

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.04.014

注塑模具随形水路自动化设计

王静, 宣佳敏, 陈川, 吕永锋, 刘彦国

(浙江机电职业技术学院智能制造学院, 杭州 310053)

摘要:作为一种新颖的水路结构,随形水路在模具工程中的应用日益广泛,然而其设计过程却极为繁琐。针对随形水路传统设计方法存在的复杂耗时且易出错的问题,结合地貌学中等高线的形成原理,提出了一种随形水路自动生成方法。该方法通过偏置模具成型面与等距的分层面相交从而形成各层的随形水路中心线,连接各层的中心线,并对整个曲线链进行光顺处理得到轨迹线,最终沿轨迹线扫描形成冷却管道。以NX为平台,开发了随形水路自动设计系统,实现了本文提出的全部算法。实例验证表明,该方法大幅度缩短了随形水路的设计时间,提高了设计质量,具有较高的实际应用价值。

关键词: 注塑模具; 模具设计; 随形水路; 等高线; 冷却系统

中图分类号: TQ32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)04-0091-06

Automatic Design of Conformal Cooling Channel for Injection Mould

Wang Jing, Xuan Jiamin, Chen Chuan, Lyu Yongfeng, Liu Yanguo

(College of Intelligent Manufacturing, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract : As a novel cooling channel structure, conformal cooling channel has been widely used in mould engineering, but its design process is extremely complicated. Aiming at the complex, time-consuming and error prone problems in the traditional design method of conformal cooling channels, combined with the formation principle of contour line in geomorphology, an automatic generation method of conformal cooling channels is proposed. In this method, the moulding surface of the mould is offset and intersected with the equidistant layered surface to form the centerline of the conformal cooling channels of each layer, connect the centerline of each layer, smooth the entire curve chain to obtain the trajectory, and finally scan along the trajectory to form a cooling pipe. Based on NX platform, an automatic design system of conformal cooling channels is developed to realize all the algorithms proposed in this paper. The example shows that the method greatly shortens the design time of conformal cooling channels, improves the design quality, and has practical application value.

Keywords : injection mould ; mould design ; conformal cooling channels ; contour line ; cooling system

注塑模具的冷却系统是指在模具内部开设的水道系统,它通过水嘴和皮管与外界水源相通,组成一个或多个回路,水道中通入不断循环流动的冷却液,从而将模具里多余的热量带走。冷却系统对于保证塑件成型质量和提高塑件生产率起着关键作用,高效的注塑模具冷却系统不但能够显著提高塑料制品的成型质量,而且能够大幅度缩短塑件的成型周期,提高生产率、降低生产成本^[1]。

一直以来由于传统钻削加工方法的局限性,注

塑模冷却系统只能以直管道的形式对塑件进行冷却(图1a)。但很显然,这种水路结构对于塑件的冷却如同“隔靴搔痒”,难以达到理想的效果。3D打印技术的迅猛发展如同打开了另一扇门,使得在模具中加工出“如影随形”水路结构(图1b)的梦想成为现实^[2],其冷却效果和经济价值受到广泛认可^[3-5]。目前通过3D打印技术加工出自由形状的随形水路已非难事,但设计出灵活变化的随形水路结构却是一项比较繁琐的工作,需要设计人员频繁地使用基本

基金项目: 2022年度浙江机电职业技术学院校级科教融合重大研发孵化课题

通信作者: 王静, 讲师, 博士研究生, 研究方向为数字化设计与制造、模具CAD

收稿日期: 2023-03-23

引用格式: 王静, 宣佳敏, 陈川, 等. 注塑模具随形水路自动化设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(4): 91-96.

Wang Jing, Xuan Jiamin, Chen Chuan, et al. Automatic design of conformal cooling channel for injection mould[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(4): 91-96.

的曲线编辑命令,这期间大量重复性的操作不但极其耗费时间,而且容易出错。因此如何快速设计出随形水路是企业模具设计实践中亟待解决的一个迫切问题,对其研究具有重要的工程意义。

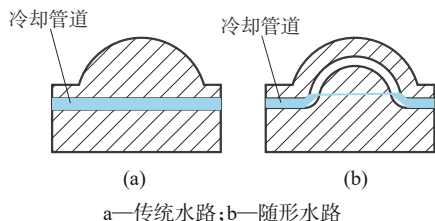


图1 传统水路与随形水路

事实上,由于工程中塑件形状的千姿百态,导致随形水路的设计不像传统水路那样有比较固定的套路和标准^[6-8],而恰恰因为随形水路结构的不确定性,引起了众多研究者的兴趣,试图在其中寻找规律以达到快速设计的目的。研究人员曾提出了螺旋线形^[9-10]、Zigzag形^[11]、轮廓线形^[12]和仿血管形^[13-15]等诸多随形水路形状,在理论探索和实践方面都取得了长足的进展。然而之前的研究大多偏重理论,实际上可操作性不强,尤其是面向通用设计平台的设计系统更是鲜见,无法满足企业的现实需求。

为提高注塑模具随形水路设计的效率和质量,笔者受地貌学中等高线形成机理的启发,结合随形水路“如影随形”的自身特点,提出了一种随形水路的自动生成方法,该方法通过偏置模具型腔面,利用一系列基准面与之相交从而形成基本的轨迹线,将各层轨迹线连接并进行光滑处理得到最终的轨迹线,随后对轨迹线扫描形成冷却管道,利用NX作为设计平台,开发了自动设计系统,通过实例验证了该方法的实用性。

1 生成原理

图2为山体等高线示意图。如图2所示,设有一座小山头,以平行于海平面的假想平面与山体相交可形成不同高度的交线,这些交线在一定程度上表达出了山体的形貌。在地貌学中,等高线指的是地形图上高度相等的相邻各点所连成的闭合曲线。其实际意义也可以看作是不同海拔高度的水平面与实际地势的交线,等高线上标注的数字为该等高线对应的海拔,据此可以判读出地表形态的一般状况。

在注塑模具结构中,冷却系统对于塑件的成型质量和生产率起着至关重要的作用,在设计上要求

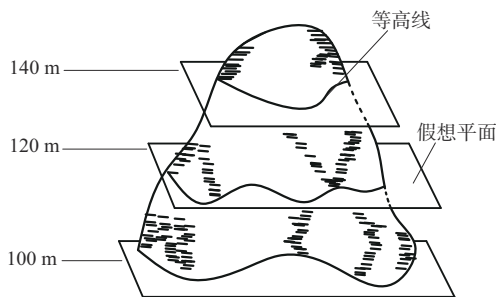


图2 山体等高线示意图

其冷却管道应尽可能的贴近模具型腔并反映塑件的基本形状,只有这样才能达到最佳的冷却效果。受地貌学中等高线形成的启发,可将等高线的形成机理推至于随形水路的设计。

图3为仿形原理示意图。如图3所示,山体的等高线与模具中的随形水路有相似之处,等高线的形成原理为模具随形水路的设计提供了新思路,在具体实现时还需根据实际工程中模具随形水路的特点做一些必要的转换,可分为以下六个步骤:

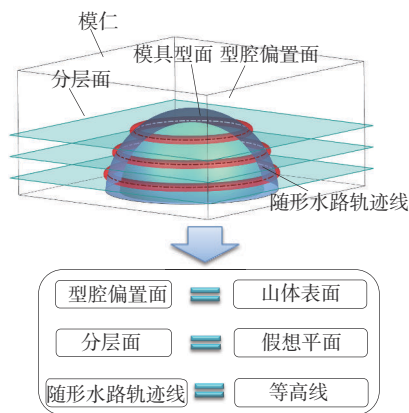


图3 仿形原理示意图

①选择需要冷却的模具型面,将其按照一定间距偏置得到偏置面,如图4a、图4b所示;

②以模具镶件底面作为基准面,沿着开模方向,按照一定的间距偏置出一系列基准面作为分层面,如图4c所示;

③将分层面与模具型面的偏置面求交,得到的交线即是各分层面上的随形水路轨迹线,如图4d所示;

④将各个分层面上封闭的轨迹线断开,然后将相邻层的轨迹线在断开处相连接,如图4e所示;

⑤分别将位于最上层的冷却通道轨迹线和最下层的冷却通道轨迹线的断头与指定进水口位置和出水口位置相连接,从而形成一个完整的连接曲线,如图4e所示;

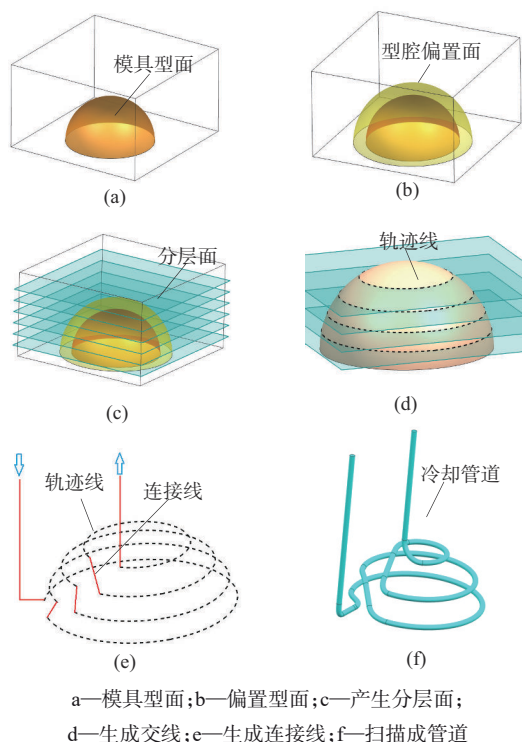


图4 等高线随形水路形成过程

⑥以指定截面,沿着连接曲线进行管道扫描生成随形水路,如图4f所示。

2 系统流程

注塑模随形水路自动设计流程如图5所示。系统的整个设计流程可分为以下四个部分。

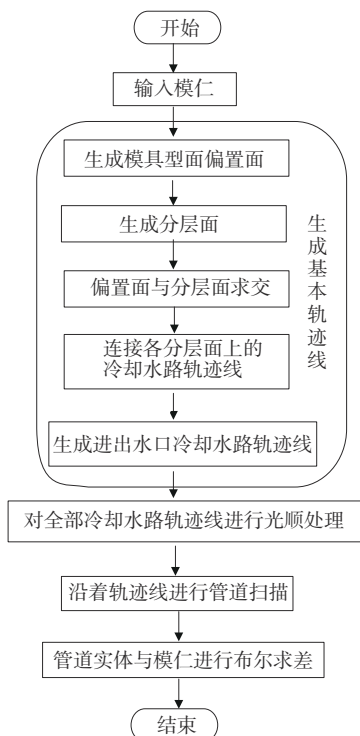


图5 随形水路自动生成流程图

(1)基本轨迹线的生成。通过将一系列的分层面和型腔偏置面求交的方法,获得各基本层上的轨迹线,然后通过截断搭连的方法生成各层的连接线,进出水口的轨迹线通过创建直线生成,最终获取随形水路管道的轨迹线。

(2)光顺处理。轨迹线中或许会存在尖角连接,导致无法使用管道扫描,因此必须首先对基本轨迹线中的尖角连接进行光顺处理,以满足后续管道扫描的需要。

(3)管道扫描。在系统界面留有输入接口,根据用户输入的截面尺寸,沿着光顺处理后的轨迹线进行扫描形成管道实体。

(4)布尔求差。从模仁实体中减去随形水路管道实体,形成模具中的冷却管道。

在CAD系统及其提供的开发平台和应用编程接口(API)支撑下,将轨迹线的生成、曲线光顺处理以及管道扫描和实体布尔运算操作封装在一起共同驱动CAD模型。

3 关键算法

随形水路生成的前提条件在于获取其轨迹线,轨迹线生成之后才可运用扫描命令生成管道实体。轨迹线的产生是通过将模具型面的偏置面和分层面相交获得的,其中偏置面可调用函数 `CreateOffsetSurfaceBuilder` 实现,分层面的生成调用 `CreateDatumPlaneBuilder` 函数实现,相交线的生成则通过调用 `CreateIntersectionCurveBuilder` 函数实现。各层基本轨迹线生成之后,如图6所示,还需对每层的轨迹线进行截断并进行连接,最后还需要将最上层轨迹线 and 最下层轨迹线的断头,分别与指定进水口点和出水口点相连接,才能形成一条完整的轨迹线。

随形水路管道实体是由指定截面沿着轨迹线扫描形成的,为保证扫描成功,轨迹线必须柔顺,不能有尖角。但是在生成基本的轨迹线后,整个曲线链中可能会存在一些尖角连接,如图7所示,尖角的存在会导致管道扫描失败,事实上,即便通过其它方法创建出尖角过渡的冷却管道,如图8光顺处理

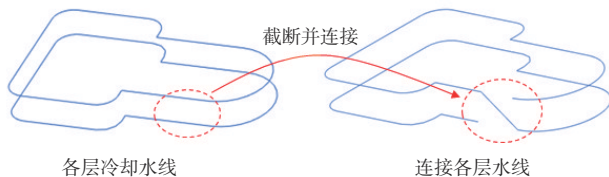


图6 连接冷却水线示意图



图8 两种不同的随形水路

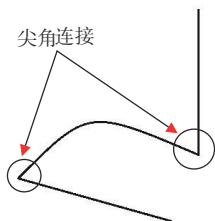


图7 冷却水中的尖角连接

前,也不利于冷却介质在均匀压力和速度下流动,影响冷却效果。因此必须对整条轨迹线做光滑处理,最后再进行扫描形成随形水路。

笔者对冷却管道轨迹线尖角连接进行光滑处理的基本思想为:搜索全部基本轨迹线,判断前后相连的两条曲线是否相切,如果不相切,则说明存在尖角,此时则需对构成尖角的两条曲线进行倒圆角,整个算法流程如图9所示。

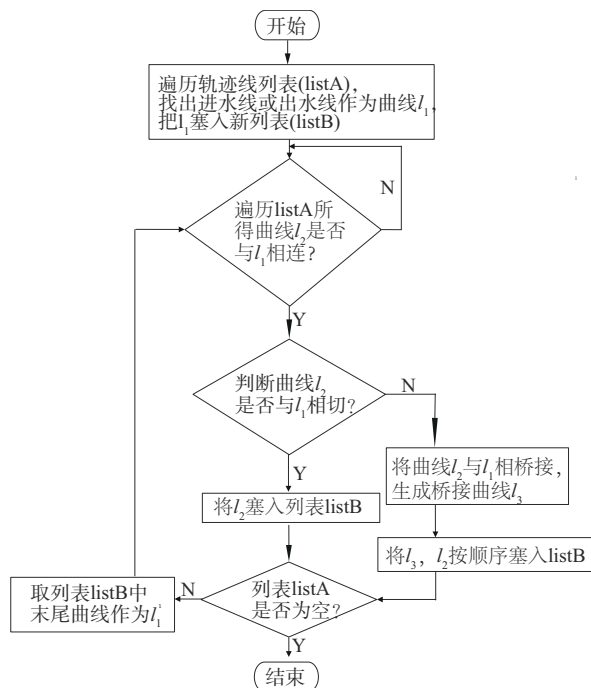


图9 曲线光滑算法流程

(1)从原始轨迹线列表(listA)中,找出进水或出水轨迹线作为起始线 l_1 ,塞入新的列表(listB)。

(2)遍历列表(listA),判断曲线 l_2 是否与起始线 l_1 有交点,如果有交点,则进行下一步(3);否则,继续遍历列表(listA)。

(3)判断曲线 l_2 是否与起始线 l_1 相切:如果相切,则直接将曲线 l_2 塞入列表(listB);否则,将曲线 l_2 与 l_1 相桥接,生成桥接曲线 l_3 ,将 l_3, l_2 按顺序塞入(listB)。

(4)判断列表(listA)是否为空,如果为空,则结束程序;否则,取列表(listB)中末尾曲线作为 l_1 ,继续遍历列表(listA)进行判断,即重新进入(2)循环。

判断轨迹线中前后曲线是否相切的算法原理如图10所示,利用桥接曲线功能对相连两曲线(l_1, l_2)进行桥接,判断连接点 p_0 到桥接曲线 l_3 的距离 D 是否在公差范围(0.001)内,如果是,则可以认为两曲线原来就是相切关系,撤销桥接;否则,说明两曲线是尖角过渡,则需要执行桥接,算法流程如图11所示。

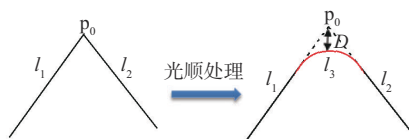


图10 曲线相切判断示意图

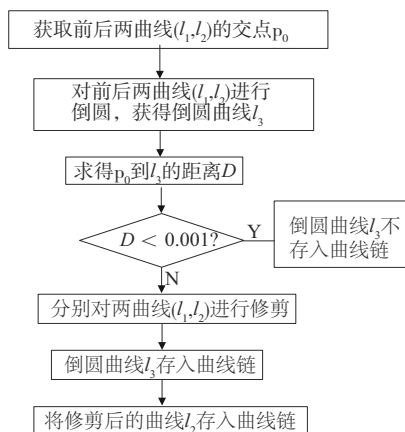


图11 曲线桥接处理流程

相关参数的选用可由设计人员根据产品结构进行适时的调整。

(1)分层面的间距,即随形水路围绕模具型面上升时的间隔高度。间距太大,冷却效果差;间距太小,则易引起干涉,且耗费计算时间。在系统界面设计时,可将间距的取值设置为一端口提供给用户,用户可以调整其值。

(2)型面的偏置距离。在选择偏置距离值时,除了考虑安全距离之外,冷却效果也要计入。偏置距离太大,冷却效果欠佳;偏置距离太小,容易造成冷却管道与其它模具零件发生干涉,且模具强度也不易保障,偏置距离可以根据需要进行修改。

(3)进出水口的确定。进水口位置通常位于模

仁的底部,需要设计人员自行确定,一旦确定,其坐标点随即计入轨迹线的控制点。

4 系统应用实例

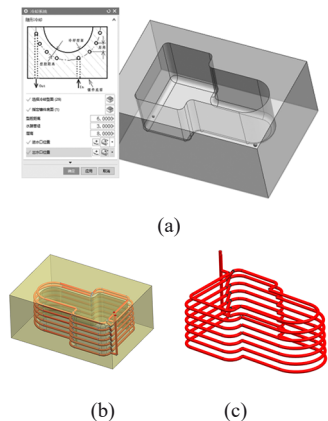
以模具行业中广泛使用的NX工业软件作为算法实现平台,基于NX OPEN API接口,开发了随形水路自动设计系统。系统界面使用NX二次开发工具BLOCK UIStyler样式编辑器(图12a)进行设计,系统操作界面如图12b所示,冷却型面指的是模具的型腔表面,镶件底面指的是模仁的底面,进水口位置和出水口位置可在此面上指定,型腔距离是指随形水路的轨迹线与型腔表面的距离,水路管径为冷却管道的直径,层高是指每层随形水路轨迹线之间的间隔高度。



a—样式编辑器;b—系统界面

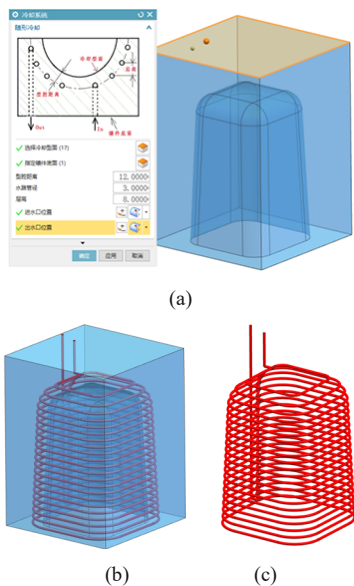
图12 系统界面设计

工程实例1(图13)为某一不规则壳体塑件的凹模镶件,外形尺寸为109 mm×160 mm×70 mm,腔体深度为50.4 mm,随形水路设置参数为:型腔距离为6 mm,管道直径为3 mm,层高为8 mm。工程实例2(图14)为一深腔壳体塑件的凹模镶件,外形尺寸为150 mm×150 mm×210 mm,腔体深度为161.9



a—算例1的操作界面;b—运行结果;c—生成的随形水路模型

图13 算例1随形水路自动设计



a—算例2的操作界面;b—运行结果;c—生成的随形水路模型

图14 算例2随形水路自动设计

mm,随形水路设置参数为:型腔距离为12 mm,管道直径为3 mm,层高为8 mm。

针对两个工程实例,分别采用传统方法和本文方法进行随形水路设计,效果见表1、表2,设计人员采用传统方法进行随形水路设计,需要频繁的进行大量重复性的交互式曲线编辑操作才能完成,不但工作量大,耗费时间,而且容易出错,设计质量也难以保证。利用本研究开发的自动化设计系统只需简单的设计参数输入,水路即可自动生成,效率大幅提高,质量符合要求。

表1 算例1设计效果对比

名称	传统方法	本文算法
交互次数	>250次	9次
耗费时间	约50 min	约1 min
设计难度	复杂	简单

表2 算例2设计效果对比

名称	传统算法	本文算法
交互次数	>230次	9次
耗费时间	约45 min	约1 min
设计难度	复杂	简单

5 结论

随着3D打印技术在模具制造领域的深入应用,随形水路在模具工程实践中的应用将越来越多。相较于传统冷却水路,随形水路的设计过程十分耗时且繁琐。笔者为解决现实存在的随形水路快速设计问题,在地貌学中等高线形成机理的启发

下,根据工程中常用随形水路的结构特点,提出了一种随形水路自动生成方法。通过将模具型腔表面进行偏置,并与一系列基准面进行相交产生基本轨迹线,在此基础上,对基本轨迹线进行连接、光顺等处理最终获得扫描轨迹线,以用户指定的截面直径沿轨迹线进行扫描即可获得随形水路实体管道。以NX为应用平台,开发了随形水路自动设计系统,实现了笔者提出的全部算法。通过实际工程案例验证,该方法可大幅度缩短设计时间,降低了对设计人员的经验要求,同时能够保证设计质量,具有工程实用价值。

参考文献

- [1] Hassan H, Regnier N, Pujos C, et al. Modeling the effect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection moulding[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2010, 30(13): 1 547-1 557.
- [2] Sachs E, Wylonis E M E M, Allen S, et al. Production of injection moulding tooling with conformal cooling channels using the three dimensional printing process[J]. *Polymer Engineering and Science*, 2000, 40(5): 1 232-1 247.
- [3] Sanchez R, Aisa J, Martinez A, et al. On the relationship between cooling setup and warpage in injection moulding[J]. *Measurement*, 2012, 45(5): 1 051-1 056.
- [4] Jahan S A, Wu T, Zhang Y, et al. Implementation of conformal cooling & topology optimization in 3D printed stainless steel porous structure injection moulds[C]. Shih A, Wang L. 44th North American Manufacturing Research Conference. Amsterdam: Elsevier Science Bv, 2016: 901-915.
- [5] Sfa B, Amk A, Yp A. Design and fabrication of conformal cooling channels in moulds: Review and progress updates-ScienceDirect[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2021, 171. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121082
- [6] 王武. SLM技术在注塑模具中的应用及安全评价[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2020.
Wang Wu. Application and safety evaluation of SLM technology in injection mould[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2020.
- [7] 马一恒. 基于3D打印的注塑模随形冷却水路优化设计及应用研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2020.
Ma Yiheng. Research on the optimal design and application for the conformal cooling channel of the injection mould based on 3D printing [D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2020.
- [8] 李亚勇. 带随形水路的注塑模具成形零件3D打印工艺开发[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
Li Yanyong. Development of 3D printing process for injection moulded parts with conformal waterways[D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.
- [9] Zhang Y, Hou B, Wang Q, et al. Automatic design of conformal cooling channels in injection moulding tooling[J]. *Iop Conference*, 2018, 307. DOI: 10.1088/1757-899X/307/1/012025.
- [10] 王乾. 注射模随形冷却水道生成与优化[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
Wang Qian. Generation and optimization of cooling channel following the shape of injection mould[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017.
- [11] Kočov A., Tuteski O. Conformal cooling channels in injection moulding tools design considerations[J]. *Machines. Technologies. Materials*. 2018, 12(11): 445-448.
- [12] Altaf K, Rani A M B A. Numerical study of profiled conformal cooling channels for cooling time reduction in injection mould tools[J]. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, 2015, 7(4): 230-237.
- [13] Berger G R, Zorn D, Friesenbichler W, et al. Efficient cooling of hot spots in injection moulding. A biomimetic cooling channel versus a heat-conductive mould material and a heat conductive plastics[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2019. DOI: 10.1002/pen.25024.
- [14] 吴茜. 注塑模具随形冷却水道设计方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
Wu Qian. Research on the design method of cooling channel following the shape of injection mould[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [15] 李军旗. 基于边界元和组件思想的注塑成型随形冷却管道流-热耦合拓扑优化[D]. 大连: 大连理工大学, 2020.
Li Junqi. Conformal cooling system design for injection moulding based on boundary element and component topology optimization [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2020.