

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.11.030

高分子注塑加工工艺智能检测研究进展

张永超

(西安交通大学城市学院,西安 710018)

摘要:主要综述了比例-积分-微分(PID)法在分子注塑加工过程中对各工序的温度场、压力场、位移场等工艺参数的检测和调控研究,并介绍了近年来PID法研究的优化研究进展。PID法在分子注塑加工过程中能够快速检测到各个加工工艺参数的变化,并做出响应,从而进一步实现对工艺参数的有效控制。利用PID法对分子注塑加工工艺参数进行检测和调控,能够有效降低分子注塑过程中各参数的超调和稳态误差,保障稳定的加工过程,制备出质量上乘、性能优异的高分子制品。

关键词:注塑加工;智能检测;比例-积分-微分法;PID法优化

中图分类号: TB32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)11-0143-05

Intelligent Detection in Polymer Injection Molding Process Progress Research

Zhang Yongchao

(Xi'an Jiaotong University City College, Xi'an 710018, China)

Abstract : The research of proportional integral differential (PID) method in the detection and control of temperature field, pressure field, velocity field and other process parameters in polymer injection molding process were reviewed, as well as the optimization of PID method in recent years. PID method could detect the processing errors and response to them in short time, and then further realize the effective controlling of process parameters. Using PID method to detect and control the processing parameters of polymer injection molding can effectively reduce the overshoot and steady-state errors of the parameters in the process of polymer injection molding, enhance the stability of processing, and produce polymer products with high quality and excellent performance.

Keywords : injection molding ; intelligent detection ; proportional integral differential method ; PID optimization

近几十年来,高分子学科发展迅速,合成高分子种类愈来愈丰富,而高分子制品已经深入渗透到国民生活、工业生产以及国防、医药、航空航天等领域中^[1-3]。高分子合成方法在一定程度上决定了高分子材料的结构和性能,但高分子加工过程则决定了这些高分子材料所制备的产品的最终应用性能^[4-5]。注塑加工是热塑性高分子材料最常用的加工方法之一,在加工过程中温度、压力、剪切速率等参数的变化会显著影响产品的质量。合适的注塑加工工艺能够保障相应高分子材料产品的使用性能和质量^[6-10]。

虽然对高分子材料注塑加工工艺进行优化十分重要,但在具体加工过程中保持工艺参数稳定才是保障产品性能和质量的前提。若加工过程中各参数波动加大,那相应的产品则容易出现熔接痕、翘曲、气孔等缺陷,严重时甚至会导致

材料出现裂纹或难以成型等问题^[11-13]。目前工业生产中已经较为广泛地运用智能检测手段对高分子材料加工工艺参数进行检测,其中比例-积分-微分(PID)法是最为有效的方法之一,这一方法能够快速检测到加工工艺参数的变化,并灵活地对其进行调控。PID法主要分为三个工作单元,分别为比例单元(P)、积分单元(I)和微分单元(D)。其中比例单元是具有放大作用和基础调节系统的工作单元;积分单元(I)是具有消除稳态误差作用的工作单元;微分单元(D)是具有提高系统的响应速率的工作单元。PID法是一种能高速检测到系统中各参数的变化,然后快速对其作出响应,并高效、稳定对工艺参数进行控制的方法^[14-16]。另外,通过对PID法的优化,使得其检测和调控的稳定性和高效性均得到了提高^[17-18]。例如,加入自整定因子,可以赋予PID法自整

通讯作者: 张永超,讲师,硕士,主要研究方向为智能检测 E-mail : liping85856@163.com

收稿日期: 2018-09-07

引用格式: 张永超. 高分子注塑加工工艺智能检测研究进展[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(11) : 143-147.

Zhang Yongchao. Intelligent detection in polymer injection molding process progress research[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(11) : 143-147.

定性,可以更好地应用到多种工艺参数的检测和调控中;或者将PID法与模糊控制法结合,能够同时提高检测和调控的速率和准确度。近年来PID法不仅在高分子注塑加工工艺参数检测和控制方面得到了广泛应用,而且也被应用于挤出、压延等加工工艺参数检测和控制^[19-20]。另外,还实现了同时对多个工艺参数进行检测和调控,大大提高了塑料件的加工效率、外观质量和性能。笔者系统地对近年来PID法在材料注塑加工工艺参数智能检测和控制方面的研究成果进行了综述。

1 PID法对温度参数的检测调控

在材料注塑加工过程中,PID法常用于注塑机料筒温度的检测和调控,能够精确地将料筒温度控制在目标范围内,并有效降低料筒温度调控过程中的超调现象和稳态误差。王乐^[21]利用PID法对注塑机料筒温度进行了检测和控制,当目标料筒温度为50℃时,PID法检测和调控下,注塑机料筒仅需1041s便可稳定在目标温度,且进入稳态后的温度误差仅为3℃;提高料筒设定温度后,PID法依然表现出了较为高效和稳定的检测调控性能,料筒仅需1874s便可进入稳态,且误差也仅为3℃。当将PID法和模糊法进行结合使用时,料筒进入稳态时间和稳态误差均明显降低,目标温度为50℃时,进入稳态时间缩短177s,稳态误差降低1.5℃;目标温度为70℃时,进入稳态时间缩短563s,稳态误差降低1℃。在实际生产中,注塑机的料筒温度往往要达到200~300℃以上,例如聚丙烯注塑加工时料筒温度则通常为200~220℃。张春光^[22]将注塑机料筒温度设定在200℃,并利用PID法对其进行了检测和调控,实验结果表明,注塑机料筒在2000s内便进入了稳定状态,且稳态误差仅为10℃;另外,张春光进一步将PID法与模糊法相结合,成功将料筒温度的稳态误差降低了3℃。覃强^[23]同样结合了PID法和模糊法对注塑机料筒温度进行了检测和调控,当料筒温度设定为200℃,其研究结果与张春光的研究结果类似,料筒温度进入稳态时间同样为2000s;但其稳态误差明显降低,仅为4℃。自整定PID法是另外一种性能优异的主流PID检测调控法,包括传统自整定PID法和自整定模糊PID法。这种方法具有自我整定的功能,一般具有较高的检测调控精度。朱珠^[24]研究了不同方法对料筒温度检测和调控的效果,其研究表明,在自整定PID法、传统PID法和模糊PID法之间,自整定PID法的检测精度最高,料筒设定温度为240℃时,进入稳态后的误差仅为0.5℃。张鹏飞等^[25]将注塑机料筒温度设定为200℃,当以传统PID法进行检测和调控时,料筒在3500s可进入温度稳态,稳态误差为20℃;当以自整定PID法进行检测和调控时,仅需1900s便可进入温度稳态,且稳态误差仅为6℃。近年来,通过进一步优化,

自整定PID法对注塑机料筒温度的监测调控效率和精度均得到了提高。例如,王平江等^[26]利用一种自整定模糊PID法,对注塑机料筒温度进行了检测和调控。作者研究结果表明,当料筒温度设定为190℃时,料筒仅需2200s便进入温度稳态,且进入稳态后的温度误差仅为1.5℃。周锡恩等^[27]利用自整定PID法检测调控料筒温度时发现,当料筒温度为160℃时,仅需150s便进入稳态,且进入稳态后几乎未出现稳态误差。张鹏等^[28]将注塑机料筒设定温度为200℃,并利用自整定模糊PID法对其进行检测和调控,其实验结果表明,料筒温度在1105.3s内进入稳态,且稳态误差仅为0.19℃。另外,作者又开发了一种基于变论域的自整定模糊PID法,同样对设定温度为200℃的注塑机料筒进行温度检测和调控,发现料筒在改进的PID法监测调控下,仅需973.3s进入稳态,稳态误差可被完全消除。

在实际生产过程中,为了调节高分子熔体的流动性,通常需要对注塑机料筒进行分段控温,而PID法在分段温度检测和调控方面也展现了相当优异的性能。例如,许嘉晨^[29]将注塑机料筒设定为4个温度区域,区域1~3的温度为255℃,区域4的温度为230℃。许嘉晨利用PID法同时检测调控这4个区域的温度,当料筒温度进入稳态后,区域1~4的稳态误差分别可控制在0.4,1.2,1.0℃和2.0℃;另外,许嘉晨还利用模糊PID法对这4个区域的温度进行了检测和调控,成功降低了料筒温度的稳态误差。模糊PID法检测和调控下,区域1~4的稳态误差分别为0.3,0.3,0.5℃和1.6℃。罗帆等^[30]利用一种规则自整定模糊PID法实现了同时对注塑机料筒4个温区的检测和调控。当区域1~3的温度设定为245℃,区域4的温度设定为220℃时,区域1~3达到稳态的时间均为1200s,稳态误差分别为0.8,1.5℃和0.9℃;区域4达到稳态的时间为1320s,稳态误差为4.5℃。宁瑾等^[31]利用自行开发的自整定模糊PID法对注塑机料筒温度进行了分段检测和调控,当注塑机料筒分为4个温度区域,区域1的设定温度为180℃,区域2~4的温度设定为190℃时,这种自整定模糊PID法检测下,料筒温度区域1~4均在800s内达到了稳态,而且几乎不存在稳态误差。

无论是对注塑机料筒温度进行单一检测调控,还是进行分段检测调控,PID法均表现出了相当优异的性能,且效率和精度均较为理想。而且,随着PID法的开发和改进,模糊PID法以及加入不同整定因子的自整定PID法的效率和精度也得到了进一步的提高,在注塑机料筒温度智能检测和调控方面得到了广泛的应用。

2 PID法对压力参数的检测调控

PID法除了可以有效检测和调控高分子注塑加工过程中的温度变化,还能够对注塑机的压力参数进行检测,对压

力的检测和调控通常是通过对移位参数和力学参数检测来实现的。

杨瑞等^[32]利用传统PID法对高分子注塑机的位移参数和力学参数进行监测调控,实验结果表明,当注塑机螺杆推进位移设定为4 mm时,注塑机螺杆进入稳态仅需0.57 s,稳态误差为0.011 2 mm;当液压压力设定为1500 N时,液压系统进入稳态仅需0.56 s,稳态误差为3.6 N。杨瑞等另外开发了一种具有4个调节因子的自整定模糊PID法,也将其用于检测和调控高分子注塑机的位移参数和力学参数。当注塑机螺杆推进位移设定为4 mm时,在这种自整定模糊PID法检测和调控下,注塑机螺杆进入稳态仅需0.46 s便进入稳态,且稳态误差仅为0.003 6 mm;当液压压力设定为1500 N时,该自整定模糊PID法检测和调控下,液压压力系统仅需0.45 s便进入稳态,稳态误差仅为0.9 N。徐晖^[33]利用自整定模糊PID法对注塑机位移系统进行了检测和调控,当螺杆位移设定为1 mm时,注塑机仅需要12.5 s进入稳态,稳态误差仅为0.9 μm ;徐晖还对电液力系统进行了检测和调控,当液压压力设定为1000 N时,系统进入稳态后的误差为0.1 N;另外,徐晖还利用自整定PID法同时检测和调控了位移参数和力学参数,当螺杆推进位移为10 mm,液压压力设定4500 N,系统仅需要0.422 s进入稳态,位移误差和电液力误差分别仅为9 μm 和4.05 N。潘华彬^[34]也用自整定模糊PID法对注塑机位移系统和电液力系统进行了检测和调控,螺杆推进位移设定为1 mm时,进入稳态时间为0.178 s,稳态误差为3 μm ;电液力设定为1000 N时,达到稳态时间为0.161 s,稳态误差仅为2 N。除了螺杆推动系统外,注塑机模具推进传动系统也受到压力参数的影响,因此利用PID法对合模过程的位移参数进行检测和调控,也能够用来衡量PID法对注塑机压力参数的智能检测效率和精度。许建^[35]利用自整定模糊PID法对注塑机模具的模板行程进行了检测,当行程位移设定为220 mm,并分3段进行推进时,3段推进切换过程中均仅需0.1 s进入稳态,且未出现明显稳态误差。

另外,PID法还可以直接用于检测注塑机压力参数的变化,并对其进行调整。例如,刘惠^[36]对高分子注塑保压阶段进行了PID检测和调控,当保压阶段分为3段,且保压压力分别为5,8,5 MPa时,在自整定模糊PID法检测和调控下,压力阶跃上升和阶跃下降分别在450 ms和520 ms内达到了稳态,且进入稳态后压力误差分别为0.16 MPa和0.10 MPa。蔡侃^[37]在利用注塑工艺制备圆片塑料件时,利用了PID法对保压过程的压力参数进行了检测和调控。当保压阶段分为5段,每段压力分别为2,4,6,4,2 MPa时,压力阶跃上升进入稳态仅需0.07 s,压力阶跃下降进入稳态仅

需0.08 s,而且压力进入稳态后的误差仅为0.02 MPa。在PID法对保压压力参数进行检测和调控下,蔡侃所制备塑料件外观质量较高,无飞边和溢料等缺陷,且圆片边缘圆滑。彭华^[38]利用模糊PID法同时对注塑压力和保压压力进行了检测和调控。当注塑压力设定为8 MPa,系统进入稳态仅需30 ms,且几乎不存在稳态误差;当保压阶段为3段保压,且压力为5,3,1 MPa,两次压力阶跃下降进入稳态的时间仅为100 ms,而且也几乎未观测到稳态误差。彭华又将这种模糊PID法应用到了实际注塑生产中,当制备圆形片状塑料件时,注塑压力设定为6 MPa,保压阶段分为5段,且压力分别为2,4,6,4,2 MPa。该模糊PID法对压力参数检测效率和精度较高,10组平行注塑实验所得塑料件质量的均方差仅为0.001 g,平均质量误差仅为0.43 g。

3 注塑加工工艺检测调控对塑料件性能的影响

高分子材料注塑加工时,需要在热、剪切力等作用下,经过熔融、剪切和冷却等过程,从而形成具有目标性状的塑料件。这一加工过程中,高分子熔体在不同的温度场、速度场、应力场和位移场的作用下,最终所得塑料件的外观、尺寸以及力学性能等均会产生一定程度的差别。

高分子熔体在注塑过程中的温度场受到预热温度、料筒温度和模具温度的影响,而温度稍有偏差则会导致最终塑料件的外观和质量产生较大程度的变化。例如,刘朝福^[39]以PL203HC牌号的聚丙烯注塑加工车门内饰板时,当料筒温度为220℃时,所制备的车门内饰板的翘曲变形为8.85 mm,但当料筒温度发生偏差时,所制备的车门内饰板的翘曲变形大幅提升。料筒温度为210℃时,相应的翘曲变形为12.00 mm;料筒温度为230℃时,翘曲变形为11.49 mm。料筒温度仅发生10℃的偏差,最终塑料件的翘曲变形量增大了29.8%~35.6%。这是由于料筒温度不能稳定在最佳温度范围内,较高或较低的温度造成了高分子熔体流动性发生了变化,使得其内应力不能及时释放,从而导致了塑料件翘曲变形量的增大。另外,随着环保意识的增强,近年来人们对高分子制品的毒性、气味等要求越来越严格。李俊贤^[40]研究发现高分子制品在加工过程中,随着料筒温度的升高,最终塑料件的挥发性有机物含量也越高。例如,当以聚丙烯注塑制备汽车立柱板时,与250℃的料筒温度相比,若将料筒温度精准地控制在230℃以下,最终所得汽车立柱板中的乙醛含量可由14.3 $\mu\text{g/g}$ 降低至2.86 $\mu\text{g/g}$,并且苯、甲苯、二甲苯和乙苯的含量也大幅下降。邹戈^[41]利用模糊PID法进行了注塑机料筒温度的检测和调控,该方法实现了同时对8个不同温度区域的检测和调控,并且监测调控效果和精度均较为理想。在实际生产中所获得的麦秆增强复合材料表现出了优异的力学性能,拉伸强度可达7.44

~8.84 MPa,冲击强度可达 10.23~13.53 kJ/m²。实测值与模拟仿真值相差仅为 2%~9%,说明 PID 法在实际工艺检测调控中具有较为实用的价值。高分子熔体在模具中冷却速率也会显著影响到塑料件的温度场。孙显俊^[42]研究发现在不同的冷却速率下所制备的聚丙烯注塑板的洁净度差别很大,从而会导致塑料件的挠度差别很大。当冷却速率控制在 60℃/min 时,注塑板的挠度可控制在 0.15 左右;但若冷却速率偏差至 100℃/min,则相应注塑板的挠度会提高 60% 以上。

另外,高分子熔体在料筒和模具中所受到的压力也会影响到塑料件的最终质量。一方面,注塑压力会影响到高分子熔体的流动和内应力,而保压压力则会影响到高分子熔体在冷却过程中的尺寸收缩。林建兵^[43]在利用丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 注塑加工车门内饰板时发现,当将注塑压力控制在 73.79 MPa;3 段保压压力分别控制在 73.79, 59.03 MPa 和 14.76 MPa 时,相应车门内饰板的翘曲变形可控制在 3.695 mm,尺寸收缩可控制在 5.51%。

以上研究表明,在分子注塑加工过程中,各方面加工参数对最终塑料件的质量均会产生显著的影响。而且,若加工过程中工艺参数不稳定,则会造成塑料件外观、尺寸和各方面应用性能的下降。因此,采用有效的检测手段对高分子注塑加工过程中料筒温度、注塑压力、保压压力、冷却速率、模具温度等参数进行实时监测,并对不稳定参数进行有效调控,是保障塑料件质量和性能的先决条件。

4 结论

PID 法和改进的 PID 法均在高分子注塑加工工艺检测和调控方面显示出了优异的性能,这种方法能快速检测出高分子注塑加工工艺的变化,准确地对其进行调整,使其控制在目标参数范围内,并且能够有效地降低超调和稳态误差。这一方法应用到高分子的注塑加工过程中,有助于保持整个加工过程的工艺稳定,避免工艺参数出现偏差,高分子熔体在加工过程中受到温度场、应力场、速度场、位移场、压力场的均一性提高,使得最终所制备出塑料件的外观质量、翘曲变形、尺寸收缩或气孔、熔接痕等缺陷大大降低,甚至完全消除。因此,采用 PID 法对高分子注塑加工工艺进行智能检测是保障塑料件质量的有效手段。

参考文献

- [1] 葛铁军,等. 塑料科技,2017(1):56-60.
Ge Tiejun, et al. *Plastics Science and Technology*, 2017(1):56-60.
- [2] 徐宏彬,等. 化工学报,2017,68(2):767-773.
Xu Hongbin, et al. *CIESC Journal*, 2017, 68(2):767-773.
- [3] 程劲松. 化学推进剂与高分子材料,2016,14(2):54-56.
Cheng Jinsong. *Chemical Propellants & Polymeric Materials*, 2016, 14(2):54-56.
- [4] 贺超良,等. 高分子学报,2013,52(6):722-732.
He Chaoliang, et al. *Acta Polymerica Sinica*, 2013, 52(6):722-732.
- [5] 李小红,等. 自动化仪表,2014,35(1):1-5.
Li Xiaoli, et al. *Process Automation Instrumentation*, 2014, 35(1):1-5.
- [6] 王宏亮. 中国科技纵横,2016(2):79.
Wang Hongliang. *China Science & Technology Overview*, 2016(2):79.
- [7] 周波. 科技展望,2016,25(12):153.
Zhou Bo. *Technology Outlook*, 2016, 25(12):153.
- [8] 张晓陆. 模具工程,2011(3):74-79.
Zhang Xiaolu. *Mold Engineering*, 2011(3):74-79.
- [9] 关炳奇. 金属加工:冷加工,2013(10):18-19.
Guan Bingqi. *Machinist Metal Cutting*, 2013(10):18-19.
- [10] Dai Minghe, et al. *Advanced Materials Research*, 2011, 399-401:2 271-2 275.
- [11] 曾军亮,等. 工程塑料应用,2013,41(3):56-59.
Zeng Junliang, et al. *Engineering Plastics Application*, 2013, 41(3):56-59.
- [12] 黄彦红,等. 工程塑料应用,2017,45(3):64-68.
Huang Yanhong, et al. *Engineering Plastics Application*, 2017, 45(3):64-68.
- [13] 高晓康,等. 塑料工业,2007,35(2):26-28.
Gao Xiaokang, et al. *China Plastics Industry*, 2007, 35(2):26-28.
- [14] 于斌,等. 山东理工大学学报:自然科学版,2017,31(3):60-64.
Yu Bin, et al. *Journal of Shandong University of Technology: Natural Science Edition*, 2017, 31(3):60-64.
- [15] 杨达飞,等. 塑料工业,2016,44(4):64-68.
Yang Dafei, et al. *China Plastics Industry*, 2016, 44(4):64-68.
- [16] 李月英,等. 合成树脂及塑料,2016,33(6):59-62.
Li Yueying, et al. *China Synthetic Resin and Plastics*, 2016, 33(6):59-62.
- [17] 罗海波,等. 塑料,2016,45(2):113-116.
Luo Haibo, et al. *Plastics*, 2016, 45(2):113-116.
- [18] 曾璐. 热处理技术与装备,2011,4(5):53-56.
Zeng Lu. *Heat Treatment Technology and Equipment*, 2011, 4(5):53-56.
- [19] 王子剑,等. 工程塑料应用,2017,45(7):80-85.
Wang Zijian, et al. *Engineering Plastics Application*, 2017, 45(7):80-85.
- [20] 方永锋,等. 高技术通讯,2017,27(2):156-161.
Fang Yongfeng, et al. *Chinese High Technology Letters*, 2017, 45(7):156-161.
- [21] 王乐. 基于 ARM 和模糊-PID 挤塑机温度控制系统研究[D]. 西安:西安科技大学,2008.
Wang Le. *Research of temperature control system for plastic extruder based on ARM and Fuzzy-PID*[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2008.
- [22] 张春光. 淮海工学院学报:自然科学版,2007,16(3):36-39.
Zhang Chunguang. *Journal of Huaihai Institute of Technology: Natural Science Edition*, 2007, 16(3):36-39.

- [23] 覃强. 模糊 PID 温度控制方案的仿真优选及其实现 [D]. 北京: 中国科学院研究生院 (电工研究所), 2002.
- Qin Qiang. Simulation optimization and realization of fuzzy PID temperature control scheme[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Electrical Engineering), 2002.
- [24] 朱珠. 注塑机温度控制系统算法的改进 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2009.
- Zhu Zhu. The improvement on the algorithm of injection molding machine temperature control system[D]. Guiyang: Guizhou University, 2009.
- [25] 张鹏飞, 等. 中国塑料, 2013, 27(4):85-89.
- Zhang Pengfei, et al. China Plastics, 2013, 27(4):85-89.
- [26] 王平江, 等. 中国塑料, 2013(1):98-104.
- Wang Pingjiang, et al. China Plastics, 2013(1):98-104.
- [27] 周锡恩, 等. 自动化技术与应用, 2012, 31(10):21-24.
- Zhou Xien, et al. Techniques of Automation and Applications, 2012, 31(10):21-24.
- [28] 张鹏, 等. 组合机床与自动化加工技术, 2017(7): 107-110.
- Zhang Peng, et al. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2017(7):107-110.
- [29] 许晨嘉. 橡塑技术与装备, 2016(12):9-10.
- Xu Chenjia. Rubber and Plastics Technology and Equipment, 2016 (12):9-10.
- [30] 罗帆, 等. 工程塑料应用, 2015, 43(6):65-69.
- Luo Fan, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(6):65-69.
- [31] 宁瑾, 等. 机床与液压, 2007, 35(12):129-132.
- Ning Cui, et al. Machine Tool & Hydraulics, 2007, 35(12):129-132.
- [32] 杨瑞. 基于模糊 PID 控制的压注机电液伺服系统的应用研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- Yang Rui. The application study of electro-hydraulic control systems for injection molding machine based on Fuzzy PID controller [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.
- [33] 徐晖. 模糊 PID 控制在压注机电液控制系统的应用研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- Xu Hui. The application and research of fuzzy PID controller of electro-hydraulic servo control systems for injection molding machine[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008.
- [34] 潘华彬. 模糊自整定 PID 控制在压注机电液控制系统中的应用研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- Pan Huabin. A study of Fuzzy self-tuning PID control and its application in injection molding machine of electro-hydraulic systems[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [35] 许建. 液压传动伺服系统控制算法的研究与应用 [D]. 济南: 山东大学, 2008.
- Xu Jian. Research and application of hydraulicservo system control algorithm[D]. Jinan: Shandong University, 2008.
- [36] 刘惠. 注塑保压过程的变参数 PID 控制方法 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- Liu Hui. PID controller with variable parameters for packing pressure of the injection molding process[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [37] 蔡侃. 基于制品质量的注塑成型过程控制研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- Cai Kan. Research of injection molding process control based on product quality[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [38] 彭华. 注塑机电液复合液压系统设计及控制技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- Peng Hua. Electro-hydraulic hybrid system design and control research of the injection molding machine[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [39] 刘朝福, 等. 合成树脂及塑料, 2015(1): 50-53.
- Liu Chaofu, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2015(1): 50-53.
- [40] 李俊贤, 等. 汽车工艺与材料, 2015(2):50-52.
- Li Junxian, et al. Automobile Technology & Material, 2015(2): 50-52.
- [41] 邹戈. 微型注塑机结构与控制的改进及制品性能预测 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
- Zou Ge. Structure and control system improvement of micro-injection molding machine and its product performance forecast[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2007.
- [42] 孙显俊. 聚丙烯及其复合材料注塑件翘曲变形数值模拟与实验研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.
- Sun Xianjun. Warpage of injection molded parts manufactured with polypropylene and its composites[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2015.
- [43] 林建兵. 制造业自动化, 2015(13):106-108.
- Lin Jianbing. Manufacturing Automation, 2015(13):106-108.

茂名石化线性聚乙烯产品质量优化提升

今年以来, 茂名石化化工分部全密度车间加大力度抓好生产优化和产品质量提升, 通过严控产品生产过程的各个细节, 促进产品质量稳步提升。近日, 在总部下发的 9 月份产品质量稳定性排名中, 线性全密度聚乙烯产品在中石化系统排名第一。当前聚乙烯产品市场竞争激烈, 为了进一步提高产品质量, 做到以质取胜, 该公司从细节抓起, 内部精心操控反应和造粒系统的每一个参数, 外部重点监控粒料外观和

清洁度, 甚至根据换筛器前后压差参数细小的变化, 判断系统内的换筛器过滤网是否需要更换。同时, 缩小产品熔体流动速率的控制范围, 投用 APC 控制系统的 QC 控制模式, 24 h 跟踪产品质量的变化情况, 及时调整, 确保产品的控制值与中心值相近。质量就是生命, 生产线上的每一个细节都不容疏忽, 每一颗粒料都是承诺。近年来, 全密度装置生产的 DFDA-7042, PE-L M2720 等树脂产品, 加工性能好, 产品优质, 深受下游客户的好评。 (工程塑料网)