王文，张志，张岩，等. 自然灾害综合监测预警系统建设研究[J]. 灾害学，2022，37(2)：229 – 234. [WANG Wen, ZHANG Zhi, ZHANG Yan, et al. Research on the Construction of Comprehensive Monitoring and Early Warning System for Natural Disasters[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(2): 229 – 234. doi: 10.3969/j.issn.1000 – 811X.2022.02.036.]

# 自然灾害综合监测预警系统建设研究*

王　文[1]，张　志[2]，张　岩[1]，王　涛[2]，许文浩[2]

(1. 北京林业大学 水土保持学院，北京 100083；2. 应急管理部大数据中心，北京 100013)

**摘　要**：建设自然灾害监测预警系统是防范灾害风险的重要手段。在综合调研国内外自然灾害监测预警系统建设进展基础上，从我国自然灾害监测预警信息化工程建设现状及国际发展趋势出发，开展系统建设关键要素分析，提出以人为本、协调机制、监测预警技术、信息传播和沟通策略、风险意识、响应能力六大关键要素。基于提升风险分析、综合决策、预警信息发布、指挥调度、应急处置的五大业务能力需求，提出信息技术和应急业务深度融合的建设模式，采用感知网络、基础设施、数据服务、业务支撑、综合应用的分层架构设计，贯穿灾前风险监测、预警、应急响应全过程，构建重大风险全覆盖的多层级自然灾害监测预警体系，以提高风险早期识别、多灾种综合监测、预警预报和应急处置能力，有效防范化解灾害风险。

**关键词**：自然灾害；综合监测预警；业务能力；系统架构

**中图分类号**：X43；X915.5　**文献标志码**：A　**文章编号**：1000 – 811X(2022)02 – 0229 – 06

doi：10.3969/j.issn.1000 – 811X.2022.02.036

灾害监测预警系统是防灾减灾的重要工具。预警系统(Early Warning System，简称 EWS)在 1994 年第一次被提出，但是并没有引起太大的关注[1]。直到 2004 年发生印度洋海啸后，国际社会才开始重视预警系统的建设[2]。EWS 在 2004 年联合国国际减灾战略中第一次被正式定义，并且强调要将目标人群放在第一位[1]。在综合了 1998 年、2003 年和 2006 年三次国际预警会议的结果后，2009 年联合国将预警系统定义为："一组用于及时制取和传递有价值警示信息的能力，以使受到致灾因子威胁的个人、社区和机构做好准备并采取恰当的行动，在足够的时间内减少可能的危害或损失[3]。"联合国国际减灾战略多次提及灾害综合风险防范问题[4-6]。2016 年，联合国减灾战略对 2009 年制定的预警系统定义进行了更新，将其定义为一个包含灾害监测预警、风险评估和应急准备活动的综合系统，使面临危险的社区和个人能够在灾害发生前做好充分准备，减少生命和财产的损失[7]。国际上对预警系统的定义不仅仅局限于单一的监测预警技术，而是贯穿了从灾前预防到应急响应全过程的综合系统。

新时期我国灾害防治形势也在从单灾种向综合减灾转变，从注重灾后救助向灾前预防转变，从减少灾害损失向减轻灾害风险转变，并开始重视多灾种与灾害链综合监测[8-12]。面对我国自然灾害综合防治的迫切需求，综合减灾的研究还多集中于政策研究方面，而技术研究和应用实践较少[8]。灾害综合监测预警系统作为实现综合减灾的关键手段，能最大限度地减少灾害带来的财产和经济损失，减少脆弱性，增强国家和社会的防灾能力[13-15]。因此，本文在顺应国际前沿和国内灾害防治形势下，总结了国内外自然灾害监测预警系统建设现状和特点，为我国自然灾害综合监测预警系统建设提供借鉴；结合新时期自然灾害防治重点以及我国现状，提出了实现有效综合监测预警的关键要素，针对当前存在的问题和业务能力需求，设计了基于信息技术和应急业务深度融合的自然灾害监测预警系统架构，贯穿灾前预防的风险监测、预警发布、应急处置全过程，全面提升防范化解重大风险能力。

## 1　国内外灾害监测预警系统建设进展

### 1.1　国际发展现状

美国、欧洲、日本等发达国家在应对自然灾害上具有相对完善的法律框架和政策文件，指导政府组织、非政府组织和私营部门无缝衔接实施多灾种综合监测预警[16-19]。部署严密的监测网络和完善的通信系统，全面覆盖隐患点并且全天候 24 h 监测[20-22]。覆盖全国的警报系统结合多元化的预警信息发布渠道确保每个人都能及时收到灾

* 收稿日期：2021 – 11 – 17　　修回日期：2022 – 03 – 27
基金项目：国家重点研发计划(2020YFC1511805)；北京市科技计划课题(Z211100004121004)
第一作者简介：王文(1999 – )，女，汉族，四川成都人，硕士研究生，主要从事自然灾害风险与监测预警研究.
E – mail：wangw1127@foxmail.com
通讯作者：张志(1972 – )，男，汉族，云南昆明人，博士，教授，主要从事应急管理信息化研究. E – mail：13693532249@139.com

害预警信息[16]。他们不仅把关注点放在灾害本身，更加注重社区和人群的脆弱性，制定多种灾害应对计划并定期进行演习。积极发挥风险评估的作用，制作各类灾害风险地图向公众发放，通过社区培训、学校教育、新闻发布会、咨询委员会、研讨会、宣传手册和海报开展公众灾害意识教育，提高公众风险意识[16-18,23]。美国拥有先进的基础设施，利用多元化的评估模型和监测指数提供灾害实时信息产品，还实现了仪器、数据、软件和操作流程等的标准化，通过应急管理人员天气信息网络、NOAA 气象专线、自动呼叫系统、电子留言板、订阅信息、国家气象局自动预警系统发布预警信息[16,24]；法国将所有风险防范措施文件汇聚到一个能公开访问的数据库中，并对学校、老年和残疾人机构、医院、监狱和旅游设施等脆弱性较大的地方制定具有针对性的灾害应急措施[17]；德国灾害保险覆盖全面，几乎所有的住宅建筑都有暴风和冰雹保险，其中有 46% 的房主还购买了暴雨和洪水等其他自然灾害保险[25]；日本重视应急通信系统建设，在固定通信、卫星通信、移动通信等网络基础上，构建中央、地方和部门之间的无线网，以及各类专项通信网，保障应急通信畅通，此外还建有自动处理发布实时气象数据装置和自动触发地震警报装置[21,26-27]。

### 1.2 我国自然灾害综合监测预警系统建设现状

2018 年，我国组建了应急管理部，积极构建部门协同、机构协作、专家合作与企业参与的应急组织机制，建设跨学科、跨部门、多灾种复杂灾情识别、演化预测的科技共享平台[28]。目前我国自然灾害监测预警、风险识别和评估体系日趋完善[29-30]，在自然灾害理论研究、防灾减灾关键技术、综合防灾减灾科技创新能力方面都有了大幅提升，风险相关数据库已经初步形成[28,31]。但我国在灾害防范方面还存在灾害管理统筹协调不足，资源力量较为分散，管理机构不尽健全；“重救灾，轻防灾”思想比较普遍；重单一灾害管理，轻综合灾害管理；重灾后减少损失，轻灾前防范化解风险；信息共享和资源统筹机制有待加强；预防和救援能力不足，监测预警能力较弱；防灾减灾宣传教育普及不足等问题[12,29,31-32]。灾害综合监测预警系统建设还面临以下问题：

(1)部门协调问题。综合监测预警涉及到水文、气象、地质、林业、农业、海洋等多个领域，每个领域都有自己的技术语言，如何在他们之间建立有效沟通是一个关键[33]。目前不同灾害的预警技术发展并不均衡，各学科、各部门之间沟通少，缺乏标准操作程序，增加了将多种灾害系统连接在一起的难度[34]。

(2)不同灾种时空尺度的差异性和级联效应。不同的灾害具有不同的时间尺度特征，比如发生最快的地震和最慢的干旱是最难预测的。现在灾害带来的级联效应也越来越明显[35]，风险本身就是一个不断变化的过程，气候变化、环境改变、快速城市化、人口流动性导致灾害风险处于高度动态、复杂的状态，这是一个不断演变的持续过程，因此开展有效风险评估的任务同样艰巨[14,34]。

(3)预警信息传递和响应能力。预警信息的传递面临着延迟和失真的风险，向某些偏远地区传播就很困难，还需融合技术和非技术性手段，这是对通信系统的一项巨大挑战。预警信息什么时候发布也是一个问题，对灾害风险设置临界阈值决定了预警信息的有效性，一旦预警信息发生误报，便会造成公共资源的浪费，并且会降低公众对后续预警信息的关注度，这些都对预警系统的建设提出了重大挑战[33,36]。在响应能力上，如果缺乏灾前准备，就算公众接收到了预警信息，但是没有可行的逃生路线或避难所，或者无法应对资源短缺，也不能发挥预警系统的真正作用[14]。

## 2 基于信息技术和应急业务深度融合的自然灾害综合预警系统建设模式

### 2.1 系统建设的关键要素

(1)以人为本的指导思想。传统的预警系统是以危险为中心，是一种由专家驱动向公众自上而下的线性模型，几乎没有受威胁目标人群的参与[37-38]。联合国国际减灾战略强调，监测预警系统要想有效，就必须以人为中心。管理者应当了解目标人群对风险的感知水平，评估公众的防范水平以及应对能力，考虑到人们的需求、当地知识和能力，根据公众的需求和问题制定防范措施和策略[38]。

(2)有效的协调机制。监测预警系统并不是一个单纯的技术系统，它整合了众多减少灾害风险的机构组织，如果没有健全的协调机制，就无法建立有效的传播网络[37]。一个有效的预警系统应当包括负责灾害管理的机构、交通运输部门、公共安全部门、卫生健康部门、水利部门、农业农村部门、自然资源部门、住建部、生态环境部门等，然而当前部门管理者和研究者各自独立工作，彼此没有联系，导致研究者和决策者在交流技术和警报信息之间往往存在脱节，导致在必要时不能发出警告[36,38-39]。在面临跨学科的挑战下，完善的协调机制能够共享不同领域的相关知识，弥补科学和决策之间的差距，相互合作，确保发出准确一致的预警信息[15,40]。

(3)先进的监测和预警技术。监测预警技术作为系统的核心，需要可靠的科学技术的支撑。完善的监测预警技术需要协调不同灾害的监测技术和预警服务，各部门互联互通、数据共享、通信网络实现互联，才能开展有效监测预警[39]。先进的监测预警系统需要大量的技术支持，包含众多监测传感器、数据处理、分析、预测模型、风险评估、通信传输技术[41]。将技术和科学知识相整合，准确识别风险发布警告，避免不必要的公共资源浪费，传统知识同样不可忽略，它可以为技术和科学研究提供附加价值[36,40]。

(4)有效的信息传播和沟通策略。科学研究成果不应该仅限于学术研究中，更应该与实践相结合，要将研究结果转变为通俗易懂的语言，及时、清晰、可靠地传达给真正面临风险的人，以采取必要的行动[40-41]。2005 年卡特丽娜飓风就是一个很好的例子，在 60 h 之前飓风就已经被预测到了，但由于当局与受灾民众之间没有建立有效沟通，造成巨大的灾难损失[38]。在信息传播过程中，一些弱势群体很难通过互联网或手机等传播技术接收信息。因此需要制定多种传播方式，保证所有受威胁人群都能成功接收信息[41]。同时还要考虑

到自然灾害作为一种物理情况，预警具有高度的不确定性，因此需要专家和决策者在整个过程中尽可能诚实和透明，建立公众对预警信息的信任[36,38,41]。

（5）公众的风险意识。缺乏必要的风险知识储备，会导致目标人群难以理解专业警告的含义并低估风险，无法做出适当的应对措施，增加人群脆弱性[38]。公众应当了解不同灾害产生的威胁、它们的潜在影响、警告产生的危险级别以及需要采取的防范措施，才能在灾害发生时迅速做出反应，选择合适的逃生路线和自救措施，尽可能减少生命和财产的损失[40]。管理机构应当建立风险评估机制，在进行大量处理和分析数据的基础上，考虑到城市化、农村土地使用变化、环境退化和气候变化等过程，将社会、环境、经济等因素纳入考虑范围，定期制作风险地图并发布，指导防灾减灾工作[39]。

（6）快速响应能力。监测预警系统不仅是技术上的准确预警，其成功主要基于对风险的响应、接收信息并采取相应行动的能力，实施减轻灾害风险的行动，有效备灾是减少灾害损失的关键[14]。目前大多数国家都有应急计划，但这些计划主要侧重于灾后响应和恢复，大多数防备措施都是临时的、杂碎的，缺乏系统的组织和协调[42]。管理者需要根据公众的意识和准备情况做好应对措施，制定有效的防灾策略，确定应急场所、应急设施是否充足及其安全性、如何有效地转移受影响人群、如何在疏散期间维持秩序和安全、及时提供足够的资源、确保资源有效调度等，并定期举行应急演习，增强社区和人群的应急响应能力[36]。

## 2.2　业务能力需求分析

根据我国自然灾害防治的新形势，借鉴国外自然灾害防治研究的经验，本文分析实施自然灾害有效监测预警的关键要素，结合业务能力需求进行系统初步架构设计，提出基于信息技术和应急业务深度融合的综合预警系统建设模式。围绕气象灾害、水旱、地震、地质灾害、森林草原火灾、农业自然灾害、海洋灾害等自然灾害，形成天空地人网一体化监测采集体系（图1）。构建重大风险隐患全覆盖的多层级自然灾害监测预警体系，实现跨系统、跨层级、跨地域的自然灾害监测和实时预报预警，提高风险早期识别、多灾种综合监测、预警预报和应急处置能力。

（1）风险分析能力。科学认识灾害风险是自然灾害防范的重要基础。综合运用空天地一体化的监测网络，全方位跟踪各种异常现象的发展过程和变化趋势，充分利用现代科学模型和计算方法，对灾害演变态势进行全面、多维度分析。建立灾害风险隐患数据库，结合承灾体的暴露性、脆弱性和易损性，定期开展风险评估与隐患排查，绘制风险区划图，研究确定重点防范区域，做好隐患地区的风险评估与防范。根据灾害的成灾机理和致灾特征、孕灾环境复杂性和承灾体脆弱性，以人为本，科学制定风险防控措施和应急预案，合理规划救援力量、救灾物资和避难场所，全面提升风险分析能力。

（2）综合决策能力。综合决策是化解灾害风险的关键环节，利用现代计算方法从各类灾害实时监测数据中提取有用信息，充分发掘数据资源价值。深入研究风险分析模型和推演系统，协同研判灾害演变态势，科学制定应急决策。在有效的协调机制下不同部门机构和系统之间共享灾害事故情报，实现各类灾害风险隐患、预警信息、灾害演变态势以及应急处置等信息共享和协同作业，提升综合研判会商和高效决策能力，有效开展应急工作。

（3）预警信息发布能力。预警发布是开展综合监测预警的最终目的，完善应急通信网络建设和信息发布手段，强化灾害风险预警服务，充分利用各级突发事件预警信息发布系统，把灾害预警信息快速及时发送到户到人。提高预警信息发布的准确性、时效性和覆盖范围，消除预警发布盲区，建设多元化信息发布机制，切实解决预警发布“最后一公里”的问题。

（4）指挥调度能力。结合综合风险分析、趋势研判、历史案例、应急力量分布、应急物资储备等资源，制定风险防控方案，提高人员物资调配效率和资源利用水平。对灾害趋势及防控方案进行仿真模拟和推演，建立跨区域、跨部门、跨行业、跨系统的应急联动机制，确保上下级联系渠道畅通，实现指挥指令及时下达并实践，提升指挥调度支撑能力。

（5）应急反应处置能力。快速应急的目的是在突发事件发生时能够快速做出应急响应，由及时预警、迅速响应和高效处置等模块组成，快速的应急反应能力是减轻灾害损失、防范化解风险的关键步骤。完善应急通信网络基础设施建设，建立信息快速汇集传输机制，确保决策者与现场高效及时沟通，快速处置突发事件。同时还要通过宣传培训、学校教育、新闻媒体等手段提高公众风险防范意识和自救互救能力，提高全社会应急反应能力。

## 2.3　系统架构设计

自然灾害综合监测预警系统的监测对象主要包括各类灾害致灾因子、孕灾环境和承灾载体，通过对三类数据的监测提供底层数据基础，为灾害风险识别、分析研判和预警、应急处置提供重要支撑。总体设计采用分层架构，自下而上分别是空天地一体化的感知网络层、基础设施层、数据服务层、业务支撑层、综合应用层共5层架构体系，同时在建设过程中形成相关标准规范体系和保障体系，保障系统高效运行（图2）。

（1）感知网络层。通过卫星监测、传感器网络、航空遥感、地面监测站、视频感知等手段，形成空天地人网一体化的综合监测预警感知网络，做到灾害隐患点全方位无死角全覆盖监测，为综合监测预警系统业务应用实施提供基础数据支撑。

（2）基础设施层。基础设施层作为平台的支撑体系，通过通信设施、网络传输、系统软件、服务器、计算平台、存储设备为系统高效运作提供基础支撑环境。

（3）数据服务层。建立自然灾害统一数据库，统一数据标准接口和规范，将各部门基础数据、实时监测数据、承灾体数据、历史灾害数据以及应急资源数据库整合至一个平台，统一进行数据存储、治理和计算，实现数据统一汇聚和管理，通过数据服务层与各部门、各层级、各平台实现数据交换与共享，充分挖掘数据价值。

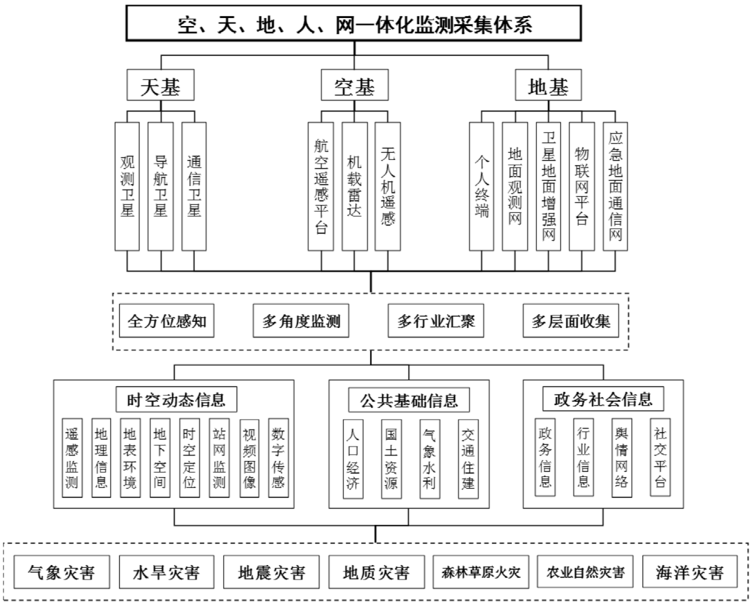


图1　一体化监测采集体系

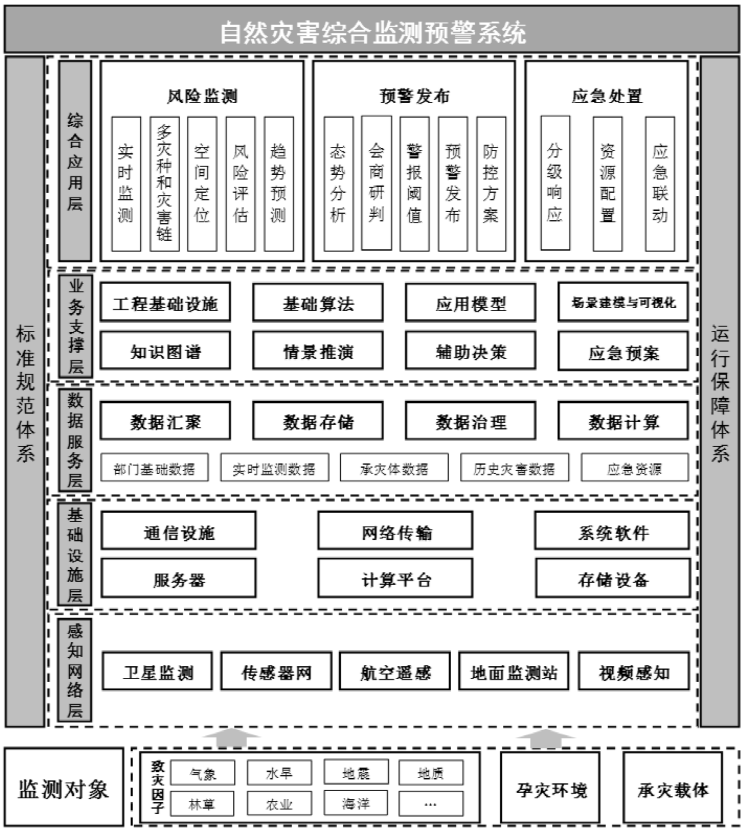


图2　系统总体架构图

(4)业务支撑层。业务支撑层通过完善工程基础设施，建立知识图谱，研究应用基础算法、应用模型、场景建模与可视化等现代信息技术，实现灾害态势情景推演，辅助决策，建立应急预案库，为灾害综合监测预警业务提供技术支撑，保障各类业务应用活动的高效运转。

(5)综合应用层。综合应用层是系统运行的核心部分，贯穿自然灾害监测至应急响应全过程，涵盖风险监测、预警发布、应急处置三类业务应用。通过空天地一体化的监测网络实现对致灾因子和隐患点的全方位实时监测，包含灾害链和多灾种的监测，实现灾害风险点的快速空间定位，进行风险评估并展开灾害趋势预测；在风险评估结果的基础上，开展灾害态势分析，会商研判，确定警报阈值，将预警信息报送至相关部门，充分利用各类发布渠道，实现预警信息精准全面发布，并实施相应的风险防控方案；管理人员依据预警信息等级快速启动应急响应，实现分级响应，快速调度应急资源，充分实现各部门应急联动，及时防范化解重大灾害风险。

(6)标准规范和运行保障。建立统一的技术标准和业务规范，有效利用各类数据资源，统一数据格式和操作规范，规范预警流程，建立规范化的业务运行保障制度和合作机制。构建自然灾害监测预警运行保障体系，实现灾害监测预警综合业务应用体系的安全防护和运维管理，指导自然灾害综合监测预警体系高效运转。

## 3 系统建设面临挑战

自然灾害综合监测预警系统建设是提高自然灾害防治能力的重要举措，面对复杂的灾害形势，我国目前的灾害综合监测预警工作正处在发展阶段，还面临着很多挑战。

(1)灾害的复杂性。由于灾害的复杂性，灾害群和灾害链群发效应愈发明显，多灾种的风险研究也是重中之重，目前对多灾种和灾害链的研究基础还较为薄弱，需要对成灾机理以及多灾种之间的耦合关系开展深入研究。

(2)数据统一汇聚和管理。近年来，随着卫星遥感、红外感应、视频监测、传感器等监测感知手段的多元化，数据格式和数据接口存在多样性，将多部门数据统一汇聚具有一定挑战性。因此需要多部门各行业共同参与，制定行业标准，统一数据规范格式以及数据接口，便于数据能够及时传输处理。同时还应打破各行业之间的壁垒，加强跨行业交流，实现不同行业之间数据互联互通。与此同时，庞大的数据量也对数据的安全保障提出了挑战。

(3)预警的时效性。由于某些灾害的突发性、难预测的特点，预警的时效性同样面临挑战，需要做到快速准确评估风险并第一时间发送到人。预警的时效性需要监测设备、传输网络、通信链路、系统软件、管理部门积极配合。完善应急通信网，建设应急通信专网，确保通信链路畅通，明确任务范畴，积极运用各类传播手段，扩展发布渠道，扩大预警信息覆盖面，建立统一预警标准，保障在短时间内将预警信息及时准确传播。

## 4 结语

目前，自然灾害的突发性、异常性和复杂性有所增加，我国面临的自然灾害形势仍然复杂严峻。强化灾害风险防范、完善信息共享机制、提高科技支撑水平，综合运用各类资源和多种手段，推动自然灾害综合监测预警系统建设，有助于全面提升我国综合防灾减灾水平。自然灾害综合监测预警系统的建立是对自然灾害监测预警信息化工程建设的探索和实践，通过分层架构设计，为解决多部门协作、数据共享、多灾种综合监测等难题提供基础支撑，将信息化手段与风险监测、预警发布、应急处置三个阶段相结合实现有效预防灾害风险，补齐全过程灾前预防体系建设短板，提高防范化解重大灾害风险的能力，有效降低救灾成本，推动综合防灾减灾工程的建设。本文在当前“大安全”“大应急”的背景下结合自然灾害防治新体系展开综合监测预警系统架构研究，结合灾害发生伴随着空间上聚集、时间上伴随的特点，同时灾害预防贯穿风险识别、预警、应急响应等环节，因此联合多部门、多行业积极协同参与必不可少。系统旨在面向应急管理人员、决策者、管理者等用户层面，将现代信息技术和监测预警业务有机结合，做好风险识别、风险评价以及风险治理等工作，完善预警信息传播和应急响应机制，减少潜在危险和灾害损失。自然灾害综合监测预警系统建设是一项将技术、业务与管理深度融合的工程，目前处于刚起步的阶段，还面临着很多难点，还需要开展更深入研究，将灾害风险科学、监测预警技术和应急管理实践相结合，全面提升综合防灾减灾工程建设的效率和科学性。

## 参考文献：


[1] AGUIRRE - AYERBE I, MERINO M, AYE S L, et al. An evaluation of availability and adequacy of Multi - Hazard Early Warning Systems in Asian countries: A baseline study[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2020: 101749.

[2] HAIGH R, SAKYA A E, COMFORT L, et al. Reviewing global development of multi - hazard early warning system with the perspective of its development in Indonesia[C]//MATEC Web of Conferences, 2018, 229: 02020.

[3] United Nations Offices for Disaster Risk Reduction. 联合国减少灾害风险术语[EB/OL]. [2021 - 10 - 25]. https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDR Terminology Chinese.pdf, 2009.

[4] UNISDR. Hyogo framework for action 2001 - 2015: building the resilience of nations and communities to disasters[C]//Hyogo: the 2nd world conference on disaster reduction, 2005.

[5] UNISDR. Sendai framework for disaster risk reduction in 2015 - 2030[C]// Sendai: the 3rd world conference on disaster reduction, 2015.

[6] 史培军. 仙台框架：未来15年世界减灾指导性文件[J]. 中国减灾, 2015(7): 30 - 33.

[7] United Nations Offices for Disaster Risk Reduction. 联合国减少灾害风险术语[EB/OL]. [2021 - 10 - 25]. https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportchinese.pdf, 2016.

[8] 杨月巧, 袁志祥, 孔锋, 等. 中国综合减灾发展趋势研究[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 139 - 144.

[9] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央 国务院关于推进防灾减灾救灾体制机制改革的意见[EB/OL]. [2021 - 10 - 25]. http://www.gov.cn/zhengce/2017 - 01/10/content_5158595.htm.

[10] 孔锋, 韩淑云, 王一飞. 透视我国城市综合灾害防御能力建设及其提升方略[J]. 灾害学, 2022, 37(1): 30 - 34.

[11] 葛懿夫, 翟国方, 何仲禹, 等. 韧性视角下的综合防灾减灾规划研究[J]. 灾害学, 2022, 37(1): 229 - 234.

[12] 黄明. 以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导 全面提升自然灾害综合防治能力[J]. 时事报告(党委中心组学习), 2018(4): 86 - 101.

[13] United Nations Offices for Disaster Risk Reduction. Global Survey of Early Warning Systems[EB/OL]. [2021 - 10 - 25]. https://www.undrr.org/publication/global - survey - early - warning - systems, 2006.

[14] International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. World Disasters Report[EB/OL]. [2021 - 10 - 25]. https://www.ifrc.org/Global/WDR2009 - full.pdf, 2009.

[15] United Nations Environment Programme. Early Warning Systems - A State of the Art Analysis and Future Directions[EB/OL]. [2021 - 10 - 25]. https://gsdrc.org/document - library/early - warning - systems - a - state - of - the - art - analysis - and - future - directions/, 2012.

[16] KEENEY H J, BUAN S, DIAMOND L. Multi - Hazard Early Warning System of the United States National Weather Service[M]//In M. Golnaraghi (Ed.), Institutional Partnerships in Multi - Hazard Early Warning Systems: A Compilation of Seven National Good Practices and Guiding Principles. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012: 115 - 157.

[17] BORRETTI C, DEGRACE J N, COVA P. The French Vigilance System. Contributing to the Reduction of Disaster Risks in France[M]//In M. Golnaraghi (Ed.), Institutional Partnerships in Multi - Hazard Early Warning Systems: A Compilation of Seven National Good Practices and Guiding Principles. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012: 63 - 93.

[18] HASEGAWA N, HARADA S, TANAKA S, et al. Multi－Hazard Early Warning System in Japan[M]//In M. Golnaraghi (Ed.), Institutional Partnerships in Multi－Hazard Early Warning Systems: A Compilation of Seven National Good Practices and Guiding Principles. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012: 181－215.
[19] 德国的应急管理机制简介[EB/OL]. [2021－10－25]. http://www.gov.cn/yjgl/2005－11/07/content_92889.htm.
[20] 文越. 国外灾害监测预警预报经验及启示[J]. 中国减灾, 2018(15): 22－25.
[21] 谢迎军, 马晓明, 刁倩. 国内外应急管理发展综述[J]. 电信科学, 2010, 26(S3): 28－32.
[22] European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations. Early Warning and Information Systems[EB/OL]. [2021－10－25]. https://ec.europa.eu/echo/what/civil－protection/early－warning－information－systems_en.
[23] 国家发改委地方经济司. 印度尼西亚、日本、德国的灾害管理[J]. 城乡建设, 2008(7): 69－71.
[24] U. S. Geological Survey, 邹立晔, 梁姗姗, 等. 美国国家现代地震监测系统(ANSS)——现状、发展机遇和战略规划(2017－2027)[J]. 世界地震译丛, 2018, 49(5): 397－423.
[25] 赵阿兴. 德国洪水灾害救援与反思[N]. 中国银行保险报, 2021－08－26(002).
[26] 董杰, 田士政, 武文, 等. 全球海啸预警系统发展及其对我国的启示[J]. 海洋通报, 2019, 38(4): 368－378.
[27] 闫恩辉, 龙海云. 日本地震灾害评估信息系统概述[J]. 地震科学进展, 2020, 50(4): 28－33.
[28] 陈其针, 仲平, 张贤, 等. 构建中国自然灾害防灾减灾新体系[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(4): 1－4.
[29] 王军, 李梦雅, 吴绍洪. 多灾种综合风险评估与防范的理论认知: 风险防范"五维"范式[J]. 地球科学进展, 2021, 36(6): 553－563.
[30] 廖永丰, 赵飞. 强化我国自然灾害风险管理技术途径的思考[J]. 中国防汛抗旱, 2018, 28(11): 33－36.
[31] 张磊, 周洪建. 防灾减灾救灾体制机制改革的政策分析[J]. 风险灾害危机研究, 2019(1): 36－51.
[32] 汪明. 第一次全国自然灾害综合风险普查总体技术体系解读[J]. 城市与减灾, 2021(2): 2－4.
[33] MARCHEZINI V. "What is a Sociologist Doing Here?" An Unconventional People－Centered Approach to Improve Warning Implementation in the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2020, 11(2), 218－229.
[34] LUTHER J, HAINSWORTH A, TANG X, et al. World Meteorological Organization (WMO)—Concerted International Efforts for Advancing Multi－hazard Early Warning Systems[C]//In Advancing Culture of Living with Landslides, 2017: 129－141.
[35] 郭君, 孔锋, 王品, 等. 区域综合防灾减灾救灾的前沿与展望——基于2018年三次减灾大会的综述与思考[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 152－156, 193.
[36] SENG D C. Improving the governance context and framework conditions of natural hazard early warning systems[J]. Journal of Integrated Disaster Risk Management, 2012, 2(1): 1－25.
[37] BASHER R. Global early warning systems for natural hazards: systematic and people－centred[J]. Philos Trans A Math Phys Eng Sci, 2006, 364(1845): 2167－2182.
[38] GARCIA C, FEARNLEY C J. Evaluating critical links in early warning systems for natural hazards[J]. Environmental Hazards, 2012, 11(2): 123－137.
[39] Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. Implementing Hazard Early Warning Systems[EB/OL]. [2021－10－25]. https://www.researchgate.net/publication/265241912_Implementing_Hazard_Early_Warning_Systems_2011, 2011.
[40] HEMACHANDRA K, HAIGH R, AMARATUNGA D. Enablers for Effective Multi－hazard Early Warning System: A Literature Review[C]//Proceedings of the 10th International Conference on Structural Engineering and Construction Management 2019. 2019: 399－416.
[41] DIDIER D, BERNATCHEZ P, DUMONT D. Systèmes d'alerte précoce pour les aléas naturels et environnementaux: virage ou mirage technologique?[J]. Revue des sciences de l'eau, 2018, 30(2): 115－146.
[42] KINKINI H, RICHARD H, DILANTHI A. Regional cooperation towards effective multi－Hazard early warnings in Asia[J]. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. 2019, 9(1): 287－292.

# Research on the Construction of Comprehensive Monitoring and Early Warning System for Natural Disasters

WANG Wen[1], ZHANG Zhi[2], ZHANG Yan[1], WANG Tao[2] and XU Wenhao[2]

(1. *School of soil and water conservation*, *Beijing Forestry University*, *Beijing* 100083, *China*;
2. *Ministry of Emergency Management Big Data Center*, *Beijing* 100013, *China*)

**Abstract**: Building a natural disaster monitoring and early warning system is an important means to prevent disaster risks. Based on the comprehensive investigation of the construction progress of natural disaster monitoring and early warning systems at home and abroad, the key elements of system construction are analyzed in view of the construction status and international development trend of natural disaster monitoring and early warning information engineering in China. Specifically, six essential elements are proposed: people－oriented idea and practice, coordination mechanism, monitoring and early warning technology, information dissemination and communication strategy, risk awareness, and response capacity. Further, in consideration of the requirement of promoting the five major business capacities of risk analysis, comprehensive decision－making, early warning information release, command and dispatch, and emergency response, the construction mode of deep integration of information technology and emergency management business is proposed. More specifically, hierarchical architecture design of perception network, infrastructure, data service, business support and comprehensive application is adopted, which runs through the whole process of pre－disaster risk monitoring, early warning and emergency response. Finally, the multi－level natural disaster monitoring and early warning system with full coverage of major risks will be established to improve capabilities of risk early identification, multi－disaster comprehensive monitoring, early warning and forecast, and emergency response, which can effectively prevent and defuse disaster risks in China.

**Key words**: natural disasters; comprehensive monitoring and early warning; business capability; system architecture