

红外技术的实际应用

〔美〕 R. 万兹蒂 著

张守一 郭迪忠 译
唐良品 张志鹏

科学出版社

1981

内 容 提 要

本书简明扼要地介绍了有关红外辐射的基础知识,红外测温装置,信息处理及显示方法,着重讨论了电子装置与元件的红外发射性质,以及如何将红外技术应用于电子装置与元件的工艺检测、故障检查和可靠性分析等方面的情况,并展望了红外应用的未来。

本书对从事电子元件及装置的设计、生产、检验、维修人员有一定的参考价值,也可供有关工厂、科研单位的科技人员、工人和大专院校有关专业师生参考。

R. Vanzetti

PRACTICAL APPLICATIONS of INFRARED TECHNIQUES

John Wiley, 1972

红外技术的实际应用

〔美〕 R. 万兹蒂 著

张守一 郭迪忠 唐良晶 张志鹏 译

责任编辑 赵惠芝

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院开封印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32
1981 年 12 月第一次印刷 印张: 11 插页 1
印数: 0001—7,460 字数: 248,000

统一书号: 13031·1769

本社书号: 2407·13—3

定价: 1.75 元

译 者 序

红外技术的发展有较长的历史,但直到本世纪末才逐渐形成一门独立的综合性工程技术。六十年代后期,红外技术在军事、工农业生产、医学、科学研究等各个方面的应用都有较快的发展,而且显示出巨大的潜力。

本书的特点是简明扼要,通俗易懂。全书分为两部分:第一部分阐述红外辐射的基础知识,红外探测器,红外测温装置,信息处理和显示方法,以及电子装置的红外辐射等。第二部分主要介绍红外技术用于电子元件及器件的生产工艺检测,运行故障检查和可靠性分析等方面的情况,并展望了红外应用的未来。由于作者曾负责过这方面的质量检查工作,所以对这一技术的介绍乃至图表数据都较为详细,有一定的参考价值。

但是本书主要介绍红外技术在工业探测中的应用,而红外技术的应用十分广泛,近年来已用于跟踪、制导、夜视、侦察、遥感、遥测、测温、成象、工业探测、森林防火、医疗诊断、天文观察、地质勘探、地质微观结构分析、红外电视显微技术等方面。有关这些新发展,请读者参阅有关文献和专著。

原书中一些明显疏误之处,翻译时已予更正,对一些值得商榷之处则加上译者注,以供读者参考。个别离题较远的内容已予删去。

本书承吴宗兰同志详细校订,特此誌谢。

限于译者水平,译文中错误不妥之处,欢迎读者批评指正。

译 者

1979年2月于华中工学院

原 序 节 译

百万年以来，人类在增长自己的才智和扩大对所居住的世界的认识方面都很有成就。

帮助人类取得这些成就的工具是一台出色的计算机（即通常称为大脑）。它通过五个输入端（即五官）接受外界信息，把这种信息同原来存储的信息（即经验和认识，或二者之一）相比较，作出判断，并向人体的有关部位输出适当的信号，令其执行诸如交流思想，四肢活动，使记忆系统保存信息等等。

与其他生物的一般习性相反，人类不甘心受上述原有器官的限制。在这种渴求进取的心情驱使下，人类为施展其才能进行了长期不懈的斗争。

首先是改善活动范围。人类赤手空拳制造工具，又用这些工具做出各种设备，使体力活动的范围大为扩展。

其次是努力提高判断能力。从开始接受母亲的教育到哲学观念的形成，人们总是在寻求更清晰和更广泛的理解与判断事物的标准。

直到最近，人类才致力于第三个领域，即增强获得输入信息的能力。扩大感觉范围或增添新的感官，使我们的大脑能接受更多的信息，以便对外部世界作出较全面的判断。看来这是合乎逻辑的。

这个领域里的最新进展，是发展了可用来检测和测量红外辐射的传感器，以及把这种信息用人们所能理解的方式显示出来的本领。

现在人们对一切物质发射的红外辐射都能觉察，这好象

人类的感官已从五种增加到六种。这样说给人的印象也许还不深刻，不妨举一个例子来说明它的重要性。假如有个农民生来就是瞎子，他耕耘土地，选种只能按种子的形状，大小和轻重来进行。一天，通过一次成功的手术，他获得了视力，这时他才认识到种子还有颜色。也许种子的颜色与作物的生长有关，黑色的种子大概是永远发不了芽的。于是，这个农民就想弄清每个可见物体的颜色的意义了。

红外线的情况也是一样。人类刚刚获得这种新的感官。黑暗突然不再存在，纵然是漆黑之夜，到处都闪耀着从一切物质不断发射出来的红外辐射的光芒。可是人们必须学会掌握这种辐射所传播的信息。当人类学会以后，便在认识宇宙和支配物质世界的旅途中又向前迈进了一步。

本书介绍大家都感兴趣的一个课题，即如何利用红外辐射所产生的信息来改进现代设备的设计与结构，特别是改进电子设备的设计与结构。所谓改进，就是提高设备的可靠性，因为可靠性的含义是在特定环境条件下，一台设备能按其技术指标在一定时间内正常运行的概率。

一种较好的设计与较好的结构将自动提高这种概率。然而，我所采用的方法与大多数研究可靠性问题的专家习用的统计概念大不相同。我认为必须超越这样的说法，即“一台一般的X型计算机，在其工作一千小时后的下一个一千小时的工作时间里，平均只有三只晶体管和五只二极管失效。”我想要发现，在一台装有二千只晶体管和八千只二极管的特定的X型计算机中，在规定的运转寿命内，哪几只晶体管（不一定是三只）和二极管（不一定是五只）将失效。我相信，借助于红外技术，这个设想是可以实现的。

换句话说，本书将强调实际应用，指出如何用红外辐射来解决技术问题，以及如何用它提供的资料来指导设计和制造

更好的产品。

利用红外辐射来提高产品的可靠性，现在尚处于萌芽阶段。本书是论述这一专题的第一本著作。它仅叙述迄今所取得的微小进展，并指出能说明这一崭新领域巨大潜力的一些研究结果。要全面应用上这些技术，还要走一段漫长而崎岖的道路，可是直到今天，迈上这一征途的人还是太少了。我们所作的努力是不够的，诚恳地欢迎有不同意见的读者指教。

对愿意从事这项工作的任何人，我不能作出加薪、延长休假期、晋级、给奖或授勋的许诺。我只能说，付出更辛勤和更长期的劳动，也许将来有一天，当我们认识到，我们是怀着揭示宇宙的目的，为建造这座知识之塔增添过一砖半瓦而以真挚的目光互相凝视时，我们会因此而深感欣慰。

理查德·万兹蒂

1972年2月于麻省瓦耳浦城

目 录

第一部分 红外辐射及探测

第一章 基本知识	1
1.1 不可见光线	1
1.2 电磁频谱	3
1.3 红外光谱	5
1.4 “温度”是什么?	7
1.5 黑体	7
1.6 发射率	10
1.7 基本辐射定律	11
1.7.1 基尔霍夫(Kirchhoff)定律	11
1.7.2 何谓空腔?	13
1.7.3 斯忒藩-玻耳兹曼定律	14
1.7.4 维恩位移定律	15
1.7.5 普朗克公式	16
1.7.6 非相干辐射与相干辐射	17
1.7.7 其他光学特性	21
1.7.8 辐射几何学	22
第二章 红外探测	27
2.1 基本概念	27
2.2 探测度和噪声等效功率	27
2.3 热探测器	30
2.3.1 温度计	31
2.3.2 接触测量	31
2.3.3 非接触测量	33

2.3.4	气动探测器	33
2.3.5	蒸发器件	33
2.3.6	测辐射热计	34
2.3.7	浸没型热敏电阻测辐射热计	37
2.3.8	超导测辐射热计	38
2.3.9	铁电测辐射热计	39
2.3.10	热电探测器	40
2.4	化学探测器	41
2.5	量子探测器	43
2.5.1	光电二极管	53
2.6	致冷装置	54
2.7	频率变换	59
2.7.1	磷光物发光	60
2.7.2	场致发光	62
2.7.3	铁电转换	64
2.7.4	红外光导摄像管	66
2.7.5	液晶	69
第三章	红外测量装置	73
3.1	红外测试装置的基本结构	73
3.1.1	温度遥测	73
3.1.2	红外系统的考虑	73
3.1.3	光学系统	77
3.1.4	一种特殊的光学系统	82
3.1.5	极限	84
3.1.6	光导纤维	84
3.1.7	纤维光缆	92
3.1.8	调制系统	93
3.1.9	扫描系统	95
3.1.10	改进的拐角反射器系统	98
3.1.11	扫描纤维	100
3.1.12	计算机控制扫描器	101

3.1.13	探测器	102
3.1.14	控制电子线路	105
3.1.15	一般结构	106
3.1.16	噪声考虑	107
3.1.17	带宽考虑	108
3.1.18	放大器特征	109
3.1.19	前置放大器和放大器	109
3.1.20	显示系统	113
3.1.21	记录系统	113
3.2	红外辐射计	114
3.2.1	定义	114
3.2.2	点探测仪	116
3.2.3	可动目标的点探测仪	117
3.2.4	行扫描仪	120
3.2.5	光栅扫描辐射计	122
3.2.6	红外显微镜	124
3.2.7	快速扫描红外显微镜	126
3.2.8	双波长辐射计	129
3.2.9	焊接质量监控仪	134
3.2.10	温度监控仪	135
3.2.11	半导体结分析仪	136
3.3	成象装置(蒸发仪)	139
第四章	信息的处理和显示	142
4.1	红外线到可见光的转换	142
4.2	红外照相	142
4.3	磷光涂料	143
4.4	铁电变换器	144
4.5	液晶显示	145
4.6	阴极射线管(CRT)显示	147
4.7	红外摄象机	149
4.8	蒸发成象显示	152

4.9 模拟信息显示	153
4.9.1 分立点显示	155
4.9.2 三维图形	156
4.9.3 热图	157
4.9.4 与标准热图的偏差	163
4.10 模/数转换	164
第五章 电子装置的红外发射	172
5.1 基本关系式	172
5.2 热传播机理	173
5.3 热的相互作用	178
5.4 热阻	180
5.5 发射率校正	181

第二部分 应 用

第六章 红外技术在可靠性方面的应用	191
6.1 失效率的概念	191
6.2 红外技术的优点	196
第七章 元、器件的检测	198
7.1 电阻器	198
7.1.1 电阻器在交流与直流下的工作状况	199
7.1.2 电阻器的表面热图	199
7.1.3 金属膜电阻	201
7.1.4 线绕电阻器	203
7.1.5 微型电阻器	203
7.1.6 电阻器的可靠性	206
7.2 二极管	208
7.2.1 二极管的复合辐射	211
7.3 晶体管	213
7.3.1 晶体管的估计寿命	215
7.3.2 二次击穿	221

7.4	复合辐射	225
7.5	集成电路,中规模 and 大规模器件	228
7.5.1	“立式”显微镜的热图	232
7.5.2	快扫描显微镜测绘的热图	236
7.5.3	焊接质量的鉴定	239
7.5.4	复合辐射的测量	244
7.5.5	集成电路二极管 $P-N$ 结发出的复合辐射	245
7.5.6	集成电路中晶体管 $P-N$ 结发出的复合辐射	246
7.5.7	大规模集成电路	254
7.5.8	应用的总结	257
7.6	电容器	259
7.7	线圈和变压器	260
7.8	机械焊接	260
7.8.1	几个例子	262
7.9	激光注入系统	271
7.10	内连焊接	273
7.10.1	点焊	276
7.10.2	电镀金属膜	281
7.10.3	多层印刷电路板	282
7.11	铸件	287
第八章	红外技术在电子学方面的应用范围	292
8.1	红外辐射特性	292
8.2	电气设计的鉴定	295
8.3	产品设计鉴定	299
8.4	元件应力分析	301
8.5	可靠性计算	302
8.6	检验	303
8.6.1	进货检查	303
8.6.2	工艺检验	304
8.6.3	最后的检查	305
8.7	测试及寻找故障	305

8.8	二次过应力的检查	316
8.9	新的维修规程	321
第九章	展望	324
9.1	纤维光学的未来	325
9.2	红外显微镜的未来	328
9.3	新的探讨	332
参考文献		339

第一部分 红外辐射及探测

第一章 基本知识

1.1 不可见光线

现在我们回顾一下红外的历史。曾经有人在暗室中研究光和热的性质，以及两者之间的关系。暗室中唯一的窗子是用厚木板遮住的(图1)。木板上开有一个矩形小孔，孔内装一分光棱镜，它将太阳光分解为彩色光谱。此人用温度计测量光谱中各种颜色的含热量。为了补偿环境温度的变化，他



图1 F. W. 赫胥尔发现红外线

在工作面的周围,放置了几支监控用的温度计。突然,他发现了一个奇异现象:这些监控温度计中,有一支比室内其他任何温度计所指示的温度总是要高得多,而且这一高温区域明显地处于光谱之外,超过了红色光谱带的外缘。

上述实验是在 1800 年进行的。通过这一实验意外地发现了红外辐射,发现人就是 F. W. 赫胥尔(Frederik William Herschel)。

1800 年 3 月 27 日,赫胥尔在致伦敦皇家学会的信中宣称:“……如果允许我使用不可见光线这个词的话,那么我认为,太阳发射出来的辐射热中至少部分地包含着这种光线……”。

说来似乎有些奇怪,“不可见光线”一词是完全正确的。也许我们应当加以补充的是——对人眼不可见;因为可见辐射频带范围是随着生物的不同类别而有所不同的。

看来大动物对低频的灵敏度较低,如公牛的情况就是这样:在斗牛场演出的壮观节目中,斗牛士用红披肩披在身上时会惹得公牛暴跳如雷。你知道,在公牛眼中,红披肩变成什么颜色吗?竟然是一片漆黑。原来公牛对红色是色盲!

反之,对某些小动物,可见带通似乎转向另一端,也就是说,其中有些动物不能看到光谱上端的颜色:这很可能是为什么花的颜色几乎没有蓝色或紫色的缘故,因为大多数昆虫看不到它们,而最近发现,蚊子能看见人体的不可见辐射也就不足为奇了。通过个人的痛苦经验,我发现,在漆黑之夜,我在蚊子的眼中,竟象灯塔对海员一样明亮。

现在人们称这种不可见光线为“红外辐射”。它是一种电磁振荡,其性质与可见光及无线电波完全一样。实际上,它在电磁频谱中的位置低于可见光的红色光带(故称“红外”),而高于无线电的毫米波。

1.2 电磁频谱

图2表示迄今为止人们所知道的电磁辐射的频谱分布。频谱图从右端的声频开始,经过无线电波(长波、中波、短波、甚高频、超高频、极高频和毫米波)直到红外区。红外光谱的最低频率和毫米波的高频端之间有一个重叠区,但是这种重叠区只是名义上的重叠,实际上它是同一种电磁辐射用两种不同的名字来称呼罢了。今后在本书中,我们将不再提及占据很大一部分远红外光谱区的这段无线电亚毫米波。

红外区域的高频端是可见光,其次是紫外线,然后随着光子能量的增长依次为X射线、 γ 射线和宇宙线。目前人类的认识水平还只到此为止。

图2示出频率、波长和光子能量三种标度尺,它们是对电磁辐射进行分类的基础。它们之间的关系由下式给出:

$$f = \frac{c}{\lambda},$$

$$E = hf,$$

式中 f = 频率(赫); c = 光速(2.99793×10^{10} 厘米/秒); λ = 波长(厘米); E = 光子能量(焦耳); h = 普朗克常数(6.6252×10^{-34} 瓦/秒²)。由图可以看出,电磁频谱所覆盖的范围是极为宽广的。但是不管这些电磁辐射在频率、波长和光子能量等方面的差别是多么悬殊,它们在下述两方面却仍具有相同的性质,即它们都传输能量,而且总是以同样的速度(即光速,在真空中约为 300,000 公里/秒)向前传播。

产生电磁辐射的方法是多种多样的:低频端可由发电机(如交流发电机)产生;随着频率逐渐增高,可由阻容电路产生,一直到高频端可由核子跃迁以及介子衰变等产生。红外辐射是由构成物质的各种原子及亚原子粒子的旋转和振动产

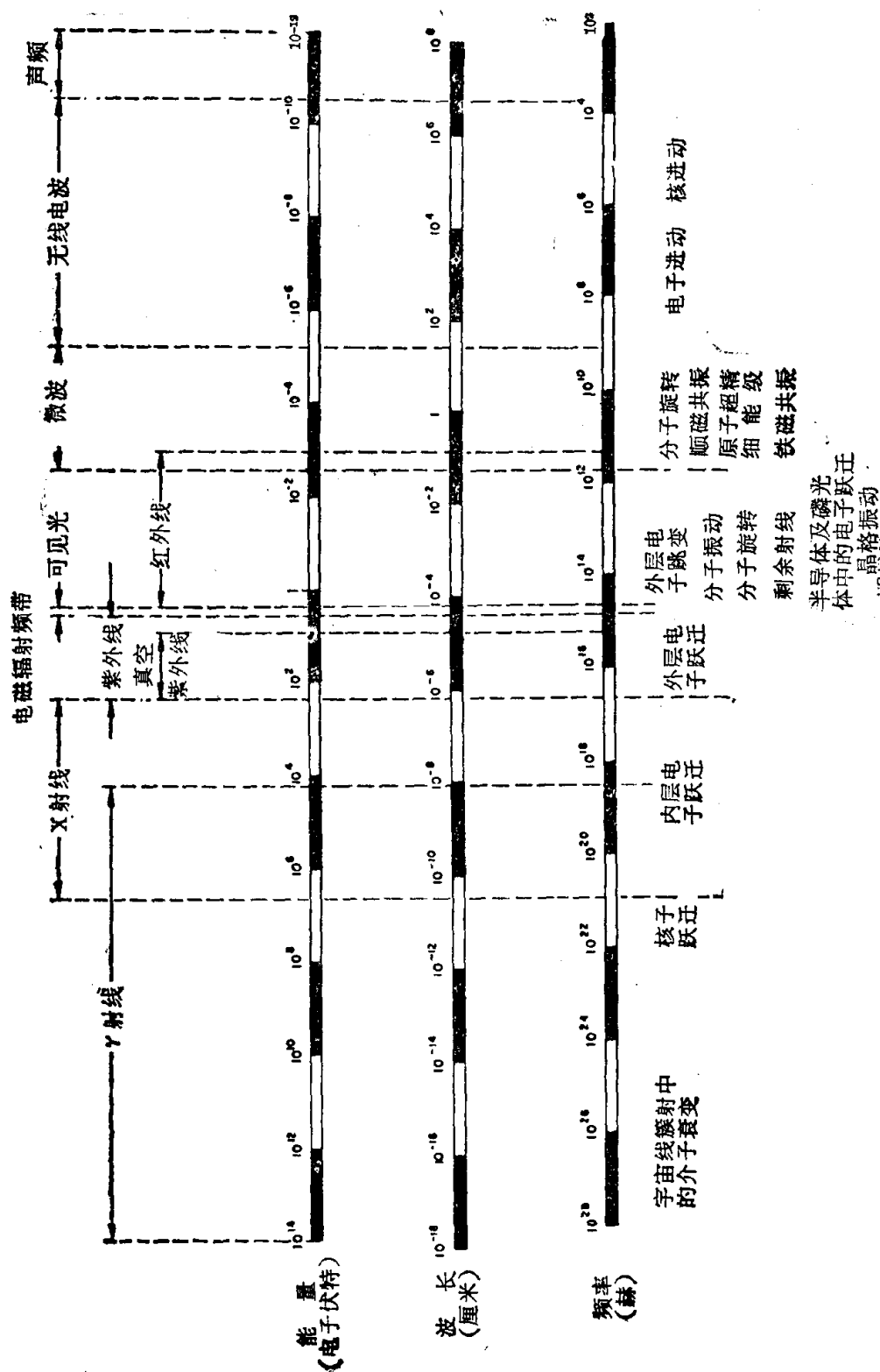


图2 电磁频谱

生的。原子及亚原子粒子是经常运动着的，因此物质也就经常发射出频率与振子共振常数相对应的红外辐射。由于存在着形形色色的粒子，因此它们发射出的辐射频率也极不相同，这些频率所覆盖的范围，就是我们所熟知的红外光谱。

1.3 红 外 光 谱

图 3 表示红外辐射谱带和与它紧邻的可见光谱带。由图可见，红外光谱范围可分为近红外、中红外和远红外三个区域。这种划分同它们的上限和下限的划分一样，都是不大严格的。

过去对不同的区域使用不同的探测技术，是造成图 3 那样划分的主要原因。但现在似乎已没有必要再将红外光谱带划分为若干小段了。然而根据红外辐射源的质量，仍可以分为下列三类：

1. 亚原子粒子。近红外辐射大都是由这种粒子的“跳跃”形成的；
2. 原子。这种粒子的运动产生中红外辐射；
3. 分子。它们的振动和转动发生远红外辐射。

从图 3 中一眼就可以看出，可见光所覆盖的区域与红外线所覆盖的区域极不相称，前者约为一个倍频程，后者超过十个倍频程。可以设想，一个具有看见红外的眼睛的人，所能欣赏的景色将是多么绚丽多姿，因为除了现在我们所熟知的七种颜色之外，他还能看到大约七十种新颖的色彩。

图 3 中令人感兴趣的还有各种红外辐射源和它们所覆盖的光谱区域。从图中可以看出，一定类型的分子具有一定的共振频率，该共振频率在光谱中处于某一确定的位置。因此对于那些作为光谱学基础的物理定律也就好理解了。这些定律指出，共振频率是由构成分子的基本粒子所产生的，故每一分子均有其特有的共振谱线图，即由不同频率构成的光谱带。