

充气轮胎配方设计

第13讲 工程机械轮胎配方设计

傅希梅

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

近十几年来,国内各大矿山、水电站及各大建筑等建设事业蓬勃发展,工程机械轮胎的需求量越来越大,使用范围越来越广,因而必须根据我国的使用条件设计和生产品种和规格齐全的工程机械轮胎。

1 使用特点

工程机械轮胎的行驶速度一般为 $25\sim 30\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,比载重轮胎和轿车轮胎低得多,但负荷大、运距短、转弯多,经常是昼夜连续作业,所以其热脱层问题比较严重。

工程机械轮胎作业场地大、石块多,工作时易发生单胎压爆、撞爆、刺爆等事故。

矿山冬季、夏季温差变化大,如北方冬季矿山气温低达 -38C ,夏季采场高达 38C 左右,因此要求轮胎所用原材料能适应较宽的温度范围。

工程机械一般为露天作业,而且刺伤待修补的轮胎长期露天存放,这将影响轮胎的使用寿命。

2 性能要求

综合分析工程机械轮胎使用特点,可以看出,这种轮胎的作业场地条件恶劣,要求轮胎整体刚性大;胎面胶耐切割、耐刺扎、抗崩花掉块、耐磨耗、弹性好、硬度高、变形小、生热低;胎体胶生热低、耐疲劳、耐热、耐老化、胶与帘线及不同胶料之间粘合强度高。对于巨型、大型工程机械轮胎,由于花纹沟深、基部胶厚、胎体厚、帘布层数多、外胎硫化时间长,因此要求各部件胶料的物理机械性能、硫

化速度具有较好的匹配性。对于胎里密封胶和胎圈密封层胶要求气密性好,胶料与胎体、胶料与帘线粘合强度高,不脱层、不起泡,保持轮胎气压稳定,延长轮胎使用寿命。

3 配方设计

3.1 胶种的选择

目前美国和日本等国都主要采用天然橡胶(NR)制造工程机械轮胎。因为NR无论是工艺还是综合性能都是较适宜的。

从不同国家不同规格的工程机械轮胎胎冠胶化学组分分析看出,巨型、大型工程机械轮胎胎面胶大部分采用100%NR,也有并用10—15份丁苯橡胶(SBR)的。小规格工程机械轮胎采用NR/SBR=70/30或NR/SBR=60/40的并用体系。具体数据见表1。

3.2 补强体系的选择

炭黑对橡胶的补强作用,实质是橡胶分子吸附于炭黑粒子表面,炭黑与橡胶相互作用生成结合胶,即橡胶-炭黑网络,从而得到补强。

就粒状填料而言,对橡胶的补强作用主要取决于粒子大小、结构及表面活性3个因素。这3个因素对胶料的性能有着各自的影响。为提高胶料耐切割、耐刺扎、抗崩花掉块等性能,各部件胶料的补强体系应采用补强性能较高的新工艺炭黑。由于轮胎各部件受力状态不同,对胶料性能要求亦不同,我们必须仔细选择炭黑品种,以适应特定的使用要求。如胎面胶常用的炭黑有N234, N220, N375等;胎体胶常用的炭黑有N550, N660,

表 1 工程机械轮胎胎面胶橡胶并用比

产地	规格	橡胶并用比
美国固特异	35/65-33	NR/SBR/BR(顺丁橡胶) 45/40/15
	18.00-33	NR
	21.00-35	NR
	23.5-25	NR
	29.5-29	NR
	30.00-51	NR
	36.00-51	NR
日本普利司通	14.00-24	NR/SBR=80/20
	18.00-33	NR
	21.00-35	NR
	24.00-35	SBR
	29.5-29	SBR
	29.5-29(基部胶)	NR/SBR=75/25
日本东洋	13.00-24	NR/BR=70/30
	18.00-33	NR/SBR=80/20
日本横浜	30.00-51	NR/SBR=80/20
法国米西林	12.00R24	NR
	21.00R35	NR
前苏联	18.00-33	NR

N326 等。

另外还可采用短纤维补强,如孟山都介绍的配方(见表 2)可提高胶料的抗撕裂和抗崩花掉块性能,但对疲劳寿命有一定的不利影响。

表 2 孟山都胶料配方

组 分	用量,份	组 分	用量,份
NR/SBR(1500)	60/40	防老剂 4020	2.0
白炭黑	10	促进剂 NOBS	0.7
炭黑 N231	40	促进剂 DTDM	0.6
油	3.0	短纤维 Santoweb DX	2.25
氧化锌	5.0	防臭氧蜡	1.5
硬脂酸	2.0	硫黄	1.5
防老剂 124	2.0		

还有采用 TESPT(硅烷偶联剂)改性白炭黑与炭黑并用的补强体系。据有关文献报道,该补强体系有 5 大特点:

(1)减轻或消除胶料的硫化返原;

(2)将磨耗指数保持在全用 N220 炭黑补强水平;

(3)提高胶料的抗撕裂、抗裂口增长能力;

(4)降低胶料生热;

(5)提高胶料的耐动态疲劳性能。

3.3 硫化体系的选择

目前,二烯类橡胶常采用普通硫化体系硫化(硫黄含量多达 2.5 份),这种硫化体系不能保证橡胶在长时间硫化过程中和在轮胎使用过程中的抗返原和耐老化性能。采用有效和半有效硫化体系的胶料具有较高的耐热性和耐氧性。这种硫化体系中含有大量的次磺酰胺类促进剂,同时硫黄用量降低到 0.5—1.5 份,或者用硫黄给予体(DTDM)代替部分硫黄。但是有效和半有效硫化体系胶料的耐疲劳性能比正常体系的低,这主要与单硫键占主导地位有关。

近 10 年来,随着白炭黑在轮胎胶料中用量的不断增大,TESPT 已发展成橡胶专用助剂。

在 TESPT-促进剂-硫黄硫化体系中,两个交联反应进程基本上互不影响。通过合理选取三组分的摩尔比,可使得硫黄硫化的返原速度与 TESPT 交联反应形成新交联键的速度完全相等。在该硫化程度下,交联键的断裂与形成速度相等。这种硫化体系称之为等效硫化体系。等效硫化体系有如下几大特点。

(1)产生多硫键,同时有少量单硫键产生。多硫键与单硫键的比例几乎不随硫化时间的延长而改变。因此等效硫化体系可使有热传导问题的厚壁制品均匀硫化,与不同部件的硫化速度大小差异无关。硫化快与硫化慢的部件,在硫化结束时,硫化程度相同。

(2)产生的多硫键具有非常高的热稳定性。

(3)允许采用较高的硫化温度,以缩短硫化时间,提高生产效率。

(4)等效硫化交联的白炭黑、炭黑 NR 胎

面,行驶温度特别低。

(5)采用该体系硫化 NR 时,用 20 份白炭黑代替部分炭黑,可提高胶料的抗撕裂性

和抗切割性。

有关文献报道了不同硫化体系所得交联键的类型(见表 3)。

表 3 不同硫化体系胶料的交联键类型及基本性能

硫化体系	补强体系							
	炭黑			白炭黑	炭黑		炭黑/白炭黑	白炭黑
	常规	半有效	有效	TMTD	过氧化物	等效	等效	等效
硫黄	2.5	1.4	0.56	0	0	0	0	0
促进剂 NOBS	0.6	1.4	5.6	0	0	0	0	0
促进剂 TMTD	0	0	0	5.5	1.1	0	0	0
NOBS/硫黄/Si-69	0	0	0	0	0	1.18/1.07/2.5	1.8/1.4/4.0	1.8/2.1/6.25
交联键类型	C-S _x -C	C-S _x -C	0	0	C-C	C-S _x -C	C-S _x -C	C-S _x -C
	C-S ₂ -C	C-S ₂ -C	C-S ₂ -C	0	0	0	白炭黑-胶	白炭黑-胶
	C-S-C	C-S-C	C-S-C	C-S-C	0	0	0	0
300%定伸应力								
MPa	10.3	10.4	10.9	10.7	10.1	10.4	10.2	10.2
拉伸强度,MPa	25.0	25.1	22.7	18.5	16.9	23.1	24.9	25.5
撕裂强度,kN·m ⁻¹								
室温	31	28	22	20	14	31	20	32
80℃	35	30	10	19	11	32	36	38

4 配方特点

4.1 胎面胶

为了提高胎面胶耐磨、抗切割性能,中、小型工程机械轮胎的硫化体系采用半有效硫化体系,巨型、大型工程机械轮胎采用等效硫化体系。

在国产巨型工程机械轮胎胎面胶配方设计中,我们采用了全 NR、炭黑/白炭黑并用补强体系、Si-69/促进剂/S 等效硫化体系,利用中心复合设计法用电脑优选配方,优选出耐刺扎、耐磨的胎面胶配方。

为获得具有硬而韧的胎冠上层胶,即耐刺扎、抗裂口增长、抗崩花掉块、生热低、耐热性好、硫化平坦性好的胶料,着重进行了 Si-69/白炭黑/炭黑最佳用量和最佳比例关系方

面的配方优化试验研究。为准确、快速地处理数据,采用中心复合设计方法进行配方设计和优选,运用电子计算机进行计算并直接绘出相关因子与物理性能的等值图。如图 1—9 所示。

由电子计算机建立可变因子与胶料物性间的回归方程式,按优选最佳配方的性能指标优选出 Si-69/白炭黑/炭黑的最佳用量为 1.5/12/38。此种配方的胶料性能最佳,使用此种胶料可提高国产巨型工程机械轮胎的实际里程。

4.2 胎面下层胶

工程机械轮胎胎面下层胶的配方设计要求胶料生热低,耐热、耐老化性好,弹性高,耐动态疲劳性好,胶-线粘合强度高。

要提高国产巨型工程机械轮胎的寿命,

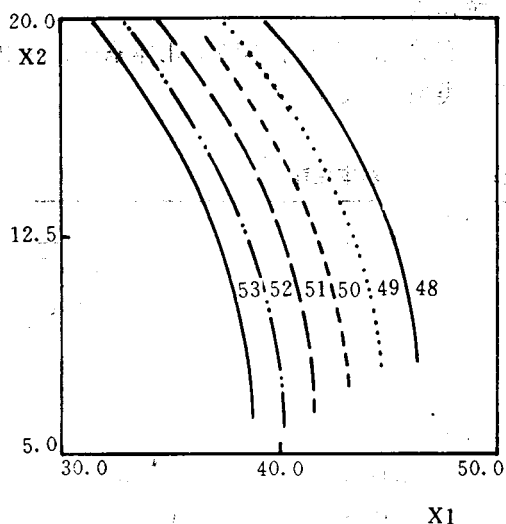


图1 弹性(%)等值曲线图

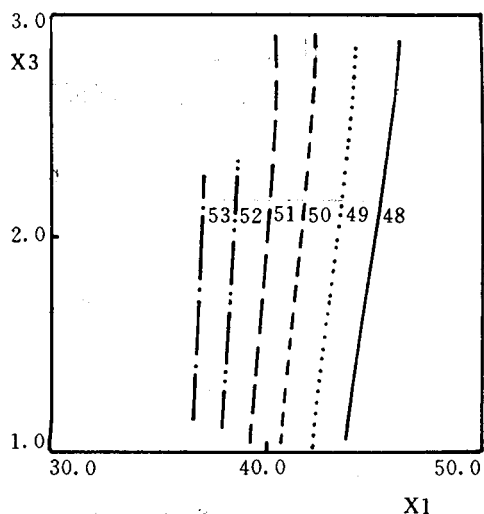


图3 弹性(%)等值曲线图

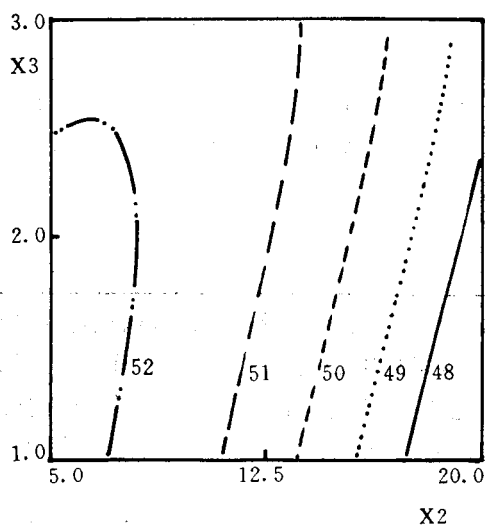


图2 弹性(%)等值曲线图

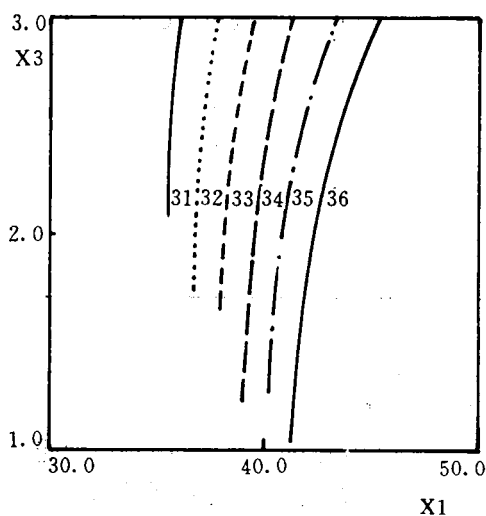


图4 生热(°C)等值曲线图

就要解决巨型轮胎在使用中期易脱爆的质量问题。为此对脱层部位进行详细分析,发现脱层部位系在胎肩下层胶与缓冲胶之间。轮胎行驶过程一般先是肩部产生局部脱空并逐步扩大到胎侧、胎冠,而且轮胎温度较高。在气温为6℃时,轮胎表面温度为20℃,花纹沟深55mm处(靠近缓冲层端点)温度高达88℃。在夏季,轮胎表面温度为40℃,轮胎胎面下层胶与缓冲层胶之间的温度就会达到轮胎的临界使用温度120℃左右。在此温度下,胶料

耐疲劳性能及胶-线间粘合强度均下降,最终导致脱层。

轮胎温升是生热与散热平衡的结果。降低生热,加强散热,可以降低轮胎温升。减小肩部剪切应力是降低生热的重要途径。采用以NR为主,低生热普通结构或低结构的硬质炭黑、间甲白粘合体系的配方,可有效防止中期脱层,提高巨型轮胎寿命。

4.3 帘布层胶

中、小型工程机械轮胎帘布层胶的配方

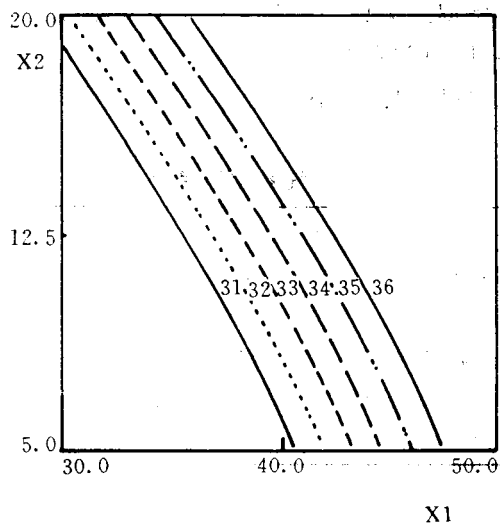


图5 生热(°C)等值曲线图

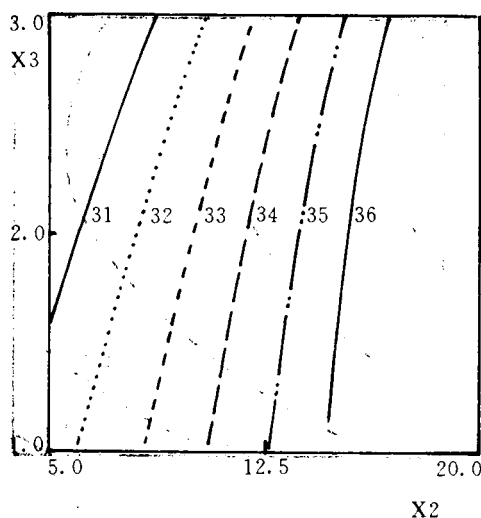
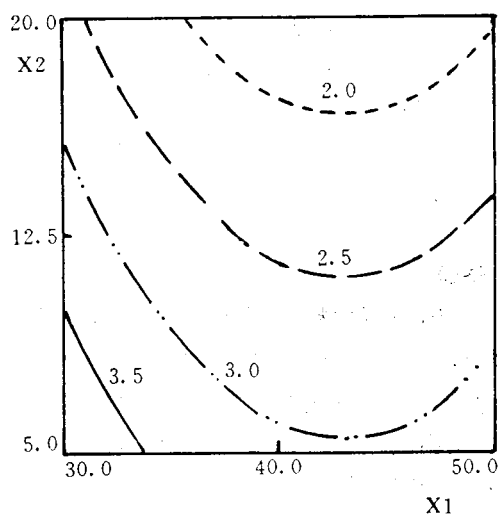
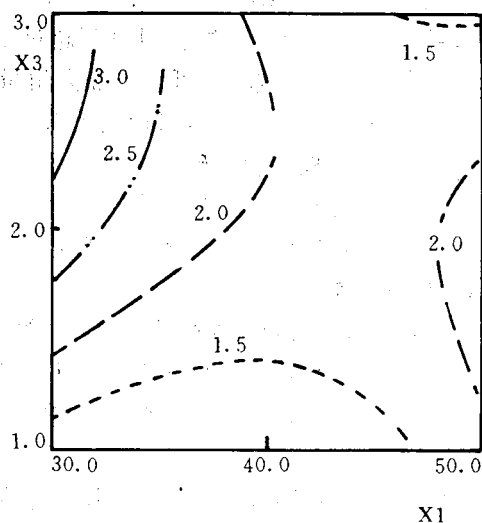
图7 动态切割损失($\times 10^{-3} \text{ kg}$)等值曲线图

图6 生热(°C)等值曲线图

图8 动态切割损失($\times 10^{-3} \text{ kg}$)等值曲线图

设计可参考载重轮胎 9.00—20 的配方,适当调整硫化体系,使硫化速度适宜低温长时间硫化,并与胎面胶、胎侧胶的硫化相匹配。

对于巨型、大型工程机械轮胎,由于结构设计安全倍数较高(18—20 倍)、帘布层数多、花纹沟深、花纹块大、胎面较厚,行驶过程中花纹块变形大,运距短、转弯多,24h 连续作业,因此,轮胎各层间剪切应力大,生热高,散热慢。

为保证巨型轮胎的行驶里程,要重点解决好硫化后的帘布层胶与帘线的粘合强度,

以及胶料耐疲劳、耐热老化、抗屈挠、定伸应力与撕裂强度等性能;同时还须考虑各部件胶料的硫化速度及定伸应力的匹配。

帘布层胶配方包括缓冲层胶、内层胶、外层胶 3 个配方或内层胶和外层胶两个配方。前者与后者主要区别是炭黑品种和用量不同,胶种稍有差别。一般情况,缓冲层胶、外层胶采用全 NR 或并用少量 BR,半有效硫化体系,以降低胶料生热;适当采用新型间甲粘合体系,提高硫化后胶-线粘合强度。内层胶采用 NR 并用少量 BR 或 NR/BR/SBR 三胶并

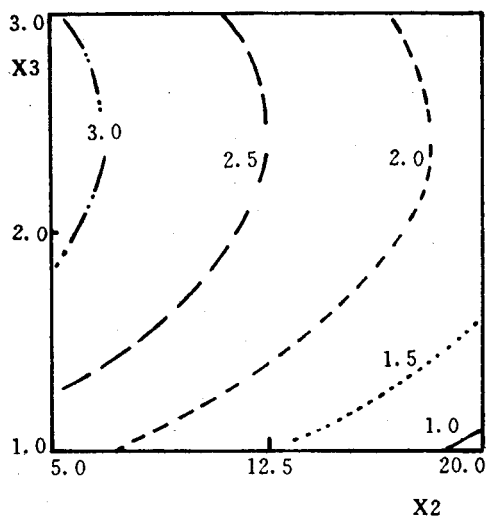


图9 动态切割损失($\times 10^{-3}$ kg)等值曲线图

图1—9中;X1—N234;X2—白炭黑;X3—Si-69

用体系。巨型轮胎合成橡胶用量不超过20份,中、小型工程机械轮胎可适当加大用量;补强体系采用粗粒子炭黑,用量远远低于外层胶;硫化体系根据胎坯硫化时供热的实际情况,适量采用硫黄和促进剂;粘合体系及油的种类与外层胶相同,但用量有所减少。

4.4 气密层胶

气密层是无内胎工程机械轮胎的关键部位,要求具有良好的气密性,与胎体的粘合强度高,不脱层、不起泡,具有耐老化、耐热等物理性能。

为达到上述目的,西欧各国的载重轮胎

气密层均采用NR与氯化丁基橡胶(CIIR)并用。目前有扩大CIIR用量的趋势。有关文献推荐的工程机械轮胎气密层配方见表4。

表4 气密层胶料配方

组 分	用量,份	组 分	用量,份
CIIR(1068)	70	增粘树脂	4.0
NR	30	氧化锌	5.0
低结构高耐磨炭黑	50	促进剂 TMTM	0.25
中粒子热裂法炭黑	30	促进剂 DM	1.25
操作油	10	烷基苯酚二硫化物	0.7

综上所述,中、小型工程机械轮胎气密层采用CIIR/NR并用胶,巨型、大型工程机械轮胎采用复合密封层,即靠帘布层一侧的可采用溴化丁基橡胶(BIIR)/NR=60/40,接触空气一侧的可采用BIIR/NR=80/20或100% BIIR。这种复合密封层不仅提高了气密层的不透气性和胎体帘布的粘合性,而且降低了成本。

3 结语

轮胎用原材料在不断更新换代,新型原材料也在不断涌现,在众多的新型助剂中,怎样优选工程机械轮胎所需的原材料,制定既经济又耐用的工程机械轮胎配方,仍是今后重要的研究课题。