

采用空气涡轮制冷制取精细胶粉的低温粉碎技术

王 屏 刘思永

(北京航空航天大学 100083)

摘要 在深入研究橡胶粉碎机理的基础上, 提出用空气涡轮制冷替代液氮应用于橡胶的低温粉碎技术, 并先后完成了实验室试验和中试, 成功地实现了精细胶粉的工业化生产。实践证明, 采用这种技术生产精细胶粉耗电率低、设备占地面积小、流程自动化程度高、产量大、细度小, 具有较大的商业推广价值。

关键词 胶粉, 空气涡轮制冷, 低温粉碎

世界上废旧橡胶, 特别是废旧轮胎的大量堆积至今仍然是个难于解决的问题。目前, 最经济适用、最利于环境保护的解决办法是将它们加工成 60 目的精细胶粉。加工方法主要有常温粉碎、低温粉碎及化学粉碎等^[1], 其中低温粉碎具有不改变橡胶物理性能且能实现大批量生产的优点, 因而在西方部分发达国家得到了较快的发展, 但这些国家均采用液氮为冷冻工质, 能耗较大。在中国, 液氮的价格尤为昂贵, 因此这种低温粉碎技术无推广应用价值。发展中国的精细胶粉生产在于创新。在深入研究橡胶粉碎机理的基础上, 我们提出将空气涡轮制冷替代液氮应用于橡胶的低温粉碎技术, 先后完成了实验室试验和中试, 并成功地实现了精细胶粉的工业化生产。实践证明, 采用这种技术生产的胶粉能耗低、质量好, 具有较好的商业推广价值。

1 粉碎机理

1.1 粉碎方式

所谓粉碎, 就是将物质在外力作用下破碎成粉体的过程。物料粉碎主要有撞击、摩擦、剪切、撕裂和挤压 5 种方式。对于硬度、脆性较大的材料, 一般采用撞击摩擦的粉碎方式; 而对于软韧材料, 一般采用剪切撕裂方式进行粉碎。橡胶粉碎方式也不外乎这 5 种方式。

作者简介 王屏, 男, 1948 年 9 月出生。高级工程师。1982 年毕业于北京航空学院(现北京航空航天大学)发动机专业, 1990 年获硕士学位。从事热能工程和结构强度研究工作。作为主要参加者获部级科技进步一等奖 1 项、二等奖 3 项。在国内外公开刊物上发表论文 8 篇。

1.2 橡胶的物理性能

橡胶是一种高分子材料, 具有高弹性和高储能性, 在较小外力作用下能产生很大的形变, 而在释除载荷后又能很快恢复到近似原来的形状(见图 1)。NR 的拉伸强度和扯断伸长率随温度的变化而变化(见图 2), 在常温下它稍带塑性, 加热后慢慢软化, 在温度升到 130 ℃时完全软化; 温度降低它则逐渐变硬, 在 0 ℃时弹性大幅度下降, 在 -70 ℃时丧失弹性变成脆性物质。由图 2 可以看出, 达到脆性温度时, 扯断伸长率很小; 而在常温下, 应力水平很低就能使其

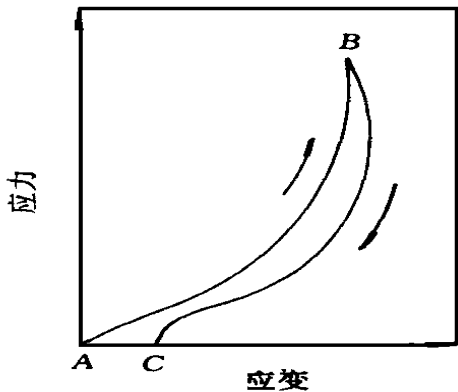


图 1 橡胶的应力-应变曲线

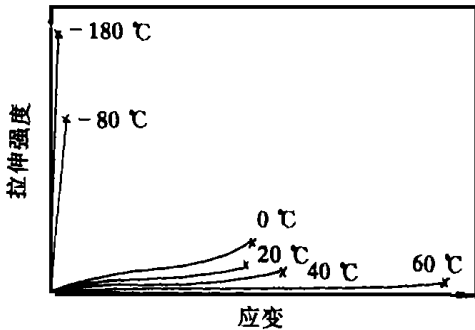


图 2 NR 在不同温度下的应力-应变曲线

产生很大的变形;温度越高,变形量越大。故一般认为橡胶在深冷条件下易于粉碎。

1.3 两种主要的粉碎方法

本世纪70年代,西方发达国家开始采用液氮生产胶粉,即利用液氮在常压下汽化温度低达 -196°C 的特点冷冻胶粒,使其达脆化温度,再输入撞击式粉碎机中细碎^[2]。该方法具有粉碎热低的优点,但缺点是能耗太大,据德国Condux公司资料介绍,生产1 kg胶粉需耗液氮0.7~1.5 kg,而据日本细川·密克朗公司资料介绍,生产1 kg胶粉需液氮0.7~2.5 kg。因此,在液氮价格昂贵的我国,这种方法根本无法推广应用。此外,采用这种方法生产出的胶粉的细度也不理想,以50目居多。

常温粉碎法国外已研究多年,近几年国内也开展了相应的研究,并取得较大的进展。实施这种方法一般采用剪切撕裂方式的粉碎机,并辅之以循环水冷却,胶粒不需冷冻,直接送入粉碎机粉碎。该方法的优点是所需设备少,占地面积小,橡胶粉碎后粒径分布相对较窄,大部分胶粉细度能达60目。但其致命的缺点是:①产量太低,无法形成工业化规模生产;②由于采用剪切撕裂粉碎方式,且胶粒又未经冷冻,粉碎时胶粒变形很大,产生大量的粉碎热,使胶料急剧升温,处于脱硫或半脱硫状态,很大程度上降低了橡胶的物理性能,尤其在夏季,冒烟甚至结焦现象严重,难以连续化生产,且容易引起火灾,生产不安全。

1.4 涡轮制冷粉碎技术

比较上述两种主要粉碎方法,可以看出粉碎前降低橡胶的温度是必要的。因此,我们提出采用空气涡轮制冷替代液氮冷冻胶粒。近些年来,国内不少单位也开展了这方面的工作,但大都没有取得理想的成果。究其原因,他们的思路与西方为数众多的技术人员一样,陷入某种误区,即认为生产精细胶粉的最佳途径是:将橡胶冷冻到脆化温度,然后再采用撞击摩擦的粉碎方式细碎。众所周知,空气涡轮的制冷温度远不及液氮低,于是他们就大幅度增大冷气流,并想方设法增设以氨或氟里昂为工质的辅助制冷设备以加大制冷深度,结果是能耗虽比液氮低了,但仍无实用价值,且胶粉的细度也远未达标。用涡轮制冷替代液氮必须更新思

路。经深入分析,认为橡胶并非一定要冷冻到脆化温度才能得到有效细碎。之所以要冷冻有两个目的:其一,可抵消粉碎时产生的摩擦热,阻止胶粒处于脱硫或半脱硫状态;其二,可降低胶粒的扯断伸长率,使其易于被粉碎,且可大幅度减少粉碎热,提高胶粉产量。那么冷冻到什么温度最为合适呢?我们知道,橡胶在 0°C 时弹性大幅度下降,达 -70°C 时完全脆化,实践证明,将其冷冻到这两个温度间的某一温度,使其硬化即可实现上述两个目的,且较之液氮深冷大大降低了能耗。显而易见,这一观点是在采用液氮的深冷粉碎和常温粉碎之间选择一条扬长避短的中间道路。这里,必须解决好两个核心问题:①确立一种适宜粉碎硬化胶粒的高性能低温粉碎方式;②涡轮制冷量有限,应对系统优化设计,使冷量在工艺过程的每一个环节都能得到合理的利用。为此,我们对整个系统进行了精心设计,特别是低温粉碎部分,除对胶粉进行冷冻和向粉碎机输入冷空气外,又增设了循环水及常温空气等辅助冷却措施。故粉碎系统有如下热平衡式:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

式中 Q ——粉碎热;

Q_1 ——胶粉带走的热量;

Q_2 ——冷空气带走的热量;

Q_3 ——水带走的热量;

Q_4 ——常温空气带走的热量;

Q_5 ——粉碎机体的导热热量。

显然,由于采取了这些冷却措施,有效地控制了胶粉的温升,使其温度在粉碎过程中始终保持在允许的范围之内,同时也大幅度提高了胶粉产量。

2 空气涡轮制冷的低温粉碎系统

2.1 冷冻粉碎系统

胶粒冷冻粉碎系统简图如图3所示。

操作过程:胶粒经预冷室初步降低温度,进入冷冻室进一步冷冻硬化,然后送入粉碎机粉碎,最后经旋风分离器气固分离。涡轮机产生的冷气分别输入冷冻室和粉碎机。

2.2 胶粒冷冻装置

冷冻是涡轮制冷粉碎技术的关键工序。由于涡轮机的制冷温度远不及液氮低,而橡胶的

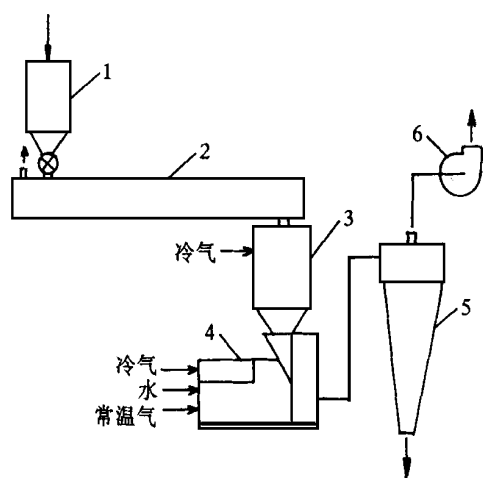


图 3 胶粒冷冻粉碎系统

1—胶料仓；2—预冷室；3—冷冻室；4—粉碎机；

5—旋风分离器；6—风机

导热因数又很小，为了使胶粒冻硬需分阶段冷冻，因此预冷室的设置是必要的。我们将预冷室设计成移动床型的热交换器^[3]，充分利用气固两相流间传热率高的特点来弥补胶粒导热率低的缺陷。预冷室还设有冷气密封机构和胶粒中纤维的二次分离机构。

冷冻室设计有两个突出特点：①冷气流以高速旋转的方式进入冷冻室，带动胶粒一起旋转，且使胶粒呈沸腾状，气固间的充分接触大大增加了换热强度；②设有控制胶粒在冷冻室中停留时间的特殊机构，使胶粒既能冻硬又不致冻结成块而堵塞通道，有效地保证了胶粒的冷冻质量和连续化生产。

2.3 低温粉碎机及工况

粉碎是工艺的核心。胶粒冷冻硬化后能否被粉碎成合格的胶粉，取决于粉碎机的性能。曾先后试验过由四纹叶轮组成的涡轮式粉碎机和由一对反向旋转盘组成的销棒式粉碎机。前者的粉碎方式是撞击摩擦，后者主要是撞击方式。试验结果均不理想。在分析了常温粉碎机优点的基础上，我们选用并改进了一种以剪切挤压为主要粉碎方式的粉碎机。实践证明，这种粉碎机对达到硬化程度的胶粒有很好的粉碎性能。在改进过程中，注意解决了以下几个问题：

①优化粉碎盘体的结构设计，确定工作转速，在保证胶粉产量、细度的前提下，力求最大

限度地降低粉碎热。

②确保设备工作可靠，机体材料耐低温，盘体耐磨性和使用寿命很高。设有超负荷自动报警保护系统。

③注意冷气、循环水等输入粉碎机的位置安排。

④保证胶粒进料均匀。

⑤掌握进料粒度、冷气温度、冷气流及盘体间隙等因素以及胶粉产量、细度和粉碎功耗间的相互关系，以确定工作参数。例如，经运行发现，胶料进料粒径以 1 mm 为宜，过粗使粉碎功耗加大，产量大幅下降；过细虽使胶粉细度稍高，但对产量影响不明显，更为不利的是，料细粘性大，极易在冷冻室内形成板结，中断生产。冷气温度低，可减小粉碎功耗，增大产量，但对提高细度的作用不明显。冷气流量的通入是抵消粉碎热、大幅度提高产量的重要因素，但冷气流过大会降低胶粉的细度。又如盘体的间隙须适中，过大会降低细度，过小则减小产量。诸如此类的影响粉碎效果的因素，这里不一一列举。总之，必须在长期、严格试验的基础上，弄清它们之间的相互关系，才能确定出最佳的工作温度、工作负荷等运行参数。

3 主要技术指标

涡轮制冷粉碎技术于 1996 年年初完成中试，并被北京市科委列入 1996 年度北京市重大科技成果推广计划，目前已开始在中原、东北地区推广应用。其主要技术指标和特征为：

①以年产精细胶粉 1 500 t 为基本单元，可承建年产上数万吨的成套设备。

②对 A 级胎面胶一次性粉碎，胶粉细度高于 60 目的达 75% 以上，而且在这 75% 的胶粉中有 90% 胶粉的细度高于 80 目。

③粉碎 A 级胎面胶，制冷、低温粉碎设备生产每吨精细胶粉耗电量不超过 270 度。仅就粉碎机的产量与功耗比较来看，涡轮制冷粉碎技术的产耗比达到 $7 \text{ kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ ，而日本细川·密克朗公司的设备为 $4.5 \text{ kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ ；国内常温粉碎机仅为 $2.8 \text{ kg} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ 。

④整套设备结构紧凑，以年产精细胶粉 1 500 t 计算，制冷及低温粉碎部分（不包括气源净化系统）仅占地 30 m^2 。

⑤流程自动化程度高,运行可靠,操作简便,除供料和包装需部分人力外,其余全部实现自动化生产。

4 结语

与采用液氮的深冷粉碎和常温粉碎比较,涡轮制冷粉碎技术吸取了产量大、细度小的优点,屏弃了能耗高、难以连续生产等缺点,成功地将空气涡轮制冷应用于橡胶的低温粉碎技

术,走出了一条适合我国国情的、切实可行的生产精细胶粉的新路。

参考文献

- 1 张炳词,程 源. 胶粉的制造方法. 橡胶工业 1993, 40(9): 571~573
- 2 夏永祥. 低温粉碎技术. 化工装备技术, 1993, 14(6): 30
- 3 尾花英朗. 热交换器设计手册(下册). 徐中权译. 北京: 烱加工出版社, 1987. 825~841, 863~903

收稿日期 1998-07-19

1999 年橡胶需求增长价格变化不大

专家认为,经过连续 2 年的持续下跌,目前我国橡胶市场价格已到了较低的位置。今后国内橡胶消费将会出现一定幅度的增长,初步预计,1999 年橡胶需求增长速度将达到 6% 以上。虽然,今后橡胶消费会有所好转,但消费需求的增长较为平稳。原因有以下 3 点:

首先,国家仍将继续采取“适度从紧”的方针。目前及今后金融松动和加大投资的力度仍然属于适时、适度微调的范围,这就决定了所出台的各种措施不可能过分刺激需求。其次,从启动需求方面分析,国家刺激经济增长,主要是增加基础设施、普通住宅和加快企业技术改造方面的投入,使市场对螺纹钢、水泥等建筑用材及部分机电设备需求大幅增加。此外,由于企业和机关深化改革压缩集团购买力以及减人增效,消费资金增长缓慢,自然会影响到轮胎生产。第三,出口是我国轮胎消费的一个重要方面。1998 年上半年,虽然轮胎出口继续保持较高的增幅,但由于全球汽车工业不景气,特别是日本、韩国汽车产量下降,对轮胎需求减少,预计轮胎出口的后劲不足,难以维持高速增长的局面。轮胎需求增长速度放慢,自然会影响对橡胶原料的需求。

近两年因对橡胶需求不足,胶价偏低,部分产能受到抑制。1997 年新增资源量一改过去大幅增长局面,比上年下降 0.4%,1998 年上半年又比上年同期下降 2.1%,其中合成橡胶产量下降 6.9%。这说明,国内产能还有较大的增长潜力。随着今后市场需求逐步回升,这部分受到抑制的生产能力将会不断释放,新增资源随需求启动而增加,市场供应继续保持较为

充裕的局面。此外,由于橡胶市场连续几年供大于求,使得社会库存不断增长。

从国际市场来看,由于 1997 年东南亚等主要产胶国货币的大幅贬值,使以美元为计量单位的胶价急剧下跌,但以天然橡胶生产国货币计算的胶价并没有发生大的变化,橡胶生产厂商的销售收入亦未减少,因此生产积极性没有受到多大的影响。只要今后不出现大的自然灾害,天然橡胶产量仍会稳定增长。同时,为了获得经济效益,上述国家商品出口的压力极大,这也使得我国面临巨大的进口压力。

总之,今后国内橡胶资源供给充裕,国内橡胶市场仍为买方市场,不会因需求启动而发生根本性变化。

经过持续数年的价格下滑,目前橡胶价格已接近谷底,若不出现意外情况,今后价格进一步下跌的空间不大,价格将逐步止跌趋稳。但受下述因素制约,1999 年价格亦难以大幅上扬:一是市场仍为买方市场。尽管今后国内需求会出现一定增长,但随着前期闲置生产能力(合成橡胶装置)逐步恢复,仍可保证资源供给。预计,目前较为严重的市场疲软局面今后肯定会有所转变,但以买方为主的市场格局将长期存在,这就从根本上抑制了价格上涨。二是东南亚国家货币的大幅贬值,使进口成本下降。由于我国橡胶产量不足以满足市场需求,有相当一部分需求依赖进口,因此国际市场的价格波动对国内市场影响较大。一方面由于国际橡胶市场供大于求,价格大幅上升的动力不足;另一方面,东南亚国家货币贬值以后,进口货成本下降,这自然削弱了国内橡胶价格反弹的力度。

(摘自《中国化工报》,1998-10-06)