

·信号与信息处理·

大气对迷彩颜色混色影响研究

马栋良¹, 张正周², 杨大峰¹, 刘国权¹

(1.61489部队, 河南 洛阳 471023; 2.72495部队, 河南 郑州 450000)

摘要:综合考虑大气对可见光传输的衰减和大气气幕颜色的影响,根据物体颜色三刺激值计算公式推导出迷彩色的视在颜色三刺激值计算公式,在不考虑斑点尺寸影响,只考虑大气因素的情况下,选取最有利的观察条件,计算四种基本迷彩颜色不同观察距离的视在颜色三刺激值。结果表明,随着观察距离增大,四种迷彩颜色视在色差迅速减小,减小幅度也迅速减小,当观察距离为16 km时四种迷彩颜色视在色差全部小于 $3L^*a^*b^*$ 色差单位,产生混色。

关键词:迷彩; 混色; 伪装; 颜色

中图分类号: TN972⁺.43

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-05-0041-05

Research on Influence of Atmosphere on Camouflage Color Mixture

MA Dong-liang¹, ZHANG Zheng-zhou², YANG Da-feng¹, LIU Guo-quan¹

(1. 61489 Army Unit, Luoyang 471023, China; 2. 72495 Army Unit, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The formula of watching color stimulation about the painting is reasoned out from the object color stimulation by considering the effect of atmospheric attenuate and atmospheric color. The watching color stimulation of four kinds of basic paintings in different distance is calculated under the best atmospheric vantage taking no account of size. The results show that with the increasing of observation distance, the watching chromatic aberration of four kinds of paintings decreases rapidly and the decreasing extent also decreases rapidly. The watching chromatic aberrations of four kinds of paintings are all less than $3L^*a^*b^*$ at 16 km observation distance to produce color mixture.

Key words: painting; color mixture; camouflage; color

为了保证迷彩的多色性,迷彩颜色一般使用3~5种不同的颜色,然而随着观察者距离的增大,大气的衰减作用明显增强,以及大气气幕颜色的加入,使得迷彩色不同斑点在一定的距离上产生混色,这时迷彩的颜色作用影响很小,而颜色的亮度将起主要作用。

1 视在颜色三刺激值

对于自然界的物体,设其光谱反射系数为 $\rho(\lambda)$,照明光源的光谱分布为 $S(\lambda)$,标准观察者的光谱三刺激值为 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$,则物体颜色的三刺激值可以表示为^[2]

$$\left. \begin{aligned} X &= k \int_{380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{r}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{g}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{b}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, k 为调节系数。

经过大气衰减作用后,物体颜色的三刺激值为^[3]

$$\left. \begin{aligned} X' &= k \int_{380}^{780} \tau^l S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{r}(\lambda) d\lambda \\ Y' &= k \int_{380}^{780} \tau^l S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{g}(\lambda) d\lambda \\ Z' &= k \int_{380}^{780} \tau^l S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{b}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, τ 为大气透明度, l 为物体到观察者的距离。

在可见光波段范围内,一般可认为 τ 与波长无

关,所以

$$\begin{cases} X' = \tau' X \\ Y' = \tau' Y \\ Z' = \tau' Z \end{cases} \quad (3)$$

大气对颜色影响还表现在大气气幕颜色,设物体与观察者之间的大气气幕颜色三刺激值为(X_a , Y_a , Z_a),大气气幕的颜色可以认为是消色的,所以, $X_a = Y_a = Z_a$ 。

经过 l 距离的大气后,人眼看到的物体的视在颜色三刺激值为

$$\begin{cases} X_l = X' + X_a = \tau' X + 100\gamma_a \\ Y_l = Y' + Y_a = \tau' Y + 100\gamma_a \\ Z_l = Z' + Z_a = \tau' Z + 100\gamma_a \end{cases} \quad (4)$$

式中, γ_a 为与气幕亮度相对应的亮度系数,可由下式计算得到^[4-5]

$$\gamma_a = \frac{Y_a}{100} = \gamma_H(1 - \tau') \quad (5)$$

其中, γ_H 为天空亮度系数,其取值见表 1^[6]。

表1 天空亮度系数与天候、太阳照射角的关系

太阳照射角/ $^\circ$	天空亮度系数(γ_H)		
	晴天	变换的云层	阴天
0 ~ 30	10.0 ~ 3.0	4.0 ~ 2.0	1.2
30 ~ 75	1.5 ~ 1.0	1.5 ~ 1.0	1.0
75 ~ 135	0.8 ~ 0.6	0.8 ~ 0.6	0.8
135 ~ 180	0.5 ~ 0.2	0.5	0.6

注:表中太阳照射角为太阳的照射线与观察方向之间的水平夹角。

2 迷彩色的视在颜色三刺激值

四种基本迷彩颜色三刺激值见表 2^[7]。

表2 迷彩颜色表

颜色	缩语	颜色三刺激值		
		RGB空间	XYZ颜色空间	$L^*a^*b^*$ 颜色空间
森林绿	FG	(34,139,34)	(12.8,22.7,6.7)	(54.8,-48.9,43.1)
草绿色	OD	(107,142,35)	(19.7,27.7,3)	(58.9,-27.48,1)
土黄色	EY	(229,169,95)	(51.8,50,21.3)	(76,11.8,42.5)
土褐色	FD	(108,84,30)	(12.8,13.1,4.4)	(42.9,2.4,32.8)

假设四种迷彩色距离观察者 0.5 ~ 16.5 km,每隔 0.5 km 取值一次,天气条件为晴天,天空亮度系数 γ_H 取 0.2,最有利的观察角度,大气透明度 τ 取值 0.82,计算四种迷彩色的视在颜色三刺激值见表 3。

3 迷彩色色差

物体颜色三刺激值为(X , Y , Z),当物体与观察者距离为 l 时,其物体的视在颜色三刺激值为(X_l , Y_l , Z_l)。当两种物体颜色视在颜色三刺激值相差 $3L^*a^*b^*$ 以内时,可以认为人眼分辨不出两种颜色,即产生了混色。一般采用 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间作为色差计算空间,可由下式表示^[8]

$$\left. \begin{aligned} \Delta E &= \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \\ L^* &= 116\left(\frac{Y}{Y_o}\right)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500\left[\left(\frac{X}{X_o}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_o}\right)^{1/3}\right] \\ b^* &= 200\left[\left(\frac{Y}{Y_o}\right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_o}\right)^{1/3}\right] \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

表3 迷彩颜色视在颜色三刺激值

距离 l (km)	森林绿(34,139,34)			草地绿(107,142,35)			土黄色(229,169,95)			土褐色(108,84,30)		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0.5	54.5	-43.1	37.9	58.4	-24.5	42.7	74.3	11.2	39.8	43.9	2.7	27.7
1	54.3	-38.2	33.7	57.8	-21.9	38.2	72.6	10.8	37.1	44.7	2.9	23.8
1.5	54.0	-33.8	30.1	57.3	-19.5	34.4	71.1	10.4	34.6	45.5	3.2	20.8
2	53.8	-29.8	27.1	56.8	-17.3	31.1	69.6	10.0	32.2	46.1	3.4	18.4
2.5	53.6	-26.3	24.5	56.3	-15.4	28.1	68.2	9.7	30.0	46.7	3.6	16.4
3	53.5	-23.2	22.2	55.9	-13.5	25.6	66.9	9.4	28.0	47.2	3.7	14.8
3.5	53.3	-20.4	20.1	55.6	-11.9	23.3	65.7	9.1	26.0	47.7	3.8	13.4

续表3 迷彩颜色视在颜色三刺激值

4	53.2	-17.9	18.4	55.2	-10.4	21.3	64.6	8.8	24.2	48.1	4.0	12.2
4.5	53.1	-15.7	16.8	54.9	-9.0	19.5	63.6	8.5	22.5	48.5	4.1	11.2
5	53.0	-13.7	15.4	54.7	-7.7	17.9	62.6	8.2	20.9	48.8	4.2	10.3
5.5	52.8	-11.9	14.2	54.4	-6.5	16.4	61.7	8.0	19.5	49.1	4.3	9.5
6	52.8	-10.2	13.1	54.2	-5.5	15.1	60.9	7.8	18.1	49.4	4.3	8.8
6.5	52.7	-8.7	12.1	53.9	-4.5	14.0	60.1	7.5	16.9	49.6	4.4	8.2
7	52.6	-7.4	11.2	53.8	-3.6	12.9	59.4	7.3	15.7	49.8	4.5	7.7
7.5	52.5	-6.2	10.4	53.6	-2.8	12.0	58.8	7.2	14.7	50.0	4.5	7.3
8	52.5	-5.1	9.7	53.4	-2.1	11.1	58.2	7.0	13.7	50.2	4.6	6.8
8.5	52.4	-4.2	9.1	53.3	-1.5	10.4	57.6	6.8	12.8	50.4	4.6	6.5
9	52.3	-3.3	8.5	53.1	-0.9	9.7	57.1	6.7	11.9	50.5	4.6	6.2
9.5	52.3	-2.5	8.0	53.0	-0.3	9.1	56.6	6.5	11.2	50.6	4.7	5.9
10	52.3	-1.8	7.6	52.9	0.2	8.5	56.2	6.4	10.5	50.7	4.7	5.6
10.5	52.2	-1.1	7.2	52.8	0.6	8.0	55.8	6.3	9.8	50.9	4.7	5.4
11	52.2	-0.6	6.8	52.7	1.0	7.6	55.5	6.2	9.2	50.9	4.8	5.2
11.5	52.1	0.0	6.4	52.6	1.4	7.2	55.1	6.1	8.7	51.0	4.8	5.0
12	52.1	0.5	6.1	52.6	1.7	6.8	54.8	6.0	8.2	51.1	4.8	4.8
12.5	52.1	0.9	5.9	52.5	2.0	6.5	54.6	5.9	7.8	51.2	4.8	4.7
13	52.1	1.3	5.6	52.4	2.3	6.1	54.3	5.8	7.4	51.2	4.8	4.5
13.5	52.0	1.6	5.4	52.4	2.6	5.9	54.1	5.7	7.0	51.3	4.9	4.4
14	52.0	2.0	5.2	52.3	2.8	5.6	53.9	5.7	6.6	51.3	4.9	4.3
14.5	52.0	2.2	5.0	52.3	3.0	5.4	53.7	5.6	6.3	51.4	4.9	4.2
15	52.0	2.5	4.8	52.2	3.2	5.2	53.5	5.6	6.1	51.4	4.9	4.1
15.5	52.0	2.7	4.7	52.2	3.4	5.0	53.4	5.5	5.8	51.5	4.9	4.0
16	52.0	2.9	4.6	52.2	3.5	4.9	53.2	5.5	5.6	51.5	4.9	4.0
16.5	52.0	3.1	4.4	52.1	3.7	4.7	53.1	5.4	5.3	51.5	4.9	3.9
17	51.9	3.3	4.3	52.1	3.8	4.6	53.0	5.4	5.2	51.6	4.9	3.8
17.5	51.9	3.5	4.2	52.1	3.9	4.4	52.9	5.3	5.0	51.6	4.9	3.8
18	51.9	3.6	4.1	52.1	4.0	4.3	52.8	5.3	4.8	51.6	4.9	3.7

对标准照明体 D_{65} , $X_o=95.0424$, $Y_o=100$, $Z_o=108.8804$ 。

根据表3和式(6),四种迷彩色之间视在色差随距离变化情况见表4。

表4 迷彩色之间视在色差变化

距离/(km)	视在色差($L^*a^*b^*$ 色差单位)					
	森林绿与草地绿	森林绿与土黄色	森林绿与土褐色	草地绿与土黄色	草地绿与土褐色	土黄色与土褐色
0.5	19.6	57.8	48.1	39.1	34.2	33.8
1	17.3	52.4	43.3	35.9	31.6	31.9
1.5	15.2	47.5	39.0	32.9	29.0	30.0
2	13.4	43.2	35.2	30.3	26.5	28.1

续表4 迷彩色之间视在色差变化

2.5	11.9	39.3	31.7	27.8	24.3	26.2
3	10.6	35.7	28.6	25.5	22.1	24.4
3.5	9.4	32.5	25.8	23.4	20.2	22.6
4	8.4	29.6	23.3	21.5	18.4	21.0
4.5	7.5	27.0	21.1	19.7	16.7	19.4
5	6.7	24.6	19.0	18.1	15.2	17.9
5.5	6.0	22.4	17.2	16.6	13.9	16.5
6	5.3	20.4	15.5	15.2	12.6	15.2
6.5	4.8	18.5	14.0	13.9	11.4	14.0
7	4.3	16.9	12.7	12.7	10.4	12.8
7.5	3.9	15.4	11.5	11.6	9.4	11.7
8	3.5	14.0	10.4	10.6	8.6	10.8
8.5	3.1	12.7	9.4	9.6	7.8	9.8
9	2.8	11.6	8.5	8.8	7.1	9.0
9.5	2.5	10.5	7.7	8.0	6.4	8.2
10	2.3	9.5	6.9	7.3	5.8	7.5
10.5	2.1	8.7	6.3	6.7	5.3	6.9
11	1.9	7.9	5.7	6.1	4.8	6.2
11.5	1.7	7.2	5.1	5.5	4.3	5.7
12	1.5	6.5	4.7	5.0	3.9	5.2
12.5	1.4	5.9	4.2	4.6	3.6	4.7
13	1.2	5.4	3.8	4.1	3.2	4.3
13.5	1.1	4.9	3.5	3.8	2.9	3.9
14	1.0	4.4	3.1	3.4	2.6	3.5
14.5	0.9	4.0	2.8	3.1	2.4	3.2
15	0.8	3.6	2.6	2.8	2.2	2.9
15.5	0.7	3.3	2.3	2.6	2.0	2.7
16	0.7	3.0	2.1	2.3	1.8	2.4
16.5	0.6	2.7	1.9	2.1	1.6	2.2

迷彩色视在颜色色差随距离的变化如图1所示。

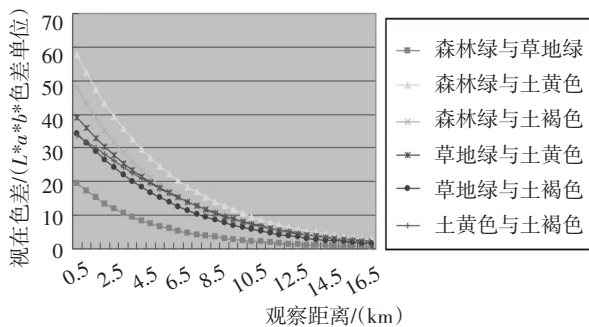


图1 视在颜色色差随距离变化图

4 结果分析

如图1所示,随着观察距离的增大,四种迷彩色的视在色差迅速减小,而且减小的幅度也不断减小。根据表4内容以及视在颜色色差混色判断标准,不同迷彩颜色之间将产生混色的距离统计结果见表5。

不同迷彩色之间产生混色的距离不同,其中颜色差别较大的森林绿和土黄色产生混色的距离最远,本次计算取天气最好,最有利于观察的条件,如

表5 混色统计表

项目	森林绿与 草地绿	森林绿与 土黄色	森林绿与 土褐色	草地绿与 土黄色	草地绿与 土褐色	土黄色与 土褐色
产生混色距离/(km)	9	16	14.5	15	13.5	15

果天气条件较差的话,产生混色的距离会更小。可以认为四种迷彩颜色在16 km时,由于大气的作用产生混色。

5 结 论

不同颜色之间在不同天气条件下产生混色的距离不同,在具体应用时要根据不同情况具体计算。文章计算时没有考虑空间混色,是从光学传播的角度探讨,计算了四种常用迷彩颜色的混色距离,计算参数在最利于观察的情况下取值,根据计算结果,迷彩颜色在16 km时产生混色,因此理论上无论采用多么先进的光学仪器,由于颜色信号的衰减和杂波的添加,几种迷彩颜色趋于接近,不能分辨,迷彩的颜色作用可以忽略,起主导作用的是亮度。

参考文献

- [1] 胡江华,朱超,王友军,等.一种迷彩伪装效果检测评价方法[J]. 2007,33(2):67-69.
- [2] 周焜,李继陶,陈祯培.应用光学[M]. 成都:四川大学出版社,1995.
- [3] 何国兴.颜色科学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2004.
- [4] 王毅,饶瑞中.空间斜程能见度的影响因素分析[J]. 强激光与粒子束,2003,15(10):945-950.
- [5] Stamens K,Tsay S C,Wiscombe W, et al. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media[J]. Appl Opt, 1998,27(12):2402-2509.
- [6] 周秀骥,陶善昌,姚克亚.高等大气物理学[M]. 北京:气象出版社,1993
- [7] 曲孟琪.数码迷彩的混色问题研究[D]. 西安:西安工业大学,2011.
- [8] 王小青,位军,陈素军.基于均匀色差的彩色图像分割方法[J]. 网络与信息技术,2006, 25(10):42-43.
- (上接第35页)
- 电工程,2010,37(11):110-114.
- [2] 涂植跑.数码迷彩的信息隐藏技术研究[D]. 浙江:浙江大学,2012.
- [3] 贾其,吕绪良,吴超,等.马尔科夫随机场和金字塔模型用于数字迷彩图案设计[J]. 应用科学学报,2012,30(6):624-628.
- [4] 喻钧,双晓.仿造数码迷彩的设计方法[J].应用科学学报,2012,30(4):331-334.
- [5] 白万民,郝阳,喻钧.基于分水岭方法的数码迷彩设计[J]. 计算机与数字工程,2012,40(8):110-113.
- [6] 张勇,吴文建,刘志明.仿生迷彩伪装设计[J]. 计算机工程,2009,35(6):35-38.
- [7] 曲孟琪.数码迷彩的混色问题研究[D]. 西安:西安工业大学,2011.
- [8] 徐飞,施晓红.MATLAB应用图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.