

信号和标志的颜色

〔日〕正木 光 主编

张学渔 译

中国铁道出版社

1985年·北京

阅读,还将日本工业标准有关颜色的术语作为附录一并译出,供查阅参考。

在翻译过程中,译者尽可能尊重原文的叙述方式,但并不拘泥于个别文字,考虑到许多专业名词术语我国目前尚无统一的标准译名,因此尽可能采用国内比较普遍使用的译名。在内容上除个别错字已改正外,凡译者认为原书叙述欠妥之处或不易理解而又在附录中查不到者,均参照原参考文献或有关资料作了改正,并以带单括号的译注作了说明。此外,为了帮助读者理解,又增添了一些解释也列入译注中。原文带小花的注释仍保留。

在翻译过程中,译者虽对原稿进行了反复的推敲,但由于水平所限,错误在所难免,请广大读者指正。

译 者

1982年1月于北京

日本色彩学会 編
新編色彩科学ハンドブック
第22章 信号・標誌の色

主査 正木 光
東京大学出版社, 1980, 初版

● * ●

信号和标志的颜色

〔日〕正木光 主编

张学渔 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 翟国理 封面设计 赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 $\frac{1}{16}$ 印张: 3 字数: 66千

1985年3月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6,000册 定价: 0.60元

内 容 简 介

本书扼要地介绍了国际照明委员会和日本等国关于各种信号和标志颜色的研究成就，并着重介绍了各种信号和标志颜色的辨认原理、参数选择、若干因素的影响、有关技术标准（包括安全色和安全色光各项标准）等，书后附“有关颜色的术语”。

本书可供各种交通、工矿企业、商业、军工及文教卫生等部门的有关人员参考。

译 者 序

现代交通和工矿企业乃至文教卫生部门，有的虽然采用了先进的自动化设备，但在当前和今后一个相当长的时期内，视觉信号和标志仍然是保证安全的重要手段。特别是在我国更是如此。即或完全实现了自动化，也还要使用许多视觉信号和标志等辅助设备。所以，加强这个领域的研究是非常必要的。

颜色是视觉信号和标志的重要信息，各国历来对此十分重视，世界各种交通运输、工矿企业和文教卫生部门以及有关国际技术组织，对此一直不断地进行研究，力求使信号和标志的颜色达到最大的清晰度和同一色品，以便有关人员能准确地及时地辨认。这对保证生产安全、提高操作效率、改善驾驶或其他操作人员的劳动条件，都会起到重要作用。

我国在这方面的研究甚为薄弱，各个交通部门、工矿企业和文教卫生单位的有关人员都迫切需要学习这方面的先进技术。

为此，特将日本彩色学会《新编色彩学手册》中第22章信号和标志的颜色翻译出来，介绍给广大读者，以应急需。

这一专著是由日本原在国营铁路铁道技术研究所从事研究视觉信号等照明技术多年现在日本女子大学物理研究室任职的正木 光先生主编。参加编写的除正木 光外，还有海上保安厅川越敬、中京大学文学部神作博、日本保安协会志贺四郎、运输省藤田芳昌等诸位专家。

书中涉及颜色学专用名词术语较多，为了便于广大读者

目 录

1. 色光及表面色的可见度和夺目性.....	1
1.1. 色光的可见度.....	1
1.2. 色光的夺目性.....	12
1.3. 表面色的可见度和夺目性.....	14
2. 交通用信号灯和标志灯的颜色.....	19
2.1. 国际照明委员会 (CIE) 建议.....	19
2.2. 航空标志灯及航空灯.....	22
2.3. 航道标志.....	26
2.4. 铁路信号灯.....	29
2.5. 信号灯和标志灯用滤色镜的颜色.....	30
3. 交通用的信号和标志的颜色.....	34
3.1. 国际照明委员会的建议.....	34
3.2. 航空标志.....	34
3.3. 道路交通标志.....	37
4. 安全色和安全色光.....	38
4.1. 安全色的各项标准.....	39
4.2. 荧光安全色的各项标准.....	41
4.3. 安全色光的各项标准.....	44
附录 有关颜色的术语.....	50

1. 色光及表面色的可见度和夺目性

1.1. 色光的可见度

在交通工具的运行中，为了控制和安全，需要传递各种信息。视觉信号和标志就是传递信息的一种方式。近年来，由于交通工具的高速化和密度加大，虽然正在大量地采用电子控制装置，但通过视觉传递信息还在起着重要的作用。视觉信号，大致分为：自身发光型，即使用色光信号灯和标志灯的；和非自身发光型，亦即用表面色（包括荧光色及逆向反射器）的信号和标志两种。信号灯和标志灯主要是用亮灯、闪光、色光和灯列向距离较远处（数百米至数千米）传递信息，而表面色的信号和标志主要是以形状、文字及颜色，在较近的距离（数十米至数百米）传递信息使用。由于它们特性的不同，导致可见度的光量测定方法也有若干差异。

关于看信号灯和标志灯的方法，格罗斯柯特(Grosskurt)把它们分成三种情况〔1〕：

第1种情况 灯光进入观测者的眼睛的视角 α 大，能看出面积和形状的（亮适应为 $\alpha \geq 2'$ ，暗适应为 $\alpha \geq 10^\circ$ ）；

第2种情况 视角 α 为中等大小的；

第3种情况 视角 α 小，能看到点光源的（亮适应为 $\alpha < 0.4'$ ，暗适应为 $\alpha \leq 20'$ ）。

第1种情况，根据韦伯-费希纳(Weber-Fechner)感知律¹⁾，信号灯和背景之间的亮度对比是识别的主要原因

1) 韦伯-费希纳感知律：当刺激按等比级数增加，则感觉按等差级数增加。以 S 表刺激， R 表感觉，则关系式为 $R = K \lg S$ 。——译者

素。通常，以信号灯亮度的阈限（阈值*）及标准值作为设计的基准。

第3种情况，根据里科（Ricco）定律**，信号灯的灯光在观测者眼睛上产生的法线照度，是识别的因素。通常，以这个照度（规定有确认距离时为信号灯的光度）的阈值及标准值作为设计的基准。

第2种情况，根据皮培尔（Piper）定律***，按第3种情况处理。

在表1中列出了按信号灯的大小和不同观测距离的视角 α 。由于城市道路交通信号灯，一般有效孔径为250mm，观测距离在150m以内，所以昼间相当于第1种情况，夜间相当于第2、3种情况。铁路信号规定有效孔径为150mm，确认距离为600m，所以昼间相当于用第2、3种情况，夜间相当于用第3种情况观察。航空灯火（空港进入灯，跑道灯等）和灯塔（航运标志）看作第3种情况的点光源的状态。

信号灯的视角 表 1

距离 m \ 有效孔径 mm	50	100	200	500	1000
150	10' 19"	5' 09"	2' 35"	1' 02"	31"
200	13' 45"	6' 53"	3' 26"	1' 22"	41"
250	17' 11"	8' 36"	4' 18"	4' 43"	52"

信号灯和标志灯的识别因素，可以列举如下：

（1）信号灯的色品；

* 能够识别所需的最小值。
 ** 里科定律：对于眼轴附近网膜的状态来讲，在暗视域的场合，对象的面积和亮度的乘积是一定的。
 *** 皮培尔定律：就网膜周围而言，与里科定律大体相似。

(2) 信号灯的亮度或光强 (在观测者眼睛上产生的照度) ;

(3) 背景的亮度和色品;

(4) 在大气中光的散射和衰减。

(a) 信号灯、标志灯的颜色

我们知道,看信号灯和标志灯等小视角的光源的颜色时,与看一般颜色有所不同,能够识别的颜色种类非常少。图1为希尔(Hill)对具有各种色度的点光源,在接近阈限的照度观测时所得到的识别颜色实验结果^[2]。霍尔曼斯(Holmes)的实验也得到了同样的结果^[3]。根据其结果,关于点光源的颜色,如图上所示仅能识别红、黄或橙、绿或蓝及白等4种。色品图中曲线上所示数值是各个识别率。黄和橙、绿和蓝都是相互难以区别,黄与白之间也不好区别。这种情形可以说与第三色觉异常¹⁾相似。米德尔顿(Middleton)认为视角在15'以下时则成为这种状态^[4],而在正木和田中的实验^[5]指出,再小些的视角(数分)才是界限;关于绿和蓝色光,一般和主波长无关,照度及颜色的纯度高时,多被看成绿色,照度及纯度低时,则被看成蓝色。

在视角比点光源大并且在观测者眼睛上的照度比阈值高得多时,能够区别绿、蓝、白及紫色。在图2中所示的是哈莱塞(Halsey)对于视角为6'的光源,进行的颜色识别实验的结果^[6]。根据正木在视角为1',比阈值照度高得多的状态进行的实验^[7],黑体轨迹上具有色品的光,色温度高时(约7000K以上),被看成蓝或紫;色温度稍低时(约7000~4000K)被看成白光;色温度更低时(约4000K以下),

1) 第三色觉异常,即按照三原色学说,感受器对短波部分感受异常。

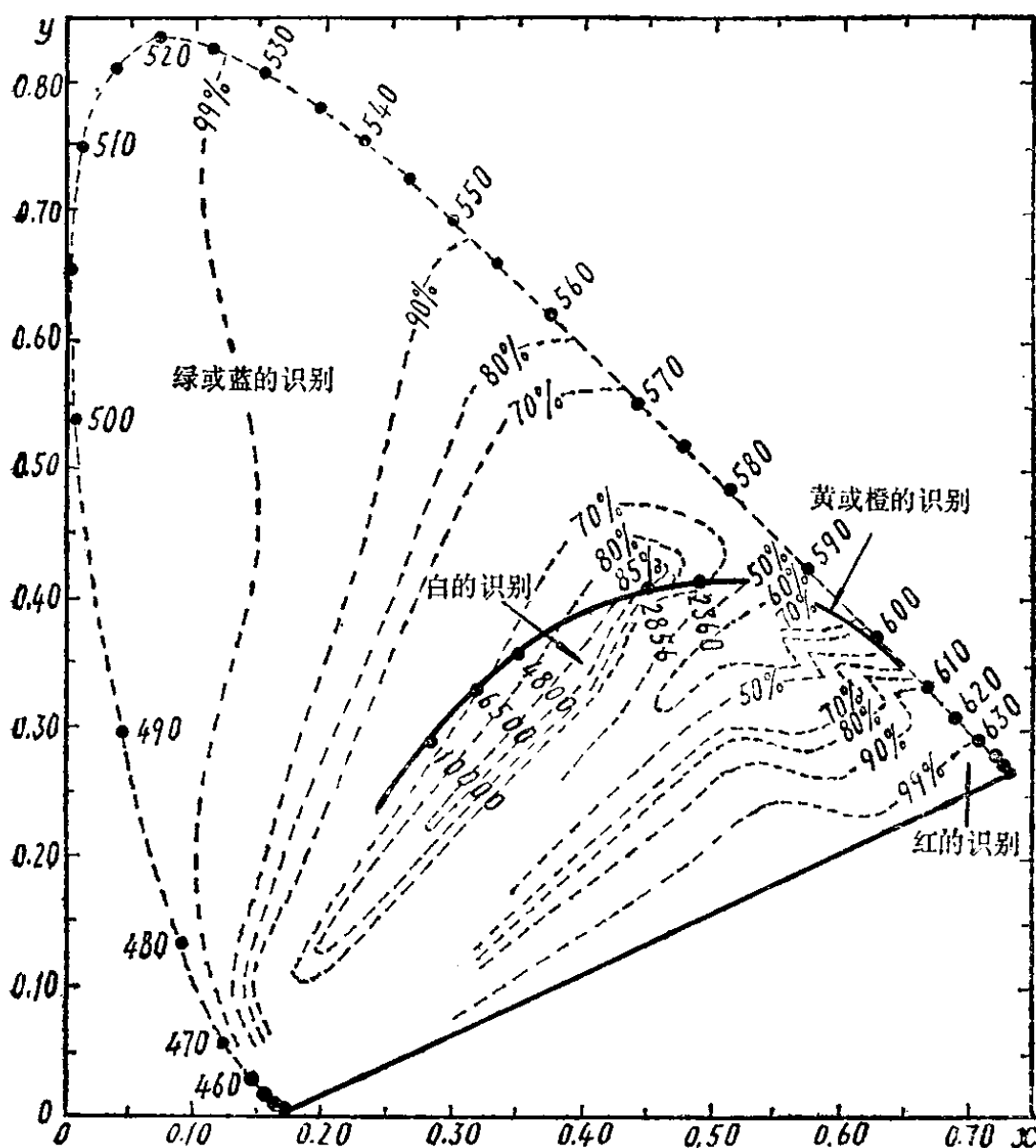


图1 在黑暗背景条件下用接近阈限照度($3.9 \times 10^{-7} \text{lx}$)
观测有色点光源时的颜色识别〔据希尔, 1947〕

则成为黄光。具有靠近黑体蓝绿侧的色品的光, 被看成蓝或绿; 具有黑体靠近紫侧的色度的光, 则被看成黄色。达斯 (Das) 的实验也指出识别黄—橙—白困难, 和蓝色的纯度下降时则看成是黄色〔8〕。这些实验都是在无色背景下进行的, 当背景有颜色时, 看小视角的蓝、蓝紫、白、黄的色光就变得更复杂。

从以上的研究结果可以看出, 为了减少误认信号灯颜色的可能性, 使用的颜色数应少些。国际照明委员会 (CIE)

推荐远距离的信号用红、绿和中间颜色(黄或白)的三色制、只作为近距离用的辅助信号,用红、绿、黄、白的四色制以及增加蓝(或蓝紫,紫)的五色制(参见本书第2·1项)。

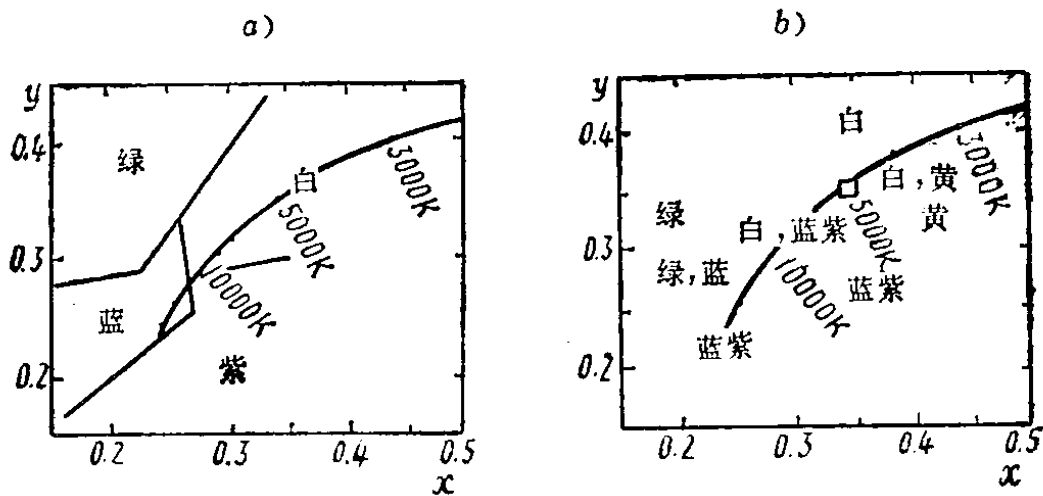


图2 小视角的蓝、绿、紫、白色光的颜色识别

a) 视角6', 阈限刺激, 暗适应(哈莱塞, 1959)

b) 视角1', 阈限刺激, 亮适应, 背景色温为5000K(正木, 1962)

米德尔顿和霍尔曼斯在视角为2'的实验结果表明, 红色和深绿色同在一般情况下看到的颜色差不多, 草绿和紫色则几乎看成灰色^[9]。这种倾向在红—绿色觉异常(第一, 第二色觉异常)¹⁾的人更为突出。贾德(Judd)则建议把绿色领域的黄绿部分去掉^[10]。这个建议已被国际照明委员会在其建议中的绿色限制范围(参见2·1项)采纳。

关于信号灯和标志灯的色光, 不仅是颜色的种类, 而且颜色的范围也是很重要的。为了易于和相邻颜色区别, 将主波长的范围适当缩窄, 扩大与邻近颜色的间隔, 并且为了易于和白色区别, 需将纯度适当提高。但是, 如果是白炽灯泡和滤色镜组合的信号灯, 由于色品范围缩窄, 则滤色镜的可见透射率下降, 信号灯的光度降低, 反而不易辨认, 所以

1) 所谓第一, 第二色觉异常, 即按照三原色学说, 感受器对长波部分感受异常。——译者

要适当兼顾。正木和田中对图 3 中所示的色光, 向经常看信号的铁路运输和信号技术人员征求过对信号颜色的意见^[11], 其评价如表 2 所列。铁路的信号灯是以颜色信息, 直接给出进行、注意、停车等的列车运行命令, 所以颜色的范围特别严格。而在较近距离了望的道路交通信号灯、同颜色以外的因素组合给予信息的航空灯、灯塔等的颜色范围可以少许放宽一点。

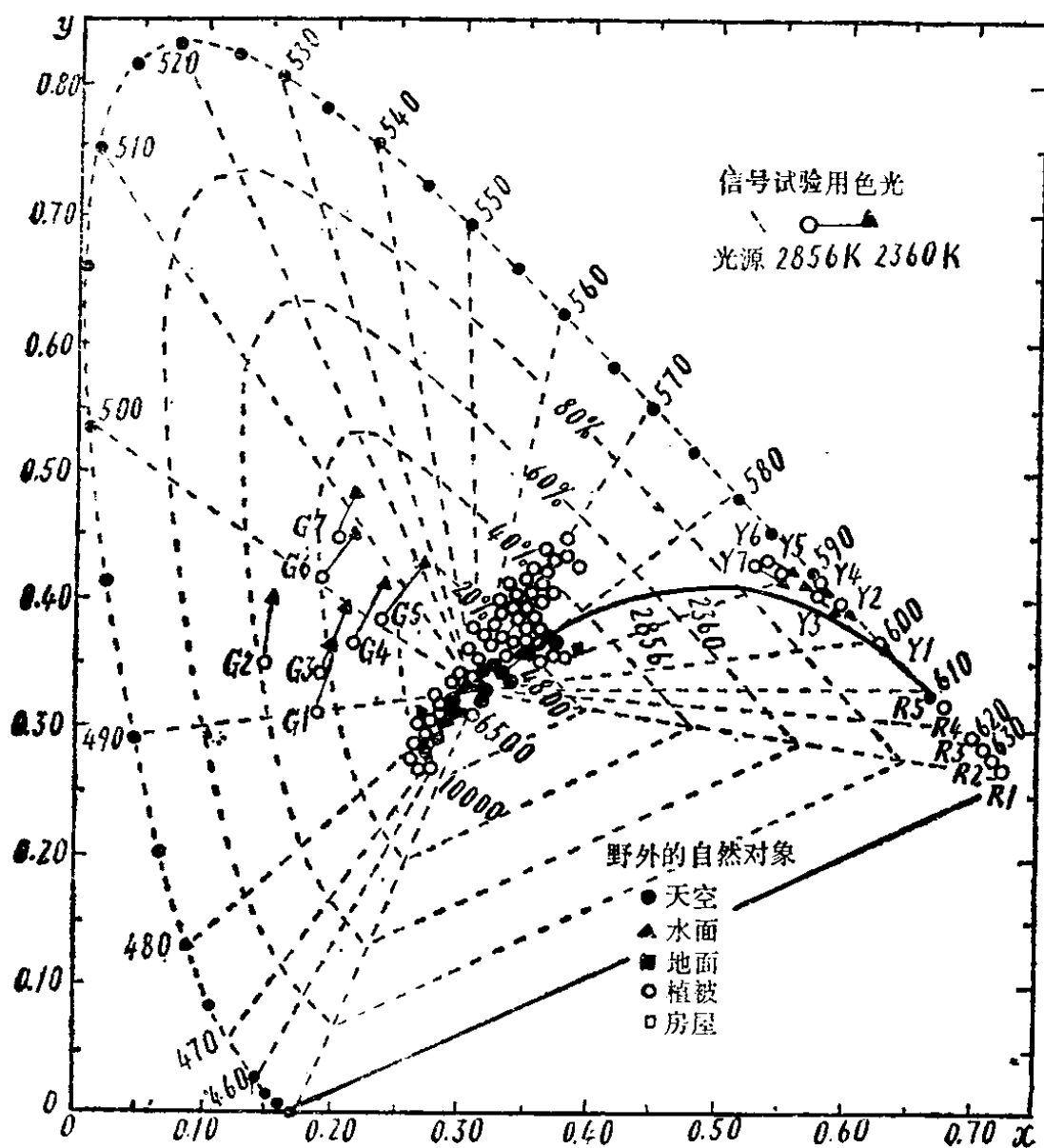


图 3 信号试验用色光的色品和野外自然物体的色品分布

铁路信号颜色的实际评价（正木、田中1956） 表 2

颜 色		判 断
红	R_1	好
	R_2	非常好
	R_3	好
	R_4	半数好，半数不好，稍微接近黄
	R_5	不好，接近黄
黄	Y_1	不好，接近红
	Y_2	半数好，半数不好，稍微接近红
	Y_3	好
	Y_4	好
	Y_5	好，稍微接近白
	Y_6	好，稍微接近白
	Y_7	不好，接近白
绿	G_1	不好，接近蓝
	G_2	好
	G_3	好
	G_4	稍微接近白，与背景的识别稍微差些
	G_5	不好，光源的色温度低时接近白
	G_6	好
	G_7	好

（b）信号灯和标志灯的亮度及在观测者眼睛产生照度的阈值及标准值

艾德里安（Adrian）对于用比较大的视角观看的道路交通信号灯亮度的实验结果如图 4 所示。它是在距有效直径为 200mm 的红、绿信号灯 36.8m（视角 18'）处观测的。标准值和阈值都是随背景的亮度一起上升的，但其比例是随背景亮度的增加而减少。阈值是红色光比绿色光低，但标准值在红和绿之间没有多少差别。

用小视角观看的信号灯在观测者眼睛产生的照度值也是随背景的亮度一起上升。点光源的识别阈值照度〔12〕〔13〕〔15〕

[16]如图 5 所示。在背景的亮度 $L_K = 10^{-3} \sim 10^{-2} \text{cd/m}^2$ 处曲线的弯曲，是表示从暗适应状态向亮适应状态移转的范围。有色光源的无色阈值* 随灯光及背景的颜色不同也不一样，一般是绿色光高，红色光低。这种现象，说明了小视角光的光谱光效率，是与国际照明委员会（CIE）1924 年标准观察者（2° 视场，亮适应）不同，最大值是以长波侧为基础的[14]。

有色阈值** 和无色阈值之比，就是光色比在暗适应状态时数值高，随着背景亮度的升高而降低。光色比还受背景色品不同的影响。正木和田中的实验表明，信号灯和背景的色品差越小，光色比越高[5]。

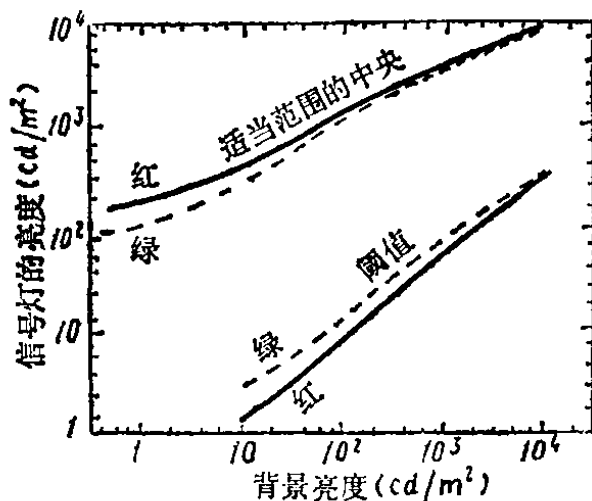


图 4 道路交通信号灯（视角18'）亮度的标准值和阈值[艾德里安（Adrian）1963]

为了容易而且正确

地识别信号灯和标志灯的颜色，需要有比阈值高得多的照度。标准照度与阈限照度之比在暗适应状态为15~20秒，随着背景亮度的提高而减小[17]。

（c）野外物体的色品

天空和植被（森林、树木、原野等）、建筑物、水面等野外物体的色品测试结果[18][19]如图 3 所示，野外物体的色品分布，比我们日常想象的范围还要狭窄。它们大部分分布在“黄绿—无色—蓝”的黑体轨迹上及其绿色侧，纯度也不太高，特别是离的越远，散射昼光的比例就越大，成为分布在“无色—蓝”的狭窄范围。图 6 为植被外表的颜色随距离

* 能够识别灯火的着灯，但不能识别颜色的阈值。

** 能够识别灯火颜色的阈值，一般比无色阈值高。

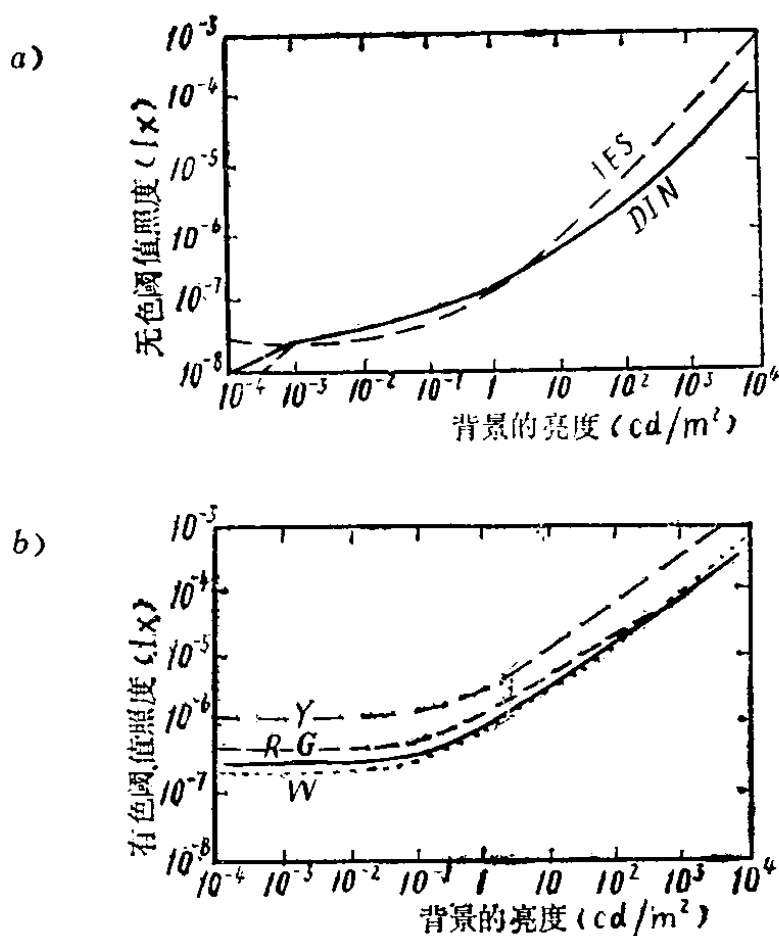


图5 点光源的识别阈值照度

- a) 无色点光源的无色阈值照度〔西德标准化协会 (DIN) 1962; 美国照明工程学会 (IES) 1966, 识别的概率为98%〕
 b) 有色点光源的有色阈值照度〔希尔 (Hill), 识别的概率为90%〕

变化的举例。因而，红色光容易与其背景区别，绿色光从黄绿侧向蓝绿侧靠近时容易区别。此外，如果绿色光的刺激纯度过低，则不易与背景区别；白与浅蓝的色光，在白天与背景的识别不良。野外自然界物体的颜色，由于纯度低，对于识别信号灯的影响不大，但对于招牌和广告等物体则应注意。

(d) 在大气中光的衰减及信号灯的可见距离

光从大气中透过时，由于有尘埃、霭、雾、烟等的大气微粒（包括烟雾剂），或者即使是清洁的大气，也由于空气

分子的散射和吸收而被衰减。如为可见光时，由于吸收少，衰减的大部分是散射所致。光强 I_0 的平行光束，通过厚度为 l 的大气层后的光强 I_l ，可以用下式表示

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\sigma l} = I_0 \cdot T^l \quad (1)$$

式中 σ —— 大气的散射系数；
 T —— 单位厚度大气层的透射率。

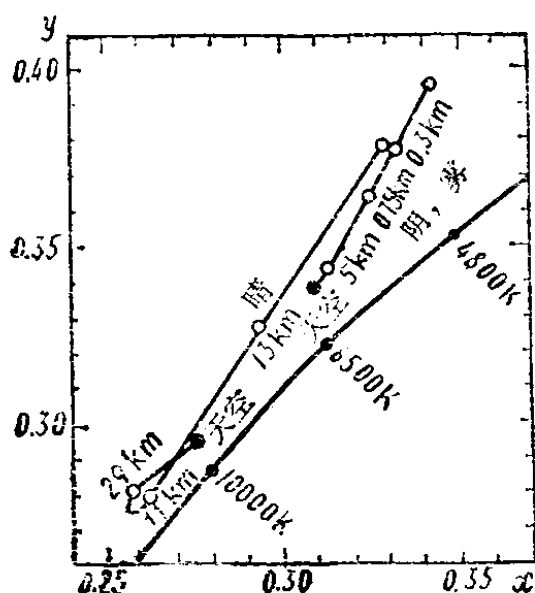


图6 植被外表的色品随距离变化的举例

通过大气观察地面物体时，从对象发出的光因为散射而衰减，同时因为在光路中含有散射日光，所以对象和背景的亮度对比，随距离的增加而减小，对象的外表颜色也和背景的天空颜色接近。假定，以天空为背景来观察对象时，可将对比定义如下式

$$C = |(L - L_u) / L_u| \quad (2)$$

式中 L —— 对象的亮度；
 L_u —— 背景的亮度。

假定在近距离观察对象时的对比为 C_0 ，在距离 l 处观察时的对比为 C_l ，则

$$C_l = C_0 \cdot e^{-\sigma l} = C_0 \cdot T^l \quad (3)$$

即，以天空为背景时的视在对比，同平行光束作同样的衰减。视在对比衰减后，对比阈值成为 ε 的距离 l ，即对象的可见距离。对比的阈值 ε 是对象的大小（视角）、背景亮度的函数，但当背景很明亮、视角很大时则大致不变。此外，在对