

基于求偿权的电力碳排放权选举分配机制

梅天华^{1,2}, 汤优敏³, 甘德强¹

(1. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 国家能源局浙江监管办, 浙江 杭州 310007;
3. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要: 如何公平地分配初始碳排放权, 是当前碳排放交易市场建设的重要内容。将选举机制和基于权利的分配算法应用于电力碳排放权初始分配问题, 实现对各种公平分配方案的调和。在此基础上, 通过匿名性、确定性、逆向变动无关性、正向变动单调性和奇中立性等对选举分配算法进行公理化。证明选举分配算法满足匿名性、单位选择无关性、公平排序性等性质, 对分配有效性进行探讨。碳排放权初始分配实例结果表明, 所提算法可以对公平争议进行调和, 并容易被各参与人所接受。

关键词: 低碳电力; 碳排放权; 公平分配; 公理; 选举

中图分类号: TM 862

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.10.022

0 引言

随着全球变暖的影响日趋明显, 各国均积极采取措施降低碳排放^[1]。电力工业在我国是最主要的温室气体排放产业, 电力供应的低碳化是低碳经济发展的首要任务^[2]。在放松管制的背景下, 市场机制被广泛应用于电力运行的诸多领域^[3-4]。碳排放交易市场建设, 是降低电力行业碳减排成本的重要手段。目前碳排放权初始分配主要有免费模式和付费方式2种。其中免费模式又有2种分配规则: 基于历史排放量分配和依据现实电力生产水平进行分配^[5]。美国、欧盟等地通常采用前一种分配规则。多数研究表明初始碳排放权免费分配是我国碳排放市场建设初期的现实选择^[5]。

在初始碳排放权的免费分配中, 公平性是制定分配机制必须考虑的重要因素^[6]。文献[7]以人均碳排放权(电力部分)相等为基础, 提出了兼顾公平和效率的电力初始碳排放权的两级分配模型; 文献[8]认为公平就是按容量或电量比例分配, 并对各种分配方法的公平与效率进行了对比。文献[9-10]从碳消费公平和激励机制的角度, 建立了碳流追踪模型, 对碳减排义务的公平分摊进行了研究; 文献[11]综合了人口、地域面积、GDP等因素, 以比例分配为基础, 提出了基于加总的多准则电力初始碳排放权分配模型。但尚未有文献从形式化的角度对分配方法的公平性进行过严格论证。

公理化是公平分配理论研究的重要方法^[12], 但是理论研究表明满足所有公平原则的分配方案是不存在的^[12-14]。在实践中公平分配方案需要满足哪些性质(“公理”), 需根据具体问题进行灵活的选取^[15-16], 这往往导致了分配方案是否公平的争议。经济利益的冲突往往是对公平原则缺乏共识的最重要

原因。如何调和不同的公平分配方案, 实现各参与人之间利益诉求的平衡, 目前尚未有深入的研究^[11,17], 而在实践中投票机制往往是最佳的选择。文献[18-20]用公理化方法, 对多数选举机制的合理性进行了论证。

我国对机组年度发电量实行计划管理, 而且受替代发电等诸多因素影响, 年际变化很大。所以, 简单采用基于历史排放量或现实产出的方法, 给出的分配结果很可能不公平。例如, 根据政府安排, 浙江省2015年度多数燃气机组发电利用小时计划为500 h(燃煤机组为4600 h)。如果2016年以此为基础分配碳排放权, 显然很不公平, 而且对于碳减排也相当不利。本文结合我国电力计划管理的特性, 对机组的碳排放求偿权进行了论证。在讨论基于求偿权分配的主要算法基础上, 将参与人(机组)可选分配策略限制在公平策略集之内。按照自主参与的思想, 结合选举理论, 建立了基于多数选举的分配模型。进一步从公平分配角度对多数选举分配模型进行了公理化。给出了选举分配方法的匿名性、单位选择无关性、公平排序性的证明, 表明了方法的公平性。最后结合发电机组碳排放权初始分配的实例, 表明本文方法的可行性和实用性, 容易被各方所接受。

1 公平分配的模型及主要算法

1.1 基本模型

基于权利分配问题的数学模型为映射 $\gamma: (n, t, \mathbf{c}) \rightarrow (x_1, \dots, x_n)$, 记为 $\gamma(n, t, \mathbf{c})$ 。其中 n 表示参与人数, t 表示待分配资源总量, $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_n)$ 表示事先由政府或合同承诺给参与人的最大份额, 即求偿权。令 $c_N = \sum_{i=1}^n c_i$, 有:

$$\begin{aligned} c_i &\geq 0 \quad i=1, 2, \dots, n \\ 0 &\leq t \leq c_N \end{aligned} \quad (1)$$

向量 $\mathbf{x}=(x_1, \cdots, x_n)$ 表示参与人 i 获得 x_i , 且满足:

$$\begin{aligned} 0 \leq x_i \leq c_i \quad i=1, 2, \cdots, n \\ \sum_{i=1}^n x_i = t \end{aligned} \quad (2)$$

我国发电机组的年度发电利用小时,在机组核准时就是给定的。机组的发电利用小时与机组容量及机组碳排放强度的乘积就是政府承诺给机组的排放求偿权 $\mathbf{c}$ 。而政府确定的电力行业碳总量控制目标就是待分配资源总量 t , 且排放求偿权和 t 满足式(1)。我国电力行业这一特点决定了可以将基于求偿权的公平分配理论应用于初始碳排放权的分配问题。

由于初始碳排放权分配是一个产权确认的过程,对机组经济利益产生重大影响。而电力运行的约束可以通过排放权交易或者发电权交易等市场方式进行二次调整,从而可以使得调整后的排放权满足系统运行的要求。所以本文在初始分配中没有考虑系统运行等其他约束条件,把研究重点完全聚焦于分配公平性。事实上在基于权利(求偿权)的分配中,公平性是最重要的依据。

1.2 主要算法和公理

根据文献[6, 14], 基于求偿权的主要分配方法如下。

a. 一致收益算法 UG (Uniform Gains method):

$x_i = \min \{\mu, c_i\}$, 其中 μ 为方程 $\sum_{i=1}^n \min \{\mu, c_i\} = t$ 的解, 记 $\mathbf{x} = \text{UG}(n, t, \mathbf{c})$ 。

b. 一致损失算法 UL (Uniform Losses method):

$x_i = \max \{(c_i - \mu), 0\}$, μ 为 $\sum_{i=1}^n \min \{(c_i - \mu), 0\} = t$ 的解, 记 $\mathbf{x} = \text{UL}(n, t, \mathbf{c})$ 。

c. 比例算法 PRO (PROportional method):

$$x_i = \frac{c_i}{c_N} t \quad i=1, 2, \cdots, n \quad (3)$$

记 $\mathbf{x} = \text{PRO}(n, t, \mathbf{c})$ 。

d. 塔木德算法 T (Talmud rule):

$$x_i = \begin{cases} \text{UG}_i\left(n, t, \frac{1}{2}\mathbf{c}\right) & t \leq \frac{1}{2}c_N \\ \frac{1}{2}c_i + \text{UL}_i\left(n, t - \frac{1}{2}c_N, \frac{1}{2}\mathbf{c}\right) & t > \frac{1}{2}c_N \end{cases} \quad (4)$$

记 $\mathbf{x} = \text{T}(n, t, \mathbf{c})$ 。

这 4 种分配算法是公理化公平分配研究的重要结果,在《塔木德》、亚里士多德所著的论著中均有体现^[21-22]。UG 就是尽量平均地分配排放权,分配份额偏向于求偿权较小的参与人;UL 是从求偿权缺额角度的“平均分配”,对求偿权大的参与人有利;PRO 类似于“多劳多得”,表达了一种“中性”的价值取向;而 T 为 UG 和 UL 混合分配方法,在资源总量较小时,

偏向平均主义,保护弱小,当资源总量较大时则激励先进,提高整体效率。这 4 种方法都体现了公平的不同要求,本文称之为经典方法,记公平分配方法集 $S = \{\text{UG}, \text{UL}, \text{PRO}, \text{T}\}$ 。

在诸多分配公理中,被人们普遍认可和反复采用的公理如下^[21]。

a. 匿名性: 参与人获得的分配份额与参与人在分配中的所处次序无关,即对任意 $c_i = c_j$ 有 $x_i = x_j$ 。就是不会因为机组在分配中的次序而影响机组的份额,只要求偿权相同,分配份额就必须一致,这是机会均等的体现。

b. 公平排序性: $\forall i, j=1, 2, \cdots, n$, 若 $c_i \leq c_j$, 则有 $x_i \leq x_j$ 且 $c_i - x_i \leq c_j - x_j$ 。从电力初始碳排放权分配来看,如果将机组 j 的排放求偿权 c_j 看成 $c_i + (c_j - c_i)$, 则:匿名性要求 c_i 部分获得和机组 i 相同的碳排放权;而 $c_j - c_i$ 可以分配到的碳排放权大于 0 而小于等于 $c_j - c_i$, 从而公平排序性成立。

c. 单位选择无关性: 分配结果与分配所采用的计量单位无关,即 $\forall \lambda > 0, \lambda \cdot \mathbf{x} = \gamma(n, \lambda \cdot t, \lambda \cdot \mathbf{c})$, 这是对分配问题最基本的结构限制。碳排放权分配中就是要求分配结果不能受到排放权采用“t”、“万 t”或者其他计量单位的影响,也是方法合理性的体现。

d. 有效性: $\sum_{i=1}^n x_i = t$ 。表明公平分配方案应当保证资源被分完。从电力碳排放权分配来看,就是要求碳减排目标值必须完全分解到各个机组。

容易验证前述的 PRO、UG、UL、T 公平分配算法均满足这 4 条公理。

2 基于多数选举分配的模型

2.1 基本思路

由公理化方法得到的分配方法并不唯一,各种经典方法都有其各自的“公理”基础,各机组在分配中会要求按照自身碳排放权最多的方法进行分配。在实践中,当对分配存在争议时,就需要在基本共识的基础上进行折中。但是如何折中,折中算法应当满足哪些性质都需要论证。本节采用了选举方法对分配方案进行调和或选定,同时采用公理化的方法对选举分配的合理性进行了论证。

2.2 多数选举分配模型

多数选举分配方法通过多数选举机制将 n 个参与人制定的 n 个分配方案综合协调,形成一个集体分配方案,其数学模型是一个从矩阵到向量的映射,可写为映射 F :

$$\begin{aligned} F: \{\tilde{\mathbf{x}}_i = (x_{i1}, \cdots, x_{in}), \tilde{\mathbf{x}}_i \in \gamma(n, t, \mathbf{c}), i=1, 2, \cdots, n\} \\ \rightarrow \mathbf{y}^* = (y_1^*, \cdots, y_n^*) \end{aligned} \quad (5)$$

其中,行向量 $\tilde{\mathbf{x}}_i$ 表示参与人 i 制定的分配方案, x_{ij} 表

示参与人 i 的分配方案中,参与人 j 可以分配到的碳排放权; $\mathbf{y}^*$ 为经由选举形成的集体分配方案,其中 y_j^* 为参与人 j 分配到的碳排放权。记列向量 $\bar{\mathbf{x}}_j = (x_{1j}, \dots, x_{nj})^T$, 其中各个元素为参与人 j 在各方案 $\bar{\mathbf{x}}_i (i=1, \dots, n)$ 中分配到的碳排放权。本文中要求 $\gamma \in S$, 体现了基本共识这一理念,即各参与人给出的分配方案应相对公平。

集体分配方案 $\mathbf{y}^* = (y_1^*, \dots, y_n^*)$ 中参与人 j 的碳排放权 y_j^* 由多数选举机制确定: 针对 $\bar{\mathbf{x}}_j$ 中的各个元素进行投票, 若其小于或等于参与人 i 制定方案中参与人 j 的碳排放权, 因其低于参与人 i 的预期值, 参与人 i 会投赞成票, 否则, 投反对票; $\bar{\mathbf{x}}_j$ 中的各个元素, 若其得到的赞成票数大于或等于反对票数, 则表示通过选举, 否则, 未通过选举; 将通过半数选举的最大碳排放权作为 y_j^* 的值。

综上所述, 多数选举的分配份额 y_j^* 可采用如下的公式确定:

$$y_j^* = M_j(z, \lceil n/2 \rceil) \quad (6)$$

其中, z 表示待投票的元素; $\lceil n/2 \rceil$ 表示对 $n/2$ 进行向上取整(为简化表述, 本文假设正好半数赞成视为选举通过); 同时令 $M_j(z, p)$ 表示 p 多数函数, 其表达式如式(7)所示。

$$M_j(z, p) = \sup \left\{ z \mid \sum_{i=1}^n V_{ij}(z) \geq p, p \leq n, p \in \mathbf{N} \right\} \quad (7)$$

$$V_{ij}(z) = \begin{cases} 0 & z > x_{ij} \\ 1 & z \leq x_{ij} \end{cases}$$

其中, x_{ij} 为 $\bar{\mathbf{x}}_j$ 中的元素; $\mathbf{N}$ 为自然数集合; $\sup$ 表示集合的上确界。实际上 y_j^* 等于集合 $\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}$ 中各元素按照从大到小排列后, 位于第 p 个位置的元素值。

2.3 分配模型的公理化

公理化是对模型合理性进行论证的重要方法。对多数选举机制, 文献[18]从确定性、匿名性、中立性、正向反应性等方面进行了公理化, 论证了多数选举机制的合理性。本文进一步从碳排放权公平分配的角度对多数选举分配进行公理化。

从集体选择的角度来看, $M_j(z, p)$ 函数定义了一个如何从 n 个可能排放权中选择公认碳排放权的映射。根据人们对公平的直观理解, 对于映射 F 本文提出以下公理。

公理 1: 匿名性——所有的排列函数 $\sigma \in \pi(n)$ 满足:

$$F(\bar{\mathbf{x}}_{\sigma(1)}, \dots, \bar{\mathbf{x}}_{\sigma(n)}) = (y_{\sigma(1)}^*, \dots, y_{\sigma(n)}^*) \quad (8)$$

$$F(\bar{\mathbf{x}}_{\sigma(1)}, \dots, \bar{\mathbf{x}}_{\sigma(n)}) = \mathbf{y}^* \quad (9)$$

即碳排放权分配结果随列向量次序变化而相应变化, 但不受行向量次序变化的影响。这是机会均等的

体现, 排放求偿权相同则分配的碳排放权相同。

公理 2: 无关份额独立性—— $y_j^* = F_j(\bar{\mathbf{x}}_j)$ 。即参与人 j 的份额由所有参与人分配给 j 的份额唯一确定。即 $F(\bar{\mathbf{x}}_1, \dots, \bar{\mathbf{x}}_n)$ 可以表示为 $[F_1(\bar{\mathbf{x}}_1), \dots, F_n(\bar{\mathbf{x}}_n)]$ 的形式。无关份额独立性可以简化建模的作用, 使得机组经由集体选择机制获得的碳排放权仅由该机组在不同分配方案中所能获得的排放权决定, 不受其他机组可能获得的碳排放权影响。该公理在社会选择理论中经常被采用^[23]。

公理 3: 确定性—— $y_j^* \in \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}$ 。该公理可以理解为参与人 j 的 n 个可能碳排放权中, 有且只有一个碳排放权份额是最合理的, 集体选择的目的是找出这个最公平的碳排放权份额。满足公理 3 的分配方法显然满足单位选择无关性。

公理 4: 逆向变动无关性——假设 $F_j(\bar{\mathbf{x}}_j) = y_j^*, y_j^*$ 为向量 $\bar{\mathbf{x}}_j$ 和 $\bar{\mathbf{x}}_j'$ 中的元素, 且 $\forall x_{ij} < y_j^*, x_{ij}' < x_{ij}; \forall x_{ij} > y_j^*, x_{ij}' > x_{ij}$, 则 $F_j(\bar{\mathbf{x}}_j') = y_j^*$ 。公理 4 成立, 是因为在承认公理 3 的情况下, 没有被集体选中的碳排放权份额不是被认为太多就是太少。所以给出分配份额已经小于公平值 y_j^* 的参与人进一步降低 j 的份额, 或者已经给出超过公平值 y_j^* 的参与人进一步提高 j 的份额, 都被认为是不合理的, 不应该影响分配结果。

公理 5: 正向变动单调性——假设 $F_j(\bar{\mathbf{x}}_j) = y_j^*$, 对于 $x_{ij}' = x_{ij} (k \neq i)$, 若 $x_{ij}' > y_j^* \geq x_{ij}$, 则有 $F_j(\bar{\mathbf{x}}_j') > y_j^*$; 若 $x_{ij}' < y_j^* \leq x_{ij}$, 则 $F_j(\bar{\mathbf{x}}_j') < y_j^*$ 。公理 5 表示如果有参与人大幅提高参与人 j 的份额并超过了原份额 y_j^* , 则 y_j^* 应当会进一步增大。该公理符合人们的直观理解, 因为公平值是参与人意愿的集中体现, 当某个参与人大幅提升份额时, 应当对公平值产生正向的影响。这与文献[18]中的正向反应公理相对应。

公理 6: 奇中立性——若参与分配机组数量为奇数, 且 $F_j(\bar{\mathbf{x}}_j) = y_j^*$, 则 $F_j(-\bar{\mathbf{x}}_j) = -y_j^*$ (出现小于 0 的情况, 可以理解为对赤字的分摊)。这里正数和负数分别理解为债权和债务。公理 6 表示对于碳排放权和碳排放赤字的分配结果应当保持中立, 将排放权替换为排放赤字时, 集体选择数值保持不变。要求机组数量为奇数, 主要是因为偶数序列无法准确定义中位数。事实上在小型委员会制度中均要求组成委员会的人数为奇数, 而对于机组数量很多的情况下, 可以用统计学中 0.5 分位数代替^[24], 该公理与文献[19]中的中立性公理相对应。

为获得映射 F 的具体形式, 给出如下结论。

定理 1: p 多数函数是满足公理 1—5 的唯一函数形式。

定理 2: 当机组数量为奇数时, 中位数函数是满

足公理 1—6 的唯一函数形式。

定理 2 通过公理化方法,推导了选择函数的具体形式,对简单多数投票形成分配结果的合理性进行了论证。尽管证明中是对于相异份额得到的结果,并且仅适用于参与人数为奇数的情况,但对于分配份额相同的情况可以通过相异数值的无限接近获得;对于奇数人数约束,当参与人数很多时人数可以用连续分布函数的中位数进行近似^[24]。为简化分析,在参与人数为偶数时取 $p=\lceil n/2 \rceil$ 。

针对匿名性、单位选择无关性和公平排序性^[21]有以下定理。

定理 3:若各参与人提出的分配方法均满足匿名性、单位选择无关性和公平排序性,则由 p 多数函数进行集体选择确定的分配份额也满足匿名性、单位选择无关性和公平排序性。

对于有效性,可能存在不满足的情况,但是这并不影响该方法的合理性,选举分配仅仅负责能够达到共识部分的分配。当选举分配算法满足有效性时,表明 S 中存在一种方法被半数以上的参与人所选择。此时本文算法的意义在于,通过民主机制解决了在 S 中选择哪种分配方法的问题。不满足有效性时应用该方法,需要进一步与其他方法结合。考虑多数选举份额为 $\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}$ 的中位数,一般接近于平均数,分配不平衡较小。所以在不满足有效性时,本文假设参与人选择使自身份额最大的分配方法 $\gamma \in S$ 参与分配。即:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_i &= \gamma(n, t, \mathbf{c}) \quad \gamma \in S \\ \text{s.t. } x_{ii} &= \max \{ \text{PRO}_i(n, t, \mathbf{c}), \text{UG}_i(n, t, \mathbf{c}), \\ &\quad \text{UL}_i(n, t, \mathbf{c}), \text{T}_i(n, t, \mathbf{c}) \} \end{aligned} \tag{10}$$

上述推导,按各机组权重相同(即“一人一票”)得到。考虑到求偿权与股权类似,实践中还可根据机组的碳排放求偿权占比加权投票(对应于股份公司的“同股同权”),此时参与人 i 给出的分配方案权重为 $\omega_i = c_i / c_N, p$ 的含义为:选举通过的权重比例。计算 y_i^* 时只需将式(6)中的 $\lceil n/2 \rceil$ 替换为 0.5,并将式(7)修改为:

$$M_j(z, p) = \sup \left\{ z \left| \sum_{i=1}^n \omega_i V_{ij}(z) \geq p, p \in [0, 1] \right. \right\} \tag{11}$$

参考定理 3 证明可知,加权选举分配仍满足匿名性、单位选择无关性和公平排序性。

3 分配算例

浙江省某地电网共有燃气机组 26 台(机组类型 1 和类型 2),燃煤火电机组 68 台(机组类型 3—6),各种类型机组的参数见表 1。发电机组的碳排放求偿权按年总发电核准小时数对应的碳排放量计算。该地全年用电需求为 $2.05 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。根据减排目

标,全年核定 CO_2 的平均排放强度需控制在 $675.74 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 以下,排放总量需控制在 13840 万 t 以下。

表 1 各种类型机组参数

Table 1 Parameters of different unit types

机组类型	机组容量/ MW	台数	排放强度/ [g·(kW·h) ⁻¹]	核准 小时数/h
1	150	11	319	3500
2	400	15	319	3500
3	125	16	798	6000
4	300	17	775	6000
5	600	25	737	6000
6	1000	10	668	6000

由于系统中各台机组的发电权已经确定,因此各机组的 CO_2 排放求偿权可根据其需完成的发电量计算得到,结果如表 2 所示。

表 2 各机组排放求偿权

Table 2 CO_2 emission claim for
different unit types

机组类型	CO_2 排放求偿权/万 t
1	16.7×11
2	44.7×15
3	59.9×16
4	139.5×17
5	265.3×25
6	400.8×10
合计	14820

为验证文中提出方法的可行性和有效性,分别采用按简单多数投票和按加权多数投票,计算分配给各类型机组的碳排放权;为了分析 UG 的影响,本文还计算了不含 UG 方案时的分配结果;最后对多数选举分配算法进行了对比分析。

采用简单多数选举方法计算得到的碳排放权分配方案如表 3 所示;加权多数选举法得到的方案如表 4 所示。结果显示,由于待分配的排放权总量较大,简单多数投票结果和加权多数投票结果与 UG 的结果一致。其主要原因是:根据 UG,当 t 较大时,求偿权较小的参与人获得的份额 $x_i = \text{UG}_i(n, t, \mathbf{c}) = c_i$,这部分参与人将按 UG 提出分配方案。当碳排放总量大于某一数值时,满足该条件的参与人数或权重始终过半,经选举获得的分配方案将始终与 UG 相同。而 UG 是所有满足公平排序性分配方法中,参与人获

表 3 简单投票的排放权计算结果

Table 3 CO_2 emission allowance
allocation by simple voting

机组类型	发电量/(TW·h)	年发电小时/h	CO_2 排放权/万 t
1	0.53×11	3500	16.7×11
2	1.40×15	3500	44.7×15
3	0.75×16	6000	59.9×16
4	1.80×17	6000	139.5×17
5	3.60×25	6000	265.3×25
6	4.53×10	4526.6	302.4×10
合计	204.6	—	13840

表 4 加权投票的排放权计算结果

Table 4 CO₂ emission allowance allocation by weighted voting

机组类型	发电量/(TW·h)	年发电小时/h	CO ₂ 排放权/万 t
1	0.53×11	3 500	16.7×11
2	1.40×15	3 500	44.7×15
3	0.75×16	6 000	59.9×16
4	1.80×17	6 000	139.5×17
5	3.60×25	6 000	265.3×25
6	4.53×10	4 526.6	302.4×10
合计	204.6	—	13 840

得份额差异最小的分配方法^[6],从而使选举分配方案倾向于平均化,会使 1 000 MW 机组始终获得最小的碳排放权份额。

为避免平均化,本文计算了不含 UG 时的排放权分配结果,如表 5 所示。可以发现,此时简单多数投票分配与 PRO 一致,相对中立;而加权多数投票分配偏重于求偿权大的机组。其主要原因是机组提出的分配方案权重与求偿大小成正比,而求偿权大的参与者倾向于 UL,当其累计权重超过 0.5 时,分配结果就与 UL 一致。

表 5 不含 UG 时的排放权结果

Table 5 CO₂ emission allowance allocation without UG

机组类型	简单多数投票	加权多数投票
1	15.6×11	6.3×11
2	41.7×15	34.2×15
3	55.9×16	49.4×16
4	130.3×17	129.1×17
5	247.8×25	254.9×25
6	374.3×10	390.4×10
合计	13 840	13 840

经简单计算可知,表 3—5 中的分配方案均满足公平排序性、有效性等要求,表明了本文定理 3 的正确性。分配方案基本能够满足发电总量平衡的要求,不足的部分可以通过后续的交易机制进行调整解决。从算例来看,在不包含 UG 时,采用加权选举获得的分配方案,倾向给予 1 000 MW 机组更多的碳排放权,有利于高效燃煤机组多发电,引导电价降低(煤机的上网电价远低于天然气机组),更适合于当前电力运行实际。算例中尽管分配结果出现了与 UG、PRO、UL 相同的情况,主要是因为实际算例中机组求偿权分布特点引起的。但该方法民主投票的结果,解决了分配方法的“合法性”问题,减少了机组对“为什么选定该分配方案”的质疑。相比 T 方法仅代表一种公平观,本文的方法能够包容多种公平观,可以综合参与人的公平观偏好及影响,分配机制更为合理,且分配结果更易被认可。

4 结论

碳排放权分配中,公平性是一个重要的问题。

在不同公理体系下存在不同的公平分配方案,为解决碳排放权分配中参与人对“公平”方案的不同诉求,本文进行了研究。结果表明本文提出的选举分配模型能够较好调和不同参与人对分配方案的争议,可以满足公平分配的主要性质(“公理”)。用公理化方法对本文模型的公平性进行了论证。算例表明去除 UG 方案后的加权投票分配机制,有利于促进碳减排,最适合当前浙江电网碳排放权分配实践。尽管本文针对 4 种可选分配策略设计了多数选举的分配算法,但是其基本框架和方法可以适应任意多策略的情形。

参考文献:

[1] 《中国能源》编辑部. 中美气候变化联合声明[J]. 中国能源, 2014,36(11):1,47.

[2] 戴攀,邹家勇,田杰,等. 中国电力行业碳减排综合优化[J]. 电力系统自动化,2013,37(14):1-6,112.

DAI Pan,ZOU Jiayong,TIAN Jie,et al. Integrated optimization of CO₂ emission mitigation in China power sector[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(14):1-6,112.

[3] 傅鸿浩,蔡国田,赵黛青. 计及环境成本的跨省输电发电权交易及敏感性分析[J]. 电力自动化设备,2014,34(9):101-105,111.

FU Honghao,CAI Guotian,ZHAO Daiqing. Generation right trade of trans-province power transmission considering environmental cost and sensitivity analysis[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(9):101-105,111.

[4] 李丰,张粒子. 大规模风电跨省消纳与交易机制的研究[J]. 电力自动化设备,2013,33(8):119-124.

LI Feng,ZHANG Lizi. Accommodation and transaction mechanism of transprovincial large-scale wind power[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(8):119-124.

[5] 袁溥,李宽强. 碳排放交易制度下我国初始排放权分配方式研究[J]. 国际经贸探索,2011,27(3):78-82.

YUAN Pu,LI Kuanqiang. Study on Chinese initial distribution modes of emission rights in the trading system of carbon emissions [J]. International Economics and Trade Research,2011,27(3): 78-82.

[6] HERVÉ M. Fair division and collective welfare[M]. Cambridge, MA,USA:MIT Press,2004:27-50.

[7] 宋旭东,莫娟,向铁元. 电力行业碳排放权的初始分配机制[J]. 电力自动化设备,2013,33(1):44-49.

SONG Xudong,MO Juan,XIANG Tiejuan. Initial allocation mechanism of carbon emission permit in electric power industry [J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(1):44-49.

[8] 李莉,谭忠富,李宁,等. 几种发电排污权初始分配模式的对比研究[J]. 华东电力,2010,38(11):1789-1793.

LI Li,TAN Zhongfu,LI Ning,et al. Comparative study on several distribution modes of power generation emission rights [J]. East China Electric Power,2010,38(11):1789-1793.

[9] 汪锋,豆南南,喻冬梅. 基于电力系统碳排放流的分省化石能源消费 CO₂ 排放量测算[J]. 电力系统自动化,2014,38(17):105-112.

WANG Feng,DOU Nannan,YU Dongmei. Measurement of provincial CO₂ emission from fossil energy consumption based on carbon emission flow in power systems[J]. Automation of Electric

- Power Systems,2014,38(17):105-112.
- [10] 李保卫,胡泽春,宋永华,等. 电力碳排放权区域分摊的原则与模型[J]. 电网技术,2012,36(7):12-18.
- LI Baowei,HU Zechun,SONG Yonghua,et al. Principle and model for regional allocation of carbon emission from electricity sector[J]. Power System Technology,2012,36(7):12-18.
- [11] XIE J,WEI X,LU Y,et al. Emission-constrained optimal generation scheduling incorporating equity principles[J]. IET Generation,Transmission and Distribution,2010,4(2):201-210.
- [12] WILLIAM T. On the axiomatic method and its recent applications to game theory and resource allocation[J]. Social Choice and Welfare,2001,18(2):327-386.
- [13] 董保民,王运通,郭桂霞. 合作博弈论——解与成本分摊[M]. 北京:中国市场出版社,2008:160-163.
- [14] CARMEN H,ANTONIO V. The three musketeers:four classical solutions to bankruptcy problems[J]. Mathematical Social Sciences,2001,42(3):307-328.
- [15] STEFAN A,YVES S. Sharing a river[J]. Journal of Economic Theory,2002,107(2):453-462.
- [16] NIR D. New characterizations of old bankruptcy rules[J]. Social Choice and Welfare,1996,13(1):51-59.
- [17] 林高松,李适宇,江峰. 河流允许排污量公平分配的多准则决策方法[J]. 环境科学学报,2007,27(3):494-500.
- LIN Gaosong,LI Shiyu,JIANG Feng. Multi-criterion decision making methods of river waste load allocation based on principle of equity[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2007,27(3):494-500.
- [18] KENNETH O M. A set of independent necessary and sufficient conditions for simple majority decision[J]. Econometrica:Journal of the Econometric Society,1952,20(4):680-684.
- [19] FRANZ D,CHRISTIAN L. Majority voting on restricted domains[J]. Journal of Economic Theory,2010,145(2):512-543.
- [20] ANNICK L,FEDERICO V. Egalitarianism and utilitarianism in committees of representatives[J]. Social Choice and Welfare,2010,35(2):221-243.
- [21] WILLIAM T. Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems;a survey[J]. Mathematical Social Sciences,2003,45(3):249-297.
- [22] WILLIAM T. Axiomatic and game-theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems;an update[J]. Mathematical Social Sciences,2015,74:41-59.
- [23] WAGNER C,SHATTUCK M. An impossibility theorem for allocation aggregation[J]. Journal of Philosophical Logic,2014,43:1173-1186.
- [24] 吴晓刚. 高级回归分析[M]. 上海:上海人民出版社,2011:312-316.

作者简介:



梅天华

梅天华(1980—),男,浙江台州人,博士,研究方向为电力市场与电力系统负荷侧管理(E-mail:352252271@qq.com);

汤优敏(1982—),女,浙江台州人,高级工程师,硕士,研究方向为水电站环境保护设计;

甘德强(1966—),男,重庆人,教授,博士,主要研究方向为电力系统稳定性与电力市场。

Voting allocation mechanism of power carbon emission allowance based on claim

MEI Tianhua^{1,2},TANG Youmin³,GAN Deqiang¹

(1. College of Electrical Engineering,Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Zhejiang Energy Regulatory Office of National Energy Administration, Hangzhou 310007, China;

3. Power China Huadong Engineering Corporation, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The fair allocation of initial carbon emission allowance is essential for the construction of current carbon emission trading market. The voting mechanism and the claim-based allocation algorithm are applied in the initial allocation of power carbon emission allowance to reach a compromise of different fair allocation schemes, based on which, different properties, such as anonymity, determinacy, inverse-change irrelevancy, forward-change monotonicity and odd neutrality, are applied to axiomatize the voting allocation algorithm. The anonymity, measurement-unit independency and ranking fairness of the voting allocation algorithm are verified and its efficiency is investigated. Results of a practical example show that the proposed algorithm of initial carbon emission allowance allocation is easily accepted by the participants for attempting the conflicts among them.

Key words: low carbon electricity; carbon emission allowance; fair allocation; axiom; voting