Research on Reactive Power Optimization Control Method Considering Power Grid Randomness*

*WANG Jianping**
(*State Grid Shanxi Electric Power Company Limited Xinzhou Branch, Xinzhou Shanxi* 034000, *China*)

Abstract: The traditional automatic voltage control method only considers the reactive power optimization of the current voltage, but does not consider the possible change trend of the power grid in a period of time, resulting in frequent actions of reactive power compensation equipment and affecting the stable operation mode of power system. Therefore, considering the randomness of the deviation between the actual state of the power grid and the calculation results, the occurrence probability of each typical scenario was quantitatively calculated. Considering the power grid loss and the deviation of voltage regulation, a multi-objective reactive power optimization control model was established, and an improved QPSO algorithm based on differential evolution was proposed to solve the problem. Finally, an example was given to verify the convenience and efficiency of the proposed voltage and reactive power optimization control algorithm, which has good practical significance.

Key words: reactive power; optimal control; differential evolution; voltage regulation; deviation
EEACC: 8150 **doi**: 10.3969/j.issn.1005-9490.2022.01.031

计及电网随机性的无功优化控制方法研究*

王建平*
(国网山西省电力公司忻州供电公司, 山西 忻州 034000)

摘 要: 传统的自动电压控制方法仅考虑当前电压的无功优化问题, 而未考虑电网在一段时间内可能的变化趋势, 造成无功补偿设备动作频繁, 影响电力系统的稳定运行模式。为此, 本文考虑电网实际运行状态与理论计算结果差值的随机性, 对常见工况下的发生概率进行量化计算, 考虑电网网损量以及电压调整的偏差量, 搭建了多目标的无功功率优化控制模型, 并应用改进量子粒子群算法进行求解计算。最后, 通过算例验证证实了所提电压无功优化控制算法的便捷性和高效性, 具有较好的实践指导意义。

关键词: 无功功率; 优化控制; 差分进化; 电压调节; 偏差量
中图分类号: TM732 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9490(2022)01-0178-05

电力系统的电压无功优化控制为混合非线性控制, 表现出多目标、多约束等基本特性[1-3]。目前, 关于无功优化控制策略的研究主要是在无功优化控制的算法以及控制目标等方面, 因此, 怎样有效、确切地描述并解决各种影响电网稳定性的不确定因素, 是对电网进行优化控制的重要基础[4-5]。

目前, 研究学者在无功优化计算方面做了许多研究工作。文献[6]基于扩展松弛内点法, 提出了一种实用型的无功优化计算方法, 能够在不增大计算量的前提下, 自动辨识并滤除造成优化不可行的约束条件, 算例应用结果充分证明了该方法在恢复最优潮流的可行性; 文献[7]基于面向对象和模块化的设计思想, 开发设计了一款跨平台的无功优化控制软件, 该软件兼具数据、网络拓扑架构分析以及无功潮流优化计算等各项功能; 文献[8-9]以网损量最小和经济性最高为控制目标, 基于改进量子粒子群算法(Quantum behaved Particle Swarm Optimization, QPSO), 提出了一种电力系统无功功率优化控制方法, 并通过算例仿真验证了所提算法的有效性; 文献[10]考虑风电的接入建立了基于场景分析的多目标无功优化模型, 采用最大化模糊满意度指标法将降低电能损失和减小电压偏差量的多目标问题

项目来源: 国网山西省电力公司科技项目(5205H020000H)
收稿日期: 2020-12-30 **修改日期**: 2021-04-09

转换为单目标优化问题,不同场景下的算例应用结果证明了所提算法在改善电压质量和降损节能方面的有效性;文献[11]考虑连续和离散变量的基本特性,提出了一种非线性的无功优化控制方法,以降低网损量和减小电压越限值为控制目标,案例应用结果充分证明了该方法的有效性;文献[12]充分考虑无功补偿设备投切次数的限制,建立了分阶段的无功功率动态优化模型,将动态无功优化问题转化为多个时间层面的连续无功优化计算,仿真结果充分证明了该方法的工程应用价值;文献[13]基于遗传网络算法对配电网进行无功优化计算,建立了风力发电机出力模型,计算得到系统各电气参量的期望与标准差,算例应用结果充分证实了其在优化配网无功分布、提升系统稳定性的重要作用。

上述研究文献以电力系统网损值最低为优化控制目标来求得无功潮流的最优结果。可在实际运行状态下,由于电力系统自身的动态、静态稳定特性,最优潮流值会随着负荷的变化而变化,计算值与实际值存在偏差。为此,本文充分考虑实际运行过程的动态变化随机性,首先对初始断面的不确定性场景进行选取,计算常见工况出现的概率;接着,考虑网损值以及电压调整偏差量二者的权重,搭建了多目标的无功功率优化控制模型;最后,基于改进量子粒子群算法对模型进行求解计算,并对算法的基本特性和有效性进行验证。

1　潮流计算基本模型

假设线性分段发电机组的费用函数 $c(x)$ 如下式所示:

$$c(x)=\begin{cases}m_1(x-x_1)+c_1, x\leqslant x_1\\ m_2(x-x_2)+c_2, x_1\leqslant x\leqslant x_2\\ m_n(x-x_n)+c_n, x_{n-1}<x\end{cases}\tag{1}$$

引入变量 y,则有:

$$y\geqslant m_j(x-x_j)+c_j, j=1,\cdots,n\tag{2}$$

式中:m_j 为分段线性的斜率,x_j 为分段线性的分段点,c_j 为 x_j 对应的纵坐标,如图 1 所示。

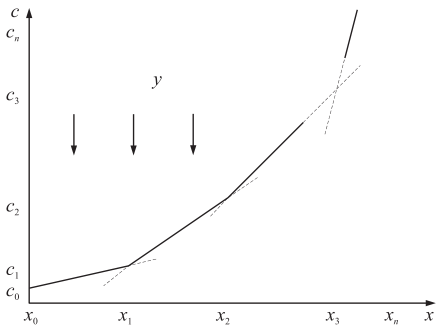

图 1　发电机组费用约束函数曲线

对于可调度负荷模型,通常将其当做一台有功出力为负的机组。

对于交直流混合电网,直流输电线一般等价成两台机组,该机组的上下限值受控,且其所传输的功率值也受线性约束:

$$p_t=p_f-p_{\text{loss}}\tag{3}$$

式中:p_t 为线路的输出功率;p_f 为线路的输入功率 p_{loss} 为有功损耗量。

2　考虑随机因素的无功优化计算系统模型

2.1　初始断面的不确定性场景选取

以 0.5 min~1 min 为间隔进行状态估计,由于电力系统存在波动,导致无功电压存在一定的随机偏离。因此,本文利用概率密度函数与随机变量的设置对负荷功率与电压无功的模糊性做出处理[14-15]。

首先,建立负荷不确定性模型,如式(4)所示:

$$\begin{aligned}P&=P_0\left[a_p\left(\frac{V}{V_0}\right)^2+b_p\left(\frac{V}{V_0}\right)\right]\\ Q&=Q_0\left[a_q\left(\frac{V}{V_0}\right)^2+b_q\left(\frac{V}{V_0}\right)\right]\end{aligned}\tag{4}$$

式中:$a_p+b_p=1$,$a_q+b_q=1$。P_0、Q_0 和 V_0 分别为额定有功、额定无功和额定电压值;P、Q 和 V 分别为实际有功、实际无功和实际电压值。

假定电压幅值的理论计算结果 V_{for} 与实际值的偏差服从均值为 0、标准差为 σ 的正态分布,由此得到实际负荷的概率密度为:

$$f(V)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\mathrm{e}^{-\frac{(V-V_{\text{for}})^2}{2\sigma^2}}\tag{5}$$

假定该工况的发生概率为 λ_1,结合上述两式可以求解出该工况下负荷的有功功率和无功功率的期望值。

接着,建立发电机不确定性模型。对于 PV 节点,机端电压可通过下式计算得到:

$$V=V_{\text{for}}+\Delta V\tag{6}$$

式中:ΔV 为电压变化量。同理,实际机端电压的概率密度仍可基于式(5)表示,假定该工况的发生概率为 λ_2,结合式(6)能够求出 PV 节点机端电压的期望值。

最后,求解各常见工况的发生概率。将概率分布函数分为 7 段,其概率和为 1,且各区间宽度均为标准差。基于蒙特卡洛随机抽样法[16]得到第 s 个场景下的标准化概率 $\rho_r(s)$ 为:

$$\rho_r(s)=\frac{\left[\sum_{e=1}^{7}(W_{e,s}^{L}\alpha_e)\sum_{e=1}^{7}(W_{g,s}^{B}\alpha_g)\right]}{\sum_{s=1}^{N_s}\left[\sum_{e=1}^{7}(W_{e,s}^{L}\alpha_e)\sum_{e=1}^{7}(W_{g,s}^{B}\alpha_g)\right]}[0,1] \quad (7)$$

式中:e 为负荷段数;$W_{e,s}^{L}$、α_e 分别为第 e 个负荷的误差区间和误差区间概率;$W_{g,s}^{B}$、α_g 分别为第 g 个 PV 节点的误差区间和误差区间概率。

2.2 多目标无功优化控制模型的建立

2.3.1 目标函数

本文以全网网损最小以及 PV 节点调节偏差最小为目标进行计算,计算公式分别如式(8)、式(9)所示:

$$P_{\text{loss}}=\sum_{i=1}^{N_b}V_i\sum_{j\in h}V_j(G_{ij}\cos\delta_{ij}+B_{ij}\sin\delta_{ij}) \quad (8)$$

$$V_{gi}=V_i-V_{i0}-(V_{ioPT}-V_{ifor}) \quad (9)$$

式中:V_i 为节点 i 的电压实际值,$j\in i$ 为与 i 连接的全部节点,N_b 为支路数,G_{ij}、B_{ij}、δ_{ij}分别为 i、j 间的电导、电纳及相角差;V_{i0}为第 i 个节点的机端电压量测值;V_{ifor}、V_{ioPT}分别为在状态估计和状态估计断面上优化计算求解出的第 i 个 PV 节点的机端电压计算值;V_{gi}为第 i 个节点调节偏差向量。

进一步地,求解得到多目标无功功率优化控制目标特性方程为:

$$\min F=\xi\sum_{k=1}^{N}\lambda_k P_{\text{loss}k}+(1-\xi)\sum_{k=1}^{N}\lambda_k L_k \quad (10)$$

式中:ξ 为比重系数,N 为状态估计模糊工况数,λ_k、L_k、$P_{\text{loss}k}$分别第 k 个工况的发生概率、节点调节偏差以及网损。

2.3.2 约束函数

节点 i 有功、无功功率基本约束特性为:

$$\begin{aligned}&P_i=V_i\sum_{j\in i}V_j(G_{ij}\cos\delta_{ij}+B_{ij}\sin\delta_{ij})\\&Q_i=V_i\sum_{j\in i}V_j(G_{ij}\cos\delta_{ij}-B_{ij}\sin\delta_{ij})\\&V_{i\min}\leqslant V_i\leqslant V_{i\max}\\&Q_{G\min}\leqslant Q_{Gi}\leqslant Q_{G\max}\\&S_k\leqslant S_{k\max}\end{aligned} \quad (11)$$

式中:$V_{i\min}$、$V_{i\max}$分别为该节点的电压下、上限值;$Q_{G\min}$、$Q_{G\max}$分别为发电机无功的下、上限值;$S_{k\max}$为支路 k 视在功率的约束值。

考虑备用机组的存在,对参与优化的区域增加冗余约束,其约束特性方程为:

$$R_{\min}\leqslant\sum_{i=1}^{n_g}r_i\leqslant R_{\max} \quad (12)$$

变量自身约束特性方程为:

$$r_i^{\min}\leqslant r_i\leqslant r_i^{\max} \quad (13)$$

备用变量对应的目标函数为:

$$\sum_{i=1}^{n_g}f(r_i) \quad (14)$$

式中:n_g 为备用数量,r_i 为第 i 台机组的备用容量,$f(r_i)$为机组 i 的备用费用函数。

最后,对断面场景进行约束。稳定断面一般是一组电气支路的潮流和,而支路潮流是电气节点电压角度的线性方程式[17],则稳定断面 k 的潮流值如下式所示:

$$f_k(\theta)=\sum_{i\in B_K}d_i p_i(\theta) \quad (15)$$

式中:B_k 代表电气支路组成,d_i 为支路潮流方向,1 或者-1。

断面潮流值的线性约束方程为:

$$F_k^{\min}\leqslant f_k(\theta)\leqslant F_k^{\max} \quad (16)$$

式中:$F_k^{\min}$ 代表潮流最小限定值,$F_k^{\max}$ 代表潮流最大限定值。

3 基于改进 QPSO 的电压优化控制算法

3.1 改进 QPSO 算法的提出

QPSO 算法通过构造 DELTA 势阱场,以粒子吸引点为中心,引入平均最优位置实现粒子位置的更新,得到粒子位置 X 的进化公式为[18]:

$$X_{i,j}^{t+2}=p_{i,d}^{t}\pm\alpha|m_{\text{best}_j}^{t}-X_{i,j}^{t}|\ln(1/u) \quad (17)$$

式中:i,j 是 i 粒子的第 j 维,t 为当前迭代次数;$p_{i,d}^{t}$为第 t 次迭代第 i 个粒子第 d 维的局部吸引子;u 为[0,1]上均匀分布的随机数;α 为收缩扩张系数;$m_{\text{best}_j}^{t}$为个体最优位置全部粒子的平均数。

本文基于自适应权重系数对平均最优位置进行更新,拓宽粒子知识的搜索区域,这样一来,既提高了粒子的自适应能力,又能够加快非线性化的检索过程[19]。

(1)优化平均最优位置

引入平均最优位置 $m_{\text{best}_j}^{t}$对 DELTA 势阱的特征长度进行评估,已知粒子个体的最优位置 $p_{\text{best}_{i,j}}^{t}$的权重系数都为 1,说明每个粒子对 $m_{\text{best}_j}^{t}$的影响基本一致。在实际决策过程中,优秀个体的影响力较大,其 p_{best}权重系数值稍高,而适应度值小的粒子,其 p_{best} 权重系数值稍低。

在粒子的最优位置向量中,每个元素都对应有一个权值,$m_{\text{best}_j}^{t}$可通过下式进行计算:

$$\begin{aligned}&m_{\text{best}_i}^{t}=\frac{1}{M}\left(\sum_{i=1}^{M}c_{i,d}p_{\text{best}_{i,j}}^{t}\right)\\&c_{i,d}=\frac{|f_i-f_{\text{avg}}|}{f_{\text{avg}}}\end{aligned} \quad (18)$$

式中:f_i、f_{avg}分别为当前粒子和平均粒子的适应度值;$c_{i,d}$为随着f_i变化而自适应的权值。

(2)自适应调节 α 系数

收缩-扩张系数 α 在 QPSO 算法中的作用等价于 PSO 算法中的惯性权重系数[20]。传统固定值/线性减少策略下,粒子的 α 值相等,自适应性能较差。为此,本节提出了一种非线性自适应优化方法:

$$\alpha_i=\alpha_i-\frac{f_1-f_{\min}}{f_{avg}-f_{\min}}(\alpha_{\max}-\alpha_{\min})f_1>f_{\min} \quad (19)$$

式中:$\alpha_{\max}$、$\alpha_{\min}$分别为 α 的最大、最小值;$f_{\min}$表示粒子群的最小适应度值。其中,当$f_i>f_{avg}$时,表示粒子的位置接近全局最优,其 α 值取较小值便于进行更细致的局部搜索,而其他粒子则赋予较大的步长,以加快整体的寻优速度。

(3)改进 QPSO 算法的提出

本文结合差分进化算法和粒子群算法,计算每一代粒子的变异概率 $P(t)$ 为:

$$P(t)=(1.0-0.1)(K_{\max}-t)/K_{\max}+0.1 \quad (20)$$

式中:$K_{\max}$为最大迭代次数。

算法由变异、交叉和选择三个部分组成。假设每个粒子个体,其变异量为:

$$v_i=x_{r1}+F(x_{r_2}-x_{r_3}) \quad (21)$$

式中:x_i,$i=1,2,\cdots,N$,r_1、r_2、$r_3\in[0,1]$是常实数,用来控制差异量大小。

接着,基于式(22)增加群体的多样性:

$$u_i=(u_{i1},u_{i2},\cdots,u_{iD})$$

$$u_{ij}=\begin{cases}v_{ij} & \text{if}(\text{rand}\leqslant \text{CR})\text{ or }j=\text{rand}\\ x_{ij} & \text{if}(\text{rand}>\text{CR})\text{ or }j=\text{rand}\end{cases}$$

$$(i=1,2,\cdots,N,\ j=1,2,\cdots,D) \quad (22)$$

式中:u_i 表示第 i 个粒子第 j 维度的交叉量,CR 为交叉概率,$CR\in[0,1]$。

最后,明确第 i 个粒子在第 t 次迭代时的位置 X_i^t能否当做下一代成员变量,来对比向量 u_i^{t+1} 与目标向量 X_i^t 的评价方程:

$$X_i^{t+1}=\begin{cases}u_i^{t+1}f(u_i^{t+1})\leqslant f(x_i^t)\\ X_i^t,\text{其他}\end{cases}i=1,2,\cdots,M \quad (23)$$

经过上述处理后,下一代个体的适应度值能够优于当前个体,不仅仅满足了种群的多样性要求,又能够促进种群进化。

3.2　算法特性验证

本文分别选用群体规模大小为 20、40、80 的群组来测试算法对粒子规模的可扩展性,选用 Griewank 函数、Rastrigin 函数以及 Schaffer 函数三种标准测试函数对基于差分进化的改进 QPSO 算法和原算法在收敛性和速度方面的性能差异进行测试,计算过程中,设定三种函数的维数分别为 30、30、2。设定 $K_{\max}$为 2 000,对不同算法下各函数实例各运行 50 次,记录最优目标函数值并求解出其均值和标准差,结果如表 1 所示。

表 1　不同算法下各函数的特性比较

群数	标准测试函数	QPSO 算法		改进 QPSO 算法	
		最优值	标准差平均值	最优值	标准差平均值
20	Griewank	0.0112	0.0146	0.0085	0.0132
	Rastrigin	31.458	7.6683	25.275	7.6273
	Schaffer	0.0014	0.0034	5×10^{-5}	0.00027
40	Griewank	0.0116	0.0125	0.0078	0.0113
	Rastrigin	22.96	7.2455	19.42	4.3427
	Schaffer	3.9×10^{-4}	0.002	2.7×10^{-8}	6.9×10^{-8}
80	Griewank	0.014	0.0113	0.0053	0.0046
	Rastrigin	10.276	6.6245	14.2431	3.8854
	Schaffer	1.7×10^{-9}	3.4×10^{-9}	4.8×10^{-9}	1.2×10^{-8}

从表 1 的测试结果来看,相比于原算法,改进 QPSO 算法在收敛速度上得到明显提高,具有更好的收敛性。此外,随着种群数量的增加,全局搜索能力也越强。

4　案例分析

以某日受不确定影响因素干扰的系统运行数据为例,应用本文所提模型和算法,以总体满意度最大为目标进行无功电压优化计算,得到系统网损变化特性曲线如图 2 所示。

从图 2 的仿真特性曲线来看,考虑电网随机性的无功优化控制算法,其网损量要显著低于普通潮流计算结果。图 2 中,在用电高峰期阶段,优化后的网损值要稍高于优化前的网损值,这是由于在用电高峰期为确保电能质量,设置了该时段无功优化电压的上、下限为 0.9~1.1 区间所导致的,但不影响优化算法的整体优化效果。

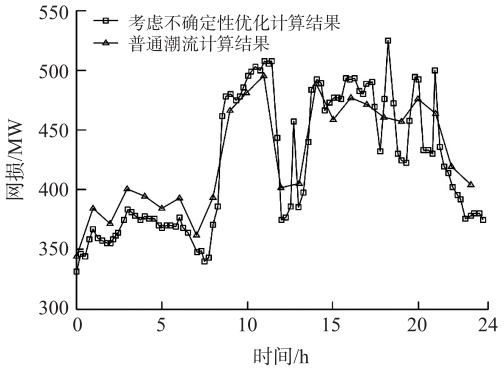

图 2　网损变化特性曲线

本文分别以网损期望值隶属度、PV 节点调节偏差小期望值隶属度以及总体满意度最大为目标，对优化特性进行分析，结果如表 2 所示。

表 2 不同优化方案下的隶属度值

方案	网损期望值隶属度	PV 节点调节偏差小期望值隶属度	总体满意度
方案 1	1	0.964 5	0.097 8
方案 2	0.961 9	1	0.097 1
方案 3	0.976 3	0.972 1	1

从表 2 可以看出，以单一目标进行优化控制时，可以使得本目标的隶属度达到 1 左右，但其余目标的隶属度相对较小，这是由于电网中网损和电压的分布性特性所决定的。本文所提出的优化改进 QPSO 算法虽然不能使得网损期望值、PV 节点调节偏差小期望值以及总体满意度都达到最优，但是能够使得总体满意度最大，体现了算法对不同目标值的协调作用，以实现总体目标最优。

以五个变电站节点为例，对优化前后的节点电压的大小进行比较，结果如表 3 所示。

表 3 不同节点电压优化结果比较

节点名称	普通潮流电压值/p.u.	无功优化电压值/p.u.
PS 站 11	1.120	1.1
XJ 站 22	1.150	1.1
XJ 站 02	1.107	1.096
XJ 站 03	1.132	1.089
KW 站 21	1.112	1.071

从表 3 来看，采用普通潮流计算方法求解得到的 XJ 站 22 节点电压最大可达 1.15 p.u，，XJ 站 03 节点电压最大可达 1.13 p.u，而考虑电网随机性的无功优化控制方法，对于各个变电站节点电压均保持在 0.9 p.u~1.1 p.u 之间，稳定性较好。

5 结论

本文充分考虑电网动态平衡的特性，提出了一种考虑随机因素的无功优化计算系统模型，通过对初始断面的不确定性场景进行选取，求解出常见工况的发生概率，基于网损大小以及电压调节偏差量，提出了一种多目标无功功率优化控制算法。通过算例仿真分析验证了所提出的模型及算法在协调系统不确定性和 PV 节点调节偏差之间的关系的可行性和实用性。

参考文献：

[1] 冷永杰，张路寅，赵建峰，等. 基于多线程遗传算法的目标分级地区电网电压无功优化控制[J]. 电力系统保护与控制，2015，(18)：43-47.

[2] 彭道刚，王亮，钱玉良，等. 计及多类型分布式电源的电压无功优化控制研究[J]. 科学技术与工程，2017，(13)：30-37.

[3] 张宏，董海鹰，陈钊，等. 基于模型预测控制的光热-光伏系统多时间尺度无功优化控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制，2020，(9)：135-142.

[4] 黄俊辉，汪惟源，王海潜，等. 基于模拟退火遗传算法的交直流系统无功优化与电压控制研究[J]. 电力系统保护与控制，2016，(10)：37-43.

[5] 刘双，张建周，王汉林，等. 考虑多无功源的光伏电站两阶段无功电压协调控制策略[J]. 电力系统自动化，2017，(11)：120-125，168.

[6] 林毅. 内点法无功优化病态约束辨识及优化可行性恢复方法[J]. 南方电网技术，2016，(1)：73-79.

[7] 林小朗，马伟哲，龚利武，等. 基于 Qt 与 MATLAB 的跨平台无功优化软件设计[J]. 电力电容器与无功补偿，2015，(2)：50-55.

[8] 韩平平，张佳琪，张晓安. 电力市场下含双馈电机风电场的电力系统无功优化[J]. 电网技术，2017，(1)：171-177.

[9] 梁俊文，林舜江，刘明波. 主动配电网分布式无功优化控制方法[J]. 电网技术，2018，(1)：230-237.

[10] 姜风利，张鑫，王俊，等. 多负荷水平下含风电接入的配电网无功优化[J]. 中国电力，2017，(3)：137-142.

[11] 闫何贵枝，王克文，刘艳红. 计及变电站 AVC 调节特性的省网无功优化分析[J]. 电力电容器与无功补偿，2019，(4)：16-21.

[12] 覃海，姬源，周川梅，等. 计及控制设备动作次数约束的三阶段动态无功优化算法[J]. 电力自动化设备，2018，(9)：179-186.

[13] 夏鹏，刘文颖，朱丹丹，等. 基于模型预测控制的多时间尺度无功电压优化控制方法[J]. 电力自动化设备，2019，(3)：64-70.

[14] 黄凯. 大电网电压无功自动控制关键问题研究[D]. 南京：东南大学，2018.

[15] 季玉琦. 考虑配电网电压无功资源时空耦合特性的协调优化控制研究[D]. 北京：中国农业大学，2017.

[16] Corsi S，Pozzi M，Sforna M，et al. The Coordinated Automatic Voltage Control of the Italian Transmission Grid-Part II：Control Apparatuses and Field Performance of the Consolidated Hierarchical System[J]. IEEE Transactions on Power Systems，2004，19(4)：1733-1741.

[17] Marques A B，Taranto G N，Falcao D M. A Knowledge-Based System for Supervision and Control of Regional Voltage Profile and Security[J]. IEEE Transactions on Power Systems，2005，20(1)：400-407.

[18] 李鸿鑫，李银红，李智欢. 多目标进化算法求解无功优化问题的比较与评估[J]. 电网技术，2013，(6)：1651-1658.

[19] Lagonotte P，Sabonnadiere J C. Structural Analysis of the Electrical System：Application to Secondary Voltage Control in France[J]. IEEE Transactions on Power Systems，1989，4(2)：479-486.

[20] 刘世成，张建华，刘宗歧. 并行自适应粒子群算法在电力系统无功优化中的应用[J]. 电网技术，2012，(1)：108-112.

王建平(1981—)，男，汉族，山西五寨人，工学硕士，高级工程师，主要从事专业方向电网调度与控制，19192172@qq.com。