

昌赣高铁某牵引站的计量错误接线分析及处理

王贤宁,邹 静,康 曦

(国网江西省电力有限公司 赣州供电分公司,江西 赣州 341000)

Analysis and treatment of measurement wiring mistakes at a traction station of Changan high-speed railway

WANG Xianning, ZOU Jing, KANG Xi

(Ganzhou Power Supply Company, State Grid Jiangxi Electric Power Co., Ltd., Ganzhou 341000, China)

摘要:高铁在我国已经较为普及,而高铁牵引站的供电方式相对特殊,其计量接线错误分析对比三相负荷平衡系统有明显差异。为掌握其差异性,针对高铁牵引站其中一相作为公共相运行及输电线路换相的特点,对昌赣高铁某牵引站实际案例中的计量回路错误接线进行相量图分析,后排查出 U_b 、 U_c 反接造成供、受两侧计量电量相差巨大。经纠正后,共追补错误接线期间电费损失756 756元,为电力行业计量专业在高铁牵引站电量追补方面提供借鉴与参考,具有普适意义。

关键词:高铁牵引站;平衡系统;计量回路;电量追补

Abstract: High-speed rail has become popular in China, but the power supply mode of the high-speed rail traction station is special, and its measurement and wiring error analysis and comparison of the three-phase load balancing system are obviously different. In order to grasp the difference, according to the characteristics of one phase of the high-speed railway traction station operating as a public phase and commutation of the transmission line, a phasor diagram analysis of the incorrect wiring of the metering circuit in a real case of a traction station of the Changan high-speed railway is carried out, and the U_b , U_c reverse connection results in a huge difference between the power supply and the metered power on both sides. After correction, a total of 756,756 yuan of electricity loss during the wrong wiring period is compensated, which provides reference and reference for the electric power industry metering profession in the recovery of electricity at high-speed rail traction stations, which has universal significance.

Key words: high-speed rail traction station; balanced system; metering circuit; power recovery

0 引言

随着江西省近年的快速发展,交通境况有了极大改善,贯穿江西南北的高铁在各地市普遍投运。但高铁牵引站接入电网,对江西多家地市供电单位而言,尚属首次。高铁由于其特殊的运行特性,在所经供电段基本都采用单相供电方式^[1],属于三相不平衡系统。文献[2]通过相量图分析来具体判断正常三相平衡系统下的计量接线问题,具体分析了中性线断线的计量误差。文献[3]、文献[4]分别将相量图分析方法应用在窃电事件与三相三线计量接线的案例场景中。文献[5]用实际案例验证了低功率因数、谐波造成电能表的计量误差,也应纳入计量的误差范畴。

另外,在高铁中的电能计量研究较少,分析较为特殊,文献[6]、文献[7]分别对110 kV铁路牵引站与220 kV高铁牵引站的高线损进行了故障排查

与分析,并由此获知110 kV铁路牵引站与220 kV高铁牵引站的供电方式有所不同,220 kV高铁牵引站存在公共相供电的特征等;文献[8]研究了高铁负序电压、电流对电力系统产生的影响,然后讨论有功功率电能计量方式存在的问题;文献[9]研究了220 kV高铁站内计量回路二次线接地造成的计量误差,但不涉及到负荷运行特性。

但现有文献没有针对220 kV高铁牵引站相序接线错误的案例分析,故本文结合实际案例,针对220 kV高铁牵引站相电压反接的情形进行了具体剖析与论证,并为企业挽回了重大经济损失。

1 用户负荷及运行方式基本情况

输电线路为了保持三相平衡,每隔一段距离会进行换相,在接入该高铁牵引站时,该站输电线路的A、C、B相对应牵引站内的A、B、C相,如图1所示。

该牵引站供电线路的计量方式为三相四线制,电能表型号为EDMI,电压互感器采用YN-yn-d0接线,电流互感器采用三相星形接线方式。

收稿日期:2021-01-05;修回日期:2021-02-02

基金项目:国网江西省电力有限公司科技项目(5218522 00069)

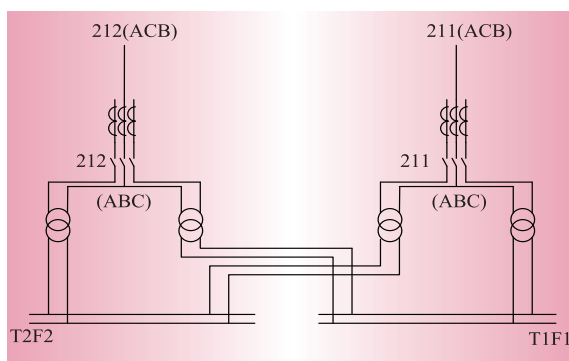


图1 某牵引站主接线图

Fig. 1 Main wiring diagram of a traction station

以牵引站的A、B、C相作为参考系,根据图1牵引站主接线原理,该牵引站内有4台主变,2条供电线路211、212互为备用,交替向主变供电。 T_1F_1 、 T_2F_2 供电段具有空间独立性,列车行驶在 T_1F_1 时, T_1F_1 形成电气回路(行驶在 T_2F_2 段同理)。供电线路211、212的B、C相都向 T_1F_1 段供电,A、B相都向 T_2F_2 段供电。任何一段有列车经过,B相都存在电流,即B相为公共相(对于输电线路而言是C相)。 $\dot{I}_{a0}$ 、 $\dot{I}_{b0}$ 、 $\dot{I}_{c0}$ 为该参考系下线路A、B、C相对应电流。当仅在 T_1F_1 段有列车时,由线路的B、C相供电,且 $\dot{I}_{b0} = -\dot{I}_{c0}$;当仅在 T_2F_2 段有列车时,线路的A、B相供电,且 $\dot{I}_{b0} = -\dot{I}_{a0}$; T_1F_1 段、 T_2F_2 段同时有列车经过时,由线路三相供电,且 $\dot{I}_{b0} = \dot{I}_{a0} + \dot{I}_{c0}$ 。

2 异常特征

故障前,牵引站侧线路瞬时有功功率通常为正值,偶尔出现负值时幅值较小(列车制动返送电造成),且牵引站侧总用电量与对侧变电站供电线路基本接近,如表1所示;故障期间,发现牵引站运行线路的瞬时正向有功功率既有正值也有负值,且负值较大,如表2所示,监测功率可高达万瓦级(可排除列车制动时造成的反送电情形)。

表1 牵引站与对侧变电站电铁I线211电量对比

Table 1 Electric quantity comparison of electric railway line 211 between the traction station and the opposite substation

状态	kWh			
	某牵引站电铁I线 (211开关)		对侧电铁I线 (变电站)	
	正向 有功总	反向 有功总	正向 有功总	反向 有功总
故障前	732 160	30 800	738 672	33 264
故障期间	416 240	302 720	705 408	67 584

由表1可知,3月份牵引站运行线路与对侧变电站供电线路总用电量数额相差巨大。

表2 电铁I线211瞬时功率

Table 2 Instantaneous power of electric railway line 211

时间	有功功率/kW	无功功率/kvar	电压/kV			电流/A			功率因数
			A相	B相	C相	A相	B相	C相	
2020年 3月1日 21:00	-3 608	880	133.1	132.29	133.56	16	0	16	-0.422
2020年 3月2日 09:00	-21 032	-2 024	132.09	130.15	133.10	0	92	92	-0.841
2020年 3月2日 17:00	-2 904	-352	132.40	132.09	132.88	0	12	12	-0.678

3 常规三相负荷平衡系统与高铁不平衡系统

3.1 常规三相负荷平衡系统分析

图2所示为三相负荷平衡系统正确接线时的相量图。根据相量图及电能表功率表达式如下

$$P = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c \quad (1)$$

式中: U_a 、 U_b 、 U_c 分别为A、B、C相电压; I_a 、 I_b 、 I_c 分别为A、B、C相电流; φ_a 、 φ_b 、 φ_c 分别为A、B、C相功率因数角。若正确接线, P 始终为正。

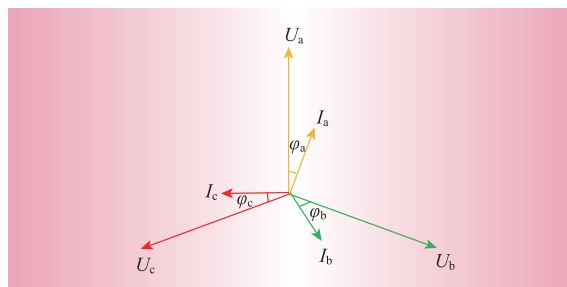


图2 正确接线时的三相平衡系统相量图

Fig. 2 Phasor diagram of a three-phase balanced system with correct wiring

3.2 高铁不平衡系统常规分析

为便于理论分析,此时理论推导以输电线路的A、B、C相作为参考系,即公共相为C相(对于牵引站而言是B相)。 $\dot{I}_a$ 、 $\dot{I}_b$ 、 $\dot{I}_c$ 为该参考系下线路A、B、C相对应电流。图3所示为正确接线时高铁3种运行方式下的相量图。左图为仅 T_1F_1 段有列车时的相量图。此时线路的B、C相向 T_1F_1 铁路段供电,电流 $\dot{I}_b$ 、 $\dot{I}_c$ 大小相等、方向相反,代入公式(1)可知 P_1 恒为正值;居中图为仅 T_2F_2 段有列车时的相量图。此时线路的A、C相向 T_2F_2 铁路段供电,电流 $\dot{I}_a$ 、 $\dot{I}_c$ 大小相等、方向相反,代入公式(1)可知 P_2 恒为正值;右图为 T_1F_1 段、 T_2F_2 段同时有列车时相量图(以 $\varphi_c > 0$ 为例)。 T_1F_1 段、 T_2F_2 段都存在稳定负荷时,分别对应B、C相与A、C相存在电流,且 $\dot{I}_c = \dot{I}_a + \dot{I}_b$, φ_c 在 0° 左

右徘徊,可正可负。代入公式(1)可知 P_3 恒为正值 ($\Phi_c \leq 0$ 时结论相同)。

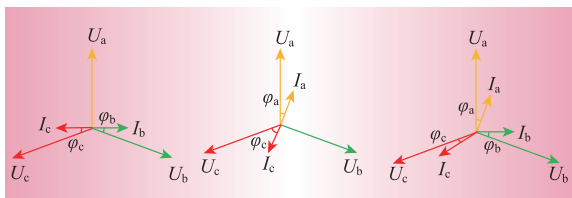


图3 正确接线时高铁3种运行方式下的相量图
Fig. 3 Phasor diagram of three operating modes of the high-speed rail when the wiring is correct

4 案例分析

4.1 现场检查

牵引站内的现场二次回路概况:电压互感器二次回路从电压互感器二次抽头引出,接入PT端子箱,再从PT端子箱接入室内计量屏;电流互感器二次回路从电流互感器二次抽头引出,直接接入室内计量屏。

针对客户侧的计量设备现场排查过程概括为5个步骤:排查PT端子箱电压二次回路、对计量屏后端子排进行核相、对电能表进行校验、对计量二次回路全面检查、查阅牵引站检修记录。

经过该排除步骤后查实在客户端子箱处电压 U_b 、 U_c 反接,并查阅到牵引站检修记录记载“2019年12月4日,电缆沟着火,烧损二次电缆”。经铁路施工方核实,火灾发生后对电缆沟内二次电缆重新铺设,其间更动电压互感器PT端子箱接线。下面进行理论验证。

4.2 电压逆相序致反向有功突增的推导

本节分析数值较大的反向有功值是如何产生的,首先分析在三相负荷平衡系统中的情形。

4.2.1 三相平衡系统 U_b 、 U_c 反接分析

图4所示为 U_b 、 U_c 反接时的错误相量图。若 U_b 、 U_c 反接,可得

$$\begin{aligned} P &= U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos(120^\circ - \varphi_b) + U_c I_c \cos(120^\circ + \varphi_c) \\ &= U_a I_a \cos \varphi_a + \frac{\sqrt{3} U_b I_b \sin \varphi_b}{2} - \frac{U_b I_b \cos \varphi_b}{2} - \\ &\quad \frac{\sqrt{3} U_c I_c \sin \varphi_c}{2} - \frac{U_c I_c \cos \varphi_c}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

在三相负荷平衡系统中,可令 $U_a = U_b = U_c = U$, $\Phi_a = \Phi_b = \Phi_c = \Phi$,代入公式(2),得 $P=0$,即三相负荷平衡系统 U_b 、 U_c 反接时,会导致有功功率近乎为0,并不会使 P 出现大的负值。

下面将牵引站三相不平衡负荷系统代入,分别把铁路段3种运行方式代入公式中, P_1 、 P_2 、 P_3 为3种运行方式下对应的有功功率值,对应的相量图为

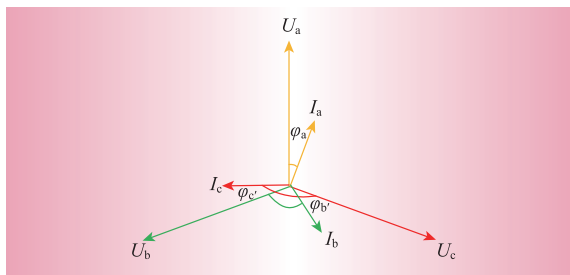


图4 三相平衡系统错误接线相量图
Fig. 4 Phasor diagram of wrong wiring of three-phase balanced system

牵引站负荷稳定时实测采录, Φ_a 、 Φ_b 、 Φ_c 为正常接线时牵引站的三相功率角,实测角度都接近 30° 。即研究 U_b 、 U_c 反接是如何导致电能表月累计正向有功总值与反向有功总值接近,且瞬时正向有功功率出现频率较高的正值、较大负值的情形,结合铁路供电段运行特点,从理论上进行推导。

4.2.2 牵引站系统仅T1F1段有列车经过分析

错误接线时高铁3种运行方式下的相量图如图5所示。图5(a)为仅T1F1段有列车,且 U_b 、 U_c 反接时的错误接线相量图,其功率表达式如下

$$\begin{aligned} P_1 &= U_b I_b \cos(120^\circ + \varphi_b) + U_c I_c \cos(120^\circ + \varphi_c) \\ &= \frac{-U_b I_b (\cos \varphi_b + \sqrt{3} \sin \varphi_b)}{2} - \frac{U_c I_c (\cos \varphi_c + \sqrt{3} \sin \varphi_c)}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

实测 Φ_b 、 Φ_c 均在 $25^\circ \sim 35^\circ$,即在第一象限,可知 U_b 、 U_c 反接情况下 P_1 恒为负值。以 $U_b = U_c = 132 \text{ kV}$, $I_b = I_c = 92 \text{ A}$, $\Phi_b = \Phi_c = 30^\circ$ 为例,代入公式(3), $P_1 = -21\,033.4 \text{ kW}$ 。

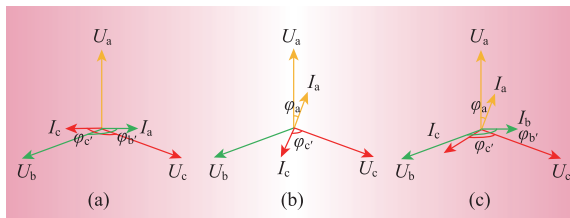


图5 错误接线时高铁3种运行方式下的相量图
Fig. 5 Phasor diagrams of three operating modes of high-speed rail during incorrect wiring

4.2.3 牵引站系统仅T2F2段有列车经过分析

图5(b)仅T2F2段有列车,且 U_b 、 U_c 反接时的错误接线相量图,其功率表达式如下所示

$$\begin{aligned} P_2 &= U_a I_a \cos \varphi_a + U_c I_c \cos(120^\circ - \varphi_c) \\ &= U_a I_a \cos \varphi_a - \frac{U_c I_c \cos \varphi_c}{2} + \frac{\sqrt{3} U_c I_c \sin \varphi_c}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

经实测,可近似令 $U_a = U_c = U$, $I_a = I_c = I$, $\Phi_a = \Phi_c = \Phi$,可简化功率表达式 P_2

$$P_2 = UI \cos(60^\circ - \varphi) \quad (5)$$

则知 $-30^\circ < \Phi < 150^\circ$ 时 P_2 为正,负荷稳定时实测 Φ_a 、 Φ_c 角度均在 $25^\circ \sim 35^\circ$ 之间,可知 U_b 、 U_c 反接情况下 P_2 恒为正值。以 $U_a = U_c = 132 \text{ kV}$, $I_a = I_c = 92 \text{ A}$, $\Phi_a = \Phi_c = 30^\circ$ 为例,代入公式(5),可得 $P_2 = 10\,517 \text{ kW}$ 。

4.2.4 牵引站系统T1F1段、T2F2段同时有列车经过分析

图5(c)为T1F1段、T2F2段同时有列车,且 U_b 、 U_c 反接时的错误接线相量图,其功率表达如下所示

$$P_3 = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos(120^\circ + \varphi_b) + U_c I_c \cos(120^\circ - \varphi_c) \quad (6)$$

经实测,负荷稳定时 Φ_c 近似 0° , I_a 、 I_b 与 Φ_a 、 Φ_b 大小接近。即令 $I_c = \sqrt{3} I_a = \sqrt{3} I_b = \sqrt{3} I$, $\Phi_a = \Phi_b = \Phi$,简化功率表达如下所示

$$P_3 = U_a I_a \cos \varphi_a - \frac{U_b I_b (\cos \varphi_b + \sqrt{3} \sin \varphi_b)}{2} - \frac{U_c I_c}{2} \quad (7)$$

$$= UI \cos(60^\circ + \varphi) - \frac{\sqrt{3}}{2} UI$$

可知 U_b 、 U_c 反接情况下 P_3 恒为负值。以 $U_a = U_b = U_c = 132 \text{ kV}$, $I_a = I_b = I_c = 92 \text{ A}$, $\Phi_a = \Phi_b = \Phi_c = 30^\circ$ 为例,代入公式(7), $P_3 = -10\,517 \text{ kW}$ 。

综上,若 U_b 、 U_c 反接,电能量系统瞬时正向有功 P 可为负值,也可为正值,这取决于铁路轨道段的运行方式,也取决于功率因数 $\cos \Phi$ (但 Φ 一般处于 $25^\circ \sim 35^\circ$,对 P 值方向无影响)。具体而言,列车有3种运行方式,当仅有T1F1段有列车经过时, P 恒为负值;当仅有T2F2段有列车经过时, P 恒为正值;当T1F1、T2F2段都有列车经过时, P 值恒为负值。

综上所述,在线路211的二次电压相序 U_b 、 U_c 反接后,线路211有功的方向将受T1F1段、T2F2段的运行方式及功率因数角的影响。这与表1中故障期间数据吻合。现对表2进行验证,令 $\Phi_a \approx \Phi_b \approx \Phi_c \approx \Phi$,3月2日所列时刻皆为仅T1F1有列车运行时刻,代入公式(3),可知功率为负值;需要特别说明的是,2020年3月1日所列时刻为仅T2F2有列车运行时刻,但负荷处于不稳定期, Φ 对应为 245.04° ,已超出 $-30^\circ \sim 150^\circ$ 范围(功率恒为正值的前提),代入公式(5),也为负值。

5 结束语

本文借助监控高铁牵引站功率数据异常及实践排查出 U_b 、 U_c 反接,针对计量回路接线错误所造成的功率异常进行理论论证,利用相量图及功率计算公式推导出计量接线错误会造成功率异常(功率出现负值)。理论论证并纠正接线后,可避免供

受两侧计量电量发生差异,减少国有资产流失,在2020年2月28日—2020年4月6日期间共追补电费756 756元。

本文可提供高铁牵引站计量专业方向的借鉴如下:

(1) 由于输电线路具有换相的特点,实践中存在输电线路与高铁牵引站内相序参考不一致的现象,如本案例输电线路的A、C、B相分别对应牵引站的A、B、C相。为防止计量二次回路电压、电流接线错误,应当仔细核对相序,逐相对接;

(2) 大电量客户应加强日常巡检,重视日线损比对、功率因数变化。针对铁路等用电负荷,应开展反向电量监测,以便及早发现异常、及时研判处理;

(3) 计量装置及其二次回路的所有接线端子、试验端子应当加封,防止人为擅自改动计量装置接线或擅自开启封印。D

参考文献:

- [1] 董诗琪. 高速电气化铁路牵引站接入电网的工作原理探析[J]. 科技创业月刊, 2015, 28(13): 109-111.
DONG Shiqi. The working principle of the high-speed electrified railway traction station connected to the power grid [J]. Science and Technology Pioneering Monthly, 2015, 28(13): 109-111.
- [2] 李敏,唐新宇,雷静,等. 某220 kV变电站电能表中性线断线引起的计量误差分析[J]. 江西电力, 2017(12): 2-4.
LI Min, TANG Xinyu, LEI Jing, et al. Analysis of measurement error caused by disconnection of neutral wire of a 220 kV substation electric energy meter [J]. Jiangxi Electric Power, 2017(12): 2-4.
- [3] 王宇霖. “六角图”检测与计量回路核查相结合对一起寄生回路窃电的分析与查处[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(S1): 20-22.
WANG Yulin. Analysis and investigation of a parasitic circuit power theft by combining “hexagon diagram” detection and metering loop verification [J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(S1): 20-22.
- [4] 王宇霖,孙杰. 含TV极性接反的三相三线电能计量装置错接线分析方法探究[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(S1): 23-28, 33.
WANG Yulin, SUN Jie. Research on wrong wiring analysis method of three-phase three-wire electric energy metering device with TV polarity reversed [J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(S1): 23-28, 33.
- [5] 袁瑞铭,李文文,叶雪荣,等. 智能电表计量误差一致性的分析与优化设计[J]. 电器与能效管理技术, 2017(17): 26-30.
YUAN Ruiming, LI Wenwen, YE Xuerong, et al. Analysis and optimization design of intelligent meter measurement error consistency [J]. Electrical & Energy Management

- Technology, 2017(17):26-30.
- [6] 黄志诚, 楚红波. 电气化铁路三相电压不平衡分析及治理措施研究[J]. 电器与能效管理技术, 2017(9):74-77. HUANG Zhicheng, CHU Hongbo. Analysis and suppression of three-phase voltage unbalance of electrified railway [J]. Electrical & Energy Management Technology, 2017(9):74-77.
- [7] 文建林. 一例牵引站电能计量装置异常的分析[J]. 大众用电, 2014(2):34. WEN Jianlin. An analysis of an abnormality in the electric energy metering device of a traction station [J]. Popular Electricity, 2014(2):34.
- [8] 徐莘, 解绍锋, 侯东光. 电气化铁路牵引负荷中负序对有功电能计量方式影响[J]. 电力系统及其自动化学报, 2018, 30(6):73-77, 133. XU Shen, XIE Shaofeng, HOU Dongguang. The influence of negative sequence on active energy measurement in electrified railway traction load [J]. Journal of Electric Power System and Automation, 2018, 30(6):73-77, 133.
- [9] 陈宇飞. 宁杭高铁某牵引站 220 kV 线损异常情况分析 & 处理[J]. 电力需求侧管理, 2015(2):56-58. CHEN Yufei. Analysis and treatment of abnormal situation of 220 kV line loss in a traction station of Nanjing-Hangzhou high-speed railway [J]. Power Demand Side Management, 2015(2):56-58.
-
- 作者简介:**
王贤宁(1991), 男, 江西赣州人, 硕士, 主要从事电能计量的错误接线工作;
邹静(1976), 女, 江西赣州人, 本科, 高级工程师, 主要从事营销稽查、计量、业扩与电费回收工作;
康曦(1995), 女, 江西赣州人, 本科, 主要从事电力设备运维工作。
(责任编辑 水 鹤)
-
- (上接第 78 页)
- mation & Applications, 2020, 39(2):103-107.
- [8] 罗钢, 马辉, 陈晔, 等. 南方(以广东起步)电力现货市场模拟运行分析[J]. 南方电网技术, 2018, 12(12):49-54. LUO Gang, MA Hui, CHEN Ye, et al. Analysis of simulation operation of electricity spot market in southern China (starting from Guangdong province) [J]. Southern Power System Technology, 2018, 12(12):49-54.
- [9] 《关于推进电力市场建设的实施意见》(发改经体[2015]2752号)[EB/OL]. 中共中央国家发展改革委, 2015. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/tgs/sjdt/201511/t20151130_1021524.html.
- [10] 《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发[2015]9号)[EB/OL]. 中共中央国家发展改革委, 2015. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/tzgg/ggkx/201504/t20150409_676931.html.
- [11] 骆子雅, 季天瑶, 荆朝霞, 等. 电力差价合约机制设计与应用[J]. 电网技术, 2019, 43(8):2 743-2 751. LUO Ziya, JI Tianyao, JING Zhaoxia, et al. Design and application of contract for difference in electricity market [J]. Power System Technology, 2019, 43(8):2 743-2 751.
- [12] 《关于推进电力市场建设的实施意见》(发改经体[2015]2752号)[EB/OL]. 中共中央国家发展改革委, 2015. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/tgs/sjdt/201511/t20151130_1021524.html.
- [13] 《山东省电力现货交易规则》(鲁监能市场函[2019]43号)[EB/OL]. 国家能源局山东监管办公室, 山东省发展和改革委员会, 山东省能源局, 2019. <http://sdb.nea.gov.cn/new/2019-6/201961215330.html>.
- [14] 《蒙西电力市场运营基本规则(试行)》(华北监能市场[2019]186号)[EB/OL]. 国家能源局华北监管局, 2019. <http://hbj.nea.gov.cn/adminContent/initViewContent.do?pk=000000006b42ce98016b4ca51af00019>.
- [15] 《山西省跨省跨区电力交易实施方案》(晋政办发[2017]94号)[EB/OL]. 山西省人民政府办公厅, 2017. http://www.shanxi.gov.cn/sxszfxxgk/sxsrmzfzcbm/sxszfzbg/fflg_7203/bgtgfwj_7206/201708/t20170816_328755.shtml.
- [16] 《甘肃富余新能源电力电量跨省跨区增量现货交易实施细则》(甘监能市场函[2017]28号)[EB/OL]. 国家能源局甘肃监管办公室, 2017. http://www.nea.gov.cn/2017-06/20/c_136380657.html.
- [17] 《四川电力现货市场建设试点方案》(川经信电力函[2019]379号)[EB/OL]. 四川省经济和信息化厅, 2019. <http://www.sc.gov.cn/10462/10771/10795/12400/2019/6/11/b7f7cfdb212b4e0b9f45f6b4d27d57de.shtml>.
- [18] 《关于深化电力现货市场建设试点工作的意见》(发改办能源规[2019]828号)[EB/OL]. 中共中央国家发展改革委, 2019. https://www.ndrc.gov.cn/xgk/zcfb/ghxwj/201908/t20190807_960970.html.
- [19] 李有亮, 吴旭, 梁肖, 等. 省级电力现货市场建设方案探讨[J]. 电工电气, 2020(9):61-65. LI Youliang, WU Xu, LIANG Xiao, et al. Discussion on the construction plan of provincial power spot market [J]. Electrotechnics Electric, 2020(9):61-65.
- [20] 《山西省电力市场建设试点方案》(晋政办发[2017]94号)[EB/OL]. 山西省人民政府办公厅, 2017. http://www.shanxi.gov.cn/sxszfxxgk/sxsrmzfzcbm/sxszfzbg/fflg_7203/bgtgfwj_7206/201708/t20170816_328755.shtml.
- [21] 王一, 朱涛, 张玉欣, 等. 适应中国电力现货市场发展的容量补偿机制初探[J/OL]. [2021-02-20]. 电力系统自动化. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20201228.1718.010.html>. WANG Yi, ZHU Tao, ZHANG Yuxin, et al. Preliminary study on capacity compensation mechanism adapted to development of electricity spot market in China [J/OL]. [2021-02-20]. Automation of Electric Power Systems. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20201228.1718.010.html>.
- 作者简介:**
朱峰(1991), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力市场, 需求侧管理。
刘力涵(1990), 女, 江苏盐城人, 硕士研究生, 会计师, 主要从事电价及财务管理工作。
(责任编辑 水 鹤)