

3 种不同的高速列车头车造型仿生设计

陆冀宁^{1,2}, 徐伯初¹, 丁磊¹

(1.西南交通大学, 成都 610031; 2.重庆工商大学, 重庆 400067)

摘要: **目的** 探讨3种不同的高速列车头型的仿生设计方式对产品功能和性能的影响。**方法** 根据产品和仿生对象进行耦合的内容不同进行分类, 分析了3种内容侧重不同的高速列车头型仿生设计方案, 并介绍了基本的设计过程。**结论** 车头造型仿生设计的实用功能耦合要考虑生物形态的气动特性, 生物形式美感耦合则注重生物的比例、曲面过渡和色彩搭配等, 象征语意耦合则关心生物的象征意义。按照这3种仿生设计类型的不同特点进行设计, 可以提高设计质量, 加快设计速度。

关键词: 仿生设计; 高速列车; 头型设计; 形态仿生

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)02-0026-05

Three Different Kinds of Bio-inspired Design of High Speed Train Head

LU Ji-ning^{1,2}, XU Bo-chu¹, DING Lei¹

(1.Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2.Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

ABSTRACT: It aims to introduce three different kinds of bio-inspired design of high speed train head. It is classified by the different coupling contents of product and imitated object in the design process. We conclude three bio-inspired design of high speed train head with different design emphases, and introduce their brief design process. We must focus on aerodynamic features of bio-form when we consider functional coupling in bio-inspired train head design. We must focus on scales, transitions between surfaces and color of creatures when we consider aesthetic coupling of creature's form. We must focus on symbolic meaning of creature when we consider symbolic semantics coupling. It can speed up design process and improve quality when we accomplish according the different features of three kind of bio-inspired design.

KEY WORDS: bio-inspired design; high speed train; head car shape; morphological bionics

高速铁路具有运能大、安全舒适、全天候和环境友好等特点, 是当前我国重点发展的产业。车体是高速列车的九大关键技术之一^[1], 而头车造型是车体造型技术中的重要一环。高速列车车头造型既涉及美学、文化等要素, 又涉及相关标准、车体结构及尺寸、气动外形等技术要素^[2]。很多设计师都会借鉴具有优异气动性能的生物外形进行设计, 这种仿生设计方法也同样适用于高铁头型设计^[3-4]。比如模仿翠鸟鸟喙的

日本新干线 500 系电力动车组^[5], 利用马来虎特征的马来西亚动车组^[6]以及卢吉·科拉尼设计的列车概念模型^[7]等, 都是仿生学应用在轨道车辆造型设计上的优秀成果。

1 高速列车仿生设计的 3 种耦合

在仿生设计中, 设计者根据不同的出发点和目的,

收稿日期: 2016-12-01

基金项目: 四川省哲学社会科学“十二五”规划 2013 年度项目 (SC13E083); 四川省科技支撑计划项目重点研发计划项目 (2015GZ0081)

作者简介: 陆冀宁 (1975—), 男, 山西人, 西南交通大学博士生, 重庆工商大学副教授, 主要从事仿生形态设计方面的研究。

通讯作者: 徐伯初 (1952—), 男, 四川人, 西南交通大学教授, 主要从事工业设计研究。

会采取不同的方法和步骤进行设计^[8]。仿生设计程序根据入手环节的不同可以分为两种，一种以生物形态或结构特征、功能或生活环境所激发的灵感入手，一种从设计任务中的用户需求、功能定位或使用环境约束归纳出的产品概念入手^[9-10]。无论采取哪一种设计程序，都需要在构思设计方案时将产品概念和仿生对象特征以一定的方式进行耦合，这种耦合可能是实用功能为主的耦合，也可能是生物形式美感为主的耦合，或者是象征语意为主的耦合，不同耦合的仿真程序见图 1。对于高速列车头型仿生设计来说，设计目标不同，具体设计过程和内容也不同。

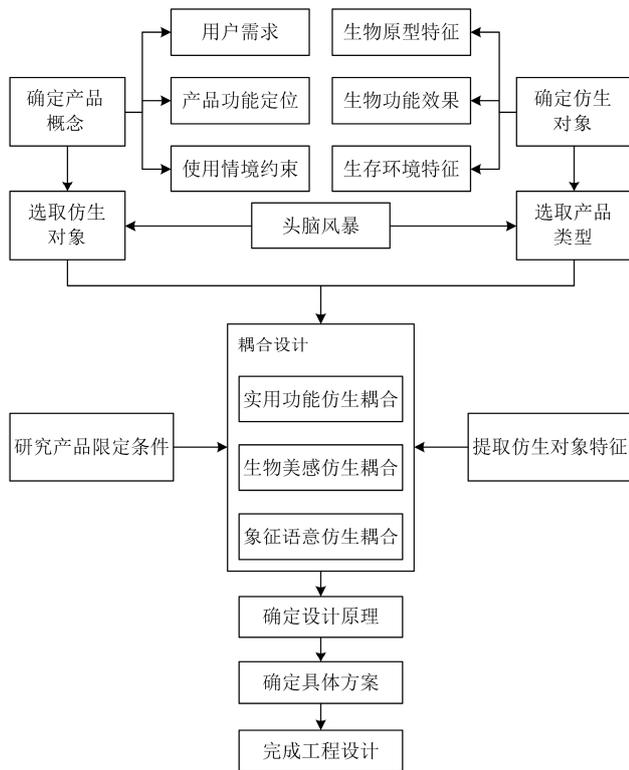


图 1 仿生设计程序
Fig.1 Procedure of bio-inspired design

2 模仿实用功能的高速列车仿生设计

在对高速列车头型进行仿真设计时，主要考虑改善其空气动力学性能，这是因为车头外形对高速列车的空气动力学性能影响很大^[3-4, 11-12]。在技术主导型的开发过程中，功能和结构上的要求应该被首先满足，然后才能考虑外形美观与否，因此进行高速列车头型仿生设计时，应以实用功能的仿生耦合为主要设计内容。

2.1 选择仿生对象

设计师在设计高速列车头型时，会参考一些具有优秀流体动力学外形的生物。海洋动物(特别是鱼类)

能在水中快速行进的秘密之一是它们都具有很好的流线型形体，这使得它们在游泳时受到水的阻力降低到最小^[13]。鸟类的形体也有很好的空气动力学性能，鹰在俯冲捕食时速度很快，鹰喙的形态外凸圆润(见图 2)和头部的衔接过渡自然，对气流有较好的导向性是上佳的仿生对象。

2.2 实用功能为主的仿生耦合

为了适应高速列车头型的结构要求，将鹰喙底部的曲线改成一条水平的直线，将整个形态按比例拉长(见图 3)。在将鹰喙和头部的圆滑过渡改为棱角较为突出的形态后，形成一定的切面效果。这样的形态两侧的高度和面积较大，向上方过渡的曲面宽度和面积较小。从该形态可以判断出，前方来的气流将主要被车头分到左右两边，向上方走的气流较少，而较为理想的情况应该是向上方和两侧平均地排开气流。为了达到平均气流的目的，设计师借鉴了鹰头的眉脊和眼窝部分的曲面过渡形态，从侧面添加一条颊线，塑造出一条从侧面竖直状态逐渐转变到顶面水平状态的曲面，将一部分侧面气流导引到列车上方，在列车周围形成了较为平均的气流分配。



图 2 鹰头部的形态特征
Fig.2 Morphological feature of eagle head

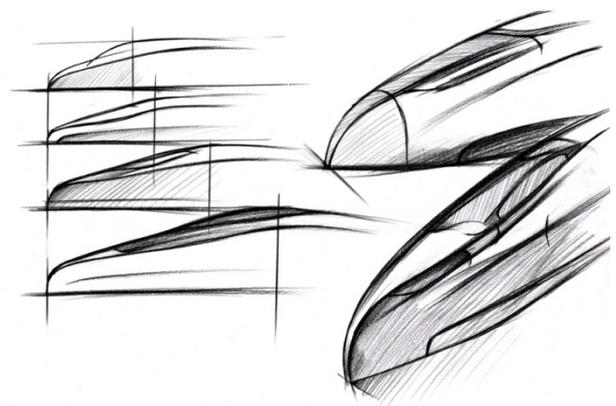


图 3 以鹰头为仿生对象的设计方案草图
Fig.3 Design sketches mimicked eagle head

2.3 评估方案

最终的方案效果见图4，利用Fluent软件对此方案模型进行了流场计算和分析见图5。图5中用红色标出的流线说明，一部分气流直接被列车排到上方空间，一部分被排到侧面，一部分则从列车侧面转向了上方。模拟计算结果表明，此方案的形态作为头车时气动阻力小，升力也在可接受范围内；作为尾车时气动阻力较小，升力也很小，总体的气动性能很好。



图4 以鹰头为仿生对象的高速列车头型设计方案
Fig.4 Head shape design of high speed train mimicked eagle head

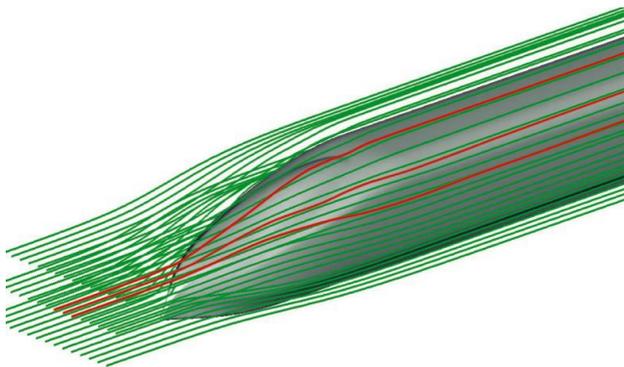


图5 鹰头方案的流场图
Fig.5 Flow field graph of eagle head design

3 表现生物形式美感的高速列车仿生设计

高速列车设计主要是技术主导型的开发过程，但在某些特殊情况下会出现以设计为主导的案例，例如设计师突发灵感自主进行的设计，卢吉·科拉尼的概念列车方案就是此类。这种情况的高速列车设计将以表现生物形式美感为主。

高速列车造型的形式美感规律主要有统一与变化、比例与尺度、对称与均衡、节奏与韵律，以及活力与动感^[14]。这些形式美规律在生物形态中也十分常见。在以表现生物形式美感为主的仿生设计中，应当首先归纳并提取能够表现这些形式美规律的形态特征，再将其应用于产品上。

3.1 选择仿生对象

高速列车形体细长，在选择仿生对象时也应选择拥有类似形体的生物。为了便于表现生物形式美感中

比例、节奏和韵律，考虑选择形体各部分区分明显的生物，比如昆虫或环节动物类。另外，考虑选择一些人们平时不太注意的生物，以期通过较为新颖的形体比例来取得前卫酷炫的效果。

叶海龙是一种属于海龙目海龙科的硬骨鱼类，其形体细长，表面覆盖有骨质板，身体各部分区分明显，适合表现比例和节奏。叶海龙的头部形态和海马类似，但吻部比海马更长，细长的头部比例符合高速列车头型的基本形体要求。因此，选定叶海龙为仿生对象。

3.2 生物形式美感为主的仿生耦合

叶海龙有一个像吸管一样的长嘴，口部末端稍大，中间收细，连接到眼睛下部。按照叶海龙的口部、眼部和头部的相似比例绘制草图（见图6）。叶海龙头部的这种中间细两端粗的形体十分优美，在列车头型上也应加以表现，同时为了适应列车底部平直的要求，在头车底部塑造出一条上凸的分型线，线以下的部分采用深色涂装，以形成细长且华丽的弧形视觉效果（见图7）。高速列车的造型特征线可以归纳为3类：车身整体造型的轮廓线、不同曲面的转折线及点睛部件的分形线^[15]。叶海龙身体覆盖着骨质板，其形态各曲面间过渡的线条也很突出，按比例放大后，这些线条正可以处理成不同曲面的转折线或点睛部分的分形线。设计方案中各零部件块面分明，体量感强，再辅以一些装饰性的排气管和导管，有蒸气朋克风格的特点。

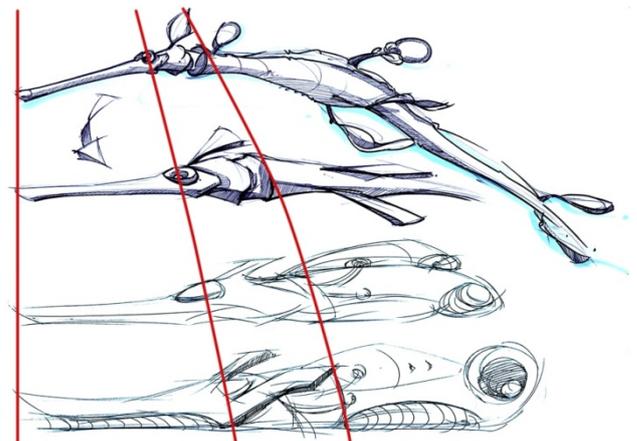


图6 设计方案的长度比例
Fig.6 Scales of length in design sketches

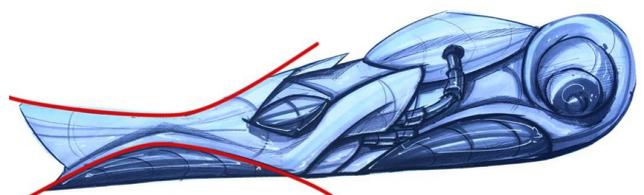


图7 设计方案的高度比例
Fig.7 Scales of height in design sketches

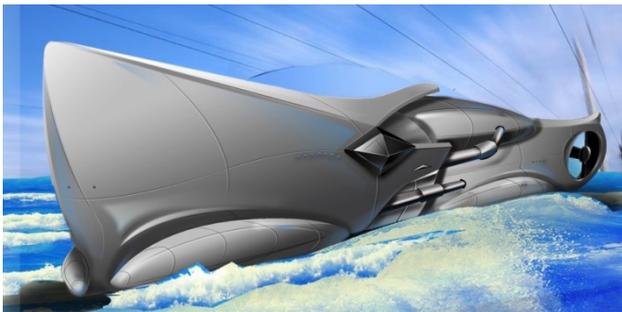


图 8 以叶海龙为仿生对象的高速列车头型设计
Fig.8 High speed train head design mimicked leafy seadragons

3.3 方案评估

方案的基本效果见图 8。为了突出生物形式美感, 整个方案造型较为夸张, 实用性稍低, 但作为展示形式美感的案例是可以的。

4 传达象征语意的高速列车仿生设计

对于普通用户来说, 高速列车的技术是抽象的, 而其外观和形象才是区别彼此车型的重点^[16], 我国的高速列车需要以优质的外观来提升整体形象。同时, 我国高铁想要走出国门, 更需要在形式上表达出输出目标地区的固有文化特征, 进行适应性设计和差异化设计。这种情况下的高速列车仿生设计, 是以传达象征语意为主的。

4.1 选择仿生对象

具有泰国文化特征的造型元素很多, 泰国有很多特色鲜明的著名建筑, 但建筑造型强调空间感和稳定性, 其形态并不完全适用于移动性强的车辆上。而泰国特有的生物形象则是较好的选择, 比如泰国国鸟戴氏火背鹇, 其面部有一大块裸露的红色皮肤, 识别性很强。

4.2 象征语意为主的仿生耦合

火背鹇的喙长短适中, 与头部圆滑连接, 此形态的空气动力学性能不会存在问题。火背鹇头部左右各有一大块亮红色的皮肤, 其形态从侧面看十分完整, 便于应用在高速列车车头的侧面涂装上。其头部颜色呈红黑对比, 十分鲜明, 红色部分像是覆盖在面部的头盔, 显得威武雄壮。作为泰国国鸟, 火背鹇可以当之无愧地代表泰国地域文化。



图 9 戴氏火背鹇的形象和草图
Fig.9 Diard's fireback image and sketches

4.3 方案评估

最后完成的方案见图 10, 车头形态基本呈梭形, 既符合空气动力学要求, 又与一般鸟类的头部形态类似, 火背鹇的特征主要通过涂装表现, 基本传达出了泰国文化的意蕴。



图 10 带有泰国地域特色的高速列车造型设计方案
Fig.10 Head shape design of high speed train with Thai feature

5 结语

实用功能、生物形式美感和象征语意, 这 3 个方面的内容不是相互排斥、互不相容的, 而是在每项仿生设计中都或多或少的存在。根据设计任务的不同, 侧重于不同的生物选择和仿生耦合, 可以大大加快设计速度和提高设计质量。随着高速列车的技术进步和我国高铁产业的扩张, 人们的关注点往往在列车的功能、舒适性和文化形象上, 这使得实用功能耦合和象征语意耦合两种列车头型仿生设计较为常见。但仍需看到, 作为一项复杂技术的产物, 高速列车头型的仿生设计从来不是单一目标, 近期的多目标多学科优化设计就是明证。因此, 即使生物形式美感不是现阶段高速列车头型仿生设计的主要内容, 它仍然会在设计师的潜意识中萌动。

参考文献:

- [1] 张卫华, 王伯铭. 中国高速列车的创新发展[J]. 机车电传动, 2010(1): 8—12.
ZHANG Wei-hua, WANG Bo-ming. Innovation and Development of High-speed Railway in China[J]. Electric Drive for Locomotives, 2010(1): 8—12.
- [2] 向泽锐, 徐伯初, 支锦亦. 中国高速列车工业设计研究综述与展望[J]. 铁道学报, 2013, 35(12): 9—18.
XIANG Ze-ru, XU Bo-chu, ZHI Jin-yi. Review and Prospect of Research of Industrial Design of High-speed Train in China[J]. Journal of the China Railway Society, 2013, 35(12): 9—18.
- [3] KIM S J, LEE J H. Parametric Shape Modification and Application in a Morphological Biomimetic Design[J]. Advanced Engineering Informatics, 2015, 29(1): 76—86.

- [4] 齐文溥. 仿生设计在高速列车头型、车灯设计中的应用[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
QI Wen-pu. Bionic Design in the Head Type and Lights of High-speed Trains[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.
- [5] HARGROVES K, SMITH M H. Innovation Inspired by Nature: Biomimicry[J]. ECOS, 2006(129):29.
- [6] 易琼, 毛如香, 张胜伟. 形态仿生设计在轨道车辆工业设计中的应用[J]. 电力机车与城轨车辆, 2012, 35(3): 58—59.
YI Qiong, MAO Ru-xiang, ZHANG Sheng-wei. Applications of Bionic Shaping Design in Industrial Design of Railway Vehicles[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2012, 35(3): 58—59.
- [7] 田君. 自然: 源头与方向——卢吉·科拉尼的仿生设计[J]. 装饰, 2013(4): 35—40.
TIAN Jun. Nature, Source and Direction: Luigi Colanin Bionic Design[J]. Zhuangshi, 2013(4): 35—40.
- [8] 陆冀宁, 丁磊. 仿生设计的目的性分类研究[J]. 装饰, 2016(2):138—139.
LU Ji-ning, DING Lei. Study on the Purpose Classification of Biomimetic Design[J]. Zhuangshi, 2016(2):138—139.
- [9] HELMS M, VATTAM S S, GOEL A K. Biologically Inspired Design: Process and Products[J]. Design Studies, 2009, 30(5): 606—622.
- [10] 杨丽英, 孙宁娜, 张文莉. 从生物到产品的仿生设计程序[J]. 包装工程, 2010, 31(12): 15—18.
YANG Li-ying, SUN Ning-na, ZHANG Wen-li. Bionic Design Flow from Natural Organisms to Product[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(12):15—18.
- [11] 刘加利, 李明高, 张继业. 高速列车流线型头部多目标气动优化设计[J]. 中国科学: 技术科学, 2013, 43(6): 689—698.
LIU Jia-li, LI Ming-gao, ZHANG Ji-ye. Multi-objective Aerodynamic Optimization Design of Streamline Head of High Speed Train[J]. Scientia Sinica: Technologica, 2013, 43(6): 689—698.
- [12] 张传英. 基于形态仿生的高速列车减阻仿真研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
ZHANG Chuan-ying. Study on Drag Reduction of High-speed Train Based on Morphological Bionic[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [13] 胡红忠, 孟永刚, 赵军. 源于海洋动物形体特征研究的仿生设计[J]. 包装工程, 2008, 29(12): 240—241.
HU Hong-zhong, MENG Yong-gang, ZHAO Jun. Bionic Design from Physical Characteristics of Marine Animals[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12): 240—241.
- [14] 徐伯初, 李洋, 管聪颖. 高速列车造型的美学特征分析[J]. 包装工程, 2012, 33(2): 23—26.
XU Bo-chu, LI Yang, GUAN Cong-ying. Study on Aesthetics Properties of High-speed Train[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(2): 23—26.
- [15] 张榆, 李洋, 李娟. 从特征线到高速列车的造型设计[J]. 机械设计与研究, 2013, 29(4): 68—71.
ZHANG Yu, LI Yang, LI Juan. From Characteristic Lines to the Shape Design of High-speed Train[J]. Machine Design and Research, 2013, 29(4): 68—71.
- [16] 支锦亦, 徐伯初. “形神兼备”——高速列车外观设计文化内涵例[J]. 创意与设计, 2014(3): 88—92.
ZHI Jin-yi, XU Bo-chu. A Research on Cultural Connotations of High-speed Trains Shape Design[J]. Creation & Design, 2014(3): 88—92.