

非均匀下垫面辐照环境对太空目标温度的影响

马 静¹, 刘文清², 毛宏霞¹, 董雁冰¹

(1. 光学辐射重点实验室, 北京 100854; 2. 中国科学院合肥物质科学研究院, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 太空目标表面温度受地球下垫面辐射的影响, 在对太空目标的计算中通常将下垫面作为均匀的热辐射平衡体, 而受地物类型及气象条件的影响, 地球表面的反射率和热辐射值随地理位置和季节变化, 文中介绍了下垫面热流的计算方法, 并根据所获得的地表温度数据以及地物类型信息, 采用不同的下垫面处理方式, 初步分析了地球下垫面的不均匀性对太空目标表面温度的影响。

关键词: 地球下垫面; 非均匀性; 太空目标; 表面温度

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)05-1137-04

Influence of the non-uniform underlying surface on the temperature of space object

Ma Jing¹, Liu Wenqing², Mao Hongxia¹, Dong Yanbing¹

(1. Science and Technology on Optical Radiation Laboratory, Beijing 100854, China; 2. Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The temperature of space object is influenced by the underlying surface of the earth. In the thermal analysis of the space object, the underlying surface of the earth is regarded as uniform thermal radiation surface. Affected by the landmark and meteorological conditions, the reflectivity and radiation flux intensity changes with the location and the season. The simulation method of the radiant heat flux of the earth was given. Based on the data of the telemetric temperature and different land cover types of the earth, using different simulation method of the radiant heat flux, the influence of the non-uniform underlying surface on the temperature of space object was analyzed. The influence to the light decoys was a little obvious.

Key words: underlying surface of the earth; non-uniform; space object; surface temperature

收稿日期: 2012-09-05; 修订日期: 2012-10-03

基金项目: 国防预研项目

作者简介: 马静(1981-), 女, 博士生, 主要从事目标红外辐射特性理论建模方面的研究。Email: majing829@tom.com

导师简介: 刘文清(1954-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事环境光学特性即新型环境监测技术方面的研究。

Email: wqliu@aiofm.ac.cn

0 引言

空间环境,气体异常稀薄,几乎没有介质,在空间飞行的目标内部以及它与周围环境的热交换主要依靠热辐射,外部热源主要是太阳直接照射、地球大气系统长波辐射以及地球对太阳的反照辐射,目标在空间所接收到的外热流,与目标所处的空间位置以及目标姿态有关,空间辐照环境的变化会直接影响目标表面温度以及其辐射特性^[1]。空间辐照外热流是空间目标红外辐射建模分析的基础,在传统的计算分析中,通常将地球表面看作均匀的热辐射平衡体,表面采用平均反射率的概念^[2],实际上,地球表面的反射率和热辐射值随地理位置和季节时间变化,主要受地物类型及气象条件的影响,因此,为精确的分析空间目标的红外辐射特性,需考虑地物类型以及随季节不同地表的温度变化。基于此,文中根据所获得的地表温度以及地物类型信息等数据,对地球大气长波辐射热流做了较为精确的计算,分析了地球下垫面的不均匀性对地球大气长波辐射热流以及太空飞行目标表面温度的影响。

1 地表均匀处理计算分析

地球及其大气在行星际空间围绕太阳运转,在研究地球及其大气在行星际空间的能量平衡时,通常把地球近似看作均匀的热辐射平衡体^[3],且其表面任一点辐射亮度相同,并且表面采用平均反射率,其在轨道上运行时,几乎处于热平衡状态。因此,传统的计算中,通常基于地球大气长波辐射角系数,如图1所示。地球大气长波辐射角系数 F_2 与目标距地面的

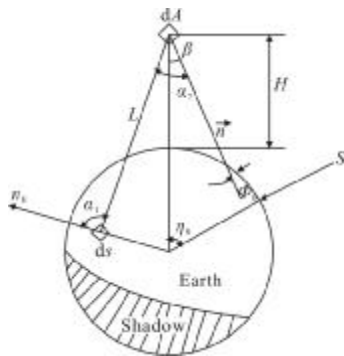


图 1 空间外热流计算位置关系

Fig.1 Position relation of the simulation of space heat flux

高度 H 以及目标微元发现方向与地心目标连线的夹角 β 有关^[4]。在应用中,由于角系数的计算量较大,通常根据高度及姿态角按照一定的步长建立数据库,以便于在以后的计算中调用,进而较快的计算空间辐照热流。图 2 给出了随目标高度以及夹角 β 变化地球长波辐射角系数的变化,角系数 F_2 随角度 β 的增大而减小,随目标高度的增加而减小。图 3 为 100 km 高空平板的热流密度随角度 β 的变化,虚线为地球作为热平衡体计算的结果,实线为考虑地表不均匀性在(N60°,0°)的计算结果。

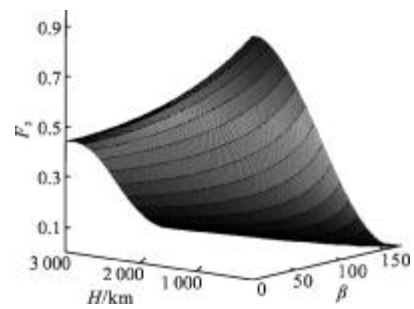


图 2 地球长波辐射角系数

Fig.2 Angle coefficients of the earth radiation

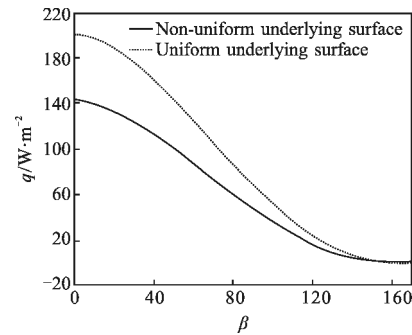


图 3 不同姿态平板地球长波辐射热流密度

Fig.3 Earth radiation head flux of different attitude flat

2 地球下垫面不均匀性的影响

实际上,地球表面的反射率和热辐射值随地理位置和季节时间变化,主要受地物类型以及气象条件的影响,因此,为精确的分析空间目标的红外辐射特性,需考虑地物类型以及随季节不同的地表温度变化。

以下根据所获得的七月份的北半球地面温度数据以及地物类型覆盖数据,对地球下垫面的辐射进行精确计算,根据经纬将地表划分成各个单元,每个

单元的温度以及地物类型不同,因此不能采用统一的地球大气系统长波辐射角系数的概念,需要考虑每一个地表面元对空间目标的加热。空间单位面积的平板所受到的地球大气长波辐射热流可由下式计算得到^[5]:

$$q = \sum_i \frac{\cos\alpha_1 \cos\alpha_2}{\pi L^2} ds \int_0^\infty E_{ei}(\lambda) \varepsilon_{ei}(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda$$

式中: $E_{ei}(\lambda)$ 为地表面元的光谱辐射出度; $\varepsilon_{ei}(\lambda)$ 地物类型在波长 λ 处的光谱发射率; $\tau(\lambda)$ 大气的光谱透过率; α_1 、 α_2 关系如图 1 所示。

对空间固定位置的单位面积平板目标,改变其姿态,即改变夹角 β ,分别采用两种算法——第一,将地球看作均匀的热辐射平衡体;第二,考虑地表的不均匀性按照所获得的 7 月份的地表温度数据进行计算。采用两种算法分别计算地球大气长波辐射外热流,结果如图 3 所示,图中可以看出,考虑地表温度以及地物类型的不均匀性计算得到的地球长波辐射外热流比地表按热辐射平衡体计算所得的外热流小,并且所带来的差别随姿态的变化也有所不同^[6]。

不同的地表上方,由于地物类型以及地表温度的差异,其不均匀性对空间热流的影响程度也不同。图 4 分别给出了北纬 60°和北纬 30°地表面温度随地理经度的变化情况。根据地物类型以及表面温度,对高度 500 km,星下点位置在北纬 60°以及北纬 30°的高空,单位面积平板所受到的地球大气长波辐射热流密度分别进行了计算,结果如图 4 所示:若将地表看作热辐射平衡体,将其表面温度等效于 252 K 的黑体计算,不同地表上空,相同高度与姿态的平板所受到的热流密度应该相同,如图 5 中直线所示。

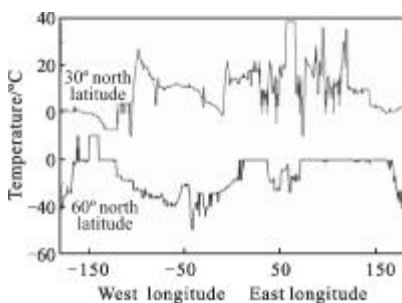


图 4 地表不均匀性随地理经度的变化

Fig.4 Change of the earth temperature to the longitude

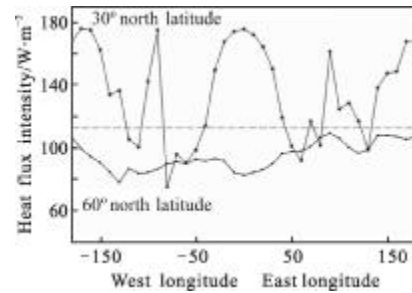


图 5 不同地表上空地球长波辐射热流密度

Fig.5 Change of the earth radiation head flux to the longitude

从图 4 中可以看出,在北纬 30°附近,地表温度较高,明显高于地表等效 252 K,因此,在该地表上方地球大气长波辐射热流密度相对较大;在北纬 60°附近,空间遥测地表温度在-50°-10°之间变化,相对地球平均温度较低,因此,在该地表上方地球大气长波辐射热流密度较小。由图 5 中的曲线的起伏可以看出,由于地表温度以及地物类型的变化,地表的不均匀性对其高空的热流密度存在一定的影响,并且不同地表上空这种影响程度也不同。

对地球下垫面的处理方法不同,会影响太空目标表面所受到的外热流,因此,目标在空间表面温度也会受到相应的影响,为直观显示辐照环境的改变对目标表面温度变化的影响^[7],对两种不同材料的平板目标,假定目标初温 300 K,同样位置同样姿态,考虑地物类型变化以及将地表均匀处理分别计算在地球大气长波辐射热流的作用下,其表面温度的变化情况,北纬 30°两个不同的地表上空结果如图 6 所示。其中,图(a)表示材料 1 平板目标表面温度随时间的变化趋势,其热惯量较大,图(b)为热惯量较小的材料 2 平板目标表面温度随时间的变化。

对图 6 中不同地表上空分析结果最后时刻的温度比较如图 7 所示。其对应的地表条件为图 5 中所示的北纬 30°,不同经度的地表上方,分别计算两类平板材料的表面温度变化,并与地表均匀处理条件下的计算结果比较,纵轴表示两者在 20 min 时的温度差,横轴表示不同的经度。图中起伏较大的实线表示的是材料 2,即热惯量较小的材料,在地表均匀处理条件下,其表面温度从 300 K 降低到 194.82 K,地表不均匀性带来的温差在-10.7~15.8 K 之间,平均约占温度变化的 7.95%;图中起伏较小的虚线表示热惯量较大的材料 1 的温差变化,在地表均匀处理

条件下,其表面温度从300 K 降低到 271.61 K,地表不均匀性带来的温差在 $-1.5\sim 2.5$ K 之间,平均约占温度变化的 4.5%。从以上的分析中可以看出,地表不均匀性对热惯量小的目标表面的温度存在较明显的影响。

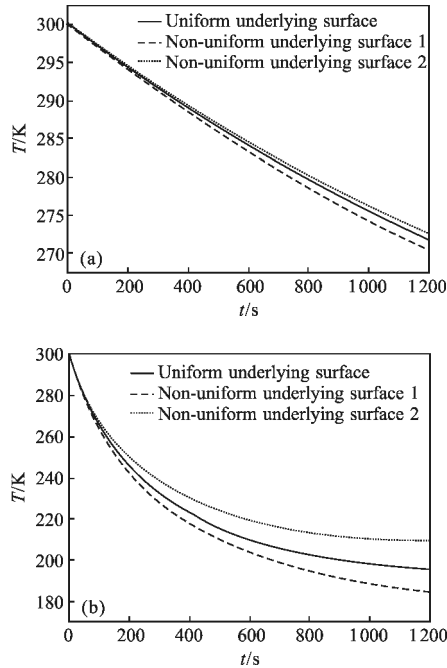


图 6 两种不同材料的平板目标表面温度随时间的变化

Fig.6 Time history of the temperature of two different material flats

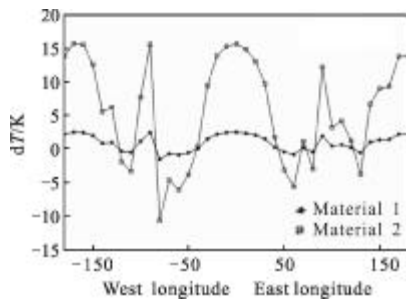


图 7 地表不均匀性对目标的温度影响

Fig.7 Influence of the non-uniform underlying surface on the temperature of space object

3 结论

通过以上计算分析,给出了地球大气长波辐射热流计算算法,并根据所能获得的地表温度以及地物类型覆盖等数据,考虑地球下垫面的不均匀性计算空间目标所接收到的地球大气系统长波辐射热

流,与将地球看作热辐射平衡体的计算结果进行比较分析,地表的不均匀性对空间外热流存在一定的影响,并且在不同的地表上方,地表的不均匀性对空间热流的影响程度也不同。由于空间辐照热流的变化直接影响太空飞行目标表面温度及其辐射特性,通过比较分析,地球下垫面的非均匀性对热惯量较小的目标表面温度特性存在较为明显的影响。

参考文献:

- [1] Mao Hongxia, Li Xia, Wang Zhangye, et al. Simulation of infrared radiation from outer space targets and environment and its generation technique of scene[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(5): 607-610. (in Chinese)
毛宏霞,李霞,王章野,等.空间目标与环境红外特性理论建模及其场景生成[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(5): 607-610.
- [2] Yao Lianxing, Qiu Weili, Wang Fuheng. *Optical Characteristic of Object and Environment* [M]. Beijing: China Astronautic Publishing House, 1995. (in Chinese)
姚连兴,仇维礼,王福恒.目标和环境的光学特性 [M]. 北京:宇航出版社, 1995.
- [3] Dec J A, Aumudsen R M. A thermal analysis approach for the MARS odyssey spacecraft's solar array [C]//AIAA 36th Thermophysics Conference, 2003, 6: 23-26.
- [4] Yang Xianrong. *Handbook of Radiation Heat Change Angle Coefficient* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1982. (in Chinese)
杨贤荣.辐射换热角系数手册 [M]. 北京:国防工业出版社, 1982.
- [5] Wu Xiaodi, Huang Chaochao, Ling Yongshun, et al. Surface temperature and infrared feature of a satellite [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(5): 805-810. (in Chinese)
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.
- [6] Yang Yufeng, Wu Zhensen, Cao Yunhua. Scattering characteristics of complex background infrared radiation from a non-lambertian target[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(5): 800-804. (in Chinese)
杨玉峰,吴振森,曹运华.非朗伯面目标对复杂背景红外辐射的散射特性[J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(5): 800-804.
- [7] Greendyke R, Hartung L. An approximate method for the calculation of nonequilibrium radiative heat transfer, AIAA90-0135, 1990.