



LED系列 灯具的设计

周国泉 © 著



科学出版社

非
外
借

LED 系列灯具的设计

周国泉 著



北 京

内 容 简 介

本书首先介绍了将 LED 应用于农业照明的 LED 温室灯、LED 养殖灯及 LED 杀诱虫灯；而后又介绍了 LED 在家居照明中的应用，列举了 LED 心情灯、LED 食欲调控灯、LED 助眠灯和两种 LED 夜灯；然后介绍了 LED 在公共场所的照明应用，如能够促使水生动植物健康生长的 LED 音乐水族灯，随载重变色、变光强的 LED 地毯，太阳能 LED 照明和柔性光纤图景装置，以及 LED 动态景观灯；最后介绍了 LED 组合灯的应用。

本书适合光学工程、农业工程、光源与照明及相关专业研究生和高年级本科生参考，也可供有关科研工作者学习。

图书在版编目(CIP)数据

LED 系列灯具的设计/周国泉著. —北京: 科学出版社, 2017

ISBN 978-7-03-053548-1

I. ①L… II. ①周… III. ①发光二极管—灯具—设计 IV. ①TN383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 140372 号

责任编辑: 李 海 吕燕新 杨 昕 / 责任校对: 王万红

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 东方人华平面设计部

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 11 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 11 月第一次印刷 印张: 11 3/4

字数: 237 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈京华虎彩〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135397-2032

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

发光二极管(LED)可提供各种波长的单色光,常用的有发光谱峰在450nm的蓝光LED、在660nm的红光LED和在735nm的远红光LED,且当光谱带宽小于30nm时,上述发光波长正好与植物光合作用和光形态形成的光谱范围相匹配。作者在浙江农林大学从事教学和科研工作,从2005年开始尝试将LED应用于温室植物栽培,设计了一系列LED温室补光灯。作为温室植物生产用光源,LED具有以下优点:①设施小型化;②可实现近距离照明;③脉冲照射能促进植物生长;④平均使用寿命可达5~10年;⑤高亮度,低能耗,耗电量仅为白炽灯的1/10;⑥可任选照射波长。因此,使用LED作为植物生长的光源,只要通过调节红色、蓝色和远红色光源的数量或工作电流,即可实现红光与蓝光光通量之比(以600~700nm为中心波长的红光与以400~500nm为中心波长的蓝光的光通量之比)和红光与远红光光通量之比(以660nm为中心波长的红光和以730nm为中心波长的远红光的光通量之比)的调节,从而促进光合作用和控制植株形态。系列LED温室补光灯最先在国家林业局林木良种基地使用,证实成效明显后推广应用,而后将LED拓展应用于家居和公共场所的照明。

本书主要内容是在浙江省科技厅科研农业项目“温室植物生产中的新型人工光环境调控技术研究”(No. 2007C22064)、浙江省自然科学基金项目“涡旋半导体激光束的轨道角动量特性及其用于生物细胞捕获的研究”(No. LY16A040014)和国家自然科学基金项目“高阶洛伦兹-高斯涡旋光束的特性及其用于生物细胞捕获的研究”(No. 11574272)资助下完成的。本书还得到了浙江省151人才工程的资助。作者2010年入选浙江省151人才工程第二层次培养人员,2014年入选浙江省151人才工程第一层次培养人员,2016年入选浙江省151人才工程重点资助培养人员。

本书由浙江大学物理学系副主任赵道木教授审定,他所提出的一些合理建议已被采纳,在此表示感谢!另外,作者还要感谢浙江省151人才工程提供的出版资助!

周国泉

2017年1月于浙江农林大学东湖校区

目 录

第 1 章 LED 温室灯的设计	1
1.1 红、蓝光比例均匀的 LED 组合灯	1
1.1.1 设计背景	1
1.1.2 设计方案	2
1.1.3 设计详述	2
1.2 转动型 LED 组合补光灯	10
1.2.1 设计背景	10
1.2.2 设计方案	10
1.2.3 设计详述	11
1.3 一体化红蓝远红三色 LED 组合补光灯	14
1.3.1 设计背景	14
1.3.2 设计方案	14
1.3.3 设计详述	15
1.4 四色 LED 组合补光灯	19
1.4.1 设计背景	19
1.4.2 设计方案	20
1.4.3 设计详述	20
1.5 多功能大功率 LED 组合灯	24
1.5.1 设计背景	24
1.5.2 设计方案	24
1.5.3 设计详述	25
1.6 四色贴片 LED 补光灯带	30
1.6.1 设计背景	30
1.6.2 设计方案	30
1.6.3 设计详述	30
1.7 红、蓝光光照强度可调的大功率四色 LED 组合补光灯	33
1.7.1 设计背景	33
1.7.2 设计方案	33
1.7.3 设计详述	34

第 2 章 LED 养殖灯的设计	37
2.1 用于肉鸡养殖的绿蓝紫外三色 LED 组合灯	37
2.1.1 设计背景	37
2.1.2 设计方案	37
2.1.3 设计详述	38
2.2 用于蛋鸡养殖的绿蓝红紫外四色 LED 组合灯	43
2.2.1 设计背景	43
2.2.2 设计方案	44
2.2.3 设计详述	44
2.3 用于肉鸽养殖的绿蓝紫外远红四色 LED 补光灯	50
2.3.1 设计背景	50
2.3.2 设计方案	50
2.3.3 设计详述	52
第 3 章 LED 杀诱虫灯的设计	61
3.1 广谱性三色 LED 组合诱虫灯	61
3.1.1 设计背景	61
3.1.2 设计方案	61
3.1.3 设计详述	62
3.2 三色频闪 LED 杀虫灯	65
3.2.1 设计背景	65
3.2.2 设计方案	65
3.2.3 设计详述	66
3.3 可调节光波长的太阳能 LED 杀虫灯	68
3.3.1 设计背景	68
3.3.2 设计方案	69
3.3.3 设计详述	70
3.4 红外遥控四色频闪 LED 杀虫灯	75
3.4.1 设计背景	75
3.4.2 设计方案	76
3.4.3 设计详述	77
第 4 章 LED 心情灯的设计	81
4.1 LED 心情呈现与调节灯	81
4.1.1 设计背景	81

4.1.2	设计方案	81
4.1.3	设计详述	82
4.2	LED 心情传递灯具	85
4.2.1	设计背景	86
4.2.2	设计方案	86
4.2.3	设计详述	86
4.3	LED 心情显示与激励智能镜子	91
4.3.1	设计背景	92
4.3.2	设计方案	92
4.3.3	设计详述	93
第 5 章	LED 食欲调控灯的设计	98
5.1	调控食欲的 LED 餐厅灯	98
5.1.1	设计背景	98
5.1.2	设计方案	98
5.1.3	设计详述	99
5.2	发光颜色随温度变化的 LED 桌布	106
5.2.1	设计背景	106
5.2.2	设计方案	106
5.2.3	设计详述	106
第 6 章	LED 助眠灯及多用途灯的设计	113
6.1	LED 助眠/唤醒灯	113
6.1.1	设计背景	113
6.1.2	设计方案	113
6.1.3	设计详述	114
6.2	具有时间特征的多用途 LED 灯	117
6.2.1	设计背景	117
6.2.2	设计方案	117
6.2.3	设计详述	118
第 7 章	多变 LED 夜灯的设计	122
7.1	盆栽植物颜色控制的 LED 夜灯	122
7.1.1	设计背景	122
7.1.2	设计方案	122
7.1.3	设计详述	123

7.2	感应环境的 LED 夜灯	127
7.2.1	设计背景	127
7.2.2	设计方案	127
7.2.3	设计详述	128
第 8 章	LED 应用于公共场所的设计	133
8.1	LED 音乐水族灯	133
8.1.1	设计背景	133
8.1.2	设计方案	133
8.1.3	设计详述	134
8.2	随载重变色、变光强的 LED 地毯	144
8.2.1	设计背景	144
8.2.2	设计方案	144
8.2.3	设计详述	144
8.3	太阳能 LED 照明和柔性光纤图景装置	150
8.3.1	设计背景	150
8.3.2	设计方案	150
8.3.3	设计详述	151
8.4	LED 动态景观灯	154
8.4.1	设计背景	154
8.4.2	设计方案	154
8.4.3	设计详述	155
第 9 章	LED 组合灯的应用	160
9.1	红蓝光 LED 组合灯的应用	160
9.1.1	材料与方法	160
9.1.2	试验结果	160
9.1.3	小结	163
9.2	红蓝远红光 LED 组合灯的应用	163
9.2.1	萝卜补光	163
9.2.2	生菜补光	167
9.2.3	绿萝补光	172
9.2.4	石竹补光	173
	参考文献	175

第 1 章 LED 温室灯的设计

在温室种植时，1%的光照带来 1%的增产，由此可见光照在温室植物生产中的重要程度。由于各种影响因素，温室内的光照不足会影响温室植物的生长、发育及其产量和品质。光照已成为温室植物生产的限制性因素，温室人工补光是必然的选择。

1.1 红、蓝光比例均匀的 LED 组合灯

本节设计一种由红光 LED 和蓝光 LED 组合成红、蓝光比例均匀的排列方法及其灯具。

1.1.1 设计背景

由于发光波长正好与植物光合作用的光谱范围相匹配，红光 LED、蓝光 LED 可用于植物的照明、补光和形态调节。与传统人工光源相比，红光 LED、蓝光 LED 具有能耗低、寿命长、冷光性等众多优点，将其用作植物工厂和温室的新型人工光源已日趋普遍。科学研究表明，适当的红光与蓝光光通量之比 (R/B) 是被照植物形态健全的保证。作为植物生产用的人工光源，要求包含光形态形成所需的红、蓝光光谱。植物被照射面上的光照达到一定强度，并使红、蓝光比例分布均匀，是生产高品质植物的必要条件。经对 26 种草本植物、7 种木本植物、8 种大田作物和 20 种人工气象室作物的光合作用曲线进行分析，其 R/B 值综合平均为 1.84。众所周知，植物一般在光照 2000lx 以下没有净光合作用，所以即使是超高亮度的 LED，单颗的光照仍不足以供给其正下方 10cm 处的植株正常生长发育。此外，单颗 LED 存在着照明区域有限的缺点。因此，需要多颗红光 LED、蓝光 LED 组合成在照明参考平面上具有一定的光照强度、 R/B 值合理且均匀分布的模块，同时要求模块拼装拓展方便。

然而，如何设计理想的 LED 组合模块尚未见专门的资料报道。但在一些涉及植物生长的装置中已经运用了 LED 模块。一种“以发光二极管为光源的植物栽培装置”专利技术（申请号：CN2438321），其所用模块上红光 LED、蓝光 LED 的分布是每行 3 颗强光型红光 LED，共 3 行计 9 颗；蓝光 LED 每行 2 颗，共 2 行计 4 颗；1 行红、1 行蓝间隔排列。显然，这样排列的 LED 模块由于 LED 颗数较少致使光照强度有限，适用于植物组培。此外，该模块拼装拓展时会破坏单一

模块时 R/B 的分布。一种“光照射植物生长的装置”专利技术（申请号：CN1322806），其模块中 LED 为每行 6 颗共 8 行的不对称排列，拼接、拓展不便。“植物培育用照明装置”专利技术（申请号：CN1246913）设计了红、绿、蓝三单色 LED 各自成行且一一间隔、每行 13 颗 LED 排列的组合模块。LED 组合方式很多，不一而足，按各自的侧重面不同而设计，可见在 LED 组合模块领域，尚缺乏专业的针对模块本身的优化设计。

近年来，中国台湾同业界采用每 8 颗红光 LED 为 1 行、每 8 颗蓝光 LED 为另一行，一一间隔，各自 4 行，共 8 行 8 列的 8×8 方阵 LED 组合模块。这一技术使照明区域内的照度比上述前两项专利有明显提高，但 R/B 值分布的均匀性仍不甚理想。可取的是， 8×8 方阵工整、对称，其一组为八位元，与计算机资料上常用的位元组单位匹配，有利于工程上的自动化控制设计；工整与对称的方阵模块还有利于快速安装、更换和拼装，且拼装后 R/B 值分布保持不变。

1.1.2 设计方案

本设计要解决的技术问题是提供一种红、蓝光比例均匀的 LED 组合灯。

解决上述技术问题所采用的技术方案如下。

(1) 单颗 LED 的选择：半值角 7° 、直径 5mm、波长 637nm、带宽 12nm，在标准工作电流 10mA 下光照强度为 23.5cd（坎德拉）的超高亮度红光 LED 圆灯；半值角 7° 、直径 5mm、波长 459nm、带宽 16nm，在标准工作电流 20mA 下光照强度为 6cd 的超高亮度蓝光 LED 圆灯。

(2) 组合方式的设定：行和列均为 8 颗按前述要求选择的 LED，且红光 LED、蓝光 LED 一一间隔，均匀排列，每颗 LED 周围必是另一色光的 LED，相邻 2 颗 LED 圆灯的间距小于或等于单颗 LED 圆灯的半径。

(3) 本红、蓝光比例均匀的 LED 组合模块，由红光 LED、蓝光 LED、电路板及连接线组成，以 8×8 颗红光 LED、蓝光 LED 圆灯为一个模块单元，红光 LED、蓝光 LED 圆灯各为 32 颗，除四周的行列以外，每颗周围为 4 颗异色 LED。

上述技术方案还可通过如下措施完善。

本红、蓝光比例均匀的 LED 组合模块以每两列为一组，将蓝光 LED 串联后接入限流电阻 R_1 ，将红光 LED 串联后接入限流电阻 R_2 ， $R_1=360\Omega \sim 2.4k\Omega$ ， $R_2=510\Omega \sim 3.3k\Omega$ ，再由一个直流稳压电源为各串联的红光 LED 和各串联的蓝光 LED 提供工作电压。

1.1.3 设计详述

下面结合实例对本设计予以详述。行、列均为 8 颗 LED，且红光 LED、蓝光

LED 一一间隔、均匀分布的一个组合模块单元的组合方式如图 1-1 所示。 8×8 的方阵组合单元模块, 可按需横向拼接扩展, 也可纵向拼接扩展, 还可纵横双向拼接扩展, 以增加模块数来扩大照射面积。无论何种拼接扩展方式, 光照强度与 R/B 均匀度不变, 如图 1-2 所示。LED 作为冷光源可近距离照射植株, 但为了保证植物栽培面上的光合成有效光量子流密度分布均匀, LED 组合单元模块不应距离植株过近。现以 LED 组合单元模块正下方 10cm 处作为照明参考平面。LED 的直径为 5mm, LED 与照明参考平面的垂直间距为 10cm, 因此每一个 LED 均可视为一个点光源。

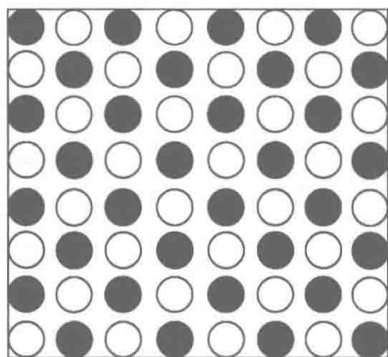


图 1-1 红光 LED、蓝光 LED 在一个组合模块单元中的组合方式示意图

●为红光 LED; ○为蓝光 LED, 下同

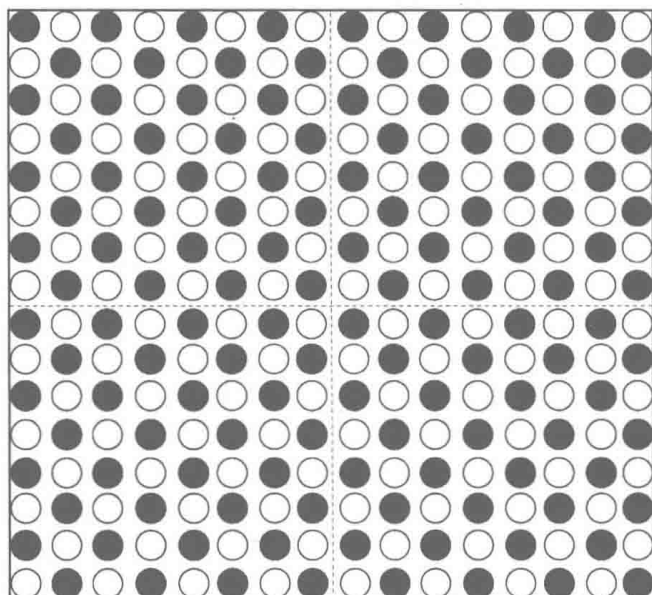


图 1-2 红光 LED、蓝光 LED 组合方阵拓展示意图

照明参考平面上每一点的光照强度可根据点光源的倒平方方法计算得到, 具体计算步骤如下。

- (1) 如图 1-3 所示, 水平面上任一点与 LED 的连线与垂直方向所成的角度为 $\theta = \arctan(d/h)$ 。若 θ 小于 LED 的视角, 则可依角度-强度回归式计算此角度对应的光照强度; 若 θ 大于 LED 的视角, 则光照强度为零。

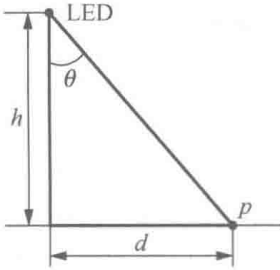


图 1-3 单颗 LED 的光照强度计算示意图

- (2) 距离 LED 一定距离的水平面上每一点光照强度值还需依据点光源的倒平方法则求得

$$E_j = I_{0j} I_j(i) I_r \cos^3 \theta / h^2$$

其中, j 为红光或蓝光; I_{0j} 分别表示单颗红光 LED 或蓝光 LED 在标准工作电流下的光照强度, 取最小亮度和一般亮度的平均值, 即分别等于 23.5cd 和 6cd; $I_j(i)$ 为红光 LED 或蓝光 LED 的光照强度与正向工作电流的依赖关系, 在标准工作电流下, $I_j(i)=1$, I_r 为角度-强度回归关系式。

红光 LED 和蓝光 LED 的角度-强度回归关系式为

$$I_r = \begin{cases} 1.006633 - 0.0111025\theta^{5/2} + 0.0027644\theta^3 - 5.9856e^\theta / 10000000, & \theta < 13^\circ \\ 0, & \theta \geq 13^\circ \end{cases}$$

- (3) 分别对所有的红光 LED、蓝光 LED 在某一点处的光照强度求和, 即

$$E_R = \sum_{j=R} E_j, \quad E_B = \sum_{j=B} E_j$$

两者之和即为该点处的总照度为

$$E = E_R + E_B$$

- (4) 依据红光 LED、蓝光 LED 的照度与光子数转换关系, 计算红光与蓝光的光通量之比为

$$\frac{R}{B} = \frac{23 E_R}{48 E_B}$$

LED 组合光源下方 10cm 处的照明区域大约为

$$S = \left[7L + 2h \tan \left(\frac{13\pi}{180} \right) \right]^2 \text{ cm}^2$$

式中, L 为相邻 LED 中心的间距, 单位为 cm。当 L 分别为 0.5cm 和 0.75cm 时, S 大约等于 81cm^2 和 99cm^2 。所以, 计算区域分别取 $9\text{cm} \times 9\text{cm}$ 、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的正方形, 并且将正方形分割为 100×100 的点阵, 计算每个切割点处的照度, 即可得到整个照度和 R/B 分布图。

下面的计算是在 LED 工作在标准电流, 即红光 LED 工作在 10mA、蓝光 LED 工作在 20mA 前提下开展的。

图 1-4 和图 1-5 分别给出了 L 取 0.5cm、0.75cm 时组合光源下方 10cm 处红、

蓝光照度和总照度。图 1-6 是 LED 组合光源下方 10cm 处的 R/B 分布，其照明区域内的 R/B 分布除边缘外基本均匀一致，绝大多数维持在 1.84 左右。图 1-6 (b) 与图 1-6 (a) 相比，边缘处值较大而中心区域更趋向于均匀。所以， L 取 0.75cm 的设计，理论上能为温室植物提供较优的光质。

对于需要较大 R/B 值的阴性植物，可以调低蓝光 LED 的工作电流；而对于需要较小 R/B 值的阴性植物，可以调低红光 LED 的工作电流。对于需要较大 R/B 值的中性植物，可以调高红光 LED 的工作电流；而对于需要较小 R/B 值的中性植物，可以调高蓝光 LED 的工作电流。至于电流调节的幅度，可由 $I_{\lambda}(i)$ 的关系式确定。

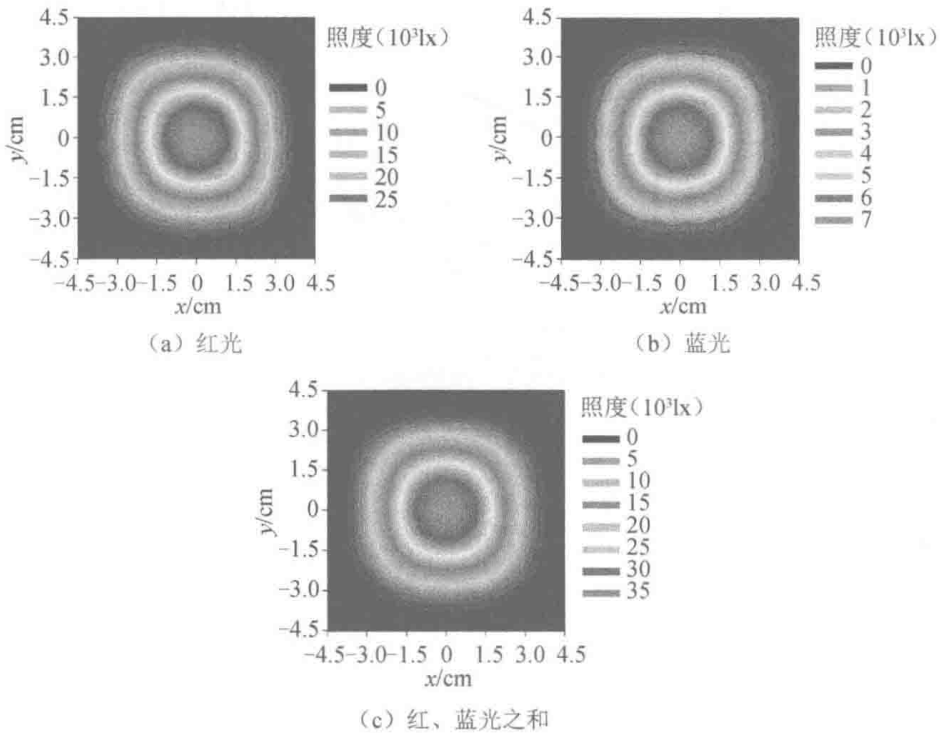


图 1-4 LED 组合光源下方 10cm 处的照度 ($L=0.5\text{cm}$)

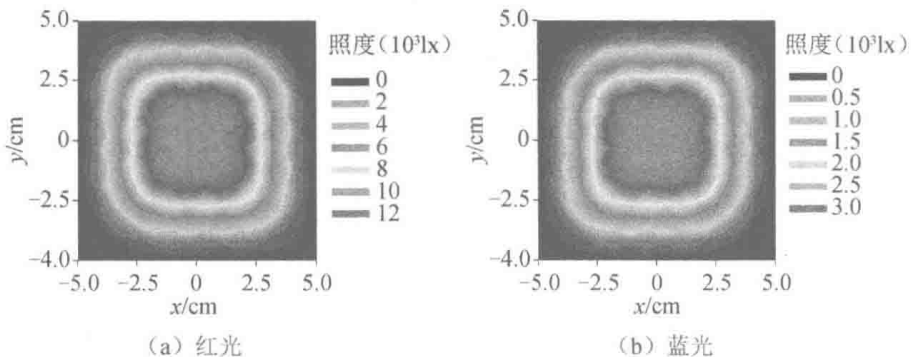
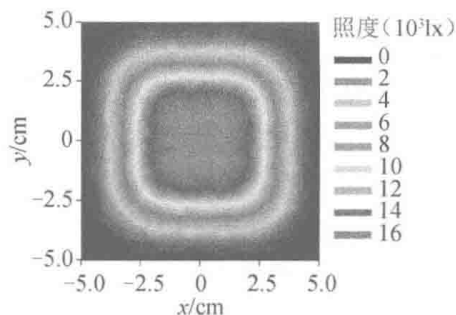
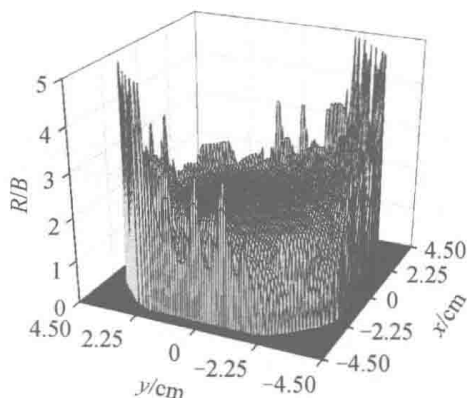


图 1-5 LED 组合光源下方 10cm 处的照度 ($L=0.75\text{cm}$)

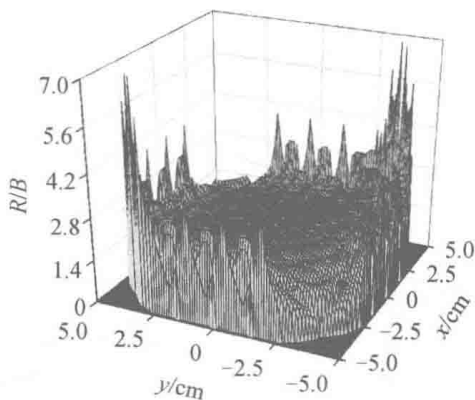


(c) 红、蓝光之和

图 1-5 (续)



(a) $L=0.5\text{cm}$



(b) $L=0.75\text{cm}$

图 1-6 LED 组合光源下方 10cm 处的 R/B 值

图 1-7 为红光 LED、蓝光 LED 组合单元模块结构示意图。图 1-8 为红光 LED、蓝光 LED 组合单元模块实施电路框架图。图 1-9 为一个 LED 组合单元模块的红光 LED、蓝光 LED 分布与电路连接关系示意图。图 1-10 为红光 LED、蓝光 LED

组合单元模块实施电路原理图。每两列 LED 为一组，将红光 LED 3 串联后接入限流电阻 $R_{12} \sim R_{17}$ ，将蓝光 LED 4 串联后接入限流电阻 $R_{18} \sim R_{23}$ ， $R_{12} \sim R_{17}$ 的电阻值为 $510 \sim 3300 \Omega$ ， $R_{18} \sim R_{23}$ 的电阻值为 $360 \sim 2400 \Omega$ ，供电流调节旋钮 7 和 8 按需选择，以调整红光 LED、蓝光 LED 各自的光照强度。控制电路中，有脉冲工作比控制电路 9，按 0.25、0.5、0.75 三个比值通过箱体 1 主视面上的光照间隙比例调节旋钮 6 进行按需选择调节，以控制脉冲波形产生电路 10 所产生的脉冲波形，决定光照的间隙和间隙的频率，并可由双向选择开关 5 选择间隙或连续光照。

光源亮度控制电路 11 按 $10 \sim 60 \text{mA}$ 六个等级通过红光 LED、蓝光 LED 电流调节旋钮 7 和 8 改变限流电阻以调整 LED 模块中的电流大小，进而分别调节红光 LED、蓝光 LED 的光照强度。图 1-11 为红光 LED、蓝光 LED 组合单元模块照明图。图 1-12 为红光 LED、蓝光 LED 组合单元模块光照强度图。

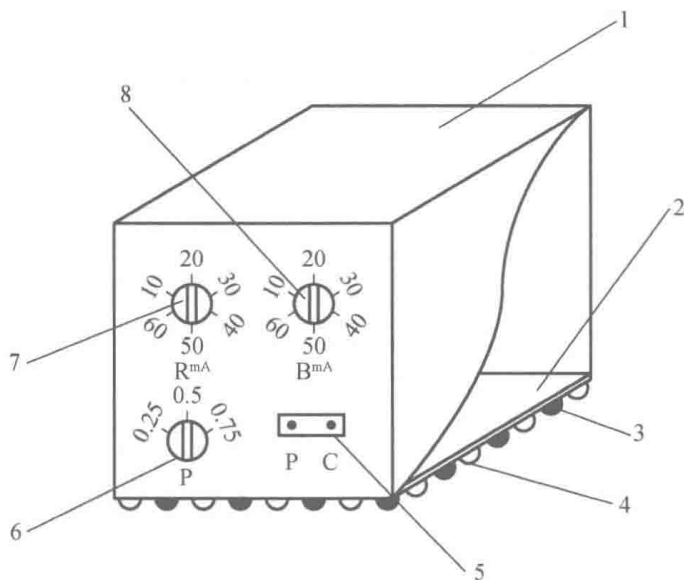


图 1-7 红光 LED、蓝光 LED 组合单元模块结构示意图

1—箱体；2—电路板；3—红光 LED；4—蓝光 LED；5—双向选择开关；
6—光照间隙比例调节旋钮；7、8—电流调节旋钮

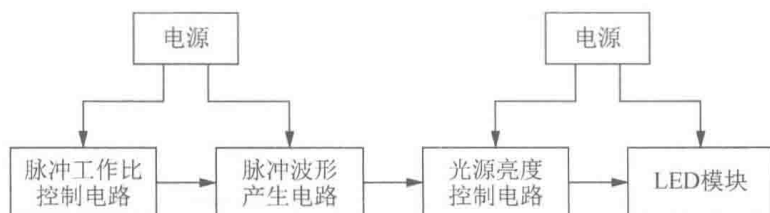


图 1-8 红光 LED、蓝光 LED 组合单元模块实施电路框架图

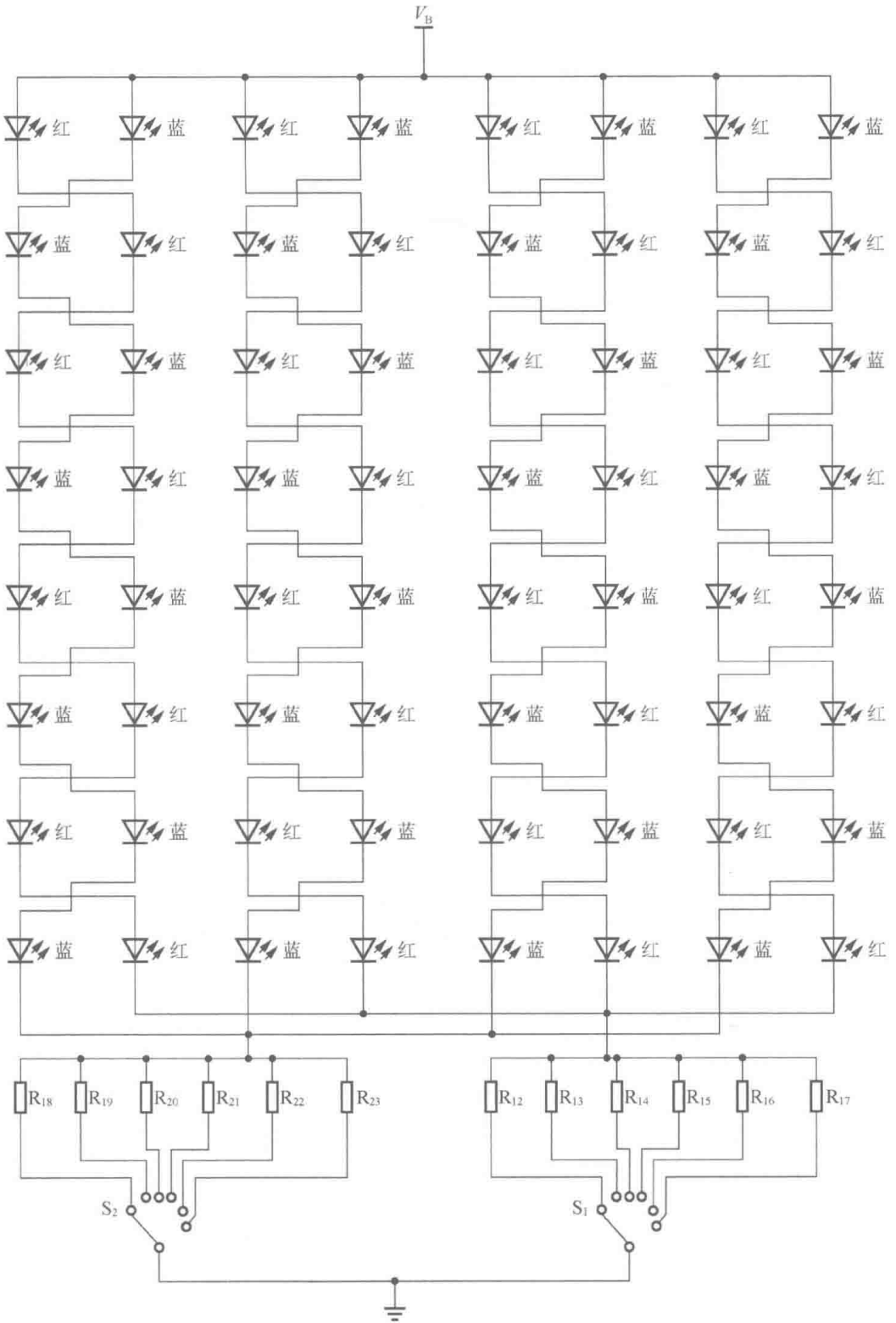


图 1-9 一个 LED 组合单元模块的红光 LED、蓝光 LED 分布与电路连接关系示意图

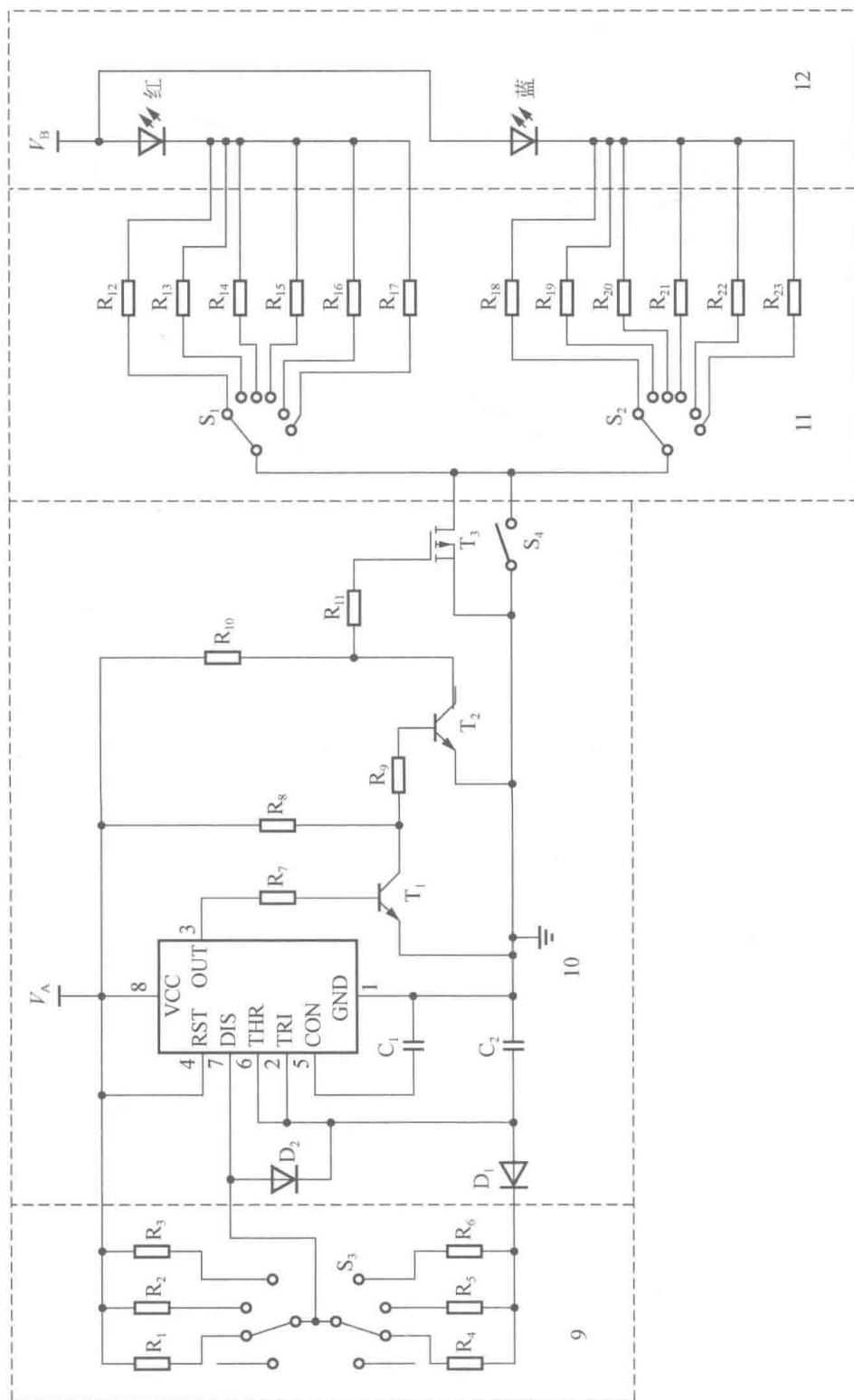


图 1-10 红光 LED、蓝光 LED 组合单元模块实施电路原理图