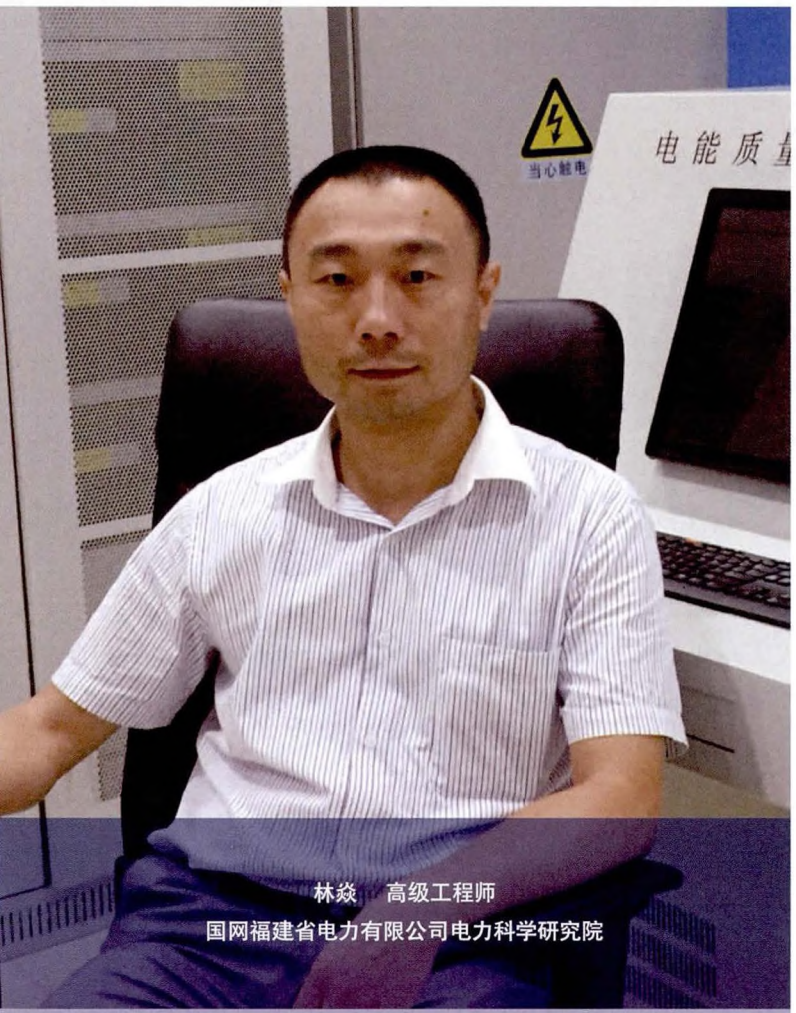
含微网配电网的电能质量预评估

访国网福建省电力有限公司电力科学研究院高级工程师林焱

■ 杨 帆/本刊记者



林焱 高级工程师
国网福建省电力有限公司电力科学研究院

含微网配电网的电能质量预评估方法可为规划阶段的配电网微网建设和接入方案选择提供参考。

微网接入将对配电网的电能质量造成影响。在含微网配电网的规划阶段，考虑相关分布式电源和微网对配电网电能质量的影响，从而选择合适的分布式电源和微网接入方案非常重要。为此我们有幸采访到了国网福建省电力有限公司电力科学研究院高级工程师林焱，请他就含微网配电网的电能质量预评估方法进行深入解读。

微网接入对配电网电能质量的影响

***电气应用：**您好！林工，非常感谢您在百忙之中接受本刊的专访！首先请问微网接入将对配电网的电能质量造成哪些影响？电能质量综合评估需考虑的因素较多，过程较复杂，那么现有电能质量综合评估方法都有哪些？*

林焱：微网是指由分布式电源、负荷、保护装置、监控系统和能量管理系统等组成的小型发配电系统，能实现自我控制、保护和管理功能，既可以与大电网并网运行，也可以孤立运行。虽然微网整合了多种分布式电源与相应的配套设施，能够有效发挥分布式电源的优势，但是其对配电网电能质量的不利影响依然存在。微网中的风机、光伏、微型燃气轮机和燃料电池等分布式电源均有可能对电能质量产生不利影响。如风机、光伏等出力随机性较大的分布式电源容易造成电压波动与闪变；应用电力电子装置接口并网的分布式电源容易造成谐波污染；应用同步机形式接口并网的分布式电源容易造成频率波动问题。

现有电能质量综合评估方法主要分为基于模糊数学的评估方法、基于概率统计的评估方法、基于层次分析法的评估方法与基于智能算法的评估方法。

***电气应用：**在含微网配电网的规划阶段，含微网配电网的规划流程都有哪些特点？*

林焱：通过全面分析含微网配电网的规划流程，发现其有以下几个特点。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1）在规划阶段往往无法获得电能质量实测数据，可能获得的数据如下：分布式电源类型；分布式电源容量与数量；微网容量与数量；微网接入配电网PCC点短路容量。

2）规划阶段往往不需要对电能质量问题进行定量分析，仅需要简单快速的定性分析从而支持规划方案评价和选取。

3）随着各种储能设备在微网中的配置，有必要在规划阶段评估其对微网电能质量的改善作用。

电能质量预评估方法及具体流程

电气应用：通过您对上述特点的分析，以及分布式电源类型与储能设备所带来的影响，是否有适用于规划阶段的含微网配电网的电能质量的预评估方法？

林焱：考虑到上述因素，以PCC点短路容量、微网接入容量以及各类分布式电源容量为基础数据，综合考虑分布式电源类型与储能设备所带来的影响，应用层次分析法，建立规划阶段的含微网配电网电能质量评估模型，来进行简单实用的预评估。

1. 不含储能设备的预评估方法

层次分析法的层次一般分为三层，分别为目标层、准则层与方案层。顾名思义，目标层表示待评估的目标，它直接指示了目标的优劣；准则层将总目标分为若干个部分，是层次分析法的中间环节；方案层将准则层中的各部分进一步细分，通过各种具体的方案来达到预期目标。

含微网配电网电能质量层次评估模型中目标层是单个微网对配电网电能质量影响的综合评价结果；准则层是单项电能质量评价指标；方案层是微网中包含的各类型分布式电源。

用于预评估单微网接入对配电网电能质量影响指标的计算公式为

$$C_i = \sum_{j=1}^{h} \frac{v_j CF_j P_{ij}}{P_{SCi}} \times 100\% \tag{1}$$

式中，v_j为方案层第j类分布式电源对目标层的总权值，通过层次分析法对电能质量评估层次模型求解而得；CF_j为第j类分布式电源的容量系数；P_{ij}为第i个微网中第j类分布式电源的容量；P_{SCi}为第i个微网接入配电网PCC点的短路容量。其中，PCC点短路容量越大，说明配电网抵抗分布式电源干扰的能力越强，电网越坚强；配电网中接入微网容量越小，说明微网给配电网可能带来的潜在干扰量越小。

基于式（1）单微网指标计算结果，求取所有微网对配电网电能质量的影响指标为

$$C' = \sum_{i=1}^{m} C_i \tag{2}$$

式中，m为微网数量。C'的取值越小，则电能质量越好；取值越大，则电能质量越差。通过比较不同规划方案的C'值，从而确定出较优的规划方案。

2. 考虑储能设备的预评估方法

储能设备是实现微网安全可靠运行的关键，是提高微网技术经济性的重要手段。微网中采用的是多元复合储能，各种储能设备实现的功能不同，主要有四个方面：为保证电能质量的储能，解决微网中如电压闪变等电能质量

广告 | AD
正泰 昆仑 系列
万能式断路器
实时温度传感器
持续提示运行状态
洞悉风险更可靠
CHNT
领先每一步 可靠新高度
欢迎关注正泰微信公众号
[广告]
浙江正泰电器股份有限公司
股票代码：601877 400-817-7777 www.chint.net/kunlun

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

问题；为保障供电可靠性的储能，如不间断电源；为提高新能源发电并网性能的储能，如平抑风力发电等新能源发电输出功率的间歇性、波动性；为提高电能利用效率的优化能量管理的储能。

将微网中不同功能的储能设备分为三类进行等效处理：第一类是与某类对应分布式电源相配合使用以提高可再生能源发电并网性能的储能设备，或与微型燃气轮机等起动较慢的发电设备配合使用，作为补充电源的储能设备，设其容量为P_{ess1}，接入位置如图1中储能③与储能②所示；第二类是用于专门保证微网供电电能质量的储能设备，设其容量为P_{ess2}；第三类是只从经济性角度出发，高电价时发电，低电价时充电的储能设备，设其容量为P_{ess3}，第二类和第三类接入位置均如图1中储能①所示。

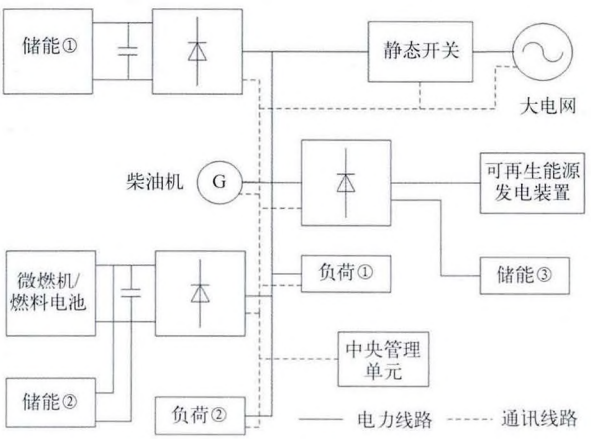


图1 含储能设备的微网结构示意图

1）第一类储能设备，既可以与可再生能源分布式电源配合，改善该类分布式电源出力随机性对电能质量的影响；也可以与微型燃气轮机、燃料电池等起动较慢的可调度分布式电源配合，改善输出功率过渡阶段的电能质量。作用相当于减少了对应分布式电源对配电网电能质量的影响，所以对该类型的储能设备，可将其容量按比例α_{ij}转换，并用该容量抵消对应分布式电源对配电网的影响。式（1）的电能质量指标的计算公式修正为

$$\alpha_{ij}=\frac{P_{ess1ij}}{\sum_{j}P_{ess1ij}} \tag{3}$$

$$C_i=\sum_{j=1}^{h}\frac{v_j CF_{ij}P_{ij}-\alpha_{ij}P_{ess1ij}}{P_{SCi}}\times 100\% \tag{4}$$

式中，P_{ess1ij}为第i个微网中，与第j类分布式电源配套的第一类储能设备容量；α_{ij}为第j类分布式电源占第i个微网中分布式电源总容量的比例。

2）第二类储能设备，其作用为专门保证微网的供电电能质量，增加了配电网对微网中所有分布式电源的消纳水平。对该类型的储能设备，由于其作用于微网整体，所以其容量可以全部用于抵消微网中分布式电源对配电网电能质量的影响。故可将其容量全部转换为配电网在PCC点的电能质量消纳能力。式（1）电能质量指标的计算公式修正为

$$C_i=\sum_{j=1}^{h}\frac{v_j CF_{ij}P_{ij}-P_{ess2i}}{P_{SCi}}\times 100\% \tag{5}$$

式中，P_{ess2i}为第i个微网中第二类储能设备的容量。

3）第三类储能设备，由于其不参与电能质量的控制，只是用于电网的削峰填谷，所以在预评估时不考虑其对电能质量的影响。

电气应用：含微网配电网电能质量预评估方法具体流程是什么？

林焱：含微网配电网电能质量预评估方法具体流程如下。

1）分别给出目标层“电能质量综合评估指标”对准则层“单相电能质量指标”的判断矩阵$\boldsymbol{X}$、“准则层单项电能质量指标”对方案层“微网中的各类分布式电源”的判断矩阵$\boldsymbol{Y}$。

2）对第1）步中的各判断矩阵应用层次分析法求解，得到各判断矩阵的权重矢量。

3）根据第2）步中的两层权重矢量，计算方案层对目标层的总权值。

4）根据规划方案中是否含有储能设备以及储能设备的类型，选用相应的公式计算含单个微网的配电网电能质量指标。

5）应用式（2）计算含微网的配电网电能质量综合评估结果。

电能质量预评估方法流程如图2所示。

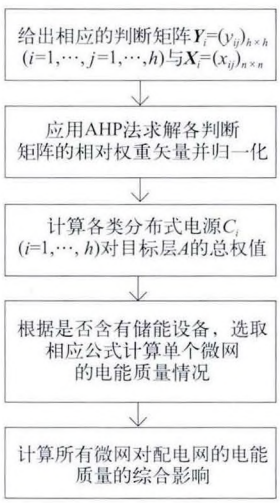


图2 电能质量预评估流程图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

案例应用分析

电气应用：请问上述含微网的配电网电能质量预评估方法，是否有应用案例与大家分享？考虑储能设备的预评估方法是最佳方法吗？

林焱：对某园区3套含微网的配电网规划方案进行电能质量预评估。准则层的单项电能指标包括了电压波动与闪变、电压偏差以及谐波与电压暂降。方案层的分布式电源包括了风电、燃料电池、燃气轮机与光伏发电。3套规划方案一、方案二和方案三的基本数据如下。

1）方案一。含有3个微网A_1、A_2和A_3。A_1中包含燃料电池1.6 MW，风电1.2 MW，光伏发电0.9 MW，接入PCC点短路容量181.29 MW；A_2中包含风电4.4 MW，微型燃气轮机1.9 MW，接入PCC点短路容量177.36 MW；A_3中包含风电2.6 MW，微型燃气轮机2.9 MW，燃料电池1.4 MW，接入PCC点短路容量188.36 MW。

2）方案二。含有3个微网B_1、B_2和B_3。B_1中包含燃料电池1.5 MW，风电1 MW，燃气轮机1 MW，接入PCC点短路容量190.69 MW；B_2中包含风电2.3 MW，微型燃气轮机2.1 MW，接入PCC点短路容量185.94 MW；B_3中包含风电1.5 MW，微型燃气轮机2.5 MW，燃料电池1.2 MW，接入PCC点短路容量164.55 MW。

3）方案三。含有3个微网C_1、C_2和C_3。C_1中包含燃料电池1.5 MW，风电1 MW，燃气轮机1 MW，加入对应风电、燃气轮机的第一类储能分别为0.15 MW、0.1 MW，接入PCC点短路容量190.69 MW；C_2中包含风电2.3 MW，微型燃气轮机2.1 MW，加入第二类储能0.3 MW，接入PCC点短路容量185.94 MW；C_3中包含风电1.5 MW，微型燃气轮机2.5 MW，燃料电池1.2 MW，加入第二类储能0.4 MW，接入PCC点短路容量164.55 MW。

考虑到某些分布式电源出力随机性较大，不同型号的发电设备有不同的容量系数，本案例中光伏发电的容量系数取0.33，风力发电的容量系数取0.43，其他类型分布式电源取1。

经过多次实地调查与研究，确定了从待规划区域用户的角度建立的判断矩阵。得出电能质量综合评价结果C的重要性程度赋值判断矩阵$\boldsymbol{X}$为

$$\boldsymbol{X}=\begin{bmatrix}1 & 1/3 & 1/5 & 3\\ 3 & 1 & 1/3 & 5\\ 5 & 3 & 1 & 7\\ 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1\end{bmatrix} \tag{6}$$

则准则层各电能质量单项指标对于目标层的权重矢量：$\boldsymbol{W}_{(1)}=(0.107\ 1, 0.321\ 4, 0.535\ 7, 0.035\ 7)^{\mathrm{T}}$。

以下给出准则层“单项电能质量指标”对方案层“微网中包含的各类型分布式电源”的各个判断矩阵

$$\boldsymbol{Y}_1=\begin{bmatrix}1 & 4 & 4 & 1\\ 1/4 & 1 & 1 & 1/4\\ 1/4 & 1 & 1 & 1/4\\ 1 & 4 & 4 & 1\end{bmatrix}\quad \boldsymbol{Y}_2=\begin{bmatrix}1 & 3 & 1 & 1/2\\ 1/3 & 1 & 1/3 & 1/3\\ 1 & 3 & 1 & 1/2\\ 2 & 3 & 2 & 1\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Y}_3=\begin{bmatrix}1 & 6 & 6 & 1/3\\ 1/6 & 1 & 1 & 1/7\\ 1/6 & 1 & 1 & 1/7\\ 3 & 7 & 7 & 1\end{bmatrix}\quad \boldsymbol{Y}_4=\begin{bmatrix}1 & 6 & 5 & 3\\ 1/6 & 1 & 1 & 1/4\\ 1/5 & 1 & 1 & 1/4\\ 1/3 & 4 & 4 & 1\end{bmatrix} \tag{7}$$

广告|AD
正泰昆仑系列
电动机控制与保护
70%-120%
吸合电压
无惧电压起伏
稳定运行更可靠
CHNT
领先每一步 可靠新高度
欢迎关注正泰微信公众号
[广告]
浙江正泰电器股份有限公司
股票代码：601877 400-817-7777 www.chint.net/kunlun

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由上述判断矩阵求得各类型分布式电源对各单项电能质量指标的权重矢量：$W_1^{(2)}$=(0.400 0, 0.100 0, 0.100 0, 0.400 0)；$W_2^{(2)}$=(0.230 8, 0.076 9, 0.230 8, 0.461 6)；$W_3^{(2)}$=(0.230 8, 0.038 5, 0.038 5, 0.692 3)；$W_4^{(2)}$=(0.588 2, 0.098 0, 0.117 6, 0.196 1)。

根据两层权重矢量，进而求得方案层对目标层的总权值V=(0.2617, 0.0595, 0.1097, 0.5691)。

根据方案中是否含有储能设备，方案一和方案二应用上述不含储能设备的预评估方法相应公式计算电能质量综合评价指标，方案三应用上述考虑储能设备的预评估方法相应公式进行计算。计算结果如下Z_{A1}=0.22%，Z_{A2}=0.40%，Z_{A3}=0.37%；Z_{B1}=0.16%，Z_{B2}=0.31%，Z_{B3}=0.31%；Z_{C1}=0.09%，Z_{C2}=0.15%，Z_{C3}=0.06%。求出三套规划方案的电能质量综合评价指标：$Z'_{方案1}$= Z_{A1}+ Z_{A2}+ Z_{A3}=0.99%；$Z'_{方案1}$= Z_{B1}+ Z_{B2}+ Z_{B3}=0.78%；$Z'_{方案1}$= Z_{C1}+ Z_{C2}+ Z_{C3}=0.30%。

分析预评估结果可知，方案三的电能质量预评估结果最优，方案一相对较差，方案二介于方案一、三之间。其原因在于方案一中风力发电、太阳能光伏发电等波动较大的分布式电源较多，容易对配电网电能质量造成不良影响。而方案二中有较多的恒定出力分布式电源，如微型燃气轮机、燃料电池等，可以提供系统基荷，所以其出力波动不大，该方案自我调节能力较方案一好，电能质量也较好。而方案三在方案二的基础上加入了储能设备，与风电、光伏发电等出力波动较大的电源配套，使配电网电能质量更好。需要指出的是，虽然方案三的电能质量预评估结果最好，但由于其储能设备对资金需求较大，所以在实际建设中是否加入储能设备，是需要决策者根据现实需要与资金状况统筹考虑经济性与电能质量来决定的。

同时，可以发现，微网接入配电网的PCC点短路容量对电能质量的影响较大。这是因为从配电网的角度来看，其消纳微网的关键因素之一是接入点的短路容量。所以在配电网规划阶段可以适当增加PCC点的短路容量来减少微网接入给电能质量带来的不利影响。**EA**

装配机柜需要创新的思路
Klippon® Connect为您提供开创性的联接解决方案

魏德米勒Klippon® Connect接线端子包含了两类产品 —应用类产品和通用类产品，应用类接线端子针对装配机柜中常见的应用领域提供定制化的解决方案；通用类接线端子能为用户的联接提供多种接线技术的选择。新型A系列接线端子的创新应用优化了装配机柜的生产效率，无论是在项目的规划、安装，还是操作阶段都可助您保证高效卓越的生产力。

魏德米勒电联接(上海)有限公司
电话: 021-22190168 网址: www.klippon-connect.com

扫一扫，即刻了解
Klippon® Connect
Let's connect.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net