

## 热红外隐身材料研制途径评估

Assessment on Developing Approaches  
of Thermal IR Stealth Material



航空航天工业部第七〇七研究所

# 热红外隐身材料研制途径评估\*

## Assessment on Developing Approaches of Thermal IR Stealth Material

(1990年10月)

执笔 孟晓雄 Men Xiaoxun

**摘要** 本报告借助于专家调查,建立了“新型功能材料实验室研制阶段主要影响因素层次结构模型”,并利用这个模型对热隐身材料的研制途径和材料品种进行了排序评估。

**主题词** 热红外隐身材料, 研制途径, 评估, 专家调查法, 层次分析法

### 1. 引言

根据相关文献和一定的理论依据,热红外隐身材料的研制途径可以归纳出以下5类共9种(见表1)。

表1 现有的和潜在的热红外隐身材料研制途径

类号	类	种号	种	有文献基础	有一定理论依据	备注
G1	涂料	S1	以金属颜料为主	√	√	
		S2	以非金属颜料为主	√	√	
		S3	以半导体颜料为主	√	√	
G2	薄膜	S4	金属薄膜	√	√	
		S5	半导体薄膜	√	√	
		S6	电介质/金属多层复合膜	√	√	
G3	新型隔热材料	S7	新型隔热材料		√	与一般隔热材料有区别,轻、薄、高效,有用于飞行器的可能
G4	相变材料	S8	相变材料		√	也包括可用作别种材料添加剂的相变材料
G5	导电高聚物	S9	导电高聚物		√	

\*热红外隐身材料研制状态分析报告之四, 红外隐身材料课题组

以上途径难易程度如何？选择何种途径可以以较小的代价研制成功？这些都是值得关注的问题。实践固然是检验真理的唯一标准，但用实际尝试的方法去探索每一途径却是旷日持久、耗资巨大、事倍功半，而完全凭经验靠感觉也容易误入歧途。本报告试图用在决策领域经常使用的，已被实践证明行之有效的软科学研究方法——专家调查法和层次分析法对其进行分析，以图找到最佳路线，供专家组部署“八五”期间任务时参考。

分析按以下步骤进行：

- a. 开展专家调查，借助专家的经验 and 智慧建立各种对新型功能材料研制过程产生主要影响的因素的层次结构模型。
- b. 开展专家调查，确定各个影响因素的权重（即重要程度）。
- c. 请专家根据这些因素对各个途径进行排序，再乘以权重，从而得出各种途径的综合评分，排出其相对顺序。

将专家调查法与层次分析法相结合，把专家的集体智慧用定量的方式表达出来，既减少了专家意见的主观性，又增加了层次分析方法的可靠性，使两者相得益彰，达到最优结合。

## 2. 新型功能材料实验室研制阶段主要 影响因素层次结构模型的建立

层次结构模型通过开展专家调查建立。调查从专家对参考模型的评价开始<sup>[1]</sup>，拟进行2~3轮。

调查按图1所列程序进行：

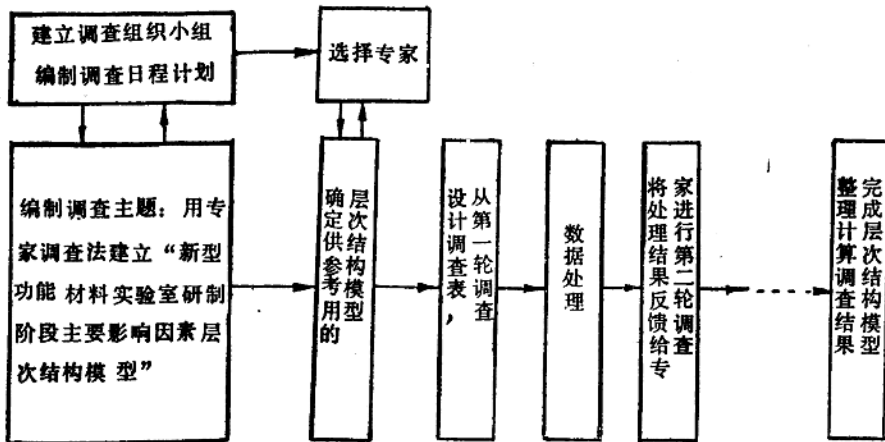


图1 专家调查进行程序

第一轮调查共发出调查表60份，回收41份，回收率为67%；第二轮向参加第一轮调查的专家发出调查表41份，回收41份，回收率100%。参加调查的专家人数符合特尔菲对人员数量的要求<sup>[1]</sup>，且人员稳定，排除了人员波动对调查结果的影响。参加调查的这41位专家均从

事红外隐身材料的研究及其相关工作，其身份特点见表2、表3和表4。

表2 参加调查专家研究领域分布及所占比例

工作性质	研究领域分布		在专家组中所占比例
	研究领域	分布	
研究	涂料	26.7%	79.0%
	薄膜	16.7%	
	聚合物	13.3%	
	其它材料	3.3%	
	测试	10.0%	
	机理研究	10.0%	
	隐身技术研究应用	20.0%	
管理	863计划管理专家	66.7%	16.0%
	军用预研材料研究及管理专家	33.3%	
情报	功能材料		5.0%
总计			100%

表3 参加调查的专家的技术职务分布

技术职务	高级	中级	初级	总计
分布 (%)	93	7	0	100

表4 参加调查的专家的工作部门分布

工作部门	大专院校	科学院	工业部门研究单位	政府管理部
分布 (%)	29	26	35	10

参加调查的41位专家共提出  $m$  种修改意见 ( $m < 41$ )。对这  $m$  个“方案”按择优选择处理，计算它们的专家意见集中程度  $K_i$ ：

$$K_i = m_i / m \quad (1)$$

式中： $m_i$  为提出  $i$  方案的专家人数， $m$  为参加调查的专家总人数。

每一位专家对所提问题的权威程度  $C_i$ 。

$$C_i = \frac{C_s + C_j}{2} \quad (2)$$

式中： $C_s$  为该专家对所提问题的熟悉程度， $C_j$  为该专家对所提问题作出判断的依据。 $C_s$  和  $C_j$  取值见表5和表6。

表 5 各专家对所提问题熟悉程度系数 $C_s$

领域	熟悉程度分值 $C_s$									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
新型功能材料实验室研制阶段的特点和规律	最不熟悉	...	...	...			...	...	...	最熟悉

表 6 判断依据及其影响程度

判断依据	对专家判断的影响程度		
	大	中	小
理论分析	0.3	0.2	0.1
生产经验	0.5	0.4	0.2
参考国内学者的著作	0.05	0.05	0.05
参考国外学者的著作	0.05	0.05	0.05
对国外同类活动的了解	0.05	0.05	0.05
直观	0.05	0.05	0.05

$K$  越大, 专家意见的集中程度越高。原则上, 对  $K > 0.1$  的方案, 必须予以考虑。同理, 对  $C_s > 0.8$  的专家的意见也必须予以考虑。根据专家意见进行修改, 然后反馈给专家。如此进行 2 轮后, 基本同意和完全同意修改后的参考模型的专家人数已达 90%, 专家意见已很接近 (见图 2), 不需再进行第 3 轮调查。这样, 就确立了“新型功能材料实验室研制阶段的主要影响因素层次结构模型” (见图 3)。

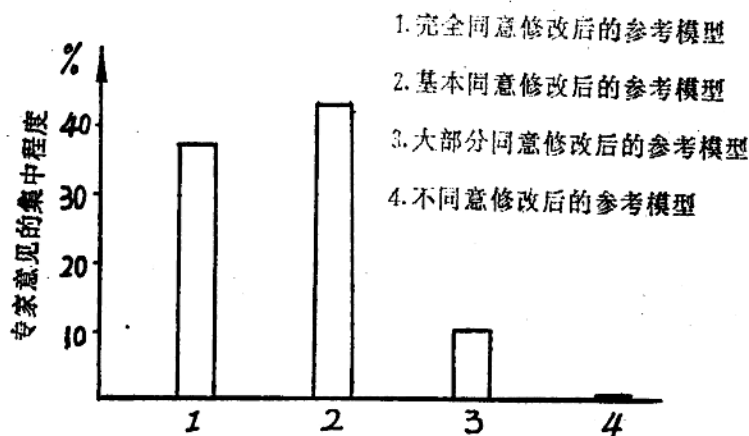


图 2 对修改后的参考模型的专家意见分布

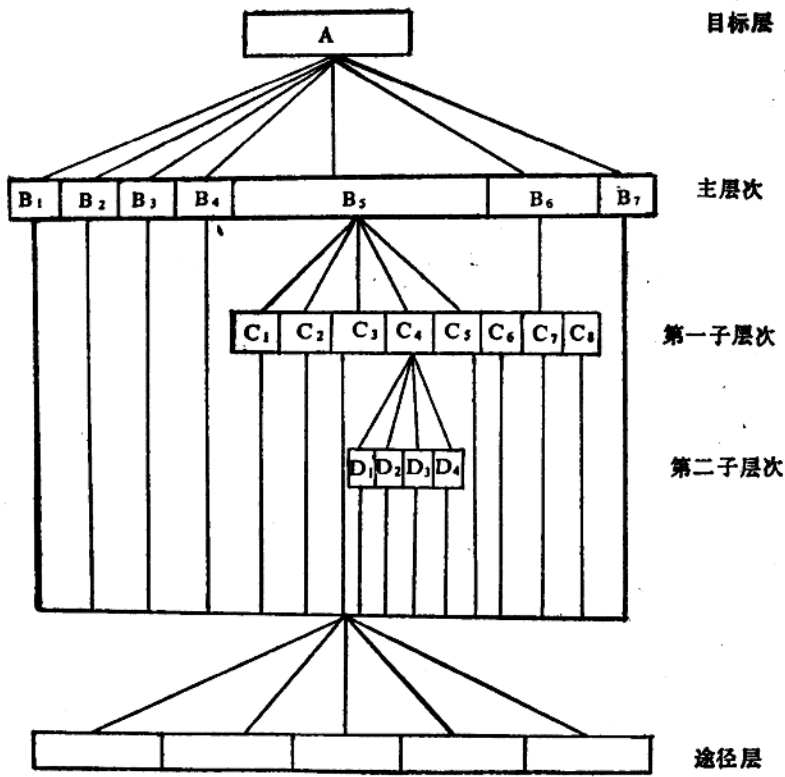


图3 新型功能材料实验室研制阶段主要影响因素层次结构

图中:

- A: 目标层。对新型功能材料的研制方案进行综合评价。
- B: 准则层主层次。影响一种新型功能材料在实验室研制成功的主要因素。
- B<sub>1</sub>: 社会需求
- B<sub>2</sub>: 有关人员素质
- B<sub>3</sub>: 研制费用
- B<sub>4</sub>: 物质条件保障
- B<sub>5</sub>: 研究难度
- B<sub>6</sub>: 材料性能先进性。指近期内可望达到的材料主要功能和其它性能指标的先进性以及今后这类指标继续改善的潜力
- B<sub>7</sub>: 预期生产成本。指根据实验室阶段研制工作估算的该材料批量生产后的成本
- C: 准则层第一子层次。影响因素B<sub>5</sub>和B<sub>6</sub>的细化。
- C<sub>1</sub>: 有关基础理论的发展程度
- C<sub>2</sub>: 有关基础技术的发展程度
- C<sub>3</sub>: 直接相关的参考文献和信息的数量
- C<sub>4</sub>: 材料制作的难易
- C<sub>5</sub>: 材料性能测试评价条件
- C<sub>6</sub>: 主要功能的先进性

- C<sub>7</sub>: 其它功能的先进性
- C<sub>8</sub>: 主要功能提高的潜力
- D: 准则层第二子层次。影响因素C<sub>4</sub>的细化。
- D<sub>1</sub>: 原材料来源
- D<sub>2</sub>: 设备条件
- D<sub>3</sub>: 技术路线的科学性
- D<sub>4</sub>: 制作工艺的复杂程度
- G: 研制途径层。

### 3. 层次结构模型合成权重的确定<sup>(2)</sup>

按照层次分析法的规则, 各因素的合成权重按以下步骤确定。

(a) 构造两两比较判断矩阵。假定上一层次的因素 C<sub>k</sub> 作为准则, 它对下一层次的因素 A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>……A<sub>n</sub> 有支配关系, 通过开展专家调查对 A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>……A<sub>n</sub> 等 n 个元素进行一对一的成对比较, 用表 7 所示的 1~9 种重要性级别来表示这些元素之间的差异。对于 n 个元素

表 7 标度的含义

1	表示两个元素相比, 具有同样重要性
3	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素稍微重要
5	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素明显重要
7	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素强烈重要
9	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素极端重要

2、4、6、8 为上述判断的中间值。

可以得到两两判断矩阵 A,

$$A = (a_{ij})_{n \times n}$$

(b) 计算单一准则下元素的相对权重。即解决与上一层次的因素 C<sub>k</sub> 有逻辑关系的元素 A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>……A<sub>n</sub> 在准则 C<sub>k</sub> 下的排序权重问题。它是通过解以下特征值得到的,

$$A W = \lambda_{\max} W \quad (3)$$

式中: A 为判断矩阵,  $\lambda_{\max}$  是 A 的最大特征值, W 为  $\lambda_{\max}$  对应的特征向量, W 为各因素相对重要性权重向量。

即找出判断矩阵 (A) 的最大特征值 ( $\lambda_{\max}$ ) 所对应的特征向量 W。

(c) 一致性检验。为避免专家在进行元素之间两两比较时发生明显的自相矛盾的错误, 需进行一致性检验。检验按式 (4) 进行

$$CR = CI/RI \begin{cases} \leq 0.1 & \text{一致性满足要求} \\ > 0.1 & \text{一致性不满足要求} \end{cases} \quad (4)$$

式中: CR 为一致性比例; CI 为一致性指标, 其值由式 (5) 确定; RI 为随机一致性指标, 其值由表 8 确定。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

式中： $\lambda_{max}$  为判断矩阵 A 的最大特征值，n 为 A 的阶数。

表 8 随机一致性指标取值范围

判断矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.50	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当一致性不满足要求时，需要重新审查并适当调整判断矩阵的赋值，重新计算。

(d) 合成权重的计算。在对各判断矩阵进行优先权重计算后，便可由上而下逐层计算各层次对总目标即上层因素的合成权重（总排序）。如 B 层次相对于 A 层次的总排序可按式 (6) 计算：

$$\sum_{i=1}^n a_i b_i^j \quad j=1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

式中： $a_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 是上层因素  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 的总排序， $b_i^j$  ( $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ ) 为与 A 相邻的下层元素  $B_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) 中各元素相对  $a_i$  的单排序。

参加构造两两比较判断矩阵的专家为完成建立层次分析模型工作的专家，共有 41 人，其中一致性比例 CR 检验合格的共有 22 名，占参加调查的专家总数的 53.6%，超过半数。每位专家给出的合成权重计算和一致性检验用计算机进行。

由于专家调查结果符合正态分布<sup>[2]</sup>，专家给出的权重是个位置量，故取中位数作为每一因素的权重，结果见表 9。

表 9 新型功能材料实验室研制阶段主要影响因素的权重

代号	因素 含义	权重 (中位数)	极小值/极大值	上四分位/下四分位	备注
B <sub>1</sub>	社会需求	0.34	0.040/0.45	0.20/0.40	
B <sub>2</sub>	有关人员素质	0.22	0.09/0.39	0.15/0.23	
B <sub>3</sub>	研制费用	8.11	0.043/0.32	0.069/0.14	
B <sub>4</sub>	物质条件保障	0.07	0.025/0.21	0.046/0.092	
B <sub>5</sub>	预期生产成本	0.042	0.018/0.24	0.018/0.056	
C <sub>1</sub>	有关基础理论发展的成熟程度	0.024	0.0033/0.147	0.0033/0.036	影响因素 B <sub>3</sub> (研究难度) 的细化
C <sub>2</sub>	有关基础技术发展的成熟程度	0.021	0.0039/0.110	0.0039/0.027	
C <sub>3</sub>	直接相关的参考文献和信息的数量	0.012	0.0022/0.080	0.0022/0.020	
C <sub>4</sub>	材料性能测试评价条件	0.016	0.0032/0.058	0.014/0.028	
C <sub>5</sub>	主要功能指标的先进性	0.088	0.015/0.77	0.015/0.19	影响因素 B <sub>4</sub> (材料性能先 进性)的细化
C <sub>6</sub>	其它功能指标的先进性	0.016	0.0026/0.080	0.0026/0.019	
C <sub>7</sub>	主要功能提高的潜力	0.012	0.0034/0.15	0.0034/0.037	
D <sub>1</sub>	原材料来源	0.16	0.0070/0.56	0.12/0.24	影响因素 C <sub>4</sub> (材料制作的 难易)的细化
D <sub>2</sub>	设备条件	0.0049	0.00057/0.34	0.00067/0.085	
D <sub>3</sub>	技术路线的科学性	0.0072	0.00063/0.52	0.00083/0.13	
D <sub>4</sub>	制作工艺的复杂程度	0.0049	0.06024/0.04	0.00024/0.01	



## 4. 研制途径排序计算

排序计算程序如下:

a. 开展专家调查,对不同类型的研制途径和同类中不同品种的材料(见表1)在单一影响因素下进行排序,排序共分9级,每级含义见表10。

**表10 研制途径9级排序含义**

级别	含 义	例 证
10	各个研究方向相比, 10为好	如有关理论成熟,有关基础技术成熟,原材料易得,设备条件好,制作工艺简单,主要功能先进,其它性能先进,主要功能提高的潜力大,预期生产成本低,等等
8	各个研究方向相比, 8为较好	与上相似
6	各个研究方向相比, 6为一般	与上相似
4	各个研究方向相比, 4为较差	与上相似
2	各个研究方向相比, 2为差	与上相似

\*3、5、7、9为各级的中间值。

b. 对专家排序的结果进行统计处理。由于专家调查结果均符合正态分布,故取中位数为不同途径和不同品种在单一影响因素下的排序。

c. 每类途径或品种在每一影响因素下的排序与这一影响因素的权重相乘,然后将结果相加,从而得出其在不同因素下的总排序。

研制途径单排序的专家调查只在本专题网内进行,共向20名专家发出调查表,回收13份,回收率为65%。调查处理结果见表11、12和13。

**表11 五类研制途径的排序**

影 响 因 素	研 制 途 径 权重	涂 料		薄 膜		隔 热 材 料		相 变 材 料		导 电 高 聚 物	
		排 序	上/下 分 值	排 序	上/下 分 值	排 序	上/下 分 值	排 序	上/下 分 值	排 序	上/下 分 值
B <sub>1</sub> 社会需求*	0.34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B <sub>2</sub> 有关人员素质*	0.22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B <sub>3</sub> 研制费用*	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B <sub>4</sub> 物质条件保障*	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B <sub>5</sub> 预期生产成本	0.042	10	9.5/10	6	5/6.5	5	4/5	4	3.5/5	4	2/4
C <sub>1</sub> 有关基础理论的发展程度	0.024	7	8.5/9.25	8	6/8	4	3.25/4.5	2	2/3	2	2/3.5
C <sub>2</sub> 有关基础技术的发展程度	0.021	10	9.5/10	9	8.5/10	4	3/4	2	2/3	2	2/3.5
C <sub>3</sub> 直接相关的参考文献的数量	0.012	10	9.5/10	8	7/8	2	2/3	2	2/3	2	2/3.5
C <sub>4</sub> 材料性能测试条件	0.016	10	9/10	6	5/6.5	5	3.5/5	4	3.5/5	4	3.5/5
C <sub>5</sub> 主要功能指标的先进性	0.088	8	7/8	8	7/8	4	3.5/5	4	3/4	4	3.75/5.5
C <sub>6</sub> 其他功能指标的先进性	0.016	10	9/10	6	5.25/6.5	4	2/4	2.5	2/3.5	2.5	2/3.5
C <sub>7</sub> 主要功能提高的潜力	0.012	6.5	5/6.5	8	6.5/8	5	3.5/5	6	5/6.5	4	3.75/5.5
D <sub>1</sub> 原材料来源	0.016	10	9.5/10	8	7/8	6	5/6.5	4	3.5/5	4	3.75/5.5
D <sub>2</sub> 设备条件	0.0049	10	9.5/10	8	7/8	4	3.5/5	3	2/3.5	4	3.5/5
D <sub>3</sub> 技术路线的科学性*	0.0072	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D <sub>4</sub> 制作工艺的复杂程度	0.0049	10	8.5/10	6	5/6.5	4	3.5/5	4.5	4/6	5.5	4/6
总排序=∑因素权重×排序级别			2.33		1.92		1.11		0.911		0.897

\*未进行专家调查,暂设5种途径,在这些因素下的排序均相同。

表12 涂料类中三种材料品种的排序

影 响 因 素	涂料品种 权重	以金属颜料为主		以着色颜料为主		以半导体颜料为主	
		排序	上/下四分位值	排序	上/下四分位值	排序	上/下四分位值
B <sub>1</sub> 社会需求*	0.34	—	—	—	—	—	—
B <sub>2</sub> 有关人员素质*	0.22	—	—	—	—	—	—
B <sub>3</sub> 研制费用*	0.11	—	—	—	—	—	—
B <sub>4</sub> 物质条件保障*	0.07	—	—	—	—	—	—
B <sub>5</sub> 预期生产成本	0.042	10	9.5/10	8	7/8.5	6.5	5.5/7
C <sub>1</sub> 有关基础理论的发展程度	0.024	10	9/10	6	5/6.5	6	5.5/7.25
C <sub>2</sub> 有关基础技术的发展程度	0.021	10	9.5/10	8	7.5/9	6	5.5/7.25
C <sub>3</sub> 直接相关的参考文献和信息的数量	0.012	10	9.5/10	6	5.5/7	6	5/6
C <sub>4</sub> 材料性能测试条件	0.016	10	9/10	8	7/8	6	7/8
C <sub>5</sub> 主要功能指标的先进性	0.088	6	6/8	6	5/6.5	7	5.5/7.25
C <sub>6</sub> 其它功能指标的先进性	0.016	10	9/10	8	7.5/8.75	8	7.5/8.75
C <sub>7</sub> 主要功能提高的潜力	0.012	6	4/6	6	5/6	7	6/7
D <sub>1</sub> 原材料来源	0.016	10	9.5/10	8	7/8	6	5.5/7
D <sub>2</sub> 设备条件	0.0049	10	9.5/10	8	7/8	8	7/8.5
D <sub>3</sub> 技术路线的科学性*	0.0072	—	—	—	—	—	—
D <sub>4</sub> 制作工艺的复杂程度	0.0049	10	9.75/10	8	7/8	6	5/6.5
总排序=Σ因素权重×排序级别		2.99		1.78		1.70	

\*未进行专家调查, 暂设三种品种, 在这些因素下的排序均相同。

表13 薄膜类中三种材料品种的排序

影 响 因 素	薄膜品种 权重	金属薄膜		半导体薄膜		电介质/金属多层复合膜	
		排序	上/下四分位值	排序	上/下四分位值	排序	上/下四分位值
B <sub>1</sub> 社会需求*	0.34	—	—	—	—	—	—
B <sub>2</sub> 有关人员素质*	0.22	—	—	—	—	—	—
B <sub>3</sub> 研制费用*	0.11	—	—	—	—	—	—
B <sub>4</sub> 物质条件保障*	0.07	—	—	—	—	—	—
B <sub>5</sub> 预期生产成本	0.042	10	9/10	6	5.25/6.5	7	6/8
C <sub>1</sub> 有关基础理论的发展程度	0.024	8	6/8	6	4/6	8	6/8
C <sub>2</sub> 有关基础技术的发展程度	0.021	10	9/10	7	6.5/7.75	8	6/8
C <sub>3</sub> 直接相关的参考文献和信息的数量	0.012	9	8.5/10	6	4/6	7	6/8
C <sub>4</sub> 材料性能测试条件	0.016	8	7/8	6	5/6.5	6	4/6
C <sub>5</sub> 主要功能指标的先进性	0.088	8	6/8	7	6.25/7.5	6	5.25/6.5
C <sub>6</sub> 其它功能指标的先进性	0.016	8	7/8	6	5/6	7	6/8
C <sub>7</sub> 主要功能提高的潜力	0.012	6	5/6.5	8	6.5/8	8.5	7.75/8.5
D <sub>1</sub> 原材料来源	0.016	10	9.5/10	8	7.5/8.75	8	7/8
D <sub>2</sub> 设备条件	0.0049	8.5	8/8.5	8	7/8	7.5	7/8.5
D <sub>3</sub> 技术路线的科学性*	0.0072	—	—	—	—	—	—
D <sub>4</sub> 制作工艺的复杂程度	0.0049	10	9.5/10	7	5.5/7	6.5	6/8
总排序=Σ因素权重×排序级别		2.99		1.78		1.70	

\*未进行专家调查, 暂设3种品种, 在这些因素下的排序均相同。

## 5. 讨 论

将表 9 中各个因素按权重大小排列如下:

增 大

D <sub>4</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>	B <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>
.0049	.0049	.0072	.012	.012	.016	.016	.021	.024	.042	.070	.088	.11	.16	.22	.34
制作工艺的复杂程度	设备条件	技术路线的科学性	主要功能提高的潜力	直接相关的参考文献和信息的数量	其它功能指标的先进性	材料性能测试评价条件	有关基础技术发展的成熟程度	有关基础理论发展的成熟程度	预期生产成本	物质条件保障	主要功能指标的先进性	研制费用	原材料来源	有关人员素质	社会需求

可以看出,各个因素相对重要性的排列虽然来自专家对功能材料实验室研制阶段规律的定性认识,但通过专家调查法和层次分析法,得到了定量的表述。这些因素不仅在热隐身材料的实验室研制阶段起作用,对其它功能材料的实验室研制阶段也起作用。因此图 4 的“新型功能材料实验室研制阶段的主要影响因素层次结构模型”是一个适宜于评估功能材料实验室研制阶段成功可能性的通用模型,可以作为决策的参考。

表 11、12 和 13 就是利用这种模型对热隐身的研制途径和品种进行评估的结果。从表 11 可看出,涂料得分 2.33,高居榜首;薄膜得分 1.92,名列第二;余者分别为新型隔热材料(1.11)、相变材料(0.911)和导电高聚物(0.897)。这说明,涂料是应用前景最明确、最有可能获得成功的研制途径。从表 11 可看出,在绝大部分影响因素的单排序中,涂料也排名第一。从表示专家意见离散程度的上/下四分位的差值来看,专家们对涂料的认识相当接近。其次为薄膜,得分 1.92,高于其余三种材料。这两种材料都有很明确的文献报导,应用前景相对可靠。在“七五”期间已作为本专题的研究重点,在“八五”期间继续作为研究重点应是顺理成章的事。余下三种材料中,新型隔热材料得分相对较高(1.11)。这种材料通过控温来达到热隐身的目的,热隐身效果好,不怕表面污染,是值得试一试的研制途径,建议“八五”期间将其作为探索方向之一。

涂料之间的排序结果表明(表 12),以金属颜料为主的热隐身涂料得分最高,为 2.99,以着色颜料为主的涂料(1.78)和以半导体颜料为主的涂料(1.70)得分均大大落后于以金属颜料为主的涂料。根据对国外文献资料的分析结果<sup>[9]</sup>,以金属颜料为主的热隐身涂料属于第一代产品,研制难度相对较低,但其性能有一定的局限性。以着色颜料为主、添加有少量

金属颜料的热隐身涂料属第二代产品，研究难度较大。而以半导体颜料为主的热隐身涂料可能还在研制中。建议将兼容性较好、研制难度较大的着色颜料为主的涂料或半导体颜料为主的涂料列为最终目标，而将金属颜料为主的涂料作为阶段目标，以提高本专题最终成果的水平。

薄膜之间的排序结果（表13）表明，金属薄膜排名第一（2.21），其次为电介质/金属多层复合膜（1.77）和半导体薄膜（1.72）。金属薄膜表面采用网格图案既能衰减雷达波，又能反射热红外<sup>[4]</sup>，其效果完全符合本专题的要求。建议作为“八五”期间薄膜研究的重点。

有一点值得提出，在进行研究途径排序时，在B<sub>1</sub>（社会需求）、B<sub>2</sub>（有关人员素质）、B<sub>3</sub>（研制费用）、B<sub>4</sub>（物质条件保障）和D<sub>5</sub>（技术路线的科学性）等因素下的单排序没有进行。而这些因素都很重要。

## 6. 结 论

a. 通过专家调查建立的“新型功能材料实验室研制阶段主要影响因素层次结构模型”可以对各种新型功能材料研制成功的可能性进行排序评估，供决策时参考。

b. 应用以上模型对热隐身材料的各种研制途径和各个品种进行了评估。评估结果如下：

研制途径排序

研制成功的可能性增加				
→				
G <sub>5</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>
0.897	0.911	1.11	1.92	2.33
导电高聚物	相变材料	新型隔热材料	薄膜	涂料

涂料品种排序

研制成功的可能性增加		
→		
S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>
1.70	1.78	2.99
以半导体颜料为主	以着色颜料为主	以金属颜料为主

薄膜品种排序

研制成功的可能性增加

$S_3$	$S_2$	$S_1$
1.72	1.77	2.21
半导体薄膜	电介质/金属复合薄	金属薄膜

参 考 文 献

- 〔1〕 孙明玺, 预测和评价, 浙江教育出版社, (1986)。
- 〔2〕 国家科委科技政策局, 软科学的崛起, 地震出版社, (1988)。
- 〔3〕 本课题组, 涂料型热隐身材料, 内部报告, (1990)。
- 〔4〕 本课题组, 热红外隐身材料研制状态分析总报告, 内部报告, (1990)。