

基于数据包络法的 城市公共自行车系统综合评价

刘琛 郑丽媛 诸云

南京理工大学，自动化学院，南京 210094

摘要：从资源配置和经济效益两方面综合评价公共自行车系统的建设效率，给相关管理者提供决策支持，利用数据包络分析（DEA）方法，在定义自行车道路网以及划分自行车道路层次结构的基础上，构建公共自行车系统的评价指标体系，建立公共自行车系统评价模型，并以杭州公共自行车系统为实例验证了公共自行车系统评价模型的有效性。结果表明：公共自行车系统的建设效益并不是随着资源投入的增加而增大，合理的配置资源可以提高公共自行车系统的投资规模收益。

关键词：数据包络分析法；公共自行车系统；指标体系；综合评价模型。

中图分类号：U491

文献标识码：A

文章编号：1672-4747（2016）03-0119-10

DOI：10.3969/j.issn.1672-4747.2016.03.018

Comprehensive Evaluation of Public Bicycle System Based on Data Envelopment Method

LIU Chen ZHENG Li-yuan ZHU Yun

School of Automation, Nanjing University of Science
and Technology, Nanjing 210094, China

Abstract：In order to evaluate the construction efficiency of public bicycle network and provide a kind of decision making support to the related managers, based on the improved data envelopment analysis (DEA) method, the urban public bicycle network was defined. The hierarchical structure of a public bicycle network has been divided. An index system of the urban public bicycle network has been built. Then, an evaluation model of the public bicycle network was established. After then, an example of Hangzhou public bicycle network was given to show the effectiveness of a

收稿日期：2015-10-16。

基金项目：国家自然科学基金资助项目（NO.51178157）；教育部人文社会科学研究项目（NO.12YJCH071）；国家统计科研计划项目（NO.2012LY150）；江苏省高校“青蓝工程”资助项目（NO.201211）；江西省青年科学基金（NO.20151BAB216024）。

作者简介：刘琛（1992-），女，江西吉安人，南京理工大学研究生，研究方向：交通运输工程。

public bicycle network evaluation model. Results show that the construction benefit of a public bicycle network is not simply increasing with the investment of resources, but, reasonable configuration of resource can improve the scale benefit of a public bicycle network.

Key words : Data envelopment analysis; public bicycle network; index system; comprehensive evaluation model

0 前言

随着绿色出行、低碳交通的理念推行,公共自行车得到大力提倡,无论是国外还是国内,公共自行车系统的建设和运营都积累了丰富的经验。国外的自行车发展早,许多城市率先实行了自行车系统的建设,例如法国巴黎、英国伦敦、丹麦哥本哈根。国外学者针对自行车系统的特征做了相关研究。Kjartan Scelensminde^[1]就自行车网络的成本效益进行了有效分析;Main H. E.^[2]通过对比分析方法研究了建设自行车道路网络的成本与效益关系。Börjesson M.和 Eliasson J.^[3]从时间价值和环境等外部利益的角度分析了自行车成本效益问题;Brocken E.^[4]基于公共自行车系统的管理和设计模式分析,研究了公共自行车系统中的资源配置方法;Hsu T. P.^[5]等基于GIS多评价准则研究了公共自行车系统的规划问题。

我国是自行车使用大国,与国外自行车系统相比,有自己的特征,国内对自行车的研究与实践自交通工程学科兴起时就已经开始,也取得了一些成果。杜吉梁^[6]等从站点优化率和锁桩配置合理度两方面对公共自行车系统的运行效率进行评价;张天畅^[7]等建立了SEVQUAL模型,用以评价公共自行车系统的服务质量;王文静^[8]等基于自行车配置情况的调查,以系统运行效率和用户满意度为指标对公共自行车系统做出了评价;夏超^[9]等建立了灰色预测模型以研究公共自行车系统全寿命周期的成本与效益问题;汤文倩^[10]等通过建立效益分析模型计算公共自行车系统所产生的经济、环保和交通效益,并作为指导规划与决

策的依据。本文基于公共自行车系统的特点,利用数据包络分析方法分析公共自行车系统的资源配置效率和经济效益,综合评价公共自行车系统的建设效率。

1 公共自行车系统

公共自行车系统是一种能让大众共享自行车使用权的服务系统^[11],它倡导绿色、环保、低碳的出行理念,以免费或平价的租赁方式,使大众在实现出行目的的同时实现健身和锻炼是公共自行车系统的建设目的。此外,公共自行车系统的运营还具有缓解交通拥堵和能源短缺问题,减少噪音和空气污染以及解决停车难等优点。作为大众运输方式的一种,公共自行车交通能够与其他公共交通方式有效衔接,进而提高居民出行效率。

公共自行车系统由数据中心、驻车站点、驻车电子防盗设备、专用自行车、智能租赁终端相应的通讯、监控设备以及管理系统组成。居民通过选择分布在生活区附近的公共自行车租赁站点,选择一定的租赁计费方式取用公共自行车,以实现中、短距离的出行。本文在定义自行车道网的基础上,研究自行车系统的综合评价问题。

1.1 公共自行车道路网

为了提高道路资源利用率,为居民出行提供舒适、安全、便捷的环境,完善居民出行模式选择,城市建设了自行车交通网络。在城市路网中,自行车交通网络是城市综合交通网络体系的组成部分,用以解决城市支路、小巷的到达问题,还可以与轨道交通相

结合运营,提高城市交通系统运行效率。本文在综合分析自行车网络特点的基础上,对公共自行车系统进行研究,并提出新的公共自行车系统概念。

根据国内外已有的研究成果,将公共自行车系统定义为:在城市范围内,根据不同地处的区位,划分的不同使用功能以及层次等级的自行车道路,这些自行车道路以一定的密度和适当的断面形式敷设,满足城市居民的短距离出行需求,从而形成了城市公共自行车道路交通网络体系。

1.2 公共自行车道路层次结构

为了明确自行车网络中各道路的功能,合理地使用道路资源,在城市的道路网中,根据实际的需求设置自行车道路等级,划分自行车网络的层次结构是极其必要的。尤其对解决大众公共交通不能到达城市支路或者小巷的问题具有重要意义^[12]。本文针对自行车网络中的道路层次结构进行解析研究。

(1) 自行车主干道 自行车主干道是自行车网络中的高等级道路,设置在城市快速路上的自行车专用道,采用彩色铺装路面,以物理分隔的形式完全分隔机动车和非机动车交通,是连接城市各组团自行车交通的主流通道路。

(2) 自行车次干道 自行车次干道是自行车网络中的较高等级道路,设置在城市的次干路上,采取划线分隔的形式分离机动车和非机动车交通,是联系城市各交通小区自行车交通的干道,用以实现中、短距离的出行目的。

(3) 自行车集散道 自行车集散道是自行车道路网中的较低等级道路,一般设置在城市道路中的非机动车道上,与其他非机动车混行,是生活性的集散道路,解决了生活小区的集散交通问题。

(4) 自行车休闲道 自行车休闲车道是自行车网络中的低等级道路,一般设置在景点、公园、沿江沿

河等区域,满足居民绿色休闲的生活需求,是一种休闲运动性的道路。

按照自行车道路在城市路网中的功能定位,将自行车网络结构划分为自行车主干道、自行车次干道、自行车集散道、自行车休闲道四个层次。这四个层次结构的自行车道路在功能上相互补充,构成完整的自行车道路网络系统,使自行车交通在城市交通中发挥效应。

2 公共自行车系统的评价指标体系

为了对公共自行车系统进行综合评价,给有关管理人员提供决策依据,在构建公共自行车系统的评价指标体系基础上,建立公共自行车系统的综合评价模型。本文将建立的公共自行车系统评价指标体系划分为输入指标和输出指标两个部分。输入指标表示公共自行车系统的资源消耗状况,输出指标则是由于自行车系统的资源投入而获得的工作成效。通过研究建设自行车系统的投入输出产出结果,评价公共自行车系统。评价指标构建如下:

(1) 公共自行车系统评价的输入指标定义 输入指标表征城市建设公共自行车系统的需求与投入。公共自行车的投入数量与公共自行车服务站点数量直观表现了公共自行车系统的供给情况,人口密度则说明城市建设公共自行车系统的潜在需求,人均 GDP 客观反映城市的经济水平,是建设自行车系统基础设施的必要保障。因此,本文选择的输入指标定义:

输入指标 x_1 , 表示公共自行车投入量, 定量指标, 反映公共自行车的配置数量。

输入指标 x_2 , 表示公共自行车服务点个数, 定量指标, 反映公共自行车系统的服务水平。

输入指标 x_3 , 表示人口密度, 定量指标, 反映公共自行车系统服务对象的容量大小。

输入指标 x_4 , 表示人均 GDP, 定量指标, 反

映建立公共自行车系统的城市经济能力。

(2) 公共自行车系统评价的输出指标定义。输出指标表征城市自行车系统建设的成果以及相应产出效率。自行车日租用量和单车租用频率说明自行车系统在实际投入应用后的使用情况,居民对建成的公共自行车系统使用反馈能够给管理者提供直接的决策影响,选取满意度调查数据和公共自行车出行比例作为居民对自行车系统建设的使用反馈。因此,本文的输出指标定义:

输出指标 y_1 , 表示自行车日租用量, 定量指

标, 反映自行车系统中当天的自行车租用数量;

输出指标 y_2 , 表示单车租用频率, 定量指标, 反映每辆自行车每天的租用次数;

输出指标 y_3 , 表示公共自行车系统的满意度, 定量指标, 反映自行车系统的服务水平;

输出指标 y_4 , 表示自行车出行比例, 定量指标, 反映用户的出行方式选择自行车的比例数。

基于上述分析,在定义公共自行车系统评价的输出和输入指标基础上,建立的自行车系统的评价指标体系,如表1所示。

表1 公共自行车系统评价体系的输入、输出指标

Tab.1 Input and output indexes of the evaluation system about public bicycle system

指标内容	指标类型		数据获取
自行车投入量 x_1 /辆	输入指标	定量指标	相关单位统计资料
自行车服务点个数 x_2 /个	输入指标	定量指标	相关单位统计资料
人口密度 x_3 /(万人/km ³)	输入指标	定量指标	地方统计信息网
人均 GDP x_4 /亿元	输入指标	定量指标	地方统计信息网
自行车日租用量 y_1 /(辆/d)	输出指标	定量指标	相关单位统计资料
单车租用频率 y_2 /(辆/d)	输出指标	定量指标	相关单位统计资料
公共自行车用户满意度 y_3 /(%)	输出指标	定量指标	调查资料
自行车出行比例 y_4 /(%)	输出指标	定量指标	调查资料

3 基于数据包络分析法的公共自行车系统评价

数据包络分析方法(Data envelopment analysis, DEA),是运筹学、管理科学与数理经济学交叉研究的一个新领域^[13]。数据包络法(DEA)是根据多项投入指标和多项产出指标,利用线性规划的方法,对具有可比性的同类型单位进行相对有效性评价的一种数量分析方法。DEA数学规划模型中具有多个输入和多个输出单位的评价对象,称为决策单元(Decision making unit, DMU)。因此,在对数据包络分析方法进行综合研究的基础上,利用数据包络分析方法对公共自行车系统进行系统评价,构建公共自行车系统综合评价模型。

3.1 基于 DEA 的公共自行车系统综合评价

在 DEA 的模型中,有一种模型叫 CCR 模型(由 Charnes, Cooper 和 Rhodes 创建的,简称 CCR)是 DEA 方法的基本模型,CCR 模型是用来研究具有多个输入,特别是具有多个输出生产部门同时为规模有效和技术有效的方法。本文基于 CCR 模型,构建公共自行车系统综合评价模型。过程如下:

假设公共自行车系统有 n 个决策单元,每个自行车网络决策单元都有 m 种类型的输入以及 s 种类型的输出,即输入向量 x_{ij} 与输出向量 y_{rj} 分别为:

$$\begin{aligned} \vec{x}_{ij} &= (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{mj}) \quad i=1, 2, \dots, m \\ \vec{y}_{rj} &= (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{rj}, \dots, y_{sj}) \quad r=1, 2, \dots, s \end{aligned}$$

式中, x_{ij} 表示公共自行车系统第 j 个决策单元的第 i 种输入的数量值; y_{rj} 表示公共自行车系统第 j 个决策单元的第 r 种输出的数量值。

基于上述假设,公共自行车系统综合评价模型的计算过程如下:

步骤一 计算效率评价指数

为了将所有公共自行车系统输入和输出指标进行综合统一,需要对每个输入和输出指标进行赋权,设公共自行车系统输入指标的权重向量 $v = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 其中: v_m 表示第 m 种输入指标的权重; 公共自行车系统输出指标的权重向量 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$, 其中: u_s 表示第 s 种输出指标的权重, 则公共自行车系统的输入输出指标综合值为:

(1) 公共自行车系统第 j 个决策单元输入指标的综合值

$$h_{qj} = \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad (1)$$

(2) 公共自行车系统第 j 个决策单元输出指标的综合值

$$h_{yj} = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \quad (2)$$

根据式(1)和式(2),公共自行车系统每个决策单元相应的效率评价指数为

$$h_j = \frac{h_{yj}}{h_{qj}} \quad (3)$$

式中, h_{qj} 为公共自行车系统中第 j 个决策单元输入指标的综合值; h_{yj} 为公共自行车系统中第 j 个决策单元输出指标的综合值。

步骤二 构建决策单元的极值模型

为了对式(3)进行求解,需要确定一组最佳权重向量 v 和 u , 使第 j 个自行车网络决策单元的效率值 h_j 最大。因此,以所有公共自行车系统决策单元的效率指数 $h_j = 1$ 为约束,第 j_0 个公共自行车系统决策单元

的极值模型:

$$\max h_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} h_j = 1 & j=1,2,\dots,n \\ v_i = 0 & i=1,2,\dots,m \\ u_r = 0 & r=1,2,\dots,s \end{cases}$$

式中, x_{ij_0} 表示公共自行车系统中第 j_0 个决策单元的第 i 种输入的数量值, y_{rj_0} 表示公共自行车系统中第 j_0 个决策单元的第 r 种输出的数量值。

步骤三 构建极值模型的对偶规划模型

为了对公共自行车系统决策单元的极值模型求解,将式(4)变换成为等价的线性规划问题,令

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \quad \mu_r = \frac{u_r}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}$$

则式(4)模型转化为:

$$\max h_{j_0} = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj_0} \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} = 0 & j=1,2,\dots,n \\ \sum_{i=1}^m w_i x_{ij_0} = 1 \\ w_i = 0 & i=1,2,\dots,m \\ \mu_r = 0 & r=1,2,\dots,s \end{cases}$$

基于对偶原理,公共自行车系统决策单元的线性规划模型(5)的对偶规划模型:

$$\theta^* = \min_{i,j} \theta_{ij} \quad (6)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} = \theta_{ij} x_{ij} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} = y_{rj} \\ \lambda_j = 0 \\ j=1,2,\dots,n \end{cases}$$

式中, θ^* 是式(6)达到最优解时的资源配置效率值; θ_{ij} 表示公共自行车系统中在第 i 个输入指标约束条件下,第 j 个决策单元的资源配置效率值; λ_j 表示公共自行车系统第 j 个决策单元的规模收益效率值。

根据线性规划松弛原理以及对偶理论,知道式(4)、(5)、(6)等价,可以直接求算对偶规划(6)来判断公共自行车系统决策单元的有效性,进一步引入松弛变量 s^+ 和剩余变量 s^- ,判断公共自行车系统决策单元有效性的极值模型为线性规划模型:

$$\begin{aligned} \theta^* &= \min_{i,j} \theta_{ij} & (7) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_j^+ = \theta_{ij} x_{ij} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_j^- = y_{rj} \\ s^+ & 0 \\ s^- & 0 \end{cases} \end{aligned}$$

通过求解式(7)可以获得公共自行车系统各个决策单元,即本文中不同年份的综合评价效率指数,从而获取各个年份自行车网络方案的资源配置情况。

3.2 评价结果的判定准则

构建公共自行车系统的根本目的在于服务大众,完善居民的出行选择。因此,既要从管理者的角度考虑经济效益,又要从便民的方面评判公共自行车系统的服务水平^[14]。资源配置是指城市公共自行车系统中各类资源的投入情况,规模收益指的是城市公共自行车系统中建设产生的收益大小,选择资源配置和规模收益两个指标作为判定城市公共自行车系统的评价准则的依据,能够有效评估城市公共自行车系统的投入与产出关系,并且反映城市公共自行车系统的服务质量^[15]。

若线性规划(6)存在最优解,且最优解分别为 $\theta^*, \lambda^*, s^{+*}, s^{-*}$, 则:

定理 1 决策单元判定为有效的充要条件是 $\theta^* = 1$, 并且对于每一个最优解 λ_j^* 都有 $s^{+*} = 0, s^{-*} = 0$ 。

利用以下定义判定决策单元是否有效。

定义 1 若 $\theta^* = 1$ 且 $s^{+*} = 0, s^{-*} = 0$, 则该决策单元判定为有效。

定义 2 若 $\theta^* = 1$ 但至少某个输入或输出大于 0, 则该决策单元为弱有效性。

定义 3 若 $\theta^* < 1$, 则该决策单元判定为无效,说明该决策单元的性质并未达到最优。

利用 CCR 模型中的 λ_j 判断决策单元的规模收益情况:

定义 4 若存在 λ_j^* 使得 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* = 1$, 则该决策单元的规模收益不变。

定义 5 若存在 λ_j^* 使得 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* < 1$, 则该决策单元的规模收益递增。

定义 6 若存在 λ_j^* 使得 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* > 1$, 则该决策单元的规模收益递减。

从公共自行车系统的资源配置效率和规模收益两方面,本文定义了公共自行车系统评价结果的判断准则。

(1) 基于 DEA 的公共自行车系统资源配置判定准则

根据定义 1、2、3 判别公共自行车系统决策单元的资源配置情况,其判定准则:

判定准则一 若 $\theta^* = 1$, 且 $s^* = 0$, 此时公共自行车系统的资源配置为有效,即公共自行车系统的资源实现充分利用。

判定准则二 若 $\theta^* = 1$, 且 s^* 不全为 0, 此时公共自行车系统的资源配置为弱有效,即公共自行车系统的部分资源没有得到有效利用,可以通过调整相应指标优化公共自行车系统的资源配置。

判定准则三 若 $\theta^* < 1$, 则公共自行车系统的资源配置无效,此时公共自行车系统资源利用没有达到最优,需要有关部门重新做出调整规划。

(2) 基于 DEA 的公共自行车系统规模收益的判定准则

根据定义 4,5,6 评判公共自行车系统规模收益，

$$\text{令 } K = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* \text{，其判定准则：}$$

判定准则一 若 $K=1$ ，则公共自行车系统该年的规模收益不变，且此时公共自行车系统达到规模最大产出点；

判定准则二 若 $K < 1$ ，则公共自行车系统呈现规模收益递增的趋势，相关部门可以考虑增加公共自行车系统建设的投入以扩大系统运营的规模；

判定准则三 若 $K > 1$ ，则公共自行车系统呈现规模收益递减的趋势，此时相关部门应当减少投入以节约资源，避免资源浪费。

结合公共自行车系统评价模型，根据定义的评价结果判定准则，可以分析已经建成的公共自行车系统的资源配置优良情况，还可以依据收益趋势的评价结果，为公共自行车系统的调整规划提供参考。

4 实例分析

杭州是我国率先引入公共自行车系统建设的城市，它的公共自行车系统发展较为成熟，具有典型意义，本文将以杭州公共自行车系统为例，展开分析。

图 1 是杭州市公共自行车系统现状图^[16]。

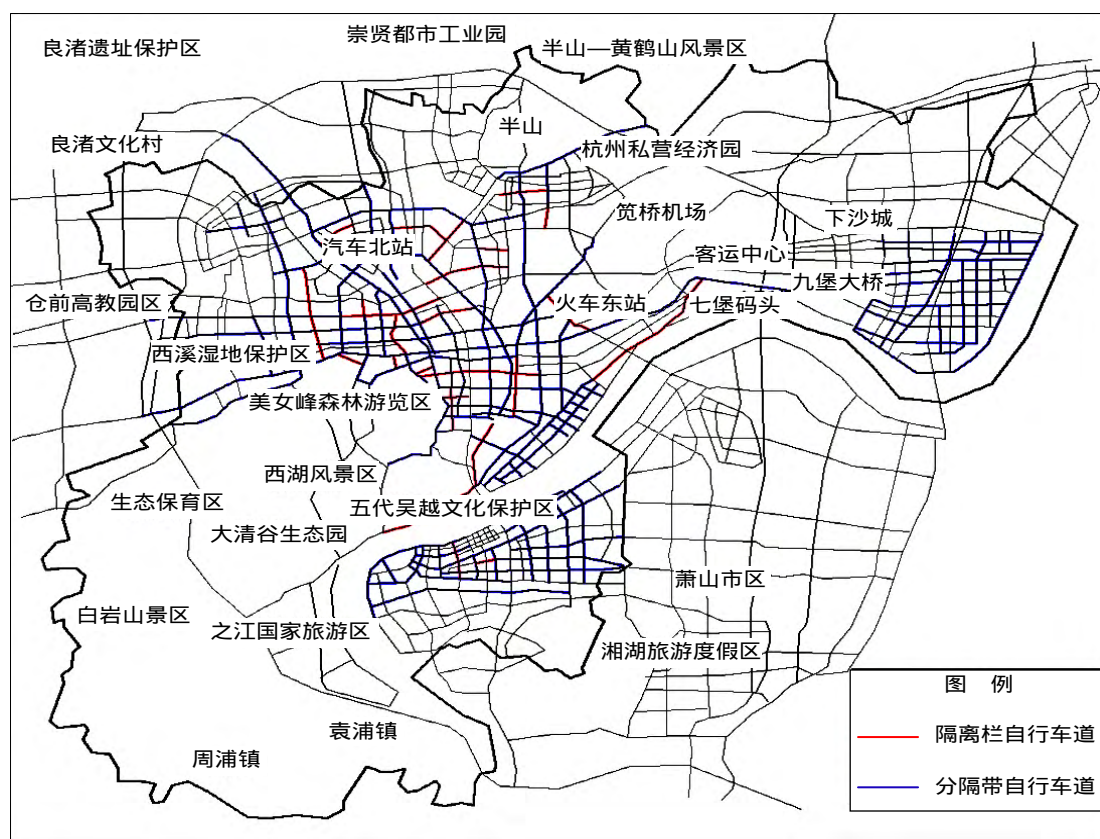


图 1 杭州市自行车网络现状

Fig.1 The existing bicycle road network of Hangzhou

根据杭州统计信息网以及杭州公共自行车服务系统统计资料^[17-18]，可以获取杭州公共自行车系统

综合评价模型中相关输入、输出指标的数据，如表 2 所示。

表2 杭州市各历史时期输入与输出指标数据

Tab.2 Input and output indexes in each historical period of Hangzhou

指 标			年 份				
			2009	2010	2011	2012	2013
输 入 值	x_1	自行车投入量	17 000	50 000	60 600	69 750	78 000
	x_2	服务点个数	800	2 000	2 431	2 962	3 067
	x_3	人口密度	412	415	419.2	530	533
	x_4	人均 GDP	7.48	8.67	10.14	11.18	11.86
输 出 值	y_1	自行车日租用量	9.98	20.5	23.8	25.75	28.22
	y_2	单车租用频率	5.6	6.04	3.93	3.7	3.62
	y_3	公共自行车用户满意度/(%)	37	50.8	55.77	64.86	86
	y_4	公共自行车出行比例/(%)	12	20.4	21.64	28	54

由式(7)得到杭州市2013年公共自行车系统的综合评价模型:

$$\theta^* = \min_{i,j} \theta_{ij} \tag{8}$$

$$\begin{cases} 17000\lambda_1 + 50000\lambda_2 + 60600\lambda_3 + 69750\lambda_4 + 78000\lambda_5 + s_1^+ = 78000\theta_{15} \\ 800\lambda_1 + 2000\lambda_2 + 2341\lambda_3 + 2962\lambda_4 + 3067\lambda_5 + s_2^+ = 3067\theta_{25} \\ 412\lambda_1 + 415\lambda_2 + 419.2\lambda_3 + 530\lambda_4 + 533\lambda_5 + s_3^+ = 533\theta_{35} \\ 7.48\lambda_1 + 8.67\lambda_2 + 10.14\lambda_3 + 11.18\lambda_4 + 11.86\lambda_5 + s_4^+ = 11.86\theta_{45} \\ 9.98\lambda_1 + 20.5\lambda_2 + 23.8\lambda_3 + 25.75\lambda_4 + 28.22\lambda_5 - s_1^- = 28.22 \\ 5.6\lambda_1 + 6.04\lambda_2 + 3.93\lambda_3 + 3.7\lambda_4 + 3.62\lambda_5 - s_2^- = 3.62 \\ 0.37\lambda_1 + 0.508\lambda_2 + 0.5577\lambda_3 + 0.6486\lambda_4 + 0.86\lambda_5 - s_3^- = 0.86 \\ 0.12\lambda_1 + 0.204\lambda_2 + 0.2164\lambda_3 + 0.28\lambda_4 + 0.54\lambda_5 - s_4^- = 0.54 \end{cases}$$

利用 LINGO 软件计算线性规划(8)得到结果:

收益趋势不变。

$$\theta^* = 1 \quad \lambda^* = (0,0,0,0,1) \quad s^* = (0,0,0,0,0,0,0,0) \quad K = 1$$

以同样的方式,可以分别建立杭州市公共自行车

结果说明 2013 年杭州市公共自行车系统的资源

系统 2009、2010、2011、2012 各年线性规划模型,

配置达到最优,且 2013 年杭州市公共自行车系统的

计算结果列入表 3。

表3 2009~2013年杭州公共自行车系统综合评价模型的计算结果汇总

Tab.3 Calculation results of the comprehensive evaluation model of Hangzhou public bicycle system from 2009 to 2013

年份	θ^*	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	S_1^+	S_2^+	S_3^+	S_4^+	S_1^-	S_2^-	S_3^-	S_4^-
2009	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0.971	0	0.522	0	0	0.533	0	195.182	13.502	0	7.516%	11.441%	0	1.384
2013	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

根据表3数据绘制杭州市公共自行车系统资源配

3和图2,2009、2010、2011、2013各年杭州市公共

置效率值 θ 以及规模收益值 K 的趋势图,如图2所示:

自行车系统资源配置效率值 $\theta_{2009}^* = \theta_{2010}^* = \theta_{2011}^* = \theta_{2013}^*$

(1)杭州公共自行车系统资源配置判定 依据表

$= 1$ 。根据公共自行车系统资源配置判定准则一,说明

2009、2010、2011、2013 各年杭州市公共自行车系统实现了资源充分利用的目标。2012 年杭州市公共自行车系统的资源配置效率值 $\theta_{2012} = 0.971 < 1$ 。根据公共自行车系统资源配置判定准则三，判定 2012 年杭州市公共自行车系统资源配置没有达到最优，可以做出相应的改善调整。

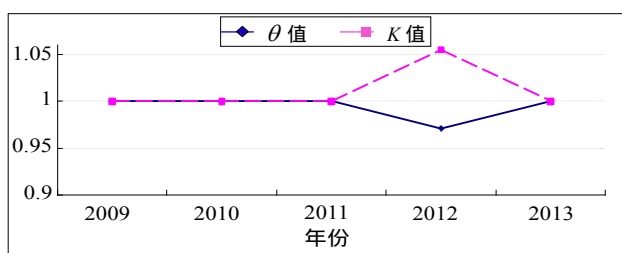


图2 杭州自行车网络各时期资源配置与规模收益趋势
Fig.2 Trend about configuration and benefit of Hangzhou public bicycle system

(2) 杭州公共自行车系统规模收益判定 依据表3和图2，2009、2010、2011、2013 各年杭州市公共自行车系统收益规模值 $K_{2009} = K_{2010} = K_{2011} = K_{2013} = 1$ 。根据公共自行车系统规模收益判定准则一，判定2009、2010、2011、2013 各年杭州市公共自行车系统的规模收益趋势不变。2012 年杭州市公共自行车系统收益规模值 $K_{2012} = (0.522 + 0.533) = 1.055 > 1$ 。根据公共自行车系统规模收益判定准则三，判定 2012 年杭州公共自行车系统的规模收益呈现递减的趋势，相关部门应当控制建设公共自行车系统的投入，以免造成资源浪费。

参考文献

[1] Kjartan Scelensminde. Analysis about walking and bicycle lanes network's cost benefit based on safety, health effects and external costs of motorized traffic[J]. International Urban Planning, 2012, 27(5): 18-25.
[2] Main H. E. Cost-benefit analysis of building bicycle lanes in Truro, Nova Scotia [D]. CANADA: Acadia

基于杭州公共自行车系统资源配置和规模收益判定研究可知，2012 年杭州市公共自行车系统出现的反常情况，可能是因为管理者没有考虑到杭州市公共自行车的实际需求而盲目扩充自行车服务站点个数或者自行车总数的投入过量而造成的。具体的原因可以进一步探讨，本文未对此展开研究。本文的公共自行车系统综合评价模型的评判结果，可以为管理者的决策提供理论依据，也体现了公共自行车系统综合评价模型的实际应用价值，且对其他领域的评价模型建立具有借鉴意义。

5 结束语

数据包络分析 (DEA) 以其客观公正性而广泛应用各个领域的评价，本文以公共自行车系统为研究对象，构建了公共自行车系统的评价指标体系，并在 DEA 的基础上建立公共自行车系统的综合评价模型。为了对公共自行车系统评价结果进行有效分析，本文定义了公共自行车系统评价结果的判定准则，并以杭州市公共自行车系统为例验证了评价模型的实用性。

本文构建的公共自行车系统综合评价模型不需要人工拟定权重系数，从而减少了人为主观因素的影响，使得分析的结果更客观。但在本文的评价指标体系中，选取的输出输入指标数量有限，对公共自行车系统评价并不全面。为了使自行车网络评价更加全面，可以进一步完善评价指标体系。

University, 2013.
[3] Börjesson M., Eliasson J. The value of time and external benefits in bicycle cost-benefit analysis[J]. Working Papers in Transport Economics, 2011, 46(4):673-683.
[4] Brocken, E. Bicycle allocation methods within public bicycle-Sharing systems [D]. Rotterdam: Erasmus

- University 2015.
- [5] Hsu T. P., Lin. Y. T. A model for planning a bicycle network with multi-criteria suitability evaluation using GIS[C].// First International Conference on Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards III, Ashurst, UK, 2012:243-252.
- [6] 杜吉梁, 张克功, 赵贵荣, 等. 公共自行车服务系统评价模型[J]. 兰州石化职业技术学院学报, 2015,(1):35-38.
- [7] 张天畅, 白少凯, 陈诗雨, 等. 基于修正 SERVQUAL 的公共自行车服务质量评价研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2013, 37(1): 216-220.
- [8] 王文静, 马世峰. 公共自行车服务系统评价模型分析[J]. 价值工程, 2015, 34(8): 127-128.
- [9] 夏超. 城市公共自行车服务系统成本效益研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [10] 汤文倩, 李文权, 陈茜. 公共自行车免费服务系统效益分析[J]. 交通运输工程与信息学报, 2014, (3).
- [11] Zhao Xiaojun, Li Jianyi, Li Feng. The measures of realizing urban public bicycle system. [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 1802(178): 1870-1873.
- [12] Liu Zhili, Xu Dongjia, Wen Cheng. Solving the last mile problem: ensure the success of public bicycle system in Beijing[J]. Procedia-Social and Behavioral Science, 2012, 43: 73-78.
- [13] 毛青. 数据包络分析法理论研究[J]. 科技传播, 2011, (1): 14-16.
- [14] 祝翔. 公共自行车系统服务水平综合评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [15] 王丹, 杨赞. 基于 DEA 的交通运输系统资源配置效果评价[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2009, 33(2): 275-278.
- [16] 姚瑶, 周扬军. 杭州市公共自行车系统规划[J]. 城市交通, 2009, 7(4): 30-38.
- [17] 石晓凤. 杭州公共自行车系统规划建设与使用调查研究[J]. 城乡规划, 2011, 10(18): 105-114.
- [18] 谷从, 王菲. 杭州市公共自行车使用情况调查分析[J]. 统计科学与实践, 2010, 12(3): 8-10.

(中文编辑: 吴继屏)