



## 基于云模型的我国 VTS 绩效评价研究\*

曹德胜, 吕 靖, 艾云飞, 姜晓琳, 张丽丽

(大连海事大学 交通运输管理学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** 研究我国 VTS 绩效评价问题, 基于“4E”(经济性、效率性、有效性、公平性)理论, 建立了完整的 VTS 绩效评价体系, 并基于云模型对我国 VTS 绩效进行评价。评价结果显示: 我国 VTS 在增加交通流和提升海事部门社会形象方面发挥很大作用; VTS 的内部组织效率要明显高于外部监管服务的效率; VTS 绩效中效率性、效果性和公平性指标评价结果要明显好于经济性指标; 在云模型的应用过程中, 定性指标比定量指标具有更大的随机性和模糊性。评价结果证明 VTS 绩效评价指标体系和云模型是有效的。

**关键词:** VTS; 绩效评价; “4E”理论; 云模型

中图分类号: U 692

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0018-05

### Evaluation of VTS performance in China based on cloud model

CAO De-sheng, LYU Jing, AI Yun-fei, JIANG Xiao-lin, ZHANG Li-li

(School of Transportation Management, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** This paper studies the VTS performance in China and establishes an evaluation system based on the theory of “4E”. The performance of VTS in China is evaluated using the cloud model. The evaluation results show that VTS plays an important role in increasing traffic flow and improving the society image of maritime sector; the internal organization efficiency of VTS is significantly higher than its external supervision service efficiency; the efficiency index, effectiveness index and fairness index are better than the economic index in the evaluation results of VTS performance; and the qualitative indices have more randomness and fuzziness than quantitative indices in the application of cloud model. It concludes that the evaluation system and the cloud model are effective in the evaluation of VTS performance in China.

**Keywords:** vessel traffic services; performance evaluation; theory of “4E”; cloud model

我国船舶交通管理系统 (vessel traffic services, 简称 VTS) 的规模不断增加, 产生了巨大的社会和经济效益。同时, VTS 建设项目投资巨大, 迫切需要建立一套科学合理的 VTS 绩效评价体系, 为 VTS 的建设投资提供科学的参考依据, 方便找出制约 VTS 高效运行的关键因素, 探索更加高效、适用性更强的 VTS 内部管理体系。

对 VTS 效益评价问题的研究始于 1976 年, Hans 对 VTS 的费用效益进行了科学分类与系统研

究, 提出了定性评价分析的方法<sup>[1]</sup>。Fuji 等对 VTS 的费用、效果进行了系统研究, 对世界建设 VTS 规模和 VTS 港口水域因素进行了分析<sup>[2]</sup>。田宏伟在 2000 年提出了一种 VTS 费用-效益分析方法, 并分别对大连 VTS 和上海 VTS 进行了评价<sup>[3]</sup>。唐强荣研究 VTS 管理水平评价问题, 提出了 VTS 系统结构模型, 并运用模糊综合评价对其运行管理进行评价<sup>[4]</sup>。Fan 运用风险决策方法, 对 VTS 的规划进行了系统研究<sup>[5]</sup>。张树奎从 VTS 建设的成

收稿日期: 2014-04-28

\*基金项目: 保障我国海上通道安全研究 (11JZD049); 中央高校基本科研业务费专项资金 (3132014311-1)

作者简介: 曹德胜 (1963—), 男, 博士研究生, 教授级高级工程师, 从事交通工程、信息导航研究。

本-收益角度对其效益进行评价<sup>[6]</sup>。李华文研究船舶交通管理系统的经济社会影响评价<sup>[7]</sup>。

综上所述, 虽然国内外学者很多从不同角度对 VTS 的绩效进行评价, 但尚未建立一套科学全面的 VTS 绩效评价体系。本文研究我国 VTS 绩效评价问题, 基于“4E”理论, 建立了一套完整的 VTS 绩效评价体系, 并基于云模型对我国 VTS 绩效进行评价。

### 1 基于“4E”理论的 VTS 绩效评价指标体系构建

VTS 的主管机关为海事局, 提供的产品为公共服务, 因此 VTS 绩效评价兼具公共项目绩效评

价和公共部门绩效评价的特点。VTS 具有保障船舶交通安全、提高交通效率、保护水域环境的功能, 这些功能很难量化, 这就决定了费用-效益评价在 VTS 绩效评价这一问题上具有一定的局限性。“4E”理论是在著名学者芬维克 (Terry Fenrick) 提出的“3E”评价理念的基础上发展起来的, 在公共项目和公共部门绩效评价中得到广泛应用, “4E”理论主张从经济性、效率性、有效性和公平性 4 个维度对项目进行评价<sup>[8]</sup>。因此, 本文在“4E”理论的基础上考虑 VTS 自身特点, 建立了一套详细全面的 VTS 绩效评价指标体系。各个维度所含指标见表 1~4。

表 1 经济性指标

1 级指标	2 级指标	3 级指标	指标量化方法
经济性指标 ( $U_1$ )	设备经济性 ( $U_{11}$ )	雷达站配备数量经济性( $U_{111}$ )	信息服务提供次数、雷达站数量
		值班台配备数量经济性( $U_{112}$ )	信息服务提供次数、值班台配备数量
	人员经济性 ( $U_{12}$ )	值班人力资源投入经济性( $U_{121}$ )	信息服务提供次数、值班人数
		设备维护与技术保障人力资源投入经济性( $U_{122}$ )	信息服务提供次数、设备维护与技术保障人数

表 2 效率性指标

1 级指标	2 级指标	3 级指标	4 级指标	指标量化方法
效率性 指标( $U_2$ )	内部组织 管理效率 ( $U_{21}$ )	组织机构 规范性( $U_{211}$ )	部门设置完善度( $U_{2111}$ )	由 VTS 值班人员、管理人员和外部专家分别进行打分
			部门职责明确度( $U_{2112}$ )	
		制度体系 完善性( $U_{212}$ )	工作制度内容合理度( $U_{2121}$ )	由 VTS 值班人员、管理人员和外部专家分别进行打分
			工作业务流程协调性( $U_{2122}$ )	
			工作制度执行监管情况( $U_{2123}$ )	
		人员配备 合理性( $U_{213}$ )	人员素质适任性( $U_{2131}$ )	统计 VTS 值班人员的适任证书持有率和专科以上学历比例
	人员年龄结构合理性( $U_{2132}$ )		统计 VTS 值班人员的平均年龄	
	设备运行 保障性( $U_{214}$ )	设备运行 保障性( $U_{214}$ )	设备配备完善度( $U_{2141}$ )	由 VTS 值班人员、管理人员和外部专家分别进行打分
			设备运行可靠性( $U_{2142}$ )	海事局已有统计指标
			设备操作规程完善度( $U_{2143}$ )	由 VTS 值班人员、管理人员和外部专家分别进行打分
	绩效管理 激励性( $U_{215}$ )	绩效管理 激励性( $U_{215}$ )	人员工作积极性( $U_{2151}$ )	对 VTS 值班人员、管理人员进行问卷调查
			人员晋升机制合理性( $U_{2152}$ )	
	外部监管 服务效率 ( $U_{22}$ )	交通监管 效率性( $U_{221}$ )	船舶跟踪效率( $U_{2211}$ )	VTS 中心 1 a 内船舶跟踪次数、值班台数
			重点船舶监控效率( $U_{2212}$ )	VTS 中心 1 a 内重点船舶监控次数、值班台数
交通执法效率( $U_{2213}$ )			VTS 中心 1 a 内进行交通执法次数、值班台数	
应急处置效率( $U_{2214}$ )			VTS 中心 1 a 内进行应急次数、值班台数	
交通服务 效率性( $U_{222}$ )		信息服务提供效率( $U_{2221}$ )	VTS 中心 1 a 内信息服务提供次数、值班台数	
		助航服务提供效率( $U_{2222}$ )	VTS 中心 1 a 内助航服务提供次数、值班台数	
		交通组织服务提供效率( $U_{2223}$ )	VTS 中心 1 a 内交通组织服务提供次数、值班台数	
协助其他海事 部门服务效率 ( $U_{223}$ )	协助其他海事 部门服务效率 ( $U_{223}$ )	综合管理效率( $U_{2231}$ ) 支持联合行动效率( $U_{2232}$ )	由其他海事部门和外部专家分别进行打分	

表 3 有效性指标

1 级指标	2 级指标	3 级指标	指标量化方法
有效性指标 ( $U_3$ )	交通效率提高效果 ( $U_{31}$ )	交通流提高效果 ( $U_{311}$ )	VTS 辖区 1 a 内航道通过量、值班人数
		锚地利用率提高效果 ( $U_{312}$ )	对 VTS 值班人员、管理人员进行问卷调查
	安全保障效果 ( $U_{32}$ )	纠正船舶违法效果 ( $U_{321}$ )	VTS 1 a 内纠正船舶违法次数、值班台数
		避免险情事故效果 ( $U_{322}$ )	VTS 1 a 内避免险情事故次数、值班台数
		海上救助成功率 ( $U_{323}$ )	VTS 1 a 内海上救助成功率
	社会影响效果 ( $U_{33}$ )	海事部门形象提升效果 ( $U_{331}$ )	由外部专家进行打分
促进当地经济发展效果 ( $U_{332}$ )		定量定性结合法	

表 4 公平性指标

1 级指标	2 级指标	3 级指标	指标量化方法
公平性指标 ( $U_4$ )	行政公平 ( $U_{41}$ )	服务公正性 ( $U_{411}$ )	专家和使用者打分
		依法行政 ( $U_{412}$ )	
	投资公平 ( $U_{42}$ )	投资适应度 ( $U_{421}$ )	

## 2 云模型

### 2.1 云模型的简介

云模型是一种定性知识描述和定性概念与其定量数值表示之间的不确定性转换模型，如今已有很多应用<sup>[9]</sup>。VTS 绩效评价指标体系覆盖面广、指标层次多，用于评价的原始数据中既有精确的统计数据，又有需要业内专家主观打分的模糊数据，上述特点决定了常用的绩效评价方法在 VTS 绩效评价中并不适用。云模型能将评价对象的模糊性与随机性有机结合在一起，运用计算机构建正向和逆向云发生器，很好地实现定性和定量指标的相互转化，能够更好地处理具有模糊性、随机性、统计性和不完整性的信息，更适用于 VTS 绩效评价。

### 2.2 云的数字特征

云的独特之处在于仅仅用 3 个数值就可以勾画出由成千上万的云滴构成的云，把定性表示的语言值中的模糊性和随机性完全集成到一起。这 3 个值称为云的数字特征，一般记作  $C (Ex, En, He)$ ，分别为云的期望、熵和超熵<sup>[10]</sup>。

$Ex$ ：反映概念在论域中的中心值，通常是云的重心，是在数域空间中最能代表定性概念的点值。

$En$ ：对概念不确定性的度量，反映了在论域中可以被概念接受的数值范围。

$He$ ：对熵的度量，即熵的熵，反映了在论域空间代表该语言值的所有点不确定度的凝聚性，它的大小间接地反映了云滴的厚度，由熵的随机性和模糊性共同决定。

### 2.3 云发生器

云滴的产生需要用到云发生器，云发生器分为正向云发生器和逆向云发生器。正向云发生器是最基本的云算法，它将语言值中的定性信息转化为定量数据的范围和分布规律。逆向云发生器的理论基础是统计学，它将一定数量的精确数值有效转换为以数字特征  $C (Ex, En, He)$  表示的定性概念。

### 2.4 云的基本运算规则

VTS 绩效评价属于多层次指标评价，运用云模型对其进行评价涉及云的运算。云的运算就是将基云转化成虚云的算法，虚云是由基云经过一系列运算后形成的新的数字特征所构造的云。假设论域上存在两朵正态云  $C_1 (Ex_1, En_1, He_1)$  和  $C_2 (Ex_2, En_2, He_2)$ ，其运算结果为正态云  $C (Ex, En, He)$ ，运算公式如下：

$$Ex^+ = Ex_1 + Ex_2 \quad (1)$$

$$Ex^- = Ex_1 - Ex_2 \quad (2)$$

$$Ex^\times = Ex_1 \times Ex_2 \quad (3)$$

$$Ex^\div = Ex_1 \div Ex_2 \quad (4)$$

$$En^+ = \sqrt{En_1^2 + En_2^2} \quad (5)$$

$$En^- = \sqrt{En_1^2 + En_2^2} \quad (6)$$

$$En^\times = |Ex_1 \cdot Ex_2| \sqrt{\left(\frac{En_1}{Ex_1}\right)^2 + \left(\frac{En_2}{Ex_2}\right)^2} \quad (7)$$

$$En^\div = \left|\frac{Ex_1}{Ex_2}\right| \sqrt{\left(\frac{En_1}{Ex_1}\right)^2 + \left(\frac{En_2}{Ex_2}\right)^2} \quad (8)$$

$$He^+ = \sqrt{He_1^2 + He_2^2} \quad (9)$$

$$He^- = \sqrt{He_1^2 + He_2^2} \quad (10)$$

$$He^\times = |Ex_1 \cdot Ex_2| \sqrt{\left(\frac{He_1}{Ex_1}\right)^2 + \left(\frac{He_2}{Ex_2}\right)^2} \quad (11)$$

$$He^\div = \left|\frac{Ex_1}{Ex_2}\right| \sqrt{\left(\frac{He_1}{Ex_1}\right)^2 + \left(\frac{He_2}{Ex_2}\right)^2} \quad (12)$$

式(1)~(4)分别表示期望的加、减、乘、除运算;式(5)~(8)分别表示熵的加、减、乘、除运算;式(9)~(12)分别表示超熵的加、减、乘、除运算。

在用云模型进行评价时还涉及低层次云向高层次云的转化,运算公式如下:

$$Ex = \frac{Ex_1 En_1 + Ex_2 En_2}{En_1 + En_2} \quad (13)$$

$$En = En_1 + En_2 \quad (14)$$

$$He = \frac{He_1 En_1 + He_2 En_2}{En_1 + En_2} \quad (15)$$

式(13)~(15)分别表示期望、熵、超熵的转化公式。

### 3 VTS 绩效评价

#### 3.1 评价数据获取

VTS 绩效评价是一项复杂的系统工程,同时包含定性、定量指标。为了保证数据的真实有效性,定量指标数据均来自海事局统计资料;定性指标则采用问卷调查法和专家咨询法获得。其中问卷调查的对象涵盖了 3 方面人员:VTS 内部人员、VTS 主要用户和外部专家。VTS 内部人员主要指 VTS 基层操作人员和 VTS 管理人员,VTS 主要用户包括了港口企业、船公司、船舶驾驶人员和交通运输部其他相关部门,外部专家主要指来

自相关科研机构和高校的相关专家。为了保证调查问卷的质量,调查对象多为从事 VTS 相关工作 5 a 以上的人员(10 a 以上的达到 24%),问卷回收效果较好,回收率为 90%。

#### 3.2 绩效评价权重计算

使用逆向云发生器求解各层次指标模糊权重矩阵,将专家对各个指标重要性的赋值矩阵输入逆向云发生器,经过运算产生各个指标权重的期望、熵和超熵。

#### 3.3 绩效评价指评价值的计算

按照评价指标量化标准,通过实际数据收集和专家打分获得 VTS 绩效评价指数。分别将定量指标和定性指标进行标准化处理,所有的指标标准值都变为 0~1 之间的数字,从而实现了不同量纲指标间的比较与综合。将标准化处理之后的定性和定量指标值输入逆向云发生器,输出各项评价指标评价值的期望、熵、超熵。

#### 3.4 VTS 绩效综合评价

前面分别计算出了评价指标的权重和评价指标值,接下来利用模糊合成算子<sup>[11]</sup>,进行下层到上一层的综合云的计算。以 4 级指标到 3 级指标的运算为例, $R_{211}$ 代表组织机构规范性的评价云集合(3 级指标),用  $W_{2111}$ 、 $W_{2112}$  表示其包含的 2 个 4 级指标的权重值云集合, $R_{2111}$ 、 $R_{2112}$  代表其包含的 2 个 4 级指标的指标评价云集合,则:

$$\begin{aligned} R_{211} &= \begin{pmatrix} W_{2111} \\ W_{2112} \end{pmatrix}^T \circ \begin{pmatrix} R_{2111} \\ R_{2112} \end{pmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} Ex_{W_{2111}}, En_{W_{2111}}, He_{W_{2111}} \\ Ex_{W_{2112}}, En_{W_{2112}}, He_{W_{2112}} \end{bmatrix}^T \circ \begin{bmatrix} Ex_{R_{2111}}, En_{R_{2111}}, He_{R_{2111}} \\ Ex_{R_{2112}}, En_{R_{2112}}, He_{R_{2112}} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} Ex_{W_{2111}} Ex_{R_{2111}} + Ex_{W_{2112}} Ex_{R_{2112}} \\ En_{W_{2111}} En_{R_{2111}} + En_{W_{2112}} En_{R_{2112}} \\ He_{W_{2111}} He_{R_{2111}} + He_{W_{2112}} He_{R_{2112}} \end{bmatrix}^T \\ &= (Ex_{R_{211}}, En_{R_{211}}, He_{R_{211}}) \end{aligned} \quad (16)$$

基于前面计算,本文最终得出 VTS 绩效评价各级指标的最终评价云集合(表 5~8)。

表5 4级指标评价结果

4级指标权重	Ex	En	He
部门设置完善度( $U_{2111}$ )	0.782 6	0.212 3	0.466 5
部门职责明确度( $U_{2112}$ )	0.791 3	0.177 6	0.471 5
工作制度内容合理度( $U_{2121}$ )	0.800 0	0.142 8	0.478 2
工作业务流程协调性( $U_{2122}$ )	0.791 3	0.177 6	0.471 5
工作制度执行监管情况( $U_{2123}$ )	0.904 3	0.524 5	0.470 8
人员素质适任性( $U_{2131}$ )	0.965 2	0.747 2	0.593 6
人员年龄结构合理性( $U_{2132}$ )	0.904 3	0.524 5	0.470 8
设备配备完善度( $U_{2141}$ )	0.765 2	0.281 9	0.461 5
设备运行可靠性( $U_{2142}$ )	0.768 7	1.171 5	1.542 2
设备操作规程完善度( $U_{2143}$ )	0.904 3	2.579 0	1.520 4
人员工作积极性( $U_{2151}$ )	0.730 4	1.930 7	1.534 0
人员晋升机制合理性( $U_{2152}$ )	0.573 9	1.260 0	1.050 3
船舶跟踪效率( $U_{2211}$ )	0.348 4	0.883 4	0.643 0
重点船舶监控效率( $U_{2212}$ )	0.330 5	0.909 2	0.619 5
协助交通执法效率( $U_{2213}$ )	0.467 5	1.579 1	1.004 4
应急处置效率( $U_{2214}$ )	0.373 4	1.250 8	1.142 4
提供信息服务效率( $U_{2221}$ )	0.295 6	1.121 2	2.041 3
提供助航服务效率( $U_{2222}$ )	0.317 4	1.746 3	2.074 5
提供交通组织服务效率( $U_{2223}$ )	0.316 0	1.388 9	2.108 7
综合管理效率( $U_{2231}$ )	0.453 2	1.330 8	0.927 1
支持联合行动效率( $U_{2232}$ )	0.437 9	1.409 3	0.707 9

表6 3级指标评价结果

3级指标权重	Ex	En	He
雷达站配备数量经济性( $U_{111}$ )	0.287 6	0.798 3	0.929 4
值班台配备数量经济性( $U_{112}$ )	0.295 6	0.569 3	0.958 6
VTS 值班人力资源投入经济性( $U_{121}$ )	0.250 4	0.853 6	1.050 3
设备维护与技术保障人力资源投入经济性( $U_{122}$ )	0.384 4	1.067 3	1.191 2
组织机构规范性( $U_{211}$ )	0.787 0	19.919 4	11.980 7
制度体系完善性( $U_{212}$ )	0.832 4	28.515 4	15.051 6
人员配备合理性( $U_{213}$ )	0.935 0	23.980 8	13.782 2
设备运行保障性( $U_{214}$ )	0.813 3	27.313 8	13.825 9
绩效管理激励性( $U_{215}$ )	0.650 4	17.326 1	9.875 0
交通监管效率( $U_{221}$ )	0.378 8	14.999 1	7.522 4
交通服务效率( $U_{222}$ )	0.309 5	9.905 7	5.804 8
协助其他海事部门服务效率( $U_{223}$ )	0.445 5	10.948 0	4.802 7
交通流提高效果( $U_{311}$ )	0.784 1	1.073 5	0.752 9
提高锚地利用率( $U_{312}$ )	0.261 5	0.671 6	0.800 8
纠正船舶违法效果( $U_{321}$ )	0.291 8	1.172 9	1.474 7
避免险情效果( $U_{322}$ )	0.341 6	1.156 0	1.010 9
避免险情事故效果( $U_{323}$ )	0.663 7	0.991 4	0.891 9
提升海事部门形象( $U_{331}$ )	0.973 9	0.499 5	0.746 7
促进当地经济发展效果( $U_{332}$ )	0.756 5	0.568 2	0.710 6
服务公平性( $U_{411}$ )	0.842 9	0.397 4	0.707 4
执法公正性( $U_{412}$ )	0.835 7	0.225 9	0.192 2
投资适应度( $U_{421}$ )	0.771 4	0.253 3	0.511 1

表7 2级指标评价结果

2级指标权重	Ex	En	He
设备经济性( $U_{11}$ )	0.291 6	7.370 2	3.620 6
人员经济性( $U_{12}$ )	0.317 2	8.081 4	4.341 2
内部组织管理效率( $U_{21}$ )	0.803 5	37.340 4	21.381 9
外部监管服务效率( $U_{22}$ )	0.377 4	14.217 6	6.672 0
提高交通效率( $U_{31}$ )	0.524 3	15.211 5	8.804 1
安全保障( $U_{32}$ )	0.433 7	16.061 4	9.076 7
社会影响( $U_{33}$ )	0.867 0	22.904 2	13.475 8
行政公平( $U_{41}$ )	0.839 3	22.688 8	13.009 4
投资公平( $U_{42}$ )	0.771 4	12.591 9	7.332 7

表8 1级指标评价结果

1级指标	Ex	En	He
经济性指标( $U_1$ )	0.304 3	9.459 5	4.261 6
效率性指标( $U_2$ )	0.589 9	25.580 6	13.749 1
效果性指标( $U_3$ )	0.600 1	23.310 4	13.863 5
公平性指标( $U_4$ )	0.805 0	23.866 0	12.163 2

1) 4级指标评价结果中熵的最大值约为2.58, 超熵的最大值约为2.11, 说明4级指标的评价结果随机性和模糊性比较小。

2) 通过3级指标评价结果可以看出, 不包含4级指标的3级指标的熵和超熵值比较小, 说明评价结果随机性和模糊性比较小。包含4级指标的3级指标的熵和超熵都明显大于其它不包含4级指标的3级指标, 说明云层从低级向高级转化时, 它的随机性和模糊性都会增加。我国VTS在提高船舶交通流和提升海事部门社会形象方面可以更好地发挥作用。

3) 从2级指标评价结果可以看出, 我国VTS内部组织效率要明显高于外部监管服务效率; 2级指标的熵、超熵值明显大于3级指标, 也说明随着云朵的升级, 其随机性和模糊性会增加。

4) 从1级指标的评价结果可以看出, 我国VTS的效率性、效果性和公平性指标的评价结果较好, 而经济性指标得分的期望值最低; 同时经济性指标的熵和超熵明显低于其它3个指标值。进一步深入研究发现, 经济性指标包含更多的定性指标, 而其它3个指标包含更多的定量指标, 说明定量指标的评价结果较定性指标评价结果的模糊性和随机性要小, 一定程度上也说明定量指标的评价结果更具说服力。 (下转第33页)