

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.03.014

基于3D打印技术的个性化鼻罩设计

白路遥, 惠延波, 周颖, 李君帅, 汪杨智, 禹军安

(河南工业大学先进制造研究所, 郑州 450001)

摘要: 针对目前市场上鼻罩与面部配合尺寸的差异问题, 提出了一种基于逆向工程和3D打印技术的鼻罩个性化定制方案。首先使用三维扫描仪采集人体面部点云数据, 结合逆向设计软件, 优化点云数据; 对处理后的点云数据进行面片重建以及领域划分, 重构出鼻子的NURBS曲面模型, 并依据曲面模型进行鼻罩的二次结构设计; 其次运用3D打印前处理技术, 对模型进行支撑添加、切片分析等; 最后通过光固化打印成型方法打印出鼻罩实物。根据患者佩戴鼻罩的反馈结果显示, 利用三维数字化设计的鼻罩与患者贴合度以及感官舒适度较为良好, 既实现了鼻罩本有的防护功能, 又解决了目前鼻罩产品配合精度不高的问题, 而且利用3D打印制作鼻罩的方案具有可行性, 可为同类产品的设计及制造提供一定的参考。

关键词: 逆向工程; 3D打印; 鼻罩; 个性化定制

中图分类号: TQ2, TQ3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)03-0078-05

Personalized Nose Mask Design based on 3D Printing Technology

Bai Luyao, Hui Yanbo, Zhou Ying, Li Junshuai, Wang Yangzhi, Yu Junan

(Advanced Manufacturing Research Institute, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: To solve the problem of the difference between the matching size of the nose mask and that of the face, a personalized nose mask customization scheme based on reverse engineering and 3D printing technology was proposed. Firstly, three-dimensional scanner was used to collect the point cloud data of human face, combined with the reverse design software to optimize the point cloud data. Patch reconstruction and domain division were carried out for the processed point cloud data, and NURBS surface model of the nose was reconstructed, and the secondary structure of the nose mask was designed based on the surface model. Secondly, the pre-processing technology of 3D printing was used to support the model and analyze the slices. Finally, the actual nose mask was printed by SLA molding method. According to the feedback results of patients wearing the nose mask, the fitting degree and sensory comfort of the nose mask designed by 3D digitization were relatively good, which not only realized the protective function of the nose mask, but also solved the problem of low matching precision of the current nose mask products. Moreover, it is feasible to make nose mask by 3D printing, which can provide certain reference for the design and manufacture of similar products.

Keywords: reverse engineering; 3D printing; nose mask; personalization customization

过敏性鼻炎(AR)是一个全球性的健康问题,在过去的几十年中,AR的患病率在全球范围内逐渐增加,在一项为期6年的针对中国普通成年人的AR自我报告调查中显示,成人AR的标准化患病率从2005年的11.1%上升到2011年的17.6%^[1]。目前AR并不能被完全治愈,只能通过环境控制以及药物治疗等来预防和改善。吸入性过敏原是AR症

状的主要诱因,患者遇到干冷的空气、粉尘、花粉、真菌以及有害颗粒物等,会引起呼吸道不适,从而导致患者产生咳嗽、呼吸困难等症状,也会对工作效率、社交生活以及心理状态等方面产生不利影响。为此该人群需要长时间佩戴防护产品,隔离过敏源,比如口罩等。但患者使用可重复性的口罩,材质多为棉纱,其对面部的覆盖面积大,容易滋生细菌、螨虫,

通讯作者: 惠延波, 博士, 教授, 主要研究方向为逆向工程、制造业信息化、先进制造技术与装备 E-mail: yanbohui@hotmail.com

收稿日期: 2020-01-04

引用格式: 白路遥, 惠延波, 周颖, 等. 基于3D打印技术的个性化鼻罩设计[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(3):78-82.

Bai Luyao, Hui Yanbo, Zhou Ying, et al. Personalized nose mask design based on 3D printing technology[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(3):78-82.

对于日常使用也会带来不便,而使用一次性口罩,会导致资源浪费。而鼻罩的覆盖面小,一般不干涉人脸的其它部位,并且其无效腔小,加强了二氧化碳的排放效率^[2]。针对目前市场上已有的鼻罩,生产商只是根据使用者的性别、年龄的不同,按照一定的规律,进行参数化生产。此类产品往往与使用者本身的实际身体参数并不贴合,会使得该产品的防护效果大打折扣并且影响使用者的感官舒适性^[3]。

3D打印技术是结合计算机辅助设计(CAD)和现代数字技术以及材料制造技术等多项学科交叉产生的一项新型制造技术。它以数字模型文件为基本,将各种类型的原材料如塑料、金属、树脂、陶瓷等,通过使用逐层打印的方式制作出具有个体特异性的实体^[4]。

3D打印技术具有许多相对于传统制造技术方面的优势,比如新产品研发的周期短、材料利用率高、成型后精度高以及成本低廉等特点,因此在医疗领域的应用研究有很多。医疗器械的个性化可直接关系到治疗效果,而3D打印技术在精准化以及个性化定制方面具有很大优势^[5]。S. Santos等^[6]通过计算机辅助设计及3D打印结合,打印出的膝关节支具相较于传统支具有着更高的矫正率及舒适度。B. Khodaei等^[7]利用计算机辅助设计和制造技术设计相结合,制造出足部支具,测量足底压力分布为预测脚部受力提供依据。熊伟等^[8]为一名年青患者切除了颈胸段三节受肿瘤侵犯的椎体,并通过3D打印技术为其植入个性化人工脊椎。

笔者选取人的鼻子为实验对象,将逆向工程与正向设计相结合,利用人体工程学相关知识,设计出贴合面部的鼻罩,再通过3D打印技术生产出产品,实现鼻罩个性化产品的研发制造。图1为工作的主要流程。

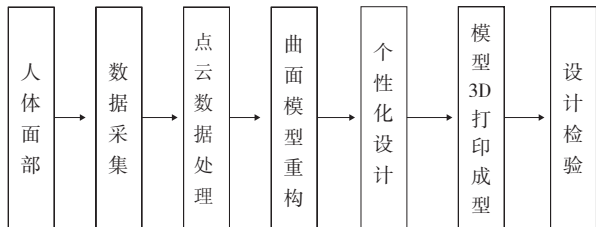


图1 流程图

1 点云数据采集

实验使用Handyscan 3D手持式三维激光扫描仪对人体面部进行点云数据的采集,获得stl格式的点云数据。手持式三维激光扫描仪通过测量物体外

部空间结构,从而得到测量点的空间三维坐标、反射率和纹理等信息,快速构建出被测物体的线、面、体特征以及三维模型等各种图像数据^[9]。

扫描过程主要分为两部分:首先根据扫描对象的大小、形状、外观特征等特点选择扫描方式,其次是处理扫描物体外观面。本次是个性化鼻罩的设计,因此需要对鼻子进行扫描,只需获取其外表面特征即可,但是由于鼻子尺寸结构特殊,空间位置复杂,扫描到的点云数据可能会产生错误无法使用,因此为定位鼻子的三维空间坐标,需要对面部进行简单的特征扫描。必要时可在人体面部非重要部分标记一定数量的特征点,确保扫描仪扫描到的面部点云数据的准确性。

采集时,可通过手动调节域尺寸和分辨率,选择想要的局部,得到细节特征更好的表面。分辨率越高,运算的数据量越大,耗费的时间就越长。然而更高的分辨率不一定就意味着更好的结果。由于会有更多不需要的不完善部分被捕捉到,表面可能会有更多噪点。实验设备的部分参数设置见表1。

表1 Handyscan 激光扫描仪部分参数

项目	参数值
扫描速率/(点·s ⁻¹)	40 000
激光强度	II(人眼安全)
扫描区域/(mm×mm)	225×250
测量精度/mm	0.05
体积精度/(mm/m)	0.020+0.1000
波长/nm	660
域尺寸/(mm×mm×mm)	500×500×500
分辨率/mm	1.95

2 数据处理及模型重构

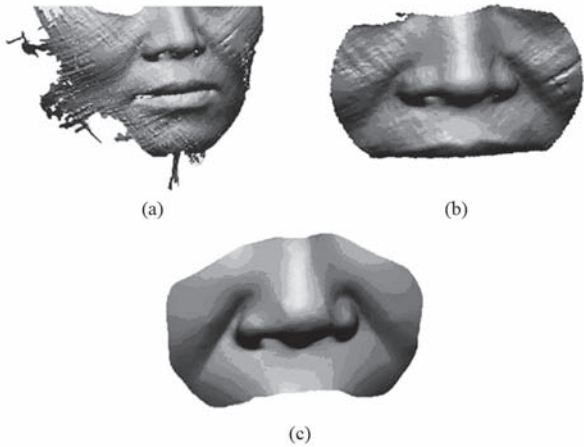
为了能使鼻罩更加贴合面部,加强鼻罩的佩戴舒适性,因此基于逆向工程在重构后的面部曲面上截取鼻子部位曲面,通过正向设计出三维鼻罩模型。逆向工程一般采用非接触式扫描仪对物体表面进行点云数据的获取,在此基础上构建NURBS曲面,得到数字化三维模型^[10]。

2.1 点云数据处理

在扫描过程中,会由于扫描仪的校准精度、仪器的抖动、多次扫描和光线环境等因素使得采集到的点云数据存在系统误差和偶然误差,出现扫描漏洞、噪点、杂点和冗余点等。

将激光扫描仪采集到的点云数据导入Geomagic Design X中,结果如图2a所示。点云数据的质量直接关系着所建曲面的质量,因而需要对采集到的点云数据进行预处理。从得到的stl格式

点云数据中提取所需要的部分,笔者只截取鼻子周围部分,进行点云数据优化处理,如通过杂点消除和根据曲率采样来减少单位点云量。平滑点云数据降低鼻子外侧轮廓的粗糙度,并将点云转化为高质量面片,对面片进行检测修补,结果见图 2b、图 2c。



a—原始点云数据;b—选择的点云区域;c—精简后的面片模型

图 2 点云数据处理图

2.2 模型重构

(1) 领域划分。

在 Geomagic Design X 中,使用领域组功能,根据设定的敏感度值以及模型本身的特征结构,进行领域分割,被划分的特征领域具有与之相对应的几何信息(如平面、圆柱等),针对不同特征显示出不同颜色的区域,可实现更快速的建模。在领域划分前,可以根据模型的复杂程度选择相应的敏感度值,复杂程度越高,敏感度值一般越大。若划分后的领域组数据不能满足后期建模要求,可对领域组进行重新分割、合并等。本次选取敏感度值为 50,划分 13 个领域,结果见图 3。



图 3 领域组划分

(2) 曲面拟合。

面片拟合是将曲面拟合到单元面或领域上,该方法可以快速高效地提取出精确的自由曲面,可以对有复杂曲面的模型进行编辑修改。鼻子模型属于

复杂非规则特征模型,在精确曲面阶段进行逆向建模,通过探测曲率再构建曲面片。将上述编辑好的曲面片进行面片拟合,获得与之对应曲面模型。最终得到的 NURBS 曲面模型如图 4 所示。

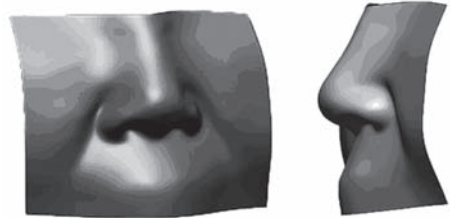


图 4 NURBS 曲面模型

(3) Geomagic Control X 偏差分析。

逆向工程软件 Geomagic Control X 是一种能精准、迅速地将重构后的三维模型数据和根据原实测得的点云数据进行比对检测的检测软件^[11]。其中 3D 比较则是将重构完成的 CAD 模型整体与测得的点云数据进行比对分析,计算出参考值与测量值之间的整体偏差结果,生成三维偏差色谱图,通过比较分析,能检测出重构后的模型与原点云的偏离程度,如图 5 所示。NURBS 曲面模型与点云数据的整体 3D 偏差检测结果见表 2。

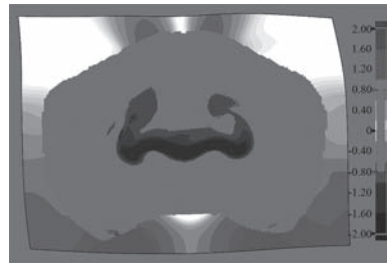


图 5 3D 比较偏差图

表 2 整体 3D 偏差检测结果

		mm	
类型	数值	类型	数值
最小	-0.861 6	标准偏差	0.194 7
最大	0.861 6	离散	0.037 9
平均	-0.011 7	+ 平均	0.100 7
均方根	0.195 1	- 平均	-0.128 2

由图 5、表 2 可看出, NURBS 曲面模型的整体模型的曲面质量较好,最大偏差为 0.861 6 mm,最小偏差为 -0.861 6 mm;在鼻唇沟处的部分偏差较大,可在逆向建模时细化曲面网格来进一步减小。

3 个性化设计和 3D 打印成型

3.1 鼻罩模型的设计

为了确定鼻罩的三维尺寸以及结构,使用 Geomagic Design X 软件提取原始点云数据,测得所需的基本参数信息,包括底边线长(一般为两侧唇

面沟选取点的直线距离)、前中长(根据鼻梁到人中的距离)、侧高(根据鼻尖到从唇面沟的垂直方向距离),测量可知底边线长 54 mm,前中长 40 mm,侧高 20 mm。

(1) 为防止鼻罩与鼻梁、面颊进行过多的无效干涉,设置参考平面将鼻子分为左右两部分,其与鼻子曲面模型的轮廓线为中心线,设鼻尖处为中心点,作出其余的参考平面与辅助线,获得曲面轮廓线,以确定鼻罩内表面轮廓。

(2) 成人的平均每次呼吸量大约为 500 mL,因此在鼻孔处剪切曲面,然后进行曲面偏移,在偏移后的曲面上,根据剪切的截面轮廓,向外延长曲面,以鼻尖垂直于面部方向的平面向下偏移 13 mm,作为延长截止面,在截止面上阵列通气孔,直径为 1 mm。

(3) 由于人在呼吸时,鼻翼会扩大或缩小,为使鼻罩内具有一定的空间、减轻与鼻翼、鼻尖的摩擦,以及在进行呼吸时鼻罩内可保持一定的湿度,因此对得到的内表面轮廓进行曲面偏移,向外偏移 0.5 mm。

(4) 将两曲面设计为可嵌套式,两边打孔用于固定鼻罩,在鼻罩夹层中放置过滤芯,进一步过滤过敏源。

(5) 鼻罩是三维有效实体,因此其结构必定具有厚度。考虑到佩戴的舒适性,其厚度一般较小,基于内表面曲面向外赋厚 0.8 mm,得到鼻罩的实体模型,如图 6 所示。



图6 鼻罩模型

3.2 3D 打印成型

实例中鼻罩将由光固化激光快速成型机 3DSL 打印,打印材料是 SPR6000 类 ABS 立体光敏树脂,该材料有机挥发成分少、气味低、固化速度快、成型精度高,制品表面质量好、防水、力学强度高、耐储存、通用性强,可应用于汽车、医疗器械、消费电子等领域的母模制作、概念模型、珠宝首饰铸造压膜、水流量分析、风管测试等。该材料在固化成型后力学性能见表 3。光固化打印(SLA)原理是利用液态光

敏树脂在紫外激光的照射下吸收光能,发生聚合反应而成型^[12]。

表 3 SPR6000 固化后的力学性能

项目	数值
硬度	86
弯曲强度 / MPa	59 ~ 70
拉伸强度 / MPa	36 ~ 52
热变形温度 / °C	52
玻璃化转变温度 / °C	62
断裂伸长率 / %	11 ~ 20

将模型文件导入到 3D 打印预处理软件 Magics 中,有时导入的部分模型会出现坏边、交叉重叠三角面片、孔洞等缺陷,为避免在打印时因缺陷而导致打印失败,首先对原始模型进行检查修复处理。然后调整模型的摆放位置和角度、添加支撑、切片处理。最终将数据导入到 3D 打印机中,打印模型。图 7 为 SLA 光固化打印机打出的模型,表 4 为 SLA 成型工艺参数。

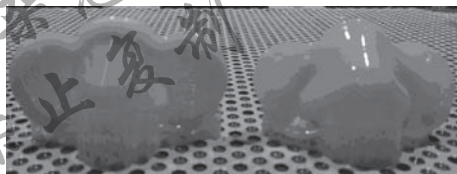


图7 打印完成的鼻罩实物

表 4 SLA 成型工艺参数

项目	数值
填充扫描速度 / (mm · s ⁻¹)	6 000
轮廓扫描速度 / (mm · s ⁻¹)	1 100
支撑扫描速度 / (mm · s ⁻¹)	1 100
激光功率 / mW	320
切片厚度 / mm	0.1
光斑直径 / mm	0.1

打印完后的模型还需用无水乙醇清洗,去支撑处理以及二次固化等处理。随后可根据需求进行喷漆上色处理。

患者穿戴鼻罩满意度评估见表 5,整体对鼻罩较为满意。该鼻罩产品,与患者整体贴合度好、尺寸

表 5 患者穿戴鼻罩满意度评估

指标	评分
湿度	4
硬度	3
弹性	4
可清洗性	5
尺寸	5
有效性	4
压力分布	4
摩擦性	4

注:分值越高越好,1 为差,5 为满意。

小、易携带、易清洗,在此期间鼻炎症状有所缓解,呼吸更为通畅,正常呼吸时鼻罩四周未出现漏气现象,不影响日常生活。

4 结论

针对现有鼻罩佩戴尺寸差异的现状,实现了基于逆向工程与3D打印技术在面部产品的个性化定制,提出了从点云数据获取到模型重构以及二次结构设计,再到运用3D打印技术快速生成产品的一整套流程,其省去了模具制作等流程,缩短新产品的研发周期,降低制造成本,节约社会资源。该流程具有一定的可行性,对其它同类型的产品设计应用具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] Cheng Lei, Chen Jianjun, Fu Qingling, et al. Chinese society of allergy guidelines for diagnosis and treatment of allergic rhinitis[J]. Allergy, Asthma & Immunology Research, 2018, 10(4):300-353.
- [2] 郑安杰,袁平,毛宗雯,等.慢性阻塞性肺疾病急性发作患者早期使用无创呼吸机鼻罩与面罩呼吸的临床对比研究[J].现代医药卫生,2013,29(18):2783-2784.
Zheng Anjie, Yuan Ping, Mao Zongwen, et al. A comparative study on the use of non-invasive ventilator nasal mask and mask breathing in patients with acute onset of chronic obstructive pulmonary disease[J]. Journal of Modern Medicine & Health, 2013, 29(18):2783-2784.
- [3] 占辉,徐军.服装压力舒适性研究及应用[J].北京纺织,2004(5):58-60.
Zhan Hui, Xu Jun. Research and application of clothing pressure comfort[J]. Beijing Textile Journal, 2004(5):58-60.
- [4] 郑锋,余正希,陈宣煌,等.基于数字化设计和3D打印胫骨近端骨折内固定的关键技术[J].中国组织工程研究,2016, 20(26):3837-3842.
Zheng Feng, Yu Zhengxi, Chen Xuanhuang, et al. Key techniques of internal fixation for proximal tibial fractures based on digital design and three-dimensional printing[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2016, 20(26):3837-3842.
- [5] 李振化,王桂华.3D打印技术在医学中的应用研究进展[J].实用医学杂志,2015,31(7):1203-1205.
Li Zhenhua, Wang Guihua. Advances in the application of 3D printing technology in medicine[J]. The Journal of Practical Medicine, 2015, 31(7):1203-1205.
- [6] Santos S, Soares B, Leite M, et al. Design and development of a customised knee positioning orthosis using low cost 3D printers[J]. Virtual and Physical Prototyping, 2017, doi: 10.1080/17452759.2017.1350552.
- [7] Khodaei B, Saeedi H, Jalali M, et al. Comparison of plantar pressure distribution in CAD-CAM and prefabricated foot orthoses in patients with flexible flatfeet[J]. Foot (Edinburgh, Scotland), 2017, 33:76-80.
- [8] 佚名.华中地区首例植入3D打印人工脊椎手术成功[J].世界最新医学信息文摘,2018,18:3.
Anon. The first implanted 3D-printed artificial spine surgery in central China has been successful[J]. World Latest Medicine Information, 2018, 18:3.
- [9] 国磊,冯兰芳,惠延波,等.基于逆向工程的支架零件优化设计及快速成型[J].制造业自动化,2019,41(6):30-33.
Yan Lei, Feng Lanfang, Hui Yanbo, et al. Optimization design and rapid prototyping of bracket parts based on reverse engineering[J]. Manufacturing Automation, 2019, 41(6):30-33.
- [10] 王亚平,郭敏.非接触式激光测量点云数据预处理[J].现代机械,2005(3):42-44.
Wang Yaping, Guo Min. The processing of point cloud from non-contact laser measurement[J]. Modern Machinery, 2005(3):42-44.
- [11] 马长辉.复杂曲面零件的逆向设计与数控加工[D].济南:齐鲁工业大学,2017.
Ma Changhui. Reverse design and NC machining of complex surface parts[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2017.
- [12] 吴怀宇.3D打印:三维智能数字化创造[M].北京:电子工业出版社,2014.
Wu Huaiyu. 3D Printing: Three-dimensional creation via intelligent digitization[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014.