

EDAS 软件系统在丁腈橡胶配方研究中的应用

汪伟君 梁星宇

(上海橡胶制品研究所 200052)

摘要 EDAS(试验设计分析)软件系统对丁腈橡胶(NBR-2716)的性能进行了数据和绘图分析,表明该软件系统用于橡胶性能研究及配方设计时,具有速度快、精度高、数据全及节约经费等优点,可经济、高效地开发新产品。

关键词 软件系统,丁腈橡胶

EDAS(试验设计分析)软件系统是为化工、建材、制药、胶粘剂等的研究而开发的,具有广泛的适用性。当其用于橡胶材料和制品的配方研究时,具有速度快(如传统单变量法需做 $5^3=125$ 个配方试验,应用EDAS软件系统仅做20个配方试验)、精度高、数据全及节约用费等优点,可实施电脑绘图分析,有利于经济、高效地开发新产品。本文介绍EDAS软件系统用于丁腈橡胶(NBR-2716)配方的研究过程。

1 EDAS 软件系统的功能

EDAS 软件系统的功能有:①基础试验设计系统:按试验变量范围,由系统进行试验方案的总体设计;②预测性能分析系统:通过改变配合剂用量来估算物性指标,从而寻找出适合于生产的配方;③绘图分析系统:绘制各种物性的棒图、等高曲线和三维空间立体图,便于用户直观分析性能的变化规律;④编制配方手册系统:按用户的试验要求,自动制成各种配方手册,用于随时查寻适用的配方和生产工艺;⑤多维变量分析系统:通过配合剂用量的三维变化来研究物性的变化规律及配合剂之间的相互作用对物性的影响;⑥模拟物性方程系统:模拟设计物性的经验方程、寻找物性与配合剂之间的换算关系式,便于配方设计者对物性进行预测和储存;⑦配方优选分析系统:根据试制产品的技术指标,自

动实施配方和价格优化,寻找最优配方;⑧试验数据库:用于储存配方数据、试验范围、测试数据和回归系数以供随时查阅;⑨系统的运行环境:EDAS 软件系统适用于国内外较为普及的 IBM-PC 微机及兼容机,具有中西文菜单式选择技术,彩色屏幕显示。

2 试验

2.1 配方设计及试验方法

本文采用的基本配方为:NBR-2716 100;促进剂 CZ 2;促进剂 DTDM 2;促进剂 TMTD 1.4;氧化锌 5;硬脂酸 1;防老剂4010NA 1;防老剂 MB 1;氧化镁 10;高耐磨炭黑(HAF) 10—70;半补强炭黑(SRF) 0—80;邻苯二甲酸二辛酯(DOP) 5—40。

本研究中,补强剂 HAF,SRF 和增塑剂 DOP 这3个组分为变量。为此,试验采用了三因子配方设计。

配方设计与测试结果分析均采用 EDAS 软件系统在一般微机上进行,三因子配方仅需设计20个试验配方。

胶料用6英寸开炼机制备,试片硫化条件为 $150^{\circ}\text{C} \times 20\text{min}$,物理性能按标准方法测试。

2.2 测试结果

HAF,SRF 和 DOP 变量配合及对应的胶料物理性能如表1所示。

表1 变量配合及对应胶料性能测试结果

配方编号	变量组分,份			拉伸强度 MPa	扯断伸长率 %	邵尔 A 型 硬度,度	撕裂强度 kN·m ⁻¹	耐油质量变化率, %		
	HAF	SRF	DOP					1# 标准油	2# 标准油	3# 标准油
1	57.84	63.78	32.91	15.5	305	75	36.7	-7.35	-3.37	0.89
2	57.84	63.78	12.09	19.0	225	83	40.3	-3.02	-0.87	5.32
3	57.84	16.22	32.91	7.7	430	67	42.4	-9.55	-3.72	1.28
4	57.84	16.22	12.09	20.05	315	77	47.3	-3.6	1.47	6.43
5	22.16	63.78	32.91	12.1	520	61	36.2	-9.09	-3.5	0.94
6	22.16	63.78	12.09	14.5	380	71	42.8	-3.27	1.29	5.72
7	22.16	16.22	32.91	13.5	615	50	32.0	-11.4	-4.34	1.29
8	22.16	16.22	12.09	16.7	510	61	39.6	-4.85	1.47	8.17
9	70	40	22.5	16.8	230	81	38.8	-5.4	-0.99	3.33
10	10	40	22.5	12	615	56	33.2	-7.43	-1.88	4.19
11	40	80	22.5	15.1	305	76	38.3	-5.43	-1.14	3.11
12	40	0	22.5	19.2	535	60	43.3	-8.16	-1.37	4.39
13	40	40	40	14.9	490	61	37.6	-11.8	-5.59	-0.89
14	40	40	5	18.8	335	78	45.7	-1.37	3.08	7.93
15	40	40	22.5	16.2	420	69	41.9	-6.25	-1.25	3.60

注:15—20号配方是重复的。

3 EDAS 软件系统对 NBR-2716配方试验结果分析

将试验结果输入电脑后,采用 EDAS 软件系统自动进行回归分析,显示出 HAF, SRF 和 DOP 变量对 NBR-2716各种性能的影响规律。

3.1 数据分析

3.1.1 变量对 NBR-2716物理性能的影响

为研究变量对 NBR-2716物理性能的影响,必须确定回归系数。物理性能的回归方程

一般形式为(适用于电脑计算,数据精度较高):

$$R' = b_0 + b_1Y_1 + b_2Y_2 + b_3Y_3 + b_{11}Y_{11} + b_{12}Y_{12} + \cdots + \sum b_{ij}Y_{ij}$$

式中 R' —— 物理性能预测值;

Y_{ij} —— 配合剂用量;

b_{ij} —— 回归系数。

通过 EDAS 软件系统可得到所试验物理性能的回归系数,见表2。由此,可获得 NBR-2716物理性能的回归方程,揭示出物理性能与变量间的相互关系。

表2 NBR-2716物理性能回归系数及相关性系数

系数	拉伸强度	扯断伸长率	邵尔 A 型硬度	撕裂强度	耐1# 标准油	耐2# 标准油	耐3# 标准油
b_0	15.3215	586.369	54.58	27.8233	-1.7077	4.9229	14.3465
b_1	0.27138	-4.87209	0.4811	0.7938	0.01837	0.011583	-0.07887
b_2	-0.00905	-2.41195	0.2805	0.23148	0.041199	0.01197	-0.07619
b_3	-0.2066	8.118287	-7.1559	-0.3955	-0.3582	-0.32299	-0.36229
b_{11}	-0.002015	-0.002808	-0.003659	-0.0067322	-0.0000256	-0.001386	0.0002049
b_{12}	0.0000295	0.0029463	-0.0020624	-0.005922	-0.00032704	-0.0002681	0.0003565
b_{13}	-0.0004714	-0.0336717	0.0020203	-0.0038385	0.0014075	0.00078792	0.0014613
b_{22}	0.00058535	-0.00314224	-0.0051833	-0.0007868	-0.0002519	0.0003454	0.000109
b_{23}	0.0005051	0	0.00151523	0.00116167	0.0011869	0.000995	0.0014698
b_{33}	0.0020786	-0.040908	0.002189	0.001335	-0.0006305	0.0001804	-0.0001815
相关性							
系数	0.97862	0.96757	0.98988	0.91945	0.93878	0.92829	0.94871

回归方程适合性检验(相关性系数)表明,NBR-2716试验结果与预测值之间的误差小于10%。

3.1.2 变量对 NBR-2716物理性能影响的显著性

各种组分对 NBR-2716性能的影响程度是不同的,其显著性可以通过 F 检验值来确定。

HAF,SRF 和 DOP 对 NBR-2716物理性能影响的显著性分析如表3所示。

表3 HAF,SRF 和 DOP 对 NBR-2716物理性能影响的显著性

物理性能	F 值		
	HAF	SRF	DOP
拉伸强度	256.07	87.79	151.83
扯断伸长率	559.11	195.71	140.55
邵尔 A 型硬度	3019.48	1133.4	1351.06
撕裂强度	125.44	36.2	254.15
耐1#标准油	116.5	204.3	2602.2
耐2#标准油	10.01	1.9	3596.6
耐3#标准油	37.8	115.92	3506.47

注: F 检验值: $F(1\%)=10.1$; $F(5\%)=4.96$ 。

从表3可见,除耐2#标准油性能外,3个变量的 F 值都大于 $F(1\%)$ 检验值。因此,3个变量对 NBR-2716的拉伸强度、扯断伸长率、硬度和撕裂强度等均有显著影响。

3.2 绘图分析

3.2.1 变量对 NBR-2716拉伸强度的影响

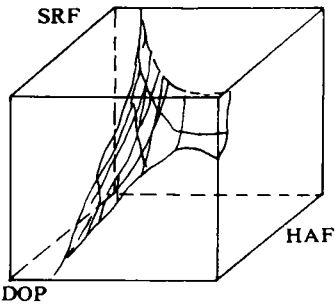
HAF,SRF 和 DOP 对 NBR-2716拉伸强度的影响见图1。

由图1可见,HAF 用量较高,SRF 与 DOP 用量偏低,有利于 NBR-2716拉伸强度的提高。

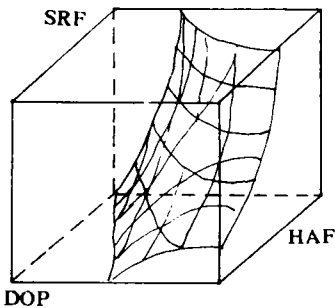
拉伸强度与变量之间的模拟方程(经验方程,适合于手工计算,数据精度较回归方程的低):

$$f_p=22.36-0.125\cdot DOP-0.443\cdot SRF-0.014\times\sqrt[0.55]{60.8-HAF}\quad (2)$$

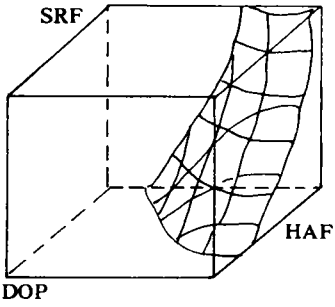
式中 DOP,SRF 和 HAF——DOP,SRF 和



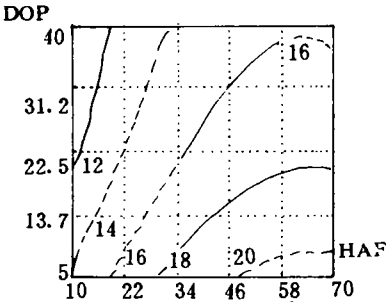
(a)15MPa 等高曲面



(b)17MPa 等高曲面



(c)19MPa 等高曲面



(d)SRF=35份,HAF-DOP 对应的等高曲线

图1 变量对 NBR-2716拉伸强度的影响

HAF 用量,份;

 f_P ——拉伸强度,MPa。

3.2.2 变量对 NBR-2716 扯断伸长率及硬度的影响

HAF, SRF 和 DOP 对 NBR-2716 扯断伸长率及硬度的影响见图2。

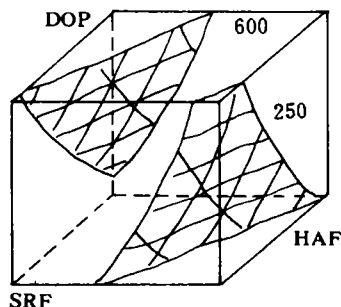
由图2可见,随着 HAF 和 SRF 用量增加,NBR-2716 的扯断伸长率下降,硬度提高;而随着 DOP 用量的增加,扯断伸长率提高,

硬度下降。

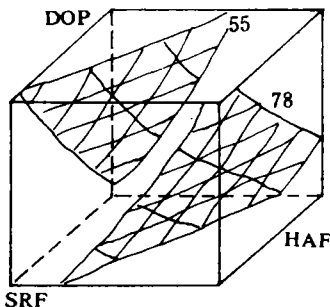
扯断伸长率和硬度的模拟方程如下:

$$E_P = 638 - 5.737 \cdot \text{HAF} - 2.546 \cdot \text{SRF} + 4.93 \cdot \text{DOP} \quad (3)$$

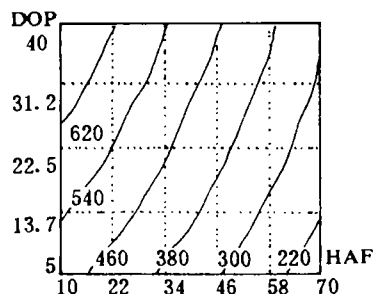
$$H = 54.8 + 0.414 \cdot \text{HAF} + 0.19 \cdot \text{SRF} - 0.475 \cdot \text{DOP} \quad (4)$$

式中 E_P ——扯断伸长率,%; H ——邵尔 A 型硬度,度。

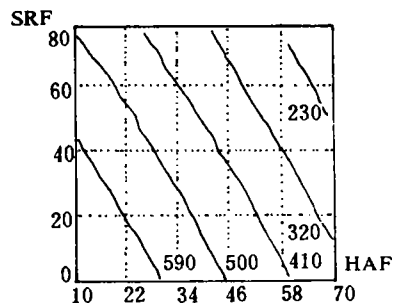
(a) 扯断伸长率为250%和600%的等高曲面



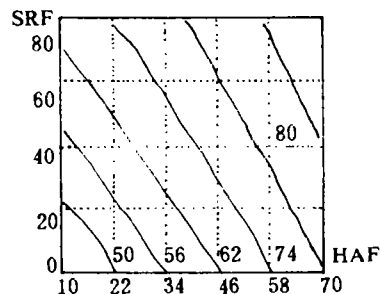
(b) 邵尔 A 型硬度为55和78度的等高曲面



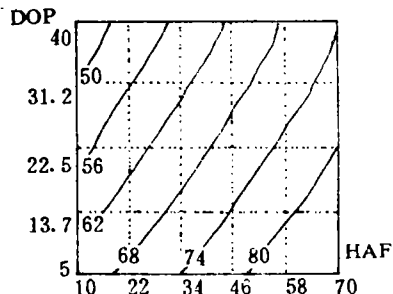
(c) SRF=35 份, HAF-DOP 对应的扯断伸长率曲线



(d) DOP=25 份, HAF-SRF 对应的扯断伸长率曲线



(e) DOP=25 份, HAF-SRF 对应的邵尔 A 型硬度曲线



(f) SRF=35 份, HAF-DOP 对应的邵尔 A 型硬度曲线

图2 变量对 NBR-2716 扯断伸长率和硬度的影响

3.2.3 变量对 NBR-2716 撕裂性能的影响

HAF, SRF 和 DOP 对 NBR-2716 撕裂性能的影响见图3。

由图3可见, HAF 用量越高, SRF 和 DOP 用量偏低时越有利于 NBR-2716 撕裂性能的提高; 当 HAF 达到一定用量时, 撕裂强度达到最大值(图3d, e 中的虚线)。

相关性分析表明, 对于撕裂强度, HAF 最佳用量与 DOP 和 SRF 用量之间的关系式为:

$$\text{HAF} = 58.57 - 0.483 \cdot \text{SRF} + 0.285 \cdot \text{DOP}$$

3.2.4 变量对 NBR-2716 耐油性能的影响

变量对 NBR-2716 耐油性能的影响见图4。

由图4可见, 炭黑对 NBR-2716 耐油性能的影响较小; DOP 用量减少, 可提高耐1[#]标准油性能, DOP 用量为12—19份时, 耐2[#]标

准油性能较好; DOP 用量在33—40份时, 耐3[#]标准油性能良好。

经相关性分析, NBR-2716 耐油性能值的模拟方程式如下:

$$B_1 = -2.84 + 0.034 \cdot \text{HAF} + 0.033 \cdot \text{SRF} - 0.283 \cdot \text{DOP} \quad (6)$$

$$B_2 = 3.84 + 0.007 \cdot \text{HAF} + 0.002 \cdot \text{SRF} - 0.246 \cdot \text{DOP} \quad (7)$$

$$B_3 = 10.84 - 0.017 \cdot \text{HAF} + 0.021 \cdot \text{SRF} - 0.254 \cdot \text{DOP} \quad (8)$$

式中 B_1, B_2, B_3 ——耐1[#], 2[#], 3[#]标准油的质量变化率。

4 EDAS 软件系统对 NBR-2716 的配方优化设计

用 EDAS 软件系统可进行 NBR-2716 配方的优化设计。例如, 某耐油密封圈的性能要求: 拉伸强度 > 18MPa; 扯断伸长率 >

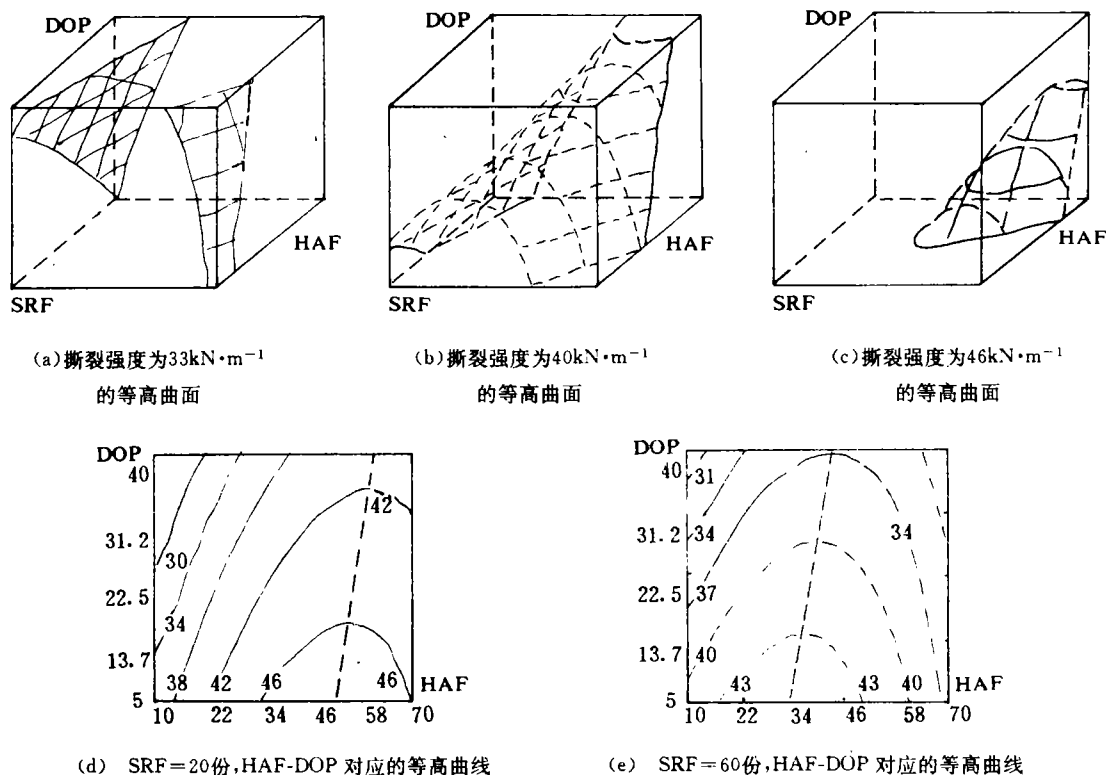


图3 变量对 NBR-2716 撕裂强度的影响

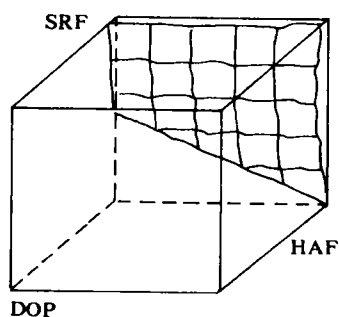
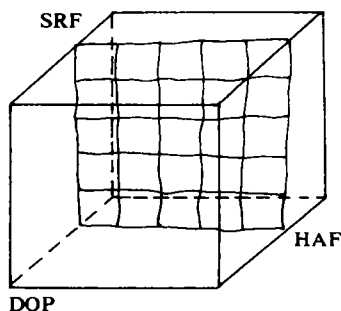
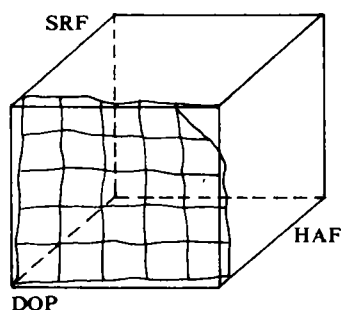
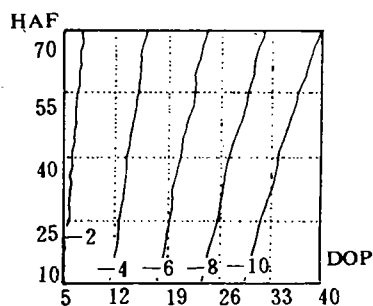
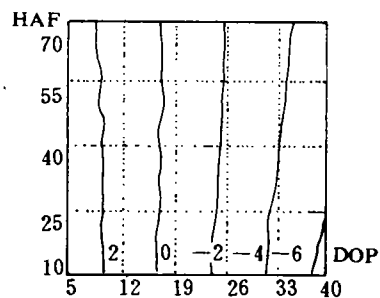
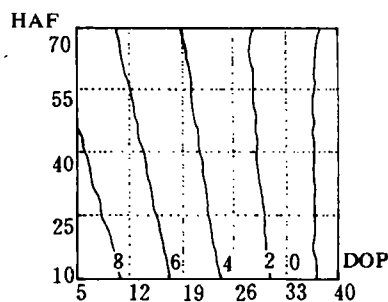
(a) 耐1[#]标准油等高曲面(增重-2%)(b) 耐2[#]标准油等高曲面(增重0)(c) 耐3[#]标准油等高曲面(增重2%)(d) SRF=35份, HAF-DOP 对应的等高曲线(耐1[#]标准油)(e) SRF=35份, HAF-DOP 对应的等高曲线(耐2[#]标准油)(f) SRF=35份, HAF-DOP 对应的等高曲线(耐3[#]标准油)

图4 变量对NBR-2716耐油性能的影响

200%;邵尔 A 型硬度 (85 ± 2) 度;扯断永久变形 $< 5\%$;耐1[#]标准油质量变化率 $-2\% \sim +1\%$;撕裂强度 $> 40 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$;老化后硬度基本不变。

EDAS 软件系统根据提出的技术条件,优化分析后,给出12个配方;再经价格优化,选出8号配方为试制方案,试验结果与用户要求相符,如表4所示。

5 结语

采用 EDAS 软件系统进行橡胶性能的研究及配方设计时,可全面、快速、准确地进行数据和绘图分析,极大地提高工作效率。因此,EDAS 软件系统可在橡胶行业中推广使用。

表4 优选分析结果

编号	优选配合,份			优选性能指标							
	HAF	SRF	DOP	拉伸强度 MPa	扯断伸长率 %	邵尔 A 型 硬度, %	扯断永久 变形, %	撕裂强度 kN·m ⁻¹	耐1#标准油 质量变化率 %	100℃×24h 老化后 拉伸强度 MPa	邵尔 A 型 硬度, 度
1	52	56	5	19.5	220	84.1	3.8	43.4	-1.4	21.1	87.8
2	58	40	5	20.4	229	84.1	3.8	44.8	-1.5	22.0	86.7
3	64	48	5	20.1	209	85.2	3.6	43.4	-1.4	21.7	88.0
4	64	24	5	21.4	237	84.4	4.3	46.4	-1.6	23.0	85.6
5	70	32	5	20.9	217	85.4	4.0	44.9	-1.5	22.6	86.9
6	70	16	5	21.9	223	85.8	4.6	46.6	-1.6	23.4	85.8
7	55	24	5	21.4	205	86.7	4.2	45.0	-1.5	22.9	87.1
8	61	60	6.76	19.2	204	84.7	3.3	41.7	-1.8	20.7	88.2
9	67	44	6.75	19.9	213	84.9	3.6	43.1	-1.8	21.4	87.3
10	67	20	6.75	21.3	239	84.1	4.5	46.3	-2.0	22.7	85.0
11	67	28	6.75	20.8	221	85.2	4.1	44.7	-1.9	22.2	86.3
12	67	36	6.75	20.3	201	86.1	3.8	43.1	-1.8	21.8	87.6
8号配方测试结果				21.0	215	85.0	4.0	42.0	-1.2	22.0	87.0

收稿日期 1994-08-13

Application of EDAS Software System in Study on NBR Compounding

Wang Weijun and Liang Xingyu

(Shanghai Institute of Rubber Articles 200052)

Abstract EDAS (Experiment, design analysis system) software system was used to analyse the properties of NBR with figures and data. The results showed that the said software system featured fast operation, high accuracy, complete data and high efficiency when applied in the study on rubber properties and compound design. It could be used in developing new products rapidly and efficiently.

Keywords software system, NBR

征 订 启 事

由化工部橡胶工业信息总站组织编辑出版的1995年度《橡胶工业适用技术》、《国外橡胶工业动态》、《橡胶报刊摘要》、《橡胶工业文献题录》(均为月刊)现已开始征订。四刊全年订费280元(含邮寄包装费),单订其中一种全年订费80元。欲订单位请来函索取四刊主要报道内容介绍和订单。

联系地址 北京西郊半壁店化工部北京橡胶工业研究设计院情报标准化室

邮政编码 100039

电 话 8212211-2150

联系人 陈 静