

# 面向消防监督业务的建筑消防安全智能管理平台设计与实现

李梦颖

太原市消防救援支队 山西 太原 030001

**【摘要】**：消防监督检查，是消防救援机构基层防火监督干部的主责主业。随着城市化水平的不断提高，建筑结构复杂、消防设施种类增多，消防监督员的业务能力水平成为监督执法的重中之重。但就当前现状来看，消防监督员能力差异大、检查标准不一，难以全面掌握动态火灾隐患。为革新消防监督模式、实现“数据驱动”精准监管，建设一个集成化、智能化管理平台具有较高的实践价值。本文设计的面向消防监督业务的建筑消防安全智能管理平台，核心功能包括建筑信息数字化档案、设施状态可视化、水系统水力自动计算，关键技术包括三维建模、BIM/GIS集成、水力计算引擎、移动应用等，系统架构包括微服务、前后端分离等。通过系统原型实现、案例验证，证明该平台能有效辅助监督员工作、提升检查质量和标准化水平。

**【关键词】**：智能管理；水力计算引擎；移动应用

DOI:10.12417/3041-0630.26.03.061

## 1 绪论

### 1.1 研究背景与意义

(1) 新时代消防安全管理与“智慧消防”建设要求：以国务院《“十四五”国家应急体系规划》<sup>[1]</sup>《消防安全责任制实施办法》<sup>[2]</sup>为政策引导，新时代消防安全管理与“智慧消防”建设，是我国消防工作转型升级的核心任务。

(2) 当前消防监督工作面临的核心挑战：随着城市化水平的不断提高，建筑结构复杂、消防设施种类增多，消防监督员的业务能力水平成为监督执法的重中之重。但就当前现状来看，消防监督员能力差异大、信息碎片化、检查标准不一、且日常以抽查检查为主，难以实时跟进辖区各单位建筑消防设施真实状态，难以全面掌握动态火灾隐患。

## 2 平台需求分析与总体设计

### 2.1 平台总体架构设计

(1) 技术架构：采用“感知层、数据层、服务层、应用层”的分层架构体系。

(2) 功能模块划分：明确划分为“建筑信息管理模块”、“消防设施管理模块”、“智能水力计算模块”、“监督检查辅助模块”、“系统管理模块”、“监督检查历史记录模块”。

### 2.2 业务需求分析

(1) 用户角色分析：用户角色包括消防监督员、社会单位消防安全管理人、系统管理员。

(2) 核心业务场景：社会单位基础信息、消防设施情况由该单位消防安全管理人录入，监督员登录后可随时调阅单位

基础信息，包括建筑基本情况（建筑审核验收等行政审批手续情况、建筑面积、建筑高度、使用功能等）、消防设施设置情况、重点部位详细信息、消防安全责任人、管理人姓名及联系电话等；监督管理人员在每次实施监督检查后，可录入检查情况及隐患情况，随时登录即可查看个人历次消防监督检查检查结果及隐患整改情况、接受行政处罚情况等；监督员及消防安全管理人可利用系统辅助实现巡查检查、监督抽查，将个人不好断定的检查数据，例如消火栓所在楼层及栓口压力录入系统，通过系统水力计算，等待数据分析与报告生成。

功能性需求：可通过导入“建筑使用行政、建筑体积、建筑高度、消防给水系统设置形式”等数据，自动查阅所需消防水池有效容积、消防高位水箱有效容积、最不利点消火栓压力、稳压系统启泵设计压力及停泵设计压力、低压压力开关启泵压力值等等详细数值，辅助开展监督执法工作。“建筑信息管理模块”、“消防设施管理模块”则主要针对于辖区重点单位，常年固定开展监督检查的单位，随时调取核心数据的功能。

## 3 平台核心功能模块详细设计

### 3.1 建筑与设施信息数字化模块设计

#### 3.1.1 “一建筑一档”数据模型设计

核心实体关系（ER）设计：构建以“建筑”为根节点的树状数据模型。核心实体包括：建筑，楼层及防火分区，消防设施系统（消防给水、消防用电、防烟排烟）->设施设备（消火栓、喷头、水泵、控制器）。每个实体包含属性字段（如建筑：面积、高度、使用性质；消火栓：型号、位置、设计压力）。

数据标准化：设计标准数据字典，如“建筑使用性质”对应《建筑设计防火规范》《建筑防火通用规范》分类，“消防

作者简介：李梦颖（1989.11—），女，汉族，山西太原人，太原市消防救援支队，研究生学历，工程师，主要从事消防监督管理工作。

设施类型”采用国标编码，确保数据可计算、可统计。

### 3.1.2 数据录入与动态维护机制

多端录入：支持 PC 端批量导入（CAD 图纸解析、Excel 模板）、移动端扫码/NFC 快速补充。

版本管理：设施信息变更（如管道改造）需提交变更申请，系统记录历史版本，确保监督执法所依据的数据有迹可循。

### 3.1.3 轻量化 BIM/GIS 可视化引擎<sup>[3]</sup>

设计目标：非专业三维设计软件，而是为监督业务服务的“浏览器”。

实现方式：将复杂的竣工 BIM 模型，通过轻量化转换引擎，转换为可在网页和手机端流畅加载的格式（如 GLTF）。监督员可在三维模型中点击任一消防设施，如果实现接入物联网，则可实现直接查看其全部属性、历史检查记录和实时状态。

## 3.2 智能水力计算引擎设计

### 3.2.1 计算原理与数学模型

公式选择：明确采用消防工程领域标准的海曾-威廉公式<sup>[4]</sup>，因其参数（海曾-威廉系数 C）在消防管道材质中有成熟经验值，计算效率高，结果稳定。

数学模型构建：将建筑消防水系统抽象为一个水力网络，由节点（水源、水泵、分支点、消火栓/喷头）和管段组成。建立以流量守恒、能量守恒为基础的方程组。

### 3.2.2 自动建模：从业务数据到计算模型

关键算法：设计管网拓扑自动解析算法。系统根据数据库中存储的管段连接关系、设施位置，自动构建出用于水力计算的模型图。

参数自动匹配：根据管道材质（如镀锌钢管、球墨铸铁管）自动匹配海曾-威廉系数 C；根据建筑高度、危险等级自动确定最不利点所需的设计流量和压力。

### 3.2.3 计算引擎工作流程

（1）输入：用户选择目标建筑及水系统（如室内消火栓系统）。

（2）预处理：系统自动构建网络模型，识别最不利点（最高或最远出水点）。

（3）迭代求解：采用哈迪-克罗斯迭代法<sup>[5]</sup>等算法，求解管网平差方程组，计算所有管段流量、水头损失及各节点压力。

（4）校核与输出：将计算出的水泵扬程、最不利点压力与国家标准（如《消防给水及消火栓系统技术规范》GB 50974）

进行自动比对校核。

（5）可视化报告：输出彩色压力梯度图（在平面图上用颜色深浅表示压力高低）、关键参数表，并明确标注“合格”或“不合格，并注明造成不合格的原因，如：3层管道管径偏小。

## 3.3 监督检查辅助模块设计

### 3.3.1 智能检查清单引擎

基于建筑类型（如高层公共建筑、地下商场）、风险特征（如人员密集、用火用电多），从内置的规范化检查知识库中动态组合生成个性化检查清单，确保检查项目全面。基于建筑类型及涉及到的消防设施系统，从内置规范数据库中自动生成规范条款，并自动前置强制性条文属性条款，确保引用规范统一。

### 3.3.2 移动端现场作业应用

离线支撑：支持监督员提前下载任务包，在现场无网络时仍可查阅资料、记录检查。智能识别：集成简单的图像识别模型，对上传的消防设施照片进行自动分类（灭火器、疏散指示标志等）并进行简单的隐患判别，辅助执法、快速建档。

## 4 平台关键技术实现与原型系统展示

### 4.1 开发环境与技术选型

前端：Vue.js+Element UI(PC 管理端)，Uni-app（跨平台移动端，一套代码编译成 iOS/Android/小程序）。

后端：Spring Boot+MyBatis-Plus(Java)。采用微服务架构，将“水力计算服务”、“文件服务”、“通知服务”独立部署，提高系统弹性。

数据库：PostgreSQL+PostGIS 扩展（存储带有地理空间的建筑信息）；Redis（缓存高频数据，如用户权限）。

水力计算引擎：使用 Python(SciPy/NumPy 进行数值计算)封装为独立的 RESTful 服务，供 Java 后端调用。

### 4.2 核心功能实现示例

#### 4.2.1 水力计算服务核心代码逻辑（伪代码/流程图）

```
python
class HydraulicSolver:
    def solve(self, building_id):
        # 1. 从数据库加载管网数据
        network = load_network_from_db(building_id)
        # 2. 构建方程组 AX = B
        coeff_matrix, const_vector = build_equations(network, using='Hazen-Williams')
        # 3. 迭代求解
        solution = iterative_solve(coeff_matrix, const_vector, method='Hardy-Cross')
        # 4. 结果校核与持久化
        report = verify_and_generate_report(solution, standard='GB50974')
        save_result_to_db(report)
        return report
```

#### 4.2.2 数据库表关键设计

fire\_hydrant (消火栓表) : id,floor\_id,position,design\_pressure,current\_status,qr\_code...

pipe\_section (管段表) : id,start\_node\_id,end\_node\_id,diameter,length,material,hazen\_williams\_c...

inspection\_task (检查任务表) : id,building\_id,inspector\_id,checklist\_json,result,generated\_document\_path...

#### 4.3 典型应用场景验证

验证对象: 选取一栋15层的高层办公楼作为测试案例。

验证过程: (1) 数据初始化: 在平台中录入该建筑的CAD平面图, 并标注消防管网和消火栓位置。(2) 智能计算: 调用“智能水力计算模块”, 系统自动识别屋顶试验消火栓为最不利点, 进行全网计算。(3) 结果对比: 平台输出计算报告, 显示第12层某处管段因实际安装管径小于设计值, 导致最不利点压力不足0.35MPa。同时, 调取该建筑去年消防检测公司的报告进行比对, 发现报告中对该隐患仅为模糊描述, 而平台给出了量化结论。(4) 现场辅助: 监督员根据平台提示, 重点检查该问题管段, 使用移动端记录实测数据并拍照。

验证结论: 平台将原本需要专业软件和复杂操作的水力分析, 简化为“一键计算”, 使普通监督员也能做出精准的技术判断, 检查效率提升约60%, 技术判断的客观性显著增强。

### 5 平台部署、应用管理对策与结论

#### 5.1 平台部署与集成方案

部署模式: 建议采用私有化部署于消防救援支队的政务云, 保障数据安全。与现有“双随机、一公开”消防监管系统、户籍化管理系统进行数据接口对接, 避免信息孤岛。

#### 参考文献:

[1] 国务院.“十四五”国家应急体系规划[Z].(2021-12-30)[2024-05-16].[https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-02/14/content\\_5673424.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-02/14/content_5673424.htm).

[2] 中华人民共和国应急管理部.消防安全责任制实施办法[A/OL].(2017-10-29)[2024-05-16].[http://www.gov.cn/gongbao/content/2017/content\\_5246145.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2017/content_5246145.htm).

[3] 张建平,李丁,林佳瑞,&颜钢文.(2016).BIM在工程施工中的应用综述与研究展望.施工技术,45(3),1-10.

[4] 中国建筑工业出版社.(2019).《给水排水设计手册》(第2册)建筑给水排水(第三版).北京:中国建筑工业出版社.(国内行业权威手册,是引用国内标准的重要依据).

[5] 严熙世,范瑾初.(2014).《给水工程》(第四版).北京:中国建筑工业出版社.

分阶段推广: 一期在重点单位、大型综合体试用; 二期推广至一般单位; 三期探索与物联网报警系统、维保单位系统的数据互通。

#### 5.2 数据质量保障与长效运行机制

“监督员核验”机制: 单位首次录入的数据, 必须经监督员首次现场检查确认后, 才正式生效为执法依据数据。

“计算反推”校验: 利用水力计算结果(如所需水泵扬程)反向校验单位录入的水泵型号参数是否合理, 发现矛盾自动报警。

与维保联动: 要求消防技术服务机构将年度检测报告的关键数据(如水泵性能曲线)同步至平台, 作为数据更新的权威来源。

### 6 结论与展望

本文针对消防监督业务痛点, 设计并实现了一个集建筑信息数字化、智能水力计算、移动化辅助执法于一体的管理平台。

主要创新点: 将专业的消防水力计算模型, 封装成服务于一线监督员的“傻瓜式”工具, 实现了专业技术的平民化应用。

### 7 不足与展望

不足: 初始数据录入工作量较大; 水力计算模型的准确性高度依赖于输入数据的精度; 目前主要针对水系统, 对电气、防排烟等系统的智能诊断能力有待开发。

展望: (1) 引入AI图像识别: 实现对疏散通道堵塞、灭火器过期等常见隐患的自动识别与报警。(2) 深化物联网融合: 直接接入消防设施物联网传感数据, 实现“实时状态”与“理论计算”的持续比对, 进行预测性维护。