

MT 机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

<http://www.cmes.org>

2017年第3期 总第190期

美国国家制造业创新中心建设给我国制造业的启示 p01

美国机器人技术发展路线图（三） p12

面向家电生产自动化的数控关键技术及装备 p25

木工机械专用数控系统的开发与应用 p32

中国好设计案例选登（十） p36



目录

CONTENTS



机械工程导报

MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2017 年第 3 期 (总第 190 期)
2017 年 6 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



专家视点 EXPERT OPINION

美国国家制造业创新中心建设给我国制造业的启示 1



热点关注 CURRENT POINT

美国机器人技术发展路线图 (三) 12
面向家电生产自动化的数控关键技术及装备 25
木工机械专用数控系统的开发与应用 32



中国好设计 CHINA GOOD DESIGN

中国好设计案例选登 (十) 36



学会资讯 CMES INFORMATION

2017 智能制造国际会议在北京召开 43
中德高端圆桌会议观点荟萃 52

美国国家制造业创新中心建设 给我国制造业的启示

贝加莱工业自动化（上海）有限公司 宋华振

作为制造业的一员，研究美国国家制造业创新中心（NNMI）给了我很多触动。同时，探究美国的制造业，可能也会给我国的制造业、企业、产业创新中心、研究机构、教育机构都会有所启发。

一、建设目标清晰

2008年下半年的金融危机使美国经济受到了重创，从而促使其开始反思产业发展。而总统科技顾问委员会（PCAST）也对全球的经济进行了研究，发现相对于德国、日本以及中国快速崛起的制造业来说，美国已经陷入落后局面。美国曾经引以为傲的制造业正在失去他们的竞争力，这对美国的就业、经济发展的可持续性带来了巨大的冲击，因此，美国提出了回归制造业的口号。

2011年，总统科技顾问委员会对美国制造业存在的问题进

行了报告，2012年，“先进制造伙伴关系”计划（AMP）也认为，美国企业在制造业技术转换的技术和经济上的限制使得美国制造业发展受限，并且，美国希望能够在制造业全球竞争中获得领导地位。2012年，建立了第一个制造创新中心——America Makes，并于2014年美国众议院修改通过了《振兴美国制造业和创新法案2014》，将对《国家标准与技术研究院（NIST）法案》进行修改，授权商务部部长在NIST框架下实施制造业创新网络计划——NNMI，在全国范围内建立制造业创新中心。在此之后，相继成立了多个制造创新研究院（Manufacturing Innovation Institute, MII），负责具体的产业运营。

1. 放眼全球市场，提升竞争力

美国人一向以放眼天下和美

国老大的思想所主导，其制造业放眼全球产业，NNMI的规划主旨在于通过建立制造业创新中心，通过协同效应让美国制造业在相关所定义的领域处于领导地位，具有打造全球竞争力的目的。

①目标在于提升美国制造业的竞争力；

②将技术转化为制造能力的提升，并创造广泛的商业价值；

③加速先进制造劳动力的开发；

④构建有效的运行机制确保可持续发展。

2. 定位于蓝海

NNMI的各个MII所设定的目标如果从制造成熟度指标（Manufacturing Readness Level）来看，其关注点在于MRL4-MRL7（图1）。如果来解读这个问题的话，可以理解为“关注蓝海”，即，NNMI不关心纯理论和工程研究阶段的技术，而是

聚焦于“制造创新”，即如何让这些刚刚进入原型或者小批量市场阶段的，但由于初始阶段的成本门槛尚未通过，通过制造创新来降低其成本、提升性能、稳定性等来让其成为更具市场竞争力的技术与产品。这就类似于“尚未大批量、但有着广阔前景”——这就是“蓝海”。研究，不是我NNMI的事，因为那个需要长期见效；而已经进入市场激烈拼杀的红海，我们也别管了，咱就干最有前途的事情——显然，这样的事情值得投入。

从图2可以看出，其实就是将整个MRL4—MRL7列入其推动范围，这包括了很多技术的产业化应用推动。在整个NNMI的推动中，美国国防部（Department of Defense, DoD）、能源部（Department of Energy, DoE）、美国宇航局（NASA）、空军（Air Force）等，以及为军方提供生产制造的洛克希德·马丁、波音等也参与到了NNMI中并扮演关键角色。这里也包括了“军转民”的因素，因为每年美国的经费投入在军方、航空航天的金额非常大，这些巨大的投入如果可以通过NNMI转为民用，则可以为产业提供巨大的支持。

图3是一个例子，宽带隙功率半导体技术（Wide Band Gap, WBG）是其中一个MII-Power America所需推动的市场，来自IHS的报告可以看出，WBG所推

TRL 1:	Basic principles observed and reported	MRL 1:	Manufacturing feasibility assessed
TRL 2:	Technology concept and/or application formulated	MRL 2:	Manufacturing concepts defined
TRL 3:	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept	MRL 3:	Manufacturing concepts developed
TRL 4:	Component and/or breadboard validation in a laboratory environment	MRL 4:	Capability to produce the technology in a laboratory environment
TRL 5:	Component or breadboard validation in a relevant environment	MRL 5:	Capability to produce prototype components in a production relevant environment
TRL 6:	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment	MRL 6:	Capability to produce prototype system or subsystem in a production relevant environment
TRL 7:	System prototype demonstration in an operational environment	MRL 7:	Capability to produce systems, subsystems or components in a production relevant environment
TRL 8:	Actual system completed and qualified through test and demonstrated	MRL 8:	Pilot line capability demonstrated; Ready to begin Low Rate Initial Production
TRL 9:	Actual system proven through successful mission operations	MRL 9:	Low rate production demonstrated; Capability in place to begin Full Rate Production

图1 TRL/MRL 定义

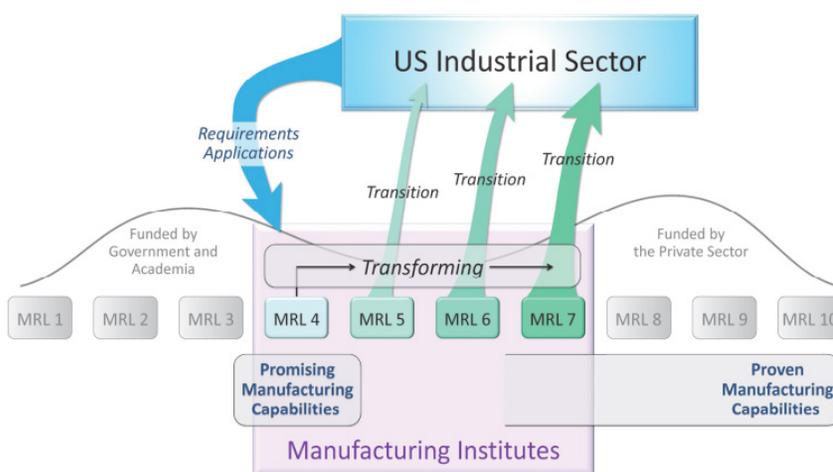


图2 通过传输和转让提高美国各个工业领域的制造能力^[1]

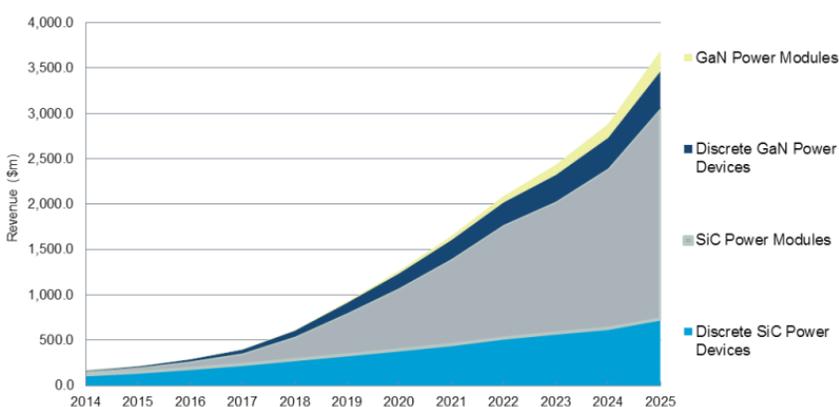


图3 举例：WBG 未来将会迎来更为广泛的市场（来自 IHS）^[2]

动的碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)在未来的产业应用中有较为巨大的市场潜力。

思考:

据 PA (注: 下一代电力电子制造创新中心, 位于北卡罗来纳罗利) 的统计, 在制造业中 60% 的能耗来自于传动系统, 如今, 基于绝缘栅双极型晶体管 (Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT) 的电气传动产品已经是非常低的成本, 因此, 中国本土的电气传动制造商已经能够在市场上因为低成本具有了较大的市场份额。但是, 未来, 在 WBG 时代, 我们是否还能保持领先? 更低的功率损耗、更小的体积、高功率密度, 可以节能 10% 左右的空间, 这些都是美国 PA 的突破点。未来, 我们还能靠低成本领先吗?

另外, 在电动汽车产业, 消

费电子领域, 我们难道还仅乐于提供组装, 而核心器件仍然掌握在美国、日本手里? 我们是否应该更为关注那些真正意义上领先的技术, 而不是仅仅停留于制造成本的领先——再说, 我们还能领先多久呢?

二、聚焦材料与跨界融合创新

不同于德国工业 4.0 聚焦于以制造为核心的协同, 美国的制造创新体系由多个 (目前 14 个, 未来预期将扩展至 45 个) MII 构成, 而由这些中心则可以看出其聚焦点在哪里。

图 4 是 2016 年 NextFlex (注, 美国柔性混合电子制造创新中心, 后更名为下一代柔性) 的 Jason Marsh 在 NextFlex 的会议上对 MII 的布局的概览, 当

然, 这个并非是对所有目前已经成立的 14 个 MII 的介绍, 而是对最早的 9 个的布局。本文仅对 IACMI (先进复合材料制造创新中心, 位于田纳西州诺克斯维尔)、NextFlex、PA 三个作较多的介绍, 其它不在本人研究范围的仅大致了解。

1. 各个制造创新中心的聚焦点

(1) AM, 即国家增材制造创新中心, 关注增材制造 /3D 打印技术。

(2) DMDII, 即数字制造与设计创新中心, 关注数字设计与制造的集成。

(3) LIFT, 即轻质材料制造创新中心, 关注轻金属制造技术。

(4) AIM, 即集成光子制造创新中心, 关注集成光子电路

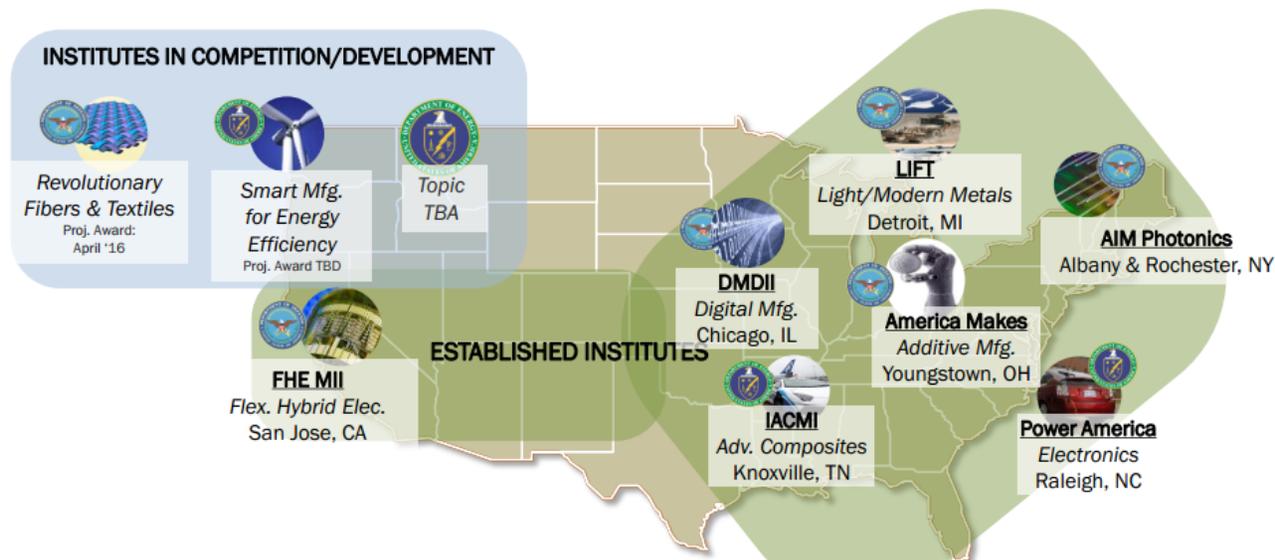


图 4 NNMI 的布局 (2015) [3]

制造。

(5) AFFOA, 即先进功能织物制造中心, 关注革命性的纤维和纺织技术。

(6) PA, 关注宽带隙功率电子器件制造。

由于采用 SiC 和 GaN 技术, 宽带隙功率电子具有更大的节能空间、体积更小、高功率密度等特点, 未来能够为具体的产业提供巨大的市场。PA 的应用包括在电动汽车领域的 AC-DC, DC-AC 转换设备、充电设备的效率提升, 在工业领域则聚焦于大型的传动设备应用, 以及在消费电子领域如手机充电等大的市场应用。

(7) IACMI, 关注先进纤维增强聚合物复合材料。

对于 IACMI 而言, 其聚焦于汽车减重设计, 通过聚合物碳纤维增强复合材料 CFRP 来实现汽车重量的降低, 以达到约 24.9km/1 (58.5 英里 / 加仑) 的目标。第二个应用市场则是风力发电叶片的市场。第三个则聚焦于 CGS——燃料电池、压缩天然气储罐的应用市场, 其

它则是和材料本身相关以及仿真设计的技术。

(8) NextFlex, 即下一代柔性, 关注半导体与柔性电子器件的制造和集成。

柔性混合电子是将印刷技术与电子技术进行融合, 进而在柔性材料上印刷电子线路, 其聚焦于大的消费电子的可穿戴设备领域 (图 5), 旨在用于健康监测的巨大市场, 第二则是为 IIoT 提供传感器的设计与制造应用, 这些都是较大的应用市场。

(9) RIME, 即“制造环境中的机器人”制造创新中心。

(10) CESMII, 即清洁能源智能制造创新中心。

其它 MII 不多介绍了。

2.NNMI——跨界融合的创新

NNMI 的各创新中心的聚焦点在材料科技, 增材制造其实也是与材料包括粉末颗粒技术紧密相关。另一个显著特征在于跨界融合, 例如: IACMI 融合了材料科技、仿真技术、OEM 设备、检测技术、

成形等相关的技术, 而 NextFlex 则将电子技术、印刷技术进行了融合。它带来了以下几个好处。

(1) 创新总是发生在跨界的地方。

通过跨界才能产生新的市场机会, NNMI 的各个 MII 之间也有相互的关联关系, 例如: PA 可以为 CESMII 提供技术支撑, 而 IACMI 和 LIFT 可以共同服务于汽车减重设计, 而 DMDII 则与 RIME 进行合作。

(2) 传统行业获得新生。

传统的塑料、铸造、纺织、印刷已经趋于饱和市场, 竞争非常激烈, 而 NNMI 的创新体系设计让传统的行业借助于新材料、新制造技术的创新焕发新的生命力: 通过 IACMI 的复合材料将传统的塑料工业与新的材料融合, 而柔性混合电子和 3D 打印产业也为印刷行业提供了新的应用场景 (轮转印刷机) 以及产业的延伸, 而柔性混合电子使得电子制造业也可以与半导体、油墨等传统行业进行了融合。

启示:

中国的传统工业如塑料、纺



图 5 可穿戴设备举例

织、印刷、铸造等领域如何通过材料科技、智能制造技术的融合提升自己，美国的 MII 可以给我们很多借鉴。

(3) 材料与能源的变革具有“革命性”。

很明显，在整个制造中的成本划分中人工、机器、材料的构成应该在 1:2:7，这表明，在材料方面的改善会带来更大的竞争力，而能源消耗也是机器成本的重要构成，因此，美国制造业将材料作为了重点，其本身具有重大的意义。

思考：

我们将聚焦放在了所谓的“智能制造”——跟着在制造业领域非常领先的德国，以及 ICT 技术非常领先的美国来对我们的传统制造业进行升级，但是，如果未来，我们的制造业不能在材料、能源领域有非常好的提升，难道我们的原材料还要掌握在欧美人的手中吗？

美国的制造业是将制造与材料进行结合，而中国在材料科技领域的投资也不可谓不大——因为国家对此非常清楚，但是，如何有效的将材料与制造业紧密结合并形成有效的目标推动，则是值得思考的。

思考：

据美国 PA MII 的研究统计，在制造业中的 60% 左右的能耗来自于电机传动，由于传统的 IGBT 技术已经非常成熟，价格

便宜，在中国，电气传动领域已经通过低成本让欧美企业损失很多市场。但是，欧美的制造商仍然在技术（图 6）上保持着领先，WBG 功率半导体技术将会使得功率设备体积更小、功率密度更高，能效提升大约 10%，未来我们在竞争中是否还能够领先？

另外，WBG 在电动汽车领域的应用也会让充电时间、功率损耗下降、转换效率提升，我们必须关注这个领域，否则，在未来电动汽车领域，核心技术仍将掌握在国外，而自己仅做组装等低附加值的工作吗？

在 IIoT、美国的智能制造中，能源网络协同是其核心，能源协同就是通过连接，将能源在其中进行了“水平解耦”（在一次会议上，最初听到华为公司的史扬先生讲这个词时，我尚不明白其中含义，而他推荐的《零边

际成本社会》对其进行了分析）。举个例子，如果在时间上精准配置，可以消除等待时间中的空转能耗，或者通过最优的液压与产品加工的匹配，可以为注塑机提供节能空间，这些技术在注塑机领域已经有了大量的应用。

三、生态系统建设是关键

NNMI 是一个网络，其本质在于“生态系统”，其设定的目标也是构建生态系统，这从几个 MII 的愿景里就可以看出，其中也包括了 NNMI 本身的目的在于构建制造创新的生态系统（图 7），而对于每个具体的 MII，同样如此。

1. 生态系统建设是每个 MII 的核心职能

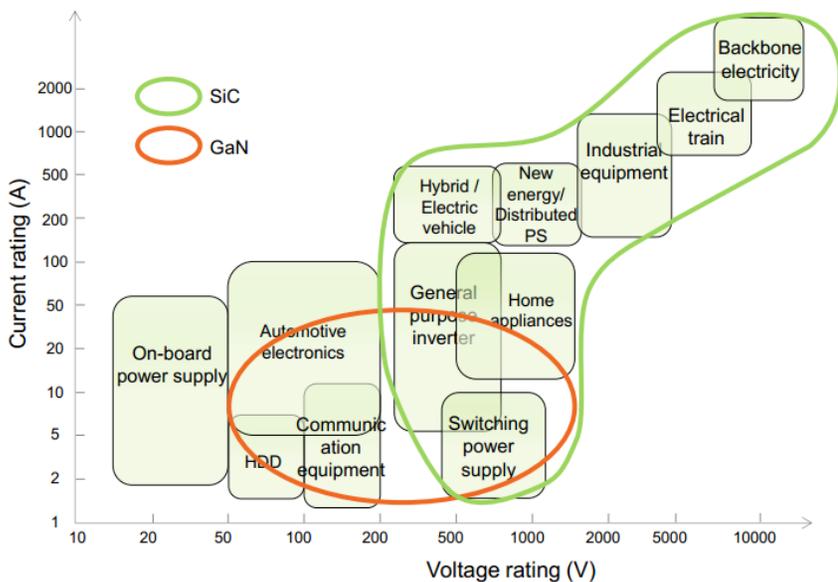


图 6 WBG 的技术应用范围^[5]

NNMI 的战略核心是构建生态系统，而不是政府自己大包大揽，希望通过协同来实现整体产业的发展，例如：终端用户主导明确的需求，而 OEM、材料、制造等跟随，避免错误的研发方向，节省产业内的研发成本。信息的共享也会起到降低研发成本的效果，避免了不必要的研发投入。其宗旨在于降低美国该产业的成本，获得全球竞争力，并非是为某家公司，而是放眼全球市场，如何让美国该领域制造业来提升竞争力。

2. 协同效应降低整体成本

生态系统的意义在于：

(1) 明确的需求避免不必要的研发浪费，例如，由终端用户提出需求，产业进行协同，否则，不同的 OEM、材料等厂商各自去研究市场需求，就会走弯路，而这都是成本。

(2) 资源的共享：包括测试实验室装备、技术的培训、技术研发信息等。

通过产业链的协同，资源分享，让整个美国制造企业在资源上获得分享降低其自身的成本，该产业整体的竞争力就会被打造出来。

关注到构建生态系统(图8)，其逻辑在于如何有效的让产业协同，从产业链的上游至下游，通过协同效应来消除美国整个产业

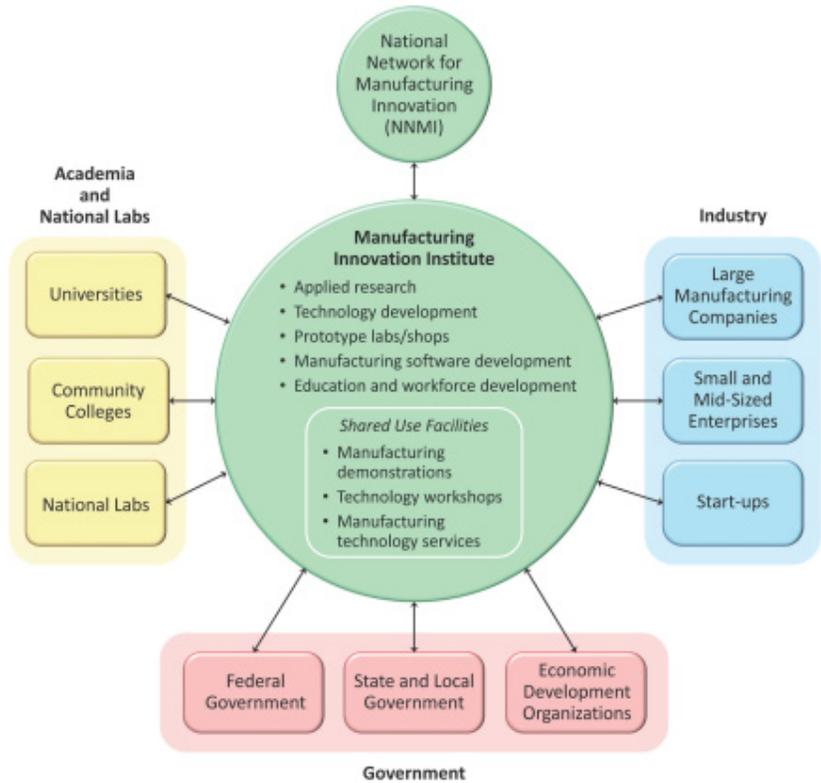


图7 NNMI 的生态系统构成^[1]

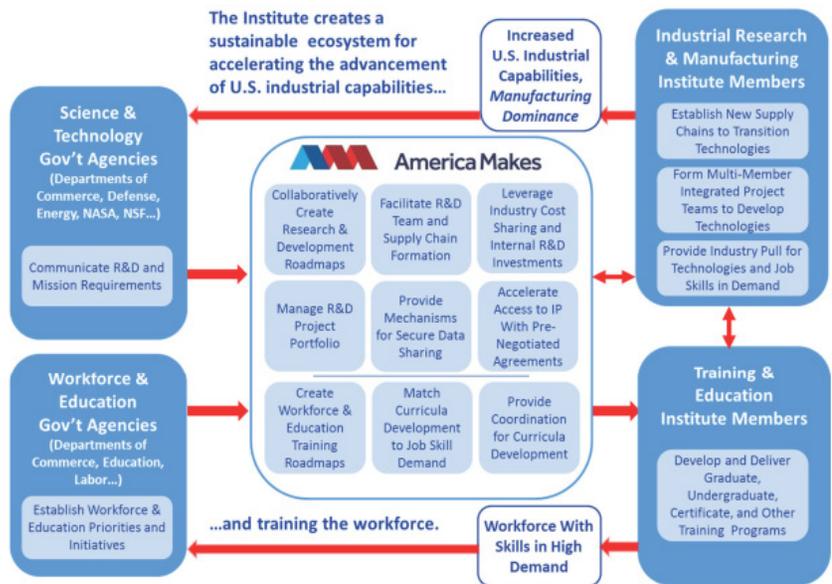


图8 首个 MII-AmericaMakes 旨在构建生态系统^[6]

的成本、技术领先性等，以使美国该产业在全球产业链中占据优势。

图 9 以 IACMI 的经济开发委员会为例，包括了 VC/PE、教育劳动部门、区域创新中心等共同参与，协同发展。

图 10 则列举了 NextFlex，由仿真设计、材料、机械、终端用户、劳动力培训机构、协会组织、大学研究机构共同构成生态系统，进而共同分享信息、组织培训、测试、验证实验室等整个产业的协同发展。

3. 杠杆效应

事实上，美国的 NNMI 给予每个 MII 的资金并非很多，其主要目的是想通过杠杆效应，通过



图 9 举例：IACMI 经济开发委员会的构成 [7]



图 10 举例：NextFlex 的生态系统构成 [8]

产业链的自我驱动来引发投资，用 2 亿美元的投资，撬动 10 倍或者更大的产业投资，由此投资引发一个 10 倍或更大的市场。

思考：

对于中国制造业的推动，我们是否应该这样大把的由政府主导项目的投资？NNMI 给我们的借鉴在于如何构建生态系统，花较少的钱通过协同、杠杆效应来推动企业主动的投资，进而将产业做大。

从战略目标来讲，我们是否需要清晰的选择？在制造业我们可能需要先解决基础的精益生产的推动问题（就像日本当年一样），进而推动自动化技术，并规划 AI 技术。本质上讲，德国、美国、日本与我国的制造基础不同。

四、专业的组织运营设计

1. 前期调研

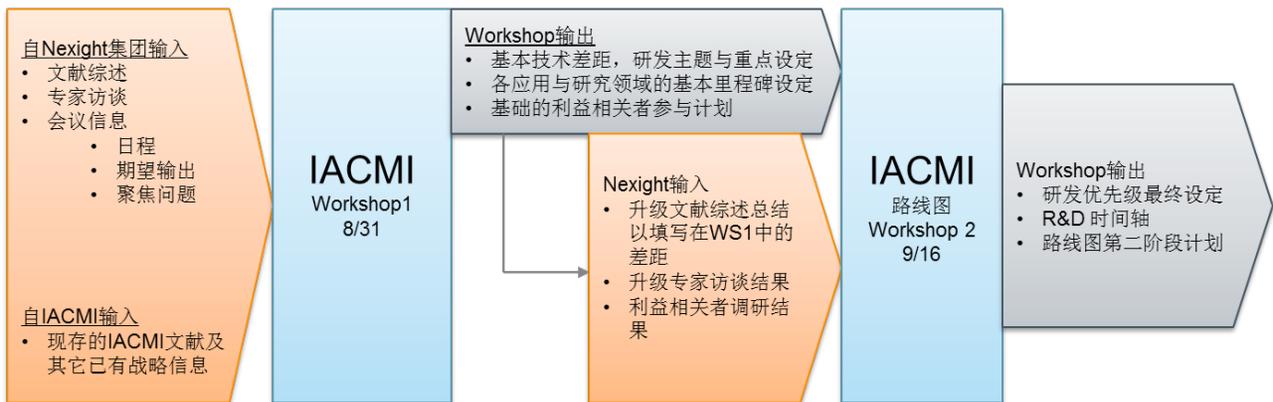


图 11 IACMI 由 Nexight 集团提供咨询服务^[7]

IACMI、NextFlex 等 都 由 Nexight 咨询公司进行了前期的咨询工作（图 11），包括进行产业专家调研、产业文献整理等工作，确定关键技术路线图，以及设定里程碑，并组织研讨会来培训关联企业的项目申请与流程。

术业有专攻，事实上由专业的咨询公司组织前期咨询的优势表现在两个方面。

(1) 具有专业性：战略并非空洞的，而是有其专业的方法论和成熟模式可以借鉴，专业咨询公司可以通过这些方法与模型来提升项目组织效率。

(2) 由中间咨询公司进行的项目调研可以避免过多的利益相关者对制度体系的影响，避免发展为“圈内”人的游戏。

2. 目标设定

目标设定的 SMART 原则，具有可量化、可实现等准则，这也是 NNMI 各个组织所遵循的。

(1) 对于 IACMI 而言，其设定的目标即在五年内达到以下目标（图 12）：

- 降低 25% 的聚合物基碳纤维增强复合材料的成本；
- 降低 50% 的 CFRP 内生能耗；
- 80% 的可重复利用率。

3. 流程设计

各个 MII 均有清晰的技术路线图（图 13）、里程碑设计，由专业咨询公司与产业专家共同讨论，咨询公司还提供产业本身的市场分析、对标研究等战略制定咨询。

技术路线图的设定非常清晰（图 14）。

启示：

其实，从我们政府、企业的“文风”就可以看出其缺乏结构性、可视化，平时看到大篇的文字关于数据的描述，而不是采用图表就是一种缺乏思维结构性的文风，而美国的管理学在全世界

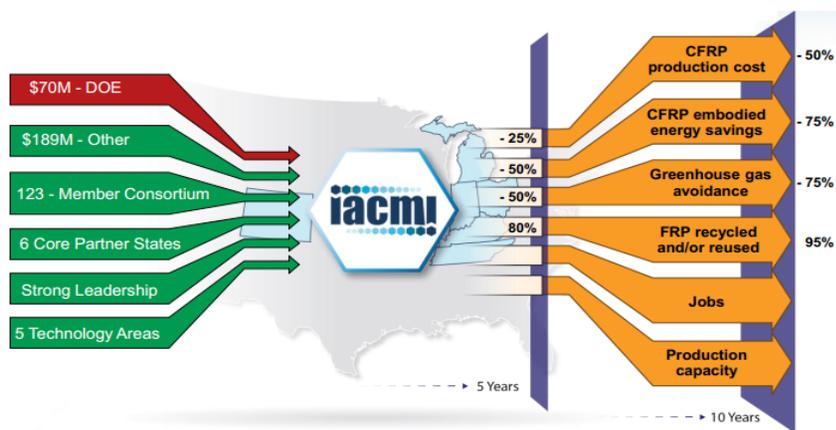


图 12 IACMI 的目标设定 [7]

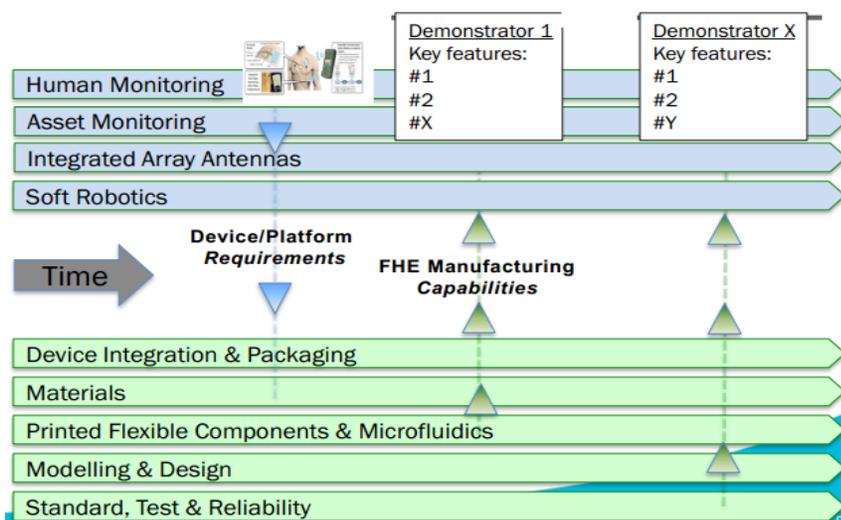


图 13 举例：NextFlex 的路线图设计 [8]

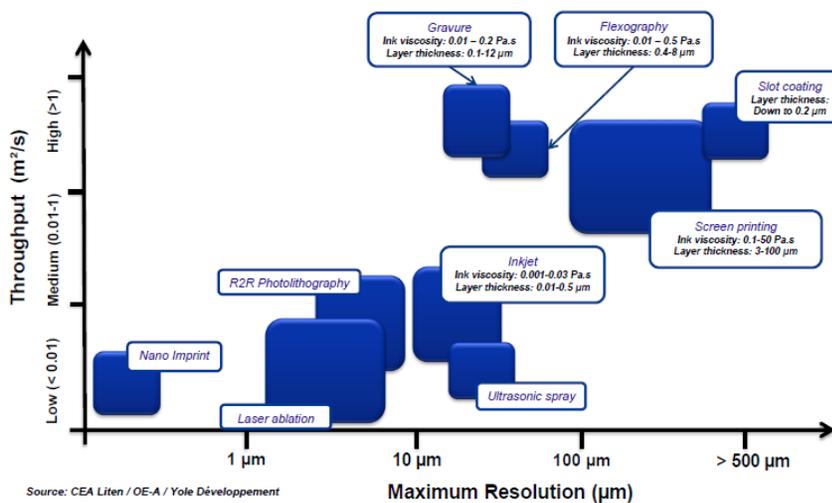


图 14 NextFlex 所需涉及的技术领域及指标 [9]

是最领先的，不管是战略管理大师迈克尔·波特、德鲁克、生态系统的 James F Moore，以及运营管理、组织行为，这些都是美国强势的地方。因此，在设计 and 规划系统、运营组织的能力方面，美国的确是值得我们学习的。

管理的提升是基础，就此而言，“精益生产”以及“精益思想”是贯穿于整个日本、德国、美国的制造业的，而中国发展制造业，必须以精益为基础，这样才能知道我们想要达到什么目标，可量化的，包括数据的模型，否则，只知道互联网+，却不知道要采集什么数据，如何使用这些数据，那么智能制造就是花架子。

五、人力资源培养是 NNMI 的伴随战略

在 NNMI 的战略指导下，即将为制造业培养劳动力列为了战略的诉求之一，而每个 MII 的使命设计都包括了对人力资源的培养，这就意味着教育与培训是整个制造业的伴随战略，紧密相随。

1. 教育是制造业发展的基础与长期战略

对于 NNMI 的设计而言，教育与人才培养是与制造业发展紧密伴随的，每个 MII 都会有政府劳动部门的参与，并制定教育培训计划。

(1) 产业推动教学研究：

大学作为非盈利组织提供研究支撑，同时也使得大学可以紧密的与产业实际相结合，避免大学做纯理论而无法将其转化为实际的生产力。以产业推动教育更具有效率，并能够让学生参与其中。

(2) 劳动力培养也包括制定相关的培训，尤其是与制造业相关的职业培训方面的课程设计，人员的资质认证等。

(3) 生态系统内的知识共享：人才培养包括了在其 MII 内成员的交流，这种跨界交流使得知识更为融合，也让工程技术人员具有更为广阔的视野，并降低了研发整体成本。

对于 NNMI，其在制造业的劳动力培养方面会有以下工作：

- 支持并协同州和当地教育与培训机构来提升先进制造能力模型需求；

- 先进知识的劳动者：研究者与工程师；

- 识别定义下一代劳动力的竞争力需求。

2. 具体的劳动力开发实施

(1) AM 组织了大量的人员培训，包括：

- ①德勤咨询：创建一个 3 小时增材制造业务相关的在线课程，有超过 10000 人参与此课程。

- ②与密尔沃基工学院共同推出 3D 打印和增材制造认证课程，课程在 2015 年中期已经有 150 人通过认证。

- ③产业：联合企业以私人捐赠方式提供桌面 3D 打印给 1000 家学校，用于科学、技术、工程和机电（STEM）教育课程。

(2) DMDII。

DMDII 成立劳动力开发专家委员会来制定 DMDII 劳动力开发的战略，定义三个主要的数字制造与设计的关键能力组件：

- ①定义在该领域获得成功所需的劳动力技能；

- ②通过开发内容、推广以及培训教员来教育；

- ③开发并发布应用案例和数字制造思想。

这些组件会在项目征集中设立相关申请，便于成员进行组织。

(3) LIFT。

LIFT 举办了很多与教育培训相关的工作，从中也可以看到美国各个 MII 的教育实践。

- ① LIFT 投资了“任务为中心的”轻型飞行器设计课程，被 22 个州 25000 名学生使用。赞助了普渡大学主办的 Indy 500 Grand Prix，其活动由高中生参与，通过采用轻质材料来设计、制作、测试并销售其汽车。并在 2015 年有 1000 人参与美国机械工程师学会的营地启动了轻质材料与技术的内容给 45 名教师。

- ②为重建美国先进制造技术劳动力，LIFT 与印第安纳 Vincennes 大学为退伍军人提供制机器培训课程。并投资工业技术与维护工作的行业标准，这也是非常重要的制造业工作岗位，肯塔基州为大学和技术学院提供成人学徒模式的学习方式。

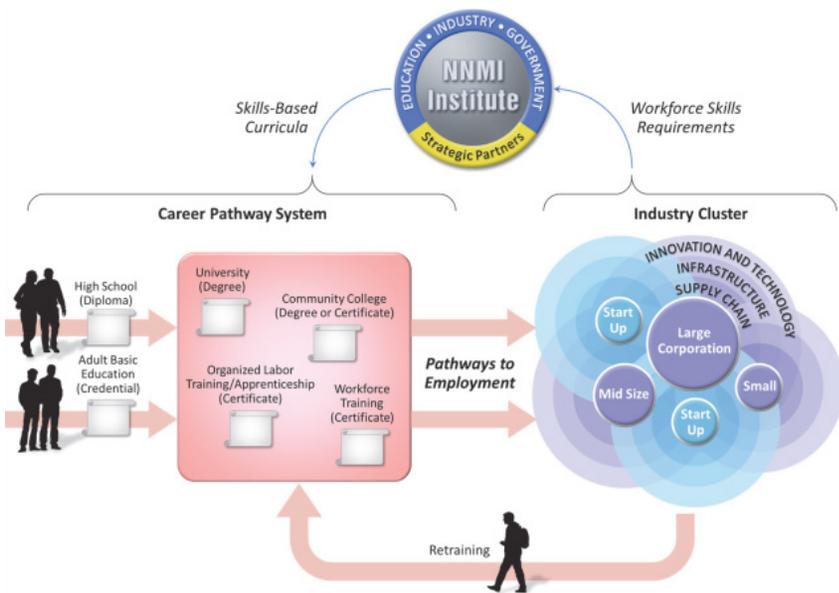


图 15 有效的开发劳动力以服务于制造业的升级^[6]

③ LIFT 退出新技术项目，教育和劳动力开发正在致力于新的实习模式，大学与社区学院学生挑战赛，并为现在岗位工人举办培训，以使得他们能够与新兴技术与制造流程所需的能力相匹配。

不仅上述三个，包括 IACMI 举办大量的校园竞赛活动（图 16），NextFlex 在其技术路线

图中也将教育培训计划作为三大主线之一。

思考：

大家都提教育，提创新，但是，我们的教育给了学生哪些创新的培养，或者给了学生哪些创新的机会？在人才培养方面，不仅大学的培养，包括在职的教育培养，与我们所倡导的智能制造之间有哪些关

联？需要哪些能力、专业的升级，如何突破？这些都是需要去研究的，那种依赖于考评老师论文的设计已经严重扼杀了大学与产业实际的结合，这些问题不解决，如何让制造业升级？

教育是配合制造业的战略主线，这在美国 NNMI 的每个 MII 中都得以体现。如何让学生的学习接近产业前沿，让我们的大学更为聚焦于产业应用，而不是 SCI、EI 这些论文的量——那不是创新，一样值得我们深思。

精益管理、教育与人才培养，这些都是支撑制造业长期战略的基础实践，如果过于急功近利推动智能制造，那么最终，我们得到的可能会是一个烂摊子。MT



图 16 IACMI 领导的 STEM 活动

参考文献：

- [1]National Network for Manufacturing Innovation Program Strategic Plan, Executive Office of the PresidentNational Science and Technology CouncilAdvanced Manufacturing National Program Office, 2016 February.
- [2]Market Forecasts for Silicon Carbide & Gallium Nitride Power Semiconductors, HISReport.APEC MARCH 2016.
- [3]Jason Marsh,Flexible Hybrid Electronics Technologies As the Foundation for a Connected World,Imaps Polymer Symposium, April 25, 2016.
- [5]Ryo Takeda,Keysight Technologies,Wide Band Gap Power Device Evaluation Challenges andTechnologies, March 2015.
- [6]National Network for Manufacturing Innovation Program Annual Report, Executive Office of the PresidentNational Science and Technology Council, Advanced Manufacturing National Program Office, February 2016.
- [7]Craig Blue, IACMI: A Disruptive Momentin Automotive History.
- [8]Brian W. Anthony, NextFlex-America’s Flexible Hybrid Manufacturing Institute.
- [9] David Henshall A Pathway to Commercialization of WideBandgap Semiconductors in Power Electronics, APEC 2015, March 19, 2015.

美国机器人技术发展路线图

——从互联网到机器人（2016版）（三）

（接上期）

5.2 科学与技术挑战

当前以及未来的技术进步能促使单个无人操作系统和无人操作系统组与人类协同作业，利用人类的灵活性和领域知识，更好地处理大批量多功能区的任务。为了联系相同需求，利用有效解决方案，同步相关活动，国防部启用了联合功能区域（JCAs）框架，旨在借此匹配国防部和档案中显示出的功能和功能缺口。这些相同的功能区域通常都用于应急服务机构之中。一级联合功能区域一共九个，每一个都代表着将相应功能应用于相关任务时能取得预期结果。依据联合功能区域对现有和预期无人系统进行规划，可以了解当前以及未来的无人系统可以为国防部和应急服务任务做出哪些贡献。无人系统将在情报、监视、侦察、军队应用、防卫、后勤和指挥控制联合功能区域做出巨大贡献。

5.2.1 情报、监视与侦察

情报、监视与侦察能力属于战场感知联合功能区域，未来所

有无人操作系统在这一功能区域都能有所作为。该功能区域实际上与其它联合功能区域的应用有重合的部分，这能促使其更好地完成所有国防部和应急服务领域的任务。对该功能的运用依据具体任务的不同而变化，比如说现在的地面或空中城市侦察任务通常由无人机（比如：捕食者号、收割者号和全球鹰号）和无人地面载具（比如：背包机器人和爪型机器人）完成。除此之外还有许多其它任务，比如：考察道路评估、核鉴定以及特种侦察。无人海事系统的应用包括使用斯洛姆滑翔机绘制海洋环境地图、在反水雷任务中使用雷姆斯 100 型机器人确认潜在水雷。在改善态势感知和公共安全服务知情决策方面同样需要利用情报、监视与侦察功能提供相关信息。和国防部的任务指挥官一样，应急服务人员也需要知道在哪儿部署关键性设施，如何确认有害威胁。未来的人机团队要求通过一系列科技进步为军队和公共安全服务人员提供必要的知识和意识，包

括：无人操作系统技术进一步强化，足以应对极端环境（比如：高温大火和辐射）；智能化的车载数据处理、理解和分析，从而确保人机沟通更加有效；同时还要能做出精准预测，决定所要采取的行动，从而促使团队更好地完成情报、监视与侦察任务。

5.2.2 军队应用

军队应用是一种涉及机动性的联合功能区域，旨在获得某一环境内的控制权并产生预期效果。基于军事力量的军队应用包括：目标侦查与识别、弹道或非弹道射击方案、射击平台选择与战斗损害评估（BDA）。应急服务军队应用包括：通过实时数据搜集拓宽行动范围、全面的灾情评估、通信强化以及多样化响应措施。无人系统的普及促使军队应用这一联合功能区域发挥着越来越大的作用。今天，捕食者号、收割者号和全球鹰号无人机已经实现武器化，能够执行高价值目标打击。未来，无人机的任务范围包括：空对地、空对空作战，压制并击败敌军防空设施；

应急服务无人机可通过各种机载设备搜集重要的现场信息，为应急服务部门指挥官提供必要的态势感知，改善应急响应措施和整体行动。今天，现场急救部门利用小型商业级无人机（比如：“Draganflyer Commander” 无人机、Leptron 公司的 RDASS 无人机）和各种型号的大疆多轴飞行器为多种情况搜集情报：大型商业区火灾、洪水应急响应、搜救、林火、核生化爆应急响应、灾情评估以及灾区地图绘制。使用小型无人机进行不那么重要的活动，比如：事前事后规划、事故现场 3D 绘图及调查，还有许多额外益处。地面这一方面，无人地面载具也将用于执行任务，比如：下车进攻与防御行动，有些时候还会进行车载行动，比如：武装侦察。用于应急服务的无人地面载具现已用于为反恐特警组小队的行动提供支持，未来还将用于人群控制、可疑设备检测与控制。在海事领域，无人水下载具和无人水面载具将适用于布置和拆除水雷任务。目前，公共安全部门正在使用 Hydronalix 公司的紧急综合救生系索（EMILY）无人水面载具，其能够快速找到极端严重的洪水和海浪灾害中的受害者。随着科技的进一步发展，保护和检测国家基础设施将会更多地依赖于无人系统。目前无人系统的有效负载能力、传感器或军需品受多方面因素影响；然而，

随着无人系统逐步变大或有效负载在大小和质量上减少，无人系统的能力必将会进一步提升。

无论武器系统是人工操作或无人操作，国防部都必须遵守战争法。比如，2006 年 5 月 9 日发布的国防部令 2311.01E——《国防部战争法计划》第 4.1 段要求：

“无论冲突形势如何，国防部成员必须在一切武装冲突以及其它军事行动中恪守战争法。”目前，武装无人系统只可在人工全权授权以及参战决定启动后才可使用致命武器。数十年来，美国载人船只和设备上的防御系统都被设为人为监管下的自动化模式。在可预见的将来，无人操作系统使用武器以及选择单个目标进行致命打击的决定权仍将掌握在人类手中。

5.2.3 防卫

防卫联合功能区域旨在保护军事人员、公共安全人员以及国家公民和财产，并降低其受损可能性。防卫包括采取措施巩固阵地、优化系统和强化个人，同时保持自我意识和预警能力从而防止侦查或奇袭。无人系统在许多防卫任务的理想选择，特别是这些任务非常枯燥、危险和肮脏时。军事防卫活动包括配合海陆空军侧方警戒的预警。防卫联合功能区域所应对的威胁涵盖了非常广的范围——无论是军队、系统还是化学药剂，一律属于威胁的范畴。未来感知、导航与操作方面的自动化必定会更加成熟，届时无人系统将能够执

行更多任务，比如：消防、净化、基础设施检查、前线作战基地部署、敏感或隔离区设置与安保、障碍设置与拆除、载具与人员侦查、军事爆炸物处理（包括侦查、压制与拆除）、伤者撤离与海事封锁。人机团队方面，在处理跨领域的任务时可能需要组建专门的人机团队，从而更好地实现防卫联合功能区域的目标。2016 年 7 月 7 日，达拉斯应急服务部门使用一辆远程遥控的安德罗斯 F5 无人地面载具解决了一起严重的射击事件。在达拉斯的这一次应用可能引起了多方关注，其结果是有效地保护了工作人员与平民百姓。未来的系统需要提供分布式高级感知能力、情报决策能力以及能够在人造环境中自由移动、操作物件和设备的致动器。还有一点也非常重要，那就是未来这些无人系统应当能够解读并理解人类队友的状态，建立通信环并分享自己的行动状态。

5.2.4 后勤

无人系统可以用于部署、分配军队和公共安全人员并为其提供支持，针对这些任务，后勤联合功能区域尤为适用。在地形复杂区域运输物资、工作人员或平民，无人系统是最为合适的。无人系统还可用以执行维护相关的任务，比如检查、净化和燃料补给。利用无人系统执行军需品和物资处理任务能够提高安全性同时提高效率。此外，伤员撤离和看护、遗体转移、城镇搜救等任务也可

以由无人系统协助执行。无人系统可以在驻地或前沿阵地执行后勤任务。测试显示，TerraMax 无人地面载具和 K-Max 无人机已经能够用于支持部队后勤任务，但利用无人系统执行后勤任务目前尚未普及。此外，中外运敦豪速递与亚马逊等公司正在研究利用无人机进行商业物流活动的可能性，相关研究成果有望影响现有技术，使其能够用于支持与公共安全相关的后勤任务。未来的系统不仅要能支持军队和应急服务部门人员，还要能理解普通民众并与其互动。这些系统要求进一步强化抗极端环境能力，提高有效感知能力与智能化水平，装配全新致动器用以转移、操作物资、工作人员和平民伤员，从而更好地支持持续时间较长的复杂任务。

5.2.5 指挥控制

指挥控制联合功能区域主要用于同步和沟通任务与环境相关信息，通过提供潜在任务规划与行动结果的预测以及完成任务所需的资源配置，从而帮助军队和公共安全人员更好地理解局势，做出判断。目前无人操作系统的指挥控制系统形式多样，从单体无人机基于无线电可传输性的单人直接控制（比如 eBee）到较为高级的飞行规划和监控系统（比如：eBee 的飞行管理者系统），到允许单人或多人同时操作多个无人系统处理不同任务的共同操作控制系统（比如：海军的共同

控制系统），再到更为复杂的掠夺者无人机地面控制站。无人系统的规模、功能、续航能力、有效负载能力、自动化能力等都不一而足，因此相对应的也需要有不同的指挥控制界面。有一点我们需要认清，机器能够通过重复性方法高效地处理庞大数据，但是在感知、智能和沟通方面仍有较大的局限；相比之下，人类在这方面的能力更加突出，因而能够做出更高等级的决定。目前，大部分无人系统还需要人为直接指挥（远程操作），自动化能力有限（比如：沿特定路线前进、躲避障碍物），智能感知、预测和决策能力都有所不足。未来的无人系统应当能够感知并理解所处环境，识别最相关信息并与人类或机器队友分享，提醒人类或机器队友何时展开行动，预测可能出现的行动结果，依据任务、领域和环境的不同而采取不同的行动。比如，一驾军用无人机的任务是定位目标，它必须能够感知并判断自己定位的目标是否正确，然后再开始追踪目标。与此同时，它还要将情况告知前线作战基地的有关人员。同样，公共安全用无人机也要能够判断个体行为是否可疑，然后开始追踪个体运动情况，智能化地将决策触发信息、个人行为描述和定位回传给相关负责人员。随着无人系统自动化能力和可靠性的提升，这些系统将能够直接与人类搭档

合作。这种人机组合需要能够理解任务整体情况、团队目标、各团队成员职责以及彼此的意图和当前状态。这种更为复杂的指挥控制交互作用要求系统拥有更高级的交互能力，能够在极端环境下保持可靠性、高效性和有效性。在这些环境中时，人类往往需要配备笨重的个人防护装置（比如：厚重的防弹背心和一级防护套装）或操作其它装备。高级交互能力实例包括：人类认知和身体状况生理监测、典型任务和个人档案学习模式（比如：一般角色和行为与个体区别），自然交互能力（比如：肢体语言与自然语言解读）。不管指挥控制结构如何，未来的系统必须能够提升军方和公共安全人员的能力，并且提高国家普通民众对无人系统的信心。提升军方和公共安全人员的信心要求使用透明化的系统，提供可靠有用的相关信息，在情境理解、决策制定和资源调配方面给予有效支持。要想获得普通民众的信任，比如引导伤者跟随无人地面载具前往洗消站，需要无人系统表现出人类社交行为。

5.3 技术需求与目标

当前无人系统如需满足上述联合功能区域任务要求，必须进行进一步开发，目标系统应包含以下技术能力：

- 数据表达：将大量现有情报和传感数据转换成可共享的相

关环境理解。

- 智能感知：提高机载处理能力以优化变化检测、半自动化(AiTR)和自动化(ATR)目标识别、复杂环境(比如：大火浓烟、建筑物崩塌)下图像与传感数据分析、强化任务执行情况与人员(比如：建筑灭火、洪水应急与林火)追踪能力。

- 使用寿命：有效延长续航时间，小型无人操作系统续航能力从几分钟延长至几小时、几天、几周乃至几个月，从而确保无人操作系统可以处理耗时长以及持续性任务。

- 强健的系统：强化无人操作系统，从软硬件两方面入手实现突破，让无人操作系统可以在如今无法运行的环境下正常工作(比如：极端高温和低温、狂风、水灾/暴雨、复杂的无线电/电信号干扰以及核生化爆环境)。

- 灵敏的致动器：无人操作系统能在复杂环境(比如：碎石

堆、大风、强水流、人造结构)中自由移动，并在非常广泛的领域内操作物体(比如：清理从沙土碎屑到损毁载具的各种杂物、开门、轻柔地移动人体)。

- 分布式认知：通过机载传感器为系统提供独立的有机知觉，让系统能够自动处理任务。

- 智能：增强无人操作系统个体与群体的认知功能以及协同感知能力。

- 独立自主：根据认知功能所获结果采取行动(比如：靠近实体目标或受害者，使用传感器进一步分别检测关注区域或受害者状态)。

- 共享自主：无论团队成员是人类还是机器，实现决策、行动资源调配无缝传递和共享，确保行动的有效性和灵活性。

- 控制：提高控制能力，确保通过有效、直觉、自然的交互活动完成任务；优化系统配置，支持人与无人操作系统间的交互

与协作。

- 信息共享：为相关人员提供直观透明的信息(有关环境、团队和单个无人操作系统状态)，为快速、准确地建立态势理解并做出决策提供帮助。

- 人类状态评估：对目前人类认知与身体状态、沟通与意图做出模式预测和感知，从而确保无人操作系统能够智能地给出回应、帮助或相应调整系统交互活动与行为，提高团队合作效果。

- 团队协作：进一步推动信息传递和人类团队行为的发展与建模，改善沟通、个人与团队整体表现，同时建立信任感，从而支持人机团队协作。

技术挑战可划分为概念上的五年、十年和十五年目标。针对每个联合功能区域都有相对应的预期目标。如无特别备注，下述目标均适用于国防部和应急服务(ES)领域。

表 1 无人飞行系统技术路线图

	五年	十年	十五年
无人飞行系统			
情报、监视和侦察	与无人、载人飞机保持地理空间关系。 对调查关注点及区域的指令做出回应。 更强的自动化/半自动化。 优化智能评估能力。 感知良好空气系统的位置和飞行路径意图。 有能力搜寻特定威胁，包括基于图像和非图像传感器。 优化目标识别和人类存在性检测。 为应急服务(仅限应急服务)特制的小型无人机平台和先进的传感能力。	能够回应军方和民用标准航空交通管制(ATC)的程序。 机载自动化目标识别。 能够侦查到有威胁的无人机并对其做出回应。 先进的智能评估能力。 能够适应极端环境的强化小型无人机和传感器。	协调多种无人载具(无人机、无人地面系统和无人海事系统)，搜集情报或搜寻威胁。 能够适应极端环境的强化小型高级传感器。

(续表)

军队应用	有限的空对空无人机应对能力。包括侦查套件以及为国防部提供军需品支持。 拓展行动范围，辅助事件规划。用于应急服务（仅限应急服务）的标准化行动概念、授权以及训练。	智能化灾情评估。 拓展行动范围，能够在极端环境下辅助事件规划。 先进的空对空无人机应对能力（仅限国防部）。	先进的综合灾情评估能力。 智能化地拓展行动范围，能够在极端环境下辅助事件规划。 多目标无人机应对能力。 无人机应对作战中采取协同作战的能力（仅限国防部）。
防卫	整合人机团队用于预警。 能够识别可能击落人员和系统的威胁。 应急人员追踪能力（仅限应急服务）。	基础设施自动化检测。 侦测核生化爆危险品。 定位沟通，包括在 GPS 无法显示的环境中遭到击落的人员、伤者和系统。 武装系统，为步兵提供侧方警戒（仅限国防部）。	告知应急人员路径，或自动将其带往在 GPS 无法显示的环境中被击落人员、伤者和系统所在地。 出现对峙威胁情况时采取无人机协同作战（仅限国防部）。
后勤	无人后勤补给。	在机载人员帮助和介入下进行无人医疗后送。	无人货运飞机自动化补足、起飞与降落，全天候运行。
指挥控制	无人机班组内部采用共同操作控制界面。 视距外自动化单个无人机任务。 整合了基本态势信息的预测规划系统。 支持出舱操作人员和队员的交互模式。	无人机各班组采用共同操作控制界面。 视距内自动化多驾无人载具（无人机、无人地面系统和无人海事系统）任务。 为其它无人载具（无人机、无人地面系统和无人海事系统）和人员提供行动建议。 整合了先进环境状态、无人系统能力和状态的预测规划系统。 可适应固定控制站点与身着严密防护服人员控制的自然交互模式。	视距外自动化多驾无人载具任务。 为其它无人载具（无人机、无人地面系统和无人海事系统）和人员提供自动化提示。 整合了极端环境条件、人类与无人系统能力和状态的实时预测规划系统。 可自动评估并适应人类意图和人类预测及当前状态的自然交互模式。

表 2 无人地面载具技术路线图

	五年	十年	十五年
无人地面载具			
情报、监视和侦察	最佳覆盖面的自我定位。	自我安置、自我回收的预警设备。 清楚自己在负责最佳覆盖面的无人地面系统团队中扮演的角色。 强化系统以应对极端环境。 先进的智能评估能力。 为其它无人载具（无人机、无人地面系统和无人海事系统）和人员提供行动建议。	清楚自己在负责最佳覆盖面的人类和无人地面系统团队中扮演的角色。 为其它无人载具（无人机、无人地面系统和无人海事系统）和人员提供自动化提示。
军队应用	智能化灾情评估。 拓展行动范围，便利事件规划。 无人地面系统可以装载步兵重型武器（迫击炮-50 口径机枪-导弹），还能进行接下来的出舱活动（仅限国防部）。 激光指示能力（仅限国防部）。	自动化协同参与空对地、地对地、地对空作战。 先进的全方位灾情评估。 拓展行动范围，进入活动受限及复杂空间。 极端环境中对有害物进行实时、半自动化的基本操作。	协同作战，对固定位置进行压制性射击或机动活动。 极端环境中对有害物进行先进的自动化操作。
防卫	消防系统。 定位交流，包括 GPS 无法显示的环境中遭到击落的人员、伤者和系统。 自动引导人类队员或平民穿过 GPS 可用环境。	武装系统，为步兵提供侧方警戒。 告知应急人员路径，或自动将其带往在 GPS 无法显示的环境中被击落人员、伤者和系统所在地。 自动引导人类队员或平民穿过复杂危险的环境。 基础性半自动基础设施检查。	出现对峙威胁情况时利用无人地面系统协同作战。 自动引导人类队员或平民穿过 GPS 无法显示的极端环境。 先进的基础设施检查。

(续表)

后勤	整合载人与无人护航任务, 多种大型的、视需要选择的载人载具以领头车身份或跟随附近操作员监控车辆自动穿过已定义的次要路线。可进入环境下的无人医疗后送。	在任何环境条件下, 无人地面系统都能在配送中心全自动进行物资有关操作: 识别、卸货、装载和保护集装箱或托盘货物。	全自动物流管理系统, 通过地面交通路线追踪国内库存和货载量, 并为载有所需补给的无人地面系统安排路线, 在不需人工的情况下及时补充存货。极端环境下的无人医疗后送。
指挥控制	用于人类通信机制的无人地面系统进一步提升态势感知能力。共享自主, 允许依据战略目标(比如运输路线)做出简单决定。联合自主系统, 既能智能化地从人类操作员处获得帮助, 也能给予其意见。可适应固定控制站点与身着严密防护服人员控制的自然交互模式。在可进入环境下整合人机团队。	共享自主, 允许依据战略目标自动做出复杂决定。为其它无人载具(无人机、无人地面系统和无人海事系统)和人员提供行动建议。整合了极端环境条件与无人系统能力和状态的实时预测规划系统。可自动在极端环境下适应人类队员的自然交互模式。在极端环境下整合人机团队。	共享自主, 允许依据弹性目标自动做出复杂决定。为其它无人载具(无人机、无人地面系统和无人海事系统)和人员提供自动化提示。整合了极端环境条件、人类与无人系统能力和状态的实时预测规划系统。可自动评估并适应人类意图和人类预测及当前状态的自然交互模式。极端环境下先进的人机团队。

表 3 无人海事系统技术路线图

	五年	十年	十五年
无人海事系统			
情报、监视和侦察	自动遵守《国际海上避碰规则公约》。远程传感器部署。利用无人海事系统侦查金属和塑胶水雷(仅限国防部)。	持续性自动化水面与水下监控(使用者参与其中)。利用无人海事系统进行人体监测。半自动化地检查设备和基础建设, 侦测异常。在大范围侦查行动中协同作业。	任何天气条件下, 在全球范围内进行持续性自动化水面与水下监控(使用者不参与其中)。自动化地检查设备和基础建设, 侦测异常。可复位检测区。检测规避。
军队应用	在静态目标上放置紧贴船体的设备。	远程海事威胁封锁回应。反潜艇能力(仅限国防部)。	自动海事威胁封锁回应。人类团队输送。协调多种无人载具(无人机和无人海事系统)搜集情报或侦查和追踪威胁。
防卫	自动遵守《国际海上避碰规则公约》。	自动封锁载人和无人威胁。武装无人海事系统, 为侧方警戒提供支持(仅限国防部)。	出现对峙威胁情况时利用无人海事系统协同作战。全自动船只、海岸装置警戒, 防止海事威胁(仅限国防部)。
后勤无人海上载具	自动健康监控。连续性船只、海岸装置检测。自动船体清理(仅限国防部)。	自动无人海事系统预测。半自动水下燃料补给。自动重修表面和喷漆(仅限国防部)。自动化防护性船只、海岸装置维护(仅限国防部)。根据条件对无人海事系统进行维护(仅限国防部)。	全自动船只与海岸操作(无操作员手动交互)。自动水下燃料补给。
指挥控制	整合了极端环境条件与无人系统能力和状态的近期预测规划系统。精准的自动化信息加工和信息提取能力, 简化情报搜集任务。	为其它无人载具(无人机和无人海事系统)和载人船只提供行动建议。应拓展任务所需, 整合了极端环境条件与无人系统能力和状态的先进预测规划系统。通信显示和工具能让人类操作员在与无人海事系统失联一段时间后快速、准确地掌握当前情况。从多个传感器源精准地自动加工和提取信息, 简化情报搜集任务。	为其它无人载具(无人机和无人海事系统)和载人船只提供自动化提示。应长航时任务所需, 整合了极端环境条件、载人船只与无人系统(无人海事系统和无人机)能力和状态的先进预测规划系统。通信显示和工具能让人类操作员在与无人海事系统失联较长时间后快速、准确地掌握当前情况。

6. 地球及太空探索

6.1 概述

地球是一个直径约 12700km 的巨大球体，陆地面积约 1.5 亿 km²，海洋面积约 3.6 亿 km²。海洋最深处可达到海平面以下近 11000m，海拔最高的山峰高于海平面约 9000m。地球的可耕地面积总和接近 1400 万 km²，美国、印度、俄罗斯、中国和欧盟占了将近一半。另有 150 万 km² 的土地用于生产“永久作物”（比如果园和葡萄园），还有近 3400 万 km² 的土地用于畜牧业。大气层的厚度不到 500km，大气层外，月球环绕地球运行。在范围更大的太阳系中，包括地球在内共有 4 颗类地行星与 4 颗类木行星（气态巨行星）。为了维持生存，人类需要食物和水；为了维持贸易，需要运输产品；为了支持生产，需开采原材料，这些都表明机器人能为人类社会的安全、高效和可持续发展提供支持。除了简单的维持生存之外，机器人其实还可以帮助提升生活品质，支持人性中独一无二的特质：好奇心——希望探索并理解我们生活的世界和宇宙。

截至 2050 年的人口及粮食供给。气候变化（如同制造波音飞机一样制造风车）感知并监控环境以进行智能管理和清理。机器人海洋监测与探索。无人机空中交通管制。

6.1.1 机器人处理高风险材料

“高风险材料”的处理日益成为许多政府机构及政府公共监管倡议团体的担忧。举例来说，“高风险材料”可以是研究员在“四级生物安全等级”（BSL-4）的高等级场所中，出于研究及药物疫苗研发目的而使用的埃博拉病毒。埃博拉病毒的爆发不仅暴露了我们医学研究范围的狭隘，还说明我们对传染性疾病的准备极为匮乏。同时也让人们认识到，科学家和技术人员为了开发药物和保护公众健康，需要经常置身于危险中，如果发生事故，也可能危及普通群众。同样地，空间科学家越来越多地需要处理一些外星资源样本，其中包括彗星、小行星以及终会接触到的遥远世界，这些都需要小心谨慎地进行隔离和处理。

政府机构中，最担心高风险材料的莫过于处理核材料和废物的相关机构了。美国能源部环境管理办公室（DOE EM）是处理二战以来涉及核武器及核能研发的土地、水源和垃圾储存设施的核心力量。许多早期铀、钚处理设施的遗址至今仍在原处，等待整改。这些分布于美国各处的设施中留有种类多样、浓度不等的高风险化学材料和放射性材料。过去 20 年间，相关设施内存危险物的清除和稳定化取得了长足的进展。许多设施已经满足“绿地”

条件，能确保未来公众安全与健康。妥善解决这些残存设施仍需要数十年的善后工作，许多设施的情况极为复杂，而且包含最高等级的残留核辐射。针对这些设施必须进行持续监控并定期确认其状态。未来的整改工作需要广泛应用不同程度的遥控作业，其中包括在不确定和非结构环境中复杂的远程操作和处理。核能整改有一点较为特殊，那就是核辐射对材料和元件会造成辐射影响。核辐射水平与材料和元件性能退化息息相关。因此，必须通过增强抗辐射、监控核辐射接触及定期更换元件等手段，妥善处理机器人系统在接触过程中累积的核辐射。许多情况下，人类仍需要进入有害环境中完成工作。贯穿未来数十年的整改项目中，最重要的仍是确保工作人员和公众的安全。机器人操控的起源可以追溯至 20 世纪 40 年代核能研究初期，然而略带讽刺的是，如今现代机器人技术所面临的最艰巨的挑战和最难得的机遇仍然存在于这一领域中。

众所周知，在核能远程操作中，环境的复杂性和危险性对操作的前期准备和监控有十分严格的要求，因此核能远程操作昂贵且缓慢。现代机器人技术为提升远程工作效率、扩大远程操作能够稳定完成的任务范围以及免除人类操作者重复和疲劳的工作提供了新的机会。举例来说，新兴

的认知机器人和机器学习概念可能创造下一代新型遥控机器人，这些机器人能够为人类远程操作者提供可靠的远程系统，能够真正直观、灵活地连接智能远程代理（远程移动感应器/机械手系统），其运行方式有些类似于人类工作团队在直接接触作业中的执行与合作方式。最终将会给我们带来一个全新的整改系统，以比现在更快、更经济的方式完成项目。除了遥控操作之外，还有许多整改项目工作仍然需要人类直接完成，其中有些情况需要使用现有的个人防护装备（PPE），比如防护衣和口罩。美国能源部环境管理办公室对通过机器人技术加强工人保护和安全也很有兴趣，尤其是在辅助机器人方面，比如能有效提升工人能力和耐力从而减少工伤的外骨骼。

总而言之，美国能源部环境管理办公室面临的核能整改挑战代表着一类典型性问题，它们为可靠有效的现代机器人解决方案提供了良好的挑战性机遇。核能设施的陈旧和技术复杂性形成了高度不稳定和复杂的远程工作环境，这一点与未来空间和深海领域的挑战类似并处在同一高度之上。我们有理由相信，机器人技术在实际核能整改应用中遇到的要求能够进一步刺激、推动机器人技术的研究和发展，最终带动其他应用领域的研发也取得成功。

朴次茅斯铀浓缩设施清理

浓缩核武器使用的天然铀 235 需要使用气体扩散法进行化学处理。这种化学处理需要占用上万英亩的土地修建工厂，以储存大规模的设备和设施。最初的气体扩散工厂修建于橡树岭，20 世纪 90 年代至 21 世纪初，使用较先进的拆除措施和接触作业进行过整改。铀浓缩过程中会产生较低水平的放射污染及多种有毒化学物，同时由于处理管道和设备中还残留着可裂变的铀，所以还需考虑核能临界问题。因此橡树岭的整改是一次漫长且昂贵的任务。

现在针对俄亥俄州朴次茅斯的另一处气体扩散工厂的整改计划正在进行之中。朴次茅斯气体扩散工厂的整改是一次引入和使用机器人的绝佳机会。气体扩散是一种多阶段有顺序的精炼过程，设备长度以公里计算，大小则以吨为单位。朴次茅斯的两座主要处理建筑都超过 1km 长，总长度接近 2.4km。实体规模巨大，处理流程多为重复性作业，这为机器人协助整改提供了可能性。

机器人的创新范围非常广阔，以下列出几种较为有趣的可能性。能在大面积管道和处理设备中移动并寻找、定位残余铀的管道攀爬/爬行机器人，这种机器人将会非常有价值。能移除、分解和打包处理包含机密材料的大型处理组件的大规模拆除机器

人，它们能够大大减少工伤，同时提高生产力。能增强人体承载量的外骨骼对减少工伤和避免暴露于危险工作环境中具有重大意义。装备现代感应器的移动机器人能够大幅度优化解决方案，并能提升整改前后放射性和有毒物质的勘察速度。

6.1.2 机器人协助人类太空探索

在人类出舱活动前，利用机器人进行侦察有可能大幅度提高行星探索任务的科学和技术回报。机器人侦察需要在宇航员出舱活动前，利用一辆由地面控制或宇航员在飞船内控制的星球探测车提前侦察目标区域。侦察可以是：（1）穿越型侦察（沿一条路线观察）；（2）区域型侦察（观察某个区域）；（3）勘探型侦察（系统收集横断面上的数据）；或者（4）纯粹的侦察。侦察可以提前很长时间完成，从而为制定整体横贯计划提供支持；也可以在临近出舱活动前进行，进一步确认已有的横贯计划，即调整优先任务、修改时间线。

尽管轨道任务能生成许多高质量地图，但它们始终受到远程感应的限制。星球探测车搭载的仪器能够为地面观测和地下地质学提供补充，这在视野和精度上对轨道来讲都是不可行的。这些地表数据可用于优化接下来的人类勘探和任务，特别是减少目标和路线计划中的不确定性。此外，

地表数据还可用于优化飞行团队训练，强化任务执行中的态势感知。机器人侦察对未来人类行星探索的巨大作用在上一次人类的登月任务中表现得非常清楚。在阿波罗 17 号第二次出舱活动中，宇航员团队从着陆区域开车前进至南部山丘后返回。在 4 号站点（休提陨石坑火山口）附近，哈里森·施密特发现了大量橘色的火山玻璃，这可能是此次任务中最重要的发现。然而，由于宇航员携带的给养（如氧气）数量十分有限，所以时间被严格地控制。如果提前用机器人进行侦察并确认了这种火山碎屑岩，那么火山口的太空行走就会有更多的时间。另外，行走路线也可以改为先行访问休提陨石坑。

6.1.3 行星洞穴探索

探索行星洞穴的设想已持续了一个世纪的时间，但由于找不到入口，这一设想至今仍未实现。对起源、地理、生命迹象以及地表不存在的人类安全区的研究成了实现行星洞穴勘探的巨大动力。最近，人们在月球、火星上发现了数百个天窗，并且极有可能太阳系其他行星也存有类似情况。这一发现将找到行星洞穴的入口变为了可能。天窗是行星上被陡峭圆柱形或圆锥形石壁围绕的深坑，其中一些暴露了极为珍贵的地下洞穴入口。探索这些最近发现并从未被探索过的区域内的生命迹象、形态学及其起源

的科学热情空前高涨。地表机器人技术和任务早在半个世纪前就取得了成功，但面对延伸至地下的石壁、在未风化的表面攀岩及在洞穴内移动，机器人的能力依然有所欠缺。洞穴内没有光也无法进行视线交流，因此需要新的交互界面和自主控制能力。探索这些洞穴和隧道需要能够实现的全新机器人技术。

以千米为单位的降落精度对许多任务而言已经足够，但如果能达到以米为单位的精度，着陆器就可以寻找到天窗，仅一次就能实现近距离鸟瞰天窗洞。在计划好洞口边缘附近的一处降落点后，机器人降落到地面，脱离飞行器并开始探索地面和洞穴。星球探测车可以接近、观察、环航、建模和研究天窗的开口、边缘以及从安全区可见的石壁。进入天窗可以通过坐式下降法，或像蜘蛛一样通过天窗开口处的绳索降下进入。两种方法都需要突破性的机器人索具和锚定设备。要在纵深广阔、光照条件不断变化的区域实现高分辨率感应，对于机器人的感应力和机载建模来说又是个全新的挑战。通过反复升降覆盖整个天窗区域并对石壁和地面进行近距离观察。在仔细勘探后，探测车重新与悬挂的绳索连接，像蜘蛛一样上升，出天窗后再继续对下一个天窗进行勘探。

6.2 缺口和影响

6.2.1 农业

据美国农业部（USDA）预计，2050 年世界人口将达到 90 亿，世界粮食产量必须翻倍。美国约有 220 万个农场，可用耕地已经接近极限。但是，随着生产力的提高，平均每个美国农民产出粮食能够养活的人数已从 1940 年的 19 人上升至如今的 155 人。尽管如此，在产量和生产力不断提高的同时，农业占用了美国约 50% 的土地，10% 的能源预算和 70% 到 80% 的可用淡水，累计使用了 2000 万吨化肥和杀虫剂。很多人认为，一味提高生产力生产能更易于运输和装卸的转基因粮食，反倒造成了农产品营养价值的流失。

为保持生产力的提升速度，机器人将需要在以下方面扮演重要角色。

1. 精细农业——农作物

无人机和以无人机为基础的技术有几个应用较早的关键商业良机，精细种植业就是其中之一。利用无人机和相关技术能够从高角度全方位了解大面积农作物的生长情况，并绘制出农作物的需求图。现有的播种、灌溉、施肥和收割机械设备绝大部分都绑定了 GPS 导航，从而能够更好地进行定位。如此一来，利用机器人航空传感器为相关设备提供支持便水到渠成了。此外，高产值农作物（比如：水果和坚果）检查工作也激起了地面机器人研究领域的兴趣。现已出现了多种测定

病害、枯萎、成熟情况以及能够给予运输劳动支持的系统原型。

2. 精细畜牧业——畜禽

人们对精细畜牧业的探索远不如精细种植业，但机器人辅助还是有許多大显身手的机会。和植物一样，动物对摄取适当食物和水分非常敏感，也会得病和受伤，进入生殖周期时也同样会打断正常的活动和生产。然而，相比于精细种植业，对精细畜牧业必须更快做出相应回应。比如，绝大部分奶牛每天至少要喂食两次，喂食量根据牛群平均水平而定。另外，公众越来越重视动物的健康，以及在积极管理方式下有无过量使用抗生素的情况，进而引起了全国、全社会对代谢性疾病的关注。比如，酮病和酸中毒在美国的乳牛场非常普遍，这些疾病会影响牛奶产量和品质。

6.2.2 环境监控

1. 空气

空气由各种气体组成，是地球上生物生存的必需品。依据牛顿第三定律可知，任何作用力都会有一个大小相等，方向相反的反作用力存在。因此，如果将快速经济发展和工业化造成的能源消耗比作一个作用力，那么其反作用力就是空气污染物排放。大气污染对生存在地球上的所有生物都有不利影响。美国人口占全世界总人口的 4.4%，但美国的二氧化碳排放量却占到了全球的 40%。华盛顿特区、纽约、芝加

哥、旧金山等主要城市人口众多，粉尘污染严重，生活在这些城市的人比一般人出现更多的健康问题。考虑到这一点，对空气质量和大气中的污染物进行持续性监控就显得尤为重要了。

我们可以利用无人机对大气中气体的浓度进行监控。只需给无人机配备传感器（比如：电化学传感器、金属氧化物半导体传感器）就能够用以检测空气中的多种污染物。各种类型的无人机（如固定翼、垂直升降（VTOL）、软式气艇），只要配备这些设备后就都可以使用了。近来，无人机领域取得的诸多进步，比如基于共识的聚束法（CBBA）、分散网络结构，使得空气检测任务更具有诱惑力。无线传感器网络（WSN）已经较为成熟，可以直接应用于空气质量监控。将无线传感器网络与多种无人机相结合，能够有效简化静态传感网络所面临的问题，同时为空气监控系统开发开辟新的道路。使用无人机本身有利有弊：有利在于无人机可以用户设定的间隔进行大面积监控，而且无人机可以前往遥远、难以到达的地方；而无人机使用的主要挑战就是联邦航空管理局（FAA）的限制以及在诸多场合需要考虑的个人隐私问题。将这些监控技术与云计算相结合也是一种发展方式，这样能够将信息实时传输给接收者，并且通过云计算基础设施储存、

处理大量传感数据，从而得出有用的结论。利用云机器人持续监控空气质量，能够为政策制定者、科学家和所有相关人员提供重要的空气质量数据，辅助其做出相应行动。

2. 水

所有生命都需要水，我们的生存发展都依赖于水。不适当的人类活动带来了水污染，这不仅会扰乱一个生物群落，甚至有可能威胁人类的生命。美国环保局（EPA）报告称，美国 55% 的河流、溪流处于较差生物条件状态。另外，营养物污染更是严重威胁到了湖泊和沿海水域，有害藻类大批量的繁殖，导致大量海洋鱼类和贝类死亡。如果对水资源危机的反应过慢，恢复的过程中不仅需要巨大的经济支持和更多的时间投入，还可能引发社会和政治问题，就像“弗林特水源灾难”一样。正因如此，能够进行预警的实时水质监控系统就显得至关重要。

目前，全国范围内已有多个成功的技术原型，比如：无人机、无人水下载具和无人地面载具采样器、便携式水下机器人等，都可用于水样、沉积物取样。这些技术原型将水生生物学和机器人研究相结合，使较高成本效益的采样器和监控系统成为可能。得益于强大的移动性和充电功能，无人机已经实现了在未知环境中进行现场水样采取。利用无人水

下载具可以对难以到达的下水管道进行水质监测，并且生成水污染程度的3D图像。同样地，无人水下载具在沉积物取样方面也有着强大的能力，该取样结果可用于监控和预测污染缓解程度。由于不受无线信号屏蔽的影响，无人水面载具是建立水感应网络的绝佳选择。目前，具备主动定位能力、能够适应极端环境并从环境中获取能源的无人水面载具已经被用于海洋甚至是冰封湖的监控。

如今，云机器人的出现使得机器人水监控系统的研发可能性大为提高。通过电缆连接无人水下载具与无人水面载具，再配合多种精准传感器，无人水下载具在通信和自动导航方面的技术壁垒被成功突破，将能提供高维的24小时实时近海取样结果。收集大量监控结果的数据库将基于机器学习为决策机制打下坚实基础。这种智能机器人监控系统得出的结论将成为政府制定公共政策和方针不可或缺的重要参考。

6.2.3 空间机器人

人类被好奇心驱使，一直以来就对探索未知有无限的渴望。历史证明，对探索的渴望除了能打开新世界的大门之外，还能推动经济发展，甚至是增进国家的资源、知识和力量。在探索的过程中总会激发一些新的发明，新货物和新材料的探索也是如此，这些发明已经给予了国家经济巨

大的回馈。自1958年成立以来，美国宇航局（NASA）作为国家机构在完成探索地球以外世界使命的同时，通过许多伟大的科学技术创举，一遍又一遍地证明了这一真理。

我们现在对太阳系（及以外）的了解，很多都得益于机器人探测器、人造卫星、着陆舱和探测车的探索发现。这些机器人探索者们代表人类，穿越黑暗的外太空，前去观测、测量、造访遥远的世界。这些机器人配备有导向和观测传感器、控制和数据处理用机载航空电子设备、运动和定位驱动设备，已经在诸多行星轨道和行星表面完成了重要的科学工程任务。机器人、遥控机器人和自动化系统的研究为执行这些任务提供了必要的技术支持。

展望未来，机器人、遥控机器人和自动化系统在美国宇航局的发展战略中占有重要的地位，2010年6月8日出台的《美国太空政策》中也着重提到了相关内容。该政策的目标之一就是“继续发展人类和机器人行动”，鼓励发展创新型机器人技术，同时指导美国宇航局在太阳系中“保持一定数量的机器人”，进行科学探索并为将来的载人任务做好准备。政策还指出了多任务目标的自动化系统实现近期和可持续发展并走向成熟的必要性，包括能够有效改善空间探索和行动能力的航天动力系统的有效管理。

美国宇航局的所有任务指挥部中都已经开始运用机器人和自动化系统。现在正在进行的前往国际空间站（ISS）的载人任务就是混合成员任务，宇航员需要与舱内活动（IVA）和舱外活动（EVA）机器人协同合作，并支持机载飞行器和任务控制中的自主系统。未来会有更多探索任务需要这样的人机“协同探索”。而无人科学任务无一例外都是自动驾驶，它们与遍布全球的地面科学和操作团队协同合作完成任务。未来，美国宇航局将会更为普遍地采用机器人协同探索系统。相应地，美国宇航局已为机器人和自动化系统技术设立了独立的路线图（在此综合），旨在为未来25年内美国宇航局四个任务指挥部执行的数十个飞行任务提供技术支持。

美国宇航局发展机器人和自动化系统技术将会带来以下好处：拓宽探索范围，突破人类太空飞行器的局限；降低人类太空飞行的风险和成本；提高科学、探索和操作性任务的表现；优化机器人执行任务的能力；将机器人和自动化作为一种力量倍增器（比如：每位人类操作员配备多个机器人）；强化表面着陆和飞行无人机的自主性与安全性。

在美国宇航局之外，该技术还有更大的应用潜力和空间：将制造业带回美国；开发新的电动载具、更高效的风力涡轮机控制

装置、更好的智能电网以及其它绿色科技；实现战略资产检查、修复和升级；提升自动化矿业和农业的能力和效果；制造能力更加出众的修复、复健、手术、远程手术与辅助型机器人；拓宽海底机器人的探索和服务范围；将机器人融入科学、技术、工程和数学的教学之中；强化个人服务、应急响应、有害物质处理和拆弹机器人的能力；以及增加海陆空自动化交通的使用。

美国宇航局一直以来都十分重视将所研发的新技术用于私人部门之中，因此会有如此的外部效益也实属正常。美国宇航局的技术随处可见：民用、军用航天器，空气质量传感器，更好治疗方法的研发突破，确保执法部门和应急响应部门人员安全的新材料，这里面无不包含着美国宇航局的技术创新。美国宇航局的衍生技术已经拯救了千万条生命、创造了上万个就业岗位、为相关公司和其客户节省了超过 62 亿美元的开支。据估计，美国宇航局在太空探索所做的每一分投资，经过与公众或美国公司无偿共享技术之后，其经济回报率高达约 700%。

1. 驾驶载具方面达到与人类一样的表现

机械系统在耐受性和响应时间上的表现有望优于人类，而且多台机器可以实现同步控制。人类在飞行或驾驶时间上的安全限

值对机器来说是不存在的。人类的响应时间再加上人机交互活动的时间，导致遇到紧急情况时相应措施会严重滞后。此外，人类在平行加工数据和同时控制多个系统时表现明显下降。不过，机械系统在处理极罕见情况，为从未遇到的事件提供解决方案以及学习新飞行技巧方面还是远不如人类。要想实现和人类一样（或更好）的表现，需要机器控制复杂系统的能力进一步提高，并且实现：不需要人类进行控制；在适当水平（即战略指导、意图等）时允许人类介入。

2. 在零重力、微重力和重力降低状态下到达极端地域

目前，有一些极端的月球或火星地形载人探测车仍然无法到达，需要人类提前停车，穿戴宇航服步行前进。在微重力情况下，小行星和彗星表面或邻近区域的运动技术目前尚处不发达、未经检验的阶段。像国际空间站这样的复杂太空结构，仅限使用空间站遥控操纵系统（SSRMS）进行攀登或定位。挑战就在于要开发出能够进入这些区域的机器人，或打造新的载人移动系统，将人类送入这些颇具挑战性的位置。除了优化机械和动力，要想征服这些极端地形，还需要在机器人感知（传感器和算法）与载具控制（伺服、战术与战略）能力方面获得巨大的进步。感知能力对于检测和评估环境障碍物、有害

物和限制（比如：需驾驶通过的地方，需要抓取的地方等）极为重要。

3. 锚固于小行星和非协作物件在太空锚固于物件之上，要求机械手或对接机构进行双向六轴锚定。锚固在小行星上是一项全新的技术。用于锚固在人造物件上的方式可能并不适用于小行星，因为相关技术所依赖的特性在自然物件上是不存在的，比如引擎铃。同样，锚固歪斜物件的技术难题也尚未攻克。

4. 超越类似于人的精细操作人手的能力一般，而机器手相同或更优越的抓取能力，能规避机器人接触物件时所需的复杂交互界面，并根据具体任务要求不同提供相应的感知工具。灵活性可通过以下参数进行测量：抓取类型范围、尺寸、强度和可靠性。这方面的挑战包括在开发驱动性和传感能力时需要克服基础物理学第一定律的限制。同时还有一些其它方面的挑战：两点辨别、沟通定位、内外驱动、后退驾驶能力和屈从性、速度/力量/动力、手/手套覆盖不会削弱传感器能力/减弱运动，但可以增加操作尖锐粗糙物件时的坚固度。

5. 全浸、触觉远程呈现、多模态传感器反馈

远端呈现是这样一种状态：人类能够真切地感到自己处在远处机器人工作场所的一种状态。

要实现这一技术需要：全浸呈现、声效、触感甚至是味道。发展过程中所面临的挑战包括：开发能够向人类手指施压系统时需克服物理学第一定律，能够保证长时间全浸远程呈现的显示设备，以及人们在走路或佩戴装备进行远程呈现任务的同时也可使用的系统。

6. 人机意图理解与表达

自动化机器人有着复杂的逻辑状态、控制模式和条件。与机器一同作业的人类往往难以理解或预测这些状态。配以灯光和声音的确能帮助人们理解或预测这些状态，但我们需要机器人能够做出符合社会性的行为，这样相关人员不用接受预先培训就能理解。同样，机器人仍然难以通过姿势、视线方向或其他人类预期行为表达方式理解人类意图。为了优化用于太空领域人机交互的质量、效率和表现，有一项关键性挑战需要攻克，那就是让人类和机器人能够有效表达（交流）各自的状态、意图和问题。无论人机之间距离远近如何，这一点都非常重要。

7. 在极端条件下进行集结、临近作业和对接

集结任务包括在不降落或对接的情况下的目的地飞近探测。

临近作业要求在目的地附近悬浮并保持相对速度为零。对接时，闭锁机构与电力/液力耦合器将变成融合状态。主要挑战包括在任何光照条件下集结和对接，由近至远依次作业以及在一切条件下实现对接。

7. 研究路线图

本节概述了所有应用领域的主要研究挑战和机遇，并阐述了未来五年、十年及十五年的目标。

7.1 机制和致动器

机器人的构造正在改变。过去的机器人，致动器通过刚性构件安装在关节处。虽然采用这种设计方法的机器人仍然可以完成许多任务，但新制造技术、新材料和新构造范例将开发出全新的应用领域并带来相应的经济影响。统筹致动器、机制及控制设计开发出紧凑型系统，其能力和能效都将大大提高。

新制造技术：增材制造（3D打印）技术使机器人设计大众化，任何人都可以使用打印机打印出复杂形状和精密结构。机器人设计的大众化使新型材料、传感器/致动器与机器人结构元件的整合成为可能。2D平面制造工

艺，比如激光切割，正被用于创造灵感来源于折纸艺术的复杂3D几何形状。基于微电子机械系统（MEMS）的制造技术使制造真正的微型机器人元件成为可能。增材制造技术不仅可以用于生产有用的组件，而且作为制造过程的一部分，它还可以用于生产其他材料的模具，或用于生产复合结构的模板。

新材料与建构范例：3D打印部件和在3D打印模具中成形的软聚合物（有时与其他材料形成复合结构）很可能用于创建机器人设计的新范例。这些部件与材料能让机器人设计更柔软、更具生物特性，而不只是坚硬的金属机械。虽然这一领域尚处于早期阶段，但很显然，软材料比硬材料在抓取、操纵、牵引以及其他许多物理性交互任务方面表现更佳。软材料所具有的复杂动力学特性既是其长处，亦为其应用带来了挑战；比如用软材料制作机器人手指，将利于机器人执行抓取动作，但同时，相应的建模、传感及致动器又成为一大挑战。继续开发软材料必将带来新的传感器范例、新的致动器和传动装置（比如液压气囊），同时更有利于机器人运动的控制方法与动力学的集成。MT

（未完待续）

面向家电生产自动化的 数控关键技术及装备

 中国电器科学研究院有限公司

摘要: 劳动力资源短缺、生产装备落后、市场需求多元化等因素导致家电企业面临前所未有的挑战,信息化、自动化升级改造是改善我国家电企业现状的唯一途径。本项目研究集制造、物流、管理为一体的柔性化生产解决方案,重点针对家电制造行业零部件钣金冲压、上下料、物料搬运等工艺开发了专用的数控系统及装备,有效降低家电行业生产成本,提高生产效率,满足产品多样化、小批量生产需求。

一、导语

我国是家电制造业大国,广东省是我国家电产业的集聚地,有格力、美的、海信、志高等几大家电龙头企业坐阵,产业规模居全国家电业首位,在全球的地位举足轻重。然而,我国的家电工业大而不强,制造技术还是以传统作业方式为主,整个行业设备自动化、信息化程度普遍落后,多数家电生产企业仍采用手工/半机械化的制造模式,普遍存在高耗能,低效率的现象,导致产品质量参差不齐。而部分企业采用的高端装备则依赖于进口,价格昂贵,在核心高端装备技术上的瓶颈严重制约了我国家电行业的发展,随着美国、欧盟和日本为主的发达国家的家电市场需求

规模趋于稳定,为了在国内外激烈的竞争中提高产品的核心竞争力,大规模用数控化装备实现先进制造模式的转型是我国家电产业发展的必经之路。

本项目分析家电行业生产装备现状,针对产品品种多、生产量大、更新换代快,劳动力密集等特点,通过产学研合作,研究出一系列集制造、物流、管理为一体的柔性化生产解决方案,重点针对家电制造行业零部件钣金冲压、上下料、物料搬运等工艺开发了专用的数控系统及装备,包括面向家电生产自动化的高端装备专用数控系统软件开发平台,冲压机器人系统,自主物料搬运移动机器人系统及整线自动化系统,突破了一批制约家电行业转型升级的关键共性技术并形

成自主知识产权,增强了我国家电行业的产业竞争力,推进了地区特色产业持续快速协调发展。

二、企业概况

中国电器科学研究院有限公司(CEI)始建于1958年,隶属于中国机械工业集团公司。经过半个世纪的发展,已成为拥有三大基地、占地600多亩、建筑面积28万平方米集科研开发、国家检测和科技产业为一体的国家级创新型企业。拥有国家重点实验室、国家级国际科技合作示范基地等10个国家级科技研发平台和13个省、市级科技开发平台。取得4300多项科技成果,拥有超亿元的世界一流的科研仪器设备。公司成套装备事业部致力为

全球客户提供家电生产、检测成套装备和技术服务、承接家电生产整厂规划及总承包、机器人自动化生产线、涂装、表面处理生产线等业务，是国内最大的试验装备与自动化检测生产设备供应商之一，也是目前唯一一家提供家电工厂规划全套解决方案的国际化专业公司，产品出口到越南、巴基斯坦、印度、土耳其、乌兹别克斯坦、阿曼、埃及、意大利、阿尔及利亚、巴西等 30 多个国家和地区。

三、关键技术创新

本项目主要开展了高性能嵌入式数控系统软件设计技术、机器人运动学、轨迹规划编程、AGV 控制技术、自动化生产线控制技术的研究，完成了家电行业数控装备专用控制系统、钣金冲压机器人控制系统、AGV 系统、冲压自动化生产线控制系统的研发，形成了一批具有自主知识产权的家电行业专用数控系统及自动化解决方案。

1. 家电制造行业数控装备专用控制系统

现有数控系统已经具备较好的通用性，然而却包含大量家电制造行业数控装备不需要的功能，增加了操作的复杂性，加大了系统运行负担，降低了设备的安全性和可靠性，影响系统运行

效率，增加了成本。同时，通用数控系统往往不具备家电制造行业所需的功能，例如冲压工艺中力与位置的同时控制，自动化冲压生产线的多目标联动控制等，针对上述问题，本项目开发了适用于家电制造行业的高性能数控系统。

(1) 基于计算模型 MOC 的嵌入式控制系统建模与仿真技术。

嵌入式控制系统包含多个复杂异构模块，这些异构模块与控制器之间的交互具备多并发高实时的特性，对这些异构模型直接应用实验验证其性能的方法成本高和周期长，信息交互的准确性往往得不到保证。为保证控制系统各模块之间信息的准确交互融合，保证系统性能，降低开发周期，本项目通过研究基于角色的模型驱动设计方法，构建系统的计算模型和交互模型，集成系统的仿真模型并进行仿真验证，通过对模型的进一步求精使系统达到最优性能。然后根据仿真模型着手对相关算法进行实施。

建模环境采用 Ptolemy II，对控制系统中层次异构模型的并发和通信进行抽象，通过角色组件同时考虑功能和非功能属性，组件间的交互机制，利用计算模型和角色组件层次组合系统，通过逐步引入对实际环境的考虑，实现从概念模型向真实系统的优化设计，并运用代码生成功能产

生系统代码以辅助完成系统的最终设计，缩短了开发周期，保证了实现与仿真结果的一致性，最重要的是实现了不同控制系统的重构设计及开发（图 1）。

(2) 基于模型集成框架的高性能数控系统开发平台。

通过上述基于 Ptolemy II 角色模型的嵌入式控制系统建模与仿真，保证了所需数控系统的功能和非功能属性，以及异构数控系统模块间交互的实时性和准确性。在此基础上，针对面向家电行业自动化装备嵌入数控系统的特点，基于模型集成框架方法（MIF），构建控制系统元模型，实现嵌入式实时组件库，研究模型转换技术，最终实现面向家电行业装备嵌入式数控系统共性开发平台。该平台下可进行图形化数控系统的设计，并支持多种硬件平台最终执行代码的自动生成，从而可实现专用数控系统的快速开发和维护。

MIF 嵌入式数控系统开发借鉴特定领域建模开发思想和基于组件的软件开发思想，将数控系统开发的各个阶段集成在统一的开发框架下。采用面向领域建模方法建立数控系统的领域模型，通过对数控系统在功能及性能方面的抽象，形成精确的面向数控系统的建模语言。通过构建模型的方式将影响数控系统设计和开发的若干因素（算法、软件实施、硬件平台、操作系统等）在设计

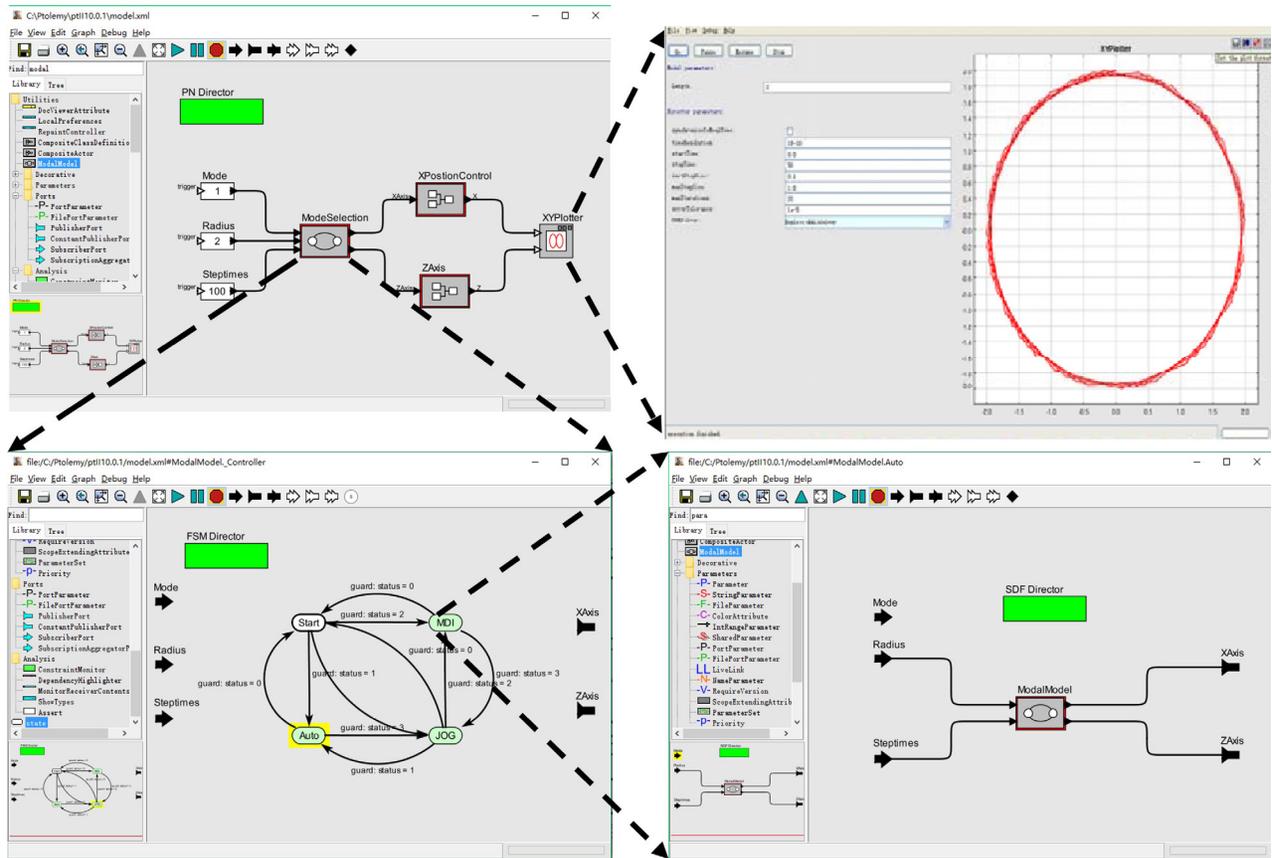


图 1 嵌入式异构控制系统 Ptolemy II 建模与仿真

早期进行表征，借助形式化描述及第三方工具集成实现对数控系统在模型层的功能仿真和性能验证，从而预测拟完成的数控系统的功能和性能是否满足预期的设计要求，满足设计要求的设计将通过组件的组合和代码粘合实现代码的自动生成。

其开发流程框图如图 2 所示，主要包括建模、模型转换、模型验证和代码自动生成。

2. 自动化冲压输送系统

本项目主要针对家电行业钣金冲压的行业特点设计一种低成本

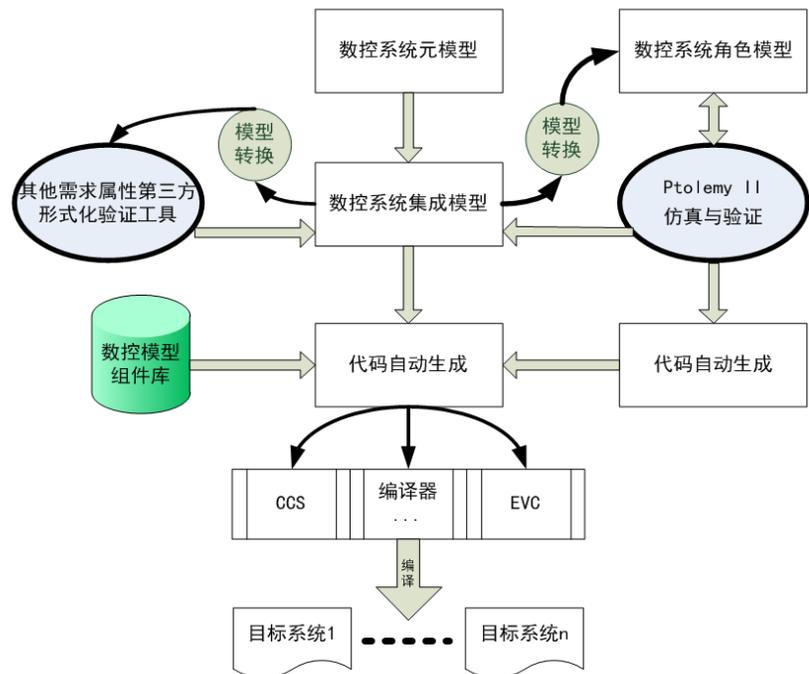


图 2 MIF 嵌入式数控系统开发流程

本的连杆式冲压输送系统，用于钣金冲压上下料。在设计过程中，采用模块化设计思路，整个冲压机械手包括主机、横梁支撑台、运动横梁 3 个模块，主机作为机械手驱动模块有两台伺服电机控制并控制机械手臂左右、上下运动，完成物料抓取。图 3 所示为机械手主体结构图。

系统控制部分采用嵌入式 PC 结合高性能运动控制卡的硬件架构（图 4）。反馈传感器采用高线速的光电编码器，并通过伺服驱动器的倍频技术进一步提高检测精度。运动控制卡以高端 DSP 为核心，支持多轴控制，具有复杂曲线的插补功能，同时实现各种信号的输入输出及处理。控制器软件采用面向对象语言进行开发和实现，并应用多线程技术实现多种任务的协调调度，功能上主要完成机器人的示教和再现，进行正逆运动学的求解，完成运动轨迹规划及插补，并进行精确的位置控制。

3. 自主搬运 AGV 系统

(1) AGV 本体结构设计。

AGV 本体将使用潜入式 AGV，该本体结构采用结构简单控制灵活的两轮差速驱动，各轮采用独立直流伺服电机驱动，经过齿轮减速器输出，同时可根据实际需要增加配置单个或多个万向轮，构成三轮或多轮式 AGV，实现系统的平稳运动和高运动精

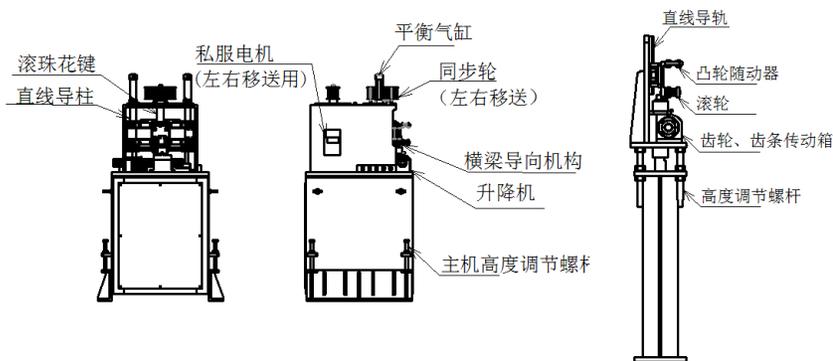


图 3 连杆机械手主体结构



图 4 机器人运动控制方案

度，保证系统的高承载能力。整体结构如图 5 所示，结构上还采用了剪式悬挂驱动技术，提高 AGV 对不同地面环境的适应能力。

(2) AGV 车载控制系统。

① 分布式硬件系统架构。

AGV 车载控制系统硬件系统架构方案如图 6 所示，系统采用基于 CAN 总线的分布式架构，CAN 总线为基于事件触发的多主系统，

具备较高的实时性。可扩展部分包括通讯模块（其他无线通信方式接入），导航模块（其他导航方式接入），驱动模块（如牵引辊的驱动），I/O 模块。AGV 控制器是 AGV 车载控制系统的硬件核心，由高性能工业控制计算机做主要控制硬件，实时多任务操作系统与桌面操作系统复合的方式实现传感器信号的接入、控制信息的输出及其它接口控制、HMI 等扩展，电机控制器采用 32 位高性能 MCU 及实时操作系统实现。

② AGV 车载控制系统软件功能可重配置的实现。本项目采用基于组件的开发方法（Component-Based Development，简称 CBD），采用软 PLC 实现对车载逻辑功能的配置。基于组件开发的软件可重配置原理如图 7 所示，用户通过 HMI 设置所需功能组件的信息，通过配置文件设定应用所需的功能组件，并注册到系统软件中，由中间件（MiddleWare）的互操作协议与各组件进行交互，组件库中组件以功能单元为基本粒度划分，为适合嵌入式应用，组件封装规范考虑了非功能属性。

系统应用软件运行于 RTOS 之上，由中间件和组件组成，实时内核负责分别与硬件和中间件相互通信，中间件屏蔽掉硬件上的差异，向上提供统一的 API。中间件的主要功能包括调度管理、资源管理、配置管理和服

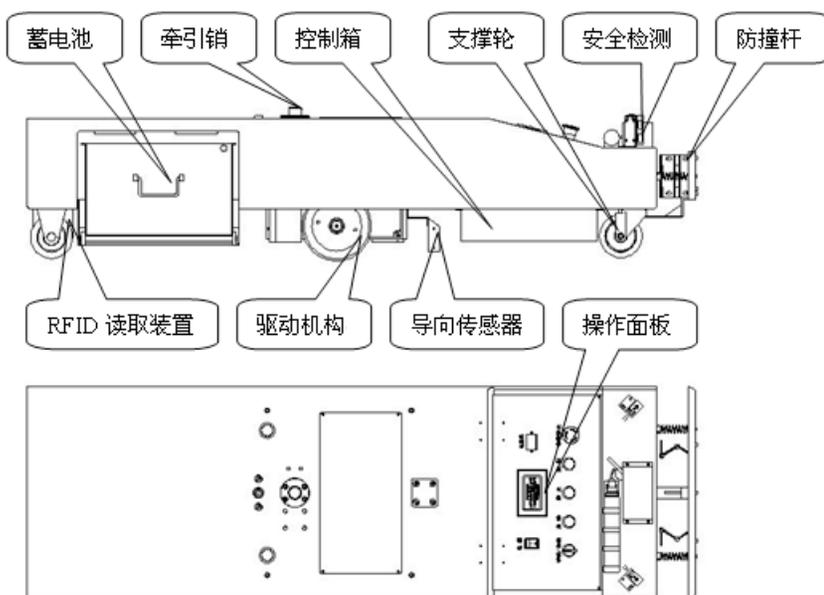


图 5 潜入式 AGV 整体结构图

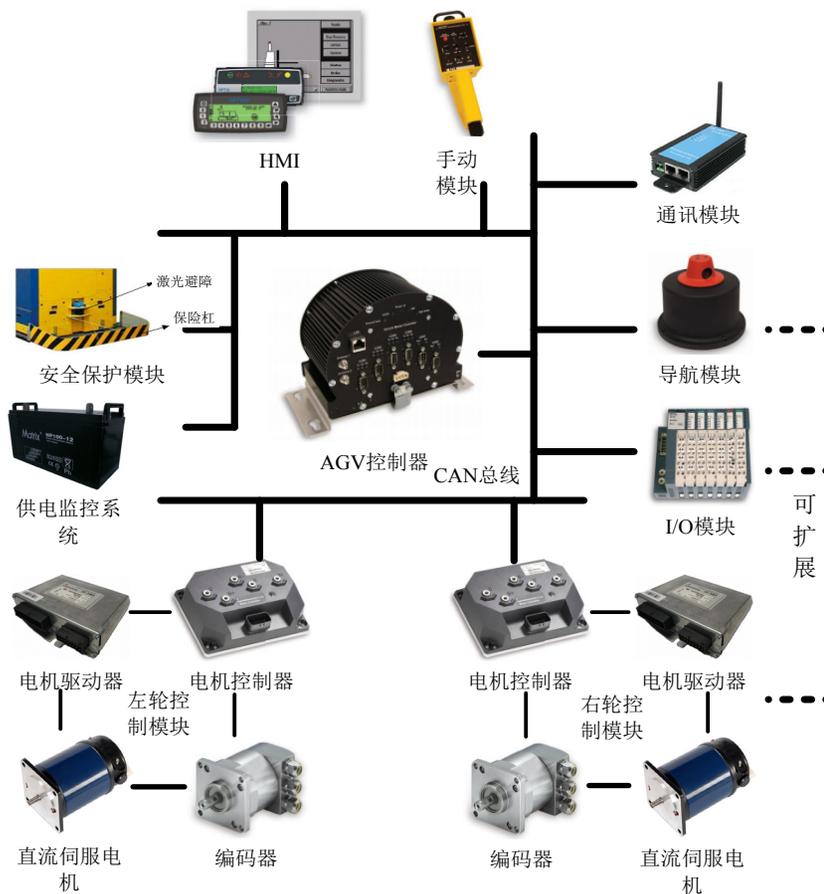


图 6 AGV 车载控制系统硬件基于 CAN 总线的分布式架构

质量 (Qos) 管理等, 图 8 所示为 AGV 移动小车样机。

4. 自动化生产线控制系统

对于家电企业来说, 行业之间的竞争比较激烈, 产品利润率低, 钣金零部件冲压作为企业产品生产的关键环节, 冲压生产的自动化水平直接影响着企业的市场竞争力, 现阶段, 多数企业仍以手工操作、人工上下料的传统生产模式, 导致生产效率低、产品质量不稳定、工人劳动强度大等诸多弊端。鉴于目前这一现状, 本项目针对家电行业特点开发出一种高效、低成本的自动化冲压生产线集成系统。该系统采用自主研发的连杆式冲压机械手及 AGV 运输小车作为该自动化冲压生产线的输送系统, 主要用于冰箱门板成形冲压的生产, 共 3 道工序完成, 整条生产线由 5 台冲床、连杆式上下料机械手、AGV 小车、胚料输送机、安全防护系统组成。现场采用 PROFIBUS 总线单主站网络拓扑构建生产线控制网络, 开发了基于总线的生产线控制系统, 系统具有结构简单、可靠性高、成本低、扩展性高等优势。图 9 所示为冲压生产线系统现场设备网络结构图。图 10 为冰箱门板自动化冲压生产线现场。

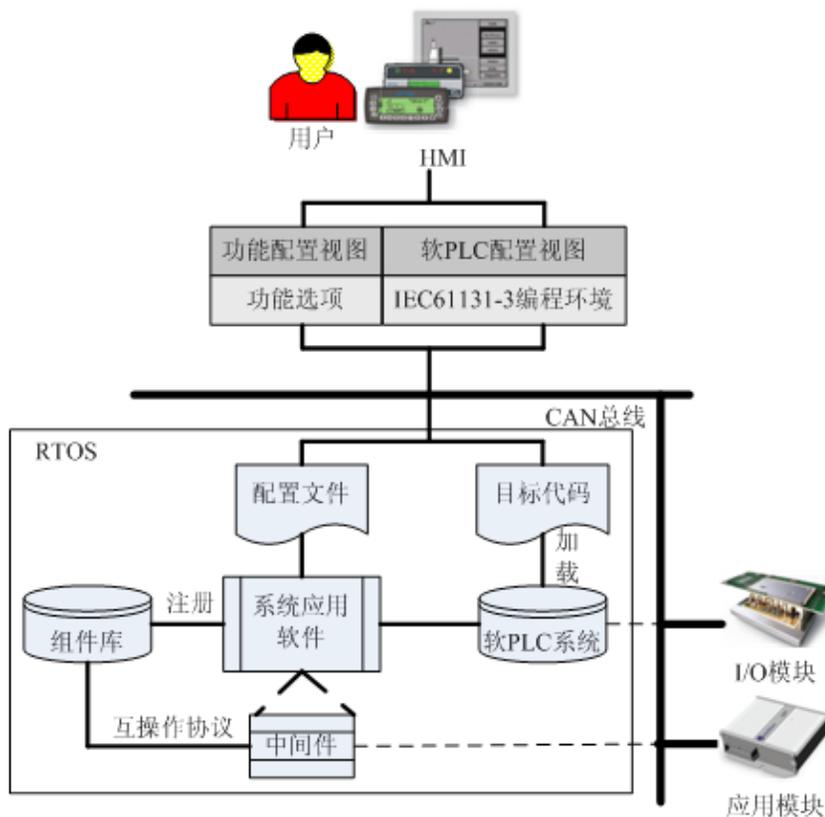


图 7 AGV 车载控制系统功能可重配置设计方法



(a) AGV 移动小车本体

(b) AGV 移动小车磁带

图 8 AGV 移动小车样机

四、结论成果

项目实现了对家电行业高端装备专用数控系统的统一平台开发, 重点解决钣金冲压, 物料搬运, 整线自动化等 3 类关键装备的控制需求, 形成多种关键数控

装备, 达到国际先进水平, 填补了国内家电行业的空白, 实现了家电生产从单机自动化到整线自动化的提升, 并形成了多个企业的应用示范, 对我国家电产业的转型升级具有战略性的支撑和推动作用。

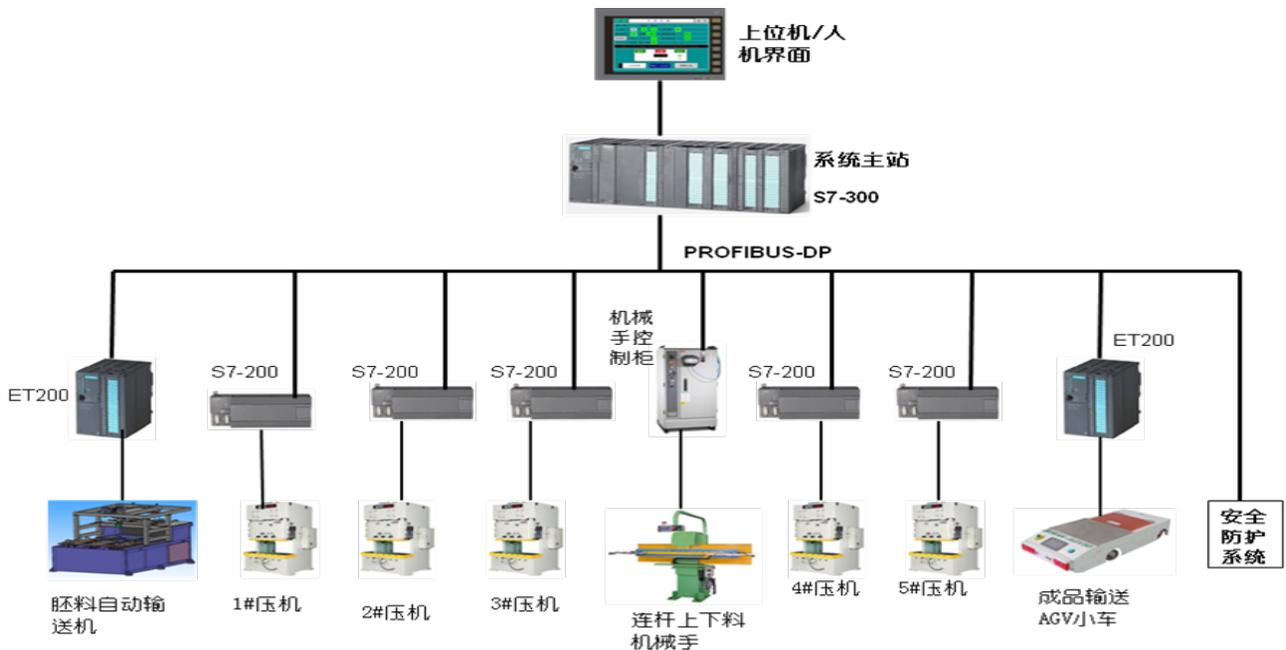


图 9 冲压生产线通信网络结构图



图 10 冰箱门板自动化冲压生产线

项目申请专利 3-5 件，其中发明专利 3 件，软件版权 1 件，制定企业技术标准 3 项以上。形成具有完全自主知识产权的软件产品 2 件：家电行业专用数控软件系统开发平台和冲压生产线监控系统。数控装备 3 个：冲压机

产线。

本项目研究成果不仅用于家电行业，也可向其他制造行业推广应用，应用范围广，市场前景广阔。对于制造企业来说，引进该项目研究成果，采用自动化、信息化的生产模式，企业的生产制造能力将提高 40% 左右，人均

效率至少提高 30% 左右。引进自动化生产装备不仅可以解决企业招工难的问题，同时还可降低劳动成本、提高生产效率以及产品质量，为制造企业带来很好的经济效益。

通过本项目成果的推广应用，将带动一系列技术的发展，改造我国制造业传统的生产模式，提升我制造业自动化水平，并促进产业转型升级，具有重要的社会意义。具体而言，有以下几点：改善装配过程中环境恶劣的情况，降低工人劳动强度；解决国际国内家电制造业劳动力市场短缺问题；提高生产效率，满足市场多品种、小批量生产的趋势；降低废品率和产品成本，提高企业技术创新能力，提升企业竞争力。MT

木工机械专用数控系统的开发与应用



深圳众为兴技术股份有限公司

摘要：随着人们生活水平的逐渐提高，对木工的精度、难度和产量的需求也不断上升，与我国目前木工自动化水平低、产量落后和精度差形成矛盾。众为兴针对需求将木材锯削、木材铣削、木材雕铣成形的加工制造装备融合数控技术，基本上解决了原来木材加工设备存在的质量稳定性差、生产成本低、生产效率低、人员安全事故频发等问题。

一、导语

我国作为家具生产制造和出口大国，只有不到5%的家具企业拥有数控化、自动化木工机械装备，这严重影响了产品的加工质量以及家具生产企业的形象。智能化、数控化家具生产线及木材加工设备数控化、自动化、智能化开发的滞后限制了我国家具工业的进一步发展。

众为兴通过对国内外木工机械装备市场及家具制造企业的实际应用状况进行充分的考察和调研，对比国内外木工机械数控装备技术，对家具制造生产的关键工序——木材锯削、木材铣削、木材雕铣成形的加工制造装备进行数控技术导入及关键技术开发应用进行立项。将数控系统、伺服控制系统与传统的木材加工设

备进行整合创新，基本上解决了原来木材加工设备存在的质量稳定性差、生产成本低、生产效率低、人员安全事故频发等问题。在给家具制造企业带来上亿元经济效益的同时，也推动着我国木工机械装备业及家具制造业向数控化、自动化、智能化方向发展。

二、主要研究内容

本项目通过多通道控制技术、DXF解析技术以、速度前瞻技术以及通讯拓展技术在木工机械装备领域的研究，建立木工机械专用数控系统。与传统加工设备相比，其具有生产效率高，加工质量稳定，生产成本低，安全性高等特点，与国外类似加工设备对比，具有加工量大、操作界面可视化、实用性强、设备成本

低廉的优势。

1. 多通道控制技术

传统数控的特点是从用户选择一个G代码文件，到加工期间各个工序进行，直至最终的加工完成。随着经济全球化，产品的市场竞争日益激烈，单一工序的加工机床已不能满足市场需求，越来越多的家具制造业和木材加工业转而选择复合加工机床。通过多通道控制技术可以使机床实现复合控制功能，让某些工艺之间协同控制，从而提高加工效率。

本项目的数控系统在搭建软件架构时，采用了开放式模块化的软件结构，这种结构的优势是功能模块利用率非常高。多通道CNC系统支持四通道并行运行，也可以通过协调方式高效完成复杂工序产品一次装夹加工，有效

提高工作效率与加工精度。

图 1 为众为兴 CNC4960 木工机械专用数控系统的双工作台双工位木工雕铣加工中心示范案例。CNC4960 六轴运动控制器是一款高性能、多功能的运动控制系统。具备以下特点：

(1) 6+1 轴控制，第 7 轴可以用于伺服主轴，也可以用于线性或旋转轴参于轨迹加工；

(2) 具备双通道刀库换刀功能，支持自动对刀；

(3) 具备动态轴映射，支持双或多轴同步驱动；

(4) 支持单轴、多轴运动控制，可以通过用户参数配置是线性轴还是旋转轴；

(5) 支持任意 2-3 轴直线插补；

(6) X、Y、Z、X1、Y1、Z1 双通道三轴微米级插补精度；

(7) 具有扩展总线及网络

接口，支持 I/O 卡扩展，可接通过以太网互联进行远程管理。

2. DXF 解析技术

过去，在数控系统中编辑木雕图形相当麻烦，工程师需要在画完 DXF 后，人工根据图形将代码一条一条地编入系统，既费时又费力，同时也难免会出现编程错误。

本项目的木工机械专用数控系统具备 CAD 图型自动识别以及 AUTOCAD DXF 文件解释功能，用户可以通过 CAD 软件绘图，然后保存成 DXF 文件，系统再针对 DXF 文件解释编写成一套优化算法，这样一来，既可以大大优化输出的轨迹顺序，缩短加工执行时间，又可以节省人工编程的时间成本。独创的 CAD 解释配置脚本文件，可以让用户使用起来更加方便灵活。同时，系统内

置 CAM 模块，对于已知的加工工艺与图型特征，系统内可以增加相应的图形 CMA 向导来简化编程。此外，系统还提供 CAM 开发接口，终端用户如家具制造商和木材加工商等，可以根据需要自行增加图形，设备制造商也可以通过开发接口自行设计有特色的图形 CAM 来增强整机的功能从而提高设备的卖点，提高设备的价值。为了满足一些客户需要使用超大文件来实现复杂图形加工的需求，同时保障数据处理速度，系统内置 8G 超大存储空间，独特的文件分页管理模块，单个加工文件大小可以达到系统存储空间的上限。

3. 速度前瞻技术

木工行业数控加工过程中，往往注重两方面指标：

第一，为了提高加工精度，

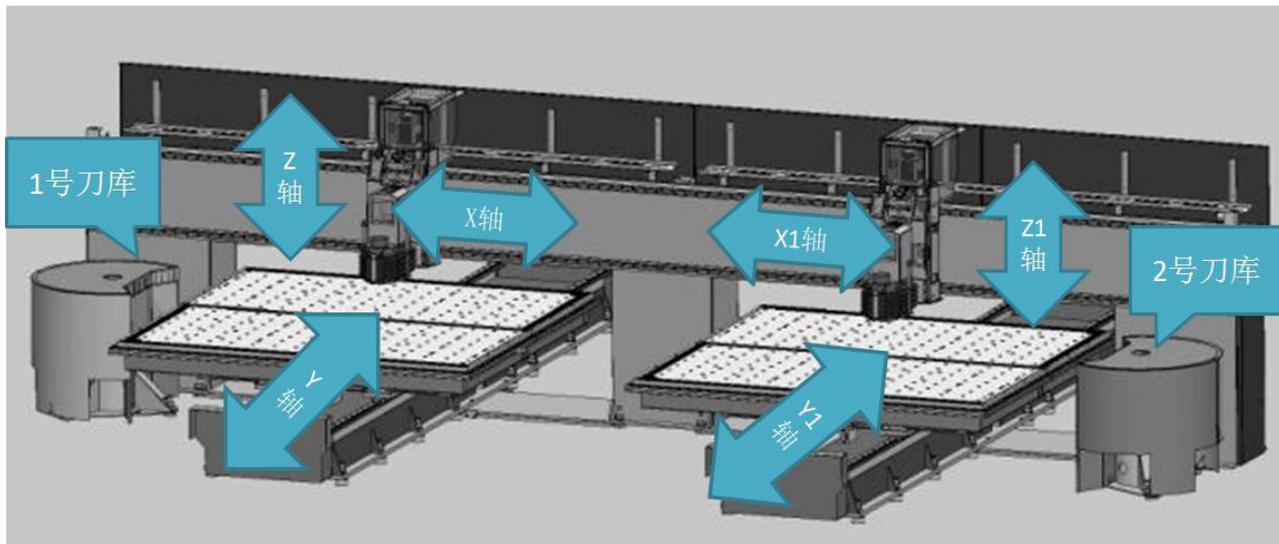


图 1 双工作台双工位木工雕铣加工中心工作示意图

刀位点越密集越好，连接刀位点的微线段越短越好。

第二，为了保障加工速度，刀具进给速度越快越好，短时间内可以走更多的空间微线段。

然而，高速多点位加工难免会带来大的加减速变化，引起机床振动，对机床结构产生巨大冲击，而且还会影响实际加工速度和精度。通过速度前瞻技术可以根据运动轨迹的特点，预估可能发生的突变，并对进给速度进行有效的控制。

速度前瞻是系统预先读取加工的程序段，分析建立速度自适应模型，对连续轨迹进行速度优化，达到降低振动平滑运行的目的，保证了设备在高速运行过程中的高精。本项目产品具有多达2000段的前瞻及轨迹平滑处理能力，0.2ms插补周期，插补精度达到 $0.1\mu\text{m}$ ，具有微小线段拟合功能，可以大大提高加工效率。图2为运用速度前瞻技术进行速度处理的过程展示图，经过处理后的速度曲线更加平滑。

4. 通讯拓展技术

随着工业4.0的提出以及互联网+的兴起，工业发展越来越趋向网络化和智能化，通过开放式平台构建和网络化控制管理，可以大大提升产品的应用性和生产管理的有效性，实现人工智能。

本项目专注于实现木工机械专用数控系统的开放化和联网

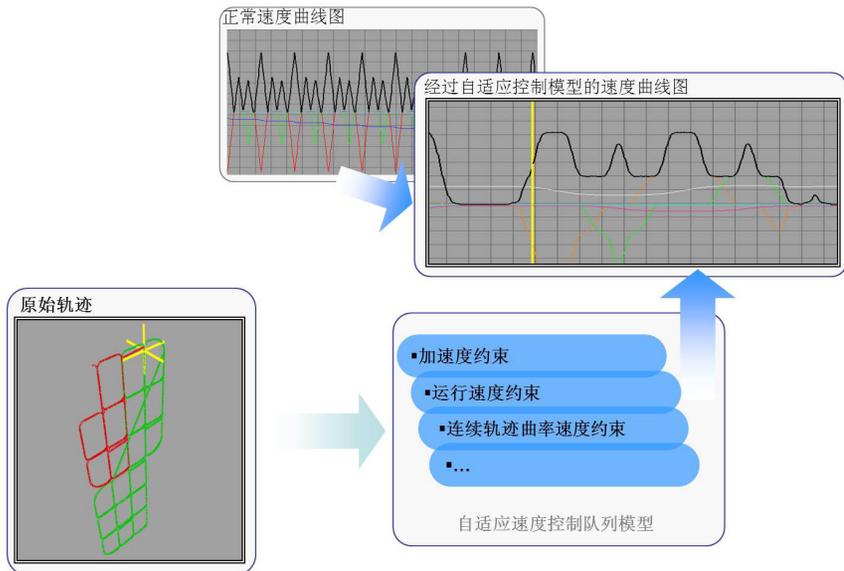


图2 运用速度前瞻技术进行速度处理的过程展示图

化。项目产品内部资源均对外开放，具有RS485总线、MODEBUS总线及USB通讯功能，具备RFID及条码设备通讯接口，支持I/O卡扩展和联网控制，可以满足客户各种特殊需求。具体功能包括：

(1) 可用于多设备协同作业及一些特殊工艺用途，用户可根据设备的大小选用相应尺寸的HMI自行设计交互界面；

(2) 可以扩展基于MODEBUS总线的外设，如视觉检测设备，激光测量设备等；

(3) 可通过以太网互联进行远程管理；

(4) 可与ERP的生产管理模块接口；

(5) 灵活的I/O可满足用户的二次开发要求；

(6) 可模拟电子硬盘进行

数据读取、编辑与加工，满足各种大程序工件的加工。

三、项目成果

通过进行木工机械专用系统产品研发取得以下几项成果。

1. 软件著作权

(1) 软著登字第126184号，证书名称：CNC4860 4~6轴数控铣床控制软件V1.00，GMC4140 G代码用户自编程控制软件V1.0；

(2) 软著登字第078879号，证书名称：CNC铣床控制软件V1.0；

(3) 软著登字第0232116号，证书名称：CNC4240数控铣床控制软件V1.0。

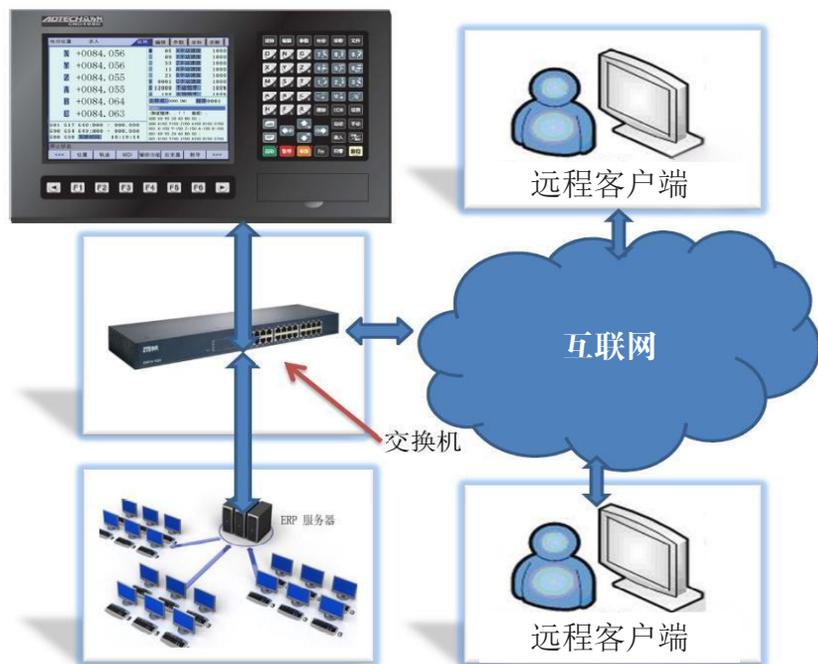


图3 通讯拓展示意图

2. 准备申请的专利

(1) 一种基于 ARM7 和 FPGA 的嵌入式数控系统;

(2) 一种基于 FPGA 的 FIFO 实现连续插补运动的控制方法;

(3) 一种对嵌入式程序进行无损压制的装置和方法;

(4) 一种系统文字的多语言翻译装置及翻译方法。

四、实施效果

1. 客户收益分析

本项目的最终成果是木工机械专用数控系统和数控化木工机械装备产品。其中, 专用数控系

统的服务对象主要是木工机械行业的制造企业, 在进行示范应用推广后, 年销售台数可达到 200 台, 销售产值 10000 万元, 新增利税 1000 万元, 产生较高的经济效益。数控化木工机械装备产品的服务对象主要是国内家具制造业和木材加工业, 由于该项目应用于木工机械中最常用的 3 个品种系列的装备产品, 这些装备产品的边际贡献率都在 30% 以上, 远高于目前企业生产传统木工机械装备产品平均 11.9% 的边际贡献率, 产品获利能力高, 所以客户对产品的需求也很大。本项目的成功实施, 有效的提升了下游

产业的生产效率, 大大降低了生产成本, 使家具产业和木工行业的经济效益得到显著提升。

2. 社会收益分析

在传统家具制造业和木材加工业的生产过程中, 由于手工机械作业, 造成了很多工伤事故, 数控化木工机械装备可以极大地减少由于锯切、铣削工艺手工作业所带来的安全隐患, 降低生产员工的劳动强度, 保护员工的身心健康。同时, 在项目产品实现产业化生产后, 还可以使项目承担单位新增 40 ~ 50 个就业岗位, 对促进社会稳定, 增加社会财富都有十分积极的影响。

3. 生态收益分析

项目产品在节约木材资源方面, 与传统的木材加工工艺相比, 更加卓越。项目产品采用最优化的排样加工模式, 可最大化的利用木材使用面积, 节约木材 30% 以上。按全球每年消耗 6000 万立方米的木材资源计算, 每年需要进行锯床、铣削工艺加工的木材大约占 1/6 左右, 采用该木工曲线锯切工艺加工后, 可节约木材 300 万立方米, 价值金额十多亿元, 对日益紧缺的木材资源的充分利用具有重要意义。MT

中国好设计案例选登（十）

G3015F 光纤激光切割机

一、案例背景

大族激光科技产业集团股份有限公司是一家以提供激光加工及自动化系统集成设备为主的高端装备制造企业。

G3015F（图1）是大族激光于2009年在国内推出的首台高

功率光纤激光切割机，该产品采用龙门双驱结构形式，具有极佳的柔性、动态性能与稳定性，设备性能处于国际领先水平；不仅符合“绿色低碳、网络智能、超常融合、共创分享”的时代特征，而且具有突出的创新性、引领性、典型性、示范性。

大族激光自2009年推出国内首台G3015F，凭借技术创新颠覆了原有的激光切割技术，改变了高功率激光切割的发展方向，引领着光纤激光技术的世界潮流。

二、设计创新点

1. 突破光纤激光集成应用技术

2008年以前，工业激光切割主要使用第二代CO₂激光切割机，其主要采用CO₂等三种或以上混合气体作为激励介质产生激光，光电转换率低、光路成本高、使用成本高、占地面积大。而光纤技术光电转换率高、运行成本极低、设备紧凑、光束质量更高等优势，是第三代激光技术，优势



图1 大族激光 G3015F 光纤激光切割机

非常明显。

在 CO₂ 激光切割机发展的巅峰时刻，大族激光率先将光纤激光成功导入切割领域，引领了激光切割技术革命，并从中受益、崛起。现已成为全球研发最早（2008 年底）、销量最大（3000 余台）、市场占有率最高（80% 以上）的光纤激光切割机制造商。

2008 年，席卷美国的金融危机波及全球，美国经济开始一蹶不振。为了提振经济，美国逐步放开高功率光纤激光器的出口限制，使得 2kW 及更高功率光纤激光器进入中国市场成为可能。同年，大族激光副总裁、大族激光智能装备集团总经理陈焱先生在德国参观考察，从事激光行业多年的他，敏锐地发现了光纤激光器的应用前景；在他考察结束回国后，立刻开始组织人员研究高功率光纤激光集成应用的可能。

当时，业界很多同行对光纤激光应用在金属加工领域是持怀疑态度的，甚至学术界有学者发表言论，指出光纤激光模式不适用于激光切割，只能用于焊接，并罗列出数据证明光纤激光器是无法应用到金属切割。

当时，国际国内对光纤激光技术应用于切割很不看好；因为，当时国际知名的激光制造厂商，都没有推出甚至从来没有研发过光纤激光技术的切割应用。大族人坚信，提升中国激光制造业的技术革新以及市场表现出来的强大需求就是我们前进的动力和方向。

经过近半年夜以继日地努力，大族激光的工艺研发团队，用光纤激光切割出了漂亮成型的工件，并且在此基础上完善了系统数据库，开发出专门针对光纤激光特性的控制参数；完美的实

现了激光加工工艺的革新。

最艰难的一步迈出后，更多的惊喜一个接一个：首先是测试发现，金属材料对光纤激光的波长吸收率很高，切割金属薄板速度更快，是传统 CO₂ 激光的 1~2 倍；发现使用光纤传导，除了光路简单免维护耗材少之外，在激光切割过程中没有光程差可以实现超大幅面一致性切割。同时发现，光纤激光切割高反射材料金属能力突出，在 CO₂ 激光不敢切割的铜、铝等高反射材料上得心应手，再随后发现可以实现空气切割、超高速切割等功能。光纤激光切割机由此开始走上行业的历史舞台，辉煌之光从问世开始初露光芒……

2. 性能优越、安全可靠

G3015F 光纤激光切割机充分展示光纤传输的优势，激光直接通过光纤由激光器传输到机床切割头，机械结构简单，光路恒定，免维护。采用封闭钣金件外罩，配备安全装置，门保护开关等，兼具安全性与可视性的统一。

3. 先进切割工艺

G3015F 光纤激光切割机具备强大的切割能力、“飞一般”的切割速度、较低的运行成本、优异的稳定性。适用于碳钢、不锈钢，铝，与黄铜、紫铜等高反射有色金属，及钛合金等合金材料的高效、优质切割；大族激光还



图 2 光纤薄板切割样件

开发出了一系列具有世界先进水平的新工艺：如飞行切割、蛙跳切割、零秒穿孔、尖角切割、极限小孔切割、覆膜激光切割、铝合金无毛刺切割等工艺技术，使得 G3015F 光纤激光切割机如虎添翼。

4. 优异扩展性和实用性

大族光纤激光切割机可与自动化生产线连线生产，让激光技术与柔性制造系统高效组合，大大提升了生产效率，有效降低了人力成本，广泛应用于工程机械、农林机械、电气制造、电梯制造、机械加工等行业。

三、效果与应用

G3015F 光纤激光切割机已通过欧盟 CE 认证，并获得中国机床工具行业“十大创新产品”、“产品质量十佳”等大奖。2015 年，《大尺寸钣金件高功率激光高效高质复杂廓形切割技术与系列装备》通过中国机械工业联合会和中国机械工程学会联合组织的鉴定。G3015F 系列龙门双驱光纤激光切割工艺解决了厚板高质量切割及薄板高速切割难题，技术达到国际领先水平，广泛应用于航空航天、轨道交通、重型机型、汽车制造、电力电气、农业机械、金属加工等国民经济各行各业。

在中国，光纤激光不仅创造了巨大的经济效益，而且形成

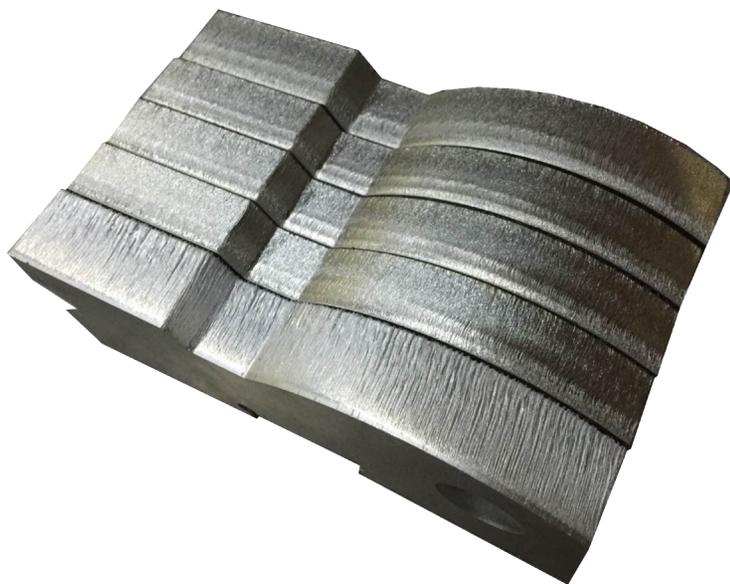


图 3 8kW 厚板切割样品（25mm 铝合金 & 20mm 不锈钢）

了极大的社会效益，影响并改变了整个激光加工的市场格局，引领中国激光行业乃至世界激光领域进入光纤时代。大族光纤激光切割机由沪江浙地带铺向全国各地，由厨具、电气、电器、汽车行业推广到机车、石化等行业——可谓由点到面、由少到多，在全国遍地开花。与此同时，凭借优越的性能与良好的口碑，G3015F 系列光纤激光切割机出口德国、俄罗斯、日本、韩国等发达国家；产销量稳居全球第一，已经形成直接经济效益 30 亿元，同时打破国外产品的垄断与不可替代性，带动机械、材料、电子、软件等相关行业发展。

大族激光 G3015F 光纤激光切割机在国内首创采用光纤激光器作为光源。光纤激光器以稀有元素镱 Ytterbium 为发光物质，无需高纯度氦气、氮气、二氧化

碳及其消耗；电光转换率高达 40%，更为低碳、经济，符合高速智能、技能环保、绿色低碳的发展趋势。

大族激光已先后为郑州宇通客车、日立电梯、星光农机等大型知名企业量身定制激光切割柔性生产线，实现了从计划编程到原材料存储、上料、切割、切割后工件及废料的搬运自动化全过程，拥有无人值守功能，帮助用户企业智能转型、提升竞争力，助推中国制造优化升级，迈向中国创造！

四、结语

2016 年 10 月 13 日，李克强总理考察大族激光，现场视察了生产车间。看到大族激光的高端精品，总理为我国机床企业近几年的进步感到欣慰。央视记者特

别拍下了手捧“中国制造 2025”字样模型的珍贵合影。该模型正是由大族激光 G3015F 光纤激光切割机切割完成的。

调研结束前，总理称赞道：“在这里看到了中国制造转型升级的路径和希望。大族激光把中国的传统装备制造业从先进发展到转型升级，使中国装备制造有了新的前景，可以说是一个标志性的、代表性的产业，对‘中国制造 2025’很有意义，表明‘中国制造 2025’正破茧成蝶，大有希望，要让‘中国制造 2025’在你们手上大放光芒！”

大族激光一直以提升工业水

平为己任，在激光切割焊接技术领域深耕“激光+”，充分发挥在激光加工及智能制造领域的技

术研发及产业优势，大力贯彻落实《中国制造 2025》战略，谱写《中国制造 2025》的新篇章。

表 1 G3015F 技术规格参数

加工幅面与工作范围	
加工幅面（长×宽）	3000mm×1500mm
X 轴行程	3050mm
Y 轴行程	1525mm
Z 轴行程	120mm
精度	
X, Y 轴定位精度	±0.03mm/m
X, Y 轴重复定位精度	±0.02mm
速度	
X/Y 轴最大联动定位速度	169m/min
X, Y 轴最大加速度	1.5G
重量与尺寸	
工作台最大载重	900kg
机床重量	10000Kg
外形尺寸（长×宽×高）	9081mm×2993mm×2155mm

大型矿用机械正铲式挖掘机系列

一、案例背景

强大的资源开采能力是维护国家战略资源供给安全的重要保障。露天开采因其资源利用率高、生产安全高效等优势而迅速发展。我国露天矿山每年有上百亿吨的采剥总量，全球露天矿山每年有上千亿吨的采剥总量。矿用挖掘机是露天矿山开采工艺系统中必不可少的关键龙头设备，承担着矿岩的采掘和装载两大重要职能，是决定系统生产能力和

企业生产规模的核心装备。其关键技术难度高，附加值大。

长期以来，国内大型矿用挖掘机全部依赖进口。2004 年，太原重工股份有限公司通过持续的技术创新，突破了矿用挖掘机挖

掘轨迹、载荷谱研究及多机构协调智能控制等关键技术。研制成功了具有自主知识产权的 WK 系列矿用挖掘机（图 1），产品的各项性能指标均达到或超过国际同类产品，综合技术处于国际先



图 1 WK 系列矿用挖掘机

进水平，部分技术处于国际领先水平，打破了发达国家的技术封锁和市场垄断。

二、设计思路

大型矿用挖掘机工作环境恶劣（露天野外，高海拔（+5000m），严寒（-50℃），湿热（+50℃，湿度95%以上等），工作对象种类多（露天铁矿，有色金属矿，煤矿，油砂矿等），工作载荷特殊（外部负载随机，振动、冲击大；传动机构低速重载、频繁启制动、频繁正反转、冲击大），自身结构复杂、庞大。产品研制涉及机械、电气、液压、控制、测试等多个领域，研制难度极大。

根据矿用挖掘机工作条件复

杂、载荷突变、可靠性要求高、多学科技术集成等特点，采用数字化设计技术、智能控制技术、计算机辅助人机工程设计技术、整机系统多学科优化技术等，从理论体系研究和产品开发两个方面，以大量的用户和市场调研为基础，研究大型矿用挖掘机整机性能参数确定、总体方案设计、施工设计、功能分析和评价、加工制造、装配、试验中所涉及的关键技术，建立大型矿用挖掘机的设计理论体系，设计开发WK系列大型矿用挖掘机（图2）。

三、设计创新点

1. 高效挖掘

结合现场试验，建立了铲斗

实际挖掘工况的计算模型和仿真分析模型，研究了不同物理性态矿岩的最佳挖掘轨迹和挖掘载荷分布规律，形成了最佳挖掘轨迹族和挖掘载荷谱，解决了“负载不确定”这一行业重大技术难题，实现了多种极端工况下的连续高效挖掘，完成了前端工作机构布局优化和关键零部件精细化设计方案。

2. 地面高适应性

提出了重型、超静定双履带底盘的结构形式、驱动功率和关键零部件主要性能参数的设计准则，开发出适应大型挖掘机特点的高承载能力重型超静定双履带底盘设计技术，研制出世界上承载能力最大的复杂地面重型双

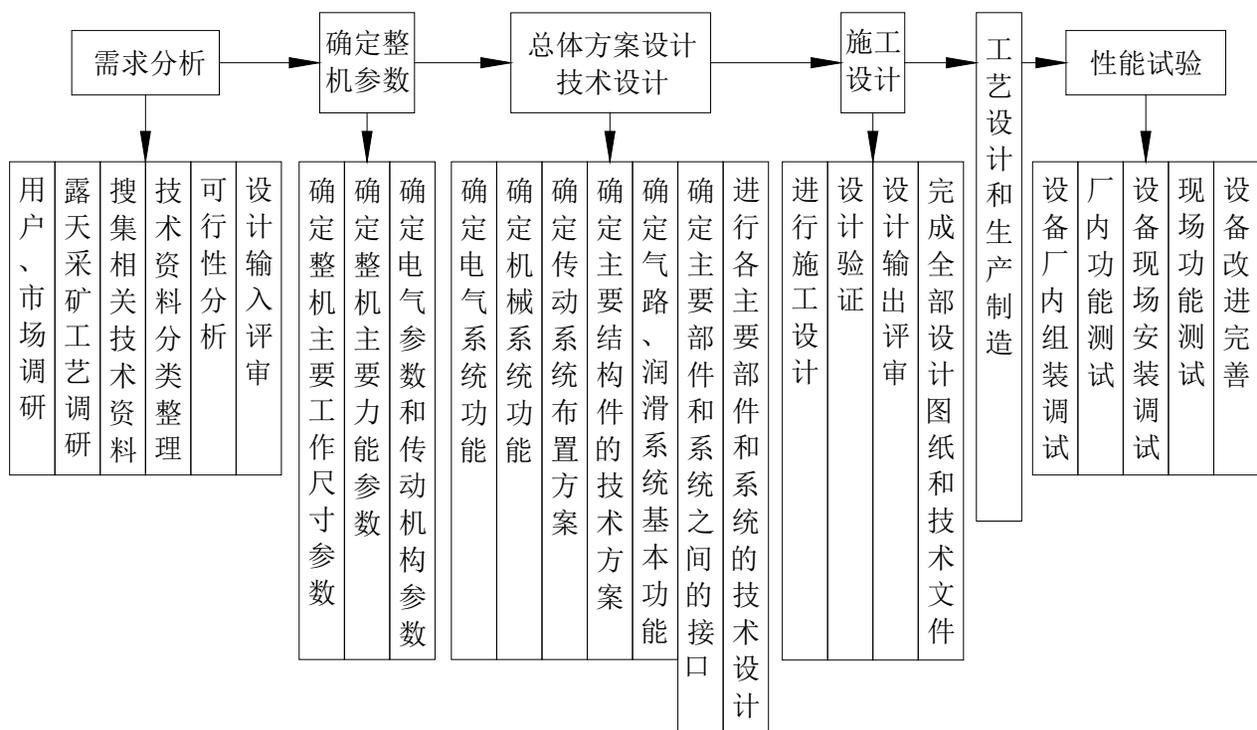


图2 WK系列矿用挖掘机的设计

履带底盘，满足了自重达 2000t 的大型机械设备在恶劣地面上快速、灵活移动的需求。

3. 智能挖掘

提出了挖掘特性曲线关键参数的设计准则，设计了全系列产品的挖掘特性曲线，以及适应载荷突变的提升—推压机构协调控制方法，实现了提升和推压机构相互协调的闭环控制，有效地缩

短挖掘作业时间，设备生产效率提高 10% 以上。

四、效果与应用

截止 2015 年，太原重工股份有限公司已累计销售大型矿用挖掘机 103 台，得到了神华准格尔露天煤矿、内蒙古霍林河露天煤矿、必和必拓矿业有限公司智利铜矿等国内外 20 余个矿山用户

认可，先后出口到俄罗斯、印度等 11 个国家。国内市场占有率达 95%，全球市场占有率约 30%，销售收入近 80 亿元。世界最大的 75m³ 矿用挖掘机的研制成功，实现了我国矿用挖掘机产品从跟随向引领的重要转变。WK 系列矿用挖掘机的研制成功，为实现矿产资源的安全、高效、绿色、智能开采，确保露天采矿业的快速、高效发展奠定了坚实的基础。

山地风电安装起重机创新设计

一、案例背景

作为民营企业的郑州新大方重工科技有限公司，瞄准特种行业需求，视设计研发和产品组装为核心竞争力。针对山地风电安装的特殊环境，将山地风电施工解决方案与设备研制融为一体，利用设计思维创立了山地风电施工绿色工法，实现了风电施工安全、高效、环保、经济的目标，提高山地风电、低风速风电适应范围。

二、设计创新点

1. 设计思维理念创新

因地制宜，应对山地风电施工难题设计解决方案，设备具备抗突变风载、湿滑陡坡整机自行走、快速自拆装、小机位贴位



图 1 30m*35m 平台远眺



图2 30m*30m 平台施工站位俯瞰



图3 土路，25% 道路坡度行进

吊装、遥控操作的特点，完成1200t级汽车起重机难以实施的山地风电吊装工作，达到安全、高效、环保、经济的效果，能耗比显著。

2. 整体结构设计创新

考虑大尺寸、大变形、横风向风的特点，运用高等非线性分析设计出分级逆向预加载塔身、起重臂伸缩桁架系统，受载变形小、抗非正常载荷能力强，满足100t重机舱、100m高度、10m/s风速工况安全吊装和毫米级就位精度要求。

3. 系列构造创新

设计一拖二塔身及臂架同步多级伸缩系统、自动对位桁架结构穿销系统、四连杆塔身自扳起系统、臂架高空自扳起系统、支腿与行走车体合二为一底盘二实现悬挂自适应调平、全轮独立转向、直行、横行、原地转等多种行走模式，爬坡能力增强30%。

三、效果与应用

QLY1560型起重机经过百余个山地风电场的使用，在10%~25%道路坡度、30m x 35m平台施工条件下达到了1.5~2天/台的施工效率，顺利完成100m全钢高塔架机组吊装，实现了山地风电建设安全、环保、高效、经济综合目标，并大大增加了山地风电、低风速风电选址范围。MT

2017 智能制造国际会议在北京召开

中国机械工程学会知识中心 林雪萍

2017 年北京国际工业智能及自动化展览会期间，智能制造国际会议于 5 月 10-11 日在北京展览馆和中国工程院召开。

此次会议由中国工程院、工业和信息化部联合主办，由中国工程院机械与运载工程学部、中国机械工程学会（CMES）、德国机械设备制造业联合会（VDMA）、同济大学工业 4.0—智能工厂实验室、美国机械工程师学会、英国机械工程师学会、复杂产品智能制造系统技术国家重点实验室、汉诺威米兰展览（上海）有限公司联合承办。

来自中国、德国、英国三国政府、科研机构、学术团体、行业组织和企业的 400 多名专业人士齐聚北京展览馆报告厅，就“智能制造——数字化工厂”主题进行了深入的探讨和交流，成功打造了一场引领行业发展趋势、发布最新政策导向的国内标杆性论坛。

5 月 10 日下午的主旨报告会中国机械工程学会理事长李培根院士主持，5 月 11 日的专题报告会分别由同济大学中德工程学院副院长陈明教授、中国电子技术标准化研究院物联网研究中心主任胡静宜主持。

1. 高层看制造

中国机械工程学会荣誉理事长路甬祥院士在开幕词中回顾总



中国机械工程学会理事长李培根院士主持主旨报告会



同济大学中德工程学院副院长、工业 4.0—智能工厂实验室主任陈明教授主持专题报告会



中国电子技术标准化研究院物联网研究中心主任胡静宜主持专题报告会



会议现场



两院院士、中国机械工程学会荣誉理事长路甬祥致辞



德国驻华使馆经济部主任吕帆（Frank Rückert）致辞



英国驻华使馆英国国际贸易部尖端制造与交通行业副总监麦思安（Andrew Massey）致辞

总结了工业发展的历史经验以及中国近几十年的发展。他认为，中国优良的制造产业链、创新链和信息网络的大环境，全球融合、开放统一、透明公平、公正法治，不断提升拓展的市场新需求，将为中国和全球制造数字化、网络化、智能化、绿色化的创新发展提供新机遇，汇聚新动力，开拓合作共赢的新空间和新业绩。“交流新思路、凝聚新共识、拓展新合作”，共创中国和全球智能制造更加美好的未来。

德国驻华使馆经济部主任吕帆先生在致辞提到，德国和中国都意识到数字化带来的重大潜力，而两个国家都在不断努力，进行数字化转型。中国在去年 G20 会议上清晰的提到这一点。今年德国作为轮执国召开 G20，将继续在中国会议的基础，更好的促进数字化。同时，也更好的促进共享并推动在 G20 国家之间关于数字化以及生产工艺数字化的相关事宜。吕帆认为，需要国际的合作来支持工业 4.0 的实施，除了设立一些规定和规则，在国内设定国家政策还不够，工业

价值链不会在国家的边界就停止，两个国家之间可以互补，能更好的进行智能生产，成功地建立国际性的标准。

英国驻华使馆麦思安副总监似乎需要驱赶人们对于英国是“金融持国”的印象，郑重地介绍说，英国仍然是世界第十大制造业国家，在航空业更是全球第二大。因此他希望能够促进更多的中英工业的合作与交流。他尤其提到了中国公司的吉利，最近给伦敦出租车的公司做了大量的投资，共同生产零排放的出租车。这种出租车在 12 月份会在中国的一些城市开始试运行。

2. 主旨报告

在主旨报告阶段，工信部苗圩部长指出，智能制造是培育全球经济发展新动能的关键，各国的探索不同，但核心都是在推动制造业的数字化、网络化和智能化的进程，也就是当下所讨论的智能制造。

苗部长总结了几方面的工作：一是建立和健全推进体系，



工业和信息化部部长苗圩作主旨报告

工业和信息化部联合相关部门发布了智能制造的发展规划。二是突破了一些核心关键技术，鼓励和支持企业持续的加大技术创新的力度。三是积极的开展试点示范，组织实施智能制造的试点示范专项行动。四是持续深入推进国际合作，在国家层面建立了中德、中美、中韩等双边的对话机制，积极的推进标准体系的架构，标准路线图的制定和标准互认等项工作。

苗部长最后强调，开放发展是中国新时期五大发展理念之一，而《中国制造 2025》的推进过程中，开放发展的理念依然是至关重要的。通过深化智能制造领域的互惠合作，以现有的双边、多边机制为依托，

围绕着智能机器人、增材制造、工业互联网、信息物理系统、工业软件、标准化等重点领域，鼓励国内外的企业、各类机构采取多种方式开展务实合作，建立起国际化开放性的智能制造利益共同体。

德国机械设备制造业联合会（VDMA）信息、软件和电子自动化分会主任 Rainer Glatz 先生提到了四个问题。一个是关于参考的架构模式以及标准，尤其是对于中小企业来说非常重要。对此，Glatz 先生也认为，目前德国也没有这样的标准存在，需要国际同行间的交流和讨论。第二是创新和研究，人工智能、机器学习、增材制造，都已经进入工业 4.0 平台组的研究视野中，探讨未来怎么变成更加实用的机会。第三是关于安全。这是非常典型的德国人的思维，Glatz 不无幽默地说，“我们德国非常喜欢一切都是安全的”。不仅仅要让企业和员工确保他们能了解更多的安全问题，甚至法律框架、政治和外交层次的安全问题。而人员是一个重要基石。工业 4.0 的条件下，劳动力 4.0 会经历怎样的变化？这是一个全社会需要面临的全新的群体性问题。这是 VDMA 论坛的一个至关重要的主题。教育工人面向未来如何思考也非常重要，现在很多事情并不是像过去一



德国机械设备制造业联合会信息、软件和电子自动化分会主任 Rainer Glatz 作报告

样完全按标准化进行的。

中国机械工程学会荣誉理事长周济院士以《数字化制造、智能制造 1.0 和智能制造 2.0》为题，对智能制造进行了详细的解读。

科技创新是引领《中国制造 2025》的第一动力，周院士给出了四种支撑动力，并且重点强调了人工智能的发展，是新一代人工智能技术的战略突破，与智能制造关系密切。近年来人工智能在世界范围内高速发展，不仅有量的大发展，更是有质的根本性的飞跃。人工智能 2.0 技术，将引领真正意义上的智能制造，是新一轮工业革命的核心技术，是《中国制造 2025》的历史性机遇。如果说数字化、网络化是这次工业革命的开始，新一代人工智能技术的突破和广泛应用将形成这次工业革命的高潮。

周院士还进一步解读了智能制造的内涵和发展愿景，提出了智能制造应该由数字化制造、智能制造 1.0、智能制造 2.0 三个不同范式和层级的制造系统逐层递进组成，不同层次上、不同范



中国工程院院长、中国机械工程学会荣誉理事长周济作报告

式下进行理解。智能制造本身是大系统工程，要从产品、生产、模式、基础、系统五个维度深刻认识，系统推进。智能制造系统，显然是一个集成的优化的复杂大系统。

在中国推进智能制造，要从不同的角度，不同的层次去考虑，包含了制造业的数字化、网络化、智能化。九十年代体现在以数字化制造为主，对应的是工业 3.0 的水平，现在大家正在推进或者大家认识的智能制造实际上是智能制造 1.0，因为里面基本上没有用到最新的人工智能技术，制造业的智能化基本还没有开，这种制造相当于工业 3.5，今后真正的目标还是要实现智能制造 2.0，这才是真正意义上的工业 4.0。

周院士表示，他期望，将来发展的人工智能 2.0 的技术应用和先进制造技术深度融合，产生新的智能制造系统，一种真正意义上的智能制造 2.0 系统，实现制造业的数字化、网络化、智能化，实现真正意义上的智能制



英国机械工程师学会秘书长 Stephen Tetlow 作报告

造，引领新一轮的工业革命走向高潮。

英国机械工程师学会秘书长 Stephen Tetlow 先生的报告，也探讨了关于智能制造的具体定义。Stephen 认为这是一体化的技术，它能实时就需求进行响应，来满足工厂中的供需，用在供求网络当中满足客户的需求。

这可能是当下见到的最短最精简的定义。而 Tetlow 似乎觉得并无不妥，智能制造涉及到各种各样的系统，用在智慧工厂当中，这在未来将成为常态，下一代的工厂将能实现自我配制和自我学习。关于机器人在人工智能当中的使用，包括大数据的处理和互联方面将会有巨大的应用。这些都将从核心上改变制造行业，并且重要的是，这种改变现在已经发生了。

未来的方向是否行之有效？Tetlow 进一步启发大家，退一步看，这一切始于 1950 年，在过去六十多年没有取得太大的进展。而现在，先进的技术随着信息技术和人工智能的发展，已经



中国中车股份有限公司总信息师王勇智作报告

到了变革的边缘，高连接度的基础设施能将一切实现互联，包括嵌入式的系统到外部的系统，将所有的分析能力也连接到一起。还有可视化、网络安全和能源管理等，整个社会工程都能连接到一起——这将产生惊人的改变。

3. 一线的实践

中国中车的总信息师 CIO 王勇智，汇报了“中国高速列车数字化工厂的探索与实践”。中车数字化工厂的建设目标是构建数字化运营管理、数字化研发、数字化制造和数字化服务。具体而言就是在产品的研发仿真过程展开全数字化应用，提升研发效率，实现生产过程的透明化和全生命周期的追溯，实现基于数据驱动的经营与决策。

王先生特别强调了建设数字化服务体系，推动企业制造加服务的转型升级，逐步推动制造资源的数字化，降低对人员经验、情绪的依赖。而对于未来，中车高速列车数字化工厂建设，将通过智能产品和智能制造两条主线



欧特克制造业全球业务拓展总监 Detlev Reicheneder 作报告

的持续建设，构建中车的智能服务体系。

欧特克制造业全球业务拓展总监 Detlev Reicheneder 开门见山地谈了客户一直非常在乎的三件事情。那就是：生产率、创新和流程。

而与此同时，到处充满着颠覆性的改变，包括三方面的内容：一是生产的方式，主要有两个变化，一个是智能生产，一个是物理化的生产。对工程师们来说，智能生产的含义在于工作方式的大不一样，很多工程师进入到公司之后已经不再问五年以后挣多少钱，工作职业生涯怎么样，而是可能会问工作和生活的平衡是怎么样的，工作大概是什么样子。显然生产的方式越来越多，现有的技术结合已经彻底改变了生产的方式，这样就可以提升竞争力。

二是关于需求，唯一不变的就是需求不可预测，各个国家和各个地区的需求是不一样的，客户某些时候就想要某一种东西，其他地方客户就想要其他的东西。大多数公司对此并没有做好

充分的准备。

三是软件的服务。如何能将过去更多的纯硬件的产品转向加一些软性或者软件价值在里面，从而形成全新的服务。

Reichenede 先生大胆地鼓励中小企业，认为小的公司可以生产产品，可以不拥有工厂。可以找到一种简单的务实的方法，把工业原型、物联网、智能生产一步步的按照他们的步骤和节奏进行部署和实施，从而有效帮助中小型企业。

德国菲尼克斯（中国）投资有限公司总裁顾建党从三个方面与大家作了分享。

一，智能制造是不是技术，源于技术的创新，同时又超越技术，更重要的是，这个技术的革命对企业的方方面面、内和外都会发生根本的影响。作为企业家必须要思考新的智能时代对于一个企业，不管是传统的企业还是现代的企业，是如何真正驾驭和驱动数字化转型的。

二，任何一个在中国的企业，不仅要从企业本身的视角，更重要的，有时候要站在中国产业的视角，在《中国制造 2025》和中国制造业“从大到强”的大背景下，来考虑一个企业如何能够对国家的产业转型起到积极的推动作用，或者说创造一些独特的价值。

三，在数字化时代，任何一个产品的提供者都没有办法理



德国菲尼克斯（中国）投资有限公司总裁顾建党作报告

解全生命周期的数字化战略，一个企业必须站在生态圈，和上下游，从各个层面形成共同的力量引领这个产业，帮助客户实现真正的价值创造。德国工业 4.0 是引领性的，《中国制造 2025》同样是引领中国制造业的数字化转型。菲尼克斯在中国的实践就是如何把德国的思考、德国的实践和中国独特发展阶段的实践结合起来，德国的“方脑袋”嵌到菲尼克斯的“圆脑袋”里，如何在中国创造价值。

4. 研究者的声音

在 5 月 11 号的专题研讨会上，来自各方产学研的人士继续给出了自己的看法。

德国不来梅大学生产系统系 Gero Spöttl 教授重点谈到了人的技术培养问题。他认为，在智能制造领域工作的工人，比如蓝领工人，或者说技术人员、工程师，可能在技能、素质方面还需要进一步提升。至少在现在技术上提升 20% ~ 30%。技能较低的工人，可能未来会逐渐减少，比



德国不来梅大学 Gero Spöttl 教授作报告

如德国的汽车行业，现在有 35% 的工人仍然是相对较低技能的工人，未来可能无法进入智能制造环节工作，必须通过教育，来改善这些人的技能使他们适应智能制造的环境。

Spöttl 教授强调，一旦系统发生变化的时候，这个时候努力就要更多了。就职业培训而言，现在职业培训和高等教育之间合作越来越紧密。有一些实习项目，比如对工程本科生而言，有时会把高等教育和职业教育两个方面结合起来，因为，更好的工程师是需要生产环境当中进行学习的。否则，无效！

而来自德国弗朗霍夫 IPT 研究所（注：进行空间和空间机械元件的研究）亚洲区主管 Michel Klatte 教授，分享了对于数字化网络化生产的理解。网络化的生产，到底是什么呢？是基于数字化和网络的基础上，也就是机器的网络化、人员网络化、行业网络化、包括客户和供应商的网络化，再加上一些基础的技术，比如一些传统的制造技术，再加上



德国弗朗霍夫 IPT 研究所亚洲区主管 Michel Klatte 作报告

网络化的融合，就能够创造出非常有意思的解决方案。

Klatte 认为，总体来讲数字化网络的关键就是要充分利用生产当中的数据，不仅在制造过程当中，在设计和其他环节也要充分利用数据。

所有的这些可用的产品、数据，实际上都可以创造各种数字双胞胎，可以从数字双胞胎当中抽取很多有用的数据，并且建立有用的模型。数据一直让人非常感兴趣，但是数据很多时候是非常令人困惑的——因为数据来自不同的平台、不同的传感器。是否能从数据当中抽取有用的信息，可以大数据挖掘才是重要的主题。

Klatte 认为传感器正在成为新的智能诱导因素。传感器已经成功融入到手机当中，比如 GPS 传感器。在中国我也非常喜欢滴滴这个应用，你可以看到周围哪里有出租车。这就需要大量数据分享。出租车司机需要将他们数据信息进行分享。在机床行业未来也有这样的趋势，机床和机器



西门子工业软件（上海）有限公司副总裁威锋做报告

过去是非常蠢的设备，它们不是非常敏感。但现在，有一些技术已经能够让这些机床变得更加智能了。可以用数据监测制造质量、用传感器监测稳定性，并且对于工作流程有更多信息。还有设备变形的监测，可以更好的发现机器的使用状态。

西门子工业软件（上海）有限公司副总裁威锋博士分享了西门子的数字化制造技术。西门子的核心技术叫数字化孪生（Digital Twin），它是以数字化方式为物理对象创建的虚拟模型，来模拟其在现实环境中的行为，覆盖企业制造从产品设计到服务的全生命周期。西门子完整地把这个概念实施到从产品生命周期到工厂自动化的整个过程中。过程中，非常强调在虚拟环境利用强大的软件平台来实现现实制造过程中的方方面面，其核心技术来自于 PLM（产品生命周期管理）。

西门子在数字化高速公路中打通了从上到下全方位数字化软件工具，通过先进的软件工具，

把现实中所做的常规工作进行数字化、自动化之后，通过经验进行创新。一个企业从产品研发到制造全方位数字化，真正把企业变成一个数字化的工厂。西门子的产品生命周期管理（PLM）、生产制造运营管理系统（MOM）和全集成自动化（TIA），共享一个数据库，通过内部主线，三大系统核心数据能够实时连接起来，形成一个实时的数字化主线。

现在国内的很多制造业，大多数企业在设计、研发、验证、服务的过程当中往往忽略了验证过程。通常是完成了产品设计，就会迅速将产品设计推给制造，而这个过程存在一个很重要的问题，就是设计当中可能存在的缺陷或不足会传递给制造过程。西门子非常重视优化重组设计制造服务的流程，十分强调验证的重要性。通过西门子的数字化仿真软件工具，可以在设计之后进行充分验证，对产品的设计的热传递、振动、声学等进行全方位验证。

诗道芬（上海）商务咨询有限公司总经理 Thomas Rohrbach 认为，智能工厂的关键因素也是通过数字化实现互联互通。但需要把每一个环节都做好，智能工厂才能真正成为全球领袖。例如增加质量稳定性对于中国企业来说是非常重要的，这可以使用自动化的机器来提高效率。用机器替代人工，可以降低



诗道芬(上海)商务咨询有限公司总经理 Thomas Rohrbach 作报告



威步信息系统有限公司创始人兼执行总裁 Oliver Winzenried 作报告



德国菲尼克斯(中国)投资有限公司 Frank Knafila 作报告

劳动力成本,同时也避免了劳动力数量的紧缺问题,但不要低估维护这些半自动化生产环境所需要付出的资源和时间。虽然工厂足够智能,自动化程度足够高,但这些对于中国来说既是机遇又是挑战,需要进一步加强在工业领域的推进。

在新时代工业 4.0 的环境下,某些产品并不需要大规模的生产,而是可以根据客户的需求进行个性化的定制,这大大缩短了某些产品的生产周期,使得客户在几天后就能得到需要的产品。这样的变化需要提前部署好各个环节,甚至对整个供应链做出调整,是革命性的改变。这些是智能工厂能带给我们的好处,它能够增加生产的灵活性。

如何能够规划一个智能工厂呢?这需要八个工作流:第一是要清晰的了解工厂概念和构想;第二是产品的设计,即模块化的设计;第三是供应链,让合作伙伴平等的沟通;第四是生产系统;第五是工厂的布局和自动化,要选择适合工厂水平的自动化机

器,同时也要考虑到经济性;第六是 IT 系统,即 IT 的架构;第七是人以及组织机构;第八是项目管理。其中第七和第八占整个智能工厂比重的 70%~80%,也是真正成功的要素,因为对于人力的投入所带来的价值是不可估量的。

威步信息系统有限公司创始人兼执行总裁 Oliver Winzenried 提到了信息技术安全问题。他认为,信息技术(IT)安全是非常重要的,尤其是对智能工厂、数字化业务。工厂 IT 安全和办公室 IT 安全不一样,工厂 IT 安全需要进行系统化部署,这样才不至于出现中断,并抵御外部攻击,也可以避免人员错误操作引起的安全问题。

企业投资于 IT 安全,不仅仅是花钱,而是能给企业带来很多机会。比如消费者要用手机下载额外的软件或 APP 控制连接的其他终端,能够给企业带来额外性能、功能。企业生产的终端如果不是价格很有竞争性的话,就可以考虑增加一些功能,方便用

户使用。

安全级服务非常重要但也非常简单,这是一个新的话题,现在如果设备制造商想要开发安全机制的话,可能还要依赖于市场上成熟的产品。他认为利用现有的一些标准非常重要,无论是加密算法,还是传输。

德国菲尼克斯(中国)投资有限公司 Frank Knafila 提到了德国工业 4.0 平台,德中标准化委员会。标准问题,毫无疑问非常重要。成立德中标准化委员会的目的就在于深化标准化方面的双边合作,希望通过合作整合现有的标准。

对菲尼克斯来说,工业 4.0 代表了三个方面:产品和产品生产周期的数字化;新型的模式;物联网在生产流程中的技术整合。

对于工业 4.0 以及下一代的变革来说,工业 4.0 的核心是应用。如智能工厂,它需要大量的可视化,这样才能有很好的产品;再之后需要连接,这种互联性非常重要,通过服务互联网,通过

其他的工具、技术，能够实现这些智能生产的概念。物联网能够让我们把所有东西，包括服务和所有的内容都连接起来，用户能够访问、获取知识，通过它还可以访问设备。这点对于中小企业尤为重要，因为中小企业没有必要给智能产品建立这样的接口，而只需要能够让网络上的用户访问企业的产品就可以了。

他还列举了工业 4.0 平台的几个实例：菲尼克斯从互联网到云端；RAMI4.0 云；PLCnext 技术等。

复杂产品智能制造系统技术国家重点实验室研究员刘炜分享了复杂产品的智能集成装配生产线方案与实践。他首先指明，复杂产品不是指产品组成的成分复杂，而是指覆盖客户需求、产品组成、使用工作环境、大量团队人员协作的复杂。

他介绍了自己所在实验室的研究方向：智能制造系统基础理论；智能虚拟样机；智慧云制造；信息物理融合的智能生产线系统。并把它们与 2016 年 9 月美国国家标准技术研究所提出智能制造系统的 3 个试验室：计算机辅助设计技术、加工实验室、数字发布云服务，才者相比较，认为大家的想法基本致。

而对于复杂产品的智能集成装配生产线的认识从以下几个方面展开，设计是智能制造的关键；



复杂产品智能制造系统技术国家重点实验室研究员刘炜作报告

数据的获取是智能制造的基础；在端到端的集成中，设计与生产之间的纵向集成较为薄弱。

智能制造刚刚开始，还有很长的路要走，智能制造包括设计、加工、工艺制造、管理、服务各个方面都需要智能化的。最终的目的是为了提高企业的竞争力，实现企业的盈利能力。

英国先进激光技术有限责任公司 (ALT) 首席执行官 Ian Joesbury 重点谈到了自动决策在激光加工中的作用。他提到，ALT 的研究团队有非常好的研发能力且一直进行复杂产品的研究，如把激光技术纳入工作当中，并做一些自动化的决策方案。大多数的激光制造需要考虑不同变量和变量互动，情况有时候出乎意料。通常情况下进行优化后，让大家都能够接受生产结果。但 ALT 也希望能够有更好的标准化生产和体系，完成复杂产品的制造。这就要求能够灵活生产，且适应不同环境和情况下快速的进行自动优化。目前，在自动化或



英国先进激光技术有限责任公司 (ALT) 首席执行官 Ian Joesbury 作报告

者半自动化的控制框架方面，已经非常关键，也是 ALT 今后的努力方向。

ALT 有两条主要的生产线，可以进行自动化决策。首先是激光清洁生产线，配有优异的激光脉冲，而且是通过超短波激光脉冲进行清洁工作。ALT 另外一条生产线也是针对表面的形貌、表面温度开展研究的，尤其是较小范围的表面温度、移动速度、电机中的电流，以及最后的焊接、溶解池当中的排放分析等都是 ALT 研究重点。ALT 进行自主研究纳秒脉冲激光清洁系统 (IPG)，且希望有更好的一些方式来处理清洁产品。

艾默生行业解决方案业务拓展及市场经理何博重点谈到了工业物联网在智能工厂中所发挥的作用。主要有以下几个方面：数据感知，它是工业物联网的基石；解决网络基础设施部署问题，利用有线和无线两种技术结合，搭建和整合无线现场的网络和工厂网络，实现全面的覆盖，安全互



艾默生行业解决方案业务拓展及市场经理何博作报告



通用电气(英国)总装师 张曦作报告



欧特克制造业全球业务拓展总监 Detlev Reicheneder 作报告

联；整合数据，智能应用。

随着技术不断发展，工业互联网服务模式也在不断演变，目前主要有三类运营模式，第一类是我们比较熟悉的基于自动化网络的本地专家服务模式，适合单个工厂，或者相邻区域的专家服务；第二是基于现场以及云服务器的专家技术中心，适合于分布相对广泛的集团性企业需求；第三种是基于云服务器，由第三方专家团队进行支持的，适合相对来说技术能力薄弱的企业，或者是有这种需要及时解决运维中疑难问题的需求。

通用电气(英国)总装师张曦简单介绍了通用电气的业务和在智能制造方面的试点工作，以及通用电气非常重要的领域增值服务 and 数字化平台 PREDIX。

通用电气在发展的同时也面临一系列挑战。第一个挑战是装备制造设备的标准化，即如何把不同设备之间的数据以及数据架构标准化，使数据可以自由流动。第二个挑战是如何可靠的收集生

产一线数据。例如如何在高温、条件恶劣的一线车间收集可靠的数据，或者如何测算车间工人最精确的工时，收集到可靠的运营数据，来保证工人运营、工作的可靠性。第三个挑战是供应链重整。当新技术涌现，供应链会发生很大变化，如何重整供应链是一大挑战。另外，政府的政策对于市场竞争的支持和引导也是一个挑战。政府应该在市场中起到主导作用来鼓励市场主导开放，确保有更多新技术会不断产生。最后一个挑战是技能短缺，现在在很多一线技工、工程师的技能有一定缺陷并且缺乏学习意愿，这也是一大挑战。

最后，欧特克制造业全球业务拓展总监 Detlev Reicheneder 再次登场，作了“智能化规划、编程和生产”的专题报告。

规划做得越早越好，做诸多规划，如设置不同机器的参数，不同的测试和排列组合，提前对生产做一定规划，而且要在最开始进行总体规划，不断调整，从

而找到每一台机器摆放的最好位置和最佳组合方式，实现整个厂房同步优化运营，同时也要确保所有工具的使用和提供是正确的。

接下来是编程，实现闭环的自适应制造。在自适应闭环过程中，一些智能化的生产方式可以更好地推进工业化发展，但这还不够，要提前做好相关测试，以及在某些领域做好调试。在生产闭环过程当中，机器可以获取信息并且在整个编程过程中，通过不断设计信息提升生产的质量和效率及流程的优化。

最后是生产。展望未来，企业走向未来工业制造的腾飞，要顺应数字化发展，Autodesk(欧特克)现在做的新技术是一种衍生式的设计，它并不完全是人工智能、机器学习。在这个设计当中，这套自动化系统会对工厂当中的生产和运营做一些自动计算和监测，并不需要人的全程监测管理，设备本身可以实现生产优化。MT

中德高端圆桌会议观点荟萃

2017年5月11日下午，中德高端圆桌会议在中国工程院306会议室召开，来自中德政府、企业、学会、协会的30位专家进行了专业而广泛的讨论，会议围绕三个议题展开：工业4.0与《中国制造2025》中发展智能制造的问题；中德双方如何更好地合作；政府、市场和中介的作用。

议题一：工业4.0与《中国制造2025》发展智能制造的问题。

1. 规划不够前瞻，经常忽略了应该以精益制造为基础，没有

基础都是空中楼阁。关键的瓶颈还是要解决人才问题。（美的集团厨房电器微波炉公司总经理 欧军辉）

总体的规划要结合企业的实际需要，不能片面追求高大上，做企业需要的智能化，企业是为消费者服务而不是为了表扬。同时希望能够借鉴一下跨行业的高端智能制造的标杆企业，以便做到更前瞻的规划。在实际推进中，感觉标准化不足，缺乏依据，给企业带来一些障碍。产品本身模块化的设计不足，设备连接通讯能力不足，不同时期购买的设备，

互连起来还要花很大的工夫，以上导致制造数据集成不足，产生很多信息孤岛。所以，不能单方面的考虑智能化设施，更要进行智能制造人才团队建设，物流、IT信息系统，设备连接，人才队伍建设成为最迫切的问题。

2. 建议创建离散制造的智能化模板，引导企业主动行动。（中国中车股份有限公司总信息师 王勇智）

西门子成都工厂做的非常好，但是那是小型产品、批量性制造，希望德国公司能创建离散制造产品（比如轨道交通、工程机械等）的智能化的模板、模式，提供给中方学习借鉴。

3. 中德企业之间需要打造智能化生态圈。（菲尼克斯（中国）投资有限公司总裁 顾建党）

任何一个企业的发展必须要超越企业本身，必须在大的生态链、行业、产业的角度打造各自企业智能战略的联盟，形成生态圈，从而通过不同层面的企业、



会议现场

研究机构、大学，包括政府机构一起合作推动德国工业 4.0 和《中国制造 2025》更双赢的合作。

4. 中国企业不能继续仅靠模仿，而是应该有自己的东西。（中国机械工程学会理事长 李培根）

早期中国企业因为落后，更多注重模仿国外。中国未来搞智能制造，不能所有的东西全部依赖国外，对于中国这样一个大国来讲，所有东西依赖国外，永远不能成为制造方面强大的工业化国家。《中国制造 2025》里面讲到希望自主产品，不是着眼于现在，而是着眼于未来，未来智能制造技术的发展，需要一些产品，希望中国在这方面占更多的份额。我相信国际的同行们对这个应该充分理解，而不是你有什么东西我模仿你。

5. 需要减少制造和智能之间的壁垒，弥合不同团队之间的思维。（德国机械设备制造业联合会 Rainer Glatz）

智能制造，实际上涉及到制造和智能这两个部分，现在需要将这者的壁垒减少，软件和机械（硬件）不能交流，用的术语不一样，包括思维方式、工作公司不一样。

6. 智能制造方案需要考虑制

造的本质及其所在的运营环境，需要个性化行业解决方案。（上海天睿物流咨询有限公司 总经理 邱伏生）

智能工厂不管智能化程度多高，需要回归到制造本质。企业为什么搞智能化？如何搞智能化？目前绝大多数企业没有这样的愿景，更没有达成路径规划，很多是为了上智能化而智能化。仅仅将目光放在智能生产线上是不够的，应该向前后端延伸，否则，无法有效打通智能供应链；流程的连贯性和有效性大大影响了升级路径。

不同的服务对象、不同的行业、不同的基础、不同的工艺和标准决定智能设施使用的不通用性、不一致性，智能工厂的个性化方案也会有所不一样。先进的智能化设备放在这样的环境里，是否能充分发挥作用？德国企业使用智能化设备后生存能力很强，但是中国的中小企业基础薄弱，智能设施生存能力可能会差一些。

7. 企业需要找准定位、未必都搞智能制造。（中国机械工业联合会执行副会长 宋晓刚）

在制造业转型升级过程中，面临的市场需求变化在不断地加快。对于企业来讲，需要保持清醒的头脑，找准自己在市场上的

定位，更需要找到自己提升的切入点，不可能所有的企业都搞智能制造，全部搞工业 4.0，这需要一个过程。

8. 需要打通工艺和流程标准的信息化、提高设备连接能力、保证传感器、智能装备的稳定性。（珠海格力电器股份有限公司工艺部部长、智能制造项目总负责人 钟明生）

工艺和流程标准和信息化的打通是难点。在前期全流程全生命周期的信息流打通过程中存在信息孤岛问题，在研究设计生产工艺制造和销售服务各个环节，特别是工艺信息化打通非常艰难；管理业务流程的标准，也是比较大的痛点。智能设施比如传感器、智能装备的稳定性是个问题，随着智能制造推行，如何保证它稳定运行，同时，网络运行也应该是关注的重点。

9. 智能制造通常忽略了人的重要作用，需要强化培训。（中国机械工程学会理事长 李培根）

搞智能制造永远不要忘记人的作用，德国工业比中国的工业强，不完全是技术方面的，人的素养总体上比中国强。至于我们讲工匠精神，人的作用和先进技术怎么更好地融合，这是很多人没有想过的。

10. 智能工厂投资需要考虑投资收益。(上海天睿物流咨询有限公司 总经理 邱伏生)

很多老板会问智能工厂的投资收益,他们会表现的“急功近利”,因为需要考虑很多的关键经营指标要求,毕竟企业需要考虑成本与效益的问题。

11. 德国企业需要考虑中国企业的投资收益问题,价格是个主要考虑因素。(蒙牛乳业股份有限公司 常温生产总负责人 韩建军)

不管是德国企业还是中国企业,企业主要经营者都关注投资效益,这是肯定的。但是,真正的技术应用很可能由于价格高昂导致推动不起来,需要在这方面做战略性考虑。所以,有技术的德国企业,产品很好,但是报价过高,中国有的企业承受不了投资的压力。

12. 智能化产品帮助企业提高受众、提升价格。(威步信息系统有限公司创始人兼执行总裁 Oliver Winzncncied)

在智能化模式下,如果产品更加智能,无论是冰箱还是其他用品都会有不同的功能,但是会通过软件实现,用户通过终端进行控制这些设备,可以增加用户

的使用量。增加了新功能,技术性产品,面对的受众也会更多,随着量的提升,价格也可以提上来,这也是整个过程带来的好处。

13. 投资回报是看到实质的好处,未必有具体的财务回报。(德国机械设备制造业联合会 Rainer Glatz)

关于经济回报问题,刚开始做智能制造的工厂,或者说最开始做的这些公司,最初这些项目没有看到具体的经济回报,企业就是想用这个东西,因为能够给企业带来一些好处,当然企业知道是要花钱的。他们就会告诉其他人,这个投资是必要的,无论人、机械、自动化,投资是有意义的,因为能够给企业带来实质的好处。

议题二: 中德双方如何更好合作。

1. 中德之间产业发展状况不一样,智能化、标准化需要互相借鉴。(菲尼克斯(中国)投资有限公司 总裁 顾建党)

中国产业的发展状况和德国不太一样,中国要走自己独特的道路,德国也认为要走独特的道路,中国对德国的标准化的借鉴是非常重要的。如果可能,德国企业可以委派一个专门的团队参

与到中国的工作组和德国工作组里,做好这样的桥梁。必要时可以实现更高层面的对接。

2. 希望中国有一个智能化案例的虚拟地图。(德国机械设备制造业联合会 Rainer Glatz)

现在德国有一个虚拟地图,可以看到有300个具体的案例,在工业4.0平台上可以看到。德国也希望中国能有这样一个虚拟地图,哪些地方需要有这个东西。

3. 德国企业愿意做配角,通过技术结合帮助客户成功。(菲尼克斯(中国)投资有限公司 总裁 顾建党)

德国企业愿意做配角,站在中国优秀企业的背后,成为它们背后的竞争力。德国企业自动化的产品、技术、设备、工艺,包括IT,与在中国合理规模的团队有机结合在一起,和中国优秀的企业进行对接;未来不仅是卖一个产品,而是站在客户价值链的视角整合竞争力,需要帮助客户更成功。甚至可以协助中国客户去打造大规模定制的示范线,把自己的力量真正用起来。

4. 数字化制造需要考虑核心竞争能力导向,服务方需要有敢于担当的精神。(西门子工业软件(上海)有限公司 副总裁 戚锋)

数字化智能制造，企业要以业务转型，未来的核心竞争优势做引导，倒推定义自己在流程上、设备上、工业网络方面进行重新规划。

在过程当中，需要服务方勇于承担，虽然不是所有行业的专家，但是我们有敢于承担的精神，包括组织资源的能力，帮助客户提升战略认识以及定位战略层次之后，对企业的 B2B 的模式进行探索，过程中探索所有的业务模式的组合，以及支持的流程，以此流程的基础之上，选择恰当的互联网技术、软件技术以及实施方案。

5. 德国企业需要诚信帮助中国企业成长，不断获得中国企业的信任和依赖，共同成长。（中国机械工程学会理事长 李培根）

德国企业明显比中国处于更高的领域。中国有一句古话，授之以鱼，不如授之以渔。对于很多德国企业来讲，仅仅卖产品是不够的，需要包含间接相关的需要注意的东西都应该涉及到。需要考虑怎么真心帮助中国企业的成长，而这个落脚点不能够仅仅只是在卖产品这一点上。这样也能够更容易得到中国企业的信任。

6. 数据安全、安保有利于企业成功，需要公司之间、政府之间沟通。（德国驻华大使馆经济

与工业参赞 Satefan Bernhart）

数据安全、数据安保两个层面，做到这一点，对于中国和德国的企业来说是双赢的。一方面大家希望智慧工厂运营非常安全，所以数据也必须得到很好的保护；另外一方面要保证这些数据的安全性，对于企业的成功也非常重要。对每一家企业来说，知识产权是至关重要的一件事情。当然也需要各个公司和政府之间进行沟通。

议题三：在推进提升制造业过程中，市场、政府和中介组织的作用。

1. 政府、协会、学会都是平台，需要发挥引导作用。（中国机械工程学会理事长 李培根）

中德两国政府，显然各自有各自的作用。德国 VDMA，如同中国机械工程学会，没有政府的权力，但实际上相当于半官方机构，也不能完全算中介机构。中国机械工程学会也在尝试，在推进智能制造当中发挥作用，正确引导企业。

2. 政府的角色是打地基。（德国驻华大使馆经济与工业参赞 Satefan Bernhart）

中国肯定想转型为数字化经

济，这需要一个很好的基础，政府的角色就是打造一个好的地基，打造得可靠、稳定，建立良好的框架。

3. 政府需要关注多个层面和维度。（德国驻华大使馆产业司企业联盟处处长代表 Daniel Sahl）

在产业结构的变化过程中，需要考虑的，不仅是机械的业务，而是整体型结构化的变革，加上数字化，同时需要考虑到能源和气候变化需求。

4. 政府需要倾听和学习、对话和思考。（德国驻华大使馆产业司企业联盟处处长 Daniel Sahl）

德国政府的第一件事情是倾听学习。有一些对话机制，包括工人、各种各样的公司、协会、VDMA，包括化学行业，还有汽车行业、电子行业等等进行各种各样的对话。我们有各种各样圆桌会议，来看看各个行业对工业未来的发展看法是怎样的。对于德国政府来说，我们希望能够对话，以开放的方式和各部门、中央以及地方的政府来进行沟通，建立沟通之后，为产业未来发展提供比较好的环境。

5. 政府能够做的事情有限。

(德国驻华大使馆产业司企业联盟处处长 Daniel Sahl)

对德国政府来说，实际上能做的事情比较有限，坦白说公司和工人是创新的主力军，他们才是实施下一代智能制造的主力人员。我们主要管产业结构性变化，支持国际合作，所以我今天参加这个会议。还有VDMA，他们也做了很多事情。投资环境以及适应未来的框架，这是德国政府需要做的事情。

6. 行业协会引导产业发展。
(中国机械工业联合会执行副会

长 宋晓刚)

行业协会基本的作用和职能是了解行业发展的情况，了解企业的诉求，维护行业和企业的利益。通过对政府制定、修订一些产业政策，提出行业的诉求，提出行业发展的建议和意见。同时引导行业，其行业协会最基本的功能，包括了标准、推进国际合作，保持与世界大部分的国家合作关系的渠道，从而推进产业的发展。

7. 建设独立的国家实验室，完善制造业科技服务体系。(中

国社会科学院工业经济研究所所长 黄群慧)

强调建设更加独立的国家实验室，包括建设国家层面的共性技术研发机构和完善的技术扩散机制，完善制造业的科技服务体系，弥补中国制造创新的体系短板。

这里特别强调的就是技术扩散机构方面，扩散机制在当前来看相对比较薄弱一些，尤其忽视先进的适用技术，在广大的企业应用，这也是中方学习德方的关键。

(感谢上海天睿物流咨询有限公司总经理 邱伏生对此稿的整理)



与会代表合影

中德高端圆桌会议 参会名单

中方代表:

- 朱高峰 中国工程院原常务副院长、院士
李培根 中国工程院院士、中国机械工程学会理事长
吴国凯 中国工程院副秘书长兼一局局长
宋晓刚 中国机械工业联合会执行副会长
王勇智 中国中车股份有限公司总信息师
张彦敏 中国机械工程学会常务副理事长
陆大明 中国机械工程学会副理事长兼秘书长
黄群慧 中国社会科学院工业经济研究所所长
单忠德 机械科学研究总院副院长
林雪萍 中国制造业知识服务中心副主任
顾长石 上海市临港区开发建设管理委员会产业发展首席规划师
薛俊亭 青岛中德生态园经济发展局局长
刘宗山 唐山冀东水泥股份有限公司副总经理
钟明生 珠海格力电器股份有限公司工艺部部长、智能制造项目总负责人
陈 明 同济大学中德工程学院副院长
欧军辉 广东美的厨房电器微波炉公司总经理
张建泉 北京大豪科技股份有限公司副总经理
陈录城 海尔家电产业集团副总裁、供应链总经理
韩建军 内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司常温生产总负责人
邱伏生 上海天睿物流咨询有限公司总经理

德方代表:

- Stefan Bernhart 德国驻华大使馆经济与工业参赞
Daniel Sahl 德国驻华大使馆产业司企业联盟处处长
Claudia Barkowsky 德国机械设备制造业联合会北京代表处首席代表
Rainer Glatz 德国机械设备制造业联合会信息、软件与电子自动化分会主任
戚 锋 西门子工业软件(上海)有限公司副总裁、博士
顾建党 德国菲尼克斯(中国)投资有限公司总裁
Oliver Winzenried 威步信息系统有限公司创始人兼执行总裁
Volker Palm 万可电子(天津)有限公司中国区总裁
Stefan Eisenkohl 施迈茨(上海)真空科技有限公司销售和市场副总经理
王己妍 皮尔磁中国公司总经理
Michel Klatte 德国弗朗霍夫 IPT 研究所教授
Georg Spöttl 德国不来梅大学教授
Thomas Rohrbach 诗道芬(上海)商务咨询有限公司总经理

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