说明书摘要

本发明公开了一种考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制。电动汽车的大规模入网会对电力系统配电网络的产生诸如电压下降、相间不平衡加剧等冲击。本发明在考虑基本的配电网网络约束的同时，充分考虑电动汽车用户行为及充电偏好，形成一种新型的电动汽车充电市场机制，能够保证每个电动汽车用户平等的充电机会、高效地充电并能有效防止电动汽车用户在充电过程中作弊。本发明可应用于根据聚合需求响应制定多层次的用户充电计划，有利于提升电动汽车与电力系统的交互水平。

权利要求书

# 一种考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制，其特征在于包括以下步骤：

## 建立一种以最大化地为电动汽车分配充电流量为目标、包括电网安全运行约束的最优充电分配方案。

## 设计考虑电动汽车用户充电行为偏好的直接充电机制框架。

## 建立一个保证用户接入公平性的充电市场。

## 根据权利要求1所述的考虑考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制，其特征在于：所述的步骤1)中采用了如下的定义与假设：

为简化模型及保证模型的可扩展性，当决定网络关键约束时我们采用直流等效模型。在电力网络主要成阻性时这一等效模型成立，而配电网满足上述要求。

定义为由一个变压器供电的辐射形配电网(如图2)辖区内的住宅集合，定义为的一个子集，表示有电动汽车正在充电的住宅集合。时刻住宅的总充电流量表示为：

1. 

其中，表示住宅内其他用电负荷电流，表示该住宅内充电汽车充电流量。

假定网络为一个三相星形系统，每个住宅接在某一单相上。不难理解，该相上的电流为接在该相上的充电负荷充电流量的总和：

1. 

电动汽车蓄电池的 时刻的充电水平用储存电荷量表示：

1. 

其中，为电动汽车充电流量，为离散时间间隔，为充电效率。

# 3．根据权利要求1所述的考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制，其特征在于：所述的步骤1)中以最大化地为电动汽车分配充电流量为目标函数：

当不考虑用户行为偏好时，目标函数可以简单地定为最大化地为电动汽车分配充电流量：



# 根据权利要求1所述的考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制，其特征在于：所述的步骤1)中建立的最优充电分配方案考虑了如下的网络安全运行约束：

a)热极限约束：保证电力系统设备功率不能越限。



其中，表示变压器相电压，表示变压器额定功率，允许变压器功率越限30%。同样地，变压器相电流及线路电流不能越限：





其中，分别为变压器相电流及线路电流上限。

b)电压偏移约束：保证系统电压满足供电需求。



其中，为从变压器出口至住宅在时刻所有的分段压降，为电压下限。

c)相间不平衡约束：保证电网三相不平衡在允许范围之内。



其中，为允许的最大三相不平衡比例。

# 根据权利要求1所述的考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制，其特征在于：所述的步骤2)中设计了一种考虑电动汽车用户充电行为偏好的直接充电机制框架(图1)：

每个电动汽车用户的目标是使他们的充电水平最大化。然而，根据他们充电的急迫性他们的充电行为将呈现不同的偏好，这一概念可以采用用户的个人效用来表示：



其中，为电动汽车用户特定参数，反映了充电行为偏好。该效用函数可以判定电动汽车用户是否看重最终的充电状态或是否愿意在当前时刻交费充电。

当考虑电动汽车用户行为偏好时，相应的目标函数则应修改为：



然而，用户行为偏好为私人信息，在求解全局最优问题分配充电流量时该信息往往难以获取。并且，存在非法用户为了欺骗系统而谎报用户偏好信息的风险，这将会伤害诚信用户的利益使诚信用户面临一个不公平的高的充电费用。

解决上述问题的有效途径是采用一个古典的基于市场的方法：每个用户根据自己行为偏好为充电流量(有限的资源)付费。当某些用户愿意花费更多的成本来获得更高充电水平时其他用户可能认为这并不值得，这是由他们的不同偏好造成的。在一个准线性规则下，充电费用可以作为一个度量标准来定量地反映用户效用或他们的消费意愿。

在既定的市场机制中，电动汽车用户需要定时给出相应的充电报价。向量连同各自的效用函数在给定时间能够代表用户的行为偏好，可以在机制设计中称为“类型”。表示向量中的第个元素，表示向量中除第个元素的其他元素。另外，我们要对用户声明的类型“”和实际类型“”加以区分。

在直接机制中，充电用户通过上传声明类型至系统来完成他们的报价，在理想情况下，上传的声明类型应该与实际类型相等，即。然而，由于一些用户为了自身的利益可能谎报信息，用户的充电意愿会被对抗定价函数 所平衡。该函数可以将系统约束以及系统内所有的充电需求发送给用户，是市场机制的重要组成部分可如下定义：



其中，为分配函数，能够给出电动汽车在既定偏好下的最终充电状态：



给定这样一个分配函数后，每个用户会寻求最小的充电花费，该最小花费定义为价格和效用函数之差：



各个用户的实际效用实际上是实际偏好的函数，而价格及分配函数则通过事前声明偏好来计算。

该直接的电动汽车充电机制可以总结如下：电动汽车用户上传自己的充电偏好信息，系统根据上传的偏好信息计算分配函数并发还给电动汽车，相应地，电动汽车支付充电费用。分配函数确保了预期的直接机制是有效的，通过合理地选择费用函数，可以使该策略成为防护性策略，能够防止非法操纵获利。

# 根据权利要求1所述的考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制，其特征在于：所述步骤3)中为建立一个保证用户接入公平性的充电市场而引入了“公平性约束”：



通过引入上述约束，充电分配结果可以成比例地反映用户报价。

说明书

一种考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制

技术领域

本发明涉及一种电动汽车充电市场机制，尤其是涉及一种考虑电力系统网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制。

背景技术

交通电气化逐步在世界范围内推广开来，几乎所有的大型汽车制造商都已经发布了全电动或插电式混合动力汽车并逐步被主流市场所接受。电动汽车零尾气排放以及适合可再生能源应用的优势众所周知，但其也相应地存在着不可忽视的缺点：电动汽车的大规模入网不可避免地对电力系统产生冲击。目前，相当多地研究专门致力于测试电动汽车入网的负面影响并着手寻求相应的解决办法。这一方面需要对电力系统基本的网络约束有较为深入的了解，另一方面更为重要的是明确并考虑电动汽车用户的行为及偏好。构建一个有效的电动汽车充电机制能有效地事先上述两方面的沟通对接。

电动汽车具有较大的能源需求，持续大规模的充电将导致一系列不良后果，如电力系统敏感节点的部件过热、电压过低、加剧相间不平衡等。对于公共充电站而言，合理的地理及容量布局规划有利于减轻上述不良影响；对于家庭充电而言，根据地理及人口分布充电行为通常显示为集群的特点，无论电动汽车充电的地点还是充电容量都难以预测及计划。一个更加可行的办法是时常在电力系统仍有充电容量余量的情况下对电动汽车充电行为加以调度，从而缓解电动汽车充电对电力系统可能造成的负面影响。

实现上述策略的方法通常分为集中式方法和分布式方法。所谓的集中式方法是将所有的相关信息传送至一个中心实体，然后由该中心实体同意分配和调度所需的充电容量。所采取的目标函数多种多样，如网络损耗最小、最大化分配可用充电容量等。集中式方法的一个潜在优势是可以利用电动汽车对电力系统进行无功补偿。相对地，分布式方法则不设统一的中心实体。然而，无论是集中式方法还是分布式方法通常都忽略了一个重要因素：终端用户的行为偏好。当有充电需求时，一部分终端用户愿意支付更高的费用以获取更高水平的充电服务(高充电效率、大充电容量等)。建模过程中如何在考虑网络约束的同时一并考虑电动汽车用户的行为偏好是有待解决的问题。

发明内容

为解决上述问题，本文发明提出了一种考虑网络约束的用于电动汽车充电的新型市场机制，通过市场机制的规范引导与运作以削弱电动汽车充电对电网的冲击，保证电网安全运行。

本发明的技术方案采用如下步骤：

## 建立一种以最大化地为电动汽车分配充电流量为目标、包括电网安全运行约束的最优充电分配方案。

## 设计考虑电动汽车用户充电行为偏好的直接充电机制框架。

## 建立一个保证用户接入公平性的充电市场。

所述的步骤1)中的建立一种以最大化地为电动汽车分配充电流量为目标、包括电网安全运行约束的最优充电分配方案，具体步骤为：

我们的目标是对由一个变压器供电的辐射形配电网(图2)辖区内的电动汽车充电。假设电动汽车充电收费标准可以由一个知道网络拓扑及关键参数(如线路、变压器功率极限等)的中央控制器设置在一个连续的范围内。这一充电收费标准不仅为当前的时间点选定，也需考虑有限的未来窗口内一系列的离散时间间隔，这是因为要考虑到实际情况的变化，比如家庭负荷的波动、电动汽车的驶入和驶离等。

为简化模型及保证模型的可扩展性，当决定网络关键约束时我们采用直流等效模型。在电力网络主要成阻性时这一等效模型成立，而配电网满足上述要求。

定义为由一个变压器供电的辐射形配电网(如图2)辖区内的住宅集合，定义为的一个子集，表示有电动汽车正在充电的住宅集合。时刻住宅的总充电流量表示为：



其中，表示住宅内其他用电负荷电流，表示该住宅内充电汽车充电流量。

假定网络为一个三相星形系统，每个住宅接在某一单相上。不难理解，该相上的电流为接在该相上的充电负荷充电流量的总和：



电动汽车蓄电池的 时刻的充电水平用储存电荷量表示：



其中，为电动汽车充电流量，为离散时间间隔，为充电效率。

当不考虑用户行为偏好时，目标函数可以简单地定为最大化地为电动汽车分配充电流量：



约束条件：

1. 热极限约束：保证电力系统设备功率不能越限。



其中，表示变压器相电压，表示变压器额定功率，允许变压器功率越限30%。同样地，变压器相电流及线路电流不能越限：





其中，分别为变压器相电流及线路电流上限。

1. 电压偏移约束：保证系统电压满足供电需求。



其中，为从变压器出口至住宅在时刻所有的分段压降，为电压下限。

1. 相间不平衡约束：保证电网三相不平衡在允许范围之内。



其中，为允许的最大三相不平衡比例。

所述的步骤2)中设计考虑电动汽车用户充电行为偏好的直接充电机制框架(图1)，具体内容为：

每个电动汽车用户的目标是使他们的充电水平最大化。然而，根据他们充电的急迫性他们的充电行为将呈现不同的偏好，这一概念可以采用用户的个人效用来表示：



其中，为电动汽车用户特定参数，反映了充电行为偏好。该效用函数可以判定电动汽车用户是否看重最终的充电状态或是否愿意在当前时刻交费充电。

当考虑电动汽车用户行为偏好时，相应的目标函数则应修改为：



然而，用户行为偏好为私人信息，在求解全局最优问题分配充电流量时该信息往往难以获取。并且，存在非法用户为了欺骗系统而谎报用户偏好信息的风险，这将会伤害诚信用户的利益使诚信用户面临一个不公平的高的充电费用。

解决上述问题的有效途径是采用一个古典的基于市场的方法：每个用户根据自己行为偏好为充电流量(有限的资源)付费。当某些用户愿意花费更多的成本来获得更高充电水平时其他用户可能认为这并不值得，这是由他们的不同偏好造成的。在一个准线性规则下，充电费用可以作为一个度量标准来定量地反映用户效用或他们的消费意愿。

在既定的市场机制中，电动汽车用户需要定时给出相应的充电报价。向量连同各自的效用函数在给定时间能够代表用户的行为偏好，可以在机制设计中称为“类型”。表示向量中的第个元素，表示向量中除第个元素的其他元素。另外，我们要对用户声明的类型“”和实际类型“”加以区分。

在直接机制中，充电用户通过上传声明类型至系统来完成他们的报价，在理想情况下，上传的声明类型应该与实际类型相等，即。然而，由于一些用户为了自身的利益可能谎报信息，用户的充电意愿会被对抗定价函数 所平衡。该函数可以将系统约束以及系统内所有的充电需求发送给用户，是市场机制的重要组成部分可如下定义：



其中，为分配函数，能够给出电动汽车在既定偏好下的最终充电状态：



给定这样一个分配函数后，每个用户会寻求最小的充电花费，该最小花费定义为价格和效用函数之差：



各个用户的实际效用实际上是实际偏好的函数，而价格及分配函数则通过事前声明偏好来计算。

该直接的电动汽车充电机制可以总结如下：电动汽车用户上传自己的充电偏好信息，系统根据上传的偏好信息计算分配函数并发还给电动汽车，相应地，电动汽车支付充电费用。分配函数确保了预期的直接机制是有效的，通过合理地选择费用函数，可以使该策略成为防护性策略，能够防止非法操纵获利。

所述的步骤3)中建立一个保证用户接入公平性的充电市场的方法为：

当引入用户偏好后一个需要考虑的关键问题便是公平的市场准入，即所有的市场参与者有公平的机会参与到市场中来。当两个用户提供相同的报价时，必须为他们分配相同的充电服务，这可以通过引入“公平性约束”来保证：



通过引入上述约束，充电分配结果可以成比例地反映用户报价。

本发明的有益效果是：

本发明能够在考虑电网稳定安全运行约束的前提下，建立一种行之有效的电动汽车充电机制。引入了用户行为偏好通过价格因素引导电动汽车有序充电，能够有效缓解电动汽车充电对电网的冲击。

附图(表)说明

图1 电动汽车直接充电机制概图

图2 由单一变压器供电的辐射形配电网中电动汽车入网示意图

图3 系统负荷曲线

图4 加入市场机制后的系统负荷曲线

表1 电动汽车充电行为偏好设定

具体实施例

下面结合附图及具体实施例对本发明作进一步详细说明。

本发明的具体实施例如下：

采用墨尔本大学开发的POSSIM软件进行算例仿真。POSSIM软件是基于C++语言的专门用于配电网分析的仿真软件，底层采用MATLAB SimPowerSystems 工具包进行模型搭建及系统潮流分析。算例系统的网络构架如图2所示。图3给出了算例系统的负荷曲线，从图中可以看出系统中负荷存在明显的高峰和低谷且三相之间存在着明显的相间不平衡状况。表1给出了网络各节点电动汽车充电行为偏好设定。图4给出了算例的仿真结果，从图4中可以看出在引入本发明创立的充电市场机制后，系统负荷峰谷差较原始负荷状况明显有所减小，同时电力系统中的三相不平衡状况也大为改善，由此验证了本发明的有效性。

上述具体实施方式用来解释说明本发明，而不是对本发明进行限制，在本发明的精神和权利要求的保护范围内，对本发明做出的任何修改和改变，都落入本发明的保护范围。

说 明 书 附 图（表）



图1 电动汽车直接充电机制概图

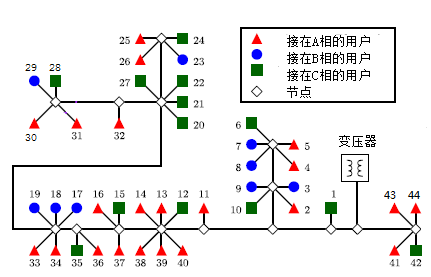


图2 由单一变压器供电的辐射形配电网中电动汽车入网示意图



图3 系统负荷曲线

表1 电动汽车充电行为偏好设定

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. |  | No. |  | No. |  |
| 1 | 1 | **13** | 3 | **23** | 1 |
| 3 | 3 | **14** | 2 | **27** | 2 |
| 6 | 1 | **16** | 1 | **32** | 2 |
| 8 | 2 | **19** | 3 | **35** | 3 |
| 10 | 2 | **22** | 3 | **41** | 1 |



图4 加入市场机制后的系统负荷曲线