

# 规划配电网简化方法及其可靠性评估算法

邱生敏, 管 霖

(华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 首先对配电网馈线的负荷和长度进行简化假设, 并定义了主干线和分支线; 在考虑馈线配变容量约束的基础上, 提出了转供率计算方法; 把配电网馈线分为主干线、分支线和配变, 并由此推导出配电网馈线可靠性指标, 利用馈线可靠性指标形成配电系统可靠性指标, 另外对网架假设进行误差分析。最后分析了规划配电网可靠性评估需要的数据结构; 算例证明了对规划配电网假设和该算法的有效性和可行性。

**关键词:** 配电; 可靠性; 误差分析; 规划配电网; 主干线; 分支线; 转供率

**中图分类号:** TM 744+.1

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.01.016

## 0 引言

电网停电事故绝大部分是由配电网引起的, 配电网的可靠性是供电企业考核的重要指标之一。因此, 提出一套适用于实际配电网的可靠性评估算法是非常必要的。

配电网的可靠性理论计算和评估主要有蒙特卡洛(Monte Carlo)模拟法和解析法两大类方法。目前解析法主要有基于故障后果分析法的改进算法: 最小路法<sup>[1]</sup>和改进的故障后果分析法<sup>[2-3]</sup>; 此外, 文献[4-5]提出了可靠性指标递归方法; 文献[6]提出了容量约束在可靠性评估中的应用; 文献[7-9]考虑了开关故障对可靠性的影响; 随着智能电网的发展, 考虑分布式电源的可靠性评估<sup>[9-11]</sup>也随之出现。

然而, 上述算法均是对运行中的配电网进行可靠性评估, 并不适用于规划配电网的可靠性评估。对规划网架的可靠性评估有利于指导供电企业的配电网建设以及改善网架结构。

考虑到规划配电网存在用户信息不全、配电网具体结构不清晰等特点, 本文首先对规划网架进行简化假设, 在此基础上提出了一种适用于规划配电网的可靠性评估算法。

## 1 可靠性算法原理分析

### 1.1 配电网网络简化和假设条件

传统的配电网可靠性评估需要对各种元件进行故障枚举, 包括开关、配变、线路等。本文对配电网网络元件进行组合, 以减少枚举元件数量。如图 1 所示,  $F_1$  和  $F_2$  表示馈线编号,  $T$  表示变压器,  $S$  表示负荷开关,  $N/O$  表示常开负荷开关,  $L$  表示电缆线路。图 1 的方框组合了一个电房的负荷开关及熔断器, 大幅减少了元件数量。

本文规定: 馈线断路器  $QF_1$  到联络线之间的任

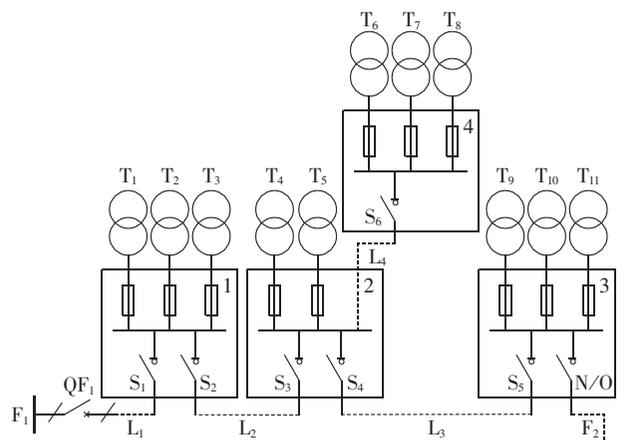


图 1 配电网馈线结构

Fig.1 Structure of distribution feeder

何一个电房组合称为一个主干段, 如图 1 的电房 1、电房 2 和电房 3; 主干电房与电房之间连接线路也称为一个主干段, 如线路  $L_1$ 、 $L_2$  和  $L_3$ 。所有主干段串联构成了主干线。主干段引出的电缆线路和电房称为分支线, 如线路  $L_4$  和电房 4 称为一个分支线。

对其中一个电房进行分析, 如电房 1 组合了负荷开关  $S_1$ 、 $S_2$  和 3 个熔断器, 则电房 1 的故障率  $\lambda_i$  (单位: 次/a) 和故障修复时间  $t_i$  (单位: h/次) 为:

$$\begin{cases} \lambda_i = 2\lambda_k + 3\lambda_r + 3(1-p)\lambda_b \\ t_i = [2\lambda_k t_k + 3\lambda_r t_r + 3(1-p)\lambda_b t_b] / \lambda_i \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\lambda_k$ 、 $\lambda_r$  和  $\lambda_b$  分别为开关、熔断器和配变的故障率;  $t_k$ 、 $t_r$  和  $t_b$  分别为开关、熔断器和配变的故障修复时间;  $p$  为配变熔断器的正确动作率。

经上述处理, 可靠性计算中无需对每个负荷开关进行故障枚举, 而只需枚举组合电房及电缆线路。

一回馈线中, 假设主干线的电缆段数 ( $k$ ) 和主干线的电房数之和为  $m$ 。对于开关组合的电房, 故障率  $\lambda_i$  和故障修复时间  $t_i$  根据组合电房开关数通过式 (1) 计算, 对于电缆线路,  $\lambda_i$  和  $t_i$  计算如下:

$$\begin{cases} \lambda_i = \lambda_L L_g / k \\ t_i = t_L \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $\lambda_L, t_L, L_g$  分别表示电缆线路故障率、修复时间和主干线的长度。

尽管作了上述简化,在规划配电网中,仍然不能获得每个负荷点具体配变台数和用户数,也不能获得每段主干线的具体长度,而只能大概估计馈线总的配变用户情况和主干线总长度。

因此,本文在可靠性评估中假设规划配电网有以下特点:

a. 馈线各主干段的配变台数和容量相同,用户数也相同;

b. 馈线各主干段的电缆长度相同;

c. 多级分支简化为一级分支,分支线和主干段的用户分布平均。

上述假设的合理性和正确性将在后文的误差分析中进行验证。

## 1.2 转供率计算方法

严格意义上,一回馈线可以供电的负荷需要经过潮流计算确定。但是,一方面,即使在运行的配电网目前也难以掌握每台配变的负荷曲线,也就难以获得配网潮流计算需要的基础负荷分布,因此只能按配变平均功率因数和平均负载率来粗略估算每个配电点的负荷;另一方面,开环运行的配电网源流关系清晰,潮流计算只不过补充了因网损带来的附加电流信息。考虑到配电网馈线的最大允许电流设定值本身留有一定的裕度,因此忽略网损对评估馈线的可供电负荷影响。

为此,本文采用以下方法直接估计每回馈线允许的挂接配变容量,并以此表示馈线可供电负荷:

a. 根据馈线截面和型号确定允许最大电流  $I_{\max}$ ;

b. 根据统计值确定配变平均负载率,记为  $\gamma$ ,一般取值为 0.85~0.95;

c. 根据统计值确定馈线上用电负荷的同时率,记为  $\alpha$ ,一般取值为 0.7~0.9。

则馈线挂接的配变容量之和  $S$  必须满足:

$$S = \sum_i S_{Ti} \leq \sqrt{3} UI_{\max} / (\alpha\gamma) = S_{\max} \quad (3)$$

如果馈线实际挂接的配变容量为  $S_{T\Sigma}$ ,则它可以转接其他联络线的配变容量称为馈线的可转供容量,记为  $S_{zg}$ 。

$$S_{zg} = S_{\max} - S_{T\Sigma} \quad (4)$$

可靠性算法采用故障枚举的思路,逐段评估每个馈线段故障造成的用户停电范围和停电时间。对于一个制定的故障段,显然其上游区段的全部用户均可在故障段隔离之后,通过馈线首端重合闸来恢复供电,不需要经联络馈线转供。令其下游区段的配变容量为  $S_x$ ,则馈线联络线可转供负荷需要通过比较  $S_{zg}$  与  $S_x$  来确定。本文定义转供率  $\rho_i$  为:

$$\rho_i = S_x / S_{zg} \quad (5)$$

$\rho_i$  取值范围为  $[0, 1]$ 。如果  $\rho_i > 1$ ,则取值为 1。

## 1.3 基于故障枚举的可靠性指标形成

由于 10 kV 配电网采用环网接线、开环运行方式,运行时每回 10 kV 馈线的有功功率流向均为从电源点到末端的树状放射式结构。当不计出线断路器不正常故障在变电站 10 kV 母线引起的事故放大时,各回 10 kV 馈线的运行是彼此独立的,其停电时户数 and 停运容量等指标都可以直接叠加形成整个系统的可靠性指标。

基于前文配电网网络化简和假设,得出每个主干段  $i$  的故障率  $\lambda_i$  和修复时间  $t_i$  后,还需给定电网的评估转供电操作时间  $t_z$  和平均故障隔离时间  $t_G$ 。

则对任一回馈线,故障引起的用户停电时户数  $n_{SH}$  和停电损失电量  $Q$  可按主干线故障、分支线故障、配变故障分别计算如下。

a. 主干线故障:

$$n_{SH1} = \sum_{i=1}^m \lambda_i \left\{ N_{i\Sigma} t_i + \sum_{j=i+1}^m N_{j\Sigma} [(1-\rho_i)t_i + \rho_i t_z] + \sum_{j=1}^{i-1} N_{j\Sigma} t_G \right\}$$

$$Q_1 = \gamma \sum_{i=1}^m \lambda_i \left\{ S_{i\Sigma} t_i + \sum_{j=i+1}^m S_{j\Sigma} [(1-\rho_i)t_i + \rho_i t_z] + \sum_{j=1}^{i-1} S_{j\Sigma} t_G \right\}$$

其中,  $N_{i\Sigma}$  为主干段  $i$  的用户和接入从属于该主干段的支线上的用户之和;  $S_{i\Sigma}$  为主干段  $i$  的配变容量和接入从属于该主干段的支线上的配变容量之和;  $\rho_i$  为馈线转供率;  $\gamma$  为配变平均负载率;  $m$  为馈线主干段数。

b. 分支线故障:

$$n_{SH2} = \sum_{i=1}^f \lambda_L L_f [N_i t_L + (N - N_i) t_G]$$

$$Q_2 = \gamma \sum_{i=1}^f \lambda_L L_f [S_i t_L + (S - S_i) t_G]$$

其中,  $N$  为馈线上的总用户数;  $N_i$  和  $S_i$  分别为第  $i$  段分支线上的用户数和配变容量;  $f$  为馈线分支线数目;  $S$  为馈线挂接配变容量之和;  $\lambda_L, t_L, L_f$  分别为电缆线路故障率、修复时间和一个分支线长度。

c. 配变故障:

$$n_{SH3} = k p \lambda_b t_b$$

$$Q_3 = \gamma k p \lambda_b S_N t_b$$

其中,  $S_N$  为单台配变的容量;  $p$  为配变熔断器正确动作率;  $k$  为馈线配变台数。

上述三部分之和即为一回馈线的停电总时户数和总电量。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{SAIFI}_j = \sum_{i=1}^m \lambda_i + \lambda_L L_f + p \lambda_b \\ \text{SAIDI}_j = (n_{SH1} + n_{SH2} + n_{SH3}) / N \\ \text{AENS}_j = (Q_1 + Q_2 + Q_3) / N \end{array} \right. \quad (6)$$

系统所有馈线之和为全系统的停电时户数和损失电量。则系统可靠性指标如下。

系统平均停电次数指标:

$$SAIFI = \frac{\sum_j SAIFI_j N_j}{\sum_j N_j}$$

系统平均停电持续时间指标:

$$SAIDI = \frac{\sum_j SAIDI_j N_j}{\sum_j N_j}$$

系统供电可靠率指标:

$$RS = 1 - SAIDI / 8760$$

用户平均停电缺供电量:

$$AENS = \frac{\sum_j AENS_j N_j}{\sum_j N_j}$$

其中,  $j$  为馈线序号;  $N_j$  为馈线  $j$  的用户数。

### 1.4 假设条件误差分析

第 1.1 节提出了规划配电网的假设条件,对负荷和线路段作了均匀化假设,实际配电网馈线并不服从均匀分布,因此有必要对相关假设进行验证。

假设 1: 馈线各主干段的配变台数和容量相同,用户数也相同。

图 2(a)、(b)、(c) 分别给出了主干段负荷均匀分布、集中在首端、集中在末端 3 种情况,其中(a)是规划网架的假设条件的要求。计算 3 种情况的馈线的平均停电时间次数指标 SAIDI 结果分别为 0.412、0.408 和 0.416, (b)、(c) 与 (a) 的相对误差仅 1.06%, 证明此假设可以适应可靠性指标评估。

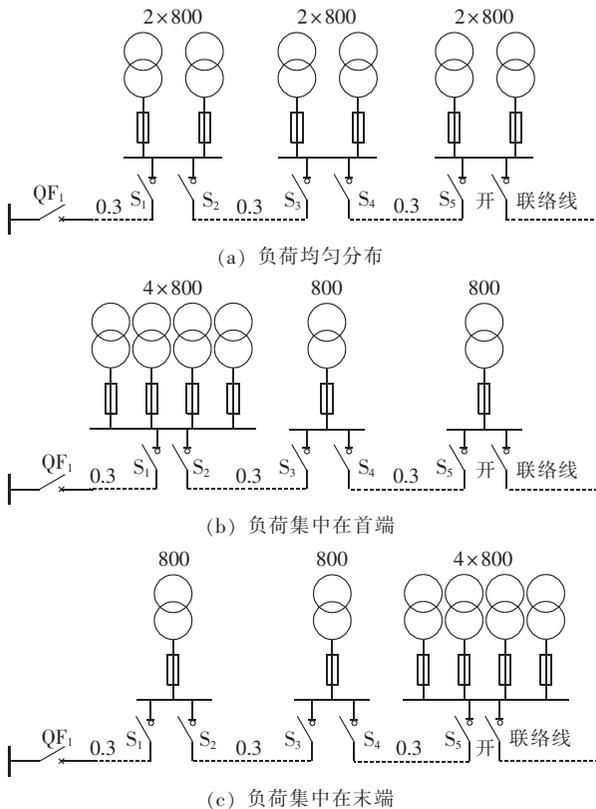


图 2 主干段负荷分布

Fig.2 Load distribution on main trunk

假设 2: 馈线各主干段的电缆长度相同。

如图 3 所示, (a) 给出了各主干段电缆长度相同情况, 而 (b) 和 (c) 分别给出了主干线电缆长度首段较长以及末段较长的 2 种情况。计算 3 种情况的馈线的平均停电时间次数指标 SAIDI 结果分别为 0.412、0.415 和 0.410, (a) 与 (b) 相对误差仅 0.61%, 与 (c) 相对误差也是 0.61%, 证明该假设是合理的。

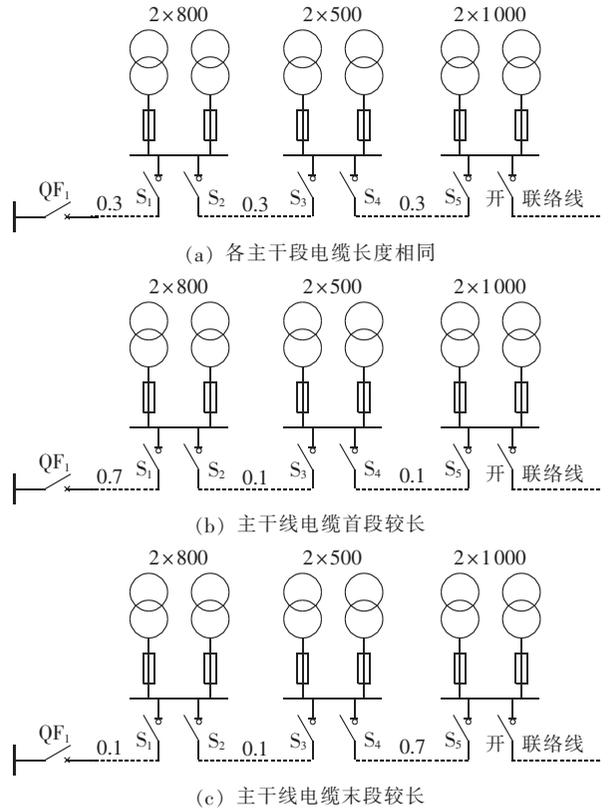


图 3 主干段之间电缆分布

Fig.3 Cable distribution between main trunks

假设 3: 多级分支简化为一级分支, 分支线和主干段的用户分布均匀。

在规划配电网中, 并不能清晰获得馈线多级分支的级数和具体负荷情况, 因此本文算法只考虑一级分支的情况, 并对多级分支简化到一级分支进行误差分析。

图 4 中 (a) 是规划网架假设条件的要求, (b) 包含多级分支, 简化之后如 (a) 所示, 即多级分支简化为一级分支, 具体的误差将在算例中验证。

## 2 可靠性计算数据结构介绍

根据可靠性计算要求, 本文数据结构的基本的数据表包括 4 个部分。

a. 根据大量历史数据统计以及广东某市区实际配电网运行情况, 分析得出配电网基本元件的故障率和故障修复时间如表 1 所示。该配电网故障参数表用于存储电缆、架空线路、配变、断路器、负荷开关、

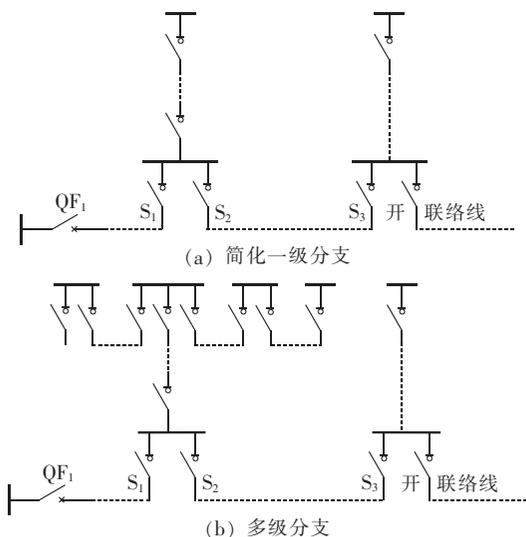


图 4 分支线简化

Fig.4 Simplification of branches

表 1 配电网元件故障率和故障修复时间

Tab.1 Failure rate and repair time of distribution components

元件	$\lambda/(\text{次}\cdot\text{a}^{-1})$	$t/(\text{h}\cdot\text{次}^{-1})$
电缆	0.03	8.0
架空线	0.22	7.0
配变	0.05	5.5
断路器	0.008	10.0
负荷开关	0.005	6.5
熔断器	0.09	4.0

熔断器等元件的故障率  $\lambda$  和故障修复时间  $t$ 。

b. 配电网管理参数与供电局管理水平以及配电网自动化实施情况有关,表 2 是在参考广东某地区供电局实际情况基础上给出的推荐值。该配电网管理参数表用于存储转供电操作时间  $t_z$ 、故障隔离时间  $t_c$  以及熔断器正确动作率  $p$ 。

表 2 配电网管理参数  
Tab.2 Management parameters of distribution network

参数	数值
$t_c/\text{h}$	1
$t_z/\text{h}$	1.5
$p$	0.95

c. 公用馈线信息表用于存储规划配电网架的基本馈线信息。根据上述可靠性算法基本原理,公用馈线信息表包括:馈线基本信息,含馈线的编号、馈线所属变电站、馈线所属的分区名称;馈线用户信息,含馈线配变台数、馈线的配变容量、馈线用户数;馈线 10 kV 设备信息,含馈线主干线长度  $L_g$ 、馈线总长度  $L_z$ 、主干线的线路型号、馈线主干线电房数;馈线网架结构信息,含主联络线编号、主联络线编号接入馈线的位置、分支线数目、分支线分布在主干段的位置。

d. 可靠性评估结果表用于存储各回馈线可靠

性计算结果以及系统可靠性计算结果,存储的指标包括:馈线/系统的用户数、馈线/系统的平均停电次数 SAIFI(单位:次/(户·a))、馈线/系统的平均停电时间 SAIDI(单位:h/(户·a))、馈线/系统的平均缺供电量 AENS(单位:kW·h/(户·a))、馈线/系统的供电可靠性 RS(单位:%)。

### 3 算例系统分析

为了验证本文对规划配电网的简化假设的合理性以及算法的正确性,选取广东某市区的 3 回馈线结构进行计算,如图 5 所示。

3 回馈线的基本信息如表 3 和表 4 所示。

表 3 公用馈线用户信息  
Tab.3 User information of public feeder

馈线编号	配变台数	配变容量/(kV·A)	用户数
F <sub>1</sub>	4	3000	4
F <sub>2</sub>	12	8735	12
F <sub>3</sub>	8	9250	5

表 4 公用馈线线路设备信息  
Tab.4 Equipment information of public feeder

馈线编号	主干长度/km	馈线总长度/km	主干型号
F <sub>1</sub>	1.0	1.45	YJV150
F <sub>2</sub>	2.2	2.9	YJV240
F <sub>3</sub>	1.6	1.8	YJV240

各回馈线的联络信息和分支线信息可以从图 5 中看出。

运用本文对算例的网架进行简化假设,利用本文算法得出系统的平均停电次数 SAIFI、系统的平均停电时间 SAIDI、系统的平均缺供电量 AENS、系统的供电可靠性 RS,并与不作简化假设的精确网架计算结果进行对比,结果如表 5 所示。

表 5 系统可靠性计算结果分析  
Tab.5 Results of system reliability calculation

算法	SAIFI	SAIDI	AENS	RS
本文算法	0.357	0.177	141	99.9980
精确算法	0.347	0.172	136	99.9980
相对误差/%	2.907	2.560	3.115	0

其中精确网架是指不对配电网结构进行简化,采用故障后果分析法对配电网进行可靠性评估,具体方法参见文献[3]。

由表 5 看出,虽然本文对规划配电网结构作了 3 种假设,简化了可靠性计算需要的基础数据,但是计算结果与精确算法的计算结果相近。系统的平均停电次数 SAIFI 和系统的平均停电时间 SAIDI 误差在 3% 之内,系统的平均缺供电量 AENS 误差在 4% 之内,并且供电可靠性 RS 误差在小数点 4 位之后,几乎没有误差。所有误差均在 5% 之内,对于规划配电网,这个误差在允许范围内。

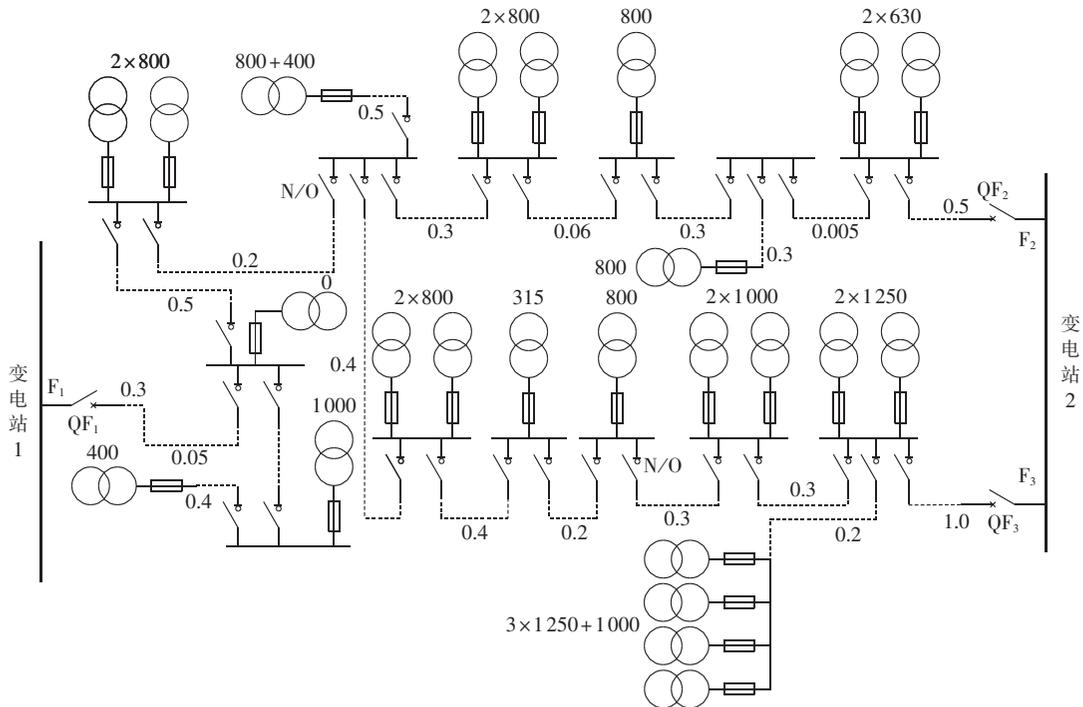


图 5 广东某地区馈线结构

Fig.5 Feeder structure of an area in Guangdong

## 4 结论

目前配电网可靠性评估主要是针对运行中的电网,对于规划配电网,并没有有效的评估方法。本文提出了一种规划配电网可靠性评估算法。

**a.** 针对规划配电网数据不完善特点,对规划配电网进行简化假设,假设馈线的负荷均匀分布并且各个主干长度相同,并对简化网架进行误差分析。考虑到故障后负荷转供问题,提出了转供率计算方法。最后把配电网馈线分为主干线、分支线和配变三部分,分析各个部分对可靠性指标贡献,由此推导出馈线可靠性指标,再由馈线可靠性指标计算系统可靠性。

**b.** 分析了规划配电网可靠性计算需要的数据结构,包括可靠性计算基础参数、配电网公用馈线信息表和可靠性计算结果表。

算例表明本文对规划配电假设的合理性和算法的可行性,该算法可以运用于实际大规模规划配电网的可靠性评估。

### 参考文献:

- [1] 戴雯霞,吴捷. 基于最小路的配电网可靠性快速评估法[J]. 电力自动化设备,2002,22(7):29-31.  
DAI Wenxia,WU Jie. Fast evaluation for distribution network reliability based on minimal path[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(7):29-31.
- [2] 任倩,张勇军,任震,等. 基于馈线分块等值的中压配电网可靠性评估改进 FMEA 法[J]. 电力自动化设备,2007,27(12):53-57.  
REN Qian,ZHANG Yongjun,REN Zhen,et al. Improved FMEA

method for reliability evaluation of mid-voltage distribution system based on divided feeder equivalence[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(12):53-57.

- [3] 方水平,管霖. 以负荷点为中心的配电系统可靠性评估算法[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(20):16-18.  
FANG Shuiping,GUAN Lin. Fault-spreading-method for the reliability evaluation of distribution system based on minimal path method with consideration of capacity constraint[J]. Power System Protection and Control,2008,36(20):16-18.
- [4] 彭建春,何禹清,周卓敏,等. 基于可靠性指标逆流传递和顺流归并的配电网可靠性评估[J]. 中国电机工程学报,2010,30(1):40-46.  
PENG Jianchun,HE Yuqing,ZHOU Zhuomin,et al. Distribution system reliability evaluation based on up-stream delivering and down-stream merging of reliability indices[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(1):40-46.
- [5] 郭飞,陈炳华,相中华. 基于递归算法的复杂辐射状配电网可靠性计算[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(5):51-55.  
GUO Fei,CHEN Binghua,XIANG Zhonghua. Computation of reliability in radial distribution network based on recursive algorithm [J]. Power System Protection and Control,2010,38(5):51-55.
- [6] 吴素农,吴文传,张伯明. 考虑传输容量约束的配电网可靠性快速评估[J]. 电网技术,2009,33(14):21-26.  
WU Sunong,WU Wenchuan,ZHANG Boming. An efficient reliability evaluation method for distribution system with transmission capacity constraints[J]. Power System Technology,2009,33(14):21-26.
- [7] 林济铿,王旭东,郑卫洪,等. 基于网络化简的计及开关故障配电网可靠性评估[J]. 电力系统自动化,2009,33(9):32-36.  
LIN Jikeng,WANG Xudong,ZHENG Weihong,et al. Distribution network reliability evaluation based on network simplification and switching fault analysis[J]. Automation of Electric Power

- Systems, 2009, 33(9): 32-36.
- [8] 谢开贵, 易武, 夏天, 等. 面向开关的配电网可靠性评估算法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(16): 40-44.  
XIE Kaigui, YI Wu, XIA Tian, et al. Switch-oriented reliability evaluation algorithm for electrical distribution networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(16): 40-44.
- [9] 王旭东, 林济铿. 基于网络化简的含分布式电源的配电网可靠性分析[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(4): 38-43.  
WANG Xudong, LIN Jikeng. Reliability evaluation based on network simplification for the distribution system with distributed generation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(4): 38-43.
- [10] 陈海焱, 陈金富, 杨雄平, 等. 配电网中计及短路电流约束的分布式发电规划[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(21): 16-21.  
CHEN Haiyan, CHEN Jinfu, YANG Xiongping, et al. Planning for distributed generation in distributed network with short-circuit current constraints[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(21): 16-21.
- [11] 卢志刚, 董玉香. 含分布式电源的配电网故障恢复策略[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(1): 89-92.  
LU Zhigang, DONG Yuxiang. Service restoration strategy for the distribution system with DGs[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(1): 89-92.

#### 作者简介:

邱生敏(1985-), 男, 广东揭阳人, 硕士研究生, 研究方向为电力系统规划和可靠性、电力系统稳定和控制(E-mail: qiuscut@163.com);

管霖(1970-), 女, 湖北孝感人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为电力系统规划和可靠性、电力系统稳定和控制、人工智能等。

## Simplification of distribution network planning and its reliability evaluation algorithm

QIU Shengmin, GUAN Lin

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

**Abstract:** The load and length of distribution feeder are simplified by assumptions and the main line and branch are defined. With the consideration of feeder transformer capacity constraint, the calculation method of load transfer rate is proposed. The feeder is divided into main line, branch and distribution transformer, and the reliability indices of distribution feeder are then deduced, based on which the system reliability indices are formed. Error analysis is carried out for the network assumptions and the data structure needed for the reliability evaluation of distribution network planning is analyzed. An example shows that the proposed assumptions and algorithm are effective and feasible.

**Key words:** electric power distribution; reliability; error analysis; distribution network planning; main line; branch line; load transfer rate

(上接第84页 continued from page 84)

刘志刚(1975-), 男, 河南巩义人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事现代信号处理技术在电力系统信号处理中的应用、智能监控和现代轨道交通技术的研究工作(E-mail: liuzg\_cd@126.com);

何士玉(1986-), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 研究方向为配电网故障诊断(E-mail: zjyi@163.com);

杨红梅(1987-), 女, 四川绵阳人, 硕士研究生, 研究方向为配电网故障诊断。

## Model-based search algorithm of fault diagnosis for distribution system

HU Fei<sup>1,2</sup>, LIU Zhigang<sup>1</sup>, HE Shiyu<sup>1</sup>, YANG Hongmei<sup>1</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Huangshi Power Supply Company, Huangshi 435000, China)

**Abstract:** An algorithm of logical operations based on binary codes is applied in the calculation of the minimal hitting sets, which maps the minimal hitting sets problem to the 0/1 integer programming problem. The system is modeled and simulated to find out the minimal conflict sets and its entire candidate hitting sets are computed and confirmed by the bottom-up search algorithm, which defines each system element with binary codes and operates logical "or". The comparison of the minimal conflict sets number and the contained elements number among different algorithms shows that the proposed algorithm is hardly affected. The calculation results of minimal conflict sets by different algorithms for an actual distribution network demonstrate the superiority of the proposed algorithm.

**Key words:** electric power systems; electric power distribution; failure analysis; minimal hitting set; search algorithm