致在综合过程中严重依赖设计人员的灵感和经验,制约了并联机器人的机构设

计。”孙涛认为,这是一个不断试错的过程,有时候由于认知的局限性,很难设计出正确的机构。

孙涛带领团队从数学角度入手,耗费数年时间,深入研究机器人机构与数学表征、运算之间的关联,最终发现了表征连续运动的最简数学格式有限旋量及其四类运算定律,提出了并联机器人机构综合的有限旋量新理论,为机构拓扑的代数计算和连续运动的精准设计提供了数学工具。

“我们还提出了面向应用场景的机构综合理论。当灵感和经验可以用数学公式来表达时,一切就变得简单清晰了。”团队成员连宾举例说,比如需要综合一个加工机器人,应用机器人机构创新理论,提炼加工场景对机器人的运动需求,把运动参数代入公式中计算,就可以得到适合的机构拓扑,相当于并联机器人有了雏形。

提升性能设计
和精度调控水平

性能直接决定了机器人在服役环境中的作业能力。其优劣不但依赖机构拓扑,而且与机器人尺度参数密切相关。

“就像人一样,先天体质和高矮胖瘦等多重因素都会影响到人力气的强弱。所以,我们设计并联机器人,既要考虑代表‘基因’的拓扑结构参数,也要考虑代表‘高矮胖瘦’的尺度参数。”孙涛介绍,由于并联机器人的拓扑类型多样,涉及到的参数数目庞大,目标性能耦合关系复杂,同步设计机器人的拓扑和尺度参数难度非常高。

“如何面向多维性能的需求提出拓扑和尺度参数的优选准则,是并联机器人设计的关键。”团队成员霍欣明说。

团队通过研究,利用所提出的数学工具建立并联机器人“拓扑—尺度—性能”的映射模型,根据不同场景对机器



应用并联机器人创新设计与调控理论设计的机器人。受访者供图

性能的需求,提出多性能匹配的合作均衡方法,实现并联机器人拓扑和尺度的优选与设计。

并联机器人从设计到应用的首要问题是机器人的作业精度,其主要受零部件加工和装配偏差等几何误差、弹性变形等非几何误差影响。

“误差的辨识和补偿是调控机器人精度最直接最有效的手段。我们通过建立误差传递模型,揭示误差作用机理,建立误差补偿的等效运动控制模型,提出了并联机器人精度调控的在线补偿新机制,解决了并联机器人任意位姿下多源误差实时补偿的难题。”孙涛介绍。

研制大模型降低
使用难度

目前,并联机器人创新设计与调控理论,已经指导了加工、焊接、装配、手术康复等多种高性能并联机器人的创新设计与调控,推动了并联机器人在航空航天、汽车船舶、医疗健康等领域的应用。

孙涛举例:“比如我们创新设计的高刚度并联磨切一体加工机器人,已经在中国一汽、潍柴动力等30余家头部企业应用300台套,解决了多类型、多材质、多尺度铸件高效加工的难题。”

“我们创新设计的高负重比并联对接装配机器人,应用于航天五院某低轨卫星舱板、某型飞机舱内单体的柔性装配,解决了中大型部件装配难题。”团队成员宋轶民介绍说。

医疗健康领域也受益于这项创新理论。目前,国际首台可穿戴并联骨折手术与康复一体化机器人,已经在中国人民解放军总医院、天津医院等开展模型或动物实验100例、临床试验85例,解决了骨折手术与康复脱节的临床难题。

“接下来,我们将进一步降低并联机器人的设计以及应用门槛。”孙涛介绍,“对于工程设计人员,目前这套理论的数学门槛还是比较高。为了向更多人推广这套理论,我们正在建立并联机构大模型。”

“未来,训练成熟的机构大模型可以根据用户的需求设计并联机器人,实现机构创新,优化并联机器人的性能。”孙涛说。

孙涛说,“未来,训练成熟的机构大模型可以根据用户的需求设计并联机器人,实现机构创新,优化并联机器人的性能。”孙涛说。

新方法提高光谱测量长期稳定性

科技日报讯(记者郝晓明)记者8月9日从中国科学院沈阳自动化研究所获悉,该所激光诱导击穿光谱技术(以下简称“LIBS”)科研团队在光谱测量领域取得新突破,有效提升了LIBS测量的长期稳定性。相关研究成果近日发表于《原子光谱分析》。

在光谱类科学仪器领域,长期稳定性是衡量仪器性能的重要指标,也是实现高精度测量和选矿数字化的重要基础。LIBS以检测速度快、无需样品预处理及实时原位检测等优势,在光谱检测

领域展现出巨大潜力。但在实际应用中,特别是在复杂的工业环境下,环境干扰导致的信号漂移问题制约着LIBS的广泛应用。

针对上述难题,科研团队提出了ID-PLS方法。他们首先引入强度比漂移值,即检测值与理想值之间的偏差,实现了光谱在长时间检测过程中波动情况的精准表征。

之后,他们再利用机器学习中的最小二乘算法(即PLS算法),将光谱检测值校准到理想值附近,确保其校准

效果的下限不低于传统的平均内标法,从而显著提升光谱测量的长期稳定性。

实验结果显示,ID-PLS方法可有效提升LIBS测量的长期稳定性。该成果应用于自主研发的LIBS钢水成分传感器上,并在不同低合金钢样品上进行了测试。结果表明,与传统的漂移校正方法相比,ID-PLS方法在对碳、硅、钼、镍、铜和锰等多种元素的综合校准中性能更优异。这为提升光谱传感器的长期稳定性提供了切实可行的

解决方案。

近年来,中国科学院沈阳自动化研究所LIBS科研团队从核心技术攻关和仪器研制两方面发力,在铁矿原料、金属分析、选矿工业、深海探测等领域探索攻关并取得一系列成果。其中,LIBS在炼钢厂成功示范应用,在国际上首次实现了40吨级钢包的钢水成分在线测量,并开发了基于LIBS的系列化高端在线分析仪器,使我国贫铁矿、磷矿选矿生产过程实现了矿浆品位高精度在线测量。

机电“中枢神经”保障机场高效运行

◎本报记者 孙瑜

近日,西北地区“一带一路”重要空中节点、国家交通基础设施重大工程建设项目——兰州中川国际机场三期扩建工程主体工程竣工。从高空俯瞰,40万平方米的T3航站楼犹如黄土高原上的青铜巨鼎,静待乘客从这里踏上空中丝路之旅。

机电系统如同机场运行的中枢神经。兰州中川国际机场三期扩建工程综合运用了多项高端机电技术,确保机场高效运行。日前,记者走进兰州中川国际机场三期扩建工程,探访这些机电技

术的具体应用情况。

智能化手段助力复杂
管道排布

跟随技术人员,记者来到兰州中川国际机场三期扩建工程主楼中部的行李分拣厅。抬头看向天花板,只见大小不一的管道如蜘蛛网般密布,或平行排列、或交叉而过,行李输送带穿越其间,直达地面。

“行李分拣厅总面积1.4万平方米,配备了甘肃省最大的机场行李系统,行李输送带总长38公里。”中铁建设中川国际机场项目水暖技术主管王剑峰说,“行

李系统贯通航站楼上下4层的空间。机电管线需穿插布设在行李输送带上方至少1.2米的高度,与托运行李最近距离只有50厘米。”

这给施工带来了极大挑战。机电管线涉及电气、给排水、消防等10余个系统。管线排布不仅要绕行行李钢制平台,还要整齐美观。“这导致行李系统的机电管道非常复杂。”王剑峰举例说,某处通风管道在123米内翻了32个弯。

项目团队采用了建筑信息模型(BIM)技术解决此类难题。“在施工前期,团队运用BIM技术进行设计,以3D模型模拟管线排布,优化综合布局,避免与行李平台及吊架碰撞。”中铁建设中川国际机场三期扩建项目机电总工程师宗东旭说,团队同时最大化利用梁窝等空间保证标高,使用上下或左右翻转的方式安装行李平台和吊架之间的机电管线。

项目团队还采用全位置管道焊接机器人、智能运维机器人提升管道安装、运维效率。“焊接机器人可辅助完成管线间微小的管道组焊,效率较手工方式提升3倍。运维机器人则能随时检查机房设备运行状态,自动排查问题并反馈。”宗东旭说。

两大系统保证航站楼
适宜温度

银白色的航站楼大气明亮,顶端玻

璃设计为丝带形状,展现出“丝路金河、如意飞天”的意蕴。炎炎夏日,记者行走在航站楼内,不觉闷热,反而十分舒适。

“航站楼常年保证适宜温度,靠的是冷热源智能群控系统和低温地面辐射系统。”宗东旭介绍,这两大系统不仅使机场冬暖夏凉,还能通过移动终端远程控制,节省能源消耗。

兰州属温带大陆性气候,昼夜温差大。“冷热源智能群控系统可根据室外温度,实时调控制冷供热设备,使室内温度夏季保持在23至26摄氏度,冬季保持在20至23摄氏度。”宗东旭介绍,该系统可通过移动终端远程控制启停,运行效率提升30%。

低温地面辐射系统铺设在地板下,与冷热源智能群控系统相互配合。中铁建设中川国际机场项目机电负责人刘鹏介绍:“低温地面辐射系统通过铺设地板采暖管,夏天输送12至19摄氏度的冷水吸收热量制冷,冬天输送40至60摄氏度的热水散发热量供热。相较于空调系统转换空气源降温的形式,可节省能源消耗近20%,同时制冷过程不会产生通风类噪声。”

目前,随着兰州中川国际机场三期扩建工程主体工程竣工,机电系统进入联调联试阶段。“我们将全力配合后续消防验收、供暖调试等工作,推动机场顺利投运,为旅客提供舒适体验。”刘鹏说。

成果播报

电催化水分解制氢技术获突破

科技日报讯(记者陈曦 通讯员赵佳 高雨桐)记者8月9日从南开大学获悉,该校电子信息与光学工程学院罗景山教授团队联合西班牙巴斯克大学科研团队,在电催化水分解制氢研究中取得重要进展。该联合团队利用金属载体相互作用,构筑了碱性条件高活性析氢催化剂,能够在每平方米5安培的大电流密度下稳定运行超过1000小时,满足了阴离子交换膜电解水制氢技术商业化应用的需求。相关成果近日发表于国际学术期刊《自然·通讯》。

氢能作为一种低碳高效的清洁能源,在全球能源转型和应对气候变化方面扮演重要角色。按照制氢的三种方法,氢能可分为灰氢、蓝氢、绿氢。其中,以可再生能源电解水制氢为代表的绿氢在生产过程中不产生温室气体,被视为实现碳中和目标的重要途径之一。

目前,碱性电解水(ALK)和质子交换膜电解水(PEM)两种电解水制氢技术占比较高,而阴离子交换膜(AEM)制氢技术被认为是集ALK与PEM优势于一体的第三代电解水制氢技术。AEM具有效率高、成本低、启停快速等优势,但在大电流密度下电解槽系统稳定性不足的问题限制了其产业化应用。因此,开发大电流密度下寿命长、性能稳定的碱性析氢催化剂,是AEM制氢技术亟待解决的核心

问题之一。

“当前的电解水过程大多使用铂基材料作为析氢反应催化剂,其性能优良但成本较高。钌作为价格较低的贵金属,具有高催化活性和良好的耐久性,是铂的理想替代品。”罗景山介绍,“已被报道的碱性条件下钌基析氢催化剂大多是在低电流密度下测试。催化剂如何能够在高电流密度下保持高性能,从而满足大规模商业化应用的需要,是我们团队攻关的核心问题。”

载体和金属的相互作用,会极大地影响催化剂性能。团队研究发现,钌纳米颗粒与氮化钛载体之间具有强相互作用,能有效调节钌纳米颗粒的电子结构,优化氢中间体的吸附能力,提高催化活性。

“我们使用氮化钛负载的钌纳米颗粒催化剂作为析氢反应催化剂组装了AEM电解槽,在每平方米0.5安培、1安培和2安培的电流密度下分别实现了70.1%、64.3%和58.0%的能量效率,并能在每平方米1安培、2安培和5安培的电流密度下稳定运行超过1000小时,性能几乎没有衰减。”论文第一作者、南开大学电子信息与光学工程学院2021级博士生赵佳说。

“在每平方米5安培的工业级电流密度下,我们研发的催化剂能够在AEM电解槽中高效稳定运行,满足了AEM制氢大规模商业化应用的需求。”罗景山说。

我国自研汽车复合屏实现产业化

科技日报讯(记者李丽云 朱虹 通讯员张会玲)记者8月9日获悉,由黑龙江天有为电子股份有限公司(以下简称“天有为”)承担的黑龙江省重大科技成果转化项目“汽车组合仪表复合屏技术成果产业化项目”日前通过黑龙江省科技厅组织的专家组验收。该项目成果属于行业首创,具有完全自主知识产权,填补了国内汽车仪表领域空白。

汽车彩色液晶屏成本较高,异形屏屏加工难度大。对此,中国最大的汽车仪表供应商天有为从2019年起进行技术攻关,将黑白

屏与彩色屏相结合,综合运用热弯、光学贴合、彩膜印刷等先进技术,研制出汽车组合仪表复合屏。

项目团队通过结合彩色屏和段码屏,使复合屏达到色彩饱和度高、对比度高的屏幕效果。同时,屏幕成本较原有技术约降低三分之二。

自2020年起,天有为陆续研发并上线复合屏生产线,至今新增生产线二十余条,产品已大规模装车应用,年产超过百万台套。汽车仪表复合屏产品已被韩国现代起亚集团、长安汽车、比亚迪、一汽通用五菱等采用。

低压CT全量程带电校准设备投用

科技日报讯(记者吴纯新 通讯员汪泉)“有了低压电流互感器(CT)全量程带电校准设备,我们不仅不用再等待校准低压CT拆回实验室,而且校准全程无须停电操作。这极大减少了因停电造成的损失。”上海浦东供电公司工作人员在接受科技日报记者采访时说。记者8月9日获悉,低压电流互感器已在上海浦东供电公司等成功投用。

据介绍,上述设备由中国电科院武汉分院自主研发。历经三年技术攻关,这套设备已可应用于多个场景。

“低压CT是在各行业和日常生活中应用最广的传感器。对它

进行带电校准是带电作业中经常使用的技术之一。带电校准能够精准诊断故障设备,有效发现运行安全隐患。”中国电科院计量所副总工张军说,此前,工作人员常用的方法是在停电情况下进行传统检测,而停电检测时间窗口较难协调,不利于优化营商环境和提升供电可靠性。

因此,一个能高效、精确地对运行互感器进行校准的装置应运而生。它不仅响应我国现代先进测量体系的建设需求,也能完善电力设备在实时工况环境下的量值溯源手段,减少停电检修作业时间,挽回大量经济损失。

海关小程序

缩短进口医疗器械查验时间

科技日报讯(记者陈曦 通讯员钮永)记者8月9日从天津海关获悉,其自主研发的“医疗器械标签智能审核”App小程序,能让海关关员利用手持式查验设备就可实时读取进口医疗器械标签信息,同时运用图像识别技术,实现信息“自动读取+智能比对+系统报检”一体化。

以往进口医疗器械标签需要人工审核,逐行逐字进行信息核对,若有英语或生僻词,人工审核所花费的时间更长。“我们运用智能查验小程序,标签审核时长由5

分钟缩短至10秒钟,大幅提升工作效率。”天津武清海关查验二科科长王辉介绍说,“如果进口器械标签信息有异常,系统会对异常部分标注红色,提醒关员注意。”

近年来,天津海关聚焦进口医疗器械安全,通过“科技+改革”推进智慧海关建设,运用创新成果提升工作效率。同时,天津海关深入医疗器械产业园调研,了解企业进口需求,宣介进口器械注册及检验要求,解答疑难问题20余项,全力推进检验方式和智慧查验迭代升级。



兰州中川国际机场T3航站楼。王佳琦摄