

邓砚, 孙磊, 郭永, 等. 震后应急期生命线工程抢修人员优化调配模型——以通讯设施抢修为例[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 181-187. [DENG Yan, SUN Lei, GUO Yong, et al. The model of optimal allocation for lifeline engineering emergency workers in post-earthquake emergency period: A case study of communication facilities[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(2): 181-187. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.02.032.]

## 震后应急期生命线工程抢修人员优化调配模型 ——以通讯设施抢修为例\*

邓砚<sup>1</sup>, 孙磊<sup>1</sup>, 郭永<sup>2</sup>, 李晓丽<sup>1</sup>

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 中国移动通信集团陕西有限公司渭南分公司, 陕西 渭南 714000)

**摘要:** 以实现科学救灾为目标, 根据震后应急期高时效性的要求, 提出了震后应急期间生命线工程抢修力量优化调配的技术思路。并以震后应急期通讯设施的应急抢修为例, 首先基于以往地震救灾案例给出了抢修人员的需求经验关系; 然后利用层次分析法, 建立了震后抢修优先度的快速评判模型; 进而利用运筹学中运输问题的算法, 以应急抢修时间最短为目标构建了震后抢修人员优化分配的模型; 最后, 通过算例表明了模型的可行性和有效性。

**关键词:** 震后; 应急期; 生命线工程; 抢修人员; 需求分析; 优先度; 优化模型

**中图分类号:** X43   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1000-811X(2018)02-0181-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.02.032

生命线网络系统通常是指以网络方式构成且在空间上覆盖较大范围的、对于维护区域内社会经济基本功能起到关键支撑作用的基础性设施系统<sup>[1]</sup>。例如, 电力系统、通讯系统、供水系统、燃气系统等都属于生命线网络系统。生命线网络系统在受到地震、洪水、滑坡等自然灾害冲击时, 可能会出现多个节点设施的破坏, 此时, 必须要根据生命线工程受损情况, 及时调派抢修队伍对受损设施进行应急修复, 以便最大限度地减少损失<sup>[2]</sup>。

2008年汶川地震后, 中国的地震应急救灾模式发生了根本性的变化, 即由以往对救灾重视不足到现在的“以人为本”、“科学救灾”的救灾模式。在这一模式转变的过程中, 中国社会显示了高度的社会动员能力, 但也暴露了组织程度较低、救援效率不足、资源调配不均等弊端。例如: 2013年芦山7.0级地震震后, 第二天发现电筒和发电机短缺, 给救灾带来不便; 震后各方救援队伍虽然及时行动起来, 但由于指挥系统一时依然缺乏科学和高效的运作能力, 导致一些救援队伍过度集中, 而一些队伍却找不到救援对象。救援是“需”与“供”的对接<sup>[3]</sup>。由此可见, 加强救灾队伍的需求分析和优化配置研究是提升中国当前地震救灾决策水平的迫切需求。

要想实现这一目标, 必须要运用决策优化领域的方法, 同时还涉及到救灾力量的需求分析、

抢修次序判断和道路情况的判断等一系列问题。围绕这些问题, 国内外开展了一些相关研究。聂高众等<sup>[4]</sup>根据1966-1990年期间的震例设计了某种救灾物资或救灾队伍的实际最小需求量, 计算了80多种基本需求的理论需求模型。傅志妍<sup>[5]</sup>针对应急物资需求预测方法的不足, 基于归一化后的欧式算法, 寻求最佳相似源案例, 确定源案例中的关键因素, 建立了案例推理-关键因素模型, 为目标案例进行灾害应急物资需求预测。曹彦波等<sup>[6]</sup>给出了地震紧急救援区域优先度判定模型。张晶伟等<sup>[7]</sup>构建了电力网络中失效节点应急修复最优顺序确定的优化模型, 并设计了模型求解的遗传算法。魏昌盛等<sup>[8]</sup>提出了一种基于最短路径的地震救援力量部署模型。吴新燕等<sup>[9]</sup>从搜救力量部署模型的原理出发, 分别建立了区域搜救力量部署模型和局部搜救力量部署模型。袁媛等<sup>[2]</sup>给出生命线网络系统多节点失效的应急抢修队伍派遣优化模型。Friedrich等<sup>[10]</sup>于2000年开发了用于地震灾后营救幸存者的决策支持系统, 通过该决策支持系统得出最佳的搜索路线, 最大可能地搜索和营救地震灾后的幸存者。Mike Price等<sup>[11]</sup>基于Arcgis提供的路径成本矩阵分析功能, 给出了火灾救援调度的最优化方案。郭红梅等<sup>[12]</sup>研发了城市地震现场搜救指挥辅助决策系统, 给出了城市地震灾害现场的搜救调配辅助功能。李茂<sup>[13]</sup>依据力量调配的假设条件和原则, 在紧急救援状态和

\* 收稿日期: 2017-09-06   修回日期: 2017-11-06

基金项目: 中国地震局地质研究所地震行业科研专项结余资金项目(JH-16-49); 国家自然科学基金项目(41661134013); 中国地震局工力所重点专项(2016QJGJ15)

第一作者简介: 邓砚(1977-), 女, 北京人, 博士, 助理研究员, 主要从事地震灾害和地震应急研究. E-mail: dengy@ies.ac.cn

备选路线优先的情况下,提供救援力量调配最优路线的选择思路和方法,处理相关因素,实现最优路线选择,得出救援力量调配路线。毕兴权<sup>[14]</sup>对区域尺度的救援力量与行动方面给出了相关建议。李亦纲等<sup>[15]</sup>给出了地震灾区救援力量的需求和优化调配的方案。

上述的研究多集中在救援力量和应急物资的研究上,而针对生命线抢修力量的研究则较少关注,为此本文将以震后应急期生命线工程抢修人员为研究对象,给出其优化调配的技术思路,并以通讯设施抢修人员优化调配为例,给出各环节的分析模型。

## 1 震后应急期间生命线工程抢修力量优化调配的技术思路

震后应急期间生命线抢修力量的优化调配主要包括以下若干环节的分析,它们环环相扣,构成了完整的研究技术思路。

(1)建立震后生命线工程抢修人员的需求分析模型,在此基础上,可以利用已知的震后生命线设施受损情况给出各个受损设备或者受灾区域的抢修人员最低需求。

(2)确定生命线抢修优先顺序的影响因素,通过专家咨询,对各个影响因素的贡献率进行赋值,并利用层次分析法,确定每个影响因素的权重,最终给出抢修优先度。

(3)利用图论和最短路径分析方法,确定各个受灾点和资源点之间的最短时间距离。

(4)利用运筹学中的决策优化算法,以应急期完成队伍配送所需要的总时间作为目标函数,确定抢修人员优化调配的模型。

下面就以通讯设备的震后应急抢修为例,给出该优化配置各环节建模的方法。

## 2 模型的建立——以震后通讯设备应急抢修为例

### 2.1 震后通讯设备抢修人员需求分析模型

本文的需求分析包括基于行业业务操作标准的抢修人员需求和基于近期震例的震后通讯抢修人员的总体需求的快速估算。

(1)基于通讯行业业务操作标准的抢修人员需求模型

通过汶川 8.0 级地震、玉树 7.1 级地震、芦山 7.0 级地震和鲁甸 6.5 级地震后的通讯基站抢修调研,可知震后基站的退服主要是由于电源、杆路及光缆中断造成。通信抢险队伍主要根据通信基站的市电中断数量、传输光缆中断数量、对传输的重要级别及环网阻断造成的影响来进行调配。日常传输中断通常安排 3~5 人为一小队,带维护工具负责临近的 1~2 处中断光缆修复;日常基站市电中断,常安排 3~4 人为一小队带 2 台发电油机及维护

工具负责临近 2 个基站的发电工作。当震后道路损坏较严重时,基本为两小队合为一中队<sup>[16]</sup>。

结合专家意见和抢修实例,本文确定震后传输中断通常安排 4 人维护 1 处中断修复;3 人带 1 台发电油机及维护工具负责 1 个基站的发电。此外,核心机房至少派 10 人,汇聚机房至少派 5 人,如果故障严重,会增派人员。这个判定原则适用于对灾区各受灾点的需求评估。

(2)基于中国近期震例的震后通讯抢修人员的总体需求分析

灾后,决策者需要根据灾情对需要调配的抢修人员的规模进行大致的估计,以便于统筹安排本地和异地的救援力量。本文收集并整理近期(2008 年以来)的震例资料,选取 11 个震例(表 1),对震后基站退服数与通讯抢修人数的关系进行了拟合,发现两者之间存在明显的线性正相关(相关系数为 0.986)。进一步,对两者取自然对数后,通过回归得到抢修人员需求与退服基站的统计关系:

$$\ln(y) = 0.836 \ln(x) + 2.014. \quad (1)$$

最后,得出通讯基站抢修人员需求模型:

$$y = \exp(0.836 \ln(x) + 2.014). \quad (2)$$

式中:  $y$  为通讯抢修人员规模;  $x$  为受损基站数。

通过上述公式,决策者就可以根据震后基站的退服情况,快速、大致给出中国现阶段震后通讯抢修人员的总体需求规模的估算方法。图 1 为通讯基站抢修人员的需求与退服基站数量的统计关系。

### 2.2 震后通讯设备抢修优先级判定模型

(1)优先顺序的判定依据

应急通讯保障分为灾情判断、应急抢通、保通阶段、畅通阶段、恢复重建等几个阶段。这里主要考虑应急抢通阶段,依据《中国移动云南公司昭通分公司通信应急保障总体预案》<sup>[18]</sup>的有关规定和通信公司调研,确定了震后通讯设备应急抢修/处置优先顺序的三个判定依据。

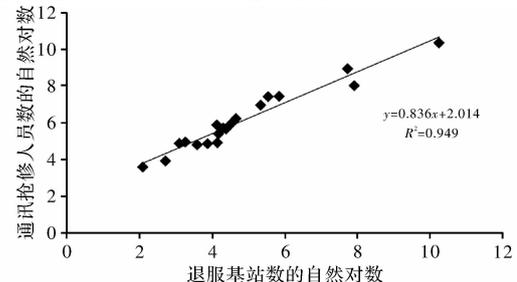


图 1 通讯基站抢修人员的需求与退服基站数量的统计公式

依据 1: 基站的正常运行是基于传输的正常运行之上的,因此传输的抢修是优先级最高的,先抢修主线后支线。基站的抢修是先抢上级站点、再抢下挂站;先抢核心站点、再抢边缘站。

依据 2: 不同服务对象在地震应急救援过程中的通讯保障的要求是不一样的。通信保障及抢险恢复工作应遵循先中央、后地方;先重点、后一般;先急后缓;在任何情况下,都必须确保党、政、军指挥机关通信畅通。具体保障顺序如下:

表 1 2008 年以来震后通讯设施受损和抢修情况的统计表<sup>[17]</sup>

地震名称	发震时间	发震地点	震级	基站退服数/个	抢修人员数/人
皮山地震	2015 年 7 月 3 日 09: 07	37. 6°N, 78. 2°E	6. 5	26	140
香格里拉地震	2013 年 8 月 31 日 08: 04	28. 2°N, 99. 4°E	5. 9	63	135( 移动)
定西地震	2013 年 7 月 22 日 07: 45	34. 5°N, 104. 2°E	6. 6	15	50
鲁甸地震	2014 年 8 月 3 日 16: 30	27. 1°N, 103. 3°E	6. 5	8 62	
景谷地震	2014 年 10 月 7 日 21: 49	23. 4°N, 100. 5°E	6. 6	60	171
普洱地震	2007 年 6 月 3 日 05: 00	23°N, 101°07'E	6. 4	74	300 余( 移动)
芦山地震	2013 年 4 月 20 日 08: 02	30. 3°N, 103. 0°E	7. 0	347 208* 256* 93	1675 1040( 移动)** 1648( 移动)** 385( 联通)
玉树地震	2010 年 4 月 14 日 07: 49	33. 1°N, 96. 6°E	7. 1	65 80 22	218( 移动) 285( 电信) 130( 联通)
盈江地震	2011 年 3 月 10 日 12: 58	24. 7°N, 97. 9°E	5. 8	36	121( 移动)
彝良地震	2012 年 9 月 7 日 11: 19	27. 5°N, 104. 0°E	5. 7	105 48 279	500( 移动) 128( 电信) 1485( 总合)
汶川地震	2008 年 5 月 12 日 14: 28	31. 01°N, 103. 42°E	8. 0	2300 2766 28714	7500( 移动) 3000( 联通) 30700

注: \* 表示单位为: 站次, \*\* 表示单位为: 人次。

①党政军指挥调度通信;

②民政、气象、医疗卫生、消防等与救灾救援相关通信;

③金融、电力、交通、税务等与国民经济密切相关相关部门通信;

④集团客户和大客户的业务;

⑤其他需要保障的重要通信。

简而言之是: 优先抢通干线、主干、汇聚节点、超级基站、覆盖党政军、公安、医院、重要道路、媒体基站<sup>[18]</sup>。

依据 3: 在应急抢修中还要考虑抢修难度, 遵循先易后难原则。造成这种难易差别主要是受到通讯设备损害程度和道路通达程度的影响。

(2) 通讯设施抢修的优先度判定模型

根据上述依据, 提出通讯设施抢修的优先度 (Pc) 判定原则可以表示为:

$$Pc = \alpha Sc + \beta Lc + \gamma Dc \quad (3)$$

① 设施等级 (Sc)

这个指标用于表示通讯设施的重要程度等级差别, 如中国移动公司机房/基站等级、通讯线路等级, 根据不同的重要性等级, 进行设施等级的赋值(表 2)。

② 受影响的用户通讯保障要求等级 (Lc)

电信、联通和移动三大通讯公司根据实际(或预计)吸收业务量、服务区域重要性划分了不同类型的基站。在资源受限时, 在不同级别的基站发生相同级别的故障时应优先处理高级别基站的故障(表 3

~表 5)。在当前上述三个公司基站分级的基础上, 结合震后应急通讯保障的特点, 给出本文的基站服务重要性等级判定标准和赋值表(表 6 和表 7)。

表 2 机房/基站和通讯线路等级赋值表

类型	分类	Sc 赋值
机房/基站	核心机房	1
	汇聚机房	0.6
	接入机房(即基站机房)	0.3
通讯线路	一干线路	1
	二干线路	0.8
	本地网线路	0.4

表 3 中国电信 CDMA 基站分级标准<sup>[19]</sup>

基站分级	分级标准
A 类站 (10% ~ 15%)	①具有重大社会效益, 主要服务于省市主要党政机关、新闻媒体等要害建筑和场所的基站。 ②国家级 5A 旅游景点的主要景区、本地标志性地段的基站。
B 类站 (35% ~ 45%)	①具有良好社会效益, 主要服务于大型医院、交通枢纽(机场、车站等)、重要学校等公共设施的基站。 ②覆盖重点商业区、休闲娱乐区、主要风景区等服务人群广泛的基站。 ③重要道路的主要覆盖基站。
C 类站 (40% ~ 60%)	以上等级之外其余的站。

表4 中国联通基站分级标准<sup>[20]</sup>

基站分级	分级标准
Vip 基站	静态 vip 站 服务于当地主要党政军机关、新闻媒体所在区域的站。
	动态 vip 站 重大活动通讯保障工作区域所在的站,其中包括重大突发事件。(《移动网络重大活动通讯保障工作实施方案》,原则上由省公司直接认定并赋值,活动或事件结束后由省级运维部门撤销该站的 vip 级别,恢复至原级别。)
A 类站(15% 以上)	①服务于重点大客户集团、重点保障社区的站。 ②服务于高峰季节的4A级(含)以上旅游景区、机场、火车站等交通枢纽及重要交通干线、人员密集的大型场馆、重要商业区、重要办公区的站。
B 类站(50% 以上)	①服务于一般4A级以下旅游景区、一般性居住区、一般性商业区、一般性办公区等地段的站。②用于覆盖一般公路、铁路沿线的站。
C 类站	以上等级之外其余的站。

表5 中国移动基站分级标准<sup>[21]</sup>

基站分级	分级标准
Vvip 站	党政军、医院、水电油气、重要交通枢纽、骨干交通枢纽
Vip 站(30% 以上)	①传输节点站。②覆盖重要场所的基站,如机场、车站码头、广场、政府机关、会展中心、三星级以上的宾馆、大型商场、重要风景区、中央商务区、大型居民区、大型影剧院、移动营业厅等。③高速公路、国道、铁路沿线的骨干基站。④覆盖重要乡镇的基站。⑤覆盖大型厂矿企业。高等院校的基站。⑥覆盖对抗洪抢险有重要作用的基站。
普通站	以上等级之外其余的站。

表6 受影响的用户通讯保障要求等级赋值表(在不知道具体服务对象,但知道基站分级的情况下)

中国联通	中国电信	中国移动	分级标准	Lc 赋值
Vip 基站	A 类站	Vvip 站	党政军、医院、新闻媒体、水电油气、骨干交通枢纽。	1
A 类站	B 类站	Vip 站	①传输节点站。②覆盖重要场所的基站,如机场、车站码头、广场、政府机关、会展中心、三星级以上的宾馆、大型商场、重要风景区、中央商务区、大型居民区、大型影剧院、移动营业厅等。③高速公路、国道、铁路沿线的骨干基站。④覆盖重要乡镇的基站。⑤覆盖大型厂矿企业。高等院校的基站。⑥覆盖对抗洪抢险有重要作用的基站。	0.8
B 类和 C 类	C 类站	普通站	以上等级之外其余的站。	0.2

③抢修难度(Dc)

这里主要考虑由于通讯设施破坏程度不同对抢修难易程度的影响(表8)。在设备重要程度等相同的情况下,一般由易到难进行抢修。如果基站遭到严重破坏或毁坏,在应急期间无法短期抢修恢复,则不考虑抢修,需要采取调派应急通讯车以保障应急通讯。

表7 受影响的用户通讯保障要求等级赋值表(在已知服务对象的情况下,根据通讯领域专家打分)

服务用户名称	Lc 赋值	服务用户名称	Lc 赋值
通讯枢纽	1	大型物资仓库	0.6
党政机关	1	外国驻华机构	0.6
军事基地	1	避难场所、大型场馆	0.4
医院	1	金融、银行、金库	0.4
交通枢纽	0.8	大型企业	0.4
电力枢纽	0.8	文物保护单位	0.4
广播电台、电视台	0.8	学校	0.4
		其他	0.1

表8 不同破坏程度下的抢修系数

破坏程度	Dc 赋值
严重破坏或毁坏	0
中等破坏	0.4
轻微破坏	0.8
基本完好	1

注:破坏程度可以根据震后通讯设施损失评估给出。

表9 三个因素对于通讯设备应急抢修的优先度判断矩阵

	设施等级	受影响的用户通讯保障要求等级	抢修难度
设施等级	1	3	9
受影响的用户通讯保障要求等级	1/3	1	1/5
抢修难度	1/9	5	1

注:请专家判断表9中交叉对应的两个指标之间的重要性,权衡它们对于“通讯应急抢修的优先度”的重要性。具体规则如表10所示。

表 10 比较准则<sup>[22]</sup>

标度	含义
1	两个因素同样重要
3	一个因素相对于另一个因素稍微重要
5	一个因素相对于另一个因素明显重要
7	一个因素相对于另一个因素强烈重要
9	一个因素相对于另一个因素绝对重要
2, 4, 6, 8,	上述两相邻判断的中间值

④指标权重的确定

利用层次分析法, 计算式(3)中,  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  的权重。邀请通讯系统有经验的专家和实际工作人员对上述 3 个指标进行重要程度的打分, 见表 9 和表 10。打分计算结果为:  $\alpha=0.67$ 、 $\beta=0.27$ 、 $\gamma=0.06$ 。

⑤ 通讯设施抢修的优先级( $P_c$ )判定原则表示为:

$$\begin{cases} P_c = 0.67Sc + 0.27Lc + 0.06Dc, & 0 < Dc < 1; \\ P_c = 0, & Dc = 0 \text{ or } 1. \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $Dc=0$  是由于造成毁坏, 无法在应急过程中抢修, 需要调配应急通讯车, 或架设新基站, 或灾后重新建设;  $Dc=1$  是由于未受到破坏, 无需抢修。

2.3 行进路径的判断模型

行进路径原理是在确定各区域抢修力量的需求后把所有受灾点、资源点及它们之间的道路组成一个拓扑网络。在这个拓扑网络中, 受灾点和资源点是节点, 道路是弧段, 道路行进时间(考虑震后线路的畅通性和救援队的行进方式)是弧段的权重。形成的赋权有向图记作  $D = (V, A)$ , 其中每一个弧记作  $a = (v_i, v_j)$ , 相应的权重记作  $\omega(a) = \omega_{ij}$ 。当给定  $D$  中的两个顶点  $v_s, v_t$ ,  $P$  是  $D$  中从  $v_s$  到  $v_t$  的一条道路,  $P$  中所有弧的权之和记作  $\omega(P)$ 。结合震后灾情信息, 判断道路是否通行, 基于可通行的道路网络, 根据图论的最佳路径原理中的 Dijkstra 算法给出由起始点  $v_s$  到目标点  $v_t$  的最佳路径  $P_0$ , 即时间成本最低  $\omega(P_0) = \min\omega(P)$ , 从而得出抢修队的行进路径。

2.4 通讯抢修力量的优化调配模型

(1)问题描述

抢修力量的优化调配属于生命线应急处置过程中的资源分配问题。震后灾区存在着需要多受灾点统一进行资源(救援队伍或物资)配送的救灾场景, 而对于应急机构而言, 能够用于灾区分配的资源往往是不足的, 特别是在震后初期, 在这种情况下, 要进行科学的抢险救灾, 首要的前提就是要解决如何实现不同的资源点和受灾点之间资源科学配送的问题。地震应急以抢修效率为第一要务, 因此以完成队伍配送所需要的总时间作为目标函数, 结合问题描述, 构建如下模型:

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} & (5) \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i (i = 1, 2, \dots, m); \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j (j = 1, 2, \dots, n); \\ x_{ij} \geq 0. \end{cases} \end{aligned}$$

式中:  $a_i$  为各资源点能够提供的有效的抢修人员数量(已知),  $b_j$  为各抢修点接收的抢修人员数量(2.1 节中给出)。  $c_{ij}$  代表第  $i$  个抢修队伍到第  $j$  个抢修点的最短的时间距离。令  $x_{ij}$  代表第  $i$  个抢修队伍为第  $j$  个抢修点提供的抢修人员数量, 令  $z$  为完成队伍配送所需要的总时间。

(2)运输问题求解

对于多资源点(抢修人员集结地点)对应多抢修点的人力资源输送的问题, 可采用运筹学中运输问题的解决方法, 应用此方法需要解决以下两个问题。

①确定各抢修点的可满足需求(即在当前拥有的总人员数量条件下, 能调配给抢修点的人员数量), 这个问题可以通过对地区抢修力量的调查获得。

②确定抢修点、资源点之间的有效路径, 这需要 GIS 最优路径分析功能的帮助以及准确、及时的道路通畅情况信息。

基本处理流程:

①基于各受灾点的救援或抢修优先系数, 首先挑选出优先级最高的受灾点(一个或者多个优先系数相同点)。

②利用运筹学中运输问题的解决方法, 建立最优化模型。利用“表上作业法”原理进行抢修人员的分配和派送(表 11), 将此模型中的  $x_{ij}$  解出, 即可得到事件最优的调配方案。

③以此类推, 逐(优先)级完成。

表 11 抢修人员与需求关系表

资源点	抢修点				可调配人员数量
	$B_1$	$B_2$	.....	$B_n$	
$A_1$	$c_{11}$	$c_{12}$		$c_{1n}$	$a_1$
$A_2$	$c_{21}$	$c_{22}$		$c_{2n}$	$a_2$
.....					.....
$A_m$	$c_{m1}$	$c_{m2}$		$c_{mn}$	$a_m$
抢修人员需求	$b_1$	$b_2$	.....	$b_n$	

注:  $A, B$  分别代表各救抢修队伍分布点和通讯抢修点。

3 算例分析

为了验证上述模型, 假定了一个地震发生后通讯设施受损和抢修情景。已知: 震后有 5 个需要抢修的基站站点的基本情况(表 12); 每个受损基站的抢修设定需要 3 人左右, 核心机房需要 10 人, 汇聚机房需要 5 人; 表 13 为受损通讯基站的抢修优先度判定结果; 表 14 为各个资源点与抢修点之前的最短时间距离、各个资源点可以派出的抢修人员数量和各个抢修点的人员需求。

根据公式(4)计算了上述 5 个抢修点的优先度, 结果见表 13。

根据公式(5), 给出抢修人员优化调配的方案(表 15)。  $A_1$  向  $B_1$  调配 5 名抢修人员,  $A_2$  向  $B_2$  调配 3 名抢修人员,  $A_3$  向  $B_3$  调配 10 名抢修人员,  $A_2$  向  $B_4$  调配 3 名抢修人员,  $A_2$  向  $B_5$  调配 3 名抢修人

员。

表 12 受损通讯基站的基本情况

	机房/基站等级	服务对象	破坏等级
抢修点 $B_1$	汇聚机房	多个服务对象	中等破坏
抢修点 $B_2$	基站	指挥中心	中等破坏
抢修点 $B_3$	核心机房	整个区域	轻微破坏
抢修点 $B_4$	基站	交通枢纽	中等破坏
抢修点 $B_5$	基站	工厂	严重破坏

表 13 受损通讯基站的抢修优先度判定结果

	设施等级	服务对象	破坏等级	优先度
抢修点 $B_1$	0.6	5	0.4	1.776
抢修点 $B_2$	0.3	1	0.4	0.495
抢修点 $B_3$	1	10	0.2	3.382
抢修点 $B_4$	0.3	0.8	0.4	0.441
抢修点 $B_5$	0.3	0.1	0.8	0.276

注： $B_1$  和  $B_3$  是多个服务对象的分值的综合。

表 14 抢修点到资源点的最短时间距离(已经按照优先度排序)

最短时间 成本/min	抢修 点 $B_3$	抢修 点 $B_1$	抢修 点 $B_2$	抢修 点 $B_4$	抢修 点 $B_5$	可调配人 员数/人
资源点 $A_1$	60	30	20	90	100	8
资源点 $A_2$	40	40	15	60	80	12
资源点 $A_3$	30	80	60	20	60	10
抢修人员 需求/人	10	5	3	3	3	

表 15 抢修人员优化调配方案

调配人员/人	抢修 点 $B_1$	抢修 点 $B_2$	抢修 点 $B_3$	抢修 点 $B_4$	抢修 点 $B_5$
		5	3	10	3
资源点 $A_1$	8	5	0	0	0
资源点 $A_2$	12	0	3	0	3
资源点 $A_3$	10	0	0	10	0

## 4 结论与讨论

本文根据目前地震应急期间对通讯设施应急处置力量调配的实际需求,从抢修人员需求分析、抢修优先级和基于运输问题的抢修力量优化调配等几个方面对地震灾区通讯抢修力量优化调配问题进行了研究,给出了具有合理性和可操作性的技术思路和初步的应用。

(1)利用已知的震后生命线设施受损情况给出各个受损设备或者受灾区域的抢修人员需求,可以在震后应急时效性要求很高的阶段帮助决策者对需求进行快速估算,有利于在短时间内实现人员的优化调配。

(2)利用层次分析法,在震前通过专家咨询,对影响生命线抢修的因素进行权重分析,可以在震后快速给出抢修的优先顺序。

(3)利用图论和最短路径分析方法,可以快速确定各受灾点和资源点之间的最短时间距离。

(4)利用运筹学中的决策优化算法,以完成队伍配送所需要的总时间作为目标函数,可以在震后给决策者提供快速确定抢修人员优化调配的方案。

本文是以通讯设备抢修为例,展示了该优化配置各环节所需模型的建立方法。其他生命线工程可以依据自身的特点依据该技术思路和方法进行计算。但是应当说明,本文对于不同受灾程度的生命线工程的抢修人员的需求差异和更高精度的需求估算、优化调配的动态性等问题还需要在今后的研究中不断完善和深化。

## 参考文献:

- [1] 李杰. 生命线工程的研究进展与发展趋势[J]. 土木工程学报, 2006, 39(1): 1-6.
- [2] 袁媛, 樊治平, 刘洋. 生命线网络系统多节点失效的应急抢修队伍派遣模型研究[J]. 运筹与管理, 2012, 21(1): 131-135.
- [3] 徐祖哲. 芦山地震启示录: 科学救灾, 供与需对接的艺术[EB/OL]. (2013-04-24) [2017-09-05]. <http://roll.sohu.com/20130424/n373840063.shtml>.
- [4] 聂高众, 高建国, 苏桂武, 等. 地震应急救援需求的模型化处理—来自地震震例的经验分析[J]. 资源科学, 2001, 23(1): 69-76.
- [5] 傅志妍, 陈坚. 灾害应急物资需求预测模型研究[J]. 物流科技, 2009(10): 11-13.
- [6] 曹彦波, 李永强, 李兆隆, 等. 地震紧急救援区域优先度判定模型研究[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(3): 181-189.
- [7] 张晶伟, 张粒子, 黄弦超. 基于遗传拓扑混合算法的配电网多故障抢修策略[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(22): 32-35.
- [8] 魏昌盛, 陈维峰, 黄丁发, 等. 一种基于最短路径的地震救援力量部署模型[J]. 灾害学, 2012, 27(2): 130-139.
- [9] 吴新燕, 顾建华, 郭红梅, 等. 地震现场搜救力量部署模型研究[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 115-122.
- [10] Friedrich F, Gehbauer F, Rickers U. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters[J]. Safety Science, 2000, 35: 41-57.
- [11] Mike P, Amy F. Fire mapping with ArcGIS [R]. USA: ESRI, 2007.
- [12] 郭红梅, 黄丁发, 陈维峰, 等. 城市地震现场搜救指挥辅助决策系统的设计与开发[J]. 地震研究, 2008, 31(1): 83-88.
- [13] 李茂. 城市灾害事故应急救援力量调配模型研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.
- [14] 毕兴权. 地震灾害生命救援的对策与行动要求[J]. 武警学院学报, 2008, 24(12): 5-8.
- [15] 李亦纲, 张媛, 李志伟. 地震灾区救援力量优化调配模型[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(3): 150-154.
- [16] 大中城市震后综合救灾对策研究课题组. 大中城市震后综合救灾对策研究调研报告[R]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2017.
- [17] 大中城市震后综合救灾对策研究课题组. 大中城市震后综合救灾对策研究报告[R]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2017.
- [18] 中国移动通信集团云南有限公司昭通分公司. 中国移动云南公司昭通分公司通信应急保障总体预案[R]. 昭通: 中国移动通信集团云南有限公司昭通分公司, 2015.
- [19] 通信人家园. 中国电信 CDMA 基站分级办法[EB/OL]. (2012-02-21) [2017-04-05]. <http://bbs.c114.net/thread-597508-1-1.html>.
- [20] 经管专家. 中国联通移动网络基站分级管理要求[EB/OL]. (2011-10-21) [2017-04-05]. <http://www.taodocs.com/p-282298-2.html>.

- [21] 中国移动贵州公司网络部网优中心. 中国移动贵州公司 TD-LTE 无线网命名规范[EB/OL]. (2014-08-27) [2017-04-05]. <http://www.docin.com/p-903041044.html>.
- [22] 张炳江. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.

## The Model of Optimal Allocation for Lifeline Engineering Emergency Workers in Post-earthquake Emergency Period: A Case Study of Communication Facilities

DENG Yan<sup>1</sup>, SUN Lei<sup>1</sup>, GUO Yong<sup>2</sup> and LI Xiaoli<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*;  
2. *Weinan branch of China mobile communication group Shaanxi co. LTD, Wennan 714000, China*)

**Abstract:** In order to achieve the goal of scientific disaster relief, according to the requirement of high timeliness in post-earthquake emergency period, the technical ideas of optimal allocation for lifeline engineering emergency workers were put forward. By performing a case study of communication facilities, firstly, based on recent earthquake relief cases, the demand experience relationship of emergency workers was given. Then the analytic hierarchy process is used to establish a quick evaluation model for the priority of post-earthquake repair. In this way, the algorithm of transport problems in operational research was used to construct the model of optimal allocation of emergency workers during the emergency repair time. Finally, an example was given to illustrate the feasibility and effectiveness of the model.

**Key words:** post-earthquake; emergency period; lifeline engineering; emergency workers; demand analysis; prioritization; optimization model

(上接第 180 页)

- [11] 薛澜, 陶鹏. 从自发无序到协调规制 - 应急管理体系中的社会动员问题——芦山抗震救灾案例研究[J]. 行政管理改革, 2013(6): 30-34.
- [12] 《志愿服务条例》获通过 明确服务基本原则[EB/OL]. (2017-06-07) [2017-06-08]. <http://news.sina.com.cn/sf/news/flfg/2017-06-08/doc-ifyfyz2288397.shtml>.
- [13] 《河南省志愿服务条例》起草工作第一次会议召开[EB/OL]. (2017-06-15) [2017-06-19]. <http://www.luoherd.gov.cn/news/296/20170619/17535.html>.
- [14] 中华人民共和国主席令. 中华人民共和国突发事件应对法[EB/OL]. (2007-08-30). [http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-08/30/content\\_732593.htm](http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-08/30/content_732593.htm).
- [15] 国家突发公共事件总体应急预案[EB/OL]. (2014-07-30) [2006-01-08]. <http://www.china.com.cn/chinese/law/1086058.htm>.

## Study on the Current Situation and Improvement Path of Emergency Coordination between Government and Private Rescue Organizations ——a Case Study of Anyang City, Henan Province

LIU Yanping<sup>1</sup>, HAN Zhaohui<sup>2</sup> and HE Jixin<sup>1\*</sup>

(1. *College of Economics and Mangement, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China*  
2. *Anyang Emergency Management Office, Anyang 455000, China*)

**Abstract:** Anyang district, Henan province to be as the research area, based on field investigation, firstly, the current existing problems between the government and private aid organizations in the emergency management was analyzed; secondly, the causes were systematically combed; Thirdly, the improvement path was explored from emergency preparation stage. This research is aimed to establish a systematic improvement path to realize the main idea of scientific, reasonable division of labor responsibility, power distribution properly, configured orderly, in order to effectively guide the orderly and effective operation of rescue activities and rehabilitation after a sudden disaster, and ensure the security of the people's lives and property.

**Key words:** Government; Private Rescue Organizations; Emergency Coordination; Improvement Path