

基于服务对象拓展的世界农业工程演进规律及启示

魏秀菊, 廖艳, 马铭

(农业农村部规划设计研究院战略研究室, 北京 100125)

摘要: 农业工程泛指农业工程技术、农业工程学科及农业工程建设三方面的内容, 是实现农业现代化的重要支撑。以农业工程服务对象的拓展为主线, 对美国、欧洲和东亚等典型国家与地区的农业工程发展进程及特征进行剖析, 提炼、归纳得出世界农业工程发展的演进规律; 结合中国农业农村发展阶段, 演绎推理中国农业工程发展所处阶段, 结合中国国情、中国农业发展阶段及乡村振兴的内涵和需求, 分析乡村振兴战略支撑农业工程阶段。结果表明, 按服务对象的拓展, 世界农业工程经历了 4 个阶段: 前期服务于简单农业生产的农业工程技术阶段、为农业生产服务的农业工程学科产生和发展阶段、服务对象拓展到农业生产与农村建设并重的阶段、服务对象拓展到生物系统的生物系统工程阶段; 世界农业工程的发展表现为前期注重生产、后期生产生活并重, 其发展受到其他科技发展的影响, 变化的原动力为社会需求。结合中国农业农村发展的阶段及特色、“三农”发展策略, 世界农业工程演进透视出乡村振兴对农业工程第三阶段的社会需求: 应大力发展同时注重农业与农村发展的农业工程, 当然, 作为农业工程学科的世界前沿生物系统工程, 是中国农业工程学科发展的必然方向。该研究得到世界农业工程演进规律, 分析提出服务于乡村振兴的农业工程战略重点。为中国农业工程发展提供参考。

关键词: 世界农业工程; 服务对象拓展; 发展阶段; 中国乡村振兴战略; 启示

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202210257

中图分类号: S2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2024)-22-0022-09

魏秀菊, 廖艳, 马铭. 基于服务对象拓展的世界农业工程演进规律及启示[J]. 农业工程学报, 2024, 40(22): 22-30. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202210257 <http://www.tcsae.org>

WEI Xiuju, LIAO Yan, MA Ming. Evolutionary laws of agricultural engineering in the world based on the expansion of service objects and its enlightenment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(22): 22-30. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202210257 <http://www.tcsae.org>

0 引言

农业工程科技是工程学、生物学、农业科学、经济及管理科学等多门学科交叉形成的应用科学技术^[1-2], 是实现农业现代化的重要物质基础和保障, 世界发达国家主要依靠农业工程科技实现农业现代化^[3]。上个世纪末, 美国国家工程院评选出 20 世纪为推进人类进步做出最大贡献的 20 项工程技术, 电气化、水利化和农业机械化, 分列第 1、4、7 位, 正是农业工程的 3 项核心科技内容, 可见农业工程影响之深、贡献之大^[4]。

对农业工程的宏观研究, 主要集中于农业工程学科发展历史、趋势与前沿方向, 以及不同时期农业工程技术创新与农业工程建设等^[5-10]。当前, 农业工程学科研究热点的主题日趋多元化, 研究领域向跨学科交叉融合转化, 研究手段从简单试验分析向计算机模拟仿真、智能控制等发展^[5-6], 农业信息化智能技术为研究热点, 以生物技术为创新驱动, 融合生物、纳米、材料等多学科尖端技术, 农业工程科技将呈现集成创新特征^[7], 与其

他学科融合, 催生新的交叉学科或技术^[11-12]。如与信息化、智能化技术融合, 推动数字农业、遥感农业和智能化农业等发展^[8-9]; 与现代生物学技术结合, 推动生物化农业工程、食品加工微生物工程、生物育种工程及生物系统工程等技术发展^[10]; 与生态学、系统工程理论结合, 推动生态农业工程的发展等^[11]。在实践上, 根据乡村振兴的战略要求, 农业工程技术体系从农业生产领域延伸为多产业融合发展等^[13]。

乡村振兴是中国农业农村发展现阶段的重要战略目标。中国将在 2035 年乡村振兴取得决定性进展, 基本实现农业农村现代化, 2050 年乡村全面振兴, 农业强、农村美、农民富全面实现。“三农”工作作为乡村振兴的总抓手, 实施农业、农村和农民的全面发展。从传统的“一农”转为“三农”, 这一历史性重大调整, 必然引领农业相关领域科技实践的重大变革, 也对农业工程带来严峻挑战和重大机遇。

农业工程作为一门应用型科学技术, 应用实践是考量其学科意义和贡献的重要层面。纵观中国农业工程发展实践, 农业生产、产业、装备及设施等技术领域一直是发展的重点, 而农村生态文明、农民人居环境、生活设施等领域尽管越来越受到重视, 但实践和建设总体上的发展不够充分。

不同于已有研究, 本文不对农业工程学科本身的学科理论、知识体系等的纵向发展、与其他学科的融合及

收稿日期: 2022-10-31 修订日期: 2024-06-26

基金项目: 服务于乡村振兴的农业工程发展战略研究 (SC202106); 中国科技期刊卓越行动计划项目 (卓越计划-C-083)

作者简介: 魏秀菊, 研究员/编审, 研究方向为乡村振兴背景下的农业工程战略研究/期刊出版研究。Email: weixj06@163.com

相应的发展规律进行探索，而是立足农业工程应用及服务领域，基于服务对象的拓展，探究世界农业工程学科演进历程，结合中国农业农村的发展阶段，从农业工程学科和技术的视觉，认识现阶段乡村振兴的科学性、逻辑意义，拟为乡村振兴视域下探索农业工程重点发展方向提供参考。

1 农业工程的概念及内涵

农业工程科学是在工程学、生物学、农业科学、经济及管理科学理论和技术基础上建立的，以生物技术和工程技术相结合为特色，具有综合、集成、组装的技术优势，是改善农业生产手段、生态环境和农村生活设施的各种工程技术、工程管理、工程理论的总称^[1-2, 14]。农业工程泛指农业工程学科、农业工程技术和农业工程建设三方面的内容。其中，农业工程学科是农业生物学与工程学交叉结合，为农业生产、农民生活、农村建设服务，实施自然资源合理利用和生态环境保护的工程学科^[14]；农业工程技术是农业工程的科技及方法原理，为重要的农业生产力。人类农业工程实践、农业工程科学以及先进技术的组合，为农业工程技术的产生和发展提供动力，也使其呈现经验性、科学性和综合性的特征；农业工程建设指农业工程在某一区域的发展规划、设计、投资、实施管理以及收益等诸方面^[1]。农业工程技术的产生早于学科，有一个漫长的发展和积累时期，为学科产生奠定基础。农业工程学科自 1907 年在美国诞生至今近 120 年，推动农业工程技术取得革命性进步^[15]。农业工程建设是农业工程技术和理论在实践中的应用，在应用中促进农业工程学科和技术的创新和进步，自身也获得发展。在农业工程的循环发展中，农业工程技术贯穿全过程（如图 1 所示）。

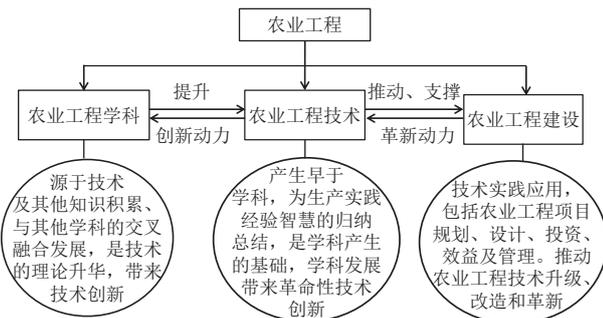


图 1 农业工程三方面的内容及其相互关系

Fig.1 Three aspects of agricultural engineering and their relationships

2 研究方法

2.1 世界农业工程演进规律的研究方法

本研究立足农业工程服务对象不断拓展的基本视觉，通过分析不同国家与地区农业工程的演进历程，归纳世界农业工程发展规律，演绎推理中国农业工程发展所处阶段，分析中国实施乡村振兴战略的历史逻辑及科学性。采用文献分析法、案例分析法、归纳法、演绎分析法等^[3,6,12]。

1) 以服务对象拓展为立足点的研究方法。主要聚焦

农业工程应用及服务领域，立足于服务对象的拓展，即从简单农业生产到农业生产，再到农业生产与农村建设，后续服务对象拓展到整个生物系统，梳理世界农业工程的演进历程，探究农业工程随服务对象演替而具备不同特征、产生不同发展成就的分阶段的演进规律。

2) 文献分析法。搜集世界农业工程发展相关文献，重点分析学科产生后，农业工程服务对象的拓展、学科内容的丰富，整理农业工程发展趋势。

3) 案例分析法。选定美国、欧洲、东亚等农业工程发展典型国家与地区，分析农业工程发展历史及特征。

4) 归纳法。在分析具体国家和地区农业工程发展进程的基础上，提炼、归纳世界农业工程发展的一般规律，并重点分析与中国乡村发展现状对应的农业工程发展时期及阶段。

5) 演绎分析法。基于世界农业工程发展一般规律，演绎推理中国农业工程的发展状况及所处阶段，并结合中国国情、乡村振兴发展需求，分析对中国农业农村发展阶段，农业工程发展阶段的科学意义。

2.2 农业工程发展阶段划分原则

科学、技术、社会及经济发展阶段如工业化阶段、食品工业发展阶段、农业发展阶段等，均分别根据相应分析需要确立划分节点或依据进行划分^[16-18]。为探索农业工程服务对象演进的发展规律，辨识其发展特征，本研究对农业工程发展阶段划分，划分节点为农业工程技术产生及发展、学科产生及发展、服务对象从农业向农村的拓展、服务对象从农业农村向整个生物系统拓展等 4 个阶段；未采用传统农业工程学科规律研究以学科及技术内在的晋级以及与其他理论相结合、交叉、融合提升为节点的研究方法^[19]。

3 典型国家与地区农业工程发展进程

随农业文明发展，农业工程技术在全世界呈散发状发展，具有非系统性、独立发展的特征，未形成正式学科，可视之为学科前阶段。因历史久远、文献缺乏、不易追踪，本文主要以学科产生后的农业工程为考察重点。世界不同国家和地区，农业工程学科发展历程各不相同。以美国、欧洲和东亚为典型代表进行案例分析，追踪考察其基于服务对象拓展的农业工程发展特征。

3.1 美国农业工程演进历程

文献 [15] 记载了美国农业工程师学会（American Society of Agricultural Engineers, ASAE，为 ASABE 前身）1907—1978 年约 70 年的发展历史，也记录了农业工程学科方向不断拓展和学科内容日益丰富的历程。根据文献 [15]，并结合美国农业与生物工程师学会 ASABE 官网信息^[20]，分析美国农业工程学科在服务对象上的发展脉络及服务内容拓展特征，归纳得到的结果如表 1 所示。在梳理发展脉络时，发现美国农业工程学科在一定时期出现了农产品加工及废弃物处理（Processing）专业，这意味着农业工程的服务领域不再限于农业生产，拓展到了农村建设及农村经济领域。

表 1 美国农业工程服务对象范围拓展演变脉络
Table 1 Expansion and evolution of the scope of service objects in agricultural engineering in the United States

年份 Year	农业工程学科内容及增加专业 Content of agricultural engineering discipline and subject added	农业工程 服务对象 Service object of agricultural engineering	农业发展状况或特征 Agriculture development status or characteristics
1907 年前	农业工程技术产生和发展 (农业工程学科萌芽期)	简单 农业生产	农业生产力水平低, 农业经济水平落后, 农耕文明持续发展
1907—1937	高速公路、农场建设, 土地开垦 (1921 年) (含农田水利、 土地工程、林业工程等), 农业动力及装备 (农业机械), 农业农村电气化 (1924 年)	农业生产	美西部农垦持续发展, 农业生产逐渐发达; 规模化农业生产进一步扩大
1938—1942	农业动力及装备; 农场建设; 农业农村电气化; 水土保持及 灌溉排水		
1943—1947	(增) 农产品加工; 废弃物处理; 农业化工		1943 年出现以农产品加工、废弃物处理为代表的方向, 非农 化农村产业发展
1948—1963	动力机械、土壤和水、电力加工、农场结构 (1959 年后)	农业生产 及农村建设	水土为关键领域; 能源、人口、资源、环境和食品安全受到关 注、人口不断向城市转移, 农村产业发展迅速
1964—1977	土地及水资源、动力及农田机械、结构及应用、加工及销售 分析		
1978—1997	生物系统工程出现并不断发展		农业生产高度发达, 农业现代化实现, 农业工程人才需求减 少, 相关人才培养转向生物系统工程
1997 年至今	生物系统工程 7 类: 能源系统; 人类工程学、安全及健康; 信息技术、传感器和控制系统; 机械系统; 自然资源和环境 系统; 动、植物设施系统; 加工系统	生物系统	注重高效、融合、生态、精准; 智能技术、生物化技术大量 应用; 追求经济、社会、生态综合效益的最大化

1907 年, 美国农业工程师学会 (ASAE) 成立, 农业工程学科诞生。该学会成立之初, 由几个拖拉机方面的农业机械专家组成; 创立者 DAVIDSON^[15] 提出, 农业工程学科的相关领域主要为农业机械、高速公路、灌溉排水及农场建设等。由此可见, 美国农业工程学科发展始自农业机械的发展和运用, 初期主要是为农业生产服务。1943 年, 美国农业工程专业领域增加农产品加工、农业化工及农业废弃物处理等专业方向^[15], 农村建设亦成为主要发展领域, 标志着美国农业工程进入一个新的阶段。二战以后至 1958—1977 年, 农业工程科技的应用提高了农业生产效率, 解放大量的一产劳动力, 学科方向开始转向关注人口、资源、环境和食品安全, 以缓解资源及能源紧张, 促进人口向城市转移以及推动农村工业发展。后期美国实现了农业现代化, 社会对农业工程人才需求降低; 同时农业工程与生物学、生物技术高度融合, 服务领域进一步拓展, 逐渐向生物系统工程转型^[21]。生物系统工程至今为世界农业工程发展的前沿方向, 由美国农业与生物工程师学会 ASABE 技术专委会 (Technical Community) 设置的生物工程专业方向主要有 7 类: energy system (能源系统); ergonomics, safety & healthy (人类工程学、安全及健康); information technology, sensor & control system (信息技术、传感器和控制系统); machinery systems (机械系统); natural resources & environmental system (自然资源和环境系统); plant, animal & facility systems (动、植物设施系统); processing systems (加工及废弃物处理系统)^[20]。

3.2 欧洲农业工程发展进程

欧洲 11 世纪中叶出现重铁犁农具; 荷兰于 13 世纪发明用于提水的风车, 16 世纪开始大规模围海造田; 18 世纪 60 年代, 第一次工业革命在英国发生, 钢铁冶炼技术的进步、蒸汽机的发明, 带来农机具在原材料和动力革新, 农业工程技术水平大幅度提高^[6,22]。这些可视为欧

洲早期的农业工程技术发展, 显见, 学科产生之前, 农业工程技术的产生和发展, 零散而漫长。1930 年, 随着欧洲农业工程学科的建立, 欧洲农业工程步入有系统理论指导和支撑的快速发展期, 农业机械被大量投入农业生产, 农业生产力迅速提高^[7]。20 世纪 50 年代, 欧洲实现农业机械化, 建立起高度集约、发达的现代农业; 乡村的高质量生活和优质生态环境, 逐渐成为农民所追求的目标, 农业工程的服务对象也随之调整并拓展, 环保型、生态型农业工程技术得到大力发展^[7]。2008 年, 欧洲农业工程大学研究联盟更名为欧洲农业与生物工程教育和研究联盟^[6], 欧洲传统农业工程学科向生物系统工程转型, 应用服务对象拓展至整个生物系统。

3.3 东亚农业工程的发展

同样是借助农业工程科技实现现代农业, 东亚地区的日本、韩国与欧美等西方国家自然地理条件不同, 发展的主要是小规模农业, 拥有大量小农户, 而非发展高度集中的大规模农场农业。在农业生产条件、农业经营规模及生产特征上, 日本、韩国与中国类似, 探索其农业工程发展历程对中国有一定的借鉴意义。

日本农业人多地少、土地分散, 属小规模经营, 在 20 世纪 60 年代建立起农业机械化、农田水利化等高度发展的现代农业^[23-24]。从应用领域和服务对象来看, 此前的农业工程发展重点在农业生产领域。之后日本的农产品加工业逐步发展, 农业工程应用服务重点呈现向农村建设倾斜的特征。特别是 1979 年, 日本开始推行“一村一品”运动, 以财政、税收等政策, 引导小农户利用当地资源发展特色产品和产业, 延长产品产业链, 农产品加工业得到长足发展^[25-26]。20 世纪末, 日本食品加工业的销售额占整个制造业的 12%, 成为仅次于运输机械和电器机械的第三大产业^[25]。作为农村工业, 农产品加工业、食品加工业的发展为农村剩余劳动力提供就业机会, 提高农民收入和推动农村经济发展。与此同时, 日

本农村在环境治理、生态保护、乡村建筑等方面也取得显著成绩。

韩国亦人多地少、人地矛盾突出。始自 20 世纪 70 年代的“新村运动”，加速了韩国的现代化进程。1971—1979 年为“新村运动”第一阶段，其中的 1974—1976 年，韩国农村大力开展农田水利建设，农业生产基础条件显著改善，粮食产量明显增加；1977—1979 年，开始大力发展农产品加工业，打造特色农业，缩小城乡差距、提高农村居民年收入^[27]。先农业生产再农村建设，再一次在韩国农业工程科技实践重点的先后顺序上得到印证。随着“新村运动”的开展，韩国在小农土地所有制基础上，建立起先进的农业生产体系，逐步实现现代农业，1993 年农村居民收入达到城市居民的 95.5%^[28-29]，城乡经济平衡发展。农业工程发展取得了农业、农村及农民全面发展的成效。

4 基于服务对象拓展的世界农业工程演进规律

4.1 世界农业工程发展阶段划分

如上分析，美国、欧洲和东亚等典型国家与地区的农业工程发展历程，体现出了农业农村发展水平决定社会需求，进而推动农业工程服务对象变化的共同特征。采用归纳法，总结归纳世界农业工程发展的一般规律。以农业工程技术产生及发展、服务农业生产的学科产生及发展、为农业生产及农村建设服务、为生物系统服务等出现为节点划分，世界农业工程发展的 4 个阶段，结果如图 2 所示。农业工程各阶段有不同的服务内涵，表现为服务对象、标志和特征的不同。

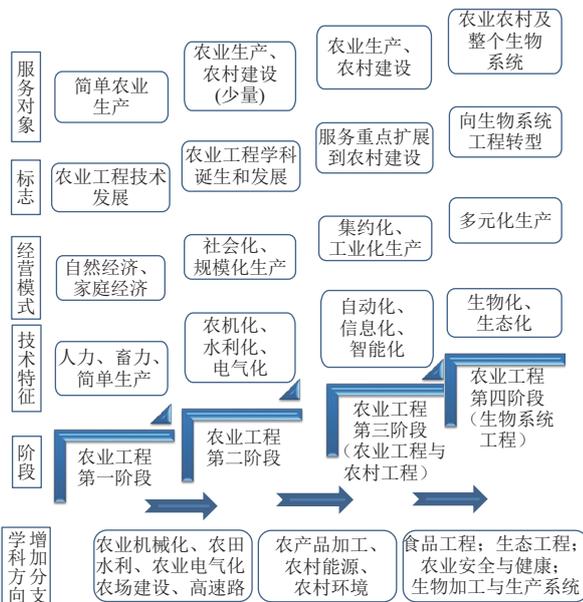


图 2 基于服务对象拓展的世界农业工程发展阶段划分

Fig.2 Development stage division of agricultural engineering in the world based on service object expansion

1) 阶段 1：农业工程技术产生及发展

在学科产生前，农业工程技术在农业生产实践中不断产生。如中国农具经历了石器、青铜器和铁器三大发展阶段^[30]，其中 2000 多年前的春秋战国时期，铁犁成为

主要农耕工具，比欧洲 11 世纪中叶出现重铁犁农具早 1 000 多年；兴建的综合性水利工程都江堰，有引水灌溉、防洪等多项功能。古代的埃及、巴比伦、印度等国家也使用农具、修建有水利工程设施。荷兰于 13 世纪发明风车用于提水，16 世纪开始大规模的围海造田。美国在 19 世纪中叶发生第一次农业革命，畜力代替人力，凸显农业工程的作用与贡献。

早期的农业工程技术在不同地域自发、缓慢发展，一般以简单生产工具、水利工程及设施等为代表，是生产实践的经验积累和归纳总结^[14]，以人力和畜力为动力，服务于简单的农业生产。该时期被划分为农业工程第一阶段；因农业工程技术的理论总结和学科体系尚未形成，亦可称为农业工程学科的萌芽和雏形阶段，或农业工程学科前阶段。该阶段的农业工程技术发展与区域的农业生产水平、经济社会繁荣状况有关。中国农业工程的第一阶段可追溯至使用青铜农具的夏商周时期，拥有古老、悠久的发展历史，为推动中国古代农耕文明发展贡献了重要力量。

2) 阶段 2：服务农业生产的农业工程学科诞生及发展

18 世纪 60 年代第一次工业革命及各类基础科学的发展，催生农业工程从技术层面上升到科学层面。1905 年美国个别学校开设农业工程课程体系，1907 年美国农业工程师学会 ASAE 成立^[15]，是世界公认农业工程学科诞生标志；随后，日本于 1911 年、欧洲于 1930 年教育体系分别设立相关专业与系别，创建各自的农业工程学科。学科诞生后，农业工程技术得到系统的理论指导与支撑，呈现系统、加速发展的趋势。

在这一阶段，农业工程科技与近代工业革命技术成果相结合，取得巨大成就。1922 年世界上首台 4 轮液压拖拉机产生，农业机械装备、灌溉工程及设施开始大量应用于农业^[15]。农业机械、农业水利、农业电气化等农业工程技术的发展，使农业生产率和农产品产量得到大幅度提高，农业生产率及农产品产量达到较高水平，欧美发达国家和地区多在这一阶段实现农业机械化、现代化，农业生产经营模式呈现社会化与规模化特征。机械代替人力，将农民从繁重的体力劳动中解放出来，剩余劳动力转向二、三产业，推动城镇化发展；农业生产的机械化、水利化和电力化发展带来农产品的极大丰富，环境污染问题出现，农村生活改善需求增长，要求农业工程向为农村经济及生活服务方向拓展。

3) 阶段 3：农业工程服务重点拓展到农业农村

1943 年，美国的农业工程出现农产品加工和废弃物处理专业^[15]，标志着农业工程主要服务对象拓展为涵盖农村建设。农村建设是农业生产以外的农村经济发展、农村生态环境及生活设施质量改善，包括路电水气网信等公共设施、农村居民区的建设等。欧洲和日本等发达国家和地区，约在 20 世纪 40—60 年代先后实现农业机械化，建立起综合生产率高、集约化的现代农业，随后农业工程发展步入第三阶段。该阶段，农业工程对农业生产提供持续、更高水平的支撑作用，同时也在农村建

设方面发挥作用,生态环境保护、农业废弃物处理、农村能源开发利用、乡村生态环境保护、农产品深度加工等迅速发展。

在 20 世纪 60—70 年代,西方发达国家完成广泛而完善的农业基础设施建设,农业工程技术达到较高水平,农业机械化、电气化、设施化、水利化等高度发展^[15],大型农机、节水灌溉、废弃物资源化利用等技术被运用;农业工程内生型技术水平不断提升,现代信息、生物及管理科技的进步,使自动化、信息化、智能化技术应用于农业机械等领域,推动精准农业、遥感农业等新型农业形式出现,劳动效率、资源利用率和生态环境保护能力大幅提高;农业生产经营呈现集约化、工业化特征,农产品丰富,农业与第二、三产业趋于融合。

4) 阶段 4: 服务对象拓展到整个生命系统的生物系统工程

在西方发达国家实现农业现代化后,社会对传统农业工程科技及人才的需求下降;同时,生物科学快速发展,农业工程作为基于生物科学的工程学科,学科体系开始覆盖生物系统的所有领域,服务对象从农业农村拓展到整个生物系统,迈入向生物系统工程发展的新阶段。该阶段的农业生产经营越来越多地呈现智能化与绿色化发展特征。生物系统工程具有跨学科性质,相比农业工程服务对象更广泛,不限于农业系统,而是扩大到整个有机生命系统;在生物学基础上,综合工程学、信息学和管理学等多学科理论与技术,创设利于生物生长、生命健康的环境,资源得到合理利用,显著提高生物的生产效率^[21,31]。同时,农业工程作为生物系统工程的核心内容持续发展,前者是发展基础,后者为前沿领域。

20 世纪 90 年代末的发达国家,美国农业工程最先向农业生物系统工程转变,随后是韩国、日本及欧洲的学术组织、科研教育机构^[32]。20 世纪末至 21 世纪初,发达国家相关的农业工程院系、学科专业及学会名称陆续改为农业生物系统工程、农业食品与生物系统工程、农业生物及资源工程等^[33-34],世界农业工程学科前沿进入到第四阶段,即生物系统工程阶段。

4.2 农业工程在 4 个阶段的服务对象拓展

世界典型国家与地区农业工程的发展进程表明,农业工程存在 4 个阶段的演进。其中,第一阶段为农业工程学科前阶段,以农业工程技术的发展为标志,主要服务于简单农业生产;第二阶段以农业工程学科诞生为起点,主要服务于农业生产;第三阶段以农业工程服务重点扩展至农村建设为标志,农业生产与农村建设同为重要服务对象;农业工程向生物系统工程转型,标志着进入第四阶段,其服务对象为农业农村及整个生物系统。

农业工程在 4 个阶段的演替发展中,农业工程技术、学科和建设协同发展。第一阶段仅有简单的农业工程技术;在第二阶段,农业工程学科产生,随着与其他学科的融合发展不断完善,推动农业工程技术快速、高水平地发展;在第三阶段,随着服务对象拓展至农村建设,农业工程内容不断丰富、水平不断提升,呈现多学科交融发展趋势;在第四阶段,农业工程服务对象拓展到整

个有机生命系统,与其他学科尤其是与生物学科高度融合,呈现生物化发展态势。

农业工程的演进历程,表现为早期注重生产、后期生产与生活并重,其变化的原动力来自社会需求。早期农业工程第一和第二阶段,重点是服务于农业生产;发展到后期第三阶段,良好的农村环境与优质生活成为农民追求的目标,农产品加工工程、农村能源工程、人畜饮水工程、农村及农业环境工程、农村建筑工程等得到大力发展。随社会需求的驱动,农业工程学科内容不断丰富。

如图 3 所示,农业工程服务对象在 4 个阶段的演替中不断拓展,相应的内涵不断扩增。每一个相对高阶的阶段,都涵盖相对低阶段的服务范畴和内容;越是高阶的阶段,农业工程内涵越是丰富。其中,初级和相对原始的农业工程第一阶段,世界大多数国家都已经历。第四阶段是世界农业工程的前沿方向,中国农业农村建设、农业工程建设实践主流尚未到这一阶段^[2],但是对生物系统工程科学的前瞻性研究及生产实践是必要的。中间的第二和第三阶段是当代中国主要的农业工程阶段,以上分析的美国、欧洲和东亚地区农业工程发展进程,也主要针对这两个阶段。第二阶段的农业工程科技主要服务于农业生产,推动农业生产快速力快速发展;第三阶段,农村建设进入农业工程的主要服务范畴。

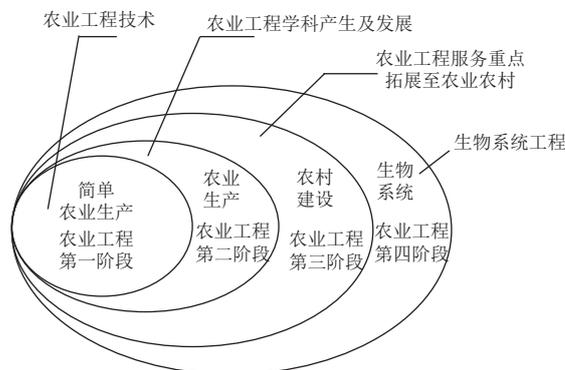


图 3 农业工程各阶段主要服务对象拓展

Fig.3 Expansion of main service objects in all stages of agricultural engineering

5 支撑乡村振兴战略的农业工程阶段探索

乡村振兴是中国同时重视农业、农村和农民发展的重大战略。基于服务对象拓展的世界农业工程发展规律,具有从简单到复杂、从低级向高级,前期注重农业生产、后期同时注重农村建设的特征。作为普适性的一般规律,对中国农业工程发展方向和战略重点具借鉴价值。结合中国农业农村所处发展阶段、社会需求及经济发展水平,农业工程第三阶段为中国当前乡村振兴视域下农业工程的重要发展阶段,该阶段恰与乡村振兴农业农村经济发展的重要技术支撑之一相吻合。

5.1 遵循世界农业工程发展规律及中国农业农村建设状况发展农业工程第三阶段

对照世界农业工程的 4 个阶段,早期中国少数闭塞

落后地区，受地形、气候等自然条件以及经济发展等社会条件限制，生产力发展水平落后，使用简单农具进行农业生产，农业工程尚处于第一阶段；1947 年建立农业工程学科后，经历几十年的发展，大多数地区农业机械化、农田水利、农业电气化等普遍应用和发展，农业工程达到第二阶段；在服务于农业生产的同时，农产品加工、农业生物环境工程、生态农业工程等也广泛运用于农村建设，农业工程逐渐发展到第三阶段；农业工程第四阶段的服务对象扩展到整个生物系统，为世界农业工程学科发展前沿，中国农业现代化尚未实现，受农业农村发展的历史和客观现实条件限制，农业工程发展主流还未进入第四阶段^[2]。

中国不同区域所处农业工程阶段呈现差异性，即各区域农业工程发展重点不统一，呈现出不同的农业工程阶段交叉并存、界限模糊的状况。中国各地区发展参差不齐，农业工程发展水平和服务重点存在差异。从代际演进来看，农业工程发展到一定水平，所处阶段会向更高级和更成熟的阶段演变，表现为服务对象的拓展、服务内容的丰富，以及相应技术水平的提高等，后期阶段替代前期阶段。当然，这种替代不是对前期阶段的完全摒弃，而是包含前阶段的内容，正体现了后期阶段对前期阶段服务对象拓展的内涵，也使不同阶段之间分界线较为模糊，存在相当长的过渡期或者重叠期。

对照世界农业工程发展规律，结合中国农业农村发展现状，在乡村振兴重大社会需求下，各区域无论处于农业工程第一还是第二阶段，均需转向农业工程第三阶段发展，从主要为农业服务，转型为农业、农村和农民服务并重，以适应乡村振兴重大需求，推进中国现代乡村发展进程，并最终实现农业农村现代化和中国经济社会的可持续发展。对农业工程在农村发展领域应用实践的强调，符合世界农业工程科技普遍发展规律，是农业工程在乡村发展内在需求驱动下的必然发展趋势。

5.2 发展农业工程第三阶段适应乡村振兴社会需求

当前，中国城乡之间发展极不平衡，农村的发展不够充分，总体欠发达，主要表现为：第一，农村居民收入明显低于城市，2020 年农村家庭的平均月收入不到城镇家庭的 40%；第二，农村基础设施和公共服务水平显著低于城市，2008—2014 年期间农村人均基础设施建设投入只及城市的约 22 分之一^[35]；第三，农村人居生态环境质量差，农村面源污染严重。乡村振兴政策正是针对该现状提出的，农业农村优先发展是中国当前的重要任务，这客观上要求农业工程服务对象从“一农”向“三农”转变，向农业工程第三阶段发展转型。

重视农业发展，提高农业生产效率、资源利用效率及农业产出率，是农业工程第二阶段的内涵与核心。而乡村振兴、“三农”发展，不仅限于进一步释放农业生产力，还需重视农村经济发展、生态环境保护，以及农民整体收入增加、生活水准提高，这些正契合农业工程第三阶段的内涵。所以，乡村振兴的重大社会需求，要求服务对象涵盖农村建设与农业生产的农业工程第三阶

段得到大力发展（如图 4 所示）；而且，在一些处于农业工程第一阶段的欠发达地区，通过政策引导、人才引入和资金支持，也全面推进农业农村建设，推进农业工程第三阶段的发展。故农业工程第三阶段为中国农业工程下一步的发展主体与重点。此外，中国农业工程在学科研究和建设实践上应以第三阶段为主体，即切实响应习近平总书记提出的“四个面向”中的“坚持面向国家经济建设、坚持面向社会重大需求”，同时也要开展农业工程第四阶段即生物系统工程前沿研究及实践，“坚持面向世界科技前沿”，追踪农业工程发展最前沿领域。

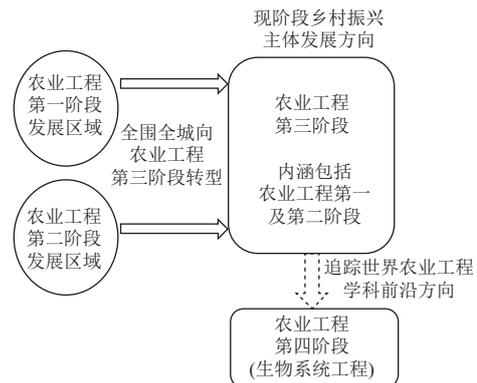


图 4 乡村振兴视域下中国农业工程发展方向

Fig.4 Development direction of agricultural engineering in China from perspective of rural revitalization

农业工程为中国农业现代化建设做出了重大贡献。其中，农业机械化工程、农田水利工程（农业水土工程）、农业电气化工程、设施农业工程及耕地整治工程（土地整理工程）等主要服务于农业生产，对提高农业生产水平、保障粮食安全发挥了支撑的作用；农村能源工程、农产品加工工程、农业建筑工程（农业生物环境工程）、居民点整理工程（土地整理工程）及农村饮水工程（农业水土工程）等主要服务于农村建设，对减少农业废弃物污染、保护农村生态环境、保障高质量农产品产出，以及延长农业产业链、发展农村产业，促进农村剩余劳动力就业和农民增收发挥重大的作用。其中部分分支，如农业电气化自动化工程、土地利用工程、农业生物环境工程，以及农业工程拓展分支生态农业工程等，在服务农业、农村领域均有涉及。在乡村振兴、“三农”发展的新时期，第三阶段的农业工程是建设宜居宜业和美乡村的重要科技支撑力量。

6 农业工程在乡村振兴中的战略重点

1) 为重要农产品生产服务的农业工程战略重点。服务于农业生产的粮食安全、重要农产品供给，典型的高标准农田建设、黑土地保护利用，向海洋、设施、太空开发食物来源的海水养殖工程、设施种植、养殖工程等，突出为第一产业服务，为农业工程科技领域战略重点。

2) 为农村建设服务的农业工程战略重点。乡村振兴战略需求，恰与农业工程的发展规律相适应。该阶段服务对象从农业扩展到农村，农产品加工工程、农业生物

环境工程、农村能源工程、生态农业工程、生物系统工程、居民点建设、水电气网信公共设施建设等侧重于服务农村、农民,突出第二、三产业领域及农业农村生态环境保护治理等,为农业工程的战略重点。

3) 农业工程学科在区域乡村振兴中的系统化应用(系统农业工程)战略重点。在服务于区域乡村振兴实践中,农业工程各学科需综合、系统应用,统筹农业生产、农村经济建设,统筹第一、二、三产,统筹区域开发及生态资源保护等多层次多目标应用,实现全域效益最大化。农业工程学科系统、整体提供多元化、综合化的解决方案,农业工程各学科间系统整体协调应用,为农业工程战略重点。

4) 智能化、信息化、生物化、生态化农业工程战略重点。农业工程学科与其他学科,如信息科学、生命科学、生态科学、认知科学和材料科学等的交叉融合,推进农业工程学科的创新和发展。高效农业装备、智能化农业工程、无人装备等,生物系统工程等方向,以及推进传统农业工程向现代农业工程的转型,是农业工程的战略重点。

7 结 论

依据世界典型国家与地区的农业工程发展进程,归纳了基于服务对象拓展的世界农业工程发展规律,并总结对中国农业工程发展的启示。

1) 世界农业工程发展阶段的划分。世界农业工程分为4个不同阶段,分别以服务于简单农业生产的农业工程技术、农业工程学科诞生及发展且重点服务农业生产、服务重点扩展至农村建设,以及服务对象扩展到生物系统的生物系统工程为标志。在演变中农业工程内涵逐渐丰富,主要服务对象不断拓展。

2) 农业工程第一阶段,技术理论总结和学科体系尚未形成,为农业工程学科的萌芽阶段;第二阶段,以农业生产的机械化、水利化和电力化为重要特征,农业生产率大幅提高,美国于1907年最早进入该阶段;第三阶段,农业工程和农村工程并重发展,自动化、信息化、智能化技术应用于农业机械等领域,对农业生产提供持续、更高水平的支撑作用,同时在农村建设方面迅速发展,在发展史上以1943年出现农产品加工及农业废弃物处理为突出节点;第四阶段为生物系统工程,是世界农业工程学科前沿,美国于20世纪90年代末最先进入这一阶段,中国在逐步向该阶段迈进且发展较为快速。

3) 世界农业工程基于服务对象拓展的变化规律。主要受社会需求的驱动,农业工程前期注重服务于农业生产,后期同时注重服务于农业生产及农村建设。农业工程前期主要涉及农业机械化、农田水利、农业电气化等内容;后期增加了农村环境、设施农业生产、农产品加工、农业建筑与环境等方向,同时包含农业生产和农村建设领域。

4) 农业工程第三阶段是乡村振兴发展的重要支撑。中国小农户农村特点突出,农民、农村会长期存在,中

国乡村振兴、“三农”发展的重大社会需求,遵从世界农业工程发展规律,同时注重农业和农村发展的农业工程,即第三阶段农业工程,是乡村振兴战略的重要支撑。科研面向世界前沿,同时推进生物系统工程即第四阶段发展,符合农业工程发展的一般规律及乡村振兴的重大需求。

基于服务对象视觉,当前,农业工程战略重点主要有:为重要农产品生产服务的农业工程战略重点,为农村建设服务的农业工程战略重点,农业工程学科在区域乡村振兴中的系统化应用(系统农业工程)战略重点和智能化、信息化、生物化、生态化农业工程战略重点。

[参 考 文 献]

- [1] 陶鼎来. 中国农业工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- [2] 魏秀菊, 朱明, 廖艳. 乡村振兴背景下农业工程学科的生态农业工程创新拓展[J]. 农业工程, 2022, 12(8): 5-14.
WEI Xiuju, ZHU Ming, LIAO Yan. Innovation and expansion towards ecological agricultural engineering in agricultural engineering discipline under background of rural revitalization[J]. Agricultural Engineering, 2022, 12(8): 5-14. (in Chinese with English abstract)
- [3] 齐飞, 朱明, 周新群, 等. 农业工程与中国农业现代化相互关系分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 1-10.
QI Fei, ZHU Ming, ZHOU Xinqun, et al. Relationship analysis between agricultural engineering and agricultural modernization in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(1): 1-10. (in Chinese with English abstract)
- [4] SCOTT N R. Engineering for the world's agricultural, food and environmental needs for the next century[C]//Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering Education and Rural Development. Beijing: China Agriculture Press, 1992: 1-7.
- [5] 师丽娟, 杨敏丽. 基于科学计量的中国农业工程研究热点探析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(增刊2): 430-438.
SHI Lijuan, YANG Minli. An analysis on research hotspots in agricultural engineering in China based on scientometrics[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(Supp.2): 430-438. (in Chinese with English abstract)
- [6] 师丽娟. 中外农业工程学科发展比较研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
SHI Lijuan. Comparative Study of Agricultural Engineering Discipline in China and Some Developed Countries[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [7] 中国科学技术协会, 中国农业工程学会. 农业工程学科发展报告(2014—2015)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.
- [8] 康绍忠. 农业工程未来发展方向[R]. 2022年农业农村部规划设计研究院科技创新和人才团队建设培训班. 北京, 2022.
- [9] 罗锡文, 廖娟, 邹湘军, 等. 信息技术提升农业机械化水平[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 1-14.

- LUO Xiwen, LIAO Juan, ZOU Xiangjun, et al. Enhancing agricultural mechanization level through information technology[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(20): 1-14. (in Chinese with English abstract)
- [10] 应义斌, 赵文波, 何勇, 等. 建立生物系统工程学科的探索[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(3): 23-26.
- YING Yibin, ZHAO Wenbo, HE Yong, et al. Establishment of biosystems engineering program[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2003, 19(3): 23-26. (in Chinese with English abstract)
- [11] 魏秀菊, 廖艳, 朱明. 乡村振兴背景下农业工程的生态化发展——生态农业工程[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2022, 30(12): 2023-2035.
- WEI Xiujun, LIAO Yan, ZHU Ming. Ecological development of agricultural engineering with the background of rural revitalization: Ecological agricultural engineering[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(12): 2023-2035. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李莉, 王应宽, 傅泽田, 等. 世界农业工程学科研究进展及发展趋势[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(3): 1-15.
- LI Li, WANG Yingkuan, FU Zetian, et al. Progress and trend of world agricultural engineering discipline[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(3): 1-15. (in Chinese with English abstract)
- [13] 傅泽田, 张海瑜, 张鹏, 等. 乡村振兴与农业工程学科创新[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(10): 299-306.
- FU Zetian, ZHANG Haiyu, ZHANG Peng, et al. Rural revitalization strategy and disciplinary innovation of agricultural engineering[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(10): 299-306. (in Chinese with English abstract)
- [14] 陶鼎来, 余友泰, 张季高, 等. 中国农业百科全书 农业工程卷[M]. 北京: 农业出版社, 1994.
- [15] STEWART R E. Seven Decades That Changed America: A History of the American Society of Agricultural Engineers, 1907-1977[M]. St. Joseph: The Society, 1979.
- [16] 戴小枫, 张德权, 武桐, 等. 中国食品工业发展回顾与展望[J]. *农学学报*, 2018, 8(1): 125-134.
- DAI Xiaofeng, ZHANG Dequan, WU Tong, et al. Historical review and future prospect of China's food industry development[J]. *Journal of Agriculture*, 2018, 8(1): 125-134. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李道亮. 农业 4.0——即将到来的智能农业时代[J]. *农业工程技术*, 2017, 37(30): 42-49.
- [18] 温铁军, 唐正花, 刘亚慧. 从农业 1.0 到农业 4.0: 生态转型与农业可持续[M]. 上海: 东方出版社, 2021.
- [19] 王亚娜, 金玉成, 戴韵卿, 等. 农业 4.0 背景下基于学科形态的农业工程学科建设研究[J]. *中国农机化学报*, 2024, 45(3): 331-336.
- WANG Yana, JIN Yucheng, DAI Yunqing, et al. Research on discipline construction of agricultural engineering based on discipline patterns under the background of agriculture 4.0[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2024, 45(3): 331-336. (in Chinese with English abstract)
- [20] ASABE. Engineering for sustainable tomorrow[EB/OL]. [2023-10-26] <https://www.asabe.org/committees>.
- [21] PANTAZI X E, MOSHOU D, BOCHTIS D. Intelligent Data Mining and Fusion Systems in Agriculture[M]. New York: Academic Press, 2020.
- [22] 文习成, 汪小岳, 董维春. 1944 年农业工程留学生计划的实施与成效[J]. *中国农史*, 2024, 43(3): 38-47.
- WEN Xicheng, WANG Xiaochan, DONG Weichun. Implementation and effectiveness of the 1944 agricultural engineering student program[J]. *Agricultural History of China*, 2024, 43(3): 38-47. (in Chinese with English abstract)
- [23] 从美国、日本农业的发展看我国农业的未来[J]. *农业工程技术*, 2019, 39(21): 53-56.
- [24] 逢锦彩. 日、美、法现代农业比较研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- PANG Jincai. A Comparative Study of Modern Agriculture in France, Japan, and the United States[D]. Changchun: Jilin University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [25] 李延云, 刘春和, 聂宇燕, 等. 日本的农产品加工业[J]. *世界农业*, 2005(9): 35-38.
- [26] 李文婷, 刘辉. 小农户与现代农业有机衔接: 日本的实践经验与启示[J]. *安徽农业科学*, 2022, 50(17): 241-244.
- LI Wenting, LIU Hui. Organic linking of small-scale farmers with modern agriculture: The practical experience and enlightenment of Japan[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2022, 50(17): 241-244. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李华, 孙文策, 张正岩. 日本、韩国和欧盟农村发展政策: 经验借鉴与启示[J]. *改革与战略*, 2021, 37(8): 88-97.
- [28] 金英姬. 韩国的新村运动[J]. *当代亚太*, 2006(6): 13-22.
- [29] 水利部、农业农村部召开全国农田灌溉发展规划编制工作动员部署会[EB/OL]. (2022-10-21) [2022-10-28] http://www.mwr.gov.cn/xw/mtzs/qtmt/202210/t20221021_1601341.html.
- [30] 叶申. 春秋战国时期秦国农具研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2017.
- YE Shen. A Study on the Qin State Tools the Spring and Autumn, Warring States Period[D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [31] HOLDEN N M, WOLFE M L, OGEJO J A, et al. Introduction to biosystems engineering[EB/OL]. [2023-10-26] <https://doi.org/10.21061/IntroBiosystemsEngineering.2020>.
- [32] ERABEE-TN. Proceedings of the 1st Erabee workshop on "definition of the emerging biosystems engineering discipline in Europe" [R]. 2008.
- [33] KUSHWAHA R L. Agricultural engineering in changing times[C] // Proceedings of the International Agricultural

- Engineering Conference, Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007: 3-6.
- [34] ASABE. ASABE-100 Years of Innovation[EB/OL]. [2023-10-26] <https://hdl.handle.net>.
- [35] 杜鹰. 中国的粮食安全战略(上)[J]. 农村工作通讯, 2020(21): 35-38.

Evolutionary laws of agricultural engineering in the world based on the expansion of service objects and its enlightenment

WEI Xiuju , LIAO Yan , MA Ming

(Strategic Research Office, Academy of Agricultural Planning and Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China)

Abstract: Agricultural engineering is a foundation of agriculture and guarantee for realizing agricultural modernization, which generally refers to agricultural engineering technology, agricultural engineering discipline and agricultural engineering construction. With the expansion of agricultural engineering service objects as the main line, this paper analyzes the development process and characteristics of agricultural engineering in typical countries and regions such as the United States, Europe and East Asia, and extracts and summarizes the general rule of the development of agricultural engineering in the world; combined with the development stages of agriculture and rural areas in China, deduces the stage of agricultural engineering development in China according to this law; and combined with China's actual condition and the connotation and demand of rural revitalization, further analyzes the stage of agricultural engineering supporting the rural revitalization strategy. The results show that according to the expansion of service objects, the world's agricultural engineering has experienced the evolution of four stages: Agricultural engineering technology stage serving simple agricultural production; occurring and development stage of agricultural engineering discipline mainly serving agricultural production; the stage paying equal attention to agricultural production and rural construction; biological system engineering stage with the service object expanded to biological system; the development of agricultural engineering in the world is characterized by focusing on production in the early stage and paying equal attention to production and life in the later stage. Its development is greatly affected by the development of other science and technology, and the driving force of change comes from social needs. Combined with the stage and characteristics of China's agricultural and rural development, as well as the common development strategy of agriculture, rural areas, and farmers, the inspiration for China from the development laws of world agricultural engineering is that currently China should vigorously develop the agricultural engineering that focuses on both agriculture and rural areas development, which is in the third stage of agricultural engineering development; and China should also promote the development of biological system engineering, that is to promote agricultural engineering towards the fourth stage. This study explores and summarizes the development laws of agricultural engineering in the world based on service object expansion, which can provide reference for a comprehensive understanding of the direction and trend of agricultural engineering development in China in the rural revitalization strategy.

Keywords: agricultural engineering in the world; expansion of service object; development stage; rural revitalization strategy in China; enlightenment