

# 基于价值链分析的电动汽车充电商业运营模式综合评价

曾博<sup>1</sup>,白婧萌<sup>1</sup>,张玉莹<sup>2</sup>,孙恩德<sup>3</sup>

(1. 华北电力大学 新能源电力系统国家重点实验室,北京 102206;

2. 神华国华(北京)电力研究院有限公司,北京 100025;

3. 国网青岛供电公司,山东 青岛 266000)

**摘要:**提出一种电动汽车(EV)充电商业运营模式效益的综合评价模型。基于价值链理论,分析EV充电商业运营项目的内外部价值链和指标体系构建原则,设计了涵盖政府、投资运营商、用户多主体的EV充电商业运营模式效益的综合评价指标体系,重点计及商业运营模式的时效特征和内外价值链的增值环节。在此基础上,根据指标特点,进一步提出一种实时组合赋权的物元可拓模型,实现对EV充电商业运营模式综合效益的定量评价。与传统确定性评价不同,所提方法考虑EV充电市场的时效特征及面临的不确定性,引入专家实时打分和熵权法相结合的组合赋权策略,实现对多元主体主观意愿及评价指标自身信息价值的合理兼顾,使模型在实际应用中具有良好的鲁棒性及判别能力。

**关键词:**电动汽车;充电服务;价值链;商业运营模式;综合评价指标体系;物元可拓模型

**中图分类号:**U 469.72

**文献标识码:**A

**DOI:**10.16081/j.issn.1006-6047.2018.07.003

## 0 引言

目前,我国电动汽车EV(Electric Vehicle)产业正处于快速成长的关键时期,充电技术和充电商业运营模式研究成为EV产业化的重要领域<sup>[1]</sup>。随着充电市场的逐步扩大和社会资本的快速融入,EV充电的商业运营模式正由单一形式向多元化方向转变<sup>[2]</sup>,又因为扶持政策、EV技术、社会人文等多种不确定因素存在,EV充电商业运营模式具有多层次性、综合集成性、目标复杂性等特征,故而决策者难以判断EV充电商业项目的合理性、可持续性。因此,本文提出一种面向EV充电商业运营模式效益的评价模型,辅助决策者寻找合理的EV充电商业运营模式,对于发挥商业运营在EV产业链中的枢纽作用,推动EV走向真正的市场化有重要意义。

EV充电的商业运营模式主要包含充电方式、参与主体、盈利模式3个方面<sup>[3]</sup>。对于充电方式方面,由于存在换电网络构建尚不完善、动力电池规格标准尚未统一等问题<sup>[4-6]</sup>,本文研究主要面向于EV整车充电下的商业运营模式。文献[7]将参与主体定义为投资运营主体、监管主体、用户主体,根据投资运营主体的不同,EV充电运营方式分为由政府主导、由电力企业主导、由石油企业主导、由社会资本主导等方式<sup>[8]</sup>。文献[9]提出了适用于我国的混合

投资运营模式。不同的运营方式衍生出多种盈利模式:2008年,日本尝试了在计时收费停车场配备充电设施,收取充电和停车费用的盈利模式<sup>[10]</sup>;我国富电科技公司采用在商贸中心地下停车场建设充电站,通过为商贸中心吸引客户来赚取分成的盈利方式<sup>[11]</sup>;2014年,我国国家发改委颁布了各省市充电服务费标准,充电设施运营商可通过向用户收取一定的服务费以获得盈利<sup>[12]</sup>。EV充电市场化的推进既为投资运营商带来了经济收益,也为社会环境、用户体验、产业发展等方面带来了正向效益<sup>[13]</sup>。文献[14-15]已从低碳效益、综合效益等方面对EV充电站规划方案进行了评价,但鲜有针对以EV充电商业运营模式为研究对象的效益评价问题的研究成果。

对EV充电商业运营模式效益进行评价,需要重点解决如下3个方面问题:如何界定复杂EV商业运营模式下参与主体的市场角色及其成本与收益;构建何种指标体系,以带动各利益相关方整体效益的提升;如何计及EV项目实施过程中的不确定因素和时效因素,准确反映EV充电商业运营模式的综合效益。

为解决上述问题,本文对EV充电商业运营模式下的综合效益评价问题展开研究。首先,基于价值链理论,对EV充电商业运营模式的指标体系构建思路进行深入分析,构建了涵盖政府、投资运营商、用户多主体的EV充电商业运营模式效益综合评价指标体系;然后在此基础上,根据指标特点,进一步提出了实时组合赋权与物元可拓MEE(Matter Element Extension)方法相结合的综合评价模型,实现对时效性、不确定性指标信息的高效客观评估;最后,通过算例验证了本文所提方法的有效性。

收稿日期:2017-08-18;修回日期:2018-05-14

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFB0101903);国家自然科学基金资助项目(51507061);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2017MS007)

Project supported by the National Key Research and Development Program of China(2016YFB0101903),the National Natural Science Foundation of China(51507061) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities(2017MS007)

## 1 EV 充电商业运营模式综合评价指标体系

### 1.1 基于价值链理论的指标体系构建原则

根据价值链模型<sup>[16]</sup>和 EV 充电商业运营项目特点,通过一系列有针对性的基本价值增值活动,可以构造出 EV 充电商业运营项目的内部(单一主体内部的生产、经营活动)和外部(产业各相关利益主体间的外部协作活动)价值链,通过实现两者的有效衔接和相互作用,获得共同增值,实现整体价值的最优化。

建立以提升 EV 充电运营项目整体价值为目标的评价体系,除了应遵循“科学性、系统性、综合性、动态性”等一般性原则外<sup>[17]</sup>,还应充分考虑 EV 充电运营项目自身特点和价值链增值导向,着重关注以下 4 个方面。

a. 商业运营模式具有时效性特征,且 EV 充电设备的使用期较长,其价值的产生贯穿于建设、运行、维护等各个环节,因此需基于时间轴视角进行评价指标的设计,体现价值增值的长期性,有效反映 EV 充电商业运营的综合效益随时间的叠加效果。

b. EV 充电产业要提升竞争实力,需进行价值链优化,即关注价值链增值环节,分析影响价值增值的驱动因素,以战略目标为导向,注重利益主体内部和主体之间的协作,使得参与者内部和外部承担的一系列经营管理活动协调发展。

c. 充电设备作为一类公共基础设施,其商业运营模式的综合效益评价需与建设区域特点及社会普遍要求相适应。

d. 为给决策者提供尽可能丰富的规划信息,需要所建评价指标体系不仅能够反映 EV 充电商业运营模式的总体水平,还必须能够反映出其中存在的主要问题和薄弱环节,以根据需要对战略目标和评价指标进行实时调整。

#### 1.1.1 EV 充电商业运营项目外部价值链分析

EV 充电商业的外部价值链是指投资运营商、政府、用户三者间的外部协作活动。EV 充电商业运营模式的外部协作环节及价值构成如图 1 所示。

政府既是市场的监管者,又是 EV 充电项目的推动者。政府向投资运营商、用户提供政策性补贴以推动 EV 充电商业运营项目的顺利实施,促进 EV 产业扩大化,减少对传统能源(资源)的消耗,促进可再生能源利用,降低污染排放,从而推动社会实现低碳可持续发展<sup>[18]</sup>。投资运营商作为 EV 充电市场的最主要参与者,负责充电设施的投资、建设、规划及运维服务。投资运营商向用户销售电量和增值服务以获取利润,同时获得政府扶持性补贴<sup>[19]</sup>。为提高自身的成本优势和差异性优势,投资运营商需不断巩固与政府、用户的合作关系,以提高自身核心竞

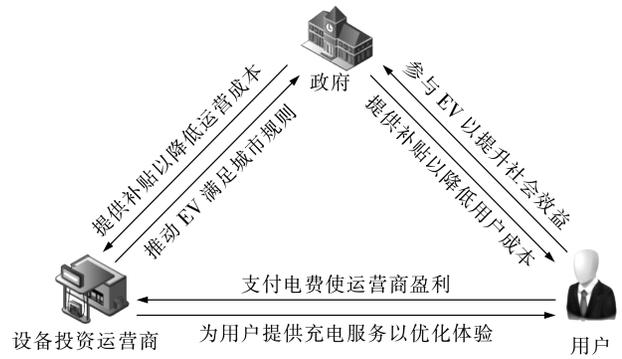


图 1 EV 充电商业运营模式各主体间外部联系

Fig.1 External connection of main body under EV charging commercial operation mode

争力。用户是 EV 充电的终端消费者。EV 用户通过获取政府补贴及运营商提供的充电服务来提升电费节约率及充电便利性,且用户满意度的上升会推动 EV 充电商业运营项目发展。

#### 1.1.2 EV 充电商业运营项目内部价值链分析

内部价值链即利益主体内部创造价值的各种活动的集合。EV 充电主体的内部价值链包括商业运营的当前价值(如经济效益)和潜在价值(如满意度)。各主体内部价值链增值方向不同,对投资运营商而言,增值方向为提高盈利水平;对政府而言,经济效益并非其关注重点,城市规划预期、社会效益才是其价值链增值方向;用户内部价值链增长则更注重便利性及经济性。EV 充电商业模式项目内外部价值要素如图 2 所示。

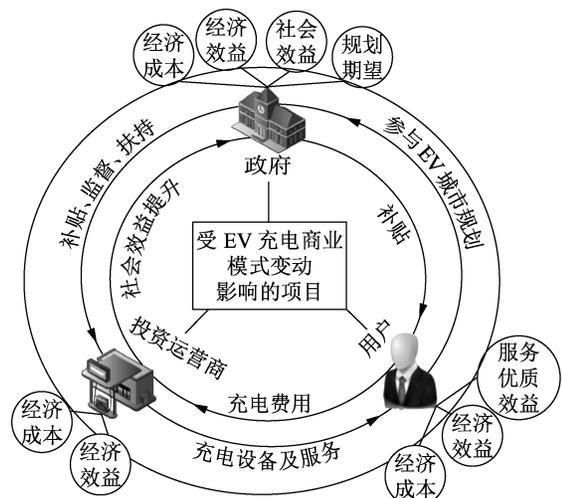


图 2 EV 充电商业模式项目的内外部价值要素

Fig.2 Internal and external value factors of projects under EV charging commercial operation mode

### 1.2 评价指标体系设计

本文通过深入分析 EV 充电商业运营模式的内部价值链及外部价值链,考虑商业运营模式的时效特征和内外部价值链的增值环节,设计了涵盖政府、充电运营商、用户多主体的 EV 充电商业运营模式效益的综合评价指标体系,如表 1 所示。

表 1 EV 充电商业模式效益的综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index system of EV charging under different commercial operation modes

主体	评价指标	性质	指标具体说明
A 政府	A <sub>1</sub> 服务优质性效益	A <sub>11</sub> 政府满意度	● 政府对商业运营模式产生的效果及未来预期的满意度
		A <sub>21</sub> 节能比率/%	◆ EV 普及率变动带来的汽车行业化石能源损耗减少率
	A <sub>2</sub> 社会效益	A <sub>22</sub> 污染气体减排率/%	◆ EV 普及率变动带来的汽车行业污染气体排放减少率
		A <sub>23</sub> 噪音污染减少率/%	◆ 因电动汽车普及率变动带来的城市噪音污染降低比率
		A <sub>24</sub> 拉动 GDP 程度	● 不同商业模式运行时,对 GDP 增长的拉动水平
		A <sub>25</sub> 提升的可再生能源利用率/%	◆ EV 充电量增加带来的可再生能源发电利用率提升率
		A <sub>26</sub> 新技术的普及和替代水平	● 不同商业运营模式实施所必要的新技术研发利用要求
		A <sub>27</sub> 增加的市场渗透率/%	◆ EV 普及率变化,用 EV 在全部汽车所占比重来衡量
	A <sub>3</sub> 经济效益	A <sub>31</sub> 收入(税收等)增长率/%	◆ 不同运营模式的收入(包括上税方效益变动的税收)变动
	A <sub>4</sub> 经济成本	A <sub>41</sub> 政府补贴/万元	◆ 政府为鼓励充电设施建设、商业模式运营投入的补贴
A <sub>42</sub> 宣传广告费用/万元		◆ 政府为鼓励充电设施建设、商业模式运营投入推广费用	
B 运营商	B <sub>1</sub> 经济成本	B <sub>11</sub> 新增充电设施建设费/万元	◆ 目标区域内,新增的充电桩及其配电部分的建设费用
		B <sub>12</sub> 管理维护费/万元	◆ 统计周期内充电桩的管理维护费用
		B <sub>13</sub> 纳税额/万元	◆ 运营商根据其盈利向政府缴纳的固定税率的纳税额
		B <sub>14</sub> 增值服务设置成本/万元	◆ 运营商为设置增值服务所付出的投资及运营成本
	B <sub>2</sub> 经济效益	B <sub>21</sub> 电费收入/万元	◆ 统计周期内,EV 充电为运营商带来的电费收入
		B <sub>22</sub> 受商业委托收益/万元	◆ 各企业以充电站为依托贴宣传广告支付运营商的费用
		B <sub>23</sub> 增值服务收益/万元	◆ 统计周期内,因设置周边增值服务带来的额外收益
		B <sub>24</sub> 政府补贴/万元	◆ 统计周期内,政府对充电设备建设的补贴费用
		C <sub>11</sub> 抗故障能力	● 不同的商业模式为用户带来的电池检测的即时程度
		C <sub>12</sub> 便利性	● EV 用户获得电能补给的方便程度
C 充电用户	C <sub>1</sub> 服务优质性效益	C <sub>13</sub> 用户满意度	● 用户对不同充电商业运营模式的充电体验的满意度
		C <sub>21</sub> 电费节约率/%	◆ EV 用户节约的电费占同数量燃油车油费支出的减少率
	C <sub>2</sub> 经济效益	C <sub>22</sub> 政策补贴费用/万元	◆ 政府为鼓励用户购买 EV 所给予的经济补偿
	C <sub>3</sub> 经济成本	C <sub>31</sub> 家用充电设备费/万元	◆ 用户为家用充电桩安装所支出的设备费

注:●为定性指标,◆为定量指标。

### 1.3 评价指标的计算方法

由于本文所提指标体系充分考虑了 EV 充电领域中政府政策及用户偏好的不确定性,因此需综合运用最优潮流、拓扑分析、数理统计等多种工具实现上述指标计算。各类评价指标的计算方法如表 2 所示,其中“√”表示在相应评价指标计算中使用到了该计算方法,而“×”表示相应评价指标计算未使用到该计算方法。以表 2 中的数据计算方法为依据,结合表 1 中具体的指标说明及数据获取方式对本文所研究的待评价指标值进行计算。

表 2 评价指标的计算方法

Table 2 Calculation method of evaluation indexes

指标	优化规划	最优潮流	随机模拟	拓扑分析	数理统计
经济效益 A <sub>3</sub> /B <sub>2</sub> /C <sub>2</sub>	√	√	√	×	√
经济成本 A <sub>4</sub> /B <sub>1</sub> /C <sub>3</sub>	×	×	×	×	√
服务优质性 A <sub>1</sub> /C <sub>1</sub>	×	×	√	√	√
社会效益 A <sub>2</sub>	×	√	√	×	√

## 2 实时混合赋权-物元可拓综合评价模型

### 2.1 物元可拓评价模型

物元可拓法是 20 世纪 80 年代初由我国学者蔡文提出的一种多目标决策方法<sup>[20]</sup>。针对 EV 充电运营的各主体性质不同、价值导向也不同的特征,该方法适用于解决单个指标评价结果的不相容问

题。同时, EV 充电效益评价的各项指标值并非越大越好,各指标值均有既定的理想区间,故本文采用物元可拓模型可很好地解决指标的这一不确定性问题。

此外,考虑商业模式的时效性特征<sup>[21]</sup>,本文在物元可拓模型基础上引入专家实时打分-熵值组合赋权 ERTSE (Expert Real-Time Scoring-Entropy) 策略,提出实时混合赋权-物元可拓(ERTSE-MEE)分析方法,对时效性指标进行动态赋权,并将其应用于 EV 充电商业运营模式效益评价。

### 2.2 评价流程

基于 ERTSE-MEE 的 EV 充电商业运营效益的综合评价流程如图 3 所示。具体流程如下。

a. 基于调研数据,分别计算各候选方案的待评价指标值。

b. 根据可拓学物元的基本概念,确定各方案的经典域和节域。记评价类别集  $T = \{T_k\} (k=1, 2, \dots, p)$ , 决策矩阵为  $X$ , 则待评价对象物元可表示为:

$$R_i = [Q_i, C, X_i] = \begin{bmatrix} c_1 & x_{i1} \\ Q_i & c_2 & x_{i2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_n & x_{in} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $R_i$  为第  $i (i=1, 2, \dots, m)$  个评价对象物元;  $Q_i$  为第  $i$  个评价对象;  $X_i$  为特征元素量值构成的矩阵;

$c_j(j=1,2,\dots,n)$  为评价对象  $Q_i$  的第  $j$  个特征元素;  $x_{ij}$  为  $Q_i$  关于  $c_j$  的量值。

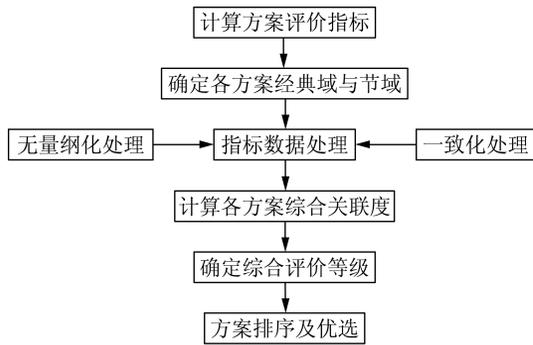


图 3 EV 充电商业模式效益的综合评价流程

Fig.3 Comprehensive evaluation flowchart of EV charging benefit in commercial modes

经典域表示为:

$$\mathbf{R}_{0k} = [T_k, \mathbf{C}, \mathbf{V}_k] = \begin{bmatrix} c_1 & \langle a_{1k}, b_{1k} \rangle \\ T_k & c_2 & \langle a_{2k}, b_{2k} \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_n & \langle a_{nk}, b_{nk} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,  $\mathbf{R}_{0k}$  为第  $k$  个评价等级的经典域;  $\mathbf{V}_k$  为  $Q_i$  关于第  $k$  个评价等级全部特征元素取值范围构成的矩阵,  $\mathbf{V}_k = \langle a_{jk}, b_{jk} \rangle (j=1,2,\dots,n)$ ,  $a_{jk}$ 、 $b_{jk}$  分别为第  $j$  个特征元素量值允许范围的最小、最大界值。

节域表示为:

$$\mathbf{R}_p = [Q_i, \mathbf{C}, \mathbf{V}_p] = \begin{bmatrix} c_1 & \langle a_{11}, b_{1p} \rangle \\ Q_i & c_2 & \langle a_{21}, b_{2p} \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_n & \langle a_{n1}, b_{np} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中,  $\mathbf{R}_p$  为所有特征元素的节域;  $\mathbf{V}_p$  为  $Q_i$  关于  $c_j$  所有评价类别全部特征元素数值范围全体构成的矩阵,  $\mathbf{V}_p = \langle a_{j1}, b_{jp} \rangle$  且  $\mathbf{V}_k \subset \mathbf{V}_p$ 。

**c. 标准化处理。** 由于评价指标在类型及量纲方面的固有差异, 计算结果存在着不可公度性。为排除上述影响, 需进一步对有关数据做规范化处理, 待评价物元矩阵及经典物元矩阵各数值对应的转化式如下所示。效益型指标,  $r_{ij} = (x_{ij} - x_j^{\min}) / (x_j^{\max} - x_j^{\min})$ ; 成本型指标,  $r_{ij} = (x_j^{\max} - x_{ij}) / (x_j^{\max} - x_j^{\min})$ , 其中  $x_{ij}$  为待标准化的各待评价指标值或各经典域矩阵的端点值,  $x_j^{\min}$ 、 $x_j^{\max}$  分别为节域的左、右端点值。

**d. 基于 ERTSE 法确定权重。** 针对商业运营模式的时效性, 本文采用实时专家打分法<sup>[22]</sup> (对不同的研究时段分别进行专家打分) 与熵值法<sup>[23]</sup> 相结合, 这种动态组合赋权法所得权重既能充分体现属性在不同时期的实际重要程度, 还能合理反映相关计算数据自身的的信息价值。计算表 1 中各指标对应的权重  $\bar{\omega}_j$ 。

$$\bar{\omega}_j = \alpha \omega_j + (1 - \alpha) \omega'_j \quad (4)$$

其中,  $\omega'_j$  为由专家实时打分法确定的指标  $j$  的权值;  $\omega_j$  为由熵值法确定的指标  $j$  的权值;  $\alpha$  为比例调节系数,  $0 \leq \alpha \leq 1$ , 本文取  $\alpha = 0.5$ 。

**e. 计算综合关联度。** 第  $i$  个评价对象  $Q_i$  在第  $j$  个指标下关于第  $k(k=1,2,\dots,p)$  个评价等级的关联度为:

$$K_{ik}(v_j) = \begin{cases} \frac{\rho(r_{ij}, V_{ijk})}{\rho(r_{ij}, V_{ijp}) - \rho(r_{ij}, V_{ijk})} & r_{ij} \notin [a_{jk}, b_{jk}] \\ -\rho(r_{ij}, V_{ijk}) / G_{jk} & r_{ij} \in [a_{jk}, b_{jk}] \end{cases} \quad (5)$$

$$\rho(r_{ij}, V_{ijk}) = \rho(r_{ij}, \langle a_{jk}, b_{jk} \rangle) = \left| r_{ij} - \frac{a_{jk} + b_{jk}}{2} \right| - \frac{b_{jk} - a_{jk}}{2} \quad (6)$$

$$\rho(r_{ij}, V_{ijp}) = \rho(r_{ij}, \langle a_{j1}, b_{jp} \rangle) = \left| r_{ij} - \frac{a_{j1} + b_{jp}}{2} \right| - \frac{b_{jp} - a_{j1}}{2} \quad (7)$$

$$G_{jk} = b_{jk} - a_{jk} \quad (8)$$

综合关联度为:

$$K'_k(Q_i) = \sum_{j=1}^n \bar{\omega}_j K_{ik}(v_j) \quad (9)$$

其中,  $K'_k(Q_i)$  为带权关联度;  $K_{ik}(v_j)$  为第  $j$  个特征元素关于第  $k$  个等级的关联度。将加权后计算的关联度值进行比较, 数值越大的表示越接近该标准等级。若  $K'_{kp}(Q_i) = \max K'_k(Q_i)$ , 则评定  $Q_i$  属于等级  $k_p$ 。

**f. 综合评价等级。** 计算待评价方案的确定等级  $k^*$ 。

$$\bar{K}'_k(Q_i) = \frac{K'_k(Q_i) - \min K'_k(Q_i)}{\max K'_k(Q_i) - \min K'_k(Q_i)} \quad (10)$$

$$k^* = \frac{\sum_{k=1}^p (k \times \bar{K}'_k(Q_i))}{\sum_{k=1}^p \bar{K}'_k(Q_i)} \quad (11)$$

**g. 方案优选。** 根据综合评价计算结果, 对各待选规划方案进行排序, 若所有指标在步骤 **b** 中被规定为等级越低, 效益越好, 则综合评价价值最小的方案为最优; 反之, 最大值方案为最优。

### 3 算例分析

#### 3.1 基础数据

为验证本文所提方法的有效性, 选取华北某地区 EV 充电市场作为研究对象, 对该地区发展 EV 充电不同商业运营模式的预期综合效益进行评价分析。该城市占地面积约为 3 768 km<sup>2</sup>, 当前人口数量为 522.39 万, 2016 年电动汽车保有量约为 6 600 辆。因插充模式的主要消费群体为私家车及公务用车

户,且该类用户在当前EV市场占比超过70%,故为便于研究,算例分析假设系统中均为该类用户,且电动车日均行驶里程为75 km。

为便于比较,本文采用了2类场景分别对不同主体主导和不同盈利方式下的商业运营模式进行综合评价。针对各待评价方案,首先通过实地调研,收集评价计算所需的相关基础数据。在此基础上,取测算年限为10 a,借助仿真实验及专家意见进一步确定方案对应的评价指标值。对于定性指标,本文采用语气因子法<sup>[24]</sup>,将定性指标所反映的相关属性划分为好、较好、一般和差4个等级,分别对应取值区间为[1,3)、[3,5)、[5,8)和[8,10]。对计算结果进行标准化处理,然后利用ERTSE策略,确定各评价指标对应的组合权重 $\bar{\omega}_j$ ,结果见附录中表A1。

### 3.2 评价计算与结果分析

#### 3.2.1 由不同主体主导对EV充电商业运营效益的影响分析

在EV充电站发展的关键时期,选择恰当的由某一主体主导的商业运营模式,对推动EV充电商业有序发展具有重要意义。为此本文初步拟定了3种由不同主体主导的EV充电商业运营方案。

方案1:政府主导模式。政府作为充电站的投资运营主体,引导各企业参与EV充电站的建设与运营。充电设备建址以符合城市规划为目标,多建于居民区、工作区,且为用户提供半公益性质的低价充电服务。

方案2:企业主导模式。作为市场主体的企业投资运营EV充电站,以盈利为目标,充电设备建址集中于商业区、风景区。投资运营企业充分发挥其在传输网络上的优势,充电服务价格偏高。

方案3:“政府+企业”的混合主导模式。即政府扶持下的企业主导模式。企业在追求经济效益的同时受政府城市规划目标的引导,充电设备建址策略基于居民区与商业区的实际需求,充电服务价格由政府依据市场状况拟定。

基于本文方法,分析3种方案下EV充电商业运营模式的效益并对其进行综合评价,附录中表A2对各指标值及其对应经典域下的4个等级进行了划分,根据语气因子法<sup>[24]</sup>定义等级1—4依次代表差、一般、较好、很好。

通过计算得到方案1—3下的综合评价结果 $k_p$ 分别为2.012 5、2.760 0、3.011 2。根据综合评价值排序,上述3个方案由优到劣分别为方案3、方案2、方案1。这说明,混合模式是更适合为我国EV充电市场的主导模式。结合具体指标计算结果可知,方案1在指标 $A_1$ 上有很好的表现,这是因为政府将充电站作为重要的公用基础设施进行规划投放,以实现国家能源战略目标和引领城市未来发展方向为价

值导向。然而,充电费用设置偏低以及过大的财政压力使政府难以保证充电站的持续经营,导致用户满意度 $C_{13}$ 下降。方案2的价值增值环节在其经济性指标中,属性 $B_2$ 有较好的表现,但属性 $A_1$ 和 $A_2$ 却表现较差,这体现出企业主导模式片面追求经济效益的特性,对城市规划及社会效益关注的缺失,同时,过高的充电服务费及居民区建桩数量偏少导致用户体验较差,属性 $C_1$ 值偏低。综合效益最优的方案3可以较好地发挥企业与政府在EV充电商业运营方面的互补特性,在充电站投资上,企业出资能够更好克服政府资金不足的问题;在运营效率上,企业经营能够较好地克服政府运营所固有的低效率问题。同时,政府参与和扶持,能够使企业克服充电站建设发展中的盲目性和无序性,有效降低充电站投资与运营风险。综上,相比于其他方式,“政府+企业”的混合主导模式更为充分地发挥EV充电商业运营项目内部与外部价值链协作的增值潜力,更适用于我国EV充电商业的发展现状。

#### 3.2.2 基于不同时间断面的盈利模式对商业运营效益的影响分析

商业模式极易被模仿,当某种商业模式在行业内得到普及时,该模式便会失去竞争优势。鉴于商业模式的强时效性,随时间推移而实时灵敏地调整商业模式十分必要。故本场景设置横跨10 a,对具有现实意义和效益潜力的EV充电商业运营模式进行设计及效益评价,选取2012—2015年、2015—2019年、2019—2022年作为代表过去、现在、未来的时间区间,根据各时段EV行业发展状况及保有量等基础数据的实际值或预测值,对商业模式在不同时间段产生的效益进行研究。基于此,场景2在场景1所得结论的基础上做进一步考虑,设计如下3种商业模式作为3种待评价方案。

方案4:“充电桩+服务消费”。在健身、美容、购物中心等休闲商业区建充电桩,在EV充电的同时刺激用户的消费行为。

方案5:“互联网+”下的“手机APP+云服务”。“手机APP”功能包括:远程服务功能(实时掌控充电时间、充电预约提醒、故障报警等)+充电生态圈(增设用户评价、车友分享等诸多实用功能)。“云服务”包括:实时分析有效充电数据,优化用户充电行为;检测并比对实时充电车辆电池的充电特性和运行轨迹是否存在异常,及时发现隐患。

方案6:“EV充电+金融机构”。充电设施运营与用户充电、金融产品相融合。金融机构可采用合资或加盟形式参与充电设施建设运营,用户购买EV金融产品可获充电优惠。

评价过程与场景1同理,最终综合评价值如表3所示。

表 3 不同商业运营模式下的综合评价结果  
Table 3 Comprehensive evaluation results under different commercial operation modes

时间段	综合评价结果		
	方案 4	方案 5	方案 6
2012—2015	3.273 7	2.015 9	1.541 0
2015—2019	1.673 7	3.309 9	1.327 8
2019—2022	1.452 7	2.393 7	3.326 9

场景 2 下,由于各方案基于不同时间断面进行评价,而不同历史时期的基础数据又存在极大不同,如 EV 保有量及充电设施数量均与时代发展息息相关。因此,随时间推移的纵向比较是不科学的,故本文仅对上述 3 种商业模式从不同时间断面进行横向分析评价。

2012—2015 年,由表 3 评价结果可见,方案 4 效益最佳,即该模式在过去时段可以很好地应用于 EV 充电市场,利用 EV 车主充电时间,深入拓展零售、消费等业务,以充电业务为中心,整合带动相关产业的产业链发展,围绕电动汽车充电的 2 h 建立的健身、美容、购物中心,提高了充电服务价值链的粘性与增值性,在拉动社会经济增长及提升用户满意度等方面效益显著。然而同期,方案 5 的效益之所以不显著,主要是由于科技发展跟不上社会需求,网络联结功能尚不发达,故网络功能占主导的方案不能很好地发挥作用。方案 6 这种基于多方协作的复杂商业模式难以在 EV 刚刚起步或保有量较小的阶段取得效益。

2015—2019 年,方案 5 效益显示出明显优势,这是由于现阶段正值“互联网+”政策浪潮,国家大力扶持且发达网络体系在时效性与便利性方面具有独特优势。网络经济的引入也使 EV 充电价值链延伸成为价值网,各主体间的价值联系更为紧密。该方案将资讯终端和便利支付功能相集成,完善“手机 APP”功能极大优化了用户体验。此外,“云服务”通过对各充电桩大数据的实时分析与反馈,使用户可依个人偏好自主选择充电策略。另外,在充电过程中为车辆电池进行故障排查也提高了汽车的抗故障能力。而效益相对较差的方案 4,虽然现阶段仍可发挥其作用,但技术性不强,不能完全适应时代发展的需要,故难以在与方案 5 的比较中产生优势。

2019—2022 年,方案 6 在效益评价结果中占据绝对优势。未来 EV 充电市场的扩大使该模式具有足够的发展空间,将不只是虚拟价值网的联结,更是各企业间实体价值链交互的时代,为实现可持续发展,各相关利益主体紧密联系、共同合作是发展的必然趋势。用户通过购买汽车金融产品获得充电行为的优惠,这样密切的三方合作将同时带动三方效益的提升,将促使合作扩大化,甚至吸引更多企业的加盟,这种合作带动多赢的商业运营模式将是未来实

体产业发展之基。

由此可见,商业运营模式的选择取决于价值链增值水平及现实基础条件。同时,商业运营模式的高时效性决定了其强时代特征,故应该适应时代的选择,及时调整商业运营方案。各评价结果所属类别均未达到 4 级,可见 EV 充电效益仍有较大提升空间,这是由于桩车比始终偏小,难以满足社会需求。EV 充电商业运营模式的合理选择将有助于推动桩车比达到均衡,进而促进 EV 产业蓬勃发展。

## 4 结论

基于价值链理论,针对 EV 充电市场不同商业运营模式的成本效益测算问题,本文提出了一种有效兼容不确定性的综合评价指标体系和计算模型。通过算例应用,所得主要结论如下。

a. 基于价值链理论,本文设计的综合评估指标体系充分考虑了不同商业运营模式下,EV 充电参与主体的多元化及利益需求的差异性,相关结果能有效反映实施不同商业运营模式对于推动 EV 充电核心价值 and 不同主体需求实现的贡献作用,继而为 EV 充电市场科学投资决策提供有效指导。

b. 通过采用 ERTSE-MEE 评价方法可在合理兼顾决策者主观经验及指标自身信息价值的前提下,实现对不确定性因素影响下 EV 充电商业运营模式综合效益的科学评判。相关方法具有计算简便、辨别能力强等优点,且能有效地反映出不同商业运营模式下,EV 充电效益的薄弱环节及其与最优效益之间的差距。

c. 仿真结果表明,EV 充电效益受主导主体、盈利渠道等多方面因素的影响。一般而言,在相同条件下,科学的建桩策略、合理的主导方案以及符合社会发展需要的商业运营模式将能够实现更大的 EV 充电效益。相关评价结果有助于商业运营模式设计者深入理解 EV 充电市场环境下充电运营的最优发展模式,从而为我国 EV 产业的高效发展提供有益参考。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

## 参考文献:

- [1] MORRISSEY P, WELDON P, O'MAHONY M. Future standard and fast charging infrastructure planning: an analysis of electric vehicle charging behaviour[J]. Energy Policy, 2016, 89(24): 257-270.
- [2] 栾昊,孙艺新. 充电桩商业模式探讨[J]. 能源, 2015(9): 32-34. LUAN Hao, SUN Yixin. Discussion on commercial model of charging pile[J]. Energy, 2015(9): 32-34.
- [3] FABIAN K, CHRISTIAN L, DAVID D. New business models for electric cars—a holistic approach[J]. Energy Policy, 2011, 39(6): 3392-3403.

- [ 4 ] 陈良亮,张浩,倪峰,等. 电动汽车能源供给设施建设现状与发展探讨[J]. 电力系统自动化,2011,35(14):11-17.  
CHEN Liangliang, ZHANG Hao, NI Feng, et al. Present situation and development trend for construction of electric vehicle energy supply infrastructure[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011,35(14):11-17.
- [ 5 ] 赵书强,李志伟,党磊. 基于城市交通网络信息的电动汽车充电站最优选址和定容[J]. 电力自动化设备,2016,36(10):8-15.  
ZHAO Shuqiang, LI Zhiwei, DANG Lei. Optimal EV charging station siting and sizing based on urban traffic network information[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016,36(10):8-15.
- [ 6 ] 楚皓翔,解大. 考虑电网运行状态的电动汽车充放电一体化充电站充放电控制策略[J]. 电力自动化设备,2018,38(4):96-101.  
CHU Haoxiang, XIE Da. Charging/discharging control strategy of EV charging-discharging-storage integrated station considering operational status of power grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018,38(4):96-101.
- [ 7 ] NURRE S G, BENT R, PAN F, et al. Managing operations of Plug-in Hybrid Electric Vehicle(PHEV) exchange stations for use with a smart grid[J]. Energy Policy, 2014, 67(2):364-377.
- [ 8 ] 黄小庆,陈颢,田世明,等. 电动汽车充电站规划、运行中的大数据集成应用[J]. 电网技术,2016,40(3):762-767.  
HUANG Xiaoqing, CHEN Hie, TIAN Shiming, et al. Big data integration for optimal planning and operation of electric vehicle charging stations[J]. Power System Technology, 2016, 40(3):762-767.
- [ 9 ] 唐敏,徐解究,顾月蕾. 电动汽车充电站建设与运营的模式研究[J]. 华东电力,2011,39(2):202-206.  
TANG Min, XU Jiexian, GU Yuelei. Research on the construction and operation mode of electric vehicle charging stations[J]. East China Electric Power, 2011,39(2):202-206.
- [ 10 ] WEILLE C, NEELY A. Business models for electric vehicles; lessons from the Japanese EV ecosystem[M]. Basel, Switzerland: Springer International Publishing, 2015:197-213.
- [ 11 ] 贾晶晶,郭敏嘉,范春燕,等. 新能源汽车充电服务发展瓶颈及商业模式探讨[J]. 陕西电力,2016,44(1):46-50.  
JIA Jingjing, GUO Minjia, FAN Chunyan, et al. Discussion on development of electrical vehicle charging service and business model[J]. Shaanxi Electric Power, 2016,44(1):46-50.
- [ 12 ] 国家发展改革委. 关于电动汽车用电价格政策有关问题的通知[EB/OL]. (2014-07-22)[2017-07-31]. <http://www.bjxnyqc.org/news/detail/1341>.
- [ 13 ] CHRISTENSEN T B, WELLS P, CIPCIGAN L. Can innovative business models overcome resistance to electric vehicles? better place and battery electric cars in Denmark[J]. Energy Policy, 2012, 48(5):498-505.
- [ 14 ] 郭建龙,文福拴. 电动汽车充电对电力系统的影响及其对策[J]. 电力自动化设备,2015,35(6):1-9.  
GUO Jianlong, WEN Fushuan. Impact of electric vehicle charging on power system and relevant countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015,35(6):1-9.
- [ 15 ] 张蕾蕾. 城市纯电动汽车发展模式论证方法研究[D]. 北京:华北电力大学,2015.  
ZHANG Leilei. Study on the development pattern argumentation method of battery electric vehicles in city[D]. Beijing:North China Electric University, 2015.
- [ 16 ] DINH T H. Value-chain management[M]. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012.
- [ 17 ] 赵胜霞,刘俊勇,向月,等. 考虑配电网接纳能力的电动汽车充换电服务网基础设施配置方案分析与评估[J]. 电力自动化设备,2016,36(6):94-101.  
ZHAO Shengxia, LIU Junyong, XIANG Yue, et al. Analysis and assessment considering accommodation capability of distribution network for infrastructure deployment of EV charging/swapping service network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016,36(6):94-101.
- [ 18 ] SCHULLER A, HOEFFER J. Assessing the impact of EV mobility patterns on renewable energy oriented charging strategies[J]. Energy Procedia, 2014, 46(46):32-39.
- [ 19 ] 财政部科技部工业和信息化部发展改革委. 关于 2016—2020 年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知[EB/OL]. (2015-04-22)[2017-07-31]. <http://www.china-nengyuan.com/news/76490.html>.
- [ 20 ] 杨春燕,蔡文. 可拓工程[M]. 北京:科学出版社,2007:20-105.
- [ 21 ] 吴海红. 基于价值链视角的商业模式创新研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.  
WU Haihong. Research on business model innovation based on the perspective of value chain[D]. Qingdao:Ocean University of China, 2013.
- [ 22 ] 宋涛,唐德善,曲炜. 基于离散型 Hopfield 神经网络的项目风险分析模型[J]. 统计与决策,2005(6):24-26.  
SONG Tao, TANG Deshan, QU Wei. Project risk analysis model based on discrete Hopfield neural network[J]. Statistic and Decision, 2005(6):24-26.
- [ 23 ] 付学谦,陈皓勇. 基于加权秩和比法的电能质量综合评估[J]. 电力自动化设备,2015,35(1):128-132.  
FU Xueqian, CHEN Haoyong. Comprehensive power quality evaluation based on weighted rank sum ration method[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015,35(1):128-132.
- [ 24 ] 冯超,周步祥,林楠,等. Delphi 和 GAHP 集成的综合评价方法在电动汽车充电站选址最优决策中的应用[J]. 电力自动化设备,2012,32(9):25-29.  
FENG Chao, ZHOU Buxiang, LIN Nan, et al. Application of comprehensive evaluation method integrating Delphi and GAHP in optimal siting of electric vehicle charging station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012,32(9):25-29.

#### 作者简介:



曾 博

曾 博(1987—),男,北京人,讲师,博士,主要研究方向为配电网规划、智能用电与需求响应等(E-mail:alosecity@126.com);

白婧萌(1992—),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要研究方向为电动汽车并网融合、电力系统综合评价与决策方法等;

张玉莹(1990—),女,山东青州人,工程师,硕士,主要研究方向为发电厂电气、新能源发电、储能技术等;

孙恩德(1986—),男,山东青州人,助理工程师,主要从事输电线路运行检修等方面工作。

(下转第 34 页 continued on page 34)

## 作者简介:



孟旭瑶

孟旭瑶(1995—),女,安徽定远人,硕士研究生,主要研究方向为新能源、充电站规划(E-mail:16121501@bjtu.edu.cn);

张维戈(1971—),男,内蒙古包头人,教授,博士,主要研究方向为电池管理技术和充电设施应用(E-mail:wgzhang@bjtu.

edu.cn);

鲍 谚(1982—),男,山西大同人,讲师,博士,主要研究方向为电动汽车与电网互动技术、智能电网与新能源发展技术;

黄 梅(1959—),女,内蒙古呼和浩特人,教授,硕士,主要研究方向为电动汽车充电站建模与充电站相互影响分析、电力系统建模仿真与控制。

### Optimal configuration of charging facility for electric vehicle fast charging station considering charging power

MENG Xuyao<sup>1</sup>, ZHANG Weige<sup>1</sup>, BAO Yan<sup>1</sup>, HUANG Mei<sup>1</sup>, YUAN Ruiming<sup>2</sup>, CHEN Zhen<sup>3</sup>

(1. National Active Distribution Network Technology Research Center, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Power Research Institute, State Grid Jibei Electric Power Company Limited, Beijing 100045, China;

3. State Grid Beijing Electric Power Research Institute, Beijing 100076, China)

**Abstract:** In order to realize the economic construction of electric vehicle fast charging station and analyze the impact of the charging power on the charging station planning, an approach to optimize the charging facilities of electric vehicle fast charging station is proposed. Taking the electric taxi as an example, the travel characteristics of the electric taxis are analyzed, and the operational indexes of the queuing system in each time period are analyzed based on the queuing theory. Subsequently, the waiting time cost calculation model of users is established. With minimum sum of the investment cost and the waiting time cost as the objective function and considering the utilization rate of facilities, queuing time, distribution capacity and floor area, the optimization model of charging facilities in charging station is established. The number and charging power of charging facilities are optimized simultaneously to achieve minimum in-station social cost. The feasibility of the proposed approach and the economy of charging power optimization are verified by a case study.

**Key words:** electric vehicles; charging station; queuing theory; charging power; charging facility configuration

(上接第 27 页 continued from page 27)

### Comprehensive evaluation of commercial operation mode for electric vehicle charging based on value-chain analysis

ZENG Bo<sup>1</sup>, BAI Jingmeng<sup>1</sup>, ZHANG Yuying<sup>2</sup>, SUN Ende<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Shenhua Guohua (Beijing) Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100025, China;

3. State Grid Qingdao Power Supply Company, Qingdao 266000, China)

**Abstract:** A comprehensive evaluation model of EV (Electric Vehicle) charging commercial operation benefit is proposed. Based on the theory of value-chain, the internal and external value-chain and the construction principle of index system for EV charging commercial operation project are analyzed. A comprehensive evaluation index system is proposed, which includes the benefit of government, investment operator and user of EV charging commercial operation modes. Special attention is paid on the aging characteristics and the value-added links of internal and external value-chain of the commercial operation modes. On this basis, a real-time combined weighting-matter element extension comprehensive evaluation model is further proposed according to the index characteristics. Consequently, quantitative comprehensive benefit evaluation of EV charging commercial operation modes can be achieved. Different from traditional deterministic evaluation approaches, the proposed method considers the aging characteristics and the uncertainty in EV charging market, and introduces an approach that combines the expert real-time scoring and the entropy weight. In this way, the proposed model can achieve a reasonable balance between the information value of attributes and the subjective experiences, and improve the robustness and discrimination ability in practical applications.

**Key words:** electric vehicles; charging service; value-chain; commercial operation modes; comprehensive evaluation index system; matter element extension model

# 附录

表 A1 指标权重  
Table A1 Index weights

主体		A								
属性	A <sub>1</sub>					A <sub>2</sub>				A <sub>3</sub>
指标	A <sub>11</sub>	A <sub>21</sub>	A <sub>22</sub>	A <sub>23</sub>	A <sub>24</sub>	A <sub>25</sub>	A <sub>26</sub>	A <sub>27</sub>	A <sub>31</sub>	
过去	0.033	0.015	0.021	0.022	0.031	0.041	0.021	0.029	0.074	
现在	0.047	0.024	0.024	0.018	0.029	0.05	0.018	0.022	0.039	
将来	0.029	0.028	0.029	0.039	0.08	0.066	0.044	0.034	0.059	
主体		A				B				
属性	A <sub>4</sub>		B <sub>1</sub>			B <sub>2</sub>				
指标	A <sub>41</sub>	A <sub>42</sub>	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	B <sub>14</sub>	B <sub>21</sub>	B <sub>22</sub>	B <sub>23</sub>	
过去	0.043	0.062	0.024	0.027	0.122	0.027	0.024	0.103	0.079	
现在	0.071	0.023	0.034	0.059	0.034	0.012	0.025	0.022	0.012	
将来	0.039	0.057	0.021	0.015	0.032	0.021	0.015	0.069	0.059	
主体		B		C						
属性	B <sub>2</sub>		C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>			
指标	B <sub>24</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>31</sub>			
过去	0.060	0.024	0.038	0.032	0.017	0.018	0.015			
现在	0.090	0.023	0.040	0.055	0.029	0.111	0.088			
将来	0.085	0.039	0.037	0.020	0.037	0.018	0.029			

表 A2 各指标的经典域各等级

Table A2 Classic domain and level of indexes

主体	属性	指标	方案 1	方案 2	方案 3	经典域			
						1 级	2 级	3 级	4 级
A	A <sub>1</sub>	A <sub>11</sub>	9.00	3.00	8.00	[0.00,3.00)	[3.00,6.00)	[6.00,8.00)	[8.00,10.00]
		A <sub>21</sub> /%	3.80	2.84	2.92	[0.00,1.00)	[1.00,2.00)	[2.00,3.00)	[3.00,4.00]
		A <sub>22</sub> /%	1.78	1.61	1.88	[0.00,0.80)	[0.80,1.30)	[1.30,1.90)	[1.90,2.50]
		A <sub>23</sub> /%	6.93	7.02	7.01	[1.00,3.00)	[3.00,5.00)	[5.00,7.00)	[7.00,9.00]
	A <sub>2</sub>	A <sub>24</sub>	4.00	7.00	5.00	[0.00,3.00)	[3.00,6.00)	[6.00,8.00)	[8.00,10.00]
		A <sub>25</sub> /%	2.32	2.99	3.27	[1.00,1.80)	[1.80,2.50)	[2.50,2.90)	[2.90,3.70]
		A <sub>26</sub>	7.00	8.00	8.00	[0.00,3.00)	[3.00,6.00)	[6.00,8.00)	[8.00,10.00]
	A <sub>27</sub> /%	5.76	6.32	7.67	[5.00,5.50)	[5.50,7.00)	[7.00,7.40)	[7.40,8.00]	
	A <sub>3</sub>	A <sub>31</sub> /%	-0.67	-2.22	-3.24	[-1.00,0.00]	[-2.00,-1.00)	[-3.00,-2.00)	[-4.00,-3.00]
A <sub>4</sub>	A <sub>41</sub> /亿元	307.74	1.00	0.57	[0.01,0.40)	[0.40,12.00)	[12.00,100.00)	[100.00,310.00]	
	A <sub>42</sub> /万元	193.28	10.37	128.44	[0.00,70.00)	[70.00,120.00)	[120.00,160.00)	[160.00,200.00]	

	B <sub>11</sub> /亿元	0.14	73.62	49.86	[75.00,100.00]	[50.00,75.00]	[3.00,50.00]	[0.10,3.00]
	B <sub>12</sub> /亿元	0.36	187.74	127.00	[100.00,200.00]	[20.00,100.00]	[5.00,20.00]	[0.30,5.00]
B <sub>1</sub>	B <sub>13</sub> /亿元	0.01	7.04	6.27	[7.50,8.00]	[7.00,7.50]	[6.50,7.00]	[6.00,6.50]
	B <sub>14</sub> /万元	10.00	28000.00	18000.00	[19000.00,30000.00]	[5000.00,19000.00]	[700.00,5000.00]	[10.00,700.00]
B	B <sub>21</sub> /万元	61.04	188024.37	98382.76	[50.00,800.00]	[800.00,9000.00]	[9000.00,150000.00]	[150000.00,200000.00]
	B <sub>22</sub> /亿元	0.01	24.04	19.48	[0.01,0.20]	[0.20,2.00]	[2.00,10.00]	[10.00,25.00]
B <sub>2</sub>	B <sub>23</sub> /万元	48.85	12680.85	7680.85	[40.00,800.00]	[800.00,3100.00]	[3100.00,9300.00]	[9300.00,15000.00]
	B <sub>24</sub> /万元	424.00	432.00	75600.00	[400.00,8000.00]	[8000.00,12000.00]	[12000.00,46000.00]	[46000.00,80000.00]
	C <sub>11</sub>	5.00	5.00	5.00	[0.00,3.00]	[3.00,6.00]	[6.00,8.00]	[8.00,10.00]
C <sub>1</sub>	C <sub>12</sub>	7.00	6.00	8.00	[0.00,3.00]	[3.00,6.00]	[6.00,8.00]	[8.00,10.00]
	C <sub>13</sub>	4.00	5.00	8.00	[0.00,3.00]	[3.00,6.00]	[6.00,8.00]	[8.00,10.00]
C	C <sub>21</sub> /%	57.63	54.64	59.36	[45.00,49.00]	[49.00,53.00]	[53.00,56.00]	[56.00,60.00]
C <sub>2</sub>	C <sub>22</sub> /万元	1296.36	77.86	2722.50	[50.00,600.00]	[1600.00,1000.00]	[1000.00,2300.00]	[2300.00,3000.00]
C <sub>3</sub>	C <sub>31</sub> /亿元	12.32	12.59	12.96	[15.00,16.00]	[14.00,15.00]	[13.00,14.00]	[12.00,13.00]