

绿色建筑项目风险测度与评价假设模型研究

秦旋, 莫懿懿, 王景慧

(华侨大学土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 将绿色建筑项目的全寿命周期划分为决策阶段、设计阶段、施工阶段、试运行阶段和运营维护阶段5个阶段, 以经济目标、环境目标和社会目标作为评价绿色建筑项目的目标体系, 以此建立我国绿色建筑项目的风险测度与评价假设模型. 通过问卷调查获得151份有效样本数据, 运用结构方程模型对模型进行验证分析, 得到绿色建筑项目全寿命周期5个阶段及31个关键风险因素对绿色建筑项目的影响路径和影响系数(包括直接影响、间接影响和总影响). 研究表明: ①5个阶段对绿色建筑项目的影响路径和影响系数有所不同, 决策阶段和运营维护阶段是影响绿色建筑项目最关键的两个阶段; ②全寿命周期31个关键风险因素根据综合影响系数大小分为一级风险、二级风险与三级风险. 该研究成果可为绿色建筑的参建主体对项目阶段和关键风险因素实行分层管理提供理论依据, 从而促使绿色建筑在我国的顺利实施和推广.

关键词: 绿色建筑; 全寿命周期; 风险测度与评价; 影响系数; 影响路径; 结构方程模型

中图分类号: C931

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)05-0706-10

当前城镇化是我国经济社会发展的必然需求, 而绿色建筑将是我国城镇化建设模式的必经之路, 是我国发展循环经济和建设低碳社会的重要方面, 也是促进新能源、新材料等产业壮大的重要载体, 绿色建筑的发展具有巨大的技术需求和市场需求^[1]. 但绿色建筑相比普通建筑而言更加复杂, Kibert 指出: 绿色建筑要求项目小组成员之间更多的合作, 选择项目组要重点考虑绿色建筑的经验, 在施工过程中强调环境保护、减少施工阶段和拆除阶段的资源浪费, 关注建筑物全寿命周期的性能, 在项目的整个阶段关注生产者以及未来使用者的安全与健康, 同时对建筑物试运行阶段有特殊的要求等^[2]. 这些特征导致绿色建筑比传统建筑会面临着更大的风险和挑战. 因此, 在我国大力推广绿色建筑的进程中, 为保证绿色建筑的顺利实施, 对影响绿色建筑项目的关键风险因素进行系统和科学的研究是非常必要的.

目前国内已有学者开始关注我国发展绿色建筑所面临的风险问题. 有些文献研究了绿色建筑某一阶段(如设计阶段或施工阶段)的风险, 如肖楠和张巍^[3]、周芳等^[4]、丁古丽和陈进^[5]等对绿色建筑施工阶段的风险进行评价和研究. 有些文献关注了绿色建筑某特定领域的风险, 如张福生等^[6]识别出新农村建设中发展绿色建筑的风险类别, 并提出防范策略; 李庆来等^[7]指出世博工程绿色节能系统的三大类风险. 有些文献探讨了绿色建筑某一方面的风险, 如葛娟^[8]研究了绿色建筑的融资风险; 王景慧等^[9]以承包商的视角, 基于系统动力学建立了绿色建筑项目风险识别反馈模型图.

综上所述, 当前的研究明显存在一些局限与不足. 如研究仅仅关注绿色建筑某一阶段或某一方面, 缺乏对绿色建筑全寿命周期的关注, 更为关键的是多数对绿色建筑风险的研究采取的是较为主观的定性分析, 缺乏有力的数据支持, 因而难以形成可靠的研究结论. 本研究团队的研究克服了现有研究的不足, 进行广泛的问卷调查, 通过对数据量化分析得到现阶段我国绿色建筑的风险因素^[10-13]. 但目前的研究仅辨识出当前我国发展绿色建筑所面临的关键风险因素, 缺乏深入分析风险因素对绿色建筑项目的影响路径、影响系数及风险因素之间的内在关联性. 因此, 本文在现有研究的基础上, 以经济目标、社会目标和环境目标作为评价绿色建筑项目成功的指标, 选取结构方程模型为主要研究手段, 建立我国绿色建筑的风险测度与评价假设模型, 通过问卷调查收集研究所需数据, 验证全寿命周期风险评价假设模型, 筛选出影响绿色建筑项目的关键风险因素, 得到影响绿色建筑项目的影响系数和作用路径, 据此为绿色建筑参建主体有效管理风险提供理论上的支持.

1 研究假设及理论模型的提出

根据绿色建筑的内涵和特征, 将绿色建筑的全寿命周期分为五个阶段即: 决策阶段、设计阶段、施工阶段、试运行阶段和运营维护阶段^[13]. 分析这五个阶段对绿色建筑项目的影响, 本文提出以下研究假设:

收稿日期: 2014-04-01

修改稿日期: 2014-09-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51148010); 福建省自然科学基金项目(2013J01195); 泉州市科技计划资助项目(2012Z94)

作者简介: 秦旋(1969-), 女, 博士, 教授. 主要从事绿色建筑、风险管理方面的研究. E-mail: hdwq@hqu.edu.cn

- H1: 决策阶段风险对绿色建筑项目具有显著正向影响;
- H2: 设计阶段风险对绿色建筑项目具有显著正向影响;
- H3: 施工阶段风险对绿色建筑项目具有显著正向影响;
- H4: 试运行阶段风险对绿色建筑项目具有显著正向影响;
- H5: 运营维护阶段风险对绿色建筑项目具有显著正向影响.

建立最初的概念模型如图 1. 模型假设这五个阶段对潜在变量“绿色建筑项目成功”具有显著正向影响,但初步假定这五个阶段之间互不影响. 结构方程模型是建立在一定理论基础上的假设模型,需要数据进行验证性分析. 因此需要对研究假设建立一份风险量表,收集模型验证所需的样本数据,以探求绿色建筑全寿命周期的风险因素对绿色建筑项目的影响程度.

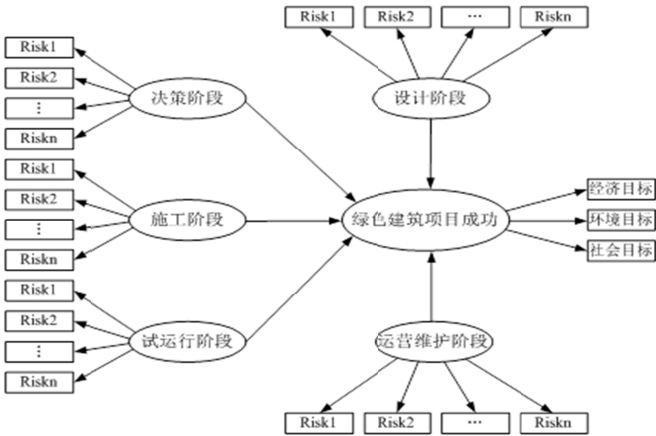


图 1 待证的理论模型
Fig.1 Model to be testified

2 测量工具设计及初步分析

2.1 量表初始题项的建立

课题组曾于 2010 年 5 月至 9 月基于利益相关者视角、2011 年 9 月至 11 月基于全寿命周期视角进行了两轮较为广泛的问卷调查,对绿色建筑项目的风险因素进行识别与评价,据此识别出现阶段我国绿色建筑所面临的风险因素^[12-13].

本次初始量表是在前两轮问卷调查的基础上构建的. 在正式调查之前,邀请绿色建筑领域的研究人员和相关从业人员对建立的初始量表题项内容进行修正,以确保问卷的表面效度及内容效度,最终问卷量表包括了 9 个潜在变量和 56 项测量变量. 表 1 第 1 列和第 2 列列出了 5 个潜在变量和 47 个测量变量,其中“决策阶段”包含 A1-A10 共 10 个测量变量,“设计阶段”包含 B1-B7 共 7 个测量变量,“施工阶段”包含 C1-C16 共 16 个测量变量,“试运行阶段”包含 D1-D9 共 9 个测量变量和“运营与维护阶段”包含 F1-F5 共 5 个测量变量. 另外需要说明的是“绿色建筑项目成功水平”由三个评价指标来测量,其中经济目标(简写 Sc)包含 L1-L3、环境目标(简写 En)包含 L4-L6 和社会目标(简写 So)包含 L7-L9 等共 9 个测量变量. 问卷量表中把评价绿色建筑项目成功的三个指标作为潜在变量,在后续模型构建时利用加权平均法进行显化处理,因此表 1 中没有包含这 4 个显化处理的潜在变量和对应的 9 个测量变量. 本量表每个题项都采用李克特七级量表,从“极其不严重”到“极其严重”分别给予 1~7 分.

表 1 测量量表的变量及其信度和效度分析
Tab.1 Variables in the questionnaires and their analysis of reliability and validity

潜在变量	测量变量/提项内容	因子负荷	Cronbach's α 系数	拟合指标
决策阶段	A1: 业主对绿色建筑的绿色要求过高或项目定位不明确	0.645	0.783	KMO=0.791 Bartlett 卡方 值=326.130
	A2: 业主对绿色建筑的市场需求预测失误,预计的市场份额没有实现	0.730		
	A3: 业主缺乏对绿色建筑长期投资收益率的准确估计	0.674		
	A4: 业主对绿色建筑的投资估计不准	0.784		
	A5: 业主对金融市场的态度估计不足,对绿色建筑的融资过于乐观	0.543		
	A6: 绿色建筑的目标要求对项目的影响考虑不足	0.524		
	A7: 缺少有绿色建筑经验的咨询顾问	0.698		
	A8: 绿色建筑相关的法律、法规体系尚不健全	0.687		
	A9: 政府的官僚作风和繁杂的审批程序	0.665		
	A10: 社会及经济因素导致公众对绿色建筑接受程度较低	0.676		

续表 1

设计阶段	B1: 设计团队缺乏绿色建筑设计的经验			
	B2: 对项目所在地现场调查不足, 导致设计没有因地制宜	0.922		
	B4: 绿色设计创新的风险	0.729	0.792	KMO=0.767
	B5: 设计创新的可施工性差	0.721		Bartlett 卡方
	B6: 设计方在绿色建筑星级认证中承担的责任不明确	0.781		值=351.202
	B7: 设计方缺乏对对绿色建筑项目全生命周期的参与	0.703		
施工阶段	C1: 业主缺乏对绿色建筑项目参与方之间高水平的协调能力	0.614		
	C2: 建筑市场缺乏有绿色建筑经验的施工人员	0.743		
	C3: 建筑市场缺乏有绿色建筑经验的监理人员	0.741		
	C4: 承包商对新材料/技术/设备的应用缺乏施工经验	0.705		
	C5: 承包商/分包商对绿色建筑认识不足, 管理中没有给予足够的重视	0.737		
	C6: 监理现场监督和管理能力差	0.704		
	C7: 绿色建筑评价所需资料、文档的缺失	0.584		
	C8: 施工过程中发生未预期的成本支出	0.609	0.884	KMO=0.853
	C9: 对绿色施工及环境保护提出了更高的要求	0.846		Bartlett 卡方
	C10: 施工难度增大所导致的安全风险	0.637		值=957.390
	C11: 绿色产品的稀缺性使得绿色材料的价格过高	0.749		
	C12: 承包商对绿色建筑的增量成本考虑不足导致报价不准	0.538		
	C13: 绿色建筑的绿色要求增加了项目延期的风险	0.607		
	C14: 绿色建筑中使用的新型材料和设备的性能不稳定	0.635		
	C15: 合同中缺乏针对绿色建筑的专门条款	0.549		
	C16: 因绿色要求等引起的变更导致承包商的索赔	0.740		
试运行阶段	D1: 缺乏有经验的物业管理	0.612		
	D2: 各参与方缺乏合作导致绿色建筑的性能测试不能顺利执行	0.771		
	D3: 绿色建筑日常试运行记录不完备导致的认证风险	0.737		
	D4: 绿色认证责任划分不清引起业主与承包商的纠纷	0.588	0.826	KMO=0.811
	D5: 项目试运行的结果不能满足项目初期的目标要求	0.739		Bartlett 卡方
	D6: 项目的评价结果未达到预期的绿色星级	0.667		值=423.086
	D7: 对绿色建筑进行认证导致项目成本的增加	0.781		
	D8: 绿色认证评价内容缺乏标准的检测方法和评判标准	0.739		
	D9: 绿色星级评审的不公平或评审专家的经验水平导致评级结果偏差	0.722		
运营维护阶段	F1: 缺乏有经验的物业公司, 使绿色建筑运行不利	0.853		
	F2: 对设备缺乏定期科学的维护造成设备的低效率	0.773		KMO=0.667
	F3: 绿色建筑的长期运行性能不稳定	0.729	0.661	Bartlett 卡方
	F4: 对绿色建筑进行必要的节能改造或升级所产生的费用纠纷	0.717		值=135.804
	F5: 评价标准的提高, 对已有绿色建筑造成的影响	0.877		

2.2 样本分析

本次调研向有丰富工程经验及一定绿色建筑经验的专家学者们发放问卷 357 份, 实际回收 164 份, 回收率为 45.9%, 其中有效问卷 151 份, 有效问卷率为 92.1%。由于本次调研是在课题组前两轮调研的基础上发展起来的, 因此可以认为 151 份有效问卷符合 SEM 的研究要求^[14]。

本次调查的数据来源广泛, 单位分布涵盖绿色建筑开发所涉及到的主要利益相关者, 主要包括建设单位 (21.19%)、设计单位 (24.50%)、施工单位 (15.89%)、科研单位 (15.89%) 和咨询单位 (11.26%) 等, 工作年限 5 年以上的专家人数占 41.06%, 具有绿色建筑从业经验的专家占总调查专家的 73.5%, 参与绿色建筑项目至少 1 个的专家达到 69.5%, 由此可见调研样本对绿色建筑的了解程度满足本次研究的要求。

2.3 测量量表的信度、效度检验及因子分析

为保证问卷数据的有效性, 需对问卷质量的可靠性进行信度与效度分析。李克特量表中通常采用 Cronbach's Alpha 系数进行信度检验, 判断标准则为 Cronbach's Alpha 值介于 0.7 至 0.98 间, 则可判定为高信度值, 若低于 0.35 便予以拒绝。在社会科学研究中, 一般当变量的 α 值高于 0.6 时就可以接受^[15]。效度检验从内容效度和结构效度两个方面进行。在内容效度方面, 本问卷的初始量表题项是在课题组前两次问卷调研的基础上, 且经过本领域专家审核并进行了修订, 因而具有良好的内容效度。在结构效度方面, 本文采用探索性因子分析 (EFA) 来检验量表的结构效度。在做因子分析前, 需用 KMO 值和 Bartlett 值检验

数据是否适合做因子分析。

测量量表的信度与效度检验结果见表 1。从表 1 第 4 列可知:本问卷数据各潜在变量的 Cronbach's Alpha 值均在 0.60 以上,总量表的 Cronbach's Alpha 值达到 0.948,表明此量表具有较好的信度。从表 1 第 5 列可知各潜在变量的 KMO 值均大于其最低标准值 0.5,本测量量表总体的 KMO 值为 0.854 亦大于 0.5,表明本研究数据适合进行因子分析。从表 1 第 3 列可知:各测量变量的因子负荷都大于 0.5,说明各因子对测量模型具有较强的解释能力,因此认为此量表具有良好的结构效度,是可以接受并用于后续研究的。

3 测量模型检验与分析

3.1 初始模型检验

使用 AMOS 软件对前文所提出的 5 项假设进行检验,并对模型拟合度进行计算和验证。在 Amos 中可利用 C.R.值(Critical Ratio,临界比)与对应的统计检验概率 p 来对模型中的路径系数或载荷系数进行显著检验。对初始模型 M_0 假设进行检验后发现,绿色建筑全寿命周期五个阶段中“施工阶段”和“试运行阶段”对“绿色建筑项目成功”直接影响的 p 值分别为 0.936 和 0.067,均大于 0.05,说明路径系数与 0 没有显著差别,即证明初始模型 M_0 的界定存在着一定问题,需要对初始模型进行修正。对初始模型 M_0 进行拟合度检验,得到的模拟拟合指标值见表 2 第 2 行。可以看到,初始模型 M_0 除了指标 PGFI 满足要求外,其它指标都不符合拟合标准。

表 2 初始模型 M_0 和修改后模型 M_3 拟合指数计算结果
Tab.2 Fitting index calculation results of initial model M_0 and revised model M_3

拟合指数	绝对拟合度			增值拟合度			简约拟合度	
	χ^2/df	GFI	RMSEA	NFI	IFI	CFI	PNFI	PGFI
评价标准	<3	>0.8	<0.08	>0.9	>0.9	>0.9	>0.5	>0.5
初始模型 M_0	2.349	0.563	0.095	0.422	0.559	0.552	0.403	0.517
最终模型 M_3	1.774	0.916	0.062	0.891	0.907	0.933	0.667	0.698

注:初始模型 M_0 : Chi-Square=2 478.167, df =1 170; 最终模型 M_3 : Chi-Square= 903.105, df = 509

3.2 测量模型的修正与分析

模型共经过三轮修正。第一轮模型修正(M_1),取消“决策阶段”、“施工阶段”及“试运行阶段”对“绿色建筑项目成功”的直接影响作用,改由“决策阶段”通过“设计阶段”、“施工阶段”及“试运行阶段”来间接影响“绿色建筑项目成功”;“设计阶段”也通过“施工阶段”来间接影响“绿色建筑项目成功”;“施工阶段”通过影响“试运行阶段”及“运营维护阶段”来间接影响“绿色建筑项目成功”;“试运行阶段”通过“运营维护阶段”来间接影响“绿色建筑项目成功”。

第二轮模型修正(M_2)删除因素载荷值小于 0.50 的题项,此时模型中的风险因素从 47 个删减为 31 个。此时绿色建筑全寿命周期各个阶段的风险因素为:决策阶段 6 个,设计阶段 5 个,施工阶段 11 个,试运行阶段 6 个,运营维护阶段 3 个。模型中保留的 31 个风险因素即为关键风险因素。

第三轮模型修正(M_3)添加了测量变量的残差变量间相关路径。第三轮修正后的模型 M_3 的 SEM 系数估计如表 3 所示(由于篇幅限制方差估计结果此处略去)。由表 3 可以看出,显著性检验 P 值均小于 0.05,表明各潜在变量之间的路径系数均达到显著水平,即各潜在变量之间的路径系数显著不为 0。对第三次修改后的模型 M_3 进行拟合度检验(详见表 2 第 3 行),可以认为第三次修改后的模型整体拟合效果较好,得到最优模型 M_3 (如图 2 所示)。同时由表 4 路径系数可知,样本数据验证了测量变量较好地测度了潜在变量。

4 假设模型的结果分析

4.1 直接效应、间接效应和总效应

结构方程模型通过计算潜在变量之间的路径关系及测量变量与潜在变量之间的载荷系数来体现潜在变量与测量变量之间的结构关系,各变量之间的量化关系可以通过他们之间的直接效应、间接效应及总效应来体现。直接效应指由原因变量到结果变量的直接影响,可用原因变量到结果变量的标准化路径系数来衡量。间接效应指原因变量通过影响一个或数个中间变量而对结果变量造成的间接影响,其值为潜在变量之间各个标准化路径系数的乘积。总效应指由原因变量对结果变量总的影响,是直接效应与间接效应共同

作用的结果, 即是直接效应与间接效应之和.

表3 第三次修改后模型 M₃ 的 SEM 系数估计结果
Tab.3 SEM coefficient results of final revised model M₃

路 径		<i>S.E.</i>	<i>T</i> 值	显著性检验 <i>P</i>	标准化路径系数
设计阶段	← 决策阶段	0.245	4.891	***	0.864
施工阶段	← 决策阶段	0.306	1.375	0.046	0.358
施工阶段	← 设计阶段	0.217	1.783	0.035	0.458
试运行阶段	← 施工阶段	0.152	2.345	0.019	0.377
试运行阶段	← 决策阶段	0.194	2.607	0.009	0.455
运营维护阶段	← 试运行阶段	0.161	2.884	0.004	0.4
运营维护阶段	← 施工阶段	0.16	3.028	0.002	0.438
绿色建筑项目成功	← 运营维护阶段	0.159	4.617	***	0.585
绿色建筑项目成功	← 设计阶段	0.129	2.453	0.014	0.27
A2	← 决策阶段				0.514
A3	← 决策阶段	0.225	4.359	***	0.471
A4	← 决策阶段	0.226	4.815	***	0.546
A6	← 决策阶段	0.235	5.188	***	0.617
A9	← 决策阶段	0.256	4.683	***	0.521
A10	← 决策阶段	0.253	4.837	***	0.548
B1	← 设计阶段				0.63
B3	← 设计阶段	0.144	7.209	***	0.754
B4	← 设计阶段	0.141	5.887	***	0.579
B5	← 设计阶段	0.15	6.023	***	0.595
B7	← 设计阶段	0.144	6.196	***	0.613
C1	← 施工阶段				0.551
C2	← 施工阶段	0.159	5.679	***	0.601
C3	← 施工阶段	0.161	5.179	***	0.528
C4	← 施工阶段	0.181	6.25	***	0.704
C5	← 施工阶段	0.173	6.289	***	0.711
C6	← 施工阶段	0.157	5.951	***	0.645
C7	← 施工阶段	0.17	5.42	***	0.561
C8	← 施工阶段	0.179	5.874	***	0.635
C12	← 施工阶段	0.171	6.186	***	0.689
C13	← 施工阶段	0.169	5.412	***	0.56
C14	← 施工阶段	0.167	5.058	***	0.506
D1	← 试运行阶段				0.576
D2	← 试运行阶段	0.189	6.56	***	0.734
D3	← 试运行阶段	0.172	6.487	***	0.72
D4	← 试运行阶段	0.178	5.758	***	0.602
D5	← 试运行阶段	0.188	6.155	***	0.664
D6	← 试运行阶段	0.17	5.182	***	0.526
F1	← 运营维护阶段				0.659
F2	← 运营维护阶段	0.145	7.332	***	0.765
F3	← 运营维护阶段	0.152	5.762	***	0.552
Ec	← 绿色建筑项目成功				0.835
En	← 绿色建筑项目成功	0.082	12.728	***	0.865
So	← 绿色建筑项目成功	0.087	13.242	***	0.893

注: “***”表示显著水平 $p < 0.001$.

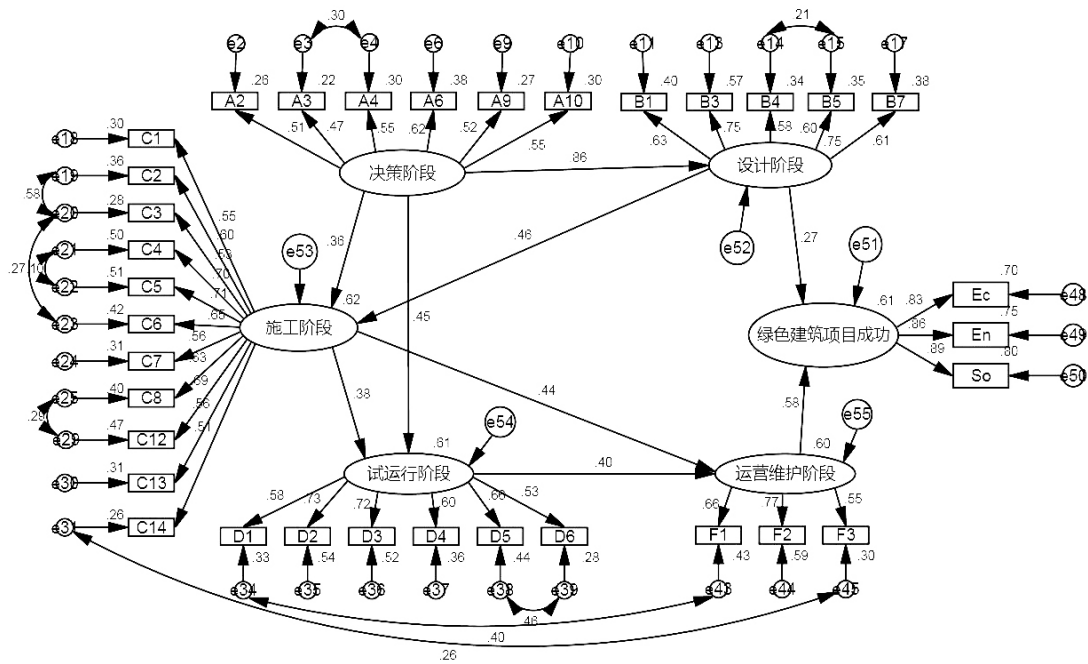


图 2 风险测度和评价的最终模型 M₃ 路径系数结构图
Fig.2 Final revised model M3 of risk measurement and assessment

最优模型 M₃ 中各潜在变量之间的直接效应、间接效应及总效应如表 4 所示, 各风险因素 (测量变量) 与各阶段变量 (潜在变量) 之间的总效应如表 5 所示。

表 4 结构模型中各潜在变量间的直接、间接和总效应
Tab.4 Direct, indirect and total effect of each variable in structural equation model

潜在变量 (各个阶段)	效应	决策阶段	设计阶段	施工阶段	试运行阶段	运营维护阶段
设计阶段	(直接效应)	0.864	0	0	0	0
	(间接效应)	0	0	0	0	0
	(总效应)	0.864	0	0	0	0
施工阶段	(直接效应)	0.358	0.458	0	0	0
	(间接效应)	0.396	0	0	0	0
	(总效应)	0.754	0.458	0	0	0
试运行阶段	(直接效应)	0.455	0	0.377	0	0
	(间接效应)	0.284	0.173	0	0	0
	(总效应)	0.739	0.173	0.377	0	0
运营维护阶段	(直接效应)	0	0	0.438	0.4	0
	(间接效应)	0.625	0.269	0.151	0	0
	(总效应)	0.625	0.269	0.589	0.4	0
绿色建筑项目成功	(直接效应)	0	0.27	0	0	0.585
	(间接效应)	0.599	0.158	0.344	0.234	0
	(总效应)	0.599	0.428	0.344	0.234	0.585

表 5 结构模型中各测量变量与潜在变量之间的综合路径系数
Tab.5 Path coefficients between measured variables and latent variables in structural equation model

测量变量 (风险因素)	决策阶段	设计阶段	施工阶段	试运行阶段	运营维护阶段
A2	0.514	0	0	0	0
A3	0.471	0	0	0	0
A4	0.546	0	0	0	0
A6	0.617	0	0	0	0
A9	0.521	0	0	0	0
A10	0.548	0	0	0	0
B1	0.545	0.63	0	0	0
B3	0.651	0.754	0	0	0
B4	0.5	0.579	0	0	0
B5	0.514	0.595	0	0	0

续表 5					
B7	0.53	0.613	0	0	0
C1	0.416	0.253	0.551	0	0
C2	0.453	0.275	0.601	0	0
C3	0.398	0.242	0.528	0	0
C4	0.531	0.322	0.704	0	0
C5	0.536	0.326	0.711	0	0
C6	0.486	0.296	0.645	0	0
C7	0.423	0.257	0.561	0	0
C8	0.479	0.291	0.635	0	0
C12	0.519	0.315	0.689	0	0
C13	0.422	0.256	0.56	0	0
C14	0.382	0.232	0.506	0	0
D1	0.426	0.099	0.217	0.576	0
D2	0.542	0.127	0.276	0.734	0
D3	0.532	0.124	0.271	0.72	0
D4	0.444	0.104	0.227	0.602	0
D5	0.49	0.114	0.25	0.664	0
D6	0.388	0.091	0.198	0.526	0
F1	0.412	0.177	0.387	0.264	0.659
F2	0.479	0.206	0.45	0.306	0.765
F3	0.345	0.149	0.325	0.221	0.552

注：表中所列的均是标准化后的参数。

4.2 模型结果分析

由表 4 可以看出，绿色建筑全寿命周期五个阶段对“绿色建筑项目成功”的影响程度是不同的，总影响路径系数分别为（表 4 中最后 1 行）：0.599、0.428、0.344、0.234 与 0.585。根据 Cohen^[16]（1988）提出的标准，标准化路径系数按照 0.30 以上，0.30~0.20 及 0.20~0.10 可分为大、中、小三个层级。因此本文将标准化路径系数在 0.30 以上判断为具有显著影响，在 0.20 与 0.3 之间判断为具有较为显著的影响，在 0.20 以下判断为具有较小影响。依据绿色建筑全寿命周期五个阶段对“绿色建筑项目成功”的总影响路径系数可以将五个阶段分为三个层级，如表 6（表中 λ 表示综合路径系数）所示。

表 6 五个阶段的影响等级
Tab.6 Risk impact level of five stages for green building life cycle

一级风险	二级风险	三级风险
决策阶段（ $\lambda = 0.599$ ）		
运营维护阶段（ $\lambda = 0.585$ ）	试运行阶段（ $\lambda = 0.234$ ）	无
设计阶段（ $\lambda = 0.428$ ）	属于影响较为显著的一类	属于影响较小的一类
施工阶段（ $\lambda = 0.344$ ）		
属于影响显著的一类		

根据图 2 的 SEM 影响路径、表 4 的各潜在变量间的直接、间接和总效应、表 5 的各风险因素与潜在变量之间的综合路径系数，可以计算出各风险因素对绿色建筑项目的综合影响系数。如 A2 对“绿色建筑项目成功”影响系数，由表 5 中 A2 对“决策阶段”的综合路径系数为 0.514，表 4 中“决策阶段”对“绿色建筑项目成功”的总效应为 0.599，根据 SEM 的路径影响图，即可得出 A2 对“绿色建筑项目成功”的影响系数为 $0.514 \times 0.599 = 0.308$ 。同理，可以计算出模型中 31 个风险因素对绿色建筑项目的综合影响系数。根据 Cohen（1988）的判断标准，依据综合影响系数对风险因素进行等级划分，结果见表 7。

表 7 全寿命周期各阶段风险因素的综合影响系数
Tab.7 Risk Impact index of each stage for green building life cycle

风险等级	序号	风险因素	总值	排序
一 级 风 险	F2	对设备缺乏定期科学的维护造成设备的低效率	0.448	1
	F1	缺乏有经验的物业公司，使绿色建筑运行不利	0.386	2
	A6	绿色建筑的目标要求对项目的影响考虑不足	0.370	3
	A10	公众对绿色建筑接受程度较低	0.328	4
	A4	业主对绿色建筑的投资估计不准	0.327	5
	F3	绿色建筑的长期运行性能不稳定	0.323	6
	B3	对绿色建筑的成本估计不足或不准确	0.323	7
	A9	政府的官僚作风和繁杂的审批程序	0.312	8
	A2	业主对绿色建筑的市场需求预测失误，预计的市场份额没有实现	0.308	9

续表 7

一 级 风 险	A3	业主缺乏对绿色建筑长期投资收益率的准确估计	0.282	10
	B1	设计团队缺乏绿色建筑设计经验	0.270	11
	B7	设计方缺乏对绿色建筑项目全寿命周期的参与	0.262	12
	B5	设计创新的可施工性差	0.255	13
	B4	绿色设计创新的风险	0.248	14
	C5	承包商/分包商对绿色建筑认识不足,管理中没有给予足够的重视	0.245	15
	C4	承包商对新材料/技术/设备的应用缺乏经验	0.242	16
	C12	承包商对绿色建筑的增量成本考虑不足导致报价不准	0.237	17
	C6	监理现场监督和管理能力差	0.222	18
	C8	施工过程中发生未预期的成本支出	0.219	19
三 级 风 险	C2	建筑市场缺乏有绿色建筑经验的施工人员	0.207	20
	C7	绿色建筑评价所需资料、文档的缺失	0.193	21
	C13	绿色建筑的绿色要求增加了延期的风险	0.193	22
	C1	业主缺乏对绿色建筑项目参与方之间高水平的协调能力	0.190	23
	C3	建筑市场缺乏有绿色建筑经验的监理人员	0.182	24
	C14	绿色建筑中使用的新型材料和设备的性能不稳定	0.174	25
	D2	各参与方缺乏合作导致绿色建筑的性能测试不能顺利执行	0.172	26
	D3	绿色建筑日常试运行记录不完备导致的认证风险	0.168	27
	D5	项目试运行的结果不能满足项目初期的目标要求	0.155	28
	D4	绿色认证责任划分不清引起业主与承包商的纠纷	0.141	29
	D1	试运行阶段绿色建筑缺乏有经验的物业管理	0.135	30
	D6	项目的评价结果未达到预期的绿色星级	0.123	31

5 研究结果与讨论

通过 151 有效样本数据分析,经过三轮的模型修订,模型中的风险因素从 47 个删减为 31 个。研究结果显示绿色建筑项目全寿命周期 5 个阶段对绿色建筑项目的影响有直接作用,也有形成间接作用的,并得到 31 个关键风险因素对绿色建筑项目的影响路径和影响系数(包括直接影响、间接影响和总影响)。由表 4-表 7 的模型分析得到以下结论:

(1)“决策阶段”对绿色建筑项目没有显著的正向影响,在初始模型的检验中虽然假设 H1 未通过检验,但“决策阶段”对绿色建筑项目的影响路径是通过“设计阶段”间接作用的。“决策阶段”对绿色建筑项目的总影响路径系数是 0.599,属于一级风险。

决策阶段的风险因素对绿色建筑项目的影响指数分别排在第 3、4、5、8、9、10 位,处在 31 个风险因素的上 1/3 半区(仅有 A3 属于二级风险因素),由此可见决策阶段的风险因素是影响绿色建筑的核心风险。在决策阶段,“绿色目标要求对项目的影响考虑不足”、“公众对绿色建筑接受程度低”、“对绿色建筑的投资估计及投资收益率的估计不准确”、“政府的官僚作风和繁杂的审批程序”和“对绿色建筑的市场需求预测失误”等都是影响绿色建筑项目的关键风险因素。

(2)“设计阶段”对绿色建筑项目具有显著的正向影响,假设 H2 得到了验证。“设计阶段”除了对绿色建筑项目有直接作用之外,还有“决策阶段”通过“设计阶段”对绿色建筑项目的间接作用。“设计阶段”对绿色建筑项目成功的总影响路径系数是 0.428,属于一级风险。

设计阶段的风险因素对绿色建筑项目成功的影响指数分别排在第 7、11、12、13、14 位,排在 31 个风险因素的前中部分(仅有 B3 属于一级风险因素)。在项目设计过程中,“对绿色建筑的成本考虑不足”、“设计团队缺乏绿色建筑设计经验”、“缺乏对项目全寿命周期的参与”、“绿色设计创新风险和设计创新的可施工性差”等风险因素会对绿色建筑项目产生较大的影响。

(3)“施工阶段”对绿色建筑项目没有显著的正向影响,在初始模型的检验中虽然假设 H3 未通过检验,但“施工阶段”对绿色建筑项目的影响路径是通过“运营维护阶段”间接作用的。“施工阶段”对绿色建筑项目总影响路径系数是 0.344,属于一级风险。

施工阶段的风险因素对绿色建筑项目的影响指数分别排在第 15-26 位,排在 31 个风险因素的中偏后部分,其中 C5、C4、C12、C6、C8 与 C2 属于二级风险因素,其它属于三级风险因素。从我国目前绿色建

筑发展的现状来看,取得“绿色建筑设计标识”的项目较多,而取得“绿色建筑运营标识”的项目仅占获得设计认证项目的不到10%^①。问卷数据分析也反应了目前绿色建筑项目施工的现状,绿色建筑和绿色施工理念并未深入人心,使得绿色建筑项目的施工现场与传统建筑项目相差并不是很大。因此,施工阶段的风险因素虽然在数据分析上没有显示出应有的重要程度,但在项目实践中有必要引起足够的重视。

(4)“试运行阶段”对绿色建筑项目没有显著的正向影响,在初始模型的检验中虽然假设H4未通过检验,但“试运行阶段”是通过“运营维护阶段”间接作用于绿色建筑项目的。“试运行阶段”对绿色建筑项目总影响路径系数是0.234,属于二级风险。

试运行阶段的风险因素对绿色建筑项目成功的影响指数排在最后六位,都属于三级风险因素。针对试运行阶段而言重要的是在有经验的物业管理的基础上,有完备的绿色建筑的日常试运行记录,并且各方能够相互配合顺利检测绿色建筑的相关性能,这样对绿色建筑项目成功获评“运营标识”标识具有重要作用。

(5)“运营维护阶段”对绿色建筑项目具有显著的正向影响,假设H5得到了验证。“运营维护阶段”除了对绿色建筑项目有直接作用之外,还有来自“施工阶段”和“试运行阶段”的对绿色建筑项目的间接作用。“运营维护阶段”对绿色建筑项目总影响路径系数是0.585,属于一级风险。

运营维护阶段的风险因素对绿色建筑项目成功的影响指数分别排在第1、2和6位,均属于一级风险,显示了运营维护阶段的重要性。从本质上来说,“对绿色建筑的设备缺乏定期科学的维护”,“缺乏有经验的物业管理公司”和“绿色建筑的长期运行性能不稳定”等会对绿色建筑的运行非常不利,这将影响绿色建筑价值的实现。如果绿色建筑的长期运行性能不稳定,将很难在项目的寿命周期内实现其经济目标、环境目标与社会目标。因此,运营维护阶段的风险管控对绿色建筑项目成功与否有着重要的作用。

6 结语

基于问卷调查研究绿色建筑全寿命周期五个阶段对绿色建筑项目的影响路径和影响系数(包括直接影响、间接影响和总影响),得到决策阶段和运营维护阶段是影响绿色建筑的最关键的两个阶段。进一步将全寿命周期风险因素分为一级风险、二级风险与三级风险,可为绿色建筑参建主体对项目阶段和关键风险因素实行分层管理提供理论依据。但本研究尚存在一些不足之处,问卷设计中绿色建筑全寿命周期风险因素的识别和归类不能保证全面和准确,同时我国幅员辽阔,南北差异很大,目前对绿色建筑的风险评价只是关注了绿色建筑项目共性的因素,没有考虑地域性等特殊因素的影响,这些将是以后需要进一步完善的地方。

参考文献 References

- [1] 仇保兴. 进一步加快绿色建筑发展步伐——中国绿色建筑行动纲要(草案)解读[J]. 城市发展研究, 2011, 18(7): 1-6.
QIU Baoxing. Further accelerating the development of Green Building: Interpretation of the Draft of China's Green Building Action Program [J]. Urban Studies, 2011, 18(7): 1-6.
- [2] KIBERT, C. Sustainable construction: green building design and delivery [M], John Wiley & Sons. 2008.
- [3] 肖楠, 张巍. 绿色施工方案策划中的风险识别与风险评价[J]. 价值工程, 2008, (7): 125-128.
XIAO Nan, ZHANG Wei. Risk Identifying and Risk Assessing in the Strategy Planning of Green Construction [J]. Value Engineering, 2008(7): 125-128.
- [4] 周芳, 李作臣, 李思堂. 建筑项目施工的绿色风险管理[J]. 工程建设与设计, 2009, (8): 136-138.
ZHOU Fang, LI Zuo Chen, LI Si Tang. The management of the green risk of construction project [J]. Project Management, 2009, (8): 136-138.
- [5] 丁古丽, 陈进. 基于灰色系统理论的绿色施工风险评价研究[J]. 工程管理学报, 2010, 24(2): 182-185.
DING Guli, CHEN Jin. Risk Assessment of Green Construction Based on Grey System Theory [J]. Journal of Engineering Management, 2010, 24(2): 182-185.
- [6] 张福生, 林敏, 刘明强, 等. 新农村建设中发展绿色建筑的风险与防范研究[J]. 生态经济, 2011(11): 92-95.
ZHANG Fusheng, LIN Min, LIU Mingqiang, et al. Controlling the risk in green building in construction of new countryside rural development [J]. Ecological Economy, 2011(11): 92-95.
- [7] 李庆来, 于世坤, 王波. 世博中心绿色节能技术风险管理研究[J]. 科技与管理, 2011, 13(6): 13-16.
LI Qinglai, YU Shikun, WANG Bo. Research on green energy-savings technology risk management of exposition center [J]. Science-Technology and Management, 2011, 13(6): 13-16.
- [8] 葛娟. 绿色建筑 REITs 模式融资风险管理研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2013.
GE Juan. Risk management research on REITs financing mode in green building project [D]. Qingdao: Qingdao Technological University, 2013.

^①数据来源: 住房和城乡建设部公示公告 <http://www.mohurd.gov.cn/gsgg/index.html>, 经整理统计得到。

- [9] 王景慧, 秦旋, 万欣. 绿色建筑项目的风险因素识别与风险路径分析[J]. 施工技术, 2012, 41(11): 30-34.
WANG Jinghui, QIN Xuan, WAN Xin. Risk factors identification and risk path analysis on green building project [J]. Construction Technology, 2012, 41(11): 30-34.
- [10] 万欣, 秦旋, 李启明. 我国绿色建筑项目的风险影响分析[J]. 施工技术, 2013, 42(2): 4-10.
WAN Xin, QIN Xuan, LI Qiming. Risk impact analysis of green building projects in China [J]. Construction Technology, 2013, 42(2): 4-10.
- [11] 秦旋, 万欣. 我国绿色建筑项目的风险分担与管理研究[J]. 施工技术, 2012, 41(11): 19-24.
QIN Xuan, WAN Xin. Risk allocation and management of green building projects in China [J]. Construction Technology, 2012, 41(11): 19-24.
- [12] 万欣, 秦旋. 基于实证研究的绿色建筑项目风险识别与评估[J]. 建筑科学, 2013, 29(2): 54-61.
WAN Xin, QIN Xuan. Risk identification and evaluation of green building projects based on empirical study [J]. Building Science, 2013, 29(2): 54-61.
- [13] 秦旋, 荆磊. 绿色建筑全生命周期风险因素评估与分析: 基于问卷调查的探索[J]. 土木工程学报, 2013, 46(8): 123-135
QIN Xuan, JING Lei. Risk ranking and assessment in the whole life cycle of green building: an empirical investigation from construction industry [J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46(8): 123-135
- [14] 林蒿. 结构方程模型原理及 AMOS 应用[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 2008.
LIN Hao. Principle of structural equation model and AMOS application [M]. Wuhan: Central China Normal University Press, 2008.
- [15] 黄梯云. 管理信息系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 1999.
HUANG Tiyun. Management information system [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 1999.
- [16] COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences [M] (2nd Ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1988.

Research on hypotheses model of assessing and measuring risk factors on green buildings' projects

QIN Xuan, MO Yiyi, WANG Jinghui

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: According to its characteristics green building life cycle is divided into five stages, namely, feasibility study and planning stage, design stage, construction stage, trial operation stage, and operation and maintenance stage. By combining economic, environmental and social goals as one target system for the evaluation of green buildings' success, this study aims to establish a risk measurement and evaluation hypothesis model based on the structural equation model in China. A total of 151 valid questionnaires were collected through a survey, and then verified model by using structural equation modeling. In addition, impact factors and paths including the direct effect, indirect effect and total effect of 31 key risk factors and five stages of life cycle on the green buildings were analyzed. The results reveal that there is significant difference among risk impact level and path of five stages to green building life cycle, feasibility study and planning stage and operation and maintenance stage are the most critical stage affecting green building; and the 31 key risks impact were classified into three grades: grade one, grade two and grade three. The results provide a theoretical foundation for green building participants to effectively manage the risk and the stage based on its impact level, and thus contribute to the implementation of green building in our country.

Key words: green building; life cycle; risk measurement and assessment; impact factor; impact paths; structural equation modeling(SEM)

(本文编辑 吴海西)