

霓虹扩增效应研究综述

蔡圣燕, 赵淑文

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: **目的** 对霓虹效应的研究成果进行梳理, 提出进一步研究课题, 推动图像色貌模型的发展。**方法** 首先介绍 2 个典型的霓虹效应模型(嵌入式模型和 Ehrenstein 模型), 阐述霓虹扩增效应的现象及产生机理, 然后总结霓虹效应研究的主要成果, 即各诱因对霓虹效应强度的影响规律。**结论** 霓虹效应的诱因主要包括亮度组合、波长组合、视网膜照度和模型结构, 文中对这些诱因的研究成果进行了梳理和总结。

关键词: 霓虹扩增效应; 嵌入式模型; Ehrenstein 模型; 复杂刺激; 诱因

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)15-0178-05

An Overview of Neon Color Spreading Effect

CAI Sheng-yan, ZHAO Shu-wen

(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: To promote image color appearance model, it sorted research findings for neon color effect and put forward a further research topic. It firstly expounded the phenomenon and mechanism of neon color spreading effect by introducing two typical models (embedded model and Ehrenstein model). Then it outlined main research achievements about neon color spreading effect in history, i.e. the law of the influence of inducing factors on the strength of neon effect. The inducing factors include luminance combination, wave length combination, retina illuminance and model structure. The paper sorts and summarizes the findings about the influence law.

KEY WORDS: neon spreading effect; embedded model; Ehrenstein model; complex stimulation; inducing factor

色貌模型(CAM)是指能够对不同观察条件下色刺激的感知属性进行预测的数学模型和方法。观察条件包括照明、背景和环境等因素, 感知属性变量则包括明度、彩度和色相等^[1-2]。色貌模型可解决均匀色空间^[3-4]、标准色差理论^[5-6]和跨媒体图像复制^[7-9]等许多理论和实际应用问题, 是色彩管理系统的核心组件(特性连接色空间 PCS), 现代彩色印刷复制理论的核心内容。近 20 年来色貌模型得到了长足发展, 对印刷复制理论和技术的发展起到了很大的推动作用^[10-12]。

2002 年, 孟塞尔颜色科学实验室提出了图像

色貌模型 iCAM^[13]。iCAM 不仅能够预测简单色貌现象, 而且能够预测空间分布复杂的色貌现象, 如同时对比、勾边和霓虹扩增效应。霓虹扩增效应是一种非常美丽且引人注目的色貌现象, 但目前的研究还不够深入。自 1971 年霓虹效应被发现之后, 公开发表的研究论文只有 30 余篇。国内对霓虹效应的研究几乎未见发表。

为了推动图像色貌模型的发展, 需要对色貌现象进行深入研究。这里首先介绍霓虹扩增效应的 2 个典型模型, 借此阐述霓虹效应的现象及产生机理, 然后梳理并总结历史上霓虹扩增效应的主要研究

收稿日期: 2015-11-04

作者简介: 蔡圣燕(1973—), 女, 博士, 天津科技大学副教授, 主要研究方向为颜色科学和跨媒体图像复制。

成果,最后提出需要进一步研究的几个课题,希望推动霓虹扩增效应的研究,最终有助于推动图像色彩模型的研究。

1 霓虹扩增效应及其产生机理

1971 年, Dario Varin 出版了专著《色度的对比与扩散》,该专著封面使用了霓虹扩增图例,但并没有引起国际关注。1975 年, Harrie van Tuijl 创作了嵌入式颜色扩散模型与 Ehrenstein 颜色扩散模型,见图 1,并依据这 2 个模型出现的视觉错觉现象,将其命名为霓虹颜色扩增^[14]。

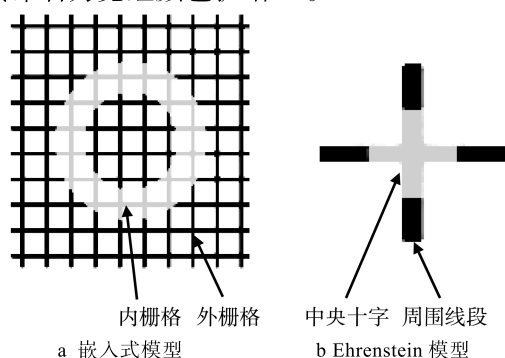


图 1 典型霓虹扩增效应模型
Fig.1 Typical Neon spreading effect model

嵌入式颜色扩散模型通过改变规则栅格中特定图形内的栅格颜色而得到。特定图形内的栅格称为 Segments,周围的栅格称为 Lattice,如图 1a。该模型呈现的视觉效果是特定图形内部会充满一种微微发光、类似霓虹效果的颜色,其颜色与内栅格和外栅格的颜色有关。当外栅格为非彩色时,扩增颜色为内栅格的颜色,但更浅,并有薄而透明的感觉。当外栅格为彩色时,扩增颜色为内栅格的颜色与外栅格补色的叠加,并有发光的霓虹效果。

Ehrenstein 颜色扩散模型由简单的十字线段构成,其中央十字部分与周围线段颜色相异。该模型的效果是中央十字的外接圆内出现虚幻的颜色填充,如图 1b^[15]。

霓虹扩增效应产生的机理可用边界轮廓系统与特征轮廓系统解释。这 2 个系统源于 Grossberg 等人提出的 FACADE 理论。该理论认为边界轮廓系统与特征轮廓系统共同作用形成了 3D 轮廓和背景前景感知^[16]。在霓虹颜色扩散过程中,边界轮廓系统产生无形边界,特征轮廓系统则填补边界内的色彩和亮度,因此得以产生虚幻的颜色填充。颜色的色彩和亮度是特征轮廓系统感知的周边线段的

补色与内部线段颜色叠加的结果,边界轮廓系统控制线段的边界(若控制力不足颜色就会溢出),最终使得虚幻的轮廓内部出现颜色扩散现象,这就是霓虹扩增效应产生的机制^[17-18]。

2 霓虹效应的研究成果

在霓虹颜色扩增现象被正式命名之后,科学家们主要对该现象的诱因进行了研究,可以总结为 4 个方面,即亮度组合、波长组合、视网膜照度和模型结构。

2.1 亮度组合

1976 年, Spillman L 等人通过 Ehrenstein 模型初步探索了亮度因素对霓虹扩散的影响^[19]。1979 年, Harrie van Tuijl 通过对嵌入式模型进行实验验证,得出外栅格与内栅格的亮度必须同时低于或高于背景亮度,才能出现霓虹效应^[20]。Tuijl 在此基础上进行了深入研究,得到结论:当内栅格与外栅格的亮度同时低于背景亮度时,内栅格亮度必须大于外栅格;当内栅格与外栅格网格的亮度同时高于背景亮度时,内栅格亮度必须小于外栅格亮度;当背景由亮变暗时,两者的亮度差需逐渐缩小。1990 年及 1993 年, Ken Nakayama 与 Paola Bressan 分别对上述结论进行了实验验证^[21-22]。

1989—1990 年间, Takeo Watanabe 对亮度诱因做了进一步研究,得出结论:若内栅格与外栅格的亮度相当或外栅格与背景的亮度相当时,颜色扩增效果保持但错觉轮廓消失^[23-24]。1997 年, Naokazu Goda 利用 Ehrenstein 模型对亮度因素进行了研究,得出提高周围线段部分的亮度会加大霓虹效应出现的几率^[25]。

2.2 波长组合

1984 年, Yoshimichi Ejima 利用 Ehrenstein 模型对波长诱因进行了实验研究,得出以下结论^[26]:当中央十字波长在 460 ~ 500 nm 范围、周围线段的波长在 520 ~ 640 nm 范围内时,二者组合产生的颜色扩散效果比较明显;当中央十字波长在 600 ~ 680 nm、周围线段波长在 460 ~ 600 nm 范围内时,颜色扩散效果也比较明显;当中央十字波长大于 540 nm、周围线段波长大于 640 nm 时,不会出现颜色扩散效果;当中央十字和周围线段具有相同波长时,

不会产生颜色扩散效果。

综上所述,中央十字在短波段(小于 480 nm)或长波段(大于 620 nm)范围、周围线段在中波段(500~580 nm)范围内才有可能出现颜色扩增效果;中央十字和周围线段波长相似或相同时颜色扩散效果最弱或消失;颜色互补时,颜色扩散效果最明显。当中央十字波长位于 520~560 nm 范围,不管周围线段采用任何一种波长的颜色,都不会出现明显的霓虹扩增效果。这是因为没有与该波长范围颜色对应的互补光谱色。Yoshimichi 制作的波长诱因对霓虹效果的影响见图 2,横坐标是中央十字波长,纵坐标是周围线段波长,图中颜色表示霓虹效应的强弱,红橙黄绿青蓝依次表示强度不断降低。

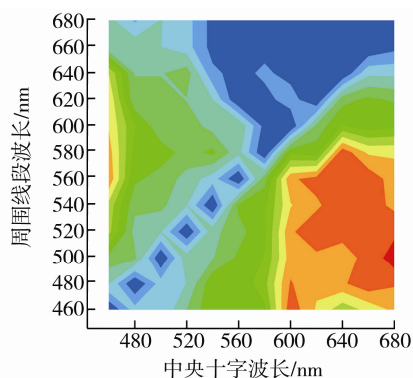


图2 中央十字与周围线段波长组合的霓虹效应强弱
Fig.2 The neon effect of the cross and pattern wavelength combination

2.3 视网膜照度

1984年 Yoshimichi Ejima 等人对视网膜照度诱因进行了初步研究。1994—1995年, Toshio Kaihara 与 Paola Bressan 分别进行了进一步研究^[27-28],总结他们的研究成果,得出下列结论:当周围线段与中央十字的视网膜照度比值大致在 0.1~0.8 范围内时,能出现霓虹效应;比值在 0.8~4 范围内时霓虹现象最明显;其余情况下霓虹效应强度变弱;若周围线段与中央十字的视网膜照度比值保持恒定,则霓虹效应的强弱不受中央十字亮度水平的影响。

2.4 模型结构

1979年, Tuijl 等人首先提出模型结构对霓虹效应的影响,并通过实验进行了验证^[29]。1983年, Day R H 首先对嵌入式模型的内栅格网格边界做了研究,认为内栅格网格无边界诱导出来的错觉颜色或亮度的轮廓不明显^[30]。1993年, Paola Bressan

研究了霓虹效应出现的必要条件,认为霓虹效应是同化作用的一种特例^[31]。2003年, Osvaldo da Pos 与 Paola Bressan 对嵌入式模型进行研究^[18],设置了有无网格、网格是否对齐这2个因素对颜色扩增影响的实验,见图3。图3a为有无网格对霓虹效应的影响,从上到下、从左到右分别为外栅格与内栅格均有网格、只有外栅格有网格、只有内栅格有网格、外栅格与内栅格都不具网格;图3b为网格方向对霓虹效应的影响,从上到下、从左到右分别为外栅格与内栅格网格方向一致、内栅格网格逆时针旋转5°、内栅格网格逆时针旋转22.5°、非彩色外栅格中内栅格网格逆时针旋转22.5°。经过实验数据分析,得出以下结论:当内栅格与外栅格同时具有网格时,霓虹颜色饱和度最高;同时不具有时,即只有颜色,没有网格时次之;只有一方有网格时,霓虹颜色饱和度最低;当内栅格与外栅格网格线条方向一致时,霓虹效应最明显;随着两者方向差异的增加,霓虹效应逐渐减弱。

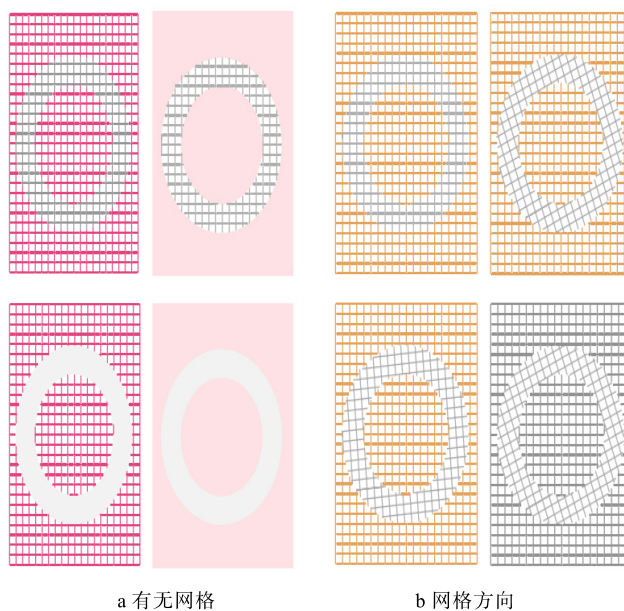


图3 模型结构对霓虹效应的影响
Fig.3 The effect of model structure to Neon effect

3 需要进一步研究的课题

3.1 霓虹效应规律的定量描述

目前关于霓虹效应变化规律的研究还处于部分定量或定性研究阶段(如某波长范围内效果明显,或线段部分的亮度会加大霓虹效应出现的几率)。要确切描述霓虹扩增效应的规律,或实现在色貌模

型中对霓虹效应的预测,都需要建立定量描述霓虹效应变化规律的数学模型。可首先对单个影响因素作用的情况进行定量研究,建立某个因素对霓虹效应影响的规律公式,然后逐渐建立较综合全面的预测公式。

根据这些预测公式,就可以研究完善色貌模型对霓虹效应的预测能力。亮度组合、波长组合和模型结构等诱因多属于图像的空间结构特征,因此色貌模型需要对图像中这些空间分布特征进行分析,然后根据这些空间特征(诱因)对霓虹效应影响的预测公式,计算霓虹效应对图像色貌属性的影响。

3.2 模型网格特性

模型网格特性除了是否有网格、网格角度外,还有网格形状、频率等因素。这些因素都可能会影响霓虹效果的强弱,但在过去的实验中并没有进行研究,只是将它们固定为某个值。如 2003 年 Osvaldo da Pos 与 Paola Bressan 的实验中^[18],网格线宽度与间距分别固定为 0.3 mm 与 5 mm×5 mm。在过去的研究中,无论嵌入式模型还是 Ehrenstein 模型,其组成元素皆是直线段,将直线段换成圆点、三角形、星形等其他形状,也可能会出现霓虹效应。

3.3 三维霓虹效应研究

1992 年,Carman G J 等人对三维错觉轮廓及表面做了初步研究^[32]。2000 年,Marja Liinasuo 等人使用 Kanizsa 三角形,对三维霓虹扩增效果做了一些探索,见图 4。当单眼观察 Kanizsa 三角形时,会产生二维错觉轮廓且会产生霓虹扩增效果;双眼观察时,三角形表面出现三维凹面或凸面^[33]。三维霓虹效应的研究有待于深入开展。



图 4 Kanizsa 三角形
Fig.4 Kanizsa triangle

4 结语

霓虹扩增效应将局部颜色扩增到周围一定区

域内,而且产生具有微微发光效果的霓虹颜色,是一种比较引人注目的复杂色貌现象。霓虹扩增效应从发现至今已有 40 余年,但由于其现象的复杂性,还处于定性研究阶段,有待于继续深入,最终目的是建立能够定量描述其变化规律的数学模型,实现准确预测。研究成果可用于图像色貌模型的优化研究,也可应用于实际产品设计,发挥其美观和节能的作用。

参考文献:

- [1] FAIRCHILD M D. Color Appearance Models[M]. New York: John Wiley & Sons, 2013.
- [2] 廖宁放, 石俊生, 吴文敏. 数字图文图像颜色管理系统概论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
LIAO Ning-fang, SHI Jun-sheng, WU Wen-min. Introduction to Digital Graphic Image Color Management System[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2009.
- [3] MOROVIC J, LUO M R. The Fundamentals of Gamut Mapping: A Survey[J]. Journal of Imaging Science & Technology, 2001, 45(3): 283—290.
- [4] EBNER F, FAIRCHILD M D. Development and Testing of a Color Space (IPT) with Improved Hue Uniformity[C]// IS & T/SID 6th Color Imaging Conference, Scottsdale, 1998.
- [5] LUO M R, CUI G, RIGG B. The Development of the CIE 2000 Color Difference Formula: CIEDE2000[J]. Color Research and Application, 2001, 26(5): 340—350.
- [6] JOHNSON G M, FAIRCHILD M D. Darwinism of Color Image Difference Metrics[C]// IS & T/SID 9th Color Imaging Conference, Scottsdale, 2001.
- [7] LAM K M. Metamerism and Color Constancy[D]. West York Shire: University of Bradford, 1985.
- [8] 蔡圣燕. 基于 iCAM 和实时颜色转换方式对 ICC 色彩管理机制的改进[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2006.
CAI Sheng-yan. The Improvement of the ICC Color Management Mechanism Based on iCAM and Real-Time Color Conversion Mode[D]. Zhengzhou: The PLA Information Engineering University, 2006.
- [9] 许向阳, 刘真, 蔡圣燕. 基于 CIECAM02 的实时色彩转换模式[C]// 中国振动工程学会包装动力学专业委员会, 2007.
XU Xiang-yang, LIU Zhen, CAI Sheng-yan. The Real Time color Conversion Model Based on CIECAM02 [C]// The Packaging Dynamics Professional Committee of the Vibration Engineering Society of China, 2007.
- [10] 何颂华, 刘真. CIELAB 色空间与色貌模型的关系[J]. 包装工程, 2009, 30(5): 68—70.
HE Song-hua, LIU Zhen. Relationship between CIELAB Color Space and Color Appearance Model[J]. Packaging

- Engineering, 2009, 30(5): 68—70.
- [11] 李效周. 基于色貌模型的高保真颜色再现色域映射理论与方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
LI Xiao-zhou. Research of High-Fidelity Color Reproduction Gamut Mapping Theory and Method Based on Color Appearance Model[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [12] 宗慧超, 徐兰萍, 金国斌. 基于色貌模型的新一代色彩管理系统研究[J]. 包装工程, 2007, 28(9): 98—100.
ZONG Hui-chao, XU Lan-ping, JIN Guo-bin. Research on New Generation Color Management System Based on Color Appearance Model[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(9): 98—100.
- [13] FAIRCHILD M D, JOHNSON G M. Meet iCAM: A Next-generation Color Appearance Model[C]// Color and Imaging Conference. Society for Imaging Science and Technology, 2002.
- [14] BRESSAN P, MINGOLLA E, SPILLMANN E, et al. Neon Color Spreading: A Review[J]. Perception, 1997, 26(11): 1353—1366.
- [15] REDIES C, SPILLMANN L. The Neon Color Effect in the Ehrenstein Illusion[J]. Perception, 1981, 10(6): 667—681.
- [16] GROSSBERG S, MINGOLLA E. Neural Dynamics of Form Perception: Boundary Completion, Illusory Figures, and Neon Color Spreading[J]. Psychological Review, 1985, 92(2): 173—211.
- [17] BRESSAN P, VALLORTIGARA G. Illusory Depth from Moving Subjective Figures and Neon Color Spreading[J]. Perception, 1991, 20(5): 637—644.
- [18] OSVALDO P, BRESSAN P. Chromatic Induction in Neon Color Spreading[J]. Pergamon, 2003, 43(6): 697—706.
- [19] SPILIMAN L, FULD K, GERRITS M. Brightness Contrast in the Ehrenstein Illusion[J]. Vision Res, 1976, 16(7): 713—719.
- [20] TUIJL H, WEERT C. Sensory Conditions for the Occurrence of the Neon Spreading Illusion[J]. Perception, 1979, 8(2): 211—215.
- [21] NAKAYAMA K, SHIMOJO S, RAMACHANDRAN V. Transparency: Relation to Depth, Subjective Contours, Liminace, and Neon Color Spreading[J]. Perception, 1990, 19(4): 497—513.
- [22] BRESSAN P. Revisitation of the Luminance Conditions for the Occurrence of the Achromatic Neon Color Spreading Illusion[J]. Perception & Psychophysics, 1993, 54(1): 55—64.
- [23] WATANABE T, SATO T. Effects of Luminance Contrast on Color Spreading and Illusory Contour in the Neon Color Spreading Effect[J]. Perception & Psychophysics, 1989, 45(4): 427—430.
- [24] WATANABE T, TAKEICHI H. The Relation between Color Spreading and Illusory Contours[J]. Perception & Psychophysics, 1990, 47(5): 457—467.
- [25] NAOKAZU G, EJIMA Y. Additive Effect of Luminance and Color Cues in Generation of Neon Color Spreading[J]. Pergamon, 1997, 37(3): 291—305.
- [26] EJIMA Y, REDIES C, TAKAHASHI S, et al. The Neon Color Effect in the Ehrenstein Pattern Dependence on Wavelength and Illuminance[J]. Great Britain, 1984, 24(12): 1719—1726.
- [27] KAIHARA T, TAKAHASHI S, TAKEMOTO A, et al. A Linkage of Chromatic and Achromatic Cues in Neon Color Effect[J]. Japanese Psychological Research, 1994, 36(3): 138—148.
- [28] BRESSAN P. A Closer Look at the Dependence of Neon Color Spreading on Wavelength And Illuminance[J]. Pergamon, 1995, 35(3): 375—379.
- [29] TUIJL H, LEEUWENBERG E. Neon Color Spreading and Structural Information Measures[J]. Perception & Psychophysics, 1979, 25(4): 269—284.
- [30] DAY R H. Neon Color Spreading, Partially Delineated Borders, and the Formation of Illusory Contours[J]. Perception & Psychophysics, 1983, 34(5): 488—490.
- [31] BRESSAN P. Neon Color Spreading with and Without Its Figural Prerequisites[J]. Perception, 1993, 22(3): 353—361.
- [32] CARMAN G J, WELCH L. Three-Dimensional Illusory Contours and Surfaces[J]. Nature, 1992(4): 585—587.
- [33] LIINASUO M, KOJO I, KINEN J, et al. Neon Color Spreading in Three-Dimensional Illusory Objects in Humans[J]. Elsevier, 2000, 281(2): 119—122.