

“双碳”背景下建筑工程绿色施工水平提升策略研究

赵晓光 史晓光 王丽芸 刘芳 李敬苗

河北环境工程学院 河北秦皇岛 066102

摘要:我国目前正处于建筑行业的变革时代,绿色施工水平的提升是实现双碳目标的重要举措。通过调研绿色施工技术在应用过程中的各类制约因素,并应用解释结构模型和决策试验和评价试验法分析了各制约因素的内在逻辑关系,得到制约因素中的根本影响因素及其影响程度,并针对各影响因素进行深入分析,最终总结出绿色施工水平提升的有效策略。

关键词:绿色施工;提升策略;制约因素;解释结构模型;决策试验和评价试验法

1. 绿色施工技术应用背景

中国建筑业的成长之路波澜壮阔,经历了起步、成熟到繁荣发展的历程,随着我国城市化进程的推进和基础设施的建设,我国的建筑行业取得了重大成就。但是随着建筑业的发展壮大也带来了能源高消耗、环境污染严重以及碳排放量大等问题。近年来随着人们对环境保护、能源节约以及碳排放等问题的关注度逐渐升高,建筑业的节能减排工作也越来越受到人们的重视,自从2020年国家主席习近平提出双碳目标以来,众多建设项目以及采取了各类措施来降低能源消耗以及降低对环境的影响,但是由于传统施工技术存在弊端以及缺少专业的绿色施工技术人员等问题,绿色施工在工程建设中虽然起到了一定的作用,但是收效甚微。因此,为了尽早实现双碳目标,建筑业的绿色化改革是势在必行的。

绿色施工技术是我国建筑业目前大力推行的一种施工方式,相比于传统的建筑施工方式,在环境保护、能源节约和减少碳排放等方面更具有优势。绿色施工涵盖了从施工前的规划设计、施工过程中的物料选择、能源使用、废弃物处理,到施工结束后的场地恢复等一系列环节。在项目的全生命周期中融入绿色低碳环保的理念,使用先进的绿色施工技术,完善的绿色项目管理模式,达到使整个建设过程能源消耗最低、对环境影响最小的目的。但是我国目前的绿色施工的水平仍然较低,绿色施工技术尚不成熟,绿色施工的评价标准仍不完善,这些问题严重制约着我国绿色施工水平的提升^[1]。为了能够更好的解决这些问题,实现我国建筑的绿色可持续发展,就需要建筑各参与方和政府部门在建筑的全生命周期过程中共同协作,不断提升我国的绿色建筑施工水平。

2. 绿色施工技术应用的制约因素

2.1 绿色施工技术应用的制约因素调查问卷

为了更好的调研绿色施工技术在工程建设过程中的制约因素,通过文献阅读和实地走访调研建筑施工人员、建筑管理人员等各类专家学者,共统计出11个主要制约因素,如表1所示。将各制约因素制作成调查问卷,向相关建筑从业人员进行发放,发放人员涵盖高校研究人员、政府部门工作人员、科研机构人员和建设相关单位从业人员,共计发放70份调查问卷,有效回收调查问卷64份,问卷真实有效。

表1 建筑工程绿色施工制约因素

序号	建筑工程绿色施工制约因素	序号	建筑工程绿色施工制约因素
1	绿色施工技术研发成本较高	7	绿色施工的管理模式落后
2	绿色施工技术应用成本较高影响企业效益	8	建筑企业实施绿色施工的积极性不高
3	绿色施工工艺水平不高、技术不成熟	9	缺少绿色施工技术评价标准
4	绿色施工技术实施难度大	10	政府监督部门监督管理不完善
5	项目管理人员对绿色施工认识深度不足	11	缺少政策激励和法律制约
6	缺少专业的绿色施工技术人员		

2.2 建立ISM(解释结构)分析模型

解释结构模型(ISM)是一种系统分析方法,用于得到各要素之间复杂的相互关系和层次,该方法的基本原理是通过确定影响系统的各因素及相互关系,利用建立关联矩阵与布尔逻辑运算,分析各因素间的关联性和层级关系并揭示系统结构^[2]。

根据专家的调查问卷,构建绿色施工制约因素的邻接矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

根据邻接矩阵 A 得到邻接相乘矩阵 (A+I)，运用布尔逻辑矩阵运算规则，根据公式 (1) 和公式 (2) 求得可达矩阵 M，根据可达矩阵 M 得到可达集合 R 与先行集合 Q，并且得到 R 与 Q 的交集。通过集合的运算，进行各要素的等级划分和层级分解，依据层级分解的结果，构建 ISM 模型的层级结构图^[3]。

$$(A+I)^{r-2} \neq (A+I)^{r-1} = (A+I)^r \quad (1)$$

$$M = (A+I)^r \quad (2)$$

根据计算，得到绿色施工制约因素的层级结构如表 2 所示。

表 2 绿色施工制约因素的层级结构

层级	要素
第 1 层	建筑企业实施绿色施工的积极性不高
第 2 层	绿色施工技术研发成本较高，绿色施工技术应用成本较高影响企业效益，绿色施工的管理模式落后，
第 3 层	绿色施工技术实施难度大，
第 4 层	项目管理人员对绿色施工认识深度不足，绿色施工工艺水平不高、技术不成熟
第 5 层	缺少专业的绿色施工技术人员，缺少绿色施工技术评价标准，政府监督部门监督管理不完善
第 6 层	缺少政策激励和法律制约

根据表 2 中的层级结构，得到各制约因素的层级结构图如图 1 所示。

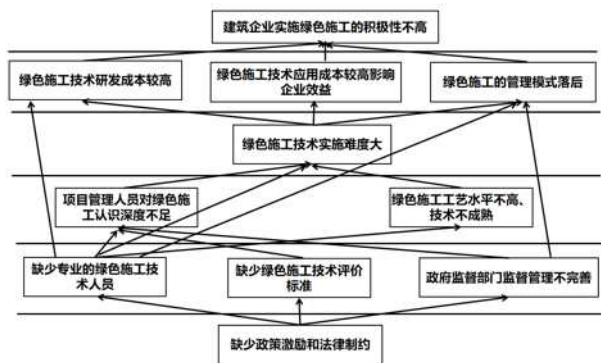


图 1 绿色施工制约因素的层级结构图

根据上述绿色施工制约因素的层级结构图可知，缺少

政策激励和法律制约是最根本的原因，这需要政府和建筑行业均应该采取具体而有效的措施大力倡导绿色施工技术的应用，从而引起建筑企业对绿色施工技术的重视，进而大力推广绿色施工技术。同时，在大力倡导绿色施工技术的同时，也应该加大执法力度，对在施工过程中造成环境破坏的行为进行惩处，提高施工企业的绿色环保意识和遵纪守法的意识，双管齐下才能提高施工过程中的绿色施工水平。此外，建筑企业应该加大力度培养或者引进专业的绿色施工技术人员，更好的实施绿色施工技术，做好绿色施工技术的研发，解决绿色施工技术在实际应用过程中的问题，同时提高项目管理人员对绿色施工技术的认识，从而达到提升绿色施工水平的效果。

2.3 建立 DEMATEL (决策试验和评价试验法) 分析模型

DEMATEL 法即决策实验法，是一种运用图论和矩阵工具的系统分析的方法。通过系统中各要素之间的逻辑关系和直接影响矩阵，可以计算出每个要素对其它要素的影响度以及被影响度，从而计算出每个要素的原因度与中心度，作为构造模型的依据，从而确定要素间的因果关系和每个要素在系统中的地位^[4]。

根据调查问卷中专家的打分，得到直接影响矩阵 A

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 2 & 3 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 3 & 2 & 2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

利用矩阵行最大值法按公式 (3) 得到规范影响矩阵 B，结合单位矩阵 I 按公式 (4) 计算得出综合影响矩阵 T，根据公式 (5) - (8) 进一步计算出绿色施工制约因素的影响度 D、被影响度 C、中心度 M 和原因度 R 等参数，如表 3 所示。

$$B = \frac{x_j}{\max(\sum_{j=1}^n x_j)} \quad (3)$$

$$T = B(I - B)^{-1} \quad (4)$$

$$D_i = \sum_{j=1}^n x_j, (i=1,2,\dots,n) \quad (5)$$

$$M_i = D_i + C_i \quad (7)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n x_j (i=1,2,\dots,n) \quad (6)$$

$$M_i = D_i - C_i \quad (8)$$

表 3 绿色施工制约因素的指标值

绿色施工制约因素	影响度 D 值	被影响度 C 值	中心度 D+C 值	原因度 D-C 值 (R)	属性
绿色施工技术研发成本较高	0.218	2.869	3.087	-2.651	结果
绿色施工技术应用成本较高影响企业效益	0.749	2.153	2.902	-1.404	结果
绿色施工工艺水平不高、技术不成熟	0.596	1.582	2.178	-0.986	结果
绿色施工技术实施难度大	1.406	1.213	2.619	0.193	原因
项目管理人员对绿色施工认识深度不足	1.020	1.294	2.314	-0.275	结果
缺少专业的绿色施工技术人员	1.773	0.906	2.680	0.867	原因
绿色施工的管理模式落后	1.251	1.042	2.293	0.209	原因
建筑企业实施绿色施工的积极性不高	1.169	0.999	2.167	0.170	原因
缺少绿色施工技术评价标准	1.643	0.624	2.268	1.019	原因
政府监督部门监督管理不完善	1.966	0.539	2.505	1.427	原因
缺少政策激励和法律制约	1.970	0.539	2.509	1.431	原因

根据上述分析结果可知,缺少政策激励和法律制约、政府监督部门监督管理不完善、缺少专业的绿色施工技术人员、缺少绿色施工技术评价标准的影响度较高,这与 ISM 解释结构模型的分析结果一致,其中缺少政策激励和法律制约的影响度最高,说明该因素对其他因素的影响作用最大,也是最应该优先解决的问题。在完善政策激励和法律制约的同时,也应该完善绿色施工的技术评价标准,为施工单位找到当前施工技术的差距,提高绿色施工技术水平指明方向。

3. 绿色施工水平提升策略

绿色施工水平的提升并不仅仅是政府部门或者建筑单位某一方就能实现的,而是需要多方共同协同、共同努力,切实采取有效措施才能实现绿色施工水平的提升。

3.1 完善绿色施工的法规与标准、建立奖惩与监督制度

当前我国在绿色施工水平提升方面的法律法规尚不完善,现有的法律法规多是引导性和鼓励性的法规^[5]。这些鼓励性与引导性的法律法规对我国推广绿色施工技术起到了一定的作用,但是尚不足以在本质上实现绿色施工水平的提升,因此需要建立完善的强制性的法律法规文件,明确绿色施工技术在工程建设中的应用。同时,政府部门应该组织建筑行业各专家完善绿色施工技术的评价标准,以适应建筑市场的需求。同时以绿色施工技术评价标准作为导向,引导建

筑施工企业对传统的高能耗低效率的施工技术进行改造升级,降低其对环境的负面影响,并在工程建设中进行不断的应用与更新,不断扩展新型绿色施工技术的应用范围。此外,政府相关部门应该加大对施工项目应用绿色施工技术的监督与管理。对使用不符合“四节一环保”要求的施工项目,应该坚决予以惩处、责令其停工整改,才能从根本上改变目前建筑企业过分追逐企业效益,而忽略绿色环保理念的现状。

为了更好的推广绿色施工技术,建筑行业应该形成合力,大力鼓励建筑施工企业在建设项目中应用绿色施工技术,例如在进行“詹天佑奖”、“鲁班奖”、“绿色施工示范工程”等优质工程评选时,提高绿色施工技术在评选条件中的权重或者是将其作为评选的基本条件,并对绿色施工技术应用示范工程予以表彰和奖励。通过有效的鼓励措施,来推广绿色施工技术的应用。

3.2 开展绿色施工技术和管理的创新研究和应用、提高资金保障

绿色施工技术是实现绿色施工水平提升的重要措施之一,传统的建设项目施工过程中会消耗大量能源,并伴随有扬尘、噪音等现象,并且会产生大量的碳排放,对环境保护存在严重的负面影响,例如在建造过程中产生的建筑垃圾,往

往不能得到有效的处理,既造成了能源浪费又对环境产生了恶劣影响。基于此,建筑企业应该投入一定的资金用于绿色施工技术的研发与应用,既包括对传统施工工艺的升级与改造,更重要的是对新技术的研发,例如研发更具绿色环保功能的建筑材料或者建筑垃圾的再利用技术,降低由于施工原因造成的对环境的破坏。

绿色施工技术的创新与研发是大量的资金投入,需要政府部门和建筑施工企业投入大量的资金作为保障。因此,政府部门可以对绿色施工技术研发有突出成绩的单位给予一定的财政补贴,以此来提高企业研究的积极性。此外,还可以通过调整建筑安装工程费用构成,将绿色施工措施费列入不可竞争费并明确各费率值,从而强制性收取绿色施工措施费^[5]。通过建筑工程费用的调整,来缓解建筑施工企业由于绿色施工技术研发带来的资金紧张的问题。

3.3 加强绿色施工宣传和培训,强化绿色施工意识

绿色施工技术是实现双碳目标的重要措施之一,是符合可持续发展理念的。无论是政府部门还是建筑企业人员,均应该高度重视,借助各类媒体对绿色施工进行大力宣传,提高广大民众对绿色施工的认知,同时调动普通民众对各施工项目进行监督,来推广绿色施工技术的应用。而作为施工企业的管理人员和技术人员,更应该主动参加各类建筑培训,提高对绿色施工重要性的认识。建筑企业管理人员应该树立企业长远发展的意识,通过不断创新绿色施工技术,树立企业的良好形象,提升企业的竞争力,广泛动员员工参与环境保护,营造良好的绿色施工氛围^[6]。

3.4 引进与培养专业的绿色施工技术人员,完善施工项目管理模式

传统的施工项目管理往往以进度、质量、成本为主要目标,而忽略了环境保护的目标,这不利于双碳目标的实现。究其原因,主要在于建筑项目管理人员缺少将环境目标与进度、质量、成本相融合的经验。因此,建筑企业需要引进与培养大量的绿色施工技术人员,一方面可以解决绿色施工技术在应用过程中所面临的问题,实现绿色施工技术良好的施工效果;另一方面可以完善施工项目的管理模式,使“四节一环保”的管理理念深入管理人员内心,更好的服务于工程建设,达到降碳减排的效果。

4. 结论

提高绿色施工技术水平是实现双碳目标的重要措施之一,需要政府部门和建筑各方协同合作、共同参与才能不断改进绿色施工技术,不断提升绿色施工水平。绿色施工水平的不断提升也是实现建筑业可持续发展的有效途径,随着科学技术的不断进步,绿色施工技术将会不断地融合创新,随着 BIM 技术的推广和智能建造技术的应用,工程建设会走向更加智能化、绿色化,从而推动绿色施工水平的进一步提升,为建筑行业带来变革,推动建筑行业迈向一个更加绿色、低碳的时代。

参考文献:

- [1] 于雪萍.绿色施工发展的制约因素及激励机制研究[D].郑州:郑州大学,2018.
- [2] 潘锐,胡龙伟,孙晓莹.建筑工人产业化培训制约因素研究[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2024,40(3):334-361.
- [3] 赵辉,王玉.建筑工业化背景下农民工产业工人化影响因素分析[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2024,42(2):137-142.
- [4] 时乐,胡绍兰,郑萱萱,张国涛.基于 DEMATEL-ISM 的绿色建筑推广发展影响因素研究[J].河北建筑工程学院学报,2024,42(01):191-196.
- [5] 戴雄.“双碳”背景下建筑工程绿色施工水平评价及提升对策研究[D].长沙:中南大学,2023.
- [6] 万晶,肖敏,廖丹.“双碳”目标下工程项目绿色施工驱动因素研究[J].建筑经济,2023,44(9):98-104.

作者简介

赵晓光(1988.7-),男,汉族,籍贯:河北辛集人,毕业于河海大学结构工程专业,硕士研究生,讲师,研究方向:土木工程材料的耐久性、BIM 工程管理、绿色低碳节能建筑。

课题

秦皇岛市科学技术研究与发展计划课题:“双碳”背景下建筑工程绿色施工水平提升策略研究(课题编号:202401A163)。