

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.09.015

注塑模具螺旋式随形水路快速设计技术

王静, 刘浩, 陈川, 刘彦国, 程方启

(浙江机电职业技术大学智能制造学院, 杭州 310053)

摘要: 针对目前注塑模具螺旋式随形水路设计过程复杂耗时且易出错的弊端, 根据螺旋式结构的特点, 结合水路设计经验提出了一种随形水路自动生成方法。该方法首先基于最小包围盒技术根据模具型芯大小生成辅助螺旋线, 通过将螺旋线投影至模具型面的偏置面上, 从而得到参考轨迹线。其次对参考轨迹线进行排序, 并采用增量弧长法自动生成控制点, 计算并比较参考轨迹线的首尾控制点至进出水口坐标点的距离, 从而按照随形水路生长方向对所有控制点进行排序。最后调用样条曲线函数, 按照顺序串起所有控制点生成轨迹线, 沿轨迹线扫描形成冷却管道。以 NX 软件为平台, 二次开发了随形水路自动设计模块与 NX 无缝衔接, 实现了提出的全部算法。实例验证表明, 该方法大幅度缩短了设计时间, 减轻了设计人员的工作负担, 提高了随形水路的设计效率和质量, 具有一定的应用价值。

关键词: 二次开发; 模具设计; 随形水路; 螺旋式水路; 冷却系统

中图分类号: TQ32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)09-0097-07

Rapid design technology of spiral conformal cooling channels for injection mould

WANG Jing, LIU Hao, CHEN Chuan, LIU Yanguo, CHENG Fangqi

(College of Intelligent Manufacturing, ZheJiang Polytechnic University of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract : In response to the drawbacks of the complex, time-consuming, and error-prone in design process of spiral conformal cooling channels of injection moulds, an automatic generation method for spiral conformal cooling channels was proposed based on the characteristics of the spiral structure and combined with cooling channel design experience. In this method, auxiliary spiral line was first generated based on the minimum bounding box technology according to the size of the mould core, and the spiral line was projected onto the offset surface of the mould surface to obtain the reference trajectory line. Next, the reference trajectory line was sorted and the incremental arc-length method was used to automatically generate control points. The distance from the control points at the beginning and end of the reference trajectory line to the coordinates of the inlet and outlet was calculated and compared, and then all control points were sorted according to the growth direction of the conformal cooling channels. Finally, the spline curve function was called to string all control points in order to generate the scanning trajectory line, and the cooling channel was formed by scanning along the trajectory line. An automatic design module for conformal cooling channels based on NX software platform was secondary developed and seamlessly integrated with NX software, implementing all the algorithms proposed by above method. The example verification shows that this method significantly shortens the design time, reduces the workload of designers, improves the design efficiency and quality of conformal cooling channels, and has certain application value.

Keywords : secondary development ; mould design ; conformal cooling channels ; spiral cooling channels ; cooling system

受传统钻削加工方式的制约, 长期以来注塑模具内部只能以纵横交错的直管道形式对塑件进行冷却, 这种水路结构很难达到最佳的冷却效果。随着 3D 打印技术在模具制造领域的不断发展, 自由

灵活的随形水路日益受到模具生产企业的重视, 其冷却效果和经济价值受到广泛认可^[1-6]。

虽然目前通过 3D 打印技术加工出随形水路已是易事, 但其设计过程却是一项相当繁琐的工

基金项目: 浙江机电职业技术大学 2022 年度校级科教融合重大研发孵化项目(A-0271-22-103)

通信作者: 王静, 博士, 讲师, 主要研究方向为数字化设计、模具 CAD

收稿日期: 2024-06-27

引用格式: 王静, 刘浩, 陈川, 等. 注塑模具螺旋式随形水路快速设计技术[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(9): 97-103.

WANG Jing, LIU Hao, CHEN Chuan, et al. Rapid design technology of spiral conformal cooling channels for injection mould[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(9): 97-103.

作^[7-9],在现有的技术条件下,设计人员不得不依赖手工花费大量的时间去构建冷却管道,设计效率低下且易出错,因此如何快速设计出随形水路成为设计实践中亟待解决的一个迫切问题。为实现模具随形水路的自动生成,近年来研究人员提出了许多设计方法和算法。Berger等^[10]基于仿生学原理,提出了一种3D血管型随形冷却结构,并应用于汽车塑料零件,取得了很好的冷却效果,但是文中并没有阐述具体的水路设计方法。Wang等^[11]采用简化的有限元冷却分析技术辅助UG对注塑模具冷却系统进行设计和仿真,这使得整个塑料制品的温度分布更加均匀。Nguyen等^[12]采用响应面法确定了模具随形水路的最佳形状,并采用模流分析结果证实了该方法的优越性。Zhang等^[13]提出一种建立随形水路的通用方法,其中作为扫描轨迹线的通道中心线分两步产生:首先基于产品的几何信息提取共形环;其次通过对这些环的混合,建立了螺旋形中心线。受此思路的启发,王乾等^[14]利用小波光顺算法和最小二乘拟合算法,提出了一种随形冷却水道自动生成方法,并应用于汽车零部件的水路构造。但是此文中所提及的功能实现缺乏广泛的应用性,且无法对已形成的水路进行二次修改。Barbeiro等^[15]将模芯分解为近似凸区域,然后对其进行分类,对于狭窄扁平区域,采用之字形结构,其他区域则采用螺旋形结构,螺旋线的设计是由边界距离图的等圆线来形成。

现有的随形水路自动生成技术研究大多偏重理论研究,可操作性不强,尤其是面向通用设计平台的算法实现更是鲜见,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,笔者根据工程实践中螺旋式随形水路的结构特点,提出了一种随形冷却管道自动生成方法,并在应用广泛的NX三维软件平台上开发了专门的设计系统,实现了笔者提出的全部算法,经实践检验,取得了良好的效果。

1 基本原理

在模具设计实践中常会遇到一些具有大长径比特征结构的模具型芯冷却问题,如图1所示,此类结构若采用传统的直管道水路冷却方式很难达到良好的冷却效果。在这种情况下,设计人员通常会考虑采用螺旋式的随形水路来对模具型芯进行冷

却。螺旋式随形水路结构的典型特点是冷却液从模具型芯底部的进水口进入,沿着螺旋线对模具型芯进行均匀冷却,并最终从模具型芯底部的出水口流出。

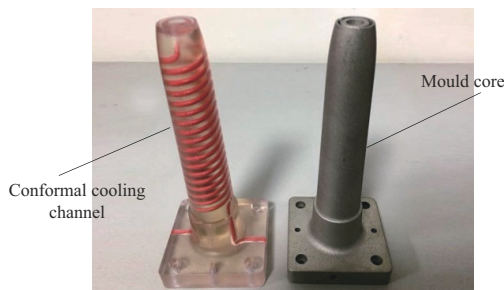


图1 螺旋式随形水路

Fig. 1 Spiral conformal cooling channel

具体设计时构建螺旋式随形水路是一项特别麻烦的工作,需要设计人员频繁地使用曲线功能进行创建与编辑修改,这一过程往往极为耗时且容易出错。笔者根据螺旋式随形水路的结构特点,在吸收工程设计经验的基础上,从实用角度出发,提出一种随形水路管道设计方法,其基本构建原理如下。

(1) 偏置模具型面。

为保证冷却效果,随形水路的水路管道壁面离模具型面的距离应尽可能相等,其基本走向应与产品的轮廓尽量贴合,因此模具型面按照同一数值进行偏置,如图2所示,偏置距离应为半个管径与安全距离之和。

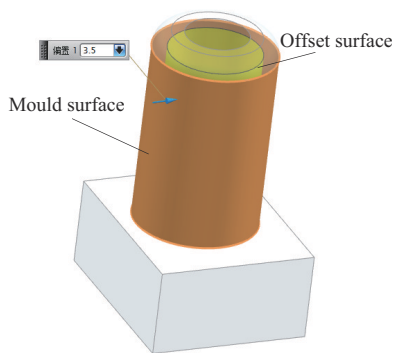


图2 偏置模具型面

Fig. 2 Offset mould surface

(2) 生成辅助螺旋线。

调用螺旋线功能命令,螺旋线坐标载入点位于模具型芯底座中心,螺旋线外径应大于模具型芯最大外径,如图3所示,螺距可根据需要进行调整。如果需要生成双螺旋结构,则需要将载入点Z轴坐标沿Z轴正向偏移半个螺距。

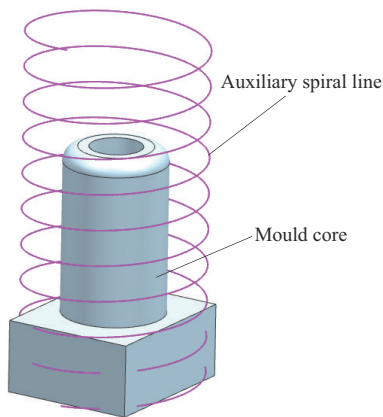


图3 生成辅助螺旋线

Fig. 3 Generation of auxiliary spiral line

(3)形成参考轨迹线。

将外部的辅助螺旋线投影到偏置面上形成参考轨迹线,如图4所示,后续将在该轨迹线上生成样条曲线控制点。

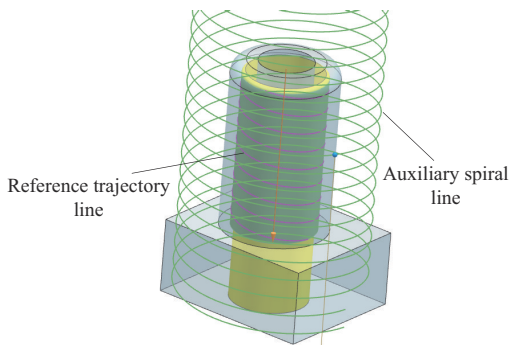


图4 投影形成参考轨迹线

Fig. 4 Projection forming of a reference trajectory line

(4)生成样条曲线控制点。

采用增量弧长的产生方法,以参考轨迹线为基本几何体,如图5所示,按照指定间距生成一系列坐标点作为样条曲线的控制点。

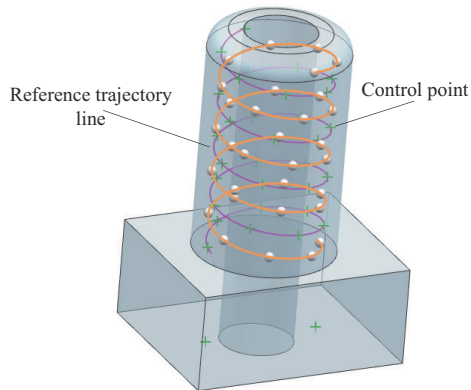


图5 生成样条曲线控制点

Fig. 5 Generation of spline curve control points

(5)生成扫描轨迹线。

如图6所示,选取进水口和出水口位置,将其加入样条曲线控制点集合,使用样条曲线从进水口坐标点依次串起各控制点,并截止到出水口坐标点,生成扫描轨迹线。

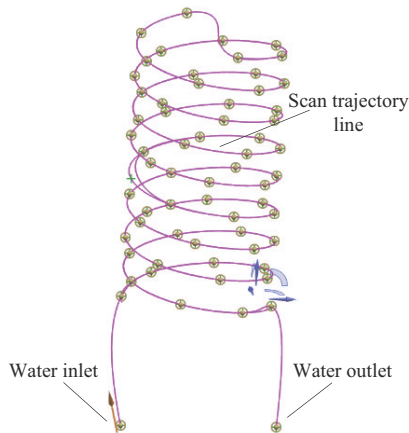


图6 扫描轨迹线的形成

Fig. 6 Formation of scanning trajectory line

(6)管道扫描形成随形水路。

根据扫描轨迹线,使用管道扫描命令,扫描形成随形水路管道实体,如图7所示,并与模具型芯进行布尔运算,最终获得冷却管道。

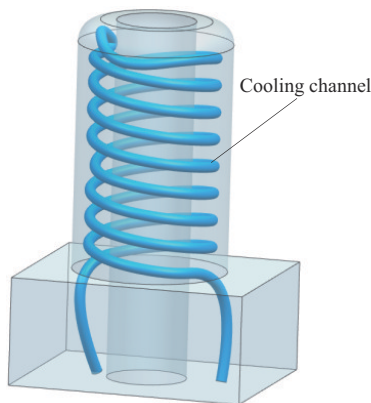


图7 管道扫描形成水路

Fig. 7 Forming of cooling channel with pipeline scanning

2 系统流程

根据前述注塑模具螺旋式随形水路设计的基本原理,基于CAD系统的随形水路自动生成流程可分为以下7个部分。

(1)偏置面的形成。选取模具型面,对其进行偏置,调用内部偏置函数得到偏置面集合。

(2)生成辅助螺旋线。基于最小包围盒技术,根据模具零件模型,以模具型芯底面中心为坐标原点,生成两组辅助螺旋线。

(3)生成参考轨迹线。将辅助螺旋线投影到所选的偏置面上,得到两组参考轨迹线。

(4)获取控制点。以参考轨迹线为基本几何体,调用内部函数,按照增量弧长的方法生成一系列控制点,同时需要将进出水口的坐标点计入控制点集合。

(5)生成扫描轨迹线。调用样条曲线函数,从进水口坐标点开始,依次串起各个控制点形成扫描轨迹线。

(6)管道扫描。根据用户在系统界面输入的截面尺寸,沿着指定轨迹线进行扫描形成管道实体。

(7)布尔求差。从模具型芯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(Application Programming Interface, API)的支撑下,将以上偏置面的形成、螺旋线的生成、扫描轨迹线生成管道等操作封装在一起共同驱动CAD模型。

3 关键算法

3.1 曲线排序算法

考虑到模具型芯结构的复杂性,辅助螺旋线投影至偏置面上所形成的参考轨迹线并不总是一段完整的螺旋线,而可能由多段不同曲线($l_1, l_2, \dots, l_i$)构成,如图8所示。这些曲线随机存储在列表中,而不是按照预定的随形水路生成方向顺序(如图9所示,从进水口到出水口)排列,这会导致后续自动布点的顺序混乱,因此必须对曲线在列表中的存储顺序进行重新排序。

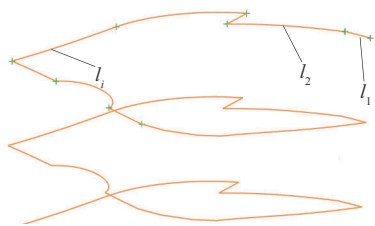
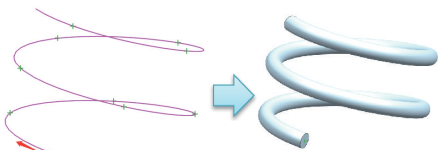


图8 参考轨迹线排序示例

Fig. 8 Sorting example of reference trajectory lines



(a) Scan trajectory line (b) Conformal cooling channel entity

图9 螺旋式水路生成方向图示

Fig. 9 Generation direction diagram of spiral cooling channel

曲线排序存储示意图如图10所示,曲线排序算法的基本思想是:首先从原列表listA中任选一曲线 l_0 存入新列表listB,同时从原列表listA中删除 l_0 ;遍历列表listA,寻找与曲线 l_0 相连接的曲线 l_1 ,存入新列表listB,并从原列表listA中删除曲线 l_1 ;遍历原列表listA,判断其中所选曲线 l_i 与新列表listB中头端和末尾曲线的连接情况,分别存入新列表listB头端或末尾,并从原列表listA中删除该曲线。详细的算法流程如图11所示。

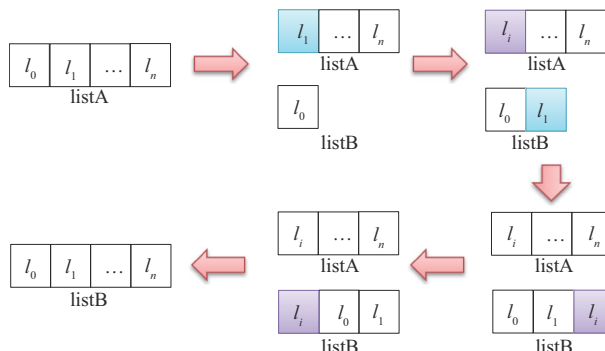


图10 曲线排序存储示意图

Fig. 10 Schematic diagram of curve sorting and storage

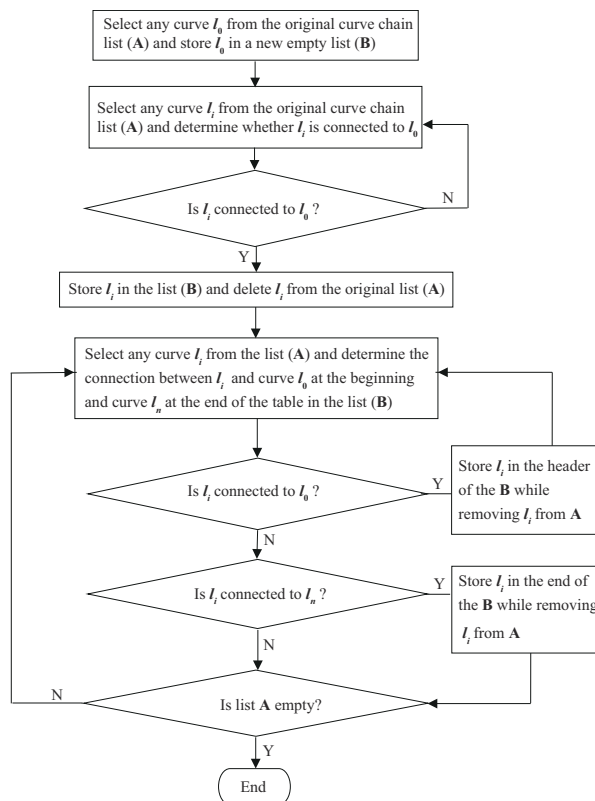


图11 曲线排序算法流程

Fig. 11 Curve sorting algorithm process

曲线排序算法的关键在于曲线相连的判断,根据投影所得的参考轨迹线的特点,整条轨迹线由多

段曲线头尾互相连接,可通过检查曲线两端端点坐标位置是否重合,从而判断曲线间是否相连。如图12所示,分别计算曲线 l_i 两端端点 P_0 、 P_1 与曲线 l_k 两端端点 P'_0 、 P'_1 的距离,如果两端点距离小于指定值(0.001 mm),即可视为两个端点重合,即曲线 l_i 和 l_k 相连接。

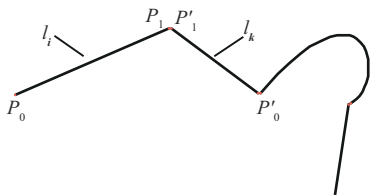


图12 曲线相连示意图

Fig. 12 Schematic diagram of curve connection

3.2 控制点生成算法

随形冷却管道通常是采用圆截面沿着指定轨迹线进行扫描形成的,为保证冷却通道不出现锐角急转的情况,目前多采用样条曲线来充作轨迹线。生成样条曲线的关键在于获取一系列控制点,现有的采用人工确定控制点的方法操作起来不但工作量大而且效率低下,特别是考虑到螺旋式随形水路结构的特殊性,还必须按照水路的生成方向顺序分布控制点。

前面已经完成了参考轨迹线的创建和排序,在此基础上,提出一种控制点自动生成算法,无须繁琐的人工取点操作,即可快速生成样条曲线的控制点,如图13所示,其基本思路如下。

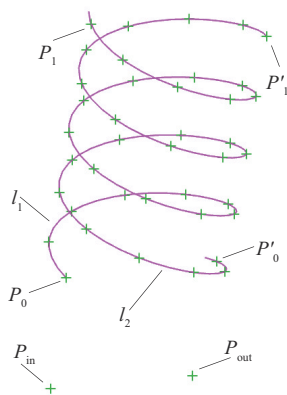


图13 控制点生成示意图

Fig. 13 Schematic diagram of control point generation

step 1: 采用增量弧长法布点(调用内部函数),分别在参考轨迹线 l_1 和 l_2 上成一系列均匀点,分别存入点集 PointList1 和 PointList2。

step 2: 在集合 PointList1 中获取参考轨迹线 l_1

的两端点 P_0 和 P_1 ,通过计算比较进水口坐标点 P_{in} 与 P_0 和 P_1 的距离远近,确定集合 PointList1 中点的顺序;同理,对于集合 PointList2 照此操作。

step 3: 合并集合 PointList1 和 PointList2 形成新的点集 PointList3。

step 4: 计算点集列表 PointList3 中首元素坐标点与进水口坐标点 P_{in} 和出水口坐标点 P_{out} 距离,距离最近的水口坐标点将插入表头,另一个水口坐标点将插入表尾。

4 界面设计

以在模具设计领域广泛使用的西门子 NX 工业软件作为开发平台,基于 NX OPEN API 接口,采用 Python 编程语言实现了笔者提出的全部算法,完成了螺旋式随形水路自动生成设计系统的开发。系统界面使用 NX 二次开发工具 BLOCK UIStyler 样式编辑器,如图14a所示。在系统操作界面上,如图14b所示,用户可通过选择水路基本形状,进入螺旋式水路设计界面,在选取模具型面并输入安全距离和基本管径之后,点击“生成偏置面”控件,系统将自动计算出冷却型面的偏置面,并在屏幕上显示出来,与此同时,操作界面的其他控件将被激活,用户需继续在偏置面中选择需要投影的曲面,选取模具模芯零件,输入层高和中心轴向,同时选择进水口位置和出水口位置,点击确定,系统即可自动生成随形水路。



(a) Interface style editor

(b) System interface

图14 系统界面设计

Fig. 14 System interface design

5 企业应用实例

5.1 凸起结构类模具零件随形水路设计(实例1)

实例1为凸起结构类模具零件,该模具型芯底座基本尺寸为40 mm×40 mm×25 mm,成型部分基本尺寸为20 mm×50 mm×24 mm,实际上这种凸起

类模具零件在工程中较为常见,由于尺寸狭小,难以用传统水路进行布置设计,故需要采用随形水路设计,如图15所示。在NX10.0平台上,利用笔者开

发的随形水路自动化设计系统可完成对该模具随形水路的快速设计,设计参数输入过程及水路的自动生成结果如图15中用户界面所示。

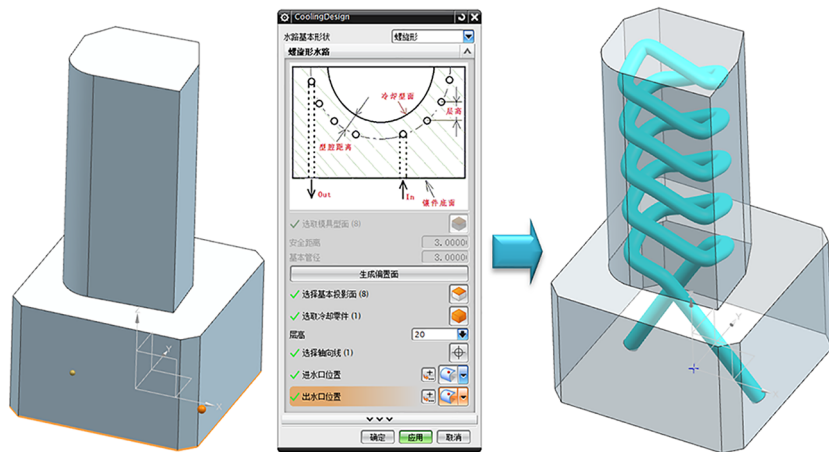


图15 实例1随形水路设计

Fig. 15 Conformal cooling channel design of example 1

5.2 腔体结构类模具零件随形水路设计实例(实例2)

实例2为另一个需要进行水路设计的某模具零件,与凸起类零件不同,该模具零件为腔体类结构,其外形基本尺寸为60 mm×40 mm×83 mm,内腔成型部分基本尺寸为20 mm×40 mm×66 mm,同样,难以采用传统水路的设计方案,故考虑采用螺旋式随

形水路设计,设计参数输入过程及水路的自动生成结果如图16中用户界面所示。

需要说明的是,由于图16中自动生成的水路跨越了空腔区域,后续还需进行一些辅助修改从而改变水路方向,如图17所示,在已生成的水路结构上构建环形回路最终完成水路设计。

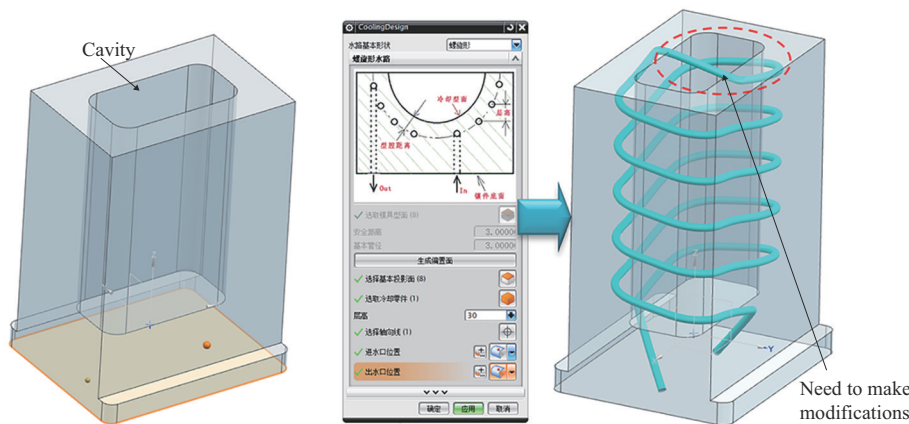


图16 实例2随形水路设计

Fig. 16 Conformal cooling channel design of example 2

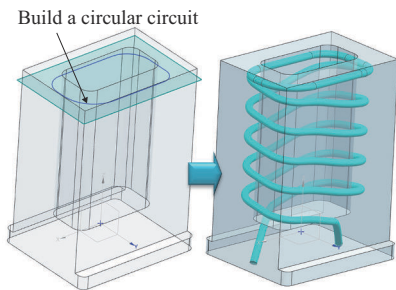


图17 实例2辅助修改设计示意图

Fig. 17 Schematic diagram of assisted modification design for example 2

5.3 效果对比

针对上述两个典型案例,设计人员若采用传统的手工设计方法,将不得不重复地进行画线、倒圆、修剪等曲线编辑命令才能最终完成不同类型模具随形水路的设计,过程极其繁琐且耗费时间;而使用笔者提出的自动算法程序进行设计,可大幅度降低交互次数,进而提高设计效率。具体效果对比见表1。

表1 传统手工方法与本文自动方法花费时间对比

Tab. 1 Comparison of time needed between traditional manual methods and automatic methods described in this article

Name	Example 1	Example 2
Traditional manual method	about 40 min	about 50 min
Automatic method	<3 min	<3 min

6 结语

随着3D打印技术在模具制造领域的深入应用,注塑模具采用随形冷却技术越来越引起人们的注意。目前的传统设计方法存在着繁琐耗时的弊端,为解决现实存在的随形水路快速设计问题,专门针对生产中普遍采用的螺旋式随形水路结构,提出了一种自动生成方法,并以NX为应用平台,开发了快速设计系统,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,提高随形水路的设计效率,具有一定的工程应用价值。

参考文献

- [1] 唐春华,张斌,李军利.叶轮注塑模具随形冷却水道设计与分析[J].塑料,2022,51(3):133-136.
TANG Chunhua, ZHANG Bin, LI Junli. Design and analysis of conformal cooling water channel for impeller injection mold[J]. Plastics, 2022, 51(3):133-136.
- [2] 方俊杰,吴建.基于随形水路的汽车烟缸缸体注塑优化设计[J].现代制造技术与装备,2022,58(6):27-30.
FANG Junjie, WU Jian. Optimization design of injection molding for automobile chimney cylinder body based on conformal waterway[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2022, 58(6):27-30.
- [3] 胥永林,张维合,冯国树,等.智能热水壶主体复杂抽芯及随形水路注塑模设计[J].中国塑料,2022,36(6):137-141.
XU Yonglin, ZHANG Weihe, FENG Guoshu, et al. Design of injection mold for complex core pulling and flexible waterway of intelligent hot water kettle body[J]. China Plastics, 2022, 36(6):137-141.
- [4] 张维合,冯国树,宋东阳,等.汽车多功能旋钮注塑模具3D打印随形水路设计[J].现代塑料加工应用,2022,34(4):44-47.
ZHANG Weihe, FENG Guoshu, SONG Dongyang, et al. 3D printing of injection molds for multifunctional knobs in automobiles and design of flexible waterways[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2022, 34(4):44-47.
- [5] 赵光华,黄丽敏,唐英成,等.基于3D打印的智能马桶水件模具随形水路优化设计[J].陶瓷,2022(7):39-43.
ZHAO Guanghua, HUANG Limin, TANG Yingcheng, et al. Optimization design of shape following waterway for intelligent toilet water parts mold based on 3D printing[J]. Ceramics, 2022(7):39-43.
- [6] 郑家峰,吕宏贵,杨金龙.3D打印随形水路在铰链盖模具上的应用[J].模具制造,2022,22(7):74-78.
ZHENG Jiazheng, LYU Honggui, YANG Jinlong. Application of 3D printed flexible waterway in hinge cover mold[J]. Die Mould Manufacture, 2022, 22(7):74-78.
- [7] 张维合,冯国树,宋东阳,等.瓶肩复杂抽芯机构及3D打印随形水路设计[J].模具工业,2022,48(6):30-34.
ZHANG Weihe, FENG Guoshu, SONG Dongyang, et al. Complex core pulling mechanism for bottle shoulder and 3D printed conformal waterway design[J]. Die & Mould Industry, 2022, 48(6):30-34.
- [8] 张维合,冯国树,宋东阳,等.机器人关节轴二次抽芯及随形水路注塑模具设计[J].塑料工业,2022,50(3):63-66,109.
ZHANG Weihe, FENG Guoshu, SONG Dongyang, et al. Design of injection mold for secondary core pulling of robot joint axis and conformal waterway[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(3):63-66, 109.
- [9] 李克杰,李金国,蒋梦琳.注塑模具随形水路零件制造技术进展[J].模具技术,2023(3):58-63.
LI Kejie, LI Jinguo, JIANG Menglin. Progress in manufacturing technology of injection mold with shape water circuit parts[J]. Die and Mould Technology, 2023(3):58-63.
- [10] BERGER G R, ZORN D, FRIESENBIHLER W, et al. Efficient cooling of hot spots in injection molding. A biomimetic cooling channel versus a heat-conductive mold material and a heat conductive plastics[J]. Polymer Engineering and Science, 2018, 59(7). DOI:10.1002/pen.25024.
- [11] WANG Yuandi, LEE C. Design and optimization of conformal cooling channels for increasing cooling efficiency in injection molding[J]. Applied Sciences, 2023, 13(13). DOI: 10.3390/app13137437.
- [12] NGUYEN V T, MINH P S, UYEN T M, et al. Conformal cooling channel design for improving temperature distribution on the cavity surface in the injection molding process[J]. Polymers, 2023, 15(13). DOI:10.3390/polym15132793.
- [13] ZHANG Yingming, HOU Binkui, WANG Qian, et al. Automatic design of conformal cooling channels in injection molding tooling[J]. IOP Conference, 2018, 307. DOI: 10.1088/1757-899X/307/1/012025.
- [14] 王乾,侯斌魁,黄志高,等.基于NX平台的注射模随形冷却水道生成方法研究[J].模具工业,2017,43(8):35-41,47.
WANG Qian, HOU Binkui, HUANG Zhigao, et al. Research on the generation method of conformal cooling water channel for injection mold based on NX platform[J]. Die & Mould Industry, 2017, 43(8):35-41, 47.
- [15] BARBEIRO S, ENGUIÇA R, LOBO D. Automatic generation of conformal cooling channels in injection moulding[J]. Computer-Aided Design, 2022, 150. DOI:10.1016/j.cad.2022.103312.