第 27 卷 第 19 期
2010 年 10 月

科 技 进 步 与 对 策
Science & Technology Progress and Policy

Vol.27 No.19
Oct. 2010

一类决策熵方法及其在工程管理中的应用

邱菀华

(北京航空航天大学 经济管理学院，北京 100191)

摘　要：将 Shannon 信息熵的概念从正数区间扩展到实数区间,纠正了 Bayes 法只考虑单因素决策造成的局限,提出多因素决策的两种熵方法,解决了工程管理实践中的资源平衡等难题。

关键词：工程管理；决策分析；复熵；平衡熵决策法

DOI：10.3969/j.issn.1001-7348.2010.19.020

中图分类号：F062.4　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001–7348(2010)19–0075–05

信息的售价、精度和拥有量影响着工程成本、质量(使用寿命)和完工期。Bayes 决策法只考虑了信息价格一个因素。为满足工程管理对信息“准确、及时、完整”的更高要求,也为解决工程管理中普遍存在的多因素决策难题,进行 Bayes 决策法创新势在必行。

热力学熵被 Shannon 引进信息论后导致现代信息科学的诞生。但由于其都定义在正数域，造成了理论和应用上的局限。本文引进复熵概念并定义了传递熵,提出了两类工程管理多因素决策熵法,在信息不完全情况下解决了信息的准确度、方案的选择与采购量分配等难题。

1　Bayes 决策的局限

某型空间飞行器研制工程,计划开发适于军民两用市场的新部件 CJ。已知统计数据见表 1。表 2 给出了某相关市场部门出售的 CJ 需求量信息 GJ 的准确度(可靠性)统计数据。GJ 的售价 CS 为 80 万元。

我们把 Bayes 决策法的计算结果列于表 3、表 4 和表 5 中。表 3、表 4 是由表 2 算出的信息 GJ 的联合概率和条件概率 $P(x_l/y_k)$。表 5 的前 3 列数据由表 4 各元素乘以相应的条件收益 CP 得到；最后一列是同行各元素之和，分别表示信息 GJ 预测未来市场情况是好、中或差时生产 CJ 的期望盈利 $\sum EP$ 。

由表 5 可以得出：若信息 GJ 预测未来市场情况是好或中都生产 CJ，否则不生产。此时的 $\mathrm{EMV_{Y\text{-}GJ}} = 0.3\times 12.548 + 0.256\times 4.538 + 0.444\times 0 = 4.926$ (百万元)；买信息 GJ 后的净盈利 $\mathrm{F_{GJ}} = 4.926 - 0.8 = 4.126$ (百万元)。

生产 CJ 的先验期望盈利由表 1 求出：$EMV_n = 0.28\times 20 + 0.32\times 2 + 0.4\times (-7) = 3.44$(百万元)。买信息 GJ 时的净盈利 FGJ 大于不买信息的期望盈利 EMV_n，所以信息 GJ 值得购买。 其它各决策指标值为：信息 GJ 的期望盈利 $\mathrm{EVSI_{GJ}} = 4.926 - 3.44 = 1.486$ (百万元)，信息 GJ 的净盈利 $\mathrm{ENGS_{GJ}} = 1.486 - 0.8 = 0.686$ (百万元)。

以下计算另一个准确度如表 6 的信息 PJ 情况，它为实际市场情况差而预报为好的概率。

表 1　CJ 市场需求情况的经验数据

市场情况 x_l	出现概率 $P(x_l)$	可能盈利 CP (百万元)
x_1 (好)	0.28	20
x_2 (中)	0.32	2
x_3 (差)	0.40	-7

表 2　信息 GJ 的准确度条件概率

y_k	x_1 (好)	x_2 (中)	x_3 (差)
y_1 (好)	0.7	0.2	0.1
y_2 (中)	0.2	0.5	0.1
y_3 (差)	0.1	0.3	0.8

表 3　信息 GJ 的联合概率

y_k	x_1 (好)	x_2 (中)	x_3 (差)	$P(y_k)$
y_1 (好)	0.196	0.064	0.04	0.3
y_2 (中)	0.056	0.16	0.04	0.256
y_3 (差)	0.028	0.096	0.32	0.444
$P(x_l)$	0.280	0.320	0.40	1

表 4　信息 GJ 的条件概率

y_k	x_1 (好)	x_2 (中)	x_3 (差)	合计
y_1 (好)	0.653	0.213	0.134	1
y_2 (中)	0.219	0.625	0.156	1
y_3 (差)	0.063	0.216	0.721	1

$P(y_1/x_3)$ 高达 0.8,可见准确度极差。Bayes 决策法的计算数据列于表 7、表 8、表 9 中。$\mathrm{EMV_{Y\text{-}PJ}}=0.508\times 0+0.16\times 6.05+0.332\times 11.531=4.796$(百万元)，$\mathrm{F_{PJ}}=4.796-0.8=3.966$(百万元)仍

收稿日期：2010–07–20
作者简介：邱菀华(1946–)，女，江西临川人，硕士，北京航空航天大学教授，研究方向为决策分析、项目管理、价值工程、系统工程。

大于不买信息的期望盈利 EMV_n。结果是令人吃惊的:如此质量低劣的信息 PJ 亦值得买。

表 5　信息 GJ 的决策结果　　单位:百万元

y_k	x_1 $CP=20$	x_2 $CP=2$	x_3 $CP=-7$	$\sum EP$
y_1 (好)	13.06	0.426	-0.938	12.548
y_2 (中)	4.38	1.250	-1.092	4.538
y_3 (差)	1.26	0.432	-5.047	-3.355
$P(x_l)$	0.28	0.32	0.400	1.000

表 6　信息 PJ 的准确度条件概率

y_k	x_1(好)	x_2(中)	x_3(差)	合计
y_1 (好)	0.653	0.213	0.134	1
y_2 (中)	0.219	0.625	0.156	1
y_3 (差)	0.063	0.216	0.721	1

表 7　信息 PJ 的联合概率

y_k	x_1(好)	x_2(中)	x_3(差)	$P(y_k)$
y_1 (好)	0.028	0.160	0.32	0.508
y_2 (中)	0.056	0.064	0.04	0.160
y_3 (差)	0.169	0.069	0.04	0.332
$P(x_l)$	0.280	0.320	0.40	1.000

表 8　修正后信息 PJ 的条件概率

y_k	x_1(好)	x_2(中)	x_3(差)	合计
y_1 (好)	0.055	0.315	0.630	1
y_2 (中)	0.350	0.400	0.250	1
y_3 (差)	0.590	0.289	0.121	1

表 9　信息 PJ 的 Bayes 决策结果　　单位:百万元

y_k	x_1 $CP=15$	x_2 $CP=7$	x_3 $CP=-6$	$\sum EP$
y_1 (好)	1.100	0.630	-4.410	-2.680
y_2 (中)	7.000	0.800	-1.750	6.050
y_3 (差)	11.800	0.578	-0.847	11.531

现在我们可以谨慎地得出结论:这个令人吃惊的决策失误,是由于 Bayes 决策法只考虑了信息费用，而没有将信息准确度不足导致的损失折合为成本计入模型造成的。因此在决策时还必须考虑信息价值的另一个更重要的测度——信息的准确度(可靠性)，才能避免上述决策失误。事实上，衡量随机信息的优劣，本来起码就应该考虑两个基本维度：准确度和费用。精明的决策者是绝不会忽视前者的。

2　复熵

一方面，实际工程管理对进度、质量和成本等数据的准确度要求很高,真所谓差之毫厘失之千里,因此比较信息准确度是工程管理的迫切需要;另一方面,熵虽然是不确定性的最好测度指标之一,但由于比较数值大小时可能出现负数,而负数和零没有对数，因此没法计算传统熵的值。长期以来,以上问题成为创新 Bayes 决策的瓶颈，也因此曾造成工程管理决策的一些失误。

为了解决上述难题,我们提出复熵的概念。用 100 多组数据一组一组地对 Bayes 决策和熵法作实验,历经十多套方法对比，最终得到新的工程管理决策熵方法。

在 n 维欧氏空间 E^n 上的状态空间 $x=(x_1,x_2,\cdots,x_n)$ 中,各状态发生的概率分别为 $P(x_1),P(x_2),\cdots,P(x_n)$。Shannon 信息熵定义如下：

$$H(x)=-C\sum_{k=1}^{n}P(x_k)\ln P(x_k)\qquad(nat)\tag{1}$$

定义域为 $0<\mathrm{P}(x)\leq 1$，$P(x_1)+P(x_2)+\cdots+P(x_n)=1$。C 是均衡参数。当 $|P(x_k)|\leq 1$ 时，集合 $P(x_k)(k=1,2,\cdots,n)$ 上的复熵函数定义为：

$$\begin{aligned}H(X)&=C\sum_{k=1}^{n}\left|P(x_k)\ln P(x_k)\right|\\&=\mathrm{C}\sum_{k=1}^{n}\left|P(x_k)\right|\cdot\left[\ln\left|p(x_k)\right|+i\arg P(x_k)\right](nat)\end{aligned}\tag{2}$$

它是定义在实数空间 x 上的复函数。当 $-1\leq \mathrm{P}(x_k)\leq 0$ 时，$\arg p(x)=\pi$，$\left|\ln p(x_k)\right|=\sqrt{\ln^2(-p(x_k))+\pi^2}$。因此，Bayes 决策法是当 $0<\mathrm{P}(x_k)\leq 1$ 时工程管理决策复熵方法的特例，式(2)涵盖了式(1)。

复熵的定义,将 Shannon 信息熵的概念从从正数区间 (0,1] 扩展到实数区间 [-1,1]。这不仅完善了熵概念本身,更重要的是,它为 Shannon 熵从单方面度量信息量大小拓展为可对信息进行全面评价的一个物理量提供了可能。

3　工程决策复熵分析原理

定义 1：已知状态空间 x 上的信息 I 的条件概率为 $P(y_k/x_l)(k,l=1,2,...,n)$，定义 I 的传递矩阵为：

$$E(I)=(e_1,e_2,...,e_n)\tag{3}$$

式中，$-1\leq e_l\leq 1(l=1,2,\cdots,n)$，且 $e_l=\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}[P(y_l/x_l)-P(y_k/x_l)](l=1,2,\cdots,n)$。很明显,传递矩阵元素 $e_l(l=1,2,...,n)$ 表示状态 l 发生时,信息 I 预测的平均可靠度(或称准确度)。

定义 2：设信息 I 的传递矩阵 $E(I)=(e_1,e_2,...,e_n)$，则函数

$$H(I)=\sum_{k=1}^{n}h_k\tag{4}$$

称为信息 I 的传递熵。

式中 $h_k=\begin{cases}-e_k\ln e_k, & \text{当}1/e\leq e_k\leq 1\text{时}\\ \frac{2}{e}-e_k\left|\ln e_k\right|, & \text{当}-1\leq e_k\leq 1/e\text{时}\end{cases}$，不难证明下列等式成立：$h_k\geq 0$，并且 $\lim_{e_k\to 1-0}h_k=0$，$\lim_{e_k\to -1+0}h_k=\frac{2}{e}+\pi$，$\lim_{e_k\to 0}h_k=\frac{2}{e}$，$\lim_{e_k\to 1/e}h_k=\frac{1}{e}$。所以 $H(I)$ 是定义在 $[-1,1]^n$ 上的非负连续函数,表示信息 I 状态传递的不确定度,或称决策信息 I 的平均信息量。

定义 3：若信息 I 在 n 维状态空间 x 上的条件概率 $P(y_k/x_l)=\begin{cases}1, & \text{当}k=l\text{时}\\ 0, & \text{当}k\neq l\text{时}\end{cases}$　$k,l=1,2,\cdots,n$，则称信息 I

是最优信息。

由定义 3 知，最优信息的准确度表(见表 2 和表 6)中的数据矩阵是一个单位矩阵，即只有对角线上元素为 1(表示准确预报的概率)，其余元素(预报不准，有偏差的概率)均为零，就是说最优信息对未来状态的预报准确无误。

定义 4 在状态空间 x 上定义的两个不同信息 GJ 和 PJ，其准确度条件概率分别为 $P_{IG}(y_k/x_l)$ 和 $P_{IP}(y_k/x_l)(y_k,x_l\in x;k,l=1,2,\cdots,n)$，传递矩阵分别为 $E(IG)=(e_1^{IG},e_2^{IG},\cdots,e_n^{IG}),E(IP)=(e_1^{IP},e_2^{IP},\cdots,e_n^{IP})$。

如果 $\forall k=1,2,\cdots,n,e_k^{IG}\ge e_k^{IP}$，而且 $\exists k,e_k^{IG}>e_k^{IP}$，则信息 GJ 就优于 PJ，记为 $IG\succ IP$ 或 $IP\prec IG$。若 $H(IG)<H(IP)$，则认为信息 GJ 的准确度高于 PJ。定义 4 规定，较优信息的准确度高。

定义 5：在 n 维欧式空间 E^n 上的半峰函数是指，在凸函数的极点处将其平分成两份时其中任一份构成的函数。对单变量而言，单调不降的那半部分称为半峰升函数，另一半称为半峰降函数。若为严格凸函数时，则单调递增的那半部分为半峰严格升函数，另一半为半峰严格降函数。对于凹出数和严格凹函数，由定义 5 可类似地定义半峰(和严格)升、降函数。

图 1 给出 E^2 空间的半峰函数的几何解释。其中(a)是严格凸函数 $Z=f(x_1,x_2)$ 的图像，(b)、(c)是它的半峰严格降、升函数的图像，(d)、(e)、(f)分别是它们在 x_2oz 平面上的投影。

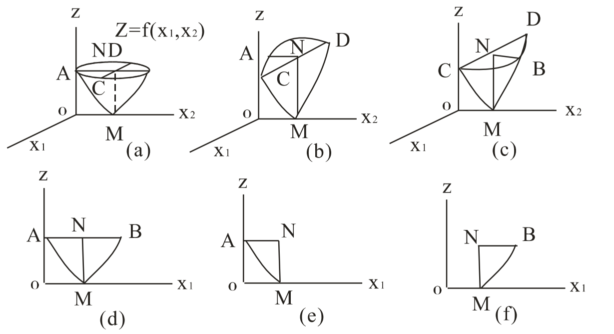

图 1　严格凸函数，半峰降、升函数及其投影

定义 6：最大机会经济损失：

$$CA_{\max}=-\sum_{k=r+1}^{n}P(x_k)CP_k$$

定义 7：机会经济损失：

$$CA=\frac{e}{n(2+pe)}H(I)CA_{\max}\tag{5}$$

显然，最优信息的 CA 为 0，最差信息的 CA 为 $CA_{\max}$。

定理 1：最优信息的传递熵为零。

证明：设 I 为最优信息。由定义计算得：

$$e_k=\frac{1}{n-1}\sum_{l=1}^{n}\left[P(y_k/x_k)-P(y_l/x_k)\right]=1\quad k=1,2,\cdots,n$$

$$E(I)=(1,1,\cdots,1)\qquad H(I)=-\sum_{k=1}^{n}1\cdot\ln 1=0$$

定理 2：传递熵是半峰降函数。

证明：设信息 I 的传递熵和传递矩阵分别为 $H(I)$ 和 $E(I)=(e_1,e_2,\cdots,e_n)$。

(1) 当 $1/e\le e_k\le 1$ 时，根据 Lagrange 数乘法，对于 $k=1,2,\cdots,n$，有 $\frac{\partial H}{\partial e_k}=-\ln e_k-1=0$，故 $e_k=\frac{1}{e}$。所以 $H(I)$ 在点 $(\frac{1}{e},\frac{1}{e},\dots,\frac{1}{e})$ 处取极大值 $\frac{n}{e}$。另一方面，其 Hesse 矩阵是负定的，故 $H(I)$ 是 E^n 上的严格凹函数。由定义知，$H(I)$ 是 E^n 上的半峰严格降函数。

$$He(H)=\begin{bmatrix}-\frac{1}{e_1} & 0 & \cdots & 0\\ 0 & -\frac{1}{e_2} & \cdots & 0\\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots\\ 0 & 0 & \cdots & -\frac{1}{e_n}\end{bmatrix}$$

(2) 当 $0<e_k<\frac{1}{e}$ 时，$H(I)=\sum_{k=1}^{n}\left[\frac{2}{e}-e_k\left|\ln e_k\right|\right]=\frac{2n}{e}+\sum_{k=1}^{n}e_k\ln e_k$，显然在点 $(\frac{1}{e},\frac{1}{e},\cdots,\frac{1}{e})$ 处取极小值 $\frac{n}{e}$；且由其 Hesse 阵的正定性，知 $H(I)$ 此时为 E^n 上的严格凸函数，故 $H(I)$ 在 E^n 上是半峰严格降函数。

(3) 当 $-1\le e_k\le 0$ 时，$H(I)=\frac{2n}{e}-\sum_{k=1}^{n}e_k\sqrt{\ln^2(-e_k)+p^2}$，其 Jacobi 矩阵 $\nabla H=\left[\frac{\ln^2(-e_k)+\ln(-e_k)+p^2}{-\sqrt{\ln^2(-e_k)+p^2}}\right]_{1\times n}$ 的每个元素均为负，故 $H(I)$ 对单个变量在 $[-1,0]$ 上是递减函数，即半峰降函数。至此，我们已经证明了在 $[-1,1]^n$ 上的连续函数 $H(I)$ 是个半峰降函数。这就保证了传递熵函数对于准确度高(即 e_k 大)的信息的不确定度 $H(I)$ 小，因此定义是有效的。它是我们算法的基础。

4　工程管理决策的复熵分析法与应用

复熵分析法的计算步骤如下所示：

(1)计算信息 I 的 $E(I)$ 和 $H(I)$。

(2)用信息 I 修正先验信息。

(3)计算 EMV_n 和 EMV_y^I。

(4)计算信息 I 的机会经济损失 CA、期望盈利和净盈利：

$$F_I=EMV_y^I-CS-CA\tag{6}$$

$$ENGS_I=F_I-EMV_n\tag{7}$$

(5)判别：若 $EMV_n\prec F_I$，则信息 I 有价值，应该购买用以辅助决策；否则信息 I 失效，采用先验 Bayes 决策的结果。

图 2 给出了复熵分析法的计算流程。我们以上述两个信息 GJ 与 PJ 为例说明复熵分析法的应用。

按式(3)—(7)式进行计算的结果见表 10。从中可以看出，信息 GJ 明显优于 PJ。后者质量低劣不值得购买。一般信息间不会像本例的 GJ 与 PJ 那样有明显差异，因此在大多数情况下，必须靠传递熵帮助我们准确地鉴别信息的优势，好处十分突出。

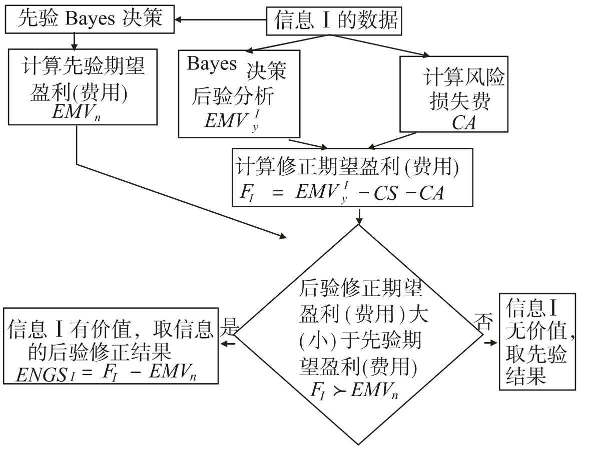

图 2 复熵分析法流程

表 10 信息 GJ 和 PJ 决策—信息法数据表

信息决策指标	GJ	PJ
$H(\cdot/x)$	0.823 5 nat	0.823 5 nat
$E(\cdot)$	(0.55,0.25,0.7)	(-0.35,-0.25,-0.35)
$H(\cdot)$	0.967 7 nat	5.383 net
CA_*	0.313 4	1.743 1
F_*	3.812 6	2.252 9
$ENGS_.$	0.372 6	-1.187 1
结论	GJ有效。当预报好、中,生产CJ;预报差,不生产CJ	PJ无效。用先验结果，生产CJ期望盈利3.44百万元
优先级	信息GJ优于信息PJ	

5 资源/质量/风险平衡的熵决策法原理及应用

航天项目是大型、复杂且极具不确定性的工程项目，资源、质量、风险三因素贯穿其全过程。如何综合考虑三者之间的内在动态平衡分配,是长期以来工程管理的难点问题之一。因此,建立实用的资源/质量/风险均衡的多属性决策法,在保证工程质量前提下提升资源效用和降低风险具有重要的现实意义。

设有 m 个决策方案(或模式)$x_1,x_2,\ldots,x_m$，每个方案具有 n 个属性 $a_1,a_2,\ldots,a_n$，构成数据矩阵 A，其元素 $a_{ij}\geq 0$ 为第 i 个决策方案的第 j 个属性值。我们以熵作为确定属性权重的一种工具，通过熵函数和决策偏好效用函数的一致特性，利用简捷易懂的加权和法，解决了成本型属性值尽可能小、效益型属性值尽可能大的多因素配置资源均衡的决策方案的选择问题。具体设计的主要算法如下：

步骤 1：构造资源、质量、风险三者的属性值数据矩阵 $A=(a_{ij})mxn$。

步骤 2: 将矩阵 A 规范化为决策矩阵 $R=(r_{ij})mxn$。参考公式：当属性为效益型时，$r_{ij}=\dfrac{a_{ij}}{\max\limits_i(a_{ij})}, i=1,2,\ldots,m, j=1,2,\ldots,n$；当属性为成本时，$r_{ij}=\dfrac{\min\limits_i(a_{ij})}{a_{ij}}, i=1,2,\ldots,m, j=1,2,\ldots,n$；对等于零的 a_{ij}，$r_{ij}=\dfrac{\max\limits_i(a_{ij})-a_{ij}}{\max\limits_i(a_{ij})-\min\limits_i(a_{ij})}, i=1,2,\ldots,m, j=1,2,\ldots,n$。

步骤 3：计算 R 的归一化矩阵 $R'=(r')mxn$: $r'_{ij}=\dfrac{r_{ij}}{\sum\limits_{i=1}^{m} r_{ij}}$。

步骤 4：计算属性 aj 的信息熵 $E_j=-\dfrac{1}{\ln m}\sum\limits_{i=1}^{m} r'_{ij}\ln r'_{ij}, j=1,2,\ldots,n$。当 $r'_{ij}=0$ 时，规定 $r'_{ij}\ln r'_{ij}=0$。

步骤 5：计算属性权重向量 $w=(w_1,w_2,\cdots,w_n)$，其中 $w_j=\dfrac{1-E_j}{\sum\limits_{k=1}^{n}(1-E_k)}$。

步骤 6：计算综合属性值 $z_i(w)=\sum\limits_{j=1}^{n} r'_{ij}w_j$,i=1~m。此即为各决策方案所占成数(比重，重要度)。

为了说明本平衡熵决策法的应用,请看下例。X 航天项目的资源有以下两种采购方案:①采购 xx 国外元件;②采购国产元件。已知矩阵 A 的模拟数据见表 11。

表 11 X 航天项目资源、质量、风险模拟数据

维度	属性	方案1:采购xx国外元件	方案2:采购国产元件
	可获得性	[0,0.1]	1
资源	技术先进性	[0.9,1]	[0.5,0.9]
	价格	1	[0.25,0.3]
	故障率	[0.01,0.03]	[0.01,0.07]
质量	客户满意度	[0.7,0.8]	[0.8,1]
	可靠性	[0.98,1]	[0.86,1]
	采购进度风险	[0.15,0.25]	[0,0.1]
风险	功能失效	[0,0.1]	[0.3,0.5]
	技术失效	0	[0.1,0.6]

作为示例，我们取表 11 的中值后用平衡熵决策法的计算结果依次为：

$$R=\begin{Bmatrix} 0.047\,6 & 0.575\,8 & 0.218\,8 & 0.666\,7 & 0.454\,5 & 0.515\,6 & 0.2 & 0.888\,9 & 1 \\ 0.952\,4 & 0.424\,2 & 0.781\,3 & 0.333\,3 & 0.545\,5 & 0.484\,4 & 0.8 & 0.111\,1 & 0 \end{Bmatrix}$$

$E_1=0.276\,2$，$E_2=0.983\,4$，$E_3=0.757\,9$，$E_4=0.918\,3$，$E_5=0.994$，$E_6=0.999\,3$, $E_7=0.721\,9$, $E_8=0.503\,3$, $E_9=0$

$$w=(0.254\,4\quad 0.005\,8\quad 0.085\,1\quad 0.028\,7\quad 0.002\,1\quad 0.000\,2\quad 0.097\,7\quad 0.174\,6\quad 0.351\,4)$$

$z_1(\omega)/z_2(\omega)\approx 0.623\,5/0.480\,0\approx 6:4$

此式中 $z_1(\omega)>z_2(\omega)$,表明 X 航天项目采购进口与国产元器件比例约为 6:4。本三维递阶风险模型利用客观信息进行决策，获得了项目风险尽可能小的配置均衡关系。

6 熵决策法在工程管理中的应用

笔者在主持和参与的工程管理课题,如我国首台自主知识产权某航空发动机、探月工程、空间飞行器、军用教练飞机研制和总装某仓库物资管控系统研发等项目中,采用时效质量熵和变化熵方法分析组织的有序度、柔性度,提出了发动机研制工程管理能力评估模型、多型号研制的环境适应性最优组织结构、形式、管理体系优化方案和应用规范,建立了价值链管理模式和标准,设计资源/质量/风险、成本/技术/进度均衡熵模型，解决了采购比例瓶颈问题,优化了小于 Tn 的工程时差固化和规范工程管理体制。

7　结语

本文从实践和理论两方面证明了复熵定义的充分性和必要性。正如负数使人“感觉”到数是一个“物理量”一样(盈利为正，亏损是负),熵被扩充到实数域［-1,1］,使 Shannon 熵从度量信息大小扩展到能同时评价信息大小和准确度的“物理量”,促进了信息研究的深化。如果将第二个因素表示的信息准确度换成工程场地排污性能或精度，亦或换成信息不完全情况下第二方案、第二资源、次采购量或准供应商等,都可沿本思路进行分析。随着负熵的诞生，一个应运而生的新学科方向——工程管理应用熵学,在工程管理随机决策领域将显示其越来越强的活力。

致谢：写作时得到我的博士后谷晓燕、博士生李军锋、成微和杜宾的热情帮助,特此致谢！

参考文献：

[1]　邱菀华.管理决策与应用熵学［M］.北京 机械工业出版社，2002.

[2]　Berger J O. Statistical decision theory［M］. New York: Spring-Verlag，1980.

[3]　Jiping YANG, Wanhua Qiu. A measure of risk and a decision-making model based on expected utility and entropy［J］. European Journal of Operational Research，2005，164(3).

(责任编辑：赵　峰)

The Decision-Making Entropy Methods and Their Application in Engineering Management

Yang Qing, Qiu Wanhua

(School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: This papers solves a series of key problems in engineering project management practice, by combining Information Theory and Decision Theory organically and expanding the scope of Shannon Entropy from positive number interval to real number internal ,proposes multifactor decision-making and Resource Leveling entropy-based methods ,and therefore, it supplements the limitation of traditional Bayes which could only deal with single-factor decision.

Key Words: Project Management; Decision Analysis; Complex Entropy; Balance Entropy Decision-Making Method