

汽车方向盘模具分型面的智能化设计

黄琳健, 郑佩, 仲梁维

上海理工大学机械工程学院, 上海

收稿日期: 2024年4月26日; 录用日期: 2024年5月22日; 发布日期: 2024年5月30日

摘要

针对方向盘模具的设计中, 其分型面人工设计花费时间较长, 且较为复杂的问题, 提出了一种基于分型线自动形成分型面设计方案。首先在方向盘上提取出完整的分型线, 然后运用切割法将完整的分型线进行切割, 将切割下的分型线通过弗雷歇距离相似度算法在曲线实例库中进行匹配, 逐个成面, 最终将各个离散面缝合为一个完整的分型面。基于UG二次开发, 通过编程完成以上系统的设计, 实现不同分型面的生成。实例表明, 该分型面自动化系统能够极大提高生产效率, 且生成的分型面符合加工要求。

关键词

分型面设计, 弗雷歇距离相似度算法, 曲线实例库, UG二次开发, 分型面自动化

Intelligent Design of Automobile Steering Wheel Mold Parting Surface

Linjian Huang, Pei Zheng, Liangwei Zhong

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Apr. 26th, 2024; accepted: May. 22nd, 2024; published: May. 30th, 2024

Abstract

In the design of the steering wheel mold, the manual design of the parting surface takes a long time and is more complicated, a design scheme of automatic parting surface formation based on parting line is proposed. First, the complete parting line is extracted on the steering wheel, and then the complete parting line is cut based on the cutting method. The cut parting line is matched in the curve instance library by the Frechet distance similarity algorithm, and each discrete surface is stitched into a complete parting surface. Based on UG secondary development, the above system design is completed through programming to generate different parting surfaces. The example shows that the automatic parting surface system can greatly improve the production effi-

ciency, and the parting surface generated meets the processing requirements.

Keywords

Parting Surface Design, Frechet Distance Similarity Algorithm, Curve Instance Library, UG Secondary Development, Parting Surface Automation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着计算机辅助技术的快速发展,UG、SOLIDWORKS 和 CATIA 等三维建模软件的二次开发技术已广泛应用于工程设计中,彻底改变了传统的设计方法。在模具分模技术方面,许多国内外学者对其进行了深入研究,并取得了一些成果。在分模技术中,分型面的设计[1] [2] [3] [4]尤为关键。邵健提出了一种基于几何推理的分型面生成方法[5],该方法针对不同类型的分型线采用不同的规则来生成分型面。周振勇提出了一种确定分型线的方法,消除了侧凹面对分型线确定的影响,并引入了优化因子来对候选分型线进行评价优化[6]。然而,这种方法不适用于带有曲面的零件。因此,在模具分模技术[7]的研究中,仍然存在对带有曲面零件的分型面生成方法的问题。对于这个问题,需要进一步的研究和探索,以寻找更有效的分型面设计方法,以满足工程设计的需求。

本文对已有的方法进行总结并优化,以 UG/Open 作为二次开发平台[8],其设计的基本原理为:1) 自动提取完整分型线并对其进行优化。2) 对提取的完整分型线进行多次分割,获取多段分型线。3) 总结成功案例的设计方案,将这些方案通过实例的方式存储在实例库。4) 将多段分型线通过匹配实例库得到对应的做法,然后将他们全部缝合为整体分型面。5) 最后智能检测是否有漏面和烂面,若存在则进行修复,确保最终获得的完整分型面不存在漏洞,提高最终分模的成功率。实现汽车方向盘模具[9]分型面的智能自动化设计[10]。

2. 分型线的自动提取

2.1. 分型线的初步提取

在制造业中,模具分型线是指用于分离模具中两个或多个零件的分界线,其主要作用是确保模具在开模时零件可以顺利脱离模具,同时保持零件的几何形状和尺寸的精确性。模具分型线的设计和位置对于模具的制造和零件的成型至关重要。

针对方向盘产品这种自由曲面零件,可以首先进行有限元分析[11],对其进行有限元网格化离散处理,得到各组成面的法线与脱模方向的角度,然后通过抽取其最大转角线来初步确定分型线,如图 1 所示。

2.2. 优化分型线

由于在分模过程中对于分型面的精度要求较高,如果分型面产生了褶皱,就极易导致分模失败。而分型面产生褶皱的原因是由于建模误差等原因,导致分型线存在缺陷,部分分型线存在自相交,不连续等情况,如图 2 所示。因此,要想提高自动分模的成功率,首先要对分型线进行优化,使其变得光滑,进而使得自动生成的分型面更加平整。

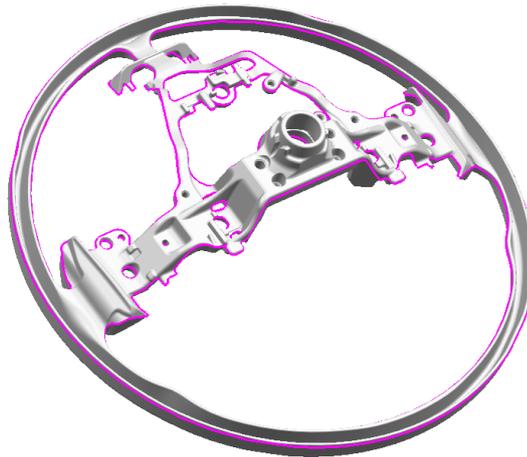


Figure 1. Steering wheel frame and parting line
图 1. 方向盘骨架与分型线



Figure 2. Problems with parting lines
图 2. 分型线存在的问题

首先关于分型线可能存在的不连续问题，可通过程序计算出相邻分型线之间的距离，如果距离大于零，说明存在间隔，接着我们可以使用桥接，在这两段分型线之间建立一条新的曲线段，将它们连接起来，从而解决分型线之间的不连续问题。

然后关于分型线之间可能产生的自相交问题，不论是平面自相交还是空间自相交，它们的沿拔模方向的投影曲线一定存在交点。因此可以通过投影曲线是否存在交点来判断分型线是否产生自相交。若产生自相交，通过分割桥接算法来解决。首先，找到自相交点，并以该点为起点，向两侧移动一定距离，确定两个切割点 1 和 2 的位置。然后，以点 1 和 2 为切割点，将曲线进行分割，将被切割的中间部分舍弃。接下来，再次使用桥接，以点 1 和 2 为端点，建立一条新的桥接曲线，从而消除了原曲线上的自相交，如图 3 所示。

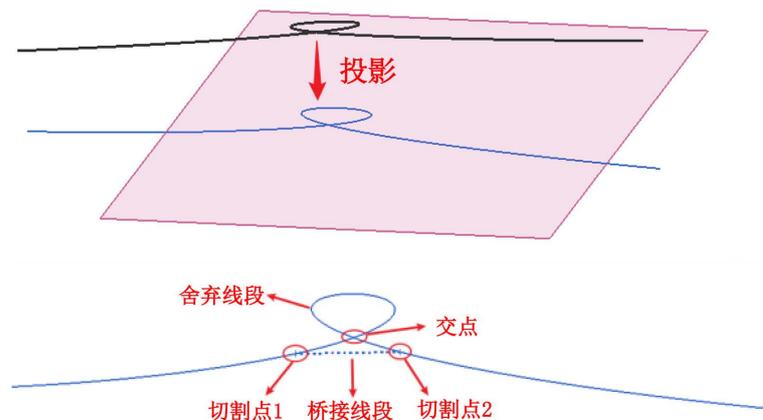


Figure 3. Optimization of self-intersecting parting lines
图 3. 分型线自相交的优化

3. 分割分型线

汽车方向盘有很多类型，其中很多方向盘的分型线是无规则参数曲线，且存在很多的拐角，对我们的造面产生非常大的干扰，如图 4 所示。所以为了处理复杂分型线，我们对分型线进行了多次分割，将其分成多段分型线，并对每段进行处理，使设计过程更加灵活。

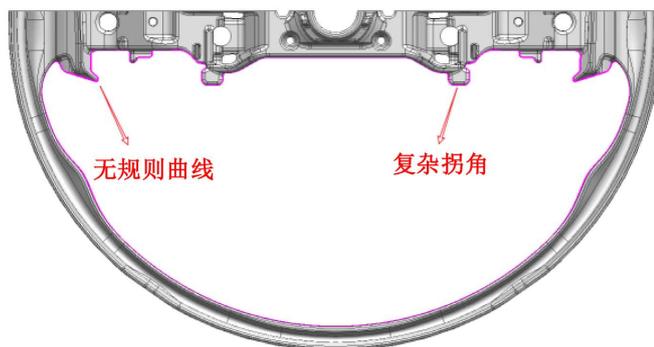


Figure 4. Complex parting line

图 4. 复杂分型线

3.1. 首次分割

这边我们采用“包容盒切割法”对分型线进行初步切割，首先建立该分型线的包容盒，然后根据包容盒自上而下以 1 mm 的间距创建基准面，求出所有基准面与分型线的交点，将交点数据存入数据库进行分析，判断每一次基准面与分型线的交点的距离，距离最大的一次得到的两个交点即为最终的切割点，对其分割，如图 5 所示。

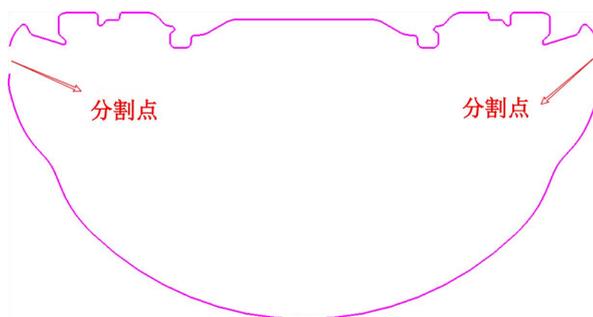


Figure 5. The parting line after the first division

图 5. 首次分割后的分型线

3.2. 二次分割

将初步分割后的分型线存入容器中，在首次切割下的曲线上选择等距离的点，以创建等分点，使用 API 函数 `UF_MODL_ask_curve_props`，可以获取曲线的等分点坐标信息和法线方向数据。将这些等分点分为以三个等分点为一组的子组，对于每个子组，使用曲线分析方法进行计算，观察其中的三个等分点之间的曲率变化，如果这三个等分点之间的曲率变化较大，则将其视为曲线上曲率变化较大的区域，并将其与其他部分进行区分，变化较大的区域则对其进行分割。曲线采用曲线分割构建器 `DivideCurveBuilder` 对初步分割后的分型线进行二次切割，将曲线离散为多段线，获得二次切割后的分型线如图 6 所示。



Figure 6. The parting line after the second cut
图 6. 二次切割后的分型线

4. 基于规则和实例推理生成分型面

4.1. 创建实例库

因为分割下的曲线类别多样，所以为了提供快速且高效的相似曲线检索功能，找到与给定曲线相似的曲线实例，创建曲线实例库是必要的[12]。

该实例库包含了多种形式的曲线数据，每个曲线实例都包含了曲线的特征和属性。通过索引和查询优化，实例库能快速筛选出与给定曲线相似的候选曲线实例，减少检索时间和提高匹配成功率。同时每种曲线类型都会对应其相应的分型面设计，分型面设计原理是总结模具设计师们成功的设计经验，并将这些设计经验通过一定的组织方式存储在实例库中，如图 7 为我们所建立的实例库中的部分分型线成面方法。

编号	实例特征形状图	实例设计方案
①		
②		
③		
④		
⑤		
⑥		
⑦		

Figure 7. Curve instance library
图 7. 曲线实例库

4.2. 实例匹配

创建完曲线实例库后,需要将其与已有的实例进行匹配[13],这可以看作一个曲线相似度[14]的问题。本文采用“弗雷歇距离相似度算法”[15],计算待匹配实例与现有实例的相似度,选出相似度最高的实例,并在曲线实例库中调用对应的分型面设计方案。

弗雷歇距离是一种用于比较两条曲线或路径之间相似度的度量方法。它考虑了曲线上点的顺序和距离,并计算两条曲线之间的最短距离。弗雷歇距离可以用于比较曲线、图形、形状等具有路径结构的对象。但弗雷歇距离的计算复杂度较高,因此,在实际应用中,常常使用近似算法或优化方法来计算弗雷歇距离,以降低计算复杂度。其中一种常用的近似算法是基于采样的方法,下面是一个近似算法的步骤:

1) 选择一个较小的固定样本集合 S , 包含曲线 P 和曲线 Q 上的一些点,其中曲线 P 为实例库中的曲线,曲线 Q 为需要匹配的目标曲线。

2) 对于每个样本点 $s \in S$, 计算其在曲线 P 和曲线 Q 上的最近邻点 p_s 和 q_s 。

3) 对于曲线 P 和曲线 Q 上的每个点 p 和 q , 计算其到最近邻点 p_s 和 q_s 的距离。

4) 根据计算得到的距离,估计曲线 P 和曲线 Q 之间的弗雷歇距离。根据估计的弗雷歇距离,可以根据实际情况设定一个阈值来判断两条曲线的相似度。如果估计的弗雷歇距离低于阈值,则可以认为两条曲线相似。

4.3. 算法流程

按照相似度算法检索策略去实例库检索类似的实例,若检索到的实例与期望的设计目标有所差异,则再对类似的实例进行修改,最后生成合适的分型面。如图 8 为自动成面算法流程。

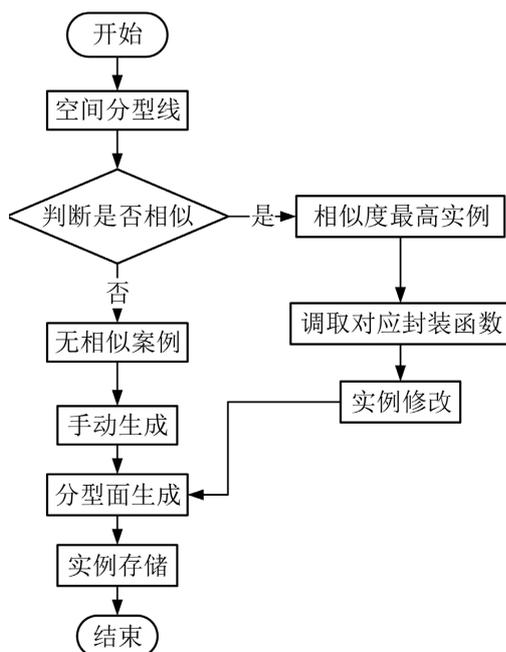


Figure 8. Automatic surface algorithm flow

图 8. 自动成面算法流程

5. 运用实例

将以上算法程序嵌入到 UG 二次开发程序中,经过实例匹配后,成功为每个小段分型线生成了相应

的分型面。这些分型面的生成依据了我们在图 7 中建立的实例库中的分型线成面方法。每个分型面都被标注了相应的序号，对应于实例库中的特定分型线成面方法，其中未被标注的分型面是通过简单分型线直接拉伸而成。这个过程确保了我们能够准确地为每个小段分型线生成相应的分型面，并且能够根据实例库中的方法进行标记和参考。最后将所有生成的单个分型面进行整体缝合，形成完整的分型面，如图 8 所示。

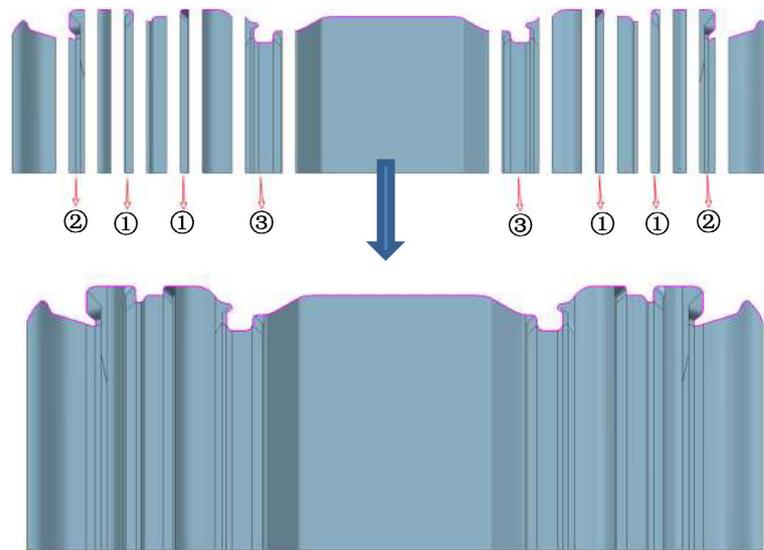


Figure 9. The segmentation surface generated based on instance matching
图 9. 基于实例匹配生成的分型面

同理可对第二条分型线进行切割，将其切割并使用相同的实例匹配方法对每个小段进行处理，生成相应的分型面，如图 9 所示。

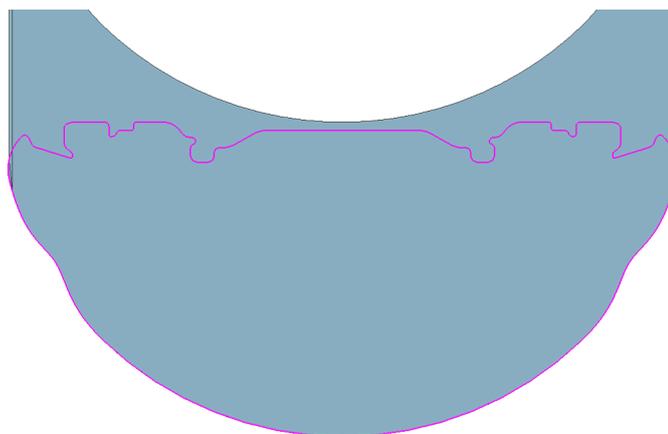


Figure 10. The segmentation surface generated based on instance matching
图 10. 基于实例匹配生成的分型面

为了减小拔模时的锁模力，降低模具磨损，提高模具寿命，同时为了方便设计，需要在分型面上设计一个阶梯，并倾斜一定的角度。首先以初次分割得到的两个分割点为起点和终点，经过一系列的计算和设计过程，形成初步的圆弧状轮廓，再对其进行倾斜拉伸，如图 10 所示。

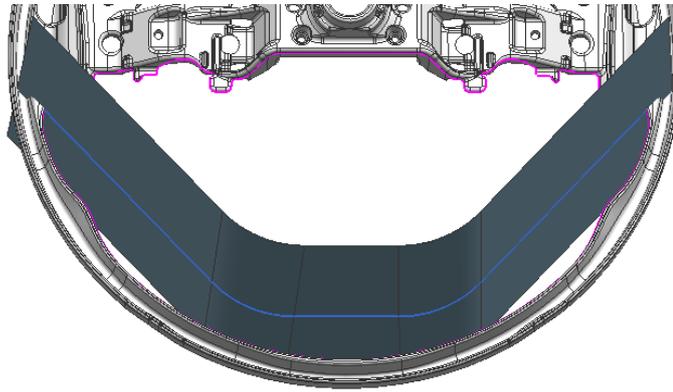


Figure 11. Create ladder
图 11. 创建阶梯

最后，我们对上述形成的三部分分型面进行修剪和缝合，以完成整个分型面的设计。通过修剪，剔除多余的部分并确保分型面的边缘线条整齐。然后，使用适当的方法将这些修剪后的分型面缝合在一起，智能检测是否有漏面和烂面，若存在则进行修复，保证它们无缝连接，形成一个完整的、连续的分型面，如图 11 为最终分型面。

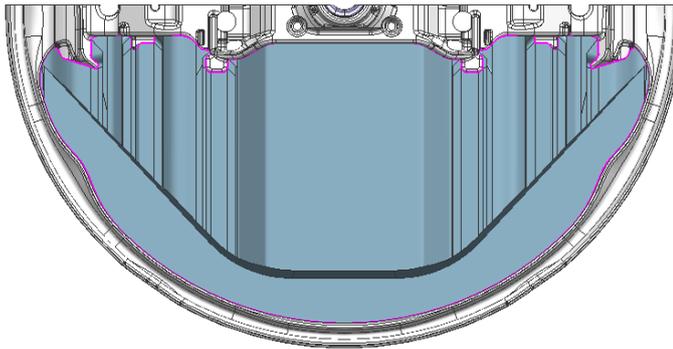


Figure 12. Final parting surface
图 12. 最终分型面

上图 12 就是通过程序设计的分型面，其表面平整、结构简单，容易加工，满足设计要求。并且最大程度地实现了模具制作的智能化与通用化，提高了模具的制作效率。

6. 结论

本文将 UG 二次开发技术运用到分型面的设计中，通过 C++与 UG 的结合，设计了一套方向盘压铸模自动生成分型面系统，该系统在制作分型面时具备高度的配合精度和成功率。通过实践验证，我们证实该系统工作稳定且效率高，设计的分型面结构合理，所生产的制品合格。我们的程序主要解决了以下技术问题：首先，基于分型线的结构重新定义了不同类型的分型线。其次，我们提出了一种适用范围更广的分型面成型方法，使其适用于大多数汽车方向盘模具。最重要的是，我们实现了创新的智能化做面技术，极大地提升了模具设计的效率。

基金项目

国家自然科学基金(51478435)。

参考文献

- [1] 金敦水. 基于UG塑料模具分型面设计技术研究与实践[J]. 煤矿机械, 2016, 37(12): 30-32.
- [2] 隆丹宁, 蒋克朝. 基于UG MoldWizard软件注塑模分型面设计初探[J]. 机械研究与应用, 2011, 24(05): 71-72.
- [3] 杜晓军. 压铸模具中分型面设计探讨[J]. 机械管理开发, 2007(3): 31-32+35.
- [4] 刘保臣, 杨晓东, 申长雨. 注塑模分型面设计方法及应用[J]. 工程塑料应用, 2007(5): 64-66.
- [5] 邵健, 吕震, 柯映林. 基于特征技术的注塑模具型腔设计制造系统[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006(3): 438-442.
- [6] 周振勇, 高曙明, 顾正朝, 等. 注塑模设计中分型线的自动确定[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000(7): 512-516.
- [7] 王静, 周来水, 李鹏, 等. 注塑模具自动化分模设计技术研究[J]. 中国塑料, 2020, 34(12): 53-58.
- [8] 周临震, 李青祝, 秦珂. 基于UG NX系统的二次开发[M]. 镇江: 江苏大学出版社, 2012: 12-13.
- [9] 陈文勇, 张莉, 黄岚霞. 汽车方向盘骨架成型工艺及压铸模设计[J]. 模具工业, 2021, 47(7): 59-62.
- [10] 韦宇宁. 机械设计制造与计算机辅助技术结合应用[J]. 模具制造, 2023, 23(11): 136-138.
- [11] 刘汉生. 有限元方法在注塑模具分型线确定中的应用[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2006(5): 20-24.
- [12] 岳继光, 陶伟, 崔哲昕, 等. 基于实例推理的复杂产品设计协同研究[J]. 中国工程机械学报, 2023, 21(4): 283-287.
- [13] 李冠华. 基于事例推理的注塑模具分型面自动设计技术研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2004.
- [14] 王洪申, 汪勇, 汪雨蓉. 三维自由曲线的相似性比较算法[J]. 机械设计, 2019, 36(11): 91-95.
- [15] 张文昊. 弗雷歇距离判断曲线相似度的嵌入式模块[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20(9): 17-20+50.