

基于原型理论的轮式装甲突击车前脸创新设计

徐艳玲*, 周宪, 覃娇娇, 徐雪倩
 西安工业大学, 陕西西安, 中国
 *通讯作者

【摘要】 轮式装甲突击车军贸需求日增, 但当前造型设计存在同质化、文化内涵不足等问题, 影响国际竞争力。本研究融合原型理论与拓扑学, 通过主成分分析法提取核心语义风格, 区分主次形态特征并提取原型特征, 基于拓扑形变规则实现创新设计, 再用语义差异法与灰色关联法筛选验证。研究明确了6个核心语义风格, 区分出底盘等主要形态特征及原型, 生成创新方案并筛选出最优方案, 有效解决了造型同质化问题。该方法为轮式装甲突击车造型创新提供了系统路径, 有助于提升其国际竞争力。

【关键词】 轮式装甲突击车; 原型理论; 拓扑学; 前脸形态设计; 创新设计

1. 引言

轮式装甲突击车军贸需求日增, 其造型设计创新对提升竞争力、彰显国防设计能力及推动军贸与国际形象塑造意义重大。

当前该车型围绕防护性等核心需求设计, 虽重功能迭代, 却忽视造型语义风格及原型方案的系统性创新, 导致文化内涵不足, 国际市场因同质化吸引力下降。

为此, 本文提出融合原型理论与拓扑学的设计方法。原型理论可提取客户对车型的典型形态认知, 为设计提供符合其深层偏好的方向; 拓扑学能分析现有形态, 对主要特征同胚变化以承继风格, 对次要特征非同胚变化以实现创新, 从而解决上述问题[1]。

综上, 该融合方法在一定程度上解决了轮式装甲突击车造型设计的相关问题。

2. 研究现状

2.1 轮式装甲突击车研究现状

轮式装甲突击车前脸形态设计意义重大, 不仅传达设计核心理念、影响装备形象与军队士气, 还关联实用性、操作性、战斗性能, 甚至关乎战场生死。随着现代战争变革与军事装备升级, 该领域研究呈多元化趋势, 围绕功能性需求、人机工程学和美学价值展开, 设计重心从单纯功能实现转向功能与形式协同优化, 涌现诸多创新成果。

国外在该领域研究体系完善, 覆盖多维度, 学者通过跨学科合作推动设计向综合性能优化迈进。例如, Li等[2]开发的防护模块提升了抗爆性能与散热效果; Paulo等[3]的方法论减少了装甲重量。

国内研究起步较晚, 通过 CiteSpace 软件

对相关文献分析发现, 研究侧重功能, 忽视造型创新, 降低了产品吸引力(如图1~3), 不过珠海航展新型装甲车的设计是有益尝试, 为造型设计奠定了基础。

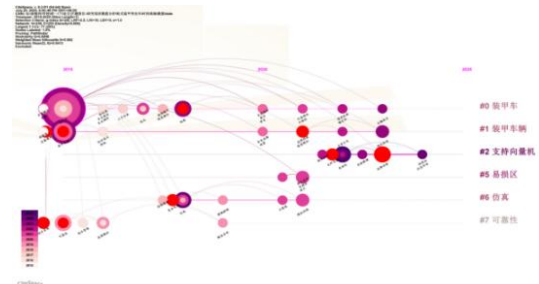


图 1. 装甲突击车相关研究的关键词时间轴图

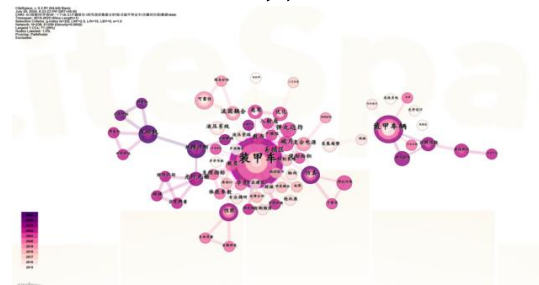


图 2. 装甲车研究领域关键词共现图谱



图 3. 装甲车研究领域关键词聚类图谱

尽管国内有新设计思路, 但受学科交叉

不足等影响，存在明显缺口：一是忽略核心语义风格，形态设计雷同缺乏创新；二是局限于“功能至上”，原型方案缺乏系统创新，导致同质化降低吸引力；三是造型评价体系不完善，多依赖主观经验。

针对这些问题，本文提出融合原型理论与拓扑学的形态设计方法：通过原型理论提取客户偏好的原型形态特征，为设计提供方向；运用拓扑学区分主次形态特征，基于规则进行继承与创新；再以语义差异法及灰色关联法完善评价方法，最终构建更系统的前脸形态设计理论体系。

2.2 原型理论研究现状

原型理论由荣格提出，核心是原型作为集体无意识的核心，是群体中具有普适性和典型性的模式化符号与意象[4]。在轮式装甲突击车领域，原型指客户对其形态、色彩等的无意识认知，反映“心中最初的无意识印象”。该理论为设计实践提供了系统框架，其在设计领域的应用是学术焦点，学者们在多方向有深入探讨。

国外在艺术与设计领域对原型理论的研究已形成系统框架，跨学科应用成效显著，从多个角度推动理论实践多样化。如 Xing[5]结合该理论与深度学习技术提出创作模型，Dueñas[6]基于此开发住宅原型，这些成果关键在于文化符号深度解码和技术工具创新应用，对我国相关领域有重要参考价值。

国内学者在原型理论应用上也有突破，形成多个特色方向。文化传承与产品创新方面，王宁等[7]、安宗琳[8]有相关方法论和产品开发；产品造型与系列化设计领域，杨文瑾等[1]、林丽和李智美[9]提出设计方法并解决问题；建筑与景观设计中，龙婷[10]、梁潇[11]、宋天明等[12]以案例提炼原型并应用；交互设计领域。

通过 CiteSpace 软件对 2015-2025 年相关文献分析发现，近年原型理论逐渐应用于艺术领域，“原型理论”等是核心关键词且延伸至艺术领域，关键词聚类含建筑色彩相关内容（如图 4~6）。

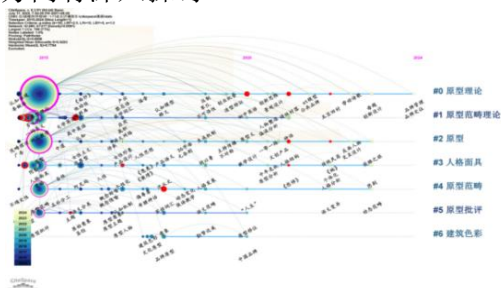


图 4.原型理论相关研究的关键词时间线轴图

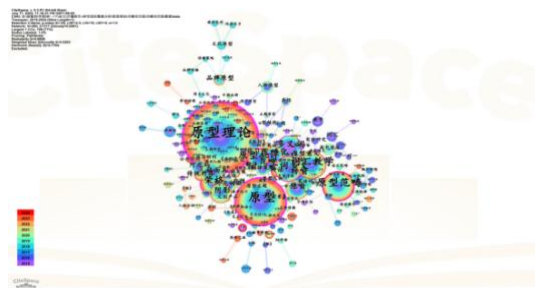


图 5.原型理论研究领域关键词共现图谱



图 6.原型理论研究领域关键词聚类图谱

综上，国内外在该理论设计应用上虽有进展，尤其在文化传承与产品创新领域，但存在不足：研究多集中于建筑与色彩领域，产品造型研究偏少，评价偏主观。为此，本文提出融合原型理论与拓扑学的形态设计方法，旨在建立完整理论形态设计体系，弥补现有研究缺口。

2.3 拓扑学理论研究现状

拓扑学聚焦几何图形连续变换后保持不变的性质，关注图形间位置关系而非空间实

际距离，这与本研究“通过形态特征位置关系区分主次”的思路契合，即理性识别主次特征后，依拓扑形变规则对主要特征同胚变化以继承风格，对次要特征非同胚变化以实现轮式装甲突击车前脸形态创新。

当前拓扑优化是研究热点，学者们在多方向有深入探究。国外研究完善，涉多领域，但在艺术与设计领域应用较少。

国内拓扑学在艺术与设计领域应用有进展，通过 CiteSpace 分析 2015-2025 年文献发

现,研究焦点集中在六个方面,已拓展到多个具体方向,形成系统理论与实践方法(如图7~9)。对于拓扑学与设计结合的界定,学者们见解各异,杨文瑾等[1]、王新成[13]分别从不同角度阐述。

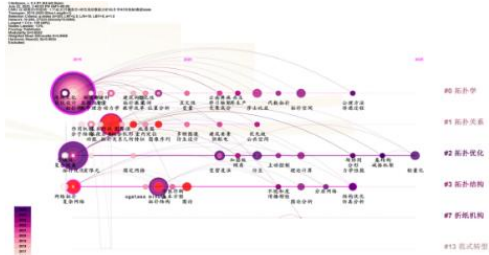


图 7. 拓扑学相关研究的关键词时间线轴图

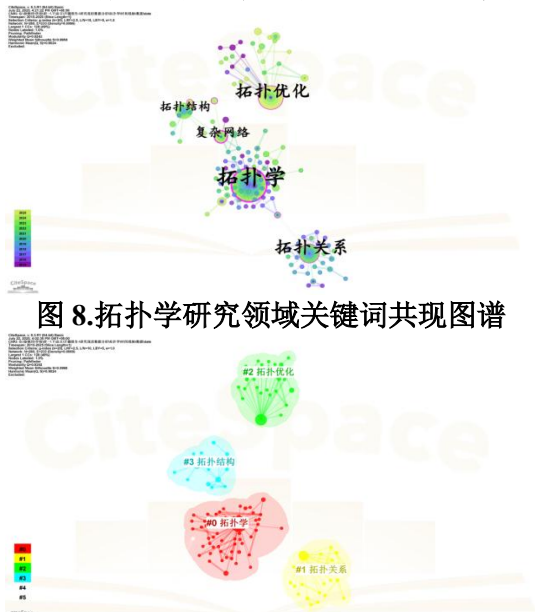


图 8. 拓扑学研究领域关键词共现图谱

具体应用上,文创设计方面,朱庆玲[14]、郭松等[15]有相关设计流程或方法解决实际问题;产品设计领域,杨文瑾等[1]、张沛焱[16]通过拓扑相关手段提升设计效率或优化结构性能。

尽管有成果,国内研究仍有局限:多集中在技术操作层面,与设计领域交叉探讨少;应用多在建筑学领域,产品设计领域研究独立且缺乏系统性。因此,本文尝试结合拓扑学与原型理论,探索轮式装甲突击车前脸形态创新设计,以弥补研究缺口。

3. 基于原型理论的轮式装甲突击车形态创新设计方法

为弥补研究缺口,本文尝试结合拓扑学与原型理论,探索轮式装甲突击车前脸形态创新设计。而基于原型理论的轮式装甲突击车前脸形态创新设计方法分为五部分(如图

10所示),具体如下:

- 1) 前脸形态语义风格获取,采用主成分分析法获取核心语义风格。
- 2) 前脸主次形态特征区分,分析代表性样本拓扑关系,以拓扑权值排序确定代表性主次特征。
- 3) 前脸形态原型特征提取,对代表性主次特征做离散度分析,提取分布稳定的形状特征。
- 4) 前脸形态创新设计,在原型特征基础上,依拓扑形变规则实现连续形变,完成创新设计。
- 5) 前脸形态设计方案筛选及验证,通过语义差异法与灰色关联法筛选验证最佳方案。这一方法可有效弥补现有研究在轮式装甲突击车前脸形态设计领域的缺口。

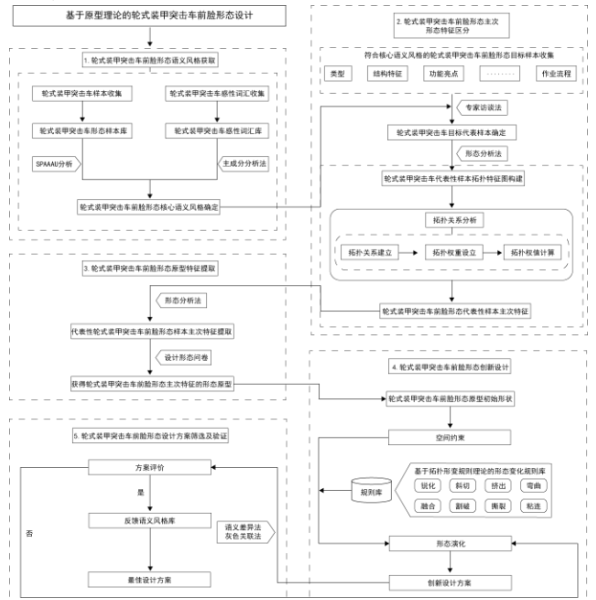


图 10. 基于原型理论的轮式装甲突击车前脸形态创新设计方法构建

3.1 轮式装甲突击车形态语义风格获取

表 1. 因子载荷系数表

	因子载荷系数表			共同度 (公因子方差)
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	
威慑霸气	0.626	-0.514		0.674
刚硬凌厉	0.75	0.338		0.683
棱角分明	0.789	0.407		0.803
几何切割	0.802	0.327		0.754
机械美感	0.859			0.802
坚固厚实	0.576		0.419	0.511
庞大威严	0.834			0.751
犀利尖锐	0.367	-0.667		0.582

威严耸立	0.755		0.332	0.75
扩张威慑	0.837		0.316	0.806
未来科幻	0.789			0.726
冷峻肃杀	0.836		-0.319	0.802
精密严谨	0.797			0.671
一体化融合	0.705	-0.388	0.431	0.834
流畅顺滑		0.633	0.535	0.688
动感十足	0.671			0.51
线条刚劲	0.887			0.849

语义风格在形态设计中承担核心表意功能，是设计者与客户的精神对话。为明确符合客户偏好的设计方向，需收集轮式装甲突击车前脸形态样本及相关感性意象词汇，再借助主成分分析法整合与降维，提取关键信息，为后续设计及客户偏好分析提供数据支持。其具体过程如下：

1) 构建基础感性语义空间：通过多途径收集图片样本及意象词汇，筛选出 44 对意象词汇和 42 张前脸样本，再用语义差异法进一步筛选出 17 个代表性意象词汇与 34 款代表性前脸图片样本。

2) 进行数据处理与因子筛选：基于确定的意象词汇和样本设计发放问卷收集数据，采用主成分分析法对数据矩阵降维，筛选核心语义风格词汇时需同时关注因子载荷绝对值和共同度，优先选择两类指标均优的词汇。

3) 确定核心语义风格词汇：结合因子载荷系数与共同度筛选，选取因子载荷绝对值高于 0.8 且共同度高于 0.7 的感性意象词汇作为核心语义词汇。为减少视觉干扰，绝对值小于 0.3 的值用空白表示，负号数值表示与其他因子负相关（详见表 1）。

最终，选取几何切割、机械美感、庞大威严、扩张威慑、冷峻肃杀、线条刚劲 6 个感性意象词汇，用于指导轮式装甲突击车前脸形态代表性样本的筛选，使设计更贴合客户需求。

3.2 轮式装甲突击车前脸主次形态特征区分

保留主要形态特征可保证轮式装甲突击车核心属性不变，对次要形态特征创新则能确保最终形态符合语义风格趋势，同时实现前脸形态的创新与优化，具体过程如下：

1) 代表性样本筛选：明确核心语义风格后，针对前期 34 款轮式装甲突击车，依据核心语义风格计算目标样本，通过式 (1) 得出各样本综合得分并降序排序，输出因子浓缩结果

以筛选代表性样本（见表 2）。

$$\text{综合得分} = \sum_{i=1}^k \left(\mathbf{F}_i \times \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} \right) \quad (1)$$

其中， \mathbf{F}_i 为第 i 个因子的得分， λ_i 为第 i 个因子的特征值， k 为因子数量， $\sum_{j=1}^k \lambda_j$ 为所有因子的特征值之和，经过该式得到各个样本综合得分与排名情况。

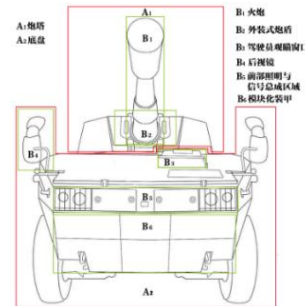


图 11. 轮式装甲突击车前脸形态分析

最终选择综合得分大于 0.8 的前 3 款前脸为代表性样本，再运用形态分析法对其形态进行分析（如图 11、12 所示）。

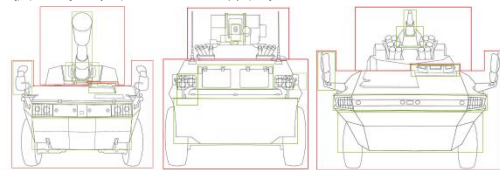


图 12. 轮式装甲突击车前脸形态样本分析
表 2. 综合得分表

排名	行索引	综合得分	主成分 1	主成分 2	主成分 3
1	样本 15	1.171	2.08	-1.558	-1.376
2	样本 2	0.977	1.294	-1.233	1.848
3	样本 19	0.881	0.619	1.048	2.485
4	样本 29	0.741	0.955	0.367	-0.232
5	样本 34	0.739	0.867	1.13	-0.702
6	样本 5	0.601	0.929	0.393	-1.41
7	样本 33	0.581	0.772	0.243	-0.281
8	样本 8	0.549	0.371	1.923	-0.125
9	样本 7	0.528	0.925	-2.47	1.932
10	样本 17	0.52	0.958	-0.363	-1.316
11	样本 21	0.488	0.704	0.207	-0.63
12	样本 16	0.452	0.351	1.316	-0.046
13	样本 31	0.444	0.719	-0.198	-0.589
14	样本 28	0.426	0.57	-0.242	0.349
15	样本 18	0.322	0.686	-0.488	-1.098

2) 绘制树状拓扑结构特征图：产品形态的拓扑性质是形态变化中保持不变的风格特征，拓扑结构是具有稳定识别范式的形态组织结构，分析拓扑结构有助于把握拓扑性质；

树型结构从整体到局部的分析模式，与客户的形态认知逻辑契合，故用于分析前脸形态原型。依据分析结果，绘制树状拓扑结构特征图（如图 13 所示）。

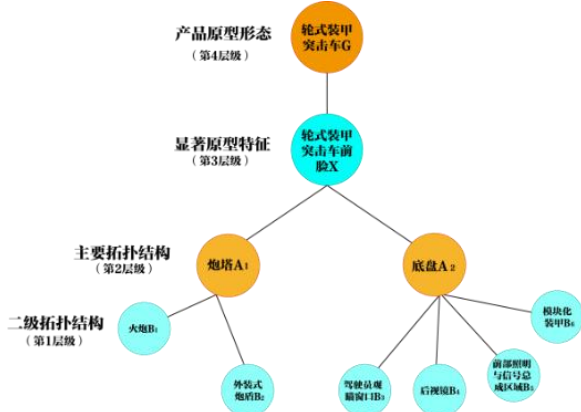


图 13. 轮式装甲突击车前脸形态特征拓扑图

3) 建立拓扑关系：基于拓扑特征图，建

表 4. 轮式装甲突击车前脸形态特征关系

拓扑关系	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	B6
A1	相等	相交	包含	包含	分离	分离	分离	分离
A2		相等	分离	分离	包含	包含	包含	包含
B1			相等	包含/相邻	分离	分离	分离	分离
B2				相等	分离	分离	分离	分离
B3					相等	分离	分离	分离
B4						相等	分离	分离
B5							相等	相邻
B6								相等

1) 轮式装甲突击车主次形态特征区分：基于上文 5 种拓扑关系的赋值，经式 (2)、(3) 计算得到前脸形态特征的拓扑权值（见表 5）。由表可知，A1A2、B1B2、B5B6 的拓扑权值最高，为主要形态特征关系，其余为次要形态特征关系。依据这一结果分析具体形态特征主次，以 SA1A2=26、SA1B3=11、SA2B3=14 为例，炮塔 A1 与底盘 A2 的拓扑权值高于 A1 与驾驶员观瞄窗口 B3、A2 与 B3，故底盘 A2 更重要。同理梳理后明确：底盘 A2、火炮 B1、外装式炮盾 B2、前部照明与信号总成区域 B5、模块化装甲 B6 为主要形态特征，炮塔 A1、驾驶员观瞄窗口 B3、后视镜 B4 为次要形态特征。

如式 (2)、(3) 所示，量化生物形态特征结构之间拓扑关系的影响程度，影响较为重要的生物形态特征结构部分进行优先提取。定义 $I, m, j \in \mathbb{N}, i \leq m \leq j, i, m, j \leq Q, Q$ 定义为最高层数。

$$S(i_p, m_q) = \sum_{k=m}^j I_k \times \lambda \times M_k(i_p, m_q) \quad (2)$$

立“分离、相邻、相交、包含、相等”5 种基本拓扑关系，设定 1-5 的拓扑权值取值（见表 3），进而综合得到前脸形态特征关系（见表 4）。

表 3. 拓扑关系

拓扑关系	定义	拓扑权值
分离	两形态特征的边界和内部无公共部分	1
相邻	两形态特征有比自身更低层次的公共部分，且为两形态特征的边界	2
相交	两形态特征有比自身更低层次的内部分公共部分	3
包含	两形态特征其中一形态特征的边界和内部均在另一形态特征内部	4
相等	两形态特征的边界和内部相同	5

$$I_K = 2^{K-1}; \lambda = \frac{1}{2^{2K}} \quad (3)$$

式中： $i、m$ 代表两个形态特征结构对象； $p、q$ 代表 $i、m$ 各自所在层级； $S(i_p, m_q)$ 表示从 m 层到 j 层 i_p 与 m_q 的总拓扑权值； (i_p, m_q) 代表 i_p 与 m_q 在第 K 层的拓扑权重； I_K 是第 K 层的层级系数； λ 是衰减系数； K 为层级， AK 表示 i_p 与 m_q 的所隔层数[17]。

轮式装甲突击车举例计算如下：

SA1A2：A1 与 A2 都在第二层级，为相交关系，拓扑权重为 3，层级系数 $I_K=2^{2-1}=2$ ， $\lambda=1$ ，此层级中，A1A2 的拓扑权值： $S1=2 \times 1 \times 3=6$ ；在第三层级，通过 X 等价关联 A1A2 为相等关系，拓扑权重为 5，层级系数 $I_K=2^{3-1}=4$ ， $\lambda=1/2$ ，此层级中，A1A2 的拓扑权值 $S2=4 \times 1/2 \times 5=10$ ；在第四层级，通过 G 等价关联，A1A2 为相等关系，拓扑权重为 5，层级系数 $I_K=2^{4-1}=8$ ， $I_K=1/4$ ，此层级中，A1A2 的拓扑权值： $S3=8 \times 1/4 \times 5=10$ ；SA1A2= $S1+S2+S3=10+10+6=26$ 。

通过对轮式装甲突击车前脸各形态特征

结构间的拓扑关系权值依次进行计算，计算数据如表 5 所示。

表 5.轮式装甲突击车前脸形态特征拓扑权值

总权值	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	B6
A1	30	26	14	14	11	11	11	11
A2		30	11	11	14	14	14	14
B1			20	19/17	14	14	14	14
B2				20	14	14	14	14
B3					20	16	16	16
B4						20	16	16
B5							20	17
B6								20
特征关系	A1A2	B1B2	A1B3	A2B3	A2B4	A2B5	A2B6	B5B6
量化尺度	26	19/17	11	14	14	14	14	17

3.3 轮式装甲突击车前脸原型特征提取

1) 形态要素列举：运用形态分析法，对综合得分超 0.8 且排名前 3 的轮式装甲突击车前脸进行结构拆解。结合“根据载体特性灵活划分形态层级、聚焦关键可分析特征”的

逻辑，划分为 5 类形态要素，即炮塔 A1、底盘 A2、火炮 B1、外装式炮盾 B2、前部照明与信号总成区域 B5，各形态特征对应 15 种形态要素（见表 6）。

表 6.轮式装甲突击车前脸形态特征与形态要素

形态特征	形态要素		
炮塔 A1			
	A1-1	A1-2	A1-3
	底盘 A2		
A2-1		A2-2	A2-3
火炮 B1			
	B1-1	B1-2	B1-3
	外装式炮盾 B2		
B2-1		B2-2	B2-3
前部照明与信号总成区域 B5			
	B5-1	B5-2	B5-3

2) 形态要素筛选：前期已明确前 3 名样本的核心语义风格趋势，因形态要素较多，需进一步筛选符合该风格的原型特征。制作问卷后选取 28 位被测对象，采用 5 点法打分，依式 (4) 计算各特征平均值（见表 7）。以“平均值超过总平均值”为初次筛选指标，得到 7 项形态要素：炮塔 A1-1 (0.526)、底盘 A2-2 (0.562)、火炮 B1-1 (0.482)、火炮 B1-2 (0.523)、外装饰炮盾 B2-3

(0.523)、前部照明与信号总成区域 B5-1 (0.476)、前部照明与信号总成区域 B5-2 (0.464)。

$$\bar{X}_{yk} = \frac{\sum_{k=1}^n X_{yk}}{n} (i, j, n \geq 1 \text{ 且为整数}) \quad (4)$$

式中： \bar{X}_{yk} 表示第*i*个产品样本的*j*特征所有调查结果的平均值；*j*表示产品样本编码；*i*表示形状要素编码；*n*表示参与试验的人员数 [9]。

表 7.轮式装甲突击车前脸形态要素分析结果

形态特征	炮塔 A1			底盘 A2			...	前部照明与信号总成区域 B5		
形态要素	A1-1	A1-2	A1-3	A2-1	A2-2	A2-3	...	B5-1	B5-2	B5-3
人员 1	0.75	0.75	0.333	0.25	0.75	0.75	...	0.333	0.5	0
人员 2	0.5	0.25	0.333	0.25	0.75	0.5	...	0	0.5	0.333
人员 3	0.25	0.25	0.333	0.25	1	0.25	...	0.333	0.5	0.333
...
人员 27	0.25	0.25	0.333	0.25	0.25	0.5	...	1	0.5	0.333
人员 28	0.75	0.25	0.333	0.5	0.75	0	...	0.667	0.75	0.333
平均值 \bar{X}_{yk}	0.526	0.348	0.394	0.383	0.562	0.375	...	0.476	0.464	0.404

3) 形态原型确定: 为提升稳定性并规避平均值局限, 采用“平均值+标准差系数”联合分析。以平均值超总平均值为初次指标, 以式(5)计算的标准差系数为二次指标, 对火炮 B1-1、B1-2 及前部照明与信号总成区域 B5-1、B5-2 做离散度分析(见表 8), 标准差系数越小, 数据分布越稳定。对比后选定底盘 A2-2 和前部照明与信号总成区域 B5-2。综上, 明确底盘 A2-2 与 B5-2 为主要形态特征原型, 其余 5 项为次要形态特征原型, 且均符合核心语义风格。

$$V_{\sigma} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad (5)$$

式中, V_{σ} 表示标准差系数; σ 表示标准差; \bar{x} 表示样本特征评价值的平均值。比较各样本形状特征的标准差系数, 从中提取分布比较稳定的形状特征, 即产品造型风格的原型特征 $J = [j_1, j_2, \dots, j_m]$, 其中 J 表示原型特征集合[9]。

表 8.形态要素离散度分析结果

形态特征	形态要素	标准差系数
炮塔 A1	A1-1	0.381 9
底盘 A2	A2-2	0.295 1
火炮 B1	B1-1	0.331 0
	B1-2	0.368 5
外装式炮盾 B2	B2-3	0.368 5
前部照明与信号总成区域 B5	B5-1	0.383 5
	B5-2	0.300 0

3.4 轮式装甲突击车前脸形态创新设计

1) 约束条件设定: 轮式装甲突击车各形态特征的大小、长度、位置等参数受严格工程与性能约束, 这可规避拓扑学在实际空间距离分析中的局限。具体约束(如图 11 所示): 宽度维度上, 主要特征 $A2 > B5$, 次要特征 $A1 > B2 > B1$, 且主次特征间满足 $A2 > A1$ 、 $A2 \geq B5$ 、 $B2 > B1$; 长度维度上, 主要特征 $A2 > B5$, 次要特征 $B1 > A1 > B2$, 且主次特征间满足 $A2 > A1$ 、 $A2 > B5$ 、 $B1 > B2$; 位置关系上, A1 位于 A2 正上方, B5 内嵌于 A2 中心正前部, B1 尾部内嵌于 B2 形成整体, 且 B1 与 B2 均处于 A1 上方。

2) 形态原型演变。在核心语义风格基础上, 结合拓扑形变规则对前脸主次形态特征演变, 依托参数化生成工具构建拓扑形变规则程序(具体规则见表 9)。依据上述约束条件, 在参数化工具中对原型特征进行参数化程序连续形变: 对主要形态特征原型底盘 A2-2 与前部照明与信号总成区域 B5-2 进行同胚变化以保留核心属性; 对次要形态特征原型炮塔 A1-1、火炮 B1-1、B1-2、外装饰炮盾 B2-3、前部照明与信号总成区域 B5-1 进行非同胚变化, 相关变化规则及连续形变结果见表 10。连续形变中, 通过调整参数使初始形态原型逐步变化, 融入几何切割、机械美感等 6 个核心语义词汇的特征要求, 最终实现前脸形态创新设计(具体见表 10)。

表 9.拓扑形变规则说明

拓扑形变规则	规则形式化
同胚变化规则	锐化 Rs 让形态特征曲线的平滑程度等级改变, 使两条曲线的角距离发生变化
	斜切 Rb 调整两条形态特征曲线的连接方式, 用斜角曲线连接
	挤出 Re 移动角形态特征曲线的位置, 让曲线沿着法线方向发生位移
	弯曲 Rc 改变形态特征曲线的曲率, 使曲线沿着基准线调整形状
非同胚变化规则	融合 Rf 形态的边缘特征曲线消失, 形态所包含的空间缩小
	割破 Rp 形态的内部特征曲线增加, 形态所包含的空间内部出现新空间
	撕裂 Rd 形态的边缘特征曲线增加, 形态所包含的空间分裂成两个新空间

粘连 Ra 形态的边缘特征曲线控制点减少, 形态所包含的空间不变或者缩小

表 10.形态原型具体变化规则及连续过程

形态原型	具体规则	形状连续变化结果					
炮塔 A1-1	割破 Rp 粘连 Ra						
底盘 A2-2	锐化 Rs 斜切 Rb						
火炮 B1-2	割破 Rp 撕裂 Rd						
外装式炮盾 B2-3	割破 Rp 粘连 Ra						
前部照明与信号总成区域 B5-2	斜切 Rb 挤出 Re						

3.5 轮式装甲突击车前脸形态创新设计方案筛选及验证

1) 设计方案筛选与验证: 先调整初始轮式装甲突击车前脸形态并细化细节, 得到多款不同设计方案 (如图 14 所示)。随后用语

义差异法验证, 选取 18-50 岁涵盖设计专业学生及社会人员的群体, 对 4 款方案在多个核心语义词汇维度上以 1-5 分评分 (见表 11)。

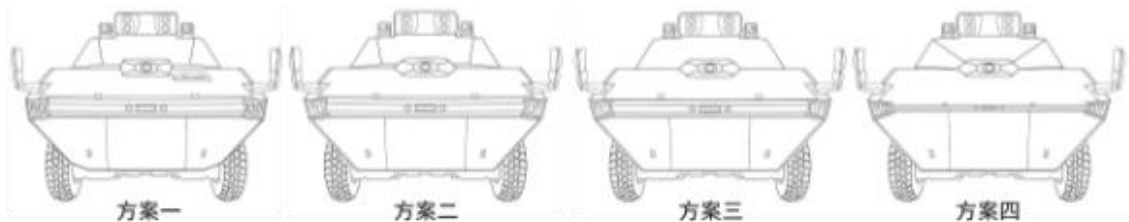


图 14.轮式装甲突击车前脸形态设计方案

表 11.轮式装甲突击车前脸形态设计方案感性评价结果

语义风格	方案一	方案二	方案三	方案四
几何切割	3.05	2.75	3.15	3.1
机械美感	2.75	3	3.5	2.85
庞大威严	2.6	3.1	3.25	2.7
扩张威慑	2.7	3.15	3.2	3
冷峻肃杀	2.85	3.3	3.15	3.05
线条刚劲	2.95	3.05	3.1	3.1

2) 采用灰色关联法验证。核心是计算特征序列与母序列的关联度, 关联系数越大, 关联性越强[18]。计算时, 先基于前期评分得各核心语义词汇总平均值, 再开展灰色关联分析 (见表 12)。关联度取值 0~1, 值越大表明与“参考值”相关性越强、评价越高。

3) 梳理分析结果 (见表 13) 可知: 4 个评价项中, 方案四关联度 0.7 为最高, 方案三 0.695 次之, 故最终选择方案四为最优方案。

表 12.设计方案与核心语义词汇关联系数结果

关联系数结果				
	方案一	方案二	方案三	方案四
几何切割	0.404	0.379	0.818	0.562
机械美感	0.855	0.920	0.388	0.687
庞大威严	0.495	0.720	0.780	0.443
扩张威慑	0.619	0.691	1	0.906
冷峻肃杀	0.995	0.505	0.608	0.9531
线条刚劲	0.632	0.918	0.572	0.650

表 13.设计方案与核心语义词汇关联度结果

关联度结果		
评价项	关联度	排名
方案四	0.7	1
方案三	0.695	2
方案二	0.689	3
方案一	0.667	4

4.结论

本研究创新性融合原型理论与拓扑学用于轮式装甲突击车前脸形态研究: 先以主成

分分析法提炼契合客户偏好的核心语义风格词汇，精准筛选代表性前脸样本；再剖析样本拓扑权值关系，梳理形态特性，完成主次形态特征原型区分；随后依拓扑形变规则衍生多样设计方案，用语义差异法及灰色关联法选出最佳方案。

该融合成果拓宽了原型理论在军工产品设计的应用边界，完善了拓扑学与其他理论融合的研究体系，为后续军工产品设计研究开辟了新思路与渠道。

参考文献

- [1] 杨文瑾, 侯以忠, 苏建宁, 等. 基于原型理论和拓扑学的产品形态系列化设计研究[J]. 包装工程, 2025, 46(02): 25-36+59. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.02.003.
- [2] Mingxing Li, Xianhui Wang, Haitao Liu, Xiaowang Sun, Song Binwen, Tiaoqi Fu, Tuzao Yao. MultiObjective optimization of the design of a protective components to chassis protection module for unmanned armored vehicles[J]. Scientific reports, 2025, 15(1).
- [3] Paulo Carlos Kaminski, Guido Muzio Candido. Optimizing civilian armored vehicle design with quality: A case study on lightweight ballistic protection using the DfA2 methodology[J]. Production Engineering Archives, 2025, 31(2).
- [4] 崔诚亮. 荣格的原型思想述评[J]. 今古文创, 2023, (33): 55-57. DOI:10.20024/j.cnki.CN42-1911/I.2023.33.018.
- [5] Bo Xing. Deep learning driven recreation of traditional ethnic elements in animation works from the perspective of prototype theory[J]. International Journal of Information and Communication Technology, 2025, 26(16).
- [6] Dueñas B, Soto W, Carrera E. Evaluation of the Thermic Efficiency of the Prototype at Scale of a Sustainable Housing that Uses Concrete with PET Fibers (CFP) and the Trombe System[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1054(1).
- [7] 王宁, 王肖焱, 何飞龙, 吕梦雪, 董圣泽. 基于原型理论的商周青铜文化当代设计转化路径研究[A]. 郑州市社会学学会、郑州大学社会工作系, 郑州市社会学学会2024年学术年会论文集[C]. 宝鸡文理学院: 郑州市社会学学会, 2024: 17-18.
- [8] 安宗琳. 基于原型理论的藏文化创意产品设计[D]. 兰州理工大学, 2021.
- [9] 林丽, 李智美. 基于原型理论的产品造型风格创新设计方法研究[J]. 包装工程, 2022, 43(08): 42-49+100. DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.08.006.
- [10] 龙婷. 基于原型理论的传统空间转译设计研究[D]. 昆明理工大学, 2024. DOI: 10.27200/d.cnki.gkmlu.2024.000957.
- [11] 梁潇. 基于原型理论的北票市传统村落波台沟村景观设计研究[D]. 沈阳建筑大学, 2021.
- [12] 宋天明, 秦佳文, 张海青. 基于原型理论的风景区园林设计探析[J]. 华中建筑, 2020, 38(12): 71-74.
- [13] 王新成. 拓扑学在公共室内空间设计中的应用及方法研究[D]. 昆明理工大学, 2021.
- [14] 朱庆玲. 拓扑理论在文创产品设计中的应用研究[D]. 武汉科技大学, 2024. DOI: 10.27380/d.cnki.gwkju.2024.000584.
- [15] 郭松, 夏冰欣, 张庆泰, 卢颖俏, 崔勇. 基于形状文法和拓扑构型的佤族凤纹衍生设计与应用[J]. 包装工程, 2025, 46(10): 237-245.
- [16] 张沛垚. 基于拓扑理论的产品有限元结构设计仿真[J]. 机械管理开发, 2025, 40(04): 257-259. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2025.04.092.
- [17] 祝雯雯. 基于拓扑理论的SUV形态仿生设计与研究[D]. 西安工业大学, 2024. DOI: 10.27391/d.cnki.gxagu.2024.000776.
- [18] 付雅芳, 杨任农, 刘晓东, 等. 灰色关联分析的软件工作量估算方法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(11): 2384-2389.