

王慕华. 基于 WSR 和霍尔三维结构的气象防灾减灾监控管理研究[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 103–107. [WANG Muhua. Research on Meteorological Disaster Prevention and Mitigation Monitoring and Management Based on WSR and Hall 3D Model [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 103–107. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.020]

# 基于 WSR 和霍尔三维结构的气象防灾减灾 监控管理研究<sup>\*</sup>

王慕华

(中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

**摘要:** 从系统科学出发, 应用软硬相结合的系统工程方法研究气象防灾减灾监控管理领域。鉴于气象防灾减灾系统兼有自然属性、社会属性和人文属性的特点, 构建宏观层面基于 WSR 方法、微观层面基于霍尔三维结构模型的气象防灾减灾监控管理研究框架。研究气象防灾减灾监控管理领域的物理–事理–人理内涵, 分析由理解领导意图、制定目标、调研分析和实现方案 4 个步骤组成的工作流程。研究气象防灾减灾监控管理三维结构模型, 时间维包括灾前、灾中和灾后; 逻辑维分析灾害发生不同阶段, 决策层关注的问题, 实施监控管理的评价指标及方法, 以及科学有效的实施方案等; 知识维涵盖气象防灾减灾的法制、标准、规范, 以及为实现监控管理所需的大数据、人工智能和计算机技术的支持等。通过实际案例证明该研究为气象防灾减灾监控管理领域提供一个标准、完整的系统工程方法论体系。

**关键词:** 气象防灾减灾; 监控管理; 系统工程方法论; WSR 霍尔三维结构模型

**中图分类号:** X43; X915.5; P649; P429    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000-811X(2020)04-0103-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.020

气象防灾减灾是一项复杂的社会行为, 涉及到气象灾害监测预报预警、气象灾害预警信息发布和综合气象灾害风险防范等多个方面, 覆盖了从气象灾害的监测到灾害性天气的预报预警, 以及面向生产生活的气象决策支持建议和服务等环节<sup>[1-3]</sup>。全面衡量气象防灾减灾工作的质量, 需要用系统化的思维从复杂的物、事、人多方面进行全方位的思考分析, 因此系统工程方法为气象防灾减灾监控管理的研究提供了方法论指导。

系统工程方法是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法<sup>[4]</sup>。早在 1960 年, 霍尔提出了系统工程的三维结构, 用于解决结构化较好, 自然科学领域的工程项目, 属于一种硬系统方法论<sup>[5]</sup>; 而在 1980 年后, 由顾基发<sup>[6]</sup>等人, 提出了由“物理–事理–人理”组成的 WSR 模型, 弥补硬系统方法论未考虑社会因素、主观性强、非结构性问题的缺点, 将领导的决策等人文因素纳入系统工程中予以综合考虑, 是一种软系统工程方法<sup>[7]</sup>。

本文首先分析了气象防灾减灾软硬系统工程兼有的特点, 提出利用 WSR 的软系统工程法, 宏观分析气象防灾减灾监控管理物理–事理–人理

的内涵, 分析由理解领导意图、制定目标、调研分析和实现方案 4 个步骤组成的工作流程。利用霍尔三维结构模型微观分析气象防灾减灾过程, 时间维包括灾前、灾中和灾后; 逻辑维分析灾害发生不同阶段, 决策层关注的问题, 实施监控管理的评价指标及方法, 以及科学有效的实施方案等; 知识维涵盖气象防灾减灾的法制、标准、规范, 以及为实现监控管理所需的大数据、人工智能和计算机技术的支持等。最后以全国基层气象防灾减灾监控管理平台项目的建设为应用实例, 分析了系统工程方法论在气象防灾减灾领域的适用性和可行性。

## 1 气象防灾减灾系统分析

气象防灾减灾是以气象防灾减灾知识为基础, 应用气象防灾减灾服务的技术方法, 有效避免气象灾害可能给用户带来的危害和损失, 从而提高生产运行效益的途径、手段和过程<sup>[8]</sup>。从全局看, 气象防灾减灾是一项由“党委领导, 政府主导, 部

\* 收稿日期: 2020-05-06    修回日期: 2020-06-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFF0300105; 2018YFC1507805)

作者简介: 王慕华(1982-), 女, 山东蓬莱人, 高级工程师, 从事 GIS 及遥感技术在公共气象服务领域内的应用, 防灾减灾服务技术研究。E-mail: wangmuhua@cma.gov.cn

门联动，社会参与”的组织活动，从部门局部看，它又是覆盖了国家、省、市、县四级气象部门的全流程业务体系。

因此，气象防灾减灾工作是一项复杂系统工程，既具有自然属性，又具有社会属性和人文属性。从宏观层面看，气象属于自然科学领域，研究气象灾害的成因、机理及其发生、发展的衍变过程，而气象防灾减灾涉及到由气象灾害引起的社会影响及应对措施，涵盖了气象灾害高影响行业及部门，以及公众等利益攸关方，具有物理、事理和人理的三重特点。从微观层面看，气象防灾减灾一般经历灾前、灾中和灾后三个阶段，每个阶段都需采取相应的行为措施、考核管理办法来衡量基层气象防灾减灾的综合成效，而整个过程做到科学、标准、规范，需要由专业知识进行保障，具有时间、逻辑、知识的三维特征。因此基于 WSR 系统方法论从宏观上分析气象防灾减灾过程中物、事、人的复杂关系；利用霍尔三维结构模型从微观层面建立覆盖灾前、灾中和灾后全流程的气象防灾减灾监控管理模型，从而形成由软硬相结合的系统方法论所支持的气象防灾减灾监控管理的系统科学思想体系。

## 2 基于 WSR 与霍尔三维结构模型的气象防灾减灾监控管理研究框架

鉴于气象防灾减灾系统软硬兼有的特点，构建了宏观层面基于 WSR 方法、微观层面基于霍尔三维结构模型的气象防灾减灾监控管理研究框架（图 1）。

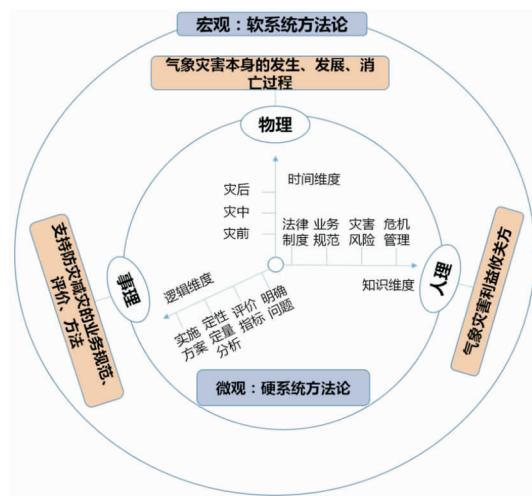


图 1 WSR 与霍尔三维结构模型相结合的气象防灾减灾监控管理研究框架

WSR 模型是用来处理有社会因素、主观性强的非结构问题，是一种软系统方法论<sup>[9]</sup>。WSR 模型由物理、事理和人理三部分组成。“物理”强调事物的基本运动规律、机理，“事理”指运用系统工程、管理科学、运筹学等科学知识做好事情的道

理，“人理”即考虑人的因素、运用人文社科知识做好事情的道理。对于气象防灾减灾领域，“物理”即为气象灾害本身的发生、发展、消亡的过程，以及伴随过程的监测预报预警服务；“事理”即为支持气象防灾减灾服务过程的业务规范，考核指标等管理方面的内容；“人理”即在全流程中处理好与气象灾害攸关的政府、部门、公众、媒体间的关系，以及气象部门内部自上而下的垂直管理关系。

微观层面，从具体的气象防灾减灾活动出发，分析在灾害发展的不同阶段，决策管理部门用定性和定量分析指标，衡量防灾减灾活动实施主体的服务动作是否到位，从而实现全流程的监控管理。根据霍尔三维结构模型的定义，将系统工程整个活动过程分为前后紧密衔接的七个阶段和七个步骤，同时还考虑了为完成这些阶段和步骤所需要的各种专业知识和技能，形成了由时间维、逻辑维和知识维所组成的三维空间结构<sup>[10-11]</sup>。在气象防灾减灾监控管理领域，时间维包括了灾害发生前，灾害发生中，以及灾害发生后三个阶段；而逻辑维分析了灾害发生不同阶段，决策层关注的问题和要达到的目标，针对关注的问题和目标实施监控管理的评价指标，用于定性或定量计算各项评价指标的方法，以及科学有效的实施方案等，包括明确问题和目标、评价指标、定性或定量分析、实施方案 4 个步骤；知识维涵盖气象防灾减灾的法制、标准、规范，例如《中华人民共和国气象法》《气象灾害防御条例》，气象灾害预警发布业务规范，灾害风险、危机管理等专业知识，以及为实现监控管理所需的大数据、人工智能和计算机等技术。

## 3 基于系统工程方法论的气象防灾减灾监控管理内涵

### 3.1 基于 WSR 的气象防灾减灾监控管理分析

宏观层面，将 WSR 模型应用到气象防灾减灾监控管理领域，明确了气象防灾减灾过程的物理、事理和人理特性后，对气象防灾减灾监控管理工作流程进行分解，可归纳为以下 5 个步骤（如图 2 所示）。

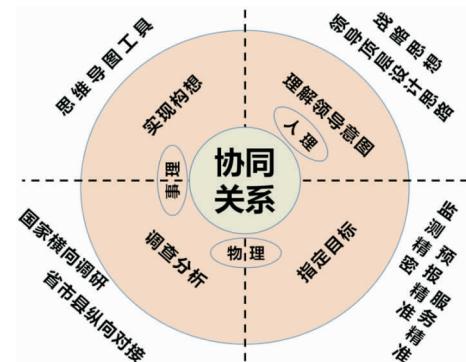


图 2 基于 WSR 的气象防灾减灾监控管理工作流程

(1) 理解领导意图，在项目设计阶段及建设过程中多次与决策层进行沟通，以便对项目预期达成共识。设计之初，领导能够在顶层设计过程中提供较好的战略思想，将领导的思想融入项目建设中，避免偏离领导意图造成项目返工。在气象防灾减灾监控管理项目实施过程中，通过与领导沟通交流，了解到预警信息发布的监控管理在整个过程中是至关重要的，因此，在设计过程中，尤其凸显了预警发布环节的重要性。

(2) 制定目标，气象防灾减灾过程是一个复杂的系统工程，包含监测、预报预警和服务的全流程，是气象部门发挥国家防灾减灾救灾第一道防线作用的具体体现，需要满足监测精密，预报精准，服务精细的总体目标。

(3) 调查分析，气象防灾减灾服务涉及到国、省、市、县四级业务体系。在项目之初，项目组一方面深入国家级气象业务部门调研，了解中国气象局应急办公室应急响应预案、国家气象中心决策服务和国家气候中心灾害风险普查的业务现状，同时赴基层开展调研工作，了解不同省份在履行气象防灾减灾工作职责时的具体举措，分析基层工作的共性，提炼围绕基层防灾减灾“六个一”<sup>[12]</sup> 标准化建设进行监控管理的思路。

(4) 实现构想，头脑风暴法是实现构想的一种分析方法，借助思维导图工具<sup>[13]</sup> 将软性的思想方法和思路具化为硬性的系统功能。在实践应用中，文章利用 MindMap 工具，从宏观到微观，从功能到模块建立气象防灾减灾监控管理思路模型。

(5) 协同关系，气象防灾减灾过程的利益攸关方是一个复杂的网络关系。从部门外来看，气象防灾减灾是由党委领导，政府主导，部门联动，社会参与的多方关系组成。按照《气象灾害防御条例》要求，各级气象主管机构应该向有关灾害防御、救助部门，提供雨情、水情、风情、旱情等监测信息，并向本级人民政府和有关部门报告灾害性天气预报、警报情况和气象灾害预警信息，形成了一个内外间网络关系图。从气象部门内部看，一方面国、省、市、县四级的纵向关系组成气象防灾减灾的垂直业务。另一方面，在每一级属地管理中，又涉及到监测、预报、预警、服务等多个横向业务部门，构成了横纵相结合的关系网(图3)。

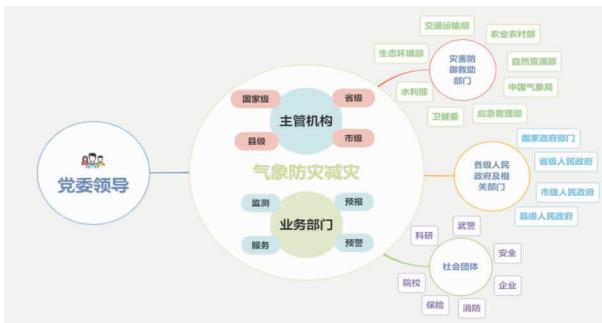


图3 气象防灾减灾内外部关系网络图

### 3.2 气象防灾减灾监控管理三维结构分析

根据灾害风险的定义，以及灾害发生、发展的衍变特点，气象防灾减灾监控管理从时间维上可分为灾前、灾中和灾后三个阶段。灾前强调防范风险，气象部门的职责是加强气象灾害的监测和预警信息的发布；灾中即灾害事件发生时，按照属地管理原则，责任主体应采取相应的减灾服务和应急救援保障措施，辅助灾害影响部门和公众及时规避风险，减轻灾害损失；灾后关注善后保障、总结分析以及防灾减灾科普宣传等工作。因此分别对灾前、灾中、灾后三个阶段，从明确问题和目标、评价指标、定性和定量分析以及实施方案4个方面进行时间-逻辑交叉分析(图4)。

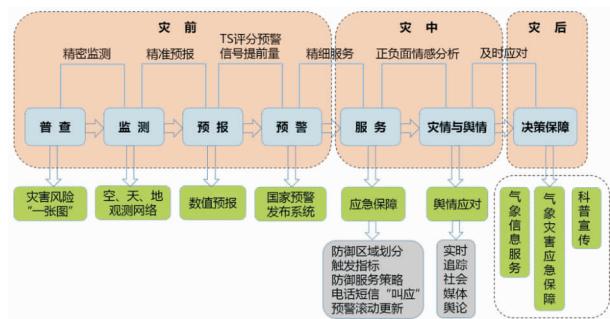


图4 气象防灾减灾监控管理时间-逻辑交叉分析图

(1) 灾前阶段：责任主体要实现风险管理支持、监测预报先导和预警发布中枢的总体目标。通过风险评估工作，普查灾害风险隐患点，分区绘制多灾种灾害风险一张图。充分利用空 - 天 - 地立体观测网络的优势，精密监测气象灾害。利用数值预报模式提前预报灾害性天气，通过 TS 评分等常规的气象预报检验方法，评价预报的精准性。通过国家突发事件预警信息发布系统<sup>[14]</sup> 及时发布气象灾害预警信息，利用预警信息发布及时性、覆盖面<sup>[15]</sup> 和准确率等评价指标考核预警信息发布和传播的效果。依据气象灾害风险业务规范、气象预报准确性检验规范、气象灾害预警信息发布标准、气象灾害预警信息质量检验等业务规范，支持风险评估、监测预报和预警信息发布等业务环节监控管理的实施。

(2) 灾中阶段：责任主体需要提供精细化的应急保障服务，分别从服务的精细化程度、预警信息发布的滚动更新以及舆情应对三个方面进行监控管理。防灾减灾责任主体按照本地区灾害发生的特点、灾害的影响，制定气象灾害分级防御服务规范，内容包括气象灾害分级防御区域划分、触发指标、防御服务策略和建议等。针对影响大、易导致群死群伤的灾害性天气，开展电话、短信“叫应”服务，并根据天气系统的发生、发展过程，提供跟踪滚动服务。各地根据地方特色，制定应急气象服务保障预案等。同时针对气象灾害和突发事件，实时追踪社会媒体的舆论，包括正面和负面情感分析，从而检验气象监测是否精细、预

报是否精准、服务是否精细。

(3) 灾后阶段：责任主体应为恢复重建及善后总结工作提供气象信息服务，并及时修正气象灾害应急预案，为下次灾害到来时做好准备。同时，加强对公众的气象防灾减灾科普宣传教育，提高应对突发灾害时的自救互救技巧。根据防灾减灾全流程环节的服务留痕，分析薄弱环节，提高应对能力。

通过对时间-知识维的交叉分析得到，灾前、灾中、灾后开展气象防灾减灾服务所需的专业知识和技能。气象部门属于研究型业务单位，业务属性较突出，因此，为了规范监测、预报、预警、服务等环节，出台了多项法律制度和业务规范。从《中华人民共和国气象法》到《气象灾害防御条例》，从应对灾害风险的风险管理与防范到气象灾害预警信息的发布与传播办法，从气象观测规范到天气预报业务规范、决策气象服务业务规范等，涵盖了气象防灾减灾全链条、全流程的气象专业知识。同时，气象科学又具有科技性属性，属于自然科学领域范畴，兼有信息科学的特性，因此计算机技术、大数据技术、人工智能技术以及地理信息技术等，在气象灾害的监测网络、灾害风险的评估、灾害预报和预警信息发布等环节都提供了技术支持。

## 4 实例应用

全国基层气象防灾减灾监控管理平台项目的建设遵循了上述思想理论。在项目设计阶段，采用 WSR 模型的物理、事理方法论，系统分析了气象防灾减灾的自然属性、社会属性，利用人理方法论重点分析了人文属性，将领导关心的内容着重体现在平台的首页展示中(图 5)。首页体现了决策层关心的宏观监控内容，即围绕基层防灾减灾标准化建设提出的“六个一”总体要求，监控全国 31 个省、自治区“一本账”信息收集的详情。依托三维地理信息，绘制气象防灾减灾“一张图”的内容，包括遥感影像、地形地貌和气象灾害防御作战图，以及基于 GIS 的气象灾害风险演变态势。共享国家突发事件预警信息发布平台的预警发布信息，形成基层防灾减灾预警信息发布和传播“一张网”。通过气象信息员对预警信息的转发等行为，监控“一队伍”履行防灾减灾职责的情况。



图 5 基于 WSR 的全国基层气象防灾减灾监控管理平台首页设计

气象防灾减灾监控管理的三维结构通过五维泳道图的可视化方式进行展现(图 6)，横向自左向右为时间维，纵向自下向上为监测、预警、服务、灾情、舆情五轴。基于统一的时间维，一目了然的比较出在灾害发生前、中、后不同阶段，逻辑维中各项评价指标的定性和定量分析结果。预警轴与实况监测轴相对比，可分析预警发布的及时性，得到预警发布的提前量，以及国家、省、市、县四级预警发布机构针对灾害性天气的发布情况；服务轴与预警轴相对比，分析伴随灾害性天气的发生、发展，防灾减灾责任主体向政府、灾害影响部门进行服务的情况，如监控启动应急响应的时间、决策服务材料报送的时效性等；灾情舆情轴和服务轴相对比，体现了服务主体对社会媒体的关切何时采取了相应的反馈，反映了舆情应对的敏感性和时效性。通过实况、预警、服务、灾情、舆情总览灾前、灾中、灾后事件线，做到防灾减灾全流程留痕和监控管理。

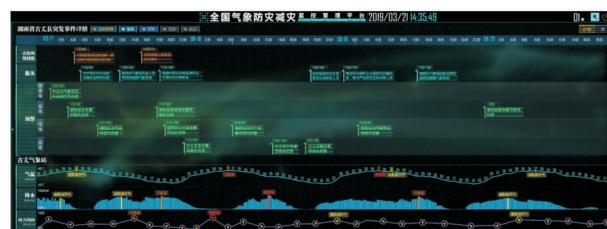


图 6 全国基层气象防灾减灾监控管理平台三维结构设计

## 5 结论与讨论

系统工程方法论是用来解决工程领域科学问题的思想体系，以气象防灾减灾监控管理为例，利用 WSR 与霍尔三维结构模型相结合的软硬系统方法论，构建气象防灾减灾监控管理的研究框架，提炼气象防灾减灾监控管理过程的核心内容和内涵，对于气象防灾减灾工作的实施具有指导意义。但还存在以下问题供讨论：

(1) 系统工程方法论是针对领域的共性而抽象出的思想方法，属于哲学思想范畴，本文只是基于气象防灾减灾监控管理一个领域，进行了可行性的研究，未从更宏观层面提出适应气象领域的更普适性方法和研究思路，也未形成气象领域系统化的思想体系。

(2) 本文将 WSR 和霍尔三维结构模型两种系统工程方法论应用到气象防灾减灾监控管理领域，属于应用创新，未做到方法本身的创新，还需要将两种方法在该领域进行更深度的融合。

## 参考文献：

- [1] 孔峰, 薛澜, 乔枫雪, 等. 新时代我国综合气象防灾减灾的综述与展望[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 67-72.

- [2] 中国气象局. 关于加强气象防灾减灾救灾工作的意见 [J]. 中国应急管理, 2018(1): 24–28.
- [3] 国务院. 气象灾害防御条例 [S]. 北京: 中国法制出版社, 2010.
- [4] 雷战波, 席西民. 系统工程方法论的四维结构体系 [J]. 系统工程理论方法应用, 2001, 10(2): 116–120.
- [5] 雷战波, 师泽远. 基于系统工程方法论的组织人力资源管理过程模型研究 [J]. 天津大学学报(社会科学版), 2017, 19(3): 193–197.
- [6] 于景元. 钱学森综合集成体系 [J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2006, 26(6): 40–47.
- [7] 顾基发. 物理事理人理系统方法论的实践 [J]. 管理学报, 2011, 8(3): 317–355.
- [8] 许晓峰. 气象防灾减灾 [D]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [9] 周汉卿. 基于 WSR 的电镀小微企业园区安全管理研究 [D]. 南京: 江苏大学, 2016.
- [10] 苏海红, 王松江. 基于霍尔三维结构的 BOT 项目研究 [J]. 项目管理技术, 2009, 7(5): 126–130.
- [11] 李金海, 徐敏. 基于霍尔三维结构的项目风险管理集成化研究 [J]. 项目管理技术, 2008, (8): 15–19.
- [12] 中国气象局. 基层气象灾害预警服务规范 [S]. 北京: 气象出版社, 2017.
- [13] 严浩, 闭应洲, 潘怀奇, 等. 基于思维导图的认知模型构建方法研究 [J]. 南宁师范大学学报(自然科学版), 2019, 36(4): 115–119.
- [14] 孙健. 打造权威国家预警发布系统 发出预警信息第一声音 [J]. 城市与减灾, 2017 (1): 1–6.
- [15] CAO Zhiyu, FENG Yuxing, LI Xiao. A study on the calculation method for the coverage rate of early warning release [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 233(5): 340–349.
- [16] 中国气象局. 基层气象灾害预警服务能力能力建设指南 [Z]. 北京: 气象出版社, 2017.

## Research on Meteorological Disaster Prevention and Mitigation Monitoring and Management Based on WSR and Hall 3D Model

WANG Muhua

(Public Meteorological Service Center of CMA, Beijing 100081, China)

**Abstract:** From the perspective of system science, we study the field of meteorological disaster prevention and mitigation monitoring and management by using the system engineering approach of combination of software and hardware. In view of the characteristics of meteorological disaster prevention and mitigation system, which has natural, social and human attributes, it constructed the research framework of meteorological disaster prevention and mitigation monitoring and management based on WSR method at macro level and Hall 3D model at micro level. It argued the Wuli-Shili-Renli system approach in the field of meteorological disaster prevention and mitigation monitoring and management, and analyzed the workflow composed of four steps, understanding the intention of leaders, making goals, investigation and analysis, and realizing plans. It studied the three-dimensional structure of meteorological disaster prevention and mitigation monitoring management, which were composed of temporal dimension, logic dimension and knowledge dimension. The temporal dimension included pre-disaster, disaster and post-disaster. It analyzed the problems of different disaster stages, the concerns of the decision-makers, the evaluation indicators and methods for the implementation of monitoring management, as well as the scientific and effective implementation plan in the logic dimension. The knowledge dimension covered the legal system, standards and specifications for meteorological disaster prevention and mitigation, as well as big data, artificial intelligence and computer technology etc. It is proved that this study provided a standard and complete system engineering methodology system for the field of meteorological disaster prevention and mitigation monitoring and management.

**Key words:** meteorological disaster prevention and mitigation; monitoring and management; system engineering approach; WSR; Hall 3D Model