

DOI:10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2024.05.036

# 自动包布 V 带硫化装置的设计与节能研究

宋丽荣,张卫锋,咸静,徐国庆,王蕾

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

**摘 要:**针对现有包布 V 带硫化装置的不足,开发一种新型包布 V 带硫化装置,将硫化的不同工序均布设置在可旋转的圆盘底座上,可实现套模、硫化、冷却与脱模自动循环且同步完成。通过对比分析本硫化装置与传统硫化罐蒸汽消耗量,得出本硫化装置硫化一罐包布 V 带可节省 75% 的能量。通过红外测温仪测量硫化罐体的温度分布,自动硫化的连续性降低了硫化罐温度的下降幅度,硫化开始 20 s 后即可达到未开盖时的温度场,进一步验证了本装置的节能效果。

**关键词:**包布 V 带;硫化装置;节能;温度场

**中图分类号:**TQ330.4<sup>+</sup>7 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)05-0171-04

## Design and Energy Saving Research of Automatic Coated V-belt Vulcanizing Device

SONG Lirong, ZHANG Weifeng, XIAN Jing, XU Guoqing, WANG Lei

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** A new type of V-belt vulcanizing device is developed to overcome the shortcomings of the existing V-belt vulcanizing device. The different processes of vulcanizing are uniformly set on the rotating disc base to complete the automatic cycle of nesting, vulcanizing, cooling and demoulding simultaneously. Comparison and analysis are made on the steam consumptions of both new vulcanizing device and traditional vulcanizing tank, which concludes that the vulcanizing device can save 75% energy by vulcanizing a cloth-wrapped V-belt canister. By measuring the temperature distribution of vulcanized tank with infrared thermometer, the continuous automatic vulcanization reduces the temperature drop range of vulcanized tank, and the temperature field without open lid can be reached 20 seconds after the beginning of vulcanization, which further verifies the energy-saving effect of the new device.

**Keywords:** cloth-wrapped V-belt; vulcanization device; energy saving; temperature field

## 0 引言

带传动是三大机械传动形式之一<sup>[1]</sup>。包布 V 带在带传动中有着广泛的应用,主要用来传递动力和运动<sup>[2]</sup>。硫化工序是能量消耗的主要过程。随着工业水平的提高,对生产设备的自动化程度、生产效率和节能环保等提出了更高的要求<sup>[3]</sup>。

目前,我国传动带生产厂家规模较大的有 50 家左右,具有一定规模的约 100 家,有带产品的则超过 1 000 家。大多数厂家采用传统的硫化罐硫化方式。舜江机械改进的平底平盖增高型硫化罐较传统的硫化罐实现了一定的节能效果<sup>[4]</sup>,但自动化程度不高。传统硫化模具设计成环形,硫化时外表面套上硫化胶套<sup>[5-6]</sup>。自动化程度低,不利于自动化程度的提高以及节能的经济性发展。

本硫化装置具有更高的自动化水平,能够连续循环地完成整个硫化过程<sup>[7]</sup>。采用立式胶套硫

化罐以及新型模具,硫化罐采用即开即合的开罐方式,减少蒸汽的消耗;引进机械手代替传统的人工脱模,旋转底座的应用提高了自动化程度以及硫化的连续性,达到更好的节能效果。

## 1 工位分配与结构设计

### 1.1 工位分配

完整的硫化包括套模、硫化、冷却与脱模。根据传统硫化工序过程,将 4 个工序分别设置在 4 个工位上,硫化工位与冷却工位独立完成冷却工序,脱模工位与套模工位配合完成脱模与套模。

### 1.2 硫化装置的结构

图 1 为新型硫化装置的结构示意图,主要由旋转底座与 4 个工位组成。硫化工位由立式胶套硫化罐以及控制开合的气缸组成,冷却工位由冷却筒替代硫化罐,脱模与套模工位引入脱模机械手。

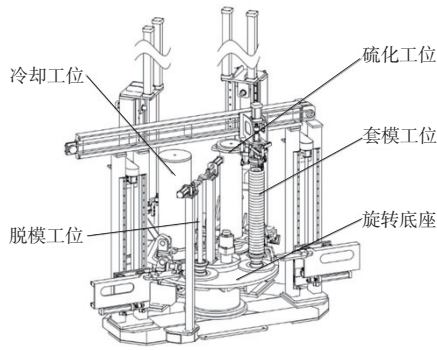


图1 硫化装置结构示意图

### 1.3 硫化装置工作原理

硫化装置运行过程中有3组模具组件处于工作中,分别是硫化组、冷却组与脱模组,每组60个。生包布V带在套模工位完成一组套模后,硫化罐向上打开,旋转底座带动模具组件旋转到硫化工位,硫化罐下降,进入硫化过程;硫化完成后,硫化罐向上打开,模具组件旋转到冷却工位,同时下一组模具组件也旋转到硫化工位,两组模具组件分别同时进行硫化或冷却;冷却完成后的模具组件旋转到脱模工位,由脱模机械手完成脱模,并将模具放在套模工位,包布V带放在指定位置。

## 2 节能分析

### 2.1 工艺节能分析

传统的硫化装置由硫化罐与冷却池组成,如图2所示。由工人将1组(40个)包布V带转运到硫化罐中进行硫化7min,硫化结束后取出模具组件并放置在冷却池中冷却10s,随后人工完成脱模与套模,此过程硫化罐一直处于打开状态,再次合盖时温度下降至80℃~90℃。



图2 传统硫化罐实物图

本硫化装置可在各工位连续同步进行,完成1组套模后,硫化7min也刚好结束,硫化罐向上开启,模具组件旋转进入硫化工位,随即硫化罐下降关闭,整个过程持续仅20s,硫化罐体温度下降

至130℃~140℃,比传统的硫化工艺连续性强且温度下降得少,再次达到硫化温度所需要的蒸汽量下降。

### 2.2 蒸汽节能分析

包布V带的制备过程主要包括混炼、成型、切割、包布与硫化。硫化是包布V带制备的最后一步,也是能量消耗最多的一步。硫化过程主要的能量消耗是蒸汽。通过硫化罐内空隙的计算并得出所需要的蒸汽质量,从而对比所消耗的能量来分析本硫化装置的节能效果。包布V带硫化时蒸汽温度需要达到180℃,此温度下蒸汽的密度为5.16 kg/m<sup>3</sup>,焓为2 777.1 kJ/kg。

#### 1) 传统硫化装置

传统的硫化装置每组硫化40个包布V带,单个模具的有效高度为15 mm,可得一组包布V带有效高度为

$$H_1 = a_1 h = 40 \times 15 = 600 \quad (1)$$

式中: $H_1$ 为模具组件的有效总高度,mm; $a_1$ 为模具的个数; $h$ 为单个模具的有效高度,mm。

模具组件的最大外径为 $d_1 = 158$  mm,内径为 $d_2 = 121$  mm,硫化胶套的厚度 $e = 6$  mm,可得模具组件的有效体积为

$$V_1 = \left[ \frac{\pi (d_1 + 2e)^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4} \right] H_1 = 6.72 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (2)$$

硫化罐的内径 $d_3 = 242$  mm,硫化罐的内腔高度 $H_2 = 620$  mm。即硫化罐内的体积为

$$V_2 = \frac{\pi d_3^2}{4} H_2 = 2.85 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \quad (3)$$

可得硫化罐内的空隙为

$$V_{11} = V_2 - V_1 = 2.18 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \quad (4)$$

硫化时所需要的蒸汽质量为

$$m_1 = \rho V_{11} = 5.16 \times 2.18 \times 10^{-2} = 0.112 \text{ kg} \quad (5)$$

需要的能量为

$$Q_1 = m_1 H = 0.112 \times 2 777.1 = 311.04 \text{ kJ} \quad (6)$$

#### 2) 新型硫化装置

新型硫化装置使用立式胶套硫化罐,模具组件主要包括模具和升降套,每组为60个包布V带,升降套的高度为40 mm,模具组件的总高为

$$H_3 = a_2 h + h_1 = 60 \times 15 + 40 = 940 \text{ mm} \quad (7)$$

式中 $h_1$ 为升降套的高度,mm。

模具的外径为158 mm,模具均匀开设8个孔,孔径 $d_4 = 16$  mm,模具体积为

$$V_3 = \left[ \frac{\pi d_1^2}{4} - \frac{\pi d_4^2}{4} \times 8 \right] H_3 = 1.69 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \quad (8)$$

硫化罐的内径  $d_5 = 173 \text{ mm}$ , 罐内有效高度  $H_4 = 950 \text{ mm}$ , 硫化罐内体积为

$$V_4 = \frac{\pi d_5^2}{4} H_4 = 2.23 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \quad (9)$$

可得新型硫化装置的空隙为

$$V_{12} = V_4 - V_3 = 5.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (10)$$

硫化时所需要的蒸汽质量为

$$m_2 = \rho V_{12} = 5.16 \times 5.4 \times 10^{-3} = 0.028 \text{ kg} \quad (11)$$

需要的能量为

$$Q_2 = m_2 H = 0.028 \times 2777.1 = 77.76 \text{ kJ} \quad (12)$$

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% = 75\% \quad (13)$$

本文设计的新型硫化装置相较于传统硫化装置的优势如下:

- 1) 旋转底座使套模、硫化、冷却与脱模自动连续完成,降低了工人的劳动强度与成本;
- 2) 改变了硫化罐开罐方式,开盖到合盖仅持续了 20 s,减少了硫化罐温度的下降幅度;
- 3) 脱模机械手的脱模与人工套模过程同步进行,提高了工作效率,减少了工人的工作量;
- 4) 本硫化装置硫化 1 组包布 V 带节省了 233 kJ 的能量,较传统硫化装置的能量消耗减少了 75%。

### 3 硫化罐及模具组件的温度场研究

为了验证此工艺是否可以减少硫化罐温度的下降幅度,并能在短时间内回温,采用 FLIR A320 红外测温装置对硫化罐进行测温,如图 3 所示。此设备能够连续记录环境温度场,并生成温度影像。



图 3 测温示意图

为验证硫化罐的温度变化情况,将硫化罐从开启到下一次开启划分为一个连续的硫化过程。运用红外测温设备连续记录 3 个硫化过程,对比分析相同时间段温度云图是基本吻合的。所以选取一次硫化区间对温度场变化进行分析<sup>[8]</sup>。截取硫化过程中的主要温度变化节点来验证本装置硫化罐的节能效果。

硫化结束后,硫化罐向上打开,硫化完成的模

具组件如图 4(a) 所示。此时的模具组件温度为  $130^\circ\text{C} \sim 140^\circ\text{C}$ , 相对于硫化时的  $180^\circ\text{C}$  有所下降。在硫化的最后 1 min 时硫化罐的锁扣装置打开,硫化罐处于不完全封闭状态,硫化罐内的温度下降。当硫化罐打开时,模具组件的温度下降至图 4(b) 所示。温度在  $30^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ , 是整个硫化过程的温度最低点。

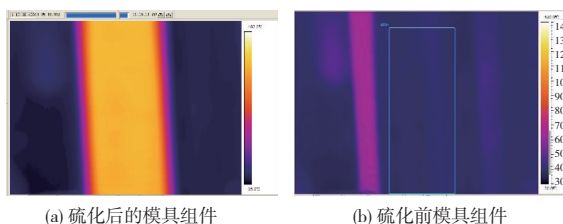


图 4 模具温度云图

一组新的模具组件转入硫化工位,硫化罐下降关闭,即正式进入硫化。图 5 所示为硫化起始点硫化罐的温度场,将图中白色的区域简称为高温场,此区域的温度是整个硫化罐的最高温度。此状态下的高温场范围较小。

正式开始硫化后,随着高温蒸汽的持续通入,高温场的范围不断扩大,蒸汽从硫化罐的上方通入,高温范围慢慢变大了,是一个积累的过程。图 6 与图 7 所示为硫化 5 min 内的温度场变化情况。

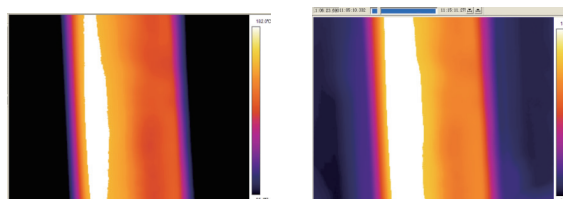


图 5 硫化起始时刻温度云图 图 6 硫化 20 s 温度云图

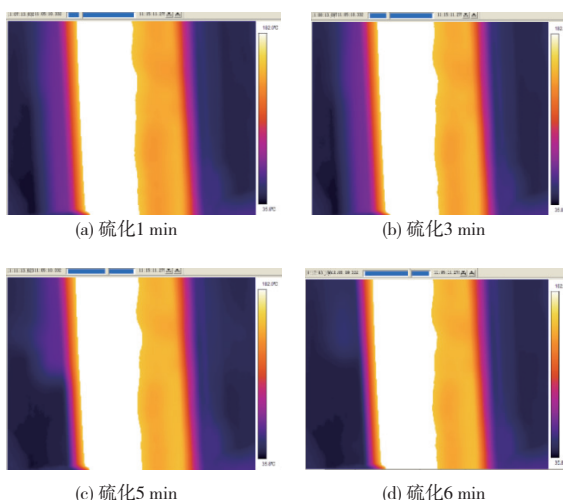


图 7 硫化过程温度云图

硫化 6 min 后硫化罐的锁扣装置打开,硫化罐内的温度开始下降,高温场的范围缩小。硫化 7 min 时也就是开罐前的温度场如图 8 所示。

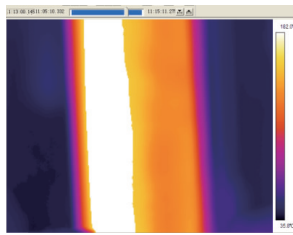


图 8 硫化 7 min 温度云图

通过对整个硫化过程温度场分析可以得出:

1) 硫化 20 s 与开罐前的高温场范围非常接近;通入 20 s 的蒸汽就可以将开罐造成的温度损失补回来;

2) 本硫化装置的开罐与合罐连续进行,硫化罐与外界接触时间短,温度下降少,温度回升所需要的时间短,温度提升所需要的蒸汽量减少,有利于节能。

#### 4 结语

本文所述的自动包布 V 带硫化装置实现了套模、硫化、冷却与脱模过程自动连续进行,立式胶套硫化罐与连续硫化过程的配合,节省了 75% 的能量。硫化罐从开启到关闭仅用 20 s,大大减

少了罐内温度的下降幅度。红外测温仪的验证表明:硫化开始 20 s 后就能将温度补偿到未开罐时的状态,温度提升快,更好地节省了蒸汽的消耗,有利于节能。

#### 参考文献:

- [1] 秦书安. 带传动技术现状和发展前景[J]. 机械传动, 2002,26(4):1-2,6.
- [2] 秦书安,周鹏,周玉杰,等. 带传动行业发展状况综述[J]. 机械传动,2020,44(8):1-7.
- [3] 谢忠麟. 关于我国橡胶工业环保和节能问题的思考(三)[J]. 世界橡胶工业,2007,34(4):44-50.
- [4] 杨建强,张继先. 平底平盖增高型硫化罐[J]. 橡胶工业,2013,60(8):497-498.
- [5] 杨成仁,付振海,刘涛,等. DLB-Q1400X2000X2 新型高效节能环形带硫化机的研制开发[J]. 橡塑技术与装备,2022,48(10):73-76.
- [6] 叶军,李晓林,何良. 节能型 V 带圆模硫化装置: CN106827329B[P]. 2018-01-19.
- [7] 孙竹,宋海峰. 橡胶电缆连续硫化生产线水汽平衡系统设计探讨[J]. 机械制造与自动化,2014,43(4):199-201.
- [8] 刘鸣宇,李军霞,张弘玉,等. 基于正交试验的胶带硫化机热板温度场研究[J]. 煤炭工程,2021,53(11):152-157.

收稿日期:2023-03-01

(上接第 158 页)

- [5] RUHNAU P, KOHLBERGER T, SCHNÖRR C, et al. Variational optical flow estimation for particle image velocimetry[J]. Experiments in Fluids, 2005, 38(1): 21-32.
- [6] BROX T, BRUHN A, PAPENBERG N, et al. High accuracy optical flow estimation based on a theory for warping[M]//Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004: 25-36.
- [7] WEDEL A, POCK T, ZACH C, et al. An improved algorithm for TV-L1 optical flow[M]//Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009:23-45.

- [8] CORPETTI T, MEMIN E, PEREZ P. Dense estimation of fluid flows[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(3): 365-380.
- [9] 蔡声泽. 基于光流计算的复杂流动可视化测速算法研究[D]. 杭州:浙江大学, 2019.
- [10] SUN D Q, ROTH S, BLACK M J. A quantitative analysis of current practices in optical flow estimation and the principles behind them[J]. International Journal of Computer Vision, 2014, 106(2): 115-137.
- [11] CARLIER J. Second set of fluid mechanics image sequences—fluid image analysis and description[R]. Germany: University of Meannheim, 2006.

收稿日期:2023-03-03