

抽水蓄能施工作业安全风险智能管控系统设计

王建辉¹, 彭武平¹, 谭天龙¹, 石璇^{2*}

¹浙江华东工程咨询有限公司, 浙江 杭州

²中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京

收稿日期: 2024年12月7日; 录用日期: 2025年1月3日; 发布日期: 2025年1月9日

摘要

为应对抽水蓄能建设项目数字化转型的新形势和新要求, 解决当前大体量抽水蓄能工程建设传统管理模式信息交互效率低等问题, 提出了一种适合抽水蓄能施工项目的安全风险智能管控系统框架。研究采用半结构化访谈的方式, 确定抽水蓄能施工作业安全风险管控系统需求, 基于工程项目风险管理的工作要点, 结合某抽水蓄能项目运用的物联网、大数据等前沿技术, 建立抽水蓄能施工作业安全风险管控数字化系统。最终构建出系统总体模块框架, 包括动态风险辨识、现场设备及环境数据的集中监测、管控措施落实的闭环管理, 对作业危险的提前告知、作业验收五大模块, 详细设计了系统的工作流程和各模块实现的功能。实现抽水蓄能施工作业安全风险智能化管控, 增强风险管控效率, 提高抽水蓄能施工作业的安全水平。

关键词

抽水蓄能施工, 数字化系统, 系统设计, 风险管理, 安全风险智能化管控

Design of Intelligent System for Safety Risks Management and Control of Pumped Storage Construction Operation

Jianhui Wang¹, Wuping Peng¹, Tianlong Tan¹, Xuan Shi^{2*}

¹Zhejiang Huadong Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

²School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing

Received: Dec. 7th, 2024; accepted: Jan. 3rd, 2025; published: Jan. 9th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王建辉, 彭武平, 谭天龙, 石璇. 抽水蓄能施工作业安全风险智能管控系统设计[J]. 管理科学与工程, 2025, 14(1): 30-38. DOI: 10.12677/mse.2025.141004

Abstract

In order to cope with the new situation and new requirements of digital transformation of pumped storage construction projects, and to solve the problems of low information interaction efficiency of the traditional management mode of large-volume pumped storage project construction, a safety risk intelligent control system suitable for pumped storage construction projects is proposed. This paper adopted a semi-structured interview to determine the demand for intelligent system of safety risk control of pumped storage construction operations. Based on the key points of engineering project risk management, and combining with the Internet of Things, big data and other cutting-edge technologies used in a pumped storage project, a pumped storage construction safety risk control intelligent system was established. The overall module framework of the system was constructed, including five modules: dynamic risk identification, centralized monitoring of on-site equipment and environmental data, closed-loop management of the implementation of control measures, advance notification of operational hazards, and operational acceptance. Then the workflow of the system and the functions realized by each module were designed in detail. The research result realizes the intelligent management and control of safety risks of pumped storage construction operations, enhances the efficiency of risk management and control, and improves the safety level of pumped storage construction.

Keywords

Pumped Storage Construction, Digital System, System Design, Risk Management, Intelligent Management and Control of Safety Risks

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着电力需求的增长和生态文明建设的推进,抽水蓄能电站作为安全、环保的储能方式在我国快速发展[1][2]。抽水蓄能电站建设涉及爆破、高边坡开挖等高危作业[3][4],这些作业施工工艺复杂、施工工序多、工序转换快、涉及单位多[5],施工作业多为劳务分包,施工人员流动性较大,施工队伍素质良莠不齐,现场作业人员存在安全意识较差,安全技能欠缺等问题[6],而这些人员往往在深基坑、高边坡、地下洞室等不安全因素多的区域作业,安全风险较高。抽水蓄能建设独有的风险特点使传统管理模式难以有效应对复杂的安全风险和信息交互问题。风险管控压力大,一旦风险管控不到位,容易造成安全隐患。因此改善传统风险管控方式是当前抽水蓄能施工项目亟待解决的挑战。智能化安全管控手段具有的高效、便捷以及信息可追踪等特点可以弥补当前传统管理模式的弊端,提高安全风险管控工作效率。另外国家政策[7]以及行业需求[8]都对水电工程的数字化转型提出了要求,抽水蓄能电站建设转向智能化管控是必然趋势。

目前我国在煤矿、化工、轨道交通工程、建筑施工等领域建立了符合行业特征的作业安全风险管控系统,并证实了其有效性。李春贺[9]、张水平[10]、段金红[11]在煤矿行业研究了包含生产全过程风险管控和监控在内一系列功能的矿山安全风险管控平台。谭绍玉[12]、屈军平[13]等构建了包含轨道交通工程特有的盾构机监控模块等内容的工程建设信息化平台。张玉梅[14]、穆波[15]、李悦天[16]等分别针对油田储存、化工作业及实验室涉及到的危化品的危险特点,构建了将智能化技术与危化安全生产及管理相

结合的安全风险管控平台。卞平官[17]、张充[18]等人分别构建了针对危化品和钢铁行业的安全管控平台。金柴君[19]等基于建筑企业工作特点,设计了基于双重预防机制智能管控系统各项架构及功能模块。上述不同行业在探究行业安全管理与信息化如何深度融合方面已经做出了很多贡献,取得的研究成果也为本研究提供了借鉴和参考,但不同生产行业的风险管控系统并不能在抽水蓄能施工项目的作业安全风险管控系统中完全适用。

目前关于抽水蓄能施工项目的数字化建设中通过使用智能识别、智慧工地等手段达到智能化管控的目的。江汉臣等人通过结合智能手机和定位系统,实现对水电工程现场的施工人员的管理和评价[20]。但是这些技术和理论主要被限制在针对不同的应用场景定制相应的系统解决方案上[21],没有系统地从风险管理的原理上考虑抽水蓄能施工现场人员、机器、环境之间的问题,尤其是对于抽水蓄能施工项目智能化安全管理系统框架设计的研究,目前尚不充分,抽水蓄能施工项目的智能化建设尚处于探索阶段,还未建立起一个统一且成熟的智能风险管控模型框架。

因此本文基于抽水蓄能工程项目风险管理的工作要点,结合某抽水蓄能项目的系统需求,构建适合抽水蓄能施工作业的安全风险智能管控系统,优化风险管控流程,提高安全风险管控工作效率,保证抽水蓄能施工作业的安全,达到对项目现场风险的全面感知和智能管控。通过本文研究可以在新形势下为抽水蓄能施工项目的安全管理提供新的思路与方法。

2. 研究方法及理论

2.1. 半结构化访谈方法

半结构化访谈是指通过提前制定的访谈提纲对访谈对象进行非正式访谈。研究人员可以根据访谈情况灵活调整提纲和提问顺序,针对问题的多个角度增加或减少问题,让受访者尽可能全面地提供有关问题的信息。此方法具有很强的灵活性和适应性,受访者可以用自己的话表达真实想法,不受形式、内容和顺序的限制,对于访谈的时间和地点也可以由研究人员根据情况灵活处理[22][23]。半结构化访谈因其具有灵活性,能够在产品设计的研究中帮助研究人员了解用户的需求,为设计提供指导。

本研究的访谈对象为某抽水蓄能项目两位负责人员,利用腾讯会议以视频连线的方式进行访谈,访谈内容主要围绕此抽水蓄能项目智能管控系统使用过程中需要实现的功能展开。根据受访者提供的信息,将他们提出的关于系统预期实现的功能要求进行梳理,最终确定智能风险管控系统的需求。

2.2. 风险管理流程

工程项目中风险管理工作要点主要包括风险识别、风险评估以及风险控制环节。首先通过风险识别确定存在的风险,其次利用定量或定性等方式进行风险评估,确定风险等级,明确风险管控的重点,最后根据风险评估的结果,实施合适的控制措施。同时在控制措施实施过程中通过监督和检查确认措施落实情况,实现对作业风险的闭环控制,保障施工项目的顺利实施,减少或避免风险[24][25]。

通过梳理工程项目的风险管控流程,本研究构建的智能管控系统需要将上述风险管理流程嵌入系统当中,实现风险管控任务的数字化流程。

3. 系统需求和功能分析

3.1. 系统需求确定

本研究通过半结构化访谈的研究方法,对该抽水蓄能工程的项目人员进行访谈,分析抽水蓄能施工作业安全风险管控系统需求。访谈前在已有文献研究基础上制定访谈提纲引导对话,确保覆盖关键问题。所有访谈内容通过录音形式转码成文本数据,以文字的形式进行保存和记录,确保内容的准确性和完整

性。通过对访谈文本的梳理和分析后，得到作业管控系统最初需求。经过与项目人员多轮交流和反馈，确定抽水蓄能施工项目作业安全风险管控系统最终需求。

- 1) 实现抽水蓄能项目施工现场作业风险管控工作的数字化转型，将作业的风险评估、检查、控制和验收等流程嵌入平台中，通过管控系统完成作业风险管控工作的全过程管理。
- 2) 在管控系统中，实现对施工现场人员的告警，通过系统将可以推送信息给相关负责人，告知即将开始施工的作业中包含的潜在的危险、控制措施等内容。
- 3) 根据现场已经部署的监测装置，在作业管控系统中实现环境、设备状态变化的数值监视。通过在系统中实时展现环境、设备的安全状况，实现环境或者设备等出现异常状态的及时预警，降低事故的发生。

3.2. 系统总体功能思考

基于对风险管理流程的梳理以及管控需求的分析，确定了管控系统需要实现的功能。利用系统整合共享施工现场所有重要的作业安全信息数据，更加全面地掌握施工现场的情况；通过系统及时推送风险信息，在面对问题时及时做出决策，从而提高工作效率，确保项目现场的安全和各项工作任务顺利完成；通过把智慧工地中各类分散的传感器以及监测技术等设备集成到系统中，将施工过程中收集到的数据实时传递到作业管控系统终端，让管理人员更加及时便捷地掌握施工现场的情况，做到对施工现场重要安全信息的实时感知；帮助抽水蓄能施工项目克服在作业管控过程中信息碎片化的现象，改善以静态分析为主的传统的作业管控模式存在信息获取不全面的问题，通过作业管控系统实现动态感知。

4. 系统总体设计

4.1. 系统框架构建

本研究构建的智能管控系统旨在将风险管理的工作要点嵌入系统当中，利用系统实现风险管控的数字化流程，将项目人员要求的实际需求融入系统当中，最终明确智能管控系统需要包含的所有功能需求和特征，在此基础上构建出抽水蓄能施工作业安全智能风险管控系统的总体框架。

通过作业风险管控系统完成动态风险辨识、现场设备及环境数据的集中监测、管控措施落实的闭环管理、对作业危险的提前告知、验收工作的管理，保证抽水蓄能项目在施工期间的作业安全。根据作业风险管控所实现的功能将作业管控系统分为五个模块，分别是动态风险辨识、风险管控措施、现场监测、危险及控制措施告知、作业验收。作业管控系统模块架构如图 1 所示。

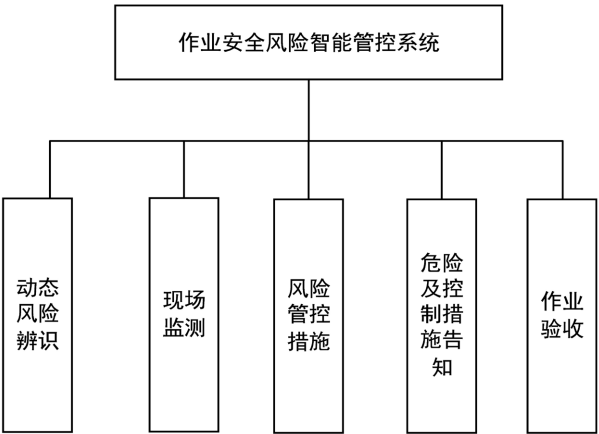


Figure 1. Operational safety risk intelligent management and control system module architecture
图 1. 作业安全风险智能管控系统模块架构

4.2. 系统工作流程

基于以上分析, 作业风险智能管控全流程如下。项目人员根据判定的作业数据在系统中录入目前抽水蓄能施工作业中存在的危险类型后得到相应的风险等级。确定风险等级之后系统自动推送风险信息至负责人(安全员、技术员、施工员等)。相关负责人根据危险类型项目现场落实对应的控制措施, 并在系统管控措施模块触发管控措施审核流程, 以附件或照片的形式提交佐证材料进行线上审批。当全部管控措施确认落实后审批通过, 最终风险被解决, 风险等级降低。抽水蓄能项目施工作业风险管控流程如图 2 所示。

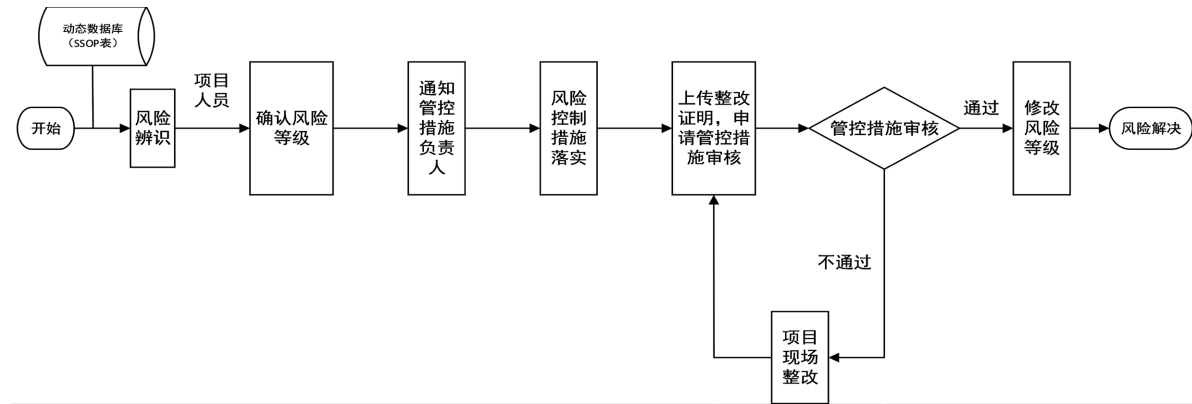


Figure 2. Operational risk intelligent management and control process
图 2. 作业风险智能管控流程

4.3. 关键模块功能

4.3.1. 动态风险辨识模块

动态风险辨识模块包括风险录入、风险等级清单两个功能子模块。

1) 风险录入

项目人员需要将现场风险辨识的情况录入信息, 填写作业地点, 风险辨识时间等内容; 作业类型、作业工序以及危险类型可以设计为通过下拉框的方式进行选择, 下拉选择内容即可(需要提前接入由抽水蓄能项目 SSOP 表构成的动态风险数据库形成所有作业类型、作业工序、危险类型选项); 系统根据所选择的危险类型自动判定每一项作业风险所对应的风险等级。项目人员录入风险时需要为每一项录入的风险填选对应的责任人。风险辨识流程完成后, 系统将作业风险信息推送至对应的责任人。

2) 风险等级清单

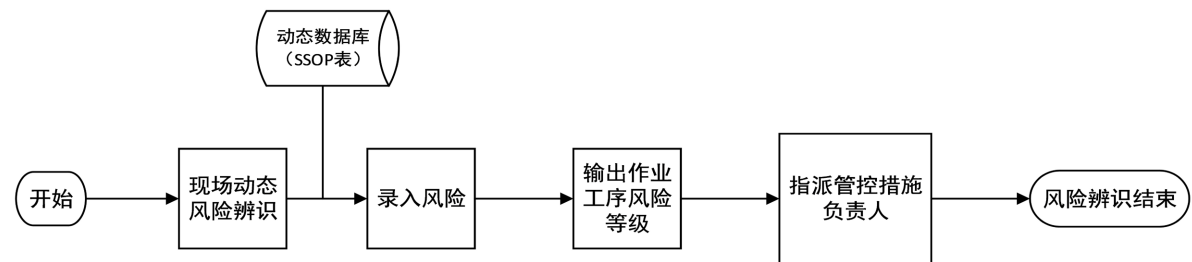


Figure 3. Dynamic risk identification module workflow
图 3. 动态风险辨识模块工作流程

风险等级模块需要将风险录入模块的数据同步至此模块, 用户可以在此模块查看已辨识的危险类型

和风险等级。动态风险辨识模块工作流程如图 3 所示。

4.3.2. 现场监测模块

现场监测模块根据项目施工现场的管控需求,将有关作业安全的现场智能设备的实时监测数据同步至系统形成功能子模块。

在系统中需要为每种监测设备提前设置临界值以及选定相关负责人。一旦检测到传感器等设备超过了安全阈值,系统需要启动告警服务并推送预警信息至相关负责人。负责人在接收到推送后会在施工现场进行整改,直到监测设备的数据值回到正常水平。(流程图中两种监测设备均为范例,系统在实际使用时可以根据需求自行添加监测设备相关的功能子模块)。现场监测模块的工作流程如图 4 所示。

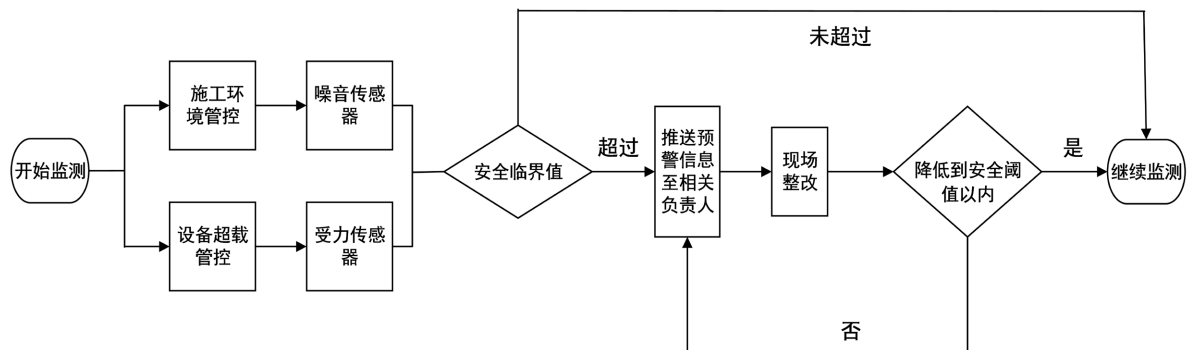


Figure 4. Field monitoring module workflow

图 4. 现场监测模块工作流程

4.3.3. 风险管控措施模块

风险管控措施模块包括管控措施清单、管控措施落实审核、作业风险状态清单三个功能子模块。

1) 管控措施清单

将动态风险数据库(SSOP 表)中关于作业工序的危险类型及管控措施的数据同步至此模块。并在页面中提供查询功能,按照作业危险类型进行搜索,方便相关整改负责人快速查找对应的控制措施。

2) 管控措施落实审核

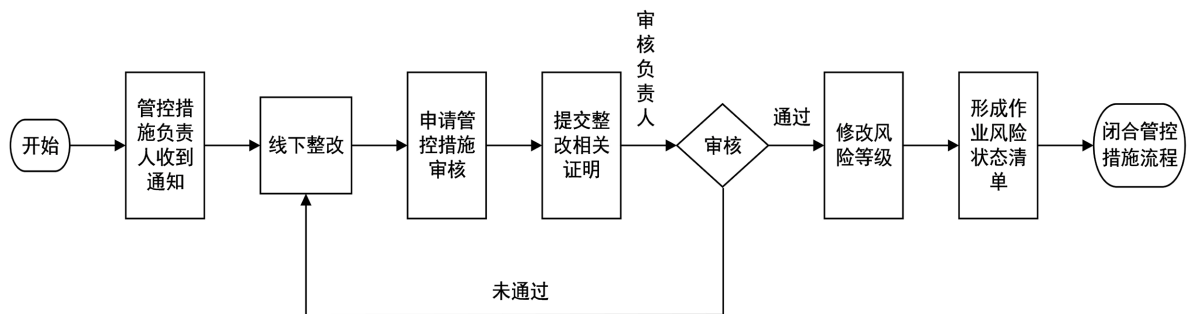


Figure 5. Risk management and control measures module workflow

图 5. 风险管控措施模块工作流程

当相关负责人通过系统收到作业风险整改的推送消息后,在施工现场根据作业危险类型落实对应的控制措施。全部控制措施完成后可以在此功能模块进行审核申请,用于闭合管控流程,降低风险等级。整改负责人在申请时需要上传相应附件(例如补充的应急管理预案等)或者现场整改的照片等内容,便于

审核人员进行判断。发起审核申请后形成审核清单，同时系统会将审核信息推送至负责审核的员工。负责人员需要在此数据基础上根据上传的附件和照片等内容判断控制措施是否合格；同时根据管控措施的实施情况修改作业工序的风险等级。在该功能模块的页面中，还可以利用超链接或其他形式将动态风险数据库(SSOP表)添加到此，便于负责审核的人员确定风险等级。

3) 作业风险状态清单

作业风险状态清单功能模块将风险录入以及管控措施待审核的数据信息同步到此部分形成风险清单；同步的数据包括风险录入的全部内容，以及管控措施审核状态，审核后的风险等级。方便项目经理或安全总监确认实行控制措施后的作业风险等级。风险管控措施工作流程如图 5 所示。

4.3.4. 危险及控制措施告知模块

危险及控制措施告知模块包括危险告知清单功能子模块。

1) 危险告知清单

安全管理人员在系统中需要根据施工进度提前设置每一项作业开始施工的时间，将动态风险数据库(SSOP表)中每个作业类型施工时所涉及到危险类型和控制措施数据同步到该模块，并为每种作业类型添加接收告知信息的负责人，最终形成危险及控制措施告知清单。当工期开始后，系统会按照已设定好的作业施工时间自动推送消息至已指派的相关负责人进行危险告知；通知的内容包括即将开始施工的作业中可能存在的危险以及可实行的控制措施。危险控制告知的工作流程如图 6 所示。

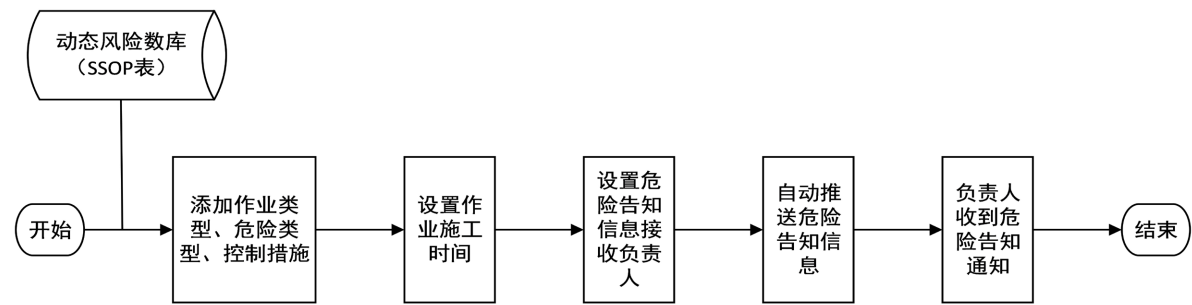


Figure 6. Hazard and control measures inform module workflow
图 6. 危险及控制措施告知模块工作流程

4.3.5. 作业验收模块

1) 作业验收清单

项目开始前将需要进行验收的作业添加至系统(包括项目中涉及到的危大工程以及其他作业类型)。根据工期进度中每一项作业的开工时间，设置作业验收的时间；并为每一项验收的作业类型选择责任人，最终形成作业验收清单，另外将验收时使用到的验收表通过附件的形式上传至系统供人员下载。在项目开始施工前，系统会根据每项作业的预计验收时间以及选定的责任人提前推送验收消息。

2) 作业验收审核

施工开始前相关负责人按照需要验收的作业或工程类型进行线下验收，确认施工现场的安全条件，并在验收申请功能模块发起开始施工申请，填写工程名称、负责验收的人员、建设单位、监理单位以及需要验收的部位等信息，将验收表以附件的形式上传后，增添审核状态(审核通过/待审核)形成审核清单。相关审核人员点击相应的作业类型后进入下一界面，根据附件里验收表的验收意见选择是否点击通过按钮通过审核。若审核不通过，则需要整改重新验收，若审核通过则代表此项作业符合安全施工的条件，允许此项作业开始施工。风险作业验收模块工作流程如图 7 所示。

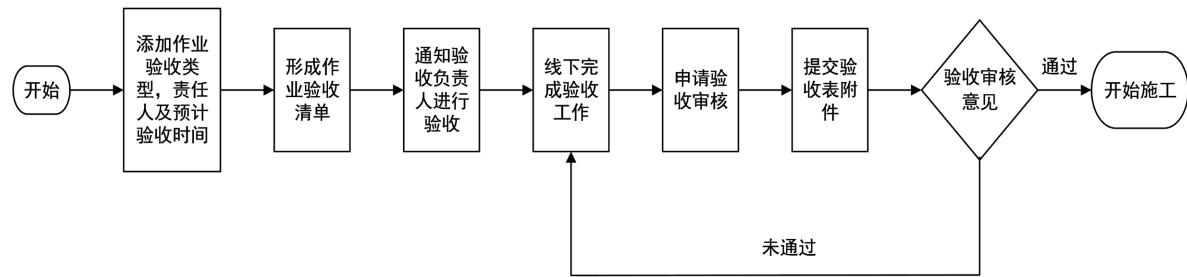


Figure 7. Operational acceptance module workflow

图 7. 作业验收模块工作流程

5. 结论

为了改善当前抽水蓄能施工项目传统风险管控模式的弊端，顺应国家倡议水电工程数字化转型的趋势，针对抽水蓄能电站施工项目风险管控的复杂性以及信息交互效率低下问题，提出了抽水蓄能施工项目的作业安全风险智能管控系统。本文邀请某抽水蓄能项目负责人员进行半结构化访谈，得到某抽水蓄能项目的系统需求，同时结合工程项目风险管理的工作要点以及某抽水蓄能项目中使用的物联网等智能技术，对系统进行构建，最终得到以下几方面结论：

1) 通过半结构化访谈的方式，对某抽水蓄能项目对智能风险管控系统的预期实现的功能进行梳理，最终确定了系统的需求：实现项目风险管理工作的数字化转型；通过系统实时查看环境或设备状态的数值变化；通过系统实现对现场人员的危险告警；通过系统完成项目作业的验收工作。

2) 在确定系统需求及总体功能的基础上，结合工程项目风险管理的工作要点，构建了系统总体框架，包括动态风险辨识、现场监测、风险管控措施，危险及控制措施告知、作业验收五大模块。

3) 结合某项抽水蓄能项目所利用的物联网等前沿技术，详细设计了系统整体的工作流程和关键模块的功能。

本文所提出的作业风险管控系统有助于实现抽水蓄能施工项目的风险管控工作的数字化转型，实现风险动态管控，提升抽水蓄能项目作业风险管理的信息化水平，增强项目现场作业风险的管控效率，并确保抽水蓄能施工作业的安全性。

参考文献

- [1] 张静, 赵树鑫, 宋小洪. 我国抽水蓄能现代化的发展历程、挑战与展望[J]. 中国农村水利水电, 2024(6): 239-243+251.
- [2] 张茹, 楼晨笛, 张泽天, 等. 碳中和背景下的水资源利用与保护[J]. 工程科学与技术, 2022, 54(1): 69-82.
- [3] 张忠桀. 基于本质安全理论的抽水蓄能电站工程建设安全管理体系的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [4] 王建平, 聂本武, 张丰宇, 等. 水利水电工程立体交叉作业安全管理执行传递机制设计[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(6): 116-122.
- [5] 刘思远. 抽水蓄能电站工程施工阶段安全管理体系研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- [6] 张红艳, 高鹏. 水利水电工程安全管理风险分析及对策[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(S2): 89-92.
- [7] 全国人民代表大会常务委员会关于修改《中华人民共和国安全生产法》的决定[J]. 建筑安全, 2021, 36(7): 4-9.
- [8] 国家能源局. 抽水蓄能中长期发展规划(2021-2035 年) [R]. 北京: 国家能源局, 2021.
- [9] 李春贺. 基于智慧矿山的安全风险分级管控与事故隐患排查治理系统[J]. 煤矿安全, 2019, 50(5): 285-288.
- [10] 张水平, 熊思超, 陈乐. 矿山全员安全风险管控数字化平台的研究与应用[J]. 矿业研究与开发, 2024, 44(5): 234-242.

-
- [11] 段金红, 马新根, 贺永强, 等. 基于全流程可追溯的煤矿安全智慧管控云平台[J]. 煤矿安全, 2023, 54(6): 223-228.
 - [12] 谭绍玉, 丁伟. 信息化技术在城市轨道交通工程建设安全管理中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(S2): 117-123.
 - [13] 屈军平, 肖薄. 地铁施工安全管控双重预防信息化应用研究与实践[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(S2): 31-37.
 - [14] 张玉梅, 康晓霞, 孙宁, 等. 基于油品危险特点的大型油库安全风险智能化管控平台建设研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2022, 55(5): 15-23.
 - [15] 穆波, 刘超, 王廷春, 等. 危化品企业人员作业安全与风险智能管控平台建设研究[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(5): 134-140.
 - [16] 李悦天, 刘雪蕾, 赵小娟, 等. 基于危险性类别分析的实验室危险化学品风险管控研究[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(3): 260-264.
 - [17] 卞平官, 廖翔翔, 黄乐观, 等. 工业互联网 + 危化安全生产管控平台的搭建及运用[J]. 武汉工程大学学报, 2022, 44(5): 578-584.
 - [18] 张充, 张伟, 张建荣, 等. “工业互联网 + 钢铁厂安全生产”管控系统架构研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(4): 5-13.
 - [19] 金柴君. 建筑施工企业双重预防体系建设及信息系统开发研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 首都经济贸易大学, 2019.
 - [20] 江汉臣, 林鹏, 强茂山. 基于实时定位系统的监理人员管理和评价[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2015, 55(9): 950-956+963.
 - [21] 杨荣, 聂本武. 基于安全系统理论的水电工程智能安全管控模型设计[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(9): 147-152.
 - [22] 朱媛媛. 新生代建筑工人安全知识共享影响因素及其作用机制研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国矿业大学, 2022.
 - [23] 戚雪娣. 基于 5M1E 法的 ZT 公司施工现场安全管理改进研究[D]: [硕士学位论文]. 蚌埠: 安徽财经大学, 2024.
 - [24] 中国南方电网有限责任公司. 安全生产风险管理体系(2022 年版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2022.
 - [25] 中国南方电网有限责任公司. 安全生产风险管理体系建设指南(2022 年版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2022.