

# 建筑色彩体系研究和建筑色卡

李亚璋 赵燕华

(中国建筑科学研究院物理所)

孙秀如 林志定

(中国科学院心理所)

杨春风

(北京市建筑设计院)

黄凌松

(天津油漆厂涂料所)

## 摘 要

本文在研究国际上各种颜色定量表示方法的基础上,选定了一种适合建筑界使用的定量描述颜色的方法。

在广泛征求建筑设计人员意见、现场测量和现有建筑色彩标样的基础上,选取250多种颜色制成建筑色卡,作为建筑上颜色信息交换的实物标准样品,具有很大的实用价值。

将建筑色卡样片按一定规律排列,规定编号,供设计人员使用。

色卡制作中使用计算机配色软件选取颜色的最佳配方,保证了色卡的质量。样片的平均色差为1.9。

**关键词:** 建筑色卡、色调、明度、彩度。

### 一、建筑色彩体系研究的必要性和重要性

一个建筑物所展示给人们的内容是它的建筑造型和颜色,因此颜色在建筑上占有重要的地位。建筑造型和建筑色彩和谐统一,才能使建筑达到完美。

为了使建筑色彩设计更加合理,使得建筑设计者的色彩设计思想、用户的使用和欣赏特点以及建筑环境所展示给人们的色彩感觉彼此之间能相互沟通,即彼此之间能进行信息交换,我们就必须能对颜色进行科学的定量化的描述。

最早人们进行颜色信息交换是用定性方法描述颜色,最常用的就是色名。由于人们对颜色的理解不同往往会产生很大分歧。如人们对大红、橄榄绿、玫瑰红等颜色的理解是不同的,如果以此种色名标在产品上,不同厂家的产品虽然都叫玫瑰红,但颜色上却会相差甚远。为此人们寻求用定量方式描述颜色。

颜色描述从定性走向定量,使颜色研究走上科学的道路。由于有了定量描述颜色的手段,使得颜色信息交换不受时间和空间限制。因为两种颜色只要他们的量值是相同的,那么这两种颜色人们看起来就是一样的。我们在选用某种材料的颜色时,只要标出其量值,那么不管它是哪个厂家生产的,它的颜色都是一样的。又如某种产品的颜色需要保存下来。如果我

们保留样品,经过一定时间后样品的颜色会发生变化。如果我们保存这种颜色的量值,经过一定时间只要我们再复现这个量值的颜色就可以了。这保证了颜色信息交换不受时间限制。

定量描述颜色的方法很多,各国的科学家在研究了人的颜色视觉生理、心理和物理光学的基础上,找到了各种定量描述颜色的方法,称之为颜色体系。我们课题的目标就是在研究各种颜色体系的基础上,找出一种适合我国建筑界使用的定量描述颜色的方法。

在颜色的实际应用上,人们往往希望有些实物色样用来直观地传递颜色信息,因只有量值人们想象颜色是很抽象的。我们将建筑上常用色制成色卡即建筑色卡,供设计施工和用户使用。

在我国颜色科学研究起步较晚,在建筑上许多学者从不同角度对颜色进行研究,但至今尚未形成统一的建筑色彩体系。一些单位如上海民用建筑设计院等制做了建筑色卡,为建筑合理用色起到了积极作用。但在色卡制做上工艺粗糙,样片没有标定数据。还有一些厂家出了自己的产品样卡,建筑上也大量使用,这些样卡均无数据,样片的选择也不是按建筑上的要求选取的。

国外的建筑色彩研究广泛。英国对建筑色彩表示方法和颜色标样都以国家标准形式给出,但其色标样没有给出标定数据和允许误差。美国材料与试验协会(ASTM)、日本的工业标准都规定了用蒙塞尔标号标定物体颜色的方法。一些公司出了自己的色卡供设计人使用,这些均无测量数据和与标准值的偏差,样片选择上多是按厂家的材料特点而确定的。

## 二、各种颜色体系综述

由于各国科学家从不同角度进行颜色定量化研究,因此得出了各种不同的定量描述颜色的方法,总的来说有两大类,一类是建立在颜色定量测量基础上的定量描述颜色的方法,这就是国际照明委员会推荐的CIE颜色体系。(CIE是国际照明委员会简称)。另一类是建立在描述颜色界限基础上的颜色体系,如蒙塞尔颜色体系,瑞典自然色体系(NCS),美国光学学会均匀色空间体系(OSA—UCS),德国工业标准体系(DIN),奥斯瓦尔德体系等等。

CIE颜色体系是建立在三色色度学基础上,即任何一种颜色都可以用三种彼此相互独立的颜色匹配而成。根据人的颜色视觉的基本定律,即颜色相加定律和代替律,建立了颜色方程。科学家们做了人眼的光谱色匹配实验,确定了人眼进行光谱色匹配时所需三原色三刺激值量值,和其他有关一系列规定,这些由国际照明委员会(CIE)正式向各国推荐,从而形成CIE颜色体系(即CIE色度学系统)。从1931年起,国际照明委员会推荐了一系列的颜色表示方法,测量方法,这些已被世界各国所采用,做为定量测量颜色的标准方法,我国的国家标准也采用CIE标准对颜色进行定量测量。

CIE颜色体系所使用的基本量是三刺激值XYZ和色品坐标 $x, y$ 。

CIE色度学系统理论完善,实验依据充分。由于CIE确定了标准色度观察者光谱三刺激值(即人眼的颜色视觉特性),因此人们可以用物理手段模拟人眼的视觉特性,从而达到了用客观的物理仪器进行颜色测量的目标。按照CIE色度学理论,制造出各种色度学仪器,用来进行颜色测量,从而使得颜色这样一个人的主观量变为客观量。CIE颜色体系是现代颜色信息交通的重要理论和工具。

CIE颜色体系也有其不足之处,用三刺激值和色品坐标描述颜色时,人们不太容易从

CIE的量值上想象出颜色的外貌来。目前的CIE色差公式在描述色差时,并不是很理想,与目视还有一定差异,故CIE颜色体系还在不断地改进与完善。

人们按照人的视觉特性,把物体表面色的基本属性按一定的规律排列,建立起颜色序列的立体模型,即颜色立体。每个颜色在颜色立体中都有其确定的位置,用颜色在颜色主体中的位置来定量描述颜色。国际上先后出现了蒙塞尔颜色体系,瑞典自然色体系(NCS),美国光学学会均匀色空间体系(OSA—UCS),德国工业标准体系等,它们都有各自的理论和实验基础,颜色排列上也各有其特点。现将其发展历史,指导原则,使用变量以及和CIE体系的关系列表见表1。

表1 各种颜色体系概况简表

颜色体系	历史	指导原则	变量	与CIE体系关系
蒙塞尔体系	历史最早研究广泛1905年出版《蒙塞尔颜色体系图册》。1918年蒙塞尔去世1929年蒙塞尔颜色公司出版第二套实物色卡。1943年美国光学学会完成蒙塞尔新编颜色体系,1973年制出无光泽蒙塞尔颜色图册,1974年制出有光泽蒙塞尔颜色图册。	在系统允许的几何空间相邻样片色调,明度,彩度属性中每一个的视觉间隔相等	色调H 明度V 彩度C	明度与CIE三刺激值Y之间有显函数关系,彩度和色调与CIE体系无显函数关系,样片有CIE测量数据
美国光学学会均匀颜色体系 OSA—UCS	1947年建立OSA均匀色空间委员会,1953年确定生产一套500块样片的目标,1976年完成558块OSA—UCS颜色图册	尽可能均匀的颜色视觉间隔	明度L 黄蓝色j 绿红色g	与CIE有明确的转换关系,但比较复杂。
瑞典自然色体系 NCS	1964年开始物究,在1972—1973年形成瑞典国家标准,1979年制出1412块瑞典标准颜色图册	采用相似原则,即任何颜色同四个彩色原色(红、黄、绿、蓝)及两个非彩色(纯白、纯黑)的相似程度。	色调 $\phi$ 彩度c 黑度s	与CIE没有解析表达式,每个样片有CIE数据。
德国工业标准颜色体系 DIN	1938年开展研究工作,1957年第一套实物标样(透明胶箔),1960—1962年出版无光泽色卡,约600片1978—1983年出版有光泽色卡,形成德国标准DIN6164	单个颜色属性改变时视觉间隔相等,采用了折衷的原则(即不强调三维等间隔)	色调T 饱和度S 黑度D	黑度与DIE数据有转换公式,样片有CIE测量数据
匈牙利coloroid颜色体系	1962年开始1989年完成	美学上的间隔相等	色度A 饱和度T 明度V	明度和CIE有解析关系,图册有CIE测量数据
奥斯瓦尔德颜色体系	1915年—1916年由德国化学家奥斯瓦尔德创立。	视觉间隔相等,色调环上相对位置的颜色互补	色调 明度 饱和度	与CIE无解析关系,样片有测量数据
欧洲颜色体系	德国出版了一部图册	在CIELAB颜色空间规划的网点上确定颜色样片。	使用的变量同CIELAB均匀色空间的色调角、明度、彩度	与CIE数据对应

### 三、建筑色彩表示方法

#### (一) 方法选取的原则

由前述,各种颜色的定量表示方法各有其特点,有其长处和不足。在我们确定中国建筑色彩体系时,应充分了解这些特点和综合评价。

建筑色彩是建筑界常用色彩,考虑确定色彩表示方法时,主要依据以下原则:

1. 建筑色彩的定量数据或标号应能较清楚地标明颜色特性,能给人以直观地想象。即从颜色数据或标号上能清楚知道该颜色的基本特征。

2. 从两种颜色数据或标号上能判明该两种颜色差异程度, 即两种颜色的色差。

有与颜色数据或标号相对应的实物标准色样。

颜色的表示方法具有相当的广泛性和国际性, 以便于颜色信息交换。

综合考虑上述条件, 蒙塞尔颜色体系具有这样一些特点:

1. 蒙塞尔颜色体系用色调、明度、彩度三种属性描述颜色直观, 人们很容易从蒙塞尔的标号上了解颜色的外貌, 使用起来很方便。如一种颜色的蒙塞尔标号是5R5/10, 即色调为5R, 是正红, 明度5, 即中等明度, 彩度为10, 比较鲜艳。

2. 蒙塞尔颜色体系采用视觉间隔相等的原则, 因此两种颜色标号上的数值差一定程度上代表了颜色差, 故可以从两块色标号差异看出色差大小。

3. 蒙塞尔颜色体系有相应的实物色样, 该实物色样可做为标准传递颜色信息。

4. 蒙塞尔颜色体系出现的早, 已在世界上广为流行, 被许多国家采用。使于国际交流。目前一种产品或图纸上只要标上蒙尔塞标号, 那产品或设计的颜色即是确定的。

5. 蒙塞尔颜色体系出现以来, 受到各国科学家的广泛重视和研究, 已有几百篇文章和著作发表, 使得蒙塞尔颜色体系经过多次修正和完善。我们与中国科学院心理所做了中国人视觉明度分级实验, 实验数据与蒙塞尔数据规律基本一致。

基于上述理由, 我们选取蒙塞尔颜色体系表示建筑色彩。

蒙塞尔颜色体系最初是目视评价结果, 后做了CIE测量和修正, 目前蒙塞尔颜色体系中的样片都有CIE数据, 这样使得样品的保存和复制得以保证。

## (二) 建筑色彩的表示方法

任何一种颜色, 用色调、明度、彩度三个变量来表示。将色调、明度、彩度做为直角坐标系中三个变量, 组成一个颜色立体。

### 1. 色调

色调是颜色的三属性之一, 表示红、黄、蓝、绿、紫等颜色特性。将色调分为5种主色和5种中间色。

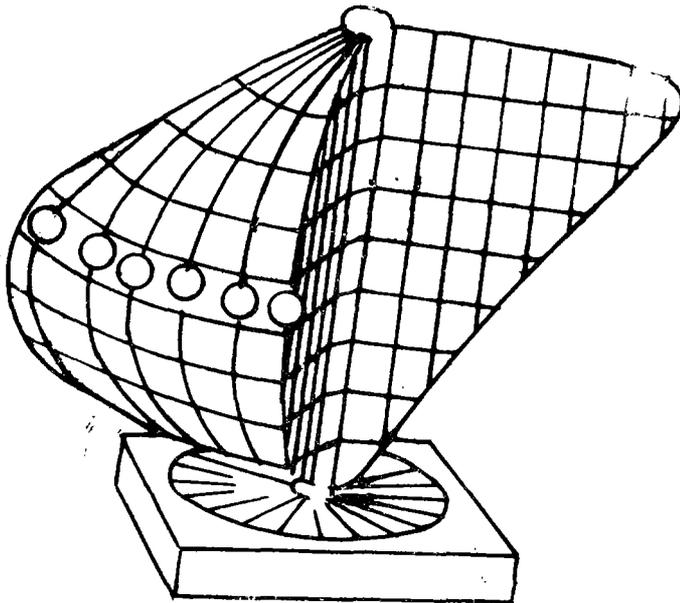


图1 色调、明度、彩度示意图

五种主色是红、黄、绿、蓝、紫，分别用R、Y、G、B、P表示。

五种中间色是黄红、绿黄、蓝绿、紫蓝、红紫，分别用YR、GY、BG、PB、RP表示。每种色调又分成10种色调或再细分，分别以数字1—10加在主色调和中间色调的字母前，如10R、7.5GY等，其中5是该种颜色的正色，如5R是正红，既不偏黄红，也不偏红紫。

在色立体中色调是沿水平方向的环形排列，如图1所示的色调环。

## 2. 明度

明度是物体表面相对明暗程度，颜色的三属性之一。绝对反射比为0的物体是理想黑，其明度定为0。绝对反射比为100%的物体是理想白，其明度定为10。

按照人的视觉特点，将明度0—10之间分成9级，即1—9。相邻两级之间视觉感觉上的差异程度相等。例如，明度2和明度3的两种样片视觉感觉上的差异程度和明度5和明度6之间视觉感觉差异是一样的。

明度值还可再细分，以十进制细分成再小的间隔。如明度1.5，明度7.8等等。

明度概念见图1明度轴示意。

## 3. 彩度

彩度是颜色的三属性之一，用距离等明度无彩色点的视知觉特性来表示物体表面颜色的浓淡，并给予分度。

在色调环的园心上是中性无彩色点，距离中心距离越远，其彩度值越大。按视觉感觉对彩度进行分级。彩度的概念见图1。

## 4. 颜色立体。

将颜色的三种属性（色调、明度、彩度）当做三维空间变量，形成颜色立体。每种颜色在颜色立体中占有其固定位置。

明度由0到10排列形成明度轴，明度轴做为颜色主体的垂直轴。明度0的理想黑色排在最下，明度为10的理想白色排在最上，中间各级按等间隔划分。

色调环位于垂直于明度轴的平面上。色调环的中心是色调环平面与明度轴交点（中性无色点）。10种色调均匀分布在色调环上。

彩度在色调环平面上由中性无色点出发的放射线上排列。中性无色点的彩度值为0，离中性无色点愈远，彩度值愈高。以中性无色点为园心的同心园上彩度值相等。

颜色立体示意图见图2。

## 5. 颜色标号

任何一种颜色都可用颜色的三属性色调、明度、彩度表示。用数字、字母和符号来表示色调，明度，彩度，那么任何一种颜色都可用一组字母数字等符号组成的字串表示，这就是颜色标号。标号的标记方法按色调、明度、彩度顺序标记。明度值和彩度值之间用符号“/”隔开。如色调为10R，明度为5，彩度为6的颜色记为10R5/6。

任何物体颜色都以其相应的标号表示，从颜色标号中可以清楚地看出物体颜色的色调、明度和彩度，从而可以对物体颜色外貌有明确的了解。

## 四、建筑色彩标样和标样的选择

建筑色彩是指建筑上常用色。为了使设计、施工和用户之间颜色信息相互沟通，通常将建筑上常用色制成标准颜色样品，供有关人员使用。这些建筑上常用颜色标准样品称为建筑色卡。

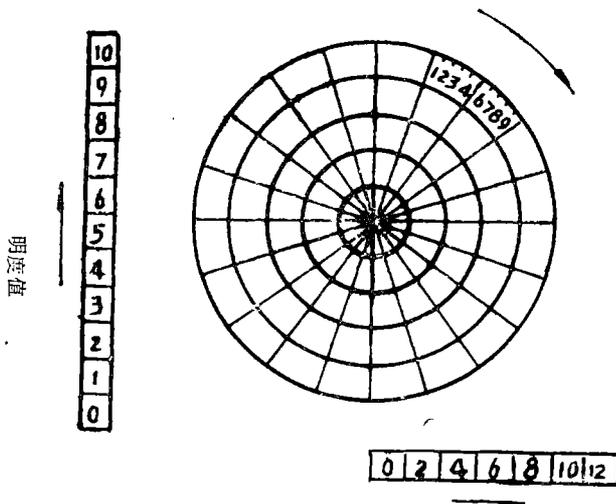


图2 颜色立体示意图

建筑色卡的颜色选取是很重要的。建筑色卡中所选取的颜色应是建筑上的常见色，颜色的选择应具有较大的复盖面。颜色的种类不宜过多和过少。颜色过多，使得色卡制做复杂，使用起来也不方便。颜色过少，使得使用人员找不到常用的颜色。我们选取色卡颜色的依据是：

1. 征求建筑设计人员意见。我们访问了北京、上海、杭州等大设计院建筑师，听取了他们的意见，了解了他们在建筑上的用色特点。
2. 做现场测量，了解实际现场的用色范围和特点，如我们对西藏布达拉宫、罗布林卡、北京故宫等做了测量，采集了一些数据。
3. 搜集我国建筑师常用的颜色标样，进行测试分析，用以了解现在已有色卡的用色范围和优缺点。

综合以上几方面的结果，我们对建筑色卡的颜色范围做选择。我们选择的颜色种类应尽可能有较大的复盖面。样片的数量在250片左右，样片的明度多在中等明度以上。在建筑中建筑物表面和室内装修材料表面的明度大部分是较高的，这样看起来明快、兴奋、向上。从功能上讲有利于人的视看。样片的彩度集中在低中彩度范围，彩度低使人感到宁静、舒适。在现代建筑和一些特殊场合高彩度颜色也有应用，适当加一些高彩度颜色。色调范围复盖整个色调环，黄、黄红、绿黄等色调在建筑上用量较多，因此样品数量选取的多些。

### 五、建筑色卡的排列框架和编号。

为使用方便，建筑色卡样片排在平面上。平面的横向分别以数字01, 03, 05, ……65, 67, 69标记，平面的纵向分14排，上面13排是彩色，最下一排是中中性色（无彩色）。彩色的10种色调排成1-排，，由于黄、黄红、绿黄三种色调样片多，因此每种又分成两排。每排由上至下用数字02, 04……28来标记。

横向方向每7列为一页，样片彩度大致相同的排在一页上。随着页号增加，彩度值增大。即彩度高的排在后面。

在每一页上，明度高的样片排在第一列，随着列数增加明度值减少。

这样排列的结果是：每页上的样片彩度值大致相同，从上至下色调依次改变，从左

右, 明度值由大到小。这样排列的优点是便于设计人员选择使用。

每种色片位于横向的数字和纵向的色调数字的交叉点上。该种颜色又可用横向和纵向数字进行编号。例如颜色标号为5Y7/1的颜色样片的编号是0502。这样在建筑色彩范围内, 该种编号是有其确定量值的颜色相对应的。结合建筑色卡, 使用编号进一步简化了颜色的表示方法。

按上述的编号方法, 我们将我们所选取的建筑上常用色贴在5页纸上, 制成一本建筑色卡图册, 供设计人员使用。为便于携带, 我们拟采用扇页式粘贴。

每个色片所对应的蒙塞尔标号值打印在与色卡排列相同的纸页上, 以便于对照查找。

## 六、建筑色卡的制作。

建筑色卡的制作是复杂而严紧的。由于我们是先确定建筑色卡的数据, 再按此数据目标制做色卡, 因此其难度是较大的。

我们使用了ACS公司生产的电脑配色装置用计算机选取最佳配方, 严格保证各个工艺条件, 由有经验的技术人员和工人制做, 从而保证了色卡的质量。

## 七、建筑色卡的测量结果。

建筑色卡的光谱功率分布经中国计量科学研究院测量。测量条件是45/0几何条件, 分别给出D65照明, 10°视场的三刺激值  $X_{10} Y_{10} Z_{10}$  和色品坐标  $x_{10}、y_{10}$ 、以及C光源照明, 2°视场的三刺激值XYZ和色品坐标  $x、y$ 。

给出两套数据的理由是:

1. 原来选择颜色样片是按蒙塞尔标号确定的。蒙塞尔标号的CIE数据是在C光源2°视场条件下标定的, 所以我们给出建筑色卡的C光源2°视场条件下的数据以便于比较。
2. 目前标定颜色时, 物体色通常采用D<sub>65</sub>照明, 10°视场情况下进行测量与标定。这是由于D<sub>65</sub>光源更接近自然光条件, 并且人们观察物体色时, 通常是大视场角。目前许多色度计, 色差计大多数是按D<sub>65</sub>, 10°设计的, 这样便于与仪器测量比较。

由测量结果, 我们计算了建筑色卡中各颜色片与蒙塞尔标准值的偏差。计算中用 CIE 1976 LAB色差公式计算色差, 其公式为:

$$\Delta E^*_{11} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

式中:

$\Delta E^*_{11}$ ——CIE1976LAB均匀色空间两个颜色间的色差

$\Delta L^*$ ——CIE1976LAB均匀色空间明度指数  $L_1^*$  和  $L_2^*$  之差

$$\Delta L = L_1^* - L_2^*$$

$\Delta a^*、\Delta b^*$ ——CIE1976LAB均匀色空间色品指数

$a_1^*、b_1^*$  和  $a_2^*、b_2^*$  之差

$$\Delta a^* = a_1^* - a_2^*$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$$

明度指数  $L^*$  和色品指数  $a^*、b^*$  的计算公式如下:

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

式中:

X、Y、Z——样品的三刺激值。

$X_n$ 、 $Y_n$ 、 $Z_n$ ——照明光源的三刺激值。

建筑色卡的色差分布情况如下：

	$\Delta E \leq 1.0$	$1.0 < \Delta E \leq 2.0$	$2.0 < \Delta E \leq 3.0$	$\Delta E > 3.0$
个数	24	103	90	30
百分比	10	42	36	12

我们共选择样片247片，其平均色差为1.9。

#### 九、结束语

本课题的主要内容是在研究各种颜色定量描述方法的基础上，确定用色调、明度、彩度三属性所表示的颜色标号定量描述建筑色彩。并为了进一步简化表述方法，将建筑上常用色排在平面网架上，并以平面网架的横坐标和纵坐标的数字编号表示颜色。这样一套表达建筑颜色的方法为建筑色彩的科学化提供了工具。

本课题在调研和国内外建筑色样分析基础上，选择了247片颜色样片制成建筑色卡，供设计人员、施工人员及生产人员使用。样片在严格的工艺条件下制做。样片经过国家计量部门测量，给出精确数据。其颜色量值与标准值之差平均值为1.9。

李亚璋	赵燕华	北京	中国建筑科学研究院物理所
孙秀如	林志定	北京	中国科学院心理所
杨春风	北京	建筑设计院	
黄凌松	天津	天津油漆厂涂料所	

## To study building Color order system and building-color chip

Li Yazhang Zhao Yaohua  
(China Academy of Building Research)

### ABSTRACT

This paper determines a method of quantitatively describing colors in building, based on an investigation of various color specifying methods adopted internationally.

On the basis of a consensus of designer opinion, field measurements and a survey of existing building colors, about 250 colors are chosen and corresponding building-color chips are made and used as solid standard samples for color information exchanging within building profession, being of great practical value.

The samples of building-color chips can be regularly arranged, and labelled code numbers, for designer uses.

Computer color-match software is used to choose optimal formulation for colors in the chip production, guaranteeing the color chip quality. The sample average color difference is 1.9.

**Key words:** Building-color chips

## 建筑中辐照量的评价

L.R.Ronchi

刘南山 译

本工作委员会的目的是在CIE第六部分的委员和许多应用领域,如建筑学、流行病学、医药学、卫生学、工效学和社会科学等有关的人员之间进行思想交流和讨论。CIE第2分部也被选为委员。所有这些专家都以不同的方式关心着光学辐射源:天然的辐射源(太阳加天空)与地理位置的辐射量、气象条件、污染等有关,人工的辐射源(为了一般照明,和居住的或娱乐的目的,等等)。这些辐射源作用在人、动物、植物和材料上,即作用在常常是共存的“系统”上,呈现出不同的响应特性,通常用所谓的作用光谱、阈剂量和总积分时间来表示急性的和慢性的、局部的和系统的效果。

在本摘要中,对一些基本的论题用在其下面加“一横”来表示,在讨论期间对新思想的表达没有限制。本工作委员会分两部分。前一部分有一种实验室的气氛,并鼓励把技术物理应用于光生物学。后一部分主要是前一部分的“收成”,要移交给各个应用部门。

在这种时候,有些问题看来是多维的,因为它们所包含的因素过多,而且它们的相互关系比较复杂。但是,人们不应沮丧,因为有计算机的帮助。不能排除在实践中会有一些严格的限制。因此,我们期待在工作委员会结束时大家所填的征询意见表中,不仅能列出各种问题,而且要指出哪些问题可以解决,哪些问题在最近的将来有希望解决,哪些问题无法解决。

同意在专门题目的讨论中作发言和/或作听众的专家名单包括:Krochmann和Kaas(德国),Mckinlay(英国),Muel和Cesarini(法国),Kullee(瑞典),KOK(Z-e AF),Pons(ESP),kohmoto(日本),de Mattiello(阿根廷),di Laura,Styne,Campbell—Bliss,Burton(美国),以及许多意大利人(Soardo,platone……)

辐照量的评价,比如说在一个建筑物的每个房间的辐射量的评价,从实际的观点来看就是一些关系。人们一旦接受这个思想,就应该考虑a)需要什么数据,b)怎样记录和使用它们,c)各个房间应该根据什么标准分类,d)上面的分类应该怎样跟房间本身的命运和使用联系起来。

上面的问题,照明工程师十分熟悉,而“建筑中的光和色”则是一个使人神魂颠倒的大领域(Styne语)。最初,人们可能试图把解决可见辐射问题的方法应用到UV范围(比如说光化领域),为此,除了这个房间的几何参数之外,人们必须考虑,比如说荧光灯管前面