

计及隔离设备的配电网可靠性最小割集改进算法研究

研究高效可信的配电网可靠性算法十分关键。由于配电网可靠性计算中一般不考虑线路和电源的容量约束，只考虑网络拓扑的连通性，运用最小割集法能够较快的进行评估和计算。但由于各类隔离设备的作用和特性，传统的最小割集法没有考虑隔离设备对配网负荷点可靠性的影响，本文针对该问题提出了考虑隔离设备的最小割集改进算法，并以某地区实际电网为例验证算法的有效性和科学性。

黄俊辉¹ 谈健¹ 韩俊¹ 李琥¹ 田浩² 程林²/1.国网江苏省电力公司经济技术研究院 2.电力系统国家重点实验室（清华大学电机系）

路完整表达，这导致了传统的可靠性最小割集法计算结果与实际可靠性水平有一定差距，因此需要对传统的可靠性最小割集法进行扩展，使得能够将负荷停电的因素考虑的更为完整。

为了减小某一设备发生故障的影响范围，在配电网设计和建设时安装了大量的故障隔离设备。这些隔离设备会对配电网各个负荷点在有故障发生时的停电时间造成很大影响，同时这些隔离设备本身也存在故障的可能，因此论文在传统可靠性评估方法的基础上，进一步考虑隔离设备对配电网的影响，提出计及隔离设备的配电网可靠性最小割集改进算法研究。

0 引言

配电系统可靠性评估就是计算每一个负荷点与电源点失去连通的概率和频率。传统的可靠性评估采用的是最小割集法，该方法通过网络拓扑搜索负荷点到电源之间的最小路集，由最小路集生成最小割集，再计算每个负荷点的可靠性指标。这种计算方法只考虑负荷点与电源点之间的连通性，从而忽略了一些电网的约束条件，因此负荷停电的因素无法通过以上思

1 配电网隔离设备分类及特性

不同开关设备的区别主要在于操作方式、开关状态、本身故障情况等方面存在差异。不同操作方式能够体现开关的功能，也能够决定开关的动作时间；能够远控操作的开关没有故障点定位的功能，其动作时间为几秒钟到几分钟；手动操作开关同样不能定位故障点，动作时间为几十分钟到几个小时。具体动作特性见表 1。



黄俊辉/高级工程师

表 1 开关装置动作特性总结

开关类型	操作方式	正常运行开合状态	本身故障情况
断路器	自动操作	闭合	有
隔离刀闸	手动操作	闭合	有
负荷开关	三种方式都有	断开或闭合	有
熔断器	自动操作	闭合	无

关键词/Keywords

配电网 ·
可靠性 ·
隔离设备 ·
最小割集 ·

基金项目：国家自然科学基金项目（51177078）；国家电网公司科技项目（GHJS1500008）。

2 考虑隔离设备的最小割集改进算法

2.1 考虑断路器关联故障的最小割集算法

对于断路器这类有故障定位和故障电流切除功能的设备，其停运原因有两种：一是断路器本身故障或检修，二是在断路器保护范围内其他设备故障导致其跳闸。前者就是一般意义的停运，后者定义为“关联故障”，能够造成断路器跳闸的设备则为“关联设备”，关联设备的数量与断路器的保护范围有关。

2.1.1 断路器的保护范围的确定

断路器的主要功能就是迅速切除线路上的故障电流，因而设备故障电流会流过断路器，未被其他断路器切除，那么该设备的故障就是此断

路器的关联故障，该设备也是断路器的关联设备。所以，确定断路器的保护范围就是从断路器出发进行连通性搜索，搜索到全部与之相邻的断路器、熔断器和断开的开关，中间经过的所有设备，也包括相邻断路器、熔断器和断开的开关，都是其保护范围，作为关联设备。由于熔断器的故障情况不考虑，因此相邻熔断器就只作为供电范围的边界，不作关联设备。

以图 1 为例，系统中的设备有 7 条母线（M₁、M₂、M₃、M₄、M₅、M₆、M₇），5 条线路（X₁、X₂、X₃、X₄、X₅），5 个断路器（D₁、D₂、D₃、D₄、D₅），以及隔离开关、常开联络开关、熔断器各一个（S₁、L₁、R₁）。系统中五台断路器各自保护范围所包含的设备如表 2 所示。

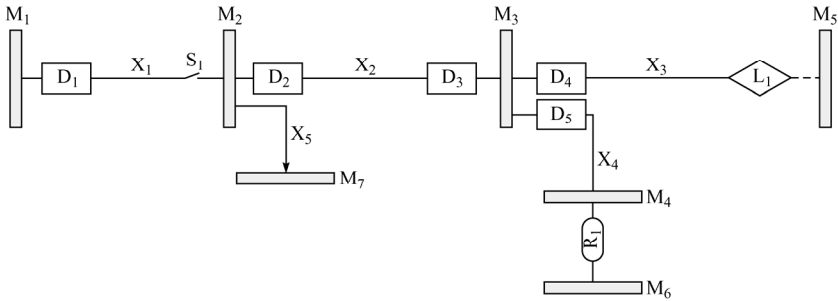


图 1 断路器供电范围示意图

表 2 系统各断路器保护范围内的设备

断路器	保护范围内的关联设备
D ₁	M ₁ 、X ₁ 、S ₁ 、M ₂ 、D ₂ 、X ₅ 、M ₇
D ₂	D ₁ 、X ₁ 、S ₁ 、M ₂ 、X ₂ 、D ₃ 、X ₅ 、M ₇
D ₃	D ₂ 、X ₂ 、M ₃ 、D ₄ 、D ₅
D ₄	D ₃ 、M ₃ 、X ₃ 、L ₁ 、D ₅
D ₅	D ₃ 、M ₃ 、D ₄ 、X ₄ 、M ₄

2.1.2 关联设备造成断路器停运时间的确定

关联设备一旦发生故障，断路器会立刻断开。此时，如果断路器和故障设备之间存在隔离开关，那么经过隔离开关动作时间后断路器就能合闸恢复供电；否则就必须等到故障设备完全修复以后断路器才能合闸。

以图 1 所示系统为例，5 台断路器各自关联设备故障时断路器的停运时间由表 3 所示。

表 3 关联设备故障时断路器 D₁~D₅停运时间表

D ₁ 停运时间		D ₂ 停运时间		D ₃ 停运时间		D ₄ 停运时间		D ₅ 停运时间	
关联设备	停运时间	关联设备	停运时间	关联设备	停运时间	关联设备	停运时间	关联设备	停运时间
M ₁	M ₁ 修复时间	D ₁	S ₁ 动作时间	D ₂	D ₂ 修复时间	D ₃	D ₃ 修复时间	D ₃	D ₃ 修复时间
X ₁	X ₁ 修复时间	X ₁	S ₁ 动作时间	X ₂	X ₂ 修复时间	M ₃	M ₃ 修复时间	M ₃	M ₃ 修复时间
S ₁	S ₁ 修复时间	S ₁	S ₁ 修复时间	M ₃	M ₃ 修复时间	X ₃	X ₃ 修复时间	D ₄	D ₄ 修复时间
M ₂	S ₁ 动作时间	M ₂	M ₂ 修复时间	D ₄	D ₄ 修复时间	L ₁	L ₁ 修复时间	X ₄	X ₄ 修复时间
D ₂	S ₁ 动作时间	X ₂	X ₂ 修复时间	D ₅	D ₅ 修复时间	D ₅	D ₅ 修复时间	M ₄	M ₄ 修复时间
X ₅	S ₁ 动作时间	D ₃	D ₃ 修复时间						
M ₇	S ₁ 动作时间	X ₅	X ₅ 修复时间						
		M ₇	M ₇ 修复时间						

关联设备对断路器的影响主要体现在通过触发跳闸增加了断路器的停运频率和停运时间。每个关联设备对断路器停运频率的贡献就是设备本身的故障率，因为关联设备一旦故障必然引发断路器跳闸。

传统最小割集算法的主要计算步骤为：从负荷点出发搜索到任意电源的所有最小路，构成最小路集；由最小路集生成最小割集，一个最小割包含的设备是并联关系，用并联公式计算参数；最小割之间串联关系，用串联公式计算出负荷点的可靠性指标；统计各个负荷点的可靠性指标，得到系统的可靠性指标。在遵循上述算法一般步骤的基础上增加关联设备故障对断路器停运的影响，这样改进的算法才与电网实际运行情况相吻合，可靠性计算结果为准确。

2.1.3 考虑隔离设备的扩展最小路搜索方法

扩展最小路搜索方法就是在按照常规方法完成一条最小路搜索后，对最小路所包含的设备再做一遍连通性搜索，搜索出没有任何开关隔开的设备（包括开关设备），将这些设备也加入到这条最小路中。

以图 1 系统为例，负荷点为 M₆，电源点为 M₁ 和 M₅。负荷点到电源点的最小路有两条

M₆-R₁-M₄-X₄-D₅-M₃-D₃-X₂-D₂-M₂-S₁-X₁-D₁-M₁

M₆-R₁-M₄-X₄-D₅-M₃-D₄-X₃-L₁-M₅

对两条最小路重新进行搜索，发现第一条最小路中还有 X₅、M₇ 两个设备与 M₂ 直接相连，因而第一条最小路修改为

M₆-R₁-M₄-X₄-D₅-M₃-D₃-X₂-D₂-M₂-S₁-X₁-D₁-M₁-X₅-M₇

2.1.4 考虑关联设备故障的追加一阶割集

为了考虑关联设备故障造成断路器跳闸，最终增加负荷点停运频率和时间，提出“追加一阶割集法”：分析造成断路器停运的两种原因，根据断路器关联故障表修正断路器的可靠性参数，得到断路器的停运率和停运时间，兼顾各个设备故障的相关性。为了在满足一定精度要求的前提下尽可能简化算法，同时考虑到一阶最小割集相对于高阶最小割集对负荷点和系统的可靠性贡献占主导地位，算法上对一阶最小割集和高阶最小割集（二阶最小割集和三阶最小割集）的处理

方法有所区别。

(1) 一阶最小割集

一阶最小割集主要用新增割集的方法来进行故障状态合并，如果某一断路器是负荷点的一阶最小割集，查询该断路器的关联故障表，里面的关联设备如果还不是一阶最小割集就可以作为新的一阶割集，可靠性参数就是关联故障表中的参数。

处理一阶最小割集的算法流程图见图 2。

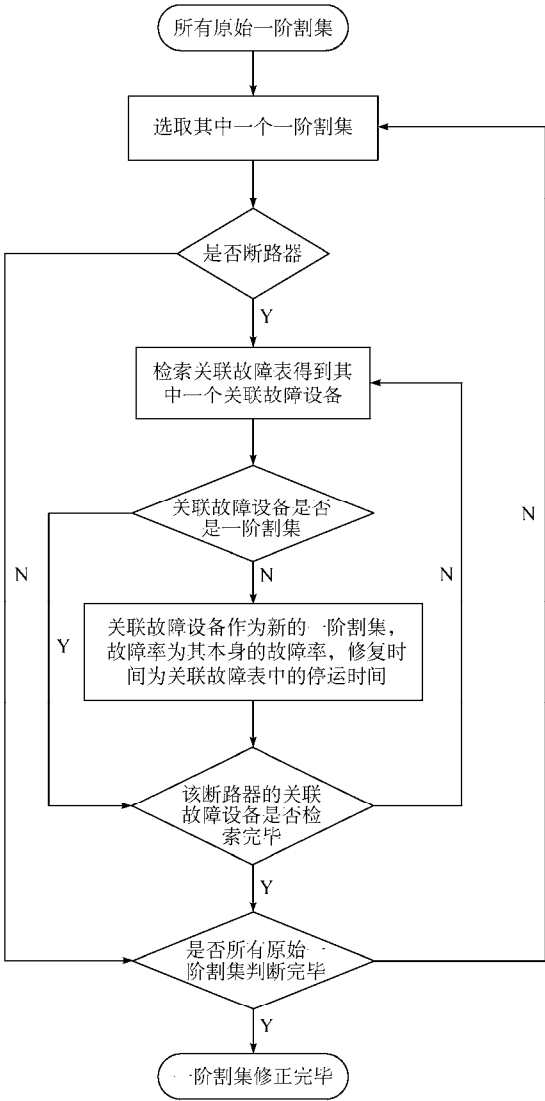


图 2 一阶最小割集修正追加法流程图

(2) 二阶最小割集

对于二阶最小割集，需要分三步来进行修正：第一步，找出由两台断路器构成的二阶最小割集，查询其关联故障表中的非一阶最小割集设

备，如果有相同关联故障设备（包括断路器本身），该关联故障设备就是新增的一阶最小割集，可靠性参数按关联故障表给定；第二步，找出由一台断路器和设备构成的二阶最小割集，查询断路器关联故障表中的非一阶最小割集设备，如果关联故障表中存在二阶最小割集的非断路器设备，此非断路器设备就是新增一阶最小割集，可靠性参数按关联故障表给定。

(3) 三阶最小割集

对于三阶最小割集，需要分三步来进行修正，步骤与二阶最小割集类似：第一步，找出由三台断路器构成的三阶最小割集，查询其关联故障表中的非一阶最小割集设备，如果有相同关联故障设备（包括断路器本身），该关联故障设备就是新增的一阶最小割集，可靠性参数按关联故

障表给定；第二步，找出由两台断路器和设备构成的三阶最小割集，查询两台断路器关联故障表，如果两者都存在三阶最小割集的非断路器设备，此非断路器设备就是新增一阶最小割集，可靠性参数按关联故障表较小参数给定。

完成断路器故障状态的合并，就可以按照传统最小割集法计算负荷点可靠性指标。

(4) 追加一阶割集算法举例

图 1 中负荷点到电源点的最小路有两条

$M_6-R_1-M_4-X_4-D_5-M_3-D_3-X_2-D_2-M_2-S_1-X_1-D_1-M_1-X_5-M_7$ ；

$M_6-R_1-M_4-X_4-D_5-M_3-D_4-X_3-L_1-M_5$ 。

那么负荷点有 6 个一阶最小割集和 40 个二阶最小割集，如表 4 所示。

表 4 系统负荷点最小割集表

最小割集阶数	详情
一阶最小割集	$\{M_6\}\{R_1\}\{M_4\}\{X_4\}\{D_5\}\{M_3\}$ $\{D_3, D_4\}\{D_3, X_3\}\{D_3, L_1\}\{D_3, M_5\}\{X_2, D_4\}\{X_2, X_3\}$ $\{X_2, L_1\}\{X_2, M_5\}\{D_2, D_4\}\{D_2, X_3\}\{D_2, L_1\}\{D_2, M_5\}$ $\{M_2, D_4\}\{M_2, X_3\}\{M_2, L_1\}\{M_2, M_5\}\{S_1, D_4\}\{S_1, X_3\}$
二阶最小割集	$\{S_1, L_1\}\{S_1, M_5\}\{X_1, D_4\}\{X_1, X_3\}\{X_1, L_1\}\{X_1, M_5\}$ $\{D_1, D_4\}\{D_1, X_3\}\{D_1, L_1\}\{D_1, M_5\}\{M_1, D_4\}\{M_1, X_3\}$ $\{M_1, L_1\}\{M_1, M_5\}\{X_5, D_4\}\{X_5, X_3\}\{X_5, L_1\}\{X_5, M_5\}$ $\{M_7, D_4\}\{M_7, X_3\}\{M_7, L_1\}\{M_7, M_5\}$

负荷点一阶最小割集中有一个断路器设备 $\{D_5\}$ ，根据表 2 断路器 D_5 的关联设备有 D_3 、 M_3 、 D_4 、 X_4 、 M_4 ，其中 M_3 、 X_4 、 M_4 已经是一阶最小割集，所以 D_3 、 D_4 是新增的一阶最小割集；再根据表 3 确定新增最小割集的停运时间均为设备的修复时间；此时，负荷点的一阶最小割集有 $\{M_6\}$ 、 $\{R_1\}$ 、 $\{M_4\}$ 、 $\{X_4\}$ 、 $\{D_5\}$ 、 $\{M_3\}$ 、 $\{D_3\}$ 和 $\{D_4\}$ 。

负荷点二阶最小割集中由两台断路器构成的有 $\{D_3, D_4\}$ 、 $\{D_2, D_4\}$ 、 $\{D_1, D_4\}$ 。对于 $\{D_3, D_4\}$ 这个二阶最小割集，相同的关联设备有 D_3 、 D_4 、 D_5 、 M_3 ；对于 $\{D_2, D_4\}$ 这个二阶最小割集，相同的关联设备有 D_3 ；对于 $\{D_1, D_4\}$ 这个二阶最小割集，没有相同的关联设备。上述设备都已经在一阶最小割集中，不需要新增。

负荷点二阶最小割集中由一台断路器构成的有 $\{D_3, X_3\}$ 、 $\{D_3, L_1\}$ 、 $\{D_3, M_5\}$ 、 $\{X_2, D_4\}$ 、

$\{D_2, X_3\}$ 、 $\{D_2, L_1\}$ 、 $\{D_2, M_5\}$ 、 $\{M_2, D_4\}$ 、 $\{S_1, D_4\}$ 、 $\{X_1, D_4\}$ 、 $\{D_1, X_3\}$ 、 $\{D_1, L_1\}$ 、 $\{D_1, M_5\}$ 、 $\{M_1, D_4\}$ 、 $\{X_5, D_4\}$ 、 $\{M_7, D_4\}$ 。这些二阶最小割集中没有相同的关联设备，不需要新增一阶最小割集。

2.2 考虑联络开关切换的最小割集算法

在配网可靠性评估中，不同开关状态的联络开关处理方式也不同：对于闭合状态的联络开关，其处理方式与隔离开关类似；而对于断开状态的联络开关，处理方式比较复杂，也是配网可靠性评估中的重点。本节重点介绍常开隔离开关在算法中的处理方法。

2.2.1 在高级最小割集中区分常供支路和联络支路

在最小割集算法中，生成的负荷点最小路有两种情况：经过的设备中没有断开的开关和有断开的开关。由这两类最小路生成的最小割集，其中的支路也分为两类：常供支路和联络支路。其

中，每个最小割集一定有常供支路，一阶最小割集只有常供支路，二、三阶最小割集可能有联络支路。在高阶最小割集中，如果有联络支路，那么在所有常供支路发生故障时，负荷点会有短暂的停电，停电时间由相关联络开关的动作时间决定。

举例来说，图 1 系统负荷点为 M_6 ，电源点为 M_1 和 M_5 ，负荷点到电源点的最小路有两条

$M_6-R_1-M_4-X_4-D_5-M_3-D_3-X_2-D_2-M_2-S_1-X_1-D_1-M_1$

$M_6-R_1-M_4-X_4-D_5-M_3-D_4-X_3-L_1-M_5$

其中，第一条没有经过常开的开关，第二条经过了常开的开关 L_1 ，因而常供支路判断结果如表 5 所示。

表 5 系统常供支路和联络支路设备表

支路类型	包含设备	切换时间
常供支路	$M_6, R_1, M_4, X_4, D_5, M_3, D_3, X_2, D_2, M_2, S_1, X_1, D_1, M_1$	—
联络支路	D_4, X_3, L_1, M_5	L_1 的动作时间

2.2.2 考虑常供支路和联络支路的最小割集参数修正方法

根据上一小节的论述，每个最小割集一定有常供支路，一阶最小割集一定由常供支路构成，因而一阶最小割集不需要修正。对于二、三阶最小割集同样采用追加割集法。

判断二阶最小割集是否存在转供支路，如果不存在转供支路，就不需要修正；如果存在转供支路，判断最小割集中的常供支路是否已经是一阶最小割集，若已经是一阶最小割集则不需要修正，若不是则常供支路就是新增的一阶最小割集。此新增一阶最小割集的故障率和检修率是设备本身的参数，修复时间和检修时间均为转供支路的切换时间。

2.3 考虑隔离设备的配网可靠性算法总结

总结本章的论述，在传统最小割集算法的基础上，本文提出的配网可靠性算法流程如下。

- 1) 确定配网中每台断路器的保护范围，为每台断路器建立关联故障表；
- 2) 选择一个负荷点，进行扩展最小路搜索，为经过设备标记常供支路以及设置切换时间；

- 3) 生成一、二、三阶最小割集；
- 4) 考虑断路器的关联故障进行故障状态合并，追加一阶最小割集和修正高阶最小割集中的断路器参数；
- 5) 判断高阶最小割集中的常供支路和联络支路，再次追加最小割集；
- 6) 计算每个最小割集的参数；
- 7) 计算负荷点的可靠性指标；
- 8) 重复步骤二至七，计算出每个负荷点的可靠性指标；
- 9) 计算系统可靠性指标。

3 计算算例

3.1 算例计算结果

以图 1 简单电网为例，各类设备的可靠性参数如表 6 所示。

表 6 可靠性基本参数

设备	故障率 λ (次/年)	修复时间 r (小时/次)
线路	0.1	3
断路器	0	0
母线	0	0
隔离、联络开关	0.15	0.5

为了简化计算，忽略断路器和母线故障率和修复时间，假设线路长度每段均为 1 km，负荷点用户数为 1000 户。

根据 2.2 第四小节的结果，负荷点可靠性参数如表 7。

表 7 负荷点一阶最小割集可靠性参数

最小割集	故障率 (次/年)	停运时间 (小时/次)
原有最小割集	M_6 0	0
	R_1 0	0
	M_4 0	0
	X_4 0.1	3
	D_5 0	0
新增最小割集	M_3 0	0
	D_3 0	0
	D_4 0	0

对于二阶最小割集而言，令两个设备的故障

率为 λ_1 、 λ_2 ，修复时间为 r_1 、 r_2 ，二阶最小割集的故障停运率 λ_{12} 和停运时间 r_{12} 分别为

$$\lambda_{12} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{8760}$$
$$r_{12} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

由于断路器及母线可靠性基本参数为零，因此二阶最小割可靠性参数如表 8 所示。

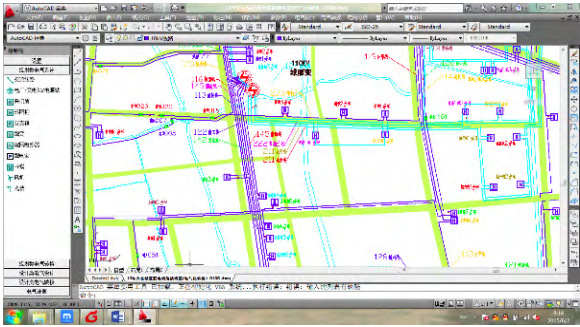
表 8 负荷点二阶最小割集可靠性参数

最小割集	故障率 / (次/年)	停运时间 / (小时/次)
X_2X_3	0.000 007	1.5
X_2L_1	0.000 006	0.43
二阶最小割集	S_1X_3	0.000 006
	S_1L_1	0.000 003
	X_1X_3	0.000 007
	X_1L_1	0.000 006

次/年
2.9992 小时/次/年
SAIDI=2.999 2*1 000/1 000=2.999 2 h/户/年
ASAI=1-2.999 2/876 0=99.9658%

3.2 可靠性评价结果验证

将算法应用到全电压等级电网智能规划软件中，在 AUTOCAD 平台搭建电网模型，对某地区的市区配电网进行可靠性计算分析，对比城区电网可靠性统计结果，对修正后算法的实用性和计算结果的正确性进行验证。



3.2.1 某地区实际配电网现状

某城市中心城区 110 kV 变电站共 6 座，总容量 703 MV·A；城区共有 10 kV 公用线路 117 条，公用线路主干平均长度为 2.8 km；主干线路长度大于 10 km 的公用线路 2 条，城区电缆化率为 51.47%，架空线路绝缘化率为 10.37%。共有 111 回实现联络，平均分段数为 4.56 段/回，10 kV 架空线路互联率为 94.87%。

3.2.2 配可靠性计算

可靠性计算基本参数采用该地区城区 2010 年设备故障及检修统计结果。可靠性计算结果如表 9 所示。

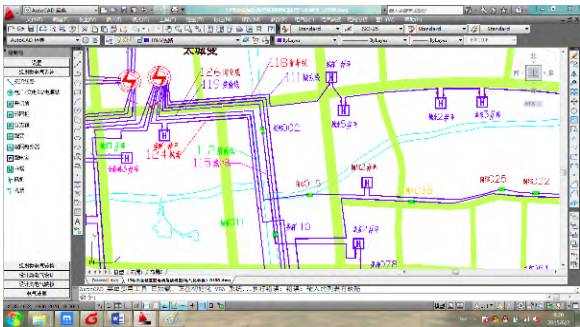


表 9 某地区城区可靠性计算结果

数据类型	计算结果	
	不计预安排停电	计及预安排停电
用户平均停电时间/ (小时/用户·年)	1.145 628	1.415 895
用户平均停电次数/ (次/用户·年)	0.356 897	0.420 381
年停电小时数/ (小时/年)	1 986.519 409	2 455.161 377
年停电次数/ (次/年)	618.859 009	728.940 674
平均理论供电可用率 (%)	99.986 923	99.983 835
年平均停电电量/ (MW·h/年)	886.740 784	1 527.678 101

由于城区基本实现了供电线路主干分段，主干线路大多实现了手拉手，因此该地区城区的理论供电可靠性较高，系统理论供电可靠率为 99.983 8%；市中心区 2010 年实际统计可靠性率

为 99.982 9%，理论计算结果比实际统计结果偏高 0.000 9%，计算结果准确度较高，能够满足大规模配电网可靠性评估的需要。

(下转第 366 页)

[9] 肖健,文福拴.广域保护及其应用[J].电力系统及其自动化学报,2008,02:22-35.

[10] 徐天奇,尹项根,游大海,等.广域保护系统功能与可行结构分析[J].电力系统保护与控制,2009,03:93-97.

[11] 李振兴,尹项根,张哲,等.分区域广域继电保护的系统结构与故障识别[J].中国电机工程学报,2011,28:95-103.

[12] 马静,李金晖,李金龙,等.快速适应电网结构变化的广域后备保护新方法[J].电网技术,2011,07:214-221.

[13] 王增平,姜宪国,张执超,等.智能电网环境下的继电保护[J].电力系统保护与控制,2013,02:13-18.

作者简介

白加林 (1984-),男,硕士,工程师,主要研究方向为电力系统继电保护。

高昌培 (1956-),男,教授级高工,主要研究方向为电力系统继电保护及安全自动装置。

王宇恩 (1976-),男,高级工程师,主要研究方向为电力系统继电保护。

赵武智 (1974-),男,高级工程师,主要研究方向为电力系统继电保护。

牛静 (1984-),女,工程师,主要研究方向为电力系统断电保护。

(收稿日期:2015-12-10) EA
(编辑:朱金凤)

(上接第 344 页)

参考文献

[1] 杨文宇,余健明,同向前.基于最小割集的配电系统可靠性评估算法[J].西安理工大学学报,2001,17(4):387-391.

[2] 相晓鹏,邵玉槐.基于最小割集法的配电网可靠性评估算法[J].电力学报,2006,21(2):149-153.

[3] 金星,洪延姬,余浩章,等.大型网络系统最小路集的优化计算方法[J].系统工程学报,2002,17(1):78-81.

[4] 金星,张明亮,王军,等.大型复杂系统可靠性评定的近似计算方法[J].装备指挥技术学院学报,2004,15(5):53-56.

[5] Huijia Liu, Jingguang Huang. Reliability Evaluation for Complex Distribution System Based on the Simplified Zone Model and the Minimal Path[C]. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, Wuhan, March 1-4. 2011.

[6] Shi Yufang. Calculation of Network System Reliability Based on Improved Disjointed Minimal Path Set[C]. E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference on, Hnan, Nov 1-4. 2010.

[7] Congqi Ye, Lin Cheng, Xiaohui Ye, et al. A

Modified Minimal Cut Set Algorithm of Distribution System Reliability with Distributed Generator[C]. 12th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Istanbul, TURKEY, June 10-14, 2012.

[8] 洪梅,丁明,戴仁昶,等.保护系统的概率模型及其对组合系统可靠性的影响[J].电网技术,1997,21(8):44-48.

[9] 沈宏,付广春.改进最小路法在配电系统可靠性评估中的应用[J].中国电力,2010,43(10):20-22.

[10] 束洪春,刘宗兵,胡泽江.基于辐射状配电系统简约模型的可靠性评估算法[J].电网技术,2006,30(10):66-70.

[11] 刘传铨.计及分布式电源的配电网供电可靠性评估[D].上海交通大学,2008.

作者简介

黄俊辉 (1965-),男,高级工程师,主要从事电网规划及相关管理工作。

谈健 (1973-),男,高级工程师,主要从事负荷预测、能源经济方面的研究工作。

(收稿日期:2015-12-10) EA
(编辑:朱金凤)