

# 震后过渡阶段应急物流系统的定位-运输路线安排问题研究

王 永<sup>1,2</sup>, 胥冬川<sup>2\*</sup>, 农兰晶<sup>2</sup>

(1. 重庆邮电大学 网络社会发展问题研究中心, 重庆 400065; 2. 重庆邮电大学 经济管理学院, 重庆 400065)

(\* 通信作者电子邮箱 100171345@qq.com)

**摘 要:** 针对震后过渡阶段中, 回收救援物资与保护灾区环境的问题, 在满足灾区民众基本生活需求的前提下, 提出了一个正逆向结合的应急物流设施定位-运输路线安排问题(LRP)模型。首先, 结合回收物资可分批运输的特点, 建立以应急系统耗费总时间最小为目标函数的数学模型; 然后, 利用两阶段启发式算法对模型进行求解; 最后, 算例分析验证了模型和算法的可行性。实验结果表明, 与传统单向 LRP 模型相比, 所提方法的目标函数值减少了 51%。所提模型能够有效提高应急物流系统运行效率, 并为应急管理部门提供辅助决策支持。

**关键词:** 应急物流; 地震灾害; 定位-运输路线安排问题; 两阶段启发式算法

**中图分类号:** F252; TP303.6 **文献标志码:** A

## Research of location-routing problem in emergency logistics system for post-earthquake transitional stage

WANG Yong<sup>1,2</sup>, XU Dongchuan<sup>2\*</sup>, NONG Lanjing<sup>2</sup>

(1. Research Center for Development of Network Society, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. School of Economics and Management, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** During the post-earthquake transitional phase, there are relief goods recycling and environmental protection problems. In the premise of meeting the basic demand of people in disaster area, the Location-Routing Problem (LRP) model of emergency logistics facilities with forward and reverse directions was built. First, according to the characteristics that the recycled materials could be partially transported, a mathematical model was established in which the objective function was minimum time of emergency system. Second, a two-phase heuristic algorithm was used to solve the model. Finally, the example analyses verified the feasibility of the model and algorithm. The experimental results show that, compared with the traditional one-way LRP model, the objective function value of the proposed method decreases by 51%. The proposed model can effectively improve the efficiency of emergency logistics system operation and provide auxiliary decision support for emergency management department.

**Key words:** emergency logistics; earthquake disaster; Location-Routing Problem (LRP); two-phase heuristic algorithm

## 0 引言

近些年,我国频繁发生各种规模的地震灾害,对人民群众生命财产安全造成了极大的伤害。面对灾害,建立一套高效、科学的震后应急物流系统十分重要。而在应急物流系统优化的研究中,应急设施的定位和应急物资运输路线的规划一直是其中最关键的两点。相关学者在研究此类问题时都将两者作为一个整体研究,即研究震后应急物流系统的定位-运输路线安排问题(Location-Routing Problem, LRP)。

相比传统物流中的 LRP<sup>[1-5]</sup>,应急物流系统中的 LRP 限制条件更多,同时对时效性的要求也相对较高。文献[6]以 CPLEX 软件为工具,建立了一种确定型混合整数多品种物资网络流模型,用于救援中物资配送与伤员运送救治的协调优化问题;文献[7-9]对紧急响应阶段中的应急物流 LRP 以及多目标应急物流 LRP 模型进行了构建,并利用改进的遗传算法、三角式启发算法等智能算法对模型进行了求解与优化;文

献[10]以应急物资运达总时间最短和系统总成本最小为目标,建立了一个模糊需求下的多目标 LRP 模型。

然而需要指出的是大多数研究仅限于震后初期的独立正向应急物资调度问题,缺乏对灾区后续阶段废旧物资逆向回收的考虑。灾害初期,大量救援物资迅速涌入主灾区,随着初期救援的结束,灾区灾情减轻,某些可重复利用的救援物资闲置,大量堆积在灾区。如 2008 年的汶川地震中,国家共向灾区拨付了 100 万顶帐篷,而随着灾区进入过渡与重建期,灾民陆续进入活动板房中,大量帐篷被闲置,造成应急物资的大量浪费,这些不被需要的废旧物品就需要流回政府或者生产厂商。另外由于灾区基础设施因灾害受到破坏,难以对一些不能二次利用的甚至对环境造成危害的废品进行有效处理,对灾区产生了二次伤害,需对这些废品进行回收与处理。

本文在充分考虑震后应急物流具有突发性、不确定性、时效性等典型特征的基础上将逆向物流系统与应急物流系统有机整合在一起,在传统应急物资调度问题上进行了扩展研究,

收稿日期:2014-08-20;修回日期:2014-09-26。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61003256);重庆市教委科技项目(KJ120506);中国博士后基金资助项目(20110490082)。

作者简介:王永(1977-),男,四川自贡人,教授,博士,主要研究方向:系统优化与物流管理;胥冬川(1989-),男,重庆万州人,硕士研究生,主要研究方向:物流系统优化;农兰晶(1989-),女,广西百色人,硕士研究生,主要研究方向:物流系统优化。

在初期救援结束,灾区灾情初步稳定后,利用前向配送车辆的回程来回收需转移的废旧物品,这样既保障了灾民基本生活需求又能达到逆向回收灾区废旧物品的目的,减少了对灾区有限道路资源的使用;并根据应急物流条件下,废旧物资时效性低于救援物资的情况,以车辆实际运载能力对废旧物品分批回收;最终建立一个正逆向结合的应急物流 LRP 模型,以优化应急物资的调度。

## 1 模型构建

### 1.1 问题描述

在初期救援结束,灾区灾情相对稳定后,巡回救援车辆在运输救援物资的同时也承担回收灾区废旧物品的任务,从所属配送中心出发,完成任务后,返回原配送中心。各安置点的取送货量既不能超过车辆的载重能力同时也受冗余量限制。根据冗余量限制,废旧物品被分成为满足冗余库存必须回收的部分和可当期回收也可滞留下期回收的部分。

决策问题为:在应急资源稀缺或有限的情况下,如何选择建立若干应急配送中心,并在满足救援车辆容量、安置点废旧物品环境承受量和冗余量限制条件下确定一套运输回收路径,以满足所有安置点的应急需求,且使系统耗费总时间最短。

本文作如下假设:

- 1) 考虑某一类应急救援物资的配送。
- 2) 回收的废旧物资已经过简单处理,能与救援物资实现混装。
- 3) 救援物资的配送必须在当期完成,而废旧物品除了为满足冗余库存必须回收的部分,剩余部分可选择部分回收或不回收。
- 4) 回收的废旧物资运回各配送中心处理,配送中心无库存限制,各安置点废旧物品存放量不得超过其环境承受量。
- 5) 灾后道路连接状况和通过能力已知,每个周期救援车辆所带油量可以满足其巡回任务。
- 6) 安置点需求量与回收量均满足正态分布,其中需求量的平均值大于回收量的平均值,回收量的标准差大于需求量的标准差。

### 1.2 符号说明

模型参数说明如下。

$T = \{t | t = 1, 2, \dots, T\}$ , 表示周期集合;  $W = \{p | p = 1, 2, \dots, P\}$ , 表示灾区备选应急配送中心集合;  $D = \{r | r = 1, 2, \dots, R\}$ , 表示灾区安置点集合;  $C = W \cup D$ , 表示所有节点集合, 其中  $i, j \in C$ ;  $V = \{k | k = 1, 2, \dots, K\}$ , 表示救援车辆集合;  $TW_p$  表示在  $p$  点建立配送中心所耗费的时间;  $TM_k$  表示车辆  $k$  装卸货物平均耗时;  $TV_k$  表示车辆  $k$  单位距离平均行驶时间;  $L$  表示救援车辆最大载重量;  $LE$  表示安置点  $r$  的环境最大承受量;  $LC$  表示安置点  $r$  的废旧物品冗余量;  $d_{ij}$  表示从节点  $i$  到  $j$  的平面欧氏距离,  $x_i$  和  $y_i$  分别为节点  $i$  的横、纵坐标;  $Q_r$  表示安置点  $r$  在  $t$  周期应急物资需求量;  $O_r$  表示安置点  $r$  在  $t$  周期产生废旧物资量;  $NQ_{rk}$  表示安置点  $r$  在  $t$  周期由车辆  $k$  配送的应急物资量;  $NO_{rk}$  表示安置点  $r$  在  $t$  周期由车辆  $k$  回收的废旧物资量;  $EO_r$  表示安置点  $r$  在  $t$  周期期末的待回收的废旧物品数量,  $EO_r = EO_{r-1} + O_r - NO_{rk}$ ;  $LO_r$  表示安置点  $r$  在  $t$  周期必须回收的最低废旧物品数量,  $LO_r = LC + EO_r - LE$ ;  $B_r$  表示  $t$

周期安置点  $r$  正向配送数量与必须回收产品数量的差额,  $B_r = Q_r - LO_r$ 。

决策变量如下:

$$z_p = \begin{cases} 1, & \text{在候选点 } p \text{ 建立应急配送中心} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$X_{pk} = \begin{cases} 1, & \text{救援车辆 } k \text{ 为配送中心 } p \text{ 服务} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1, & t \text{ 周期车辆 } k \text{ 从节点 } i \text{ 到节点 } j \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$g_r = \begin{cases} 1, & \text{安置点 } r \text{ 被分配给已建配送中心 } p \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中:  $p \in W; r \in D; i, j \in C$  且  $i \neq j; k \in V$ 。

### 1.3 模型建立

目标函数为:

$$\min Z = \sum_{p \in W} TW_p * z_p + \sum_{t=1}^T \sum_{k \in V} \sum_{i \in C} TV_k d_{ij} * Y_{ijk} + \sum_{t=1}^T \sum_{k \in V} \sum_{i \in C} TM_k * Y_{ijk} \quad (1)$$

约束条件为:

$$\sum_{j \in C} \sum_{i \in C} Y_{ijk} * Q_r \leq L; \forall r \in D, k \in V, t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{r \in D} NO_{rk} \leq \sum_{r=1}^R NQ_{(r+1)kt}; \forall k \in V, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{k \in V} Y_{irk} = 1; \forall r \in D, t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{i \in C} Y_{ijk} - \sum_{i \in C} Y_{jik} = 0; \forall j \in C, k \in V, t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in D} Y_{ijk} \geq z_{pt}; \forall i \in W, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{j \in D} Y_{ijk} \leq z_{pt}; \forall i \in W, k \in V, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{j \in C} Y_{rjk} + \sum_{j \in C} Y_{jik} - g_{rt} \leq 1; \forall k \in V, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in C} Y_{ijk} \times NQ_{rk} = Q_r; \forall r \in D, t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in C} Y_{ijk} * NO_{rk} \leq EO_r; \forall r \in D, t \in T \quad (10)$$

$$EO_r \leq LC; \forall r \in D, t \in T \quad (11)$$

本文模型中,目标函数式(1)由3部分组成:第1个表达式表示建立应急配送中心所耗费的总时间;第2个表达式表示各周期车辆行驶所用总时间;第3个表达式表示车辆各周期装卸所耗费总时间。

约束条件式(2)~(3)为车容量限制,分别表示每个周期车辆  $k$  的配送量不超过其最大载重量且救援车辆从安置点回收的废旧物品量不超过当前车辆剩余运载能力;式(4)表示每个安置点有且仅有一辆车为其服务;式(5)为路径连续性约束;式(6)~(7)表示车辆只分配给开放的配送中心,且每个开放的配送中心都拥有救援车辆;式(8)表示有且只有一条路径从应急配送中心  $p$  出发经过安置点  $r$  时,该安置点才能被分配给中心  $p$ ;式(9)表示须首先满足每周各安置点的物资配送需求;式(10)~(11)表示回收废旧物品数量不得超过其可回收量且剩余的待回收量必须满足冗余库存限制。

## 2 算法步骤

LRP 求解属于 NP 难题,而本文又基于应急物流条件下并同时考虑了回收可分因素,问题规模较大,传统优化方法难

以解决。因此根据文献[11-12],针对所建模型特点设计了一种先选址-分配、后规划运输路径的两阶段启发式算法,用于获得初始解,再利用改进的搜索算法在初始解基础上搜寻更优解。具体算法如下。

1) 初始解获取(步骤1~步骤6)。

步骤1 模型各参数初始化赋值,令 $t = 1$ 。将灾区各安置点按照距离分配给离它最近的配送中心,将配送中心 $p$ 所对应的救灾点放入集合 $F_p(t)$ 中。令 $p = D + 1$ 。

步骤2 计算 $B_{pt}$ ,并由此计算配送中心 $p$ 在 $t$ 周期的单车平均剩余量 $B_{pt} = \sum_{r \in F_p(t)} B_{rt}/V_{pt}$ ,当且仅当 $B_{pt} > 0$ 时原问题有解; $V_{pt} = \left\lceil \sum_{i \in F_p(t)} Q_{it}/L \right\rceil$ 为 $t$ 周期分配给配送中心 $p$ 的车辆数。

步骤3 将所有 $B_{rt}$ 平均划为 $V_{pt}$ 个子集 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{V_{pt}}$ 。对应每个子集都有 $\sum_{r \in \theta} B_{rt} = [B_{pt} \pm 2\sigma]$ , $\sigma$ 为 $B_{rt}$ 的标准差。在对应的子集空间中寻找总路径最短的子集集合,设为 $\partial_1, \partial_2, \dots, \partial_{V_{pt}}$ 。

步骤4 优化最短路径子集集合。由于某些安置点受冗余库存限制有 $B_{rt}$ 小于零,传统方法难以解决,故参考文献[13]设计了一种插入启发式算法来求解最优路径,并在得到最优路径后,利用线性规划求出各周期各安置点废旧物品回收数量,将未被回收的废旧物品滞留到下一周期回收。

步骤5 令 $p = p + 1$ ,若 $p > D + W$ ,执行步骤6;否则执行步骤2。

步骤6 输出求得的各周期最优方案,计算此时完成任务所需总时间,函数值 $Z$ 即为初始解。

2) 优化初始解(步骤7~步骤12)。

步骤7 假设选中的配送中心数目为 $Num$ 。随机选择关闭一个配送中心。令 $Num = Num - 1, t = 1$ ,并执行步骤1~步骤6,求得新函数值 $\bar{Z}$ 。

步骤8 若 $\bar{Z} < Z$ ,则令 $Z = \bar{Z}$ ,执行步骤9;否则执行步骤10。

步骤9 若 $Num = 1$ ,则执行步骤10;否则,返回步骤7。

步骤10 随机选择两个状态分别为开放与关闭的配送中心,进行状态互换,并执行步骤1~步骤6,求得新函数值 $\bar{Z}$ 。

步骤11 若 $\bar{Z} < Z$ ,则令 $Z = \bar{Z}$ ,执行步骤12;否则令 $max\_swap = max\_swap + 1$ ,再执行步骤12。

步骤12 若 $max\_swap > default\_value$ ,算法结束,输出最优解;否则执行步骤10。

### 3 算例分析

假设有5个候选配送中心和60个灾民安置点,其坐标在 $120 \times 120$ 的平面随机产生,各候选配送中心的坐标、设立所耗费时间如表1所示。应急配送中心的救援车辆为统一型号,其容量 $L = 600, TM_k = 10 \text{ min}, TV_k = 1 \text{ min/km}$ 。周期 $T$ 为30 d,各安置点各周期新物资需求数 $Q_{it}$ 服从正态分布 $N(120, 25^2)$ ,待回收废旧物资数 $O_{it}$ 服从正态分布 $N(100, 50^2)$ ,表2给出了 $t = 5$ 时,各安置点新物资需求量、待回收量以及必须回收量。安置点环境最大承受量均为 $LE = 200$ ,冗余量 $LC = 180$ 。

表1 各候选配送中心坐标、耗时

编号	坐标	建造耗时/min	编号	坐标	建造耗时/min
1	(54.4, 59.3)	1800	4	(70.3, 23.5)	1050
2	(75.5, 78.3)	900	5	(21.9, 33.5)	950
3	(20.3, 77.1)	1300			

表2  $t = 5$ 时各安置点需求量、待回收量及其必须回收量

编号	新产品需求	待回收量	必须回收量	编号	新产品需求	待回收量	必须回收量	编号	新产品需求	待回收量	必须回收量
6	138	200	180	26	90	126	106	46	114	58	38
7	125	18	0	27	108	54	34	47	143	2	0
8	120	60	40	28	83	58	38	48	138	50	30
9	125	50	30	29	106	55	35	49	154	91	71
10	87	53	33	30	120	103	83	50	92	24	4
11	123	91	71	31	177	99	79	51	113	76	56
12	83	90	70	32	119	83	63	52	162	6	0
13	123	24	4	33	109	134	114	53	142	84	64
14	103	123	103	34	144	5	0	54	129	100	80
15	111	8	0	35	117	30	10	55	148	159	139
16	108	64	44	36	139	122	102	56	131	110	90
17	109	129	109	37	149	99	79	57	174	22	2
18	81	131	111	38	156	145	125	58	145	9	0
19	180	63	43	39	100	86	66	59	108	40	20
20	109	126	106	40	115	137	117	60	123	50	30
21	77	12	0	41	170	78	58	61	110	10	0
22	160	79	59	42	105	66	46	62	99	13	0
23	127	99	79	43	177	152	132	63	139	66	46
24	117	52	32	44	168	15	0	64	108	76	56
25	116	43	23	45	84	52	32	65	90	143	123

根据所设计的两阶段启发式算法,采用 Visual C++ 6.0 设计了程序实现上述算法,运行环境为:CPU 3.16 GHz,内存 2 GB。程序耗时 3.1 s,得到目标函数值为 36 365 min。具体决策方案如表3,图1所示。

表3 选择的配送中心及运输路线

开设的配送中心序号	运输路线
2	[2]—10—18—14—31—33—[2], [2]—19—60—62—53—[2], [2]—44—49—64—59—[2]
3	[3]—37—50—9—16—[3], [3]—35—43—36—46—[3], [3]—48—27—51—21—22—[3], [3]—58—29—45—41—[3], [3]—38—54—42—[3]
4	[4]—34—6—7—55—[4], [4]—25—57—15—[4], [4]—47—61—39—40—32—[4], [4]—8—28—30—13—12—[4], [4]—24—11—56—26—63—[4], [4]—65—52—23—20—17—[4]

注:方框内数据表示该车出发的配送中心。

计算出传统模式下(即正向物流活动和逆向物流活动独立进行,并且废旧物品需当期全部回收)对同一组示例数据的优化结果,并与本文模型结果进行对比,如表4所示。可以看出,两种模型虽然都开设了3个配送中心,但本文目标函数值却比传统模型少了51%,这是因为正逆向结合的运输方式大大节省了系统的耗时。同时,由于采用了回收可分的策略在一定程度上减少了派车数量,从而降低了单车单周期完成任务的平均耗时。



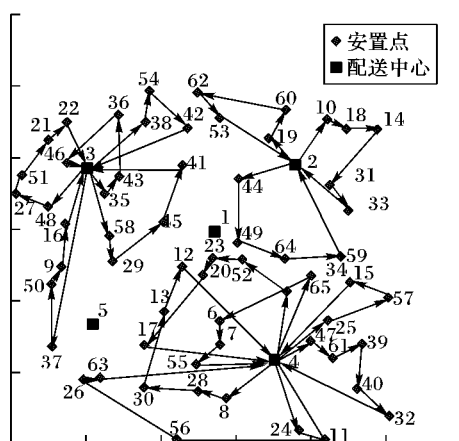


图 1 定位-路径决策网路图

表 4 不同模型优化结果对比

模型	开设的配送中心序号	目标函数值	单周期平均使用车辆数	单车单周期平均耗时/min
本文模型	2,3,4	36 365	13	93
传统模型	3,4,5	75 677	19	132

#### 4 结语

本文针对震后过渡阶段中,灾区物资运输与废旧物资回收的问题,提出了一个正逆向结合的应急物流 LRP 模型,并加入了基于回载可分的车辆运输路线安排决策。利用两阶段启发式算法对模型进行了求解,验证了模型和算法的可行性,可为灾害应急管理部门提供辅助决策支持;通过与传统模型的对比表明,本文模型具有明显优势。但震后应急物流系统具有很大的不确定性,物资需求多样,交通状况不稳定,因此多品种、多运输方式的 LRP 模型是后续研究的重点。

#### 参考文献:

- [1] PRODHON C, PRINS C. A survey of recent research on location-routing problems [J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 238(1): 1-17.
- [2] TOYOGLU H, KARASAN O E, KARA B Y. A new formulation approach for location-routing problems [J]. *Networks and Spatial Economics*, 2012, 12(4): 635-659.
- [3] NADIZADEH A, NASAB H H. Solving the dynamic capacitated location-routing problem with fuzzy demands by hybrid heuristic algorithm [J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 238(2): 458-470.
- [4] GUERRERO W J, PRODHON C, VELASCO N, et al. Hybrid heuristic for the inventory location-routing problem with deterministic demand [J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 146(1): 359-370.

- [5] ESCOBAR J W, LINFATI R, TOTH P. A two-phase hybrid heuristic algorithm for the capacitated location-routing problem [J]. *Computers and Operations Research*, 2013, 40(1): 70-79.
- [6] YI W, OZDAMAR L. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 179(3): 1177-1193.
- [7] WANG S, MA Z. Location-routing problem in emergency logistics system for post-earthquake emergency relief response [J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2011, 31(8): 1497-1507. (王绍仁, 马祖军. 震害紧急响应阶段应急物流系统中的 LRP[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(8): 1497-1507.)
- [8] WANG S, MA Z. Stochastic dynamic multi-objective optimization location-routing model and algorithm in post-earthquake [J]. *Application Research of Computers*, 2010, 27(9): 3284-3291. (王绍仁, 马祖军. 震后随机动态 LRP 多目标优化模型及算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(9): 3284-3291.)
- [9] WANG S, MA Z. Fuzzy dynamic LRP with time windows in post-earthquake emergency logistics systems [J]. *Operations Research and Management Science*, 2011, 20(5): 31-72. (王绍仁, 马祖军. 震后应急物流系统中带时间窗的模糊动态 LRP[J]. 运筹与管理, 2011, 20(5): 31-72.)
- [10] ZHENG B, MA Z, FANG T. Fuzzy multi-objective location-routing problem in emergency logistics systems [J]. *Systems Engineering*, 2009, 27(8): 22-25. (郑斌, 马祖军, 方涛. 应急物流系统中的模糊多目标定位-路径问题[J]. 系统工程, 2009, 27(8): 22-25.)
- [11] LIU S C, LEE S B. A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration [J]. *The Inventory Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, 22(11/12): 941-950.
- [12] WANG F, DA Q. The multiple-depot & multiple-vehicle transportation strategy in closed-loop chain with split pick-ups [J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2008, 22(2): 46-50. (王发鸿, 达庆利. 回载可分的闭环供应链多配送中心多车辆运输策略[J]. 管理工程学报, 2008, 22(2): 46-50.)
- [13] WANG F, DA Q. Transportation strategy of single vehicle in reverse logistics [J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2006, 36(1): 156-160. (王发鸿, 达庆利. 逆向物流单车运输策略[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2006, 36(1): 156-160.)

(上接第 242 页)

- [6] LAN K, ZHANG Y. Application of Android in remote medical information system [J]. *Journal of Computer Applications*, 2013, 33(6): 1790-1792. (蓝坤, 张跃. Android 在远程医疗信息系统中的应用[J]. 计算机应用, 2013, 33(6): 1790-1792.)
- [7] PENG Y, YANG O. Analysis on the data storage of android application [J]. *Computer Systems & Applications*, 2012(5): 192-194. (彭艳, 杨欧. Android 平台的数据存储技术[J]. 计算机系统应用, 2012(5): 192-194.)
- [8] XIA J. Design and implementation of integration system for heterogeneous HIS based on Hessian protocol [D]. Chengdu: Sichuan University, 2014. (夏俊. 基于 Hessian 协议的异构 HIS 集成系统的设计与实现[D]. 成都: 四川大学, 2014.)

- [9] The Apache Software Foundation. Apache ActiveMQ [EB/OL]. [2014-01-16]. <http://activemq.apache.org/>.
- [10] LIAO W, QIN H. Research of lightweight mobile Web Service based on Hessian protocol [J]. *Computer and Digital Engineering*, 2011, 39(2): 203-206. (廖雯, 覃华. 基于 Hessian 协议的轻量级移动 Web 服务的研究[J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(2): 203-206.)
- [11] ERL T. SOA principles of service design [M]. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007: 25-66.
- [12] LI Z. Research and implementation of embedded mobile HIS based on middleware [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2013. (李子强. 基于中间件的嵌入式移动 HIS 系统研究与实现[D]. 镇江: 江苏大学, 2013.)