

基于离散选择模型的产品线优化决策

乔忠 曾广晟

(中国农业大学 经济管理学院,北京 100083)

摘要 产品市场的需求日趋多变,如何更有效地根据消费市场的信息进行产品线优化决策成为企业产品决策的主要问题。对基于多项 Logit 模型的产品线优化模型进行了改性,模拟进行了糖果产品离散选择试验和模型的拟合,并利用改进后的产品线优化选择模型为各细分市场选出了可以推出的最佳产品。改进后的模型增强了实际应用的可行性,可以将其用于市场细分、产品线优化和产品竞争策略等环节的决策工作。

关键词 离散选择模型;产品线;优化

中图分类号 F 224.31

文章编号 1007-4333(2003)02-0078-06

文献标识码 A

Product line optimization based on discrete choice model

Qiao Zhong, Zeng Guangsheng

(College of Economics & Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Product market witnesses increasing changes of consumer demand. Therefore market managers have to consider these changes in the first place as optimizing their products line, which have become an important part of product decision making. An optimal product line selection model which is based on discrete choice data was modified. The application of the modified model was showed by a candy case to locate the most profitable product for each segmented market. The example proved its practicability and showed its applicability in market subdividing, product line optimizing and competition countermeasures developing respectively.

Key words discrete choice model; product line; optimization

现有的产品线决策方法主要有产品环境分析法、产品系列平衡法、四象限评价法、资金利润率法、价值系数法等,它们主要是从产品整体的市场特性、盈利能力和资源条件等几个角度进行分析的。这些方法都简单易行,但是仍存在一定的局限性。一是有的方法在运用过程中带有较大的主观性,难以确切反映市场的真实情况;二是这些方法基本上是基于现有产品信息,对新产品线的选择和决策难以提供较好的帮助。

Kyle 和 Warren(2000)给出了一个运用离散选择模型信息进行产品线选择的优化模型,并讨论了该模型的一些数学性质和求解途径。该模型是结合市场需求不确定性进行产品线选择优化的一次很有意义的尝试,但要使其更好地符合离散选择模型的

假设条件和实际应用需要,仍有几个需要改进之处。

1 基于离散选择模型的产品线优化模型

Kyle 和 Warren 给出的这个优化模型是一个数学规划问题。模型假设产品各属性水平效用值和收益都是已知的,问题表述为:构造一个不同属性水平组成的不同产品的产品集,厂商必须决定从这个产品集中选出新产品线,并确定其价位,以使利润总额最大^[1]。

该模型有 2 个主要的局限。

第 1 个局限性与多项 Logit 模型无关选项相互独立的假设 (IIA) 有关。注意这里的 IIA 假设并不是指待选产品之间的独立性,而是指供消费者选择的各选项之间的独立性。如果离散选择模型在试验

收稿日期:2002-09-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(79970067)

作者简介:乔忠,博士生导师,教授,研究方向为管理系统的优化、控制与仿真和城镇规划与管理。

时就已经考虑了各竞争产品(选项)间的 IIA 假设问题,并做了尽可能均匀互异的安排,该假设是可以成立的。但是, Kyle 和 Warren 的模型约束表明,模型允许从同一个待选产品集中选出 2 个甚至 2 个以上的产品作为新产品同时推出,这就很有可能造成 IIA 假设不成立。因为在模型求解过程中,被同时选入目标函数的待选产品很有可能包括了相同的产品类别效应,即它们可能属于离散选择试验中同一个子设计的待选试验点,从而共用一个相同的子设计截距。这样,这些入选产品之间的相似性相对于其他竞争产品来说要大得多。只有在原有的离散选择试验设计中采用嵌套模型,才能很好地避免各选项间相似性的差距过大而造成 IIA 假设的不成立。很明显,在这个模型中并没有用到嵌套 Logit 模型,那么直接套用一般的多项 Logit 模型构建优化选择模型时,就很有可能出现与假设条件不相符的情况。

第二个局限性在估计某个市场整体的效用函数时会经常遇到,因为在市场细分化不断演进的今天,非均匀市场是绝对的,均匀市场是相对的。从整体上估计整个市场的效用必定会丢失一些细分市场的偏好信息,因此,有必要在完成市场细分之后,在企业关注的各个相对均匀的细分市场内估计离散选择模型,这样就可以尽可能多地保留从选择试验中获取的市场信息。

经上述讨论,笔者认为,该优化模型在构建过程中存在一定的不足,要将之应用于实际还需改进,并结合市场细分使模型能够更好地符合现实条件和需要。

2 产品线优化选择模型的改进

主要从 5 个方面对模型进行改进。

1) 改变约束。前面提到 Kyle 和 Warren 的优化模型很有可能导致 IIA 假设的不成立,为尽可能避免这种情况,应该增加约束,使得出于同一个子设计点集的待选产品不会同时入选。

2) 在模型中反映同一企业产品间的自食性(Cannibalism)。公司新产品的市场客源可能来自竞争对手的市场份额或新开发的市场需求,也可能来自公司自身其他产品的老客户,因此必须考虑新老产品间的自食性问题,权衡新产品推出的得失。

3) 将属性变量直接作为决策变量。

4) 在建立离散选择模型时若价格变量被视作定距变量,则无需将价格离散化,直接以定距变量的形式作

为决策变量。

5) 对待选产品的可变成本进行分解,以属性变化出现的成本差异作为成本计算的依据。

改进模型的假设具体阐述如下:

1) 关于离散选择模型选项。离散选择模型选项是在离散选择试验中设定的,为了使其能够被应用于特定的市场环境,在进行离散选择试验设计时就应考虑到具体所要研究的产品线的实际情况,包括本企业同属一类产品线的产品类型和各竞争厂家的产品类型。产品线是同一产品种类中密切相关的一组产品,连同构成直接竞争的各竞争厂家产品线上的各种产品,构成了消费者购买时待选择的产品集,这个产品集能够满足消费者特定的某种需求;因此,顾客在购买时会在这些产品间进行选择。这是离散选择模型适用于产品线的一个重要原因。这样,离散选择模型的选项应包括以下几个内容:企业已有的产品,企业准备推出的产品和竞争厂家的产品,以及反映不采取购买行动的选项。

假设离散选择模型的选项个数为 Q ; 准备推出的新的产品个数为 S , 这 S 个产品最后是否全部推出还要看能否有利于产品线决策的整体目标,因此最后推出的新产品个数 S^* 满足 $S^* \leq S$; 另设企业在该产品线上已经有了 W 个老产品品目,竞争对手的产品个数是 U ; 考虑到还有其他竞争产品和不购买项的存在,则有

$$S + W + U < Q$$

另设第 i 个子设计(选项)的效用函数为

$$v_i = i_{i,0} + \sum_{k=1}^{n_i} i_{i,k} x_{i,k} \quad i = 1, 2, \dots, Q$$

式中: $i_{i,0}$ 是子设计的截距; $i_{i,k}$ 是离散选择模型子设计 i 的第 k 效应估计(可能是交互效应), 子设计 i 共获得 n_i 个显著的效用估计; 决策变量 $x_{i,k}$ 若是定类变量则已经进行了 0~1 编码,若是定距变量,则可能存在与实际值的线形换算。

设离散选择模型中第 i 个选项对应的产品价格为 p_i , 并且价格变量编码作为产品价格属性的反映也包括在 $x_{i,k}$ 内; 为简化表述,假设离散选择模型是把价格作为定距变量进行效应估计的,并估计了二次项的效应。设价格变量编码为 x_{i,d_1} 和 x_{i,d_2} , $d_1, d_2 \in (1, 2, \dots, n_i)$, 则有

$$x_{i,d_1} = f_i(p_i)$$

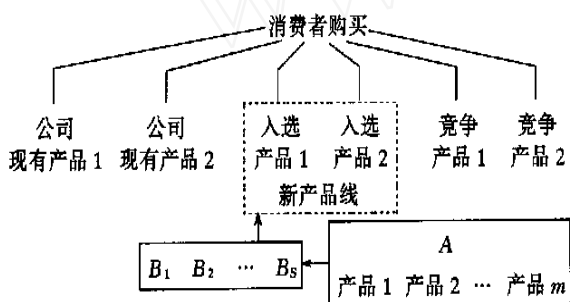
$$x_{i,d_2} = [f_i(p_i)]^2$$

其中 $f_i(p_i)$ 是实际价格 p_i 编码前的一次线性变换, 比如进行中心化等。为简化模型表述, 这里设离散选择模型中只有价格变量是定距的, 其他变量是定类变量。

2) 关于待选产品集。首先, 为了区分来自不同子设计(选项)的待选产品, 必须将 Kyle 和 Warren 所建的产品线优化模型待选产品集中的待选产品分别归入 S 个新的待选产品集(见图 1, 为方便表述, 图中各以 2 个产品来表示本公司现有产品个数 W 、已入选的新产品个数 S^* 和竞争厂家的产品个数), 每个待选产品集对应于离散试验的一个子设计。用 A 表示原有模型中的待选产品集, B_r 表示第 r 个新建立的待选产品集, 则有

$$A = \bigcup_{r=1}^S B_r, \text{ 且 } B_t \cap B_l = \emptyset$$

其中 $t \neq l$, 且 $t, l = 1, 2, \dots, S$ 。



事实上, B_r 就是离散选择设计中对应子设计的全因子设计。现在的任务就是要从这 S 个待选产品集中分别选出可能加入产品线的新产品品目(图 1)。为了能够适用一般的多项 Logit 模型, 这里要求每个选项集最多只能选出一个新产品品目。

根据特定的需要可以限定推出的新产品个数, 即对新产品个数设定一个上限“ \bar{Y} ”和下限“ \underline{Y} ”($\underline{Y} \leq \bar{Y} \leq S$, 当新产品线数量确定, 则有 $\underline{Y} = \bar{Y}$); 另设第 r 个待选产品集对应的是第 a_r 个子设计, $r = 1, 2, \dots, S$, 则第 r 个待选产品集的效用函数是

$$v_{a_r} = a_r \cdot 0 + \sum_{k=1}^{n_{a_r}} a_{r,k} X_{a_r,k}$$

3) 关于本企业已有产品。设本企业第 j 个现有产品对应的是第 b_j 个子设计, $j = 1, 2, \dots, W$, 则本企业第 j 个现有产品的效用函数是

$$v_{b_j} = b_j \cdot 0 + \sum_{k=1}^{n_{b_j}} b_{j,k} X_{b_j,k}$$

由于产品是已有的, 故 $x_{b_j,k} \forall j, k$ 是确定的。

4) 关于竞争对手的产品。设竞争对手第 q 个

产品对应的是第 c_q 个子设计, $q = 1, 2, \dots, U$, 则竞争对手第 q 个现有产品的效用函数是

$$v_{c_q} = c_q \cdot 0 + \sum_{k=1}^{n_{c_q}} c_{q,k} X_{c_q,k}$$

因为现有产品和待选产品集一样都要对应离散选择模型中的不同选项, 故由以上定义可以知道,

$$\{a_r | r = 1, 2, \dots, S\} \cap \{b_j | j = 1, 2, \dots, W\} = \emptyset$$

$$\{c_q | q = 1, 2, \dots, U\} \cap \{a_r | r = 1, 2, \dots, S\} = \emptyset$$

5) 关于决策变量。除了哑变量 $x_{a_r,k}$ ($0-1$ 变量, $k = 1, 2, \dots, n_{a_r}$) 作为决策变量之外, 另设决策变量 y_r 。 $y_r = 1$ 时表示第 r 个待选产品集中有一个产品被选入, $y_r = 0$ 时表示第 r 个待选产品集没有产品被选入; 记 p_{a_r} , $r = 1, 2, \dots, S$ 为第 r 个待选产品的价格。

6) 其他。设各选项对应产品的成本函数已知为

$$c_i = f_c(X_i), X_i = [x_{i,1} \ x_{i,2} \ \dots \ x_{i,n_i}]^T$$

设潜在市场总人口数为 N ; C 表示其他竞争产品以及“None”选项的指数化效用值, 可以用已有产品的实际市场份额 S_m 推算出来。根据 Logit 模型性质, 有

$$S_m = \frac{\sum_{j=1}^W \exp v_{b_j} + \sum_{q=1}^U \exp v_{c_q}}{\sum_{j=1}^W \exp v_{b_j} + \sum_{q=1}^U \exp v_{c_q} + C}$$

则有

$$C = (1/S_m - 1) \left(\sum_{j=1}^W \exp v_{b_j} + \sum_{q=1}^U \exp v_{c_q} \right)$$

考虑到公司推出一款新品对其未来的市场占有率有一个下限, 若预计某方案达不到这个下限, 则不予考虑, 故设定每个选项被消费者选择概率的下限 $(0, 1)$ 。另外, 必须保证推出的产品在正常生产期内不至于亏损, 即有 $p_{a_r} > c_{a_r}$ 。

经上述定义, 改进的产品线优化选择模型可以表述如下:

$$\max Z = \frac{N}{s} \sum_{r=1}^s y_r (p_{a_r} - c_{a_r}) \exp v_{a_r} + \frac{N}{u} \sum_{j=1}^w (p_{b_j} - c_{b_j}) \exp v_{b_j}$$

$$s. t. \quad y_r = 0 \text{ 或 } 1, \forall r$$

$$\exp v_{a_r} \prod_{r=1}^s y_r \exp v_{a_r} + \prod_{j=1}^w \exp v_{b_j} + \prod_{q=1}^U \exp v_{c_q} + C, \forall r$$

$$p_{a_r} = c_{a_r}, \forall r$$

$$x_{a_r, k} = 0 \text{ 或 } 1, \forall r \text{ 且 } k = d_1, d_2$$

$$x_{a_r, d_1} = f_{a_r}(p_{a_r}), x_{a_r, d_2} = [f_{a_r}(p_{a_r})]^2$$

3 糖果产品的模型应用

假设某地区有一家糖果生产厂商甲,其现有的产品主要是奶糖;另有一家糖果供应商乙主要提供巧克力糖。他们是该地区两大主要的糖果供应商。由于同为糖类产品,并且主要的几个商场的糖果货架也主要由这 2 种产品供货,因此构成直接的竞争。现在厂商甲准备推出一种新型水果糖,以抢占市场。

假设糖果主要有耐嚼糖和软糖之分,有的糖是不夹果仁的,有的糖内夹果仁;糖纸和包装也不尽相同。在离散选择试验中将这些厂商关心的决策变量值作为产品属性(包括价格)的可能值,组合成不同的模拟产品以供市场测试者选择。另外还加入了年龄、性别等可能影响测试者作出购买选择的购买者属性特征。

通过 SAS 程序人工生成了 286 个测试数据供模型演示使用,最后通过 SAS 拟合得到的离散选择模型显示测试者的年龄属性效应并不显著,但性别属性效应显著^[7],因此,以性别为细分依据将糖果市场分为男性市场和女性市场,又在男性和女性测试者中分别进行了离散选择模型拟合,得到了 2 个市场各自的离散选择模型的显著性变量参数,见表 1 和 2。

另假设产品属性的成本信息是已知的。表 3 和表 4 给出了成本参数与决策变量的对应关系,以及为该例假设的成本参数。

表 1 男性市场离散选择模型参数表

Table 1 Discrete model parameters for male market

子设计 (选项)1	效应名	水果	耐嚼否-耐嚼	含仁否-不含	包装-A 型	包装-B 型	水果-价格 L1
	效用函数系数	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
	效应参数值	4.925 12	- 0.644 16	- 1.181 11	- 0.442 33	- 0.255 31	- 0.542 67
子设计 (选项)2	效应名	牛奶	耐嚼否-耐嚼	含仁否-不含	包装-A 型	包装-B 型	牛奶-不含-价格 L1
	效用函数系数	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
	效应参数值	6.183 06	- 0.644 16	- 1.181 11	- 0.442 33	- 0.255 31	- 0.275 57
子设计 (选项)3	效应名	巧克力	耐嚼否-耐嚼	含仁否-不含	包装-A 型	包装-B 型	(价格效应不显著)
	效用函数系数	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	
	效应参数值	5.620 28	- 0.644 16	- 1.181 11	- 0.442 33	- 0.255 31	

表 2 女性市场离散选择模型参数表

Table 2 Discrete model parameters for female market

子设计 (选项)1	效应名	水果	耐嚼否-耐嚼	含仁否-不含	包装-A 型	包装-B 型	水果-价格 L1	水果-耐嚼-价格 L1
	效用函数系数	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	效应参数值	4.235 01	- 0.551 33	- 1.190 19	1.490 83	- 0.245 82	- 0.672 90	0.385 75
子设计 (选项)2	效应名	牛奶	耐嚼否-耐嚼	含仁否-不含	包装-A 型	包装-B 型	牛奶-不含-价格 L1	
	效用函数系数	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	
	效应参数值	5.573 34	- 0.551 33	- 1.190 19	1.490 83	- 0.245 82		- 0.275 567
子设计 (选项)3	效应名	巧克力	耐嚼否-耐嚼	含仁否-不含	包装-A 型	包装-B 型	(价格效应不显著)	
	效用函数系数	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4		
	效应参数值	6.676 97	- 0.551 33	- 1.190 19	- 1.490 83	- 0.245 82		

表 3 属性变量与成本函数系数对照表

Table 3 Attribute variables and relevant cost coefficients

变量值	变量编码	成本系数	成本系数来源
耐嚼否 = $\begin{cases} \text{耐嚼} \\ \text{软的} \end{cases}$	$x_{r,1} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	$c_{r,0}$ $c_{r,1}$	不变部分(不随属性变化) 耐嚼糖与软糖成本的平均差异
含仁否 = $\begin{cases} \text{不含仁} \\ \text{含仁} \end{cases}$	$x_{r,2} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	$c_{r,2}$	不含仁糖与含仁糖成本的平均差异
包装 = $\begin{cases} \text{A 型} \\ \text{B 型} \\ \text{C 型} \end{cases}$	$x_{r,3} = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ 0 \end{cases}$ $x_{r,4} = \begin{cases} 0 \\ 1 \\ 0 \end{cases}$	$c_{r,3}, c_{r,4}$	$C_{r,3}$: A 型与 C 型包装成本的平均差异 $C_{r,4}$: B 型与 C 型包装成本的平均差异

表 4 各子设计成本系数表

Table 4 Cost coefficients for each subdesign

子设计	$c_{r,0}$	$c_{r,1}$	$c_{r,2}$	$c_{r,3}$	$c_{r,4}$
1	8.16	- 2.41	- 3.65	1.05	1.05
2	11.30	- 2.41	- 3.65	1.05	1.05
3	15.70	- 2.41	- 3.65	1.05	1.05

厂商甲现有的奶糖是一种软糖,不含果仁,使用 C 型糖纸,价格为 16 元 $\cdot 500 \text{ g}^{-1}$;竞争对手乙的巧克力糖是一种耐嚼糖,不含果仁,使用 B 型糖纸,价格为 24 元 $\cdot 500 \text{ g}^{-1}$ 。厂商甲现在的任务是要决定推出一种什么样的水果糖,是软糖还是耐嚼糖,含果仁还是不含果仁,选用那种糖纸包装,以及上市定什么价位。

由于现只考虑水果糖的新产品开发问题,故待选产品集只有 1 个,另外本企业以及竞争对手已有的产品也都各只有 1 种,故有 $S = W = U = 1$;另外设定 $\alpha > 0.05$,即要求新产品至少要达到 5% 的市场份额,否则就不作考虑。另知男性市场的 S_m 为 79.1%,女性市场的 S_m 为 86.6%。由以上假设还可以知道

$$(x_{b_1,1} \ x_{b_1,2} \ x_{b_1,3} \ x_{b_1,4} \ p_{b_1}) = (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 16)$$

$$(x_{c_1,1} \ x_{c_1,2} \ x_{c_1,3} \ x_{c_1,4} \ p_{c_1}) = (1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 24)$$

另外,已知在离散试验中各子设计的价格做了如下中心化处理:

$$i = 1, 2 \text{ 时, } x_{i,d_1} = [p_i - (19.8 + 12)/2]/$$

$$[(19.8 - 12)/2]$$

$$i = 3 \text{ 时, } x_{i,d_1} = [p_i - (22.5 + 18.5)/2]/$$

$$[(22.5 - 18.5)/2]$$

通过 Lingo 软件求解得到:男性市场目标函数最优值是 2 414.35,解为

$$(x_{a_1,1} \ x_{a_1,2} \ x_{a_1,3} \ x_{a_1,4} \ p_{a_1}) = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 18.56)$$

女性市场目标函数最优值是 1 726.25,解为

$$(x_{a_1,1} \ x_{a_1,2} \ x_{a_1,3} \ x_{a_1,4} \ p_{a_1}) = (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 23.63)$$

从结果可以看出,2 个细分市场上选出的新产品方案是不一样的。男性市场上最佳的水果糖是软糖,含仁,且用 C 型糖纸包装,价格为 18.56 元 $\cdot 500 \text{ g}^{-1}$;女性市场上最佳的水果糖则是一种含仁的耐嚼糖,用 A 型糖纸包装,价格为每 23.63 元 $\cdot 500 \text{ g}^{-1}$ 。

如果进一步考虑竞争对手可能出现的产品变化和价格变化,可以在每次优化求解时适当改变竞争产品的部分信息,从而得到最优解的变化,即公司可以采取的最佳对策。对竞争对手厂家乙的产品属性作适当的变动,可以相应得到厂家甲的最佳对策(表 5)。结果显示,竞争产品属性的改变对本公司新产品线及其价格的选择是有影响的,但 2 个不同细分市场受到的影响程度不一样,男性市场的最优产品属性几乎没有变化,价格定位发生变化的幅度非常小。考虑到离散模型参数本身仍存在一定的不确定性,这种变化是可以忽略的,而且在实际定价中这种变化也不存在实际意义。女性市场的结果就完全不同。从表 5 可以看出,巧克力糖如果推出软糖,对公司新产品选择和定价的影响并不是很大,但如量巧克力糖加了果仁,那么最佳的水果糖变成了软糖,价格也要发生很大的变化。

表 5 厂商甲针对厂商乙不同产品决策的相应对策

Table 5 A's countermeasures against B's possible product change

厂商乙巧克力糖可能的产品变化			厂商甲生产水果糖的产品对策									
产品种类	(耐嚼否 含仁否)		男性市场					女性市场				
			(耐嚼否)	含仁否	A 型	B 型	价格)	(耐嚼否)	含仁否	A 型	B 型	价格)
现有产品	(1	1)	(0	0	0	0	18.56)	(1	0	1	0	23.63)
改变产品 1	(1	0)	(0	0	0	0	18.16)	(0	0	1	0	17.22)
改变产品 2	(0	1)	(0	0	0	0	18.39)	(1	0	1	0	23.23)
改变产品 3	(0	0)	(0	0	0	0	17.76)	(0	0	1	0	16.73)

从离散模型的拟合结果可以对此做较好的解释, 结果显著性的参数估计表明, 男性偏爱奶糖, 女性偏爱巧克力糖; 因此巧克力糖的变化势必对女性市场带来很大的影响。

4 结 论

通过模型演示发现, 在适当选择顾客的属性变量之后, 离散选择模型可以用于市场细分工作, 在各个细分市场上进一步采用非线性规划即可进行产品线的优化决策, 为各细分市场提供最佳的产品方案和定价。若将竞争对手的产品策略变动考虑在内, 离散选择模型可以较好地反映出这种策略变动对顾客选择决策的影响程度, 因此, 企业也可以通过这一方法在各细分市场上有针对性地采取最佳对策。

参 考 文 献

[1] Chen K D, Hausman W H. Technical note: mathemati-

cal properties of the optimal product line selection problem using choice-based conjoint analysis[J]. *Management Science*, 2000, 46(2): 327 ~ 332

- [2] Kuhfeld W F, Multinomial logit. *Discrete choice modeling: An introduction to designing choice experiments, and collecting*[A]. *Processing and Analyzing Choice Data with SAS*. SAS Corporation, January, 2001, 1 ~ 665
- [3] Louviere J J, *Conjoint analysis modelling of stated preferences: a review of theory, methods, recent developments and external validity*[J]. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1988, 22(1): 93 ~ 119
- [4] Kotler P. *Marketing management: analysis, planning, implementation, and control* [M]. 9th E. New York: Prentice-Hall, 1999. 78 ~ 113
- [5] 黄国榜, 傅贤治. *产品结构优化决策方法* [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1995. 11 ~ 46
- [6] 曾广晟. *基于顾客选择的企业产品线决策方法研究* [D]. 北京: 中国农业大学, 2002