

文章编号:1007-5429(2015)05-0111-08

考虑服务容量的充电站选址问题

黄振森, 杨 珺

(华中科技大学 管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对电动汽车充电站的选址问题,在现有的选址模型的基础上加入充电站服务容量的因素,并将服务容量延伸为充电站充电桩的数量和用电配额两方面,建立了一个新的充电站选址的整数规划模型。该模型的目的是在满足各个地点的电动汽车对电量需求的前提下,最小化充电站建设总成本。接着,将模型应用到湖北省高速公路网电动汽车充电站建设规划的案例中去,通过对模型的求解来对该地区的充电站的选取与规模的大小进行分析,给出湖北省高速公路网充电站建设规划的解决方案。最后,针对车辆的最大行驶范围和安全电量水平两个参数来对模型进行了敏感度分析,发现行驶范围和安全电量水平是影响充电站建设的重要因素。

关键词: 选址模型; 服务容量; 电动汽车

中图分类号: U491

文献标识码: A

Problem of Locating Electric Vehicle Refueling Stations with Service Capacity

HUANG Zhen-sen, YANG Jun

(School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper studied the problem of locating electric vehicle refueling stations. Based on the existing models, we purposed a new model using an integer programming method which took service capacity of refueling stations in to consideration. The aim is to simultaneously serve intercity and intra-city travel and minimize the construction cost while satisfying demand of electric power from refueling stations. The model divided the service capacity into two parts: the number of charging point and the maximum electricity available. A numerical example using freeway network in Hubei province of China was given. We analyzed the result and drew conclusion about the characteristic of station selected. Some sensitivity analysis about this model was showed. Two factors are mainly considered: the maximum range and the safety electric quantity remained of EV, and the results under different conditions. The result showed that two factors had a great effect on the number of stations and the construction cost. Based on the non-inferior solutions, decision makers can thus better formulate viable station-deployment plans.

Key words: location model; service capacity; electric vehicle

收稿日期:2015-01-20; 修回日期:2015-03-20

基金项目:国家自然科学基金重大资助项目(71320107001);中央高校基本科研业务专项资金资助项目(HUST:2015QN175);武汉黄鹤英才专项计划资助项目

作者简介:黄振森(1991),江苏南通人,硕士研究生,主要研究方向为网络优化与设计,E-mail:huangzhensen@hust.edu.cn。

1 引言

近年来,由于化石能源的短缺以及大气污染的日趋严重,人们开始寻找新的能源来应对这些问题,特别是在交通运输行业,汽车尾气的排放已经成为了造成大气污染的主要原因之一。由此,电动汽车逐渐进入了人们的视野中。电动汽车是一种以车载能源为动力,用电驱动车轮行驶的汽车。它的使用将大大降低化石能源的消耗,为能源的可持续发展提供很大的帮助。国内外许多国家都开始了对电动汽车的研究与开发,我国政府也决定将电动汽车产业的发展作为未来的发展方向。《国务院关于加强培育和发展战略性新兴产业的决定》指出,新能源汽车产业要“着力突破动力电池、驱动电机和电子控制领域关键核心技术,推进插电式混合动力汽车、纯电动汽车推广应用和产业化。同时,开展燃料电池汽车相关前沿技术研发,大力推进高效、低排放节能汽车发展”^[1]。

然而,电动汽车在我国的发展面临着许多现实的问题,这些问题可以分为两类,第一类问题是电动汽车本身的缺陷,总结为两点:① 高昂的造价。由于这是一个新兴的产业,建造的成本与传统的汽车相比要高,这使得消费者在选择的过程中会更加倾向于传统的燃料汽车。② 行驶范围的限制。与传统汽车相比,电动汽车的续航能力要弱,电池容量小,这对于那些需要长途驾驶的人群来说将不是一个很好的选择。第二类问题是充电设施的缺乏,由于电动汽车续航能力较低,为了满足长途旅行的消费者的需求,就需要建立充足的充电站。只有充电站等基础设施足够完善,才能够吸引消费者去选择电动汽车,生产商才会愿意去研发和生产电动汽车,从而以需求增长的方式推动行业的发展^[2,3]。因此,对于电动汽车充电站的建设成为了推动电动汽车发展的首要问题^[4]。

在建站选址的研究方面,绝大多数的研究都是从一个交通网络中解决设施选址的问题。网络中的需求分为两类:一类是点需求,将网络中的需求归结为一些设有点,通过站点的选取来满足这些需求点的需要。Church and ReVelle (1974)提出了以点需求为基础的最大化需求覆盖的选址问题(MCLM)来满足网络中需求覆盖的最大化^[5]。另一类是由 Hodgson (1990) 和 Berman et al. (1992) 服务站截流模型(FCLM),该模型将需求考虑为网络路径中流动的需求,如果该需求经过选址点便会

被服务,最终使得网络中流动需求的最大化^[6,7]。Hodgson (1992)将 FCLM 运用到了一个现实的案例,加拿大埃德蒙顿的交通网络中,对选址问题的发展起到了推进作用^[8]。Hodgson and Rosing (1992)将 P 中值问题与截流模型(FCLM)结合在一起,P 中值问题是以点需求为基础,满足网络中需求点到服务站距离最小化的模型,作者通过一个权重将两个模型结合在一起得到一个混合选址模型,并分析了两模型彼此的影响,得到 P 中值模型更易受到 FCLM 的影响^[9]。Kuby and Lim (2005)对 FCLM 进行了发展,考虑了车辆行驶范围以及路径长度的限制,提出了针对可替代能源汽车的能源补充截流模型(FRLM),模型的目标是使得网络中满足填充燃料车辆的需求最大化^[10]。Zeng et al. (2010)进一步发展了 FCLM 模型,提出了以基于流量需求的广义的服务站选址模型(GFIM),该模型仅需要对约束或者数据进行修改便可以解决绝大多数的截流问题^[11]。

以上的研究是对于传统服务站的选址问题的研究,Wang(2009)将选址问题运用到了电动汽车充电站中,从电动汽车的充电设施选址问题出发考虑,研究了休闲娱乐导向的电动汽车充电站设施的优化选址问题^[12]。Wang(2010)基于集合覆盖的问题,将加油站的选址模型的最小建设成本与最大化的人口覆盖结合在一起,通过权衡这两个因素来比较经济地给出加油站建设的解决方案,并且通过台湾旅行路线加油站的建设案例,将模型推广到现实中去^[13]。Chung, S. H. and Kwon, C. (2015)考虑了一个基于多阶段建造计划的充电站选址问题,该模型将站点的建造分为多个时间阶段,最终满足总体流量覆盖最大化^[14]。Jun Yang and HaoSun(2014)提出了电动汽车换电站在行驶范围线之下的选址与路径优化模型,并用 SIGALNS 和 TS-MCWS 两种启发式算法对模型进行求解^[15]。

本文的模型是根据 Wang(2009)为基础进行的拓展,在 Wang 的模型中考虑到了车辆行驶能力的限制,在满足所有车辆可以完成旅行的前提下,使得总的建站成本最小^[12]。但是在 Wang 的模型中,作者假设每个充电站都是等同的,并没有区别,事实上,由于车流量以及路径长度等原因,充电需求是不同的,因此充电站建设的规模不一样,成本也将不同。本文便考虑了这种情况,引入了服务容量的因素,这里容量可分为充电站充电桩的数量和充电站的用电配额两个方面,这两个方面可以相应地转换

为充电站的可变成本及运营成本在模型中体现,这样便提出了考虑服务容量的选址模型。该模型的意义在于它使得在规划交通网络中电动汽车充电站时能够考虑需求的状况建造合适容量的站点来减少总的建设成本。文章的最后搜集了湖北省高速公路网的交通信息,并将新的模型应用到对湖北省高速公路网电动汽车充电站的规划中来进行求解,给出相应的解决方案。

2 模型

2.1 问题描述

本文研究了以车流量需求为基础的选址模型,考虑一个交通网络,每辆电动汽车都由一个起始点抵达一个终点,由于电动汽车最大电池容量及里程的限制,车辆必须在途中进行充电,否则将无法完成整个旅行。因此需要在途中建立足够的充电站来满足这些充电需求。由于工程预算等限制,我们要考虑在满足网络中充电需求的情况下如何使得总的建站成本最低。本文新考虑了服务容量的因素,服务容量指充电站一天内可以满足电动汽车充电的充电量,由于各地充电需求不同,电动汽车的充电量也不同,建造合适服务容量的充电站将减少充电站建设的总成本。本文将服务容量分为两个方面,分别为充电桩的数量和充电站的用电配额,用 I_i 和 $Q(I_i)$ 表示, $Q(I_i)$ 是 I_i 的一个线性函数与 I_i 成正比。表1给出了本文所有的变量定义。用电配额指电力公司为了保证电力的稳定,给每个充电桩限定一个最大的用电量。将这两个因素引入到充电站的可变成本和运营成本中去。得到目标函数如下:

$$\min Z = \sum_{i \in S} C_i X_i + \sum_{i \in S} P_i I_i + \sum_{i \in S} w_i Q(I_i)$$

目标函数中 $C_i X_i$ 表示在 i 点的固定成本,例如基础设施的费用,房屋的建设等; $P_i I_i$ 表示在建站 i 点处充电桩的成本,即可变成本部分,由于每个选址点流量需求的不同,充电需求也并不相同,因此建设充电桩的数量也并不相同; $w_i Q(I_i)$ 表示在充电站的运营费用,自然,运营成本还包括很多因素,例如员工的工资等,在模型中将不予考虑。在考虑服务容量的模型中,我们加入了与之相关的约束条件:

$$\sum_{m \in M} f_m R_{im} \leq Q(I_i)$$

该约束条件表示在站点 i 的总的服务量不能大于其总的用电配额。本文在此新的目标函数的基础上建立了考虑服务容量的充电站选址模型,使得三项成本的总和最低。

2.2 模型建立

电动汽车的充电模式分为三类:快速充电、慢速充电以及电池交换。在本文的模型中只考虑快速充电的情况。此外模型满足以下的假设条件,包括车辆抵达目的地是沿着最短行驶路径行驶的;车辆的类型一样即最大行驶范围是相同的且是一个常数;车辆的电力消耗与补充量与行驶距离满足一个线性关系;车辆在充电时充电量并不要求充满,只需要完成整体旅行即可;每辆电动汽车起始的电量为总电量的一半。

由于该模型中假设所有的车辆都是沿着自己的能抵达终点的最短路径行驶的,因此可以从网络中得到所有车辆的行驶路径,车辆在路径的充电行为符合 Wang(2009)^[12]中所提到的充电逻辑假设。我们拿一个简单的旅行路径作为例子来分析其充电逻辑。

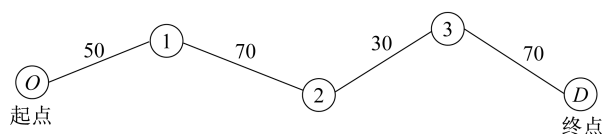


图1 随机O-D路径

如图1所示,车辆从起点 O 到终点 D 要经过3个地点,假设车辆的最大行驶范围是100km,汽车从起点处的电量是满的,那么点1处需要建立充电站,因为从 O 到1需要耗费50km的电量,剩余的电量只能行驶50km,而从点1到点2则有70km的距离,若是车辆在点1将电量充满,那么在点2处就没有必要建立加油站,因为车辆拥有足够的电量来完成从点1到点3的行驶,在点3处由于车辆已经耗尽了能量,因此点3处需要建立一个充电站以满足其可以到达最终的目的地。

从这个例子中可以得到车辆的充电逻辑,假设车辆 m 在一条路径 $(i \rightarrow j \rightarrow k)$ 上,那么车辆的充电逻辑可以描述为下面的几点:

(1) 车辆 m 要从点 i 到达点 j ,那么它就应当拥有充足的能源满足 i 和 j 两点之间的距离,否则在 i 点就必须建立一个充电站,可以用这样一个公式来表示, $B_{im} + R_{im} \geq d_{ij}$ 。在这里先假设 d_{ij} 与电量的数量是等价的,换句话说100单位的电力可以行驶100km的距离。

(2) 车辆在点 j 处的电量的剩余量等于点 i 处的电量剩余量加上点 i 处的电量补给量减去 ij 两点之间的距离,可以用下面这个公式来表示, $B_{jm} = (B_{im} + R_{im}) - d_{ij}$ 。

表 1 变量的定义

变量类型	变量	定义
集合	S	网络中所有可能建设加油站的点的集合
	M	网络中所有已知的路径的集合
	α	车辆本身的最大容量
	P_i	在点 i 处单位充电桩的价格
	w_i	在充电站 i 处的电价
参数	C_i	在点 i 处建立充电站的建设(固定)成本
	d_{ij}	ij 两点之间的距离
	δ_{ijm}	一个转换系数,将电量与距离进行转换
	H	一个很大的正数,这里我们取 10000
	I_i	在点 i 处充电桩的数量
	X_i	0-1 变量,如果 i 处建立充电站则为 1 否则为 0;
决策变量	B_{im}	车辆在经过路径 m 的 i 点时车辆自身所剩的电量
	R_{im}	车辆在经过路径 m 的 i 点时电量的补给量
	A_{im}	车辆在路径 m 的 i 点处电力补给的调整量
	Y_{im}	0-1 变量,如果车辆在路径 m 的 i 点充电则为 1,否则为 0

(3) 如果车辆要在点 i 处充电,那么它的充电之后的电量总量不能超过车辆本身最大的电力容量,可以用这个公式来表示, $R_{im} \leq \alpha - B_{im}$ 。

在符合车辆的充电逻辑前提下,以下为本文的选址模型:

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{i \in S} C_i X_i + \sum_{i \in S} P_i I_i + \sum_{i \in S} \tau_i Q(I_i) \\ & B_{im} \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$B_{jm} = (B_{im} + R_{im}) - d_{ij} \times \beta \quad (2)$$

$$R_{im} \leq \alpha - B_{im} \quad (3)$$

$$R_{im} = Y_{im} \times \alpha - A_{im} \quad (4)$$

$$\sum_{m \in M} f_m R_{im} \leq Q(I_i) \quad (5)$$

$$I_i \leqslant HX_i \quad (6)$$

$$\sum_{m \in M} Y_{im} \leqslant H X_i \quad (7)$$

$$I_i \geqslant 0 \text{ 且为整数} \quad (8)$$

$$R_{im} \geq 0, U_{im} \geq 0 \quad Y_{im} \quad X_i \in \{0, 1\} \quad (9)$$

目标函数表示固定成本、可变成本、运营成本，模型的总目标是让这三项成本的总和最小化。在约束条件中，约束条件(1)到(3)主要体现了充电逻辑的问题。约束条件(1)确保了电动汽车在抵达任何一条路径的任何一个点时，剩余电量非负，也就说明了电动汽车在上一个地点是有能力完成两点的路程的。约束条件(2)表示电动汽车的充电情况，即车辆到达地点 i 的剩余电量等于车辆到达上一个地点 j 的剩余电量加上在上一个地点的充电的量减去 ij

两点的旅程中车辆消耗的电量。约束条件(3)则对电动汽车在充电站的补给情况进行了限制,即电量的补充量是要小于车辆在这个点可以补充的最大容量的,换句话说在点 i 上,车辆的补充电量加上车辆的剩余电量要小于或者等于车辆本身的最大电量。约束条件(4)则对于车辆的电量补给进行了一个说明。模型中运用了一个中间变量 A_{im} , 来确定电车电量的补给量,事实上可以将这个约束条件与(4)合并为 $Y_{im} \times \beta - A_{im} \leq \beta - B_{im}$, 约束条件(5)是对服务能力的一个限制,即所有经过站点 i 的车辆在该站点的充电量总和要小于或者等于该站点的用电配额。约束条件(6)表示只有点 i 处建立了充电站才可以拥有充电桩;约束条件(7)表示的是车辆要在某一条路径的某一个点充电,那么前提是这个地点必须建立了充电站。约束条件(8)则对充电桩的取值范围进行了限定。约束条件(9)定义了其它几个变量的取值范围。

3 案例研究

本节将文中的选址模型应用到一个现实的交通网络案例中,该网络是湖北省高速公路网,本文尝试为这个交通网络提供一个充电站选址的解决方案。有关于湖北省的地理情况的数据如图 2 所示以及经过湖北省的高速公路的信息如表 2 所示。

表 2 湖北省高速公路分布情况

编号	高速名称	主要城市
G4	京港澳高速	武汉
G42	沪蓉高速	荆门、宜昌
G50	沪渝高速	黄石、武汉、荆州、宜昌
G55	二广高速	襄樊、荆门、荆州
G70	福银高速	武汉、孝感、襄樊、十堰



图2 湖北省交通网络情况

3.1 数据采集以及参数设置

在网络中,总共选择了湖北 17 个主要的城市作为研究对象,其中,神农架和恩施由于距离其它城市比较远且交通流量相对较少,因此将不予考虑。道路的流量用每天客运站的发车时间表给出的发车频率来表示。这里的客运站指的是武汉市傅家坡客运站,由湖北公路客运有限公司成立,其时刻表包含了湖北省内部行驶的大部分行驶路线,具有代表性。在这个算例中,总计选择了 20 条路径进行测试。具体的路径和流量如表 3 所示。有关于电动汽车的最大行驶范围,在 Yudai and Osamu(2009)中谈到电动汽车的最大行驶范围在 100km 到 200km^[16],但如今,由比亚迪官网 2014 年的数据可知,一台比亚迪 E6 纯电动汽车的行驶范围则有 300km,本文以比亚迪 E6 为标准来进行计算,这款车是比亚迪公司生产的第一款纯电动汽车,为同类车型之冠,较具有代表性。因此,本文将最大行驶范围定在 300km。在每一条路径起始点,我们假设车辆初始电量为最大储存电量的一半。

在充电站的成本方面,在 Jay (2009)中提出,一个充电站的基础建设成本约为 500000 美元^[17]。由于在计算流量方面采用的是每一天的流量,因此为了保证单位的统一,假定充电站可折旧的年限为 10 年,这样便可以计算出每天的固定成本为 137 美元。充电桩的成本方面,根据新浪每日经济新闻 2014 年 3 月 27 日的报到,国内一个普通充电桩成本在 1 到 3 万元,一个快速充电桩的成本在 10 到 20 万元,本文所研究的充电模式为快速充电的情况,因此将充电桩的成本定在中间值 15 万元。假设单个充电桩的折旧年限为 5 年,那么每天的单位充电桩的成本为 13.3 美元(汇率按 6.1 计算)。在充电桩的输出功率上面,由《新浪上海》2014 年 4 月 24 日提供新闻报道,在上海计划布局的充电桩中,为一般的电动汽车所提供的充电桩的输出功率为 20KW。我们假设充电桩能够每日持续工作,那么一个充电桩所能提供的最大电量为 $20 \times 24 = 480\text{KW} \cdot \text{h}$ 。有关于车辆的耗电情况,由于不同类型的电动汽车耗电不同,比亚迪 E6 的百公里耗电量为 $20\text{KW} \cdot \text{h}$ 。根据最大行驶范围 300km 的假设,车的最大储存电量为 $60\text{KW} \cdot \text{h}$ 。这样每公里的耗电量为 0.2,即转换系数 β 为 0.2。运营成本方面,按照湖北省 2014 年工商业用电的价格,每度电价为 0.9 元,转换为美元成本为 0.147 美元。因此在充电桩用电配额为 $480\text{KW} \cdot \text{h}$ 的情况下,其用电成本为 70.56 美元。

3.2 模型求解结果

基于以上的数据设置,我们对该案例进行测试运算。在模型的测试上,用 IBM 的 Cplex12.6 版本进行编译,因为 WebSphere ILOG CPLEX 能够以最快的速度最可靠地实现基本算法,考虑到本模型的计算复杂性,可以直接采用 CPLEX 计算求得精确解,此外在求解整数规划的相关文献中,已有许多学者采用 CPLEX 计算。本文在求解中选取 Cplex12.6 的默认优化器,通过使用 WebSphere ILOG CPLEX 的 branch and bound 算法对模型进行求解。

表 3 车辆路径分布情况

城市编号	城市名称	路线编号	路线	车流量
1	武汉	1	1→13→15→3→2	32
2	宜昌	2	1→13→15→3	46
3	荆州	3	1→16	34
4	孝感	4	2→3→15→16→12	26
5	襄樊	5	5→10→2	31
6	黄冈	6	5→9	30
7	咸宁	7	5→10	42
8	恩施	8	6→1	26
9	十堰	9	7→1	52
10	荆门	10	10→16→1	58
11	黄石	11	10→2	72
12	随州	12	10→3→15→13	36
13	仙桃	13	10→3	104
14	鄂州	14	10→5	40
15	潜江	15	10→3→15→16	36
16	天门	16	11→1	33
17	神农架	17	11→14	30
		18	12→4→1	74
		19	12→5	114
		20	14→11	120

表 4 模型的求解结果

线路	1	2	3	4	5	6
充电点	13	13	—	3	5	5
线路	7	8	9	10	11	12
充电点	—	—	—	—	—	3
线路	13	14	15	16	17	18
充电点	—	—	3	—	—	12
线路	19	20				
充电点	12	—				

模型的求解结果如表 4 所示,总共需要在四个地点建立充电站,分别为荆州、襄樊、随州、仙桃。表 5 给出了各个建站点的基本信息,包括充电桩的数量和总的建站成本。这些选址城市都具有得天独厚的地

理条件。从高速公路的表格上可以看到,荆州、襄樊都位于两条高速公路的交汇地带,分别为沪渝高速——二广高速、二广高速——福银高速,这些地方交通发达,因此充电的需求也较多。随州虽然并不处于高速公路穿行的地段,但它是连接湖北东西部的纽带。在图 2 中可以看到这城市的地理位置情况,因此随州拥有很高的车流量,例如在第 19 条路径中,车流量有 112,属于高流量路径。对于仙桃来讲,虽然它不满足前两类城市的条件,但是可以在案例的路径选择上看出,仙桃是通往潜江的必经城市,联系紧密,即标号 13 与标号 15,而潜江与随州一样具有优厚的地理条件。总体来说,这个选址方案符合 Melaina (2003) 在文章中谈到的选址地点的特性。在 Melaina(2003) 中,作者为早期的氢气加油站提供了一些基本的选址准则:交通流量大的地区;拥有高知名度的地区;存在潜在的愿意购买新能源汽车客户的地区;为那些长途旅行提供能源补充的地区^[18]。

表 5 建站点的规模信息				
建站城市	荆州	襄樊	随州	仙桃
充电桩数量	5	2	3	5
总成本/天	556.3	304.72	388.58	556.3

接着,我们将模型求解中车辆经过每条路径、每个城市的电力剩余情况进行了统计。如表 6 所示。

表 6 电车电量剩余情况	
线路编号	电力的剩余量
1	30→5.8→36.4→21.6→0
2	30→5.8→14.8→0
3	30→5
4	30→8.4→44.8→32.8→0
5	30→24.6→0
6	30→0
7	30→3.8
8	30→6.4
9	30→9.6
10	30→30→5
11	30→5.4
12	30→11.8→11.6→0
13	30→11.8
14	30→3.8
15	30→3.8→12→0
16	30→8.8
17	30→22.4
18	30→15.8→0
19	30→0
20	30→22.4

从表 6 中可以看出,车辆对于充电行为并不是盲目的,在每一条路径中,除了旅程太短并不需要充电之外,需要充电的路径都将会在旅行结束时保证电力刚好耗尽,这符合之前对模型充电行为的假设。这个充电行为与车流量一样影响了每个潜在建站点的需求。此外,这相当于给实际的车辆提供了一个充电的计划,对于那些长期在固定路段行驶的客车以及物流配送车辆,我们可以设法提供一个充电计划来使得他们的旅行能够完成并且节省充电的费用。

4 灵敏度分析

本节主要讨论车辆的最大行驶范围和安全电量水平这两个参数对模型结果的影响。在 Wang (2009)^[12] 中同样对行驶范围进行了讨论。而安全电量水平则是影响建站决策的重要因素之一。

4.1 最大行驶范围的影响

图 3 显示了车辆的最大行驶范围对建站数量的影响,当行驶范围由 250km 增加到 400km 时,需要建设充电站的数量从 6 个减少到 2 个,车辆的最大行驶能力增加意味着自身可以携带的电量也将增加,那么在途中充电的需求便会下降,充电站的数量也将减少。

此外,表 7 统计了随着最大行驶范围的变化各个候选站点出现的频率。在这里,如果站点一次都没有出现则不做记录。

表 7 城市出现频率								
城市	武汉	荆州	孝感	襄樊	荆门	随州	仙桃	潜江
频率	6.25%	75%	18.75%	62.5%	50%	75%	68.75%	56.25%

从表 5 中可以看出,荆门、随州、仙桃、襄樊是出现频率较高的城市。意外的是,武汉被选为充电站的频率只为 6.25%,武汉身为湖北省的交通枢纽,未被选为充电站有些不符实际,但是在案例的路径选择中,可以看出武汉总是作为始发地点或者目的地,而在模型的假设中,始发站车辆有自身携带一半的电量的假设,车辆达到终点站时也不需要进行充电,所以才产生了武汉频率很低的结果。

图 4 显示了当最大行驶范围从 250km 增加到 400km 时总成本、可变成本、固定成本的变化情况。可变成本由两个部分组成,包括充电桩的成本与运营成本,由于模型假设中运营成本与充电桩的数量是成线性关系的,因此将这两个成本结合在一起统称为可变成本。当行驶范围变化时,总成本由 2499.2

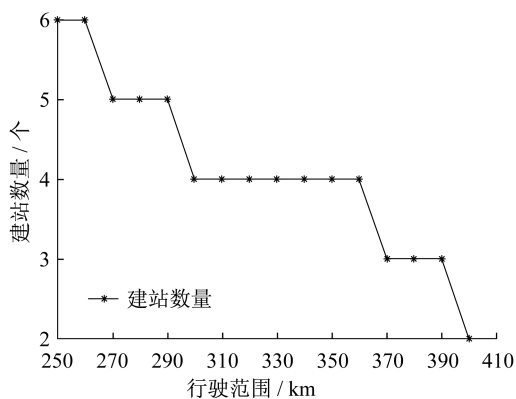


图3 对建站数量的影响

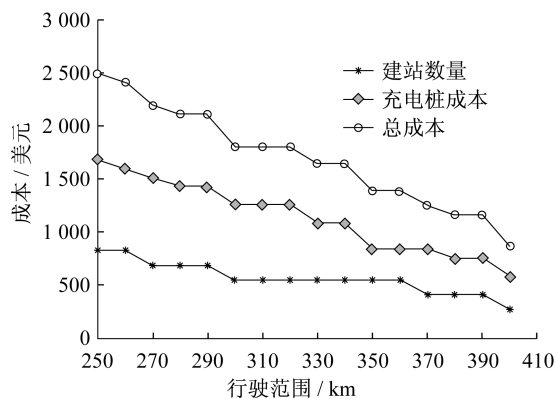


图4 对各项成本的影响

美元下降到 861.02 美元 (65.55%), 可变成本由 1677.2 美元下降到 587.02 美元 (65%), 固定成本由 822 美元下降到 274 美元 (66.67%)。由此, 可以看出车辆最大行驶范围对充电站建设的成本影响很大。车辆自身行驶能力的增强导致了在途中需要充电的次数减少, 那么同一地段所需要的充电站数量便会减少, 此外, 行驶范围的增大意味着车辆自身能携带的电力也会增加, 在车辆起始拥有一半最大电量的假设下, 途中所需要的充电总量自然会减少, 充电站需要的充电桩也会减少, 可变成本和总成本也将降低。

4.2 安全电量水平的影响

最后讨论安全电量剩余的问题, 在充电逻辑中, 设定为车辆每到达一个站点车本身的剩余电量大于 0。而实际上, 如果让车辆抵达站点刚好将能量耗尽是不现实的, 要考虑到可能会发生一些特殊的情况会使车辆自身携带的电量提前耗尽, 比如交通堵塞或者速度的不稳定都将影响电力的消耗。此外, 低的电量水平将会给乘客出行带来焦虑, 他们会因可能无法抵达目的地而感到不安。因此, 我们设定一个安全电量水平, 即保证车辆的电量能够时刻在安

全电量之上, 以避免这些情况对乘客旅行造成麻烦。

图 5 表示的是随着安全电量的变化建站数量的变化情况, 在这里最大行驶范围定义为 300km, 各项成本不变, 当安全电量水平从 0% 提升到 25%, 建站的数量由 4 个增加到 9 个, 随着安全电量水平的提高, 中途需要充电的需求也会得到增加。虽然充电站数量增加了, 但是这些增加是很有必要的, 这能够保证车辆在遇到突发事件的情况下能够拥有足够的能源来完成这段路程的行驶。

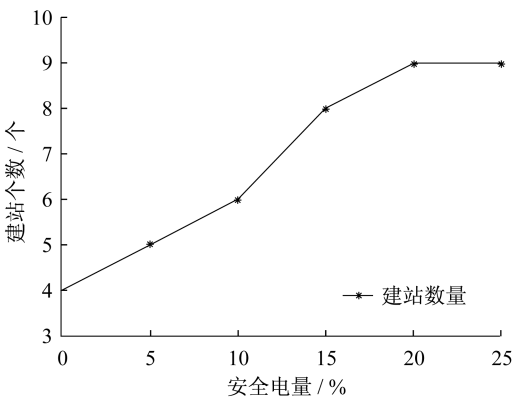


图5 安全电量水平对建站数量的影响

5 总结

本文以电动汽车的发展为背景, 针对电动汽车充电站的选址问题进行研究, 在 Wang (2009)^[12] 所提出的选址模型的基础上, 引入了充电站服务容量的因素, 构建了基于流量为需求的考虑服务容量的充电站选址模型。该模型充电站在建立时能够根据当地的需求选择合适的服务容量, 以减少整体网络中充电站建立的可变成本以及运营成本, 使得充电站的选址更加合理以及符合现实的情况。

之后, 应用该模型对湖北省高速公路网电动汽车充电站的建设进行了测试。并使用 WebSphere ILOG CPLEX 对模型进行求解, 给出了湖北省高速公路网充电站的建设的解决方案。然后对选址的结果进行了探讨, 分析了建站点特征, 这些特征都满足 Melaina (2003) 在文章中谈到的选址地点的特性^[18]。最后, 通过改变车辆的最大行驶范围以及安全电量水平这两方面对模型进行了灵敏度分析, 给出了这些因素对建站数量和各项成本的影响结果。

本文的主要贡献是对模型的改进以及模型对实际案例的应用, 对于模型的求解只是采用了 CPLEX 数学优化程序, 在未来的研究中, 如何设计一些精确算法或启发式算法来使得模型求解的时间更短、成

本更低将会重点考虑。

参考文献：

[1] 国务院. 国务院关于加强培育和发展战略性新兴产业的决定 [J]. 中国科技产业, 2010 (9):14-19.

[2] Melaina M W. Turn of the century refueling: A review of innovations in early gasoline refueling methods and analogies for hydrogen[J]. Energy Policy, 2007, 35(10):4919-4934.

[3] Leiby P, Rubin J. Understanding the transition to new fuels and vehicles; lessons learned from analysis and experience of alternative fuel and hybrid vehicles[J]. The Hydrogen Energy Transition, 2004; 191-212.

[4] Melaina M, Bremson J. Refueling availability for alternative fuel vehicle markets; sufficient urban station coverage [J]. Energy Policy, 2008, 36(8):3233-3241.

[5] Church R, Velle C R. The maximal covering location problem [J]. Papers in regional science, 1974, 32(1):101-118.

[6] Hodgson M J. A Flow - Capturing Location - Allocation Model[J]. Geographical Analysis, 1990, 22(3):270-279.

[7] Berman O, Larson R C, Fouska N. Optimal location of discretionary service facilities [J]. Transportation Science, 1992, 26(3):201-211.

[8] Hodgson M J, Rosing K E, Leontien A, et al. Applying the flow-capturing location-allocation model to an authentic network: Edmonton, Canada [J]. European Journal of Operational Research, 1996, 90(3):427-443.

[9] Hodgson M J, Rosing K E. A network location-allocation model trading off flow capturing and p-median objectives[J]. Annals of Operations Research, 1992, 40(1):247-260.

[10] Kuby M, Lim S. The flow-refueling location problem for

alternative-fuel vehicles[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2005, 39(2):125-145.

[11] Zeng W, Castillo I, Hodgson M J. A generalized model for locating facilities on a network with flow-based demand[J]. Networks and Spatial Economics, 2010, 10(4):579-611.

[12] Wang Y W, Lin C C. Locating road-vehicle refueling stations [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2009, 45(5):821-829.

[13] Wang Y W, Wang C R. Locating passenger vehicle refueling stations [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2010, 46(5):791-801.

[14] Chung S H, Kwon C. Multi-period planning for electric car charging station locations; A case of Korean Expressways[J]. European Journal of Operational Research, 2015, 242 (2): 677-687.

[15] Yang J, Sun H. Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles[J]. Computers & Operations Research, 2015, 55:217-232.

[16] Yudai H, Osamu K. A safety stock problem in battery switch stations for electric vehicles [C]//Proc. of The Eighth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'09), 2009.

[17] Jay Y. Better place CEO says overhauling the auto industry will be a breeze[J/OL]. Businessinsider, 2009, [2012-07-24]. <http://www.businessinsider.com/better-place-ceo-saysoverhauling-the-auto-industry-will-be-a-breeze-2009-4>.

[18] Melaina M W. Initiating hydrogen infrastructures; preliminary analysis of a sufficient number of initial hydrogen stations in the US[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2003, 28 (7):743-755.

(上接第 110 页)

[6] Bariani P F, Berti G A, Lucchetta G. A Combined DFMA and TRIZ approach to the simplification of product structure[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2004, 218(8):1023-1027.

[7] 曾芬芳, 景旭文. 智能制造概论 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

[8] 杨卉. Web 文本观点挖掘及隐含情感倾向的研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 计算机与应用技术, 2011.

[9] Guyon I, Gunn S, Nikravesh M, et al. Feature extraction; foundations and applications[M]. Springer, 2006.

[10] 宋玲. 语义相似度计算及其应用研究 [D]. 济南: 山东大学, 计算机应用技术, 2009.

[11] Agrawal R, Srikant R. Fast algorithms for mining association rules[C]. Proceedings of the 20th international conference on very large data bases, VLDB, Santiago, Chile, 1994:487-499.

[12] Han J, Kamber M. Data mining; concepts and techniques[M]. 2nd ed. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann, 2006.

[13] Chevalier J A, Mayzlin D. The Effect of Word of Mouth on Sales: Online Book Reviews [J]. Journal of Marketing Research, 2006, 43(3):345-354.