

以负荷点为中心的配电系统可靠性评估算法

方水平¹, 管霖²

(1. 广东省电力设计研究院, 广东 广州 510600; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 提出了一种以负荷点可靠性评估为核心的基于最小路法和故障扩散法相结合的复杂配电系统可靠性评估算法。该算法既能快速求取指定负荷点的可靠性指标, 又能得出系统可靠性指标。分析了以负荷单元为参照的单元分类方法。通过最小路以及基于最小路的子系统划分, 实现了负荷点可靠性指标的计算和系统可靠性指标的估计。论文还根据工程实际提出了一种处理转供容量约束的新方法, 既能有效计及转供及其容量约束对可靠性指标的影响, 又避免了潮流计算及其计算条件设置问题, 提高了可靠性评估速度。同时介绍了容量越限后的切负荷策略判别方法, 并通过实例验证了所提算法的有效性。提出的算法已编成应用软件, 并在深圳供电局委托开展的项目《深圳10kV配电系统可靠性研究》中使用, 取得了良好的效果。

关键词: 配电系统可靠性评估; 最小路法; 故障扩散法; 转供容量约束

Fault-spreading-method for the reliability evaluation of distribution system based on minimal path method with consideration of capacity constraint

FANG Shui-ping¹, GUAN Lin²

(1. Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou 510600, China;

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

Abstract: A novel reliability evaluation method aiming at the load point reliability indices is proposed for complicated distribution systems based on combination of the minimal-path method and the fault-spreading-method. The method can rapidly obtain the reliability index of individual load point as well as the reliability indices of the whole system. The load-targeted unit classification method is discussed. Through searching of the minimal path and the minimal-path based sub-system separation, the developed software can calculate the reliability indices of each load point and then obtain the system indices. A practical method to consider the constraint of alternative supply capacity and its influence on the reliability indices are proposed which avoids the time-consuming load flow calculation and enhances the velocity of the algorithm greatly. The automatic load-shedding decision method in case of capacity violation is studied too and the validity of the proposed method is examined by some numerical examples.

Key words: distribution system reliability evaluation; minimal path method; fault-spreading-method; alternative supply capacity constraint

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)20-0015-05

0 引言

随着中国电力行业的市场化改革, 电网公司更加关注以最经济的方式建设最可靠的电网。目前配电系统投资在电网总建设投入中所占比重越来越大, 同时配电网故障也成为引起用户停电事故的主要原因。对配电系统进行更为精确的可靠性评估, 并分析其薄弱环节对我国配电系统规划、运行和维护均非常必要。

配电系统可靠性评估算法当中, 故障枚举法是一种非常重要的方法^[1]。其特点是针对配电系统中

每一个设备的故障分别独立分析其对每一个用户供电连续性的影响, 最后对所有影响汇总得出用户和系统的综合可靠性指标。最早的故障模式-后果分析法 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)^[2,3]采用列表方式进行枚举, 难以自动考虑带有大量用户的复杂配电系统及转供等因素的影响。此后逐步发展出基于树状结构特点的模式分类分析, 并利用最小割集、最小路^[4-6]等拓扑分析技术构造故障模式的软件鉴别, 逐步形成了一些行之有效的可靠性分析方法。

文献[7]在故障后果分析法的基础上提出了故

故障扩散法，基于配电网接线特点进行分块，能有效降低故障和模式数量并能处理联络和转供的影响。文章还讨论了电压和线路潮流越限的负荷削减算法，为计及潮流约束的可靠性计算奠定了基础。文献[8]则详细介绍了基于前向搜索寻找设备到电源以及设备之间最小路的计算方法，应用最小路可以较方便的考虑各种开关类型对可靠性的不同影响。文章采用一次前推一回代算法考虑了对转供容量越限的检查，但对如何确定转供策略（配网重构）、越限后的切负荷方案及其对可靠性指标的影响等则缺少进一步研究。另一个问题是，现有的算法大多着眼于对系统可靠性指标的评估，若要求计算少数配电点的供电可靠性指标就显得计算量大和不够灵活。随着供电企业服务意识和运营意识的不断加强，对不同供电可靠性要求的用户采用不同的计价标准将成为发展趋势。这就要求有一种从网架接线角度客观评价对用户供电可靠性的计算方法。为此，本文提出了一种以负荷点供电可靠性指标为中心的基于最小路法的故障扩散法，既能快速得出指定负荷点的供电可靠性指标，又能汇总形成系统供电可靠性指标，具有计算快速灵活的特点。算法通过最小路法和

故障扩散法的结合提高了网络节点分类效率。同时结合工程实际，运用同时率和负载率评估转供容量约束，并实现了转供越限时切负荷方案的自动优化及其对可靠性指标影响的有效评估。论文介绍了算法的实现并通过实例验证了算法的有效性。

1 基于最小路的故障扩散法

1.1 单元及分类

节点分类和类型的确定是配电可靠性评估算法的核心部分。已有文献对节点的分类，都是以元件为中心，依据某一元件故障的影响范围对馈线上的所有负荷点进行分块，最终以元件为单位分析其对系统可靠性指标的贡献，再叠加得出系统的可靠性指标。这种算法适合评估系统可靠性指标，但不适合局部负荷点的可靠性指标的快速计算。针对这一问题，本文提出了以负荷点为中心的评估算法。算法以负荷点为分析单位，根据馈线中各元件故障引起待分析的负荷点停电时间的不同对元件进行分类并导出了负荷点可靠性指标的计算方法和公式。

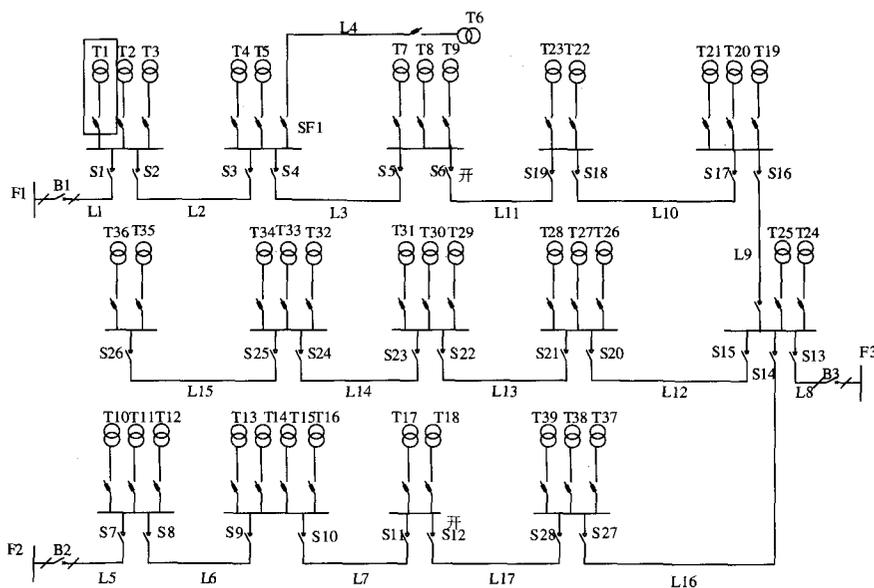


图1 配电网接线图

Fig.1 Connection diagram of distribution networks

为了降低待分析的负荷点数量，并减少数据输入和存储量，论文首先根据我国电缆网和架空网的接线特点提出了以元件标准组合构成的接线单元代替单个元件作为可靠性分析单位。组合单元类型包括：

- 馈线单元：“线路段”；
- 出线开关单元：“隔离开关+断路器+隔离开关”；
- 开关单元（共4种）：“负荷开关”或“负荷开关+熔断器”或“跌落式熔断器”或“断路器”；
- 负荷单元（共2种）：“配电变压器+负

- “开关+熔断器”或“配电变压器+跌落式熔断器”。

各单元的故障率为单元内各元件故障率之和,故障修复时间取单元内各元件的最大值。以图 1 所示电缆网为例,负荷单元 T1 指的是小方框包含的元件。由于负荷单元均有熔断器隔离单元内部故障对单元外的影响,因此彼此无开关单元分隔的负荷单元可靠性指标相同。这一处理有效减少了待计算的负荷点数量,明显加快了算法计算速度。对于架空网由于分段、分支数量少,接于同一分支的负荷单元只用计算一次,因此在计算速度上的优势更为明显。

以负荷单元为中心,算法根据馈线中各单元发生故障引起负荷单元 i 的停电时间的不同,把馈线上的各单元划分为如下三类:

A_i 类:单元故障引起负荷点 i 的停电时间为单元的修复时间;

B_i 类:单元故障引起负荷点 i 的停电时间为单元隔离操作时间+转供开关操作时间;

C_i 类:单元故障引起负荷点 i 的停电时间为 0 或单元隔离操作时间。

1.2 单元类型识别算法

解环运行的 10 kV 配电网每回馈线均为以电源点为根节点的有源树。为了动态识别馈线上的单元分类,本文采用了最小路法和故障扩散法相结合的算法。首先求出负荷点 i 到电源点的最小路,然后按以下方式对馈线各单元进行分类:

- 以负荷点 i 为中心向外扩散直到开关或树的末端为止包含的全部单元(含开关单元)均属于 A_i 类;
- 最小路上除去属于 A_i 类的其它所有单元,以及以最小路上所有线路为中心向外扩散直到开关或树的末端为止包含的全部单元(含开关单元)类别待定(记为 T_i 类);
- 馈线上所有不属于 A_i 类和 T_i 类的单元均属 C_i 类;

若开关含有熔断器或断路器等保护设备,并且其可靠度为 100%,则 C_i 类单元的故障将不影响负荷点的供电。若无没有保护开关或考虑保护元件可靠动作率低于 100%的情况,则 C_i 类单元故障引起负荷点 i 的停电时间为开关隔离操作时间。

属于 T_i 类的单元既可能归入 A_i 类单元,又可能属于 B_i 类元情况,若其故障后负荷点 i 能获得转供电源通道,则属于 B_i 类元情况,否则属于 A_i 类。

2 转供及其容量约束的考虑

2.1 线路容量约束

目前大量的实际配电系统中虽然馈线间建立了联络,但往往由于负荷较重导致故障后联络馈线并不能对所有需转供的负荷供电。如果可靠性评估算法不能有效计及转供容量约束则会导致过于乐观的评估结果,不能反映电网的真实的可靠性水平。

现有的研究在考虑容量约束对可靠性的影响时多采用各种潮流计算方法。然而,潮流计算需要指定各个负荷点的有功和无功,而实际配网中由于监测手段的不足获得所有负荷点的实际有功、无功曲线是不现实的。因此计算条件上的大量近似实际上已经破坏了潮流计算结果的准确性。为此,本文结合工程实际提出了基于配变负载率和馈线负荷同时率的统计值估算馈线允许挂接配变容量的转供容量评估方法。

定义馈线最大容许挂接配变容量计算公式如下:

$$\text{线路容许容量} = \sqrt{3} \times \text{馈线电压} \times \text{最大允许电流} \times \text{裕度系数} / (\text{配变平均负载率} \times \text{馈线负荷同时率})$$

其中最大允许电流由转供通道的最小截面线路允许的载流量决定。配变负载率和馈线同时率由所分析地区的实际统计数据决定。裕度系数计及了线损及工程要求保留的载流量裕度。以截面为 300 mm² 电缆为例,电缆沟方式敷设允许的最大电流为 550 A,馈线电压为 10 kV,某城网配变平均负载率为 0.65,馈线负荷同时率 0.85,裕度系数取 0.96,则该线路的最大允许挂接配变容量为 16500 MVA。

预先保存每回线路的最大允许挂接配变容量后,一旦发生转供只需比较线路所带的实际配变容量与允许容量,即可判断是否出现容量越限以及需断开多少配变(及负荷点)。这种处理方法既考虑了容量约束,又避免了潮流计算及其计算条件设定带来的大量计算和处理量。

2.2 线路容量校核

转供负荷的加入并非对联络馈线的所有支路都产生影响,而只是使联络开关到电源的转供通道上的线路上的负荷加重,因此转供容量校核只需判断转供通道上的线路容量是否越限。校核从故障点及转供树的末端线路开始,沿着转供通道一直上溯到树根节点。这样便于计及下级负荷切除对上级节点载流量的影响。具体实现时,可首先依照联络和转供方案,分别自故障点下级各分支开始搜索转供通道。然后从转供通道末端的线段开始,计算其供电

的实际配变容量，并与最大允许容量比较，为越限则继续校核下一段线路。如果发现越限，则需依照切负荷策略进行切负荷。

2.3 切负荷策略

当转供线路容量越限时，需要依据切负荷策略判别哪些负荷不能从转供通道获得电源。本文以使所切负荷容量最小为目标，按下述方式实现了最佳切负荷策略的搜索。

考虑到实际配网管理中，操作人员往往无权操作用户侧开关，只能操作馈线侧开关，因此程序首先对每一个馈线开关计算出其下级所有馈线所带的负荷容量。计算中可以根据开关的上下级关系采用迭代算法。为达到切除负荷容量最小，还需要考虑操作多个开关（即组合操作的可能性）。但组合操作中，对有上下级关系的开关，一旦断开上游开关，其下级负荷均已断电，故上下级开关不能再组合操作。因此需排除这样一些开关进行组合。本文各节点的父子关系记录实现了可行组合的判别，并取转供馈线允许容量约束下切除负荷容量最小的开关组合操作方案作为切负荷方案。

3 配电点和系统可靠性指标的计算

3.1 负荷点可靠性指标

在前文节点分类的基础上，按以下公式计算负荷点 i 的可靠性指标。

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot \prod_{k=1}^m (1 - p_k) \quad (1)$$

$$U_i = \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot \prod_{k=1}^m (1 - p_k) \cdot \gamma_j \quad (2)$$

$$r_i = U_i / \lambda_i \quad (3)$$

公式 (1) ~ (3) 中， λ_j 为单元 j 的故障率； γ_j 对 A_i 类单元取单元故障修复时间，对 B_i 类单元取隔离及转供操作时间，对 C_i 类单元取隔离及重合闸时间。 N 为馈线单元总数； p_k 为 C_i 类单元 j 到 A_i 类或 B_i 类单元的通道上可靠度 < 1 的开关可靠度， m 为上述开关的个数。对于 A_i 类或 B_i 类单元 $p_k = 1$ ；

3.2 系统可靠性指标

根据求出的各负荷点的年平均故障率 λ_i 、年平均停运时间 U_i 和平均停运持续时间 r_i 后，可以按以下公式得出系统可靠性指标预测值。

1) 系统平均停电频率指标：

$$SAIFI = \sum \lambda_i N_i / \sum N_i \quad (4)$$

2) 系统平均停电持续时间指标：

$$SAIDI = \sum \lambda_i r_i N_i / \sum N_i \quad (5)$$

3) 供电可靠率指标：

$$RS = 1 - \sum \lambda_i r_i N_i / \sum (N_i \times 8760) = 1 - SAIDI / 8760 \quad (6)$$

4) 用户平均停电缺供电量：

$$AENS = EENS / \sum N_i = \sum P_i U_i / \sum N_i = \sum L_{pi} f_i \lambda_i r_i / \sum N_i \quad (7)$$

公式 (4) ~ (7) 中， i 代表负荷点， N_i 为负荷点 i 的用户数， P_i 为负荷点 i 的平均负荷， L_{pi} 为负荷点 i 的峰荷， f_i 为负荷系数。

4 算例

为了检验算法的有效性，本文首先以 RBTS BUS 6^[9] 的系统为例，将本算法计算得出的系统指标与文献[9]进行了比较，证实了本文算法的正确性和速度快、准确率高的特点。算法现已成功应用于深圳配电网的可靠性评估，并通过了各种不同电缆和架空网接线方式的评估检验。由于 RBTS BUS 6 算例不包含线路容量越限数据，本文仅以图 1 所示的电缆配电系统为例讨论算法的计算过程和结果。算例中，各负荷点容量均取 1000 kVA，其它基本参数见表 1、2。

表 1 算例线路信息

Tab. 1 Information of lines in the example system			
线路截面 /mm ²	容许配变容量 /kVA	线路长度 /km	线路编码
300	16500	1.2	1,5,8
300	16500	0.5	2,3,6,7,9,10,11, 12,13,14,15,16,17
120	9600	0.5	4

以负荷点 T4 的可靠性指标计算为例，算法首先搜索得出其最小路为 S3→L2→S2→S1→L1→B1→F1。通过基于最小路的分块搜索，得出属于 A 类的单元有：S3，S4，SF1，T4；属于 T 类的单元有：L1，L2，S1，S2，B1，F1；属于 C 类的单元有：T1，T2，T3，T5，T6，T7，T8，T9，L3，L4，S5，

其中 T6 到最小路通道上有一可靠度不为 100% 的“负荷开关+熔断器”SF1。

表 2 元件的可靠性参数

Tab. 2 Reliability parameters of elements

	故障率 λ	故障修复	开关	开关切换	转供切换
		时间 r/s	可靠度 p	时间 $r_{\text{切换}}/s$	时间 $r_{\text{转供}}/s$
断路器	.007	12.38	0.8	1.34	1.84
负荷开关	0.004	5.73		1.035	1.535
跌落式 熔断器	0.022	1.91	0.8		
电缆线路	0.046	5.29			
配变	0.003	15			
出线开关 组合	0.007	12.38	0.8	1.34	1.84

由于馈线 F1 发生故障时只有馈线 F3 能对其转供,故只需对 F3 转供后的线路进行容量校核,需校核的线路有: L2→L3→L11→L10→L9→L8。经检验,只有 L8 容量超限,其实际挂接配变容量为 22150 kVA,而最大容许挂接配变容量为 16500 kVA,超限容量 5650 kVA。可考虑的切负荷开关有: SF1(800 kVA), S2(3250 kVA), S5(5310 kVA), S6(7710 kVA)及其组合。由于 S6→S5→SF1 为父子关系,不能组合操作,因此得出切负荷策略为断开开关 S6,切除的负荷点 T1~T9。由于 T4 在切除的负荷之列,可知对负荷点 T4 来说,上面属于 T 类的单元都为 A_i 类单元。至此所有单元均已分类,可按可靠性指标公式直接计算 T4 的可靠性指标。

表 3 典型负荷点的可靠性指标

Tab. 3 Reliability index of typical load points

负荷点	λ	U	负荷点	λ	U
	/(次/年)	/(小时/年)		/(次/年)	/(小时/年)
T1	0.3095	0.9749	T20	0.7145	1.1849
T6	0.3367	1.4932	T24	0.7145	0.1479
T10	0.3102	0.9755	T35	0.7819	2.4650
T17	0.3102	0.7366	T38	0.7819	1.2531

同理可求出其它负荷点的可靠性指标,其中接于同一环网的所有负荷点可靠性指标相同,不必重复计算,各负荷点可靠性指标计算结果见表 3。通过叠加所有负荷点的可靠性指标可得出系统的可靠性指标见表 4 所示。从这里可以看出,如果我们想得到某个负荷点的可靠性指标,以往的评估算法需要先算出整个系统的可靠性指标,而这恰是各种算法中耗时最多的过程,然后再回推出该负荷点的可靠性指标。而本文提出的以负荷点为中心的算法,

无需先算出系统的可靠性指标,直接就可得出该负荷点的可靠性指标,因此大大提高了算法的效率。

表 4 系统可靠性指标

Tab.4 Reliability index of the example system

SAIFI (次/(年·户))	SAIDI (小时/(年·户))	RS	A E N S (kW.h/户)
0.5378	1.3874	0.99984	1294.3252

5 结论

论文在评估现有配电系统可靠性算法优缺点的基础上,提出了一种基于最小路的故障扩散法可靠性评估算法并探讨了其实现方法。算法以负荷点可靠性计算为中心构造,在只需求取部分配电网的可靠性指标时优势特别明显。通过引入最小路法简化了故障扩散法的网络单元分类算法,利用线路最大允许挂接配变容量指标的计算简化了转供线路容量超限判别方法,使整个算法在计算速度上有较大的优势。此外论文提出的容量校核和超限后的切负荷策略搜索方法同样和具有很强的实用性。

由于实际配电网中每一回馈线故障往往只有 1、2 种可行转供方案。如果第一次计算后能保留每种方案得出的切负荷策略计算结果,往往能直接应用于不同负荷点的单元分类,进一步加快超限判别和切负荷策略搜索过程。后续算法研究和软件完善将在相关方面展开。

参考文献

- [1] 别朝红,王锡凡. 配电系统的可靠性分析[J]. 中国电力, 1997, 30(5): 10-13.
BIE Zhao-hong, WANG Xi-fan. Reliability Analysis of Distribution Networks[J]. Electric Power, 1997, 30(5): 10-13.
- [2] 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
GUO Yong-ji. Reliability Analysis of Power System[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [3] Billinton R, Allan R N. Reliability Evaluation of Power Systems[M]. London: Pitman Advanced Publishing Program, 1984.
- [4] 郭永基,等. 考虑容量约束的配电系统可靠性评估[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(17): 48-52.
GUO Yong-ji, et al. Reconfiguration of Distribution Network Based on Reliability Analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(17): 48-52.
- [5] Billinton R, Wang P. Reliability-network-equivalent Approach to Distribution System Reliability Evaluation[J]. IEE Proc—Gener, Transm, and Distrib, 1998, 145(2): 149-153.

(下转第 32 页 continued on page 32)

Beijing: China Machine Press, 1994.

[2] Kidd A L, Scholes G H. Successful Selection and Operation of Overcurrent and Residual Current Protective Measures[A]. In: Proceedings of the International Conference on Installation Engineering Designing and Maintaining Successful Systems[C]. 1998.

[3] Nomura K, Hisalsune F, Yamada T. The Present State and Future Trends in Circuit Breakers and Earth Leakage Circuit Breaker[J]. Mitsubishi Denki Giho(Japan), 1995, 69 (4).

[4] 李奎, 陆俭国, 瞿建喜. 新型鉴相鉴幅漏电流继电器的研究[J]. 低压电器, 2001, (4):12-14.
LI Kui, LU Jian-guo, QU Jian-xi. Study on Intelligent Protective Relay with Discriminating Phase and Amplitude of Residual Current[J]. Low Voltage Apparatus, 2001, (4):12-14.

[5] 戴学安. 继电保护原理的重大突破—综论工频变化量继电器[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(1): 41-47.

DAI Xue-an. A Brief Discussion on the Protection Relay Based on Power Frequency Variation Principle[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(1):41-47.

[6] 苏斌, 贺家李, 董新洲, 等. 快速工频量高频方向保护的新方案[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12(6):37-40.
SU Bin, HE Jia-li, DONG Xin-zhou, et al. New Scheme of High Speed Power Line Carrier Protection based on Power Frequency Voltages and Currents[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2000, 12(6):37-40.

收稿日期: 2008-01-03; 修回日期: 2008-03-29
作者简介:

李奎(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电器可靠性理论与试验技术、继电保护智能化理论与技术。 E-mail:likui@hebut.edu.cn

(上接第 19 页 continued from page 19)

[6] 夏岩, 刘明波, 邱朝明. 带有复杂分支子馈线的配电系统可靠性评估[J]. 电力系统自动化, 2002, 25(4) : 40-44.
XIA Yan , LIU Ming-bo, QIU Zhao-ming. Reliability Assessment of Distribution Networks with Complex Subfeeders[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 25(4): 40-44.

[7] 谢开贵, 周平, 周家启. 基于故障扩散的复杂中压配电系统可靠性评估算法[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(4) : 45-48.
XIE Kai-gui, ZHOU Ping, ZHOU Jia-qi. Reliability Evaluation Algorithm for Complex Medium Voltage Radial Distribution Network Based on Fault-Spreading-Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(4):45-48.

[8] 李志民, 李卫星, 刘迎春. 辐射状配电系统可靠性评估的故障遍历算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 25(20)

LI Zhi-min, LI Wei-xing, LIU Ying-chun. Fault-Traversal Algorithm of Radial-Distribution-System-Reliability Evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 25(20).

[9] Billinton R, LI W Y. Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods[M]. New York and London: Plenum Press, 1994. 209-254.

收稿日期: 2008-01-31; 修回日期: 2008-03-23
作者简介:

方水平(1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为配网规划、电力系统稳定与控制等; E-mail:flevel@tom.com
管霖(1970-), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为小波理论及其在电力系统中的应用、人工智能、电力系统稳定与控制。

(上接第 27 页 continued from page 27)

值负误差最大的情况, 或者两相相位误差同时达到最大的情况, 但这现象仍应当考虑。显然, 对于短线路, 相间距离 I 段需要考虑的条件比接地距离 I 段更加苛刻一些。

接地距离超越主要是由于幅值误差引起, 而相间距离超越主要是由于相位误差引起, 即引起它们误差的原因不同, 因此, 在校验保护特性时, 接地距离与相间距离均需要校验。

综上所述, 在确定线路具体多长才能投入距离保护的问题上, 不应当仅仅局限于线路的长度, 而要综合考虑系统的大小、即系统阻抗的大小, 然后根据公式(6)、公式(9)推导出适合的线路长度。

文中没有考虑经过渡电阻故障时, 因对侧电源助增所导致的超越问题, 这是通过零序电抗器来避

免超越, 因此, 不在文中考虑范围。

对于工频变化量距离继电器, 在定值 $<1/I_n$ 应退出, 此处不再详细推导。

参考文献

[1] 何奔腾, 周春霞. 短线路两相短路时距离保护误差分析[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(11).
HE Ben-teng, ZHOU Chun-xia. Error Analysis of Distance Relay Protection in Phase-to-Phase Short Circuit Fault[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(11).

收稿日期: 2008-06-02; 修回日期: 2008-07-26
作者简介:

刘玮(1973-), 男, 硕士, 主要从事电力系统继电保护管理工作。 E-mail:liuweihyp@163.com