

文章编号: 1672-8785(2016)12-0029-04

空间目标表面温度场分布随网格数的变化规律研究

白心爱

(吕梁学院物理系, 山西 吕梁 033000)

摘 要: 红外辐射特性研究是对空间目标进行探测、识别和跟踪的重要途径, 而温度则是该研究的重要参数。为了分析空间圆柱形目标的红外辐射特性, 基于热网络思想及差分方法, 研究了空间目标表面温度场随网格数的变化规律, 并得出了获得准确的表面温度场分布所需划分的最少网格数。

关键词: 温度场; 节点; 网格数

中图分类号: O434 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.12.006

Research on Change Rule of Space Target's Surface Temperature Field with Grid Number

BAI xin-ai

(Department of Physics, Lvliang University, Lvliang 033000, China)

Abstract: Research on infrared radiation characteristics is one of the important ways to detect, recognize and track space targets. In this research, temperature is an important parameter. To analyze the infrared radiation characteristics of cylindrical targets in space, the change rule of space target's surface temperature field with the number of grids is studied on the basis of node network mode and difference method. Finally, the minimum grid number required to obtain the accurate surface temperature field of a space target is derived.

Key words: temperature field; node; number of grids

0 引言

目标红外辐射特性研究是美国国家导弹防御系统实现目标探测、跟踪、识别以及目标中段拦截的一个重要途径, 而温度又是基于红外辐射特性探测、跟踪、识别目标的重要依据之一。因此, 表面温度场分布研究对于目标红外辐射特性研究来说有着非常重要的意义。目前, 国内外已经在空间目标的红外辐射特性方面开展了

相关工作。国外已对目标温度场的分布进行了大量研究, 也取得了不少成果; 但国内关于这一领域的研究报道较少。文献 [1] 对空间球形目标以及划分为 14 个节点的圆柱形目标的表面温度场分布进行了研究。本文基于节点网络思想, 讨论节点数对准确研究圆柱形目标表面温度分布的影响, 并分析准确获得表面温度分布及辐射特性所需划分的最少网格数。

收稿日期: 2016-09-22

作者简介: 白心爱 (1971-), 女, 山西离石人, 副教授, 硕士, 主要从事红外辐射研究及物理教学工作。

E-mail: 807816896@qq.com

1 目标温度场分布的求解

求解目标表面温度场分布的一般方法是,对目标进行节点划分,然后根据热网络思想得出各节点的热网络平衡方程,接着通过联立求解这些平衡方程,求出该目标的稳态温度分布。

根据文献 [2] 可知,空间目标的热平衡方程为

$$\sum_j D_{i,j}(T_j - T_i) + \sum_j E_{i,j}\sigma(T_j^4 - T_i^4) + q_{T_i} = (mc)_i \frac{dT_i}{dt} \quad (1)$$

式中, $D_{i,j}$ 为节点间的传导网络系数; T_i 和 T_j 分别为节点 i 和 j 的热力学温度; $E_{i,j}$ 为节点间的辐射网络系数; σ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数; q_{T_i} 为节点的总热源,包括节点的内热源; m_i 为节点 i 的质量; c_i 为节点 i 的比热容。

采用数值解法中的差分法可得^[1]:

$$M_i = L_i \frac{T_i(t + \Delta t) - T_i(t)}{\Delta t} \quad (2)$$

$$T_i(t + \Delta t) = T_i(t) + \frac{M_i}{L_i} \Delta t \quad (3)$$

利用迭代法即可求得该方程的解。

2 圆柱形目标的温度场分布^[3-5]

假设一个圆柱形气球的直径为 3 m, 长度为 1.5 m, 并具有均匀的 300 K 初始温度。该气球位于 (120°E, 25°N), 测量时间为 2016 年 1 月 30 日, 白天时间为北京时间 12 点, 此时太阳天顶角为 42.78°。同时假设圆柱形气球的中轴始终垂直于地面, 并且不断地绕轴均匀转动。

首先进行节点划分。圆柱形目标上下底面的温度分布均匀, 所以将它们划作两个节点, 侧面沿圆周方向 M 等分, 沿柱长方向 N 等分。这样圆柱形目标就是 $(M \times N + 2)$ 个节点的物理模型。与直角坐标系中点的表示法相类似, 侧面节点在圆柱面上的位置用 (x, y) 表示, 其中 x 轴沿圆周顺时针方向, y 轴沿柱长方向向下。下面根据节点热平衡方程的解, 研究白天转速分别为 0 rad/s 和 30 rad/s 的目标的表面温度分布规律。

文献 [1] 将目标划分为 14 个节点, 并粗略地对其表面温度进行了研究。若要获得准确的表面温度分布, 则必须将网格划细。网格划分越细, 计算结果越接近于真实情况。当将网格划细到一定程度时, 计算结果基本趋于稳定。这时的温度分布结果可近似看作真实情况下的温度分布。下面就以上所给的圆柱形目标, 计算并讨论节点数增多时的目标表面温度分布规律以及要准确获得表面温度分布与辐射特性所需划分的最少网格数。

2.1 转速为 0 rad/s 时的目标表面温度分布

经计算可得, 当转速为 0 rad/s 时, 目标的上底面温度为 552.67 K, 下底面温度为 385.27 K。

图 1 所示为转速为 0 rad/s、 $M=45$ 、 $N=45$ (即目标侧面划分为 2025 个节点) 时侧面温度分布的计算结果。结果表明, 目标表面温度沿 y 轴方向略微呈递减趋势; 沿 x 轴方向变化比较明显, 即向阳面与背阳面的温差较大, 相应辐射功率的差异也较大。因此, 当转速为 0 rad/s 时, 若从不同方位进行观察, 目标则会呈现出不同的红外辐射特性。

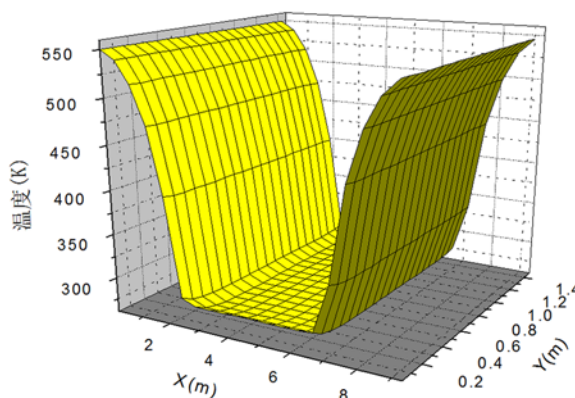


图 1 转速 0 时圆柱侧面温度的空间分布

2.2 转速为 30 rad/s 时的目标表面温度分布情况

由以上分析可知, 当转速为 0 时, 目标表面各节点的温度分布差别较大。若以一定速度转动, 该差别则会减小。

经计算可得, 当转速为 30 rad/s 时, 目标的上底面温度为 552.70 K, 下底面温度为 388.64 K。

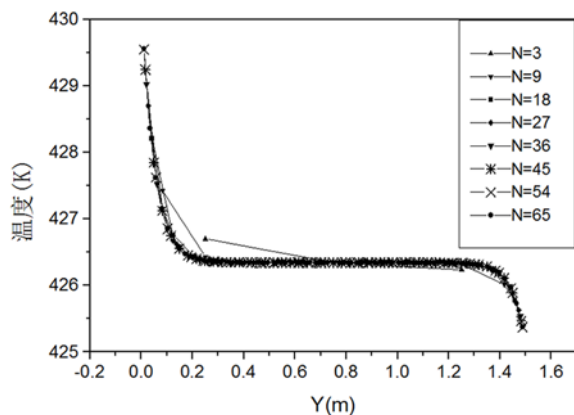


图 2 转速为 30 rad/s、 $M=24$ 、 $x=0.19634$ m 且 N 取不同值时侧面温度随 y 值的变化曲线

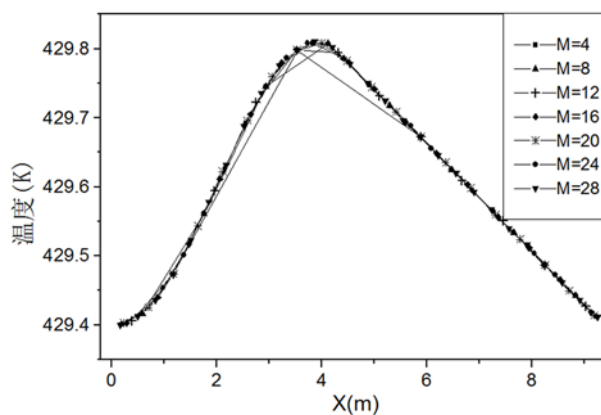


图 3 转速为 30 rad/s、 $N=54$ 、 $y=0.01389$ m 且 M 取不同值时侧面温度随 x 值的变化曲线

表 1 白天转速为 30 rad/s、 $M=24$ 、 $N=54$ 、 $x=0.19634$ m 时的侧面温度分布情况

y	0.01389	0.04167	0.06944	0.09722	0.125	0.15278	0.18056	0.20833
温度 (K)	429.4006	428.1035	427.3574	426.9278	426.6802	426.5375	426.4553	426.4079
y	0.23611	0.26389	0.29167	0.31944	0.34722	0.375	0.40278	0.43056
温度 (K)	426.3806	426.3648	426.3557	426.3505	426.3474	426.3457	426.3447	426.3441
y	0.45833	0.48611	0.51389	0.54167	0.56944	0.59722	0.625	0.65278
温度 (K)	426.3438	426.3436	426.3435	426.3434	426.3434	426.3434	426.3434	426.3433
y	0.68056	0.70833	0.73611	0.76389	0.79167	0.81944	0.84722	0.875
温度 (K)	426.3433	426.3433	426.3433	426.3433	426.3433	426.3433	426.3433	426.3433
y	0.90278	0.93056	0.95833	0.98611	1.01389	1.04167	1.06944	1.09722
温度 (K)	426.3433	426.3433	426.3433	426.3433	426.3432	426.3432	426.3431	426.3429
y	1.125	1.15278	1.18056	1.20833	1.23611	1.26389	1.29167	1.31944
温度 (K)	426.3426	426.3421	426.3412	426.3396	426.3368	426.332	426.3237	426.3093
y	1.34722	1.375	1.40278	1.43056	1.45833	1.48611		
温度 (K)	426.2843	426.241	426.1659	426.0356	425.8098	425.4182		

图 2 所示为 $M=24$ 、 $x=0.19634$ m、 N 取不同值时节点表面温度分布的计算结果。结果表明, 当 $M=28$ 、 $x=0.19634$ m 时, 沿 y 轴方向上, 目标表面温度会随着 y 值的增大而降低; 而且受两底温度的影响, 靠近底面处的变化幅度较大, 中间则略微呈递减趋势。同时, 通过比较不同 N 值时的曲线可以发现, N 越大, 曲线越光滑, 且上下端的温差越大。当 $N=54$ 时, 曲线非常光滑, 且温差基本稳定。所以, 当 N 取 54 左右即沿柱长方向作 54 等分时, 目标沿柱长方向的表面温度已非常稳定 (参看表 1)。

图 3 所示为 $N=54$ 、 $y=0.01389$ m 且 M 取不

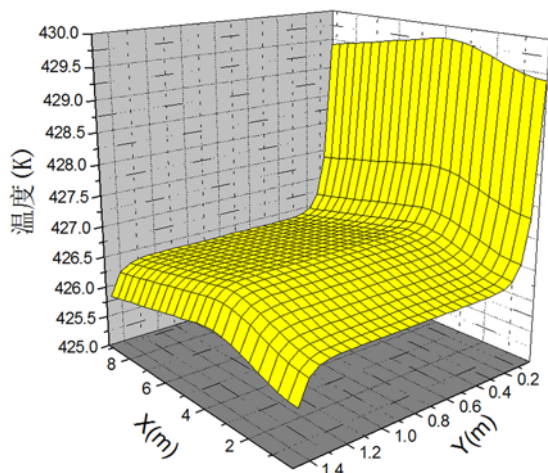
同值时节点表面温度分布的计算结果。结果表明, 当 $N=54$ 、 $y=0.01389$ m 时, 沿 x 方向上, 曲线会随着 M 取值的增大而变得更加光滑, 表面温差也越趋稳定。经比较可得, 当 M 取 24 左右即沿圆周方向作 24 等分时, 目标沿圆周方向的表面温度已达到非常稳定的状态 (参看表 2)。

3 结束语

对于空间目标温度场分布研究来说, 网格划分越细, 计算结果越接近于真实情况。当将网格划细到一定程度时, 计算结果基本趋于稳定。这时的温度分布结果可近似看作真实情况下的

表 2 白天转速为 30 rad/s、 $N=54$ 、 $M=24$ 、 $y=0.01389$ m 时的侧面温度分布情况

x	0.19634	0.58903	0.98172	1.37441	1.76709	2.15978	2.55247	2.94516
温度 (K)	429.4006	429.4159	429.453	429.5015	429.5615	429.6264	429.6906	429.7455
x	3.33784	3.73053	4.12322	4.51591	4.90859	5.30128	5.69397	6.08666
温度 (K)	429.7864	429.8076	429.8073	429.7802	429.7472	429.7176	429.6882	429.6561
x	6.47934	6.87203	7.26472	7.65741	8.05009	8.44278	8.83547	9.22816
温度 (K)	429.6246	429.5944	429.5643	429.5338	429.5037	429.4722	429.4426	429.412

图 4 转速为 30 rad/s、 $M=24$ 、 $N=54$ 时侧面表面温度场的空间分布图

温度分布。以上讨论结果表明,针对本文所给出的圆柱形目标,若要获得准确的表面温度分布情况,则将 M 和 N 的取值分别定为 24 和 54,即将侧面划分为 1296 个节点即可(见图 4)。该

数据本身并不具有普遍性,但是数据获取过程却给我们提供了一种准确获得空间目标表面温度分布的方法——节点网络法。这对空间目标辐射特性研究具有非常重要的意义。

参考文献

- [1] 白心爱. 空间目标红外辐射特性研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2002.
- [2] 白心爱, 吴振森. 间距对空间球形目标表面温度的影响 [J]. 山西大学学报, 2004, 27(4): 366-369.
- [3] 吴晓迪, 黄超超, 凌永顺, 等. 卫星的表面温度与红外辐射特性 [J]. 红外与激光工程, 2011, 40(5): 805-810.
- [4] 罗剑峰, 张海良, 尹红伟, 等. 基于角系数跟踪反射能量研究太空中空心圆柱体温度分布 [J]. 计算物理, 2012, 29(3): 417-425.
- [5] 申文涛, 朱定强, 蔡国飙. 中段弹道目标的温度场与红外辐射特性计算 [J]. 宇航学报, 2010, 31(9): 2210-2217.

新闻动态 News

法国空中客车国防与航天公司将研制新的气象卫星有效载荷

据 www.airbusgroup.com 网站报道, 法国空中客车国防与航天公司和德国航空航天中心(DLR)最近在德国柏林签署了一份价值 2.91 亿欧元的合同, 前者将负责研制 3 台基于创新技术的 METImage 气象仪器。

作为一台用于气象研究的多光谱成像辐射计, METImage 仪器可以获得关于云、气溶胶、地球表面及其各自温度的信息数据, 并具有 20 个覆盖可见光-红外波段 ($0.443 \sim 13.3 \mu\text{m}$) 的光

谱通道。由于能够在一天之内以 500 m 的空间分辨率对整个地球扫描一遍, METImage 仪器将会为天气预报和气候预测作出重要贡献。

METImage 仪器采用一块垂直于飞行方向放置的扫描镜, 并可在 1.7 s 内对地球表面上 12 km (宽) $\times$ 2670 km (长) 大小的区域进行观测。20 个光谱通道的数据由 3 个传感器产生, 其中两个红外传感器工作在低于 -210°C 的温度下。METImage 辐射计由 26 个不同部件组成, 它是空中客车国防与航天公司最为复杂的在研仪器之一。该公司通过 METImage 仪器将其业务范围拓展至第二代 MetOp 卫星 (MetOp-SG) 计划, 从而为欧洲气象和对地观测研究提供关键数据。

□ 岳桢千