

「配电网」

考虑负荷不确定性的工业园区配电网典型网架规划

文/国网福建省电力有限公司福州供电公司 陈冰斌 林佳 毛韶阳 陈波 王蕙
上海博英信息科技有限公司 刘涌

根据工业园区负荷的增长特点,考虑负荷的不确定性,建立园区负荷的概率预测模型。基于概率负荷模型预测结果,对园区负荷增长进行刻度划分,将不确定性规划转为基于负荷刻度的确定性规划,分别给出电缆网为主的典型过渡网架接线和以架空网为主的典型过渡网架接线。采用蒙特卡洛模拟法和重复潮流法对典型过渡网架接线进行可靠性和供电能力评估,验证所提过渡网架的合理性。所提方法可直接用于典型工业园区的配电网规划,提高园区配电网架规划的规范性和合理性。

负荷预测是配电网规划的基础,然而,受各种因素的影响,工业园区的负荷预测结果往往存在较大的不确定性。传统的确定性负荷下的配电网规划方法所得规划方案的投资费用较高,应对负荷不确定性变化的灵活性较差。现有的不确定性负荷下的配电网规划方案基于不确定性规划理论,模型复杂且求解速度较慢,很难适用于实际的配电网规划工作。基于上述背景,提出了考虑工业园区负荷增长不确定性的配电网典型网架规划方法。

首先,提出基于二次指数平滑的概率负荷预测方法,使用该方法对典型工业园区负荷进行预测,得到典型工业园区负荷的概率分布;然后,基于对园区不确定性负荷的概率预测结果,对园区分行业负荷增长规律进行分析,将不确定性负荷的增长转化为基于负荷刻度的多阶段确定性负荷刻度;最后,基于负荷刻度的划分结果,将不确定性负荷下配电网架规划转化为确定性负荷下的多阶段配电网架规划,根据确定的负荷刻度数值,给出工业园区不同负荷刻度下的配电网典型网架规划接线。

基于指数平滑的概率负荷预测

指数平滑法是最常用的根据历史数据外推得到预测数据的预测方法之一。指数平滑法的本质是移动平均法,其预测结果主要取决于算法对历史数据权重的取值。实际使用时一般将近期历史数据的权重大于远期历史数据的权重。选择二次指数平滑算法进行概率负荷预测,二次指数平滑算法的计算过程如下。

首先,对原始数据进行一次指数平滑。然后,在一次指数平滑结果 $S_t^{(1)}$ (平滑系数 $0 < \alpha < 1$)的基础上,根据式(1)、式(2)计算得到二次指数平滑序列 $S_t^{(2)}$

$$S_t^{(1)} = \alpha x_t + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(1)} \quad (1)$$

$$S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(2)} \quad (2)$$

式中, $t=1,2,\dots,T$; S_t 为 t 期的平滑值,用来预测 $t+1$ 期的电力负荷; x_t 为 t 期的负荷值。初始值 $S_0^{(1)}$ 和 $S_0^{(2)}$ 可取为 X_0 。

然后,根据式(3)、式(4)计算预测直线的截距和斜率

$$a_t = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)} \quad (3)$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} [S_t^{(1)} - S_t^{(2)}] \quad t=1,2,3,\dots,T \quad (4)$$

最后,根据式(5)计算可得未来第 L 年的预测值

$$\hat{X}_{T+L} = a_T + b_T L \quad L=1,2,3,\dots \quad (5)$$

式(1)~式(5)为基于二次指数平滑的确定性负荷预测方法。然而,电力系统负荷受诸多不确定性因素影响,其预测结果也有较大不确定性。概率模型是常用的表示负荷不确定性分布的数学模型。基于蒙特卡洛模拟法,对未来年负荷的概率分布预测方法如下。

- 1) 统计预测工业园区各历史年度最大负荷数据 x_{it} 。
- 2) 根据历史年度实际情况,构建历史年负荷的逐年正态分布模型。
- 3) 对每个历史年负荷进行概率抽样,得到服从正态分布的逐年确定性负荷数值。
- 4) 根据抽样得到的历史年确定性负荷数值,采用式(1)~式(5)计算得到预测年的确定性负荷数值。
- 5) 按照所需模拟的最大次数,重复步骤3)~4),得出预测年份的概率负荷预测结果,根据预测结果拟合得到工业园区未来年负荷的概率分布。

基于蒙特卡洛模拟法的概率负荷预测程序计算流程如图1所示。

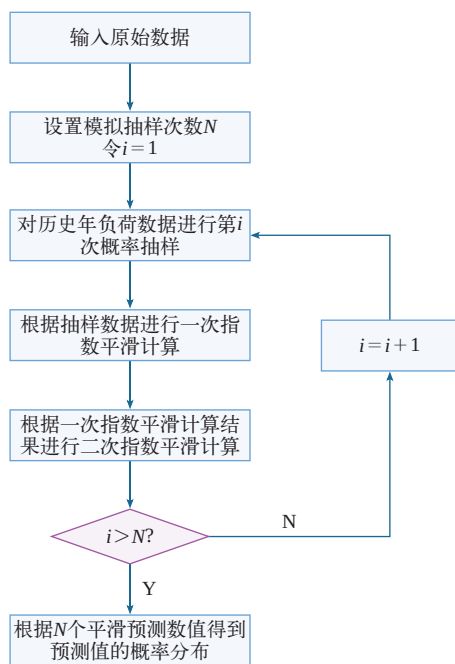


图1 基于蒙特卡洛模拟法的概率负荷预测流程

典型工业园区负荷预测及负荷刻度划分

通过对典型工业园区负荷历史负荷变化曲线和工业园区负荷对不确定性负荷增长规律的预测可以得出如下规律:园区内的工业负荷在建设初期增长较快、后期增长较慢,负荷不确定性波动较小;园区商业和居民负荷在建设初期负荷增长较慢、后期增长较快。因此,园区内总负荷的增长趋势基本上是符合线性增长规律的,在规划年每年的不确定性分布情况也基本相同。根据对国内大量工业园区负荷增长情况的调研统计结果,一般工业园区负荷的饱和值为50 MW,且每年的负荷增长值基本相同。

工业园区负荷数值的变化会影响园区配电网架的结构,园区配电网架的建设是一个多时间阶段的过程,不确定性负荷下的配电网规划应结合多阶段规划方法,将不确定性负荷的不确定性分布通过“刻度”数值的选择转换为具有多个确定性负荷数值的多阶段确定性配电网规划问题。这样可避免由于传统确定性配电网规划造成的结果较为保守,一次投资较大的问题。基于此规律,可对工业园区规划年的负荷增长进行“刻度”划分,形成负荷“刻度”空间。

基于负荷刻度的配电网典型网架规划

负荷的“刻度”划分后,根据负荷“刻度”数值可进行多时间阶段的配电网架规划,基于负荷“刻度”的配电网架规划需满足规划导则的基本要求,同时应对其供电能力和供电可靠性进行校验,以满足各项指标要求。另外,规划所得配电网架应具有典型性和可复制性,可方便地“移植”到具有相似情况的工业园区网架规划工作中。

负荷从0增长到10 MW的情况下,得到架空网和电缆网第一阶段的过渡网架如图2所示。因过渡网架一属于园区的初始建设阶段,因此设定园区内仅有一座变电站供电电源,且用户对供电可靠性要求程度不高。

负荷从10 MW增长到20 MW的情况下,得到架空网和电缆网第二阶段的过渡网架如图3所示。因过渡网架二属于园区的初始建设阶段,因此设定园区内仅有一座变电站供电电源,且用户对供电可靠性有一定要求。

负荷从20 MW增长到30 MW的情况下,得到

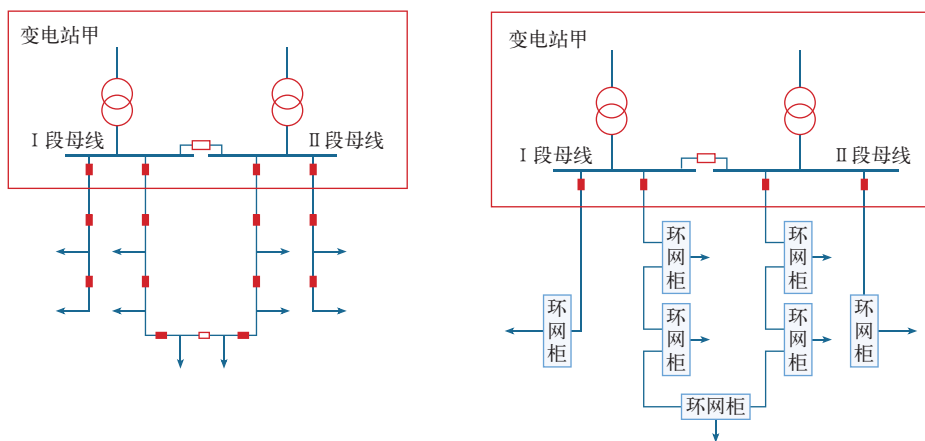


图2 第一阶段架空网和电缆网典型接线

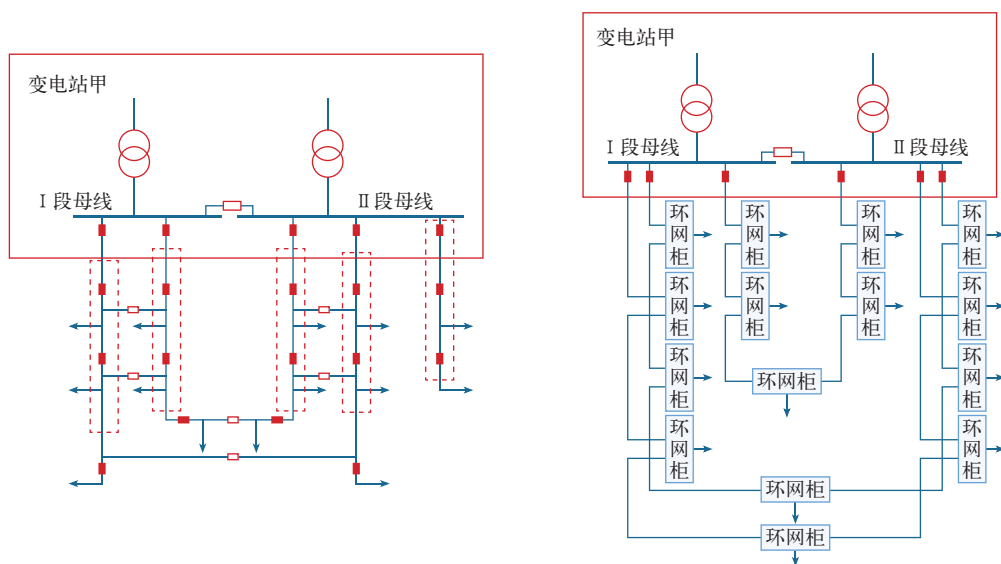


图3 第二阶段架空网和电缆网典型接线

架空网和电缆网第三阶段的过渡网架如图4所示。因过渡网架三属于园区的快速发展阶段，因此设定园区内有两座变电站供电电源，且部分用户对供电可靠性有较高要求。

负荷从30 MW增长到40 MW的情况下，得到架空网和电缆网第四阶段的过渡网架如图5所示。因过渡网架四属于园区的平稳发展阶段，因此设定园区内有两座变电站供电电源，且部分用户对供电可靠性有较高要求。

负荷从40 MW增长到50 MW的情况下，得到架空网和电缆网第五阶段的过渡网架如图6所示。因过渡网架五属于园区的饱和成熟阶段，因此设定园区内有2座变电站供电电源，且部分用户对供电可靠性有较高要求。

从典型网架规划结果可以看出，随着园区负荷的增长和供电可靠性要求的提高，园区架空网

的发展应由单辐射或单联络逐渐过渡至多联络接线；园区电缆网的发展应由环网柜为主要设备的单辐射或单环网逐渐过渡至以开关站为主要设备的环网接线。

典型规划方案规划评估

针对上述5个阶段的典型网架，分别采用蒙特卡洛模拟法和反复潮流计算方法进行过渡网架的可靠性和最大供电能力分析，分析结果如下表所示。

由典型场景架空网与电缆网的可靠性分析结果可以看出，随着供应负荷与户数的提高，原本应该随着网架复杂程度提高而大幅提高的年故障次数相关指标提升并不明显，而与单位户故障时间和总故障时间相关的指标则迅速下降。这说明了尽管网架规模大了许多，但是随着网架接线结

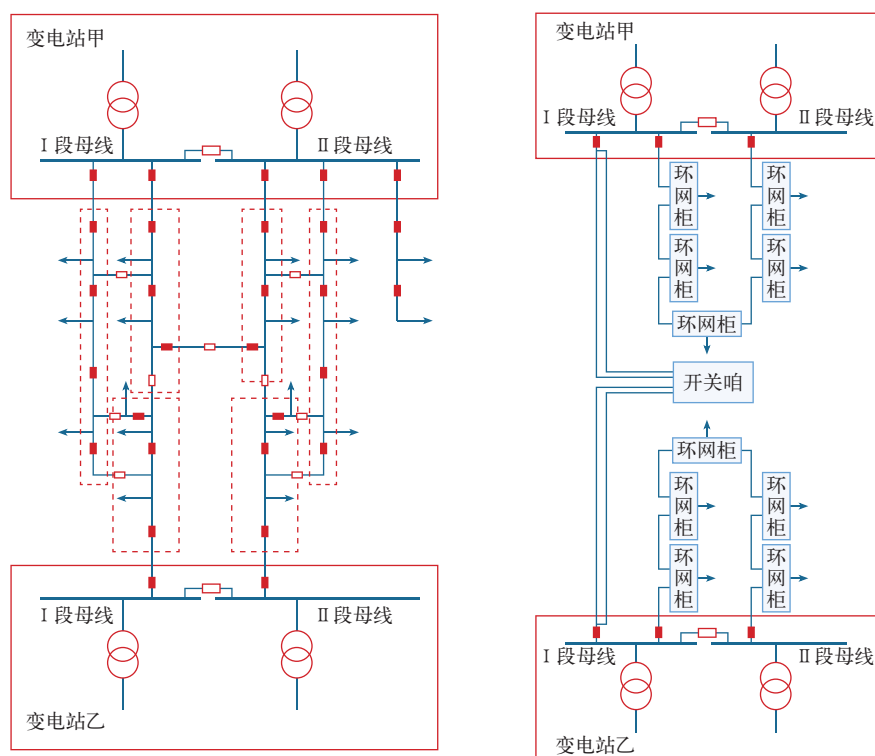


图4 第三阶段架空网和电缆网典型接线

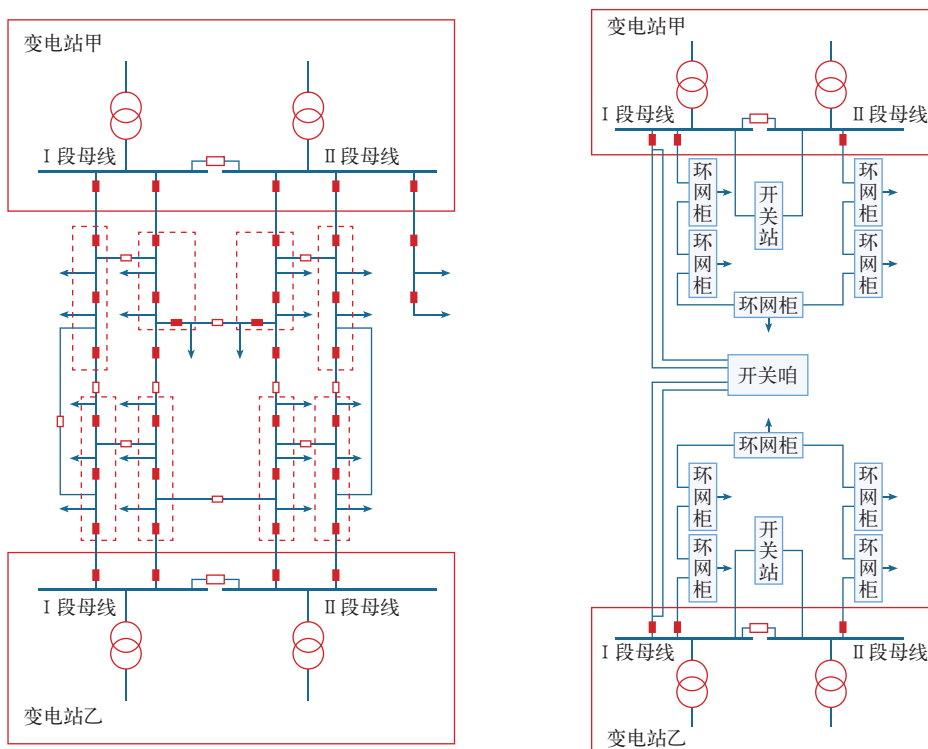


图5 第四阶段架空网和电缆网典型接线

构的优化与开关站等新型配电装置的应用，配电网的可靠性反而提高了。这一点从可靠率指标的升高和电量损失的下降中也可清晰地看出。

根据架空网供电能力分析结果来看，随着工业园区网架的成熟，接线结构复杂程度的提升，出线数量的增加，供电裕度越来越大，但是相较

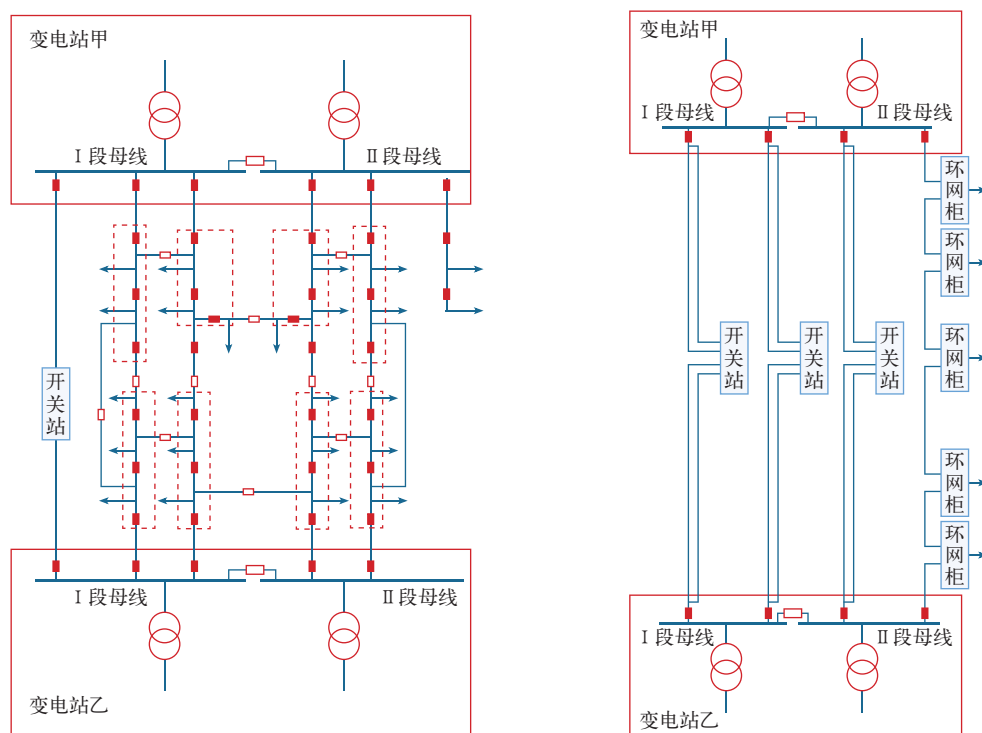


图6 第五阶段架空网和电缆网典型接线

表 过渡网架可靠性和供电能力计算结果汇总

指标名称	架空网一	架空网二	架空网三	架空网四	架空网五	电缆网一	电缆网二	电缆网三	电缆网四	电缆网五
SAIFI	0.555	0.264	0.305	0.326	0.327	0.094	0.107	0.055	0.066	0.069
SAIDI	0.378	0.11	0.062	0.061	0.058	0.065	0.0107	0.006	0.007	0.007
CAIDI	0.681	0.417	0.205	0.187	0.177	0.686	0.1	0.1	0.1	0.1
AENS	0.189	0.046	0.029	0.025	0.019	0.032	0.015	0.008	0.006	0.005
ENSI	1.889	1.095	0.935	1.214	0.988	0.192	0.159	0.22	0.239	0.245
供电能力 /MW	17.1	14.6	18.5	22.4	26.2	17.1	21.6	11.6	29.3	5.4
负荷增长 倍数(%)	171	73.2	61.7	55.9	52.4	171	108	38.6	73.2	10.9

于负荷的增长速度，供电裕度的提升相对较慢。这是由于随着负荷增长趋于饱和，网架结构趋于成熟，线路间负荷转移能力大大提升，网架建设将更多考虑现有网架设备利用率的提升，而不是单纯考虑供电裕度的增长。

结束语

研究了考虑负荷不确定性的工业园区配电网典型网架规划方法，通过研究得到如下结论。

1) 提出基于二次指数平滑的概率负荷预测方法，使用该方法可预测得到典型工业园区负荷的概率分布。

2) 提出基于负荷刻度的不确定性负荷划分方

法，根据工业园区不确定性负荷增长规律，将不确定性负荷的增长转化为基于负荷刻度的多阶段确定性负荷刻度。

3) 基于划分所得负荷刻度数值，给出工业园区不同负荷刻度下的配电网典型网架规划接线。使用蒙特卡洛模拟法和反复潮流法对园区可靠性和供电能力进行评估。

所提考虑负荷不确定性因素基于负荷刻度的工业园区典型规划网架方法，适用于类似工业园区配电网架规划，具有较好的规范性和可推广性。EA

(收稿日期：2018.01.16)

(编辑：刘群燕)