

# 基于不同市场主体的输电投资效益计算模型

曾 鸣,田 廓,鄢 帆,薛 松,邱柳青,董 军

(华北电力大学 能源与电力经济研究咨询中心,北京 102206)

**摘要:** 分析了输电投资决策过程,构建了包含阻塞指数、发电企业剩余及其改善程度、电力用户剩余及其改善程度、阻塞收益及其改善程度、全社会福利及其改善程度等输电市场投资评估指标,动态计算出节点电价,并通过“有无对比法”求解出不同市场主体的利益。通过 IEEE 30 节点系统的测算表明了输电投资对发电商、用户和整个社会剩余的影响,分析了不同投资规模情景下各市场主体投资效益的变化趋势及其影响因素,从而证明了该输电投资效益计算模型的可行性与有效性。

**关键词:** 输电投资; 市场效率; 评估指标; 市场主体效益

**中图分类号:** TM 715;F 224.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-6047(2010)12-0007-05

## 0 引言

在传统的电力垂直一体化模式下,电力投资规划主要考虑系统可靠性的问题,缺少对投资成本能否及时回收等经济性问题的深入分析。在电力市场化条件下,随着发电、输电环节的分离,发电项目与输电项目的投资决策相互独立,如何明确输电投资过程中各参与主体的成本与收益,并设计高效的成本回收机制是有效引导输电投资问题的关键环节。

目前,国内外主要应用比较成熟的技术经济评价方法研究工程项目投资效益评价问题,如净现值法、内部收益率法和投资回收期法等<sup>[1-2]</sup>。中国在实际工程中实施的《电网项目经济评价暂行办法》以电价加价为核心,但其操作性有待改善<sup>[3]</sup>;针对效益评估中不确定性(主要指信息的随机性、模糊性、灰色性和未确知性)和风险性<sup>[4-5]</sup>的处理方法有模糊数学方法<sup>[6]</sup>、灰色数学方法<sup>[7]</sup>、区间数学方法<sup>[8]</sup>以及盲数方法<sup>[9]</sup>等;一些研究采用了组合优化<sup>[10]</sup>、仿真模拟方法<sup>[11]</sup>和管理决策(实物期权和期权定价)<sup>[12-13]</sup>方法等。然而,输电投资项目与一般的工程项目不同,一方面,输电投资必须满足现有网络的可靠性和稳定性要求,同时满足负荷分布以及增长的需要;另一方面,输电投资项目属于资金密集型项目,其效益主要表现在电这种特殊商品(产、供、销瞬时完成)的价值上,因此还应该考虑到电量和电价的影响,而现有经济评估方法对此较少涉及。

本文应用微观经济学构建了输电投资的市场效率评估指标和考虑潮流约束、容量约束和供需平衡约束的输电投资模型,并通过求解发电企业、电力用户和输电系统所有者输电投资前后所得收益的变

化,得到输电项目对全社会福利的影响,最后通过 IEEE 30 节点测试系统证明了该方法的可行性与有效性,整个过程中都考虑了电量和电价对输电投资效益的影响。

## 1 输电投资市场效率评估指标

本文将输电投资的社会福利定义为电力用户收益与生产成本的差值,约束条件主要为电力系统运行的物理约束,如潮流约束、容量约束和供需平衡约束。同时,做出如下假设要求:

- 随机变量  $d_j(t)$  是完全可知的;
- 只能在  $t=0$  时进行输电投资;
- 直流负荷-潮流近似值适用;
- 不考虑输电损失;
- 分离时间规模,假设能够把此问题中的短期动态从长期动态中分离出来;
- 输电容量投资成本与增加的容量成比例。

具体模型如公式(1)~(5)所示:

$$\max_{q_i, d_j} \sum_j B_j(d_j) - \sum_i c_i(q_i) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_i q_i(t) = \sum_j d_j(t) \leftrightarrow \lambda \quad (2)$$

$$f_l(q_i - d_j) \leq k_l \leftrightarrow \mu_l \quad (3)$$

$$0 \leq q_i \leq Q_i \leftrightarrow \eta_i \quad (4)$$

$$0 \leq d_j \leq D_j \leftrightarrow \eta_j \quad (5)$$

其中,  $i$  为发电(供给)节点,其集合为  $I$ ;  $j$  为用户(需求)节点,其集合为  $J$ ;  $l$  为输电线路,其集合为  $L$ ;  $k_l$  为线路  $l$  上的输电容量;  $q_i$  为节点  $i$  的发电电量,  $c_i(q_i)$  为节点  $i$  的发电成本,即生产成本(不包括容量成本);  $d_j$  为节点  $j$  处的电力需求量,  $B_j(d_j)$  为节点  $j$  消费  $d_j$  电量的效用函数(收益函数);  $D_j$  为节点  $j$  总的电力需求量,也可视为节点  $j$  处电能需求的上限;  $f_l(q_i - d_j)$  为线路  $l$  上的潮流;约束式(2)为电力供需平衡约束,其中忽略了网损;约束式(3)为输电线路

容量约束;约束式(4)为发电容量约束;约束式(5)为需求容量约束。

根据输电投资模型,建立短期输电投资决策模型对应的 Lagrange 方程  $L_1(q_i, d_j, \lambda_i, \mu_i, \eta_i, \eta_j)$ , 其中,  $\lambda_i$  为电能的影子价格,它反映供需量的变化对社会成本的影响程度,即无阻塞条件下的市场出清价格;  $\mu_i$  为输电线路的影子价格,它反映输电线路容量的单位变化对总社会成本的影响程度;  $\eta_i$  和  $\eta_j$  分别为电力供应量和需求量的边际价格,即节点边际电价(LMP)。

由于阻塞造成的阻塞价格  $\eta_i$  即为用户和发电企业之间节点电价的差值:

$$\eta_i = \eta_j - \eta_i \quad (6)$$

为了有效度量阻塞对市场价格形成的作用,借鉴市场力分析中勒纳指数的思想,将有、无阻塞情况下的市场电价进行对比,定义为阻塞指数  $\lambda_{CI}$ :

$$\lambda_{CI} = \frac{\bar{\mu}_i - p^*}{\bar{\mu}_i} \times 100 \quad (7)$$

其中,  $\bar{\mu}_i$  是阻塞发生后各节点电价的均值;  $p^*$  为未发生阻塞的情况下依据市场供需变化而形成的节点电价。

相应的发电企业剩余  $\lambda_{GS}$  和电力用户剩余  $\lambda_{CS}$  可定义为

$$\lambda_{GS} = \sum_i [\eta_i q_i - c_i(q_i)] \quad (8)$$

$$\lambda_{CS} = \sum_j [B_j(d_j) - \eta_j d_j] \quad (9)$$

相对输电投资前,发电企业剩余和电力用户剩余改善程度可定义为

$$K_{GS} = \frac{\Delta \lambda_{GS}}{\lambda_{GS}} \times 100 \quad (10)$$

$$K_{CS} = \frac{\Delta \lambda_{CS}}{\lambda_{CS}} \times 100 \quad (11)$$

其中,  $\Delta \lambda_{GS}$  为投资前、后发电企业经济剩余的变化量;  $\Delta \lambda_{CS}$  为投资前、后电力用户剩余的变化量。

由于输电容量约束的存在,市场中电力用户与发电企业具有各自的节点边际电价,用户总的支付并不等于发电企业总的收益,故由上述方法确定的节点边际电价还包括一部分市场剩余,在不考虑网损的条件下,这一部分市场剩余即为输电线路的阻塞收益  $\lambda_{CR}$  (亦可称为短期输电阻塞租金):

$$\lambda_{CR} = \sum_i \sum_j (\eta_i k_i) = \sum_j (\eta_j d_j) - \sum_i (\eta_i q_i) \quad (12)$$

相对输电投资前,阻塞收益改善程度可定义为

$$K_{CR} = \frac{\Delta \lambda_{CR}}{\lambda_{CR}} \times 100 \quad (13)$$

其中,  $\Delta \lambda_{CR}$  为投资前、后阻塞收益的变化量。

根据微观经济学原理定义全社会福利  $\lambda_{SW}$  为

$$\lambda_{SW} = \lambda_{GS} + \lambda_{CS} + \lambda_{CR} \quad (14)$$

相对输电投资前,社会福利改善程度可定义为

$$K_{SW} = \frac{\Delta \lambda_{SW}}{\lambda_{SW}} \times 100 \quad (15)$$

其中,  $\Delta \lambda_{SW}$  为投资前、后社会福利的变化量。

至此,本文定义并推导出输电投资市场效率分析的 9 个关键评估指标,即阻塞指数  $\lambda_{CI}$ 、发电企业剩余  $\lambda_{GS}$  及其改善程度  $K_{GS}$ 、电力用户剩余  $\lambda_{CS}$  及其改善程度  $K_{CS}$ 、阻塞收益  $\lambda_{CR}$  及其改善程度  $K_{CR}$ 、全社会福利  $\lambda_{SW}$  及其改善程度  $K_{SW}$ 。

## 2 不同市场主体输电投资效益计算模型

以整个输电投资所造成的各个市场主体效益变化为研究对象,结合微观经济学相关概念,将输电投资的经济效益定义为输电投资所导致的各市场主体的经济剩余变化。输电项目的效益可分解为 3 部分:发电企业获得的收益、用户获得的收益以及市场运营机构(或者输电系统所有者)获得的收益。这 3 部分收益之和即为输电项目对整个社会的经济效益的影响。本节基于上述发电企业剩余、电力用户剩余、阻塞收益和全社会福利等 4 个典型经济性评估指标,采用“有无阻塞”2 种情景分析,建立发电企业、电力用户以及输电企业的效益计算模型,以便分摊输电投资和运行费用。在系统中不存在阻塞的情况下,发电量与需求量一致,形成一个均衡输电容量,即最优容量  $k^*$ ,发电商成本函数与用户收益函数共同决定市场出清价格  $p^*$ ;在系统中存在阻塞的情况下,存在一个容量约束,线路容量不能达到最优,降低了输电资源的有效配置,系统中产生相应的阻塞成本  $\lambda_{CC}$ 。输电扩容投资后,输电扩容后容量为  $k'_i$ ,相应的发电企业的供给电量和电力用户的需求电量分别为  $q'_i$  和  $d'_j$ ,节点电价分别为  $\eta'_i$  和  $\eta'_j$ 。假设发电企业的边际成本和电力用户的边际收益可用线性函数近似表示,则输电系统扩容前后的社会福利变化关系如图 1 所示,  $\lambda_{CS}$  的面积分别为  $AD\eta_i$  和  $AF\eta'_i$ ,  $\lambda_{GS}$  的面积分别为  $CE\eta_j$  和  $CG\eta'_j$ ,  $\lambda_{CR}$  的面积分别为  $\eta_i DE\eta_j$  和  $\eta'_i FG\eta'_j$ ,  $\lambda_{CC}$  的面积分别为  $DBE$  和  $FBG$ 。

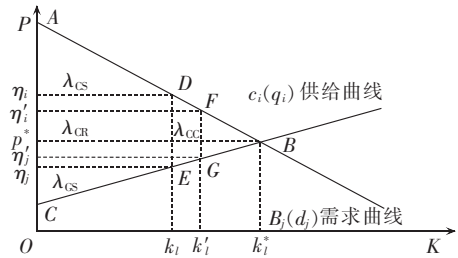


图 1 输电投资效益变化示意图

Fig.1 Schematic diagram of transmission investment benefit variation

a. 发电企业收益。利用发电企业经济剩余的变化量度量发电企业的收益:

$$\Delta \lambda_{GS} = \sum_{i \in I} (\eta'_i - \eta_i) q'_i - \sum_{i \in I} (MC'_i - MC_i) q_i \quad (16)$$

其中,  $MC'_i$  为输电项目建成后第  $i$  个发电企业的边际成本;  $MC_i$  为输电项目建设前第  $i$  个发电企业的边际成本;  $q'_i$  为输电项目建成后第  $i$  个发电企业的上网电量。

b. 电力用户收益。利用电力用户剩余的变化量度量用户的收益:

$$\Delta\lambda_{CS}=-[\sum_{j\in J}(\eta'_j d'_j)-\sum_{j\in J}(\eta_j d_j)] \tag{17}$$

由于输电项目投资为电力系统提供了充足的、便宜的电力,降低了用户电费支出,因此公式前面的负号表示电费支出减少了。

c. 输电企业收益。采用输电投资前后阻塞收益的变化量度量输电企业的输电收益:

$$\Delta\lambda_{CR}=(\eta'_j-\eta'_i)(k'_i-k_i)-[(\eta_j-\eta_i)+(\eta'_j-\eta'_i)]k_i \tag{18}$$

需要指出的是,如果由市场运营机构持有阻塞剩余,将产生负激励作用,导致市场运营机构故意制造阻塞或者不尽力去消除阻塞;但是如果将其返还给市场成员,又会削弱节点边际电价本身对经济行为的激励作用。为了消除这种负面激励,相关研究人员提议将阻塞剩余分配给市场中运营机构以外的相应市场主体。

d. 全社会福利。基于上述各主体的收益,得到输电扩容投资后对全社会福利的影响变化为

$$\Delta\lambda_{SW}=\Delta\lambda_{CS}+\Delta\lambda_{GS}+\Delta\lambda_{CR} \tag{19}$$

3 算例分析

本节采用 IEEE 30 节点电力系统模型模拟计算输电项目经济收益及其市场力情况,该系统示意图如图 2 所示。整个系统中有 6 个发电节点,分别为节点 1、2、13、22、23 与 27;其余为负荷节点。假定发电企业的成本函数由  $c_i(q_i)=0.5a_iq_i+b_iq_i$  确定,边际成本由  $MC=a_iq_i+b_i$  确定,发电企业的边际成本与装机容量数据如表 1 所示。

编程计算得到如下运行结果,运算参数包括发

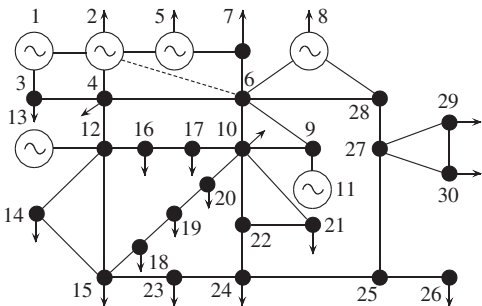


图 2 IEEE 30 节点系统  
Fig.2 IEEE 30-bus system

表 1 IEEE 30 节点系统发电企业  
边际成本与装机容量数据

Tab.1 Marginal cost and installed capacity of  
power enterprise in IEEE 30-bus system

| 发电节点 | <i>a</i> | <i>b</i> | 装机容量<br>/MW | 边际成本<br>/( $\$ \cdot MW^{-1}$ ) |
|------|----------|----------|-------------|---------------------------------|
| 1    | 0.02     | 2        | 23.54       | 2.8098                          |
| 2    | 0.0175   | 1.75     | 60.97       | 2.044925                        |
| 13   | 0.0625   | 1        | 37          | 2.1                             |
| 22   | 0.00834  | 3.25     | 21.59       | 3.443571                        |
| 23   | 0.025    | 3        | 19.2        | 3.853                           |
| 27   | 0.025    | 3        | 26.91       | 3.83775                         |

电企业的上网电量、负荷需求及扩容前各节点的边际电价,运行结果表明支路 1(从母线 1 到母线 2)上存在阻塞,需要对支路 1 进行扩容。具体扩容措施为修改支路 1 的容量限制数据,即放松容量最低限制。扩容后的运算结果表明阻塞消除。系统扩容前(情景 I)和扩容后(情景 II)的节点边际电价如表 2 所示,其中节点边际电价单位为  $\$/MW$ 。

表 2 IEEE 30 节点系统扩容前后节点边际电价计算结果  
Tab.2 Calculated LMPs of IEEE 30-bus system  
before and after transmission expansion

| 节点 | 边际电价/( $\$ \cdot MW^{-1}$ ) |       | 节点 | 边际电价/( $\$ \cdot MW^{-1}$ ) |       |
|----|-----------------------------|-------|----|-----------------------------|-------|
|    | I                           | II    |    | I                           | II    |
| 1  | 3.620                       | 3.752 | 16 | 3.918                       | 3.903 |
| 2  | 3.840                       | 3.779 | 17 | 3.932                       | 3.916 |
| 3  | 3.824                       | 3.841 | 18 | 3.971                       | 3.956 |
| 4  | 3.865                       | 3.857 | 19 | 3.988                       | 3.972 |
| 5  | 3.875                       | 3.834 | 20 | 3.974                       | 3.958 |
| 6  | 3.892                       | 3.872 | 21 | 3.915                       | 3.898 |
| 7  | 3.919                       | 3.890 | 22 | 3.901                       | 3.884 |
| 8  | 3.910                       | 3.890 | 23 | 3.853                       | 3.841 |
| 9  | 3.909                       | 3.890 | 24 | 3.901                       | 3.886 |
| 10 | 3.917                       | 3.900 | 25 | 3.852                       | 3.838 |
| 11 | 3.909                       | 3.890 | 26 | 3.916                       | 3.902 |
| 12 | 3.880                       | 3.867 | 27 | 3.809                       | 3.794 |
| 13 | 3.880                       | 3.867 | 28 | 3.878                       | 3.859 |
| 14 | 3.930                       | 3.917 | 29 | 3.905                       | 3.890 |
| 15 | 3.915                       | 3.900 | 30 | 3.970                       | 3.950 |

应用本节描述的计算方法和计算模型对 2 次运行结果进行计算,得出扩容收益如表 3 所示,其中各个市场主体的经济效益单位为  $\$, \Delta$  为净变化量,  $K_{\Delta}$  为净变化量改善程度。

输电支路 1 扩容后的经济效益见表 4。由表 4 可见,输电支路 1 的扩容投资项目对 IEEE 30 节点系统内发电企业的经济收益有不同的影响,有些发电企业受益于该输电项目,有些发电企业在输电项目建成后经济利益可能受到损失,这是由于其受到各发电企业离阻塞区域的距离影响,且该距离与发电企业收益呈现反向的变化趋势。输电扩容项目相对用户而言,因其能够为用户提供较项目建设前更低的电价,从而增加了用户的收益。此外,输电扩容项目缓解了系统内的阻塞状况,因而阻塞收益降低。在此算例中,整个系统的全社会福利为负值,说明在该系统中按照经济型模式进行投资,所产生的阻塞收益不足以完全回收投资,即扩容后所增加的阻塞收益小于投资成本;在一定程度上也说明输电扩容投资的结果对降低电力用户的电费程度还不够,或者说发电企业还能谋取一定的超额利润。因而需要进一步研究输电投资费用的分摊问题。

对该系统进行不同百分比的扩容,并分别计算各种情景下的各市场主体的投资效益,基于篇幅限制,这里不显示详细的计算结果,仅对市场主体的总投资效益进行分析,如图 3 所示。

需要指出的是,并非所有经济型输电投资项目的



表 3 输电扩容项目建设前、后各市场主体的经济剩余

Tab.3 Economic surpluses of each market entity before and after transmission expansion

| 指标     | 节点 | 经济效益/¥ |        | $\Delta/\$$ | $K_{\Delta}/\%$ |
|--------|----|--------|--------|-------------|-----------------|
|        |    | I      | II     |             |                 |
| 用户电费支出 | 1  | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 2  | 83.33  | 82.00  | -1.33       | 1.61            |
|        | 3  | 9.18   | 9.22   | 0.04        | -0.44           |
|        | 4  | 29.37  | 29.31  | -0.06       | 0.21            |
|        | 5  | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 6  | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 7  | 89.35  | 88.69  | -0.66       | 0.75            |
|        | 8  | 117.30 | 116.70 | -0.60       | 0.51            |
|        | 9  | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 10 | 22.72  | 22.62  | -0.10       | 0.44            |
|        | 11 | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 12 | 43.46  | 43.31  | -0.15       | 0.34            |
|        | 13 | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 14 | 24.37  | 24.29  | -0.08       | 0.33            |
|        | 15 | 32.10  | 32.00  | -0.10       | 0.33            |
|        | 16 | 13.71  | 13.66  | -0.05       | 0.38            |
|        | 17 | 35.39  | 35.24  | -0.15       | 0.41            |
|        | 18 | 12.71  | 12.66  | -0.05       | 0.38            |
|        | 19 | 37.89  | 37.73  | -0.16       | 0.40            |
|        | 20 | 8.74   | 8.71   | -0.03       | 0.40            |
|        | 21 | 68.51  | 68.22  | -0.29       | 0.44            |
|        | 22 | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 23 | 12.33  | 12.29  | -0.04       | 0.31            |
|        | 24 | 33.94  | 33.81  | -0.13       | 0.39            |
|        | 25 | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 26 | 13.71  | 13.66  | -0.05       | 0.36            |
|        | 27 | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 28 | 0      | 0      | 0           | 0               |
|        | 29 | 9.37   | 9.34   | -0.03       | 0.39            |
|        | 30 | 42.08  | 41.92  | -0.16       | 0.38            |
|        | 总量 | 739.55 | 735.38 | -4.17       | 0.57            |
| 发电企业收益 | 1  | 146.57 | 164.30 | 17.73       | 10.79           |
|        | 2  | 229.29 | 219.03 | -10.26      | -4.68           |
|        | 13 | 67.30  | 66.64  | -0.66       | -0.99           |
|        | 22 | 89.71  | 88.98  | -0.73       | -0.82           |
|        | 23 | 66.11  | 64.45  | -1.66       | -2.57           |
|        | 27 | 130.42 | 126.34 | -4.08       | -3.23           |
|        | 总量 | 729.40 | 729.75 | 0.35        | 0.05            |
| 发电企业成本 | 1  | 113.77 | 123.04 | 9.27        | -7.54           |
|        | 2  | 122.10 | 118.52 | -3.58       | 3.02            |
|        | 13 | 36.96  | 36.44  | -0.52       | 1.44            |
|        | 22 | 79.93  | 79.44  | -0.49       | 0.61            |
|        | 23 | 65.73  | 64.77  | -0.96       | 1.49            |
|        | 27 | 128.60 | 125.23 | -3.37       | 2.70            |
|        | 总量 | 547.09 | 547.44 | 0.35        | -0.06           |
| 发电企业剩余 | 1  | 32.81  | 41.26  | 8.45        | 20.49           |
|        | 2  | 107.18 | 100.51 | -6.67       | -6.64           |
|        | 13 | 30.34  | 30.21  | -0.13       | -0.45           |
|        | 22 | 9.78   | 9.54   | -0.24       | -2.56           |
|        | 23 | 0.38   | -0.32  | -0.7        | 217.87          |
|        | 27 | 1.82   | 1.12   | -0.7        | -62.61          |
| 阻塞收益   | 总量 | 10.16  | 5.63   | -4.53       | 80.41           |

表 4 输电支路 1 扩容后的经济效益

Tab.4 Economic benefits of line 1 after transmission expansion

| 指标                      | 节点    |       |       |       |        |        | 总量             |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----------------|
|                         | 1     | 2     | 13    | 22    | 23     | 27     |                |
| $\Delta\lambda_{CS}/\$$ | 0     | 1.33  | 0     | 0     | 0.04   | 0.70   | 4.1784         |
| $K_{CS}/\%$             | 0     | 1.61  | 0     | 0     | 0.31   | 0      | 0.57           |
| $\Delta\lambda_{CS}/\$$ | 8.45  | -6.67 | -0.13 | -0.24 | -0.70  | -0.70  | 0.002 338 746  |
| $K_{CS}/\%$             | 20.49 | -6.64 | -0.45 | -2.56 | 217.87 | -62.61 | 0.001          |
| $\Delta\lambda_{CR}/\$$ |       |       |       |       |        |        | -4.526 89      |
| $K_{CR}/\%$             |       |       |       |       |        |        | 80.41          |
| $\lambda_{CI}/\%$       |       |       |       |       |        |        | 0.321          |
| $\Delta\lambda_{SW}/\$$ |       |       |       |       |        |        | -0.346 151 254 |

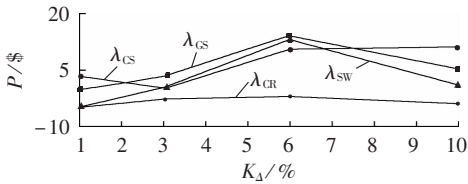


图 3 不同投资规模下的经济效益

Fig.3 Economic benefits in different investment scales

存在一个最优投资规模,一旦超过该规模,其效益将减少。在计算过程中,得出以下 3 点结论:

- a. 最优投资规模受到市场供需曲线陡峭程度和供需弹性的影响,市场供给弹性影响着投资效益变化的急缓程度;
- b. 投资规模和需求弹性影响着消费者剩余,发电企业收益随需求弹性的增长而增长,随投资规模的增长呈现锯齿状波动,这主要是由于市场供需情况与投资规模存在一种联动的现象;
- c. 全社会福利最大的同时,输电企业收益未必最优,这是由于投资效益受到投资成本的影响。

4 结论

节点边际电价能够满足电力市场环境下对输电项目效益动态计算的要求,本文提出的基于市场环境的输电项目效益计算模型就以 LMP 机制为基础,同时考虑电力系统的经济性和安全性要求,动态计算出不同的市场机制下的各节点的电价,又通过经济剩余理论,采用“有无对比法”,对比输电项目建设前后各市场主体的经济剩余的变化量,求出输电项目对不同市场主体的效益,从而求出输电投资对社会福利的影响,为输电投资决策提供依据。

通过 IEEE 30 节点测试系统,发现离阻塞发生区域的距离影响着发电企业的成本效益,并与其呈现反向的变化趋势,而并不是所有发电企业都能得益于输电投资。电力用户均能够享受到比项目建设前更低的电价,从而增加了用户的收益。同时,输电扩容项目还缓解了系统内的阻塞状况,使得阻塞收益降低。另外,系统投资存在一个最优投资规模,一旦超过该规模,投资效益将减少。由于市场供需情况与投资规模存在一种联动的现象,与各市场主体效益之间的相互影响,导致各市场主体效益随着投资规

总体经济收益都为负值,因为扩容比例决定了扩容投资后所能获得的收益大小,并且扩容收益随着扩容投资的增长而呈现先增长后下降的趋势,即系统

模的变化呈现不同的变化趋势。其中,发电企业剩余与系统收益基本呈现相同的变化趋势;投资收益最优时,阻塞收益未必最优。在算例分析过程中,存在输电投资总体经济收益为负值、社会剩余为负值的情况,对此还需进一步研究各市场主体输电投资效益与投资规模间的映射关系,进而研究其输电投资费用分摊问题。

## 参考文献:

- [1] 国家计划委员会建设部. 建设项目经济评价方法与参数[M]. 2版. 北京:中国计划出版社,1994:73-75.
- [2] 宋小敏,杨青,万君康. 项目投资经济效益评价理论与方法研究[J]. 中国管理科学,2002,10(1):45-48.  
SONG Xiaomin,YANG Qing,WAN Junkang. The principle and method of economic efficiency evaluation of project capital rationing[J]. Chinese Journal of Management Science,2002,10(1):45-48.
- [3] 黄保军,史京楠. 电网建设项目经济评价方法研究[J]. 电力建设,2003,24(2):45-48.  
HUANG Baojun,SHI Jingnan. Study on economic appraisal approach of power network construction[J]. Electric Power Construction,2003,24(2):45-48.
- [4] 韦钢,贺静. 电网规划中不确定性信息处理的现状及存在问题[J]. 上海电力学院学报,2003,19(4):33-37.  
WEI Gang,HE Jing. The study of the uncertain factors in network planning[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power,2003,19(4):33-37.
- [5] TIAN Kuo,ZENG Ming,WANG Xiaolu,et al. Evaluation of transmission investment based on matter element[C]//International Conference on Management and Service Science. Wuhan,China:[s.n.],2009:1-4.
- [6] KUCHTA D. Fuzzy capital budgeting[J]. Fuzzy Sets and Systems,2000,111(3):367-385.
- [7] 罗凤章,肖峻,王成山,等. 计及电价波动的电网建设项目经济评估区间法[J]. 电网技术,2005,29(8):20-24.  
LUO Fengzhang,XIAO Jun,WANG Chengshan,et al. An interval economic evaluation method for projects of power system planning considering electricity price fluctuation[J]. Power System Technology,2005,29(8):20-24.
- [8] 王宝森,郑丕愕,李秋英. 在投资项目不确定性分析中盲数法与概率法的比较[J]. 天津大学学报,2003,36(5):642-644.  
WANG Baosen,ZHENG Pi'e,LI Qiuying. Comparison of blind numbers and probability analysis applied in the uncertainty analysis of investment projects[J]. Journal of Tianjin University,2003,36(5):642-644.
- [9] 吴晓燕,赵敏荣,刘兴堂,等. 仿真系统可信度评估及模型验证方法研究[J]. 计算机仿真,2002,19(3):25-27.  
WU Xiaoyan,ZHAO Minrong,LIU Xingtang,et al. Research of the method of credibility assessment and model validation on simulation system[J]. Computer Simulation,2002,19(3):25-27.
- [10] 田廓,郑琳,曾鸣,等. 电网建设项目投资组合优化模型研究[J]. 华东电力,2008,36(10):5-8.  
TIAN Kuo,ZHENG Lin,ZENG Ming,et al. Optimal model of grid project portfolio[J]. East China Electric Power,2008,36(10):5-8.
- [11] TRIGEORIS L. Real option;managerial flexibility and strategy in resource allocation[M]. Cambridge,Massachusetts,USA:the MIT Press,1996:132-133.
- [12] ZENG Ming,TIAN Kuo. Transmission capacity expansion investment decision in electricity market[C]//The 2008 International Conference on Risk Management and Engineering Management. Beijing,China:[s.n.],2008:287-292.
- [13] 田廓,郑帆,薛松,等. 基于二叉树模型的输电投资决策分析[J]. 华东电力,2010,38(2):201-204.  
TIAN Kuo,YAN Fan,XUE Song,et al. Analysis of power transmission investment decision based on binomial tree model[J]. East China Electric Power,2010,38(2):201-204.

(实习编辑:李 莉)

## 作者简介:

曾 鸣(1957-),男,山西太原人,教授,博士研究生导师,从事电力经济与优化运行管理方面的研究;

田 廓(1983-),男,陕西汉中,人,博士研究生,主要从事电力投资与规划方面的研究(E-mail:tkhbdldx2006@yahoo.cn)。

## Evaluation model of transmission investment benefit based on different market entities

ZENG Ming,TIAN Kuo,YAN Fan,XUE Song,QIU Liuqing,DONG Jun  
(Research Center of Energy and Electricity Economics,  
North China Electric Power University,Beijing 102206,China)

**Abstract:** The decision-making process of transmission investment is analyzed and the evaluation model is constructed,including congestion index,generator surplus and its improvement degree,customer surplus and its improvement degree,congestion revenue and its improvement degree,social welfare and its improvement degree,etc. The nodal prices are dynamically calculated and the benefit of each market entity is explained by the "with and without comparison method". Case study of IEEE 30-bus system demonstrates the impact of transmission expansion on the generators,consumers and social welfare. The investment benefit variation trends in different investment scales and its influencing factors are analyzed for each investment entity, which verifies the feasibility and effectiveness of the evaluation model.

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China(70671041,70771039) and the Project of the Energy Foundation(G-1006-12630).

**Key words:** transmission investment; market efficiency; evaluation index; market entity benefit