说明书摘要

本发明公开了一种考虑新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法。在交通流量、充电需求、道路状况等电动汽车充电设施规划过程中必须考虑的常规因素的基础上，进一步根据电动汽车类型及行驶特性将充电需求细化为慢充、常规充电、快充三种，建立了以总投资成本及总充电成本最小为目标函数，包括充电需求约束、充电设施数量及充电设施容量等常规约束、逻辑约束的电动汽车充电设施布局优化模型。通过求解模型可以得到布局充电设施位置及建设规模的规划方案。本发明可应用于城市电动汽车充电设施布局规划领域，能够充分考虑各式电动汽车充电需求，实现多种充电设施的协同布局。

权利要求书

# 一种考虑新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法，其特征在于包括以下步骤：

## 对电动汽车充电需求进行预测及分类。

## 规划电动汽车慢速或常规充电桩。

## 简化提取城市主干道、次主干道道路网络以便规划快速充电站。

## 对候选快速充电站进行选择。

## 考虑充电站建设投资成本、运营成本及电动汽车用户充电成本，以年综合投资成本最小为目标函数建立数学模型求取快速充电站布局位置及容量。

# 2.根据权利要求1所述的新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法，其特征在于：所述的步骤1)对电动汽车充电需求进行预测及分类，具体为：

电动汽车的充电需求可以通过日平均行驶里程、单位里程能量消耗等因素来计算：



其中，为电动汽车类型，为蓄电池容量，为平均里程。不同类型电动汽车数量可以通过该区域总的机动车保有量来计算：



其中，为第年该地区总的机动车保有量，为第年型电动汽车在该地区的占比；为第年型电动汽车渗透率。

总的充电需求可以认为是慢充需求、常规充电需求、快速充电需求三者之和：



不同的充电需求有其对应的最佳的充电模式，我国于2012年发布了电动汽车充电接口的相关标准如表1所示。

根据不同电动汽车的行驶行为，可以近似地给出各种电动汽车三种不同充电需求所占的比例，如表2所示。

# 3.根据权利要求1所述的新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法，其特征在于：所述的步骤2)中规划电动汽车慢速或常规充电桩的方法为：

对于慢充或者常规充电电动汽车而言，其可以在停车地点进行相对长时间的慢速或常规充电，相对应的公共充电桩通常布局规划在办公地点或商业区的停车场。充电桩布局规模取决于该地区的充电需求，充电桩数量可以通过充电需求、充电功率、日平均充电时间以及充电桩空置率来计算：



因此，布局慢速或常规充电桩可以分为两步：1.计算不同区域所需充电桩总量；2.根据实际接口水平(水平1，水平2)确定特定的充电桩数量或分配比例。

# 根据权利要求1所述的新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法，其特征在于：所述的步骤3)中简化提取城市主干道、次主干道道路网络以便规划快速充电站，具体方法为：

简化道路网络本质上是集合具备某些特点的道路的系统问题，其主要受两个因素的影响：高峰期和道路状况。高峰期时间决定了一个城市的交通特点；道路状况又取决于两个方面：1.该道路应该为主干道或次主干道；2.单相车道应多于两条。规划网络的解决方法如图1所示，可以利用CAD等规划软件实现。利用该方法提取的电动汽车充电站规划布局网络可以避免生活区对充电站布局的影响且与电动汽车的分布紧密结合，能够满足快速充电需求，确保电动汽车充电站之间的协同及城市整体规划的合理性。

# 根据权利要求1所述的新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法，其特征在于：所述的步骤4)中对候选快速充电站进行选择，具体方法为：

快速充电需求可以认为是电动汽车在道路上行驶期间产生的急迫的充电需求，其可以分配到道路网络的每一条分支上：对于长度不长的道路，可以成为快速充电需求处于该条道路的中点上。充电需求与交通流量以及道路长度成正比，交通流量越大道路越长意味着快速充电需求越多：



对于一个给定的城市道路网络，若经过网络提取后道路长度不长，则可以根据道路具体情况、环境因素、政策因素以及地理信息等选取1至2个充电站布局候选位置。

# 根据权利要求1所述的新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法，其特征在于：所述的步骤5)中考虑充电站建设投资成本、运营成本及电动汽车用户充电成本，以年综合投资成本最小为目标函数建立数学模型求取快速充电站布局位置及容量的具体模型如下：

考虑充电站建设投资成本、运营成本及电动汽车用户充电成本，以年综合投资成本最小为目标函数：



其中，为充电站建设投资成本，包括固定成本及与规模相关的可变成本；为充电站运营成本，包括人力成本、电量购买成本以及用户使用充电设施的成本。电动汽车用户充电成本与其与充电站的距离及充电需求相关。具体的建设投资成本及充电站运营成本可计算如下：





其中，表示候选充电站总数；为表示第个充电站是否建设的0-1变量，若第个充电站建设取值为1，反之为0；为充电站建设的固定成本；表示第个充电站中充电接口的数量；为单个充电接口的成本；表示单位功率的变换成本；表示单个充电接口的功率；表示划分的区域总数；表示单位行驶距离下单位充电需求所对应的充电成本；为表示区域的充电需求是否被充电站所满足，若是，则取值为1，反之取值为0；表示从区域至充电站最短路径所需的行驶距离；表示区域的充电需求；为充电站单位容量的运营成本。

年平均投资成本是决策变量和的线性函数，可以利用资产回收系数将未来的成本这算至当前，资产回收系数的计算方法为：



其中，表示贷款利率，为所规划充电站的使用寿命(年)。

约束条件：

(a).充电需求约束。每个充电站的容量应该大于辖区范围内的充电需求：



其中，表示充电中充电接口的日可用时间；表示充电站中充电接口的空置率。

(b).充电站数量约束。规划的充电站总数过小会使得充电站规模过大，城市中显然难以建设规模很大的充电站；规划的充电站总数过多会使得充电站规模小且密集分布，也会影响到城市建设的总体布局，因此有必要对规划的充电站总数予以约束：



其中，分别表示充电站总数的下限和上限。

(c).充电站容量约束。受制于电力管线或输电成本等因素，通常每个充电站的容量也需加以约束，此处把充电站中充电接口的数量加以约束：



(d).逻辑约束。显然，充电站中充电接口数量与表示充电站是否建造的二元变量之间存在逻辑上的约束：当时，，表示第个充电站建有个充电接口；当时，，表示第个充电站不建造。因此可以构建如下的逻辑约束：



其中，为一个足够大的实数。另外，和均为0-1变量，为非负整数，因此可以写出：



相应的充电需求必须在某一充电站内予以满足，故有：



说明书

一种新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法

技术领域

本发明涉及一种城市电动汽车充电设施规划，尤其是涉及一种新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法。

背景技术

受制于能源短缺与环境恶化的双重压力，新能源应用技术飞速发展，交通领域的代表便是电动汽车。今年来，电动汽车受到了世界各国政府的重视和支持，相关产业蓬勃发展，电动汽车产销量不断上扬。以我国为例，截至2014年底，电动汽车保有量已达12万辆，预计2020年，我国电动汽车保有量将达500万辆。随着电动汽车保有量的逐步增加，作为电动汽车配套设施的充电装置也逐步引发相关领域的关注。充电设施建设的完备程度直接关系到电动汽车的销售与推广，充电设施布局的合理性直接关系到用户的顺利出行及城市的日常交通状况。

目前，针对城市电动汽车充电设施规划布局问题，国内外众多研究人员已经提出了一些解决方案。在这些解决方案中，典型的有：(1)以充电设施运营利润最大化为目标，考虑各电动汽车充电站站间距、固定建设成本以及电动汽车保有量等因素；(2)以充电设施建设投资成本及充电电量损失成本总和最小为目标，考虑电动汽车数量、行为特性等因素；(3)借鉴并应用图论领域的一些成果，如Voronoi图等，划分电动汽车充电站的辖区；(4)考虑其他一些因素，如交通信息、配电网网络结构、交通网络、容量约束等的规划模型。综上所述，现有的建模方法虽然考虑了各式各样的因素，但是在考虑电动汽车行为特性时都没有对电动汽车的充电需求做进一步的细致划分。

对电动汽车而言，其种类多种多样、行驶特性存在差异，这必然造成了电动汽车在充电需求上的巨大差异：根据行驶的急迫性，可以将电动汽车充电需求进一步细分为慢充、常规充电、快速充电。在充电设施布局过程中对上述规律予以考虑可避免某单一类型充电设施建设的不足或冗余，在快速充电需求较低的地理方位建设慢充或常规充电设施可极大降低充电设施建设成本，在交通压力大的地理方位建设快速充电站可极大地满足电动汽车用户的出行要求。由此可见，实现快-慢充电设施的综合布局将极大地实现城市整体充电设施布局的合理性。

发明内容

为解决上述问题，本文发明提出了一种考虑新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法，考虑不同类型电动汽车不同的充电需求实现快-慢充电设施的相互协调，更贴近实际地满足充电需求。

本发明的技术方案采用如下步骤：

## 对电动汽车充电需求进行预测及分类。

## 规划电动汽车慢速或常规充电桩。

## 简化提取城市主干道、次主干道道路网络以便规划快速充电站。

## 对候选快速充电站位置进行选择。

## 考虑充电站建设投资成本、运营成本及电动汽车用户充电成本，以年综合投资成本最小为目标函数建立数学模型求取快速充电站布局位置及容量。

所述的步骤1)中的对电动汽车充电需求进行预测及分类，具体思路为：

在交通流量、充电需求、道路状况等电动汽车充电设施规划过程中必须考虑的常规因素的基础上，进一步根据电动汽车类型及行驶特性将充电需求细化为慢充、常规充电、快充三种。慢充和常规充电行为通常发生在居民小区、公共停车场等地，可以由该地区配置的充电桩来满足。对于快速充电站规划，首先从城市交通网络中提取主次干道作为充电设施建设的候选位置，然后考虑各条路上的交通状况并确定相应的充电需求并根据此结果在路线上选取合理的建设位置。

首先介绍电动汽车充电需求预测及分类方法：

电动汽车的充电需求可以通过日平均行驶里程、单位里程能量消耗等因素来计算：



其中，为电动汽车类型，为蓄电池容量，为平均里程。不同类型电动汽车数量可以通过该区域总的机动车保有量来计算：



其中，为第年该地区总的机动车保有量，为第年型电动汽车在该地区的占比；为第年型电动汽车渗透率。

总的充电需求可以认为是慢充需求、常规充电需求、快速充电需求三者之和：



不同的充电需求有其对应的最佳的充电模式，我国于2012年发布了电动汽车充电接口的相关标准如表1所示。

根据不同电动汽车的行驶行为，可以近似地给出各种电动汽车三种不同充电需求所占的比例，如表2所示。

所述的步骤2)中规划电动汽车慢速或常规充电桩，具体步骤为：

对于慢充或者常规充电电动汽车而言，其可以在停车地点进行相对长时间的慢速或常规充电，相对应的公共充电桩通常布局规划在办公地点或商业区的停车场。充电桩布局规模取决于该地区的充电需求，充电桩数量可以通过充电需求、充电功率、日平均充电时间以及充电桩空置率来计算：



因此，布局慢速或常规充电桩可以分为两步：1.计算不同区域所需充电桩总量；2.根据实际接口水平(水平1，水平2)确定特定的充电桩数量或分配比例。

所述的步骤3)中简化提取城市主干道、次主干道道路网络以便规划快速充电站的具体步骤为：

简化道路网络本质上是集合具备某些特点的道路的系统问题，其主要受两个因素的影响：高峰期和道路状况。高峰期时间决定了一个城市的交通特点；道路状况又取决于两个方面：1.该道路应该为主干道或次主干道；2.单相车道应多于两条。规划网络的解决方法如图1所示，可以利用CAD等规划软件实现。利用该方法提取的电动汽车充电站规划布局网络可以避免生活区对充电站布局的影响且与电动汽车的分布紧密结合，能够满足快速充电需求，确保电动汽车充电站之间的协同及城市整体规划的合理性。

所述的步骤4)中对候选快速充电站进行选择，具体方法为：

快速充电需求可以认为是电动汽车在道路上行驶期间产生的急迫的充电需求，其可以分配到道路网络的每一条分支上：对于长度不长的道路，可以成为快速充电需求处于该条道路的中点上。充电需求与交通流量以及道路长度成正比，交通流量越大道路越长意味着快速充电需求越多：



对于一个给定的城市道路网络，若经过网络提取后道路长度不长，则可以根据道路具体情况、环境因素、政策因素以及地理信息等选取1至2个充电站布局候选位置。

所述的步骤5)中考虑充电站建设投资成本、运营成本及电动汽车用户充电成本，以年综合投资成本最小为目标函数建立数学模型求取快速充电站布局位置及容量，具体方法为：

考虑充电站建设投资成本、运营成本及电动汽车用户充电成本，以年综合投资成本最小为目标函数：



其中，为充电站建设投资成本，包括固定成本及与规模相关的可变成本；为充电站运营成本，包括人力成本、电量购买成本以及用户使用充电设施的成本。电动汽车用户充电成本与其与充电站的距离及充电需求相关。具体的建设投资成本及充电站运营成本可计算如下：





其中，表示候选充电站总数；为表示第个充电站是否建设的0-1变量，若第个充电站建设取值为1，反之为0；为充电站建设的固定成本；表示第个充电站中充电接口的数量；为单个充电接口的成本；表示单位功率的变换成本；表示单个充电接口的功率；表示划分的区域总数；表示单位行驶距离下单位充电需求所对应的充电成本；为表示区域的充电需求是否被充电站所满足，若是，则取值为1，反之取值为0；表示从区域至充电站最短路径所需的行驶距离；表示区域的充电需求；为充电站单位容量的运营成本。

年平均投资成本是决策变量和的线性函数，可以利用资产回收系数将未来的成本这算至当前，资产回收系数的计算方法为：



其中，表示贷款利率，为所规划充电站的使用寿命(年)。

约束条件：

(a).充电需求约束。每个充电站的容量应该大于辖区范围内的充电需求：



其中，表示充电中充电接口的日可用时间；表示充电站中充电接口的空置率。

(b).充电站数量约束。规划的充电站总数过小会使得充电站规模过大，城市中显然难以建设规模很大的充电站；规划的充电站总数过多会使得充电站规模小且密集分布，也会影响到城市建设的总体布局，因此有必要对规划的充电站总数予以约束：



其中，分别表示充电站总数的下限和上限。

(c).充电站容量约束。受制于电力管线或输电成本等因素，通常每个充电站的容量也需加以约束，此处把充电站中充电接口的数量加以约束：



(d).逻辑约束。显然，充电站中充电接口数量与表示充电站是否建造的二元变量之间存在逻辑上的约束：当时，，表示第个充电站建有个充电接口；当时，，表示第个充电站不建造。因此可以构建如下的逻辑约束：



其中，为一个足够大的实数。另外，和均为0-1变量，为非负整数，因此可以写出：



相应的充电需求必须在某一充电站内予以满足，故有：



本发明的有益效果是：

本发明能够差异化地考虑电动汽车不同的充电需求，能够实现快充-慢充分类、分区的协调布局，在使充设施建设成本及用户充电成本最小的前提下能够更贴近实际地满足各类电动汽车的充电需求。

附图(表)说明

表1 中国电动汽车不同充电模式分类

表2 不同类型电动汽车各种充电需求占比

表3 各类型电动汽车数量预测

表4 各种型号电动汽车参数

表5 快速充电站充电接口数量

图1 交通道路网络简化原理示意图

图2 杭州2030年电动汽车快速充电站布局

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：

本发明选取杭州为例验证本发明所提新型的考虑快-慢充结合的城市电动汽车充电设施规划方法。表3表4分别给出了杭州各种类型电动汽车数量预测结果及典型型号的电动汽车参数，运用本发明对杭州2030年快速充电站布局进行分析。对于慢速充电站及常规充电站，由于其通常布局于居民小区、办公区、商城、公共停车站，数量繁复，本发明未在相应的图中予以标示。图2给出了杭州2030年快速充电充电站布局策略，从图中可以看出，快速充电站多位于城市主干路，且多位于主干路交叉口；对于较长的主干路，在道路的中段也应布局相应的快充电站。表5给出了所布局的22个快速充电站内所应设置的充电接口数。具体实施例验证了本发明的有效性和有效性。

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）

表1 中国电动汽车不同充电模式分类

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 额定电压 | 额定电流 | 适用地点 | 充电类型 |
| 等级1 | 220V AC | 16A | 家庭，办公区 | 慢充 |
| 等级2 | 220V AC | 32A | 商场，公共停车场 | 常规充电 |
| 等级3 | 750V DC | 400A | 充电站，高速公路服务区 | 快充 |

表2 不同类型电动汽车各种充电需求占比

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 电动汽车类型 | 慢速充电需求 | 常规充电需求 | 快速充电需求 |
| 长时出租车 | --- | 50% | 50% |
| 短时出租车 | --- | --- | 100% |
| 公务电动车 | 80% | --- | 20% |
| 私人电动车 | 82% | 10% | 8% |

表3 各类型电动汽车数量预测

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 时间(年) | 出租车(辆) | 公务车(辆) | 私人电动车(辆) |
| 2020 | 6.6646 | 6.2026 | 461.5 |
| 2025 | 8.6547 | 9.1656 | 568.4 |
| 2030 | 11.587 | 11.8994 | 701.2 |

表4 各种型号电动汽车参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 汽车型号 | 电池容量  (kW·h) | 续航里程  (km) | 占比 |
| Zotye 5008 | 32 | 180 | 8.24 |
| Roewe E50 | 24 | 150 | 16.55 |
| BYD-E6 | 60 | 280 | 28.89 |
| Nissan Leaf | 24 | 150 | 19.85 |



图1 交通道路网络简化原理示意图



图2 杭州2030年电动汽车快速充电站布局

表5 快速充电站充电接口数量

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 快速充电站 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 接口数量(个) | 15 | 13 | 16 | 14 | 14 | 14 | 13 | 12 | 13 | 15 | 16 |
| 快速充电站 | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** |
| 接口数量(个) | 11 | 12 | 16 | 15 | 13 | 14 | 14 | 12 | 11 | 15 | 15 |