省级电网企业节能减排管理系统设计与实现

在对省级电网企业节能减排管理系统进行设计的过程中，容易出现忽略不确定性因素的情况，导致传统的基于分项节能量计算的省级电网企业节能减排管理系统，由于未考虑环境污染和资源消耗等外部成本以及能源效率等因素，无法有效实现节能减排管理。提出一种基于改进TOPSIS的省级电网企业节能减排管理系统，分析了系统的网络连接情况及总体架构，为了充分利用可再生能源，在分析环境效益的同时，也需分析其对系统带来的损失，引入备用容量惩罚成本。依据省级电网企业的环境效益，分析节能因素，获取非可再生能源机组名义购电成本，将省级电网企业名义购电成本的数学期望最小化作为目标函数，对不确定性因素进行约束，使其符合置信水平区间，给出目标函数。依据熵权法标准化的原始数据矩阵进行优化加权，完成对应属性的权重调整。仿真实验结果表明，所设计系统具有很高的可行性及可靠性。

田 翔 李 欣/广东电力科学研究院

田 翔/高级工程师

关键词/Keywords
电网企业·
节能减排·
管理系统·

省级电网企业是对国民经济发展有重要影响的产业，对发电行业以及用电行业具有引导作用。因此，塑造智能、可靠的绿色电网，设计节能减排管理系统，充分利用资源，全面引导电力企业节能减排，具有重要意义。

在对省级电网企业节能减排管理系统进行设计的过程中，容易出现忽略不确定性因素的情况，导致传统的基于分项节能量计算的省级电网企业节能减排管理系统，由于未考虑环境污染、资源消耗外部成本以及能源效率等因素，无法有效实现节能减排管理。

本文提出了一种基于改进TOPSIS的省级电网企业节能减排管理系统，分析了系统的网络连接情况及总体架构。为了充分利用可再生能源，在分析环境效益的同时也须分析其对系统带来的损失，引入备用容量惩罚成本。依据省级电网企业的环境效益，分析节能因素，获取非可再生能源机组名义购电成本，将省级电网企业名义购电成本的数学期望最小化作为目标函数，对不确定性因素进行约束，使其符合置信水平区间，给出目标函数。依据熵权法标准化的原始数据矩阵进行优化加权，完成对应属性的权重调整。仿真实验结果表明，所设计系统具有很高的可行性及可靠性。

基于分项节能量计算的省级电网企业节能减排管理系统

1. 无功补偿节能量计算

依据国家标准GB 12497《三相异步电动机经济运行》，K_Q属于无功经济当量，可通过经验数据统计求出。如果电动机和发电机母线直接连接，则K_Q=0.02～0.04；二次变压K_Q=0.05～0.07；三次变压K_Q=0.08～0.10。

上述标准同样适用于其他无功负荷，其中的无功经济当量值已考虑了变压器的损耗，无功补偿年节电量计算公式为

$$\Delta E = K_Q Q_c h \quad (1)$$

式中，ΔE为省级电网企业年无功补偿节电量；K_Q为无功经济当量值；Q_c为无功补偿容量；h为省级电网络企业年运行时间，h。

2. 电能质量节能量计算

谐波电流在电网中流动的过程中会导致电流有效值增多，造成附加输电和用电损耗。为了实现对省级电网企业谐波线损的估测，可将电流谐波总畸变率

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

描述成

$$THD_I = \frac{100\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}\% \quad (2)$$

式中，I_1为畸变数；$\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2$为单个畸变之和。

因为高次谐波对用电设备的电阻有一定程度的影响，所以无谐波电流时线路的损耗可描述成$I_1^2R_1$，而存在谐波电流时线路的损耗可描述为

$$P_n = \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 R_n = I_1^2 R_1 \sum_{n=2}^{\infty} \sqrt{n}THD_n = I_1^2 R_1(1 + kTHD) \quad (3)$$

式中，n为谐波次数；R_1为基波阻抗；R_n为谐波阻抗；I_1为基波电流值；I_n为n次谐波电流值；THD_n为n次谐波电流发生畸变的概率；THD_I为电流总畸变率；k为高次谐波趋肤效应次数。

则因谐波电流引起的额外线路损耗可描述为

$$\Delta P = P_n - P_1 = I_1^2 R_1 k THD_1^2 \quad (4)$$

3. 变压器节能量计算

关于变压器节能量的计算共包括两个方面：变压器年损耗计算与更换变压器节能量计算。

不分析无功经济当量，省级电网变压器年运行能耗可通过下式求出

$$P_t = P_0 T + P_k K^2 \tau \quad (5)$$

式中，P_t为总损耗，kW·h；P_0为空载损耗，kW；P_k为负载损耗，kW；K为省级电网企业年平均负载系数；τ为省级电网企业年最大负荷利用时间，h。

可通过下式对更换变压器的节能量进行计算

$$\Delta P_t = \Delta P_0 T + \Delta P_k K^2 \tau \quad (6)$$

式中，ΔP_t为省级电网企业年节能量，kW·h；ΔP_0为更换变压器前后负载损耗的差值，kW；ΔP_k为更换变压器器前后负载损耗的差值，kW；K为省级电网企业年平均负载系数；τ为省级电网企业年最大负荷利用时间，h；T为省级电网企业年运行时间，本文取8 760 h。

4. 线路长度下降节能量计算

增加配电变压器布点，可使线路上的电流分布大大提高，相当于减少平均线路长度、增加导线截面积。在电压等级相同的情况下，节电量可通过下式求出

$$\Delta A = A\beta[1-(1-m\%)(1-n\%)] \quad (7)$$

式中，A为省级电网企业低压网年供电量；β为改造前电网线的损失率；$m\%$为改造后电网供电半径平均缩短的百分比；$n\%$为改造后电网负荷电流平均下降的百分比。

省级电网企业节能减排管理系统

1. 系统总体结构

本文设计的省级电网企业节能减排管理系统采用B/S模式，硬件包括数据采集服务器、数据管理中心服务器、应用层服务器、Web服务器和用户计算机，网络连接情况如图1所示。

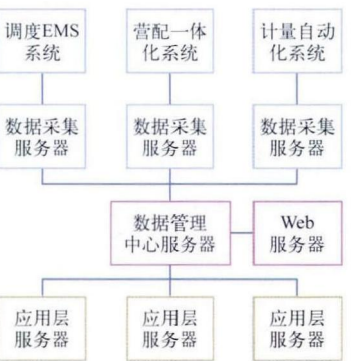

图1　系统网络结构图

本文设计的省级电网节能减排管理系统被划分成数据采集层、数据管理层、应用处理层和展示层四层架构，如图2所示。

图2　系统架构图

数据采集层主要用于各模块的数据采集及处理；数据管理层主要用于全部数据与模型保存、管理；应用处理层主要用于各模块的统计、分析及辅助决策；展示层主要用于信息传递。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2. 节能减排模型构建

为了实现省级电网企业节能减排管理系统环保及经济效益的协调优化，充分利用可再生能源电能价值，引入排放物管理成本以及备用容量成本，分别塑造非可再生能源机组名义购电成本以及可再生能源机组名义购电成本，从而塑造省级电网企业节能减排管理模型。

（1）非可再生能源机组名义购电成本

依据省级电网企业的环境效益，分析节能因素，即可获取非可再生能源机组名义购电成本，计算公式为

$$C_G = G_{GS} + \eta_{EPi} C_{EC} + C_{GT} \tag{8}$$

式中，C_G为非再生能源机组的名义购电成本；η_{EPi}为环境惩罚成本系数；G_{GS}为基础成本；C_{EC}为浪费成本；C_{GT}为波动损耗成本。

（2）可再生能源机组名义购电成本

为了充分利用可再生能源电能，在分析环境效益的同时也需分析其对系统带来的损失，所以引入下式描述的备用容量惩罚成本

$$C_{RPi} = \rho_{RPi}[\min(0, P_{wjQ})] \tag{9}$$

式中，ρ_{RPi}为可再生资源并网备用容量惩罚成本系数；P_{wjQ}为可再生资源发电机组j计划发电量；P_{wj}为可再生能源发电机组j的真实发电量。

通过下式可求出可再生能源机组的购电成本

$$C_R = \sum_{i=1}^{n} C_{RPi} + C_G \tag{10}$$

将省级电网企业名义购电成本的数学期望最小化作为目标函数，同时对不确定性因素进行约束，使其符合置信水平区间，则目标模型可描述成

$$\min E\left[\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N} U_{it} C_{Gi} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{M} K_{it} C_{Ri}\right] \tag{11}$$

s.t.

$$\begin{aligned}
&\sum_{i=1}^{N} P_{Git} + \sum_{i=1}^{M} P_{Wit} = P_{Dt}, \quad t \in T \\
&P_{Git}^{\min} \leqslant P_{Git} \leqslant P_{Git}^{\max} \\
&P\left\{\sum_{i=1}^{N} (P_{Git}^{\max} - P_{Git}) \geqslant SR_u\right\} \geqslant \theta_1 \\
&P\left\{\sum_{i=1}^{N} (P_{Git} - P_{Git}) \geqslant SR_u\right\} \geqslant \theta_2 \\
&P\left\{S_{dGi} \leqslant P_{Git} - P_{Gi(t-1)} \leqslant S_{uGi}\right\} \geqslant \theta_3
\end{aligned} \tag{12}$$

式中，T为周期；N为省级电网企业机组数量；M为可再生能源机组数量；C_{Gi}为电网机组i的名义购电费用；C_{Ri}为可再生能源机组i的名义购电费用；当$U_{it}(K_{it})$为1时，该机组处于工作状态，否则处于休息状态；P_{Dt}为时间t内的负荷需求；P_{Git}为时间t内机组i做的功；$P_{Git}^{\min}$、$P_{Git}^{\max}$分别为做功的上下限；SR_n、SR_d分别为时间t内省级电网企业节能减排系统运行备用要求；S_{dGi}、S_{uGi}为时间t内机组i的运行速率；θ_1、θ_2和θ_3为置信水平。

3. 基于改进TOPSIS的评价方法

改进TOPSIS方法依据熵权法标准化的原始数据矩阵进行优化加权，实现对应属性的权重调整，具体实现过程如下。

（1）塑造含有n个属性与m个方案的决策矩阵D

$$D = \begin{pmatrix} \chi_{11} & \cdots & \chi_{1n} \\ & \vdots & \\ \chi_{m1} & \cdots & \chi_{mn} \end{pmatrix} \tag{13}$$

（2）通过熵权法对每个属性的权重进行调整

熵是信息论中的一种衡量依据，是离散型分布函数P_l不确定性的体现。第k个属性的不确定可用下式描述

$$EE = -H\sum_{l=1}^{m}[P_l \ln P_l],\ 0 \leqslant EE \leqslant 1 \tag{14}$$

式中，H为正常数，$H=(\ln m)^{-1}$；m为方案。

$$P_{lk} = \frac{\chi_{lk}}{\sum_{l-1}^{m} \chi_{lk}} \tag{15}$$

再通过TOPSIS法求出EE_k，将第k个属性的偏离度描述成

$$dd_k = 1 - EE_k \tag{16}$$

最后，求出每个属性的权重W_k

$$W_k = \frac{dd_k}{\sum_{l-1}^{m} dd_k} \tag{17}$$

若决策者倾向于属性λ_k的重要程度，则可通过下式对权重进行调整

$$IW_k = \frac{\lambda_k W_k}{\sum_{l-1}^{m} \lambda_k W_k} \tag{18}$$

（3）对D矩阵进行标准化处理

$$r_{lk} = \frac{\chi_{lk}}{\sum_{l-1}^{m} \chi_{lk}^2} \tag{19}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$V_{lk} = W_k r_{lk} \tag{20}$$

（4）获取理想及负理想的解决方案

理想方案V_k^+及负理想方案V_k^-可通过下式进行描述

$$V_k^+ = \left(\max V_{lk} \middle| k \in k^+, \min V_{lk} \middle| k \in k^-\right) \tag{21}$$

$$V_k^- = \left(\min V_{lk} \middle| k \in k^+, \max V_{lk} \middle| k \in k^-\right) \tag{22}$$

（5）求出每个方案和理想方案、负理想方案之间的距离SS_l^+与SS_l^-

计算公式为

$$SS_l^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^{n}\left(V_{lk} - V_k^+\right)^2}, \quad l = 1,2,\cdots,m \tag{23}$$

$$SS_l^- = \sqrt{\sum_{k=1}^{n}\left(V_{lk} - V_k^-\right)^2}, \quad l = 1,2,\cdots,m \tag{24}$$

（6）求出每个方案和负理想方案之间的距离的平均值

计算公式为

$$C_l = \frac{SS_l^+}{SS_l^+ + SS_l^-}, \quad l = 1,2,\cdots,m \tag{25}$$

（7）通过C_l的值完成方案的分类操作

随着C_l值的增大，方案效率也逐渐提高。

仿真实验结果

为了验证本文系统的有效性，需要进行相关的实验分析。实验以某省五个市级供电局为研究对象，上述五家供电局节能减排贡献效果指标初始值如下表所示。

表　五家供电局节能减排贡献效果指标初始值

指标名称	1	2	3	4	5
新能源并网建设投资比（%）	10.67	13.62	16.34	11.59	12.81
单位储能资产最大负荷供应能力/（kW/万元）	115.58	90.41	112.93	121.62	106.93
线损管理效果（%）	6.83	5.98	6.22	5.74	5.09
低碳电力调度比重（%）	12.95	16.87	19.92	15.06	15.66
减排力度（%）	12.95	16.87	19.92	15.06	15.66
设备利用率（%）	92.86	94.33	97.25	89.71	92.49
电压合格率改善度（%）	3.53	4.06	4.44	5.26	4.85
企业内部控制效果（%）	10.3	9.8	10.6	10	10.8
电力消耗比重（%）	11.71	8.85	10.46	12.92	9.91

依据上述指标初始值，分别采用本文系统和传统基于分项节能量计算的省级电网企业节能减排管理系统，对节能减排效果进行比较，可以看出，本文设计的系统的节能减排效果明显优于传统基于分项节能量计算的省级电网企业节能减排管理系统，验证了本文设计的系统的可行性及可靠性。

结束语

本文提出了一种基于改进TOPSIS的省级电网企业节能减排管理系统，分析了系统的网络连接情况及总体架构，为了充分利用可再生能源，在分析环境效益的同时也需分析其对系统带来的损失，引入备用容量惩罚成本。依据省级电网企业的环境效益，分析节能因素，获取非可再生能源机组名义购电成本，将省级电网企业名义购电成本的数学期望最小化作为目标函数，对不确定性因素进行约束，使其符合置信水平区间，给出目标函数。依据熵权法标准化的原始数据矩阵进行优化加权，完成对应属性的权重调整。仿真实验结果表明，所设计的系统具有很高的可行性及可靠性。

（收稿日期：2014－10－18）EA

欢迎订阅　欢迎投稿　欢迎刊登广告

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net