

配电网技术线损分析

卢志刚¹, 秦四娟¹, 李海涛², 万莉²

(1. 燕山大学电力电子节能与传动控制河北省重点实验室, 河北 秦皇岛 066004;

2. 北京市电力公司, 北京 100034)

摘要: 论述了电力网络降损的技术措施, 并根据最小费用法对配电网技术线损部分因素进行了经济性分析。分析了变压器和导线的选择配置, 以及配电网技术经济运行区域等, 为降损改造提供决策依据。通过实际线路计算, 验证文中提到的各种分析计算方法的准确性和实用性, 计算结果基本能够满足实际要求。

关键词: 配电网; 线损率; 经济运行; 降损

Analysis on technical line loss of distribution network

LU Zhi-gang¹, QIN Si-juan¹, LI Hai-tao², WAN Li²

(1. Key Lab of Power Electronics of Energy Conservation and Motor Drive of Hebei Province, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China; 2. Beijing Electric Power Corporation, Beijing 100034, China)

Abstract: The paper discusses technical measures of reducing loss of power network, and analyzes economic factors of the distribution network technical loss based on least charge method. It analyzes how to choose the transformer and the wire, as well as the technical economic area of the network and so on, in order to provide the policy-making basis for reducing loss. The actual line computation confirms each kind of analysis or computation method accuracy and usability, the computed result can satisfy the actual request.

Key words: distribution network; rate of line loss; economical operation; reducing power loss

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0177-04

0 引言

2008年某地区供电公司110 kV线损率为0.58%, 而10 kV及以下的线损率为3.74%。由此可见, 在电力网的实际运行中, 配电网的损耗占整个电力网电能损耗相当大的一部分, 它是提高电网运行经济性的重要制约因素之一。因此, 在理论线损计算的基础上, 从线损技术管理角度进行深入分析, 对降低线损的各种技术方案进行技术经济比较并考察其实际效果十分重要。

在搞好线损管理的基础上, 采取行之有效的技术措施是降低电力网电能损耗的重要途径^[1]。主要包括以下技术措施: 提高配电网功率因数; 提高配电变压器的运行水平; 合理优化网络运行方式; 合理确定输电线路经济截面积; 提高配电网负荷率; 合理确定配电网的经济负荷运行区域等。

1 配电网部分因素的经济性分析

1.1 变压器的经济性分析

根据最小费用法来确定变压器的技术经济负载率^[2]。

变压器使用年限内的年投资费用:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + K$$

初投资的年均值: $C_1 = c/n = \alpha S_N / n$, 其中, c 为变压器的投资总费用; α 为变压器容量与费用的比例系数; S_N 为变压器的容量; n 为抵偿年限, 通常取8。

负荷电量购入费: $C_2 = AS_N \cos \varphi \beta T_{\max}$, 其中 A 为电价; β 为变压器负载率; $\cos \varphi$ 为变压器的功率因数; T_{\max} 为年最大负荷小时数。

空载损耗费用: $C_3 = AP_0 T_{\max} = AP_0' S_N T_{\max}$, P_0 为变压器空载损耗; P_0' 为空载损耗系数。

负载损耗费用: $C_4 = A\beta^2 P_{KN} T_{\max}$, P_{KN} 为额定电流短路损耗, 且 $P_{KN} = P_{KN}' S_N$ (P_{KN}' 为短路损耗系数)。

变压器维护费用: K (常数)。

由于 $S_N = \frac{P}{\beta \cos \varphi}$, P 为变压器二次侧功率。代入, 则平均费用:

$$C_T = \frac{\alpha P}{8\beta \cos \varphi} + AP T_{\max} + \frac{AP'_0 T_{\max} P}{\beta \cos \varphi} + \frac{AP'_{KN} \beta T_{\max} P}{\cos \varphi} + K$$

当 $\frac{dC_T}{d\beta} = 0$ 时, C_T 最小, 求得:

$$\beta = \sqrt{\frac{\alpha + 8AP'_0 T_{\max}}{8AP'_{KN} T_{\max}}} = \sqrt{\frac{c + 8AP'_0 T_{\max}}{8AP'_{KN} T_{\max}}} \quad (1)$$

在上式中, 综合考虑了购置、损耗等费用, 得出最经济运行状态时的负载率和变压器技术参数的关系, 从而比较精确地计算出变压器的最经济运行状态。

1.2 配电线路经济截面的选择

线路年费用 C 由两项组成^[3,4]: 把线路一次投资转化为每年的平均投资 C_1 和线路设计方案的年运行费 C_2 , 则线路年费用:

$$C = C_1 + C_2$$

$C_1 = \alpha SL/n$: α 为单位长度、单位截面导线购置费用, 取 60 元/km·mm²; S 为导线截面积, mm²; L 为导线长度, km; n 为抵偿年限。

$C_2 = f_1 + f_2$, f_1 为每年所需的折旧维修管理费; f_2 为线损费用。

$f_1 = KC_1$, K 为维护、折旧费系数, 取为 7%;

$f_2 = 3I_{\max}^2 \frac{\rho L}{S} T_{\max} A \times 10^{-3}$, I_{\max} 为线路上的最大电流(A); ρ 为电阻率; A 为电价。

$$\text{则: } C = \alpha SL/n + K\alpha SL + 3I_{\max}^2 \frac{\rho L}{S} T_{\max} A$$

当 $\frac{dZ}{dS} = 0$, S 为最经济截面:

$$S = I_{\max} \sqrt{\frac{\rho T_{\max} A \times 10^{-3}}{(K+1)/n\alpha}} \quad (2)$$

1.3 配电网经济运行区域的确定

依据负荷变化情况, 适时调整负荷分布和配变运行方式, 可以减少不必要的空载损耗^[5]。变压器运行在技术经济负载率时最经济, 但负荷不断变化, 让变压器在一个点上运行不实际, 使得技术经济负载率失去现实意义。故给出变压器的经济运行区域具有真正的现实意义^[6]。

线路的总损耗为:

$$\Delta A = \sum \Delta P_0 t + \frac{K^2 P^2 R_{eq} t \times 10^{-3}}{U^2 \cos^2 \varphi} \quad (3)$$

其中: $\sum \Delta P_0 t$ 为配电变压器的铁损之和(kW); t 为配电网运行时间(h); K 为系数, 其值为均方根负荷与平均负荷之比, 取 1.1; P 为计算期内平均运行负荷(kW); R_{eq} 为配电网的等值电阻, 包括线路与变压器 2 部分; U 为配电网的额定电压(kV); $\cos \varphi$ 为功率因数。

配电网的网损率是指网损电量与供电电量之比, 将式(3)两边同除以供电量 $A (A = Pt)$, 可得网损率的计算公式:

$$\Delta A\% = \frac{\sum \Delta P_0}{P} + \frac{K^2 P R_{eq} \times 10^{-3}}{U^2 \cos^2 \varphi}$$

当 $\frac{d\Delta A\%}{dP} = 0$ 时, 网损率最小, 为:

$$\Delta A_{\min}\% = \frac{2K}{U \cos \varphi} \times \sqrt{\sum \Delta P_0 \times R_{eq} \times 10^{-3}} \quad (4)$$

对应的配电网经济运行负荷为:

$$P_{ec} = \frac{U \cos \varphi}{K} \cdot \sqrt{\sum \Delta P_0 \times 10^3 / R_{eq}} \quad (5)$$

式(5)的意义是, 当配电网的运行负荷等于经济运行负荷 P_{ec} 时, 整个配电网的网损率最低, 经济效果最佳。

经济运行区域取网损率为最小网损率的 α (α 取 1.2) 倍时所对应的运行负荷区域, 推导可得:

$$[P]_{ec} = P_{ec} (\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - 1}) \quad (6)$$

当配电网的运行负荷在区域 $[P]_{ec}$ 内运行时, 整个配电网的网损率可控制在 $\alpha \cdot \Delta A_{\min}\%$ 以内。

等值电阻 R_{eq} 的求解可参考文献[7]。

经济运行区域划分对网损管理的指导意义:

(1) 在 $P < [P]_{ec}^{\min}$ 区域, 配电网处于轻载状态。

这时, 电网改造的重点是降低配变铁损, 可采取的措施如: 加快高能耗配变的更新改造、更换“大马拉小车”配变、提高配电网的运行负荷等。

(2) 在 $P \subseteq [P]_{ec}$ 区域, 配电网处于经济运行状态, 此时电网设备和负荷是匹配的, 无需进行调整和改造。

(3) 在 $P > [P]_{ec}^{\max}$ 区域, 配电网处于重载状态。这时负荷较重, 应考虑更换大容量变压器或转移负荷。

2 算例分析

以某地区实际运行的某线路为例进行分析, 电压为 10 kV, 功率因数取 0.85。线路结构如图 1 所示。

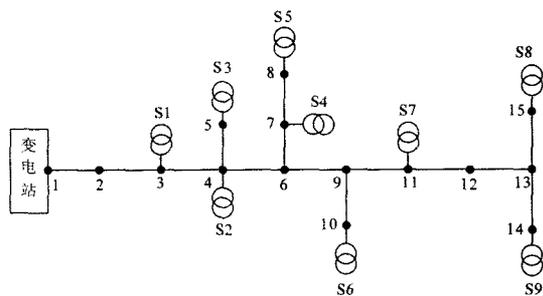


图1 线路结构图
Fig.1 Line structure

线路24点负荷电流如表1。

表1 线路的24 h负荷电流
Tab.1 24 h load current of line

1点	60	9点	80	17点	90
2点	54	10点	80	18点	95
3点	50	11点	85	19点	85
4点	50	12点	85	20点	80
5点	55	13点	75	21点	75
6点	60	14点	75	22点	70
7点	70	15点	70	23点	65
8点	75	16点	75	24点	62

由此可得: 24点平均电流 $I_{av} = 71.7 \text{ A}$; 24点平均功率 $P_{av} = \sqrt{3} \times 10 \times 71.7 = 1241 \text{ kW}$ 。

根据理论线损计算软件可以得到如下结果(有功供电量=25 337 kWh), 如表2。

表2 理论线损计算结果
Tab.2 Result of theory loss calculation

	线损	铜损	铁损	小计
损失/kWh	162.13	115.18	205.44	482.75
损失率/(%)	0.64	0.45	0.81	1.9

2.1 变压器的经济性计算与分析

取电价为0.65元/kWh, T_{max} 为4 000 h。根据各型号变压器市场参考价格, 由式(1)可以计算出线路变压器的负载率, 结果如表3。

其中, 因功率按变压器容量分配, 所以变压器实际负载率相同, 为

$$\beta_{实际} = \frac{S_p}{S_N} = \frac{\sqrt{3} \times 10 \times 71.7}{3810} = 0.33$$

计算结果表明, 线路的变压器的实际负载率远小于经济负载率, 造成变压器容量的浪费, 影响电网的经济运行。为提高负载率, 保证电网运行的经济性, 须根据实际合理调整变压器容量、负载等因

素。例如, 假设变压器S5容量为315 kVA时能够满足实际负荷要求, 更换变压器后线损率由1.9%降为1.72%, 降损效果明显。

表3 线路的变压器参数及 β 值计算结果

Tab.3 Transformer parameter and result of β calculation

	型号	价格/元	P_0 /kW	P_{KN} /kW	β
S1	S9-315	30 000	0.67	3.65	0.76
S2	S9-250	26 000	0.56	3.05	0.77
S3	S9-160	21 000	0.40	2.20	0.80
S4	S9-200	24 500	0.48	2.60	0.80
S5	SJL-560	61 000	2.10	9.00	0.75
S6	S9-315	30 000	0.67	3.65	0.76
S7	S9-160	21 000	0.40	2.20	0.80
S8	S9-1600	127 300	2.40	14.5	0.77
S9	S7-250	21 000	0.64	4.00	0.64

2.2 输电线路截面积的经济性计算与分析

根据式(2)和理论线损计算的各线路最大电流, 可以求出经济导线截面积结果如表4。

表4 线路的导线参数及截面积计算结果

Tab.4 Line parameter and result of S calculation

序号	型号	长度/m	电阻	S
L_{2-3}	ZLQD22-3*240	350	0.045 5	300
L_{2-3}	LJ-185	1 335	0.226 95	240
L_{3-4}	LJ-185	89	0.015 13	240
L_{4-5}	LJ-35	22	0.020 24	10
L_{4-6}	LJ-185	763	0.129 71	185
L_{6-7}	LJ-35	144	0.132 48	50
L_{7-8}	LJ-35	25	0.023	35
L_{6-9}	LJ-185	145	0.024 65	185
L_{9-10}	LJ-35	310	0.285 2	35
L_{9-11}	LJ-185	362	0.061 54	150
L_{11-12}	LJ-185	251	0.042 67	150
L_{12-13}	LJ-185	328	0.055 76	150
L_{13-14}	LJ-70	262	0.120 52	35
L_{13-15}	LJ-35	16	0.014 72	95

由以上数据可以看出, 所选导线截面积和计算经济截面积相差不多, 因此实际线路的导线选择是较合理的。但考虑到以后线路负荷的增加等因素, 所以导线截面积的选择可以比实际计算值大一些。这样还能一定程度上减少线路损失。现依据计算出的经济截面积更换导线, 线损率可由原来的1.9%降为1.78%。

2.3 配电网负荷率的计算与分析

根据负荷率计算公式:

$$K = \frac{P_{ave}}{P_{max}} \times 100\% = \frac{71.7}{95} \times 100\% = 0.75$$

负荷率越接近于 1, 电气设备的利用率越高, 电网运行的经济性越高。本例中, 线路的负荷率为 0.75 还有一定的提升空间。若负荷率在 0.7 以下时, 降损效果会非常明显。本例中若 24 点按平均负荷运行, 线损率可由原来的 1.9% 降为 1.88%。

为降低线损, 提高设备的利用率, 须认真分析网络运行状态, 通过合理调整负荷, 对用户负荷进行管理, 削峰填谷等手段提高其负荷率。

2.4 当前网络结构下最佳负荷运行区域的确定

本文采用等值电阻法对两条线路求取最佳负荷运行区域。在此线路的计算中, 为了求取线路运行的最经济状态, 功率因数取为 1, 经济运行区域取网损率为最小网损率的 $\pm 120\%$ 时所对应的运行负荷区域。线路计算结果如表 5。

表 5 线路最佳负荷运行区域计算结果
Tab.5 Result of optimal load area of the line

R_{eq}	P_{ec}	$[P]_{ec}$	最佳线损率
0.72	988.92	[550.43, 1 822.98]	1.70

根据计算结果, 并比较实际数据, 可知: 该线路在 24 h 的运行中, 负荷在经济负荷区域内, 满足了线路负荷的经济性分布。但该线路并没有运行在最佳负荷点上, 而是比最佳运行负荷略大。下面细微调节负荷, 对应的线损率如表 6 (导线为更换经济截面积后的导线)。

表 6 不同负荷下的线损率对比
Tab.6 Loss rate contrast of different load

原负荷倍数	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2
线损率	1.84	1.78	1.77	1.78	1.81	1.85

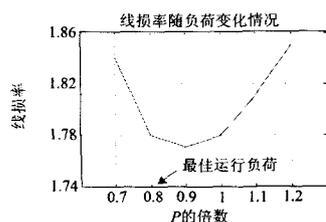


图 2 线损率随负荷变化情况

Fig.2 Line loss changes along with load

从上面数据和图可以看出, 由公式(5)计算得到的最佳经济负荷是实际运行负荷的 0.8 倍, 比实际运行负荷略低。通过软件计算得到 0.9 倍实际负荷运行时, 线损率最低。由于计算中存在一定误差, 说明本算法具有实际的可操作性。若线路负荷不在经济运行区域, 可以适当调节或转移负荷以使线损率降低。

3 结束语

通过配电网理论线损计算和技术线损分析, 找出薄弱环节, 及时加以整改。实践证明, 通过开展配电网技术线损分析和理论线损计算, 用理论指导实际, 能有效降低技术线损。目前配电网节能需根据不同配网实际情况, 选择适合本地配网降损的综合方案, 以取得更高的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 黄义群. 降低农村电网线损的措施[J]. 科技经济市场, 2008, (5): 26-27.
HUANG Yi-qun. Measures of Reducing the Rural Power Loss[J]. Science Economy Market, 2008, (5): 26-27.
- [2] 卢志刚, 李爽, 韩彦玲, 等. 配电网技术经济运行区域的研究及应用. 高电压技术, 2007, 33(6): 156-159.
LU Zhi-gang, LI Shuang, HAN Yan-ling, et al. Study on Technical Economic Operation Area of the Distribution Network High Voltage Engineering, 2007, 33(6): 156-159.
- [3] 赵子寒. 导线经济截面与经济电流密度分析[J]. 农业机械化与电气化, 2005, (5): 53-54.
ZHAO Zi-han. Analysis of Lead Economic Diameter and Current Density[J]. Agriculture Mechanization and Electrification, 2005, (5): 53-54.
- [4] 李朝国, 叶伯颖. 如何从经济性方面综合考虑 10kV 电缆截面积选择[J]. 科技咨询导报, 2007, (12): 94.
LI Chao-guo, YE Bo-ying. How to Choose 10kV Cable Diameter Considering the Economic Aspects[J]. Science and Technology Consulting Herald, 2007, (12): 94.
- [5] 余卫国, 熊幼京, 周新风, 等. 电力网技术线损分析及降损对策[J]. 电网技术, 2006, 30(18): 54-57.
YU Wei-guo, XIONG You-jing, ZHOU Xin-feng, et al. Analysis on Technical Line Losses of Power Grids and Countermeasures to Reduce Line Losses[J]. Power System Technology, 2006, 30(18): 54-57.
- [6] 杨欣. 配电网运行区域的划类分析[J]. 现代电子技术, 2005, (12): 80-84.
YANG Xin. Analysis of Distribution Network Movement Region Delimitation[J]. Modern Electronic Technique, 2005, (12): 80-84.
- [7] 李妍红, 刘明波, 陈荃. 配电网低压动态无功补偿降损效果评估[J]. 电网技术, 2006, 30(19): 80-85.
LI Yan-hong, LIU Ming-bo, CHEN Quan. Evaluation on Effect of Reducing Network Loss in Distribution Network by Low Voltage Dynamic Reactive Power Compensation Equipments[J]. Power System Technology, 2006, 30(19): 80-85.

收稿日期: 2008-12-26; 修回日期: 2009-02-12

作者简介:

卢志刚(1963-), 男, 博士, 教授/博士生导师, 主要从事电力系统经济运行分析与控制的教学与研究; E-mail: zhglu@ysu.edu.cn

秦四娟(1983-), 女, 硕士生, 研究方向为电力系统经济运行与分析, 无功优化;

李海涛(1974-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事线路管理的工作和研究。