

## 基于 $N-1$ 和负荷特性的配电网最大接入容量研究

刘胜利<sup>1</sup>, 陈建华<sup>2</sup>, 曹阳<sup>3</sup>, 陈刚国<sup>4</sup>

(1. 国网浙江平湖市供电公司, 浙江 嘉兴 314200; 2. 深圳抽水蓄能电站建设管理局, 广东 深圳 518115;  
3. 国网浙江省电力公司, 浙江 杭州 310027; 4. 国网嘉兴供电公司, 浙江 嘉兴 314200)

**摘要:** 分析配电网自动化管理系统(open2000)监测数据,发现配电网线路平均负载率偏低,一些线路处于轻载或空载状态,配电网冗余度过高、整体利用率低,资源浪费,但同时又有部分配电网线路处于重载状态,不满足 $N-1$ 准则要求,影响电网可靠运行。针对以上问题,研究出了基于 $N-1$ 和负荷特性的配电网最大接入容量。对规范配电网线路接入的配电变压器总容量,使配电网经济运行、负载率合理,并满足 $N-1$ 准则的要求有重要参考价值。同时也可作为对现有运行的配电网接入容量合理性的校验标准。

**关键词:**  $N-1$ ; 负荷特性; 负载率; 配电网; 最大接入容量

### The largest access capacities analysis of distribution grid based on $N-1$ and the load characteristics

LIU Sheng-li<sup>1</sup>, CHEN Jian-hua<sup>2</sup>, CAO Yang<sup>3</sup>, CHEN Gang-guo<sup>4</sup>

(1. State Grid Zhejiang Pinghu Power Supply Company, Jiaying 314200, China; 2. Shenzhen Pumped Storage Power Station Construction and Administration Bureau, Shenzhen 518115, China; 3. State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310027, China; 4. State Grid Jiaying Power Supply Company, Jiaying 314200, China)

**Abstract:** This paper analyzes the monitoring data of distribution automation management system (open2000) and finds that the average line load rate of distribution grid is low, some of the lines are in the light load or no-load condition, distribution grid redundancy is too high, the overall utilization is low, and the resource is wasted, but while there are parts of the distribution grid line is overloaded, which can not meet the  $N-1$  standard requires and affect the grid reliable operation. To solve the above problems, this paper develops the maximum distribution grid access capacities based on  $N-1$  and load characteristics. It has important reference value to regulate the total capacity of distribution transformer accessing distribution line, guarantee economic operation of distribution grid and reasonable load rate, and meet the requirements of  $N-1$  criterion. It also can be regarded as a calibration standard for access capacity rationality of existing distribution grid.

**Key words:**  $N-1$ ; load characteristics; load factor; distribution grid; maximum access capacity

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)12-0126-05

## 0 引言

配电网(本文所指配电网为10 kV中压配电网)是电网中直接向用户供电的部分,且规模庞大,故其可靠和经济运行至关重要。分析国网平湖市供电公司配电网自动化管理系统(open2000)监测数据,发现配电网线路平均负载率偏低,一些线路处于轻载或空载状态,配电网整体利用率低,资源浪费,但又有部分配电网线路处于重载状态,不满足 $N-1$ 准则要求,影响电网可靠运行。而配电网负载率与其接入的配电变压器总容量(各配电变压器额定容量之和)密切相关。目前有较多文献研究配电网,

文献[1]对配电网可靠性算法进行了研究,文献[2-4]对配电网评价方法和负荷预测方法进行了研究,文献[5-8]对配电网经济运行模糊评价、可控性评估和接线方式评估进行了研究,文献[9-12]对已知负荷下配电网最大供电能力作了相关研究。各类文献对配电网很多方面作了相关研究,但对其接入的配电变压器总容量却没有相关研究,仅有文献[13]对各电压等级接入的配电变压器最大总容量作了原则性规定,但其没有根据负荷特性的不同和 $N-1$ 准则的要求,分明别类地明确配电网线路接入的配电变压器最大总容量。综上所述,有必要对不同负荷特性下配电网线路接入的配电变压器最大总容量进行研究,

规范配电网线路配电变压器总容量的接入, 使配电网经济运行、负载率合理、并满足 N-1 准则的要求。

### 1 最大接入容量理论简介

#### 1.1 配电网线路负载率

配电网线路负载率  $T$  定义为

$$T = \frac{P_{\max}}{S_N \cos\varphi} \quad (1)$$

式中:  $P_{\max}$  为线路实际最大负载 (kW);  $S_N$  为线路额定输送容量 (kVA), 与线路型号、架设或敷设方式、环境条件有关;  $\cos\varphi$  为功率因素, 文献[14]第 7、8 条规定 10 kV 电压等级功率因素要达到 0.95。

线路实际最大负载  $P_{\max}$  定义为

$$P_{\max} = \sum S_{Ni} \cos\varphi K \quad (2)$$

式中:  $\sum S_{Ni}$  为线路接入的配电变压器总容量 (各配电变压器的额定容量之和);  $\cos\varphi$  定义与式 (1) 相同;  $K$  为线路主线最大负荷同时系数, 该系数以配电变压器额定容量为基础, 综合各配电变压器最大负荷出现时间时的线路最大负荷计算系数。

#### 1.2 配电网线路接入的配电变压器总容量

综合式(1)和式(2)得出配电网线路接入的配电变压器总容量  $\sum S_{Ni}$  为

$$\sum S_{Ni} = \frac{T}{K} S_N \quad (3)$$

式中,  $S_N$  在线路型号、架设或敷设方式、环境条件给定的情况下, 为一定值。各种型号线路  $S_N$  如表 1~表 4 所示。

表 1 10 kV 电力电缆线路额定输送容量

Table 1 The rated of 10 kV power transmission capacity of cable lines

电压等级/kV	YJV22-8.7/15kV-3 mm <sup>2</sup>	允许持续最大载流量/A	额定输送容量/S <sub>N</sub> /kVA	允许持续最大载流量选取条件	载流量选取依据
10	25	103	1787	导体最高工作	
10	35	127	2198	温度 90 度, 环	
10	50	146	2520	境温度 40 度,	文献
10	70	179	3092	空气中敷设,	[15]表
10	95	221	3825	单层 6 根并排	C.0.3、
10	120	254	4397	校正系数取	表
10	150	287	4969	0.8(考虑到变	D.0.1、
10	185	330	5719	电所电缆层电	表
10	240	385	6667	缆间的距离均	D.0.4、
10	300	442	7650	较紧密, 校验	表
10	400	517	8954	系数取极小	D.0.5
				(值)	

表 2 10 kV 架空绝缘线路额定输送容量

Table 2 The rated of 10 kV transmission capacity of overhead insulated lines

JKLYJ—10 kV—mm <sup>2</sup>	允许持续最大载流量/A	额定输送容量/S <sub>N</sub> /kVA	允许持续最大载流量选取条件	载流量选取依据
10 25	122	2 112		
10 35	149	2 584		
10 50	180	3 120		文献
10 70	227	3 924	导体最高	[16]
10 95	277	4 791	工作温度	表
10 120	320	5 547	90°, 环境	C2、
10 150	367	6 351	温度 40°。	表
10 185	423	7 328		C3
10 240	503	8 715		
10 300	581	10 071		

表 3 10 kV 架空铝绞线线路额定输送容量

Table 3 The rated of 10 kV transmission capacity of overhead aluminum strand line

电压等级/kV	LGJ—mm <sup>2</sup>	允许持续最大载流量/A	额定输送容量/S <sub>N</sub> /kVA	允许持续最大载流量选取条件	载流量选取依据
10	25	145	2 511		
10	35	175	3 031		
10	50	215	3 723		
10	70	260	4 503	导体最高	
10	95	315	5 455	工作温度	文献
10	120	390	6 754	90°, 环	[17]
10	150	450	7 794	境温度	
10	185	520	9 006	40°	
10	240	630	10 911		
10	300	720	12 470		

表 4 10 kV 架空铝绞线线路额定输送容量

Table 4 The rated of 10 kV transmission capacity of overhead aluminum wire line

电压等级/kV	LJ—mm <sup>2</sup>	允许持续最大载流量/A	额定输送容量/S <sub>N</sub> /kVA	允许持续最大载流量选取条件	载流量选取依据
10	25	145	2 511		
10	35	175	3 031		
10	50	200	3 464		
10	70	280	4 849	导体最高	
10	95	335	5 802	工作温度	文献
10	120	395	6 841	90°, 环境	[17]
10	150	450	7 794	温度	
10	185	515	8 919	40°	
10	240	610	10 565		
10	300	705	12 210		

$T$  的取值根据文献[18]5.8.3 条和文献[19]4.2 条的  $N-1$  准则, 定义为

$$T = \frac{N-1}{N} \quad (4)$$

式中:  $N$  为同一环网中线路回数, 即当线路为手拉手或单环网线路的 2 联络时  $N=2$ , 为 3 联络时  $N=3$ , 双环网的 4 联络时  $N=4$ , 如表 5 所示。

表 5  $T$  的最大取值

Table 5 Maxium values of  $T$

线路联络数	$N$	$T$ 的最大取值
2	2	50%
3	3	67%
4	4	75%

综上所述, 线路负载率  $T$  和额定输送容量  $S_N$  在一定的条件下为已知, 要研究配电线路接入的配电变压器总容量  $\sum S_{Ni}$ , 研究出  $K$  的取值即可。

## 2 最大接入容量研究及成果

当前电网建设处于过渡期, 配电网网架多为 2 联络, 按文献[13]条文说明 7.2.4 条,  $T$  最大取值宜为 50%。线路额定输送容量  $S_N$  可根据其型号在表 1~表 4 中查得。 $K$  的取值与负荷特性、接入的配电变压器数量相关, 目前没有相关文献对  $K$  的取值有规定或建议值, 研究  $K$  的取值是本文的关键任务。根据式 (2) 可得出  $K$  的计算公式为

$$K = \frac{P_{\max}}{\cos\varphi \sum S_{Ni}} \quad (5)$$

根据国网浙江平湖市供电公司 2013 年运行且带负载的 163 条 10 kV 线路的最大负荷和线路接入的配电变压器总容量, 按式 (5) 计算得出各条线路的主线最大负荷同时系数  $K$ 。先按工业, 工业、居民生活、商办 (工业装机大于 50%) 混合, 居民生活, 居民生活、工业、商办 (居民生活装机大于 50%) 混合, 商办, 居民生活、商办 (居民生活装机大于 50%) 混合等 6 大类负荷特性对 163 条 10 kV 线路进行一级归类; 再将各类负荷特性的 10 kV 线路, 根据接入的配电变压器数量区间进行二级归类。比较负荷特性和接入的配电变压器数量区间相同的线路的同时系数大小, 取最大值, 即为该类线路的主线最大负荷同时系数  $K_x$ 。

$$K_x = \max\{K_{x1}, K_{x2}, K_{x3}, \dots, K_{xn}\} \quad (6)$$

式中:  $K_{x1} \sim K_{xn}$  为同一负荷特性和接入的配电变压器数量区间下各线路的主线最大负荷同时系数。

根据上述方法研究出各负荷特性下配电网线路接入的配电变压器 (表 6 中简称配变) 数量区间与  $K$  的关系如表 6。

表 6 同时系数  $K$

Table 6 Meanwhile coefficient  $K$

序号	负荷特性	配变数量区间	同时系数 $K$	备注
		1	1	
1	工业	2~9	0.9	
		10 户以上	0.65	
		12 户及以上	0.85	
2	工业、居民生活、商办 (工业装机大于 50%) 混合	下	0.8	
		13~24	0.7	
		25~36	0.65	
		37~60	0.5	
		61 户以上	0.55	根据文献 [20] 配电
		3 户及以上	0.53	变压器负载率取 65% 折算后。
3	居民生活	4~9	0.48	
		10~18	0.43	
		19 户以上	0.43	
4	居民生活、工业、商办 (居民生活装机大于 50%) 混合	18 户及以上	1	
		下	0.6	
		19~60	0.45	
5	商办	61 户以上	0.8	
		全部户数	0.91	
6	居民生活、商办 (居民生活装机大于 50%) 混合	9 户以下	0.63	
		10~18	0.51	
		19~36	0.22	
		37 户及以上		

根据表 6 的同时系数按公式 (3) 和表 1~表 4 的线路额定输送容量计算出各类负荷特性的配电网线路各主要型号线路接入配电变压器的总容量最大值  $\sum S_{Ni}$  如表 7。

根据以上研究结果可知, 以上 6 大类不同负荷特性下配电网线路接入的配电变压器最大总容量按表 7 所列的容量控制, 即可使配电网经济运行、负载率合理、并满足  $N-1$  准则的要求。远景配电网建设成熟形成 4 联络后, 即使线路截面积不改造, 在满足  $N-1$  要求时, 负载率  $T$  可提升至 75%, 也可满足远景负荷自然增长的需求。

## 3 算例

某城市住宅片区有若干个住宅小区, 该片区内配电变压器单台容量为 630 kVA, 片区内有 1 条配电网线路的型号为 YJV22-8.7/15 kV-3\*400 mm<sup>2</sup> 和 JKLYJ—10kV—240mm<sup>2</sup> 组合, 计算该线路最大接入多少台配电变压器, 可使该线路负载率接近于 50%。

表 7 某一型号线路接入配电变压器的总容量最大值 $\sum S_{Ni}$  (线路负载率  $T=0.5$ )  
Table 7 A model line access with the total capacity of maximum  $\sum S_{Ni}$  (load rate  $T=0.5$ )

$T=0.5$ 时, $\sum S_{Ni}$ (kVA)		主干导线型号	YJV22-8.7/15kV-3*400 mm <sup>2</sup> 和 JKLYJ—10 kV—240 mm <sup>2</sup> 组合	YJV22-8.7/15kV-3*400 mm <sup>2</sup> 和 LGJ-240 mm <sup>2</sup> 组合, YJV22-8.7/15 kV-3*400 mm <sup>2</sup> 和 LJ-240 mm <sup>2</sup> 组合	YJV22-8.7/15 kV-3*300 mm <sup>2</sup> 和 JKLYJ—10 kV—240 mm <sup>2</sup> 组合, YJV22-8.7/15 kV-3*300 mm <sup>2</sup> 和 LGJ-240 mm <sup>2</sup> 组合, YJV22-8.7/15 kV-3*300 mm <sup>2</sup> 和 LJ-240 mm <sup>2</sup> 组合, YJV22-8.7/15 kV-3*300 mm <sup>2</sup> 和 LGJ-185 mm <sup>2</sup> 组合, YJV22-8.7/15 kV-3*300 mm <sup>2</sup> 和 LJ-185 mm <sup>2</sup> 组合
			8715	8954	7650
负荷特性	配变数量	$S_N$ /kVA $K$			
	1	1	4358	4477	3825
工业	2~9	0.9	4842	4974	4250
	10 户以上	0.65	6704	6888	5885
	12 户及以下	0.85	5126	5267	4500
	13~24	0.8	5447	5596	4781
工业、居民生活、商办(工业装机大于 50%) 混合	25~36	0.7	6225	6396	5464
	37~60	0.65	6704	6888	5885
	61 户以上	0.5	8715	8954	7650
	3 户及以下	0.55	7923	8140	6955
居民生活	4~9	0.53	8222	8447	7217
	10~18	0.48	9078	9327	7969
	19 户以上	0.43	10134	10412	8895
居民生活、工业、商办(居民生活装机大于 50%) 混合	18 户及以下	1	4358	4477	3825
	19~60	0.6	7263	7462	6375
	61 户以上	0.45	9683	9949	8500
商办	全部户数	0.8	5447	5596	4781
	9 户以下	0.91	4788	4920	4203
	10~18	0.63	6917	7106	6071
居民生活、商办(居民生活装机大于 50%) 混合	19~36	0.51	8544	8778	7500
	37 户及以上	0.22	19807	20350	17386

经查表 7 并计算得配电变压器总容量为 9078 kVA 时, 配电变压器数量为  $9078/630=14.14$  处于接入数量 10—18 这一区间, 所以线路最大接入 14 台配电变压器, 可使该线路负载率接近于 50%。

### 参考文献

- [1] 聂雅卓, 周步祥, 林楠, 等. 考虑转供容量约束的配电网马尔可夫可靠性算法[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(13): 59-43.  
NIE Ya-zhuo, ZHOU Bu-xiang, LIN Nan, et al. Markov reliability algorithm for distribution network considering the alternative supply capacity limitation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(13): 59-43.
- [2] 薛振宇, 李敬如, 陈楷, 等. 一种考虑协调系数的配电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(12): 15-19.  
XUE Zhen-yu, LI Jing-ru, CHEN Kai, et al. A

- comprehensive evaluation method for distribution network considering the coordination coefficient[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(12): 15-19.
- [3] 张伟. 基于人体舒适度指数的配电网短期负荷预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(9): 74-79.  
ZHANG Wei. A distribution short-term load forecasting based on human comfort index[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(9): 74-79.
- [4] 周淦, 邓景云, 任海军, 等. 基于蚁群算法的配电网空间负荷预测方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 38(24): 99-104.  
ZHOU Quan, DENG Jing-yun, REN Hai-jun, et al. Research on spatial load forecast of distribution networks based on ant colony algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2013, 38(24): 99-104.
- [5] 马丽叶, 卢志刚, 胡华伟. 基于区间数的城市配电网

- 经济运行模糊综合评价[J]. 电工技术学报, 2012, 27(8): 163-171.
- MA Li-ye, LU Zhi-gang, HU Hua-wei. A fuzzy comprehensive evaluation method for economic operation of urban distribution network based on interval number[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(8): 163-171.
- [6] 许丹, 唐巍. 基于区域可达性分析的复杂配电网可靠性评估[J]. 电工技术学报, 2011, 26(6): 171-178.
- XU Dan, TANG Wei. Reliability evaluation of complex distribution networks based on regional accessibility analysis[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(6): 171-178.
- [7] 赵书强, 程德才, 刘璐. 结合 D-S 证据推理的贝叶斯网络法在配电网可靠性评估中的应用[J]. 电工技术学报, 2009, 24(7): 134-138.
- ZHAO Shu-qiang, CHENG De-cai, LIU Lu. Reliability evaluation of power distribution system based on D-S evidence inference and Bayesian networks method[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(7): 134-138.
- [8] 何永秀, 王巍, 杨卫红, 等. 基于盲数理论的配电网接线方式评价[J]. 电工技术学报, 2009, 24(7): 139-144.
- HE Yong-xiu, WANG Wei, YANG Wei-hong, et al. Assessment of connection mode in distribution network based on blind number theory[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(7): 139-144.
- [9] 肖峻, 张婷, 张跃, 等. 基于最大供电能力的配电网规划理念与方法[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(10): 106-113.
- XIAO Jun, ZHANG Ting, ZHANG Yue, et al. TSC-based planning idea and method for distribution grids[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(10): 106-113.
- [10] 汪卫华. 现有配电模式下配网供电能力研究[J]. 继电器, 2007, 35(14): 13-16.
- WANG Wei-hua. Research on supply capability of distribution grid under present distribution mode[J]. Relay, 2007, 35(14): 13-16.
- [11] 王成山, 罗凤章, 肖峻, 等. 基于主变互联系数的配电系统供电能力计算方法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(13): 86-91.
- WANG Cheng-shan, LUO Feng-zhang, XIAO Jun, et al. An evaluation method for power supply capability of distribution system based on analyzing interconnections of main transformers[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(13): 86-91.
- [12] 欧阳武, 程浩忠, 张秀彬, 等. 城市最大供电能力评估法[J]. 高电压技术, 2009, 35(2): 403-407.
- OUYANG Wu, CHENG Hao-zhong, ZHANG Xiu-bin, et al. Evaluation method for maximum load capability of urban medium voltage distribution system[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(2): 403-407.
- [13] 国家电网公司. 配电网规划设计技术导则根据[S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- State Grid Corporation of China. The guide of planning and design of distribution grid[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [14] 国家电网公司. 电力系统无功补偿配置技术原则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- State Grid Corporation of China. Technical regulation for configuring reactive power compensation equipment of power system[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [15] 中华人民共和国建设部. 电力工程电缆设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- Ministry of Development of the People's Republic of China. Code for design of cables of electric engineering[S]. Beijing: China Planning Press, 2008.
- [16] 中华人民共和国电力工业部. 架空绝缘配电线路设计技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- Ministry of Electric Power Industry of the People's Republic of China. Design technique regulations for overhead distribution lines with insulated conductors[S]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.
- [17] 马国栋. 电线电缆载流量[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市配电网规划设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for planning and design of urban distribution grid[S]. Beijing: China Planning Press, 2011.
- [19] 国家电网公司. 城市电力网规划设计导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- State Grid Corporation of China. The code for planning and design of urban electric grid[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [20] 国家质量监督检验检疫总局. 电力变压器经济运行[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Economical operation for power transformers[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

收稿日期: 2013-09-04; 修回日期: 2013-10-09

作者简介:

刘胜利(1981-),男,通信作者,本科,工程师,技师,研究方向为电网变配电技术、电力系统规划设计; E-mail: 329229873@qq.com

陈建华(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化;

曹阳(1968-),男,研究方向为电网规划设计及电网投资项目分析。