# 基于设计几何学的工程机械形态设计方法探究

冯清华，卢颖
（燕山大学，秦皇岛 066004）

**摘要：目的** 提升国内工程机械产品形态的可视性，提高品牌竞争力，丰富产品形态设计的方法。**方法** 从国外工程机械产品形态设计案例入手，分析工程机械产品形态与设计几何学的关联性，结合我国工程机械产品形态设计中的不足，探究将设计几何学引入工程机械产品形态设计的遵循要素和创意原则。**结论** 通过几何比例关系的重新组合、分割等方法的有效尝试，创新出工程机械产品形态设计的有效方法，为国内开展该方面的研究和设计实践提供借鉴。

**关键词：**设计几何学；工程机械；产品形态；设计方法
**中图分类号：**TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2016)20-0079-05

## Shape Design Method of Construction Machinery Based on Design Geometry

*FENG Qing-hua, LU Ying*
(Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

**ABSTRACT:** This study aims at upgrading the visibility of construction machinery product shape in China, improving the brand competitiveness and enriching product shape design methods. With the case study of construction machinery shape design abroad, it analyzes the correlation between construction machinery product shape and design geometry. Taking the shortcomings of construction machinery product shape design in China for reference, it studies the factors and creation principles when applying design geometry into construction machinery product design. With the effective trying of recombining and dividing the geometric proportions, it innovates the effective method of construction machinery product shape design so as to providing references for researches and design practices on this aspect in China.

**KEY WORDS:** design geometry; construction machinery; product shape; design method

随着我国基础建设的兴起，工程机械行业得到了迅速发展，在同质化竞争的时代，老旧产品傻大憨粗的形态特点缺少视觉美感，降低了品牌竞争力。结合工程机械产品使用周期长、更新换代慢的特点，探寻一种可以获得长期稳定视觉美感的工程机械产品形态创新设计方法势在必行。在长期的实践中，设计几何学不仅符合美学规律，而且视觉恒久稳定，如将两者有机结合可获得事半功倍的效果。

## 1 将设计几何学引入工程机械产品形态设计的背景

### 1.1 设计几何学的美学规律

自然万物中蕴含着许多美学规律，如美丽的蝴蝶，身长与双翅展开的比例严格遵循了黄金分割的几何比例关系[1]；如标准的雪花，正六边形结构与

**收稿日期：**2016-07-03
**基金项目：**2015 年河北省社会科学发展研究课题（2015041304）
**作者简介：**冯清华（1980—），男，山东人，硕士，燕山大学副研究员，主要从事设计方法方面的研究。
**通讯作者：**卢颖（1988—），女，山西人，硕士，燕山大学助教，主要从事工业机械形态设计方法方面的研究。

$\sqrt{3}$ 矩形构成了特殊的呼应关系；再如标准的人体，以肚脐为圆心、手臂长度为半径，或以腹股沟为交点，可绘制出一套相互关联的圆形、正方形及矩形。通过对自然界中所蕴含的几何比例规律进行归纳便产生了几何学。

在公元前 3000 年的古埃及、古印度、古巴比伦时期，就出现了有关几何学的记载，最早运用在长度、角度、面积、体积方面的计算。大约在公元前 600 年，古埃及人将几何学广泛用于天文、测量、建筑以及制造等领域。设计几何学是设计与几何学的完美结合，是运用几何作图技巧实现空间的分隔，呈现完美的尺度、比例与序列[2]。设计几何学是关于比例和构成的研究，是典型的应用几何学。

### 1.2 设计几何学与工程机械产品形态设计的关联性

通过对世界著名建筑巴黎圣母院主教堂、传世家具巴塞罗那椅、百年经典汽车设计大众甲壳虫等的研究，由此可见许多历经时间洗礼的经典设计都运用了设计几何学原理。如果把设计几何学的原理方法应用于使用周期较长的产品设计中，无疑将会获得事半功倍的效果。通过对现有工程机械产品的研究，发现其具有使用周期偏长、更新换代慢的特点，因而工程机械产品不能像其他小家电那样经常改变造型来赢得市场，因此将设计几何学[3]引入工程机械产品形态设计，不仅可以获得恒久稳定的个性审美特征[4]，而且也可以获得易被大众接受的视觉效果。

### 1.3 设计几何学引入工程机械产品形态设计的必要性

工程机械产品整体几何形分析见表 1，可以看出，国外著名工程机械企业正因为引入了设计几何学创新模式，因此产品整体形态构成元素几何造形特征[5]明显，视觉效果稳定。形态比例分析见图 1。

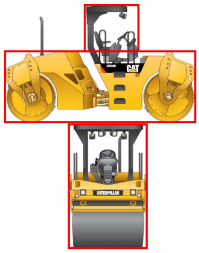
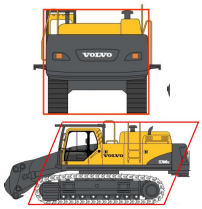
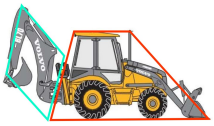
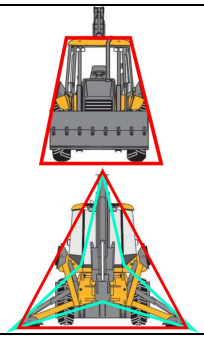
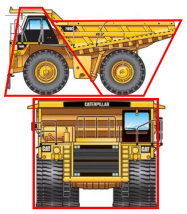
装载机形态比例分析见图 1a（图片摘自卡特彼勒官网），卡特彼勒装载机工作状态整体外接矩形的长度和宽度比为 0.66，基本符合 0.618 的黄金比例，A 矩形和 B 矩形都是外接矩形的等比缩小，A 矩形为除了工作部件外的主体机身部分，与工作状态的外接矩形比同样为 0.66，这就确保了该装载机不管是工作状态还是停止状态都接近黄金分割比例，符合人们的审美偏好，给人以和谐稳定的视觉，为后期的形态设计奠定了坚实的基础，尤其远观大轮廓时更能彰显基础比例的价值。

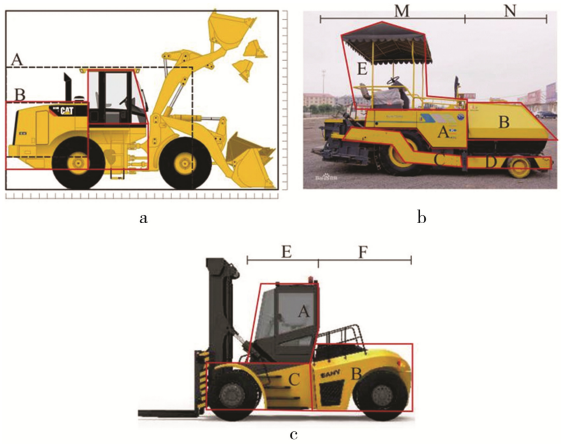
摊铺机形态比例分析见图 1b（图 1a—b 均摘自百度），比例特征不明显，整体造型缺乏鲜明几何个性特征，机身前后比例（M：N）不符合黄金分割，机身 A 与 B，C 与 D 的几何块面特征混乱，衔接不连贯，缺少几何比例呼应。

叉车形态比例分析见图 1c，整机形态缺乏力量感，比例关系（E：F）不符合审美标准。A 部分为操作装置，采用直线切割，形态接近菱形；B 部分为整个叉车驱动和配重，采用大弧度造型，类似跑

**表 1 工程机械产品整体几何形分析**

**Tab.1 Overall geometrical analysis of engineering machinery products**

| 序号 | 工程机械整体内在几何形分析 | 几何形性格分析 |
|---|---|---|
| 1 |  | 卡特彼勒震动压路机：侧视图主要形态分割为两个水平矩形叠加，体现了极强的稳定感和厚重感；正视图单矩形体现了产品的稳定性 |
| 2 |  | 沃尔沃拆除设备：背视图矩形体现了产品的稳定性，侧视图整体采用了平行四边形的几何形态，体现出了拆除设备的冲击力 |
| 3 |  | 沃尔沃反铲装载机：侧视图中的主体（装载与推土）部分为梯形，体现了其的稳定性；后部机械手臂为菱形，体现了多变性与灵活性 |
| 4 |  | 沃尔沃反铲装载机：工作状态时，前后视图呈现正梯形和正三角形，体现了产品的稳定性与灵敏性，同时带来了视觉上的锐利感与醒目感 |
| 5 |  | 卡特彼勒矿山车：侧视图可划分为正反两个梯形，正梯形具有较强的稳定感，而倒梯形则具有灵活感，主视图矩形体现了矿山车的稳定性 |




a　　b

c

图 1　形态比例分析

Fig.1 Shape ratio analysis

车尾部；C 部分为衔接部分，缺乏明确几何形态；BC 的流线型形态给人速度与活力，与 A 部分的形态属性不融合，缺乏力量感与沉稳感。

品牌形象对比分析见图 2（图片摘自卡特彼勒官网），图 2a 为国外某品牌不同产品序列，其几何形态统一、驾驶室沿袭相似几何形态设计风格，配重部分以梯形和矩形为主，产品识别性强，品牌特征明显[6]。图 2b 为国内某品牌的同类产品，几何形态造型风格迥异，配重部分有的采用流线形，有的采用几何形，几何形态风格缺乏一致性与延续性。品牌特征[7]不明显。由此可见，目前国内工程机械产品形态设计过程中几何特征不明显，视觉吸引力不强，品牌竞争力较弱，部分存在傻大憨粗的诟病，

a　国外某品牌不同产品

b　国内某品牌同类产品

图 2　品牌形象对比分析

Fig.2 Comparative analysis of brand image

因此将设计几何学引入工程机械产品形态创新设计[8]迫在眉睫。

## 2　将设计几何学引入工程机械产品形态设计的创意原则

几何形态元素是一种形态语言，在设计中不仅要确定设计对象的几何形态元素，而且要协调构成主体的各部分几何元素之间的关系，通过组合、分割或叠加实现有机衔接，更为重要的是，运用设计几何学原理的同时应满足美学表现与功能应用。经前期分析，简要总结出以下 3 条创意原则。

### 2.1　固定比例原则

工程机械产品的功能和构造决定了机械的总体规划，这就需要设计师在机身固定比例和基本人机尺寸的前提下，用设计几何学的作图技巧与视觉比例方法来调整与弥补固定比例的缺陷。

### 2.2　形态饱满原则

工程机械产品作为大型搬运工具，要带给人以肌肉感和力量感，因此形体、块面、线条等方面均要体现强壮与力量，以避免干瘪和瘦弱的形象。

### 2.3　和谐统一原则

工程机械产品形态设计过程中，整体与局部、局部与局部之间的和谐统一关系，体现工程机械稳重与稳定的特性。

## 3　将设计几何学引入工程机械产品形态设计的方法创新

通过对设计几何学的研究，结合工程机械产品造型设计要求[9]，简要总结出以下 4 种形态创新设计方法[10]。

### 3.1　几何组合法

几何组合法见图 3（图片摘自卡特彼勒与沃尔沃官网），原始的几何形态之所以容易辨认，原因在于这些几何形状的各要素间，具有十分严格的相互制约关系。如方形、梯形、三角形、立方体、圆、球等原始的形体，这种简单的几何形体不仅可以赋予产品完整统一的效果，而且可以表现产品各种不

同的个性与特征。工程机械需要体现稳重感和力量感，因此多采用方形、梯形、等边三角形等几何形态。不同的几何形态有着不同的特性，将单个几何形态通过不同分布组合在一起，可以形成一种新的形态，将这些简单的几何形体进行组合使之形成不同的形态，彰显各种工程机械的不同机械形态特征，为整体的外观设计构建了一个良好的框架。

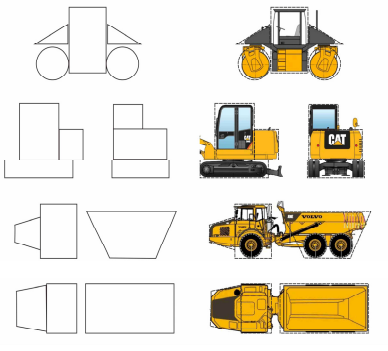


图 3 几何组合法

Fig.3 Geometric combination methods

### 3.2 矩形分割法

矩形给人坚韧、稳重的视觉效果，为了彰显工程机械产品硬朗大气的形态风格，因此矩形便成为了最常用的几何形体。那些具有特殊比例关系和独特美感的特殊矩形，如正方形、1.236 矩形、1.382 矩形、黄金分割矩形、根号矩形等，就是固定比例矩形。工程机械产品形态设计过程中可以采用以上特殊比例矩形进行分割布局，同时这些矩形长边与短边还具有完美的几何转换关系，因此给人们以协调均称的视觉效果。

矩形分割法见图 4（图片摘自卡特彼勒官网），首先要确定正面最大的几何形体，一般体现矿山车的稳定与力量多采用矩形。同时根据矩形的特殊性，在几何形体内对固定比例矩形分割进行布局，其前视图主要界面分别采用 1.236 矩形、$\sqrt{2}$ 矩形、$\sqrt{5}$ 矩形等，以此获得良好的比例关系。由此可见，矩形分割法是工程机械产品形态设计中一种非常实用的设计方法，可以帮助人们准确地塑造形态。

### 3.3 比例系列构成法

比例系列构成法[11−12]是在一个固定比例基础上进行系列派生，使之构成一个系列的比例矩形图形。这些矩形在不失稳定的前提下，兼顾和谐统一的特性。在这里简要总结了 3 种系列比例构成法，分别是整数比系列、根号比系列和黄金比系列。

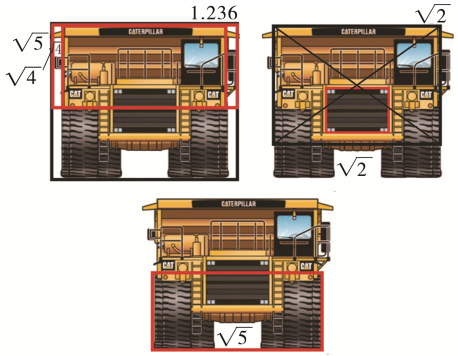



图 4 矩形分割法

Fig.4 Rectangle partition methods

整数比系列，在正方形的基本上进行整数演变而来，如 1∶1，1∶2，1∶3 等，这种比例得到的矩形比较统一，适合模块化生产，但容易导致产品形式单一，缺少变化。

根号比系列，以正方形的一边与其对角线连接为半径而产生的新矩形基础上，依次形成一系列根号比例矩形图形，如 1∶$\sqrt{2}$，1∶$\sqrt{3}$，1∶$\sqrt{4}$ 等。根号系列矩形过渡自然、韵律感强，可以相互转换，运用于工程机械形态设计可赋予其强烈的层次感和秩序感。

黄金比系列，以黄金分割矩形为基础系列派生而来，属于经典的比例和构成，符合大众审美。沃尔沃的拆除设备见图 5（图片摘自沃尔沃官网），其配重、机身、驾驶室由 3 个黄金分割矩形构成，配合分模线进行了完美衔接，赋予了强烈整体感的比例形态；收纳后的工作装置也是由黄金分割矩形派生的比例矩形构成，具有强烈的节奏感，能达到整体比例协调的效果。

### 3.4 模数法

在工程机械产品的形态设计中，模数法是以某个形体为单位，作为形体的基础进行重复或将形体进行类似单位设计后以不同比例呈现。既形成了主旋律，彰显了产品特性，又使各部分相互呼应，产生了和谐统一的效果。

滑移装载机见图 6（图片摘自卡特彼勒官网），以整机大轮廓的形态为模数单位，进行元素提取归纳与加工，并运用于驾驶室和车窗轮廓形态设计。车身涂装线条的设计，其弧度在统一中有规律的排列，分割也采用了模数法的设计手法，使得不连贯的形体与线条具有规律性与秩序感，元素的重复使得各个部分形体之间相互呼应，形成整体视觉美感。

以上创新的设计方法不是孤立存在的，需要在

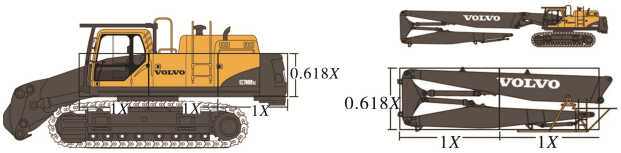



图 5　拆除设备

Fig.5 Removal equipment

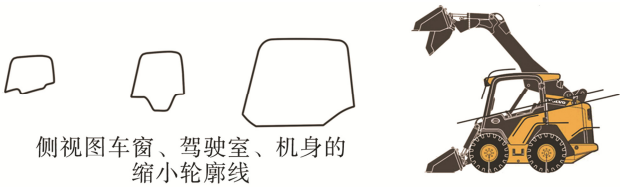



图 6　滑移装载机

Fig.6 Skid loader

比例、构成、韵律、色彩分割等多方面多种方法综合运用。所列举的方法也不是唯一的，必将在伴随着美学理论、技术手段、社会经济等因素的改变而不断丰富完善，从而使产品获得更加符合美学规律、易被大众接受的视觉效果。

## 4　将设计几何学引入工程机械产品形态设计的实例验证

案例验证见图 7。样机原始形态分析见图 7a，经过对样机原始形态比例关系进行分析，其控制装置、动力装置、工作装置的几何形状繁杂，比例关系不符合设计几何学基本原理，细节处理粗糙，缺少推敲，因此视觉比例特征不明显、线条生硬呆板、憨厚笨重、缺乏个性。将设计几何学引入工程机械产品形态设计后，经过方案创意、结构分析、形态优化等过程，形成最终设计方案，见图 7b。、

a　　b

图 7　案例验证

Fig.7 Case validation

## 5　结语

在工程机械产品形态设计实践过程中，引入设计几何学基本原理创新工程机械形态设计方法，不仅可以帮助人们获得和谐统一、形态饱满、经久不衰的几何形态，而且能增强产品的视觉稳定性与辨识性，彰显工程机械产品特有的稳重、强壮与力量，以此全面提升产品可视性和品牌竞争力。

## 参考文献：

[1] 胡静，薛艳敏，王家民，等. 黄金分割在产品外观设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2009, 30(2): 145—147.
HU Jing, XUE Yan-min, WANG Jia-min, et al. Research on the Application of Golden Section in Product Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2): 145—147.

[2] 王文杰. “艺用设计几何学”之历史、理论及其应用研究[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计版), 2010, 11(5): 168—171.
WANG Wen-jie. History, Theory and Application on Geometry of Art Design[J]. Journal of Nanjing Arts Institute (Fine Arts & Design) , 2010, 11(5): 168—171.

[3] 董琪，钟厦. 工程机械产品外观造型设计中的设计几何学[J]. 建筑机械, 2009(4): 84—86.
DONG Qi, ZHONG Xia. Geometric Design during Process of Appearance Design for Construction Machinery[J]. Construction Machinery, 2009(4): 84—86.

[4] 李秀石. 工程机械产品外观设计定位分析[J]. 工程机械, 2012, 43(4): 54—57.
LI Xiu-shi. Analysis on the Design and Location of Engineering Machinery Products[J]. Construction Machinery and Equipment, 2012, 43(4): 54—57.

[5] 李雪楠，赵江洪. 工程机械造型特征与造型语义的一致性研究[J]. 包装工程, 2013, 34(2): 61—64.
LI Xue-nan, ZHAO Jiang-hong. Study on Consistency of Form Feature and Semantics of Construction Machinery[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(2): 61—64.

[6] 李良.工程机械产品识别设计策略研究[D]. 长沙：湖南大学, 2013.
LI Liang. Research on the Design Strategy of Product Identity of Construction Machinery[D]. Changsha: Hunan University, 2013.

[7] 王贞，赵江洪. 论工程机械品牌的造型特征创新[J]. 装饰, 2013(12): 98—99.
WANG Zhen, ZHAO Jiang-hong. Form Feature Innovation of Construction Machinery Brand[J]. Zhuangshi, 2013(12): 98—99.

[8] 李平平，任工昌，陈红柳，等. 多方法集成创新在产品形态设计中的应用研究[J]. 现代制造工程，2014(1): 33—37.
LI Ping-ping, REN Gong-chang, CHEN Hong-liu, et al. Application Research on the Product Form Design of the Integrated Innovation of Multiple Methods[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2014(1): 33—37.

[9] 陈国强. 面向工程机械的产品造型设计方法研究[J]. 装饰, 2013(5): 108—109.
CHEN Guo-qiang. The Design Method of Product Form for Construction Machinery[J]. Zhuangshi, 2013(5): 108— 109.

[10] 潘萍，杨随先. 产品形态设计评价体系与评价方法[J]. 机械设计与研究, 2013, 29(5): 37—41.
PAN Ping, YANG Sui-xian. Research on Evaluation System and Method of Product Form Design[J]. Machine Design & Research, 2013, 29(5): 37—41.

[11] 卢颖. 设计几何学在工程机械产品形态设计中的应用研究[D]. 秦皇岛：燕山大学, 2014.
LU Ying. Study on the Application of Design Geometry try in Form Design in Engineering Machinery Product[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2014.

[12] 纪方圆，黄迅，钟畅. 汉字符号下的家具形态设计研究[J]. 家具与室内装饰, 2015(3): 11—13.
JI Fang-yuan, HUANG Xun, ZHONG Chang. Furniture Form Design of Chinese Character Symbol[J]. Furniture & Interior Design, 2016(3): 20—21.