

长安配网节能降耗潜力评估研究

李鹏¹, 张勇军², 谭伟聪², 袁文根¹

(1. 广东电网公司东莞供电局, 广东 东莞 523002; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 在分析配电网损产生的相关因素的基础上, 提出配电网节能降耗潜力评估的方法, 包括: 更换导线和中低压无功补偿、减少10 kV馈线的供电半径、更换高能耗配电变压器、提高负荷功率因数等。结合东莞长安镇配电网的基本状况, 介绍了长安镇节能降耗潜力评估的情况。所提方法对配电网规划与节能降耗改造有一定的指导意义。

关键词: 配电网; 节能; 损耗

Study on energy saving potential assessment for Changan distribution network

LI Peng¹, ZHANG Yong-jun², TAN Wei-cong², YUAN Wen-gen¹

(1. Dongguan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corp, Dongguan 523002, China;

2. College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: By analyzing the relative factors of distribution network losses, a method aiming at assessing the energy-saving potential is proposed in the paper. The content of the proposed method includes feeders replacing, high and low voltage reactive power compensation, feeders radius reducing, distribution transformers replacing, and loads power factor increasing, etc. Based on the current situation of the distribution network in Changan district, Dongguan, this paper introduces the assessment results of energy-saving potential of Changan, which has certain instructive meaning to the network planning and energy-saving solution of distribution systems.

Key words: distribution network; energy saving; power losses

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)14-0097-04

0 引言

人口众多、能源资源相对不足、环境承载能力较弱, 是我国的基本国情之一。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出了“十一五”期间单位国内生产总值能耗降低20%左右, 主要污染物排放总量减少10%的约束性指标。这是贯彻落实科学发展观, 构建社会主义和谐社会的重大举措; 是建设资源节约型、环境友好型社会的必然选择。

南方电网公司作为能源资源优化配置的平台, 是关系国家能源安全和国民经济发展的国有重要骨干企业, 也是对上下游企业节能减排起着一定引导作用的特殊企业, 在节能减排工作中有着义不容辞的责任。优化、完善电网结构, 提高电网输电能力和利用效率, 降低输配电损耗。到2010年全网综合

线损率达到6.30%, 比2005年降低1.08个百分点。据统计, 南方电网2007年综合线损率6.90%, 比上年下降了0.18个百分点, 节约电量近9亿kWh。由此可见, 在电网运行中争取节能降耗既是可行的, 又是高效率的。作为供电企业, 贯彻落实科学发展、节约发展的工作思路, 扎实做好节能降耗工作, 是义不容辞的社会责任。当前, 加强线损管理, 落实降损措施, 已经成为供电企业经营管理的重要内容之一^[1-3]。

针对配电网进行节能降耗潜力评估, 是实现配电网节能降耗规划和技术改造的理论基础和工程依据, 本文提出了配电网节能降耗潜力评估的思路和方法, 供同行参考。

1 长安配网现状概述

长安镇地处东莞市最南端, 位于“珠三角”的珠江出海口, 与深圳、广州相连。东西横贯约15公里, 南北地跨约7公里, 面积83.4平方公里。长安镇是改革开放以后迅速崛起的一座现代化乡镇。

自 80 年代起, 经济发展一直持续、快速的增长。2006 年, 国内生产总值已达 152.2 亿元, 比上一年增长 13.8%。工业的迅猛发展对电网提出了很高的要求。

目前长安镇有 220 kV 变电站 2 座, 110 kV 变电站 6 座。主要指标如表 1 所示。

表 1 供电指标
Tab.1 Power supply indexes

年度	供电量/亿 kWh	最高负荷/万 kW	线损/(%)
2005	41.92	80.1	4.58
2006	47.82	81.8	2.83
2007	51.78	85.9	4.72

截至 2007 年 12 月 31 日, 长安镇现有 10 kV 馈电线路 266 条, 其中空载 36 条, 平均每条线路上接的配变容量为 10 043 kVA。重载线路达 41 条, 占总线路的 15.4%, 满载线路达 7 条, 占总线路的 2.6%, 过载线路达 6 条, 占总线路的 2.2%。10 kV 主干线长度平均值约 3 km, 全为电缆线路, 电缆线路有两种不同截面, 分别为 300 mm² 和 240 mm²。

全镇共有公用配变 528 台, 平均每台容量 524 kVA。其中 11 型配变 210 台, 约占 40%; 7 型配变 102 台, 约占 20%。按 2007 年统计, 公用配变重载 (80% 以上) 配变 69 台, 占总数 13%; 满载 (95% 以上) 配变 27 台, 占总数 5%; 过载 (100% 以上) 配变 66 台, 占 12%。

全镇共有专用配变 5 025 台, 平均每台容量 382 kVA。其中 11 型配变 16 台, 占 3%; 7 型配变 1 514 台, 约占 30%。

总体上, 长安配网存在以下特点:

- (1) 负荷重。
- (2) 专用配变负荷比重大。
- (3) 高损耗配变仍占很大比例。
- (4) 中压配网电缆化率较高, 电缆截面较大。
- (5) 中低压线路的供电半径适中。
- (6) 线损水平相对负荷水平而言适中。

2 配电网网损产生的相关因素

2.1 设备因素

(1) 配网中线路有功损耗

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

式中: R_L 为线路等值电阻; I_L 为线路输电电流; 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。

(2) 配电变压器的有功损耗

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

式中: ΔP_{Cu} 、 ΔP_{Fe} 为配变负载有功损耗和空载有功损耗; 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 分别为配变的短路损耗、空载损耗。

2.2 运行因素

运行状态变化会带来稳态有功损耗计算值以外的额外损耗, 这些因素包括:

- (1) 三相不平衡带来的附加损耗;
- (2) 运行电压不合理造成的附加损耗;
- (3) 负荷分布不均衡导致的附加损耗;
- (4) 负荷波动大导致的附加损耗;
- (5) 设备老化、接触不良引起的附加损耗;
- (6) 谐波造成的附加损耗。

限于篇幅, 这里不再赘述。

3 配网节能降耗潜力评估的内容

全面评估配网节能降耗潜力一般将涉及到以下方面:

- (1) 考虑导线截面更换和中低压无功补偿相结合的节能降耗改造的降损潜力^[4-8];
- (2) 调整运行电压的节能潜力;
- (3) 减小 10 kV 馈线供电半径的节能潜力;
- (4) 更换高能耗配电变压器的节能潜力^[9];
- (5) 减小负荷波动的节能潜力;
- (6) 提高线路功率因数的降损潜力;
- (7) 改变三相不平衡程度的降损潜力;
- (8) 改变低压台区供电半径的降损潜力。

通常我们先选择几条有代表性的配电线路进行计算, 得到以上各方面的节能潜力, 然后再推算全镇配电网的节能空间。

注意到, 尽管有些方法所评估出来的节能潜力较大, 但是在实际工程中受客观因素限制, 并不可能马上实施, 所得到的结论更多是参考价值; 而有些措施则是可以尽快采用并立竿见影的。具体情况要具体分析。

4 评估结果综述

4.1 典型重载线路的节能潜力

表 2 给出了三条典型重载 10 kV 配电线路大方式下有功损耗率的评估结果。

表2 典型线路损耗率对比 (%)

Tab.2 Power loss rates comparison of typical feeders (%)

手段	河西线		沙区线		猫山线	
	实施前	实施后	实施前	实施后	实施前	实施后
改变馈线供电半径	3.92	1.97	3.27	2.05	3.42	1.86
导线更换/无功补偿	3.92	3.12	3.27	2.77	3.42	2.71
更换高能耗配变	3.92	3.66	3.27	2.92	3.42	3.07
改变无功控制策略	3.92	3.51	3.27	3.07	3.42	3.21
改变母线运行电压	3.92	3.68	3.27	3.14	3.42	3.28

从该表我们可以比较直观地看出各种技术手段的节能降耗潜力和成效。改变 10 kV 馈线供电半径的潜力最大,导线更换和高压无功补偿的潜力次之,更换高能耗配变、改变无功补偿控制策略和改变母线运行电压也有不同程度的潜力可控。

这里以长安变电站河西线为例:

(1) 提高线路功率因数的节能潜力

假设规定所有专变用户都要通过无功补偿使得用户低压侧功率因数达到 0.95,在这种较为理想的情况下维持最大潮流的其他参数不变,进行潮流计算,将产生降损效益如表 3 所示。10 kV 系统总损耗降低 11%。

表3 节能降耗潜力计算结果

Tab.3 Results of energy saving potential assessment

比较项目	原始状态	提高功率因数	提高母线电压	更换为节能配变	减小供电半径
总供电有功/kW	6 865.37	6 836.08	6 847.95	6 846.58	6 28.77
总供电无功/kvar	3 781.87	2 714.97	3 741.01	3 678.13	3 550.95
总有功损耗/kW	269.32	240.03	251.90	250.53	132.72
母线运行电压/kV	10.30	10.30	10.68	10.30	383.79
10 kV 系统最低电压/kV	9.81	9.88	10.21	9.82	10.12
年网损费/万元	71.33	64.38	67.71	61.81	38.94
10 kV 线路总有功损耗/kW	186.77	164.23	172.16	183.57	52.09
配变总铜损/kW	59.14	52.10	54.46	61.10	55.80
配变总铁损/kW	23.44	23.70	25.35	5.88	24.83
功率因数	0.88	0.93	0.88	0.88	0.88
10 kV 系统网损率/%	3.92	3.51	3.68	3.66	1.97

(2) 改变 10 kV 馈线供电半径的节能潜力

该线路从变电站以 YJV-240 电缆送出后,主馈线#2 杆接有 H 全球分线,主馈线#2~#29 杆采用了一段 1.45 km 的 LYJ-185 架空导线和一段 0.943 km 的 YJV-300 电缆向后端负荷供电,中间并无负荷,供电半径偏大、负荷偏重。假设随着变电站布点密

度增大,在主馈线#29 杆方圆 1 km 处有新增变电站一座,则设计拆除河西线主馈线#3~#28 杆,#29 杆经由一段 1 km 的 YJV-240 电缆接到新变电站供电。在这种情况下,同样满足现有最大负荷需求,但是可以显著降低 10 kV 系统网损 51% (如表 3 所示),成效最为显著。但是是否能够进行上述改造要视配网改造规划及变电站布点的客观因素限制。

(3) 改变母线运行电压的节能潜力

假设长安站 10 kV 侧采取逆调压方式,在负荷较重时调节电压到 10.68 kV,则重新进行潮流计算可得到调压的节能降耗效益如表 3 所示。10 kV 系统总损耗降低 6.5%。

(4) 更换高能耗配变的节能潜力

河西线现有配电变压器 32 台,全部是专变工业负荷,除了一台 200 kVA 的配变是 S7 型外其他均为 S9 型。今假设将配变全部更换为非晶合金 SH12 型,重新计算潮流,可得到更换变压器的节能降耗效益如表 3 所示,10 kV 系统总损耗可望分别降低 7%。

(5) 实施导线更换和无功补偿优化配置的节能潜力

采用配网节能降耗计算分析软件进行计算可得到对该线路实施导线更换和无功优化补偿节能改造的方案及其效益如表 4~7 所示。

表4 导线更换方案

Tab.4 Line replacing scheme

起始杆	终止杆	原导线型号	新导线型号	长度/km
主馈线#1	主馈线#2	LYJ-185	LYJ-240	0.05
主馈线#2	全球分线#3	LYJ-150	LYJ-240	0.15
全球分线#3	全球分线#5	LYJ-120	LYJ-240	0.10
全球分线#5	全球分线#7	LYJ-120	LYJ-210	0.1

表5 无功优化补偿方案

Tab.5 Optimal reactive power compensation scheme

序号	台区/补偿点	补偿位置	补偿容量	备注
1	主馈线#29	10 kV 杆上	300 kvar	高压固定补偿
2	主馈线#29	10 kV 杆上	3组×350 kvar	高压动态补偿
3	全球分线#8	10 kV 杆上	3组×200 kvar	高压动态补偿

4.2 长安镇配电网节能空间评估

根据上述结果可以看出,配电网的节能降耗需从规划阶段抓起,控制供电半径、适当超前选择导线截面、选择节能变压器,并坚决贯彻执行中国南方电网《电力系统电压质量和无功电力管理办法》(CSG/MS 0308-2005)中关于配变的无功补偿容量达到最大负荷时其高压侧功率因数不低于0.95的规

定, 都是实现配网节能降耗的重要而有效措施。

表 6 节能改造效益

Tab.6 Benefit of energy saving reconstruction

比较项目	改造前	综合改造后
总供电有功/kW	6 865.37	6 808.43
总供电无功/kvar	3 781.87	1 570.72
总有功损耗/kW	269.32	212.38
母线运行电压/kV	10.30	10.68
10 kV 系统最低电压/kV	9.81	10.36
新增容量/kvar	—	1 950
年网损费/万元	71.33	58.39
投资回收期/年	—	6.81
总投资/万元	—	88.22
新增无功补偿投资/万元	—	77.20
导线改造投资/万元	—	11.02
10 kV 线路总有功损耗/kW	186.77	133.28
配变总铜损/kW	59.14	53.17
配变总铁损/kW	23.44	25.95
功率因数	0.88	0.97
10 kV 系统网损率/(%)	3.92	3.12

表 7 节能降耗措施的效益评价

Tab.7 Benefit evaluation of energy saving measures

手段	原网	实施后	年省损	年省损	效果	可操
	损率	网损率	耗电量	耗电费		
	/%	/%	/kWh	/万元	评价	作性
导线更换和 无功补偿	3.92	3.12	215 667	12.94	***	****
改变无功补 偿控制策略	3.92	3.51	115 901	6.95	**	**
改变 10 kV 供电半径	3.92	1.97	539 763	32.39	****	***
改变母线运 行电压	3.92	3.68	60 287	3.62	*	***
更换高能耗 配变	3.92	3.66	158 645	9.52	**	*

从长安的负荷密度已经超过 10 MW/km², 可知长安属于 B 类供电区, 根据中国南方电网城市配电网技术导则, B 类供电区的中压供电半径宜小于 2.5 km, 低压供电半径宜小于 250 m, 而目前长安配电网实际供电半径与该导则要求还存在较大的差距。今年 7 月份, 长安变电站 34 条馈线的最大负荷电流平均值已经达到 315 A, 不少线路存在过载或接近满载的情况, 可见长安镇增加变电站的迫切性较强。增加电源布点后一方面有助于降低馈线平均负荷水平, 另一方面有助于降低供电半径, 对实现节能降耗的成效非常明显, 这方面的节能降耗潜力也是最大的。当然受客观条件的限制, 这方面的实施难度还比较大。改变 10 kV 供电半径对于涉及到的线路

的降损潜力一般在 40%~50%左右。

由于负荷发展快, 部分线路的截面已经不满足节能降耗的要求, 对这些导线进行更换也是一项有意义的工作, 建议结合配网改造的需要, 制订出导线更换的计划。结合无功补偿的加强, 这方面的降损潜力一般在 15%~20%左右。

由于长安镇专变用户约占全镇配变 90%, 尽管更换成节能变压器对用户的经济性也有很大贡献, 但是受观念的局限, 实施并不容易。当然这方面的宣传工作仍要加强, 毕竟, 更换高能耗配变的降损潜力一般在 10%左右。

从运行的角度来看, 需要适当提高用户的运行功率因数标准到 0.95 左右并防止无功倒送; 加强变电站 10 kV 母线运行电压的管理, 也是比较有效的手段。前者的降损潜力一般在 7%左右, 后者的降损潜力一般在 4%左右。

5 结论

通过上述各种节能降耗手段的实施, 预计长安配电网的降损空间最理想情况下应该有 30%以上。考虑可操作性后, 降损 10%的目标应该是可望实现的。以 2007 年长安线损率 4.72%、线损电量 2.44 亿 kWh 计算, 加强节能降耗改造、建设和调度工作后, 每年节约 2400 万 kWh 的效益是可以预期的。

参考文献

[1] 钟和, 丁剑. 南方电网节能降耗系统工程全面启动[J]. 广西电业, 2007, (18): 15-16.
ZHONG He, DING Jian. Start Overall to Systems Engineering of Energy-Saving and Consumption-Reducing of Southern Power Grid[J]. Guangxi Electric Power, 2007, (18): 15-16.

[2] 雷铭. 电力网降损节能手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

[3] 何志强, 袁文根, 张勇军. 城市配电网节能改造工作的思考[J]. 大众用电, 2008, (9): 18-19.
HE Zhi-qiang, YUAN Wen-gen, ZHANG Yong-jun. Thinking on Work of Energy-Saving Rebuilding of Urban Distribution[J]. Popular Utilization of Electricity, 2008, (9): 18-19.

[4] 张勇军, 任震, 廖美英, 等. 10kV 长线路杆上无功优化补偿[J]. 中国电力, 2000, 33(9): 50-52.
ZHANG Yong-jun, REN Zhen, LIAO Mei-ying, et al. Optimal Reactive Compensation on Tower of 10kV Long Distribution Feeder[J]. Electric Power, 2000, 33(9): 50-52.

(下转第 104 页 continued on page 104)

[3] 顾冠群,吴国新,余勇明,等. 异构网络 MMS 通信系统[J]. 计算机研究与发展, 1995, 32(3): 1-7.
GU Guan-qun, WU Guo-xin, SHE Yong-ming, et al. MMS Communication System in Heterogeneous Network[J]. Journal of Computer Research and Development, 1995,32(3):1-7.

[4] 章坚民, 朱炳铿, 赵舫, 等. 基于 IEC61850 的变电站子站系统建模与实现[J]. 电力系统自动化, 2004,28(21): 43-48.
ZHANG Jian-min, ZHU Bing-quan, ZHAO Fang, et al. Modeling and Implementation of the Subsystem in Substations Based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(21): 43-48.

[5] 吴在军, 胡敏强. 基于 IEC61850 标准的变电站自动化系统研究[J]. 电网技术, 2003,27(10):62-65.
WU Zai-jun, HU Min-qiang. Research on Substation Automation System Based on IEC61850[J]. Power System Technology, 2003,27(10):62-65.

[6] ISO/IEC 8824-1:1998/Amd2 :2000 ASN.1 Semantic Model [S].

[7] RFC 1006 ISO Transport Services on Top of TCP: Version3[S].

[8] 何轩, 夏应清, 李祥. 基于以太网的嵌入式 Web 服务器

的设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(12): 142-145.
HE Xuan, XIA Ying-qing, LI Xiang. Design and Implementations of Embedded Web Server Based on Ethernet[J]. Microelectronics & Computer, 2005,22(12): 142-145

[9] 顾宁, 刘家茂, 柴晓路. Web Service 原理与研发实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
GU Ning, LIU Jia-mao, CHAI Xiao-lu. Theory and Development Practice of Web Service [M]. Beijing: China Machine Press, 2006.

收稿日期: 2008-08-19; 修回日期: 2008-10-14

作者简介:

李友军(1975-), 男, 工程师, 主要从事电力系统自动化的研究开发工作; E-mail:nari_liyj@163.com

徐广辉(1976-), 男, 工程师, 主要研究方向为微机继电保护、数字化变电站技术、IEC61850 及其支撑协议;

王文龙(1973-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为变电站自动化系统、数字化变电站技术、IEC61850 及其支撑协议。

(上接第 96 页 continued from page 96)

[9] 朱韬析, 毛海鹏, 欧开健. 天广直流输电系统直流零电流保护动作原因分析[J]. 南方电网技术录用.
ZHU Tao-xi, MAO Hai-peng, OU Kai-jian. Analysis of Action of DC Zero Current Protection in Tian-Guang HVDC Transmission Project[J]. Southern Power System Technology Research (to be Published).

[10] 朱韬析, 欧开健. 逆变侧送极控主系统直流电压测量结果影响分析(一) 逆变侧送极控主系统直流电压测量值异常对直流输电系统的影响[J]. 南方电网技术, 2008,2(2):54-57.
ZHU Tao-xi, OU Kai-jian. Analysis of the Influence on HVDC Transmission System of DC Voltage Measurements of Master Pole Control System at the

Inverter Side: Influence on HVDC Transmission System of Abnormal DC Voltage Measurements of Master Pole Control System at the Inverter Side[J]. Southern Power System Technology Research, 2008,2(2):54-57.

收稿日期: 2008-08-29; 修回日期: 2008-12-18

作者简介:

朱韬析(1980-), 男, 硕士, 工程师, 目前从事直流输电运行维护工作. E-mail: taoxi_zhu@hotmail.com

李娟(1979-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护;

王超(1981-), 男, 博士, 从事电力系统可靠性, 电网安全运行, 特高压输电等方面的研究。

(上接第 100 页 continued from page 100)

[5] ZHANG Yong-jun, CHEN Chao, LIAO Ming-chuan. Study on LV and MV Integrated Reactive Power Optimization in Distribution Networks[A]. in: 2008 China International Conference on Electricity Distribution, CIGRE[C]. Guangzhou(China):2008.

[6] 赖斯, 张勇军, 廖民传, 等. 文昌配电网节能降耗综合治理方案研究[J]. 南方电网技术, 2008, 2(3): 42-45.
LAI Si, ZHANG Yong-jun, LIAO Min-chuan, et al. Study on Energy Saving Project for Wenchang Distribution Network[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(3): 42-45.

[7] 丁晓群, 王宽, 王斌. 主馈线和分支线路相结合的配电网无功补偿[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(4): 11-14.
DING Xiao-qun, WANG Kuan, WANG Bin. Distribution Network Var Compensation Considering Both Feeder and Branches[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006,

26(4): 11-14.

[8] 袁智强. 降低网损的无功补偿方案研究[J]. 供用电, 2008, 25(3): 73-77.
YUAN Zhi-qiang. Study on the Scheme of Reactive Power Compensation with Loss Reduced[J]. Distribution & Utilization, 2008, 25(3): 73-77.

[9] 李顺宗, 李立, 祁渭辉. 配电变压器的节能开发与节能改造[J]. 供用电, 2008, 25(1): 65-66, 73.
LI Shun-zong, LI Li, QI Wei-hui. Energy-Saving Development and Transformation of Distribution Transformers[J]. Distribution & Utilization, 2008, 25(1): 65-66, 73.

收稿日期: 2009-04-10; 修回日期: 2009-04-23

作者简介:

李鹏(1976-), 男, 工程师, 主要从事配网规划与管理的工作. E-mail:zhangjun@scut.edu.cn