

“十三五”国家重点图书出版物出版规划项目

绿色建筑模拟技术应用

Application of Simulation Technologies in Green Buildings

建筑采光

Daylighting Design of Buildings

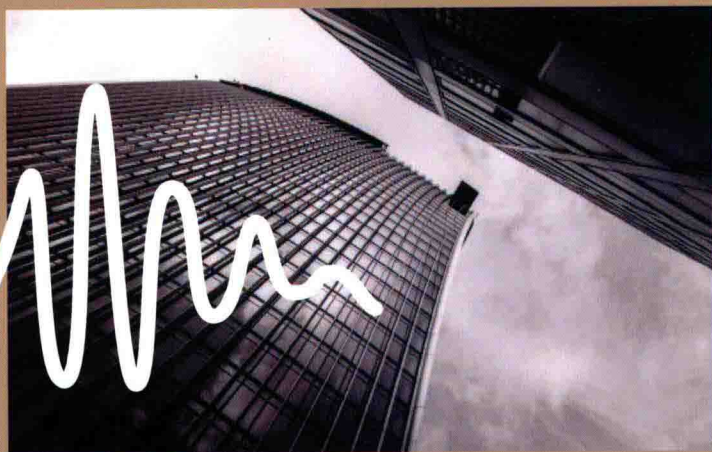
何荣 袁磊 著

王立雄 审



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位



“十五”国家重点图书出版物出版规划项目

绿色建筑模拟技术应用

Application of Simulation Technologies in Green Buildings

建筑采光

Daylighting Design of Buildings

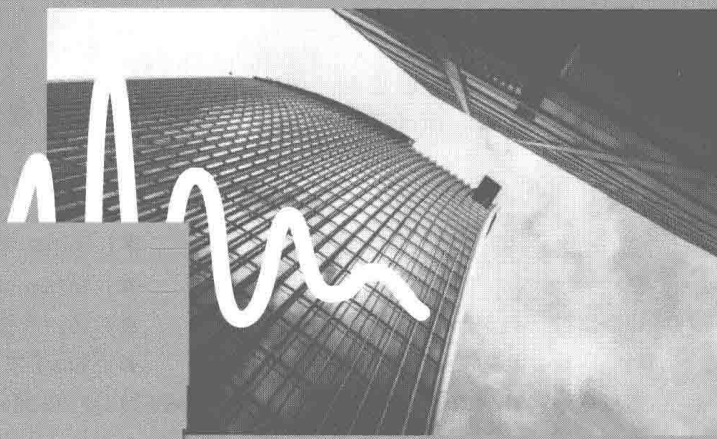
何荣 袁磊 著

王立雄 审



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位



图书在版编目 (CIP) 数据

建筑采光/何荣, 袁磊著. —北京: 知识产权出

版社, 2019. 3

(绿色建筑模拟技术应用)

ISBN 978-7-5130-5841-4

I. ①建… II. ①何… ②袁… III. ①建筑照明—采
光 IV. ①TU113. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 213372 号

责任编辑: 张 冰

封面设计: 张 悦

责任校对: 谷 洋

责任印制: 刘译文

绿色建筑模拟技术应用

建筑采光

何荣 袁磊 著

王立雄 审

出版发行: 知识产权出版社 有限责任公司

社 址: 北京市海淀区气象路 50 号院

责编电话: 010-82000860 转 8024

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

印 刷: 三河市国英印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

版 次: 2019 年 3 月第 1 版

字 数: 300 千字

ISBN 978-7-5130-5841-4

网 址: <http://www.ipph.cn>

邮 编: 100081

责编邮箱: zhangbing@cnipr.com

发行传真: 010-82000893/82005070/82000270

经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店

印 张: 17.75

印 次: 2019 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

《绿色建筑模拟技术应用》丛书

编写委员会

主任委员 朱颖心 徐 伟

副主任委员 (按姓氏拼音字母排序)

陈 成	陈超熙	戈 亮	胡晓光
刘 琦	谭 华	张 冰	

顾 问 (按姓氏拼音字母排序)

程大章	董 靓	江 亿	康 健
李 农	林波荣	林若慈	刘加平
罗 涛	王立雄	王万江	王有为
吴硕贤	许 鹏	闫国军	杨 柳
张国强	张 宏	张金乾	

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

晁 军	陈 宏	管毓刚	何 荣
刘 琦	罗智星	孟 琪	孟庆林
田 真	王德华	王海宁	袁 磊
张 杰	赵立华	赵越喆	

总 序

绿色建筑作为世界的热点问题和我国的战略发展产业，越来越受到社会的关注。我国政府出台了一系列支持绿色建筑发展的政策，我国绿色建筑产业也开始驶入快车道。但是绿色建筑是一个庞大的系统工程，涉及大量需要经过复杂分析计算才能得出的指标，尤其涉及建筑物理的风环境、光环境、热环境和声环境的分析和计算。根据国家的相关要求，到2020年，我国新建项目绿色建筑达标率应达到50%以上，截至2016年，绿色建筑全国获星设计项目达2000个，运营获星项目约200个，不到总量的10%，因此模拟技术应用在绿色建筑的设计和评价方面是不可或缺的技术手段。

随着BIM技术在绿色建筑设计中的应用逐步深入，基于模型共享技术，实现一模多算，高效快捷地完成绿色建筑指标分析计算已成为可能。然而，掌握绿色建筑模拟技术的适用人才缺乏。人才培养是学校教育的首要任务，现代社会既需要研究型人才，也需要大量在生产领域解决实际问题的应用型人才。目前，国内各大高校几乎没有完全对口的绿色建筑专业，所以专业人才的输送成为高校亟待解决的问题之一。此外，作为知识传承、能力培养和课程建设载体的教材和教学参考用书在绿色建筑相关专业的教学活动中起着至关重要的作用，但目前出版的相关图书大多偏重于按照研究型人才培养的模式进行编写，绿色建筑“应用型”教材和相关教学参考用书的建设和发展远远滞后于应用型人才培养的步伐。为了更好地适应当前绿色建筑人才培养跨越式发展的需要，探索和建立适合我国绿色建筑应用型人才培养体系，知识产权出版社联合中国城市科学研究会绿色建筑与节能专业委员会、中国建设教育协会、中国勘察设计协会等，组织全国近20所院校的教师编写出版了本套丛书，以适应绿色建筑模拟技术应用型人才培养的需要。其培养目标是帮助学生既掌握绿色建筑相关学科的基本知识和基本技能，同时也擅长应用非技术知识，具有较强的技术思维能力，能够解决生产实际中的具体技术问题。

本套丛书旨在充分反映“应用”的特色，吸收国内外优秀研究成果的成功经验，并遵循以下编写原则：

- 充分利用工程语言，突出基本概念、思路和方法的阐述，形象、直观地表达教学内容，力求论述简洁、基础扎实。
- 力争密切跟踪行业发展动态，充分体现新技术、新方法，详细说明模拟技术的应用方法，操作简单、清晰直观。
- 深入剖析工程应用实例，图文并茂，启发学生创新。

本套丛书虽然经过编审者和编辑出版人员的尽心努力，但由于是对绿色建筑模拟技术应用型参考读物的首次尝试，故仍会存在不少缺点和不足之处。我们真诚欢迎选用本套丛书的师生多提宝贵意见和建议，以便我们不断修改和完善，共同为我国绿色建筑教育事业的发展做出贡献。

本书编委会
2018年1月

前言

太阳是万物之源，给地球提供了光和热，滋养了万物生长。由太阳产生的天然光是地球的宝贵财富，取之不尽，用之不竭，人类长期在天然光中进化发展而来，人眼更加适应天然光。动物的视觉、植物的趋旋光性以及动植物随昼夜循环、随季节变化而栖息等，都受到天然光的影响。

为了获取天然光，人们在房屋的外围护结构上开了各种形式的洞口，装上各种透光材料，这些装有透光材料的孔洞称为窗洞口或采光口，传统采光口有侧窗和天窗两种形式。由于建筑外部光环境复杂，且时刻发生变化，因此为了控制室外光线并改善室内光分布，将简易的玻璃窗与其他一些元素结合在一起，增强了光线的输送或控制，就形成了采光系统。采光系统的应用能在传统采光窗的基础上进一步扩展建筑采光性能，目前已经发展了具有不同功能的天然采光系统，并在建筑中广泛应用。

为了评价建筑天然采光，人们普遍采用采光系数（The Daylight Factor）作为采光设计的客观评价指标。我国目前的采光设计规范《建筑采光设计标准》（GB 50033—2013）就是采用采光系数标准值作为建筑天然光应用的评价标准，并将部分功能用房采光系数标准值作为强制标准，该标准的实施极大地推动了建筑中天然光的应用。

但由于采光系数是在全阴天条件下的采光评价，未考虑日光、朝向及地域气候等多方面因素的影响，因此很难反映地域气候对建筑天然采光的影响。近年来，建筑中天然采光的理论基础和实际应用基础正经历着根本性的重新评价：

（1）基于气候的采光模型的提出是采光评价体系的重大进展，该评价体系解决了现有采光标准下的建筑采光问题。

（2）一系列新的表皮和玻璃技术的出现为建筑天然采光的改善提供了新的手段，并对采光评价体系提供了重要的补充。

(3) 基于相机测量技术的成熟,使得研究工作者能以前所未有的宽度及广度来描述天然光环境。

(4) 日光暴露与生产效率、健康和生物节律等光生物研究成果的发现,使人们重新关注建筑物天然采光的非视觉效应。这些理论和技术进步有可能从根本上改善我们对建筑物天然采光的看法,并为健康和低能耗建筑的建造与发展提供理论基础与技术支持。

在此背景下,本书编写不仅考虑天然采光的基本理论、天然采光设计原理及天然采光应用与计算,而且还关注建筑天然采光应用的新进展。使得读者通过本书的学习,不仅能熟练掌握天然采光的基本原理,还能了解天然采光技术及评价体系的发展趋势;进而能正确地应用控制建筑物光环境的技术措施及方法,创造出适宜的光环境,提高视觉功效,降低建筑能耗,实现节能和可持续发展。

本书共6章,第1章介绍了天然采光基本原理,第2章介绍了日光在大气中的传输与中国光气候状况,第3章介绍了采光设计基本原理及方法,第4章介绍了建筑中的天然采光系统,第5章介绍了模拟技术在建筑采光设计中的应用,第6章介绍了建筑采光设计实例。

本书第1章、第2章、第3章3.1~3.2节和3.4~3.5节以及第4章由何荣编写,第3章3.3节由何荣、袁磊编写,第5章和第6章由袁磊编写。本书编写过程中得到重庆大学、深圳大学和北京绿建软件有限公司以及中国建筑科学研究院郝志华的大力支持,许雪松建筑师提供了案例资料,黄珂博士以及硕士研究生张昕烁、邱卓涛、吴杰、米若祎、伍长生、陈怡锦、何成、李冰瑶、马健、吴域民完成了资料收集、插图绘制、资料翻译等工作,在此表示感谢。本书中的部分研究成果获得了重庆高校创新团队建设计划的支持(健康照明创新团队,编号CXTDX201601005),在此一并致谢。

限于编者水平,书中错误和疏漏在所难免,恳切希望使用本书的读者批评指正。

作者

2018年6月

目 录

1 天然采光基本原理	1
1.1 眼睛与视觉	2
1.1.1 人眼的构造	2
1.1.2 人眼的视觉特点	4
1.2 基本光度单位及应用	7
1.2.1 光通量	7
1.2.2 发光强度	9
1.2.3 照度	10
1.2.4 发光强度与照度的关系	11
1.2.5 亮度	13
1.2.6 照度与亮度的关系	16
1.3 材料的光学性质	18
1.3.1 规则反射和透射	21
1.3.2 扩散反射和透射	22
1.4 可见度及其影响因素	24
1.4.1 亮度	25
1.4.2 视角	25
1.4.3 亮度对比	26
1.4.4 识别时间	27
1.4.5 避免眩光	29
1.5 颜色	31
1.5.1 颜色的基本特性	31
1.5.2 颜色定量	36

2 日光与光气候	39
2.1 太阳辐射	39
2.2 日光在大气中的传输	39
2.2.1 散射	40
2.2.2 吸收	42
2.2.3 消光	42
2.2.4 色温	42
2.3 大气成分	43
2.3.1 大气的化学成分	43
2.3.2 大气中的粒子	44
2.4 光气候	45
2.4.1 光气候的组成	45
2.4.2 光气候的影响因素	46
2.4.3 中国的光气候状况	47
2.4.4 中国的光气候分区	48
3 采光设计原理	49
3.1 参考天空的定义	50
3.2 天空亮度分布	51
3.3 天然采光设计	54
3.3.1 光与空间	54
3.3.2 光与建筑	55
3.3.3 天然采光历史	57
3.3.4 城市规划中的天然采光	59
3.3.5 建筑设计中的天然采光	62
3.3.6 采光系数	78
3.3.7 窗洞口	78
3.3.8 采光设计标准值	84
3.3.9 采光质量	87
3.4 天然采光计算	88
3.4.1 天然采光图表计算方法	88
3.4.2 天然采光计算机模拟方法	93

3.5 天然采光设计步骤	95
3.5.1 搜集资料	95
3.5.2 选择窗洞口形式	96
3.5.3 确定窗洞口位置及可能开设窗口的面积	96
3.5.4 估算窗洞口尺寸	97
3.5.5 布置窗洞口	97
4 建筑中的天然采光系统	98
4.1 不同光环境下的采光策略	98
4.1.1 天然光环境组成	98
4.1.2 天空状况	99
4.2 天然采光系统概述	99
4.2.1 带遮阳的采光系统	100
4.2.2 无遮阳的采光系统	100
4.3 天然采光系统的特征	110
4.3.1 挡光板	110
4.3.2 百叶窗和百叶帘	111
4.3.3 棱镜面板	112
4.3.4 激光切割板	113
4.3.5 角度选择型天窗(激光切割面板)	113
4.3.6 光转向遮阳	114
4.3.7 阳光导向玻璃	115
4.3.8 带全息光学元件的天顶光偏转玻璃	116
4.3.9 带全息光学元件的方向选择性遮阳	116
4.3.10 Anidolic 天花系统	117
4.3.11 Anidolic 天顶开口	118
4.3.12 Anidolic 太阳能百叶窗	119
4.4 采光系统性能	119
4.4.1 使用漫射光的遮阳系统	120
4.4.2 使用太阳直射光的遮阳系统	120
4.4.3 利用漫射光的无遮阳系统	121
4.4.4 使用直射光的无遮阳系统	121

4.5	控制灯光对天然光的响应	121
4.5.1	天然光控制	122
4.5.2	照明控制	122
4.5.3	照明控制系统的组成	123
4.6	天然采光新发展	126
4.6.1	基于气候的采光模型	127
4.6.2	采光度量标准	128
4.6.3	先进的玻璃系统和材料	131
4.6.4	采光环境测量的新方法	137
4.6.5	采光与节能	138
4.6.6	未来方向	139
5	模拟技术在建筑采光设计中的应用	141
5.1	天然采光模拟技术	142
5.1.1	计算方法	143
5.1.2	光照模型	143
5.2	天然采光模拟软件	148
5.2.1	软件特点	148
5.2.2	软件功能	149
5.2.3	操作流程	149
5.3	建筑采光软件的安装与设置	150
5.3.1	软件和硬件环境	150
5.3.2	软件的安装	150
5.3.3	用户界面	151
5.3.4	采光设置	153
5.4	建筑采光模型建模	156
5.4.1	单体建模	156
5.4.2	总图建模	197
5.4.3	辅助工具	200
5.5	建筑采光分析	206
5.5.1	采光计算设置	206
5.5.2	主要分析	213

5.5.3 辅助分析	222
6 建筑采光设计实例分析	232
6.1 恒博华贸中国网球协会训练基地	232
6.2 哈尔滨松北院区联建项目	234
6.3 横岗中心小学项目	237
6.4 梦泽山庄改造工程	238
6.5 湘潭市第一人民医院临床培养基地	243
6.6 深圳大学建筑与城市规划学院教学实验楼扩建项目	245
附录 A CIE1931 标准色度观察者光谱三刺激值	248
附录 B 建筑采光检测	249
参考文献	266

1 天然采光基本原理

光创造了地球的第一个生命。在远古的混沌之中，紫外线及各种放射线利用海洋形成有机物，进而演化成生命，然后，光合作用使万物绵延不息。今日地球上所有的有机体都直接或间接地借此过程获取所需的有机物，也因此取得能量。

可见光是电磁波的一部分，而且只占非常小的一部分（电磁波的波长，可以从短于 0.001nm 的伽马射线，到长至数千米的无线电波，而可见光的波长只在 $380\sim 780\text{nm}$ ，见图 1.1），但就这一小部分，已造就地球上的生物百态。同时，动物的视觉、植物的趋旋光性，以及动植物如何随昼夜循环、随季节变化而栖息等，都是在这段一小段可见光影响下的现象。

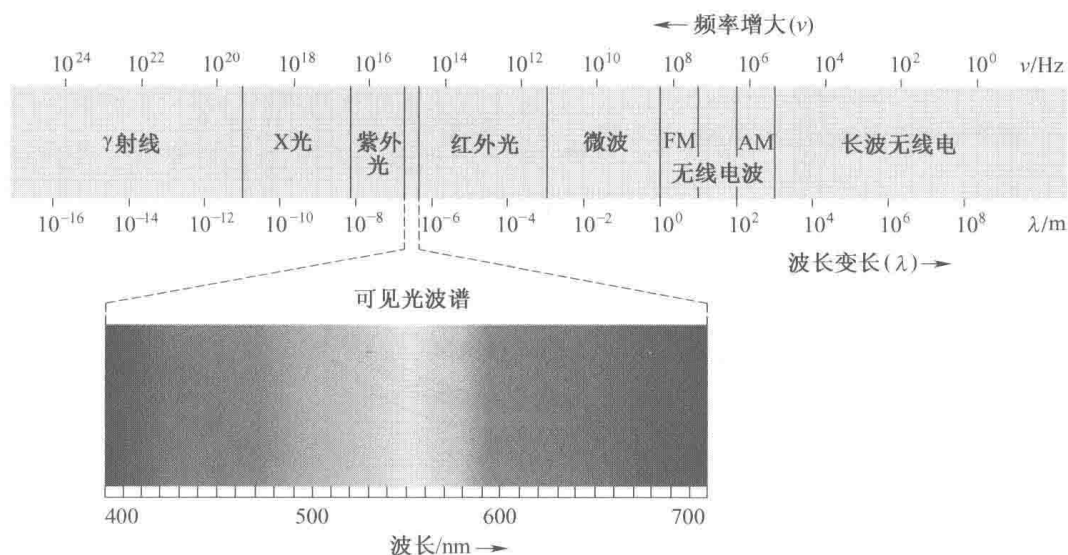


图 1.1 电磁波谱与可见光谱

在主要的十一门动物中，只有节肢动物（昆虫、蜘蛛）、软体动物（乌贼）及脊椎动物的眼睛发展甚好，即能成像。眼睛是人类最重要的感觉器官，人们

从外界接收的各种信息 80% 以上是通过视觉获得的，而人眼视觉系统可以说是世界上最好的图像处理系统，但它却远远不是完美的。由于人眼的视觉系统对图像的认知是非均匀的和非线性的，所以人眼并不能感知图像中的所有变化。

1.1 眼睛与视觉

1.1.1 人眼的构造

视觉就是由进入人眼的辐射所产生的光感觉而获得的对外界的认识。人们的视觉只能通过眼睛来完成。眼睛好似一个很精密的光学仪器，它在很多方面都与照相机相似。图 1.2 是人的右眼剖面图。眼睛的主要组成部分和其功能简介如下。

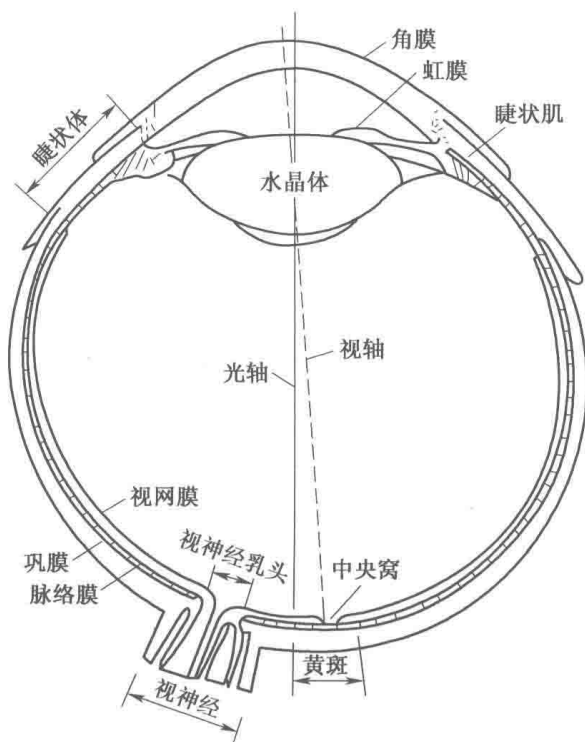


图 1.2 人的右眼剖面图

1. 瞳孔

瞳孔是位于虹膜中央的圆形孔，可根据环境的明暗程度，自动调节其孔径，以控制进入眼球的光能数量，起照相机中光圈的作用。

2. 水晶体

水晶体是一扁球形的弹性透明体，它受睫状肌收缩或放松的影响，使其形状改变，从而改变其屈光度，使远近不同的外界景物都能在视网膜上形成清晰的影像。水晶体能够起到照相机的透镜作用，但其具有自动聚焦功能。

3. 视网膜

光线经过瞳孔、水晶体在视网膜上聚焦成清晰的影像。它是眼睛的视觉感受部分，类似于照相机中的胶卷。视网膜上布满了感光细胞——锥体感光细胞、杆体感光细胞和自主感光神经节细胞。锥体感光细胞、杆体感光细胞对光产生视觉效应，自主感光神经节细胞对光产生非视觉效应。

4. 感光细胞

锥体感光细胞和杆体感光细胞处在视网膜最外层上（见图 1.3），它们在视网膜上的分布是不均匀的：锥体感光细胞主要集中在视网膜的中央部位，称为“黄斑”的黄色区域；黄斑区的中心有一小凹，称为“中央窝”，在这里，锥体感光细胞达到最大密度，在黄斑区以外，锥体感光细胞的密度急剧下降。与此相反，在中央窝处几乎没有杆体感光细胞，自中央窝向外，其密度迅速增加，在离中央窝 20°附近达到最大密度，然后又逐渐减少（见图 1.4）。

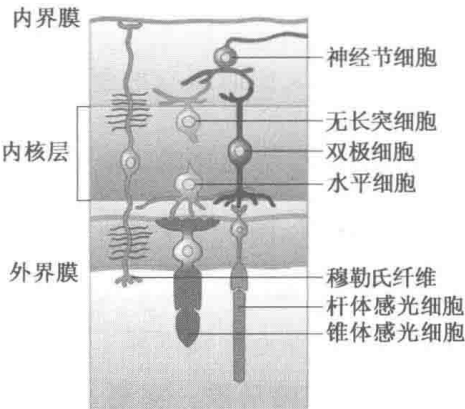


图 1.3 视网膜上的感光细胞示意图

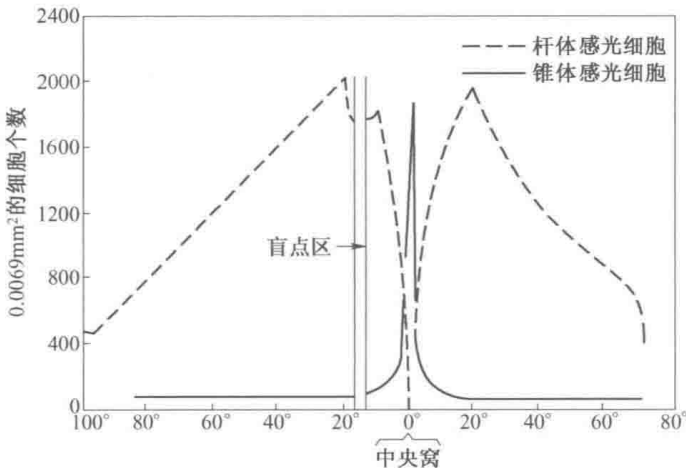


图 1.4 锥体感光细胞与杆体感光细胞的分布

两种感光细胞有不同的功能特征。锥体感光细胞在明亮环境下对色感觉和视觉敏锐度起决定作用,即这时它能分辨出物体的细部和颜色,并对环境的明暗变化做出迅速的反应,以适应新的环境。而杆体感光细胞在黑暗环境中对明暗感觉起决定作用,它虽能看到物体,但不能分辨其细部和颜色,对明暗变化的反应缓慢。

自主感光神经节细胞能够合成感光蛋白——黑视素 (melanopsin),因此具备了自主感光的能力。与锥体感光细胞和杆体感光细胞相似,自主感光神经节细胞对不同波长的光的灵敏度也是不同的,其峰值波长位于 $460\sim 490\text{nm}$ 的蓝光附近。自主感光神经节细胞与视觉无关,它与人脑内的生物钟相连接,能抑制松果体分泌褪黑激素(也称为“睡觉的荷尔蒙”)。人们已经发现褪黑激素水平不仅影响人们的睡眠质量,而且对于衰老及痴呆甚至是老年人记忆力的提升都有影响,同时还与抑制癌细胞生长等生物功能有关。

1.1.2 人眼的视觉特点

由于感光细胞的上述特性,故人们的视觉活动具有以下特点。

1. 视看范围(视野)

由于感光细胞在视网膜上的分布,以及眼眉、脸颊的影响,使得人眼的视看范围有一定的局限。双眼不动的视野范围为:水平面为 180° ,垂直面为 130° ;上方为 60° ,下方为 70° [见图 1.5 (a),白色区域为双眼共同视看范围;未画斜线区域为单眼视看最大范围;灰色区域为被遮挡区域]。黄斑区所对应的角度约为 2° ,它具有最高的视觉敏锐度,能分辨最微小的细部,称为“中心视野”。由于这里几乎没有杆体感光细胞,故在黑暗环境中这部分几乎不产生视觉。从中心视野向外直到 30° 范围内是视觉清楚区域 [见图 1.5 (b)],这是观看物体的有利位置。通常站在离展品高度 $1.5\sim 2$ 倍的距离观赏展品,就能使展品处于上述视觉清楚区域内。

2. 明、暗视觉

由于锥体、杆体感光细胞分别在不同的明、暗环境中起主要作用,故形成明、暗视觉。根据国际照明学会(CIE)1983年的定义,明视觉指亮度超过几个 cd/m^2 (通常认为超过 $3\text{cd}/\text{m}^2$) 的环境,此时视觉主要由锥体感光细胞起作用;暗视觉指环境亮度低于 $10^{-3}\text{cd}/\text{m}^2$ 时的视觉,此时杆体感光细胞是起主要作用的感光细胞;中间视觉介于明视觉和暗视觉亮度之间,此时人眼的锥