

基于时间衰减因子熵权法的电力用户信用评估

随着电力产业的快速发展，电力用户信用缺失的现象日益严重，为了避免此类现象带来的一系列用电风险，各电力公司分别采取不同的方法来实现对电力用户的信用评估。通常电力用户信用评估过程的主要依赖于评估人员主观决策，从而导致信用评估缺乏客观性。通过对电力用户信用评估过程中的各影响因素的深度分析，结合不同用户在关键指标上表现差距大的特性，采用一种依赖于指标数据本身的客观评价法，即基于时间衰减因子的熵权法。经过实例分析，该方法确定的随时间影响而变化的指标权重信用评估过程与电力用户的实际状况更相符。

张国庆/国网山东省电力公司

桂 纲 张海静 杨东亮 张 磊/国网济宁供电公司

0 引言

随着我国经济和工业的快速发展，对电力和能源的需求越来越强。供电企业近年来迅速发展，电力用户的数量不断增加，随之带来的一系列问题日益突出，如电费欠费、责任事故频现、线路跳闸、偷窃电现象以及擅自操作电能计量设备等，并且供电企业的经营状态为先消费后付款，由于电力用户信用缺失，每年会导致高额的欠费和坏账，诸如此类的电力用户信用缺失的现象日益严重^[1]，这给电力企业带来了严重的资源浪费。

针对该类问题，电力企业近年来付出大量的人力物力对其进行解决，相关研究结构对此问题的关注度亦日趋提高，文献[2]通过对电力客户的经营能力、缴费情况、设备可靠性、执行错峰情况及无功补偿等多方面作出相应评分，给出相应信用度等级，根据不同信

用度等级对用户的需求提供优先级，从而缓解日益严重的电费拖欠、设备故障停电及线损率不断升高等问题；文献[3]从管理方法、管理技术及管理手段方面入手，通过研究开发电力客户的信用评价体系 and 建立信用评价模型，设计一个电力客户信用评价与欠费风险预警系统的总体方案，并以实践表明，该系统对改善目前电力企业的欠费现状具有较大的实用意义。

从以上研究分析可以发现，电力用户信用评估主要以电力领域专家人员的主观分析为主，在一定程度上缺乏客观性，且随着用电信息采集系统性能的不断优化，其提供的采集数据覆盖面越来越广，其中包含丰富的数据资源待利用，故本文针对避免电力用户信用缺失给供电企业带来的损失，对电力用户进行信用评估，针对信用差的用户及时采取措施，是目前供电企业有效规避风险、提高经营管理水平所面临的一个亟待解决的问题。

1 电力用户信用评估指标体系

电力产业由于其特有的无形性以及与各行业密切联系的特性，和普通企业相比，除了具有一般的商业信用（如经营能力、经营行为记录和付款记录）外，还对用户用电的安全信用（如调度合作记录、安全事故记录和安全检查记录等）要求较高，并且近年来偷窃电现象严重，在实际的电力法规中难以贯彻处理，给供电企业带来了较大的经济损



张国庆/高级工程师

关键词/Keywords

时间衰减因子·
熵权法·
信用评估·
评价指标·

失, 因此法律信用也应考虑在内, 主要包括偷窃电记录、违约用电记录用电检查记录和需求侧记录等^[4]。

通过对电力企业用户数据的深入分析, 本文设计制定了一套规范合理的电力用户信用评估指标体系, 本着全面性、科学性、层次性和可操作性的原则^[5], 根据已有的理论成果, 制定电力用户信用评估指标体系及评估准则如下图所示。

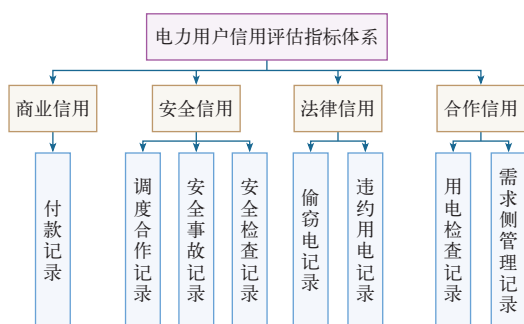


图 电力用户信用评估指标体系

1.1 商业信用

付款记录(分值: 100分)如下。

1) 电费缴纳: 一般客户以规定缴费日为限(每月25日), 次月5日前为止。在规定缴费日之前每提前一天缴费加1分; 计划结算客户以合同规定的计划结算缴费日为限, 严格执行合同规定的结算时间和缴费数额, 每提前一天足额缴费加1分, 每滞后一天缴费扣2分; 低于计划结算10个百分点扣2分, 每增加1个百分点加2分。

2) 电费欠费: 超过次月5日后交纳电费的客户视为欠费户, 每滞后一天缴费扣2分。本月上推10个月内, 拖欠3次欠费的客户扣本项20分, 拖欠5次以上, 扣40分, 拖欠8次以上的, 该项记录为0分, 若事后补齐所欠电费, 本次评估期记录为40分。若本次评估期上推连续3年无拖欠电费记录, 可加10分。

3) 电费催收: 分为电话和人工催收两种。电话或短消息催收一次扣1分, 人工催收一次扣2分。

1.2 安全信用

(1) 调度合作记录(分值: 100分)

1) 执行调度规程: 拒不执行调度命令者为0

分, 执行调度命令不力者每次扣30分。

2) 执行安全规程: 客户违反电力安全规程, 每发生一次扣30分。

(2) 安全事故记录(分值: 100分)

1) 责任事故: 由于客户设备系统接地引发障碍, 每发生一次扣30分。

2) 越级跳闸: 越级跳闸每发生一次扣40分。

3) 线路跳闸: 每发生一次且重合不成功扣20分, 每发生一次且重合成功扣10分。

(3) 安全检查记录(分值: 100分)

1) 安全运行周期: 客户安全运行天数达到一年加20分。

2) 设备管理: 客户电气设备超过试验周期或未更换试验不合格的电气设备, 每发现一次扣5分。

3) 由于客户原因造成负控装置运行故障, 每发生一次扣5分; 每发现一处违章扣5分。

1.3 法律信用

(1) 偷窃电记录(分值: 100分)

下列发生任何条款窃电行为, 该项记录为0分:

1) 在供电企业的供电设施上, 擅自接线用电。

2) 绕越供电企业用电计量装置用电。

3) 伪造或者开启供电企业加封的用电计量装置封印用电。

4) 故意损坏供电企业用电计量装置。

5) 故意使供电企业用电计量装置不准或者失效。

6) 采用其他方法窃电。

(2) 违约用电记录(分值: 100分)

1) 擅自改变用电类别, 每发现一次扣20分。

2) 擅自超过合同约定的容量用电, 每发现一次扣20分。

3) 擅自使用已同供电企业办理暂停手续的电力设备和启用已被供电企业查封的电力设备, 每发现一次扣20分。

4) 擅自迁移、更动及操作供电企业的用电计量设备、电力负荷控制装置和供电设施以及供电企业约定调度的客户用电设备, 如果以上四项同时发生, 每发现一次扣40分。

5) 擅自迁移、更动及操作供电企业的用电计量设备者每发现一次扣16分。

6) 擅自迁移、更动及操作供电企业的电力负荷控制装置者每发现一次扣8分。

7) 擅自迁移、更动及操作供电企业的供电设施者每发现一次扣8分。

8) 擅自迁移、更动及操作供电企业约定调度的客户用电设备者每发现一次扣8分。

9) 未经供电企业许可,擅自将自备电源并网或引入、供出电源,每发现一次扣20分。

10) 连续3次以上该项记录为0分。

11) 举报其他客户窃电行为,并配合公检部门和供电企业调查的加8分。

1.4 合作信用

(1) 用电检查记录(分值:100分)

以下四项不与电力部门配合的,每发生一次扣10分:①用电检查工作配合;②电能计量和负控工作配合;③抄表、催费和收费工作配合;④其他必要工作配合。

(2) 需求侧管理记录(分值:100分)

供电企业开展需求侧管理的宣传、试点时客户不与电力部门配合,每发生一次扣10分。

2 基于时间衰减因子的熵权法信用评估模型

信用评估活动中,往往根据评估人员过往的经验和阅历,采取定性分析的方法确定指标权重,该类方法主要反映了决策者的主观判断,缺乏客观、公正性。因此,本文摒弃传统的主观方式进行评估的方法,结合电力用户信用评估过程中以时间衰减因子模拟实际信用影响度的衰减规律,根据不同用户在关键指标上表现差距大的特性,采用一种根据评价指标本身数据进行确定权重的评估方法,将熵权法运用到本文的信用评估中^[6],从而实现电力用户信用的合理评估。

2.1 基于时间衰减因子的信用衰减过程

电力用户的信用评估数据会随时间不断地发生变化,信用评估时刻距离当前时刻越远的数

据,其正确反映电力用户当前信用水平的有效性随之下降。为了准确地评价电力用户截至当前时间段的信用水平,本文设计一种考虑时间衰减因子的生成算法。

设第*i*个电力用户的第*j*个指标在发生时所在的信用评估分时阶段*p*的信用评价值为 x_{ijp} ,可为 x_{ijp} 赋予一个时效性权值 t_{ijp} 进行数值调整,以剔除时间因素对整体信用评价水平结果的影响,且满足如下约束条件

$$0 < t_{ijp} < t_{ijL} \quad 1 \leq p \leq L, \quad 1 \leq j \leq n \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^L t_{ijp} = 1 \quad (2)$$

则称此时效性权值 t_{ijp} 为时间衰减因子。时间衰减因子的确定方法很多,本文主要采用等比率下降的方式表达信用评价价值随时间变化而呈现出的衰减趋势,即

$$t_{ij(p-1)}/t_{ijp} = t_{ijp}/t_{ij(p+1)} \quad 2 \leq p \leq L-1 \quad (3)$$

因此,在考虑时间衰减因子之后,提出如下信用生成算法。

输入:电力用户*i*的第*j*个指标在不同信用评估分时阶段的集合 $\{\omega_{ij1}, \omega_{ij2}, \dots, \omega_{ijL}\}$ 及相应的时间衰减因子 $\{t_{ij1}, t_{ij2}, \dots, t_{ijL}\}$ 。

输出:电力用户*i*的第*j*个指标累计信用评估值为 W'_{ij}

$$W'_{ij} = \sum_{p=1}^L \omega_{ijp} \times t_{ijp} \quad (4)$$

2.2 熵权法信用评估模型

熵原是统计物理学与热力学中的概念,后来由申能引入了信息学,表示一个系统的无序程度。在评价系统中,熵权法通过度量指标数据提供的有效信息量来计算各指标的权重^[7]。

一个评价模型^[8],假设有*m*个评价对象,*n*个评价指标,用 $x_{(ij)}$ 表示第*i*个用户的第*j*个指标,则评价指标构成的矩阵*R*为

$$R = \begin{pmatrix} x_{(1,1)} & x_{(1,2)} & \cdots & x_{(1,n)} \\ x_{(2,1)} & x_{(2,2)} & \cdots & x_{(2,n)} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{(m,1)} & x_{(m,2)} & \cdots & x_{(m,n)} \end{pmatrix} \quad (5)$$

为了使初始指标数据具有可比性,对 R 进行归一化预处理,本文采用最大最小值预处理法,每一个评价对象的第 j 项指标预处理公式为

$$y_{(i,j)} = \frac{x_{(i,j)} - (\min x_{(i,j)})}{(\max x_{(i,j)}) - (\min x_{(i,j)})} \quad (6)$$

其中, $y_{(i,j)} \in [0,1]$, 此时, 第 j 项评价指标的熵值为

$$H_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m f_{(i,j)} \ln f_{(i,j)} \quad (7)$$

其中

$$f_{(i,j)} = y_{(i,j)} / \sum_{i=1}^m y_{(i,j)} \quad (8)$$

在信息系统中,熵权代表某一指标能够提供的有效信息量的大小,当各评价对象在某一指标上的取值相同时,熵值最大为1,说明该指标没有提供任何有用的信息,即熵权为0,指标对应的权重为0,因此,某个指标的效用价值取决于该指标的熵值与1的差值,即 $1-H_j$;当各评价对象在某一指标上的取值相差较大时,熵值较小,熵权较大,指标对应的权重也较大。

第 j 项指标的权重为

$$\theta_j = (1-H_j) / \sum_{j=1}^n (1-H_j) \quad (9)$$

根据制定的指标评价体系及评估准则,实际记录所有用户的二级指标得分,根据得分数据运用熵权法计算每一个指标的权重,并采用积分加权法计算电力用户 i 评估得分^[9],即

$$\omega_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} \times \theta_j \quad (10)$$

通过比较不同用户的最终累计信用评估得分对用户信用进行评估,指标值相越大,对应的权重则越大,分值越高,用户信用度越好,通过对电力用户的信用等级进行合理划分,从而为供电企业规避电费回收、偷窃电等风险提供数据参考。

3 电力用户信用评估实例及分析

选取 n 个电力用户一段时期内的实际指标得分为样本数据,并对其进行信用评估,为了更简便描述评估过程, n 取7,以每一个月为一个信用评

估期单位,选取近24个月的信用评估数据,通过对7个用户采用基于时间衰减因子的熵权法进行评估说明该过程。

计算时间衰减因子,样本的评估期内一共有24条信用记录,因此考察期 $L=24$,计算得到信用的时间衰减因子如表1所示。

表1 信用时间衰减因子

p	1	2	3	4	5
t_{ip}	4.4×10^{-4}	5.7×10^{-4}	7.5×10^{-4}	9.9×10^{-4}	0.001 3
p	6	7	8	9	10
t_{ip}	0.001 7	0.002 3	0.003 0	0.003 9	0.005 2
p	11	12	13	14	15
t_{ip}	0.006 8	0.008 9	0.011 7	0.015 4	0.020 3
p	16	17	18	19	20
t_{ip}	0.026 7	0.035 2	0.046 3	0.060 9	0.080 2
p	21	22	23	24	
t_{ip}	0.105 5	0.138 8	0.182 6	0.240 3	

对应于评估准则二级指标的顺序,实例说明以用户信用评估期的8个指标分别用 $A_j(j=1,2,\cdots,8)$ 表示,每个用户用 $T_i(i=1,2,\cdots,7)$ 表示。评估过程如下^[10]:

根据实际记录构造7名用户的基于时间衰减因子产生的评价指标矩阵 $R_{7 \times 8}$

$$R_{7 \times 8} = \begin{pmatrix} 98.5 & 82 & 77.6 & 94.7 & 100 & 91 & 96.3 & 96.3 \\ 70.8 & 83.9 & 71.7 & 86.0 & 100 & 75.8 & 91.1 & 95.3 \\ 96.8 & 91.8 & 91 & 94.8 & 100 & 86.6 & 93 & 94.8 \\ 64.8 & 69.7 & 79.4 & 85.1 & 56.3 & 89.3 & 78.4 & 89.9 \\ 81.1 & 54.8 & 80.7 & 84.7 & 100 & 77.1 & 90.1 & 91.1 \\ 10.2 & 43.7 & 28.7 & 69.8 & 39.9 & 47.2 & 76.3 & 77.5 \\ 82 & 74.4 & 60.4 & 87.5 & 53.5 & 74.2 & 81.1 & 84.6 \end{pmatrix}$$

根据实际记录构造7名用户的基于时间衰减因子产生的评价指标矩阵 $S_{7 \times 8}$,按式(6)对矩阵 $S_{7 \times 8}$ 进行归一化得矩阵 $y_{7 \times 8}$ 为

$$y_{7 \times 8} = \begin{pmatrix} 1 & 0.8 & 0.78 & 0.99 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.69 & 0.84 & 0.68 & 0.65 & 1 & 0.65 & 0.74 & 0.95 \\ 0.98 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.9 & 0.83 & 0.92 \\ 0.62 & 0.54 & 0.81 & 0.61 & 0.27 & 0.96 & 0.11 & 0.66 \\ 0.80 & 0.23 & 0.84 & 0.6 & 1 & 0.68 & 0.69 & 0.73 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.81 & 0.64 & 0.51 & 0.71 & 0.23 & 0.62 & 0.24 & 0.38 \end{pmatrix}$$

按式(8)对矩阵变化后得到矩阵

$$f_{(i,j)} = \begin{pmatrix} 0.20 & 0.2 & 0.17 & 0.22 & 0.22 & 0.21 & 0.28 & 0.22 \\ 0.14 & 0.21 & 0.15 & 0.14 & 0.22 & 0.14 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.25 & 0.22 & 0.22 & 0.22 & 0.19 & 0.23 & 0.2 \\ 0.13 & 0.13 & 0.18 & 0.13 & 0.06 & 0.2 & 0.03 & 0.14 \\ 0.16 & 0.06 & 0.18 & 0.13 & 0.22 & 0.14 & 0.19 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.17 & 0.16 & 0.11 & 0.16 & 0.05 & 0.13 & 0.07 & 0.08 \end{pmatrix}$$

按式 (7) 计算每一个指标的熵值为

$$[H_1 = 0.9132 \quad H_2 = 0.8814 \quad H_3 = 0.9108 \quad H_4 = 0.9082 \\ H_5 = 0.8517 \quad H_6 = 0.9111 \quad H_7 = 0.8322 \quad H_8 = 0.8992]$$

按式 (9) 计算指标的权重为

$$[W_1 = 0.0973 \quad W_2 = 0.1329 \quad W_3 = 0.1 \quad W_4 = 0.1029 \\ W_5 = 0.1662 \quad W_6 = 0.0996 \quad W_7 = 0.1881 \quad W_8 = 0.113]$$

根据求得的指标权重计算用户评估得分^[11], 以第一个用户为例

$$T_1 = 98.5 \times 0.0973 + 82 \times 0.1329 + 77.6 \times 0.1 + \\ 94.7 \times 0.1029 + 100 \times 0.1662 + 91 \times 0.0996 + \\ 96.3 \times 0.1881 + 96.3 \times 0.113 \\ = 92.663$$

电力用户第一个评估期的评估得分值如表2所示。

表2 电力用户信用评估分值

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7
92.663	86.122	93.922	75.425	83.489	51.28	74.0

由评价指标矩阵 $R_{7 \times 8}$ 可以看出, 引入了时间衰减因子之后, 用户的信用评估值随着时间的衰减而衰减, 当前的信息总是最重要的, 但长期的信用水平也进行累计, 所以避免了用户的信用评估值短期过高或过低的假象, 提高了用户的全面信用评估判别水平, 评价指标矩阵 $R_{7 \times 8}$ 的各个列向量代表用户的不同信用指标, 在用户用电过程中, 结合电力领域专家经验, 单类指标信任值低于一定阈值就可以对用户的某一用电指标进行预警。

从用户整体的信用评估过程可以看出, 熵权法根据指标值的差距幅度来确定指标权重^[12], 指标值相差越大, 对应的权重则越大, 这种特性恰好符合电力用户信用评估的实际情况, 因为在现实生活中, 不同用户在付款记录、调度合作记录、安全事故、偷窃电记录和违约用电等方面表

现迥异, 不少用户在上述某一项指标上得分差距悬殊^[13], 因此运用熵权法根据实际数据得出的该类指标的权重越大, 故可以确定该类指标在用户的信用评估中占的比重较大, 与其他信用评估方法相比, 熵权法具有更好的客观性。

在实际的辅助用电系统中, 整体的电力用户的信用评估值较高, 故由基于时间衰减因子熵权法的电力用户信用评估会提供一个明显的信用分隔值, 电力人员往往根据基于时间衰减因子熵权法的电力用户信用评估提供的电力用户信用评估值进行电力用户信用的初步分类, 随后针对信用评估值低的用户, 根据其基于时间衰减因子产生的评价指标判别不同指标的预警阈值。综上所述, 基于时间衰减因子的熵权法算法与电力用户信用评估常理相符合, 并具有客观公正性, 适应于电力用户信用评估过程, 可辅助电力企业对用户的信用进行评估, 从而针对不同阈值范围内的用户制定不同的用电管理策略。

4 结束语

在目前电力和能源产业快速发展的背景下, 日益严重的电力用户信用缺失现象给供电企业带来了严重的经济和资源浪费, 针对这种现象, 本文制定了一套科学规范的电力用户信用评估指标体系, 并将基于时间衰减因子熵权法模型运用到评估过程中, 通过实例分析, 基于时间衰减因子的熵权法依据指标数据本身确定权重的过程具有客观、公正和全面性, 符合电力用户实际信用的判别, 避免了依靠人员主观经验评估带来的片面性, 降低了工作人员的管理复杂度, 本文提出的电力用户信用评估过程为供电企业有效规避信用风险, 提高经营管理水平提供了依据。在接下来的研究中, 将致力于改进评估过程的时间复杂性, 缩短评估时间。

参考文献

- [1] 张燕. 电力客户信用风险评估管理系统的设计与实现 [D]. 北京: 华北电力大学, 2013.
- [2] 朱莹. 电力客户信用风险管理系统 [J]. 华东电

- 力, 2009 (3): 491-494.
- [3] 朱志华. 电力客户信用评价与欠费风险预警系统的总体设计 [J]. 现代计算机: 专业版, 2009 (1): 188-190, 195.
- [4] 朱莹. 电力客户信用评估方法研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [5] Zhang Jin, Tu Junxiang, Chen Zhuoning, et al. Quasi-bayesian software reliability model with small samples [J]. Journal of Shanghai University: English Edition, 2009 (4).
- [6] 罗毅, 李昱龙. 基于熵权法和灰色关联分析法的输电网规划方案综合决策 [J]. 电网技术, 2013, 37 (1): 77-81.
- [7] 欧阳森, 石怡理. 改进熵权法及其在电能质量评估中的应用 [J]. 电力系统自动化, 2014, 37 (21): 156-159.
- [8] 刘宇彬, 刘建华. 基于层次分析法和熵权法的电网风险评估 [J]. 电力科学与工程, 2013 (11): 37-43.
- [9] 朱莹. 电力客户信用风险管理系统 [J]. 华东电力, 2009, 37 (3): 491-494.
- [10] 赵建文, 张新忠. 基于客户信用评价的电费风险管理系统建设及应用 [J]. 中国电力企业管理, 2013 (6): 61-63.
- [11] 谢赤, 钟赞. 熵权法在银行经营绩效综合评价中的应用 [J]. 中国软科学, 2002 (9): 109-111, 108.
- [12] 杜娅丹, 曹红霞, 柳美玉, 等. 基于层次分析法和熵权法的TOPSIS模型在番茄生长综合评价中的应用 [J]. 西北农业学报, 2015 (6): 90-96.
- [13] Anjani Kumar, Singh D K. Prabhat kumar performanee of rural credit and faectors affecting the choiee of credit sources [J]. Indian Journal of Agrieultural Economics, 2007, 62 (3): 22-25.
- (收稿日期: 2017-03-17) **EA**

(上接第71页)

- [5] Wilsun Xu. Harmonic resonance mode analysis [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20 (2): 1182-1190.
- [6] 徐文远, 张大海. 基于模态分析的谐波谐振评估方法 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (22): 89-93.
- [7] 马啟潇. 高速电气化铁路谐振故障的分析与研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2009: 1-65.
- [8] 史天玉. 高速铁路谐波谐振抑制研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2013: 1-78.
- [9] 蒋功连. 铁路牵引供电系统设计中的谐波 [J]. 铁道标准设计, 2014, 58 (6): 128-132.
- [10] 王奇. 高速铁路牵引供电系统高次谐波谐振仿真研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2009: 1-82.
- [11] 李宏强. 牵引供电系统谐波仿真分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42 (20): 116-122.
- [12] 方雷. 高速铁路牵引供电系统数字建模及仿真 [D]. 成都: 西南交通大学, 2010: 1-80.
- [13] 张民. 不同负荷模型下高速铁路牵引供电系统谐波谐振灵敏度分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (20): 21-28.
- [14] 胡海涛, 何正友. 基于模态分析的全并联AT 网动态谐波谐振研究 [J]. 电网技术, 2012, 36 (1): 163-169.
- [15] 徐志强, 李冰. 基于模态分析的运动负荷牵引电网谐波谐振分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (19): 76-80.
- [16] 韩旭东. 牵引供电方案设计中谐波谐振问题研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41 (15): 142-147.
- [17] 仰彩霞, 刘开培. 谐波谐振模态灵敏度分析 [J]. 电工技术学报, 2011, 26 (1): 207-212.
- [18] 李群湛, 贺建闽. 牵引供电系统分析 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2006.
- (收稿日期: 2017-03-17) **EA**