

央企智能制造能力评价体系建设研究

刘金金 邹文俊

南京航天管理干部学院，江苏南京，210001；

摘要：为帮助制造业企业实现智能化转型，本文采用专家咨询法和层次分析法（AHP）相结合的方式，通过专家对标准以及相关文件进行指标初选，以及对两轮专家访谈的整理、汇总和反馈，进行指标的选择和赋权，建立央企的智能制造能力评价指标体系，利用收集的相关数据修正评价指标体系，旨在促进央企成为国家智能制造领域的主力军和生力军，发展成为落实国家制造强国战略的领军企业。

关键词：智能制造；指标体系；能力评价

DOI：10.69979/3029-2700.25.10.018

前言

当今，全球兴起产业变革和新科技革命，引发工业发展模式、技术体系和竞争格局发生重大变革。英美德等发达国家以先进制造业为发展核心，推行“再工业化”的战略，规划智能制造的战略布局，并出台相应的战略发展措施，智能制造成为发达国家发展先进制造业的重要战略方向和制高点。德国工业智库联合业界专家率先研发了工业4.0成熟度模型，提出了工业4.0评价体系，分析了企业所处工业4.0具体发展阶段，实施提升企业智能制造能力的有效举措。

2015年，中国发布“中国制造2025”，提出通过“三步走”实现制造强国的战略目标。但如何确定智能制造的发展程度、界定工业几点几，已成为国家和国内企业共同关注的首要问题。2015年，工信部和国标委联合发布《国家智能制造标准体系建设指南》，强调“智能制造，标准先行”的重要性，旨在充分发挥标准在推进智能制造发展中的基础性和引导性作用，并于2018年更新了建设指南。

本文从央企智能制造的发展现状和能力水平着手，探索构建央企智能制造能力评价体系，帮助央企实现智能化转型，成为国家智能制造领域的主力军和生力军，落实国家智能制造强国战略的领军企业。

1 智能制造能力的内涵

智能制造是以信息技术为依托的先进制造技术，但是智能制造能力还未有明确的定义。2015年版和2018年版的国家智能制造标准体系建设指南提出从生命周期、系统层级、智能功能三个维度建立智能制造系统架构。系统架构是对智能制造的核心特征和要素的总结，

其中，智能功能包括资源要素、互联互通、融合共享、系统集成、和新业态五层。

针对现阶段智能制造概念宽泛、智能制造能力的研究尚不成熟、难以科学客观地评价等问题，本文根据智能制造、制造能力等相关概念和内涵，尝试提出智能制造能力的内涵，为后续构建能力评价体系指标提供理论支撑。

依据人工智能的研究，现代学者认为智能制造是智能和知识的结合。本文研究的智能制造能力以制造资源基础，以信息技术为手段，在制造过程中进行智能活动，实现制造的自动化、柔性化、智能化和高度集成化，并能有自我学习的能力，去搜索和了解所处环境的信息和自身识别的信息，从而去分析、判断以及规划自己行为的能力。智能制造能力作为在智能制造发展中核心和最重要内容之一，可将企业各类资源与企业服务能力以信息化手段进行组合和分解，实现最大程度地满足用户需求。

2 央企智能制造能力评价体系研究

本文参考国家智能制造体系架构提出了智能制造能力评价体系。该体系从智能功能维度出发，形成资源要素、互联互通、融合共享、系统集成、新业态和智慧化管理六个层次，并引入知识集成和管理智慧化的评价；从人类社会发展和企业发展的角度，形成智能制造能力评价系统，进一步诠释智能制造的内涵。

2.1 智能制造能力评价体系的构建思路

本文构架的智能制造能力评价体系是基于国内关于智能制造能力评价的研究，并结合央企智能制造能力

的现状和企业智慧化建设的特点，构建针对性的评价体系。基于央企的智能制造力在企业智慧化建设中的作用和地位，运用智能制造体系架构中的智能功能、制造能力、国内外智能制造成熟度模型等分析手段，确定评价体系的构建原则和概念模型，根据智能功能构成、知识集成以及管理智慧化等因素来选择评价指标，最终构建智能制造能力评价体系，为智能制造体系构建和智慧企业建设提出有益的政策建议。

2.2 评价指标体系设计的原则及概念模型

2.2.1 评价原则

本文所构建的央企智能制造能力评价指标体系属于多层次综合评价体系。为让评价体系科学合理且具有适用性、评价结果客观和准确，评价指标体系的构建应遵循以下几个原则：

一是科学性。在构建能力评价指标体系时要合理地选择评价能力的方法，尽可能缩小误差范围，提高所得评价结果的准确性。

二是系统性。构建的评价指标体系中的指标要能够充分地体现智能制造能力系统上的特征，指标体系的层次必须合理，应包含目标层、准则层和指标层等，不以单一目标选取评价指标，指标需具有代表性，能够体现智能制造能力的现状，选取指标要全面和完整。

三是重点性和突出性。构建能力评价体系要突出评价的重点，尤其是突出关键因素。评价体系指标的选取要有所侧重，着实反映智能制造的能力。

四是定性与定量分析。本文所采用的指标选择及赋权方法是专家咨询法和 APH 方法，这两种方法是定性和定量相结合，在实际选择过程中，可以避免两个缺陷，一是客观的方法较容易忽略实际重要性，二是主观的方法会让评价结果过于主观。定性与定量分析相结合的原则使得评价的指标体系具有合理性以及客观性。

五是发展性。考虑到指标评价体系的结果在时间上具有一定的滞后性，因而在选取指标和设计指标体系时要了解企业现阶段智能制造能力的现状，同时还需要将企业发展性考虑到指标中，评价指标的设计要能够适应发展状态，并能够根据环境变化做出适当的调整。

2.2.2 评价体系的概念模型

根据评价指标体系设计的原则，本文构建了央企智能制造能力评价体系的概念模型。以智能制造体系架构为参考，从智能功能层次出发，结合知识集成要素与智

慧企业建设，共同组成了央企智能制造能力的评价模型。

(1) 资源要素

资源要素为智能制造实施的基础，包括对制造资源、信息资源、服务资源的策划、管理及优化。资源要素智能化的提升体现了管理信息化和决策智能化。

(2) 系统集成

系统集成的目的是实现企业内部的信息业务互联和互相操作，达到信息物理完全融合。系统集成的智能化是系统间互联互操作，从供应链的性能，到 MES 以及智能制造物流系统，再达到制造系统的柔性自动化，从而实现对资源的充分共享。

(3) 互联互通

互联互通，通过部署和应用现场总线和无线网络，达到人机物有机互联的状态和环境。要实现互联互通的智能化，需要在设备之间、车间之间、乃至到工厂和企业的上下游之间达到互联互通，这也是系统集成和协同制造等内容的支撑。本文以互联互通为评价维度，以工业控制网络为支撑，实现工业协同设计及优化，达到企业系统之间的互联互通。

(4) 信息融合

信息融合是在系统的集成和通信、信息安全有保障的基础上，通过云计算和大数据等新兴的信息技术，实现信息协同共享。本文在信息化战略支持下，以信息融合为评价维度，利用产品和业务流程的信息化应用，实现信息化协同集成，确保信息系统的安全度，达到信息处理系统管理的标准化。

(5) 新兴业态

在互联网环境下，企业通过新兴信息化手段和相关智能管理方式，重新构建企业的生产模式与组织方式，形成的新商业模式即为新兴业态。其主要包括个性化订制、远程运维和工业云等服务型制造模式。本文构建的新型业态指标包含了智能产品、智能服务和商业模式创新三个方面，来实现智能化的商业模式。

(6) 智慧化管理

智能制造以数据驱动，实现信息融合，并应用不同的创新知识，实现基于模型的系统工程，服务于各种业态，达到智慧化管理。本文从智慧化管理维度，以流程优化为保障，不断优化员工素质，满足系统层级的各方面个性需求，实现管理创新和智慧化。

2.2.3 评价体系中的指标选择

能力评价结果的精确性和客观合理性,受不同维度上所选取指标数目和内部指标组合等因素的影响,本文在构建能力评价指标体系时,先确定体系的总体目标,其次选取评价维度上的二、三级指标,再对通过官方渠道收集选取具体评价数据。本文的指标选取来源主要是国家智能制造标准体系建设指南(2015年版)、智能制造能力成熟度模型白皮书(1.0版)、三十三套国家标准

准、智能化改造文件等相关材料。

本文从智能功能视角,结合央企智慧企业建设,融合知识集成和智慧化管理两个视角,尝试构建央企智能制造能力评价指标体系(如表1)。值得注意的是,本文可能在指标选择还欠缺完整性,按照社会发展规律,后续将对于所研究的指标体系进行修正和完善。

表1 央企智能制造能力的评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
资源要素 B_1	制造资源 C_1	生产设备数字化率 C_{21}
		关键工序数控化率 C_{22}
		机器人应用 C_{23}
	信息资源 C_2	通信设备 C_{24}
		网络设备 C_{25}
		可跟踪性 C_{26}
		可互换性 C_{27}
	服务资源 C_3	DT(数字化) C_{28}
		IT(信息化) C_{29}
		信息安全 C_{30}
系统集成 B_2	供应链性能 C_4	供应链柔性 C_{31}
		供应链管理的资产利用率 C_{32}
	制造执行系统 C_5	MES 普及率 C_{33}
		PLM 普及率 C_{34}
		数字化研发工具普及率 C_{35}
	智能物流系统 C_6	物流管理系统 LMS C_{36}
		仓库管理系统 WMS C_{37}
		物流与仓储装备智能化水平 C_{38}
	柔性制造系统 C_7	柔性自动化 C_{39}
		柔性制造技术 C_{40}
互联互通 B_3	工业设计 C_8	协同设计 C_{41}
		个性化设计 C_{42}
	工业优化 C_9	全价值链协同优化 C_{43}
		工艺三维数字化仿真 C_{44}
	工业控制网络 C_{10}	数字化生产设备联网率 C_{45}
		数据采集范围 C_{46}
		人机交互程度 C_{47}

		弹性叠加业务量 C_{48}
	企业系统互联 C_{11}	跨企业信息资源共享 C_{49}
		跨企业制造资源共享 C_{50}
		产品和业务流程的信息化应用 C_{51}
	信息化融合度 C_{12}	信息化协同集成 C_{52}
		信息化战略支持 C_{53}
		组织机构安全度 C_{54}
	信息系统安全度 C_{13}	系统能力安全度 C_{55}
		管理功能性 C_{56}
	信息处理系统管理 C_{14}	管理标准化 C_{57}
	智能产品 C_{15}	信息安全产品 C_{61}
		自主可控产品 C_{62}
		大数据应用服务产品 C_{63}
	智能服务 C_{16}	系统集成解决方案 C_{64}
		工业云服务 C_{65}
	流程优化 C_{17}	流程再造率 (BPR) C_{71}
		精益生产效率 C_{72}
		成组技术应用率 C_{73}
		产品标准化率 C_{74}
	知识型员工 C_{18}	质量可靠性工程师占比 C_{75}
		ERP 工程师占比 C_{76}
		MES 工程师占比 C_{77}
	管理创新 C_{19}	个性需求满足率 C_{78}
		协同创新网络的参与度 C_{79}

2.2.4 评价指标体系的指标赋权

(1) 评价方法的分析

本文采用专家咨询法和 AHP 方法相结合, 先咨询智能制造领域的专家学者, 再运用 Saaty 的 1-9 标度法对选取的评价指标进行专家赋权, 接着采用 AHP 法对评价的结果进行汇总和分析, 确定指标的权重。这两种方法的结合一方面可以考虑到指标的实际性和重要性, 另一方面可以根据相关要求对指标体系进行调整和完善。

①专家咨询法

第一, 本文将智能制造能力评价指标体系中的评价指标赋权, 并探讨指标选择的合理性, 制作咨询调查表; 第二, 通过研究机构的 14 名专家对三十三套标准以及

相关文件进行指标初选, 再通过 6 名来自不同行业的智能制造资深专家进行指标的再确定和问题咨询; 第三, 通过对两轮专家咨询意见的整理、汇总和反馈, 确立智能制造能力的六个一级指标, 包括 19 个二级指标和所有的三级指标。

②AHP 法 (层次分析法)

在本文所建立的央企智能制造能力评价指标体系中, 二级指标只是名义上对三级指标进行分类, 并不会对一级指标或者层次上的三级指标产生实质性的影响, 并根据不同企业的现状可实现调整和完善。本文为了对指标体系进行简化, 同时更好地运用层次分析法, 对评价指标体系中二级指标省去了讨论, 并由目标层、一级

指标和三级指标构成层次结构模型。

(2) 指标权重的确定

本文所采用的评价方法,是对判断矩阵的各个层次上的因素相对重要性进行赋值,对评价结果进行汇总,再通过一致性检验,最终得到三级指标的权重。一级指标、二级指标、三级指标的权重和一致性分析结果表明,C.R 值都小于 0.1, 指标权重值结果都可以接受。根据

层次总排序结果,在一级指标中,系统集成和互联互通的权重值大于其他四类指标的权重值,两者的权重均大于 0.3。在指标体系中的三级指标中,系统集成和互联互通两类指标中包含了总排序权重值较高的指标,MES 普及率占系统集成的 0.0807,PLM 普及率占系统集成的 0.0673,数字化生产设备联网率和人机交互程度都占互联互通的 0.0933(详见表 2)。

表 2 层次总排序权重值

一级指标		三级指标		
B	权重值	C	权重值	总排序权重值
B_1	0.1135	C_{21}	0.2409	0.0273
		C_{22}	0.2409	0.0273
		C_{23}	0.1065	0.0121
		C_{24}	0.0397	0.0045
		C_{25}	0.0397	0.0045
		C_{26}	0.1065	0.0121
		C_{27}	0.0397	0.0045
		C_{28}	0.1065	0.0121
		C_{29}	0.0397	0.0045
		C_{30}	0.0397	0.0045
B_2	0.3277	C_{31}	0.0570	0.0187
		C_{32}	0.0263	0.0086
		C_{33}	0.2463	0.0807
		C_{34}	0.2055	0.0673
		C_{35}	0.0563	0.0184
		C_{36}	0.1553	0.0509
		C_{37}	0.1425	0.0467
		C_{38}	0.0626	0.0205
		C_{39}	0.0241	0.0079
		C_{40}	0.0241	0.0079
B_3	0.3384	C_{41}	0.0684	0.0231
		C_{42}	0.0684	0.0231
		C_{43}	0.0684	0.0231
		C_{44}	0.0684	0.0231
		C_{45}	0.2757	0.0933
		C_{46}	0.0684	0.0231
		C_{47}	0.2757	0.0933
		C_{48}	0.0684	0.0231

		C_{49}	0.0191	0.0065
		C_{50}	0.0191	0.0065
B_4	0.1275	C_{51}	0.0667	0.0085
		C_{52}	0.0667	0.0085
		C_{53}	0.0667	0.0085
		C_{54}	0.3333	0.0425
		C_{55}	0.3333	0.0425
		C_{56}	0.0667	0.0085
		C_{57}	0.0667	0.0085
		C_{61}	0.3967	0.0135
B_5	0.0340	C_{62}	0.3967	0.0135
		C_{63}	0.0485	0.0016
		C_{64}	0.1098	0.0037
		C_{65}	0.0485	0.0016
		C_{71}	0.3551	0.0210
B_6	0.0590	C_{72}	0.1861	0.0110
		C_{73}	0.0655	0.0039
		C_{74}	0.0655	0.0039
		C_{75}	0.0655	0.0039
		C_{76}	0.0655	0.0039
		C_{77}	0.0655	0.0039
		C_{78}	0.0655	0.0039
		C_{79}	0.0655	0.0039

2.3 智能制造能力评价结果分析

通过对智能制造能力评价指标的分析，可以得出以下结论：

(1) 系统集成和互联互通是影响智能制造能力的重要因素

在指标赋权上，互联互通和系统集成权重值大于其他四大因素，这与现阶段智能制造改造和发展现状相符。例如，现阶段央企智能制造发展的主要问题在于：多数单位各自发展部分产品、协同制造能力与整体解决方案能力不够，缺乏一定的资源集聚能力，企业内部的制造系统集成度不高；系统的应用水平普遍偏低，尤其是 SCM、PLM 的应用比例都在 30% 以下；制造设备联网率普遍较低，生产过程数据主要以手工采集为主，MES 应用尚处于初步阶段，工装三维设计水平相对较低。结合智能制造发展现状和互联互通和系统集成的赋权结果，有

必要进一步优化智能制造内外资源配置能力，促进形成产业化发展格局，进一步提升智能制造技术应用水平。

(2) 资源要素和信息融合是智能制造能力提升的重要保障

资源要素是实施智能制造的基础，信息融合的核心是实现对流程的优化，提升预测预警、自主决策的能力。我国的制造业目前尚处于机械化、电气化、自动化、数字化并存阶段，核心设备受制于人，智能制造网络、信息安全基础薄弱。针对制造业的薄弱环节，需加强关键技术装备创新、加强信息安全建设，推进智能制造发展。同时，从指标赋权角度分析，在资源要素层级，生产设备数字化率、关键工序数控化率的权重高于其他指标，这说明智能制造数字化、网络化技术的创新是智能制造发展的重点任务；在信息融合层级，信息系统安全度赋权较高，信息安全是智能制造产业重点发展板块之一。

因此，保障云计算环境下的管理安全、服务安全、技术安全和基础设施安全，是智能制造发展的重点任务。

(3) 智能制造能力的提升，仍需坚持模式创新、打造新兴业态，实现智慧化管理

在新兴业态层级，智能产品和智能服务作为模式创新的重要内容和手段，其权重赋予对于智能制造发展的推进有着重要作用。因此，需要在掌握智能制造关键技术的基础上，加强内部资源的整合集成、社会资源的有效利用，创新商业模式，形成产业新兴业态，撬动核心智能产品和智能服务的价值，实现产品和技术的不断升级。对于智慧化管理层级，流程再造率和精益生产效率作的权重高于其他指标，这符合智能制造发展阶段，精益化的流程再造和信息化建设能将工厂企业互联，更好地协调制造生产的各个阶段，推进车间的生产效率提高。随着制造数据的大量积累，商业模式和大规模的生产工业供应链发生改变，个性化需求订制产品，引发生产知识创新，实现数据向信息向知识向智慧的递进，成为未来衡量智能制造发展能力的重要指标。

3 结束语

本文构建了央企智能制造能力评价模型，分析结果表明：系统集成和互联互通是影响智能制造能力的重要因素；资源要素和信息融合是智能制造能力提升的重要保障；智能制造能力的提升，仍需坚持模式创新、打造新兴业态，实现智慧化管理。该模型科学衡量企业智能制造发展水平，指引企业的发展方向，提高企业智能制造能力，丰富智能制造内涵。评价指标体系尚处于探索阶段，后续将不断修和正完善。

参考文献

- [1] 辛国斌, 田世宏. 国家智能制造标准体系建设指南(2015年版) [M]. 北京:电子工业出版社, 2016.
- [2] 陈明, 梁乃明. 智能制造之路: 数字化工厂 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 20-72.
- [3] 杜人淮. 军民融合装备智能制造系统及其构建: 基于制造全产业链视角 [J]. 现代经济探讨, 2017, 4 (5): 5-10.
- [4] 万志远, 戈鹏, 张晓林等. 智能制造背景下装备制造业产业升级研究 [J]. 世界科技研究与发展, 2018, 4 0 (3) : 316-327.
- [5] 张文会, 乔宝华. 构建我国制造业高质量发展指标体系的几点思考 [J]. 工业经济论坛, 2018(4): 27-32.
- [6] 中国电子信息产业发展研究院. 中国智能化发展指数报告 (2018 年) [R]. 2018.
- [7] 李振轩. 工业 4.0 就绪度模型对我国智能工厂建设的启示 [J]. 信息技术与标准化, 2018(4): 26-28.
- [8] 中国电子技术标准化研究院,《智能制造》编辑部. 智能制造: 如何评价企业的智能制造能力成熟度? [J]. 智能制造, 2019, 281 (Z1): 26-31.
- [9] 高煜. 我国经济高质量发展中人工智能与制造业深度融合的智能化模式选择 [J]. 西北大学学报 (哲学社会科学版), 2019, 49 (5) : 28-35.
- [10] 史永乐, 严良. 智能制造高质量发展的“技术能力”: 框架及验证——基于 CPS 理论与实践的二维视野 [J]. 经济学家, 2019(9): 83-92.
- [11] 李廉水, 石喜爱, 刘军. 中国制造业 40 年: 智能化进程与展望 [J]. 中国软科学, 2019 (1) : 1-9.

作者简介：刘金金(1989-)，女，江苏兴化人，高级工程师，硕士，研究方向：经济管理，智能制造。