

[线损]

# 永强供电公司400 V系统低压线损分析及改进措施

文/温州市龙湾永强供电公司 朱丽丹 朱达生 陈 衡

低压线损是供电企业的一项重要经济技术指标，它反映供电企业管理水平的优劣，对于企业的经济效益有着直接的影响。故此，对其加强管理显得尤为重要，本文主要对低压线损管理中出现的问题及影响因素进行分析，提出了解决对策，希望能够为低压线损的管理工作带来效益及促进。

电能输送至用户的过程中，经由输、变、配电设备产生电能损耗称为线损电量，通常分为负载损耗（铜损）和空载损耗（铁损、电晕损耗、仪表及保护装置损耗等）。从二次变电所到配电变压器再到负荷端这部分的电能损失大约占总系统发电量的13%~15%左右，线损不仅仅是能源的浪费，更会导致线路发热，引起绝缘老化从而引发配电系统事故等，节能降损已成电力企业的一个重要任务。

低压线损率（线损电量占总电量的百分率）做为电力企业的一项重要综合性的技术经济指标，它不仅表明生产技术水平的高低，还反映了企业综合管理水平的好坏及电网规划设计的合理性。因此，加强线损管理是电力企业的一项重要工作。

## 永强供电辖区低压线损现状

永强供电公司目前共有10 KV配电线路120多条，分别从110 KV衙城变、烟台变、上璜变、八甲变、海滨变、龙新变、南洋变等八个变电所引出。辖区内共有综合变压器800多台，总容量约32 MkV·A，其总供电量约4 200 MkW·h，总用电量约有4 100 MkW·h。永强供电公司供电范围含永中街道、永兴街道、海滨街道、天河、沙城经开区等地，分别由六个供电所实行一体化管理。

海滨街道位于瓯江口南岸，该供电所目前有综合变压器108台，总容量3 2120 kV·A，其中100 kV·A有5台，160 kV·A有7台，200 kV·A有21台，250 kV·A有43台，315 kV·A有6台，400 kV·A有21台，1 000 kV·A有4台，1 260 kV·A有1台；沙城镇位于龙湾区东南部。沙城所有综合变压器145台，总容量48 590 kV·A，其中160 kV·A有1台，200 kV·A有21台，250 kV·A有47台，315 kV·A有22台，400 kV·A有41台，500 kV·A有6台，630 kV·A有5台，1 000 kV·A有1台，2 000 kV·A有1台。天河所有综合变144台，总容量44 110 kV·A。永昌所有综合变118台，总容量40 415 kV·A，永兴所有综合变155台，总容量54 880 kV·A，永中供电所有变压器157台，总容量105 380 kV·A。

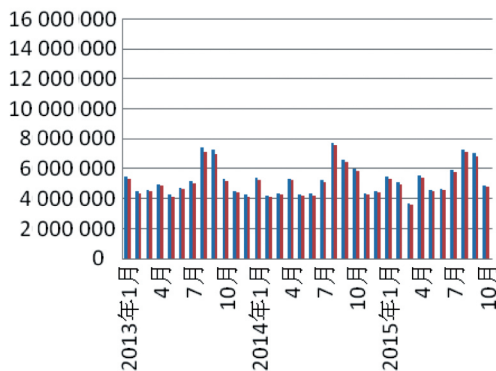


图1

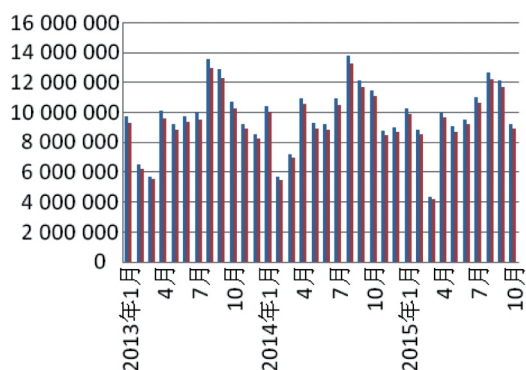


图2

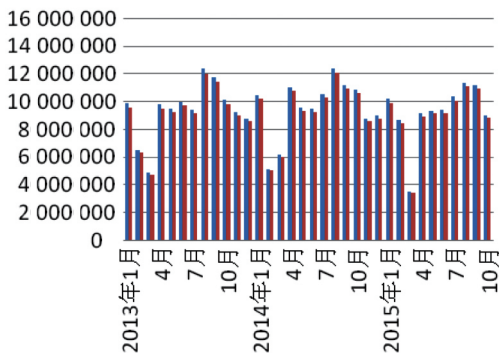


图3

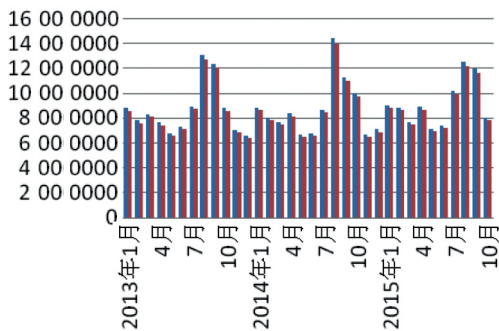


图4

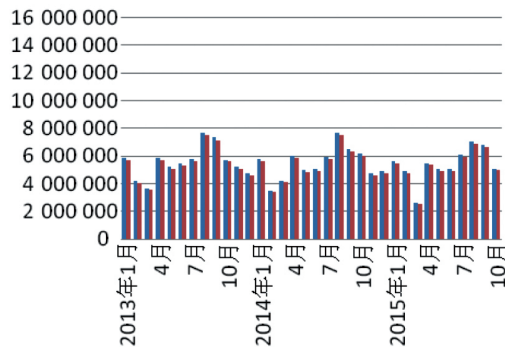


图5

图1~6为各所农网公变总售电量及供电量的情况,沙城所供电量相对较大,且波动幅度也较大,海滨相对波动浮动较小较平稳,总体来看每

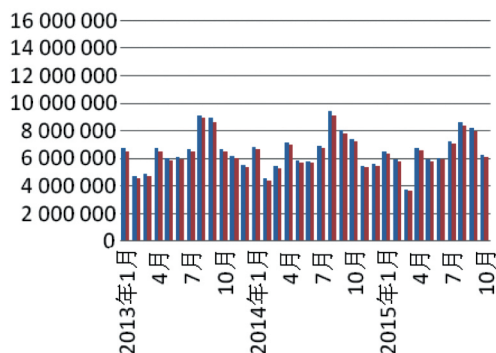


图6

年的夏季为用电高峰,其中永中所季节性变化用电尤其明显。

台变线损率采用传统的计算方法(线损率=(供电量-售电量)/供电量×100%),图7为近三年各所低压线损变化率折线图,其中沙城所线损相对较高,线损率由原先波动率较大到现在的区域平缓,海滨所及永昌所线损波动相对较大,线损波动大的时间大概在每年的2月、3月及7月、8月。2、3月通常为年末,大批的外来务工人员回户籍地,用电减少,而每年的7、8月夏季温度较高,各种制冷设备消耗大量电能。

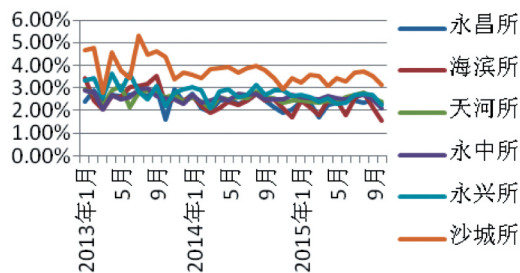


图7 各供电所2013年~2015年线损曲线图

## 影响供区低压线损的因素

影响供电所低压线损指标的因素有很多,首先就是地理位置的不同,不同的地理位置对供电的方式以及配电变压器的选址,供电的半径等都会造成影响,对低压线损的指标高低也有着直接的影响,即使是加强对线损的管理在低压线损方面也很难达到预期的效果此外,由于经济条件的影响,发展的不平衡,一些供电的设备得不到及时的更换,这样就会造成线损的程度加重,在管理上也是心有余而力不足,再者就是对低压线损分析得还不够细致工作没有得到深化,在低压线损的管理方面比较薄弱,工作的开展不平衡,对于线损的考核也只是流于形式,这些因素都是造成线损管理困难的重要原因。

1. 变压器空载多、负载低、空载损失大

永昌片区由于空地较多，这几年房地产大片开发，但是部分小区入住率低，而配变容量高，导致了“大马拉小车”的现象，使空载损耗加大，以某拆迁房为例（如表1），由于该安置房地段、交通、管理等各方面的关系，住户入住率较低，其中一台2 000 kV·A 的变压器线损从2014年8月投入使用，经过整整一年时间，还未达到公司规定的线损率。

表1 永昌所某安置房2014年~2015线损统计表

| 时间       | 供电量    | 用电量    | 照明     | 三相  | 线损     | 无功    | 功率因数 |
|----------|--------|--------|--------|-----|--------|-------|------|
| 2014年8月  | 2 880  | 911    | 911    |     | 68.37% | 2 880 | 0.71 |
| 2014年9月  | 2 040  | 963    | 963    |     | 52.79% | 1 890 | 0.73 |
| 2014年10月 | 2 340  | 1 144  | 1 144  |     | 51.11% | 2 640 | 0.66 |
| 2014年11月 | 1 860  | 846    | 801    | 45  | 54.52% | 2 340 | 0.62 |
| 2014年12月 | 2 970  | 1 777  | 1 604  | 173 | 40.17% | 2 250 | 0.8  |
| 2015年1月  | 4 770  | 2 996  | 2 844  | 152 | 37.19% | 1 710 | 0.94 |
| 2015年2月  | 4 980  | 3 861  | 3 828  | 33  | 22.47% | 2 490 | 0.89 |
| 2015年3月  | 6 840  | 5 694  | 5 660  | 34  | 16.75% | 2 610 | 0.93 |
| 2015年4月  | 6 600  | 5 387  | 5 356  | 31  | 18.38% | 2 910 | 0.92 |
| 2015年5月  | 4 920  | 3 802  | 3 786  | 16  | 22.72% | 2 400 | 0.9  |
| 2015年6月  | 4 770  | 3 647  | 3 631  | 16  | 23.54% | 2 490 | 0.89 |
| 2015年7月  | 7 050  | 5 889  | 5 873  | 16  | 16.47% | 2 250 | 0.95 |
| 2015年8月  | 11 220 | 10 037 | 10 022 | 15  | 10.54% | 1 680 | 0.99 |
| 2015年9月  | 11 460 | 10 221 | 10 203 | 18  | 10.81% | 1 830 | 0.99 |
| 2015年10月 | 7 080  | 5 905  | 5 886  | 19  | 16.60% | 2 580 | 0.94 |

2. 配网负荷率低、三相不平衡

由于永强地形较复杂，部分地区配网路线布局较杂且线路多，供电半径达不到《农村低压电力技术规程》DL/T4-2001 推荐的0.4 kV线路的优化供电半径，配电台区的布点存在一定问题，多数配电变压器设置在村头，供电半径过大，且负荷点比较分散等情况，在认识到我们线路上存在的问题后，目前我们公司正在开展试点线路整改，合理分布各负荷点。

在低压三相四线制的农网供电系统中，农村低压线路仍多为三相四线制，由于用户多为单相负荷，负荷分布不均衡及且大功率单相负荷用电的不同时性，使得三相负荷不平衡，而导致线路、变压器上增加损耗。

表2 0.4 kV线路的优化供电半径表

| 受电设备容量密度 / (kW/km) |    | <200    | 200~400 | 400~1 000 | >1 000 |
|--------------------|----|---------|---------|-----------|--------|
| 供电半径 /km           | 平地 | 0.7~1.0 | <0.7    | <0.5      | <0.4   |
|                    | 山地 | 0.8~1.5 | <0.7    | <0.5      |        |

3. 设备陈旧、超负荷导致技术线损增加

由于线路架设时间长，线径比较细，截面比较小，但是负荷在不断增加，导致线路中有功损耗增大，增加了线损。一些输电的导线以及部分在用的旧型变压器比较陈旧，永强这边小工业聚集，一些厂规模不大，在经济效益未知或不佳的情况下，更倾向于使用S7及S9型等老型的变压器，可以超负荷运行，而且价格相对便宜，这就导致一些企业主违规操作，甚至一些企业主采取强油循环冷却的方式，以增加变压器的可承受负荷，以630kVA变压器为例，其负载系数与损耗如表3所示[2]，而在系统中有许多S9，设备损耗大，S12、S13型、非晶合金变压器用的比较少，使得技术线损比较大。

表3 SC-630/10变压器运行损耗表

| 负载系数 (%) | 负载损耗 /W | 总损耗 /W | 负载系数 (%) | 负载损耗 /W | 总损耗 /W |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| 0.1      | 69      | 3 378  | 0.7      | 3 386   | 10 012 |
| 0.2      | 276     | 3 793  | 0.8      | 4 422   | 12 085 |
| 0.3      | 622     | 4 484  | 0.9      | 5 597   | 14 434 |
| 0.4      | 1 106   | 5 451  | 1        | 6 910   | 17 060 |
| 0.5      | 1 728   | 6 695  | 1.1      | 8 361   | 19 962 |
| 0.6      | 2 488   | 8 215  | 1.2      | 9 950   | 23 142 |

4. 管理不到位导致线损增加

以2015年10月份钟桥村6号315 kva公变为例，其供电量为58 969 kW，而售电量为30 850 kW，其中照明10 023 kW，三相20 827 kW，无功14 418 kW，线损47.68% kW，功率因数为0.97，如此高的线损那不是说大部分的电被浪费掉了，带着疑问，查询了此台变压器的情况，经查，发现6号公变附近有一台2号315 kV·A公变，其供电量为34 800，用电量反而为60 252，而公布线损为-73.14%。众所周知，供电量永远大于售电量，因此线损率应为正值，原来是农网改造后，6号公变与2号公变采用了“分流”的方法，实际上2号公变上的售电量有部分是

应计入6号公变的，而由于“分流”导致2号公变上的表计将此部分售电量归为2号公变。当然公布的台区线损数据中还有很多出线负值，不单单是这个原因导致，那么这个统计出来的数据对台区线损分析就没有价值了，因此我们必须深入原因分析，从抄表错误、表计接线错误、表计故障或者是表计容量偏大等等原因入手，并及时纠正上报数据，以减少管理上的缺失和不到位造成的线损异常。

低压线损问题的解决策略探究

针对辖区出现的影响低压线损的各个因素的分析，不仅要技术线损方面分析解决问题还要严抓管理线损，引进线损智能化管理的理念完善智能电网，采用自动化、数字化、智能化来减少人工误差。

1. 技术问题的解决策略探究

低压电网规划布局合理，结构优化是降低低压线损的基础，合理调整供电半径，实现无功功率的就地平衡和三相负荷的平衡，也是减少线路和变压器的负荷损耗，提高电网安全、可靠和经济运行水平的重要途径。

2. 优化低压线路截面和电网布局

在选择主干线导线截面时，应按照最大工作电流进行考虑，一般选择70 mm<sup>2</sup>，分支线选择50 mm<sup>2</sup>，为避免偷窃电和安全供电以及裸导线与树木接触，在有条件的村庄，可采取电缆下地或集束导线作为低压主干线、分支线供电线路。低压接户线应使用绝缘导线，铝芯绝缘导线截面不应小于25 mm<sup>2</sup>，低压进户线每户不小于4 mm<sup>2</sup>铜芯绝缘导线进行配置。

鉴于永强地区地形复杂，多数400 V 供电半径达不到规程的要求，且有迂回供电的现象，在农村配电台区的布点上也存在很多问题，多数配电变压器设置在村头，导致低压供电半径过大，在低压电网改造时，需向村内延伸10 kV线路，缩短0.4 kV供电半径，将配电变压器设置在负荷中心，优化低压电网布局。目前这项工作，我公司正在进行农网线路部分区域试点工作。

3. 优化变压器的选型和容量

首先对于一些规模比较大的大型小区，在变压器选型时，应该坚持着“小容量，密布点”的原则，其负载率大约在0.5~0.6之间，要选择合适的变压器容量及台数，容量及台数过多，不仅浪

费，还不便于管理，过少将造成超负荷运载，供电安全性和可靠性得不到保证。其次变压器本身的损耗占有很大的比重，由表4可知，S11型比S9型空载损耗降低5~10%。因此，加快淘汰高能耗变压器，采用新型节能变压器，如非晶合金变压器、调容变压器达到变压器选型上的优化。在选择变压器容量时，对用电村的各类用电负荷性质、用电季节性、近期用电负荷增长等，进行综合考虑，最小应满足最大负荷的要求，并留有一定的裕度，符合《农村低压电力技术规程》的要求。

表4 变压器各型号损耗参数对比表

| 功率因素     | 0.95 | 0.90 | 0.85 | 0.80 | 0.75 | 0.70 | 0.65 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 功率损耗+Δp% | 11   | 23   | 38   | 56   | 78   | 104  | 136  |

4. 优化无功补偿、提高功率因素

由于农村用电负荷中存在部分感性负载，需要输送一定的无功功率，致使在传输一定有功功率的情况下，流过线路的电流增大，从而产生有功电量损失，线损增大。解决这一损失的主要措施是在低压电网中采用就地电容补偿。利用控制器不停地检测电网的电压和无功功率，并发出投入和切除电容器组的信号，使无功补偿装置保持自动运行状态，充分发挥补偿作用，此外在距离低压线路首端2/3~3/4处安装无功补偿装置，能够提高用户端电压8~20V，提高电压质量、保证村民的电气设备运行。

表5 功率因素下降与损耗增加的对比关系表

| 非晶合金铁芯变压器      |         |         | S11型变压器 |         | S9型变压器  |         | S7型变压器  |         |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 变压器容量 / (kV·A) | 空载损耗 /W | 负载损耗 /W | 空载损耗 /W | 负载损耗 /W | 空载损耗 /W | 负载损耗 /W | 空载损耗 /W | 负载损耗 /W |
| 100            | 75      | 1 500   | 200     | 1 500   | 290     | 1 500   | 302     | 1 925   |
| 315            | 170     | 3 650   | 480     | 3 650   | 670     | 3 650   | 766     | 4 795   |
| 500            | 240     | 5 150   | 680     | 5 150   | 960     | 5 150   | 1 030   | 6 688   |
| 800            | 380     | 7 500   | 980     | 7 500   | 1 400   | 7 500   | 1 476   | 9 680   |
| 1 000          | 450     | 10 300  | 1 150   | 10 300  | 1 700   | 10 300  | 1 777   | 11 530  |

(下转第55页)

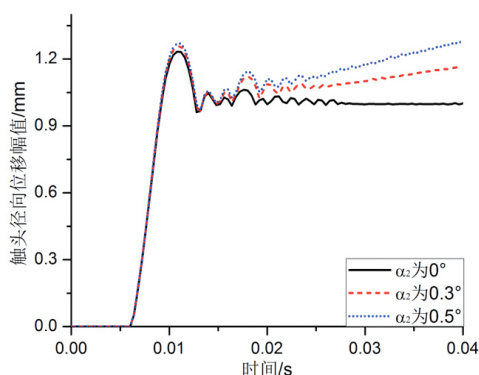


图8 动弧触头后部的锥度 $\alpha_2$ 对弹跳情况的影响

和第二次弹跳幅值的影响不大，但对后续的弹跳幅值影响较大，随触头的曲率半径 $R_1$ 的增大，后续弹

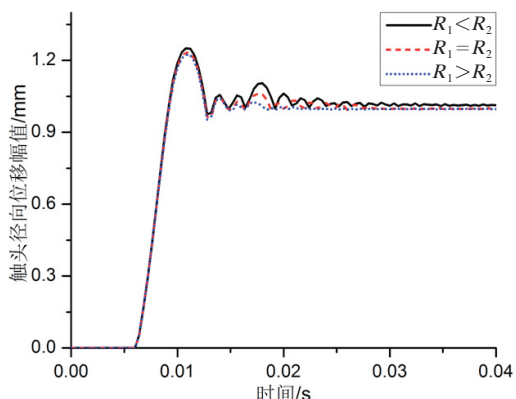


图9 触头曲率半径 $R_1$ 对弹跳情况的影响

跳的幅值逐渐减小。

从计算结果来看，动弧触头端部倾角、后部的锥度、过渡面圆角半径以及触头曲率半径都对合闸过程中触头的弹跳情况有一定的影响。随动弧触头端部倾角、过渡面倒角半径变化，弹跳幅值的变化趋势也发生变化，因此在设计中应根据具体尺寸进行相应分析以确定最优设计。随动弧触头后部圆柱的锥度增加，弹跳幅值略有增加，因此在动弧触头的设计中应避免后部锥度的存在。随触头曲率半径增加，弹跳幅值略有降低，因此在设计中应尽量取较大的触头曲率半径。

## 总结

本文建立了某型断路器弧触头的有限元模型，基于静力学方法分析了动静触头间的接触状态，基于显式动力学方法分析了触头的几何参数对合闸过程中弹跳的影响。从分析结果看，触头的曲率半径对动静触头的接触影响较大，并且对合闸过程中的弹跳也有一定的影响，综合来看曲率半径与动弧触头的半径相等时较为合适。动弧触头的前端倾角与过渡段的倒角需要根据实际情况分析，同时应避免动弧触头后端的锥度存在。EA

(收稿日期：2016.09.27)

(编辑：白文亭)

(上接第47页)

## 5. 管理问题的解决策略探究

想要有效解决以上的相关问题，就要从实际情况出发，暴露真实的线损从而制定出切实可行的指标，如此才能够真正地降低线损。

针对农村低压线损管理面临的问题和现状，做好农村低压线损管理应从以下三方面抓管理、抓落实。

1) 加强线损管理。就是建立组织机构，以指标管理为核心，以统计分析为手段，以线损波动的分析与控制为关键点，建立健全线损管理制度，加大营业普查力度和查处窃电行为，达到降低管理线损目的。

2) 加快线损管理技术的应用。做好低压电网

建设、改造规划，通过低压电网的合理规划、优化低压电网结构、淘汰高耗能设备、调整低压供电半径、调整用电负荷平衡度，提高低压电网的运行水平。加强营销管理、电能计量表计管理，积极推广使用降损新技术、新设备。通过低压线损理论计算，发现电网中的薄弱环节，为科学的下达线损指标提供依据。

3) 使线损管理工作更有保障。通过强化人力资源的培训，提高线损管理人员的素质，从制度上完善监督制约机制与激励机制，为做好低压线损管理工作奠定良好的基础。EA

(收稿日期：2016.10.17)

(编辑：白文亭)