

测光 技术 基础

【民主德国】

E·海尔比希 著

佟兆强 译



轻工业出版社

内 容 提 要

全书共分十八章。比较全面地介绍了测光的基本技术以及国外在这方面的作法和要求。

本书可作为测光专业的初、中级工程技术人员应用，也可供从事光源生产与照明设计人员以及有关大专院校和中等专业技术学校的师生参考。

GRUNDLAGEN DER
LICHTMESSTECHNIK
DR. ERICH HELBIG, JENA
LEIPZIG 1977

测光技术基础

佟兆强 译 王崇明 校

〔民主德国〕E·海尔比希 著

•
轻工业出版社出版

（北京广安门外南滨河路25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

•
787×1092毫米 1/32、印张：11⁴/₃₂；字数：233千字

1987年1月 第一版第一次印刷

印数：1—2,000 定价：2.30元

统一书号：15042·2055

初 版 前 言

本专著并不是要介绍测光技术的全部内容，况且在一本书的有限范围内，要这样做也是绝对办不到的。这本书只是要揭示测光技术的基础，尽量使一些感兴趣的人能对这门技术有所了解。

大家知道，在科学和技术的许多领域中，会遇到各式各样的光度学问题，这些问题的解决，对于照明技师，以及光源研制者、物理学家、光学仪器设计师和交通车辆照明专家都非常重要。如果能为同测光技术打交道的各个工作领域阐明这门技术的基础，本书的目的也就达到了。

本书交稿时间迟了一些。为能尽早出书，出版社始终做了大量工作。对于他们的合作，我谨在此表示感谢。

E. 海尔比希

1971年5月于耶那

再 版 前 言

第一版已脱销一些时候了，出版社要我能尽早出第二版。读者对本书的欢迎促使我同意了出版社的建议。

对于各位同行的殷切赐教，我谨表示衷心感谢。但鉴于时间关系，为要“尽早”出书，不可能将原书作一番彻底修订或增补，也不可能把各位同行的意见都考虑进去。

第二版除对原书作了某些补充，并更改了印刷错误及某些前后不一致之处以外，基本上保留了初版的原貌。但愿再版能象初版那样，受到读者的好评。

再次对出版社的倡议及助人为乐的精神致以深切地感谢。

E. 海尔比希

1975年7月于耶那

译 者 的 话

凡有人类活动的地方都需要光源照明，包括利用自然光源和人工光源。随着人类活动日趋高级，对光源和照明也日渐苛求。因此，作为评价光和照明的测光技术就更为重要。

随着我国社会主义经济建设的发展，光源和照明技术日趋重要。但长期以来作为基础的测光技术，却没有一本可以指导实际工作的书，这应该说对测光技术的普及和提高有不利之处。为了满足这种现实的需要，我翻译了这本“测光技术基础”。目的是为了比较全面系统地介绍测光的基本技术以及国外在这方面的作法和要求，希望通过这本书的翻译出版能对从事测光专业的中、初级工程技术人员以及有关大专院校和中等专业学校的师生有所帮助；并可以作为从事光源生产及照明设计的人员参考。

本书在翻译和审校过程中曾得到各方面的指导与帮助，在此谨表深切谢意。

译者

目 录

第一章 测光技术的任务和发展	(1)
第一节 光技术的任务和测光技术.....	(1)
第二节 测光技术的发展.....	(2)
第二章 生理学基础	(5)
第一节 人的眼睛.....	(5)
一、眼睛的构造	(5)
二、眼睛的成像系统	(6)
三、视网膜	(7)
四、眼睛的感光接收器	(10)
第二节 测光技术的几个重要生理学规律.....	(11)
一、明度的加法定理	(11)
二、塔尔博特定律	(11)
三、斯泰尔斯—克劳福德效应.....	(12)
四、普尔金耶效应	(13)
五、韦贝尔—费希纳定律	(15)
第三章 辐射物理和光技术的基本量及其单位	(17)
第一节 立体角.....	(17)
第二节 辐射物理的基本量及其单位	(21)
第三节 辐射物理量与光技术量的关系.....	(25)
第四节 光技术的基本量及其单位.....	(26)
第五节 各种效率.....	(29)
第六节 光技术的材料参数.....	(31)

第四章 测光技术中的几个重要规律和关系式	(34)
第一节 朗伯特余弦定律.....	(34)
第二节 光度学平方反比定律.....	(35)
一、平方反比定律在点光源上的运用	(35)
二、平方反比定律在有限长度光源上的运用	(37)
三、光度学的极限距离	(38)
第三节 照度.....	(40)
第四节 完全漫反射面的照度与亮度的关系.....	(42)
第五节 由光源的总光通定向计算光源的光强...	(43)
第六节 阿贝定理.....	(43)
第七节 亮度——衡量表面明度的光技术量.....	(45)
第五章 目视和物理光度学的基本原理	(47)
第一节 目视测量法.....	(47)
一、直接比较法	(47)
二、滤光法.....	(48)
第二节 目视测量的比较原理.....	(50)
一、相等原理.....	(50)
二、反差原理.....	(52)
三、闪烁原理.....	(52)
第三节 目视测量的观察条件.....	(54)
第四节 物理测量法.....	(55)
一、基本原理.....	(55)
二、指针偏移法	(56)
三、相等法	(56)
第五节 使用物理接收器应具备的条件.....	(56)
一、光谱灵敏度	(56)
二、比例关系.....	(58)

三、遵守余弦定理进行评价	(59)
四、读数的恒定性	(61)
五、与温度的关系	(61)
六、与频率的关系及惯性	(62)
第六章 黑体辐射定律	(63)
第一节 基希霍夫定律和发射率	(63)
第二节 黑体	(65)
第三节 普朗克辐射定律	(66)
第四节 斯特凡——波尔茨曼定律	(68)
第五节 维恩位移定律	(69)
第七章 分布温度、色温、相关色温、以及开	
尔文和迈尔德的关系	(70)
第一节 分布温度	(70)
第二节 色温	(71)
第三节 相关色温	(71)
第四节 开尔文和迈尔德的关系	(73)
第八章 测光对电的基本要求	(75)
第一节 供电	(77)
第二节 电气测量	(78)
一、测量仪表的线路图	(78)
二、调整灯泡的预定电气数值	(79)
三、放电灯电特性的测量	(80)
第九章 光基准	(84)
第一节 发展历史介绍	(84)
第二节 黑体辐射器的实现	(85)
第三节 光强标准灯	(88)
第四节 光通标准灯	(90)

第五节 用放电灯作光通标准·····	(91)
第十章 光度学的减光方法 ·····	(93)
第一节 平方反比定律的运用·····	(93)
第二节 旋转扇形盘·····	(93)
第三节 滤光器·····	(96)
第四节 光阑·····	(97)
第五节 偏振·····	(98)
第六节 其它减光装置·····	(100)
第十一章 基本光技术测量 ·····	(102)
第一节 光强测量·····	(102)
一、在光具座上测量 ·····	(102)
二、用携带式目视光度计测量·····	(105)
三、测量光强可能出现的误差·····	(109)
第二节 亮度测量·····	(111)
一、测定亮度的直接目视法·····	(112)
二、用目视法测量亮度的仪器·····	(115)
三、测量亮度的直接物理方法·····	(117)
四、对亮度进行物理测量的仪器 ·····	(119)
五、亮度测量仪器的标定 ·····	(121)
六、间接测定亮度的方法 ·····	(122)
第三节 测定光在空间的分布·····	(124)
一、光分布的测定 ·····	(125)
二、光分布的图示 ·····	(129)
三、光分布的自动测量 ·····	(131)
第四节 光通测量·····	(132)
一、由光的空间分布测定光通 ·····	(132)
二、用积分球测量光通 ·····	(140)

第五节 照度测量.....	(148)
一、概述	(148)
二、照度的物理测量	(148)
三、几种在市场上出售的以及在参考文献中描述过 的照度计	(149)
四、对于测量照度的几种意见	(151)
第六节 分布温度的测量.....	(152)
一、通过色表的比较测定分布温度	(153)
二、通过色表的比较测定分布温度的实例	(153)
三、根据两个波段上的辐射功率之比确定 分布温度	(155)
四、分布温度测量仪器的校准.....	(160)
第七节 光量的测量.....	(161)
一、根据光通一时间特性曲线或照相效应 测定光量	(162)
二、测定光量的光电测量法	(163)
第十二章 特殊的光技术测量	(166)
第一节 光技术材料参数的测量.....	(166)
一、概述	(166)
二、当光线定向入射时用积分球测量	(166)
三、在积分球内测量入射的漫射光	(169)
四、根据泰勒法测量反射率	(170)
五、镜面反射率的测量	(171)
六、非漫射介质透射率的测量.....	(172)
七、亮度因数的测量	(172)
八、漫射指示线、半值角及漫射度的测量	(172)
第二节 光学系统透射性的测量.....	(174)

一、概述	(174)
二、运用积分球测量透射性.....	(175)
三、用测量两次亮度的方法测定物镜的透射率.....	(176)
四、借助准直仪测量镜组的透射率	(177)
第三节 幻灯机的光度测量.....	(178)
一、有效光通的计算	(178)
二、有效光通的测量	(180)
第四节 聚光灯的光度测量.....	(181)
一、光强	(182)
二、光分布.....	(183)
三、漫射	(185)
四、有效光通.....	(187)
五、灯具效率, 有用效率和聚焦效率	(187)
六、测定光强的最小距离	(187)
第十三章 照相光度学	(189)
第十四章 色刺激测量学的基本概念	(191)
第一节 色感刺激, 色觉和色刺激.....	(191)
第二节 颜色特性.....	(193)
第三节 三色测定值.....	(193)
第四节 明度的概念.....	(198)
第五节 颜色的几何图表示.....	(200)
一、用颜色空间图表示	(200)
二、用色度图表示	(201)
第六节 10°标准色刺激系统	(204)
第七节 赫姆霍尔茨颜色测定值.....	(206)
第八节 DIN色图集的测定值	(208)
第九节 颜色测量方法.....	(211)

一、光谱法.....	(211)
二、三波段法.....	(216)
三、相等法.....	(217)
第十五章 测光技术用物理接收器的性能	(219)
第一节 光电管.....	(219)
一、电流—电压特性线	(220)
二、光谱灵敏度	(222)
三、总灵敏度.....	(227)
四、比例关系.....	(227)
五、与余弦的关系	(228)
六、局部稳定性和瞬时稳定性.....	(229)
七、与温度的关系	(230)
八、与频率的关系	(230)
第二节 光电池.....	(232)
一、构造和工作原理	(232)
二、光谱灵敏度.....	(233)
三、总灵敏度.....	(235)
四、比例关系.....	(235)
五、与余弦的关系	(238)
六、局部稳定性和瞬时稳定性.....	(239)
七、与温度的关系	(241)
八、与频率的关系	(243)
第三节 光电倍增管.....	(244)
一、构造和工作原理	(244)
二、光谱灵敏度.....	(245)
三、总灵敏度.....	(245)
四、暗电流.....	(246)

五. 比例关系	(246)
六 与余弦的关系	(247)
七 局部稳定性和瞬时稳定性	(247)
八 与温度的关系	(248)
九 与频率的关系	(248)
第十六章 关于如何布置测光实验室	(249)
第一节 房间和设备	(249)
第二节 光度测量仪器	(252)
第三节 电气设备	(254)
一、电源	(254)
二、电气测量仪表	(255)
第四节 寿命试验	(255)
第十七章 附表	(259)
第十八章 参考文献	(288)
第一节 自1930年以来出版的有关光技术 测光技术和色刺激测量学的书籍	(288)
第二节 本书所引用的参考文献	(296)

第一章 测光技术的 任务和发展

第一节 光技术的任务和测光技术

光技术最重要的任务在于创造最佳条件，使人们能看到所有要看的東西。由此产生的问题是十分复杂的。国际照明委员会（CIE）这个国际光技术组织，力图使人们了解全部问题之所在。它的许多专业委员会开展国际间的合作，对最重要的光技术问题进行处理。这些专业委员会的工作包括以下方面：

光的计量和词汇，光度学和辐射测量，颜色测量，昼视觉、微光视觉和夜视觉，照明计算的基础，视频信号发送原理，光源，紫外和红外辐射源，光技术材料参数，灯具，视觉效率，显色性，物理环境基础，心理眩光，照明和环境，内部照明，昼光照明，舞台及摄影棚照明，体育场照明，外部照明，街道照明，机动车照明，飞机照明和信号，照明的心理学问题，照明和建筑学，照明技术经济咨询，照明技术用计算机，光学辐射的非感知现象。

总的说来，光技术可以划分为三大工作范围：发光技术的任务是创造为不同用途所需用的光源，照明技术范围研究与光源实际运用有关的问题，测光技术则要处理对测量不同光技术量所提出的任务。另外还有色度学，它与光技术关系

密切，却不直接从属于光度学。色度学的任务是要为与光有直接关系的色表找到定量的标记。

测光技术在本质上对发光技术和照明技术都同样重要，本书后面的章节将介绍测光技术的基础。这种技术，由于它的课题及工作手段多种多样，因此引起人们的很大兴趣。

顺便说一下，在大量的测量技术任务中占有重要地位的不仅有典型的光技术课题，甚至还有生理学、光学，以及电工学的问题。

第二节 测光技术的发展

直到十七世纪末才有人能对光辐射作定量评价。当时，雷布 (Reeb)[426, 427] 在两份富有吸引力的论文中阐述了光科学的发展史。为了澄清影响光度评价的那些问题，有两位重要的研究者做了许多工作。1729年，布盖(Bouguer)出版了他的“关于光的渐进的光学实验”一书，又于1760年出版了“关于光的渐进的光学专题论文”一书。同一年，朗伯特 (Lambert) 的著作“光度学，光、色与阴影的测量及程度”也问世了。为奠定精密测光技术的理论与方法论的基础，布盖与朗伯特都做出了重大贡献。尽管曾多次产生某些误解，但这丝毫没有使他们的功绩减色。令人惊讶的是，他们使用的测量工具虽然极为简陋，但所获得的理论却都令人心悦诚服。

在布盖和朗伯特之后的数十年间，光度学的进展不大。只有在采用了煤气白炽灯和电照明之后，测光技术才又重新赢得了它的地位。里本塔尔 (Liebenthal)[428] 以及乌朋宝恩 (Uppenborn) 和莫纳施 (Monasch)[198] 在

1907年到1912年出版的书籍中，出色地总结了他们研制仪器装备的努力，以及对测量方法的基础的探讨。

在这以后，人们主要做了四项对测光技术有基本意义的工作：对与异色光度学有关的问题开展理论研究和实验，确定人眼的相对光谱灵敏度，创造一个国际承认的光度单位以及推行物理测量方法。此外还规定了测色的三色系统，并处理了五花八门的与测色有关的问题。这一系列工作所阐明的问题弥补了多年来没有定论的那些理论和实验研究的不足。本书只能扼要地说明它们的重要性。

随着放电灯用量不断增加，异色光度学日趋重要。大家知道，放电灯有几乎纯粹的线光谱，或在连续光谱上叠加了明显的谱线。因此放电灯光的光谱辐射分布，与在大多数情况下用作标准的白炽灯大不一样。所以，在异色光度测量中遇到的所有那些测量技术难题，都会在放电灯的光度测量中出现。目视测量法固然可以克服这些困难，但是物理光度测量法却可以为此提供最好的前提条件。

1924年由国际照明委员会规定了一条标准观察者的灵敏度曲线。有关人眼亮度灵敏度光谱曲线的这个规定，首先可以保证一致的光度测量结果。其次，它还为不用人眼目视而进行精密光技术测量提供了前提。这种物理光度学已在相当大的程度上代替了目视光度学，并且获得了越来越广泛的应用。它与主观测量法相比有很大好处：减轻观察者的负担，从而在较大程度上避免由眼睛造成的测量误差；改善测量精度及可重复性；提高测量速度等等。尤其物理接收器在测光技术中的运用，更为使用数字及记录式测量方法打下基础。对数字及记录式测量方法感兴趣的，自然首先是制造灯泡和灯具的大厂，因为这种方法有可能明显改善研制和生产的管理水

平。

制定适宜的标准是进行精密测量所必不可少的条件。为了实现这一目标，曾经历过比较长的时间，一直到能够在国际上推荐并采用绝对黑体作为可用的原始标准为止。为改进使用黑体的测量结果的工作目前仍在进行。由于使用黑体比较困难，所以有人正在努力寻求其他途径，来实现光的单位。使用一个标准接收器来规定光度单位的尝试还在进行，不过这条路能否达到所希望的目标，至今还无法估计。

近年来，测光技术取得了一些可喜的进展，这主要是因为研制成功了能与入眼光谱灵敏度吻合的物理接收器。效果最好的是硅光电池。它的优点是瞬时稳定性好（不易老化和疲劳）、在较大照度范围内线性良好、温度依赖性差，这些优点有利于继续采用物理（客观）测量法，以及促进测光技术的自动化。

科尔特 (Korte)*在他的“论光技术中的测量”一文中说：“接收器可能在最近取得了最大的进步。在那仅仅进行目视光度测量的年代里，测光技师要在实验室中戴着遮眼罩到处奔忙。那个时候，眼睛确实统治着光度学。今天有了接收器，它的灵敏度与人眼不相上下，而分辨灵敏度甚至大大超过了眼睛，它的指示稳定度非常高。它的 $V(\lambda)$ 匹配效果特别好，以至于它同 $V(\lambda)$ 的偏差肯定小于人与人之间的个体差异。”

* 科尔特的“论光技术中的测量”，见《光技术》1973年第59—61页。