

乡村振兴下秸秆家具绿色模块化设计研究

李宏^{1,2}

(1.广州华商学院, 广州 511300; 2.澳门城市大学 创新设计学院, 澳门 999078)

摘要: **目的** 实施乡村振兴战略必须要优先考虑生态文明, 以绿色发展引领美丽乡村的振兴。农村废弃秸秆焚烧产生的大量烟雾会对大气造成污染, 从绿色模块化设计角度出发, 分析秸秆材料的特点以及设计的多种可能性, 对废弃秸秆进行有效利用以减少焚烧污染, 将乡土材料转换为可利用的资源。**方法** 运用绿色模块化设计理念以功能与结构的相关性进行聚类划分, 在此基础上对划分的模块进行零件变型设计, 形成产品族的扩展设计, 以增加产品的绿色属性及个性化需求。**结论** 明确了模块划分在秸秆材料家具设计中的实现方法, 使其符合现代家具产品的使用功能、绿色属性及美学特征, 拓展了自然材料在现代家具产品设计中的应用范围, 优化了秸秆材料设计在家具领域的方法, 传达了乡村振兴下的绿色生态发展理念。

关键词: 模块化设计; 产品族; 秸秆材料; 家具设计; 乡村振兴

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)14-0272-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.14.033

Green Modular Design of Straw Furniture under Rural Revitalization

LI Hong^{1,2}

(1. Guangzhou Huashang College, Guangzhou 511300, China;

2. Faculty of Innovation and Design, City University of Macau, Macau 999078, China)

ABSTRACT: To implement the Rural Revitalization Strategy, we must give priority to ecological civilization and lead the revitalization of beautiful countryside with green development. A large amount of smoke is produced by the burning of waste straw in rural areas, and therefore causes air pollution. From the perspective of green modular design, this paper analyzes the characteristics of straw materials and various design possibilities, so as to effectively use the waste straw, reduce the burning pollution, and convert the local materials into design resources. The green modular design philosophy was used to cluster the modules according to the correlation between function and structure. On this basis, the parts variant design of the clustered modules was carried out to form the extended design of product family, so as to improve the personalized needs and green attributes of products. Through clear implementation method of module division in straw material furniture design, it makes itself conform to the use function, aesthetic characteristics and green attributes of modern furniture products, expands the application scope of natural materials in modern furniture product design, improves the new method of straw material design in furniture field, and conveys the concept of green ecological development under the Rural Revitalization.

KEY WORDS: modular design; product family; straw materials; furniture design; rural revitalization

党的十九大报告中提出要实施乡村振兴战略, 其中提到要以发展乡村绿色生态环境为首, 重点治理乡村的生态环境, 以此来推进乡村的可持续发展, 共建

人与自然的和谐共生之路^[1]。在乡村振兴发展过程中会不可避免地产生资源消耗和环境污染, 使乡村生态环境遭受破坏。秸秆作为一种绿色自然材料, 直接焚

收稿日期: 2022-02-08

基金项目: 广东省教育厅普通高校特色创新项目 (2020WTSCX151)

作者简介: 李宏 (1983—), 男, 博士生, 副教授, 主要研究方向为产品设计理论创新与实践。

烧会产生氮氧化物，容易导致雾霾天气的形成，农村秸秆的处置成为棘手的问题。“绿色可持续”是推进乡村振兴的重要变革，不仅要改变乡村环境，还需要创造良好的人居环境。绿色设计强调资源循环利用及减少环境污染，本文运用绿色模块化的设计方法对废弃秸秆展开设计，以满足其功能属性、环境属性及个性化需求，使废弃的秸秆发挥新的使用价值，为废弃秸秆的处理提供新的途径，减少乡村焚烧秸秆对大气的污染。

1 关于产品族的绿色模块化设计

绿色模块化设计概念及基本框架，最早由美国斯坦福大学 Kosuke Ishii 教授提出，主要内容为：将绿色设计基本原理与模块化设计方法相结合，对产品在既定范围内的不同功能或相同模块的不同性能，通过绿色原则和功能方式进行模块划分、组合，从而构建出系列化产品^[2]。产品族绿色模块化设计具有低成本、可重复、易换代、开发周期短等特点，能够通过产品的基础模块，并增加不同的模块来实现产品的多样化^[3]。

国内外学者对绿色模块化设计已经进行了大量的研究，如 Simpson 提出了同异比的产品族模块化设计方法，韦俊民等通过产品的零件特征来划分模块，实现了产品族创建，满足了不同用户的需求。笔者通过引入绿色模块化的理念，运用模块聚类方法进行模块划分，通过产品族的扩展形成产品族设计。

产品族的设计可分为有平台与无平台 2 种设计形式。有平台设计指通过设计可变模块或修改属性部分的具体参数值，从而改变产品族的个性化设计。最终，根据用户和市场需求完成产品族设计，见图 1。无平台设计是指通过基础模块不断扩展延深的设计过程。如先对基产品 1 进行基础设计，再将产品 1 扩展至 X 个不同的模块向量，继续用相似的方法将产品 2 扩展至 Y 个产品系列^[4]。按此方法和逻辑，将产品 1 扩展至产品 2 直至产品 Y 的过程，即完成了产品族的扩展设计，见图 2。一般情况下，产品复杂程度高、属性值变量多的情况下选择有平台设计，反之适用无平台的产品族设计。

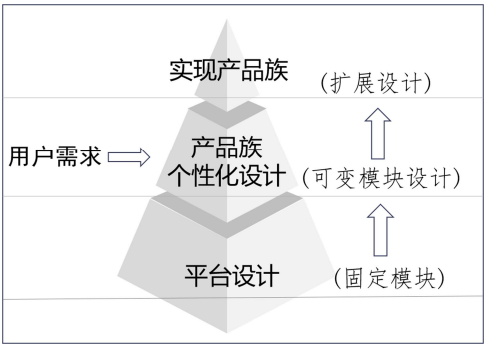


图 1 有平台产品族设计图
Fig.1 Design drawing of product family with platform

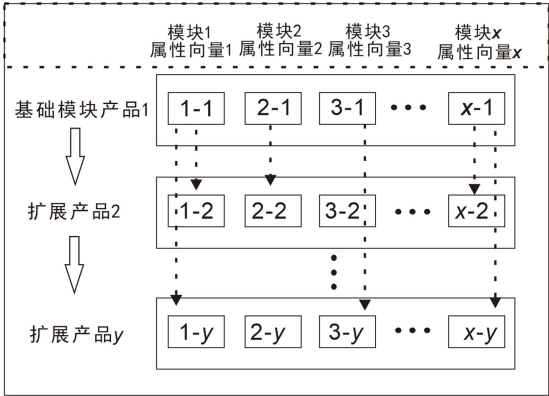


图 2 无平台产品族设计图
Fig.2 Design drawing of product family without platform

2 面向产品族的绿色模块化划分准则

目前，传统的产品设计流程为：市场调研—用户需求—设计概念—实物模型，而绿色模块化设计流程应以系统性的生态思维为指导，将可持续发展作为基本原则。在绿色模块划分过程中，不仅要对用户展开调研，而且要积极引导人们树立环保意识，推动人与自然的和谐发展。面向产品的绿色模块化划分流程为：首先，产品要依据初始零件设计与功能进行划分，使其对应各个零件序列；其次，以绿色属性原则进行划分，运用零件之间相似性关系进行模块组合，满足产品功能性与绿色属性的需要；最后，对产品的模块化部分进行合理性和可行性检查，检验合格后对零件与模块化接口进行深入细化，进而完成模块划分设计。

模块化设计划分还要考虑功能、结构、接口等单元关系，划分的标准将直接影响产品的生命周期。产品在使用的每个周期都会产生能源消耗及资源排放，因此，绿色模块化划分要通过材料相关性原则、生命周期原则、回收方式、可重用性来进行划分。绿色模块化划分准则是此次研究的重点之一，直接关系到产品功能结构和绿色属性的综合协调问题，划分准则主要涉及如下几项。

2.1 材料相关性准则

材料与产品之间相互促进、密不可分。材料相关性指在产品中各零件材料间具有相通性与相似性的特征，相关性特征指不同零件之间如何进行相互影响，其中包括材料的选择运用、材料的回收便利性，以及维修工艺难易程度等问题。材料相关性的选择是产品绿色模块化设计的重要支撑，制定材料间的应用标准，能够拓展材料技术绿色化应用范围。

2.2 生命周期相关性准则

产品的生命周期是指产品从开始进入市场到淘汰退出市场的全过程，其主要包括物理寿命与功能寿命 2 个方面^[5]。物理寿命指产品本身功能价值的失效，功能寿命指产品受外界因素的影响而终止使用与流

通。因此,在设计中要考虑产品生命周期的每一个环节,模块化划分时要将零件寿命相同或相近的划分在一起,有效节约资源消耗、强化资源的整体利用率。

2.3 回收方式相关性准则

产品的回收方式是衡量产品绿色属性的重要指标,在产品生命周期结束后要考虑产品的处理方式,使产品或零件得到循环使用或再生利用。在报废过程中要实现资源利用率最大化、环境污染最小化,从而满足保护生态环境的要求^[6]。因此,产品的回收关系原则为:将回收方式相同的零件划分在同一个模块中,充分认识回收方式的绿色价值,合理利用回收技术,并创新再利用方式。

2.4 可重用相关性准则

模块化产品零件之间具有结构的相关性,具体表现在零件的装配关系、拆卸组合、尺寸约束、连接方式等相互作用上,产品在使用过程中或生命周期结束后,其部分零部件具有重复使用的功能属性,并能回收循环利用。在设计阶段增强产品的可拆解性,促使产品零部件兼容化、可重用化,使资源利用率最大化,因此,需要对模块化零部件的相关性进行事先规划布局。

3 模块聚类

在面向绿色模块化设计的产品族中,绿色设计是可持续发展规划的系统设计,强调产品设计促进资源循环再利用、永续发展的理念。绿色模块产品组成的零部件中存在材料相关性、生命周期相关性、回收方式相关性、可重用相关性等相互关系^[7]。根据公理设计理论,在绿色模块化设计中应尽可能按照内部零件绿色属性划分原则,使其相互间具有较强的依赖性 & 作用关系,而模块之间的相关性应尽量减少^[8],以体现出模块化设计思维及可持续发展理念。

3.1 邻接矩阵的构建

在产品中各零件的关系用 $K = \langle M, N \rangle$ 模糊图来表示, M 为零件集, $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, N 为 K 的边集,代表各零部件之间的绿色关系, $N = (r_{ij})$, 其中 r_{ij} 为零部件之间的相关性函数。根据绿色模块划分原则,设材料准则权重为 T_1 , 生命周期准则

权重为 T_2 , 回收准则权重为 T_3 , 可重用准则权重为 T_4 , 且 $T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 1$, 则:

$$r_{ij} = T_1 e_1 + T_2 e_2 + T_3 e_3 + T_4 e_4$$

通过相互比较,可以得出零件集 M 的 $n \times n$ 邻接矩阵 $N = (r_{ij})$, 其中 $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$ 。

通过分析各零部件之间的关系,得到相关矩阵 N 后,根据模糊聚类得到模块划分结果。

3.2 产品族的创建

在产品族的创建过程中,先通过模块聚类划分形成系列的变型模块,再通过标准化的接口实现模块功能的转换,模块之间以共同性和差异性的组合方式形成产品族^[9],并根据市场变化扩展产品的种类,灵活地匹配产品族中零件与功能间的复杂关系,从而实现产品的标准化、系列化、多样化,满足不同消费者的个性化需求。

绿色模块化设计运用三维坐标系来表达模块划分,以坐标轴的3个方向来表示不同的划分子原则,见图3。其中, X 轴代表产品模块化设计的组成要素,包含产品基础模块、产品变型设计、模块聚类、产品族设计; Y 轴代表绿色设计原则,以材料相关性、生命周期、回收性、可重用性为评判依据; Z 轴代表产品的复杂程度。产品划分子原则映射在3个坐标的交集点处,将该点相对应的三维坐标作为模块划分的依据^[10]。不同的产品可以依据产品的属性来选择划分原则,并通过坐标轴划分的子原则形成合集,最终构成绿色模块化划分的三维模型。

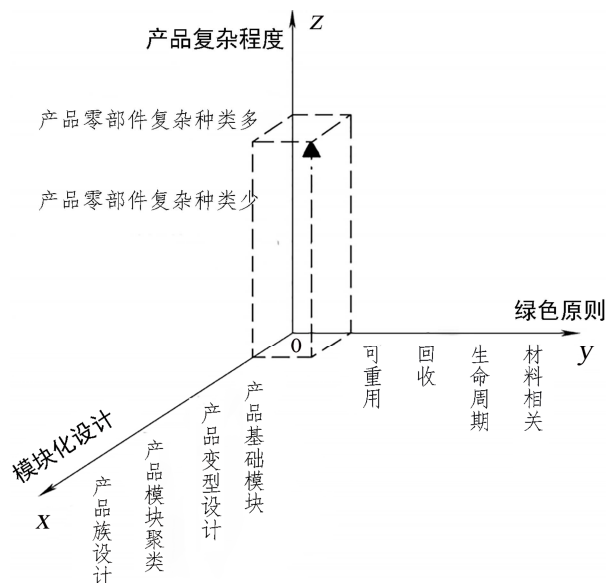


图3 绿色模块划分三维模型图

Fig.3 Three dimensional model of green module division

4 绿色模块化设计在秸秆材料家具中的应用

废弃秸秆焚烧产生的烟雾容易造成大气环境污染,与空气中的粉尘物叠加在一起,容易形成雾霾天气。如何解决农村秸秆焚烧污染问题,最好的出路是为农民提供一个既方便又能产生价值的生态方法。秸秆材料的天然属性符合环保的特性,将绿色模块化设计方法运用于家具产品中,可以使废弃秸秆转换为绿色生态的处理方式。世界生态建筑开拓者曾提出,设计的结果应来自环境本身,生态支出是评价设计的标

准^[11]。秸秆材料在使用完成后可自然降解,符合绿色模块化的可重用性原则;秸秆材料家具拆卸方便、能耗小、环境污染少,符合绿色模块化的可回收性原则。以上优良特性都适用于绿色模块化设计的生态属性要求。

在现代家具领域有较多的绿色模块化设计成功案例,例如丹麦设计师克兰特(Kaare Klint)设计的经典式躺椅,将不上油漆的自然木料与编织物相结合,表现出一种接近自然的搭配方式。秸秆是农村常见的一种自然材料,此次研究选择以高粱秸秆为基材,结合其他辅助材料进行设计。从满足用户美学需求的角度出发,以绿色理念为指导进行产品功能分解,通过模块划分进行分组,在分组的过程中确定模块聚类,接着进行产品组的扩展设计直至完成设计任务。功能上满足人机工程学,造型上时尚美观、结构合理,适应于现代日常生活的需求。根据上述产品绿色模块化设计流程,通过设计实践验证秸秆材料绿色模块化设计的可行性,见图 4。

4.1 秸秆材料的处理

秸秆材料是可再生自然资源,选择高粱秸秆作为研究对象,首先需要通过干燥处理工艺,对秸秆材料进行晾晒、贮存,时间为 30~50 天,含水量要低于

15%,这样才能够达到使用的标准。有 2 种干燥方法,一种是自然晾晒干燥,但受天气和其他条件的影响,不符合大规模的使用要求;另外一种是封闭式除湿干燥,将机器干燥温度调节在 75℃~85℃,秸秆各部位都能均匀干燥,满足干燥工艺的基本要求。封闭式除湿干燥没有废气和废热的排放,优点在于干燥的秸秆外表面质量高,不易出现开裂、表面硬化的现象,能够达到设计材料的使用要求。本研究选择废弃的高粱秸秆进行封闭式除湿干燥处理,并用于设计实践。

4.2 秸秆家具模块划分

秸秆是一种天然生成的纤维素,结构呈空心管柱状,具有一定的韧性、受力性以及自然降解的特性,符合绿色模块化设计的功能化、绿色化原则^[12]。本研究区别于传统的粉碎注模成型方式,在家具设计中直接将秸秆材料作为基材与面材,用以结构支撑以及表面装饰。筛选金属、塑料、硅胶等材料与秸秆进行模块组合搭配设计,呈现出特有的视觉语言(粗狂与精致、朴素与时尚、沉闷与灵动),这种互补效果带给用户不一样的审美体验。

以一款秸秆材料坐具设计实践为例,进行模块化设计实践研究,见图 5。首先,使用切割机和打磨机对高粱秸秆进行叶、茎表面化处理,依据模块划分的

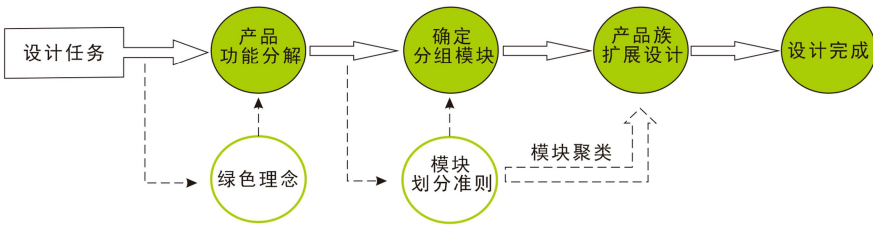


图 4 绿色模块化设计流程图
Fig.4 Green modular design flow chart



图 5 秸秆材料坐具设计
Fig.5 Design of straw seat

相关性准则,用高粱秸秆的茎作为产品的构成子元素,采用若干单株捆绑的结构,将若干单个的线转换为体,提高产品的结构力度,以此作为基础模块部分。其次,根据可重用性相关性准则,将坐具外部包裹部分设置为模块扩展部分,使用金属框架,采用厚度为4 mm的扁铁材质,运用离子切割技术将扁铁切成曲线形状,金属框架接口用焊接工艺完成。最后,采用镶嵌的方式将金属模块部分与高粱秸秆相结合,将若干单株模块镶嵌在金属框架模块内形成牢固的整体。

运用模块化设计方法对秸秆坐具的功能、结构、接口进行灵活转换,可以使坐具产品的拆卸、回收与升级更加多样化,并满足用户基本的使用功能和视觉美感等需求,形成曲与直、柔与刚、动与静的视觉对比效果。

4.3 模块结构变型设计

变型设计指在原型产品的基础上,通过改变相关参数、造型或结构来设计出一种新的产品。运用此方法对上文中图5坐具进行模块结构变型设计,高粱秸秆作为固定模块,能够通过改变外框的形态来实现坐具产品的变型设计。第1种变型设计,将高粱秸秆单株用线穿起来,构成排列式组合结构,并将其当作面材镶嵌在金属框内部。金属外框设计成可变型结构,外框形态借鉴法国雕塑家扎德金(Ossip Zadkine)的透叠借构方法,将互动穿插的线条融入立体化形态中,使用多边形与三角形的结合设计,强调形态间的比例节奏关系。第2种变型设计,将外框设计为矩形形态,变型后方形坐具稳重厚实,外框结构为标准化的模块配件,可以重复循环使用,符合绿色模块化设计理念的可重用性原则,见图6。

4.4 产品族的创建设计

产品族的设计指以共享模块为基础,通过相关接

口关系匹配不同模块设计出关联产品^[13]。秸秆材料家具功能结构较为简单,将其功能描述为利用秸秆提供支撑力以满足坐的姿势和视觉美感。根据模块聚类方法和相关性准则,将不同材料与秸秆模块相匹配,以实现产品族的扩展设计。

在家具产品设计中,以不同属性材料作为可变零件与共享模块秸秆相匹配进行设计。首先,以高粱秸秆为基础模块,通过修改外边框的形态与组合搭配来实现产品族扩展设计。第1组设计将高粱秸秆作为结构受力的主要模块,金属部分选择扁铁材质,表面做磨砂效果处理,运用曲线的造型实现产品族的扩展设计,银色的金属时尚感与秸秆材料的自然美,表达出现代技术与传统意境的综合美。

根据模块聚类功能部分和结构部分的相关性,第2组在第1组平台设计的基础上进行扩展设计,设计出一套组合家具。第2组基础模块部分采用高粱秸秆,将第1组圆形坐具变型为矩形坐具与多边形桌子。运用不锈钢材料实现外结构形态的扩展设计,高粱秸秆的自然色泽与金属强烈的反射效果,使自然材质的温暖感与人工材质的冷酷感互相衬托。废弃秸秆通过模块化扩展设计形成的产品族,适用于多样化的家居场景,为乡村生活形态设计提供了新的思路。

为满足产品的舒适性、防水性及多样性等需求,继续进行第3组产品族扩展设计。将可变模块部分改为透明软胶塑料材质,与高粱秸秆进行匹配设计。软胶塑料材质具有透明、耐用、现代等特点,使家具产品表面具有防水、耐脏等功能,可以提升用户体验的舒适感。外框模块采用金属材质的线条设计,将点、线、面基础元素进行新的组合,既延续了产品的整体风格,又实现了系列化扩展设计。3组产品族的扩展设计见图7。

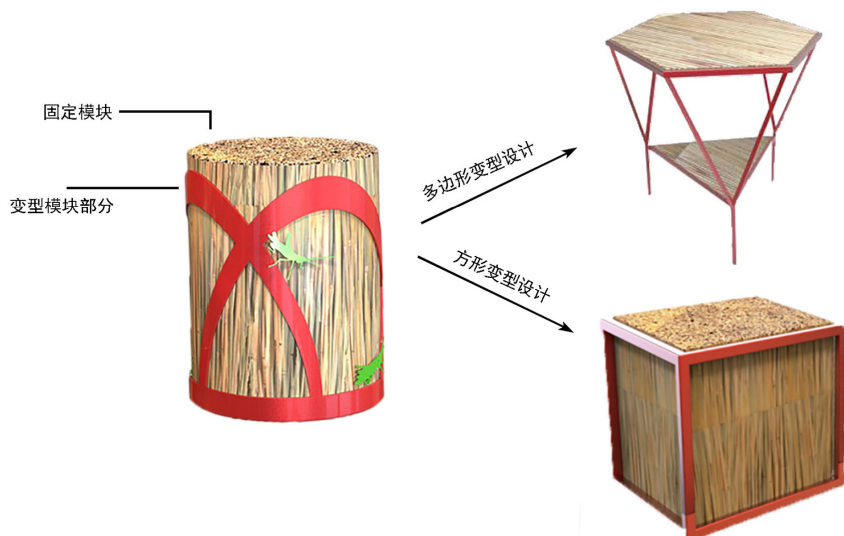


图6 秸秆材料坐具变型设计
Fig.6 Variant design of straw seat

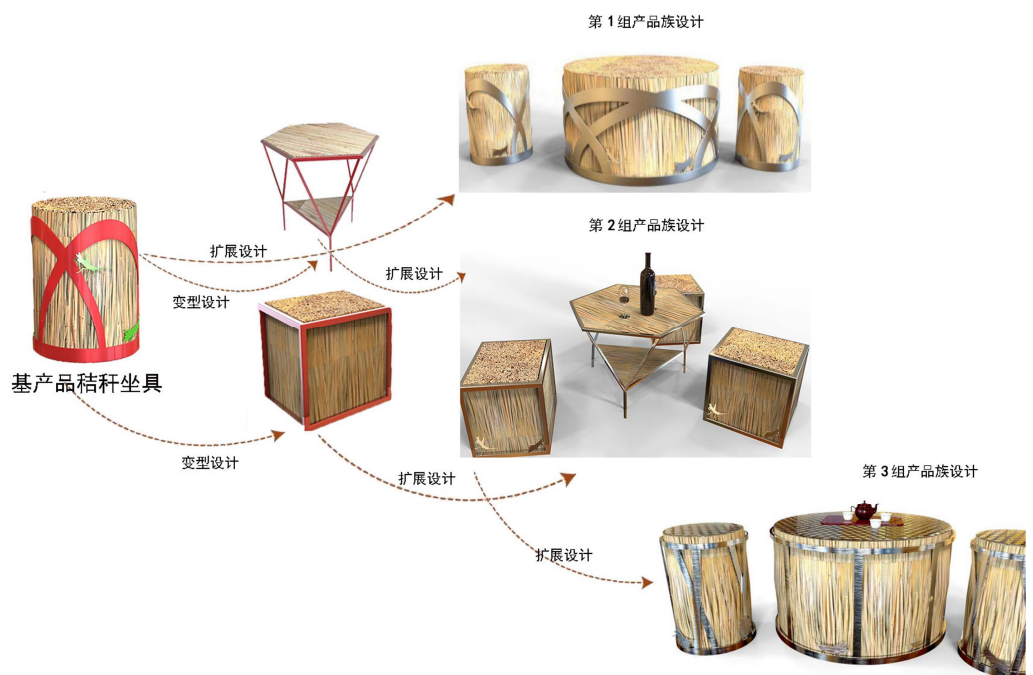


图 7 3 组产品族扩展设计图
Fig.7 Three groups of extended design drawings of product family

通过改变秸秆家具系列化的颜色,以扩展产品族系列的美学理念。高粱秸秆颜色比较单一,运用扩展模块的不同颜色可以丰富产品族。运用喷涂的方式,对金属表面进行各种颜色的油漆喷涂,从而增强产品的颜色点缀效果。金属的颜色喷涂红色,红色与秸秆浅黄色的搭配,传递出乡土材料天然质朴的特点,彰显了生态环保理念,见图 8。将金属喷涂成蓝色,与高粱秸秆的黄色形成对比,打破了产品的单调沉闷感,创造出个性化的家具产品风格内涵,见图 9。



图 8 红色产品族
Fig.8 Red product family



图 9 蓝色产品族
Fig.9 Blue product family

通过探讨设计流程、模块划分准则、产品族扩展及设计实践,提供设计实例阐释说明了绿色模块化在秸秆材料中的运用的可行性。从绿色模块设计角度来看重点是倾向使用、维修以及回收的模块划分,较之传统的模块化设计,绿色模块化设计更注重环境属性,不仅适用于工业领域产品设计,同样适合乡村振兴下的家具产品创新设计。

5 结语

本研究通过系统梳理秸秆材料的特征和造型工艺,进一步解析用绿色模块化设计的可再生利用新途径。实现了秸秆材料家具产品扩展方式与多样化,将秸秆家具产品零部件功能与结构进行聚类,以相互强弱关系进行模块划分,提升了产品族设计扩展的有效作用^[14]。不仅可以解决农村废弃秸秆的处理问题,同时提升了乡土材料的转化运用价值。生态环境越来越多地被设计所关注,如加拿大著名设计师阿瑟·埃里克森。(Arthur Erickson)所言“环境意识就是一种现代意识^[15]”。曾经在农村只能化为烟尘的秸秆华丽转身变为设计材料资源,拓宽了现代家具产品材料的运用领域,传达了自然材料在家具设计中应用的绿色理念。在一定程度上减少焚烧秸秆产生的大气污染,有利于改善乡村自然生态环境,推动村庄清洁提升村容村貌,建设美丽绿色的宜居乡村。

参考文献:

[1] 汪三贵,冯紫曦.脱贫攻坚与乡村振兴有机衔接:逻辑关系、内涵与重点内容[J].南京农业大学学报(社会

- 科学版), 2019, 19(5): 8-14.
- WANG San-gui, FENG Zi-xi. The Organic Integration of Poverty Alleviation and Rural Revitalization: Logical Relationship, Features and Focal Points[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2019, 19(5): 8-14.
- [2] 程碧莲, 刘正. 以旗袍纸样为例的模块化设计方法[J]. 毛纺科技, 2020, 48(10): 46-51.
- CHENG Bi-lian, LIU Zheng. Modular Design Method for Cheongsam Pattern[J]. Wool Textile Journal, 2020, 48(10): 46-51.
- [3] 王召同. 基于概念设计的复杂产品系统功能模块配置方法研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- WANG Zhao-tong. Research on the Function Module Configuration Method for Complex Products and Systems Based on Conceptual Design[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2019.
- [4] 李宏. 设计扶贫精准识别与推进策略[J]. 包装工程, 2020, 41(14): 130-134.
- LI Hong. Targeted Identification and Promotion Strategy of Designed Poverty Alleviation[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(14): 130-134.
- [5] 程贤福, 罗珺怡. 考虑两两模块之间关联关系的产品模块划分方法[J]. 机械设计, 2019, 36(4): 72-76.
- CHENG Xian-fu, LUO Jun-yi. Method of Product Module Partition Based on the Relationship between Two Modules[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(4): 72-76.
- [6] 谭娟. 基于消费行为学的模块化组合家具设计探讨[J]. 林产工业, 2020, 57(6): 73-75.
- TAN Juan. Modular Furniture Design Based on Consumer Behavior[J]. China Forest Products Industry, 2020, 57(6): 73-75.
- [7] 程贤福, 周健, 肖人彬, 等. 面向绿色制造的产品模块化设计研究综述[J]. 中国机械工程, 2020, 31(21): 2612-2625.
- CHENG Xian-fu, ZHOU Jian, XIAO Ren-bin, et al. Review of Product Modular Design from Perspective of Green Manufacturing[J]. China Mechanical Engineering, 2020, 31(21): 2612-2625.
- [8] 张江博. 绿色生态设计理念在室内设计中的应用[J]. 环境工程, 2020, 38(10): 256.
- ZHANG Jiang-bo. Application of Green Design Concept in Interior Design[J]. Environmental Engineering, 2020, 38(10): 256.
- [9] 梁宇鸣. 基于绿色环保理念的建筑装饰设计[J]. 建筑结构, 2020, 50(21): 164.
- LIANG Yu-ming. Architectural Decoration Design Based on the Concept of Green Environmental Protection[J]. Building Structure, 2020, 50(21): 164.
- [10] 董欢欢, 王伟伟, 吕曼曼, 等. 面向个性化需求的模块化设计模型研究[J]. 包装工程, 2017, 38(6): 129-133.
- DONG Huan-huan, WANG Wei-wei, LYU Man-man, et al. Modular Design of Personalized Customization Model[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(6): 129-133.
- [11] BADURDEEN F, AYDIN R, BROWN A. A Multiple Lifecycle-Based Approach to Sustainable Product Configuration Design[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 200: 756-769.
- [12] 胡东方, 吴盘龙. 基于遗传算法的个性化服务型产品设计[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(8): 2036-2044.
- HU Dong-fang, WU Pan-long. Design of Service-Oriented Personalized Products Based on Genetic Algorithm[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(8): 2036-2044.
- [13] 张宠元, 魏巍, 詹洋, 等. 面向主动回收的产品模块化设计方法[J]. 中国工程科学, 2018, 20(2): 42-49.
- ZHANG Chong-yuan, WEI Wei, ZHAN Yang, et al. Product Modular Design Method for Active Recovery[J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(2): 42-49.
- [14] 万丽云, 程贤福, 周健. 面向可适应性的模块化产品族层次关联优化设计[J]. 机械设计与研究, 2019, 35(6): 6-9, 16.
- WAN Li-yun, CHENG Xian-fu, ZHOU Jian. Hierarchical Correlation Optimum Design of Adaptability-Oriented Modular Product Family[J]. Machine Design & Research, 2019, 35(6): 6-9, 16.
- [15] 黄晶, 刘琪. 小街区, 大建筑——亚瑟·埃里克森的罗宾逊广场综合体设计[J]. 建筑技艺, 2017(5): 113-115.
- HUANG Jing, LIU Qi. Small Block, Large Building: Robson Square Complex Designed by Arthur Erickson[J]. Architecture Technique, 2017(5): 113-115.

责任编辑: 马梦遥