

CRC Press
Taylor & Francis Group

“LED照明领域最全面的入门书”

—— 周郁 美国工程院院士

电子科学与工程系列图书

精通LED照明

Understanding LED Illumination

[美] M.妮萨·卡恩 (M.Nisa Khan) 著

郑晓东 金如翔 吕玮阁 等译

不同于一般的LED照明图书，本书从一个独特的视角讨论了大部分图书中没有涉及的问题，如颜色混合、色彩渲染和3D照明等，并给出了一些建议性的解决方案。通过阅读本书，可以帮助LED科学家和工程师有效地设计高质量的照明产品



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电子科学与工程系列图书

精通 LED 照明

Understanding LED Illumination

[美] M. 妮萨·卡恩 (M. Nisa Khan) 著
郑晓东 金如翔 吕玮阁 等译



机械工业出版社

Understanding LED Illumination/by M. Nisa Khan/ISBN: 978 - 1 - 4665 - 0772 - 2.

Copyright © 2014 by Taylor & Francis Group, LLC.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01 - 2014 - 4858 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

精通 LED 照明/(美) M. 妮萨·卡恩 (M. Nisa Khan) 著; 郑晓东等译. —北京: 机械工业出版社, 2017. 10

(电子科学与工程系列图书)

书名原文: Understanding LED Illumination

ISBN 978-7-111-58067-6

I. ①精… II. ①M…②郑… III. ①发光二极管 - 照明设计
IV. ①TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 232943 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 刘星宁 责任编辑: 刘星宁

责任校对: 张薇 封面设计: 马精明

责任印制: 常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2017 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 13 印张 · 251 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 58067 - 6

定价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010 - 88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010 - 68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010 - 88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

关于本书

本书介绍了与发光二极管（LED）相关的照明科学。本书给出了照明、能源效率和降低电力消耗等领域一些引人注目的概念、理论、模拟以及新的设计技术；讲解了LED灯具设计的基本知识，重点介绍了为大空间和3D物体照明开发高竞争力LED灯具的原理。

本书的第一部分讨论了灯的输出指标和表征方法，第二部分给出了某些在售灯具和设计原理样灯在理论、模拟和实验等方面的对比。本书详细介绍了通用照明应用LED光源的光传播和分布特性，并给出现实应用LED灯具所需的设计和仿真要求，还阐述了光的产生、效率、理论限制、效率限制因素和LED灯的设计要素。

- 重点在于LED灯照明的质量和改进；

- 介绍了二极管的基础以及化合物半导体的热、电、光和机械等方面的复杂光电特性；

- 用科学和数学的语言说明了LED照明所面临的挑战；

- 包含来自欧司朗光电半导体、喜万年、飞利浦、通用电气等公司的案例研究。

本书详细介绍了几种家庭和商业照明用的LED替换灯，给出一些了改进直管LED替换灯的新型设计概念。本书为照明设计师摘去了固态照明的神秘面纱，并能帮助LED科学家和工程师更有效地设计产品以实现高质量照明。

图 6-34

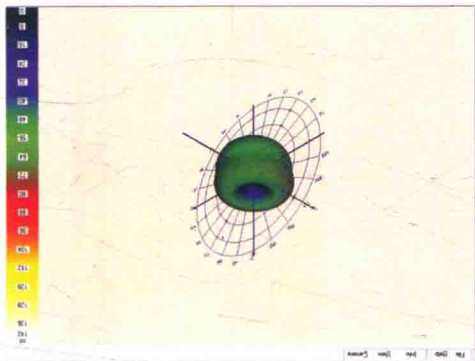


图 4-23

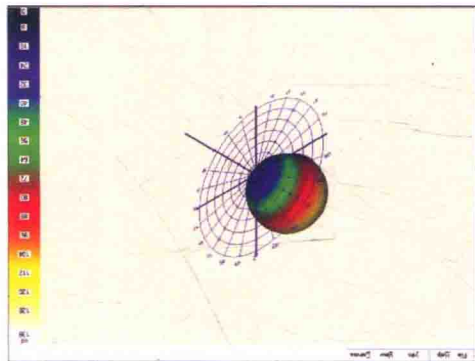


图 4-10

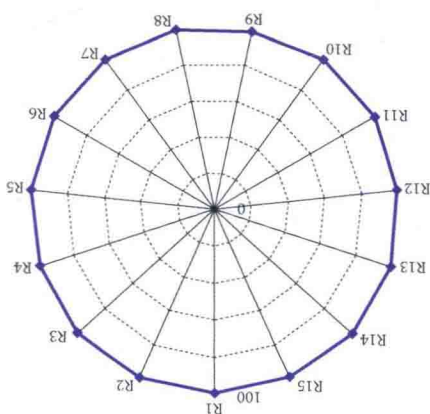
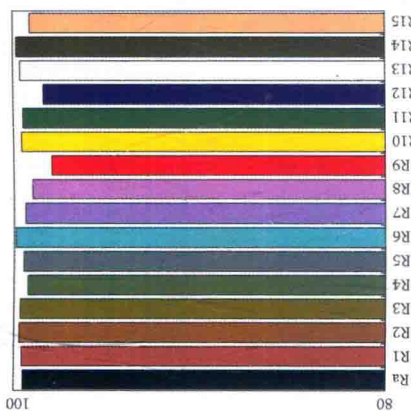


图 1-2

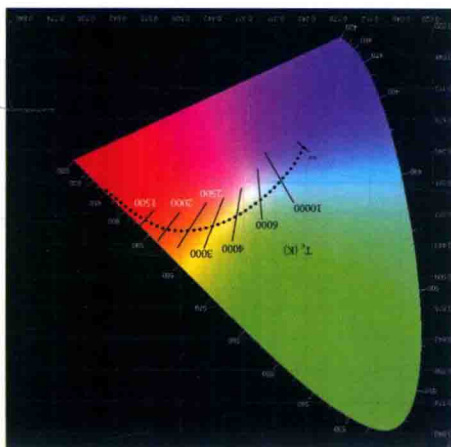
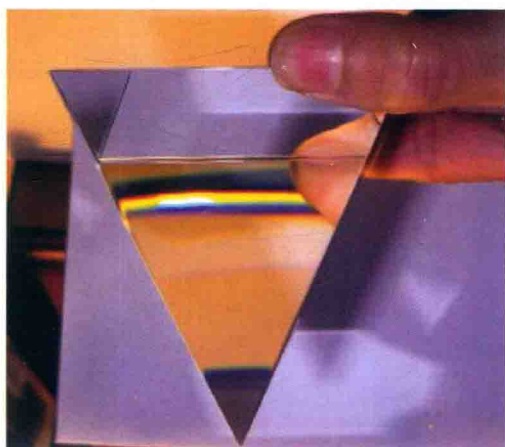


图 1-1



提到 LED 照明，人们谈论最多的是其突出的电光转换效率，较少提及它所能实现的照明质量或品质。而作为和观察者心理感受密切相关的照明质量，绝不是仅仅用高光效一个参数所能涵盖的。作为资深的半导体专家，同时又是照明设计顾问，作者从照明的历史开始，全面介绍了 LED 照明所需要的基础知识，详细描述了 LED 器件、模组、灯具的基本构成，发光器件及灯具照明特性的表征及测量方法，现有 LED 灯具设计中存在的技术问题以及如何改进才能够实现更高品质的照明。

本书可供从事 LED 灯具设计、照明设计与应用、灯具测试管理以及相关研究方向的高年级本科生、研究生及专业人士阅读，无论是刚入行的新手还是照明领域的资深专家都可从中获益。

译者序

关于LED照明，市面上相关的图书已经有不少，但这本书仍旧从一个独特的视角填补了大部分本专业图书所留出的空白。正如罗格斯大学教授Feldman博士评论的：“在一个不断增长的领域，这本书弥补了一些独特的需求。作者讨论了颜色混合、色彩渲染和三维(3D)照明等标准教科书中所没有的重要问题。”通常，我们仅仅将LED作为一种发光效率很高的新型光源，却忽略了这种光源与传统光源之间的本质区别，即其完全不同于其他所有光源的平面发光特性。

长期以来，照明领域形成了自己独有的话语体系，随着半导体照明的兴起，大量行业外人士参与到照明行业中来，他们中的许多有识之士已经意识到传统照明评价体系中存在的一些问题，但苦于无法上升到理论的高度将问题阐述清楚。本书作者M. Nisa Khan不仅是一位资深的半导体光电器件专家，还自己创办了一家LED照明领域的研究和工程公司，同时又是《时代标志》杂志中“LED最新进展”栏目的专栏作家。正是由于她同时精通LED的器件制造，又了解实际的应用需求，本书讨论了其他半导体照明图书中没有涉及的问题，并给出了一些建议性的解决方案。当然，由于半导体照明技术发展如此之快，书中用以说明问题的一些数据可能已经过时了，但其所揭示的一些问题仍旧远未全部解决。作者特别强调要根据具体的应用需要进行照明设计，重视三维照明，这些都为照明工程理论本身的发展和完善提出了新的方向。

本书的翻译工作主要由郑晓东、金如翔、吕玮阁完成。金如翔负责文前部分及第1、2章，吕玮阁负责第4、5章，郑晓东负责第3、6、7章以及全书的审核定稿工作。在翻译过程中吕东晟、吴婉洁、李华兵、茹毅、李艳宾、龚启航等几位同学协助完成了不少术语的核查、校对工作及部分内容的翻译，谨在此表示衷心感谢！

本书涉猎内容较广，由于时间仓促，译者水平有限，书中一定会有疏漏和错误未在定稿时发现，敬请广大读者批评指正。

译者

原书前言

近年来，由于发光二极管（LED）灯得到了快速而显著的改进，照明领域变得非常活跃。这些快速发展归功于许多为之献身的科学家、工程师和学者。这些人意识到了全球照明消费能够带来的巨大节能潜力。LED灯也引起了许多照明设计师和娱乐产业的注意，因为其既能够发出白光，也能发出可见光谱中的各种单色光。它们的发光特性可由电子器件控制，以产生各种不同的照明效果以及全色视频图像。固态电子器件已因其灵活性、效率和可大规模生产能力改变了世界。固态照明也可以改变照明行业吗？要让LED照明成为主流需要哪些条件？

不是简单地与电子器件类比，对前景作深度研究才能更好地回答这些问题。要制造好节能的固态照明产品并美化我们的环境，必须对不同照明应用中LED灯和照明设备在设计、技术参数和量化数据方面有深入的理解。作者的意图就是提供这样一个全面的理解，而不忽略照明用于提升情感的美学本质。本书的意图是帮助照明设计师消除对固态照明的神秘感，同时帮助LED科学家和工程师有效地设计他们的产品以提供高质量的照明。

大多数LED科学家和工程师日常都忙于严格的半导体物理、材料和光电器件工程工作。可以理解，对于多数这样的专家来说，很少有人能集中精力研究照明的所有方面。然而，一个追求最终照明灯具效果的LED工程师还是需要从照明的角度来全面考虑所有问题。因此，理解并欣赏照明的基本原理和照明标准，对于一个LED灯和照明灯具的开发者来说非常重要。在照明工业中，尽管照明科学家和设计师对照明的理解和鉴赏高于传统的LED工程师和科学家，但他们对LED科学和技术的复杂性并不熟悉。因此，一般说来他们无法对通用照明LED灯的开发做出贡献。为了帮助这两个群体，很多定义和描述被限于相当基础性的水平，以便为读者提供一个比较容易而又广泛的对光和LED照明科学的理解。作者的意图是对LED照明技术的优势、劣势和瓶颈做出一个全面的描述。

固态照明工业在过去几年中取得了很大的进步，主要集中在改进灯的效率 and 颜色质量，使之在多个应用领域能够匹配甚至超越荧光灯技术。仍需创新改进的领域是扩展照明尺度和改进光分布特性。本书通过聚焦于通用照明应用中LED光源的光传输和分布特性来探讨这些需求。本书采用了照明行业所接受的所有通用术语来描述设计师所创造且为用户所欣赏的理想居住空间照明效果。本书描述了从LED灯产生大面积散射光的现有方法和作者自己的方法。要想在通用照明应用中成为实用的替换灯具，LED照明装置必须利用折射光学或集成光学之类的辅助光学方法

来分配和扩展光的分布，以达到人们所需要的、和现有灯具相当的大空间照明效果。

本书的前3章讨论照明基础和技术，随后讨论LED科学和技术——首先在器件层面，然后在模组和照明灯具层面。第4章用标准的光度学和色度学语言，给出灯具综合、全面的测量和表征。第5章讨论LED灯具设计和面对现有挑战，在不同应用中的适用性。第6章讨论照明理论和仿真技术，用以辨别LED和其他灯具在照明特性方面的不同；这些结果随后被用于一个全向LED灯的新型设计。在最后一章，对几个家庭和商业照明用LED替换灯的特性进行了表述，并讨论了一个改进直管型LED替换灯的新型设计方案。作为一个普遍的主题，本书试图纠正一些对LED光源常见的误解——这对LED行业非常必要。

作者期望本书特别有益于LED和照明行业的专家和教师，尤其考虑了来自各行各业、致力于LED照明产品开发的科研人员、工程师和技术人员。它写给需要通晓照明原理并将这些知识应用于LED灯设计的工程专业教职人员、工程专业研究生和高年级本科生以及工程师和科研人员。

非光学和照明专业出身，但对学习照明、能量效率和减少电能消耗有真正兴趣的科研人员和技术人员可能也会发现本书的益处。作者还期待本书对拥有一定技术背景并对照明感兴趣的广大读者有所启发。

鸣 谢

我对以各种方式为本书做出贡献的各位表示衷心感激。感谢帮助我成长并成为科学家和工程师的人和组织。这包括我的母校——麦卡利斯特学院和明尼苏达大学——在那里，我学到了数学、科学和工程方面的宝贵核心知识。向霍尼韦尔公司致以深刻的敬意，在那里我学到了许多先进的固态技术。在那里，尽管我还很年轻，但哪怕是资深技术人员也从未让我感到人微言轻。我向 Marshall I. Nathan 教授表示深切的敬意，他是我在明尼苏达大学的导师，并与我分享了他于 1962 年半导体激光器竞赛中的奇特经历，在此过程中，Nick Holonyak 博士发明了第一个可见光半导体激光器和 LED。感谢很多在贝尔实验室的前同事，特别是 Charles A. Burrus 博士，他手工为包括我在内的许多科学家制作了数以百万计的半导体激光器和 LED 样品用于研究。

我要向 LIGHTFAIR International (LFI) 年度会议致谢。我在由照明工程协会 (IES) 和国际照明设计师协会 (IALD) 所支持的 LFI 学院提供的照明课程中学到很多有关照明的知识。在照明领域，特别感谢 YESCO (Young Electric Sign Company, 年青电子标牌公司) 总裁 John Williams 所给予我的支持和鼓励。在我们合作期间，他解决照明问题的严谨方式，将我的兴趣深深吸引到了 LED 灯照明领域。最后，真诚地感谢 Taylor & Francis 公司的 Luna Han 为我在写作本书时提供的有效指导和鼓励。

作者简介



M. Nisa Khan 在明尼苏达州圣保罗的麦卡利斯特 (Macalester) 学院获得物理和数学学士学位, 并在位于明尼苏达州明尼阿波利斯市的明尼苏达大学获得电气工程硕士和博士学位。在求学期间, 她作为研究助理在位于明尼苏达州布鲁明顿市的霍尼韦尔固态研究中心工作了 9 年。获得博士学位后, 她成为新泽西州含德市的 AT&T 贝尔实验室 (现为阿尔卡特 - 朗讯) 的技术职员, 并在克劳佛德山的光子研究实验室度过了 6 年中的大部分时光, 致力于 40Gbit/s 光电子和集成光子器件的开创性工作。随后, Khan 博士在其他几家公司开展光通信子系统方面的工作, 包括在新泽西州由风险投资资助她本人所创建的公司。2006 年, 她创办了一家 LED 照明领域的研究和工程公司, 其后一直投身于使固态照明更加适用于通用照明的创新和技术开发工作。作为一位独立顾问, Khan 博士从事娱乐和广告牌行业中所使用的 LED 照明的可行性研究, 并提供通用照明应用的平台设计和开发解决方案。自 2007 年以来, 她一直为《时代标志》 (Signs of the Times) 杂志撰写“LED 最新进展”专栏, 该杂志自 1906 年来一直服务于电子广告牌行业。

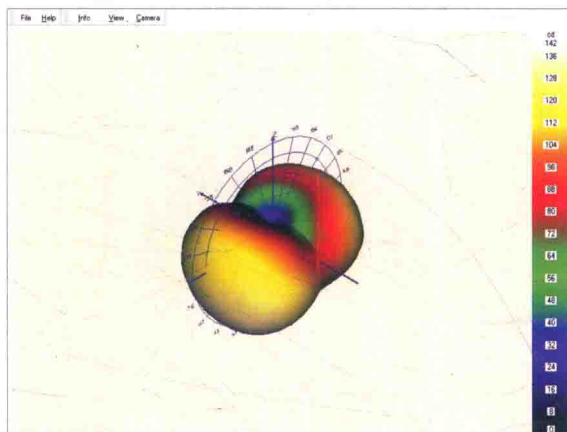


图 6-35

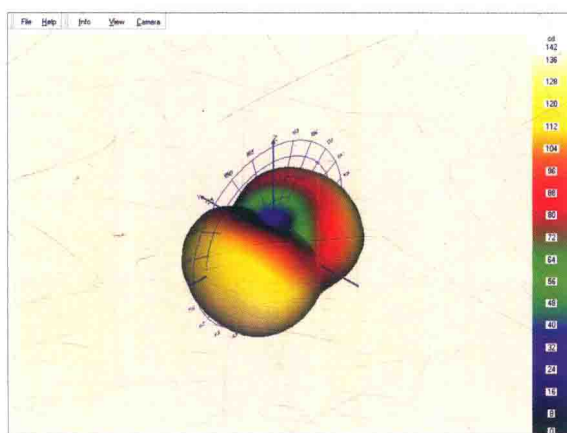


图 6-36

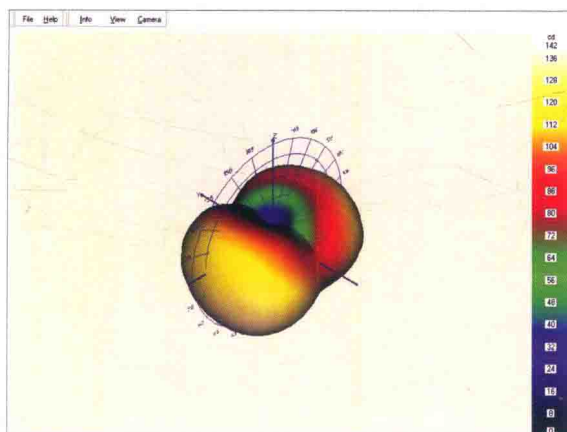


图 7-16

关于作者



M. Nisa Khan, 于明尼苏达大学获得电气工程硕士和博士学位。在求学期间, 作为研究助理在霍尼韦尔固态研究中心工作了9年。获得博士学位后, 在AT&T贝尔实验室(现为阿尔卡特-朗讯)工作了6年。随后, Khan博士在其他几家公司从事光通信子系统方面的工作。2006年, 她创办了一家LED照明领域的研究和工程公司, 其后一直投身于使固态照明更加适用于通用照明的创新和技术开发工作。

为中华崛起传播智慧

地址: 北京市百万庄大街22号
邮政编码: 100037

电话服务

服务咨询热线: 010-88361066
读者购书热线: 010-68326294
010-88379203

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com
机工官博: weibo.com/cmp1952
金书网: www.golden-book.com
教育服务网: www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

策划编辑◎刘星宁 / 封面设计◎马精明

目 录

译者序
原书前言
鸣谢
作者简介

第1章 导论 1

1.1 概述	1
1.2 照明知识基础	2
1.2.1 光学研究简史	2
1.2.2 照明基础概论	2
1.2.3 照明的定量参数	3
1.2.3.1 色度指标	3
1.2.3.2 亮度、照度和空间 光分布	6
1.2.3.3 工程师和制造商常用照明 指标集	7
1.3 照明技术	8
1.3.1 概述	8
1.3.2 荧光灯	8
1.3.2.1 紧凑型荧光灯	8
1.3.2.2 毒性	9
1.3.2.3 高强度放电灯	9
1.3.3 白炽灯	10
1.3.3.1 卤素灯	11
1.3.3.2 其他照明技术	11
1.3.4 LED 灯	12
1.4 理解照明	12
1.4.1 深入理解照明参数	14
1.4.2 对于 LED 照明特别重要的 参数	15
1.4.3 测量单位	15
1.5 理解能量效率	16
1.5.1 “绿色”能量解决方案	16

1.5.2 发光功效与发光效率	17
1.5.3 确定最大功效	18
1.5.4 光源的效率	18
1.5.5 LED 灯具的功效	19
1.6 LED 工业：现状和前景	19
1.6.1 全球增长	19
1.6.2 高亮度 LED	20
1.6.3 LED 的应用	20
1.6.4 LED 行业的挑战和局限	21

第2章 LED 照明器件 24

2.1 概述	24
2.2 半导体光电子学基础	25
2.2.1 半导体中的光发射	25
2.2.2 LED——半导体二极管	26
2.2.3 LED 器件结构	28
2.2.4 白光 LED 的构造和挑战	29
2.2.5 蓝光 LED 的特殊挑战	30
2.2.6 基于氮化物的 LED 基底	32
2.3 化合物半导体材料和制造工艺的 挑战	32
2.3.1 成品率或分选效应对 成本的影响	33
2.3.2 自动化生产	34
2.3.3 标准化的实现	34
2.3.4 芯片生产和库存管理	35
2.3.5 化合物半导体的技术进步	36
2.3.5.1 LED 材料科学	36
2.3.6 大规模生产的工艺控制	37

2.4 确定和改进 LED 照明功效	37	光抽取	65
2.4.1 LED 效率和功效的定量化	37	3.4.2.2 光分布整形	65
2.4.2 荧光粉效率的确定	41	3.4.2.3 颜色参数	65
2.4.3 估算白光 LED 功效的极限	41	3.4.3 电气设计要求	66
2.4.3.1 理论功效极限	41	3.4.3.1 正、负电极的制备	66
2.4.3.2 实际功效极限	42	3.4.3.2 LED 位置分布的设计	66
第 3 章 LED 模组制造	44	3.4.3.3 电气控制功能	66
3.1 概述	44	3.4.4 机械设计要求	67
3.2 LED 照明部件和子系统	44	第 4 章 灯的测量和表征	68
3.2.1 基于功率的 LED 模组配置	45	4.1 概述	68
3.2.2 LED 子系统的配置	46	4.2 通用照明参数的测量和表征	68
3.2.2.1 印刷电路板子系统	47	4.2.1 主要照明指标和测量	68
3.2.2.2 板上芯片封装子系统	48	4.2.2 辅助照明参数	69
3.2.2.3 驱动电源	49	4.2.3 辐射度量和光度量的转换	
3.3 热管理和寿命研究	52	方法	70
3.3.1 热传输机制	52	4.2.3.1 单色辐射	71
3.3.2 LED 的结温	53	4.2.3.2 多色辐射	72
3.3.3 热分析和建模	54	4.2.4 常用光度测量	72
3.3.3.1 热阻	54	4.2.4.1 光通量 Φ	72
3.3.4 热仿真	55	4.2.4.2 亮度 L	73
3.3.4.1 仿真技术	55	4.2.4.3 照度 E_v	74
3.3.4.2 与热测量的结合	56	4.2.4.4 光出射度 M	74
3.3.5 关于寿命和光衰的研究	58	4.2.4.5 光通量分布	75
3.3.5.1 定义 LED 灯的寿命	58	4.2.4.6 发光能效和发光效率	78
3.3.5.2 寿命周期内的光通量维持		4.2.5 常用色度测量	78
特性	59	4.2.5.1 CIE 标准照明体	79
3.4 为制作平台优化模组设计	60	4.2.5.2 CIE 标准颜色空间	79
3.4.1 如何进行热设计	60	4.2.5.3 CIE 标准色度图	79
3.4.1.1 模组散热片	61	4.3 标准光度学与色度学在 LED 灯中的	
3.4.1.2 板散热技术	61	应用	81
3.4.1.3 挤压成形散热器	61	4.3.1 灯的测量和比较	82
3.4.1.4 粘合材料	63	4.3.1.1 氛围灯的测量	82
3.4.1.5 利用对流	63	4.3.1.2 工作灯的测量	87
3.4.1.6 优化 LED 数量和驱动		4.3.2 LED 照明评价的建议和	
电流	63	指南	96
3.4.1.7 主动式制冷	64	4.3.2.1 零售灯规格指引	96
3.4.2 关于光学设计的思考	65	4.4 LED 专有半导体照明特性的测量和	
3.4.2.1 LED 发光器件的		表征	97

4.4.1	LED 的光电测量和表征	97	6.2	LED 光输出的模拟	124
4.4.2	不同热条件下的照明参数 表征	97	6.2.1	封装后 LED 的照明模拟 基础	125
4.4.3	光度测量的标准化活动	99	6.2.2	LED 发光强度在极坐标系中 分布的模拟	126
第 5 章 LED 灯的设计思考 101			6.2.3	模拟实际测量的探测器 输出	127
5.1	概述	101	6.2.4	照明设计师用的照度 分布仿真	129
5.2	照明应用以及对灯的要求	101	6.3	将光分布扩展到大空间	130
5.2.1	住宅和商业应用中的环境 照明	102	6.3.1	单和双 LED 仿真	131
5.2.2	住宅和商业应用中的 射灯	105	6.3.2	不同距离处双 LED 系统的 仿真	132
5.2.3	工业环境的大型空间 照明	106	6.3.3	使用不同探测器尺寸的 亮度分析	133
5.2.4	提供可视度的户外照明	108	6.3.4	仿真输出结果的选择: 亮度或 非相干照度	136
5.2.5	受限表面的超高亮度 照明	109	6.3.5	LED 照明特性总结	136
5.3	适合照明应用的设计	111	6.4	产生均匀、多向或各向同性 LED 照明分布	139
5.3.1	照明质量因子	112	6.4.1	电磁理论在 LED 和标准灯中的 应用	139
5.3.1.1	颜色	112	6.4.2	LED 和曲面灯的照明 比较	140
5.3.1.2	明亮度	112	6.4.3	产生多向和扩散 LED 光分布的 方法	142
5.3.1.3	分布	113	6.4.3.1	用光管和复合曲面光学 元件匀光及扩展 LED 光输出	143
5.3.2	一般照明用 LED 灯的设计 思考	113	6.4.3.2	用楔形波导匀光及获得 各向同性 LED 灯	149
5.3.2.1	环境照明设计要素	114	6.5	预期 LED 光分布特性的实验 验证	153
5.3.2.2	射灯照明设计要素	115	6.5.1	筒灯数据的测量和 比较	153
5.3.2.3	大空间照明设计 要素	116	6.5.2	环境灯数据的测量 和比较	155
5.3.2.4	户外照明设计要素	117	6.5.3	灯具三维分布光度数据的 测量和比较	157
5.3.2.5	超亮聚光照明设计 要素	118			
5.4	LED 灯设计参数和取舍	119			
5.4.1	LED 灯特有的取舍	119			
5.4.2	从瞬态数据研究 LED 取舍	120			
5.4.3	LED 技术改进路线图	122			
第 6 章 LED 照明设计和仿真 124					
6.1	概述	124			

第7章 LED 取代白炽灯和直管 荧光灯 160

- 7.1 概述 160
- 7.2 家用灯具的比较及替换因素 160
 - 7.2.1 为什么爱迪生发明的白炽灯
仍被广泛使用 160
 - 7.2.2 LED 取代白炽灯的机遇 161
 - 7.2.3 LED、CFL 和白炽灯的节能性
对比 162
- 7.3 为什么荧光灯在商业照明中
应用广泛 163
 - 7.3.1 直管荧光灯的特性和
优点 164
 - 7.3.1.1 直管荧光灯的能效 164
- 7.4 替换用直管 LED 灯的开发 166
 - 7.4.1 美国能源部对直管灯具的
CALiPER 测试 166
 - 7.4.2 一种取代直管荧光灯的新型

- LED 灯具设计 168
 - 7.4.2.1 新型 LED 替换灯的特性和
优点 168
 - 7.4.2.2 克服新型 LED 灯具制造
中的挑战 171
- 7.5 各种管形灯具测试数据的
对比 171
 - 7.5.1 直管 LED 替换灯具和直管荧光灯
具被测样品的描述 171
 - 7.5.1.1 用 LED 灯替换现有荧光
灯具的灯管 172
 - 7.5.2 T8 灯的照度数据对比 174
 - 7.5.3 T8 灯的亮度数据对比 176
 - 7.5.4 T8 灯の色度数据对比 177
 - 7.5.5 T8 灯的分布光度
数据对比 179
- 7.6 总结 184

参考文献 185