「电网」

# 基于拓扑分析的地区电网故障损失计算

文/红河供电局　余　妍　蒲　毅
　东方电子股份有限公司　周浩洁　郭　凯

*本文提出了一种基于拓扑分析的地区电网故障损失计算方法。采用该算法，无论何种故障，调度自动化主站系统均能基于拓扑分析和负荷扩展模型，准确计算故障损失负荷、统计停电用户，还能判定停电设备，分析停电范围，为调度员提供了丰富的故障损失信息，应用前景十分广泛。*

## 引言

电网发生故障会造成损失，其后果包含负荷损失、设备停电和用户停电等。故障损失是调度员处置故障的重要依据。但是，当前很多地区电网的调度自动化主站系统不管理用户信息，故障损失负荷计算不准确，停电范围分析过于简单。发生故障时，调度员往往只能依靠经验来估计后果和处理故障。因此，需要寻找一种新的地区电网故障损失计算方法，全面、准确地计算、分析故障损失，为调度员提供参考，提高电网故障处理处置水平。

## 当前电网故障损失计算方法和缺陷

电网故障损失后果包括损失负荷、停电设备和停电用户。其中：

1）故障损失负荷＝故障切除负荷＋低压脱扣损失负荷。

2）停电设备包括故障设备及因本次故障而停电的其他设备，判定停电设备的过程就是分析停电范围。

3）停电用户包括停电用户数、停电重要用户数、停电用户等级（各停电用户中最高的等级）以及停电重要用户。

当前，不少地区电网的调度自动化主站系统计算故障损失时，只计算故障损失负荷和分析停电范围，忽略了停电用户。计算故障损失负荷时，不计算低压脱扣损失负荷，而只计算故障切除负荷，即采用了“故障损失负荷≈故障切除负荷”的近似计算。分析停电范围时，只定位故障设备，不识别停电设备。由于调度自动化主站系统不管理用户，不统计停电用户，不提示停电的重要用户。

## 基于拓扑分析的故障损失计算方法

### 1. 设备分类

将电网一次设备分为“负荷”和其他设备两类。其中，负荷即负荷线路，是指那些10 kV（部分地区电网有少量35 kV）直接带负荷的线路。其他设备主要指母线、变压器和高电压等级的线路。

### 2. 模型扩展

对负荷模型扩展。各地区电网调度自动化主站系统已为负荷建模，为了计算和统计停电用

户，需要扩展模型，增加“用户数”“重要用户数”“重要用户”和“重要用户等级”共4个属性。

一个负荷可能对应多个“重要用户”（对应“重要用户等级”也会有多个），可默认保留5个重要用户和用户等级。用户等级因各地区电网的规定有差别，可以根据实际情况进行确认。在实际应用中，增加的属性都是静态信息，需人工维护。

3. 负荷故障损失计算方法

如图1所示，为了计算故障损失负荷，调度自动化主站系统需要保存断面数据，保存间隔为30 s（可设置）。调度自动化主站系统将上一个时刻、上上一个时刻的数据断面都进行保存，即永远存在一至两个时刻的数据断面：上一时刻的、上上一时刻的。

故障1发生时，调度自动化主站系统保存有0时刻和1时刻的断面，计算时选取离故障1最近的1时刻断面做为基态断面进行计算；故障2发生时（恰好在2时刻），地区电网调度自动化主站系统保存有1时刻和2时刻的断面，此时选取1时刻的断面做为基态断面进行计算；以此类推。

负荷线路发生故障，故障损失负荷＝故障切除负荷，计算方法是取负荷线路有功，用基态断面的值减去当前值；停电设备就是负荷自身，不用拓扑分析；停电用户查询负荷扩展模型的相关信息进行计算。

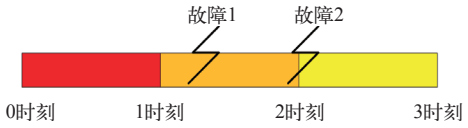


图1　数据断面

4. “低压母线－有功”模型

其他设备故障（尤其是变压器、母线、高电压等级的线路故障）时，对电网危害较大。其故障损失要借助“低压母线－有功”模型来实现。“低压母线－有功”模型的建立和维护由调度自动化主站系统自动完成。调度自动化主站系统通过拓扑分析，利用连接关系搜索得到低压母线（所带线路全部为负荷线路的母线），并建立其与变压器低压侧有功的对应关系，常见的有两种情况：

1）低压母线与变压器低压侧经分支开关连接（如图2所示），此时，低压母线对应的有功取该分支开关的有功值。

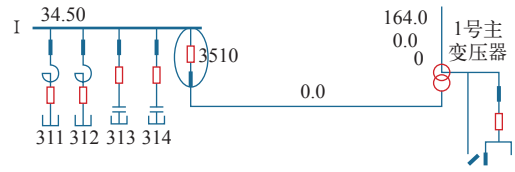


图2　分支开关连接

2）低压母线与变压器低压侧直连（如图3所示），此时，低压母线对应的有功取变压器低压侧绕组的有功值。

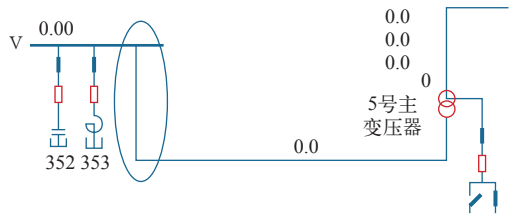


图3　无分支开关

5. 其他设备故障损失计算方法

如图1所示，电网发生故障后，选取离故障时刻最近的一个数据断面作为基态断面，在该时刻的20 s（可配置）后，对主变低压侧有功、及其低压侧低压母线的带电情况进行扫描。

遍历所有主变低压侧，根据主变低压侧对应低压母线的带电情况，将每条母线有功变化值（故障发生20 s后的值减去基态值），分别累加至故障切除负荷、低压脱扣损失负荷及故障损失负荷。

故障损失负荷计算方法如下

$$P_{loss} = P_1 + P_2$$

式中，$P_{loss}$为故障损失负荷；$P_1$为故障切除负荷；$P_2$为低压脱扣损失负荷。即：故障损失总负荷为故障切除负荷与低压脱扣损失负荷之和。

故障切除负荷计算方法如下

$$P_1 = \sum_{i=1}^{n} P_{bi} - \sum_{i=1}^{n} P_{ci}$$

式中，$P_1$为故障切除负荷；$n$为当前所有失电低压母线的总数（$i$取值范围为[1，$n$]）；$P_{bi}$为第$i$条失压母线基态断面负荷；$P_{ci}$为第$i$条失压母线当前负荷。

即：故障切除负荷为当前所有失电低压母线在基态断面下的有功总加减去当前所有失电低压母线负荷总加。

低压脱扣损失负荷的计算方法如下

$$P_2 = \sum_{i=1}^{m} P_{bj} - \sum_{i=1}^{m} P_{cj}$$

式中，$P_2$为低压脱扣损失负荷；$m$为当前所有带电低压母线的总数（$j$的取值范围是[1，$m$]）；$P_{bj}$为第$j$条带电低压母线基态断面负荷；$P_{cj}$为第$j$条带电低压母线当前负荷。

即：低压脱扣损失负荷为当前所有未失压母线在基态断面下的负荷总加减去当前所有未失压母线负荷总加。另外，停电范围分析即停电设备的判定，仍采用传统的拓扑带电分析算法。停电用户基于低压母线连接的负荷线路，统计其对应负荷扩展模型里的信息。

## 结束语

采用本文提供的方法，地区电网调度自动化主站系统对“负荷”进行模型扩展，增加属性“停电用户数”“停电重要用户数”“重要用户”和“重要用户等级”属性，同时保存数据断面，将电网故障设备分为负荷和其他设备两种，无论何种故障，均能基于拓扑分析和负荷模型，准确计算故障损失负荷，判定停电设备、分析停电范围，统计停电用户。

基于上述方法设计实现的系统，故障损失负荷的计算更准确，还提供了停电用户和停电范围分析功能，符合智能电网的技术要求，具有很高的工程实用性。**EA**

（收稿日期：2017.06.20）

（编辑：朱金凤）

## 维斯塔斯参与世界首个公用事业级风光储综合利用并网项目

2017年10月19日，维斯塔斯集团宣布，将与澳大利亚可再生能源公司Windlab合作建设世界首个公用事业级风光储综合利用并网项目。

项目名为肯尼迪发电场一期（Kennedy Energy Park phase I），位于澳大利亚昆士兰州中北部拥有一流风能和太阳能资源的弗林德郡，业主是 Windlab。项目规划总装机容量60.2 MW，其中包括12台共计43.2 MW维斯塔斯 V136－3.6 MW 风电装机，15 MW光伏发电装机，以及2 MW /4 000度锂离子电池储能设备。维斯塔斯定制化的控制系统将负责整个项目的运行，让风电、光伏发电和储能相互配合形成一体化电场并满足电网要求。

这一多能互补项目的目标是根据能源消费需求和电网要求，提供更加可靠、稳定的可再生能源电力。它将帮助澳大利亚并启发其他国家，解决长期困扰可再生能源高比例并网的发电输出稳定性问题，为能源矩阵整合更多可再生能源铺平道路，加速推进向以可再生能源为主导的能源结构转型。

维斯塔斯产品管理高级副总裁琼尼·汤姆森（Johnny Thomsen）表示，与 Windlab 合作参与此项目让维斯塔斯站在可持续能源解决方案的前沿。凭借近40年来满足复杂的并网要求和开发先进的电厂控制方案的经验，维斯塔斯也具备引领风光电综合利用的基础。

维斯塔斯和基础设施服务公司 Quanta Services 建立的联合体将负责工程总包。项目预计2018年底前投运。维斯塔斯将提供为期15年的 AOM 4000 托管式运维服务，这包括针对风机的全范围服务合同以及针对光伏面板、电池和电气系统的计划性维护。

肯尼迪发电场规划总装机1 200 MW。为支持澳大利亚今后的风光储综合利用项目，Windlab 和维斯塔斯将通过澳大利亚可再生能源局分享在建设和运营肯尼迪发电场一期中获得的知识和经验。