

城市 CNG 汽车加气站布点计算机辅助评价方法*

黄海波^{1,2} 殷国富¹ 张国芬² 童岱²

(1. 四川大学 2. 西华大学)

黄海波等. 城市 CNG 汽车加气站布点计算机辅助评价方法. 天然气工业, 2004; 24(2): 94~97

摘要 在城市内建设 CNG 汽车加气站成本高, 合理布局 CNG 汽车加气站至关重要。结合技术经济学和交通系统分析的观点, 探讨了公交车和出租车不同的加气行为, 提出了 CNG 汽车加气选站时应遵循的 5 项原则或假设, 并根据最短路径理论建立了加气站和车站车源分配模型。通过对加气站车辆来源及售气情况的计算, 得到加气站负荷率、投资回收期、加气行驶里程等 3 类评价指标, 对加气站布点选址与整体经济性进行了评价分析。编制了城市 CNG 汽车加气站布点计算机辅助选址评价软件, 对城市新增加气站布点的合理性进行了预测检验, 能满足用户对加气站的时空分布要求, 为拟建城市加气站布点规划提供了参考。

关键词 压缩天然气 汽车 加气站 分布 评价 指标

据不完全统计, 到 2002 年底, 全国已建成 CNG 加气站 265 座, 其中四川省占 140 余座。据预测, 到 2006 年, 西气东输沿线河南等 4 省 23 座城市将新增公交车、出租车用 CNG 约 $7.43 \times 10^8 \text{ m}^3$, 即到 2005 年底在这些城市需新建 CNG 汽车加气站 200 余座。当前已建成的城市 CNG 汽车加气服务网络还存在着许多问题: ①一些城市的 CNG 汽车加气站建设滞后于 CNG 汽车的发展, 造成加气困难; ②目前城市 CNG 汽车加气站种类单一, 绝大多数是固定式中型站, 另有少量子母站和油气混合站, 致使网络结构不合理, 用户加气方便性较差; ③由于站址多数是以存量空地选址, 缺乏统一规划和布局, 导致加气站整体经济效益不高。要改变这种状况, 首先要合理布局 CNG 汽车加气站。

CNG 车辆选择加气站的简化原则

CNG 公交车、出租车加气时选择加气站应遵循以下 5 项原则或假设。

(1) 就近原则。一般 CNG 汽车总是选择最近的 CNG 加气站加气, 这样可节约燃料和时间。当最近的加气站供气能力有限, 不能及时满足供气时, CNG 汽车就会选择次近的加气站加气。

(2) 先后原则。在车源分配计算模型中, 由于车站和加气站的次序不同, 车辆分配带来的结果也不

一样。对 CNG 汽车而言, 在 CNG 加气站的供气能力不能满足需求的条件下优先对公交车加气。对 CNG 汽车加气站而言, 在同一距离范围内, CNG 汽车优先到规模较大的 CNG 加气站加气。

(3) 饱和原则。当加气站的日供气能力与日售气量之差不足以给一辆出租车加气时, 软件就认为这个加气站负荷已经到达了饱和。考虑到每个加气站的平均负荷率应有 10%~15% 的裕量, 所以相应的计算模型中采用了一个负荷率控制系数 k_1 , 即各加气站的控制日供气量等于日供气能力乘以 k_1 。

(4) 公交车加气模式假设。公交车一天只加一次气, 加气时间集中在早 5 点到 7 点出车时或晚 19 点到 21 点收车时。1 个公交车场一般停靠几十到几百辆车, 而且车场一般就是大多数公交车的始、末站点。笔者按每路车的始、末站点作为公交车加气出发地, 每天加气 1 次。当某路公交车的始、末站点附近都有 CNG 加气站时, 始、末站点 CNG 加气站的加气量各占 50%。

(5) 出租车加气模式假设。出租车一般每天加气 3 次, 其中 1 次是交班补气。以出租车的主要上下客停靠点作为出租车的加气出发地。出租车的主要停靠站分布在酒店、娱乐中心、医院、火车站、长途客运站等附近, 出租车在各主要停靠点出发加气的概率通过对各停靠点停车下客的概率统计获得。

* 本文为“四川省科技厅清洁汽车产业化关键技术研究项目——城市加气站布局研究”的部分成果。

作者简介: 黄海波, 1954 年生, 四川大学在职博士研究生; 现主要从事 CNG 汽车工程技术研究。地址: (610039) 四川成都西华大学汽车与交通工程系。电话: (028) 87720272。E-mail: huanghb@mail.xhu.edu.cn

CNG汽车在车站、加气站的分配模型

1. 公交中心站、出租车集散点的排序

如前所述,公交车和出租车的日加气量和加气行为是不一样的。公交车功率大、百公里气耗高、储气瓶多、储气量大,一次加气少则 60 m^3 ,多则达 162 m^3 (如北京市)。相对而言,出租车的日加气量要小得多,一般每次加气量是 10 m^3 ,每天加气 2~3 次。一般来说,大的公交中心站设在郊区,附近都有加气站。因此公交中心站、出租车集散点(即 CNG 用户群)的优先度确定如下:①以公交车的数量作为第一排序指标;②出租车数量作为第二排序指标;③离城市中心点的距离远近作为第三排序指标。即首先把公交车多的站排序在前;在公交车数量相等的条件下,出租车多的点则排序在前;在公交车和出租车都相等的条件下,离城市中心点的距离远的排序在前。

2. CNG 汽车加气站排序

CNG 汽车加气站的排序是:①日供气能力大的 CNG 汽车加气站排序在前;②离城市中心点距离远的排序在前。

3. CNG 汽车加气站供气量模型

到各加气站加气的公交车和出租车的总加气量不能超过该加气站的控制供气量时,即控制供气量减去实际总供给量不足一辆出租车的加气量时,就认为该加气站供气能力已经到达了饱和。第 j 个加气站的日供气量模型如下:

$$q_1 \times \sum_{i=1}^{n_1} B_{1ij} + q_2 \times \sum_{i=1}^{n_2} B_{2ij} + \text{sum}(j) = k_1 \times Q_j \quad (1)$$

式中: q_1 表示公交车的平均日耗气量; n_1 表示车站的总个数; B_{1ij} 表示第 i 个车站分配到第 j 个加气站的公交车数; q_2 表示出租车的平均日耗气量; B_{2ij} 表示第 i 个车站分配到第 j 个加气站的出租车数; $\text{sum}(j)$ 表示第 j 个加气站剩余的 CNG 量(控制剩余量); Q_j 表示第 j 个加气站的日供气能力; $k_1 = 0.85 \sim 0.9$ 。

4. 车站 CNG 汽车分配模型

对于车站(出租车集散点)而言,由于车辆总数是一定的,那么从该车站到各个加气站的车辆总数也是确定的,到各加气站加气的公交车和出租车的总数分别不能超过该车站的公交车(或出租车)的总数。实际上是车站所有的车辆都应在加气站加气,

但有时候为了检验加气站布局是否合理,把不能及时加气的车辆当成分配完剩余的,这样公交车和出租车的分配就分别满足下式:

$$\sum_{j=1}^{n_1} B_{1ij} + C_{1i} = B_{1i} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n_2} B_{2ij} + C_{2i} = B_{2i} \quad (3)$$

式中: C_{1i} 表示第 i 个车站剩余公交车数; B_{1i} 表示第 i 个车站公交车总数; C_{2i} 表示第 i 个车站剩余出租车数; B_{2i} 表示第 i 个车站出租车总数;其余符号同式(1)。

5. 车站—加气站 CNG 汽车分配算法

公交车和出租车到加气站加气遵循就近原则,也即是车辆选择到加气行驶里程最短的加气站加气,而加气行驶里程最短与各个城市实际道路情况,如弯曲程度等有关,在实际计算中将其简化为以空间距离来代表行驶里程。为了达到加气行驶里程最短分配车辆,计算时用距离递增半径 r 来调节控制,软件设置循环次数为 100。当某车站与加气站(加气站剩余有气)的距离在递增距离范围 $[(k-1)r, kr]$ 内,就分配车辆前去加气;在同一递增距离范围,如果有多个加气站可供选择时,该车站的车辆按加气站的排序先后分配,只要选择的 r 适当,就可以实现最短或次短路径了。

CNG 汽车从车站出发去加气站加气,涉及到车站优先顺序、加气站优先顺序、加气站负荷是否达到饱和、CNG 汽车是否全部都分配到了最短或次短路径的加气站等多个约束条件。车站优先顺序、加气站优先顺序分别用上面的排序方法实现;加气站负荷是否饱和的判别原则见式(1);车辆是否分配完的判别原则见式(2)、式(3)。图 1 为车站—加气站 CNG 汽车分配流程图,反映了笔者采用计算机辅助规划加气站的主体算法——车辆分配算法。

评价加气站布局合理性的参数

对于加气站布局合理性程度的评价,笔者提出了:加气站负荷率、投资回收期、加气行驶里程等 3 项评判参数,作为进一步分析加气站布局合理性及加气站效益评估的基本依据,3 项参数的定义如下。

1. 加气站的日负荷率

某个加气站的日负荷率 η 等于该加气站的日售气量除以该加气站日供气能力,如式(4)。所有加气站的日平均负荷率 $\bar{\eta}$ 等于各个加气站负荷率的算术平均值,如式(5)。 $\bar{\eta} = 90\%$ 为最佳供求平衡点。

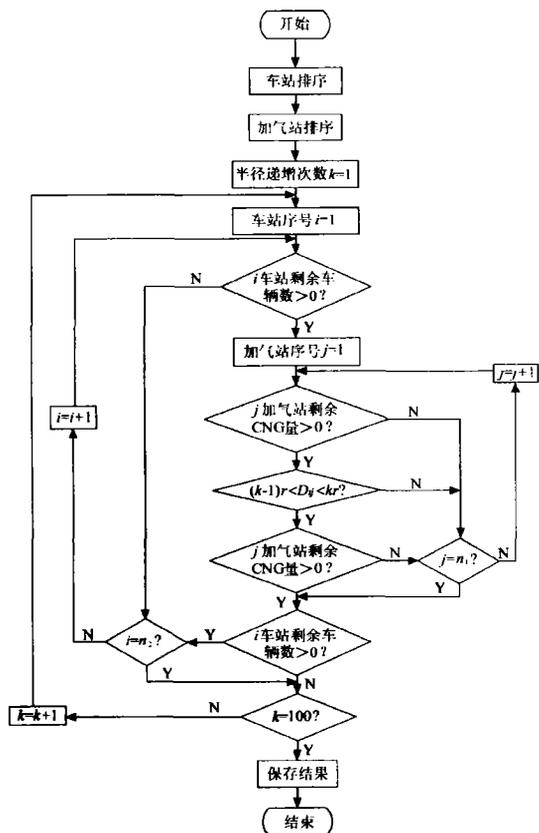


图1 车站—加气站 CNG 汽车分配流程图

注: D_{ij} 表示第 i 个车站到第 j 个加气站的距离; r 表示距离递增半径

$$\eta_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (B_{1ij}q_1 + B_{2ij}q_2)}{Q_j} \quad (4)$$

$$\bar{\eta} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} \eta_i \quad (5)$$

式中: η_j 表示第 j 个加气站的日负荷率; n_2 表示车站的总个数; B_{1ij} 表示第 i 个车站分配到第 j 个加气站的公交车数; q_1 表示公交车的日加气量; B_{2ij} 表示第 i 个车站分配到第 j 个加气站的出租车数; q_2 表示出租车的日加气量; Q_j 表示第 j 个加气站的日供气能力; $\bar{\eta}$ 表示所有加气站的平均日负荷率; n_1 表示加气站的总个数。

2. 投资回收期(动态)

为简化计算,假定加气站每年的净收益为等额,用 A 表示,则计算公式可简化为:

$$P = \sum_{j=0}^n A(1+j_0)^{-j} = A \cdot \frac{(1+j_0)^n - 1}{(1+j_0)^n i_0} \quad (6)$$

式中: P 表示加气站建站的总投资额; i_0 表示基准收益率(即在贷款利率的基础上再加 5% 风险系数)。

由此可求得动态投资回收期 T :

$$T = n = \frac{\lg A - \lg(A - P i_0)}{\lg(1 + i_0)} \quad (7)$$

对应代入相应的加气站建站的总投资额、总年净收益等参数,可计算得到:全市加气站整体投资回收期;在现有布局条件下,第 j 个加气站的投资回收期;加气站平均投资回收期。

3. 加气行驶里程

为加气而行驶的里程显然是越小越有利于减少交通拥挤、汽车排放污染和无效能耗。公式(8)~(11)为相应的加气行驶里程参数计算公式。

$$S_{1j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} D_{ij} \cdot B_{1ij}}{\sum_{i=1}^{n_2} B_{1ij}} \quad (8)$$

$$S_{2j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} D_{ij} \cdot B_{2ij}}{\sum_{i=1}^{n_2} B_{2ij}} \quad (9)$$

$$\bar{S}_1 = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^{n_2} B_{1ij}} \cdot \sum_{j=1}^{n_1} (S_{1j} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} B_{1ij}) \quad (10)$$

$$\bar{S}_2 = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^{n_2} B_{2ij}} \cdot \sum_{j=1}^{n_1} (S_{2j} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} B_{2ij}) \quad (11)$$

式中: S_{1j} 表示来第 j 个加气站的公交车的日平均加气里程; n_2 表示车站的总个数; D_{ij} 表示第 i 个车站到第 j 个加气站的距离; B_{1ij} 表示第 i 个车站分配到第 j 个加气站的公交车数; B_{2ij} 表示第 i 个车站分配到第 j 个加气站的出租车数; \bar{S}_1 表示所有公交车的日平均加气里程; n_1 表示加气站的总个数; \bar{S}_2 表示所有出租车的日平均加气里程; S_{2j} 表示来第 j 个加气站的出租车的日平均加气里程。

选址评价软件的界面设计

为了尽可能真实地反映加气站的经营实际,本软件设置了较多可预置参数,如公交车的日加气量、出租车的日加气量、加气站的进气价、加气站的售气价、加气站饱和和控制系数、距离递增半径、基准收益率等。用户可以根据实际情况,随时调整这些预置参数值而计算出各种不同结果。另外本软件既可以反映出每个加气站的评价指标,也可以反映出整个布局的评价指标,且总体布局还包括理论预测,可以作为城市未来加气站兴建的依据。

为了适应用户的操作方便性,特设计了地图界面和坐标界面。在地图界面,用户可以加载任意大小和类型的地图,如果没有地图,可以用空白地图表示。还可以调整坐标系,使之与实际空间相符。这个地图与电子地图一样,只要用鼠标点击,该点的坐标就会显示出来。用户可以在任意位置输入、修改和删除任意一个或多个加气站和车站。

计算举例

为校核和完善本软件,笔者将四川省绵阳市区加气站布局 and 加气情况、公交车的起点站和终点站位置等有关参数代入本软件进行校验计算。

通过调查,2002年绵阳市城区平均总日需CNG气量约 $6.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中公交车(含中巴车)占60%、出租车33%、环卫车3%、大客车1.9%,其他CNG汽车2.1%。绵阳市城区截至2002年底,CNG汽车的保有量为公交车550辆、出租车1700辆,由于环卫车和其他车辆数量很少,所以本软件没有计入。而公交车实际每日运营的只有490多辆,出租车1700辆。日加气量:公交车 $60 \text{ m}^3/\text{辆}$,出租车 $23 \text{ m}^3/\text{辆}$ 。

到2002年底,绵阳城区共有加气站7座,总日供气能力是 $9.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。各加气站的位置,日供气能力等以实际调研数据代入到软件中计算。为减少不可比因素对投资回收期计算的误差,建站投资数据采用各站基本用地面积相等、主要设备数量按实际配置核定的原则,采用影子价格计算确定。出租车在酒店、娱乐中心、大型商场、医院、长途车站等停靠点的分布状况采用实地调查统计所得数据。

将调研得到的加气站和车站分布位置通过鼠标在显示屏地图中标出,并且把每个加气站和车站的参数也通过软件输入并保存。

点击工具栏中的“输出条件”,并给定天然气进气价、售气价以及公交车、出租车的日加气量等输出时的控制参数,就可通过软件对天然气供需的整体情况以及单个加气站投资回收期和日负荷率等参数

进行估算。计算得到绵阳天润御营CNG汽车加气站的日负荷率为66.4%。下面将调研得到的各加气站的实际日负荷率和软件计算得到的日负荷率对比于表1中。

表 1 绵阳城区 CNG 加气站日负荷率统计

名 称	软件计算的 日负荷率	实际 日负荷率	误 差	软件计算的 盈亏状况
1号加气站	46.80%	46.67%	+0.13%	盈利
2号加气站	28.77%	26.67%	+2.1%	亏损
3号加气站	75.11%	75%	+0.11%	盈利
4号加气站	74.26%	75%	-0.74%	盈利
5号加气站	66.36%	66.36%	0	盈利
6号加气站	89.95%	90.90%	-0.95%	盈利
7号加气站	66.38%	66.67%	-0.29%	盈利
平均负荷率	63.95%	63.90%	+0.05%	盈利

从表1中可以看到,软件计算的日负荷率与调研得到的实际日负荷率的误差很小,基本上反应出了加气站的经营情况。软件计算得的加气站盈亏状况与加气站实际经营状况是一致的,这也说明了对公交车、出租车加气行为的简化所遵循的5个假设是有实际意义的,基本上概括了公交车、出租车的实际加气行为规律,也证明了软件的实用性。

参 考 文 献

- 寇忠. 西气东输工程与CNG用气市场. 中国天然气汽车, 2003;(2)
- 童岱, 黄海波. 城市CNG加气站布点评价方法研究. 中国公路学报, 2002;15(4)
- 童岱, 殷国富等. 天然气汽车加气站优化布点方法初探. 原四川工业学院学报, 2002;(4)
- 范补金. 北京公交加气站建设中存在的问题及对策. 城市公共交通, 2002;(5)
- 张树升. 道路与交通工程系统分析. 北京: 人民交通出版社, 1996
- 上海市石油学会. 车用燃气与加气站建设. 北京: 石化出版社, 2001

(收稿日期 2003-08-22 编辑 居维清)