

考虑馈线聚类特性的中压配网线损率测算模型

欧阳森,冯天瑞,安晓华

(华南理工大学 电力学院 广东省绿色能源技术重点实验室,广东 广州 510640)

摘要:针对 10 kV 中压配网馈线数量多、基础数据匮乏而导致线损管理难度大的现状,设计了一种考虑馈线聚类特性的中压配网线损率测算模型,用于快速、合理地进行馈线分类并计算各类馈线线损率标杆值。考虑馈线之间在线路属性、运行参数等方面的差异,挑选对线损率影响较大的指标,设计了一套科学合理且简便易行的聚类指标体系,并使用模糊 C 均值(FCM)聚类算法对数量巨大的馈线进行聚类,每类挑选一条中心馈线。基于馈线聚类的结果,设计了一套中压配网馈线线损率标杆值测算模型,该模型分别使用等值电阻法和指标系数调整法对中心馈线和非中心馈线进行线损率计算,可得到各类馈线的线损率标杆值,其中指标系数调整法通过计算非中心馈线与中心馈线的调整系数,快速简便地计算得到大量非中心馈线的线损率。以某大型供电企业的实际馈线为例,证明了该模型的有效性及其易推广性。

关键词:中压配网;聚类算法;线损率;测算模型

中图分类号: TM 744.1

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.09.005

0 引言

线损反映电能传输过程中的消耗,直接反映电网的技术及管理水平,是电网公司考核的重点指标之一^[1]。与高压输电网相比,中压配网(10 kV)电压水平较低、网络拓扑复杂、监测设备数量较少,导致线损率相对较高,线损管理工作难度较大^[2]。某大型省级电网公司 2010 年分压线损率统计中,10 kV 线损电量为 59.3×10^8 kW·h,占线损电量总量的 35.43%,为线损电量占比最高的电压等级,其占比远高于 0.4 kV 低压配网及 110 kV 及以上的高压主网^[3],故需要对 10 kV 中压配网馈线(以下简称“馈线”)线损展开重点研究。

目前对馈线线损率的计算,主要有潮流法、等值电阻法、平均电流法、电压损失率法、均方根电流法等,其中潮流法和等值电阻法使用较多^[4-7]。潮流法计算较为精确,但其存在工作量巨大、缺乏完善的监测获取所需数据、计算初值难以准确设定等问题。同时,由于馈线电阻与电抗的比值高于输电网,所以易导致潮流不收敛^[8]。以上原因导致潮流法在馈线计算中难以推广使用。使用等值电阻法进行线损率计算时,精确度较好,单次计算工作量适中,适用于馈线线损率计算。

目前对馈线进行聚类研究较少。文献[9]将馈线聚类和线损计算结合,但其采用的 RBF 模型较为复杂,且其对具体馈线的线损率计算仍采用潮流算法,这导致该方法不适宜在工程实践中大范围推

广。文献[10]在对馈线进行聚类时,使用的聚类指标为平均线损率、线损率标准差、线损率梯度,该指标体系仅考虑线损数据的数学特征,而忽略了影响线损的其他相关指标,故指标体系不够全面;且仅对馈线聚类进行探讨,未涉及馈线线损率的测算。

本文拟以馈线为研究对象,充分考虑馈线覆盖范围广、终端用户类型众多,而导致各馈线之间在线路属性、运行参数等方面存在明显差异的现状,设计一种考虑馈线聚类特性的线损率测算模型。其目的是在考虑各类数据的可用性的基础上,设计合理的线损聚类指标,用于快速、合理地进行馈线分类并计算各类馈线线损率标杆值。首先设计一套简便的聚类指标体系用于进行馈线分类,并将每一类划分为中心馈线与非中心馈线;在此基础上,利用等值电阻法计算中心馈线的线损率标杆值;同时设计指标系数调整法对非中心馈线进行线损率标杆值计算。所设计的指标与方法,既不与现有线损指标与计算方法相矛盾,也能贴近实际工程需求,便于对海量馈线进行快速、合理的分析,挖掘线损管理重点,下达线损降损潜力指标,提高线损管理的精细化与差异化水平。

1 馈线的线损聚类指标体系设计

目前国内供电企业对馈线的监测体系尚不够完善,监测数据较为缺乏,且有价值的数据多由不同管理系统存储,导致数据利用难度大^[11],表现为数据多、不易收集及冗余度大、需要整理筛选。本文综合考虑以上因素,选取易收集且与线损关系密切的多项馈线指标,经分析后建立聚类指标体系。

指标既要有较高的合理性,也要使其数量尽量

收稿日期:2016-01-29;修回日期:2016-04-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51377060)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51377060)

少。本文对目前易于采集的多项馈线指标参数进行分析、筛选,从线损贡献度和指标相互关系两方面进行精简。

1.1 线损贡献度

线损贡献度即某指标对线损率产生影响的程度。对其分析主要考虑以下几方面:

- a. 该指标对线损率影响大小;
- b. 该指标是否反映馈线基本属性;
- c. 该指标是否为运行参数的极值,能否反映馈线的常态水平;
- d. 该指标是否能客观反映该馈线负荷水平情况;
- e. 该指标分布规律是否严重偏态。

通过上述分析,明确线损贡献度,确保聚类指标体系中所涉及的指标均意义明确且对线损率影响较大。

1.2 指标相互关系分析

计算指标之间的相关系数,使相关系数较高的指标和存在算数关系的指标不同时出现在聚类指标体系中,这样可减少冗余信息,达到简化计算的目的。

相关系数的计算公式如下:

$$\rho = \frac{E(xy) - E(x) \cdot E(y)}{\sqrt{D(x)} \cdot \sqrt{D(y)}} \quad (1)$$

其中, $E(x)$ 、 $E(y)$ 与 $E(xy)$ 分别表示指标 x 、 y 及 x 与 y 乘积的期望; $D(x)$ 、 $D(y)$ 分别表示指标 x 、 y 的方差; ρ 为指标 x 与 y 的相关系数。据此可计算两两指标之间的相关系数,将所有指标间的相关系数计算完毕后,对所得相关系数进行统计。相关理论显示,当相关系数 $|\rho| > 0.7$ 时,认为两指标之间具有高相关度^[12],两指标不应同时出现在聚类指标体系中。

2 本文模型的实施步骤

本文所设计的考虑馈线聚类特性的中压配网线损率测算模型可分为聚类指标体系和线损率计算两部分。下文对各部分实施步骤具体进行介绍。

(1) 聚类指标体系。

该部分由样本数据收集、构建聚类指标体系和聚类计算三步构成。

步骤 1: 样本数据收集。

经调研可知,目前国内供电企业所辖馈线的台账信息、监测数据的数量、种类较少,经分析,本文选择供电半径、电缆化率、线路允许最大载流量、年最大电流、年最高负载率、容量合计和平均电量共 7 项馈线指标参数进行收集。

步骤 2: 构建聚类指标体系。

根据第 1 节所述内容,从线损贡献度及指标相互关系两方面对所收集指标进行分析,将两方面分析结果进行综合,构建聚类指标体系,用于聚类计算。

步骤 3: 聚类计算。

首先,使用 Xie-Beni 聚类有效性函数,确定馈线最优分类数^[13],之后使用模糊 C 均值(FCM)聚类算法^[14]及聚类指标体系,对样本馈线进行聚类计算,并选取每类中最靠近聚类中心的一条馈线,作为该类的中心馈线。

(2) 线损率计算。

该部分由利用等值电阻法计算中心馈线线损率、利用指标系数调整法计算非中心馈线线损率、确定各类馈线标杆值三步构成。

步骤 1: 利用等值电阻法计算中心馈线线损率。等值电阻法较为精确,但工作量较大,故仅使用其对少量中心馈线进行计算。

步骤 2: 利用指标系数调整法计算非中心馈线线损率。指标系数调整法操作简便,适合对数量庞大的非中心馈线进行线损率计算。

步骤 3: 确定各类馈线标杆值。对各类馈线线损率进行逐一分析,确定线损率标杆值。

3 线损率计算思路

本文使用 2 种方法对馈线线损率进行计算:对于少量中心馈线,使用等值电阻法较精确地计算其线损率;对于大量非中心馈线,使用指标系数调整法快速计算其线损率。

3.1 等值电阻法

等值电阻法是通过将结构复杂、元件众多的配电线路或电网,经过层层电阻等值,最终等效成结构明了、易于计算的简单模型的方法,适用于中低压配网的线损计算。该方法计算公式如下:

$$R_{\text{eq}} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{N_i}^2 R_i}{S_{N_{\Sigma}}^2} \quad (2)$$

$$\delta_{\text{Loss}} = \frac{3F^2 I_{\text{max}}^2 R_{\text{eq}} t}{Q_g} \times 100\% \quad (3)$$

其中, S_{N_i} 为第 i 段馈线上的配电变压器额定容量,单位为 $\text{kV} \cdot \text{A}$; $S_{N_{\Sigma}}$ 为该馈线上总的配电变压器额定容量,单位为 $\text{kV} \cdot \text{A}$; δ_{Loss} 为馈线的线损率; F 为损失因数; R_{eq} 为馈线的等值电阻,单位为 Ω ; I_{max} 为线路电流最大值,单位为 A ; t 为线路运行时间,按一年计算,取 8760 h ; Q_g 为供电量,单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

损失因数 F 的计算公式为:

$$F = I_{\text{fr}}^2 / I_{\text{max}}^2 \quad (4)$$

其中, I_{fr} 为均方根电流。

3.2 指标系数调整法

指标系数调整法旨在通过其他馈线与中心馈线的指标参数比对,得到调整系数,使用调整系数计算该馈线的线损率,达到简化计算的目的^[15]。该方法具体步骤如下所示。

(1) 计算某馈线的调整系数。

$$K=\frac{\sum_{i=1}^n\frac{X_i-X_{iBASE}}{X_{iBASE}}}{X_{iBASE}}$$

(5)

其中, X_i 为某馈线的第 i 项指标参数; X_{iBASE} 为该馈线中心馈线的第 i 项指标参数; n 为指标参数总数。

(2) 计算某馈线线损率。

$$\delta_{Lossi}=\delta_{Loss}\times(1+K)$$

(6)

其中, δ_{Lossi} 为某馈线线损率; δ_{Loss} 为该馈线中心馈线的线损率; K 为调整系数。

3.3 标杆值确定方法

线损率标杆值区别于个体馈线的线损率数值,其为人设置的反映某类馈线线损率总体水平的限值,可作为判断该类馈线线损率是否异常偏高的标准。本文从离散程度和等效馈线两方面,分别确定各类馈线线损率的标杆值。

(1) 离散程度标杆值。

统计学的相关理论显示,均值适合分析服从正态分布的数据,而若总体分布未知或不服从正态分布,则应以中值来描述总体特征^[16]。故对各类馈线所包含样本的线损率进行 JB 正态分布检验,对线损率数据服从正态分布的类别,使用均值作为该类馈线线损率标杆值;对于线损率数据不服从正态分布的类别,使用中值作为该类馈线线损率标杆值。

(2) 等效馈线标杆值。

将每类所有馈线等效为一条馈线,则等效馈线的线损率可表示为:

$$\delta_{Lossx}=\frac{\sum_{i=1}^N Q_{lossi}}{\sum_{i=1}^N Q_{gi}}\times 100\%$$

(7)

$$Q_{lossi}=Q_{gi}\times\delta_{Lossi}$$

(8)

其中, δ_{Lossx} 为等效馈线线损率的标杆值; Q_{gi} 为该类第 i 条馈线的供电量,单位为 $\text{kW}\cdot\text{h}$; Q_{lossi} 为该类第 i 条馈线线损率所对应的线损电量,单位为 $\text{kW}\cdot\text{h}$; N 为该类馈线所包含的馈线数量。

4 算例分析

本文使用某大型供电企业所辖 974 条馈线作为样本,对本文所设计的线损率测算模型进行测算。由于样本量巨大,故不详细列出全部样本的具体数据。此外,供电企业的线损考核通常以年为周期进行,故本文所计算的线损率也均为馈线年度线损率。

4.1 聚类指标体系

第 1.1 节与第 1.2 节从线损贡献度及指标相互关系两方面对各指标参数进行分析,本节将其进行综合,得到聚类指标体系。

如第 2 节所述,本文选取供电半径(X_1)、电缆化率(X_2)、线路允许最大载流量(X_3)、年最大电流(X_4)、

年最高负载率(X_5)、容量合计(X_6)和平均电量(X_7)共 7 项主流馈线指标,对上述参数进行线损贡献度分析及指标相互关系分析。

(1) 线损贡献度分析。

a. 供电半径反映馈线的基本属性,对线损影响较大。

b. 平均电量可反映馈线的负荷情况。

c. 线路允许最大载流量、年最大电流、年最高负载率等均反映馈线运行参数的极值,不能客观反映馈线的常态。

d. 容量合计反映馈线上所有变压器容量的总和,但由于各变压器负载率未知,无法反映馈线的负荷情况。

e. 对于电缆化率,城网馈线中电缆化率极高,农网馈线中电缆化率极低,该指标分布严重偏态。如本文所使用的某大型城市供电企业数据显示,该供电企业所辖馈线中,电缆化率大于 90% 的馈线占比高达 61.16%。故该指标不适宜作为聚类指标。

(2) 指标相互关系分析。

利用式(1),对 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 共 7 项指标计算其相关系数,结果如表 1 所示。

表 1 馈线样本各指标之间的相关系数
Table 1 Correlation coefficient between indexes of sample feeders

指标	相关系数						
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1.00	-0.50	0.04	0.19	0.19	0.29	0.34
X_2	-0.50	1.00	-0.12	-0.19	-0.16	0.11	-0.31
X_3	0.04	-0.12	1.00	0.10	-0.20	0.06	0.04
X_4	0.19	-0.19	0.10	1.00	0.92	0.50	0.75
X_5	0.19	-0.16	-0.20	0.92	1.00	0.47	0.72
X_6	0.29	0.11	0.06	0.50	0.47	1.00	0.44
X_7	0.34	-0.31	0.04	0.75	0.72	0.44	1.00

由表 1 可知, X_4 与 X_5 、 X_4 与 X_7 、 X_5 与 X_7 之间相关性较高,故在构建指标体系时,不考虑相关性较高的指标同时出现;此外, X_4 与 X_3 的比值即为 X_5 ,故这 3 项指标也不应同时出现。

将上述两方面的分析结果进行综合,得到聚类指标体系。综合分析结果如表 2 所示。

综上所述,本文选取供电半径与平均电量 2 项指标构建聚类指标体系。确定聚类指标体系后,使用 FCM 聚类算法对馈线进行聚类计算,并选取每类中与聚类中心距离最近的馈线,作为该类的中心馈线。由于 FCM 聚类算法仅对指标数据进行处理,故无需对各聚类指标设定权重。

用少量指标构建聚类指标体系进行聚类分析,可有效减少数据收集的工作量,使聚类结果实际意义明确,类别区分明显,同时使各类馈线线损率分布范围更为集中。但若使用单一指标进行聚类,将产生明显弊端,本文将在聚类结果分析部分详细分析。

表 2 指标参数综合分析结果

Table 2 Results of comprehensive analysis of index parameters

指标	线损贡献度	指标相互关系分析	建议
X_1	反映馈线的基本属性,对线损影响较大。	与其他指标相关性弱。	保留
X_2	数据严重偏态,不适宜作为聚类指标。	—	舍弃
X_3	反映馈线运行参数的极值,不能客观反映馈线的常态。	与 X_4 、 X_5 存在 $X_4/X_3=X_5$ 关系,不应同时出现。	舍弃
X_4	反映馈线运行参数的极值,不能客观反映馈线的常态。	与指标 X_5 、 X_7 相关性很高,不应同时出现。	舍弃
X_5	反映馈线运行参数的极值,不能客观反映馈线的常态。	与 X_4 、 X_7 均有很高相关性,不应同时出现。	舍弃
X_6	由于各变压器负载率未知,无法反映馈线的负荷情况。	与其他指标相关性弱。	舍弃
X_7	可反映馈线的负荷情况。	与 X_4 、 X_5 均有很高相关性,不应同时出现。	保留

对馈线进行聚类计算时,首先对样本进行聚类有效性分析,确定样本最优分类数为 14,即将样本馈线用 FCM 聚类算法分为 14 类,结果如表 3 所示。

表 3 样本馈线聚类结果

Table 3 Results of feeder clustering

类别名称	馈线条数	供电半径/km		平均电量/(kW·h)	
		最小值	最大值	最小值	最大值
A	97	0.1	5.85	8×10^4	6.19×10^6
B	102	0.29	4.78	5.95×10^6	1.204×10^7
C	109	0.67	6.07	1.499×10^7	2.139×10^7
D	113	0.85	6.45	9.96×10^6	1.489×10^7
E	67	1.04	7.65	2.099×10^7	2.845×10^7
F	100	4.1	11.06	1×10^5	9.71×10^6
G	50	1.21	10.34	2.792×10^7	3.926×10^7
H	82	5.61	10.81	1.521×10^7	2.108×10^4
I	76	6.37	11.41	6.71×10^6	1.569×10^7
J	58	7.14	11.09	1.884×10^7	2.832×10^7
K	44	11.36	16.81	1.684×10^7	2.801×10^7
L	23	10.57	23.01	2.722×10^7	3.944×10^7
M	32	11.19	26.47	2.25×10^6	1.632×10^7
N	21	17.6	26.29	1.595×10^7	3.467×10^7

将聚类结果分布区域包络线绘于直角坐标系,结果如图 1 所示,将 974 条样本馈线划分为 14 类,各类区域边界清晰,分类效果较好。由于 FCM 聚类算法以样本与聚类中心的距离为标准进行类别划

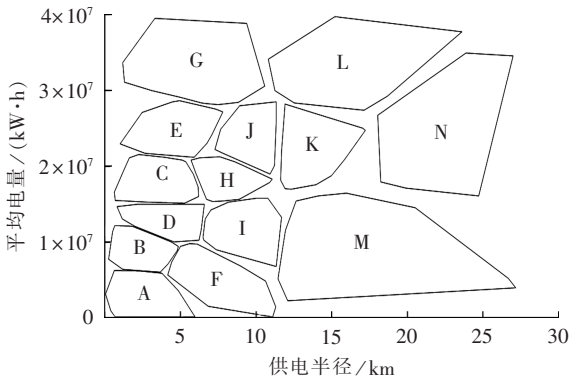


图 1 馈线聚类结果包络线图

Fig.1 Envelope diagram of feeder clustering results

分,故聚类结果中不会出现类别区域交叉的现象。

由于供电半径与平均电量的有名值数量级差别巨大,故对二者分别进行标么化,标么化方法为^[27]:

$$b_i = \frac{a_i}{\max\{a_1, a_2, \dots, a_M\}} \quad i=1, 2, \dots, M \quad (9)$$

其中, a_i 为第 i 类馈线某指标(供电半径或平均电量)的平均值; M 为类别数量,本文中 $M=14$; b_i 为标么化后第 i 类馈线某指标(供电半径或平均电量)的平均值。

将各个类别两指标的平均值进行比对,得到各类实际意义。结果如图 2 所示。

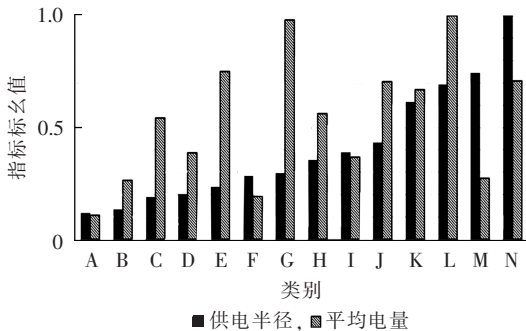


图 2 各类别两指标平均值比对

Fig.2 Comparison of two indicator-means among types

由图 2 可知,14 个类别均具有明显的实际意义。例如 A 类表示供电半径和平均电量都极小的馈线集合;G 类表示供电半径较小而平均电量极大的馈线集合;L 类表示供电半径和平均电量都极大的馈线集合。由于各类别均具有各自的实际意义,且供电半径及平均电量为对线损影响很大的指标,故各类别内馈线线损率分布也应相对集中。

结合图 1 及图 2 可见,对供电半径较短的馈线,既存在平均电量小的类别(如 A 类),也存在平均电量大的类别(如 E 类);对供电半径长的馈线,既存在平均电量小的类别(如 M 类),也存在平均电量大的类别(如 L 类)。对于供电半径接近而平均电量差别较大的馈线,其线损率水平必然存在较大差别,不应分为同一类进行研究。虽然使用少量指标进行聚类计算存在诸多优点,但若剔除线损贡献度极大的指标,将聚类指标减少到 1 个时,将导致类内馈线特征差异明显,线损率水平差异大,聚类效果差。故在构建线损聚类指标体系时,应尽量减少指标数量,但不应为追求指标数量少而剔除线损贡献度大的指标。

在 14 个类别中,各类别的中心馈线名称及参数分别如表 4 所示。

如前文所述,对指标进行筛选有其必要性,其中“可有效减少数据收集的工作量”显而易见;“使聚类结果实际意义明确,类别区分明显”已在上文进行详细分析;下面对“使各类馈线线损率分布范围更为

表 4 各类别中心馈线名称及参数
Table 4 Name and parameters of central feeder for different types

类别	中心馈线名称	供电半径/km	平均电量/(kW·h)
A	CG-F9	2.48	3.75×10^6
B	XG-F21	2.90	8.39×10^6
C	XG-F16	4.55	1.771×10^7
D	PT-F3	4.50	1.263×10^7
E	DP-F30	5.42	2.43×10^7
F	RB-F20	5.83	6.44×10^6
G	ZC-F12	6.28	3.13×10^7
H	JT-F8	7.60	1.847×10^7
I	YT-F30	8.06	1.21×10^7
J	SH-F2	8.88	2.314×10^7
K	YS-F7	13.55	2.24×10^7
L	YH-F1	14.71	3.27×10^7
M	SYG-F2	14.46	1.178×10^7
N	SJ-F2	22.33	2.392×10^7

集中”进行说明。

不经筛选,将第 2 节中所提出的 7 项馈线指标参数作为聚类参数进行 FCM 聚类计算。同样使用某大型供电企业所辖 974 条实际馈线作为样本,对样本进行聚类有效性分析,确定样本最优分类数为 11。记使用聚类指标体系的聚类结果为结果 I,使用 7 项指标的聚类结果为结果 II。对 2 种结果各类馈线统计线损率的标准差分别进行计算,记为标准差 I 和标准差 II,比对如图 3 所示。

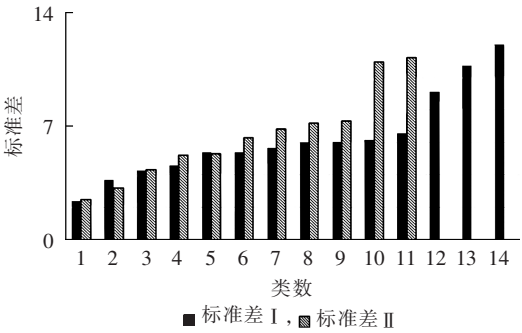


图 3 标准差 I 与标准差 II 的比对
Fig.3 Comparison of standard deviation I and II

虽然馈线样本相同,但由于分类数量不同,故逐一比对各类的标准差已无意义。本文将各类统计线损率标准差升序排列进行比对,可见标准差 I 的总体水平低于标准差 II,即结果 I 中各馈线的统计线损率分布更为集中,而结果 II 中各馈线统计线损率的分布较为分散,代表性不强。故需要对指标进行筛选,构建聚类指标体系后,再进行聚类计算及各类馈线的线损率计算。

4.2 线损率计算

(1) 利用等值电阻法计算中心馈线线损率。

本文使用等值电阻法对 14 条中心馈线进行线损率计算。以馈线 XG-F16 为例,其拓扑结构如图 4 所示。该馈线的计算参数及结果如表 5 所示。

经计算,14 条中心馈线的线损率如表 6 所示。

(2) 指标系数调整法。

以 A 类馈线为例,其中心馈线 CG-F9 和该类另一馈线 JC-F8 的完整指标参数如表 7 所示。

由式(5)可计算得到 JC-F8 对 CG-F9 的调整系数 $K=0.302$ 。由表 6 可知 CG-F9 的线损率为 2.34%,故根据式(6)计算可得 JC-F8 的线损率为 3.04%。

据此可得全部馈线的线损率。之后按照第 3.3 节所提出的方法确定线损率标杆值。对各类馈线线损率进行 JB 正态分布校验,除 I 类和 K 类外,其余 12 类均服从正态分布,故对 I 类和 K 类取其所属馈线线损率的中位值作为该类馈线线损率的离散程度标杆值,其余各类取其所属馈线线损率的平均值作为离散程度标杆值。

14 类馈线的线损率标杆值如表 8 所示。

由表 8 可知,离散程度标杆值与等效馈线标杆值差别极小,在使用时不必 2 个都算出,使用其中 1 个即可。同时可看出,供电半径相近的 L、M 这 2 类的线损率标杆值差别较大,也说明若仅从供电半径单一指标维度对馈线进行分类,将导致类内馈线线损率水平差异明显。

由于馈线短期内指标参数变化不大,故当样本馈

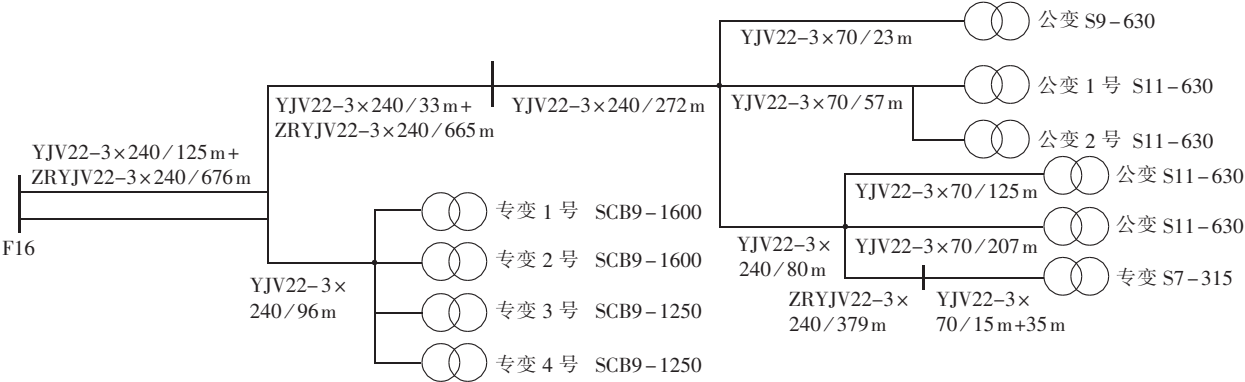


图 4 XG-F16 馈线拓扑结构
Fig.4 Topology of XG-F16

表 5 XG-F16 馈线计算参数及结果
Table 5 Calculation parameters and
calculative result of XG-F16

指标参数	参数值
<i>F</i> 值	0.40
年最大电流/ <i>A</i>	236.21
负载率/%	75.52
损耗电量/(<i>kW</i> · <i>h</i>)	1.85×10^5
年供电量/(<i>kW</i> · <i>h</i>)	$1.788\,28\times10^7$
线损率/%	0.93

表 6 14 条中心馈线线损率
Table 6 Line-loss rates of 14 central feeders

类别	中心馈线 名称	线损率 基值/%	类别	中心馈线 名称	线损率 基值/%
A	CG-F9	2.34	H	JT-F8	3.67
B	XG-F21	0.63	I	YT-F30	1.05
C	XG-F16	0.93	J	SH-F2	3.86
D	PT-F3	2.44	K	YS-F7	0.64
E	DP-F30	1.91	L	YH-F1	1.94
F	RB-F20	1.63	M	SYG-F2	0.98
G	ZC-F12	2.79	N	SJ-F2	2.44

表 7 中心馈线 CG-F9 与馈线 JC-F8 的完整指标参数
Table 7 Complete index parameters of central feeder
CG-F9 and non-central feeder JC-F8

指标参数	参数值	
	CG-F9	JC-F8
供电半径/ <i>km</i>	2.48	1.26
平均电量/(<i>kW</i> · <i>h</i>)	3.75×10^6	4.72×10^6
电缆化率/%	100	100
年最大电流/ <i>A</i>	66	98.03
年最高负载率/%	15.80	21.78
线路允许最大载流量/ <i>A</i>	417.76	450
容量合计/(<i>kV</i> · <i>A</i>)	6920	4110

表 8 14 类馈线的线损率标杆值
Table 8 Line-loss rate benchmarks of 14 feeder types

类别	离散程度 标杆值/%	等效馈线 标杆值/%	类别	离散程度 标杆值/%	等效馈线 标杆值/%
A	2.45	2.70	H	3.99	4.01
B	0.58	0.58	I	1.31	1.34
C	1.05	1.05	J	4.95	4.97
D	2.38	2.40	K	0.64	0.64
E	1.71	1.71	L	1.66	1.67
F	1.36	1.44	M	0.85	0.92
G	2.82	2.83	N	2.35	2.37

线的指标参数发生变化时,重复进行指标系数调整法计算,即可得到该馈线线损率的滚动修编值。同理,也可据此得到各类馈线线损率标杆值的滚动修编值。这显著降低了待计算馈线数量巨大时,确定馈线线损率及各类馈线线损率标杆值的工作量;同时,也为实现线损管理的精细化与差异化、促进节能降损工作的开展提供了数据支持。

4.3 聚类稳定性的探讨

若聚类对象(数量、属性等)发生变化,聚类结果及聚类特性肯定是会变化的。在对该大型供电企业

进行分析时,笔者也进行大量的分析,该大型供电企业的 947 条馈线中,每年总会有数十甚至上百条发生变化(线路改造、新建线路),但在剔除少数个性突出的样本后,聚类数量及其特性基本上保持稳定。随着城市配电网及负荷的逐步稳定,通过每年滚动修编的方式,聚类结果及特性也日趋稳定。

除了聚类稳定性之外,事实上,利用本文方法,一个大型供电企业只需 1 人,利用 3 至 4 个工作日,即可实现数百乃至数千条馈线的分类,计算每一类的线损率标杆值,并提出每一类乃至每一条馈线的合理降损空间(实际情况复杂,不一定能实现降损),大幅提高线损管理的精细化与差异化水平。

5 结论

a. 本文设计了一套由供电半径和平均电量构成的聚类指标体系。该指标体系由 7 项主流馈线指标筛选压缩得到。使用这 2 项指标对大量馈线进行聚类划分,并将每一类馈线分为中心馈线与非中心馈线,可使聚类结果实际意义明确,类别区分明显,能达到快速、合理聚类的目的。

b. 本文设计了一种考虑馈线聚类特性的中压配电网线损率标杆值测算模型。该模型分别使用等值电阻法和指标系数调整法,快速地对各馈线的线损率进行计算,并确定各类馈线的线损率标杆值。

c. 本文设计的线损指标系数调整法,能利用中心馈线与聚类参数,快速计算非中心馈线的线损率标杆值,合理地对每一类馈线线损率进行测算。

d. 本文所提出的考虑馈线聚类特性的中压配电网线损率测算模型,较之现有线损率测算模型,既能快速实现馈线线损管理的精细化与差异化,也通过简化数据需求与理论要求,具有操作简便、效率高的优点,便于在实际工作中推广。

参考文献:

[1] 余卫国,熊幼京,周新风,等. 电力网技术线损分析及降损对策[J]. 电网技术,2006,30(18):54-57,63.
YU Weiguo,XIONG Youjing,ZHOU Xinfeng,et al. Analysis on technical line losses of power grids and countermeasures to reduce line losses [J]. Power System Technology,2006,30(18): 54-57,63.
[2] 王剑,王坚. 节能降耗与 10kV 配网线损管理[J]. 华北电力技术, 2009(5):48-50.
WANG Jian,WANG Jian. Energy saving and consumption reducing with 10 kV distribution network line losses management [J]. North China Electric Power,2009(5):48-50.
[3] 中国南方电网有限责任公司计划部. 电网企业能耗现状及节能减排潜力研究[R]. 广州:中国南方电网有限责任公司,2012.
[4] 王琨,刘丽平. 10kV 线损理论计算方法的误差分析[J]. 电力学报,2002,17(4):251-253,256.

- WANG Kun,LIU Liping. Error analysis on 10 kV line loss with theoretical calculating method[J]. Journal of Electric Power, 2002,17(4):251-253,256.
- [5] 唐晓勇. 配电网线损计算方法研究[D]. 长沙:湖南大学,2014.
TANG Xiaoyong. Research on line loss calculation method of distribution network[D]. Changsha:Hunan University,2014.
- [6] 张国庆. 配电网线损计算[D]. 南京:南京理工大学,2010.
ZHANG Guoqing. Calculation of distribution network[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology,2010.
- [7] TIAN Junyang,ZHU Yun,LIANG Zhencheng,et al. A method for online calculation of line loss in distribution networks based on CIM[C]//CICED 2010 Proceedings. Nanjing,China:IEEE,2010: 1-4.
- [8] 丁心海,王先甲,黄涌. 10 kV 配电网潮流计算方法的实用化改进[J]. 中国电力,2009,42(7):42-45.
DING Xinhai,WANG Xianjia,HUANG Yong. Practical improvements for power flow calculation of 10 kV distribution network [J]. Electric Power,2009,42(7):42-45.
- [9] 安敏. 基于动态自适应聚类算法 RBFNN 的配电网线损计算新方法[D]. 天津:天津大学,2006.
AN Min. New approach of calculating energy losses of distribution systems based on RBFNN with dynamic adaptive clustering algorithm[D]. Tianjin:Tianjin University,2006.
- [10] 刘涛,杨劲锋,阙华坤,等. 基于聚类的线损分析研究[J]. 华东电力,2013,41(7):1452-1455.
LIU Tao,YANG Jinfeng,QUE Huakun,et al. Analysis and study for the line losses based on cluster algorithm[J]. East China Electric Power,2013,41(7):1452-1455.
- [11] 李滨,杜孟远,韦维,等. 基于准实时数据的智能配电网理论线损计算[J]. 电力自动化设备,2014,34(11):122-128,148.
LI Bin,DU Mengyuan,WEI Wei,et al. Calculation of theoretical line loss based on quasi real-time data of smart distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(11): 122-128,148.
- [12] 李秀敏,江卫华. 相关系数与相关性度量[J]. 数学的实践与认识,2006,36(12):188-192.
LI Xiumin,JIANG Weihua. Research on linear correlation and dependence measure[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2006,36(12):188-192.
- [13] 曲福恒,崔广才,李岩芳,等. 模糊聚类算法及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2011:63-64.
- [14] 宫改云. FCM 算法参数研究及其应用[D]. 西安:西安电子科技大学,2004.
GONG Gaiyun. Study of FCM algorithm on parameters and its applications[D]. Xi'an:Xidian University,2004.
- [15] 彭思华,张勇军,黄媚. 配电网无功配置基态分析规划法[J]. 电网技术,2013,37(9):2646-2652.
PENG Sihua,ZHANG Yongjun,HUANG Mei. A base-state analysis based reactive compensation planning method of distribution network[J]. Power System Technology,2013,37(9): 2646-2652.
- [16] 范金城,梅长林. 数据分析[M]. 2版. 北京:科学出版社,2010: 1-7.

作者简介:



欧阳森

欧阳森(1974—),男,广西灵山人,副研究员,博士,主要从事电能质量、节能技术与智能电器方面的研究(E-mail:ouyangs@scut.edu.cn);

冯天瑞(1989—),男,湖北襄阳人,硕士研究生,主要从事电能质量分析与控制、配网线损方面的研究(E-mail:feng_tr@foxmail.com);

安晓华(1991—),女,山东日照人,硕士研究生,主要从事电能质量分析与控制方面的研究(E-mail:dulixian@163.com)。

Line-loss rate calculation model considering feeder clustering features for medium-voltage distribution network

OUYANG Sen,FENG Tianrui,AN Xiaohua

(Key Laboratory of Clean Energy Technology of Guangdong Province,School of Electric Power, South China University of Technology,Guangzhou 510640,China)

Abstract: Aiming at the line-loss management difficulty of 10 kV distribution network due to its numerous feeders and deficient basic data,a line-loss rate calculation model considering the clustering features is proposed to quickly and rationally classify the feeders and calculate the line-loss benchmark for each feeder type. A simple and scientific clustering index system is proposed,which considers the difference of line property,operating parameters and so on among feeders and selects the indexes with greater influence on the line-loss rate. A huge number of feeders are sorted by the FCM(Fuzzy C-Means) clustering algorithm and a central feeder is selected for each feeder type,based on which,a line-loss benchmark calculation model is designed for the medium-voltage distribution network. It adopts the equivalent resistance method and the index coefficient adjusting method to calculate the line-loss rate for the central feeder and non-central feeders respectively to obtain the benchmark of each feeder type. The index coefficient adjusting method calculates the adjustment coefficient of non-central feeder over central feeder to quickly and easily obtain the line-loss rates of numerous non-central feeders. The case study for an actual large-scale power-supply enterprise proves the effectiveness and applicability of the proposed model.

Key words: medium-voltage distribution network; clustering algorithms; line loss rate; calculation model