

基于 AHP-模糊综合评价的市政道路工程项目风险评价研究

李超^{1,2}, 刘瑛^{1,*}, 邵志国¹

(1. 青岛理工大学 管理工程学院, 青岛 266525; 2. 潍坊市建筑业发展服务中心, 潍坊 261000)

摘要: 为了提高政府建设部门对市政道路工程项目风险管理的能力, 促进市政道路工程项目建设持续健康发展, 以政府建设部门的视角, 通过德尔菲法对市政道路工程项目风险因素进行了筛选, 构建了基于 AHP-模糊综合评价法的潍坊市市政道路工程项目风险评价模型, 通过运算得到各风险因素权重和风险程度, 从而在工程项目建设中针对性地采取相关措施, 并结合实例分析验证了模型的可操作性, 对目前市政道路工程项目风险管理提出了相应的对策。

关键词: 市政道路工程项目; AHP; 模糊综合评价; 德尔菲法

中图分类号: TU997 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4602(2024)02-0094-09

Research on risk assessment of municipal road engineering project based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation

LI Chao^{1,2}, LIU Ying^{1,*}, SHAO Zhiguo¹

(1. School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266525, China;

2. Weifang Construction Development Service Centre, Weifang 261000, China)

Abstract: This study aims to improve the ability of the government construction department to manage the risk of municipal road engineering projects and promote the sustainable and healthy development of municipal road engineering projects. From the perspective of the government construction department, this study selects the risk factors of municipal road engineering projects through Delphi method and constructs the risk evaluation model of Weifang municipal road engineering projects based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method. Through the calculation, the weight and risk degree of each risk factor are obtained so that the department could take relevant measures in the construction of these projects. Combined with case analysis, the operability of the model is verified, and the corresponding countermeasures are put forward for the risk management of the current municipal road project.

Key words: municipal road engineering projects; AHP; fuzzy comprehensive evaluation; Delphi method

改革开放以来,我国开始了大规模的城市化建设,随之而来的城市道路拥堵问题显现,为此,开始了大规模的城市市政道路建设,但市政道路工程项目建设中存在很多风险,相关建设各方缺乏相应的应对办

收稿日期:2022-05-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71874123)

作者简介:李超(1990-),男,山东潍坊人。硕士,研究方向为工程项目风险管理。E-mail:1187962404@qq.com。

*通信作者:刘瑛(1965-),女,山东青岛人。教授,主要从事工程项目管理方面的研究。E-mail:liuying@qut.edu.cn。

法,给地方市政道路建设带来了很大的不确定性,因此很有必要加强市政道路项目风险管理,解决建设中的不确定性,节省政府财政资金,保证地方市政道路项目建设顺利实施。2018年,潍坊市人民政府办公室印发了《中心城区道路畅通工程实施方案》,计划用3年时间,打通28条断头路和13条下穿青银高速道路工程。2021年又计划打通33条断头路,2022年的计划正在稳步推进中,目前各项道路工程项目正在持续建设。随着潍坊市道路畅通工程的大力开展,市政道路工程建设取得了很大的成就,如首条潍坊准快速路渤海路,北宫街(虞河路东-新华路西)道路工程。但在大规模的城市市政道路工程项目建设中,其中可能发生的风险不容忽视,尤其是资金、质量、工期风险,有效的风险管理可以节省资金,保证质量,按期完成项目建设,因此加强市政道路风险管理,提高政府建设部门(本文中的政府建设部门是指代表政府行使市政道路工程项目的建设单位)风险管理水平,势在必行。

国外对于风险管理的研究很早,最早研究风险管理问题的国家是德国,但完善于美国,以101条风险管理守则最为代表。CARR等把模糊理论应用于风险管理的研究,使风险管理的理论更进一步^[1]。TAYLAN等把模糊层次分析法应用于工程风险综合评价中,运用模糊数学原理计算出项目整体风险程度,对风险管理更具有实际意义^[2]。GAVRYSH等把模糊集理论应用于建筑业企业项目风险管理,基于来自5个建筑业企业的5个项目样本,涵盖2010—2018年,基于模糊集理论分析了专家组调查的一组项目风险,包括7个阶段的模糊集模型构建,以评估建筑业企业的项目风险^[3]。DEMERTZIS等通过风险评价研究了希腊中小建筑施工企业的风险管理^[4]。TITARENKO等通过定量分析了高层建筑施工中的风险因素^[5]。AMANI等通过设置有变量的调查问卷,调取了5家执行公司的25位专家提交的40个项目数据,识别伊朗小型项目的地位、障碍以及风险管理对项目绩效的影响,评估伊朗小型项目的风险管理现状^[6]。上述研究表明,层次分析法和模糊综合评价在工程项目风险评价中具有实用价值。

在国内,风险管理的研究开始于20世纪90年代。顾昌耀等发展了风险管理理论,并运用于风险决策中^[7]。赵国龙利用突变理论和BIM技术,结合风险评价相关理论,深入研究了城市下穿道路施工风险评价^[8]。陈钊等利用G1法和改进CRITIC法确定施工风险权重,使用博弈论优化权重,建立了基于集对分析的多维联系云模型,然后用实例验证该模型的有效性^[9]。曾铁梅等提出了一种基于PCBN的风险评价方法,并用实例进行风险分析和指标相关性分析,从而确定施工的风险状态和高风险因素^[10]。黄亮采用WBS法将风险进行初步识别,运用层次分析法对施工阶段的项目风险进行评价并进行分析^[11]。李晓婧采用文献研究法初步识别风险因素,使用德尔菲法进行风险因素筛选,运用层次分析法得出风险因素的权重排序,通过模糊综合评价法确定风险程度,最后对不同程度的风险提出了应对策略^[12]。王昭辉研究了道路工程项目风险管理模式,为道路工程项目的风险管理提供了一种方法、思路^[13]。黎鹏提出市政工程建设管理的主题为施工质量和安全管理,质量管理中主要问题是质量管理体系不健全和监理人员不严谨,重点研究了市政工程建设管理中的问题,提出解决问题的方案^[14]。袁仕超从风险识别、评估和应对三个方面展开市政道路工程项目风险管理的论述,并以萍乡市中环大道作为案例,采用德尔菲法进行项目风险识别,并通过层次分析法进行项目风险评价,提出中环大道项目施工风险管理的策略^[15]。朱雷认为对市政工程施工现场进行有效管理,对于整个市政工程的质量是具有极大好处的,并且还能促进市政工程的现场施工进度,探讨如何建立科学、合理的施工现场管理方式^[16]。综上所述,国内学者对市政道路工程风险管理的研究大部分集中在施工阶段风险管理,很少涉及政府建设部门的全过程风险管理,但是在现实市政道路工程项目建设过程中,由于市政道路工程具有特殊的公益性,建设单位一般为政府部门,政府建设部门的全过程风险管理非常重要,其中包涵对施工、监理、勘察、设计单位的风险管理,因为所有参建单位的风险最终体现在工程项目的进度、质量、造价上,最终影响的都是政府建设部门。因此,建立一个政府建设部门全过程的风险管理模式很有必要。关于评价模型的选择,结合文献资料以及模型本身的特点,选用AHP-模糊综合评价模型。

1 评价指标体系以及指标权重的确定

1.1 指标体系的构建

基于市政道路工程项目建设的特点,参考相关专家学者的研究,本文从政府建设部门的角度,对项目

的各参建单位进行分析,通过德尔菲法对评价指标进行了调整,根据市政道路工程项目建设的特点将指标体系划分为 4 个一级指标:技术风险,经济风险,管理风险,自然、社会风险。将一级指标细分成 19 个二级指标,二级指标细分成 51 个三级指标,形成了评价体系,见表 1。

表 1 评价体系指标

目标层	一级指标	二级指标	三级指标
潍坊市 市政道路 工程项 目风 险管 理体 系	技术风险 A_1	建设单位 A_{11}	进度安排合理性 A_{111}
			突发状况技术储备 A_{112}
			招标单位素质能力 A_{113}
			道路施工技术掌握程度 A_{114}
		勘察单位 A_{12}	土壤地质情况勘探 A_{121}
			地下地貌探测 A_{122}
			地上物质标记准确性 A_{123}
		设计单位 A_{13}	图纸规范程度 A_{131}
			设计全面性 A_{132}
	经济风险 A_2	施工单位 A_{14}	环境状况 A_{133}
			蓄水池技术储备 A_{141}
			桥下施工技术储备 A_{142}
			综合管廊施工技术 A_{143}
		监理单位 A_{15}	地基基础施工 A_{144}
			图纸识图准确性 A_{151}
		建设单位 A_{21}	监理技术 A_{152}
			未及时拨付工程款 A_{211}
	工程款审核准确性 A_{212}		
	工程出现变更导致的造价增加 A_{213}		
勘察单位 A_{22}	审计结算速度 A_{214}		
	因自身资金问题,未及时交付测绘成果 A_{221}		
设计单位 A_{23}	对测绘成果存异议,难以确定结算值 A_{222}		
	对工程预算偏差大,导致实施困难 A_{231}		
监理单位 A_{25}	施工单位 A_{24}	因自身资金问题,未及时交付设计图纸 A_{232}	
		施工周期长,材料涨价 A_{241}	
	建设单位 A_{31}	预付款不及时,材料进场慢 A_{242}	
		挪用工程款,导致进度慢 A_{243}	
	勘察单位 A_{32}	未及时拨付农民工工资,导致上访 A_{244}	
		工程款支付把关不严 A_{251}	
	建设单位 A_{31}	工程量确认未认真核实 A_{252}	
		结算时对工程变更清单定价把关不严 A_{253}	
		招标时确定的施工单位实力一般 A_{311}	
	监理单位 A_{25}	协调各施工单位交叉施工时不力 A_{312}	
招标时定工期不合理 A_{313}			
建设单位 A_{31}	工程质量管理不到位 A_{314}		
	地质勘察布点少,勘察数据有误差 A_{321}		
	内部管理不到位,提供资料不及时 A_{322}		
勘察单位 A_{32}	施工单位进场前,未及时提供测量基点 A_{323}		

续表 1

目标层	一级指标	二级指标	三级指标
潍坊市市政道路工程 项目 风险 管理 体系	管理风险 A_3	设计单位 A_{33}	内部管理不到位, 未及时提供图纸 A_{331}
			施工过程中未及时沟通变更 A_{332}
			未及时向施工单位解答图纸异议 A_{333}
		施工单位 A_{34}	有效安排进度 A_{341}
			有效管理工人 A_{342}
	监理单位 A_{35}	安全文明施工 A_{343}	
		及时下达隐患整改通知 A_{351}	
		隐蔽工程旁站监督 A_{352}	
	自然、社会风险 A_4	气象 A_{41}	工程质量监督管理 A_{353}
			台风 A_{411}
		水文 A_{42}	暴雨 A_{421}
		地质 A_{43}	地下松软土、腐殖质 A_{431}
		其他 A_{44}	大型活动需停工 A_{441}

1.2 指标权重的确定

对于指标体系权重的确定, 采用层次分析法进行计算。共选择了 10 位专家收集重要性标度, 计算加权平均值获得最接近的标度。重要程度 1—9 代表从影响力相同到影响力绝对强, 各数的倒数则表示影响力成反比。表 2 为一级指标层的判断矩阵及相对权重。表 3—6 为 A_1 — A_4 层因素的判断矩阵及指标权重。表 7—11 为 A_{11} — A_{15} 层因素的判断矩阵及指标权重。

表 2 一级指标层的判断矩阵及指标权重

因素	A_1	A_2	A_3	A_4	权重
A_1	1	2	3	7	0.5129
A_2	1/2	1	1	3	0.2241
A_3	1/3	1	1	2	0.1838
A_4	1/7	1/3	1/2	1	0.0792

表 3 A_1 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	权重
A_{11}	1	1/3	1/4	1/6	1/2	0.0622
A_{12}	3	1	1	1/2	1	0.1838
A_{13}	4	1	1	1/2	2	0.2229
A_{14}	6	2	2	1	3	0.3942
A_{15}	2	1	1/2	1/3	1	0.1369

表 4 A_2 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{25}	权重
A_{21}	1	9	7	2	3	0.4602
A_{22}	1/9	1	1	1/5	1/3	0.0529
A_{23}	1/7	1	1	1/4	1/2	0.0631
A_{24}	1/2	5	4	1	2	0.2559
A_{25}	1/3	3	2	1/2	1	0.1679

表 5 A_3 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{31}	A_{32}	A_{33}	A_{34}	A_{35}	权重
A_{31}	1	3	2	1/4	1/2	0.1362
A_{32}	1/3	1	1	1/9	1/5	0.0543
A_{33}	1/2	1	1	1/7	1/3	0.0681
A_{34}	4	9	7	1	2	0.4956
A_{35}	2	5	3	1/2	1	0.2458

表 6 A_4 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{41}	A_{42}	A_{43}	A_{44}	权重
A_{41}	1	1/2	3	5	0.2831
A_{42}	2	1	6	9	0.5523
A_{43}	1/3	1/6	1	3	0.1129
A_{44}	1/5	1/9	1/3	1	0.0517

表7 A_{11} 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{111}	A_{112}	A_{113}	A_{114}	权重
A_{111}	1	9	3	7	0.6325
A_{112}	1/9	1	1/3	1	0.0753
A_{113}	1/3	3	1	2	0.2033
A_{114}	1/7	1	1/2	1	0.0889

表8 A_{12} 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{121}	A_{122}	A_{123}	权重
A_{121}	1	1/5	1/3	0.1107
A_{122}	5	1	2	0.5771
A_{123}	3	1/2	1	0.3122

表9 A_{13} 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{131}	A_{132}	A_{133}	权重
A_{131}	1	1/3	1/5	0.1107
A_{132}	3	1	1/2	0.3123
A_{133}	5	2	1	0.5770

表10 A_{14} 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{141}	A_{142}	A_{143}	A_{144}	权重
A_{141}	1	9	9	5	0.7006
A_{142}	1/9	1	1	1/2	0.0758
A_{143}	1/9	1	1	1/2	0.0758
A_{144}	1/5	2	2	1	0.1478

通过 Excel 表格计算各因素权重,先将判断矩阵列项归一,再按行相加,再列项归一即得各权重因素,表2—11中的判断矩阵都通过一致性检验。依此类推,对指标体系进行权重计算,由于篇幅限制,其他指标层的判断矩阵不再列出,通过计算得到指标体系的综合权重。

计算所得各因素的权重为

$$W=(0.5129, 0.2241, 0.1838, 0.0792)^T。$$

$$W_1=(0.0622, 0.1838, 0.2229, 0.3942, 0.1369)^T, W_2=(0.4602, 0.0529, 0.0631, 0.2559, 0.1679)^T,$$

$$W_3=(0.1362, 0.0543, 0.0681, 0.4956, 0.2458)^T, W_4=(0.2831, 0.5523, 0.1129, 0.0517)^T。$$

$$W_{11}=(0.6325, 0.0753, 0.2033, 0.0889)^T, W_{12}=(0.1107, 0.5771, 0.3122)^T,$$

$$W_{13}=(0.1107, 0.3123, 0.5770)^T, W_{14}=(0.7006, 0.0758, 0.0758, 0.1478)^T, W_{15}=(0.7500, 0.2500)^T。$$

$$W_{21}=(0.2735, 0.0879, 0.5429, 0.0957)^T, W_{22}=(0.8333, 0.1667)^T, W_{23}=(0.8889, 0.1111)^T,$$

$$W_{24}=(0.1379, 0.6512, 0.0731, 0.1379)^T, W_{25}=(0.2923, 0.6150, 0.0927)^T。$$

$$W_{31}=(0.4172, 0.1080, 0.4172, 0.0577)^T, W_{32}=(0.7775, 0.1435, 0.0592)^T,$$

$$W_{33}=(0.1096, 0.5813, 0.3091)^T, W_{34}=(0.2007, 0.0737, 0.7257)^T, W_{35}=(0.0790, 0.7775, 0.1435)^T。$$

2 基于模糊数学的评价模型

模糊综合评价法能将定性的评价转换为定量的结果,具有清晰性。具体步骤如下:

2.1 建立因素集

将层次分析法中的三级指标当成模糊综合评价法里的评判因素,则影响评价的所有因素 u 组成的集合,即为因素集 $U, U=\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 。

2.2 建立权重集

因素集 U 中的各因素 u 对本因素集的重要程度是不同的,但各因素重要程度对本因素集的和为1, $a_1+a_2+\dots+a_m=1$,各因素的重要程度就是应用层次分析法计算出的权重。

2.3 确立评判集

评判集是指评判者对评判因素可能做出的评判结果的集合,本文采用的评判集为 $V=\{\text{危险很大, 危险较大, 危险一般, 危险较小, 危险极小}\}$ 。

表11 A_{15} 层因素的判断矩阵及指标权重

因素	A_{151}	A_{152}	权重
A_{151}	1	3	0.7500
A_{152}	1/3	1	0.2500

2.4 构建评判矩阵

将各因素的评判结果组合起来,即得评判矩阵 R :

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{m5} \end{pmatrix}。$$

2.5 模糊综合评价

模糊综合评价就是将综合考虑各因素权重和评判结果而得出的项目综合评判结果。

$$B = A \cdot R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \cdot \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{m5} \end{pmatrix} = \{b_1, b_2, \dots, b_5\}。$$

根据最大隶属度原则,即评价结果里哪个评价数值最大,综合评价结果就是哪个评价结果。

3 实例分析

新华路下穿青银高速道路工程位于潍坊经济开发区,全长约 1000 m,北接泰祥街,下穿济青高速,南连永兴街,道路红线宽度 40 m,工程造价约为 4500 万元,设计标准为城市主干道,设计使用年限为 15 年,2018 年 3 月份开工,目前已竣工验收,本文收集了新华路下穿青银高速道路工程项目的有关数据,通过对该工程项目风险进行模糊综合评价,为后续潍坊市市政道路工程项目提供参考经验,提高道路工程项目风险管理能力。

将层次分析模型中的三级指标一一对应到模糊综合评价模型里的因素,采用线上线下调查问卷相结合的方式,统计 10 位参建者对各因素的评判,假定同一因素总的评判结果为 1,如 10 个人中有 9 个人认为危险很大,1 个人认为危险一般,则危险很大统计为 9/10,危险一般统计为 1/10,其余评判结果为 0/10。10 位参建者的评判情况见表 12。

表 12 新华路项目风险结果评分

因素	危险很大	危险较大	危险一般	危险较小	危险极小
U_{111}	1/10	1/10	6/10	1/10	1/10
U_{112}	1/10	2/10	5/10	1/10	1/10
U_{113}	1/10	1/10	6/10	1/10	1/10
U_{114}	1/10	2/10	5/10	1/10	1/10
U_{121}	1/10	3/10	4/10	1/10	1/10
U_{122}	1/10	3/10	4/10	1/10	1/10
U_{123}	1/10	1/10	6/10	1/10	1/10
U_{131}	0/10	1/10	7/10	1/10	1/10
U_{132}	0/10	2/10	6/10	1/10	1/10
U_{133}	1/10	2/10	5/10	1/10	1/10
U_{141}	1/10	3/10	4/10	1/10	1/10
U_{142}	1/10	3/10	3/10	2/10	1/10
U_{143}	0/10	0/10	0/10	0/10	10/10
U_{144}	2/10	1/10	4/10	2/10	1/10
U_{151}	1/10	1/10	6/10	1/10	1/10
U_{152}	1/10	1/10	6/10	1/10	1/10
U_{211}	1/10	1/10	6/10	1/10	1/10
U_{212}	1/10	2/10	5/10	1/10	1/10
U_{213}	1/10	1/10	6/10	1/10	1/10
U_{214}	0/10	1/10	7/10	1/10	1/10
U_{221}	0/10	0/10	6/10	2/10	2/10
U_{222}	0/10	0/10	6/10	2/10	2/10
U_{231}	0/10	2/10	4/10	2/10	2/10
U_{232}	0/10	0/10	5/10	2/10	3/10
U_{241}	0/10	3/10	5/10	1/10	1/10
U_{242}	0/10	1/10	7/10	1/10	1/10
U_{243}	0/10	1/10	5/10	2/10	2/10
U_{244}	0/10	1/10	3/10	4/10	2/10
U_{251}	0/10	4/10	4/10	1/10	1/10
U_{252}	0/10	3/10	5/10	2/10	0/10
U_{253}	0/10	3/10	3/10	4/10	0/10
U_{311}	0/10	1/10	6/10	2/10	1/10
U_{312}	1/10	1/10	4/10	2/10	2/10
U_{313}	1/10	2/10	3/10	2/10	2/10
U_{314}	1/10	2/10	4/10	2/10	1/10
U_{321}	0/10	2/10	6/10	1/10	1/10
U_{322}	0/10	1/10	7/10	1/10	1/10
U_{323}	1/10	2/10	5/10	1/10	1/10
U_{331}	0/10	1/10	3/10	3/10	3/10
U_{332}	0/10	1/10	5/10	2/10	2/10
U_{333}	0/10	1/10	6/10	2/10	1/10
U_{341}	0/10	2/10	5/10	2/10	1/10
U_{342}	0/10	2/10	4/10	3/10	1/10
U_{343}	0/10	1/10	2/10	4/10	3/10
U_{351}	0/10	1/10	4/10	3/10	2/10
U_{352}	0/10	1/10	2/10	4/10	3/10
U_{353}	0/10	2/10	2/10	4/10	2/10
U_{411}	1/10	1/10	7/10	1/10	0/10
U_{421}	1/10	2/10	6/10	1/10	0/10
U_{431}	0/10	1/10	5/10	2/10	2/10
U_{441}	1/10	1/10	3/10	3/10	2/10

3.1 二级风险评价指标运算

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{11} &= \mathbf{W}_{11} \cdot \mathbf{R}_{11} = (0.6325, 0.0753, 0.2033, 0.0889) \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} \\
 &= (0.1000, 0.1164, 0.5836, 0.1000, 0.1000),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{12} &= \mathbf{W}_{12} \cdot \mathbf{R}_{12} = (0.1107, 0.5771, 0.3122) \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} \\
 &= (0.1000, 0.2376, 0.4625, 0.1000, 0.1000),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{13} &= \mathbf{W}_{13} \cdot \mathbf{R}_{13} = (0.1107, 0.3123, 0.5770) \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.7 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} \\
 &= (0.0577, 0.1890, 0.5534, 0.1000, 0.1000),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{14} &= \mathbf{W}_{14} \cdot \mathbf{R}_{14} = (0.7006, 0.0758, 0.0758, 0.1478) \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix} \\
 &= (0.1072, 0.2477, 0.3621, 0.1148, 0.1682),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{15} &= \mathbf{W}_{15} \cdot \mathbf{R}_{15} = (0.7500, 0.2500) \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} \\
 &= (0.1000, 0.1000, 0.6000, 0.1000, 0.1000).
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{21} &= \mathbf{W}_{21} \cdot \mathbf{R}_{21} = (0.2735, 0.0879, 0.5429, 0.0957) \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.7 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} \\
 &= (0.0904, 0.1088, 0.6008, 0.1000, 0.1000),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{22} &= \mathbf{W}_{22} \cdot \mathbf{R}_{22} = (0.8333, 0.1667) \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.6 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} \\
 &= (0, 0, 0.6000, 0.2000, 0.2000),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{23} &= \mathbf{W}_{23} \cdot \mathbf{R}_{23} = (0.8889, 0.1111) \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.2 & 0.3 \end{bmatrix} \\
 &= (0, 0.1778, 0.1111, 0.2000, 0.2111),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{24} &= \mathbf{W}_{24} \cdot \mathbf{R}_{24} = (0.1379, 0.6512, 0.0731, 0.1379) \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.7 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix} \\
 &= (0, 0.1276, 0.6027, 0.1487, 0.1211),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_{25} &= \mathbf{W}_{25} \cdot \mathbf{R}_{25} = (0.2923, 0.6150, 0.0927) \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0 \end{bmatrix} \\
 &= (0, 0.3292, 0.4522, 0.1893, 0.0292).
 \end{aligned}$$

$$B_{31} = W_{31} \cdot R_{31} = (0.4172, 0.1080, 0.4172, 0.0577) \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$= (0.0583, 0.1475, 0.4418, 0.2000, 0.1525),$$

$$B_{32} = W_{32} \cdot R_{32} = (0.7775, 0.1435, 0.0592) \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.7 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$= (0.0059, 0.1817, 0.5966, 0.0980, 0.0980),$$

$$B_{33} = W_{33} \cdot R_{33} = (0.1096, 0.5813, 0.3091) \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0 & 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$= (0, 0.1000, 0.5090, 0.2110, 0.1800),$$

$$B_{34} = W_{34} \cdot R_{34} = (0.2007, 0.0737, 0.7257) \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$= (0, 0.1275, 0.2750, 0.3525, 0.2452),$$

$$B_{35} = W_{35} \cdot R_{35} = (0.0790, 0.7775, 0.1435) \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 \\ 0 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.3 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$= (0, 0.1144, 0.2158, 0.3921, 0.2778)。$$

$$B_{41} = (0.1000, 0.1000, 0.7000, 0.1000, 0), B_{42} = (0.1000, 0.2000, 0.6000, 0.1000, 0),$$

$$B_{43} = (0, 0.1000, 0.5000, 0.2000, 0.2000), B_{44} = (0.1000, 0.1000, 0.3000, 0.3000, 0.2000)。$$

3.2 计算一级风险评价结果

将二级项目风险评价结果综合,看成一级风险因素的数值,然后可推算出一级风险评价结果 $B_1 = W_1 \cdot R_1$,具体计算如下:

$$B_1 = W_1 \cdot R_1 = (0.0622, 0.1838, 0.2229, 0.3942, 0.1369) \begin{bmatrix} 0.1000 & 0.1164 & 0.5836 & 0.1000 & 0.1000 \\ 0.1000 & 0.2376 & 0.4625 & 0.1000 & 0.1000 \\ 0.0577 & 0.1890 & 0.5534 & 0.1000 & 0.1000 \\ 0.1072 & 0.2477 & 0.3621 & 0.1148 & 0.1682 \\ 0.1000 & 0.1000 & 0.6000 & 0.1000 & 0.1000 \end{bmatrix}$$

$$= (0.0934, 0.2044, 0.4695, 0.1059, 0.1269),$$

$$B_2 = W_2 \cdot R_2 = (0.4602, 0.0529, 0.0631, 0.2559, 0.1679) \begin{bmatrix} 0.0904 & 0.1088 & 0.6008 & 0.1000 & 0.1000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.6000 & 0.2000 & 0.2000 \\ 0.0000 & 0.1778 & 0.1111 & 0.2000 & 0.2111 \\ 0.0000 & 0.1276 & 0.6027 & 0.1487 & 0.1211 \\ 0.0000 & 0.3292 & 0.4522 & 0.1893 & 0.0292 \end{bmatrix}$$

$$= (0.0416, 0.1492, 0.5491, 0.1338, 0.1058),$$

$$B_3 = W_3 \cdot R_3 = (0.1362, 0.0543, 0.0681, 0.4956, 0.2458) \begin{bmatrix} 0.0581 & 0.1475 & 0.4418 & 0.2000 & 0.1525 \\ 0.0059 & 0.1817 & 0.5966 & 0.0980 & 0.0980 \\ 0.0000 & 0.1000 & 0.5090 & 0.2110 & 0.1800 \\ 0.0000 & 0.1275 & 0.2750 & 0.3525 & 0.2452 \\ 0.0000 & 0.1144 & 0.2158 & 0.3921 & 0.2778 \end{bmatrix}$$

$$= (0.0082, 0.1281, 0.3166, 0.3180, 0.2282),$$

$$B_4 = W_4 \cdot R_4 = (0.2831, 0.5523, 0.1129, 0.0517) \begin{bmatrix} 0.1000 & 0.1000 & 0.7000 & 0.1000 & 0.0000 \\ 0.1000 & 0.2000 & 0.6000 & 0.1000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.1000 & 0.5000 & 0.2000 & 0.2000 \\ 0.1000 & 0.1000 & 0.3000 & 0.3000 & 0.2000 \end{bmatrix}$$

$$= (0.0887, 0.1552, 0.6015, 0.1217, 0.0330)。$$

3.3 计算新华路项目总风险

将一级项目风险评价结果综合,看成项目总风险因素的数值,然后可推算出项目总风险评价结果 $B = W \cdot R$,具体计算如下:

$$B = W \cdot R = (0.5129, 0.2241, 0.1838, 0.0792) \begin{bmatrix} 0.0934 & 0.2044 & 0.4695 & 0.1059 & 0.1269 \\ 0.0416 & 0.1492 & 0.5491 & 0.1338 & 0.1058 \\ 0.0082 & 0.1281 & 0.3166 & 0.3180 & 0.2282 \\ 0.0887 & 0.1552 & 0.6015 & 0.1217 & 0.0330 \end{bmatrix}$$

$$= (0.0658, 0.1741, 0.4697, 0.1524, 0.1334)。$$

4 结论

1) 按照最大隶属度原则,新华路道路工程项目风险为一般风险,符合工程项目实际情况,这就要求在项目建设过程中,尽量提高项目风险识别能力,克服风险带来的影响,保质保量保进度地完成项目建设。

2) 一级指标里技术权重占比最大,通过计算分析,一级指标里风险评价技术风险也是最大的,这就要求在项目建设过程中要高度重视技术风险(这里的技术风险不仅仅来自于施工单位,也来自于建设、勘察、设计、监理单位),加强施工单位进场前技术培训,尤其是对新技术施工重难点的技术培训;提高建设单位的技术能力,尤其是道路施工工期安排的合理性和招标能力;提高勘察单位的技术能力,尤其是地下地貌勘察的准确性;提高设计单位的技术能力,尤其是综合考虑周围环境,使设计与环境相协调;提高监理单位的技术能力,尤其是对图纸的全面把握能力。

3) 对于建设单位(即政府建设部门)而言,经济风险是其最大的风险,这就要求建设单位加强预算管理,加强合同管理,加强审计管理,确保工程项目不超预算,按计划顺利开展。

参考文献(References):

- [1] CARR V, TAH J H M. A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: Construction project risk management system[J]. *Advances in Engineering Software*, 2001, 32(10):847-857.
- [2] TAYLAN O, BAFAIL A O, ABDULAAL R M S, et al. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies[J]. *Applied Soft Computing*, 2014, 17:105-116.
- [3] GAVRYSH O, MELNYKOVA V. Project risk management of the construction industry enterprises based on fuzzy set theory[J]. *Problems and Perspectives in Management*, 2019, 17(4):203-213.
- [4] DEMERTZIS G, VATALIS K I. Project risk management adaptation of infrastructures in the Greek context[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 899(1). DOI:10.1088/1755-1315/899/1/012055.
- [5] TITARENKO B, HASNAOUI A, TITARENKO R, et al. Project risk management in the construction of high-rise buildings[J]. *E3S Web of Conferences*, 2018, 33: 03074-03074.
- [6] AMANI N, SAFARZADEH K. Project risk management in Iranian small construction firms[J]. *Journal of Engineering and Applied Science*, 2022, 69(1). DOI:10.1186/S44147-021-00050-8.
- [7] 顾昌耀,邱宛华. 复熵及其应用:Bayes-E 决策分析法[J]. *航空学报*, 1991, 12(9): A512-A518.
GU Changyao, QIU Wanhua. Complex entropy and its application: Bayes-E decision procedure[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 1991, 12(9): A512-A518.
- [8] 赵国龙. 城市道路下穿通道施工风险评价方法研究及其应用[D]. 石家庄:石家庄铁道大学, 2018.
ZHAO Guolong. Research and application of risk assessment method for underpass construction of urban road[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2018.
- [9] 陈钊,孙景楠,周子龙,等. 基于多维联系云模型的公路边坡施工安全风险评估[J]. *安全与环境学报*, 2023, 23(6):1791-1800.
CHEN Zhao, SUN Jingnan, ZHOU Zilong, et al. Risk assessment of highway slope construction based on multi-dimensional connection cloud model[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2023, 23(6):1791-1800.