

红外辐射 红外器件与典型应用

红外

辐射

器件

电路

接口

实例

应用

 ● 陈永甫 编著

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

红外辐射 红外器件与典型应用

陈永甫 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

红外技术是一门新兴而发展迅猛的学科,各种红外器件应运而生,品种繁多,其应用涉及到民用、军用各个行业。本书从红外辐射基本概念、红外辐射源讲起,分章介绍红外发光二极管、发光组件、红外激光源、半导体激光二极管、红外激光应用、光电探测器、光电耦合器、光电断路器、光电开关等红外器件的构成、原理、主要性能参数,各种应用电路 150 余例。

本书内容新颖丰富、图文结合、资料翔实、系统性好、应用性强。全书涉及到各种红外器件 1000 余种,还介绍了主要红外器件和单元电路间的接口方法、设计技巧、典型应用电路的设计步骤及元器件的合理选用等。

本书适合于广大电子爱好者、从事光电技术、测控技术、电子电路设计、开发人员阅读参考,也是大专院校、军事院校测控专业、红外与激光、自动控制、电子工程、信息工程、通信工程、应用物理、微电子等专业师生进行教学、课程设计难觅的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

红外辐射红外器件与典型应用/陈永甫主编. —北京:电子工业出版社,2004.6
ISBN 7-5053-9878-4

I. 红... II. 陈... III. 红外技术—光电器件 IV. TN21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 036688 号

责任编辑:和德林

印 刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:27 字数:690 千字

印 次:2004 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:35.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

随着科学技术的发展,尤其是微电子技术和光电技术的发展,各种红外器件应运而生,品种繁多,其应用已渗透到民用、军用各个领域和人们生活的方方面面。红外器件在工业自动化、生产过程控制、红外加工和处理、信息采集和加工、环境监测、红外摄像、军事装备(如红外夜视仪、激光武器、红外雷达、红外制导等)、安全防范、防盗报警、家用电器控制及日常生活(如节能灯控制、自动门控制、节水节能控制、环境美化、红外医疗和美容、智能玩具、彩电、空调遥控、VCD和DVD机录放等)各个方面,都得到了广泛的应用。

本书从红外辐射基本概念、基本定律、红外辐射源讲起,分章介绍了红外发光二极管、发光组件、红外激光源、半导体激光器件、红外激光应用、红外光电探测器、光电耦合器、光电开关、光电断路器的构成、原理及主要性能参数,有关章节插进了相应红外器件的应用电路,共计实用电路近200例。书的内容新颖、丰富,由浅入深、从简单到复杂,条理清楚,图文结合,资料翔实,系统性强。书中的实例还介绍了各种红外传感器件和不同单元电路间的配置(接口)方法、设计技巧及元器件的合理选用,实用性强。

参加本书电路设计、实验、测试、资料翻译、搜集、整理、审校、图幅加工的有陈永甫、谭秀华、龙海南、李芬华、高国君、王文理、曲秀云、景春国、舒冬梅、潘立冬、都世民、张微、陈一民、张文雷、杨伟方、张友胜、陈立等。

本书内容涉及范围广,器件杂、品种多,配接电路形式多,图形符号多,表格、参数多,谬误之处在所难免,欢迎读者指正。

编著者

2004.1

目 录

第 1 章 红外辐射基础	(1)
1.1 红外辐射及红外光谱	(1)
1.2 红外热效应与红外吸收	(1)
1.3 红外辐射技术术语、定义、符号和单位	(3)
1.4 点源和面源	(5)
1.5 辐射能的传播	(7)
1.5.1 辐射能逆二次方传播定律	(7)
1.5.2 朗伯(Lambert)余弦定律	(7)
1.6 黑体和黑体辐射	(9)
1.7 红外辐射基本定律	(10)
1.7.1 基尔霍夫(Kirchhoff)定律	(10)
1.7.2 斯忒藩-玻尔兹曼(Stefan-Boltzman)定律	(11)
1.7.3 维恩位移定律	(12)
1.7.4 普朗克定律(公式)	(13)
1.8 黑体辐出度的计算和通用函数表	(14)
1.8.1 $f(\lambda T)$ 函数表	(14)
1.8.2 $F(\lambda T)$ 函数表	(17)
1.8.3 $f(\lambda T), F(\lambda T)$ 函数表的使用和计算举例	(17)
第 2 章 实际辐射源和光电探测器	(20)
2.1 非黑体辐射	(20)
2.1.1 比辐射率(ϵ)	(20)
2.1.2 实际物体的辐射	(21)
2.2 影响物体发射率的因素和变化规律	(21)
2.3 辐射体分类及辐射参数	(23)
2.3.1 三类辐射体	(23)
2.3.2 物体的吸收率、反射率和透射率	(24)
2.4 红外辐射源	(25)
2.4.1 标准辐射源	(26)
2.4.2 几种工程用辐射源	(26)
2.4.3 太阳	(27)
2.4.4 月球、行星、恒星	(27)
2.4.5 地球	(28)
2.4.6 人体	(28)
2.5 红外探测器及其分类	(28)
2.5.1 热探测器	(29)
2.5.2 光子(或量子)探测器	(30)
第 3 章 红外发光二极管及发光组件	(31)
3.1 PN 结的形成和自发辐射	(31)
3.1.1 PN 结及其能带图	(31)

3.1.2	PN 结的伏-安特性	(32)
3.1.3	PN 结的自发辐射	(33)
3.2	LED 的能带结构和发光波长及辐射强度	(34)
3.2.1	LED 的发光波长和材料的跃迁类型	(34)
3.2.2	LED 的 PN 结材料和发光色及发光效率	(36)
3.3	红外发光二极管的外形与内部结构	(37)
3.3.1	红外 LED 的外形结构	(37)
3.3.2	红外 LED 的内部结构	(38)
3.4	表面红外发光二极管(SLED)	(40)
3.5	侧面发光二极管(ELED)	(41)
3.6	红外高速发光二极管	(42)
3.7	超辐射红外发光二极管(SLD)	(43)
3.8	红外发光二极管的基本特性和测试方法	(44)
3.8.1	LED 的伏-安(V-A)特性	(44)
3.8.2	LED 的电光转换($P-I$)特性	(45)
3.8.3	LED 的辐射光谱分布	(47)
3.8.4	LED 辐射方向性图和半功率角宽度 $\theta_{0.5}$	(48)
3.8.5	LED 的几个重要参数	(49)
3.9	红外发光二极管的选型、使用和安装	(50)
3.9.1	HG 系列红外发光二极管	(51)
3.9.2	TLN 系列红外发光二极管	(53)
3.9.3	GL 型和其他系列红外发光二极管	(54)
3.9.4	红外发光二极管的驱动、正确使用和安装	(54)
3.10	红外发光 LED 组件	(56)
3.11	设计红外发射电路的注意事项	(57)
3.12	几种典型的红外光发射电路	(58)
第 4 章	固体和气体红外激光源	(61)
4.1	红宝石激光器	(61)
4.2	钕铝石榴石(Nd:YAG)激光器	(62)
4.3	玻璃系列激光器	(63)
4.4	钛宝石激光器	(64)
4.5	He-Ne 气体激光器	(67)
4.5.1	内镜型 He-Ne 激光器	(67)
4.5.2	外镜型 He-Ne 激光器	(68)
4.5.3	He-Ne 混合气体受激辐射机理及能级图	(68)
4.6	CO ₂ 激光器	(69)
4.6.1	CO ₂ 激光器的激发方式和相应结构	(70)
4.6.2	CO ₂ 激光器的发光波长和跃迁能级图	(73)
第 5 章	半导体激光二极管(LD)	(75)
5.1	半导体激光器的一般工作原理	(75)
5.1.1	物质的光吸收与发射	(75)
5.1.2	半导体中载流子的统计分布与粒子数反转	(76)
5.1.3	重掺杂下 PN 结的能带分布和受激辐射机理	(79)
5.1.4	激光振荡条件与光学谐振腔	(80)

5.2	法布里-珀罗(F-P)腔型半导体二极管激光器	(81)
5.2.1	按垂直于PN结方向的结构分类	(81)
5.2.2	按平行于PN结方向的结构分类	(83)
5.3	GaAs/Al _{0.3} Ga _{0.7} As双异质结构条形激光二极管	(84)
5.4	分布反馈(DFB)激光二极管和分布Bragg反射器激光二极管	(87)
5.4.1	DFB激光二极管	(87)
5.4.2	分布布拉格反射器(DBR)激光二极管	(88)
5.4.3	分别限制式异质结分布反馈(SCH-DFB)激光二极管	(89)
5.5	量子阱激光二极管	(90)
5.5.1	量子阱激光器的结构和发光机理	(90)
5.5.2	量子阱激光器的特点	(91)
5.6	垂直腔面发射激光器(VCSEL)	(92)
5.6.1	面发射激光器(SELD)的类型和特点	(92)
5.6.2	垂直腔面发射激光器(VCSEL)的结构和基本特性	(93)
5.6.3	垂直腔面发射激光器(VCSEL)的优点和应用	(95)
5.7	半导体激光二极管的特性及合理应用	(97)
5.8	半导体激光器组件	(102)
5.8.1	组件的构成与功用	(102)
5.8.2	几种实用半导体激光器组件	(105)
第6章	红外激光在信息处理、工业和军事等领域的应用	(113)
6.1	激光在信息处理、数字音频中的应用	(113)
6.1.1	激光信息处理与压缩激光盘	(113)
6.1.2	激光唱机的构成和数据读取	(116)
6.2	红外激光雷达	(117)
6.2.1	激光测距仪	(118)
6.2.2	地炮红外激光组合雷达	(119)
6.2.3	红外激光自动跟踪雷达	(120)
6.2.4	跟踪导弹、飞船发射的红外激光雷达	(124)
6.3	大气环境监测红外激光雷达	(124)
6.4	红外激光制导	(129)
6.4.1	制导及其分类	(129)
6.4.2	红外制导及系统分类	(130)
6.4.3	红外激光制导	(132)
6.5	以红外光波为传媒的光纤通信系统	(134)
6.5.1	光纤通信系统	(134)
6.5.2	光放大器	(136)
6.6	红外激光大气通信	(140)
6.7	卫星激光通信	(141)
6.7.1	卫星微波通信	(141)
6.7.2	卫星运动轨道与同步卫星	(142)
6.7.3	卫星激光通信	(143)
6.8	红外激光加工及激光加工装置	(145)
6.8.1	激光加工及激光加工机概述	(145)
6.8.2	加工用激光的特性	(146)

6.8.3	激光切割	(149)
6.8.4	激光切削	(152)
6.8.5	激光焊接	(153)
6.8.6	激光表面处理	(155)
6.8.7	激光表面去污	(157)
第7章	红外光电探测器及应用	(159)
7.1	光电探测器分类及相应原理	(159)
7.1.1	光电探测器分类	(159)
7.1.2	半导体的光电导效应和光电导探测器(PC器件)	(159)
7.1.3	半导体的光生伏特效应和光生伏特探测器(PV器件)	(161)
7.1.4	光磁电效应和光磁电探测器(PEM器件)	(161)
7.1.5	光电子发射效应和光电发射探测器(PE器件)	(162)
7.2	光电导探测器(光敏电阻器)及应用	(163)
7.2.1	光电导探测器的工作原理	(163)
7.2.2	光电导探测器的基本特性和主要参数	(166)
7.2.3	从可见光到远红外光波段的常用光电导探测器	(170)
7.2.4	常用的MG系列CdS光电导探测器	(174)
7.2.5	光电导探测器的偏置电路	(180)
7.2.6	光电导探测器使用注意事项	(183)
7.2.7	采用光敏电阻的金鸡报晓电路	(184)
7.2.8	采用光敏电阻的阅读环境照度监视语言告戒电路	(185)
7.2.9	用光敏电阻制成的光控式路灯自动亮灭电路	(186)
7.2.10	用光敏电阻作为靶心的打靶中的“好运来”游戏机电路	(187)
7.3	光电二极管(PD)及应用	(188)
7.3.1	光电二极管(PD)的结构和工作原理	(188)
7.3.2	光电二极管(PD)的基本特性和主要参数	(189)
7.3.3	工程实用PN结型光电二极管	(193)
7.3.4	光电二极管实用电路六例	(198)
7.4	PIN型光电二极管(PIN-PD)	(200)
7.4.1	PIN型光电二极管的结构和工作原理	(200)
7.4.2	PIN型光电二极管的性能参数和典型管型	(201)
7.5	雪崩光电二极管(APD)	(207)
7.5.1	雪崩倍增效应	(207)
7.5.2	APD的结构及其工作原理	(208)
7.5.3	国产雪崩光电二极管APD的性能参数和典型器件	(211)
7.6	特殊光电二极管及组合器件	(213)
7.7	内含光电二极管的低噪声集成放大器和应用电路	(217)
7.7.1	DFA系列(DFA-XXXX)光电转换集成放大电路	(218)
7.7.2	HAD系列(1100A)光电转换集成放大电路	(219)
7.7.3	HFD系列(1060,1100)光电转换集成放大电路	(220)
7.7.4	HUV系列(1100BG,1100BQ,2000B,4000B)光电转换集成放大器电路	(222)
7.7.5	HUV双系列(2525BG)集成电路	(224)
7.7.6	HTE系列(2100BQ,2104BQ)集成电路	(226)
7.7.7	双光电二极管双通道DTC系列集成电路	(227)

7.7.8	含光电二极管和单电源运放的集成电路 OPT101	(229)
7.7.9	含光电二极管和放大器的 OPT202 型集成电路和应用	(233)
7.7.10	含光电二极管和放大器的 OPT209 型集成电路和应用	(237)
7.7.11	含光电二极管和放大器的 OPT301 型集成电路和应用	(242)
7.8	光电晶体管及其应用	(248)
7.8.1	同质结光电晶体管的结构和工作原理	(248)
7.8.2	光电晶体管的主要特性	(250)
7.8.3	波长可选的异质结光电晶体管	(253)
7.8.4	光电场效应晶体管	(255)
7.8.5	达林顿型光电三极管	(256)
7.8.6	光控可控硅及其应用	(257)
第 8 章	光电耦合器件及应用电路	(264)
8.1	光电耦合器件概述	(264)
8.2	光电耦合器的结构和分类	(264)
8.3	白炽灯-光敏电阻型光电耦合器	(266)
8.4	氖灯-光敏电阻型光电耦合器	(269)
8.5	二极管-光敏电阻型光电耦合器	(270)
8.5.1	二极管-光敏电阻型光电耦合器的结构和特性	(270)
8.5.2	VTL 型系列光电耦合器的性能和典型器件介绍	(272)
8.5.3	二极管-光敏电阻型光电耦合器的基本电路设计和计算	(273)
8.5.4	二极管-光敏电阻型光电耦合器应用实例	(276)
8.6	二极管-二极管型光电耦合器	(283)
8.7	二极管-三极管型光电耦合器	(287)
8.7.1	二极管-三极管型光电耦合器的结构、原理和电路符号	(287)
8.7.2	二极管-三极管型光电耦合器的信息传输原理及优缺点	(287)
8.7.3	二极管-三极管型光电耦合器的性能参数及其测量	(288)
8.7.4	常见二极管-三极管型光电耦合器的产品型号、参数及典型管型举例说明	(293)
8.7.5	二极管-高压三极管输出式光电耦合器	(298)
8.8	二极管-达林顿输出型光电耦合器	(300)
8.8.1	二极管-达林顿输出型光电耦合器的组成和性能参数	(300)
8.8.2	常见二极管-达林顿输出型光电耦合器的产品型号、参数及典型管型举例说明	(302)
8.9	二极管-光敏可控硅型光电耦合器/光电隔离器	(303)
8.9.1	二极管-光敏可控硅型光电耦合器的组成、特点和电路符号	(304)
8.9.2	二极管-双向可控硅型光电耦合器的产品型号、参数及典型耦合器举例说明	(304)
8.9.3	二极管-光敏可控硅光电耦合器的典型应用电路	(308)
8.10	交流输入-晶体管输出型光电耦合器	(310)
8.11	光电耦合器在信号耦合和隔离电路中的设计及实际应用	(313)
8.11.1	小信号交流耦合电路的设计计算	(314)
8.11.2	脉冲耦合电路的设计计算	(315)
8.12	光电耦合器在长线传输中的设计和应用	(316)
8.12.1	采用光电耦合器传输数字信号的设计计算	(316)
8.12.2	采用光电耦合器的非对称负载长线传输电路	(318)
8.12.3	终端负载对称的长线传输电路	(319)
8.12.4	对称负载接地的长线传输电路	(319)

8.13	光电耦合器在隔离放大器中的应用	(319)
8.13.1	使用二极管-二极管光电耦合器的宽频带隔离放大器	(320)
8.13.2	采用二极管-三极管光电耦合器的电平反馈式扫描幅度控制电路	(320)
8.13.3	采用二极管-三极管型光电耦合器的线性放大器	(320)
8.13.4	光电耦合器隔离正反相输入线性放大器	(321)
8.13.5	光电耦合比较放大器电路	(321)
8.14	用光电耦合器实现不同逻辑电路的连接和电平匹配	(322)
8.14.1	HTL-TTL-HTL 逻辑电路的互连	(323)
8.14.2	采用光电耦合器的接口电路	(323)
8.14.3	采用光电耦合器的数字电平匹配电路	(325)
8.15	用光电耦合器组成各种无触点开关电路	(325)
8.15.1	用光电耦合器组成常闭和常开开关	(325)
8.15.2	用光电耦合器组成自锁功能的无触点开关	(326)
8.15.3	用光电耦合器组成单刀双掷开关	(327)
8.15.4	用光电耦合器组成双刀双掷开关电路	(328)
8.16	用光电耦合器组成各种脉冲整形电路	(329)
8.16.1	光电耦合器与晶体管放大器组成同相整形电路	(329)
8.16.2	光电耦合器与门电路组成同相输出驱动电路	(329)
8.16.3	光电耦合器与门电路组成反相整形电路	(330)
8.16.4	光电耦合器与分立元件施密特触发器组成同相整形驱动电路	(330)
8.17	用光电耦合器组成各种逻辑电路	(331)
8.17.1	用光电耦合器组成与门及非门逻辑电路	(331)
8.17.2	用光电耦合器组成或门、或非门逻辑电路	(332)
8.17.3	用光电耦合器组成禁阻门电路	(332)
8.18	用光电耦合器组成各种触发器和振荡器	(332)
8.18.1	用光电耦合器组成双稳态触发电路	(333)
8.18.2	用光电耦合器组成单稳态电路	(333)
8.18.3	用光电耦合器组成双稳态隔离输出电路	(334)
8.18.4	用光电耦合器组成多谐振荡器隔离电路	(334)
8.18.5	用光电耦合器组成施密特触发器电路	(335)
8.18.6	用光电耦合器组成音频振荡器	(335)
8.18.7	用光电耦合器组成多谐振荡器	(336)
8.19	用光电耦合器组成各种驱动电路	(337)
8.19.1	有源与非门驱动电路	(337)
8.19.2	门电路和晶体管混合驱动电路	(337)
8.19.3	用光电耦合器隔离并驱动可控硅控制电路	(338)
8.19.4	用光电耦合器组成多组驱动电路	(339)
8.19.5	用光电耦合器组成传真机记录管的隔离、驱动电路	(339)
8.20	光电耦合器在稳压源和过流保护电路中的应用	(340)
8.20.1	用光电耦合器隔离的可控硅触发控制交流供电电路	(340)
8.20.2	采用光电耦合器的交流供电切换电路	(340)
8.20.3	用光电耦合器进行隔离调整的 500V 高压稳压电路	(341)
8.20.4	采用光电耦合器进行隔离调整的 1000V 高压稳压电路	(342)
8.20.5	用光电耦合器构成的控制高压开关电路	(342)

8.20.6	用光电耦合器进行精密调整的 1000V 高压稳压电路	(342)
8.21	用光电耦合器组成隔离式斩波器和调制器	(343)
8.21.1	用光电耦合器构成的隔离式斩波电路	(343)
8.21.2	由两个光电耦合器构成的直接斩波取样电路	(344)
8.21.3	用光电耦合器组成交流信号斩波取样电路	(344)
8.21.4	用光电耦合器组成相位差 180° 的方波调制器	(344)
8.22	光电耦合器在计时、定时方面的应用	(345)
8.22.1	钟控定时运行节电插座电路	(345)
8.22.2	竞赛用数字计时器电路	(346)
8.22.3	竞赛用 60 秒声光数字计时器电路	(347)
8.22.4	家用电器 0.5~24h 定时关断“叮咚”发声控制电路	(348)
8.22.5	采用可控硅型光电耦合器的定时安全供电插座伴鸟鸣声报叫电路	(349)
8.22.6	0.5~24h 声光显示任意定时军号发声电路	(350)
8.23	光电耦合器在话铃检测、话机留言、自动录音方面的应用	(351)
8.23.1	采用光电耦合器的无绳电话机铃流检测电路	(351)
8.23.2	采用光电耦合器检测电话回铃音电路	(352)
8.23.3	采用光电耦合器的电话自动录音控制电路	(352)
8.23.4	电话实时全自动录音控制电路	(353)
8.23.5	采用光电耦合器隔离的用语音代替电话铃声的留言控制器电路	(354)
8.24	光电耦合器在安全用电、供电方面的应用	(356)
8.24.1	具有“高压危险”语言告警功能的漏电保护插座电路	(356)
8.24.2	市电 AC220V 来电、停电音响报叫器电路	(357)
8.24.3	AC220V 来电乐曲发声报叫电路	(358)
8.24.4	交流电停电语音报叫安全供电插座电路	(359)
8.24.5	交流电复电叮咚乐曲报讯器电路	(360)
8.24.6	采用光电耦合器 4N26 的市电停电声光报知器电路	(361)
8.24.7	交流电停电语音“请注意”告戒供电插座电路	(362)
8.25	光电耦合器用于 PC 机、单片机安全联机 and 接口	(363)
8.25.1	计算机 CPU 运行故障音响监视器电路	(363)
8.25.2	计算机输入、输出设备与分机或终端的匹配连接电路	(363)
8.25.3	采用光电耦合器的计算机矩阵隔离和电平匹配网络	(364)
8.25.4	采用光电耦合器实现微处理器进行安全控制的固态继电器电路	(364)
8.25.5	采用光电耦合器构成 CMOS 接口电路	(365)
8.25.6	采用光电耦合器实施单片机对交流电压源的控制电路	(366)
8.25.7	采用光电耦合器实现 IBM PC 机与 8031 单片机间双向通信的电路	(367)
8.25.8	采用光电耦合器对单板机实施自动复位电路	(367)
8.26	光电耦合器在日用电子和工业控制方面的应用	(368)
8.26.1	用光电耦合器组成的充电指示电路	(368)
8.26.2	采用二极管-光敏电阻型光电耦合器的自动充电器电路	(368)
8.26.3	光电隔离的间歇式电加热控制电路	(370)
8.26.4	车床实习保安装置电路	(371)
8.26.5	用光电耦合器的晶体管扩音器过电流自动保护电路	(371)
8.26.6	采用光电耦合器的 AC220V 电压源转化为脉冲方波信号电路	(372)
8.26.7	采用光电耦合器将扫描信号转变成脉冲信号电路	(373)

8.26.8	采用光电耦合器将输入音频信号转换成脉冲的电路	(373)
8.26.9	电话摘机夜间自动照明控制电路	(374)
8.26.10	用光电耦合器构成隔离式固态继电器电路	(375)
8.26.11	采用光电耦合器进行多点温度巡检的接口电路	(376)
第9章	光电断路器、光电开关及其应用	(378)
9.1	光电断路器及其应用	(378)
9.1.1	光电断路器的结构、原理和主要参数	(378)
9.1.2	光电断路器的特点和典型应用	(380)
9.1.3	KP型光电断路器及外电路连接	(382)
9.1.4	钱柜、抽屉防盗语言报叫电路	(383)
9.1.5	采用反射型光电断路器的电磁活塞控制电路	(384)
9.1.6	公交车安全行车关门声光报叫电路	(385)
9.1.7	采用反射式光电断路器的计数器电路	(386)
9.1.8	旅馆客房节电插匙取电、用电控制电路	(387)
9.2	光电开关及其应用	(388)
9.2.1	光电开关的分类和工作方式	(388)
9.2.2	光电开关的结构类型和主要功能	(390)
9.2.3	光电开关的用途和典型应用	(394)
9.2.4	采用对射式光电开关和袖珍计算器的自动计数器	(395)
9.2.5	采用槽型光电开关的门、窗防盗报警电路	(395)
9.2.6	柜屉抽动无线电报叫装置电路	(396)
9.2.7	采用反射型光电开关的可逆计数电路	(397)
9.3	光纤式光电开关及其应用	(399)
9.3.1	光纤式光电开关的结构特点和工作原理	(399)
9.3.2	光纤式光电开关的性能及典型应用举例	(401)
9.4	单片集成光电开关 ULN-3300 及其应用	(403)
9.4.1	ULN-3300 的组成、原理和性能	(404)
9.4.2	ULN-3300 在光电控制上的典型应用	(406)
9.4.3	红外光控电动走马灯伴马蹄声电路	(406)
9.4.4	采用 TC-3300 的光控放水伴蛙鸣发声电路	(408)
9.4.5	采用 TC-3300 光电开关的四位计数电路	(409)
9.4.6	采用 ULN-3300 光电开关的可逆计数器电路	(409)
9.5	反射式红外光电开关 TX05D 及应用电路	(412)
9.5.1	TX05D 的结构、工作原理	(412)
9.5.2	采用 TX05D 和计算器的自动计数电路	(413)
9.5.3	珍贵物品防接近声光报警电路	(414)
9.5.4	红外光控“请开门”语言报叫门铃电路	(415)
9.5.5	红外反射式节水型自动喷泉伴蛙鸣发声控制电路	(416)
9.5.6	红外光控延时开关插座伴“您好”乐曲发声控制电路	(416)
9.5.7	反射式红外光控看门狗及门灯点亮电路	(417)
9.5.8	红外防入侵无线报叫电路	(418)

第 1 章 红外辐射基础

1.1 红外辐射及红外光谱

任何物质(体),其内部的带电粒子都是处于不断运动状态的。当物体具有一定温度,即物体温度高于热力学温度 0K 或摄氏温度 -273°C 时,它就会不断地向周围进行电磁辐射。物体的自发辐射,在常温下主要是红外辐射。红外辐射俗称红外线或红外光,它是人眼看不见的光线,具有强烈的热作用,故又称热辐射。

物体的热辐射特性主要由物体的温度决定,故又称为温度辐射。物体的温度辐射特性是光学温度传感和光电传感的基础。物体在常温下,发射红外线;当温度升高至 500°C 左右,便开始发射部分暗红外的可见光;当温度继续升高,物体会向外辐射电磁波,且随着温度的升高其波长会变短。当温度升至 1500°C 时,便开始发出白色光。所谓白色光,实际上是含有红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色的白色光。当将一束白色光照射到一个玻璃三棱镜上时,通过三棱镜对不同波长光的折射,就会显现七彩的单色光束。图 1-1 是太阳光的分光实验示意图。

红外线是位于可见光中红色光外的光线,是一种人眼看不见的光线。但这种光和其他任何光一样,也是一种客观存在的物质。红外线与可见光、紫外线、X 射线、 γ 射线和微波等无线电磁波一起,构成了一个无限连续的电磁波波谱,如图 1-2 所示。

在电磁波谱中,通常将波长范围为 $0.76\sim 1000\mu\text{m}$ 的区域称为红外光谱区。它相对应的频率范围大致在 $4\times 10^{14}\sim 3\times 10^{11}\text{Hz}$ 。红外线与可见光、无线电波一样,在真空中的传播速度也是以光的速度 ($2.997925\times 10^{10}\text{cm/s}\approx 3\times 10^{10}\text{cm/s}$) 传播的。

在红外技术中,为便于对不同波长的红外光进行研究,一般将红外辐射分为四个区域:近红外(波长 $\lambda=0.76\sim 3\mu\text{m}$),中红外($\lambda=3\sim 6\mu\text{m}$),中远红外($\lambda=6\sim 20\mu\text{m}$),远红外($\lambda=20\sim 1000\mu\text{m}$)。所谓远或近,是指红外辐射在电磁波谱中距离可见光的远、近,靠近可见光的为近红外区。

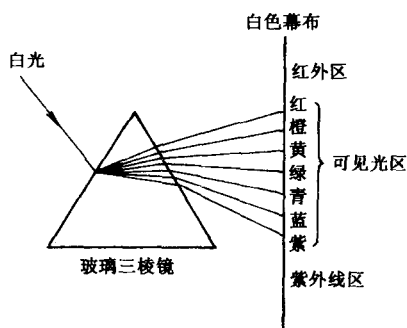


图 1-1 太阳光分光实验示意图

1.2 红外热效应与红外吸收

红外辐射的物理本质是热辐射。热辐射的程度主要由物体的温度所决定。温度越高,辐射出来的红外线越多,红外辐射的能量就越强。

科学研究表明,太阳光谱各种单色光的热效应,从紫色光到红色光的热效应是逐渐增大的,且最大的热效应出现在红外辐射的频谱范围内。因而,有人又将红外辐射称为热辐射或热射线。试验表明,波长在 $0.1\sim 1000\mu\text{m}$ 范围内的电磁波被物体吸收时,可以显著地将电磁能

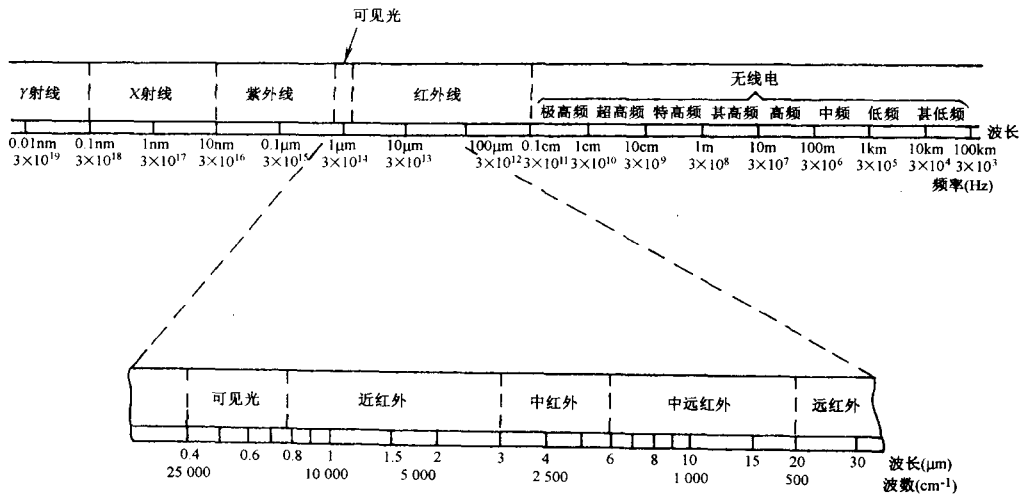


图 1-2 电磁波波谱图

转变为热能。红外辐射与其他辐射一样,能在其射程范围内被物体吸收并转换成热能。即使在高度真空中,通过热辐射也能进行能量的传递。例如,我们居住的地球与太阳相距遥远(约15000万公里),但太阳发出的光和热,通过远距离的接近真空的外层空间和地球大气层(约3000km)的传输,普照大地,它是地球万物生存的主要能源。热效应是光能和红外辐射被吸收的结果。

红外辐射和可见光、无线电波一样,是以波的形式在空间(同一介质)进行直线传播的,并遵守逆二次方定律,也能反射、折射、散射、干涉和偏振。它在真空中的传播速度等于光在真空中的传播速度,即

$$c = \lambda \gamma, \sigma = 1/\lambda \quad (1-1)$$

式中, λ ——红外辐射的波长(cm);

γ ——红外辐射的频率(Hz);

σ ——红外辐射在真空中1cm的长度内所包含的波长的个数;

c ——光在真空中的传播速度, $c \approx 3.0 \times 10^{10}$ cm/s。

热辐射的另一特点是辐射光谱呈连续性。在图1-2所示的电磁波谱中,由于不同波谱的波长相差很大,使用了不同的单位表示。各种长度间的关系如下:

$$1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm} = 10^{-4}\text{cm} = 10^{-6}\text{m} = 10^{-9}\text{km};$$

$$1\mu\text{m} = 10^3\text{nm} = 10^4\text{Å}(\text{埃});$$

红外辐射和电磁波传播一样,也有被传输介质吸收和散射等现象,使辐射能在传输过程中会逐渐衰减。

大气是红外辐射的主要传输介质。组成大气的主要气体是氮(N_2),氧(O_2),氢(H_2),氩(Ar),约占总体积的99.9%左右,其他气体仅占总体积的0.1%左右。而 N_2 , O_2 , H_2 , Ar 是空气中对称的双原子分子。它们在红外线传输过程中不会引起分子电荷的振荡(或者说在振动时不引起电偶极矩的变化),因而不吸收 $15\mu\text{m}$ 以下的红外线,即不会造成红外辐射在传输过程中衰减。

大气中除 N_2 , O_2 , H_2 , Ar 外,还有其他气体分子、水蒸气及尘埃、固体微粒等。例如, H_2O , CO_2 , O_3 , CH_4 , N_2O , CO 等多原子气体分子,在红外线传输过程中会引起分子的电偶极

矩变化,导致红外线的吸收和散射,使辐射能在传输过程中逐渐衰减。非干燥大气中吸收红外线最厉害的是水蒸气(H_2O)和二氧化碳(CO_2); H_2O 在波谱 $2.7\mu m$, $6.3\mu m$ 附近有很强的吸收带; CO_2 主要吸收 $2.7\mu m$, $4.3\mu m$ 和 $15\mu m$ 附近的红外辐射; O_3 在 $9.6\mu m$ 处有较强的吸收。此外, N_2O 在 $4.5\mu m$ 和 $7.8\mu m$ 处, CH_4 在 $3.2\mu m$ 和 $7.6\mu m$ 处, CO 在 $4.8\mu m$ 处均有明显的吸收作用。

在实际大气中,除上述气体分子外,还存在着许多大小为 $10^{-1}\sim 10^{-7}cm$ 的液态和固态的悬浮物,如灰尘、烟、碳粒子、雾、云、雨、雪等,他们也会对红外线发生强烈散射或吸收,导致红外传输的衰减。

图 1-3 画出了 CO , CH_4 , N_2O , O_3 , CO_2 , H_2O 几种吸收气体通过太阳光谱时的大气透过率曲线。由图可见,各种吸收气体对太阳光谱的形状有显著的影响。

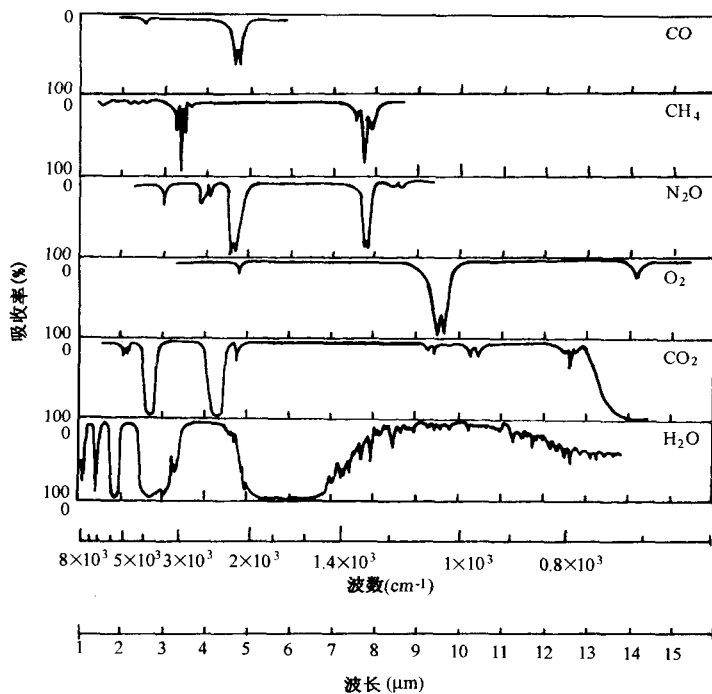


图 1-3 各种吸收气体对太阳光谱的吸收率

图 1-4 给出了太阳光谱通过 1 海里(=1.853 公里)长度上大气的透过率合成曲线。从该图可以看出,红外辐射在通过大气层时被分割成 3 个波段,即在各种气体(尤其是 H_2O 和 CO_2)吸收较弱的区段,红外线才能透过大气层向远方传播。

这 3 个对太阳光谱吸收较弱的区段,即 $2\sim 2.6\mu m$, $3\sim 5\mu m$, $8\sim 14\mu m$,大气相对说来是比较透明的,常称为“大气窗口”。这 3 个大气窗口对于从事红外光谱研究、红外技术应用和研究尤为重要,一般红外仪器或红外系统都工作在这 3 个窗口之内。

1.3 红外辐射技术术语、定义、符号和单位

为了便于对红外辐射定律的了解、红外器件性能参数和红外系统设计或应用,下面将红外技术中的常用术语的定义、符号和单位列于表 1-1。

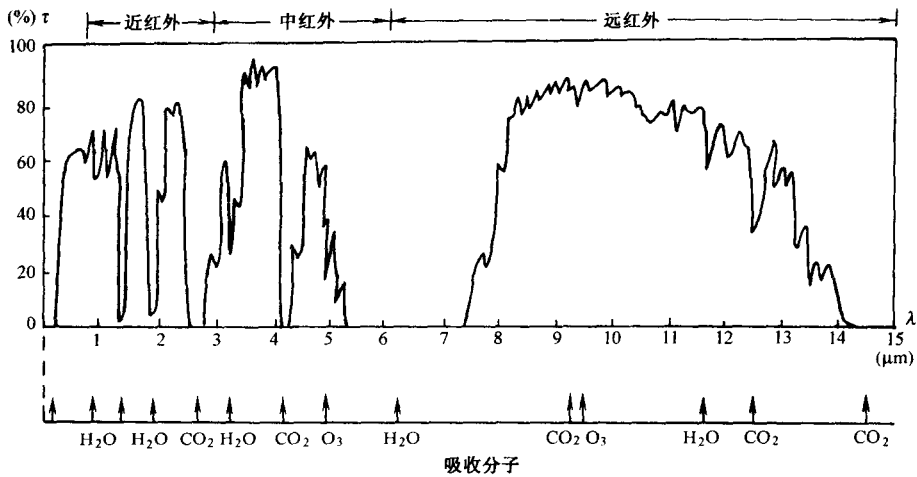


图 1-4 太阳光谱通过 1853m 长度的大气透射率曲线

表 1-1 有关辐射术语的定义、符号和单位

辐射术语	符号	定义	单位
面积	A		厘米 ² (cm ²)
体积	V		厘米 ³ (cm ³)
立体角	Ω		球面度(sr)
时间	t		秒(s)
辐射能(量)	Q	光源所辐射的以电磁波形式传递的能量	焦耳(J)
辐射能密度	W	单位体积的辐射能, $\frac{\partial Q}{\partial V}$	焦耳 / 厘米 ³ ($\frac{J}{cm^3}$)
辐射功率	P	辐射能的传递速率, $\frac{\partial Q}{\partial t}$	瓦(W)
光谱辐射功率	R	在 λ 附近单位波长间隔内的辐射功率, $\frac{\partial P}{\partial \lambda}$	$\frac{瓦}{微米}$ ($\frac{W}{\mu m}$)
辐(射)出(射)度	M	辐射源单位面积所发出的辐射功率, $\frac{\partial P}{\partial A}$	$\frac{瓦}{厘米^2}$ ($\frac{W}{cm^2}$)
光谱辐(射)出(射)度	M_λ	在 λ 附近单位波长间隔内的辐射发射量, $\frac{\partial M}{\partial \lambda}$	$\frac{瓦}{厘米^2 \cdot 微米}$ ($\frac{W}{cm^2 \cdot \mu m}$)
辐射强度	I	点源在单位立体角内的辐射功率, $\frac{\partial P}{\partial \Omega}$	$\frac{瓦}{球面度}$ ($\frac{W}{sr}$)
光谱辐射强度	I_λ	在 λ 附近单位波长间隔内的辐射强度, $\frac{\partial I}{\partial \lambda}$	$\frac{瓦}{球面度 \cdot 微米}$ ($\frac{W}{sr \cdot \mu m}$)
面辐射亮度(辐射度)	L	面源在单位投影面积单位立体角内的辐射功率, $\frac{\partial^2 P}{\cos \theta \partial A \partial \Omega}$	$\frac{瓦}{厘米^2 \cdot 球面度}$ ($\frac{W}{cm^2 \cdot sr}$)
光谱辐射率	L_λ	在 λ 附近单位波长间隔内的辐射率, $\frac{\partial L}{\partial \lambda}$	$\frac{瓦}{厘米^2 \cdot 球面度 \cdot 微米}$ ($\frac{W}{cm^2 \cdot sr \cdot \mu m}$)
辐(射)照度	H	落到接受体单位面积上的辐射功率, $\frac{\partial P}{\partial A}$	$\frac{瓦}{厘米^2}$ ($\frac{W}{cm^2}$)
光谱辐照度	H_λ	在 λ 附近单位波长间隔内的辐照度, $\frac{\partial H}{\partial \lambda}$	$\frac{瓦}{厘米^2 \cdot 微米}$ ($\frac{W}{cm^2 \cdot \mu m}$)

辐射术语	符号	定义	单位
辐射吸收率	α	物体吸收的辐射功率与入射的辐射功率之比	—
辐射反射率	ρ	物体反射的辐射功率与入射的辐射功率之比	—
辐射透过率	τ	物体透过的辐射功率与入射的辐射功率之比	—
比辐射率	ϵ	同一温度下物体的辐射发射量与黑体的辐射发射量之比	—
单色比辐射率	ϵ_λ	在波长 λ 处物体的辐射发射量与黑体的辐射发射量之比	—

需要说明的有以下两点：

一些术语的定义是采用偏微商定义的，例如，辐射功率（也称辐射通量） P ，它是发射、传输或接收能量的时间变化率，定义为 $P = \frac{\partial Q}{\partial t}$ (W)，式中 Q 是红外辐射能。采用偏微商定义，这是由于辐射能量不仅是时间 t 的函数，它还是波长 λ 、面积 A 、立体角 Ω 等许多因素的函数。类似的相关术语，也由偏微商定义。

表中术语加“光谱”二字的，例如，光谱辐射率 $\frac{\partial L}{\partial \lambda}$ ，是指其值是在 λ 附近单位波长间隔内的值；而加“单色”二字的，例如，单色比辐射率 ϵ_λ ，其值是指 λ 处的值。它没有波长间隔的概念。类似 ϵ_λ ，也可定义其他辐射量的单色值。

为了便于深入理解一些术语、弄清各辐射量之间的关系或进行相关计算，表 1-2 列出了红外辐射中各辐射量之间的微积分关系。各辐射术语的含义、度量说明等，限于篇幅，就不再赘述了。

表 1-2 各辐射量之间的相互关系

	Q	P	I	M	L	H
Q	—	$\int P dt$	$\iint I d\Omega dt$	$\iint M dA dt$	$\iiint L \cos\theta dA d\Omega dt$	$\iint H dA dt$
P	$\frac{\partial Q}{\partial t}$	—	$\int I d\Omega$	$\int M dA$	$\iint L \cos\theta dA d\Omega$	$\int H dA$
I	$\frac{\partial^2 Q}{\partial t \partial \Omega}$	$\frac{\partial P}{\partial \Omega}$	—	$\frac{\partial}{\partial \Omega} \int M dA$	$\int L \cos\theta dA$	$\frac{\partial}{\partial \Omega} \int H dA$
M	$\frac{\partial^2 Q}{\partial t \partial A}$	$\frac{\partial P}{\partial A}$	$\frac{\partial}{\partial A} \int I d\Omega$	—	$\int L \cos\theta d\Omega$	H
L	$\frac{\partial^3 Q}{\cos\theta \partial t \partial A \partial \Omega}$	$\frac{\partial^2 P}{\cos\theta \partial A \partial \Omega}$	$\frac{\partial I}{\cos\theta \partial A}$	$\frac{\partial M}{\cos\theta \partial \Omega}$	—	$\frac{\partial H}{\cos\theta \partial \Omega}$
H	$\frac{\partial^2 Q}{\partial t \partial A}$	$\frac{\partial P}{\partial A}$	$\frac{\partial}{\partial A} \int I d\Omega$	M	$\int L \cos\theta d\Omega$	—

1.4 点源和面源

任何物体在高于热力学温度 0K 的任何温度下，总是不断地自发向周围空间辐射红外线。因而，任何物体在一定条件下，都可以视为红外辐射源。根据辐射源几何尺寸的大小及相距探测器的远近，可分为点源和面源。