

浅谈智慧院所和智能车间 信息化能力建设需求

刘亚威

智慧院所和智能车间信息化能力建设是深化开展完善军工产品全寿命周期数字化和制造过程管控信息化能力建设，创新拓展持续知识管理及知识共享与应用为目的的建设过程。智慧院所和智能车间信息化能力建设围绕工具、流程、知识、平台等层面，达到工具集成、流程优化、知识应用、平台构建等基本功能，形成对军工智能制造的支撑能力。通过信息化能力建设，智慧院所将拥有正向研发和基于知识的研发模式，智能车间将具备多品种、少批量、定制化生产能力。

军工智能制造的核心技术

当前，全球正在经历向智能制造转型，各行各业在围绕价值链建立智能制造系统，在这一进程中，软件、数据和模型已经成为企业的新兴资产。智能制造的全新定义可以是：在Digital（数字化）制造使能基础上，以Intelligent（功能角度的智能）制造系统实现制造的Smart（运行角度的智能）结果。Smart制造的三个基本元素是“人-机-物”，重点是建立它们的自感知和彼此的互联互通，实现“数据-信息-知识-智慧”（DIKW）过程的自组织和自优化。Intelligent制造的三个基本元素是“数字虚拟-物理实体-意识人体”（参见《三体智能革命》一书），重点是建立并维护彼此的接口，实现各层级智能制造系统的最佳涌现性。

从全球来看，军工行业一直处于引领智能制造发展的位置，军工智能制造的三类核心技术簇可以归纳为：数字线索技术（洛克希德·马丁称为数字织锦）、赛博物理生产系统（CPPS）技术、智能人工增强系统技术。简单地说，数字线索是集成软件、传递数据、基于模型的全寿命周期分析框架，无缝连接各阶段的“数据-信息-知识”系统，支撑最佳决策；CPPS是智能制造系统的核心，具备“动态感知-实时分析-自主决策-精准执行-学习提升”这一特征；智能人工增强系统通过数字线索支撑，提升对复杂系统和过程的理解和洞察，充分发挥人类智慧创新，确保任务高效无误执行。CPPS和智能人工增强系统基于定制构建的信息化平台，以集成的软件工具为依

托，运行其所使能、定义或优化的流程，通过数字线索生成、传递并应用知识，支撑军工智能制造转型。

军工智能制造的支撑能力

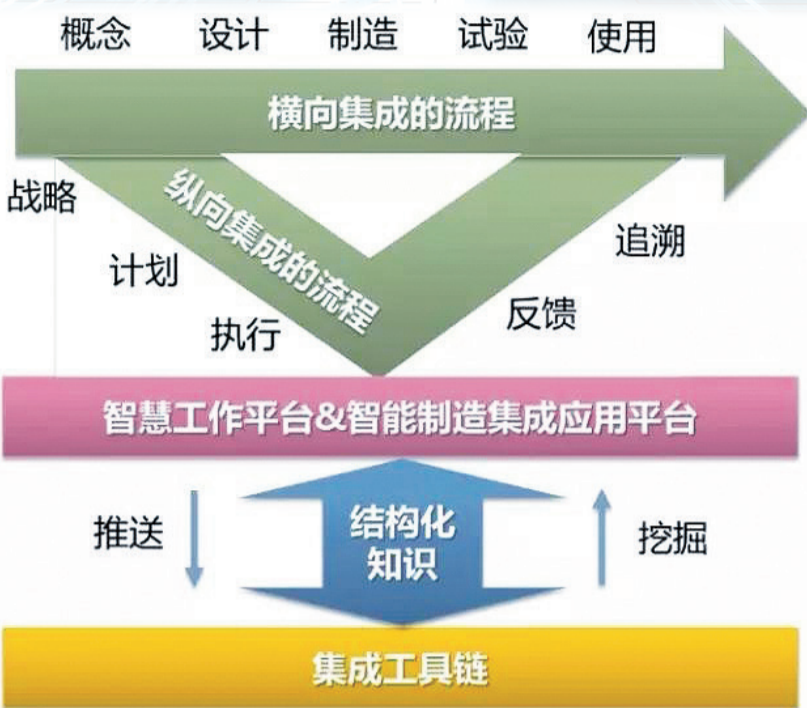
智慧院所和智能车间信息化能力建设围绕工具、流程、知识、平台等层面，面向军工智能制造的三类核心技术簇，形成军工智能制造的支撑能力。

1. 工具层面

先进建模与仿真能力仍然是智慧院所和智能车间建设的基础，随着军工产品复杂度和实现过程复杂度的提升，对建模与仿真的精度和效率要求也大幅提高。在工具层面，至少应具备多尺度建模、数字系统模型构建、联合多物理仿真、多专业集成优化和高性能计算等能力。通过数字线索，能够在数字空间构建全面表达装备系统的数字系统模型，它是系统在生命周期单一的、可信的数字表达，具备多学科、多物理、多逼真度仿真能力，可在各系统层级、各技术领域快速生产基于物理特性的数字代理模型，利用集成的数据、信息、知识和软件，实现对系统功能、性能和能力的高效分析与动态评价。工具层面的信息化能力就是要建设集成的建模与仿真工具链。比如美国国防部预先研究计划局（DARPA）的自适应制造计划，主要内容就是构建覆盖“架构设计-产品设计-工艺设计-车间设计”的集成的建模仿真工具链，利用软件工具重新定义设计制造流程，达到将产品研发周期缩短80%的目标。

2. 流程层面

基于设计制造流程变革的科研生产模式转型是智慧院所和智能车间运行的关键，以往在物理现实中的试错将转移到数字空间中完成，“设计-制造-试验”模式将向“设计-虚拟综合-数字制造-物理制造”的新模式转变。流程层面，模型跨阶段连续传递、生命周期数据双向流动、数据和模型驱动的虚实结合分析等新能力，将为智慧院所和智能车间带来优化的分析、决策和管理流程。比如，通过数字线索，对于F-35战斗机进气道加工中的工程缺陷处理流程，可利用数据（图像、工艺、修理数据）精准映射与三维可视分析方法，实现快速和精确的自动分析缩短处理时间，将决策时间缩短



信息化能力建设工具、流程、知识、平台层面的功能关系示意图。

33%；对于F135发动机两个组件的设计流程，通过量化性能不确定性和面向波动的设计实现基于性能的产品定义，减少了废品和返工，每年预计可以节省高达4200万美元的成本。

3. 知识层面

充分挖掘和利用知识是智慧院所和智能车间创新的保障，这也是区别以往军工信息化能力建设的重要因素，国际军工巨头往往做到了隐性知识的显性化和互联网+、显性知识的结构化和嵌入式应用。知识层面，要做的无非就是知识捕获与结构化、知识访问与接入、知识获取与散播、知识推动与重用、外部知识扫描与提取，最重要的就是获得结构化的、加速关键业务流的知识。比如，波音建立了全球知识网络，空客建立了知识管理体系；美国国防部通过数字线索，致力于建立集成工程知识的全方位数字样机，更好地理解在试系统，在数字空间中高效完成大部分分析试验，实现“建造前飞行”，其减少风洞试验和结构试验的方法已分别通过F-22和F-15战斗机项目的真实数据完成确认。

4. 平台层面

智慧院所和智能车间发展的核心是智慧工作平台/智能制造集成应用

平台，前者主要包括数字化工作平台、信息化工作平台和知识应用平台，后者主要包括设计制造一体化平台、物联网平台和制造过程智能管控平台。平台层面，必须是支撑“数据-信息-知识”系统的平台，能够支持工具的集成、流程的优化以及知识的应用，特别是科研生产模式的转型，如系统工程从基于文档向以模型为中心再不断升级到数字系统模型的变革。今后，保障工作甚至可以在智慧院所和智能车间中提前开展，产品生命周期管理将实现个体化、综合化、可预测、预防性的“使用前保障”，比如通过数字线索，F-22和F-35的历史数据对维护和工程人员开放，可针对单架飞机定制预先维修方案。

智慧院所和智能车间 信息化能力建设实现的功能

智慧院所和智能车间信息化能力建设应实现支撑能力的全面集成，即技术管理流程（创新链-价值链）的纵向集成、需求到实现的端到端集成、个体产品DIKW的点到点集成。在建设的工具、流程、知识和平台层面，要达到的功能就是工具集成、流

程优化、知识应用和平台构建。对于信息化能力建设，特别注重的是赛博物理系统（CPS）中的赛博/IC（计算）以及赛博/IC与物理/IP的交互（通信/控制）。

1. 工具集成

工具集成，一般来说包括建模、仿真、分析、试验、测试等工具的集成，无缝集成科研生产中的各类数据流（数据、模型）。集成工具链依托模型集成语言和多元数据融合技术，可支撑多学科、跨领域、互操作模型的建立与运用，支撑数据到模型的映射及其与软件的交互。未来，智慧院所和智能车间可能建设有集成多物理仿真平台，赛博物理系统设计空间探索环境，基于数据-模型交互的虚拟试验分析系统等。以智慧院所的智慧工作平台为例，工具集成将逐步提升其数字化工作平台的基础能力，比如：1.0状态，使用CAD，能够完成集合样机单学科仿真；2.0状态，使用基于模型的定义（MBD），能够完成功能/性能样机跨学科仿真；3.0状态，使用基于模型的系统工程（MBSE），能够完成数字系统模型联合仿真。

2. 流程优化

流程优化，一般来说是对科研生产中的分析、决策和管理流程的优化，实现创新链-价值链之中以及企业内部各类信息流的实时交互。优化的流程支撑纵向流程的集成，从“概念设计制造试验使用……”上，实现连续统一的技术状态管理；支撑纵向流程的集成，从“战略计划执行反馈追溯……”上，实现泛在、自适应、可跟踪的资源管理。未来，智慧院所和智能车间可能建设有生产资源自适应调度系统，基于历史信息的不良品处理分析平台，基于物联网的车间信息实时推送与告警系统等。以智慧院所的智慧工作平台为例，工具集成将逐步提升其信息化工作平台的基础能力，比如：1.0状态，流程基于文档，分析手动进行，被动实施决策；2.0状态，流程以模型为中心，分析自动进行，提供辅助决策；3.0状态，实现流程再造，分析实时完成，实时预防性决策。

3. 知识应用

知识应用，一般来说涉及知识的获取、管理、共享和应用，使知识贯穿纵向流程和纵向流程。这一功能将支撑知识挖掘，使显性知识结构化、

隐性知识显性化、外部知识内部化等；支撑知识推送，即知识嵌入、知识访问、知识扩散、知识重用等。未来，智慧院所和智能车间可能建设有基于本体的知识管理系统，基于知识的设计可生产性分析平台，支撑产品最优设计的材料-工艺组合专家系统等。以智慧院所和智慧工作平台为例，工具集成将逐步提升其知识应用平台的基础能力，比如：1.0状态，知识是碎片化的，是需要被动查询的；2.0状态，知识是高度结构化的，是能够自动推送的；3.0状态，拥有全面的知识管理系统，是嵌入各项流程直接发挥作用的。

4. 平台构建

平台构建，即完成智慧院所和智能车间智慧工作平台与智能制造集成应用平台的构建，这些平台支撑“数据-信息-知识”系统，支撑产品生命周期管理（PLM）、产品数据管理（PDM）、试验数据管理（TDM）、保障数据管理（SDM）等。未来，智慧院所和智能车间可能建设有车间人-机-物实时监测平台，基于需求工程的正向研发环境，保障数据采集、管理与分析系统等。以智慧院所的智慧工作平台为例，平台构建将逐步提升其集成能力，比如：1.0状态，单项平台集成，实现PDM；2.0状态，平台两两集成，实现TDM；3.0状态，三者无缝集成，实现真正的PLM。

结束语

智慧院所、智能车间信息化能力建设达到的效果应该包括：完成纵向集成、横向集成及其无缝联合，实现端到端、点到点的精准执行；达到“动态感知实时分析自主决策精准执行学习提升”这一特征；数据流、信息流、知识流的集成与交互。通过面向军工智能制造转型的信息化能力建设，智慧院所将拥有正向研发和基于知识的研发模式，智能车间将具备多品种、少批量、定制化生产能力，知识以自主的软件、数据、模型的形式固化并且广泛利用知识进行自主创新，以实现缩短周期、提升性能/质量、降低成本的最终目标。

（本文整理自2017年5月在航空工业昌飞召开的相关课题研究讨论会的报告PPT，航空工业科学技术委员会蔡小斌和张东波对本文亦有重要贡献）

理清数据资产核心价值 加快推进工业企业数据管理

——专访航空工业信息技术中心副总工程师梁建交

本报记者 吴斌斌 欧洋

2016年12月，工信部发布了《大数据产业发展规划2016-2020》。该规划指出，数据是国家基础性战略资源，要深化工业大数据创新应用，推动大数据在重点工业领域各环节的应用。此前，国务院也印发了《促进大数据发展行动纲要》，提出要利用大数据推动信息化和工业化深度融合，推动大数据在研发设计、生产制造、经营管理、市场营销、售后服务等产业链各环节的应用。

事实上，在两化融合、智能制造和工业互联网的时代背景下，“航空工业两化融合十三五规划”也提出了构建工业赛博物理系统（ICPS）的发展目标。ICPS的建设必将带来数据种类的增加和数据量的急剧增长，企业数据技术体系及数据治理范式都将发生变化。

“大数据”时代已经向我们迎面走来，企业特别是工业企业都应该积极应对。那么，数据资源对于工业企业有什么实际的价值？数据管理涵盖哪些方面，当前又面临着哪些问题？企业该从哪些方面入手来展开数据治理？航空工业在数据管理方面又有哪些实践经验？围绕上述问题，本报记者日前采访了航空工业信息技术中心副总工程师梁建交。

《中国航空报》：在两化融合、智能制造、工业互联网背景下，数据资源对于工业企业的价值主要体现在哪些方面？

梁建交：GB/T23001“信息化和工业化融合管理体系要求”提出两化融合管理的四个核心要素之一是“数据”，组织结构、业务流程和技术三个要素的循环演进本质上是围绕“数据”展开的。从智能制造的四个特征来看，在线感知（获取数据）、实时分析（分析数据）、智能决策（利用分析结果）、精准执行中的前三个都和数据密切相关。而工业互联网的核心要素包括智能机器、先进生产方法和人，简单地说就是机器、数据和人。所以，无论是智能制造还是工业互联网，都离不开大数据和数据分析技术的支持。从管理决策角度来看，按照赫伯特·西蒙（美国管理学家和社会、经济组织决策管理大师，第十届诺贝尔经济学奖获得者）提出的决策模型来看，决策的第一步是收集信息，信息的基础是客观数据。航空工业两化融合“十三五”规划中提到的ICPS的演进路径——连接、连续、测量、优化，其背后的支撑技术也离不开大数据与数据分析。

具体来讲，在企业的组织与管理领域，数据具有记录、备份、监督、纠偏以及预测的作用，是工业企业开展流程跟踪、质量追溯、运营管控和决策支持的基础；在工程和制造领域，工程数据特别是各类模型数据可分别用于设计仿真、制造仿真、虚拟装配、虚拟试验等，以验证设计的产品是否具备可制造性、产品功能性能是否达标、是否便于维修等等。

例如，美国福特公司的“卓越分析中心”，有近200名大数据和分析专家，他们分别来自不同学科。他们会参与到福特公司各个部门，包括营销、研发以及信贷服务等。通过在电动汽车上将大数据与物联网技术结合，可使客户能够根据自己的需要来调整自己的汽车发动机，选择合适的时间给自己的车充电以获得更低的电价折扣。电力公司和其他第三方供应商可以分析数百万英里的驾驶数据，以决定在何处建立新的充电站，以及如何防止脆弱的电网超负荷运转。美国派克汉尼汾公司，通过对其积累的100多万套设备的维修记录进行分析，发现某款干燥剂常规的贵重零件的使用寿命都与一种至六种便宜零件的磨损有关，由此对售后服务做出一项决定：提前换“齿轮组”、“轴承”等易损件，达到保护贵重零件的目的。仅在这一种产品上，这种做法每年为企业节省的维修费就达上百万美元。而基于模型和单一数据源的协同研制、虚拟验证，已经使得飞机研制周期缩短40%以上，同时，产品质量、性能得到大幅度提升。

《中国航空报》：当前工业企业在数据管理方面存在的主要问题有哪些？应该从哪里入手开展数据管理？

梁建交：当前，企业数据管理在组织与管理领域存在的问题可以归结为基础数据质量、数据综合集成、数据开发利用和数据体系的治理等几个方面。基础数据质量可能导致软件系统

计算结果错误或某些系统功能的不可用，一物多码、一码多物等基础数据问题的普遍存在，导致企业连库车、家庭都很麻烦。历史上信息系统的烟囱式建设造成大量的信息孤岛，数据重复录入、数据之间没有关联，导致信息无法共享和有效地支撑管理决策。当然，以上几个方面的问题并不是孤立存在的，其本质是数据治理体系的缺失。在工程与制造领域，产品生命周期建模标准、模型的数据传递、数字孪生数据架构、大数据与数据分析对智能制造的支撑等方面也都还有许多待研究与突破的工作领域。

一个企业围绕数据急需开展的工作很多，千头万绪，究竟从何入手呢？事实上，无非是沿着两个方向找切入点。一个方向是自顶向下，从整体规划入手，建立数据管理的完整视图，然后结合现状和条件，分步实施，各个突破。另外一个方向是自底而上，从解决实际问题入手，解决一个是一个，例如，统一编码问题、数据集成问题、数据分析与利用等。但需要注意的是，很多问题之间是存在依赖关系的，数据标准问题不解决，集成就无从谈起，跨系统数据不集成，数据分析利用就会受很大限制等等。有些企业选择从建立数据治理体系入手，先落实数据管理的体制机制，也是很有道理的。

根据国际数据管理协会DAMA提供的模型，企业数据管理包括十一项重要的职能，分别是：数据架构管理、数据建模和设计、数据存储和运营、数据

安全管理、数据集成和互操作、文档和内容管理、参考数据和主数据管理、数据仓库和商务智能、元数据管理、数据质量管理、数据治理，其中数据治理是核心职能。企业应该明确这些职能的归属，并建立相应的流程和制度保证这些职能得到履行，这就是体系化的数据治理。航空工业信息技术中心根据多年的经验，提出以下几个工作包，可作为企业立项目的参考：总体数据规划、数据架构设计、统一BOM管理、产品/生产生命周期模型标准化、主数据管理、数据综合集成与分析、数据管理体系建设、专项数据挖掘应用（例如，通过数据挖掘技术解决某一类质量问题）等。

《中国航空报》：能否谈一谈数据管理在航空工业企业中的应用，是否已经形成可复制的案例和经验？

梁建交：近几年，航空工业集团公司从总部到成员单位，在数据管理方面均开展了很多卓有成效的实践，工作方向覆盖总体数据规划、数据架构设计、统一编码管理、主数据管理、内容管理、大数据与数据分析等方面。

中国商飞和航空工业陕飞通过开展总体数据规划，理清了企业数据资产的分类，制定了基础数据标准，落实了数据管理的职责，明确了中长期规划中数据管理工作项目，企业信息化的视角正由过去的重流程电子化向重数据管理和信息资源开发利用转移。

航空工业西飞的快响中心是将大数据和数据分析技术应用于民机客户

服务领域的很好的例子，“新舟”系列飞机运行数据管理平台通过对飞机设计、制造、销售、客服、试飞以及维修等数据的采集和管理，可实现对各类服务请求的分类处理、处理进度的跟踪和监管，状态支援异地服务请求，对飞机的状态和故障进行快速预判和警示，对已经出现的故障请求能迅速通过分析和相关算法进行故障定位，取得解决方案，并推送通过移动设备，帮助外场维修人员快速解决。相关应用得到了企业和适航局的高度认可，同时也引起军方的极大兴趣。

由航空工业信息技术中心和航空工业制造所共同运营的航空工业智能制造创新中心在工业互联网技术应用方面不断突破，在支撑一体化监控与健康管理的异构设备智能互联方面开展了一系列验证，已进入工程实用阶段。该项目围绕航空工业特种工艺设备，基于赛博物理系统相关技术，如：物联网技术、大数据技术、云平台技术等，建立设备互联与数据采集、应用平台，对设备进行现场数据实时采集，并通过大数据技术建立分析模型，实现对异常情况预判处理，最终构建支持异构设备互联集成、数据采集、数据分析、实时监控的智能制造管控平台。

当前，航空工业信息技术中心正在开发企业全域数据参照模型，该模型将能够指导企业分析数据资源的分布、明确跨域数据集成关系、建立数据自析模型，帮助企业实现对数据资源的自主可控，摆脱过分依赖软件厂商的尴尬局面。