AI赋能下智慧图书馆数智化服务体系演化状态研究*

——基于系统动力学模型的仿真分析

杨志和[1,2]　周晓雨[1]　路颜竹[1]　杨安琦[1]
（1. 黑龙江大学信息管理学院，哈尔滨 150080；2. 黑龙江大学信息资源管理研究中心，哈尔滨 150080）

摘要：为提升人工智能赋能下智慧图书馆数智化服务体系运行效率，深入揭示其内部动态机制，采用系统科学理论与方法，识别并梳理智慧图书馆数智化服务体系中关键要素及其相互关系，构建系统动力学模型，并基于Vensim PLE软件进行仿真验证。仿真结果显示，用户需求的满足、技术环境的优化与资金投入的稳定性是智慧图书馆数智化服务水平提升的三大核心驱动因素。本研究系统解析了智慧图书馆数智化服务体系中各子系统要素反馈机制与动态演变规律，不仅丰富了智慧图书馆系统管理理论，亦为智慧图书馆数智化服务体系优化升级与决策支持提供理论依据和方法支撑。

关键词：人工智能；智慧图书馆；数智化服务；系统动力学；Vensim系统仿真
中图分类号：G250.7　DOI：10.3772/j.issn.1673-2286.2025.06.003
引文格式：杨志和，周晓雨，路颜竹，等. AI赋能下智慧图书馆数智化服务体系演化状态研究：基于系统动力学模型的仿真分析[J]. 数字图书馆论坛，2025，21（6）：21-32.

随着新兴信息技术的迅速发展，人工智能（Artificial Intelligence，AI）技术已成为推动各行业变革的关键动力。2021年3月，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出："推进线上线下公共服务共同发展、深度融合，积极发展在线课堂、互联网医院、智慧图书馆等"[1]；同年6月，《"十四五"公共文化服务体系建设规划》进一步指出："推动公共图书馆向'以人为中心'转型，建设开放、智慧、包容、共享的现代图书馆"，并明确将"智慧图书馆体系建设取得明显进展"作为发展目标之一[2]；2025年2月，国际图联（International Federation of Library Associations and Institutions，IFLA）也在其趋势报告中强调："AI及其他技术正在改变社会创造、分享和使用信息的方式"[3]，凸显智能化技术在全球图书馆服务创新中的重要地位。

在此背景下，以文献资源管理和人工服务为核心的传统图书馆服务模式已难以满足新时代读者对资源获取与服务体验的多元化需求[4]，信息生产、存储和使用方式的深刻变革正推动图书馆功能与服务结构的全面重构，现代图书馆正加速转向以AI、物联网、云计算和大数据等新兴技术为支撑的智慧化服务体系[5]，以打造更加开放、动态和个性化的知识服务空间。

系统动力学（System Dynamics，SD）是福雷斯特（Jay W. Forrester）于1958年提出的一种动态系统建

收稿日期：2025-05-15
*本研究得到2023年教育部人文社会科学研究青年项目"智慧图书馆空间中的多源信息融合实现研究"（编号：23YJC870009）资助。

模与分析方法[6]。该方法以控制论和信息反馈理论为基础，通过构建系统内部因果关系链、反馈回路和流量结构，模拟变量间的动态交互与演化过程，从而揭示系统行为内在机理与长期趋势[6]。系统动力学最早用于工业企业管理，处理生产、雇员情况等波动性问题[7]，后被广泛应用于社会、经济、管理、教育等复杂系统建模分析中。鉴于系统动力学方法适用于处理系统的动态性、周期性与长期性问题，并能应对高阶非线性行为[8]，而智慧图书馆数智化服务体系本质上是一个由用户需求、技术环境、资源配置与组织决策等多要素构成的复杂动态系统。因此，本研究引入系统动力学建模与仿真方法，梳理AI赋能下智慧图书馆数智化服务体系中的关键系统要素，并探究各要素间的相互作用机制，最终揭示智慧图书馆数智化服务体系的演化趋势。

1 相关研究

1.1 智慧图书馆服务研究

目前，智慧图书馆服务已成为图情领域的重要研究方向，研究核心主要聚焦于技术赋能下服务内容、服务模式与用户体验的转型。魏明媛等[9]指出，大语言模型等新一代AI技术为智慧图书馆带来了场景化服务、跨语言服务和个性化服务等能力，王景淘[10]论证了国产模型DeepSeek在智慧图书馆资源组织和语义解析服务中的潜力。这类研究多停留在技术功能展示，对技术引入后服务系统内部的要素互动和动态效应关注不足。

在服务模式层面，现有研究更倾向于从整体性视角探索智慧图书馆服务组织运行机制。肖舒玥等[11]提出基于大模型的多层次服务体系，通过数据管理、模型调度、交互机制等优化智慧图书馆服务流程；杨金庆等[12]构建了以人本主义为核心的三元融合服务模式，强调智能服务对用户多层次需求的支撑。这类成果强化了智慧图书馆服务的整体化设计，但普遍基于静态模型，缺乏对服务系统随时间演化规律的刻画。

此外，部分研究也开始聚焦于智慧图书馆服务体验与治理，指出用户体验应成为智慧图书馆服务优化的核心。姜文博等[13]结合技术接受模型和计划行为理论，从用户视角分析影响智慧服务使用与体验的因素。这一视角凸显了用户需求的中心性，但多为横截面研究，难以揭示用户对服务优化与技术采纳的长期反馈。

1.2 图书情报领域的系统动力学研究

自国内图书情报学研究引入系统动力学方法后，该类方法逐步成为分析传统定性研究难以揭示的长期反馈与非线性关系的重要工具。早期研究主要聚焦于资源配置与服务优化问题。2014年，楼雯等[14]利用系统动力学分析高校图书馆资源配置效率；2015年，李立睿等[8]综述了系统动力学在信息服务优化、用户行为预测等方向的应用价值。近年来，研究对象不断扩展，如：陈媛媛等[15]构建科研数据管理服务的系统动力学模型，识别影响数据开放共享的关键反馈因素；刘佳等[16]借助系统动力学方法探讨知识服务价值共创，揭示多主体互动的长期效应。围绕智慧图书馆服务，吕鲲等[17]构建了基于信息生态的服务生态系统模型；陈海波等[18]将情境因素纳入系统动力学框架，模拟其对服务质量的动态影响；李健等[19]引入系统动力学建立高校图书馆跨界合作效益系统，以仿真的方式探究高校图书馆跨界合作效益的演化规律。

这些相关研究表明，系统动力学目前已成为图书情报领域分析复杂系统的重要方法，其众多成果也为智慧图书馆数智化服务体系的研究提供了有益的思路与方法支撑。然而，当前的研究仍存在一定不足之处：一方面，多数研究倾向聚焦于局部情境或少数子系统，变量覆盖维度有限；另一方面，部分研究在复杂情景下的模拟实验设计不足，可能导致其研究结论在治理实践中的量化指导性和可操作性受到一定限制。

基于此，本研究在系统科学视角下引入系统动力学方法，综合考量各要素间的相互作用关系，构建智慧图书馆数智化服务体系的动态演化模型，并借助Vensim PLE平台对资金投入波动、技术环境变化、用户需求波动等多种智慧图书馆实际运营过程中可能出现的情境进行模拟仿真，分析各关键要素的变化规律，进而提炼出促进体系优化的策略，为智慧图书馆管理提供可验证、可推广的决策支持依据。

2 AI赋能下智慧图书馆数智化服务体系的系统模型构建

2.1 确定边界

从系统理论视角出发，智慧图书馆本质上是一

个典型的社会技术系统（Sociotechnical System，STS）[20]。该理论强调，组织系统有效运行需要社会系统（如人员行为、组织结构、文化机制）与技术系统（如平台工具、技术应用、信息架构）间的高度协同与互动。这意味着智慧图书馆服务效能提升不仅依赖技术或资源投入，更取决于用户、管理者（特指对馆内技术采纳与迭代、资金分配和发展战略拥有管理与决策权的个体或组织）与馆员等多服务主体的行为反馈，以及资源配置与技术环境间的动态适配关系。

在此理论背景下，将智慧图书馆数智化服务体系的系统要素划分为：服务主体子系统、资源子系统与技术环境子系统。其子单元及构成要素详见表1。

表1　系统子单元与构成要素

系统名称	子单元名称	构成要素
服务主体子系统	用户	用户需求量、需求满足
	管理者	管理者决策
	智慧图书馆馆员	智慧图书馆馆员技术技能要求、智慧图书馆馆员技术培训频率、智慧图书馆馆员技术水平、智慧图书馆馆员数智素养、智慧图书馆馆员AI技术应用能力
资源子系统	经济资源	资金投入、智慧图书馆预算分配
	数智资源	智慧图书馆数智资源补充、智慧图书馆数智资源总量、智慧图书馆数智资源有效量
技术环境子系统	外部技术	外部技术迭代
	内部技术	技术环境、智慧图书馆AI系统性能、智慧图书馆AI技术应用程度、智慧图书馆AI服务有效利用量、智慧图书馆AI服务总量、智慧图书馆数智化服务水平、馆员技术衰减

（1）服务主体子系统：系统运行的驱动源。服务主体子系统由用户、管理者和馆员3类核心参与者构成，是系统运行动力源。用户单元体现需求端驱动，主要包含用户需求量与需求满足两个变量，前者影响服务目标，后者影响系统响应；管理者体现组织决策逻辑，以管理者决策变量为核心，连接用户反馈与资源配置；馆员是服务供给中人力要素的关键，涵盖技术技能要求、技术培训频率、技术水平、数智素养与AI技术应用能力等多个变量，共同影响智慧图书馆服务效能与AI应用效率。

（2）资源子系统：系统运行的基础保障。资源子系统包括经济资源与数智资源两个子单元，是服务系统持续运行的基础条件。经济资源包括资金投入和预算分配，体现外部资源导入与内部配置机制；数智资源包括资源补充、资源总量与资源有效量，反映资源积累与动态可用性，是智慧图书馆服务供给能力的核心支撑。

（3）技术环境子系统：系统演化的实现路径。技术环境子系统是连接服务主体行为与资源配置效能的关键桥梁，是智慧图书馆数智化服务水平提升的决定性路径。技术环境子系统涵盖内、外部技术两个维度。外部技术包括外部技术迭代，是系统技术更新的外部输入和环境扰动；内部技术包括技术环境、AI系统性能、AI技术应用程度、AI服务有效利用量、AI服务总量等变量，反映服务系统内部技术构成、应用效率与实际输出水平。此外，馆员技术衰减作为一种系统内部的负向作用机制，也被纳入该子系统。

2.2　提出基本假设

提出以下4项基本假设。

H1：本模型为理论导向的结构模型，变量设定参考典型案例，但不依附于某一具体智慧图书馆。

H2：模型分析在给定的仿真周期内进行，系统变量行为不受周期外历史数据或未来趋势影响。

H3：管理者决策行为主要受用户需求与资金投入影响，暂不考虑宏观政策、法规变动或突发事件等外部因素干扰。

H4：仿真周期内智慧图书馆持续处于稳定运营状态，不考虑不可抗力或特殊因素（如自然灾害、节假日等）对系统结构或运行节奏的扰动。

2.3　构建系统模型

基于表1及相关假设，可构建如图1所示的因果关系图。因果关系图通过结构化变量节点与有向关系箭头，展现了因果链条间的复杂交互关系。其中，“+”表示正向影响（变量A增加将引发变量B增加），而“−”表示负向影响（变量A增加将抑制变量B增加）。因果关系所涉核心反馈回路如下。

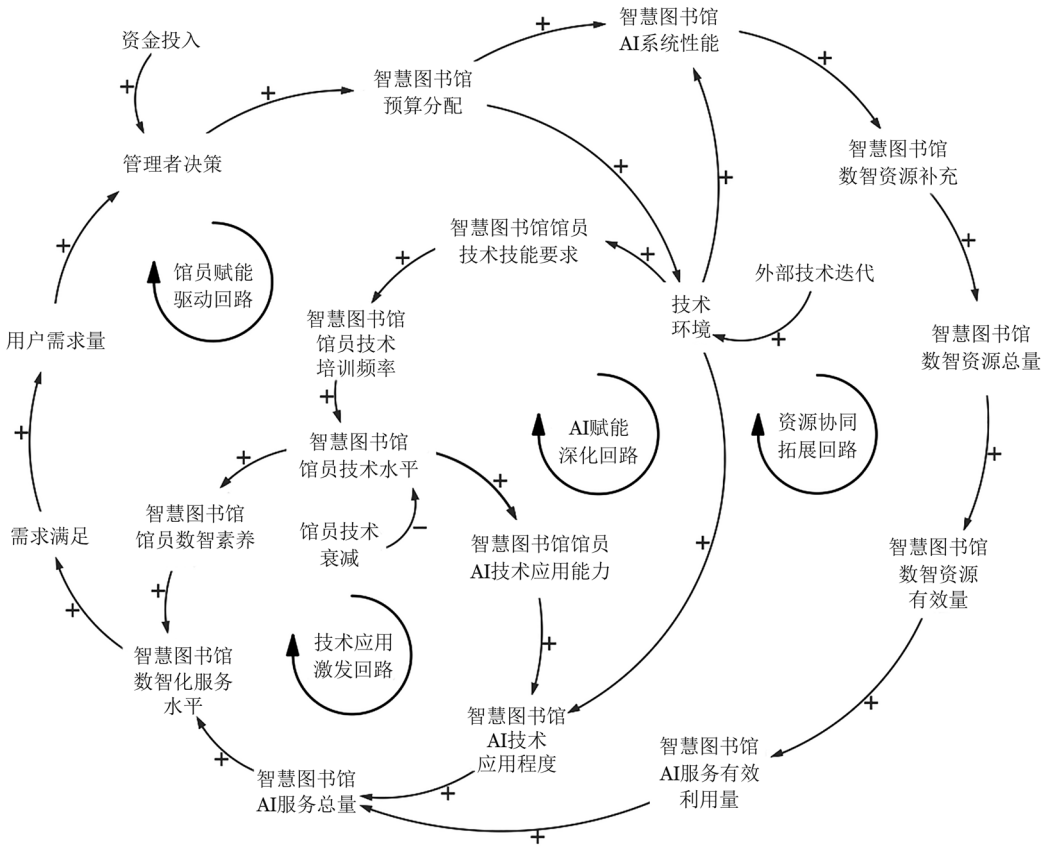


图1　AI赋能下智慧图书馆数智化服务体系的系统因果图

（1）馆员赋能驱动回路。该回路反映在用户需求驱动下，以馆员能力提升为路径的正向反馈机制。用户需求量增长促使管理者增加预算投入，通过技术环境优化，强化馆员技能要求，并增加培训频次，进而提升其专业能力和数智素养，促进服务水平提高，最终实现对用户需求的回应，这反过来激发更高层次的服务需求。其中，馆员技术衰减作为负向作用机制，对馆员技术水平有一定抵消作用，构成该回路中的负反馈因素。

（2）AI赋能深化回路。该回路在馆员赋能驱动回路基础上，进一步强调馆员在掌握AI技能后将其有效应用于智慧图书馆数智服务。随着应用能力增强，AI技术在馆内服务中得到更广泛使用，可推动AI服务总量增长，带动整体服务水平上升，强化正向循环。

（3）资源协同拓展回路。该回路着重描绘技术系统性能优化与数智资源扩充间的联动关系。通过预算配置优化技术环境，使AI系统性能提升，从而加快资源更新与积累，增加可用信息资源总量，提高AI服务供给能力与效率，最终实现对用户需求的满足。

（4）技术应用激发回路。该回路聚焦技术应用深度与服务产出、需求激发的直接关系。AI技术的更广泛应用将直接推动AI服务输出量增长，从而提升整体服务水平，进一步激发新的用户需求。

根据以上4条主要反馈回路，可构建如图2所示的系统流图。由图2可知，AI赋能下智慧图书馆服务体系由24个变量构成，包含3个状态变量、5个速率变量、16个辅助变量。模型构建过程中，以《中国图书馆年鉴》[21]相关统计数据为参考依据，通过归一化处理，为各变量的仿真方程进行初始赋值。各变量的具体含义及相应的仿真方程详见表2。

3　AI赋能下智慧图书馆数智化服务体系的系统仿真实验

3.1　模型仿真分析

采用Vensim PLE软件环境进行模型仿真，设定仿真时间为36个月，选定时间步长为1个月，仿真结果详见下文。

（1）需求满足要素变化。依据陈媛媛等[15]、吕鲲等[17]、袁静等[22]在仿真分析中使用的参数调整方

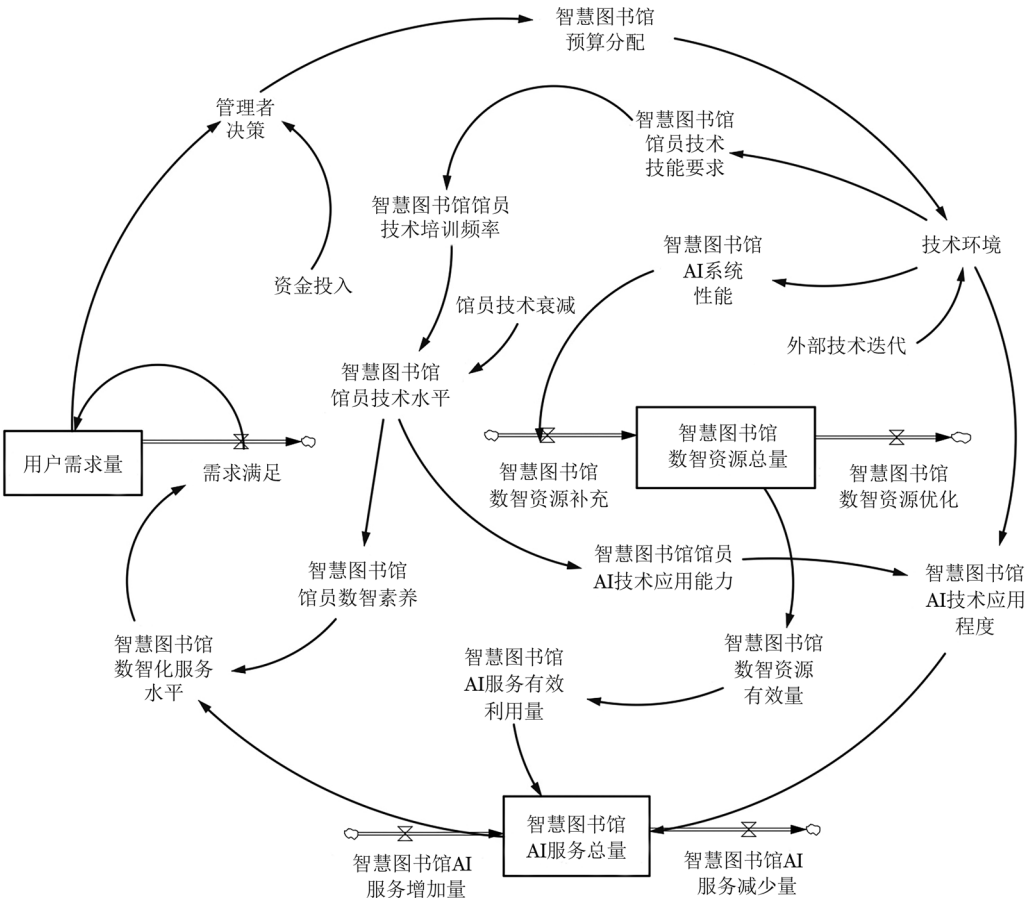


图2　AI赋能下智慧图书馆数智化服务体系的系统流图

法，在保持其他参数设置不变的情况下，需求满足权重参数分别取0.2（Current）、0.4（Current 1）、0.6（Current 2），以模拟智慧图书馆满足用户现有需求能力逐渐增强并不断推动用户需求增长。对应用户需求量变化曲线见图3（a），智慧图书馆馆员技术培训频率变化曲线见图3（b）。

图3（a）显示，在不同需求满足权重参数下（分别为0.2、0.4、0.6），用户需求量在仿真周期内均呈增长态势，且增长速度随参数提升而加快。具体而言，在参数值为0.2时，用户需求以缓慢线性方式增长；当参数提升至0.4时，系统响应开始加速，说明部分满足即可显著激发用户需求新增；而在高水平情境（0.6）下，用户需求量增长曲线呈现上扬趋势，第36个月的值是开始时的近6倍，表明需求满足能力具备强反馈放大效应。

图3（b）进一步揭示了需求满足对馆员技术培训频率的影响。在低水平情境中，馆员技术培训频率长期停留在2~3次/年，系统响应较弱；参数提高至0.4后，技术培训频率在仿真中期（第16个月前后）明显提升，反映出管理者对用户需求的响应机制逐步启动；在高水平情境下，系统在第8个月后进入快速调整期，并在第18个月后达到4次/年的培训饱和状态。

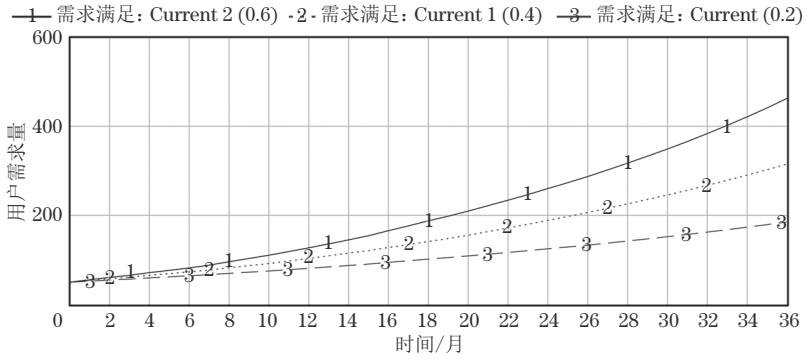
（2）用户需求量要素变化。为模拟用户需求量在智慧图书馆管理决策中的权重变化情况，在保持其他参数不变的基础上，调整管理者决策方程中的用户需求量权重系数，分别设定为0.003 50（Current）、0.003 75（Current 1）和0.004 00（Current 2），开展对比仿真实验。图4（a）和图4（b）分别展示对应情境下管理者决策与智慧图书馆数智化服务水平的变化趋势。

由图4（a）可知，在仿真初期3条曲线呈现高度重合状态，表明在用户需求量权重较小时，系统响应相对滞后，管理者决策行为对用户反馈的敏感性较低。然而，随着时间推移，用户需求量对决策机制的驱动作用逐步增强，特别是在第20个月以后，3条曲线差距逐渐拉大。高权重情境（权重为0.004 00）下，管理者对用户需求量变化的响应更为迅速，整体决策水平稳步上升，第36个月时已超过0.9，显著高于其他两种情境。

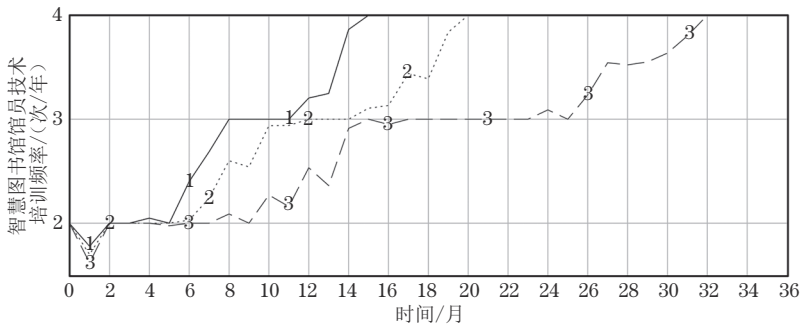
图4（b）显示出管理者行为变化对智慧图书馆数智化服务水平的传导效应。虽然3条曲线在前18个月波动

表2　AI赋能下智慧图书馆数智化服务体系的构成要素及方程设置

类别	要素名称	变量表示	要素含义	方程设置
状态变量	用户需求量	s_1	用户对于智慧图书馆数智化服务的总体需求，包括信息获取、资源利用、服务质量等方面	INTEG（（1−v_1）+0.7×v_1×50，50）
	智慧图书馆数智资源总量	s_2	智慧图书馆所拥有的数字化和智能化资源总量，包括电子书籍、数字期刊、数据库等	INTEG（v_2−v_3，2 000）
	智慧图书馆AI服务总量	s_3	智慧图书馆基于AI技术所提供的服务总量，如智能检索、个性化推荐、智能问答等	INTEG（v_4−v_5+a_{13}×a_{15}，1 000）
速率变量	需求满足	v_1	用户需求被满足的速率，即智慧图书馆数智化服务满足用户需求的效率	a_{16}×0.2
	智慧图书馆数智资源补充	v_2	智慧图书馆新增数智资源的速率，包括购买新资源、订阅新数据库、引进新数字内容等	SMOOTH（a_{11}×700，1）
	智慧图书馆数智资源优化	v_3	对现有数智资源进行重新整合、优化的速率，如更新资源内容、提升资源可访问性等	STEP（RANDOM UNIFORM（0，1，5）×100，1）
	智慧图书馆AI服务增加量	v_4	由于开发新AI功能、拓展现有AI服务等，智慧图书馆新增的AI服务	RANDOM UNIFORM（150，250，5）
	智慧图书馆AI服务减少量	v_5	由于技术过时、资源限制或服务不再符合用户需求等，被减少或淘汰的智慧图书馆AI服务	RANDOM UNIFORM（50，100，5）
辅助变量	管理者决策	a_1	智慧图书馆管理层对系统的决策行为，包括资源分配、技术引进等方面	s_1×0.003 5+a_2×0.3
	资金投入	a_2	智慧图书馆在一个时间周期内所接收的外部资金投入	RANDOM NORMAL（0.2，0.8，0.5，0.05，5）
	智慧图书馆预算分配	a_3	智慧图书馆在提升数智化服务方面的资金投入比例	a_1×0.8
	技术环境	a_4	智慧图书馆的整体技术条件，包括硬件设施、软件系统、网络环境及技术支持能力	LN（a_3×4×0.7+a_{12}×9×0.3）
	智慧图书馆馆员技术技能要求	a_5	智慧图书馆对馆员技术技能的要求，以确保他们能有效对数智资源进行管理，并提供和配置AI服务	a_4×0.8
	智慧图书馆馆员技术培训频率	a_6	智慧图书馆馆员接受数智化技术培训的频率	WITHLOOKUP（a_5，（（（0，0）−（10，10）），（0，1），（0.1，1），（0.2，2），（0.3，2），（0.4，3），（0.5，3），（0.6，4），（0.7，4），（0.8，4）））
	智慧图书馆馆员技术水平	a_7	智慧图书馆馆员实际所具备的技术技能水平	（0.4−a_8）+a_6×0.15
	馆员技术衰减	a_8	随着时间推移，原有技术的自然衰减、老化与智慧图书馆馆员对技术的遗忘	RANDOM NORMAL（0.15，0.35，0.25，0.05，5）
	智慧图书馆馆员数智素养	a_9	智慧图书馆馆员在数智化领域的素养，包括对新技术的理解、应用与创新	a_7×0.8
	智慧图书馆馆员AI技术应用能力	a_{10}	智慧图书馆馆员在实际工作中应用AI技术的能力，包括操作和配置AI系统、解读AI分析结果、利用AI优化服务等	a_7×0.8
	智慧图书馆AI系统性能	a_{11}	智慧图书馆所使用的AI系统的性能指标，包括准确性、最大处理量、响应速度、稳定性等	SMOOTH（a_4×0.8，2）
	外部技术迭代	a_{12}	智慧图书馆外部技术更新迭代的比率	RANDOM NORMAL（0.15，0.25，0.2，0.01，5）
	智慧图书馆AI技术应用程度	a_{13}	AI技术在智慧图书馆业务流程和服务中应用的深度与广度	a_{10}×0.6+a_4×0.4
	智慧图书馆数智资源有效量	a_{14}	智慧图书馆中可供用户有效使用的数智资源总量	RANDOM UNIFORM（0.5，0.7，5）×s_2
	智慧图书馆AI服务有效利用量	a_{15}	AI技术被实际应用并产生有效服务的量，体现智慧图书馆AI服务系统实际利用效率	a_{14}×0.6
	智慧图书馆数智化服务水平	a_{16}	智慧图书馆整体数智化服务质量和成熟度	s_3×10^{-5}+a_9×0.6

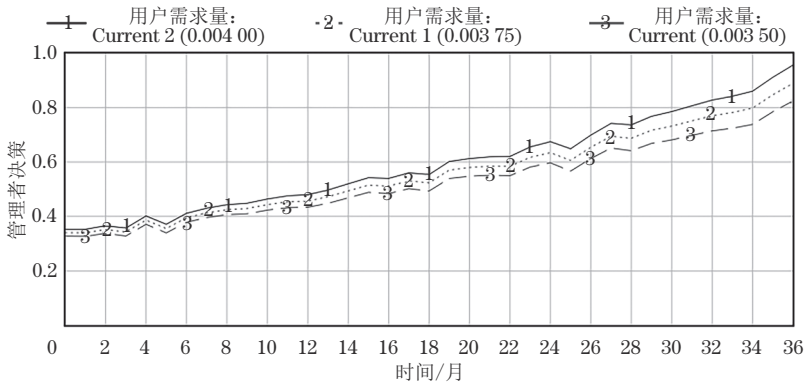


(a)用户需求量

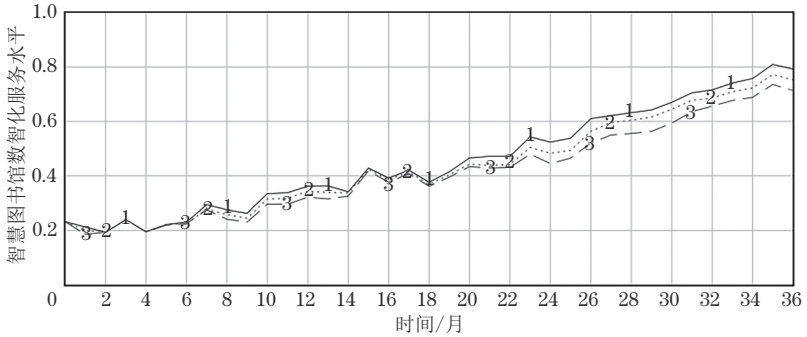


(b)智慧图书馆馆员技术培训频率

图3　调整需求满足参数后仿真结果对比



(a)管理者决策



(b)智慧图书馆数智化服务水平

图4　调整用户需求量参数后仿真结果对比

幅度较小，但随着管理者决策的调节，累积效应逐渐显现，服务水平开始呈现层次化差异。相比初始状态，用户需求量提升0.000 50可带来约10%的服务水平提升。

（3）技术环境要素变化。为深入探讨技术环境对智慧图书馆数智化服务体系中AI系统性能的影响，设定技术环境权重参数分别为0.8（Current）、0.6（Current 1）和0.4（Current 2），对应3种技术支撑条件的仿真情境，并保持其余变量不变。图5（a）展示了AI系统性能随技术环境变化的响应趋势，图5（b）反映了技术环境变动情况下整体数智化服务水平的演进。

由图5（a）可见，技术环境参数下调将显著抑制智慧图书馆AI系统性能提升速度。尤其在仿真进程的中后期，3条曲线间差距明显变大，表明技术环境对系统性能的支撑作用不仅即时，更具有逐步积累的结构性影响。高技术支持水平（参数0.8）下，AI系统性能持续上升；而在低技术支持水平（参数0.4）下，系统性能几乎陷入平台期，仅实现有限提升。

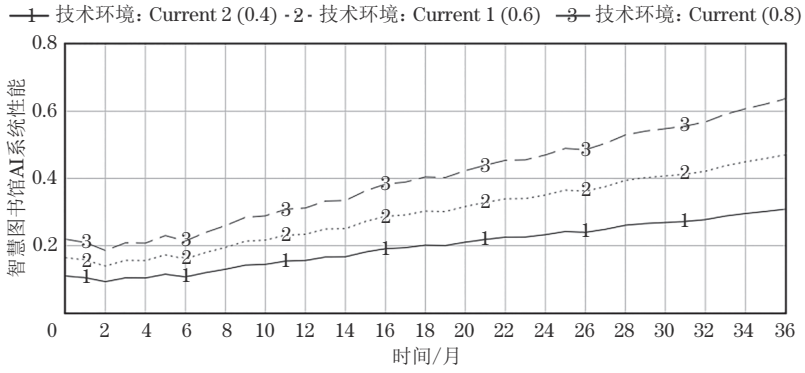
图5（b）进一步揭示技术环境变化对最终服务水平的传导效应。在仿真前期（前12个月），由于反馈链条尚未完全建立，3种情境下服务水平差异较小；但随着技术系统性能差异的逐步积累，服务水平也随之开始分化。尤其在第24个月后，高技术支持水平下的服务水平继续上升，而低技术支持水平下的服务水平提升明显趋缓，出现增长边际递减特征。

（4）资金投入要素变化。在资金投入方面，分两个维度开展仿真分析：①调整标准差以模拟资金波动性变化；②调整期望值以反映长期资金支持强度的差异。

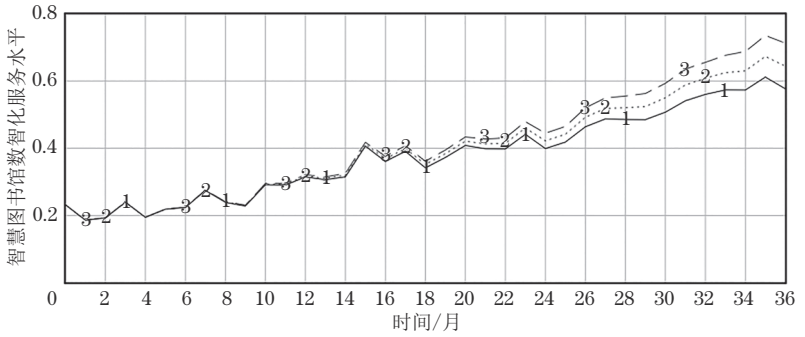
在第一轮仿真实验中，将期望值固定为0.5，分别设置标准差为0.05（Current）、0.20（Current 1）与0.30（Current 2），以模拟资金投入稳定性由强到弱的3种情境。图6（a）展示了预算分配的响应情况，图6（b）则对应服务水平的动态变化。

由图6（a）可知，随着标准差的增加，智慧图书馆预算分配波动幅度显著增大，曲线呈现出锯齿式振荡特征。在图6（b）中也可观察到，当资金投入波动较大时，服务水平曲线亦呈现不规则起伏，系统输出存在明显不连续性，易形成负向链条。

第二轮实验中，保持标准差为0.05不变，将期望值分别设置为0.5（Current）、0.6（Current 1）与0.7（Current 2），模拟不同投入强度对系统的影响。图7（a）与图7（b）分别反映预算分配与服务水平在不同

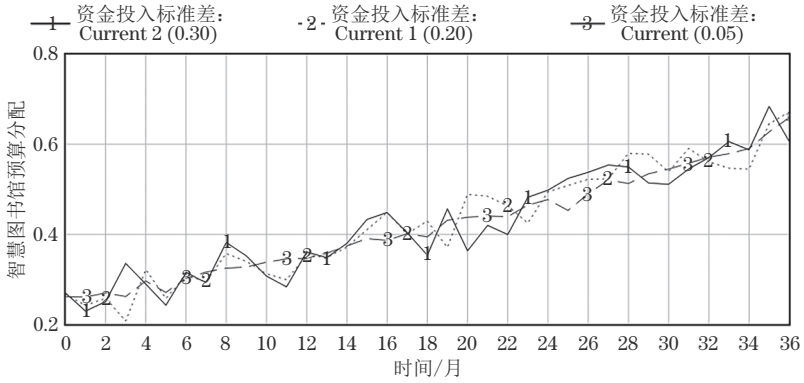


(a)智慧图书馆AI系统性能

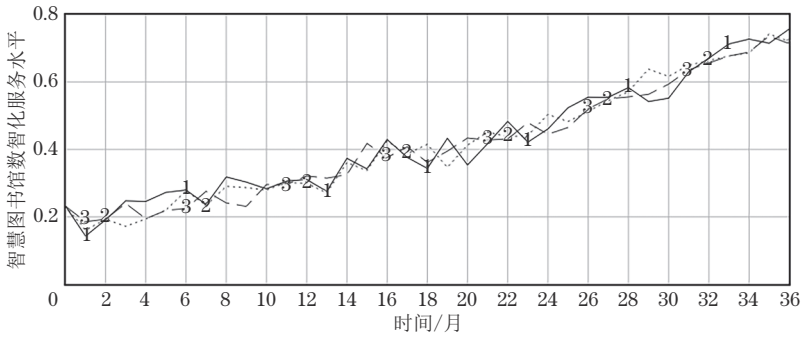


(b)智慧图书馆数智化服务水平

图5　调整技术环境参数后仿真结果对比

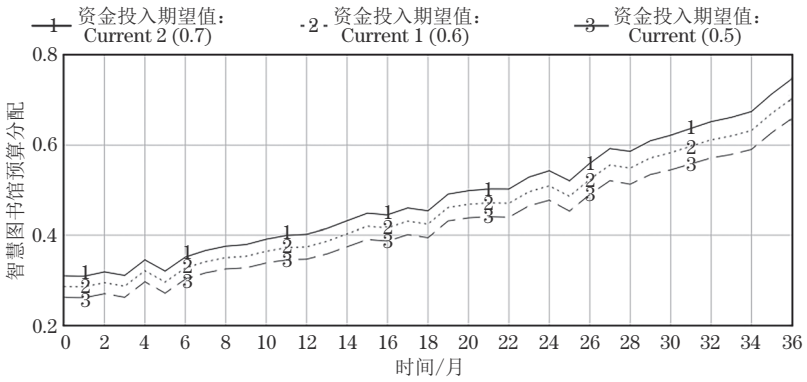


(a)智慧图书馆预算分配

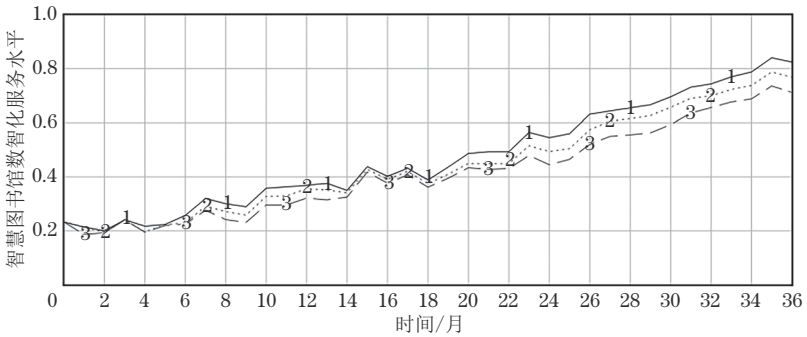


(b)智慧图书馆数智化服务水平

图6　调整资金投入标准差后仿真结果对比



(a)智慧图书馆预算分配



(b)智慧图书馆数智化服务水平

图7　调整资金投入期望值后仿真结果对比

期望值下的变化。

图7（a）显示，随着投入期望值提高，预算分配曲线呈现更为平滑的持续上升趋势，说明系统具备对稳定资金输入的良好吸收与转化能力。图7（b）中，数智化服务水平亦表现出同步提升趋势，尤其在高期望值情境（0.7）下，曲线在中后期显著上扬，表明投入强度的累积效应开始发挥作用。

3.2 模型灵敏度检验

参照陈媛媛等[15]在灵敏度检验中的参数调整方法，将两个关键变量分别设置为基准值的130%和70%，通过对比不同参数水平下的仿真动态响应，评估系统整体性能对变量波动的敏感程度。仿真结果如表3所示。

从仿真结果可见，当馆员数智素养提升30%时，数智化服务水平整体表现出持续上升趋势，到第36个月时，与基准值相比，增幅约为18.40%；相反，若该指标下降30%，数智化服务水平提升明显趋缓，到第36个月时比基准值低约18.76%。这一结果表明：馆员数智素养作为人力资源层面的关键变量，对服务体系长期演化具有显著影响，是决定系统运行效能的高敏感性因素。

智慧图书馆AI服务有效利用量作为技术供给侧的重要变量，其扰动对系统表现的影响也同样直接和迅速。仿真数据显示，在增加30%的条件下，数智化服务水平从第18个月起便加速攀升，到第36个月时已明显高于自然状态，增幅约为15.26%；而在减少30%情境下，数智化服务水平在中期即被明显抑制，到第36个月时显著低于基准值。可见，AI服务有效利用量发挥支撑效应，其技术利用及时性对服务效率提升至关重要。

4 结论

本研究基于系统动力学方法，构建AI赋能下智慧图书馆服务体系的系统动态模型，识别了服务主体、技术环境与资源配置间的关键因果关系与反馈路径，揭示了系统演化的内在机制与系统稳定运行的关键驱动因素，得出如下研究结论。

（1）用户需求是驱动系统演化的首要动力。模型仿真表明，用户需求对智慧图书馆数智化服务体系具有显著牵引作用，其变化能够快速激发管理响应与服务结构调整。用户需求的动态增长可以通过正反馈机制

表3 智慧图书馆数智化服务水平仿真结果对比

时间/月	智慧图书馆数智化服务水平				
	自然状态	智慧图书馆馆员数智素养降低30%	智慧图书馆馆员数智素养提升30%	智慧图书馆AI服务有效利用量增加30%	智慧图书馆AI服务有效利用量减少30%
0	0.232 162	0.165 514	0.298 811	0.232 162	0.232 162
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	0.239 727	0.173 556	0.305 897	0.241 489	0.237 964
4	0.194 982	0.143 307	0.246 657	0.197 462	0.192 502
5	0.219 342	0.156 611	0.279 493	0.222 845	0.215 840
6	0.225 100	0.166 760	0.283 388	0.229 336	0.220 867
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	0.417 776	0.303 009	0.520 692	0.434 572	0.401 069
16	0.376 000	0.272 489	0.468 608	0.397 442	0.354 662
17	0.407 422	0.305 299	0.502 784	0.428 758	0.386 224
18	0.361 626	0.264 129	0.441 050	0.385 332	0.335 994
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
27	0.549 917	0.411 235	0.707 493	0.609 695	0.490 866
28	0.555 380	0.415 932	0.714 097	0.620 595	0.491 085
29	0.563 120	0.422 676	0.718 816	0.634 550	0.492 870
30	0.593 249	0.444 894	0.747 463	0.670 684	0.517 267
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
36	0.712 873	0.579 115	0.844 096	0.821 622	0.607 681

驱动资源投入与技术环境优化，构建起以“用户驱动—智慧图书馆数智化服务响应—（新）需求增长”为特征的反馈闭环。

（2）技术环境是系统服务绩效的结构性基础。良好的技术环境可提高AI系统性能与资源利用效率，增强系统的稳定性与抗扰动能力。技术环境恶化则会制约智慧图书馆数智化服务质量的提升和长远发展。

（3）资金投入稳定性直接影响系统韧性与可持续性。仿真结果显示，资金投入的稳定性比投入强度更关键，预算波动会破坏资源配置的连续性，削弱智慧图书馆数智化服务的系统可靠性与用户体验。因此，需要建立有弹性与缓冲机制的资金管理模式。

（4）馆员数智素养与AI服务有效利用量是提升系统效能的关键杠杆。灵敏度分析表明，数智化服务水平对馆员数智素养与AI服务有效利用量具有较高敏感性，二者分别从人力资源与技术利用维度调节系统产出能力，是提升数智化服务成熟度与长期绩效的杠杆变量。提升这两个变量可显著增强智慧图书馆数智化服务的系统响应能力，使稳态输出水平更高，长期效益更明显。

本研究不仅丰富了智慧图书馆系统管理理论体系，为相关领域的理论研究提供了新的分析框架和思路，也为智慧图书馆数智化服务体系的优化升级提供了科学的决策依据。通过明确用户需求的牵引作用、技术环境的基础地位、资金投入的稳定性要求以及馆员数智素养与AI服务利用的杠杆效应，在资源配置、技术升级、人才培养等方面为图书馆管理者提供了具体的优化路径。同时，所构建的系统动力学模型可作为AI赋能下智慧图书馆数智化政策和管理决策制定的仿真工具，帮助提升智慧图书馆数智化服务的整体效能和可持续发展能力。

参考文献

[1] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB/OL]. [2025-04-25]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.

[2] 文化和旅游部. 文化和旅游部关于印发《“十四五”公共文化服务体系建设规划》的通知[EB/OL]. [2025-04-25]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-06/23/content_5620456.htm.

[3] IFLA. IFLA trend report 2024：skills agenda and updated report released[EB/OL]. [2025-04-25]. https://librarylearningspace.com/ifla-trend-report-2024-skills-agenda-and-updated-report-released.

[4] POGULA P B，KHANDAL V. Reimagining state central libraries：the role of emerging technologies and innovative services[M]//Proceedings of the International Conference on Marching Beyond the Libraries（ICMBL）：Leadership，Creativity，and Innovation（ICMBL 2024）. Dordrecht：Atlantis Press International BV，2025：113-123.

[5] GIRISH RATHOD M S. The rise of smart libraries：integrating IoT，cloud services，and AI for next-gen learning spaces[J]. International Journal of Research in Library Science，2025，11（2）：211-226.

[6] FORRESTER J W. Industrial dynamics：a major breakthrough for decision makers[M]//KLAUS P，MÜLLER S. The Roots of Logistics. Berlin：Springer，2012：141-172.

[7] 钟永光. 系统动力学[M]. 北京：科学出版社，2013：1.

[8] 李立睿，邓仲华. 系统动力学在图书情报学领域中的应用研究[J]. 信息资源管理学报，2015，5（3）：92-97.

[9] 魏明媛，罗坤明，汤明，等. 大语言模型（LLM）嵌入智慧图书馆场景化服务的应用研究[J]. 图书馆理论与实践，2025（1）：83-94.

[10] 王景淘. DeepSeek在智慧图书馆建设中的应用场景与风险防范[J]. 图书馆，2025（6）：24-29.

[11] 肖舒玥，孙守强，李青青. AI大模型驱动的智慧图书馆服务体系研究[J]. 图书馆理论与实践，2024（3）：54-61.

[12] 杨金庆，李嘉琦，程秀峰，等. 人本人工智能视域下智慧图书馆构建路径与服务模式[J].图书馆工作与研究，2025（2）：73-80.

[13] 姜文博，刘维尚，李蕊池. 用户行为视角下高校图书馆智慧服务影响因素研究[J]. 包装工程，2024，45（20）：383-391.

[14] 楼雯，房小可. 基于系统动力学的高校图书馆信息资源配置研究[J]. 图书馆论坛，2014，34（7）：21-27，38.

[15] 陈媛媛，陈志鹏. 高校图书馆科研数据管理服务系统建构与仿真研究[J]. 国家图书馆学刊，2023，32（5）：44-59.

[16] 刘佳，李佳忆，宋芳漪. 基于系统动力学的图书馆知识服务价值共创机理研究[J]. 图书情报工作，2024，68（24）：38-54.

[17] 吕鲲，郭淳，罗星雨，等. 高校智慧图书馆信息服务生态系统构建及其系统动力学分析[J]. 情报科学，2022，40（6）：44-51.

[18] 陈海波，杨晓雯. 情境视角下图书馆智慧服务质量影响因素系统动力学分析[J]. 大学图书情报学刊，2023，41（6）：17-26，38.

[19] 李健，韩雯倩，李永丽. 高校图书馆跨界合作效益的系统动力学仿真研究：以支持双创服务为例[J]. 国家图书馆学刊，2025，34（2）：31-45.

[20] COOPER R，FOSTER M. Sociotechnical systems[J]. American Psychologist，1971，26（5）：467-474.

[21] 中国图书馆学会，国家图书馆. 中国图书馆年鉴（2019）[M]. 北京：国家图书馆出版社，2020.

[22] 袁静，李森涛，高晓宁. 图书馆智慧服务共生模式的实现机理研究[J]. 图书与情报，2023（4）：64-77.

作者简介

杨志和，男，博士，副教授，研究方向：智慧图书馆及工程系统数智化。
周晓雨，女，硕士研究生，通信作者，研究方向：智慧图书馆、智慧图书馆技术，E-mail：3401414872@qq.com。
路颜竹，女，硕士研究生，研究方向：智慧图书馆。
杨安琦，女，硕士研究生，研究方向：智慧图书馆技术。

Evolutionary State of AI-Enabled Smart Library Digital-Intelligent Service System: A Simulation Analysis Based on System Dynamics Model

YANG ZhiHe[1,2] ZHOU XiaoYu[1] LU YanZhu[1] YANG AnQi[1]
(1. School of Information Management, Heilongjiang University, Harbin 150080, P. R. China; 2. Research Center for Information Resources Management, Heilongjiang University, Harbin 150080, P. R. China)

Abstract: To improve the operational efficiency and uncover the internal dynamic mechanisms of the AI-enabled digital-intelligent service system in smart libraries, this study adopts a system science approach to identify key elements and their interdependencies within the smart library's digital-intelligent service ecosystem and conceptualize them into a system dynamics model, which is then validated through simulation on the Vensim PLE platform. The simulation results reveal that the satisfaction of user demands, the optimization of the technological environment, and the stability of financial investment are the three primary drivers for enhancing the digital-intelligent service level. This study systematically analyzes the feedback mechanisms and dynamic evolution patterns of the subsystem's core components in the digital-intelligent service system of the smart library, thereby enriching the theoretical framework of smart library system management and offering a robust theoretical and methodological foundation for its optimization and decision-making.

Keywords: Artificial Intelligence; Smart Library; Digital-Intelligent Service; System Dynamics; Vensim System Simulation

（责任编辑：王玮）