

基于系统动力学的 NQI 效能仿真研究 ——以浙江省为例

詹瑞¹ 申婧^{1,2*}

(1.中国计量大学经济与管理学院; 2.国家市场监督管理总局质量基础设施效能研究重点实验室)

摘要: 国家质量基础设施(NQI)融合计量、标准、认证认可和检验检测等要素,对促进国家或地区经济社会发展具有重要意义。考虑到研究区域的代表性和数据的可得性,本文以浙江省为例,运用系统动力学方法在明确NQI效能目标基础上构建NQI效能模型,采用Vensim PLE软件对其NQI效能相关政策进行了仿真研究。研究设置的科技、财政和人才等3项政策工具均得到有效验证,表明NQI效能水平与政策的调整、实施高度相关。其中,科技政策和财政政策对于NQI效能的正向促进作用相较于人才政策更为显著,并随着政策实施强度的增加,NQI效能的增长空间效果愈发凸显。

关键词: 系统动力学, 国家质量基础设施(NQI), 效能模型, 政策仿真

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.08.003

NQI Performance Simulation Based on System Dynamics —Taking Zhejiang Province as an Example

ZHAN Rui¹ SHEN Jing^{1, 2*}

(1. School of Economics and Management, China Jiliang University;

2. Key Laboratory of Quality Infrastructure Efficiency Research, State Administration for Market Regulation)

Abstract: National quality infrastructure (NQI) integrates elements such as metrology, standards, certification and accreditation, as well as inspection and testing, which is of great significance to promote the economic and social development of a country or region. Considering the representativeness of the study area and the availability of data, this paper takes Zhejiang province as an example, constructs an NQI efficiency model based on the clear NQI efficiency target by using system dynamics method, and conducts a simulation study on its NQI efficiency related policies by using Vensim PLE software. The three policy tools of science and technology, finance and talent set in the research have been effectively verified, indicating that the effectiveness level of NQI is highly correlated with the adjustment and implementation of policies. Among them, science and technology policy and fiscal policy have a more significant positive and promoting effect on NQI efficiency than talent policy, and with the increase of policy implementation intensity, the growth space effect of NQI efficiency becomes more and more prominent.

Keywords: system dynamics, national quality infrastructure (NQI), efficiency model, policy simulation

基金项目: 本文受国家市场监督管理总局质量基础设施效能研究重点实验室开放基金资助项目“QI效能评估和仿真模型研究”(项目编号: KF20180101)资助。

作者简介: 詹瑞, 硕士研究生, 研究方向为质量管理、可持续发展。

申婧, 通信作者, 讲师, 博士, 研究方向为质量管理、质量设计。

0 引言

国家质量基础设施(National Quality Infrastructure, NQI)是国家经济社会发展的基础,代表国家综合竞争实力,由计量、标准、认证认可和检验检测等部分组成^[1]。近年来,浙江省高度重视质量工作,从4个方面着力加强NQI体系建设:(1)以国家标准化综合改革试点为契机,强化“浙江标准”体系建设,分别制定国际标准37项,国家标准1504项;(2)积极推进国家认监委认证认可综合改革试点,创新开展“浙江制造”认证,积极争取统一绿色产品认证试点,认证认可有效性不断增强;(3)贯彻实施国家和浙江省计量发展规划,在全省共建立3300余项社会公用计量标准、16家国家计量器具型式评价实验室,量传溯源体系进一步完善,计量技术支撑能力不断增强;(4)着力夯实检验检测技术支撑能力,全省质监系统检测能力覆盖全省主导产业5万多个产品和参数,在重要产业集聚地建有49家国家质检中心、101家省级质检中心,为质量监管、技术创新、产业升级、中小微企业和“双创”提供优质高效公共技术服务。可见,浙江省质量基础设施建设相关工作对全省经济社会发展的支撑保障作用日益增强,并且在全国范围内具有一定代表性。然而,受制于技术壁垒、资金投入不足、意识不足、相关政策不完善和人才短缺等因素,NQI体系在全国的推广和建立仍不完善,甚至相关立法内容也不够科学合理。为探索加大市场开放,优化发展环境,增强检验检测社会化服务能力的有效途径,本文选取浙江省作为研究区域,进行NQI效能仿真模拟分析,对于国内其他地区质量基础设施的发展具有重要的借鉴意义。

自德国物理联邦研究院于2002年首次提出质量基础设施(QI)概念以来,国家质量基础设施(NQI)得到国内外学者广泛关注。学者们认为NQI对宏观经济增长^[2]、产业转型升级^[3]和产品质量提升^[4]等方面具有重要促进作用,其本质上属于标准化的制度框架^[5]。随着研究方法的成熟和研究角度的深入,张宝友等^[6]进一步构建QI理论分析框架,利用计量模型对2000–2018年面板数据展开实证分

析,认为QI促进经济高质量发展具有显著的正向作用。黄梦蝶等^[7]建立三阶段分析框架评估质量基础设施对进出口产品质量提升的效能,认为NQI发展水平及其协调程度与出口产品质量的提升密切相关。Zhaojun Wang等^[8]基于模糊数学中的模糊相似理论,利用天猫商城中随机选取的18种男士衬衫产品,进行产品质量与标准双向匹配实证检验,为NQI共性技术分析提供重要思路。Mathews等^[9]利用分形方法,建立大型医疗卫生系统的部门质量管理基础设施模型。孙莹等^[10]采用熵值TOPSIS法对中国31个省份的NQI发展水平进行综合评价。Choi等^[11]开发了国家标准能力评估框架以衡量国家标准体系中各支柱和类别综合能力的优劣。陈岳飞等^[12]认为我国目前体制缺乏综合利用协调机制,且新兴产业领域发展受制于国外,NQI融合发展体制机制有待健全。

系统动力学从系统微观结构入手,模拟分析系统的动态行为,在应急救援效能^[13]、装备体系评估^[14]、知识资本效能^[15]等分析中发挥重要作用。从系统论的角度来看,NQI的组成系统包括计量、标准、认证认可、检验检测,具有系统性、非线性及动态性,是由若干具有特定属性的组成元素按照特定联系构成的与周围环境相互联系,且具有特定结构和功能的整体^[16]。因此,本文基于NQI、经济、人口和科技4个子系统构建NQI效能综合系统动力学模型,以浙江省为例,设置不同的政策发展情景,分析不同子系统之间的相互联系,通过动态调整NQI规划布局主要影响因素变化比例,仿真模拟NQI效能的非线性影响效果,以期明晰NQI效能以及推动NQI体系建设提供理论依据和实践参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究所建立的浙江省NQI效能模拟仿真模型数据,来源于《浙江省国民经济和社会发展统计公报》《浙江统计年鉴》《认证机构认可年报》《全国检验检测服务业统计简报》《中国质量监督检验检疫年鉴》和《CNAS认证机构、实验室、检验机构认

可通报》，以及全国标准信息公共服务、国家标准文献共享服务等平台。

1.2 研究方法

本研究借助系统动力学建立NQI效能仿真模型。系统动力学是一门以反馈控制理论为基础，利用仿真方法研究复杂信息反馈系统的交叉学科^[17]，是管理理论与系统理论的一个重要分支。系统动力学的优势在于能通过系统科学与电脑模拟技术相结合，兼顾定性研究和定量研究，从系统层面解决存在于系统中的复杂问题^[16]。作为解决复杂问题的有效方法之一，系统动力学将研究对象视为一个可以整合的动态有机整体，并从微观结构出发分析要素之间的因果关系，利用基本结构单元反馈回路描述因果关系，刻画其内在运行机理^[18]，最终在系统动力学仿真平台上模拟运行。建立系统动力学模型的基本步骤包括明确建模目标、确定系统边界和模型变量、绘制因果关系图、建立系统动力学模型并校验，以及结果分析与决策提出等5个基本步骤（如图1所示）。

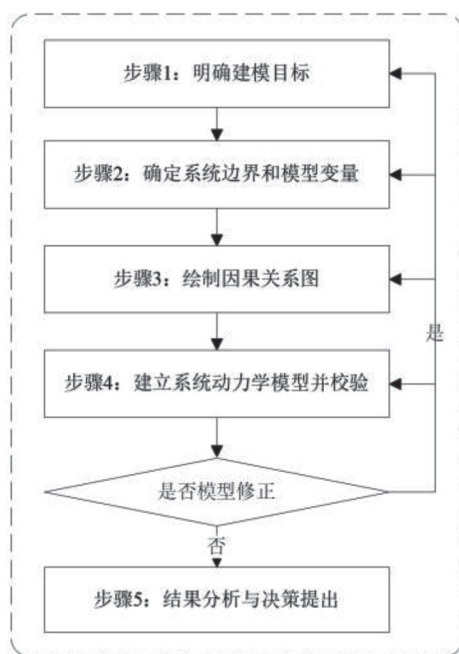


图1 建模基本步骤图

1.3 适用性分析

由于NQI关系到国家或地区建立和执行计量、标准、合格评定等所需的质量体制机制，其既包括

法规体系、管理体系等“软件”设施，也包括检验检测设备、实验室等“硬件”设施^[19]，具有涉及部门多、变量涵盖广、动态性强等特点。结合NQI效能系统动力学仿真特点，本研究所建立的综合系统动力学模型，是1个包括NQI、经济、人口和科技4个子系统及其相互关系的复杂社会经济系统，通过设置不同的政策发展情景和不同子系统之间的相互联系，仿真模拟NQI效能的非线性影响效果。其特征符合系统动力学作为多重非线性信息反馈系统的特点，同时系统动力学也可以对复杂经济社会系统进行有效仿真模拟。因此，系统动力学方法可用于本研究中的NQI效能仿真模拟研究，并提供政策分析依据。

2 基于系统动力学的NQI效能模型构建

2.1 明确NQI效能建模目标

确定模型建立目标是建立NQI效能模型的必要前提，后续的建模过程均围绕最初设定的目标展开，本文中建立NQI效能仿真的目标包括以下3个方面：（1）建立考虑相对全面、结构较为完善的NQI效能仿真模型；（2）通过数据校验确定模型的准确性，扩大模型应用范围，使得该模型不仅可以用于某一省市或某一区域，还可以适用于其他省市或区域；（3）通过检验的NQI效能仿真模型不仅可以用于预测省市或区域的NQI效能未来发展趋势，还可以形成政策实验室，观测不同政策情景方案下的NQI效能变化，提供科学数据支持政策制定。

2.2 确定系统边界

系统动力学模型需围绕预先建模目标框定系统行为边界和时间边界。在系统行为边界方面，从主要矛盾出发，确定本研究所建立的NQI效能仿真模型共包含4个子系统，即NQI子系统、经济子系统、人口子系统和科技子系统。在系统时间边界方面，NQI效能模拟仿真系统运行周期设置为2008–2035年，步长为1年，其中2008–2016年为系统模型检验年，系统模型模拟仿真年设置为2017–2035年，即18年时间，在此段周期内能够充分展现变化过程，进而展现不同因素在全流程周期中的效果。

2.3 确定NQI效能模型变量

在借鉴陈怀超等^[20]做法基础上,本文NQI效能模型共设置14个状态变量,14个速率变量,40个辅助变量。状态变量(LV)是模型中描述系统运动累积效用的变量,需要在模型建立之初输入状态变量的初始值;速率变量(RV)也被称为决策变量,与状态变量相对应,反应系统累积的快慢程度;辅助变量(AV)是模型变量间起辅助连接作用的变量,反映总体结构,无需输入数值^[17]。NQI效能仿真模型变量见表1。

2.4 绘制因果关系图

根据所确定的模型变量,为清晰认识NQI效能

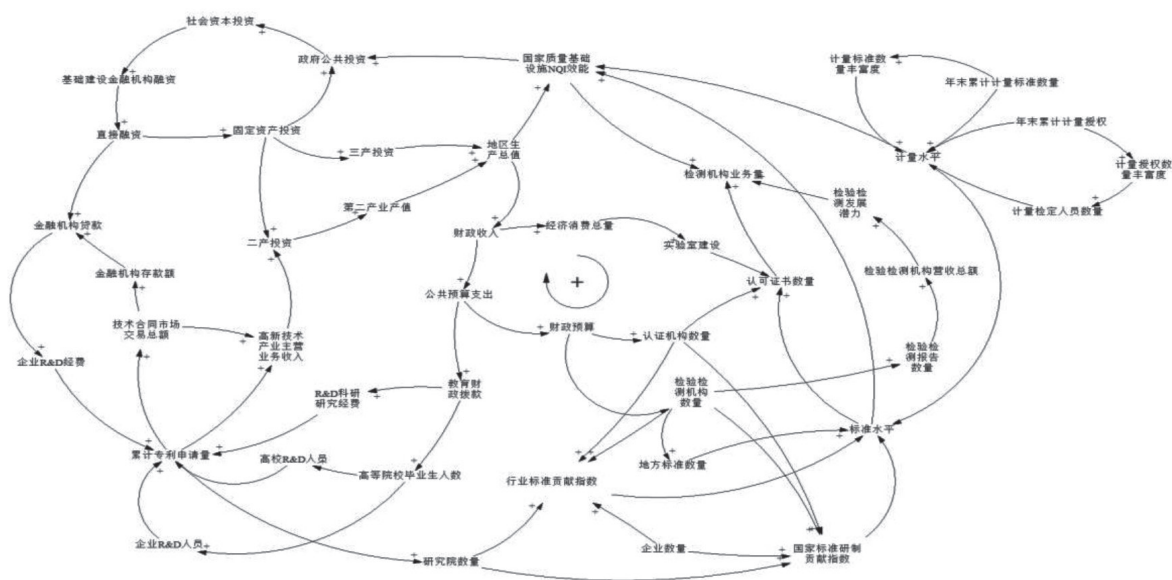
仿真复杂系统,绘制因果关系图对变量间的反馈回路进行展示(如图2所示)。其中,NQI效能受到计量水平、标准水平和地区生产总值的影响;计量水平由计量标准数量丰富度和计量检定人员数量所决定;标准水平由计量水平、地方标准数量、行业标准贡献指数和国家标准研制贡献指数所决定;地区生产总值受三产投资和第二产业产值的影响,但其背后是资产投资、科研人才和财政经费的支撑。

由图2可知,NQI效能仿真模型因果关系图主要包括以下几条反馈回路。

(1)NQI效能→高新技术产业主营业务收入→二产投资→二产增加值增量→第二产业产值→地

表1 NQI效能仿真模型变量

变量名称	变量类型	变量名称	变量类型
基础设施建设金融机构融资	LV1	社会就业人员数	AV7
固定资产投资	LV2	城镇常住居民人均可支配收入	AV8
累计专利申请量	LV3	基础设施建设质量	AV9
高等院校毕业生人数	LV4	三产比重	AV10
总人口	LV5	政府公共投资	AV11
第三产业产值	LV6	三产投资	AV12
第二产业产值	LV7	一产投资	AV13
地方标准数量	LV8	二产投资	AV14
认可证书数量	LV9	高新技术产业主营业务收入	AV15
检验检测机构营收总额	LV10	技术合同市场交易总额	AV16
计量检定人员数量	LV11	R&D科研经费	AV17
计量器具监督检查	LV12	高校R&D人员	AV18
年末累计计量标准数量	LV13	企业R&D人员	AV19
年末累计计量授权	LV14	发明专利授权量	AV20
机构融资数额	RV1	教育财政拨款	AV21
投资增加量	RV2	检验检测机构数量	AV22
专利数年变化量	RV3	公共预算支出	AV23
毕业生人数变化量	RV4	财政收入	AV24
二产增加值增量	RV5	公共支出促进经济	AV25
三产增加值增量	RV6	经济消费总量	AV26
人口增量	RV7	实验室建设	AV27
地方标准变化量	RV8	认证机构数量	AV28
认证证书变化量	RV9	企业数量	AV29
计量标准数量变化	RV10	研究院数量	AV30
监督检查变化	RV11	国家标准研制贡献指数	AV31
收入增加	RV12	行业标准贡献指数	AV32
计量授权数变化	RV13	标准水平	AV33
人员变化量	RV14	检验检测报告数量	AV34
社会资本投资	AV1	计量授权数量丰富度	AV35
社会资本投资比例	AV2	监督检查力度	AV36
产业发展吸附人口增长率	AV3	检验检测发展潜力	AV37
人口自然增长率	AV4	计量标准数量丰富度	AV38
人口增长率	AV5	国家政策支持力度	AV39
城镇人口	AV6	金融机构存款额	AV40



区生产总值;

(2) NQI效能→高新技术产业主营业务收入→二产投资→二产业从业人员数→二产增加值增量→第二产业产值→地区生产总值;

(3) NQI效能→高新技术产业主营业务收入→二产投资→二产增加值增量→第二产业产值→地区生产总值→人均GDP→社会就业人员数→就业水平;

(4) NQI效能→高新技术产业主营业务收入→二产投资→二产业从业人员数→二产增加值增量→第二产业产值→地区生产总值→人均GDP→社会就业人员数→就业水平;

(5) NQI效能→政府公共投资→社会资本投资→机构融资数额→基础建设金融机构融资→间接融资→固定资产投资→监督检查变化→计量器具监督检查→计量水平;

(6) NQI效能→高新技术产业主营业务收入→二产投资→二产增加值增量→第二产业产值→地区生产总值→固定资产投资→监督检查变化→计量器具监督检查→计量水平;

(7) NQI效能→政府公共投资→社会资本投资→机构融资数额→基础建设金融机构融资→直接融资→固定资产投资→监督检查变化→计量器具

监督检查→计量水平;

(8) NQI效能→政府公共投资→社会资本投资→机构融资数额→基础建设金融机构融资→间接融资→固定资产投资→监督检查变化→计量器具监督检查→计量水平→标准水平；

(9) NQI效能→高新技术产业主营业务收入→二产投资→二产增加值增量→第二产业产值→地区生产总值→投资增加量→固定资产投资→监督检查变化→计量器具监督检查→计量水平→标准水平。

2.5 确定NQI效能模型结构流图

系统动力学模型由结构决定功能,在NQI效能建模目标和系统变量间因果关系确定后,使用Vensim PLE版仿真软件建立系统结构流程图,在输入变量代表符号基础上,利用带有箭头的曲线连接变量,合成反馈回路,实现NQI效能模拟仿真这一功能,模型结构流程图如图3所示。

3 NQI效能模型校验

根据系统动力学要求,需对模型进行检验以证明模型能应用于相关仿真。通常采用历史检验、灵敏度检验和极端情景检验等检验方法,本研究针对

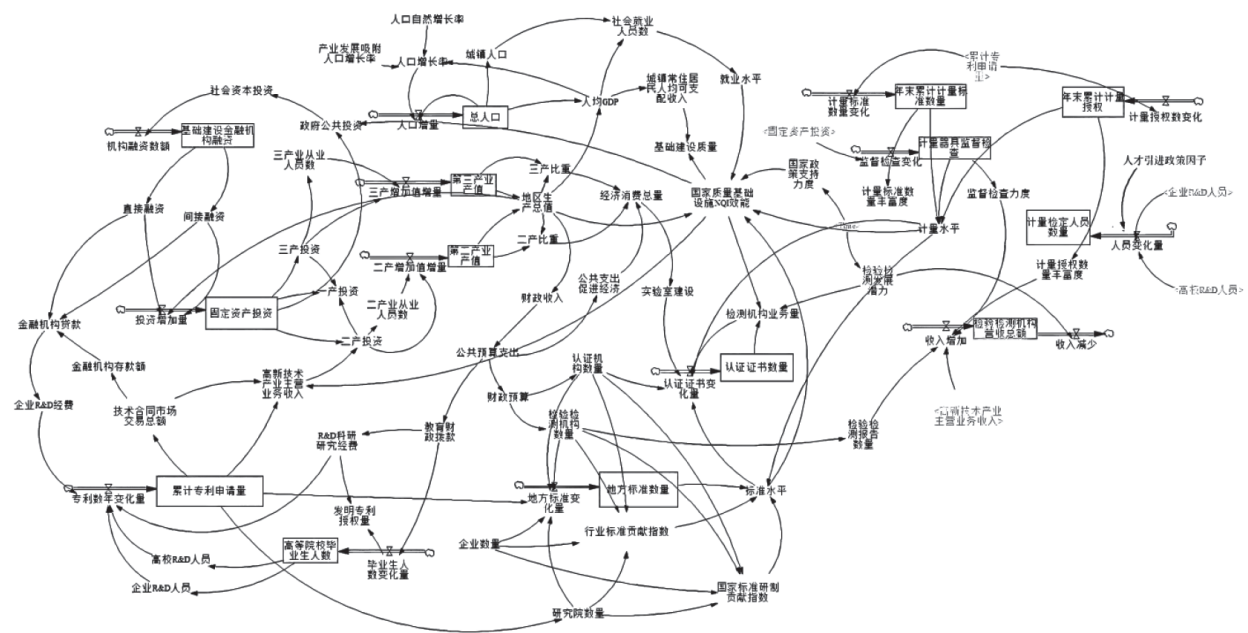


图3 浙江省NQI效能模拟仿真模型结构总流图

NQI效能仿真模型的检验包括两部分,即选取历史检验和灵敏度检验对所建立的NQI效能仿真模型进行检验分析。

3.1 历史检验

本研究对固定资产投资额进行历史检验,根据表2的实际值和模拟值的误差显示,可以发现检验结果误差均不超过5%,说明本研究所建立的NQI效能仿真模型通过了历史检验。检验结果表明模型运行的结果与实际数据高度拟合,模型仿真的结果具有相当的可靠性,可以进行NQI效能仿真模拟,具体历史检验结果见表2。

表2 模型历史检验结果

年份	固定资产投资 实际值	固定资产投资 模拟值	误差
2008	8550.71	8728.61	2.08%
2009	9906.46	10221.15	3.18%
2010	11451.98	11555.6	0.90%
2011	14077.25	14377.44	2.13%
2012	17095.96	17342.78	1.44%
2013	20194.07	20508.28	1.56%
2014	23554.76	24181.24	2.66%
2015	26664.72	27352.58	2.58%
2016	29571	29644.88	0.25%
2017	31125.99	31542.94	1.34%
2018	33335.94	33445.82	0.33%

3.2 灵敏度检验

系统动力学灵敏度检验通过调整变量参数值分析该变量对系统运行的影响,考察相同比例变量参数值改变时,根据其余变量参数的动态变化衡量灵敏度大小,以检验模型的稳定性。本研究选取14个状态变量(LV1-LV14)进行灵敏度检验分析,通过每个状态变量取值变化10%,研究其对输出变量的影响。灵敏度检验分析结构如图4所示。

根据图4可以看出,各参数的敏感度都在合理的范围之内,没有因为参数的小范围变化引起系统异常变化。其中固定资产投资(LV2)、累计专利申请量(LV3)和总人口(LV5)的灵敏度相对较高。分别为13.5%、15.6%和12.1%,其中累计专利申请量(LV3)的灵敏度最高。灵敏度检验如图5所示,图中曲线分别表示灵敏度分析和原情境展示,并可见随着时间推移,灵敏度分析和原情境曲线均呈现上升趋势。检验结果表明这些参数为系统的关键因素,而其他参数的灵敏度相对较低,说明系统对于大多数参数的变化是不敏感的。模型具有良好的稳定性和可靠性,基本可以描述NQI效能的真实情况,能够用于系统的仿真模拟。

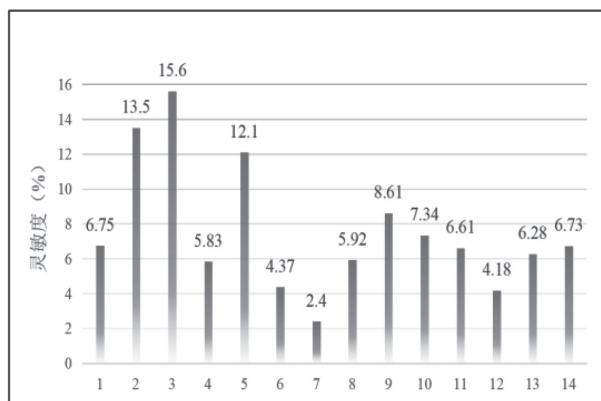


图4 NQI效能模型灵敏度分析图

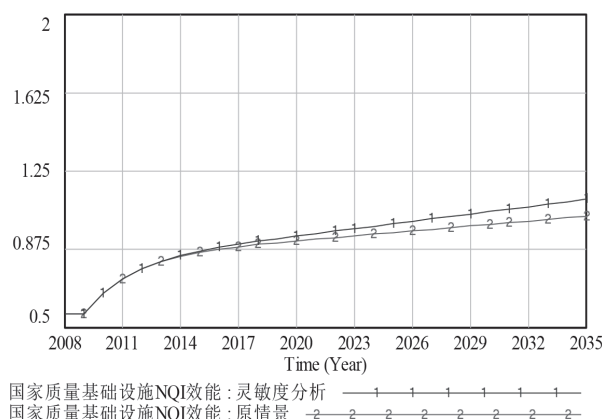


图5 NQI效能模型灵敏度检验图

4 结论与建议

本文以浙江省NQI能效模拟仿真系统为研究对象,通过分析系统内、外部各要素间的作用关系,建立NQI能效系统动力学模型,设置不同政策情景,考察NQI能效提升效果以及政策实施力度的改变对相关输出参数的影响作用。研究结果表明:(1)政策调整和实施与NQI效能水平高度相关,提高政策手段的有效性、系统性和科学性显著提升NQI效能,研究设置的财政、科技和人才等3项政策工具均得到有效验证。(2)政策实施力度变化会直接作用于NQI效能仿真系统,政策实施力度大小应基于NQI效能需求确定,若盲目变动政策实施强度易造成系统紊乱,产生负面效果。(3)通过考察不同政策NQI效能提升效果,发现科技、财政政策对NQI效能的正向促进作用较为显著,其中财政政策下NQI效能水平的提升效果虽不及科技政策,但在加强政策实施强度后,NQI效能的增长空间效果凸显。同时,人才政策也发挥出一定的促进作用,但其效果相对较弱。基于研究结果,提出如下几点建议。

(1)因地制宜,促进NQI效能提升。政府应立

足地方NQI发展现状和实际需求,做好财政、科技和人才政策的设计和规划,提升政策手段的有效性、系统性和科学性,同时强化系统观念实现计量、标准、检验检测和认证认可4方面之间的协同,形成NQI建设合力。

(2)因情施策,合理确定政策实施力度。NQI是为实现国家或地区经济社会发展,其相关政策实施力度也应以满足经济社会发展的实际需要确定。政府在实际监管中,为确保政策实施力度的合理性,应充分学习和借鉴国际先进的NQI建设和管理经验,加大质量管理和质量控制力度,通过提高NQI建设质量来确保NQI建设的安全性、可靠性和持久性。

(3)因策促能,通过科技、财政和人才政策提升NQI效能。政府应完善科技创新和技术研发政策,鼓励企业和科研机构引入先进的数字化、智能化技术开展NQI技术研发;加大NQI建设、运营和维护的财政投入,强化设施的维护和更新,提高设施的建设和运营水平;加强NQI领域的人才培养,提高人才专业技能和管理能力,鼓励和支持人才在质量基础设施领域的创新和发展,为NQI建设、运营和维护提供有力保障。

参考文献

- [1] 宋丽丽, 马中东. 国家质量基础设施研究综述[J]. 标准科学, 2023, 588 (05):13-19.
- [2] 张豪, 蒋家东. 质量基础设施与经济增长: 理论与实证[J]. 工业工程与管理, 2020, 25 (02):195-202.
- [3] Yibing T. Analysis of NQI technology integration and application status of building sanitary ceramics industry[J]. E3S Web of Conferences, 2020, 185:2031.
- [4] Rui S., HuaFeng X., ChenHui N., et al. National Quality Infrastructure System and Its Application Progress in Photovoltaic Industry[J]. Electronics, 2022, 11 (3):426.
- [5] 张宝友, 毛则康, 虎陈霞, 等. 国家质量基础设施效能的空间分异及 β 收敛性研究[J]. 地理科学, 2023, 43(03): 454-465.
- [6] 张宝友, 黄妍, 杨玉香, 等. 质量基础设施如何影响我国经济高质量发展[J]. 经济问题探索, 2021 (2):13-30.
- [7] 黄梦蝶, 夏唐斌, 张豪, 等. 国家质量基础设施对出口产品质量的效能评估研究[J]. 工业工程与管理, 2021, 26 (05):123-130.
- [8] Wang Z., Yue L. Research on quality and standard two-way intelligent matching algorithm based on similarity theory[J]. Academic Journal of Computing & Information Science, 2020, 3 (1).
- [9] Mathews S. C., Demski R., Hooper J. E., et al. A Model for the Departmental Quality Management Infrastructure Within an Academic Health System[J]. Academic Medicine, 2017, 92 (5):608-613.
- [10] 孙莹, 郑素丽, 甘克勤. 我国国家质量基础设施发展水平测度及空间格局研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41 (7):191-198.
- [11] Choi D. G., Hyun O., Hong J., et al. Standards as catalyst for national innovation and performance – a capability assessment framework for latecomer countries[J]. Total quality management & business excellence, 2014, 25 (9-10):969-985.
- [12] 陈岳飞, 邓树新. 国家质量基础设施(NQI)融合发展的制约因素分析[J]. 中国检验检疫, 2021, 29 (01):6-8.
- [13] 杨庆, 马晓雪, 魏凯, 等. 基于系统动力学的海上交通应急救援效能分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22 (11):4668-4674.
- [14] 潘星, 左督军, 张跃东. 基于系统动力学的装备体系贡献率评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43 (1):112-120.
- [15] 李立睿, 邓仲华. 图书馆转型过程中知识资本效能的系统动力学分析[J]. 图书馆论坛, 2015(4):53-61.
- [16] 李志宏, 赖文娣, 白雪. 高校科研团队隐性知识共享的系统动力学分析[J]. 管理学报, 2012, 9 (10):1495-1504.
- [17] 李旭. 社会系统动力学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2009.
- [18] 陈国卫, 金家善, 耿俊豹. 系统动力学应用研究综述[J]. 控制工程, 2012, 19 (06):921-928.
- [19] 孟春蕾, 沈斌, 李梨榕, 等. 合格评定简谈[J]. 电子质量, 2022 (5):110-114.
- [20] 陈怀超, 卢彦丞, 丛贞, 等. 知识型服务企业员工与客户隐性知识共享的系统动力学研究[J]. 管理评论, 2020, 32 (2):127-138.