

基于 AHP-SEM 的灌区工程建设管理风险评估研究

沈心哲¹, 闫一博², 王青³

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029;

2. 河海大学 商学院, 江苏 南京 211100; 3. 河海大学 公共管理学院, 江苏 南京 211100)

摘要: 为了精细化灌区风险识别, 减少事故的发生几率, 采用层次分析法(AHP)与结构方程模型(SEM)相结合的方法, 构建 AHP-SEM 量化评价模型, 探讨灌区各风险因素之间的作用机理。结果表明, 在灌区风险管理一级风险指标中, 设计风险所占评估权重最大, 其次是管理风险、采购风险、施工风险、个人风险、社会风险, 主要建筑物风险、环境风险。根据一级风险指标进一步细化二级指标, 得出二级指标影响程度, 确定风险的大小。研究结果对灌区工程建设部门有效规避风险具有指导意义。

关键词: 灌区工程建设; 风险评估; 层次分析法; 结构方程模型

中图分类号: S277.7

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2023)06-0197-07

Risk Assessment of Irrigation District Project Construction Management Based on AHP-SEM

SHEN Xinzhe¹, YAN Yibo², WANG Qing³

(1. Nanjing Institute of Water Resources Research, Nanjing, Jiangsu 210029, China;

2. College of Business, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 211100, China;

3. School of Public Administration, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 211100, China)

Abstract: In order to refine the identification of irrigation area risks and reduce the probability of accidents. This study used the combination of analytic hierarchy process and structural equation modeling to construct an AHP-SEM quantitative evaluation model to explore the mechanism of action between various risk factors in irrigation areas. The results show that among the primary risk indicators of irrigation area risk management, design risk has the largest evaluation weight, followed by management risk, procurement risk, construction risk, personal risk, social risk, main building risk, and environmental risk. Further refine the secondary indicators based on the primary risk indicators to obtain the impact degree of the secondary indicators and determine the magnitude of the risk. The research results could guide the irrigation area engineering construction department to avoid risks.

Keywords: irrigation area engineering construction; risk assessment; analytic hierarchy process; structural equation model

灌区工程作为农业大国的重要基础设施之一, 是我国的经济社会发展中的重要基础设施, 是确保农业生产稳定和农民生活水平改善的重要保障^[1-3]。近年来随着粮食需求的不断增长, 许多老旧的灌溉设施已经无法满足当前灌溉需求^[4], 急需进行升级改造。而在灌区工程建设管理的过程中,

目前仍面临着众多风险与挑战, 这些风险不仅直接影响工程建设和运行, 同时会对整个区域的社会经济造成深远影响。因此, 有必要深入探究灌区工程建设风险, 建立合理的风险评价模型, 对各类风险进行量化分析, 进而提出精细化的风险管理决策。

灌区工程的建设期涉及多种建筑物, 风险源较

为复杂^[5-7],有效的风险识别可以帮助减少施工事故的发生,提高施工安全水平。通过对灌区工程的风险识别,并采用适当的评价方法进行风险量化,能够为灌区工程的安全建设提供科学依据和有效决策支持,从而帮助决策者全面了解工程风险,并针对性地制定风险防控措施,降低项目风险,保障工程建设顺利进行。通过科学的风险识别与评估,能够进一步提升灌区工程建设的安全性、可靠性和可持续性,为农业生产和水利资源管理作出积极贡献。

在过去已有的研究中,学者们针对灌区施工与管理风险展开了大量讨论,如杨子照通过主成分分析法对赵口引黄灌区工程的施工风险管理进行了有效评估,并根据针对工序和施工风险的重要性,给出了风险防控对策^[8]。张雅文利用层次分析法对灌区农业节水工程信息化项目进行风险因素重要性评价并根据灌区水利信息化项目风险评估结果给出对应的建议^[9]。此类研究通过科学系统的数理统计方法对灌区工程的风险进行评估,研究结果也为灌区建设风险管理提供了有效的防控对策。但其研究方法多借助于传统单一的层次分析法或主观评价法,评价指标较少,且研究对象单一,导致研究结果无法全面考虑到各种潜在风险因素之间的复杂关系。难以捕捉到潜在风险的交互作用与复杂性,从而限制了风险评估的准确性。

为了能够精确识别工程建设中各风险要素的重要性,学者们通过引入了结构方程模型来对风险要素之间的相互关联性进行识别^[10-12]。结构方程模型(SEM)提供了一种能够同时处理可直接观测的“显变量”,以及难以直接观测的“潜变量”的研究方法。模型中的潜变量是其对应显变量的抽象和概括,显变量则是潜变量的测量指标^[13-15]。利用SEM能够将工程风险划分为不同的潜变量,并进一步延伸出更细致的显变量,从而实现对工程风险的精细化识别。但目前此类研究更多用于探究风险变量之间的相互作用关系,较难形成具体的风险评估结果。

基于上述讨论,采用结构方程模型方法(SEM)与层次分析法(AHP)相结合的方法对灌区工程各类风险进行评估,研究目的在于弥补传统灌区风险评估方法的不足,并提供一种更全面、更系统的灌区工程风险评估方法,为风险管理提供决策依据。研究首先对风险要素的指标体系确定,然后确定研究所使用的模型,最后进行实证分析,并根据研究结果提出对应的风险控制决策。

1 风险因素识别指标体系与模型构建

1.1 指标体系构建

在灌区工程中,风险评估涉及两个主要方面:内部建设风险和外部环境风险。内部风险见表1,主要与工程建设和运行管理的内部因素相关,包括设计风险、施工风险、管理风险和采购风险。设计风险涉及到工程设计的合理性、可行性和稳定性等方面。施工风险包括工程施工的质量、进度和安全等方面的风险。管理风险涉及到工程管理的组织、协调和监督等方面。采购风险涉及到材料和设备采购的质量、供应保障和成本控制等问题。

外部环境风险见表2,主要与工程建设和运行管理过程中的外部因素相关,包括环境风险、个人风险、社会风险和主要建筑物风险。环境风险涉及到自然环境因素对工程的影响,如洪水、干旱和地质灾害等。个人风险涉及到个体行为和能力对工程运行的影响。社会风险涉及到社会和政治因素对工程建设和运行的影响。主要建筑物风险涉及到工程中关键公共设施建筑物的稳定性、安全性和维护等问题。

表1 灌区工程建设内部风险

测量变量	编号	变量描述
设计风险	A1	设计进度、质量、成本的控制
	A2	设计变更风险
	A3	设计缺陷、设计标准的采用
施工风险	B1	施工成本费用风险
	B2	施工质量的管理和控制
	B3	安全文明的施工措施
管理风险	C1	主要建筑物检查管理
	C2	工程维修养护计划
	C3	施工进度计划与组织管理
采购风险	D1	采购质量及保证措施
	D2	材料设备采购价格上涨
	D3	物资材料与机电设备的采购及运输风险

1.2 研究框架

研究首先利用专家评分法结合层次分析法确定各个一级指标的权重,然后利用结构方程模型对各个一级指标对应的二级指标进行验证性因子分析,确定不同二级指标在一级指标中的权重,研究框架见图1。

2 实例分析

2.1 数据采集

设计了基于灌区项目风险评价指标体系的调查

问卷,问卷内容分为两部分:第一部分是通过邀请行业内三位专家对一级风险指标的重要性进行评估,第二部分则是对相关从业者进行数据采集,对二级指标的重要性进行评估。数据采集包括被访者的个人信息,如性别、工作单位类型、从事工程(科研)相关工作的年限和职称等,以及调研分析的主要内容。一级指标是通过比较不同一级指标的相对重要性来形成一个具有层次结构的判断矩阵,进而得到一级指标评估结果;二级指标是对灌区项目风险的影响程度,采用李克特(Likert)7级量表法,建立1~7分的评分标准。主要调研对象为全国各地土木以及水利行业的专家、科研人员以及从事灌区工程建设工作的人员。为确保研究数据的有效性,研究在线上向专家学者发放了100份问卷,最终有效回收了82份,有效问卷率约为82%。样本具体调查对象情况如表3所示。

表 2 灌区工程建设外部风险

测量变量	编号	变量描述
环境风险	E1	自然灾害的发生
	E2	环境污染问题
	E3	现场施工环境的安全隐患
个人风险	F1	是否存在不当操作行为
	F2	是否有良好的工作态度与理念
	F3	个人的身心健康状态
社会风险	G1	征地拆迁风险(征迁补偿标准是否达到民众预期)
	G2	移民安置风险(是否能够对搬迁群众进行合理安置)
	G3	后期维护风险(民众在新居住地有无获取谋生渠道,建立良好的后期运营维护机制)
主要建筑物风险	H1	闸门与启闭机风险
	H2	桥梁风险(有无注明载重能力,是否及时处理桥孔下游的冲刷)
	H3	是否根据分水、退水要求,全部或部分关闭节制闸

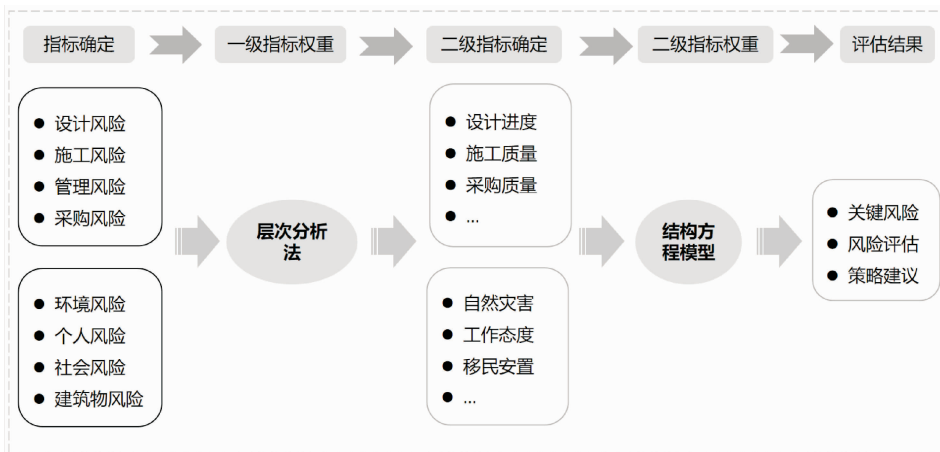


图 1 研究框架

2.2 基于层次分析法的一级指标分析

层次分析法是一种常用于解决复杂的多准则决策问题和评估风险的方法。其基本思想是将一个复杂的决策问题层次化,从总体目标到具体准则和可选方案,以便更好地进行决策^[16]。

在 AHP 中,决策问题被分解为多个层次,并通过两两比较不同元素的相对重要性来形成一个具有层次结构的判断矩阵。然后,对判断矩阵进行运算,得出各元素的权重,从而完成决策过程。在本研究中,将使用 AHP 来评估和处理不同一级指标风险因素的相对重要性,以帮助决策者更好地理解灌区工程建设风险。为确定各风险指标的权重值,研究将采用层次分析法和专家调查法相结合的方法对灌区风险管理一级指标进行评估。在比较过程中,研究将按照两两因素对比进行比较,并通过专家调查使

用 1~9 的比例评价尺度来对二级指标进行赋值,从而形成成对比较判断矩阵。计算公式为:

$$X = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: X 为判断矩阵,设某一级指标层有 n 个因素, a_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的比较结果。

将每一层的判断矩阵按照指标列归一化,并按行求和,再对各个指标取均值。算术平均法求权重向量公式为:

$$w_{a_i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (2)$$

式中： w_{a_i} 为计算得到的权重向量。

表 3 调查对象基本信息分布表

变量	分类	频数	占比
性别	男	73	0.89
	女	9	0.11
学历	本科 / 大专	10	0.12
	硕士	61	0.74
	博士	11	0.13
	其他	0	0.00
从业时间	3 年以下	10	0.12
	3 ~ 5 年	21	0.26
	5 ~ 10 年	28	0.34
	10 ~ 15 年	17	0.21
	15 年以上	6	0.07
职称	初级工程师 / 技术员 / 助理工程师	22	0.27
	中级工程师	29	0.35
	高级工程师 / 副教授	15	0.18
	正高工程师 / 教授	5	0.06
	其他	11	0.13

在完成权重计算之后,进行一致性检验,计算公式如下:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

式中： CI 为判断矩阵一致性指标， RI 为平均随机一致性指标， λ_{\max} 为判断矩阵最大特征根， n 为矩阵的阶数， CR 为随机一致性比率。当 $CR < 0.1$ 时，认为矩阵 X 的不一致程度在容许范围内。

一级指标的评估通过对三名行业专家填写评估矩阵进行确定,按照上述步骤计算出三位专家给出的权重,然后求其均值,作为各灌区风险一级指标权重,权重计算结果与一致性检验结果如表 4 所示。

表 4 一级指标评估结果

指标名称	专家 1	专家 2	专家 3	w
设计风险	0.303	0.258	0.284	0.282
施工风险	0.114	0.114	0.127	0.118
管理风险	0.157	0.183	0.183	0.175
采购风险	0.123	0.163	0.117	0.135
环境风险	0.059	0.069	0.042	0.057
个人风险	0.123	0.113	0.095	0.111
社会风险	0.062	0.045	0.079	0.062
建筑物风险	0.058	0.055	0.072	0.062
CR	0.034	0.030	0.021	

2.3 基于结构方程模型的二级指标分析

结构方程模型作为一种被广泛使用的统计分析方法,用于探索和验证变量之间的潜在结构和关系。它适用于研究复杂的多变量问题,可以同时考虑观察变量和潜变量之间的关系,以及变量之间的因果关系^[14]。在灌区风险评估中,SEM 可以帮助研究者理解不同风险因素之间的相互作用,从而更好地揭示灌区风险的内在结构,进而对复杂的二级指标相互作用进行评估。

为了更直观地描述变量之间的因果关系,研究使用结构方程模型计算公式,如式(5)和式(6)所示。在该模型中, X 表示外生显变量, Y 表示内生显变量, ξ 表示外生潜变量, η 表示内生潜变量。显变量是“可观察变量”,与潜变量相对,可直接观测或度量。而潜变量则是实际工作中无法直接测量的变量,包括比较抽象的概念和由于种种原因不能准确测量的变量。测量模型用于描述显变量 X 、 Y 与潜变量 ξ 、 η 之间的关系,而结构模型则用于描述潜变量之间的关系^[11]。

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (5)$$

$$Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (6)$$

式中： X 是由外生显变量构成的向量； ξ 是由外生潜变量构成的向量； Λ_x 是描述 X 对 ξ 之间关系的因子荷载矩阵； δ 表示 X 的观测误差向量； Y 是由内生显变量构成的向量； η 是内生潜变量向量； Λ_y 是描述 Y 对 η 之间关系的因子荷载矩阵； ε 表示 Y 的观测误差向量。

2.3.1 信度效度分析

信度分析用于反映问卷调查的可靠性。其中,克朗巴哈 α 系数是问卷信度分析的测量指标。在本次研究中,所有题目的 α 系数均大于 0.6,符合问卷信度要求。验证性因子分析(CFA)的结果显示指标均大于 0.4,满足验证性因子分析要求;因子荷载系数除采购风险 α 系数(0.599)略小于 0.6 外,其余指标均大于 0.6,平均方差抽取值(AVE)大于 0.35,表明测量模型具有良好的解释能力和聚合效度^[13,17,18]。具体的计算结果见表 5。

2.3.2 模型适配度检验

SEM 的模型检验指标共 6 个,分别是:标准卡方 X^2/df ,近似误差均方根 $RMSEA$ 、拟合优度指数 GFI 、比较拟合指数 CFI 、增值拟合指数 IFI 、调整自由度拟合优度指数 $AGFI$ 。检验结果如表 6 所示,根据已有文献给出的建议参考值^[13,15],两个模型的 $AGFI$ 值略低于建议值,其余指标均达到建议参考值

的要求,因此模型适配度进步满足要求。模型的具体路径表示如图 2 所示,内部风险与外部风险模型

各个变量之间的相关性均在 0.8 以内,满足共线性要求。

表 5 信度效度分析

内部风险	灌区工程建设内部风险			外部风险	灌区工程建设外部风险		
	CFA	AVE	α		CFA	AVE	α
A1	0.610			E1	0.620		
A2	0.873	0.458	0.652	E2	0.779	0.393	0.617
A3	0.491			E3	0.432		
B1	0.513			F1	0.410		
B2	0.479	0.442	0.624	F2	0.765	0.389	0.625
B3	0.912			F3	0.643		
C1	0.822			G1	0.727		
C2	0.507	0.406	0.644	G2	0.894	0.639	0.828
C3	0.535			G3	0.766		
D1	0.698			H1	0.742		
D2	0.480	0.338	0.599	H2	0.409	0.483	0.652
D3	0.543			H3	0.855		

表 6 模型拟合度检验结果

项目	χ^2/df	RMSEA	CFI	GFI	AGFI	IFI
建议参考值	<3	<0.1	>0.850	>0.850	>0.850	>0.850
内部风险	1.400	0.070	0.912	0.885	0.812	0.918
外部风险	1.685	0.092	0.903	0.864	0.779	0.908

2.4 AHP-SEM 计算结果

在完成了内部风险与外部风险评估之后,为了进一步对灌区风险进行精确识别,构建了 AHP-SEM 模型,利用 AHP 指标计算的一级指标权重对二级指标权重进行加权计算,最终计算结果如表 7 所示。

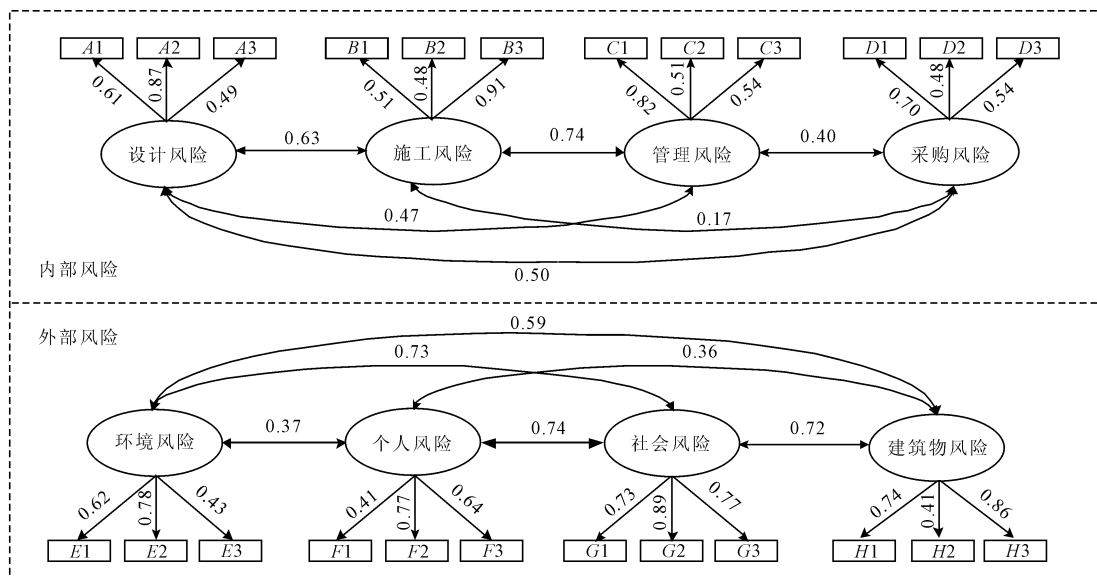


图 2 风险路径分析图

3 风险因素结果分析

根据一级指标的分析结果,设计风险、施工风险、管理风险、采购风险、环境风险、个人风险、社会风险分别为 0.282、0.118、0.175、0.135、0.057、

0.111、0.062、0.062。在一级指标权重评估时,最受到专家们关注的风险指标为设计风险,其次是管理风险与采购风险,然后是施工风险与个人风险,而相对关注度较低的为环境风险、社会风险、建筑物风险,其中环境风险的关注度最低。

表 7 AHP-SEM 计算结果

内部风险	灌区工程建设 内部风险计算权重	外部风险	灌区工程建设 外部风险计算权重
A1	0.172	E1	0.035
A2	0.246	E2	0.044
A3	0.138	E3	0.025
B1	0.061	F1	0.046
B2	0.057	F2	0.085
B3	0.108	F3	0.071
C1	0.144	G1	0.045
C2	0.089	G2	0.055
C3	0.094	G3	0.047
D1	0.094	H1	0.046
D2	0.065	H2	0.025
D3	0.073	H3	0.053

3.1 内部风险结果分析

3.1.1 设计风险

在设计风险中,根据一级指标分析结果,被专家们关注最多的二级指标为设计变更风险,指标权重为 0.282。原因是灌区工程建设作为大型民生过程,涉及复杂性和不确定性相对普通建设工程更大。而设计变更风险对项目的进度、质量和成本都有潜在影响。一旦出现设计变更,可能会导致额外的成本投入和项目进度延误,甚至对工程质量产生负面影响。同时在设计风险中,设计变更风险的风险评估结果为 0.246,要显著大于设计进度、质量、成本的控制与设计缺陷、设计标准的采用。这是由于一方面不仅是设计变更相比于其他风险牵扯到的资金变动更大,也容易引起公众的关注和监管机构的审查。

3.1.2 施工风险

在施工风险中,安全文明施工的风险计算结果为 0.108,相比于施工成本费用与施工质量控制更重要。这是由于安全文明措施保障工人和公众的人身安全,防范事故和伤亡,尤其灌区工程作为大型水利工程,所面临的人身风险相较于传统建筑工程更大。安全施工有助于提高工人工作方法与工作效率,减少额外费用和 risk,是保证施工质量的前提。

3.1.3 管理风险

在管理风险中,主要建筑物检查管理的风险评估结果为 0.144,要优于施工的组织管理和工程维修保养计划。这是由于主要建筑物的检查管理直接关系到工程结构的安全和质量保障,对整个工程的可靠性和寿命具有重大影响。同时,主要建筑物的安全问题关乎公众的安全,保障工程的经济效益。

3.1.4 采购风险

在采购风险中,采购质量及保证措施的评估结果为 0.094,优先于材料设备采购价格上涨与物资材料与机电设备的采购及运输风险,这是由于采购质量直接影响工程项目的可靠性和质量保障,对项目长期运行具有关键作用。若采购的材料和设备质量不合格,可能导致工程质量问题、项目进度延误以及后期额外维护成本。保证采购质量是确保工程顺利进行和降低后期成本的重要措施。

3.2 外部风险结果分析

3.2.1 环境风险

在环境风险中,环境污染问题比自然灾害的发生与现场施工环境的安全隐患更为重要。这是由于灌区工程具有特殊性,因为其涉及的水资源与土壤生态系统极为敏感。施工导致的环境污染问题对灌区的水质和生态环境造成严重影响,对灌溉效果和农业生产产生长期影响。相比之下,自然灾害虽然也可能对灌区工程造成损失,但其发生通常难以预测和避免。施工现场的安全隐患尽管重要,但通过科学规划和安全管理措施,可以较好地控制。

3.2.2 个人风险

在个人风险中,是否有良好的工作态度与理念的风险计算结果为 0.085,要比是否存在不当操作行为和个人的身心健康状态更重要。良好的工作态度与理念是个人风险管理的基础,能够预防潜在的风险,培养正确的工作习惯和意识,降低不当操作行为的可能性。不当操作行为和个人身心健康状态尽管可能导致短期的风险,但如果具有良好的工作态度能够显著降低此类风险的可能性。因此注重培养良好的工作态度与理念是确保个人和灌区工程可持续发展的关键。

3.2.3 社会风险

在社会风险中,移民安置风险的计算结果为 0.055,相比于征地拆迁风险与后期维护风险更重要。在灌区工程中,移民安置风险关乎大量群众的生活和生计,如果不能合理安置搬迁群众,可能导致群众不满引起社会安全问题,影响整个工程项目的社会稳定和可持续发展。相比之下,征地拆迁风险关注拆迁补偿标准是否达到民众预期,涉及民众的经济利益,虽然重要但相对局限。后期维护风险则关乎灌区工程的长远运营和维护,对项目的可持续性至关重要,但其影响相对较小。

3.2.4 主要建筑物风险

主要建筑物风险中,根据分水、退水要求,是否

全部或部分关闭节制闸要比闸门与启闭机风险与桥梁风险更重要。这是因为分水、退水是确保工程安全的基本措施,它关乎整个工程的洪水调节和安全性。如果不能及时关闭节制闸,可能导致洪水超出控制警戒水位,引发严重洪灾。闸门与启闭机的运行问题可能导致工程的一时停工或影响通航,但通常可以通过维修和调整来解决。桥梁风险涉及桥梁结构的稳定性和承载能力,虽然重要,但其影响范围有限,通常可以通过定期检查和加固来应对。

4 结 论

本文采用问卷调查,运用层次分析法与结构方程模型,建立了灌区工程项目风险指标体系,对灌区工程项目风险指标进行权重计算,并分析其影响因素。结论如下:

(1) 灌区项目风险的一级指标权重由大到小依次为:设计风险、管理风险、采购风险、施工风险、个人风险、建筑物风险、社会风险、环境风险。针对不同一级指标的影响因素进行了详细讨论,并提出了相应的风险管理策略。

(2) 研究基于 AHP - SEM 建立的灌区工程项目风险评价模型,利用该模型对灌区风险评估进行了详细分析,进而进行了科学有效的评价,确保工程项目的安全顺利实施与可持续发展,对灌区工程建设部门有效评判和规避风险具有指导意义。

(3) 本研究方法和框架也可为其他类似工程项目的风险评估提供参考和借鉴,具有一定的普适性和推广价值。通过有效评估和管理风险,研究将能够为农业生产和水资源管理做出积极的贡献。

参考文献:

- [1] 毛春梅,刘晓东,吴光华,等. 基于可持续运行的灌区水价制度风险与补偿机制[J]. 人民黄河,2022,44(11):118-121,148.
- [2] 张恩典,毛春梅,谷文博,等. 基于网格化管理的大型灌区工程建设安全管理模式构建[J]. 人民黄河,2022,44(11):122-126.
- [3] 王永平,马小刚,陆立国. 宁夏引黄灌区渡槽工程安全综合评价研究[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(6):89-94.
- [4] 张彦,李平,梁志杰,等. 灌区水生态环境风险评估研究进展[J]. 水资源保护,2021,37(5):159-168.
- [5] 徐全基,张逢泽,徐发基,等. 大型灌区工程危险源辨识与风险评价及分级管控[J]. 云南水力发电,2021,37(8):187-190.
- [6] 马强,张辉,杨子照,等. 灌区水闸工程建设期危险源识别及风险评价研究[J]. 人民黄河,2022,44(11):131-136.
- [7] 刘文宇. 大型输供水工程输水管道重大危险源定量判定方法分析[J]. 东北水利水电,2023(6):61-64.
- [8] 杨子照,魏淑卿,张继勋,等. 基于主成分分析法的灌区工程施工风险研究[J]. 水力发电,2023,49(4):63-68,86.
- [9] 张雅文. 基于 AHP 的水利信息化项目风险管理研究——以某引黄灌区农业节水工程信息化项目为例[J]. 工程技术研究,2023,8(1):124-126.
- [10] 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.
- [11] 焦雪松. 基于 SEM 的装配式建筑施工安全风险及策略研究[J]. 工程技术研究,2021,6(23):7-10.
- [12] 陈浩楠,段永辉,王翔. 基于 SEM 的 EPC 模式下装配式建筑风险评价研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2022,50(4):62-70,78.
- [13] Chen Qi, Yan Yibo, Zhang Xu, et al. Impact of subjective and objective factors on subway travel behavior: spatial differentiation[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022,19(23):15858.
- [14] 闫一博,陈琦,段宇洲,等. 基于结构方程模型的街道空间品质感知评价[C]//中国城市规划学会,成都市人民政府. 面向高质量发展的空间治理——2021中国城市规划年会论文集(07 城市设计). 北京:中国建筑工业出版社,2021:1333-1341.
- [15] Chen Qi, Yan Yibo, Zhang Xu, et al. Impact of subjective and objective factors on bus travel intention[J]. Behavioral Sciences, 2022,12(11):462.
- [16] 赖致轩,李昭. 基于层次分析-模糊综合评价法的水利枢纽灌区工程防汛风险评估[J]. 农业工程,2018,8(1):71-77.
- [17] Epperson A E, Wallander J L, Song A V, et al. Gender and racial/ethnic differences in adolescent intentions and willingness to smoke cigarettes: Evaluation of a structural equation model[J]. Journal of Health Psychology, 2021,26(4):605-619.
- [18] Yin Jiangbin, Cao Xinyu, Huang Xiaoyan. Association between subway and life satisfaction: Evidence from Xi'an, China[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2021,96:102869.