

引用格式: 于秀明, 张旸旸, 邱硕涵, 等. 基于复杂适应系统理论的标准化系统工程体系构建研究[J]. 标准化学报, 2026(10): 30-44.
YU Xiuming, ZHANG Yangyang, QIU Shuohan, et al. Research on the Optimization of Standardization Systems Engineering Architecture Based on Complex Adaptive Systems[J]. Journal of Standardization, 2026(10): 30-44.

基于复杂适应系统理论的标准化系统工程体系构建研究

于秀明 张旸旸 邱硕涵 张璨*

(中国电子技术标准化研究院)

摘要: 【目的】为解决新时代标准化工作跨界融合、快速迭代的系统性适配难题, 构建适应复杂环境、具备自我演化能力的标准化系统工程体系。【方法】引入复杂适应系统(CAS)理论, 将标准化工作视为多元主体协同演进的复杂适应系统, 识别战略与需求、技术、管理、人才和生态五大核心适应主体, 依据“认知—应激—适配—反馈”循环逻辑构建多维协同优化体系。【结果】明确了各主体的功能定位与动态调节逻辑, 形成“环境变化—主体认知—应激调节—体系优化—反馈环境”的闭环优化框架, 实现了标准化工作从局部优化向系统能力升级的转变。【结论】该体系推动了标准化工作由“单一环节优化”向“系统能力跃升”转变, 为新时代标准化工作的范式变革与能力提升提供了理论依据与实践指导。

关键词: 新时代; 标准化系统工程; 复杂适应系统(CAS)理论

DOI编码: 10.3969/j.issn.2097-857X.2026.10.003

Research on the Optimization of Standardization Systems Engineering Architecture Based on Complex Adaptive Systems

YU Xiuming ZHANG Yangyang QIU Shuohan ZHANG Can*

(China Electronics Standardization Institute)

Abstract: [Objective] To address the systematic adaptation challenges of cross-border integration and rapid iteration in standardization work, this study aims to construct a standardization systems engineering system that adapts to complex environments and possesses self-evolution capabilities. [Methods] By introducing Complex Adaptive Systems (CAS) theory, standardization work is viewed as a complex adaptive system where multiple agents co-evolve. Five core adaptive agents—strategy and requirements, technology, management, talent, and ecosystem—are identified, and a five-dimensional collaborative optimization system is constructed based on the “cognition - stress - adaptation - feedback” cycle logic. [Results] The functional positioning and dynamic adjustment logic of each agent are clarified, and a closed-loop optimization framework is formed, achieving the transformation from local optimization to systemic capability upgrading. [Conclusion] This system promotes the transformation from “single-link optimization” to “leap in systemic capability”, providing theoretical and practical guidance for paradigm transformation and capability enhancement of standardization work.

Keywords: new era; standardization systems engineering; Complex Adaptive Systems (CAS)

作者简介: 于秀明, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向为标准化、数智化。

张旸旸, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向为标准化、数智化、软件工程。

邱硕涵, 博士, 高级工程师, 研究方向为标准化、数智化。

张璨, 通信作者, 硕士, 工程师, 研究方向为标准化、科技管理。

0 引言

随着新一轮科技革命和产业变革持续深化,全球治理格局正经历深刻调整。在此背景下,标准化的功能定位已从支撑产业发展的技术性工具演变为重塑国际竞争规则、引领科技创新方向、维护产业链安全稳定的关键战略要素^[1]。进入新时代,标准化的对象范畴、组织模式以及所依托的生态系统均呈现出显著的复杂性与系统性特征。现有标准化模式在应对跨领域融合、技术快速迭代以及以创新为导向等新需求时,暴露出了系统性适配不足的问题^[2]。鉴于此,建立一个能够适应复杂多变环境、具有内在演化动能的标准化系统工程架构,对提升国家标准化整体实力、赢得未来发展主动权至关重要。本文基于复杂适应系统(CAS)理论的分析范式,将新时代标准化工作理解为多元主体交互作用、协同演化的复杂适应过程,并尝试从系统整合、动态调适和能力进化的视角,搭建涵盖战略与需求、技术、管理、人才、生态5个维度的协同优化框架,以期为我国标准化工作的转型升级提供理论参考与实践路径。

1 新时代背景下的标准化工作分析

1.1 新时代标准特征的变化

在新时代背景下,标准化工作已从传统的基础性技术活动,上升为国家战略性、引领性的关键支撑^[3]。其特征发生了深刻而显著的变化,主要体现在以下3个维度。

1.1.1 功能定位的战略性提升

标准的功能属性实现了从经济活动的技术支撑工具向国家治理基础性制度的转变。在过去,标准主要发挥着对既定且成熟技术成果的固化及推广作用,是产业规模化生产的技术基准^[4]。随着全球化的深入发展及大国竞争的不断加剧,标准已成为国际经贸规则博弈与科技竞争的战略工具。一是作用逻辑从“服务”转向“引领”。标准通过预先设定技术路线、互联互通接口与性能指

标,主动引领科技创新方向、产业生态构建与市场规则形成^[5]。二是治理功能显著增强。标准化工作深度融入国家战略体系,能够及时响应新技术与新业态带来的监管需求,以高水平标准推动质量提升与产业结构优化,并依托关键领域标准话语权筑牢产业链、供应链安全韧性,把握国际竞争主导权。三是实现标准供给与产业需求同频共振。标准化工作通过适度超前研究与应用实施相结合,聚焦产业升级痛点、优化难点以及技术创新发展趋势,深度分析产业需求,形成体系性规划,实现标准精准供给,更好发挥标准引领保障作用。

1.1.2 对象范畴的系统性拓展

科技革命与产业变革的深度融合,正推动标准化对象朝着复杂化、系统化的方向持续演进,其覆盖范畴已从单一的技术维度拓展至跨界融合与复杂系统层面。在传统认识中,标准主要规制的是相对独立的产品规格、工艺参数或测试方法等技术对象。但是在新一轮科技革命的推动下,技术与产业的边界日益模糊,不同领域之间的交叉渗透渐成常态。标准化的对象范畴也相应延伸至多个技术领域、穿透不同行业部门、贯通产业链上下游的复杂系统与集成场景。以智能制造为例,相关标准不仅需要整合机械工程、自动化控制、工业互联网等既有技术,还须吸纳大数据、人工智能等新兴技术要素。面对这种高度融合交叉的新特征,标准化工作亟须突破既有的行业壁垒与专业藩篱,在顶层设计和系统思维的引导下,形成协调配套、开放兼容的标准集群,为综合性解决方案的落地实施提供规范支撑。

1.1.3 制定模式的动态性变革

新时代技术创新节奏显著加快,市场环境瞬息万变,这要求标准的制定需要从固有的长周期模式向快速响应、持续迭代的模式演变。传统标准的制修订流程周期性长,难以满足技术迭代与市场演进要求。进入新时代,标准化工作机制向敏捷化与市场化转型已势在必行。应当建立起对市场需求、技术演进和产业痛点的快速感知与响应能力,通过流程再造与机制优化,推动标准制

定与市场实践形成更紧密的互动关系。同时积极吸纳企业、科研机构、行业协会等多元主体深度参与，缩短从需求识别到标准发布的全周期。标准文本已从“一次制定、长期适用”的静态文件，转变为需要持续维护、动态更新乃至版本化管理的活态文档，能够与科技创新和产业升级保持同频共振，甚至在特定领域实现适度超前布局，从而更有效地发挥标准引领方向和规范秩序的双重功能。

1.2 新时代标准化工作的转变

综合前文对标准化特征演变分析发现，无

论是功能定位的调整、对象范畴的拓展，还是制定模式的变革，这些变化都不是彼此割裂的孤立现象，而是相互交织、协同作用的有机整体，共同驱动标准化工作的整体范式发生根本性转换^[6]。为了更清晰地揭示这种范式转变的内在逻辑与演进脉络，下文拟从战略与需求、技术、管理、人才及生态5个核心维度，对传统标准化工作与新时代标准化工作进行系统性的对比分析，具体如表1所示。

(1) 在战略与需求层面，传统标准化工作主

表1 传统标准化工作与新时代标准化工作对比			
对比维度	核心锚点	传统标准化工作	新时代标准化工作
战略与需求维度	性质	后验性的技术支撑工具，用于固化现有成果	前瞻性的战略性基础设施，引领创新与治理
	目标	保证产品质量一致性、实现规模化生产效率	保障国家关键领域安全、塑造规则主导权、推动制度型开放
	角色	主要扮演产业的“裁判员”和“记录员”	成为定义赛道、引领创新、保障安全的“策划者”
	视野	以满足国内生产管理和基础贸易需求为主	深度嵌入国家发展格局，布局全球议题（数字、绿色）标准议程
技术维度	对象	多为孤立产品、零部件或具体工艺方法	应对交叉融合领域（如AI、生物技术、大数据）
	形态	静态的技术文件，表现为长周期稳定的文本规范	动态赋能媒介，如软件定义、数据协议、参考架构
	逻辑	渐进式优化	范式塑造与技术集成
管理维度	流程	制修订周期长，程序刚性，遵循严格的共识流程	推行柔性管理，提升效率。强化标准预研和应用推广落地
	更新	标准发布后长期保持稳定，修订滞后	建立常态化复审与快速修订机制，及时更新滞后标准
	工具	传统文本编撰辅助工具	利用数字化工具实现协同编写与版本跟踪
人才维度	能力	侧重于对现有技术规范的理解与编写执行能力	兼具技术深度与战略广度，具备国际规则谈判与跨文化协作能力
	结构	以政府、专业机构人员为核心主体	涵盖企业专家、国际注册专家、生态运营人才
	培养	传统工程教育背景，缺乏系统性的标准化学科培养	布局交叉学科（标准工程、标准与知识产权），搭建“技术—标准—产业—谈判”全链条实战平台
生态维度	主体	以政府和专业机构为核心的驱动	多元主体共生共创（政府、市场、社会、国际组织、联盟）
	关系	标准与产业、市场相对分离，形成“政府—行业”的二元结构	构建以标准为纽带的“创新—产业—市场”联动发展生态
	参与	中小企业、用户等参与度低	培育集合龙头企业与中小企业的产业联盟、开源社区等新型标准组织；推动标准与知识产权、基金、检测认证深度融合

要定位为后验性的技术支撑手段,其核心任务是对工业化大规模生产中的成熟技术成果予以总结和固化,如产业运行中的“裁判者”与“记录者”,以满足国内生产管理和基础贸易需求为首要宗旨,在国际标准领域大多扮演追随者角色。而新时代的标准化工作实现了向战略性基础设施的根本性转变。标准深度融入国家关键领域安全与发展的宏观架构,成为定义赛道、引领创新、塑造规则的核心战略资源。工作重点已突破单一技术协调的范畴,转向系统性构建自主可控的产业链标准体系,在前沿技术领域布局以构筑先发制人优势,并通过主导国际标准制定、在全球数字治理和绿色低碳议题中设定议程,推动制度型开放,使标准切实成为保障安全、引领创新和参与全球治理的战略利器。

(2)在技术层面,传统标准化工作着重于诸如具体产品、零部件或工艺方法等相对孤立且单一的对象,呈现出显著的“静态文件”特性。其作用机制是在成熟技术的基础上开展渐进式优化,借助成果固化的方式确保质量的一致性以及生产的规模化,跨领域的技术交叉融合程度相对较低。与之形成鲜明对比的是,新时代标准化工作承担着技术融合应对与产业创新赋能的双重重任,必须深度嵌入技术演进的前沿领域。针对人工智能、大数据、生物技术等交叉融合领域,需优先制定基础通用标准、伦理安全标准及互操作性标准;围绕制造业数字化转型、绿色低碳变革等产业发展趋势,系统性地推进关键应用标准的制定与实施。更为关键的是,数字化技术为标准验证和应用实施带来了变革,例如基于数字孪生技术搭建标准技术验证环境,基于标准文本研发软硬件实施工具和配套数据库,逐步替代以纸质文本、电子文档为主的传统宣贯模式。

(3)在管理层面,传统标准化工作遵循一套严谨但低效的共识达成流程。标准的制定与修订周期较长、程序刚性较强。标准发布后通常在较长时间内保持稳定,呈现出典型的“静态管理”特性。这种管理模式在应对快速演变的技术与市

场时表现出明显的局限性。而新时代标准化工作致力于构建适应快速迭代的敏捷治理体系,推行柔性管理,对全流程管理模式进行系统性革新。具体来说,加强标准预研,提升标准研制效率、质量水平和适用性;推行快速通道等灵活的项目立项机制;充分运用数字化工具实现标准草案的协同编撰、公开征求意见和版本跟踪,显著提高透明度与工作效能;建立标准的常态化复审与快速修订机制,及时废止或更新滞后的标准;强化标准应用推广,打通从标准制定到产业落地的转化链条,切实推动标准成果在行业实践中落地见效、赋能增效。

(4)在人才层面,传统标准化工作的人才队伍主要由政府部门和专业机构人员构成。现有人员的专业能力主要集中于对现有技术规范的理解、编写与执行,由于缺乏系统性的标准化学科培养以及复合型能力训练,难以满足日趋复杂的国际竞争与战略博弈需求。新时代标准化工作着重于培育兼具技术深度与战略广度的复合型领军人才,需要对人才队伍的结构与能力进行系统性重构。具体包括在重点高校和科研机构设置标准化工程、标准与知识产权等交叉学科;加强对企业标准化总监、国际标准注册专家等高端实务型人才的培养与认证;搭建包含技术研发、标准制定、产业化应用、国际谈判在内的全链条实战演练平台。尤为重要的是,需强化人才的全球视野、规则谈判能力及跨文化协作能力,打造一支能够胜任战略规划、技术研判、生态运营及国际竞争的专业化人才梯队。

(5)在生态层面,传统标准化工作主要囿于“政府—行业”的二元结构,参与主体较为单一,中小企业、用户及公众的参与程度较低,标准与产业、市场的互动关联不够紧密,形成了相对封闭的运行机制。新时代标准化工作着力构建开放协同、多元共治的生态系统,积极规划并培育以市场为导向、以企业为主体、各类创新组织广泛参与的标准化生态。具体措施如下:扶持并规范产业技术联盟、开源社区等新型标准生成组织;建

立健全中小企业、用户能够有效参与标准制定的途径与机制；推动标准与知识产权、产业基金、检测认证等服务深度融合。借助标准这一关键纽带，将技术创新、产业发展与市场需求有机衔接，形成协同联动、良性循环的生态体系，为标准化事业的持续发展提供源源不断的动力。

2 基于复杂适应系统（CAS）理论的标准化系统工程构建思路

基于前文对新时代标准化工作特征及其范式转变的分析，标准化工作的功能定位已从单纯的技术工具上升为具有战略意义的基础设施；对象范畴突破了单一产品或孤立技术的局限，拓展至跨界融合、要素交织的复杂系统；制定模式也正在摆脱静态固化的传统路径，转向动态迭代、持续演进的新形态。这些变化涉及主体角色、相互关系、运作流程乃至目标取向的深层重构，其复杂性、动态性与演化特征愈发凸显。面对由多元主体共同参与、多种要素深度交织且处于持续协同演变的实践形态，传统线性、静态的分析框架显然已难以提供有效的解释与指导。鉴于此，将复杂适应系统（CAS）理论引入标准化研究领域，成为一种具有必要性与可行性的理论选择。该理论的核心在于“适应主体”这一概念，其所关注的主体并非被动接受环境塑造，而是在与外部环境及其他主体的持续交互中，通过学习与调适不断推动系统整体的演化升级。其内在逻辑尤为重视主体的自主决策能力、彼此间的协同合作机制，以及系统层面的动态演化规律。从本质上看，复杂适应系统理论所蕴含的多主体协作、环境适应性以及系统能力持续进化等核心要义，与新时代标准化工作的内在需求具有高度的一致性。基于这一理论视角，本研究尝试将标准化系统工程解构为5个具有能动性的核心“适应主体”，即战略与需求、技术、管理、人才和生态。遵循“认知—应激—适配—反馈”的循环逻辑，本文将进一步分析各主体如何感知外部环境的变化信号，如何据

此调整自身行为策略，以及如何与其他主体形成良性互动，最终推动整个标准化体系实现动态优化与能力跃升。

2.1 复杂适应系统（CAS）的标准化适应主体

复杂适应系统（CAS）理论的核心逻辑在于，主体通过与环境的持续交互以及与其他主体的动态互动，实现自我适应与系统整体协同优化。其核心特征体现为自主性、协同性与动态演化性。新时代标准化系统工程作为支撑产业高质量发展的复杂适应系统，其适应主体并非离散的个体或组织，而是嵌入在标准制定、实施、反馈与迭代全流程中，具有特定功能与互动关系的结构化主体集群。基于新时代标准化工作的核心重点，可将战略与需求、技术、管理、人才、生态视为系统中相互关联、共同演化的五大核心适应主体。

2.1.1 战略与需求主体

战略与需求主体在系统中发挥“导航系统”的作用，承担着在复杂环境中识别方向、设定目标，并引导系统整体演进进程的职责。一方面通过对国家政策、国际竞争态势、产业变革趋势等宏观信号的感知与解析，形成自上而下的标准化战略部署；另一方面依托产业实践、市场应用与技术创新一线诉求，汇聚自下而上的标准化现实需求，以此统筹形成标准化工作的顶层设计与战略布局。战略与需求主体的自主性表现为主动确定标准化方向，将国家战略与基层实践需求共同转化为具体的技术路径与规则体系；协同性表现为与技术、管理、人才、生态等主体开展协同联动，以确保多层次需求在实施层面得以落实；动态演化性则表现为根据实施反馈与环境变化，动态调整战略优先级与推进节奏，持续提升系统发展的长期适应性。

2.1.2 技术主体

技术主体作为系统实现功能输出的核心“执行单元”，着重于标准制定和实施。其具备对技术发展趋向、产业应用难点及创新融合途径的敏锐感知与响应能力。技术主体的自主性体现为技术委员会、研制机构、企业等依托自身的技术积累与市场研判，主动发起或参与标准的研制与推广

实施工作；协同性体现在跨领域技术整合、开源协作、产学研用联合攻关等层面，以此推动形成兼具兼容性与先进性的技术规范；动态演化性则归因于技术的快速迭代，这要求技术主体持续追踪前沿技术，促使标准内容得以及时更新、形式不断创新（如模型化标准、机器可读标准），从而维持系统的技术先进性与产业关联性。

2.1.3 管理主体

管理主体肩负着系统的“协调与控制”职责，着力于设计并运行高效、灵活的标准化流程机制。其自主性体现为依据系统目标与环境变迁，主动优化管理规则、资源配置及评价体系；协同性表现为借助数字化平台、快速通道机制、利益协调规则等，推动各主体间信息流通顺畅、协作井然有序；动态演化性要求管理主体具备持续学习与改进的能力，例如引入弹性流程以契合不同技术成熟度的标准要求，构建反馈闭环以持续增强管理效能，进而确保系统在稳定性与灵活性之间达成平衡。

2.1.4 人才主体

人才主体作为系统内一切智力活动与创新行为的“承载者和驱动者”，是其他主体功能得以达成的根基。其自主性体现为个体与组织依据职业生涯发展或组织能力建设的需求，积极开展学习、实践活动，并贡献标准化专业知识；协同性体现在跨学科团队组建、知识共享、国际组织参与等活动之中，推动经验与智慧的流动和整合；动态演化性要求人才队伍的结构与能力必须紧跟时代发展，人才主体不仅要掌握坚实的专业技术，还应具备战略思维、国际视野、法律素养及协作能力，从而应对标准化工作不断增加的复杂性，推

动系统整体能力的持续提升。

2.1.5 生态主体

生态主体构建了系统运行与主体互动的“场域及关系网络”，是具有能动性的“环境塑造者”。其自主性体现为产业联盟、开源社区、检测认证平台等各类节点主动汇聚资源、制定规则、培育市场；协同性表现为推动政府、企业、高校、用户等多元主体构建信任、共享资源、共担风险、共创价值；动态演化性则源自生态内部竞争、合作、共生关系的持续调整，以及新节点、新连接的生成，促使整个标准化生态朝着更具活力、更具韧性且能实现更高价值产出的方向发展。

2.2 复杂适应系统的标准化工作构建及动态优化思路

标准化系统动态优化的本质是各适应主体受到外部环境刺激后进行的自适应调节。这种调节首先是外部环境对适应主体形成刺激，触发主体自我调节；之后，由于主体与主体之间存在关联关系，在受到外部环境刺激后，会保持系统的动态平衡而持续开展交互、协同联动，达成动态迭代。鉴于复杂适应系统（CAS）理论具备的自主性、协同性及动态演化性等核心特征，结合前文所确定的战略与需求、技术、管理、人才、生态这五大核心适应主体及其功能定位，围绕环境变化与主体响应的内在关联，从主体认知构建、适应性调节施行、工作体系优化、外部环境反馈4个层层递进的环节，系统地阐释基于复杂适应系统（CAS）的标准化工作优化调节的整体逻辑思路，明确各环节的内在传导关系与核心运行逻辑，如图1所示。

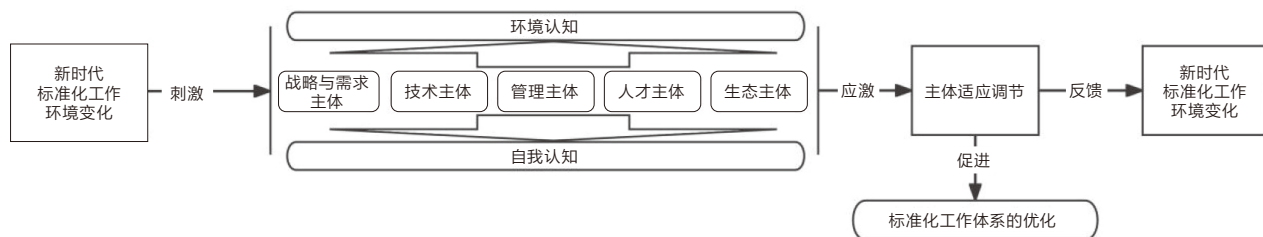


图1 复杂适应系统的标准化工作优化调节思路

2.2.1 新时代环境变化刺激标准化主体形成认知

本环节的核心逻辑为“外部输入—认知加工—行动铺垫”。新时代标准化工作所面临的外部环境变迁,构成了系统的外部刺激源。以该外部刺激源为逻辑起点,通过触发五大主体的“环境认知—自我认知”双重加工过程,实现对外部挑战与自身能力匹配性的判断。其内在思路在于促使各主体同步感知外部环境信号、审视自身能力边界,从而为后续的适应性调节构建精准的判断依据。

2.2.2 标准化主体应激形成适应性调节

本环节的核心逻辑遵循“认知驱动—应激响应—协同联动”模式。以五大主体的认知成果为触发条件,促使各主体依据自身功能定位开启应激调节。与此同时,借助主体间的信息共享与资源联动,构建起“战略与需求导航—技术执行—管理协调—人才支撑—生态保障”的协同调节网络。其内在理念在于通过多主体的协同联动,使调节行动既发挥个体功能,又服务于系统整体目标。

2.2.3 主体适应性调节促进标准化工作体系优化

本环节的核心逻辑为“单点调节—系统传导—整体跃升”。以各主体的适应性调节为输入项,借助“战略与需求—技术—管理—人才—生态”多维传导机制,促使标准化体系由局部功能优化向系统性能力升级转型。其内在逻辑在于,各主体的调节行为会在系统内部引发连锁效应。例如战略与需求主体对顶层设计的优化会指引技术主体的标准研制方向,管理主体实施的敏捷治理会提高全流程效率,最终达成体系在响应速度、适配精度及协同效率方面的整体提升。

2.2.4 主体适应性调节动态反馈外部环境变化

本环节的核心逻辑为“体系输出—反向塑造—循环迭代”。以优化后的标准化体系为输出,凭借先进标准、敏捷机制、开放生态等成果对外部环境产生反向影响,从而引发新的环境变化;新的环境变化将再次触发主体的认知与调节进程,形成“环境变化—主体认知—应激调节—体系优化—反馈环境”的闭环逻辑。其内在逻辑在

于,系统并非被动地适应环境,而是借助输出成果主动塑造环境,再通过新的环境输入实现自身的持续迭代。

3 基于复杂适应系统(CAS)的标准化系统工程体系构建

基于对新时代标准化工作中战略与需求、技术、管理、人才、生态这五大适应主体的精准界定,以及复杂适应系统(CAS)理论“认知—应激—适配—反馈”的优化调节逻辑,构建一套兼具前瞻性、系统性与实践性的标准化系统工程体系。此体系借助五大适应主体的功能耦合与联动,实现标准化工作由“单一环节优化”向“系统能力跃升”的转变,为新时代标准化工作提供具备可操作性的实施框架,如图2所示。

基于五大工作体系构建起一个以战略与需求为引领、人才为根基、管理与技术为双轮驱动、生态为培育场域的动态协同整体。其中,战略与需求体系为技术研发与管理创新指引方向;管理体系为技术活动与人才实践搭建流程与规则;技术体系产出标准成果,并对战略实现与生态繁荣起到反哺作用;人才体系为各个环节提供智力支持与能力保障;生态体系则不断吸纳资源、反馈需求并放大价值。各体系借助持续的信息、资源与成果交换,形成紧密耦合、相互促进的闭环网络,共同推动标准化系统工程实现从局部优化到系统能力整体提升的根本性变革。

3.1 战略与需求体系

战略与需求体系旨在将宏观层面的国家意志、产业需求及国际竞争态势,转化为清晰且具有可执行性的标准化战略目标、实施路径与行动方案,进而为其他子体系提供方向性的指引。

3.1.1 构成要素

(1) 战略研判与预见系统。构建基于大数据的标准化趋势监测平台,对全球科技前沿动态、产业政策走向和实践需求、用户实际需求、国际标准组织活动情况以及主要竞争对手的标准布局

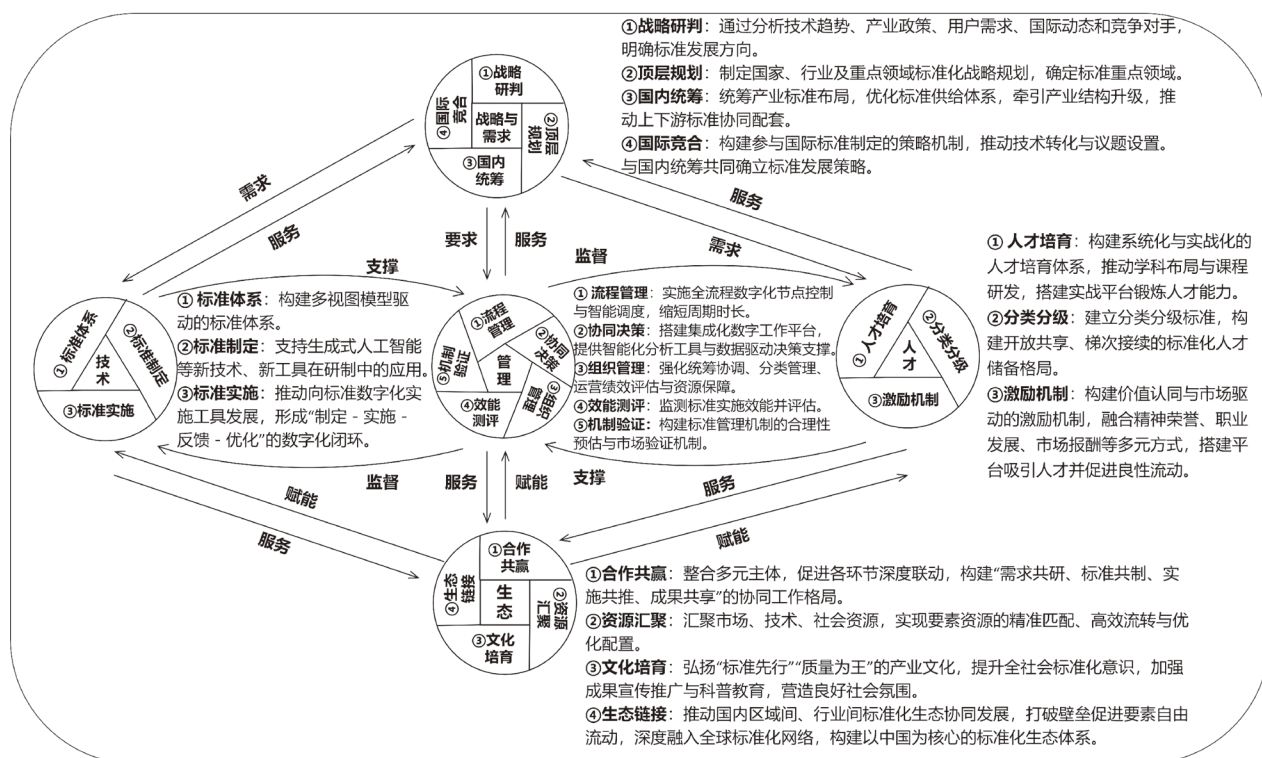


图2 标准化系统工程关系图

进行实时跟踪，通过技术路线图等方法明确标准发展方向。

(2) 顶层设计与规划系统。制定国家、行业以及重点领域的标准化发展战略与中长期规划，确定关键核心技术、未来产业、绿色低碳、数字治理等标准重点领域。

(3) 国内产业统筹系统。对标国际先进水平提升产业整体发展能级，围绕终端用户需求与市场场景优化标准供给，打通产学研用各环节标准衔接堵点，推动上下游产业标准协同配套。充分发挥标准对产业布局优化、结构升级的牵引作用，实现产业发展与民生需求、市场导向的有机统一。

(4) 国际竞合与规则塑造系统。构建以主动参与国际标准制定甚至主导国际标准制定为目标策略与行动机制。支持国内机构与专家深度融入国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)、国际电信联盟(ITU)等国际组织的治理层与技术层，推动国内先进技术与实践成果转化为国际标准，在新兴领域积极设置国际标

准发展策略。

3.1.2 运行机制

战略与需求体系的运行机制依托“顶层设计与规划系统”，驱动“战略研判与预见系统”运转。搭建“标准化趋势监测平台”，对全球科技前沿动态、产业政策走向和实践需求、用户实际需求、国际标准组织活动状况以及主要竞争对手的标准布局实施实时跟踪，进而开展前瞻性分析研判，明确标准发展方向。“战略研判与预见系统”为“国际竞合与规则塑造系统”和“国内产业统筹系统”提供支撑。前者推动国内机构深度融入国际标准组织的治理层与技术层，将先进技术转化为国际标准，以实现国际竞合；后者将标准化全面嵌入国内产业提质升级与供需协同发展全过程，两者共同确立标准化策略。“战略研判与预见系统”输出的战略规划、重点领域清单、国际提案策略等成果，直接为技术体系的标准研制方向提供指引，并对管理体系的资源分配与政策设计产

生作用,其整体逻辑如图3所示。

3.2 技术体系

技术体系旨在将战略愿景转化为先进且具有可执行性的标准规范,并推动其有效落实。该体系聚焦于标准架构、研制以及实施三大核心环节,致力于构建一个响应迅速、支撑融合且能够动态演进的现代化技术工作模式。

3.2.1 构成要素

(1) 多视图模型驱动的标准体系构建系统

改变传统标准体系单纯依赖静态文本描述的线性架构模式,构建基于模型的动态标准体系架构。该系统借鉴多视角建模思想,建立涵盖产业视角、从业者视角、业务视角、产品视角、标准视角的五维建模框架^[7],通过产业链视图、从业者视图、产品视图、业务视图、标准视图,全方位刻画复杂系统的标准化需求。依托元对象机制(MOF)与统一建模语言,实现标准体系元模型的形式化定义,增强跨领域标准的兼容性与协同性,确保体系架构具备适应技术融合与产业演进的可视化、结构化特征。

1) 产业链视图。从“产业视角”建模产业链上下游生态,刻画供方、需方、监管方、第三方等产业链角色和业务关系,以及产品/服务的供需关系,为标准体系划定产业边界,明确产业主体的协同逻辑。

2) 从业者视图。从“从业者视角”建模“产业链视图”中各产业链主体的具体角色关系及职责(如管理者、技术工程师、运维人员等),上述主体作为各类业务的执行者,为“技术过程”“管理过程”拆解建模业务场景提供建模线索。

3) 产品视图。从“产品视角”建模产品/服务的组分关系和交互关系,明确标准需支撑的功能模块能力、接口规范,也为特定产品/服务研发的技术过程提供建模线索。

4) 业务视图。从“业务视角”拆解核心业务的流程节点、活动逻辑及输入输出关系,识别业务环节中需通过标准规范的要点,为标准体系建立业务层面的功能性支撑点(具体细化为技术过程视图和管理过程视图)。

5) 标准视图。从“标准化视角”,将“标准化

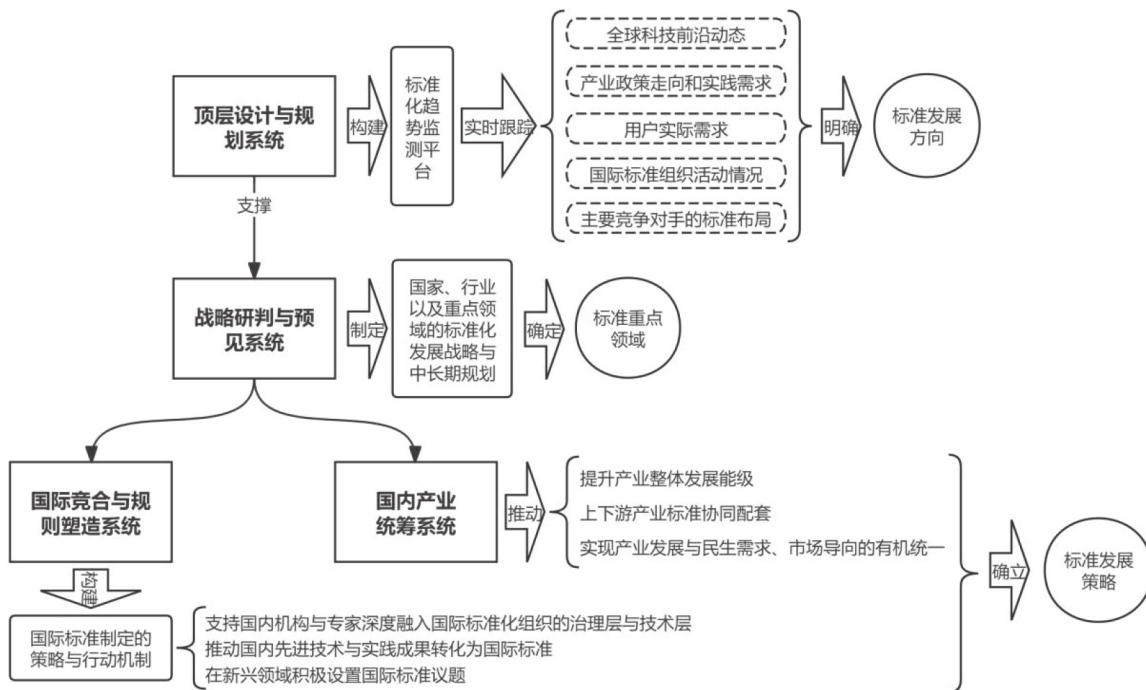


图3 战略与需求体系的运行机制

对象视图”中建模的产品/服务、技术、管理等标准化对象及关联关系进行交叉映射分析,形成具体的标准分类和标准列表,完成从“标准化需求”到“标准体系”的落地。

(2) 模型化协同的标准研制系统

推动标准研制模式从“文档编撰”向“模型构建”转型。支持多元主体(企业、高校、联盟等)基于共享的元模型开展标准草案的协同建模与在线研讨。研制过程不再局限于文本条款的拟定,而是侧重于标准对象的属性定义、关系刻画与逻辑验证。积极推广“研标同步”及快速流程等敏捷方式,利用数字化平台支持生成式人工智能等新技术在标准模型生成中的应用,吸引产业链上下游深度参与,显著提升标准的技术先进性与研制敏捷度。

(3) 数字化的实施反馈系统

建立标准与产业实践的虚实映射与动态反馈机制。大力推动标准向硬件工具、软件平台、基准库等数字化实施工具形态发展。构建基于数字孪生技术的标准验证环境,搭建数字化应用平台。平台内嵌标准化知识图谱、关联数据集、模拟案例库、实际应用数据库等模块,通过仿真测试验证标准技术指标,依托真实应用数据分析提供决策支撑。打通实施环节向研制环节的实时反馈渠道,实现数据流与业务流的双向贯通,基于大数据分析评估标准实施效能,建立模型的版本化管理与动态更新机制,形成“制定—实施—反馈—优化”的数字化管理闭环。

3.2.2 运行机制

技术体系的运行逻辑遵循“多视图驱动—模型协同—数字化反馈”这一主线,形成了首尾相接的闭环结构。在此框架下,各子系统通过明确特定的功能主体、搭建关键平台,在标准架构构建、标准研制与实施反馈之间建立起动态循环的运行通道。

在体系运转中,多视图模型驱动的标准架构系统发挥着引领性作用。它立足于产业链、从业者、产品、业务及标准本体等多重观察维度,构建

起以“基础通用层、领域模块簇、接口协议集”为骨架的动态标准体系。该架构不仅能为标准研制提供兼容性要求与方向层面的指引,提升跨领域标准之间的互操作性与协同度,同时也能够对技术路线图进行前瞻性审视,及时识别标准布局中的缺位区域。

在顶层架构确立的约束条件下,模型化协同的标准研制系统发挥着承上启下的关键作用。该系统广泛吸纳开源社区、产业联盟等多元力量,着力建设数字化协同研制平台,将生成式人工智能等新兴技术纳入工具集,通过快速迭代持续产出兼具技术先进性与市场认可度的标准成果,提升标准研制的敏捷程度与技术前沿性。

数字化的实施反馈系统则致力于推动标准成果向硬件工具、软件平台、基准库等具象化形态转化并落地应用,并围绕此构建标准验证与应用平台,整合标准化知识图谱、关联数据集、特定场景试验数据、虚实融合数据库以及实际应用数据库等多源异构资源。在验证层面,主要通过模拟案例与小规模实景测试来检验技术指标的科学合理性,保障标准的正确性与可执行性;在应用层面,则基于真实场景的数据采集与智能化分析,动态掌握标准实施效果与产业发展态势,为产业主管部门提供决策依据。该系统着力打通从实施端到研制端的数据回传通道,建立起标准的版本化管理与动态更新机制,由此构成“制定—实施—反馈—优化”的持续迭代回路,确保标准体系与产业实践之间保持深度适配并不断演进,其逻辑架构如图4所示。

3.3 管理体系

管理体系的核心目标在于建立一种以数字化为支撑、流程运作具有柔性特征、决策过程融入智能技术的新型治理模式^[8],从而为标准化系统工程营造稳定高效且富于动态适应性的运行环境。

3.3.1 构成要素

(1) 全生命周期柔性流程管理系统。由于不同类型标准所处技术成熟阶段不同,且产业需求的紧迫程度存在显著差异,有必要建立可配置、

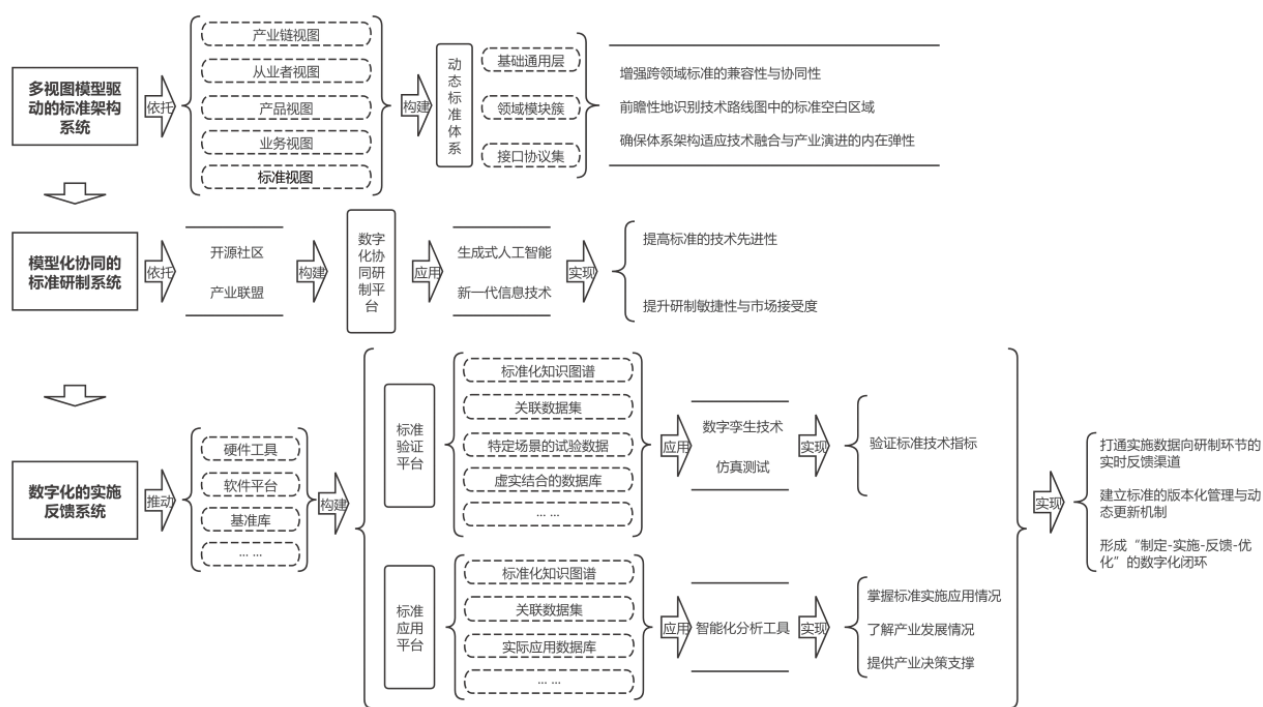


图4 技术体系的运行机制

差异化的管理流程。应针对标准从需求提案到废止归档的全生命周期,实施数字化节点控制与智能调度;对于跨领域、复杂系统类的标准项目,尤需加强协同管理与阶段门限审核,使管理流程在规范性与灵活性之间实现动态平衡^[9]。

(2) 数字化协同与决策支持系统。其关键在于打造集成化的数字工作平台,为云端协同起草、在线征求意见、虚拟会议审查以及电子投票表决等全流程活动提供支撑。平台内部嵌入标准化知识图谱、历史案例库与关联数据资源,可为项目立项论证、技术路径审查乃至争议事项协调提供智能化分析手段,使决策建立在数据驱动的基础之上。

(3) 标准化组织管理与协同保障系统。面对标准化工作主体日趋多元的现实,对各类组织实施贯穿全周期的分类治理势在必行。在管理层面,宜采取“分类管理、动态评估、协同赋能”的总体思路。对于技术委员会等组织,重点在于强化其战略承接能力与运营规范性;而对于产业联盟、开源社区等新型主体,则应侧重于提供资源对

接与运行指导,从而有效激发市场层面的创新活力。在流程设计上,需要建立从准入登记、运营监测到绩效评估、动态调整的连续治理链条。通过分类备案与准入审核的制度安排,依托数字化平台对运营状态进行实时跟踪,以运营绩效为依据开展多维评估并适度公开结果,进而根据评估结论对组织进行动态调整与资源保障,推动整个组织网络在结构上不断优化、在能力上持续迭代。

(4) 实施效能动态监测与评估系统。借助大数据与人工智能技术手段,对标准在产业链中的实际采纳情况、实施一致性水平、带来的经济效益以及技术带动效应展开实时监测与量化评价。建立与评估结果相联动的常态化复审、快速修订或迭代升级机制,形成从监测到评估再到优化的持续改进回路。

(5) 标准管理机制的合理性与市场验证管理系统。建立标准管理机制的合理性预估与市场验证机制,搭建实践检验、效果复盘的验证体系。当管理机制发生调整时,通过试点应用、专家论证研判、用户反馈收集等多元途径,对调整后的标准管

理机制的科学性、高效性及市场适配性进行全面检验,确保调整后的管理机制既符合标准化工作规律、兼顾各主体权益,又能满足产业实际需求、支撑产业高质量发展,为标准管理机制的优化完善、长效运行提供坚实的实践支撑。

3.3.2 运行机制

管理体系的运行机制以全生命周期柔性流程管理系统为核心,借助数字化协同与决策支持系统提供数字化工具保障(如云端协同起草、在线公开征求意见、虚拟会议审查以及电子投票表决等),实现流程的数字化节点管控与智能调度。同时,实施效能动态监测与评估系统对标准实施状况、经济效益与技术带动效应进行持续跟踪评价,相关结论将及时回传至流程管理系统,从而推动流程的动态优化,例如启动常态化复审或快速修订程序。此外,标准化组织管理与协同保障系统通过协同机制与政策工具的联动,广泛吸纳多元主体的利益诉求并妥善化解潜在矛盾,为流程运行提供必要的外部支撑。标准管理机制的合理性与市场验证管理系统,则借助试点应用、专家论证研判、用户意见征集等多元渠道,对管理

运行机制的科学性、高效性与市场适配性展开检验;所获结果同样反馈至全生命周期流程管理环节,用于持续完善标准的制修订程序。上述五大系统以“流程运行—数字化支撑—监测反馈—运营协调—验证优化”为主线形成驱动合力,使管理体系得以对标准化全生命周期实施自适应治理,进而在规范性与灵活性之间实现动态平衡,其整体逻辑如图5所示。

3.4 人才体系

人才体系旨在构建一个覆盖“精准培育、分类分级、有效激励、开放吸纳”全流程的标准化人才发展生态系统,为新时代标准化工作进行规模化人才培养及动态人才配置,以打造兼具战略视野、技术深度、规则制定能力与国际胜任能力的复合型专业人才队伍^[10]。

3.4.1 构成要素

(1) 系统化与实战化的人才培育系统。推动标准化工程学作为交叉学科在高等教育中的布局优化,并研发模块化、阶梯式的职业培训课程体系。构建与国际标准组织、领先企业及重大工程项目相联动的“实践平台”,借助导师制、项目制

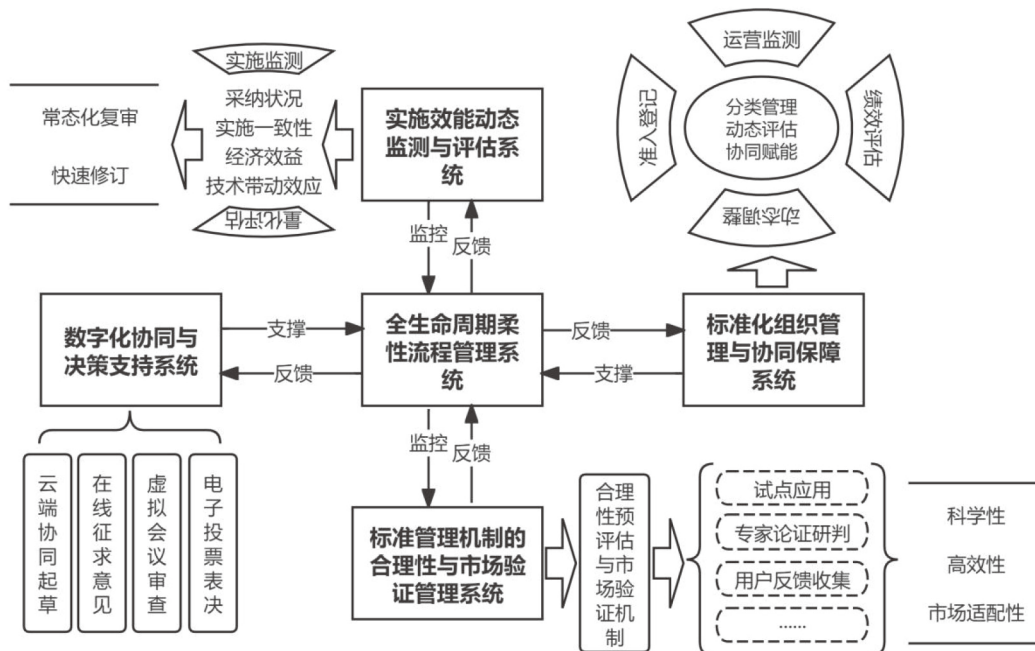


图5 管理体系的运行机制

等形式,于真实场景中锻炼人才的规则制定、技术研判与协调谈判能力。培养出具有战略视野,既懂技术业务又懂标准化,还具备规则制定能力和国际胜任力的复合型人才。

(2) 分类分级的人才储备系统。建立科学规范的人才分类分级标准,统筹构建层次清晰、结构合理的标准化人才蓄水池。按照岗位属性划分为标准化专职从业者、企业标准化技术专家、行业领域标准化管理者等类别;依据专业能力设置标准工程师、标准化高级工程师、资深标准化专家等层级。打破专职身份限制,支持相关人员结合自身工作实际,灵活、松散式参与标准研制、技术评审、宣贯培训等标准化工作。通过有序流转、按需调用的运行机制,构建开放共享、梯次接续的标准化人才储备格局。

(3) 价值认同与市场驱动的人才激励吸纳系统。构建精神荣誉、职业发展、市场报酬相结合的多元化激励机制,显著提升标准化职业的吸引力与社会认可度。搭建开放、国际化的人才交流与引进平台,建立标准化专家库与柔性聘用机制,广泛吸引全球顶尖专家、产业领军人物及跨界创新者投身标准化工作,实现人才的良性流动与价值共创^[11]。

3.4.2 运行机制

人才体系的运行以具备系统性与实战性的人才培育系统为基础,借助模块化、阶梯式课程体

系,以及与国际组织、企业联合的实战平台,实现人才的“产出”与能力塑造。以科学规范、分类分级的人才储备系统为基础支撑,依据标准化从业类别与专业技术等级开展人才梳理。该储备机制既为灵活吸纳各类人员参与标准化工作提供资源基础,也为培育系统与激励系统搭建稳定可靠的人才供给底座。以人才激励吸纳系统为动力源,通过融合精神荣誉、职业发展、市场报酬的多元化激励方式留住核心人才,依托开放的国际化平台吸引外部优秀人才,同时将激励效果与人才流动数据反馈至评价系统,形成“培育—评价—激励吸纳”的闭环逻辑,保障人才队伍在结构与能力方面实现持续优化与动态适配,其整体逻辑如图6所示。

3.5 生态体系

生态体系营造了促使标准化工作内外多元主体互动、资源汇聚及价值共创的环境,致力于培育一个开放、包容、繁荣且具备自组织特性的标准化创新生态^[12]。

3.5.1 构成要素

(1) 多元主体合作共赢系统。明确政府、产业、高校、科研院所、企业、协会、标准化机构等各类主体在标准制定、实施及评价过程中的角色与权利,推动企业间围绕技术协同、产业链衔接与成果共享开展联合攻关与标准互认;促进标准

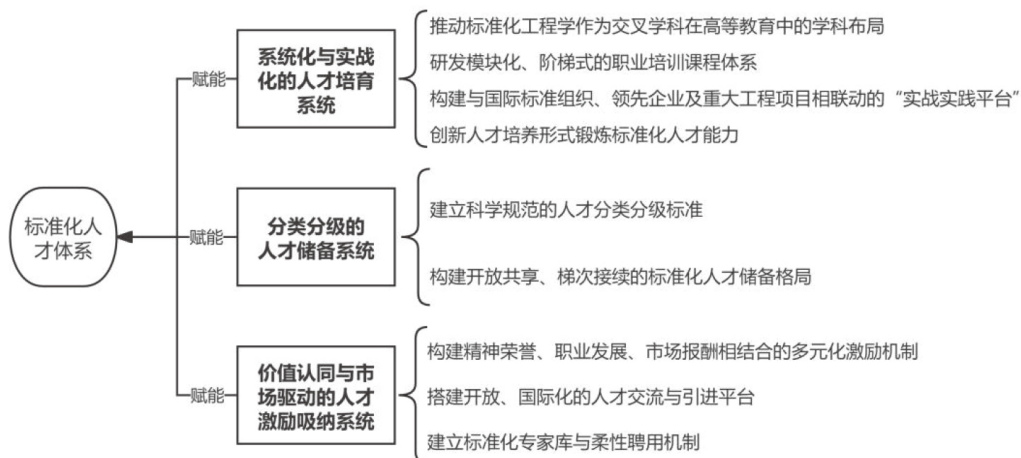


图6 人才体系的运行机制

化机构间实现资源共享、能力互补与标准协同研制；同时强化标准化机构、标准化组织与行业协会、企业之间的常态化协作，形成需求共研、标准共制、实施共推、成果共享的协同工作格局。

(2) 资源要素汇聚与配置系统。搭建标准、技术、数据、资金、服务等要素的对接平台。围绕政府、科研机构、企业、行业组织等标准化多元主体的功能定位与实际需求，实现要素资源的精准匹配、高效流转与优化配置。

(3) 文化培育与传播系统。弘扬“标准先行”“质量为王”的产业文化，提升全社会的标准化意识。加强标准化成果的宣传推广与科普教育，营造尊重标准、运用标准、创新标准的良好社会氛围。

(4) 国际国内生态链接系统。推动国内区域间、行业间标准化生态的协同发展，打破壁垒，促进要素自由流动。同时，深度融入全球标准化网络，鼓励国内组织与国外同行建立合作伙伴关系，构建以中国为核心的标准化生态体系。

3.5.2 运行机制

生态体系的运行机制以多元主体合作共赢系统为核心协同枢纽，联动资源要素汇聚与配置系统、国际国内生态链接系统、文化培育与传播系统，构建起“资源输入—主体协同—内外联动—文化赋能—成果输出”的闭环逻辑。资源要素汇聚与配置系统作为生态体系的“资源入口”，吸纳外部市场资源、技术资源、社会资源等，为体系运行

提供基础性支撑。多元主体合作共赢系统整合政产学研用、协会等多元主体，推动资源在主体间高效流转和优化配置，促进各主体在技术研判、需求征集、试验验证、成果转化和国际对标等环节深度联动，推进创新成果快速向标准转化、标准高效向产业落地，构建“需求共研、标准共制、实施共推、成果共享”的协同工作格局。文化培育与传播系统作为“氛围营造者”，通过弘扬标准化文化、提升社会标准化认知、宣传推广标准化成果，为多元主体参与、资源汇聚、内外链接提供文化认同与动力支持。国际国内生态链接系统作为“内外桥梁”，推动国内区域间、行业间标准化生态协同发展，打破壁垒以促进要素自由流动，鼓励国内组织与国外同行建立合作伙伴关系，将国内生态融入全球标准化网络，实现内外资源与需求的互通，其整体逻辑如图7所示。

4 结语

本文立足于新时代标准化工作在国家战略与产业变革中的核心地位，深入探究其功能定位从传统技术工具向战略性基础设施、对象范畴从单一对象向复杂系统、制定模式从静态模式向动态响应的根本性转变。鉴于传统标准化理论在应对海量、复杂且快速变化的标准化对象时存在一定局限性，本文引入复杂适应系统(CAS)理论，为

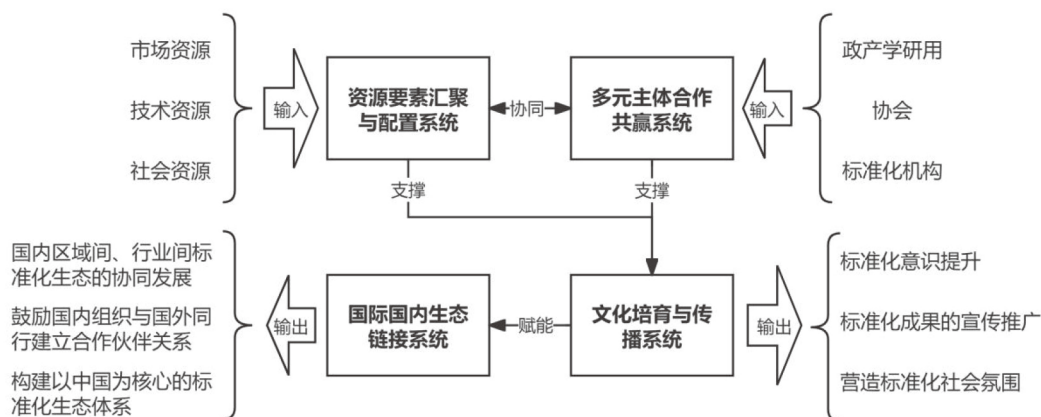


图7 生态体系的运行机制

系统性优化标准化工作提供了具有创新性的理论视角与分析框架。

本文的关键在于将新时代标准化工作视为一个复杂适应系统,并创新性地构建了由战略与需求、技术、管理、人才和生态这五大相互关联、协同演化的适应主体构成的优化框架。该框架突破了传统的局部环节优化路径,强调各主体通过“认知—应激—适配—反馈”的动态循环机制,实现与外部环境的持续交互以及系统整体的协同演进。其中,战略与需求主体发挥导航引领作用,技术主体承担功能执行与融合创新任务,管理主体履行敏捷协调控制职能,人才主体提供核心智力支持,生态主体营造开放共治的运行环境。

基于上述研究,本文初步构建了涵盖战略与

需求体系、技术体系、管理体系、人才体系和生态体系的标准化系统工程体系。该体系旨在通过主体间的功能耦合与动态联动,推动标准化工作在响应速度、适配精度和协同效率等方面实现系统性提升,进而将标准化工作从“服务”层面真正提升至“引领”的战略高度。这不仅为应对数字化、绿色化、智能化浪潮下的标准化挑战提供了系统性解决方案,也为构建自主可控、协同高效、开放包容的国家标准化体系以及提升全球标准话语权提供了重要的理论参考和实践指导。

参考文献

- [1] 张利飞,唐鸿娟,于长永.技术标准国际化竞争的大国效应研究[J]. 科研管理, 2025, 46(8): 57-64.
- [2] 李海晏,程军.生态产品数据链、产业链、金融链融合标准体系框架研究[J]. 标准科学, 2026(2): 46-52.
- [3] 李强主持国务院第十六次专题学习并强调:加快推进标准化工作改革持续增强高质量发展内生动力[J]. 工程建设标准化, 2025(11): 13.
- [4] 吴敏敏,李霞斐,蔡永丽,等.以“标准化+”推动传统产业转型升级的实践与思考:以莲都区阀门产业为例[J]. 中国标准化, 2025(13): 136-139.
- [5] 张蕾. 国际标准化态势下的中国国际化战略研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2023.
- [6] 刘回春,田世宏:我国标准化工作实现三个历史性转变[J]. 中国质量万里行, 2019(11): 8-10.
- [7] Zhang Y Y, Yu X M, Liu X J, et al. Research on model-based systems engineering approach for information technology standard system planning[J]. Systems, 2026, 14(4): 380.
- [8] 刘新宇,郭利勇,陈晓宇,等.国外先进企业标准体系建设及标准化管理对标研究[J]. 石油工业技术监督, 2025, 41(7): 30-35.
- [9] 叶俊文.融合Scrum敏捷开发的标准研制项目管理模式探索[J]. 中国标准化, 2019(5): 38-43, 53.
- [10] 代婷,常相全,刘世新,等.新工科背景下标准化专业复合型人才培养模式研究[J]. 标准科学, 2024(11): 43-47.
- [11] 陈向东,黄行蓉,洪冠新.新科技时代工程卓越化与卓越工程人才培养关键理念演化与启示[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2025, 17(6): 777-793.
- [12] 刘睿,荀立强,刘振东.浅析美军标准化工作体系及我国军用标准化工作发展的思考[J]. 中国标准化, 2024(13): 283-287.