

李杰院士谈 城市多重灾害风险与安全 管理系统(Multi-Hazard Shanghai)

根据李杰院士在上海市住房和城乡建设管理委员会科学技术委员会院士报告会上的主旨演讲整理节选(未经本人审阅)。

1 背景概况

2020 年我国城市化率增长到约 64%, 城市的区域化发展特征非常明显。在此背景下, 以特大城市为中心的城市群经济将成为我国国民社会经济发展的主要增长源。与此同时, 我国城市面临着多种灾害的威胁。现代城市对灾害具有放大效应, 包括空间放大效应、人口放大效应、财富放大效应和网络放大效应。由于现代城市地域宽广(如上海市外环以内面积 600 km²), 发生灾难性安全事故往往会产生耦合效应。建立完备的城市防灾体系, 是国民经济健康发展的基础与关键, 现代科技支撑, 是城市防灾能够真正落到实处的关键措施。城市多重灾害风险与安全管理系统(Multi-Hazard Shanghai) 就是建立在现代科技基础上、致力于风险预警与安全管理。目前这一系统已经开发到 2.0 版本, 到了初步应用的阶段。

2 研究目标

MH Shanghai 是针对特大型城市(如上海市)的安全保障、韧性建设目标, 基于城市信息模型(CIM)、大数据和人工智能技术开发的系统。安全管理对象为城市建筑物和生命线基础设施(市政管网)。根据数据来源和服务对象, 构建独立模型。

系统功能为风险指数的发布、动态的风险预警、动态的风险管理, 最终给应急辅助决策创造基础。针对不同的灾害和城市安全的需求, 从物理模型、机器学习、专家知识等多个角度构成整个系统的框架。

3 关键技术和研究成果

MH Shanghai 2.0 以数字化的 CIM 为底板, 上海市的房屋建筑和管网的信息都储存在该系统里。这些信息属于深层数据。比如管网, 不仅展现管线的走向、位置, 而且还包括管线的埋深、管径、年代、腐蚀的情况等深层次的信息。MH Shanghai 2.0 可以实现数据驱动, 并在深层数据支持下的灾害风险分析, 其中包括灾害危险性分析模型、结构的易损性分析模型, 最终完成动态的风险指标体系。

MH Shanghai 2.0 的关键技术之一是建立房屋结构的易损性数据库。对五大类 17 个子类的房屋分门别类进行分析、建立易损性数据库。同时, 结合遥感数据, 将单体结构的分析和群体结构的分析相结合, 引入智能判断和快速的震害预测贝叶斯网络。从这里展示的系统震害风险指数分布中可以发现, 烈度为 9 度时红点较多, 这样的分布情况不仅有街道区域的结果, 还有单栋建筑物的结果。对于陆家嘴地区, 每一栋建筑遇到烈度为 6~9 度的地震烈度时, 是中度破坏还是重度破坏, 抑或有部分建筑物倒下, 系统不仅可以有平面的展示, 而且有立体的动态的展示。根据地震的背景情况, 研判的结果随时发生变动。

对于风灾,上海防灾救灾研究所最早提出风灾的动态预报和动态区划的研究方向。气象预报告诉大家风雨的发生情况,但不会告诉灾害影响的范围和程度。灾害的影响范围、程度和动态变化,在学术上叫做动态预报。这就需要整个城市的近地风场模拟,还需要加入结构易损性数据库。如将上海城区分成一个个 1 km^2 的模块,在不同模块里面粗糙度是不一样的。根据形态学特征和街区单元的划分,可以实现近场风速的分析与模拟。不同的来流风速,在不同的高度下其表现结果是不同的。MH Shanghai 2.0 可以预测具体到每个街区不同高度的风速,从而给出不同结构类型的风灾易损性及损失。在系统中,低矮结构房屋分成 26 类,大跨房屋分 4 类,形成不同的易损性数据库,此数据库比美国的数据库还要进一步的细化。

对于行道树,需要科学分析是否要加固、要防护。根据不同的模型、参数设置,对不同的树种进行分析。可以做出整个上海市在不同的强风(11 级、13 级、15 级)作用下的风灾分布情况,并且每 2 h 可以得到一次动态的更新结果。

对于火灾,结合城市建筑物的风险指数和火灾气象指数形成风险评估的办法。不同的人员风险、建筑物风险、控制能力风险都有具体的评价。结合气象指数(包括温度、湿度等)完成综合评估,可以给出每个区的火灾风险指数的分布,以及整个街道层面、建筑物层面的每个建筑物的火灾指数。

对于洪涝,从危险性、脆弱性等角度来评估它的危害性。具体的就是暴雨内涝灾害的风险指数。通过一个组合模型综合地表径流、管网分布、城市背景情况,形成洪涝灾害结果。精细化的建模可以实现量化的计算和时空的模拟分析,从暴雨内涝动态模拟的结果可以看到:大雨之后 60 min、80 min、2 h 之内的情况。这样的水灾预警使提前防护成为可能。

对于市政管网,从 3 个粒度的分析模型出发,建立了全要素结构失效分析技术,所有的管网信息都是深层数据、结构化数据。通过全要素的失效分析,既可进行基于物理力学的分析,也可进行基于管网事故数据、以人工智能为基础的病害评价。以上海为例,供水管网、燃气管网分别有 8 万组病害数据,其中燃气管网有 4.5 万组病害数据。依据不同的温度、供水量、运行状态和维修水平,供水管网的安全风险分布随时随地动态变化。细粒度分析结果表明:评估预警系统的预测准确度可达 78.4%。2020 年 12 月 20 日,供水管网病害风险评估预警系统在浦东上线。整个浦东的供水管网总长 5 784 km,直径 300 mm 以上的主干管网 1 195 m,要对其全面检查很困难。系统将可能的病害分成 5 个等级,病害等级 3 以上的去巡查,病害等级到 5 的才去重点防护,预测到会爆管发生需要重点防护。评估预警系统大幅度提高了防护的有效性和针对性,效果明显。2016 年,上海市也经历过一次寒潮,持续 5 天,全市水表损坏 18 万个。然而到了 2020 年~2021 年的 2 次寒潮,全市水表损坏只有 5.5 万个,与 2016 年相比,损坏率下降了约 70%。2020 年~2021 年寒潮期间,浦东新区一共发生爆管 12 次,评估预警系统准确预测了 8 次。由于启动重点防护机制,爆管维修时间为 2.5~3.5 h,而全市的维修平均时间 6~12 h。这套系统大幅度提升了应对灾害的能力。如今上海市供水系统也开始在浦西地区运用这套系统。随着时间的推移,这套系统的自我学习能力会不断提升,相应的基础研究必须加强。

4 展望

整个系统未来的发展趋势是从预警到管理。管理不仅要发展区域管理、专业管理,而且要发展社区管理和个体管理,慢慢做到围绕城市安全的全民防灾。从初等智能系统发展到自主智能系统,全面提升我国特大型城市,尤其是上海的安全运行水平,成为全国乃至全世界的标杆。可以相信, MH- Shanghai 会为上海城市安全提供重要的科技支撑。