

Prediction of Electric Vehicles Ownership and Charging Facilities

Changshou Xiong^{1*}, Di Wu¹, Tao Chen²

¹Chongqing Electric Power Corporation, Chongqing

²Chongqing Electric Power Test and Research Institute, Chongqing

Email: *xcscqep@163.com

Received: Oct. 28th, 2011; revised: Dec. 1st, 2011; accepted: Dec. 3rd, 2011.

Abstract: A reasonable planning and construction of electric vehicle charging facilities can not only improve the operation efficiency of charging facility, but also can reduce the harm to the grid. Therefore, in the paper the analysis on the pure electric vehicle charging facilities needs are carried out. Firstly analysis of the current car ownership forecasting methods is discussed, and method to forecast the ownership of electrical vehicle (EV) is presented. Then the ownership of EV in Chongqing is analyzed, and results indicate that the method presented in this paper can calculate the EV owner ship correctly. In the end the method to evaluate the requirement of EV charging faculties is presented, and the requirement of EV charging faculties in Chongqing is analyzed.

Keywords: Pure Electric Vehicles; Ownership; Charging Station; Charge Pile

纯电动汽车保有量预测以及充电设施需求分析

熊长寿^{1*}, 吴 喙¹, 陈 涛²

¹重庆市电力公司, 重庆

²重庆电力试验科学研究院, 重庆

Email: xcscqep@163.com

收稿日期: 2011 年 10 月 28 日; 修回日期: 2011 年 12 月 1 日; 录用日期: 2011 年 12 月 3 日

摘 要: 电动汽车充电设施的合理规划与建设不仅能够提高充电设施的运营效益, 还能够减小对电网的谐波危害等。因此论文对纯电动汽车充电设施的需求分析方法进行了研究。首先分析了现有汽车保有量预测方法的不足, 提出了基于残差灰色模型的纯电动汽车汽车保有量的预测方法。并以重庆市为例, 对重庆市的纯电动汽车保有量进行了预测, 验证了论文提出的预测方法的准确性, 并得出了今后 10 年电动汽车保有量。根据充电设施的建设原则, 提出了充电设施的需求分析计算方法, 在此基础上对重庆市充电站的建设进行了需求分析, 得出了重庆市的纯电动汽车充电站与充电桩的需求数量。

关键词: 纯电动汽车; 保有量; 充电站; 充电桩

1. 引言

电动汽车产业的发展已经得到了全球各国政府的支持。电动汽车的规模化发展, 需要完善的基础配套设施, 为电动汽车的动力电池提供电能补给。其中电动汽车充电设施建设及运营是重要环节之一, 对于电动汽车产业发展至关重要^[1-3]。

我国政府着眼长远, 超前部署, 长期以来积极组

织开展电动汽车的自主创新。“十五”、“十一五”期间电动汽车列入国家 863 计划。“十二五”期间国家已经制定了电动汽车产业推广的各种政策。同时国家电网公司也于 2009 年开始了电动汽车充电设施的建设, 电动汽车充电设施的建设能够确保电动汽车的推广应用。对于各个电网企业而言, 开展电动汽车充电设施的建设, 不仅需要提供好的服务以提高电网企业的社会效益, 更重要的是需要一个合理的规划, 从

而使得电网企业在电动汽车充电设施的建设与运营中取得经济效益。

因此电动汽车充电设施的合理规划与需求分析对电网企业而言是非常重要的。论文针对纯电动汽车的充电设施建设的需求分析进行了研究。首先研究了基于残差 GM(1, 1)模型的纯电动汽车的保有量的预测方法,通过预测电动汽车的保有量,得出充电需求,进而根据充电需求计算充电站与充电桩的需求。论文最后以重庆地区的电动汽车充电设施建设为例,采用论文中研究的方法对电动汽车的保有量以及充电设施的需求进行了预测。

2. 纯电动汽车保有量预测模型

2.1. 灰色预测模型

汽车保有量预测的已知信息中,包括部分已知的信息(汽车保有量的历史数据)与位置信息(政策等因素的影响),因此就其已知信息而言,汽车保有量的已知信息属于灰色信息,因此论文采用灰色预测模型对汽车保有量进行预测。灰色预测模型的原理是通过灰色生成或序列算子的作用弱化随机性,挖掘潜在的规律,经过差分方程与微分方程之间的互换实现了利用离散的数据序列建立连续的动态微分方程的飞跃。所谓数列预测即对系统变量的未来行为进行预测,常用的数列预测模型是 GM(1, 1)^[4-6]。

GM(1, 1)是灰色预测模型中最基本的一种,在 GM(1, 1)模型基础上,人们提出了许多提高拟合和预测精度的模型和方法。其主要包括新息、模型,等维递补模型,等维新息、模型,边值修正模型,参数估计方法,残差修正模型以及加权,优化等。

GM(1, 1)模型是数据预测中最为常用的一种动态灰色预测模型,下面简单介绍其建模过程。GM(1, 1)模型是基于累加生成的数列预测模型,它由一个单变量的一阶微分方程构成,步骤如下:

1) $x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)$ 是所要预测的指标的原始数据序列。对原始数据进行一次累加处理,即

$$x^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i x^{(0)}(k) \quad (1)$$

根据公式(1),可以得到一个新的序列。这个新的数据序列与原始数据相比,随机性程度大大弱化,平

稳性大大增加。

2) 将新数据序列的变化趋势近似地用公式(2)所示的微分方程描述。

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)} = \mu \quad (2)$$

式中 α, μ 为辨别参数,可以通过公式(3)所示的最小二乘法拟合得到。

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \mu \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T B^T \quad (3)$$

3) 求出预测模型。GM(1, 1)微分方程的解为

$$X^{(1)}(t) = \begin{cases} x^{(0)}(1) & t = 1 \\ \left[X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha} \right] e^{-\alpha(t-1)} + \frac{\mu}{\alpha} & t = 2, 3, \dots, N \end{cases} \quad (4)$$

拟合公式为

$$X^{(0)}(t) = \begin{cases} x^{(0)}(1) & t = 1 \\ X^{(1)}(t) - X^{(1)}(t-1) & t = 2, 3, \dots, N \end{cases} \quad (5)$$

2.2. 残差 GM(1, 1)模型

因此,用 GM(1, 1)模型进行预测,精度较高的仅仅是距离起始点最近几个点的数据。一般来说,越是远离时间原点,GM(1, 1)的预测精度越低,其预测意义也就越弱。所以在本文的实际应用中,采用残差建立 GM(1, 1)模型,以修正原模型^[7,8]。

根据公式(3)、(4),计算得出 $\hat{x}^{(1)}(k)$ 。设 $\hat{x}^{(1)}(k)$ 的残差为 $\varepsilon^{(0)}(k)$, 则:

$$\varepsilon^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k)$$

因此可以得到一个残差序列:

$$\varepsilon^{(0)}(k) = \{\varepsilon^{(0)}(1), \varepsilon^{(0)}(2), \dots, \varepsilon^{(0)}(n)\}$$

$\varepsilon^{(0)}$ 所对应的生成数列分别为

$$x^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n')] \quad \text{与其还原数列} \\ \hat{x}^{(1)} = [\hat{x}^{(1)}(1), \hat{x}^{(1)}(2), \dots, \hat{x}^{(1)}(n)]$$

一般有 $n' \leq n$, $\varepsilon^{(0)}$ 的生成列为

$$\varepsilon^{(1)}(k) = \{\varepsilon^{(1)}(1), \varepsilon^{(1)}(2), \dots, \varepsilon^{(1)}(n')\}$$

对 $\varepsilon^{(1)}$ 建立 GM(1, 1)模型,其微分方程的解为

$$\hat{\varepsilon}^{(1)}(k+1) = \left(\varepsilon^{(0)}(1) - \frac{u_\varepsilon}{\alpha_\varepsilon} \right) e^{-\alpha_\varepsilon k} + \frac{u_\varepsilon}{\alpha_\varepsilon}$$

其中, u_ε 和 α_ε 为对生成序列 $\varepsilon^{(1)}$ 建立的微分方程中的待辨别参数。

$\hat{\varepsilon}^{(1)}(k+1)$ 的导数为:

$$\hat{\varepsilon}^{(0)}(k+1) = -\alpha_\varepsilon \left(\varepsilon^{(0)}(1) - \frac{u_\varepsilon}{\alpha_\varepsilon} \right) e^{-\alpha_\varepsilon k}$$

采用 $\hat{\varepsilon}^{(0)}(k+1)$ 修正, 得到修正后的模型为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{\alpha} \right) e^{-\alpha_\varepsilon k} + \frac{u}{\alpha} + \delta(k-i) \left(-\alpha_\varepsilon \right) \left(\varepsilon^{(0)}(1) - \frac{u_\varepsilon}{\alpha_\varepsilon} \right) e^{-\alpha_\varepsilon k}$$

其中 $\delta(k-i) = 0$ 或 1 。

如果是对已经经过数据还原的模型修正, 则相应地有数列:

$$\begin{aligned} x^{(0)} &= \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\} \\ \hat{x}^{(0)} &= \{\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \dots, \hat{x}^{(0)}(n')\} \end{aligned} \quad (6)$$

残差 $q^{(0)}(k)$ 为:

$$q^{(0)}(k) = \{q^{(0)}(2), q^{(0)}(3), \dots, q^{(0)}(n)\} \quad (7)$$

$$q^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$$

上式中的 $\hat{x}^{(0)}(k)$ 为下式的数据:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = -\alpha \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{\alpha} \right) e^{-\alpha k} \quad (8)$$

若通过残差 $q^{(0)}$ 建立的 GM(1, 1) 的模型为:

$$\hat{q}^{(1)}(k+1) = \left(q^{(0)}(1) - \frac{u_q}{\alpha_q} \right) e^{-\alpha_q k}$$

则 $\hat{q}^{(1)}(k+1)$ 的导数为:

$$\hat{q}^{(0)}(k+1) = -\alpha_q \left(q^{(0)}(1) - \frac{u_q}{\alpha_q} \right) e^{-\alpha_q k}$$

修正后的模型为

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k+1) &= -\alpha \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{\alpha} \right) e^{-\alpha k} \\ &+ \delta(k-i) \left(-\alpha_q \right) \left(q^{(0)}(1) - \frac{u_q}{\alpha_q} \right) e^{-\alpha_q k} \end{aligned} \quad (9)$$

其中 $\delta(k-i) = 0$ 或 1 。

2.3. 重庆电动汽车保有量预测

汽车保有量的预测需要有历史数据作为样本数据, 而电动汽车发展还处于起步阶段, 没有过多的历

史数据作为参考, 因此电动汽车的保有量的预测无法像民用汽车保有量一样, 直接根据历史数据, 采用 GM(1, 1) 模型对其进行预测分析。因此对于电动汽车保有量预测将采用以下方法:

1) 根据目标地区民用汽车的保有量, 对目标地区未来一段时间内民用汽车保有量进行预测;

2) 根据全国民用汽车的历史数据, 对全国电动汽车保有量将来一段时间内的保有量进行预测;

3) 采用三次 Hermite 插值方式根据发改委对全国电动汽车未来 20 年的规划数据, 对未来一段时间内全国电动汽车保有量进行预测分析。

4) 根据目标地区、全国的民用汽车保有量, 全国的电动汽车保有量, 对目标地区电动汽车保有量进行预测分析。即目标地区的电动汽车保有量为:

$$OW_{EVOBJ} = OW_{EVT} \times \frac{OW_{COBJ}}{OW_{CT}} \times \lambda \quad (10)$$

式中:

OW_{EVOBJ} : 目标地区电动汽车保有量;

OW_{EVT} : 全国电动汽车保有量;

OW_{COBJ} : 目标地区民用汽车保有量

OW_{CT} : 全国民用汽车保有量;

λ : 地区系数, 即目标地区电动汽车的支持政策等因素决定的比例系数。图 1 为电动汽车保有量预测流程图。

3. 充电设施需求分析

3.1. 充电设施需求方法

电动汽车充电设施规划包括“需求”和“可能性”

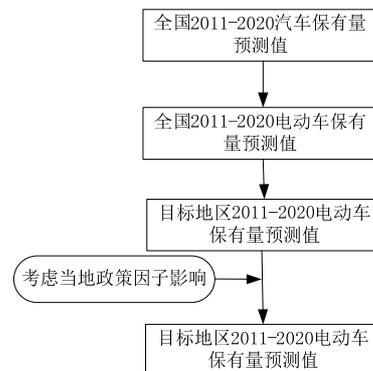


Figure 1. Flow chart for the forecast of electric vehicle ownership
图 1. 电动汽车保有量预测流程图

两个因素。充电站与充电桩的规划应该遵循以下规则 [9,10]：

- 1) 充电站分布与电动汽车交通密度和充电需求的分布一致性。
- 2) 充电站的布局应符合充电站服务半径要求。
- 3) 充电站的设置应满足城市总体规划和路网规划要求。
- 4) 充电站的设置应充分考虑本区域的输配电网现状。
- 5) 充电站规划应充分考虑电动汽车未来发展趋势。

根据各地市的建成区面积对建成区充放电设施(包括充(放)电站和充放电桩(柱))数量进行总体规划。充电站的规划计算公式如下：

$$N = \frac{S}{\pi R^2} \tag{11}$$

式中， N 为充放电总体数量； S 为城市的建成区面积； R 为充电站服务半径，取 0.9~1.5。

假定目标地区机动载客车辆数目为 C_i ，建成区面积为 S_i ，单位面积的车辆数目 $D_i = C_i/S_i$ ，则 R_i 的计算公式为：

$$R_i = R_{\max} - \frac{D_i - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \times (R_{\max} - R_{\min}) \tag{12}$$

3.2. 重庆市充电设施需求分析案例

3.2.1. 重庆市电动汽车保有量预测

根据重庆市民用汽车保有量的历史数据，利用残差 GM(1, 1)模型对 2011~2020 年的重庆民用汽车保有量进行了预测，考虑到重庆是直辖市，在西部地区电动汽车的推广中应该起到模范作用，但是又由于重庆地处山城，这阻碍电动汽车的发展。因此这里将重庆地区的政策系数令为 1.0。得出重庆 2011~2020 民用汽车保有量预测数据见表 1。

依据 2000~2007 年我国民用汽车保有量统计资料，采用残差 GM(1, 1)对我国 2010 年至 2020 年汽车保有量进行预测图 2 为我国 2010 年至 2020 年民用汽车保有量预测值，可以看出我国民用汽车保有量将在 2010 年突破 1 亿大关，015 年将接近 1.5 亿，2020 年将接近 3 亿。未来 10 年内，民用汽车增长速度较快。

Table 1. The cars ownership forecast of Chongqing
表 1. 重庆民用汽车保有量预测(万辆)

年份	2011	2012	2013	2014	2015
重庆民用汽车保有量	278.53	327.68	385.52	453.56	533.61
年份	2016	2017	2018	2019	2020
重庆民用汽车保有量	627.79	738.59	868.95	1022.31	1202.7

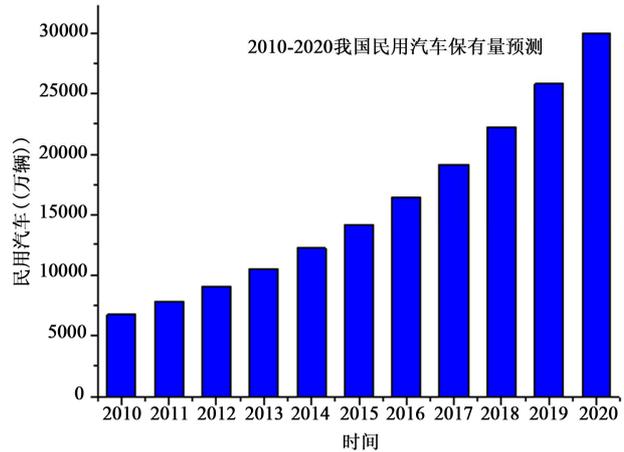


Figure 2. Ownership of civil cars in China from 2010 to 2020
图 2. 我国 2010 年至 2020 年民用汽车保有量预测

为了验证模型的准确性，对我国民用汽车保有量历史值进行还原，得出结果如表 2 所示。模型预测得到的百分平均相对误差为：1.2663%，表 2 为还原数据与历史统计数据的比较，因此模型的准确性得以验证。

根据全国电动汽车 2011~2020 年保有量的估计，以及对重庆 2011~2020 年民用气成保有量的估计，利用残差 GM(1, 1)模型对 2011~2020 年重庆电动汽车保有量进行了预测，预测数据如表 3 所示。

3.2.2. 重庆市充电设施需求分析

借鉴目前已经发展成熟的燃油汽车车辆数据和停车场数据，截止 2009 年底，重庆市主城区经营性停车场总数已达 2387 个，总停车位 27.8 万个，总停车面积约 1842 万平方米。

按照每个停车场配 20 个充电桩，则 2020 年，电动汽车充电桩(柱)的数量为 47,740 个。除以建成区面积，则每平方公里的充电桩(柱)的数量约为 74 个。

根据充电站配置的基本原则，并结合重庆市建成区情况和道路情况，2020 年重庆市城区高速公路以及一级公路充电站建设配置规模以及充电桩数量如表 4 所示。

Table 2. Comparison of civilian cars between the restore values and statistics

表 2. 民用汽车保有量预测还原值与统计值比较

时间	2000	2001	2002	2003
统计值(万辆)	1608.91	1802.04	2053.17	2382.93
预测值(万辆)	1608.91	1750.24	2032.508	2360.28
时间	2004	2005	2006	2007
统计值(万辆)	2693.71	3159.66	3697.35	4358.36
预测值(万辆)	2740.92	3182.95	3696.26	4292.35

Table 3. The electric vehicles ownership forecast of Chongqing

表 3. 重庆市电动汽车保有量预测(万辆)

年份	2011	2012	2013	2014	2015
重庆电动汽车保有量(万辆)	0.032	0.31	1.02	1.97	3.11
年份	2016	2017	2018	2019	2020
重庆电动汽车保有量(万辆)	5.57	8.36	12.15	15.44	18.74

Table 4. The charging station and charging pile demand forecast of Chongqing

表 4. 重庆市充电站充电桩需求预测

2020 年	充电站数量	充电桩数量(每平方公里)
重庆市	92 个	74 个

4. 结论

论文研究了基于残差 GM(1, 1)模型的电动汽车保有量预测方法, 并利用残差 GM(1, 1)模型对全国的民用汽车保有量进行了预测, 并用预测值与统计值进行

了对比, 使得误差控制在 3%左右, 从而验证了残差 GM(1, 1)模型对汽车保有量预测的准确性; 然后针对重庆民用汽车保有量历史数据, 对重庆民用汽车保有量进行了预测, 得出了 2011 年~2020 年重庆民用汽车保有量预测数据, 并根据全国电动汽车保有量预测数据利用残差 GM(1, 1)模型对重庆 2011 年~2020 年 10 年的电动汽车保有量进行了预测。最后根据电动汽车保有量, 对充电设施需求分析方法进行了研究, 并计算了重庆市纯电动汽车充电设施的需求量。

参考文献 (References)

- [1] 辛华. 低碳经济与电动汽车发展:趋势与对策[J]. 开放导报, 2009, 10(5):31-35.
- [2] Y.-T. Hsu, C.-S. Cheng and C.-C. Wu. Grey dynamic modeling and prediction control of macroeconomic system. Journal of Grey System, 1997.9(3): 219-232.
- [3] R. Bass, R. Harley, F. Lambert, et al. Residential harmonic loads and EV charging. Power Engineering Society Winter Meeting, 2001, 2: 803-808.
- [4] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992.
- [5] 刘思峰, 党耀国, 方志耕等. 灰色系统理论及其应用(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] J. C. Gomez, M. M. Morcos. Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems. IEEE Transactions on Power Deliver, 2003, 18(3): 975-981.
- [7] W. Kempton, J. Tomic. Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. Journal of Power Sources, 2005, 144(1): 280-294.
- [8] A. W. Rashid, D. G. Matthias, B. Michael, et al. Plug-in hybrid electric vehicles and smart grid: Investigations based on a micro-simulation. The 12th International Conference of the International Association for Travel Behaviour Research, Jaipur, 2009.
- [9] 康继光, 卫振林, 程丹明等. 电动汽车充电模式与充电站建设研究[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(5): 64-66.
- [10] 徐凡, 俞国勤, 顾临峰等. 电动汽车充电站布局规划浅析[J]. 华东电力, 2009, 17(10): 1678-1682.