



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

# 工业互联网成熟度评估 白皮书 (1.0版)

工业互联网产业联盟（AII）  
2017年7月



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

# 工业互联网成熟度评估 白皮书 (1.0版)

工业互联网产业联盟（AII）  
2017年7月

# 工业互联网成熟度评估

## 白皮书

(1.0 版)

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟（AII）

2017 年 7 月

## 声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。



工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：aai@caict.ac.cn

## 前 言

“工业互联网”概念自提出以来，在全球范围内迅速得到认可，并成为工业企业特别是制造企业进行新一代科技变革和业务创新的重要利器。过去两三年里，我国企业不断加快工业互联网的探索和实践，使之逐渐发展为重要的基础设施、关键的生产要素和持续的价值源泉。

作为政府主管部门推进我国工业互联网建设的重要窗口，工业互联网产业联盟（AII）积极开展工业互联网需求和产业研究，于 2016 年年中启动了工业互联网成熟度评估模型制定工作，经过半年多的努力，形成了《工业互联网成熟度评估白皮书（1.0）》成果。本白皮书遵循《工业互联网体系架构（版本 1.0）》的主体思路，提出了互联互通、综合集成、数据分析利用三大核心要素，并分别面向离散型和流程型制造企业提炼总结了 11 个和 10 个关键能力，制定了一套相对完整的评估模型和评估指标。目前该模型已经展开了在线评估验证，已有几十家企业参与其中，本白皮书也对当前获得的评估数据进行了详细分析和论述。

本白皮书旨在为企业提供一套评价自身实践的方法论，为企业找到工业互联网实施中的主要问题、改进方向和建设路径；为联盟各项工作及我国工业互联网的技术创新、应用实践提供参考和借鉴；为科研机构和政府主管部门提供有效

的数据支撑和决策依据。与此同时，业界各方力量的应用和反馈也将不断促进联盟修正该方法论中存在的问题，为工业互联网发展提供更科学更准确的指导。

在本白皮书成果形成过程中，联盟面向内部成员和全社会进行了大量实际调研和在线评估问卷调查，中国电信、中兴通讯、中国移动、中国联通、北京机械工业自动化研究所、北京简易科技、上海禅月建筑科技、上海超算科技、江苏通鼎互联、天津沃克斯科技、安徽普奥云等信息通信企业，博世、中联重科、威派格、上海仪电、重庆盟讯电子、艾默生、深圳万全智能技术、山东京博石油化工、中煤陕西榆林能源化工、中石油新疆油田、广东南国药业、红塔烟草、河钢股份、宝钢工业炉工程、上海宝钢节能环保等工业企业，北京航空航天大学、上海交通大学等教育研究机构对评估模型和指标体系的制定积极建言献策，并主动参与了在线评估问卷调查和模型验证，为本白皮书的撰写提供了重要参考和宝贵意见，在此一并感谢！

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 一、工业互联网成熟度评估提出的原因.....     | 7  |
| （一）工业互联网应用浪潮来袭.....        | 7  |
| （二）联盟需构建先导性的标准化模型.....     | 7  |
| （三）为企业提供一个便利的自我评价工具.....   | 8  |
| （四）为政产学研搭建一个持续透明的信息窗口..... | 8  |
| 二、工业互联网成熟度评估模型.....        | 9  |
| （一）评估模型的架构.....            | 9  |
| 1、三大核心要素.....              | 9  |
| 2、两大目标对象.....              | 10 |
| 3、十三个关键能力和能力等级.....        | 11 |
| （二）评估模型的指标体系.....          | 19 |
| 1、具体指标.....                | 19 |
| 2、权重设置.....                | 21 |
| 三、工业互联网成熟度评估模型的应用和试评估..... | 23 |
| （一）应用方法.....               | 23 |
| 1、指标量化采集.....              | 23 |
| 2、实时结果计算.....              | 23 |
| 3、对应星级评定.....              | 24 |
| （二）试评估结果分析.....            | 25 |
| 1、工业互联网成熟度总体能力水平.....      | 25 |
| 2、工业互联网成熟度单项能力水平.....      | 27 |
| 3、离散型与流程型行业成熟度比较.....      | 28 |
| 四、下一步落地与实践.....            | 30 |
| （一）动态优化评估指标和评估问卷.....      | 30 |
| （二）推进在线评估服务平台建设.....       | 31 |
| （三）提供评估诊断和咨询服务.....        | 32 |
| （四）公开发布成熟度评估报告.....        | 32 |
| 附件 1：术语和缩略语.....           | 33 |
| 附件 2：国内外相关成熟度评估理论研究.....   | 35 |
| 参考文献.....                  | 39 |

## 图 表 目 录

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 图表 1  | 工业互联网成熟度评估三大核心要素.....       | 10 |
| 图表 2  | 工业互联网成熟度评估的关键能力.....        | 11 |
| 图表 3  | 智能设备联网能力等级.....             | 12 |
| 图表 4  | 信息网络设施能力等级.....             | 12 |
| 图表 5  | 生产资源连接能力等级.....             | 13 |
| 图表 6  | 横向集成能力等级.....               | 13 |
| 图表 7  | 纵向集成能力等级.....               | 14 |
| 图表 8  | 端到端集成能力等级（离散）.....          | 15 |
| 图表 9  | 端到端集成能力等级（流程）.....          | 15 |
| 图表 10 | 运营智能决策能力等级.....             | 16 |
| 图表 11 | 产品生命周期优化能力等级.....           | 16 |
| 图表 12 | 生产智能管理能力等级.....             | 17 |
| 图表 13 | 供应链优化能力等级.....              | 17 |
| 图表 14 | 网络化协同能力等级.....              | 18 |
| 图表 15 | 能耗与安全管理优化能力等级.....          | 18 |
| 图表 16 | 服务化延伸能力等级.....              | 19 |
| 图表 17 | 离散行业工业互联网成熟度评估指标体系.....     | 20 |
| 图表 18 | 流程行业工业互联网成熟度评估指标体系.....     | 20 |
| 图表 19 | 权重设置的思路和修正方法.....           | 22 |
| 图表 20 | 二级指标和三级指标的权重设置.....         | 22 |
| 图表 21 | 定量指标和定性指标的量化采集及打分原则.....    | 23 |
| 图表 22 | 单项能力评估分值和星级对应原则.....        | 24 |
| 图表 23 | 总体能力评估分值和星级对应原则.....        | 25 |
| 图表 24 | 工业互联网成熟度总体能力试评估结果.....      | 26 |
| 图表 25 | 工业互联网成熟度总体能力星级分布.....       | 26 |
| 图表 26 | 工业互联网成熟度单项能力试评估结果.....      | 28 |
| 图表 27 | 离散型和流程型成熟度总体能力星级分布.....     | 29 |
| 图表 28 | 离散型和流程型成熟度单项能力星级分布.....     | 30 |
| 图表 29 | 权重配置动态变化示意.....             | 31 |
| 图表 30 | 软件能力成熟度模型（CMM）五个梯度.....     | 35 |
| 图表 31 | 德国 VDMA 工业 4.0 成熟度评测模型..... | 36 |
| 图表 32 | 美国 NIST 企业 MBE 能力评估模型.....  | 37 |
| 图表 33 | 我国 CESI 智能制造能力等级矩阵.....     | 38 |

## 一、 工业互联网成熟度评估提出的原因

### （一）工业互联网应用浪潮来袭

随着工业互联网概念兴起，美德先导应用不断涌现，目前德国工业 4.0 平台已有 140 多个应用案例，美国 IIC 有接近 50 个应用案例，主要聚焦在生产管理优化、物流仓储优化、质量管理优化、产线柔性部署、产品服务价值化等领域。与此同时，我国产业界也加快了面向各类场景的工业互联网应用探索。2016 年，工信部相关部门组织实施了 10 个工业互联网试点示范项目，AII 联盟也评选出了首批 12 个工业互联网优秀案例。然而，目前我国工业互联网应用与发达国家相比还存在总体发展水平较低、行业间企业间基础差异较大、大规模推广难度巨大、缺乏工业互联网评估体系和实施指南等问题。

### （二）联盟需构建先导性的标准化模型

从国内外已有的主要成熟度模型来看，德国构建了工业 4.0 成熟度评级模型，但因两国发展基础不同，建设水平不同，并不能直接用于我国工业互联网成熟度评估。AII 联盟作为推进我国工业互联网政产学研用协同发展的公共平台，需要率先开展研究，针对我国自身特点，制定一套评估模型和方法，推进工业互联网理论与实践。

### **（三）为企业提供一个便利的自我评价工具**

当前产业界对工业互联网的理解不统一，企业对自身工业互联网发展的定位、现状和发展路径不明确，缺乏一致的方法论来评判具体实践。联盟希望通过工业互联网成熟度评估体系的制定助力企业了解自身建设水平，发现存在的问题，并获取相关的诊断建议。该评估模型并不是为了创造一套复杂的理论，而是希望以提供互联网服务的方式为企业提供一个便利的自我评价工具。

### **（四）为政产学研搭建一个持续透明的信息窗口**

工业互联网成熟度评估模型的制定并不是一蹴而就的，当前的 1.0 版本主要是结合现阶段工业互联网发展的特点和先进实践而得出的，将来还有持续发展、反复迭代的过程，需要借助产业界各类主体的意见和建议深化模型，并结合企业对模型的应用结果和反馈，不断更替或补充更符合不同阶段实际情况的评估因素，不断修正完善评估指标、权重和评估问卷设置等。这个过程不仅能助力政府部门了解我国工业互联网的最佳实践，也能帮助应用企业和解决方案服务商建立透明的信息窗口，促进产学研结合。

## 二、 工业互联网成熟度评估模型

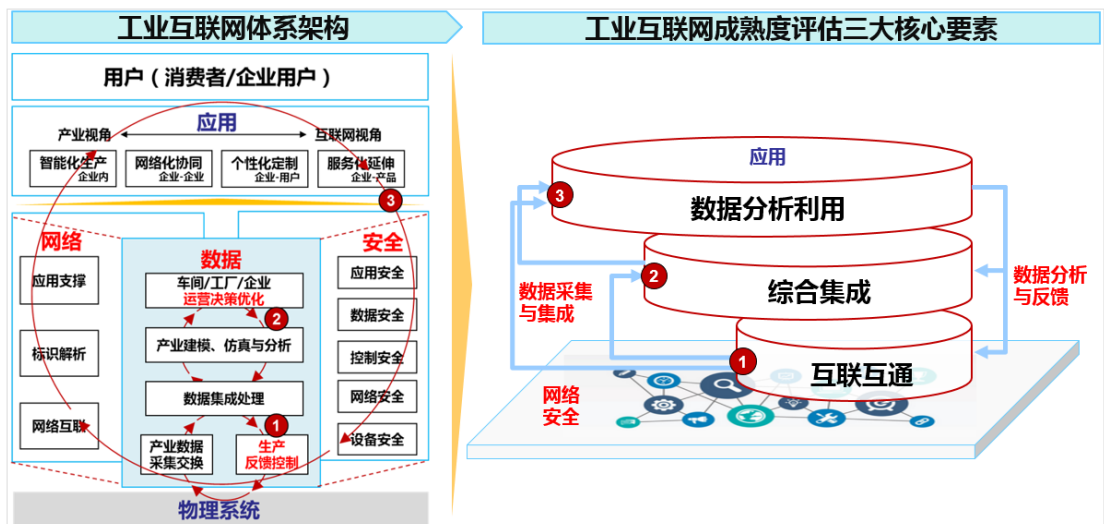
### （一）评估模型的架构

#### 1、三大核心要素

遵循《工业互联网体系架构（版本 1.0）》的主体思路。工业互联网的核心是基于全面互联而形成数据驱动的智能，基于工业互联网的网络、数据与安全，将构建面向工业智能化发展的三大优化闭环，即面向机器设备运行优化的闭环、面向生产运营优化的闭环、面向企业协同、用户交互与产品服务优化的闭环。三大闭环并不是简单割裂的关系，而是环环相扣、互相贯穿，机器设备的互联互通、生产运营系统的综合集成，为企业协同、用户交互所需的数据流动和协作奠定了良好的基础。

基于上述体系架构的思想，本模型将工业互联网成熟度评估的 3 大核心要素归纳为互联互通、综合集成、数据分析利用（如图表 1 所示）。互联互通是指企业内部或企业内外部之间的人与人、人与机器、机器与机器、机器与产线、产线与产线、以及服务与服务等之间的网络互联和信息互通。综合集成是指企业内部或企业内外部之间通过数据库集成、点对点集成、数据总线的集成、面向服务的集成等多种模式，实现产品设计研发、生产运营管理、生产控制执行、产品销

售服务等各个环节对应系统的互集成互操作。数据分析利用是企业基于互联互通、综合集成所汇聚的各类数据，进行数据分析和深度挖掘，对企业智能化决策与生产、网络化协同、服务化转型等提供支撑和土壤。



图表 1 工业互联网成熟度评估三大核心要素

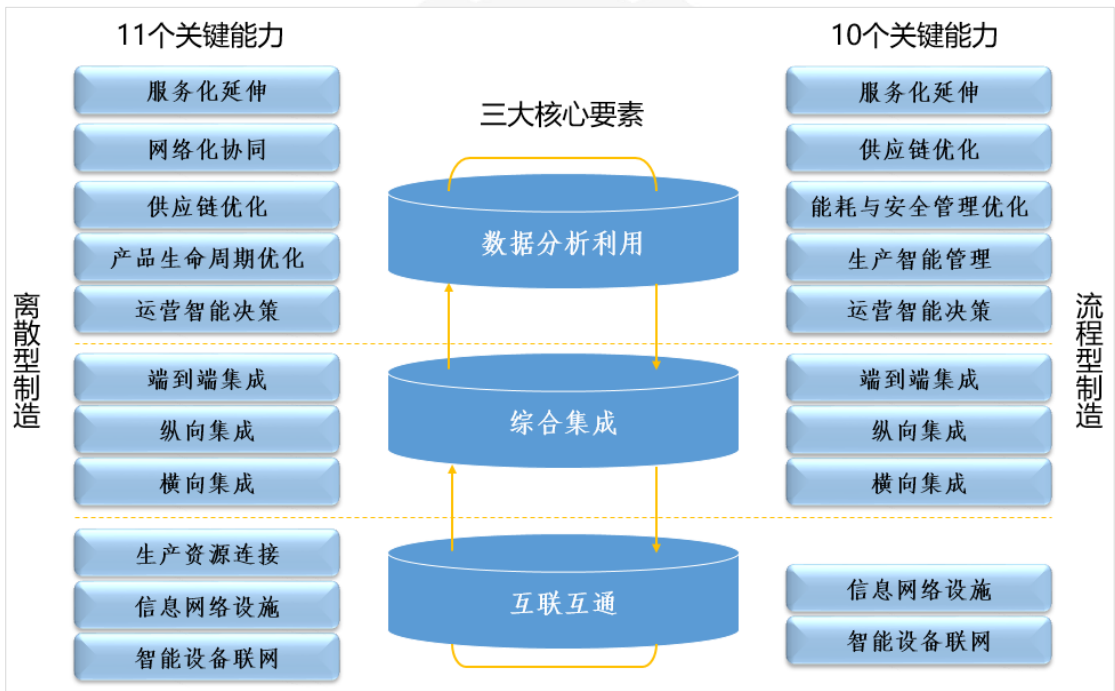
## 2、两大目标对象

本评估模型主要面向离散型和流程型制造企业，在构建评估体系时着重考虑了两者不同的行业特性。在互联互通环节，离散行业生产现场设备中机床、机器人、传感器等占主导，而流程行业中以工艺设备、阀门、仪器仪表设备等占主导。在综合集成环节，离散和流程行业除具备现场层、车间层、企业层纵向集成等共同特性外，离散行业对产品设计研发系统建设与集成有较高的要求，而流程行业侧重于工艺设计、能源安全管理等方面。在数据分析利用环节，离散行业基于大数据进行新业务和新模式创新主要体现在产品远程

运维、个性化定制、网络化协同等方面，流程行业则主要体现在供应链优化、能耗与安全管理优化等方面。

### 3、十三个关键能力和能力等级

通过对三大核心要素现阶段发展所需具备的关键能力进行深入研究，本着化繁为简、去粗取精、求同存异的原则，本模型提取了 13 个关键能力，其中面向离散行业的有 11 个，面向流程行业的有 10 个（如图表 2 所示）。



图表 2 工业互联网成熟度评估的关键能力

参照 CMM 理论思路（在附件 2 中有详细介绍），本模型对 13 个关键能力分别给出了相应的能力等级，等级越高，表示能力越强。

## (1) 互联互通要素：智能设备联网

智能设备联网是指生产现场的生产设备、产线和工艺装置、工业机器人、传感设备等数字化物理实体通过标准通信接口、协议转换等方式将数据上传至车间层、企业层管理系统或监控系统。能力等级如下：

| L1                                   | L2                                       | L3                                          | L4                                  | L5                                  |
|--------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 数字化设备处于孤立状态，仅有不到 20% 的设备实现了数据信息采集与上传 | 数字化设备处于联网改造的初级阶段，21%-40% 的设备实现了数据信息采集与上传 | 数字化设备开始进入规模化联网建设或改造，41%-60% 的设备实现了数据信息采集与上传 | 大部分数字化设备实现了联网建设或改造，较大规模实现了数据信息采集与上传 | 数字化设备联网建设或改造基本完成，全面实现了生产现场数据信息采集与上传 |

图表 3 智能设备联网能力等级

## (2) 互联互通要素：信息网络设施

信息网络设施是指企业通过全面的 IT 网络和 OT 网络（涉及现场总线、工业以太网、无线网等）建设、灵活的信息系统架构以及完善的信息安全机制建立等为制造企业构建良好的网络互通和信息互联基础设施。能力等级如下：

| L1                         | L2                                   | L3                             | L4                                       | L5                                |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|
| 规划或开始建设期，尚未构建信息网络设施和信息安全机制 | 初级建设阶段，部分办公和生产区域实现了网络覆盖和信息交互，无安全管理机制 | 实现了一定规模的网络设施覆盖和信息交互，有安全管理和防范机制 | 大部分办公和生产区域实现了网络设施覆盖和信息系统统一架构，管理手段和灾备措施健全 | 信息网络设施全面建成，信息系统云端统一部署完成，已通过信息安全认证 |

图表 4 信息网络设施能力等级

### (3) 互联互通要素：生产资源连接（离散）

生产资源连接是指生产现场的人与机器、机器与机器之间通过电脑、移动交互界面、互联网、AR（增强现实）与VR（虚拟现实）技术等手段实现互连接、互感知、互操作。能力等级如下：

| L1                 | L2                   | L3                        | L4                              | L5                                |
|--------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 人机之间、机器之间没有信息交换和通讯 | 人机之间利用电脑连接、机器之间有总线连接 | 人对机器实现了分布式监控，机器之间有工业以太网接口 | 利用手机和pad移动端作为人机交互界面，机器可以直接连上互联网 | AR和VR技术用于生产过程人机交互，机器之间可通过网络服务互相访问 |

图表 5 生产资源连接能力等级

### (4) 综合集成：横向集成

横向集成主要实现企业与企业之间、企业与售出产品（客户）之间的协同，将企业内部的业务信息向企业以外的供应商、经销商、用户进行延伸，实现企业与产业链上下游之间的集成。能力等级如下：

| L1                   | L2                       | L3                        | L4                                           | L5                     |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|------------------------|
| 企业与产业链上下游没有数据共享与交互协作 | 企业与产业链上下游数据共享与交互协作次数非常有限 | 基于人工拷贝、邮件等方式进行日常数据共享与交互协作 | 基于http调用、java远程调用或web services等方式进行数据共享与交互协作 | 基于统一的数据处理平台进行实时共享与交互协作 |

图表 6 横向集成能力等级

## （5）综合集成：纵向集成

纵向集成主要解决企业内部的集成，即解决信息孤岛的问题，实现现场层、车间层、企业层等所有层次，研发、生产、销售等所有环节的信息无缝链接，包括一个环节上的集成（如研发设计内部信息集成），也包括跨环节集成（如研发和制造环节的集成）。能力等级如下：

| L1                      | L2                     | L3                      | L4                                   | L5                    |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 设备层、车间层和企业管理层之间无数据传输和共享 | 企业内部各层级之间数据传输和共享程度非常有限 | 基于人工拷贝、邮件等方式进行日常数据传输和共享 | 采用文件传输、共享数据库、数据接口、消息队列等方式进行自动数据传输和共享 | 采用统一数据模型框架构建企业级共享服务平台 |

图表 7 纵向集成能力等级

## （6）综合集成：端到端集成

端对端集成是指贯穿整个价值链的工程化数字集成，在所有终端（点）数字化的前提下实现企业内部、企业之间基于价值链的一种整合，目前各界对端到端集成有不同的理解，本模型中主要是指基于模型的数字化工程（MBD）和基于模型的企业（MBE）/虚拟企业构建。

离散行业能力等级如下：

| L1                     | L2                                   | L3                                                  | L4                                                 | L5                                                                   |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 尚未开展基于MBD技术的<br>产品定义工作 | 以MBD为核心的产品和<br>工艺设计工作处于<br>试点或局部应用阶段 | 三维数字化模型已经贯穿<br>于整个产品数字化制造过<br>程中，并开始构建MBE先<br>进制造体系 | MBD模型可以在产品制造<br>环节顺畅流通和直接重用，<br>实现基于模型的制造<br>(MBM) | MBD模型以及相关数据在<br>企业内外能够顺畅流通、可<br>直接重用，支撑企业实现跨<br>供应链的产品生命周期的<br>MBE业务 |

图表 8 端到端集成能力等级（离散）

流程行业能力等级如下：

| L1   | L2               | L3                                                            | L4                                                            | L5                                                     |
|------|------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 尚未规划 | 开始规划，尚<br>未建立模型库 | 开始尝试建立<br>工厂、生产车<br>间、生产单<br>元、工作站和<br>生产装置等多<br>个层次的仿真<br>模型 | 工厂、生产车<br>间、生产单<br>元、工作站和<br>生产装置等多<br>个层次的仿真<br>模型基本建立<br>完成 | 在虚拟企业中<br>建立起了各层<br>次仿真的信息<br>交互，并能和<br>现实场景进行<br>实时映射 |

图表 9 端到端集成能力等级（流程）

## （7）数据分析利用：运营智能决策

运营智能决策是指通过企业数据库、模型库和知识库的建立，将行业领域专家水平的知识与经验积累固化到计算机系统中，进而充分应用人类专家的知识 and 解决问题的方法来帮助企业解决在运营管理中遇到的复杂的决策问题。能力等级如下：

| L1   | L2                   | L3                                      | L4                                           | L5                                      |
|------|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 尚未规划 | 开始规划，尚未建立决策支持模型库和知识库 | 建立了决策支持系统的基础关键数据库，即用于检索问题可能解决方案的模型库和知识库 | 建立了决策支持系统，在模型和知识管理的基础上，增加了专家系统，数据挖掘技术、知识发现技术 | 建立了基于Web的智能决策支持系统，充分调用企业内部、外部的数据资源，辅助决策 |

图表 10 运营智能决策能力等级

### (8) 数据分析利用：产品生命周期优化（离散）

产品全生命周期优化是指从客户对产品的需求开始，从产品设计到产品淘汰报废的全部生命历程中，企业通过各环节数据的采集、分析、建模、仿真、反馈等预测产品生产可行性、实时跟踪产品质量、有效进行产品功能和性能创新。能力等级如下：

| L1   | L2                  | L3                                  | L4                                     | L5                                    |
|------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| 尚未规划 | 开始规划，尝试建立产品全生命周期数据库 | 建立了产品设计、原材料、生产、在制品和产品服务/维护数据的一体化数据库 | 对数据进行处理和分析，实现可追溯的产品谱系，实现后端数据向前端数据的及时反馈 | 基于数据反馈结果在设计阶段进行产品优化，进行从设计到生产可行性的预测和优化 |

图表 11 产品生命周期优化能力等级

### (9) 数据分析利用：生产智能管理（流程）

生产智能管理是指在产品工艺设计、原料生产转化、生产装置运行的过程中，企业通过各环节数据的采集、分析、建模、仿真、反馈等预测加工工艺的可行性、实时监控与追

溯生产过程、实现异常工况提前诊断与自愈控制。能力等级如下：

| L1   | L2               | L3                      | L4                                    | L5                                      |
|------|------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| 尚未规划 | 开始规划，尝试建立生产过程数据库 | 已经采集整合了装置运行数据、工艺数据和环境数据 | 对数据进行处理和分析，提前验证生产过程的可行性、实现生产过程实时监控与追溯 | 基于数据反馈结果在设计阶段进行工艺优化、生产过程优化和生产设备远程诊断维护服务 |

图表 12 生产智能管理能力等级

### （10）数据分析利用：供应链优化

供应链优化是指对供应链上游物料流转数据、供应链下游客户需求数据（包括个性化需求）进行采集和分析，并将分析结果及时反馈给供应链上游企业，实现供应链上下游数据共享和反馈协作。能力等级如下：

| L1   | L2                 | L3                       | L4                                | L5                                           |
|------|--------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| 尚未规划 | 开始规划，尝试建立供应链上下游数据库 | 已经采集整合了上游物料流转数据和下游客户需求数据 | 对采集数据进行处理和分析，使得企业内部物料供应链管理实现了有效协同 | 基于数据分析结果实现了生产与供应计划的无缝对接，实现了与上游企业的及时数据共享与反馈协作 |

图表 13 供应链优化能力等级

### （11）数据分析利用：网络化协同（离散）

网络化协同是指基于网络协同平台，将订单信息、设计任务、制造任务等分配给不同地域、不同规模的企业，将社

会分散的资源、制造能力在网络平台进行集聚共享，形成网络化协同的组织模式。能力等级如下：

| L1   | L2        | L3                            | L4                               | L5                        |
|------|-----------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 尚未规划 | 开始规划，尚未实现 | 企业内部不同部门之间、不同工厂之间实现了本地协同设计和制造 | 企业内部不同部门之间、不同工厂之间实现了跨区域的网络化设计和制造 | 企业内部与外部企业间实现了跨区域的网络化设计和制造 |

图表 14 网络化协同能力等级

### （12）数据分析利用：能耗与安全管理优化（流程）

能耗与安全管理优化是指通过现场各种仪器仪表、传感器等采集和上传能耗数据、环境数据等，然后基于大量实时和历史数据的分析优化能耗效率、降低安全生产事故概率。能力等级如下：

| L1   | L2                  | L3                               | L4                          | L5                  |
|------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 尚未规划 | 开始规划，采集了少量能耗数据、环境数据 | 能够通过现场各种检测仪表或传感器，采集绝大部分能耗数据、环境数据 | 基于统一平台整合了实时和历史数据，对数据进行处理和分析 | 基于数据挖掘反馈结果优化能耗和安全管理 |

图表 15 能耗与安全管理优化能力等级

### （13）数据分析利用：服务化延伸

服务化延伸主要指通过自建或利用第三方统一云平台，整合企业设备、产线、生产、经营、产品以及企业内外部价值链上各类数据，并基于大数据建模分析提供数据增值服务，如产品远程运维等，且正在形成或已经按照一定的商业模式

来经营。能力等级如下：

| L1   | L2        | L3                                      | L4                                         | L5              |
|------|-----------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| 尚未规划 | 开始规划，尚未实现 | 对企业内部数据构建了统一的工业数据平台，并基于数据分析挖掘提供新型工业应用服务 | 对企业内部和外部数据构建了统一的工业数据平台，并基于数据分析挖掘提供新型工业应用服务 | 已形成商业模式，且开始产生收益 |

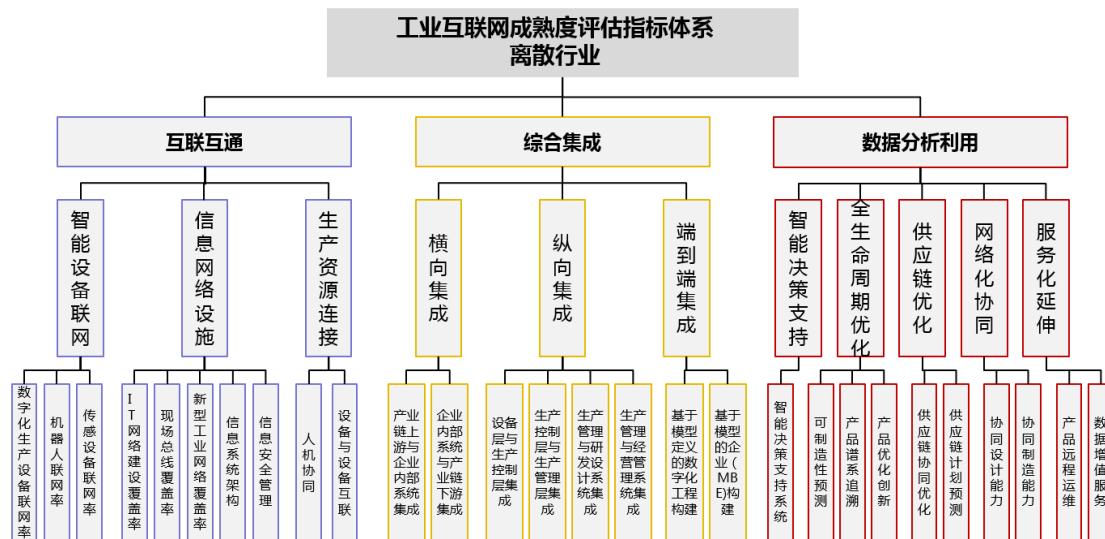
图表 16 服务化延伸能力等级

## （二）评估模型的指标体系

### 1、具体指标

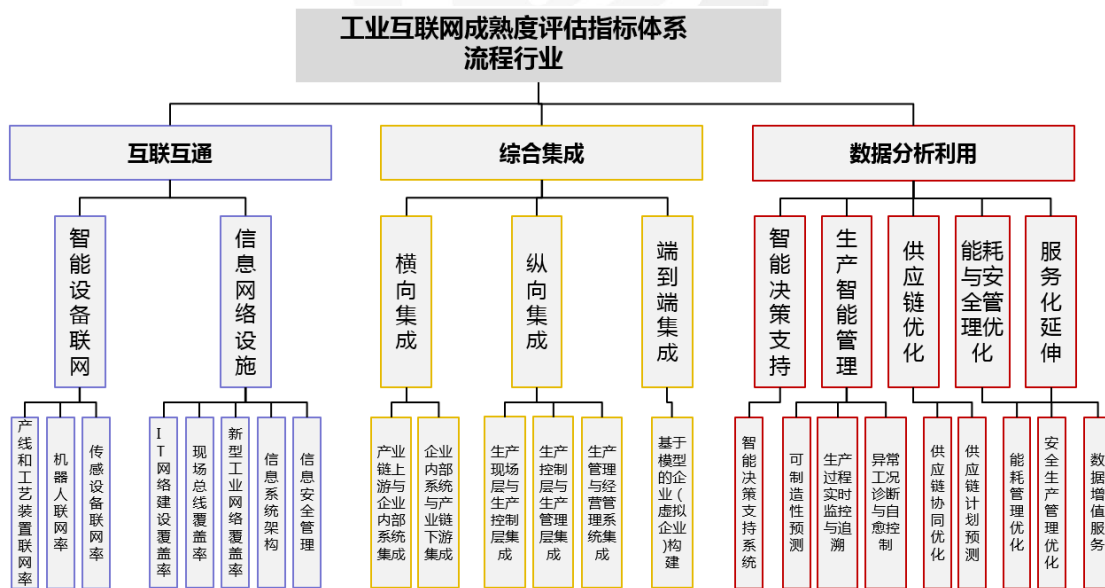
坚持易评估可量化的构建原则。为便于工业互联网成熟度评估体系的快速应用推广，在选择评估指标时既要避免指标信息遗漏，又不能过于繁琐，需要从广度和深度两方面进行平衡。工业互联网成熟度模型采用三层指标评估体系，3大核心要素、13个核心能力分别作为一级指标、二级指标。三级指标充分考虑了评估的简单易行，力求突出重点，从近百个评估指标中分别选取了28个和23个，形成了离散行业和流程行业的评估指标体系。

离散行业包括3个一级指标、11个二级指标、28个三级指标（如图表17所示）：



图表 17 离散行业工业互联网成熟度评估指标体系

流程行业包括 3 个一级指标、10 个二级指标、23 个三级指标（如图表 18 所示）：



图表 18 流程行业工业互联网成熟度评估指标体系

在互联互通要素中，主要评估机床设备、工艺装置、工业机器人、传感设备、智能产线等生产要素的联网能力及网络、信息和安全基础设施建设水平。

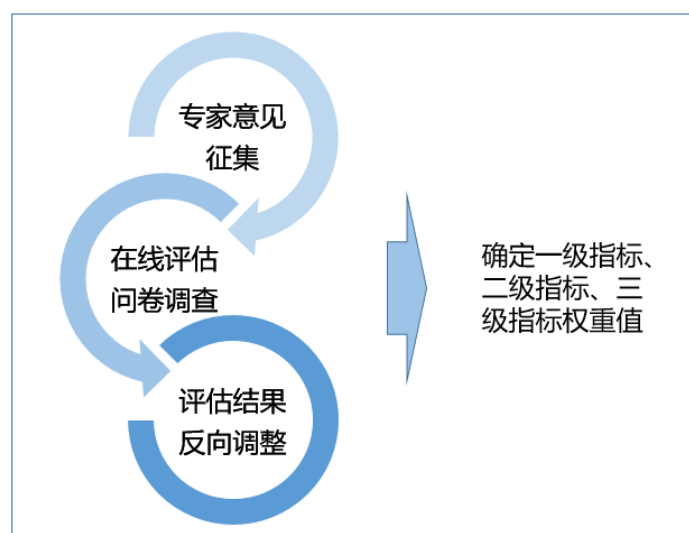
在综合集成要素中，主要评估企业从现场层、车间层到

企业层的纵向集成能力，企业和供应链上下游协同的横向集成水平，以及基于产品全生命周期、工艺和产线等模型的MBE构建的端到端集成能力。

在数据分析利用要素中，主要评估企业的数据库、知识库建设情况，以及企业基于数据建模、分析和挖掘是否形成了自反馈、自优化、自决策的机制，是否衍生出了创新的业务模式。

## **2、权重设置**

权重设置将直接影响企业的评估结果，在整套评估体系中至关重要。本模型主要结合专家法、问卷调查法和试评估结果反向调整法（如图表 19 所示），确定了一级和二级指标的权重。首先，在评估指标体系制定初期，在联盟内部和全社会广泛征集业界专家和企业意见；然后，在线上试评估过程中，设置开放题，邀请应答企业选择其认为最重要的 5 个指标并进行排序。最后，结合收集上来的问卷结果对权重进行调整，主要是为了避免出现少数指标分值很高而决定整体评估结果的情况。



图表 19 权重设置的思路和修正方法

根据专家和企业意见的反馈统计，各三级指标重要性被排在前 5 名的次数相当。说明整体而言，各三级指标的重要性并无明显差异，即权重配置基本相同，因此本模型对各二级指标下三级指标的权重采取了均值处理。

经过三轮修正，确定一级指标和二级指标的权重值如下：

| 一级指标   | 权重   | 二级指标     |      |           |      |
|--------|------|----------|------|-----------|------|
|        |      | 离散型企业    | 权重   | 流程型企业     | 权重   |
| 互联互通   | 0.35 | 智能设备联网   | 0.32 | 智能设备联网    | 0.40 |
|        |      | 信息网络设施   | 0.48 | 信息网络设施    | 0.60 |
|        |      | 生产资源连接   | 0.20 |           |      |
| 综合集成   | 0.33 | 横向集成     | 0.28 | 横向集成      | 0.32 |
|        |      | 纵向集成     | 0.48 | 纵向集成      | 0.50 |
|        |      | 端到端集成    | 0.24 | 端到端集成     | 0.18 |
| 数据分析利用 | 0.32 | 运营智能决策   | 0.20 | 运营智能决策    | 0.20 |
|        |      | 产品生命周期优化 | 0.30 | 生产智能管理    | 0.30 |
|        |      | 供应链优化    | 0.25 | 供应链优化     | 0.24 |
|        |      | 网络化协同    | 0.15 | 能耗与安全管理优化 | 0.16 |
|        |      | 服务化延伸    | 0.10 | 服务化延伸     | 0.10 |

图表 20 二级指标和三级指标的权重设置

### 三、 工业互联网成熟度评估模型的应用和试评估

#### （一）应用方法

##### 1、 指标量化采集

依照评估指标体系，本模型设置了对应的评估问卷，问卷题目包括定量和定性两种，定量指标可以直接采集数值对应不同分值，定性指标通过对不同发展程度给出阶段性描述，然后根据企业具体实践情况对应不同分值。

定量题均设置 5 个层级，定性题设置 3-5 个层级，设置方法主要依据上文中关键能力的能力等级。每个层级对应一定的分值，以下各举一例（如图表 21 所示）。

| 三级指标              | 指标量化采集                                   | 打分原则 |
|-------------------|------------------------------------------|------|
| 生产设备联网率<br>(定量指标) | 1. 0-20%                                 | 20分  |
|                   | 2. 21%-40%                               | 40分  |
|                   | 3. 41%-60%                               | 60分  |
|                   | 4. 61%-80%                               | 80分  |
|                   | 5. 81%-100%                              | 100分 |
| 协同设计<br>(定性指标)    | 1. 未实现                                   | 0分   |
|                   | 2. 企业或集团内不同部门在产品设计阶段实现了本地协同              | 40分  |
|                   | 3. 企业或集团内在产品设计阶段基于统一的研发资源集成共享平台实现了跨区域协同  | 70分  |
|                   | 4. 企业或集团内部与外部企业之间基于统一的研发资源集成共享平台实现了跨区域协同 | 100分 |

图表 21 定量指标和定性指标的量化采集及打分原则

##### 2、 实时结果计算

各选项均对应 100 分内的不同分值，而且是分值越高越

好，因此不需要对指标进行无量纲化处理，可直接应用如下公式中的加权平均模型来计算具体的评价得分情况。

$$\theta = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \alpha_i \beta_j \chi_k x_k$$

其中， $\theta$ 为工业互联网建设水平的综合评价得分， $\alpha_i$ 为第  $i$  个一级指标的权重系数， $\beta_j$ 为第  $j$  个二级指标的权重系数， $\chi_k$ 第  $k$  个三级指标的权重系数， $x_k$ 为企业第  $k$  个三级指标的得分； $i=(1\dots m)$ ， $j=(1\dots n)$ ， $k=(1\dots l)$ 。

当前在线评估网站正在启动建设中，系统后台将配置好权重和计算模型，企业在进行线上自评后，系统会实时计算分值并显示评估结果。

### 3、对应星级评定

评估问卷中每道题的选项设置均依照梯次递进的思路，一定程度上反映了企业工业互联网建设的过程。该模型可以对一级指标和二级指标中的单项能力进行评估，也可以对总体能力进行评估，最终评估结果采取星级制。

一级指标和二级指标的单项能力评估分值和星级对应原则如下：

|           | 1 星    | 2 星     | 3 星     | 4 星     | 5 星      |
|-----------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 一级/二级指标能力 | 0-20 分 | 21-40 分 | 41-60 分 | 61-80 分 | 81-100 分 |

图表 22 单项能力评估分值和星级对应原则

总体能力评估分值和星级对应时不仅要求总体分值达

标，也对单项能力分值设置了门槛，避免了单项能力过于薄弱而总分达标的企业获取较高星级的情况，如果总体分值达标，但某一单项能力分值未达标，则做降级处理，如 A 企业总体分值达到了 3 星，但其中一个单项能力低于 35 分，则只能评定 2 星。对应原则如下：

|      |            | 1 星    | 2 星     | 3 星     | 4 星     | 5 星      |
|------|------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 综合能力 | 总体分值       | 0-20 分 | 21-40 分 | 41-60 分 | 61-80 分 | 81-100 分 |
|      | 互联互通能力分值   |        | >10 分   | >30 分   | >50 分   | >70 分    |
|      | 综合集成能力分值   |        | >10 分   | >30 分   | >50 分   | >70 分    |
|      | 数据分析利用能力分值 |        | >10 分   | >30 分   | >50 分   | >70 分    |

图表 23 总体能力评估分值和星级对应原则

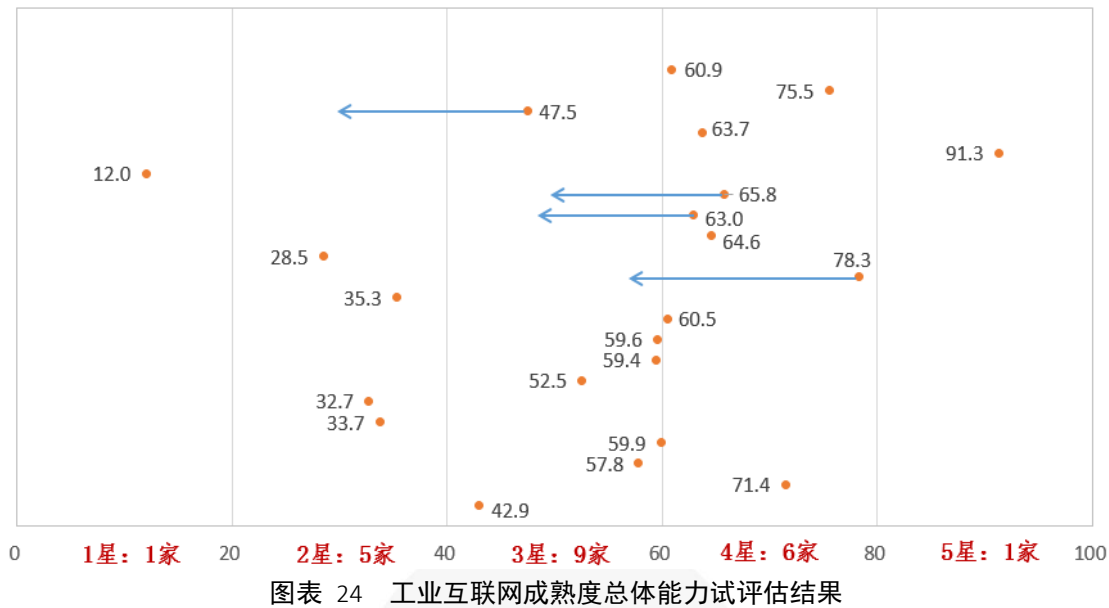
## （二）试评估结果分析

为了保证该评估模型的适用性和科学性，联盟上线了在线评估调查问卷简版，并邀请联盟成员结合自身实际情况进行问卷填写，并反馈对问卷的意见和建议。历时 2 周，联盟共收到了有效问卷 22 份，其中包括离散型制造企业 12 个，流程型制造企业 10 个，虽然样本数量有限，但也一定程度上代表了当前工业互联网的建设水平和发展特点，能够为企业、研究机构、政府部门等提供一定的参考。

### 1、工业互联网成熟度总体能力水平

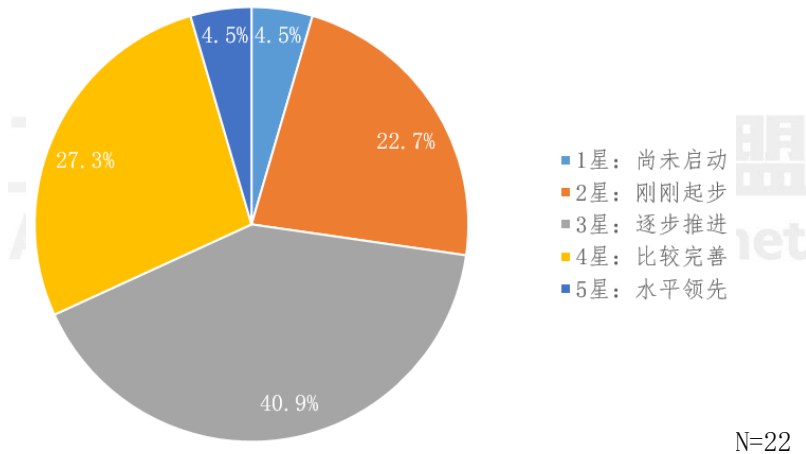
基于本成熟度评估模型，22 份有效样本中，1 星企业 1 家，2 星企业 5 家，3 星企业 9 家，4 星企业 6 家，5 星企业 1 家，其中有 4 家企业因单项能力弱被降级（如图表 24 所

示)。



图表 24 工业互联网成熟度总体能力试评估结果

以上评估结果显示现阶段我国工业互联网成熟度水平呈现如下特点：



图表 25 工业互联网成熟度总体能力星级分布

**4.5%的企业工业互联网建设尚未启动**，设备和系统孤岛问题明显，数据采集工作尚未起步，数据价值意识薄弱。

**22.7%的企业工业互联网建设刚刚开始**，互联互通基础设施具备一定基础，系统集成工作覆盖部分环节，数据采集

和分析尚处于探索阶段。

**40.9%的企业工业互联网建设逐步推进**，互联互通能力不断提升，纵向集成基本完成，端到端集成和横向集成具备一定基础，数据采集工作已经启动。

**27.3%的企业工业互联网建设比较完善**，基础设施互联互通和系统集成度较高，数据流已经基本贯通，对新型工业网络、云计算、大数据等新技术的应用比较广泛，数据价值挖掘意识较强。

**4.5%的企业工业互联网建设水平领先**，基础设施互联互通和系统集成度高，企业内部数据流和供应链上下游价值流已经全线打通，新技术应用比较成熟，数据价值挖掘比较充分。

## 2、工业互联网成熟度单项能力水平

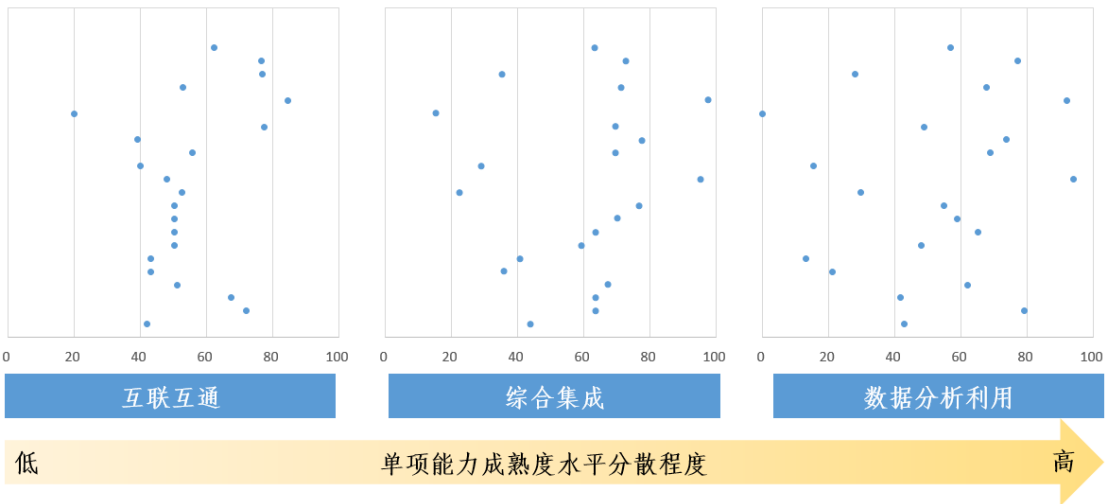
就三个核心要素的单项能力成熟度而言，22 份有效样本反映出的差异比较明显（如图表 26 所示）：

**互联互通：成熟度水平比较接近**，86.4%的企业基础设施互联互通能力达到了 3-4 星水平，即基础设施互联互通已经具备一定基础，并逐步提升完善。

**综合集成：成熟度水平分布均衡**，22.7%的企业仍停留在孤岛和个别环节实现集成的状态，68.2%的企业达到了 3-4 星水平，即纵向集成已部分完成或基本完成，横向集成和端

到端集成处于逐步推进和完善状态。

**数据分析利用：**成熟度水平差异较大，企业的数据价值意识存在较大差距，27.3%的企业低于 2 星，数据采集和分析尚处于未起步和探索前期；30.8%的企业达到 3 星水平，正在推进数据采集工作；30.8%的企业达到 4 星水平，正不断增强数据分析和价值挖掘能力，9.1%的企业数据分析利用已经处于领先水平。



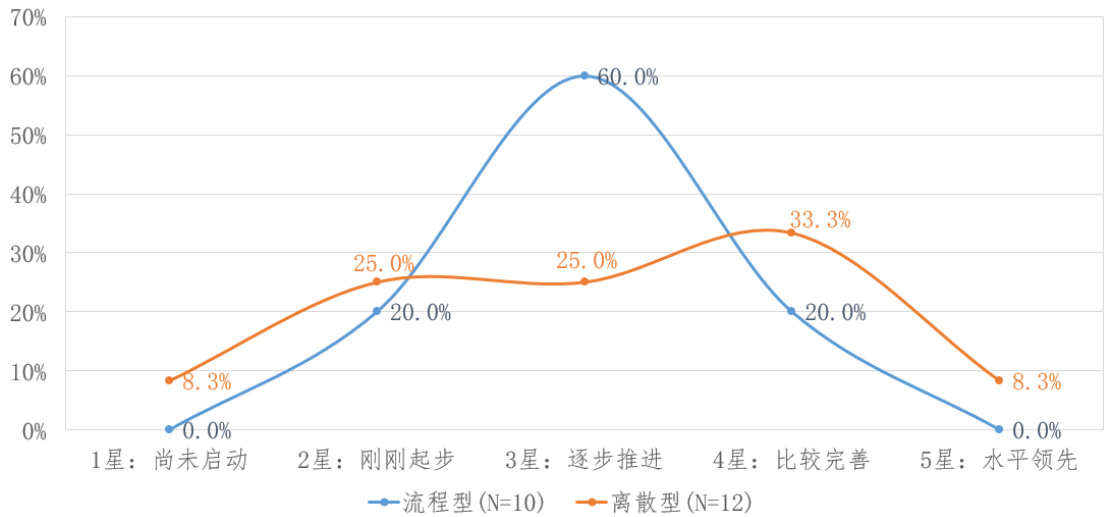
图表 26 工业互联网成熟度单项能力试评估结果

### 3、离散型与流程型行业成熟度比较

就总体能力水平来看，离散型和流程型制造在工业互联网建设方面差异明显（如图表 27 所示）。

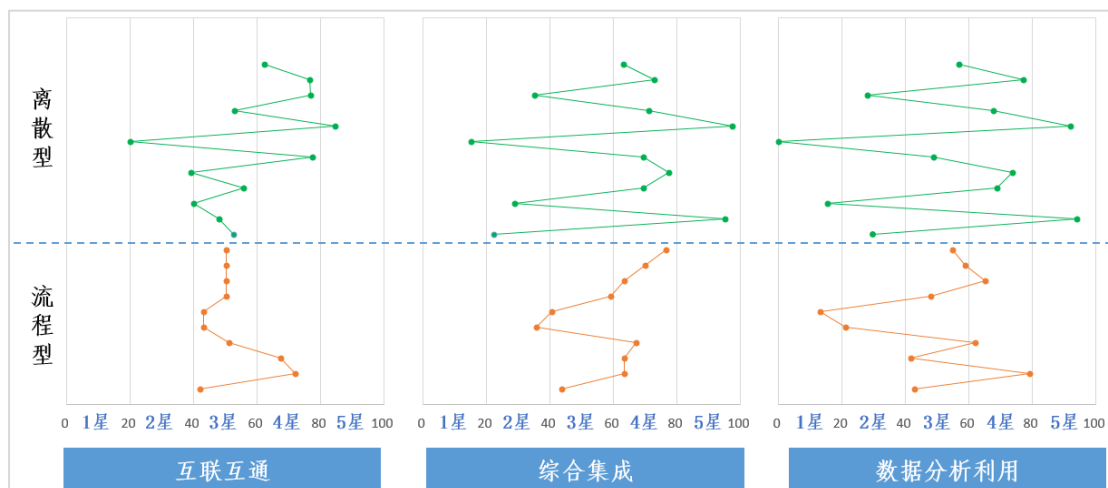
离散行业工业互联网成熟度水平呈现分化局面，部分企业基础非常薄弱，但也有不少先锋型企业对工业互联网建设进行了积极探索和实践，已经达到了不错的水平，特别是在综合集成和数据分析利用方面已经发展比较成熟。

流程行业工业互联网成熟度呈现“中间高，两边低”的特点，60%的企业正在逐步推进，但达到 4-5 星水平的企业较少，说明流程型企业大多工业互联网建设基础较好，但有待完善和提升，企业对先进技术和应用的探索相对滞后。



图表 27 离散型和流程型成熟度总体能力星级分布

就单项能力来看，流程行业的互联互通基础设施和综合集成水平方面已经具备比较良好的基础，几乎全部达到了 3-4 星水平（如图表 28 所示），而离散行业两极分化现象明显，特别是在综合集成能力方面，部分企业刚刚起步低于 2 星水平，但也有相当一部分已经达到 4-5 星的较高水平。在数据分析利用能力方面，离散行业的探索和实践更为积极，已经出现了少数达到领先水平的企业。



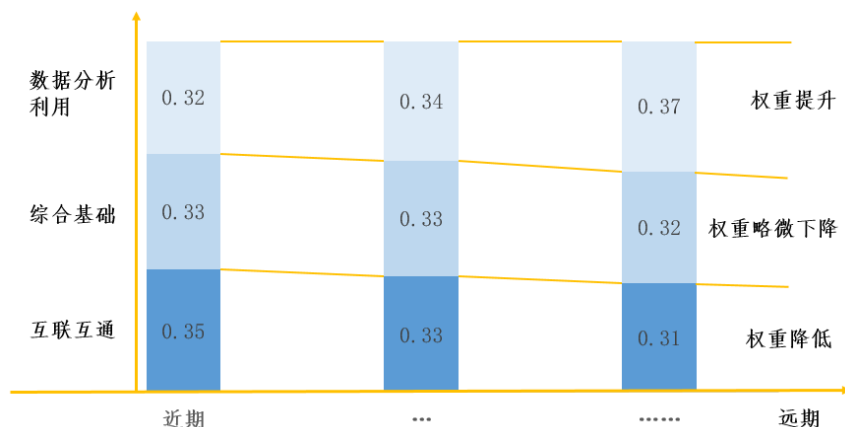
图表 28 离散型和流程型成熟度单项能力星级分布

## 四、 下一步落地与实践

### (一) 动态优化评估指标和评估问卷

在成熟度模型不断落地实践的过程中，会根据获得的评估统计结果考虑评估指标的新增和取舍，举例来说，如果绝大多数企业在某一指标上都达到了最高水平，说明该指标已经成为基本能力，无需再评估。如果发现企业在工业互联网建设方面有新的创新点和新模式，将被作为新指标纳入。

权重配置是成熟度模型中的一个重要决定因素，考虑到当前实际发展情况，现阶段对数据分析利用要素设定的权重最低，就远期来看，互联互通和综合集成要素作为基础能力将逐渐完备，权重配比可能会稍有下降，数据分析利用要素的权重会相应上升（如图表 29 所示）。



图表 29 权重配置动态变化示意

在试评估阶段，评估问卷设置比较简单，针对每一个三级指标均仅设立了一道问题，因此在数据采集上难免不够全面，对很多细节性问题的考虑也有所欠缺。下一步联盟将不断充实和完善评估问卷，增强评估问卷的普适性，更加细化问题的选项设置，提升评估结果对企业、科研机构和政府部门的指导意义和参考价值。

## （二）推进在线评估服务平台应用

当前联盟已经基本建成工业互联网评估服务平台（<http://www.iievaluation.com/>），平台面向流程和离散两类企业免费开放评估服务，企业在完成自评估后可以实时获取评估结果，对照统计分析了解自身实践水平和存在差距，也能及时了解业界工业互联网建设的总体水平和发展方向。评估服务平台包括业界动态、评估服务、评估结果可视化、评估报告等模块。

### **（三）提供评估诊断和咨询服务**

在评估服务推进过程中，联盟将不断加强与业界专家、解决方案商的沟通交流，构建从需求侧到供给侧的生态体系。在经过一定数量的诊断和咨询服务验证后，会将专家诊断经验和知识固化到评估服务平台中，当企业参与评估完成后，系统会自动对各项二级指标代表的关键能力给出反馈诊断结果和改进建议。此外，评估服务平台将设立诊断服务专区，制造企业和解决方案商可以在该平台上进行答疑解惑和供需对接。

### **（四）公开发布成熟度评估报告**

工业互联网成熟度模型除用于评估诊断、改进提升外，其统计分析结果也具备较高的参考价值。联盟将根据评估服务平台数据采集结果不定期公开发布我国工业互联网成熟度水平报告，可以科学地、连续地动态监测我国工业互联网的建设需求、建设进展和先进性水平，供所有制造企业、研究机构、产业主管部门、解决方案服务商等使用借鉴。

## 附件 1：术语和缩略语

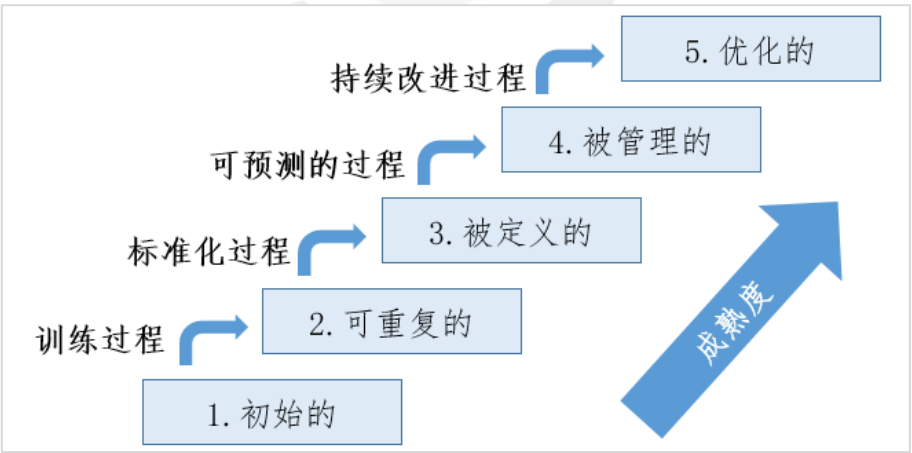
| 序号 | 词汇            | 定义                                                                                                       |
|----|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 工业互联网         | 互联网和新一代信息技术与工业系统全方位深度融合所形成的产业和应用生态，是工业智能化发展的关键综合信息基础设施                                                   |
| 2  | IT 网络         | IT Technology Network，用于连接信息系统与终端的数据通信网络                                                                 |
| 3  | OT 网络         | Operation Technology Network，用于连接生产现场设备与系统，实现自动控制的工业通讯网络                                                 |
| 4  | 现场总线          | 连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络                                                                       |
| 5  | 工业以太网         | 基于标准以太网协议，用于工业自动化或过程控制中连接现场设备和系统的通信网络                                                                    |
| 6  | 基于模型的设计（MBD）  | Model Based Definition，用集成的三维实体模型来表达完整产品定义信息的方法体，它在三维实体模型上附加了产品的尺寸、公差信息，是一种更便于用户理解且更具效率的产品信息定义方法         |
| 7  | 基于模型的企业（MBE）  | Model Based Enterprise，采用建模与仿真技术对设计、制造、产品支持的全部技术的和业务的流程进行彻底的改进、无缝的集成以及战略的管理，利用产品和过程模型来定义、执行、控制和管理企业的全部过程 |
| 8  | 可制造性预测（离散型制造） | 在产品的设计时能够对其制造过程进行仿真模拟，验证设计结构的可生产性，并能基于验证结果进行从设计到生产可行性的预测、优化和调整                                           |
| 9  | 可制造性预测        | 在工艺设计时对生产过程进行仿真模                                                                                         |

|    |             |                                                                                   |
|----|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|    | (流程型制造)     | 拟, 验证生产过程的可行性, 并基于验证结果进行加工工艺和路线的优化和调整                                             |
| 10 | 产品谱系追溯      | 采集整合原材料、在制品和产品服务/维护数据, 基于统一编码标识实现完整的可追溯的产品谱系                                      |
| 11 | 产品优化创新      | 对制造过程的生产数据和服务/维护过程的产品数据进行采集和处理, 然后反馈到产品设计过程中, 在产品设计阶段优化产品性能、创新产品功能                |
| 12 | 生产过程实时监控与追溯 | 实时采集原料生产转化中的装置运行数据、工艺数据和环境数据, 并基于采集数据分析挖掘, 实现生产过程、工艺流程等的优化和调整                     |
| 13 | 异常工况诊断与自愈控制 | 基于生产装置运行数据采集和监测提供故障预警、远程诊断等服务, 并基于诊断结果提供远程参数配置、远程维护操作等服务                          |
| 14 | 协同设计        | 企业与企业之间, 通过网络化的设计平台, 分工并行开展的产品设计模式, 可有效缩短产品设计周期                                   |
| 15 | 协同制造        | 基于网络协同平台, 将制造任务、订单信息分配给不同地域、不同规模的制造企业, 将社会分散的制造资源、制造能力在网络平台进行集聚共享, 形成网络化协同的生产组织模式 |

## 附件 2：国内外相关成熟度评估理论研究

在制定工业互联网成熟度评估体系之前，联盟大量研究和参考了国内外相关理论和实践方法。

1987 年，美国卡耐基·梅隆大学提出能力成熟度模型（Capability Maturity Model for Software, CMM）（如图表 30 所示）。该方法最早是用于探索软件过程成熟度的一个工具，以持续改进为根本思想，以发展过程和目标管理为手段，能够比较清晰的将一个事物的发展描述为几个有限的渐进式的成熟等级，并能提供阶梯式的改进框架，获得业界广泛使用，成为流行的工程实施和管理方法。

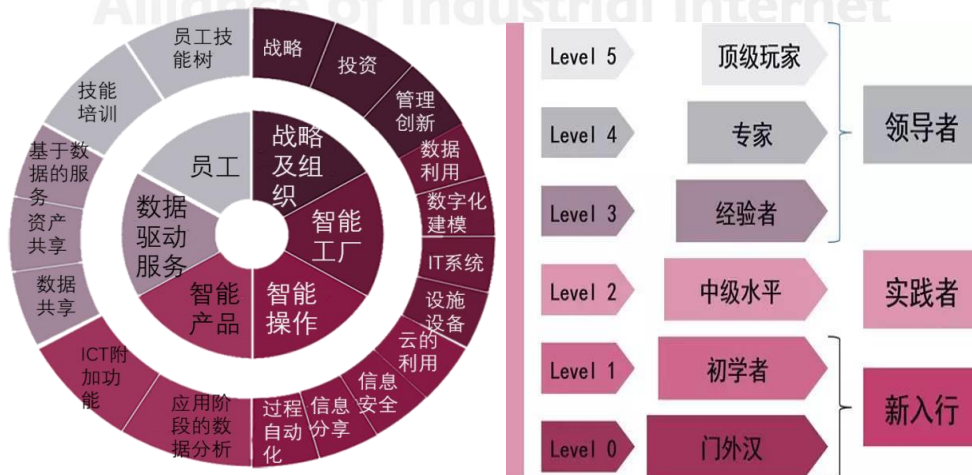


图表 30 软件能力成熟度模型（CMM）的五个梯度

在工业 4.0、智能制造等领域，国内外机构陆续提出了相关评估体系，大多遵循了该方法的基本思想。本评估模型在制定过程中重点参考了德国机械设备制造业联合会（VDMA）、美国国家标准与技术研究院（NIST）和中国电子技术标准化研究院(CESI)的相关成果。

## 1. 德国 VDMA：工业 4.0 成熟度评测

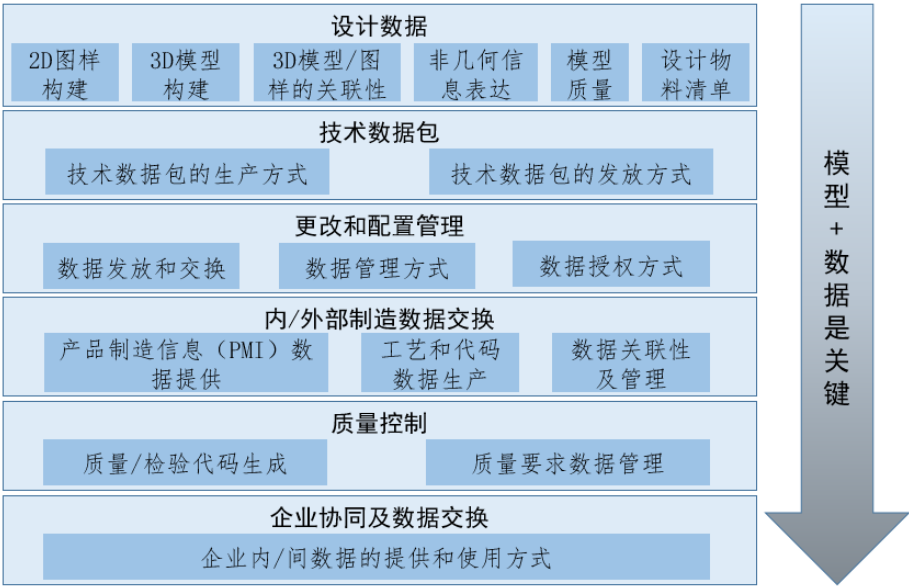
德国 VDMA 下属 IMPULS 基金会委托 IW 咨询（科隆经济研究所子公司）和亚琛工业大学 FIR（工业管理研究所）共同推出了工业 4.0 成熟度在线自评测平台，并给出了工业 4.0 的评级体系（如图表 31 所示）。该测评涵盖战略和组织、智能工厂、智能运营、智能产品、数据驱动服务和员工六个维度，权重分别为 0.254、0.143、0.102、0.185、0.138 和 0.179。根据评测结果，将被测者分为 level0 到 level5 六个层次，其中 level3 至 level5 属于行业领导者水平。该评测模型涉及维度比较全面，且因采用在线模式操作简单、易于推广。德国工业 4.0 工作组认为：该模型可以帮助企业明确工业 4.0 的现状，指导企业找到提高智能制造水平的方法，逐步建立属于自己的工业 4.0 模式。目前已有几百家企业参与了该项评估，并获得了相应的评估和诊断报告。



图表 31 德国 VDMA 工业 4.0 成熟度评测模型

## 2. 美国 NIST：基于模型的企业（MBE）能力评估

美国 NIST 提出了 MBE 能力评估模型。该模型主要包括制造过程中流动的对象（包括模型、BOM、设计数据、工艺数据、检验数据等）以及数据的活动（包括定义、传递、交换、状态和配置、一致性验证等）两个维度，主要评价设计数据、技术数据包、更改与配置管理数据、内/外部制造数据交换、质量控制、企业协同级数据交互六个方面的能力水平，并对每个能力指标给出了以图样为中心、以模型为中心、基于模型的定义（MBD）和基于模型的企业（MBE）四个阶段的描述，可以看出 MBE 能力评估的关键是模型和数据。NIST 曾使用该模型对全美近 500 家供应商进行了评估，结果表明：MBE 实施程度越深入，企业在降低成本、缩短研制周期方面的效果越显著。



图表 32 美国 NIST 企业 MBE 能力评估模型

### 3. 我国 CESI：智能制造能力成熟度模型（1.0）

我国 CESI 发布的智能制造能力成熟度模型（1.0）给出

了组织实施智能制造要达到的阶梯目标和演进路径，提出了实现智能制造的能力及要素、特征和要求。遵循《国家智能制造标准体系建设指南（2015 版）》定义，从生命周期、系统层级、智能功能 3 个维度考虑，归纳为制造和智能 2 个维度，设计、生产、物流、销售、服务、资源要素、互联互通、系统集成、信息融合、新兴业态 10 大能力及 27 个要素域（如图表 34 所示）。目前该模型还在进一步细化和完善中。



图表 33 我国 CESI 智能制造能力等级矩阵

## 参考文献

1. 《工业互联网体系架构（版本 1.0）》，工业互联网产业联盟，2016
2. 《INDUSTRIE 4.0 READINESS》，德国机械设备制造业联合会(VDMA)，2015
3. 《工业 4.0 成熟度评级指南 | 德国工 4 平台成绩单》，知识自动化，2016
4. 《Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems》，美国国家标准与技术研究院 (NIST)，2016
5. 《智能制造能力成熟度模型白皮书（1.0 版）》，中国电子技术标准化研究院(CESI)，2016
6. 赵亮，张岩涛，吕翔，陶剑，《MBE 发展动态及标准体系研究》，航空标准化与质量，2013
7. 《工业互联网打破智慧与机器的边界白皮书》，GE，2012

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet



## 联系我们

工业互联网产业联盟 秘书处

地址：北京市海淀区花园北路52号，100191

电话：010-62305887

邮箱：aia@caict.ac.cn

网址：<http://www.aia-alliance.org>

