

原材料·配方

低生热助剂DC-01在矿用工程机械轮胎基部胶中的应用

郭永芳,孟庆伟,潘国徽,于飞,郭震*,王银竹

[泰凯英(青岛)专用轮胎技术研究开发有限公司,山东 青岛 266100]

摘要:研究低生热助剂DC-01在矿用工程机械轮胎基部胶中的应用。结果表明:在基部胶中加入低生热助剂DC-01,胶料的门尼粘度增大,焦烧时间缩短,硫化速度加快;硫化胶的拉伸性能变化不大,耐老化性能提高,压缩疲劳温升和滚动阻力降低;成品轮胎的耐久性能提高,TKPH值增大,作业能力得到提升。

关键词:低生热助剂DC-01;矿用工程机械轮胎;基部胶;压缩疲劳温升

中图分类号:TQ330.38⁺7

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2023)07-0528-05

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.07.0528



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

与普通轮胎相比,矿用工程机械轮胎的使用条件更为严苛,路况也更加恶劣,在重载及高速行驶对轮胎的生热要求较高^[1]。现有矿用工程机械轮胎的配方设计有两个方向^[2-3]:一是用于路况较好的低生热轮胎;二是用于路况较差的抗切割轮胎。轮胎的低生热和抗切割性能受制于胶料的生胶与填料的性能^[4],往往无法兼顾。对于使用条件非常恶劣的井下车辆、宽体车辆等,为了确保轮胎的抗切割性能,不得不牺牲生热性能,导致轮胎出现胎肩脱层问题。为了解决轮胎的生热问题,通常胎面胶采用全丁苯橡胶,以提高轮胎的抗切割性能,基部胶则采用全天然橡胶(NR),以降低轮胎的生热^[5-7]。本工作主要研究低生热助剂DC-01(羰基酞肼,以下简称DC-01)在矿用工程机械轮胎基部胶中的应用。

1 实验

1.1 主要原材料

NR,STR20,泰国产品;炭黑N375,江西黑猫

炭黑股份有限公司产品;白炭黑,牌号BET-175,罗地亚白炭黑(青岛)有限公司产品;硅烷偶联剂TESPT,南京能德新材料技术有限公司产品;塑解剂SJ-103,寿光市隆泰橡塑制品有限公司产品;氧化锌,洛阳丹柯锌业有限公司产品;硬脂酸,山东中旺油脂有限公司产品;防老剂RD,科迈化工股份有限公司产品;防老剂4020,山东圣奥化学科技有限公司产品;增粘树脂T6000,德州普乐化工有限公司产品;抗疲劳剂G-108,上海整棵实业有限公司产品;增塑剂A,聊城鑫瑞橡塑助剂有限公司产品;防焦剂CTP,山东阳谷华泰化工股份有限公司产品;硫黄OT-20,南京盛庆和化工有限公司产品;促进剂TBBS,河南恒瑞橡塑科技股份有限公司产品;DC-01,大冢化学管理(上海)有限公司产品。

1.2 配方

生产配方(用量/份)如下:NR 100,塑解剂SJ-103 0.35,炭黑N375 32,白炭黑 15,硅烷偶联剂TESPT 3,氧化锌 3.5,硬脂酸 2,防老剂RD 1,防老剂4020 1.5,增粘树脂T6000

作者简介:郭永芳(1971—),女,山东潍坊人,泰凯英(青岛)专用轮胎技术研究开发有限公司高级工程师,学士,主要从事工程机械轮胎配方研发及工艺研究工作。

*通信联系人(eden.guo@techking.com)

引用本文:郭永芳,孟庆伟,潘国徽,等.低生热助剂DC-01在矿用工程机械轮胎基部胶中的应用[J].橡胶工业,2023,70(7):528-532.

Citation:GUO Yongfang, MENG Qingwei, PAN Guohui, et al. Application of low heat build-up additive DC-01 in base compound of mining OTR tire[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(7): 528-532.

1.5, 抗疲劳剂G-108 1.5, 增塑剂A 2, 防焦剂CTP 0.2, 硫黄OT-20 1.9, 促进剂TBBS 1.5。

1[#]和2[#]试验配方分别添加0.4和0.7份DC-01, 其余组分及用量均同生产配方。

1.3 主要设备和仪器

1.5 L实验室密炼机, 软控股份有限公司产品; F270型和F370型密炼机, 大连橡胶塑料机械有限公司产品; XK-150型开炼机, 广东湛江机械厂产品; XK-660型开炼机, 青岛双星集团橡塑机械有限公司产品; XLB-D/Q 350×350×2 25T型平板硫化机, 杭州苏桥佳迈机械设备有限公司产品; HD-10型厚度计, 上海六菱仪器厂产品; MV2000型门尼粘度计和MDR型无转子硫化仪, 美国阿尔法科技股份有限公司产品; GS-709N型邵尔A型硬度计、AI-7000S型电子拉力试验机和RH 2000N型压缩生热试验机, 高铁检测仪器(东莞)有限公司产品; 861E型动态热机械分析(DMA)仪, 瑞士梅特勒-托利多公司产品。

1.4 混炼工艺

1.4.1 小配合试验

胶料分2段混炼, 在1.5 L密炼机中进行。一段混炼工艺为: 加入生胶、DC-01、炭黑、塑解剂, 转子转速为55 r·min⁻¹, 混炼60 s→加入白炭黑、硅烷偶联剂TESPT、硬脂酸、防老剂、增粘树脂、抗疲劳剂和增塑剂, 混炼40 s→提压砣, 清扫→压压砣, 转子转速为45 r·min⁻¹→每隔40 s进行1次提压砣、压压砣→排胶(155 ℃), 放置冷却4 h; 二段混炼工艺为: 加入一段混炼胶、硫黄、氧化锌、促进剂和防焦剂, 转子转速为35 r·min⁻¹, 混炼30 s→提压砣, 清扫→压压砣20 s→提压砣5 s→压压砣→排胶(100 ℃)。

胶料在XK-150型开炼机[辊温为(60±5) ℃]上包辊后打包和薄通4次, 下片。

1.4.2 大配合试验

胶料分4段混炼。一段混炼在F370型密炼机中进行, 转子转速为40 r·min⁻¹, 混炼工艺为: 加入生胶、炭黑、塑解剂和DC-01, 混炼30 s→提压砣→压压砣30 s→提压砣→压压砣→排胶(150 ℃), 放置冷却4 h; 二段混炼在F370型密炼机中进行, 转子转速为32 r·min⁻¹, 混炼工艺为: 加入白

炭黑、硅烷偶联剂TESPT、硬脂酸、防老剂、增粘树脂、抗疲劳剂和增塑剂→每30 s提压砣1次→排胶(160 ℃), 放置冷却4 h; 三段混炼为回车, 除不加入配合剂外其余工艺同二段混炼; 终炼在F270型密炼机中进行, 转子转速为20 r·min⁻¹, 混炼工艺为: 加入三段混炼胶、硫黄、氧化锌、促进剂、防焦剂→提压砣和压压砣2次→排胶(100 ℃)。

胶料在XK-660型开炼机[辊温为(60±5) ℃]上包辊后打包和薄通5次, 下片。

1.5 性能测试

(1) 压缩疲劳生热。将标准高度为25 mm的圆柱形试样放入55 ℃的恒温测试箱中, 预热30 min, 测试条件为: 冲程 4.5 mm, 负荷 25 kg, 试验时间 25 min。

(2) 动态力学性能。采用DMA仪测试损耗因子(tanδ), 温度扫描测试条件为: 频率 10 Hz, 位移 200 μm(应变为3.33%), 升温速率 5 ℃·min⁻¹, 温度范围 -20~80 ℃。

(3) 其他性能均按相应的国家标准测试。

2 结果与讨论

2.1 小配合试验

2.1.1 硫化特性

小配合试验胶料的硫化特性如表1所示。

从表1可以看出: 与生产配方胶料相比, 试验配方胶料的门尼粘度略有增大, 这是由于DC-01可与NR的双键发生反应而接枝到NR分子链上, 同时DC-01与炭黑具有较强的偶联作用, 能促进炭黑的分散, 将NR与炭黑牢固地结合在一起; 试验配方胶

表1 小配合试验胶料的硫化特性			
Tab.1 Vulcanization characteristics of compounds in laboratory test			
项 目	试验配方		生产配方
	1 [#]	2 [#]	
门尼粘度[ML(1+4) 100 ℃]	64	65	62
硫化仪数据(145 ℃)			
$F_L/(dN \cdot m)$	2.52	2.61	2.45
$F_{max}/(dN \cdot m)$	16.43	16.64	16.15
t_{10}/min	4.16	3.62	5.27
t_{30}/min	5.57	5.23	7.29
t_{60}/min	7.31	6.62	9.34
t_{90}/min	12.11	10.53	14.35

料的焦烧时间缩短,硫化速度加快,这是由于DC-01的碱性基团对胶料硫化具有促进作用。

2.1.2 物理性能

小配合试验硫化胶的物理性能如表2所示。

表2 小配合试验硫化胶的物理性能			
Tab.2 Physical properties of vulcanizates in laboratory test			
项 目	试验配方		生产配方
	1 [#]	2 [#]	
邵尔A型硬度(25℃)/度	64	64	62
100%定伸应力/MPa	3.03	3.08	2.89
300%定伸应力/MPa	15.25	15.09	15.61
拉伸强度/MPa	27.68	28.41	27.71
拉断伸长率/%	525	523	533
拉断永久变形/%	20	20	20
压缩疲劳温升/℃	17.3	15.6	19.7
100℃×48 h老化后			
邵尔A型硬度(25℃)/度	70	68	70
拉伸强度/MPa	29.57	29.59	31.42
拉断伸长率/%	406	431	345

注:硫化条件为145℃×30 min。

从表2可以看出:与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶的硬度略有增大,拉伸强度和拉断伸长率变化不大;随着DC-01用量的增大,硫化胶的压缩疲劳温升降低,耐老化性能提高。这是由于加入DC-01有助于提高炭黑在NR中的分散性,减弱Payne效应,从而降低硫化胶的生热和滚动阻力^[8]。

2.2 大配合试验

2.2.1 硫化特性

大配合试验胶料的硫化特性如表3所示。

从表3可以看出,大配合试验胶料的硫化特性与小配合试验胶料基本吻合,但是大配合试验配方胶料的门尼粘度比生产配方胶料明显增大,这可能是由于小配合试验中小型密炼机的剪切力较

表3 大配合试验胶料的硫化特性			
Tab.3 Vulcanization characteristics of compounds in workshop test			
项 目	试验配方		生产配方
	1 [#]	2 [#]	
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	64	67	52
硫化仪数据(145℃)			
$F_L/(dN \cdot m)$	2.47	2.55	2.13
$F_{max}/(dN \cdot m)$	18.22	18.53	17.58
t_{10}/min	4.31	3.97	5.94
t_{30}/min	5.87	5.43	7.69
t_{60}/min	7.27	6.77	9.59
t_{90}/min	11.24	10.07	14.79

小^[9],混炼段数少,导致混炼效果不如大型密炼机,无法给胶料足够的链段剪切效果,因此DC-01对增强NR与炭黑的相互作用不明显。

2.2.2 物理性能

大配合试验硫化胶的物理性能如表4所示。

表4 大配合试验硫化胶的物理性能			
Tab.4 Physical properties of vulcanizates in workshop test			
项 目	试验配方		生产配方
	1 [#]	2 [#]	
邵尔A型硬度(25℃)/度	62	63	62
100%定伸应力/MPa	3.14	3.16	2.92
300%定伸应力/MPa	15.77	17.74	15.64
拉伸强度/MPa	27.07	27.61	26.37
拉断伸长率/%	507	503	515
拉断永久变形/%	20	19	20
压缩疲劳温升/℃	15.5	14.2	20.3
100℃×48 h老化后			
邵尔A型硬度(25℃)/度	67	68	70
拉伸强度/MPa	30.02	29.70	31.17
拉断伸长率/%	372	391	324

注:同表2。

从表4可以看出:与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶的硬度、拉伸强度和拉断伸长率变化不大;随着DC-01用量的增大,硫化胶的压缩疲劳温升降低,耐老化性能提高。

2.2.3 动态力学性能

大配合试验硫化胶的tanδ-温度曲线见图1。

一般认为,0℃时的tanδ越大,硫化胶的抗湿滑性能越好,而60℃时的tanδ越小,硫化胶的滞后损失越小,生热和滚动阻力越低^[10-13]。从图1可以看出,与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶

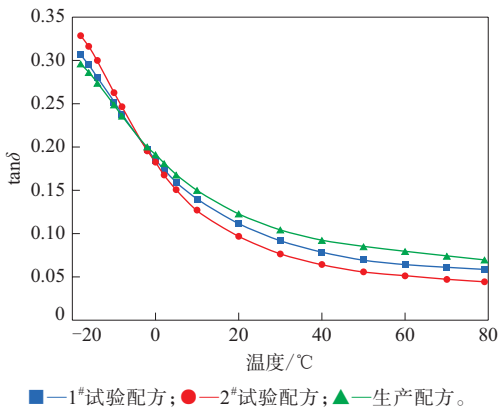


图1 大配合试验硫化胶的tanδ-温度曲线
Fig.1 tanδ-temperature curves of vulcanizates in workshop test

0℃时的 $\tan\delta$ 相当,说明DC-01对硫化胶的抗湿滑性能影响不大;试验配方硫化胶60℃时的 $\tan\delta$ 减小,说明加入DC-01的硫化胶的滚动阻力降低,可以认为DC-01增强了NR与炭黑之间的相互作用,炭黑具有更好的分散性,胶料的Payne效应减弱,硫化胶的 $\tan\delta$ 减小。

2.3 工艺性能

大配合试验胶料的出料状态如图2所示。

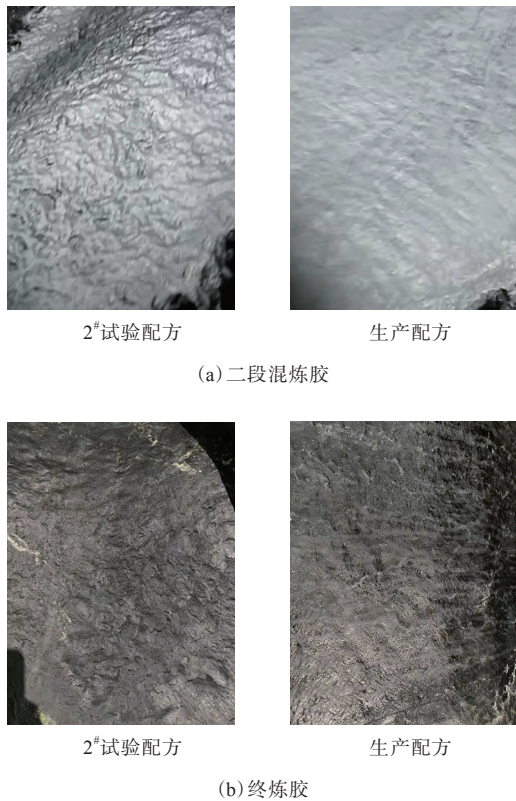


图2 大配合试验胶料的出料状态
Fig. 2 Discharge status of compounds in workshop test

从图2(a)可以看出,2[#]试验配方二段混炼胶的表面呈现出麻面状态。为了保证基部胶的挤出效果,对胶料增加了一段回车混炼。从图2(b)可以看出,2[#]试验配方终炼胶的表面平滑光整,与生产配方终炼胶相差不大。

2[#]试验配方胶料后工序热喂料挤出效果与生产配方胶料也无差异。

2.4 成品轮胎性能

分别采用2[#]试验配方和生产配方胶料生产16.00R25ET668工程机械轮胎,分别记为试验轮胎和生产轮胎,并进行室内耐久性能和TKPH值测

试。成品轮胎的耐久性能试验条件及结果见表5。
从表5可以看出,试验轮胎和生产轮胎的累计行驶时间分别为83.6和71.3 h,试验轮胎的耐久性能比生产轮胎提高了17.3%。

表5 成品轮胎的耐久性能试验条件及结果
Tab. 5 Durability test conditions and results of finished tires

项 目	试验阶段						
	1	2	3	4	5	6	7
负荷率/%	66	84	101	110	120	130	140
试验速度/ (km·h ⁻¹)	25	25	25	25	25	25	25
行驶时间/h							
试验轮胎	7	16	24	10	10	10	6.6
生产轮胎	7	16	24	10	10	4.3	

TKPH值用来评价工程机械轮胎作业过程中的耐热破坏能力(作业能力),以93℃为额定温度,以(93+5)℃为临界温度(轮胎作业不会损坏的内部最高安全温度)^[14-15]。经测试,试验轮胎和生产轮胎在(93+5)℃下的TKPH值分别为161.5和140.3,试验轮胎的TKPH值比生产轮胎增大了15.1%,轮胎的作业能力得到提升。

3 结论

(1)在矿用工程机械轮胎基部胶中加入DC-01,胶料的门尼粘度增大,焦烧时间缩短,硫化速度加快;硫化胶的拉伸性能变化不大,耐老化性能提高,压缩生热和滚动阻力降低。

(2)与生产轮胎相比,试验轮胎的耐久性能提高17.3%,TKPH值增大15.1%,作业能力得到明显提升。

参考文献:

[1] 许建欣. 矿山专用全钢载重子午线轮胎胎面胶配方的开发[J]. 轮胎工业, 2021, 41 (7) : 445-447.
XU J X. Development of tread compound formula of truck and bus radial tire for mine[J]. Tire Industry, 2021, 41 (7) : 445-447.
[2] 刘勇伟. 抗切割型矿用轮胎胎面胶配方优化[J]. 轮胎工业, 2018, 38 (7) : 423-425.
LIU Y W. Formulation optimization of tread compound for cut-resistant mining tire[J]. Tire Industry, 2018, 38 (7) : 423-425.
[3] 李海艳, 张宁, 龙飞飞. 不同溶聚丁苯橡胶在胎面配方中的应用[J]. 齐鲁石油化工, 2021, 49 (3) : 189-193.
LI H Y, ZHANG N, LONG F F. Application of different solution polymerized styrene butadiene rubber in tread formulation[J]. Qilu

- Petrochemical Technology, 2021, 49 (3) : 189-193.
- [4] 徐岩, 王传磊, 潘恩华, 等. 超耐磨半钢子午线轮胎胎面配方设计[J]. 中国橡胶, 2020, 36 (11) : 39-42.
- XU Y, WANG C L, PAN E H, et al. Design of tread formula for ultra-wear-resistant semi-steel radial tire[J]. China Rubber, 2020, 36 (11) : 39-42.
- [5] 胡保利, 吕万树, 王雪, 等. 充环烷油溶聚丁苯橡胶的实用配合研究[J]. 橡胶工业, 2021, 68 (5) : 323-331.
- HU B L, LYU W S, WANG X, et al. Study on practical formulation of naphthenic oil-extended SBR[J]. China Rubber Industry, 2021, 68 (5) : 323-331.
- [6] 吴学斌. 全钢子午线轮胎胎面基部胶配方的改进[J]. 橡胶科技, 2013, 1 (1) : 26-29.
- WU X B. Improvement of tread base compound formulation for all-steel radial tire[J]. Rubber Science and Technology, 2013, 1 (1) : 26-29.
- [7] 张帆, 王柱庆. 丁苯橡胶矿用工程机械轮胎胎面胶的研究[J]. 橡胶科技, 2015, 13 (9) : 27-29.
- ZHANG F, WANG Z Q. SBR tread compound for mining OTR tire[J]. Rubber Science and Technology, 2015, 13 (9) : 27-29.
- [8] 来庆存. NR/炭黑复合材料炭黑分散性与动态性能的关系研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2015.
- LIU Q C. Study on the relationship between carbon black dispersion and dynamic properties of NR/carbon black composites[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2015.
- [9] 刘良春, 王恒宜, 陈荣华. 0.3L密炼机混炼工艺的实验研究[J]. 橡塑技术与装备, 2021, 47 (5) : 1-6.
- LIU G C, WANG H Y, CHEN R H. Experimental research on mixing process of 0.3L internal mixer[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2021, 47 (5) : 1-6.
- [10] 范世玉. 低滚阻轮胎配方的影响因素及性能研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2021.
- FAN S Y. Study on influence factors and performance of low rolling resistance tire formula[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2021.
- [11] 刘春利, 罗筑, 钟金成, 等. 橡胶-填料相互作用对丁苯橡胶/白炭黑复合材料动态力学性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2018, 34 (12) : 64-70, 77.
- LIU C L, LUO Z, ZHONG J C, et al. Effect of rubber-filler interactions on dynamic mechanical property of styrene-butadiene rubber/silica composite[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2018, 34 (12) : 64-70, 77.
- [12] 孙攀, 李静, 解希铭, 等. 配合剂用量对丁基橡胶动态力学性能的影响[J]. 橡胶工业, 2022, 69 (11) : 841-846.
- SUN P, LI J, XIE X M, et al. Effect of ingredient dosages on dynamic mechanical properties of IIR[J]. China Rubber Industry, 2022, 69 (11) : 841-846.
- [13] 刘丽. 胎面胶动态力学及摩擦特性的研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2005.
- LIU L. Study on dynamic mechanics and friction characteristics of tread compound[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2005.
- [14] 余俊. 工程机械轮胎TKPH室内测试方法及其实际应用研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2016.
- YU J. Research on indoor test method and practical application of TKPH for OTR tires[D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2016.
- [15] 姜在胜, 刘娟, 张元赞, 等. 工程机械轮胎TKPH值测定及应用[J]. 中国橡胶, 2016, 32 (7) : 43-45.
- JIANG Z S, LIU J, ZHANG Y Z, et al. Measurement and application of TKPH value of OTR tire[J]. China Rubber, 2016, 32 (7) : 43-45.

收稿日期: 2023-03-16

Application of Low Heat Build-up Additive DC-01 in Base Compound of Mining OTR Tire

GUO Yongfang, MENG Qingwei, PAN Guohui, YU Fei, GUO Zhen, WANG Yinzhong

[Techking (Qingdao) Special Tire Technology Research and Development Co., Ltd, Qingdao 266100, China]

Abstract: The application of low heat build-up additive DC-01 in the base compound of mining OTR tires was studied. The results showed that by adding DC-01 to the base compound, the Mooney viscosity of the compound increased, the scorching time was shortened, and vulcanizing speed was accelerated. Furthermore, the tensile properties of the vulcanizate changed little, the aging resistance was improved, and the compression fatigue temperature rise and rolling resistance were reduced. Consequently, the durability of the finished tire was improved, the TKPH value was increased, thus the working ability was improved.

Key words: low heat build-up additive DC-01; mining OTR tire; base compound; compression fatigue temperature rise