

电子显示器

[美] S. 谢尔 著

科学出版社

75-87
904

电 子 显 示 器

〔美〕S. 谢尔 著

孙大高 译

吴相矩 校



科 学 出 版 社

1 9 8 4

8510164

内 容 简 介

本书主要介绍各类显示器件的原理及其系统构成、性能和应用,同时介绍了系统的性能测试和估价。

全书共分七章,内容包括:感官因素;阴极射线器件;矩阵器件和字符器件;阴极射线管系统和设备;字符和矩阵系统及设备;应用;性能测定。书中配合叙述给出了完整的数学关系式和大量的图表,便于读者理解和掌握基本内容。

本书取材新颖、内容丰富、叙述严谨,理论性与实践性结合得较好。

本书可供计算机、自动控制、雷达、电视和显示系统的设计、生产、使用人员阅读,也可供有关部门的技术组织者、大中专院校师生参考。

S. Sherr

ELECTRONIC DISPLAYS

John Wiley & Sons, Inc., 1979

电 子 显 示 器

[美] S. 谢尔 著

孙大高 译

吴相矩 校

责任编辑 魏 玲 李 立

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984年7月第一版 开本:850×1168 1/32

1984年7月第一次印刷 印张:19 1/2

印数:0001—11,000 字数:515,000

统一书号:15031·577

本社书号:3583·15—7

定价: 3.60 元

译 者 前 言

显示技术是电视技术同计算机技术结合的产物。电视技术给人们带来了绚丽多彩的图象，计算机技术的发展又把图象的生成和图形的变换等处理技术推向了新的高度。图象是人们获取信息的重要媒介，从日常生活中的电子手表液晶数字显示和手表电视，到指挥中心的大屏幕平板显示系统，在生活和生产活动中处处都要用到电子显示器，特别是当前我国正处在计算机技术迅猛发展的时期，计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)，甚至于在自动绘制艺术图形和动画图象自动生成的各种计算机系统里都离不开电子显示器。因此这本论述显示技术及其发展前景的专著，将会对技术进步有一定的促进作用。

本书重点论述了各类显示器原理及其应用技术，书中介绍了计算机字符、图形和图象终端，也论述了数字电视和大屏幕显示技术，它是显示系统设计者和使用者的有益参考书。书中还为读者提供了各类成熟产品的大量技术资料，并以两章的篇幅分析了与显示器设计和使用密切相关的两个问题——“人的感官因素”与显示器测试技术和评价方法，这都更加增强了本书的实用性。为了严谨起见，书中在有关章节里分别讲解了各种显示技术的物理基础，如电子光学原理、气体放电显示、半导体PN结注入发光、液晶电光特性以及荧光粉电子束激励发光和场致发光的理论等。本书在论述显示原理时都结合相应的显示器件进行，并着重讨论了业已成熟的各種阴极射线显示管(CRT)、扫描变换管、光增强器和几种常用摄像管；书中还讨论了一些较新的发光二极管显示器件以及液晶、场致发光和气体放电等离子体平板型显示器件，还有那些可望在不久的将来便能达到实用化的新型显示技术——电致变色显示，铁电陶瓷显示技术，电泳矩阵平板显示以及电荷耦合器件

(CCD) 固态摄像管, 场致发光薄膜显示器和液晶光阀大屏幕投影显示. 本书也提到使用年代已久、但还有某些用途的电磁机械翻板显示和油膜光阀大屏幕及白炽灯显示装置.

总之, 本书可谓是集电子显示技术之大全的专著, 对研究者、设计者和工程技术人员及显示器使用者都会有一定的参考价值. 因为此书具有理论和实践两个方面的意义, 当然也可作为显示技术的教学参考书.

本书涉及的技术面较广泛, 但各类显示器从原理到设备方面都有相对的独立性, 因此读者也可重点阅读那些感兴趣的章节, 以期达到较好的效果.

译稿承蒙清华大学吴相矩同志仔细地审阅, 计算机总局周继忠同志, 中国科学院计算技术研究所秦梅芳同志也提出了宝贵的修改意见, 在此书出版之际, 谨对他们表示谢意.

译者

1983.1

前 言

近十年来,电子显示器的应用显著增加,而且可以预料,在未来的十年里还会有更大的发展。这已导致各类用户迅速扩大,许多人需要知道显示器能作什么,不能作什么,以及如何确定、测试和评价各类显示器件、显示设备和显示系统。本书的首要目的,虽不能说是唯一的目的,就是提供一个涉及许多技术和设备的综合描述以满足上述需要。用综合讨论的方式可以很容易为读者所理解,即使对于那些数学知识和技术基础不太厚实的人也能看懂。但是,对于那些要求内容深一些的读者来说,本书的分析还是足够详细的,数学上也是较为严格的。为此,书中给出了一些重要的数学关系式,但是未予推导,而是围绕着这些数学关系给出与之有关的各种现象的详尽描述。本书附有大量的插图和表格,以便于读者理解,从而使本书成为一本有用的参考书,成为确定和选择设备、系统或方法的指南,同样也可以作为广泛论述显示器的教科书。此外,书中给出了如何逐步确定所能预料的性能范围,以及如何测试和评价这些性能的许多例子。另外,若把本书视为一本通俗读物,那么也可以说,它包含了你想要知道的、但还不知道如何去寻找的、有关显示器的所有内容。

这本书共分为七章,每一章都论及总题目下的一个方面。第一章讨论了**人的因素**,即感官因素的所有重要内容,并且提供了关于影响并决定显示器性能的人的感官的各种数据。第二章和第三章非常详尽地叙述了阴极射线管、矩阵显示器件和字符器件的技术特征和工作性能,并且给出了这些特性所依据的物理原理。在第四章和第五章中,用到了作为输出显示媒介的系统中的一些器件,同时描述了构成该系统的各种单元。第六章把器件和系统同各类应用加以联系,以便使我们能针对任何一个特定的应用,选择

出合理的最佳组合。最后，在第七章，讨论了测试和评价的方法，用此方法可以把显示系统、设备或器件的性能同感官因素所提出的要求用一组参数及参数值所预料的范围联系起来。因此，我们可以进行这样一些工作，即从需要出发，看看我们能得到些什么，进而研究如何利用这些器件，以及最后将得到怎样的结果。

因为要力图使这本书具有直接的实用价值，所以本书将避免论述实验室很少用到的设备或未经验证的技术。但是，本书并没有忽略该领域中在不久的将来可以取得成功的任何最新进展。有关技术现状的更为详尽的材料最好到有关的专门著作中去找，特别是由 Academic Press 出版的《信息显示协会汇刊》和《电气和电子工程师协会电子器件组会刊》以及《摄象和显示进展》丛书等各类出版物。所有这些都列为这本书的参考文献，并且已经在编写本书的过程中起了很大作用。

我要对那些曾为本书提供过原始材料和付出过劳动的人表示感谢；遗憾的是，要感谢的人太多，不能在此一一致谢。其他一些有关性能、应用和市场研究方面的原始资料，来源于各种摘要和论文集，例如，Venture 开发公司和 GML 有限公司等。我也要感谢允许采用他们的照片和数据的制造商。然而，我要特别强调的是，在这本书中所用的这些资料，并无意作任何推荐，也不表示在这里所选用的产品除了作为这一类的例子以外还有别的什么意思，更没有说它优于其他同类产品。这本书最终的目的是为读者指明，如何在由大量的竞争厂家所提供的类似装置中，作出一个最明智的选择，并且能正确估价制造商所作的申明以及顾问们所作的介绍。作不到这一点，就不能算成功。

S. 谢尔

1978 年 11 月于纽约，哈斯戴尔

目 录

第一章 感官因素	1
内容提要: 人的因素,视觉参数,以及它们对显示系统性能的重要性.	
1.1 引言	1
1.2 光度学	1
1.3 非光度学视觉参数	8
1.4 视觉系统的电生理学	22
1.5 字型	29
1.6 技术规范	37
1.7 技术规范实例	58
第二章 阴极射线器件	68
内容提要: 各种阴极射线管,扫描转换器,摄象管,特种类型管;技术和应用.	
2.1 引言	68
2.2 概述	69
2.3 物理原理	71
2.4 器件特性	95
2.5 非直视 CRT	148
2.6 成象器件	158
第三章 矩阵器件和字符器件	175
内容提要: 发光二极管,等离子显示,液晶,场致发光,铁电、电致变色和电泳式显示器件,真空荧光,白炽发光和电磁器件;技术和应用资料.	
3.1 引言	175
3.2 概述	177
3.3 物理原理	182
3.4 器件特性	255
第四章 CRT 系统和设备	303

内容提要: 字符和图形终端,模拟和数字电视,以及大屏幕系统;技术和应用资料.

4.1 引言	303
4.2 一般化系统	304
4.3 刷新系统	306
4.4 存贮管系统	361
4.5 输入设备	366
4.6 彩色系统	375
4.7 大屏幕显示系统	380
4.8 设备	388

第五章 字符和矩阵系统及其设备..... 442

内容提要: 用第三章所述器件的数字、字符和点矩阵系统;技术和应用资料.

5.1 引言	442
5.2 字符系统	443
5.3 矩阵系统	477
5.4 大屏幕投影系统	509

第六章 应用..... 516

内容提要: 用阴极射线管的企业系统,控制系统和图形显示系统;手表,计算器和用第三章所述器件的仪器;以及矩阵平板显示系统应用.

6.1 引言	516
6.2 阴极射线管	517
6.3 矩阵显示器	541

第七章 性能测定..... 553

内容提要: 确定器件和系统性能的量测技术.

7.1 引言	553
7.2 测光学	554
7.3 阴极射线管测量	562
7.4 矩阵系统	581
7.5 易读性	588

索引..... 591

第一章 感 官 因 素

1.1 引 言

“人的因素”这个术语，通常是指那些与观看者特征有关的显示器的视在特性。若使用更概括的更严格的专门术语反而会使其含意变得非常含糊。因此，本章题目用“感官因素”更可取些。但这个术语在字面上含意模糊，这也很讨厌，在研究这一难题时，常常搞不清楚或者不能正确地使用它。但不管怎样，习惯上已把它视为天经地义的术语了。因此，我们还是用“感官因素”这一术语来表示观看者的总特性。从字面推想，这个术语的含义就是影响视觉图象的“人的因素”，特别是指在可量度的物理参数和生理响应之间有特定联系的那些人的因素。通常，着重于考虑那些能给出某些较优值的参数，或者在现有的应用中，能给出最佳性能的那些参数。我们将首先提出并且定义所有用于评价显示器的各个术语，并指出它们与显示器使用方式的关系。而后，指明物理的和感官的两种度量方法，用这些方法可以量测到正确的结果，以确保显示器能完成所规定的功能。有关量测工作将在第七章中详细讨论。

1.2 光 度 学

1.2.1 概述

把电子系统用的典型显示器固有参数作为研究的对象，细心地研究随着光测量而发展起来的若干古老术语，并以此为基础作进一步的讨论，这是合理的方法。但是，这些术语对电子显示是否适用，还不完全清楚，也不太容易理解。造成混乱的另外一个原因

是多年来已经沿用了过多的术语和定义，它们有的是重复的。本章只介绍直接有关的术语，要获得一个更完整、更全面的概念，请读者参看有关的几篇[1,2]文章。为了保持概念的清晰而确切，避免使问题产生不必要的混乱，首要的就是要选用一个合适的视觉模拟。第一，关于光度学的定义。可以说，光度是对引起生理感觉的明亮度有关的辐射通量的度量。因此，这是辐射计量技术的一个分支，辐射计量技术是物理地测量生成光通量的辐射功率和能量，将所得的辐射量乘以发光率函数后，才是光度量。明视(白天光照)和暗视(夜间)发光度函数示于图 1-1，这是由许多观看者作比较辨识量测后得到的。每个受测的人都可能同这些响应特性有某些差别。除非是在极端的情况下，曲线一般总是与实际相近，因此图 1-1 曲线被公认为视觉辨识标准。

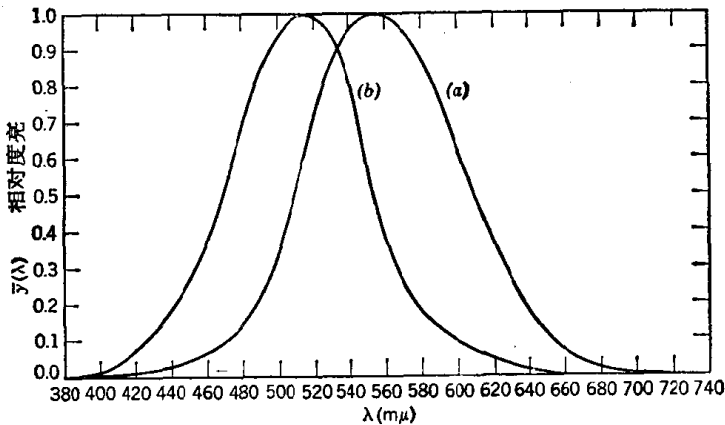


图 1-1 明视亮度函数和暗视亮度函数，(a) 良好照明状态下，正常视觉的标准亮度函数，(b) 在非常低的照明条件下，视觉的亮度函数^[3]

如图 1-1 所示，这条曲线描绘了在不同频率(或者说彩色)的情况下，观察者对于恒定辐射功率的响应，这些曲线同人们的视觉系统的感觉特性有密切的关系。在这里，即使不广泛地研究生理学细节，我们也可以有把握地说，眼睛对于绿色是最灵敏的，而在红端和蓝端，眼睛的灵敏度幅值下降了许多。视觉系统的光效率(K)是光度输出同辐射输入的比值，而对于单色光，它定义为：

$$K = 680\bar{y}(\lambda) \quad (1-1)$$

式中, $\bar{y}(\lambda)$ 为图 1-1 中所示的明视函数。因此, 在 555 毫微米处, K 等于 680 流明/瓦, 这是明视响应曲线的峰值, 与绿色相对应。**流明**是光通量的单位, 它定义为一个均匀地向各个方向上辐射的 1 坎德拉 (cd) 的点光源, 通过单位立体角的光通量, 而**坎德拉** (cd) 是国际单位制中的基本单位, 定义为一个黑体辐射体在白金 (铂) 的凝固温度下, 在 (1/60) 厘米² 垂直方向上的发光强度。另一个重要的参数是**亮度**, 它无法用一个简单的定义给出, 但对于我们的用途来说, 完全可以认为亮度是关于给定方向上发光或反光表面上的单位垂直投射面积上的发光强度的度量。这个定义并不是非常清楚的, 但它是精确的, 而且完全可以说, 亮度就是决定任何一个显示器的主观亮度的参数。可以进一步指出, **主观亮度**是一个心理学术语, 而且最正确的是把主观亮度当作感觉的属性, 因为它取决于观看者所感知亮度的差异。然而, 它常常被作为亮度的同义词, 我们对此给予适当的说明, 以防止粗心大意的误解。所有这些术语都将在下面各节内予以更全面的讨论。

除了前面引入的这三个参数以外, 在更详尽地深入钻研每一个参数之前, 还应当提到其他一些参数, 一个是**反差**或者更恰当地把它叫做**对比度**, 它是信息亮度同背景亮度之比。另一个是**照度**, 它定义为投射到显示面上的光通密度。引入这些术语之后, 现在可以准备作进一步较为详细的研究。

1.2.2 光度学参数

发光强度 (I) 参看图 1-2 就可以正确地理解光度学参数。我们先讨论发光强度。发光强度是在任一给定方向上 (如图 1-2 所示), 由前面定义的 1 坎德拉 (cd) 的点光源所发射的立体角光通密度。所有其他的参数都是用这个基本单位定义的, 在讨论象发光二极管 (LED) 这样的点光源时, 它特别重要。因此, 发光二极管的技术指标是由其发光强度来给出的, 通常是用毫坎德拉。发光二极管将在第三章中讨论, 但是在这里, 我们要指出用光输出

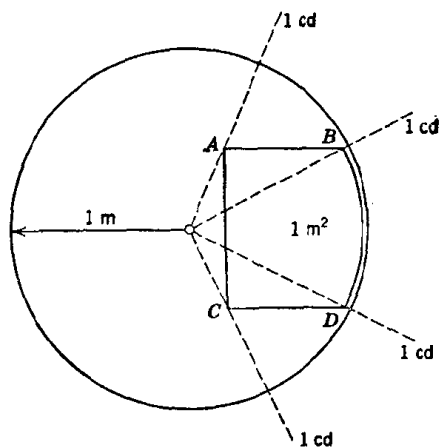


图 1-2 坎德拉、流明和勒克斯之间的关系。在半径为 1 米的球心的均匀点光源具有 1 坎德拉发光强度。相应于 1 坎德拉发光强度的球面积 $ABCD$ 所对的立体角为 1 球面度 (Sr)。在球面任一点的照度都是 1 勒克斯 ($Lux = \text{流明}/\text{米}^2$)^[4]

或坎德拉是比较它们的最好方法。以光强为重要属性的另外一些器件是气体放电矩阵板和场致发光板，把光点强度作为主要参数的这类器件还包括阴极射线管(CRT)。前两种器件在第三章讨论，后一种器件在第二章讨论。

光通量 (F) 仍参看图 1-2，如以前所定义的那样，位于球心的 1 坎德拉* 点光源在任一方向的单位立体角内的光通量是 1 流明，许多光辐射器(如白炽灯泡)，它们的输出光通量是已知的。由图 1-2 可以进一步发现，1 流明是在所有点都距离光源为 1 单位的单位表面上的光通量。光通量也常用于确定由阴极射线管和其他类型的电视投射器的某个面积上的光输出。这个问题将在第二章和第四章中讨论。

照度 (E) 照度 (illuminance) 也叫作照明度 (illumination)，它被定义为投射到一个面上的光通密度。参看图 1-2，在 1 米距

* 1948 年第九届国际计量大会批准了国际计量委员会的决定，将发光强度单位改为“新烛光”，并给这个发光强度单位一个新的国际名称“坎德拉”(Candela)，符号用 (cd)，以代替这个单位的旧名称 Candle (烛光)。——译者注

离上的照度为:

$$E=1 \text{ 流明/米}^2 \text{ (勒克斯)} \quad (1-2)$$

而 1 英尺距离上的照度为:

$$E=1 \text{ 流明/英尺}^2 \text{ (英尺-烛光)} \quad (1-3)$$

由这两个等式可以看到,由流明/米²转换成流明/英尺²,必须乘以 0.0929,反之则乘其倒数 10.76。照度的国际术语是**勒克斯 (lx)**,但为难的是,废弃**英尺-烛光 (f-c)** 单位还有阻力。正是因为这个理由,在这里还是提到了英尺-烛光单位。但在本书中,从头到尾都采用国际单位,表 1-1(b) 包括了转换为国际单位以及由国际单位转换回来的变换系数,以作参考。

亮度 (L) 亮度或许是我们在这里所引入的最重要的参数。阴极射线管,如同其他一些发光表面一样,常用它们的亮度来表述。因而,亮度是任何发光器件——不管是阴极射线管还是平板的——在给定的周围光照条件下工作能力的最方便的量度。在这里,应当再次强调的是,当我们所指的量是物理量时,用“亮度”这个术语,而不用“主观亮度”。但是,因为主观亮度一直是相当普遍地当作亮度的同义词,因而必须研究上下文关系,以便确定它是否被正确地使用,这又是一个其定义与被技术界所采纳的含意不完全一致的参数。

在使用亮度这个词时,产生混淆的另一个原因是,有许多术语都可以用于表示亮度值,正式的国际单位是**每平方米坎德拉**。图 1-2 所示光源是 1 坎德拉,因此,在距光源 1 米的球面上,其光通密度是每平方米 1 流明。假定球面是一个均匀散射面,因此,每单位面积在任意方向上的发光强度随着它与面的法线方向之间夹角 (θ) 的余弦而变化,如图 1-3 所示,从任何一个方向看上去都是均匀发光的,而其亮度,如用每单位面积发射的光通量表示,则有:

$$F = \int_0^{\pi/2} I \cos \theta d\theta \times 2\pi \sin \theta \quad (1-4)$$

$$F = \pi I \quad (1-5)$$

因此,对于 1 cd 光源,每单位面积发射或反射的光通量为 πI 流明,

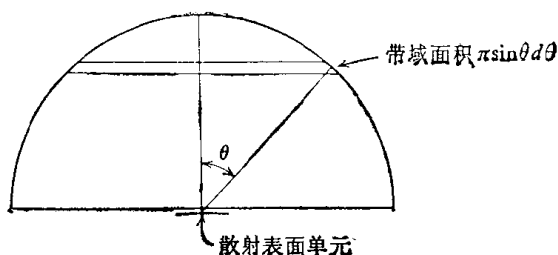


图 1-3 亮度和光通量之间的关系

或对 1cd 光源,光通量为 π 流明. 我们还可以导出亮度的另一个单位,即英尺-朗伯特,这个单位在美国仍然是很流行的,其独特之处是,它被定义为一个发射或反射 1 流明/英尺² 光的表面亮度. 由于 1cd 光产生 π 流明,所以要得到 1 流明必须除以 π , 结果导出方程:

$$\text{英尺-朗伯特} = \frac{1}{\pi} \text{坎德拉/英尺}^2 \quad (1-6)$$

之所以要较详细地讨论这些,是因为分母中的 π 的意义常常被误解. 因而,由英尺-朗伯特转换为坎德拉/米² 时,必须先乘以米² 同英尺² 的比率 10.76,然后再乘以 $\frac{1}{\pi}$, 得到总的乘数是 3.426. 反过来由坎德拉/米² 得到英尺-朗伯特,则乘其倒数 0.2919, 尼特也是用坎德拉/米² (1 尼特). 当然,我们希望英尺-朗伯特将不再作为亮度的单位,但是,因为对此建议表现出相当大的阻力,所以,搞清这两个术语的全部意义还是很有益的. 在这本书的其余各章节中只用坎德拉/米² 或尼特. 至于其他广为流传的术语,它们可能在较老的文本中见到,而我们把这些文字资料^[3-6] 留给有志趣的古物收藏家去进一步研究吧. 如果需要的话,表 1-1(a)或许可以作为参考.

对比度 (C_R) 作为光度学体系中的最后一个参数,我们来讨论对比度 (Contrast ratio) 以及它的等价参量反差 (Contrast). 按其类别讲,对比度并不是一个光度学术语,但是,因为它是两个光度学参量的比值,因此把它包含在这一节里是适当的. 它定义为

表 1-1(a) 各种亮度单位转换表

相乘系数 所得值 ↓	坎德拉/厘米 ²	坎德拉/英寸 ²	坎德拉/英尺 ²	坎德拉/米 ²	朗 伯	毫 朗 伯	英尺-朗伯 (等价于英尺-烛光)	米-朗伯
坎德拉/厘米 ² (照提)	1	0.1550	0.0010764	10 ⁻⁴	0.3183	0.0003183	0.0003426	0.00003183
坎德拉/英寸 ²	6.452	1	0.006944	6.452 × 10 ⁻⁴	2.054	0.002054	0.00221	0.0002054
坎德拉/英尺 ²	929	144	1	0.0929	295.7	0.2957	0.3183	0.02957
坎德拉/米 ²	10000	1.550	10.764	1	3183	3.183	3.426	0.3183
朗伯 (Cm-L)	3.142	0.4869	3.382 × 10 ⁻³	3.142 × 10 ⁻⁴	1	0.001	0.001076	10 ⁻⁴
毫朗伯	3.142	486.9	3.382	0.3142	1000	1	1.0764	0.1
英尺-朗伯	2919	452.4	3.142	0.2919	929	0.929	1	0.0929
米-朗伯	31420	4869	33.282	3.142	10 ⁴	10	10.76	1

表 1-1(b) 各种照度单位转换表

相乘系数 所得值 ↓	勒 克 斯	英尺-烛光	厘米-烛光	毫厘米-烛光
流明/米 ² 勒克斯	1.0	10.76	10,000	10.0
流明/英尺 ² 英尺-烛光	0.0929	1.0	929	0.929
流明/厘米 ² 厘米-烛光	0.0001	0.001076	1	0.001
毫厘米-烛光	0.1	1.076	1,000	1.0

任一信息元 (L_1) 的总亮度 ($L_1 + L_2$), 同背景或周围亮度 (L_2) 之比, 即:

$$C_R = \frac{L_1 + L_2}{L_2} \quad (1-7)$$

但是, 因为还并存着另外一个术语——反差, 而且对比度本身所用的定义也有多种, 所以这样一个简单的概念, 搞得很混乱。有时, 同类的参数是可以互换的, 有时就不可以。至于亮度和照度, 我们通过先描述各种并存的术语中的一个, 而后再回来描述在本书中不用的其他术语, 以便使多种术语造成的混乱变得最小。

对比度的另外一个常用的术语是反差, 它通常被定义为信息亮度同背景亮度之差与背景亮度的比值。有时候, 对比度和反差可以互相代替, 这取决于信息亮度或背景亮度其中一个是否比另一个要大的多, 此时比值是比 1 小的多的分数或者是比 1 大的多的值, 通常大于 1 的得数叫作**对比度**, 但这种情况一般是很少见的。借助于乘以比值的方法能简单地将这一式子转换成为方程 1-7 的式子:

$$\begin{aligned} \frac{C}{C_R} &= \frac{L_1 - L_2}{L_2} \bigg/ \frac{L_1 + L_2}{L_2} \\ C_R &= C \frac{L_1 + L_2}{L_1 - L_2} \end{aligned} \quad (1-8)$$

可以预期一般不需要进行这种转换, 但我们必须估计到最坏的情况。将不再讨论那些不很通用的或我们自己就认为是不精确的那些参数。但对比度是一个非常重要的参数, 要清楚地理解它的定义式及其含意, 以避免不正确地规定它的技术指标, 这些指标都是极其重要的。

1.3 非光度学视觉参数

1.3.1 引言

除了前面讨论过的光度学参数以外, 还有许多非光度学参数,