中山配电网节能分析与研究

深入分析了中山配电网现状和节能降耗概况，结合配电网网损形成机理，从节能改造、节能管理和节能规划方面为中山配电网节能降耗工作提供了系统的建议和指导，取得了较好的工作成效，具有广泛的借鉴意义。

曾繁华／中山供电局

曾繁华／工程师

关键词／Keywords
节能·
建议·
成效·
借鉴·

配电网作为电能配置的受端环节，直接和用户关联，覆盖区域广，各种配电线路和负荷繁多而密集，其电能质量、运行经济性不仅直接关系到广大用户和电力企业的经济效益，也是社会效益和能耗状况的重要体现。由于负荷增长速度快而配电网建设投资滞后，配电网在节能降耗方面有着很大的挖掘潜力。因此开展配电网节能降耗系统分析和优化研究具有重要的现实意义，为中山配电网经济运行、改造提供优化指导和建议。

中山配电网现状

中山配电网按镇区分为24个片区，截止到2014年1月，共有97座变电站向10 kV配电网供电。中山配电网10 kV线路共有1 657条，总长10 546 km，其中公用线路1 557条，总长为10 461 km。公用线路单条最长为48.6 km，最短为0.2 km，平均长度为6.7 km；公用线路电缆总长5 107 km，单条平均为3.3 km，架空线总长5 354 km，单条平均为3.5 km。低压部分，0.38/0.22 kV线路总长21 561 km，其中电缆线总长3 972 km，架空线总长17 589 km，二者的长度比例约为1∶4.4；低压公用线路总长21 209 km，专用线路总长352 km，公、专用低压线比例约为60∶1；单条线路低压部分平均总长约为13 km。

全市共有配电变压器26 376台，其中公用变压器13 167台，专用变压器13 209台，合计总容量1 392.7万kV·A；同时，全市范围高损配电变压器总计1 661台，其中公用高损变压器86台，专用高损变压器1 575台，高损变压器总容量达63.2万kV·A。公用变压器型号主要为S11和S9型，占公用变压器总数的87%，另有非晶合金变压器占3.8%。

在负荷类型方面，全市范围以民用负荷为主，其次为工业、农渔业、商业和其他负荷。

在无功配置方面，中山配电网中压侧线路基本未安装无功补偿，主要补偿设备安装在低压侧；其中，配电变压器低压侧安装了大量的无功补偿。数据统计显示，截至2013年12月，中山配电网低压侧安装无功补偿容量达4 318 Mvar，平均补偿比例（即无功补偿的安装总容量与配电变压器总容量之比）达31%。其中，公用配电变压器台区的无功补偿设备安装比例和平均补偿比例分别为54%和21%。根据2012年5月的功率因数调查数据，若以0.9为功率因数合格标准，中山配电网各配电变压器台区的功率因数合格率可达77%。

中山配电网节能降耗概况评估

对中山电网2013年、2014年电网的线损状况进行了周密的理论计算，根据计算结果，中山配电网的线损总体构成如表1～表3所示。

中国知网 https://www.cnki.net

表1 中山配电网理论线损构成

10 kV				0.4 kV			
线路损耗电量/MW·h	线路损耗占比（%）	配电变压器损耗电量/MW·h	配电变压器损耗占比（%）	线路损耗电量/MW·h	线路损耗占比（%）	表计损耗电量/MW·h	表计损耗占比（%）
13 563.62	63.56	7 775.55	36.44	22 419.51	94.99	1 181.76	5.01

表2 10 kV配电网理论线损分布

10 kV线路总数目	参与理论计算线路数目	小于1%	1%～3%	3%～5%	5%～8%	超过8%
1 557	1 557	941	562	36	13	5

表3 0.4 kV配电网理论线损分布

设备分类	项目	线损率＞20%	10%＜线损率≤20%	线损率＜10%
0.4 kV低压网	数量/台	35	176	12 956
	占比（%）	0.269	1.337	98.398

结合中山配电网现状情况，经分析研究，目前，影响中山配电网能耗的重要因素主要如下：

1）部分设备老化，保护方式简单，故障率高，存在中、低压线路，配电变压器变损超标现象。

2）由于区域性负荷发展不平衡，且线路走廊等问题难于使负荷均匀分配，造成部分10 kV线路线径“卡脖子”及线损偏大。

3）部分线路结构不合理，负荷转供受限制，受自然环境影响而导致事故和影响能耗。

4）中压线路没有无功补偿，补偿全部在低压部分，补偿装置利用率偏低；部分无功补偿容量不够合理，少数线路和公用变压器尚缺一定量的无功补偿，造成设备能耗增大。

5）配电网中存在一定数量的高能耗专用变压器（约占配电变压器总数7.7%），对配电网损耗造成了一定的影响。

6）部分地区电源布点滞后于负荷需求，少数线路供电半径偏长，增大了损耗。

7）负荷波动峰谷差较大，过负荷情况趋于频繁，个别站区母线运行电压偏高或偏低，增大了能耗。

8）部分线路三相不平衡，谐波影响等。

配电网网损的产生机理

1. 配电线路上的损耗

配电网中线路有功损耗ΔP_L计算公式为

$$\Delta P_L = 3I_L^2 R_L = 3\left(\frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi}\right)^2 R_L = \frac{P^2 R_L}{U^2\cos^2\varphi} \quad (1)$$

式中，R_L为线路等效电阻；I_L为线路输送电流；P为线路输送的有功功率；U为线路运行电压；$\cos\varphi$为线路运行功率因数。

考虑配电线路一定运行周期内负荷存在波动，则线路在运行时间T内的有功电能损失ΔA_L计算公式为

$$\begin{aligned}\Delta A_L &= \int_0^T 3I_L^2(t)R_L\,\mathrm{d}t \\ &= 3I_{eq}^2 R_L T = 3(KI_{av})^2 R_L T \\ &= 3\left(K\frac{P_{av}}{\sqrt{3}U_{av}\cos\varphi_{av}}\right)^2 R_L T\end{aligned} \quad (2)$$

形状系数K计算式为

$$K = \frac{1}{\sqrt{\int_0^T I_L^2(t)\mathrm{d}t/T}} \quad (3)$$

式中，$I_L(t)$为线路t时刻电流；I_{eq}为线路等效电流值；I_{av}为线路平均电流值；U_{av}为平均运行电压；P_{av}为平均输送有功功率；$\cos\varphi_{av}$为线路平均功率因数；形状系数K随负荷波动程度的增大而增大。

可见，线路的负载大小、电阻值、运行电压、功率因数以及负荷波动程度是影响线路损耗的主要因素。电阻越小、负荷波动越小、运行电压和功率因数越高将更有利于线路损耗的降低。

中国知网 https://www.cnki.net

2. 配电变压器的损耗及其运行效率

配电变压器的有功损耗ΔP_T和无功损耗ΔQ_T计算公式为

$$\Delta P_T = \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} = \Delta P_k \frac{U_N^2 S^2}{U^2 S_N^2} + \Delta P_0 \frac{U^2}{U_N^2} \quad (4)$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{Cu} + \Delta Q_{Fe} = \frac{U_k\%}{100} \frac{U_N^2 S^2}{U^2 S_N^2} + \frac{I_0\%}{100} \frac{U^2}{U_N^2} \quad (5)$$

式中，ΔP_{Cu}、ΔP_{Fe}为配电变压器负载有功损耗和空载有功损耗；ΔQ_{Cu}、ΔQ_{Fe}为配电变压器负载无功损耗和空载无功损耗；S、S_N为运行视在功率和额定视在功率；U、U_N为运行电压和额定电压；ΔP_k、ΔP_0、$I_0\%$和$U_k\%$依次为短路损耗、空载损耗、空载电流百分值和短路电压百分值。

$$\Delta P_k \approx \frac{S_N^2}{U_N^2} R_T \quad (6)$$

$$\Delta P_0 = U_N^2 G_T \quad (7)$$

式中，R_T为配电变压器高低压绕组的总电阻；G_T为配电变压器励磁支路的电导。

考虑到配电变压器运行实际，并忽略电压波动的影响，配电变压器年电能损耗ΔA_T和年运行效率η计算公式为

$$\Delta A_T = \beta_{max}^2 P_k \tau_{max} + P_0 T \quad (8)$$

$$\eta = \frac{\beta_{max} T_{max} S_N \cos\varphi}{\beta_{max} T_{max} S_N \cos\varphi + \beta_{max}^2 P_k \tau_{max} + 8\,760 P_0} \quad (9)$$

式中，β_{max}为配电变压器最大负载率，即$\beta_{max} = S_{max}/S_N$；$\tau_{max}$为年最大负荷损耗小时数；$T_{max}$为年最大负荷利用小时数；$\cos\varphi$为配电变压器最大负载时的功率因数。

可见，提高变压器自身技术参数、减小流过变压器的无功功率以减小运行视在功率（提高配电变压器负载功率因数）及合理选择运行电压，可以降低变压器的有功损耗。

3. 三相不平衡带来的线路和配电变压器附加损耗

三相不平衡时三相配电线路和配电变压器三相绕组将产生附加损耗$\Delta\Delta P_1$，计算公式为

$$\begin{aligned}\Delta\Delta P_1 &= \Delta P_{unbalance} - \Delta P_{balance} \\ &= I_A^2 R + I_B^2 R + I_C^2 R - 3[(I_A + I_B + I_C)/3]^2 R \\ &= [(I_A - I_B)^2 + (I_B - I_C)^2 + (I_C - I_A)^2]R/3\end{aligned} \quad (10)$$

式中，$\Delta P_{unbalance}$、$\Delta P_{balance}$分别为三相不平衡和平衡时的有功损耗；I_A、I_B和I_C为三相电流，当三相平衡时则各相电流相等，即$I_A = I_B = I_C = (I_A + I_B + I_C)/3$。

对于三相四线制供电的低压线路，三相不平衡还会在中性线上产生额外的有功功率损失$\Delta\Delta P_0$，计算公式为

$$\Delta\Delta P_0 = I_0^2 R_0 \quad (11)$$

式中，I_0为三相不平衡时中性线上的电流；R_0为中性线的电阻。

4. 运行电压不合理造成的网损附加损耗

配电网的损耗实际上可分为可变损耗和固定损耗，前者包括线路损耗和配电变压器铜损，和电压二次方成反比，后者主要是配电变压器铁损，与电压二次方成正比。具体计算公式为

$$\Delta P_\Sigma = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_{eqv} + \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 \sum_{i=1}^{m} \Delta P_{0i} \quad (12)$$

式中，ΔP_Σ为配电网总有功损耗；R_{eqv}配电线路等效电阻和配电变压器负载等效电阻之和；ΔP_{0i}为第i台配电变压器铁损；U为配电网运行电压。式（12）两边同时对U求导可得

$$\frac{d\Delta P_\Sigma}{dU} = -2\frac{P^2 + Q^2}{U^3} R_{eqv} + 2\frac{U}{U_N^2} \sum_{i=1}^{m} \Delta P_{0i} \quad (13)$$

令式（13）等于0，可得总有功损耗取得最小值$\Delta P_{\Sigma,min}$时对应的电压值为

$$U = U_{min} = \sqrt[4]{\frac{(P^2 + Q^2) R_{eqv} U_N^2}{\sum_{i=1}^{m} \Delta P_{0i}}} \quad (14)$$

可见，当负荷和配电网网架、配电变压器一定时，即存在某一运行电压U_{min}使当前配电网总网损最小。当运行电压偏离U_{min}值时，无论是电压升高或降低都将使配电网产生附加的运行有功损耗，如下式所示

$$\Delta\Delta P_2 = \Delta P_\Sigma - \Delta P_{\Sigma,min} \quad (15)$$

一般来说，对于城镇架空线路（供电半径较长或负荷较重者），线路损耗和铜损占绝大部分，可适当提高电压换取节电效果；对于纯电缆线路（供电半径较短且负荷相对较轻者）或10 kV农村配电线路（低压台区较多、容量小和负荷率

中国知网 https://www.cnki.net

低），固定损耗在总损耗中所占比重较大，适当降低配电网的运行电压，可使总损耗有所下降。

5. 负荷分布不均衡导致的损耗增加量

假设有n条线路给某区域供电，每条线路的等效电阻分别为R_1，R_2，…，R_n，供电电流分别为I_1，I_2，…，I_n，则n条线路总有功损耗计算公式为

$$\Delta P_{\Sigma n}=\sum_{i=1}^{n}I_i^2R_i \tag{16}$$

假设用户一定的运行情况下，不同负荷分配方式下各线路供电电流之和I近似相等

$$I=\sum_{i=1}^{n}I_i=\text{const} \tag{17}$$

则

$$\Delta P_{\Sigma n}=(I-\sum_{i=2}^{n}I_i)^2R_1+\sum_{i=2}^{n}I_i^2R_i \tag{18}$$

可得

$$I_i=\frac{I}{R_i\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{1}{R_j}\right)}\quad i,j=1,2,\cdots,n \tag{20}$$

可见，对于不同的配电线路，其用户一定时，各线路电流在满足式（20）时所有线路总有功损耗取得最小值$\Delta P_{\Sigma n,\min}$。特殊地，当各配电线路参数全部一致时，则各线路电流$I_1=I_2=\cdots=I_n=I/n$时，即电流（负荷）均匀分布时，各线路有功损耗之和取得最小值为I^2R_1/n。同时也说明了各配电线路电流如果偏离了式（20）必将产生一定的附加有功损耗

$$\Delta\Delta P_3=\Delta P_{\Sigma n}-\Delta P_{\Sigma n,\min} \tag{21}$$

6. 负荷波动大导致的附加损耗

若某配电线路等效电阻为R，在某一时刻t的电流为$I(t)$，则有功损耗ΔP为

$$\Delta P=I^2(t)R \tag{22}$$

在一定时间T内，负荷波动下的电能损耗ΔA_{wave}为

$$\Delta A_{\text{wave}}=3\int_0^T I^2(t)R\,\mathrm{d}t\approx\sum_{k=1}^{N}[I_k^2R\Delta T] \tag{23}$$

式中，N为时间T的分段数（为一个足够大的正整数），I_k为第k时段的负荷平均电流，$\Delta T=T/N$为分段时间长度。

若T时段内负荷恒定，记电流恒定为I_s，则该时段内电能损耗ΔA_{const}为

$$\Delta A_{\text{const}}=I_s^2RT\approx I_s^2RN\Delta T \tag{24}$$

则负荷波动下相对负荷恒定的附加电能损耗$\Delta\Delta A_{\text{w-c}}$为

$$\Delta\Delta A_{\text{w-c}}=\Delta A_{\text{wave}}-\Delta A_{\text{const}} \tag{25}$$

考虑到时间T内，用户总用电量相同的情况下有

$$NI_s=\sum_{k=1}^{N}I_k \tag{26}$$

根据式（23）～式（26）可求得

$$\Delta\Delta A_{\text{w-c}}\approx\frac{\Delta TR}{N}\sum_{\substack{1\leqslant i<j\leqslant N\\ i,j\in Z^+}}(I_i-I_j)^2 \tag{27}$$

可见，当负荷出现波动时必将在配电网中产生一定的附加电能损耗，且波动程度越大，附加损耗量越大。

7. 设备老化和接触不良引起的附加损耗

配电变压器、线路、开关和电容器等设备老化或接触不良将导致电网的等效电阻R_{eqv}增大，从而将导致配电网的有功损耗亦将增大。假设理想情况下（不存在接触不良的接触电阻R_c）有功损耗为I^2R_{eqv}；在存在接触电阻时，有功损耗为$I^2(R_{\text{eqv}}+R_c)$，因此，这部分附加损耗为

$$\Delta\Delta P_4=I^2R_c \tag{28}$$

8. 谐波造成的有功损耗增加量

当配电网中存在谐波电流时，非正弦周期电流的有效值I_Σ等于其基波分量I_1与各次谐波分量有效值I_h（$h=2$，3，4，…）的平方和的平方根值，计算公式为

$$I_\Sigma=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,\mathrm{d}t}=\sqrt{I_1^2+\sum_{h=2}^{\infty}I_h^2} \tag{29}$$

从而谐波存在时，I_Σ流过电阻为R的线路所导致附加损耗$\Delta\Delta P_5$为

$$\Delta\Delta P_5=I_\Sigma^2R-I_1^2R \tag{30}$$

引入电流总谐波畸变率THD_I，其定义为

$$\text{THD}_I=\frac{1}{I_1}\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty}I_h^2} \tag{31}$$

将式（31）代入式（30），可得$\Delta\Delta P_5$为

$$\Delta\Delta P_5=I_1^2(1+\text{THD}_I^2)R-I_1^2R=I_1^2R\text{THD}_I^2 \tag{32}$$

中国知网 https://www.cnki.net

9. 电容器产生的损耗

电容器在配电网中起到减少无功潮流和有功损耗的作用，但电容器的投运本身也会产生一定的损耗

$$\Delta P_C = Q_C \tan\alpha \qquad (33)$$

式中，ΔP_C为电容器有功损耗；Q_C为电容器的额定容量；$\tan\alpha$为电容器介质损耗角。

通常，在感性负荷为主的配电网中投入电容器装置后，在配电网中降低的有功损耗要比电容器自身产生的有功损耗要大；但是如果在负荷功率因数已经很高的情况下再投入电容器，则产生的网络降损量有可能小于电容器自身的介质损耗，此时投入补偿则反而起不到节能作用。因此，合理配置和安排电容器的运行将有助于降低配电网络的损耗。

中山配电网节能降耗工作建议

根据上述分析结果，中山配电网节能降耗的实现和经济运行与运行电压、输送电流、导线截面积、供电半径、变压器参数、无功补偿、三相平衡、负荷曲线和谐波含有率等多项因素有密切的关系，应结合配电网电源、装备、运行和管理的实际情况，兼顾负荷发展趋势，有计划性地制定改造方案和经济运行措施。

1. 节能降耗改造方面

在电网规划、建设和改造项目安排时应对线损因素给予必要的考虑。要以提高城市电网供电可靠性、降损增效为原则，对电源点和配电网网架结构规划进行细化、优化，逐年修编配电网的滚动规划。在技术改造项目立项时应将节能降损提高到中山供电局重点工作的层面，并结合迎峰度夏及城网改造，对部分超负荷配电变压器及线路进行改造，根据城市负荷发展情况，及时增加新的电源布点，缩短供电半径、减少迂回供电。

对出线间隔仍有一定裕度的现有变电站，结合供电就近原则，新增线路以分担邻近区域重载线路的负荷或减小部分线路的供电距离，提高间隔利用率，降低线损率。

增加配电变压器的布点，减小低压线路供电半径，尽量将城区低压线路供电半径控制在100～150 m以内，郊区和农村低压供电线路供电半径控制在300～400 m以内。

对于供电半径大于4 km且负荷较重（用电高峰负荷大于200 A）的线路，应结合配电网规划，尽量从距离线路较近的变电站或开关站新建一条线路，对原线路后端部分负荷进行供电，缩短线路供电半径，降低线路损耗。

对容量100 kV·A以上的公用变压器，如功率因数长期低于0.90，则建议配置低压动态无功补偿。结合配电变压器的容量、负荷水平、功率因数和负荷波动程度的具体情况，给出具体的动态无功补偿方案。

对于公用变压器中还有部分S7型高能耗配电变压器，有待逐步采用S11型及以上低损耗配电变压器代替。随着负荷和设备的发展，有必要考虑在未来对S9型、ZGSB9型等投产年限较长的配电变压器进行适当更换。对于专用变压器中存在的一定数量的S7型等高能耗配电变压器，对线路损耗有一定影响，应加大宣传力度，采取一定措施引导用户加快高能耗配电变压器更换。在规划和新建的配电变压器台区中，不妨选择S13或者非晶合金变压器入网，尽管它们的造价要比S7、S9系列要贵一些，但是完全可以在几年内通过节能降耗收回投资差值。

2. 节能经济运行方面

提高对配电线路运行电压的调度能力。通常而言，若某时段变电站供电的多数配电变压器负载率都在40%以上时，提高母线电压起到节能效果，此时应该采取变电站主变压器抽头调整和电容器组投切等措施将10 kV母线电压提高到接近10.7 kV来运行；若某时段变电站供电的多数配电变压器负载率都在30%以下时，则要降低母线电压以起到节能效果，此时应该采取措施将10 kV母线电压降低到10.0 kV来运行；当多数配电变压器负载率都在30%～40%时，则可以将母线电压控制在10.0～10.1 kV附近。

定期进行配电网网络结构的调整与优化。在保证供电可靠性和系统运行约束的基础上，应进

中国知网 https://www.cnki.net

行网架合理的调整和一定的开关优化重组，以控制配电线路的输送半径，平衡不同馈线的负荷，消除过载，使配电网网损尽量减小，提高运行经济性。对线路进行负荷统计，评估各分区不同月份负荷情况，以此作为不同季节（或月份）划定各配电线路供电区域的依据。在统计得到的不同季节负荷基础上，对环网线路进行潮流计算，确定各季节负荷状态下的最佳开环点。一般来说，对于主导线一致、负荷沿线均匀分布的环网线路，开环点应取在使两线路配电变压器容量相等或接近的位置；对于两端馈线线径不一致的情况，配电变压器容量的分配应近似和两线路等效电阻成反比，即线径大、电源点至负荷中心近的一侧线路应承担多数配电变压器，线径小、电源点离负荷中心远的一侧线路承担相对少的配电变压器。

合理安排配电变压器经济运行。将配电变压器的日平均负载率控制在15%～50%范围内（日平均负载率是指一天之中平均视在功率和变压器额定容量之比），负荷波动程度越大的公用变压器台区或者专用变压器用户，越要降低其日平均负载率以获得节能效益。对于有多台变压器供电的用户，应引导其进行变压器经济运行。比较粗略的办法就是，若负荷大于一台配电变压器容量的50%（对高能耗配电变压器为65%）就可以投入两台配电变压器运行，大于一台配电变压器容量的100%（对高能耗配电变压器为130%）就可以投入三台配电变压器运行；若负荷小于一台配电变压器容量的60%（对高能耗配电变压器为90%）就可以由三台配电变压器调整为两台运行，小于一台配电变压器容量的30%（对高能耗配电变压器为45%）就可以由两台配电变压器调整为一台运行。

加强对三相负荷平衡度的监控和调整。对各用电量较大的配电变压器进行三相负荷统计（特别是用电高峰期的三相负荷数据），包括三相电流、三相电压、三相有功功率和三相无功功率，并记录下对应配电变压器型号、低压配电导线型号、长度和负荷沿线分布数等，作为三相不平衡分析计算的基础参数。根据已经收集到的三相负荷、配电变压器和低压线路数据，利用三相不平衡分析软件计算出对应运行条件下三相不平衡在一定时间内（如一个月）造成的附加损耗电量，从而为三相负荷调整的必要性及效益提供依据。即每个月对容量较大的配电变压器的三相不平衡情况进行评估，达到一定程度的就进行三相人工调整。对三相不平衡程度波动较大不便频繁调整各相负荷，且功率因数长期较大的配电变压器，建议配电变压器低压侧无功补偿装置采用分相动态无功补偿。

引导客户积极参与和配合削峰填谷调度。根据不同企业负荷的类别，兼顾负荷的具体情况及特殊性，协调并合理地定制各工厂企业的峰谷用电计划，充分发挥峰谷电价的推动作用，提高供用电效率。对于峰谷差大、负载率低的专用变压器用户，要分析其负荷特性和生产方式，引导其参与用电需求侧管理，达到削峰填谷的效果。对一些负荷特别重的企业，建议采用两回甚至多回线路供电，并引导其尽量避免大容量设备在负荷高峰时用电。

3. 节能降耗管理方面

积极开展线损“四分”管理工作。贯彻执行《南方电网线损“四分”管理工作规定》，通过“分压、分区、分线和分台区”管理，掌握中、低压损失电量的根源，更加有针对性地安排降损计划，逐步推行台区考核表计自动抄录，提高供电量数据同时率，减少低压线损率波动。

加强线损预测分析和理论计算工作。线损分析要实行三对比：与上月比；与去年同期比；与理论计算比。对线损率完成情况，每月要定期召开用电形势、线损分析会，做到及时总结，特别是对重点线路和异常线路进行剖析，对发现的问题要及时采取有效措施。在月度线损分析报告中，要认真做好次月供电量、售电量和线损率等情况预测，确保线损管理的可控、在控。将线损指标完成情况纳入绩效考核，及时奖惩。加强线损上报、录入数据的管理，保证数据准确、及时，确保线损率指标完成。认真做好理论线损计算工作，充分掌握电网运行的损耗情况，各线损责任单位要在上一年理论计算的基础上，提早准

中国知网 https://www.cnki.net

备，对所管辖线路变更情况及参数及时进行修正，并对低压配电线损进行实测分析，明确降损主攻方向，为制定降损方案和年度降损计划提供依据。

加强计量管理。加大计量装置投入，提高准确度，保证计量准确性，对国家已明令淘汰的电能表全部更换；对低压电流互感器由0.5级更换为0.2级；做到定期轮校电能表。确认专有变压器用户的无功电能表计具有双向计量功能，避免用户功率因数虚高增加配电网的有功损耗。加大计量装置的防窃电改造，采用电能表集中安装于表箱或专用计量柜；低压用户安装漏电保护开关；高供高计用户采用高压计量箱并配装磁卡表等形式。

组织开展营业大普查活动。重点以查偷漏、查帐卡、查倍率、查电表及接线为主，采取突击查与定期查、互查与自查相结合，通过核查帐、卡、票和表四相符情况，检查对临时用电的管理，对表计修校、换验的管理。到现场实测电能表，核查电能表底数，检查电压和电流互感器变化，电能表接线等，消灭错接线、错抄录和错倍率。杜绝由于管理不善、业务不熟、表计失灵和责任心不强等损失电量，提高抄收和计量准确性。

深入开展反窃电工作。对窃电行为应根据有关法律法规预以严厉打击。要加强营销工作的全过程管理，在具体工作中必须建立起相互监督、相互制约的管理体制。做好用电宣传教育活动，营造全社会反窃电的良好氛围。建立完善反窃电长效机制，电力稽查大队要与公安机关、新闻媒体密切配合，严厉打击涉电犯罪，整顿用电秩序；利用负荷管理系统的计量监测与防窃电功能，对客户异常用电进行监测。

4. 节能降耗规划方面

中压线路供电半径应满足末端电压质量和节能要求，10 kV供电半径控制范围如表4所示。

中压电缆在满足相应导则关于应用条件、路径选择、型式和敷设方式前提下，按表5进行导线截面积选择。

表4　城市供电区分类表

供电区域类别	A类	B类	C类
中远期用电负荷密度/ (MW/ km^2)	大于30	10～30	小于10
10 kV供电半径/km	1.5	2.5	4.0

表5　10 kV电缆截面积选择建议表

用途	截面积高值/mm^2	截面积低值/mm^2
主干线	400	240
有可能发展成为主干线的次干线	300	240
一般次干线	150	120
分支线	120	70
至负荷很大的配电变压器线路	150	120

中压架空线路主干线截面积宜按照中远期（10～20年）规划供电能力，一条线路主干线导线截面积不宜超过两种，在满足关于架空线应用范围和型式选择前提下，建议按表6进行导线截面积选择。

表6　10 kV架空导线截面积选择建议表

区域	用途	截面积/mm^2
城市	主干线	≥240
	次干线	≥150
	分支线	≥95
农村	主干线	≥185
	次干线	≥120
	分支线	≥70

另外，对于需采用架空型式的负荷特别重的线路，建议主干线采用双回截面积185 mm^{2}或240 mm^{2}导线供电。

结合节能降耗的要求，建议根据各配电线路段中远期最大电流按下图选择架空导线截面积。

低压配电线路的电压损失不应大于4%，供电半径宜控制的范围如表7所示。

导线截面积选择在满足相应导则关于型式、接线方式等要求下，主干线截面积宜根据供电半

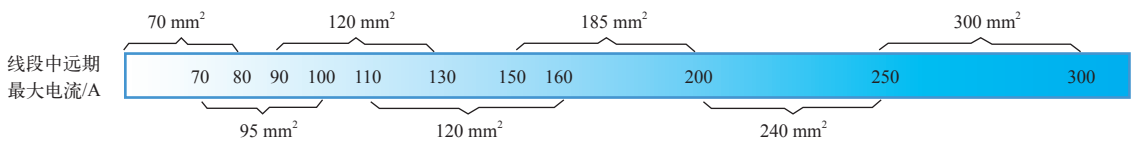

图　不同中远期电流下线路段导线截面积选择示意图

中国知网　https://www.cnki.net

表7 低压供电半径推荐值

供电区域类别	A类	B类	C类
低压供电半径/m	150	250	400

径和负荷情况选择120～240 mm^2，分支线截面积宜根据负荷大小选择50～120 mm^2，如表8所示。

表8 低压电缆截面积选择建议表

用途	截面积高值/mm^2	截面积低值/mm^2
主干线	240	120
分支线	120	50

配电变压器应尽可能设置在负荷中心，供电半径在相应导则要求的供电范围内。配电变压器宜坚持“小容量、多布点”的原则。新设配电变压器应采用低损耗、节能型；对于负荷特性平稳的区域宜选用铜损较小的变压器；对于负荷昼夜变化较大而一年中存在较长时间轻载的区域，宜选用卷铁心变压器或非晶合金变压器。单纯从节能的观点来看，配电变压器容量的选择宜将负载量控制在配电变压器容量的20%～70%，或配电变压器平均负载率一般在20%～40%，配电变压器最大负载率不超过70%。具体地，可以按表9的负载率范围来决定变压器的容量选择：

表9 配电变压器负载率推荐值

变压器类型	日平均负载率(%)	最大负载率(%)
S9	30～45	70
S11	30～40	70
S13	25～35	60
非晶合金	15～25	50

结合投资成本与节能效益，变压器的综合经济运行负载率一般在50%～62%之间，与变压器型式关系不大。单台配电变压器应根据不同负荷和安装区域控制容量上限，柱上配电变压器控制在315 kV·A及以下，箱式配电变压器控制在630 kV·A及以下，配电房内安装的配电变压器及一般干式配电变压器控制在800 kV·A及以下。对于市郊低密度小区、农村照明用电和单相动力用电区及其他负荷密度低、负荷点少的地带，建议采用单相变压器或小三相变压器。对于既有照明用电，又有三相动力用电的农村地区，可以采用三相供电到动力用户、并延伸10 kV单相线路到单相用户的三相/单相混合供电模式。

对于供电半径在3 km以上的重负荷、低功率因数的10 kV架空线路，可根据需要进行杆上无功补偿。在充分实施配电变压器低压无功补偿后，线路长期供电无功在800～1 500 kvar、最小供电无功不低于200 kvar者，建议在线路后段1/3处或无功消耗大的负荷区段设置一套3组×150 kvar高压动态无功补偿。

对于负荷特别重，供电半径在4 km以上，经低压无功补偿后，线路长期供电无功在1 500 kvar以上、最小供电无功不低于400 kvar者，建议在线路后段1/3处或无功消耗大的负荷区段设置一套3组×200 kvar高压动态无功补偿和200 kvar高压固定补偿。

对于供电半径在4 km以上、小容量配电变压器（160 kV·A及以下）数量较多（10台以上）、长期供电无功在500 kvar以上、最小供电无功不低于200 kvar的线路，建议在线路后段1/3处或无功消耗大的负荷区段设置150 kvar高压固定补偿。

公用配电变压器低压侧无功补偿应采取“先测后补”方式，监测与补偿分开，先安装监测装置，积累半年及以上数据后，确定是否需要补偿、补偿容量、分组方式和单组容量以及采取三相共补或分相补偿。分相补偿建议只在容量315 kV·A及以上、长期无功需求较大且三相负荷严重不均衡的配电变压器低压侧实施。

结束语

本次配电网节能降耗分析研究，深入地分析了中山配电网现状和节能降耗方面存在的问题，并根据配电网网损形成机理，从节能改造、节能管理和节能规划方面为中山配电网节能降耗工作提供了系统的建议和指导。经过在2014年的广泛应用，中山电网的节能效果十分突出，相信随着进一步细化和深入，节能效果亦将愈发凸显，更可为广大供电单位开展节能降耗工作提供广泛的借鉴。

（收稿日期：2015－05－15）EA

中国知网 https://www.cnki.net