

【工业设计】

基于参数化思维的产品创新设计方法

邓卫斌, 王彤彤, 叶航
(湖北工业大学, 武汉 430068)

摘要: **目的** 提出基于参数化思维的产品创新设计方法。针对产品的概念设计阶段, 利用参数化的设计思维方法, 来创造可以激发设计师灵感的设计环境, 启发其更好地进行产品创新设计。**方法** 依据设计需求对产品进行功能特征的描述与分析, 初步确定各功能部件的位置、结构、尺寸等设计参数后, 对造型生成进行逻辑推演, 在 Rhinoceros 与 Grasshopper 组成的参数化设计平台中选定算法并生成造型, 最后通过对整体方案的分析、评估及参数化调整, 来确定创新性的设计方案。**结果** 基于参数化思维的产品创新设计方法可有效帮助设计师进行思维发散, 设计方案优化程度高、可行性强、拓展空间广, 符合理论与实践需要。**结论** 在工业设计领域, 基于参数化思维的产品创新设计方法可弥补传统设计方法的不足, 使产品设计更具高效性和创新性, 是一种行之有效的产品设计方法。

关键词: 参数化; 参数化思维; 工业设计; 产品创新设计方法

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)08-0076-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.08.010

Product Innovation Design Method Based on Parametric Thought

DENG Wei-bin, WANG Tong-tong, YE Hang
(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: This paper aims to propose a product innovation design method based on parametric thought. Aiming at the conceptual design stage of products, parametric thought design methods are used to create a design environment that inspires designers to carry out better product innovation designs. According to design requirements, perform functional feature description and analysis of the product, initially determine the position, structure, size and other design parameters of each functional component, then logically deduct the modeling generation, and select the algorithm in the parametric design platform composed of Rhinoceros and Grasshopper. Then generate the shape of the product, and finally determine the innovative design plan through the analysis, evaluation and parameter adjustment of the whole plan. Product innovation design methods based on parametric thought can effectively help designers to diverge their thought. The design scheme has a high degree of optimization, strong feasibility, and wide expansion space, which meets the needs of theory and practice. In the field of industrial design, product innovation design methods based on parametric thought, proved to be effective, can make up for the shortcomings of traditional design methods and make product design more efficient and innovative.

KEY WORDS: parametric; parametric thinking; industrial design; product innovation design method

计算机技术的迅速发展使参数化方法应用于产品设计领域成为可能, 给设计带来了更多可行性^[1]。随着生活水平的提高, 消费者对产品的诉求更加趋向

于多样化与个性化^[2]。消费时代的产品迭代速度要求设计师缩短设计周期, 提高创新水平。传统设计方式受设计师个人知识储备和经验的影响, 难以实现跨越

收稿日期: 2021-11-09

基金项目: 教育部产学研合作协同育人项目 (201602031001); 湖北省人文社科基地项目 (HBCY1203)

作者简介: 邓卫斌 (1970—), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向为产品造型。

通信作者: 王彤彤 (1995—), 女, 硕士生, 主攻设计学。

性创新与多样性突破。参数化思维运用数学逻辑方法将造型美学与产品效能有机结合起来,使设计过程在满足多样化创新性的同时,也体现出设计师的本质意愿^[3]。参数化思维是一种将设计师感性思维与技术工具理性表达相结合的设计思考方式,在进行概念设计的初级阶段,能够辅助设计师进行设计推导。

1 参数化概述

1.1 参数化概念

1.1.1 参数化设计

参数化设计是利用计算机技术,把设计相关的因素进行参数变量化,并在各因素之间建立一定的逻辑关系,通过对因素参数的不断调整,最终确定产品设计方案动态设计过程^[4]。

1.1.2 参数化技术

参数化技术是辅助设计师进行设计活动的工具,也可以称为参数化辅助技术,其设计结果具有精确性和确定性的特征。参数化设计工具可快速生成和修改可视化模型,相较于传统设计,其设计效率大大提高,能辅助设计师更好地进行设计方案的创造和表现^[5]。参数化技术使之前复杂的设计关系变得清晰,能更加快速、准确地表达设计师的想法,并辅助设计活动的推进^[6]。

1.1.3 参数化思维

参数化思维把参数化应用于设计的全过程,指导设计师以参数化的思维处理设计问题,挖掘设计的多种可能性。设计师通过将个人思维进行梳理,再对设计相关数据进行参数化处理,使设计师在设计全过程中将重心放在产品的整体逻辑构建和创新推理上,摆脱繁琐的设计操作和步骤^[7]。参数化思维具有多样性、无限性及精确性的特点,强调思维过程的创新性。

1.2 参数化的特点

参数化思维改变着设计过程和方法,参数化的特点主要体现在 3 个阶段。首先,在设计初始阶段,基于参数化思维的设计依据主要是设计师建立设计参数之间的逻辑关系,依照算法逻辑规则,理性处理各参数之间的关系,相较于传统设计,不再只取决于设计师的个人经验和主观判断。其次,在设计推导阶段,打破传统设计过程中由设计师控制设计进程的模式,参数化思维进行的设计推导过程更具多元性、可控性,可以突破传统的几何造型和使用方式,不易受思维定势的影响^[8]。最后,在设计评估阶段,参数化思维下进行的设计创作,可对设计流程的任意环节进行快速修改,这既减少了工作量,又提高了设计效率,避免了传统设计“牵一发而动全身”的烦琐模式。

2 产品设计方法

2.1 传统产品设计方法

传统产品设计方法首先需要确定设计需求,设计师根据要求结合自身设计经验进行造型、结构的构思,并以草图的形式表现设计想法,确定方案后进行三维建模,形成可视化模型,渲染出产品效果图,最终完成方案。产品设计的传统流程在设计依据、设计可更改性、设计效率和设计创新性等方面存在其优势与劣势,见表 1。

表 1 传统设计流程优缺点
Tab.1 Advantages and disadvantages of traditional design processes

	设计依据	设计可更改性	设计效率	设计创新性
优点	在设计师的 控制范围内	依据设计师 经验和主观 判断修改	设计方案 质量可控	设计师的能 力反映产品 创新性
缺点	易受设计师 感性因素和 个人风格影 响	修改工作烦 琐、工作量大	一定时间 产出的方 案质量和 数量有限	易受设计师 思维定势的 影响

2.2 基于参数化思维的产品创新设计方法

产品设计是解决问题的特殊求解过程,以用户需求为出发点,并依据这些需求建立对应的设计关系,寻找满足要求的解。基于参数化思维的产品创新设计方法,来指导设计师以参数化的思维处理设计问题,首先对设计需求进行功能特征描述、功能关键词拟定与功能组件位置等的探索,接着在初步确定基本结构、尺寸等设计相关参数后,搭建参数化造型逻辑,在参数化软件中选定算法并生成三维模型,最后进行方案的参数化分析、评估及调整,基于参数化思维的产品创新设计流程见图 1。

2.2.1 功能特征描述与分析

在设计初始阶段,基于参数化思维确定影响因素并建立设计参数之间的逻辑关系。

通过对产品的功能特征进行描述,明确设计要求,从中提取功能关键词,聚焦设计切入点。探索功能性组件的位置可能性,建立参数之间的逻辑关系。

2.2.2 基本结构、尺寸等参数的初步确定

在设计推导阶段,设计师对搭建的逻辑进行参数调整,最终生成的设计方案不可预见但在掌握之中,提高了设计的创新力和效率。

改变设计相关的参数而不改变参数之间的逻辑关系,依据相关产品设计法则对产品基本结构、尺寸等参数进行初步确定,并建立三维模型。通过选择合适的仿真软件,对初步确定的功能结构及布局进行模

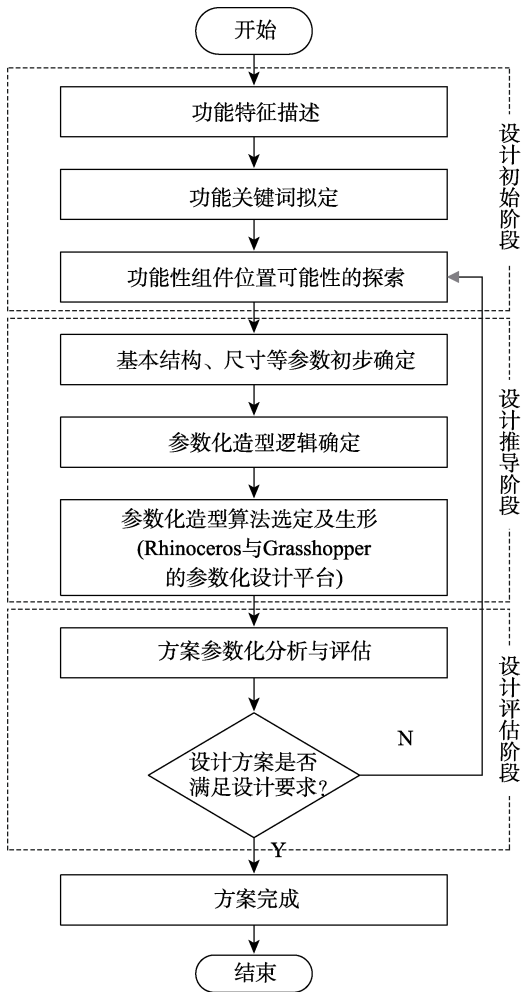


图 1 基于参数化思维的产品创新设计流程
Fig.1 Product innovation design process based on parametric thinking

拟仿真，检验并论证结构布局的合理性，最终选出最优结构方案。

2.2.3 参数化造型逻辑确定

造型设计是一个复杂的问题，需要根据功能结构、尺寸参数和产品语义学等对造型进行推敲。第一，依据设定的功能结构对造型进行拓展，基于设计需求所突出的不同单元的物理特性，对产品整体造型进行针对性的变化。在此基础上，设计师可完成不同单元位置、比例、尺寸等造型逻辑推导，后续可根据设计需求对各功能性部件的位置、造型特征、尺寸等参数进行调整。第二，产品语义学理论要求产品具有良好的指示性、易用性、交互性、美观性等特性，该部分着重要求产品象征特性对造型的突出表达^[9]。参数化造型逻辑影响因素与优化条件见表 2。

2.2.4 参数化造型算法选定及生形

设计参数之间的关系是建立可视化参数模型的主脉络。根据参数化造型逻辑确定的影响因素是不同的，产品设计的优化条件具有多样性，因此，参数化造型逻辑构建不是一成不变的。

表 2 参数化造型逻辑影响因素与优化条件
Tab.2 Influencing factors and optimization conditions of parametric modeling logic

参数化造型逻辑的影响因素		优化条件
功能结构	功能实现程度及方式	满足功能条件的系统环境
	各结构部件相对位置	结构布局的合理性
	产品及部件尺寸范围	产品综合性能
	各功能部件所占比例	优化配置属性
产品语义	指示性	使用信息明确，减少误操作
	易用性	符合人机工程学
	交互性	即时、准确反馈
	美观性	遵循形式美法则

采用工业设计领域应用最广泛的 Rhinoceros 与 Grasshopper 组成的参数化设计平台作为逻辑构建及表现的工 具，Grasshopper 插件具有逻辑可视化的特点，可以将设计过程进行精简与可视化显示。Grasshopper 的运算器分为逻辑运算器和几何运算器，逻辑运算器展现的是构建模型思路，几何运算器与 Rhinoceros 软件的几何功能类似^[10]，算法的选定及生成是根据造型逻辑并结合运算器特点来确定的。

依据确定的造型逻辑来构建基础的参数化建模思路，在 Rhinoceros 软件中建立基础的点、线、面、体，在 Grasshopper 插件中选择合适的运算器生成可调节模型，并与基础模型进行优化整合，从而得到最终的模型方案。

2.2.5 方案参数化分析、评估及调整

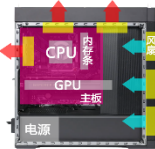
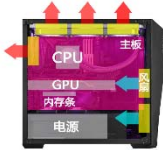
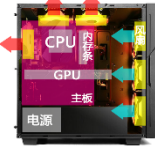
在设计评估阶段，设计师对整体方案的可行性进行验证分析，并依据评估结果对设计流程进行高效地修改，大大节省了其时间成本。

3 基于参数化思维的产品创新设计方法应用

如今，图形处理、视频渲染、高强度计算等工作内容，以及高帧游戏、高保真影音等娱乐体验成为越来越多用户的实际需求^[11]。日新月异的计算机技术给人们的工作和生活带来便利的同时，也对硬件配置提出了更高的要求^[12]，电脑机箱作为硬件的载体起着至关重要的作用。出色的电脑机箱设计不仅满足了消费者对个性化的需求，同时也在现有技术的基础上实现了对计算机性能的追求。

对市场上的风冷机箱进行调研，选择某电商平台销量前 5 的机箱，从结构布局、造型特征及散热性能等方面进行分析，见表 3。现阶段的电脑机箱为了方便走线、节约成本，将造型规整、布局统一作为设计准则，同质化严重，产品之间差异性小，未能满足消费者的个性化需求。现有机箱在对散热问题的处理模式上较为单一，导致散热效率较低，使消费者并未完

表 3 某电商平台销量前 5 的风冷电脑机箱调研分析
Tab.3 Investigation and analysis of the top five air-cooled computer cases sold on an e-commerce platform

类型	机箱	结构布局	造型特征	散热性能
A			造型方正, 以黑色作为主色, 采用侧透钢化玻璃板	CPU 满负荷工作温度: 92 ℃ GPU 满负荷工作温度: 76 ℃
B			以黑色作为主色, 整体造型简洁, 个性化特征不明显	CPU 满负荷工作温度: 86 ℃ GPU 满负荷工作温度: 75 ℃
C			机箱前面板采用多面梯形切割, 整体方正, 主色为黑色	CPU 满负荷工作温度: 85 ℃ GPU 满负荷工作温度: 73 ℃
D			造型规整, 整体为长方体外壳, 以黑色作为主色	CPU 满负荷工作温度: 84 ℃ GPU 满负荷工作温度: 69 ℃
E			以黑色作为主色、灰色为辅色, 前面板造型抽取跑车腰线, 其余各面特征不明显	CPU 满负荷工作温度: 84 ℃ GPU 满负荷工作温度: 77 ℃

全享受到硬件升级带来的整机性能的提升。由此可见, 传统机箱散热性能存在局限。

采用基于参数化思维的产品创新设计方法, 以“散热功能良好的电脑机箱创新设计”为例, 将设计师感性思维与技术工具理性表达相结合, 把看似无法兼顾的问题转化为参数之间的逻辑关系, 实现了机箱的创新设计, 证实了参数化方法在电脑机箱设计中的成功应用, 论证了基于参数化思维的产品创新设计方法的可行性和有效性。该方法同样可以应用在其他产品的设计中, 具有普遍意义。对设计师来讲, 使用该方法, 可使其将更多的精力放在设计参数的逻辑推演上, 专注把握设计进程, 不因烦琐的设计流程而耗费大量精力。对消费者来讲, 产品的参数化思维带来的个性化成果, 可以给予更多的选择空间, 满足其不同的需求。对产品设计行业来讲, 能显著提高其设计效率, 为其提供更多的拓展、创新途径。由此可见, 可以依据实际情况, 将参数化思维的产品创新设计方法应用于多行业、多领域。

3.1 电脑机箱功能特征描述与分析

3.1.1 功能特征描述

温度是影响电脑机箱内部电子元器件正常工作的主要因素之一, 在使用过程中电脑机箱需要散热,

以保证内部各部件处于正常的工作温度^[13]。设计一款散热功能良好的电脑机箱, 可有效避免元件温度过高, 从而保证其始终处于正常的工作状态。

3.1.2 设计关键词拟定

围绕电脑机箱的设计需求进行关键词提取, 将“散热”“个性化”作为设计关键词。

1) 散热。保证电脑机箱内部元器件均处于正常工作的温度区间。影响散热的最主要因素是机箱内部的元件排布和风道的设计^[14]。目前强迫风冷散热以其低成本、易维护、效果好等特点被广泛采用。

2) 个性化。突出产品的差异性, 体现不同用户的个性特征^[15]。在设计时, 电脑机箱除了需要具有载物、防尘、辅助散热等功能外, 还要满足消费者追求个性化的心理需求。

3.1.3 探索各配件组成位置的可能性

影响电脑机箱散热的主要因素包括主体发热源的布局、风扇位置, 以及散热孔的大小与排布, 因此, 在设计初始阶段, 设计师在基于参数化思维的指导下, 需要考虑各功能参数之间的位置关系与逻辑关系。笔者在常规电脑机箱的布局基础上进行设计探索。CPU、显卡、电源等器件是主要的产热模块^[16], 主要热源的布局以分区散热、互不干扰为前提。产热

最大的元件应放置在出风口位置,其产生的热量可以直接排出,避免热量扩散到机箱其他部位。可通过布置风扇形成散热风道,并遵循进风和出风尽量在一条线上的布局原则,在机箱内部形成的气压负载可以将元件产生的热量带出。基于此,来探究相同风扇条件下最大散热效率的排布。由于热空气的分子运动更剧烈,热空气向上扩散,所以考虑采用下部进风、斜向出风的方式。

3.2 电脑机箱相关参数的初步确定

确定机箱的基本结构和尺寸等参数。机箱尺寸要求符合元件及散热所需的空間,同时整体尺寸需要符合常规机箱的摆放空间。以下研究的是结构排布对散热的影响,因此,外壳采用简化后的几何机箱造型,用侧视图描述出各模块具体位置并初步确定尺寸,见

图 2。机箱外壳是厚度为 0.8 mm 的 ABS 塑料,总热功耗为 213W,设备热功耗及具体尺寸见表 4。

使用 Solidworks Flow Simulation 热仿真软件,对上述机箱结构方案进行散热仿真实验与分析。为了提高计算精度和模拟仿真的准确性,需要对模型进行合理地简化,将对结果影响不明显的装配体零件和零件特征进行简化。采用常规仿真思路,即不考虑热辐射,只考虑固体内热传导,流动类型为层流和湍流,默认固体为 5052 铝合金,默认壁面热条件的热交换系数为 155 W/m²/K,初始条件的压力为 101 325 Pa,温度为 293.2 K,不以瞬态模拟的时间变化为基准^[17]。收敛条件为固体温度、流体温度和总温度,即当三者数值趋于平稳时得出仿真结果。

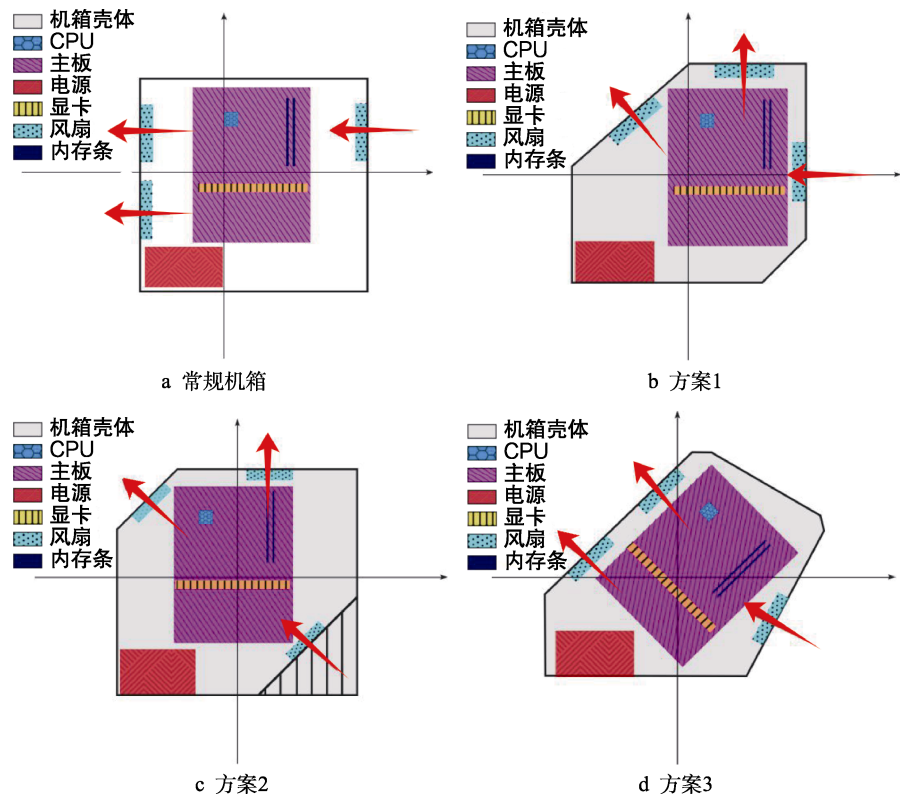


图 2 电脑机箱设计方案简化图
Fig.2 Simplified diagram of computer case design

表 4 设备尺寸及热功耗 Tab.4 Equipment size and thermal power consumption			
序号	名称	热功耗/W	外形尺寸/mm
1	CPU	65	25×25×1
2	CPU 散热器	/	70×70×40
3	电源	60	85×140×150
4	显卡	50	210×130×1
5	显卡散热器	/	13×80×60
6	主板	24	300×230×1.5
7	内存条	7	133×34×1
8	风扇	/	120×120×25

在配置相同、收敛条件相同的情况下,CPU 周围流体温度为 375 K,显卡为 370 K,电源为 364 K,散热性能不佳,常规机箱热仿真结果见图 3。电脑机箱热仿真结果见图 5。通过观察表 5 所示的流体温度等高线云图和流动迹线图,并与常规机箱对比发现,方案 1 中 CPU 周围的流体温度为 370 K 左右,显卡为 365 K 左右,适合元器件工作的流体温度区域占比大,但 CPU 周围温度较高。方案 2 中 CPU 周围的流体温度为 372 K 左右,显卡为 341 K 左右,电源为 360 K 左右,局部流体温度浮动小,机箱整体冷却性较优,且显卡散热优势明显。方案 3 中 CPU 周围的

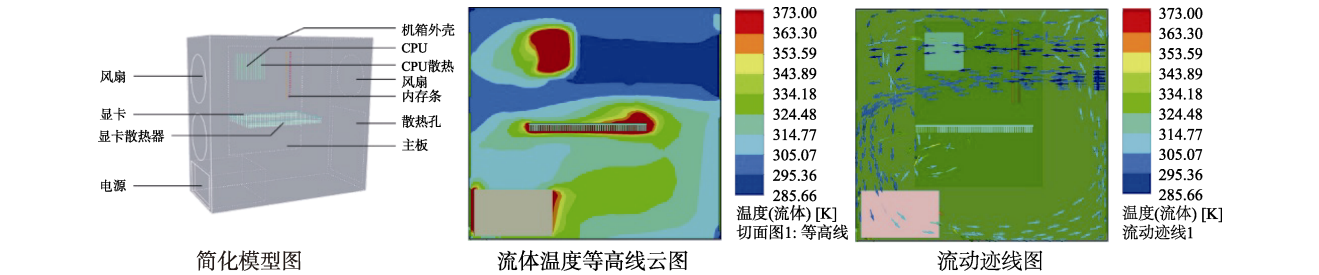
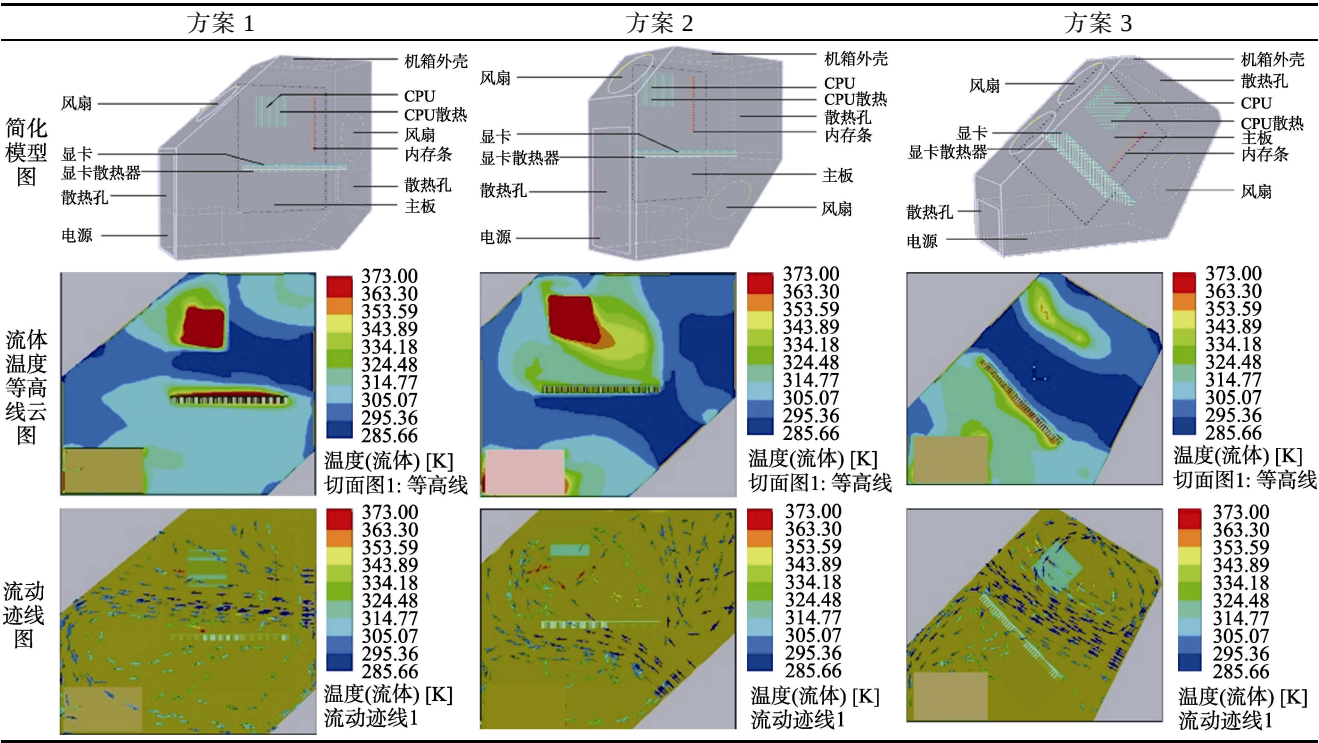


图 3 常规机箱热仿真结果
Fig.3 Thermal simulation results of conventional computer case

表 5 电脑机箱热仿真结果
Tab.5 Computer case thermal simulation results



流体温度为 355 K 左右, 显卡温度为 358 K 左右, 机箱内部整体温度较低, 温差过渡平缓, 满足主要元器件的散热需求, 且布局更具创新性。综合考虑, 方案 3 优势明显。

3.3 电脑机箱参数化造型逻辑推演

从功能结构角度出发, 围绕机箱的散热性能来确定造型, 机箱各功能部件排布为斜向布局, 整体造型将贴合此结构外形进行延伸。进出风口两侧同向倾斜, 可以体现出运动的趋势与张力, 该造型与“斗牛”的状态相似, 因此确定采用此形态作为机箱设计意向图, 见图 4。

机箱前部为进风口位置, 结合防尘与快速进风功能, 将前机箱板设计成部分倾斜的造型, 并根据主要热源位置将机箱对应区域比例加大, 以满足快速散热需求。机箱散热孔的排布是影响机箱散热的因素之一, 除了在前部和后部设置散热孔外, 结合表 5 方案 2 的流体温度等高线云图, 在机箱侧板增加散热孔, 其位置与云图所示高温区域相吻合时效果最佳。

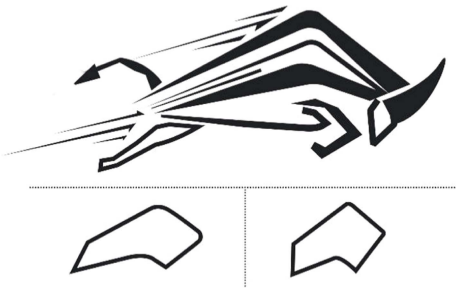


图 4 电脑机箱意向图“斗牛”
Fig.4 Computer case intention map "the bull"

从产品语意设计方向出发, 围绕使用者使用的易操作性、交互性等特性, 进行按键等指示信息的排布, 以准确传达产品的使用信息^[18]。

3.4 参数化设计平台构建电脑机箱造型

参数化造型逻辑构建完成后, 在 Rhinoceros 与 Grasshopper 的参数化设计平台上进行模型的建立和参数的调整。创建“斗牛”特征轮廓线, 并依据内部

元器件的排布对轮廓线进行局部调整,挤出封闭的平面曲线,并拉伸成体。在所得形体上建立“斗牛”特征曲线,根据散热性能对模型进行参数调整,将机箱

后部出风处的比例放大,这不仅满足了散热性能,还可以使机箱更加稳固。“斗牛”机箱建模过程展示见图 5。

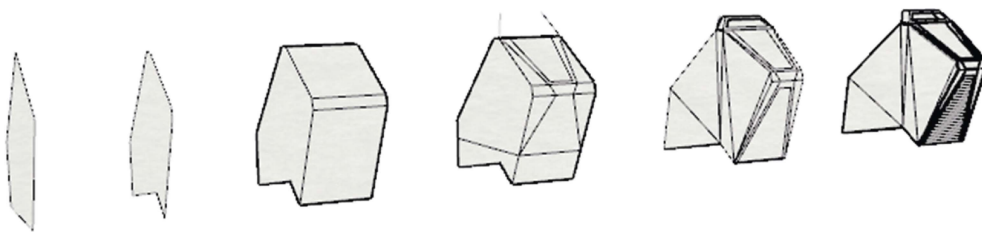


图 5 “斗牛”机箱建模过程展示
Fig.5 The "bull"chassis modeling process display

参数化散热孔见图 6。根据表 5 方案 3 的电脑机箱热仿真结果来绘制曲线,曲线经过了机箱温度较高的区域,依次为 CPU、显卡及电源,结合造型的美观性对曲线做出调整,如图 6 中的①。在 Grasshopper 插件上选定算法,构建参数化散热孔。在 XY 平面上,通过 Rectangular Array 运算器创建一个矩形数组来表征散热孔的排布,数组基本元素为半径 1 mm 的圆, X 轴方向圆形数量为 30, Y 轴方向为 20。提取圆的中心点,通过 Point In Curve 运算器选择处于造型轮廓线内的点。点的大小与抽离出的曲线①有关,距离曲线①越近圆越大,反之越小,由 Curve Closest Point 运算器控制,如图 6 中的②所示区域。侧面开孔大小受到加工工艺与机箱防尘能力的限制,孔的直径范围在 2~6 mm

为宜。参数化散热孔的建立过程见图 7,并采用同样的方式建立机箱外壳其余散热孔。

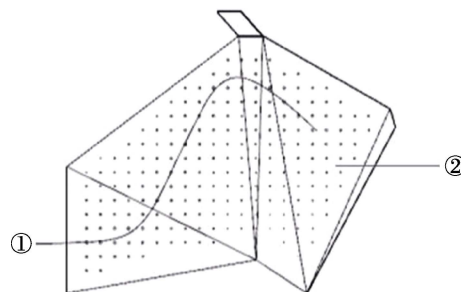


图 6 参数化散热孔
Fig.6 Parametric heat dissipation holes

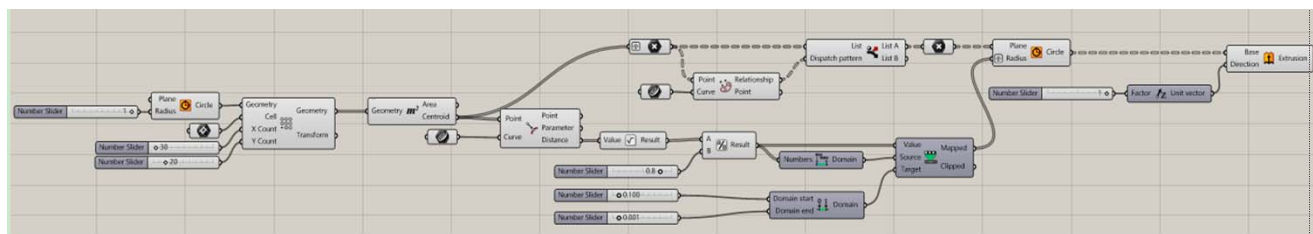


图 7 参数化散热孔的建立
Fig.7 Establishment of parameterized heat dissipation holes

电脑机箱开关、USB 接口等部件分布在机箱的前中部面板,视觉中心集中在“斗牛”前突处。后侧面板排布参数化散热孔,考虑到既要满足散热需要又要起到防尘作用,因此,对机箱采用水平打孔方式,外接线路统一排布在后部,作为“斗牛的尾巴”。

3.5 电脑机箱方案参数化分析、评估及调整

将构建好的机箱外壳导入 Solidworks Flow Simulation 中,与内部元件共同进行仿真模拟,并调整散热孔的参数,优化创新结构,见图 8。显然,机

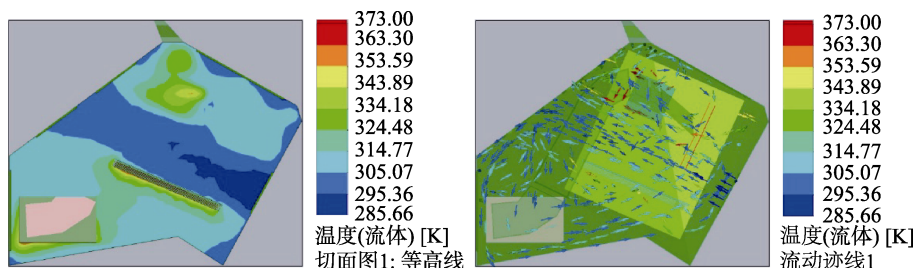


图 8 优化设计的仿真结果
Fig.8 Simulation results of optimized design

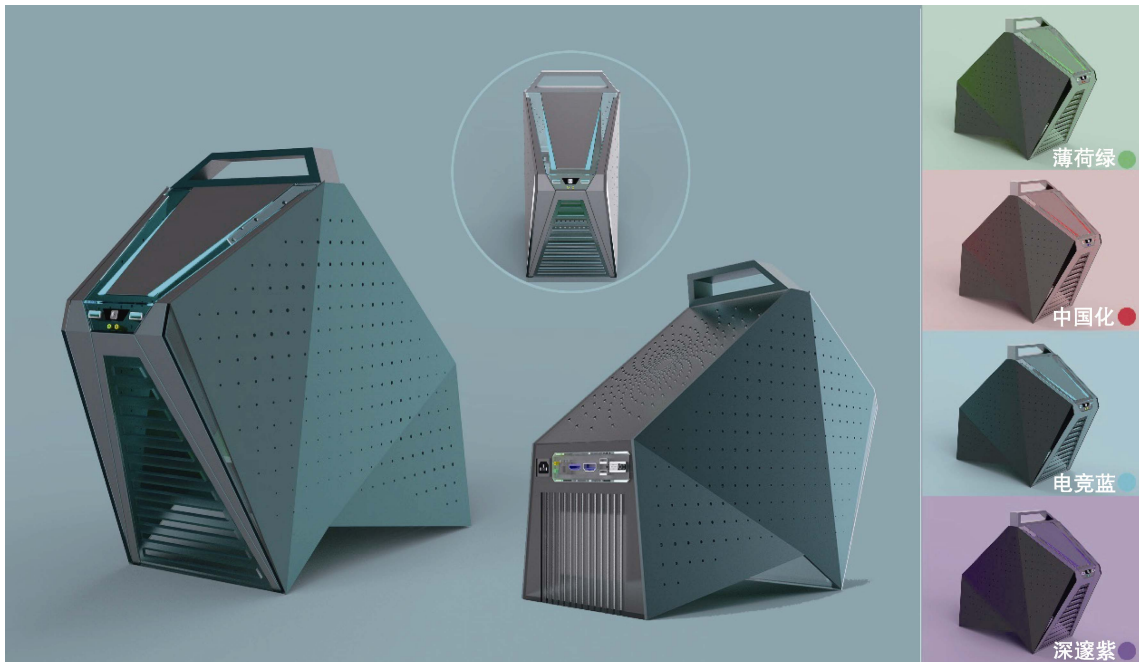


图9 最终设计方案

Fig.9 Final design

箱造型经过参数化思维设计后,散热性能有了进一步提高,机箱内的散热效果好,整体趋于较高水平。同时,可根据不同设计需求进行方案调整。“散热功能良好的电脑机箱创新设计”最终方案,见图9。

4 结语

“散热功能良好的电脑机箱创新设计”的初步应用论证了基于参数化思维的产品创新设计方法的有效性,实现了造型设计与结构优化的有机统一。受现有条件的影响,该应用案例与实际情况相比还存在局限性。文中仅探究了“机箱散热设计”,参数化思维的创新设计方法应用于多维度、多途径的设计方向,还有待进一步探究。

参考文献:

- [1] 徐炯. “参数化主义”的时代成因与基本特征探究[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计), 2018(4): 21-24.
XU Jiong. A Study on the Cause of Formation and Basic Characteristics of "Parameterism"[J]. Journal of Nanjing Arts Institute (Fine Arts & Design), 2018(4): 21-24.
- [2] 汪沙娜. 基于参数化驱动的产品造型设计应用研究[J]. 包装工程, 2017, 38(6): 100-104.
WANG Sha-na. Applied Research on Personalized Design of Product Modeling Based on Parametric Driven[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(6): 100-104.
- [3] 刘爱华. 参数化思维及其本土策略——建筑师王振飞访谈[J]. 建筑学报, 2012(9): 44-45.
LIU Ai-hua. Parametric Thinking and Its Local Strategy: An Interview with Architect Wang Zhenfei[J]. Architectural Journal, 2012(9): 44-45.
- [4] 徐卫国. 参数化设计与算法生形[J]. 世界建筑, 2011(6): 110-111.
XU Wei-guo. Parametric Design and Algorithm Generating[J]. World Architecture, 2011(6): 110-111.
- [5] 徐卫国, 罗丹, 叶扬, 等. “数字渗透”与“参数化主义”——关于“数字技术与建筑设计”的访谈与对话录[J]. 世界建筑, 2013(9): 17-35.
XU Wei-guo, LUO Dan, YE Yang, et al. Digital Infiltration and Parametricism: Interviews and Dialogues on Digital Technology and Architectural Design[J]. World Architecture, 2013(9): 17-35.
- [6] 王柳庄. 参数化技术对产品的影响探讨[J]. 包装工程, 2016, 37(16): 10-13.
WANG Liu-zhuang. Influences of Parametric Technology on Product Design[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(16): 10-13.
- [7] 王妍, 李卓. 基于参数化设计的数据逻辑思维研究[J]. 设计, 2019, 32(15): 65-67.
WANG Yan, LI Zhuo. Research on Datalogic Logic Thinking Based on Parametric Design[J]. Design, 2019, 32(15): 65-67.
- [8] 曹武阳. 产品参数化设计的研究与应用[D]. 北京: 北方工业大学, 2018.
CAO Wu-yang. Research and Application of Parametric Design in Product Design[D]. Beijing: North China University of Technology, 2018.

- [9] 白仲航, 李颖, 宋美佳, 等. 基于可供性的产品造型设计及评价研究[J]. 包装工程, 2021, 42(22): 103-107.
BAI Zhong-hang, LI Ying, SONG Mei-jia, et al. Design and Evaluation of Product Modeling Based on Affordance[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(22): 103-107.
- [10] 戴欣伟. 基于 Grasshopper 的参数化设计在产品中的应用探索[J]. 设计, 2016(11): 122-123.
DAI Xin-wei. The Application and Exploration of Parametric Design Used in Product Design Based on Grasshopper[J]. Design, 2016(11): 122-123.
- [11] 潘武敏, 管超. 计算机技术在现代影视娱乐传媒中的应用[J]. 新闻战线, 2015(18): 141-142.
PAN Wu-min, GUAN Chao. The Application of Computer Technology in Modern Film and Television Entertainment Media[J]. Journalistic Front, 2015(18): 141-142.
- [12] 宋斐. 浅议计算机软件开发技术的应用与发展研究——评《计算机应用基础(第 3 版)》[J]. 机械设计, 2020, 37(7): 150.
SONG Fei. Discussion on the Application and Development of Computer Software Development Technology: Comment on "Computer Application Fundamentals (3rd Edition)"[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(7): 150.
- [13] 王敏, 周卫成, 欧阳家俊, 等. 动车组逻辑控制机箱热仿真及试验研究[J]. 机车电传动, 2020(4): 133-137.
WANG Min, ZHOU Wei-cheng, OUYANG Jia-jun, et al. Thermal Simulation and Experimental Research of EMU Logic Control Box[J]. Electric Drive for Locomotives, 2020(4): 133-137.
- [14] 陈杰, 张军, 刘思莹. 电脑机箱温度的检测及散热优化[J]. 现代电子技术, 2019, 42(14): 22-26.
CHEN Jie, ZHANG Jun, LIU Si-ying. Temperature Detection and Heat Dissipation Optimization of Computer Case[J]. Modern Electronics Technique, 2019, 42(14): 22-26.
- [15] 俞林, 孙明贵. 消费者怀旧情感与产品个性化设计[J]. 企业经济, 2016(3): 46-50.
YU Lin, SUN Ming-gui. Consumers Nostalgia and Product Personalized Design[J]. Enterprise Economy, 2016(3): 46-50.
- [16] 孙森, 姚列明, 霍中生, 等. 电脑机箱散热性能优化问题的研究[J]. 电子科技大学学报, 2007(1): 75-76.
SUN Miao, YAO Lie-ming, HUO Zhong-sheng, et al. Study of Optimization on Computer Box Cooling Performance[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2007(1): 75-76.
- [17] 但鹏. 融入热仿真分析模块的电脑机箱设计[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
DAN Peng. Design of Computer Case Incorporating Thermal simulation Analysis Module[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.
- [18] 高文婧, 王小平, 张栖铭. 可用性工程在电脑机箱设计中的应用研究[J]. 现代制造工程, 2010(10): 89-91.
GAO Wen-jing, WANG Xiao-ping, ZHANG Qi-ming. Research on The Application of Us Ability Engineering[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2010(10): 89-91.

责任编辑: 马梦遥