

# 针对“峰谷倒置”负荷特性的电价策略研究

刘洪鑫, 夏通, 徐非非, 周海波, 施进平

(国网浙江省电力有限公司丽水供电公司, 浙江 丽水 323000)

**摘要:** 丽水用电负荷昼低夜高, 呈现“峰谷倒置”现象, 在现有水电上网峰谷电价机制下, 有调节性能的电站普遍昼发夜停, 不利于能源就地平衡。研究通过峰谷电价优化策略, 发挥价格杠杆作用, 实现“削峰填谷”。通过将传统的水电峰谷电价上网机制改为基准电价浮动机制, 让有调节能力的水电在谷时段多发电, 而在峰时段少发电。通过价格杠杆实现负荷“平滑”后, 可以大大降低电网损耗, 提高电能质量, 大幅减少无功设备投切次数, 提高电厂水资源利用率, 具有极高的社会效益。

**关键词:** 峰谷倒置; 负荷特性; 峰谷比; 峰谷电价; 浮动机制

## Study on the Price Strategy Based on "Peak-Valley Inversion"

LIU Hongxin, XIA Tong, XU Feifei, ZHOU Haibo, SHI Jinping

(State Grid Lishui Power Supply Company, Lishui Zhejiang 323000, China)

**Abstract:** Power consumption load in Lishui is low at night and high by day, characterized by its peak-valley inversion. Under the present peak-valley feed-in tariff mechanism of hydropower, hydraulic power plants with regulation performance often operate at daytime and shut down at night, which goes against local balance. This paper investigates the optimization strategy of peak-valley price and takes advantage of price leverage to realize "peak shaving and valley filling". The transition from traditional peak-valley feed-in tariff mechanism of hydropower to standard price floating mechanism enables hydraulic power plants with regulation performance to generate more electricity in the valley time while generate less electricity in the peak time. The load smoothing through price leverage can greatly reduce grid loss, improve power quality, reduce switching times of reactive power equipment and improve water utilization power plant, which has very high social benefits.

**Key words:** peak-valley inversion; Load characteristics; peak-valley ratio; peak-valley price; floating mechanism

## 0 引言

峰谷电价的实行, 旨在以价格手段调节电力供求关系, 提高发电和用电企业的调峰积极性, 使发电曲线适应用电曲线的变化特性<sup>[1]</sup>。但丽水用电“峰谷倒置”, 原有的峰谷电价机制已不适用于丽水的调峰<sup>[2-3]</sup>。目前, 研究较多的是用户侧峰谷电价优化<sup>[4-5]</sup>, 建立动态调整机制, 以求缓解电力供求矛盾。在新的电力体制改革背景下, 产生基于发电侧与销售侧峰谷电价联动的输配电监管方法研究。丽水水电资源丰富, 水电昼发夜停加剧了峰谷矛盾<sup>[6]</sup>, 发电企业对调度机构的要求, 由原来的单一追求发电量最大化转变为在发电量最大化的同时追求电量结构最优化, 而随之产生的发电企业峰谷比平衡问题也给调度机构带来新的压力, 因此针对发电厂侧开展峰谷电价研究是十

分必要的。

## 1 用电负荷特性分析

### 1.1 峰谷差

近几年丽水最大峰谷差有逐步拉大趋势, 2014—2016年峰谷差情况如图1所示, 2016年月平均峰谷差较2014年增长32%。受水电发电影响, 5—8月峰谷差最大。2016年最大日峰谷差121万kW, 出现在5月份, 相当于年最高用电负荷的75%。

### 1.2 峰谷差率

峰谷差率指的是峰谷差与最高负荷的比率。从峰谷差率计算结果来看, 丽水的峰谷差率明显要高于省内其他地区水平, 高于法国电力系统负荷峰谷差30%, 高于日本电力系统负荷峰谷差50%, 说明丽水电网负荷波动特别大, 潮流大进

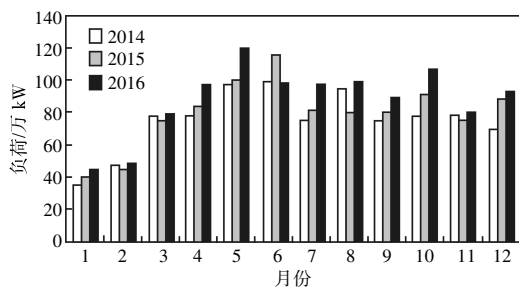


图1 2014—2016年丽水峰谷差情况

大出。

### 1.3 负荷特性

谷时段负荷高于峰时段负荷,呈现“峰谷倒置”现象。典型日负荷特性如图2所示,可以看出其走势基本一致,高峰负荷主要集中在晚上低谷时段(当日22:00-次日8:00),负荷较轻出现在白天高峰几个时段。由于丽水的用电负荷特殊结构致使全社会用电负荷曲线昼夜“峰谷倒置”,即昼低夜高。夜间低谷时段负荷是白天高峰时段用电负荷的1.4~1.6倍,形成了丽水与全省其他地区迥异的负荷曲线。

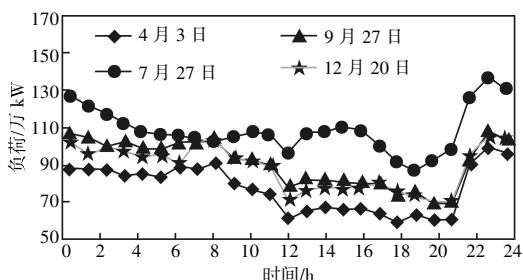


图2 丽水典型日负荷特性

## 2 小水电发电特性分析

### 2.1 库容调节系数

库容调节系数指水库调节库容与多年平均来水量的比值,丽水将近50%装机容量的电站都是库容系数在2%以下的径流电站,详见图3。

### 2.2 峰谷电量比

峰谷电量比(以下简称峰谷比)指购电量中的峰段购电量与谷段购电量的比值。峰段电量指的是每日8:00-22:00的电量,谷段电量指的是当日22:00-次日8:00的电量。目前小水电电价执行的是《浙江关于完善小水电上网电价政策有关事项的通知》(浙价资[2014]150号)的规定,上网电价按投产时间分段定价,原则上执行峰谷电价,经测

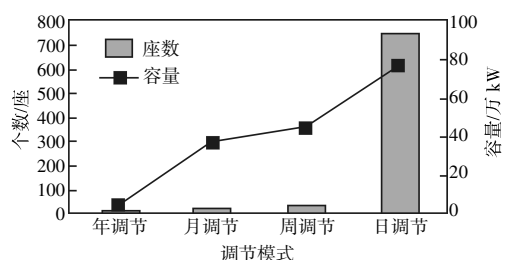


图3 丽水小水电按库容调节系数分类结果

算其峰谷比为68:32。

丽水上网小水电实际峰谷比均高于物价部门核价的峰谷比,受峰谷电价政策影响,水电站业主往往根据其来水情况、调节性能来追求发电效益最大化<sup>[7-8]</sup>。根据丽水电站年度上网电量,测算出各类水电站的上网电量比例以及峰谷比,详见表1、表2。

表1 丽水不同类型机组上网电量比例

机组类型	月调节	周调节	日调节
上网比例/%	24	24	52

表2 丽水小水电峰谷电量测算结果

调节模式	峰电量比例/%	谷电量比例/%
月调节	78	22
周调节	75	25
日调节	62	38

### 2.3 发电特性

丰水期和平水期全社会负荷、网供负荷、水电出力曲线分别如图4、图5所示,可见现有水电上网峰谷电价机制不利于水电能源就地平衡,使有调节性能的电站普遍昼(晚)发夜停,使关口负荷曲线昼低夜高的矛盾加剧,导致电能人为因素的异地交叉平衡,造成不必要往来的输电网损,也加剧了水电送出“卡脖子”矛盾。

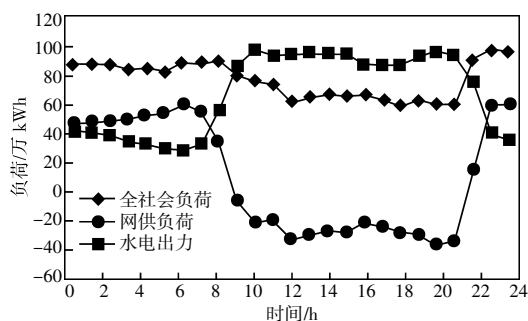


图4 丰水期全社会负荷、网供负荷和水电出力曲线

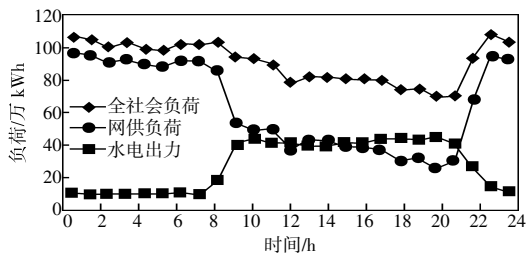


图5 平水期全社会负荷、网供负荷和水电出力曲线

### 3 用户侧电价平衡

#### 3.1 系统峰、谷电量

为了实现“削峰填谷”,需要对系统峰谷比例进行测算。考虑到地方经济发展的有序性和平稳性,可以根据历史数据测定系统尖峰、峰、谷电量的比例。因只有大工业、部分工商业和居民实行分时电价,系统尖峰、峰、谷时段电量无法统计<sup>[9-10]</sup>。根据典型负荷曲线,采用5 min 积分电量求出尖、峰、谷电量:

$$D = \frac{\sum_{i=0}^n P_i \cdot \Delta t_i}{60}, \quad (1)$$

式中:  $D$  为积分电量;  $P_i$  为  $i$  时刻的负荷。

经测算系统尖峰、峰、谷时段电量比例分别为 6.45%, 38.9% 和 54.65%。系统需电量以年用电量为 77.7 亿 kWh 测算,乘以尖、峰、谷比例即可得到尖峰、峰、谷电量。

#### 3.2 用户侧电价优化

一般工商业和居民用电由于行业特殊性和用电占比小,移峰填谷效果不明显,因此研究主要对实行分时电价的大工业用户峰谷电量进行调整<sup>[11]</sup>,其占用电量的 54.08%。

2016 年实行分时电价的大工业用电情况如表 3 所示,为便于优化分析,把大工业分电压等级分时电量汇总并求出平均分时电价,其尖峰、高峰、低谷用电占比分别为 4.67%, 34.72% 和 60.61%。用户侧优化主要是通过增大尖峰段、高峰段用电量,减少谷段用电量,实现移峰填谷,提高系统负荷率,达到优化配置电力资源的目的<sup>[12]</sup>。假设移峰填谷后负荷曲线是平滑的,则:

$$\begin{cases} \Delta Q_{\text{尖}} = \frac{Q}{24} d_{\text{尖}} - Q p_{\text{尖}} \\ \Delta Q_{\text{峰}} = \frac{Q}{24} d_{\text{峰}} - Q p_{\text{峰}} \\ \Delta Q_{\text{谷}} = \Delta Q_{\text{尖}} + \Delta Q_{\text{峰}} \end{cases}, \quad (2)$$

表 3 2016 年实行分时电价大工业用电情况

除优待电价外大工业	总电量 /万 kWh	平均分时电价 /(元·kWh <sup>-1</sup> )
尖峰电	19 613	1.109
峰电	145 904	0.926
谷电	254 737	0.445

式中:  $\Delta Q_{\text{尖}}$ ,  $\Delta Q_{\text{峰}}$  和  $\Delta Q_{\text{谷}}$  分别表示转移到尖峰、峰电量和低谷转出电量;  $p_{\text{尖}}$ ,  $p_{\text{峰}}$  和  $p_{\text{谷}}$  分别表示尖峰、峰、谷电量占  $Q$  用电量比例;  $d_{\text{尖}}$ ,  $d_{\text{峰}}$  和  $d_{\text{谷}}$  分别表示尖峰、峰、谷时段数。则用户增加购电费用为:

$$M_{\text{用户}} = M_{\text{尖}} + M_{\text{峰}} - M_{\text{谷}} \\ = \Delta Q_{\text{尖}} \cdot j_{\text{尖}} + \Delta Q_{\text{峰}} \cdot j_{\text{峰}} - \Delta Q_{\text{谷}} \cdot j_{\text{谷}}, \quad (3)$$

式中:  $M_{\text{尖}}$ ,  $M_{\text{峰}}$ ,  $M_{\text{谷}}$  分别表示因电量转移尖峰、峰、谷相应增加或减少的费用;  $j_{\text{尖}}$ ,  $j_{\text{峰}}$ ,  $j_{\text{谷}}$  分别表示尖峰、峰、谷的平均分时电价。

经计算知:因电量转移使得实行分时电价的大工业用户每年需增加购电费用 2.01 亿元,其尖峰、峰、谷电量占比变为 8.2%, 39.8%, 52%。

由于省网关口负荷较高出现在尖峰、峰时段,大工业用户用电从谷段向峰段转移将加剧省网的高峰用电,同时丽水小水电的昼开夜停对曲线的冲击影响大于用户的移峰填谷效应。

### 4 小水电电价优化策略

年调节水电站市场价值最高,日调节和径流水电站最低,水电站造价和回收年限随调节性能的增加而增加,为体现不同类型电源的市场价值,有水库调节性能的电站随水库调节性能的上升而逐渐提高上网均价<sup>[13-14]</sup>。实行峰谷电价后,每种电源类型的发电收入以及电网企业的购电成本较优化前实行峰谷电价时尽可能变动小<sup>[15-16]</sup>。

根据确定的电价制定原则,优化目标如式(4)所示<sup>[17]</sup>:

$$\min \left[ \left( \sum_i M_i - M'_i \right)^2 + \left( \sum_i N_i - N'_i \right)^2 \right], \quad (4)$$

式中:  $M'_i$  和  $M_i$  分别表示实行优化峰谷电价前后第  $i$  类(月调节、周调节、日调节)电源的发电收入;  $N'_i$  和  $N_i$  分别表示实行优化峰谷电价前后供电公司的购电成本。

电价优化要求每种电源类型的发电收入和供

电企业的购电成本变动尽可能小方向是一致的。其中：

$$M_i = p_{fi}Q_{fi} + p_{gi}Q_{gi} \quad (5)$$

式中： $Q_{fi}$ 和 $Q_{gi}$ 分别是第*i*类电源的峰、谷电量； $p_{fi}$ 和 $p_{gi}$ 分别是第*i*类电源的峰、谷电价。

$$p_{gi} = (1 + \alpha)\bar{p}_i \quad (6)$$

$$p_{fi} = (1 - \beta)\bar{p}_i \quad (7)$$

式中： $\bar{p}_i$ 为第*i*类电源近几年实际上网平均电价。

为有效激励水电谷时段发电，优化策略以在原平均电价基础上上浮 $\alpha$ 为谷时段调整系数，在平均电价及基础上下浮 $\beta$ 为峰时段电价调整系数。

约束条件是应体现不同类型电源的市场价值，即：

$$p_{月} > p_{周} > p_{日} \quad (8)$$

$$p_i = M_i / Q_i \quad (9)$$

## 5 小水电电价优化策略应用

### 5.1 调整电量测算

根据电网峰谷比，通过电厂“削峰填谷”，测算月、周、日调节电厂的峰时段转移到谷时段电量，具体见式(10)：

$$(Q_{谷} - Q_{峰})P = 0.24WY_{月} + 0.24WY_{周} + 0.52WY_{日} \quad (10)$$

式中： $Q_{峰}$ 和 $Q_{谷}$ 分别为电网峰、谷电量； $P$ 为上年度电量； $W$ 为电厂上网电量； $Y_{月}$ 、 $Y_{周}$ 、 $Y_{日}$ 分别为月、周、日调节电厂谷时段发系数。经计算，优化前后月、周、日调节电厂的峰谷比见表4。

表4 优化前后不同类型机组分时上网电量比

机组类型	原峰谷比	调整后峰谷比
月调节	78:22	36:64
周调节	75:25	46:54
日调节及径流式小水电	62:38	55:45

电网调度对有调节性能的水库电站发电调度，充分利用月调节电站，合理利用周调节电站，辅助利用日调节电站，使关口负荷曲线相对平滑。典型日及电价优化后负荷曲线如图6所示。

### 5.2 效益测算

如果水电机组按照表4调节水电上网峰谷电量，在电价不做调整的情况下，不同类型机组售电收入效益变动如表5所示。

峰谷同价时，即峰谷电价等于原平均电价，

不同利益调整下的不同类型机组上网价格如表6所示。

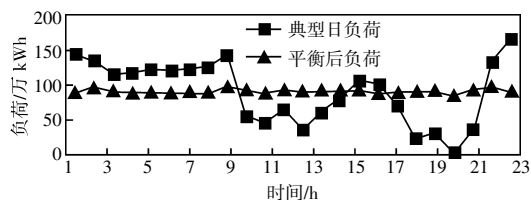


图6 典型日及电价优化后负荷曲线

表5 不同类型机组电价不调整情况下利益调整

机组类型	月调节	周调节	日调节
峰谷电价不变时利益调整/%	-21.79	-14.93	-5.03

表6 峰谷同价时不同类型机组上网平均电价

机组类型	月调节	周调节	日调节	供电企业
平均上网电价/(元·kWh <sup>-1</sup> )	0.472	0.457	0.423	—
利益调整/%	0	0	0	0

虽然峰谷同价时，不同调节性能的发电厂和供电企业利益调整最小，但从不同发电厂参与负荷平衡的贡献情况来看，月调节发电厂贡献度最大，建议适当提高月调节和周调节收益，供电企业体现服务社会价值，损益可以适当下降(如表7所示)。

表7  $\alpha=6.9\%$ ， $\beta=7.1\%$ 时不同类型机组上网平均电价

机组类型	月调节	周调节	日调节	供电企业
平均上网电价/(元·kWh <sup>-1</sup> )	0.481	0.460	0.425	—
利益调整/%	1.96	0.86	0.55	-1.2

## 6 应用成效

### 6.1 降低电网损耗

2016年丽水小水电上网电量56.88亿kWh，倒送省网电量25.78亿kWh，全市水电就地平衡率40%。如果按照全市5.3%的综合线损率计算，电价优化后就地平衡率将近90%，则可减少小水电因长距离倒送引起电能损耗将近15100万kWh，增加收入7248万元。

### 6.2 提高电网功率因数合格率

受峰谷电价利益驱动，地区日负荷呈U形状，导致功率因数合格率指标偏低。水电电价优化后，功率因数合格率从95.5%提升到99.3%。

### 6.3 缓解电压过高现象

丽水水电集中倒送,造成丽水电网电压压上限运行,不利于整个电网安全稳定运行。电价优化后可以提升电网电压合格率,提供给用户可靠的电能质量。某变电站优化前后 220 kV 母线电压曲线如图 7 所示。

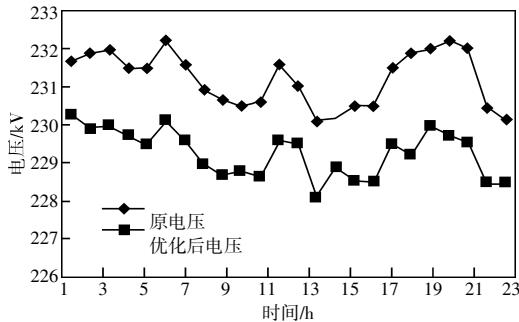


图 7 优化前后某变 220 kV 母线电压

#### 6.4 减少设备投切次数

目前,丽水有 6 座 220 kV 变电站共配置 8 组电抗器,由于小水电倒送电量,并联电抗器投运小时数较高,约为 5 800 h,利用率为 66%。水电就地平衡后可以减少设备投切次数,利用率降为 21%,延长了设备使用寿命,维护费用降低 30%。

#### 6.5 提高水能利用率

在峰谷电价利益驱使下,水电业主都集中在峰时段发电,导致线路送出受限,电网运行压力增加,峰谷电价优化后,发电厂水能利用率提升。

### 7 结语

通过发电厂峰谷电价优化策略研究,发挥价格杠杆作用,实现“削峰填谷”,实现不同利益博弈下不同调节类型机组的上网价格,对价格主管部门决策具有较大的参考意义。通过价格杠杆实现负荷“平滑”后,可以大大降低电网损耗,提高电网功率因数合格率,缓解电压过高现象,延长设备使用寿命,提高发电厂水资源利用率,具有极高的社会效益。

#### 参考文献:

[1] 尉博旭,丁杨.基于电力需求侧的峰谷电价实施问题及对策建议[J].吉林化工学院学报,2016,33(11):122-126.  
 [2] 毛雪雁,孙黎滢.浙江电网特高压电力调峰研究[J].浙江电力,2014,33(4):1-4.  
 [3] 张滔滔,胡晓勇.三峡水电站调峰运用探析[J].水利水

电技术,2012,43(9):99-102.

- [4] 陈建枫,范兵,郭敏,等.基于用电特性的分类用户优化峰谷电价机制研究[J].电器与能效管理技术,2017,4(11):52-58.  
 [5] 薛承荣,顾洁,赵建平,等.基于用户用电特性及供电成本分摊的销售侧电价机制研究[J].华东电力,2014,42(1):168-173.  
 [6] 刘艳红,倪秋龙,黄民翔.多小水电地区网供负荷预测研究[J].浙江电力,2015,34(12):7-10.  
 [7] 段瑞娟.浅析小水电上网峰谷比对购电成本的影响[J].经济研究导刊,2016,308(27):85-86.  
 [8] 谷耀南.贵州电网公司小水电购电模式研究[D].贵阳:贵州大学,2015.  
 [9] 程瑜,翟娜娜.基于用户响应的分时电价时段划分[J].电力系统自动化,2012,5(36):42-48.  
 [10] 汤黎.浅议电力需求侧管理与需求响应[J].中国电力教育,2014(32):104-106.  
 [11] 阮文骏,王蓓蓓,李扬,等.峰谷分时电价下的用户响应行为研究[J].电网技术,2012,36(7):86-93.  
 [12] HU FUNIAN.Study on modeling and analysis of the peak-valley TOU power price in electricity market[D].Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007.  
 [13] 李俊,刘俊勇,谢连芳,等.发电侧与供电侧分时电价动态博弈联动研究[J].电力自动化设备,2012,32(4):16-19.  
 [14] 王绵斌,谭忠富,张蓉,等.发电侧峰谷分时电价设计及电量分配优化模型[J].电力自动化设备,2007,27(8):16-21.  
 [15] 修常鑫,左晓松,关鑫,等.“厂网分开”情况下实施峰谷电价对电网和发电企业的影响[J].电力需求侧管理,2012,14(6):11-14.  
 [16] 张勇军,林建熙,翟伟芳,等.帕累托最优框架下的水电电价模型[J].华南理工大学学报,2011,39(8):146-149.  
 [17] 陶文斌,黄弦超.上网侧峰谷电价方案设计[J].现代电力,2013,30(4):83-87.  
 [18] 方超,陈楚,熊政,等.基于用户可中断负荷的实时负荷控制决策技术应用[J].电力工程技术,2017,36(4):108-112.  
 [19] 谭忠富,宋艺航,李效臻,等.基于峰谷分时电价机制的节能发电调度优化模型[J].运筹与管理,2014,23(1):101-107.

收稿日期:2017-11-13

作者简介:刘洪鑫(1967),男,高级工程师,从事综合计划管理、用户接入系统及电网规划工作。

(本文编辑:方明霞)