

大型泵站枢纽工程 风险管控信息系统关键性技术研究

王 伟,黄烈涛,刘 尚,徐旭东,吉嘉豪,陈探骊

(南水北调东线江苏水源有限责任公司项目管理分公司,江苏 南京 210019)

摘要:围绕风险动态管理要求,对大型泵站枢纽工程的风险管理模块设计、数据库管理、动态信息应用的关键性技术开展研究,引入加权风险矩阵法、危险源编码机制、管控措施编码机制、风险告知动态提醒机制、固有风险与残余风险四色图绘制机制,并探讨各机制在风险管控信息系统的应用。

关键词:泵站工程;风险管控;信息管理;数据库管理;机制

中图分类号:TV675 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2024)09-0038-0005

Research on key technologies of risk management and control information system for large-scale pump station hub projects

WANG Wei, HUANG Lietao, LIU Shang, XU Xudong, JI Jiahao, CHEN Tanli

(The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,
Nanjing 210029, China)

Abstract: Based on the requirements of dynamic risk management, research is conducted on the key technologies of risk management module design, database management, and dynamic information application for large-scale pump station hub projects. The weighted risk matrix method, hazard source coding mechanism, control measure coding mechanism, risk notification dynamic reminder mechanism, inherent risk and residual risk four-color chart drawing mechanism are introduced, and the application of each mechanism in the risk control information system is explored.

Key words: pump station project; risk management and control; information management; database management; mechanism

大型泵站枢纽工程在水资源的调度、开发、利用和保护等方面发挥了关键作用,是流域水利“重器”。泵站日常管理涉及构(建)筑物、金属结构、机电设备、维养作业等多方面,任何一个处于“不安全状态”的设备或“不安全行为”的作业活动均对泵站工程正常运行造成不利影响,甚至造成严重的生产安全事故,因此实施关口前移的风险管理对保障泵站枢纽工程的运行稳定至关重要^[1-3]。

随着深入推进安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制在水利工程的应用,2023年水利部印发《构建水利安全生产风险管控“六项机制”的实施意见的通知》,并在《构建水利安全生产风险管控“六项机制”工作指导手册》(2023年版)中明确水利安全生产风险查找、研判、预警、防范、处置和责任等风险管控“六项机制”的建设要求^[4]。在“六项机制”实际应用过程中,如查找主厂房可能存在的危

收稿日期: 2024-07-03

作者简介: 王伟(1979—),男,高级工程师,博士,主要从事水利工程安全管理理论研究、工程监测及预测预警方法研究和水利工程建设、运营管理工作。E-mail:wwgi555@163.com

险源,仅考虑行车、主电机等主要设备和运行操作、巡查、检修等主要作业行为,可识别出20余项主要危险源,依此类推查找出泵站枢纽工程的主要危险源数量繁多,若在此基础上再考虑风险研判、防范、处置等,各阶段涉及的风险信息量是可观的。对于泵站运维管理人员,如何在巨量的风险信息中检索出有效的风险管理信息,明确自身岗位可能存在的危险源、涉及的风险研判方法、执行风险管控措施和履行风险管理责任,是落实“六项机制”的重要途径。因此,有必要开展风险管理模块功能、数据库管理、动态信息应用研究,梳理分析信息系统要素,建立大型泵站枢纽工程风险管理信息系统,实现风险信息动态管理。

1 风险管理信息系统

1.1 风险管理信息系统框架

大型泵站枢纽工程风险管理信息系统设计为三大模块,包括风险管理系统、风险管理数据库和风险管理外部支持系统。其中,风险管理系统包括风险查找、风险研判、风险防范和风险预警子模块;风险管理数据库包括风险分析方法数据库、危险源数据库和风险管控数据库;风险管理外部支持系统包括风险管理知识库、风险管理模型库和风险管理案例库。

险管理案例库。本文基于地理信息系统平台的二次开发技术(GIS),拟采用ESRI所开发的ArcGIS软件及二次开发工具ArcEngine,以JAVA作为编译语言,建立原型系统。风险管理信息系统框架具体如图1所示。

1.2 风险管理模块功能

(1)风险查找子模块。根据大型泵站枢纽工程运行突发事件可能发生的风险场景,对建(构)造物、设备、作业活动等潜在风险因素进行甄别和筛选,实现风险点划分、风险因素查找、清单动态更新及输出功能。功能模块包括风险点清单、设备设施清单、作业活动清单、风险查找方法库、危险源清单。

(2)风险研判子模块。结合泵站运行突发事件的风险性质,采用风险评价方法逐一对危险源清单进行风险发生的可能性与影响的测度,实现风险值计算、风险等级判断、风险状态动态更新及输出功能。功能模块包括风险研判方法库、风险值、风险等级、重大危险源清单、一般危险源清单。

(3)风险防范子模块。根据重大危险源和一般危险源清单,结合风险分级管控要求,实现风险管控措施的制定、选择和执行,明确管控责任人,隐患排查问题发布,闭合管理和统计功能。功能模块包

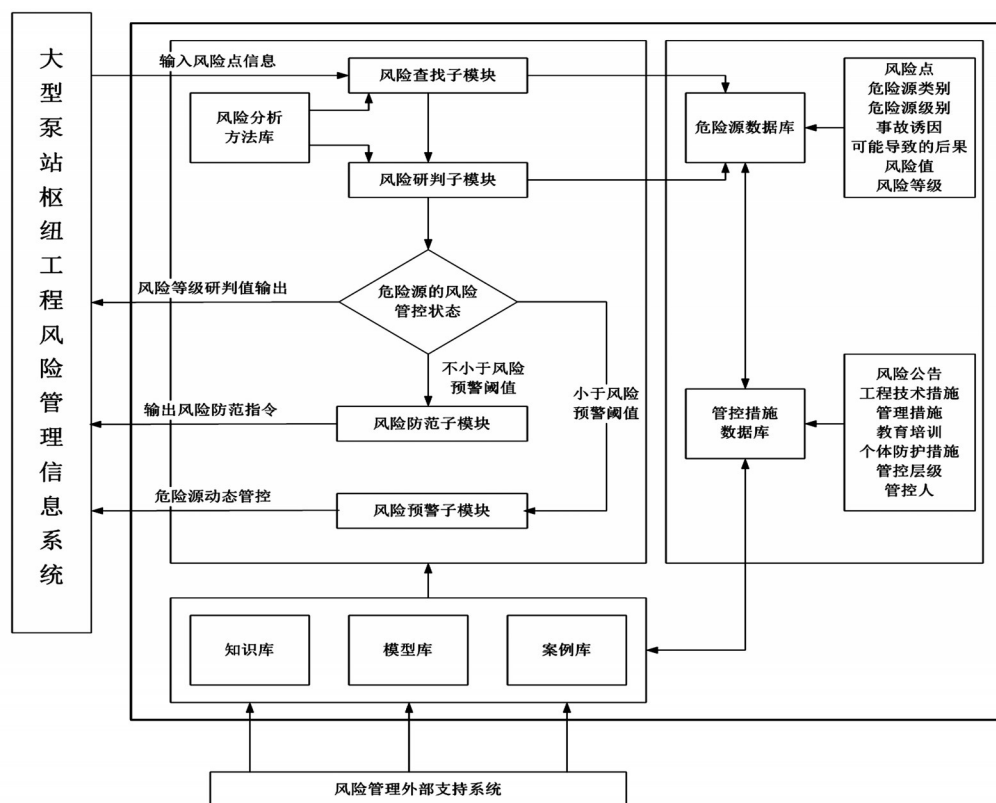


图1 风险管理信息系统框架

括管控措施管理、隐患排查治理管理。

(4)风险预警子模块。根据危险源的风险值,结合风险等级划分标准,实时监控泵站运行管理过程中危险源的风险状态动态变化,当危险源的风险值变化大于预警阈值(当前风险等级的上限值)时,启动风险防范子模块并发布预警信息,实现危险源监测监控、预警发布功能。功能模块包括预警阈值管理、预警信息管理。

2 数据库管理

2.1 风险方分析方法库

风险分析方法库包括风险查找方法和风险研判方法。(1)风险查找方法包括直接判定法、安全检查表法、预先危险性分析法及因果分析法等方法,其中直接判定法以《泵站工程运行重大危险源清单》为依据。如以主电机为例,采用安全检查表法可分析得到水轮机、变频发电机组、控制柜等设备设施类危险源,年度预防性试验、年度检测等作业活动类危险源。(2)风险研判方法主要包括直接评定法、作业条件危险性评价法(LEC法)、风险矩阵法(LS法)、安全检查表法等。为了更好地考虑风险管控措施对风险值的动态影响,本文提出加权风险矩阵法引入风险分析方法库^[5],具体如下:

$$U = U_1 \times U_2 \times U_3 \times U_4 \times U_5 \quad (1)$$

$$R = L^U \times S \quad (2)$$

式中: R 为风险值; L 为事故发生的可能性; S 为事故造成危害的严重程度; U_1 为风险公告风险折减指数; U_2 为工程技术措施风险折减指数; U_3 为管理措施风险折减指数; U_4 为教育培训风险折减指数; U_5 为个体防护措施风险折减指数。

2.2 危险源数据库

危险源数据库包括风险点、危险源类别、危险源级别、事故诱因、可能导致的后果、风险值、风险等级。根据《“六项机制”工作指导手册》,某大型泵站枢纽工程泵房可划分33个风险点、查找出62项危险源,显见1个风险点可包含多项危险源,依此类推整个枢纽工程潜在危险源的数量是较多的。因此,为了便于泵站运行风险管理,本文引入“危险源编码机制”将危险源逐一编码,实现系统对危险源数据库的查找、更新、分析和预警等操作,具体编码示意如图2。

图2中,危险源编码为六位数,其中危险源类别编码为1~9之间的一位数,风险点编码为1~99之间

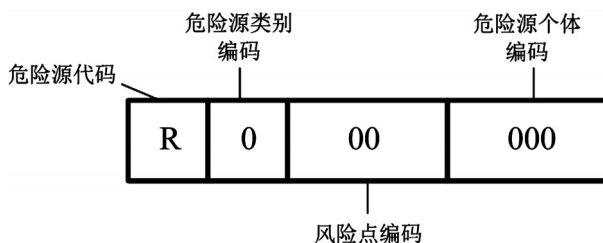


图2 危险源编码示意

的二位数,危险源个体编码为1~999之间的三位数,如R301002危险源表示为“设备设施类,风险点(主电机),水轮机”。

2.3 管控措施数据库

管控措施数据库包括风险公告、工程技术措施、管理措施、教育培训、个体防护措施、管控层级、管控人。管控措施数据库与危险源数据库相对应,即一个危险源对应一项管控措施和分级管控责任人。因此,本文引入“管控措施编码机制”将管控措施逐一编码,实现风险研判子模块与风险防范子模块的关联操作,具体编码示意如图3。图3中,管控措施编码为十位数,其中前六位数为危险源编码,管控措施类别编码为1~99之间的二位数,管控层级编码为1~4之间的一位数,管控负责人编码为1~9之间的一位数,如M3010020333管控措施表示为“管理措施(明确岗位职责、开展日常养护),泵站运行管理分管负责人,某人”。

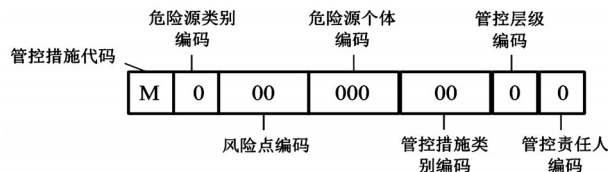


图3 管控措施编码示意

3 动态信息应用

3.1 风险告知应用

风险告知应用主要包括风险告知书、风险告知卡和安全风险培训。除了告知书记录表、风险告知卡和安全风险培训记录表导出功能,为了及时传达风险防范措施指令,本文引入“风险告知动态提醒机制”,即当风险点的危险源数据发生变化时动态关联管控数据库,并及时将告知书签订和风险公告栏及警示标志设置等提醒信息发布给相关管理人员和作业人员。若作业人员未签订风险告知书、管理人员未设置警示标志或未开展安全风险培训,“风险告知动态提醒机制”关联风险预警子模块(预

警信息管理)不定时发布预警信息,直至提醒事宜完成。

以风险点(主电机)发生机组大修事件为例,在设备设施类危险源的基础上增加了起重吊装作业、高处作业、焊接作业、临电作业、有限空间作业等作业活动类危险源。根据危险源编码对应的管控措施数据,如电气焊接作业防范指令将潜在事故(触电、火灾)、防范措施(焊接作业必须佩带防护眼镜、手套等防护用品)、安全注意事项(应掌握一般电气知识,遵守焊工一般安全规程,还应熟悉灭火技术、触电急救及人工呼吸方法)、潜在突发安全事故及应急措施、从业人员的权利及义务等信息内容发送给作业人员,并提醒其签字确认,从而完成风险告知流程,其余类型作业防范指令依此类推。同时,风险防范指令发送给管理人员,提醒在主电机机组大修工作范围的显著位置设置警告、禁止、指令和提示等警示标志,并做好现场安全监护工作。风险告知应用流程具体见图4。

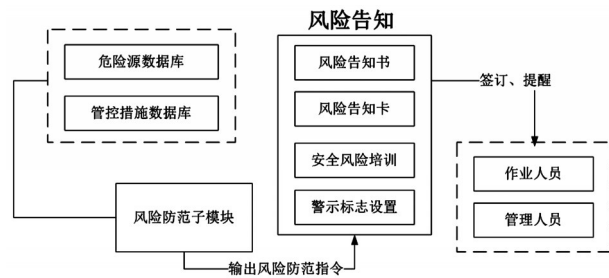


图4 风险告知应用流程

3.2 风险四色图应用

风险四色图应用类型分为整体四色图及局部四色图,其中整体四色图以工程总平面布置图、局部平面布置图(泵房、水闸、船闸及周边等)为基础;局部四色图以独立建筑物为单元,以厂房(电机层、联轴层、检修层、水泵层)各楼层为基础。风险点的风险等级取其划分区域内所有危险源最大风险值对应的最高风险等级,如下式所示:

$$A_i = \max(R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}) \quad (3)$$

式中, A_i 表示为第*i*个风险点; R_{in} 表示为风险点*i*区域内的第*n*个危险源。研判为重大风险、较大风险、一般风险和低风险的风险点,在四色图中依次用红、橙、黄、蓝安全色标示。为了反映风险状态动态变化,实施调整四色图,绘制功能模块与危险源编码及管控措施编码相关联,风险点的图色与编码动态信息同步变化,同时本文引入“固有风险与残余风险四色图绘制机制”,考虑工程技术措施、管理措施

等管控措施后的残余风险变化,具体应用流程如图4所示。

以某大型泵站枢纽工程主厂房的电机层为例,按照设施所在区域划分4个风险点,即主电机 A_1 、行车 A_2 、真空破坏阀 A_3 、供水泵 A_4 。考虑日常运行管理情况,采用安全检查表法可查找出8个危险源,基于风险矩阵法研判各风险点的风险等级分别为: A_1 (较大风险)、 A_2 (重大风险)、 A_3 (较大风险)、 A_4 (一般风险)。若风险点(主电机 A_1)发生机组大修事件,由于增加了作业活动类危险源,经研判风险点 A_1 的风险等级变化为重大风险,其余风险点的风险等级不变,即未考虑各项管控措施的风险点最大固有风险值依次为360、340、300、150。考虑工程技术措施、教育培训等管控措施实施后的残余风险值变化,根据(2)式采用加权风险矩阵法计算结果见表1~2。

表1 风险折减指数汇总

U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	综合折减指数 U
0.95	0.80	0.90	0.85	0.90	0.52

表2 风险管控计算结果

风险点	固有风险			残余风险		
	最大风险值	风险等级	管控层级	最大风险值	风险等级	管控层级
主电机 A_1	360	重大	主要负责人	188	较大	分管负责人
行车 A_2	340	重大	主要负责人	178	较大	分管负责人
真空破坏阀 A_3	300	较大	分管负责人	157	一般	部门负责人
供水泵 A_4	150	一般	部门负责人	78	一般	部门负责人

综合以上计算结果可知,考虑管控措施应用成效的最大残余风险值均比固有风险低,尤其针对重大风险等级的风险点 A_1 、 A_2 ,风险等级和管控层级可降级实施。

4 结 论

防范化解各类安全风险是大型泵站枢纽工程维持平稳生产的核心任务,是杜绝重特大事故发生的重要屏障。随着安全生产风险查找、研判、预警、

防范、处置和责任等“六项机制”在泵站运行管理的逐步落实、完善,有效提升了管理水平和本质安全,但大量的风险管理信息增加了现场人员的工作压力,因此建立信息编码机制、动态信息应用流程是大型泵站枢纽工程风险管理信息系统的设计关键。根据本文分析可知,六位数的危险源编码能够确定风险点、危险源类别和危险源个体信息,十位数的管控措施编码能够确定管控措施类别、管控层级和管控负责人信息,通过编码机制可使数据库与风险管理模块相关联实现查找、研判、防范、预警等功能。

风险状态变化信息的输出与接受形式是泵站现场管理人员、作业人员及时获悉风险信息的关键。根据危险源数据库中信息的变化,“风险告知动态提醒机制”能够及时将告知书签订流程推送给作业人员,同时将风险公告栏及警示标志设置要求推送给管理人员,明确各岗位的风险管控要求。基于加权风险矩阵法的“固有风险与残余风险四色图绘制机制”,能够考虑管控措施对危险源风险值的

影响,分析固有风险与残余风险的变化,并实现风险四色图与风险状态的同步变化。泵站运行管理涉及风险因素类型多而复杂,如何结合泵站设备设施运行管理特点,动态考虑管控措施风险折减指数和设置合理的重大危险源预警阈值有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 乔镜铭. 大型泵站电气设备运行与维护管理措施研究[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(4): 83-84.
- [2] 刘圣桥, 谷峪, 郑英. 调水工程泵站控制系统网络安全风险评估[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(增刊1): 403-406.
- [3] 孙浩夫. 抽水泵站机电设备安全运行与管理风险研究[J]. 地下水, 2021, 43(3): 286-288.
- [4] 徐铭. 基于“六项机制”的基层水管单位安全生产风险管控探索[J]. 江苏水利, 2023(5): 61-64.
- [5] 王伟, 朱延琴. 基于加权风险矩阵法的泵站运行风险分级管控分析[J]. 水利科技, 2022(3): 34-37.

(上接第37页)

资源,构建了城市湖泊智慧化生态水位预警系统,对城市湖泊水位监测与信息传输-生态水位计算与阈值优选-预警情况研判与信息实时发布全过程实现“一键式”管理;在所申请国家发明专利(已受理)授权之后,将在不同尺度城市湖泊水情信息管理和生态水位预警管控中推广应用。

参考文献:

- [1] 沈颜奕, 陈星. 城市湖泊生态系统健康评价与修复研究[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(2): 82-85, 91.
- [2] 刘晓南, 程炯, 王瑾. 广州市快速城市化区的水塘景观变化及其影响因素[J]. 城市观察, 2017(3): 50-60.
- [3] 曾焱, 程益联, 江志琴, 等. “十四五”智慧水利建设规划关键问题思考[J]. 水利信息化, 2022(1): 1-5.
- [4] ZENG Y, CAI Y, JIA P, et al. Development of a web-based decision support system for supporting integrated water resources management in Daegu City, South Korea[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(11): 10091-10102.
- [5] WALUYO HATMOKO, RADHIKA, BAYU RAHARJA. Monitoring and prediction of hydrological drought using a drought early warning system in Pemali-Comal river basin, Indonesia[C]. //1st International Symposium on LAPAN-IPB Satellite (LISAT) for Food Security and Environmental Monitoring 2014; Bogor, Indonesia, 25-26 November 2014.

TEXAS: Elsevier B.V., 2015: 56-64.

- [6] IVANA SUSANJ, NEVENKA OZANIC, IVAN MAROVIC. Methodology for developing hydrological models based on an artificial neural network to establish an early warning system in small catchments[J]. Advances in Meteorology, 2016(2016), 1-14.
- [7] 王蓓, 刘玉甫, 吴建军. GPRS技术在水情自动测报系统中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(3): 132-134.
- [8] 徐辉. 武都水库水情自动测报系统的构建及其关键技术[J]. 中国水利, 2010(12): 33-36.
- [9] 宋天武. 基于MC55模块的水情自动测报终端的设计[J]. 水利水电技术, 2010, 41(4): 91-94.
- [10] 张国学, 彭凌. 三峡枢纽水情自动测报系统运行管理模式研究[J]. 人民长江, 2011, 42(10): 70-72.
- [11] 王辉, 代慧涛, 刘宇. 异构水情自动测报系统的统一接入应用方案[J]. 水利水电技术, 2012, 43(11): 55-57.
- [12] 王玉申, 杨光, 杨凯, 等. 云计算与大数据技术在智慧医疗的应用策略[J]. 中国科技信息, 2023(2): 135-137.
- [13] 张巨莉. 基于云计算的水利信息化应用研究[J]. 地下水, 2020, 42(6): 275-276.
- [14] 王振祺, 方红远, 许广东, 等. 苏北平原河流生态水位确定与保障措施研究[J]. 人民珠江, 2022, 43(5): 36-42.
- [15] 王鹏, 华祖林, 褚克坚, 等. 高度城镇化地区河网水系生态调控方案[J]. 水资源保护, 2022, 38(1): 205-212.
- [16] 朱晔. 南方平原河网地区河流生态水位研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2022.