

# 江苏电网电能质量评估方法及应用

韦永忠<sup>1</sup>, 郑爱霞<sup>1</sup>, 袁晓冬<sup>2</sup>, 陈兵<sup>2</sup>

(1.江苏省电力公司, 江苏南京 210024; 2.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

**摘要:**介绍了江苏电网电能质量监测系统电能质量评估体系。针对国家电能质量标准, 给出了单个指标、综合指标的电能质量评估方法, 并利用加权平均的思想对变电站、市(县)级供电公司进行电能质量评估, 形成了江苏电网完整的评估体系。实际测试结果表明, 该方法具有实用性好和效率高等特点。

**关键词:**电能质量; 单指标评估; 综合评估; 监测系统

中图分类号: TM711

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2011)05-0001-04

随着江苏电网建设的迅速发展, 电网与负荷构成出现新的变化趋势, 其对电网电能质量带来的负面影响引起电力部门和电力用户的高度关注。一方面, 江苏省内电气化铁路、风电等特殊重点负荷接入电网, 其固有的波动性和并网所需整流电力电子设备的使用, 给电网带来谐波、波动与闪变、三相不平衡、电压暂降等电能质量问题<sup>[1-4]</sup>, 恶化了电网单项指标的水平; 另一方面, 随着科技的发展, 工业设备采用的新型设备和用户智能家用电器的使用, 对电能质量的要求越来越高, 电力用户对电能的需求已从供电量向优质供电转变。因此, 为保证电网的供电安全和满足用户的供电要求, 对电网进行电能质量评估, 针对评估结果, 采取相应的措施来提高电网的电能质量水平, 对提升江苏电网安全性和社会影响度有重要的作用。目前, 对电能质量评估研究方法较多<sup>[5-8]</sup>, 依据不同的关注度, 电能质量评估分为单项指标评估和综合评估两部分。电能质量评估指标体系的复杂性和相关性, 决定了对其评估的方向性, 即如何科学、客观地将多指标问题综合成单一量化指标。本文将介绍江苏电网在电能质量方面所做的研究及已建成的电能质量监测系统概况。

## 1 江苏电网电能质量监测系统概况

江苏电网率先开展了电能质量监测网络的建设, 目前该系统有 321 台终端监测设备对 1 032 个监测点进行数据监测, 这些监测设备已安装在全省 180 多个变电站, 并正常运行, 为开展电能质量评估创造了良好的条件。江苏电网电能质量监测系统部署如图 1 所示。江苏电网电能质量评估是分层实现的, 如图 2 所示。根据电网实际需求, 对电能质量评估分为单个指标评估和综合电能质量评估, 评估结果分为优秀、良好、中等、较差 4 个等级。最终按照市(县)变电站、母线和线路的层次显示评估等级。

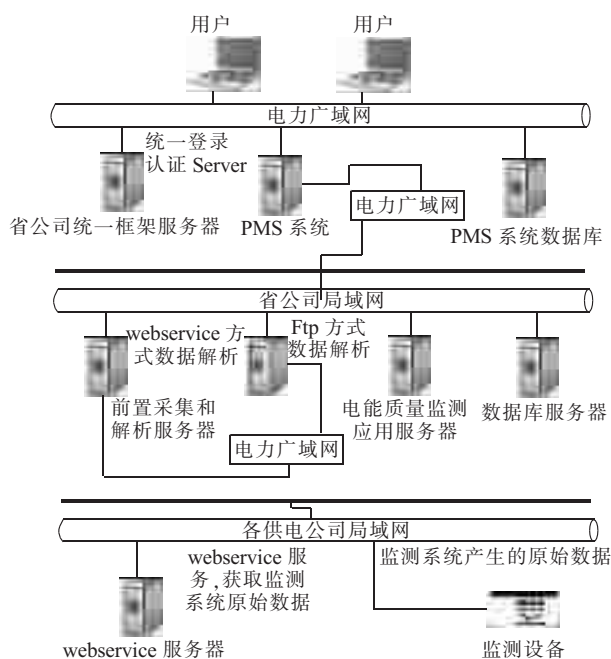


图 1 江苏电网电能质量监测系统部署

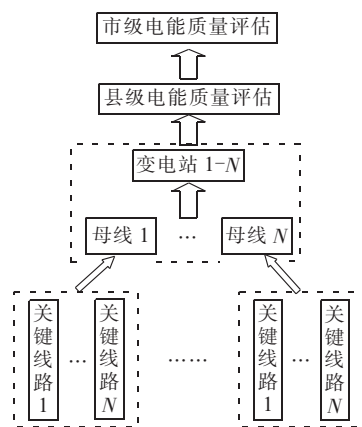


图 2 电能质量分层评估

## 2 单电能质量指标评估

单电能质量指标评估是电能质量评估的基础, 可使供电方和用户了解每项电能质量指标的具体状况。江苏电网电能质量评估包含如下指标: 电压偏

差、电压总谐波、电压三相不平衡度、短时间闪变、长时间闪变、2~25次电压谐波、2~25次电流谐波。针对用户和供电方实际情况,评估过程中采用的标准可以为国标或用户所需的敏感设备的电能指标要求。该评估系统具有一定的灵活性,可满足不同用户的电能质量要求。

就江苏电能质量监测系统而言,除了短闪和长闪,其他上述指标的数据间隔为1~3 min,短闪为10 min,长闪为2 h。每个监测点每天上传的数据量是一定的,故可设定日数据完整度阈值,例如可设定为额定数据量的一半,只有当数据完整度超过阈值时,该日数据才有效。由于电能质量评估以月为单位,故对数据完整的天数也应设定阈值,可为该月天数的一半(取整),只有数据完整的天数超过阈值,该月评估才有效。

正常情况下,电网电能质量监测数据应满足国标限值,且大多数情况下,其值低于国标标准值的50%。当发生超标情况时,评估应能突出该超标情况。例如:某电能质量指标的90%时间符合国标,10%时间超出国标,在此种情况下,评估认为该指标的电能质量水平偏低。为了反映电能质量指标的这种特性,在评估时需要选择适当方法突出超情况对电能质量水平的影响。该问题的有效解决方法是:建立符合上述要求的单个数据评分函数,在得到每个数据评分的基础上,进行加权平均,得到该日数据评估分数。本文采用单个数据评估函数为:

$$S(x) = \begin{cases} 100 - (e^{4.8(x/TH)} - 1) & 0 \leq x < 0.5TH \\ 120 - 60(x/TH) & 0.5TH < x \leq TH \\ 60e^{4(-x/TH+1)} & x > TH \end{cases} \quad (1)$$

其中  $TH$  为不同指标相对应的国标或者用户自定义标准阈值。由于不同指标的  $TH$  不相同,因此以  $t=x/TH$  可以得到单个数据占标准限值的百分比,以此作为变量,则上述评估函数对所有单个指标均适用。原表达式变换为:

$$S(t) = \begin{cases} 100 - (e^{4.8t} - 1) & 0 \leq t < 0.5 \\ 120 - 60t & 0.5 < t \leq 1 \\ 60e^{4(-t+1)} & t > 1 \end{cases} \quad (2)$$

$S(t)$  的函数曲线如图3所示,可以看出函数曲线满足上述评估思想。由图中可知,当  $t=1$  时,即单个数据等于相应的标准阈值时,对应的函数值为60,在此种情况下,对应的电能质量等级为合格。当  $t>1$  时,函数曲线迅速下降,即单个数据超过限值时,最终评估得分快速减低。例如,当数据为限值的2倍时,即  $t=2$  时,评估得分为1.1分,对应的电能质量等级为较差;同样,当所有数据为限值的一

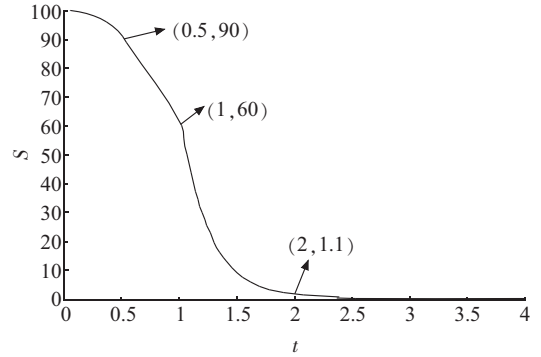


图3 单个数据评估函数图

半时,得分为90分,对应的电能质量等级为优秀;理想情况为  $t=0$ ,评分得分为100分。由此可见,此函数可以适用于不同指标下的限值,且能满足电能质量指标的特性,突出超标在评估中的影响。

在得到该月每一天评估值  $S_{D_i}$  后,进行加权平均,得到该月该指标最终评分值  $S_M$ ,其中  $w_i$  为不同评估分数段的系数, $N$  为该月数据完整天数。单个指标的评估流程如图4所示。

$$S_M = \frac{\sum_{i=1}^N S_{D_i} \times w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (3)$$

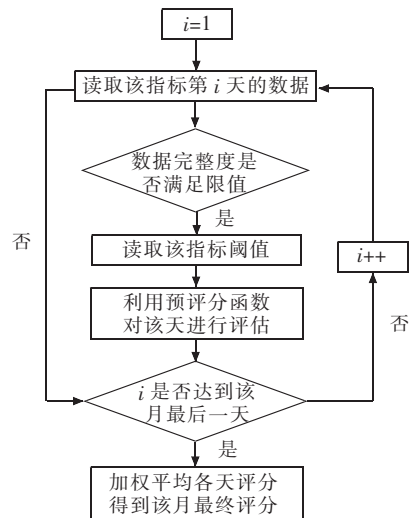


图4 单个电能质量指标月评估流程

### 3 综合电能质量评估

电能质量综合评估,可以从整体上考察电能质量水平的优劣程度。江苏电网电能质量评估系统采用了项目前期的关于电能质量评估研究成果:基于灰色理论的电能质量综合评估。灰色系统理论中的灰色关联分析(GRA)<sup>[9]</sup>是通过计算对象间的关联系数和关联度,从整体上定量分析对象间的关联程度和影响程度,GRA的评估步骤为:分析数据特征获取比较序列和标准序列,获取序列间的差异信息

并建立差值举证,计算灰关联度。该方法可以保留电能质量监测数据的特点,相比电能质量模糊评估方法,避免了模糊区间确定的非客观性,而且计算简洁易于实现。

基于灰色理论的电能质量评估方法的步骤为:(1)标准矩阵的构建;(2)数据矩阵的建立;(3)绝对差矩阵的建立;(4)与理想样本的关联度。每步的详细过程可参考文献[9]。

综合评估用到的7个单个指标为电压偏差、短闪、长闪、电压三相不平衡度、电压总谐波、偶次谐波最大含有量、奇次谐波最大含有量。选取了2种样本作为灰色理论数据矩阵中的参考矩阵,即:理想样本、标准样本。理想样本选取(0,0,0,0,0,0,0),表示7个电能质量指标工频下的理想状态。理想样本是理论上电能质量的理想状态,实际中电能质量总存在一定的偏差。标准样本可依据国家标准和实际情况建立,本文采用的标准样本如表1所示,评估样本则根据每日测量数据的单个指标评估结果形成。

表1 理想样本和标准样本

电能质量指标	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$
$X_1$	0	0.25TH_1	0.5TH_1	TH_1	2TH_1
$X_2$	0	0.25TH_2	0.5TH_2	TH_2	2TH_2
$X_3$	0	0.25TH_3	0.5TH_3	TH_3	2TH_3
$X_4$	0	0.25TH_4	0.5TH_4	TH_4	2TH_4
$X_5$	0	0.25TH_5	0.5TH_5	TH_5	2TH_5
$X_6$	0	0.25TH_6	0.5TH_6	TH_6	2TH_6
$X_7$	0	0.25TH_7	0.5TH_7	TH_7	2TH_7

根据对7个指标关注程度及各地电能质量特性,建立不同的判断矩阵。一般情况下,江苏电网电能质量评估系统采用的判断矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1.3161 & 1 & 1.3161 & 1.3161 & 1 \\ 1 & 1 & 1.3161 & 1 & 1.3161 & 1.3161 & 1 \\ 0.7598 & 0.7598 & 1 & 0.7598 & 1 & 1 & 0.7598 \\ 1 & 1 & 1.3161 & 1 & 0.7598 & 0.7598 & 1 \\ 0.7598 & 0.7598 & 1 & 1.3161 & 1 & 1 & 0.5773 \\ 0.7598 & 0.7598 & 1 & 1.3161 & 1 & 1 & 0.5773 \\ 1 & 1 & 1.3161 & 1 & 1.7321 & 1.7321 & 1 \end{bmatrix}$$

该判断矩阵A的最大特征值为 $\lambda_{\max}=7.07$ , $CR=0.0088 < 0.1$ ,符合一致性要求,则最大特征值对应的特征向量并归一化为: $w=(0.158,0.158,0.120,0.138,0.126,0.126,0.172)$ 。

评估样本根据当月每天的单项指标评估结果确定。在已知单项指标评估结果的情况下,构造评估函数反函数,求取该评估得分对应的标准化测量数据 $t=x/TH$ 。例如,通过上述评分函数得到的评分值为

60分,在评分函数曲线上,其对应的横坐标为1,即测量数据等于其国标阈值;若其平均得分为90,曲线上对应的横坐标为0.5,即测量数据为国标阈值的0.5倍,现给出上述评估函数反函数如下:

$$t(S) = \begin{cases} \ln((100-S)+1)/4.8 & 90 \leq S \leq 100 \\ (120-S)/60 & 60 \leq S < 90 \\ 1-\ln(S/60)/4 & S < 60 \end{cases} \quad (4)$$

依据上述所形成的标准样本及评估样本,以及所确定的各个指标的权重,便可以利用灰色理论计算评估样本与标准样本的关联度。其中关联度的性质为:(1) $r \in [0,1]$ , $r$ 值越大,说明数据样本越接近标准样本,其电能质量水平越高; $r$ 值越小,评估样本越偏离标准样本,其电能质量水平越低。 $r=0$ ,其评估得分为0, $r=1$ ,其评估得分为100;(2)评估样本的 $r$ 值随标准样本的不同而不同。

上述标准样本,即 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ ,其评分得分为97.68,90,60,1.1。在关联度与综合预评分值曲线中,取4个点( $r_1, 97.68$ ),( $r_2, 90$ ),( $r_3, 60$ ),( $r_4, 1.1$ ),并且参照单数据评估曲线建立 $r \in [0,1]$ 完整曲线,表达式如下:

$$S = \begin{cases} 1.1/r_4 & 0 \leq r < r_4 \\ 60e^{4(r-r_3)/(r_3-r_4)} & r_4 \leq r < r_3 \\ 30(r-r_3)/(r_2-r_3)+60 & r_3 \leq r < r_2 \\ 7.68(r-r_2)/(r_1-r_2)+90 & r_2 \leq r < r_1 \\ 2.32(r-r_1)/(1-r_1)+97.68 & r_1 \leq r < 1 \end{cases} \quad (5)$$

计算得到该月每天的综合得分后,如果数据完整的天数满足要求,利用加权平均的方法得到该月的综合评估得分。

#### 4 变电站、县、市电能质量评估

一般而言,变电站会有多条母线和线路,在完成母线和线路评估的基础上,利用加权平均法,综合这些母线和线路,可得到变电站的电能质量评估结果。

$$S_{\text{station}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{ge}_i} \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

式中: $S_{\text{ge}_i}$ 为某条母线\线路的某个电压类\电流类指标的评估分数; $n$ 为该变电站所有母线\线路条数; $S_{\text{station}}$ 为该变电站该指标的评估结果。

一个县级单位内包含多个变电站,在得到这些变电站的评估结果之后,利用加权平均的方法,可以得到该县级单位的电能质量情况。

$$S_{\text{county}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{station}_i} \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (7)$$

式中: $S_{station}$  为某变电站某指标的评估结果; $n$  为该县拥有的变电站数量; $S_{county}$  为某指标的评估结果。

一个市由多个县级单位组成,在每个县级单位的评估结果上,利用加权平均的方法可以得到该市级单位的母线电能质量情况。

$$S_{city} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{county_i} \times w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (8)$$

式中: $S_{county}$  为该县的评估结果; $n$  为该市拥有的县级单位数量; $S_{city}$  为该市的评估结果。

## 5 江苏电网电能质量评估实例

目前,已完成了江苏电网 2010 年 8~12 月份的电能质量评估工作。8 月份江苏电网监测点概况如表 2 所示。

表 2 8 月份江苏省总体监测点概况

监测点	总数 / 个	评估数 / 个
电压通道	801	406
电流通道	1 136	602
总变电站	168	99
县公司	53	38
市公司	13	12

在 8 月份已评估的 99 个变电站中,电能质量状况总体来说优良。其中有 6 个较差等级,17 个中等等级,23 个良好等级,53 个优秀等级。但是,一部分监测点电能质量状况长期不好,超标相当严重,有待改善。县级公司和市级公司的评估结果为:县级公司中 2 个较差,11 个中等,13 个良好,12 个优秀;市级公司中 3 个中等,8 个良好,1 个优秀。

## 6 结束语

本文介绍了电能质量研究背景和综合评估研究现状,阐述了江苏电网在电能质量评估方面开展的相关工作,结合已研究的电能质量综合评估算法,提出科学的单个指标、综合指标的电能质量评

估方法。并利用加权平均的思想对变电站、市(县)级供电公司进行了电能质量评估,形成了江苏电网完整的评估体系。评估结果的形象化展示有助于对电能质量问题做进一步的了解。利用典型监测数据的进行单项指标评估、综合评估测试结果表明,所提的方法具有实用性和效率高等特点,为省网电能质量工作的开展提供了参考。有助于调度和规划部门及时的发现问题,也有利于实现电能按质定价和供电双方指定合同,有利于电能质量市场的建立。

### 参考文献:

- [1] 周胜军,于坤山,冯满盈,等.电气化铁路供电电能质量测试主要结果分析[J].电网技术,2009,33(13):54-57.
- [2] 周 轩,钱敏慧,赵剑峰.电气化铁路造成的电能质量问题对电能计量用 TDM 的影响研究[J].电力系统保护与控制,2009,37(1):28-32.
- [3] 郭 健.大规模风电并入电网对电力系统的影响[J].电气自动化,2010,32(1):47-50.
- [4] 黄德琥,陈继军,张 岚.大规模风电并网对电力系统的影响[J].新能源发电控制技术,2010,23(7):27-30.
- [5] 张 蔓,林 涛,曹 健,等.2 种电能质量综合评估方法的分析比较[J].电力系统自动化,2008,32(21):37-40.
- [6] 张炳达,王 静.基于熵原理的电能质量评估新方法[J].电力自动化设备,2008,29(10):35-38.
- [7] 赵 霞,赵成勇,贾秀芳,等.基于可变权重的电能质量模糊综合评价[J].电网技术,2005,29(6):11-15.
- [8] 肖 俊,王成山,周 敏.基于区间层次分析法的城市电网规划综合评判决策[J].中国电机工程学报,2004,24(4):50-57.
- [9] 雷 刚,顾 伟,袁晓冬.灰色理论在电能质量综合评估中应用[J].电力自动化设备,2009,29(11):62-70.

### 作者简介:

- 韦永忠(1976-),男,江苏洪泽人,高级工程师,从事无功、线损、电能质量专业工作;  
 郑爱霞(1978-),女,河南温县人,高级工程师,从事无功、线损、电能质量以及输配电管理工作;  
 袁晓冬(1979-),男,江苏无锡人,专业主管,从事电能质量测试、仿真和评估工作;  
 陈 兵(1977-),男,江苏南京人,工程师,从事电能质量分析、电力电子在电力系统中的应用、高压直流输电等工作。

## Application of Power Quality Assessment in Jiangsu Power System

WEI Yong-zhong<sup>1</sup>, ZHENG Ai-xia<sup>1</sup>, YUAN Xiao-dong<sup>2</sup>, CHEN Bing<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The power quality monitoring and assessing system is introduced in this paper. Basing on the national power quality standards, methods of power quality single index assessment and power quality comprehensive assessment are illustrated in detail. The power quality assessment system of Jiangsu power grid is made up by hierarchy assessment of transformer substations, county power companies and municipal power companies through weighted average method. Practical results show that it has great performance in reliability, rationality.

**Key words:** power quality; single index assessment; comprehensive assessment; power quality monitoring system