

12 13 14 15

红外目标背景及温度场的计算*

魏玺章 黎湘 庄钊文 傅耀文

TN215

(国防科学技术大学电子工程学院 ATR 国家重点实验室, 湖南, 长沙, 410073)

摘要 研究了一般情况下红外目标的背景辐射,建立了几种简单形状物体的理论模型,并利用几种简单的模型,综合复杂形状目标的模型,进而求解复杂形状物体的表面温度场;在文中还计算了某目标表面在两种情况下的温度。

关键词 红外目标, 背景, 温度场。

CALCULATION OF BACKGROUND RADIATION AND TEMPERATURE FIELD OF INFRARED TARGET*

WEI Xi-Zhang LI Xiang ZHANG Zhao-Wen FU Yao-Wen

(ATR Key Laboratory, College of Electronic Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract It was studied how to calculate the temperature field of infrared target in general. First of all, the radiation of background was studied, then the theoretical models of several kinds of simple-shape target were set up. By these models, the model of complex-shape target was got to calculate the temperature field. Finally, the temperature of a target surface was calculated for two cases.

Key words infrared target, background, temperature field.

引言

目前,目标红外热像建模的研究已成为国内外的研究热点之一.通过理论研究,应用软件技术得到物体红外模拟热像,为各种红外系统和红外目标的研制、仿真和技术人员的培训提供了一种十分经济和有效的手段.而目标温度场的计算是完成目标红外热像仿真的关键.如何有效的计算目标的温度场已成为了重中之重.目前,美国在目标红外热像仿真方面已经有了大量的工作,成功的建立了飞机、坦克、军舰和其相关背景天空、简单地物、海洋及其大气传输的红外热像理论模型.在国内,航天工业总公司 207 所率先开展了这方面的研究,其后,南京理工大学、上海交通大学和哈尔滨工业大学在目标红外热像建模方面也取得了很大的进展,并作出了相应的演示软件.

实际情况下,目标的温度主要受背景辐射和内热源加热的影响.因此,欲得到目标温度场的有效算法,必须建立适当的背景和内热源的模型,模型建立的准确性对目标温度场的计算有着重要的影响.就国内目

前所发表的文章看,对目标的红外热像建模缺乏系统的、整体的描述.本文从整体的角度对背景辐射、目标温度场的计算进行了研究.将通常情况下的背景辐射分为太阳的直接辐射、地球反射的太阳辐射和地球自身的辐射三个部分,并分别讨论了这三个部分在高空与低空的区别.另外,将复杂目标区分为简单形状的子系统,分别建立控制方程,然后再综合各个子系统以求解整体的温度场.在文中还计算了某目标表面在两种情况下的温度.

1 背景辐射

通常情况下,目标受到的背景辐射主要有太阳的直接辐射、地球反射的太阳辐射和地球自身的红外辐射 3 部分组成.如何有效的计算各种背景的背景的红外辐射,成为准确计算目标温度场的关键.以下仅考虑目标表面某一面元 p , 设 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 分别为太阳直接辐射、地球反射的太阳辐射和地球自身的辐射, p_+ 、 $p_{\text{地}}$ 和 $p_{\text{天}}$ 则分别表示 p 各表面所受辐射的总和.当该面元底面与地球表面平行时,其受到的背景辐射如图 1 所

* 国防预研基金(编号 95J6A. 6. 3)资助项目
稿件收到日期 1999-03-30, 修改稿收到日期 1999-07-07

* The project supported by the Preliminary Research Foundation of National Defence of China
Received 1999-03-30, revised 1999-07-07

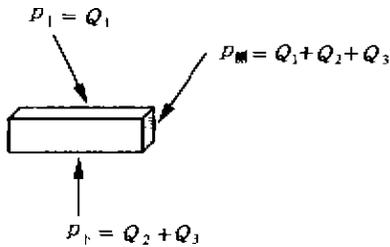


图1 面元所受背景辐射示意图
Fig. 1 Background radiation on one unit

示.各部分背景的辐射可用以下的方法求得^[1];

1.1 太阳的直接辐射

太阳的直接辐射加热是目标表面接收到的外部热流的最主要部分,对目标的温度影响最大.对高空(接近或外层空间)和低空目标,其存在着很大的不同.对高空目标,由于地球与太阳距离较远,可以认为太阳光是平行光,并且太阳辐射强度是均匀的.则有,

$$Q_1 = \alpha \cdot S_0 F_{\omega} A_i [1 + 0.033 \cos(360n/370)] \quad (1)$$

式(1)中, α 为 p_i 的吸收率; S_0 为太阳常数(一般取 $1353\text{W}/\text{m}^2$),为平均日地距离的大气层外与太阳光垂直的表面上的太阳辐射强度; F_{ω} 为 p_i 的太阳辐射角系数; A_i 为 p_i 的面积; n 为一年中之天数,在春分, $n=81$.

对于低空和地面目标,需要考虑太阳光线透过大气的影响,在工程计算中,采用如下方法计算经过大气后的太阳辐射强度^[2]:

$$I_n = S_0 [1 + 0.033 \cos(360n/370)] p_c^m \quad (2)$$

式(2)中, m 为大气质量; p_c 为大气透明度.

则对低空地面目标

$$Q_1 = \alpha I_n F_{\omega} A_i \quad (3)$$

1.2 地球反射的太阳辐射

地球表面及大气对阳光的反射与地面的性质、云层的分布状态有关,而且差别很大.高空目标和低空目标接收的反射也会有很大的不同.但均可采用下式计算,记 Q_2 为节点 p_i 接收到的地球反射的太阳辐射,则:

$$Q_2 = \alpha_i \rho_E I_0 F_{SE} A_i \quad (4)$$

式(4)中, F_{SE} 为 p_i 的地球反照的辐射角系数; ρ_E 为反照率,对于高空目标,可采用地球的平均反照率(0.35);对低空目标,可只考虑地表的反射部分.对不同的地表应采用不同的反照率^[3].对高空目标 I_0 为 S_0 .对低空目标 I_0 为 I_n .

1.3 地球自身的辐射

地球的辐射来源于地球表面吸收的太阳辐射能量,工程上,通常假设地球是一个均匀的热辐射平衡体.则其各处的热辐射强度相同.设其红外辐射强度为 E_0 ,则:

$$E_0 = \frac{(1 - \rho_E) \cdot S_0}{4} \quad (5)$$

记 Q_3 为 p_i 接收到的地球热辐射,则:

$$Q_3 = \alpha_i E_0 F_{Ei} A_i \quad (6)$$

式(6)中, F_{Ei} 为 p_i 的地球辐射角系数.

2 理论模型描述

2.1 控制方程

通常,目标均是由多个子系统组成的,各子系统之间又存在导热、辐射换热和对流换热.而一个复杂目标又可看为由一简单形状的物体组成,如矩形体、球体(或球冠)与圆柱体等.先建立这些简单物体的模型,然后再予以合成,以求得整体的温度场.卡车就可以看成几个矩形体和圆柱体的组合.针对不同的简单形状物体,采用不同的坐标系,各种坐标系下含内热源的三维瞬态热传导方程为:

直角坐标系 (x, y, z) :

$$C \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial T}{\partial z}) + \frac{\Psi}{V} \quad (7)$$

圆柱坐标系 (r, φ, z) :

$$C \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (kr \frac{\partial T}{\partial r}) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (k \frac{\partial T}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial T}{\partial z}) + \frac{\Psi}{V} \quad (8)$$

球坐标系 (r, φ, θ) :

$$C \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (kr^2 \frac{\partial T}{\partial r}) + \frac{1}{r^2 \sin(\theta)} \frac{\partial}{\partial \varphi} (k \frac{\partial T}{\partial \varphi}) + \frac{1}{r^2 \sin(\theta)} \frac{\partial}{\partial \theta} (k \sin(\theta) \frac{\partial T}{\partial \theta}) + \frac{\Psi}{V} \quad (9)$$

式(9)中, C 为单位体积热容($\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$); k 为导热系数($\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$); Ψ 为热源; V 为体积.

根据以上方程可分别建立各子系统的控制方程,然后将各模型集成在一起,形成目标的整体模型.

2.2 辐射边界条件

不论目标是处在静态还是在以一定的速度运动,它不仅接收到来自各个背景的红外辐射,而且其表面

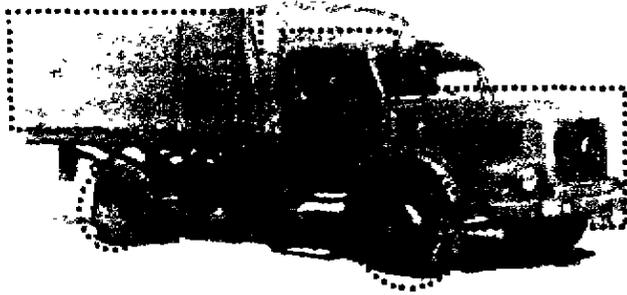


图2 卡车分解示意图

Fig. 2 Sketch for trunk decomposition

与外界环境之间还存在有对流换热,此时边界条件为:

$$Q + h[T_e - T(0,t)] = -k \frac{\partial T(0,t)}{\partial x} \quad (10)$$

式(10)中, Q 为外界入射辐射(来自各背景与目标自身); h 为对流换热系数; T_e 为环境温度; $T(0,t)$ 为目标边界温度。

如考虑目标各部分之间的相互辐射换热时,边界方程具有更复杂的形式^[4]。

3 实验分析

工程计算中,通常是把连续性的微分方程离散化再进行求解,常用的有差分法和有限元法,具体方法见文献[4]。复杂目标的温度场可由简单目标的温度场集成而得。实验中对某简单目标表面的温度在上午8:00、10:00、11:30进行计算,取对流换热系数为6,导热系数为80,热扩散系数为3.5,时间为7月10日。当在北纬24°、外界温度为30°时其值分别为63°、82°、107°;当在北纬35°、外界温度为25°时,其值分别为34°、53°、

72°。结果表明在不同纬度、不同时间目标表面温度的差别很大,这主要是因为太阳辐射存在着不同,并由此导致地球反射和地球自身辐射也存在着不同,造成了目标表面温度的不同。

4 结语

本文从整体的角度论述了红外目标温度场的一般过程,对背景辐射、温度场的计算均作了有益的探讨。在实际情况中,还存在不少问题,如内热源的计算需要大量的相关数据而难以有效计算,使得在工程计算中没有切实可行的算法,而目前相关文献中的方法均过于粗糙;另外,背景模型因其复杂多变而难以得到各种实时背景的有效仿真,也给目标温度场的计算带来了一定的困难。

REFERENCES

- [1] AN Wei. Research on characteristics of aerial target IR radiation and feature extraction, Ph. D. Dissertation, National University of Defense Technology (安 玮,空间目标红外辐射特性及识别特征研究,国防科技大学博士学位论文),1998: 30-33
- [2] GUO Ting-Wei, LIU Jian-Min, Daguene M. *Solar Utilization*, Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Press (郭廷玮,刘鉴民, Daguene M. 太阳能利用,上海:上海科学技术文献出版社),1981: 1-45
- [3] Rohsenow W M. *Handbook of Heat Transfer Fundamentals*, McGraw-Hill, 1985 ([美]罗森诺,传热学基础手册,北京:科学出版社,1992, 346-407)
- [4] MA Wen-Gan, ZHANG Zi-Ping. *Computation Physics*, Hefei: National Univ. Sci. & Tech. Press (马文淦,张子平,计算物理学,合肥:中国科技大学出版社),1992: 94-143