

[综述·专论]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.03.026

注塑机料筒加热节能技术

阎伟¹, 顾建华¹, 吴俊¹, 许文杰², 陆有安²

(1. 海天塑机集团有限公司, 浙江 宁波 315281; 2. 浙江科强智能控制系统有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要:料筒加热系统是注塑机上主要耗电系统之一,行业中推出的多种节能技术方案受利益格局的影响存在误导行业用户的现象。针对这一局面,从节能效果、使用可靠性、安装维护方便性及性价比等要素入手,对目前行业主推的电磁加热、红外加热、节能环3大料筒加热节能技术方案进行了应用、研究和比较,节能环技术方案具有简单有效、局限性少、故障率低、成本低等优点,是适合注塑机生产工况要求的最佳加热节能技术方案。

关键词:注塑机;料筒加热;节能技术;电磁加热;红外加热;节能环

中图分类号:TQ320.66

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)03-0100-05

Heating Energy Saving Technology of Injection Molding Machine Barrel

YAN Wei¹, GU Jianhua¹, WU Jun¹, XU Wenjie², LU Youan²

(1. Haitian Plastics Machinery Group Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315821, China;

2. Zhejiang Keqiang Intelligent Control System Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: The heating system of injection molding machine barrel is one of the main energy consumption. A variety of energy-saving technology is introduced which influenced by industries considering their own profit with the existence of misleading industry and user phenomenon. In view of this situation, from the effect of energy saving, reliability, convenient installation and maintenance and cost factors, compared with the electromagnetic heating, infrared heating, energy-saving ring, the three barrel heating energy-saving technical scheme was researched. The results show that the technology has the advantages of simple and effective energy-saving ring technology, less limitation, low failure rate and low cost, and it is the best heating energy saving technology scheme suitable for injection molding machine production conditions.

Key words: injection molding machine; barrel heating; energy saving technology; electromagnetic heating; infrared heating; energy-saving device

注塑机是“电老虎”,动力系统和料筒加热系统是耗电主要部分^[1-2]。前者将电能转化为机械能,推动模板开合、螺杆旋转、座台进退等机械部件运动;后者将电能转化为热能,产生200℃以上的高温熔化塑料原料。一台注塑机正常工况下生产,动力系统耗电约占总耗电量的60%~80%,料筒加热系统耗电约占40%~20%。以某公司生产的MA1600G型注塑机为例,动力系统配置功率为15 kW电机,实际消耗功率约5~10 kW;料筒系统配置功率为9.75 kW加热圈,实际消耗功率约2~7 kW。其中,实际消耗功率视塑料原料、模具、工艺要求等工况不同差别较大。目前,动力系统

通过采用“永磁同步伺服电机+伺服驱动器+液压泵”的动力配置方案,视不同工况节能率可达20%~80%,已经实现了较佳的节能效果。该动力系统节能技术方案成熟稳定,已经在行业中广泛使用^[3]。相比动力系统已经具备成熟的节能技术方案,料筒加热系统由于受高温、安装空间、工况复杂等因素影响,各种节能技术还处于鱼龙混杂的局面,至今尚无成熟、广泛认可的节能技术方案。行业中目前主要有电磁加热、红外加热、节能环为代表的3种加热节能方案^[4],由于各方案背后主导的企业受利益格局的影响,在推广宣传过程中难免有失客观公正、甚至误导用户,影响了业

收稿日期:2014-02-21;修回日期:2013-03-11

作者简介:阎伟(1974),男,山西河津人,高级工程师,主要研究方向为注射成型机电气控制系统。E-mail:kqcxq@vip.163.com

内用户对上述方案的认识,进而影响了料筒加热系统节能技术的推广应用。本课题组从节能效果、使用可靠性、安装维护方便性及性价比等要素入手,对目前行业中主推的电磁加热、红外加热、节能环三大料筒加热节能技术方案进行应用、研究和比较,寻找适合注塑机生产工况要求的最佳加热节能技术方案,以引导用户和行业。

1 典型料筒加热系统

业内典型注塑机的料筒加热系统采用电阻式加热圈覆盖料筒方案^[5-6],结构如图1所示。在此方案中,加热圈产生400℃以上的高温,主要以传导的方式通过内表面将热能传递给料筒。从结构示意图中不难发现,加热圈通过内表面向料筒传导热能的同时,加热圈外表面也会通过对流、辐射等形式加热空气,形成很大的能量损失,热效率仅为40%~60%^[7]。这部分散失到空气中的热能,不仅浪费能源,还提高了车间温度,增加车间降温带来的耗电,形成二次能源浪费;还由于表面高温,是注塑机车间火灾、工人烫伤的重要安全隐患之一。

从上述分析可以得出,料筒加热系统实现节能最主要的措施是降低加热圈对空气的加热效应,空气中散失的能量减少了即提高了能源利用率。

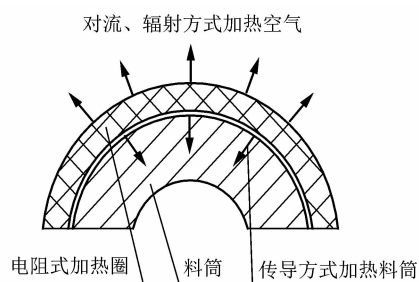


图1 典型注塑机的料筒加热系统结构及热能传递示意图

Figure 1 Structure of the heating system and heat transfer diagram of conventional injection molding machine barrel

2 电磁加热节能技术方案

该技术方案主要由电磁加热控制器、感应线圈2部分组成,料筒表面覆盖3cm左右厚的隔热保温材料,然后再绕制感应线圈,如图2所示。其工作过程为:电磁加热控制器先将50Hz交流电整流为直流电,再基于串联或并联谐振电路产生20~40kHz的高频交流电流,高频交流电流在感应线圈中流动产生交变磁场,当磁场内的磁力线穿过导磁性金属材料制成的

料筒,从而在料筒表面形成无数小涡流,该涡流使得料筒表面快速发热,从而实现电能到料筒热能的转化^[8-10]。

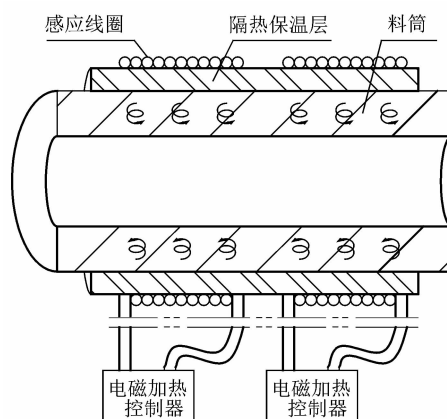


图2 电磁加热节能技术方案示意图

Figure 2 Schematic diagram of electromagnetic heating energy saving

该技术方案的节能主要通过二方面实现,一是在料筒表面形成涡流实现加热,即料筒自身直接发热,发热效率能够达到90%^[11],具有较高的电能到热能转换效率,并且相比加热圈方式减少了热能从加热圈到料筒的传导环节;二是料筒表面与线圈之间包裹了较厚的隔热保温材料,避免了高温料筒直接暴露在空气中,从而减少了对空气加热导致的能量损失。不难理解,前者更多起到快速加热升温的效果,而后者才是该技术方案节能最根本的原因。

选择上海某企业的电磁加热产品进行安装及实测,测得数据详见表1。表1中升温阶段指从室温升到220℃,表面平均温度以料筒表面间隔20cm为测温点,多点平均计算得到。测试中使用MA1600G型注塑机、PP料、蚊香盘模具。从测试数据、测试过程、结合节能原理及用户使用情况调查,有以下分析及相关结论。

1) 具有输出功率大、料筒直接发料特点,因此升温快速,可以减少一定的升温准备时间。另外,由于料筒表面与线圈之间包裹了较厚的隔热材料,避免了加热空气导致的能量损耗,因此具有较明显的节能效果。但是与红外加热、节能环方案比较,该方案本身存在一定的能量损耗(约几十瓦),包括电磁加热控制器的耗能,特别是该控制器内部的IGBT功率管有非常明显的发热,需要风扇来散热降温;另外感应线圈上流经高频大电流,线圈本身也会产生较大的发热从而损失能量(线圈表面测得较高温度,主要由线圈损耗发热引

表 1 加热节能技术方案测试数据

Table 1 Test data of heating energy saving technical scheme

测试项目	改装用时/ (h · 人数)	升温时间/ min	升温能耗/ kWh	表面平均 温度/℃	1 h 静态保温 加热能耗/kWh	24 h 连续生产 加热节电率/%	市场主流价格/ (元 · 套 ⁻¹)
电磁加热	6.0	22	2.1	75	0.58	27	4 000
红外加热	1.0	26	2.1	70	0.54	30	5 000
节能环	0.3	30	2.2	67	0.55	29	2 000
MA1600G 标准加热圈数据		35	2.7	223	1.16		

起),当线圈绕制匹配不佳、线缆内阻较大、引线过长时尤为明显。所以,该方案在中低功率的应用中节能效果略差。

2) 加热原理同电磁炉,但工作环境严酷很多、限制条件多很多,包括:注塑机通常 24 h 连续工作,工作时间长、可靠性要求高;加热通常以 10 s 为周期控温输出,因此需要频繁启停;某些工况下料筒会频繁进退,存在较大的运动冲击和振动;料筒比较长,需要多段温控,多段感应线圈之间存在相互耦合,影响工作稳定性;料筒与其它机械部件之间结构比较紧凑,并且随着座台进退相对位置会发生改变,尤其喷嘴部分,线圈绕制难度很大;车间环境温度较高等。这些不利因素都对该方案产品的工作可靠性带来严重挑战。根据课题组的观察,即便设计良好的电磁加热控制器产品,受线圈绕制等使用因素及上述现场客观不利条件的影响,工作可靠性也不尽如人意。

3) 安装麻烦、可维护性差。感应线圈通常只能一圈圈在现场绕制,需要专业人员携带专业仪器在现场完成,不仅费时费力(绕制测试样机时 2 人用了 3 个多小时),如果绕制不佳,还影响节能效果。某些工况下的机器(如使用腐蚀性原料、增加玻璃纤维辅料等),料筒半年左右就需要更换;另外料筒与感应线圈之间的隔热材料,长时间高温下会有一定的收缩变形,或者受机械震动影响,感应线圈使用一段时间后容易出现松动,影响电磁加热器谐振特性。也就是说感应线圈需要不定期重新绕制,对厂家而言是增加售后工作量,对用户而言是停机检修,影响设备使用率,也就是影响了生产效率。部分厂商也在尝试改进线圈工艺,如采用 C 型开口形式绕制线圈,以节省现场绕制时间,但是这类线圈影响输出功率、效率,并且容易导致涡流,发热部位不均匀进而引起料筒变形等问题,目前暂无较好的解决办法。

4) 存在一定的安全隐患和风险。主要有二方面,一是感应线圈上流经大电流(通常 10 A 以上),并且线圈两端存在近千伏高电压,如果线缆破损或者接插件接触不良之类,都可能引发严重后果;再是存在强磁

场,向外围辐射可能影响其它设备正常工作和人身健康。

综上评估,电磁加热节能技术方案应用于注塑机料筒加热虽然可以获得较好的节能效果,但局限性大,并不是最理想、可以全面推广的方案。

3 红外加热节能技术方案

该技术方案由红外发热元件、镜面反射层和隔热保温层等结构组成,如图 3 所示。其中,采用红外发热元件代替电阻丝加热圈,热能传递方式由传导变成了辐射;镜面反射层的作用在于向料筒表面汇聚反射红外光,以加强辐射效果;隔热保温层的作用同样在于隔绝空气,避免高温料筒直接暴露在空气中,从而减少对空气加热导致的能量损失。红外发热元件经历了普通石英红外灯管到陶瓷或碳纤维远红外灯管的发展,发热效率、传热效率及其它特性都得到了一定的提高。

该技术方案的节能主要通过二方面实现,一是利用红外发热远件,特别是远红外灯管,热转换效率可以达到 99%,再辅以镜面反射层等结构设计,保证良好的辐射形式热能传递;二是隔热保温层起到的减少对空气加热引起的能量损失^[12]。同电磁加热节能方案类似,隔热保温层是节能的关键。

选择深圳某企业的远红外加热产品进行安装及实测,测得数据详见表 1。从测试数据、测试过程、结合节能原理及用户使用情况调查,有以下分析及相关结论。

1) 具有较好的节能效果。如前文所述,得益于红外发热元件较高的热转换和传输效率,特别是厚达 4 cm 左右的隔热保温层,有效减少了热能散失到空气中。

2) 产品通常采用金属外壳、二个半圆开合的安装结构,加上 16~24 支红外发热管支架及对应镜面反射层等,总体而言结构比较复杂,并且需要与料筒尺寸比较精确的配合。结构复杂、红外发热管多,导致该方案成本偏高;而与料筒尺寸需要精确配合则影响了该方案产品的标准化、批量生产,进一步推高成本。该方案产品的厚度尺寸通常在 5~7 cm,其中灯管约 1 cm、距离料筒表面约 1 cm、隔热保温层厚 2~4 cm。这一厚

度在局部或者一些结构紧凑的机型上安装会受限,曾有厂家通过压缩隔热保温层厚度来减小尺寸,但节能效果显著下降。

3) 红外发热元件有功率衰减和易碎的问题。即便使用陶瓷或碳纤维远红外灯管,其寿命也基本在10 000 h以内,按50%占空比加热输出,工作寿命约200 d,对用户而言存在使用成本偏高的问题。事实上,随着使用时间增加,功率逐步衰减,对于部分需要较大加热功率的产品,可能更早出现功率不足而需要更换的情况。红外灯管由石英、陶瓷或碳纤维等材料制成,都比较脆,尤其是高温发热时更加易碎。注塑机工作过程存在较大的振动,某些需要座台进和退的工况,更是存在比较大的机械冲击,再加上安装使用过程中的一些机械外力,灯管破碎情况比较多,增加了售后维护和使用成本。

4) 产品销售价格高于电磁加热和节能环方案。

综上评估,红外加热节能技术方案应用于注塑机料筒加热可以获得较好的节能效果,但存在结构复杂、灯管功率衰减和易碎等问题,且产品价格及使用成本偏高,因此,课题组认为该方案适用作为小批量、特殊订制等场合的料筒加热节能方案。

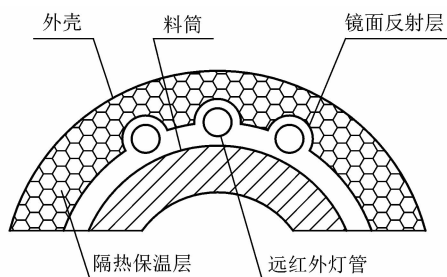


图3 红外加热节能技术方案结构示意图

Figure 3 Structure schematic diagram of infrared heating technology program

4 纳米节能环加热节能技术方案

该技术方案是通过给料筒加热系统外部包裹上高效的隔热保温材料实现的,保留电阻式加热圈、可以装回料筒防护罩,几乎不改变现有料筒加热系统任何结构。如图4所示,该技术的节能环产品通常由3~5层不同材料组成,通过缝制等方式加工成方便固定安装的形状,各层材料分别起到隔绝空气、减小空气对流、反射对外辐射、气密、定型等作用,以复合方式达到有效的隔热保温效果。

该技术的节能原理就是隔热保温,将电热圈包裹住,避免与空气直接接触,减少因对流、辐射等方式流失热能,即实现了节能。

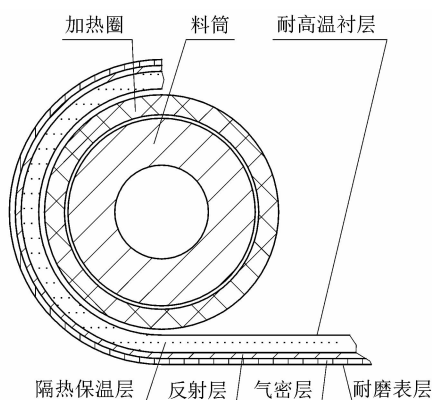


图4 节能环产品结构示意图

Figure 4 Structure schematic diagram of the energy-saving ring

该技术方案不涉及加热部件,因此相对简单,其关键点在所使用的材料。事实上,类似办法很早就有客户自行实施,但多采用石棉一类材料包裹,而这类材料存在环保性的问题。另一方面,加热圈表面最高温可达400~500℃,一般材料很难在这种工况下长期使用。还有耐高温材料通常较脆,不易加工成形。以杭州某企业为代表的纳米节能环通过选用最新节能材料、合理组合搭配、精心设计加工方式,较好地解决了这些问题,才使得该方案峰回路转,产品得以工程化。

选择杭州某企业的纳米节能环产品(3 cm厚度)进行安装及实测,测得数据详见表1。从测试数据、测试过程、结合节能原理及用户使用情况调查,有以下分析及相关结论。

1) 节能效果。从本次测试数据及向已经使用该产品的多家客户调查后表明,该企业的节能环产品具有与电磁加热、红外加热相当的节能效果,如果增加厚度(如选用5 cm规格),节能效果还可以进一步提升。由此也可以得出结论,节能关键在减少能量损失,至于用电阻式加热圈还是电磁感应涡流方式、红外方式产生热能并不关键。

2) 节能环产品是软的,类似塞了棉花的布袋,通过弹簧或日字扣裹紧在加热圈外面,因此,安装快捷、方便灵活、对结构的适应性很强。并且该方案几乎不改动原来的加热系统,所以尤其适用于注塑机的节能改造场合。

3) 几乎无故障,即便出现破损等异常也不影响注塑机的工作生产,且保温节能效果仍在。

综上评估,该技术的节能环产品具有节能效果好、安装使用简单、几乎无故障、成本低等优点,与电磁加热、红外加热2个方案比较没有明显的缺点,是本

课题组评估认为最有潜力的注塑机料筒加热节能方案。

5 3种料筒加热节能技术方案对比

3种料筒加热节能技术方案对比见表2。

表2 3种料筒加热节能技术方案对比

Table 2 Comparison of three kinds of technical scheme of heating energy saving

指标	电磁加热	红外加热	节能环
加热方式和节能原理	料筒表面产生涡流实现发热;通过保温隔热,减少料筒表面向空间散热	辐射方式传热;通过保温隔热和反射,减少向空间散热	不改变料筒加热方式;通过组合多种高效隔热保温材料,减少向空间散热
节能率/%	20~45	20~50	20~50
安装维护	安装繁琐、维护工作量大、售后服务费用高	拆装较为简单,但易损坏灯管,后期维护费用偏高	拆装方便、维护简单、售后工作量小
故障率	较高,功率器件易损坏	灯管易碎和功率衰减	极低
使用寿命	线圈易老化、需定期维护	灯管易老化,寿命短(国产灯管使用寿命约6 000~8 000 h)	长
标准化和通用性	线圈需现场绕制,无法标准化	外形尺寸需与料筒精确配合,通用性差	尺寸灵活,通用性好
局限性	存在电磁辐射和强电安全隐患	外形尺寸偏大,需确认是否会安装干涉	较少
投入回报比	综合成本偏高,回报率偏低	前期采购及使用成本较高,回报率偏低	前期采购及使用成本低,回报率高

综上,3种方案均主要通过隔热保温的措施来实现节能,都达到了较好的节能效果。但是电磁加热方案存在安装麻烦、需要定期维护、产品工作稳定性和可靠性偏低问题,尤其强磁场和强电带来的安全隐患,因此该方案不太适用于注塑机料筒加热节能;红外加热方案主要存在灯管老化和易碎问题,另外成本偏高、尺寸限制较多,因此也不是理想的可以大规模推广的注塑机料筒加热节能解决方案;相比较而言,节能环方案简单有效、局限性少、故障率低、成本低,是本课题组综合评估后认为比较有潜力的解决方案。事实上,课题组已经观察到,Engel, Krauss-maffei等国际知名品牌注塑机上已经有节能环类似料筒加热节能方案在推广使用。

6 结语

课题组在应用研究过程中发现,注塑机料筒加热节能技术除了节能作用外,还有其它额外的益处:①包裹隔热保温材料后,料筒上温度分布均匀性提高、热容增加,使得熔料充分、均匀性变好,产品质量、生产稳定性都得到了改善;②提高了能量利用率,相当于提高了有效加热功率,机器的塑化能力得到提升;③料筒温度一致性变好,料筒受热机械变形降低,减少螺杆磨损;④车间温度降低、加热产生的异味减弱、避免高温烫伤及火灾隐患。当然,也有一定的副作用,在换模时,如果新换产品温度低,由于料筒有隔热保温层,导致料筒温度下降缓慢,有时需要等待较长时间(节能环方案可采取暂时打开散热的应急办法,但红外加热和电磁加热做不到);另有约5%左右的工况,由于所使用原料自身存在较大剪切发热、或者料筒和螺杆之间存在

较大的摩擦发热,导致生产过程料筒几乎不用加热,甚至需要散热,如果此时应用上述通过隔热保温实现的节能方案,则可能导致生产过程无法进行。

综合而言,注塑机料筒加热采用节能技术具有较高的价值、良好的经济回报,以节能环为代表的节能技术方案已经趋于成熟,推广该节能技术对厂家和客户都有重要意义。

参考文献:

- [1] 朱冬啸,宋丹丹.企业常用注塑机节能措施及应用实效[J].上海节能,2013(10):35-39.
- [2] 黄俊军.注塑机节能技术浅谈[J].塑料制造,2012(11):76-79.
- [3] 张友根.注塑机交流伺服电动机驱动液压泵系统的应用及设计研究[J].液压气动与密封,2010,30(12):15-24.
- [4] 陈明华.节能减排在注塑成型系统中的应用[J].国际塑料商情,2014(1):22-25.
- [5] 刘西文.塑料注射成型技术实用教程[M].北京:印刷工业出版社,2013:55.
- [6] 戴本尧.基于电磁感应加热的注塑机料筒材料分析研究[J].轻工科技,2012(11):16-17.
- [7] 张友根.注塑包装设备科学发展探究[J].中国包装工业,2012(4):50-53.
- [8] 王振东.感应炉冶炼500问[M].北京:机械工业出版社,2009:75-76.
- [9] 李定宣,丁增敏.现代高频感应加热电源工程设计与应用[M].北京:中国电力出版社,2012:64.
- [10] 温志英,马菁菁,张颖,等.电磁感应技术在注塑机节能改造中的应用[J].工程塑料应用,2012,40(9):57-60.
- [11] 张友根.绿色理念的塑料包装成型加工设备[J].湖南包装,2013(1):11-16.
- [12] 佚名.2013年节能加热圈市场分析报告[J].塑胶工业,2014,118(1):98.