

制造资源驱动的产业集群订单分配研究

刘兰兰, 张 胜, 叶飞帆*, 李国富

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 针对集群制造资源利用不均衡现象, 在对集群内供应商进行综合评价的基础上, 提出了以生产负荷率均衡和制造资源综合性能最优为决策准则的订单分配方法, 在考虑供应商制造资源利用状况的同时兼顾了所选用制造资源的性能; 建立了订单分配多目标规划模型, 并利用基于模糊逻辑的遗传算法对模型进行求解; 最后通过实例验证了算法的有效性. 结果表明: 提出的模型和算法能够获得满意的解.

关键词: 订单分配; 负荷率均衡; 综合评价; 模糊逻辑; 遗传算法

中图分类号: TH166

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2012) 01-0119-06

订单分配的结果直接影响着供应商群体的资源利用情况, 然而当前订单分配决策研究中多数以质量、成本、交货期和服务等订单本身的指标作为主要依据, 视订单利益为核心, 很少考虑供应商的制造资源利用状况, 这势必导致供应商企业间的负荷不均衡、资源利用不合理^[1-2]. Korpela 等曾从供应链整体优化角度指出, 订单分配不仅要从制造商角度研究, 更应该从供应商的角度去考虑其生产能力的限制^[3]. Hazra 等则进一步提出依据供应商能力进行任务分配^[4]. 虽然一些研究者已经意识到在许多情况下, 订单分配应该从供应商的生产能力角度去考虑, 但是仍然缺乏一种能够直接反映供应商制造资源状况的订单分配策略.

文献[5-6]用生产负荷率来表征供应商的制造资源利用情况, 在考虑成本、时间等因素的同时保证供应商生产负荷率均衡. 结果表明, 这些订单分配方法在一定程度上均衡了集群生产负荷, 这将有利于提升集群的响应敏捷性和集群整体的竞争力, 但上述这些订单分配决策问题仅停留在资源的利用状况上, 未曾考虑所选用的制造资源的优劣. Narasimhan 也提出在长期的合作关系中, 制造商有必要通过有效的资源分配来提高供应商的表

现^[7]. 因此, 笔者基于供应商的制造资源, 拟在产业集群内多供应商订单分配过程中, 提出一种以生产负荷率均衡和供应商制造资源综合性能最优为决策准则的订单分配方法, 以期通过订单分配在合理配置集群制造资源的同时保证所选用制造资源的最优集成, 在长期稳定合作中逐渐提升供应商制造资源综合性能表现, 逐渐促进集群中各供应商制造资源利用率的均衡化.

1 订单分配建模

1.1 问题描述

笔者在对各供应商进行综合评价的基础上, 以生产负荷率均衡和供应商综合性能最优为优化目标, 以各指标的可度量性、可获取性为前提, 提出了图 1 所示的订单分配层次结构模型.

基于图 1 的模型, 订货商采用网络招标和实地调研的方式分别获取图 1 中准则层所示相关指标数据. 其中, 确定负荷 L_n 和随机负荷 L_f 可根据文献^[8]所示方法得出; C 类指标 C_4 、 C_9 、 C_{11} 、 C_{12} 虽为不能直接获取其量化信息的指标, 但可根据工人职称等级、质量保障体系类型及质量认证情况、信誉调查、售后服务调查等方式获取其相关信息,

收稿日期: 2011-09-26.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: 国家自然科学基金(70871062); 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2009CB326204); 浙江省自然科学基金(Y1080429).

第一作者: 刘兰兰(1988-), 女, 湖北大悟人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 制造系统工程. E-mail: cherishliulanlan@sina.cn

*通讯作者: 叶飞帆(1958-), 男, 浙江宁波人, 教授, 主要研究方向: 制造系统工程及供应链管理. E-mail: yefeifan@nbu.edu.cn

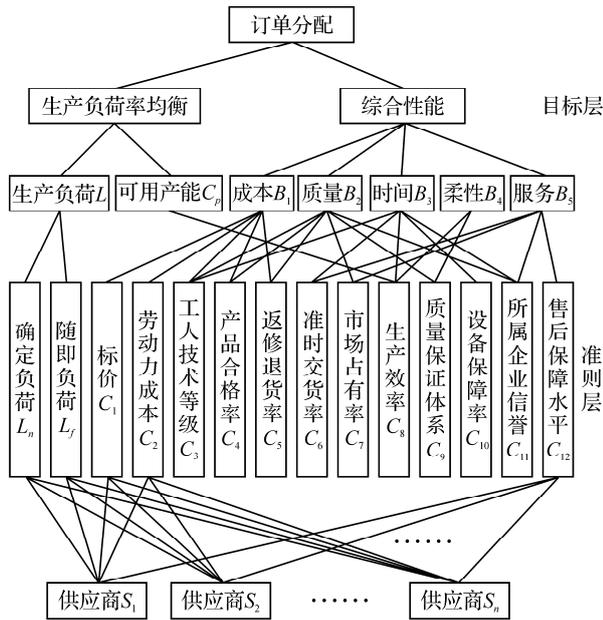


图1 指标层次结构模型

并规定各类等级、体系的得分情况,为专家对这4项指标打分提供了理论依据,采用得分形式参与评价;剩余各项C类指标均可从供应商处直接获取其相关数据参与评价。这些调查统计信息使得参与供应商综合性能评价的各类指标的最终度量值都有据可循。

接着采用层次分析法和熵值法相结合的方法计算各供应商综合性能评价价值。在准确获取供应商生产负荷率和制造资源综合性能评价价值的基础上,建立多目标订单分配模型。

1.2 供应商综合性能评价

AHP方法在因素的权重确定方面过于依赖专家的主观判断与经验,因而笔者在权重确定上引入熵值法,利用熵值法确定的客观权重对专家给出的主观权重进行修正。结合之前建立的综合性能评价指标,采用层次分析法与熵值法相结合的方法对其进行评价,具体方法如下:

(1) 根据图1准则层所示评价指标,得出各供应商在各指标的原始数据,对于m个供应商、n个评价指标形成的原始数据矩阵为:

$$A = (a_{ij})_{m \times n}, i \in [1, m], j \in [1, n],$$

其中, a_{ij} 表示供应商i的指标j取值。

(2) 对矩阵A无量纲化处理,获取无量纲化数据矩阵:

$$Z = (z_{ij})_{m \times n}.$$

(3) 用熵值法确定供应商各指标的权重向量:

$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n),$$

其中,

$$\mu_j = (1 - E_j) / \sum_{k=1}^n (1 - E_k), j \in n, \quad (1)$$

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m z_{ij} \ln z_{ij}, i \in m, j \in n. \quad (2)$$

(4) 用层次分析法根据自上而下的原则最终确定底层各指标权重向量:

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n).$$

(5) 各指标综合权重向量:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n),$$

其中,

$$w_j = \lambda_j \mu_j / \sum_{j=1}^n \lambda_j \mu_j. \quad (3)$$

(6) 最后得出综合评价模型:

$$R = Z \times W, \quad (4)$$

其中, $R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$ 为m个供应商制造资源的评价结果向量。

1.3 订单分配模型

为了便于建模和模型表述,做出以下假设并定义相关参数及符号:

(1) 假设 订单需求为单一类型的产品; 所有参与的供应商均对其分配订单,不考虑供应商的选择问题。

(2) 定义i表示为供应商序号; x_i 为供应商i获得的订单量; r_i 为供应商i的综合评价价值; l_i 为供应商i在订单完成期内的生产负荷率; \bar{l} 为备选供应商在订单完成期内的平均生产负荷率; D为订单总量; EPQ_i 为供应商i的最小经济生产批量。为此,先用(5)式计算各供应商分配订单后的生产负荷率:

$$l_i = (L_i + x_i) / C_p, \quad (5)$$

其中, $L_i = L_n + L_f$, $C_p = C_8 \times DLT$, DLT为订单完成期。

基于以上分析,可建立订单分配的多目标决策模型:

目标函数1: 供应商制造资源生产负荷率均衡:

$$\min f_1(x_i) = \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2. \quad (6)$$

目标函数2: 供应商的制造资源综合性能最优

为:

$$\max f_2(x_i) = \sum_{i=1}^n r_i x_i, \quad (7)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^n x_i = D, \quad (8)$$

$$l_i \leq 1, \quad (9)$$

$$x_i \geq EPQ_i. \quad (10)$$

从上可见, (6)式保证各供应商之间的生产负荷率尽量均衡; (7)式表示使选中供应商的制造资源综合性能最优化; (8)式是订单本身的约束, 制造商须确保总任务得到完成; (9)式产能约束, 供应商的总任务量不能大于其最大产能; (10)式是最低分配容量约束.

2 多目标规划算法

以往的多目标规划算法如遗传算法、禁忌搜索算法等对模型求解后, 通常得到的只是问题的非劣解, 过多的 Pareto 解集在实际问题中是无法直接应用的, 决策者只能选择其中一个最满意的作为最优解. 但在问题求解之前, 决策者对各目标的重要程度通常并不能准确的把握. 由于模糊逻辑是一种很好的反映决策者主观意愿的工具^[9-10], 可以用模糊逻辑的方法反应决策者对于各个目标之间重要性的权衡信息, 因此笔者提出一种基于模糊逻辑的, 能比较好地反映决策者权重的多目标遗传算法.

算法步骤具体如下:

(1) 分别求出各单目标((6)式和(7)式)所示的最优解, 令:

$$z_1 = -f_1(x_i), z_2 = f_2(x_i),$$

则,

$$\min f_1(x_i) = \max(-f_1(x_i)) = z_1^*,$$

$$z_2^* = \max f_2(x_i),$$

可得该订单分配问题的理想最优解:

$$z^* = (z_1^*, z_2^*).$$

(2) 以(1)式中的单目标最优解为基础, 将各目标的满意度和个体的适应度联系起来, 给出各个目标满意度的隶属函数.

其中, 第 i 个模糊目标($i=1,2$)(目标函数求最大值)的隶属度函数 u_i 表示为:

$$u_i(x) = \begin{cases} 1, z_i \geq z_i^*, \text{ 且 } x_i, l_i \in g(x_i, l_i), \\ 1 - (z_i^* - z_i) / p_i, z_i^* - p_i < z_i < z_i^*, \\ \text{且 } x_i, l_i \in g(x_i, l_i), \\ 0, z_i \leq z_i^* - p_i, \text{ 或 } n \text{ 于 } \forall x_i \text{ 与 } l_i, \\ x_i \notin g(x_i, l_i), \text{ 且 } l_i \notin g(x_i, l_i), \end{cases} \quad (11)$$

其中,

$$g(x_i, l_i) = \{(x_i, l_i) | \sum_{i=1}^n x_i - D = 0,$$

$$\text{且 } l_i \leq 1, \text{ 且 } x_i \geq EPQ_i\}. \quad (12)$$

p_i 由决策者根据对目标 z_i 达到最理想值 z_i^* 的相对重要性的模糊预期来确定, 对于目标函数求最大值的情况, p_i 的值反映的是决策者可以接受的目标值的下限. 此外, p_i 的确定应使(12)式在满足(8)~(10)式的约束下成立如下条件:

$$p_i = \partial_i(z_i^* - \min(z_i)), 0 \leq \partial_i \leq 1, i=1,2. \quad (13)$$

因此, 原多目标优化问题转化为各目标隶属度最大化的优化问题, 考虑到 Matlab 遗传算法工具箱的工作原理是将适应度值低的个体选择为精英个体, 并进入下一代, 即适应度函数极小化. 故构造适应度函数为:

$$\min fit(x) = 2 - (w_1[u_1(x)] + w_2[u_2(x)]). \quad (14)$$

(3) 以(3)式定义的适应度为基础采用遗传算

表 1 供应商信息汇总表

	$L_n/$ 台	$L_f/$ 台	$C_1/$ 元	$C_2/$ 元	$C_3/$ 分	$C_4/$ %	$C_5/$ %	$C_6/$ %	$C_7/$ %	$C_8/$ (台·d ⁻¹)	$C_9/$ 分	$C_{10}/$ 分	$C_{11}/$ 分	$C_{12}/$ 分	$EPQ_i/$ 台
S_1	60	70	4000	1800	85	90	75	90	70	20	85	70	90	60	40
S_2	150	100	4500	1700	60	85	80	75	75	15	70	80	85	75	30
S_3	60	30	3000	1300	90	75	85	60	80	20	90	90	60	85	40
S_4	120	160	4000	1600	75	80	60	85	60	30	60	75	80	80	50
S_5	60	50	3500	1500	80	60	90	80	75	25	75	60	65	90	50

法进行求解.

3 实例验证

浙东某空调生产企业需在三月份完成 1000 台某型号空调的生产任务,需某规格的空调压缩机 1000 台,经查库存尚有该规格压缩机 200 台,需订购 800 台,为保证生产连续性,要求订购压缩机在 20 天内交货.通过网络招标的方式,结合以往合作数据,对 5 家供应商的 14 项指标和约束条件所需的 EPQ_i 共 15 项指标进行数据汇总(表 1).

结合供应商综合性能评价步骤(1)~(6)得:

$$W = [0.13, 0.0526, 0.0769, 0.1421, 0.0622, 0.0668, 0.0212, 0.2110, 0.0610, 0.1050, 0.0504, 0.0208]^T,$$

可得 5 个供应商制造资源综合性能评价结果向量:

$$R = [0.89, 0.87, 0.88, 0.79, 0.82]^T.$$

计算可知订单分配前,负荷均衡指数 $f_1(x_0) = 0.2547$.

算法应用 Matlab 7.11 遗传算法工具箱,运行环境为 i5, 2.79 GHz, 内存 2.93 GB. 相应的参数设

置:种群数量为 60,交叉概率为 0.8,变异概率为 0.2,迭代次数 100. 计算结果和订单分配后各供应商生产负荷率分别见表 2 和图 2.

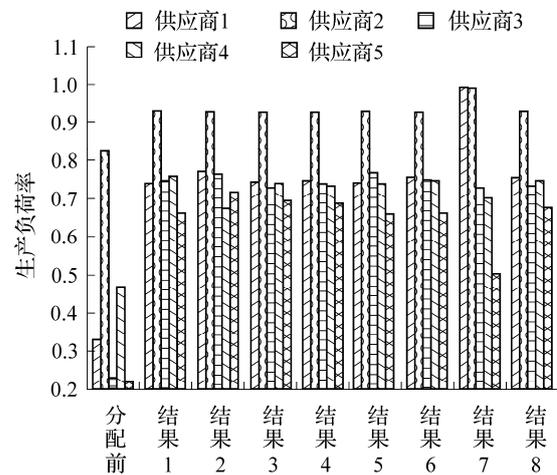


图 2 订单分配后生产负荷率柱形图

4 结果分析

4.1 算法的有效性和实用性

通过模糊多目标遗传算法求解,目标函数收

表 2 订单分配结果

结果编号		1	2	3	4	5	6	7	8
两目标权重	w_1	0.5	0.2	0.8	0.5	0.2	0.8	0	1
	w_2	0.5	0.8	0.2	0.5	0.8	0.2	1	0
接受度系数	a_1	0.8	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	0.8	0.8
	a_2	0.8	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	0.8	0.8
订单分配量	x_1	164.8379	177.7374	166.8713	168.7319	166.0801	171.0802	266.9045	171.2152
	x_2	30.0044	30.0002	30.0085	30.0040	30.0366	30.0295	49.7434	30.0100
	x_3	208.3184	214.7218	200.8447	205.5272	216.8169	209.2352	200.3763	202.3058
	x_4	165.5180	126.2465	164.0778	160.5937	165.0488	168.8783	142.0659	167.9345
	x_5	231.3216	251.2950	238.2012	235.1430	222.0175	220.7765	140.9099	228.5337
生产负荷率	l_1	0.7421	0.7743	0.7472	0.7518	0.7452	0.7577	0.9973	0.7580
	l_2	0.9300	0.9300	0.9300	0.9300	0.9301	0.9301	0.9958	0.9300
	l_3	0.7508	0.7668	0.7321	0.7438	0.7720	0.7531	0.7309	0.7358
	l_4	0.7625	0.6804	0.7435	0.7377	0.7451	0.7515	0.7068	0.7499
	l_5	0.6626	0.7226	0.6964	0.6903	0.6640	0.6616	0.5018	0.6771
目标函数	f_1	0.0350	0.0358	0.0337	0.0340	0.0381	0.0382	0.1787	0.0330
	f_2	676.5727	679.0384	676.3103	676.8250	677.1848	676.9645	684.9311	676.5851

敛很快, 由于问题规模较小, 根据 Matlab 计算的有限次结果显示, 未出现迭代次数超过 100 尚未收敛的情况, 一次算法收敛曲线如图 3 所示。

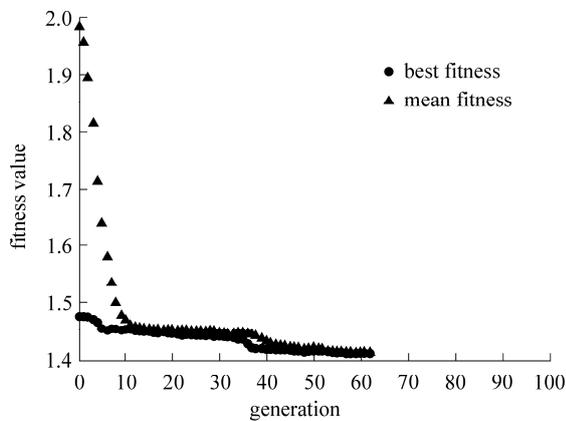


图 3 结果 6 函数收敛曲线

该算法将个体的适应度与隶属度函数相结合, 基于其隶属度构建适应度函数。一方面, 为决策者准确把握各目标提供了方便, 决策者根据相应目标的重要程度和对目标的接受程度直接选取合适的决策方案; 另一方面, 这种适应度函数脱离了原目标不同量纲的限制, 隶属度函数直接参与适应度函数的构建, 保证了各目标优化的一致性。

4.2 综合性能角度

由表 2 可见, 各结果中 f_2 变化波动不大, 这是由实例所提供的 5 家供应商制造资源综合性能相当所决定的。但无论接受度系数处于较高(0.8)或较低(0.2)水平, 只要在相同的接受度系数下, 随着 w_2 的增加, 被选择用于完成订单的制造资源综合性能也随之增加, 且 $w_2 = 1$ (如结果 7 所示) 时, 综合性能值最高。

4.3 生产负荷率均衡的角度

(1) 订单分配后各供应商负荷波动率(如结果 1~8 中 f_1 所示)相较于分配前的 0.254 7 大幅度减小。且 $w_1 \neq 0$ 时 f_1 的值明显低于 $w_1 = 0$ 时的 $f_1 = 0.178 7$ 。且当接受度系数较高(0.8)时, 随着 w_1 的增加 f_1 的值是减小的。

(2) 结果 7 中目标 1 的权重为 0, 即为不考虑负荷率均衡的订单分配方案, 此时, 各供应商生产负荷率相差很大, 其波动值 0.178 7 是所有结果中最大的。供应商 1、2 接近满负荷运转, 而供应商 5 的生产负荷率不足 0.5, 因为笔者在建立订单分配模型时, 以供应商生产负荷率 1 为约束, 供应商

生产负荷率最大不会超过 1, 若在完全不考虑供应商生产负荷率情形下, 供应商 1、2 甚至超负荷运转, 难免要采取加班等手段赶工, 而负荷不足的供应商资源却处于闲置状态, 显然, 制造资源利用的不均衡造成了集群资源的极大浪费和利用率低下。

(3) 供应商 2 的生产负荷率比平均水平偏高, 原则上不应对其分配订单, 但因为本研究中不考虑供应商的选择问题, 必须对所有供应商分配订单, 除结果 7 以外, 其余几种分配结果显示均只对其分配了最小的订单量, 避免了其生产负荷率继续大幅升高。订单分配结果也缩小了供应商 2 与集群内其他各供应商生产负荷率的差距。在实际应用中, 对于供应商 2 这种负荷率远高于平均水平的个体, 在供应商选择中应将其剔除, 不使其参与订单分配。

总之, 无论订单分配前原供应商集群负荷率处于何种状态, 按笔者提出的策略进行订单分配后, 各供应商生产负荷率波动相较于分配之前都大幅降低, 并且考虑了负荷均衡的订单分配策略相较于忽略负荷率均衡这一目标的分配策略在订单分配后, 负荷率波动也是明显降低。而制造资源性能最优这一优化目标保证了完成订单任务的制造资源在一定程度上的最优集成。

算法针对不同的决策者, 可根据实际情况, 结合模糊逻辑分配各目标的接受度和相对权重, 用接受度来调节目标的接受域, 用相对权重来确定各目标的重要性信息。实例验证结果表明, 在各目标有不同的接受度和不同的相对权重的情况下, 算法收敛很快, 且都能获得满意的解。

5 结语

提出的订单分配策略在保证制造商为订单选用最优制造资源的同时, 均衡了各供应商的生产负荷率。既从供应商制造资源利用状况的角度保障了制造商的订货得以顺利完成, 又从制造资源性能的角度为高质高效地顺利完成订单提供了基础保证。从供应商的持续发展和整个制造系统的优化角度看, 这种分配策略将促进供应商在较长时期内保持合理的生产负荷率; 同时, 供应商为了接到更多的订单, 也会逐渐提升其制造资源性能表现。这将对供应商生产成本、产品质量、按时

供货和服务等综合能力产生有利影响, 也有助于供应商在诸如研发投入和员工培训等方面有更多的作为, 进而提升整个供应商群体的运作水平和竞争力.

参考文献:

- [1] Araz C, Mizrak Ozfirat P, Ozkarahan I. An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management[J]. Computers and Operations Research, 2007, 34(12):3738-3756.
- [2] Amid A, Ghodyspour S H, O'Brien C. Erratum: Fuzzy multi-objective linear model for supplier selection in a supply chain[J]. International Journal of Production Economics, 2006, 104:394-407.
- [3] Korpela J, kyläheiko K, Lehmusvaara A, et al. An analytic approach to production capacity allocation and supply chain design[J]. International Journal of Production Economics, 2002, 78:187-195.
- [4] Hazra J, Mahadevan B, Seshadri S. Capacity allocation in an electronic market[J]. Production and Operations Management, 2004, 13(2):161-170.
- [5] 江宝钊, 叶青, 熊伟清. 基于二元蚁群算法的多目标订单分配问题求解[J]. 计算机工程, 2011(3):175-177.
- [6] 张胜, 叶飞帆, 李国富. 基于负荷均衡的产业集群订单响应敏捷性研究[J]. 机械制造, 2010(5):44-46.
- [7] Talluri S, Narasimhan R. A methodology for strategic sourcing[J]. European Journal of Operational Research, 2004, :236-250.
- [8] 李永健, 叶飞帆, 李国富. 产业集群内供应商生产负荷率预测模型及其应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2010(2):32-34.
- [9] 汪寿阳, 潘伟, 余乐安. 模糊多目标订单分配模型[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2010(3):472-477.
- [10] 张菊芳, 叶飞帆. 横向型企业集群供应链关系模型研究[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2006, 19(2):204-209.

Order Allocation Driven by Manufacturing Resources in Industrial Clusters

LIU Lan-lan, ZHANG Sheng, YE Fei-fan*, LI Guo-fu

(Faculty of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: To tackle the problem with the unbalanced use of manufacturing resources in clusters, an order allocation approach is presented based on the comprehensive evaluation of suppliers, in which production load equilibrium and optimal comprehensive performance of manufacturing resources are viewed as the decision-making criteria. The manufacturing resource utilization in suppliers is taken into consideration while the selected manufacturing resources performance is also taken into account in the proposed approach. A multi objective programming order allocation model is constructed, and the genetic algorithm based on fuzzy logic is applied to seek the solution to the model. Finally, a case study is selected to verify the feasibility of the proposed approach, and the results indicate that using the proposed model and algorithm can lead to satisfactory solutions.

Key words: order allocation; load rate balance; comprehensive evaluation; fuzzy logic; genetic algorithm

(责任编辑 章践立)