Electrical Engineering and Automation
December 2016, Volume 5, Issue 2, PP. 36-41

Analysis on Distribution Grid Flow Calculation of Agricultural Areas Based on N-R Method

Xiaoyan Liang [1], Zhigang Xin [1], Yanqi Yin [1], Hongsheng Su [2#]

1. Huanghua Supply Company, Qinghai Power Company, State Grid, Jianzha 811200, China

2. School of Automation and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

#Email: shsen@163.com

Abstract

Aiming at the weak power supply capabilities and low voltage phenomenon occurs during peak loads in agriculture areas in Huanghua Qinhai, based on Newton-Ralph method, this paper implements modeling and simulation on typical 10kV lines and 0.4 kV lines applying MATLAB/Simulink. Simulation calculation results show that low-voltage area should be in 0.4 kV user circuits and could not occur in 10kV grids and the above. Further, through random simulation and trial on user loads and constructing corresponding simulation model, the reasons on low-voltage occurring are found and feasible control schemes are then proposed.

Keywords: Huanghua Power Grid, Flow Analysis, Low Voltage, Control

基于 N-R 法的农村配电网潮流计算分析

梁晓艳 [1]，辛志刚 [1]，尹延麒 [1]，苏宏升 [2]

1. 国网青海省电力公司黄化供电公司，青海 尖扎 811200

2. 兰州交通大学自动化与电气工程学院，甘肃 兰州 730070

摘　要：针对青海省黄化地区供电能力薄弱，低电压问题突出的现象，本文通过潮流计算分析，寻找可能的低电压区域，并提出具体的治理措施。基于 N-R 法进行潮流计算，采用 MATLAB/Simulink 分别对典型 10kV 线路和 0.4kV 线路进行建模分析。仿真计算结果表明，10kV 及其上网络未出现低电压现象，因此判定低电压区域在 0.4kV 的配电网络上。通过对典型线路用户负荷的随机模拟和试验，并搭建相应的仿真模型，找出了低电压产生的原因，并提出了可行的治理方案。

关键词：黄化电网；潮流计算；低电压；治理

引言

由于城镇化建设步伐加快和农牧区人民生活水平的提高，农村配电网负荷呈逐年上升趋势，加之受“家电下乡”政策的鼓舞，许多牧民使用荧光灯代替白炽灯，使得部分用户在用电高峰期间低电压问题突出，特别是少数名族用户过斋月等节日时用电量成倍增加导致投诉率增加[1]。对于农村配电网络低电压问题的治理，目前国内研究总结其低电压原因主要有：配电变压器选址不合理，设备老旧，配电线路过长、线径过细以及管理方案落后等[2]。但由于农村配网线路复杂多变，负荷季节性强，管理不当以及相关数据不全等多种问题，使得长期以来对农村配网的低压原因均为定型描述，仅依据现场调研与经验估计，对电压薄弱区域进行低压治理。在选择调压设备与调压方案时，缺少定量的数据分析与计算。国内外在抑制农村配网低电方面，进行了数据分析，在建立线路模型的基础上，系统分析了配网潮流分布，对低电压产生的原因进行了深刻剖析。在调压方式上，大胆采用了多种新型调压设备，如串联电容器、DSTATCOM 等[3]。但由于各地区农村配网结构与负荷情况差异较大，其对农村配网的分析思路值得借鉴，但针对某一具体的农

村配网进行应用的可能性并不高。青海省黄化地区是国内典型的农牧民集中区，其东北部的循化和化隆两县社会发展经济水平较高，人口较多，低电压问题较为突出。而西南部的泽库县、河南蒙古族自治县社会发展水平较低，尽管线路较长，却没有发生低电压投诉问题。黄化配电网属轻载电网，加上国家实行“供给侧”改革，境内高耗能、高污染企业相继关停，实际情况和潮流分析均显示 35kV 及以上电压等级的配网无低电压现象。因此，分析的重点是 10kV 及以下电压等级线路的低电压问题。基于此，本文根据黄化供电公司提供的线路资料和负荷特征，基于牛顿-拉夫逊(N-R)法对黄化电网的典型 10kV 及 0.4kV 电压等级线路进行潮流分析，找出了低电压产生的原因和区域，并提出了相应的治理措施，有效地改进了用户的电压质量质量。

1 N-R 法潮流计算基础

N-R 法是电力系统潮流分析中常用的一种计算方法，具有精度高、收敛速度快等优点，在电力系统稳态分析、状态估计等方面得到了广泛的应用。其修正方程如下[4]：

$$\Delta P_i = P_i - U_i \sum_{j=1}^{j=n} U_j (G_{ij}\cos\delta_{ij} + B_{ij}\sin\delta_{ij}) \tag{1}$$

$$\Delta Q_i = Q_i - U_i \sum_{j=1}^{j=n} U_j (G_{ij}\sin\delta_{ij} - B_{ij}\cos\delta_{ij}) \tag{2}$$

上式中，P_i 和 Q_i 是节点 i 注入到网络中的有功和无功功率，U_i 和 U_j 是节点 i 和 j 的电压幅值，$\delta_{ij}=\delta_i-\delta_j$ 是节点 i 和 j 的电压相位差，G_{ij} 和 B_{ij} 是节点 i 和 j 之间的支路导纳，$\triangle P_i$ 和 $\triangle Q_i$ 是经节点 i 注入到网络的不平衡功率。对于一个具有 n 个节点的网络，设有 1 个平衡节点，m-1 个 PQ 节点，n-m-1 个 PV 节点，则不平衡方程总数为 n-m-2 个。

将式(1)(2) 不平衡方程按泰勒级数展开，并略去二次及高次项后，即可得修正方程

$$\begin{bmatrix}\Delta\mathbf{P}\\ \Delta\mathbf{Q}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\mathbf{H} & \mathbf{N}\\ \mathbf{J} & \mathbf{L}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta\boldsymbol{\delta}\\ \Delta\mathbf{U}/\mathbf{U}\end{bmatrix}. \tag{3}$$

上式中$\triangle \boldsymbol{P}$ 和$\triangle \boldsymbol{Q}$ 是由$\triangle P_i$ 和$\triangle Q_i$ 组成的不平衡列向量，$\triangle \boldsymbol{\delta}$和$\triangle \boldsymbol{U}/\boldsymbol{U}$ 是修正向量，而 $\boldsymbol{H}$, $\boldsymbol{N}$, $\boldsymbol{J}$, $\boldsymbol{L}$ 为系数矩阵，即雅克比矩阵各元素[3]。

N-R 法是潮流计算的步骤为：(1) 根据原始资料形成节点导纳阵；(2) 设定各节点电压初值 $U_i^{(0)}$，$\delta_i^{(0)}$；(3) 将节点初值代入(1)(2)式，求出修正方程式的常数项向量$\triangle P_i^{(0)}$和$\triangle Q_i^{(0)}$；(4) 将节点电压初值代入系数矩阵（雅克比矩阵），求出雅可比矩阵各元素；(5) 求解修正方程，求修正向量$\triangle U_i^{(0)}$，$\triangle\delta_i^{(0)}$；(6) 求取节点电压的新值，即 $U_i^{(1)}= U_i^{(0)}+ \triangle U_i^{(0)}$，$\delta_i^{(1)} =\delta_i^{(0)} +\triangle\delta_i^{(0)}$；(7) 将 $U_i^{(1)}$，$\delta_i^{(1)}$ 代入(1)(2)式求出$\triangle P_i^{(1)}$和$\triangle Q_i^{(1)}$；(8)检查是否收敛，其收敛条件为$|\triangle \boldsymbol{P}^{(K)},\triangle \boldsymbol{Q}^{(K)}|<\varepsilon$, 其中$|\triangle \boldsymbol{P}^{(K)},\triangle \boldsymbol{Q}^{(K)}|$为$\triangle \boldsymbol{P}^{(K)},\triangle \boldsymbol{Q}^{(K)}$向量中最大分量的绝对值，而 K 为迭代次数，ε 为事先给定的精度；(9) 如不收敛，则以各节点电压的新值作为初值自第 3 步重新开始进行狭义次迭代，否则转入下一步；(10) 计算支路功率及平衡节点注入功率。

2 10kV 中压网络潮流分析

黄化配电网 10 kV 线路较多，单化隆县境内就有 2000 多个 10 kV 以上的节点。因此根据黄化电网的低电压特征，拟选取若干条典型下 10 kV 线路进行低压电网分析，寻找产生低电压的原因。对 10 kV 线路进行的潮流分析，是将 35kV 变电站当做电源，0.4kV 线路负荷及台区配变损耗都归算 10 kV 侧进行计算的，这样做旨在判断 10 kV 线路的低电压问题。

2.1 兰一路

兰一路由兰采变电站的二次侧引出，主要供给兰采乡附近的居民用电，是比较典型的低电压线路。兰

一路线路总长 24.8km，供给 17 个台区，包括 12 台公变和 5 台专变，所有配变呈树干状分布于 10kV 主干线上。线路中未加设无功补偿装置，主干线最大面积为 120mm^2，最小截面为 50mm^2，线路型号为 JKGYJ-120/LGJ-50。根据地理分布和调研数据，采用 Simulink 建立线路仿真模型[5]，如图 1 所示。仿真时采用了子系统封装技术，以倒数第二个仿真模块为例，该模块包含了多隆王村、浪岛村、还却乎移动基站和万丈村。兰一路负荷采用最大负荷、中负荷、轻负荷三种负荷情况下的数据进行仿真，中等负荷设置为最大负荷的 0.5 倍，轻负荷设置为最大负荷的 0.3 倍。如图 4 所示，负荷曲线从上到下依次为轻负荷、中等负荷、最大负荷。国网公司对 10kV 三相线路规定波动范围为 9.3kV—10.7kV[6]。

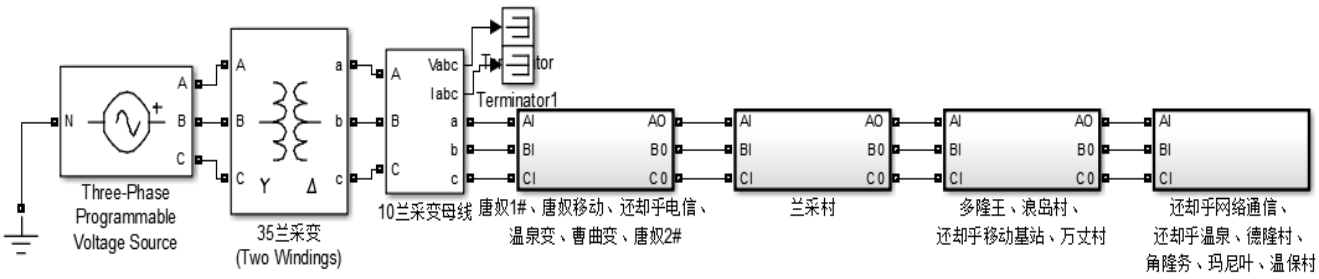


图 1 兰一路仿真模型封装图

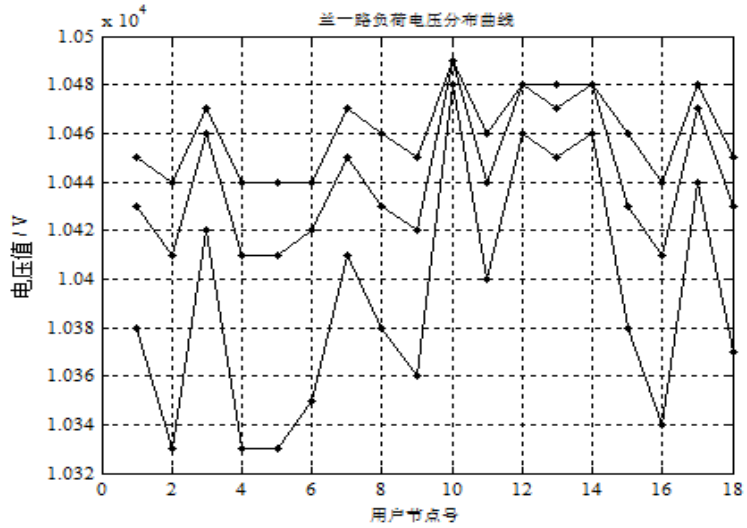


图 2　三种负荷情况的节点电压变化曲线

图 2 显示了各节点电压的变化趋势，17 个 10kV 配变台区，加上 35kV 兰采变节点，总共 18 个节点。三种负荷情况下，电压波动在 10.33—10.49kV 之间，实际电压波动符合规定范围，没有出现低电压现象。

2.2　白五路

白五路位于循化县，由白庄变供电，白庄变电站 35/10kV 变压器型号为：SZ10-2000/35，±5%和 0%共三个分接头。白五路有 10.92km 长，主干线路供电导线截面积 150 mm^2，全线共装接 20 台 10/0.4kV 配电变压器，其中 12 台公用变压器，8 台专用变压器，公变为用户聚居的村落供电，主要为照明负荷；专变专门为指定小型企业供电，主要为动力负荷。白五路台区分布如图 3 所示。

图 3 中，白庄变做为 1 号平衡节点处理。将一次侧分接头调至-5%处。沿线 20 台变台作为 2 号到 21 号 20 个 PQ 节点处理；所有负荷均由 10kV 主干线 T 接到各个供电点，模拟为一条支路上的 21 个节点进行分析，节点号越小，则代表距离白庄变越近，反之亦然。对白五路进行潮流计算，仿真时选取负荷为重负荷情况，结果如图 4 所示。

图 4 可知，各个节点距平衡节点越远，其电压幅值下降越多，原因是随着供电半径的延伸，各节点电压

依次下降。但该线路电压最低点出现在 18 号节点为 10.4kV，最高值出现在 1 号节点为 10.5kV，在标准规定范围之内，故本线路不存在低电压问题。18 号节点较 21 号节点距离电源更近，但电压更低，主要是因为该节点负荷较重，导致 18 号台区变压器绕组压降超过了 18 号台变到 21 号台变之间的线路压降和 21 号台变绕组压降之和所致。

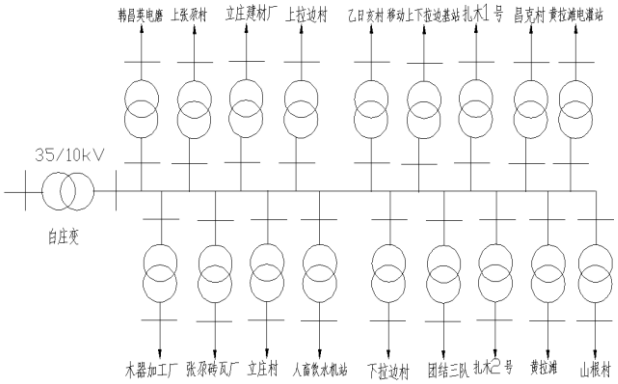


图 3　白五路变台分布图

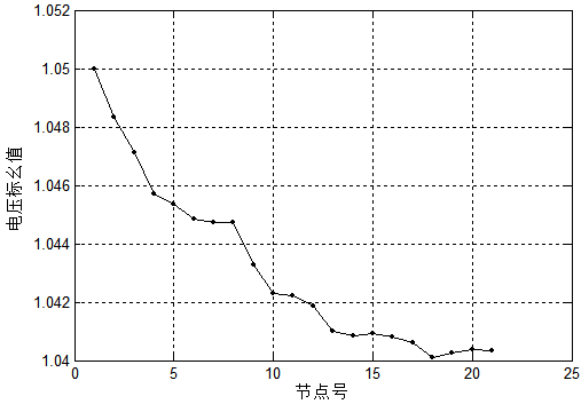


图 4　白五路电压分布曲线

3　0.4kV 低压网络潮流分析

调研显示 2.1 节兰一路的兰采村用户常出现低电压的现象，所以从兰采村 0.4kV 侧开始建模仿真，查找低电压情况。兰采村概况为：总用户数为 25 户，出现低电压户数为 15 户。线路总长 22.586km，0.4kV 最长供电距离为 20.19km，主干线截面积与支线截面均为 25mm^2。低压侧负荷分布情况采用一条干线，将用户分成小集中负荷，距离长短和负荷大小进行随机抽样。经过多次建模和仿真试验，并和实际情况对比，最终确定配变出 1 条主干线，将 25 个用户划分为 12 个小集中负荷的建模方案较为准确。负荷分布示意图如图 5 所示，Simulink 仿真模型如图 6 所示。负荷有功和无功功率与分布距离采用均匀分布抽样。

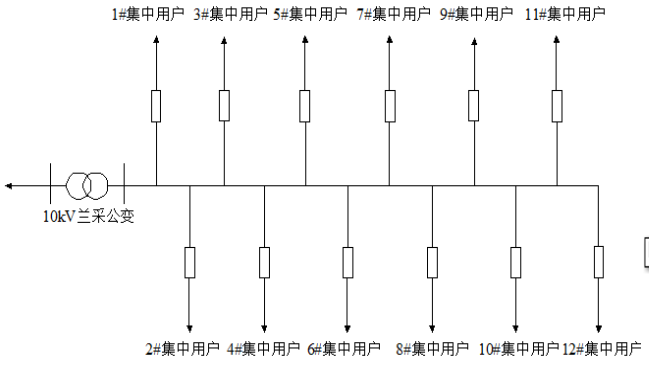


图 5　兰采公变小集中负荷分布示意图

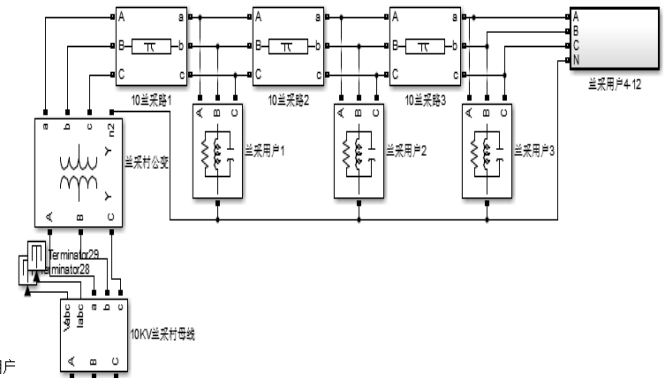


图 6　兰采公变用户侧仿真模型

图 6 显示了兰采村配电线路的仿真模型：有 12 个小集中负荷，前 3 个负荷为建模原型，第 4 个至第 12 个小集中负荷封装在线路末端的模块里，每个用户模型同前三个负荷模型。将均匀分布抽样数据置入图 5 所示兰采村配变仿真模型中，分接头设置为 10/0.4，仿真结果节点电压变化曲线如图 7 所示。

拟采取调压措施有改变配变分接头、加装线路调压器和增大入户线截面积。三种措施调试后各节点电压变化曲线如图 8 所示。对于 10kV 及以下网络供电电压，国网公司规定范围为额定电压 $U_N \pm 7\%$，低压侧三相额定电压为 380V，即变化范围为 406.6V~353.4V。

如图 8 的曲线 1，经过调节一次侧分接头，从 3 个符合电压要求的小集中负荷点，增加至 4 个小负荷节点，所有节点电压均有提高，但线路首端电压值已超过 410V，超出上限。据统计，改变分接头后，有

3.1415 个用户电压调整至规定范围，13.7585 个用户仍处于低电压范围，其电压波动在 352.6V~327.4V 之间。图 8 中曲线 2，将调节一次侧分接头与线路加装调压器结合进行调压，大部分用户电压调整到了允许范围内，线路末端有 3.797 个用户电压偏低，靠近配变出线侧用户电压不偏高，满足波动范围。图 8 中曲线 3，经过增大入户线截面积后，线路末端仅有小部分用户仍处于低电压范围，据计算统计，有 6.348 个用户处于低电压。将三种调压措施进行比较，电压合格率分别如表 1 所示。

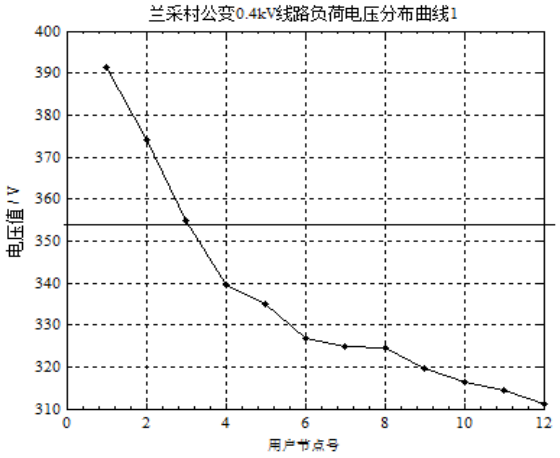


图 7　兰一路兰采村节点电压变化趋势图

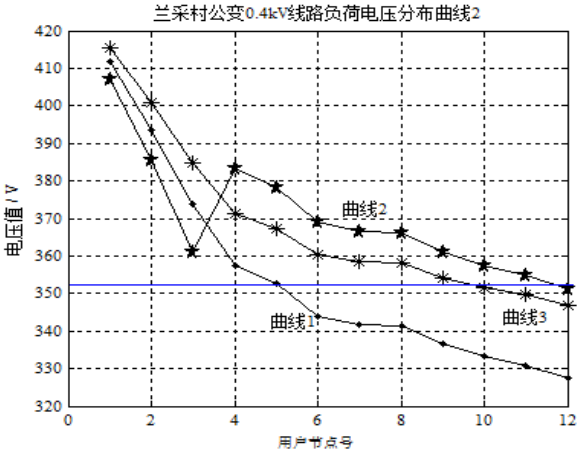


图 8　兰采村采用调压措施后节点电压变化趋势图

图 8 电压合格率比较

序号	采取措施	总用户数	调试后低电压户数	电压合格率
1	不采取任何措施	25	16.9	32.40%
2	调节配变分接头	25	13.7585	44.97%
3	调节配变分接头+线路调压器	25	3.797	84.81%
4	增大入户线截面积	25	6.348	74.61%

由以上分析可知：对于兰采村线路较长，供电半径较大，功率因数在 0.9 左右，加装线路调压器能够使电压合格率从 32.40%提升至 84.81%，具有明显的调压效果。

其它线路的低电压治理，也可按照兰一路兰采村的方法分析，限于篇幅，这里不再赘述。

4　结语

本文通过对黄化电网的运行特征分析，找出了低电压产生的原因和区域，并针对典型线路采用随机模拟方法提出了有效治理措施。低电压治理应根据不同线路、用户分布及负荷大小采用不同的调压措施。10kV 及其以下中低压网络低电压问题突出，负荷分布形态各异，点多面广，不同的线路呈现不同的低电压状况。仿真显示 10kV 线路电压波动符合要求，低电压问题主要集中于 0.4kV 侧，特征是在同一时间内负荷同时增大便出现低电压情况。从改变一次侧分接头、加装线路调压器及增大入户线截面积等措施进行了调压试验及对比分析，加装线路调压器有突出优点，在不超过电压波动上限的情况下，可结合分接头进行调压；增大入户线截面积需考虑到用户端换导线，工作量较大，实施过程中或许会影响用户的正常供电。由于分析计算为基于三相平衡的情况下进行，调压措施实施结果与实际有较小的出入。

REFERENCES

[1] Electrical Power Economy Research Institute, Huanghua Supply Corporation, State Grid Corporation. “The Feasibility Study Report on Huanghua Zone Low voltage Control.” Huanghua: Electrical Power Economy Research Institute, 2014

[2] F. Chen. “Three-Phase Unbalanced Influence on Low Voltage Line Loss.” Agriculture Electrical Technowledge, 2015,(5):36

[3] Q. Dong. Power Quality Technique. Beijing: China Electrical Power Press, 2003.

[4] Yongyuan Yu, Jiwen Yang. Power System Analysis. Beijing, China Electrical Power Press, 2007

[5] Y. Yu, N. Cao. MATLAB/Simulink Modeling & Simulation. China Machine Industry Press, 2011

[6] State Grid Corporation. DL/T5131-2001. Rural Power Grid Construction and Retrofit Technical Guidance. Beijing: China Electrical Power Press, 2001

【作者简介】



[1] 梁晓艳（1987-），女，汉，学士，助理工程师，研究方向为电力系统及其自动化。Email: 363583764@qq.com.

[2] 辛志刚（1970-），男，汉族，高级政工师，研究方向为供电网络及经济性；电力企业管理。Email:xinzg@sina.com。

[3] 尹延麒（1973-），男，汉族，学士，研究方向为电力系统分析。

4 苏宏升（1969-），男，汉族，博士，研究方向为电力系统分析。Email:shsen@163.com。