

丁璐, 赵兰迎, 李立, 等. 基于物联网的地震救援装备物资应急物流技术系统研究[J]. 灾害学, 2020, 35(2): 200-205. [Ding Lu, ZHAO Lanying, LI Li, et al. Study of Emergency Logistics Technology System for Eartquake Equipment based on Internet of Things [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(2): 200-205. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.036.]

## 基于物联网的地震救援装备物资应急物流技术系统研究\*

丁璐<sup>1</sup>, 赵兰迎<sup>2</sup>, 李立<sup>1</sup>, 颜军利<sup>1</sup>, 高杨<sup>1</sup>, 索香林<sup>1</sup>, 胡卫建<sup>1</sup>

(1. 中国地震应急搜救中心, 北京 100049; 2. 防灾科技学院, 河北 三河 065201)

**摘要:** 分析了大震巨灾时的应急物流需求及研究现状, 提出以物联网技术为基础建立高效的地震应急物流技术系统。选择该技术系统中的救援装备物资仓库管理子系统, 介绍其硬件构成及主要功能模块, 特别是在执行救援行动时的紧急出库管理及整个行动过程中的物流流程管理。利用模块化设计及预案准备提高集结效率, 借助物联网技术实现快速中转及实时监控, 提高应急物流系统的效率和精准性。

**关键词:** 物联网; 应急物流; 救援装备物资; 紧急出库

**中图分类号:** X43; X915.5; P315; E233 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)02-0200-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.036

应急处置能力是国家安全的重要组成部分。以平战结合为宗旨, 应急物流能够在突发事件发生后, 快速应对灾害救援、事故处理、灾后重建的实际需求, 有利于受灾群众及时地进行生产自救, 减少生命和财产损失。破坏性地震黑箱期长, 影响程度、区域等信息掌握滞后, 致使救援装备物资难以在最短的时间以最有效的途径输送到需求地点, 输送装备物资的量态(数量、质量、状态)的科学性有待提升。

国内外应急物流主要分为军事应急物流和非军事应急物流两大类。灾害应急物流属于非军事应急物流范畴, Cottrilln 将应急物流的运行分为计划、减灾、预警、反应与恢复五个阶段<sup>[1]</sup>, 也有学者将其修订划分为准备、处理与后处理三个阶段<sup>[2]</sup>, 不同阶段转换的时点分别为事件爆发前、事件爆发后、开始重建工作。由于黑箱期的存在, 模糊聚类方法<sup>[3]</sup>、线性规划方法<sup>[4-5]</sup>、Robust 优化方法等被用于应急物资分配研究, 以减少不确定因素的影响<sup>[6]</sup>。

针对应急物流运作, Linet Ozdamar 利用规划求解物资网络流问题, 获取应急物流计划最优解<sup>[7]</sup>; 刘俊研究了资源投入对应急物流运作的影响, 提出人员、设施、技术的最佳投入比为 0.5: 0.1: 0.4<sup>[8]</sup>。在仓储设施、储备方面, 优选储备节点选址及储备定量模型<sup>[9]</sup>、建立虚拟库存、改进仓库布局、动态轮换储备应急物资等方法被提议应用,

从而降低拣货作业时间, 提高拣货效率。在信息化自动化方面, 改进遗传算法、粒子群算法也被用于调度模型建模、求解, 以期提高调度优化水平<sup>[10-11]</sup>。

地震救援应急物流方面, 国内有关研究提出在管理层面要建立灾害救援应急物流体系建设运行中的统筹协调机制, 进行应急物流体系规划和标准体系规划, 提高物流系统信息化、智能化水平<sup>[12]</sup>。在运行操作层面将区域性地震灾害应急物流系统划分为规划信息单元、采购单元、供应链单元、仓储单元、运输配送单元、专家决策单元、信息网络等若干基础物流技术及服务单元<sup>[13]</sup>, 在计划、预警、反应与恢复等不同阶段分别提供各类专业技术支持。

综上所述, 对应急物流研究着重于概念, 缺少对具体应急单位、行业特性的研究; 应急物流节点选址、配送路径研究较多, 对储备节点内部因素、运转的研究较少; 而在储备节点内部方面, 大多为普通物流为研究对象, 缺少应急行业尤其是地震救援方面的研究; 针对地震救援应急物流系统建设、装备物资应急物流管理方面的研究, 则更为少见。本文以物联网技术为基础, 提出地震应急救援物流系统建设方案, 实现物联网技术在地震救援准备、动员、行动、撤离、恢复各个阶段的系统应用, 提高地震救援装备物资的应急管理水平和协调效率。

\* 收稿日期: 2019-09-29 修回日期: 2019-11-30

基金项目: 应急管理部“十四五”应急管理规划重点课题(应急管理部规划财务司-2019年16号)

第一作者简介: 丁璐(1984-), 女, 安徽安庆人, 工程师, 从事应急管理、应急物流技术研究. E-mail: cherry\_0528@163.com

通讯作者: 赵兰迎(1983-), 男, 山东东阿人, 博士, 高级工程师, 从事仪器装备技术、应急管理研究. E-mail: lyzhao@cugb.edu.cn

# 1 基于物联网技术的地震应急救援物流系统构成

将物联网技术应用于地震应急救援装备物资物流管理系统中, 可显著提升地震救援装备物资应急物流系统的效率和精准性。借助物联网技术, 可以实现地震应急救援物流管理系统的统一指挥, 协调人员、救援装备物资调配, 减少人民群众的生命财产损失, 因此研究基于物联网技术的地震应急救援物流系统具有重要意义。

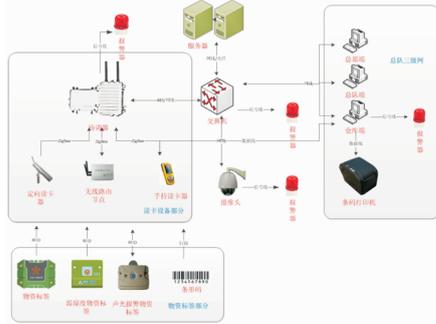


图1 装备物资仓库管理子系统拓扑图

基于物联网技术的地震应急救援物流系统包括硬件系统和软件系统两个方面, 硬件系统主要包括 RFID 标签、RFID 读取设备、网络通讯设备、报警设备、条码读取设备等, 如图1所示的地震应急救援物流系统硬件系统, 其由不同功能的 RFID 标签、固定式读卡器、定向读卡器、手持 PDA、条码打印机、条码扫描机、管理中心网络管理设

备、通讯设备组成。软件系统<sup>[14]</sup>主要包括装备物资仓库管理子系统、救援现场装备物资管理子系统、救援现场移动管理子系统(图2), 分别实现日常和救援行动中后方指挥中心仓库库房管理、在途跟踪、救援现场保障基地的物资和装备的库房管理、救援现场物资和装备的出库扫描和确认管理。

## 2 救援装备物资仓库管理子系统

### 2.1 硬件系统设计

救援物资仓库管理子系统硬件包括射频标签、读卡器、报警设备、监控设备、通讯设备、服务器、条码打印机等。

射频标签设置有四类: 装备物资标签、条码标签、声光报警标签、温湿度标签。装备物资标签、条码标签选用 RFID 标签, 固定在应急救援装备物资、设备和包装箱上; 声光报警标签固定在货架、货位、托盘上; 温湿度标签及其它火警、烟雾报警灯标签在仓库内分区域按照规定要求布设。

读卡器分为固定式和手持式两种。根据货架的布局布设固定式读卡器, 用于读取仓库内的射频标签; 仓库门口布设定向读卡器, 用于人员和物资的进出判定。手持式读卡器用于移动读取、扫描射频标签和条码标签, 获知标签信息。根据仓库面积、布局在适当的位置布设协调器, 用于接收固定式读卡器和定向读卡器的信号中继。

通讯设备主要包括数据传输所需的路由器、交换机及连接所需的网线、无线网络, 将协调器

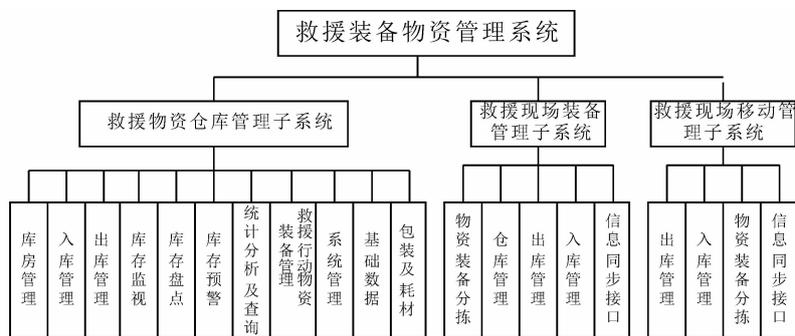


图2 救援装备物资管理软件系统功能模块

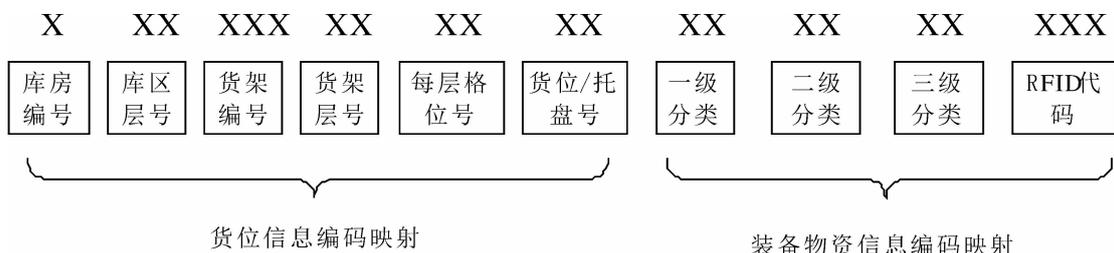


图3 库房管理信息编码映射规则

接收的信号传输至服务器和指挥中心使用。

通过硬件系统可以实现自动化或半自动化的出入库管理，仓库中的快速盘点、物资监控等操作。对装备物资进行编码，可实现对装备物资批次、产地等信息进行有效的动态管理。利用射频标签中的位置信息，可以实现库位管理功能，及时掌握库存救援装备物资当前所在位置，有利于提高工作效率。

### 2.2 系统功能模块

#### 2.2.1 库房管理

库房管理是指对实际库房以及存放的装备物资的虚拟映射，将库房布局、货架信息、装备物资信息由实际存储空间转换到计算机信息系统创建的虚拟空间，准确、实时的库房管理是实现高效仓储管理的基础。建立科学的映射规则进行库位划分、数据定义，则会影响整个仓库管理系统的操作性。

在仓库管理子系统的可视化平台上，可以查看细到每一个货位的映射信息，包括货位的数字编码和文字信息并可进行切换显示；同时也可查看到货位上当前存放的装备物资编码信息，并可根据编码了解装备物资的状态<sup>[15]</sup>，映射规则如图3所示。从而在执行调配任务时可迅速定位、取用，最大限度的节省了时间。

通过系统能够直观查看装备物资的状态，红色代表有问题货架，蓝色代表正常的货架，光标移到相应的位置，会显示物资状态信息如(图4)。



图4 救援物资仓库管理子系统可视化界面

#### 2.2.2 入库管理

入库管理发生在装备物资采购、保养回库、借用归还、救援行动结束归还等情况下。根据入库业务的需求，管理系统按照入库规则，基于RFID技术自动采集、分析装备物资数量、货位信息，并在库房管理中进行相应修改，改变入库装备物资存放的货位、装备物资信息。

对需要入库的新购装备物资进行编码，将编码信息赋予RFID标签并粘贴、固定，同时同步到数据库；对其他归还装备物资，对照实物检查RFID标签及编码信息，确认无误后同步到数据库。

装备物资入库流程如图5所示。入库时首先选择相应的入库类型，如采购、保养回库、借用归还、救援行动结束归还等；再根据入库单所需信

息要求进行分项填写或扫描RFID标签自动生成；对需要装箱集成的，在入库时需增加装箱操作，扫描集成箱RFID标签以确定箱体信息，再将需装箱的装备物资逐个扫描，待全部扫描完毕后通过“封箱”操作完成上述装备物资的装箱集成；对入库单校核无误后即可进行实体入库。

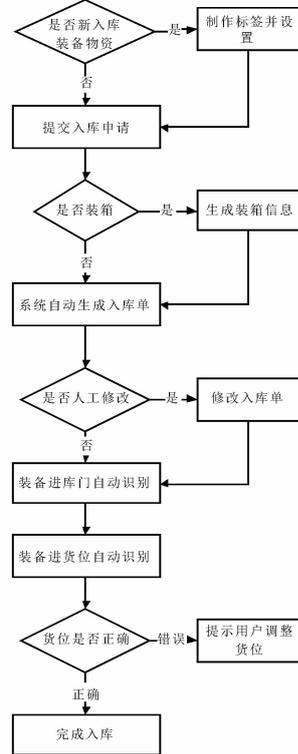


图5 装备物资入库管理流程

入库单主要包括装备物资明细及其对应的库区、货架、货位情况。特殊的是，新采购的装备物资要先打印、粘贴RFID标签，再进行入库操作。入库单单号自动生成，装备物资信息手动选择添加，如前期已添加到数据库，则可扫描RFID标签自动添加。对于救援行动结束归还的情况，需要提供接口供救援行动指挥部署系统调用。

实体入库时，管理系统利用库门、货位区域布设的读卡器自动扫描识别RFID标签，提供入库过程监控及警示功能<sup>[16]</sup>。当装备物资经过库门读卡器时，读卡器自动识别RFID标签信息，根据基础数据中定义的编码规则，分析入库装备物资的信息，记录并保存数据，修改库存并检验入库单中的实际入库数量。当装备物资放到指定货位时，读卡器自动识别RFID标签信息，进行定位并同步更新管理系统及数据库状态<sup>[17]</sup>。

#### 2.2.3 日常出库管理

出库管理发生在装备物资报废、保养、借用、救援行动使用等情况下，根据需求类型分为日常出库和紧急行动出库两类。日常出库分为整箱出库和分箱出库，出库流程如图6所示。经审批后的出库单到达仓库管理员处后，由库管员按出库单

进行操作。整箱出库直接用手持 PDA 或者固定式读卡器扫描箱子上的 RFID 标签, 直接出库; 分箱出库通过手持 PDA 或者固定式读卡器扫描箱体上的 RFID 标签, 再逐一扫描箱内要出库装备物资的条码标签, 全部扫描完成后在手持 PDA 上执行封箱操作, 代表箱内的装备物资已经出库, 且该箱内装备物资清单已经改变, 数据库更新完成。对出库单校核无误后即可进行实体出库。

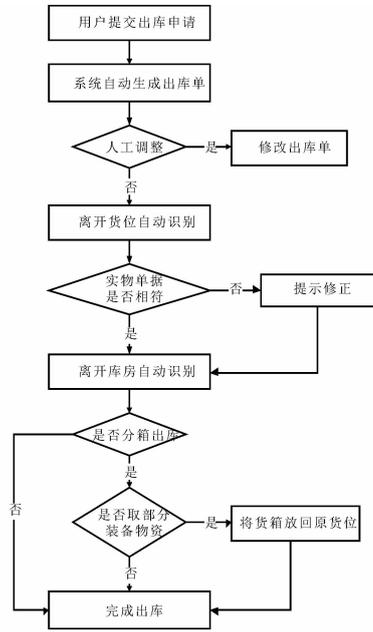


图 6 装备物资日常出库流程图

出库单主要包括装备物资明细及其对应的库区、货架、货位情况, 以及出库单编号、出库类型、接收方(可选)、出库时间等。出库单单号自动生成, 对于救援行动出库的情况, 需要提供接口供救援行动指挥部署系统调用。与入库类似, 实体出库时, 管理系统利用货位区域、库门布设的读卡器自动扫描识别 RFID 标签, 提供出库过程中离开货位、库房时的监控及警示功能。如果出库的装备物资与出库单不符, 监控功能提供警示信息, 在手持 PDA 中对比显示错误项, 提醒库管员更换实体装备物资或修改出库单, 使出库实体与出库单一致, 记录并保存数据, 同时更新管理系统及数据库状态。

### 2.2.4 救援队伍紧急行动出库管理

为了提高装备物资集结速度, 减少应急响应时间, 结合历年装备物资管理及救援行动实践经验, 参考地震救援装备物资的分类进行装备模块化方案设计, 主要有先遣队模块、国际救援模块、指挥部模块、救援车辆模块、个人装备及食品模块, 以及针对灾区不同地域、气候、海拔、季节等设计的调整匹配模块(图 7)。

针对地震救援任务性质, 结合模块化方案, 对执行任务所需的装备方案按各个模块进行基础集成, 作为应对不同情形下的紧急行动装备出库

预案。依据所执行的任务的性质、区域及当时的各种综合条件, 制定装备物资紧急行动预案如表 1 所示。对表 1 中的某一种预案, 首先在基础性模块中选择, 如执行国际任务则首先选择国际救援模块, 再根据受灾国当地情形配备个人装备、食品模块, 以及调整性模块中相适应的气候、海拔因素所需的装备物资; 执行国内任务, 则考虑任务性质及预计的队伍规模, 选择先遣队模块、指挥部模块、个人装备模块, 在根据受灾区域条件选配调整性模块装备物资。在执行任务时根据已有预案进行调整, 提高出动速度。

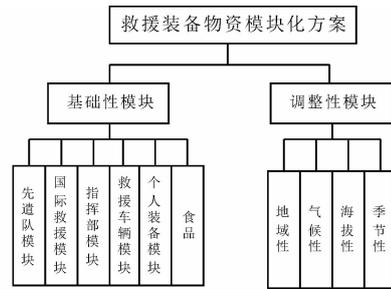


图 7 救援装备物资模块化方案设计

表 1 装备物资紧急行动预案类型

序号	规模	任务	自然条件
1	国际救援队(70 人)	救援	冬季
2			春夏秋
3		非救援	冬季
4			春夏秋
5	先遣队/小规模队伍(15 人左右)	救援	冬季
6			春夏秋
7	救援分队	救援	冬季
8			春夏秋
9		非救援	冬季
10			春夏秋
11	救援支队	救援	冬季
12			春夏秋
13		非救援	冬季
14			春夏秋
15	救援队	救援	冬季
16			春夏秋
17		非救援	冬季
18			春夏秋

在技术系统中, 首先根据预案将装备物资添加到对应预案中, 完成预案数据集成(图 8)。需要执行紧急任务时, 在技术系统中根据不同的任务级别选择预案, 自动生成出库单, 并将物资/装备自动匹配至各救援队伍。仓库管理员通过手持 PDA 或者在门口处的远距离固定式读卡器批量读取/扫描箱体上 RFID 标签/条码, 进行比对出库, 并把数据集中上传完成出库。根据出库单, 工作人员直接搬运货物出库, 货物经过库门时, 读卡

器自动扫描识别 RFID 标签并与出库单匹配、检验。如果有未出库或者取错的装备物资,系统会提醒工作人员进行修正。



图8 技术系统中装备物资预案数据集成

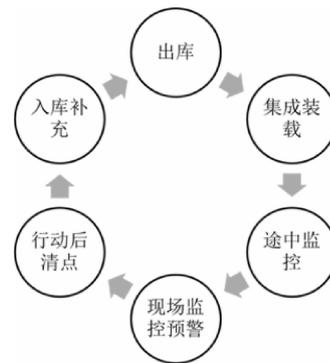


图9 救援行动装备物资管理主要功能

### 2.2.5 库存监视及预警

为了更好的对库房、装备物资储备情况进行调控,技术系统设计了库存监视及预警功能,可以实现后方仓库、救援现场的装备物资库存的实时显示;按照预设规则对库存装备物资进行不同因素的预警,提醒管理人员采取措施。

库存监视实现装备物资可视化实时监控,包括货架占用、各货位存放装备物资情况。在执行救援任务的过程中,本系统同时提供后方和救援现场装备物资实时监控功能,主要有:

- (1) 仓库图形化界面监控,可直观了解仓库当前各货架、货位占用情况。
- (2) 定位某个货架或货位,查看其占用、存放装备物资的明细情况。
- (3) 可根据检索条件查看不同库区、类型装备物资的库存、存放情况。
- (4) 可查看某项装备物资当前状态、所处货架、货位等详尽信息。

系统可由用户自定义手段建立预警规则,如设置安全库存数量警戒、失效期控制、保养期提醒等,并可利用短信或者 email 接口提醒管理人员。对于设定的预警规则,可进行修改、停用、启用、删除等,方便实现预警条件的更改。

### 2.2.6 救援行动装备物资管理

在执行救援行动过程中,应急物流技术系统按时间流程实现的功能有装备物资出库、集成装箱/装车、运输途中追踪、救援现场装备物资监控预警、捐赠、行动结束清点核对、入库等如(图9)。

在执行救援任务需要进行装备物资出库时,根据前述紧急出库管理在系统中选择预案作为基础,结合救援任务的具体条件进行微调,生成救援行动装备物资出库单。根据出库单完成装备物资实体出库后,按照选用运输工具进行集成装载,利用射频标签将装箱、装车信息记录到技术系统,主要包括车号、箱号及相应的装备物资清单,作为后续途中监控的信息基础,包括从集结地前往出发地点、抵达受灾区域后前往救灾地点的途中监控。在技术系统中提供装备物资的位置信息,使装备物资调度指挥准确化、数字化。

如图2中所示,救援现场装备物资管理子系统、救援现场移动管理子系统具备救援物资仓库管理子系统的部分功能,服务于救援现场装备物资的管理。装备物资随队伍抵达救灾地点后,即可启用救援现场移动管理子系统,对装备物资快速分拣,实现出入库管理,并将数据信息回传至后方的救援装备物资仓库管理子系统;当指挥部行动基地建设完毕后,即可使用救援现场装备物资管理子系统进行动态管理,提供现场救援装备物资监控功能,包括装备物资类型、数量、位置分布等信息,并可回传至后方汇总以便统一协调、调度资源。在救援行动过程中,及时统计、汇总救援装备物资的实时消耗,在受灾区域当地、其他区域或行动结束返回后进行保养、补充。

救援行动结束后,对装备物资消耗、捐赠情况进行清点,并录入救援现场装备物资管理子系统并同步至后方管理子系统,以便根据消耗情况提前进行采购补充准备,在装备物资返回后迅速补充,提高装备物资恢复速度。此外,系统可对救援行动开始时的出库单与返回后的入库单,生成救援物资装备情况统计报表,便于后期查询、分析处理。

## 3 前景与展望

将地震救援装备物资应急物流保障与物联网技术结合,可实现多方面进步,主要有:

- (1) 基于物联网的地震救援装备物资保障体系,由于可实时采集更多的灾情响应、灾情现场行动等信息,将提高地震救援的快速响应能力、装备物资调配的有效性与合理性。借助 RFID 射频技术对装备物资进行分类标识,在运输途中精确跟踪物流路径,在救援现场监控救援装备状态、救援工作进展。结合各种传感网络对受灾区域内的电力、交通、气象、通信、受灾人口、灾区图像等切信息进行实时的数据获取<sup>[18]</sup>,利用网络通讯系统实现上述数据在不同地点的实时共享,为建立高效能的地震救援装备物资保障体系奠定基础。

(2)借助大数据、云计算提高地震救援装备物资保障的智能化水平,为实现科学合理的地震救援提供及时的决策支撑。首先是装备物资匹配性验证。通过传感、通讯网络获知灾区信息,与已在灾区及运输途中的救援装备物资进行匹配性的验证运算,检验救援装备物资与灾区实际需求的匹配程度,从而减少富裕装备物资、增加匮乏装备物资的补给量,提高资源利用率。其次是灾区环境适应性运算。震后救援工作方案与灾区现场情况密切相关。灾区人口数量、分布状况、交通能力、遭破坏的程度、电力的供应、通信条件情况以及各类物资的储备情况,都影响着救援工作能否按预案进行。将救灾能力与周边环境进行适应性的运算,有助于救援力量的调配,提高科学救援程度。通过救援工作的实施、总结可以对地震救援装备物资保障提供借鉴,在后续实现应急准备能力的提升,形成良性循环。

(3)借助物联网体系在全国范围内建立统一的应急救援装备物资管理平台,统筹、协调、共享各行业救援力量,整合全国应急物资储备、物流资源,提高各类应急资源的综合协调、科学调配和有效利用水平。

## 参考文献:

- [1] Cottrill K. Preparing for the Worst[J]. Traffic World, 2002, 266(40): 15.
- [2] Lee H W, Zbinden M. Marring logistics and Technology for effective Relief[J]. Forced Migration Review, 2003, 18: 34-35.
- [3] JiuHBiingSheu. Dynamic relief -demand management foremergency logistics operations under large -scale disasters[J]. Transportation Research Part E, 2010(46): 1-17.
- [4] Ray J. A multi-period linear programming model for optimally scheduling the distribution of food-aid in west Africa[D]. Knoxville: University of Tennessee, 1987.
- [5] Knott R. The Logistics of bulk relief supplies [J]. Disasters, 1988, 11: 113-115.
- [6] Aharon BenTal, Byung Do Chung, et al. Robust optimization for emergency logistics planning: Risk mitigation in humanitarian relief supply chains [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2011, 45 ( 8 ) : 1177 -1189.
- [7] Linet Ozdamar, Ediz Ekinici, Beste Kucukyazici. Emergency logistics planning in natural disasters [J]. Annals of Operations Research, 2004, 129: 217-245.
- [8] 刘俊. 军民融合应急物流体系保障力生成机理及仿真研究[D]. 西安: 长安大学. 2014.
- [9] Trevor Christopher R. Moberg, Improving supply chain disaster preparedness A decision process for secure site location [J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2005, 5: 195-207.
- [10] 熊立华. 基于 SLP 方法的仓库布局优化研究[J]. 价值工程. 2016, 3: 237-239.
- [11] J Jerald, P Asokan, G Prabaharan, R Saravanan. Scheduling optimization of flexible manufacturing systems using particle swarm optimization algorithm [J]. IntJ Adv Manuf Technol, 2005.
- [12] 丁璐, 颜军利, 朱笑然, 等. 突发灾害救援应急物流现状及发展趋势研究 [J]. 防灾科技学院学报, 2018, 20 ( 2 ) : 45-51.
- [13] 胡卫建, 司洪波. 地震应急救援保障体系的构架 [J]. 中国应急救援, 2006(1): 35-38.
- [14] 李立, 高博伟, 丁璐, 等. 中国地震应急救援装备物资综合管理平台 [Z]. 软著登字第 2440061 号, 2018-02-12.
- [15] 司洪波, 赵兰迎, 李红飏, 等. DB /T 57-2014 地震救援队装备分类、代码与标签 [S]. 北京: 地震出版社, 2014.
- [16] 李立, 高杨, 颜军利, 等. 地震救援物资仓储系统出入库检测装置(中国, ZL 20152 0744617. 4) [P]. 2016-11-16.
- [17] 王建平, 高博伟, 高杨, 等. 地震救援物资仓储货位标识检测系统(中国, ZL201520744569. 5) [P]. 2016-11-16.
- [18] 王睿, 胡卫建, 王硕, 等. 用于自然灾害现场监测的无线传感网络开发与试验 [J]. 自然灾害学报, 2017, 26 ( 4 ) : 191-196.

# Study of Emergency Logistics Technology System for Eartquake Equipment Based on Internet of Things

Ding Lu<sup>1</sup>, ZHAO Lanying<sup>2</sup>, LI Li<sup>1</sup>, YAN Junli<sup>1</sup>, GAO Yang<sup>1</sup>, SUO Xianglin<sup>1</sup>, HU Weijian<sup>1</sup>

(1. National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China; 2. Institute of Disaster Prevention Science and Technology, Sanhe 065201, China)

**Abstract:** In order to meet demands of earthquake rescue equipment and goods in the case of catastrophic earthquake, an earthquake emergency logistics technology system based on Internet of Things (IoT) technology after the analyses of current needs and status is proposed to be established. Take the rescue equipment and goods warehouse management subsystem (REWMS) as an example, the hardware composition and main function modules are recommended, especially the emergency delivery management during the earthquake reponse and the IoT management throughout the earthquake rescue mission. The mouldlar design and plan preparation can enhance the assembly efficiency, the IoT technology can actualize rapid transit and real-time monitoring and from above the the efficiency and accuracy of emergency logistics system could be improved.

**Key words:** IoT; emergency logistics; rescue equipments and goods; emergency delivery