

从风险预测到风险溯源:大数据赋能城市安全管理的行动设计研究*

□吴俊杰 郑凌方 杜文字 王静远

摘要:大力推进新型智慧城市建设已成为国家战略,但如何利用大数据赋能城市安全管理,仍然是高度开放的课题。现有研究主要聚焦宏观对策、系统框架、预测建模等,对城市安全管理系统应具有的关键特征缺乏深入的理论和实践研究。本文采用“行动设计研究”方法,通过主导北京市危险品安全管理系统的研发实践,提炼城市安全管理系统的核心设计原则。研究第一阶段采用基于网格的风险预测,虽然提升了业务绩效但也带来资源调度问题。第二阶段引入风险模式及因果网络,调整为基于网络的风险溯源,通过源头治理系统降低了城市风险,在簋街液化气治理等问题上取得显著效益。通过两阶段对比提炼了五个核心设计原则,为构建城市安全管理大数据系统提供了新的思路。

关键词:智慧城市 城市安全管理 行动设计研究 风险预测 风险溯源

一、引言

当前,智慧城市建设正在全球如火如荼地展开。作为现代化城市可持续发展的一种新兴模式,智慧城市是实现城市经济效益和资源效率双提升的重要引擎。我国政府于2012年开始启动较大规模的智慧城市试点,并在2014年发布的《国家新型城镇化规划(2014~2020年)》中将智慧城市上升为国家战略。在这些重要举措的推动下,我国的智慧城市建设取得了阶段性进展,智能应用场景日益丰富,突出表现在交通管理、社区管理等领域(亿欧智库,2019)。

与城市大规模智能化发展如影随形的,则是城市公共安全问题。近年来,我国城市公共安全事故频繁发生,如上海外滩踩踏、天津特大爆炸等,给人民群众的生命财产安全造成了巨大损失,也严重阻碍了我国经济和社会的健康发展。因此,如何利用大数据和人工智能为智慧城市时代的公共安全管理赋能,成为一个重要而迫切的现实需求。研究认为,通过将大数据和物联网等技术结合,安全管理部门可以实现对城市各类风险的全面感知(Wang et al., 2018b);通过利用大数据、人工智能等领域的前沿算法,安全管理部门可以准确地预测安全风险,优化管理策略(徐宗本等,2014)。

大数据赋能城市安全管理的一个重要形式是构建城市安全管理大数据系统。该类系统是大数据新思路落地的载体、新方法实现的抓手。然而,目前实际落地并发挥效益的城市安全管理系统还非常缺乏,这也是造成一些大数据项目尚停留在概念层面的重要原因(吴志

*本研究得到国家重点研发计划重点专项课题“城市要素知识萃取与迁移学习”(项目号:2019YFB2101804)、国家自然科学基金重点项目“基于移动群智感知的物联网大数据挖掘与应用”(基金号:71531001)、国家自然科学基金杰青项目“社会化媒体大数据挖掘与应用”(基金号:71725002)、国家自然科学基金重大项目“大数据环境下的运营策略优化与协调研究”(基金号:71490723)、国家自然科学基金面上项目“以多源城市数据为支撑的城市计算研究”(基金号:61572059)、国家自然科学基金青年项目“传统企业向价值共创型企业转型:利用信息系统构建商业生态圈”(基金号:71402187)、北京航空航天大学青年拔尖人才支持计划(项目号:YWF-20-BJ-J-1021)的资助。杜文字、王静远为本文通讯作者。

敏,2017)。城市智能安全管理问题已得到了公共管理、城市计算、信息系统等多个领域研究的关注(Tang and Lai,2019;郑宇,2015;Yang et al.,2012),但现有研究对安全管理系统的特征尚缺乏系统深入的研究。首先,公共管理的研究主要集中在宏观政策层面,对具体应用和操作缺乏关注。其次,城市计算的研究主要集中在解决技术问题,对技术和应用场景融合的科学设计缺乏关注。最后,信息系统的研究虽然涉及了安全管理系统的研究,但研究主要关注事后响应和事中决策,对事前防控这一重要环节的研究尚属空白。

针对以上研究缺口,本研究选择“行动设计研究”(Action Design Research,ADR)这一前沿设计研究方法(Sein et al.,2011),通过主导北京市危险品运输安全管理系统的研发实践,提炼城市安全管理系统的核心设计原则。研究过程经历了两个阶段。第一阶段采用基于网格的风险预测,虽然提升了城市安全管理部门的业务绩效,但也产生了资源调度和人员绩效评估困难等意料之外的问题。通过反思这些问题,研究团队发现了更有价值的需求和新的设计思路。第二阶段采用风险溯源的思路,并创新性地引入了风险模式和因果网络,通过识别和治理风险源头,系统性地降低了城市风险和应急调度工作压力。研究发现了北京市7个危险品风险源头并驱动了簋街液化气改造,取得了显著的社会和经济效益。

通过对比两阶段的过程和结果,研究团队提炼了包括“基于网络的时空预测模型”、“因果模型和预测模型融合”、“人机交互决策”在内的城市安全管理系统5个核心设计原则。这些原则在已有理论支撑的基础上进一步拓展了已有理论。例如,已有公共安全研究普遍认为,基于“网格”的时空预测是智慧城市安全管理的重要机制(姜金贵、梁静国,2008),但本研究发现,基于网格的预测存在准确性和可行性等问题,而相比之下基于风险模式网络的预测具有更高的准确性,并且能起到事半功倍的效果。此外,现有研究一般将预测和因果模型分开讨论和设计(刘茂等,2005;黄浪等,2018);本研究通过构建一个能够同时支撑预测和因果关系的网络模型,创新性地将二者结合在一起,取得了良好的互补效果并有广泛的普适性。本研究结论有重要的理论和实践价值,也为大数据赋能城市安全管理的研究和实践提供了新的思路。

论文结构组织如下:第二节介绍3个相关领域的已有研究工作,第三节介绍行动设计研究方法及项目背景,第四节介绍两阶段研究过程及得到的设计原则,第五节总结全文并给出结论。

二、文献回顾

大数据城市安全管理是一个交叉学科的研究课题,现有公共管理、城市计算、信息系统领域都对这一课题展开了研究。本文将回顾现有3个领域的相关研究成果,并分析现有研究存在的缺口。

(一)公共管理相关研究

城市安全管理,又被称为城市公共安全管理,是政府及社会为预防和控制各种重大事件、事故和灾害发生,为保护人民生命财产安全、减少社会危害和经济损失而采取的一系列管理和应对策略(傅首清、梁爱民,2010)。城市危险品管理、公共场所管理、公共基础设施管理、城市突发公共卫生事件都属于城市安全管理范畴(刘茂等,2005;Tang and Lai,2019)。

公共管理相关研究主要集中在大数据安全管理模式的探索,研究采取了多个视角。例如,黄浪等(2018)从系统工程的视角,将安全、数据和系统3个维度结合在一起,构建了大数据安全的理论范式。Kapucu(2012)基于网络的视角,提出大数据赋能的信息网络、决策管理网络、政府和社会群体之间的响应网络是现代城市安全管理的基础。曹策俊等(2017)从风险管理决策的视角,分析了大数据对风险治理决策机制和过程的影响,提出了围绕治理政策和业务的智慧决策模式;邬伦等(2017)从技术的视角,提出了城市安全管理系统的关键技术,其中包括物联网感知平台、云计算平台、静态地理信息(GIS)服务平台等。Du和Zhu(2012)以物联网为核心技术,面向风险提前预警,构建了基于应用、网络和感知层面的技术框架。

在模式探索过程中,现有研究也提出了一些关键思路。例如,曹策俊等(2017)提出,大数据城市安全管理要从“侧重应急管理”转变为“侧重风险治理”,从“反馈响应为主”转变为“前馈干预为主”。刘茂等(2005)和黄浪等(2018)指出,解决城市安全问题应该从全局视角出发,避免头痛医头、脚痛医脚的局部视角。Tang和Lai

(2019)也指出,安全风险之间存在关联关系,分析和解决它们之间的关系比解决单一风险效果更好。姜金贵和梁静国(2008)指出,网格化管理是城市安全预测和治理的基础,这一结论也得到了邬伦等(2017)的认同,后者认为网格化管理是城市安全管理系统的体制保障。

虽然现有研究已经取得了一些成果,但这些成果主要集中在宏观政策方面。这些成果在研究起步阶段有重要意义,因为它们提升了人们对大数据赋能城市安全管理必要性的认知(吴志敏,2017)。但随着大数据安全管理的概念深入人心,城市安全管理部门迫切需要具体的指导方案,将概念变成落地实践。目前的宏观研究成果不能满足管理部门的需求。虽然有些研究也提出了系统设计的框架(Du and Zhu, 2012),但这些框架主要来自概念层面的讨论,缺乏基于实证数据的探索;同时,这些框架比较宏观,缺乏对系统设计的具体指导。

本研究旨在通过研究一个实际落地的城市安全管理大数据系统,提炼能够指导具体操作的研究成果。研究发现也将回应吴志敏(2017)提出的“将研究重心从宏观对策研究下沉到非常具体的操作研究”建议。

(二)城市计算相关研究

城市安全管理也是城市计算领域的一个重要应用场景和研究课题。城市计算(Urban Computing)是计算机科学以城市为背景,与城市规划、交通、能源、环境、卫生和经济等学科相融合的新兴领域。具体而言,城市计算是一个通过不断获取、整合和分析城市中多源异构大数据来解决城市所面临的挑战的过程(郑宇, 2015)。城市计算领域的相关研究涉及了多源数据感知、城市动态规律挖掘、数据驱动的智慧城市应用3个方面。

多源数据融合的城市感知经历了从传统数据到时空大数据的发展过程。传统的城市感知通常使用测绘地图、遥感卫星数据作为城市场景的感知手段,对于城市当中人口活动的行为,主要使用问卷调查、人口普查等低频、准静态的统计数据,因此很难反映城市快节奏发展的动态变化。为此,人们提出了基于物联网大数据的城市“社会感知”。具体而言,城市社会感知使用车载GPS终端(Wang et al., 2017)、手机移动终端(Wang et al., 2018a)、公共服务APP(Wang et al., 2018b)、公交车IC卡(Du et al., 2016)等移动物联网终端作为感知城市当中社会行为的传感器,实现了对于城市环境中动态社会行为的感知。

城市动态规律挖掘的研究是在城市数据感知的基础上,发掘城市中市民活动的规律和模式,如时间节律、空间组团、频繁特征等。对于城市动态特征规律的研究,可以进一步细分为时间模式建模、空间模式建模、时空组合模式建模3个方面。在时间模式建模中,相关研究的关注点在于城市中人口流动的潮汐模式和异常模式等(Pang et al., 2013)。在空间模式建模中,研究工作聚焦于城市空间中的区域组团挖掘(Yuan et al., 2012)和频繁模式挖掘(Liu et al., 2010)。在时空组合模式建模方面,研究人员会使用张量分解等模型,同时实现时间模式和空间模式的融合,从时间模式、空间模式、时空关联模式等多极视角对城市中的人类活动模式进行挖掘和展示(Wang et al., 2019)。

在城市动态规律挖掘的基础上,现有研究进一步构建了数据驱动的智慧城市应用。在这些应用中,城市安全管理是非常重要的领域。所涉及的重要城市安全管理问题包括城市治安管理(Du et al., 2016)、危险品运输管理(Wang et al., 2017)、城市疫情防控管理(Wang et al., 2018b)等。将数据智能技术与安全管理决策相结合,是实现管理决策由“经验管理”向“科学治理”转变的重要途径。现有研究也揭示了两类决策模式,首先是基于日常预测发现问题所采取的响应决策,其次是基于安全风险产生原因所采取的治理决策(Wang et al., 2017; Wang et al., 2018b)。

数据、建模和决策3个层面相互依赖,共同形成一个完整的城市安全管理系统:数据是建模的基础,建模将底层数据转化为支撑决策的结论,而决策层面的需求是建模和数据收集的牵引。本研究也将基于这3个层面,提炼城市安全大数据系统的设计原则。

虽然现有研究已经取得了丰富的成果,但成果主要来自计算机科学领域的研究,研究关注的重点是如何解决技术问题,对于如何设计系统满足安全管理需求缺乏研究。有效的系统设计不仅需要考虑技术问题,还需要考虑技术和人、使用场景交互产生的问题,这些问题是信息系统研究关注的核心问题。本文接下来将分

析信息系统领域的相关研究。

(三) 信息系统相关研究

安全管理是信息系统领域的一个重要课题,研究关注了不同时期新技术对安全管理的影响。例如,早期的研究关注了互联网通讯技术如何赋能工厂运营安全管理(Housel et al., 1986; Carver and Turoff, 2007; Walle and Turoff, 2007);后来的研究关注了信息集成平台如何赋能城市风险管控和应急资源部署(Leidner et al., 2009; Yang et al., 2012);近年来的研究开始关注社交媒体如何赋能社区开展应急响应(Nan and Lu, 2014; Leong et al., 2015)。这些系统都是以数据为基础,数据的整合和呈现对提升管理人员决策效果和响应团队协作效率有重要价值。

现有研究主要分为两类。一类研究关注安全管理系统实施和使用中的行为规律,其主要采用行为研究的范式。例如,Leidner等(2009)基于新加坡政府对抗非典的案例,发现了政府利用信息技术构建响应系统的机制,其中包括信息追溯、风险预警、协作网络等。Pan等(2012)基于4个自然灾害响应的案例,提出了4种应急响应的信息网络,并发现信息网络覆盖的广度和信息的多样性是决定应急响应效果的重要因素。Nan和Lu(2014)通过分析地震之后一个线上社区的数据,发现动态信息共享、反馈机制和信息技术可供性是响应活动开展的基础。虽然这些成果不能直接指导系统设计,但它们对系统设计有重要参考价值。

另一类研究关注安全管理信息系统的设计,这类研究主要采用设计科学研究(Design Science Research)的范式。例如,Housel等(1986)通过参与美国一个核电站安全管理信息系统的设计,提出了安全管理系统设计的7个原则,其中包括应急预案开发、高风险区域识别和日常监控等。Carver和Turoff(2007)通过系统的文献分析,发现安全管理过程中,机器和人需要相互配合,分别完成不同的工作。Yang等(2012)通过参与北京奥林匹克运动会应急响应系统的设计,提出了系统设计的6个原则,其中包括用户全程参与、数据可视化、服务为中心的系统架构等。Fogli和Guida(2013)通过设计一个城市传染病管理系统,提出了以知识为核心的系统框架和流程,框架包括知识层、应用层和用户决策层,流程包括多源数据整合、端到端的可视化等。

虽然现有研究已经取得了丰富的成果,但其主要关注事后响应和事中决策,对事前防范缺乏研究。在很多情况下,事前防范作为一种主动的安全管理模式,比事中和事后管理有更高的价值。此外,在有限的关于事前预测的讨论中,研究者主要关注应急预案和知识库的构建(Housel et al., 1986; Yang et al., 2012),大数据预测和溯源风险的机制尚未被研究。本项目旨在填补上述缺口。

三、研究方法

(一) ADR方法介绍

本研究采用“行动设计研究”(Action Design Research, ADR)方法。这一方法由Sein等(2011)提出,属于“设计科学研究”(Design Science Research)范式,已经成为信息系统领域的前沿设计科学研究方法(Mettler, 2018; Mullarkey and Hevner, 2019)。ADR创新性地传统设计科学研究和“行动研究”(Action Research)融合在一起,强调基于实际问题 and 需求来开展设计研究,并在研究过程中将设计成果和实践融合,基于用户使用效果来评估和调整系统设计,最终得到符合设计理论与实践需求的系统设计。和传统的设计科学一样,ADR研究需要形成以系统、模型、算法等为代表的IT产品(IT artifacts)。由于本研究关注城市安全管理大数据系统,因此本研究中的IT产品主要指这类系统及其组件。ADR的理论发现以设计原则(Design Principle)为主。设计原则是指导同类别系统设计的方法,是设计理论的核心组成部分(Gregor and Jones, 2007),因此应具有一定的普适性和推广价值。

相比于传统的设计科学研究,ADR有两个重要优势。首先,ADR和实践紧密结合。ADR基于实际需求提出问题,并在解决问题的过程中提炼理论创新,解决了设计科学研究和实践脱节的问题。其次,ADR可以根据项目过程中出现的新需求进行调整。这些需求往往是设计者和用户在项目开始前所没有预料到的,往往具有更高的价值,也是理论创新的重要机遇。为了实现上述两个优势,ADR研究过程通常采用迭代的4个步骤(见

图1)。

第一个步骤是提出问题。问题的提出需要基于实践的需求,目的是发现实践问题背后的关键科学问题;同时,问题的提出也需要兼顾理论需求,能够代表一类普适性需求并与同类系统设计的理论对接,而不只是针对一个具体项目的特殊需求。第二个步骤是“构建—干预—评估”循环,这是ADR研究的核心。研究团队在结合企业需求和现有理论的基础上构建系统,然后将系统应用到实践干预用户行为,最后评估用户实际使用效果,并基于用户反馈进一步改进系统。第三个步骤是反思和学习。这个步骤的主要工作是反思一个系统设计项目有哪些具有普适性的规律。第四个步骤是成果提炼。这个步骤将反思和学习所得的结果提炼成为设计原则,并通过将设计原则和现有理论对接,拓展现有理论。

(二)本文ADR研究的项目背景

本文尝试针对北京市危险品运输安全管理系统开展ADR研究,目的是为城市安全管理系统的科学构建提炼出具有普适性的核心设计原则。近年来随着智慧城市概念的普及和发展,我国新型城镇化建设进入了新的阶段,逐渐上升为承载我国经济转型发展重大任务的国家战略。城市的发展和人民的生活离不开液化气、天然气等危险化学品,但这些危险品的仓储和运输是现代城市重要的安全隐患。2015年的天津港“8.12”特大爆炸事故,共造成165人遇难、8人失踪、798人受伤,已核定直接经济损失68.66亿元(央广网,2016)。其原因就是港口居民区附近的危险品仓库着火。根据研究团队整理的来自交通部通信信息中心的权威数据,在2015年北京市的危险品运输车辆就已经达到了3790辆。这些车辆每天进出北京市区,成为首都人民生产生活中的“长期不定时炸弹”。

北京市城市安全管理部门希望通过构建一个大数据系统来实时预警危险品运输安全隐患,全面提升政府危险品管理工作的智能化水平。根据国务院印发的《关于进一步加强企业安全生产工作的通知》,运输危险品的车辆必须装有实时定位系统(GPS/北斗),该系统每隔数秒上传车辆的经纬度位置数据。北京市城市安全管理部门掌握了这些车辆的行车轨迹数据,并希望通过分析这些数据,预测北京市内各地区下一时段的安全状态,以提前锁定安全风险并进行防护资源的提前部署和调度,尽可能防止安全事故的发生。应注意,该需求与安全事故的应急响应是不同的:前者强调防患于未然的主动性,而后者则是强调事发后被动但有效的处理。

很显然,满足上述需求的信息系统应是一个大数据系统。该系统应接入危险品车辆的实时轨迹大数据,并嵌入基于该数据的安全风险预测模型。本研究团队和清华同衡规划设计院在2014年共同研发了这一系统,本研究团队负责系统的理论设计和核心算法设计,同衡团队负责系统的开发并提供城市规划专业知识。两个团队组成了理论和实践融合的ADR团队。ADR团队成员在项目的启动阶段即达成一致意见,认为该系统设计至少应经历两个阶段:第一阶段将面向城市安全管理部门的需求提出系统的设计原则,该原则应得到现有设计理论的支持并在城市安全管理领域具有一定的普适性;第二阶段的系统设计将在第一阶段开发的系统得到应用和充分评估后进行,其目的是针对现有系统的不足和新出现的需求改进设计原则,从而完善该系统。出现上述意见的基本依据是,基于城市轨迹大数据的落地管理信息系统仍不多见,公认的设计需求和原则仍然缺失,因此前期提出的设计需求和原则可能会在开发过程中发生变化。

四、研究发现

ADR项目的主要发现是具有普适性的设计原则。本文ADR项目经历了两个阶段。第一阶段主要满足初始设计需求,研究团队在过程中总结了3个设计原则。而针对第一阶段系统使用情况的评

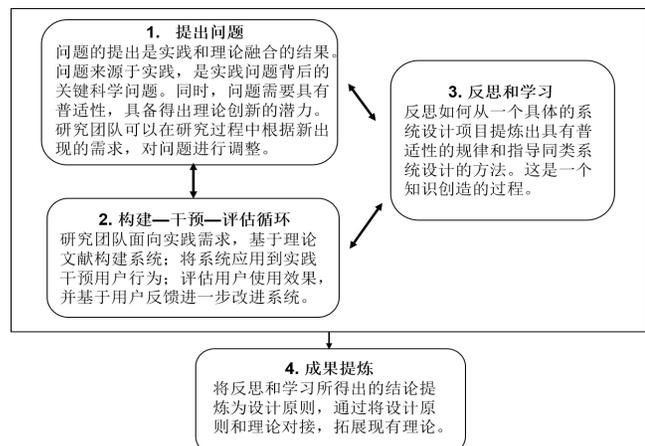


图1 ADR研究的4个步骤

资料来源:Sein等(2011)。

估,发现了系统存在的不足和新的需求,这些需求是初始阶段所没有预料到的。因此,第二阶段系统设计改进了第一阶段的设计原则,并提出了两个新的设计原则。

(一)第一阶段的研究发现

第一阶段系统设计主要满足北京市城市安全管理部门的初始需求,即利用大数据预测北京市内各个地区下一时段(如一小时后)的安全状态,以提前锁定安全风险并进行防护资源的提前部署和调度,尽可能防止安全事故的发生。在系统设计过程中,研究团队总结了3个设计原则,分别针对数据层、模型层和决策层。

1. 设计原则一:风险数据和人口数据融合

城市安全管理系统的输入除城市静态地理信息(GIS)外,应包括风险数据和人口数据这两类大数据。前者反映安全威胁的时空分布,后者反映城市居民的时空分布,二者融合才能有效识别出“致命”的城市安全风险问题。以本研究对象——北京市危险品运输安全管理系统为例。其风险数据来自危险品运输车辆的轨迹数据。如上文中介绍,运输危险品的车辆必须装有实时定位系统,该系统每隔数秒上传车辆的经纬度位置数据。然而只了解危险品车辆的位置和分布并不能满足危险品管理的要求,预测安全隐患还需要了解“人”在哪里。因此,系统还接入了反映人口分布的手机信令数据(居民手机和附近基站之间进行信号连接的次数记录,不记名、不含隐私信息),利用该数据能够统计任意区域手机用户的数量,从而推断该地区的人口数量。

两类数据融合的主要挑战是二者在尺度上的异构性。全北京总人口超过2000万,但是危险品车辆的总数不超过4000辆,如果直接将两种数据进行融合,危险品车辆的信息会完全淹没在巨量的人口数据当中。为了解决这一问题,系统使用马氏距离(Mahalanobis Distance)将两种数据进行尺度归一化,然后相乘得到区域风险指数。两个向量 a 和 b 的马氏距离 D_M 定义为:

$$D_M(a,b) = \sqrt{(a-b)\Sigma^{-1}(a-b)^T} \quad (1)$$

其中的 Σ 代表数据的协方差。系统将北京市地图进行网格化处理,将整个北京市地图分为 $x \times y$ 个 $500m \times 500m$ 大小的区域。坐标 (i,j) 的区域的危险指数RS(Risky Score)的计算公式为:

$$RS_{i,j} = D_M\left(\begin{pmatrix} d_{i,j} \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ c_{i,j} \end{pmatrix}\right) \quad (2)$$

其中 $d_{i,j}$ 表示该时刻区域中危险品车辆的密度, $c_{i,j}$ 表示该时刻区域中人口的密度。

图2展示了北京市某日上午十点的“危险品车辆分布”、“人口分布”,以及尺度归一化后形成的“风险区域分布”;风险区域颜色由浅到深,表示风险指数由低到高。从图中可以看出,一些位于市中心的高风险区域被检测了出来,这些区域与单一的危险品车辆分布或人口分布都存在着显著的差异——这恰好说明了数据融合对于安全风险识别的重要意义。

这一原则也得到了现有文献的支撑。陈国青等(2018,2020)指出,大数据驱动范式应融合多源异构数据,在跨界关联情境下形成新变量关系及洞察的新视角。本研究充分实践了上述思想。本研究通过关联危险品车辆轨迹数据和手机信令数据,通过尺度归一化形成了描述危险品和人口分布重合度的变量,这个变量形成了预测风险区域的重要依据。公共管理研究领域的研究也指出,安全相关的多源数据融合是大数据赋能城市安全管理的重要机制(黄浪等,2018)。城市计算研究也发现,物联网数据的融合是解决城

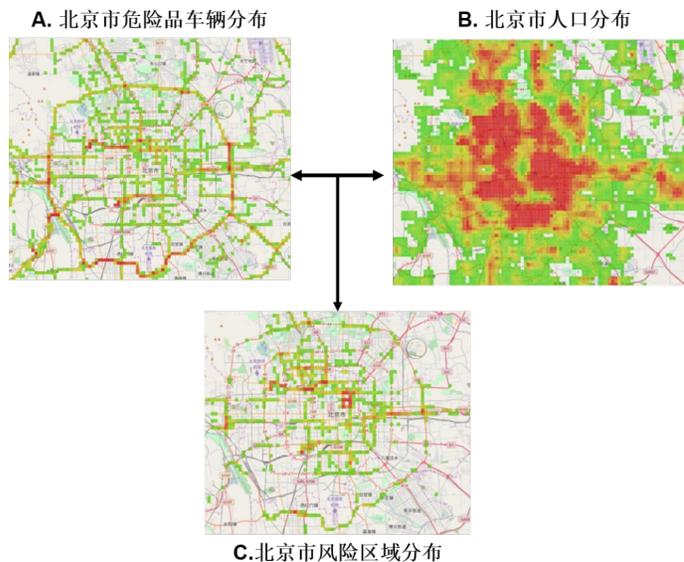


图2 基于数据融合的北京市风险区域分布识别

注:A呈现某日上午十点北京市危险品车辆分布,浅色代表危险品车辆低密度地区,深色代表高密度地区;B呈现某日上午十点北京市人口分布,浅色代表人口低密度地区,深色代表高密度地区;C呈现某日上午十点北京市风险区域分布,浅色代表低风险区域,深色代表高风险区域。

资料来源:Wang等(2017)。

市安全问题的基础(郑宇,2015;Du et al.,2016)。

2. 设计原则二:基于网格的时空预测模型

系统设计的核心思路是形成对城市风险区域的识别能力以及对风险区域安全状态的实时预测能力。在该思路的指导下,将城市依空间分布划分成若干标准尺寸网格,一个网格代表一块城市区域;然后按一天内不同时段、不同网格分别汇总危险品车辆数量和人口数量,从而得到危险品和居民的城市时空分布,进而通过数据融合得到任意网格在任意时段的风险状态。很显然,如果一个网格在一个时间段内危险品车辆数量较多且人口聚集度较高,则这个网格存在较高的安全风险。通过对每个网格下一时段的风险指数进行预测,可以形成系统的实时预测预警能力。

项目团队在构建预测模型时关注到以下时间和空间关联的信息。其一,一个网格下一时段的风险状态和该网格同一时段的历史风险状态有关联。例如,如果历史数据显示,某加油站所在区域常在晚高峰处于高风险状态,则这一加油站当天晚高峰也很有可能处于高风险状况,因为风险产生的机制是一样的。其二,一个网格下一时段的风险状态也和其周边网格的风险状态有关联。由于危险品运输车辆不断移动,周边网格的风险会转移到该网格。因此,有效的预测模型需要结合时间和空间维度的关联,以提升预测的准确度。例如,某加油站所在区域晚高峰期间常处于高风险状态,而当天该地区周围的网格出现了高于平时的风险,因此这一地区将出现比平时高的安全风险,需要引起城市安全管理部门的关注。

这一原则也得到了现有文献的支撑。例如,郑宇(2015)指出,城市公共安全风险依附于城市产生,风险本身即具有显著的时空特性,预测模型的建立需要同时考虑风险在时间上的延续性和空间上的相互影响。公共管理的研究也指出,网格化的管理是预测和管理城市风险的重要基础(姜金贵、梁静国,2008)。城市计算的研究也验证了,时空关联多级分析是挖掘人类时空行为和危险品时空分布的重要模式,而这些行为和分布是安全管理上层决策和行为的基础支撑(Liu et al.,2010;Yuan et al.,2012;Wang et al.,2019)。

3. 设计原则三:数据驱动决策

防护资源的提前部署和调度注重时效性。防护资源必须要在短时间内运送到风险区域,才能够有可能防止安全事故。在这种情况下,城市安全管理部门没有充足的时间分析和解读数据,数据分析结果将基本决定他们的资源部署方案。例如,假设系统预测到危险品运输车辆将在一个居民较多的网格作长时间停留,会造成该网格的风险上升,系统将发出一个预警,而管理部门不会有较多的时间来深入分析该警报,只能根据预警快速配置资源。

防护资源的提前部署和调度也注重准确性。由于安全防护资源有限,准确的预测能够将资源部署在价值最大的地方。理论上,在风险预测方面,大数据分析的结论比人工经验分析要更准确,因为大数据能够基于多源数据的交叉融合进行分析。例如,大数据不但能够分析危险品车辆的轨迹数据,还能够同时兼顾人口分布的数据,通过分析二者的重叠来判断一个区域的风险,这种判断是人工经验判断所不具备的。此外,对于有限的人工监控资源来说,要想对北京这类超大型现代城市的众多网格实现长时间的实时监测和准确研判,几乎是不可能的事情;而大数据驱动的智能模型显然更加“驾轻就熟”。

这一原则也得到了现有文献的支撑。现有研究已经发现,传统基于经验的决策分析,不足以满足城市安全管理的时效性和准确性需求,而大数据技术能够实时收集海量数据并利用机器学习进行实时分析,做出快速、准确的判断(徐宗本等,2014)。公共管理的研究在概念层面也指出,数据驱动的决策在应急响应过程中比人工决策有优势,是资源快速部署的重要前提(曹俊俊等,2017)。城市安全计算的研究也通过一系列应用,验证了在紧急情况下,数据驱动决策比基于人工经验的决策有更好的效果(Du et al.,2016;Wang et al.,2017)。

(二)第一阶段评估

第一阶段的设计得到了北京市城市安全管理部门的认可,依据该设计研发了基于网格的北京市危险品运输安全管理大数据系统,实现了对北京市各个区域安全状态的实时预测,管理效果和效率均有了大幅提升。但是,评估过程中也发现了重要的不足。

项目团队发现,系统经常同时预警同一时段多个存在安全隐患的区域,但城市安全管理部门由于人力等防护资源不足,很难对这些隐患进行提前干预,容易形成“疲于奔命”的工作局面。其次,很多网格的风险存在突发性和随机性,它们反映的是下一时段城市中“可能的”风险,存在着一定的误报率(False-Positive Alarms),但工作人员在短期内无法做出合理的判断,因此在工作中容易产生极大的焦虑感和沮丧感。最后,如果下一时段危险品安全事件没有发生,很难判断这是由于提前防护工作到位还是威胁本身并不严重所致,因此工作绩效不易评估。总体而言,系统赋予了工作人员更强的针对风险的“围追堵截”能力,但并没有改变“围追堵截”业务本身资源消耗过大、业务效果难以评估等弊端。

项目团队对上述问题进行了深入探讨,提出了面向“治本”的新思路。研究团队认识到,真正对城市安全产生重要威胁的是那些长期存在、出现频率较高的风险,这些风险是由于危险品运输车辆习惯于采用相对固定的行车路径所导致的。如果能够对这些长期的、有限的风险进行提前分析、研判和整治,就能够大大减少系统实时预警的风险数量,这对于实际工作是至关重要的。在这一思想指导下,项目团队对系统运行状况进行了更加细致的观察,发现所谓长期风险具有两个重要特征,这使项目团队意识到利用大数据进行风险溯源的必要性和可行性。

首先,项目团队发现,一些相邻的网格会在同一时间段进入高风险状态,这说明它们的风险机理是相似的;这些空间上相邻的网格形成了一个稳定的、经常被预警的“风险模式”(Risk Pattern)。其次,项目团队发现,这些风险模式之间存在因果依赖关系。比如一类风险模式是危险品运输的目的地,如加油站、餐饮区域等,而另外一类风险模式是危险品运输沿途经过的居民区;后者的产生是因为前者的需求,前者即为所谓的“风险源头”。这意味着,如果能够定义风险模式并基于车辆行进轨迹构建风险模式的因果网络(Causal Network),就可以找到风险源头;而针对风险源头的安全整治,不仅可以大幅度抑制次生的风险模式,而且可以给业务部门充分的研判和资源调度时间,对防护资源的需求也可以大幅下降。

基于上述理解,项目团队与北京市城市安全管理部门进行了二轮需求讨论,双方达成一个共识,即利用大数据预测北京市内各地区下一时段的安全状态并据此在高风险区域提前调度资源,并不是管理部门最核心的需求,这一需求也和其有限的资源不匹配;该部门更需要的是利用大数据追溯安全风险源头,将有限的资源用于源头治理从而最大程度地发挥防控作用。在这一共识的指导下,项目团队开始了系统第二阶段的设计和研发。

(三)第二阶段研究发现

第二阶段系统设计旨在利用大数据追溯安全风险源头。在这个阶段,研究团队修正了设计原则二,并提出了两个新的设计原则。

1. 修正的设计原则二:基于网络的时空预测模型

第一阶段得出的设计原则是“基于网络的时空预测模型”,但评估过程中发现,基于网络的预测模型在准确性、可行性和必要性方面存在问题。首先,网格预测将发现大量存在高风险的网格,但其中很多是错误预警,因为判断一个网格风险指标的数据很容易在短时间内出现波动,产生错误预警。其次,网格预测发现的风险区域过多,在防护资源有限的情况下,针对这些网格部署资源不具备可行性。最后,很多网格存在的风险是短暂的、突发性的,不能反映一个城市长期、稳定的风险,解决这些风险的必要性不高。

第二阶段系统设计中,项目组提出了基于网络的时空预测模型。首先,网络模型的节点不是网格,而是多个相邻网格形成的风险模式,这些模式代表存在相同风险机制且被经常预警的区域,例如危险品运输的目的地和运输路径上的居民区。此外,不同于网格仅能和周围的网格建立关联,风险模式之间由于危险品车辆的穿行存在依赖关系,可以构建因果网络。图3显示了一个典型的因果网络。该网络中每一个节点代表一个风险模式,当一辆危险品运输车从模式1(P_1)经过并驶向模式4(P_4)时,会在 P_1 到 P_4 之间构建一条有向边,并对边的权重加1;由于 P_1 到 P_4 有一条边,因此认为 P_4 是危险品的下一目的地,正是 P_4 (或其下游节点)对危险品的需求导致了 P_1 的风险。

基于网络的预测模型具有较强的准确性、可行性和必要性。首先,网络预测的目的是发现风险模式及其之间的因果依赖网络,并基于该网络建立贝叶斯预测模型,以准确预测风险模式在下一时段的风险状态。风险模式代表了一系列相互连接的、在同一时段进入高风险状态的网格,系统对一个风险模式误判的比例要远低于其对于一个网格风险状态的误判。其次,一个城市可以有上万个网格,但可能只有几十个风险模式,因此针对风险模式部署防护资源有较强的可行性。最后,风险模式反映的是城市中长期存在的、稳定的风险,预防和控制这类风险有更强的必要性。

本研究提出的基于网络的预测原则有理论创新性。现有安全管理的研究主要基于网格进行风险预测和管理(姜金贵、梁静国,2008;邬伦等,2017),针对基于网络的风险预测和管理相对较少。虽然基于网络的预测模型有重要的价值,但本研究发现在大数据安全管理情境下,该模型在准确性、可行性和必要性方面存在一些问题,而基于网络的预测模型可以有效解决上述问题。特别地,后者能够揭示一个较大范围存在的、稳定的安全隐患,能够指导防控部门更有针对性地部署有限资源,同时能够揭示安全隐患之间的因果关系,从而帮助防控部门进行源头治理。这一设计原则对未来大数据驱动的城市安全管理有重要启示。

2. 设计原则四:因果模型和预测模型融合

虽然已有研究指出,城市安全管理不仅需要预测风险,还需要基于对风险产生的因果关系的理解进行管理决策,但研究一般将预测和因果模型分开讨论(刘茂等,2005;吴志敏,2017),较少有研究将二者结合起来。本研究创新性地将二者结合在一起,并取得了良好的互补效果。而做到这一点的关键,就是在“修正的设计原则二”中提到的基于风险模式的因果网络。

一方面,如上文所述,因果网络可以帮助实现基于网络的预测分析,从而将实时预警业务重点锁定在有限的风险模式上,在提高预警精确度的同时降低对有限防护资源的需求。另一方面,因果网络可以帮助实现基于网络的风险溯源分析,即借助复杂网络的随机游走(Random Walk)算法(Tong et al., 2006),可以识别网络中影响力排名前列的节点(即风险模式),这些节点很有可能就是网络中所有风险模式的源头。只要在业务工作中确认风险源头,就可以针对源头提前进行安全整治,从而进一步降低实时预警业务中的风险提示。这意味着,危险品安全管理业务可以从事中的实时预警为主转向事前的源头预防为主,这对于降低管理部门工作压力、提升工作绩效、减少应急资源消耗等都大有裨益。事实上,源头预防的效果,可以通过采取预防措施前后的实时预警数量下降程度来进行评估,这种评估不仅可以在实际业务场景中完成,也可以在数据仿真环境下完成,降低了业务绩效评价的难度。

总之,项目团队基于因果网络实现了危险品安全风险的实时预测和因果溯源,也把安全管理业务从以事中管理为主推向以事前管理为主、事中管理为辅,这充分证明了因果模型和预测模型相融合的必要性和优势。值得一提的是,这并非特例。如前所述,城市安全管理需要融合风险大数据和人口大数据,这些数据的一个典型特征就是时空轨迹,而利用时空轨迹很容易构建时空模式以及基于时空模式的因果网络,而基于因果网络很容易实现因果和预测模型的融合使用(Liu et al., 2010; Yuan et al., 2012; Wang et al., 2019)。因此本设计原则具有普适性。

值得一提的是,本设计原则的提出具有一定的偶然性。虽然风险模式因果网络是第二阶段设计的结果,但其雏形来自第一阶段的空间关联预测模型。项目团

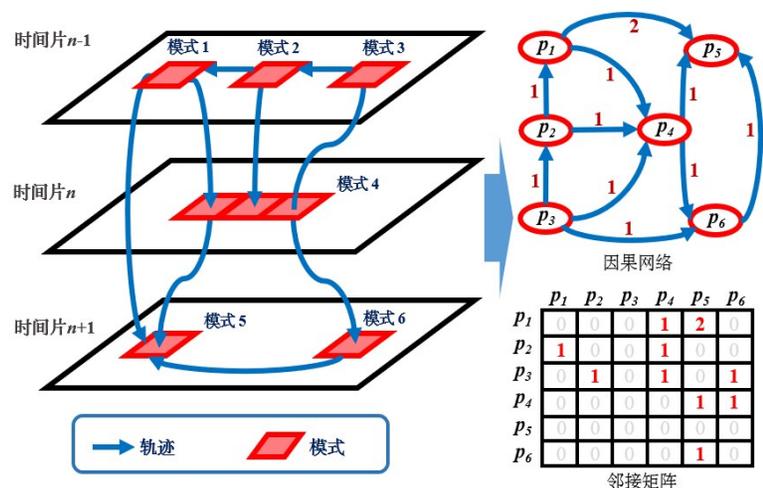


图3 基于风险模式的因果网络

资料来源:Wang等(2017)。

队设计空间关联预测模型的最初目的,是想通过分析一个网格周边的安全状态,来预测该网格的安全状态。后来,项目组发现这一算法在构建风险因果网络和风险溯源方面也有较大的价值。该算法的这个应用是项目团队设计它的时候所没有考虑到的。这也表明,一个技术在其预定义的应用场景之外,可能产生更有价值的成果,而这些意料之外的应用是系统设计创新和理论创新的重要来源(Majchrzak et al.,2016)。

3. 设计原则五:人机交互决策

因果溯源功能可以帮助城市安全管理部门发现疑似的风险源头,但对于风险源头的研判确认、风险传播分析,以及制定相应的治理方案,还需要业务人员的深度参与,机器分析的结果并不能有效考虑人的常识和经验。例如,给定风险模式的因果网络,项目组使用带重启动的随机游走算法,对风险模式进行了重要性排名(见图4)。图中A区域是北京市区排名第一的风险模式。该模式覆盖了北京市东四北大街和建国门内大街的一片区域。根据业务人员的常识判断,并通过进一步与城市规划人员确认,项目组证实该区域确实是一个风险源头,其风险主要源自餐馆对液化气的需求。该区域是北京的文化休闲和娱乐区,著名的“簋街”特色小吃一条街就在这里,其火锅、烤鱼、麻辣小龙虾等特色餐饮吸引了众多的食客(人口密度大),也导致众多餐馆对煤气罐等危险货物的需求居高不下,最终造成该区域危险品和人口聚集高度重合,形成了安全风险。

图中B和C两个区域,是因果网络中依赖于A区域(第一风险模式)的两个风险模式。可以看出,这两个模式覆盖了从市区外到达A区域的几条主干道路,其产生的原因是危险品车辆分别自北京城西北和东面运输液化气至A区域。2016年1月17日,一辆运输液化气的车辆在B区域发生了燃烧事故,其目的地正是A区域的餐馆。这个信息进一步验证了溯源分析的准确性。以本研究成果为参考,北京市政府后来启动了包括铺设天然气管道在内的簋街改造工程,这使得簋街告别了煤气罐时代。通过治理这一危险品运输的源头,簋街和沿途区域的安全风险大幅度降低。

这一案例是典型的人机交互。机器可以快速找出风险模式和疑似的风险源头,但机器无法根据常识或城市相关知识解读这一结果,因此无法形成有针对性的决策。有效的决策需要有专业知识和经验的人对机器分析结果进行分析和解读。现有研究也验证了这一原则。例如,Raisch和Krakowski(2020)指出机器学习能够实现自动化预测但不能运用常识,而人的常识和经验可以填补机器学习的不足;同时机器学习可以加强人决策的效率和科学性。信息系统的研究也发现,决策过程需要人和机器配合,机器提供科学的分析,而人基于这些分析,通过结合应用场景制定合适的行动方案(Carver and Turoff,2007;Fogli and Guida,2013)。

(四)第二阶段评估

第二阶段的系统设计取得了良好的效果。项目团队在第一阶段系统的基础上加入了“Risk Pattern”和“Causal Analysis”两个子模块,分别对应于风险模式发现与风险溯源,这使得城市安全管理工作的重点从实时网格预警成功地转向了实时网络预警之后,进一步由实时预警转向了事前预防,业务资源不再紧张,业务成效显著提升。项目团队利用大数据发现了北京市内包括簋街在内的7个重要的风险源头。到目前为止,北京市已经对多个源头进行了改造,改造之后这些区域的风险以及沿途运输区域的风险大幅度下降。

此外,项目组还通过数据模拟,在理论上验证了因果模型和溯源功能的有效性。虽然模拟的结果不能代表最终实际发生的情况,但这些结果将在一定程度上反映系统的使用效果。具体来说,研究团队首先基于因果模型得到风险模式重要性排名之后,选出前几名的风险模式;然后删除以这些模式为目的地的危险品运输车辆轨迹,进而重新计算新的危险品运输轨

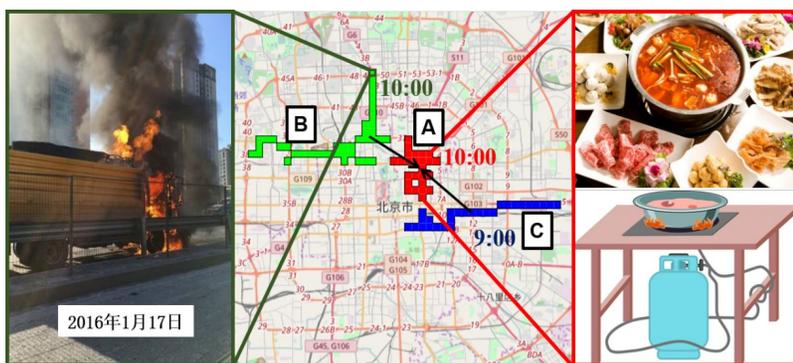


图4 人机结合的风险溯源和簋街液化气治理
资料来源:Wang等(2017)。

迹对任意一个风险模式产生的影响;轨迹删除前后该模式风险降低的百分比可以衡量溯源分析的潜在价值。结果显示,仅删除排名前5的风险模式,其他风险模式的风险指数(定义参见公式(2))就下降了50%,而整个城市的风险指数下降了20%!这一结果验证了因果模型以及其支撑的溯源功能的有效性。此外,项目组发现删除自身风险评分较高的模式所带来的风险下降比例还不足目标模型的一半,这说明仅仅关注模式本身的高风险性而忽视模式之间的关联性,很难达到相同效果,这也进一步验证了因果模型的重要性。

(五)研究发现总结

本文的ADR研究共经历了两个阶段,分别针对风险预测和风险溯源这两类需求。通过两个阶段的系统设计,研究团队提出了5个核心设计原则,以及这些核心原则指导下的具体设计方案(见图5)。其中3个原则是风险预测和溯源都需要的,而“数据驱动决策”和“人机交互决策”原则分别针对风险预测和风险溯源的特殊需求。

5个原则中,3个原则得到了现有文献的支撑,两个原则——基于网络的时空预测模型、因果模型和预测模型融合——则拓展了现有文献。首先,现有的大数据城市管理研究,针对风险预测和管理主要采用基于网络的时空分析(姜金贵、梁静国,2008;邬伦等,2017)。本研究指出,基于网络分析所产生的结果可能存在准确性、可行性和必要性方面的问题。而基于网络分析所产生的结果能够揭示长期、稳定的风险,因此具有较高准确性;能够聚焦重要的风险区域,对资源配置提出合理的需求,因此具有较高的可行性;能够追溯到重要的源头隐患,因此具有较高的管理价值。此外,现有大数据城市管理研究,主要将因果和预测模型分开讨论(刘茂等,2005;黄浪等,2018),本研究通过提炼二者共用的风险模式因果网络,将二者结合在一起,实现了二者的有效互补。

最后,虽然本研究所得的设计原则来自危险品安全管理领域,但这些原则并不局限于这个特殊情境。这些原则揭示了城市安全管理系统设计的普适性规律,并得到了现有文献的支撑。研究团队在北京危险品管理ADR项目结束之后,参与了深圳市呼吸道传染病防控系统的ADR项目。在这个项目中,研究团队重复了本研究的思路。首先,通过分析城市传染病患者的分布数据和人口流动的分布数据,预测城市各区域的风险状态;其次,通过发现疫情风险模式并建立风险模式因果网络,识别出风险源头;最后,建议防控部门在风险源头部署更多资源,从而降低整个城市的传染病传播风险。在这一过程中,研究团队以上述5个设计原则为指导,研究最后取得了良好的效果,也证明了本研究发现的普适性。

五、结论

本研究的发现有重要的理论价值。首先,研究发现了城市安全管理系统的5个核心设计原则。虽然其中3个原则和已有研究发现一致(陈国青等,2018,2020;黄浪等,2018;郑宇,2015;徐宗本等,2014;Raisch and Krakowski, 2020; Du et al., 2016; Fogli and Guida, 2013),但本研究第一次将这些分散的发现整合在同一个理论框架。此外,“基于网络的时空预测模型”和“因果模型和预测模型融合”这两个设计原则是已有研究所没有涉及的,两个原则拓展了现有研究的发现。前者将现有研究提出的基于“网格”的时空预测拓展到了基于风险模式“网络”的时空预测,后者将“预测”和“因果”这两类经常被分开应用的模型整合在一起。两个拓展都大大提升了城市安全治理的效益。

此外,本研究所提出的风险溯源设计思路对大数据赋能城市安全管理研究有重要启发,以往研究主要关注应急响应和风险预测。虽然风险预测也是一种防患于

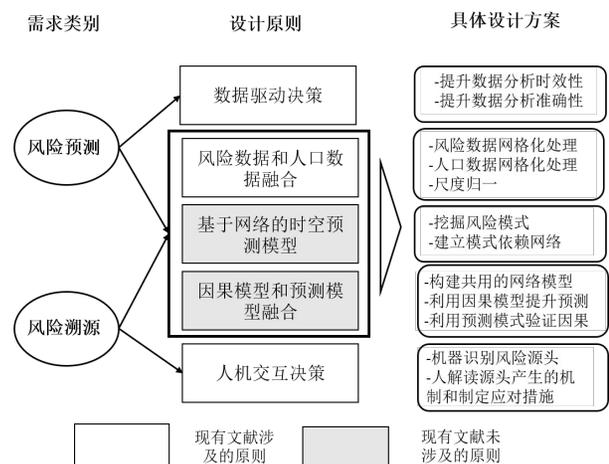


图5 设计原则总结

未然的设计思路,但这种思路可能会在实践中产生大量资源消耗和浪费。相比之下,风险溯源是一种资源利用更加高效的设计思路。同时,现有事前阶段的安全管理系统研究主要关注应急预案和知识库的构建,而对于风险溯源这一更有价值的工作缺乏关注。本研究的发现为大数据赋能风险溯源提供了指导方案。

从学科交叉角度来看,本研究提出的设计原则借鉴了公共管理、城市计算、信息系统3个领域的研究成果,并对这3个领域的研究也进行了拓展。本研究将大数据公共安全管理研究从宏观政策层面拓展到具体操作层面,将城市计算研究从技术问题拓展到技术和应用场景交互的设计问题,将城市安全管理信息系统研究从事后响应和事中决策拓展到事前防范。

本研究的发现也有重要的实践价值。虽然大数据赋能城市安全管理已经得到了人们的广泛认可,但在很多城市还停留在概念层面,一个重要的原因是缺乏落地的安全管理系统。有的城市虽然开发了系统,但系统和城市安全管理实践脱节。本研究发现的设计原则能够有效指导城市安全管理系统的的设计,帮助大数据赋能城市安全管理由概念走向实践。不同于以往实践关注如何提升管理人员“围追堵截”风险的能力,本研究提出了“治本”的新思路,大大减少了系统实时预警的风险数量和业务部门工作的压力。

最后,本研究将ADR这一前沿的研究方法引入中国管理研究,这一方法对研究中国管理问题有重要价值。ADR的方法将理论研究和实践紧密结合,通过解决实际问题构建理论成果,这有助于解决长期以来存在的理论研究与实践脱节的问题,对于中国管理研究新范式的探索有积极的借鉴意义。

(作者单位:吴俊杰,北京航空航天大学经济管理学院、大数据科学与脑机智能北京市高精尖创新中心、城市运行应急保障模拟技术北京市重点实验室;郑凌方、杜文字,北京航空航天大学经济管理学院;王静远,北京航空航天大学计算机学院。责任编辑:闫妍)

参考文献

- (1)曹策俊、李从东、王玉:《大数据时代城市公共安全风险治理模式研究》,《城市发展研究》,2017年第11期。
- (2)陈国青、吴刚、顾远东、陆本江、卫强:《管理决策情境下大数据驱动的研究和应用挑战——范式转变与研究方向》,《管理科学学报》,2018年第7期。
- (3)陈国青、曾大军、卫强、张明月、郭迅华:《大数据环境下的决策范式转变与使能创新》,《管理世界》,2020年第2期。
- (4)傅首清、梁爱民:《信息化支撑环境下世界城市公共安全管理模式的研究》,《电子政务》,2010年第11期。
- (5)黄浪、吴超、王秉:《大数据视阈下的系统安全理论建模范式变革》,《系统工程理论与实践》,2018年第7期。
- (6)姜金贵、梁静国:《突发事件网格化管理的应急管理机制构建》,《现代管理科学》,2008年第6期。
- (7)刘茂、赵国敏、陈庚:《建立城市公共安全系统的研究》,《中国公共安全(学术卷)》,2005年第1期。
- (8)邬伦、宋刚、吴强华、朱慧、童云海、安小米:《从数字城管到智慧城管:平台实现与关键技术》,《城市发展研究》,2017年第6期。
- (9)吴志敏:《大数据与城市应急管理:态势、挑战与展望》,《管理世界》,2017年第9期。
- (10)徐宗本、冯芷艳、郭迅华、曾大军、陈国青:《大数据驱动的管理与决策前沿课题》,《管理世界》,2014年第11期。
- (11)央视网:《天津港“8·12”特大火灾爆炸事故调查报告公布》,http://china.cnr.cn/news/20160206/t20160206_521351525.shtml.
- (12)亿欧智库:《2019年中国智慧城市发展研究报告》,https://www.iyiou.com/intelligence/insight100847.html
- (13)郑宇:《城市计算概述》,《武汉大学学报(信息科学版)》,2015年第1期。
- (14)Carver, L. and Turoff, M., 2007, “Human-Computer Interaction: the Human and Computer as A Team in Emergency Management Information Systems”, *Communications of the ACM*, 50(3), pp.33~38.
- (15)Du, B., Liu, C., Zhou, W., Hou, Z., and Xiong, H., 2016, “Catch Me if You Can: Detecting Pickpocket Suspects from Large-Scale Transit Records”, in Krishnapuram, B. and Shah, M., eds: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Association for Computing Machinery, pp.87~96.
- (16)Du, C. and Zhu, S., 2012, “Research on Urban Public Safety Emergency Management Early Warning System Based on Technologies for the Internet of Things”, *Procedia Engineering*, vol. 45, pp.748~754.
- (17)Fogli, D. and Guida, G., 2013, “Knowledge-Centered Design of Decision Support Systems for Emergency Management”, *Decision Support Systems*, 55(1), pp.336~347.
- (18)Gregor, S. and Jones, D., 2007, “The Anatomy of a Design Theory”, *Journal of the Association for Information Systems*, 8(5), pp.312~335.
- (19)Housel, T. J., El Sawy, O. A. and Donovan, P. F., 1986, “Information Systems for Crisis Management: Lessons from Southern California Edison”, *MIS Quarterly*, 10(4), pp.389~400.
- (20)Kapucu, N., 2012, “Disaster and Emergency Management Systems in Urban Areas”, *Cities*, 29(1), pp.S41~S49.
- (21)Leidner, D. E., Pan, G. and Pan, S. L., 2009, “The Role of IT in Crisis Response: Lessons from the SARS and Asian Tsunami Disasters”, *Journal of Strategic Information Systems*, 18(2), pp.80~99.

- (22) Leong, C. M. L., Pan, S. L., Ractham, P. and Kaewkitipong, L., 2015, "ICT-Enabled Community Empowerment in Crisis Response: Social Media in Thailand Flooding 2011", *Journal of the Association for Information Systems*, 16(3), pp.174~212.
- (23) Liu, S., Liu, Y., Ni, L. M., Fan, J. and Li, M., 2010, "Towards Mobility-Based Clustering", in Rao, B. and Krishnapuram, B., eds: *Proceedings of the 16th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Association for Computing Machinery, pp.919~928.
- (24) Majchrzak, A., Markus, M. L. and Wareham, J., 2016, "Designing for Digital Transformation: Lessons for Information Systems Research from the Study of ICT and Societal Challenges", *MIS Quarterly*, 40(2), pp.267~277.
- (25) Mettler, T., 2018, "Contextualizing a Professional Social Network for Health Care: Experiences from an Action Design Research Study", *Information Systems Journal*, 28(4), pp.684~707.
- (26) Mullarkey, M. T. and Hevner, A. R., 2019, "An Elaborated Action Design Research Process Model", *European Journal of Information Systems*, 28(1), pp.6~20.
- (27) Nan, N. and Lu, Y., 2014, "Harnessing the Power of Self-Organization in an Online Community During Organizational Crisis", *MIS Quarterly*, 38(4), pp.1135~1158.
- (28) Pan, S. L., Pan, G. and Leidner, D., 2012, "Crisis Response Information Networks", *Journal of the Association for Information Systems*, 13(1), pp.31~56.
- (29) Pang, L. X., Chawla, S., Liu, W. and Zheng, Y., 2013, "On Detection of Emerging Anomalous Traffic Patterns Using GPS Data", *Data & Knowledge Engineering*, 87(3), pp.357~373.
- (30) Raisch, S. and Krakowski, S., 2020, "Artificial Intelligence and Management: the Automation-Augmentation Paradox", *Academy of Management Review*.
- (31) Sein, M. K., Henfridsson, O., Purao, S., Rossi, M. and Lindgren, R., 2011, "Action Design Research", *MIS Quarterly*, 35(4), pp.37~56.
- (32) Tang, P. and Lai, S., 2019, "A Framework for Managing Public Security Risks with Complex Interactions in Cities and its Application Evidenced from Shenzhen City in China", *Cities*, 95(1), pp.1~13.
- (33) Tong, H., Faloutsos, C. and Pan, J. Y., 2006, "Fast Random Walk with Restart and its Applications", *Sixth International Conference on Data Mining (ICDM'06)*, *IEEE*, pp.613~622.
- (34) Walle, B. A. and Turoff, M., 2007, "Emergency Response Information Systems: Emerging Trends and Technologies", *Communications of the ACM*, 50(3), pp.29~31.
- (35) Wang, J., Chen, C., Wu, J. and Xiong, Z., 2017, "No Longer Sleeping with a Bomb: A Duet System for Protecting Urban Safety from Dangerous Goods", in Matwin, S., Yu, S. and Farooq, F., eds: *Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Association for Computing Machinery, pp.1673~1681.
- (36) Wang, J., He, X., Wang, Z., Wu, J., Yuan, N. J., Xie, X. and Xiong, Z., 2018a, "CD-CNN: A Partially Supervised Cross-Domain Deep Learning Model for Urban Resident Recognition", *Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence*, AAAI.
- (37) Wang, J., Wang, X. and Wu, J., 2018b, "Inferring Metapopulation Propagation Network for Intra-City Epidemic Control and Prevention", in Guo, Y. and Farooq, F., eds: *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, Association for Computing Machinery, pp.830~838.
- (38) Wang, J., Wu, J., Wang, Z., Gao, F., and Xiong, Z., 2019, "Understanding Urban Dynamics via Context-aware Tensor Factorization with Neighboring Regularization", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*.
- (39) Yang, L., Su, G. and Yuan, H., 2012, "Design Principles of Integrated Information Platform for Emergency Responses: the Case of 2008 Beijing Olympic Games", *Information Systems Research*, 23(3), pp.761~786.
- (40) Yuan, J., Zheng, Y. and Xie, X., 2012, "Discovering Regions of Different Functions in a City Using Human Mobility and POIs", in Yang, Q., eds: *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Association for Computing Machinery, pp.186~194.