



地面目标与背景的红外特征



Infrared Characterizations of Ground Targets and Backgrounds

宣益民 韩玉阁 著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

地面目标与背景的红外特征 Infrared Characterizations of Ground Targets and Backgrounds

宣益民 韩玉阁 蔡兰波 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

地面目标与背景的红外特征/宣益民等著. —北京:
国防工业出版社, 2004. 1

ISBN 7-118-03180-1

I. 地... II. 宣... III. ①地面侦察—红外目标—
红外辐射—特征②地面侦察—红外背景—红外辐射—特
征 IV. E933.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 042516 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 印张 7% 192 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—2500 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革

IV

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金

第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员 陈达植

顾问 黄 宁

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘书长 张又栋

副秘书长 彭华良 蔡 镛

委员 于景元 王小谟 甘茂治 冯允成

(按姓名笔画排序) 刘世参 杨星豪 李德毅 吴有生

何新贵 佟玉民 宋家树 张立同

张鸿元 陈火旺 侯正明 常显奇

崔尔杰 韩祖南 舒长胜

前 言

红外成像制导武器和红外隐身技术的发展,对发现、识别和跟踪目标的技术要求越来越高。红外成像制导导弹的研制必然涉及目标与相关背景的红外图像特征以及目标与背景的红外辐射特征对比度,红外成像武器装备的论证、研制、仿真和作战都需要提供军事目标与背景的红外图像特征数据,因此红外制导武器的发展对目标与环境红外特征研究的要求越来越高,也越来越迫切。研究目标与背景的红外辐射特性及其对比度,对目标识别、红外制导武器研制、红外隐身技术研究、作战模拟训练、武器性能评估、武器采购等均具有十分重要的意义和明显的应用价值。目标与背景的红外辐射特征及其对比度在经济建设中也具有广泛的应用前景,例如,可用于国土资源的红外遥感和遥测、森林火灾的预防以及农作物生长状况的红外监测、工业节能、设备热故障诊断和生物医学工程等各个领域。

目标与背景处于一个复杂的能量与质量交换体系之中,涉及到热传导、对流换热、辐射换热和相变换热等多种传热传质方式以及目标内部的热源和运动状况及其环境气象条件。目标或背景的温度分布和红外辐射特征则是这种复杂的能量与质量交换过程的直接反映。研究目标与背景内部的能量质量传递,阐述目标与背景红外辐射特征的产生机理与分布规律,分析目标与背景的红外辐射对比特征,为红外成像制导武器和红外隐身对抗技术的发展提供必要的目标与背景红外辐射特征及其分析方法,是本书的主要目的。

本书综合运用传热传质学、计算传热学、红外物理学、车辆行驶原理、弹道学和计算机图形学等学科的基本理论,系统地建立了

描述地面军事目标与背景红外辐射特征的理论和方法,深入地分析了影响目标与背景温度场和红外辐射通量分布的各种因素,通过若干典型目标及背景的示例,阐述了红外辐射特征模型的构造方法及其应用。本书的重点在于对影响目标与背景红外辐射特征模型主要因素的分析,针对各种目标不同特点的红外辐射特征理论模型的建立方法、目标与背景几何构形和计算结果的可视化方法以及红外模拟热图像的生成方法等。本书的内容对于红外制导武器的研制、军用目标的红外隐身技术研究具有重要的应用价值,在红外成像制导武器研制、军用目标红外隐身性能评估、红外隐身设计和红外波段战场虚拟现实系统与作战仿真等方面具有广泛的应用前景。

本书作者长期从事目标与背景的红外辐射特征研究,在国内首先建立了完整的坦克红外辐射特征模型、丛林背景红外辐射特征模型、桥梁红外辐射特征模型,并对坦克与背景红外景像的合成进行了大量研究。本书集作者近 10 年的研究成果而成。

本书由南京理工大学宣益民、韩玉阁以及总装备部电子信息部新技术局蔡兰波共同撰写而成。作者对所有在本书写作过程中给与热情关心和大力帮助的前辈和同行,表示深深的谢意!由于作者水平有限,书中缺点错误在所难免,真诚希望读者批评指正。

宣益民、韩玉阁、蔡兰波

目 录

第一章 绪论	1
1.1 目标与背景红外辐射特征产生的原因	1
1.2 目标与背景的关系	2
1.3 目标与背景红外特征研究的意义	5
1.4 国内外的研究水平及趋势	7
1.4.1 复杂背景	7
1.4.2 装甲车辆.....	10
1.4.3 装甲车辆与复杂背景红外辐射特征对比度.....	11
1.5 目标与背景红外辐射特征的研究方法.....	12
1.5.1 实验研究方法.....	12
1.5.2 理论研究方法.....	14
参考文献	16
第二章 红外特征模拟的理论基础	19
2.1 传热的基本方式和理论.....	19
2.1.1 热传导.....	19
2.1.2 对流换热.....	21
2.1.3 热辐射.....	24
2.1.4 太阳辐射和天空背景辐射.....	29
2.1.5 热边界条件.....	31
2.1.6 红外辐射强度计算.....	32
2.2 红外特征分析的数值方法.....	32
2.2.1 辐射换热的计算.....	33
2.2.2 确定温度场的有限差分方法.....	37
2.2.3 确定温度场的边界元方法.....	38

2.3 大气传输特性的影响·····	46
2.4 红外特征模型敏感度分析·····	47
2.5 目标红外图像特征分析·····	50
参考文献·····	52
第三章 车辆红外辐射特征 ·····	54
3.1 车辆整体温度分布理论模型·····	55
3.1.1 车体的温度分布理论模型·····	55
3.1.2 履带与车轮温度分布理论模型·····	67
3.1.3 火炮身管温度分布理论模型·····	71
3.1.4 车辆温度理论模型的数值解法·····	76
3.1.5 车辆温度理论模型计算结果分析·····	81
3.2 车辆红外辐射特征理论模型·····	97
3.2.1 车辆红外辐射特征理论模型·····	98
3.2.2 车辆红外辐射特征计算结果分析·····	99
参考文献·····	100
第四章 地面立体目标红外辐射特征 ·····	103
4.1 桥梁的红外辐射特征·····	103
4.1.1 桥梁结构分析·····	104
4.1.2 影响桥梁红外辐射特征的因素·····	104
4.1.3 桥梁红外辐射特征建模·····	106
4.1.4 算例及结果讨论·····	114
4.2 储气(油)罐的红外辐射特征模型·····	116
4.2.1 整体区域建模求解法·····	117
4.2.2 分区建模求解边界耦合法·····	118
4.2.3 红外辐射通量·····	119
4.3 地面建筑物红外辐射模型·····	119
参考文献·····	122
第五章 地面自然背景红外辐射特征 ·····	124
5.1 裸露地表及低矮植被的红外辐射特征·····	124
5.1.1 裸露型地表·····	126

5.1.2 植被型地表	127
5.1.3 计算结果分析	129
5.2 树木及丛林背景的红外辐射特征	132
5.2.1 树木的红外辐射特征模型	132
5.2.2 丛林的红外辐射特征模型	143
5.3 雪地的红外辐射特征	148
5.4 自然地表红外辐射理论模型	151
参考文献	152
第六章 红外热像模拟	154
6.1 自然地面背景的几何构形生成	154
6.1.1 自然物体的特点与分形几何的基本概念	154
6.1.2 常见自然景物的造型方法	156
6.2 地面立体目标和装甲车辆等军事目标的几何构 形生成	168
6.2.1 几何元素的定义	168
6.2.2 表示形体的线框、表面和实体模型	169
6.2.3 装甲车辆的三维几何构形	169
6.2.4 桥梁的三维几何构形	171
6.3 自然地表红外图像的模拟	171
6.3.1 自然地表红外图像的随机模拟	172
6.3.2 探测器视场图像生成	174
6.4 装甲车辆的红外热像模拟	177
6.5 地面立体目标的红外热像模拟	179
6.6 丛林的红外热像模拟	180
6.6.1 丛林的随机生成模型	180
6.6.2 丛林红外热像的生成	181
6.7 复杂三维背景红外图像模拟	183
6.7.1 自然地表的土壤类型、植被类型的确定	183
6.7.2 复杂背景红外图像的生成	184
6.8 复杂地面背景红外图像的可见光图像生成法	185

6.8.1 可见光图像的分割	185
6.8.2 地面背景的红外热像合成	189
6.9 军用目标与地面背景红外图像的合成	192
参考文献	194
第七章 目标红外辐射特征分析	197
7.1 目标与背景红外辐射对比特征分析	197
7.2 目标红外特征信号的获取方法	202
7.2.1 分形的几何特征和基本概念	203
7.2.2 红外图像的分维数特征计算	204
参考文献	206
第八章 目标红外辐射特征模型的应用	208
8.1 红外成像导引头的仿真实验	208
8.2 军用目标的红外隐身性能评估	210
8.3 红外制导武器仿真作战训练	214
8.4 红外景像产生器	217
参考文献	225

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Infrared Radiation Mechanisms of Targets and Backgrounds	1
1.2 Relationships between Targets and Backgrounds	2
1.3 Investigation Significance of Infrared Characterizations of Targets and Backgrounds	5
1.4 Outlines of Worldwide Investigation Status	7
1.4.1 Complicated Backgrounds	7
1.4.2 Armoured Vehicles	10
1.4.3 The Infrared Radiation Characteristic Contrast between Complicated Backgrounds and Armoured Vehicles	11
1.5 Investigation Methods of Infrared Characterizations of Targets and Backgrounds	12
1.5.1 Experimental Approaches	12
1.5.2 Theoretical Approaches	14
References	16
Chapter 2 Basic Theory of Infrared Characterization	
Simulation	19
2.1 Fundamental Modes and Theory of Heat Transfer	19
2.1.1 Thermal Conduction	19
2.1.2 Thermal Convection	21
2.1.3 Thermal Radiation	24
2.1.4 Sun Irradiation and Sky Radiance	29

2.1.5 Thermal Boundary Conditions	31
2.1.6 The Calculation of Infrared Radiance Intensity ...	32
2.2 Numerical Methods of Infrared Characterization	
Analysis	32
2.2.1 Computation of Thermal Radiation	33
2.2.2 Finite Difference Method of Temperature ⁹	
Distributions	37
2.2.3 Boundary Element Method of Temperature	
Distributions	38
2.3 Effect of Atmospheric Parameters	46
2.4 Sensitivity Analysis of Infrared Characterization	
Models	47
2.5 Analysis of Infrared Signature Characterization	
of Targets	50
References	52
Chapter 3 Infrared Characterizations of Vehicles	54
3.1 Temperature Model of Vehicles	55
3.1.1 Model of Temperature Distribution of	
Vehicle Bodies	55
3.1.2 Model of Temperature Distribution of	
Caterpillars and Wheels	67
3.1.3 Model of Temperature Distribution of Gun	
Barrels	71
3.1.4 Numerical Solution of Temperature Models	
of Vehicles	76
3.1.5 Analysis of Numerical Simulations	81
3.2 Model of Infrared Radiance of Vehicles	97
3.2.1 Model of Infrared Radiance of Vehicles	98
3.2.2 Analysis of Infrared Radiance Distributions	99
References	100

Chapter 4 Infrared Radiance Characterizations of

Ground Targets	103
4.1 Infrared Radiance Characterization of Bridges	103
4.1.1 Analysis of Bridge Structures	104
4.1.2 Influence Factors of Infrared Radiance Characterization of Bridges	104
4.1.3 Infrared Radiance Characterization Model of Bridges	106
4.1.4 Examples and Discussions	114
4.2 Infrared Radiance Characterization Models of Oil (Gas) Tanks	116
4.2.1 The Whole Region Modeling Method	117
4.2.2 The Subregion Method and Conjugate Boundary Conditions	118
4.2.3 Infrared Radiance	119
4.3 Infrared Radiance Model of Ground Buildings	119
References	122

Chapter 5 Infrared Radiance Characterizations of

Backgrounds	124
5.1 Infrared Radiance Characterization of Bare Terrain and Low Vegetation Canopy	124
5.1.1 Bare Terrain	126
5.1.2 Vegetation Canopy	127
5.1.3 Analysis and Discussion	129
5.2 Infrared Radiance Characterization of Trees and Jungles	132
5.2.1 Infrared Radiance Characterization Model of Trees	132
5.2.2 Infrared Radiance Characterization Model of Jungles	143

5.3	Infrared Radiance Characterization of Snow	148
5.4	Infrared Radiance Model of Natural Ground	151
	References	152
Chapter 6	Simulation of Infrared Signatures	154
6.1	Geometrical Formation of Natural Terrain	
	Background	154
6.1.1	Features of Natural Objectives and Concepts of Fractal	154
6.1.2	Modeling of Natural Objectives	156
6.2	Geometrical Formation of Ground Targets and Armored Vehicles	168
6.2.1	Definition of Geometrical Elements	168
6.2.2	Line, Surface and Cubic Frames	169
6.2.3	Three-Dimensional Construction of Armored Vehicles	169
6.2.4	Three-Dimensional Construction of Bridges	171
6.3	Infrared Signature Simulation of Natural Terrain	171
6.3.1	Random Simulation of Infrared Signatures of Natural Terrain	172
6.3.2	Formation of Infrared Signatures in View Field of Optical Sensors	174
6.4	Infrared Signature Simulation of Armored Vehicles	177
6.5	Infrared Signature Simulation of Ground Targets	179
6.6	Infrared Signature Simulation of Jungles	180
6.6.1	Random Modeling of Jungles	180
6.6.2	Formation of Infrared Signature of Jungles	181
6.7	Infrared Signature Simulation of Complicated Three-Dimensional Terrain	183
6.7.1	Discrimination between Soil and Vegetation	

Types of Natural Terrain	183
6.7.2 Formation of Infrared Signature of Complicated Backgrounds	184
6.8 Transformation Method of Visual Signatures into Infrared Signatures	185
6.8.1 Discretezation of Visual Signatures	185
6.8.2 Infrared Signature Synthesis of Terrain Background	189
6.9 Infrared Signature Synthesis of Targets and Background	192
References	194
Chapter 7 Analysis of Infrared Characterizations of Targets	197
7.1 Infrared Radiance Contrast between Targets and Background	197
7.2 Acquisition Method of Infrared Characterization Signals of Targets	202
7.2.1 Geometrical Features of Fractal and Fundamental Concepts	203
7.2.2 Fractal Characterization of Infrared Signatures	204
References	206
Chapter 8 Application of Infrared Radiance Characterization Models of Targets	208
8.1 Simulation Experiment of Infrared Imaging Sensors	208
8.2 Estimation of Infrared Camouflage of Targets	210
8.3 Battlefield Simulation and Training of Infrared Guided Weapons	214
8.4 Infrared Projectors	217
References	225