

晴空与有云大气辐射分布的数值模拟及其 对全天空图像云识别的应用^{*1}

霍娟 吕达仁

中国科学院大气物理研究所 LAGEO, 北京, 100029

摘 要

全天空图像自动云识别的研究相对来说是一项较新的研究领域。当前国际上较为通用的全天空图像云识别方法主要依靠图像蓝红灰度值对比的阈值方法进行判断。然而非洁净大气中气溶胶的增多给云识别增加了难度,同时太阳高度角不同天空色度分布情况也不同。文中利用 Libradtran 辐射传输模式,计算了不同能见度不同太阳高度角情况下 3 个典型波长(450,550,650 nm;蓝/绿/红)无云及有云大气的天空辐亮度分布情况,并进行了比较分析。结果表明,相同太阳高度角情况下,无云及有云大气中蓝红比值随能见度的下降呈单调下降趋势。在特定的云光学厚度和能见度情况下,天空色度彼此呈现出类似的分布状况。全天空图像阈值判断云识别自适应算法的建立需要与太阳高度角、地面能见度联系起来。当前尚无法建立一个判断阈值随太阳高度角以及能见度变化的函数关系式。较为可行的办法是建立典型能见度、典型太阳高度角情况下的辐射信息库,在具体云识别时,首先确定太阳高度角,而后根据天空辐射比情况确定天空能见度,并利用辐射信息标准库做云或非云判别。该工作为全天空识别算法提供判别依据,同时建立云识别随能见度和太阳高度角变化的判别信息库。

关键词: Libradtran, 全天空图像, 色度, 云识别。

1 引 言

云与气溶胶通过辐射、微物理与化学过程对气候与环境变化起着复杂而重要的作用,是当前全球与区域气候变化最不确定的因子之一。由于云和气溶胶不同的物理光学特性,同时缺乏云和气溶胶物理光学特性的系统资料,难以估计其变化趋势,导致目前对于云、气溶胶的辐射强迫估计有很大的不确定性^[1]。分析了解全球与区域云和气溶胶光学特性的时空分布是加深这方面认识的一个重要内容。在全球与区域云特征以及云与气溶胶关系的研究中,卫星观测与地基观测均具有不可替代的重要作用。

云的地基观测长期靠气象观测员目视判断,记录相对简单,实际天空云况描述较为困难,在云况多变天气下,亦不能给出变化信息,因而难以用于大气过程与气候效应的定量研究,如何客观定量、自动观

测和分析本站上空天空情况,并将大气辐射传输过程与云参数相联系,是大气遥感中的一个挑战性问题。从国际发展趋势看,采用全天空成像辐射仪进行云和晴天辐射参数的遥感是一个必然的方向^[2]。全天空成像观测的研究已经有了一百多年的历史^[3]。自 20 世纪 70 年代以来科研工作者开始着手利用全天空图像分析大气状况,如 Horvath 以及 Shields 陆续取得了一些成果^[4-5],较有代表性的是 WSI(美国 California 大学研制)^[6]和 TSI(Total Sky Imager, Yankee)系统^[7]。WSI 是一套极为昂贵的试验系统,但即使如此,该系统云识别判据也是基于不同波段的辐射比值这一比较通用的原理。在高能见度下这一原理十分有效,但在低能见度下,存在原理上的局限。

中国地基全天空成像辐射相关研究主要在中国科学院大气物理研究所开展。自 1998 年开始预研

* 初稿时间:2005 年 4 月 5 日;修改稿时间:2005 年 7 月 14 日。

资助课题:国家自然科学基金资助项目(40027002)和科技部重大基础前期专项(2001CCAA02200)。

作者简介:霍娟,女,1977 年 7 月生,中国科学院大气物理所助理研究员,研究方向大气辐射与探测。

究到现在我们自主开发了地基全天空可见光成像观测系统^[8],目前该系统已经在中国科学院大气物理研究所的香河观测基地进行系统观测和资料积累。

全天空可见光云天自动成像观测系统的成功开发,提供了高时空分辨率的全天空图像资料,国际当前云识别算法的物理根据是模拟人眼对天空颜色与云颜色的差异,以两波段(蓝/红)的图像灰度比作为判断云与晴空的依据。即主要是基于大气分子散射与 λ^{-4} 成正比,因此晴空大气较短波长在散射光中占主导地位;而云粒子散射与波长关系并不密切,因此云在天空中呈现出白色(不考虑大气散射光色度影响)。采用蓝/红的辐射比阈值法在高能见度下判断云与非云效果较好,然而受能见度即近地气溶胶情况影响,该方法对于低能见度大气云识别存在一定局限性;对薄卷云的识别能力也较差^[9]。

针对地基云、气溶胶全天空成像辐射遥感的潜在优越性,充分利用获得的云天成像辐射资料提供定量的云产品数据,当前需要研究并建立一套较好针对全天空图像的云识别模式算法。从理论基础着手研究云在天空中的辐射特征对于采用辐射比阈值法识别云十分必要。本文主要结合 Libradtran(Library for radiative transfer calculation)辐射传输模式,计算晴空和有云条件下,不同能见度以及不同太阳高度角情况下 3 个可见光波段(450, 550, 650 nm)天空辐亮度的分布情况。对比分析晴空大气与有云大气在不同能见度以及不同太阳高度角情况下的蓝红辐射比分布状况,分析阈值判别法的有效判断区域,并最终建立一个随能见度和太阳高度角变化的云识别阈值信息库,从而为获得一个较为全面的利用辐射比以及辐射值阈值法进行云识别的自适应算法提供基础和依据。

2 辐射传输模式

在利用辐射传输模式进行全天空辐亮度分布及其辐射比时,地球大气球面分层散射特征不可忽视。因此所选取的辐射传输模式应能够处理球面或者伪球面大气的辐射传输特征,同时能够计算有云大气的辐射情况。文中所用辐射传输模式(Libradtran 模式),从 UVSPEC^[10]辐射传输模式演变而来,其软件包核心程序为 UVSPEC。该模式运用离散纵标法计算地球大气、太阳以及热辐射传输,包含有平面、二流、多流、伪球面和球面等不同计算模块,其波

谱分辨率为 1.0 nm,可计算任何高度紫外和可见、近红外的直接及散射辐射,包括辐亮度和辐照度计算;此外可以根据全球辐射测量反演云光学厚度以及臭氧反演。模式输入参数中可对水云、冰云、气溶胶光学厚度、能见度、地表反照率等参数进行设定,在利用模式分析天空色度分布和分析云判据的研究中该模式能较好地满足当前的运算要求。Mayer 等^[11]将该模式中的 UVSPEC 核心模块与观测值(UV 波段)进行了比较(太阳高度角大于 80°时),系统误差为 -11%—+2%,因此其可靠性有一定的保证。

已有的研究工作表明,天空色度分布与气溶胶光学厚度和太阳高度角密切相关,同时对于地面反照率也较为敏感^[12]。考虑到当前全天空成像仪在香河外场(39.75°N, 116.96°E)进行观测,为简单起见,在本文中将由地面反照率定为 0.1,即接近真实地表的反照率值。模式中其他大气参数的选择均参考香河的大气状况,选择接近或较接近的参数值,主要参数如下:

背景大气:美国标准大气

气溶胶类型:乡村气溶胶

运算流:16 流计算

运算模块:sdisort 伪球面运算

太阳方位:90°

太阳高度角:0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°

能见度选择:2, 5, 10, 15, 23, 30 km

波长选择:450, 550, 650 nm

云参数选择:水云,云光学厚度:1, 10(分别代表很薄与有一定厚度的云层)

由于水汽对可见光波段光的吸收很小,因此背景大气定为美国标准大气来代表香河地区的背景大气研究可见光波段天空辐射是可行的。全天空计算以仰角每 2°(90°共 45 个点)和方位每 5°(360°共 72 个点)采样选取,共 45×72 个点,其他点由插值得到。

鉴于本文研究目的是为全天空图像云识别的阈值选择提供理论和分析依据,因此仅选择 3 个波长(450, 550, 650 nm)分别代表蓝、绿、红进行计算。在分析辐亮度分布时将主要利用 550 nm 波长处的值为分析依据,而以两波段(蓝/红)的辐射比为代表分析天空色度分布情况,从两个方面了解云与非云大气的散射辐射特征。

3 模式计算

文中输入参数在选取时除太阳高度角、能见度、波长以及云的光学厚度变化外,其他输入参数均不变,因此文中若非特殊说明,其他输入参数值均与上文中描述相同。图 1 是太阳高度角为 45°,能见度 23 km,波长 550 nm 时的全天天空辐亮度以及 450 和

650 nm 辐亮度比值等值线分布。该图构成与全天天空成像构成原理相同:观测点上空为中心点的半球大气辐亮度和辐射比分布。图中圆心为天顶位置(图 1a),圆边缘为地平(方位 0°—360°、天顶角 90°)。图 1a 中竖向线为方位 0°、高度角 0°—90°的各点,横向线为经过太阳的主平面线。

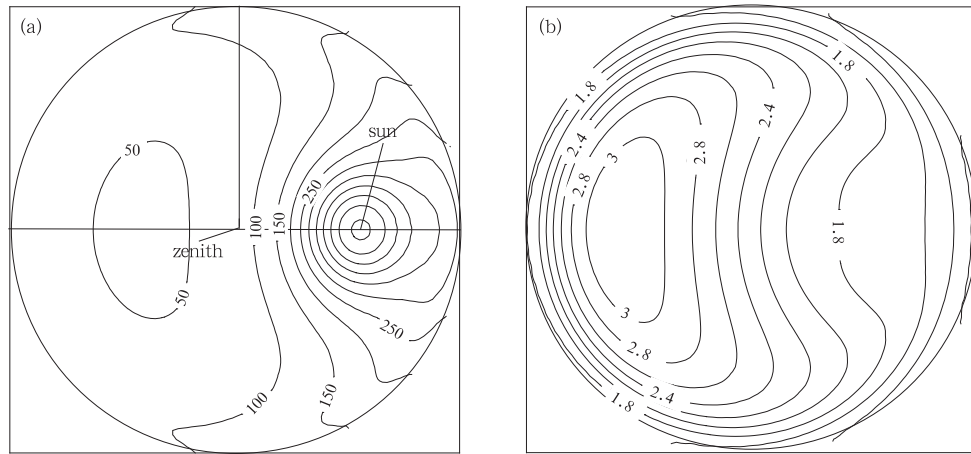


图 1 全天天空模式计算结果(太阳高度角 45°,能见度 23 km)

(a. 550 nm 波长处辐亮度等值分布($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$), b. 450 与 650 nm 的辐亮度比值等值分布)

Fig. 1 All-sky modeling results (solar angle 45°, visibility 23 km)

(a. distribution of radiance at 550 nm ($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$), b. distribution of ratios of 450 and 650 nm)

模式计算结果表明,天空散射辐射的辐亮度最大值出现在太阳所在位置处,距离太阳位置逐步变远时,辐亮度值呈逐步减小趋势;在主平面上距离太阳 90°左右范围出现有最小值,也即所谓的“反日点”(图 1a)。在图 1b 中 450 和 650 nm 的辐射比描述了天空色彩分布情况,其中反日点周围比值最大达到 3.2,与太阳同方位地平处值最小为 1.2。450 nm 波段在全天空中均大于 650 nm 的辐亮度,说明天空颜色主要呈现出蓝色,其中反日点附近天空最蓝,而在地平蓝色优势已较弱,天空接近为白色了。由此可见,即使在高能见度情况下,接近地平的天空大气其散射辐射比与云的特征已经较为接近,从而增加了近地平云识别的难度。

图 2 是主平面模式计算结果,即图 1 中横直线各点的值,图中将横线最左端点定为 0°,最右端点定为 180°。明显看到图 2 上辐亮度(左纵轴)其太阳位置 135°附近有最大值,而反日点 45°附近最暗有最小值。

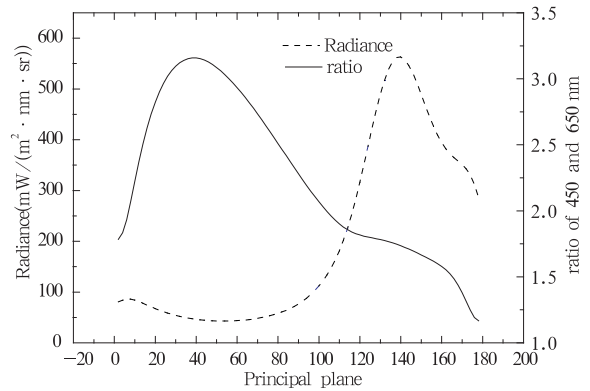


图 2 主平面模式计算结果

(图中横坐标由左到右各点值代表

图 1 中横线由左到右各点(左端 0°,右端 180°))

Fig. 2 Principal plane modeling results (solar angle 45°, visibility 23 km)(The left y-coordinate represents the distribution of radiance at 650 nm ($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$, the right y-coordinate represents the distribution of ratios of 450 and 650 nm; The x-coordinate represents all the data on the horizontal line in Fig. 1

(left point is 0°, right point is 180°))

由于全天空辐亮度分析所选取的点较多,进行不同能见度情况或者不同太阳高度角情况之间的相互比较时,图表综合描述上较为困难。图 2 表示的是主平面上各点的辐射情况,可以看到主平面线具有一定代表性,能够很好地概括出全天空辐射散射的空间变化信息,因此在下文中为易于描述和相互比较各计算结果,采用主平面为代表进行分析。从图 1,2 中可以看到,就云识别的阈值选取来讲,仅选择一个固定阈值来对全天空中所有的点进行云或非云判断显然不合适,由于其所处空间位置的不同,在

不同的大气气溶胶光学厚度和不同太阳高度角情况下阈值应有变化。

3.1 无云大气状况下相同能见度不同太阳高度角 3 波段辐亮度分布

首先选择无云大气为研究对象,研究无云情况下的辐亮度和辐射比情况。工作中选择了 6 个典型能见度:2,5,10,15,23,30 km。因模式计算结果数据量较大,全部描述占用篇幅较大,因此仅给出能见度为 30 和 10 km 各太阳高度角时的辐射及辐射比情况(图 3)。

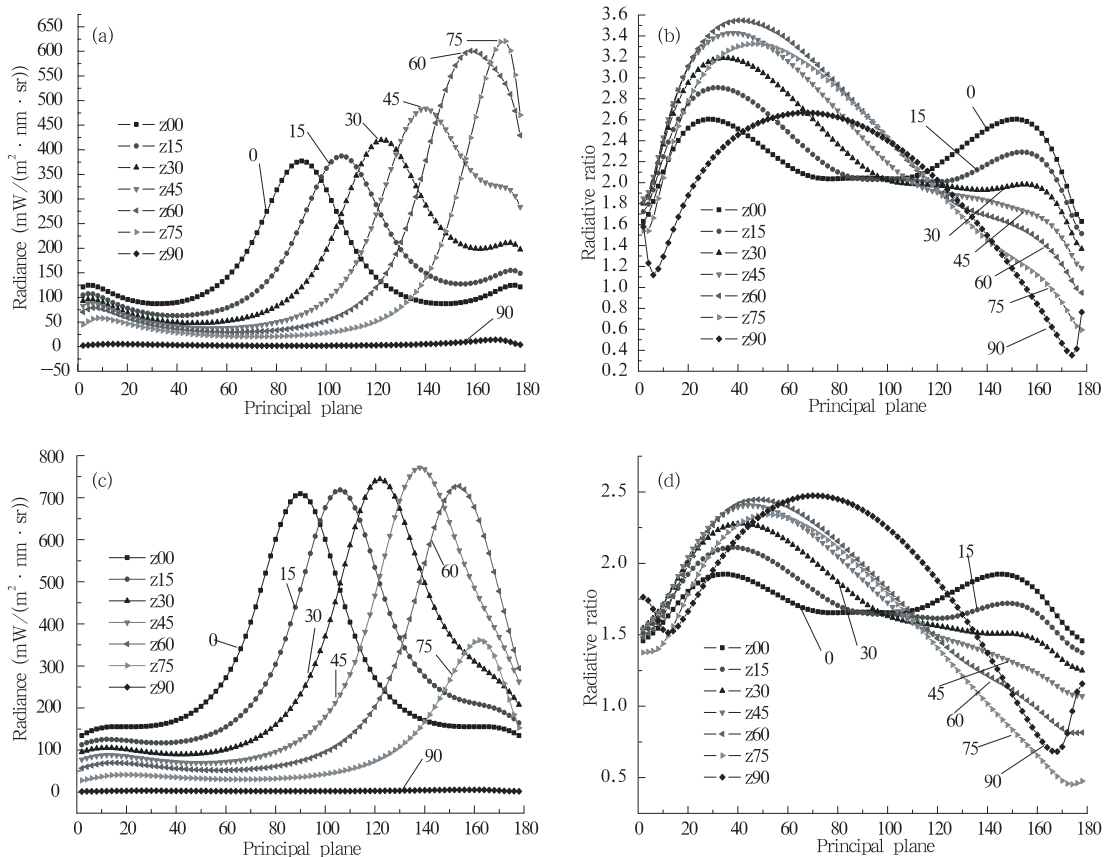


图 3 能见度 30,10 km 时 7 个不同太阳高度角(0°,15°,30°,45°,60°,75°,90°)辐亮度与辐射比分布
(a. 能见度 30 km, 550 nm 波长辐亮度分布($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$); b. 能见度 30 km, 450 和 650 nm 的辐亮度比值分布;
c. 能见度 10 km, 550 nm 波长辐亮度分布($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$); d. 能见度 10 km, 450 nm 和 650 nm 的辐亮度比值分布)

Fig. 3 Distribution of radiances and ratios at 7 different solar angle (0°,15°,30°,45°,60°,75°,90°)

(a. distribution of radiances (visibility 30 km, wave length 550 nm); b. distribution of radiative ratios of 450 and 650 nm, visibility 30 km; c. distribution of radiances (visibility 10 km, wave length 650 nm);
d. distribution of radiative ratios 450 and 650 nm, visibility 30 km)

除太阳高度角为 90°即地平线上的特殊情况外(考虑模式计算的复杂性及可靠性,一般模式计算中大多分析太阳高度角大于 80°的情况,文中 90°计算结

果仅作参考),能见度 30 km 的天空辐亮度最大值有随高度角增大而增大的现象,而最小值则随高度角增大而减小。然而此辐亮度变化特征在其他能见度条

件下情况并不相同,例如在 10 km 条件下(图 3c)除 90°和 75°明显较小,其他各太阳高度角下的最大值大致相当。辐射比空间分布情况在各太阳高度角也不相同,图 3b 表明,太阳在天顶时所引起的辐射比振荡范围最小(1.6—2.6),太阳高度角为 60°时辐射比振荡范围最大(0.9—3.5),由此可见,太阳高度角对于天空色度分布有相当大的影响。在其他能见度条件下,同样呈现出了较大的变化。总体而言,太阳高度角的不同会造成天空色度分布以及辐亮度值分布的重大差别。相同能见度下,同一空间位置处由于不同太阳高度角所引起的辐射比变化可以高达 1.5 倍,而所产生的最大辐亮度值在不同高度角时差异达 1.6 倍。但这种差别在不同能见度情况下,其影响程度也不尽相同。就云识别阈值选取来说,能见度不变而太阳高度角变化时引起的全天空辐射变化

情况较为复杂,在实际应用中可采用对应的数据库来判别。

3.2 无云大气状况下相同太阳高度角不同能见度 3 波段辐射分析

无云大气状况下太阳高度角不变而能见度变化条件下的天空辐射特征,相对前文中讨论的能见度不变而高度角变化情况较简单和规律性强一些。图 4 表示的是太阳高度角为 45°能见度变化情况下的辐射特征,图 4 中 6 条曲线分别是能见度 2,5,10,15,23,30 km 条件下的辐亮度和辐射比值。图 4 中各曲线分布趋势具有一定的代表性,在其他太阳高度角如 15°,30°等条件下也呈现出类似的特征,所不同的是辐亮度峰值所出现的能见度值情况略有不同,如太阳高度角 45°时能见度 10 km 时的峰值最大,而高度角 15°时能见度 5 km 上的峰值为最大。

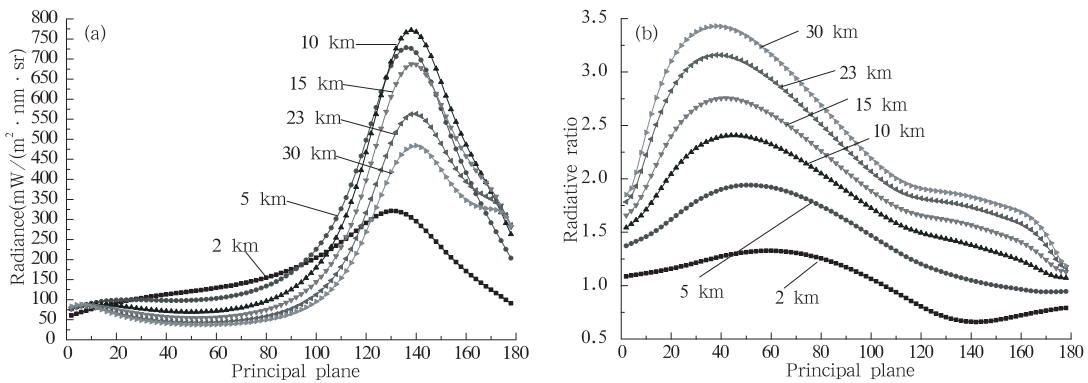


图 4 太阳高度角 45°不同能见度(2,5,10,15,23,30 km)辐亮度与辐射比分布

(a. 550 nm 波长处辐亮度分布($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$), b. 450 和 650 nm 的辐亮度比值分布)

Fig. 4 Distribution of radiances and ratios at different visibility(2,5,10,15,23,30 km)(solar angle: 45°)

(a. distribution of radiance at 550 nm ($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$), b. distribution of ratios of 450 and 650 nm)

图 4b 显示,45°太阳高度角情况下,天空辐射比值随着能见度的增加而单调增加,这一特征在其他固定太阳高度角情况都有体现,说明任何天空位置在固定太阳高度角条件下其辐射比会有随着能见度情况的改善而增加的趋势,因此在云识别的算法中可以通过先计算太阳高度角值,而后参考辐射比值以及绝对辐亮度值分析能见度情况,进而进行阈值的选择以及云和非云的判断。假设云的散射特征不随波长变化,且照射光源为自然光源,此时云的蓝、红辐射比应在 1 左右。在实际大气中云会受到周围大气散射光源影响,尤其是照射光源为蓝色光时,云的辐射比一般会大于 1,较薄的云尤其明显。图 4b

中,能见度为 2 km 时辐射比值集中在 1 ± 0.3 内,非常接近云的辐射比值,因此在能见度为 2 km 时仅依靠辐射比值判别有云或非云比较困难。类似这种容易与云辐射比相混淆的情况同样存在于其他的能见度条件下,如能见度 5 km 时靠近太阳一侧的天空辐射比接近 1 或者小于 1。此时对云的识别需要借助其他的观测数据进行。综合所有的计算结果看,地平或接近地平处天空辐射比值分布在 1 左右,而其辐亮度值亦与云相当,因此近地平天空云的判断难度较大。这一情况的出现使许多全天空成像仪观测统计计量时一般限于天顶角小于 80°的天空。

3.3 有云大气状况下 3 波段辐射散射特征分析

云是大气研究中最不确定的因子之一,有效粒子半径、云水含量等诸多不确定因素增加了研究有云大气散射辐射特征的难度,到目前为止研究云的散射辐射特征依然是大气研究中的重点和难点。在辐射传输模式中关于云的处理相对也较为简单。Libradtran 辐射传输模式中关于云的处理主要将云分为两种类型——水云和冰云。结合本文研究目标,为获得云在大气中的散射辐射特征,同时考虑模式在云处理方面的局限性和可靠性等,目前只选择水云为研究对象,所处高度 2—5 km,以获得基本的散射辐射特征,为云识别算法提供参考。云的光学厚度选择两种情况:1.0(薄云)和 10.0(厚云),根据两种情况以及云散射基本原理可了解其他光学厚度

的特征。

图 5 显示天空中布满薄云时,天空辐亮度值大大增加,尤其在太阳附近(约 4 倍);相反,云的光学厚度较大时天空辐亮度则大大减小。说明根据云的光学厚度特征不同天空辐亮度值较无云大气或增大或减小。因而,特定条件下有云大气所呈现出的天空辐亮度分布与特定气溶胶光学厚度条件下的大气辐亮度状况有可能非常接近。图 5a,b 分别为无云而大气能见度 8 km 时的辐射比以及能见度 23 km 而云光学厚度 1.0 的辐射比,从图上看二者之间相当接近。这种情况是当前云自动识别中较为棘手的问题,即在固定太阳高度角情况下,会产生对于有气溶胶层的低能见度和有薄层云的高能见度两种情况之间的混淆。值得强调的是,一旦能见度确定后,同

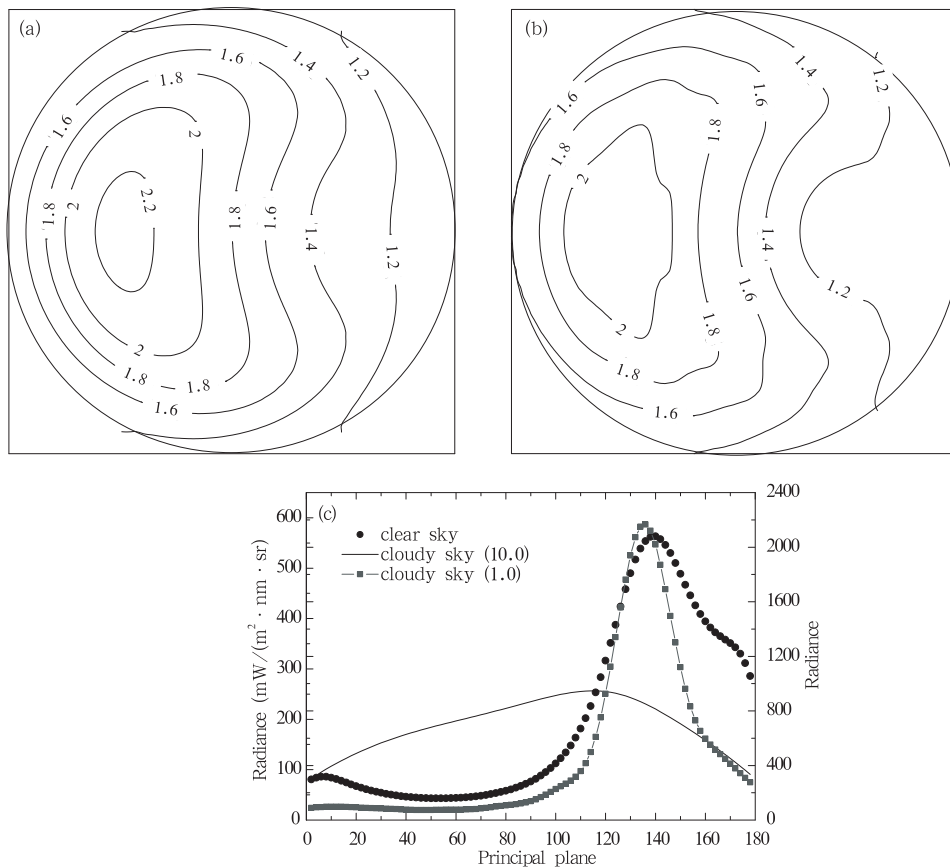


图 5 有云与无云辐射特征比较

- (a. 能见度 8 km 无云大气辐射比分布; b. 能见度 23 km, 云光学厚度 1.0 的天空辐射比分布;
c. 能见度 23 km 时, 有云(光学厚度 1.0 以及 10.0)与无云时天空辐亮度主平面分布,
无云和云光学厚度 10.0 时共用左侧坐标轴, 云光学厚度 1.0 时用右侧坐标轴)

Fig. 5 Radiation comparison between clear sky and cloudy sky

- (a. distribution of radiance (visibility 8 km, clear sky); b. distribution of radiance (visibility 23 km, cloudy sky, cloud optical depth is 1.0); c. principal plane radiance of clear sky, cloudy sky with two different optical depth 1.0 and 10.0; the left y-coordinate is the radiance of clear sky and cloudy sky with optical depth 10.0, the right y-coordinate is the radiance of cloudy sky with optical depth 1.0)

一空间位置有云大气的辐射比较无云大气辐射比要小(图 5c、图 1b),因此确定能见度是进行云识别的重点。能见度确定后,根据不同的能见度选择该能见度下无云大气的散射特征作为阈值判断,云识别工作将变得较为容易。而能见度不同时,用色度比来判断云应有相应的阈值分布。

4 结 论

全天空可见光图像分析中辐射比阈值识别法是当前云识别较为通用且较为有效的方法。云与气溶胶在特定条件下的散射特征较为类似,给云识别工作增添了难度。本文利用 Libradtran 辐射传输模式对不同能见度与不同太阳高度角情况下的天空辐射散射特性进行了分析,为全天空图像云识别算法的建立提供理论和定量判断依据。现将模式计算结果以及天空散射辐射特征结合云识别算法归纳如下:

(1) 就云识别阈值选取而言,仅选择单一不变阈值对全天空中所有的点进行云或非云判断明显缺乏可靠性,对于不同的空间位置,不同的大气气溶胶光学厚度和太阳高度角等大气背景下均应体现出阈值的变化。

(2) 能见度不变条件下,同一空间位置处由于不同太阳高度角所引起的辐射比变化可以高达 1.5 倍,而所产生的最大辐亮度值在不同高度角时差异达 1.6 倍。这种差别在其他能见度条件下,其影响程度也不相同。就云识别阈值选取来说,能见度不变而太阳高度角变化的全天空辐射变化情况较为复杂,需要用数据库来确定。

(3) 能见度为 2 km 时天空辐射比主要集中在 1.0 左右,能见度 5 km 时靠近太阳一侧的天空辐射亦接近 1,综合所有的计算结果看,高能能见度条件下地平或接近地平处天空辐射比值分布亦在 1 左右,而其辐亮度值亦与云相当,云识别工作比较困难。这是天边常呈现灰白色难以识别云的实际情况。

(4) 有云大气中,云的存在使天空辐亮度分布大大改变。在特定条件下有云大气所呈现出的天空辐亮度分布与特定气溶胶光学厚度条件下的大气辐亮度状况非常接近。相同能见度和太阳高度角条件下有云大气的辐射比较无云大气辐射比小,云识别阈值算法主要基于此特性。

(5) 太阳高度角确定,天空辐射比值随着能见

度的增加而单调增加,说明任意天空位置在固定太阳高度角情况下其辐射比会有随着能见度情况的改善而增加的趋势。鉴于此,云识别算法阈值判断其工作思路应先确定太阳高度角,而后确定能见度,进而阈值判别进行云识别工作。

总体而言,全天空图像阈值判断云识别自适应算法的建立需要与太阳高度角、地面能见度联系起来。当前尚无法建立一个判断阈值随太阳高度角以及能见度变化的函数关系式。较为可行的办法是建立典型能见度、典型太阳高度角情况下的辐射信息库,在具体云识别时,首先确定太阳高度角,而后根据天空辐射比情况确定天空能见度,并利用辐射信息标准库做云或非云判别。

参考文献

- [1] 邱金桓,陈洪滨,王普才等. 大气遥感研究展望. 大气科学, 2005, 29(1): 131-136
Qiu Jinhuan, Chen Hongbin, Wang Pucui, et al. A prospect on future atmospheric remote sensing. Chinese J Atmos Sci(in Chinese), 2005, 29(1): 131-136
- [2] 吕达仁,王普才,邱金桓等. 大气遥感与卫星气象学研究的进展与回顾. 大气科学, 2003, 27(4): 552-565
Lu Daren, Wang Pucui, Qiu Jinhuan, et al. An overview on the research progress of atmospheric remote sensing and satellite meteorology in China. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 2003, 27(4): 552-565
- [3] McGuffie K, Henderson-Sellerst A. Almost a century of "imaging" clouds over the whole-sky dome. Bull Ameri Meteor Soc, 1989, 70(10): 1243-1253
- [4] Horvath G, Barta A, Gal J, et al. Ground-based full-sky imaging polarimetry of rapidly changing skies and its use for polarimetric cloud detection. Appl Optics, 2002, 41(i3): 543-559
- [5] Sabburg J M, Long C N. Improved sky imaging for studies of enhanced UV irradiance. Atmos Chem Phys Discussions, 2004, (4): 6213-6238
- [6] http://www.mpl.ucsd.edu/people/jshields/wsi/wsi_intro.htm
- [7] Pfister G, McKenzie R L, Liley, et al. Cloud coverage based on all-sky imaging and its impact on surface solar irradiance. J Appl Meteor, 2003, 42: 1421-1434
- [8] 吕达仁,霍娟,吕曜等. 地基全天空成像仪遥感的科学、技术问题和初步试验. 见:童庆禧等. 中国遥感——奋进创新 20 年. 北京:气象出版社, 2001. 114-120
Lu Daren, Huo Juan, Lu Yao, et al. The scientific, technologic problems and primitive test of ground-based all-sky imager remote. In: Tong Qinxi, et al, ed. Chinese Remote Sens-

- ing—20 Years. Beijing: China Meteorological Press, 2001. 114-120
- [9] 霍娟, 吕达仁. 全天空数码相机观测云量的初步研究. 南京气象学院学报, 2002, 25(2): 242-246
Huo Juan, Lu Daren. A primary study on cloud-cover using all-sky digital camera. J Nanjing Insti Meteor (in Chinese), 2002, 25(2): 242-246
- [10] 吴北婴, 李卫, 陈洪滨等. 大气辐射传输实用算法. 北京: 气象出版社, 1998. 52-60
Wu B Y, Li W, Chen H B, et al. Applicable Programs for Radiative Transfer Calculation. Beijing: China Meteorological Press, 1988. 52-60
- [11] Mayer B, Seckmeyer G. Systematic long-term comparison of spectral UV measurements and UVSPEC modeling results. J Geophys Res, 1997, 102(D7): 8755-8767
- [12] 盛裴轩, 毛节泰等. 大气物理学. 北京: 北京大学出版社, 2003. 98-101
Sheng Peixuan, Mao Jietai. Atmospheric Physics. Beijing: Peking Univ Press, 2003. 98-101
- [13] 师春香 瞿建华. 用神经网络方法对 NOAA-AVHRR 资料进行云客观分类. 气象学报, 2002, 60(2): 250-255
Shi Chunxiang, Qu Jianhua. Cloud classification for NOAA-AVHRR data by using neural network. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2002, 60(2): 250-255

CHARACTERISTICS AND DISTRIBUTION OF ALL-SKY RADIANCE BY LIBRADTRAN MODELING: FOR CLOUD DETERMINATION ALGORITHM IN ALL-SKY IMAGES

Huo Juan Lu Daren

LAGEO, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract

Study of cloud's automatic detection from the all-sky images is a relative new research field. The current cloud decision algorithm is based on the blue/red ratios for all-sky visible images. However, the aerosol in the atmosphere has different scattering characteristics at different visibilities. So, this static algorithm is not suitable for all kinds of sky conditions. In order to improve the cloud algorithms, we calculated the all-sky radiance at three different wavelengths (450/550/650 nm) under different visibilities and solar angles by using the LIBRADTRAN model. The purpose of this work is to get the distribution character of radiance and radiative ratio (450/650 nm) under different sky conditions. Results show that blue/red radiative ratio will decrease with the decrease of visibility. And thin clouds often demonstrate the same radiative distribution as the aerosol. The radiative distributions of sky also are different at different solar angles. So, an automatic cloud detection algorithm must include a time-varying factor that is used to adapt to the variation of visibility and solar angle. At present, it is difficult to set up a general function of the visibility and the solar angle because of the complex sky conditions and relationship between them. The efficient and possible method for cloud detection is to set up a radiative dataset of different visibilities and solar angles. A standard database for cloud determination algorithm will be set up.

Key words: Libradtran, All-sky image, Radiance, Cloud determination.