

# 航空客运收入管理中的超订问题研究现状与前景

李金林<sup>1</sup>, 王民<sup>1,2</sup>

(1.北京理工大学 管理与经济学院, 北京 100081; 2.河南安阳师范学院, 安阳 455002)

**摘要:** 超订是收入管理中的主要内容之一。文章从研究方法的角度将超订模型分为静态模型、动态模型以及超订与存量控制的结合三种类型,对目前已有的超订模型进行了综述和评价,分析了在中国超订研究的现状与不足,在此基础上提出了超订模型进一步研究的若干方向。

**关键词:** 收入管理; 超订; 模型

**中图分类号:** C931

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-3370(2007)02-0036-04

纵观当今世界经济的发展,竞争越来越呈现激烈和全面化的特征。在航空客运领域,为了争夺旅客资源,提高公司的收入,改善公司的效益,航空公司之间的竞争日益白热化。在这一竞争过程中,收入管理(Revenue Management, RM)对于提高公司的竞争力发挥着越来越大的作用。20世纪70年代末美国政府放松对民航管制后,美国民航客运业经历了空前的激烈竞争,并推动收入管理这门学科在理论上和实践中迅速发展。

## 一、收入管理与超订

收入管理是指企业以市场为导向,通过对市场进行细分,对各子市场的消费者行为进行分析、预测,确定最优价格和最佳存量分配策略以实现收入最大化的过程。其核心是在适当的时候将适当的产品以适当的价格销售给适当的顾客,取得最大的经济效益。

几十年来,伴随着经济发展的全球化,尤其是服务行业的快速发展,收入管理在服务行业的很多领域得到了越来越普遍而深刻的应用,这在航空客运业表现得最为明显。以美国为例,根据 Smith 等<sup>[1]</sup>的报告,单就美洲航空公司(American Airlines)一家而言,依靠先进的收入管理手段每年即可增收达5亿美元之多,世界主要航空公司经营中由于应用了收入管理而使得收入提高2%~7%<sup>[2]</sup>。由于收入管理在民航业应用后获得的巨大成功,今天,收入管理技术的应用已经远远不止于航空客运领域,它正被广泛应用于酒店、汽车租赁、电视广告、公路运输、电信和能源供应以及旅游等服务业,并逐渐朝着金融业、零售业、制造业和互联网等新兴的应用领域发展。

航空收入管理的理论研究主要集中在三个方

面:定价;座位存量控制;超订。定价与座位存量控制主要关心的是如何最优地分配座位,为每一座位卖出一个好价格,其本质是合理地调配旅客需求,使航空公司获得最大收入。超订作为收入管理中历史最悠久的一部分,主要关心的是存在退票和误机现象的前提下,如何提高座位存量的效用,其本质是如何将售出座位数量最大化。

航空客运经营中的超订是指航空公司为避免空位损失(Spoiling Cost),在飞机起飞前售出大于飞机物理座位数的机票的一种座位销售模式。超订的目的在于弥补退票或误机(No-Show)旅客造成的座位虚耗而可能给航空公司带来的经济损失。超订是收入管理的重要组成部分,也是被实践证明了的最成功的收入管理手段之一。根据估计<sup>[1]</sup>,约有50%的预定座位最后的结果是退票(Cancellation)或误机(No-Show),可见这将给航空公司造成很大的损失。

超订之所以在航空客运经营中被大量采用,是与航空客运产品的特性分不开的。飞机座位这种产品几乎无法现时交易(只能通过订座系统提前销售),因而无法准确把握飞机起飞前旅客登机的准确情况,某些预订了座位的顾客由于各种原因可能取消预订或者尽管没有取消但不能登机,这就造成航班座位虚耗,而超订是减少座位虚耗的必要措施。另一方面,飞机座位这种产品不同于一般消费商品在于它不能储存,在飞机起飞前的一瞬间,如果一个座位没有售出,其价值将丧失殆尽,变得一文不值。预订出去的座位也有可能因为退票或误机最后造成虚耗,因此这时超订的策略就可能使得航空公司不必要的损失减少到最低程度,从而增加其收入。座位虚耗不但影响了航空公司的效益,而且也损害了其他没票但需要乘坐飞机旅客的利益,超订的施行正好

收稿日期:2007-01-25

作者简介:李金林(1955—),男,北京人,教授,博士生导师,研究方向为管理决策方法与技术、系统风险管理,E-mail: jinlinli@bit.edu.cn

可以弥补这部分旅客的利益损失,满足他们的需求,从而达到航空公司和旅客双赢的效果。

当然,如果飞机起飞时持票需要登机的旅客人数多于飞机实际座位数,超订又会带来超售(Over-sale)的风险。根据国外的研究,超订作为一种商业策略,其面临的最大挑战来自于如何修复与被拒绝登机(Denied Boarding, DB)的旅客的客户关系以及应付法律与监管方面的问题,航空公司通常对待被拒绝登机的旅客的措施是,在旅客自愿的前提下对旅客进行赔偿或者为他们安排其他航班(包括升舱),也可以为其提供食宿,留待以后登机。也有可能因为超售遭致监管机构的惩罚,因此实施这项策略时需要在提高座位销售数量(从而增加收入)和潜在的拒绝持票旅客登机(出现超售时)的风险之间寻求平衡。收入管理理论有助于航空公司建立数学模型,通过对历史订座数据的分析和未来订座数据的预测,计算出航空公司应超订的座位数量。

航空客运的收入管理中超订问题的模型可以分为两大类:静态模型和动态模型,近来又有学者开始将座位存量控制和超订结合起来进行研究。下边按照这三种类型对目前超订问题的研究进行综述和评价。

## 二、静态超订模型(Static Models)

静态模型是处理超订问题最简单和最常用的方法,简洁、灵活和稳健的特点使其在实践中应用更为普遍。在这类静态模型中,忽略了随着时间流逝旅客退票和新的预订的动态变化,在已知当前时刻到飞机起飞这段时间内退票率的估计的条件下,决定当前应该接受的最大预订座位数量。为了反映飞机起飞前每隔一段时间的变化和退票概率的变化,这个最大预订数量也随之被周期性地重新计算。

航空公司之所以施行超订,其原因在于有退票和误机现象。超订的静态模型中,退票和误机这两种情况没有必要加以区分(这与动态模型的情形正好相反),起作用的只有旅客预订座位后成行的概率。

最简单的静态超订模型是基于退票的二项式模型,这其中对误机和退票不加区别。这个模型假定:旅客退票相互之间独立;每个旅客退票概率相同;退票概率具有马尔可夫性。在这些假定下,则当预订数量为  $y$  时,登机旅客人数为  $Z(y)$  的概率为

$$P_z(z) = P(Z(y)=z) = \binom{y}{z} q^z (1-q)^{y-z}, z=0,1,\dots,y,$$

从而其分布函数为

$$F(z) = P(Z(y) \leq z) = \sum_{k=1}^z \binom{y}{k} q^k (1-q)^{y-k},$$

容易知道其期望与方差分别是  $E(Z(y))=qy$ ,  $Var(z)$

$(y))=qy(1-q)$ ,其中  $q$  是假设的旅客预订座位后成行的概率。这说明只要已知座位预订数量,就可以求得最后登机人数的二项式分布。

早期关于超订的研究还可见于 Simon<sup>[3,4]</sup>, Falkson<sup>[5]</sup>, Bierman 及 Thomas<sup>[6]</sup>, Rothstein<sup>[7-10]</sup>, Vickrey<sup>[11]</sup> 和 Nagarajan<sup>[12]</sup>。这些研究首先从收入管理这门学科的发展历史角度来看是有趣的,因为其中包含了理论经济学家以拍卖方式解决超售情形的建议,这个建议被当时航空公司的经理们斥为不切实际,但后来证明这个建议具有预见性。其中诺贝尔奖获得者 Vickrey<sup>[11]</sup> 在研究中给出了一个多级票价预订系统的概念性描述,这与今天正在广泛使用的预定系统具有很强的相似性。Rothstein 考察了超订问题并提出了一个处理这个问题的数学模型。这些关于超订策略的讨论最初主要集中于在航空公司管理阶层和外部监管机构设定的限度范围内控制旅客被拒绝登机(DB)的概率,大多数超订模型(例如 Beckmann<sup>[13]</sup>, Belobaba<sup>[14]</sup>, Brumelle 与 McGill<sup>[15]</sup>)主要是试图降低由于退票和误机造成的损失,并没有在超订策略确定以后将旅客退票和订座过程的动态变化一并考虑,因此这些关于超订的模型都属于静态模型。Shlifer 和 Vardi<sup>[16]</sup> 将静态超订模型推广到两级票价结构和两阶段航程的情形,随后 Belobaba<sup>[17]</sup> 更进一步论述了多级票价结构的超订问题,并给出了解决这个问题的一个启发式方法。

## 三、动态超订模型(Dynamic Models)

与静态模型做出超订决策后不考虑退票和座位预订的动态变化不同,动态模型涉及到不同时间段之间这两者的相互影响的效果。

在关于超订的动态模型研究中,通常的目标都是将退票和预订的动态变化因素以及超售以后的惩罚考虑进去以后求得订座限制水平,以期使得预期收入最大化。在这方面,Kosten<sup>[18]</sup> 首先于 1960 年提出了一个解决这类问题的连续时间方法,但由于该方法需要求解一个微分方程组造成其在实际中并不可行。Rothstein<sup>[19]</sup> 在其博士学位论文中提出了第一个关于超订的动态规划模型。Alstrup 等<sup>[20]</sup> 对具有两级票价结构且中间不经停止的航班给出了一个动态规划的处理方法,并应用在斯堪的纳维亚航空公司进行了计算验证。Subramanian, Stidham 及 Lautenbacher<sup>[21]</sup> 通过一个离散的动态规划模型解决了单航段座位控制和超订问题。这个模型中包含了退票、误机、超订和依赖于时间的需求等因素,作者证明了收入管理问题与排队控制问题的等价性。当退票和误机的概率独立于票价时,该问题就转化为一个缩小的状态

空间里的一维模型。从计算的角度看,一维模型对现实大小规模的问题是可行的,而多维模型当剩余时间区间段和存量都比较小的情况下是有用的。作者将单航段座位分配问题描述成离散型的马尔可夫过程得出了最优订票策略,亦即对于每一级票价,都有一个依赖于座位数量变量以及时间变量的订座上限。Chatwin<sup>[22]</sup>通过将订票与退票过程视作生灭过程讨论了连续时间超订模型,并指出最优订座策略的订座限额应是一个分段函数。

#### 四、超订与存量控制结合模型

收入管理理论中的定价、座位存量控制和超订的研究基本上各自沿着独立的轨道向前发展,缺少对三者之间相互联系、相互作用的影响的研究,这限制了很多收入管理模型的作用的发挥。例如,如果没有精确地计算过超订限制水平,一个存量控制模型不可能在空位机会成本与超售导致的惩罚之间取得平衡;反过来,一个单纯基于退票和误机比率的超订策略也不能保证在每一存量水平上都得到最优预订控制。这说明无论从理论意义还是在收入管理的实践中,都有必要将超订与存量控制两方面结合起来一并考虑处理。这方面的研究文献相对来说不多,较早的是文献[16],这篇文献中提出了一个静态的两航程、两级票价结构的超订模型,其中同时考虑了超订和座位分配。同样,文献[17]中也在同一个动态规划模型中同时对超订和存量控制结合起来进行了研究。Karaesmen和Ryzin<sup>[23]</sup>对单航程不同票价等级的预订存在可替代的存量座位时的超订现象化为一个两阶段的优化问题进行了研究。在第一个阶段中,当只有关于取消订座的概率信息时接受预订,这时考虑模型为

$$\begin{aligned} & \max_{u \geq x} G(u), \\ G(u) = & \sum_{i=1}^n r_i(u_i - x_i) - E \left[ \sum_{i=1}^n q_i(u_i - Z_i(u_i)) \right] + E[V_0(Z(u), c)] \end{aligned}$$

其中,  $G(u)$  表示预期的未来净收入(剔除由于退票和误机而导致的退款以后的收入);  $u_i, x_i$  分别表示  $n$  种票价级别里的第  $i$  个级别的超订水平和预订数量。在第二个阶段中,取消订座的行为实施后,成行的旅客被分配到各种座位等级以使得这样分配的好处最大化,这时涉及到的座位分配问题模型是

$$\begin{aligned} V_0(z, c) = & \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m a_{ij} y_{ij} \\ \text{s.t. } & \sum_{j=1}^m y_{ij} = z_i, i=1, \dots, n, \\ & \sum_{i=1}^n y_{ij} \leq c_j, j=0, 1, \dots, m \end{aligned}$$

$$y_{ij} \geq 0, i=1, \dots, n; j=0, 1, \dots, m$$

其中,  $a_{ij}$  表示将一个预订座位的乘客(预订的是第  $i$  种票价级别的座位)分配到第  $j$  种票价级别的座位所得到的净收入;  $c_j$  表示第  $j$  种级别的座位存量的容量规模;  $z_i$  表示第  $i$  种级别的预订乘客最后成行的旅客数量;  $y_{ij}$  表示预订第  $i$  种级别座位的乘客被分配给第  $j$  种级别座位的旅客人数。作者随后提出了一个随机梯度算法,利用这个算法求得了联合最优超订水平。在文献[24]中,他们进一步在网络情形的收入管理中进行了推广研究,针对网络情况同时考虑超订和存量控制,其给出的超订与容量控制问题的联合模型为

$$v^* = \sup_{\pi \in \Pi} \{E_{\pi}[r \cdot N^{\pi} - C(A N^{\pi})] : 0 \leq N^{\pi} \leq D\}$$

其中,  $D=(D_1, \dots, D_n)$  表示  $(0, T]$  时间段内各个票价级别的所有的预订数量构成的向量,  $\Pi$  代表所有依赖于时间的预订接受策略的集合。作者提出了一个具有一般意义的方法,并分析了该方法的结构性性质,指出当销售规模和座位容量比较大时,从上述方法中得出的控制策略是渐近最优的。最近, Youyi Feng 和 Baichun Xiao 在文献[25]中针对单航程的情形提出了一个连续时间模型,这个模型中同时考虑了座位存量控制和超订两方面的问题,在假设旅客需求依赖于时间和票价并且服从于 Poisson 过程的前提下,作者证明了存在最优的超订上界。有了这样一个总的超订上界,就可以由最小可接受票价导出针对各种票价类别的订座限制水平,而且这个结果当误机(No-Show)的概率依赖于票价时也是成立的。

#### 五、超订研究的展望

超订的研究贯穿于收入管理这门学科的发展历程。就目前来说,针对超订问题,至少有两个方面值得进一步深入探讨:一是绝大多数的超订模型在假设预先确定总的超订限制水平后,都试图分别找出针对各个票价类别的超订限制水平,从而控制策略就依赖于超订限制水平的选取,但最优超订水平的存在性和其计算仍是未知的。二是由于处理退票因素的动态化表述的必要性,导致模型在实际中的实施往往成为了一个障碍。

从我国内的实际情况看,民航管理部门并没有明确允许航空公司在售票经营中可以实施超订,但各家公司都在心照不宣地运用这一被国外实践证明行之有效的收入管理手段,而且比国外公司实施超订的幅度更大(国外一般是机舱座位数的 2%~3%,国内达到了 5%<sup>[26]</sup>)。由于超订导致的拒载而引起的旅客抱怨不断出现,是航空公司服务投诉中的一个

热点现象,这从反面说明了在我国航空客运领域进行超订研究的必要性。就超订在国内研究的现状来看,进行定量研究的成果还很少见,因此我们认为今后在我国对超订的研究首先是要努力提出符合我国航空客运实际状况的超订模型;其次是对国外提出的超订模型是否在中国同样适用进行实证研究;另外实施超订的销售策略给航空公司的经营带来的风险进行评

估;最后超订与定价之间的关系如何,是否也可以像超订与存量控制那样统一在同一个模型中进行研究等等。相信经过深入的系统的研究,超订这种经营策略在提高航空公司收入的同时,也能有效地减少旅客在这方面的投诉,提高国内航空客运服务水平。因此,如何根据我国航空客运的现状对超订进行更有针对性的研究是一个具有现实意义的课题。

#### 参考文献:

- [1] Smith B, Leimkuhler J, Darrow R, et al. Yield management at American airlines[J]. Interface, 1992 (1): 8-31.
- [2] Feldman J M. To rein in those CRSs[J]. Air Transport World, 1991, 28(12): 89-92.
- [3] Simon J. An almost practical solution to airline overbooking[J]. Transp. Econ. Policy 2, 1968: 201-202.
- [4] Simon J. Airline overbooking: the state of the art—A Reply [J]. Transp. Econ. Policy 6, 1972: 254-256.
- [5] Falkson L M. Airline overbooking: some comments[J]. Transp. Econ. Policy 3, 1969: 352-354.
- [6] Bierman H JR, Thomas JJ. Airline Overbooking Strategies and Bumping Procedures, Public Policy 21, 1975: 601-606.
- [7] Rothstein M. An airline overbooking model[J]. Transp. Sci. 5, 1971: 180-192.
- [8] Rothstein M. Airline overbooking: the state of the Art[J]. Transp. Econ. Policy 5, 1971: 96-99.
- [9] Rothstein M. Airline overbooking: fresh approaches are needed[J]. Transp. Sci. 1975, 9: 169-173.
- [10] Rothstein M. O.R. and the airline overbooking problem. opns[R]. Res., 1985, 33: 237-248.
- [11] Vickrey W. Airline overbooking: some further solutions[J]. Transp. Econ. Policy, 1972, 6: 257-270.
- [12] Nagarajan K V. On an auction solution to the problem of airline overbooking[R]. Transp. Res. 1979, 13A: 111-114.
- [13] Beckmann J M. Decision and team problems in airline reservations[J]. Econometrica. 1958, 26: 134-145.
- [14] Belobaba P P. Application of a probabilistic decision model to airline seat inventory control[J]. Operations Research, 1989, 37: 183-197.
- [15] Brumelle S L, McGill J I. Airline seat allocation with multiple nested fare classes[J]. Operations Research, 1993, 41: 127-137.
- [16] Shlifer R, Vardi Y. An airline overbooking policy[J]. Transp. Sci. 1975, 9: 101-114.
- [17] Belobaba P P. Air travel demand and airline seat inventory management[D]. Ph.D. Thesis, Flight Transportation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1987a.
- [18] Kosten L. Een mathematisch model voor een reservings probleem, Statist[J]. Neerland, 1960, 14: 85-94.
- [19] Rothstein M. Stochastic models for airline booking policies[D]. Ph.D. thesis, Graduate School of Engineering and Science, New York University, New York, NY, 1968.
- [20] Alstrup J, Boas S, Madsen O B C, Vidal R, Victor V. Booking policy for flights with two types of passengers, Eur[J]. Oper. Res. 1986, 27: 274-288.
- [21] Subramanian J, Stidham S, Lautenbacher A C. Airline yield management with overbooking, cancellations and no-shows[J]. Transportation Science 1999, 33: 147-167.
- [22] Chatwin R E. Continuous-time airline overbooking with time dependent fares and refunds[J]. Transportation Science, 1999, 33: 182-191.
- [23] Karaesmen I, Van Ryzin G. Overbooking with substitutable inventory classes[J]. Operation Research, 2004, 52: 83-104.
- [24] Karaesmen I, Van Ryzin G. Coordinating overbooking and capacity control decisions on a network[C]. Decision, Risk & Operations, Working Papers Series, Columbia Business School, 2004.
- [25] Feng Y, Xiao B A. Continuous-time seat control model for single-leg flights with no-shows and optimal overbooking upper bound[J]. Eur. J. Oper. Res. 2006, 174: 1298-1316.
- [26] 王佳, 闫峥. 航空公司普遍超售机票 行业惯例还是合同欺诈[N]. 中国青年报, 2004-04-01.

## The Present Condition and Prospect of Overbooking Problem in Revenue Management of Airline Companies

LI Jin-lin<sup>1</sup>, WANG Min<sup>1,2</sup>

(1. Management and Economics School, Beijing Institute of Technology, Beijing 10081; 2. Anyang Normal University, Anyang 455002)

**Abstract:** Overbooking is one of the main components of revenue management. Based on the overview and evaluation of current overbooking models and analysis of the current situation and shortcomings of China's overbooking researches, several directions for future research on overbooking model are proposed in the article.

**Key words:** revenue management; overbooking; model

[责任编辑: 孟青]