

红外 · 辐射 · 器件 · 电路 · 接口 · 实例 · 应用

 应用电子
Application Electronics

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 zltz@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,种类繁多,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 黑体辐射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 | 激光切割 | (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、单片机安全联机和接口 | (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。

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

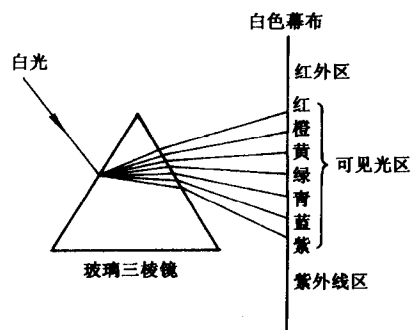


图 1-1 太阳光分光实验示意图

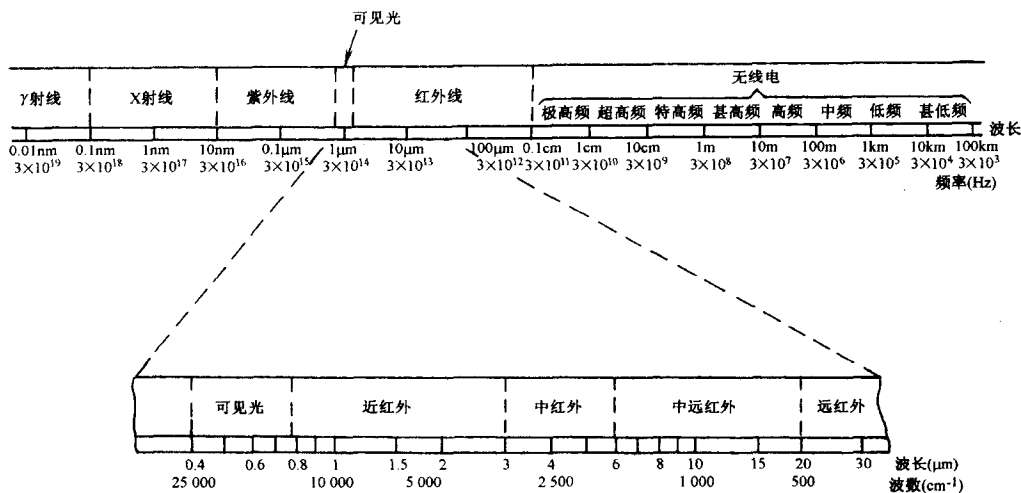


图 1-2 电磁波波谱图

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:

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

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

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。

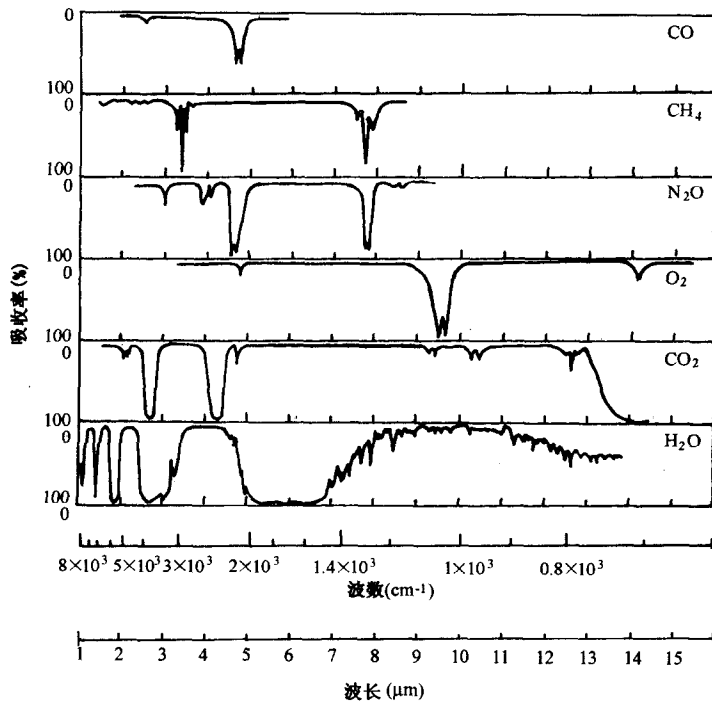


图 1-3 各种吸收气体对太阳光谱的吸收率

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。

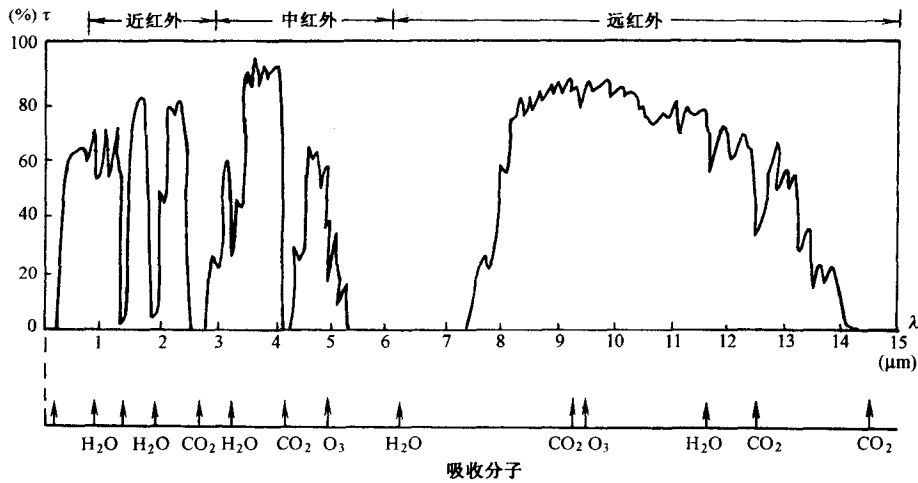


图 1-4 太阳光谱通过 1853m 长度的大气透射率曲线

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, $\frac{\partial P}{\partial \lambda}$ | 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, $\frac{\partial P}{\partial A}$ | 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, $\frac{\partial M}{\partial \lambda}$ | 瓦/厘米 ² ·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, $\frac{\partial P}{\partial \Omega}$ | 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, $\frac{\partial I}{\partial \lambda}$ | 瓦/球面度·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, $\frac{\partial^2 P}{\cos \theta \partial A \partial \Omega}$ | 瓦/厘米 ² ·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, $\frac{\partial L}{\partial \lambda}$ | 瓦/厘米 ² ·球面度·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, $\frac{\partial P}{\partial A}$ | 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, $\frac{\partial H}{\partial \lambda}$ | 瓦/厘米 ² ·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。