

分类号：
学号：20222112013

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



基于 BIM 技术下不同设施园艺类型生命周期建 造成本及生产效益分析与评价

学位申请人 王惠

指导教师 崔辉梅 教授

郭文忠 研究员

申请学位类别 农业硕士

专业名称 农艺与种业

研究领域 园艺

所在学院 农学院

中国·新疆·石河子

2024 年 12 月

分类号：
学 号：20222112013

密 级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕 士 学 位 论 文



基于 BIM 技术下不同设施园艺类型生命周期建 造成本及生产效益分析与评价

学 位 申 请 人	王惠
指 导 教 师	崔辉梅 教授
	郭文忠 研究员
申 请 学 位 类 别	农业硕士
专 业 名 称	农艺与种业
研 究 领 域	园艺
所 在 学 院	农学院

中国·新疆·石河子
2024 年 12 月

**Analysis and Evaluation of Life Cycle Construction Costs and
Production Benefits of Different Horticultural Facilities Based on
BIM Technology**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Agriculture Extension

By

Wang Hui

Agriculture and seed industry

Dissertation Supervisor: Prof. Cui Hui-mei


Researcher: Guo Wen-zhong

December, 2024

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明


本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：


时间： 2025 年 2 月 23 日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：

时间： 2025 年 2 月 23 日

导师签名：

时间： 2025 年 2 月 23 日

摘要

我国设施园艺面积世界第一，但现代化温室的成本及效益常常模糊不清。为进一步解决不同设施园艺类型生命周期成本效益问题，本文通过 BIM 技术建模，利用算法计算出塑料大棚、日光温室和 Venlo 连栋玻璃温室的造价预算。相较于传统的走访调查方式，其能够排除人为主观干扰因素，科学预测各项园艺设施建造施工全过程，合理算出耗材及各项支出费用，实现对设施园艺中 BIM 技术建模应用的相关量化评价。同时结合北京平谷区峪口镇农户问卷调查，综合得到各设施类型年经济效益，进而分析出不同设施园艺类型全生命周期经济状况。

本研究对北京京瓦中心塑料大棚、日光温室、Venlo 连栋玻璃温室进行 BIM 技术建模，输出建造成本预算，BIM 模型构建 10×70 m 规格的塑料大棚，总用钢量为 220.282 kg，均平米造价为 47.1 元。构建 60×8 m 规格的日光温室，总用钢量为 271.561 kg，均平米造价为 295.5 元。构建 80×46 m 规格的 Venlo 连栋玻璃温室，总用钢量为 21,344 kg，均平米造价为 1980 元。采用模糊综合评价法确定各评价指标权重，结合层次分析法建立基于 BIM 技术对施工成本控制的效果评价模型。评价结果表明，基于 BIM 对园艺设施建造成本控制的综合评价值为 94.77，其评价等级为好，BIM 技术在工程项目施工成本控制中发挥了显著作用。

根据调研数据显示，塑料大棚每平米生产成本约 23.86 元。日光温室每平米生产成本约为 66.36 元。Venlo 连栋玻璃温室每平米生产成本约为 287.50 元。日光温室和塑料大棚的产投比分别为 1.36 和 1.44，连栋玻璃温室生产过程中加降温成本过高和固定成本投入较大，产投比目前仅仅为 1，很难实现高投入高产出高收益。在不考虑不同设施园艺类型全生命周期里物价波动因素影响的情况下，假定各设施类型全生命周期正常生产，从总利润上看，塑料大棚全生命周期总利润为 113,640 元/667 m²，日光温室全生命周期总利润为每亩 329,280 元/667 m²，Venlo 连栋玻璃温室全生命周期总利润仅为 39,980 元/667 m²。日光温室全生命周期效益为 132,181.5 元/667 m²，其次是塑料大棚，为 82,224.3 元/667 m²。

综上所述，塑料大棚造价最低，Venlo 连栋玻璃温室造价最高，塑料大棚和日光温室全生命周期下均能实现良好的经济收益，塑料大棚和日光温室仍是我国目前较实用且能够获得良好经济收益的园艺设施类型。而 Venlo 连栋玻璃温室由于初期建造生产成本过高，后期日常生产耗费太大，管理等人工费用也较高，目前尚不能实现全生命周期盈利，很难做到全国大范围性推广。未来，随着技术的突破和能源问题的解决，Venlo 连栋玻璃温室真正作为主流设施园艺的生产才会到来。

关键词：设施园艺；生命周期；成本分析；经济效益

Abstract

China boasts the world's largest area of protected horticulture, yet the cost-benefit analysis of modern greenhouses often remains ambiguous. To further elucidate the life-cycle cost-effectiveness of various protected horticulture types, this thesis employs BIM technology modeling and algorithms to precisely estimate the cost budgets for plastic greenhouses, solar greenhouses, and Venlo-style multi-span glass greenhouses. Compared to traditional survey methods involving visits, this approach eliminates subjective interference factors, scientifically predicts the entire construction process of diverse horticultural facilities, reasonably calculates consumables and various expenses, and enables quantitative evaluation of BIM technology's application in facility horticulture. Additionally, by combining questionnaire surveys conducted among farmers in Yukou Town, Pinggu District, Beijing, we comprehensively obtained the annual economic benefits of each facility type, subsequently analyzing the life-cycle economic status of different facility horticulture types.

Using the plastic greenhouse of Beijing Jingwa Center, solar greenhouse, and Wenluo-style multi-span glass greenhouse as references, BIM technology modeling was conducted, resulting in a construction cost budget. The BIM model was employed to construct a 10×70 m plastic greenhouse, with a total steel consumption of 220.282 kg and an average cost of 47.1 yuan per square meter. For a 60×8 m solar greenhouse, the total steel consumption is 271.561 kg, with a cost of 295.5 yuan per square meter. In the case of an 80×46 m Wenluo-style multi-span glass greenhouse, the total steel consumption amounts to 21,344 kg, with a cost of 1980 yuan per square meter. Subsequently, the fuzzy comprehensive evaluation method was employed to ascertain the weight of each evaluation index, and an effect evaluation model for construction cost control based on BIM technology was established in conjunction with the analytic hierarchy process. The evaluation results indicate that the comprehensive evaluation value for construction cost control of horticultural facilities based on BIM is 94.77, with an evaluation grade of good. BIM technology has played a significant role in the construction cost control of engineering projects.

According to the survey data, the production cost of a plastic greenhouse is approximately 23.86 yuan per square meter. The production cost per square meter for a solar greenhouse is roughly 66.36 yuan. The production cost of a Wenluo-style multi-span glass greenhouse stands at around 287.50 yuan per square meter. The output-to-investment ratios for solar greenhouses and plastic greenhouses are 1.36 and 1.44, respectively. In the production process of multi-span glass greenhouses, the costs associated with heating and cooling are excessively high, coupled with significant fixed investments. Currently, the output-to-investment ratio is merely 1, making it challenging to achieve high input, high output, and high profits. Without taking into account the impact of price fluctuations throughout the entire lifecycle of

different types of horticultural facilities, and assuming normal production for each facility type during this lifecycle, the total profit for a plastic greenhouse is 113,640 yuan per 667 square meters, while for a solar greenhouse, it amounts to 329,280 yuan per 667 square meters. In contrast, the total profit for a Wenluo-style multi-span glass greenhouse is merely 39,980 yuan per 667 square meters. The total lifecycle benefit for a solar greenhouse is 132,181.5 yuan per 667 square meters, followed by plastic greenhouses with a benefit of 82,224.3 yuan per 667 square meters.

In summary, plastic greenhouses have the lowest cost, while Wenlo-style multi-span glass greenhouses have the highest cost. Both plastic greenhouses and solar greenhouses can generate good economic benefits throughout their entire life cycles. Plastic greenhouses and solar greenhouses are still the most practical types of horticultural facilities in China, capable of yielding significant economic benefits. However, due to the high initial construction and production costs, high daily operational expenses, and high labor costs for management, Wenlo-style multi-span glass greenhouses cannot achieve full life cycle profitability at present, making it difficult to widely promote them nationwide. In the future, with technological breakthroughs and the resolution of energy issues, the production of Wenlo-style multi-span glass greenhouses will emerge as the mainstream in horticultural facilities.

Key words: Facility agriculture; Life cycle; Cost analysis ; Economic benefits

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 我国设施园艺的发展	1
1.2 不同设施园艺类型发展现状	2
1.3 不同设施园艺类型建造及生产成本现状	3
1.4 BIM 研究现状	4
1.5 BIM 应用在园艺设施建造成本上的现状	5
1.6 生命周期在农业上应用现状	5
1.7 生命周期在园艺设施领域中的现状	7
1.8 研究内容、意义和思路	7
1.8.1 研究内容	7
1.8.2 研究意义	7
1.8.3 研究思路	8
1.8.4 技术路线图	9
第 2 章 不同设施园艺类型 BIM 建模应用与成本分析	10
2.1 设施园艺中 BIM 建模的搭建	10
2.1.1 软件配置情况	10
2.1.2 BIM 建模阶段	10
2.1.3 设施园艺中的 BIM 建模成本经济分析	13
2.2 各园艺设施类型 BIM 模型参数设定	15
2.3 BIM 模型在塑料大棚建造上的应用预测	16
2.4 BIM 模型在日光温室建造上的应用预测	19
2.5 BIM 模型在 Venlo 连栋玻璃温室建造上的应用预测	22
2.6 本章小结	25
第 3 章 基于 BIM 对园艺设施建造成本的应用效果评价	26
3.1 模糊综合评价法	26
3.2 构建 BIM 技术对园艺设施建造成本控制的评价指标体系	26
3.2.1 评价指标的选取原则	26
3.2.2 评价等级量化	26
3.2.3 园艺设施建造评价指标的构建	27
3.3 专家评分法建立判断矩阵	28
3.3.1 问卷设置	28
3.3.2 专家组成	29
3.3.3 评分结果分析	29
3.4 建立判断矩阵	30
3.4.1 一级判断矩阵	30
3.4.2 二级判断矩阵	31
3.5 基于 BIM 对工程项目施工成本控制效果评价	32
3.5.1 计算一级评价指标判断矩阵的权重	32
3.5.2 计算二级评价指标判断矩阵的权重	32
3.5.3 结果分析	34

3.5.4 计算二级评价指标之间的相对权重 UK	34
3.6 基于 BIM 技术对成本控制效果的综合评价	35
3.6.1 确定每个因素集的模糊综合判断矩阵	35
3.6.2 对模糊综合评价结果具体量化分析	37
3.6.3 进一步验证 BIM 应用效益分析	38
3.7 本章小结	39
第 4 章 全生命周期下不同设施园艺效益评价	40
4.1 调研基本情况	40
4.2 调查数据处理方法	40
4.3 调查区不同类型设施园艺生产特点	42
4.3.1 调查区塑料大棚的生产特点	42
4.3.2 调查区日光温室的生产特点	43
4.3.3 调查区 Venlo 连栋玻璃温室的生产特点	43
4.4 不同设施园艺类型年可生产时间	43
4.5 不同设施园艺类型年生产成本	44
4.6 不同设施园艺类型年生产收益和产投比	45
第 5 章 结论与展望	51
5.1 主要结论	51
5.2 展望	52
参考文献	53
附录 A	59
附录 B	61
附录 C	63
致谢	65

第 1 章 绪论

自改革开放以来,我国各行各业发展迅速,人民生活质量得到了显著性提高^[1-3]。科学技术的不断进步和绿色高效的提出,设施园艺应时而生,用以满足人们更高生活质量的需要。人们对蔬菜水果的日常需求也越来越旺盛,进一步推进了我国设施园艺的快速发展。发展围绕具有中国本地特色区域特点的现代化设施园艺产业一直是近些年来关注的焦点^[4]。

习近平总书记在党的二十大报告中明确指出推进农业农村现代化尤其是农业现代化的角度提出“加快建设农业强国”,树立大食物观。现阶段加快设施园艺强国建设需突破高物质投入依赖型农业增长方式转变不充分、农业科技创新支撑农业稳定增长能力尚不强、农产品供给数量和质量与需求欠匹配、设施园艺生产主体承担市场风险的能力还较弱、生产成本高位运行且呈现继续上涨的趋势等核心问题^[5-7]。

1.1 研究背景

1.1.1 我国设施园艺的发展

改革开放以后,国家明确提出确保“菜篮子”的周年保供政策,由量变转由向质变变换^[8]。随着生活水平的提高和质量提升,膳食结构逐渐变化,中国当代设施园艺由粗放型种植管理、传统式落伍饲养的“工作密集型”产业向低成本、高品质、高产出的“资产密集型、技术性密集型、优秀人才专业知识密集型、规模化产业化发展”的行业变化^[9-10]。直至 80 年代末期,日光温室大棚、智能温室大棚先后出现,中国开始尝试借鉴国外先进的温室大棚结构与技术性,可是生搬硬套“荷兰方式”最终显而易见并没能成功,它是高污染产业链;90 时代开始,中国设施园艺快速发展,通过短短 20 年发展早已快速完善^[11-14]。环保型且适宜中国国情的设备大规模普及化,比如以瓦房店琴弦式、鞍山 II 型、辽沈型 I 型为突出所代表的,完成了建造面积材料结构特性里的重要飞越。日光温室及大棚与高污染的智能温室大棚对比大概可以节省煤碳 50 t/667m²,与此同时还减少了在加热全过程导致的碳排放量难题,进一步减少自然环境性环境污染;2011 年到今天,在我国基本矛盾从“物质文明必须”向“美好生活向往”的改变,党中央开始顺应时代发展在经济上的新常态,独特给出了推进乡村振兴,农业农村发展优先选择发展^[15]。现代农业经营体系主要特点是产业化、社会性、专业化,中国设施园艺也将进一步迈进一个新的发展运动轨迹^[16-17]。

现阶段,我国设施园艺种植规模尽管较大,辐射源范围广泛,可是农民“孤军奋战”的情况依然明显,技术效率和盈利空间依然比较小,行业产业链并欠缺密切联系,技术性

和管理水平仍有差距。总体来说,将来设施蔬菜总体目标多元化,应当走“低消耗、增产、高效率”专业化发展路面^[18-19]。

1.2 不同设施园艺类型发展现状

塑料大棚是设施栽培研究热门之一,其一直凭着价格低廉、非常容易构建、经济效益比较好获得了种植户的生产运用及运营^[20]。塑料大棚有一定的提温以及保温效果,为作物的生长发育带来了适合的微气候生态环境保护,与此同时又因为修建成本低,设施栽培生长发育周期时间短,高质量蔬菜水果和反季果蔬回收成本较高,给户民增添了丰厚的经济收入,因而塑料大棚得到了农户的热捧^[21]。竹木结构塑料大棚是以前比较常见的温室大棚结构,在结构骨架上遮盖塑料膜,然后进行压膜绳和遮阳网等装置设定;与竹木结构连栋塑料大棚对比,其结构可靠性明显提高,防灾减灾抗震救灾性能提高,室内空间整齐美观化,并且通过室内空间增加且去除了立杆后,中小型的农用机械能够进入到塑料大棚内进行工业化生产工作。钢架连栋塑料大棚大棚的土地利用率有很大提升,透光性能高,保温保湿除害效果较好^[22]。单拱单膜保温温室大棚其单拱的最大跨度可以达到 20 m,最大的高度可提高到 6 m,并且在塑料膜外覆盖有保温被^[23]。此外,还发现双膜种植土壤平均气温略高于单膜,两层保温膜温室大棚未有极端化的低温和高温的情况发生,保温性能相比单面的确拥有明显的提升和提高^[25]。

日光温室是我国根据气候、地域情况研发的一种适应我国北方地区生产种植的设施园艺农业类型,一直承担着减轻我国华北地区冬天新鲜蔬菜供应保障民生的重大使命^[26-27]。日光温室经过近百年的研发改进以及完善,日光温室内部结构特征和所采用的原材料(如建筑材料、遮盖类型、采光特点等)是决定温室性能与其生产产量的关键因素^[28]。直到上世纪 70 时代末,农用塑料薄膜应用到日光温室里,是促使日光温室发展演化过程中拥有关键时间节点^[29]。日光温室构造总体上持续改善,采光面以圆弧为主导,温室跨距一步步增大,后建筑物的投射进一步减少,光照透光性水平有非常大的提升^[30];与此同时日光温室框架用料的钢结构型提高了温室的坚固性,降低了温室内部结构支撑点立柱的总数,甚至直接优化了日光温室内部光热自然环境^[31];温室蓄热层面,全面综合多样化结构特征、蓄热保温材料的配套应用后,进一步提升了日光温室的蓄热性能能力,如厚泥混砖墙、空心砖混草甸结构墙面温室等^[32]。此外,新一代智能型日光温室的设计建造进一步由东北向西北延伸,最北边可以建造到北纬度 48°的局部地区^[33-34]。日光温室基本是集中于我国北部地区,例如黑龙江、宁夏、北京、山东、新疆、四川、内蒙古、陕西等地区。并且,日光温室在 2000 年以来持续快速更迭换代,已经是朝着大中型规模化、标准专业化、绿色节能及智能科学等发展趋势迈进^[35-36]。

Venlo 连栋玻璃温室最早建造于欧美国家，因欧美的 Venlo 连栋玻璃温室结构与生产种植技术发展的较早，相对于我国更加全方位，尤其是荷兰的技术发展更加完备^[37]。现阶段，我国在这块的技术研发重心主要是放在改造温室主体结构上（墙体为多），以提高温室自身的保温储热效果，进而减少温室外来能源消耗；组装最适合的温室设备和专业化改进内部构造或提高温室本身隔热保温水平，具有减少能源消耗的效果；目前主要是通过构建温室能源消耗模型及有关经济发展生产效率分析模型，根据温室智能化系统精确控制，达成最好加温效果，并提高能源利用率^[38-39]。伴随着我国科学技术的一步步提升以及新式材料的不断研发，Venlo 连栋玻璃温室从建造到生产将越来越科学智能建造、节能高效生产。温室节能技术性以及新能源的发现和运用，将来的 Venlo 连栋玻璃温室会朝着信息化、大数据化、环境可控强“三提升”方位接近。现如今环节，由于气候层面缘故以及全球能源问题产生的影响，温室能耗在温室产品成本里的耗费占比持续上升，是阻碍了经济收益提升的重要原因^[40-41]。因而，如何降低 Venlo 连栋玻璃温室的能耗，必将成为发展趋势 Venlo 连栋玻璃温室难以避免且急缺攻克的难题。

1.3 不同设施园艺类型建造及生产成本现状

荷兰温室技术居世界领先水平，以荷兰很常见的纹洛型连栋玻璃温室为例，建造成本在 1500 元/m²左右，合理使用年限为 25 年及以上^[42]；设备维护管理成本每年大约在 120 元/m²，包含主体框架检修、水肥一体化机器设备、冷藏急冷机器设备、CO₂ 补充系统软件、供暖及减温设备运行状态与维护；生产要素成本 30 元/平米/年，包含水电费、补光费（不包含柔光灯），种籽、植保、有机肥、农资产品耗材等固定成本^[43-45]。除此之外，荷兰天然气价格很便宜，温室的能耗绝大部分是天然气转换的热量，同时也为温室日常经营节约一大部分升温或减温开销；加拿大的温室种类分为两种，一种是夹层玻璃温室，另一种是塑料薄膜温室^[46]。塑料薄膜温室从上世纪 90 年代末之后得到快速发展，根本原因是夹层玻璃温室建造成本运行成本都非常高，因此从上世纪 90 年代末之后，他们的设施发展趋势转为两层充气膜温室^[47-48]。加拿大在温室蔬菜水果种植过程中使用了一些尖端技术，通常采用无土栽培，高架种植比例愈来愈高，人为柔光灯、熊蜂授粉、二氧化碳施肥、害虫防治、嫁接法种植等新技术都能得到广泛运用；西班牙的温室发展较好，而且单体面积都非常大^[49-50]。可是，温室的建造方法事实上大部分还是很简单的，许多温室也是通过钢管和不锈钢丝做支撑框架，随后遮盖塑料薄膜，西班牙建造的那类温室每平米建造成本还不到 100 元^[51-52]。

国内近些年来温室发展也较为迅猛，为了探究设施园艺各设施类型效益问题，已有部分学者做了很多研究，主要是从以下两个方面进行：

一是从建造成本角度进行,梁顺有等根据临泽温室调查发现,建造价格上日光温室最大,为257元/m²;拱棚其次,为162元/m²;连栋拱棚为105元/m²;钢架结构拱棚最少,为35元/m²。每一年折旧费日光温室最大,为12.855元/m²;连栋拱棚其次,为8.85余元/m²;钢架结构拱棚最少,为3.525元/m²[53]。宛金等在日光温室宣传中,考虑到土建工程量、建造成本、保温效果、开发周期等因素,探寻建造出一种轻简装配式建筑适用型日光温室,其温室总造价低于市面上温室总造价,差别主要表现在基础和墙面2项。基础节省44.7%,墙面节省57.7%,总体造价节省36.0%[54]。与此同时轻简装配式建筑适用型日光温室具备土建工程量减少、造价低、基本建设周期时间短等特点。还有学者在平泉县研发所使用的“平泉1型日光温室”大大提升了蔬菜产量和品质,其宽8m×高3.8m×长80m的日光温室造价仅9万多,依据粗算该标准日光温室土地利用效率较目前提升10%,该型日光温室生产制造过冬茬蔬菜产量显著增加,均值增长幅度做到25%之上[55]。

二是从生产成本的角度开展,李中明等人对北京市农业栽培产业的生产效益问题展开了深入调查分析,结论是日光温室经济效益显著要比塑料大棚高[56]。刘颖基于漯河市园艺设施的生产成本的结构上看,物质费用(包括种子等)4059元,占生产成本的47.2%;生产服务支出(包括机耕、灌溉等)733元,占生产成本的8.5%,人工成本(雇工)3808元,占生产成本的44.3%[57]。李萍萍和李冬生总结出了单栋塑料大棚的产投比为1.223,在以上三种温室类型之中是较高的,而夹层自动控制连栋玻璃温室的产投比是最低的,在这个调查基础上建立了本(成本费)量(生产量或交易量)利(盈利)的经济分析模型[58]。林碌等人对山西省设施蔬菜生产成本进行了相关经济性探讨,肥料费、日常人工维护管理费用和种苗费是占比较高3类,其总额已占到了设施生产总费用80%以上,而人工维护管理费用的绝大多数来自家中雇人成本,在日光温室和塑料大棚蔬菜生产中分别占了95.18%和88.44%的比重[59]。项朝阳等人进一步阐述了我国蔬菜价格调整和影响农户收益更深层次原因,并提出需要建设以公益型中央集中批发市场为主体的各种开放市场相结合的“五多五少”的定期长期精准调控机制[60]。

1.4 BIM 研究现状

BIM (Building Information Modeling) 是“BIM之父”Chuck Eastman 教授于1975年提出的,当时被称为“Building Description System”(建筑系统描述)。到了2002年,欧特克(Autodesk)集团第一次把BIM技术引入商业,进行商业化推广,至2015年后,美国一些建筑企业中应用BIM技术的企业达到了80%,北美大部分地区的建筑项目都开始使BIM,超过30%的建筑设计师运用BIM开展设计建模工作[61]。一些发达国家在BIM技术的发展和应用方面领先全球。美国、英国、澳大利亚等国家制定了一系列BIM标准和指南,如美国的NBIMS-US、英国的PAS 1192等,促进了BIM技术在建筑行业的标准化和规范

化。这些国家的建筑行业对 BIM 技术的应用也更加广泛和深入，从设计到施工再到运营阶段都有着较高的应用水平^[62]。同时，国际上 BIM 软件公司如 Autodesk、Bentley Systems 等不断推出新的技术和解决方案，推动了全球 BIM 技术的创新和发展。

2005 年前后，国内工程建筑行业开始接触 BIM 技术^[63]，并自发关注国外的 BIM 软件，规模较大的设计机构开始组织成员学习 BIM 技术，并购买了配套的软硬件设施，直到 2011 年，住建部颁布《2011-2016 年全国建筑行业发展纲要》，首次将“推进建筑数字信息模型 (BIM)、通过网络协同办公等新技术在施工中的应用”列入到了建筑业未来发展总体方向上，BIM 技术正式列入官方文件。如今，中国政府出台了一系列支持 BIM 技术发展的政策，包括《建筑信息模型技术规范》等标准文件，以及鼓励 BIM 技术在政府项目中的应用。各地政府也积极推进 BIM 技术在地方建设项目中的普及。国内 BIM 软件厂商也在不断推出适用于不同领域和规模项目的解决方案，如中建软件、方维科技等。此外，国内一些高校和培训机构也开设了 BIM 相关的专业和课程，加强了对 BIM 人才的培养。

1.5 BIM 应用在园艺设施建造成本上的现状

目前已有关于 BIM 在其他行业的研究成果为本文提供相关研究基础^[64-65]，但在设施园艺建造成本和生产相结合的研究较少，仍存在较大拓展空间。BIM 运用到园艺设施建模主要是通过搭建出三维的立体模型，构造要素的复杂性，都能通过可视化的形式直观呈现到设计和建造施工人员手中，方便其查看建造实况，进而调整和优化模型。在应用 BIM 技术后，各方人员可以更快更容易地交互协调工作，实现快速有效沟通。一方面，各方可以在施工过程中对建造进度进行监管和评估，遇到问题及时处理。另一方面可以了解这些信息有效地掌握施工人员的进度完成率，合理弹性安排施工人员，确保园艺设施施工进度和安全质量。由此，BIM 运用到园艺设施上是以协作方式提高施工效率，以最大限度减少人力资源浪费，进一步提高园艺设施施工建造的工程效率。

此外，通过 BIM 技术建模能提供工程项目包括物理信息、结构信息等实际信息。因此，BIM 技术是园艺设施建造过程的一个实用工具。在建造阶段，BIM 能够使前期设计到后期投资收益进行分析预测，实时推测出未来可能产生的各类影响，这样生产种植者可依据 BIM 提供的结果优化当下的方案，达到工期和成本的双向改进。利用 BIM 技术，我们不但能得到常规的平面和各类结构详图，还能对设计图纸加以深化，使施工表达更加详尽和科学。通过将各部分图纸建模同时加以整合，BIM 技术是可以实现各结构之间的碰撞模拟检测，并且输出改进后的优化管线图、碰撞模拟报告和明细修改方案等，真正做到了园艺施工项目从设计到建造完成的准确性和可持续性。

1.6 生命周期在农业上应用现状

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)^[66],最先于上世纪 60 时代末运用在美国资源与环境情况剖析(REPA),直到 21 世纪 80 年代之后才开始迅速发展起来,“国际性环境毒理与化学所(SETAC)”在 1990 年第一次提出其定义,主要用于产品“自摇篮到坟墓”的全流程所有关的环境难题进行全方位评价。随着各国对农业粮食作物越来越重视,加之相关研究体系较少,农业系统的软件直面资源与环境这双重巨大压力下的可持续高效发展难题,农业全生命周期系统理论研究随即提出。农业全生命周期理论研究过程中的标志性事件为 1993 年 Weidema 机构第一届农业生命周期点评(life cycle assessment)的学术会议,就此全生命周期才开始广泛使用于各个农业系统软件中,并形成了农业上相对应评价的各项指标体系^[67-68]。

在全球范围内,80 年代初期,日本农业企业以及高校逐步开始了对可持续性农业全生命周期系统的软件研发,研究的成果已经是那时候全世界研究机构的领先水平^[69]。荷兰、德国、英国等北欧国家同样在 21 世纪初期对农业全生命周期开展了了大量的理论研究,如农业基础建设、农作物栽培、食材运输消费等^[70-73]。Mohammadi 等与 Nabavipelesaraei 等根据全生命周期理论分别于 dea 模型(DEA)、人工智能科学应用(AI)综合研究了沙特阿拉伯春夏两季水稻种植田的不同技术效率所产生的环境影响^[74]。Jimmy 等利用全生命周期方法研究了孟加拉国水稻等作物种植的对环境的影响^[75];Taki 等巧妙将全生命周期方式在沙特地区人为浇灌、自然雨养两种不同灌溉方式种小麦全面的环境绩效研究中^[76];农业方面,Majid 等针对伊朗作物燃烧(豆类、葵花、油菜)对自然环境的影响、用相关水量指标以及土地资源利用率情况进行全生命周期评价,结果表明这三类作物对自然环境的影响主要是有机肥污染、柴油使用、农业管理和灌溉用电量^[77];Kumar 采用全生命周期评估法,前后分析了美国加州地区 12 种农作物在有机化肥与传统手段种植中的残料及气体的排放^[78];Ulrich 从长时期影响发展考虑,持续跟踪了德国和瑞士 6 年间农业轮作等持续性栽种系统对自然环境形成的影响^[79]。

在我国,关于农业全生命周期的研究直到 2007 年才开始日渐增多。农业层面,全生命周期早已被应用在我国农林牧渔业以及现代农业生产体系环境评价系统及管理当中。曹黎明等人对上海市郊区水稻种植的碳足迹进行了全生命周期研究,研究发现水稻田从耕作到收成中温室气体的产生及排放是稻谷等粮食作物最主要的排放源,有机化肥使用是全生命周期种植期间第二大污染排放源,因此可多采用降低水稻田甲烷气体排放的技术,提升农粪等无机肥利用率,尽量降低作物在种植期间的碳排放量,减少田间污染^[80]。王舒结合全生命周期方法与 DEA 法对东北地区 37 个市 2005-2013 年稻谷等大田农作物种植环境负荷情况与种植管理展开了系统性计算,研究表明了农户在农作物种植中普遍存在有机化肥使用过量、使用不均衡、乱用农药、管理不科学等问题,对大田环境造成了相当大的不利影响^[81]。

1.7 生命周期在园艺设施领域中的现状

目前,生命周期应用到园艺设施领域的研究相对较少,这正是本文研究的一个立足点和创新点。以全生命周期实践过程为主线针对塑料大棚、日光温室以及 Venlo 连栋玻璃温室从设计到建造再到生产的每一个阶段成本和效益问题,有了全面系统的追踪和调查,在一定程度上明晰各个阶段所产生的成本费用和效益,这是全生命周期在不同园艺设施类型上的具体应用优势。此外,生命周期理论也能够让我们深入了解各园艺设施类型的现阶段发展水平,帮助生产者在未来种植过程中提前规划和及时调整,更好地掌握园艺设施主体自身状况及种植过程,实现横向延伸。全生命周期能在设施园艺领域中起到很好的衔接作用,它将施工建造和后续生产中的每一个层次都与相关人员关联起来,同时也能兼顾到了不同阶段之间的存续状态,为多方人员整体把控园艺设施生产的全过程搭起桥梁作用,进而给生产者后续决策提供强有力的参考保证。

1.8 研究内容、意义和思路

1.8.1 研究内容

本文主要针对“不同设施园艺类型生命周期——BIM 技术——建造生产成本及效益(成本与产出)”三者之间的关系进行研究,将不同设施园艺类型生命周期按照评价标准进行划分。将“施工——运营”划分为建造投入期和生产效益期,根据对各阶段内容的指标要求,分析各阶段的成本效益问题。本文深入研究了各设施园艺类型、全生命周期与 BIM 之间的关系,从物料、人工、销售、报废上定量分析,系统性的将各设施园艺类型全生命周期分为建造、生产、管理、效益等四大区块进行精准的点对点研究,进一步全面了解各园艺设施生命周期经济效益问题。

1.8.2 研究意义

对不同设施园艺类型基于全生命周期与 BIM 技术下的角度进行研究,运用相关的 BIM 技术建模分析其建造成本、生产运营、经济效益等问题,突破了传统从单一生产的角度去研究不同设施类型的经济效益问题,使不同设施园艺类型全过程生命周期经济效应的研究能从一个新的角度获得解决方法。对实践方面的价值,不同设施园艺类型全过程生命周期经济效应的研究有助于为投身于设施园艺的生产者提供一个比较系统全面的理论参考,对其在投资建造、生产、运营有一定的启示作用。厘清不同设施类型经济问题既可促进农业转型升级和增加农民收入,也可带动关联产业发展,推进可持续设施园艺产业发展,对大力发展现代设施园艺也有一定助益。