

# 五台山景区酒店碳排放效率的典范对应分析

程占红<sup>1,2</sup>, 徐娇<sup>1</sup>

(1. 山西财经大学旅游管理学院, 太原 030031;

2. 山西财经大学资源型经济研究中心, 太原 030006)

**摘要:** 酒店碳排放效率的测算可以为其实施节能减排提供参考依据。首先采用数据包络分析方法计算五台山景区28家酒店的碳排放效率,其次,采用典范对应分析方法分析酒店碳排放效率与关键性指标之间的关系。结果表明:①9家酒店技术效率完全有效,15家酒店纯技术效率有效,9家酒店规模效率有效。②基于碳排放效率的差异,所有酒店可以分为碳排放效率完全型、碳排放效率较高型、纯技术效率最低型和规模效率最低型4类。③在典范对应分析图中,从第四象限到第一象限、第二象限,酒店类型依次由第I组逐步向第II组、第IV组、第III组过渡,在此递变期间,酒店的碳排放效率不断降低。④利用典范对应分析的结果表达了关键性指标对酒店碳排放效率的制约作用,并识别了限制因素,为提升酒店碳排放效率指明了路径。

**关键词:** 五台山景区;碳排放效率;典范对应分析

DOI: 10.11821/dlj201803010

## 1 引言

旅游活动对于地表资源与环境的影响是地理学的重要研究内容之一<sup>[1]</sup>。20世纪90年代以来,全球气候变化尤为明显。从更长的时间序列上看,全球气候趋于变暖,其所引致的一系列与人类生存攸关的问题不断涌现。旅游作为人类影响资源和环境的重要载体之一,其碳排放量不容忽视。2015年12月与气候变化密切相关的《巴黎协议》通过,标志着国际气候变化制度进入了新阶段。倡导绿色低碳和可持续发展的方式将是人类面临的共同选择。在全球气候变化背景下,节能减排成为任何企业、部门和产业发展的特定内涵,旅游业也不例外。据估算,国内能源消费峰值将于2040年左右出现,为保证能源需求,必须提高能源利用效率<sup>[2]</sup>。因而如何构筑气候适应型的低碳发展模式,是新形势下必须解决的现实问题。住宿业作为旅游业的三大支柱产业之一,其碳排放量不可忽视。碳排放量与碳排放效率密切关系,研究发现,只有提高碳排放效率,才能有效减少碳排放量<sup>[3]</sup>。低碳绿色酒店的实现直接取决于其碳排放效率的高低,而酒店碳排放效率不仅与酒店的投资规模、技术利用和管理有关,而且也与其接待量、收入量等经营成效密切相关。为有效加强酒店节能减排的监管,有必要厘清其碳排放效率与关键因素之间的关系。

对于碳排放效率的研究,国内外学术界目前主要基于数据包络的分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA)从宏观与微观两个视角来展开。宏观层面上的研究主要是从国家或区域角度来分析CO<sub>2</sub>排放量与经济发展的情况,并进行横向和纵向比较。从国

收稿日期: 2017-08-09; 修订日期: 2017-11-20

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目(14YJA630005); 山西省高等学校哲学社会科学研究项目(2017332); 国家自然科学基金项目(41571141); 山西省高等学校教学改革研究项目(J2014055); 山西省软科学研究项目(2016041012-1); 山西省研究生教育改革研究项目(2017JG65)

作者简介: 程占红(1972-), 男, 山西新绛人, 博士, 教授, 主要从事低碳旅游研究。E-mail: chengzhanhong@163.com

际上看,主要涉及对于经济合作与发展组织中的部分国家和地区<sup>[4,5]</sup>、中东和北非地区17个国家碳排放效率的研究<sup>[6,7]</sup>,其中,Wang通过对23个OECD国家碳排放绩效的测算,强调了技术进步在碳排放中的重要性<sup>[8]</sup>。至于中国与其他国家或区域的比较,主要有中国大陆和中国台湾之间<sup>[9]</sup>,以及与印度之间碳排放效率的差异研究<sup>[10]</sup>。在中国大陆内部区域,东部省份的碳排放效率明显高于内陆省份<sup>[11]</sup>,不同省市在碳排放效率上的差距逐步加大,其中山西省就属于碳排放的低效区<sup>[12]</sup>。关于旅游业的碳排放效率,王坤等测算了中国省际水平的旅游业碳排放效率,结果发现中国旅游业的碳排放效率总体上仍然较低<sup>[13]</sup>。从2001-2009年期间旅游业碳排放的省级区域差异看,山西省在旅游业碳排放总量、人均游客碳排放量和单位旅游收入碳排放量上,分别位居全国第六、第七和第五<sup>[14]</sup>。据王铮等测算,十二五期间山西省人均碳排放需求也居于全国第二,明显高于其他省份<sup>[15]</sup>。由此可知,山西省旅游业发展面临较大的节能减排压力。

微观层面的研究更多从企业层面来展开,主要表现为不同学者利用不同的计算方法,测算了不同企业的生产效率或环境效率。例如:Reinhard同时结合随机前沿分析和数据包络分析两种方法,对荷兰牛奶厂的环境效率进行了测算<sup>[16]</sup>。Chung等基于Malmquist-Luenberger生产率指数,对瑞典纸浆厂的生产效率进行了分析<sup>[17]</sup>。张秀秀基于三阶段仁慈型模型,计算并研究了10余家国际航空公司在2008-2012年期间的碳排放效率<sup>[18]</sup>。

从资源消耗和能源利用看,中国酒店业仍然呈现出“高投入、高消耗、高污染”的特征<sup>[19]</sup>,对其碳排放的测算是其基础性的工作。目前酒店碳排放的测算方法有多种,例如:刘益利用投入产出法测算了中国酒店业的能耗水平,结果发现,中国酒店业整体上仍然处于高耗能阶段<sup>[20]</sup>。Wu等基于回归模型的归一化排序,建立了能源绩效的基准,并根据企业温室气体排放核算的标准程序,估算了新加坡酒店业的碳排放量<sup>[21]</sup>。黄崎等基于分解分析法,构建了酒店能耗和碳排放的评估模型,并结合上海等区域不同星级酒店的碳排放,分析了其节能减排的潜力<sup>[19]</sup>。沈杨等从游客消费的视角,构建了生命周期的酒店业碳排放核算框架,并分析了宁波市不同星级酒店的碳排放水平<sup>[22]</sup>。Tsai等估算了台湾不同星级酒店的碳排放,结果发现服务质量较高的酒店具有较高的碳排放<sup>[23]</sup>。碳足迹是从酒店的整个经营过程来全面评估其碳排放,主要方法有生命周期评价法、投入产出法和混合生命周期分析法<sup>[24]</sup>。Filimonau等在回顾酒店碳足迹方法的基础上,构建了生命周期能源分析法,认为该方法对于游客住宿所带来的碳影响评价,能从产品到服务进行一个全面的温室气体排放的测算,优于生命周期评价法<sup>[25]</sup>。其中,酒店运营期期间的能源消耗是其碳排放的主体<sup>[26,27]</sup>,杨璐等测算和比较了山岳型景区酒店(黄山风景区狮林大酒店)和城市酒店(黄山市天都国际大酒店)运营期的碳足迹,并利用人均每房晚碳足迹、单位收入碳足迹、单位建筑面积碳足迹3个指标分析了酒店碳足迹的效率<sup>[28,29]</sup>。由这些文献可知,已有的研究主要集中于酒店碳排放的测算和碳足迹,而关于酒店碳排放效率的研究鲜有报道,仅有部分研究是从单位建筑面积排放量、单位床天数排放量、单位游客排放量、单位收入排放量等指标来衡量<sup>[22,29]</sup>,基于数据包络分析的酒店碳排放效率研究未见报道。其次,已有研究的对象主要为城市酒店的碳排放,而对山地型景区的酒店碳排放关注较少。

碳减排目标下经济增长路径的探讨,可以为我们以最小的经济代价实现碳排放强度目标提供科学依据<sup>[30]</sup>。面对碳减排目标的最优政策的探讨,涉及不同的研究视角。尽管征收碳税是一种有益的方法,但是在不同区域、行业之间也有诸多不足<sup>[31]</sup>。就区域、企业等经济体而言,从提高能源利用的视角来进行政策模拟,或寻求自身的减排政策,应该更有效。例如,朱永彬等以研发投资为减排手段,构建了碳排放强度目标约束下的最

优控制模型<sup>[30]</sup>,但是关于碳排放效率、强度及其影响因素的研究,尤其是基于碳排放效率与影响因素之间关系来寻求减排路径的研究,尚较少报道。从上述分析可知,诸多宏观层面的研究多是从国家或区域的角度比较碳排放效率的差异,微观层面的研究较为匮乏。对碳排放效率的测算,尽管出现了很多新方法,但实践证明DEA仍是一个有效的方法。对于碳排放效率和影响因素之间的关系,已有研究更多的是基于区域研究的层面进行了比较分析,但是并没有直接将碳排放效率和影响因素之间的关系统一建立起来并表达清晰,其间的关系有待进一步厘清。

典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)是数学生态学上一种用以研究样本与环境因子之间关系的方法,能够将样本数据和环境因子数据统一起来并进行运算,继而实现二者关系的直观表达<sup>[32]</sup>。基于此,本文将运用此方法来深入探究酒店碳排放效率与关键性影响指标之间的关系。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究区概况

从酒店对象所处的区域看,已有研究过多地关注城市酒店,而较少关注山地型景区的酒店。从碳排放的角度看,与城市酒店相比,山地型景区的酒店因不利的自然环境和特殊的服务对象,消耗的资源 and 能源更多,其能源利用效率更值得探讨。五台山是5A级景区、世界文化景观遗产地,旅游发展迅速。从接待人数上看,五台山景区从2011-2014年接待的游客人数不断增长,2014年游客量达709万人。从旅游收入上看,2011-2014年呈快速增长趋势,2014年旅游收入已高达461164万元。以2014年的旅游收入结构看,门票收入、商品收入、餐饮收入、交通收入和住宿收入分别占3.87%、19.2%、17.28%、14.4%和26.87%,其中尤以住宿收入所占比例最高,可见住宿业在旅游活动中的重要性。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 数据来源与指标选取** 五台山景区内部酒店林立,规模不等,非星级酒店、3星级至5星级酒店并存。但是由于受近年经济环境的制约,酒店方均不愿提及或挂牌星级,利用已有的星级来衡量酒店规模与现实不符,因此,本文选用注册资本来衡量酒店规模。在投入指标的选择上,土地、资本和劳动是经济学意义上最基本的投入生产要素,结合酒店的实际经营,建筑面积是反映酒店建筑建设规模的实物量指标,是酒店经营的物质凭借,是土地要素的具体体现;客房作为酒店的主要功能所在,一方面,其装修设计均需要一定的资本投入,另一方面,其数量多寡主要表征其可能的盈利状况;从业人员数量可以反映酒店投入的劳动力大小。在产出指标上,碳排放主要来源于能源消耗所释放出的CO<sub>2</sub>。因五台山地质环境复杂,整个景区天然气管道尚未实现,山西煤炭资源丰富,目前使用的能源主要是煤和电。据已有研究,可知用电量和用水量是酒店消耗最大的两类资源<sup>[19,33,34]</sup>。自来水自身不产生碳排放,但其最终会转化成污水,在其排放过程会产生大量CO<sub>2</sub>。在酒店运营中,电力消费和水供应属于酒店准备阶段的上游排放,污水处理产生的碳排放属于消费后阶段的下游排放,因而耗电量和耗水量均属于酒店的间接排放,但其排放量不容忽视。酒店碳排放主要来源于电力消耗(占65%~92%)<sup>[19,20,22]</sup>,高星级酒店平均用电量是城市居民用电量的10倍以上,酒店人均日耗水量是居民的5倍多<sup>[24,34]</sup>。五台山景区酒店的能源消耗主要涉及耗水、耗电和耗煤。因而,采用建筑面积、客房数和从业人员数作为投入指标,采用耗水量、耗电量和耗煤量作为产出指标。

本文选取注册资本在100万元以上的酒店作为研究对象,共28家。2015年8月,采

用访谈和问卷调查的方式对酒店样本进行调查, 调查内容主要涉及7个方面的关键性指标, 主要包括注册资本(Registered Capital, RC)、客房数(Room Number, RN)、建筑面积(Floor Area, FA)、从业人员数(Staff Number, SN)、耗煤(Coal, C)量、耗电(Electricity, E)量和耗水(Water, W)量。调查数据主要来源于五台山风景名胜区旅游局、工商所、电管站、自来水公司, 同时, 对28家酒店的主管或相关负责人进行访谈和问卷调查。调查数据涉及2012-2014年, 利用这些酒店3年各指标的平均值进行计算。

**2.2.2 数据概况** 由表1可知, 在酒店注册资本上, 最大的是锦绣山庄和金都山庄, 达2500万元, 最小的是鑫海宾馆, 仅有100万元, 平均注册资本是1215万元; 在建筑面积上, 友谊宾馆最大, 达42000 m<sup>2</sup>, 运政宾馆最小, 仅有900 m<sup>2</sup>, 酒店平均建筑面积为11083.79 m<sup>2</sup>; 在客房数量上, 五峰宾馆最多, 有500间, 胜家酒店最少, 仅有32间, 平均客房数量是111.43间; 在从业人员数量上, 五峰宾馆最多, 有

表1 酒店不同指标的数据特征

Tab.1 The data characteristics of hotels' different indices

指标	最大值	最小值	平均值	标准差
注册资本(万元)	2500	100	1215	601.82
建筑面积(m <sup>2</sup> )	42000	900	11083.79	11922.99
客房数量(间)	500	32	111.43	92.05
从业人员数(人)	260	15	71.50	69.11
耗煤量(kg/a)	600000	50	213928.57	184126.11
耗水量(t/a)	45000	1400	14732.93	13304.72
耗电量(kW·h/a)	1905003	12228	333878.07	393660.37

260人, 运政宾馆最少, 仅有15人, 平均从业人员是71.5人; 在耗煤量上, 消耗煤炭最多的是五峰宾馆, 达600000 kg/a, 最少的是凉城山庄, 仅为50 kg/a, 平均耗煤量是213928.57 kg/a; 在耗水量上, 消耗水资源最多的是栖贤阁, 达45000 t/a, 最小的是运政宾馆, 仅有1400 t/a, 平均耗水量为14732.93 t/a; 在耗电量上, 消耗电力最多的是凉城山庄, 达1905003 kW·h/a, 最少的是运政宾馆, 仅有12228 kW·h/a, 平均耗电量是333878.07 kW·h/a。从各指标的标准差可知, 耗电量>耗煤量>耗水量>建筑面积>注册资本>客房数量>从业人员数量。

**2.2.3 测算方法** 测算酒店碳排放效率主要有数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)和随机前沿分析(Stochastic Frontier Approach, SFA), 其关键区别在于生产前沿面的确定。SFA作为一种参数方法, 是通过回归分析的方法来构造生产前沿面, 并且认为实际投入或产出偏离生产前沿面的原因是由于随机误差和技术无效率而造成的, 显然其模型设置带有主观性, 且容易受到统计误差和干扰因子的影响。DEA作为一种非参数方法, 是通过线性规划来确定生产前沿面, 其函数模型是根据实际情况构造出来, 结果更客观, 并且能有效排除人为因素的干扰; 其次, 适用范围广, 对具有多投入、多产出指标的决策单元, 可以实现有效性评价; 第三, 依据投影原理, 它可以找到标准准确值, 经过调整, 可以使非有效的决策单元达到有效。因此, 本文采用DEA方法。

首先, 将酒店的建筑面积、客房数和从业人员数量作为投入指标, 将其年耗电量、耗煤量和耗水量作为产出指标, 进行数据包络分析。利用软件DEAP 2.1对28家酒店的调研数据进行DEA模型的测算, 结果得到各家酒店的碳排放效率值, 包括其规模效率值、纯技术效率值和技术效率值3个方面。

其次, 在上述计算28家酒店的碳排放效率的基础上, 构建3×28维的矩阵, 继而运用双向指示种分析(Two-Way Indicator Species Analysis, TWINSpan)对该数据矩阵进行计算<sup>[32]</sup>, 从而判断酒店的碳排放效率的类型。

最后, 将28家酒店的注册资本、建筑面积、客房数、从业人数、以及其耗水量、耗电量、耗煤量等指标值, 构建7×28维的数据矩阵, 并结合上述矩阵, 利用典范对应分析

方法进行运算, 其结果便可揭示7个关键性指标影响酒店碳排放效率的机制。

### 3 结果分析

#### 3.1 酒店碳排放效率的计算结果

根据DEA测算结果可知(表2和表3), 在28家酒店中, 仅有9家酒店(花卉山庄、银海山庄、圆缘宾馆、武警接待中心、灵峰山庄、胜家酒店、凉城山庄、仰佛山庄和银苑山庄)在节能减排方面能够达到技术效率的最大化, 实现了技术效率有效, 它们占酒店总数的32%。剩余19家酒店(五峰宾馆、栖贤阁、锦绣山庄、金都山庄、运政宾馆、石油宾馆、友谊宾馆、云龙宾馆、云峰宾馆、龙华宾馆、税苑山庄、银馨宾馆、鑫海宾

表2 酒店碳排放效率测算结果

Tab.2 The measuring results of hotels' carbon emission efficiency

酒店	纯技术效率		规模效率		技术效率	
	纯技术效率值	是否有效	规模效率值	是否有效	技术效率值	是否有效
五峰宾馆	1.00	有效	0.40	无效	0.40	无效
栖贤阁	1.00	有效	0.86	无效	0.86	无效
友谊宾馆	0.83	无效	0.66	无效	0.54	无效
花卉山庄	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
银海山庄	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
锦绣山庄	1.00	有效	0.94	无效	0.94	无效
金都山庄	1.00	有效	0.54	无效	0.54	无效
云龙宾馆	0.96	无效	0.97	无效	0.92	无效
云峰宾馆	0.92	无效	0.74	无效	0.68	无效
圆缘宾馆	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
龙华宾馆	0.45	无效	0.97	无效	0.44	无效
税苑山庄	0.35	无效	0.99	无效	0.35	无效
银馨宾馆	0.38	无效	0.99	无效	0.37	无效
武警接待中心	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
灵峰山庄	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
胜家酒店	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
凉城山庄	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
鑫海宾馆	0.37	无效	0.78	无效	0.29	无效
仰佛山庄	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
金界山庄	0.62	无效	0.99	无效	0.61	无效
龙泉山庄	0.49	无效	0.99	无效	0.49	无效
佛山宾馆	0.71	无效	0.65	无效	0.46	无效
运政宾馆	1.00	有效	0.42	无效	0.42	无效
石油宾馆	1.00	有效	0.77	无效	0.77	无效
银苑山庄	1.00	有效	1.00	有效	1.00	有效
晋卫宾馆	0.95	无效	0.52	无效	0.49	无效
鑫运泽宾馆	0.47	无效	0.99	无效	0.47	无效
民政宾馆	0.76	无效	0.76	无效	0.58	无效

表3 酒店碳排放效率的统计描述

Tab.3 The statistical description of hotels' carbon emission efficiency

效率类型	最大值	最小值	平均值	标准差	有效酒店数	有效酒店比例 (%)
技术效率	1.00	0.29	0.70	0.26	9	32
纯技术效率	1.00	0.35	0.83	0.24	15	54
规模效率	1.00	0.40	0.85	0.19	9	32

馆、金界山庄、龙泉山庄、佛山宾馆、晋卫宾馆、鑫运泽宾馆、民政宾馆)的技术效率无效,占到酒店总数的68%。它们在低碳经营方面表现不佳,其碳排放效率亟待提升。所有酒店的技术效率平均值是0.70,最小值为0.29,标准差为0.26,表明不同酒店在技术效率值上有一定的差距。

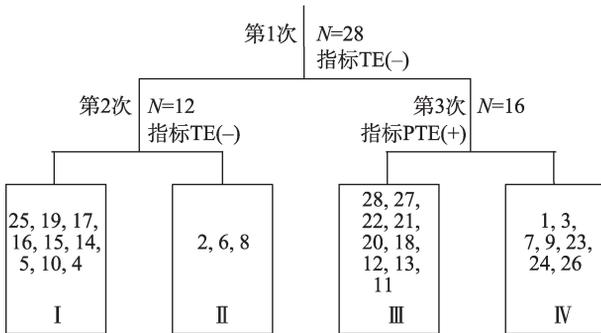
在纯技术效率上,五峰宾馆、栖贤阁、花卉山庄、银海山庄、锦绣山庄、金都山庄、圆缘宾馆、武警接待中心、灵峰山庄、胜家酒店、凉城山庄、仰佛山庄、运政宾馆、石油宾馆和银苑山庄(15家酒店)实现了完全有效,而剩余13家酒店仍然处于无效状态,各自比例分别是54%和46%。纯技术效率的平均值是0.83,最小值是0.35,标准差是0.24,说明其分布不均、差距较大。从总体上看,一半以上的酒店实现了纯技术效率有效,但是不同酒店之间的差距仍然较大。例如,纯技术效率最小的税苑山庄,其值仅仅是0.35,表明该酒店对现有技术的利用能力最弱,在低碳技术改造方面有65%的提升空间。从平均值看,五台山景区所有酒店在低碳技术水平方面尚有17%的提升空间,即如果要进行低碳技术改造,那么将可能带动碳排放效率水平的提升。

相比较技术效率和纯技术效率而言,规模效率的最小值和平均值都较高,分别是0.40和0.85;相反,在3种效率值中,规模效率的标准差最低,说明该时期大多数酒店的资源投入规模得到一定的发挥。其中,花卉山庄、银海山庄、圆缘宾馆、武警接待中心、灵峰山庄、胜家酒店、凉城山庄、仰佛山庄和银苑山庄(9家酒店)实现了规模效率有效(占酒店总数的32%),但是剩余19家酒店仍然处于无效状态(占酒店总数的68%)。

### 3.2 分类结果

TWINSpan分类最大的特点是能够根据指示指标的特征将所有样本逐步划分出来,直至满意的结果。在本次分类运算中,共进行了3次划分,28家酒店分为了4组类型。其中,在第一次和第二次划分中,指标TE(技术效率)均起了重要的指示作用,在第三次划分中,指标PTE(纯技术效率)起了重要的指示作用(图1)。

表4是4组酒店类型在碳排放效率方面的对应平均值,由此推知,在碳排放效率上,第I组和第II组均比第III组和第IV组要高,说明前两组酒店类型在低碳经营管理方面水平较高,而后两组酒店类型在节能减排方



注: 指标TE为技术效率, 指标PTE为纯技术效率。酒店序号及名称: 1五峰宾馆, 2栖贤阁, 3友谊宾馆, 4花卉山庄, 5银海山庄, 6锦绣山庄, 7金都山庄, 8云龙宾馆, 9云峰宾馆, 10圆缘宾馆, 11龙华宾馆, 12税苑山庄, 13银馨宾馆, 14武警接待中心, 15灵峰山庄, 16胜家酒店, 17凉城山庄, 18鑫海宾馆, 19仰佛山庄, 20金界山庄, 21龙泉山庄, 22佛山宾馆, 23运政宾馆, 24石油宾馆, 25银苑山庄, 26晋卫宾馆, 27鑫运泽宾馆, 28民政宾馆。

图1 28家酒店的TWINSpan分类  
Fig. 1 The TWINSpan classification of 28 hotels

面利用既有资源的能力较弱,尤其是在资源投入规模中存在一定的浪费,从而造成碳排放效率低下。

第二次划分发生在第Ⅰ组和第Ⅱ组之间,根据指示指标,可以判断第Ⅰ组酒店全部实现了技术效率的完全有效,其碳排放效率明显高于其它酒店,值得借鉴和学习。在3种效率值上,第Ⅱ组酒店要比第Ⅰ组酒店要小,但是又明显高于后两组酒店类型,说明该类酒店在节能减排实践中做的较好,但仍有一定的提升空间。

第三次划分发生在第Ⅲ组和第Ⅳ组之间,根据指示指标,可以识别第Ⅲ组的纯技术效率低于第Ⅳ组,规模效率却相对较高,由此推知,该类酒店相对较好地控制了酒店低碳资源的投入规模,但是受到了低碳技术利用水平不高的限制,将来不仅应继续提高资源的规模效率,更应注重大力提升其低碳技术利用水平。对比而言,第Ⅳ组应更合理的控制投入规模,避免资源浪费。

综上可得出如下结论:第Ⅰ组酒店在碳排放效率值上是最高的,说明其在低碳经营方面做的最好;第Ⅱ组酒店的低碳发展水平虽然相对较高,但仍存在改善空间;第Ⅲ组和第Ⅳ组酒店在碳排放效率值上是相对最低的,说明其节能减排形势不容乐观,其中,第Ⅲ组酒店应提高现有低碳技术的利用水平,第Ⅳ组酒店应控制投入规模。

### 3.3 CCA结果

**3.3.1 不同酒店类型的典范对应分析** 观察图2可发现,不同酒店类型在CCA排序图中的空间分布情况差异明显。碳排放效率相对较高的第Ⅰ组、第Ⅱ组酒店类型集中于第四象限。与之相映的是,第Ⅳ组酒店样本全部集中于第一象限,指示其规模效率最低;第Ⅲ组酒店样本则主要集中于第二象限,表征其纯技术效率最低。

根据图2可知,酒店碳排放与影响指标之间的如下关系:第一,从排序轴与各指标的夹角看,第一排序轴与表征酒店建筑面积、耗电量、耗煤量、耗水量的4个线条均较为接近,说明它们之间的关系极为密切。而表征注册资本、从业人员数和客房数的线条分别接近于第一、第二数轴的中心线,与两轴之间的夹角大致相同,由此推知,这3个指标与两轴的密切程度几乎相等。第二,基于指标的空间分布可知,表征注册资本、耗煤量、耗电量、耗水量4个指标分布于第四象限,说明这些指标主要制约第Ⅰ组、第Ⅱ组的碳排放水平。表征建筑面积、客房数、从业人员数的3个指标分布于第一象限,说明这3个指标主要影响第Ⅳ组的碳排放效率。第三,根据典范系数和相关系数可知(表5),第一排序轴与建筑面积、客房数、从业人员数、耗煤量和耗水量5个指标之间的相关性较大,结合图2可以发现,从左向右该5种指标的数值均呈现递增的趋势。而第二排序轴与从业人员数和客房数2个指标之间的相关性较大,表明沿着第二轴自下往上不同酒店的

表4 不同酒店类型碳排放效率的差异

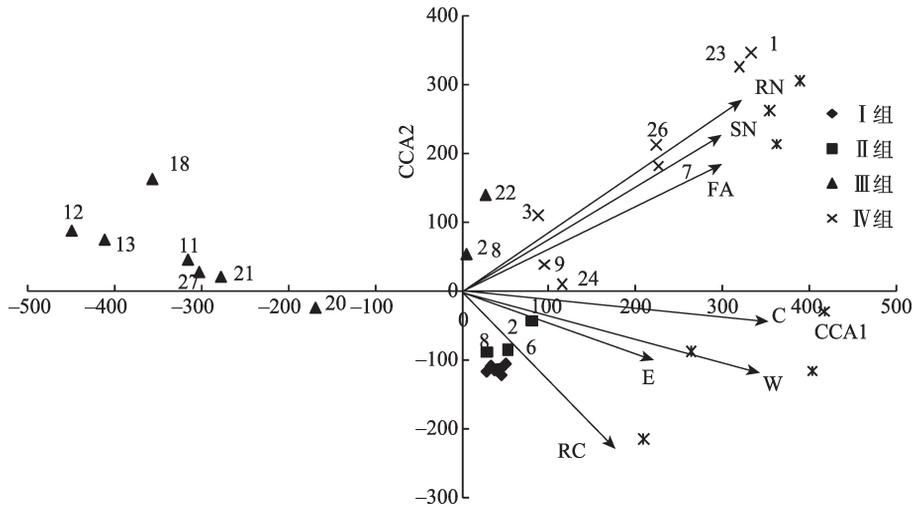
Tab.4 The difference of carbon emission efficiency of different hotel types

	技术效率值	纯技术效率值	规模效率值
第Ⅰ组	1.00	1.00	1.00
第Ⅱ组	0.91	0.99	0.92
第Ⅲ组	0.45	0.51	0.90
第Ⅳ组	0.55	0.96	0.58

表5 CCA排序轴与关键性指标之间的关系

Tab.5 The relationship between the ordination axes of CCA and key indices

		耗煤量	耗电量	耗水量	注册资本	建筑面积	客房数	从业者人数
典范系数	CCA第一轴	0.76	0.48	0.73	0.38	0.66	0.71	0.65
	CCA第二轴	-0.04	-0.11	-0.15	-0.28	0.27	0.39	0.34
相关系数	CCA第一轴	0.42	0.26	0.41	0.21	0.36	0.39	0.35
	CCA第二轴	-0.03	-0.09	-0.12	-0.22	0.21	0.30	0.26



注：① 酒店序号及名称同图1；② RC：注册资本；RN：客房数；FA：建筑面积；SN：从业人员数；C：耗煤量；W：耗水量；E：耗电量。

图2 不同酒店碳排放效率类型的CCA排序

Fig. 2 The CCA ordination of different types of hotels' carbon emission efficiency

从业人员数和客房数均表现出增加的态势。最后，基于指标的线条长短可知，在与第一轴关系密切的5种指标中，耗电量指标的线条最短，其余4种指标的线条长度均相对较长。在与第二轴关系密切的指标中，注册资本和客房数的线条都相对较长。显然，表征各指标的线条长短与其和两个排序轴之间的相关性是相一致的。

不同酒店类型的碳排放效率依次发生如下变化：从第四象限、第一象限到第二象限，酒店碳排放效率的类型依次由第I组逐步向第II组、第IV组、第III组过渡，在此递变期间，酒店的碳排放效率不断降低，但是具有显著的“弓形效应”<sup>[32]</sup>。

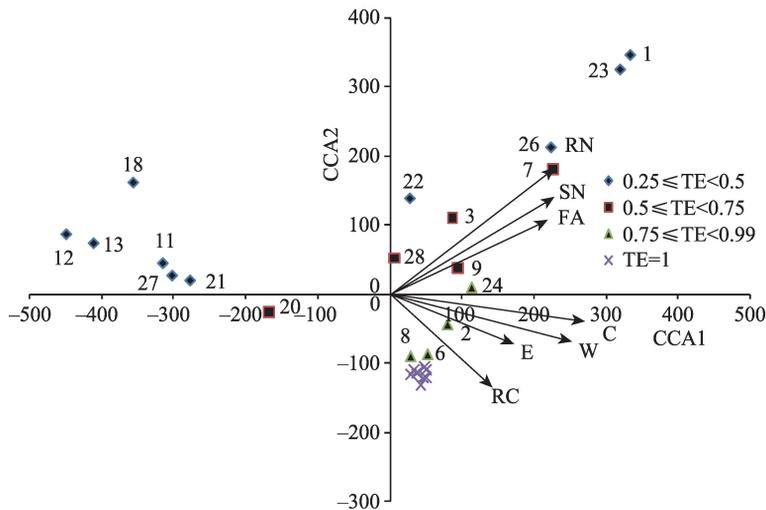
**3.3.2 酒店碳排放效率与主要指标之间的关系** 以0.25为步长，将酒店的纯技术效率、规模效率和技术效率各分为5级区间，在实际分级中，因碳排放效率值均高于0.25，故实际仅有4级区间。

(1) 技术效率与主要指标的关系

由表2可知，有10家酒店的技术效率值处于2级区间，5家酒店的技术效率值处于3级区间，4家酒店技术效率值处于4级区间，9家酒店的技术效率值处于5级区间，分别占酒店总数的36%、18%、14%和32%。

图3显示了不同酒店样本在技术效率值上的对应分级、以及主要指标的空间格局，由此推知，自右下方向左上方，酒店的技术效率表现出不断减小的趋势，在此期间，建筑面积、客房数和从业人员数3个指标对其有明显的制约作用，而注册资本、耗煤量、耗水量和耗电量对其有显著的正向影响。其中，建筑面积、客房数和从业人员数对位于4级区间的1家酒店(24)、2级区间的4家酒店(1、22、23、26)、3级区间的4家酒店(酒店序号分别为：3、7、9、28)有明显的限制作用，因此，要提高这9家酒店的技术效率，需要从这3个指标上着手。相反，对于酒店11、12、13、18、21和27(共6家)，应围绕耗煤量、耗电量、耗水量和注册资本4个指标来寻找突破口。至于酒店20，应该需要同时整合7项指标，从各方面都采取合理措施，来改善其现状。

(2) 纯技术效率与主要指标的关系



注: ① 酒店序号及名称同图1; ② 各指标同图2; ③ 在5级区间内, 9家酒店(4、5、10、14、15、16、17、19、25)的技术效率值均为1, 故集中分布, 其序号未标出。

图3 酒店技术效率与主要指标之间的关系

Fig. 3 The relationship between hotels' technical efficiency and main indicators

由表2可知, 在纯技术效率的对应分区中, 有6家酒店处于2级区间, 占酒店总数的21%; 有2家酒店处于3级区间, 占酒店总数的7%; 有5家酒店处于4级区间, 占酒店总数的18%; 有15家酒店处于5级区间, 该类酒店最多, 占到酒店总数的54%。

由图4可知, 沿着第一排序轴, 自右到左, 酒店的纯技术效率值表现出逐步减小的趋势, 但是由于“弓性效应”的影响, 处于3级和4级区间内的酒店样本彼此紧凑, 界线模糊。通过分析7个指标对纯技术效率的制约作用, 可以发现, 这些指标共同影响着酒店碳排放的纯技术效率。对于酒店11、13、12、18、20、21和27(共7家), 其纯技术效率相对最低, 受耗煤量、耗电量、耗水量和注册资本等指标的影响明显, 因而尤其应在这4个指标上作出识别和判断, 以寻求最优的节能减排方案。对于酒店3、9、22、26和28(共5家), 其纯技术效率明显受到建筑面积、客房数量和从业者人数的影响, 因而应着重围绕这3个指标去寻找解决路径。

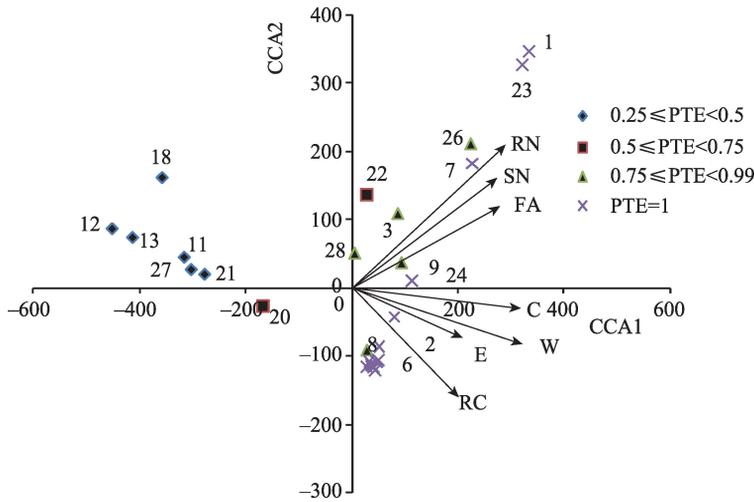
### (3) 规模效率与主要指标的关系

对于规模效率的分级, 由表2可知, 处于5级区间、4级区间、3级区间和2级区间的酒店数量分别是9家、12家、5家和2家, 各自占酒店总数的32%、43%、18%和7%。

由图5可知, 属于5级区间的酒店分布在第四象限, 属于4级区间的酒店主要分布在第二象限和第四象限, 属于2级和3级区间的酒店则分布在第一象限。酒店的规模效率值自右上方左下方呈现出逐渐增加的趋势。通过分析7个指标对规模效率的影响, 可以发现, 建筑面积、客房数和从业人员数3个指标对规模效率有显著的负向作用, 例如, 酒店1、3、7、9、22、23、24、26和28(共9家)受其影响明显, 因此这些酒店应统筹考虑这3个指标来采取相应的措施。至于注册资本、耗电量、耗煤量和耗水量4个指标却在一定程度上制约了规模效率的提高。对于规模效率较高的酒店11、12、13、20、18、21和27(共6家), 则需要在这4个指标上采取合理措施, 以提高其规模效率。

### 3.4 影响酒店碳排放效率的其他因素

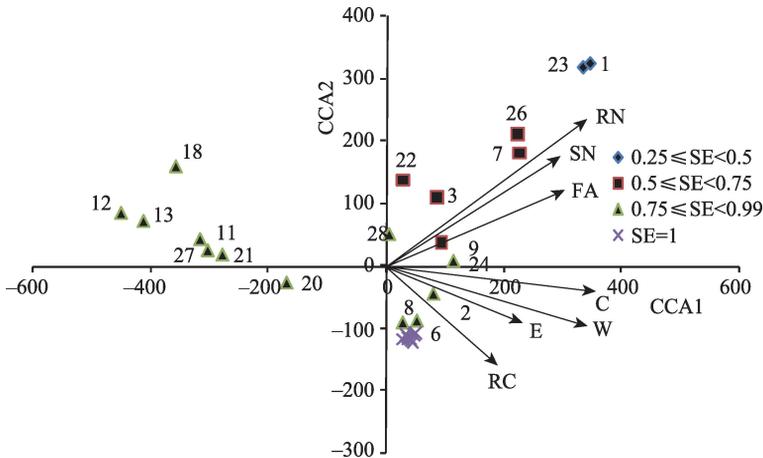
除了上述7个指标外, 游客的低碳认知、酒店从业者的受教育水平和低碳服务意



注：① 酒店序号及名称同图1，② 各指标同图2，③ 对于处在5级区间内的15家酒店，只列出6家酒店（1、23、7、24、2、6），剩余的9家酒店（4、5、14、10、16、15、19、17、25），因其技术效率也是1，集中分布，没有列出其序号。

图4 酒店纯技术效率与主要指标之间的关系

Fig. 4 The relationship between hotels' pure technical efficiency and main indicators



注：① 酒店序号及名称同图1；② 各指标同图2；③ 因5级区间内的9家酒店的规模效率均为1，集中分布，故没有列出其序号。

图5 酒店规模效率与主要指标之间的关系

Fig. 5 The relationship between hotels' scale efficiency and main indicators

识、以及节能设施设备使用情况等均会影响酒店的碳排放效率。

从五台山游客对低碳旅游认知看，低碳住宿认知、以及与酒店有关的低碳循环认知都相对其他旅游环节较高。然而，由于目前我国游客的低碳旅游认知仍处于初级阶段，游客的低碳认知水平整体不高，参与意愿不强，低碳认知和意愿与其行为之间仍有差距。因而游客自觉实施低碳行为尚需一个漫长的过程。从影响因素上看，五台山大多数游客内因驱动力不强，受外部因素的影响较大，尤其是外部社会参照能显著地影响游客的低碳旅游意识，因而低碳酒店建设需要营造良好的低碳消费氛围和条件<sup>[35]</sup>。

酒店从业者是低碳产品和服务的直接提供者。通过调查,不同类型酒店从业者的受教育水平分别是:大学及以上程度者,第Ⅱ组(39.7%)>第Ⅰ组(28.1%)>第Ⅳ组(26.8%)>第Ⅲ组(20%);高中或中专者,第Ⅰ组(59.7%)>第Ⅳ组(49.1%)>第Ⅲ组(46.2%)>第Ⅱ组(38.24%);初中及以下者,第Ⅲ组(33.9%)>第Ⅳ组(24.1%)>第Ⅱ组(22.1%)>第Ⅰ组(12.2%)。由此可知,在碳排放效率较高的第Ⅰ组和第Ⅱ组中,大学及以上学历的从业者较多;而在第Ⅲ组和第Ⅳ组中,初中及以下学历的从业者较多。

酒店从业者的低碳服务和经营意识可从表6反映出来,其中,在4个指标上,持同意态度的情况分别如下:对于不同星级酒店的碳排放,第Ⅰ组(89.5%)>第Ⅳ组(74.1%)>第Ⅲ组(58.5%)>第Ⅱ组(52.9%);在坚持低碳服务有利于酒店可持续经营方面,第Ⅰ组(84.2%)>第Ⅱ组(83.8%)>第Ⅳ组(75.7%)>第Ⅲ组(73.8%);在愿意配合酒店低碳措施去提供服务方面,第Ⅰ组(82.5%)>第Ⅱ组(75%)>第Ⅳ组(74.1%)>第Ⅲ组(56.9%);在愿意向顾客宣传节能减排的重要性方面,第Ⅱ组(77.9%)>第Ⅳ组(75%)>第Ⅰ组(73.7%)>第Ⅲ组(46.2%)。从总体上看,第Ⅰ组从业者的低碳服务和经营意识最高,第Ⅲ组则最低,第Ⅱ组和第Ⅳ组介于二者之间,其中第Ⅱ组稍高。

酒店的节能设施设备涉及照明、制冷、制暖、节水等环节。从照明设备上看,所有酒店均选择了节能灯。从制冷设备的使用情况看(表7),由于五台山年平均气温为 $-4.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,1月份平均气温为 $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,7月份平均气温为 $9.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,因而有18家酒店均未采用任何制冷设备,其中,第Ⅰ组有8家,第Ⅱ组有1家,第Ⅲ组有6家,第Ⅳ组有3家。而在采用制冷设备上,第Ⅰ组仅有1家,采用电风扇;第Ⅱ组有2家,使用电风扇、冷风机和电空调;第Ⅲ组有3家,采用水空调和电空调;第Ⅳ组有4家,也采用水空调和电空调。由此推知,从第Ⅰ组到第Ⅳ组,不仅采用制冷设备的酒店数在增加,而且其潜在的耗能量也增大。

表6 酒店从业者的低碳服务和经营意识(%)

Tab.6 The low-carbon service and management awareness of hotel operators (%)

		非常不同意	不同意	无所谓	同意	非常同意
不同星级酒店的碳排放是不相同的	第Ⅰ组	0	1.75	8.77	56.14	33.33
	第Ⅱ组	4.41	11.76	30.88	41.17	11.76
	第Ⅲ组	0	7.69	33.85	47.69	10.77
	第Ⅳ组	0	0	25.89	53.57	20.54
坚持低碳服务有利于酒店可持续经营	第Ⅰ组	1.75	8.77	5.26	54.39	29.82
	第Ⅱ组	0	4.41	11.76	50	33.82
	第Ⅲ组	0	1.54	24.62	58.46	15.38
	第Ⅳ组	0	2.68	21.61	56.96	18.75
愿意配合酒店低碳措施去提供服务	第Ⅰ组	0	3.51	14.04	57.89	24.56
	第Ⅱ组	0	7.35	17.65	58.82	16.18
	第Ⅲ组	0	6.15	36.92	33.85	23.08
	第Ⅳ组	0	2.68	23.21	60.71	13.39
愿意向顾客宣传节能减排的重要性	第Ⅰ组	0	5.26	21.05	56.14	17.54
	第Ⅱ组	0	1.47	20.59	50	27.94
	第Ⅲ组	0	10.77	43.08	35.38	10.77
	第Ⅳ组	0	2.68	22.32	59.82	15.18

表7 酒店节能设施设备的使用情况  
Tab. 7 Utilization situation of energy-saving facilities and equipment in hotels

节能设施设备的使用		第I组	第II组	第III组	第IV组
制冷设备的 使用情况*	电风扇	1	1	0	0
	冷风机	0	1	0	0
	水空调	0	0	1	1
	电空调	0	1	2	3
	未采用	8	1	6	3
制暖设备的 使用情况*	电暖	0	1	1	0
	水暖	7	3	6	6
	空调制暖	3	1	3	3
热水供应设备 的使用情况	太阳能	2	1	0	1
	用电	0	0	2	1
	余热回收	7	2	6	5
	锅炉	0	0	1	0
节水系统的 使用情况	雨水收集利用系统	2	0	2	1
	蒸汽系统冷凝水回收	1	0	0	0
	中水系统	2	1	0	0
	使用节水器具	4	1	2	2
	没采用	0	1	5	4

注：\*表示该题项属于多项选择。

式，其中前2种属于节能方式，后2种是耗能方式。由表7可知，第I组有7家酒店采用余热回收，2家酒店采用太阳能；第II组有2家酒店采用余热回收，1家酒店采用太阳能；第III组有6家酒店采用余热回收，2家酒店采用电力供应，1家酒店采用锅炉供应；第IV组有5家酒店采用余热回收，1家酒店采用太阳能，1家酒店采用电力供应。可见，在热水供应设备上，第I组和第II组酒店均全部实现了节能技术的利用，而第III组酒店表现最差，仍有1/3的酒店使用电力和锅炉供应。

从节水系统的使用情况看（表7），大多数酒店（18家）能采取不同的节水措施，但仍有10家酒店仍没有采用任何节水设备。其中，第I组9家采用了不同的节水措施；第II组有1家酒店没有任何节水设备；第III组和第IV组分别有5家和4家没有采用任何节水设备。可见，第III组和第IV组酒店的耗水量较多。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

通过DEA和TWINSPAN方法的研究，本文将所有酒店的碳排放效率水平分为4组类型：第I组酒店有9家（占酒店总数的32%），分别是花卉山庄、银海山庄、圆缘宾馆、武警接待中心、灵峰山庄、胜家酒店、凉城山庄、仰佛山庄和银苑山庄，它们碳排放的3种效率值均为1，属于碳排放效率完全型的酒店。第II组包括3家酒店（占酒店总数的11%），分别是栖贤阁、锦绣山庄和云龙宾馆，它们属于碳排放效率较高型的酒店，但是仍存在一定的提升空间。第III组共有9家酒店（占酒店总数的32%），分别是龙华宾馆、

从制暖设备上（表7），水暖是中国北方最主要的过冬取暖方式，且相对节能，而空调制暖则耗能较大。五台山制暖方式涉及水暖、电暖和空调制暖，其中，大多数酒店（有22家）均采用水暖，其次有10家酒店采用空调制暖，电暖只能作为一种辅助的取暖方式，有2家酒店采用。从不同类型酒店采用水暖的角度看，第I组有7家，占该类酒店的78%；第II组有3家，占该类酒店的100%；第III组有6家，占该类酒店的67%；第IV组有6家，占该类酒店的86%。从不同类型酒店采用空调制暖的角度看，第I组有3家，占该类酒店的33%；第II组有1家，占该类酒店的33%；第III组有3家，占该类酒店的33%；第IV组有3家，占该类酒店的43%。可见，第IV组酒店耗能潜力较大。

热水供应设备的使用涉及太阳能、余热回收、用电和锅炉4种方

税苑山庄、银馨宾馆、鑫海宾馆、金界山庄、龙泉山庄、佛山宾馆、鑫运泽宾馆、民政宾馆,它们是纯技术效率最低型的酒店,应该重点关注低碳技术的利用和改造。第Ⅳ组共有7家酒店(占酒店总数的25%),分别是五峰宾馆、友谊宾馆、金都山庄、云峰宾馆、运政宾馆、石油宾馆、晋卫宾馆,它们是规模效率最低型的酒店,应该重点发挥好既有资源的使用效益。

运用CCA分析可知,在第一排序轴上,从左到右,酒店的建筑面积、客房数、从业人员数、耗煤量和耗水量5个指标均呈现递增的趋势。在第二排序轴上,自下向上,不同酒店在从业者人数和客房数上均表现出增加的趋势。基于这些指标的综合影响,酒店碳排放效率的类型从第四象限到第一象限、第二象限,依次由第Ⅰ组逐步向第Ⅱ组、第Ⅳ组、第Ⅲ组过渡,在此递变期间,酒店的碳排放效率不断降低,但是具有显著的“弓形效应”。

## 4.2 讨论

近年来,因素分解法被用来分析资源要素投入与环境污染排放变化之间的关系<sup>[1,36]</sup>,取得了较好的结果,例如,马丽利用LMDI因素分解法分析了工业产值规模、高污染部门比重、产污系数和污染物来源部门结构四个因素对污染物排放变化的贡献度;黄蕊和王琤等利用STIRPAT模型,研究了江苏省人口、富裕度、技术进步和城镇化水平对其能源消费碳排放量的影响<sup>[37]</sup>。但是这些方法尚未能实现二者在空间上的结合。将酒店碳排放效率和影响指标完整结合起来并表达在简化的空间中,一直是学术界关注的焦点和难点。典范对应分析方法的运用,有效揭示了酒店碳排放效率与关键影响指标之间的关系,尤其是在识别关键性指标对酒店碳排放效率的制约作用上实现了新突破。这种研究为酒店提升碳排放效率的路径指出了更加具体的方向。通过分析酒店碳排放效率与关键性指标之间的关系,可以寻找出制约酒店碳排放效率的主要指标,进而找寻出其提升路径。针对碳排放效率较低的第Ⅲ组和第Ⅳ组酒店,可以推知其相应的提升路径。对于龙华宾馆、税苑山庄、银馨宾馆、鑫海宾馆、金界山庄、龙泉山庄和鑫运泽宾馆而言,耗煤量、耗水量、耗电量和注册资本制约了其技术效率和规模效率的提高,因此只要减少其耗煤量、耗水量、耗电量,并限制其规模的扩大,就可提高其技术效率和规模效率。对于其纯技术效率而言,7个因素均对其有制约作用,因而其纯技术效率的提高需要从各方面综合整治。对于佛山宾馆、民政宾馆、五峰宾馆、友谊宾馆、金都山庄、云峰宾馆、运政宾馆、石油宾馆和晋卫宾馆而言,建筑面积、客房数和从业人员数均对其规模效率和技术效率有限制作用,因而它们应该减少相应资源投入的规模。

从影响酒店碳排放效率的其他因素看,面对低碳行为难以推进的游客市场,酒店尚需加强自身的低碳条件建设。对于从业者而言,在第Ⅰ组和第Ⅱ组中,大学及以上学历者较多;而在第Ⅲ组和第Ⅳ组中,初中及以下学历者较多。从总体上看,第Ⅰ组从业者的低碳服务和经营意识最高,第Ⅲ组则最低,第Ⅱ组和第Ⅳ组介于二者之间,其中第Ⅱ组稍高。因此,第Ⅲ组和第Ⅳ组酒店尤应通过低碳培训和教育提高从业者的低碳服务和经营意识。在制冷设备上,从第Ⅰ组到第Ⅳ组,不仅采用制冷设备的酒店数在增加,而且其潜在的耗能量也增大。鉴于五台山凉爽的气候条件,各酒店应尽量少采用制冷设备,摒弃耗能较大的电空调等设备,尤其是第Ⅲ组和第Ⅳ组酒店。在制暖设备上,应优先选用水暖,少选用空调制暖。对于第Ⅲ组和第Ⅳ组酒店,应注重水暖建设。在热水供应设备上,第Ⅰ组和第Ⅱ组酒店均全部实现了节能技术的利用,建议第Ⅲ组和第Ⅳ组酒店尽量选用太阳能和余热回收利用,少用电力和锅炉供应,尤其是第Ⅲ组酒店需要尽快改进热水供应方式。在节水设备上,第Ⅰ组酒店采用了不同的节水措施,但是仍有10家酒店没有任何节水设备,尤其是第Ⅲ组和第Ⅳ组酒店耗水量较多,亟待加强节水设备

建设。

值得讨论的是,首先,碳排放效率的测算与指标选取相关性较强。目前学术界在碳排放效率指标选取上因数据的获得性和可操作性并未达成一致,本文的结论仍值得运用更科学合理的指标进行验证和分析。其次,在样本选择上,只选取了五台山景区注册资本超过100万元的酒店,忽略了规模相对较小的酒店。在全球气候变暖的形势下,规模较小的酒店的碳排放效率变化如何,也值得关注。最后,五台山作为佛教型景区,其酒店的经营性质与大城市区域内的酒店经营应有不同,二者的碳排放效率值得对比,以揭示佛教对酒店碳排放效率的影响。

### 参考文献(References)

- [1] 马丽. 基于LMDI的中国工业污染排放变化影响因素分析. 地理研究, 2016, 35(10): 1857-1868. [Ma Li. Decomposition of China's industrial environment pollution change based on LMDI. Geographical Research, 2016, 35(10): 1857-1868.]
- [2] 马丽, 刘立涛. 基于发达国家比较的中国能源消费峰值预测. 地理科学, 2016, 36(7): 980-988. [Ma Li, Liu Litao. Peak forecast of Chinese energy consumption based on developed countries's trends. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(7): 980-988.]
- [3] Lofgren A, Muller A. The effect of energy efficiency on Swedish carbon dioxide emissions 1993-2004. Working paper of University of Gothenburg, No. 311, 2008.
- [4] Zofio J L, Prieto A M. Environmental efficiency and regulatory standards: the case of CO<sub>2</sub> emissions from OECD industries. Resource and Energy Economics, 2001, 23(1): 63-83.
- [5] Zhou P, Ang B W, Poh K L. Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. Ecological Economics, 2006, 60(1): 73-78.
- [6] Ramanathan R. An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the Middle East and North Africa. Energy, 2005, 30(15): 2831-2842.
- [7] Ramanathan R. A multi-factor efficiency perspective to the relationships among world GDP: Energy consumption and carbon dioxide emissions. Technological Forecasting & Social Change, 2006, 73(5): 483-494.
- [8] Wang C. Decomposing energy productivity change: A distance function approach. Energy, 2007, 32(8): 1326-1333.
- [9] Chen Tser-yiet, Pei-ying, Lai A. Comparative study of energy utilization efficiency between Taiwan and China. Energy Policy, 2010, 38(5): 2386-2394.
- [10] Stern D I, Jotzo F. How ambitious are China and India's emissions intensity targets. Energy Policy, 2010, 38(11): 6776-6783.
- [11] 马大来, 陈仲常, 王玲. 中国省际碳排放效率的空间计量. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(1): 67-77. [Ma Dalai, Chen Zhongchang, Wang Ling. Spatial econometrics research on inter-provincial carbon emissions efficiency in China. China Population Resources and Environment, 2015, 25(1): 67-77.]
- [12] 刘亦文, 胡宗义. 中国碳排放效率区域差异性研究: 基于三阶段DEA模型和超效率DEA模型的分析. 山西财经大学学报, 2015, 37(2): 23-34. [Liu Yiwen, Hu Zongyi. Research on regional difference about carbon emission efficiency in China: Based on three stage DEA model and super efficiency DEA model. Journal of Shanxi University of Finance and Economics, 2015, 37(2): 23-34.]
- [13] 王坤, 黄震方, 曹芳东. 中国旅游业碳排放效率的空间格局及其影响因素. 生态学报, 2015, 35(21): 7150-7160. [Wang Kun, Huang Zhenfang, Cao Fengdong. Spatial pattern and influencing factors of carbon dioxide emissions efficiency of tourism in China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(21): 7150-7160.]
- [14] 钟章奇, 吴静, 许爱文, 等. 中国各省区旅游业碳排放量初步估算及区域差异. 世界地理研究, 2016, 25(1): 83-94. [Zhong Zhangqi, Wu Jing, Xu Aiwen, et al. Preliminary estimation of CO<sub>2</sub> emission of tourism industry and its regional difference in China. World Regional Studies, 2016, 25(1): 83-94.]
- [15] 王铮, 刘晓, 黄蕊, 等. 平稳增长条件下中国各省市自治区的排放需求估算. 中国科学院院刊, 2013, 28(1): 85-93. [Wang Zheng, Liu Xiao, Huang Rui, et al. Estimation of carbon emission requirements under balance growth in the Chinese provinces. China Academic Journal, 2013, 28(1): 85-93.]
- [16] Reinhard S, Lovell C A K, Thijssen G J. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables: estimated with SFA and DEA. European Journal of Operational Research, 2000, 121(2): 287-303.
- [17] Chung H S, Rhee H C. A residual-free decomposition of the sources of carbon dioxide emissions: A case of the Korean industries. Energy, 2001, 26(1): 15-30.

- [18] 张秀秀. 基于DEA的航空公司碳排放效率评价研究. 大连: 大连海事大学硕士学位论文, 2014. [Zhang Xiuxiu. Evaluation of the efficiency of airline carbon emissions based on DEA. Dalian: The Master Dissertation of Dalian Maritime University, 2014.]
- [19] 黄崎, 康建成, 黄晨皓. 酒店业碳排放评估与节能减排潜力研究. 资源科学, 2014, 36(5): 1013-1020. [Huang Qi, Kang Jiancheng, Huang Chenhao. An assessment of carbon emissions and the potentiality of energy-saving in hospitality. Resources Science, 2014, 36(5): 1013-1020.]
- [20] 刘益. 中国酒店业能源消耗水平与低碳化经营路径分析. 旅游学刊, 2012, 27(1): 83-90. [Liu Yi. Analysis of energy consumption level and approaches to low-carbon management in lodging industry of China. Tourism Tribune, 2012, 27(1): 83-90.]
- [21] Wu X, Priyadarsini R, Eang L S. Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore's hotel industry. Energy Policy, 2010, 38(8): 4520-4527.
- [22] 沈杨, 胡元超, 施亚岚, 等. 城市酒店业的碳排放核算及低碳指标分析. 环境科学学报, 2017, 37(3): 1193-1200. [Shen Yang, Hu Yuanchao, Shi Yalan, et al. Carbon emission accounting and low carbon indicator analysis for urban hotel industry. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(3): 1193-1200.]
- [23] Tsai K T, Lin T P, Hwang R L, et al. Carbon dioxide emissions generated by energy consumption of hotels and homestay facilities in Taiwan. Tourism Management, 2014, 42: 13-21.
- [24] 黄英. 酒店碳足迹测算研究综述. 生态经济, 2015, 31(10): 95-102. [Huang Ying. An overview of carbon footprint evaluation of hotel industry. Ecological Economy, 2015, 31(10): 95-102.]
- [25] Filimonau V, Dickinson J, Robbins D, et al. Reviewing the carbon footprint analysis of hotels: Life Cycle Energy Analysis (LCEA) as a holistic method for carbon impact appraisal of tourist accommodation. Journal of Cleaner Production, 2011, 19: 1917-1930.
- [26] Karagiorgas M, Tsoutsos T, Moia-Pol A. A simulation of the energy consumption monitoring in Mediterranean hotels: Application in Greece. Energy and buildings, 2007, 39(4): 416-426.
- [27] Bohdanowicz P, Martinac I. Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels: Case study of Hilton International and Scandic in Europe. Energy and Buildings, 2007, 39(1): 82-95.
- [28] 杨璐, 章锦河, 钟士恩, 等. 山岳型景区酒店与城市中心酒店碳足迹比较分析. 北京第二外国语学院学报, 2015, (9): 52-61. [Yang Lu, Zhang Jinhe, Zhong Shien, et al. Comparative analysis of carbon footprint between hotels in mountain resorts and city. Journal of Beijing International Studies University, 2015, (9): 52-61.]
- [29] 杨璐, 章锦河, 钟士恩, 等. 山岳型景区酒店碳足迹效率及影响因素分析. 生态经济, 2015, 31(3): 126-130. [Yang Lu, Zhang Jinhe, Zhong Shien, et al. Carbon footprint efficiency and its influencing factors on the hotels in the mountain resort. Ecological Economy, 2015, 31(3): 126-130.]
- [30] 朱永彬, 王铮. 排放强度目标下中国最优研发及经济增长路径. 地理研究, 2014, 33(8): 1406-1416. [Zhu Yongbin, Wang Zheng. Optimal R & D investment path for China to fulfill its emission intensity target and the corresponding economic growth path. Geographical Research, 2014, 33(8): 1406-1416.]
- [31] 吴乐英, 王铮, 徐程瑾, 等. 省区碳经济分析的CGE模型及其应用: 以河南省为例. 地理研究, 2016, 35(5): 941-952. [Wu Leying, Wang Zheng, Xu Chengjin, Yan Yanmei. A CGE model for provincial carbon economy: A case study of Henan province. Geographical Research, 2016, 35(5): 941-952.]
- [32] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004. [Zhang Jintun. Quantitative Ecology. Beijing: Science Press, 2004.]
- [33] Beatriz Rosselló-Batle, Andreu Moià, et al. Energy use, CO<sub>2</sub> emissions and waste throughout the life cycle of a sample of hotels in the Balearic Islands. Energy and Buildings, 2010, 42(4): 547-558.
- [34] 李沐纯, 魏卫. 基于低碳技术创新的我国酒店业转型升级发展战略与运营机制研究. 生态经济, 2012, 28(4): 154-157, 161. [Li Muchun, Wei Wei. Research on Chinese hospitality industry transition and upgrading strategy based on low-carbon technology innovation. Ecological Economy, 2012, 28(4): 154-157, 161.]
- [35] 程锦红. 五台山景区游客对低碳旅游的认知研究. 太原: 山西财经大学硕士学位论文, 2016. [Cheng Jinhong. Study on the cognition of tourists toward low-carbon tourism on Wutai Mountain Scenic Area. Taiyuan: Master Dissertation of Shanxi University of Finance and Economics, 2016.]
- [36] 马丽, 张博, 杨宇. 东北地区产业发展与工业SO<sub>2</sub>排放的时空耦合效应. 地理科学, 2016, 36(9): 1310-1319. [Ma Li, Zhang Bo, Yang Yu. The spatio-temporal coupling relationship between industrial development with SO<sub>2</sub> emission of northeast China. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(9): 1310-1319.]
- [37] 黄蕊, 王铮, 丁冠群, 等. 基于STIRPAT模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测. 地理研究, 2016, 35(4): 781-789. [Huang Rui, Wang Zheng, Ding Guanqun, et al. Trend prediction and analysis of influencing factors of carbon emissions from energy consumption in Jiangsu province based on STIRPAT model. Geographical Research, 2016, 35(4): 781-789.]

## Canonical correspondence analysis of hotels' carbon emission efficiency in Wutai Mountain scenic area

CHENG Zhanhong<sup>1,2</sup>, XU Jiao<sup>1</sup>

(1. School of Tourism Management, Shanxi University of Finance & Economics, Taiyuan 030031, China;

2. Center of Resource-Based Economy Research, Shanxi University of Finance & Economics, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** It can provide a reference for the implementation of energy-saving and emission-reducing to measure hotels' carbon emission efficiency. Firstly, the buildings area, rooms and staff number of 28 hotels were taken as the input indicators, and water consumption, power consumption and coal consumption were taken as the output indicators in Wutai Mountain scenic area. Hotels' carbon emission efficiency was calculated by Data Envelopment Analysis. Secondly, the relationship between carbon emission efficiency and key indices was studied by Canonical Correspondence Analysis (CCA) and Two-Way Indicator Species Analysis (TWINSPAN). The results showed that: (1) 9 hotels' technical efficiency was fully effective, 15 hotels' pure technical efficiency was effective, and 9 hotels' scale efficiency was effective. (2) TWINSPAN divided all hotels into four groups. Group I had 9 hotels, accounting for 32% of the total number of hotels in this study, whose three efficiency values of carbon emissions were all 1, so they belonged to the full efficiency group. Group II consisted of three hotels, accounting for 11%. They had higher carbon emission efficiency, but there was still some room for improvement. Group III accounted for 32% of the hotels (9 hotels). They had the lowest pure technical efficiency and should focus on the usage and transformation of low-carbon technology. Group IV had seven hotels, accounting for 25% of the hotels. They should take full advantage of utilization efficiency of the existing resources because of their lowest scale efficiency. (3) By CCA, we could see the relationship between different indicators and the ordination axis, and all of the indicators including hotels' construction area, the number of rooms, the number of employees, coal consumption and water consumption were showing an increasing trend from left to right on the first axis, and the number of practitioners and the number of rooms were showing an increasing trend from bottom to top on the second axis. At the same time, from the fourth quadrant to the first and the second quadrants in the CCA figure, the types of hotels' carbon emission efficiency were transited gradually from group I to group II, group IV and group III. In the process of change, hotels' carbon emission efficiency was decreasing with obvious "arch effect". (4) The restriction of key indices to hotels' carbon emission efficiency was showed by CCA, and the limiting factors were distinguished, which pointed out the path to enhance hotels' carbon emission efficiency.

**Keywords:** Wutai mountain scenic area, hotels, carbon emission efficiency