

[美] J·F·威谋斯 著

放电灯

陈林棠、 杨正名、

吕忠甫 译

钱毓敏 校

轻工业出版社

TMP 23.32
5
3

放 电 灯

〔美〕 J.F. 威谋斯 著

陈林棠、杨正名、吕忠甫 译

钱毓敏 校



0573/09

轻工业出版社



B 072644

内 容 简 介

本书系美国麻省理工学院出版社主编的“近代电气技术研究专著”丛书中的一卷。作者威谋斯 (J.F. Waymouth) 是国际著名的气体放电光源专家。

本书综述了目前广泛使用的各种主要放电灯的基本特性。着重介绍荧光灯、高压汞灯、低压和高压钠灯以及金属卤化物灯的基本原理、工作特性以及理论模型,并在最后一章介绍了放电灯的工作电路。

本书可供从事气体放电光源的研究工作者和科技人员阅读,也可作为高等院校气体放电等有关专业的教学参考书。

Electric Discharge Lamps

Waymouth

The M. I. T. Press 1971

Cambridge, Massachusetts, and London, England

放 电 灯

[美] J.F. 威谋斯 著
陈林棠、杨正名、吕忠甫 译
钱毓敏 校

轻工业出版社出版

(北京阜成路8号)

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

850×1168毫米 1/32印张, 11 $\frac{12}{32}$ 字数: 250千字

1983年10月 第一版第一次印刷

印数: 1—5,000 定价: 1.55元

统一书号: 15042·1790

中译本序言

《放电灯 (Electric Discharge Lamps)》是美国麻省理工学院出版社主编的“近代电气技术研究专著”丛书中的一卷。作者约翰·F·威谋斯1926年出生于多米尼加共和国巴拉荷那城，1950年获美国麻省理工学院物理学博士，现任美国西凡尼亚电气公司照明中心研究实验室主任。他的研究工作涉及到物理电子学的广泛领域，包括气体放电光源、等离子体物理测量技术、电致发光荧光体、氧化物阴极和其他类型阴极等多方面；曾发表学术论文和专利近50篇左右。因此，威谋斯博士在国际气体放电光源领域内是一位受人尊敬的学者权威。本书中译本校者曾在第二次国际非相干光源学术会议上会见了威谋斯博士，他对《放电灯》一书译为中文很感兴趣。

《放电灯》一书综述了目前广泛使用的主要放电灯(荧光灯、高压汞灯、低压和高压钠灯以及金属卤化物灯)的基本特性和理论，并在最后一章介绍了放电灯的工作电路。本书可供高等院校气体放电等有关专业的师生、气体放电光源的研究工作者和生产部门科技人员参考。

本书共有十二章和三个附录。第一、六、七、十一，十二章和附录由复旦大学陈林棠译；第二、三、四、五章由南京大学杨正名译；第八、九、十章由全国灯泡工业科技情报站吕忠甫译。全书由复旦大学钱毓敏负责总校。

译文不当之处请读者批评指正。

译校者

目 录

第一章	绪论	(1)
1-1	灯——人类最重要的产品.....	(1)
1-2	放电灯.....	(2)
1-3	各种放电灯的共同特性.....	(4)
1-4	几条定义.....	(7)
1-5	本书概要.....	(10)
	参考文献.....	(11)
第二章	汞-稀有气体中的放电和荧光灯	(12)
2-1	引言.....	(12)
2-2	低压汞-稀有气体放电的基本特性	(14)
	参考文献.....	(48)
第三章	荧光灯放电的点火或起动	(50)
3-1	放电点火过程中涉及的物理现象.....	(50)
3-2	荧光灯的起动线路.....	(59)
3-3	潘宁效应.....	(66)
3-4	电场的集中和管壁效应.....	(70)
	参考文献.....	(72)
第四章	电极	(74)
4-1	引言.....	(74)
4-2	阴极上的重要物理过程.....	(79)
4-3	阳极附近的重要物理过程.....	(112)
	参考文献.....	(115)
第五章	荧光灯正柱区的数学描述	(117)
5-1	引言.....	(117)
5-2	卡尔·坎替的开拓性工作.....	(117)

5-3	威谋斯和毕特的分析.....	(120)
5-4	凯勒斯的分析.....	(140)
5-5	理论与实验的比较.....	(141)
5-6	非圆截面荧光灯.....	(149)
5-7	和时间有关的放电理论.....	(153)
	参考文献.....	(154)
第六章	高压汞灯.....	(156)
6-1	引言.....	(156)
6-2	局部热平衡和径向温度变化.....	(165)
6-3	电极.....	(180)
6-4	点火.....	(185)
6-5	涂有荧光体的汞灯.....	(190)
	参考文献.....	(191)
第七章	低压和高压钠灯.....	(193)
7-1	引言.....	(193)
7-2	低压钠灯.....	(193)
7-3	高压钠灯.....	(202)
	参考文献.....	(210)
第八章	金属卤化物电弧灯.....	(212)
8-1	引言.....	(212)
8-2	基于金属卤化物原理所制作的灯的特点.....	(216)
8-3	金属碘化物对电弧的影响.....	(222)
8-4	电弧管几何形状的影响.....	(237)
	参考文献.....	(239)
第九章	金属碘化物灯中的电极特性.....	(241)
9-1	引言.....	(241)
9-2	在卤素气氛内各种金属的特性.....	(242)
9-3	钍迁移速率的测定.....	(248)
9-4	其他金属的特性.....	(254)

9-5	其他类型电极.....	(255)
9-6	前景展望.....	(257)
	参考文献.....	(259)
第十章	金属碘化物电弧灯特有的问题.....	(260)
10-1	引言.....	(260)
10-2	起动问题.....	(260)
10-3	再点火电压.....	(264)
10-4	电解作用.....	(271)
10-5	钠损失过程.....	(273)
10-6	其他金属的损失.....	(283)
	参考文献.....	(284)
第十一章	金属碘化物电弧的理论分析.....	(286)
11-1	引言.....	(286)
11-2	化学平衡.....	(286)
11-3	径向温度分布.....	(293)
11-4	理论状况的评价.....	(311)
	参考文献.....	(313)
第十二章	放电灯的工作电路.....	(315)
12-1	引言.....	(315)
12-2	交流镇流器电路的一般特性.....	(315)
12-3	“超前”型和“滞后”型镇流线路的 比较.....	(330)
12-4	几种主要类型灯对镇流器的要求.....	(333)
12-5	半导体镇流器.....	(342)
	参考文献.....	(343)
附录 A	双极扩散.....	(344)
附录 B	等离子体中的探针测量.....	(347)
附录 C	荧光灯理论中各重要函数的计算值.....	(354)

第一章 绪 论

1-1 灯——人类最重要的产品

想象一个世界，在那里人们还不会制造灯，当太阳落山和暮色渐黑的时候，熙熙攘攘的工商业繁忙景象将要结束，人们要在天黑以前匆忙赶回家里，与朋友和家人聚集在一起以防御黑夜带来的真实的和想象的恐惧。一个月有几夜月圆或近乎月圆，这些夜晚受到人们愉快地欢迎。春分宣告长的夏日和短的夜晚开始来临，这正是举行欢乐典礼的好时机。一年中夜晚最短的夏至，人们一面为它的到来欣喜若狂地庆祝，但一面却又为白日即将越来越短、夜晚即将越来越长而不安。

如果你在上面这些话中发现许多古代宗教的因素，那你丝毫也不应感到惊奇。古代人使用光的办法少得可怜，他们生活在黑暗的恐怖之中。我还认为最早的基督徒把耶稣称为“世界的光”决不单纯是为了选择简单而富有诗意的言词，而选择冬至（意味着白日越来越长）来庆祝他的生日更不是一种巧合。

我们常常认为自己生活在这样一个时代，它已由世界范围内的通讯和运输完全改变了人类生活的整个面貌。但是事实并不然，反过来想一下，如果半个世界在任何时刻由于笼罩在黑暗之中而全部处于停顿，那么世界范围内的通讯就意义不大或没有什么价值了。以工业革命为开端的纪元中所发生的最伟大的革命之一是人们有能力轻轻按一下开关就可以排除黑暗。

现在，当然到处都有灯。它是如此的方便和可以廉价地加以使用，被认为是理所当然的事。工厂和办公大楼不可能设计得老是只用日光照明就满足要求，因为人工照明具有光强和颜色随时间和季节相对不变的优点。一百年前，“蜡烛点两头”这句话是

用来描写极端奢侈浪费的，因为蜡烛过去是（并且现在也是）昂贵的；一支蜡烛点一小时耗费2.5美分，所发的光为 4π 流明，因此1美元大约给出500流明小时。然而，一盏40瓦荧光灯可用16000小时，所发的光是3000流明；灯的价钱约1美元、固定设备和装置费按比例分摊约3美元（按最经济的固定设备算）、电费20美元；因此每美元给出2,000,000流明小时。

我们并不满足于在夜里或白天排除室内的昏暗，并且也还追求驱逐室外的荫暗。目前街道、停车场、集市广场等场所都被照亮到近几年前闻所未闻的程度。灯光作为做生意的工具，其意义已经为许多产业界所承认。在同一条连绵的高速公路上灯光最亮的车站是最赚钱的，现在所有的石油公司都知道这一点。许多城市对闹市区商店街道的照明进行彻底的翻新，以便招徕顾客，把他们从照明得也很好的郊区商店区吸引过来。天文学家朋友告诉我，光学天文学在美国已经很难进一步开展了，即使是晴朗的天，进入他们望远镜中的背景散射光也太多，因而限制了他们能够使用的曝光时间，也限制了他们能够研究的最弱的星体。而且，在他们用摄谱仪时，不管分析哪个星体，他们所看到的都是汞的光谱！*

1-2 放 电 灯

在产生各种各样光线及各种丰富的颜色中，通过气体放电使电能转换为光的灯有着特别重要的地位。事实上，可以有把握地说，在美国，或许在全世界，所生产的灯的总数中有一半以上是放电灯。将来我们可能看到这个百分数还会进一步提高，因为放电灯所发出的光成本较低。在本章前面的计算中，除泡壳外你可

* 你将在第六章看到，这是来自街道照明的高气压汞灯。我还无意告诉他们，不久他们还将发现稀有金属铊的丰富的光谱，以及来自金属碘化物灯（第八章）的铟、铊和钠的许多光谱。

能已经注意到一支荧光灯产生光的成本中最大的一项是电费。一般来说，这几乎对所有各种类型的电灯都是正确的，所以电能转换为光能的效率越高，那末产生光的成本就越低，即使光源本身的成本可能是高的。

放电灯作为光源具有三大优点：它们是高效的能量转换器，可把25~30%的输入电能转化为光能输出；其次是点的时间长，可长达1万小时甚至1万小时以上（一年有8760小时，所以使用寿命一般至少是二年）；第三，它们具有良好的光输出的“保持性”，典型的情况在寿命终了时可提供开始点灯时发出的光的60~80%。当然，它们也有缺点：灯本身比较贵；它们需要辅助设备来调节灯的功率；以及在短时间使用中，如每次只要开几分钟或一个小时，它们的功能并不良好。

本书是一本有关放电灯的书，因为有好几十种不同类型的放电灯，为了避免停留在肤浅的讨论上，本书涉及的范围限于几种最重要的光源，即荧光灯、高气压汞灯、低气压和高气压钠灯，以及金属卤化物灯，它们共占放电灯总数的99%。由于放电灯这个工业的发展依赖于工艺和科学两个方面，因此你将看到对这两个方面的讨论。在某些情况下科学上的认识超过了工艺上的进展，但常常有相反的情况。例如，荧光灯作为商品出售时，对灯是如何工作的还只有定性的认识，这比第一次发表对荧光灯的重要的物理过程的定量分析要早十多年。^[1]

在放电灯工业中以定性的、经验的认识为主的局面使我有可能是把本书写成如我所希望的、对广泛范围内的读者都是有用的书。每种类型灯的大部分材料都将作定性的描述，对灯中所发生的各种过程的相互作用也将给出一个定性的图象，这样使数学知识及科学知识较少的人也能看得懂。有些章节是试图定量说明我们的认识和发展严格的理论数学模型以描写放电的特性（和预言在各种条件下的特性），这些章节可能是那些有科学爱好的人会感兴趣，一般读者可以跳过去不看而不会影响完整的、定性的认识。

1-3 各种放电灯的共同特性

1-3-1 气体辐射体

各种气体放电灯把电能转变为光的过程都是先将电能转变为运动电子的动能，然后通过某种碰撞过程再转变为辐射。在本书所讨论的各种灯中，基本的过程是气体中原子的碰撞激发，从激发态弛豫返回到能量最低的原子能级时发射出电磁辐射。

每个原子核周围的电子云由于核的正电荷对电子负电荷的吸引而受到核的束缚，并且它们只能处于一定的、完全分立的能态上，这些状态用简单的整数，即所谓的量子数来表示其特征。当一个具有能量的外来电子与这种电子云碰撞时，可以把能量传递给原子中的一个或几个电子，使它从其最低的能态（基态）上升到较高的能态（激发态）上。由于原子的高的内能，这种状态是天生不稳定的。在1到1百纳秒数量级的时间间隔后，被激发的电子放出能量落到一个较低的能态上，并发射出频率为 ν 的电磁辐射，乘积 $h\nu$ 正好等于两个状态的能量差，这里 h （ $=6.61 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒）是普朗克常数，它是自然界的一个普适常数。

放电灯中所发生的基本过程分三个阶段：自由电子受到一个电势差的加速，这个电势差是由一个外加电源维持和提供给器件的，电子的运动形成了器件中的电流；当快速运动的自由电子和原子碰撞时，自由电子的动能转变为原子的电子云的内能，整个过程中动能减少；当原子弛豫返回到它们的最低能态时，原子的内能耗变为辐射。然后自由电子再次被外电势加速，整个过程再次重复。

在一种特定类型的原子气体中，放电所发射的辐射主要由一组分立的频率组成，它表现了特定原子所允许的能级分布的特征。最早观察这种特征频率是利用分光镜进行的，仪器通过一个入射狭缝接收光，利用一个光学系统实现光的色散，这个光学系

统对不同频率的光偏转角不同，然后入射缝重新成分立的象。线状狭缝的象看上去像许多“线”，每条线有不同的颜色；因此称特征频率为“光谱线”或简称为“线”，发射频率的完整的总体称为该原子的“光谱”。

有辐射产生的第二类电子碰撞过程是电子与另一个带电粒子，例如另一个电子、离子或原子核，靠近相遇时所引起的偏转的过程。运动粒子偏离它原来的方向形成速度变化，正如电磁理论所描述的，带电粒子的速度改变会产生辐射。与原子的辐射不一样，由这个过程产生的辐射有一个宽广的频率分布，因此相应产生的加速度也不是量子化的。电子可以失去自身能量的任意百分数直至 100 %。可以证明在高电子密度的极限下，发出的“连续”光谱（有时称为“韧致辐射”）的频率分布就是处在电子气温度下的黑体的频率分布。^[2]

连续光谱发射对某些放电灯来说是重要的，它在热核等离子体的能量损失中尤为重要，但是在本书所讨论的灯中它并不是一个重要的辐射过程。这是因为就产生光而论，连续光谱的发射效率相当低。其发射的辐射绝大部分处在人眼灵敏的狭窄频率带〔对应于 400~700 纳米 (nm) 的波长〕之外。虽然如此，由于运动电子偏转引起的连续辐射过程也就是使热金属产生辐射的过程，并被用于钨丝白炽灯（其电能转换为光能的效率只有 5 % 左右）。这一过程在放电灯中仅有的优点是可能获得一个较高的温度（钨在 3655°K 时熔化）；在 6000°K 左右的温度下，黑体发出的总辐射中约有 20% 在可见光谱范围内。

放电所产生的原子辐射的独特优点是可以通过适当选择组成气体的原子，使辐射强度在所要求的频率范围内接近黑体的辐射强度（理论上限），而在其他频率处的辐射强度甚小或等于零。因此，正如将在下一章看到的，有可能从某些原子得到在可见光谱范围内的辐射占总辐射的 40% 或更多，所以可制造特别有效的光源。

因此，气体放电结合频谱输出的选择性获得较高温度，这是任何固体或液体物质所不可能达到的。由于在任何给定的频率处实际发射的强度不能超过同一频率的黑体强度，所以较高的温度允许在所要求的频率处获得较大的强度，而频谱选择则减少了在不要求的频率处辐射消耗的能量。

1-3-2 等离子体的重要性质

根据 1-3-1 节的讨论可以看出，在气体中为了使气体原子有最大的碰撞激发，要求有高的自由电子浓度。然而，自由电子彼此相互排斥，要在充气管中保持必需的自由电子数是不可能的，除非是让带负电的电子和数量几乎相等的、已经失去一个原子电子的原子（或称为正“离子”）均匀地混合在一起。事实上，产生自由电子的许多过程同时产生许多正离子；使原子的电子云产生激发的同一个碰撞过程也能使自由电子从原子中排出而离开带正电的剩余部分（或离子）。

放电灯中产生的电子和正离子的均匀混合物叫做“等离子体”，由于电荷相反的电子和离子之间的相互吸引以及离子对离子和电子对电子的相互排斥，因而等离子体具有一些十分独特的性质。这些性质中最重要的一性质是，在整个等离子体中，电子的局部浓度总是近似地等于离子的局部浓度（相差范围在百分之零点几以内），它与电子-离子产生的特性以及迁移性质几乎无关。例如，如果由于某一过程引起正离子的局部过量，那么它必将很快地由于正离子的相互排斥和周围区域内电子的吸引而立即消失。等离子体的这个性质几乎是普适的，以致在等离子体物理领域内的工作者总是使用“电子数密度”或简称“电子密度”来描写等离子体中的电子浓度和离子浓度，而根本不提离子密度。我在本书中将沿用这个习惯。每当出现“电子密度”这个词而没有提及离子密度时，应该理解为离子密度就等于电子密度。

放电灯中的等离子体通常封闭在充气玻璃管内并由流经气体的电流产生，电流通过电极注入和引出。等离子体在边界面上的

特性是等离子体的第二个性质，这个性质在放电灯中是重要的。了解该性质的关键是要认识到等离子体是包含两种流动电荷的大贮藏库以及边界条件服从电流的连续性。在绝缘的玻璃壁边界处，没有净电流流向管壁；正离子电流和负电子电流应该相等。较轻的电子通常比离子运动快得多，所以如果密度相等的条件一直保持到管壁的话，那么由于它们的杂乱热运动撞击管壁造成的净电子电流要比净离子电流大得多。因此，管壁本身获得了负电荷，在管壁附近很狭窄的区域内排斥电子，该区域称为“鞘层”。管壁上的负电荷吸引鞘层中的正离子；流向管壁的电子电流的减小和离子电流的增加致使两者又趋相等。从负的管壁电荷发出的力线（或电场）只穿到鞘层，而并不穿到等离子体的主体中。由于鞘层与放电管直径相比薄得多，所以等离子体的主体和管壁多少是分开的。

电极处的鞘层要复杂得多，因为电流连续性条件包括电极发射电荷的能力以及从等离子体中引出电荷的能力，但是基本原理还是一样的。第四章中将比较详细地讨论一种灯（荧光灯）的电极情况。

等离子体的其他性质，诸如等离子体中电磁波的传播、磁场对等离子体的影响以及用磁场约束等离子体等等，在等离子体物理领域内是十分感兴趣的，而在放电灯中相对来说不太重要，所以这里将不予讨论。

1-4 几条定义

本书介绍的所有放电灯主要用于照明目的；而人的眼睛是探测和使用灯所输出的光的感受器。所以，必须简要讨论眼睛的性能和定义几个重要的名词术语。

当然，关于眼睛的最重要的事实是它只对电磁波谱中一个狭

窄的频率范围（对应400到700纳米之间的波长^{*}）是灵敏的。而且，在这个通带中灵敏度是不均匀的：灵敏曲线对于所有观察者都是随光的强度而变的，而且对不同观察者也有所不同。最后，眼睛感觉到不同波长的光有不同的颜色。眼睛和在脑子中反映的讯号给观察者显示出这种讯息，人们可感觉到两个不同的独立的讯号：“亮度”和“颜色”，其中颜色再可分为“色彩”和“章度”。

图 1-1 表示各种波长的光在高亮度（亮视力）和低亮度（暗视力）下产生的相对亮度感觉。^[3]这里我们将只讨论亮视力亮度曲线，因为在人造光所产生的的大多数的照度下眼睛是“亮适应”的而不是“暗适应”的。亮视力灵敏曲线是将许多试验者对各种波长的光观察到的视亮度仔细作对照比较后取平均结果得到的；1924年国际照明委员会（CIE）接受它作为标准，以便作定量的光度测量。^[4]

这个亮度灵敏曲线可以通过定义在 555 纳米处的灵敏度等于 680 流明/辐射瓦(lm/W)^{*}而与能量联系起来。因此任何光源的流明输出可由它的辐射能量输出确定：等于它在每个波长上的辐射能量输出的瓦特数乘以亮视力灵敏曲线，再乘680流明/瓦，然后再在整个可见光谱范围内积分。另一种用得更普遍的是用光电池测量灯的输出，光电池的灵敏曲线事先用配成亮视力灵敏曲线的滤光器校正过，这就可以直接标定单位面积的流明数。

我在前面曾提到光源的“效率”，但对这个名词没有给予定义；我对它不予定义是因为对光源特性可有几种不同意义的度量。我把“效率”这个词用于一个纯粹的比值，它表示在 400~700 纳米光谱带内的辐射功率占输入功率的百分数。实际上光源

* 光的波长 $=c/\nu$ ，这里 ν 是频率； c 是光速。虽然光产生的过程以及它与物质的相互作用本质上与频率有关，但人们几乎普遍地用波长来描写光；本书也采用这个习惯。

* 选择这个数字为的是使该曲线定义的光度学单位与以前根据比较光度学定出的光度学单位相等，可用一个“标准烛光”辐射出 4π 流明来描绘。

特性的一个比较有用的度量是总的流明输出与输入功率的比值，这就是所谓的“光效”，单位是每瓦流明数（每瓦流明或流明/瓦）。

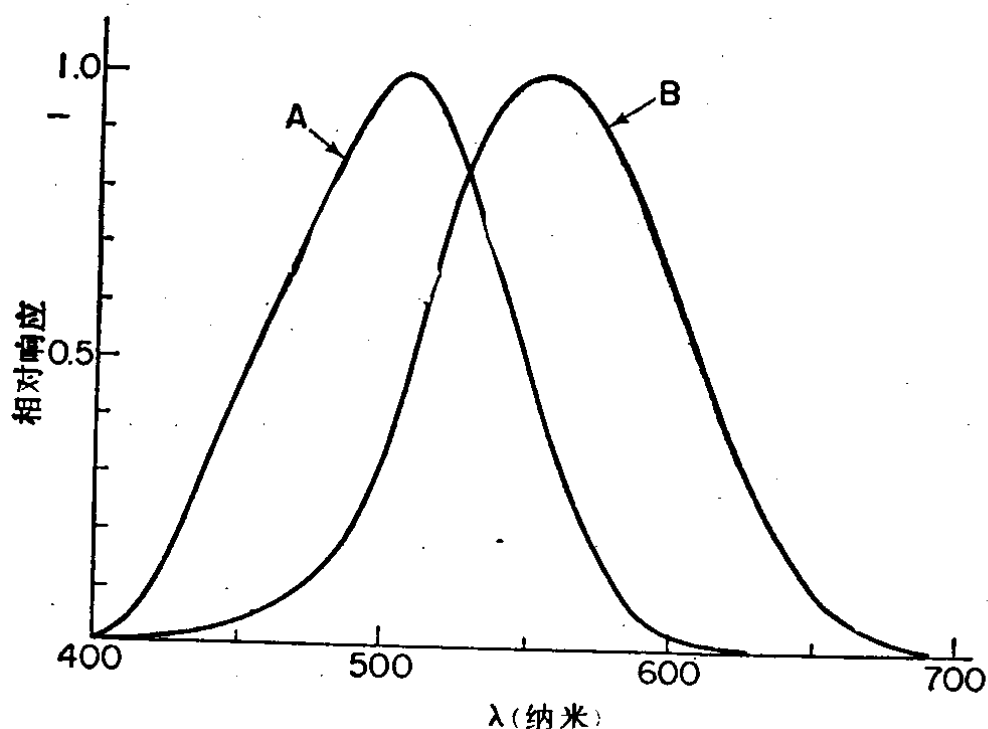


图 1-1 眼睛对各种波长光的相对响应

A——暗视力（暗适应的）响应；

B——亮视力（亮适应的）响应。

曲线 B 对于照明目的来说是头等重要的，因为在人工照明的大多数情况下眼睛是亮适应的。在 555 纳米处 1 瓦辐射能相当于 680 流明。

图 1-1 指出，如果光源仅发射 555 纳米的单色绿光，对于一给定的效率能够得到最大的光效。如果认为光的数量是“优良程度”的唯一量度，而忽略眼睛响应的另一个方面：对颜色的响应，那么这种情况是可能存在的。* 对于大部分需要视看的工作中，感觉和辨别被照客体的颜色是重要的。客体呈现颜色是由于对入射到它们上面的各种波长的光有选择性的反射和吸收。例如，一条蓝色的领带呈现蓝色是因为它反射蓝光，而吸收红光、黄光和绿光。如果光源在眼睛感觉到是蓝色的那段可见光谱

* 在高速公路照明的情况下，光的数量可能比颜色更为重要。第七章我将讨论低压钠灯，它发射 590 纳米的单色光，眼睛对它的灵敏度是 520 流明/瓦。

(420~470纳米)中辐射的能量很少,蓝色客体就不能反射它,因而看上去是黑的。举例来说,这就是为什么在用白炽灯照明的商店中几乎不可能辨别蓝衣服的颜色原因;这些光源的蓝色光与光谱中的其他颜色相比是很弱的。

所以,为各种照明目的设计的光源可以希望它辐射所有可见波长的光,这样各种颜色的客体看上去都能比较接近它们天然的色彩和章度。人的喜爱有很大的差异,所以对光源的这种特性很难用数量来度量。然而,一般来说,一个普遍被接受的主观判据可认为是采用该种光源时的人的脸色看上去如何。如果人们的面色看上去是活跃的和有生气的,则光源的颜色平衡对大部分用途来说是满意的;如果人们的面色看上去是死灰色的或是病态的,则用这种灯照明人们相互对视时是不满意的。就人的皮肤色素而言,不管什么种族,重要的颜色是红色,因此在其发射的光谱中具有足够的红颜色(620~700纳米)的光源对大部分用途总是满意的。正如法国谚语所说:“在蜡烛光下甚至一只青蛙看上去也是美丽的”;因为蜡烛火焰的温度低,所以红色成分与绿色和蓝色成分相比是特别地强。

然而,由图 1-1 可以明显地看出眼睛对红色不特别灵敏;能量过分集中在光谱的红色部分导致灯的光效较低。所以,总是根据用途来取一个折衷的办法。这特别反映在荧光灯的情况中,在荧光灯中放电本身产生紫外辐射,然后由涂在放电管管壁上的荧光体将紫外转变为可见辐射。适当地选择荧光体可以获得各种各样的颜色分布,虽然总的能量效率相同但有各种不同的光效。

1-5 本书概要

在任何一本涉及宽广领域的书中,如果要避免冗长的篇幅或肤浅的流水账,必须慎重选择讨论的题目。题目的选择及其篇幅的分配不可避免地反映了作者自己的倾向性,本书当然也不例外