

基于结构方程模型的 EPC 工程项目风险管理研究

——以之江路道路提升改造工程为例

张 宇, 樊 敏, 赖健维, 于 强

(西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031)

摘要:以之江路道路提升改造 EPC 项目为例,通过文献阅读和专家咨询等方式,确定项目风险的影响因素,将 EPC 项目风险划分为合同风险、设计风险、采购风险、施工风险、外部环境风险 5 大类 22 小类。风险评价结果表明:EPC 项目风险中合同风险、设计风险、采购风险、施工风险和外部环境风险的一级指标权重分别为 0.250、0.201、0.154、0.157 和 0.239;合同风险是之江路项目最主要的风险影响因素;总承包商加强合同管理,有助于提升项目整体管理水平。

关键词:道路工程;风险管理;结构方程模型;设计采购施工总承包(EPC);评价指标

中图分类号:F426.92 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)07-0088-06

EPC(engineering, procurement and construction,设计采购施工总承包)是指承包单位与建设单位签订合同,对工程设计、采购、施工等阶段实行总承包,并对工程的质量、安全、造价和工期等全面负责的工程建设组织实施方式。EPC 模式在风险分配上更多的风险分配给了工程总承包人。目前国内建设工程项目,特别是大型投资项目,大多采用联合体模式。这种模式能够降低成本费用,实现风险共担,使企业资源互补,从而实现收益最大化。

通过查找国内外有关 EPC 风险的文献,发现大部分学者采用模糊评价法、层次分析法等对 EPC 项目的风险进行定性分析^[1-6]。Rodríguez 等^[7]使用模糊层次分析法和模糊推理系统来整合各种风险因素,该模型考虑了不同程度的不确定性和风险因素组之间的关系;郭威^[8]采用层次分析法对以设计为龙头的 EPC 项目风险因素进行分析,将风险因素划分为合同风险、组织风险、管理风险和技术风险 4 类,最终得出组织和合同风险是以设计单位为龙头的 EPC 项目风险管理中最重要的因素;张世豪^[9]采用层次分析法和模糊综合评价法对文体中心的项目风险因素进行分析,设计风险和管理风险是 EPC 项目风险管理的关键因素。国内外有关 EPC 风险的文献多

集中在定性分析方面,在定量分析方面的研究还需进一步开展。以之江路道路提升改造 EPC 项目为例,通过文献查找确定 EPC 项目风险评价指标体系,以调查问卷方式收集相关数据并建立结构方程模型,对 EPC 项目的风险进行定性定量的分析。

之江路输水管廊及道路提升工程设计范围西起之浦路以西,东至复兴路,建设内容主要包括新建输水管廊与道路提升改造两个方面,全长约 6.3 km,其中隧道长度约 5.62 km,计划工期 973 d,工程概算总投资 41.75 亿元。该工程由设计单位、施工单位和采购单位 3 家公司组成联合体承包,承包范围包含工程勘察;初步设计、施工图设计和专项设计等所有设计;前期报批及竣工验收、备案等工作;所有工程材料、设备的采购、安装及调试;工程施工、验收、移交、备案和保修服务等。

1 项目风险因素分析

通过文献阅读和专家咨询方式确定 EPC 项目风险因素。Yu 和 Wang^[10]运用 ISM(解释结构模型)对 EPC 项目进行风险分析,总结了承包商需要承担的 11 项风险,并建立了 11 项风险之间的风险结构图。Qi 等^[11]采用关联树法将 EPC 项目风险分为设计风险、采购风险和施工风险 3 大类。郑绍羽和王银

收稿日期:2022-11-11

作者简介:张宇(1998—),女,河南郑州人,西南交通大学土木工程学院,硕士研究生,研究方向为道路与铁道工程、项目管理;樊敏(1979—),男,山西太原人,西南交通大学土木工程学院,讲师,工程师,研究方向为项目管理、铁路规划、高教管理;赖健维(1998—),女,四川西昌人,西南交通大学土木工程学院,硕士研究生,研究方向为道路与铁道工程、项目管理;于强(1995—),男,安徽合肥人,西南交通大学土木工程学院,硕士研究生,研究方向为道路与铁道工程、项目管理。

萍^[12]将 RBS-RM-BN(风险分解结构-风险矩阵-贝叶斯网络)应用于 EPC 项目风险量化,将风险划分为国家层面、市场层面以及项目层面。高冉^[13]从总承包商外部风险和内部风险两方面对项目风险进行分析,外部风险主要包括政策风险、经济风险、环境风险、技术风险、安全风险,内部风险包括采购风险、施工风险、设计风险等。段永辉等^[14]采用结构方程的方法建立 EPC 项目的风险评价指标体系,将 EPC 项目风险划分为合

同风险、设计风险、采购风险、施工风险。刘玉明等^[15]通过文献梳理和实地调研的方式,将 EPC 模式下铁路建设项目风险经营指标划分为 7 大类共 58 个。

为确定之江路 EPC 项目风险评价指标体系,通过对文献整理分析,参照相关学者的已有研究成果,将 EPC 项目的风险初步划分为合同风险、设计风险、采购风险、施工风险、外部环境风险 5 大类 22 小类,具体 EPC 项目评价指标体系见表 1。

表 1 EPC 项目风险评价指标体系

潜变量	观测变量	指标来源
合同风险 A	合同条款模糊不清的风险 A ₁	郭威 ^[8] 、赵政等 ^[16] 、王露薇 ^[17]
	风险分配不合理的风险 A ₂	
	索赔和争议的风险 A ₃	
	合同变更的风险 A ₄	
设计风险 B	设计变更风险 B ₁	郑绍羽 ^[12] 、赵政等 ^[16]
	设计缺陷的风险 B ₂	
	设计延迟的风险 B ₃	
	设计深度的风险 B ₄	
	设计成本增加的风险 B ₅	
采购风险 C	材料设备采购质量的风险 C ₁	刘杨等 ^[18] 、赵政等 ^[16]
	材料设备价格风险 C ₂	
	运输风险 C ₃	
	采购人员工作失误的风险 C ₄	
	供应商信用的风险 C ₅	
施工风险 D	施工安全风险 D ₁	刘杨等 ^[18] 、赵政等 ^[16] 、刘增粮等 ^[19]
	施工进度风险 D ₂	
	施工质量的风险 D ₃	
	施工成本的风险 D ₄	
	施工组织管理的风险 D ₅	
外部环境风险 F	政治环境风险 F ₁	刘玉明等 ^[15]
	人文环境风险 F ₂	
	经济环境风险 F ₃	

2 结构方程模型分析

2.1 问卷调查及数据统计

2.1.1 调查对象及方法

调查问卷采用线上电子问卷和线下问卷两种方式同时进行。线下问卷发放主要针对之江路设计单位、施工单位和采购单位等 3 家公司的具有 EPC 项目工作经验的设计以及施工人员。线上电子问卷发放主要针对从事 EPC 项目研究的高校专家教授及研究人员。

2.1.2 调查目的

通过进行问卷调查,研究之江路 EPC 项目各风险因子对项目影响的重要程度,确定其关键因素。

2.1.3 问卷制作

参考相关学者的研究,制作调查问卷。问卷调查主要分为两个部分:第一部分是调查对象的信息收集,包括性别、学历、EPC 相关工作经验以及工作单位

(高校、设计单位、监理单位、施工单位、供应商、其他);第二部分是调查问卷的主要内容,采用李克特 7 级量表对各风险因子对 EPC 项目的影响重要程度打分,其中 7 为非常重要、6 为重要、5 为比较重要、4 为一般、3 为比较不重要、2 为不重要、1 为非常不重要。

2.1.4 问卷回收

由于线上电子问卷发放对象为高校专家教授,故权威性较高;线下问卷采用定点一对一发放,故问卷回收率较高。本次线下发放 200 份问卷,线上 100 份问卷,共回收 271 份,有效问卷率为 90.3%。

2.1.5 问卷的信度和效度分析

运用 SPSS26.0 软件对问卷进行信度和效度分析,5 个维度的克隆巴赫值分别为 0.802、0.805、0.888、0.838 和 0.847,均大于 0.8,CITC(修正的项目总相关系数)均大于 0.3,说明问卷信度高;对问卷调查的数据进行 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)和巴特利

特检验,其中 KMO 值为 0.894,大于 0.8,表明结构效度好,巴特利特值小于 0.05,说明适合进行因子分析。

2.2 结构方程模型分析

2.2.1 结构方程模型的基本思想

结构方程模型是基于变量的协方差矩阵来分析变量之间关系的一种统计方法。标准的结构方程模型由两部分组成:第一部分是验证性因子分析模型,用于联系潜在变量和与之对应的观测变量,并考虑测量误差;第二部分是回归型的结构方程,由内生潜在变量对若干内生和外生潜在变量的线性项作回归。

1)测量模型:

$$\begin{cases} x = \Lambda_x \xi + \delta \\ y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \end{cases} \quad (1)$$

式中: x 为外生显变量组成的向量; y 为内生显变量组成的向量; ξ 为外生潜变量组成的向量; Λ_x 、 Λ_y 为因子负荷矩阵; δ 为外生观测变量的残差项向量; ε 为内生观测变量的残差项向量; η 为内生潜变量组成的向量。

2)结构模型:

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (2)$$

式中: B 为内生潜变量之间的关系; Γ 为外源潜变量对内生潜变量的影响; ζ 为结构方程的残差项,反映了方程中未能被解释的部分。

2.2.2 研究假设

在上节中通过相关文献整理分析,将 EPC 项目的风险初步划分为合同风险、设计风险、采购风险、

施工风险、外部环境风险 5 大类 22 个小类进行分析。将合同风险、设计风险、采购风险、施工风险、外部环境风险作为潜变量,表 1 中 22 个风险因子作为观测变量,建立结构方程模型进行分析。

2.2.3 模型结果分析

将 SPSS26.0 的数据导入 AMOS 软件进行验证性因子分析,绘制结构方程模型图,标准化模型结果如图 1 所示。通过查看非标准化的 P 值得出模型的各个参数显著;通过标准化模型的输出数据可知,卡方与自由度之比为 1.890,在 1~3,符合标准;GFI(拟合优度指数)、AGFI(调整拟合优度指数)和 CFI(比较拟合指数)的值分别为 0.915、0.902 和 0.936,均大于 0.9,符合标准;RMSEA(近似误差均方根)为 0.057,小于 0.08,符合标准。因此,该模型的配适度良好,模型合理。由结构方程模型可知,标准化的回归路径系数分别为 0.91、0.73、0.56、0.57、0.87,值越大表明对项目风险的影响力越大。因此,合同风险影响最大,外部环境风险次之,然后是设计风险、施工风险,最后是采购风险。

3 EPC 项目风险评价

根据确定的结构方程模型,利用结构路径系数和因素负荷量进行权重结算,得出一级指标权重,分别是 0.250、0.201、0.154、0.157、0.239,按照重要性排序分别为:合同风险>外部环境风险>设计风险>施工风险>采购风险,具体权重计算结果见表 2。

表 2 EPC 项目风险评价指标权重

潜在变量	一级指标权重	观测变量	二级指标权重
合同风险 A	0.250	合同条款模糊不清的风险 A ₁	0.246
		风险分配不合理的风险 A ₂	0.261
		索赔和争议的风险 A ₃	0.239
		合同变更的风险 A ₄	0.254
设计风险 B	0.201	设计变更风险 B ₁	0.199
		设计缺陷的风险 B ₂	0.193
		设计延迟的风险 B ₃	0.220
		设计深度的风险 B ₄	0.188
		设计成本增加的风险 B ₅	0.199
采购风险 C	0.154	材料设备采购质量的风险 C ₁	0.221
		材料设备价格风险 C ₂	0.223
		运输风险 C ₃	0.192
		采购人员工作失误的风险 C ₄	0.205
		供应商信用的风险 C ₅	0.159
施工风险 D	0.157	施工安全风险 D ₁	0.205
		施工进度的风险 D ₂	0.219
		施工质量的风险 D ₃	0.188
		施工成本的风险 D ₄	0.185
		施工组织管理的风险 D ₅	0.202
外部环境风险 F	0.239	政治环境风险 F ₁	0.331
		人文环境风险 F ₂	0.351
		经济环境风险 F ₃	0.318

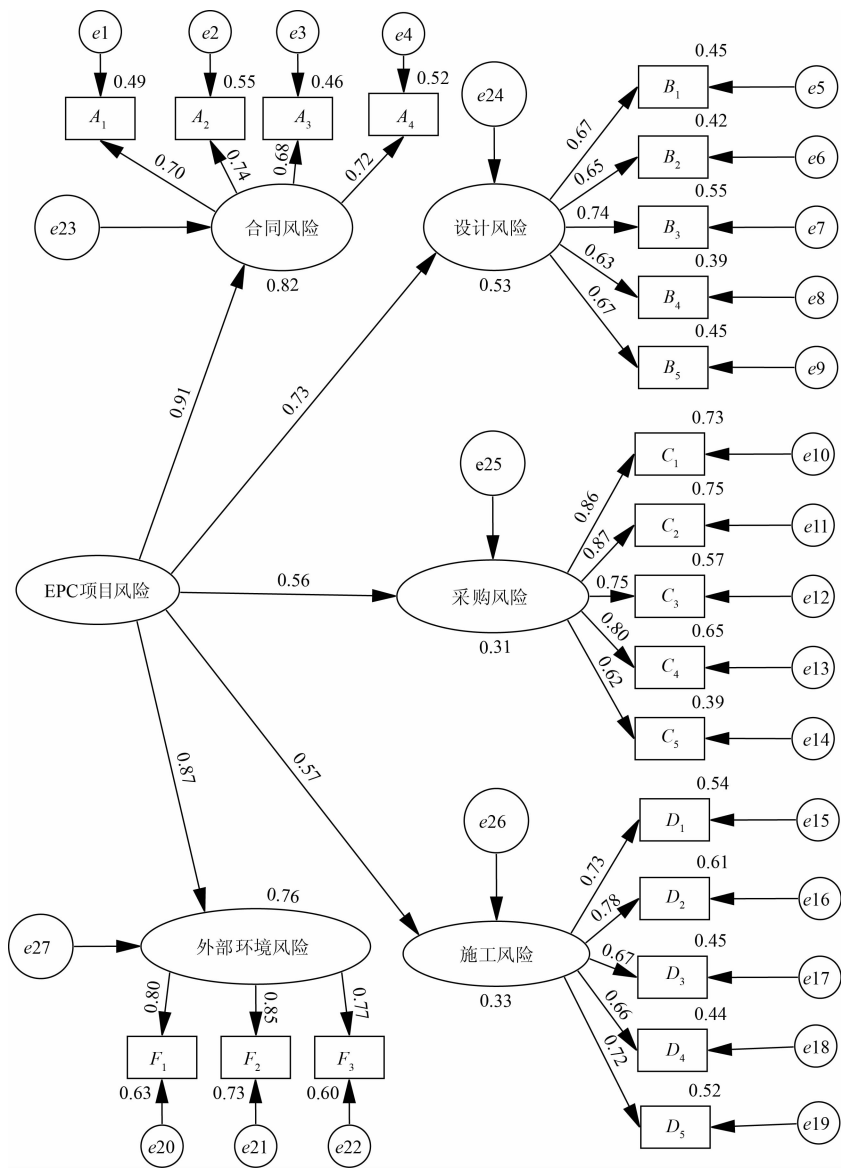


图 1 EPC 项目风险结构模型

3.1 合同风险

与其他风险因素相比,合同风险的一级指标权重最大,也就是说,合同风险为之江路 EPC 项目的主要影响因素。通过表 2 得出,风险分配不合理的风险的二级指标权重在合同风险中最大,为 0.261。之江路项目采用 EPC 总承包模式,总承包商具有更多的主动性,可以有效控制进度和费用,但同时总承包商将承担更大的风险。目前国内通行的工程总承包示范文本为《建筑项目工程总承包示范文本》(GF-2020—0216),对发承包风险做出了原则性规定,同时建议总承包单位应加强风险管理,合理分担风险,鼓励总承包单位运用保险手段增强风险防范能力。索赔和争议的风险、合同条款模糊不清的风险、合同变更的风险的二级指标权重相近,分

别为 0.239、0.246、0.254,说明两种风险对合同风险的影响程度均不可忽视。在工程实践中,合理分配风险,尤其是要结合具体情况对具体项目的特殊风险或专有风险的承担或分担做出约定。建立完善的合同管理机制,完善合同管理,对防范合同风险具有重要意义。

3.2 设计风险

设计延迟的二级指标权重最大,为 0.220,说明设计延迟是影响设计风险的主要因素。设计缺陷风险和设计深度风险的二级指标权重相近,分别为 0.193、0.188,这两者也会导致设计延迟。设计工期增加,严重时会使整个项目的工期增加,最严重的后果就是业主对承包商进行工期索赔或者是为赶工而造成额外费用增加。防范设计风险,需要建

立完善的设计风险评价体系,准确识别风险,对风险进行评价并给出相应的风险应对措施,尽可能将风险造成的损失降到最低。在施工过程中,设计单位应及时跟进施工单位进度,密切关注各方动态,及时处理施工、监理等单位反映的设计问题,才能有效地防范风险,降低风险发生的概率。

3.3 采购风险

材料设备采购的质量、价格是影响采购风险的主要因素,二者二级指标权重相近,分别为0.221和0.223。采购价格直接影响整个工程项目的成本,而采购质量也将影响整个工程的质量,材料质量不达标会给施工带来隐患。采购人员工作失误风险权重为0.205,采购人员的专业能力、责任心,都是采购工作顺利进行的關鍵。物资采购部门需要监理严格的监察体系,对采购的各种材料和设备进行细致的审查和验收工作,派遣专门的负责人签收各项物资,确认物资数量与质量,全方位降低风险发生的概率,实现采购过程规范化管理。要想确保EPC项目采购过程中各方相互监督,必须加强各环节承包商与总承包商的有效沟通。项目采购涉及多方面多领域,必须加强对细节的把控,确保降低采购风险发生的概率。

3.4 施工风险

EPC项目一般具有工程量大、施工周期长的特点,在施工阶段,由于工程的复杂性,相应地也会造成风险因素增加。从表2中得出,施工进度风险的二级指标权重最大,表明进度风险对施工风险的影响最大。如果因不确定因素而导致工期延迟,将会对整个之江路EPC项目造成严重后果,从而对项目的收益也造成严重影响。为防范施工风险,施工单位应建立严格规范的施工组织管理体系,引进先进的施工技术,增强安全施工意识,使整个施工流程合规合理地进行。

3.5 外部环境风险

政治环境、人文环境、经济环境等风险因素对外部环境风险的二级指标权重相近,其对外部环境风险影响同等重要。其中,人文环境的二级指标权重最大,其影响程度也最大。不利气候条件、新冠疫情等自然环境因素会影响项目的正常施工,施工单位应切实做好防疫要求,做好不良气候条件的应对措施。之江路地下隧道建设过程中于里程SK5+300至ZKO+600和NK5+300至主线隧道U型槽中段处涉及国家重点文物保护单位保护区——闸口白塔建设控制地带,建设过程需考虑施工及车辆行驶对景区安全的影响。

4 结论

通过文献查找确定EPC项目风险指标体系,将之江路EPC项目风险因素划分为合同风险、设计风险、采购风险、施工风险、外部环境风险等5大类22小类。发放调查问卷,收集相关数据,建立结构方程模型,对各风险因子进行权重计算,得出EPC项目风险一级指标权重由大到小依次为合同风险、外部环境风险、设计风险、施工风险、采购风险。

风险评价结果表明合同风险是之江路项目最主要的影响因素,承包商应建立完善的合同管理机制,对风险分配在合同条款中做出明确规定;外部环境风险是次要影响因素,总承包商应及时跟进国家政策,做好防疫要求,加强对不良气候的应对措施的制定;设计单位应及时跟进施工单位,密切关注各方动态,对施工单位、监理单位提出的设计问题做出及时回应;在施工过程中,应严格把控施工进度,确保项目在规定工期内保质保量地完成;在项目采购过程中,应加强对细节的把控,各方进行相互监督,降低风险发生的概率。

参考文献

- [1] 吕荣胜,王建,陈磊.基于模糊评价的EPC风险管理研究:以天津伟力公司天纺节电项目为例[J].云南财经大学学报,2012(2):153-160.
- [2] 韩心星.风险评估在中国的研究进展及热点分析:基于近30年中文核心期刊文献计量分析[J].科学技术与工程,2021,21(25):10984-10991.
- [3] 姚丽丽.G公司海外电力EPC工程风险管理研究[J].管理学家,2022(1):47-49.
- [4] PING Y,TAO W. EPC project risk assessment based on the improved fuzzy comprehensive evaluation algorithm [J]. Journal of Convergence Information Technology, 2013,8(5):710-716.
- [5] 史丹青.基于熵权-FAHP的设计院主导EPC模式风险评价研究[J].河南师范大学学报(哲学社会科学版),2021,42(S1):132-135.
- [6] 王明宇,郭汉丁,贺雨桐,等.既有建筑绿色改造项目风险管理研究综述[J].科技和产业,2022,22(3):83-88.
- [7] RODRIGUEZ A,ORTEGA F,CONCEPCION R. A method for the evaluation of risk in IT projects[J]. Expert Systems with Applications,2016,45:273-285.
- [8] 郭威.基于AHP方法选择以设计为龙头的EPC风险管理关键因素[J].广东水利水电,2010(6):39-41.
- [9] 张世豪.Y设计院EPC项目风险管理研究:以X县文体中心EPC项目为例[D].昆明:云南大学,2019.
- [10] YU N,WANG Y. Risk analysis of EPC project based on ISM[C]//2011 2nd IEEE International Conference on Emergency Management and Management Sciences. Bei-

jing; Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011;151-154.

[11] QI B, GUO L, BAI S. Study of EPC project risk management based on interrelated tree method[C]// 2010 International Conference on Management and Service Science, Management and Service Science. Wuhan: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010;1-3.

[12] 郑绍羽,王银萍. 基于 RBS-RM-BN 的 EPC 项目综合风险分析[J]. 粉煤灰综合利用, 2021, 35(2):128-135.

[13] 高冉. 伙伴关系下 EPC 项目总承包商风险识别研究[J]. 山西建筑, 2021, 47(4):189-190.

[14] 段永辉,张越,郭一斌,等. 基于结构方程的 EPC 项目风险评价及策略建议[J]. 会计之友, 2021(2):104-110.

[15] 刘玉明,徐涛,刘宝阳,等. EPC 模式下铁路建设项目总承包商的经营风险识别研究[J]. 工程经济, 2019, 29(3):20-24.

[16] 赵政,张敏,郑丽娟. 基于 ISM 模型的 EPC 项目风险网络分析[J]. 会计之友, 2019(20):147-152.

[17] 王露薇. 城市基础设施项目 EPC 模式招标风险管理措施[J]. 中华建设, 2021(5):38-39.

[18] 刘杨,杨祖贤. 国内外工程建设 EPC 模式的风险因素对比研究[J]. 建筑经济, 2020(S2):132-135.

[19] 刘增粮,李明顺,侯思婷. EPC 联合体风险动态分担研究:基于 ISM-随机合作博弈[J]. 建筑经济, 2021, 42(4):34-39.

Research on Risk Management of EPC Project Based on Structural Equation Model:
Taking the upgrading and reconstruction project of Zhijiang Road as an example

ZHANG Yu, FAN Min, LAI Jianwei, YU Qiang

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Taking the upgrading and reconstruction EPC project of Zhijiang Road as an example, the influencing factors of project risks were determined through literature reading and expert consultation. The risks of EPC project were divided into five categories, with a total of 22 sub categories. The five categories are contract risk, design risk, procurement risk, construction risk and external environment risk. The risk assessment results show that the first-class index weights of contract risk, design risk, procurement risk, construction risk and external environmental risk in EPC project risk are 0.250, 0.201, 0.154, 0.157 and 0.239 respectively. Contract risk is the main risk influencing factor of Zhijiang Road project. Contract risk is the main risk influencing factor of Zhijiang Road project. Strengthening the contract management of general contractor general contractor is helpful to improve the overall management level of the project.

Keywords: road works; risk management; structural equation model; engineering, procurement and construction(EPC); evaluating indicator