

基于 AHP 方法的云南地震现场通信技术系统 应急响应模式研究^{*}

邓树荣, 曹彦波, 张方浩, 和仕芳, 余庆坤, 杜浩国

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 对云南地震现场应急通信技术系统的现状进行梳理分析, 以 AHP 层次分析法为基础, 从系统的设备构成、功能特点、制约因素三个方面, 阐述了各层面间的相互联系与系统自身存在的制约因素, 确定了各级指标的权重, 从而得出这些因素对实现总目标的影响或重要程度, 并对决策模型的计算结果进行了详细的分析, 最后应用该方法对比分析近几年云南典型地震现场应急通信技术保障实例。

关键词: AHP 方法; 地震现场通信; 应急响应模式

中图分类号: P315.95

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)02-0277-09

0 引言

自 2011 年 3 月 24 日发生缅甸孟帕亚 7.2 级地震以来, 云南地区已进入新一轮强震活跃期(皇甫岗等, 2014)。据统计, 2011—2015 年, 云南共发生 5.0 级以上破坏性地震 21 次, 平均每年 4 次, 地震共造成 731 人死亡, 5 315 人受伤, 直接经济损失 4 129 728 万元^{①②③④⑤}。云南地处欧亚大陆与印度洋板块碰撞带的东沿, 地壳运动活跃, 区域内横断山脉纵横交错, 地质切割形态分布较广, 高原山地环境山高坡陡。因此, 云南地震活动频率高、人员伤亡多、灾害损失重、救援难度大。这些都给云南地震现场通信技术系统保障带来了严峻的考验。

近年来, 我国发生了震级较大的汶川 8.0 级、芦山 7.0 级、鲁甸 6.5 级破坏性地震, 从历次地震现场的震害可知, 在中等以上破坏性地震的震中区, 有线通信网络基本破坏, 在应急期内难以立即恢复(张毓丰, 邓宪民, 2005), 地震现场通信保障工作在地震应急处置中显得尤为重要。随着政府对防震

减灾工作越来越重视, 社会公众对地震应急处置的关注和要求越来越高, 地震应急通信保障任务也就越来越重。为了不断提高地震应急通信保障能力, 使地震现场应急通信技术系统的指挥调度和应用更加科学, 一些学者对地震应急指挥技术系统硬件和软件(帅向华等, 2009a, b)、地震应急指挥协同平台(姜立新, 帅向华, 2012)、地震救援现场应急通信系统的设计(洪惠群等, 2012)进行了深入的研究, 并对国家地震应急指挥技术系统建设中的关键技术(杨天青等, 2010)进行了探索和应用分析, 这些研究成果为云南地震现场通信技术系统的应用提供了很好的参考。

《国家地震应急预案》和《云南省地震应急预案》对地震应急响应级别的启动作了规定, 《云南省地震系统应急工作方案》对现场工作队通信组的地震现场通信和网络保障、现场灾情获取和信息传输等工作内容作了说明。赵恒等(2007, 2012)对破坏性地震的应急通信需求进行分析, 认为不同震级所造成的灾区通信破坏程度不同, 因而不同应急响应级别对应的地震现场通信技术系统保障模式也会有差异。云南地震现

^{*} 收稿日期: 2016-06-15.

基金项目: 中国地震局震灾应急救援司专题课题“地震应急公共服务平台研究”资助.

① 云南省地震局. 2012. 2011 年中国和云南地震活动及灾害.

② 云南省地震局. 2013. 2012 年云南地震灾害与抗震救灾.

③ 云南省地震局. 2014. 2013 年云南地震灾害与抗震救灾.

④ 云南省地震局. 2015. 2014 年云南地震灾害与抗震救灾.

⑤ 云南省地震局. 2016. 2015 年云南地震灾害与抗震救灾.

场通信技术系统由多套子系统组成,设备较多、功能复杂,在应急响应指挥调度决策的过程中,难免出现功能重复、装备搭配不合理、地震现场保障模式和灾区通信需求不匹配等问题。为了使该系统在地震应急中的指挥调度和应用更加科学,最大化发挥应急通信保障能力,笔者利用AHP层次分析法,根据不同的应急响应级别,对该系统的功能和制约因素进行分析研究,探索适应云南特殊地理环境的地震现场通信技术系统应急响应模式。

1 云南地震现场通信技术系统概况

经过国家十五项目、地震社会服务工程、云南省预防和处置地震灾害能力建设十项重大措施和十项重点工程等项目的规划建设,云南省地震局建成了由现场应急指挥技术系统、现场工作队通信指挥系统、前方移动指挥平台、无人机地震灾情获取系统、现场指挥所共5套系统(平台)

组成的云南地震现场应急通信技术系统(表1)。

在历次地震应急响应中,云南省地震局地震现场应急通信技术系统都进行了不同程度的保障。据统计,在2011—2015年发生的21次5.0级以上破坏性地震中,云南省地震局启动Ⅳ级响应3次,Ⅲ级响应11次,Ⅱ级响应4次,Ⅰ级响应1次。其中,现场应急指挥技术系统进行了6次保障,现场工作队通信指挥系统进行了14次保障,现场指挥所进行了11次保障。无人机地震灾情获取系统建成时间较晚(2015年建成),在笔者的统计时间段内没有得到较好的应用,但在2014年“8·03”鲁甸地震和2014年“10·07”景谷地震应急响应中地震系统的其他单位采用了无人机对灾区进行了航拍,灾情获取效果较好。

从表1中可以看出,各分系统整体的装备和功能各有侧重,但也有相同和相似的部分,有的可独立使用,有的需要相互配合使用,有的装备可满足多种功能,有的功能需要多种装备配合才能实现,有些系统和装备又有各自的制约因素。

表1 云南地震现场应急通信技术系统的结构表

Tab.1 Structure of the response mode of the System of Yunnan Earthquake – site Emergency Communications

系统名称	主要装备(或系统)	主要功能	制约因素
现场应急指挥技术系统	音视频会议系统	音视频会议功能	设备老化 车体较重不平衡 车体大,通过性差
	网络设备	数据/网络功能	
	卫星通信设备	办公功能	
	办公设备	北斗定位文传功能	
	北斗定位文传设备	卫星语音通话功能	
	卫星电话	临时现场指挥所	
	帐篷	地震现场通信保障功能	
	供配电系统		
现场工作队通信指挥系统	音视频会议系统	音视频会议功能	车体较重不平衡 车体大,通过性差 动中通卫星天线直径小功率低
	网络设备	数据/网络功能	
	卫星通信设备	办公功能	
	办公设备	卫星语音通话功能	
	卫星电话	临时现场指挥所	
	供配电系统	地震现场通信保障功能	
	中控系统	指挥协同调度功能	
	计算机系统	地震现场照明功能	
	会议系统	短波通信功能	
	短波通信系统	单兵通信功能	
	单兵图传系统	地震灾情数据采集传输	
	现场照明设备		

续表 1

系统名称	主要装备（或系统）	主要功能	制约因素
前方移动 指挥平台	音视频会议系统	音视频会议功能	
	网络设备	数据/网络功能	
	办公设备	办公功能	
	卫星电话	卫星语音通话功能	
	供配电系统	临时现场指挥所指挥协同调度功能	
	计算机系统	地震现场照明功能	车体较重不平衡
	会议系统	短波通信功能	车体大，通过性差
	短波通信系统	地震灾情数据采集传输	无卫星通信设备，需外部网络接入
	现场照明设备	科普宣传功能	
	语音系统（电话、对讲机、广播喇叭）	现场信息管理	
	卫星电视	专题图管理	
	时钟及导航	灾情动态修正（影响场修正）辅助决策功能	
	现场指挥管理软件	地震事件管理	
	现场信息采集系统	数据库管理	
现场指挥所（含 箱体便携视频会 议系统和地震现 场便携信息采集 传输系统）	音视频会议系统		
	网络设备	音视频会议功能	
	办公设备	数据/网络功能	
	现场照明设备	办公功能	无卫星通信设备，需外部网络接入
	会议系统	卫星语音通话功能	箱体较重，运输和搬运困难
	LED 宣传显示屏	地震现场照明功能	数据流量较大，对网络要求高
	供配电系统	地震灾情数据采集传输	便携系统电力持续时间有限
	数码摄像机	科普宣传功能	
	便携信息采集终端		
	舒莱雅卫星通信设备		
无人机地震灾情 获取系统	无人机主体	地面目标探查、跟踪和定位	空域申请困难
	探查系统（任务载荷）	地面信息航拍采集	技术要求较高
	便携式测控站	图像拼接与灾害识别	工作场地环境易受限制
	图像数据分析与灾情处理系统		

2 AHP 方法的基本原理

AHP 决策分析法由美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出，是一种定性与定量相结合的层次决策分析方法。它将复杂问题分解为多个组成因素，并将这些因素按支配关系进一步分解，按目标层、准则层、指标层排列起来，形成一个多目标、多层次的模型，形成有序的递阶层次结构。通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性，然后综合评估主体的判断确定诸因素相对重要性的总顺序。

2.1 构造判断矩阵

构造判断矩阵是 AHP 方法的关键步骤，表示针对上一层次中的某元素而言，评定该层次中各

有关元素的相对重要性，其形式如表 2 所示（徐建华，2002）。

表 2 AHP 矩阵形式

Tab. 2 AHP matrix

A_k	B_1	B_2	...	B_n
B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1n}
B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
B_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nn}

若以矩阵来表示，即

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

(1)

式 (1) 中, \mathbf{B} 称为判断矩阵。其中, b_{ij} 表示对于 A_k 而言, 元素 B_i 对 B_j 的相对重要性的判断值, b_{ij} 一般取 1、3、5、7、9 等 5 个等级指标, 意义为: 1 表示 B_i 与 B_j 同等重要, 3 表示 B_i 比 B_j 重要一点, 5 表示 B_i 比 B_j 重要得多, 7 表示 B_i 比 B_j 重要很多, 9 表示 B_i 比 B_j 极端重要。2、4、6、8 为相邻判断的中值。显然 $b_{ii} = 1$, $b_{ij} = 1/b_{ji}$, ($i, j = 1, 2, \dots, n$)。

2.2 模型计算

第一步, 计算层次单排序。对矩阵 \mathbf{B} 计算满足

$$\mathbf{B}\mathbf{W} = \lambda_{\max} \mathbf{W} \quad (2)$$

的特征根和特征向量, 并将特征向量归一化。在式 (2) 中, λ_{\max} 为 \mathbf{B} 的最大特征根, \mathbf{W} 为对应于 λ_{\max} 的正规化特征向量, \mathbf{W} 的归一化特征向量就是对应元素的单排序权重值。

检验判断矩阵的一致性, 计算一致性指标

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

式中: 当 $CI = 0$, 即 $\lambda_{\max} = n$ 时, 判断矩阵具有完全一致性, 反之, CI 越大, 判断矩阵的一致性越差。

计算一致性比例:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.10 \quad (4)$$

其中, RI 为平均随机一致性指标 (表 3)。一般当 $CR < 0.10$ 时, 判断矩阵具有满意的一致性, 否则就要调整判断矩阵。

第二步, 计算层次总排序。若上一层次所有元素 A_1, A_2, \dots, A_m 的总排序权重值为 a_1, a_2, \dots, a_m ; 与 A_j 对应的本层次元素 B_1, B_2, \dots, B_n 的层次单排序结果为 $[b_1^j, b_2^j, \dots, b_n^j]^T$ (若 B_i 与 A_j 无联系时, $b_i^j = 0$); 那么, B 层次的总排序为表 4。

表 3 平均随机一致性指标

Tab. 3 Average and random consistency - indexes

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	...

表 4 层次总排序

Tab. 4 Overall hierarchies

层次 A/B	A_1	A_2	...	A_m	$W_{\text{总}}$
	a_1	a_2	...	a_m	
B_1	b_1^1	b_1^2	...	b_1^m	$\sum_{j=1}^m a_j b_1^j$
B_2	b_2^1	b_2^2	...	b_2^m	$\sum_{j=1}^m a_j b_2^j$
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots
B_n	b_n^1	b_n^2	...	b_n^m	$\sum_{j=1}^m a_j b_n^j$

对层次总排序进行一致性检验, 分别计算下列指标:

$$CI = \sum_{j=1}^m a_j CI_j \quad (5)$$

$$RI = \sum_{j=1}^m a_j RI_j \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.10 \quad (7)$$

同样的, 当层次总排序的随机一致性比例 $CR < 0.10$ 时, 层次总排序具有满意的一致性, 否则就要调整该层次的判断矩阵。

3 云南地震现场通信技术系统 AHP 模型

3.1 建立层次结构

根据云南地震现场通信技术系统的结构, 按照总目标、系统层、功能层、制约因素 4 个层次列出决策因子 (表 5)。根据表 5 所述各个决策因素之间的相互关系 (表 1), 建立如图 1、2 所示层次结构模型。

3.2 构造判断矩阵

笔者选取多次参加云南地震现场的相关专家和专门从事地震现场通信的技术人员, 发放了 15 份调查问卷, 其中专家问卷 4 份, 一般技术人员问卷 11 份, 对系统本身、系统功能和制约因素进行问卷调查, 对应功能层次结构图 (图 1) 和制约因素层次结构图 (图 2), 构造了基于云南地震现场通信技术系统的 3 组共 33 个判断矩阵。

表 5 决策因素表

Fig. 5 Decision factors

决策 层次	代 码	决策因素	决策 层次	代 码	决策因素
总目标	A	使云南地震现场应急通信技术系统的指挥调度和应用更加科学，最大化发挥应急通信保障能力			
系统 层	X ₁	现场应急指挥技术系统		G ₁₄	现场信息管理功能（信息分类、汇集、查询、上报）
	X ₂	现场工作队通信指挥系统		G ₁₅	专题图管理（模版管理、专题图展示）
	X ₃	前方移动指挥平台		G ₁₆	灾情动态修正（影响场修正）
	X ₄	现场指挥所（含箱体便携视频会议系统和便携信息采集传输系统）	功 能 层	G ₁₇	辅助决策功能
	X ₅	无人机地震灾情获取系统		G ₁₈	地震事件管理
功 能 层	G ₁	音视频会议功能		G ₁₉	数据库管理
	G ₂	数据/网络功能		G ₂₀	地面目标探索、跟踪和定位
	G ₃	办公功能		G ₂₁	地面信息航拍采集
	G ₄	北斗定位文传功能		G ₂₂	图像拼接与灾害识别
	G ₅	卫星语音通话功能		Z ₁	设备老化
	G ₆	临时现场指挥所	制 约 因 素 层	Z ₂	车体较重不平衡
	G ₇	地震现场通信保障功能		Z ₃	车体大，通过性差
	G ₈	指挥协同调度功能		Z ₄	动中通天线直径小，功率低
	G ₉	地震现场照明功能		Z ₅	无卫星通信设备，需外部网络接入
	G ₁₀	短波通信功能		Z ₆	箱体较重，运输和搬运困难
	G ₁₁	单兵通信功能		Z ₇	数据流量较大，网络要求高
	G ₁₂	地震灾情数据采集传输		Z ₈	便携系统电力持续时间有限
	G ₁₃	科普宣传与展示功能		Z ₉	空域申请困难
				Z ₁₀	技术要求较高
				Z ₁₁	工作场地环境易受限制

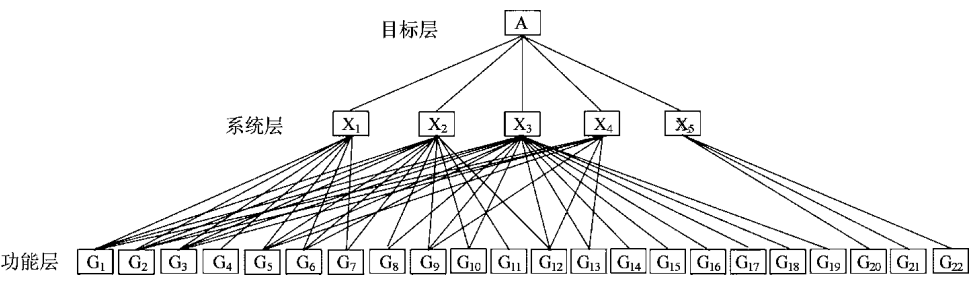


图 1 功能层次结构图

Fig. 1 Hierarchy of functions

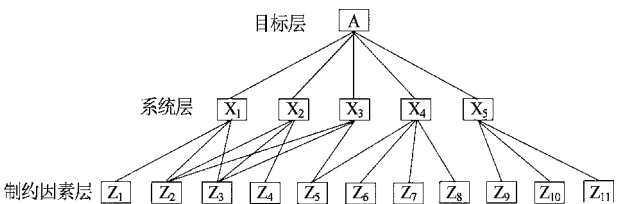


图 2 制约因素层次结构图

Fig. 2 Hierarchy of constraint factors

3.3 模型计算

(1) 计算 5 个系统 X_1, X_2, \dots, X_5 的相对权重，系统层数为 1，因此计算出的相对权重既是层次单排序，也是层次总排序（表 6），他们表示各系统对实现总目标的重要程度。

(2) 计算每个功能 G_1, G_2, \dots, G_{22} 对每个系统的相对权重（层次单排序），并用系统 $X_1, X_2,$

…， X_5 的权重对功能的相应权重加权后相加，计算功能层的组合权重（表 7），它们表示各功能对实现总目标的重要程度。

（3）计算每个制约因素 Z_1, Z_2, \dots, Z_{11} 对每个系统的相对权重（层次单排序），并用系统 X_1, X_2, \dots, X_5 的权重对制约因素的相应权重加权后相加，计算制约因素层的组合权重（表 8），它们表示各制约因素对实现总目标的制约程度。

利用 Matlab 程序（余胜威，2014）对该 AHP 模型进行计算，结果如表 6~8 所示。

表 6 系统层次总排序

Tab. 6 Overall levels of sub - systems

系统	Ⅰ级响应		Ⅱ级响应		Ⅲ级响应	
	W	排序	W	排序	W	排序
X_1	0.071 4	5	0.103 3	5	0.353 8	1
X_2	0.272 2	2	0.274 1	1	0.222 3	3
X_3	0.167 9	4	0.214 7	3	0.096 7	4
X_4	0.180 7	3	0.147 0	4	0.230 5	2
X_5	0.307 8	1	0.261 0	2	0.096 7	4

表 7 功能层次总排序

Tab. 7 Overall levels of functions

功能	Ⅰ级响应		Ⅱ级响应		Ⅲ级响应	
	W	排序	W	排序	W	排序
G_1	0.139 0	5	0.097 3	1	0.163 1	1
G_2	0.139 6	4	0.082 8	3	0.116 7	3
G_3	0.129 0	6	0.064 7	7	0.079 1	6
G_4	0.003 1	21	0.007 9	21	0.018 6	13
G_5	0.188 9	1	0.081 1	4	0.119 0	2
G_6	0.044 5	10	0.038 6	10	0.052 9	8
G_7	0.041 1	11	0.044 2	8	0.109 0	4
G_8	0.035 6	12	0.042 3	9	0.022 6	11
G_9	0.074 1	8	0.035 1	12	0.022 5	12
G_{10}	0.030 6	13	0.034 1	13	0.016 2	14
G_{11}	0.022 4	14	0.023 6	14	0.013 0	16
G_{12}	0.175 3	2	0.069 4	5	0.079 3	5
G_{13}	0.055 4	9	0.037 7	11	0.057 0	7
G_{14}	0.012 2	15	0.013 6	17	0.006 3	17
G_{15}	0.012 0	16	0.014 2	16	0.006 1	19
G_{16}	0.010 4	18	0.012 2	20	0.006 2	18
G_{17}	0.009 4	20	0.012 3	19	0.004 5	22
G_{18}	0.009 7	19	0.012 7	18	0.005 5	21
G_{19}	0.010 8	17	0.015 2	15	0.005 7	20
G_{20}	0.111 1	7	0.067 9	6	0.014 4	15
G_{21}	0.111 1	7	0.067 9	6	0.033 8	10
G_{22}	0.143 7	3	0.092 9	2	0.0485	9

表 8 制约因素层次总排序

Tab. 8 Overall levels of constraint factors

制约因素	Ⅰ级响应		Ⅱ级响应		Ⅲ级响应	
	W	排序	W	排序	W	排序
Z_1	0.021 5	11	0.036 8	8	0.138 8	3
Z_2	0.125 5	2	0.161 3	2	0.199 7	2
Z_3	0.213 2	1	0.223 6	1	0.226 3	1
Z_4	0.088 0	7	0.083 8	5	0.066 8	6
Z_5	0.113 7	3	0.130 7	3	0.107 6	4
Z_6	0.039 1	10	0.029 7	10	0.078 4	5
Z_7	0.051 4	8	0.036 4	9	0.042 0	8
Z_8	0.039 7	9	0.036 8	8	0.042 0	8
Z_9	0.108 5	5	0.100 2	4	0.042 4	7
Z_{10}	0.089 2	6	0.077 2	7	0.028 1	9
Z_{11}	0.110 0	4	0.082 0	6	0.026 1	10

4 计算结果与实例分析

4.1 计算结果分析

4.1.1 Ⅰ级响应结果分析

当启动Ⅰ级响应时，系统的权重排序为 $X_5 > X_2 > X_4 > X_3 > X_1$ （表 6），此时的地震现场应急通信技术系统保障可优先考虑无人机地震灾情获取系统和现场工作队通信指挥系统，其次考虑现场指挥所系统和前方移动指挥平台。

从系统功能层次看，功能层次权重位于前 5 位的是 G_5 、 G_{12} 、 G_{22} 、 G_2 、 G_1 （表 7），此时可优先考虑卫星语音通话、地震灾情数据采集传输、无人机地震灾情图像拼接和灾害识别、数据/网络、音视频会议方面的功能保障。功能层次权重位于 6~10 位的是 G_3 、 G_{20}/G_{21} 、 G_9 、 G_{13} 、 G_6 （表 7），其次考虑地震现场办公、无人机地面目标探查跟踪和定位、无人机地面信息航拍采集、地震现场照明、地震科普宣传、临时现场指挥所方面的功能保障。

从制约因素分析，Ⅰ级应急响应对应的震级较高，灾情严重，地震灾区滑坡分布普遍，道路中断的概率很大，通信瘫痪的可能性也很大。根据 AHP 决策分析的结果，权重排序位于前 5 位的制约因素是 Z_3 、 Z_2 、 Z_5 、 Z_{11} 、 Z_9 （表 8），此时应充分考虑大型车辆难于进入道路较差的灾区、车

体较重不平衡、互联网瘫痪不能为通信系统提供互联网通信、工作场地环境限制等因素对现场通信技术系统相关设备的制约。

4.1.2 II级响应结果分析

当启动 II 级响应时，系统的权重排序为 $X_2 > X_5 > X_3 > X_4 > X_1$ （表 6），此时的地震现场应急通信技术系统保障可优先考虑现场工作队通信指挥系统和无人机地震灾情获取系统，其次考虑前方移动指挥平台和现场指挥所系统。

从系统功能层次看，功能层次权重位于前 5 位的是 G_1 、 G_{22} 、 G_2 、 G_5 、 G_{12} （表 7），此时可优先考虑音视频会议、无人机地震灾情图像拼接和灾害识别、数据/网络、卫星语音通话、地震灾情数据采集传输方面的功能保障。功能层次权重位于 6 ~ 10 位的是 G_{20}/G_{21} 、 G_3 、 G_7 、 G_8 、 G_6 （表 7），其次考虑无人机地面目标探查跟踪和定位、无人机地面信息航拍采集、地震现场办公、地震现场通信保障、现场指挥协同调度、临时现场指挥所方面的功能保障。

从制约因素分析，II 级应急响应对应的震级高、灾情重，地震灾区有一定滑坡分布，道路可能中断，极震区通信可能瘫痪。根据 AHP 决策分析的结果，权重排序位于前 5 位的制约因素是 Z_3 、 Z_2 、 Z_5 、 Z_9 、 Z_4 （表 8），此时应充分考虑大型车

辆难于进入道路较差的灾区、车体较重不平衡、互联网瘫痪不能为通信系统提供互联网通信、无人机空域申请困难、卫星天线直径小等因素对现场通信技术系统相关设备的制约。

4.1.3 III级响应结果分析

当启动 III 级响应时，系统的权重排序为 $X_1 > X_4 > X_2 > X_3/X_5$ （表 6），此时的地震现场应急通信技术系统保障可优先考虑现场应急指挥技术系统、现场指挥所和现场工作队通信指挥系统。

从系统功能层次看，功能层次权重位于前 5 位的是 G_1 、 G_5 、 G_2 、 G_7 、 G_{12} （表 7），此时可优先考虑音视频会议、卫星语音通话、数据/网络、地震现场通信保障、地震灾情数据采集传输方面的功能保障。

从制约因素分析，III 级应急响应对应的震级低，灾情不太重，地震灾区滑坡可能性也较小。此时主要考虑系统设备自身的状况和山区道路对通信车通行的影响。

4.2 实例分析

笔者选取了 2011 年以后具有代表性的云南 3 次不同应急响应级别的地震应急通信技术系统保障实例进行对比，分别是 2014 年“8·03”鲁甸 6.5 级地震^①、2014 年“10·07”景谷 6.6 级地震^②、2015 年“3·01”沧源 5.5 级地震^③，对比情

表 9 计算结果与实例对比表
Tab. 9 Comparison of the calculated results with the real cases

地震名称	最高烈度	响应级别	极震区通信状况	系统出队对比		功能保障对比		制约因素对比	
				实际出队系统	计算结果（权重排序）	实际功能保障	计算结果（权重排序）	灾区制约因素	计算结果（权重排序）
鲁甸 6.5 级地震	IX	I	全面中断	X_2	$X_5 > X_2 > X_4 > X_3 > X_1$	G_1 、 G_2 、 G_3 、 G_5 、 G_6 、 G_7 、 G_{12} 、 G_{13} 、 G_{21} 、 G_{22}	$G_5 > G_{12} > G_{22} > G_2 > G_1 > G_3 > G_{20}/G_{21} > G_9 > G_{13} > G_6 > \cdots$	Z_3 、 Z_2 、 Z_5 、 Z_7 、 Z_{11}	$Z_3 > Z_2 > Z_5 > Z_{11} > Z_9 > \cdots$
				X_4					
				X_5					
景谷 6.6 级地震	VIII	II	部分中断	X_2	$X_2 > X_5 > X_3 > X_4 > X_1$	G_1 、 G_2 、 G_3 、 G_7 、 G_{12} 、 G_{13} 、 G_{21}	$G_1 > G_{22} > G_2 > G_5 > G_{12} > G_{20}/G_{21} > G_3 > G_7 > G_8 > G_6 > \cdots$	Z_4 、 Z_5 、 Z_9	$Z_3 > Z_2 > Z_5 > Z_9 > Z_4 > \cdots$
				X_4					
				X_5					
沧源 5.5 级地震	VII	III	局部中断	X_2	$X_1 > X_4 > X_2 > X_3/X_5$	G_1 、 G_2 、 G_3 、 G_7 、 G_{12}	$G_1 > G_5 > G_2 > G_7 > G_{12} > \cdots$	Z_4 、 Z_7	$Z_3 > Z_2 > Z_1 > \cdots$
				X_4					

① 云南省地震局. 2014. 2014 年 8 月 3 日云南鲁甸 6.5 级地震灾害直接经济损失评估报告（云南灾区）.
② 云南省地震局. 2015. 2014 年 10 月 7 日云南景谷 6.6 级地震灾害直接经济损失评估报告.
③ 云南省地震局. 2015. 2015 年 3 月 1 日云南沧源 5.5 级地震灾害直接经济损失评估报告（中国灾区）.

况见表 9。从对比结果看, I 级和 II 级响应的吻合性较好, 云南地震现场应急通信技术系统的装备属于重型装备, 设计时基于大震应急考虑而设计, 因而在发生大地震时, 系统的适用性会比较明显。III 级响应的吻合性稍差, 原因是 III 级响应一般针对较小破坏性地震而启动, 灾区受灾情况相对较轻, 通过灾区当地均能保障办公功能(G_3), 构造判断矩阵时考虑该功能权重小一些, 沧源地震应急中出现该功能的保障属于现场指挥所系统(X_4)本身具备的功能, 因而模型计算结果更具有普偏性。III 级响应下, 通常会考虑设备老化(Z_1)、车体较重不平衡(Z_2)、车体较大难于进入道路较差的灾区(Z_3)等一些系统设备自身存在的制约因素, 考虑地震造成灾区地质灾害的影响制约因素的权重会小一些。而对比实例中出现了动中通天线直径小功率低(Z_4)、数据流量较大网络要求高(Z_7)应属特例, 主要原因是沧源位于中缅交界少数民族聚居区, 卫星信号值弱^①, 互联网基础建设滞后。由表中的对比情况和上述分析可得, 模型计算结果与实例对比具有一定的吻合性。

5 结语

地震应急指挥决策中, 现场通信技术系统的指挥调度是一个复杂的管理问题, 笔者基于 AHP 方法对地震现场通信技术系统的应急响应模式进行分析, 把系统的各种构成要素分模块分层次区别开来, 赋予一定的权重后排序, 在系统指挥调度时可避免响应过度和响应不足, 使得地震应急响应更加合理。地震现场受灾情况复杂, 不同地震现场对通信系统功能的保障需求也不同, 在充分估计地震灾情的前提下可根据该模型计算的功

能权重排序考虑功能配置, 使地震现场通信功能的保障更加全面。地震应急响应时要考虑系统本身状况、灾区自然环境、受灾情况等因素的协调性, 尽量避免通信系统受到制约不能充分发挥保障功能的情形。本文为复杂的问题提供了一种分层次的权重决策分析方法, 计算结果为多样本计算结果, 具有普遍性, 但在地震应急响应中, 一些特殊地震要考虑不同的现场通信保障需求, 决策者在普遍性和特殊性之间还需做一些调整。另外, 该模型的结果主要适用于云南地区, 对于特大型城市、平原地区、经济发达地区的地震应急响应模式还需考虑不同的影响因素。

参考文献:

- 洪惠群, 林金发, 吴楠楠, 等. 2012. 地震救援现场应急通信系统的设计与集成[J]. 山西地震, (3): 28-30.
- 皇甫岗, 苏有锦, 张建国, 等. 2013. 新世纪滇缅交界大震活动研究[M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 姜立新, 帅向华, 聂高众, 等. 2012. 地震应急指挥协同技术平台设计研究[J]. 震灾防御技术, 7(3): 294-302.
- 帅向华, 姜立新, 刘钦, 等. 2009a. 地震应急指挥技术系统设计与实现[J]. 测绘通报, (7): 38-41.
- 帅向华, 姜立新, 王栋梁. 2009b. 国家地震应急指挥软件系统研究[J]. 自然灾害学报, 18(3): 99-104.
- 徐建华. 2002. 现代地理学中的数学方法(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 杨天青, 帅向华. 2010. 国家地震应急指挥技术系统建设中的关键技术及应用[J]. 震灾防御技术, 5(2): 208-214.
- 余胜威. 2014. MATLAB 优化算法案例分析与应用[M]. 北京: 清华大学出版社.
- 张毓丰, 邓宪民. 2005. 地震现场应急救援的通信系统设计[J]. 灾害学, 20(4): 111-115.
- 赵恒, 白仙富, 张方浩, 等. 2012. 破坏性地震的应急通信需求与应用初探[J]. 地震研究, 35(1): 139-144.
- 赵恒, 周兰江, 曹刻, 等. 2007. 云南省地震局地震应急通信系统在 2007 年宁洱 6.4 级地震中的应用与发展[J]. 地震研究, 30(4): 395-400.

① 美国波音卫星系统公司. 2003. 亚洲 4 号卫星 ku 波段 FSS 频段中国波束 EIRP 覆盖图.

Study of the Response Mode of the System of Yunnan Earthquake – site Emergency Communications Based on the Analytic Hierarchy Process

DENG Shurong, CAO Yanbo, ZHANG Fanghao, HE Shifang, YU Qingkun, DU Haoguo
(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

In this paper, we analyzed the System of Yunnan Earthquake – site Emergency Communications which is in operation in the Earthquake Administration of Yunnan Province. On the basis of the Analytic Hierarchy Process (AHP), and aiming at the system's equipment, functions and features, and restricting factors, we studied relations between each hierarchy of the system and the restricting factors of the system itself. Then we decided the weights of indicators at all levels. Thus, according to these weights, we concluded how the restricting factors influence the achievement of the overall goal, and how important they were to the overall goal. Further, we analyzed the computed results from the decision – making model that we proposed in this paper. We found our results practicable compared with the real cases of the dispatch and deployment of the emergency communications on the sites of the earthquake events in Yunnan Province in recent years.

Keywords: the Analytic Hierarchy Process; earthquake – site communications; emergency response mode