DOI:10.19651/j.cnki.emt.2003.05.012



# 目标红外辐射特性计算

毛 峡 李兴新 朱 刚 孟 京 北京航空航天大学

**摘 要** 文中综合考虑各种因素，计算出目标的温度场分布，并结合大气传输模型，建立目标的红外理论模型，实现红外辐射特性的计算。

**关键词** 红外辐射 温度场分布

## The Calculation on the Infrared Characteristic

Mao Xia Li Xingxin Zhu Gang Meng Jing

**Abstract** The method to calculate the temperature field distribution of the target considering various effect is discussed in this paper. Then including the model of atmosphere transmission , the infrared model of the target can be founded, and the calculation of infrared radiation can be realized.

**Keywords** infrared radiation temperature field distribution

## 1 温度场分布的计算

目标的温度分布主要受太阳和背景辐射以及目标内热源加热的影响，本文在实现时考虑了目标与环境间的各种作用，包括太阳的辐射、地面（水面）和天空背景的辐射、地面（水面）和空气与目标间的对流换热，以及目标本身各部分间的热传导，结合目标自身的热源分布，得到较为精确的目标表面温度场分布。目标表面元的热交换如图1所示：

图1中，$Q_i$为周围环境的辐射被面元吸收的热量，$Q_{cn}$为面元与周围环境间的热传导，$Q_{cv}$为面元与周围环境间的对流换热，$Q_{rad}$为面元辐射到环境中的热量。

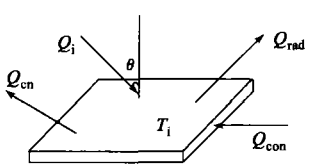


图1 面元热交换示意图

在达到热平衡时，存在如下热平衡方程：

$$Q_i + Q_{cn} = Q_{cv} + Q_{rad} \quad (1)$$

**背景辐射** 计算中背景辐射考虑了太阳的直接辐射和天空背景的长波辐射两部分。

太阳的直接辐射对目标表面温度分布的影响很大，是目标表面接收到的外部热流的主要部分。由于地球与太阳距离较远，可以认为入射太阳光是平行光，并且太阳辐射强度是均匀的。考虑太阳光通过大气的影响，目标接收到的太阳辐射强度可表示为：

$$I_{sun} = I_o[1 + 0.033\cos(360n/370) \cdot \tau \cdot \sin\gamma] \quad (2)$$

式中，$I_o$为太阳常数，取1.36KW/m$^2$；n为在一年中的天数；$\tau$为整个大气层的透过率；$\gamma$为天顶角。

则水面目标接收到的太阳辐射为：

$$Q_{isun} = \alpha_i I_{sun} F_{suni} A_{suni} \quad (3)$$

式中，$\alpha_i$是目标面元的吸收率；$F_{suni}$为面元对应的太阳辐射角系数；$A_{suni}$为目标在太阳入射方向上的投影面积。

目标所在位置的天顶角与该位置的纬度值及当时的日期有关，可由下式计算得到：

$$\gamma = 90 - \Psi \pm \delta \quad (4)$$

式中，$\Psi$角为待求点的纬度值；$\delta$角为太阳直射点的纬度值，体现了日期对天顶角的影响，待求点所在纬度处于夏半年时，取正值，所在纬度处于冬半年时，取负值。

天空背景的辐射主要由两部分组成，即天空中的气体分子和气溶胶分子对太阳的散射及大气分子自身的辐射。在有云的条件下，同时要考虑云辐射的影响。一般认为，大气分子对太阳光的散射和其自身的辐射在光谱分布上有明显差别。在波长小于3$\mu m$时，散射的效果比辐射更强，而在波长大于3$\mu m$时，辐射则起到更重要的作用。由于本文研究的波长范围为中长波红外（波长3$\mu m$～14$\mu m$），为简化计算，天空背景的辐射计算中仅考虑了大气的辐射，即上半球空间（包括环境大气）的长波辐射，辐射强度一般由气象条件如云层、大气温度等决定。天空背景的长波辐射[1]主要包括大气中的水蒸气、二氧化碳和臭氧的辐射，若天空无云时，天空在地面上产生的辐射度$H_{sky0}$为：

(C)1994-2025 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$H_{sky0} = (B_{sky} + C_{sky}\sqrt{e_\alpha})\sigma T_\alpha^4 \quad (5)$$

式中，$B_{sky}$和 $C_{sky}$为经验常数，$B_{sky}=0.61$，$C_{sky}=0.05$；$\sigma$ 为斯忒藩—玻尔兹曼常数，$\sigma=(5.6702\pm0.00071)\times10^{-12}$；$T_\alpha$ 为近地面大气温度；$e_\alpha$ 为近地面水汽压。

有云覆盖时，应考虑云的长波红外辐射的贡献，此时天空长波辐照度 $H_{sky}$为：

$$H_{sky} = H_{sky0}(1 + CIR \cdot CC^2) \quad (6)$$

式中，CC为云覆盖率；CIR 是与云的类型有关的系数。

则目标接收的背景辐射为：

$$Q_{isky} = \alpha_i H_{sky} A_i \quad (7)$$

式中，$A_i$ 为面元面积。

周围环境的辐射被面元吸收的热量；

$$Q_i = Q_{isun} + Q_{isky} \quad (8)$$

**热传导** 通过金属与热源相连的面元 i，与周围面元的热传导 Qcon[2]可由傅里叶定律求得，表示为：

$$Q_{con} = Q_s + \frac{T_s - T_i}{R_i} \quad (9)$$

式中，$Q_s$ 为热源的导热热量，$Q_s=\varepsilon\sigma T_s^4 A_i\cos\theta$，$\varepsilon$ 为面元发射率；$\theta$ 为待求面元法向与热源法向的夹角；$T_s$ 为热源的温度；$T_i$ 为待求面元的温度；$R_i$ 为待求面元相对于热源的等效传导热阻，$R_i=\frac{L_i}{k_i\cdot A_i\cos\theta}$，$L_i$ 为内热源中心到待求面元中心的距离，$k_i$ 为目标表面构件的导热系数。

则待求面元与周围环境的传导热量：

$$Q_{con} = \varepsilon\sigma T_s^4 A_i\cos\theta + \frac{k_i \cdot A_i\cos\theta \cdot (T_s - T_i)}{L_i} \quad (10)$$

**对流换热** 单位面积、单位时间的对流换热量 $Q_{cv}$ 可按照牛顿冷却定律用换热系数 $h_Q$ 表示为：

$$Q_{cv} = h_Q(T_i - T_\infty) \quad (11)$$

式中，$h_Q$ 对流换热系数，由于本文未考虑目标的运动，可认为界面发生自然对流，则 $h_Q$ 可取为一常数；$T_i$ 为交界面温度；$T_\infty$为流体温度。

**面元对外辐射** 灰体的辐出度为：

$$M' = \varepsilon M = \varepsilon\sigma T_i^4 \quad (12)$$

则待求面元对外辐射 $Q_{rad}$为：

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma T_i^4 A_i \quad (13)$$

根据上述讨论，热平衡方程式可表述为：

$$\alpha_i I_{isun} F_{suni} A_{suni} + \alpha_i H_{sky} A_i + \varepsilon\sigma T_s^4 A_i\cos\theta + \frac{k_i \cdot A_i\cos\theta \cdot (T_s - T_i)}{L_i} = h_Q(T_i - T_\infty) + \varepsilon\sigma T_i^4 A_i \quad (14)$$

通过热平衡方程可求得面元温度，从而确定目标温度场分布。

## 2 视点红外辐照度计算

与面元相距 $\gamma$ 的视点处的辐照度为：

$$H = \frac{M' \cdot A_i}{\pi\gamma^2}\cos\phi \cdot \tau_r \quad (15)$$

式中，$M'$为灰体的零视距光谱辐出度，$\varphi$ 为视线与面元法矢量的夹角；$\tau_r$ 为从面元到视点的大气透过率。

**目标零视距辐出度计算** 在确定了目标的温度场之后，由普朗克定律可以很方便的得到目标的零视距辐出度分布。

普朗克定律给出了黑体的光谱辐出度与波长 λ 和温度 T 的关系：

$$M_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{hc/\alpha\lambda T}-1} = \frac{c_1}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{c_2/\lambda T}-1} \quad (16)$$

式中，$h$ 为普朗克常数；$c$ 为光速；$c_1$ 为第一辐射常数，其值为 $3.741832\times10^4$；$c_2$ 为第二辐射常数，其值为 $1.438786\times10^4$。

也可近似表示为：

$$M = \sigma T^4 \quad (17)$$

**大气传输透过率计算** 在大气传输透过率 $\tau$ 的计算中采用了 LOWTRAN7[3]软件，将共享的用 Fortran 编写的 LOWTRAN7 做成动态链接库，在程序中调用，从而能够较精确的解决大气传输问题。

本文讨论了目标红外辐射特性计算的相关问题，也讨论了静态目标红外辐射特性的计算方法。另外，在实际情况中，复杂目标温度分布计算中需要的大量相关数据难以获得，如内热源的散热特性等，使得文中的讨论仍有很强的虚拟性。

**参 考 文 献**

1 张建奇. 目标与背景红外辐射特性研究. 博士学位论文. 西安交通大学. 1998. 11

2 张智丰等. 基于大气传输模型的动态目标红外成像仿真. 系统仿真学报，2000. 9：524—527

3 F. X.. Kneizys, et al. Users Guide to LOWTRAN7, Report AFGL－TR－83－0187, Air Force Cambridge Research Laboatory, 1988

**敬请订阅《电子测量技术》**

◆中国科技论文统计源期刊

◆中文核心期刊

◆美国国际 CODEN 代码期刊

◆信息产业部期刊

订阅热线：13501294579

2004 年全年订价 33 元

(C)1994-2025 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net