



色彩的感性因素 量化与交互

胡国生 / 著

中国建筑工业出版社

色彩的感性因素 量化与交互

胡国生 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

色彩的感性因素量化与交互 / 胡国生著. —北京:

中国建筑工业出版社, 2018.7

ISBN 978-7-112-22396-1

I. ①色… II. ①胡… III. ①色彩学—研究 IV. ①J063

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第138042号

本书面向一般性色彩基础规律的量化和交互计算问题, 为色彩计算、色彩可视化和计算机辅助色彩设计研究与应用提供了一套新的途径和方法。

全书从色彩的和谐、偏好与构图三个角度, 分别提出了相关色彩感性因素的量化方法和量化模型方案: 提出了在HSL色彩空间中满足色彩和谐规律的分布法则, 解决了生成和谐配色方案的交互算法; 提出了一种六维色彩关系数据模型, 解决了色彩偏好特征的量化表示和面向用户的色彩偏好方案生成方法; 提出了构成画面各颜色的面积比、分块数量和聚散程度三个维度构成的量化模型, 以量化和评价构图特征对色彩呈现的影响。

本书可供色彩研究、信息可视化、交互设计等领域的研究人员和专业人士, 以及高校相关专业师生参考阅读。

责任编辑: 吴 绫 李东禧

书籍设计: 锋尚设计

责任校对: 焦 乐

色彩的感性因素量化与交互

胡国生 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京锋尚制版有限公司制版

北京富诚彩色印刷有限公司印刷

*

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 43/4 字数: 150千字

2018年9月第一版 2018年9月第一次印刷

定价: 48.00元

ISBN 978-7-112-22396-1

(32268)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

随着计算机技术的发展,色彩设计逐渐成为艺术与计算机辅助设计(CAD)的重叠领域。一方面,计算机作为色彩设计的一种辅助工具,其技术模式在涉及艺术范畴的问题时,常成为沟通瓶颈,特别是在处理色彩的艺术规律上,计算机总是难以胜任。为顺应计算机色彩辅助设计发展的潮流,亟须将色彩的各种规律与设计原则转化成适合计算机执行运算的表示语言和数据结构。另一方面,随着CAD技术和计算机生成艺术的发展,符合该领域的色彩学理论和色彩处理技术也必将应运而生。虽然在色彩数字化问题上,已经有了比较成熟的色彩模拟显示技术和色彩标准化技术,但这些技术只能解决有限的色度学问题。对于更为重要的色彩组合规律和原则,量化计算和处理技术则一直没有实质性的突破。因此,建立与之相适应的色彩学理论和色彩计算技术将是色彩学研究亟待开发的新领域。

本书结合艺术学和计算机科技两个学科视角,试图通过分析影响色彩认知的各种感性因素,建立适合计算机处理和计算的色彩感性因素量化模型,寻求色彩感性认知因素和色彩设计原则的数字化转换方法。通过本书的相关研究,使色彩学理论和色彩认知规律能真正融入计算机技术,成为计算机辅助设计和计算机生成艺术的色彩计算语言基础。

本书的研究从色彩学的和谐、偏好与构图三大关键主题入手,解决了部分色彩学规律的量化和计算方法,并提出了具体的色彩感性因素量化模型方案。在关于色彩和谐的量化方法和计算模型章节中,提出了在HSL色彩空间系统中满足色彩和谐规律的运算法则,解决了生成和谐配色方案的交互计算技术;在色彩偏好特征的量化方法和表示模型章节中,提出了一种六维色彩关系数据模型方案,解决了色彩偏好特征的量化表示问题,并提出了面向用户的

1

绪论

1.1 色彩计算研究领域的问题	002
1.1.1 色彩系统理论与色彩标准化的局限	004
1.1.2 传统色彩学对单色研究的局限	007
1.1.3 艺术与计算机学科之间的障碍	008
1.1.4 设计方式转变的需求	009
1.2 本书研究的意义	012
1.2.1 引入色彩感性因素量化方法	012
1.2.2 打通艺术与计算学科的方法壁垒	014
1.2.3 为新的色彩设计方式提出基础性技术路径	015
1.3 色彩感性因素量化和交互设计的方法	016
1.3.1 色彩感性因素的维度定义	016
1.3.2 色彩感性因素模型的建立	018
1.3.3 色彩感性因素模型与色彩设计新模式的关系	019
1.4 小结	021

2

色彩感性因素研究的现状与方法

2.1 色彩感性认知规律研究现状	024
2.1.1 色彩和谐因素研究	024
2.1.2 色彩偏好因素研究	027
2.1.3 色彩构图因素研究	029

2.2	色彩 CAD 技术的应用与研究现状	032
2.2.1	现有的色彩设计工具	032
2.2.2	近年的色彩 CAD 研究成果	036
2.3	色彩感性因素研究的新方法	038
2.4	小结	040

色彩和谐模型与和谐色彩方案生成

3.1	简介	044
3.2	色彩和谐模型的设计原理	046
3.2.1	色彩的家族因素	046
3.2.2	色彩的梯度对比原则	046
3.2.3	和谐原则的叠加组合	048
3.3	色彩和谐模型的应用与评测	049
3.3.1	和谐的色彩方案生成工具	049
3.3.2	有效性评测	050
3.3.3	效率比较	055
3.4	小结	058

色彩偏好特征的量化模型和色彩偏好方案生成

4.1	简介	062
4.2	色彩偏好特征模型构成和偏好方案生成原理	064
4.2.1	色彩关系的六维原则	064
4.2.2	用于用户偏好特征评价的方案采样原则	068
4.2.3	偏好方案生成原理	071
4.3	用户评测	076
4.4	小结	079

5

色彩构图因素量化模型与评价方法

5.1 简介	082
5.2 三个感性维度的定义和量化原理	084
5.2.1 面积比例	085
5.2.2 颜色聚散度	086
5.2.3 颜色分块数	092
5.3 构图因素感性评价模型	094
5.3.1 构图因素感性评价模型的原理	094
5.3.2 构图因素感性评价模型的应用案例	096
5.4 小结	098

6

结论

6.1 本书的研究任务和具体解决的问题	102
6.2 本书的研究特点	103
6.2.1 整体性分析色彩关系	103
6.2.2 数据化描述色彩关系特征	104
6.2.3 兼顾个性偏好与共性规律的处理方法	105
6.3 本书相关研究的创新点与贡献	105
6.4 后续研究与应用展望	107

附录 A	109
附录 B	114
附录 C	130
参考文献	139



绪 论

1.1 色彩计算研究领域的问题

从感官认知出发的艺用色彩研究历史悠久。自拿起石头和木炭在岩壁上绘画时起，人类就从未离开过颜色应用实践。绘画和装饰的发展无不伴随着对色彩认识和应用技术的进步。早期的色彩研究源于对视觉感受的分析。尽管人类对色彩的研究长期处于朴素的经验认知阶段，无论在东方还是西方文化背景下，人们对色彩的认识都有各自的理解和对待方式。从汉代开始，中国古人就在阴阳五行理论上建立起一套五色学说。虽然这种学说只是阴阳五行观在色彩现象上的套用，或者说是中国哲学的秩序观在色彩认识上的一种同构范式，但这种将颜色与哲学观念同构的方法一直影响着中国人的色彩美学情感。五行生克论是中国古人解释许多自然现象的基础模型，五色学说中的五种原色构成关系与五行元素及其他理论是相同构的（表1-1）。五色学说实际上是中国古人认知和解释色彩的一种先验性模式，而不能算真正意义上的色彩学理论。西方文献中关于色彩的论述最早出现在文艺复兴时期的艾伯蒂（Leone B. Alberti, 1435）和达·芬奇（Leonardo da Vinci, 1490）等画家的手稿中。但西方的后来者则走出了感性的个人经验和理性的科学理论两条路径并行的格局。无论东方的五色学说还是西方歌德^[1]和谢弗勒的理论^[2]，都试图以一种具有严格秩序的范式来分析解释色彩的规律。尽管如此，这些研究都只能停留在朴素的认知归纳层面。

五色学说中的五种原色与其他概念的对应关系 表1-1

五行	木	火	土	金	水
五方	东	南	中	西	北
五季	春	夏	长夏	秋	冬
五脏	肝	心	脾	肺	肾
五色	青	赤	黄	白	玄
五音	角	徵	宫	商	羽

色彩作为一个独立的研究领域，主要是最近三百年的事。真正意义上的色彩学研究开始于18世纪Newton的分光实验^[3]及其原色理论。从那时开始，色彩理论才逐渐从光谱学研究中建立起来，色彩学也因此发展成一个独立的科学领域。从歌德的色轮、荣格的色彩球、谢弗勒的色度图、蒙塞尔色彩空间到奥斯瓦尔德色立体，各种色彩系统都无一例外地遵循光谱学秩序。

随着色彩的研究与应用发展，色彩学已经成为跨物理学、化学、心理学和艺术学等多学科的交叉领域。由于各学科领域的特殊性，不同领域的色彩研究者往往对色彩有着不一致的理解。这也是造成色彩系统层出不穷，各成体系的主要原因。笔者倾向于将传统的色彩学家分为三大类：从事光学研究的物理学家、从事色料研究的化学家和从事艺术（设计）研究的艺术家。物理学家的色彩理论通常遵循光谱规律，属光色研究范畴，多为加色理论。化学家的色彩理论遵循物体反光性色彩规律，属物体（固有）色范畴，多为减色理论。艺术家的色彩理论则遵循人的感知规律，多从直观感觉出发考察色彩造成的情感心理与符号信息呈现，对光色与物体色的区别不甚关注。因此，这三类色彩学的规律和理论都各成体系，相互独立。除此之外，色彩还被认知心理学家作为一种认知媒介和对象进行研究。

色彩研究的思路与方法也层出不穷，作为自然科学领域的色彩学研究逐渐向色彩标准化发展；作为认知心理学领域的色彩认知研究转向单纯的色彩心理反应研究；而作为艺术领域的色彩学研究则逐渐远离真正的色彩学研究轨道，退回到手工随机的色彩混合手段和感性的色彩表达方式上来，满足于温情脉脉的色彩表达和自由的创作情境，只有在向学生传授理论课时，才会偶尔提到蒙塞尔色立体、RGB色彩原理等无法绕过的基本概念。

工程技术领域的色彩理论与艺术领域的色彩应用理论的分野也越来越清晰，两条路径渐行渐远，以致两者的沟通都变得障碍重重。奥斯瓦尔德是严谨的色彩研究集大成者，他对色彩学现象的解释充分运用了数理模型和严格的推演方法，并提出了“色彩的和谐等同于秩序”这一主张^[4,5]。

然而，当他前往包豪斯（Bauhaus）与当时的同行交流时，却意外地遭到康定斯基、克里和伊顿等人的非议与质疑^[6]，克里甚至都不愿露面见他。斯耐默^[7]则直接说道：“奥斯瓦尔德的色彩体系是典型的科学性结论，从艺术角度来看则毫无意义。”

随着计算机技术介入色彩领域，计算机科学家开始将色彩作为一种信息处理对象，拓展出一个新领域——色彩计算技术。由于之前的色彩学研究和计算机辅助设计技术的思路和方法差异，传统色彩学关于色彩感性认知的理论和研究方法很难融入计算机技术语境，色彩计算研究领域也没有形成应有的完善体系。特别是在涉及美学和认知心理学领域，色彩计算研究依然普遍存在诸多障碍和问题。其中，色彩感性因素的量化问题一直困扰着艺术创作（设计）实践者和色彩研究人员。

1.1.1 色彩系统理论与色彩标准化的局限

色彩系统的研究从牛顿运用三棱镜分光实验解释光谱色彩现象开始，经过孟塞尔基于颜料色体系建立色彩立体系统，国际照明委员会（CIE）发布的光学色彩曲线到RGB色彩系统理论的成熟和普遍应用，已经逐步建立起比较完善的理论体系，色彩也越来越易于被操纵和运用^[8,9]。光色和材质色是两套色彩系统，由于介质的不同，遵循的规律也不同。基于光学与化学两个领域对色彩的研究，加色理论与减色理论各成体系。在色光与颜料各自作为独立介质的前提下，两种色彩体系本身并不互相矛盾。然而，在实际应用中会经常在这两种色彩体系之间转换，要实现色彩交换就需要遵循一定的量化标准。自19世纪颜料产业蓬勃发展时期起，许多从事化学颜料研究的色彩学家就提出了色彩系统和色彩标准方案。20世纪光学领域的发展，使得光谱色彩学也形成标准化，这其中具有标志性的系统就是CIE1931色度曲线。

随着计算机辅助设计（CAD）技术的发展，色彩管理和应用不仅要满足光学色彩体系间的交换，同时还需要满足颜料色彩的模拟和交换，即必须解决计算机跨光学加色体系和固有色减色体系的转换问题。计算机中

的色彩系统不得不承担各种色彩体系的交换平台,扮演各种色彩系统的交换接口角色。

尽管以RGB三色模拟原理为基础,比较以往的色彩系统,计算机的色彩系统更为复杂。图1-1为基于计算机平台的RGB色彩模式为基础的三种色彩空间模式关系。计算机也已经解决了在光色和颜料色之间转化的问题,可以在光色基础上模拟颜料色的混色规律。计算机(数字化)色彩学已成为沟通和融合传统三类色彩理论的“胶粘剂”。图1-2为Adobe Photoshop的拾色器。该模块对当前颜色提供了不同色彩系统的对应参数值,设计师可以根据这些参数在不同色彩体系之间无差别地进行色彩转换。色彩标准化为色彩管理提供了切实的方便。

从技术上说,计算机已经可以在加色体系和减色体系之间无缝地转化。特别是从电子屏幕作为色彩呈现的主要介质以来,色彩模式间的转换不再像传统的灯光和颜料那么具体。但是这也导致了在色彩研究中,人们会无意识地模糊了加色与减色两种概念之间的差异,甚至将两者混为一谈。这是因为计算机模拟颜色之后,色彩设计师和研究人员在工作中脱离了颜料和灯光两种具体介质,而是完全通过屏幕的光学模拟达到。加色体系和减色体系间的转化都交由计算机自动完成。三色显示器运用的是模拟光学原理重现光色的技术,打印输出则需要将以三色表示的色彩转化成多色颜料比例的表示方法。而在色彩设计过程中,艺术家(设计师)则习惯于直观的色彩混合方法,不愿按照色彩表示数据来混合颜色。所以色彩系统的标准化反而给设计师带来了不少麻烦。

另外,这些色彩系统理论和交换技术虽然都已比较成熟,但对色彩设计来说还只是解决了颜色量化定义和转换的问题。在这些色彩系统中,色彩被描述为具体的要素数值和跨系统对应关系。这种色彩系统作为色彩交换的基础,解决了颜色在不同的媒介之间的转换和在虚拟的矢量化空间中定义的问题。然而,现有的色彩系统和色彩标准化技术并不能解决色彩的感性特征及艺术表现力的量化表示问题,而色彩的感性因素及其表现力却是色彩设计中更为重要的因素。

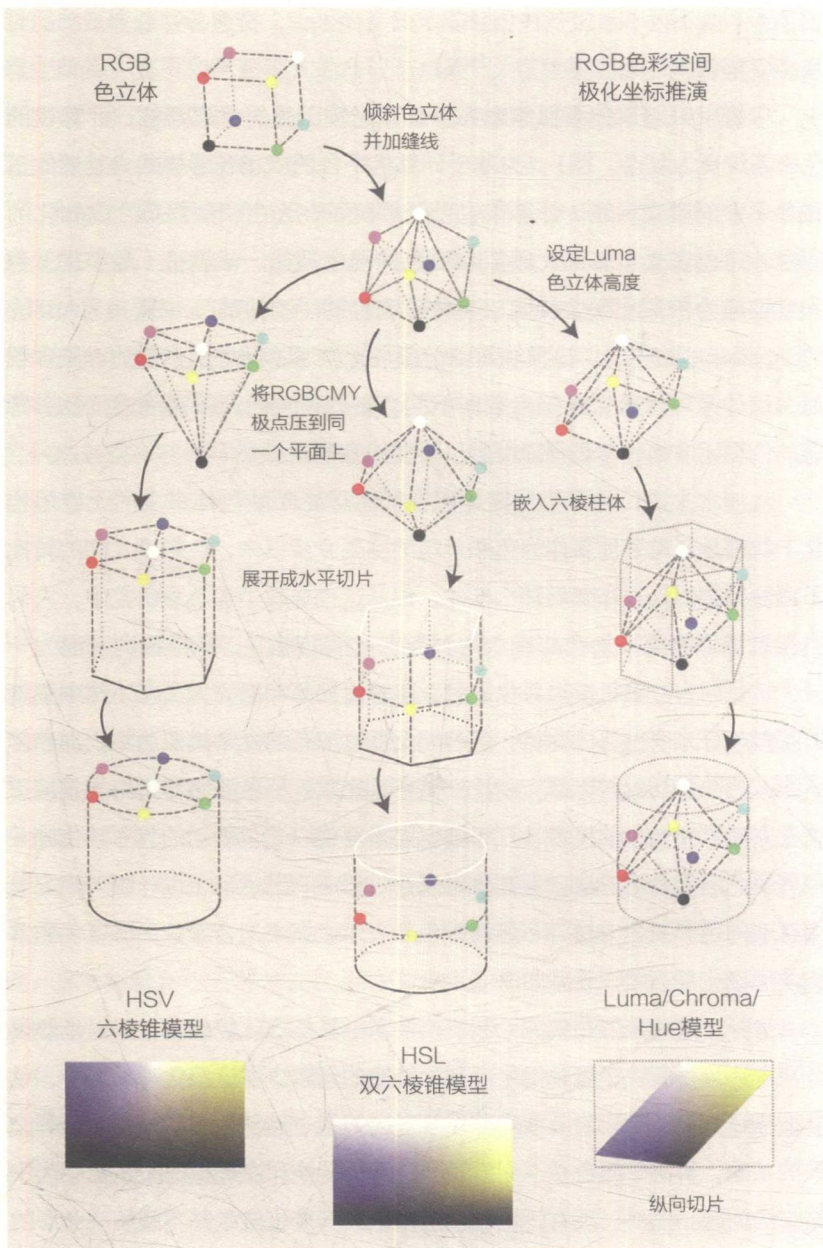


图1-1 以RGB色彩系统为基础的几种色彩系统和色彩立体空间
(图片来源: http://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV)

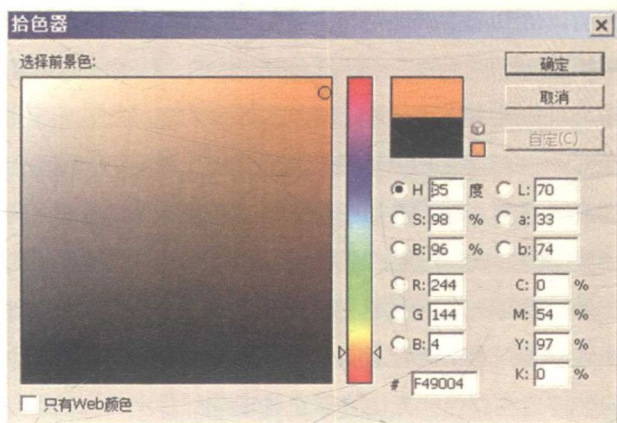


图1-2 Photoshop的拾色器

1.1.2 传统色彩学对单色研究的局限

色彩感性因素的量化问题，在技术上一直没能有效地实现，但这不足以证明色彩感性因素的量化不可实现。事实上，对颜色的量化方法并不缺乏，大量的色立体和色彩系统模型都在解决颜色的量化描述问题。但这种描述还仅仅出于对颜色的定义和量化，而无法对一个具体的彩色画面进行描述与评价。传统的色彩学研究大多针对单个颜色，或者不同的颜色之间的比较，很少提及将多色组合作为一个整体的研究对象。这样的研究往往先入为主地将颜色当作相互独立的对象，而不是整体性的色彩组合关系。在这一点上，无论是色彩标准化研究、色彩认知心理学研究还是色彩美学研究都如出一辙。但在艺术与设计应用领域，色彩这一概念不仅指单个颜色，更多情况下指的是多个颜色的有机组合。实际应用中的色彩组合一般至少包括多颜色因素和图形构成因素，而且，不管在艺术或是设计作品中，各个颜色通常同时进入观者视野，观者对色彩的认知也是整体性把握的。这在格式塔认知心理学理论中，有着大量的实证例子和理论定义^[10-13]。然而，在实际的研究中，对于这些色彩组合规律的深入探索大多却步于仅仅提到或举例说明的程度，很少有具体的研究或量化的数据。

在仅有的色彩组合分析研究中，包豪斯的色彩分析课程，康定斯基、克里、伊顿和亚伯斯等人的工作是具有突破性的。他们的研究真正开始了审视色彩组合与构成的规律，并试图作出具体概括。康定斯基^[14]将色彩因素与点线面形式结合起来分析画面构成。伊顿^[15,16]通过色彩混合与并置实例提出了色彩的混合、对比等技巧与规律。亚伯斯^[17]则通过一系列色彩图形案例探讨画面的形状与构成对色彩图形呈现的影响。尽管如此，将色彩组合作为整体关系对象进行的定义和研究还是远远不够，对色彩搭配还只能停留在个人感性判断和经验运用上。以至于在计算机辅助设计研究与应用中，还只能停留在颜色标准化这样的基础层面上，对色彩组合和色彩关系的描述和运算还没能展开。而对艺术家和设计师来说，正如格式塔心理学家主张的那样，单个的色彩并不能说明什么问题，只有将诸多色彩组成一定对比关系的色彩群时，才具有真正的色彩学意义。

1.1.3 艺术与计算机学科之间的障碍

由于学科之间的差异，艺术学和计算科学对色彩规律的定义和分析方式相差巨大，两者在此问题上甚至难以沟通。艺术家讲究对色彩的直观感受，也普遍主张直觉是判断色彩特征的主要动机。虽然艺术家的直觉也得益于长期的分析和经验积累，但是在面对色彩图形的那一刻，艺术家并不习惯以理性方式分析色彩关系的构成要素，而是更习惯于运用直觉判断力。如果一定要艺术家对所看到的色彩进行描述，他（她）们更倾向于用直接的语义符号来表示，比如：跳跃、明快、忧郁、优雅，等等。

而计算机科学家在面对色彩时，通常直觉地寻找构成色彩特征的诸项要素，并以要素的量化关系来确定构成色彩特征的具体模型。因此，当艺术家用一堆形容词来描述一幅色彩图形特征的时候，计算机科学家则习惯于将构成这一特征的诸项色彩关系因素以具体的数值表达出来。

艺术家和计算机科学家对色彩特征的关注点和理解方式相差甚大。一般地说，艺术家习惯于感性认知和整体把握色彩的特征，而计算机科学家则习惯于将色彩特征拆分成具体的要素值，并以数理关系表示这些具体的

因素。虽然面对的对象是相同的，艺术家和计算机科学家所关注的重点和思维习惯通常是各执一极。一定程度上，两者对色彩理解的立场是相互敌对的，这就导致双方很难理解和认同对方对色彩的解析方式。

尽管两者在色彩理解上天性敌对，但各自所属的领域都切实地对对方产生了影响。如今的艺术家常普遍采用色彩立体作色彩基础研究参考，计算机领域近年兴起的感知计算（Cognitive Computing）则尝试模拟感性直觉的判断方式。突破自身局限性的动机都使各自试图融入对方领域，尝试运用对方的视角和方法解决问题。只是就目前来看，这种尝试的努力和成果还远远不够，冲突和隔离依然是普遍状况。

艺术学与计算机科学对色彩的理解和分析方式的不同，也导致了艺术家对感性的描述语言与计算机科学家的程序语言之间的沟通障碍。艺术家对于事物的整体把握通常运用隐喻的描述手法，而计算机科学家则习惯于用数理逻辑的方式分解事物特征，这一差异同为二者难以沟通的因果。描述性语言是艺术家常用来表达个人的感性认知状况工具。当艺术家看到一幅色彩画面时，可以用专业的术语对他所看到的色彩效果进行描述。甚至艺术家有些感受还超出自然语言所能描述的范围，所以隐喻通常是艺术家用来描述直观感受的主要方式。然而，计算机无法通过这类描述理解艺术家所看到或者感受到的内容。因为计算机需要准确的，并可以计算的描述，这就是计算机需要逻辑严密的程序语言描述的原因，计算机科学家也必须按照这种形式分析和描述研究对象。

难以跨越的鸿沟在于如何打通隐喻描述语言和数理逻辑语言，在两者之间建立起映射关系。近年的人工智能和感知计算等领域的研究就在朝着这个难题前行。色彩研究在计算机作为普遍平台的今日，也面临这个障碍，色彩感性描述语言和色彩计算的数理语言之间一直没能建立起系统的映射关系。

1.1.4 设计方式转变的需求

现代设计主要指以机械化生产技术为基础的工业时代的设计。随着计