

文章编号: 1000-2022(2002) 03-0400-05

卫星云图上日食阴影的订正

许建明¹, 王振会¹, 詹煜²

(南京气象学院 1. 电子工程系; 2. 物理系, 江苏 南京 210044)

摘 要:日食使卫星可见光云图上出现明显的阴影区, 影响卫星云图的分析 and 利用。分析了日食对太阳辐射强度的影响, 提出一种日食阴影区的订正方法, 并给出订正个例。

关键词:日食; 云图阴影; 订正
中图分类号: P413 **文献标识码:** A

1999 年 8 月 11 日, 在印度至欧洲的广大区域上发生了罕见的日食现象。在 Meteosat-6 静止卫星发回的可见光云图上可以观测到这次日食产生的影响, 即, 整幅云图亮度很暗, 云的结构、纹理、类型等特征全部失真, 能观测到日全食的区域表现为黑色阴影, 无法区分云、陆地和海洋。

日食的发生是由于太阳、月亮、地球处于同一直线上, 从地球上看到就是太阳被月亮遮挡, 如图 1 所示^[1]。若本影 A 扫过地球表面, 地表的人看到日全食现象; 若伪本影 B 和半影 C 扫过地球表面, 则地表的人分别看到日环食和日偏食现象^[1]。本文研究日食影响可见光云图亮度的模型, 给出云图亮度订正的方法, 并以实际观测资料表明该研究的初步结果。

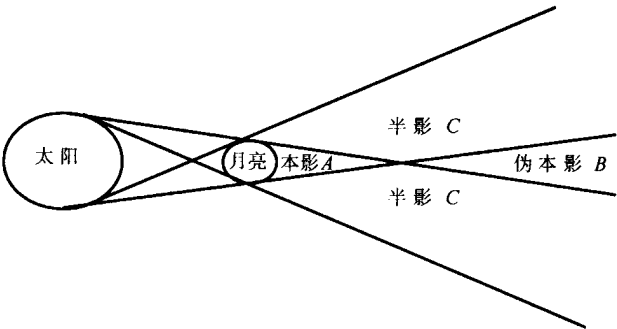


图 1 日月关系和日食类型示意图

Fig. 1 Sun-moon relation during solar eclipse

收稿日期: 2001-09-21; 改回日期: 2001-11-27
基金项目: 国家自然科学基金项目 40075005
第一作者简介: 许建明(1978-), 男, 江苏镇江人, 硕士生, 研究方向为大气探测与遥感.

1 订正模式的建立

在反照率不变的情况下, 卫星接收到的反射太阳辐射由到达地球的入射太阳辐射决定^[2]。由于日食的发生, 地球表面受影响的区域所接收的入射太阳辐射被不同程度的削弱, 所以, 对云图亮度进行订正可以视为对到达地球的入射太阳辐射进行订正。

基于上述思想, 假设日食不发生时到达地球某处的入射太阳辐射为 B_0 , 而实际观测到该处的入射太阳辐射为 B_1 , 定义辐射订正函数为 $F = B_0/B_1$, 若能给出 F 的值, 则可得 B_0 的估计值为 $B_0 = F \times B_1$ 。

为使地球表面上某点 P 处的辐射订正函数模型简单有效, 假设: 1) 到达该点的入射太阳辐射由肉眼在该点所能看到的太阳发光面积决定; 2) 对点 P 而言, 太阳和月亮可看成圆盘面; 3) 在点 P 附近, 地球表面曲率可以忽略。如图 2, 以太阳中心 O 为原点, 以点 O 与月亮中心 M 的连线为 Z 轴, 建立直角坐标系, 太阳圆盘位于 XY 平面内, 月亮平行于 XY 平面, Z 轴与地球相交于地表上一点 E , 点 E 附近的地表面可近似为平行于太阳面和月亮面的平面, 点 P 位于该平面上。定义 P 点的辐射订正函数为:

$$F(P) = \frac{S_{\text{SUN}}}{S_{\text{SUN}} - S_A} \tag{1}$$

其中, S_{SUN} 是太阳圆盘面积, S_A 是照射不到 P 点的太阳圆盘面积, $S_{\text{SUN}} - S_A$ 是由 P 点所看到的太阳发光面积。从图可看出, 到达地表面上点 E 的太阳辐射最少, 因此点 E 是日食的中心。

设太阳中心和点 E 之间的距离为 $OE = L_S$ 。月亮中心和点 E 之间的距离为 $ME = L_M$, 日月间距 $OM = L_{SM} = L_S - L_M$, 太阳和月亮的半径分别为 R_S 和 R_M , P 点坐标为 (X_P, Y_P, L_S) , 过点 P 作月亮在 XY 平面上的投影圆, 在月亮上取一条直径 $A A''$ 平行 X 轴, A 坐标为 $(R_M, 0, L_{SM})$, A'' 坐标为 $(-R_M, 0, L_{SM})$, 得到 PA 与 XY 平面的交点 P 的坐标为 $(R_M + (R_M - X_P) \times L_{SM}/L_M, Y_P \times L_{SM}/L_M, 0)$, PA' 与 XY 平面的交点 P 的坐标为 $(-R_M - (R_M + X_P) \times L_{SM}/L_M, -Y_P \times L_{SM}/L_M, 0)$ 。显然, $P P'$ 即为投影圆的一条直径, 投影圆心 O 的坐标为 $(-X_P \times L_{SM}/L_M, -Y_P \times L_{SM}/L_M, 0)$, 投影圆半径为

$$R = R_M + R_M \times \frac{L_{SM}}{L_M} = R_M \times \frac{L_S}{L_M} \tag{2}$$

可见, 投影圆的圆心 O 位置和 P 点位置有关, 而投影圆半径 R 和 P 点位置无关。因为投影圆和太阳圆盘同位于 XY 平面上, 故根据它们之间的位置关系可计算出能够照射到点 P 的太阳面积。投影圆与太阳圆盘之间的位置关系, 如图 3 所示, 共有 5 种情形。设 $OO' \perp d$,

$$d = \frac{L_{SM} \times \sqrt{X_P^2 + Y_P^2}}{L_M} = \frac{L_{SM} \times L}{L_M} \tag{3}$$

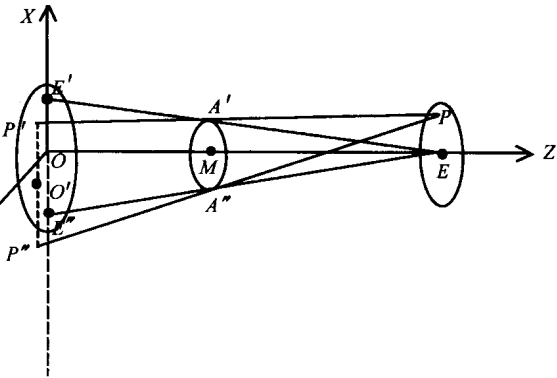


图 2 日食辐射订正示意图
Fig. 2 Radiation correction for solar eclipse

其中, $L = (X_P^2 + Y_P^2)^{1/2}$ 为 PE 间的实际距离。投影圆与太阳圆盘相交的面积就是 S_A , 5 种情形下的 d 、 S_A 和 $F(P)$ 分别为:

(a) $d > R + R_s, S_A = 0, F(P) = S_{SUN} / (S_{SUN} - S_A) = 1;$ (4)

(b) $d = R + R_s, S_A = 0, F(P) = S_{SUN} / (S_{SUN} - S_A) = 1;$ (5)

(c) $d < R_s - R, S_A = \pi \times R^2, F(P) = R_s^2 / (R_s^2 - R^2);$ (6)

(d) $d = R_s - R, S_A = \pi \times R^2, F(P) = R_s^2 / (R_s^2 - R^2);$ (7)

(e) $d < R + R_s$ (如图 4), $S_A = (\text{扇形 } AOB \text{ 面积} - \text{三角形 } AOB \text{ 面积}) + (\text{扇形 } AO'B \text{ 面积} - \text{三角形 } AO'B \text{ 面积})$, 可以证明:

$$S_A = R_s^2 \times (1 - \sin \alpha_1 \times \cos \alpha_1) + R^2 \times (1 - \sin \alpha_2 \times \cos \alpha_2)。$$
 (8)

其中, $\alpha_1 = \angle AOO'$; $\alpha_2 = \angle AO'B$, 订正函数 $F(P)$ 由(1)式给出。当发生日全食时, $S_A = S_{SUN}$, $F(P) \rightarrow +\infty$, 因而, 模式中的 $F(P)$ 不适用于日全食区。

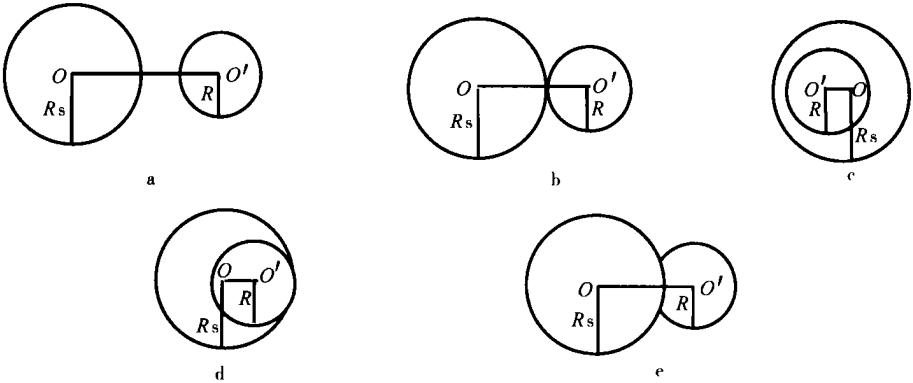


图 3 月球投影圆与太阳圆盘之间的位置关系

Fig. 3 Relative positions of solar disk and the projecting disk of the moon

2 云图订正的具体步骤与个例

利用计算机进行云图处理^[3]的具体步骤如下:

(1) 打开云图数据文件并显示需要订正的云图, 确定云图上日食中心, 即图 1 中点 E 的位置 (X_E, Y_E) ;

(2) 对云图上任一点 $P(X_P, Y_P)$, 计算 PE 间距离 L ,

$$L = ((X_P - X_E)^2 + (Y_P - Y_E)^2 \times B)^{1/2}。 (9)$$

其中 B 为卫星云图的空间分辨率;

(3) 将(9)式代入(3)式, 求出圆心距 d ;

(4) 由(2)式求出投影圆半径 R ;

(5) 据图 3, 由 R, R_{SUN}, d 判断太阳圆盘和投影圆的位置关系, 计算相应的辐射订正函数 $F(P)$;

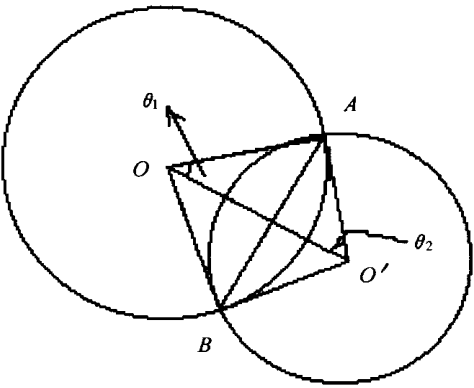


图 4 太阳圆盘食缺示意图

Fig. 4 Schematic of eclipse

(6) 云图灰度值 C 正比于辐射计反演电压之平方根^[2], 即 C 正比于反射辐射强度之平方根, 因而灰度订正函数 $F(P) = \sqrt{F(P)}$;

(7) 对 P 点订正, 即 $C'(P) = C(P) \times F(P)$ 为订正后的灰度值;

(8) 重复以上第 2~7 步, 完成对云图的逐点订正。

上述过程假设 L_S, L_M, R_S, R_M, B 为已知。

利用 Meteosat-6 静止卫星 1999 年 8 月 11 日 10 时(北京时)前后以 10 min 间隔观测到的可见光云图序列, 进行日食阴影订正实验。其中一幅订正前后的对比如图 5 所示。订正前(图 5a), 日食中心位于在云图的中间, 阴影区清晰可见。订正后(图 5b), 阴影区基本消失, 被遮盖的云和地表特征重新显现, 云的纹理、形状比较清晰, 保持了云系的连续性, 因而增加了可利用的信息量, 有利于云和天气系统的分析。对序列云图进行逐幅订正后, 继续应用于云导风处理, 可以预见在日食阴影区的风矢将明显增加。

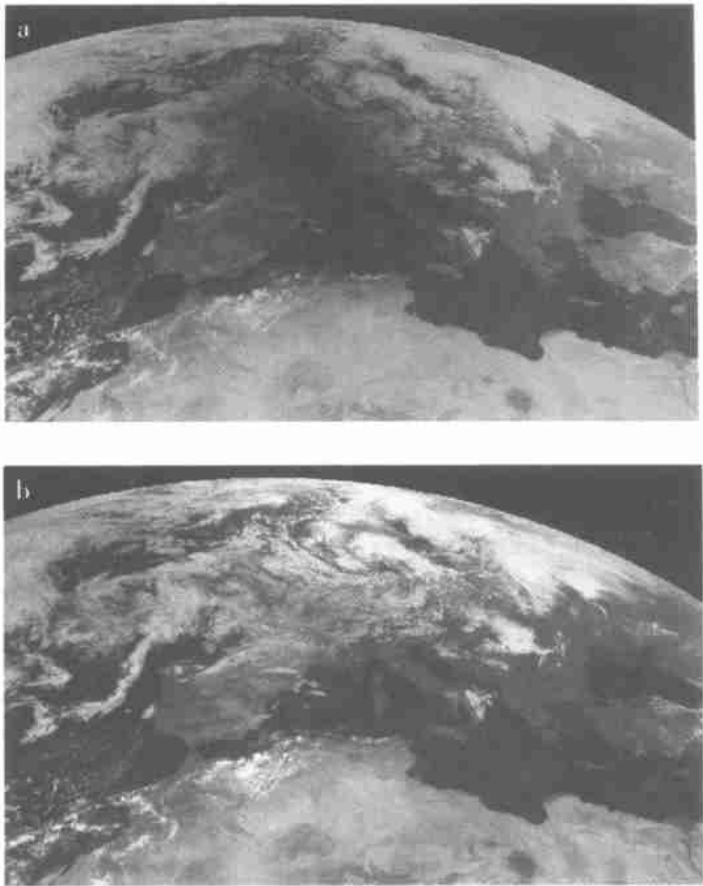


图 5 日食阴影订正个例
a. 订正前; b. 订正后

Fig. 5 An example of solar eclipse shadow elimination on satellite image
a. before correction; b. after correction

3 结 语

本文在分析日食对卫星可见光云图的影响的基础上,设计了简易的日食阴影订正模型。实际资料计算表明,云图上日食阴影订正效果明显,有利于云图的云和天气系统分析。模式中,将太阳和月亮近似为圆面,即用平面辐射代替球面辐射,而且忽略了地球曲率的影响,将地表面作为平面处理,这与实际的日食分布情况存在差异,是导致订正误差的原因之一。

大气中的气体、气溶胶和云对太阳辐射的散射与反射是影响订正效果的重要因子。一方面,散射与反射削弱了到达太阳照射区(包含日偏食区和日环食区)的太阳辐射;而另一方面,它又可使一部分太阳辐射改变方向、到达日全食区,增加该区域上的太阳光照。在前一种情况下,对于散射的订正,可通过增大 L_M 或减小 L_{SM} 来增大在偏食区或日环食区可观测到的太阳辐射面积来完成(图 2)。而后一种情况则为订正日全食提供了基础(只要散射光足够强),即,将其等效为日环食订正,这同样可通过增大 L_M 或减小 L_{SM} 实现。因此,根据日食发生时大气散射的强弱来适当调整 L_M 和 L_{SM} , 对订正效果会有重要影响。

在实际操作过程中,日食的中心点 E 由人工确定。云图上的最黑点不一定就是 E 点,如果 E 点是云,云旁是陆地或海洋,在日食影响差异不是很大的情况下, E 点的云会比旁边的陆地或海洋亮。因此必须首先判断整个日食区,该区的中心点才是 E 点。显然这带有很大的主观因素。 E 点的偏差将导致整个日食区订正的偏差。需要说明的是,以上的处理过程是针对日食中心位于其上的云图,对于日食中心位于云图外的情况,本文通过比较连续几幅云图上的日食中心位置,外推出它在云图外的位置。但是,日食中心的移动速度在云图上的投影并非常数,估算中心位置时有可能出现很大偏差。

参考文献:

- [1] 唐汉良,余宗宽,沈昌钧.日月食计算[M].南京:江苏科技出版社,1980:6-120.
- [2] 陈渭民,夏浣清,陈光宇.卫星气象学[M].北京:气象出版社,1989:203-212.
- [3] Petzold C. Windows 程序设计[M].北京博彦科技发展有限公司译.北京:北京大学出版社,1988:600-765.

Radiation Correction for Eclipse Shadow on Satellite Image

XU Jian-ming¹, WANG Zhen-hui¹, ZHAN Yu²

(1. Department of Electronic Engineering; 2. Department of Physics, NIM, Nanjing 210044, China)

Abstract: Solar eclipse results in a shadow on satellite image, thus influencing the analysis and application of the satellite image. This paper describes the influence of eclipse on solar radiation and presents a method to eliminate the eclipse impact. An example is given to show the effect of shadow elimination.

Key words: solar eclipse; shadow on satellite image; radiation correction