



基于工程统计信息的海外港口 建设项目风险识别*

ALOTAIBI Rami Talal T¹, 杜木子², 李忠富¹

(1. 大连理工大学 建设工程学院, 辽宁 大连 116024; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对海外港口建设项目风险因素复杂、风险辨析与管理困难的问题, 开展了风险识别、风险等级评估、风险趋势分析和风险相关性研究。采用工程统计信息提取方法和定量分析方法, 从73个海外港口建设项目中提取了24个风险事件, 计算得到每个风险事件的发生概率、处理成本和工期延误, 并绘制发展趋势图。应用条件概率计算和回归分析法, 判断风险事件的相关性, 得到3个风险链。研究表明, 极端高温、潮汐变化、业主变更、进口受限和沉箱出运安装为高风险事件。自2017年以来, 自然风险和社会环境风险的发生概率呈现上升趋势, 极端高温风险的处理成本明显提高, 业主风险和社会风险造成的工期延误显著增加。中方的项目管理人员可以采用完善合同细节、加强前期规划讨论、配合设计制定材料代换方案等方法, 控制风险链中的头部节点, 遏制风险的扩散和传播。

关键词: 工程统计信息; 海外港口建设项目; 风险识别

中图分类号: U655.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)04-0090-07

Risk identification of overseas port construction projects based on engineering statistical information

ALOTAIBI Rami Talal T¹, DU Muzi², LI Zhongfu¹

(1. School of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In response to the complex risk factors and difficulties in risk identification and management in overseas port construction projects, risk identification, risk level assessment, risk trend analysis, and risk correlation research have been conducted. Engineering statistical information extraction and quantitative analysis methods are adopted to extract 24 risk events from 73 overseas port construction projects. The occurrence probability, processing cost, and project delay of each risk event are calculated to draw a development trend chart. By applying conditional probability calculation and regression analysis methods, the correlation among risk events is determined, and three risk chains are finally obtained. The research results indicate that extreme high temperatures, tidal changes, changes in property owners, import restrictions, and caisson transportation and installation are high-risk events. Since 2017, the occurrence probability of natural and social environmental risks has shown an upward trend, the cost of handling extreme heat risks has significantly increased, and the delay in construction caused by owner and social risks has significantly increased. Chinese project managers can use methods such as improving contract details, strengthening preliminary planning discussions, and cooperating with design to develop material substitution plans to control the top nodes in the risk chain and curb the spread and propagation of risks.

Keywords: engineering statistical information; overseas port construction project; risk identification

收稿日期: 2025-08-23 录用日期: 2025-10-15

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52078101)

作者简介: ALOTAIBI Rami Talal T(1990—), 男, 沙特阿拉伯, 博士研究生, 从事工程风险管理研究。

随着全球交通运输体系的持续升级和各国家之间海运贸易额的不断上涨,港口建设已经成为沿海地区经济转型和城市更新的重点举措^[1]。近年来,沙特阿拉伯、南非、希腊等国家不断加大港口建设投资,为全球的工程市场注入了新的活力^[2-3]。中方作为基建大国,承揽了诸多海外港口建设项目,如希腊的比雷埃夫斯港、沙特阿拉伯的达曼港等,取得了显著成效。

然而,海外港口的建设环境与国内港口有所不同,中方企业在承揽海外港口建设项目时往往面临着复杂和多变的风险,如何有效应对和处理各类风险事件,在很大程度上决定了项目的完成水准和利润水平^[4]。风险识别是风险管理的前提和基础,编制完善而翔实的风险清单对于控制风险影响极为重要。Cui等^[5]应用BP神经网络对港口建设风险进行了预测;贺林林等^[6]基于文献分析对绿色港口建设中的风险因素进行了归纳总结;黄咏焯^[7]从政治角度分析了海外水运工程建设中的风险和应对策略;夏庆等^[8]应用统计数据建立了大型石化港区的安全风险清单,并构建了风险评估指标体系。此外,已有学者从投资风险^[9]、深水施工风险^[10]、设计风险^[11]等多种角度研究了海外港口建设项目的风险事件与管理方法。但现有研究以理论分析和定性评价为主,应用统计资料信息提取和定量分析方法的研究很少。并且目前的研究对象多为单一港口或局部地区,针对海外港口建设项目普遍性风险的研究不多。

基于以上分析,本文通过搜集整理中方企业在海外不同地区承揽的港口建设项目统计资料,从中提取关键的信息,识别关键的风险事件,定量分析风险事件等级,并进一步探究各个风险事件之间的关联性,以便为中方企业制定海外港口建设项目风险管控措施和风险应急预案等提供参考。

1 工程统计信息搜集及预处理

1.1 工程统计信息搜集

通过实地走访调查、查阅公开的项目统计资料、向业主单位和施工单位函调等方式,共搜集

了2017年至今73个海外港口建设项目工程统计信息,包括立项书、可研报告、施工日志、会议纪要、通知单等。这些项目的主要承包方均为中方的大型国有企业,项目地点包括沙特阿拉伯、巴基斯坦、柬埔寨、希腊、巴西、埃及、刚果和尼日利亚。工程统计信息分类见表1。

表1 工程统计信息分类

Tab. 1 Classification of engineering statistical information

项目地点	项目数量/个	信息来源	资料形式	项目范围
沙特阿拉伯	13	实地调查	纸质、照片	港口、腹地
巴基斯坦	8	施工单位文档	纸质	港口、航道
柬埔寨	9	甲方资料库	电子、照片	港口
希腊	8	甲方资料库	电子、照片	港口
巴西	9	甲方、施工单位	纸质、电子	港口、航道、腹地
埃及	11	施工单位文档	纸质	港口、航道
刚果	7	甲方、施工单位	纸质、电子	港口、腹地
尼日利亚	8	甲方资料库	电子、照片	港口

1.2 信息预处理

对项目统计信息进行整理,提取项目建设过程中出现的风险事件,记录每个风险事件的实际处置成本和造成的工期延误,并计算不同风险事件的发生概率。根据项目管理理论,当风险事件属于低发生概率、低处理成本、低工期延误状态时,则认为该风险事件为可忽略风险,无需进行特别的防控和管理^[12]。基于此,结合海外港口建设工程的实际工期进度和成本造价,并咨询了2名高校学者和2名项目经理的意见,依据GB/T 50326—2017《建设工程项目管理规范》^[13]中对于风险量级的定义,将风险损失由高至低划分为5个等级,分别为极其危险、高度风险、显著风险、一般风险、稍有风险。采用LEC(likelihood-exposure-consequence,可能性-暴露程度-后果严重度)分析法对风险事件的损失量值进行估算,将5个等级的损失量值分别赋值为5、4、3、2、1分。分别计算各个风险事件的发生概率、处理成本、工期延误的相对权重值,并以5分为满分进行归一化处理,得到损失量值。将3个指标的损失量值均低于1分的风险事件认定为可忽略风险,予以剔除,最终得到

6个方面共计24个风险事件，见表2。

表2 风险事件汇总
Tab. 2 Summary of risk events

风险类别	风险代码	风险内容
设计风险	N ₁	规范标准差异
	N ₂	近海勘探资料缺失
	N ₃	材料代换不熟悉
自然条件风险	N ₇	极端高温天气
	N ₈	暗礁地形
	N ₉	近海沙地承载力低
	N ₁₀	腐蚀性环境
	N ₁₁	潮汐变化引发机械操作风险
施工风险	N ₁₆	当地劳务人员专业技能水平有限
	N ₁₇	材料设备进口受限
	N ₁₈	海陆作业协调困难
	N ₁₉	成品保护不完善
	N ₂₀	大型沉箱出运安装风险
	N ₂₁	深水基础施工的海洋水文风险
社会风险	N ₄	当地居民抵触情绪
	N ₅	航道疏浚环保风险
	N ₆	当地传统习俗引发冲突
业主风险	N ₁₂	业主频繁变更要求
	N ₁₃	指定供应商不达标
	N ₁₄	证件手续办理滞后
	N ₁₅	缺少运维经验
其他风险	N ₂₂	语言沟通障碍
	N ₂₃	法律体系差异
	N ₂₄	货币汇率波动

2 海外港口建设项目风险识别

2.1 风险事件等级评估

风险事件的等级评估主要根据风险事件发生概率、风险事件的处理成本、风险事件引起的工期延误3个指标来进行^[14]。尽管工程统计信息已经给出了每个项目中各个风险事件的实际对应指标，但由于不同项目的具体情况不同，承包单位的综合实力、项目管理人员的配置水平和风险管控投入也都有所不同，因此仍需对统计数据进行一定的修正，以便得到更加精确的结论。引入投入指数这一指标来评估不同项目在风险管理方面的投入程度，每个项目的不同风险事件投入指数按下式计算^[15]：

$$k_i = \sum_{j=1}^M q_{ij} c_{ij} / \sum_{i=1}^N c_{ij} \quad (1)$$

式中： k_i 为第*i*个风险事件的投入指数； q_{ij} 为第*i*

个风险事件中要素*j*的影响权重； c_{ij} 为第*i*个风险事件中要素*j*的投入值；*M*为风险事件的管理要素集合；*N*为风险事件集合。

为了获取所需要的计算参数，邀请12名长期从事海外港口建设项目的总承包单位管理人员和5名来自中方和沙特阿拉伯的高校学者组成专家组。首先，经专家组讨论决定，风险事件的管理要素分为人员、物料、资金3个方面，即集合*M*包含3个要素。随后，邀请专家组对24个风险事件中3项要素的影响权重进行打分，采用Likert量表将每个要素的影响程度划分为5个等级，分别为影响巨大、影响较大、显著影响、一般影响和较低影响，对应1~5分。专家打分后对结果进行一致性检验，取平均值并进行归一化处理作为计算参数。最后，查阅73个项目的统计资料，得到每个项目在不同风险事件中的投入值，其中人员以人次计数、物料以吨数计数、资金以万元计数。

依次计算73个项目中每个风险事件的投入指数，并进行归一化处理，得到相对权重。对于每一个风险事件，从不同项目统计资料中提取对应的发生概率、处理成本、工期延误3项指标，依据各指标的相对权重计算加权平均值，得到修正后的最终指标，计算结果见表3。

表3 风险事件等级评估指标汇总

Tab. 3 Summary of evaluation indicators for risk event level

风险代码	发生概率/%	处理成本/万元	工期延误/d
N ₁	16.37	45.19	18.32
N ₂	21.42	38.56	9.94
N ₃	14.27	25.14	13.23
N ₄	11.35	33.16	21.48
N ₅	9.83	55.23	36.32
N ₆	15.35	26.34	15.19
N ₇	23.54	116.32	47.32
N ₈	6.43	71.38	41.43
N ₉	16.23	63.23	18.92
N ₁₀	26.33	27.93	15.35
N ₁₁	18.63	78.32	56.17
N ₁₂	31.63	84.28	32.31
N ₁₃	18.32	19.83	28.64
N ₁₄	8.63	16.33	25.23
N ₁₅	32.31	14.56	17.23
N ₁₆	19.35	45.52	24.63

续表3

风险代码	发生概率/%	处理成本/万元	工期延误/d
N ₁₇	21.83	105.32	35.36
N ₁₈	13.23	21.35	18.82
N ₁₉	26.63	32.35	11.83
N ₂₀	22.66	78.52	31.36
N ₂₁	19.35	57.34	28.71
N ₂₂	23.35	15.53	23.34
N ₂₃	16.23	33.48	20.71
N ₂₄	8.83	87.52	5.53

采用 PMBOK (project management body of knowledge, 项目管理知识体系) 概率影响矩阵对风险事件等级进行评估, 将高风险的临界点百分比取为 80%, 中风险的临界点百分比取为 40%。据此标准, 分别计算处理成本和工期延误的风险概率影响矩阵, 并取二者中的高值作为风险等级评估依据。根据计算结果, 风险清单中共包含 5 项高风险事件, 分别为 N₇、N₁₁、N₁₂、N₁₇、N₂₀; 10 项中等风险事件, 分别为 N₂、N₅、N₈、N₉、N₁₀、N₁₄、N₁₈、N₁₉、N₂₁、N₂₄, 此外另有 9 个低风险事件。

2.2 风险事件变化趋势

2.2.1 发生概率变化趋势

根据年份对 6 个大类的风险事件发生概率进行统计, 得到风险事件发生概率走势, 见图 1。可以看出, 自 2017 年至今, 设计风险和施工风险的发生概率呈现下降趋势, 而自然条件风险和社会风险的发生概率呈现上升趋势。这说明中方的设计单位和施工单位在港口领域的工程项目经验有所增加, 能够在一定程度上规避风险。但同时, 全球变暖、新冠疫情等外界因素使得港口建设项目所处的环境愈发恶劣, 风险概率有所增加。

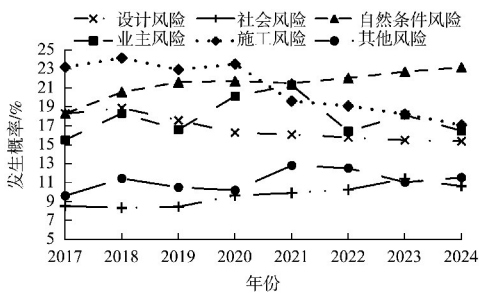


图 1 风险事件发生概率走势

Fig. 1 Trend of risk event occurrence probability

2.2.2 处理成本变化趋势

对风险事件的处理成本进行统计, 得到风险事件处理成本的走势, 见图 2。可以看出, 自然条件风险的处理成本呈现明显的上涨趋势, 这主要是因为极端高温天气所造成的。近年来, 沙特阿拉伯、柬埔寨、希腊等国家经常性出现 40 °C 以上的高温天气, 尤其是港口所在的沿海地区温度更高, 这不仅造成了额外的降暑支出, 同时也对建材的运输、贮存提出了更高要求, 导致了成本增加。同时, 其他风险的处理成本处于下降状态, 这说明中方企业在翻译、法务、货币等方面的措施富有成效, 降低了风险的影响。

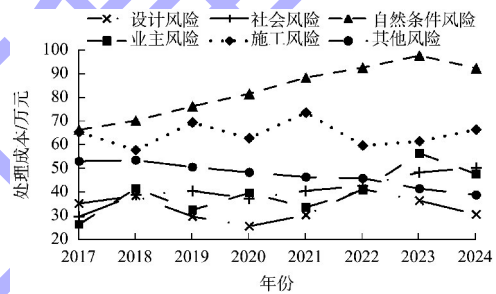


图 2 风险事件处理成本走势

Fig. 2 Trend of risk event handling costs

2.2.3 工期延误变化趋势

对风险事件造成的工期延误进行统计, 得到风险事件工期延误的走势, 见图 3。可以看出, 设计风险和施工风险的工期延误呈现明显的下降趋势, 这说明中方的设计和施工单位正在逐步建立有效的风险处理机制, 能够更加快速地作出反馈。同时, 许多大型的中方企业如中国交通建设集团有限公司、中国港湾工程有限责任公司等, 在沙特等国开设了分公司, 这有助于及时高效地协调现场事宜, 降低了对工期的影响。此外, 社会风险和业主风险导致的工期延误呈现上升趋势, 这与项目所在地管理力度的严格化趋势有着直接关系, 项目方需要耗费更多时间完成证件报批流程、处理环保审查意见, 这对项目工期造成了显著不利影响。

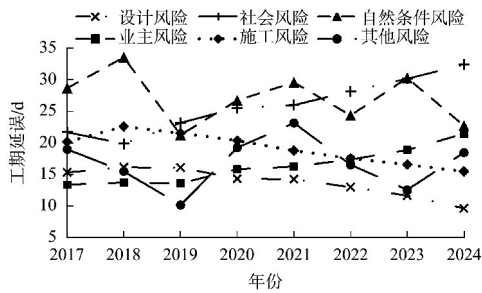


图 3 风险事件工期延误趋势

Fig. 3 Trend of risk event project delay

2.3 风险事件相关性分析

为进一步探究各个风险事件之间的相关性，应用条件概率筛选结合回归分析检验的方式来判断各个风险事件的发生对于其他风险事件的影响。具体原则为，当风险事件 1 发生后，若风险事件 2 在风险事件 1 已经发生这一前提下的发生概率相较于其原有发生概率有明显提升(增幅超过 10%)，则认为这两个事件具有相关性^[16]。筛选出与风险事件 1 相关的风险事件集合，以风险事件 1 为自变量，其余风险事件为因变量进行回归分析，验证其相关性。由相互之间均存在相关性的风险事件组成的集合为风险链，采用 SPSS 软件进行处理计算，得到 3 个风险链，见表 4。

表 4 风险链统计

Tab. 4 Risk chain statistics

风险链编号	风险事件数量/个	风险事件编号	回归分析 P 值	回归分析 R ² 值
1	3	N ₆ 、N ₁₆ 、N ₂₃	0.016	0.96
2	4	N ₁ 、N ₁₂ 、N ₁₃ 、N ₁₇	0.027	0.93
3	3	N ₃ 、N ₁₀ 、N ₁₉	0.014	0.98

根据表 4 结果，风险链 1 表明，异国法律体系差异将加剧当地传统习俗引发的冲突，进而导致当地工人劳动效率的下降；风险链 2 表明，规范标准的差异可能引起业主变更，同时指定供应商不达标将会放大材料设备进口受限造成的负面影响；风险链 3 表明，腐蚀性环境将造成材料损耗风险，而对于材料代换不熟悉可能加剧该风险，并导致成品耐久性不足，使得成品保护不完善的后果更加严重。

2.4 风险成因与作用机制分析

1) 设计风险。设计风险的形成原因主要是由于中方设计人员缺乏海外港口的设计经验，尤其是非洲、中东地区缺少可供参考的案例，中方设计单位与当地本土设计单位之间也缺少交流学习机会，没有就当地规范、可用材料等进行深入研究，存在设计文件偏离现场实际情况的问题。同时，许多海外国家的勘测标准并不严格，勘测报告的深度与中方国内有着很大差异，难以满足设计要求。

2) 社会风险。海外港口项目多位于偏远地区，当地居民受教育程度普遍不高，对港口建设带动地方经济的推动作用认知不足，易产生抵触情绪^[17]。此外，项目所在地区民众的民族文化与传统习俗同中方工作人员生活习惯(如饮食、着装等)差异显著，极易引发矛盾和冲突。同时，多数沿海国家对于海洋生态环境保护提出较高要求，会对项目顺利推进形成制约。

3) 自然条件风险。中东、非洲等地区经常出现极端高温天气，气候变化非常复杂，难以制定明确的预防措施；物料虽然可以加强保护，但工人即便是穿戴防护用具也无法在高温环境中长时间作业，不可避免地出现劳动能力下降的问题^[18]。此外，暗礁地形、低承载力沙地、腐蚀性环境、潮汐变化等问题需要采用探挖、地基处理、增补涂料等方式来处理，在没有类似经验的前提下只能进行现场试验，这也影响了风险控制水平。

4) 业主风险。海外项目的业主对于港口功能、操作的理解与中方人员有着一定的差异，这主要源于地域文化与管理理念的不同。因此，业主可能会出于自己的工作经验，提出变更、运维等方面的要求。同时，在初期合作时，业主与中方企业很难事先预料现场情况，合同也无法就所有细节进行说明，容易出现证件办理、供应商选定方面的问题。

5) 施工风险。由于成本限制，绝大多数海外港口建设项目由中方企业聘用当地劳务人员参与

施工, 这些人员多为临时招聘, 专业技能水平有限, 难以胜任复杂工作, 并且还容易导致各个区域进度参差不齐, 难以协调。同时, 由于各国进出口管理政策的差异, 容易出现物资进出口受限的情况, 从而导致材料设备供应不足的问题。此外, 由于海洋环境的差异, 很多中方技术人员的经验与技术方法并不适用, 易引发沉箱出运安装、深水基础施工、成品保护等风险。

6) 其他风险。语言沟通障碍、法律体系差异、货币汇率波动均为海外项目的常见风险, 对于现场信息传递、纠纷的处理解决和成本控制等有着一定的影响。

3 结语

1) 极端高温天气、潮汐变化引发机械操作风险、业主变更频繁材料设备进口受限、大型沉箱出运安装风险是海外港口建设项目中的高风险事件。针对高温风险, 可采用耐高温混凝土配方、调整作业时间与换班等方法。针对潮汐变化风险, 应结合当地气象预报和海洋监测数据合理规划施工安排。针对业主变更频繁, 应完善合同细节, 加强项目前期规划过程中的讨论交流, 并形成纪要。针对材料设备进口受限, 一方面要提前熟悉当地进出口管理政策, 列出可用清单; 另一方面要配合设计做好代换方案, 尽可能选择当地可购的材料。针对大型沉箱出运安装风险, 施工前要对现场条件进行充分探查评估, 制定完善的施工方案, 必要时邀请专家讨论。

2) 自2017年以来, 海外港口建设项目所处的自然和社会环境愈发严峻, 相关风险事件的发生概率有所提升。同时, 恶劣天气条件尤其是极端高温的影响较为显著, 此类风险的处理成本不断上涨。此外, 业主风险和社会风险的处理难度有所增加, 在项目所在地管控力度加强的情况下, 总承包单位可能面临更加复杂和冗长的风险处理流程, 造成更加明显的工期延误。

3) 通过相关性分析得到3个风险链条, 分别

是地方习俗和劳动力方面、变更与供给方面、材料损耗与成品保护方面。总承包单位管理人员可以根据风险链条采取协同式管理, 扩大风险管控措施的覆盖面积, 同时也可以切断风险传递路径, 避免已发生风险事件诱发其他相关风险。

4) 由于信息获取过程和分析方法选择的影响, 研究仍存在一定的局限性。首先, 许多海外港口项目信息难以获取, 导致样本量较为有限; 其次, 大部分数据来源于中方企业, 可能存在视角偏差。最后, 部分参数的计算依赖于专家的主观赋值, 可能导致误差。

参考文献:

- [1] RICE C. Fast building: money, management and risk at London's Chelsea harbour development[J]. *Architectural theory review*, 2022, 26(1): 56-75.
- [2] ANDRIAMANANTENA A N, YANA MBENA J, VIALA C, et al. Enabling circular economy transitions in ports: the role of innovation ecosystems in North Sea Port[J]. *Journal of environmental management*, 2025, 392: 126816.
- [3] COAYLA E, TRANCÓN I, BEDÓN Y, et al. Climate change and sustainable economy in multipurpose maritime port concessions, Peru[J]. *Frontiers in sustainability*, 2025, 6: 1563471.
- [4] LU Q, LIU W L. Risk assessment of complexity of port construction engineering in fragile ecological environment area[J]. *Basic & clinical pharmacology & toxicology*, 2021, 128(S3): 28.
- [5] CUI D, SUN G Q, ZHAN X T. Security risk management system for the construction and operation of smart port area based on BP neural network algorithm[J]. *Procedia computer science*, 2023, 228: 838-846.
- [6] 贺林林, 金勇, 彭银霞, 等. “双碳”背景下国内外绿色港口建设发展综述[J]. *水运工程*, 2024(7): 42-50, 67.
HE L L, JIN Y, PENG Y X, et al. Review of green port construction and development under carbon peaking and carbon neutrality goals background[J]. *Port & waterway engineering*, 2024(7): 42-50, 67.

[7] 黄咏焯. 海外工程项目实施中政治风险的识别与应对[J]. 水运工程, 2019(10): 50-53, 105.
HUANG Y Y. Political risk and countermeasures in overseas construction projects [J]. Port & waterway engineering, 2019(10): 50-53, 105.

[8] 夏庆, 申瑞婷. 大型石化港区安全风险评估指标体系与评估方法[J]. 水运工程, 2020(10): 95-98.
XIA Q, SHEN R T. Indicator system and assessment method of safety risk of large petrochemical port area[J]. Port & waterway engineering, 2020(10): 95-98.

[9] XU X Y, YANG Z R, JIN L F, et al. Research on risk assessment of port project investment and construction [J]. Journal of coastal research, 2020, 115(S1): 187-189.

[10] XIAO M F, ZHOU X H. New risk control technology for port channel construction operations based on BIM[J]. Journal of coastal research, 2020, 103(S1): 639-643.

[11] JOUBERT J F, PRETORIUS L. Design and construction risks for a shipping port and container terminal: case study [J]. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 2020, 146(1): 05019003.

[12] LI Q. Application research of construction safety management in engineering risk assessment [J]. Journal of world architecture, 2025, 9(4): 50-57.

[13] 建设工程项目管理规范: GB/T 50326—2017 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
Code for construction project management: GB/T 50326-2017 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017.

[14] ZHANG Y. Risk Factors and countermeasures in construction engineering supervision [J]. Journal of civil engineering and urban planning, 2025, 7(2): 19-26.

[15] ZHANG J. Application of analytical hierarchy process to risk analysis of port construction project [J]. Applied mechanics and materials, 2012, 170-173: 2292-2297.

[16] KAUP M, ŁOZOWICKA D, BASZAK K, et al. Risk analysis of seaport construction project execution [J]. Applied sciences, 2022, 12(16): 8381.

[17] JULIASTUTI, WATRA I P A, WIJAYANTI Y. Risk mitigation on infrastructure port project construction (case study: sanur port project, Bali, Indonesia) [J]. E3S web of conferences, 2023, 388: 01006.

[18] XU X, YANG Z, JIN L, et al. Research on risk assessment of port project investment and construction [J]. Journal of coastal research, 2020, 115(S1): 187-189.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 71 页)

[19] MORISON, J R, JOHNSON J W, SCHAAF S A, et al. The force exerted by surface waves on piles [J]. Journal of petroleum technology, 1950, 2(5): 149-154.

[20] 云南省地震工程勘察院有限公司. 东川港工程场地地震安全性评价报告 [R]. 昆明: 云南省地震工程勘察院有限公司, 2010.
Yunnan Province Earthquake Engineering Investigation Institute Co., Ltd. Seismic safety evaluation report for Dongchuan Port engineering site [R]. Kunming: Yunnan Province Earthquake Engineering Investigation Institute Co., Ltd., 2010.

[21] 建筑抗震设计规范: GB 50011—2010 [S]. 2016 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
Code for seismic design of buildings: GB 50011-2010 [S]. 2016 ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.

[22] International Navigation Association. Seismic design guidelines for port structures [M]. Rotterdam: A. A. Balkema Publisher, 2001.

[23] 许民泽, 崔春义, 李静波, 等. 饱和砂土场地中地铁车站结构地震易损性分析 [J]. 工程力学, 2021, 38(S1): 251-258.
XU M Z, CUI C Y, LI J B, et al. Seismic vulnerability analysis of subway station embedded in saturated sand layers [J]. Engineering mechanics, 2021, 38 (S1): 251-258.

(本文编辑 王璁)