

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.06.007

# 一步法门窗密封条生产线的研究

张子一, 潘海鹏\*, 夏永明

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 针对传统的门窗密封条生产工艺孤立生产、自动化程度低、废品率比较高的问题,研究了一步法门窗密封条生产线。首先,介绍了一步法门窗密封条生产线上的工艺要求;其次,利用Pro/E三维机械制图和AutoCAD制图软件,设计了一步法门窗密封条生产线上各个机械机构,并说明了一步法设计中的机械原理要求;最后,利用PLC控制流程和变频器对电机控制的主从控制功能,实现了各个环节的合理运行,降低了误差,提高了生产精度。研究表明:一步法门窗密封条生产线自动化程度高、废品率较低,大大降低了门窗密封条生产的成本。

**关键词:** 一步法; 门窗密封条; 生产线; 电机主从控制

**中图分类号:** TH69; TH39      **文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2013)06-0673-05

## Production line of one-step doors and windows sealing strip

ZHANG Zi-yi, PAN Hai-peng, XIA Yong-ming

(School of Mechanical and Automatic Control, Zhejiang Sec-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at solving the problems of traditional production process of doors and windows sealing strip isolated production, low degree of automation, high rejection rate, a production line of doors and windows sealing strip was researched called one-step. Firstly, process requirements of "one-step" doors and windows sealing strip production line was introduced. Secondly, Pro/E and AutoCAD mechanical drawing software was used, mechanical drawing of the "one-step" production line was designed, the mechanical principle of the "one-step" about designing requirements was indicated. Finally, based on PLC and inverter's master-slave function, all aspects of the reasonable operation were controlled. The errors were reduced, and the accuracy of production was improved. The results indicate that high degree of automation, low rejection rate of the production line of one-step greatly reduced the cost of production of the doors and windows sealed.

**Key words:** one-step; doors and windows sealing strip; production line; electrical master-slave control

## 0 引 言

门窗密封条主要应用于塑钢门窗、铝合金门窗、木门窗等建筑装饰门窗,主要作用为防尘、防虫、防水、隔音和密封等<sup>[1]</sup>。一般而言,透过房屋门窗的能耗量通常约为建筑总能耗的4.5%~5%<sup>[2]</sup>。因此,良好的密封性对门窗质量的影响很大。然而,传统密封条生产工艺采用孤立的生产过程,以劳动密集的形式生产,具体分为前道工序、后道工序和夹胶工序。前道工序是用织机把纱线纺织在薄纱上;后道工序是通过

加热法把聚氯乙烯颗粒熔化之后,挤压成底板,在底板快冷却之前把底板和纺好纱线的薄纱粘结在一起,再分切为单个无胶片密封条;夹胶工序是利用超声波焊接把胶片和密封条焊接在一起。每个工序孤立运行,生产效率较低,各孤立生产过程链接需要非常严格的管理;每个工序都会产生较多的废料,使生产成本上升;传统工艺生产中自动化程度较低,需要大量人工来操作、配送和整理,导致生产中的人工成本较高;采用热粘结技术,生产过程中存在污染,所产生的废气对工人身体健康影响较大。

**收稿日期:** 2012-12-17

**作者简介:** 张子一(1987-),男,河南商丘人,主要从事电气控制与机械设计方面的研究. E-mail:519360415@qq.com

**通信联系人:** 潘海鹏,男,教授,硕士生导师. E-mail:pan@zstu.edu.cn

所谓的“一步法”即整合了传统生产中各种孤立的生产工艺过程,利用一条生产线便可生产出门窗密封条。与国内传统生产工艺相比,不用孤立生产,自动化程度高,大大提高了生产效率;采用超声波焊接法,比热粘法操作简单;生产中产生的废料少。国外的门窗密封条已经基本实现了一步法生产,并且已经申请了大量专利<sup>[3]</sup>,其中以美国的生产最为先进。可是由于外国公司的技术保密,国内一直不能引进一步法门窗密封条生产线的技术,并且也没有相关的机械设备来供应市场,所以国内的门窗密封条生产企业几乎没有一步法门窗密封条生产线。

为了改变国内对于门窗密封条生产技术落后的现状,笔者研究一步法门窗密封条生产中的工艺原理,并且以复杂的机械设计模型为基础,然后利用PLC、变频器加以自动化控制,研究设计一步法门窗密封条生产线。首先,研究一步法生产中的超声波焊接工艺和背条即密封条底板工艺;其次,介绍一步法门窗密封条生产线的机械原理<sup>[4]</sup>,采用Pro/E和AutoCAD绘制出机械机构图纸;最后,采用PLC、变频器来控制整条生产线的自动化流程,利用变频器对电机的主从控制实现几个部分的有机结合,减少生产过程中的误差,向生产线上加入各种检测装置以及工业触摸屏,提高生产效率。

## 1 密封条生产线工艺原理

### 1.1 超声波焊接工艺

将塑料制品有机结合在一起时,研究者一般采用热粘法和超声波焊接法。热粘法采用电阻加热方法,将塑料加热,达到两者的熔点后,两者相互熔化从而焊接在一起。超声波塑料焊接的原理<sup>[5]</sup>是:当超声波作用于热塑性的塑料接触面时,会产生每秒几万次的高频振动,通过超声波焊接头把超声波能量传送到焊件,由于焊件交界面处的声阻大,会产生局部高温,且塑料导热性差,不能及时散热,导致两个塑料的接触面迅速熔化,加上一定压力后,使其结合成一体。

本研究采用超声波焊接方法。超声波焊接方法能短时间释放较大的焊接功率,焊接效率高且环保。焊头的振幅、所加压力及焊接时间等因素决定超声波焊接效果的好坏。焊接时间和焊头压力是可以调节的,振幅由超声波焊接功率决定。这3个量之间可以相互匹配,压力超过匹配值时,塑料的熔解量就大,焊接物易变形;压力小,则不易焊牢;所加压力的时间也应适中。

### 1.2 门窗密封条底板

传统工艺采用热粘法结合密封条底板和纱

线。首先,本研究把纱线纺织在很薄的纱布上;其次,熔化聚氯乙烯颗粒,利用压轮挤压出快要冷却的聚氯乙烯,形成密封条底板;最后,将纱布和聚氯乙烯底板熔化在一起,形成无胶片密封条。虽然,热粘法能结合背条和纱线,但需要熔化聚氯乙烯颗粒,耗电量大,操作麻烦,生产出的密封条底板较硬。当加入胶片时,需要增加夹胶工序。

针对传统工艺结合纱线、胶片和底板的不足,本研究利用生产好的背条,采用超声波焊接法使三者一次性地结合在一起。根据超声波焊接的原理,焊区接触面积越小,能量越集中作用,越容易焊接。所以,笔者把纱线和胶片缠绕在钢带之上,以缩小接触面积。但是,背条的宽度决定了焊接纱线的厚度,实际情况下不需要焊接太多的纱线,为了便于纱线厚度和背条相匹配,易于超声波焊接,本研究在背条上犁出一个很窄的条,称之为能量导航条。根据犁槽的深度和犁槽工艺的不同,犁出一定宽度的能量导航条和一定高度侧翼的背条,与需要焊接纱线的厚度相匹配。背条的宽度要求一般为6.8 mm,所以能犁出很多种类的背条,能量导航条宽为0.7 mm、槽宽为2.0 mm类型的背条如图1所示。

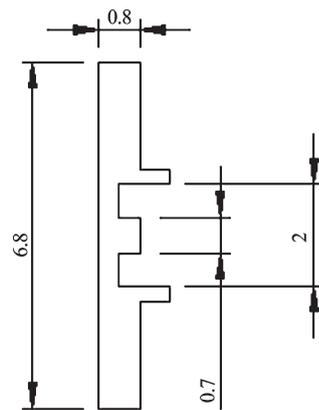


图1 0.7~2.0型背条示意图

(能量导航条宽0.7 mm,槽宽2.0 mm,图中数值单位:mm)

犁槽之后的能量导航条两边有两个侧翼,超声波焊接时侧翼受热熔化,向中间靠拢,与纱线结合在一起,有助于提升背条和纱线焊接的牢固性。

超声波焊接时,本研究把纱线、胶片缠绕在钢带之上,以缩小胶片与背条焊接处的面积,集中超声波能量,提高焊接效果。超声波焊接的简化模型如图2所示。

图2中,纱线和胶片缠绕在钢带上,背条放在超声波焊接头和钢带之间。如果焊接的牢固性达到要求,就要将钢带对准背条上的能量导航条,这需要精确地定位。如果定位不准,就导致纱线和胶片焊接不牢,出现胶片脱落的情况。

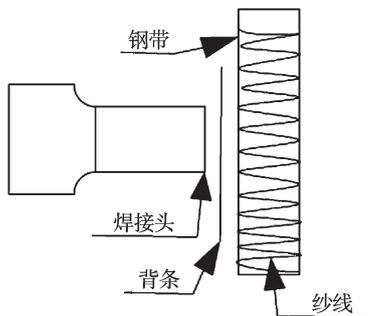


图2 超声波焊接简化模型

## 2 密封条生产线机械部分设计

一步法门窗密封条生产线整合了传统生产中孤立的生产工艺过程,利用一条生产线便可生产出密封条。一步法密封条生产线的机械部分主要包括钢带运转的钢带传输机构、纱线缠绕在钢带上的纱线卷绕机构、用于分切焊接之后密封条的分切机构和用于把分切好的密封条牵引出去的密封条拖拽机构。

### 2.1 钢带传输机构

钢带传输机构是利用驱动电机拖动两个传动轮,钢带套在传动轮之上,随传动轮一起转动。笔者在传动轮两边设计弹簧装置,当钢带拉长时,弹簧向外收缩,使钢带一直处于绷直状态。钢带传输机构简图如图3所示。

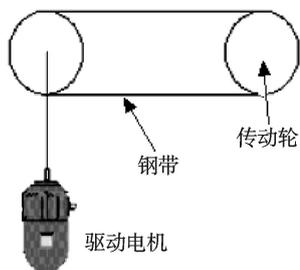


图3 钢带传输机构简图

驱动电机选用电压380 V、额定功率3 kW、经减速箱后减速值为13.6 r/min。变频器对电机的调速公式如下:

$$L = \frac{f}{f_0} \times 2\pi r \times i \quad (1)$$

式中:  $f$ —转轮半径,  $i$ —减速值。

已知  $f_0$  为50 Hz,根据变频器参数调节电机频率  $f$  的值,调节钢带运转的速度。

### 2.2 纱线卷绕机构设计

纱线卷绕机构是把纱线缠绕到钢带上,采用的方案如图4所示。卷绕机构上安装12个纱线筒,线筒的纱线通过绕线筒旋转缠绕在钢带上。绕线驱动电机带动驱动同步轮,驱动整个绕线机构旋转,钢带向前运行的同时,把纱线缠绕在钢带上。研究者利用变频

器主从控制原理<sup>[6]</sup>,使绕线筒旋转速度和钢带运行速度保持一定比例,提高绕线均匀程度。本研究把钢带驱动电机设置为主动电机,把绕线的驱动电机设置为从动1电机。

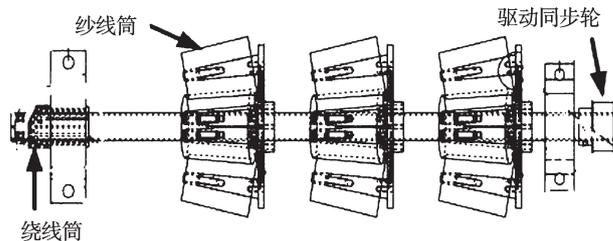


图4 卷绕部分结构

缠绕纱线筒的个数和钢带运行的速度决定了纱线的厚度以及绕线的均匀程度。缠绕纱线筒个数越多,钢带上缠绕的纱线越厚;本研究通过绕线机构驱动电机和钢带驱动电机的主从关系,调节合适的速度匹配,缠绕在钢带上的纱线就会均匀。通过这两个方面的调节,既能保证纱线的厚度,又能保证缠绕的均匀程度,提高绕线的质量,便于超声波焊接。

### 2.3 密封条分切机构

在超声波焊接完成之后,研究者需要分切缠绕在钢带上的纱线和胶片。由于分切的纱线和胶片紧紧包裹在钢带之上,就为分切增加了难度。

本研究采用快速旋转的刀片和分毛刀相配合的方法把胶片和纱线分切开。首先,笔者利用分毛刀铲起缠绕在钢带上的胶片和纱线;然后,利用高速旋转的刀片分切开胶片和纱线。分毛刀的形状如图5所示。

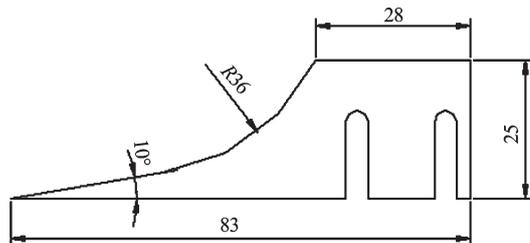


图5 分毛刀图示

分毛刀尖部的宽度和厚度都要适中。如果太宽太厚,导致纱线和胶片拉伸变形,分切的效果很差;如果太窄太薄,刀尖容易断掉。所以,需要在加工分毛刀时进行淬火,提高分毛刀的机械性能。

分切机构简图如图6所示。

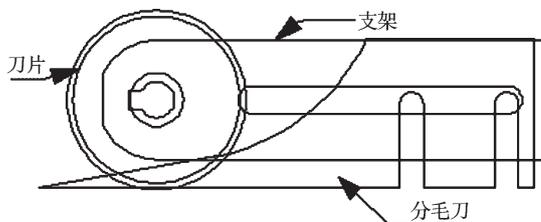


图6 分切示意图

### 2.4 密封条拖拽机构

本研究设计密封条拖拽机构,将分切为两根的密封条拖拽牵引入筐中,以备打卷和包装。首先,通过导向轮将分切后的密封条导入驱动轴上;然后,利用气缸下压夹紧密封条,随驱动轴转动向前拖动。

密封条拖拽和钢带传输需要进行速度匹配。在密封条拖拽时,拖拽驱动电机的转速太快时容易使毛条变形;转速太慢,则导致其缠绕到钢带轮上。所以,本研究根据钢带转速和拖拽的速度,计算出两者的速度匹配值。拖拽驱动电机在电气控制柜中设置为从动2电机,拖拽机构如图7所示。

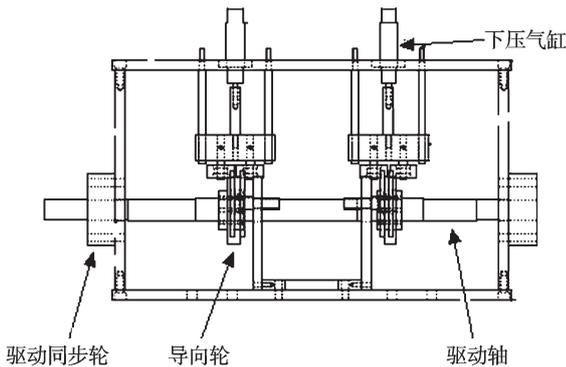


图7 拖拽机构示意图

## 3 密封条生产线自动控制部分设计

主从控制<sup>[7]</sup>,就是使用变频器控制一个或一组负载,负载之间通过刚性或柔性耦合,外部只调节其中一个变频器,其他的变频器跟随主机的动作,通过使用主从控制可以使负载均匀地分配到各传动单元。该设计在生产流程的自动控制时采用台达DVP-32ES200R型号PLC<sup>[8]</sup>和ABB ACS800<sup>[9-10]</sup>变频器进行主从控制。本研究设置钢带传输机构驱动电机为系统的主电机,绕线机构驱动电机为从动1电机,拖拽机构驱动电机为从动2电机,分别用3个变频器控制,主电路示意图如图8所示。

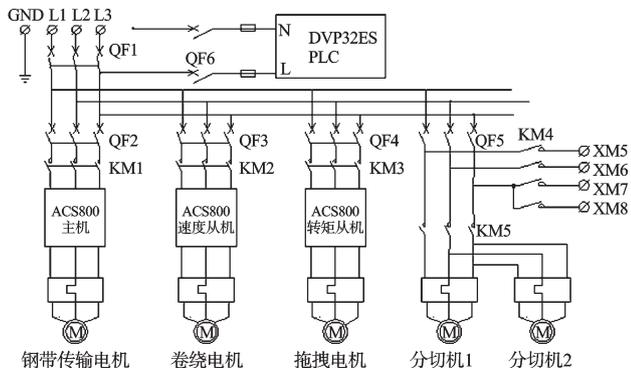


图8 主电路示意图

PLC控制量主要为3个变频器控制主从驱动电机、超声波焊接机开关、空气压缩机压力控制开关、分

切电源、报警信号。本研究根据变频器的主从控制原理,调节变频器的参数,使绕线机构、钢带传输机构和拖拽机构以最优的方式运行。然后利用PLC编制程序,控制整个生产线的运行流程。

控制柜中还需要加入一些提升一步法门窗密封条生产线性能的器件,主要包括几个方面:

(1) 检测进料处胶片和背条的有无。密封条分为有胶片型和无胶片型,当不需要加入胶片时就不用检测胶片的有无;所以,需设计一个在不需要加入胶片时关闭胶片检测的控制开关。

(2) 检测纱线筒上纱线的有无和绕线时纱线是否断掉。纱线是在卷绕系统高速旋转下缠绕,需要检测纱线是否断掉。高速旋转的情况下进行检测十分困难。

(3) 加入计数报警装置。密封条分切拖拽之后,需要在生产了规定长度时进行报警,便于打卷和包装。

(4) 加入生产线故障报警装置。当生产线不能正常运行时,报警提示检修。

PLC的I/O点的分配如图9所示。

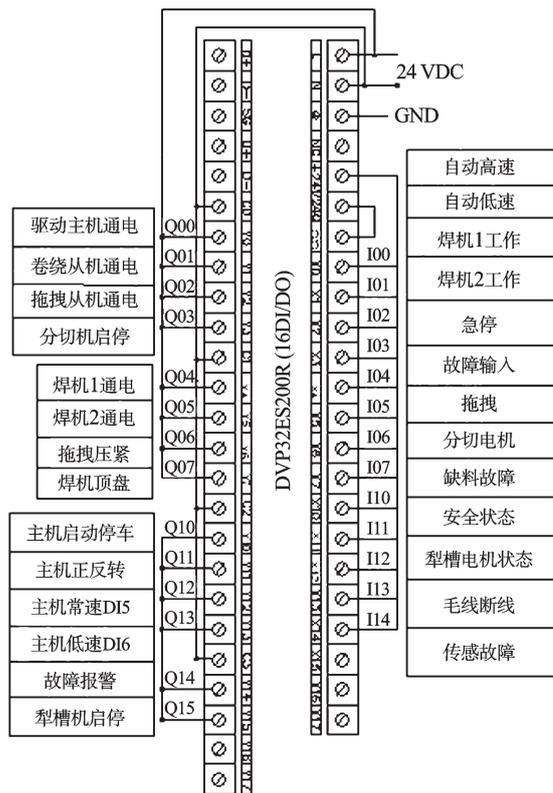


图9 I/O分配图

## 4 结束语

针对传统门窗密封条生产上的弊端,笔者研究了一步法门窗密封条生产线。主要包括超声波焊接工艺、背条工艺、各个部分的机械设计原理和自动控制流程。

(1) 具体研究了一步法超声波焊接工艺和背条工艺。研究表明超声波焊接比热粘合法节能、环保、操作简单;如果背条能犁出能量导航条和侧翼,那么焊接背条、纱线和胶片时更牢固。

(2) 利用Pro/E三维制图软件和AutoCAD软件设计了钢带传输机构、纱线卷绕机构、密封条分切机构和密封条拖拽机构,为国内门窗密封条生产企业研制一步法门窗密封条生产线提供参考。

(3) 利用ABB ACS800变频器的主从控制功能和台达DVP32ES200R PLC实现了生产线的自动控制。根据变频器主从控制的原理,设置钢带传输电机为主动电机,绕线机构驱动电机为从动1电机,密封条拖拽机构驱动电机为从动2电机,设置合理的参数,使整个流程运转合理。本研究利用PLC,合理设置I/O分配,控制自动化流程。同时笔者研究了加入提升一步法门窗密封条生产线性能的器件,包括检测进料处背条和胶片的有无、检测纱线筒上纱线的有无和绕线时纱线是否断掉、加入计数报警装置、设计背条犁槽机、安装工业触摸屏等,为一步法门窗密封条生产线的合理生产提供了理论指导。

## 参考文献(References):

- [1] SECREST T J, FREEMAN S L, POPELKA A. Kyiv institutional building sector energy efficiency program: technical assessment [M]. PNNL, 1997.
- [2] 许金渤,李梅,李荣蓉. 门窗节能的途径与节能发展的趋势[J]. 科技信息, 2011(12): I0183.
- [3] KAPHO J, HENRY J, PRIVETTE R W. Pile Weatherstripping Manufacturing Apparatus and Method: US, 94119555 B2[P]. 2008-09-02.
- [4] 王新华. 机械设计基础[M]. 北京:化学工业出版社, 2010.
- [5] 关长石,费玉石. 超声波焊接原理与实践[J]. 机械设计与制造, 2004(6): 104-105.
- [6] 王胜红,孙宇,张晓阳. 变频调速同步控制[J]. 电气传动, 2006, 36(1): 32-34.
- [7] 刘彦鹏,陈茂华. 基于PLC和变频器控制的毛条生产[J]. 电气自动化, 2006, 28(4): 25-28.
- [8] 张希川. 台达ES/EX/SS系列PLC应用技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2009.
- [9] 姚福来. 变频器、PLC及组态软件实用技术速成教程[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.
- [10] 肖俊,郑一方. ACS 800变频器在起重机上的应用[J]. 自动化工程, 2008(2): 55-56.

[编辑:张翔]

(上接第658页)

元仿真方法和试验方法的对比结果表明,数值单元仿真方法能正确显示不同中冷器结构的阻力与换热能力的差异。数值单元仿真方法可对散热带、紊流片结构匹配方案进行有效地比较和选型,能够节约时间和成本,对中冷器的设计与生产具有重要的工程价值。在备选的各翅片结构组合方案中,锯齿型紊流片与直角波纹型散热带是较优的翅片结构,该组合具有最佳的换热效果。翅片的高度和峰距对换热性能有重要影响。适当降低热侧通道的高度,增加散热带或紊流片的数目,减小翅片的波距和节距,有助于提高热侧通道的换热效果。

## 参考文献(References):

- [1] 曾纬,苏石川,周怀南,等. 遗传算法在中冷器优化设计中的应用[J]. 江苏科技大学学报:自然科学版, 2006, 20(6): 75-78.
- [2] 苏石川,曾纬,周怀南. 基于遗传算法的车用空-空中冷器设计研究[J]. 车用发动机, 2006(5): 41-44.
- [3] 何雅玲,唐连伟,高健,等. 一种新型车用柴油机中冷器的热力计算方法及分析[J]. 内燃机学报, 2005, 23(5): 447-450.
- [4] 沈凯,徐锦华,朱黎明,等. 发动机冷却模块安装参数对气动性能的影响[J]. 内燃机工程, 2013(1): 27-32.
- [5] 孙赫. 交变曲面管中冷器传热性能的试验测试与数值研究[D]. 华东理工大学机械与动力工程学院, 2012.

- [6] 张正一,郑群. 一种新型中冷器性能的试验研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2004, 25(4): 477-481.
- [7] 王玉端,齐放,俞小莉,等. 内燃机水空中冷器传热性能及阻力特性测试系统[J]. 内燃机工程, 2004, 25(4): 36-38.
- [8] 卿德藩. 压缩机中冷器椭圆肋管与圆肋管的传热及流动阻力性能比较试验研究[J]. 流体机械, 2002, 30(4): 8-10.
- [9] MICHNA G J, JACOBI A M, BURTON R L. An experimental study of the friction factor and mass transfer performance of an offset-strip fin array at very high reynolds numbers [J]. **Journal of Heat Transfer**, 2007, 129(9): 1134-1140.
- [10] SUGA K, AOKI H. Numerical study on heat transfer and pressure drop in multilouvered fins [J]. **Enhanced Heat Transfer**, 1995, 2(3): 231-238.
- [11] 张行周,王浚. 百叶窗式翅片汽车散热器特性仿真研究[J]. 汽车技术, 2005(1): 7-10.
- [12] 黄钰期,俞小莉,陆国栋. 锯齿型翅片单元流动传热数值模拟[J]. 浙江大学学报:工学版, 2008, 42(8): 1462-1468.
- [13] 过增元. 场协同原理与强化传热新技术[M]. 中国电力出版社, 2004.
- [14] OLIET C, OLIVA A, CASTRO J, et al. Parametric studies on automotive radiators [J]. **Applied Thermal Engineering**, 2007, 27(12): 2033-2043.

[编辑:张翔]