

联锁式转子密炼机的最新进展

Brown C J 著 李贵君摘译 涂学忠校

最近几年,联锁式转子(IR)密炼机已发展成为优秀的橡胶混炼设备,主宰了高质量胶料生产的市场,已成为新建橡胶工业制品厂密炼车间选用的设备。尽管轮胎胶料的混炼在传统上一直沿用切向转子(TR)密炼机(本伯里型),但轮胎公司正日益认识并欣赏新型联锁式设计所带来的质量和经济优势。本文提出一些根据实际生产和实验室研究最新成果得出的有利于这些密炼机的令人信服的有力技术和经济论据:IR密炼机正应用于橡胶工业制品领域,并主要应用于轮胎领域。本文将讨论这些通用IR密炼系统及辅助系统的一些最新进展。

本文还涉及了最近几年密炼机系统最重要的发展之一——串联混炼(Tandem Mixing)。从本文的讨论可见,这种已获专利的技术将普通密炼机与新的操作系统相结合,可大幅度地提高混炼生产的总效率和经济性。尽管本文主要论述技术问题,但也指出了串联混炼的主要经济优势。

1 IR密炼机的进展

橡胶制品工业早已接受了IR原理,因为它能使高标准橡胶混炼的生产效率和质量达到最佳的综合平衡。已有大量证据,包括如欧洲委员会资助项目“优质间歇式橡胶混炼工艺的开发”于1994年完成的工作支持了这一原理。这项工作包括IR机与TR机的对比研究和通过IR机的操作和/或设计获得最高生产效率和质的方法。主要由于历史原因,侧重多段混炼的轮胎工业仍偏向保留其TR密炼系统及开炼机混炼系统。

轮胎厂混炼车间提高生产效率和质量的

要求,日益缩短了轮胎与橡胶制品的距离。由于要尽可能地减少混炼段数来最大限度地缩短总混炼周期,因此越来越注重对轮胎胶料进行高质量的混炼。尽管IR密炼系统已问世多年,但只是在最近几年轮胎公司才开始对这种原理产生极大的兴趣。这种兴趣已使得轮胎行业对IR密炼机进行重新评价和开发。

2 IR和TR密炼机的比较

过去有几个因素常被轮胎工业当作不采用IR技术的理由。对这些因素,尤其是对轮胎混炼设备的最新研究得到如下结果。

2.1 喂料

实际上IR机胶片喂料比TR机快——已观察到输送带胶片摆动喂料比直接喂料快。

TR机喂料比IR机快的猜测可能是由TR机压砣下降比IR机压砣快这一情况造成的。压砣下降速率与密炼机内流动模式有关而与密炼机喂料速率无关。

使用TR密炼机,胶片首先被拖进并由转子切碎,然后回涌到转子中心处——密炼机的咽喉,挡住新胶料的进入,直到压砣将胶料缓慢推进混炼室。一些胶料直到混炼末期仍滞留于压砣下不动,因而这部分胶料的混炼效果比其余部分胶料差。

使用IR密炼机,胶片首先被拖进并由转子切碎,然后回涌到转子端部,形成一条在中心拖下、在端部排出的循环胶料流,以利于新胶料进入。循环流动在压砣下部的空间内进行,因此每批胶料的质量准确,混炼均匀且温度分布均一。

2.2 密炼机规格和投料量

尽管 IR 密炼机由于转子凸棱较大, 可利用容积与自由容积之比较 TR 密炼机小 7%, 但 IR 密炼机因为密炼室截面面积较大, 因而比同规格 TR 密炼机的自由容积大。实际上, 同规格密炼机的可利用容积是相同的。

试验发现, IR 密炼机由于其受控的混炼作用, 每车胶料投料量对质量的影响很小。最近的试验表明, 只要延长混炼周期, 即可成功地混炼填充因数为 0.58~0.78 的同配方胶料。

2.3 功率和能量消耗

不像 TR 密炼机, IR 密炼机喂料时不需要高功率, 因此后者功率峰值小得多, 功率-时间曲线平得多。

因为在同样温升条件下 IR 密炼机向胶料中输入能量的速率比 TR 密炼机快, 因此加工工艺可得到如下改进:

- 减少混炼段数, 但保持相同的能量输入, 进而保证相同的胶料质量;

- 缩短混炼周期, 但保持相同的混炼段数和能量输入, 进而保证相同的胶料质量;

- 降低排胶温度, 但保持相同混炼段数、混炼周期和总能量输入, 因此改变了胶料的热历程。

2.4 温度控制

IR 密炼机表面积与容积之比较 TR 密炼机大, 因此提高了控制混炼胶料温度的能力。适应高产高效生产、紧靠表面下具有封闭冷却通道的转子几何形状加强了这一优点。

2.5 混炼作用

有人认为 IR 密炼机的混炼作用发生于转子之间, 而 TR 密炼机的混炼作用发生于转子和混炼室内壁之间。实际上在两机混炼周期的不同阶段, 两种机理都起作用。

在混炼初期, IR 密炼机的剪切作用主要发生于转子之间, 这可使配合剂良好分布并

为胶料提供优异的拉伸混炼作用。随着胶料升温 and 粘度下降, 部分胶料流动于转子凸棱和混炼室壁之间, 向胶料提供很高的分散剪切作用。因此在混炼末期转矩曲线又上升, 曲线轮廓类似正方形。

比较而言, 在混炼初期, TR 密炼机的剪切作用主要发生于转子与混炼室内壁之间。随着混炼继续进行, 胶料粘度下降, 并开始流过转子尖端, 但是由于转子尖端较窄, 在 IR 机上观察到的高剪切效果不会出现。因此 TR 密炼机混炼的胶料分散性可能比 IR 密炼机差。TR 机的转矩曲线与 IR 机的区别很大, 在混炼初期出现高峰值, 然后迅速下降。

2.6 磨损

IR 机大修之前的使用寿命比同样操作条件下 TR 机长 50%~200%。这可能是 IR 机表面积比 TR 机大, 也可能是 IR 机的混炼作用不同, 胶料剪切作用主要发生于混炼后期, 此时大部分高磨损填料已包覆于橡胶内。相比之下, TR 机转子尖端与混炼室内壁之间的早期混炼作用产生较剧烈的磨损。

轮胎工业大多采用多段、短时间混炼工艺。IR 机和 TR 机的比较研究表明, IR 机在生产效率和质量上均超过 TR 机, 随机举例如下。

例 1, 安装 IR 机而采用这种减段混炼操作的某厂可减少 1 个混炼段, 同时还可提高钢丝帘布胶料的质量。在总混炼时间相近的情况下, 减少混炼段可降低粘度并提高炭黑分散度, 见表 1。

对该厂同一胶料, 操作者还可缩短每段混炼时间而保持胶料质量不变。已测出实际混炼参数, 见表 2。

输入能量较低, 但数字接近, 表示胶料质量类似。很明显, 对相同的能量输入, IR 机冷却更好, 混炼更快。

例 2, 一厂家因从 TR 机转向 IR 机而大幅度缩短了胎面和胎体胶料的混炼时间(见

表 1 用 IR 机减少混炼段数

项 目	TR(270 L)	IR(300 L)	项 目	TR(270 L)	IR(300 L)
一段			门尼粘度	70.4~71.0	62.2~63.1
混炼时间/ min	1.60	2.60	卡博特分散	$C_1\sim C_2$	$A_1\sim A_3$
周期/ min	2.12	3.08	四段		
门尼粘度	93.5~97.1	85.5~87.3	混炼时间/ min	0.67	0.67
卡博特分散	$H_1\sim H_4$	$H_1\sim H_5$	周期/ min	1.50	1.50
二段			累积周期/ min	8.47	9.88
混炼时间/ min	1.70	2.15	门尼粘度	65.3	54.8
周期/ min	2.47	2.90	卡博特分散	$A_1\sim A_2$	A_1
累积周期/ min	4.58	5.98	五段		
门尼粘度	91.4~96.3	83.2~84.6	混炼时间/ min	0.67	—
卡博特分散	$G_1\sim G_5$	$F_1\sim F_5$	周期/ min	1.50	—
三段			累积周期/ min	9.97	—
混炼时间/ min	1.50	1.53	门尼粘度	57	—
周期/ min	2.38	2.40	卡博特分散	A_1	—
累积周期/ min	6.97	8.38			

表 2 用 IR 机缩短混炼时间

项 目	TR(270 L)	IR(300 L)
每段混炼时间/min	1.83~1.97	1.42
排胶温度/ °C	155	140
能耗量/(kJ°kg ⁻¹)	277.2	288.0

表 3)。另一厂家因将 IR 机应用于载重轮胎胶料混炼而大大提高了生产效率, 其对载重轮胎所有部件的胶料都采用二段混炼, 这与 TR 机混炼某些硬胶料需多达 5 个混炼段形成了鲜明对比。表 4 中的 2 个例子说明采用二段混炼可明显降低搬运和储存成本。该厂应用的二段混炼操作方法与用于一般混炼周期较长的橡胶制品胶料的类似。

表 3 IR 机和 TR 机混炼结果比较

项 目	TR 机	IR 机
胎面胶胶料		
周期/ min	6.25	3.83
排胶温度/ °C	160	150
能耗量/(kJ°kg ⁻¹)	511.2	592.2
门尼粘度	122	115
胎体胶料		
周期/ min	4.25	3.50
排胶温度/ °C	167	162
能耗量/(kJ°kg ⁻¹)	439.2	471.6
门尼粘度	126	123

表 4 传统 TR 机与 IR 机混炼过程比较

TR 机	IR 机
胎面胶胶料	
母炼	母炼
冷却贮存	冷却贮存
再混炼	—
冷却贮存	—
最后混炼	最后混炼
冷却并输送至下一工序	冷却并输送至下一工序
胎体胶胶料	
母炼	母炼
冷却贮存	冷却贮存
再混炼	—
冷却贮存	—
再混炼	—
冷却贮存	—
再混炼	—
冷却贮存	—
最后混炼	最后混炼
冷却并输送给压延机	冷却并输送给压延机

3 优化操作和设计

最近大学与工业公司的一些合作研究开发项目进一步加深了对混炼过程的科学理解。这些成果问世以后, 正逐步在机械设计和设备操作中采用。

典型的结果是 IR 机内胶料的剪切速率比 TR 机内胶料高 4 倍, 考虑到任何密炼机

的混炼程度都与施加于胶料的总应变相关(不同规格 IR 机比较表明, 应变量相同, 混炼程度类似), 这是特别恰当的。而应力对混炼程度确实有某种程度的影响, 似乎密炼机内产生的应力应超过临界水平, 而低于临界水平, 任何影响或变化都很显著。由于应变只是应变速率的时间积分, 因此应变速率越大, 应变越大, 因而混炼程度越高。这是使 IR 机在较低转子转速, 即在较低温度下运行或比相应 TR 机大大缩短混炼周期的一个主要因素。

IR 机制造公司特别关注的设计开发领域是:

- °先进的控制系统;
- °优化的转子几何形状;
- °最大的热传递。

现在的控制系统包括从简单的有序系统到以多混参数闭环反馈控制为基础的复杂系统。然而, 最终的混炼控制系统似乎应能调节如橡胶流变特性等输入参数的随机偏差而使各批胶料流变性能一致。在前面提到的欧洲研究项目中, 提供这种控制的批料条件控制系统的开发取得很大进展。用获得专利权的该系统, 能在混炼周期内从密炼机中取样并测量后续重要的加工特性, 如胶料的挤出质量。这种实时分析可连续用于改变如速度、时间和温度等参数, 以使各批混炼胶料质量均一。

优化转子几何形状和热传递配置以获得优质轮胎胶料的研究正在进行中。题为轮胎生产用新型胶料和优化混炼及硫化工艺研究的欧洲基金合作项目就是这样一个项目, 其中转子几何形状要能使得配合剂如炭黑的分散和分布用二、三段混炼即可达到最佳水平。IR 机混炼的技术性能使其成为这种先进研究工作的首选设备。

4 串联混炼系统

串联混炼已发展成为一种优化胶料分批

式混炼的方法。由 Peter J 博士于 80 年代后期发明的已获专利的该系统原是为由于技术和/或经济原因不适于传统单段混炼的胶料进行单段混炼用的, 其首先用于橡胶制品工业。然而轮胎生产企业对此技术表示出的浓厚兴趣表明, 它的未来属于轮胎和制品这两个工业部门。

传统的单段混炼局限于较软或硫化较慢的胶料及中小型设备。这是由母炼后的冷却要求所决定的。母炼期间被加热的密炼机的金属件必须冷却, 以使胶料在反应性物质加入前冷却下来。

除了前面提到的情况, 由于大型密炼机的冷却是一个较慢的过程, 因此一般说来混炼周期不断重复是不经济的。

4.1 串联混炼工艺

串联混炼工艺提供了一种通过将混炼阶段减至最少, 最理想为一段, 并使混炼过程连续进行的有效方法。该系统由下列设备组成:

°1 台可以是 TR 型, 也可以是 IR 型的传统分批式密炼机;

°1 台大型无压砣 IR 密炼机。

前一设备在上一设备之上。上面密炼机的规格和操作都是传统型的, 生产第一段胶料。下面密炼机的容积几乎是上面密炼机的 2 倍, 填充因数 ≤ 0.4 。下面密炼机保持冷却至典型的 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

上面密炼机的正常混炼周期一结束, 热胶料即从上面密炼机排入下面密炼机, 下面密炼机转子以典型的 $5\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度运转, 胶料温度在不到 2 min 内迅速从如 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。然后将反应性配合剂加入下面密炼机内, 再以 $15\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的典型转子转速混炼 1~2 min, 之后胶料即排出该系统。该混炼过程可继以传统的出片、接取和冷却工序。

当这批胶料在下面密炼机中混炼时, 上面密炼机已在混炼下一批胶料。向下面密炼

机排胶时间典型地定于前一批胶料排出之后 1 min。空转的 1 min 使下面密炼机的温度降低至 15 °C。一个高效的复合混炼周期只要 4~5 min。

尽管上面密炼机可以是 TR 型,也可以是理想的 IR 型,但出于下列原因,下面密炼机必须是 IR 型:

°IR 混炼作用机理确保密炼室内胶料通过密炼机中心流动。无压砣不影响混炼作用。而无压砣 TR 密炼机中胶料通过密炼中心的流动会导致未混炼胶料悬浮于辊隙之上。

°IR 密炼机转子的巨大表面和流道特性的冷却潜力可确保设备表面和胶料冷却所要求的程度。

在单段混炼中,在下面密炼机中加入的配合剂的分散是在低温和低速下进行的。既然已证明下面密炼机内建立的热动态平衡对配合剂的有效分散很理想,那么应该注意到一旦配合剂,尤其是硫黄加入后,施于胶料的应变能较少。输入的能量低于上面密炼机的 10%。因此经下面密炼机最终混炼后胶料粘度变化较小,且分散水平相当于或超过开炼机多段混炼,从而为胶料提供卓越的恒定质量。

使用串联混炼系统生产母炼胶时,低温下的混炼能力使粘度大幅度下降。尤其是炭黑在下面 IR 密炼机内由联锁式转子继续分散。这个总体混炼效果足以消除串联混炼系统单段混炼后所有的进一步操作之需。单段混炼中下面密炼机所获得的混炼水平与传统的 TR 密炼机或开炼机多段混炼相同。

4.2 串联混炼的优点

串联混炼工艺在经济、质量和逻辑计划方面的优点很多:

(1)降低资本投入

- °减少混炼每千克胶料的设备投资;
- °消除一段贮存;
- °降低每千克胶料的搬运成本。

(2)降低能量消耗

°上面密炼机排出的胶料所含热量在下面密炼机中可以得到再利用,不需要重新加热;

- °下面密炼机需要输入的能量很少;
- °使用该系统只需要一段混炼。

(3)降低劳动力成本

°取消了一段胶料生产现场至库房的往返搬运;

- °取消了一段胶料的停放管理;
- °取消了二段混炼之前一段胶料的称量;
- °取消了独立的二段混炼操作。

(4)减少所需生产场地

- °取消了独立的二段混炼设备;
- °取消了一段胶料的停放贮存场地。

(5)改进逻辑计划性

- °提高了胶料生产效率;
- °简化了计划。

(6)提高质量

- °减少了操作者人为的影响因素;
- °消除贮存时间对一段胶料性能的影响;
- °降低对防粘溶剂的要求。

(7)改进操作性

- °减少了操作者在烟雾环境中的暴露;
- °减轻了粘附作用,改善了混炼胶料在低温下的加工性能。

总而言之,上述因素使串联混炼系统在多种场合下优势很大。

4.3 串联混炼系统的应用

通常观察到的串联混炼系统的应用包括:

- °二段混炼减为一段混炼;
 - °可将传统的三段或三段以上的混炼减为一段;
 - °缩短反应性配合剂加入后终炼段的混炼时间;
 - °热炼与终炼相结合;
 - °提高母炼效率和控制。
- 橡胶制品和轮胎工业都对串联混炼表现

出了极大的兴趣,且已做了大量试验。这些试验取得了骄人的结果,但不幸需要遵守保密协议而不得公布这些结果。下面介绍了一些最近可能已提到的用串联设备研究的一般结果。

下面密炼机内胶料的冷却速率受胶料种类的影响较小。在同一试验中,SBR 胎面胶、NR/BR 胎面胶和 CR 胶管胶料的冷却特性类似。

下面密炼机的转子转速对胶料降温的影响比设备冷却水温重要得多,低转速($5 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$)下胶料冷却比高转速($15 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$)下快得多。

所测下面密炼机的混炼操作温度、时间、转速和填充因数的关系表明,混炼工艺过程即使有较大偏差,胶料的粘度和性能仍能在合格范围内。

排入下面密炼机的胶料冷却速率呈指数形式下降。降温主要发生在前 2 min 内,之后变化很小。

下面密炼机柔和的混炼作用可避免胶料内过热点的产生,如前所述,胶料温度从开始水平迅速下降。配合剂可能在比传统操作更高的温度下或更早的时候加入。

下面密炼机柔和的混炼作用不可能使添加的配合剂得到有效分散。将质量分数为 0.15 的炭黑添加于下面密炼机 NR 胶料中

的试验表明,该无压砗密炼机不可能在 10 min 内将胶料混炼均匀。

下面密炼机的混炼作用尽管比较柔和,但仍然会由于填充因数小和胶料及设备温度低而大幅度降低胶料粘度。

最近在高性能通用橡胶制品的 NR 胶料混炼中,串联混炼系统混炼胶料的各项性能及有关工厂所做的质量检测结果都与传统二段混炼系统相当或更好。

串联混联设备的设计多种多样。因其具有前述的灵活性,故既可改装于现有工厂,也可理想地适用于新厂。

5 结语

IR 密炼机最近在设计和构型上的技术进步为其进入所有的橡胶混炼领域提供了优势。正如已用于橡胶制品领域高质量胶料混炼一样,目前在用的 IR 密炼机在产品质量和生产成本方面超过相应的 TR 密炼机而成为轮胎工业未来选用的密炼机。

串联混炼系统建立了一种将久经考验的混炼设备与使专业人士大为震惊的效率和简易性结合起来的新方法。尽管这是一种新技术,但已迅速在改造现有设备或建新厂时受到重视。

译自英国“Tire Technology International 1995”, P189 ~ 194

第 12 届国际塑料橡胶工业展览会 即将在广州举行

由欧洲塑料和橡胶工业机械制造商协会(EUROMAP)、中国对外贸易中心(集团)务强企业有限公司及香港雅式展览服务有限公司主办的“第 12 届国际塑料橡胶工业展览会”(1998 年橡塑展)将于 1998 年 5 月 26 ~ 29 日在广州中国对外贸易中心(广交会会场)举行。

参展的有德国、意大利、奥地利和美国等国家,我国台湾也组织展团参展。据说目前已有 200 多家来自 20 多个国家和地区的海外知名厂商参展。此次展览还特设有“化工及原材料专区”,有 30 多家国际知名的化工及原材料供应商参展。展览会将展出各国最新的塑料和橡胶技术、机械设备及各式各样的化工原料。

(本刊讯)