

“典型燃煤行业降碳与质量基础协同控制技术”专题

基于哈肯模型的质量基础设施内部要素协同机理

华天熠,龙妍,王斌,刘涛,赵颖娜

(华中科技大学 能源与动力工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:“双碳”背景下,积极发挥计量、标准、合格评定(认证认可和检验检测)等国家质量基础设施(NQI)要素间的协同作用,可为火电等典型行业的率先碳达峰提供重要的一体化质量基础支撑服务。我国NQI协同创新和应用技术水平在个别地区、个别领域可达到国际先进水平,但总体还存在明显差距,NQI协同发展系统化不足,NQI协同的产业支撑能力薄弱。为促进NQI协同发展,构建了基于哈肯模型的NQI协同演化模型以深入探究NQI内部协同机理,根据识别的各要素内部序参量进行合理归一化处理,进而识别出NQI的序参量和关键变量,以系统分析目前我国NQI协同发展情况,并给出NQI协同支撑火电行业低碳发展建议。结果表明:我国NQI协同发展中的序参量为计量要素,关键变量是标准要素,计量要素的发展在NQI协同发展中起正向作用,标准要素的发展尚未对NQI发展形成正反馈作用;我国NQI三要素发展每年均有提升,其中以标准发展最快速,计量次之,合格评定最慢,计量发展受限于标准发展但也在推进,合格评定需要国家出台更多政策推动合格评定发展;我国NQI的发展存在地区差异性,尤其是合格评定的发展,需要国家出台相关政策鼓励不发达地区合格评定机构的发展。最后,在NQI协同支撑火电行业低碳发展方面,要加强碳排放计量等方面的标准制定,加强碳市场数据监管,提高碳数据的透明度和可信度,出台相关政策鼓励发电企业采用先进的低碳排放技术,并积极参与NQI的建设。

关键词:国家质量基础;哈肯模型;协同;计量;标准;合格评定

中图分类号:TK16 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-6772(2024)08-0011-07

Synergistic mechanism of elements inside of carbon peaking National Quality Infrastructure NQI based on Haken model

HUA Tianyi, LONG Yan, WANG Bin, LIU Tao, ZHAO Yingna

(School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Under the background of "dual carbon", actively exerting the synergy of National Quality Infrastructure (NQI) elements such as measurement, standards, conformity assessment (certification and recognition & inspection and testing), which can provide important integrated quality basic support services for the first carbon peak in typical industries such as thermal power. The level of NQI synergy innovation and application technology in China can reach the international advanced level in individual regions and individual fields, but there are still obvious gaps in the overall, the systematic development of NQI synergy is insufficient, and the industrial support capacity of NQI synergy is weak. Therefore, in order to promote the synergetic development of NQI, an NQI coevolution model based on the Haken model was constructed to deeply explore the internal synergetic mechanism of NQI, reasonable normalization processing according to the internal order parameters of each identified element was carried out, and then the order parameters and key variables of NQI was identified, and the current synergetic development of the three elements of NQI in China was systematically analyzed. And NQI synergy support thermal power industry low-carbon development suggestions was gave. The results show that the order parameter of NQI synergetic devel-

收稿日期:2024-07-13;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.LC24071301

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2021YFF0601004)

作者简介:华天熠(2000—),男,江苏无锡人,硕士研究生。E-mail:1424361736@qq.com

通讯作者:龙妍(1975—),女,四川南充人,副教授,博士。E-mail:ly_hust@hust.edu.cn

引用格式:华天熠,龙妍,王斌,等.基于哈肯模型的质量基础设施内部要素协同机理[J].洁净煤技术,2024,30(8):11-17.

HUA Tianyi, LONG Yan, WANG Bin, et al. Synergistic mechanism of elements inside of carbon peaking National Quality Infrastructure NQI based on Haken model[J]. Clean Coal Technology, 2024, 30(8): 11-17.



移动阅读

opment in China is the metrological factor, and the key variable is the standard factor. The development of the metrological factor plays a positive role in the NQI synergetic development, but the development of the standard factor has not formed a positive feedback effect on the development of NQI. The development of the three elements of NQI in China has been improved every year, among which the development of standards is the fastest, followed by measurement, and conformity assessment is the slowest. Measurement development is limited by the development of standards but it is also advancing. Conformity assessment requires the country to introduce more policies to promote the development of conformity assessment. There are regional differences in the development of NQI in China, especially the development of conformity assessment, which requires the state to introduce relevant policies to encourage the development of conformity assessment institutions in underdeveloped areas. Finally, in terms of NQI synergy support for low-carbon development of thermal power industry, it is necessary to strengthen the formulation of carbon emission measurement standards, strengthen carbon market data supervision, improve the transparency and credibility of carbon data, introduce relevant policies to encourage enterprises to adopt advanced carbon emission technologies, and actively participate in the construction of NQI.

Key words: NQI; Haken model; synergy; measurement; standard; conformity assessment

0 引言

国家质量基础设施(National Quality Infrastructure, NQI)概念自2005年被世贸组织提出后,得到了各个国家的高度认可,认为NQI是提高生产力、维护生命健康、保护环境、保障安全和提高质量等的重要技术手段。目前,“双碳”背景下,火电等典型行业低碳发展需求迫切,低碳技术升级加快,对NQI能力提出新挑战。传统NQI单一要素发展模式难以适用于现阶段各行业产业发展,亟需实现NQI多要素深度融合发展,提供NQI协同系统化解决方案。

我国NQI研究起步较晚,目前主要集中于NQI在各行各业的作用和框架构建,对于NQI理论研究相对较少,特别在NQI多要素融合方面,仅限于服务层面或政策层面的协同分析和建议,缺乏针对NQI内在协同机理的理论研究。SUN等^[1]针对光伏行业建立了完整的NQI体系,并详细梳理光伏产业NQI体系,指出可能存在的问题及后续改进方向。FANG等^[2-3]认为NQI对电网发展有强促进作用,可以支持电网新系统的研发推广,为新能源发电并网提供依据,促进新能源产业的技术进化。任玲玲等^[4-8]认为NQI在材料、烟草等多领域具有多方面促进作用,可使产业高质量且可持续发展。

宫轲楠等^[9-11]对NQI进行阐述并给出发展目标 and 路径。胡杨等^[12]则对NQI内在机理进行阐述,认为NQI的几大要素都在NQI中起重要作用,几大要素之间互相耦合,与外部交互,起到保质、降本、增效作用,但对于要素之间的具体协同及主导要素并未深入研究。

另外,火电领域低碳发展方面,侯荟芸等^[13-16]对火电CCUS情景及协同效益进行研究,认为CCUS是解决火电问题的手段之一;GIELEN等^[17]从新能

源转型方面分析了火电的发展,但是对于NQI在火电行业的应用并未有深入研究。

因此,为深入探究NQI内部要素间的协同机理,促进NQI协同发展,笔者基于哈肯模型构建NQI协同演化模型,在识别出NQI三要素——计量、标准、合格评定(认证认可和检验检测)中序参量的基础上,进而识别出NQI序参量,系统分析我国NQI协同发展情况,为我国NQI的协同建设给出发展策略,并提出NQI协同支撑火电行业低碳发展建议。

1 协同模型构建

对于复杂系统的研究方法很多,常见的有复杂网络模型、层次分析法和哈肯模型。复杂网络模型适用于信息传播等应用,其适应性强但动态行为能力有限;层次分析法能考虑到多个层次的因素和决策,其应用广泛但主观性较强,而对于发展阶段的NQI系统来说,能够对其进行客观性描述更为重要;哈肯模型能将复杂系统转换为物理模型并通过数学理论进行序参量识别,但应用于高维度的大系统较为困难且需要大量计算。考虑到对NQI系统按计量、标准和合格评定三要素子系统进行拆分后其系统维度会降低,因此哈肯模型更适合本研究。

1.1 运动演化方程构造

多个个体或多个子系统耦合且有共同目标,这一现象称为协同,而哈肯模型^[18-19]是用于识别协同演化现象中序参量变化的模型。

将NQI的三要素计量、标准、合格评定看作3个子系统,在质量强国的背景下,三要素之间互相影响,从最初的各自独立到现在的耦合发展,从无序向有序演变。因此,NQI在发展过程中具有自组织演化特征。

自组织演化系统运用哈肯模型的前提条件是组织本身需具有开放性、非线性、远离平衡状态、涨落

性4个基本特征^[20]。NQI发展过程中,计量及标准制定时会考虑当下国情,因此具有开放性。NQI检验检测机构发展数量并不随时间线性增长,因此具有非线性。NQI发展随政策推进产生变化,因此远离平衡状态。随着三要素逐步发展,NQI整体进程呈现波动发展从而具备涨落性。

哈肯模型构建了 q_1, q_2 两个子变量,运动演化方程为

$$q_1' = -\mu_1 q_1 - a q_1 q_2, \quad (1)$$

$$q_2' = -\mu_2 q_2 + b q_1^2, \quad (2)$$

式中, q_1', q_2' 分别为 q_1, q_2 的一阶导数; a, b 为哈肯模型的控制参数; μ_1, μ_2 为阻尼系数。

μ 反映2个子系统 q 对协同系统具有正影响还是负影响, a 和 b 则反映2个子系统之间的互相影响,通过4个参数值可分析2个子系统及协同系统之间的关系。

哈肯模型是应用于连续随机变量的模型,而本文针对NQI的研究以年数据为研究样本,并非连续。因此,需对模型进行离散化处理,即

$$q_1'(t) = (1 - \mu_1) q_1(t - 1) - a q_1(t - 1) q_2(t - 1), \quad (3)$$

$$q_2'(t) = (1 - \mu_2) q_2(t - 1) + b q_1^2(t - 1), \quad (4)$$

式中, t 为周期为1 a的时间单位。

1.2 势函数求解

物体高度位置变化产生势能,而势能可判断系统是否处于相对稳定状态。因此在哈肯模型中通过对构造的演化方程进行势函数求解并找到序参量,可判断系统是否处于稳定状态。由绝热近似假设得,子系统 q_2 具有稳定阻尼,因此 $\mu_2 \gg \mu_1$,采用绝热消除法,令 $q_2' = 0$,通过对 q_1' 积分可解得最终的势函数 V 为

$$V = 0.5 \mu_1 q_1^2 + 0.25 (ab / \mu_2) q_1^4. \quad (5)$$

势函数的稳定点由 $q_1' = 0$ 来确定, $ab \mu_1 \mu_2 > 0$ 时,演化方程除 $q_1' = 0$ 还存在2个解 q_1'', q_1''' 。

2 NQI实证分析

为研究NQI三要素之间的协同,首先需梳理各要素,为对三要素进行更合理的归一化评分,需先从三要素各自内部的协同展开研究,找出每个要素的序参量从而对三要素进行归一化处理再进行NQI序参量识别。本文针对NQI三要素构建了NQI指标(表1),各指标的数据选取“十三五”开始的第2年(2017年)和“十四五”开始的第1年(2021年)相关数据(2022年部分数据缺失),数据来源于中国统计年鉴及各个省份年鉴和专职部门年度报告。

表1 NQI指标
Table 1 Index of NQI

NQI要素	指标
计量	计量检定技术机构数量
	中国合格评定国家认可委员会(CNAS)认可的校准实验室数量
	国家级产业计量测试中心数量
	国家计量总站数量
标准	国家标准研制贡献指数
	行业标准研制贡献指数
	团体标准研制贡献指数
	地方标准研制贡献指数
合格评定	CNAS认可的检验机构数量
	CNAS认可的认证机构数量

我国标准分为国标、行标、地标和团标,而标准的更新迭代象征着我国标准的发展水平,因此标准指标选取为4种标准的数量;合格评定包括认证认可和检验检测两大部分,这两大部分的相关机构均需由中国合格评定国家认可委员会(CNAS)认可,因此合格评定的指标选取CNAS认可的机构数量;计量相关规则也由国家计量机构、总站等部门设立,因此指标选取为机构数量。

2.1 三要素的序参量

2.1.1 计量

将表1中4个计量指标两两配对分析,并对数据进行回归处理,构建运动方程求解,由绝热近似假设判断方程是否成立,得到最终序参量。回归结果见表2。

根据表2计算结果,在计量要素中,序参量为计量检定技术机构数量,关键变量为CNAS认可的校准实验室数量。且解得参数为 $\mu_1 = 0.007\ 99, \mu_2 = 0.067\ 94, a = -0.006\ 83, b = 0.001\ 207$ 。

目前计量发展方面,检定机构起决定作用,意味着检定机构的发展能最大程度推动计量发展,CNAS认可的校准实验室作为协同系统中影响序参量的关键变量, μ_1 为正值表明检定技术机构尚未对计量发展起正向反馈作用,因为计量检定技术的提高并不直接体现在计量上,还需后续发展。

a 为负值,表明CNAS认可校准实验室对检定机构数量有正向影响,CNAS认证校准实验室数量增长表明我国计量水平提高,从而对检定技术机构有更高要求使其发展更快。

b 为正值,表明检定技术机构对CNAS认可校准实验室有正向影响,检定技术提高使各企业实验室等加强自身技术提升,从而被CNAS认可,对CNAS认可校准实验室起推进作用。

表2 计量要素指标两两分析结果

Table 2 Results of pairwise analysis of measurement factors

序号	模型假设	结论	序号	模型假设	结论
1	CNAS 认可的校准实验室数量为 q_1 , 检定机构数量为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立	7	国家计量总站数量为 q_1 , CNAS 认可的校准实验室数量为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立
2	检定机构数量为 q_1 , CNAS 认可的校准实验室数量为 q_2	方程假设均成立, 检定机构数量为序参量	8	CNAS 认可的校准实验室数量为 q_1 , 国家计量总站数量为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立
3	检定机构数量为 q_1 , 国家级产业计量测试中心数量为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立	9	国家级产业计量测试中心数量为 q_1 , CNAS 认可的校准实验室数量为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立
4	国家级产业计量测试中心数量为 q_1 , 检定机构数量为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立	10	CNAS 认可的校准实验室数量为 q_1 , 国家级产业计量测试中心数量为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立
5	检定机构数量为 q_1 , 国家计量总站数量为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立	11	国家级产业计量测试中心数量为 q_1 , 国家计量总站数量为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立
6	国家计量总站数量为 q_1 , 检定机构数量为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立	12	国家计量总站数量为 q_1 , 国家级产业计量测试中心数量为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立

2.1.2 标准

与第 2.1.1 节思路相同, 对表 1 中的标准要素 4 个指标进行两两配对分析, 求解运动方程和识别序参量。得到的最终回归结果见表 3。由表 3 可以看

出, 在标准要素中, 序参量为行业标准研制贡献指数, 关键变量为国家标准研制贡献指数。并且解得参数为 $\mu_1 = 0.026\ 76$, $\mu_2 = 0.543\ 44$, $a = -0.001\ 28$, $b = 0.001\ 551$ 。

表3 标准要素指标两两分析结果

Table 3 Results of pairwise analysis of standard factors

序号	模型假设	结论	序号	模型假设	结论
1	国家标准研制贡献指数为 q_1 , 行业标准研制贡献指数为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立	7	行业标准研制贡献指数为 q_1 , 团体标准研制贡献指数为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立
2	行业标准研制贡献指数为 q_1 , 国家标准研制贡献指数为 q_2	方程假设均成立, 行业标准指数为序参量	8	团体标准研制贡献指数为 q_1 , 行业标准研制贡献指数为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立
3	国家标准研制贡献指数为 q_1 , 团体标准研制贡献指数为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立	9	行业标准研制贡献指数为 q_1 , 地方标准研制贡献指数为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立
4	团体标准研制贡献指数为 q_1 , 国家标准研制贡献指数为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立	10	地方标准研制贡献指数为 q_1 , 行业标准研制贡献指数为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立
5	国家标准研制贡献指数为 q_1 , 地方标准研制贡献指数为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立	11	团体标准研制贡献指数为 q_1 , 地方标准研制贡献指数为 q_2	运动方程成立, 模型假设不成立
6	地方标准研制贡献指数为 q_1 , 国家标准研制贡献指数为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立	12	地方标准研制贡献指数为 q_1 , 团体标准研制贡献指数为 q_2	模型假设成立, 运动方程不成立

目前标准发展方面, 行业标准研制贡献指数起决定作用, 意味着行业标准的发展能最大程度推动标准发展, 国家标准作为协同系统中影响序参量的关键变量, μ_1 为正值表明行业标准尚未能对标准的发展起正向反馈作用, 因为行业标准的制定与更新相对于其他标准更加被行业发展关

注, 极其影响团体标准、地方标准的制定及国家标准的更新。

a 为负值, 表明国家标准对行业标准有正向影响, 国家标准的更新或增加条目表明我国总体标准水平提高, 各行业水平提高, 相应的标准也要跟上行业进步。

b 为正值,表明行业标准对国家标准有正向影响,行业标准的更新对于各行业企业更敏感,为继续达到行业标准,企业会加强自身技术提升,使国家总体技术提升,意味着国家可制定更高要求的国标,使国标更新和新增。

2.1.3 合格评定

合格评定分为 CNAS 认可的检验机构数量和认证机构数量 2 个小要素,对 2 个指标进行分析,求解运动方程和识别序参量,最后得到的回归结果见表 4。

表 4 合格评定要素分析结果

Table 4 Results of analysis of conformity assessment factors

序号	模型假设	结论
1	CNAS 认可的检验机构数量为 q_1 ,CNAS 认可的认证机构数量为 q_2	运动方程成立,模型假设不成立
2	CNAS 认可的认证机构数量为 q_1 ,CNAS 认可的检验机构数量为 q_2	方程假设均成立,认证机构数量为序参量

由表 4 可知,要素计量中,序参量为 CNAS 认可的认证机构数量,关键变量为 CNAS 认可的检验机构数量。且解得参数为 $\mu_1 = 0.299\ 08$, $\mu_2 = 2.517\ 523$, $a = -0.060\ 461$, $b = 0.032\ 7$ 。

目前合格评定发展方面,CNAS 认可的认证机构起决定作用,意味着认证机构的发展能最大程度推动标准发展,CNAS 认可的检验机构作为协同系统中影响序参量的关键变量, μ_1 为正值表明认证机构尚未能对合格评定的发展起正向反馈作用,认证机构的发展还不够完善,如何保证认证的有效性有待后续发展。

a 为负值,表明检验机构对认证机构有正向影响,认证过程中,检验机构的测试、检查和验证工作是必不可少的环节,认证机构需依赖检验机构提供的准确可靠的数据和结果来评估产品或服务的合格性。

b 为正值,表明认证机构对检验机构有正向影响,认证机构的发展推动了市场对质量认证的需求,随着企业和产品数量增加,市场对产品质量的要求越来越高,认证机构的存在为企业提供了获得独立、权威认证的机会,这就需要检验机构提供相应的检验和测试服务,以满足市场需求。

至此,三要素的序参量均已确定完毕,可以进一步确定 NQI 序参量,以便于揭示 NQI 协同演化机制。

2.2 NQI 协同演化机制

NQI 的协同演化机制首先要确认三要素中在协同中作为序参量发挥作用的要素。

2.2.1 NQI 序参量识别

针对 NQI 三要素进行两两分析,求解运动方程和识别序参量。回归结果见表 5。可知在 NQI 整体协同中,序参量为计量,关键变量为标准。

表 5 NQI 分析结果

Table 5 Results of analysis of NQI

序号	模型假设	结论
1	计量为 q_1 ,标准为 q_2	方程假设均成立,计量为序参量
2	标准为 q_1 ,计量为 q_2	模型假设成立,运动方程不成立
3	计量为 q_1 ,合格评定为 q_2	运动方程成立,模型假设不成立
4	合格评定为 q_1 ,计量为 q_2	运动方程成立,模型假设不成立
5	标准为 q_1 ,合格评定为 q_2	模型假设成立,运动方程不成立
6	合格评定为 q_1 ,标准为 q_2	模型假设成立,运动方程不成立

2.2.2 协同分析

由表 5 序号 1 模型求解得 $\mu_1 = -0.075\ 13$, $\mu_2 = 1.979\ 5$, $a = 0.001\ 30$, $b = 0.027\ 90$,则系统势函数为 $V = -0.037\ 56q_1^2 + 4.584\ 7 \times 10^{-6}q_1^4$ 。(6)

势函数的 3 个解分别为 $\pm 64.004\ 58$ 、0,如图 1 所示。

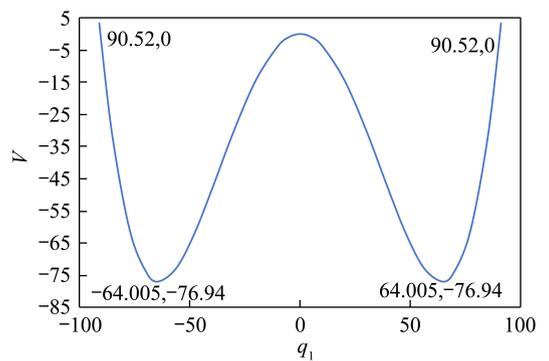


图 1 NQI 势函数曲线

Fig.1 Potential function curve of NQI

由此得出,势函数在 $q_1 = \pm 64.004\ 58$ 时存在极值,NQI 三要素均随时间不断正向发展,因此势函数仅需考虑右半部分(即 $q_1 > 0$)即可,因此势函数的稳定解为 $(64.005, -76.94)$ 。

根据模型结果分析,计量要素 q_1 是 NQI 内部协同系统的序参量,标准 q_2 是影响序参量的关键变

量。目前在全国 NQI 发展中仍主要靠计量主导,根据计量水平制定国标再衍生出行标、地标、团标,通过第三方的合格评定机构对企业实验室等机构进行核查。

其中, $\mu_1 = -0.075\ 13 < 0$, 表明计量发展正逐步推进并对 NQI 发展产生正向影响; $\mu_2 = 1.979\ 5 > 0$ 表明标准尚未对 NQI 发展形成正反馈作用。 $a = 0.001\ 30 > 0$ 表明标准发展对计量发展产生抑制,标准增多使计量要求更严格,因此发展速度变缓; $b = 0.027\ 90 > 0$ 表明计量发展可促进标准发展,说明计量发展可促进国家推出更新或更高要求的标准,计量技术不断提高,也可为标准制定和修订提供更加科学和精确的数据和方法。

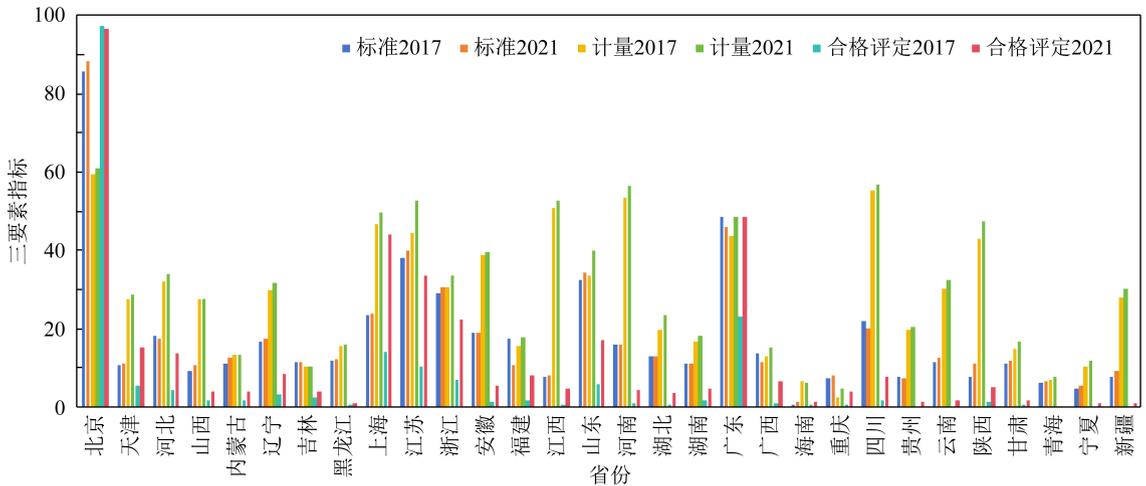


图2 省份 NQI 三要素指标

Fig.2 NQI three factor index chart of provinces

无论是序参量计量、关键变量标准以及次要关键变量的合格评定,都是 NQI 协同发展的重要方向,合格评定一方面是推动标准实施的重要手段,另一方面是推动计量溯源水平的重要手段,只有三要素共同发展才是良好的 NQI 发展模式。

3 结 论

1) 我国 NQI 协同发展中的序参量为计量要素,关键变量是标准要素,计量要素发展在 NQI 协同发展中起正向作用,而标准要素的发展尚未对 NQI 发展形成正反馈作用;同时,标准的发展会在一定程度上抑制计量发展,计量发展能促进标准发展。因此,在加强计量技术标准化的同时,也要处理好计量与标准之间的关系,以保证 NQI 有序发展。

2) 我国 NQI 处于发展阶段,三要素每年均有提升,其中以标准发展最快速,计量次之,合格评定最慢,计量发展受限于标准发展但也在推进,合格评定需国家出台更多政策推动合格评定发展。

3) 我国 NQI 的发展在地区上存在差异性,尤其

2017—2021 年省份 NQI 三要素指标如图 2 所示。可知本文选取的 30 个省份的三要素各项指标均逐步提高,表明我国高度重视 NQI 发展,各省份在提升产量的同时质量也在上升。标准要素指标分数较高,2 a 间提升也多,表明各省份注重标准制定,对标准制定经验丰富;计量要素指标分数较高,但 2a 内得分差异不大,说明我国计量水平较高但发展缓慢,受到标准快速发展的影响;合格评定要素的指标得分较低,且在地域上两极分化,发达地区合格评定机构数量多且涨幅大,不发达地区合格评定机构数量少甚至没有,且涨幅极小,因为地域关系合格评定机构倾向于建立在发达地区。

是合格评定的发展,发达地区经 CNAS 认可的检验检测及认证机构数量相对较多,而不发达地区经 CNAS 认可的相关机构数量十分缺少甚至没有,缺少合格评定机构会减缓计量和标准的发展,需国家出台补贴等相关政策鼓励不发达地区合格评定机构的发展。

4) 以火电行业为例,为实现双碳目标,火电行业的低碳发展亟需 NQI 的协同支撑。碳排放计量需依赖可靠的监测技术和完善的监测体系,合格评定需依赖标准化的方法和流程,目前火电行业 NQI 协同服务缺乏系统化支撑。在计量和标准方面,需加强碳计量技术等方面的标准化工作,以标准引领碳计量基础能力建设和碳计量技术研究。并制定更为规范的碳交易市场运行规则,严格监管和审查碳市场数据,提高碳数据的透明度和可信度。在合格评定方面,制定更科学合理的认可评价体系,严格把控相关检验检测及认证机构的质量,提高各机构的可靠性和水平。同时,建议出台相关政策鼓励发电企业采用先进低碳排放技术,并积极参与 NQI 的建设。

参考文献(References):

[1] SUN R, XIAO H, NIU C, et al. National Quality Infrastructure-system and its application progress in photovoltaic industry [J]. *Electronics (Basel)*, 2022, 11(3): 426.

[2] FANG X, LIU Y G, WANG Y, et al. Research on the framework design of NQI service cloud platform in the field of smart grid measurement [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, 1676(1): 012230.

[3] LIU H. National quality infrastructure supports smart grid construction in China-taking the state grid as an example [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 531(1): 012011.

[4] 任玲玲. 石墨烯材料NQI技术全链条实施经验 [J]. *计量学报*, 2019, 40(3): 538-540.
REN Lingling. The experience from full chain implementation of NQI technologies based on graphene related productions [J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2019, 40(3): 538-540.

[5] 牛晨晖, 孙睿, 曹庆伟, 等. 国家NQI体系及其在风电行业的应用进展 [J]. *中国标准化*, 2022(7): 216-230.
NIU Chenhui, SUN Rui, CAO Qingwei, et al. National NQI system and its application progress in wind power industry [J]. *China Standardization*, 2022(7): 216-230.

[6] 罗伟, 彭建飞. 国家质量基础设施(NQI)在可降解塑料领域应用分析 [J]. *广东化工*, 2023, 50(22): 55-56, 62.
LUO Wei, PENG Jianfei. Analysis of the application of national quality infrastructure(NQI) in the field of degradable plastics [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2023, 50(22): 55-56, 62.

[7] 葛欣宇, 赵彦, 黄开胜, 等. 国家质量基础设施(NQI)在新型烟草领域服务应用思考 [J]. *标准科学*, 2023(S1): 48-53.
GE Xinyu, ZHAO Yan, HUANG Kaisheng, et al. Reflection on the application of National Quality Infrastructure in the field of new tobacco [J]. *Standard Science*, 2023(S1): 48-53.

[8] 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(5): 123-130.
HUANG Mengdie, XIA Tangbin, ZHANG Hao, et al. Research on efficacy evaluation of National Quality Infrastructure on export product quality [J]. *Industrial Engineering and Management*, 2021, 26(5): 123-130.

[9] 宫轲楠, 于连超, 徐学林. 我国国家质量基础设施发展战略研究 [J]. *中国工程科学*, 2021, 23(3): 46-52.
GONG Kenan, YU Lianchao, XU Xuelin. Development strategy of national quality infrastructure in China [J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(3): 46-52.

[10] 蒋家东, 李相稔, 郑立伟. 国家质量基础设施研究综述 [J]. *工业工程与管理*, 2019, 24(2): 198-205.
JIANG Jiadong, LI Xiangzhen, ZHENG Liwei. National quality infrastructure: A review [J]. *Industrial Engineering and Management*, 2019, 24(2): 198-205.

[11] 宋丽丽, 马中东. 国家质量基础设施研究综述 [J]. *标准科学*, 2023(5): 13-19.
SONG Lili, MA Zhongdong. An overview of national quality infrastructure at home and abroad [J]. *Standard Science*, 2023(5): 13-19.

[12] 胡杨, 蒋家东, 郑立伟, 等. 国家质量基础的价值作用机理和模型研究 [J]. *中国标准化*, 2018(5): 40-44.
HU Yang, JIANG Jiadong, ZHENG Liwei, et al. Research on value function mechanism and model of national quality infrastructure [J]. *China Standardization*, 2018(5): 40-44.

[13] 侯荟芸, 杨琳. 不同煤电退役路径下CCUS技术的综合效益评估 [J/OL]. *洁净煤技术*, 1-19 [2024-08-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3676.td.20240730.1143.009.html>.
HOU Huiyun, YANG Lin. assessment of comprehensive benefits of CCUS technology under different coal power retirement paths [J/OL]. *Clean Coal Technology*, 1-19 [2024-08-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3676.td.20240730.1143.009.html>.

[14] 吕昊东, 鲁玺, 张贤. 碳中和目标下CCUS技术部署在公正转型中的协同效益研究 [J/OL]. *洁净煤技术*, 1-11 [2024-08-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3676.td.20240618.1040.006.html>.
LYU Haodong, LU Xi, ZHANG Xian. Study on the synergistic benefits of CCUS technology in the just transition towards carbon neutrality [J/OL]. *Clean Coal Technology*, 1-11 [2024-08-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3676.td.20240618.1040.006.html>.

[15] 史明威, 高仕康, 吕昊东, 等. 中美碳捕集利用与封存技术发展政策体系对比研究 [J/OL]. *洁净煤技术*, 1-18 [2024-08-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3676.td.20240625.1158.002.html>.
SHI Mingwei, GAO Shikang, LYU Haodong, et al. Comparative research on the development and policy frameworks of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) technology in China and the united states [J/OL]. *Clean Coal Technology*, 1-18 [2024-08-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3676.td.2024-0625.1158.002.html>.

[16] 袁亮. 煤炭工业碳中和发展战略构想 [J]. *中国工程科学*, 2023, 25(5): 103-110.
YUAN Liang. Strategic conception of carbon neutralization in coal industry [J]. *Strategic Study of CAE*, 2023, 25(5): 103-110.

[17] GIELEN D, BOSHELL F, SAYGIN D, et al. The role of renewable energy in the global energy transformation [J]. *Energy Strategy Reviews*, 2019, 24: 38-50.

[18] HAKEN B H. *Synergetics: An introduction nonequilibrium phase transitions and self-organization in physics, chemistry and biology* [M]. Second enlarged edition. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1978.

[19] HAKEN H. *Synergetics: An introduction nonequilibrium phase transitions and self-organization in physics, chemistry and biology* [M]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1977.

[20] LAZAREVIĆ M P. Elements of mathematical phenomenology of self-organization nonlinear dynamical systems: Synergetics and fractional calculus approach [J]. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 2015, 73: 31-42.