

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221697

# 基于 BIM 技术的大型水闸工程施工危险源辨识系统设计

刘永强<sup>1</sup>,朱 斌<sup>1</sup>,任海文<sup>2</sup>,徐超宇<sup>3</sup>,伏仲明<sup>4</sup>

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 天津市市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300392; 3. 昆山市  
水事综合管理中心周市管理站, 江苏 苏州 215000; 4. 浙江省新能源投资集团股份有限公司, 浙江 杭州 310009)

**摘要:**为提高大型水闸工程施工安全管理水平,改变传统人工管理模式,解决施工安全管理效率低下的问题,通过运用数据库和 BIM 技术,存储大型水闸工程施工危险源信息,同时将数据库与水闸 BIM 模型相结合,提出基于 BIM 技术的大型水闸工程施工危险源自动辨识流程,实现水闸工程施工危险源快速辨识的能力。利用计算机技术开发大型水闸工程施工危险源辨识系统,提高水闸工程施工安全管理效率的同时可为施工危险源信息化管理提供借鉴。

**关键词:** BIM 技术; 危险源辨识; 施工安全管理; 大型水闸工程

**中图分类号:** TV512      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-7709(2023)05-0170-04

## 1 引言

水闸建设是水利建设的重要工作之一,水闸工程施工具有综合性强的特点<sup>[1]</sup>,平行施工、交叉作业多,易发生安全事故。危险源是事故的根源,辨识并排除危险源可避免事故发生。目前,关于危险源评价的研究较多<sup>[2-5]</sup>,但在施工前辨识危险源仍是重点难题。蒋裕丰等<sup>[6]</sup>运用数据挖掘技术从事事故集中挖掘危险源,但数据挖掘需要大量数据,水闸工程的事故资料难以大量搜集,因此数据挖掘技术不适用于水闸工程。BIM 技术以可视化、数据集成等优势,成为智能化建设研究热点。现阶段 BIM 在建筑领域运用较多,在水利工程安全管理方面的应用较少。鉴此,本文在构建水闸模型和大型水闸工程施工危险源数据库的基础上,开发大型水闸工程施工危险源辨识系统,以期实现在施工前快速辨识施工危险源并进行控制的目的。

## 2 基于 BIM 技术的大型水闸工程施工危险源辨识流程

通过建立施工危险源数据库和水闸 BIM 模

型,以数据库中危险源属性为依据识别 BIM 模型构件,判断构件信息是否满足危险源属性要求,满足要求表明危险源存在于构件施工现场。辨识所有模型构件后自动生成危险源列表帮助工作人员掌握施工危险源信息,方便采取预控措施,危险源辨识流程见图 1。

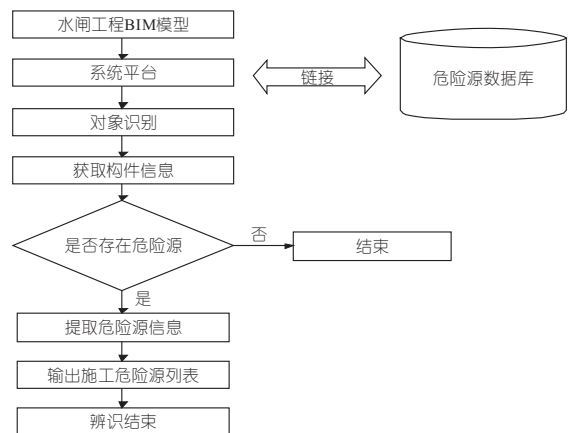


图 1 基于 BIM 技术的水闸工程施工危险源辨识流程  
Fig. 1 Construction identification process of sluice engineering based on BIM

因为施工危险源与施工工艺有直接联系,将施工工艺信息导入 BIM 模型构件,将水闸工程施工危险源的施工项目类型属性信息导入数据库,通过开发脚本文件提取模型中施工工艺信息与数据库中施工危险源施工项目类型进行关键词匹

收稿日期: 2022-08-16,修回日期: 2022-10-14

基金项目: 南京市水务科技项目(201905)

作者简介: 刘永强(1970-)男,博士、副教授、硕导,研究方向为水利水电工程建设项目管理,E-mail:ljc2002@hhu.edu.cn

配,匹配到相似信息会导出本条危险源信息。对全部水闸工程 BIM 模型构件进行信息提取、检索和导出后,对所有导出的危险源信息进行整合形成大型水闸工程施工危险源列表。

### 3 基于 BIM 的大型水闸工程施工危险源辨识关键技术

#### 3.1 水闸工程 BIM 建模

根据施工危险源辨识流程,建立的水闸模型需加载施工工艺信息,同时要与施工危险源数据库进行链接。依据《水利信息模型应用标准》<sup>[7]</sup>,构建的水闸 BIM 模型要实现非图形信息加载或链接,模型粒度要达到 LOD350;针对水闸工程异形曲面多的特点,采用 revit 创建族的方式,将水闸工程构件以族的形式设计出来,再将族构件搭建完整的水闸模型,建模流程见图 2。

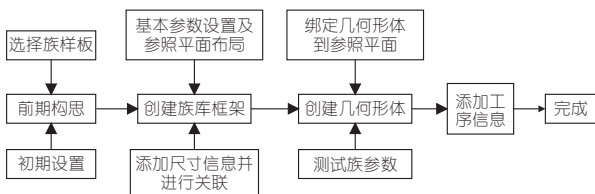


图 2 水闸模型族库建立流程

Fig. 2 The process of building sluice model library

为便于建模和添加施工工艺信息,建模前,按照水利工程施工项目划分原则,将水闸工程划分到分部工程,分析分部工程确定要建立的构件。为便于构件管理,在参考 IFC 标准和其他水闸模型编码研究<sup>[8]</sup>的基础上提出能够满足本文需要的编码标准。本文建立的水闸工程构件编码包含工程划分、具体位置及序号,见图 3。SZ\_SH\_BL\_Y1\_01 表示水闸工程闸室段右侧一号混凝土垫层。

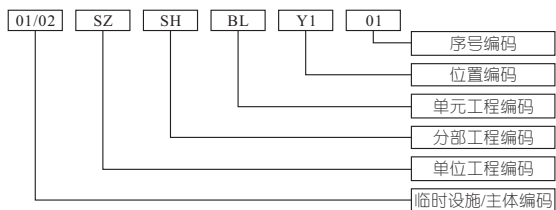


图 3 水闸工程构件编码逻辑图

Fig. 3 Sluice gate engineering components coding logic diagram

大型水闸工程模型构件建成后,分析每个构件需进行的施工活动,确定每个构件要加载的施工工艺信息。采用 ODBC 数据源加载的方式进行非几何信息附加,具体流程为完整的水闸模型构件导出为 ODBC 数据源,利用 Visual Studio 修改数据源,加入构件施工工艺信息,非几何信息附

加流程见图 4。

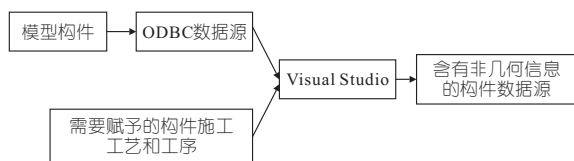


图 4 构件非几何信息添加流程

Fig. 4 Process of adding non geometric information of components

大型水闸工程 BIM 模型中包含了大量工程信息,完整的模型会影响数据库对模型中施工信息的辨识效率,降低系统运行速率,因此需轻量化处理模型。利用模型转换器作为中间件<sup>[9]</sup>,通过 HTML 文件环境中的 JavaScript 显示组件库,新建 DOM 元素根据 viewToken 指定待显示的模型,最后设置加载模型后的回调参数。水闸工程 BIM 模型轻量化流程见图 5。

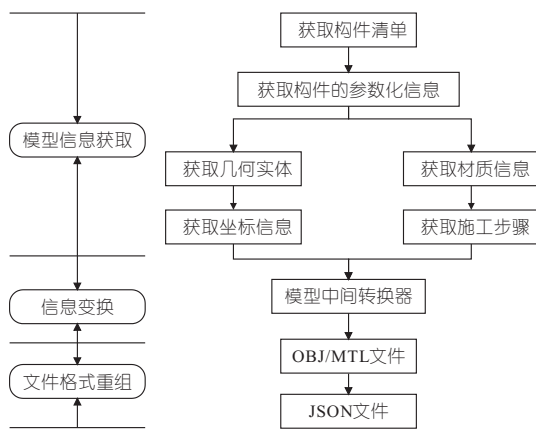


图 5 模型轻量化转换流程

Fig. 5 Lightweight model transformation process

#### 3.2 大型水闸工程施工危险源数据库构建

大型水闸工程的施工活动在设计文件中有详细的文字描述,依据相关安全规范<sup>[10-13]</sup>,挖掘设计文件危险源,能够在水闸工程施工前获取施工危险源信息<sup>[14]</sup>。基于此,整理筛选出我国现行的水利、水闸领域安全条目,据此挖掘出施工危险源。选取一些大型水闸工程设计文件,根据挑选的安全条目,从设计文件的施工作业活动中挖掘出水闸工程施工危险源<sup>[15]</sup>,整合危险源信息形成水闸工程施工危险源清单,依据《水利水电工程施工危险源辨识与风险评价导则》<sup>[10]</sup>,将危险源划分为一般危险源和重大危险源,用 LEC 法将一般危险源划分为四个风险等级,分别为重大、较大、一般、低风险。最后将整合完成的水闸工程施工危险源清单导入数据库中,数据库存储内容见表 1,文本采用 SQL server 数据库,构建的施工危险源数据库见图 6。

表 1 大型水闸工程施工危险源数据库属性

Tab.1 Attributes of hazard source database for sluice engineering

字段名称	数据属性	说明
危险源	短文本	施工危险源名称
施工项目类型	短文本	危险源施工步骤
重大危险源	是/否	超过一定限度的危险源
L	数字	事故发生可能性
E	数字	暴露于危险环境频率
C	数字	事故严重程度
D	数字	危险性大小
风险等级	短文本	发生风险事件概率、危害程度

数据层是系统的基础,水闸工程施工危险源辨识系统数据层包含施工危险源数据库、水闸工程模型构件、工程项目基本信息等数据。水闸工程模型、工程基本信息和施工进度等信息可通过系统界面录入。危险源数据库在搭建系统时直接与系统连接,无需通过系统上传。

逻辑层为数据判断与处理层,在逻辑层提取水闸工程模型构件的施工工艺信息,以构件的施工信息作为检索依据,与危险源数据库中危险源施工项目类型元素进行对比,在发现信息一致的信息后将危险源信息导出到工程施工危险源列表中,在辨识完所有构件后会形成一个该工程对应的施工危险源列表,列表中的危险源名称、施工项目类型和风险等级信息会映射在系统界面层,便于查看。

交互层是实现用户在前端操作、系统自动处理和反馈的层级。工作人员可通过系统前端导入工程项目基本信息、施工人员信息等有关工程施工信息,便于信息出错后的修改。

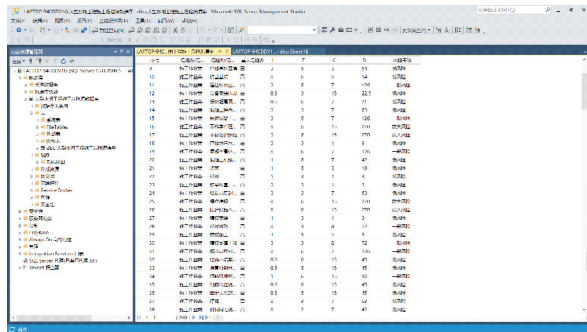


图 6 水闸工程危险源数据库

Fig. 6 Hazard source database of Sluice Project

### 4.2 施工危险源辨识系统功能模块设计

本文开发的大型水闸工程施工危险源辨识系统共包含项目基本信息管理模块、进度计划模块、施工危险源管理模块和施工人员信息管理模块四个模块。

## 4 基于 BIM 的水闸工程施工危险源辨识系统架构设计

### 4.1 系统框架设计

系统开发架构有 C/S、B/S 架构两种。C/S 架构包括数据层和客户层,具有很强的整体性,但维护和升级成本较高。B/S 架构有交互层、逻辑层和数据层三层,将数据处理和信息反馈分成两层,降低系统维护成本,方便对系统进行优化和扩展。

采用 B/S 架构搭建基于 BIM 的水闸工程施工危险源自动辨识系统,使用浏览器作为系统界面。因为 JAVA 具有可扩展、易理解等优势,故采用 JAVA 语言开发系统,便于后期对编程语言的阅读和修改。本文设计的大型水闸工程施工危险源辨识系统框架见图 7。

项目基本信息管理模块包含项目概况和分部分项工程清单子模块。项目概况包含项目设计、施工、监理单位和项目简介等信息;分部分项工程清单子模块通过读取 BIM 模型构件的施工信息,将施工工艺信息展示在系统界面,方便校核每个构件的施工活动是否正确,避免发生施工工艺信息出错等问题。

进度计划模块中有进度计划编制子模块,通过进度计划编制子模块将施工进度计划录入系统,录入成功会在界面中显现进度计划横道图,方便控制工程施工进度。

施工危险源管理模块是对模型构件匹配到的所有危险源,包括危险源名称、施工项目类型、风险等级等信息进行汇总展示。为便于在施工过程中对危险源进行安全管理在模块中加入控制措施属性,安全人员可直接在模块中对每个危险源添加需要采取的控制措施,方便整合并浏览信息,施工单位依据每个控制措施在施工时有效控制危险源。

施工人员信息模块是为了便于统一管理现场施工人员,保证施工期间施工现场不会因为人数密集带来安全隐患,同时避免施工过程中工种配比不均导致的施工问题。

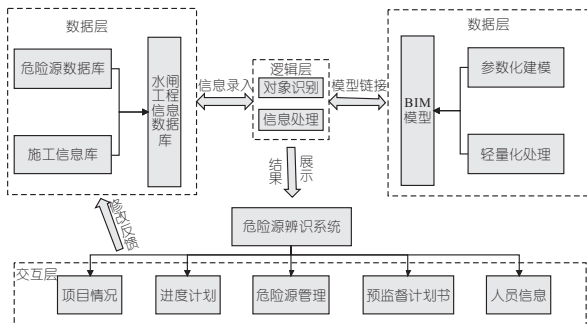


图 7 系统框架设计

Fig. 7 System platform framework design

### 5 实例应用

以广东省某水闸工程施工危险源辨识为例,首先对该水闸工程进行 BIM 建模,其次进行轻量化处理,处理结果见图 8。

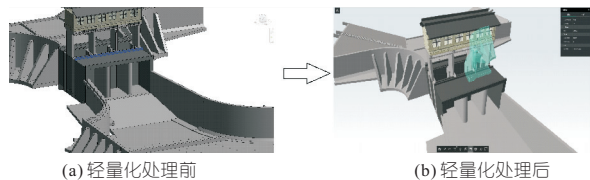


图 8 水闸模型及轻量化效果图

Fig. 8 Sluice model and lightweight effect

将轻量化模型上传至系统,系统界面见图 9。在模型上传系统后自动辨识施工危险源,辨识结果在安全管理模块中体现,具体见图 10。

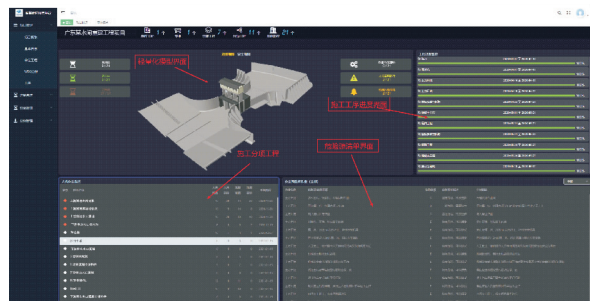


图 9 系统主界面

Fig. 9 Platform security management main interface

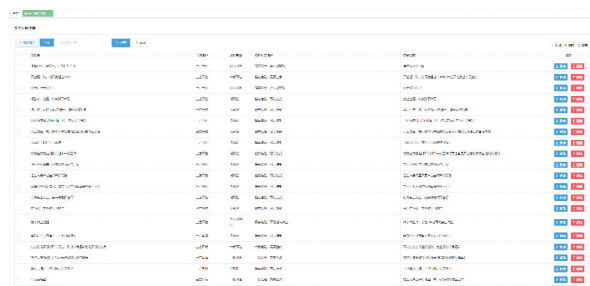


图 10 工程施工危险源界面

Fig. 10 List of construction hazards

受施工环境影响,施工现场很难使用电脑客户端查看危险源,因此通过对系统进行开发,实现将施工危险源名称、控制措施等信息导出文本形式的功能,相关人员可以打印纸质版在施工现场指导工作,本水闸工程部分施工危险源清单见表 2。

项目工程信息统计、施工内容、施工进度计划和施工人员信息统计见图 11。

### 6 结论

a. 运用 BIM 技术,提出大型水闸工程施工危险源自动辨识流程;结合数据库和计算机技术开发施工危险源辨识系统并在实际水闸工程中应用。应用结果证明了基于 BIM 技术的大型水闸

表 2 水闸工程施工危险源清单(部分)

Tab. 2 List of construction hazard sources of Sluice Works

作业名称	危险源	控制措施
脚手架操作	工作人员在脚手架上进行施工作业	按照要求合理搭脚手架,搭建完成后进行负载测试以后使用;禁止超载使用;安装防护措施
深基坑作业	深度超过 2 m 基坑(槽)	设置高度不低于 1.2 m 的安全护栏,下部有防护要求时还应设置高度不低于 0.2 m 的挡脚板
混凝土工程	混凝土浇筑作业	科学合理地设立好护栏后进行混凝土浇筑作业
混凝土工程	混凝土振捣作业	混凝土振捣工作人员需穿戴绝缘鞋,戴绝缘手套
模板安装与拆除	涉水、临水作业	临水作业时,水边 2 m 范围内禁止作业
深基坑作业	使用大型机械设备进行作业	规范设备操作,设备工作时周围严禁人员经过,必要时降低坑边负荷
土方回填	临水作业过程	临水作业时,水边 2 m 范围内禁止作业

分部工程	名称	施工内容
除险工程	砂石垫层铺设	人工铺设砂石垫层
除险工程	C30 混凝土垫层	人工浇筑混凝土
除险工程	混凝土养护	进行混凝土养护工作
除险工程	除险施工	人工除险开挖
除险工程	掺 8% 水泥土垫层	人工铺设垫层
除险工程	混凝土垫层	人工使用机械进行混凝土垫层
除险工程	模板安装与拆除	模板安装与拆除

(a) 项目工程信息和施工内容

姓名	班组	岗位	工种	施工进度
陈敬怀	砌筑班	砌筑工	砌筑工(建筑类)	2020-10-10 264
刘宏康	砌筑班	砌筑工	砌筑工(建筑类)	2020-10-10 1
刘敏	砌筑班	砌筑工	砌筑工(建筑类)	2021-05-22 40
魏志发	砌筑班	砌筑工	砌筑工(建筑类)	2020-11-30 177
张开坤	砌筑班	砌筑工	砌筑工(建筑类)	2021-01-12 41
宋智华	混凝土班	混凝土工	混凝土工(建筑类)	2021-01-11 1
陈斌	项目管理部	项目人员	质检员	2020-10-02 21

(b) 施工人员信息和施工进度

图 11 项目工程信息、施工内容、施工人员信息、施工进度计划统计

Fig. 11 Information statistics of project and construction personnel

工程施工危险源辨识流程的合理性,同时应用系统能够实现施工危险源自动辨识功能。

b. 大型水闸工程施工危险源辨识系统开发推动了水闸工程施工危险源的超前式、数字化管理,为其他水利工程施工危险源的数字化管理研究提供了参考。

### 参考文献:

[1] 魏伟,刘建刚. 水利施工中水闸施工管理方法研究[C]//. 2022 万知科学发展论坛论文集(智慧工程一),2020:1039-1047.

[2] 吴立荣,程卫民,诸葛福民,等. 海湾大桥施工危险源的系统评价——基于改进群组 G2 法、灰色聚类与扩展优势集概率决策法[J]. 系统科学学报,2020,28(2):90-94,110.

[3] 李艺彤,郭永成,司马艳,等. 基于改进 LEC 评价法的高层建筑施工危险源评估与管控[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2019,41(4):55-59.

