

[线损]

供-售电侧计量信息异常对10 kV同期线损的影响分析

文/陈佳瑜 夏澍 许鸣吉
国网上海市电力公司市北供电公司

计量供电侧和售电侧电量是10 kV同期线损计算的重要环节，除电量采集设备外，计量关联的台账信息也直接关系线损计算的准确性。针对10 kV分线拓扑结构，从区间、指标及台账三个维度出发，分别提出供电侧和售电侧计量异常信息的有效辨识方法，并给出各异常情形下的治理方案。该方法可快速辨识出台账异常的计量信息，规范系统数据质量。最后以某供电公司实施案例验证了该方法的有效性。

在实现“双碳”目标的背景下，碳减排、节能降耗和生态环境保护已成为国民关注的重点^[1-2]。线损能直接反映电网运行中各环节的损耗，其有效治理关系着能源和环境的可持续发展^[3-4]。国网公司已全面开展同期线损治理工作^[5-6]，随着配电网线损率的全面提升，规范10 kV同期线损管理，保证数据的准确性和真实性显得尤为重要。

文献[7]针对电量信息采集设备故障管理过程中检测不精确的问题，提出一种自动检测算法，但只针对采集设备，未讨论与采集相关的台账信息。文献[8]研究基于同期线损系统的线路空载、轻载损耗模型，减少线路传输过程中的电量损耗，但实际操作性不强。文献[9]提出基于“秩和”近似相等特性的同期线损异常数据辨识方法，但该方法需比较理论值与统计值之间的偏差，存在局限性。文献[10]针对配电网馈线理论线损率，提出一种基于模糊聚类基态修正的标杆值的优化设计方法，但主要对理论线损进行探讨，未考虑统计线损中计量信息的影响。

以上文献均未探讨线损计算中计量信息异常的有效辨识方法。针对该问题，本文提出一种供-售电侧典型计量信息异常的分析方法。从10 kV分线拓扑结构出发，以区间、指标及台账三个维度，供电

侧结合母线平衡率，从电表表号、计量流变和通信信息三个方面入手；售电侧从双电源用户的表计-线路关系和计量流变信息入手，分别讨论，并给出异常辨识及治理方法。该流程和方法可操作性强，有效提升系统数据质量，保障电网安全运行。

计量信息异常对线损率的影响

10 kV分线拓扑结构如图1所示^[11]，变电站10 kV出线送至台区与中压用户。除分线线损率外，线路所属变电站的10 kV母线平衡率也是考核指标之一。

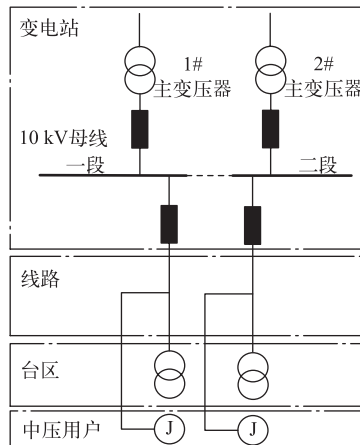


图1 10 kV分线拓扑结构

图1中, 10 kV母线平衡率计算公式为^[12]

$$\mu_{MP} = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ZBi} - \sum_{k=1}^n W_{XLk}}{\sum_{i=1}^n W_{ZBi}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, μ_{MP} 为母线平衡率; W_{ZB} 为主变压器电量; W_{XL} 为线路电量; i 为第 i 个主变压器, $i=1,2,\dots,n$; k 为第 k 条线路, $k=1,2,\dots,n$ 。

当 $\mu_{MP} \in [-2\%, 2\%]$ 时, 在合理范围内。

分线同期线损率计算公式为^[13]

$$\mu_{XS} = \frac{W_{XL} - W_O}{W_{XL}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, μ_{XS} 为线损率; W_O 为线路售电侧电量。

当 $\mu_{XS} \in [0, 6\%]$ 时, 在合理范围内。

在10 kV分线线损计算中, 供、售电侧关联的计量信息与对应线路一致, 是保证线损率合理的一个重要环节。计量信息包括计量流变、表计和通信信息等, 其中任一部分异常均会导致线损率不合理。

分线同期线损率可通过表1中区间、指标及台账三个维度来表征其计算中的台账影响因素。本文主要研究供电侧和售电侧关联计量电量的台账数据异常对线损率的影响。

表1 分线同期线损率三维指标

区间		指标	台账
供电侧	变电站	母线平衡率	测量点
			电表类型
			电表表号
			流变倍率
			通信通道
售电侧	线路	分线线损率	线路台账
			...
	台区	台区线损率	变压器台账
			...
	中压用户	/	计量点 流变倍率

供电侧计量信息

变电站出线电能表计量的是10 kV线路供电侧电量, 一般在现场安装完表计, 调试通信后, 记录电表型号、接线方式和表号等信息, 并录入电能量采集系统^[14], 进行电量计量。

电能表中电量计算公式为

$$W_{XL} = (A_S - A_X) \times K \quad (3)$$

式中, A_S 为电能表下表底值; A_X 为电能表上表底值; K 为计量流变倍率。

1. 计量电能表表号错误

计量信息中, 测量点-电能表表号之间一一对应, 具有唯一性。测量点跟随断路器对应的信息自动生成, 在同期线损计算中, 需要将其手动配入线路模型。在该环节中, 出现的典型情形为表号错误。

1.1 单个表号错误

若出现单个表号错误, 在电能量采集系统中表现为通信异常(即出现红点), 无法获取正确的电量信息。

此时对应线路供电侧电量为0, 由式(1)、式(2)可知, $\mu_{MP} > 2\%$; $\mu_{XS} = -999\%$ 。

该情形下, 通过现场核查通信红点线路对应的表号, 并在电采系统中更正。

1.2 多个表号错误

若出现多个表号错误的情况, 一种是与单个表号错误情形一样, 通过观察电采系统是否有红点, 判断表号现场与系统是否一致。

另一种是表号错位情形, 即应属于A线路的A表表号, 系统错误录入为B表表号, 导致A、B线路供电侧计算电量错位。在售电侧电量无异常的情况下, 此时A线路线损率 $\mu_{XS A}$ 与B线路线损率 $\mu_{XS B}$ 为一正一负, 且损失电量一致, 即

$$\begin{cases} \mu_{XS A} > 0, \mu_{XS B} < 0 \\ \text{或} \mu_{XS A} < 0, \mu_{XS B} > 0 \\ \text{且 } W_{XS A} + W_{XS B} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, $W_{XS A}$ 为A线路损失电量; $W_{XS B}$ 为B线路损失电量。

因 μ_{MP} 计算的是整站母线平衡率, 故在表号错位的情况下, 其仍在合理范围内。从图1可知, 变电站内10 kV母线分为多段, 故可通过分段母平进行判断, 计算公式为

$$\mu_{MPm} = \frac{W_{ZBm} - \sum_{k=1}^n W_{XLkm}}{W_{ZBm}} \times 100\% \quad (5)$$

式中, m 为变电站内第 m 段10 kV母线, $m=1,2,\dots,L$, $L_{\max}=4$ 。

若 μ_{MPm} 超出 $[-2\%, 2\%]$ 的范围, 则判断第 m 段分段母平不合理。

若表号错位发生在不同段母线上，通过分段母平和分线线损率即可判断。除分段母平不合理外，不同段母线损失电量一值，即

$$\sum_{m=1}^L W_{MLPm} = 0 \tag{6}$$

若发生在同段母线上，则通过分线线损率，并结合售电侧分量情况进行判断。

在出现2个表号错误的情形下，治理方法需保证变电站10 kV母平合理，且表计不倒走。故现场将表计互换，这样电采系统中表号不变，无需做换表记录。同时在系统中将其对应的COM口进行互换，确保通信正常，这样线路和母平均能恢复至合理。

当出现2个及以上表号错误的情况时，判断和治理方法与上述一致。

2. 计量流变倍率错误

由式（3）可知，计量流变的倍率直接影响电量的计算。在该环节中，典型情形为因工程等原因，现场流变更换后，与系统内信息不一致。

流变倍率错误时，所计算得到的电量为

$$W'_{XL} = W_{XL} \times \frac{K}{K'}, \tag{6}$$

式中， W_{XL}' 为错误流变倍率下计算得到的电量； K' 为错误流变倍率。

若 $K > K'$ ，则 $W_{XL}' > W_{XL}$ ，根据式（1） $\mu_{MP} < -2\%$ ；根据式（2） $\mu_{XS} > 6\%$ ；同理，若 $K < K'$ ，则 $W_{XL}' < W_{XL}$ ，此时 $\mu_{MP} > 2\%$ ； $\mu_{XS} < 0$ 。

该情形下，现场核对流变倍率后，在电采系统中更正。

3. 通信信息错误

通信信息表现为通信通道在现场与后台完成调试后，可在电能量采集系统内获得电量数据。当通信通道异常时，系统中会出现红点。

在该环节中，典型的情形为供电侧电度表更换，通信通道改接，导致电能量采集系统中的通信采集COM口与现场不一致。

此时，对应线路供电侧电量为0， $\mu_{MP} > 2\%$ ； $\mu_{XS} = -999\%$ 。

该情形下，可联系电采系统后台人员调试解决。

4. 供电侧计量信息异常特征及治理方法

在供电侧三种典型的计量电能表表号、流变和

通信信息异常的情形下，其特征及治理方法见表2。

表2 供电侧计量信息异常特征及治理方法

类型		特征	治理方法
计量电能表表号错误	单个表号错误	①电采中出现红点 ② $\mu_{MP} > 2\%$ ③ $\mu_{XS} = -999\%$	步骤1：现场核查通信红点线路对应的表号 步骤2：在电采系统中更正
	多个表号错误	情形1：同单个表号错误情形 情形2：2个表号信息错位 $\begin{cases} \mu_{XS A} > 0, \mu_{XS B} < 0 \\ \text{①或} \mu_{XS A} < 0, \mu_{XS B} > 0 \\ \text{且} W_{XS A} + W_{XS B} = 0 \end{cases}$ ② $\mu_{MP} \in [-2\%, 2\%]$ ③出现在同一段母线上： μ_{MPm} 均合理；不在同一段母线上： μ_{MPm} 不在 $[-2\%, 2\%]$ 的范围内，且 $\sum_{m=1}^L W_{MLPm} = 0$ 情形3：2个及以上表号信息错误，同上	情形1： 步骤1：现场核查通信红点线路对应的表号 步骤2：在电采系统中更正 情形2： 步骤1：现场将表计互换 步骤2：在电采系统中互换对应COM口 情形3：同情形1和2
计量流变倍率错误		情形1： $K > K'$ ① $\mu_{MP} < -2\%$ ② $\mu_{XS} > 6\%$ 情形2： $K < K'$ ① $\mu_{MP} > 2\%$ ② $\mu_{XS} < 0$	步骤1：现场核对流变倍率 步骤2：在电采系统中更正
通信信息错误		①电采中出现红点 ② $\mu_{MP} > 2\%$ ③ $\mu_{XS} = -999\%$	联系电采系统后台人员调试

售电侧双电源用户计量信息

售电侧中压用户往往存在双电源，即同一户号的用户存在2个不同的计量点，通常称为甲乙表。该环节的典型异常情形为甲乙表反和流变倍率反。用户点-专变-计量点-线路之间的线变关系具有唯一性，如图2中黑色连线所示。

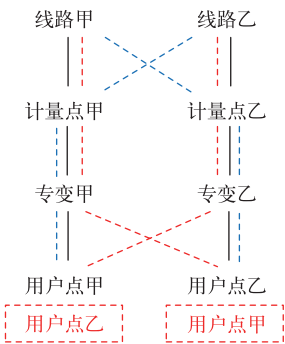


图2 中压用户线变关系

1. 双电源用户甲乙表反

假设甲乙表反用户流变倍率无异常，则甲线路

线损率 $\mu_{xs甲}$ 与乙线路线损率 $\mu_{xs乙}$ 为一正一负，且损失电量一致，同式（4）。

该情形下，一种是从台账系统侧入手，更换图形系统中的关联信息，即更换专变与用户点间的连线（图2中红色连线所示），此时系统中2个用户点的整体信息发生对换，包括计量点、表号、流变倍率等；另一种是从现场入手，对换2块计量表计（图2中蓝色连线所示），此时系统中用户点仅对应的表号信息发生对换，其余信息不变。

2. 双电源用户流变倍率反

假设双电源用户流变倍率不一致且相反，但对应的用户甲乙表未接反，则甲线路线损率 $\mu_{xs甲}$ 与乙线路线损率 $\mu_{xs乙}$ 为一正一负，但损失电量不一致。还原线损率为

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu'_{xs甲} = \mu_{xs甲} + \frac{W_{J甲} \times (1 - \frac{K_{甲}}{K_{乙}})}{W_{XL甲}} \times 100\% \\ \mu'_{xs乙} = \mu_{xs乙} + \frac{W_{J乙} \times (1 - \frac{K_{乙}}{K_{甲}})}{W_{XL乙}} \times 100\% \end{array} \right. \quad (7)$$

式中， $\mu'_{xs甲}$ 为正确倍率下甲线路线损率； $\mu_{xs甲}$ 为错误倍率下甲线路线损率； $\mu'_{xs乙}$ 为正确倍率下乙线路线损率； $\mu_{xs乙}$ 为错误倍率下乙线路线损率； $W_{J甲}$ 为错误倍率下甲用户的电量； $W_{J乙}$ 为错误倍率下乙用户的电量； $K_{甲}$ 为甲用户正确倍率； $K_{乙}$ 为乙用户正确倍率。

此时若按照上述方法对换，无法更正倍率信息。一种方法是直接从源端系统对换该2个流变的倍率。但实际工作中往往受流变容量等信息的限制，而无法直接更换，故通过以下两步骤，可实现信息更正。

步骤1：现场对换表计。

步骤2：系统中更换用户点与专变间的连线。

该方法首先将用户点与线路间的对应关系通过现场表计进行互换，然后通过改变用户点与专变间的连接线，使得用户点的整体信息对换。这样保证用户点与线路之间对应关系正确的同时，互换了流变倍率。

3. 双电源用户甲乙表反且流变倍率反

若双电源用户同时出现甲乙表反和流变倍率不

一致的情形，则先通过源端系统对换该2个流变的倍率，再采用上述任一方法进行处理。

供-售电侧计量信息异常辨识流程

通过以上分析，得到供-售电侧计量信息异常的辨识流程如图4所示。排查供-售电侧的顺序可根据实际情况而定。

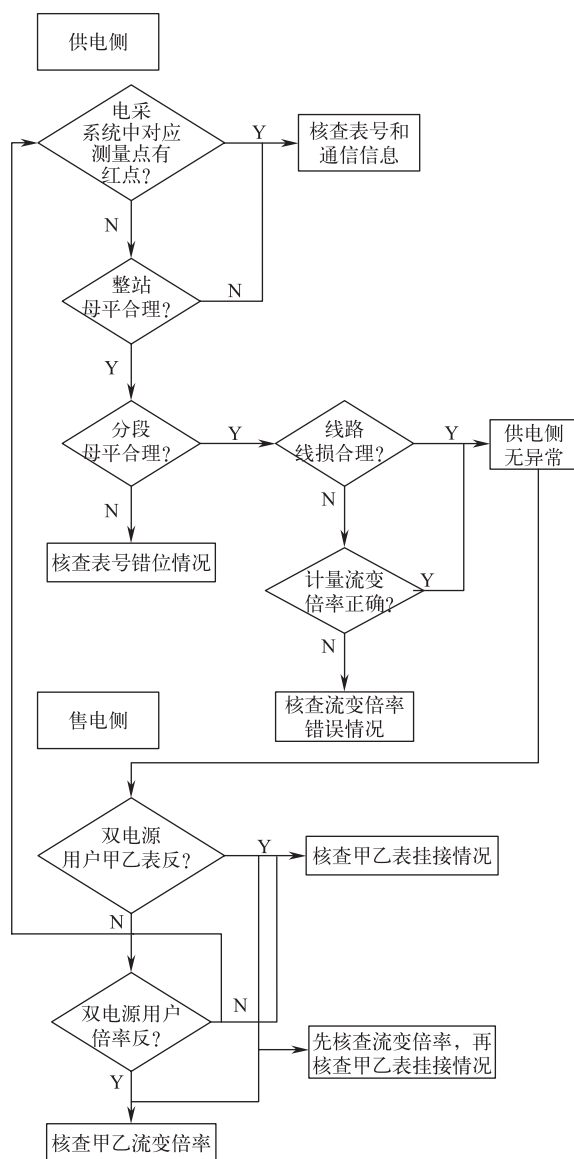


图3 供-售电侧计量信息异常辨识流程

案例实施

为验证上述所提辨识方法的有效性，针对某供电公司因供-售电侧计量电量信息异常导致的线损不合理线路进行案例分析。

1. 案例分析

某供电公司在同期线损平台中对10 kV分线线损率分析，发现：“X8/X58”在2024年8月11日起由合理变为负损；“X15/X65”在8月9日起由合理变为高损，8月11日期又由高损变为负损；“X23/73”在7月16日起由合理变为高损。

以上3条双拼线路均属于35 kV变电站：XY站。其拓扑图如图4所示。

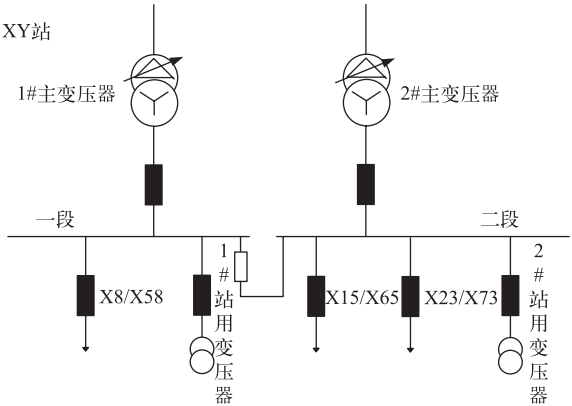


图4 XY站一次接线图

首先分析10 kV分线“X8/X58”，其在8月11日前后线损率及电量变化情况见表3。

表3 “X8/X58” 8月11日前后线损率及电量变化

日期	X8/X58			
	线损率 (%)	供电量/ (kW·h)	售电量/ (kW·h)	损失电量/ (kW·h)
8月9日	0	2 400	2 400	0
8月10日	0.81	2 460	2 440	20
8月11日	-74.07	2 160	3 760	-1 600
8月12日	-69.75	2 268	3 850	-1 582

从表3可知，8月11日起，“X8/X58”供电侧电量无较大变化，而售电侧电量突增1 600 kW·h左右，导致线损率为负，故先从售电侧计量信息开始排查。

该线路售电侧分量仅为3个高压用户，其电量见表4。

从表4可知，X8/X58关联用户“奥格利环保”自8月11日起计量的电量与线路损失电量基本一致，且其余2个用户电量基本无变化。

核查工作计划，发现该用户涉及7月16日的业扩工程《上海奥格利环保工程有限公司国庆路

10 kV定额工程》，其存在双电源，另一计量点为x9441，涉及线路“X15/X65”。同时2个计量点倍率一致，故考虑是否存在甲乙表反情形。

表4 “X8/X58” 8月11日前后售电侧电量变化

X8/X58						
售电侧分量			电量/ (kW·h)			
用户编号	用户名称	计量点编号	8月9日	8月10日	8月11日	8月12日
x4381	顺灏新材料	x4607	2400	2440	2140	2260
x7900	奥格利环保	x0031	0	0	1620	1590
x8718	宝山工业园区	x6777	0	0	0	0

追溯历史，发现在同期中该用户的2个计量点在7月与8月所关联的线路不一致，7月16日—8月5日，计量点x0031属于线路X15/X65，x9441属于线路X8/X58；8月6日-9日期间因专变绘制原因关联丢失；而自8月10日起，恢复关联后，该2个计量点关联线路与之前相反。

故判断双电源用户“奥格利环保”存在甲乙表反现象。现场核查后证实，并更换了图形中用户点与专变间的连线。

该用户计量信息更正后，得到线路“X8/X58”线损率为-165.74%、“X15/X65”线损率为1.83%。“X15/X65”线损率可恢复至合理，但“X8/X58”仍为负损，甚至负的更多。

进一步分析“X8/X58”仍为负损的原因。核查供电侧计量信息，其所属电站“XY站”电采系统中无红点，且母平一直在合理范围内，但图4中，“X8/X58”与“X23/X73”不在同段母线上。计算分段母平，以8月11日为例，XY整站母平为-0.09%，一段母平5.82%，损失电量13 046 kW·h、二段母平-7.06%，损失电量-13 634.75 kW·h，分段母平超出[-2%，2%]的合理范围，且损失电量一致。结合“X8/X58”与“X23/X73”线损率，满足表2中2个表号错位的现象，故判断该2条线路存在供电侧计量电表表号相反的现象。

经现场核查，证实“X8/X58”与“X23/X73”现场表号与电采系统中相反，表计电量互读。通过现场互换表计及系统内更换COM口后，得到“XY

站”一段母平-0.26%、二段母平-0.001 4%，均在合理范围内。“X8/X58”线损率为86.45%，“X23/X73”线损率为-618.52%，仍不在合理范围内。

再核查该2条线路售电侧计量信息，发现“X23/X73”且售电侧仅关联1个高压用户，编号：x4381、名称：顺灏新材料、计量点编号：x7823。该用户另一计量点正好关联于线路“X8/X58”，流变倍率一致。2条线路损失一正一负，且损失电量一致，满足式（4）。

故判断双电源用户“顺灏新材料”存在甲乙表反现象。经现场核查该用户2个计量点对应表计信息与系统中相反，现场更换表计。信息更正后，“X8/X58”线损率1.72%和“X23/X73”的线损率0.93%，均在合理范围内。

综合以上分析，该3条双拼线路“X8/X58”、“X15/X65”、“X23/73”存在双电源用户“奥格利环保”“顺灏新材料”甲乙表反、及“X8/X58”、“X23/X73”供电侧表计相反的问题，处理后线损率均恢复至合理范围内。实际案例验证了该辨识及治理方法的有效性。

2. 多个案例验证

为进一步验证该方法的实用性，对某月10 kV分线线路中线损率不合理的线路进行分析，结果见表5。

表5 某月10 kV分线线路计量信息异常原因分析

计量信息异常	数量
供电侧电能表表号错误	4
供电侧电能表表号相反	2
供电侧通信异常	10
售电侧用户甲乙表反	20
售电侧用户流变倍率反	2

由多个案例分析结果可看出，该方法从实际线损分析出发，可快速辨识供售电侧计量信息异常原因，保证系统数据准确性，提高线损分析效率。

结束语

针对10 kV分线，本文依据线路拓扑结构，从区间、指标和台账三个维度出发，提出一种从台账角度辨识及治理供-售电侧计量信息异常的方法，并通过案例验证该方法的有效性。此方法有高度的可操作性，对降低线路损耗，实现碳达峰、碳中和的远景目标具有显著意义。EA

（收稿日期：2024-11-21）

参考文献

- [1] 辛锐, 姜丹, 郑焕坤, 等. 基于双碳目标的大数据能源调度博弈管理算法研究[J]. 电测与仪表, 2022(4): 55-65.
- [2] 王睿, 陈达鹏, 张会娟, 等. “双碳”背景下分时销售电价时段划分方法研究[J]. 电力勘测设计, 2022(1): 1-4.
- [3] 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(18): 54-57, 63.
- [4] 张恺凯, 杨秀媛, 卜从容, 等. 基于负荷实测的配电网理论线损分析及降损对策[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(S1): 92-97.
- [5] 冷华, 陈鸿琳, 李欣然, 等. 基于功率或电量预测的智能配电网统计线损同期化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(18): 108-114.
- [6] 王东升. 线损精益化管理在供电企业中的应用[J]. 集成电路应用, 2020, 37(12): 174-175.
- [7] 冉懿, 刘晓健, 董亮, 等. 电量信息采集设备线损故障自动检测方法研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2019(12): 162-165.
- [8] 徐晓萌, 赵滨滨, 史雷, 等. 基于同期线损系统线路空载、轻载损耗的研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2020(2): 155-158.
- [9] 王方雨, 刘文颖, 陈鑫鑫, 等. 基于“秩和”近似相等特性的同期线损异常数据辨识方法[J]. 电工技术学报, 2020, 35(22): 4771-4783.
- [10] 安晓华, 欧阳森, 冯天瑞, 等. 中压馈线理论线损率标杆值的优化设计方法及应用[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 199-206.
- [11] 屈星, 李欣然. 考虑配电网结构的电力系统综合负荷建模[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(12): 117-123.
- [12] 谢楠. 变电站母线电量不平衡率异常的分析[J]. 电工技术, 2011(10): 25-26, 35.
- [13] 李海清, 李凡, 古展基, 等. 10 kV配电网线损指标体系及降损潜力测算模型[J]. 机电工程技术, 2021, 50(8): 163-166.
- [14] 胡宇. 电能量信息采集与监控系统的建设研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2018.