基于遗传算法的电力超负荷平衡调度研究

在对电力超载负荷平衡调度的研究中，由于传统的基于时空双尺度方法采取的是单路径搜索最优解，会存在只有初值在最优值附近时才可能找到最优解，否则得到的只能是局部最优解的问题。针对这样的问题，提出了基于遗传算法优化的电力超载负荷平衡调度方法，在获得电力负荷多种状态数据的基础上，建立电力超载负荷平衡调度的精确数学模型，针对电力超载负荷平衡调度问题的求解，设计了一种基于遗传算法的超负荷调度方法，能够将同时间内电力超载负荷约束在一定的差异范畴内，有效地搜索了全局最优解，并通过数值计算验证了该方法的有效性。实验结果表明，利用遗传算法的电力超载负荷平衡调度稳定、准确度高。

郭　玲/珠海城市职业技术学院成教学院　章征云/湘潭潭州电力建设有限公司

郭　玲/讲师

关键词/Keywords
电力系统·
负荷平衡·
遗传算法·

随着我国综合国力的不断提升，电力企业也得到了飞速的发展，电力调度工作正逐步向智能化调度转换[1-3]。现今，电网的发展目标是要对客户保证安全、可靠的供电，而电力的正常运行是保障电网稳定运营的一个重要因素。因此，如何建设统一智能化的电力系统是很多专家研究的一个焦点，受到了很多的关注[4, 5]。在智能化的电力调度中，对超负荷现象的控制是一个重点。现阶段，主流的电力超载负荷平衡调度方法是基于时空双尺度算法的电力超载负荷平衡调度方法、基于反馈模糊控制的电力超载负荷平衡调度方法和基于混合整数规划算法的电力超载负荷平衡调度方法。由于电力超载负荷平衡调度方法拥有极为广阔的发展前景，因此，受到了很大的关注，有巨大的发展潜力。

利用基于时空双尺度算法的电力超载负荷平衡调度方法进行电力超载负荷平衡调度时比较简单，速度快，可靠性比较高，但该算法采用的是单路径搜索最优解，会存在只有初值在最优值附近时才可能找到最优解，否则得到的只能是局部最优解的问题。利用反馈模糊控制算法进行电力超载负荷平衡调度方法，采用电力机组电枢电流检测量的模糊处理方式，对电力超载负荷进行同步控制，虽然计算结果较为精确，但单独使用该算法效果不是很理想，一般都是和其他算法结合应用。采用混合整数规划方法进行电力超载负荷平衡调度时，两种变量的特点有明显的均衡调度效果，这种算法在理论上能够求得最优解，但实际上计算量很大，如果应用于较大系统就显得不切实际。

针对上述问题，提出了基于遗传算法优化的电力超载负荷平衡调度方法，并通过数值计算验证了该方法的有效性。实验结果表明，利用该方法进行电力超载负荷平衡调度稳定，准确度高。

电力超载负荷平衡调度原理

电力超载负荷平衡调度的基础是参照了电网*CPS*考核标准，以省调AGG系统作为调整的依据，对未来一定时间内用电的需要进行监督。若电力超载负荷时系统应该给出预警，若省调获取调节容量超载负荷时，系统应给出超过调整能力范围的数值，并且由调度执行者向上级系统寻求帮助，该系统参照实际的情况，做相应的部署与实时监督。

电力超载负荷平衡调度关系计算公式为

$$CPS_1 = \frac{ACE_{AVE-min}\Delta F_{AVE-min}}{-10B} \leqslant \varepsilon_1^2 \quad (1)$$

中国知网　https://www.cnki.net

式中，$ACE_{AVE-min}$为电力负荷均值，且规定每5 s采样1次，将12个值为一组，取均值；$\Delta F_{AVE-min}$为频度误差的均值，需要1 s采样1次，将60个值为一组，取均值；B为约束范围内设置的频度误差系数，以mw/0.1 Hz为单位，会有负号；ε_1为互联电网对全年1 min频率平均偏差方均根的约束值。$ACE_{AVE-min}\times\Delta F_{AVE-min}$可以表述为：当该值无论为正值或者负值的时候，超载负荷平衡调度控制范围在1 min内不同频率与不同状态下的输送与耐受情况。

在特定时间内C的CPS_1目标的统筹归化公式为

$$CPS_1=(2-CF)\times100\%=\left(2-\frac{\sum ACE_{AVE-min}\Delta F_{AVE-min}}{-10Bn\varepsilon_1^2}\right)\times100\% \quad (2)$$

式中，n是时间，min。

1）当$CPS_1\geqslant200\%$时，$\sum ACE_{AVE_min}\Delta F_{AVE-min}\leqslant0$，意味着，在这一时段内$ACE$改善了互联电网的频率质量。

2）当$100\%\leqslant CPS_1<200\%$时

$$0<\frac{\sum ACE_{AVE-min}\Delta F_{AVE-min}}{-10Bn}\leqslant\varepsilon_1^2 \quad (3)$$

可以说明在这个时段内，ACE对电网频率质量的影响没有超出所允许的范围。

3）当$CPS_1<100\%$时

$$\frac{\sum ACE_{AVE-min}\Delta F_{AVE-min}}{-10Bn}>\varepsilon_1^2 \quad (4)$$

可以确定在这一时段内，ACE对电网频度质量的干扰超过了所控制的范围。

CPS_2每15 min的平均值一定要约束在特定的范畴内，其计算公式为

$$L_{15}=1.65\varepsilon_{15}\sqrt{(-10B)\times(10B_{网})} \quad (5)$$

式中，B为在电力超载负荷平衡调度中约束范围的频度差异系数；$B_{网}$为负荷平衡调度中整体电网的频率偏差系数；ε_{15}为在超载调度中互联电网对15 min频度平均差异的均方根值。

为了满足频率质量的要求，控制区域的ACE 15 min平均值应满足下述要求。

$\delta=\varepsilon_{15}\sqrt{(-10B)\times(10B_{网})}$的正态分布，$NERC$对$CPS_2$合格率的要求是90%以上，根据正态分布的特点，分布在$L_{15}=(-1.65\delta,\ +1.65\delta)$，事件的发生几率为90%，由此，用1.65表示系数。

根据上面阐述的方法，能够进行电力超载负荷平衡调度，主要依靠自动发电量控制功能AGC的调整或由调度运行人员来协调调度，若AGC系统未能及时响应，只有依靠调度人员的调整。

基于遗传算法的电力超载负荷平衡调度优化方法原理

采用传统的算法进行电力超载负荷平衡调度时，因为采取的是单路径搜索最优解，会存在难以得到全局最优解的问题，针对这样的问题，提出了基于遗传算法的电力超载负荷平衡调度方法。

1. 电力超载负荷平衡调度模型的建立

电力超载负荷平衡调度模型的核心是：将超出控制范围内每个工作站的电力作业任务进行有效的调度，电力超载负荷平衡模型的变化对系统、电压的稳定性及电流计算的结果都会有很大的干扰。在临界情况下，将会发生较大的变化，所以必须要建立精确、可靠的超载负荷模型，且要对负荷模型参数的准确率予以验证，其数学模型表述如下所示。

（1）经济目标

$$\min f_0(x)=\min\sum_{j=1}^{NC}F_j(pG_j) \quad (6)$$

$$pG_j=pG_J^0+\Delta PG_J$$

$$X=[\Delta PG_1\ \ \Delta PG_2\cdots\Delta PG_{NG}]^{\mathrm{T}}$$

$F_J(PG_J)$是J号发电机的发电费用，通常可用如下二次函数表述

$$F_J(PG_J)=a_{2j}pG_J^2+a_{1j}PG_J+a_{0j} \quad (7)$$

$$(j=1,\ 2,\ \cdots,\ NG)$$

式中，a_{2J}，a_{1J}，a_{0J}为发电费用系数。

（2）动态安全目标

$$\min f_i(x)=\min\sigma_i\quad(i=1,\ 2,\ \cdots,\ m) \quad (8)$$

式中，σ_1为系统主导特征值的实部；m为系统主导特征值的数目。

设SU_{IJ}是第i个主导特征值，实部σ_1是对于运行控制变量U_j的灵敏度，并且设发电机出口电压不变化，则发电机由电力的改变所引起的σ_1的改变为

中国知网 https://www.cnki.net

$$\Delta\sigma_i=\sum_{J=1}^{NC}SU_{IJ}\Delta PG_J \quad (i=1,\ 2,\ \cdots,\ m) \qquad (9)$$

上述公式成立的约束条件为

$$pG_{j\min}<pG_j^0+\Delta PG_J<PGM_{j\max}$$

$$(j=1,\ 2,\ \cdots,\ NG,\ |\Delta PG_j|<\Delta PG_{j\max})$$

$$\sum_{j=1}^{NC}\Delta pG_J=O \qquad (10)$$

在上述公式中，由于特征值灵敏度是非线性的，要根据特征值灵敏度求得具有较好近似性的$\Delta\sigma_i$，则ΔU_J就必须足够小。

将上述两个公式进行简化处理，能够得到下述结果

$$g_k(x)<0 \quad (k=1,\ 2,\ \cdots,\ 3NG) \qquad (11)$$

综上所述，能够建立电力系统超载负荷平衡的准确数学模型。

2. 实现电力超载负荷平衡调度

遗传算法的初始源于生物自然选择和遗传机理搜索算法的融合，应用在电力超载负荷平衡调度的基本步骤如下所述。

步骤1：将电力超载负荷平衡调度群初始化，（产生μ个解）。

步骤2：分析平衡调度适应范围，进行变异、交叉和选取。具体过程如下所述：

1）对当前的电力超载负荷平衡调度解群，按照自适应变异算子进行变异，产生新解，并按Metropolis接受准则，取代当前的电力超载负荷平衡调度解。

2）对当前电力超载负荷调度解群按照自适应交叉概率p_c，使用单点或多点交叉算子产生新解，并按接受准则，寻找可以替代当前解的Metropolis个新解。

3）在电力超载平衡调度中对目前解群（共$\mu+\lambda$解）进行最优选取。把全部（$\mu+\lambda$）个个体经过比较，按负荷平衡调度适应范围单调提升的顺序，对（$\mu+\lambda$）个个体统筹规划，获取μ个最佳个体作为最新解群。

4）将目前性能最完善的解存储于x^*中。

步骤3：在$g=g+1$中，若$g<\max g$，转下一步；反之，继续进行迭代运算。

步骤4：利用下式求得目前电力超载负荷平衡调度最优解x^*，完成算法。其详细流程如下所述：

1）接受目标相对的转移概率

$$p_t=\begin{cases}1 & f(j)>f(i)\\ 1-\dfrac{f(i)-f(j)}{T_K} & f(j)\leqslant f(i)\end{cases} \qquad (12)$$

2）计算变异概率p_m

$$p_m=\begin{cases}k_1 & f_m>f_{avg}\\ k_2(f_m-f_{min})/(f_{avg}-f_{min}) & f_{min}<f_m\leqslant f_{avg}\\ k_3 & f_m=f_{min}\end{cases} \qquad (13)$$

3）计算交叉概率p_c

$$p_c=\left\{\begin{matrix}k_4\\ k_6\\ k_5(f_c-f_{min})/(f_{avg}-f_{min})\end{matrix}\right\}\begin{matrix}f_c>f_{avg}\\ f_{min}<f_c\leqslant f_{avg}\\ f_c=f_{min}\end{matrix} \qquad (14)$$

式中，$f(i)$为当前适应值；$f(j)$为新解适应值；f_{min}为最小适应值；f_{avg}为平均适应值；f_m为变异个体适应值；f_c为交叉个体适应值；$k_1\sim k_6$为常数。

在基于遗传算法的电力超载负荷平衡调度方法中，由于其变异与交叉概率能够迭代自行调节，因此保障了电力超载负荷平衡调度适应范围内的最小优良个体变异，且交叉概率始终处于最小，这样促使了算法逐渐逼近平衡调度的最佳解。将适应范围中大的优良个体变异时，交叉概率也随之增大，迭代更新这些个体，保障了电力超载负荷平衡调度有效基因的完整性。

实验与仿真分析

为了证明本文提出的基于遗传算法的电力超载负荷平衡调度方法的有效性，需要进行实验。

（1）实验1

调度软件是在PowerBuilder7.0的开发平台上编制的，编制电力超载负荷平衡调度主界面。用传统的算法与遗传算法分别对其进行了调度。从调度结果得出，利用传统算法进行调度时，1号、3号电力的负荷比较均衡，而与2号、4号和5号电力负荷有所不同，各电力的负荷相差很多。传统算法电力超载负荷调度平衡结果如图1所示。而利

中国知网 https://www.cnki.net

用遗传算法进行调度，基本达到了各电力负荷平衡。遗传算法超载负荷电力调度结果如图2所示。

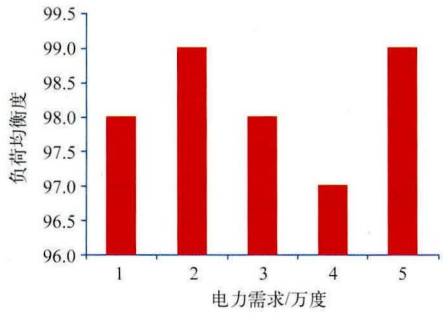

图1 传统算法电力超载负荷调度平衡结果

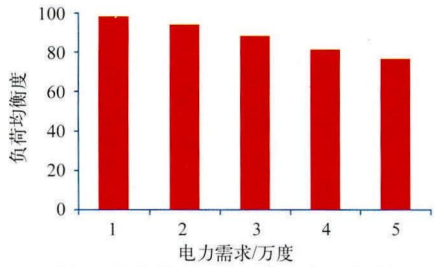

图2 遗传算法超载负荷电力调度结果

（2）实验2

为了进一步判断基于遗传算法的电力超载平衡调度方法的效果，将4个具有不同特点的实例进行解析，如表1所示。在P42.0计算机上采用VC++6.0语言编程，其中，取$q=0.2$，$p_c=0.05$，$r=3$。种群大小为20，以遗传记忆细胞反复10次迭代中取值不变为算法结束条件，优化目标是电力超载负荷平衡调度最大适应范围，完成时间的最小值为c_{max}，同时将电力超载负荷平衡调度与无负荷平衡调度两种条件下的状态相比较。获取的结果如表2所示。T表示运行的时间，G代表其迭代次数。

表1 实例相关数据表

	M_1	M_2	M_3	M_4
p_1	1	1	0	2
p_2	1	1	1	2
p_3	1	1	2	2
p_4	1	2	2	2

表2 电力超载负荷与无负荷平衡约束结果

	电力负荷超载平衡约束c_{max} T/SG			无负荷平衡约束c_{max} T/SG		
p_1	83	1.44	74	81	1.37	87
p_2	71	1.21	93	70	1.18	79
p_3	138	2.23	116	134	2.21	105
p_4	174	3.09	143	167	2.87	93

从表2可以看出，在利用遗传算法进行电力超载负荷平衡调度时，调度的时间与需要完成工作量的时间之间相互影响，但是这种影响很小，负荷均衡的调度时间会使完成工作的时间稍微延长，影响范围始终控制在4.2%内，而算法的迭代次数和运行时间都在可接受的范围内。

综上所述可以说明本文所提出的基于遗传算法进行电力超载负荷平衡调度方法，均衡电力的超载负荷，延长了设备的使用时间，提高了工作的效率。

结束语

本文重点研究电力超载负荷平衡调度的方法，对传统的时空双尺度算法进行改进，提出了一种采用遗传算法进行电力超载负荷平衡调度的方法，在获得电力负荷多种状态数据的基础上，建立电力超载负荷平衡调度的准确数学模型。对电力超载负荷平衡调度问题的求解设计了一种基于遗传算法的调度方法，能够将同时间内电力超载负荷约束在一定的差异范畴内，有效地搜索了全局最优解。并通过实验验证了该方法的有效性，实现了电力超载负荷平衡调度，延长了设备的使用时间，提高了工作的效率。

参考文献

[1] 张庆新，崔展博，陶勇，等．钢铁企业电力负荷预测的多模型融合仿真研究［J］．计算机仿真，2013，30（8）：143-146.

[2] 李红升．基于粒子群算法改进电力信息系统的安全研究［J］．科技通报，2013，29（4）：158-160.

[3] 郭钰锋，于达仁．CPS在线计算的递推算法［J］．中国电机工程学报，2004，24（5）：73-77.

[4] 喻洁，季晓明，夏安邦．基于节能环保的水火电多目标调度策略［J］．电力系统保护与控制，2009，37（1）：24-27.

[5] 赵维兴，林成，孙斌，等．安全约束条件下综合煤耗最优的节能调度算法研究［J］．电力系统保护与控制，2010，38（9）：18-22.

（收稿日期：2014－10－26）EA

中国知网 https://www.cnki.net