

数字经济下贵州装备制造业智能化发展研究¹

熊陈莹 石虹

(贵州大学经济学院, 贵阳 550025)

【摘要】:从数智创新、数智支撑、数智资源和数智效益 4 个维度建立贵州省装备制造业智能化水平测度指标体系,运用熵值—灰色关联度分析方法进行测度。根据测度结果建立 VAR 模型,运用脉冲响应函数和方差分解分析贵州省装备制造业智能化发展影响因素。结果表明:贵州省装备制造业智能化发展水平呈明显上升趋势;智能化发展水平受数智创新和数智支撑影响最为明显,数智资源和数智效益其次。因此,要实现贵州省装备制造业向高端智能化发展,应夯实技术基础,构建智能创新平台;优化发展环境,培育高层次创新人才;强化企业智能化投入,提高智能产出水平。

【关键词】:数字经济;装备制造业;智能制造;评价指标体系;VAR 模型

0 引言

在当前经济环境下,数字经济已然成为中国经济增长的新引擎,正在以不可估计的力量重塑世界经济版图^[1]。据中国信息通信研究院发布的《中国数字经济发展白皮书》数据显示,2020 年我国数字经济规模达 39.2 万亿元,占 GDP 比重为 38.6%,其中,产业数字化规模达 31.7 万亿元,占数字经济比重达 80.9%。从增速看,贵州数字经济增长仍居全国前列^①。在新一轮科技革命下,数字经济赋能工业互联网发展变革,打造智能制造业新格局。当前,智能制造成为中国制造业转型升级的重要战略方向,受到党和国家的高度重视。我国先后实施“中国制造 2025”和“‘十四五’智能制造发展规划”等战略举措,强调要以装备为核心,以数据为基础,从数字化制造到网络化制造,再迈向智能化制造。

自贵州省于 2010 年首次提出“工业强省”战略以来,装备制造业就成为战略发展的关键一环,发展势头空前迅猛。当前,数字经济引领产业发展,工业互联网推动装备制造业自动化、数字化、智能化融合发展^[2]。探究数字经济下贵州省装备制造业的智能化发展情况,以及如何促进制造业和数智化深度融合,是贵州省目前亟待解决的问题。本文通过构建熵值—灰色关联度分析智能化测度指标,对贵州省装备制造业智能化发展水平进行综合测度,并根据测度结果构建向量自回归(VAR)模型,以探究影响贵州省装备制造业智能化发展水平的因素,最后对实证结果进行分析并给出针对性对策建议,以期促进数字经济赋能贵州省装备制造业,实现产业智能化融合发展。

1 贵州省装备制造业智能化水平测度

1.1 装备制造业智能化特征与指标选取

¹ **【基金项目】**:贵州省理论创新课题专项项目——“振兴贵州装备制造业对策研究”(项目编号:GZLCZB-2022-3-10-2;项目负责人:石虹)成果之一;贵州大学经济学院研究生创新基金项目——“数字经济下贵州省装备制造业智能化发展研究”(项目编号:CJ2022044;项目负责人:熊陈莹)成果之一。

【作者简介】:熊陈莹,贵州大学经济学院硕士研究生,研究方向:区域经济可持续发展;石虹,贵州大学经济学院副教授、硕士生导师、经济与贸易系主任,研究方向:区域经济可持续发展。

数字经济已然成为推动经济高质量发展的巨大动力，在技术和信息化引领的趋势下，为推动数字经济和实体经济融合发展，各地区纷纷将智能制造装备产业作为装备制造业转型升级的主攻方向^[3,4]。李健旋从智能技术、智能应用和智能效益 3 个层面构建智能化程度评价指标体系^[5]，刘军等从基础投入、生产应用、市场效益 3 个维度检验制造业智能化的驱动因素^[6]。本文参考已有研究，结合贵州省实际情况创新性地将数字经济与智能制造相结合，构建包括数智创新、数智支撑、数智资源和数智效益 4 个维度共 11 个指标的评价体系。具体指标体系构建如表 1 所示。

表 1 贵州省装备制造业智能化发展水平测度指标体系

一级指标	二级指标	指标名称及其计量单位
数智创新	智能技术研发人员水平	R& D 折合全时当量(人年)
	数智技术创新能力	专利申请数(件)
	智能研发经费投入	R& D 内部经费支出(万元)
数智支撑	智能信息化支撑水平	互联网普及率(%)
	政府财政支持	政府科技活动资金投入(万元)
	智能技术支撑	技术改造经费支出(万元)
数智资源	人力资本投入	R& D 人员数(人)
	智能生产投入	新产品经费支出(万元)
	设备智能化程度	智能仪器设备购入(万元)
数智效益	智能化收益	新产品(智能产品)销售收入(万元)
	数智化经济效益	主营业务收入(万元)

1.2 贵州省装备制造业智能化评价指标体系构建

熵值法是一种根据各项指标观测值判断指标离散程度的客观赋权法，可以根据熵值法确定被评价对象各指标所占的权重。灰色关联度是用来分析各因素之间关系的强弱和大小的一种衡量方法。本文参照刘志浩和于秀艳的方法^[7]，采用熵值—灰色关联度分析法综合测度贵州省装备制造业智能化发展水平，在此基础上计算出各指标权重值。

1.2.1 熵值法确定权重

第一步，对数据进行无量纲化处理。

考虑指标数据单位的不一致性，首先采用极值法对指标进行无量纲化处理。

$$T_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

第二步，计算第 j 项指标的信息熵。

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \times \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) (0 \leq e_j \leq 1) \quad (2)$$

其中，第 i 个指标在第 j 项指标下所占的比重 $p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}$ 。

第三步，熵值法确认指标权重。

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

1.2.2 灰色关联度分析确定权重

第一步，确定参考数列和比较数列，对数据进行无量纲化处理，得到式(1)，记参考数列为 $X_0 = (X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n))$ ，类似地，比较数列记为 X_1, X_2, \dots, X_k 。

第二步，计算 X_0 的第 j 个指标和 X_i 的第 j 个指标之间的关联系数 $\xi_i(j)$ ($i=1, 2, \dots, n$)。

$$\xi_i(j) = \frac{\min(\min_k |X_{0j} - X_{ij}|) + \theta \max(\max_k |X_{0j} - X_{ij}|)}{|X_{0j} - X_{ij}| + \theta \max(\max_k |X_{0j} - X_{ij}|)} \quad (4)$$

其中， θ 为分辨系数，一般情况下， $\theta = 0.5$ 。第三步，计算关联度。

$$\lambda_i = 1/N \times \sum_{k=1}^N \xi_i(j) \quad (5)$$

1.2.3 熵值—灰色关联度分析确认指标权重

综合两种测算方法，最终的权重计算公式如式(6)所示。

$$W_j = \lambda_j w_j / (\sum_{j=1}^m \lambda_j w_j) (j = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

1.3 贵州省装备制造业智能化发展水平测度结果分析

本文选取 2008—2020 年贵州省装备制造业智能化发展相关数据作为样本，主要来源于《贵州统计年鉴》《贵州科技统计年鉴》及《中国互联网网络发展状况统计报告》，统计口径为装备制造业。从数智创新、数智支撑、数智资源和数智效益 4 个维度建立指标体系，采用熵值—灰色关联度分析法确定最终权重，整理 4 个维度的指标权重，加权后测算得到贵州省装备制造业智能化发展水平，如图 1 所示。

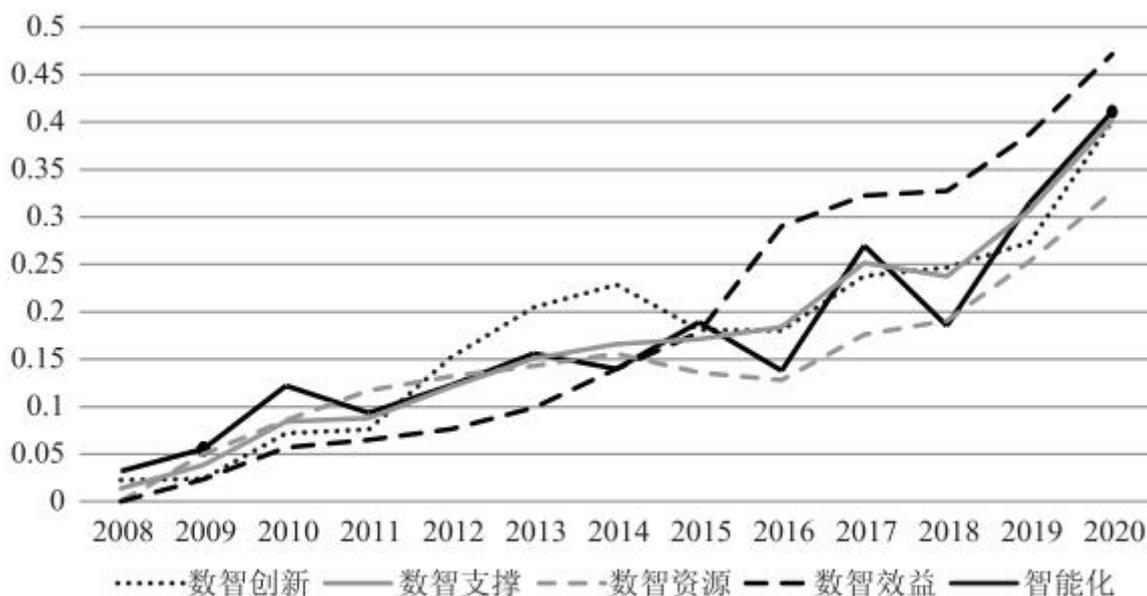


图 1 2008—2020 年贵州省装备制造业智能化发展态势

如图 1 所示，2008—2020 年贵州省装备制造业智能化发展水平总体呈上升趋势。其中，数智效益增长最快，其次为数智创新和数智支撑，且整体呈波动式增长，增长最为缓慢的是数智资源。从整体看，2010 年 10 月，贵州省首次提出“工业强省”战略举措，2011 年开始装备制造业智能化发展水平稳步增长。直至 2018 年，贵州省政府发布《贵州省推动大数据与工业深度融合发展工业互联网实施方案》，装备制造业智能化水平迅速上升。

从 4 个维度的智能化水平看：第一，数智创新水平虽然在 2014 年有所回落，但总体呈上升趋势。智能化发展水平的高低最主要取决于技术创新与研发能力，智能化水平提高亦能加快技术创新的脚步。第二，数智支撑水平波动式增长，总体呈上升趋势。政府政策和财政的支持为贵州省装备制造业注入强大动力，智能化发展水平也随之上升。随着“工业强省”战略号角的吹响，贵州省先后发布了若干项针对装备制造业的扶持补贴政策，为做大做强智能制造装备产业提供有力支撑。第三，数字资源未见较大波动，呈缓慢上升趋势。人力、资本和智能设备是装备制造业生产环节的关键要素，是装备制造产业的生产基础，在智能化进程中至关重要。第四，数字效益水平整体增长迅速，且有持续加速上涨的趋势。

2 VAR 模型构建及检验

2.1 模型构建与变量选取

装备制造业智能化发展受多方面因素的影响，其相互之间也会产生不同程度的相关性影响。因此本文基于上一部分的实证结果，将贵州省装备制造业智能化发展水平 (Inte) 作为被解释变量，分别选取数智创新 (Inno)、数智支撑 (Sup)、数智资源 (Res) 和数智效益 (Bene) 作为解释变量构建 VAR 模型，通过建立脉冲响应函数和方差分解分析模型。为避免异方差和数据波动性，本文将相关变量取对数变换，分别用 $\ln(\text{Inte})$ 、 $\ln(\text{Inno})$ 、 $\ln(\text{Sup})$ 、 $\ln(\text{Res})$ 、 $\ln(\text{Bene})$ 表示。具体模型如式 (7) 所示。

$$\begin{aligned} \ln(\text{Inte}) = & \alpha + \sum_{i=1}^T \varphi_i \ln(\text{Inte})_{t-1} + \\ & \sum_{i=1}^T \gamma_i \ln(\text{Inno})_{t-1} + \sum_{i=1}^T \delta_i \ln(\text{Sup})_{t-1} + \\ & \sum_{i=1}^T \mu_i \ln(\text{Res})_{t-1} + \sum_{i=1}^T \omega_i \ln(\text{Bene})_{t-1} \varepsilon_t \quad (7) \end{aligned}$$

2.2 平稳性检验

为了避免伪回归问题的出现，一般采用 ADF 单位根检验的方法对变量进行平稳性检验，运用 Stata 软件计算整理，检验结果如表 2 所示。可以看出，对变量进行一阶差分后 $d\ln_Inno$ 、 $d\ln_Sup$ 、 $d\ln_Res$ 和 $d\ln_Bene$ 均在 1% 的显著水平下平稳， $d\ln_Inte$ 在 5% 的显著水平下平稳。

对变量进行 Johansen 协整检验，结果如表 3 所示，在 5% 的显著水平下，分别得到原假设为变量间协整关系最多有 0~4 个的迹统计量。观察可知，迹统计量均大于 5% 临界值，拒绝原假设，说明变量间存在长期均衡的协整关系。

表 2 ADF 单位根检验结果

变量	ADF 值	临界值			p 值	检验结果
		1%	5%	10%		
$d\ln_Inno$	-3.538	-3.750	-3.000	-2.630	0.007 1	平稳
$d\ln_Sup$	-5.516	-3.750	-3.000	-2.630	0.000 1	平稳
$d\ln_Res$	-42.116	-3.750	-3.000	-2.630	0.000 1	平稳
$d\ln_Bene$	-35.800	-3.750	-3.000	-2.630	0.000 1	平稳

dln_Inte	-3.419	-3.750	-3.000	-2.630	0.010 3	平稳
----------	--------	--------	--------	--------	---------	----

表 3 Johansen 协整检验结果

原假设	特征值	迹统计量	5%临界值
无	—	178.605 5	68.52
最多 1 个	0.999 89	78.642 0	47.21
最多 2 个	0.943 58	47.017 1	29.68
最多 3 个	0.912 01	20.281 0	15.41
最多 4 个	0.744 27	5.281 4	3.76

由上述结果知，所有变量均通过平稳性检验，可利用平稳变量构建 VAR 模型。对模型进行平稳性检验前先用信息准则确定滞后阶数，根据 Stata 计算结果显示，模型选择最优滞后阶数为 2 阶。根据最优滞后阶拟合模型，得到 VAR 模型，并对模型进行平稳性检验。由于 VAR 模型没有大于 1 的根，所有特征根均在单位圆内，因此模型为稳定状态，可进行下一步分析。

2.3 脉冲响应函数与方差分解分析

2.3.1 脉冲响应函数分析

通常通过脉冲响应函数来分析，模型受到某种冲击时考察变量对其他各内生变量受到冲击时作出的当前反应和未来取值的轨迹。因此，根据所建立的 VAR 模型，进一步通过脉冲响应函数分析模型在追溯期内受到冲击时的反应(设追溯期为 13 期)。图 2 为数智创新(Inno)、数智支撑(Sup)、数智资源(Res)、数智效益(Bene)和智能化发展水平(Inte)本身分别对智能化发展水平(Inte)的脉冲响应函数，图中实线部分为脉冲响应函数曲线，阴影部分为 2 倍标准差偏离线。

当受到一个单位的标准差冲击时，第一，数智效益(Bene)、数智资源(Res)和智能化发展水平(Inte)自身与智能化发展水平(Inte)的脉冲响应。数智效益、数智资源和智能化发展水平受到该冲击后刚开始变化均较平稳，且在一定时期内保持正反馈，此后分别在第 6 期和第 12 期以后波动逐渐明显。这说明数智效益、数智资源和智能化发展水平的提升随着时间的推移对智能化发展水平的影响逐渐变大，一定程度上加快了贵州省装备制造业的智能化发展，需要持续投入。第二，数智创新(Inno)与智能化发展水平(Inte)的脉冲响应。数智创新先产生一个正响应，在第 3 期以后波动趋势逐渐加大，在第 12 期达到峰值。这说明数智创新水平对智能化发展水平的影响非常明显，并且随着时间的推移有越来越明显的趋势。因此，加大数智创新投入有利于装备制造业智能化水平的发展。第三，数智支撑(Sup)与智能化发展水平(Inte)的脉冲响应。数智支撑同样有一个逐渐明显的波动趋势，峰值出现在第 13 期且保持一个上升的趋势。这说明随着数智支撑的支持力度加强，智能化发展水平受其影响越来越大，

应持续加大投入。

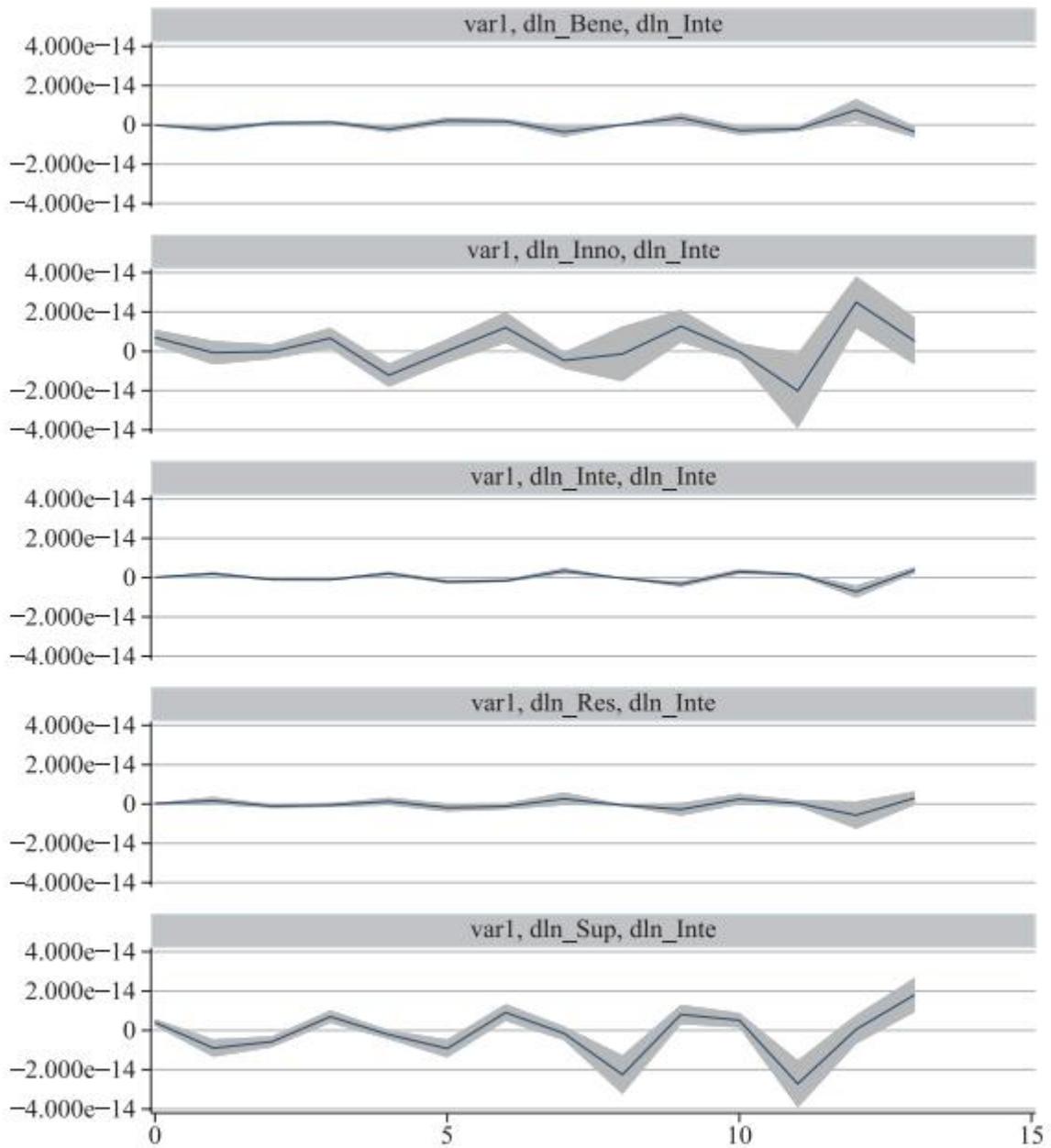


图 2 脉冲响应

2.3.2 方差分解分析

方差分解分析实质上是了解每个扰动项因素对 VAR 模型中各内生变量影响的相对重要性，即每个冲击对内生变量变化的贡献度。为分析数智创新(Inno)、数智支撑(Sup)、数智资源(Res)和数智效益(Bene)对智能化发展水平(Inte)的贡献度，本文对智能化发展水平(Inte)进行方差分解。

图3为方差分解结果,分析可得:第一,数智效益(Bene)和数智资源(Res)对智能化发展水平(Inte)的方差分解随着期数的增加都趋于平缓,其中数智效益的贡献度稳定在2.5%左右,数智资源的贡献度稳定在1.7%左右。这说明数智效益和数智资源的冲击对智能化发展水平的影响在长期是稳定且正向的。第二,数智创新(Inno)对智能化发展水平(Inte)的方差分解第1期未见明显贡献度,第2期达到峰值75.2%,随后在40%的水平上下波动。这说明数智创新的冲击对智能化发展水平的影响较大。数智支撑(Sup)的贡献度在第3期达到峰值66.9%,此后在50%的水平上下波动。这说明数智支撑的冲击同样对智能化发展水平有较大影响,加强数智创新和数智支撑能明显促进贵州省装备制造业智能化发展。第三,智能化发展水平(Inte)对自身的方差分解随着期数的增加是趋于稳定的,贡献度稳定在2.5%左右。这说明智能化发展水平在长期对自身冲击影响不大,主要受外在因素影响,进一步说明智能化水平对贵州省装备制造业智能化发展存在一定程度影响但并不是唯一影响因素。

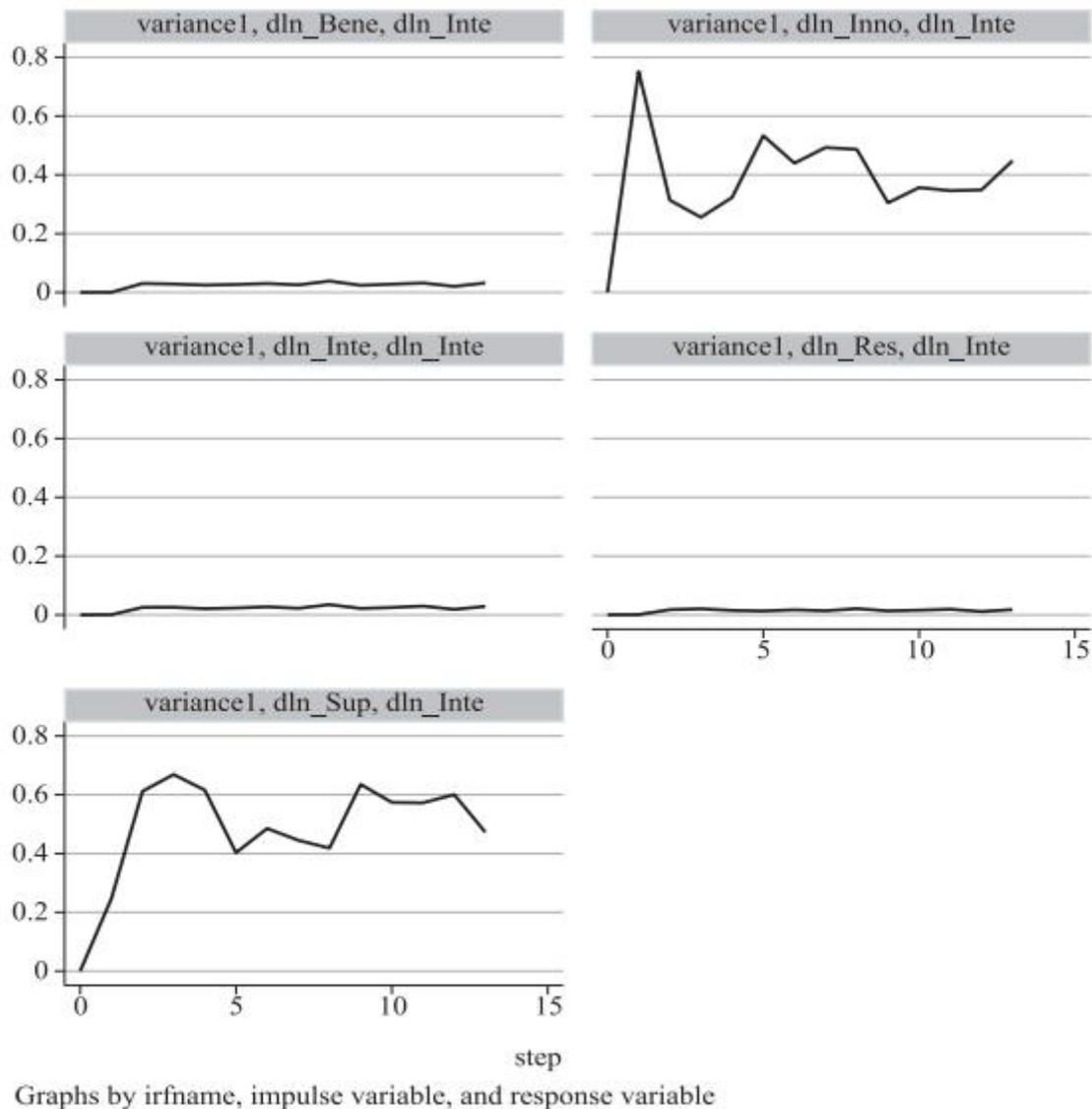


图3 方差分解结果

3 结论与建议

3.1 主要结论

本文选取 2008—2020 年贵州省装备制造行业相关数据，通过构建熵值—灰色关联度分析法测度贵州省装备制造业智能化发展水平。选取变量构建 VAR 模型，分析各变量对装备制造业智能化发展水平的影响程度。基于以上实证和检验结果，得出以下结论。

根据熵值—灰色关联度分析测算出数智创新、数智支撑、数智资源和数智效益的指标权重，结果显示：4 个维度对贵州省装备制造业智能化发展产生不同程度的影响，数智效益所占权重最大，数智创新其次，数智支撑再次，且三者所占权重均高于加权后的智能化水平。2008—2020 年贵州省装备制造业智能化发展水平总体呈上升趋势，在良好的政策和经济环境下，预计未来会继续加速上升。

基于本文第二部分实证结果构建 VAR 模型。根据脉冲响应函数可知，智能化发展水平受数智创新和数智支撑的冲击影响最大，受数智资源、数智效益以及智能化水平本身的冲击影响较为平缓。根据方差分解可知，在长期，数智创新对智能化发展水平的贡献度最高，数智支撑其次，数智资源、数智效益以及智能化发展水平自身贡献度较小且趋于稳定。这说明，数智创新和数智支撑都是贵州省装备制造业智能化发展的重要影响因素，数智资源、数智效益和智能化发展水平对贵州省装备制造业智能化发展水平的影响存在一个较长的周期性，且有一个逐渐明显的影响趋势。

3.2 对策建议

贵州省装备制造业目前还处于粗放发展阶段，如何利用数字经济发展优势促进装备制造业智能化发展是突破贵州省装备制造业“低端锁定”的关键所在。因此，本文提出以下几点建议：

第一，夯实技术基础，构建智能创新平台。

科技进步和技术创新是装备制造业智能化发展的根基，是智能化水平提升的关键所在。目前，贵州省数字经济产业发展强劲，要充分利用数智化发展优势：夯实装备制造业技术建设基础，构建一系列智能化创新平台，打造高端技术水平装备制造，为贵州省装备制造企业构建坚实的技术堡垒。

第二，优化发展环境，培育高层次创新人才。

良好的政策与经济环境是产业健康高质发展的基础。目前，贵州省装备制造业智能化发展尚在摸索与实践阶段，企业亟需资金支持和高层次创新人才的输入。创新代表着先进生产力，贵州省应加快实行必要的人才战略措施，同时大力培育创新技术人才，通过各种渠道柔性化引进国内外高端人才。

第三，强化企业智能化投入，提高智能产出水平。

中小企业应对各环节进行智能化投入以寻求转型升级，增强与其他装备制造企业的产业关联度，进而提高智能产出水平。因此，要推动贵州省装备制造业智能化发展，还应强化企业智能化投入，以提高智能产出水平。

参考文献

[1] 戚聿东，肖旭. 数字经济时代的企业管理变革[J]. 管理世界，2020, 36(6):135-152+250.

[2] 杨翔，谭琦. 基于区块链技术的高端装备制造企业智能化运营研究[J]. 商业研究，2018(11):12-17.

-
- [3] 许夕青, 葛和平. 长三角智能制造集聚的影响机制与发展路径研究[J]. 经济问题, 2021(12):89-96.
- [4] 臧冀原, 王柏村, 李洋, 等. 天津市智能制造发展战略研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41(15):100-108.
- [5] 李健旋. 中国制造业智能化程度评价及其影响因素研究[J]. 中国软科学, 2020(1):154-163.
- [6] 刘军, 钱宇, 曹雅茹, 等. 中国制造业智能化驱动因素及其区域差异[J]. 中国科技论坛, 2022(1):84-93.
- [7] 刘志浩, 于秀艳. 山东省装备制造业智能化水平测度及影响因素研究[J]. 现代管理科学, 2021(6):38-48. 注释

注释

- ① 中国信息通信研究院官网 <http://www.caict.ac.cn/>。