

原材料·配方

加氢精制催化剂制备橡胶增塑剂A0709的研究

许海龙, 宋君辉, 徐岩峰, 姚秀杰, 张翠侦
(中海油炼化化工科学研究院, 山东 青岛 266500)

摘要:以绥中36-1环烷基减三线馏分油为原料油,分别采用自制加氢精制ZQC催化剂和进口催化剂进行单段高压加氢试验,在反应压力为15 MPa、氢油体积比为1 000/1的条件下,开展不同空速及反应温度下芳香基橡胶增塑剂A0709(简称A0709)制备的研究。结果表明:采用自制ZQC催化剂,在空速为 0.5 h^{-1} 、反应温度不低于 $320 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,可生产出满足国家标准要求的A0709产品,该反应温度比采用进口催化剂时的反应温度降低 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;采用自制ZQC催化剂制备的A0709对不溶性硫黄的填充性能与市售橡胶填充油相当。

关键词:橡胶增塑剂;加氢精制;催化剂;反应压力;反应温度;空速;不溶性硫黄

中图分类号:TQ330.38⁺4/⁺5

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2021)12-0917-05

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2021.12.0917



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着世界对环境保护的呼声越来越高,绿色环保材料的应用倍受重视^[1]。传统高芳烃橡胶油对人类健康的危害以及对环境的污染引起了各国政府及研究人员的极大重视,欧洲橡胶工业联合会和国际合成橡胶生产者学会共同宣布在轮胎中使用无毒性油类,并于2010年1月1日在轮胎生产中全面禁用有毒橡胶油^[2-4]。我国作为轮胎制造大国,所产轮胎约40%出口海外,芳香基橡胶增塑剂(环保芳烃油)的需求量也一直呈快速增长的趋势,然而目前国内只有少量芳香基橡胶增塑剂的工业产品问世。进口产品不仅售价高且难以保证稳定供应。以目前的形势,欧盟环保限令的实施必将对我国众多轮胎出口企业产生严重的影响^[5-7]。

中国海洋石油集团有限公司拥有生产芳香基橡胶增塑剂的优质环烷基原油资源。本研究利用中海油某炼油厂润滑油加氢装置现用进口催化剂与自制催化剂,考察单段高压加氢工艺制备芳香基橡胶增塑剂A0709(以下简称A0709)的可行性,以不断增大中海油橡胶增塑剂产品的市场占有率,并提高企业的经济效益。

1 实验

1.1 原料油性质及产品指标

以中海油绥中36-1减三线馏分油为原料油,其相关性质如表1所示。由表1可知:该原料油为典型的环烷基馏分油,总芳烃含量较高,单和双环芳烃质量约占总芳烃质量的60%,且倾点低,是制备芳香基橡胶增塑剂的优质原料油;但其酸值、硫含量和氮含量以及8种多环芳烃(PAHs)含量较高,需要进行精制脱除。

A0709产品的关键技术指标如表2所示。

1.2 催化剂

分别采用进口催化剂和中海油自制加氢精制ZQC催化剂开展加氢精制A0709的试验,自制ZQC催化剂的理化指标如表3所示。

1.3 试验装置及工艺流程

加氢精制A0709试验在300 mL连续等温固定床高压加氢试验装置上进行,各工艺参数均由集散控制系统(DCS)精确控制,温度控制精度为 $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,现场装置系统压力采用高分尾气减压系统自动控制;反应器顶部和底部装填惰性瓷球颗

基金项目:中国海洋石油集团有限公司科研项目(CNOOC-KJ 125 ZDXM 17 YQ 009 YQ 2014)

作者简介:许海龙(1989—),男,山东济宁人,中海油炼化化工科学研究院工程师,硕士,主要从事润滑油加工工艺及产品开发工作。

E-mail:xuhl20@cnooc.com.cn

引用本文:许海龙,宋君辉,徐岩峰,等.加氢精制催化剂制备橡胶增塑剂A0709的研究[J].橡胶工业,2021,68(12):917-921.

Citation:XU Hailong, SONG Junhui, XU Yanfeng, et al. Study on preparation of rubber plasticizer A0709 by hydrorefining catalyst[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(12):917-921.

表1 原料油的性质
Tab. 1 Properties of raw oil

项 目	数值	项 目	数值
运动粘度/(mm ² ·s ⁻¹)		单和双环芳烃	26.9
40 ℃	345.40	PCA ⁵⁾ 质量分数	0.104 0
100 ℃	13.33	模拟馏程/℃	
折光率(20 ℃)	1.527 8	初馏点	318.9
密度(20 ℃)/(Mg·m ⁻³)	0.952 7	5% ⁶⁾	353.5
碳型分布/%		50% ⁶⁾	424.3
C _P ¹⁾	38.8	95% ⁶⁾	476.3
C _N ²⁾	37.5	终馏点	508.7
C _A ³⁾	23.7	PAHs含量/(mg·kg ⁻¹)	
酸值 ⁴⁾ /(mg·g ⁻¹)	4.033	苯并[a]蒽	11.0
硫含量/(mg·kg ⁻¹)	2 860	蒽	13.8
氮含量/(mg·kg ⁻¹)	1 610	苯并[b]荧蒽+	
开口闪点/℃	230	苯并[j]荧蒽	33.7
倾点/℃	3	苯并[k]荧蒽	—
质谱组成(质量计)/%		苯并[e]芘	59.6
链烷烃	3.5	二苯并[a, h]蒽	9.2
环烷烃	52.8	苯并[a]芘	5.6
芳烃	43.7	8种PAHs之和	132.9

注: 1), 2)和3)分别为链烷烃、环烷烃和芳烃的碳原子数占总碳原子数的比例; 4)以氢氧化钾计, 下同; 5)稠环芳烃; 6)馏出物质质量占原料油质量的比例。

表2 A0709产品的关键技术指标
Tab. 2 Key technical indicators of A0709 product

项 目	指 标
100 ℃运动粘度/(mm ² ·s ⁻¹)	7~11
碳型分布/%	
C _A	≥7
开口闪点/℃	≥190
倾点/℃	≤15
色度/号	≤1.5
酸值/(mg·g ⁻¹)	≤0.5
PCA质量分数	<0.03
8种PAHs含量之和/(mg·kg ⁻¹)	≤10
苯并[a]芘含量/(mg·kg ⁻¹)	≤1

表3 自制ZQC催化剂的理化指标
Tab. 3 Physical and chemical indexes of self-made ZQC catalyst

项 目	指 标
外观	
形状	条形固体, 截面为三叶草形
尺寸(外径×长度)/mm	(1.2~1.6)×(2~8)
侧压强度/(N·mm ⁻¹)	≥15
堆积密度/(g·mL ⁻¹)	0.75~0.95
孔容积/(mL·g ⁻¹)	≥0.35
比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	≥150
活性组分	WO ₃ -NiO

粒, 以保证原料油物流分布均匀且对催化剂床层

进行支撑, 中间装填加氢催化剂; 试验氢为经高压脱氧、分子筛脱水的高纯氢, 采用氢气一次通过的工艺流程。

1.4 不溶性硫黄充油试验

橡胶工业使用的不溶性硫黄99%都是充油型, 采用充油处理, 可以防止硫黄粉末飞扬, 也使得不溶性硫黄更易分散于橡胶中, 同时能够提高不溶性硫黄的耐热性和常温储存抗转化性。优良的不溶性硫黄专用填充油应具有以下特点: 闪点高于160 ℃, 低温流动性好, 热稳定性好, 颜色浅, 碱性氮含量尽可能低^[8-9]。

不溶性硫黄充油效果的评价标准主要是充油型不溶性硫黄的热稳定性和分散性, 其中分散性评价依靠目测, 一般分为好、较好、一般和差4个档次。好的充油型不溶性硫黄产品表现为松散态、不成球、不飞扬。不溶性硫黄的热稳定性通过热稳定率表征。热稳定率是指不溶性硫黄试样在空气或在油浴中于105 ℃下加热15 min后, 其质量分数与加热前质量分数的比值, 比值大则表示不溶性硫黄降解少, 热稳定性好^[10]。

性质优异的A0709可以作为不溶性硫黄填充油, 应用于不溶性硫黄的制备。将采用自制ZQC催化剂、通过加氢工艺制得的A0709制备的充油不溶性硫黄与市售橡胶填充油制备的充油不溶性硫黄进行性质对比^[11], 以确定自制A0709替代市售橡胶填充油用于填充不溶性硫黄的可行性。具体试验步骤如下: 将已粉碎好并已除去可溶性硫黄的不溶性硫黄按不溶性硫黄/填充油用量比为80/20的比例混合并加热到(65±5) ℃, 在此温度下恒温30 min, 同时高速均匀搅拌, 然后将混合料抽滤, 得到充油不溶性硫黄。

2 结果与讨论

根据该炼油厂润滑油加氢装置实际情况, 分别在低空速[0.5 h⁻¹, 空速为装置进油量(mL·h⁻¹)与催化剂体积(mL)之比]和满负荷(0.89 h⁻¹)进料条件下开展A0709制备的研究。

2.1 进口催化剂制备A0709产品

采用进口催化剂, 在氢分压(反应压力)为15 MPa、氢油体积比为1 000/1、空速分别为0.5和0.89 h⁻¹的条件下, 考察加氢反应温度对A0709产

品性质的影响,具体数据分别如表4和5所示。

从表4可知,随着反应温度的升高,加氢生成A0709产品的100 °C运动粘度、 C_A 呈减小趋势。在反应压力为15 MPa、氢油体积比为1 000/1、空速

表4 空速为0.5 h⁻¹时加氢反应温度对A0709产品性质的影响

Tab. 4 Effect of hydrogenation reaction temperatures on properties of A0709 products at reaction rate of 0.5 h⁻¹

项 目	样品编号			
	LV8-1	LV8-2	LV8-3	LV8-4
反应温度/°C	330	340	350	360
目的产品收率/%	99.21	98.62	98.16	97.78
100 °C运动粘度/(mm ² ·s ⁻¹)	11.14	10.51	10.03	9.28
密度(20 °C)/(Mg·m ⁻³)	0.938 4	0.934 2	0.931 5	0.927 7
折光率(20 °C)	1.514 7	1.510 7	1.509 1	1.506 6
碳型分布/%				
C_A	15.7	12.4	11.6	10.2
C_P	39.5	39.2	39.9	40.4
C_N	44.8	48.4	48.5	49.4
酸值/(mg·g ⁻¹)	0.012	0.009	0.006	0.005
开口闪点/°C	216	208	206	200
倾点/°C	0	-3	-6	-6
苯胺点/°C	82.1	84.0	84.2	85.4
色度/号	1.3	1.0	0.7	<0.5
PCA质量分数	0.029 8	0.018 9	0.017 8	0.008 7
8种PAHs含量	未检出	未检出	未检出	未检出
苯并[a]芘含量	未检出	未检出	未检出	未检出

表5 空速为0.89 h⁻¹时加氢反应温度对A0709产品性质的影响

Tab. 5 Effect of hydrogenation reaction temperatures on properties of A0709 products at reaction rate of 0.89 h⁻¹

项 目	样品编号			
	LV8-5	LV8-6	LV8-7	LV8-8
反应温度/°C	345	355	365	370
目的产品收率/%	99.26	98.85	98.50	96.28
100 °C运动粘度/(mm ² ·s ⁻¹)	10.83	10.27	9.57	9.09
密度(20 °C)/(Mg·m ⁻³)	0.937 5	0.934 6	0.931 2	0.929 1
折光率(20 °C)	1.514 2	1.512 0	1.509 6	1.508 3
碳型分布/%				
C_A	15.5	14.1	12.7	12.0
C_P	39.7	40.0	40.3	40.6
C_N	44.8	45.9	47.0	47.4
酸值/(mg·g ⁻¹)	0.038	0.025	0.024	0.018
开口闪点/°C	218	210	202	196
倾点/°C	-6	-6	-12	-15
色度/号	1.0	0.8	0.7	0.7
PCA质量分数	0.029 7	0.022 3	0.018 1	0.010 7
8种PAHs含量	未检出	未检出	未检出	未检出
苯并[a]芘含量	未检出	未检出	未检出	未检出

为0.5 h⁻¹的条件下,当反应温度不低于340 °C时,A0709产品的100 °C运动粘度处于7~11 mm²·s⁻¹范围内,且其他性质均达到GB/T 33322—2016《橡胶增塑剂 芳香基矿物油》中指标要求。

由表5可知,在反应压力为15 MPa、氢油体积比为1 000/1、空速为0.89 h⁻¹的条件下,当反应温度不低于345 °C时,A0709产品的性质均达到GB/T 33322—2016中指标要求。

2.2 自制ZQC催化剂制备A0709产品

采用自主开发的ZQC催化剂进行加氢精制A0709产品制备的试验,A0709产品的性质如表6所示。

表6 自制ZQC催化剂制备的A0709产品的性质

Tab. 6 Properties of A0709 products prepared by self-made ZQC catalyst

项 目	样品编号				
	1	2	3	4	5
反应温度/°C	300	310	320	330	340
目的产品收率/%	99.75	99.60	99.50	99.27	98.91
100 °C运动粘度/(mm ² ·s ⁻¹)	11.52	11.33	10.96	10.47	9.86
密度(20 °C)/(Mg·m ⁻³)	0.940 5	0.938 4	0.936 0	0.932 8	0.929 1
折光率(20 °C)	1.516 2	1.514 5	1.512 3	1.509 7	1.507 1
碳型分布/%					
C_A	16.5	15.4	13.6	11.8	10.0
C_P	39.0	39.5	39.5	39.6	40.1
C_N	44.5	45.5	46.9	48.6	49.9
酸值/(mg·g ⁻¹)	0.014	0.010	0.008	0.006	0.005
开口闪点/°C	228	214	220	220	214
倾点/°C	3	0	-3	-3	-6
苯胺点/°C	80.3	81.9	83.8	84.6	87.1
色度/号	1.1	0.7	0.6	<0.5	<0.5
PCA质量分数	0.031 9	0.029 1	0.022 2	0.018 2	0.009 1
8种PAHs含量	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
苯并[a]芘含量	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出

由表6可知,随着反应温度的升高,A0709产品的100 °C运动粘度、 C_A 呈减小趋势,说明在该试验中,温度升高有利于加氢裂化和芳烃饱和反应的进行。油品芳烃加氢饱和反应主要受热力学和动力学两方面的限制。在加氢反应中,大部分反应的反应级数为1—2级,其反应速率的大小主要取决于反应速率常数,而反应速率常数为反应温度的函数^[12-13]。在该试验所在的高反应压力(大于10 MPa)环境下,芳烃加氢饱和反应受动力学控制,A0709产品的 C_A 随反应温度的升高而减小。这

是由于芳烃的加氢饱和反应过程存在热力学平衡的限制,即在反应压力一定时,存在热力学平衡温度。当反应温度低于此温度时,芳烃加氢饱和度随反应温度的升高而增大,反应受动力学控制;当反应温度高于此温度时,芳烃加氢饱和度随反应温度的升高而降低,反应受热力学控制。也就是芳烃加氢饱和反应从由动力学控制向由热力学控制转变的温度与反应压力有关。研究^[14-15]表明,随着反应压力的升高,芳烃加氢饱和转变温度向高温方向移动,反应压力足够高时,反应主要由动力学控制。本试验反应压力为15 MPa,加氢反应生成的A0709产品的PCA含量和8种PAHs含量在较低的反应温度下均已满足环保指标要求。

在反应压力为15 MPa、氢油体积比为1 000/1、空速为0.5 h⁻¹的条件下,当反应温度不低于320 °C时,A0709产品的100 °C运动粘度处于7~11 mm²·s⁻¹范围内,且其他性质均达到GB/T 33322—2016中指标要求。

与进口催化剂相比,在减三线馏分油生产A0709产品时采用自主研发的ZQC催化剂所需反应温度较低,约低20 °C,说明ZQC催化剂在生产橡胶增塑剂方面具有较高的活性。

2.3 充油不溶性硫黄性质对比

采用自主研发的ZQC催化剂、通过加氢工艺制得的A0709产品制备不溶性硫黄(选用较低反应温度320 °C),并将其与市售橡胶填充油制备的不溶性硫黄进行性质对比,结果如表7所示。

从表7可以看出,A0709填充不溶性硫黄的总硫黄含量、不溶性硫黄含量、105 °C×15 min处理后不溶性硫黄含量、油含量和灰分含量等理化性质与市售橡胶填充油不溶性硫黄相当,且均达到指标要求。

3 结论

(1)采用进口催化剂、绥中36-1减三线馏分油,在反应压力为15 MPa、氢油体积比为1 000/1的条件下,当空速为0.5 h⁻¹时反应温度不低于340 °C或空速为0.89 h⁻¹时反应温度不低于345 °C,可以生产出满足GB/T 33322—2016要求的A0709产品。

(2)采用自主研发的ZQC催化剂、绥中36-1减

表7 采用A0709与市售橡胶填充油制备的不溶性硫黄的性质对比

Tab. 7 Property comparison of insoluble sulfurs prepared by A0709 and commercial rubber filling oil

项 目	测试值		指标
	A0709	市售橡胶填充油	
外观	黄色不飞 扬粉末	黄色不飞 扬粉末	黄色不飞 扬粉末
总硫黄质量分数	0.813	0.814	≥0.790
不溶性硫黄质量分数	0.777	0.778	≥0.700
油质量分数	0.197	0.195	0.190~ 0.210
105 °C×15 min处理后不溶性硫黄			
占 总 硫 黄 质 量 分 数 × 10 ²	85.0	84.4	≥75.0
无机酸度(硫酸)/%	0.01	0.01	≤0.05
灰分质量分数×10 ²	0.08	0.07	≤0.30
60 °C加热减量/%	0.15	0.16	≤0.50
筛余物(150 μm)质量分数	0.05	0.09	≤1.0
分散性	好	好	

三线馏分油,在反应压力为15 MPa、氢油体积比为1 000/1、空速为0.5 h⁻¹、反应温度不低于320 °C的条件下,可生产出满足GB/T 33322—2016要求的A0709产品。

(3)与进口催化剂相比,在减三线馏分油生产A0709时,自主研发的ZQC催化剂所需反应温度约低20 °C,说明ZQC催化剂在生产橡胶增塑剂方面具有较高的活性。

(4)采用自主研发ZQC催化剂,通过加氢工艺制备的A0709产品具有较为优异的充油性能,可替代市售橡胶填充油用于充油不溶性硫化的制备。

参考文献:

- [1] 辛金妮,王丹君,李正,等.采用溶剂萃取技术生产环保橡胶填充油的研究进展[J].石化技术与应用,2021,39(2):143-146.
XIN J N, WANG D J, LI Z, et al. Research progress on producing eco-friendly rubber filling oil with solvent extraction technology[J]. Petrochemical Technology & Application, 2021, 39(2): 143-146.
- [2] 于恩强,付玉娥,马景光,等.国内环保轮胎橡胶油产品与市场现状[J].润滑油,2012,27(1):12-17.
YU E Q, FU Y E, MA J G, et al. Present status analysis on Chinese non-carcinogenic rubber oil products and market[J]. Lubricating Oil, 2012, 27(1): 12-17.
- [3] 刘伟.基于国内橡胶行业发展现状及橡胶油需求分析[J].化学工程与装备,2019(11):210-212.
LIU W. Development status of domestic rubber industry and demand analysis of rubber oil[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2019(11): 210-212.
- [4] 辛秀婷,熊春珠,周勇,等.克拉玛依石化公司环保型橡胶填充

- 油[J]. 橡胶科技市场, 2009, 7(17): 20-23.
XIN X T, XIONG C Z, ZHOU Y, et al. Environment-friendly rubber oils of Karamay Petrochemical Company[J]. China Rubber Science and Technology Market, 2009, 7(17): 20-23.
- [5] 田义斌, 张海洪, 韩龙年, 等. 环烷基蜡油生产橡胶填充油的工艺对比[J]. 石油炼制与化工, 2019, 50(8): 17-21.
TIAN Y B, ZHANG H H, HAN L N, et al. Comparison of processes for rubber extender oil derived from naphthenic VGO[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2019, 50(8): 17-21.
- [6] 于恩强, 李明. 环烷基减四线馏分油加氢精制-糠醛萃取制备环保橡胶增塑剂的研究[J]. 石油炼制与化工, 2021, 52(3): 46-47.
YU E Q, LI M. Preparation of ecofriendly rubber plasticizer by hydrofining-furfural extraction from naphthenic-base HVGO[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2021, 52(3): 46-47.
- [7] 郭斌杰, 安瑛, 谭晶. 免充气塑料轮胎支撑结构对性能的影响[J]. 塑料科技, 2020, 48(3): 17-20.
GUO B J, AN Y, TAN J. Supporting structure of non-pneumatic plastic tire on performance[J]. China Plastics Technology, 2020, 48(3): 17-20.
- [8] 丁文丽, 齐生凯, 王超, 等. 硫化胶中橡胶油含量的测定[J]. 橡胶工业, 2020, 67(6): 472-474.
DING WL, QI S K, WANG C, et al. Determination of rubber oil content in vulcanizate[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(6): 472-474.
- [9] 杨学军, 周国桁, 王徽山, 等. 三等典型材质农膜中增塑剂的分析研究[J]. 塑料科技, 2020, 48(7): 117-120, 138.
YANG X J, ZHOU G H, WANG W S, et al. Analysis and research of plasticizer in three typical agricultural films[J]. China Plastics Technology, 2020, 48(7): 117-120, 138.
- [10] 李红江. 国内环保型再生橡胶软化剂发展趋势[J]. 化工管理, 2019(33): 47-48.
LI H J. Development trend of environmental friendly reclaimed rubber softener in China[J]. Chemical Enterprise Management, 2019(33): 47-48.
- [11] 皮月, 郭湘云, 张家强, 等. 基于热稳性能的几种不溶性硫磺产品表征研究[J]. 应用化工, 2020, 49(7): 1606-1610.
PI Y, GUO X Y, ZHANG J Q, et al. Characterization of several insoluble sulfur products based on thermal stability[J]. Applied Chemical Industry, 2020, 49(7): 1606-1610.
- [12] 张保安. 润滑油加氢预处理催化剂的比选及工艺优化分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(4): 4-6.
ZHANG B A. Comparison and selection of catalysts for lube oil hydrotreating pretreatment and process optimization analysis[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2021, 41(4): 4-6.
- [13] 孙荣阔. 润滑油加氢改质工艺的优化方案[J]. 石化技术, 2019, 26(1): 318.
SUN R K. Study on optimal solution for lube oil hydro-upgrading[J]. Petrochemical Industry Technology, 2019, 26(1): 318.
- [14] 张霞, 白振民, 吴子明, 等. 生产润滑油基础油的加氢裂化技术[J]. 石油化工, 2020, 49(3): 224-227.
ZHANG X, BAI Z M, WU Z M, et al. Hydrocracking technology for production of lubricating base oil[J]. Petrochemical Technology, 2020, 49(3): 224-227.
- [15] 张小雨, 段猛, 吴昊. RL-2 催化剂在润滑油高压加氢装置上的催化性能[J]. 石油炼制与化工, 2020, 51(3): 43-47.
ZHANG X Y, DUAN M, WU H. Catalytic performance of catalysts RL-2 in high pressure hydrotreating of lubricating oil[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2020, 51(3): 43-47.

收稿日期: 2021-06-12

Study on Preparation of Rubber Plasticizer A0709 by Hydrorefining Catalyst

XU Hailong, SONG Junhui, XU Yanfeng, YAO Xiujie, ZHANG Cuizhen

(CNOOC Research Institute of Refining and Petrochemicals, Qingdao 266500, China)

Abstract: Taking the naphthenic vacuum third-line distillate SZ36-1 as the raw material, the single stage high pressure hydrogenation experiments were carried out with the self-made hydrofining ZQC catalyst and the imported catalyst, respectively. Under the condition of reaction pressure of 15 MPa and hydrogen-oil volume ratio of 1 000/1, the preparation of environmental friendly aromatic rubber plasticizer A0709 (A0709 for short) at different space velocity and reaction temperature was studied. The results showed that, A0709 products that met the requirements of GB/T 33322—2016 could be produced with self-made ZQC catalyst when the space velocity was 0.5 h^{-1} and the reaction temperature was not less than $320 \text{ }^\circ\text{C}$. The reaction temperature was about $20 \text{ }^\circ\text{C}$ lower than the reaction temperature when the imported catalyst was used. The filling performance of A0709 for insoluble sulfur was comparable to that of commercial rubber oil.

Key words: rubber plasticizer; hydrofining; catalyst; reaction pressure; reaction temperature; space velocity; insoluble sulfur