INTELLIGENT 2022 DECISION

工业“智能决策”白皮书

——点亮企业增长的“灯塔”

ifenxi | 杉数科技 Cardinal Operations

序言

订单、物料约束复杂，如何排产最高效？保平稳生产又要提升订单满足率，应该如何统筹？消费者需求快速变化，如何预测爆款？

2021年11月24日，中共中央政治局委员、国务院副总理刘鹤在《人民日报》的署名文章指出，**现阶段，我国生产函数正在发生变化，经济发展的要素条件、组合方式、配置效率发生改变，面临的硬约束明显增多，资源环境的约束越来越接近上限，碳达峰碳中和成为我国中长期发展的重要框架，高质量发展和科技创新成为多重约束下求最优解的过程。**

随着全球新一轮科技革命和产业变革深入发展，新一代信息技术的不断突破，并与先进制造技术加速融合，为制造业智能化、绿色化发展提供了历史机遇。在这一历史性的交汇点，企业端诉求、技术变革与基础设施完善共同推动智能决策时代到来。

本次白皮书聚焦工业互联网建设中的智能决策问题，首次对智能决策的概念进行定义，梳理工业智能决策的应用价值，提出智能决策应用落地方法论。**我们希望通过工业智能决策最佳实践的研究，为工业企业提供转型升级的路径参考，帮助工业企业实现第二增长曲线。**

➢ **工业互联网**

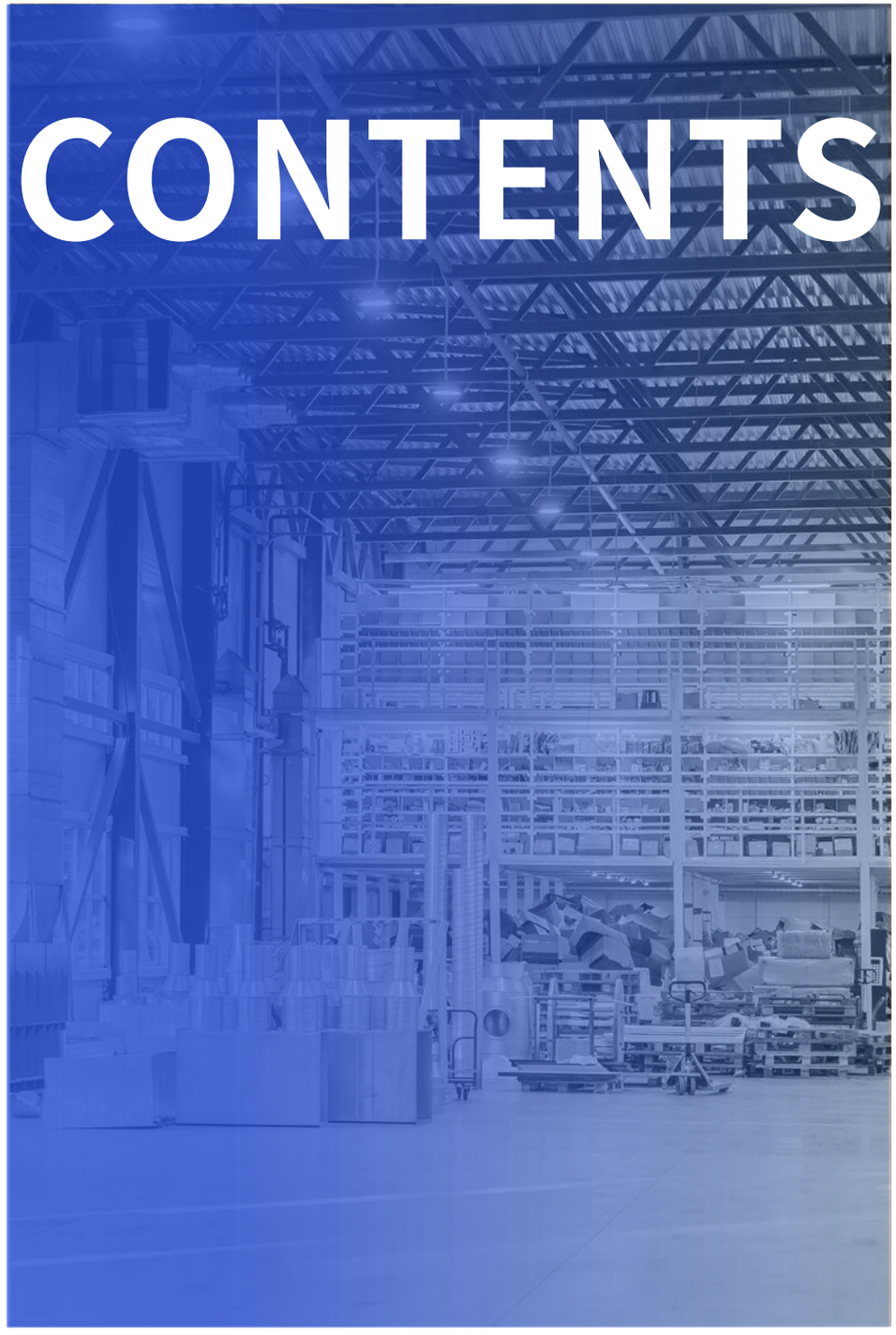
在互联网驱动企业增长时代，上半场主角是消费互联网，下半场的主角则将是万物互联模式下的工业互联网。工业互联网是实现智能制造的重要抓手，也是工业企业当前发展的最大机遇。

➢ **智能化**

当前，我国工业正处于由数字化向智能化发展的重要阶段，数字化与智能化建设是螺旋式上升的过程。智能化在信息化与数字化建设的基础上，通过智能技术实现了从数据到信息、知识、决策的转化，摆脱传统认知和知识的边界，为企业提质增效、释放生产潜能、实现企业收益最大化提供有效支撑，成为工业互联网建设价值的核心。

➢ **智能决策**

智能决策是工业互联网智能化的“大脑”，以全局优化为目标实现企业综合收益最大化。机器学习与运筹优化技术的深度融合，推动智能决策技术不断扩充能力边界。目前，部分领先企业已经抢先落地智能决策应用并实现了业务价值突破，未来智能决策将成为领先工业企业必备的能力。



CONTENTS

1 **迫在眉睫**
工业互联网建设大势所趋

2 **拥抱变革**
智能化是工业转型升级的必由之路

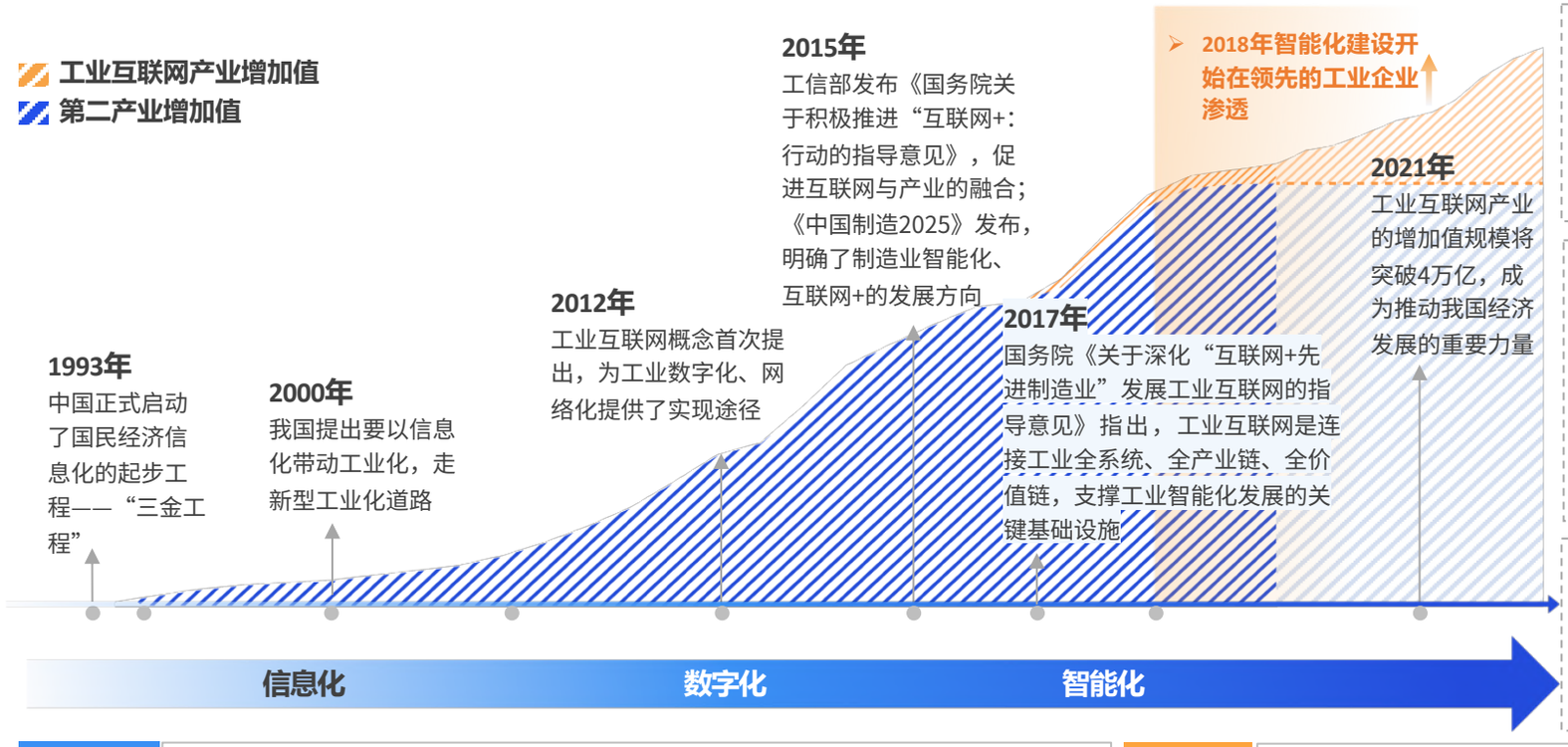
3 **寻求突破**
智能决策时代已然到来

4 **实践探索**
智能决策实现工业互联网价值倍增

5 **躬身入局**
工业智能决策应用落地方法论

6 **展望未来**
工业智能决策发展前瞻

本报告核心发现 Executive Summary



- 决策优化层是工业互联网智能化的**“大脑”**，聚焦数据挖掘分析与价值转化，形成工业数字化应用核心功能

- 数字模型层是工业互联网智能化的**“骨骼”**，强化数据、知识、资产等的虚拟映射与管理组织，提供支撑工业数字化应用的基础资源与关键工具

- 感知控制层是工业互联网智能化的**“手”**，构建工业数字化应用的底层“输入-输出”接口

工业互联网进入智能化建设时期

2018年前后，人工智能技术开始与工业场景融合发展，开启了工业互联网智能化建设时期。

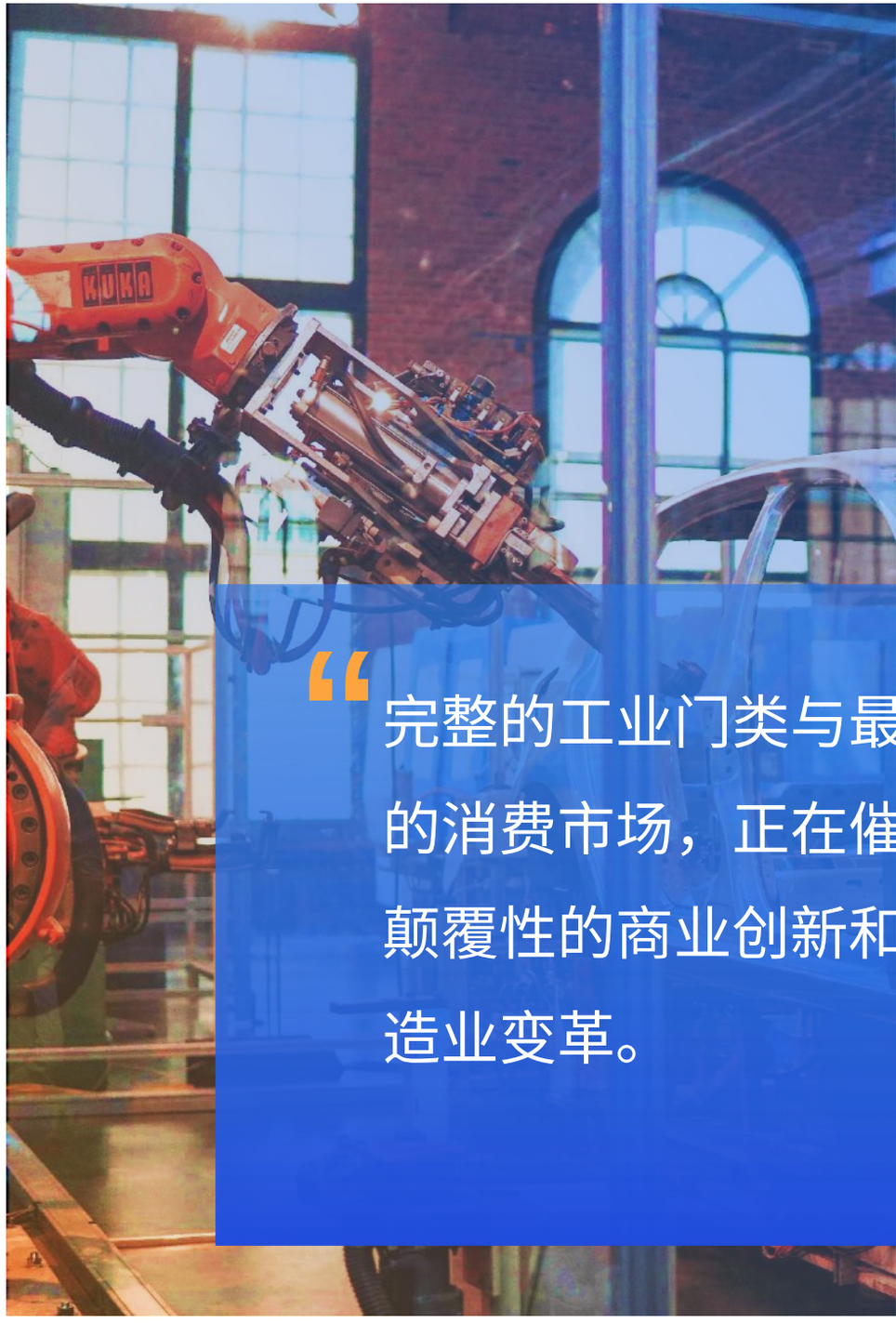
智能化在信息化与数字化建设的基础上，智能技术实现了从数据到信息、知识、决策的转化，挖掘数据潜藏的意义，摆脱传统认知和知识的边界，为企业提质增效、释放生产潜能、实现企业收益最大化提供有效支撑。

数字化和智能化是螺旋上升的过程，成为工业互联网建设价值的核心。作为智能化的价值核心，**智能决策**正在引起市场广泛关注。

头部企业正大步跨入智能决策时代

经济新常态下，精细化运营成为企业增长的关键动力，对业务决策的质量提出了更高的要求。数据基础建设逐步完善，机器学习与运筹优化技术的结合与突破，都为智能决策提供了更加成熟的技术可行性。**Gartner预测，到2023年，将有超过33% 的大型机构采用智能决策的实践**。

智能决策应用，要以全局优化为目标，运筹优化与机器学习相结合是主流技术路径，智能决策将成为领先企业的必备能力。



“完整的工业门类与最大的消费市场，正在催生颠覆性的商业创新和制造业变革。”

迫在眉睫：

工业互联网建设大势所趋

1

全球产业链正经历深度重构，同时，受疫情影响短期过热的海外市场需求将在国外经济滞胀背景下受到抑制，短期增长动力减弱。面对复杂变化，中国制造业需要向智能制造转型升级，走出第二增长曲线。作为实现智能制造的重要抓手，工业互联网建设已经开始释放出强大价值潜能。

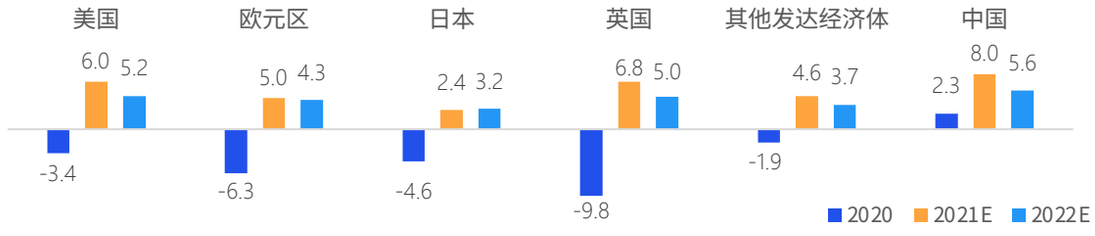
中长期：疫情加速全球产业链重构，智能化转型势在必行

全球疫情加速产业链深度重构，市场供需两侧不确定因素增加，加快塑造企业韧性成为我国工业企业抵御市场风险、实现中长期战略目标的必答题。
从全球发展的经验规律来看，制造业产业升级是赶超发达国家的关键，以智能化转型实现智能制造是提升制造业质量效益的必由之路。

全球产业链深度重构，加快塑造工业企业韧性迫在眉睫

- **根据世界银行最新预测，对比全球主要发达国家2020年-2022年GDP增速，中国率先在疫情中恢复，并增长强劲。**

IMF 对全球主要国家和地区GDP增速预测（百分比）



- 全球经济全面复苏尚需时日，疫情防控措施导致全球产业链多环节受阻，加之中国制造业稳步复苏，而其余国家疫情蔓延，势必加速全球产业链深度重构。同时也暴露了全球分工的弊端，将促使供应链缩短的进程加快，全球产业链将向区域性聚集演化。此时中国制造业更应该调整产业结构，深化产业升级，增强产业链韧性，提升敏捷响应、抵御风险的能力。

全球供应链缩短，企业垂直一体化进程加快

跨国企业将转向以产业链安全为考量的垂直一体化布局。
原先分包给不同国家和企业的生产工序和环节将会被收回到跨国公司内部进行生产，企业依靠缩短供应链条使产业实现自主可控的要求。

全球产业链由全球化布局向区域性集聚演化

疫情爆发以来，区域内的贸易往来呈增加态势。2021年前10个月，中国与东盟、欧盟、美国的进出口增速均超过20%，增速均高于同期整体水平。未来，用于生产所需的中间品贸易主要在区域内进行，跨国公司的全球产业链将在欧洲、北美、东亚、东盟等区域聚焦。

我国制造业质量效益尚有提升空间，智能化转型势在必行

2019年各国制造强国指数中质量效益分项数值

- 中国工程院战略咨询中心《2020中国制造强国发展指数报告》显示，我国制造业发展的质量效益与发达国家差距明显，其中利润率偏低是我国制造业发展的核心痛点。我国工业转型升级迫在眉睫。
- 同时，国际环境日趋复杂，全球科技和产业竞争更趋激烈，大国战略博弈进一步聚焦制造业，美国“先进制造业领导力战略”、德国“国家工业战略2030”、日本“社会5.0”和欧盟“工业5.0”等以重振制造业为核心的发展战略，均以智能制造为主要抓手，力图抢占全球制造业新一轮竞争制高点。
- 埃森哲预计到 2035 年，工业因智能化应用增加值增速可以提高 2.0% 左右，是所有产业部门中提高幅度最大的。《“十四五”智能制造发展规划》提出，到2025年，规模以上制造业企业基本普及数字化，重点行业骨干企业初步实现智能转型。

数据来源：CEIC、申万宏源、IMF

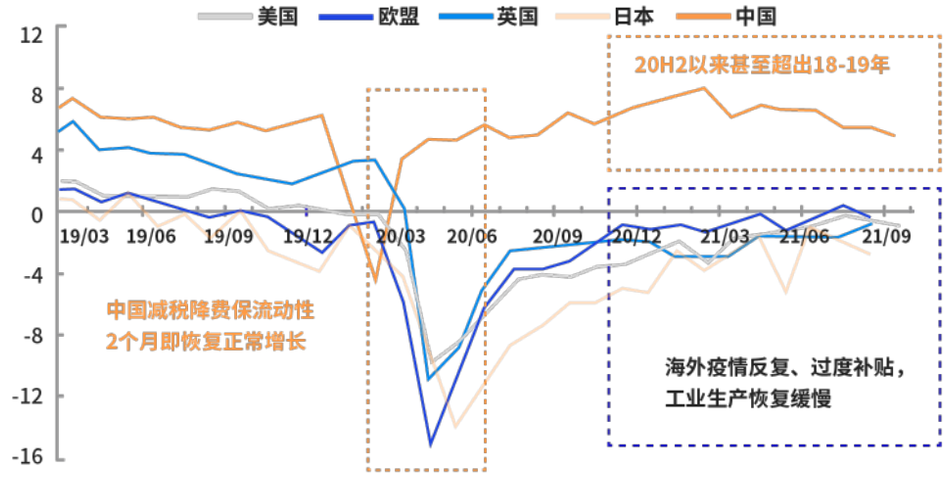
短期：全球经济滞胀将导致出口需求衰退，过热增长不可持续

疫情影响下，外需缺口拉动的高增长使中国成为全球主要经济体中工业生产恢复最强的国家，而海外过度的货币政策引发的滞胀危机，将会在未来共振式收缩，过热的市场需求受到抑制，出口增速将大幅降温。工业企业应对短期需求变化需要有更前瞻的战略布局。

中国工业生产稳步复苏，显现“生产过热”格局

- 目前，世界经济整体处于复苏阶段，但受疫情反复的影响，全球产业链的运行依然不畅。这一时期，中国国内生产保持总体稳定，有效填补了全球供需的缺口。同时疫情使得全球供给与需求同步下滑，将对出口导向型行业造成持续影响。
- 疫情之后，我国经济以制造业生产的超强恢复为第一特征，供给端不但未受明显冲击，工业生产的增速一度连续明显超出疫情冲击前，显现“生产过热”的格局。

中国与美欧日英工业生产两年平均增速（%）

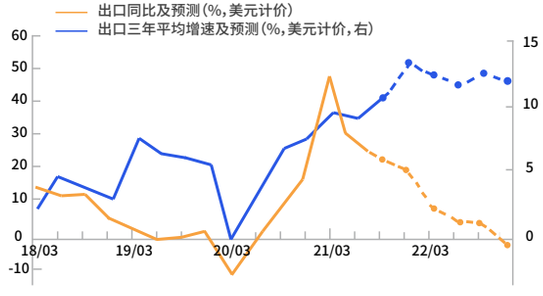


- 自2020年下半年至2021年上半年，我国工业增加值、制造业增加值两年平均增速达到6.5%，而2019年这两项增速分别仅为5.9%、6.0%，表明疫情后生产恢复至提速扩张的程度。

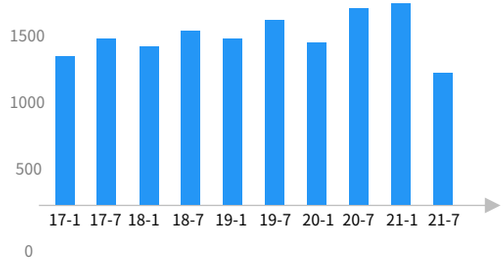
国内工业市场供需稳定，出口需求预测衰退

- 预计2022年我国出口三年平均增速在2019年低基数的影响下可能小幅上行，但全年同比增速在今年30%左右的高增之后可能迅速回落至4.5%左右，这意味着出口对于我国工业生产和经济增长的拉动作用或将不可避免的降温。

中国出口同比及2022年三年平均增速预测



中国工业生产指数



数据来源：国家统计局、申万宏源研究《虎变——2022年宏观经济展望》

- 国家统计局数据显示，近5年来我国工业生产指数趋于稳定。但面对2021年以来工业生产短期走强需要需求端的持续拉动，2020-2021年工业品需求呈现外需强内虚弱的格局，预计2022年外需回落，出口与国内消费需求再平衡是2022年中国经济的主线逻辑之一。短期来看，在需求端的明显变化，促使工业企业加速进行前瞻性的布局，通过转型升级帮助企业在行业竞争中占据有利地位。

数据来源：申万宏源研究《虎变——2022年宏观经济展望》

工业互联网引领企业进入高质量发展阶段

利用人工智能、云计算、大数据等技术，在包含IoT层、IaaS层、PaaS层、SaaS层的通用架构下建立工业互联网平台，通过部署新型网络基础设施，并全线贯穿标准标识体系和平台安全防护能力，将重塑企业形态、供应链和产业链模式，构建工业新生态。

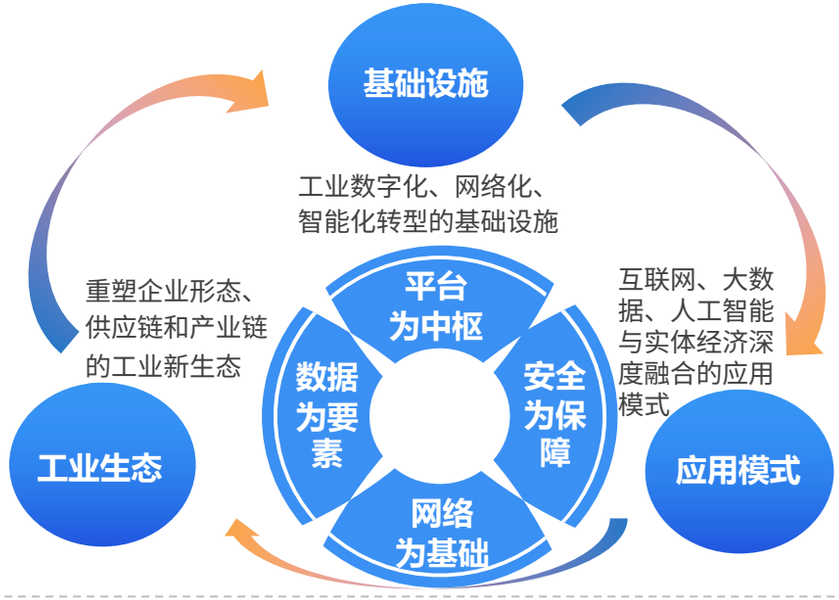
工业互联网为产业发展延展新空间

概念

工业互联网是新一代信息通信技术与工业经济深度融合的新型基础设施、应用模式和工业生态，通过对人、机、物、系统的全面连接，构建起覆盖全产业链、全价值链的全新制造和服务体系，为工业数字化、智能化发展提供了实现途径，是第四次工业革命的重要基石。

内涵与外延

当前，工业互联网融合应用向国民经济重点行业广泛拓展，形成智能化制造、网络化协同、个性化定制、服务化延伸、数字化管理五种典型应用模式，赋能、赋智、赋值作用不断显现，有力地促进了实体经济提质、增效、降本、绿色、安全发展。



工业互联网平台体系架构——以卡奥斯COSMOPlat为例

海尔作为中国最早探索数字化转型的企业之一，具备坚实的数字化、智能化基础，2016年推出卡奥斯COSMOPlat工业互联网平台，基于自身在家电行业的最佳实践，跨行业、跨领域输出智能制造和数字化转型解决方案，现已成为覆盖7大领域、15个行业、全球20多个国家和地区的智能制造和数字化转型解决方案基础平台，具有很强的代表性。

卡奥斯COSMOPlat在包含IoT层、IaaS层、PaaS层、SaaS层的通用架构下，通过部署新型网络基础设施，并全线贯穿标准标识体系和平台安全防护能力，构建起强大的工业互联网平台生态。

资料来源：IDC《工业互联网生态白皮书》 资料来源：卡奥斯

工业互联网是实现智能制造的重要抓手，双碳目标倒逼加速转型

新一轮科技革命为实现智能制造提供技术准备，而工业互联网建设是实现我国智能制造重要途径。《“十四五”工业绿色发展规划》提出，到2025年，工业产业结构、生产方式绿色低碳转型取得显著成效，为2030年工业领域碳达峰奠定坚实基础。因此，“十四五”期间成为能源结构转型关键期，双碳目标将倒逼工业企业加速转型，在这关键五年找到行之有效的转型方法将赢得未来先机。

第四次科技革命成为技术准备

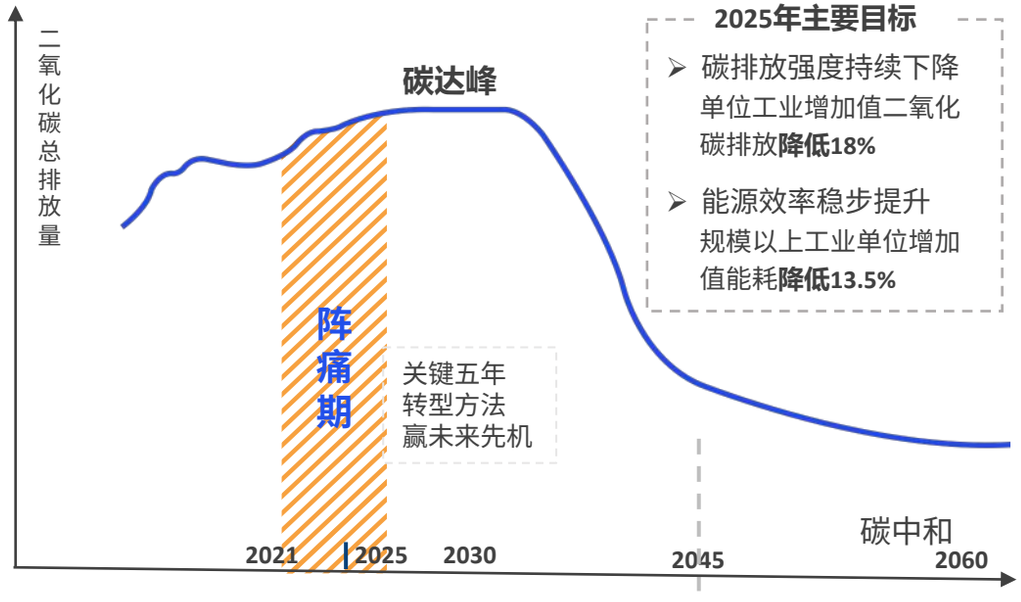
- 以5G、云计算、大数据人工智能等信息技术为代表的第四次科技革命，将助力工业企业提升生产力。
- 新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式形成了历史性交汇，第四次科技革命为工业互联网数字化、智能化建设提供坚实技术支撑，是实现中国制造业跨越式发展的重要基础。

工业互联网是重要抓手

目标	智能制造	• 提高优质企业自主创新能力 促进提升产业链供应链现代化水平 • 引导优质企业高端化智能化绿色化发展
重要抓手	工业互联网	• 夯实网络基础 加快工业互联网平台建设 • 提升平台运营能力 提升产品与解决方案供给能力 • 强化安全保障 构建信息安全、功能安全和物理安全
实现路径	强链补链	• 锻长板：聚焦优势行业占据产业竞争制高点。 • 补短板：针对工业基础领域实施好关键核心技术攻关工程。 • 强企业：分层打造“专精特新”中小企业群体。

中共中央政治局就推动我国数字经济健康发展进行第三十四次集体学习指出：要站在统筹中华民族伟大复兴战略全局和世界百年未有之大变局的高度，阐释数字经济对于我国发展的重要性及意义，工业的支柱性角色决定了工业互联网转型升级过程的重要性必要性。

“十四五”能源结构转型关键期



2025年主要目标

- 碳排放强度持续下降
  单位工业增加值二氧化碳排放**降低18%**
- 能源效率稳步提升
  规模以上工业单位增加值能耗**降低13.5%**

2025年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%

2030年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降65%以上

碳达峰是碳中和的基础和前提，达峰时间的早晚和峰值的高低直接影响碳中和的实现时长和实现难度。二氧化碳具有很长的生命周期，**所以“十四五”是实现2030年碳达峰目标、调整能源结构转型的关键期，这将倒逼工业企业加速转型。**

数据来源：BP《世界能源统计年鉴》、爱分析研究绘制

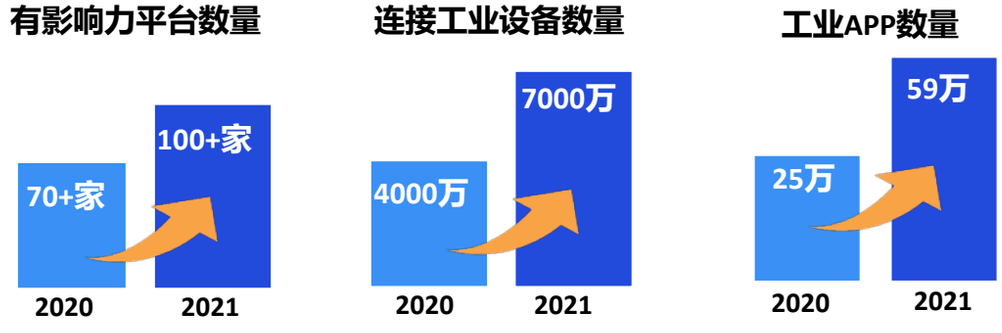
工业互联网成为赋能企业增长的重要力量

工业互联网平台建设蓬勃发展，2021年工业互联网链接工业设备数量实现近翻倍增长，在两化融合的基础上推动工业企业在数字化、智能化更广范围、更深程度、更高水平上融合发展，成为继移动互联网之后最大的经济机会。IDC预计2025年中国工业互联网带动的经济规模将突破万亿美元。

工业互联网“综合性+特色性+专业性”的平台体系基本形成

CNNIC发布《中国互联网络发展状况统计报告》显示，我国工业互联网发展初具规模，工业互联网体系呈多层级全面蓬勃发展的态势。当前我国“综合型 特色型 专业型”工业互联网平台体系基本形成，具有一定行业和区域影响力的平台超过100家，平台赋能效应进一步显现。

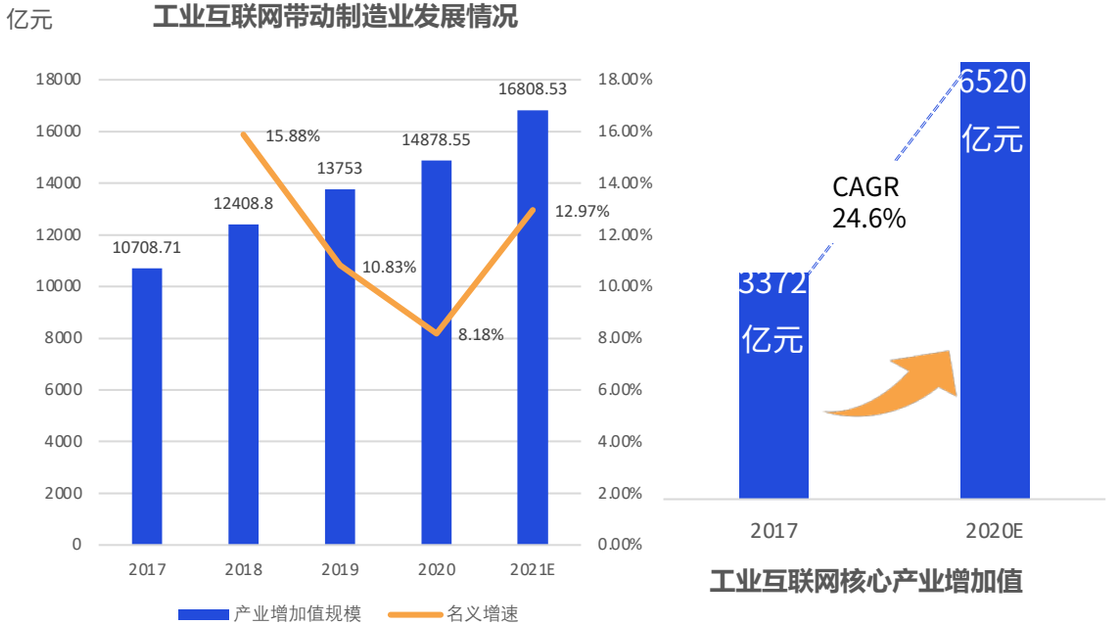
- 网络体系不断成熟。高质量外网连接超过 18 万家工业企业，部分省份已实现工业互联网外网所有地市全覆盖以及工业园区广覆盖。
- 数据体系持续完善。数据是工业互联网的核心要素，结合行业知识和工业机理，满足制造业千行百业的需求。工业互联网运用的数据来源于“研产供销服”各环节、“人机料法环”各要素，通过对数据的采集、流通、汇聚、计算、分析，促进数字化转型，打造数字化、网络化、智能化的基础。
- 安全体系发挥作用。全国工业互联网安全态势感知平台全面建成，通过监测预警、应急响应、检测评估、功能测试等手段解决设备、控制、网络、平台、工业 APP、数据等多方面网络安全问题，确保工业互联网健康有序发展。



资料来源：中国互联网络信息中心，爱分析整理绘制

工业互联网拉动GDP作用明显，赋能企业增长

据中国工业互联网研究院数据显示，工业互联网对我国GDP产生巨大带动作用。其中，2021年工业互联网带动制造业增加值预计达到1.68万亿元。与此同时，工业互联网产业增加值规模将突破4万亿元，成为促进我国经济高质量发展的重要力量。工业互联网核心产业增加值在2017年-2020年期间超过93%，年复合增长率达24.6%。三年时间，工业互联网核心产业增加值实现近一倍增长。



资料来源：中国工业互联网研究院《中国工业互联网产业经济发展白皮书（2021年）》

“智能化帮助企业更“聪明”的核心价值体现在决策环节。”

拥抱变革：

智能化是工业互联网建设的必由之路

工业企业的数字化建设与智能化建设呈现螺旋上升的态势，其中智能化建设是工业互联网建设的价值“C”位。智能决策是工业互联网价值实现的关键，并正在帮助领先企业获得持续高速发展的能力。

2

工业互联网发展路径清晰，智能化成为增长核心驱动引擎

2015年两会政府工作报告，国内首次为工业互联网建设提供顶层设计，《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023）》中明确将发展智能化制造摆在新型模式培育行动中的首要位置。预计2021年工业互联网建设带动的产业增加值规模将突破4万亿，成为推动我国经济发展的重要力量。

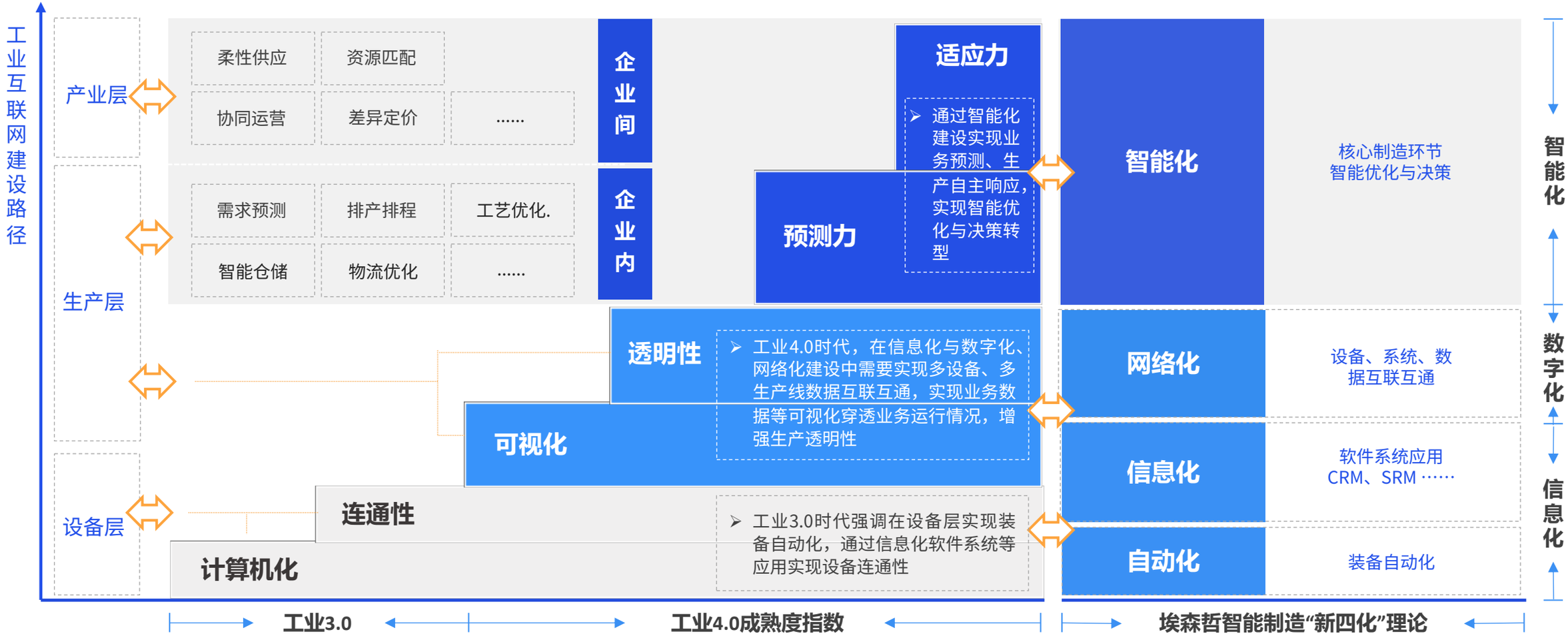
信息化	数字化	智能化
以现代通信、网络、数据库技术为基础，数据开始成为关键生产要素	在信息化的基础上，通过进一步数据治理构建互联互通的工业数据体系，进一步提升生产力水平	人工智能技术与工业场景、机理、知识结合，以模仿或超越人类感知、分析、决策等能力，实现设计模式创新、生产智能决策、资源优化配置等创新应用

资料来源：国家统计局、中国信息通信研究院，爱分析研究绘制

智能化是工业互联网建设的价值“C位”

工业互联网发展路径是从信息化、数字化走向智能化，相应地，智能化是工业企业在工业互联网赋能下走向转型升级的高阶形态。

当前，我国工业正处在由数字化向智能化发展的重要阶段，智能化在信息化与数字化建设的基础上，通过智能技术实现了从数据到信息、知识、决策的转化，挖掘数据潜藏的意义，摆脱传统认知和知识的边界，为企业提质增效、释放生产潜能、实现企业收益最大化提供有效支撑，成为工业互联网建设价值的核心。



资料来源： acatech STUDY《Industrie 4.0 Maturity Index》、埃森哲、爱分析研究绘制

数字化建设与智能化建设是螺旋式上升的过程

在工业互联网建设中，一方面，通过信息化、数字化建设发现业务场景智能化需求；另一方面，信息化、数字化为智能化建设提供数据基础。通过智能化建设企业可以发现信息化、数字化不足，补充缺失数据有利于“解锁”新的智能化场景，放大数字化建设价值，在数字化与智能化建设螺旋上升的过程中，不断挖掘工业数据隐藏价值，释放企业价值潜能。

数字化与智能化建设螺旋上升理论

1 数字化与智能化相互融合

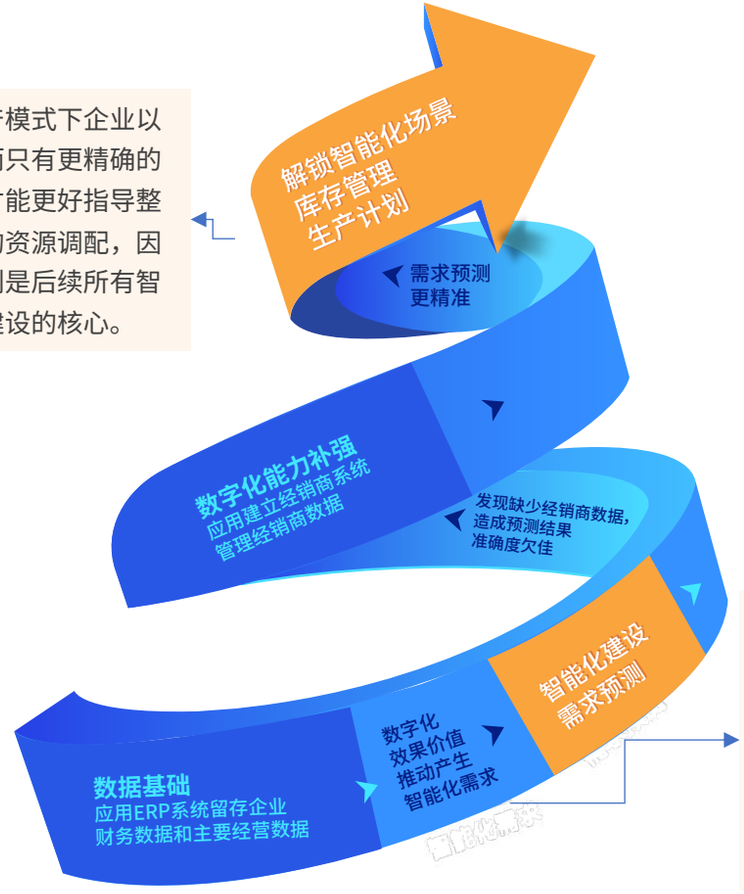
- 智能化不是数字化建设量变引起质变的结果。数字化的颗粒度与深度是一个持续细化与加深的过程，而智能化在其中不断渗透，二者并非完全独立，而是相互融合。
- 数字化完成没有明确的界限，企业并非先将数字化能力全面建成，再开始智能化建设。

2 数字化与智能化建设相辅相成，螺旋上升

- 数字化是智能化的基础，数据和信息的互联互通是一切应用的前提条件。
- 智能化水平的发展会对数字化基础提出新的要求，倒逼数字化能力提升。
- 数字化能力进入新境界能够辅助实现更多智能化场景的落地。

3 数字化与智能化能力相互叠加，不断扩大价值创造的“底盘”

- 数字化基础越好，智能化产生的价值与影响力就越大。
- 即使是很小的智能化落地场景，也可能四两拨千斤，深度挖掘出企业数据资产的价值。



按订单生产模式下企业以需定产，而只有更精确的生产计划才能更好指导整个供应链的资源调配，因此需求计划是后续所有智能化应用建设的核心。

需要的数据：

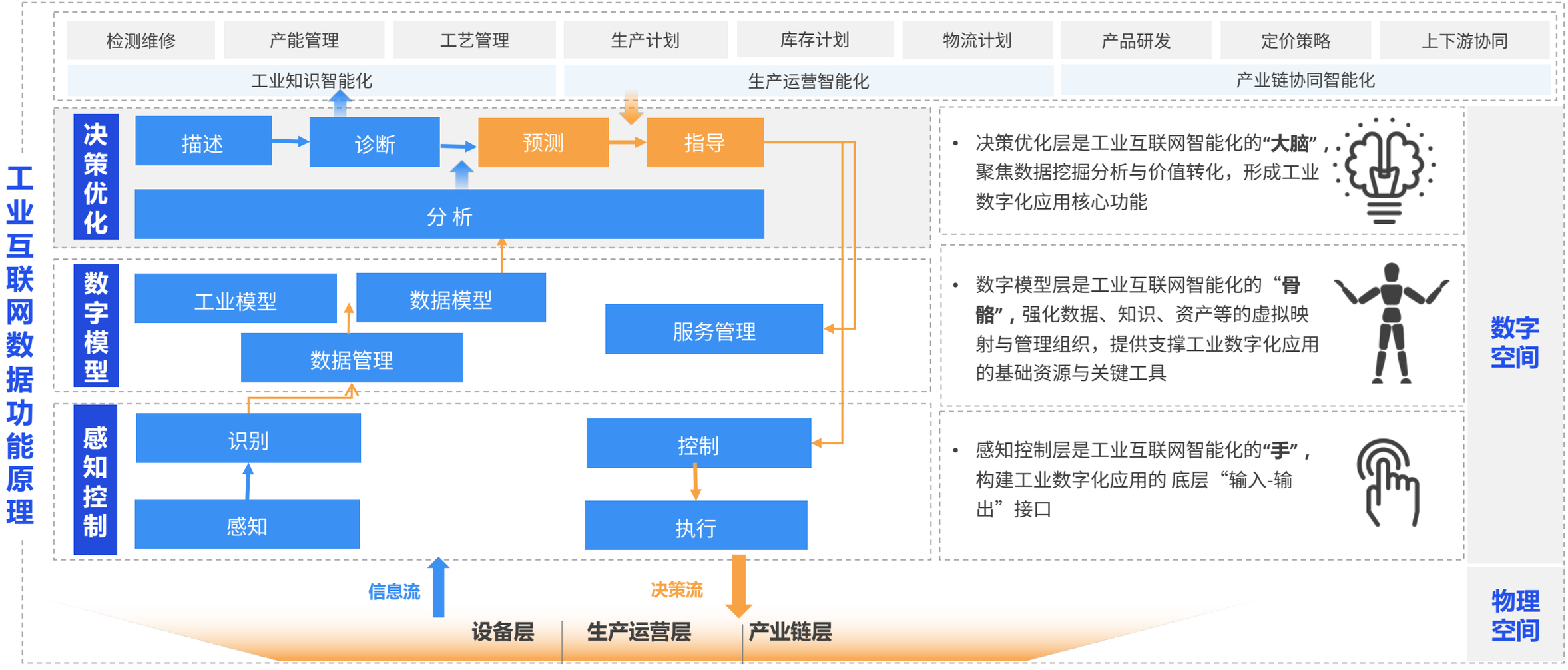
- 历史销售数据（品类、季度销售数据，直销/渠道商数据）
- 行业数据
- 政策数据

……

数字化与智能化建设过程示例图
典型制造企业

智能化的价值核心是智能决策

工业互联网智能化体现在感知控制、数字模型、决策优化三个基本层次，基于海量工业数据全面感知，通过端到端的数据深度集成与建模分析，实现核心环节智能优化与决策，由自下而上的信息流与自上而下的决策流共同构成了应用优化闭环。以智能决策为核心的决策优化是工业互联网智能化的“大脑”，最大化发挥工业数据的价值，成为工业互联网价值实现的关键。

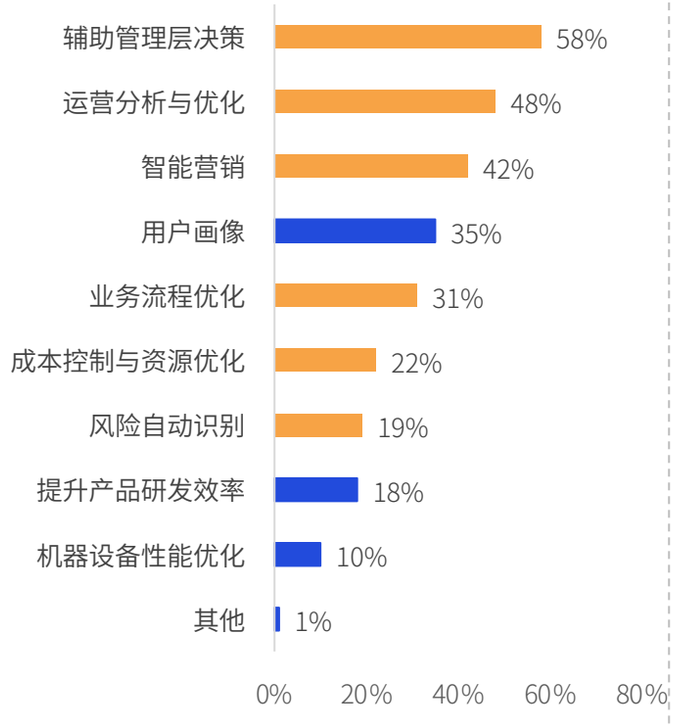


资料来源：中国信息通信研究院，工业互联网产业联盟《工业互联网体系架构（版本2.0）》《工业智能白皮书》

智能决策正在帮助领先企业获得持续高速发展的能力

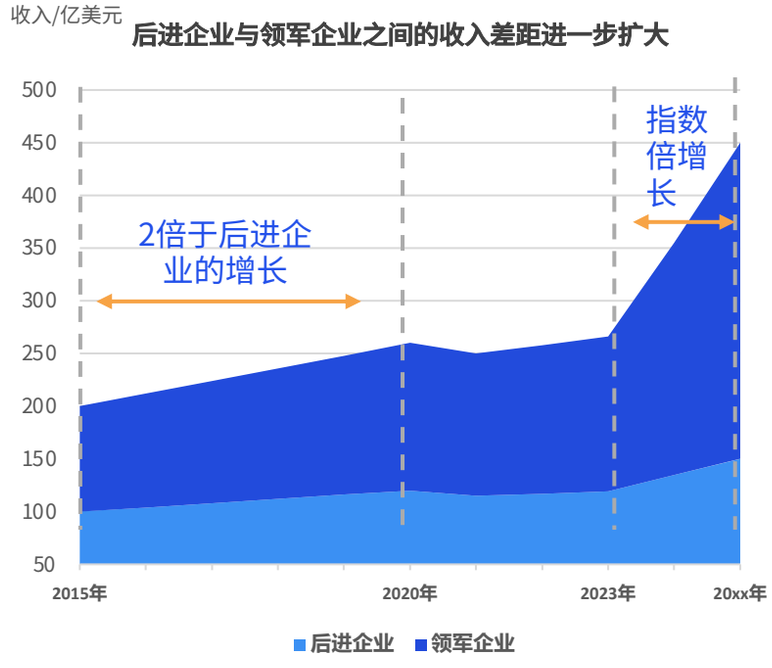
智能决策可以为企业带来新的运营方式，在决策机制上降低对人的依赖，从而显著提高企业的收益增长速度，提升企业成长空间。管理层最关心的大数据应用场景多数都可以使用智能决策技术进行赋能，未来通过智能决策机制可以在供应链及制造管理方面释放的价值空间高达1.2-2万亿美元。

智能决策成为企业最关注的大数据应用场景



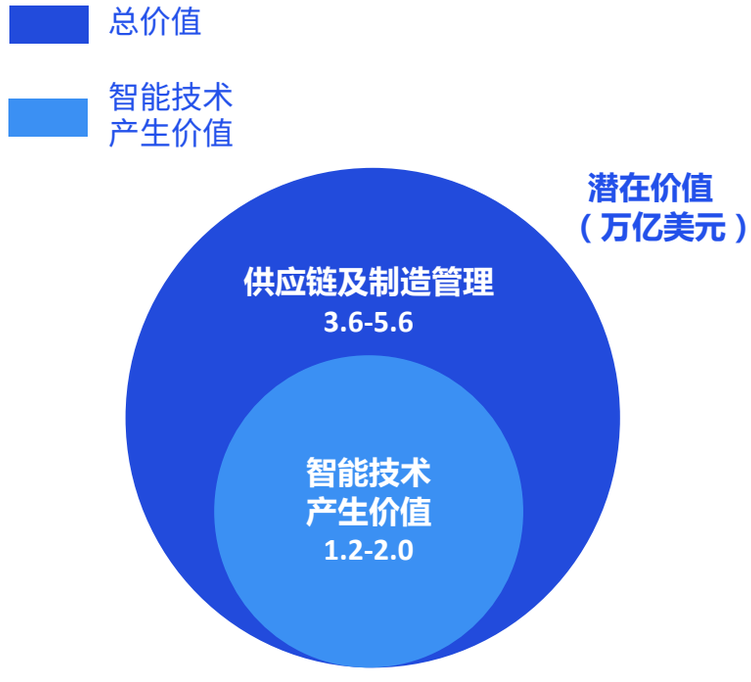
面向16个细分行业的222家企业CIO的调查，调查结果显示，“辅助管理层决策”已成为企业最关注的大数据应用场景，利用数据分析技术提高企业决策能力成为企业数字化管理者的根本需求。

领军企业对技术的投入和应用助力企业快速增长



2021年面向4,300位高管的全球调研，中国领军企业凭借强大的高成熟度的系统和高创新支出比例，极大地提升了增长速度，未来领军企业相比后进企业将呈现指数倍增长。

智能化决策机制释放新的价值空间



根据调研显示，智能技术将带给供应链管理和制造环节1.2-2.0万亿美元的新价值。通过实施智能化的决策机制将帮助端到端的供应链更有效地降低成本，提高生产效率。

资料来源：红杉中国2021年调研报告；埃森哲研究院2021年《跨越发展、领军未来》调研；麦肯锡2018年《Notes from the AI Frontier: Insights from Hundreds of Use Cases》

寻求突破：

智能决策时代已然到来

3

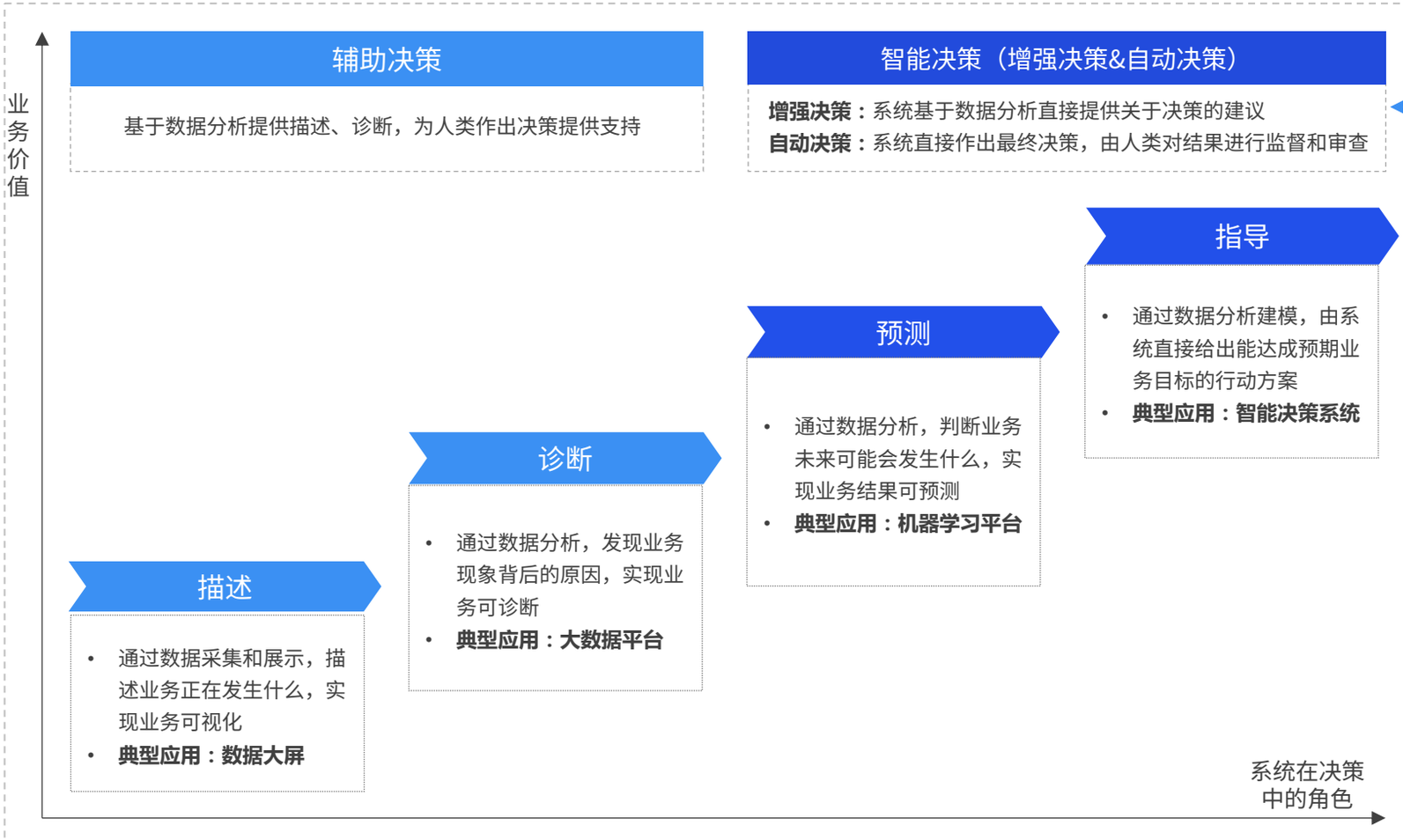
> 到 2023 年， 超过 33% 的大型机构将采用智能决策的实践。

企业端诉求、技术变革与基础设施完善共同推动智能决策时代到来，运筹优化与机器学习成为智能决策的两大关键核心技术。目前，智能决策已经渗透进企业经营、公共服务、个人生活等方方面面。

企业端诉求、技术变革与基础设施完善共同推动智能决策时代到来

传统的业务决策依赖于业务规则和专家经验，从人工决策到智能决策经历了长期的发展过程。随着数据科学和人工智能技术的发展，系统基于“数据+算法” 可以在决策中实现越来越重要的价值。根据系统在决策中扮演的角色，可以分为系统辅助决策、系统增强决策、系统自动决策几个阶段，业务价值逐步增强。

企业端诉求、技术变革与基础设施完善共同推动智能决策时代到来。Gartner预测，到 2023 年，超过 33% 的大型机构将采用智能决策的实践 。



企业端诉求：精细化运营与决策复杂度提升

- 经济新常态下，精细化运营成为企业增长的关键动力，对业务决策的质量提出了更高的要求。
- 消费和产业互联网带来决策要素增长和关联性增强，市场环境快速变化，使得业务决策变得更加复杂，人工经验愈发难以应对。据Gartner 2021 年调查，47% 的受访者表示，他们的决策在未来 18 个月内会变得更加复杂。

技术变革：大数据和人工智能技术的突破

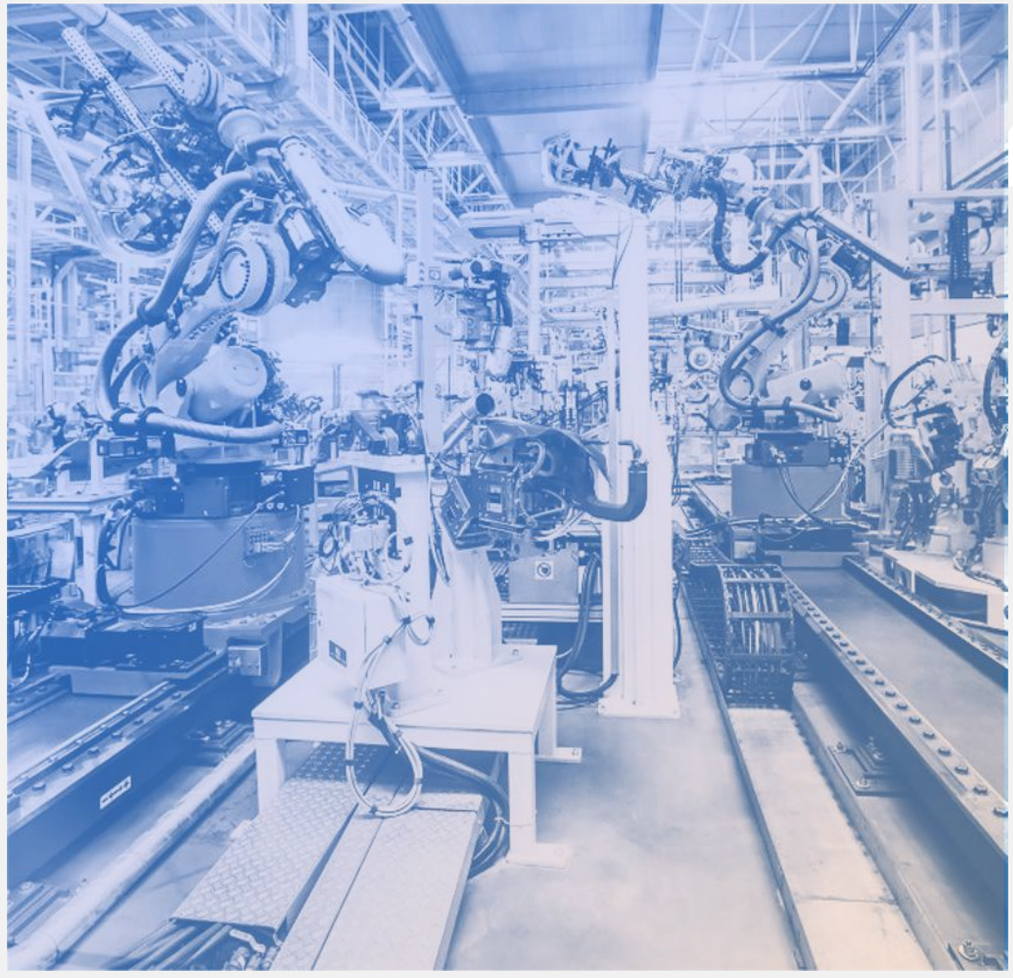
- 以大数据分析、人工智能为代表的技术应用迎来突破，尤其是数据、算法和算力的发展，并与运筹优化等技术相结合，为智能决策提供了更加成熟的技术可行性。

基础设施：数据基础趋于完善

- 随着信息化和数字化建设的推进，企业普遍具备了一定的数据基础，更多业务数据可采集、可分析，为数据驱动的智能决策提供了必要条件。

资料来源：爱分析整理绘制

智能决策的概念



智能决策是组织或个人综合利用多种智能技术和工具，基于既定目标，对相关数据进行建模、分析并得到决策的过程。该过程综合约束条件、策略、偏好、不确定性等因素，可自动实现最优决策，以用于解决新增长时代日益复杂的生产、生活问题。

智能决策流程示意图

将实际问题中的决策标的、约束、偏好以及目标转化为数学模型，是将决策问题与智能化手段和方法进行衔接的关键环节。
在已经建立好的模型基础上输入数据，利用机器学习、运筹优化等技术，对模型进行高效求解。

智能决策流程示意图

实际问题
决策标的、约束、偏好、目标

抽象为数学表达

建 模
模型
变量、条件、函数

数据输入

求 解
优化算法

自动输出

决 策

智能技术
运筹优化 机器学习、深度学习、强化学习、迁移学习 ……

智能决策工具
求解器、机器学习引擎 ……

制造业典型问题为例

实际问题
决策标的：紧急插单计划
约束条件：产线产能限制
物料供应限制
生产偏好：生产稳定
生产目标：满足订单

业务部门

抽象为数学表达

- 日历规则
- 加工周期
- 工厂库存
- 加工计划需求
- ……

建模

输入企业信息数据

- 设备仪器信息
- 企业资源计划（ERP）
- 仓库管理系统（WMS）
- 运输管理系统（TMS）
- 订单管理系统（OMS）

求 解

智能决策工具
求解器
机器学习引擎
……

自动输出

决 策

- 中长期周计划
- 日计划
- 班次计划
- 缺料影响计算
- ……

管理层

数据中台 — 数据治理 数据可视化 — 输出 — 数据大屏 — 辅助决策

智能决策vs传统决策

传统决策	智能决策
不清晰 人工经验无法有效标准化和量化，决策过程不清晰，不能形成数据积累	**更透明** 基于数据和业务规则进行决策，过程标准化，可回溯，决策方法和结果可以积累传递
效果差 人脑计算力有限，对于复杂问题不能全局考虑，简化处理容易顾此失彼	**更优化** 利用数学建模和运筹优化算法全局考虑问题，筛选所有可行方案输出最优结果
难应变 人工决策费时费力，对于不断变化的需求和环境因素难以作出快速评估和有效应对	**更敏捷** 分钟级高速计算，实时更新决策结果，并可通过模拟仿真进行情景分析

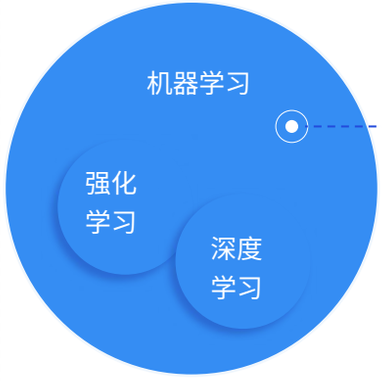
资料来源：爱分析研究绘制

智能决策的关键技术：机器学习与运筹优化

智能决策的关键技术主要包含机器学习技术、运筹优化技术等多种智能技术。
机器学习技术通过强化学习、深度学习等算法实现预测，通常需要大量数据来驱动模型以实现较好的效果；适用于描述预测类场景，如销量预测。
运筹优化技术基于对现实问题进行准确描述刻画来建模，通过运筹优算法在一定约束条件下求目标函数最优解，对数据量的依赖性弱，结果的可解释性强；适用于规划、调度、协同类问题，如人员排班、补配货。

机器学习算法助力智能决策的数据分析和预测能力

智能决策所涉及的机器学习算法主要有：机器学习、深度学习、强化学习……

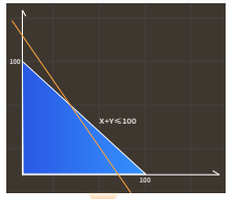
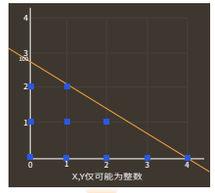
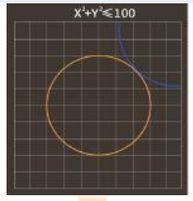
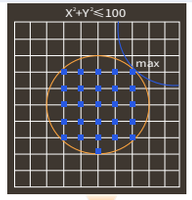


- 机器学习是一门多领域交叉学科，涉及概率论、统计学、逼近论、凸分析、算法复杂度理论等多门学科，专门研究计算机怎样模拟或实现人类的学习行为，以获取新的知识或技能，重新组织已有的知识结构使之不断改善自身的性能。
- 在智能决策领域，机器学习、深度学习、强化学习主要应用于数据识别、分析与预测。

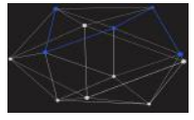
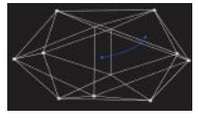
数据依赖		
	特征	在有足量数据基础的条件下，机器学习通过对巨量数据的学习和分析来预测未来
	局限性	容易忽视对问题本身的逻辑描述，使得结果不可解释或失真

运筹优化技术助力智能决策的规划求解能力

模型类别

线性规划(LP)	混合整数线性规划(MILP)	非线性规划(NLP)	混合整数非线性规划(MINLP)
			
• 约束条件线性 • 例如：路程-速度-时间问题 • 结果数值连续，不离散	• 结果值不连续 • 例如：是/否问题、个数问题	• 约束条件非线性 • 例如：抛物线 • 结果数值连续，不离散	• 结果值不连续 • 例如：是/否问题、个数问题

算法类别

单纯形法	内点法	其他算法
沿着有效域（约束条件）外侧寻找最优解 	从有效域（约束条件）内部向外发散寻找最优解 	分支定界法 启发式算法 高阶优化等

模型依赖				
	特征	在多重约束条件下，求解器使用相关模型对问题进行拟合，通过算法得出最优解	局限	模型的可操作性需验证

机器学习+运筹优化：技术的结合有效弥补了彼此应用的局限性，更好地服务于智能决策速度和质量的提升

取长补短 速质提升	数据处理（机器学习为主）	+	问题描述（运筹优化为主）	在逻辑侧对问题进行理解及分析进而建模（运筹优化），在数据侧对起因及结果的记录乃至预测（机器学习），两者构成了现实工业生产中解决问题的要件，但各自均存在不同程度的局限性，因此需要取长补短来共同服务于决策速度和质量的提升。

资料来源：爱分析整理绘制

求解器与机器学习引擎支撑智能决策高效准确实施

实现智能决策的开发与部署，需要通过求解器对运筹优化模型进行算法优化和求解，机器学习引擎对机器学习相关算法的敏捷开发。**尤其是在求解器领域，IBM等国外厂商处于先发和领先地位，在2017年前我国在此项领域长期处于技术空白。**作为支撑我国工业智能决策发展的关键核心技术，在自主可控的大背景下，拥有自主知识产权的求解器对于中国工业智能化建设十分重要。**近年来，杉数科技、中科院、阿里、华为等企业和机构陆续研发并发布了国产求解器。**

求解器——智能决策的“计算芯片”

概念原理

求解器是用于求解运筹优化问题的底层专业计算软件，能够针对多种运筹优化模型进行算法优化和求解，是实现智能决策的“计算芯片”。

复杂棘手的业务问题 → 转化为数学模型 → 在多种可能的解决方案中 → 最佳解决方案

优化目标

提升决策效率	22.5%
提高营收	12.5%
降低成本	47.5%
优化资源配置	17.5%

数据来源：杉数科技，COPT商业用户使用目的分析

国内外主要求解器横向对比

国内

求解器	机构	解决问题			首次发布时间
COPT	杉数科技	线性	整数	二阶锥	2019年5月
MINDOPT	阿里巴巴	线性			2020年8月
OptVerse	华为	线性			2021年10月
CMIP	中科院		整数		2018年3月
LEAVES	杉数科技 上海财经大学	线性	半正定	几何规划	2017年10月

国外

求解器	机构	国别	特色
Gurobi	独立公司	美国	线性+整数+非线性
Cplex	IBM	美国	线性+整数
Xpress	FICO	美国	线性+整数+非线性
SCIP	ZIB研究所	德国	整数

国内求解器发展为国产替代提供解决方案

- 在国际贸易摩擦的大背景下，我国制造业在数字化转型过程中面临技术“卡脖子”的风险，掌握核心技术越来越重要且紧迫。国内企业需要寻找技术领先的合作厂商的同时，合作稳定性和安全性，应放在极其重要的位置。
- 近年，国内企业纷纷开始了工业级别求解器方面的研发，杉数科技、阿里、华为均陆续研发并发布了求解器产品。拥有国内自主知识产权的求解器为工业发展提供了重要的国产替代方案。

机器学习引擎——高效开发

机器学习引擎是进行机器学习开发与应用的系统框架，是机器学习开发的工具。通过工具组件、开发套件、预测部署等集成包实现算法选择，参数调整，训练部署、管理监控从而高效开发。

现实效果

- 缩短开发时间
- 降低开发难度
- 削减使用成本

国内外主流机器学习引擎

Tensorflow 谷歌	开发者社区最大
PyTorch Facebook	支持基于动态计算图转换的自动微分
飞桨 百度	支持超大规模模型训练
Angel 腾讯	擅长稀疏数据高维模型训练
MindSpore 华为	使用基于源码转换的自动微分
……	……

资料来源：爱分析整理绘制

“卡脖子”难题的关键突破，国内求解器发展历程

可以将复杂商业问题“通盘考虑、统筹优化”的数学规划求解器，长期处于国外技术垄断状态，早期国内求解器发展缓慢。

自2017年10月，杉数科技与上海财经大学共同发布国内首个求解器开始，中国在求解器领域的探索开始快步迈进。2019年5月，杉数科技发布国内首个达到世界一流水准的线性规划求解器COPT，并在此基础上陆续推出整数规划求解器、二阶锥优化求解器，不断推高国内求解器技术水平。近期，也有阿里巴巴达摩院推出线性规划求解器MINDOPT，华为发布线性规划求解器OptVerse，至此互联网大厂及科技领军企业也开始全面进入求解器的研发阶段。

国内求解器研发历程

- 在通信、能源、军事、电网、航空等领域，出于保障国家重要数据安全的目的，具有自主知识产权的优化求解器和运筹优化算法平台不仅具有极大的商业价值，更具有无可估量的社会价值。
- 目前我国在线性规划求解器领域中已经拥有成熟的国产化替代方案。

2017.10

杉数科技 Cardinal Operations / 上海财经大学 Shanghai University of Finance and Economics

- 杉数科技联合上海财经大学共同发布开源求解器LEAVES

2018.3

中国科学院 CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

- 中科院数学所发布学术性整数求解器CMIP

2019.5

杉数科技 Cardinal Operations

中国首个大规模商用求解器

- 2019年5月，杉数科技发布**中国首个商用**求解器COPT
- 可求解线性规划（**单纯形法**），**性能达到世界一流**

2020.8

阿里巴巴 Alibaba.com

- 阿里达摩院发布线性规划单纯形求解器MINDOPT，**性能达到世界一流**

2020.10

杉数科技 Cardinal Operations

推出线性规划内点法求解

- 2020年10月，杉数科技推出中国首个线性规划内点法求解器，性能达到世界一流

2021.6

杉数科技 Cardinal Operations

中国首个工业级整数规划求解器

- 2021年6月，杉数科技发布**中国首个工业级整数**规划求解器，性能达到世界一流

2021.9

HUAWEI

- 华为发布线性规划单纯形法求解器OptVerse，**性能达到世界一流**

2021.10

杉数科技 Cardinal Operations

中国首个商用二阶锥求解器

- 2021年10月，杉数科技发布**中国首个商用二阶锥**求解器，性能达到世界一流

资料来源：爱分析整理绘制

智能决策应用场景地图

从公共服务、企业经营到个人生活，智能决策已经渗透越来越多的行业，赋能更多的场景，改变生产生活的方方面面。从赋能价值维度来看，不同场景各不相同，公共服务侧重保障民生，企业经营注重提高生产效率实现业绩增长，在个人层面更能强调智能决策对生活品质和便捷性的提升。

智能决策应用场景地图

公共服务

服务网络规划　市政资源调度　应急响应　交通优化　军事作战仿真

企业经营

选种鉴别
预测灌溉
农事操作决策
肥药使用决策
产量预测
……

第二产业

制造业

- **设备**
  - 预防性维修
  - 设备智能运维
  - 工艺参数优化
- **生产**
  - 排产排程
  - 生产工艺优化
  - 良品率检测
- **运营**
  - 需求预测
  - 库存优化
  - 仓储优化
  - 产销协同

电、热、燃气及水生产和供应

- 机组组合优化
- 电力（油气）调度优化
- 多样性能源管理
- 管道网络优化
- 系统运行优化
- 交易市场
- 油气供应链优化

建筑业

- 工地物料管理优化

采矿业

- 在线监测预警
- 生产过程控制

第三产业

金融

- **投资**
  - 智能投顾
  - 资产定价
  - 高频交易决策
- **保险**
  - 智能核保/核赔
  - 智能定损
- **借贷**
  - 智能催收
  - 风险管理
  - 反欺诈

交通运输

- **航空**
  - 航班规划
  - 智能恢复航空调度
  - 任务派遣空勤排班
- **轨道交通**
  - 智能运维
  - 智能检修
- **物流**
  - 智能运价
  - 港口资源调度
  - 智慧路由
  - 运输路径规划
  - AGV路线优化及实时调度
  - 仓储及配送中心选址优化

消费品与零售

- **需求预测**
  - 趋势洞察
  - 销量预测
- **补货**
  - 选品优化
  - 多级库存补货
- **收益管理**
  - 价格诊断
  - 产品周期管理
- **仓储**
  - 理货方案优化
  - 任务调度优化
- **门店管理**
  - 门店执行
  - 促销方案

医疗

- 医学影像诊断、患者需求预测

互联网

- 内容偏好预测

个人生活

自动驾驶、智能导航、营养摄入指导……

价值

公共服务
保障民生
增强国防安全

企业经营
提升生产效率
降低成本损耗
实现业绩增长

个人生活
提升生活品质
增强便捷性

资料来源：爱分析整理绘制

领先企业抢先实践智能决策场景应用，业务价值提升显著

智能决策平台根据不同的功能需求，具象化成为多种功能模块供企业选择和使用。
各细分行业龙头企业已经抢先进行智能决策能力建设，业务价值显著，部分企业已实现智能决策在产供销全流程渗透。

智能决策平台

典型场景类型	企业经营与供应链计划		智能营销决策		智能制造决策		运输优化决策		基础设施运营	
功能类型	需求计划	库存计划	定价管理	新品投放	生产计划	排程排序	运输计划	调度优化	能源优化	智慧交通
	调拨计划	补货计划	促销计划	客户画像	产销协同	物料计划	路径优化	订单履约	资源调度	低碳优化

已经进行智能决策应用的代表性企业

3C	3C	零售	零售	航空	家电	物流	汽车	商业
3C	3C	零售	零售	金融	服饰	物流	汽配	港口
3C	钢铁	钢铁	零售	医疗	轻纺	物流	物流	物流
化工	化工	化工	化工	化工	金融	金融	物流	采矿

资料来源：对杉数科技等智能决策厂商的调研

“智能决策将帮助企业实现业务跨越式变革”

实践探索：

智能决策实现工业互联网价值倍增

工业企业通过智能决策技术实现面向设备、面向生产、面向运营、面向产业链全场景赋能。工业智能决策最佳实践案例表明，智能决策已经帮助领先企业实现业绩突破与业务变革。

4

智能决策在工业领域典型场景实施路径

本白皮书重点探讨工业领域的智能决策应用。
在工业领域，智能决策的典型应用场景可以分为**面向设备、面向生产、面向运营（市场/销售/生产/供应链）、面向产业链**四大方面。
企业建设智能化的实施路径可以先从最核心的生产环节切入，同时打通端到端供应链，以及增强设备监控管理，再横向拓展到产业链上下游协同创新。

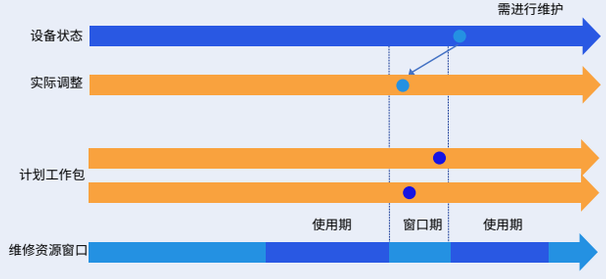
资料来源：爱分析研究绘制

智能决策在工业领域典型场景——面向设备

智能决策面向设备的应用是通过传感器、摄像头等进行设备状态数据采集，再基于机器学习、深度学习、运筹优化等技术，进行数据分析、建模，找到各种参数之间的对应关系，并在实践中不断提升算法准确度，实现视觉识别检测、参数优化、设备检修等应用。

其中智能决策中运筹优化技术的使用，可以与生产计划联动实现更合理的维修时间窗口安排，实现更高效的维修资源调度。

	传统方式		智能决策方式
视觉识别裂纹检测	依赖于人的主观观察和判断检测生产缺陷，在批量生产检测中效率低下、且标准不统一、容易误判。	VS	特征采集（摄像头等） → AI算法训练 → 不断提升判断准确率 将计算机视觉应用于对零件表面常见的裂纹缺陷的自动监测中，具有准确度高、速度快、检测结果客观、较低成本等特点。
工艺参数优化	基于试验、数值模拟或专家知识进行，成本高、效率低。	VS	获取数据（传感器等） → 分析/识别建模 → 找到参数之间的关联性及最佳匹配关系 → 指导设备运行 通过机器学习引擎的建立模型，对生产工艺参数进行自动优化，减少花费大量的人力和物力，实现特殊工艺反应提升产出，优化产品产出质量。
故障诊断与预测性检修	由于大型装备内部部件之间的复杂联系运用，传统故障诊断方式对单一设备或者系统进行分析很容易出现误诊或者漏诊，且很难预测设备故障的发生时间。	VS	部件状态监控（实时获取运行参数） → 构建运行参数与维修方案之间的关系 / 技术评估 剩余寿命预估 → 维修任务/时间窗口 根据设备部件状态及其相应的预估剩余循环寿命，进行维护工作范围评估，确定需要进行的维护任务及相应资源，结合计划工作包任务安排及基地整体维修资源，进行合理的时间窗口安排。



资料来源：爱分析研究绘制

智能决策在工业领域典型场景——面向生产

智能决策面向生产环节的排产系统是对工业企业的赋能核心，是从全局优化的视角对资源进行合理调度，即对各类生产要素的使用进行优化。相比于传统排产模式，智能决策产销协同系统在主生产计划与高级排产排程间，加入采购计划、物料齐套计算模块，不仅可以指导长期采购备货，而且可以进行需求波动监控，确保生产齐套，进而指导合理安排生产。同时智能决策产销排产系统能够及时应对突发情况，通过模拟排程得出最佳方案以高效满足插单需求，提升企业敏捷响应的能力。

传统排产模式

按订单生产

单一维度生产计划

缺点

- 整体资源无法统筹平衡
- 计划生成及调整效率低下
- 无法有效应对急单插单需求，严重影响生产计划的前瞻性和稳定性
- 线下收集效率低，信息容易不匹配且无法生成实时信息
- ……

VS

智能决策产销协同排产模式

主生产计划（MPS）

战术层计划：
确定在现有资源条件下所从事的生产经营活动应该达到的目标，如产量、品种、产值和利润。

采购计划（MRP）

物料齐套计算（IPS）

作业层计划：
结合需求、产能、物料等约束，协助排产计划的决策。

全局优化

产销协同

高级排产排程（APS）

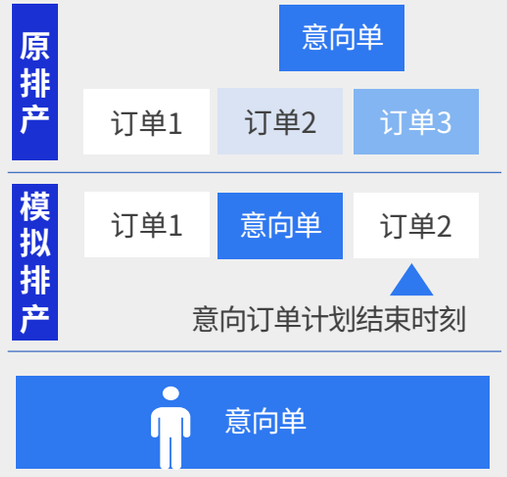
作业层计划：
根据生产实际情况，结合工序、工艺要求，确定生产经营活动的安排。

紧急插单

作业层计划：
紧急订单的快速响应。

敏捷响应

- 在智能决策的加持下，采购计划和物料齐套计算作为约束因素得以被考虑在内，使得企业能够从全局出发制定更加符合实际的生产计划。
- 智能决策提升了企业面对紧急插单需求时的敏捷响应能力。



- 生产计划排程模块可以根据当前的物料能力及资源能力，在对当前计划影响最小的情况下对意向订单进行模拟排程，从而准确回答客户订单交货期。

极大增强企业快速应对市场的能力

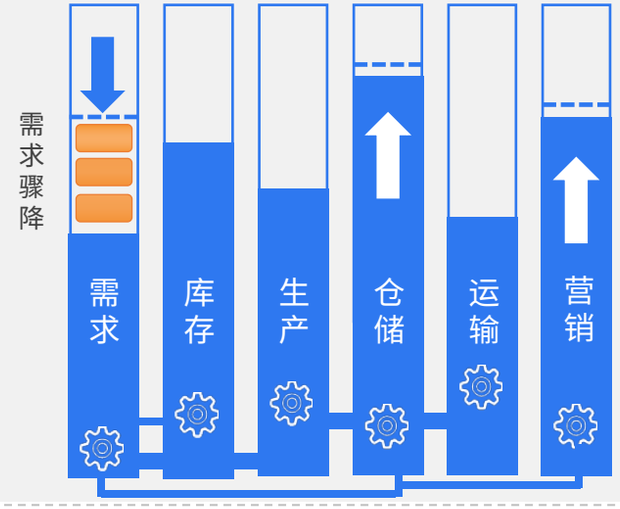
资料来源：爱分析研究绘制

智能决策在工业领域典型场景——面向运营

面向运营的智能决策能够帮助企业从局部优化到全局优化，通过全局优化视角，为企业决策提供核心优化模拟能力和扩展性。通过需求预测指导采购、生产、仓储、运输、销售等环节，实现端到端的联动互通，做到快速协同，避免生产环节间的短板制约而造成浪费或错失机会，从而达到企业经营收益最大化。

传统运营

- 需求、库存、生产、仓储、运输环节之间的传导表现出机械化、效率差的特点。
- 例如：企业在面对市场实际需求骤降时，其他环节无法瞬时响应，决策滞后导致生产计划调整迟缓，商品滞销，仓储、营销压力增大。

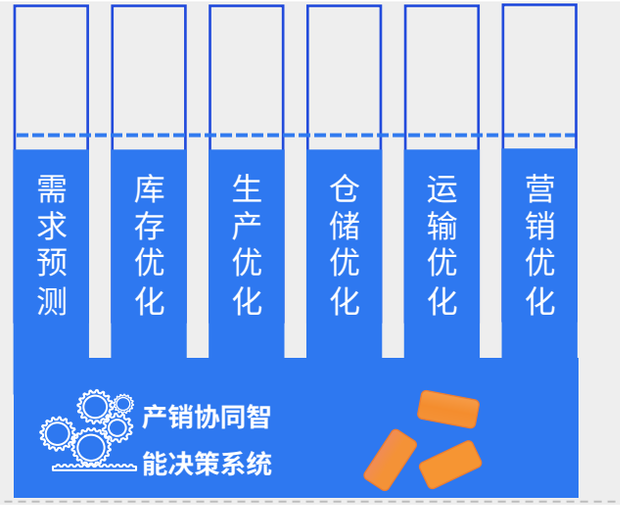


产销协同智能决策系统

- 产销协同智能决策系统中包含多个功能模块，分别对应企业实际运营中覆盖的各个环节。
- 各个智能模块之间互联互通，助力企业实现全局优化。

智能决策优化后的产销协同状态

- 企业借助智能决策手段优化了运营过程中的多个环节，再通过产销协同系统实现全局的优化和敏捷响应。
- 例如：企业在面对市场需求波动等不确定因素时，能够在全局视角下及时做出联动决策。

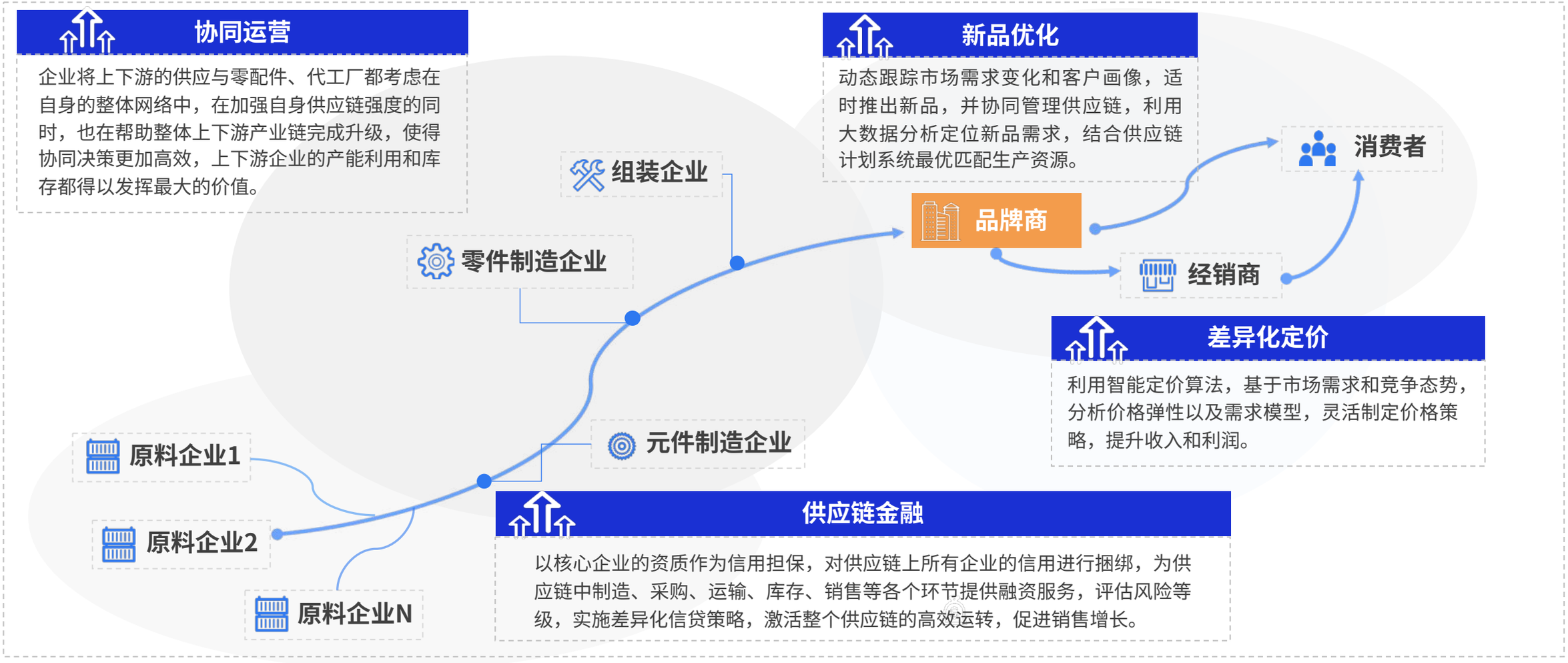


企业效益提升	智能	1天/即时	即时	计算最优	无疏漏	全	是
	传统	数天/数周	数天	靠经验	有疏漏	少	否
	例如	计划排产等待期	计划调整、会告周期	生产排期	物料齐套、产能模具验证	支持提前采购	敏捷生产支持的快反计划模式

资料来源：爱分析研究绘制

智能决策在工业领域典型场景——面向产业链

智能决策面向产业链是在打通上下游企业信息流的基础上，实现将产业链上企业整体进行各种资源统一调配，形成更加深度与高效的协作关系。
工业企业可以通过上下游协同运营进行柔性化生产，利用智能决策技术基于市场竞争进行差异化定价，通过消费者大数据分析，洞察流行趋势与市场需求进行新品优化，从而在整个供应链系统中匹配最优生产资源，同时可以为下游企业提供供应链金融服务，提升供应链效率。



资料来源：爱分析研究绘制

智能决策建设渗透程度细分领域差异明显：汽车、电子制造走在前列

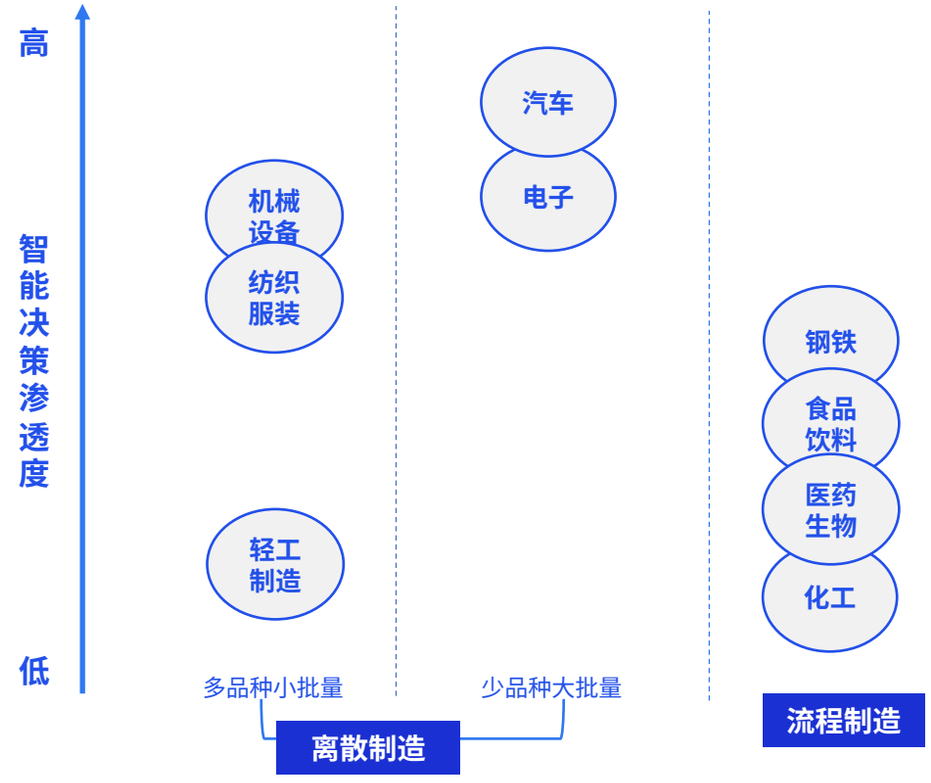
细分领域智能化程度呈现差异化发展，多数赛道头部企业已开始将智能决策应用于供应链协同、柔性生产等环节。

从行业上看，当前智能决策已经从应用程度比较高的汽车制造业、3C电子制造业，逐步向机械、钢铁、纺织等行业渗透，覆盖离散制造与流程制造典型行业。

工业领域细分行业智能化的应用概况

制造类型	典型特征	细分行业	典型应用
离散制造	➢ 工序分散 ➢ 个性化需求多 ➢ 同质化问题严重 ➢ 产品更新快 ➢ ……	汽车 电子 机械设备 纺织服装 轻工制造 ……	➢ 按需定制 ➢ 研发设计协同 ➢ 供应链协同 ➢ 资源调度优化 ➢ 生产制造优化 ➢ 柔性生产 ➢ 设备状态检测 ➢ ……
流程制造	➢ 安全风险大 ➢ 流程管控要求高 ➢ 污染重 ➢ 能耗高 ➢ ……	钢铁 化工 食品饮料 医药生物 ……	➢ 设备状态检测 ➢ 绿色生产 ➢ 工艺优化 ➢ 供应链协同 ➢ ……

细分领域头部企业智能决策渗透程度



根据申万二级行业分类，选取工业领域典型细分行业分析智能决策发展渗透程度：

- （左图）工业制造按照生产类型可分为流程制造和离散制造，因行业主要特征不同，所以在其细分行业内均有不同程度的应用。
- （右图）根据2021年9月份公布的财务数据，研究对象为工业领域主要9类细分行业以营收计TOP10企业（共计90家）。

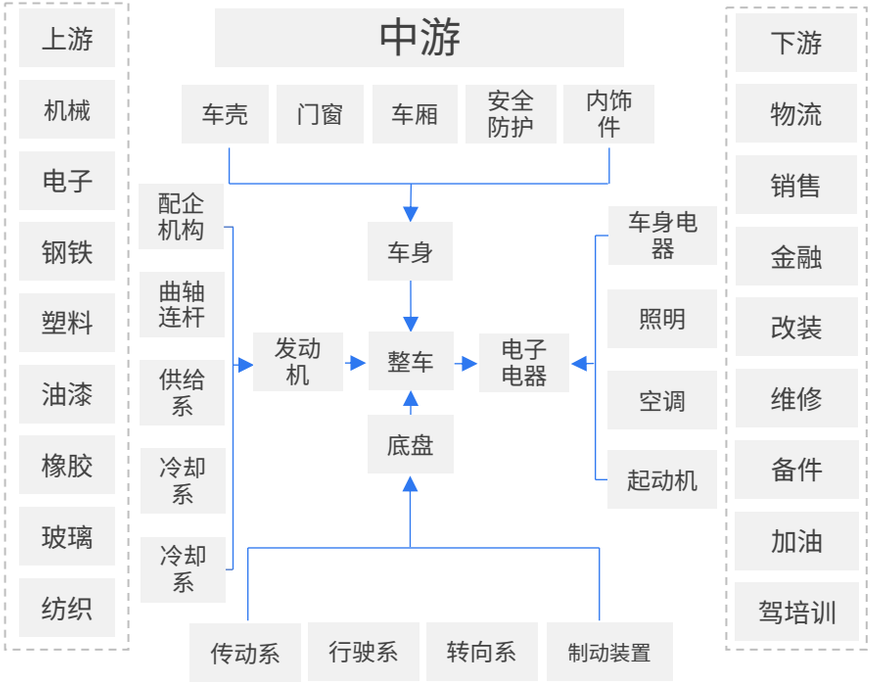
资料来源：上市公司年报、爱分析研究绘制

汽车制造业——供应生态复杂变化，智能决策推动精益管理

整车行业供应链复杂，受疫情影响与全球产业链分工不同，日韩与德系零部件制造企业供应链受阻，全球整车制造正经历一场巨大的行业变革。
新能源汽车在中国落地开花，传统车企纷纷成为新势力造车品牌代工厂，新型供应链与造车生态加速形成，主车厂生产模式多样需求复杂化。

供应链复杂需要精益管理

- 从生产类型划分，整车制造属于典型的离散制造业。
- 上游拥有数万零部件，对应多层级供应链体系。
- 供应链的高度复杂决定了对整车的订单、生产、物料进行统筹规划的难度。

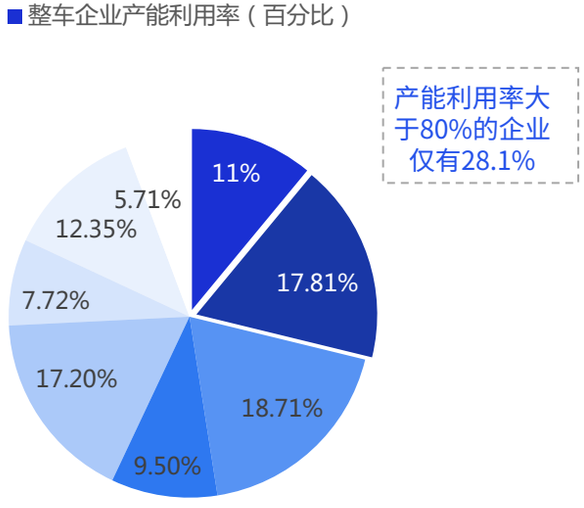


燃油车产能过剩，新能源汽车产销两旺，主机厂生产需求日益复杂

产能两级分化，新能源汽车发展成为最大变量

- 近年来，我国汽车销量增长乏力，整车制造业整体产能严重过剩。
- 整车行业迈向以需求驱动为主导的新阶段，新能源汽车快速发展也在对传统汽车供应链进行重塑。

2019年我国整车企业产能利用率范围占比



注：国际标准普遍认为将产能利用率在79%~83%之间作为正常值，产能利用率低于79%则视为产能过剩。

新型供应链体系正在变局中形成

- 新型供应生态圈以用户为中心，进行灵活精准的定制化生产。
- 新型供应生态将变传统串联模式为并行工程，减少中间环节，最大限度地提高资源配置效率。
- 产业链上下游在数据流、信息流、现金流的输入与输出方面将实现更多触点。

新能源汽车入局，生产类型复杂化

- 蔚来、理想等造车新势力汽车厂商，也为传统车企提供了代工机会，以力帆、江淮等国内汽车制造第二、三梯队的主工厂解决过剩产能的同时获得纯代工订单成为新常态。
- 相比燃油车，新能源汽车的核心零部件，比如主要动力电池企业和产能，其全球布局更为广泛。同时，全球一些零部件产业的布局也在逐步向亚洲特别是中国转移。中国已成为新型供应链中动力电池主要的供应地之一。

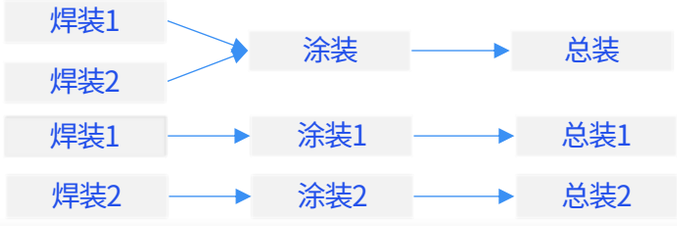
资料来源：爱分析研究绘制

一汽大众：智能排产实现单车成本最小化

一汽大众汽车有限公司是我国第一个按经济规模起步建设的现代化乘用车生产企业，产能布局五地六厂，产品覆盖三大品牌共20余款产品。
公司混合生产线情况复杂，排产难度极大，人工排产耗时低效，无法定量分析考虑能耗成本。
通过智能决策系统生成单车成本最低的生产计划，有效降低成本的同时提升产能，提升物料筹措过程中的准确率，减少浪费。

背景需求

- 一汽大众混合型生产线情况复杂
- 针对一对多生产线及JPH不同的情况，排产困难度极大



人工排产弊端

低效率	人工排产速度慢，加之人工排产为计划讨论和调整留下充分余地，导致计划平衡周期过长，效率极低。
高成本	每年能耗超过18亿元，生产成本高。
不全面	人工排产无法统一优劣标准，全面定量分析，同时满足产线要求和经济性要求，例如能耗成本在当前排产中不会考虑。

一汽大众希望通过智能排产，通过精准需求的计划指导资源筹措，实现成本最小化

解决方案

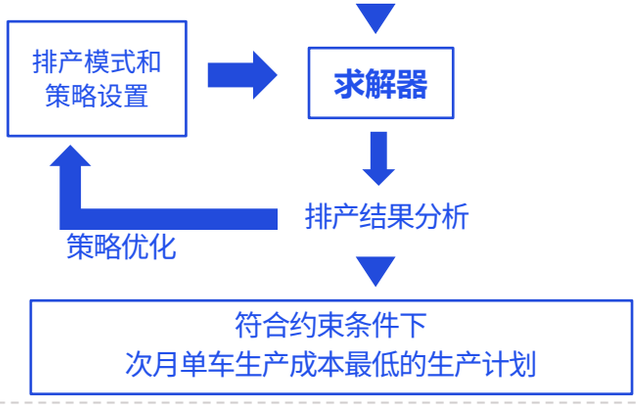
数据输入
班次信息 销售预测
排产周期
……

+

排产约束满足
JPH 需求满足
产量均衡
……

目标

月单车生产成本=
（Σ月能耗成本=Σ月人工成本+Σ月后勤成本）/Σ月产量



杉数科技 Cardinal Operations × 一汽-大众 FAW-VOLKSWAGEN

效果价值

行业收益

- ✓ **提升管理水平：**提升车型整个BOP需求的精准度，进一步提升了生产管理的精细程度
- ✓ **提升筹措准确率：**提升物料需求的准确率，更好的指导供应商生产
- ✓ **降低成本：**通过提升需求准确率提升供应满足率，降低库存，进一步减少筹措过程中的浪费，减少成本

价值转化

- ✓ 一汽大众五地六厂，节约生产成本**1000万/年/厂**
- ✓ JPH提升1%，贡献产能**1万台**
- ✓ 平衡周期5天减少至2天，减少设备停产2%，贡献产能**5000台**

上汽通用：以平准化生产排序为纲，实现均衡化物料需求

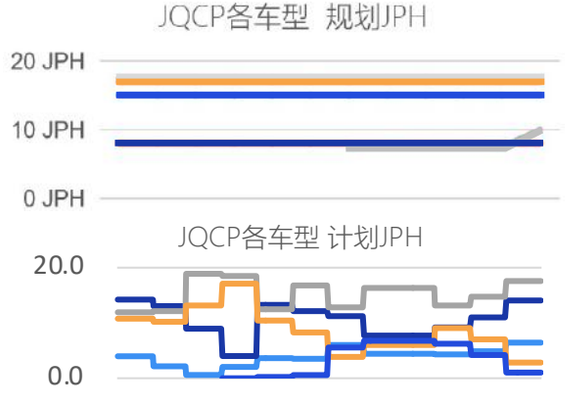
上汽通用作为国内龙头整车制造厂之一，在本土化发展过程中，国外整车厂信息化工具无法满足国内生产制造实际的需要，原先的手动工作方式已经成为制造智能化、精细化的发展瓶颈。为了提高生产计划效率，迎合国内制造数字化的趋势，该企业通过建设智能排产系统实现了排产和物流优化。

背景需求

上汽通用某主机厂拥有三个车间，可同时生产五种车型。原有的排产和物料计划规则是三个车间按照同一序列、取最长的路径，再按同一节拍打散到物料需求。

在实际生产过程中，产生了如下问题

- 整车排产月度计划JPH与规划JPH存在较大差异



- 所有车间共用一个排序计划
- 车身子线与主线生产、工厂级制造计划（JPH和序列）不一致

这些问题导致

- 各类物料需求不均衡
- 物料实际需求量与预测值有较大波动，出现溢库和紧急拉动
- 实际物料运输车次&装载率波动

解决方案

➢ **整车平准化排产**
- 优化输出符合各区域生产规则的平准&循环排序计划，以达到均衡货量的要求。

➢ **分车间排序**
- 按工艺要求和物流最优制定分车间排序计划，确保各车间排序计划与实际生产规则一致

➢ **车身分子线排产**
- 改进系统功能，车身实时制造信息采集与跟踪，实现重排序更新
- 单独制定子线排序计划，提升子线计划与实际生产匹配度

Input → **VAPSS** → **output**

业务数据
- 汽车订单（车系-车型-配置等）

算法数据
- 静态业务约束规则
- SAP Leadtime约束规则
- 固定算法参数

VAPSS输入

intermediate
初始值
动态约束算法可配置参数算反
简易版产能日化生成

内部算法模块流转参数

业务数据
- BS序列
- PS序列
- GA序列
- 3个车间计划下线时间
- 评价指标statistics
- 约束违背统计分析report

VAPSS总输出

杉数科技 Cardinal Operations × 上海通用汽车 SHANGHAI GM

效果收益

整车数字化排产系统应用让上汽通用实现更精准、更高效、更均衡的排产目标，实现了精细化的物料拉动，降低了物流成本。

基于整车排产优化项目对入厂运输效率的提升，结合各路线/供应商结算模式，预计年化收益达**数百万**。

↑ 计划拉动物流车次运输效率 提升 **10%**

↓ 日均运输管理费用 降低 **7%**

“生产+供应+仓储+物流”全面整合，创造主机厂全局优化新模式

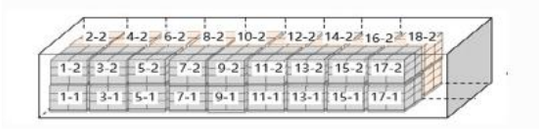
整车生产装配涉及众多供应商与上万种零件，为保证平稳生产，供应、仓储及入场物流都面临解决复杂约束问题的挑战。
通过智能决策技术，将实现“生产+供应+仓储+物流”的全面整合，从局部优化到全局优化。
例如：通过配送路径与运输车辆装载率联合优化，助力整车企业实现产前供应链更深层次的精益管理，达到降本增效的目的。

行业困境

- **生产平准化要求：** 需要平衡各个零件消耗速率与仓储面积。
- **车次路径复杂：** 场外库数量多，且呈多地分布，入场物流运输需要更科学的规划。
- **装载率问题：** 车辆装载率低，造成资源浪费。

配载组垛

- 配载难度高
- 组托计算逻辑多
- 组垛车型多



路线规划

- 需考虑多个维度，例如：交付时间与成本，订单类型，距离（区域）
- 业务场景复杂，存在DC,RDC,LOC等等
- 同一场景下多条线路

解决方案

预处理

- 提取站点间距离矩阵
- 体积数量转化
- 根据拉动需求和拼托结果生成配送时间窗
- 生成配送运单

优化目标 总车次与总里程数min 装载率max

建模求解

初始化车次

Hub优化算子 | 车次优化算子 | 单车TSP算子

车次输出

后处理

可视化车次按托汇总，输出车次指标

单车装箱调整

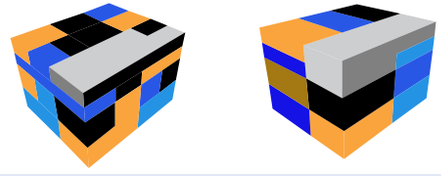
- 考虑提卸货的站点顺序，决定在车厢内的装箱位置
- 考虑托盘之间的码放规则，最大化装载率

效果收益

保障生产稳定，降低仓储面积需求
使得大链路更加通畅

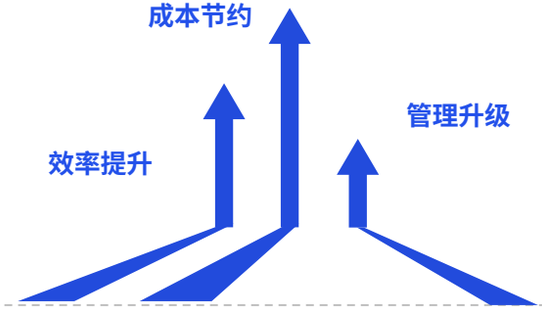
标准箱型的智能化拼箱、拼托
提高卡车装载率，降低卡车送货频次

拼托码放



调度实现自动化，节省人力成本和运输成本

节约场外库面积



化工行业：产销失衡并面临环保挑战，智能化转型成破局方向

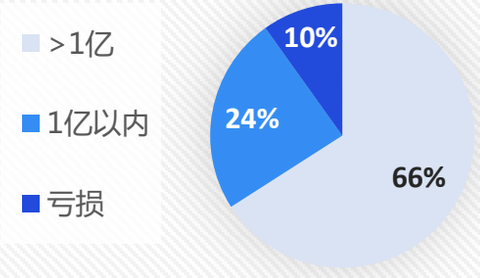
化学工业曾随着经济快速发展壮大，成为我国重要的支柱产业之一，但随着数字经济的不断发展，大多数企业逐渐成为附加值低、产能落后的传统型企业。高污染、高耗能的特性使得化工行业亟待转型。且部分行业产能过剩严重，利润率低，与“绿色制造”格格不入，对于化学工业企业而言，工业互联网智能化转型则是适应新时代发展的唯一出路。

生产特征显著	配置	综合利用资源	对资源配置的要求	生产资源最优配置
	生产过程	生产配比严格、中间产品多	对生产连续性的要求	生产排程追踪
		高耗能、高污染	对环保合规的要求	工艺精细化管理
行业竞争加剧	市场环境	同质化竞争严重	对营销体系的要求	营销体系革新
		附加值低产能过剩	对产销联动性的要求	产销协同运营
	设备	自动化水平高，仪器仪表类设备为生产流程中创造海量数据，标准化程度高		生产数据高效利用

化工行业3成以上上市企业盈利微薄甚至亏损

根据2021年9月公布净利润数据，A股化学制品行业上市公司273家，其中24%的企业净利润不到1亿元人民币，10%企业处于亏损状态。行业整体经营压力大。

化工行业上市公司利润率分布比例

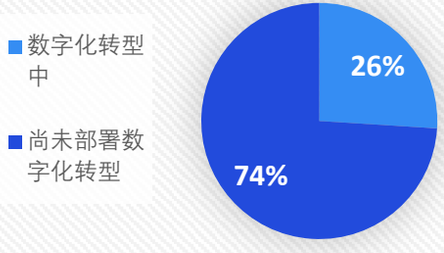


数据口径：2021年9月份公布财务数据
净利润TTM：最近发布的四个季度净利润累计值

数据来源：
上市公司年报、爱分析研究绘制

化工行业整体数字化渗透率低，7成以上上市公司未部署数字化建设

化工行业上市公司数字化转型比例
（营收CR50）



数据来源：
上市公司年报、爱分析研究绘制

爱分析根据2021年9月份公布的财务数据，按照营业收入对A股化学制品行业前50家企业进行了扫描，其中有13家企业对数字化转型做出了部署。

资料来源：爱分析研究绘制

六国化工：行业需求难以预测，响应速度跟不上市场变化错失良机

六国化工是集化肥、肥料、化学制品、磷石膏、矿渣等生产、加工和销售为一体的上市公司。化肥生产具有明显的淡旺季周期性，且化肥品种多竞争激烈，如何匹配市场需求，生产合适种类的化肥实现收益最大化，成为亟待解决的现实问题。而六国化工供应链计划仍在线下靠手工制定完成，效率低，急需一套方案实现产销快速协同，快速响应市场。

背景介绍

行业背景

- 化肥产品季节性强
- 寄售占比过高
- 同质化严重，竞争激烈，产能过剩
- 销售链条过长
- 环保安全对工艺的高要求

企业现状

- 业务覆盖的产品种类多、地域范围广、销售渠道复杂

100+品种 250万吨化肥 三季市场	7家子公司 18个销区 30个省份	1600个经销商 2万个电商 200+名销售员

- 经销商、子公司、集团缺乏统一的市场认知，改革阻力重重

业务痛点

- 供应链计划手工制定，耗时长（3周），可执行性差（粗颗粒度并存在大量反复调整过程）。
- 旺季销售难预估：从前采用“拍脑袋”形式根据历史销量进行预估，且无法精确到不同化肥种类。
- 难以合理安排库存
- 旺季产能不足、淡季滞销，在不同化肥种类之间产生了既产能不足又产能过剩的畸形状态。
- 信息流单向流通，效率低

传统需求预测

决策层主观判断 + 历史数据 / 价格折扣 / 产品信息 / 业绩指标 / 营销信息 / ……

目标诉求

提升产销协同能力

- 降低缺货概率
- 减少不必要的紧急订单
- 减少滞库存

提升市场响应速度

- 提升需求预测、需求响应能力

提高投入产出比

- 资源合理分配
- 增加销售机会

主要指标

- 周转率：反映库存周转速度快慢
- 产能利用率：反映淡旺季产能利用情况

- 响应周期：反映生产制造及供应链对市场需求波动的响应能力

- 总成本：体现生产、运输、仓储成本分配
- 投入产出比：体现生产决策

亟须提升精细化管理能力

六国化工：构建全局可控产销协同系统，打造企业精细化管理能力

六国化工通过建设产销协同智能决策系统实现了智能化升级，通过更加合理地安排生产物料资源，实现利润最大化。企业利用销量预测，掌握市场动态，合理规划企业供应链；产销协同的智能决策系统实现了以利润为导向，指导整体采购、生产、库存、发运。同时通过优化产能规划与生产工艺，进一步符合环保控制要求。

产销协同智能决策系统

- 六国化工在每月的“计划评优会”上借助“产销协同职智能决策系统”，对潜在可能出现的场景进行模拟，并查看相应场景下的结果，以便做出最优决策，用于直观地指导后续生产、销售、采购等计划。
- 高效的协同模拟可以帮助企业将偶发变动因素（例如：偶发急单插单计划）快速可视化，得出现有生产计划影响最小、生产成本最低的方案。

杉数科技 Cardinal Operations × 六国化工

需求预测

内部信息

SAP　ERP　SMS　一线销售数据反馈　……

外部数据

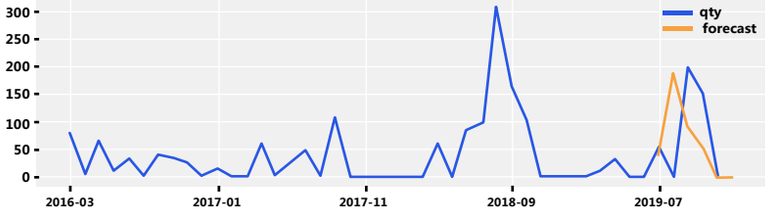
行业数据　政府公开　地理经济　媒体　……

数据打通　深度学习、定制建模

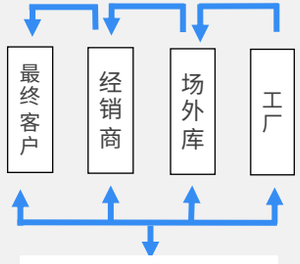
概率预测方法

产品A需求　产品B需求　产品C需求　……

某类化肥区域销售预测



库存优化

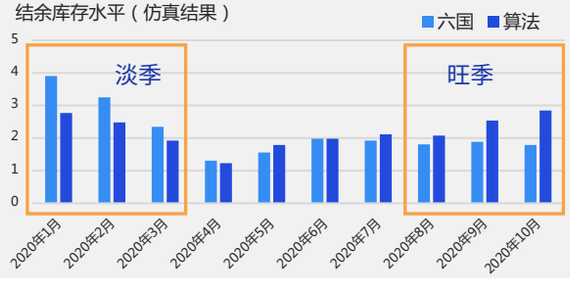


多级库存联动优化

动态安全库存优化

对六国化工库存进行全局优化，统一调配全国可用化肥库存和仓库资源

库存仿真



生产优化

智能计划排产

将提报的下个月的销量预测分配到每个工厂，输出成本最优&实际产量最匹配的产品生产计划

智能排程

恒定生产速率下当前月份的天度生产任务安排

动态的计划调整

订单交期预估
急单插单排产

提质增效成果

库存周转率提升超过	10%
库存积压降低	20%
仓储成本预计降低	2000万
运输费用降低	5%
需求计划生产计划人力投入时间减少	50%
部门间协同效率提高	20%
市场响应速度及客户忠诚度提升	5%

3C电子制造业——业务瓶颈复杂交错，竞争激烈且易受市场波动

3C电子制造业相对于整体制造业领域而言发展成熟，产业链构成完整。因消费升级与技术革新的带动，拥有企业之间同质化严重、技术更新速度快、产品生命周期短，库存积压严重等特点。同时，不同类型企业因战略驱动、横向扩展、特殊需求等动因，都在智能化转型过程中亟需智能决策帮助企业实现更敏捷的智能排产，从而提升市场竞争力。

行业特征鲜明，业务瓶颈复杂

行业特征：

- 3C产品零部件数量众多，以非标产品为主，体积小、精度要求高
- 产业链构成完整，分工明确
- 以OEM/ODM模式为主

业务瓶颈：

- 企业之间同质化严重，竞争激烈
- 技术更新速度快，产品生命周期短，导致库存积压严重

3C电子制造业产业链示意图

上游：电子元件	中游：生产制造			下游
显示屏	电脑	通讯	消费电子	品牌商
外壳	PC	无线通讯设备（手机）	智能家居	↓
PCB	平板	用户终端	相机	经销商
电池	硬件	交换设备	耳机	↓
芯片	周边	传输设备	音响	零售商
摄像头			电视	

不同类型智能化转型动因，拥有相同智能决策应用诉求

① 战略驱动型

- 企业发展战略调整，原来的生产方式无法满足新的发展需要

制造模式转型 → 大规模批量制造 → 用户定制发展规划，小批量多型号订单到工厂

集团战略转型：快速满足用户需求的最佳体验

排产模式转型 → 人工周单排产模式 → 全流程联通，订单即时下单，即时排产

- 智能排产排程
- 需求预测

② 横向扩张型

- 从单一产品到多品类、多工厂的行业巨头

企业从某一垂直细分领域逐渐扩张，成长为覆盖多品类、拥有多工厂的行业巨头，大规模协同需求激增。

通过与下游品牌商实现高度协同，提升供应链敏捷性和生产柔性，实现降低存货成本、库存成本、物流运输成本的目标。

- 智能排产
- 生产协同
- 原材料协同
- 送货协同

③ 特殊需求型

- 特殊生产过程需求不同，约束条件较多

行业特殊性需求，如共用料、专用料的计划、管理、分配、领用约束较多，人工管理复杂低效，需要提升管理能力。

以物料齐套为核心出发点，综合考虑销售订单、库存、采购计划、采购订单、交货单等因素，进行业务优化。

- 交期反馈
- 日交付计划
- 排产计划

资料来源：爱分析研究绘制

海尔集团：生产计划系统帮助企业真正实现工业4.0

海尔冰箱在全球拥有10大研发中心，30座互联工厂，6大品牌集群，覆盖全球每一个本土市场，以往基于单工厂业务场景的排产流程，随着企业规模不断发展，已经不能满足业务需求。海尔集团在卡奥斯COSMOPlat工业互联网平台基础上，采用杉数科技智能生产计划系统，实现了自动化柔性排产，取得了多种收益。

背景需求

➢ 核心痛点：

该企业目前依靠人工经验，进行手工排查，构建了一套基于单工厂业务场景进行加工计划排产的流程，随业务发展，单工厂的计划排产系统已经不能满足客户业务的需求，需要大量的人工干预，严重影响生产效率。

- 计划生成及调整效率低下
- 整体资源无法统筹平衡
- 线下收集效率低，信息容易不匹配
- 无法实时展示
- 无法实现自动化推送等系统功能

➢ 需求清单：

- 考虑未来一至二周订单在兼顾生产效率的同时减少换模次数
- 考虑工厂的物料供应限制、产线产能限制、模具使用规则限制，订单优先级限制，一次自动排产到产线，输出该工厂内的天加工计划指令
- 智能识别异常，支持业务自主分析
- 共计推广复制：9家工厂

解决方案

➢ 核心目标：

在卡奥斯COSMOPlat工业互联网平台基础上，通过智能生产计划系统，帮助企业真正地实现自动、智能的生产计划，从机械繁复的工作中解放计划员，实现企业供应链更加柔性的进行整体计划安排。

智能计划引擎

输入

- 基础数据：BOM、日历规则、加工周期
- 工厂库存
- 加工计划需求
- ……

9个工厂

3000+个产品

1周内销+外销需求

上百万种可能计划

百万级限制条件

输出

- 天颗粒度 产品详细加工指令
- 秒颗粒度 时序生产计划
- 产品未满足 订单详情
- 订单、换模次数KPI统计

杉数科技 Cardinal Operations × 卡奥斯 COSMOPlat × Haier

收益成果

20% 订单满足率提升

30% 产能损失率降低

50% 换模次数降低

70% 人工排产干预降低

1min 单次运算时间不超过

9+ 推广上线工厂数

舜宇光电：以产供销协同为基础，全局优化实现物料分配智能决策

舜宇光学科技集团是全球领先的综合光学零件及产品制造商，信息化和数字化建设处于行业领先地位，而通用的工业生产运营系统无法满足舜宇光电在销售订单、生产状况、库存水平等动态多约束条件下进行物料的计划、分配、领用需求。通过以产供销一体的思路进行物料分配，舜宇光电实现了智能化物料管理，并带来了生产、库存和运营各环节协同优化效益。

背景需求

物料分配需考虑齐套问题，共用料问题，以及外部影响因素动态变化问题，决策复杂

- 光电元件所需零件种类繁多，且需要严格配套，物料齐套工作复杂。
- 不同订单之间部分种类物料可共用，共用料按单分配难度大。
- 外部订单需求、库存水平、生产状况等因素动态变化，物料分配方案也需动态调整。

物料分配多环节需要人工干预，弊端明显

- 按客户分配的物料采购与库存依靠人工计算统计，准确率、清晰度与效率低。
- 系统发料信息依靠线下传递，多方线下沟通占用大量人力与时间。
- 专用物料挪用分配依靠手工记录，易出现物料混用情况，加大客户投诉的风险，另外导致生产计划重新排产分配，增加生产成本。

解决方案

目标

- 计划齐套检查
- 客户二级物料计划
- 生产齐套检查

基础约束
物料主数据
BOM主数据
供应商主数据
……

订单需求变化
订单优先级
订单类型
交货日期
……

库存采购变化
客户锁定库存
库存现有量
到货日期
……

物料智能分配决策平台

生产状况变化
计划完工日期
订单类型
交货日期
……

输出

- 物料供应分配建议
- 采购计划建议
- 客户库存挪用建议

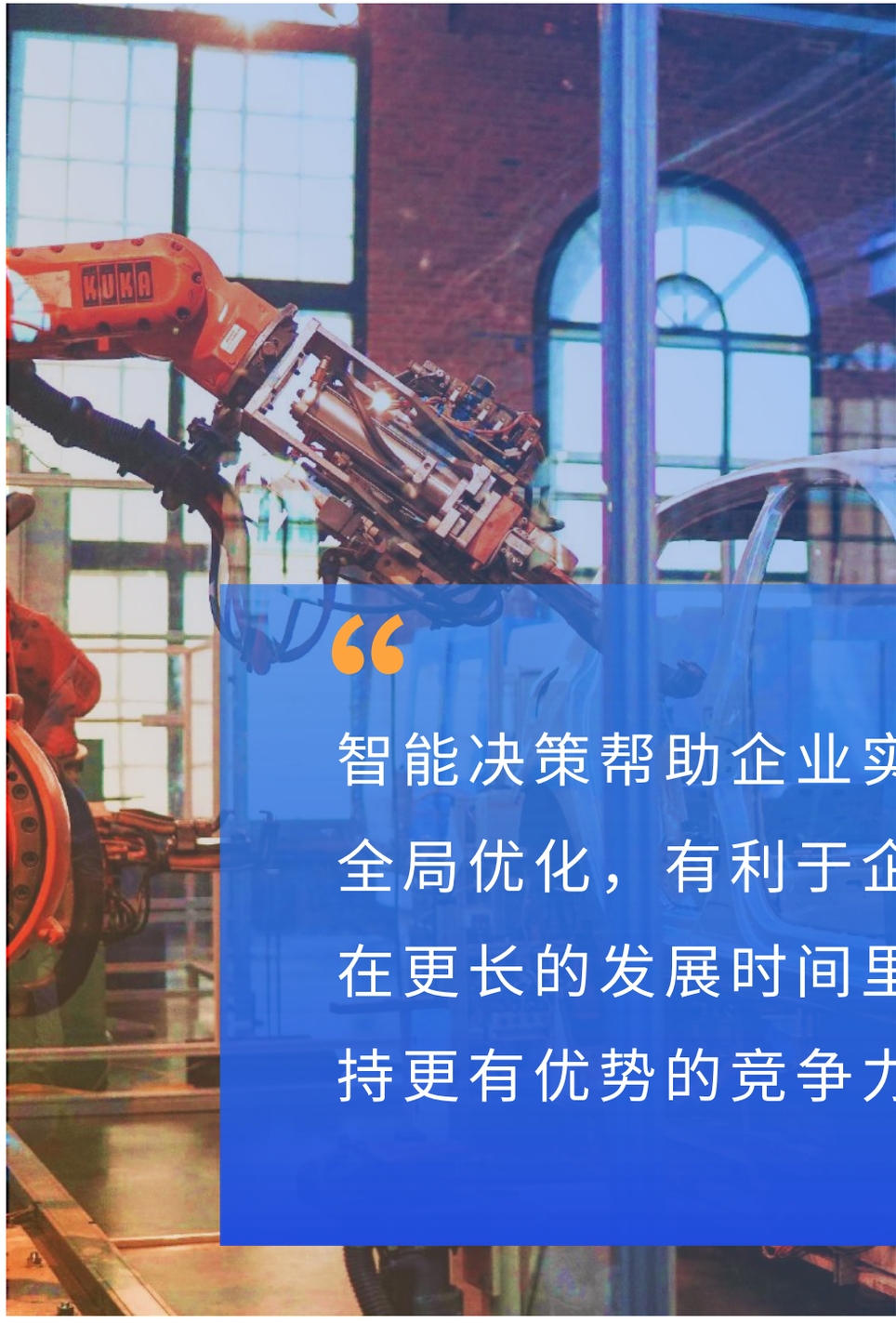
杉数科技 Cardinal Operations × 舜宇光学科技 SUNNY OPTICAL TECHNOLOGY

效果收益

- 线上双层自动齐套检查，减少人工核算，提高数据精度，提升决策效率
- 完成数据协同打通，加快决策速度
- 减少原料缺货，降低库存周转，提升客户满意度

↑ 订单达成率 提升 **10%**

↓ 库存周转天数 降低 **7%**



“智能决策帮助企业实现全局优化，有利于企业在更长的发展时间里保持更有优势的竞争力。”

躬身入局：

工业智能决策应用落地方法论

—

智能决策落地核心在于智能决策平台的建设，选择拥有技术和丰富落地经验的合作伙伴，有利于智能决策系统快速部署，快速见效。

5

工业企业智能决策建设常见的四大误区

工业企业通常在智能化建设时存在几个方面的误区，软硬系统的一体化打造、流程组织和系统的协同、打通数据壁垒等方面对企业的数智能化建设至关重要。

误区1
重设备智能化，轻系统柔性化

- 各类硬件之间独立，无法串联
- 各部门之间信息传输效率低下
- 缺乏中控核心的指挥系统

智慧工厂不是智能设备的简单堆砌，需要由统一高效的算法调度

- 打通软硬件之间的信息壁垒
- 深度结合实际场景的专业软件
- 建立一体化的软硬件系统

误区2
重前端展示，轻底层逻辑

- 数据的简单展示和堆砌
- 缺乏数据的深度挖掘和分析
- 无法真正指导业务决策和体现价值

数字化分析看板≠真正的商业智能，分析与决策更重要

- 打通业务环节的数据孤岛与烟囱
- 数据挖掘和建模深度结合业务场景
- 建立数据驱动决策的业务变革

误区3
数字化转型≠信息化转型

- IT部门搭建数据业务中台就算完成转型
- 所有业务流程有IT系统就算完成转型
- 所有决策都有数据支撑就算是完成转型

流程、组织、系统及科技需要协同作战

- 企业高层亲自挂帅
- 建立起专职的数字化职能部门/CDO
- 由“虚”到“实”构建数字化职能组织

误区4
规划时间过长

- 整个规划周期跟不上业务变化
- 独立子模块之间打通的成本非常高
- 咨询方案，重流程而不重产出

数字化转型规划需要敏捷开发，定期复盘，快速迭代

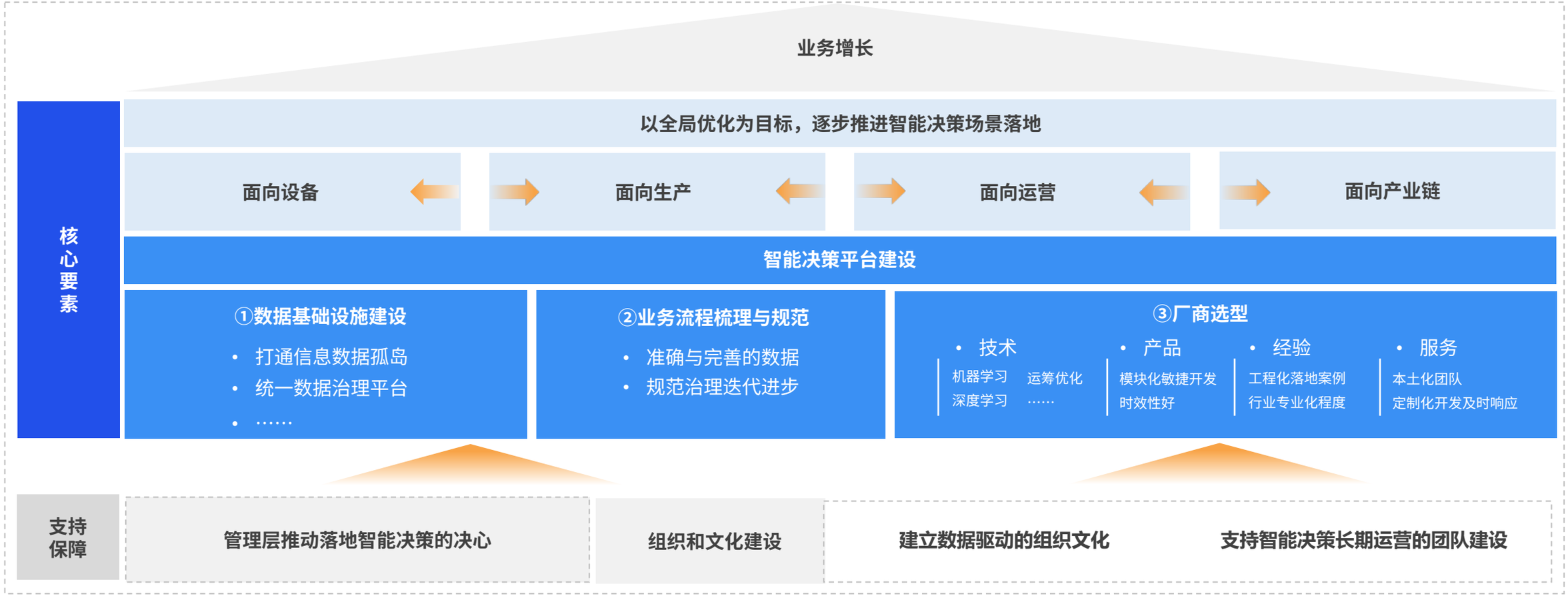
- 设置专项团队，消除信息壁垒
- 定期对业务现状与规划之间进行分析
- 快速迭代数字化转型方案，小步快跑

智能决策应用落地方法论

工业企业在推进智能决策应用的落地过程中，需要有体系化方法论支撑，以保证建设过程和结果可靠。

建设智能决策平台，并选择最佳业务场景落地，是智能决策应用的核心要素。平台建设方面，工业企业需要具备一定的数据基础，并选择拥有较强技术、产品、落地经验和服务能力的厂商作为合作伙伴。业务场景选择方面，工业企业需要以全局优化为目标长远规划，并从自身业务情况出发，定位智能决策场景的优先区率先落地，有助于快速实现收益。

管理层推动智能决策落地的决心，对业务流程进行梳理与规范，匹配的能够支撑长期运营的团队和数据驱动的组织文化，是智能决策建设的支撑保障。



资料来源：爱分析研究绘制

全局优化视角下，智能决策场景落地需要优先级规划

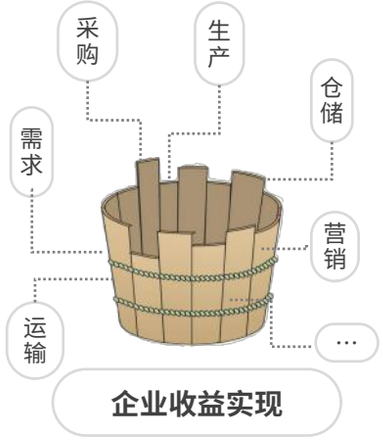
工业生产各环节成本关联性强，有相互制约性，仅考虑单一环节成本最优则会陷入“木桶效应”，所以智能决策应以全局优化为目标实现企业综合收益最大化。在实际操作中，工业企业可根据业务场景数据基础完备程度以及潜在收益ROI综合考量优先场景进行智能决策落地建设。

全局优化

智能决策应用要以全局优化为目标

企业总体收益的实现需要生产、营销、仓储、运输各环节之间相互配合。仅在局部优化，优化的环节会受到短板环节的掣肘，无法发挥出应有的价值。

企业从原材料到最终交付的完整链条当中。各环节成本之间呈现出“跷跷板”式的关系，往往牵一发而动全身，因此必须全局优化，统筹考量。

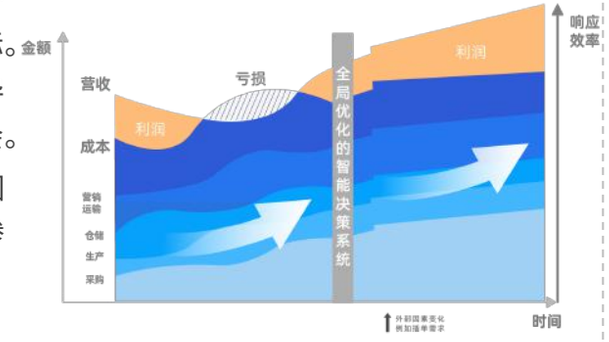


全局优化以企业综合收益最大化为结果导向

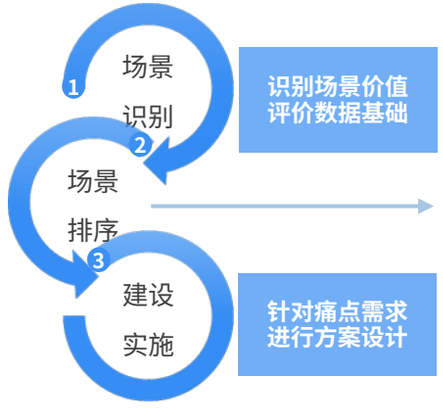
全局优化的智能决策系统将打通各部门、各生产环节之间的“信息孤岛”，利用全局优化的视角，综合考虑产供销各个环节中的成本，达到降低总成本的目标。防止陷入“木桶效应”的短板制约，导致投产比差，资源浪费，错失发展机会。

由于智能决策结果是综合所有内外部因素后的智能产出，所以全局的部署和渗透才能使智能决策效果贴近理想水平，真正地决胜于市场竞争。

智能决策全局优化
企业“收入-成本”示意图



场景优先级



不同生产模式优先区场景

订单式生产
- 订单模拟、产销协同

库存式生产
- 库存水位控制
- 多级库存网络优化

装备制造类
- 质量监测

其他流程制造
- 物流仓储优化

指标影响因子分布

潜在收益ROI

- 缩短的业务决策时间
- 节省的人工工时
- 减少的全职员工人数
- 准确率的提高
- 复购客户的提升
- 市场有效触达范围和次数提升……

数据基础完备度

- 数据完备性和可获得性
- 输入的标准化程度
- 结果输出可标准化程度
- 场景联动数量
- 软件兼容性……

资料来源：爱分析研究绘制

智能决策厂商选型要综合考量四大维度

选择智能决策厂商需要综合考量技术、产品、落地经验、服务能力四大维度。面对更为复杂的生产场景以及应对企业敏捷性的要求以流程控制、传统规则式的解决方案，逐渐显现出低效性，在工业4.0时代，机器学习与运筹优化结合的智能决策，可以应对要素条件、组合方式、配置效率发生改变等复杂条件下多约束求最优解，成为工业互联网建设中解决复杂场景问题的主流技术路径。

		3.0时代——工业信息化		4.0时代——工业互联网		
技术	技术路径	规则式启发式规划系统	工业领域规划系统多数采用规则式和启发式算法，随着业务场景复杂度增加，仅能作为替代用户计算，从而快速得到可行的规划方案，但是无法保证方案全局最优，也无法量化方案结果。	机器学习	通过以机器学习、深度学习、强化学习为代表的技术，对数据特征进行分析建模，并通过模拟仿真或实践数据，对预测类问题不断迭代优化。	• 需求预测 • 工艺优化 • ……
				机器学习+运筹优化	多种机器学习算法与运筹优化技术交叉融合，利用求解器在多约束条件下对复杂问题建模求解，成为目前工业智能化建设最新的技术趋势，更代表未来智能决策应用的主流技术路径。	• 生产排程 • 路径优化 • ……
	自主可控	近年国际形势变化、经济贸易摩擦升级，国外厂商合作稳定性不可控，尤其在人工智能等高新技术领域的来自国际的经济封锁尤为严重，对于企业来说，为了避免经济投入沦为沉没成本，更稳定更长线的合作伙伴显得至关重要。		我国已将工业化数字转型的自主可控上升至国家经济战略层面高度，并出台多份政策文件做出指引。故国内厂商的选择是企业数字化转型更为长线考虑和优质的选择。		
产品	模块化	匹配多场景需求	敏捷开发	产品快速落地	收益快速见效	有丰富的模块化产品匹配工业企业复杂的场景需求是选择智能决策厂商的重要考量因素，模块化产品无须从0到1开发，整体研发周期短，产品可以快速上线，收益可以短期见效。
落地经验	工程化落地案例丰富	行业专业化程度高	场景贴合度高	工程化落地经验丰富的厂商，在应对复杂的定制化需求时的综合能力更强，同类行业案例越多，有助于厂商提升垂直行业专业程度，对企业需求痛点理解越深刻，场景化解决能力越强。		
服务能力	本土化团队	及时响应	定制化开发	端到端解决方案	不同场景智能化建设时间周期大多需要数月的时间，实施前需要大量的实际调研与需求沟通，实施中需要对企业业务有深入的了解，将涉及多个部门的联动与沟通。从方案的构建到落地全过程需要工业企业与厂商进行高度配合，厂商是否有本土化的落地团队直接影响项目的实施进度与效果，语言与文化的差异也会形成配合中的阻碍。	

资料来源：爱分析研究绘制

智能决策解决方案厂商图谱

智能决策解决方案厂商众多。包含在工业3.0时代，通过规则式启发式技术提供生产排程类解决方案厂商，以及目前工业4.0时代使用新一代信息通信技术为主要路径的智能决策方案厂商。在工业4.0时代又逐渐形成以机器学习技术为主、运筹优化与机器学习技术相结合的两种技术路径，其中**运筹优化与机器学习技术相结合的技术路径为目前主流发展方向，此种技术路径同时也拥有了全场景落地解决的能力。**

工业互联网 4.0时代

运筹优化+机器学习

FICO、BlueYonder Fulfill your potential、JDL京东物流、SF TECHNOLOGY 顺丰科技、清能互联 Tsinergy Technology、Solutions、派迩 PI-SOLUTION、FuturMaster Deliver Business Performance、LLamasoft

机器学习技术为主

SAS、H2O.ai、云从科技 CLOUDWALK、卡奥斯 COSMOPlat、SYNERGIES Intelligent Systems、依图 YITU、MEGVII 旷视、4Paradigm 第四范式、DATA、DataRobot、树根互联 ROOTCLOUD、ZIONEX、Foxconn Industrial Internet 富士康工业互联网、科大讯飞 IFLYTEK

工业信息化 3.0时代

规则式启发式

ASPROVA、FAUSER Manufacturing Excellence Software、SAP、YUKON 永凯软件

技术路径发展方向

运筹优化+机器学习

IBM、Microsoft、杉数科技 Cardinal Operations、Alibaba Group 阿里巴巴集团、HUAWEI、Baidu 百度、aws、SIEMENS、DASSAULT SYSTEMES

弱 — 单/多场景落地能力 — 全场景落地能力 — 强

跨场景落地能力

- 从面向设备、面向生产、面向运营、面向供应链的跨场景能力强弱上划分，又可以分为单/多场景落地能力与全场景落地能力。

运筹优化技术与机器学习技术是相辅相成共同促进的关系。机器学习算法中蕴含运筹学思想，运筹优化技术本身也需要如机器学习、强化学习等技术加持。因厂商自身技术依赖性不同，所以在工业互联网时代会有两种不同类型的技术路径。

- **机器学习技术为主**的厂商，一部分是在某一类AI技术的领先企业，能力外溢让其突破原有行业或场景边际；另一部分是在工业单一或多场景有丰富行业经验，随着新时代技术发展，通过机器学习技术优化原有解决方案。
- **运筹优化与机器学习技术相结合**的厂商，多数拥有自研求解器，可以通过更快速度在更复杂的问题中得到优化解决方案，从而拥有全局优化的能力，是目前智能决策技术路径主流的发展方向。

资料来源：爱分析研究绘制

培育数据驱动的企业文化，建设运营团队是智能决策建设的重要保障

智能决策场景建设需要企业自上而下变经验式文化为数据驱动式文化；同时，为了实现企业从局部优化走向全局优化，需要搭建智能决策应用相关运营团队，帮助企业做到业务流程与运营规范化，从而具备持续扩展智能决策应用、实现智能决策业务价值的能力。

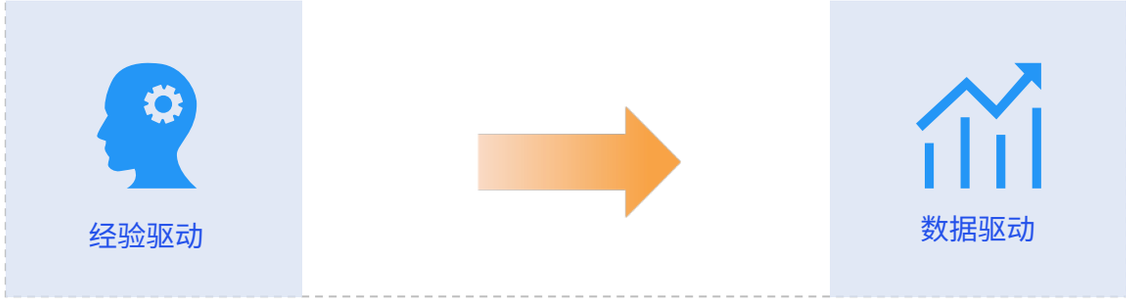
建设数据驱动的组织文化

自上而下推动

- 企业需要培养从管理者到员工的数字化思维，消除认知偏差，从而坚定转型的信念，破除转型阻力。

从经验驱动转变为数据驱动

- 工业企业传统文化一般是典型的“工匠式思维”，珍视人在生产过程中的经验总结和积累，而这种对于经验指导业务的坚持，往往容易成为智能决策落地的阻碍因素。智能化转型在供应链全局优化等业务场景中的应用，首先要做到量化决策，决策的整个过程都需要基于数据的支撑。因此，工业企业需要培育数据驱动文化，相信数据和算法的力量，区别于工匠文化，摆脱以往的经验束缚。



长期运营的团队建设

运营规范化是智能决策精准实施必要的前提

- 智能决策应用落地需要业务流程及运营规范化，从而避免不准确与不完善的数据，污染整个数据生命周期，破坏价值链条。

智能决策需要搭建业务分析团队与IT团队

- IT团队负责后续系统运维、测试、部署工作。
- 业务分析团队负责对公司运营数据进行监控、评估和分析，并通过行业研究、竞争对手状态跟踪等方式，辅助企业的经营及战略决策。
- 业务分析团队通过分析数据，精确提出当前业务场景下所需的智能化变革需要，而IT团队将这种需求转化为落地方案。

如何进行智能化转型团队建设

- 大多数传统制造业企业均存在数字化人才储备不足的问题，企业可以综合考虑项目需求、业务特征、成本预算等因素，选择自主搭建或是委托运营。
- 传统工业企业可能因智能化建设而引发组织结构的调整，企业应敏捷调整，为智能化转型提供保障。

业务分析团队能力要求	IT团队能力要求	
业务调研能力	开发算法通识	软件测评能力
数据整理能力	数据库设计	上线运维能力

“未来的人工智能最重要的突破应该与优化算法紧密结合。

——机器学习之父
Michael Jordan”

展望未来：

工业智能决策发展前瞻

机器学习与运筹优化技术进一步结合，将成为智能决策技术的核心关键。随着市场认知深化与技术迭代，智能决策技术也将广泛应用于更多工业场景，帮助企业实现智能化转型，赋能实体经济。

6

机器学习与运筹优化技术结合，促进智能决策技术不断扩充能力边界

目前，虽然机器学习技术的发展日新月异，但是单纯使用机器学习的方法对现实中一般性问题求解的可靠性还有待进一步论证。在未来相当长的时间内，机器学习与运筹优化的结合仍会作为智能决策最为前沿的技术发展方向。

从技术原理进行拆解，机器学习与运筹优化技术可以在数据、模型和求解器三个层面进行结合，具体结合方式则十分多样化。总的来说，深度学习、强化学习等机器学习领域技术的突破，将为智能决策提供更好的初始解、更好的策略以及简化模型等方面做出重要贡献，二者的发展与结合将不断促进智能决策技术扩充能力边界。

技术前沿的探索方向

提升模型精准度

- 针对现阶段精准建模难，动态问题建模难的瓶颈，逐步提升基于深度强化学习模型的精准度，使模型更加符合日趋复杂的动态系统的需要。

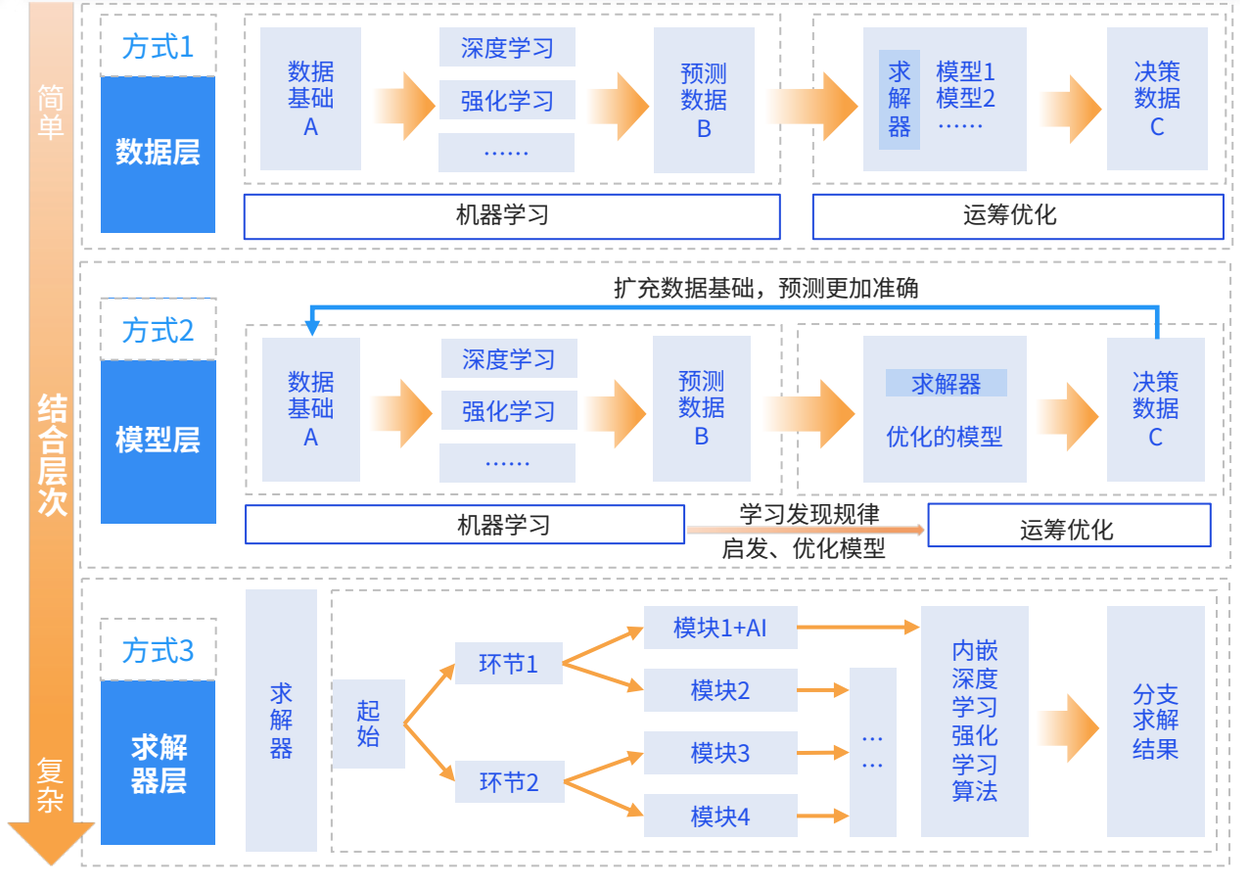
采用运筹优化算法指导强化学习

- 强化学习的优势在于通过交互获取环境的动态信息，从而解决大规模复杂系统性问题。但其存在收敛效率不高、速度过慢、不稳定等问题。因此可以考虑用其他启发式算法指导，提高强化学习的效率并降低学习难度，提升处理具体问题时的准确性与稳健性。

增强机器学习在不同运筹学问题上的泛化能力

- 将元学习、迁移学习、多任务学习以及终生学习等方法引入RL并应用于运筹优化领域，使其能够在面对新问题时快速发现问题的本质，并能迁移以往的学习经验来加速学习进程。

机器学习与运筹优化结合层次



资料来源：爱分析研究绘制

工业智能决策处于技术接纳生命周期早期，未来五年将逐步实现规模化

随着市场认知与技术的双重强化叠加影响，越来越多的工业企业将采用智能决策技术，而更多的场景的落地也将驱动智能决策成熟度进一步提高。

- 智能决策技术为企业带来的提质增效降本的价值体现，将有效助力企业获得第二增长曲线。
- 随着智能决策技术的升级和渗透到更多场景释放价值，工业企业对智能决策的市场认知度将会提升，带来市场接纳度进一步提高。

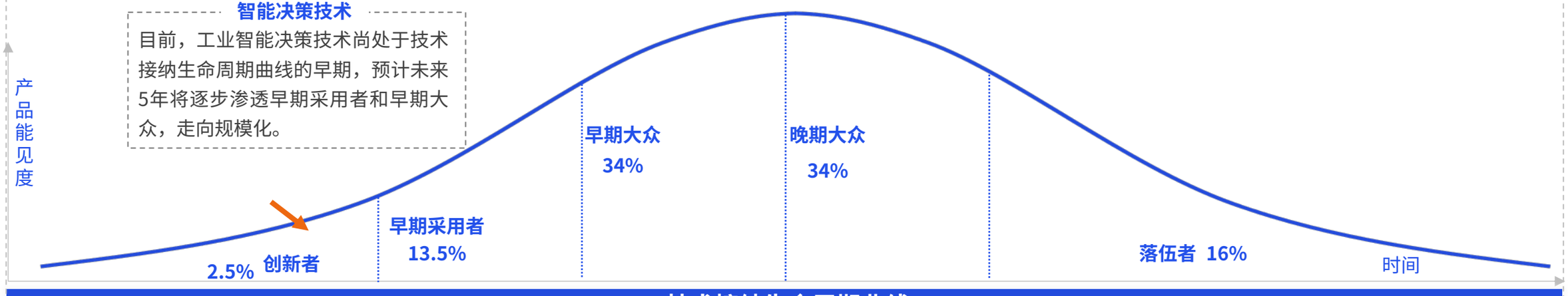
企业见效、市场繁荣将进一步加强企业对智能决策的正向认知

认知	随着企业对智能决策认知的不断提高	多元市场需求	市场涌现出更多数量和更多种类的需求	更多实际应用案例的落地	来自工业企业的需求和供给端的技术均健康发展，势必会带来智能决策市场的成长，更多的商业案例涌现
技术	随着机器学习、运筹优化等相关技术的不断发展	技术支持能力	技术层面可以支持有更多的需求得到满足		

大量应用案例的落地将产生更多更有价值的数据，催生出更多更准确的模型，反哺技术发展

智能决策技术

目前，工业智能决策技术尚处于技术接纳生命周期曲线的早期，预计未来5年将逐步渗透早期采用者和早期大众，走向规模化。



技术接纳生命周期曲线

资料来源：爱分析整理绘制

智能决策将成为未来领先工业企业必备的能力

随着标准化带来的规模效应，智能决策技术将成为工业企业实现智能制造必备的技术方案，同时也将赋能中国经济实现弯道超车。

标准化带来规模效应

需求释放

- 目前，领先企业正在通过智能决策技术拉开与后进者之间的距离，而随着市场认知、技术的循环强化，更多的市场需求被释放，智能决策技术将成为越来越多的工业企业必备的解决方案。

标准模块

- 智能决策厂商也将从能效相对较低的“产品”+“定制”模式逐步转化为“标准化功能模块产品”的供给，满足不同企业的相似需求。

未来变革

- 智能决策技术将在更多领域被普遍使用，全行业也将迎来新一轮商业变革。

助力实现智能制造

- 智能决策技术在工业互联网建设中的广泛运用，将全面激活工业数据，为我国智能制造装上决策大脑，将有效助力实体经济提质降本增效，并在碳足迹、碳排放等能耗、减排等工业领域的关切问题中大显身手。
- 智能化时代的到来，工业企业可以提高全要素生产率，发挥智能决策技术对经济发展的放大、叠加、倍增作用。智能决策技术将成为企业获得第二增长曲线的重要密码，也将成为企业弯道超车的重要驱动力。

智能制造	降本增效
柔性生产	节能减排
敏捷响应	……

参考文献

IMF	《世界经济展望（2021年10月）》
中国工程院战略咨询中心	《2020中国制造强国发展指数报告》
IDC	《工业互联网生态白皮书》
申万宏源	《虎变——2022年宏观经济展望》
中国工业互联网研究院	《中国工业互联网产业经济发展白皮书(2021)》
工业互联网产业联盟	《工业互联网体系架构（版本2.0）》
Accenture	《高质发展，智能制造——新蓝图，新四化》
Accenture	《跨越发展、领军未来》
Forrester	《The Forrester Wave™: Digital Decisioning Platforms, Q4 2020》
McKinsey & Company	《Notes from the AI Frontier: Insights from Hundreds of Use Cases》
Gartner	《Emerging Technologies and Trends Impact Radar: Artificial Intelligence》
Gartner	《Top Strategic Technology Trends for 2022:Decision Intelligence》
Acatech STUDY	《Industrie 4.0 Maturity Index》

创作团队

专家委员会

王　曦　北京市特聘专家，杉数科技联合创始人&首席产品官

黄　勇　爱分析合伙人、首席分析师

主创团队

爱分析

汪　菁　爱分析高级分析师

张乙天　爱分析分析师

李冬露　爱分析分析师

黄　爽　爱分析分析师

杉数科技

黄　翔　杉数科技工业与智能制造副总裁

高季尧　杉数科技算法技术副总裁

王双彦　杉数科技市场总监

张超勃　杉数科技品牌中心高级经理

发布单位

- 联合发布单位：爱分析　杉数科技
- 联合支持单位：香港中文大学（深圳）数据科学学院

版权声明

此报告为爱分析制作，报告中文字、图片、表格著作权为爱分析所有，部分文字、图片、表格采集于公开信息，著作权为原著者所有。未经爱分析事先书面明文批准，任何组织和个人不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被爱分析认为可靠，但爱分析不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成投资建议，报告内容仅供参考。爱分析不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。北京爱分析科技有限公司2022版权所有。保留一切权利。

ifenxi | 杉数科技 Cardinal Operations

400-680-5680

shanshu@shanshu.ai

www.shanshu.ai

码上关注，获取更多信息