引文格式:李东阳,申淑娟,谢静静,等.灾害防御全信息管理模型及其应用——以浙江省为例[J].武汉大学学报(信息科学版),2025,50(6):1200-1209.DOI:10.13203/j.whugis20250151

Citation:LI Dongyang,SHEN Shujuan,XIE Jingjing,et al.Full Information Management Model for Disaster Prevention and Its Application: A Case Study of Zhejiang Province[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2025,50(6):1200-1209.DOI:10.13203/j.whugis20250151

灾害防御全信息管理模型及其应用——以浙江省为例

李东阳[1] 申淑娟[1] 谢静静[1] 张涛聪[2]

1 浙江省测绘科学技术研究院,浙江 杭州,311100

2 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

摘 要:灾害防御数据是灾害防御工作的基础性资源,针对灾害防御数据多源异构和时空多维等特征,研究创建了一种灾害防御全信息管理模式,构建了面向灾害防御的空间、时间、主题、环节、时效、部门六元组标签数据管理策略,实现海量灾害数据的特征提取和快速标记;研究了自适应业务链流转技术,跟随业务节点变更动态抓取相关数据,实现当前业务节点下灾害数据的自动流转与分析。基于此模型建立了浙江省灾害防御数据库,整合了16个部门、14大类、138小类数据,实现多源灾害数据的标准化管理和高效输出,支撑了浙江省自然灾害风险防控和应急救援平台的建设和运行。在2021年"烟花"台风、2022年"梅花"台风、2023年"杜苏芮""卡努"台风等多次台风灾害防御过程中提供了有力支撑。应用成果表明,所提模型可高效组织全省域的灾害防御数据,实现每年5亿余条数据的管理和应用,为灾害防治提供了有效的技术支撑。

关键词:灾害防御数据;六元组标签;业务流转;数据管理

中图分类号:P208 **文献标识码**:A **收稿日期**:2025-05-28

DOI:10.13203/j.whugis20250151 **文章编号**:1671-8860(2025)06-1200-10

Full Information Management Model for Disaster Prevention and Its Application: A Case Study of Zhejiang Province

LI Dongyang[1] *SHEN Shujuan*[1] *XIE Jingjing*[1] *ZHANG Bocong*[2]

1 Zhejiang Academy of Surveying and Mapping Science and Technology, Hangzhou 311100, China

2 School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: **Objectives**: Disaster prevention data is the fundamental resource for disaster prevention work. The rapid and accurate integration and management of disaster prevention data is an important research content in the field of disaster prevention. In view of the multi-source heterogeneity and spatiotemporal multi-dimensional characteristics of disaster prevention data, this paper studies and creates a full information management model for disaster prevention. **Methods**: A six-tuple tag data management strategy of space, time, theme, link, timeliness and department for disaster defense has been constructed to achieve feature extraction and rapid marking of massive disaster data. Focusing on the six major business nodes of emergency preparedness, risk identification, risk assessment, risk control, emergency rescue, and post-disaster evaluation, the adaptive business chain flow technology was studied. Relevant data was dynamically captured following the changes of business nodes to achieve the automatic flow and analysis of disaster data under the current business nodes. **Results**: Based on this model, this paper establishes the disaster prevention database of Zhejiang Province, integrates the data of 14 major categories and 138 minor categories from 16

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC3005704)。

第一作者:李东阳,高级工程师,研究方向为地理信息系统。10648340@qq.com

通信作者:谢静静,硕士,工程师。2053068547@qq.com

departments, and forms the disaster reduction resource database, risk monitoring database, risk hazard database, model product database and case database. Based on the database and model, this paper builds the Zhejiang Province Natural Disaster Risk Prevention and Control and Emergency Rescue Platform, generating business data such as one map for disaster element analysis, disaster situation forecast map, and the five-color map of multi-disaster risk. It has provided strong support during the defense against multiple typhoon disasters, including Typhoon "Yanhua" in 2021, Typhoon "Minghua" in 2022 and Typhoons "Dusuri" and "Kanu" in 2023. **Conclusions**: The application results show that this model can efficiently organize the disaster prevention data of the entire province, achieve the management and application of more than 500 million pieces of data every year, and provide effective technical support for disaster prevention and control.

Key words: disaster prevention data; six-tuple tag; business flow; data management

灾害防御能力是一种贯穿灾前、灾中和灾后的治理能力,在抵御各种自然灾害的实践中,其涵义由传统研究中强调事后的补救恢复能力扩展到包括快速反应能力、自救能力、恢复能力、重建能力和预防后期灾害的广义灾害防御能力[1-2]。"灾害防御"理念已逐渐在国际防灾减灾领域形成共识,其核心体现在从被动应对到主动防控的范式升级。根据联合国《2015—2030年仙台减灾框架》的实证研究,采用灾害防御模式可使灾害经济损失降低40%~60%。中国首次全国自然灾害综合风险普查成果显示,基于防御理念构建的灾害风险评估-区划-管控技术体系,在2022年河南暴雨灾害中使试点区域减灾效益提升35%。世界银行《气候变化与灾害防御》报告证实,每增加1美元防御投入可减少4~7美元救灾支出,这种成本效益优势推动美国联邦紧急事务管理署等机构将预算的60%转向防御性项目。相较于传统灾害应急的灾时响应模式,防御体系通过风险智能监测+工程韧性提升+制度性防御的三维架构,实现了灾害全周期管理效能的系统性突破,这已被日本东京都X波段雷达防洪系统和荷兰三角洲工程等国际典型案例验证为新一代减灾范式。

数据是灾害防御过程中尤为重要的因素,在各阶段发挥着巨大作用。根据自然灾害的成灾原理及灾害类型的特点和区别,不同的灾害事件应对对数据需求不同,而同一灾害事件在不同的阶段对数据的需求也不一样,水文气象数据在洪涝、暴雨等灾害事件中应用广泛,地球物理数据在地震等灾害事件中发挥主导作用。面对多种类、多时相、多环节、多部门的灾害防御大数据,如何快速准确集成、分析、管理灾害防御数据,是灾害防御领域的重要研究内容[3]。

当前,时空数据正在经历从数据库上升到知识库的变革。文献[4]以知识存量挖掘为目标,探索了地理空间知识服务的研究方向;文献[5]提出了时空知识中心,研究数据-信息-知识-决策的赋能跨越;文献[6]聚焦于自然资源时空大数据挖掘与知识服务,形成了大数据-大分析-大知识-大服务的应用范式;文献[7]利用灾害系统论与知识图谱构建技术,构建了全面完整的台风灾害链网络;文献[8]基于地质灾害特征建立了冰雪灾害条件下地质灾害应急抢险知识库系统;文献[9-10]从测绘地理信息视角提出了一体化综合减灾智能服务及相关技术,实现知识化减灾服务;文献[11]面向应急救援行动需求,提出应急救援地理空间情报概念。时空数据管理、挖掘和服务方式的变革为灾害防御数据管理提供了有益借鉴。

然而,在自然灾害防御领域的相关研究中,大多是针对自然灾害事件单一要素进行分析,缺少对多灾种耦合作用以及时空动态演化规律的深入探索[12-14]。这种碎片化的研究范式难以应对实际灾害场景中常见的链式反应和复合型灾害事件[15],制约了灾害防御体系从单灾种应对向全灾害管理的转型升级,也影响了时空知识服务在灾害防御中的综合效能发挥。针对上述问题,本文拟研究建立灾害防御全过程信息高效管理模型,实现异构数据语义对齐,自适应业务链流转,满足灾害防御对大量数据的实时性要求,为相关领域的研究者提供参考。

1　全信息数据源

1.1　数据特征

灾害学发展至今积累了大量的灾害防御数据,随着时空信息技术的迅速发展,又有源源不断的新的数据快速产生,表现为多模态异构性、

时空强关联性、动态演变性、业务耦合性。

多模态异构性是指灾害系统中各类数据在来源、结构、尺度及语义上的多元异质特征。灾害防御数据分属于不同行业和学科领域生产和管理[16],涵盖遥感影像、传感器时序数据、社交媒体文本、地理矢量数据等多模态表现形式。文献[17-19]指出,灾害数据表现为结构化、半结构化与非结构化数据并存,微观与宏观、秒级与年际等多尺度数据交织,不同领域数据存在术语体系和评估标准的语义鸿沟。

时空强关联性。灾害数据天然具有时空属性,时间关联性表现为灾害演化具有周期循环、趋势突变或滞后效应等时序特征,空间关联性体现为灾害影响范围的空间异质性、扩散路径的拓扑依赖性及区域间的连锁反应,二者通过复杂的灾害系统相互作用形成时空强耦合场,因此描述其发生、发展的数据也随之具有高度关联性。

动态演变性是指灾害系统在发生、发展及消退过程中,其数据特征随灾害生命周期呈现出的非线性演化规律和时变特性,表现为致灾因子、承灾体与应急响应等多要素相互作用引发的数据动态关联,灾害系统临界相变会引发数据特征的突变和状态跃迁,同时蕴含短时突发性与长周期趋势性的嵌套演化模式。文献[20-23]指出,人类干预与自然恢复也会动态重构灾害系统的演化轨迹,使灾害防御数据呈现多尺度演化特征。

业务耦合性是指灾害数据与应急管理全业务流程深度交织、动态互馈的特性。灾害数据采集、处理与应用紧密耦合于监测预警-风险评估-应急处置-恢复重建的业务闭环,深度嵌入业务流程。跨部门、多层级业务主体的数据交互形成动态知识网络,使数据主体趋于协同。业务需求驱动数据持续更新,而数据智能分析又反向优化业务决策,形成数据-业务双向增强循环。

1.2 数据内容

依据相关数据标准规范,全面汇聚包括自然资源、水利、建设、公厅、交通运输、文化和旅游、卫生健康、统计、气象、地震、林业等部门共享交换的减灾资源、专业监测预警、自然灾害风险隐患等数据,用于地质灾害、小流域山洪、城市内涝、森林火灾、地震等灾害的综合风险分析、监测预警以及多灾种、次生衍生灾害的综合预测预警。

灾害防御数据库建设主要包含减灾资源库、风险监测库、风险隐患库、案例库和模型产品库。基于现有行业分工,各行业部门负责更新维护单灾种防治的相关数据,形成跨部门分布式灾害防御数据库(见图1)。

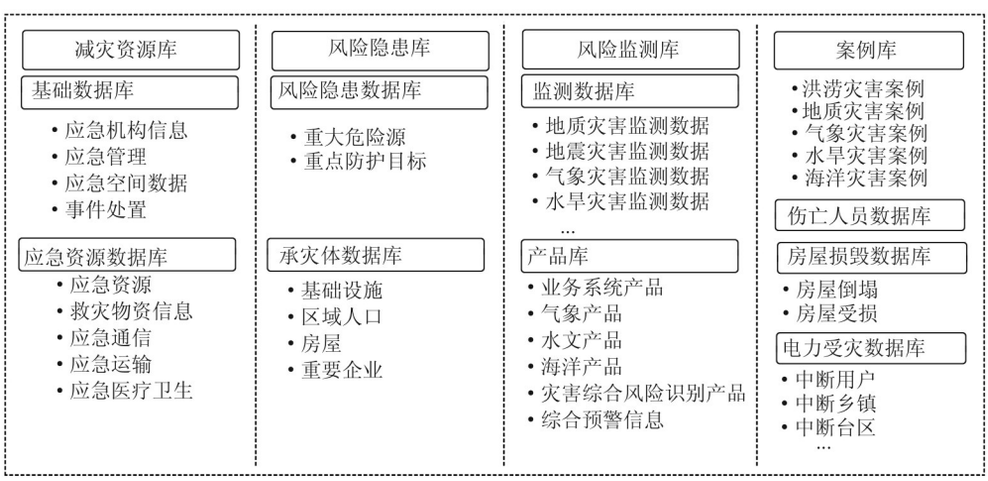


图1 灾害防御数据库

Fig. 1 Disaster Prevention Database

1)减灾资源库主要存储了应急机构、救灾物资、应急通信、避灾安置场所等各类应急资源数据,为灾害应急准备阶段提供详尽的数据支持,助力制定科学的应急预案、开展针对性的培训演练、优化资源配置布局等工作,同时为应急救援快速响应、高效协调、精准救援提供强有力的支撑,通过动态调整救援策略、协调跨区域救援资源等手段,最大限度地减少灾害损失,保护人民群众生命财产安全。

2)风险监测库主要存储了地质、气象、水文等灾害的实时监测数据,服务于灾害风险识别、风险研判、风险管控等阶段。基于风险监测库,结合数据分析、模型模拟等手段,能够评估灾害的潜在影响范围、强度及持续时间,为应急响应提供决策参

考,最大限度地减少灾害带来的损失。

3)风险隐患库主要存储了灾害危险源、重点防护目标等易于发生灾害隐患的数据,以及基础设施、人口、房屋等承灾体数据,基于风险隐患库,能够利用隐患数据及承灾体数据对灾情进行预测,为灾害风险研判提供有力的数据支撑。

4)案例库存储了历年地质、气象、水文等灾害的致灾情况及灾害损失数据,服务于灾害应急准备、灾后恢复等阶段。基于案例库,能够通过往年灾害应对情况指导灾中应急和灾后重建工作,并结合灾害损失情况为应急准备提供决策参考。

5)模型产品库主要存储了不同灾害的动态监测模型、人员转移精密智控模型以及灾害损失定量评估模型等(见表1)。基于模型产品库,能够利用不同阶段的预报及监测数据进行灾害强度分析,形成单一或综合灾害产品,为灾害全程管理提供科学的技术支持。

表1　模型产品核心元数据

Table 1　Core Metadata of Model Products

项目	分类	模型	输入	输出
模型库	地质灾害动态监测模型	斜坡稳定性分析模型	地形数据、降雨量、土壤含水量、岩性、地震活动	滑坡风险等级、潜在滑动面位置
		泥石流预警模型	降雨强度、松散堆积物厚度、坡度	泥石流发生概率、影响范围预测
	水文灾害动态监测模型	洪水演进模型	河道地形、流量数据、降雨预报	洪水淹没范围、水深、流速时空分布
		城市内涝模型	排水管网数据、降雨强度、地表渗透率	内涝积水点、排水系统负荷评估
		水文站实时监测模型	水位、流量、降雨量实时数据	洪水预警级别(蓝色/红色预警)
	气象灾害动态监测模型	气象预报模型	大气环流数据、温湿度、风速、气压	暴雨/台风路径预报、降水量分布
		雷暴短临预报模型	雷达回波、闪电定位数据、对流参数	雷暴发生时间、强度及影响区域
	海洋灾害动态监测模型	风暴潮数值模型	台风路径、风速、海床地形、潮位数据	风暴潮增水高度、沿岸淹没范围
		海啸传播模型	海底地震震级、震源深度、海底地形	海啸波高、到达时间、影响海岸线
	灾害综合风险模型	灾害综合风险“五色图”模型	历史灾害数据、重点风险区、暴露度(人口/经济)、脆弱性指标	区域综合风险等级(高/中/低)
	应急救援模型	路径优化模型	避难所位置、人口分布、交通路网状态	最优转移路径、所需时间及资源
		人员转移精密智控模型	人口分布、人口实时定位数据、交通路网状态	人员转移情况、转移触发阈值(红黄码预警)
	灾害损失定量评估模型		地表覆盖格网、灾害强度、经济数据	建筑物倒塌面积、农田淹没面积、直接经济损失(货币)、伤亡人数估算

2　全信息管理模型

2.1　模型框架

为实现多源灾害数据在灾害防御全业务阶段的高效管理,本文建立了全过程业务模型,基于灾害防御数据库,动态汇聚各行业部门各类自然灾害的基础数据、监测数据、预警数据及历史数据,运用六元组标签策略,实现异构灾害数据的特征提取,建立自适应业务链流转技术,实现各环节通过灾害大数据平台实现数据共享与智能联动,形成数据汇集-分析-决策-反馈的闭环支撑体系,生成灾害要素分析一张图、灾情预报图、多灾种风险“五色图”等业务数据,快速、精准研判风险影响,有效防范化解自然灾害风险,从而提升灾害防御部门对自然灾害的风险早期识别、风险防控、综合决策、应急快速反应等防灾减灾和应急管理能力,为全周期灾害管理提供精准化数据服务(见图2)。

2.2　数据标签策略

数据标签是指通过人工标注或智能算法对原始数据赋予结构化语义信息,从而建立数据与知识关联的桥梁。基于灾害防御数据的上述特征,本文提出了空间、时间、时效、主题、环节、部门六元组的数据标签策略,通过六元组的形式化表达,实现了灾害数据的多维度特征提取与关联分析:在空间维度建立统一空间基准下的地理编码,时间维度融合实时监测与历史时序数据,主题维度区分灾种类型与属性特征,环节维度覆盖灾害防御全流程,时效维度实现分级预警响应,部门维度打通跨系统数据壁垒。通过六元组形式化表达

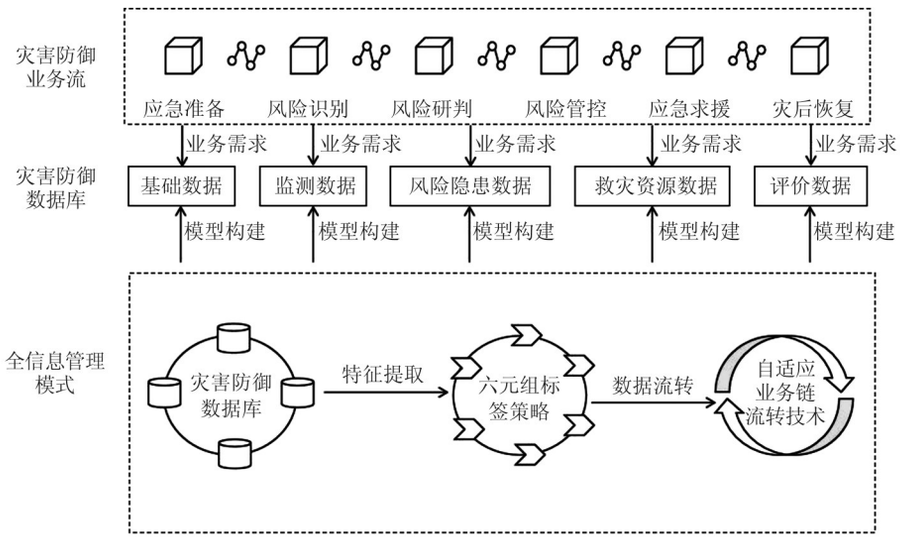


图2 灾害防御全过程业务模型总体框架

Fig. 2 Overall Framework of the Whole Process Information Management Model of Disaster Prevention

的灾害综合策略推演机制,提高自然灾害防御数据的存储、管理和分析能力,为适应统一指挥、高效协同的自然灾害防御管理体系提供多维度、多尺度的信息服务。六元组标签策略如下所示:

$$\mathrm{DDLS}=(P,T,V,A,B,D) \tag{1}$$

式中,DDLS(disaster defense labels)表示灾害防御标签;P代表空间;T代表时间;V代表时效;A代表主题;B代表环节;D代表部门。

1)空间维

空间这一特征框定了灾害数据的空间范围及中心点坐标,空间的表示方法如下:

$$\mathrm{Positions}=\{\mathrm{SpatialExtent},\mathrm{Centroid},\mathrm{Administrative}\} \tag{2}$$

式中,SpatialExtent代表数据的实际空间位置;Centroid代表数据的中心坐标;Administrative代表灾害数据支撑的宏观空间范围,如所在行政区域或预报单元等。其中SpatialExtent是空间范围的框定,其形式化表达为:

$$\mathrm{SpatialExtent}=\left\{[x_1,y_1],[x_2,y_2],\cdots,[x_n,y_n]\right\} \tag{3}$$

式中,$[x_i,y_i](i=1,2,\cdots,n)$是灾害数据对象的空间范围的拐点坐标。宏观空间范围是根据数据实际空间位置通过空间尺度对应算法转换计算得出,从微观尺度到宏观尺度使用均值聚合或分位数统计将高分辨率数据转化为低分辨率表达,如将灾害监测点的监测范围对应到其支撑的预报区域(××县北部地区);从宏观尺度到微观尺度利用克里金插值模型将粗粒度数据细化为高分辨率结果,从而解决不同空间分辨率、覆盖范围或数据粒度之间的兼容性问题。

2)时间维

灾害时间是指从灾害发生到造成影响的关键时间节点,是灾害监测、预警和应急响应的核心要素,可以表示为:

$$\mathrm{Time}=(T_{\mathrm{primary}},T_i) \tag{4}$$

式中,T_{primary}代表灾害数据的初始发生时间;T_i代表第i次级灾害发生时间。

3)时效维

灾害数据是一个连续动态变化的信息,需要确定其时效范围,有助于对灾害的发展变化有清晰的认知,进而在有效时间内助力应急救援工作。

通过灾发延续时间界定灾害数据的时效范围,可以表示为:

$$\mathrm{Validity}=T_{p_\mathrm{dur}}+\sum_{i=1}^{n}\mathrm{Dur}_i \tag{5}$$

式中,T_{p_dur}代表灾害数据的初始延续时间;Dur_i代表第i次级灾害延续时间。

4)主题维

主题用来描述灾害数据的特定属性,如降水、风速、温度、湿度、气压、雷电、土壤含水量、地表深部位移、地下水、土压力等能够直接表彰灾害性质的具体属性。主题特征可以表示为:

$$\begin{cases}\mathrm{Attrs}=\{\mathrm{Attr1},\mathrm{Attr2},\cdots\}\\ \mathrm{Attr}=\{\mathrm{Name},\mathrm{Value}\}\end{cases} \tag{6}$$

式中,Attrs代表灾害数据的属性特征的集合;Attr1、Attr2等代表属性特征集合中的单一属性特征;Attr是对属性集合中的单一属性特征的特定描述;Name表示属性特征的名字;Value表示

属性特征对应的属性值。

5)环节维

环节用于指代灾害防御数据能够影响的各个业务流程,主要包括应急准备、风险识别、风险研判、风险管控、应急救援、灾后恢复等环节。环节特征可以表示为:

$$Busins=\{Busin1,Busin2,\cdots\} \tag{7}$$

式中,Busins 代表灾害数据所属环节的集合;Busin1、Busin2等代表环节集合中的单一环节。

6)部门维

部门用于指代灾害防御数据的来源,主要包括自然资源、水利、建设、公安、交通运输、文化和旅游、卫生健康、统计、气象、地震、林业等部门。

以模型产品库中的降水量预报数据为例,基于六元组标签策略公式,为 2021-08-11 9时全省降雨量预报数据赋标签值:DDLS=({{[27.033 3°N,118.016 7°E],[31.183 3°N,122.750 0°E]},[29.28°N,120.15°E],浙江省},2021年8月11日9时,2 h,降水预报数据,{风险研判,应急救援},气象部门)。

2.3　自适应业务链流转

针对不同灾害事件、不同业务阶段对数据的不同需求,本文研究了自适应业务链流转技术,当灾害防御业务启动或节点切换时,首先从预先构建的模型库中,依据灾害类型、业务阶段等关键信息进行精准匹配,调用与之对应的专业模型,然后根据所选模型的输入数据要求,利用六元组标签对有关灾害数据进行精准检索与动态聚合,同时根据业务节点更新时间触发数据更新流程,驱动数据在分布式环境中获取、更新、存储,之后将符合时间要求的数据流转至模型库,供专业模型进一步分析和处理。最终,模型输出的处理结果会实时反馈至对应的业务节点。具体流程见图3。

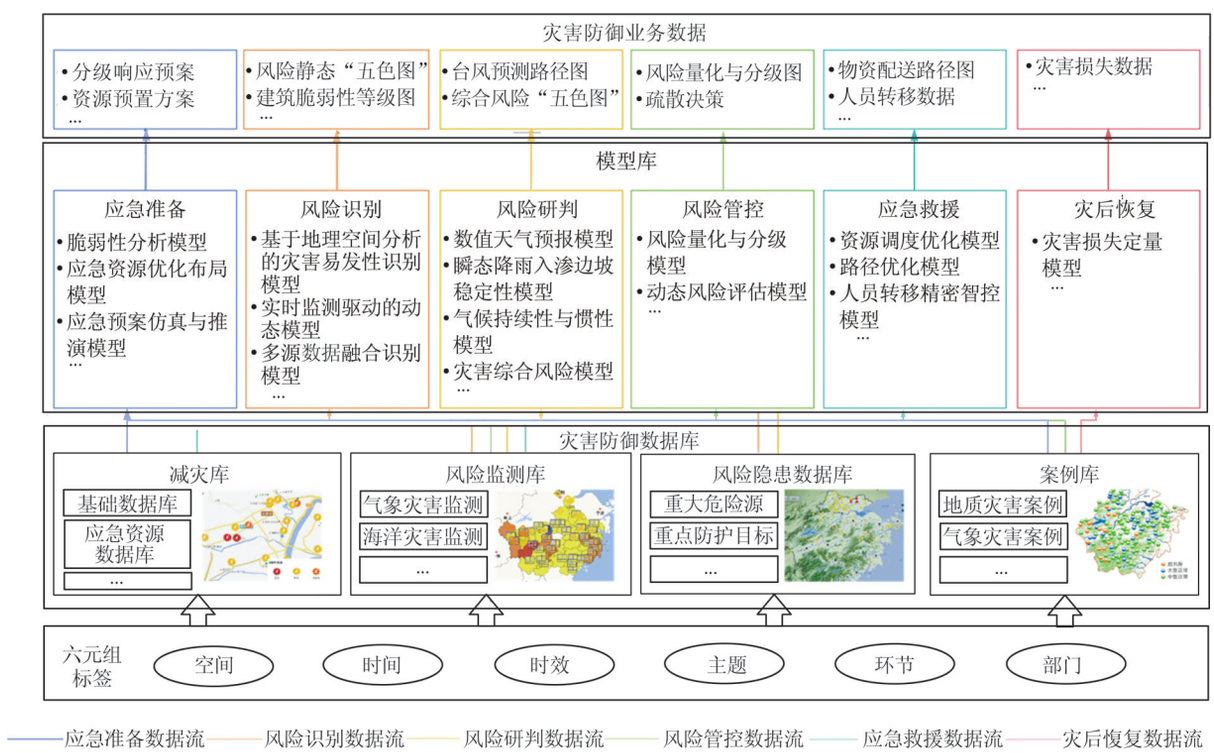


图3　自适应业务链流转过程

Fig. 3　Adaptive Business Chain Flow

1)灾害防御数据获取。基于灾害防御数据库结构梳理整合海量多源异构的灾害数据资源,通过六元组标签策略对数据资源的特征进行解析,采用基于规则的方法即可抽取获得相应环节阶段的灾害数据[24]。

2)灾害防御数据记录存储。数据上传和分析需要数据存储中心提供实时的上传和解析服务,本文采用分布式数据存储架构进行数据存储,避免集中式存储架构下用户并发访问导致的网络拥塞[25]。

3)灾害防御数据流转。结合当下灾害事件类型、业务阶段及所处时空序列,对数据进行抽取与汇总,构建所需数据资源目录,实现对大流量非结构化数据资源的精准获取。将高质量结构化灾害数据应用于所需模型,能够支撑用户进行数据分析与知识挖掘,为决策响应提供数据

支持。

以某地区山洪灾害的风险研判阶段为例,通过灾害事件类型确定所需灾害数据的“主题”为降雨,通过业务阶段确定当前“环节”为风险研判,通过灾发监测点的辐射范围确定灾害数据的“空间”,通过灾发时间点划定灾害数据的“时间”及“时效”,进而获取灾发前后实时监测降雨量、气象数据等灾害数据,并流转至单一动态模型或综合风险模型,形成降雨产品。以实时监测降雨量为例,通过插值模型形成实时更新降水等值线数据,帮助监测部门掌握降水动态,判断灾害发展趋势,为应急响应提供决策支持。

3 浙江实践

浙江省地处东南沿海,地形复杂,综合灾害风险位居全国前列。因其地理位置直面西北太平洋台风路径(尤其是“华东路径”台风),是中国受台风影响最频繁、灾害最严重的省份之一,年均受3~4个台风影响,其中约1~2个直接登陆,且常遭遇超强台风(如“桑美”“利奇马”)。灾害表现为沿海地区的狂风、风暴潮和盐灾,内陆山区的暴雨型山洪和泥石流,以及城市群的内涝和基础设施瘫痪,形成“风—雨—潮”叠加的复合型灾害链。单个强台风即可造成百亿元级经济损失和大规模人员转移。相较于其他自然灾害,台风灾害具有持续周期长、次生灾害多、影响规模大、需要数据多等特点,因此本文以台风灾害为例对模型开展应用验证。

以浙江省16个部门的相关专题数据为基础,建立灾害防御数据库,包含14大类、138小类数据,涵盖灾害发生全链路、各阶段的业务需求,每年仓储体量达到5亿余条。基于灾害防御数据库及灾害防御全程业务模型,构建浙江省自然灾害风险防控和应急救援平台(见图4),实现了不同业务节点灾害数据实时流转及分析,形成风险预警、疏散方案、资源调度策略、重建规划等关键决策支持成果,提升台风灾害管理的精准性和时效性。



图4 台风灾害防御各阶段应用

Fig. 4 Application of Typhoon Disaster Prevention at All Stages

1)应急准备阶段基于历史台风路径等案例数据及人口分布、基础设施等基础数据,利用推演模型模拟不同强度台风的潜在影响,结合资源优化算法规划物资储备和避难场所布局,形成分级响应预案和资源预置方案,确保灾前具备快速启动能力。在2023年台风“杜苏芮”应急准备工作中,浙江省基于历史台风路径和人口热力图,提前72 h预置救援物资,全省调拨冲锋舟1 200艘,直接经济损失减少约15亿元。

2)风险识别阶段通过获取山塘、在建建筑工地等承灾体数据,以及山洪风险区、内涝风险区等隐患数据,应用地理空间分析技术,识别高风险区域的建筑脆弱性、基础设施依赖关系,通过灾害风险静态“五色图”模型,输出精细化风险地

图,为针对性防控提供依据。2022年,“梅花”台风期间,杭州市运用风险“五色图”模型,整合亚运场馆周边109处地质灾害点和56个内涝风险区数据,识别出高风险区占比12%,亚运期间成功预警处置钱塘江潮汛风险3次。

3)风险研判阶段整合气象集合预报、实况降雨等灾害监测数据,以及山洪、地灾等风险隐患数据,采用多目标优化和动态贝叶斯网络,预测台风、风暴潮和降雨的时空影响,生成台风预测路径、经济损失预估等研判结果,支撑预警发布和疏散决策。2023年应对“轩岚诺”台风过程中,浙江省结合全省1.5万处地质灾害隐患点数据,通过动态贝叶斯网络预测乐清市发生山洪概率达41%,提前转移群众8.2万人,避免了人员伤亡。

4)风险管控阶段基于实时监测数据,动态调整人员疏散路线和关键设施防护策略,利用智能电网控制和物联网技术优化应急响应,形成自适应管控方案,最大限度减少灾害损失。2022年,宁波市实时接入327个雨量站和42座水库数据,当小时雨量超80 mm时自动触发智能电网保护,减少停电用户23万户。

5)应急救援阶段借助无人机和计算机视觉技术,实时分析受灾范围、人员被困位置和物资需求,优化救援力量部署和物资配送路径,生成救援优先级热力图和应急资源调度方案,提升救援效率。2023年温州苍南县在台风“卡努”过境期间,出动无人机集群识别被困人员位置,结合路径优化模型生成救援热力图,利用人员转移精密指控模型72 h内成功营救群众176人。

6)灾后恢复阶段利用经济投入产出模型和灾害损失定量评估模型,评估灾害对生态、经济和社会的影响,通过多准则决策模型制定重建优先序和韧性提升策略,推动灾区科学恢复。2022年余姚灾后重建工作中,余姚市采用灾害损失定量评估模型评估“梅花”台风经济损失总计23.6亿元,并根据灾害影响制定分级重建方案,优先修复18所受损学校和5家医院,同步提升排水管网标准。

4　结　语

灾害防御过程数据的高效管理应用是提升防灾、减灾、救灾能力的关键支撑。本文立足于灾害防御全周期管理需求,创新性地构建了一个覆盖灾前预警、灾中响应和灾后恢复全过程的灾害全信息管理模型。采用六元组标签策略对多源异构灾害防御数据进行标准化标识和统一治理,有效解决了传统灾害数据管理中存在的碎片化、低关联性问题。在此基础上,研发自适应业务链流转技术,实现灾害数据与防御业务流程的智能匹配和动态耦合,能够根据当前灾害防御环节的实际需求快速提取和精准应用相关数据,并在浙江省台风灾害防御进行了应用验证,显著提升了灾害防御数据的流转效率和业务支撑能力,为构建数据驱动、智能决策的现代化灾害防御模式提供了重要实践路径。下一步将继续研究具有自学习能力的灾害数据-业务自适应匹配引擎,实现业务需求与数据服务的精准智能对接,构建更完善的灾害知识图谱。

参　考　文　献

[1] 孔锋. 再论灾害防御能力的基本定义与特征探讨[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 6-10.
KONG Feng. Re-Discussion on the Basic Definition and Characteristics of Disaster Defense Capability [J]. *Journal of Catastrophology*, 2020, 35(1): 6-10.

[2] 孔锋, 吕丽莉, 王品, 等. 灾害防御能力的基本定义与特征探讨[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 1-4.
KONG Feng, LÜ Lili, WANG Pin, et al. Basic Definition and Characteristics of Disaster Defense Capability [J]. *Journal of Catastrophology*, 2018, 33(4): 1-4.

[3] 吴迪, 薛萌, 仇瑛哲. “四链”融合视角下城市灾害应急管理能力评估与提升策略研究[J]. 灾害学, https://link. cnki. net/urlid/61. 1097. P. 20250417. 1214. 002,2025.
WU Di, XUE Meng, QIU Yingzhe. Evaluation and Improvement Strategies of Urban Disaster Emergency Management Capability from the Perspective of “Four Chains” Integration[J]. *Journal of Catastrophology*, https://link. cnki. net/urlid/61. 1097. P. 20250417. 1214. 002,2025.

[4] 陈军, 刘万增, 武昊, 等. 基础地理知识服务的基本问题与研究方向[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44(1): 38-47.
CHEN Jun, LIU Wanzeng, WU Hao, et al. Basic Issues and Research Agenda of Geospatial Knowledge Service [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2019, 44(1): 38-47.

[5] 刘万增, 陈军, 翟曦, 等. 时空知识中心的研究进展与应用[J]. 测绘学报, 2021, 50(9): 1183-1193.
LIU Wanzeng, CHEN Jun, ZHAI Xi, et al. Research Progress and Application of Spatiotemporal Knowledge Center [J]. *Acta Geodaetica et Carto-*

graphica Sinica, 2021, 50(9): 1183-1193.

[6] 邓敏, 王达. 自然资源时空大数据挖掘与知识服务研究进展[J]. 地球信息科学学报, 2025, 27(1): 27-40.
DENG Min, WANG Da. Research Progress in Spatio-temporal Big Data Mining and Knowledge Services for Natural Resources[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2025, 27(1): 27-40.

[7] 朱海铭, 林广发, 张明锋, 等. 基于灾害风险普查知识库的台风灾害链知识图谱构建[J]. 灾害学, 2024, 39(1): 209-215.
ZHU Haiming, LIN Guangfa, ZHANG Mingfeng, et al. Construction of Typhoon Disaster Chain Knowledge Graph Based on Disaster Risk Survey Knowledge[J]. *Journal of Catastrophology*, 2024, 39(1): 209-215.

[8] 黄海峰, 王世梅, 孙仁先, 等. 冰雪灾害条件下地质灾害应急抢险知识库系统研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2010, 32(2): 31-36.
HUANG Haifeng, WANG Shimei, SUN Renxian, et al. Study of Knowledge Base System About Emergency Treatment of Geo-Hazard Under Conditions of Ice and Snow Disasters[J]. *Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences)*, 2010, 32(2): 31-36.

[9] 刘纪平, 刘猛猛, 徐胜华, 等. 大数据时代下的一体化综合减灾技术综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(8): 1107-1116.
LIU Jiping, LIU Mengmeng, XU Shenghua, et al. A Review on Integrated Disaster Reduction Technology in the Big Data Era[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(8): 1107-1116.

[10] 刘纪平, 张用川, 徐胜华, 等. 一体化综合减灾智能服务顶层设计研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(12): 2250-2258.
LIU Jiping, ZHANG Yongchuan, XU Shenghua, et al. Top-Level Design Study for the Integrated Disaster Reduction Intelligent Service[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 2250-2258.

[11] 王勇, 韩遥遥, 刘纪平, 等. 应急救援地理空间情报: 概念特征、生成技术及应用实践[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2025, DOI: 10.13203/j.whugis20240485.
WANG Yong, HAN Yaoyao, LIU Jiping, et al. Geospatial Information of Emergency Rescue: Concept, Characteristics, Generation Technology and Application Practice[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2025, DOI: 10.13203/j.whugis20240485.

[12] 陈长坤, 孙凤琳, 赵冬月. 暴雨灾害下城市基础设施的事故演化风险分析[J]. 灾害学, 2022,37(3): 12-16.
CHEN Changkun, SUN Fenglin, ZHAO Dongyue. Risk Analysis of Urban Infrastructure Facilities Accident Evolution Under Rainstorm Disaster[J]. *Journal of Catastrophology*, 2022,37(3): 12-16.

[13] 吴先华, 肖杨, 李廉水, 等. 大数据融合的城市暴雨内涝灾害应急管理述评[J]. 科学通报, 2017, 62(9): 920-927.
WU Xianhua, XIAO Yang, LI Lianshui, et al. Review on Emergency Management of Urban Rainstorm Waterlogging Disasters Based on Big Data Fusion[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2017, 62(9): 920-927.

[14] 杜志强, 李钰, 张叶廷, 等. 自然灾害应急知识图谱构建方法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(9): 1344-1355.
DU Zhiqiang, LI Yu, ZHANG Yeting, et al. Knowledge Graph Construction Method on Natural Disaster Emergency[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(9): 1344-1355.

[15] 孔锋. "人类世"背景下的灾害风险科学复杂性及前沿议题[J]. 灾害学, 2024, 39(2): 48-53.
KONG Feng. Complexity and Frontiers Issues of Disaster Risk Science in the Context of the Anthropocene[J]. *Journal of Catastrophology*, 2024, 39(2): 48-53.

[16] 孙艳萍, 陈文凯, 李大贵, 等. 甘肃省地震灾害防御服务平台设计与实现[J]. 地震工程学报, 2025, 47(2): 448-457.
SUN Yanping, CHEN Wenkai, LI Dagui, et al. Design and Implementation of Gansu Province Earthquake Disaster Defense Service Platform[J]. *China Earthquake Engineering Journal*, 2025, 47(2): 448-457.

[17] 孙欣欣. 城市突发水涝灾害大数据分析技术研究[J]. 科技通报, 2016, 32(4): 196-201.
SUN Xinxin. Study on the Big Data Technology of the City Unexpected Flood Disaster[J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2016, 32(4): 196-201.

[18] 刘纪平, 王琢璐, 徐胜华, 等. 人工智能时代下的应急测绘[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2024, DOI: 10.13203/j.whugis20240300.
LIU Jiping, WANG Zhuolu, XU Shenghua, et al. Emergency Mapping in the Era of Artificial Intelligence[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2024, DOI: 10.13203/j.whu-

gis20240300.

[19] 闫绪娴，刘杨，王俊丽，等. 智慧应急赋能城市减灾:本土建构、现实困境与提升路径[J]. 灾害学，2024，39(2)：201-207.
YAN Xuxian，LIU Yang，WANG Junli，et al. Smart Emergency Empowering Urban Disaster Reduction：Local Construction，Practical Dilemmas，and Improvement Paths[J]. *Journal of Catastrophology*，2024，39(2)：201-207.

[20] 陈慧，马晨燕. 基于GIS可视化的中国大陆沿海城市自然灾害风险评估[J]. 测绘地理信息，2018，43(3)：59-61.
CHEN Hui，MA Chenyan. Risk Assessment of Natural Disasters in Coastal Cities in Continental China Based on GIS Visualization[J]. *Journal of Geomatics*，2018，43(3)：59-61.

[21] 王艳杰，王卷乐，卜坤. 灾害数据管理技术与平台进展及其面临的需求研究[J]. 灾害学，2019，34(2)：205-210.
WANG Yanjie，WANG Juanle，BU Kun. Research on Disaster Data Management Technology and Platform Progress and the Demand It Faces[J]. *Journal of Catastrophology*，2019，34(2)：205-210.

[22] 韦彬，郑淑婷. 数智赋能自然灾害防御的作用机理与治理路径：基于“数字漓江”孪生系统平台的个案分析[J]. 三峡大学学报(人文社会科学版)，2025，47(1)：80-87.
WEI Bin，ZHENG Shuting. The Mechanism and Governance Pathway of Intelligence and Data Empowerment in Natural Disaster Prevention：A Case Study Based on the “Digital Lijiang River” Twin System Platform[J]. *Journal of China Three Gorges University* (*Humanities & Social Sciences*)，2025，47(1)：80-87.

[23] 高琰，曾凡雷，闫琳. 极端天气应急管理协同治理框架及实现路径研究[J/OL]. 水利水电技术(中英文)，https://link.cnki.net/urlid/10.1746.TV.20250513.1546.002，2025.
GAO Yan，ZENG Fanlei，YAN Lin. Research on Collaborative Governance Framework and Implementation Path for Extreme Weather Emergency Management[J/OL]. *Water Resources and Hydropower Engineering*，https://link.cnki.net/urlid/10.1746.TV.20250513.1546.002，2025.

[24] 庄倩，常颖聪，何琳，等. 基于关联数据的科学数据组织研究[J]. 情报理论与实践，2016，39(5)：22-26.
ZHUANG Qian，CHANG Yingcong，HE Lin，et al. Research on the Organization of Scientific Experimental Data Based on Linked Data[J]. *Information Studies* (*Theory & Application*)，2016，39(5)：22-26.

[25] 陈昱昕，周刚. 基于元数据的多源异构军事数据组织管理框架研究[J]. 信息工程大学学报，2024，25(3)：358-365.
CHEN Yuxin，ZHOU Gang. Metadata-Based Multi-source Heterogeneous Military Data Organization and Management Framework[J]. *Journal of Information Engineering University*，2024，25(3)：358-365.