

基于 Fuzzy-AHP 的飞机客舱内环境设计评价^{*}

Evaluation of Interior Environment Design of Aircraft Passenger Cabin Based on Fuzzy-AHP

西北工业大学工业设计研究所 王伟伟 余隋怀 初建杰 杜鹤氏

[摘要] 在确定飞机客舱内饰设计评价指标的基础上,运用 Fuzzy AHP 综合评价法,实现了定性指标的定量转换,建立了飞机客舱内饰设计评价分析模型,克服了评价的主观性和随意性,实现了对飞机客舱内饰设计的科学评价,并编制了飞机客舱内饰设计评价系统软件加以论证。

关键词: Fuzzy AHP 客舱内环境 设计方案 评价方法

[ABSTRACT] Based on establishing the evaluation index firstly, Fuzzy AHP synthesize evaluation method is used to realize the conversion of qualitative attributes to quantitative attributes, and the evaluation analytical model of interior environment design of airplane passenger cabin is constructed which overcome the subjective and randomness, and scientific assessment is achieved. Moreover, evaluation system software for aircraft passenger cabin is designed as demonstration.

Keywords: Fuzzy AHP Interior environment of aircraft passenger cabin Design plan Evaluation method

民用飞机客舱内环境主要指直接为机内乘务人员提供旅途必要的工作、生活保障的一切设备。民用飞机舱内环境的范围包括:舱内装饰,包括客舱的机身内蒙皮材质、内部色彩搭配;舱内座椅,包括旅客座椅、空中服务员座椅等;舱内灯光布置;舱内防火、灭火设施;舱内卫生设施,包括舱内简易的卫生设备和典型的盥洗间及其配套设施;舱内物品存放设施,包括随身小件行李的存放设施,以及简易的食品以及饮料的存放装置,典型的厨房柜装置与配套设施,储藏室、衣帽间,包括机组人员专用的存放箱、宠物存放箱等。

飞机的客舱是旅客在旅途中的工作和休息空间。除了民用飞机自身的性能外,座舱空间则是民用飞机安全性、舒适性和经济性的一个缩影。座舱装饰的目的就是根据不同的要求,运用各种新技术、新方法,为乘员提

供舒适、宜人、服务便捷的旅途环境。飞机客舱内饰设计是涉及到造型设计、人机工程、光学、材料学、噪声学和色彩学等多种学科的综合专业性,其目的是以人为中心,最大限度地满足人的生理和心理需求。可以说,飞机客舱设计的优劣,直接关系到飞机的市场竞争力^[1]。

评价方法的研究由来已久,以往的有关飞机内饰设计方面的评价主要采用经验性评价方法,如淘汰法,经过分析直接去除不能达到主要目标要求的方案或不相容的方案;又如排队法,将方案两两对比加以评价择优等。在飞机设计评价方面,Tai-Chang Hsia 提出了基于质量分析矩阵的维修手册质量评价方法^[2];在类似的系统仿真方面,冉承新等运用 Fuzzy AHP 方法进行了仿真系统可信度的综合评价^[3];此外,Zeki Ayag · R.G. Özdemir 运用 Fuzzy AHP 方法在工具交互性的选择方面进行了多标准决策制定 MCDM (multiple-criteria decision making) 的研究^[4];李雄伟提出了基于 Fuzzy-AHP 的通信网安全评价方法方面的探索^[5]。

1 Fuzzy AHP 综合评价法原理

AHP (analytic hierarchy process) 理论,是由 Thomas L. Saaty 在 20 世纪 70 年代提出的,常规的 AHP 作为决策评价理论被研究者广泛引用。AHP 层次分析法是由系统工程论深化而来,AHP 的核心是层次权重决策分析。具体来说,各种复杂因素对问题的分析有着不同的重要性,将这些因素之间的关系加以条理化,并排列出不同类型因素相对重要性的次序,这便是 AHP 层次分析法的基本主旨。层次分析的步骤包含:①明确问题;②确定层次结构;③建立判断矩阵;④层次单排序;⑤层次总排序;⑥一般性检验等。AHP 法适用于产品设计的调查和测试的小样本,其应用范围包括供应选择、业绩评估、项目管理、资源分配、预算决策、技术管理、矛盾冲突解决等。

评估与决策的关键是选择合适的指标体系,评估指标可以分为定性指标和定量指标两种。理论上讲,为了能够科学客观地反映评价对象的质量特征,应该尽量选择定量指标。然而,对于大多数评估与决策对象来说,并不是所有的质量特征都可以用定量指标进行描述,所

^{*} 国家 863 计划重点项目(2007AA040406)。

以不可避免地要采用一定的定性指标。为了解决这对矛盾,在利用层次分析法进行评估决策时,引入了模糊理论(Fuzzy logic),将两者结合形成 Fuzzy AHP 法。

模糊理论由 L.A.zadeh 提出,它以模糊集合(Fuzzy set)为基础,接受模糊性现象存在的事实,以处理概念模糊不确定的事物为其研究目标,将模糊因素严密地量化成计算机可以处理的信息。利用这一理论,我们可以建立评价指标集到评价集的模糊映射,并建立计算评价指标针对评价方案的隶属度矩阵,并最终得到评价结果。

2 客舱内环境评价层次结构模型的建立

2.1 评价指标选择

客舱内装饰设计涉及到多学科知识,因此对客舱内饰设计方案的评价也应该是一个多因素评价体系。客舱内装饰设计包括:造型设计、色彩设计、照明环境设计等,这一过程涉及多学科因素,如形态学、色彩学、照明设计、人机工程等,为了提高评价的效率我们需要建立客舱内装饰设计评价指标,作为评价优劣的依据。

首先评价目标的基本要求是:①全面性。尽量涉及技术、经济、社会性、审美性的多个方面;②独立性。各评价目标相对独立,内容明确、区分确定。由此,我们可以将评价的准则确定在整体效果、内部造型、色彩搭配、内部照明、人机及其他这6个方面。在此基础上再分类设定具体的评价指标。如,我们重点考虑光照的照度、亮度、色温和光源的高度对舱内舒适性的影响,从而将内部照明分解为:光照柔和照度适宜、光影能很好地跟空间搭配、色温适宜、能满足局部特殊照明的需求等几

个指标。

2.2 构造层次结构模型

根据以上分析,我们把相应的设计因子作为具体的评价指标,并由此建立了如图1所示的结构层级模型。

3 客舱内环境评价模型的建立

3.1 运用 AHP 法计算各评价因素的单项权重

在利用 AHP 法构建的评价体系图1中,准则层有评价因素6个,子准则层有评价因素20个。以1-9标度法作为比较的标准^[6],两两比较,由

$$c_{ij}(i = 1, 2, \dots, r, \dots, n; j = 1, 2, \dots, s, \dots, n)$$

构成判断矩阵 C 为:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2j} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{i1} & c_{i2} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nj} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

式中 c_{ij} 为因素 i 相对于因素 j 的重要性,两两元素的相对重要性按 10 级标度法在 1、2、3、4、5、6、7、8、9 间取值(如表1所示),其具有如下特征:当 $i=j$ 时, $c_{ij}=1$; 当 $i \neq j$ 时, $c_{ji}=1/c_{ij}$ 。

取矩阵 C 的最大特征根为 λ_{max} ,设各因数的权重向量为: $W = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)^T$,有:

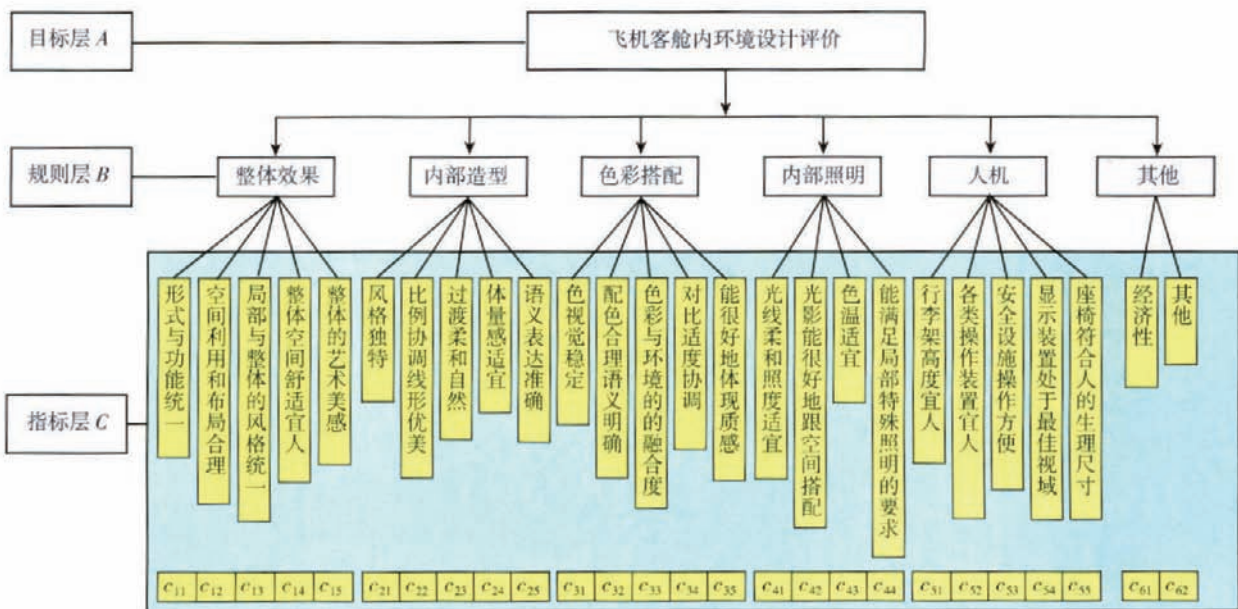


图1 飞机客舱内环境设计评价结构层次模型

Fig.1 The evaluated structure model of interior environment of aircraft passenger cabin

表1 两两因素相对重要性取值

优劣程度	缺陷多	较差	勉强可用	可用	基本满意	良	好	很好	超目标	理想
c_{ij} 取值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

$$C \times W = \lambda_{\max} \times W。$$

利用规范列平均法,将 C 的元素,按列进行归一化处理,即: $\bar{c}_{ij} = c_{ij} / \sum_{k=1}^n c_{kj}$, 得到矩阵 $\bar{C} = [\bar{c}_{ij}]$ 。

求 C 各行和的平均值 $1/n \cdot \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij}$, 则 $\omega_i = 1/n \cdot \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij}$,

得到: $W = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)^T$ 。

3.2 建立判断矩阵并检验一致性

计算相对一致性指标 CR , 并进行一致性检验: $CR=CI/RI$ 。其中, CI 为一一致性指标, $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$, RI 为平均随机一致性指标, 可从取值表 2 中查询得到。5 阶矩阵的 RI 值为 1.12。

表2 平均随机一致性取值指标 RI

n (矩阵维数)	2	3	4	5	6	7	8	9
RI 值	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当计算求得 $CR \leq 0.1$ 时,我们认为判断矩阵具有令人满意的一致性,否则返回重新判断,直到判断矩阵拥有较好的一致性。只有通过一致性检验,才能保证近似特征向量能够客观表征飞机客舱内环境各评价因素的权重。

3.3 计算综合权重

得到飞机客舱内环境各评价因素的权重后,我们还需要得到所有评价指标相对于总目标的综合权重。将上面计算的各单项权重进行适当的组合。

已知 B 层对 A 层的相对权重为:

$$w^{(1)} = (w_1^{(1)}, w_2^{(1)}, \dots, w_m^{(1)})^T,$$

C 层对 B 层的相对权重为:

$$w_j^{(2)} = (w_{1j}^{(2)}, w_{2j}^{(2)}, \dots, w_{nj}^{(2)})^T, (j = 1, 2, \dots, m),$$

其中不受 B 层支配的权重为 0。

则 C 层对各指标对总目标 A 的综合权重为:

$$w_i^{(0)} = \sum_{j=1}^m w_j^{(1)} \times w_{ij}^{(2)}, i = 1, 2, \dots, n;$$

从而得 C 层各指标对总目标的综合权重向量为:

$$w^{(0)} = (w_1^{(0)}, w_2^{(0)}, \dots, w_n^{(0)})^T。$$

4 运用 Fuzzy-AHP 评价法进行综合评价

4.1 评价指标的量化

对于模糊综合评价方法来说,评价指标的量化就是要得到各指标基于同一个评语集的单因素评价集。因此,必须建立统一的评分标准,对各评价指标进行量化,其取值如表 3 所示。

表3 评价集取值对照表

评价项目	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
评语	差	一般	比较好	好	很好
取值	≤ 60	60~70	70~80	80~90	≥ 90

4.2 数学模型建立

(1) 构架评价因数集 $U = \{u_1, u_2, L, u_n\}$ 。

其中, u_i 为评价因数, $i=1, 2, \dots, n$ 。 n 为同一层次上单个因素的个数,该集合构成了评价的框架。根据客舱内环境评价层次结构模型,可以将评价因数集确定为:

$$U = \{u_1, u_2, L, u_n\} = \{c_{11}, c_{12}, \dots, c_{62}\}。$$

(2) 确定评语集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。

其中 v_j 为评语, $j=1, 2, \dots, m$ 。 m 为评语等级数或评语档次数。评语集中的 v_j 取值如表 3 所示。

(3) 确定隶属度矩阵 R 。

隶属度矩阵是评价因素集中各因素对于评语集中各元素的关系矩阵,该矩阵的各个值就是相对应的隶属度。如何确定各评价指标的隶属度是实施模糊综合评价的关键步骤之一,关系着最终评价结果的可信度。

设某评价指标值为 x , 其隶属函数为 $u(x)$, $H_i(i=1, 2, \dots, m)$, 为评价指标值区间内确定的 m 个递减非负特征值, 则采用线性分析法根据表 3 建立隶属度模糊函数公式如下:

$$\cdot \text{差} \quad u_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 50 \\ (60-x)/10, & 50 \leq x < 60 \\ 0, & 60 \leq x \leq 100 \end{cases};$$

$$\cdot \text{一般} \quad u_2(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 50 \\ (x-50)/10, & 50 \leq x < 60 \\ 1, & x \leq 60 \\ (70-x)/10, & 60 \leq x < 70 \\ 0, & 70 \leq x \leq 100 \end{cases};$$

$$\cdot \text{比较好} \quad u_3(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 60 \\ (x-60)/10, & 60 \leq x < 70 \\ 1, & x \leq 70 \\ (80-x)/10, & 70 \leq x < 80 \\ 0, & 80 \leq x \leq 100 \end{cases};$$

$$\cdot \text{好} \quad u_4(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 70 \\ (x-70)/10, & 70 \leq x < 80 \\ 1, & x \leq 90 \\ (90-x)/10, & 80 \leq x < 90 \\ 0, & 80 \leq x \leq 100 \end{cases} ;$$

$$\cdot \text{很好} \quad u_5(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 80 \\ (80-x)/10, & 80 \leq x < 90 \\ 0, & 90 \leq x < 100 \end{cases} .$$

在上述的公式中, x 为专家针对客舱内饰设计方案的某一评价指标给定的分数, 当评判专家对指标打分后, 利用隶属度函数公式可计算出各级别的隶属度矩阵, 记为: $R_{ij} = (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4}, r_{i5})$; $R_i = (R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{ik})^T$, k 为每个 u_i 含有下一层指标的个数。

4.3 综合评价

结合权重向量 W 和隶属度矩阵 R , 即可得出对客舱内环境设计的最终评价结果 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ 。

$$\text{其中, } B=W \times R, b_j = \sum_{i=1}^n w_i \times r_{ij}, j = 1, 2, \dots, m .$$

最后, 根据得分给出对客舱内环境设计的质量评价。

5 评价系统实现及应用验证

5.1 飞机客舱内环境设计评价系统软件

根据算法, 开发飞机客舱内环境设计评价系统软件, 其结构图如图 2 所示。

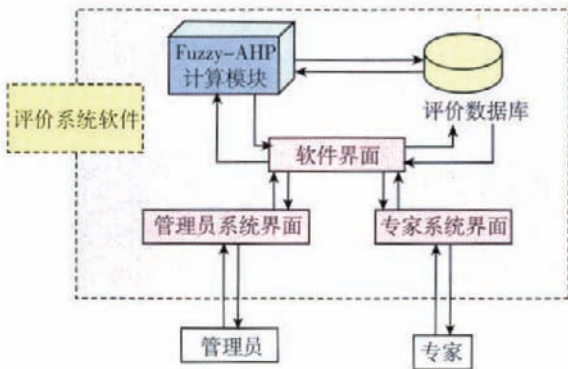


图2 客舱内环境设计评价软件结构图

Fig.2 Software structure for evaluation of interior environment design of aircraft passenger cabin

可以很方便地利用 VC 语言编制客舱内环境设计评价系统软件, 评价软件按文中的描述建立了客舱内环境设计评价因素集 U 和评语等级集 V 。同时, 根据文中的数学模型编制了数据处理程序, 管理员根据评价目的的不同, 预先输入权重评价数据, 系统按 AHP 自动计算

出评价指标的权重值, 在不修改评价因素集时, 权重值可重复利用。参与评价的专家用户可以在专家系统界面, 对应各个层次的评价因素选择合适的评语级别, 完成后递交。这时, 系统会自动根据模糊映射程序结合指标权重值计算出对系统的综合评分。

在该评价体系的基础上, 运用该绿色评价系统, 可以对设计方案从整体效果、造型、色彩、照明、人机及其他方面很方便地进行评价。软件界面如图 3 所示。



图3 客舱内环境设计评价软件界面

Fig.3 Software interface for evaluation of interior environment design of aircraft passenger cabin

5.2 应用验证

下面给出了一套设计方案的部分截图, 如图 4、图 5 和图 6 所示。

应用飞机客舱内环境设计评价系统软件, 7 位专家对系统的各项指标按百分制打分, 计算过程和结果如图 7 所示。



图4 整体效果图及色标示意

Fig.4 Overall appearance and colour code schematic

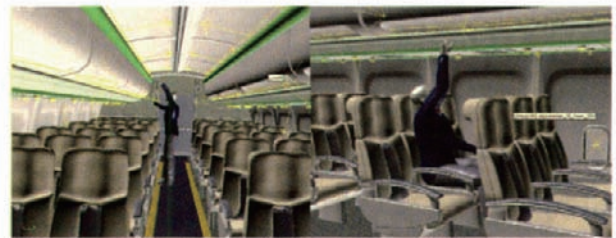


图5 整体结构布局图及动态人机检测示意图

Fig.5 Overall arrangement and the dynamic interactive checking

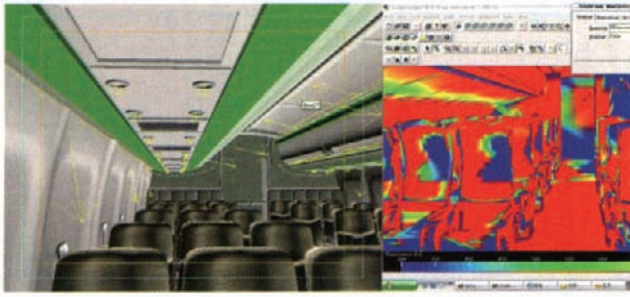


图6 整体灯光布局图及照度检测示意

Fig.6 Overall arrangement of lights and the illumination checking



图7 软件计算过程截图

Fig.7 Screenshot of calculating process of the software

6 结束语

先进的内饰设计理念和技术的提高民航客机设计先进性、增强市场竞争能力的重要保障。对它的内饰设计方案的评价也是一个需要综合诸多学科的一个非常复杂的过程。本文在对这一过程进行分析和总结的基础上,确定了比较全面的评价指标,并引入 Fuzzy-AHP 法,确定各个指标的权重,最终通过编程实现了对飞机客舱内饰设计的多层次阶层结构的多级模糊评价,避免了评价中的主观随意性。

参考文献

- [1] 冯雷 范玉青. 飞机技术虚拟样机技术与实现. 航空制造技术, 2004, (10):88-91.
- [2] Tai-Chang H. Evaluating the writing quality of aircraft maintenance technical orders using a quality performance matrix. International Journal of Industrial Ergonomics, 2007,37: 605-613.
- [3] 冉承新, 凌云翔. AHP—Fuzzy 在仿真系统可信度综合评价中的应用. 计算机仿真, 2005, 22(8):59-61.
- [4] Zeki A, R.G. Özdemir. A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives. Intell Manuf, 2006,17:179-190.
- [5] 李雄伟. 基于 Fuzzy-AHP 的通信网安全评价方法研究. 军事通信技术, 2005, 26(2):6-9.
- [6] Saaty, T. L. Decision Making, Scaling, and number crunching. Decision Science, 1989,20: 404-409.

(责编 阳光 小颖)

(上接第 75 页)

3 结束语

应用虚拟设计制造技术可提高架车系统的设计质量,简化甚至取消实物样机的制造过程,缩短开发周期,降低制造成本。其中虚拟装配打破了以往“设计-制造(装配)-评价”和“实物验证”的封闭式空间模式,改善了装配关系的滞后检验,避免了不必要的浪费,在设计阶段就验证了零件之间的配合和可装配性;运动仿真干涉分析能够对架车的各个运动部件进行性能评价,加强了设计的逼真性、可靠性和精确性。此外,合理的集成化 CAM、CAPP 保证了制造过程的顺利实施,大大缩短了制造周期。建成后的 FL-9 低速增压风洞架车系统经过模型风洞试验测试,整个架车的刚度、强度、角度定位精度完全满足设计要求。

参考文献

- [1] 刘政崇. 风洞结构设计. 北京: 中国宇航出版社, 2004.
- [2] 陈定方, 罗亚波. 虚拟设计. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] Ji Ping, Choi A C K, Tu Lizhong. VDAS: a Virtual Design and Assembly System in a Virtual Reality Environment. Assembly Automation, 2002, 22(4):337-342.
- [4] 恽起麟. 风洞实验. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [5] 郑亚青, 林麒, 刘雄伟. 低速风洞绳牵引并联支撑系统的机构与模型姿态控制方案设计. 航空学报, 2005(11): 774-778;
- [6] 竹朝霞, 惠增宏, 金承信. NF-3 风洞尾支撑机构及其测控系统的研制. 流体力学试验与测量, 2003(09):47-50.
- [7] 林勇志. Pro/Engineer 野火版基础教程. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- [8] 小飒工作室. 最新经典 ANSYS 及 Workbench 教程. 北京: 电子工业出版社, 2004.

(责编 小颖)

(上接第 79 页)

3 结束语

本课题研究了提取涡轮叶片的叶身截面线生成工程图和自动标注尺寸的方法,提高了二维制图的效率,所提取的叶身外型截面线参数能直接在后续的工程分析阶段和制造过程中使用,进而缩短产品研制周期,也为涡轮叶片的二维制图的进一步研究奠定基础。

参考文献

- [1] 张再德. 复杂 UG 工程图转换成 AutoCAD 工程图的方法. 机械制造, 2006,44(498):41-42.
- [2] 宋玉旺, 席平. 特征造型技术的涡轮叶片参数化设计. 北京航空航天大学学报, 2004,30(4):321-324.
- [3] 宋玉旺, 胡毕富, 席平. 基于特征的航空发动机涡轮叶片参数化设计. 航空制造技术, 2007,11:73-78.
- [4] 侯永涛, 丁向阳. UG/Open 二次开发实例精解. 北京: 化学工业出版社, 2007.

(责编 淡蓝)