

大型水电站地震灾害区域协同应急体系的构建

于 超^{1*}, 李丽华¹, 李 浩², 朱成子¹, 张 磊¹

¹江西省地质局第二地质大队, 江西 九江

²山东建勘集团有限公司, 山东 济南

收稿日期: 2025年10月17日; 录用日期: 2025年11月11日; 发布日期: 2025年11月19日

摘 要

山区水电站蓬勃发展的同时遭受自然灾害特别是地震灾害的威胁也在增多, 对水电站主体建筑、道路等附属设施、厂区工作人员和正常运行等造成很大危害。为解决水电站地震灾害应急救援过程中统一指挥难、资源调配难、信息共享难等问题, 本文从地震灾害对水电站的危害入手, 基于应急协同的理论知识构建水电站地震灾害区域协同应急体系框架。结果表明: (1) 地震灾害主要危害水电站的结构、设备、坝体、地基、涵洞等设施, 造成结构破坏、坝体裂缝等进而影响水电站的正常运行; (2) 地震灾害下水电站应急协同任务包含组织协同、目标协同、信息协同、物资协同等; (3) 从多地区、多部门、多领域、多层次、多力量的五个方面构建了区域协同应急体系; 此成果丰富了水电站地震灾害应急救援管理的理论研究、提高了水电站防震减灾能力, 促进了震区水电站的可持续发展。

关键词

地震灾害, 区域协同, 应急体系, 水电站

Construction of Regional Collaborative Emergency Response System for Seismic Disasters in Hydropower Stations

Chao Yu^{1*}, Lihua Li¹, Hao Li², Chengzi Zhu¹, Lei Zhang¹

¹The Second Geological Brigade of Jiangxi Provincial Geological Bureau, Jiujiang Jiangxi

²Shandong Construction Reconnaissance Group Co., Ltd., Jinan Shandong

Received: October 17, 2025; accepted: November 11, 2025; published: November 19, 2025

*通讯作者。

文章引用: 于超, 李丽华, 李浩, 朱成子, 张磊. 大型水电站地震灾害区域协同应急体系的构建[J]. 自然科学, 2025, 13(6): 1314-1322. DOI: 10.12677/ojns.2025.136137

Abstract

With the vigorous development of hydropower stations, the threat of geological disasters, especially seismic disasters, is increasing. It has caused great harm to the main buildings, auxiliary facilities such as roads, staff and communication networks in hydropower stations. To address the challenges of unified command, resource allocation, and information sharing in emergency rescue operations for hydropower stations during seismic disasters, the paper begins by examining the hazards of seismic disasters to hydropower stations and, based on theoretical knowledge of emergency coordination, constructs a framework for a regional collaborative emergency response system for seismic disasters in hydropower stations. The results show that (1) Seismic disasters primarily damage the structure, equipment, dam body, foundation, culverts and other facilities of hydropower stations, causing structural damage, dam cracks and other issues that affect the normal operation of hydropower stations. (2) The tasks of emergency collaboration for hydropower stations under seismic disasters include organizational coordination, objective coordination, information coordination, and material coordination. (3) A regional collaborative emergency response system is proposed, emphasizing multi-regional, multi-departmental, multi-domain, multi-level, and multi-force coordination. This achievement enriches the theoretical research on emergency rescue management for seismic disasters in hydropower stations, enhances the seismic resistance and disaster reduction capabilities of hydropower stations, and promotes the sustainable development of hydropower stations in earthquake-prone areas.

Keywords

Seismic Disasters, Regional Collaboration, Emergency Response System, Hydropower Stations

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国地质构造复杂,受太平洋板块、印度板块和菲律宾板块挤压,已成为地震多发国家之一,全球约 35%的 7 级以上地震发生在我国[1][2]。地震的频发不仅破坏人民的生命安全和损毁建筑物和构筑物等基础设施,同时给水利水电工程也产生巨大的危害[3][4]。我国丰富的水系和多样的地形资源给水电站的建设提供了良好的基础,截至 2020 年,我国共有水电站 8626 座,其中约 70%水电站集中在西部山区,山区水电站快速发展的同时也面临着一个重大的安全隐患——地震灾害。地震灾害主要指由地震所造成的直接和间接的破坏和影响,包括但不限于生命安全、建筑物和构筑物损毁、基础设施破坏、滑坡、泥石流、地面塌陷等。据不完全统计,2008 年汶川地震造成水库(水电站)出现险情的超过 2473 座,其中包含坝体破裂、溃决和洪水灾害[3]。2013 年芦山地震让震区 262 座水库产生不同程度的震损[4]。地震中虽然水电工程达到了设计标准,但部分水电站工程受到了不同的损坏,震中区域交通、电力、网络等基础设施也受到严重破坏,导致部门之间、地区之间不能信息沟通和资源共享,各部门救援缺乏协调联动等问题导致应急救援不能取得良好效果[5]-[7]。可见水电站区域地震灾害的应急救援协同能力还没有跟上应急协同救援的步伐,存在一定的不足。我们需要把“地震灾害区域协同应急体系”理论纳入到水利水电设施的应急救援管理中,以达到水电站区域发生地震灾害时能够提高应急救援的效率,维持水电站的可持续发展。

在地震灾害协同救援方面的研究比较晚,以“应急救援”,“协同应急救援”,“区域协同应急”等

关键词在中国知网进行搜索发现,国内外学者在地震灾害的应急救援方面都有一定研究。国外方面,2012年 Mattox 提出地震灾害救援协调不是政府单方面的事情,而是社会多方面共同合作的共同事情,只有多方救援主体之间的协同,才能提高救援效率[8]。Anelli 统计了 50 多个地震灾害救援协调部门的成果后建立了可量化的考核评价体系[9]。Flaherty 提出面对地震灾害无法有效预测的特点,在灾害救援协调机制方面,必须明确各级政府、救援各方的工作职责才能更为有序而充分发挥救援效率[10]。Rong 建立应急救援工作与救援组织之间的协同熵函数,以庐山地震为例,对地震应急救援协调效率进行了评价[11]。国内方面,2008 年之前发文量仅 1 篇,2004 年,国家地震局编制了《地震应急》一书,阐述了地震应急救援的相关知识。仅仅停留在单部门救援还未出现多部门的协作协同。2008 年汶川地震后,中国科学院和国家政府从政策与管理方面做了很多基础性工作[12]。经历“5.12”汶川大地震、“4.14”玉树地震、“4.20”芦山地震,“6.17”长宁地震的救援工作后,国家在地震区应急救援方面有了一定的成果。李子义和刘丽君从灾害主体角度出发,强调了政府与非政府组织(NGO)之间相互协调的重要性,并提出了相关促进策略[13]。黄建洪就目前应急协调工作中的缺点,提议国家层面建立应急协调委员会,进一步进行资源、制度的优化改革[14]。李征通过八项协同措施提高福建省地震灾害救援应急管理水平[15]。总的来看,当前针对地震灾害救援协调机制相关研究相对较少,针对于震区水电站区域的应急救援相对更少。

综上不难看出,一方面水利水电事业的蓬勃发展,另一方面地震灾害对水电站区域的危害也不可忽视,势必要求我们对水电站区域地震灾害的应急救援工作采取有效的措施并且构建水电站区域应急协同体系。本文针对水电站区域的应急救援方面关注较少、应急协同开展不深入和协同体系不完善等问题而开展水电站地震灾害区域协同应急体系构建研究,旨在丰富水电站地震灾害应急救援管理的理论研究、提高水电站防震减灾能力,为跨区域地震应急准备规划、应急预案管理和应急培训演练等一系列应急管理工作提供支撑和指导。

2. 地震灾害对水电站危害特征

2.1. 地震灾害

地震是地球地壳发生破裂和释放能量的一种地质现象,具有突发性强、破坏性大、防御性难、区域集中和影响大等特点,其导致人员伤亡多,已成为世界上严重灾害之一[16][17]。近年来,中国地震灾害的发生次数有所增加,1900~1999 年期间 6~6.9 级地震 460 余次,7~7.9 级地震 99 次,8 级以上地震 9 次[18]。2000 年之后仍然呈多频趋势,如汶川地震,玉树地震,芦山地震等。地震灾害是指地震引发的破坏和影响,包括但不限于人员伤亡、房屋倒塌、基础设施损毁、土地滑坡、火灾、洪水等。地震灾害的规模和影响程度取决于地震的震级、震源深度、震中距离以及周围环境的脆弱性。不完全统计,全球 2021 年地震灾害至少造成 2800 人死亡(含失踪),16,181 人受伤,可见地震灾害的危害之大[19]。

2.2. 地震对水电站的破坏特征

Table 1. Destruction characteristics of earthquakes on hydropower stations

表 1. 地震对水电站的破坏特征

破坏特征	描述	产生部位	影响
结构破坏	1、造成水电站主体结构的冲击和破坏; 2、建筑物的墙体开裂、倾斜、坍塌等	挡水建筑物	影响水电站的正常运行和安全性
设备破坏	1、水电设施受到冲击和振动会导致设备的损坏或失效; 2、基础设施,如发电机组、输电线路、通讯设备、道路交通等损坏。	水轮机、发电机、 输电线、通讯设 施、交通道路等	影响水电站的运行和电力供应 影响水电站的电力输送和供电系统的 稳定性

续表

坝体破坏	坝体的滑动、开裂或破坏导致泄漏和溃坝	坝体	导致水电站失去调节水流和蓄水能力，影响发电系统和水资源管理
地基沉降	地基的沉降和滑动，进而影响水电站的稳定性和地基支撑能力	坝体、设备、结构主体	导致水电站的变形和位移，破坏机组设备和水轮发电机组的运行平衡。
涵洞和隧道损坏	受到震动力和地表位移的影响，	引水涵道	导致坍塌、裂缝和水流堵塞等问题、影响水电站的水流调节和通行能力

地震对水电工程的破坏的案例很多。如 2008 年汶川地震给映秀湾、渔子溪、耿达、太平驿和福堂等水电工程造成一定破坏，导致水电设施停机，交通、电力和通讯中断[20]-[22]。水电站一般由水工建筑物、水力机械设备、发电设备、变电设备、配电设备、输电设备、控制及辅助设备等多个建筑物共同组成，其类型多、功能各异，加之所处区域地震特征、地质环境复杂，水电设施设计和抗震能力的不同，因此水电工程在地震影响下破坏特征也呈现多样性(表 1)。

3. 协同应急体系的相关概念

3.1. 定义和目标

应急是应对突发的且需要紧急处理的事件，体现了突然性和必需性。协同应急是指在灾害事件发生时，在中心指挥的作用下不同组织、部门和个人之间通过信息共享使其合作更加紧密协作协同，共同应对和处理灾害，以最大程度地减少人员伤亡和财产损失，保障社会的安全和稳定[23] [24]。协同应急的目标是通过各方之间的协调和合作，实现信息共享、资源整合、指挥协调、救援配合和灾后恢复等方面的有效配合，以提高应急响应的效率和效果。它在资源整合、信息共享、指挥协调、救援配合和灾后恢复等方面具有明显的优势[25] [26]。区域协同应急是应急管理中不同区域、不同层级和不同部门之间的协同，区域协同可以最大化的提升多主体协同的集体绩效，但在我国现有国情法治情景下顺利开展区域协同有一定难度[27]。水电站地震灾害区域协同应急体系是指水电站设施在地震突发情况下各区域在中心指挥的作用下不同组织、部门和个人之间通过信息共享使其合作更加紧密协作协同，共同应对和处理灾害，以最大程度地减少人员伤亡和财产损失，保障社会的安全和稳定。在这个过程中，需要多个组织或机构协同处理，比如，应急管理部门牵头，公安部门救援，卫健部门医疗救助，民政部门物资保障等。

3.2. 协同应急任务

根据地震灾害对水电站的破坏特征(表 1)，水电站的应急救援任务主要体现以下几个方面：(1) 灾害监测阶段主要是余震监测、地震响应。(2) 快速评估水电站范围内及其周边建筑物和构筑物的震损情况。(3) 保证通路、通电、通信的通畅。(4) 人员救助转移和物资的供应。(5) 信息的发布。参考相关文献[28]-[31]的分析成果，结合大坝安全应急管理理论及实践[32]，基于应急救援内容，与之匹配的协同任务主要包括应急目标协同、应急过程协同、应急组织协同、应急信息协同和应急资源协同，其中应急组织协同和过程协同起关键性作用，决定了整体应急协同行动的效率。

3.3. 协同应急内容

对突发事件的处置往往需要多个组织或机构进行协同处置，根据协同应急目标和任务水电站协同应急的内容包括以下几个主要方面。

(1) 应急组织指挥协同。区域组织协同可以达到国家、省、市、县和区等不同区域的协同，但本质是通过区域联合把地震灾害下水电站的损失最大限度降低到最小值。但实践中应急预案的演练、指挥的统

一、应急力量的调集、资源的调配都很难形成有效协同。因此需要把来自不同区域的多元管理主体(政府、部门、公安队伍、消防救援队伍、医疗队伍等)纳入一个区域协同系统,提升跨区域协同能力。这是应急协同的首要内容。指挥协同从下到上一般包括区域组织协同、机构组织协同、专业机构协同等组成(图 1)。

(2) 应急目标协同。水电站在地震灾害下应急救援总目标是减少水电站在地震中人员和物资的损失以及水电站可以尽快恢复运营,在总目标前提下可设置各区域、各部门的分目标以达到多个目标的协同,因此在最终协同目标的前提下,各个部门,各个阶段应有不同的目标。比如,地震监测预警阶段,监测地壳异常情况,根据水电站的抗震能力和周边地质环境,及时启动应急救援预案;救援阶段,根据地震实际灾情,在指挥部统一指挥下采取应对措施;重建阶段保证灾后人民,基础设施的修复和重建等。

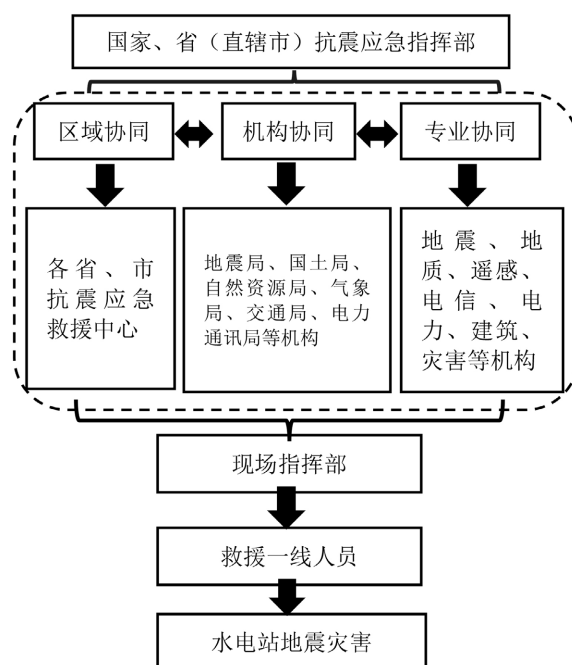


Figure 1. Emergency command collaboration framework
图 1. 应急指挥协同框架图

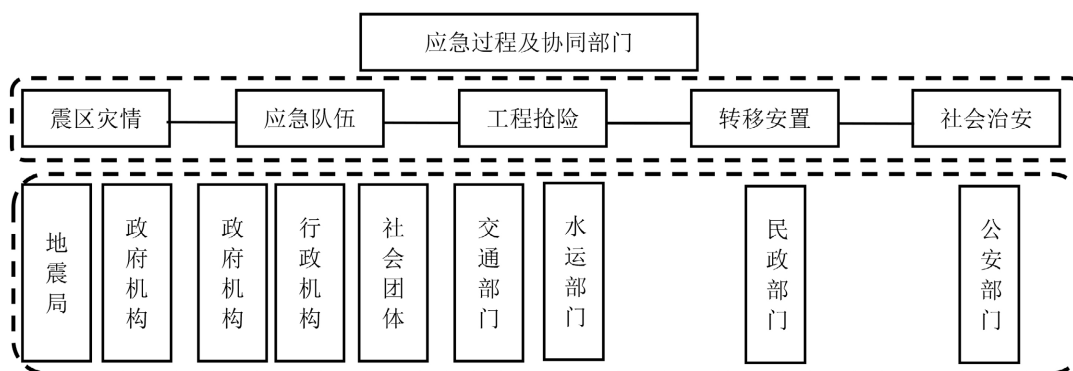


Figure 2. Emergency Process collaboration framework
图 2. 应急过程协同框架图

(3) 应急过程协同。按照应急救援的流程,过程协同主要是应急队伍协同、工程抢险协同、转移安置协同、交通协同、社会治安协同等,具体过程如图 2。图 2 中体现了应急过程和应急部门的双向协同和信

息共享，即各个部门之间、各个过程之间以及应急队伍和应急部门或机构之间均可双向信息共享，达到优化协同。在应急抢险过程中最主要的就是尽快打通过灾区的交通、电力以及通讯。交通抢险应急可以采取“陆空水”三通道协同，即常规地面道路抢险、空中直升机临时交通和借助水电站水库优势开展水上交通运输。

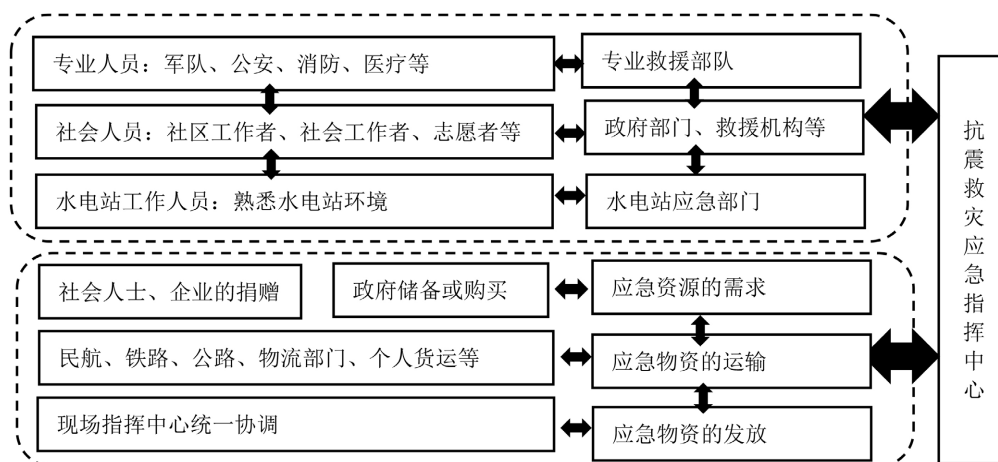


Figure 3. Emergency resource collaboration framework
图 3. 应急资源协同框架图

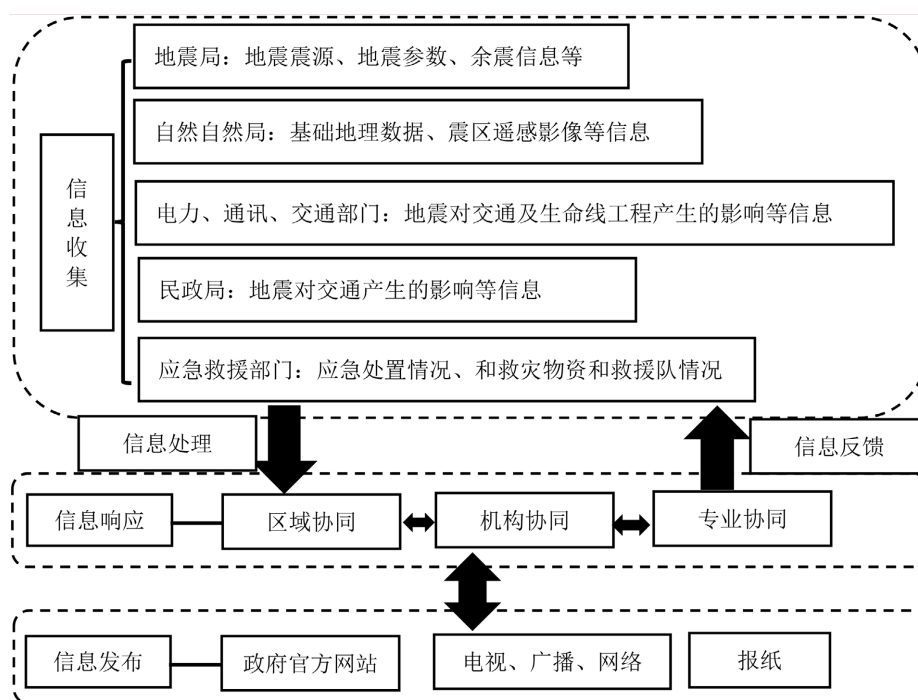


Figure 4. Emergency information collaboration framework
图 4. 应急信息协同框架图

(4) 应急资源协同是救援的重要保障，主要包括救援人员的协同、救援物资的协同。救援人员和物资上首先以外界救援人员和物资为主，其次共享水电站安全部门的人力、财力、物力等资源为协同方式、以降低资源投入成本。采用内外结合可提高应急资源利用率产生协同效应。应急人员上省市政府的救援

队伍、人民军队、社会救援力量等按照灾情受损严重程度在统一指挥协同分配下有组织采取集中救援和分散救援相协同的模式。在人员协同方式中要利用好熟悉水电站环境的水电站安全部门人员。医疗物资的协同可以采用我国目前建立的统一指挥统一调度应急医疗保障体系，由各县、市、省争取快速集中优秀医疗资源，通过改应急医疗体系进行统一规划，统一调度，然后现场各个救援队根据伤者受伤程度，统一规划送到不同区域医疗单位。应急后医疗防疫工作也应纳入工作范围，做到灾后防疫工作。应急物资的协同可通过应急物资的筹集和发布、运输和物资的发送进行组织，在该协同过程中离不开社会团体、国家部门、应急部门的协同(图 3)。

(5) 应急信息协同需充分利用信息大数据等先进信息技术，实现不同区域政府、不同部门、不同组织以及一线救援人员的信息交流与共享，加强政府与社会、公民间的沟通与协调，最终达到信息协同。信息协同一般包括信息收集、信息响应、信息共享、信息发布和网络舆情引导等组成(图 4)。

应急信息协同的前提是信息的传播路径是通畅的，但实践中地震往往会损坏震区水电站的电力和通讯设施。为了保证水电站区域在地震情况下通信联络，应在水电站区域和外界建立一种需要多部门协同的“天地空”三方融合的应急通信保障(图 5)。采用现有的通讯卫星、应急通讯车、手持通讯设备、无人机机载通讯设备等快速实现地震灾害环境中水电站的通讯顺畅。

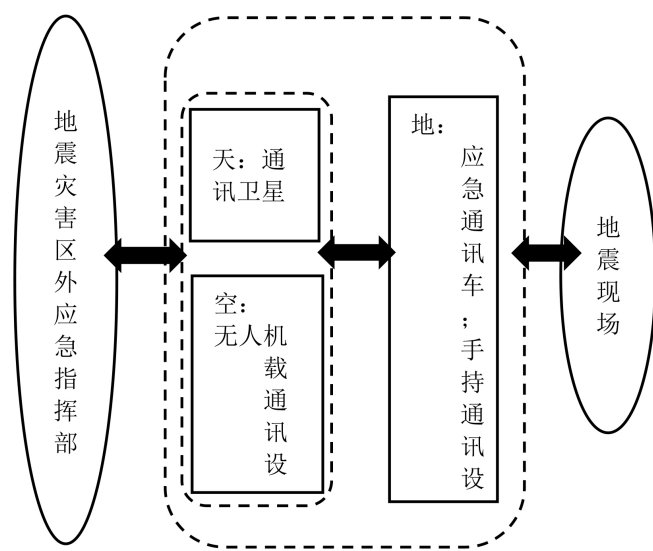


Figure 5. Communication emergency framework for the last mile in the seismic zone
图 5. 震区最后一公里通讯应急框架图

4. 水电站地震灾害协同应急体系框架构建

跨区域协同应急体系是一个多地区、多部门、多领域、多层次、多力量的联合协同应急系统，需要科学设计其地理布局和组织架构(图 6)。

该协同框架是一个符合统一领导，多元参与，信息共享等原则的三级框架，指挥层 - 抗震救灾指挥中心，该层具有协同处理的绝对权，它收集、汇总、分析、决策、发布所有部门的消息和命令。区域层 - 各区域应急指挥中心，该层具有协同本区域内各机构、各行业等资源并和指挥层和其他协同区域进行信息、资源协同及听从指挥层的指令。部门、机构层 - 抗震救灾过程中涉及到的相关部门之间进行资源协同并同时向所在区域指挥部进行共享以及听曾区域层指令。三级框架在上下层与层之间，同级部门与部门之间均达到了双向互通、信息共享的优点。

要保证该协同框架的良好实施必须注意以下几方面：(1) 区域协作中区域的分布并非参与越多越好，一般应考虑地理的临近性，相邻地区便于调集人力、物力等资源协同作战，有构建跨区域联合作战的需求。另外还要考虑资源互补性区域。各地区存在着经济水平及资源禀赋等差异，在构建区域协同处置机制时要充分考虑区域资源的互补性，避免重复建设和无效组合。(2) 区域抗震救灾指挥中心应具有绝对的控制权，可全程掌控协同区域内各种资源的动态情况及救灾的全过程等，并具有信息的收集和共享以及救灾措施的决策和指挥等。(3) 各地方政府、公安部门、民政部门、应急管理部门、医疗机构及科研等加入合作框架后应遵守协同规则。(4) 信息、通信技术、新闻媒体及志愿服务等也应遵循协同规则。

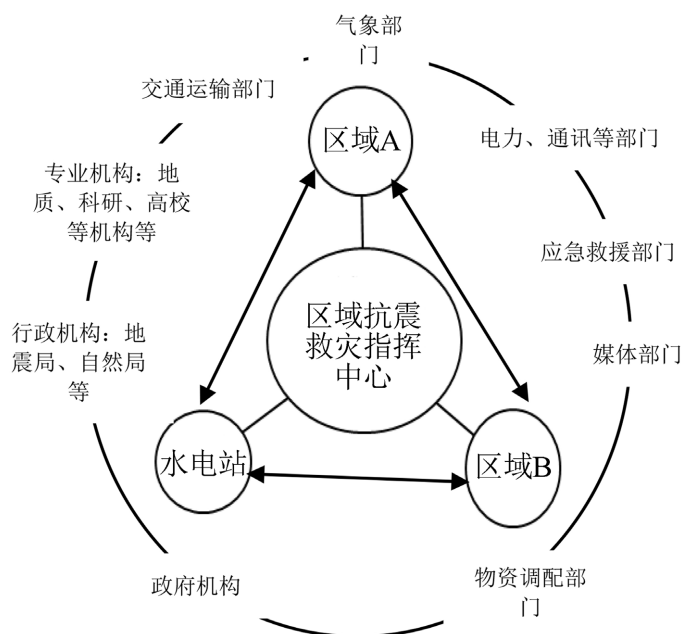


Figure 6. Regional collaborative emergency framework
图 6. 区域协同应急框架

5. 结论

针对地震灾害频繁发生且危害水电站设施以及在应急救援过程中统一组织难、资源调配难、信息共享难等问题，根据应急协同的理论知识构建了水电站地震灾害区域协同应急体系框架。主要结论如下：

(1) 地震灾害对水电站的破坏对象主要为结构、设备、坝体、地基、涵洞等设施，进而影响水电站建筑物和构筑物以及设备的正常运行；(2) 基于应急救援任务，构建了地震灾害下水电站应急协同内容包含组织协同、目标协同、过程协同、信息协同、物资协同等方面；(3) 基于应急协同内容从多地区、多部门、多领域、多层次、多力量的五个方面构建了区域协同应急体系框架。只要能够保证各方面协同一致，可在很大程度上使应急救援效率达到事半功倍的效果。

参考文献

- [1] 邓起东, 卢造勋, 杨主恩. 城市活动断层探测和断层活动性评价问题[J]. 地震地质, 2007, 29(2): 189-200.
- [2] 中国地震学会. 中国地震灾害与防震减灾[EB/OL]. 2008-10-24.
http://www.npc.gov.cn/zgrdw/huiyi/lfzt/fzjzf/2008-10/24/content_1454881.htm, 2023-06-30.
- [3] 姚林林, 何绍明. 震中地区地震灾害在水电工程中的表现形式——以映秀湾水电站在汶川地震中的震损形式为例[J]. 安全与环境工程, 2013, 20(6): 33-37.

- [4] 颜婷, 肖鸿, 林鹏智. 芦山地震水库震害考察及灾区大坝总风险评估[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2015, 47(S1): 41-47.
- [5] 张莹, 尹文刚, 郭红梅, 等. 我国地震应急救援军地协同机制有关问题研究[J]. 探索科学, 2019(11): 157-158.
- [6] 郭雪松, 朱正威. 中国应急管理中的组织协调与联动机制研究[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2016.
- [7] 牛占华. 不断完善新时代中国特色应急管理体制[J]. 中国机构改革与管理, 2019(11): 11-12.
- [8] Mattox, K.L. (2006) Hurricanes Katrina and Rita: Role of Individuals and Collaborative Networks in Mobilizing/Coordinating Societal and Professional Resources for Major Disasters. *Critical Care*, **10**, Article 205. <https://doi.org/10.1186/cc3942>
- [9] Anelli, J.F. (2012) The National Incident Management System: A Multi-Agency Approach to Emergency Response in the United States of America. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, **25**, 223-231. <https://doi.org/10.20506/rst.25.1.1656>
- [10] Flaherty, J.H., Dong, B., Wu, H., Zhang, Y., Guralnik, J.M., Malmstrom, T.K., et al. (2011) Observational Study of 1-Year Mortality Rates before and after a Major Earthquake among Chinese Nonagenarians. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, **66**, 355-361. <https://doi.org/10.1093/gerona/gdq229>
- [11] Rong, H., Xuedong, L., Guizhi, Z., Yulin, Y. and Da, W. (2015) An Evaluation of Coordination Relationships during Earthquake Emergency Rescue Using Entropy Theory. *Cadernos de Saúde Pública*, **31**, 947-959. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00039514>
- [12] 董晓松. 重大自然灾害应急指挥协调机制构建[J]. 理论与改革, 2016(5): 4-7.
- [13] 李子义. 政府与 NGO 应对灾害性突发公共事件协调机制的构建[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2011.
- [14] 建洪. 应对重大突发公共事件中的纵向府际协调探析[J]. 苏州大学学报(哲学社会科学版), 2012, 33(2): 85-90.
- [15] 李征. 福建省地震应急救援能力建设研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建师范大学, 2017.
- [16] 郑远长. 全球自然灾害概述[J]. 中国减灾, 2000, 10(1): 14-19.
- [17] Fu, B., Zhang, J., Wang, S. and Zhao, W. (2020) Classification-Coordination-Collaboration: A Systems Approach for Advancing Sustainable Development Goals. *National Science Review*, **7**, 838-840. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa048>
- [18] 国家地震科学数据中心. 地震科普[EB/OL]. 2020-09-02. <https://data.earthquake.cn/kpzslm/info/2020/12510604.html>, 2024-01-30.
- [19] 陈雅慧, 高小跃, 李华玥, 等. 2021 年国外地震灾害及损失述评[J]. 地震地磁观测与研究, 2022, 43(3): 157-164.
- [20] 谭可奇, 张顺利, 张丽颖. 汶川地震对水电站地下厂房的影响[C]//中国水力发电工程学会. 2011 年南方十三省(区、市)水电学会联络会暨学术交流会论文集, 2011: 6-20.
- [21] 谭可奇, 陈东升, 尹葵霞, 等. 汶川地震对震中附近水电站地下厂房的影响[J]. 水电站设计, 2012, 28(3): 71-74, 96.
- [22] 张雨霆, 肖明, 李玉婕. 汶川地震对映秀湾水电站地下厂房的震害影响及动力响应分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(Z2): 3663-3671.
- [23] 陈珑凯, 梁虹, 唐敏康. 应急管理协调的痛点、难点和着力点[J]. 中国公共安全(学术版), 2019(4): 54-58.
- [24] 刘晓燕. 能源应急多主体协同机制及协同效应研究[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [25] 马晓东. 复杂环境下地震灾害应急救援协同机制: 一个实证分析[J]. 河北工程大学学报(社会科学版), 2021, 38(2): 34-39.
- [26] 马晓东. 政府、市场与社会合作视角下的灾害协同治理研究[J]. 经济问题, 2021(1): 18-22.
- [27] 张海波. 应急管理中的跨区域协同[J]. 南京大学学报(哲学.人文科学.社会科学), 2021, 58(1): 102-110.
- [28] 郑霞忠, 邵波, 陈玲, 等. 水电厂突发事件应急救援方案云决策模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(4): 157-163.
- [29] 李婷婷, 包腾飞. 大坝群自动监测报警系统[J]. 水力发电学报, 2005, 24(5): 119-122, 118.
- [30] 谭界雄, 陈尚法, 翁永红, 等. 水库大坝安全管理与应急响应信息系统研究[J]. 人民长江, 2014, 45(14): 102-106.
- [31] 张恒飞, 杨光, 严勇, 等. 基于 3D 公共作业平台的水库大坝安全应急响应全过程管理方案[J]. 水电能源科学, 2014, 32(8): 68-71.
- [32] 张毅, 李季, 李长和. 黄河上游水电开发有限责任公司坝群安全管理模式及经验[C]//中国大坝协会. 高坝建设与运行管理的技术进展——中国大坝协会 2014 学术年会论文集, 2014: 382-393.