

# 基于适应度的配电网多故障抢修任务分配策略

陈广宇<sup>1</sup>, 柳慧琴<sup>2,3</sup>, 邱文祥<sup>1</sup>, 李大兴<sup>1</sup>, 卢志刚<sup>2</sup>, 冯涛<sup>2</sup>

(1. 国网冀北电力有限公司承德供电公司, 河北 承德 067000;

2. 燕山大学 电力电子节能与传动控制河北省重点实验室, 河北 秦皇岛 066004;

3. 山西省电力勘测设计院, 山西 太原 030000)

**摘要:** 配电网发生多处故障时, 配备的物资和抢修小队不能满足每个故障任务的需求, 因此提出基于适应度的配电网多故障抢修任务分配策略。首先量化配电网抢修故障任务、抢修小队和物资仓库的模型, 然后定义小队适应度、物资适应度这2个外部适应度指标, 分别描述抢修小队、物资仓库与故障任务之间的匹配程度; 定义优先级适应度、进度适应度这2个内部适应度指标, 分别描述各个故障任务的优先顺序和其抢修进行程度。综合外部适应度指标和内部适应度指标可得出各个故障任务的总适应度值, 进行比较后得出最优的任务分配策略。对IEEE 33节点系统进行仿真, 仿真结果验证了所提分配策略的有效性和实用性。

**关键词:** 配电; 抢修故障任务; 抢修小队; 物资仓库; 适应度; 任务分配; 模型

**中图分类号:** TM 712

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.11.011

## 0 引言

近年来, 国内频繁发生各种各样的自然灾害如地震、雪灾、台风等, 这些自然灾害给电力系统造成很大的破坏, 导致配电网发生多处恶劣故障。以往工程单位的实际抢修调度一般是由决策者依照经验进行, 且其经验都来源于故障较少的情况, 而针对发生故障较多的情况, 仅靠经验进行调度, 缺少定量分析的基础, 所作决策往往并非是最优和最有效的。同时, 由于自然灾害引起的失电会给人民的生产和生活造成诸多不便, 因此如何合理分配有限的抢修人员和物资, 尽快恢复供电、完成抢修任务, 成为人们日益关注的问题。

目前, 电网大面积停电问题的研究主要集中在电网应急管理<sup>[1-2]</sup>、电力应急物资调度<sup>[3-4]</sup>、电力小队的调派问题<sup>[5]</sup>, 所提出的是广泛的政策性的指导, 没有涉及到具体实际策略的制定; 配电网故障问题的研究主要针对开关操作的故障恢复<sup>[6-9]</sup>、抢修路径<sup>[10]</sup>的优化以及不同的现代通信技术在电力故障抢修中的应用<sup>[11]</sup>。文献<sup>[12]</sup>建立了配电网发生多处故障情况下的抢修策略优化模型, 提出一种基于遗传拓扑混合算法的寻优策略, 但其仅考虑了一个抢修小队执行抢修任务。文献<sup>[13]</sup>将配电网开关操作作为虚拟故障点, 建立了配电网多故障情况下的故障抢修和故障恢复相结合的多目标优化模型, 并考虑多队协同抢修的恢复策略, 但并未考虑抢修前期的抢修小队、物资仓库与配电网抢修故障任务之间的适应程度不同所带来的任务分配问题。关于任务分配目

前研究主要集中于机器人任务分配<sup>[14]</sup>、计算机多处理器分配<sup>[15]</sup>问题以及协同设计<sup>[16]</sup>问题中的任务分配。

综上所述, 本文量化了配电网抢修故障任务、抢修小队和物资仓库的模型, 并引入了适应度<sup>[17]</sup>的概念来描述三者之间的适应程度, 以实现每个故障任务的最优分配。

## 1 配电网抢修故障任务分配的基本策略

假定初始全局抢修任务  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_n\}$  由  $n$  个故障任务组成, 抢修小队集合  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_q\}$  有  $q$  个抢修小队, 物资仓库集合  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k, \dots, w_p\}$  由  $p$  个物资仓库组成。现要求依据一定的分配原则将全局抢修任务  $T$  分配给抢修小队集合  $R$  和物资仓库集合  $W$ 。对于抢修小队集合  $R$ , 各个抢修小队具有不同的抢修能力; 对于物资仓库集合  $W$ , 各个物资仓库配备的物资也是不同的, 因此任务分配需实现以下目标。

**a.** 实现最优的抢修小队到故障任务的映射。全局抢修任务  $T$  中的故障任务对抢修小队能力的要求有差异, 每个抢修小队的能力配置也有差异, 因此分配给每个抢修小队与自身能力最匹配的故障任务, 可以提高抢修的效率。

**b.** 实现最优的物资仓库到故障任务的映射。全局抢修任务  $T$  中的故障任务对物资配备的要求有差异, 每个物资仓库的物资配备也有差异, 因此分配给每个物资仓库与自身物资配备最匹配的故障任务, 可以充分利用现有资源。

**c.** 让优先级高的故障任务先得到执行。对于配电网而言, 由于其辐射状网络结构的约束, 故障任务之间会有上下级带电依赖关系, 这种依赖使得故障

收稿日期: 2013-12-03; 修回日期: 2014-07-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61071201)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(61071201)

任务具有不同的执行优先级,先执行优先级高的故障任务可以使全局任务完成得更好、更有效率。

**d.** 保证执行进度快的故障任务不受抢修现场的突发情况影响。

通常 4 个任务分配目标无需全部实现,具体选用哪几个目标可以根据全局任务的需要来确定。为了有效地统一 4 个目标,本文提出了基于适应度的配电网多故障抢修任务分配策略。

## 2 配电网抢修故障任务、抢修小队和物资仓库模型

为提高配电网故障抢修任务分配策略的通用性,对配电网故障抢修涉及到的故障任务、抢修小队和物资仓库分别建立模型。

### 2.1 故障任务模型

故障任务  $t_j$  的模型中包含以下参数。

**a.**  $B_{j,m}$ : 故障任务  $t_j$  是否包括第  $m$  类故障的标志。该参数为 0 或 1 的二值变量,包括第  $m$  类故障时取 1,否则取 0。

**b.**  $Q_{j,m}$ : 第  $m$  类故障对故障任务  $t_j$  的影响程度。该参数为常量,取值范围为 0~1,文中假定每个故障任务都只是一种故障类型,其影响程度为 1。

**c.**  $M_{j,l}$ : 抢修故障任务  $t_j$  是否需要第  $l$  类物资的标志。该参数为 0 或 1 的二值变量,需要第  $l$  类物资时取 1,否则取 0。

**d.**  $W_{j,l}$ : 抢修故障任务  $t_j$  所需第  $l$  类物资的强度。该参数为常量,取值范围为 0~1,文中假定每个故障任务对所需的第  $l$  类物资的强度为 1。

**e.**  $P_j$ : 抢修优先级。在正常情况下是常量,但当配电网故障抢修现场发生突发情况时会发生变化,表示故障任务的抢修优先顺序。

**f.**  $I_j$ : 总工作量。该参数为常量,文中用抢修所需的总抢修时间  $\tau_j$  来表示。

**g.**  $I_{j,c}(t)$ : 已完成工作量。该参数为变量,随抢修任务进展而更新,文中用抢修已经进行的时间  $\tau_{j,c}$  来表示。

**h.**  $S_{qj}$ : 抢修状态,表示故障任务  $t_j$  的抢修进行状态。

### 2.2 抢修小队模型

抢修小队  $r_i$  的模型中包含以下参数。

**a.**  $D_{i,m}$ : 抢修小队  $r_i$  是否可以抢修第  $m$  类故障的标志,可以为 1,否则为 0。

**b.**  $L_{i,m}$ : 抢修小队  $r_i$  抢修第  $m$  类故障的水平。该参数为常量,反映的是小队抢修第  $m$  类故障的水平和能力,其取值由故障发生时小队的实际抢修水平决定,抢修小队解决第  $m$  类故障的能力越强,则  $L_{i,m}$  越

大,取值范围为 0~1。

**c.**  $X_i(t)$ : 抢修小队  $r_i$  当前所选择的故障任务编号。该参数为变量,其取值由抢修小队所选故障任务决定。

### 2.3 物资仓库模型

物资仓库  $w_k$  的模型中包含以下参数。

**a.**  $S_{k,l}$ : 物资仓库  $w_k$  是否配备第  $l$  类物资的标志,配备时取 1,否则取 0。

**b.**  $Z_{k,l}$ : 物资仓库  $w_k$  配备第  $l$  类物资的程度。该参数为常量,反映的是物资仓库配备第  $l$  类物资的满足程度,其取值由故障发生时仓库实际配备的物资种类和数量决定,物资仓库配备的第  $l$  类物资越多,则  $Z_{k,l}$  越大,其取值范围为 0~1。

提出以上模型后,本文任务分配策略的制定有以下几点限定条件:

**a.** 未去现场抢修之前,认为分配给各故障任务的单抢修小队能力和抢修物资均可以满足故障任务的需求,且不考虑各小队和各物资仓库到故障任务的车程时间,同时实际抢修中发生特殊情况与前期任务分配无关;

**b.** 物资仓库已有物资种类的数量无限大;

**c.** 文中出现物资或小队能力不足都是在抢修进行过程中发现的;

**d.** 已经开始抢修故障任务且未出现物资不足或能力不足的小队不能中断当前任务,需执行完当前任务后才可再去抢修新故障任务。

## 3 基于适应度的配电网多故障抢修任务分配策略

基于适应度的配电网多故障抢修任务分配策略主要涉及适应度模型的建立和基于该模型的任务分配策略两方面的工作。

### 3.1 适应度

为实现上述 4 条任务分配目标,引入适应度概念。设  $f_j$  为故障任务  $t_j$  的适应度,它由外部适应度和内部适应度 2 个分量构成。

**a.** 外部适应度。外部适应度是从故障任务与抢修小队以及与物资仓库的适应程度来考虑的,它反映了故障任务对小队能力、物资的需求与抢修小队的的能力配置、物资仓库的物资配备的适应程度,其值越大说明故障任务在小队抢修能力、物资需求方面越适应抢修小队和物资仓库。外部适应度分量的引入是为了实现第 1 节中的任务分配目标 **a**、**b**。

**b.** 内部适应度。内部适应度是完全从故障任务自身因素来考虑的适应度,它反映了在当前情况下执行故障任务的合适程度,由故障任务的优先顺序

和抢修完成进度来反映。内部适应度分量的引入是为了实现第 1 节中的分配目标  $\mathbf{c}, \mathbf{d}$ 。

### 3.1.1 外部适应度

外部适应度由小队适应度分量和物资适应度分量 2 个分量构成。

小队适应度  $X_{Dij}$  为抢修小队  $r_i$  与故障任务  $t_j$  之间的小队适应度,它从故障任务和抢修小队两方面来考虑,反映了故障任务对抢修小队的能力需求与抢修小队的能力配置是否适应,与抢修任务的进展没有关系,当确定了抢修小队和其抢修故障任务后该值为一定值。抢修小队  $r_i$  执行故障任务  $t_j$  的能力越强,则故障任务  $t_j$  对于抢修小队  $r_i$  的小队适应度越大。

进行归一化处理后的  $X_{Dij}$  如式(1)所示。

$$X_{Dij} = X'_{Dij} / \max_{i,j} X'_{Dij} \quad 0 < X_{Dij} \leq 1 \quad (1)$$

$$X'_{Dij} = \begin{cases} \sum_{m \in U_b} Q_{j,m} L_{i,m} & U_b \subseteq U_d \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $U_b = \{m | B_{j,m} = 1, m = 1, 2, \dots, M\}$ , 为当前故障任务的抢修故障类型集合;  $U_d = \{m | D_{i,m} = 1, m = 1, 2, \dots, M\}$ , 为抢修小队抢修故障类型具备的功能集合;  $M$  为所有故障类型总数。

物资适应度  $W_{Zjk}$  反映物资仓库  $w_k$  所配备抢修物资满足故障任务  $t_j$  的物资需求的程度,物资仓库配备物资越满足故障任务的物资需求,则故障任务  $t_j$  对于物资仓库  $w_k$  的物资适应度越大。归一化处理后的  $W_{Zjk}$  如式(3)所示。

$$W_{Zjk} = W'_{Zjk} / \max_{i,j} W'_{Zjk} \quad 0 < W_{Zjk} \leq 1 \quad (3)$$

$$W'_{Zjk} = \begin{cases} \sum_{k \in U_m} Z_{k,l} W_{j,l} & U_m \subseteq U_s \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $U_m = \{l | M_{j,l} = 1, l = 1, 2, \dots, L\}$ , 为当前故障任务所需物资集合;  $U_s = \{l | S_{k,l} = 1, l = 1, 2, \dots, L\}$ , 为物资仓库配备的物资集合;  $L$  为所有物资种类总数。

对上述 2 个适应度分量进行加权组合,可以得到外部适应度的计算公式,设  $E_{j,ik}$  为故障任务  $t_j$  对于抢修小队  $r_i$  和物资仓库  $w_k$  的外部适应度,其表达式为:

$$E_{j,ik} = \omega_1 X_{Dij} + \omega_2 W_{Zjk} \quad (5)$$

其中,  $\omega_1$  和  $\omega_2$  为小队适应度和物资适应度的权重系数。

### 3.1.2 内部适应度

内部适应度优先级适应度分量和进度适应度分量由 2 个分量构成。

优先级适应度反映了故障任务的优先顺序,任务执行的优先级越高,优先级适应度分量越大。

设  $Y_{Xj}(t)$  表示故障任务  $t_j$  在  $t$  时刻的优先级适应度分量,其表达式为:

$$Y_{Xj}(t) = P_j \quad (6)$$

对  $Y_{Xj}(t)$  进行归一化处理,优先级适应度分量可重新写成:

$$Y_{Xj}(t) = P_j / \max_k P_k \quad 0 < Y_{Xj}(t) \leq 1 \quad (7)$$

本文中  $P_j$  不是人为给定任意一个数值,而是由配电网故障后所造成的社会期望缺电量 EENS (Expected Energy Not Serve)<sup>[18]</sup> 的最小值所确定。

以停电经济损失最小为目标<sup>[18]</sup>, EENS 主要由各停电负荷的功率值、车程时间和故障预计修复时间和各停电负荷的负荷等级三部分确定,最终由此得到的各个故障任务的优先级适应度既考虑了故障位置(即同一分支线的故障尽量同时抢修),同时也考虑了不同用户负荷对抢修时间的需求,是一个综合最优的结果。

进度适应度反映了故障任务的执行进度,故障任务进度越快,进度适应度分量越大。

设  $J_{Dj}(t)$  表示故障任务  $t_j$  在  $t$  时刻的进度适应度分量,其表达式<sup>[17]</sup>为:

$$J_{Dj}(t) = I_{j,c}(t) / \tau_{j,c} \quad (8)$$

对  $J_{Dj}(t)$  进行归一化处理,进度适应度分量可重新写成:

$$J_{Dj}(t) = I_{j,c}(t) / I_j = \tau_{j,c} / \tau_j \quad (9)$$

对上述 2 个适应度分量进行加权组合,可以得到内部适应度的计算公式。设  $I_j(t)$  为  $t$  时刻故障任务  $t_j$  的内部适应度,其表达式为:

$$I_j(t) = \omega_3 Y_{Xj}(t) + \omega_4 J_{Dj}(t) \quad (10)$$

其中,  $\omega_3, \omega_4$  分别为优先级适应度和进度适应度分量的权重系数。

## 3.2 任务分配模型

在任务分配模型建立之前先定义几个状态变量用来描述实际抢修中的几种情况。

a. 设  $S_{ij,ni}$  为抢修小队  $r_i$  能力是否满足故障任务任务  $t_j$  需求的标志,其公式为:

$$S_{ij,ni} = \begin{cases} 1 & U_b \subseteq U_d \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

b. 设  $S_{kj,wz}$  为抢修物资是否满足故障任务任务  $t_j$  物资需求的标志,其公式为:

$$S_{kj,wz} = \begin{cases} 1 & U_m \subseteq U_s \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

引入适应度的概念后即可建立统一的任务分配模型:

$$f_j = \omega_a E_{j,ik}(t) + \omega_b I_j(t) \quad (13)$$

其中,  $\omega_a, \omega_b$  分别表示外部适应度和内部适应度的权值,且  $\omega_a + \omega_b = 1$ 。

本文考虑 3 种不同情况下任务分配模型的具体形式。

a. 未去现场抢修之前进行任务分配。由限定条件可知:  $S_{ij,ni} = 1, S_{kj,wz} = 1$ 。此时有:

$$f_{j,ik} = \omega_a E_{j,ik} + \omega_b I_j \quad (14)$$

其中,  $E_{j,ik} = \omega_1 X_{Dij} + \omega_2 W_{Zjk}$ ,  $I_j = \omega_3 Y_{Xj}$ , 两者均为定值。

**b.** 抢修过程中故障任务  $t_p$  物资出现不足。此时  $S_{kp,wz} = 0$ , 故障任务  $t_p$  物资发生不足需要等待调配物资, 使得各个故障任务的适应度发生变化。

首先, 故障任务  $t_p$  的小队适应度为 1, 物资适应度为 0, 此时需要考虑调配哪个仓库的物资进行支援, 其余未抢修故障任务与各抢修小队的小队适应度以及与各物资仓库的物资适应度与情况 **a** 相同。

其次, 故障任务  $t_p$  由于物资的耽误导致故障抢修时间延长, 影响原先抢修策略 EENS 的大小, 因此导致未进行抢修的故障任务的优先级适应度发生变化。

再次, 故障任务  $t_p$  的进度适应度分量已有值, 需要重新进行任务分配的故障任务都未开始抢修, 进度适应度分量都为 0。

最后, 可得各个故障任务适应度值。

对于故障任务  $t_p$ :

$$f_{p,ik} = \omega_a E_{p,ik} + \omega_b I_p \quad (15)$$

其中,  $E_{p,ik} = \omega_1 X_{Dip} + \omega_2 W_{Zpk} = \omega_1$ ;  $I_p = \omega_3 Y_{Xp} + \omega_4 J_{Dp}$ 。

其余未抢修故障任务  $t_j$  的适应度公式同式(14)。

**c.** 抢修过程中故障任务  $t_q$  抢修小队能力出现不足。此时  $S_{iq,nl} = 0$ , 故障任务  $t_q$  抢修小队能力出现不足, 需要调派其他小队进行协作, 这使得各个故障任务的适应度也发生变化。

首先, 故障任务  $t_q$  的小队适应度为 0, 物资适应度为 1, 需要考虑调派哪个小队进行协作支援, 其余未抢修故障任务与各抢修小队的小队适应度以及与各物资仓库的物资适应度与情况 **a** 相同。

其次, 故障任务  $t_q$  由于等待协作小队而导致故障抢修时间延长, 影响原先抢修策略 EENS 的大小, 因此导致未进行抢修的故障任务的优先级适应度发生变化。

再次, 故障任务  $t_q$  的进度适应度分量已有值, 需要重新进行任务分配的故障任务都未开始抢修, 进度适应度分量都为 0。

最后, 可得各个故障任务适应度值。

对于故障任务  $t_q$ :

$$f_{q,ik} = \omega_a E_{q,ik} + \omega_b I_q \quad (16)$$

其中,  $E_{q,ik} = \omega_1 X_{Diq} + \omega_2 W_{Zqk} = \omega_2$ ;  $I_q = \omega_3 Y_{Xq} + \omega_4 J_{Dq}$ 。

其余未抢修故障任务  $t_j$  的适应度公式同式(14)。

本文只考虑单独某一故障任务出现物资不足或小队能力不足的情况, 同时发生不足的情况和多个故障任务都发生不足的情况暂未考虑。

### 3.3 任务分配流程

根据适应度建立的目标函数得出故障抢修任务策略的步骤如下。

**a.** 确定抢修小队数目、各抢修小队抢修不同故障

类型水平、故障任务所包括的故障类型、物资仓库现有的物资类型等基本参数。

**b.** 根据式(14)计算所有故障任务的适应度  $f_{j,ik}$ , 从中选择适应度值最大的故障任务并确定其所分配的抢修小队  $r_i$  和物资仓库  $w_k$ 。

**c.** 依此类推求得剩余故障任务所分配的小队和仓库。

**d.** 到达故障现场后, 监测各个故障任务的状态变量  $S_{ij,nl}$ 、 $S_{kj,wz}$ , 及时更新各故障任务的适应度。

**e.** 当监测到  $S_{kj,wz} = 0$  时, 依据抢修已经进行的时间得出各个故障任务的抢修状态, 根据式(15)求得  $S_{kj,wz} = 0$  的故障任务的适应度值, 根据式(14)求得其余未开始抢修故障任务的适应度值, 从中选择适应度值最大的故障任务并确定其所分配的抢修小队  $r_i$ , 同时根据式(15)和最短车程时间确定出现物资不足故障任务由哪个物资仓库进行支援。

**f.** 当监测到  $S_{ij,nl} = 0$  时, 根据式(16)求得  $S_{ij,nl} = 0$  的故障任务的适应度值, 根据式(14)求得其余未开始抢修故障任务的适应度值, 从中选择适应度值最大的故障任务并确定其所分配的抢修小队  $r_i$  和小队能力出现不足的故障任务由哪个小队进行协作完成故障抢修任务。

## 4 算例仿真

### 4.1 算例介绍

设存在 3 个抢修小队  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ , 2 个物资仓库  $w_1$ 、 $w_2$ , 给定各故障任务的故障类型和对不同物资的需求(见表 1)、各抢修小队抢修不同故障类型的水平(见表 2)、各物资仓库配备物资的种类和水平(见表 3), 预计修复各故障任务时间、两故障任务间的车程时间、各故障任务到两物资仓库的车程时间分别见表 4—6,  $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 0.25$ ,  $\omega_4 = 0.5$ ,  $\omega_a = \omega_b = 0.5$  (本文考虑的小队、物资和优先级适应度占总适应度值的比重相同, 其值可以依据实际任务分配中的侧重赋不同的值, 而进度适应度表征的是出现物资或小

表 1 各故障任务的故障类型及其所需物资种类  
Table 1 Type and required materials for different fault repair tasks

故障任务	故障类型	所需物资
$t_1$	变压器本体损坏	变压器
$t_2$	地下电缆开断	电缆、电缆头
$t_3$	10 kV 线路断线	线路
$t_4$	双电源用户接地损坏	线路
$t_5$	线路开关故障	开关
$t_6$	架空线及开关电器故障	线路、开关
$t_7$	10 kV 环网柜电缆头损坏	电缆头
$t_8$	双电源用户电缆故障	电缆、电缆头
$t_9$	10 kV 环网柜真空开关损坏	开关
$t_{10}$	电缆损坏	电缆、电缆头

表 2 各小队抢修不同类型故障的水平  
Table 2 Level of each team for different fault repair tasks

抢修小队	抢修水平									
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>
r <sub>1</sub>	0.1	0.3	0.50	0.8	0.6	0.4	0.7	0.9	0.2	1.0
r <sub>2</sub>	0.4	0.6	0.85	0.7	0.2	0.5	0.8	0.1	1.0	0.3
r <sub>3</sub>	0.9	0.7	0.10	0.2	0.5	1.0	0.3	0.6	0.8	0.4

表 3 各物资仓库配备不同物资种类的水平  
Table 3 Level of each warehouse for different material types

物资仓库	物资水平				
	线路	电缆	电缆头	开关	变压器
w <sub>1</sub>	0.1	0.3	0.5	0.8	0.6
w <sub>2</sub>	0.4	0.7	0.2	0.5	0.8

表 4 各故障任务的预计修复时间  
Table 4 Predicted repair time for different fault repair tasks

故障任务	T <sub>B</sub> /h	故障任务	T <sub>B</sub> /h
t <sub>1</sub>	2.0	t <sub>6</sub>	2.0
t <sub>2</sub>	2.0	t <sub>7</sub>	3.5
t <sub>3</sub>	2.5	t <sub>8</sub>	3.0
t <sub>4</sub>	2.0	t <sub>9</sub>	2.0
t <sub>5</sub>	3.5	t <sub>10</sub>	2.0

表 5 两两故障任务之间的车程时间

Table 5 Driving time between every two fault repair locations

故障任务	车程时间/h										
	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>
t <sub>0</sub>	0	1.0	1.5	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	1.0	2.0	2.5
t <sub>1</sub>	1.0	0	0.5	0.5	1.5	2.0	2.5	3.0	1.5	2.0	2.5
t <sub>2</sub>	1.5	0.5	0	1.0	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0
t <sub>3</sub>	1.0	0.5	1.0	0	1.0	1.5	2.0	2.5	0.5	1.5	2.0
t <sub>4</sub>	2.0	1.5	1.0	1.0	0	1.0	2.0	3.0	1.5	1.0	1.5
t <sub>5</sub>	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0	0	1.0	2.0	1.5	1.0	0.5
t <sub>6</sub>	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0	1.0	0	1.0	2.5	1.5	1.0
t <sub>7</sub>	3.5	3.0	2.5	2.5	3.0	2.0	1.0	0	3.0	2.0	1.0
t <sub>8</sub>	1.0	1.5	1.0	0.5	1.5	1.5	2.5	3.0	0	1.0	2.0
t <sub>9</sub>	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.5	2.0	1.0	0	1.0	2.0
t <sub>10</sub>	2.5	2.0	2.0	1.5	0.5	1.0	1.0	2.0	1.0	0	2.5

注:t<sub>0</sub>为抢修的出发点。

表 6 两物资仓库到各故障任务的车程时间  
Table 6 Driving time between every material warehouse and fault repair location

物资仓库	车程时间/h									
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>
w <sub>1</sub>	1.5	2.5	2.0	3.0	0.5	2.5	1.5	1.0	2.0	3.0
w <sub>2</sub>	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	2.5	1.0	0.5	1.5

队能力不足时故障任务已完成的进度,考虑到该故障任务已经开始部分抢修,如果等待物资或小队救援时间不是很长则使其优先选择抢修),以 IEEE 33 节点系统为例,对系统图重新编号,见图 1,失电负荷信息见表 7,依据文中所提 3 种情况采用 MATLAB7.1 进行仿真。

4.2 仿真分析

a. 未去现场抢修之前进行任务分配。

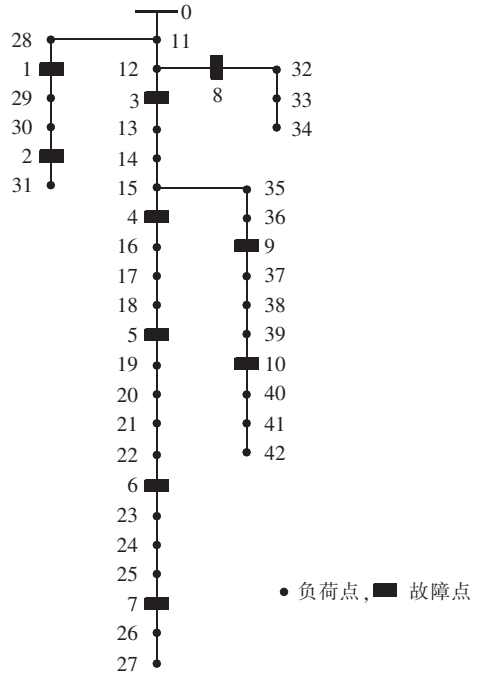


图 1 IEEE 33 节点系统简化图

Fig.1 Simplified diagram of IEEE 33-bus system

表 7 失电负荷等级

Table 7 Levels of power-loss load

负荷等级	负荷编号
一级负荷	13, 16, 30, 32, 33, 40, 41, 42
二级负荷	14, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 31, 35, 36, 37, 38, 39
三级负荷	17, 18, 25, 29, 34

表 8—12 分别为依据所提任务分配策略得到的小队适应度、物资适应度、外部适应度、优先级适应度、进度适应度、内部适应度及总的适应度值。

由表 12 得抢修顺序:t<sub>8</sub>(0.3375)→t<sub>1</sub>(0.33125)→t<sub>2</sub>(0.3250)→t<sub>9</sub>(0.3125)→t<sub>10</sub>(0.28750)→t<sub>6</sub>(0.26250)→

表 8 各故障任务与各小队的小队适应度值

Table 8 Team fitness value of each team for different fault repair tasks

故障任务	小队适应度			故障任务	小队适应度		
	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>		r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>
t <sub>1</sub>	0.5	0.85	0.1	t <sub>6</sub>	0.2	1.0	0.8
t <sub>2</sub>	0.8	0.70	0.2	t <sub>7</sub>	0.6	0.2	0.5
t <sub>3</sub>	0.1	0.40	0.9	t <sub>8</sub>	0.4	0.5	1.0
t <sub>4</sub>	0.9	0.10	0.6	t <sub>9</sub>	1.0	0.3	0.4
t <sub>5</sub>	0.3	0.60	0.7	t <sub>10</sub>	0.7	0.8	0.3

表 9 各故障任务与各物资仓库的物资适应度值

Table 9 Supply fitness value of each warehouse for different fault repair tasks

故障任务	物资适应度		故障任务	物资适应度	
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>		w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>
t <sub>1</sub>	0.6	0.8	t <sub>6</sub>	0.9	0.9
t <sub>2</sub>	0.8	0.9	t <sub>7</sub>	0.5	0.2
t <sub>3</sub>	0.1	0.4	t <sub>8</sub>	0.8	0.9
t <sub>4</sub>	0.1	0.4	t <sub>9</sub>	0.8	0.5
t <sub>5</sub>	0.8	0.5	t <sub>10</sub>	0.8	0.9

表 10 各故障任务与各小队及物资仓库的外部适应度值  
Table 10 External fitness value of each team-warehouse combination for different fault repair tasks

故障任务	$E_{j,11}$	$E_{j,21}$	$E_{j,31}$	$E_{j,12}$	$E_{j,22}$	$E_{j,32}$
$t_1$	0.2625	0.30625	0.2125	0.2875	0.33125	0.2375
$t_2$	0.3125	0.30000	0.2375	0.3250	0.31250	0.2500
$t_3$	0.0875	0.12500	0.1875	0.1250	0.16250	0.2250
$t_4$	0.1750	0.07500	0.1375	0.2125	0.11250	0.1750
$t_5$	0.1750	0.21250	0.2250	0.1375	0.17500	0.1875
$t_6$	0.1625	0.26250	0.2375	0.1625	0.26250	0.2375
$t_7$	0.1500	0.10000	0.1375	0.1125	0.06250	0.1000
$t_8$	0.2500	0.26250	0.3250	0.2625	0.27500	0.3375
$t_9$	0.3125	0.22500	0.2375	0.2750	0.18750	0.2000
$t_{10}$	0.2625	0.27500	0.2125	0.2750	0.28750	0.2250

表 11 各故障任务的优先级适应度、进度适应度及内部适应度值

Table 11 Priority, schedule and internal fitness values for different fault repair tasks

故障任务	$Y_{ij}$	$J_{ij}$	$I_j$	故障任务	$Y_{ij}$	$J_{ij}$	$I_j$
$t_1$	1.0	0	0.250	$t_6$	0.2	0	0.050
$t_2$	0.9	0	0.225	$t_7$	0.1	0	0.025
$t_3$	0.5	0	0.125	$t_8$	0.8	0	0.200
$t_4$	0.4	0	0.100	$t_9$	0.7	0	0.175
$t_5$	0.3	0	0.075	$t_{10}$	0.6	0	0.150

表 12 各故障任务的总适应度值

Table 12 Overall fitness value for different fault repair tasks

故障任务	$f_{j,11}$	$f_{j,21}$	$f_{j,31}$	$f_{j,12}$	$f_{j,22}$	$f_{j,32}$
$t_1$	0.2625	0.30625	0.2125	0.2875	0.33125	0.2375
$t_2$	0.3125	0.30000	0.2375	0.3250	0.31250	0.2500
$t_3$	0.0875	0.12500	0.1875	0.1250	0.16250	0.2250
$t_4$	0.1750	0.07500	0.1375	0.2125	0.11250	0.1750
$t_5$	0.1750	0.21250	0.2250	0.1375	0.17500	0.1875
$t_6$	0.1625	0.26250	0.2375	0.1625	0.26250	0.2375
$t_7$	0.1500	0.10000	0.1375	0.1125	0.06250	0.1000
$t_8$	0.2500	0.26250	0.3250	0.2625	0.27500	0.3375
$t_9$	0.3125	0.22500	0.2375	0.2750	0.18750	0.2000
$t_{10}$	0.2625	0.27500	0.2125	0.2750	0.28750	0.2250

$t_3$ 或 $t_5(0.2250) \rightarrow t_4(0.2125) \rightarrow t_7(0.1500)$ ,同时可得 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 可抢修的故障任务和顺序分别为: $t_2 \rightarrow t_9 \rightarrow t_4 \rightarrow t_7$ 、 $t_1 \rightarrow t_{10} \rightarrow t_6$ 、 $t_8 \rightarrow t_3$ 或 $t_5$ ,适合 $w_1$ 调派物资的故障任务有 $t_5$ 、 $t_6$ 、 $t_7$ 、 $t_9$ ,适合 $w_2$ 调派物资的故障任务有 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_8$ 、 $t_{10}$ 。

从表 8 可以看出,故障任务 $t_2$ 、 $t_9$ 、 $t_4$ 、 $t_7$ 与 $r_1$ 小队的小队适应度明显比与 $r_2$ 和 $r_3$ 小队的适应度值大,同理可得其余故障任务最终所分配的小队的适应度

值亦比与其他小队的值大,这体现出小队抢修故障能力的不同会影响任务的分配。

从表 9 可以看出 $w_2$ 的物资配备比 $w_1$ 的多,因此,适合 $w_2$ 去调派物资的故障任务是 6 个,多于 $w_1$ 。

从表 10 中可以看出各故障任务外部适应度大小的顺序为 $t_6/t_8 \rightarrow t_9 \rightarrow t_2/t_{10} \rightarrow t_1 \rightarrow t_5 \rightarrow t_4/t_3 \rightarrow t_7$ ,结合表 11,由于 $t_6$ 的优先级适应度值较小,所以 $t_8$ 的整体适应度值大于 $t_6$ 、 $t_9$ 和 $t_{10}$ 情况类似。

从表 11 中可以看到故障任务 $t_1$ 、 $t_2$ 的优先级适应度高于 $t_8$ ,但是 $t_8$ 的外部适应度值大于前两者,因此得出的最终顺序既可以体现各个故障任务对社会经济损失的影响程度,又可以满足物资与小队能力配备更完善的故障任务优先抢修。

**b. 抢修过程中故障任务物资出现不足。**

当已进行抢修 5.5 h 时发现 $t_9$ 物资不足,首先依据各个故障任务从开始出发到抢修结束累计的总时间 $T_0$ 与各个故障任务从开始出发到开始抢修累计的总时间 $T_{0, \text{ch}}$ 和其所在小队判断各个故障任务的抢修状态 $S_{\text{qpp}}$ ,结果如表 13 所示,表中, $S_{\text{qpp}}$ 为 0 表示未进行抢修,为 1 表示正在进行抢修,为 2 表示抢修已经完成,为 3 表示出现物资或小队能力不足。

表 13 各故障任务的抢修状态及累计抢修时间  
Table 13 Repair state and accumulated repair time for different fault repair tasks

故障任务	抢修小队	$T_0/h$	$T_{0, \text{ch}}/h$	$S_{\text{qpp}}$
$t_1$	$r_2$	3.0	1.0	2
$t_2$	$r_1$	3.5	1.5	2
$t_3$	$r_3$	13.0	8.0	0
$t_4$	$r_1$	10.0	8.0	0
$t_5$	$r_3$	9.0	4.5	1
$t_6$	$r_2$	10.5	8.5	0
$t_7$	$r_1$	16.5	13.0	0
$t_8$	$r_3$	4.0	8.0	2
$t_9$	$r_1$	7.0	5.0	3
$t_{10}$	$r_2$	7.5	5.5	1

由 2.3 节第 4 个限定条件可知,需要重新更新策略的故障任务有 $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_6$ 、 $t_7$ 、 $t_9$ ,按照 3.2 节中的模型重新进行任务分配,可得表 14。

从表 14 中可看出更新分配策略后的抢修顺序为 $t_6(0.2514) \rightarrow t_3(0.2319) \rightarrow t_9(0.2292) \rightarrow t_4(0.2181) \rightarrow t_7(0.1653)$ ,适合 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 的故障任务和抢修顺序分别

表 14 物资不足时,更新分配策略后的适应度值

Table 14 Fitness values of updated task allocation strategy because of material shortage

故障任务	$X_{\text{Dip}}$			$W_{Zpk}$		$Y_{ij}$	$J_{ij}$	$f_{p, ik}$					
	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$w_1$	$w_2$			$i=1, k=1$	$i=2, k=1$	$i=3, k=1$	$i=1, k=2$	$i=2, k=2$	$i=3, k=3$
$t_3$	0.1	0.4	0.9	0.1	0.4	0.5	0	0.0944	0.1319	0.1944	0.1319	0.1694	0.2319
$t_4$	0.9	0.1	0.6	0.1	0.4	0.4	0	0.1806	0.0806	0.1431	0.2181	0.1181	0.1806
$t_6$	0.2	1.0	0.8	0.9	0.9	0.1	0	0.1514	0.2514	0.2264	0.1514	0.2514	0.2264
$t_7$	0.6	0.2	0.5	0.5	0.2	0.2	0	0.1653	0.1153	0.1528	0.1278	0.0778	0.1153
$t_9$	1.0	0	0	0	0	0.3	0.25	0.2292	0.1042	0.1042	0.2292	0.1042	0.1042

为  $t_9 \rightarrow t_4 \rightarrow t_7, t_6, t_3$ , 此时抢修顺序没有发生变化, 即依照原始顺序继续抢修, 原因是  $t_9$  已抢修了 1/4, 进度适应度的权重系数较大, 保证了已进行抢修的故障任务不中断当前抢修, 但最终得到的适应度值只是略微大于故障任务  $t_4$ 。由表 14 还可以看出派  $w_1$  和  $w_2$  前去支援所得总适应度值一样, 因为  $w_1$  到达故障任务  $t_9$  的时间较长但是其物资配备比  $w_2$  完善, 因此两者值一样, 在对时间要求紧急的情况下可以优先选择离故障任务近的  $w_2$ 。

**c. 抢修过程中故障任务抢修小队能力出现不足。**

设故障任务  $t_{10}$  已进行抢修 6.5 h 时发现小队能力出现不足, 首先依据表 13 的  $T_0$  与  $T_{0, ch}$  和其所在小队判断各个故障任务现在的抢修状态, 结果见表 15。

需要重新进行任务分配的故障任务有  $t_4, t_5, t_6, t_7, t_{10}$ , 按 3.2 节中模型重新进行任务分配, 可得表 16。

表 16 抢修能力不足时, 更新分配策略后的适应度值

Table 16 Fitness values of updated task allocation strategy because of inadequate repair capability

故障任务	$X_{D_{ij}}$			$W_{Zpk}$		$Y_{X_{ij}}$	$J_{D_{ij}}$	$f_{g, ik}$					
	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$w_1$	$w_2$			$i=1, k=1$	$i=2, k=1$	$i=3, k=1$	$i=1, k=2$	$i=2, k=2$	$i=3, k=3$
$t_3$	0.1	0.4	0.9	0.1	0.4	0.5	0	0.0875	0.1250	0.1875	0.1250	0.1625	0.2250
$t_4$	0.9	0.1	0.6	0.1	0.4	0.4	0	0.1750	0.0750	0.1375	0.2125	0.1125	0.1750
$t_6$	0.2	1.0	0.8	0.9	0.9	0.2	0	0.1625	0.2625	0.2375	0.1625	0.2625	0.2375
$t_7$	0.6	0.2	0.5	0.5	0.2	0.1	0	0.1500	0.1000	0.1375	0.1125	0.0625	0.1000
$t_{10}$	0	0	0	0	1.0	0.3	0.5	0.1625	0.1625	0.1625	0.2875	0.2875	0.2875

表 15 各故障任务的抢修状态  
Table 15 Repair state for different fault repair tasks

故障任务	$S_{q_{ij}}$	故障任务	$S_{q_{ij}}$
$t_1$	2	$t_6$	0
$t_2$	2	$t_7$	0
$t_3$	0	$t_8$	2
$t_4$	0	$t_9$	1
$t_5$	1	$t_{10}$	3

从表 16 中可以看出更新后的抢修顺序为  $t_{10}(0.2875) \rightarrow t_6(0.2625) \rightarrow t_3(0.2250) \rightarrow t_4(0.2125) \rightarrow t_7(0.1375)$ , 适合  $r_1, r_2, r_3$  的故障任务和抢修顺序分别为  $t_{10} \rightarrow t_4 \rightarrow t_7, t_6, t_3$ , 此时  $r_1$  抢修完  $t_9$  后去支援  $t_{10}$ , 这是因为  $t_9$  剩余 1 h 即可抢修完成, 早于  $r_3$  抢修  $t_3$  的时间, 同时,  $r_1$  对于  $t_{10}$  的小队适应度值比  $r_3$  大, 而  $r_2$  小队中断  $t_{10}$  的抢修前往下一故障任务  $t_6, r_3$  小队按原计划继续抢修。

5 结论

**a.** 本文提出了故障任务、抢修小队以及物资仓库的模型, 并引入适应度概念描述三者之间的关系, 从而建立了配电网多故障抢修任务分配模型。

**b.** 本文在考虑抢修小队到达现场后发生物资不足或小队能力不足的情况下改进原有任务分配模型, 得出了更新后的任务分配策略, 同时可得到分配支援的物资仓库或抢修小队。

**c.** 仿真结果表明, 本文所提方法可以解决现场发生特殊情况时需要综合考虑故障任务的优先级以及物资仓库和抢修小队的适应度的情况, 从而使任务分配得更加合理。

参考文献:

[1] 朱朝阳, 于振, 刘超. 电力应急管理理论与技术体系研究[J]. 电网技术, 2011, 35(2): 178-182.  
 ZHU Chaoyang, YU Zhen, LIU Chao. Research on theory and technical system for power emergency management[J]. Power System Technology, 2011, 35(2): 178-182.  
 [2] 田世明, 陈希, 朱朝阳, 等. 电力应急管理平台研究[J]. 电网技术, 2008, 32(1): 26-30, 55.  
 TIAN Shiming, CHEN Xi, ZHU Chaoyang, et al. Study on electric power emergency management platform[J]. Power System Technology, 2008, 32(1): 26-30, 55.  
 [3] 郭晓鸣, 刘俊勇. 电网应急资源调度方案研究[J]. 电力系统保护

与控制, 2011, 39(20): 11-16.  
 GUO Xiaoming, LIU Junyong. Research on power disaster-relief resources allocation schedule model[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 11-16.  
 [4] 宋晓宇, 刘锋, 常春光. 基于广义粗糙集的应急物资调度模型[J]. 控制工程, 2010, 17(1): 119-122.  
 SONG Xiaoyu, LIU Feng, CHANG Chunguang. A disaster-relief commodity transport schedule model based on generalized rough sets[J]. Control Engineering of China, 2010, 17(1): 119-122.  
 [5] 耿泽飞, 薛丽蓉, 瑚跃进. 电力应急队伍调度决策研究[J]. 电网与清洁能源, 2011, 20(3): 38-45.  
 GENG Zefei, XUE Lirong, HU Yuejin. Scheduling and decision of power emergency team[J]. Power System and Clean Energy, 2011, 20(3): 38-45.  
 [6] 刘健, 徐精求, 程红丽. 紧急状态下配电网大面积断电快速恢复算法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(12): 132-138.  
 LIU Jian, XU Jingqiu, CHENG Hongli. Algorithms on fast restoration of large area breakdown of distribution systems under emergency states[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(12): 132-138.  
 [7] 徐玉琴, 张丽, 王增平, 等. 基于多智能体遗传算法并考虑分布式电源的配电网大面积断电供电恢复方法[J]. 电工技术学报, 2010, 25(4): 135-141.  
 XU Yuqin, ZHANG Li, WANG Zengping, et al. Algorithm of service restoration for large area blackout in distribution network with distributed generators[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(4): 135-141.  
 [8] 巩伟峥, 房鑫炎. 基于混合编码方式的配电网故障恢复算法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(6): 104-108.

- GONG Weizheng, FANG Xinyan. Research of distribution system service restoration algorithm based on hybrid encoding[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(6): 104-108.
- [9] 杨丽君, 刘建超, 卢志刚, 等. 基于多 Agent 演化算法的多目标配电网故障恢复[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(4): 54-58.
- YANG Lijun, LIU Jianchao, LU Zhigang, et al. Fault restoration of multi-objective distribution system based on multi-agent evolutionary algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(4): 54-58.
- [10] 叶品勇, 都洪基, 沈曦. Dijkstra 算法在最佳抢修路径计算中的应用[J]. 继电器, 2006, 34(12): 39-41.
- YE Pinyong, DU Hongji, SHEN Xi. Application of the Dijkstra algorithm in the best repairing path[J]. Relay, 2006, 34(2): 39-41.
- [11] 吴强, 滕欢, 王凯富. 基于 GPRS/GPS/GIS 的电力抢修实时调度系统构建[J]. 继电器, 2005, 33(17): 70-73.
- WU Qiang, TENG Huan, WANG Kaifu. Structure of electrical repairs real-time scheduling system based on GPRS/GPS/GIS [J]. Relay, 2005, 33(17): 70-73.
- [12] 卢志刚, 王克胜. 基于多代理方法的配电网故障应急抢修调度[J]. 电网技术, 2013, 37(1): 137-143.
- LU Zhigang, WANG Kesheng. Multi-agent based rush repair scheduling for distribution networks [J]. Power System Technology, 2013, 37(1): 137-143.
- [13] 卢志刚, 孙波, 刘照拯, 等. 基于改进离散 BCC 算法的配电网灾后抢修策略[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(11): 55-59.
- LU Zhigang, SUN Bo, LIU Zhaozheng, et al. A rush repair strategy for distribution networks based on improved discrete BCC after disaster[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(11): 55-59.
- [14] LEMAIRE T, ALAMI R, LACROIX S. A distributed task allocation scheme in multi-UAV context[C]//Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Los Angeles, USA: IEEE, 2004: 3622-3627.
- [15] 钟一文, 杨建刚. 基于混合遗传算法的并行多处理器系统的调度任务[J]. 复旦大学学报: 自然科学版, 2004, 43(5): 918-922.
- ZHONG Yiwen, YANG Jiangang. A hybrid genetic algorithm for tasks scheduling in parallel multiprocessor systems [J]. Journal of Fudan University: Natural Science Edition, 2004, 43(5): 918-922.
- [16] KWANG M S. Simulation of a multi-agent protocol for task allocation in cooperative design[C]//IEEE SMC'99. Tokyo, Japan: IEEE, 1999: 95-100.
- [17] 董炆斌, 蒋静坪, 何衍. 基于适应度的多机器人任务分配策略[J]. 浙江大学工学学报, 2007, 41(2): 272-277.
- DONG Yangbin, JIANG Jingping, HE Yan. Fitness-based task allocation strategy for multi robot system [J]. Journal of Zhejiang University, 2007, 41(2): 272-277.
- [18] 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.
- ZHANG Jingwei, ZHANG Lizi, HUANG Xianchao. A multi-fault rush repair strategy for distribution network based on genetic-topology algorithm [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(22): 32-35.

#### 作者简介:



陈广宇

陈广宇(1982—),男,天津人,工程师,主要从事电力系统经济运行与分析工作(E-mail: cdgdcgy@163.com);

柳慧琴(1988—),女,山西忻州人,工程师,硕士,主要从事变电站设计工作;

邱文祥(1973—),男,河北承德人,工程师,主要从事电力系统经济运行与分析工作;

李大兴(1983—),男,河北承德人,工程师,主要从事电力系统经济运行与分析工作;

卢志刚(1963—),男,河北邯郸人,教授,博士研究生导师,博士,通讯作者,主要从事电力系统经济运行与分析的研究工作(E-mail: zhglu@ysu.edu.cn)。

## Fitness-based task allocation strategy for multi-fault repair of distribution system

CHEN Guangyu<sup>1</sup>, LIU Huiqin<sup>2,3</sup>, QIU Wenxiang<sup>1</sup>, LI Daxing<sup>1</sup>, LU Zhigang<sup>2</sup>, FENG Tao<sup>2</sup>

(1. Chengde Power Supply Company, State Grid Jibe Electric Power Company Limited, Chengde 067000, China;

2. Key Lab of Power Electronics for Energy Conservation and Motor Drive of Hebei Province,

Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

3. Shanxi Electric Power Exploration and Design Institute, Taiyuan 030000, China)

**Abstract:** When multiple faults occur in distribution network, both the supplies and teams can not meet the requirements of each fault repair task, aiming at which, a task allocation strategy based on fitness is proposed for the multi-fault repair. The fault task model, repair team model and material warehouse model are quantified, two external indexes, i.e. team fitness and supply fitness, are defined to respectively describe the matching degree between repair team and fault repair task and that between material warehouse and fault repair task, while two internal indexes, i.e. priority fitness and schedule fitness, are defined to respectively describe the priority of fault repair task and its repair schedule. The overall fitness index of each fault repair task is the integration of its external and internal indexes, which is compared among different fault tasks to obtain the optimal task allocation strategy. Simulation is carried out for IEEE 33-bus system and the simulative results verify the effectiveness and practicality of the proposed strategy.

**Key words:** electric power distribution; fault repair task; repair team; material warehouse; fitness; task allocation; models