

MT 机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

<http://www.cmes.org>

2017 年第 4 期 总第 191 期

工科何以而新 p01

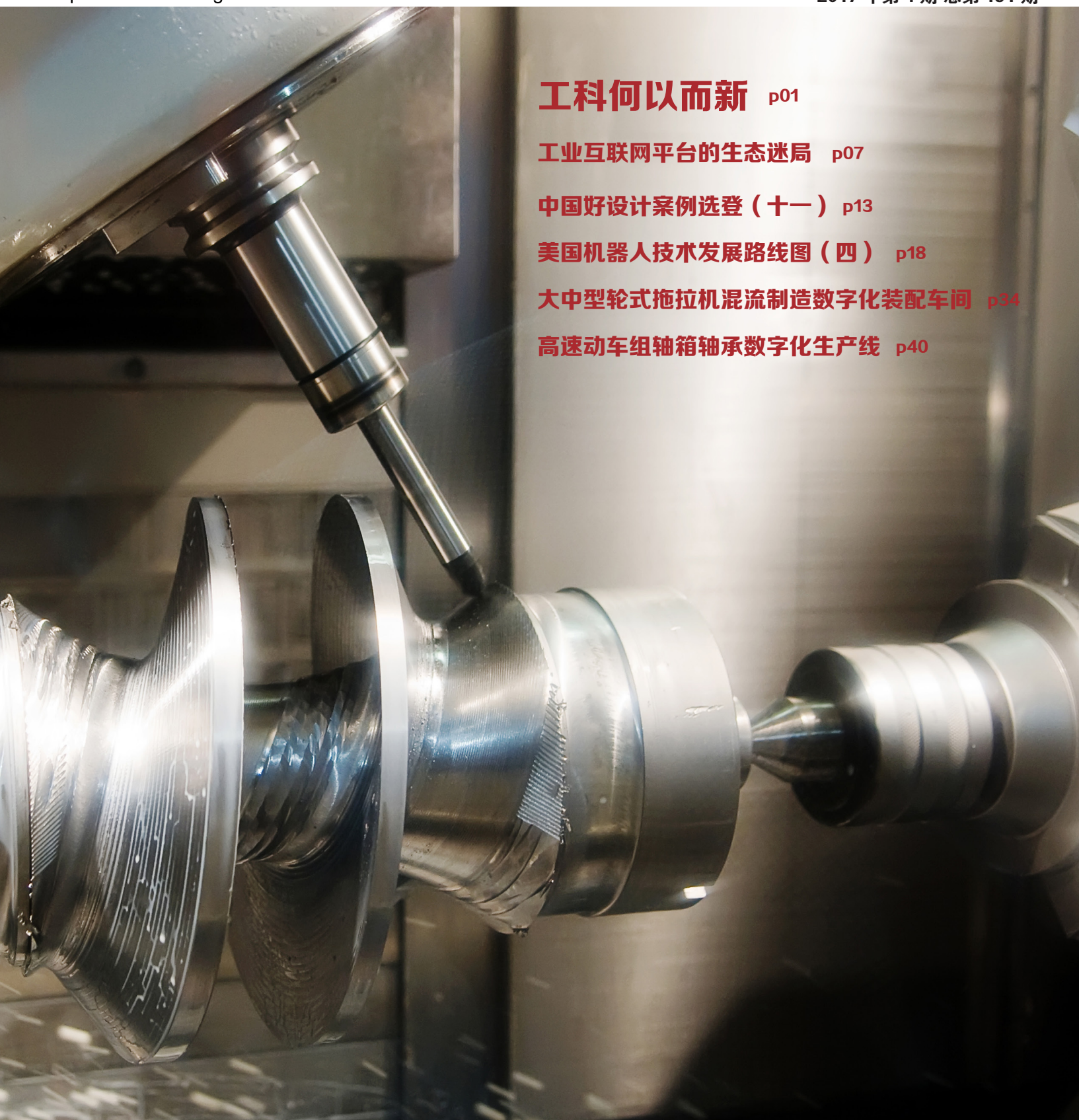
工业互联网平台的生态迷局 p07

中国好设计案例选登（十一） p13

美国机器人技术发展路线图（四） p18

大中型轮式拖拉机混流制造数字化装配车间 p34

高速动车组轴箱轴承数字化生产线 p40



目 录

CONTENTS

机械工程导报 MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2017 年第 4 期 (总第 191 期)
2017 年 8 月 28 日出版

主办: 中国机械工程学会工作总部
地址: 北京市海淀区首体南路9号
主语国际4号楼11层
邮编: 100048
电话: 010-68799036 (编辑部)
传真: 010-68799050
E-mail: zhongyg@cmes.org
网址: www.cmes.org
主编: 陈超志
责任编辑: 钟永刚
出版: 《机械工程导报》编辑部
发行: 中国机械工程学会工作总部



院士专稿 FEATURE FROM ACADEMICIAN

工科何以而新 1



专家视点 EXPERT OPINION

工业互联网平台的生态迷局 7



中国好设计 CHINA GOOD DESIGN

中国好设计案例选登 (十一) 13



热点关注 CURRENT POINT

美国机器人技术发展路线图 (四) 18

大中型轮式拖拉机混流制造数字化装配车间 34

高速动车组轴箱轴承数字化生产线 40



学会资讯 CMES INFORMATION

中国机械工程学会第十一届理事会
第二次常务理事 (扩大) 会议在北京召开 46

中国机械工程学会
高端装备智能制造培训中心在德阳成立 48

工科何以而新*



华中科技大学 李培根

【摘要】本文论述“新工科”之“新”的关键，从内涵、方法上提出在传统工科教育中尚未引起普遍关注的一些问题。文中提出面向未来的工程人才应该具备的若干“新素养”，如对“超世界存在”的关注、空间感、关联力等。关于未来“新工科”的实践和方法之要，强调应该落地在教材和教学方法的“新”，诸如“关联”、非正式学习、去中心化等等。文中也指出当前存在的对“新工科”活动认识的误区。

最近，教育部推出“新工科”计划。在科技日新月异的时代，在新工业革命正在来临之际，在中国正在向工业强国的行列阔步迈进之时，“新工科”计划可谓恰逢其时。官方的正式通知中指出“新工科”要体现五个“新”，即工程教育的新理念、学科专业的结构新在何处，如此等等。某种意义上，工科一直在不断更新。在当前特殊的时期和特殊的节点上，工科之“新”更要体现在工程教育的内涵上，本文试图探讨工科究竟何以而新。

教育部的新举措自然引起工程教育界的广泛关注。对“新工科”，已经有不少解读，有的解读不乏真知灼见。但笔者也注意到，有些解读不得要领，有的甚至可能把“新工科”计划引向误区。如有人认为，老工科对应的是传统产业，新工科对应的是新兴产业。^{【1】}

“新工科”计划的顺利推进，有赖于实施者对“新”的正确认识。虽然五个“新”指引了方向，但真正实施起来，尚有很多具体的东西需要明晰。理念新在哪里，结构新在何处，如此等等。某种意义上，工科一直在不断更新。在当前特殊的时期和特殊的节点上，工科之“新”更要体现在工程教育的内涵上，本文试图探讨工科究竟何以而新。

一、新素养

“新工科”的目的当然是为了培养能够适应、甚至引领未来工程需求的人才。既如此，有必要廓清未来的工程人才应该具备什么样的新素养。不妨从以下几个方面分析。

1. 多一点“形而上”

夫子曰，“君子不器”，《易经·系辞》中言：“形而上者谓之道，形而下者谓之器。”几千年的传统使技术与工程师在中国的地位多少显得有些“形而下”，至少不像人文、科学那样“形而上”。

然而，西方一些哲学家、思想家对技术本质和作用的思考表明技术或工程依然是非常“形而上”的。如，海德格尔在《存在与时间》中言，在人的在世存在中，技术存在优先于科学理论。他还将现代技术的全球运动看成是“一种力量，它对历史所起的决定性作用怎样强调都不过分。”^{【2】} 海德嘉·加塞特认为“人类心灵生

* 本文原载于《高等工程教育研究》2017年第4期。

成的最伟大奇迹之一——物理学，起源于技术。”“技术的最初使命就在于让人‘有空’去‘成为他自己’。”^{【2】}

类似的论述不胜枚举。“新工科”教育若能让学生也了解一点类似的观念乃至引发学生思考一点工程与技术的“形而上”问题无疑是有很大大好处的：有利于增强工科学生的价值感与使命感；有利于他们兴趣的形成；有利于他们将来能够在更高的层次和境界上进行创造性的工作。

2. 对“超世界存在”的关注——一种使命感和价值感

任何时期，学校培养的学生都应该具有使命感，如家国情怀、创新、服务社会等等，这些自不待言。结合我国高等工程教育培养人才的现状和未来工程对人才的需求，我们希望学生的使命感和价值感中应该注入新的元素吗？

法国著名科学哲学家、新认识论奠基人加斯东·巴什拉谈到绘画时说：“没有什么艺术比绘画更直接地具有创造力……画家基于原始想象的宿命，总是更新对宇宙的伟大梦想……”^{【3】}其实，工程与技术难道不是更能更新对

世界的伟大梦想吗？

近些年，我国的科技创新能力不断提高，但较之某些发达国家，我们的创新能力依然有较大差距。具体而言，我们的创新多属于“增量创新”，即在别人基础上的创新。真正属于我们自己的原始创新、颠覆性创新、引领未来某个新的技术领域的创新还是太少。未来的工程教育怎样为改变这种现状做出贡献？这对工程教育提出的挑战是什么？显然，“新工科”培养的学生在关注工程中的现实需求的同时，还应该具有引领、想象、创造未来社会需求的欲求和能力。

敖德嘉·加塞特说过，“两种完全不同的实在——人和世界——以这样一种方式共存，即二者之一（人）要在另一者（恰恰是‘世界’）中建立‘超世界’的存在。如何实现这一点的问题——类似于工程师的问题——正是‘人的生存’的主题。”^{【4】}换句话说，卓越的工程师应该关注未来社会“人的生存”主题。就此而言，目前我们培养的学生似乎相对欠缺这方面的素养。美国莫哈韦小镇上的一帮年轻人致力于向火星移民，他们7年、10年时间就“撂”在那件事情里，时间、精力都耗在这样一件不知

道何时能够有利益回报的事情（因为没有现实需求）。有人说这是美国式创新的一个重要特点——百无禁忌地想，还踏踏实实地干^{【5】}。什么力量使他们能够在同样是功利的熙熙攘攘的社会中免于利益的诱惑？这种情况下的坚持只能基于一种使命感和价值感——对“超世界存在”、对人类未来的关注。因此，“新工科”应该把这种新元素给我们的学生，使学生能有一种创新的闲适（哪怕最终只有很少一部分学生能够达到此境界），使他们能在时间轴上的未来点上自由驰骋，能够陶醉在想象“超自然存在”、“超世界存在”的乐趣中。可以预期的是，这样的使命感和价值感一定能够孕育伟大的创新。

3. 空间感

传统的工程教育，尤其是中国的工程教育，过分拘泥于专业的细节，学生的思维容易蜷缩在狭小的专业空间。其实，工程问题需要大工程观。大工程观也是系统观，卓越的工程师应该能在大的科学空间去观察、思考问题。现实中，哪怕一个小产品完全可能涉及多学科问题，如LED，从学科而言，涉及电子、物理、材料、制造、机械等诸多领域（学科空

间)。因此,“新工科”要帮助学生建立多学科交叉的意识,养成在多学科空间观察、思考问题的习惯。

技术、尤其是信息技术的发展使得企业运营空间、信息空间在增大。如很多制造企业在进行从生产型制造向生产服务型制造的转型。相应地,在联盟企业中建构数字生态系统、数字供应链等都是企业的新需求。“新工科”培养的学生应该具有这种空间感。

空间感应体现在“问题空间”的构建。现代专业人员的视野主要不体现在知识上,而是体现在“问题”上。于学生而言,不能只是专注于“知识”,还要意识到存在哪些问题。哪怕有些问题的解决有赖于别的学科(多学科协同),甚至有些问题的解决尚无定论。观察和思维常常徜徉于问题空间之中,创新自然就在其中了。那么“新工科”如何帮助学生构建“问题空间”?

空间感还要体现在“社会空间”中。比尔·盖茨号召大学生关注人类社会的重大问题,贫穷、饥荒、流行病、环境……“社会空间”中存在林林总总的问题,部分是能够通过技术去解决或缓解的。那么,“新工科”如何培

养学生在“社会空间”中观察问题的习惯以及通过技术去解决某些重大问题的责任感?这其实是一种技术意识加人文情怀的素养。

4. 关联力

加拿大学者乔治·西蒙斯提出关联主义理论,强调学习与知识是建立于各种节点之上,学习是将不同专业节点或信息源连接起来的过程,持续的学习需要培养与保持各种连接,好的学习应能看出不同领域理念与概念之间的联系^[6]。“新工科”应帮助学生建立专业节点或信息源的关联,使其成为获取知识的重要途径。这也是未来的创造者所应该具备的基本素养。

关联力首先表现在问题空间中感知关联的能力。例如,轴承涉及精度、磨损等问题,精度与加工、装配等诸多问题有关;磨损问题又和材料、润滑、摩擦、甚至化学等问题有关;精度问题和磨损问题又相互关联……

关联力其次表现于在物理或现实空间中感知关联的能力。例如,关于机械加工,人们可分别在机床的运动中、在材料的变化过程中、在机器能量消耗的变化中、在刀具与材料接触的界面中去感知关联……

关联力也表现在虚拟空间中感知关联的能力。看似垃圾的数据,却又组成了斑斓的世界,大数据中潜藏着人平常根本意识不到的关联。车间中影响质量的隐性因素,即使专家也未必能意识到。未来工科学生应该意识到从虚拟世界中有可能获得对某一问题新的认识。

关联力还表现在与他人交往的空间中感知关联的能力。不能把“关联”仅仅看成是一种内源活动,即纯粹自己的活动。要善于把内源的关联过程向外源拓展,把自己对某一问题的初始关联向外发散,让朋友协助关联,其广度深度都不一样。也要善于把外源的关联结果转化成内源的结果,即把朋友关联的结果变成自己的知识或认识。

5. 想象力

想象力是创新能力的重要表现。与工程和技术有关的想象表现在很多方面。如想象的需求,现实生活中人们尚未意识到(也就无所谓需求);想象的技术,基于预测、想象的,目前并未形成技术;想象的模式,当前尚不存在的、潜在的商业模式;想象的职业,技术的发展导致某些职业的变化、消亡,新职业的产

生……

6. 宏思维

宏思维指对超越于自身专业的社会、科技、工程、文化等多方面的重大问题的观察思考及领悟能力,从系统的角度,从时间、空间的大尺度去观察、思考问题。德国“工业4.0”和美国“工业互联网”所呈现的宏思维就是很好的例子,没有一批具备宏思维能力的专家,就不太可能有“工业4.0”及“工业互联网”。

7. 批判性思维

批判性思维是对思维方式进行思考的艺术。批判性思维需要自由空间。没有批判性思维就没有马克思主义,没有批判性思维也很难创新。“新工科”需要培养学生自由自在、独立思辨的能力。工程教育中应让学生养成思维习惯,看某一结论或陈述中,其证据是否充足;数据和信息与其来源之间的联系是怎样的;是否存在矛盾的、不充分的、模糊的信息;存在论证的逻辑错误吗;证据存在漏洞吗;如此等等。

二、新结构

关于新结构,应该从专业结

构、课程及知识体系等方面审视。

有学者认为,“新工科”首先是指新兴工科专业。笔者则认为,“新工科”主要不在于增加新兴专业。当然,不应该排斥根据学校情况建立某些新专业,或则面向新技术的发展,或则面向产业特定需求。建立少数面向未来的、相对综合性的新专业是可取的,如华中科技大学的工程科学学院(颇有大学工程含义的专业)、中国科学院大学的未来技术学院(前沿的、综合性的领域,如脑科学与智能技术、光子与量子芯片技术、光物质科学与能源技术等)所尝试的。但普遍性地增办新兴专业显然是不可取的,因为这种思路一定导致新一轮的专业过度细分,而我们已经在在这方面有过教训。应该认识到,某项新技术的发展需要依赖于多学科交叉,需要多学科的学者从不同的视角进行研究,局限在一个新的专业中未必是好事。如增材制造(3D打印),在机械、材料、光电、生命科学、医学等多学科学者的努力下,该技术得以快速发展。成立相应的跨学科的研究中心是有必要的,但若是一窝蜂地成立增材制造(或3D打印)新专业,绝对没有必要。当然,个别应用型大学开办类似的新专

业也未尝不可。

问产业需求建专业,似乎是情理之中。但需要注意的是,一流大学不能被动适应产业需求,而要引领产业需求。关于新专业问题,需要考虑产业需求,但不能被产业牵着鼻子走。如果说要考虑产业需求,更多的是在考虑企业长远的、潜在需求的意义上,而非眼前、当下的需求。有一种观点认为,好多企业希望大学毕业生进入企业后能尽快上手,因此按企业定制办工程专业,笔者认为个例尚可,普遍不宜。

顺便指出,建立新专业应是基于自由探索氛围下的学校自主行为,而不必基于政府部门的行政推进。

新结构的建立主要在于边界再设计,多年前笔者有过关于边界再设计的论述^[7]。“新工科”需要重新审视专业边界。如,机械设计与制造自动化,新技术的发展应该使该专业的学生有物联网、大数据分析、人工智能、生物医学等方面的概念。新结构还应表现在课程的边界再设计。如,对于多数工程专业(如机械、电气、土木、建筑……)的设计课程而言,融入人工智能的内容是非常有必要的。不仅是智能优化、案例学习、群体智能等方面的内

容,还包括所谓“知识工作者自动化”,即以人工智能替代工程师的常规工作,使未来的工程师从一些繁琐的常规工作中解放出来,从而有更多精力专注于有创意的工作。

新结构理所当然地包括课程重构。如新增某些课,减少必修课,某些课可转为选修,某些课可合并,少数课甚至可裁掉(其中某些内容作为知识点融在某些课中)。学生新的知识结构中,除了某些多学科交叉的新内容外,还应该包括一点前述的“形而上”的内容。构建一门包括某些“形而上”内容、有利于培养学生宏思维和批判性思维等素养的“工程导论”课可能是非常有意义的。包括笔者在内的一个教学小组正在进行这方面的实践,这里不再赘述。

三、新方法

“新工科”当然要体现在教育、教学的新方法上。未来可能出现很多新方法,本文在此作粗浅的探讨。

1. 关联

前述新素养中提到“关联力”。要培养学生的这种能力,

需要在教学的多个环节体现“关联”。如,教材中如何凸显关联,如何突出知识节点、问题节点,如何引导学生建立问题空间及其相互的关联,课堂教学中如何启发、引导学生关联,这些都需要教师有意识地进行探索、实践。

2. 非正式学习

真正善于学习之关键,可能在于课堂之外。未来的“新工科”应该把学生的非正式学习纳入教育者的考虑之中。既然是非正式学习,就不应该是模式化的。但不等于说教师就不应该引导学生进行高效的、有益于创新能力形成的非正式学习。非正式学习的能力使学生终生受用。网络、仿真系统、未来的智能系统都可能给学生提供非正式学习极好的手段。很多碎片知识可作为正式学习的很好补充。从朋友那里学习也是聪明的学习方法。

3. 去中心化

传统的教育是以教师为中心的,教师教什么,学生学什么;教师讲什么,学生听什么。未来的教育不能以教师为中心。教师要更多地考虑如何开发学生的潜能,包括前述的非正式学习。即便在课堂上,教师如何让学生逐步扩展其问题空间,如何利用学

生的群体智能,让学生的群体智能使教育进化。

4. 想象学习

如果学习仅仅针对经过权威证实和实践检验的知识,则不利于学生想象力的丰富。能否让学生涉猎一点科技趋势预测、展望,甚至科技幻想?学生也可自己想象、讨论,完全不切实际的幻想也无妨。这种想象学习一定有利于培养学生思考“超自然存在”和“超世界存在”的自觉,为他们日后形成“头脑风暴”奠定基础。

四、结语

“新工科”计划的推进关键在于对“新”的内涵的认识。而“新”的内涵首先表现在面向未来的工程人才应该具备怎样的“新素养”。为了使具备“新素养”,需要工程教育的新结构,其主要的着眼点应该在专业和课程的边界再设计、课程重构等。

“新工科”要落地在教材和教学方法的“新”。学校和教师需要探索若干新方法,诸如“关联”、非正式学习、去中心化等等。

“新工科”计划应避免专业碎片化,避免成为争占资源的活动。MT

参考文献:

- [1] 阚凤云,陈彬.新工科,一场工程教育新革命?[N].中国科学报,2017-03-14 第6版,动态.
- [2] 吴国盛编.技术哲学经典读本[M].上海交通大学出版社.2008:8-9,289.
- [3] 加斯东·巴什拉,顾嘉琛、杜小真译.梦想的权利[M].华东师范大学出版社,2013年版,译序.
- [4] 敖德嘉·加塞特,高源厚译.关于技术的思考[M].见《技术哲学经典读本》,上海交通大学出版社,2008.
- [5] 虞立琪.《南方周末》特约撰稿,2016-08-30.
- [6] George Siemens, Connectivism:A Learning Theory for the Digital Age,http://www.itdl.org/journal/jan_05/article01.htm 2013/04/03.或《关联主义:数字时代的一种学习理论》李萍译,全球教育展望,2005,(8).
- [7] 李培根.高等工程教育中的边界再设计[J].高等工程教育研究,2007,4.

背景材料:

新工科发展形成建设行动路线

工程改变世界,行动创造未来,改革呼唤创新,新工科建设在行动。当前世界范围内新一轮科技革命和产业变革加速进行,我国经济发展进入新常态、高等教育步入新阶段。2017年4月8日,教育部在天津大学召开60余所高校参加的新工科建设研讨会,10日,在研讨的基础上公布了《“新工科”建设行动路线》,也称新工科建设“天大行动”。

新工科建设行动路线提出新工科建设目标:到2020年,探索形成新工科建设模式,主动适应新技术、新产业、新经济发展;到2030年,形成中国特色、世界一流工程教育体系,有力支撑国家创新发展;到2050年,形成领跑全球工程教育的中国模式,建成工程教育强国,成为世界工程创新中心和人才高地,为实现

中华民族伟大复兴的中国梦奠定坚实基础。

为实现这一目标,新工科建设要致力于以下行动:

探索建立工科发展新范式,实现从学科导向转向以产业需求为导向,从专业分割转向跨界交叉融合,从适应服务转向支撑引领;

以产业需求建专业,构建工科专业新结构,推动现有工科交叉复合、工科与其他学科交叉融合、应用理科向工科延伸,孕育形成新兴交叉学科专业,到2020年直接面向新经济的新兴工科专业比例达到50%以上;

以技术发展改内容,更新工程人才知识体系,建成满足行业发展需要的课程和教材资源,打通“最后一公里”;

以学生志趣变方法,创新工程教育方式与手段,加大学生选择

空间,方便学生跨专业跨校学习;

以学校主体推改革,探索新工科自主发展、自我激励机制,充分发挥办学自主权和基层首创精神,增强责任感和使命感,改变“争帽子、分资源”的被动状态;

以内外资源创条件,打造工程教育开放融合新生态,以产业和技术发展的最新成果推动工程教育改革,到2020年,争取每年由企业资助的产学研协同育人项目达到3万项,参与师生超过10万人;

以国际前沿立标准,增强工程教育国际竞争力,完善中国特色、国际实质等效的工程教育专业认证制度,将中国理念、中国标准转化为国际理念、国际标准,扩大我国工程教育的国际影响力,实现从“跟跑并跑”到“并跑领跑”。

工业互联网平台的生态迷局



中国机械工程学会知识中心 林雪萍

周朝之后，是为春秋。春秋算是一个彬彬有礼的时代，虽有战乱，却是礼仪当先，绅士之战；春秋之后，是为血腥争夺的战国，一切以生存为第一目标，白起坑杀赵国四十万降卒，就是这个时代最好的注脚。战国存在的唯一理由，就是厮杀，为了造就最后一个统一的帝国。

而在当下，云基础设施已经进入“战国时代”；而无论是工业云，还是物联网平台，都还刚刚进入“春秋时代”。血腥的挤压、消灭战尚未开始，竞争还处于跑马圈地的温和对垒状态。在偌大的工业跑马场上，放眼望去，每个企业都像是在春忙，砌墙挖壕扎藩篱，搭建自己的工业云平台。市场似乎还足够大，相互之间，大家搭讪的多，搭界的少。

一、工业云与物联网平台

本文明确地将工业云、物联

网平台、云设施这三者区分开来
进行描述，否则大家讨论的语境
实在差别太大。

那么，工业云平台是如何组成
的？

云设施属于基础应用，例如 AWS、Azure、阿里云等；而工业云，则体现在工业领域的具体应用，是做支撑、内容应用、具体运营的，这里以 PaaS 层为主和少量的 SaaS。例如领跑先锋 Predix、三一重工的根云等；而

物联网平台则是负责将万物相连的连接层和支撑层，例如 PTC 的 ThingWorX。这里主要以 PaaS 为主。当然，这里面也有相互渗透的，也就是有的公司，既做物联网平台，又做工业云（如西门子的 MindSphere）。

目前行业中各种所谓的“工业互/物联网平台”，往往会混用。其实一般企业所说的工业互联网平台，往往主要指的是工业云，属于应用服务层。

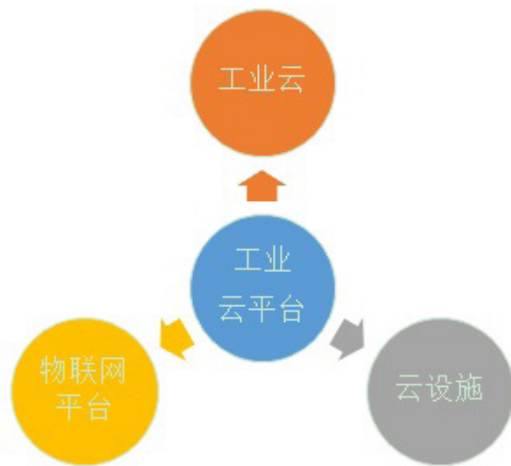


图1 工业云平台的三个支柱



图2 工业云平台的示例

云设施是一种基础设施的能力，一种分布式的储存、计算与部署能力。在相当长一段时间内，云设施还是一种通用性的支撑，还没有走到和垂直行业深度结合的时候。这是最为典型的IT架构下的产物，它跨越了行业、设备和软件本身。这是做IT的，喜欢用的IaaS层。

工业云和物联网平台，则是工厂现场运营的直接支撑后台，它与业务和流程、与轰鸣的机器、与大量的数据流动紧密地绑定在一起。真正的行业互联网的厮杀，正是发生在这个领域。

值得注意的是，需要小心地把物联网平台，从工业云平台中剥离出来。

根据著名IoT Analytics公司的物联网架构体系中，物联网平台是源于软件后台得以支撑整个物联网体系的一个重要板块。它本身并不包含硬件设备（如传感器、网络等）诸多要素。当然物联网平台的功能可繁可简，最简单的可能只是激活物体的相

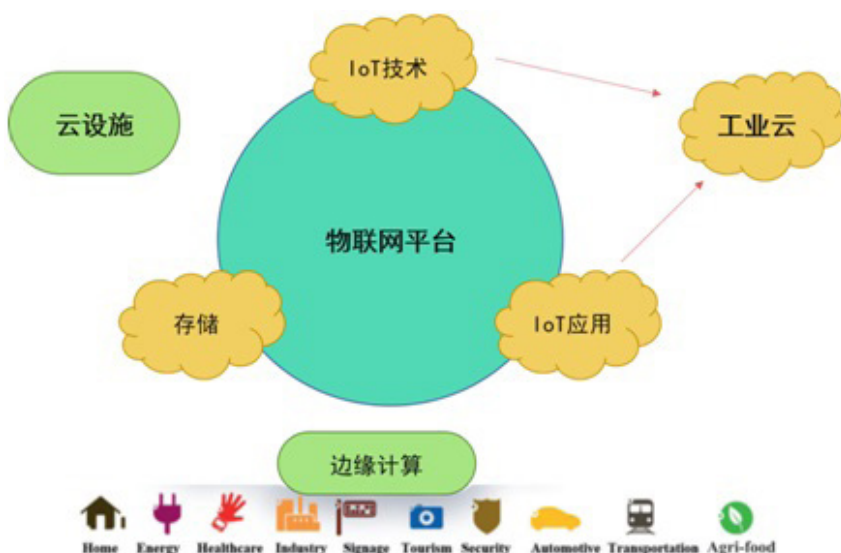


图3 工业云平台



图4 物联网平台

Services	IBM	Capgemini	Johnson Controls	HITACHI	SIEMENS	Illustrative Standards Bodies
Software and Cloud	EUROTECH	GE	Microsoft	amazon	ptc	IEC
Infrastructure	CISCO	FUJITSU	HUAWEI	SEMTECH	Alcatel-Lucent	ISO
Telecom	ORBCOMM	at&t	Telefonika	SIGFOX		OMA
IoT Devices	Panasonic	SAMSUNG	libelium	fitbit		OASIS STANDARDS
Semiconductors	QUALCOMM	ARM	intel	TEXAS INSTRUMENTS	NXP	TA

图5 广义的工业云平台的分布（来源：Gartner 公司，2016）

连。复杂一点，则带有更多的分析、数据库甚至可视化等功能。

如果把云设施排除在外，则可以把“工业云和物联网平台”，称为狭义的“工业云平台”。

二、工业云的复杂

值得玩味的是，对于云设施而言，天下格局基本大定，剩下的只是在撕扯规模。这是一个“战国雄起”的时代。唯一不确定的是，就是云设施如何与行业结合，如何与工业云平台进行对接，从而产生无穷的变数。

工业云，则是公元前的“春秋时代”了。与云设施的天下大定和狭小的物联网平台的局面不同，这里仍然处于混战的局面，而且市场巨大。

这个原因，是来自现场运营的复杂性，需要担负着多重连接的使命。既有传统 M2M（机器连接）——这本身就是一个宏大的历史使命，在自动化时代一直未能很好解决的老命题；又产生了

大量的新的连接，人与机器、人与人、机器对基础设施、机器对环境。而连接之后，产生的分析、业务则是更大的挑战。这是工业云真正产生魅力的地方。

这给当下各家公司对于战略的判断，提出了巨大的挑战：因为很难严格界定竞争对手，也很难面向未来去开展技术的想象。

当马云在天津智能大会挤兑李彦宏，说应该“少想竞争对手，多想想未来”的时候，看似正确却做不到。没有人能够透过迷雾看未来，当下能看的，只能是被动式的应战。快速发展的技术为所有人打开了模糊不清的视野，看看同赛道的竞争对手在作何选择是最现实的路径，同时还要警惕那些可能突然从天而降的跨界选手。一切都是手忙脚乱，难以设定既定方针。

而工业云，实际上决定了行业的根本属性。所有的争夺战，必然围绕这个而来。这才建立面向行业互联网的工业大本营。

如果我们跳开了这样的环

境，想想当年东周式微，中国式的分封制度开始瓦解的时候，当时全国共分为 140 多个大小诸侯国，与此等画面何其相像。

三、工业云进入春秋时代

工业云的追逐，取决于工业领域行业专家坚定的信心。如果无法对设备资产和业务流程数字化，并且通过数据优化从而得到更高的服务价值，那么这块阵地就只能留给竞争对手了。

到目前为止，GE 是做得比较出色的一家。从 2012 年提出“工业互联网”以及随后推出联盟以来，喝彩声不断。实际上，GE 几乎靠自己一己之力，将“工业互联网”这个最为普通的名词，提升到一个无数企业追捧的高度。许多人甚至以为这是美国的国家战略。由于提出的理念很早，对工业互联网的愿景比较清晰，策略也比较完整。更重要，也是其最大的优势，GE 本身就是工业公司，既制造设备也运营设备，这些经验可以通过软件，直接放到平台上，通过平台化的方式提供给客户。

SAP 同样比较早的嗅到了数字化工业的新味道。除了积极参与并推动了德国工业 4.0 早期的发展，也成为工业互联网联盟 IIC 的早期成员。作为对数字化制造有着充分理解的公司，SAP

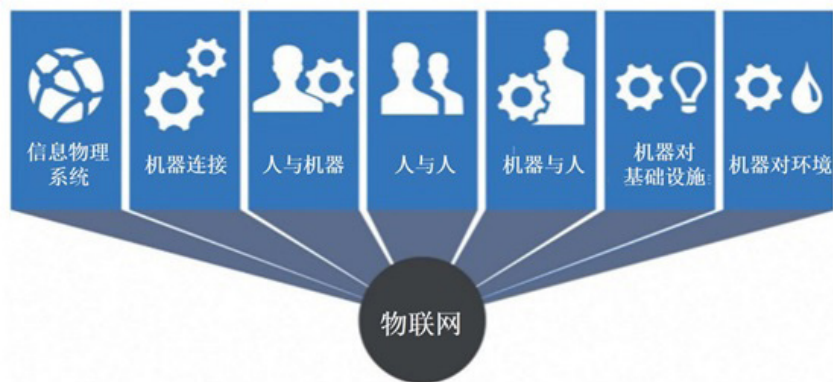


图 6 工业云的挑战

也极力推动工业 4.0 与 IIC 两个组织之间的框架性对标。然而，SAP 本身对设备连接、设备管理等以前几乎是空白，它们 2016 年 9 月收购了意大利的 PLAT. ONE。PLAT. ONE 是一个企业级 M2M 和物联网应用平台。PLAT. ONE 将自己定位为一个为全球主要的电信公司和工业设备公司连接应用程序的平台。SAP 计划将 PLAT. ONE 与其分析产品 SAP HANA 云端平台整合，进而推出如设备生命周期管理与链接，以及其他物联网相关服务。

几乎算是马不停蹄，在今年 2 月，SAP 又推出了 Leonardo 物联网系统，作为物联网平台最为重要的战略。随后在 5 月份，SAP 的 Leonardo 战略继续升级，成为并列 SAP S4 云平台的最大的双引擎战略。工业互联网是端到端，从设备到业务系统的连接，而 SAP 恰好在工业应用系统方面提供解决方案，拥有大量的工业客户。

可以说 SAP 在推动 IOT 方面策略，都显得过于激进了。去年宣布投资 20 亿欧元，计划在 2020 年完成到位，投资收购或将成为主流。

可以看出来，关于工业云平台的战略，大家都没有完全想清楚，一切都在探索。

西门子在 2017 年加速推进的 MindSphere 则是以“物联网操作系统”的理念而生，它强调

了面向底层的连接性，呈现了物联网平台的特点。就物联网平台而言，西门子先从自家的管道改造开始，完成既有设备的连接；而更重要的价值，则需要构建生态，凸现工业云的价值。

与此同时，作为一家德国传统制造业公司，西门子还不同寻常地提供了一种透明化的商业模式——“按使用付费”的价格机制。这对于百年西门子而言无疑是迈出了一大步——这让人们对未来的“设备能力共享”有了更大的想象空间。

法国电气与自动化巨头施耐德也建立了自己工业云生态体系 EcoStruxure，将其拿手的能源管理、自动化和软件产品都进行了整合，所有的业务尽可能置于云端。而原来收购的各种软件如 WonderWare 等，都成为工业云服务的一种非常实际的应用。

而这个覆盖了工业、电网、楼宇以及数据中心的顶层，表达了所有公司的一种全新的迷恋：有了工业云，所有的业务逻辑，都可以摆放在同一个屋顶之下了。多元化的业务，有了统一的主心骨。

作为高端 CAD 厂商的 PTC，则是早早吹起了向物联网进军的号角。通过收购 ThingWorX、Axeda 等机器物联网公司，以及 ColdLight 大数据分析公司，PTC 已经 180° 转弯，硬扳轨道转型为工业物联网平台。作为一家老牌

的 PLM 厂家，它对设计的前端有着非常深刻的认识，这样就可以从产品设计、到产品运营，PTC 可以收获足够的物联网平台所需要的数据。因此 ThingWorx 的市场规模不大，价值却非常突出。这也是 GE 公司的 Predix 工业云，为什么会紧紧地绑定 ThingWorX 这个物联网平台。同样值得注意的是，仿真公司巨头 ANSYS 也一样，进入物联网领域。今年 5 月，PTC 和 ANSYS 双方甚至联手合作，将 ANSYS 工程仿真技术，连接到 ThingWorx 平台上，从而可以对直接的物理世界进行仿真和反馈。

工业界所有的脑袋都挤在了同一张照片里面。边界，越来越模糊了。

四、工业云平台的生态迷局

对于起步落后的西门子 MindSphere 而言，2017 年的重点主要是在强调拓展生态圈，除了巩固连接和管理方面，会格外加强在场景方面的应用。其合作伙伴，既包括云设施、软件开发者，也包括物联网初创企业、硬件厂商等。既有来自数据层面的，也有来自应用层面的。IBM Watson 自然是数据层面的大明星了。当然，选中 IBM Watson 这样的合作伙伴，对双方来讲是各取所需。IBM Watson 这样的 IT

巨头，或许也会认为它是整合了 MindSphere——对于先行一步的 GE Predix 而言，则选择了与 IBM Watson 死磕对抗的方式。实际上，GE 还在去年针锋相对地收购了两家初创公司 Bit Stew Systems 和 Wise.io，意欲加强其在工业数据分析的能力。

对于 SAP 而言，西门子和 IBM 都是自己的生态成员。反之，亦如此。作为从西门子分离出来的 IT 集成供应商系统 Atos，既是 SAP 的生态成员，也是西门子的生态成员。

而实际上 SAP 与西门子，这欧洲第一大和第二大软件公司的合作，颇多重合支出和相互进取的志向，难免觉得“断片”只是时间上的早晚问题。

从另一个角度而言，西门子开发出来的那些连接盒子、网关等，也将使得许多传统的通讯接口和工控机厂商如研华等公司心生疑惑：类似这些关键接口的闸门，到底应该由谁来建设？而西门子的 MindConnect Nano 这种数据采集箱，对于传统做 MES 同时兼做 MDC（生产数据采集）之类的厂商而言，将可能是一个沉重的打击。

在云设施层面，西门子的 MindSphere 的合作伙伴包括亚马逊 AWS，也包括微软。这个选择，很慷慨地留给了客户，客户希望使用云服务、数据库，都可以自行挑选。

但问题是，微软也是这么想的。微软非常积极地为西门子提供大数据、软件计算提供强大的基础设施能力，借助于西门子在工业设备领域的的能力，微软能够将自己的产品推广给更多的工业客户。当然微软也很清楚，与西门子的合作不可能是排他的，与其他企业合作也是如火如荼，例如与日本横河、与 GE 都进行合作。

本文本不想讨论云设施的问题，想把微软、AWS 这种公司关在本文的“纯工业语境”的大门外，但行文至此，又不能不提到微软。

原则上微软的 Azure 是云设施 IaaS，但也有很多工业云的内容服务，包括数据分析和 AI 的功能。微软与 GE、与西门子合作时，后者提供专业知识，而微软则提供分析和 AI 能力。久而久之，微软也会积累大量的工业知识，因为从方法论上，从计算手段上，大多是可以举一反三的，特别是 AI 的唯象性的算法。微软凭着其云平台、AI 和巨大的 IT 客户关系，将在工业云的这个领域悄悄地圈地建碉堡。Mindshere 跟它合作，以后高价值的服务（如 AI），难免都会让微软独吞。这个意义而言，选择微软，也是工业巨头们担忧而心事重重的地方。

工业客户们，都在拿自己可怜的“羊”，去喂微软这样的“狼”——尽管当下看还是

“幼狼”。迟早一天，微软会大量与工业客户一起合作，与那些既不想用 Predix，也不想用 MindShere 的客户在一起。可以大胆预言的是，未来美国一两百亿美元的之下、几十亿之上的工业公司，很多会是微软的客户。

那种张飞斗岳飞的局面，恐怕真的会上演。

五、工业云的主泵效应

对于中国的工业云的建设而言，看上去有三种突围方式：从设备端、从业务管理端、从供应链，这分别代表着三种不同的思路 and 方向。

第一类是通过采购路线打通供应链的数字化。在这里，具有丰富的物流管理经验的制造公司，有着最大的优势。例如海尔、美的等。这些公司，可以凭借强势的甲方优势，将各个供应链厂商整合进入自己的工业云。当然海尔 CosmoPlat 走的则更加激进，它把线上云的资源，与线下工厂实际生产结合起来，试图形成一个闭环的 O2O 云。

第二类是通过产品 / 设备端的数字化，通过设备数据联网，直接反馈数据。这是传统制造业最擅长的地方。像徐工 Xrea 云、三一重工的根云、沈阳机床的 iSESOL 等。借助智能设备的数据采集与分析，设备资产的优化管理成为一个非常好的驱动力。当然，从设计资源的数字化开始，

也是一步好棋。例如数码大方的大方云、索为的众工业，都在寻求从设计的数字化开始，连接各种设计和工艺资源。

第三类是通过业务流程下沉。这往往从传统的ERP厂商的动作最为明显。例如对用友而言，已经从企业软件，明确转向到企业服务。云服务，成为用友战略的三驾马车之一，它的一个隐含的使命，其实也是在将当下的软件收费模式直接枪毙掉，全部都转向工业互联网平台。显然，企业不仅仅需要软件，也需要与业务本身相关的服务，流程、交易、产业、金融等都掺和进来，这是传统ERP厂商的一次巨大的机会。

无论是ERP软件的云化策略，还是供应链对供应商的强势绑定，还是设备、产品设计的数据汇集，无论上述哪一种渠道，都打通和造就了一个无与伦比的数据资源湖。而数据是自然流动的，天生的连通器效应。那么它

们如何流动和分配？

六、工业云的发展， 将形成一个强大的主泵 效应

也就是由主泵厂商来直接面对客户，再有主泵将数据流传递给各个辅助泵阀和支流。对于厂商而言，不同的业务存储在不同的云上，将是不可承受的分裂之痛。

在未来，如果用户需要统一工业云的供应，那么谁来作为客户的主供应商？

在“春秋”时期，当用友云碰到三一重工的根云，二者可以深度合作。因为当下还没有厂家能够完整地说清楚业务模式，也很难预测友敌的边界和距离。而且客户也处于启蒙期和观望期，但一旦主泵效应开始发挥威力的时候，那才是真正的交锋时刻。

寻求工业云的主泵效应，才

是每个厂商内心最深的渴望。

七、工业云成为工业 体的标配

工业数据是石油，所有的人都接受了这个比喻。但石油不会自然产生价值，它实现价值最重要的方法就是燃烧。工业云，才是燃烧“数据石油”真正的发动机。

然而，任何公司的天下大一统的决心尚未能呈现。边界仍在建设之中，往前探意味着巨额的投资和不确定的未来，但没有一家有远见的公司，能够停下来将自己的未来交给对手。海尔张瑞敏说过一句话，“不是拥有平台，就是被平台拥有”。这句话像极了一句誓言，但所有的从业者都应该从中听到恐惧的意味，那是属于所有人的。

各家公司积极发展工业云平台，其最大的动力则是来自对未来的恐惧。

而工业云，正处于一个“春秋”时代。江湖正在等待定义，边界等待廓清，每家都期待获得一张进入“战国”的门票。MT

致谢：

本文撰写过程中得到了林诗万、刘爱军、张冰、马跃、杨宝刚、张启亮等人的支持和概念辨析，在此一并鸣谢。

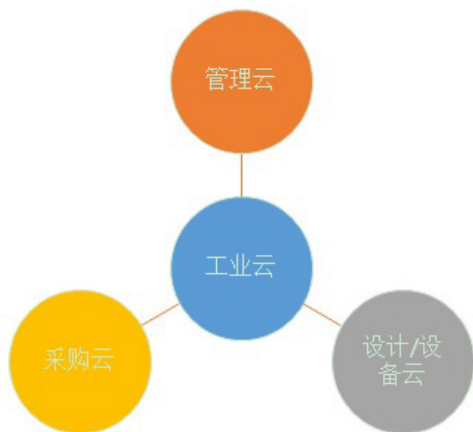


图7 中国工业云的三种突围路径

中国好设计案例选登

(十一)

热塑性碳纤维复合材料——绿色制造

一、案例背景

碳纤维复合材料是“中国制造 2025”发展规划中需着重解决的“量大面广的先进基础材料”和“制约制造业发展的关键战略材料”，其上下游产业链对重构我国新材料产业体系极为重要。作为轻量化制造首选的主要材料之一，碳纤维复合材料一般分为热固性和热塑性两类。目前占据市场主导地位的碳纤维增强热固性复合材料存在一系列问题，比如生产效率低、自动化程度低、成本较高、冲击性能差、释放 VOC、回收困难等，严重阻碍了碳纤维复合材料的规模化应用。为突破传统热固性树脂工艺、性能和成本的局限性，中科院宁波材料技术与工程研究所采用以热塑性碳纤维复合材料为代表的量

产制造技术已成为下一代碳纤维复合材料在军民领域的主要发展方向。该项目则设计研发出国内首条集成型、涂装和装配一体的热塑性碳纤维复合材料生产线，以此为基础，可实现高性能、低成本、绿色环保等优点的热塑性碳纤维复合材料零部件的高批量制造以及高效后处理，对推动碳纤维复合材料在军民领域，特别是汽车领域的规模化应用具有重大的意义。同时，可为国民经济战略必争产业和支柱产业以及国防建设的节能环保、可持续发展提供有力的技术支撑。

二、设计创新点

1. 高效环保“三步”成形设计
集成干态预浸—高温层压—

热冲压“三步”工艺，实现片材—板材—部件的自动化生产，全流程避免使用化学溶剂，实现绿色环保、零污染。干态预浸机集成设计放卷理纱、展纱及离型机构（图 1），适应纤维、织物等多种形态物料，采用多辊电磁加热实现高效、精确控温，可制备出质量可靠的各种热塑性复合材料片材，采用该装备制得的碳纤维/聚苯硫醚复合材料预浸片材的微观结构如图 2 所示，可以看出增强碳纤维均匀分散在基体树脂中，达到了较好的浸润效果。采用闭合双钢带压机（图 3）对叠层的预浸片材在高温下进行层压，通过控制相关工艺参数如温度、压力、速度等，可制备出各种热塑性复合材料层合板，最高温度高达 350℃，最高运行速度

为5m/min。例如在340℃、0.75m/min运行速度下制得的碳纤维/聚苯硫醚复合材料板材如图4所示,可以看出纤维在树脂中的分散较为均匀。最后采用快速冲压系统可实现热塑性复合材料零部件的制备。快速冲压系统中通过快速精确加热、快速模压精确保压,对纤维损伤小,尺寸精度高,质量一致性好。采用该设备制得的热塑性碳纤维复合材料汽车防撞梁如图5所示,成型效率高达9件/小时。

2. 高精度力控打磨设计

对于带有力控制系统的末端执行器集成,主要是基于Pushcorp设备,该设备利用控制接入的压缩空气的气压大小来控制输出的力的大小,通过保持压力的恒定,达到输出力的恒定,该方式具有柔性控制、响应快及控制简单的特点。输出力与气压的关系为 $F_0=44.5P_s$ 。通过使用该气压式力控末端执行器(图6),实现机器人系统对碳纤维复合材料的柔顺自适应表面处理,碳纤维复合材料表面粗糙度可达N5级,打磨精度高,纤维损伤小。

同时结合静电喷涂碳纤维复合材料可达到A级表面质量。喷涂机器人末端执行器主要由专用静电喷嘴、静电高压发生器、静电喷枪和专用水性静电隔离泵等主要部分组成。主要通过对喷枪参数设置、喷枪位姿控制、喷枪喷涂轨迹间距以及平移速度等进

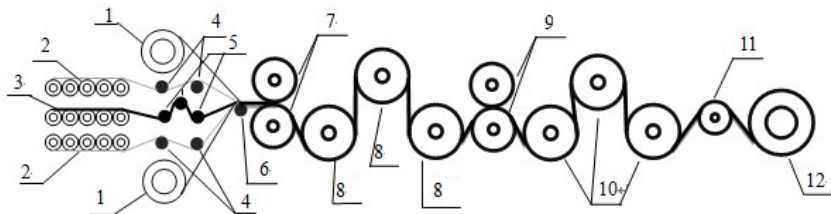


图1 干态预浸机基本结构示意图

1-离型膜,2-树脂纤维,3-增强纤维,4-张力辊,5-展纱辊,6-导向辊,7-牵引辊,8-加热辊,9-加压机,10-冷却辊,11-导向辊,12-收卷辊

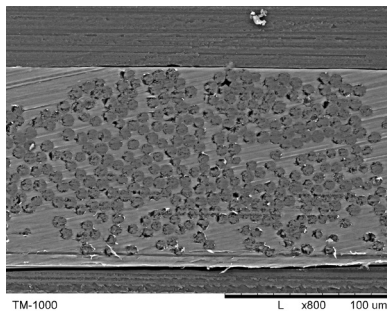


图2 碳纤维/聚苯硫醚预浸片材微观结构扫描电镜图

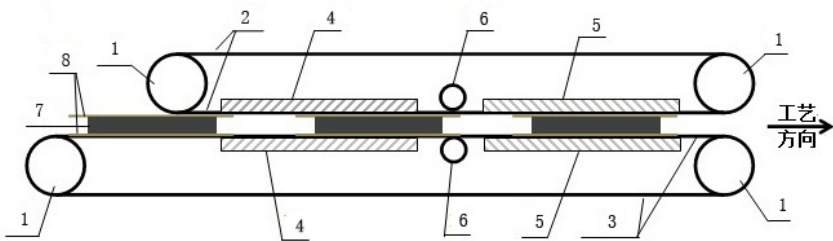


图3 双钢带压机基本结构示意图

1-轮毂,2-上钢带,3-下钢带,4-加热板,5-冷却板,6-压辊,7-预浸片材铺层,8-离型膜

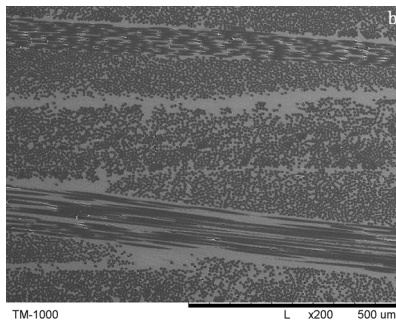


图4 碳纤维/聚苯硫醚板材横截面的扫描电镜图



图5 热塑性碳纤维复合材料汽车防撞梁

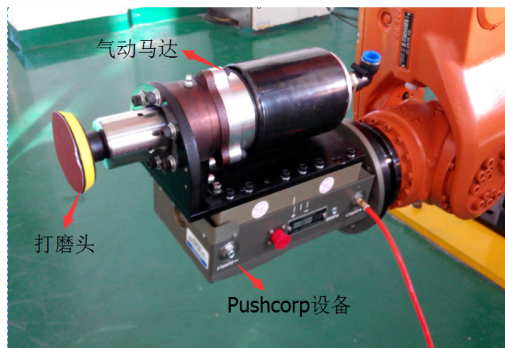
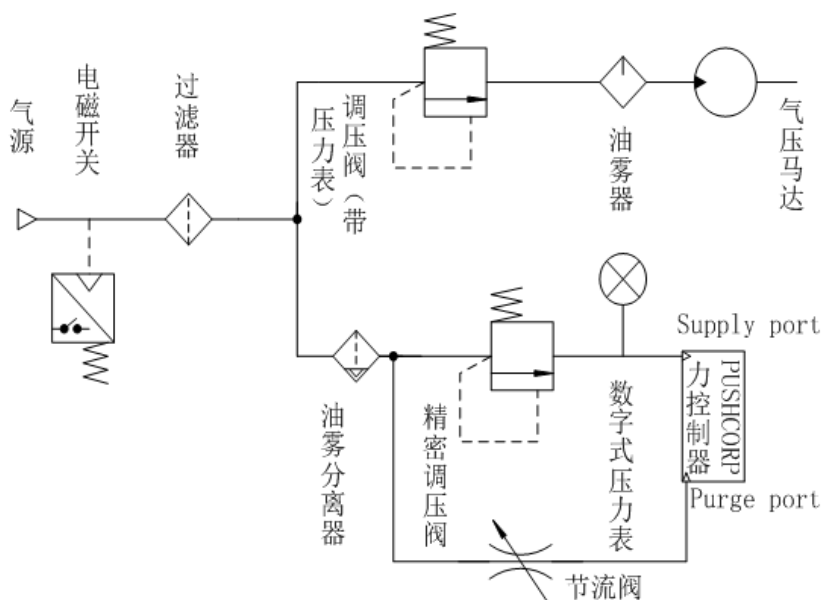


图 6 被动气压式打磨末端执行器

行有效的控制实现高质量的表面喷涂。

3. 高效自动化胶铆连接设计

设计了国内首台适用于碳纤维复合材料的高精度、高效率、全自动连接系统，实现了搬运、胶接、输送、铆接的多任务自动化集成控制和多系统协同工作，

碳纤维复合材料胶接 1 分钟可实现快速胶接，自动化铆接速率高达 24 个 / 分钟，满足汽车行业高效率生产节拍的需求。其中，为保证全自动钻铆装置高效、高精度与稳定性，重点对选钉—送钉—出钉控制技术、铆钉枪体结构设计、铆接压机机构设计与控

制、铆接工艺参数优化等关键技术难点进行了深入研究，成功开发出国内首款全自动钻铆装置。

该装置具有四大特点：

(1) 集钻孔装置与铆接装置为一体，实现高效、环保全自动化钻铆操作。

(2) 采用可移动的操作平台设计，使用灵活，适用不规则制件及不同的应用场合，操作简单、方便。

(3) 可实现对直径 $\Phi 3\text{mm} \sim \Phi 6\text{mm}$ 铆钉的铆接，满足不同产品的性能需求。

(4) 可实现高精度、高强度的快速钻孔操作。

三、效果与应用

与行业现有水平对比，采用碳纤维复合材料可实现汽车零部件减重 35% 以上，当整车质量减轻 15% 时，每行驶 100km 可节省油耗 0.5L，有效减少污染物排放，为节能减排做出重要贡献。碳纤维复合材料在汽车领域的规模化应用，预计汽车行业每年可新增产值 100 亿元以上。同时，本项目将产生显著的社会效益，提高我国复合材料行业的科学和工程技术的应用水平。该项目成果还可推广到航空航天、轨道交通、能源、石油化工、船舶、建筑等其它相关领域。

助力供给侧改革的物流信息化平台

一、案例背景

传统物流行业在过去十几年的发展过程中，一直被诟病货物运输盲点多，信息不对称、无法实现实时管控，多角色参与、层层分包，成本高、效率低，散乱差等问题。

合肥维天运通信息科技股份有限公司在创业之初，即选择了“通过各种信息化应用推动我国物流行业向现代物流演进”的战略发展方向，应用物联网技术架构体系以及移动互联网、云计算、大数据等新一代技术，自主开发、建设并运营，集物流服务交易、物流过程管理和协作流程对接为一体的SAAS平台（即，路歌“互联网+物流”平台），是目前国内规模最大的“无车承运”业务支撑平台，也是市场上唯一将运力交易、业务管理、承运结算全流程打通，并发展出完整的“互联网+无车承运”业态的平台。大幅提升了干线物流的重型卡车运转效率和全链条服务水平，成为助力供给侧改革的“互联网+传统行业”新范本。

二、设计创新点

通过路歌“互联网+物流”

平台发展无车承运业务的物流企业，相比其他企业将具备以下几个方面的优势。

1. 社会运力资源的整合

通过10余年的发展，目前路歌平台上已经集结了基于真实交易留存的运力资源280万个体重卡会员，这些资源不仅具备高度的业务活跃度，同时，由于经过长期业务交易的筛选和淘汰，具有更高的诚信度及运输能力。拥有这样的运力资源，将会给物流企业的业务发展带来更多积极的影响。

传统物流企业可以根据自身的业务需求，在路歌已有运力资源的基础上整合应用适合自己的运力资源（车、经纪人），通过优化中间链条、运力采购下沉、运力直采，积累项目匹配的熟运力，优先获取前端运输资源成本、采购过程透明化，信息可追溯，有效降低了物流运作成本。

2. 服务上游货主能力的提升

路歌平台通过SaaS系统连接上下游，可实现业务的全程可视跟踪。通过连接发货企业、无车承运人以及实际承运人，打通信息流，对车辆和司机进行全程监控。发货企业可以通过企业账

号对各个网点和门店进行发货、在途监控、异常处理、统一税票结算等需求管理。同时，无车承运企业可通过平台及时向上游企业提供货物在途信息，便于更加方便、快捷的了解上游货主企业的需求，提升自身服务水平。成为一个不仅可以为货主企业提供货物运输，同时还能为客户提供系统化运输解决方案的物流企业。

3. 业务流程的管控

物流运输相比一般的货物物流而言，流程更加复杂。尤其是在中国这种90%以上货车均为个体户的环境下，想要实现每一次运输任务的全程透明化是一件很难实现的事。

路歌平台能够帮助物流企业从发布运输指令开始，直至完成运输任务及在线运费支付截止，实现全程业务流程透明化、可视化。每一步业务轨迹都将记录在平台系统中，企业可随时查看，及时发现问题并解决，避免了因为业务流程的不清晰带来的监管不力的现象和问题。

4. 业务的辅助和落地发展

“无车承运人”相比传统物流企业的一个显著优势在于，“轻

资产”的业务模式有助于其业务的快速发展和扩张。但是,很多企业在扩张的过程中,出现了管控不到位的现象,无法及时发现子公司及项目出现的问题,既不利于业务发展,同时也容易产生企业内部腐败问题。

借助互联网平台,便可以实现所有项目均能按照统一的业务流程及规范实施运输任务,并且,通过母账号可实现对所有子账号的集中管理,更加便于集团公司总部对分公司及项目的监管,尤其是财务监管。辅助企业在快速扩张的同时,能保持“多而不散、混而不乱”的局势。

路歌通过自己的解决方案,实现集团化管控的问题,各分子公司或项目业务独立、数据独立,集团公司运营层面、客服层面、财务层面进行数据汇总与分析。

5. 多种解决方案

路歌“互联网+物流”平台针对物流公路运输产业链中的各个角色环节的需求,设计了不同的解决方案。

(1) 针对货主企业的“路歌途视宝一货物在途可视化管理系统”。

其核心价值在于能够实现:

①电子运单自动分发、流转,节省大量的人力和时间成本,提升企业的信息化管理水平;②车辆在途运输全程可视、可控、可追溯,异常情况智能告警,及时了解运单在途状态,解决车辆在途

问题,缩短商品流通周期,提高对货物运输全程的管控力;③基于车辆在途信息,系统自动生成各类物流业务历史数据报表,从而帮助企业精准地运营分析,增强自身运营管理能力,并实现了对承运商的 KPI 考核;④系统对接货主、承运商两方,实现了双方信息的互通,展示企业运输信息化水平,LED 大屏滚动展示运单信息,到货通知短信提醒等,提升了企业的品牌形象,彰显企业的品牌实力

(2) 针对物流公司的“路歌管车宝一运力整合调度管理系统”。

能够帮助物流公司建立三方物流企业专属的干线网上运力资源池,实现交易流程线上化、规范化,运费结算线上化、透明化,促成无车承运人交易的实现。通过路歌“互联网+物流”平台的资源、标准、数据输出,实现方案的落地执行;同时能够支撑培养小规模物流企业的客户关系管理、运力管控、业务发展及运输过程管理的能力。

(3) 针对卡车司机的“路歌好运宝一手机配货服务系统”。

通过手机软件链接路歌“互联网+物流”平台资源,即时匹配卡车司机的需求,能够高效便捷的帮助卡车司机解决货源、合作伙伴、生活及生产资源的问题。

同时路歌“互联网+物流”平台还具备通过信用积累评价体

系,提供交易撮合服务、运费支付结算服务、金融保理服务等增值服务。

6. 构建了卡车司机的线上社区

公司运营的“卡友地带”移动社区,是目前国内规模最大、活跃度最高的专业卡车司机社区,是中国第一个专门为重载卡车提供以运输电子商务为核心、综合了交易、保险、信用、维护、救援等多种业务内容的卡车服务 O2O 社区。“卡友地带”社区除线上社区外,还在全国 248 个城市,设立了由卡友自发组织,总部参与建设的分舵组织,目的在于在全国各地组织卡友、资源,更高效的进行互帮互助的行为,为卡车司机带来真正意义上的帮助。

三、效果与应用

通过合肥维天运通公司自主创新设计、建设并运营的集物流服务交易、物流过程管理和协作流程对接为一体的路歌“互联网+物流”平台,为传统物流行业带来的改变有以下几点:

(1) 优化了承运商、货运部等中间环节,有效降低了物流运作成本,提高了公司盈利能力。

(2) 运力直采,直接面对车主、司机、提供标准运力的经纪人,线上采集、公开透明,比价比服务,优先获取前端运输资

(下转第 45 页)

美国机器人技术发展路线图

——从互联网到机器人（2016版）（四）

（接上期）

统筹致动器、机制与控制设计：机械装置、致动器的动力学原理以及控制它们所需的算法之间存在复杂的相互作用。智能机械设计可以直接解决或帮助解决一些算法问题；但只有动态控制问题的子集可以或应该在软件中解决。以一个简单的情况为例，类似弹簧的行为可以通过物理弹簧或致动器实现。但是不同的方式具有不同的意义：如果直接由致动器执行，致动器的扭矩限制、巨大惯性、速度限制或其它固有致动器动力学问题都可能造成执行效果不佳；而且，传输损耗和其它致动器损耗也可能导致效率低下。然而，若用物理弹簧来执行，虽可能解决一些问题，但它也限制了设备只能执行类似弹簧的行为，而无法进行其它行为动

作。一旦使用物理弹簧，那么无论是控制器开发阶段需要做设计修订或是需要机器人处理不同的多个任务（有些任务可能不需要类似弹簧的行为动作），它的行为动作都难以轻易变化了。这个例子说明统筹算法、致动器和机制的设计能够让机器人完成新任务，并且在性能上远超传统机器。致动器、制造和构造范例的新技术将协同推进机器人技术的发展，而控制算法、硬件和致动之间的界线也将变得越来越模糊。

7.2 移动和操纵

7.2.1 移动

在现实世界中，移动是通过感知、规划和新移动执行部位（四旋翼、有腿机械、游泳机器人）完成的。虽然近年来移动性的各

个方面都取得了很大的进展，但问题也很严重，进一步发展将能使其应用于所有的经济领域。机器人将和汽车与智能手机一样随处可见、十分有用，同时扩大移动化智能与信息的能力，并将其应用于现实世界中的实体交互之中。

新移动执行部位：机器人应该能够到达人类可以到达以及人类无法企及的地方。在美国国防部先进研究项目局（DARPA）机器人挑战赛（DRC）以及福岛第一核电站事故中，即使是最先进的技术，都仍有其局限；福岛第一核电站发生事故后，面对如此紧急的情况，没有任何机器人能够进入核电站对事故情况进行评估。2015年美国国防部先进研究项目局的机器人挑战赛上，最

表 4 机器人手臂技术路线图

目标：	五年	十年	十五年
人类安全型制造用机器人手臂	增加用于简单制造且属人类安全型机器人手臂的应用	机器能与人类搭档，包括传球与其他物理合作	尽管能力有限，但机器人已在制造业中与人类广泛合作
如人类一般的行走与奔跑	试验机器人独立进行室内室外行走	对于腿部运动科学理解的提高将促进高效、灵活的行动示范	首次在商业与军事领域应用，包括物流和远程呈现

先进的类机器人在执行转动阀门、使用手钻和开关电源等任务时，速度都远远比人类要慢。此外，机器人挑战赛中的机器人很大程度上依赖于预设动作，因此在执行与灾害应急响应相关的模拟任务时，缺乏自主性。我们还了解到，即便是一系列极为简单的任务，机器人所表现出的可靠性也非常之低。因此，要让移动机器人能敏捷、可靠并高效地完成任任务，还需要大量的努力。

步行运动的研究不仅适用于移动机器人，还适用于人类运动。动力外骨骼和假肢发展迅速，但同样还有很大的改进空间。机器人外骨骼和假肢若达到了和人类肢体一般的敏捷度和高效性，将对数百万人的生活质量产生重大影响。

几乎所有的运动和物理交互方式，包括游泳、飞行及行走，我们都能从动物身上汲取到许多灵感。因此，对于仿生技术的持续研究仍然十分重要。仿生不同于生物模仿——没必要完全复制动物形态，而是理解其原理，使用不同的方法和工具将原理应用到工程化系统中，从而在移动性、感知和规划方面超越动物。

感知和规划：博物馆导游和自动驾驶汽车展现了自主移动的新能力。然而，还有一些很重要的问题尚待解决。与会者认为3D导航是移动领域最重要的挑战之一。目前，大多数绘图、定位和

导航系统都是以二维的方式呈现的，比如街道地图或平面图。随着机器人应用的复杂性增加，机器人必将被用于日常环境之中。而日常环境中人来人往，非结构化程度更高、受控程度低，所以2D方式将不足以获取一般任务所必需的各方面信息。因此，对于机器人而言，感知三维世界模型并用于导航和操纵将十分重要。这些3D模型不仅应该包含世界的几何布局；而且，其地图还应包含任务相关的对象和环境特征的语义信息。现在的机器人十分了解事物“在哪里”，但却不知道“是什么”。当移动性服务于操纵执行时，环境表现还应该包括物件可供性，即在实现语义3D导航时，机器人知道使用哪些物件需要在感测、感知、绘图、本地化、对象识别、可供性识别和规划方面采取新方法。其中一些要求将在本章节的后文中进行更为详细的讨论。与会者还认为在人群中实现安全导航是移动性的一项重要挑战。

7.2.2 操纵

上一节中提到过，几乎所有服务型机器人应用在操作方面都亟需提升。这些应用都需要机器人能与其周围环境进行实体交互，比如开门、拾取物体、操作机器和设备等。目前，自主操纵系统在精心设计与高度受控的环境中能良好运行，但是无法应对开

放、动态和非结构化的环境，无法处理环境变化和不确定性因素。因此，来自所有三个分组的与会者都将自主操纵定为科学研究的关键领域。虽然没有确定具体的发展方向，但讨论表明，大多数现有操纵算法的基本假设不符合目标应用领域要求。开放、动态和非结构化环境中进行抓取和操纵时，应当尽可能地利用环境的先验知识和模型，但是当先验知识不可用时，应该仍然可以执行任务。所以，真正的自主操纵在于，机器人在没有环境模型可用的情况下，能获得足够的任务相关环境模型。这就是说——大多数现有方法，只是注重规划和控制——相比而言，感知将成为自主操纵研究的重要部分。

与会者认为新的机器人臂手（在“硬件”小节中讨论）、触觉感测（参见“感测和感知”）以及高精度物理现实模拟器对于实现自主操纵具有十分重要的作用。

7.3 感知

感测与感知对机器人的所有方面，包括移动性、操纵以及人机交互都有着至关重要的作用。与会者相信，感测与感知的创新将对机器人技术的发展速度产生深远影响。同时，他们也坚信，新的传感模式以及现有模式更先进、更高分辨率、更低成本的版本将是重要的发展方向。比如，

与会者期望通过密集的 3D 范围感测（包括激光雷达和 RGB-D 感测）促进操纵和移动性的发展。

在宽广环境中的鲁棒性和精确性对于进一步发展至关重要。要推动灵巧操纵的发展，需要为机器人手臂配备如皮肤触觉的传感器和用于短程感测的深度和外观专用传感器。与会者还讨论了其他传感器，比如声学传感器和安全专用传感器。这些传感器应用形式多样，比如范围或热感测可以检测人类的存在，或者作为致动器的一部分通过特殊扭矩传感器检测机器人及其环境之间的意外接触。用于整个机器人机制的皮肤状传感器也属于这一类别。

在极为复杂的高度动态环境中，比如受到白天和黑夜之间差异以及雾、霾、阳光等的影响，要获取感知，必须对传感器模型传递的数据进行接近实时的处理和分析。需要开发能够长期（数周，数年）适应的感知方法。与会者还指出需要发展高级物件模型构建、检测和识别，同时优化场景理解，提高检测人类活动和意图的能力。

使用多种模型（比如声音、3D 范围数据、RGB 图像、触觉）的集成算法也十分重要。与会者认为，与规划算法配合良好并考虑到动态物理约束的特定任务算法也同样亟待发展。比如，要想在人类环境中处理需要灵活操作的任务，用于可供性识别的新算

法就尤为重要。创建情境感知模型在机器人感知算法中的作用也同样不容忽视。

机器人正慢慢开始在无约束环境中作业，为此，我们需要开发稳定的感知功能供其应对环境变化。感知对于导航、环境交互以及与系统附近的用户和对象进行交互有着至关重要的作用。

现在的感知注重复原几何、对象识别和语义场景理解。我们需要开发的不仅仅是识别和几何算法，而是能感知任务相关实体（如物件（刚性和弹性）、桩、环境或人）特性的算法。相关特征包括材料特性、对象可供性、人类活动、人与对象之间的交互、环境的物理约束等，这些都是开发机器人先进能力的必要条件。

有的计算模型能够处理不确定性和基本感知能力延展性，同时在任务相关框架下整合这两种特性，这也是亟待进一步探索的领域。

未来五年、十年以及十五年的持续研究与开发目标如下：

· **五年：**感测与感知算法应该整合信息，以便在大规模环境中稳健运行。机器人将能够感知各种环境和物件与任务相关的特性，并且能够在杂乱的环境中识别、定位并搜索数千个物件。

· **十年：**静态环境中的基本操作功能将扩展到动态环境中。自此，机器人系统将能够感知动态事件和人类活动，以便向

人类学习并与人类合作。同时，还需要开发特定领域的机器人特定感知算法，比如灵巧操纵、移动性、人机交互和其他任务。对于部署需要长时间操作的系统来说，需要开发大规模学习能力以及能够提高感知能力的适应性方法。

· **十五年：**集成多种感官模型（如声音、范围、视觉、GPS 和惯性）的机器人能获取环境模型，并使用模型进行导航、搜索并与全新物件和人类进行交互。重点将是通过探索和 / 或与人类进行交互活动，调整适应感知能力，从而在杂乱的动态环境中长时间作业。

7.4 形式化方法

自动系统，比如无人驾驶汽车和送货无人机，已经成为了现实。现在机器人的主要挑战将是开发出具备安全和可靠自主性的方法和工具。这需要明确安全机器人的行为范畴并给出安全操作的明确假设。形式化方法是用于推理系统及其需求的数学方法。这些方法通常在正式规范中使用数学逻辑捕获期望的系统行为，并且使其能够进行验证、综合和确认；验证是确保给定的系统模型能满足其规范的过程，综合是根据规范生成正确构建系统的过程，确认是确保物理系统（不仅其模型）满足其规范。

这些方法对于全球机器人部

署至关重要；它们将成为认证机器人系统、保障机器人安全性和可预测性以及实现机器人“内省”的基础——“内省”即机器人向人们报告其自身行为成功或失败可能性的能力。

在过去几年中，这些方法已被用于验证、构成大量复杂机器人的属性，比如阿特拉斯人形机器人。碰撞规避算法已被证实，在森林中进行高速飞行的控制器已经自动生成，人机交互也已经得到了正式定义。未来的研究方向包括以下几个方面。

7.4.1 闭环系统的合成和验证；包括不确定性和动态环境

机器人在动态环境中工作，根据传感器收集的杂乱信息做出决策。在极端情况下，任何机器人都可能无法成功执行任务；比如，自动驾驶汽车可能会在暴风雪中驶离其车道。接下来一个挑战是开发形式化方法，使其能整体地进行感知一致循环推理，并将机器人和环境状况的不确定性纳入考虑范围。这将帮助人们理解机器人操作的限制——在哪些环境中机器人能顺利完成任务，什么条件下他们会失败以及应该何时使用机器人。

7.4.2 安全行为退化

通常，当机器人发生故障时，它们的任务肯定会失败，出现自动驾驶汽车可能会撞到障碍物、类人机器人可能会跌倒和飞行机器人可能会坠地等情况。形式化

方法可以监控机器人的行为，推理预测即将发生的故障并采取故障弱化策略，以保障机器人故障时也能处于安全状态。

7.4.3 形式化方法与学习

机器学习研究的深入对机器人技术有着重要影响，对开发物理环境中指导、量化和验证算法操作性的技术也同样越来越重要。形式化方法将能够推理算法的稳定性，监视机器人的行为，检测实际与预期之间的偏差，并提供能用于训练的附加输入。此外，形式化方法还可以强化对学习过程的约束，从而实现“安全学习”，即系统能保证在学习时满足特定的属性。

在诸如软件验证等其它领域中，形式化方法在强化工具以处理现实问题方面已经取得稳步进展；然而，在机器人技术中，形式化方法还没有形成完整的系统规模。机器学习的进步可以用于扩大验证与合成相关技术。现已出现两个不同的研究方向：如何在满足安全的同时进行学习以及开发安全学习方法。

7.4.4 人机交互和协作的形式化方法

随着机器人从工业部门进入平常家庭、工作场所和医疗保健领域，它们与人们的互动和合作也越来越多。接下来的挑战是如何为这些交互与协作从形式上进行建模，给出包括个人角色的规范，并验证或合成完整系统——

交互活动背景下的机器人行为。该等方法将能够回答诸如下列问题：在共享自主的情况下，机器人何时需要更多控制，什么时候应该给予更多的人为干预？对于辅助设备，机器人如何只在人类需要它们的时候才给予帮助？机器人如何从交互过程中的人类行为中推断出人类是否受伤，机器人是否应该接手？

7.5. 学习与适应

感知和规划/控制使得机器人能够估算环境的状态，决定采取什么行动完成应该完成的任务，比如包装货物或给老年人端茶送水。然而，它们仅在满足一定的假设时才能运作：机器人需要动力学模型来判断动作将如何影响状态，并通过传感器模型感知其观察到的一切，还需有清楚指定的目标或奖励函数从而实现最优效果，同时问题领域要小或结构化，从而使机器人能运行规划和感知算法，在适当的计算时间中给出解决方案。

在实际应用时，这些假设不是总能全部达到。手术机器人可能需要使用新的工具，不知道如何为目标组织和新工具之间的交互进行建模。人类环境的不确定性可能使服务机器人无法在合适时间内计算出适当的策略。个人机器人可能清理了房间，但其主人并不满意。有可能用户会将机器人放在衣柜里再也不使用了。

当工厂出新产品时，工厂机器人可能需要执行新的任务，而与其之前编程好的功能不符。

机器学习有可能帮助机器人适应这些情况，使它们能够从自己的经历中汲取经验，向人类学习，进而不断优化。

7.5.1 示范学习

无需专家对机器人进行重新编程来执行新任务，通过演示学习，就可以使终端用户（工厂工人、服务工作者、消费者）自行教导机器人应该去做什么。目前，我们可以通过“运动知觉”向机器人展示如何完成某项任务，即通过亲自示范，引导机器人模仿人类动作并做出相应调整，比如获取新目标或避开障碍物。其余挑战包括提取任务结构（识别任务的目标和子目标），处理运动学（学习机器人需要应用的力）以外内容，通过直接观察人类进行学习（相对于依靠动作示范）。为了使非专业用户能够更加容易地使用演示学习算法，还需要在这个领域做更多研究。此外，学习和适应人们对任务的偏好也十分重要：机械地完成任务有时候并不是最重要的，特别是对于协作和服务型机器人而言，适应终端用户的需求才是重中之重。

7.5.2 强化学习与深度学习

近年来，有一个研究方向获得了巨大成功，那就是直接从经验中学习的学习策略。机器人通过实际练习执行任务，直接学

习如何调整状态并采取相应行动。这种方式可以绕过周边环境规划、感知和建模，或者可以强化用于建模和加速规划的学习能力。

通过深度学习所掌握的策略能带来惊人的结果，机器人（或人工智能系统）在玩雅达利游戏时已经能够达到与人类同等的水平，或是在围棋上战胜李世石。计算机视觉、语音识别和自然语言处理等其它领域也从深度学习过程中获益匪浅。

然而，现实世界远远不是结构化的，是一个拥有许多不同状态和动作的连续性高维空间。机器人需要在实际行动中获取数据，而不仅仅是通过模拟来改进。因此，虽然这些新的学习范例可能会大大提高机器人的性能，可要将其应用于实体机器人，帮助其更好地处理复杂任务又为研究带来了各种各样的挑战。这些挑战包括：准确评估学习系统的不确定性，纳入新的任务领域，在数据昂贵且缺乏的领域进行学习，以及将基于模型的推理和深度学习相结合。

7.6 控制和规划

未来的机器人需要更加先进的控制和规划算法，确保其能够处理单一或多个代理系统，比目前的系统更有能力应对更大的不确定性、更宽泛的公差和更大程度的自由度。机器人需要在任何

环境（从极端环境中的全自动化作业到在家庭或办公场所与人类协作）中实现安全、可靠作业。移动基座上的机械臂将会配备末端器，可以在非结构化的受限环境中有效规划，稳定地完成操作和抓取任务。这些机器人将会拥有 12 个自由度。另一方面，仿生人形机器人会拥有 60 个自由度用以控制和协作。而另一个极端是，多智能体批量机器人，虽然不需要实体连接，但仍然需要几个到几千个代理系统的协调作用。

过去，控制和规划属于两个独立的问题，而如今的控制和运动规划需要协同解决。有效的规划方式需要考虑到代理系统（手臂、探测车、无人机等）和任务（操作、行驶、飞行等）的低等级控制器，利用全新的数学拓扑技术和新晋基于样本的规划方法，有效搜寻能够帮助其定义所处环境和交互活动的相关高维空间。

7.6.1 不确定性下的任务和运动规划

机器人能使用传感器观察周边环境，使自己适应其中，然后制定行动规划以实现目标。由于传感器精度不够，算法的设计必须准确，这样才能确保机器人在不确定性下仍然能够安全、可靠作业。虽然近些年相关方面取得了一定的进展，但是目前的方式只能在相当结构化的环境下处理一些简单任务。我们需要进行更

多研究, 进一步发展规划算法, 使其可以在信念空间处理非结构环境下的实际问题。这些方法必须能在接近人类和与人类协作的情况下进行实时作业。同时还要能利用不完全、不准确、非连续的传感数据提供安全、可靠的作业保障。最后, 虽然任务和运动规划一直以来都是两个独立门类, 但是要想进一步提升机器人的自动化程度, 使其成为非结构化环境(比如家中)中的得力助手, 我们必须将任务和运动规划有机结合, 放置于不确定性下进行考虑。

7.6.2 从规范到部署

控制系统的设计很大程度上依赖于理想化的实体模型, 而这些模型的表达形式通常是微分方程。由此得出的控制器必须应用于有限精确度和离散时间计算基质之上, 在充斥着杂乱传感器和致动器的真实环境下进行部署。要想大幅度缩短设计周期, 需要以恰当的方式自动地填补理论与实践之间的鸿沟, 为此我们需要使用许多工具和方法, 包括: 形式化方法、混合计算模型、对动态真实环境实时适应的控制协议。

7.6.3 约束环境下的控制和规划

机器人控制规划的约束有很多形式, 不仅有机器人可达范围的物理约束、约束工作区域的障碍物、与敏感材料交互时的

力量约束、机器人的电力/资源约束, 还包括限制了机器人驱动的动态约束。目前, 在拥有合理确定性的静态环境下执行短期任务和微幅运动时, 使用约束优化方法能够有效地优化这些约束条件。然而, 手术、服务和生产领域都会涉及到耗时长、任务序列多的动态环境。因此, 机器人约束优化的下一步工作就是将约束任务有效地纳入规划算法之中。这种算法要能够提供连续且相互联系的运动, 对动态约束做出预测和反应, 从而确保在耗时长的任务中保持性能的稳定性。

7.6.4 操作

在现实世界中, 操作和抓取是两项基础能力——机器人要能够开关门和抽屉、拾起、移动或推动物件、使用工具、操作方向盘、重新配置或与环境进行交互。目前的算法只能处理一些相对简单的情况, 比如设计小型规则几何形状和准静态运动等低自由度问题。在复杂的特殊几何形状抓取规划和测量上, 我们还需要进一步研究。同时, 改进技术将利于机器人完成联系任务、操作可变形物件、执行非抓取动作、使用工具以及进行动态运动。为了确保作业的安全性, 还需要相应的系统稳定性和故障检测与恢复策略。

7.6.5 动态环境

动态环境包括敏感环境中的操作任务, 这种环境中有人类或

其它机器人的存在, 机器人无法准确判断可移动障碍物的运动情况。目前, 小范围内(一个或少量障碍物和智能体)动态环境建模方面取得了巨大的进展。这种环境下的障碍物和智能体通常会沿着已知路径移动或重复相同行为, 因此可以通过简单的程序模型对其进行建模。在这些低维环境中, 机器人可以有效地做出长期计划。然而, 这方面仍然存在挑战——延展性(大量不同的动态物件和智能体)和不确定性(复杂或不可预测的动态)可能会要求机器人系统做出实时重新规划和调整。

7.6.6 多智能体协调

多智能体协调(即一组机器人作为一个整体协同工作)的应用领域十分广泛, 包括生产、库存管理、网络覆盖、疾病监控、建筑等。多智能体协调完成工作的灵感很大一部分来源于自然。进化算法和去中心智能化使机器人能够完成许多复杂的行为, 但短时间内整合出最优行为仍然是一项挑战。而且, 这些行为一般应用于同质智能体中, 但现实情况是部署异质智能体能够让规划过程更加实用、更加灵活。集中式智能可以提供双向交流方式并为多个智能体进行中央规划。然而, 如果单个智能体需要本地控制器快速做出回应或在意外事件中保持稳定, 那么这些方法在实时工作中还是会有些问题; 而

表 5 机器人的控制和规划技术路线图

	五年	十年	十五年
在不确定性下整合任务和运动规划	处理结构化环境中简单任务的实时算法	处理结构化环境中现实任务或非结构化环境中简单任务的实时算法	处理非结构化环境中现实任务的实时算法
优化约束	短时间范围内将实体 / 系统约束整合入控制器和运动规划器之中	长时间范围内将实体 / 系统约束整合入控制器和运动规划器之中	对在已知约束条件下独立操作的优化自动机器人智能体进行商业整合
操作	在真实场景中稳固抓取简单几何形状物体, 操作简单的可变形物体	抓取复杂、特别的几何形状物体, 使用简单的工具	稳固抓取并操作复杂的可变形物体, 有效使用工具
从规范到部署	依据设计和实时控制代码调整的可行性计算模型	关键性安全机器人应用的正式确认	关键性安全应用机器人解决方案大范围商业化
动态环境	简单线性或重复模型以外的动态过程建模; 围绕这些模型进行控制和规划	对有多个动态成分的高维空间进行预估和规划	应用于动态物件和环境的语义模型, 使机器人能够进行复杂的行为, 比如非抓取任务
多智能体规划	依据高层次规范自动生成分散控制算法	在现实环境中稳固部署多机器人系统	商业上可行、人性化、模块化的多机器人解决方案

且, 如果每个智能体都需要能够与其它智能体交流、协作, 硬件方面也会有所受限。

未来的研究将进一步探索能够利用集中式智能与局部特性梯度的实时协作方法与能够归拢最优行为的形式化方法, 并将二者引入异质智能体在与其他机器人共同执行复杂序列任务时的规划过程中。

机器人的控制和规划技术路线图如表 5 所示。

7.7 人机交互

未来的机器人将在许多应用领域中实现与人类协同工作。机器人和其使用者之间将会存在多种交互形式: 从受过训练的工厂操作员一人监控多个生产机器人到老年人接受康复机器人的悉心照料。不同的用户在背景、受训程度、身体和认知能力、接受新技术心态上都有着巨大的差异。

机器人产品不仅需要直观、易用, 能够回应使用者的需求和状态, 还必须考虑到用户的这些差异, 将人机交互 (HRI) 作为《路线图》中的一个关键研究领域。考虑到不同的人机交互、具体应用的需求和使用领域, 本研究领域共可分为八大挑战。

7.7.1 界面设计

有些领域的机器人系统或产品, 比如搜救、太空和水下探索、制造以及国防, 可能会通过计算机界面向用户呈现信息或要求用户输入相关信息。这些领域的人机交互活动可能是远端活动, 机器人与其使用者可以不在同地, 可能由一名操作者监控数个机器人。这些应用要求界面能够直观有效地向用户呈现关键信息, 提供清晰、易理解的控制系統。用户界面还必须是可扩展的, 从而适应不断增加的任务复杂性与人

机团队的复杂性。过去三十年来, 计算机界面获得了极大的发展, 而机器人界面才刚刚起步。我们还需要进行大量研究, 发展能够直接应用于人机界面的原则和指导方针。

7.7.2 理解、建模与适应人类

机器人系统和产品必须能够理解、识别其用户的行为、意图和认知与情感状态。要让机器人具备这些能力, 我们还需要进行广泛的研究, 开发能够感知和理解人类心理与行为的技术, 以及在不同任务、应用和领域中都可用于理解感知的模型。机器人需要能够识别并理解它们所感知到的内容, 还要能够预测用户的意图, 从而主动规划自己的行动, 提供协同交互支持。此外, 机器人还必须能够适应用户行为的变化以及不同用户之间的差异, 这

就要求进一步开发适应行为和定制化模型。

7.7.3 社交能力

在服务、健康、制造及其它领域应用机器人技术时，机器人还扮演着特定社会角色——伴侣、教练、教师、同伴、看护人，扮演这些角色时机器人可以利用人类社会交互活动作为人机交互的基础范式。因此，社交机器人必须能够理解人类的社会行为，同时也表现出符合人类交互规范的社会行为。要达到所需的社交能力，机器人还需要掌握以下关键能力：进行复杂对话、理解和生成丰富的非言语暗示、理解和表达情感。相关研究将进一步推动认知、集成、言语与非言语交互对话模型的发展，让机器人更多地掌握社交技巧和模型，从而适应不同环境下的不同准则。

7.7.4 协同系统

用于工作环境、医疗保健、关键任务的辅助型机器人（比如用于生产、康复和太空探索的机器人）需要与人类组成人机团队，协同合作，完成组装、康复和探索任务。在这些情况下，机器人不仅需要所执行任务的详细模型，还必须能够识别、追踪、参考并辅助人类搭档所采取的行动。它们还必须将这些能力应用于意外频发、任务模型发生改变、人类偏离任务原定计划或有意外表现的动态环境之中。推动机器人系统实现有效协作的研究必须

进一步发展相关方法和模型，让机器人能够感知并理解不断变化的任务环境与人类搭档，并根据任务调整自己的行为。

7.7.5 以机器人为媒介的通信

除了代理、助理和协作者之外，机器人产品还能够扮演通信媒介，促进人与人之间的交互活动。比如，远程呈现机器人能够帮助相隔很远的人进行交互和沟通，其形式远比短信、视频和音频丰富得多。试点部署的远程呈现机器人已经显示出了这方面的卓越能力，他们能够让医生在医院诊断别处的病人，或让患有慢性病的儿童进入课堂接受教育。我们还需要继续研究，整合这些系统与其所处环境，优化两端用户（远程操作者和现场的个体）的交互活动，解决隐私、安全性、公平利用等问题。此外，相关技术必须拥有良好的自主性和精心设计的用户交互界面，这样才能在不剥夺主要用户控制力的情况下，实现更大的机动性、更流畅的沟通以及广泛普及。

7.7.6 共享自主性

将自主性引入局部操作或远程操作来帮助用户执行任务，相关研究领域将此称为“共享控制”。共享控制能够确保不同领域中操作者的表现更加准确、可靠和稳定。比如，共享控制技术能够让外科手术机器人帮助外科医生减少手术过程中的震颤、辅

助瘫痪病人进食，远程呈现机器人可以在确保用户安全和舒适的情况下进行偏远地区导航。在这些情形中，机器人可能并没有用户目标的模型，只能依据目标预测调整直接控制信号，使任务成功的可能性取得最大化。该领域的研究必须开发出有效方法，让机器人能够利用用户广泛的控制信号，包括控制界面输入和脑机界面，从而实现复杂情境下的多层次共享控制。

7.7.7 长期交互

在美国，汽车、电脑和工业机械的平均寿命分别是 11.5 年、5.6 年和 10.5 年（数据来自 2014 年至 2015 年）。机器人的寿命应当与上述三类产品相似，能够为用户提供帮助，保持与用户的交互活动近 10 年的时间。然而，和这些产品不同的是，机器人能够根据不断变化的需求、行为模式和用户在不同时期所具备的能力进行学习和适应。目前，在如何让机器人保持长期交互、学习新任务、了解用户模型、熟悉交互策略和将所学内容传输给自己的替代品等方面的研究极少。要想具备长期交互能力、理解人类预期、能够对使用了十年甚至更长时间的产品和系统给予回应，我们还需要进行广泛的研究、开发和纵向的实地测试，进一步推动相关技术发展。

7.7.8 安全性

要想让机器人在多个关键

领域融入人类环境，不仅需要机器人具备可接受程度的内在安全性，还需要机器人的用户，也就是人类制定恰当的标准、法律指导方针与社会准则。相关标准的发展，比如 ISO10218.6 和 ISO/TS15066:2016 就能从机器人在人类环境中工作的安全性出发，对相关行业进行指导。然而，我们还需要进行广泛的研究，设计、

制定出机器人在各种场合下必须遵守的准则，比如：在人类环境中进行导航时，与用户进行交互活动时以及解决与其它机器人和用户的矛盾（比如：为了确定优先权、责任等）时。由于关于人机交互法律框架的发展经常被视为超出了机器人研究的范围，研究社群可以指出恰当标准和指导方针的发展是为了更好地满足客

户预期、使社会准则成为机器人产品和系统设计的一部分。

人机交互技术路线图如表 6 所示。

7.8 多智能体机器人

从稳定性和有效性来看，数量就是优势，即在多个应用方面，相对于单个机器人而言，部署机器人队伍具有明显优势。即便某

表 6 人机交互技术路线图

挑战	五年	十年	十五年
界面设计	机器人界面开发可概括的基本标准和设计指导方针	拓展性（不同的用户、任务复杂性和长期交互）发展的可达性标准和准则	授权并为工具编程处理机器人界面支持标准、实现拓展性目标并解决安全和隐私问题
理解、建模与适应人类	机器人可以根据有清晰模型的任务和环境中的基本人类行为、任务动作以及意图来识别并调整自己的行为	在半结构化的任务和环境中的，机器人快速学习并更新用户模型，处理感知、建模和适应性问题	机器人可以在半结构化任务和环境感知复杂的用户行为、动作和意图并为其建模和做出相应调整，还能跨领域跨环境变换所学模型
社交能力	机器人能够进行基本对话、识别基本的用户状态以及在受控和半受控环境中表达内在状态（比如：教室、复健中心）	机器人能够处理对话时的突发事件，适应用户状态，在半受控环境（比如：企业大楼大厅）中无缝融入社会行为	机器人可以在不受控的环境中，根据采用不同对话和社交策略的用户调整自己的交互行为（比如：公共场合、现场和灾难环境中）
协同系统	在有明确计划的情况下，机器人可以作为有效的协作者，处理所需的感知、操作和沟通任务	机器人可以快速学习并借鉴和创造任务模型，根据任务中的突发事件随机应变（比如：工具丢失），根据不断变化的任务相关物件与环境识别并调整自己的行为	机器人不仅能够识别，还能预测突发事件、用户错误以及人类协作者能力的变化，并采取行动防止这些情况发生或将其影响降至最小
共享自主性	共享自主系统可以整合用户输入的多种显式形式，执行用户指导的动作，为用户提供不同等级的自主化程度选择	共享自主系统能够识别隐式的用户输入，确定用户目标，采取积极的学习方法让用户参与实现目标的过程，选择所需的自主化程度	共享自主系统能够整合用户多种形式的隐式和显式输入，快速为用户目标和可能出现的错误建模，在与其用户沟通过程中根据需要自动调整自主化程度
长期交互	机器人在半受控环境中，以月为单位保持与用户的交互、向用户学习并适应用户	机器人在半受控环境中，以年为单位满足不同能力用户的需求	机器人能在不受控的环境中，以多年为单位为任意数量、能力不同的用户提供具有适应性的功能
安全性	安全标准将详细阐述如何解决特定领域的风险，部署的机器人系统的适用性和有效性将得以测试	开发出机器人在人类环境中应该如何工作的准则（用户期望超过内在安全），并应用于已部署的机器人系统之中，完成有效性测试	依据对长期使用和与部署系统交互的理解完善准则和标准，旨在实现机器人和社会的无缝融合，确保机器人在不受控环境中面对多样化用户时能够保证安全、有效和合意的功能

个机器人发生故障，任务仍将继续进行。同时，在较大空间区域部署机器人，将能更有效地进行覆盖；或跨多平台分配机器人，将能形成灵活适用的机器人系统。

多机器人系统应用领域广泛，包括制造业和仓库管理，网络覆盖和灾难监测，建筑机器人，农业机器人等。多智能体协调完成工作的灵感很大一部分来源于自然。进化算法和去中心智能化使机器人能够完成许多复杂的行为，比如，让机器人团队组装几何形状物件、覆盖区域、跟踪边界立方体或发现并跟踪入侵者。尽管已经取得了不少进展，但是要在真实环境中持续、稳定、有序地部署大型机器人团队，仍有许多研究问题需要解决。

7.8.1 分布式控制与决策

从根本上说，要实现多智能体机器人之所以如此具有挑战性，是因为单个智能体或许只能获取仅限于自己可以测量处理的信息或是周围智能体的共享信息。因此，必须开发出分布式决策算法，将有限信息统筹起来，将局部规则集合从而达到预期的全局行为。虽然文献记载中或多或少出现过这样的机制，但我们仍然缺乏一个自上而下的有效框架，即从较高等级考虑团队应该做什么到较低等级的分布式控制算法。这种框架的发展是多机器人系统在不同应用领域成为真正灵活、适用工具的关键。

7.8.2 混合分散 / 集中信息交换机制

传统上来说，小型机器人团队（最多三个左右）由中央决策者控制，而较大的团队由于只有本地信息可用，通常都是分散化的。然而，现实情况却通常是这两种极端情况的混合体，其中有一个类似云端的中央节点可以持续收集信息并间歇性地将汇集的信息注入到系统之中。迄今为止，还没有有效的抽象化方法或系统算法可以描述或利用能够在不同时间尺度上操作信息流的混合式集中 / 分散信息交换机制。因此，对于什么信息需要以集中式共享、什么信息可以本地保存尚未达成清楚的共识。

7.8.3 人与机器群的交互

虽然人机交互已经成为一门成熟的学科，但是人类操作员应该如何与机器人团队进行交互活动的问题很大程度上仍未解决。比如，假设一位农民试图与一组小型自动化拖拉机进行交互活动或一位飞行员试图控制大量无人机。在这两种情况下，无论从认知工作负载角度还是带宽管理角度来看，基本上都难以抽象出有效的交互模式。我们期望越来越多的机器人进入我们的工厂、家庭、医院和农场，人机交互的问题就必须解决，从而让人们有效地充分利用机器人。

7.8.4 异构网络

部署移动机器人团队的好处

之一就是可以组合拥有不同能力的机器人。某些机器人可能具备飞行能力，因此能够提供环境高空概览图，而其它机器人能够滑行通过并检查细管。这样一来便可形成异质团队，团队的异质性可以指动态配置、感测能力、空间足迹或行为策略。但是，除了个别例子（主要是空地协调）之外，我们还没有完全掌握利用异质性的好方法。针对特定的任务，需要什么类型的机器人？一组机器人异质程度如何？一个团队应该保持何种程度的异质性，从而确保在执行任务时达到最大的灵活性？

7.8.5 多机器人系统中的通信和感应

为了实现机器人网络的最优效果，我们需要对这些系统中传感、通信和导航能力之间的相互作用有一个基本的了解。比如，智能体之间或与外部节点的通信可能由于各种原因而受影响，比如路径损耗、阴影或多径衰落等。此外，每个智能体的路径规划不仅会影响其信息收集（传感）能力，还会影响其连接维护（通信）效果。考虑到现实情况下的通信连接，这种多学科特性使得在机器人网络中设计可靠的决策策略、顺利完成任务充满了挑战，也使该问题具有开放性，最终促进了通信感知机器人技术研究领域的出现。

多智能体机器人技术路线图如表 7 所示。

表 7 多智能体机器人技术路线图

	五年	十年	十五年
分布式控制与决策	由高级、全局规范自动生成分布式协议	在实际环境中可靠地部署大型团队	在许多行业实现商业渗透，包括农业、制造、仓储和环境监测
混合分散 / 集中信息交换机制	基本了解如何通过集中式和分散式渠道发布信息需求	实现多机器人团队联合，通过基于云的架构实现相互学习和协作	机器人物联网
人与机器群的交互	大量有效的人与机器群交互模式实例	商业上可行且以人为中心的群体系统	群体机器人能提供用户友好型服务
异构网络	具备跨越多个维度的异质性，包括功能、空间和时间	不依赖团队构成的先验假设，提供复杂任务的异构解决方案	可靠地部署、混合和匹配协作型机器人团队
多机器人系统中的通信和感应	在交易流动性、传感和通信方面建立有效的模型	在传感、移动性和通信模型下自动化协同优化功耗	低成本、广泛可用的多机器人系统

8. 劳动力发展

8.1 概述

广泛的新闻报道让人们形成一种印象：机器人技术正在快速发展，并在多个行业中越来越多地代替人力。就工业生产和自动化的整个进程而言，不熟练劳动力必将持续向熟练劳动力转变。然而，在现实中，机器人和自动化技术的广泛应用可能会取代大量熟练工，让许多工程类岗位不复存在。不同规模的企业，尤其是中小企业，在未来遇到的劳动力问题将十分复杂，这些问题将限制机器人和自动化技术的成功与高效利用。成功应用这些技术，需要工程师和专业技师实施、启动并维护这些操作，需要各种资源的组合，比如说，嵌入式计算、软件以及电子学技能等，而这些资源普遍成本较高，且供应不足。未来的劳动力问题需要引进新思路和新方案。

8.2 战略性发现

机器人系统最早是用作遥控操纵装置，自问世以来，它扩大了人类的影响力范围，帮助人类更好地操纵和改造着我们周围的世界，并更好地与之交互。此后，因为其在不同时空尺度（从纳米级到百万级）内有效地提升了人类的实践能力，所以其数量、多样性和复杂性显著增强，被用于无趣、肮脏、危险及简单任务的自动化中。与此同时，应用型机器人和智能机器切实体现了众多科学学科的理念及算法，比如系统设计、控制工程、计算科学及人工智能。应用领域的多样化证明了其跨学科的本质与巨大潜能。不管怎样，设置机器人活动范围并为该领域制定具有前瞻性的路线图不无裨益，尤其是考虑到机器人学与其科学学科组成部分之间模糊不清的边界。

这些推动力着力于推动相关

技术研发，发展机器人在教育、物流及支持企业发展的商业基础设施方面的应用，彻底改变了机器人学的前景。这些活动背后都有着金融业为导向的推动力，预示着这些努力从长远角度看必将获得成功。

然而，在这些发展推进的同时，另一项变革已经开始悄然改变机器人学的前景。典型的机器人系统转变为系统的系统，形成物理和信息资源交互作用的多样化集合。促进这场革命的同样是科技因素。科技也让机器人设备变得更小巧、更智能、更好用，让机器人与机器人、机器人与人类以及机器人与环境间的联系更为紧密。这些变化本身无足轻重，但是其有效效益却可以之前无法想象的方式带来新的能力并去除障碍。变革的冲击非常巨大，引用托马斯·佛里曼（Thomas Friedman）的说法：“世界沉睡之际，机器人领域一夜之间夷为

平地。”

过去五年间,比尔·盖茨一直致力于实现“家家都有机器人”的愿景,为新机器人产业的出现铺平道路。该产业有可能更为彻底地改变我们的生活方式。在早期,就其分散的生存状态(平台/软件的多样性)、死板的操作范式(单一的解决方案)及不断更新的硬件和软件趋势(模块化、开放源代码)而言,个人计算机和个人机器人产业惊人地相似,这些都为改革铺平了道路。在个人计算机行业,不断更新的应用需求、技术/科学的飞速发展以及技术交流不仅为变革带来了新的压力,也在不断改变着整个格局。

首先,作为重工业制造自动化的中枢,典型的PUMA操纵器可被视为过去的大型主机。现如今,机器人系统的发展更侧重于非制造应用领域,主要集中于服务型机器人领域。由于市场吸收能力低,计算机辅助外科手术机器人(比如达·芬奇外科手术系统)、太空探索机器人(比如美国宇航局的火星探测器)、出现在敌方战场的军用机器人(比如处置伊拉克路边炸弹)及协助搜救受困矿工的机器人等高成本专业设备仍只占机器人市场的极小部分。最显著的增长来自低成本、高市场容量的家用及个人机器人市场。

其次,由于一方面传感/驱

动/计算等技术进步,另一方面基本的科学认识和算法实施得以改进,使得不同形状、不同大小和不同功能的机器人系统取得显著发展。硬件、软件、工具的模块化和标准化及商业利益与开放源代码运动的结合开始重新定义机器人领域,这一点与个人计算的改变方式几乎一样。

最后,伴随着新一轮创新而产生的技术交流,不仅改进了现有的机器人系统,也为智能移动机器人的应用提供了空间,有效地创造了新的市场。比如,促使无人驾驶地面车辆技术进步的学生可能继而为邻居开发出割草机器人。或者,多年来对安全稳定的远程操作的研究可以用来提升日后线控驾驶汽车的驾乘感觉!

8.3 近期机遇及影响即时部署的因素

近年来,就读机器人专业的本科生和研究生迅猛增长,引发了设置机器人学标准课程的需求。该课程包括统一的科目及标准机器人软件及硬件利用项目,进而加快机器人程序的创造速度,从而满足行业对多面型工程师日益增长的需求。

过去十年间的重点一直放在科学、技术、工程与数学(STEM)方案上,力图将幼儿园到十二年级学生的注意力吸引到理工科领域,尤其是少数民族和女生。这些方案通常希望让幼儿园到十二

年级学生能认识到科学、技术、工程与数学学科广泛的机会,所以将“机器人学”用作吸睛点。进行这样的努力固然非常重要,但不一定能实现预期目标:通过培养熟练工,促使日益复杂的机器人和自动化解决方案得到更为广泛的应用。有些人开始谈论“从出生到死亡”这一话题,引起人们对劳动力整个“生命周期”的关注。我们需要用新思路和新项目吸引年轻工人加入机器人和自动化行业,寻找更好的方法将熟练工的知识储备进行转移并和新兴劳动力结合起来——未来机器人和自动化行业劳动力的各个工种都会产生这一需求,包括技工、工程师及计算机科学家。整合工程学和熟练工培训领域尤其需要新思路和新项目,这样才能确保未来的技师培训与飞速发展的智能系统及机器人学相适应。专业团体之间需要更好的沟通合作,高校与社区学院需要确保熟练技师接受关键领域培训,比如机电一体化及嵌入式计算机控制。这样的合作和沟通现已拥有很多实例,但是就其深度、广度和实时性来说,还需要再提升一个层次。

9. 机器人学的基础设施共享

随着机器人学的应用领域持续扩大,相关实验设施的发展与维护成为了创新过程中的瓶颈。

事实上，在广泛追求的理论基础与应用驱动转型（从小型实验到有影响力的稳固部署）之间，仍然存在巨大的差距。这个差距存在于理论和实践两个方面。将不同机构、不同专业、不同背景的研究人员汇聚起来，有可能加快创新进程，找到更为有效的方法来利用已有的发现。意义深远的大规模机器人实验台的开发和维护属于资源密集型事业，所以特别适合于用共享、甚至是远程访问模式展开。

现在已有一些专业的机器人测试平台（比如美国马萨诸塞大学罗威尔校区神经中心、美国西南研究院的小型机器人评估及应用小组、位于美国马里兰州盖瑟斯堡的美国国家标准与技术研究院研发的响应机器人及制造机器人课程、德州农工大学的灾难之城），但是这些测试平台缺乏多样化的机器人系统。研究人员必须携带自己的机器人系统，这限制了对算法普遍性的测试，也使得没有机器人系统的人员无法在现实中测试自己的理论研究结果。目前乔治亚理工大学正在推进的 Robotarium 项目将设置一个针对群体机器人学的机器人测试平台，相关测试环境及机器人硬件都可以满足。为了加快机器人系统的开发及有效测试，必须在全国范围内加强不同机器人系统的多应用领域

测试平台资源共享，每一种测试平台都应有所侧重（比如农业、海运业、制造业及医疗行业）。为将现有资源最大化地利用起来，现有设施可以进一步扩充为全面的共享基础设施（即同时拥有测试平台和共享机器人系统），并在尚无相关设施的领域加紧开发测试平台。

9.1 灵活的研究平台

为了搭建真正意义上实用的远程访问研究测试平台，在测试平台建构时，必须将众多不同的研究问题和实验纳入考虑范围。同时，测试平台本身也必须随着时间推移不断更新，与不断变化的研究趋势及方向保持一致。测试平台必须能够自动指定实验装置及场景，这需要对模块化互操作性硬件（即插即用等）和软件（机器人实验描述语言等）进行进一步研究，以便让它们融入更大型的生态系统和下游商品化过程之中。假定此基础设施属于社区资源，那么每种设施应该由用户委员会对场所使用进行分配并管理设施的更新。每种设施有特定的应用重点，在这些设施之间也应有所合作，避免重复劳动，分享最佳实践方法。

9.2 社区共识确认基准框架

多个研究小组已经研发出机器人系统和人机互动的内部定量特性评估方法。个别小组已经

开始收集、分享自己的数据集和最佳方法。但是，因为缺乏现实以及相关的测试环境（包括物理和虚拟基准），这些活动相当零散，没有系统。找到一种多要素验证方法（比如同时支持虚拟和物理测试；组件、子系统和母系统的阶段式评估；设备与用户测试等）至关重要。发展恰当参照环境的开放获取式创造、收集和管理框架，完善定量绩效评估的数据语料库，这些努力都将极大地加快技术发展和转化的进程。过去在机器人学领域的努力更为有力地证明，将这些视为潜在的竞争或挑战有助于加强学术和工业社区的力量，同时也为后续的实现标准化的努力打开了方便之门。美国试验材料学会（ASTM）、国际电气与电子工程师协会（IEEE）及美国机械工程师学会（ASME）一直在某些机器人学领域研究标准测试方法和度量，这些努力还将继续下去；同时，在新应用领域的努力与尝试也会逐步展开。美国机器人虚拟组织（Robotics-V0）可以为社区开发该等共享资源的讨论提供监督。

9.3 参考开放获取测试平台

该领域增长迅速，解决方案的数量和种类呈现爆发式增长。比如，市场上可以买到的机器臂、移动底座和握爪的种类之多让人难以置信。致力于抓握算法研究

表 8 机器人学的基础设施共享路线图

	五年	十年
灵活的研究平台	不同学术研究人员建成协作网络，为新一代机器人系统（如可穿戴设备等）创造模块化可分享硬件（CAD 资源库）及软件（API）	
社区共识确认基准框架	配合专业协会（IEEE、ASME）举办比赛和路线图研讨会	标准组织（IEEE、ISO、ANSI、ASME）的参与
参考开放获取测试平台	机器人测试平台遍布全国。建立协作框架（比如 Robotics VO 或 CPS VO）	通过国家制造业创新网络（NNMI）实现可行硬件 / 软件竞争前 TRL 固化的转变

的研究人员，越来越难以获取不同类型的握爪操纵器来评估其算法的有效性。然而，由于缺乏配备互操作性软硬件模型的工业级测试平台，创新也是举步维艰。目前，开源平台正在创建之中，这便是一个好的出发点。一个广泛、包容型的项目需要路线图研讨会和学习小组的支持，以促进开源社区标准的开发。机器人软件领域的显著例子是 ROS 框架。利用这种即插即用框架可以让研究小组集中精力处理各自的子课题，同时还可以为更为广阔的一致化社区做出贡献。此外，系统互操作性和协同技术工具（比如编程、硬件、通信）也至关重要，它们可以通过加速机器人系统研究与开发让学术和工业共同获益。

机器人学的基础设施共享路线图如表 8 所示。

10. 法律、伦理与经济背景

机器人路线图是一份技术性文件。其核心目的是描述美国机器人技术的现状和预期发展状

况，帮助美国政府确定投入的水平和优先发展的事项。

然而作者们也十分清楚，在美国和其它地方，机器人技术的发展必定离不开相对应的社会、文化和政治力量，如法律、政策、伦理和经济等背景。以下章节的目的就是梳理清楚这一广泛的背景。本章提出了机器人技术所面临的更为紧迫的非技术性挑战，并让读者了解到人们为解决这些问题做出了哪些努力，使用了哪些资源。

本章内容并非面面俱到，也不是想在法律、政策、伦理或其他方面阐明对于机器人应当采取什么正式的政策。相反，我们的目标是提出在文献、研讨会和公共话语中反复出现的某些关键挑战。此外，要重申我们作为一个集体参与和支持相关对话的承诺，该对话不可避免地拥有深刻的跨学科特性，同时建议政府和学术界努力积极消除研究机器人广阔社会背景的障碍。

本章余下部分围绕我们建议提出的关键问题做出了简要讨论。

10.1 安全

机器人必须安全。但是安全到什么程度才算安全呢？安全的具体定义可能有很多种，但政府所扮演的关键角色是需要为各种机器人系统（这些系统具有对人身或财产造成伤害的能力）设置安全阈值或标准。因此，联邦航空管理局必须为使用无人机的货物运输设定安全阈值；国家公路运输安全管理局必须对自动驾驶汽车设定预期值。在设置了阈值或标准之后，需要进行技术测试，检验机器人系统是否能满足这些阈值或标准。

让机器人代替接受过专业训练的人员执行任务时可能需要特别注意。如今每个需要认证专业性的职业都面临着相同的问题：是否以及如何将业内标准转化到执行类似任务的技术系统之中。虽然给自动驾驶车辆进行驾驶测试可能没有意义，但显然医疗行业需要确保机器人最终能够自动化地进行手术操作。

为了尽可能地保证机器人安全、负责，独立研究人员应该发挥作用。学者和其他人主要负责

帮助确定系统是否能正常运作以及保证其做出预期的行动。然而，为了确保他们的参与，独立研究人员需要了解在法律许可范围之内可以采取哪些行动，侧重点是现行法律——比如《计算机欺诈和滥用法》（不允许未经授权访问多个技术系统）和《数字千年版权法案》的反规避条款——可能禁止最终实现公共安全目标的研究活动。比如说，立法者和执法机构应澄清，在所有相关法律下，允许进行逆向工程或以其他方式检查软件或硬件以评估其安全性。

10.2 责任

对机器人技术进行正确的投资将有可能促进公共安全。比如，机器人可以更加精确地执行危险的任务。但和人类一样，机器人也可能发现自己处于伤害不可避免的情况之中。在坚持鼓励创新的同时，法院和立法者应制定出补偿机器人相关危害受害者的责任法则。

假设有这样一种情况，某公司制造的家用机器人在运行软件时伤到了人，该软件是用户通过机器人应用商店从其它公司购买的。从受害者的角度来看，是大公司制造的机器人本身造成了伤害。然而，像计算机、平板电脑或智能手机那样，将机器人制造商的设计创新权限向第三方开放，这样做是否明智或公平呢？

又或者，我们考虑这样一种情景：一个机器人在独自作业或与其它系统进行交互活动时造成了意外伤害。应该清楚的是，比如，全自动车辆在不打信号灯的情况下转弯而引起了交通事故时，制造商应承担赔偿责任。但是现在，假设有一辆自动驾驶汽车，它原本是专门设计用来通过实验寻找最大限度提高燃油效率的方法的，该系统可以执行诸多功能——比如在封闭的车库中启动发动机给电池充电——但是在没有人想要或预料到的情况下，最终导致了严重的伤害。此类事件可能给侵权法带来挑战，因为侵权法的前提是只对有预谋的或可预见的伤害进行赔偿。

与确定责任密切相关的是理解保险的作用。市场力量似乎已经在回应机器人的加速发展；以机器人利用作为商业模式的公司比十年前能更好地获得保险。但政府也需要有所作为。

比如，自动驾驶车辆的广泛可用性可能要求重新审视无过失保险的效用，这种保险越来越不被国家立法者所看好。

10.3 对劳动的影响

许多评论员担心，使用人工智能做出有关消费者及市民的决定会带来风险，而这些风险最终将主要由弱势群体承担，即社会上那些对科技影响抵御能力最低的人群。同样的担心也适用于

机器人学领域。比如，我们可能会担心警方对机器人的依赖逐渐加强，最终将主要影响、甚至是疏远低收入社区或少数民族社区。

机器人在未来可能从事低技能或高技能工作，公众对此特别关注。这种关注有时被过分夸大了。做一个简单的分析就能证明，机器人会替代个人工作，同时也会创造个人工作机会。如果公司推行长途运输自动化操作，那么对船长、飞行员或卡车司机的需求将会减少。而同时，飞速发展的无人机及相关产业也会招收人才。另外还有证据表明，到目前为止，美国制造业的自动化确实提供了就业机会。最后，诸多有关机器人对劳动影响的分析基本上都忽略了一点，那就是人类的技能不仅涉及范围很广，而且发展也十分迅速。相较于自动化，技能增进旨在提升人的能力，建立人与机器之间的协作，以便人类被赋予更多能力，而不是被替代。类似的例子包括康复机器人、社交辅助机器人及协作机器人等。

虽然如此，在更大程度上依赖机器人也会产生短期、中期及长期的影响，必须妥善处理。为应对未来工作的普遍自动化，人们提出了一种名为通用收入的概念，即每个美国人除基本工资外，还会获得因自动化对生产力和效率的提升带来的收益补助。另一

种解决方案则建议，让雇主为那些被机器人所取代的工人支付再培训费用。

通用收入的实施还面临一些挑战，比如，可能在政治方面不受欢迎；或者收入上的保证不能解决失业带来的其他问题，如懒惰和不平等；又或者机器人对经济的改变程度可能永远无法实现该范围内的财富再分配。要求公司提供或资助再培训也面临着挑战，比如阻碍机器人应用的因素可能有利于生产力或者安全，或者两者兼有。

作为一个整体，我们一致怀有信心，如果政策上处理得当，机器人学的进步将会整体提升美国社会的健康、顺应力与幸福水平。

10.4 社会互动

大量文献证明，人类对待拟人化技术——比如机器人——的方式，就好像机器人是一个社会实体一样。个人型和服务型机器人设计师清楚地认识到了这一倾向，他们中的许多人已经做出了巨大的努力，希望实现人类与机器人之间积极有礼的互动。但是，也有评论员担心，人类与机器人建立社会联系的期望将来会被证明是有问题的。雪莉·特克(Sherry Turkle)及其他人则担心，当老年人由居家机器人照顾时，机器人互动将取代更为丰富的人际关系。还有一些人则担心，拟人机

器人会利用我们的社会反应促使我们接受与我们本身目标不同的团体目标或其他目标。

从事人机互动(HRI)研究的作者之间曾有一个普遍的一致看法，即机器人对人类的正面影响和负面影响都值得认真研究和思考。的确，当前资助模型的局限性在于，将机器人学的社会影响视为一项独立技术挑战的研究资源少之又少。与会者进一步要求建立一个或多个试验设施来模拟真实的世界。相关设施由感知化的环境组成，研究人员能对人机互动进行研究，分享及比较研究结果。美国及国外其他地方已建立起这样的机器人空间模型。

10.5 隐私与安全

与社会互动问题紧密相关的，是机器人必然会引发的隐私和安全挑战。雷恩·卡罗(Ryan Calo)认为，机器人至少引发了三种隐私问题：(1)机器人让监视变得更容易，比如警察可以通过无人机监视抗议活动；(2)机器人可以进入历史保留的荒僻之地，特别是当政府或黑帽黑客控制了居家机器人时；(3)如上文所说，机器人等拟人技术让人类有了被观察的感觉。还有一种更为尖锐的安全隐患，即被盗窃用的机器人可能造成人身伤害。

现在，行政部门、行业、学术界及政府的众多小组正努力解决这些隐私及安全问题。政府对

这项重大工作的开展给予了大力支持，包括将阻碍研究的障碍去除。

10.6 建议

重述：本文件从根本上来说是一份技术路线图。其中心目的在于向国会报告最新的机器人工艺水平，帮助决策人决定在何处调拨资源，以实现机器人技术的伟大前景。机器人学的发展有着自己的法治、政策、道德、经济与社会背景。本章指出了其中一些挑战，在具体环境中会有进一步讨论。

因此，在结论处，为了鼓励并拓展机器人与社会互动方面的讨论，我们姑且给出以下建议：

- 政府拥有更多专业知识。为了促进机器人学的创新，将其社会福利潜能最大化，并将其危害降至最低，各级政府应继续积累网络物理系统的专业知识。

- 政府与学术界支持跨学科研究。相对任意一门学科而言，机器人学领域的问题或其他情况的解决方案基本上是不能修正的。政府部门及学术界应努力支持和激励跨学科研究，打破专业间的壁垒。

- 去除研究障碍。正如前文所说，独立研究人员应保证从责任和安全角度出发，所有意在理解和验证系统的行为均不能违背现行法律法规。MT

(全文完)

大中型轮式拖拉机混流制造 数字化装配车间



中国一拖集团有限公司

摘要：中国一拖建立的我国首个大型农机数字化装配车间，突破了大轮拖数字化装配制造应用关键共性技术，引领我国农机产品从低端向高端数字化制造转型升级。围绕数字化制造，在工艺策划环节采用 CAD/CAE/CAM 技术；在装配和涂装线上采用自动化输送，应用数字化装配、数控试验设备，以及机器人涂装、数字化工厂物流仿真和可视化技术。以生产控制与 ERP、MES 的智能整合，实现了大中轮拖多品种、均衡化混流生产的精益化管控。

一、导言

中国一拖集团有限公司（以下简称“中国一拖”）建立的大中型拖拉机 4.4 万 m² 数字化装配车间，是国内首个农机行业具备数字化制造功能的新型轮式拖拉机数字化装配车间。该数字化装配车间可以适应大、中、小不同的生产纲领类型、不同柔性化需求，用于大中型轮式拖拉机整机装配、涂装与试验。

中国一拖依据适用性、先进性、前瞻性的工艺设计原则，通过缜密论证、科学决策，探索应用较为先进合理的工艺布局，物流转运以及装配工装工艺选型方案，提升大轮拖装配工艺水平和

生产能力，突破了大轮拖数字化装配生产的关键共性技术。围绕数字化装配、试验环节，在选垫机、超声及高压清洗、助力机械手、定扭装备、定量及真空加注、装配底盘 AGV 小车自动转运，发动机与传动系遥控机动对接，传动系加载试验，液压提升器液压试验，制动泵数控试验以及工业机器人涂装等关键过程，研发和应用数字化系统，并在涂装线采用健康、环保、安全的水性漆喷涂等方面，实现了大中型轮拖数字化混流生产。

利用智能联网、自动识别和传送等智能化技术，建成了一个具备数字化制造与管理系统的新型大中型轮拖数字化装配车间，

实现了拖拉机行业国内领先、国际一流的构想。本项目提高了我国大中型轮式拖拉机装配制造水平和质量水平，增强了农业装备支撑农业发展的保障能力，提升了农业装备制造业的国际竞争力，将有力促进中国农机行业的装配技术改造向数字化、智能化方向发展。

二、大中型轮式拖拉机混流制造数字化装配车间

1. 技术特点与总体构成

(1) 技术特点。

目前中国一拖仅 70 马力以上大中型轮拖的产量可达 4 万台

/年以上,如此大批量生产的模式在国外也较为少见。中国一拖在构建新型轮拖数字化装配车间时,既要学习发达国家拖拉机装配车间的长处,又不能拘泥于发达国家拖拉机装配生产的现有模式,需充分考虑国内生产批量的特点,以及在智能化、数字化控制与管理上的差异,科学合理、因地制宜确定实施方案,并有所突破和创新。

①从工艺策划设计的源头采用先进数字化手段。采用CAD软件进行零件三维设计,建立关键部件3D设计资料库、参数库;运用CAM、CAPP进行加工工艺仿真和规划,确保零件设计、制造阶段的可靠性;利用西门子Plant Simulation物流仿真分析软件,建立数字化涂装生产线物流仿真模型,依照涂装线工艺流程和物流输送方式,进行物流仿真分析并完成优化。

②装配车间机械化、自动化。配置直线型机动滚道、直线型地拖链小车、摩擦驱动环形滑板、直线型板链式等各类装配线16条以及空中自行小车线6条。采用AGV转运车进行分装到总装的底盘运输,发动机与传动系采用遥控机动对接,关键扭矩采用数字化电控扭矩扳手控制装配扭矩。还应用小锥齿轮安装距测量装置、底盘负荷试验台以及数控制动泵试验台、提升器试验台等数控化装备进行测量与试验,实

现了物流立体化输送以及精确的数字化装配与试验,提高了输送效率、满足生产节拍,保证了产品质量。

③先进的水性漆涂装线。绿色环保水性漆涂装工艺方法及装备在同行业达到国内领先水平,机器人多品种混线生产智能混气喷涂系统在本领域达到国际先进水平。

④先进的两化融合智能制造模式。采用PLM、ERP、MES系统集成整合,完成产品全生命周期的数据共享和信息交换,利用智能联网、自动识别和传送等智能化技术,建成一个具备智能化制造与管理的新型轮拖数字化装配工厂。

新型轮拖数字化装配工厂通过多年的系统技术攻关及应用研究取得了重大突破,推动了农机行业数字化、自动化、智能化、清洁化的技术进步,使新型轮拖数字化装配工厂达到同行业国际先进水平。

(2) 总体构成。

数字化装配工厂总体构成如图1所示。

2. 主要研究内容及应用

中国一拖新建的数字化装配车间,以先进、可靠、高效、适用、经济为原则,包括数字化的装配车间物流系统、分装线、总装线、重拖装配间、涂装与数字化测试等部分,实现了6大系列800多个机型柔性混线生产。

数字化装配车间涉及的关键技术主要包括:工艺布局与物流输送技术;变速箱装配技术;底盘负荷试验技术;液压部件试验技术;AGV转运小车应用技术;涂装机器人应用技术;生产过程数控集成网络管理系统等。

(1) 工艺布局研究。

装配厂房为南北向布置,整机调试场平行布置于装配厂房西侧,整机停放场就近位于整机调试场西侧;公用站房区位于装配厂房北侧。装配联合厂房内主体装配区域位于厂房中间,两边为物料周转库;60~130马力段装配与140马力段以上装配相对分开,60~130马力段装配分装、内饰、总装呈平行布置(图2),140马力段以上装配分装、总装也呈平行布置;设置重型轮拖装配间。装配主要区域种类有:装配区、涂装区、组合区、试验区、清洗区、零部件存放区等,各种区域相对独立。调试场设有跑道、高架桥、转向圆。中间设有整机检测区,主要分试验区、修饰区两部分。试验区包括空载试验、提升及液压输出试验及故障排除区;修饰区包括透析、冲车、修饰及电器试验。另设综合测试间,用于PTO等试验及喷淋密封测试。

总体布局和装配工艺布局较为合理,物流及衔接较为顺畅。

(2) 数控化装配线。

依据科学合理、工艺适用等原则,研究配置直线型机动滚道、

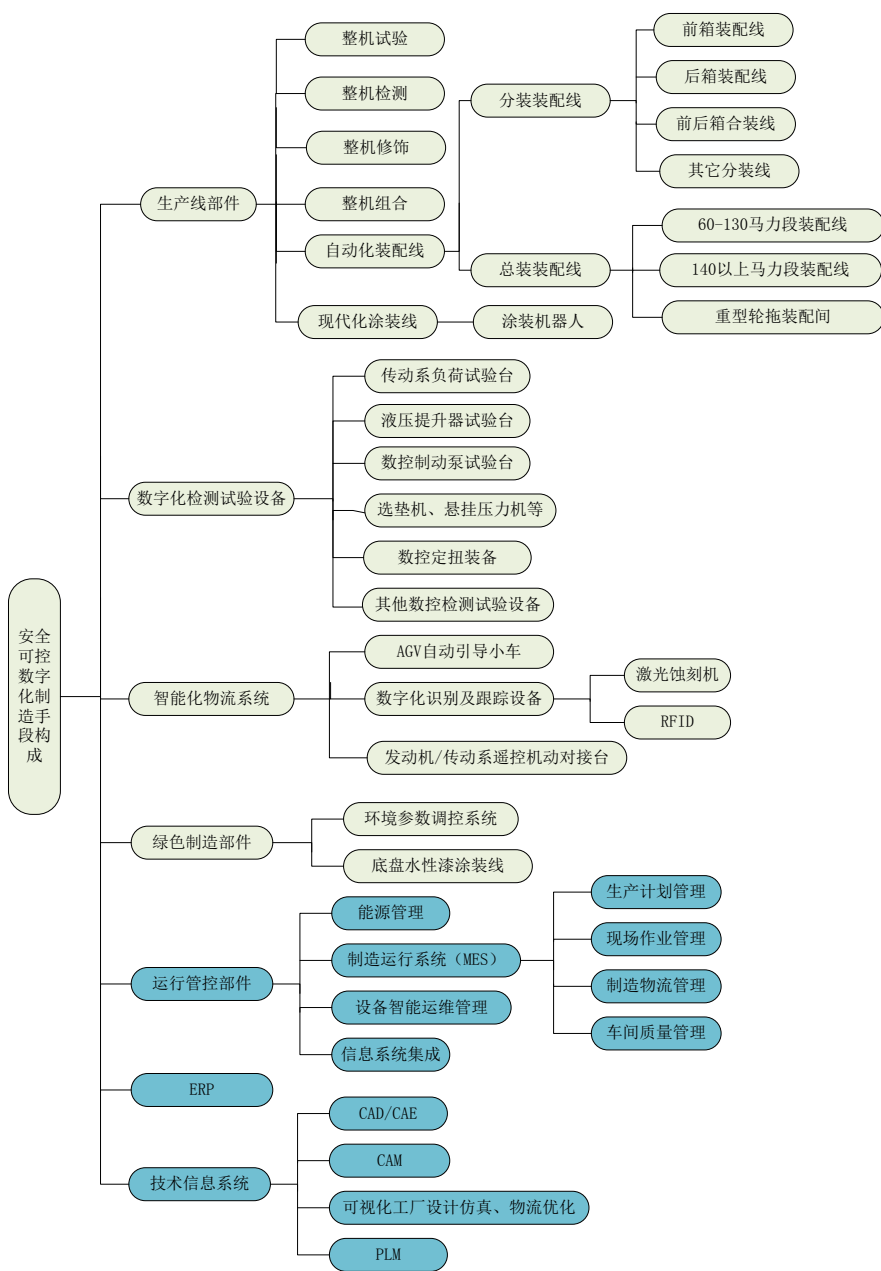


图1 数字化装配工厂总体构成



图2 60 ~ 130 马力段轮拖总装线



图3 轮胎上线空中自行车线

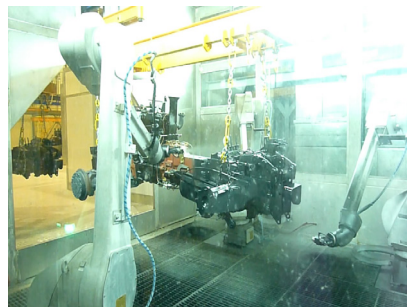


图4 水性漆涂装线上的机器人喷涂

直线型地拖链小车、摩擦驱动环形滑板、直线型板链式等各类装配线共计16条。配置后箱至合装、前箱至合装、底盘试验转接、涂装底盘转接、驾驶室转接、轮胎上线空中自行车线6条(图3)。实现了物流立体化,提高了输送效率、能够满足生产节拍要求。

(3) 底盘涂装线与机器人喷涂。

60 ~ 130 马力段底盘涂装线为积放链、机器人喷涂,140 马力段以上底盘涂装线采用空中自行车线输送工件。实施连续与启停相结合运行方式,采用混气喷涂并应用健康、环保、安全的水性漆(图4)。

(4) 数字化装配装备和试验装备。

①起重设备。半轴压装吊装、分动箱、弯杆、轮胎、座椅、柴油箱、后机罩装配使用助力机械手,以降低劳动强度,提高生产效率。半轴、后盖、上盖、提升器、水箱、前机罩、后配重等使用气动平衡吊实现浮动定位,满足装配要求。

②定扭装备。关键重要安全部位选用精度较高的数控定扭矩装备，有扭矩要求的一般部位选用精度较低的定扭矩工具。为保证操作者安全，70 ~ 130 马力段数控拧紧机反力克服在滑移轨道上（图 5），而非工件上。

③选垫机、悬挂压机等。共采用 6 套选垫机、5 台悬挂压机、2 台螺母拧紧系统。在变速箱总成装配中进行安装距调整垫片、差速器轴承调整垫片、前箱轴承调整垫片在线检测及控制，实现数字化装配，量化控制产品品质。采用悬挂压机降低劳动强度，提高作业效率。配置行星架滚针装配机，实现行星架滚针的全自动装配，改善工作环境，提高生产效率。

④底盘加载试验台（图 6）。研发应用底盘加载试验台对装配完底盘 100% 进行加载试验。以最大限度地将产品的缺陷及早暴露，并针对暴露出来的问题进行及时整改，从而降低人工修理成本和整机故障风险，提高传动系一次下线合格率。

底盘加载试验台研发应用填补了国内轮式拖拉机传动系带负荷试验的空白，对提高拖拉机传动系的工作可靠性提供了有力保障。

⑤数控制动泵试验台（图 7）。以运动控制器结合伺服驱动器，运用伺服电机对制动泵推杆进行精确的速度、位置控制，对各阀

的开启、密封、关闭等性能进行自动测试，从而按照工艺要求精确实现制动泵各项性能检测的目的。

（5）物流部件应用。

包括采用数字化识别技术的物流跟踪系统，用于分装到总装底盘运输的 AGV 车等（图 8）。

（6）运行管控部件应用。

包括 MES、ERP、能源管理、设备智能运维管理。其中农用机械装备智能工厂制造运行系统（MES）包括生产计划管理、现场作业管控、制造物流管控、车间质量管理几条主线功能（图 9）。

（7）智能工厂制造运行系统应用。

实现以生产现场为核心的协

同作业及智能指挥功能，并将基于车间建设数字化资产的三维运行仿真及优化决策系统应用于制造过程的管理。

（8）其它信息系统应用。

包括 ERP、CAD、PLM、工厂设计及仿真等。数字化装配车间还利用 CAD、CAPP 以及可靠性评价等技术，实现产品的全生命周期管理。并建立车间 MES 以及 ERP，以便和在建的大中轮拖智能化加工车间的 MES 及 ERP 对接，实现了新型轮拖传动系核心件智能化加工与新型轮拖数控化、自动化装配的生产、管理与决策的职能优化。使新型轮拖制造在数字化、自动化、智能化、柔性化、高效率的多品种、大批量生产方



图 5 后盖拧紧机照片



图 6 底盘加载试验台



图 7 数控制动泵试验台



图 8 数字化装配车间底盘运输用 AGV

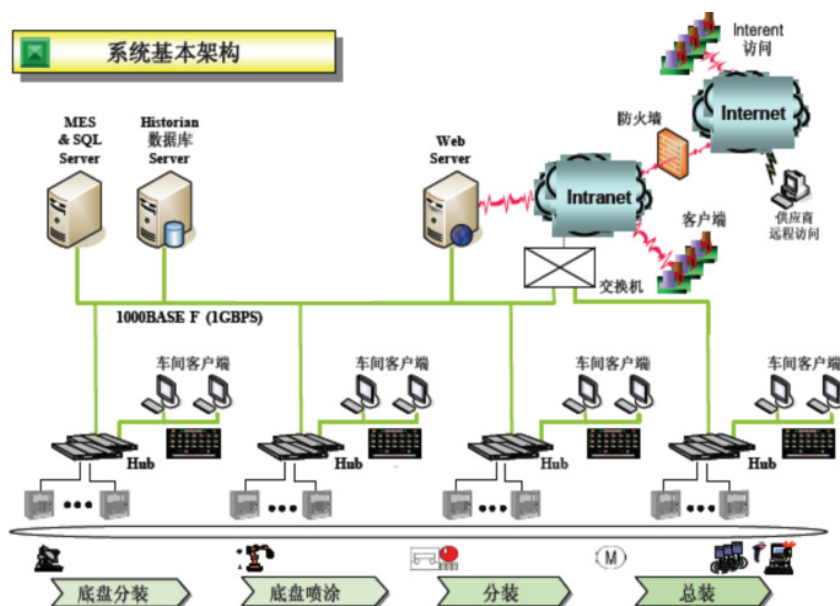


图9 中国一拖数字化装配工厂MES网络架构示意图

面，达到了国内农机行业第一、国际领先的水平。

3. 主要技术特征

(1) 分装装配线：装配节拍：2 ~ 3min/ 台。

ES 控制物料上线；传动系负荷试验；发动机与传动系遥控操作机动对接；数控制动泵试验台自动完成试验动作。

(2) 总装装配线 (60 ~ 130 马力段)：装配节拍：2 ~ 3min/ 台。

底盘部件 AGV 上线；关键扭矩数字化电控扭矩扳手控制；MES 控制物料上线；数控试验设备。

(3) 涂装线：生产节拍：2min/ 台。

①工作制度：单班制、每年 250 天。

②输送形式：宽推杆积放悬挂输送系统。

③油漆类型：水性漆。

④喷涂形式：机器人自动混气喷涂。

⑤控制形式：西门子组态 + RFID 自动识别。

⑥采用先进的水性漆工艺及设备，使涂装件耐盐雾性能由 90h 提高到 240h。

⑦采用集中供漆混气喷涂与机器人集成技术，实现了混气喷涂在复杂多品种 (四系列 800 多个品种) 新型轮拖底盘的自动智能化高效涂装。

⑧采用识别、控制与 MES 系统融合的涂装线监控管理系统，

实现了新型轮拖底盘自动喷涂生产线管控一体化。

(4) 数字化运行管控系统。

①采用 IOTS 技术 (物 / 务联网) 技术实现生产要素的互联。

②通过数字化的虚拟现实技术进行生产现场管控。

③采用自动货柜、AGV 实现物料自动化存储和配送。

④通过自动检测数据采集，实现在线质量检测和控制在。

⑤通过清洗循环水系统，实现节能减排。

三、创新性和先进性

(1) 选垫机、助力机械手、定扭装备、机器人喷涂、超声清洗技术、数控试验设备、定量及真空加注等新工艺、新工装的应用提高了质量保证能力，降低了劳动强度，提高了生产效率。

(2) 环形滑板线、空中自行车、AGV 自行导向台车等机械化运输设备的应用提高了输送效率、满足了生产节拍。

(3) 从现场管理、物料配送、各类零件的不同要求，规划标准工位器具的选型配备、专用工位器具的设计方案的选用，提高了中国一拖的物流技术水平。

(4) 构建的 MES 信息化系统，促进了企业管理和技术水平的整体提升。

四、推广的经济、社会效益及取得的技术成果

中国一拖新型轮拖数字化装配工厂技改项目研究,探索出适合国内拖拉机行业较为先进的装配工艺方案,实现了中国一拖在拖拉机行业国内领先、国际一流的构想,引领了国内大轮拖数字化装配制造技术水平的提高。为装配采用 AGV 自动引导小车,助力机械手,空中自行小车,底盘涂装采用智能喷涂机器人与集中供漆混气喷涂系统和工件 RFID 自动识别系统集成,试验采用数字化底盘负荷试验台、液压离合器试验台、数控制动泵试验台等先进的智能化、数字化装备提供装配应用的范例。

通过先进工艺、工装的合理布局及应用,建成了目前国内质量保证能力最好、生产节拍最快、生产能力最强的拖拉机装配线,可实现 60~130 马力段轮拖生产节拍为 2~3min/台,140 马力段轮拖以上生产节拍为 30min/台。

项目实施后,由于装配过程的自动化、数控化率大幅提高,比技改以前提升 20%~25% 的生产效率,可减少员工 80 余人,并大幅减轻劳动强度。数控化的装配、检测、试验设备的应用,

使产品质量提高,产品可靠性提高 15% 以上。

本项目涵盖了不同生产批量、不同的柔性化需求的大中轮拖生产纲领类型,突破了装配数字化制造的关键共性技术,可促进我国农机行业装配技术改造向数字化、智能化方向发展。其相应的 CAD、CAE、MES、ERP 等系统的应用,推进了数字化制造水平等方面的示范作用,也在农机行业具有广泛的推广示范效应,为我国农机行业提供了一个数字化装配工厂的典型示范案例。

大型拖拉机底盘环保柔性自动喷涂生产线通过了河南省科技成果鉴定,获 2012 年洛阳市科技进步奖二等奖、2014 年中国机械工业科学技术奖三等奖。大轮拖生产区制造执行系统(MES)项目通过中国一拖集团有限公司科技成果鉴定并获中国一拖集团有限公司科技进步奖一等奖。本项目申报专利 6 项,已获 4 项授权。

五、展望

中国一拖大中轮拖数字化装配车间应用较为先进的装配工艺、工装,提升了生产能力和技术水平。二轴合装工艺、选垫机、定扭装备、机器人喷涂、AGV 转运小车,空中自行小车、发动机与传动系遥控机动对接台,传动

系加载试验台,数控制动泵试验台等新工艺、工装的应用,大幅提高了质量保证能力,降低了劳动强度,提高了生产效率。大中轮拖数字化装配车间的建成推进了农机行业装配制造向数字化、自动化、智能化方向的发展进程,其应用将对整个行业起到引领和示范作用,具有广阔的产业应用前景。

为满足农田耕作高效、节能以及农艺作业个性化、多样化方向发展的要求,近年来我国拖拉机产品技术追踪世界高端拖拉机产品主流技术,向拖拉机动力换挡、无级变速(CVT)以及数字化、智能化方向快速发展。对装配扭矩控制、间隙检测、控制,部件以及系统检验、试验,装配精度与效率等的要求大幅提高,新的产品技术也提出新的装配、试验要求,使得拖拉机装配工艺技术越来越趋向复杂。今后拖拉机装配工艺技术的改进将会结合计算机技术与装配工艺装备的发展,向装配模块化,高度机械化、自动化,机器人装配,柔性化,信息化以及虚拟化方向发展,以满足各种高、中、低端不同产品技术水平,不同生产纲领拖拉机装配的要求,提高拖拉机的装配效率,降低成本,提高产品质量。MT

高速动车组轴箱轴承数字化生产线



洛阳 LYC 轴承有限公司

摘要：高铁技术已成为我国实施“走出去”战略的标志性技术，然而，高速动车组轴箱轴承长期依赖进口。铁路轴承全自动磨超生产线实现了高速铁路客车和货车轴箱轴承国产化，生产线由 14 台磨超设备组成，实现了轴承内、外套圈磨削加工过程自动化、工艺参数精准化，产品质量达到国际同类产品先进水平。形成了最高时速 350km 的高速动车组轴箱轴承产业化能力。

一、导语

截止 2015 年底，我国铁路运营里程已达 12 万 km；其中高铁运营里程突破 1.9 万 km，居世界第一位。铁路交通的快速发展为相关产业带来了机遇，铁路轴承作为铁路机车的重要组成部分，迎来了跨越式发展的机会。

高速铁路是指时速 250km 及以上动车组列车，初期运营时速不小于 200km 的客运专线铁路。早在 1964 年，世界第一条高铁——日本东海道新干线已经建成通车，经过 50 余年的发展，建有高速铁路的国家有法国、德国、美国、加拿大、中国等 10 多个国家。

我国 2004 年开始引进高铁技术，经过消化吸收、自主创新，2008 年 8 月 1 日，中国第一条高

铁——京津城铁开通运营。从此，中国铁路交通驶入了快车道，截止 2015 年底，高铁运营里程已经突破 1.9 万 km，高铁动车组保有量在 1700 列以上。按每一标准列 8 辆编组计，每辆编组配套 8 套高铁轴箱轴承，高铁轴箱轴承市场容量在 10 万套以上，市场发展前景良好。但遗憾的是，到目前为止，我国高铁动车组轴承全部依赖进口，市场被瑞典 SKF、日本 NTN、日本 NSK 和德国 FAG 等几个跨国公司瓜分。

高铁轴承一般指轴箱轴承，

是列车走行装置中的一个重要组成部分，除了支撑列车质量及车辆载重所构成的静态和动态的径向负荷外，在车轴方向还要承受额外的非稳定力，如列车转变时的离心力，其可靠性对列车的运行安全性产生重大影响。国内外铁路轴承厂家特别重视轴箱轴承的结构优化和设计制造技术，其类型主要包括圆柱滚子轴承、圆锥滚子轴承和调心滚子轴承等。我国高铁动车组轴箱轴承均为双列圆锥滚子轴承，基本结构形式如图 1 所示。

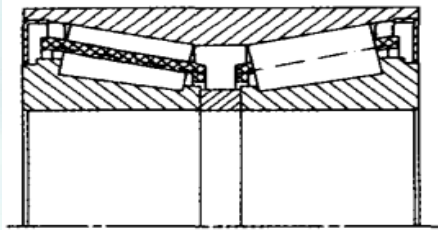


图 1 高铁动车组用轴箱轴承

列车运行速度的高速化对高铁轴承提出了极高的要求,除了要满足高速、重载、冲击等工作条件外,还要适应高温、极寒、风沙、雨雪等恶劣工况,长的无故障工作寿命和高可靠性是高铁轴承迟迟不能国产化的主要原因。更深层次原因则是国内铁路轴承企业生产设备老化、单机化生产,某种程度上造成了产品质量受人为影响较大,产品质量一致性较差。而国外企业从高铁轴承设计到应用已经有了几十年的经验积累,无论是生产设备还是生产工艺都达到了非常高的水平。

二、数控技术在高铁轴承生产中的应用

为了抓住国内高铁交通快速发展的市场机遇,洛阳 LYC 轴承有限公司(以下简称“洛轴”)于 2009 年实施了铁路轴承产业全面升级计划,通过自主开发和引进、消化、吸收再创新,在引进世界知名轴承专用设备制造商意大利 NOVA 公司和德国 SUPFINA 公司关键设备的基础上,开发了由 14 台磨超设备组成的铁路轴承全自动磨超生产线,实现了轴承内、外套圈磨削加工过程自动化、工艺参数精准化,产品质量达到国际同类产品先进水平,具备了时速 350km 高铁轴承生产能力;在国家“863 计划”“大

型高速铁路轴承试验台”项目的支持下,自主开发了大型高速铁路轴承试验系统,具备了时速 350km 高铁轴承试验能力。

1. 磨超自动生产线

自动线作为轴承套圈的终加工设备,由 1 条内圈磨超自动线、1 条外圈磨超自动线和 1 台双端面磨床组成,如图 2 所示。

其中,内圈生产线由 2 台双竖轴桁架机器人和内圆磨床、内圈内挡边磨床、内圈滚道磨床、内圈滚道挡边超精机等 4 台精密磨超设备组成,加上料道、退磁、清洗设备和转序料道等辅助设备,形成整体化的内圈自动化生产线,如图 3 所示。

外圈生产线由 2 台双竖轴桁架机器人和外圆磨床、外圈滚道磨床、外圈滚道挡边超精机等 3 台精密磨超设备组成,加上料道,退磁、清洗设备和转序料道等辅助设备,形成整体化的外圈自动化生产线,如图 4 所示。

生产线内各磨超设备和桁架机器人均采用 SIEMENS840D 数控系统进行控制,SIEMENS 交流伺服电机通过精密滚珠丝杠和滚动导轨实现高精度进给,通过绝对值编码器反馈信息,形成闭环控制,实现整个生产线的全自动加工。高速动车组轴箱轴承数字化生产线投入使用以来,实现了年产铁路轴承套圈 10 万套以上,产品加工质量得到了极大提高



图 2 套圈磨超全自动生产线

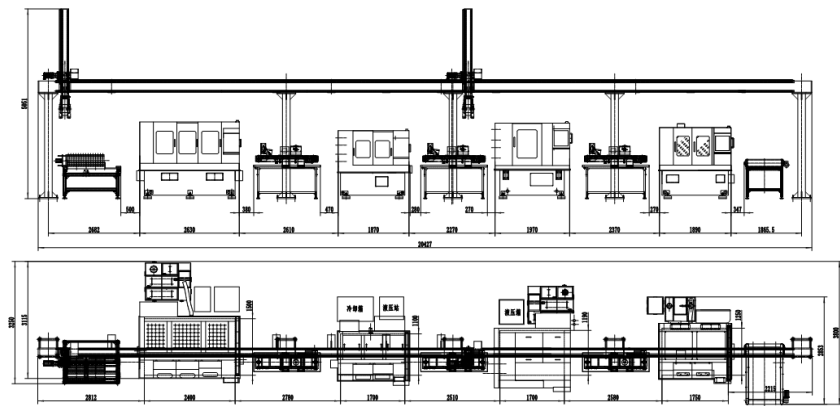


图 3 内圈磨超自动线

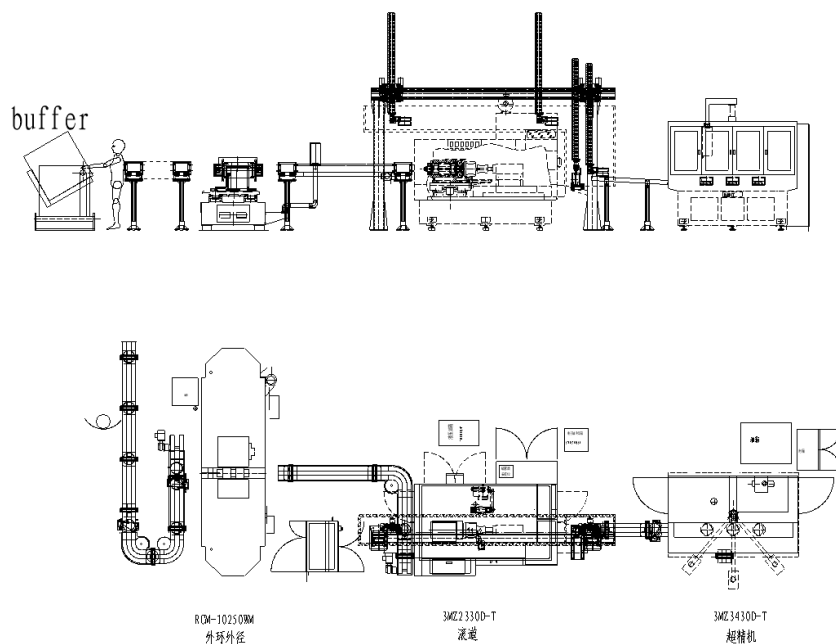


图 4 外圈磨超自动线

表 1 自动线投用前后铁路轴承套圈加工质量对比表 (单位: mm)

工序名称	技术指标	自动线投用前	自动线投用后
终磨内、外圈双端面	R_a	0.00032 ~ 0.00042	0.00022 ~ 0.00031
	VCs\VBs	0.002 ~ 0.003	0.001 ~ 0.002
终磨外圈外圆	R_a	0.00032 ~ 0.00038	0.00018 ~ 0.00025
	Δ_{Cir}	0.0032 ~ 0.0042	0.0010 ~ 0.0020
终磨外滚道	Δ_{Demp}	± 0.012	± 0.005
	Δ_{Cir}	0.0015 ~ 0.0025	0.0010 ~ 0.0016
	K_{er}	0.0030 ~ 0.0048	0.0023 ~ 0.0025
	K_e	0.0022 ~ 0.0046	0.0018 ~ 0.0020
终磨内圈内径	S_d	0.003 ~ 0.006	0.001 ~ 0.002
	K_i	0.002 ~ 0.004	0.001 ~ 0.003
终磨内滚道	Δ_{dimp}	± 0.0055	± 0.0025
	Δ_{Cir}	0.0012 ~ 0.0026	0.0010 ~ 0.0016
终磨大挡边	R_a	0.00015 ~ 0.00025	0.00014 ~ 0.00016
内滚道超精	R_a	0.00010 ~ 0.00015	0.00008 ~ 0.00012
外滚道超精	R_a	0.00010 ~ 0.00014	0.00008 ~ 0.00011

(如表 1)。

2. 双竖轴桁架机器人

针对大型铁路轴承套圈尺寸大、质量重、精度高的特点,配备了双竖轴桁架机器人,也常称作门式装载机。该机器人及相关设备的控制可以和生产线设备信号实现节拍的完全衔接,生产效率高、故障率低,保证了生产线的产能稳定。桁架机器人由一个有两个垂直轴(X2和Y2轴)的滑板和一个水平轴(Z2轴)组成。垂直轴X2和Y2分别用于装载与卸料,水平轴Z2轴是横梁,滑板在上面移动,如图5所示。X2/Y2/Z2轴移动速度:75/75/90 m/min,机械手可抓取单个工件质量:35 kg,重复定位精度:±0.1mm。其主要特点有以下几个方面。

(1) 双竖轴桁架机器人可实现四自由度的控制运动:X2/Y2轴在上极限位置(机床零位)和下极限位置(夹起区域/传送带卸料区域)之间运动;Z2轴在传送带和磨超机床之间横向传送工件;装载抓手(X2轴臂)和卸料抓手(Y2轴臂)向上转位进入水平位置,向下转位进入垂直位置;装载抓手的左右夹杆安装在可横向移动的两个筋板座上,实现工件的夹紧与松开。

(2) X2/Y2/Z轴均由伺服电机带动蜗轮蜗杆运动通过齿轮齿条结构实现垂直方向和横向移

动，行程中设置有机床零位可准确定位工件位置，行程两端的安全限位开关限定了机械手运动范围在机床内部区域且可防止碰撞事故发生。装载 / 卸料抓手位置翻转和夹紧 / 松开动作分别由液压电磁阀和气动电磁阀控制实现，如图 6。

(3) 装载抓手包括一对后夹杆（固定）和一对前夹杆（可调整），如图 7。用于夹杆停留位置的设置块规位置取决于工件的外径与宽度，块规安装在可在筋板上横向移动的两个座上。前夹杆配备了活动的工件夹紧棱柱，后者安装在弹簧加载了的销子上，销子用于适应带锥度的不同直径的工件。在筋板上移动夹杆，按照工件外径并利用块规适应尺寸。

(4) 在自动连续过程中，桁架机器人起动由磨削结束信号控制，其工作过程如下：X2 轴向下运动到夹起区域；装载抓手夹紧，X2 轴向上运动到机床零位；Z2 轴移动到机床上 Y2 轴向下位置，抓手转位器处于垂直姿态；Y2 轴向下运动，卸料抓手夹紧；Y2 轴向上运动到机床零位；Z2 轴移动到用于 X2 轴装载的向下位置，X2 轴向下运动；移动 Z2 轴接近驱动器，装载抓手松开，启用电磁力；X2 轴向上运动到机床零位；Z2 轴移动到卸料传送带；Y2 轴向下运动，卸料抓手卸料；Y2 轴向上运动到机床零位，

X2 轴运动到停止位置，工作循环结束。整个过程中，工件被平稳传送，机械手对工件无冲击、无磕碰伤，工件上下料无撞击且噪音低。装载 / 卸料可根据加工时间、工件传送时间和料空料满情况，通过系统控制调整工作节拍，保证一致协调性。

三、高铁轴承生产线应用技术研究

高铁轴承尺寸大、精度高、加工公差要求严（套圈滚道尺寸公差、圆度等要求均在微米级），仅磨削加工的工序就有内外圈双端面、内圈内径、内圈外径、内圈滚道、内圈挡边、外圈外径、外圈双滚道、外圈双牙口磨削，此外，内圈的滚道与挡边、外圈的滚道和外径还需超精加工。加工难度之大，是原有工艺水平难以达到的。

洛轴公司通过分析国外高铁轴承技术指标，针对高铁轴承磨超自动线开展工艺研究，创新性地制定出了高铁轴承内外套圈加工工艺，有效地解决了国产轴承产品稳定性差的难题。

1. 铁路轴承内圈终磨加工工艺流程

终磨双端面（线外）——上料——终磨滚道——终磨内径（主动测量）——终磨挡边——退磁、清洗——超精滚道、挡边、

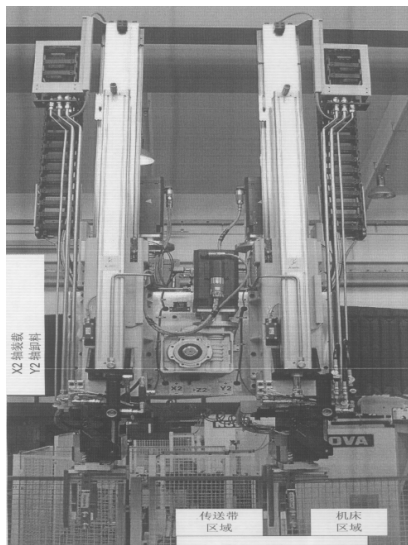


图 5 双竖轴桁架机器人

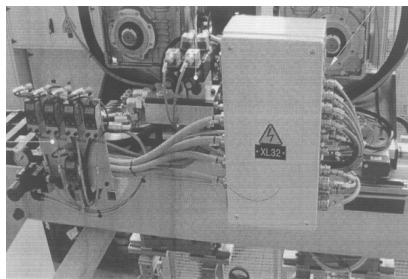


图 6 机器人液压与气压部件
1- 液压电磁阀 2- 气动电磁阀
3- 压力开关

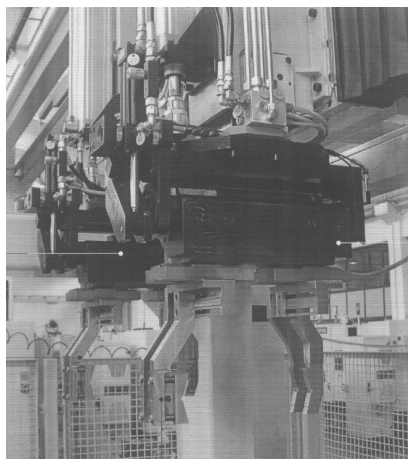


图 7 机器人装载抓手
1- 抓手体 2- 装载抓手 3- 卸料抓手

倒角——理料（图8）。

2. 铁路轴承外圈终磨加工工艺流程

终磨双端面（线外）——上料——终磨外径——终磨双滚道、牙口（双滚道、双牙口一次磨）——退磁、清洗——超精滚道、外径——（理料）（图9）。

3 应用效果

（1）开发了多磁极电磁无心夹具，解决了高铁轴承套圈宽度大难以加工的难题。

（2）外圈双滚道与牙口修整技术应用，实现了一次切入磨削成形两个圆锥面或两圆柱面，在保证了两个滚道面对称的基础上，实现了圆锥面对数曲线凸度要求。

（3）自动上下料和桁架机

器人应用，实现了高铁轴承套圈的全自动加工，有效地解决了产品加工精度的稳定性和一致性问题。

（4）成功开发出时速 250km 的高铁轴承，完成 120 万 km 的台架试验。同时，时速 350km 高铁轴承已经试制成功，目前正在筹备台架试验。

（5）为了实现高铁轴承洛阳制造的目标，洛轴编制了多项大型高速铁路轴承技术标准，形成了 20 项国家专利，其中，发明专利达 13 项。

四、结论

通过对高铁轴承内、外套圈终磨削加工工艺的研究、高铁轴承套圈磨削数字化自动生产线的设计、关键设备成套引进，为

高铁轴承终磨削加工提供了重要的工艺基础、装备支撑和系统保障。高铁轴承套圈磨削数字化自动生产线和生产车间的建立，解决了高铁轴承终磨削加工生产中的技术难题，形成了数字化自动高铁轴承内、外套圈终磨削生产线成套技术及装备，实现了从高铁轴承内、外套圈终磨削生产流程自动化运行，在保证加工精度的前提下，极大地提高了生产效率，降低了生产成本及劳动强度，为高铁轴承产业化生产提供了保障。

通过对轴箱轴承的内、外套圈磨削加工工序进行系统的改进提升，实现高速铁路轴承内、外套圈磨削加工过程自动化、工艺参数精准化执行，提高套圈的加工精度，大幅度降低劳动强度。在行业内形成示范应用，实现高

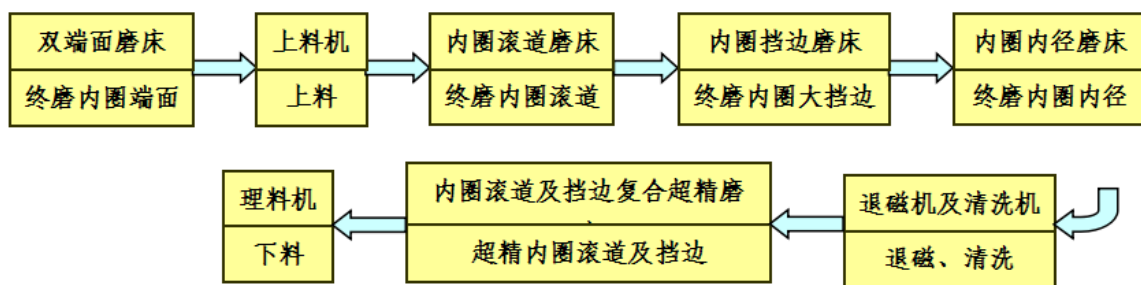


图8 内圈加工自动化生产线布局

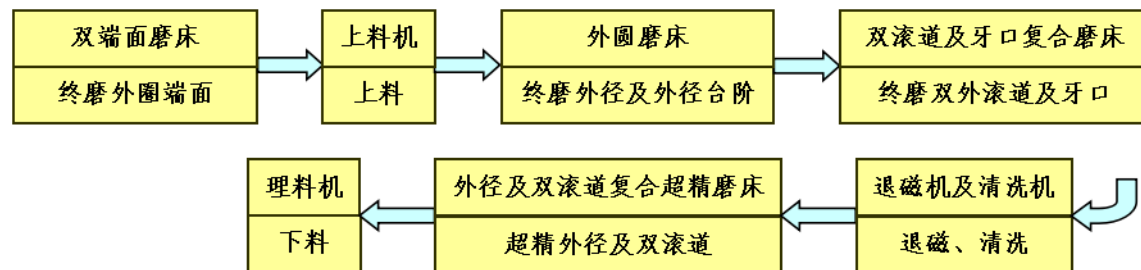


图9 外圈终磨加工工艺流程

铁动车组轴承的工程化，具备产业化能力，满足我国高速铁路轴承套圈生产需要，达到国际同类产品先进水平。

五、展望

数字化生产线能够适应高速铁路轴承大批量、高精度、高可靠性的特点，它是提高生产效率，优化要素配置，改变传统的生产制造模式，逐步实现数字化工厂，增强企业核心竞争力的重要基础。

(上接第 17 页)

1. 进一步提高生产线集成化、自适应水平

通过对生产线附加信息化生产管理系统，设立总控系统，实现物料输送系统、机器人上下料系统和各磨超机床对于不同类型轴承的自调整生产兼容。生产线轴承产品技术指标实施在线测量监控，如：获取各工序加工成品质量，将结果反馈给机床自动调整加工参数，提高加工精度，保证产品质量；同时通过机床加工统计数据可评估其工序能力指数，为生产线能否稳定实现产能

以及维护提供参考。

2. 从数字化生产线到数字化工厂

在轴承产品生产前，从设计部门、生产部门、工艺部门获取产品数据，以现实条件为基础在计算机环境中虚拟生产制造的全过程，验证生成需要的工艺参数。试生产后将产品实际数据反馈给各部门进行调整，从而缩短产品从设计到生产的整个周期，增强企业活力。MT



图 1 平台的模式

源成本，提高业务竞争能力。

(3) 使用熟运力，提高交易、运力运作各环节角色协同服务效率，积累企业级并与项目匹配的可控、可影响的运力资源，线上交易撮合，提高管理层可溯源管理。

(4) 运输全过程管理透明、客户可视，提升了管理能力和客户体验。

(5) 运作各环节系统控制，统一运作标准、提高执行检查，提升了运作标准化管理能力。

目前路歌“互联网+物流”

平台已拥 4 万多家物流或制造企业用户，以及 280 多万从事干线营运的个体重卡会员，为超过全国超过 60% 的重卡司机提供闭环服务，目前线上运输交易金额已突破 4 亿元/月，是全国规模最大的公路干线物流电商平台。MT

中国机械工程学会第十一届理事会第二次常务理事（扩大）会议在北京召开

中国机械工程学会第十一届理事会第二次常务理事（扩大）会议于2017年7月8日在北京举行。李培根理事长、张彦敏常务副理事长、王德成副理事长、陆大明副理事长兼秘书长等46名常务理事及代表到会。宋天虎监事长，部分专业分会总干事、省市区学会秘书长以及工作总部全体工作人员列席了会议。会议由张彦敏常务副理事长主持。

会议首先由陆大明副理事长兼秘书长就《中国机械工程学会事业发展规划要点（2017-2021）》的起草过程和内容做了说明；左晓卫副秘书长向全体与会者报告了我会12个工作委员会成立情况及负责人名单、机器人分会的成立及组成情况。

与会代表对上述报告及学会工作进行了热烈的讨论。对学会事业发展规划要点（2017-2021）表示赞同，并对规划的具体实施

以及各工作委员会的工作提出了很多意见和建议。一致认为，学会的工作应顺应时代要求，利

用自身优势，为国家的“军民融合”、“一带一路”发展战略以及“智能制造发展规划”服务。



中国机械工程学会理事长李培根做总结



中国机械工程学会常务副理事长张彦敏主持会议



中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明就《中国机械工程学会事业发展规划要点》做说明



在国际化及学会品牌建设方面，应努力打造和充分利用学会的品牌活动，积极发起成立新的国际组织，并推荐专家在国际组织的任职，以提高我国在国际学术界的话语权。在会员服务和发展方面，有计划也要有具体措施，要充分发挥各专业分会、省区市学会的优势，要重视学会会员的后备力量——学生会员的发展和服务。要加强学会自身建设和能力提升，在承接政府职能转移的工作中，成为国家急需的能负责、能问责，接得住、接得好的社团

组织。与会代表对我会机器人分会的成立后的工作充满信心和期望，并提出许多建设性的意见和建议。

经举手表决，会议原则通过了《中国机械工程学会事业发展规划要点（2017-2021）》、“中国机械工程学会各工作委员会的构成”，以及“关于成立中国机械工程学会机器人分会第一届委员会的报告”。

李培根理事长在做会议总结时首先感谢克服北京恶劣天气前来开会的常务理事和代表，对各

位参会代表提出的意见和建议，责成总部工作人员做进一步整理。李培根理事长在谈到学会的服务问题指出，为企业服务，需要手段；为会员服务，要让会员的个体价值得到充分释放；引领产业的发展方向，让企业关注前瞻的技术及发展趋势是更高层的服务。如何实现上述服务，是我们需要思考和探索的问题。我们应与其他学会进行交流碰撞，协同合作，以拓展我们学会会员的发展空间，更好地为企业服务，为国民经济服务。MT

中国机械工程学会 高端装备智能制造培训中心在德阳成立

6月29日,在四川省人社厅、四川省经信委共同主办、四川工程职业技术学院等单位共同承办的“装备制造业机器人应用技术高级研修班”的开班式上,中国机械工程学会常务副理事长张彦敏、德阳市委副书记李成金、四川工程职业技术学院院长李登万,分别代表三方共同签订共建中国机械工程学会高端装备智能制造培训中心合作协议。由此,中国机械工程学会高端装备智能制造培训中心正式在德阳揭牌成立。

开班式上,张彦敏常务副理事长宣读了中国机械工程学会关于在德阳设立中国机械工程学会高端装备智能制造培训中心的复函。成立中国机械工程学会高端装备智能制造培训中心,旨在深入实施创新驱动发展战略,以实施“中国制造2025”为契机,围绕传统装备制造向高端化、智能化转型发展的现实和未来要求,围绕德阳打造“世界智造之都”的战略目标,在全国探索建

立科技社团、学校、地方政府合作培养高端人才、高技能人才的新型体制机制,加速学会、地方政府及学院在平台共建、人才引进培养、资源共享等方面开展深层次合作和融合,建立长期、全面、稳定、深层次、多方位、宽领域的战略合作伙伴关系,为装

备制造产业结构转型升级、推动德阳装备制造产业向高端化、智能化转型发展提供技术和人才支撑。

德阳市副市长李成金表示,当前,德阳正紧紧抓住全面改革创新试验区建设、成德同城化等重大机遇,全面创新驱动引领产



张彦敏(中)、李成金(右)、李登万(左)为培训中心揭牌



大会现场

业转型发展,着力在智能制造技术攻关、军民融合发展等方面取得新的突破实现新的跨越,推动德阳成为全省经济社会发展新的增长极。共建“中国机械工程学会高端装备智能制造培训中心”既为我们与中国机械工程学会合作提供了更为广阔的空间,也为广大科技工作者、企业家搭建了为创新创造及企业发展壮大培养更多、更高层次的技能型人才搭建了平台。

培训中心作为面向德阳、辐射全国的高端装备智能制造领域

高层次、高技能人才培养的重要基地,将立足德阳和我国装备制造产业转型升级和高端装备智能制造发展需要,加强培训需求调研,为制定人才培养方向、目标、专业设置、内容设置、教材开发提供依据。充分利用全国学会、德阳企业、高校和地方政府人才资源和引进人才政策、机制,建设高素质师资队伍。此外,还将针对装备制造相关领域需求,面向高端装备智能制造领域的中高层管理人员、研发人员、工程技术人员、技能人员和在校大学生

等,开展新技术、新标准、新技能培训、创新创业和工程技术人员资格认证及国际互认等继续教育培训等。

中国科学院丁汉院士、中国机械工程学会、华中科技大学机械科学与工程学院相关领导和四川省人社厅、四川省经信委、四川省科协等相关部门、企业、院校的嘉宾以及来自全国15个省区市的研修班学员400多人参加了开班仪式。开班仪式结束后,丁汉院士作了主题为《机器人与智能制造技术》的学术报告。MT

2017亚洲国际物流技术与运输系统展览会

物料搬运、自动化技术、运输系统和物流的国际盛会

2017年10月31日-11月3日

上海新国际博览中心

www.cemat-asia.com



详情请联系:

汉诺威米兰展览(上海)有限公司

联系人: 汪萍 女士/朱海昆 先生/陈飞 先生/王宸 先生

电话: 021-5045 6700转227/331/313/283

传真: 021-5045 9355/6886 2355

电子邮件: ceamat-asia@hmf-china.com

网址: www.cemat-asia.com

中国物流与采购联合会

联系人: 马增荣 先生

电话: 010-6839 2236

传真: 010-6839 2289

电子邮件: hzbc@cfli.org.cn

网址: www.chinawuliu.com.cn

中国机械工程学会

联系人: 张伟光 先生

电话: 010-6879 9042

传真: 010-6879 9026

电子邮件: zhangwg@cmes.org

网址: www.cmes.org.cn

CeMAT
ASIA