

基于 DIGSILENT 建模的 10 kV 中压线路供电半径优化研究

刘代刚¹, 王震泉¹, 张文嘉²

(1. 中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司, 江苏 南京 211102;

2. 国网江苏省电力有限公司经济技术研究院, 江苏 南京 210008)

摘要: 从四川省低密度负荷区低电压问题治理现状出发, 以《配电网规划设计技术导则》10 kV 中压线路的相关规范为基础, 采用 DIGSILENT 软件建模、仿真了 10 kV 架空线路不同线径、不同负荷量下的末端电压, 进而推导出不同线径型号在不同负荷结构下的合理供电半径。相关研究成果可以作为现有 10 kV 架空线路供电半径相关标准的细化补充。

关键词: 低密度负荷区; DIGSILENT 建模; 10kV 架空线路; 合理供电半径

中图分类号: TM715 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)06-0013-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.06.004

Research on Optimization Model for Power Supply Radius of 10 kV Medium – voltage Lines Based on DIGSILENT

Liu Daigang¹, Wang Zhenquan¹, Zhang Wenjia²

(1. China Energy Engineering Group Jiangsu Power Design Institute Co., Ltd., Nanjing 211102, Jiangsu, China;

2. State Grid Jiangsu Economic Research Institute, Nanjing 210008, Jiangsu, China)

Abstract: Preceding from the current situation of low voltage problem in low density load area in Sichuan province, and based on the relevant specifications of 10 kV medium – voltage line in "The Guide of Planning and Design of Distribution Network", the modeling and simulation of terminal voltage with different wire diameter and different load capacity of 10 kV overhead lines are carried out with DIGSILENT software, and thus the reasonable power supply radius when hanging different loads is derived. The related research results can be used as a detailed supplement to the existing standards for power supply radius of 10 kV overhead line of State Grid Corporation of China.

Key words: low density load area; DIGSILENT modeling; 10 kV overhead line; reasonable power supply radius

0 引言

10 kV 中压线路承担着配送电能的作用, 是连接 35 kV 变电站和居民用户的纽带。进行 10 kV 线路规划并计算其在不同状况时的供电半径, 可提高配电网工程建设项目的投资效益, 有效解决由于线路选型和供电距离过长等因素导致的居民电能质量问题, 从根本上改善中国配电网使用寿命短、供电不可靠的现状。

10 kV 架空线路供电半径的适宜取值规范尚未统一。文献 [1] 归纳了按经济电流密度、按年最低运行费用等确定供电半径的方法, 但这些方法需要

考虑的因素过于复杂, 且没有考虑区域负荷的实际分布状况。文献 [2] 建立了供电半径未知情况下的电网结构规划模型和单位面积供电区域年费用目标函数, 并以电压允许偏差为约束条件求解最优供电半径, 但由于对模型进行了很大程度的简化导致计算的最终结果存在很大误差。现有国家电网公司标准^[3]从供电区域分类的角度对供电半径进行区分, 针对低密度负荷区——D、E 类供电区域指出“10 kV 线路供电半径应满足电压质量的要求, D 类不宜超过 15 km, E 类供电区域供电半径应根据需要经计算确定”, 其所确定的低密度负荷区供电半径及导线截面标准比较笼统。

下面以 D、E 两个区域作为重点研究对象, 在四

川省中江、松潘等地区进行了实地调研,从负荷分布情况出发,以电压质量作为评估依据,采用 DIGSILENT 搭建了低密度负荷区的单电源辐射状^[4]配电网拓扑模型,并以此为基础进行配电网不同线径型号、不同负荷量的潮流仿真计算,在文献[3]框架内进一步得出低密度负荷区 10 kV 中压线路的细化标准。

1 四川省低密度负荷区 10 kV 线路负荷分布状况调研

按照国家电网公司供电区域划分标准^[3]及要求:四川省内 D 类供电区主要指以农业生产为主的农村地区;E 类供电区主要指四川省内藏区的高原农牧区;同时定义平均负荷密度 $< 1 \text{ MW}/\text{km}^2$ 的地区为低密度负荷区。因此,四川省低密度负荷区应包括 D 类供电区的部分乡镇和全部 E 类供电区。

基于对全川经济、文化、政治等各项指标数据的分析,考虑地区代表性和客户配合程度等客观因素,选定四川省阿坝州某牧区县和德阳某农业县作为四川低密度负荷试点地区,并在上述试点区域进行 10 kV 线路负荷分布状况调研。

调研过程通过咨询相关运维人员并结合实地勘察,明确试点区域供电公司所辖各条 10 kV 出线的负荷分布状况。试点地区牧区县所属供电公司下辖 13 个 35 kV/10 kV 变电站,共 38 回 10 kV 出线;农业县所属供电公司下辖 16 个 35 kV/10 kV 变电站,共 62 回 10 kV 出线。调研结果显示中压线路按 3 段(3 支线)考虑时,试点地区主要存在 4 种典型的负荷分布状况,分别为:①中压负荷均匀分布在 10 kV 主干线的 3 个分段上,每一分段所带负荷占负荷总量的 33.3%;②10 kV 主干线上挂接两条支线,支线所带负荷依次(从靠近变电站一侧开始)占负荷总量的 33.3%、66.6%;③10 kV 主干线上挂接 3 条支线,支线所带负荷依次(从靠近变电站一侧开始)占负荷总量的 10%、20%、70%;④10 kV 主干线上挂接一条支线,负荷全部集中于线路的末端。

试点地区 10 kV 中压线路不同负荷分布方式所占比例情况如表 1 所示。

表 1 试点地区 10 kV 中压线路负荷分布状况调研结果

试点地区	负荷分布方式				
	第①种 1%	第②种 1%	第③种 1%	第④种 1%	其他 1%
牧区县	11	14	13	57	5
农业县	15	18	10	53	4

2 四川省低密度负荷区配电网建模及仿真

2.1 基于 DIGSILENT 的四川省低密度负荷区配电网拓扑模型的搭建

利用 DIGSILENT 依次搭建了代表①、②、③、④四类负荷分布状况的典型单电源辐射状配网拓扑模型如图 1 至图 4 所示。

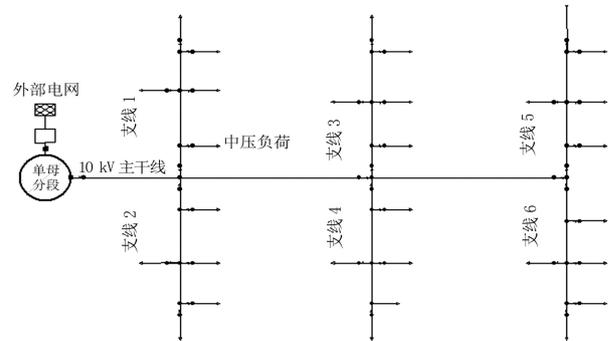


图 1 第①种负荷分布方式

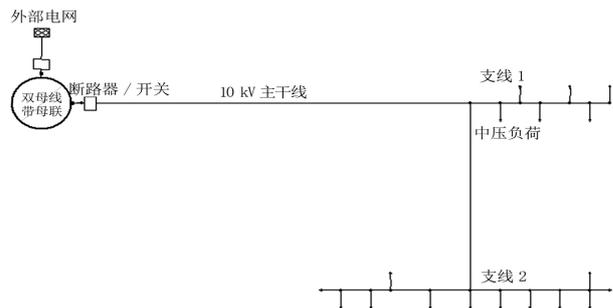


图 2 第②种负荷分布方式

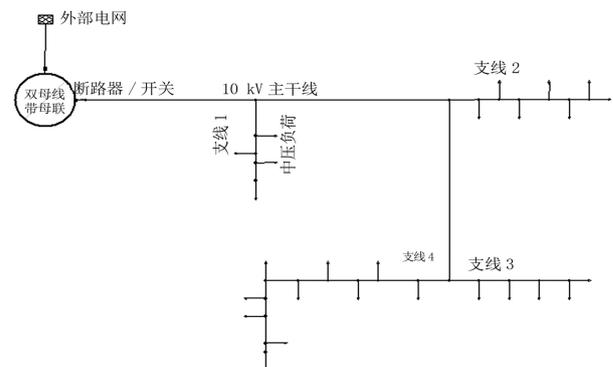


图 3 第③种负荷分布方式

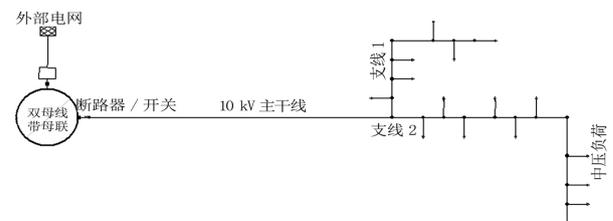


图 4 第④种负荷分布方式

表2 4种典型负荷分布方式在不同供电半径下的线路末端节点电压

第①种		第②种		第③种		第④种	
供电半径/km	末端电压/kV	供电半径/km	末端电压/kV	供电半径/km	末端电压/kV	供电半径/km	末端电压/kV
13.5	9.70	13.7	9.72	14.6	9.72	9.8	9.72
14.5	9.62	14.8	9.66	15.6	9.66	10.4	9.66
15.5	9.58	15.4	9.6	16.6	9.60	11.5	9.60
16.5	9.54	16.7	9.54	17.6	9.54	12.6	9.54
17.5	9.45	17.8	9.48	18.6	9.48	13.4	9.48
18.5	9.40	18.9	9.44	19.6	9.44	14.5	9.44
19.5	9.35	19.5	9.35	20.6	9.35	15.6	9.35
20.5	9.33	20.7	9.33	21.6	9.33	16.7	9.33
21.5	9.33	21.9	9.32	22.6	9.32	17.4	9.32
22.5	9.32	23.9	9.30	23.6	9.30	18.5	9.30
23.5	9.31						
24.2	9.30						

2.2 4种拓扑模型下仿真调整方式的确定

在单电源辐射状典型配电网拓扑模型的基础上,通过调整中压负荷相关参数使其按照4种典型负荷分布状况分布在拓扑结构的各支路和节点处,然后根据架空裸导线的额定载容量和中压线路的实际负荷量设定范围,将中压负荷量分为0.5 MW、1 MW、1.5 MW、2 MW……6 MW等12个比较典型的负荷档位^[5]并进行仿真。在不同的线径型号下,连续调节拓扑模型中的中压主干线路长度,观察线路末端节点电压幅值,当电压幅值下降至9.3 kV^[6]时,其对应的供电半径即为不同型号线径中压线路相应的最大允许供电半径。

以LGJ-240为例,在4种典型负荷分布状况下,中压线路总负荷1 MW情形下的典型单电源辐射状配电网拓扑模型供电半径与线路末端节点电压的对应关系如表2所示。

由表2可知,在第①种典型负荷分布下,当供电半径增至24.2 km,线路末端电压为规定临界电压9.30 kV,由此确定LGJ-240架空线在总负荷为1 MW情况下的中压线路最大允许供电半径为24.2 km。同理可得,在第②种、第③种、第④种典型负荷分布下的中压线路最大允许供电半径分别为23.9 km、23.6 km、18.5 km。

2.3 LGJ-240线型在4种典型配网拓扑模型下的仿真结果

基于以上4种典型DIGSILENT的单电源辐射状配网拓扑模型,以类似的方法依次研究了0.5 MW至6 MW负载水平下,中压线路末端电压幅值随供电半径的变化趋势,得出LGJ-240线型在上述各个典型负荷分布状况下,线路首端电压为10.2 kV,末端电压为9.3 kV时线路最大允许供电半径,具体情况如表3所示。

表3 LGJ-240架空线在4种典型负荷分布及不同负载率下的最大允许供电半径

负荷/MW	供电半径/km			
	第①种	第②种	第③种	第④种
0.5	25.3	25.0	24.5	20.0
1.0	24.2	23.9	23.6	19.2
1.5	23.1	22.8	22.1	17.8
2.0	21.8	21.3	20.6	16.1
2.5	20.4	19.6	18.7	14.3
3.0	18.6	17.2	16.5	12.3
3.5	16.4	14.8	14.0	11.3
4.0	14.8	13.0	10.8	9.6
4.5	12.6	11.2	8.5	8.1
5.0	11.2	9.3	6.4	6.0
5.5	9.5	7.3	5.5	5.2
6.0	8.8	6.0	4.3	3.8

可得出4种典型负荷分布状况时, LGJ-240架空裸导线的最大允许供电半径随中压线路负荷的变化趋势, 具体情况如图5所示。

由图5可知: 在不同典型负荷分布状况中, 随着中压线路上挂接负荷量的增加, LGJ-240线型中压线路的最大供电半径迅速降低。同时, 在相同负荷量下, 4种典型负荷分布情况下的最大允许供电半径由小到大依次为第④种、第③种、第②种、第①种; 相同的负荷量下, 负荷分布状况为“负荷集中于线

路末端”情况时, 最大允许供电半径将最小。

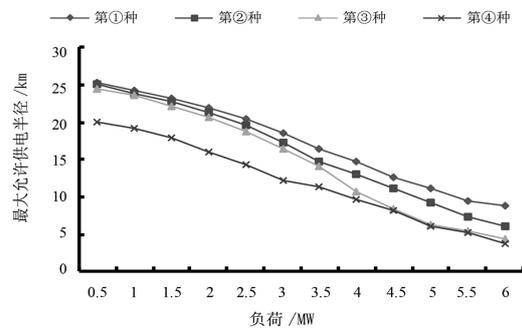


图5 最大允许供电半径 - 负荷曲线

表4 不同线径及负荷下的最大允许供电半径

单位: km

负荷量 /MW	LGJ-70				LGJ-95				LGJ-120			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
0.5	12.6	11.5	9.5	8.7	18.6	16.8	13.3	11.4	22.0	20.4	17.2	15.2
1.0	11.5	10.3	8.4	8.2	17.2	14.9	12.8	10.9	20.0	18.2	16.8	14.2
1.5	10.6	9.1	7.2	7.1	16.0	13.0	11.0	9.4	17.6	15.9	14.8	12.5
2.0	9.8	8.0	5.7	5.4	14.2	11.2	9.0	8.2	15.4	13.7	12.8	11.2
2.5	9.1	6.8	4.3	3.8	12.3	9.3	7.3	6.7	13.1	11.5	10.6	9.4
3.0	8.2	5.6	3.4	3.0	10.3	7.4	5.4	5.2	11.2	9.3	8.5	7.2
3.5					7.8	5.5	4.0	3.4	9.8	7.0	5.8	5.1
4.0									7.5	4.8	3.8	3.2
4.5												
5.0												
5.5												
6.0												

负荷量 /MW	LGJ-150				LGJ-185				LGJ-240			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
0.5	22.5	22.0	20.4	17.2	23.3	22.9	22.3	19.0	25.3	25.0	24.5	20.0
1.0	21.0	19.9	19.4	16.3	21.4	21.0	20.6	17.3	24.2	23.9	23.6	19.2
1.5	19.5	17.8	17.6	14.5	20.0	19.5	19.0	15.6	23.1	22.8	22.1	17.8
2.0	18.2	16.7	15.9	12.3	18.9	17.1	16.2	13.9	21.8	21.3	20.6	16.1
2.5	15.9	14.5	13.6	10.8	16.4	15.1	14.7	12.2	20.4	19.6	18.7	14.3
3.0	14.2	11.7	11.2	8.8	14.4	13.2	12.9	10.4	18.6	17.2	16.5	12.3
3.5	11.8	9.4	8.5	6.7	13.2	11.8	11.3	8.7	16.4	14.8	14.0	11.3
4.0	10.0	7.3	5.5	5.0	11.6	10.2	9.7	7.0	14.8	13.0	10.8	9.6
4.5	8.5	5.2	3.5	3.2	9.8	7.3	6.9	5.3	12.6	11.2	8.5	8.1
5.0					8.1	5.4	4.0	3.6	11.2	9.3	6.4	6.0
5.5									9.5	7.3	5.5	5.2
6.0									8.8	6.0	4.3	3.8

3 典型中压线径型号在4种典型负荷分布状况下的仿真结果

以上述相同的方法可以依次研究得出 LGJ - 70、LGJ - 95、LGJ - 120、LGJ - 150、LGJ - 185、LGJ - 240 等典型农网中压线径型号在 4 种典型负荷分布状况下,其最大允许供电半径随不同中压线路负荷的变化趋势,具体情况如表 4 所示。

在低密度负荷区配电网工程中,涉及到中压线路的选型应明确低密度负荷区中压线路总负荷水平及负荷的整体分布状况,综合考虑区域发展阶段及项目经济效益和安全性,根据表中的相关数据,确定低密度负荷区的中压架空线路的选型与供电半径。

由表 4 可知,在相同负荷量和架空线型号的情况下,第④种配网拓扑模型即“负荷全部集中于 10 kV 中压线路的末端”时最大允许供电半径最小,即在该种情形下线路输送电能的能力最弱,认为是“木桶效应”中的“短板”,该短板将直接决定线路末端电压质量是否合格。因此,参考第④种配网拓扑模型下的最大允许供电半径进行中压架空线路的选型将不会出现中压线路末端低电压问题,这里将该供电半径定义为“合理供电半径”,不同线径及负荷下的合理供电半径具体情况如表 5 所示。

表 5 不同线径及负荷下的合理供电半径

负荷量 /MW	单位: km					
	LGJ - 70	LGJ - 95	LGJ - 120	LGJ - 150	LGJ - 185	LGJ - 240
0.5	8.7	11.4	15.2	17.2	19.0	20.0
1.0	8.2	10.9	14.2	16.3	17.3	19.2
1.5	7.1	9.4	12.5	14.5	15.6	17.8
2.0	5.4	8.2	11.2	12.3	13.9	16.1
2.5	3.8	6.7	9.4	10.8	12.2	14.3
3.0	3.0	5.2	7.2	8.8	10.4	12.3
3.5		3.4	5.1	6.7	8.7	11.3
4.0			3.2	5.0	7.0	9.6
4.5				3.2	5.3	8.1
5					3.6	6.0
5.5						5.2
6.0						3.8

4 结 语

国家电网公司《配电网规划设计技术导则》^[3]指出: D 类供电地区 10 kV 线路供电半径不宜超过 15 km; E 类供电地区 10 kV 线路供电半径应根据需要经计算确定。前面从四川省低密度负荷区低电压问题治理现状出发,通过基于 DIGSILENT 软件的建模与仿真,对该导则 D、E 两类低密度负荷区 10 kV 中压线路的相关规范进行了更为细化的研究,得出如下结论:

1) 低密度负荷区 10 kV 线路的最大供电半径受到负荷分布状况的显著影响,居民负荷越集中于线路的末端,最大供电半径越小。

2) 在绝对负荷量相同的情况下,导线截面越大,最大供电半径越长;当负荷总量趋于各型号导线的额定载容量时,不同型号导线的最大供电半径变化不明显。

3) 低密度负荷区 10 kV 中压线路钢芯铝绞线 LGJ - 70 的合理供电半径最小,其不宜超过 8.7 km; LGJ - 240 的合理供电半径最大,其不宜超过 20 km。

参考文献

- [1] 夏先文. 关于农网 10 kV 线路供电半径的探讨 [J]. 黑龙江电力技术, 1987(6): 48 - 50.
- [2] 柳占杰, 许跃进. 基于电压制式的电网最优供电半径研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 87 - 91.
- [3] 国家电网公司. 配电网规划设计技术导则: Q/GDW 1738 - 2012 [S]. 2012.
- [4] 张宁, 冯孝义, 李可, 等. 农村辐射状配电网的优化方法 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012(3): 220 - 228.
- [5] 乐欢, 王主丁, 吴建宾, 等. 中压馈线装接配变容量的探讨 [J]. 华东电力, 2009, 37(4): 586 - 588.
- [6] 农村电网建设与改造技术导则: DL/T 5131 - 2001 [S]. 2001.

作者简介:

刘代刚(1986), 硕士、工程师, 主要从事电力系统运行与控制、配电网规划设计及等方面的研究。

(收稿日期: 2018 - 10 - 17)