卫星对地遥感应用中的邻近效应研究

刘广员 邱金桓

(中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

摘 要利用 Monte-Carlo 地气耦合辐射传输模式比较系统地进行了卫星视反射率对地 表、大气和卫星参数的敏感性数值试验,重点研究了邻近效应对地表反射水平非均一分布 的敏感性、邻近效应有效地表范围以及邻近效应与卫星高度的关系三个方面的问题。在定 量分析的基础上,揭示了影响邻近效应的主要因子及其影响机制,给出了一些重要结论, 包括:地表非均一引起的邻近效应的影响是非常重要的,特别是当目标反射率小于环境反 射率时;气溶胶光学厚度越大,散射相函数对称性越强,卫星视反射率对环境反射率越敏 感,邻近效应越明显;邻近效应的有效地表范围可达到几十公里,同样光学厚度条件下, 与气溶胶相比,分子的有效地表范围更大,邻近效应也更强;卫星观测同一目标物时,邻 近效应随着探测器高度增高而变大等。

关键词:邻近效应;卫星遥感;视反射率;水平非均一反射地表 文章编号 1006-9895 (2004) 02-0311-09 中图分类号 P407.4 文献标识码 A

1 引言

高空平台上遥感器对地观测到的视反射率(apparent reflectance)中含有来自视场 周围环境地表的贡献,这种现象称为邻近效应(adjacency effect)^[1]。邻近效应会影响 卫星的定量化遥感应用。一方面影响卫星对地面目标的遥感能力:大气分子和气溶胶 的散射会降低相邻视场地表亮度的对比,模糊了目标和环境的差别^[2~6],影响卫星的分 辨能力。邻近效应的存在,尤其在水平非均一反射地表上,给订正大气的这种模糊作 用造成极大不便。另一方面影响卫星对大气的遥感能力,给准确扣除大气遥感中的地 表信息造成困难。比如,DDV(Dense Dark Vegetation)方法^[7]中暗地表周围的环境 地表变化引起的邻近效应直接影响大气气溶胶光学厚度遥感的准确性。

当前国际上研究邻近效应面临的主要困难之一是缺少有效可靠的模拟手段。因为 邻近效应问题涉及到的水平非均一反射地表上三维耦合辐射传输问题模拟本身就是一 个非常复杂的问题;而模拟卫星信号又要求所用数值模式有很高的性能,包括精度和 计算效率两个方面。这导致国内外有关邻近效应的研究进展缓慢,成果较少。在20世 纪70、80年代,有关研究集中在大气的模糊效应以及大气对目标物亮度的影响方 面^[3,4,6,7],属于正问题研究,认为邻近效应是地表反射与大气点传播函数(PSF)的卷 积,主要研究了大气的点传播特性。20世纪90年代以来有关大气订正方面的研究较 多,属于反问题研究,主要集中在水平均一反射地表上^[8~13]。但严格说来前面这些研

^{*} 国家自然科学基金资助项目 40175009

究还不是真正意义上邻近效应问题的研究,因为从邻近效应问题的定义和下文对其症结的分析可见,真正关于邻近效应问题的研究,应当是基于水平非均一反射地表上地 气耦合情况下的研究,而且必须与高空遥感器的特点结合起来才更有实际应用价值。 6S模式^[8]在处理邻近效应问题中引进了一个地表环境因子,但实际计算中需要知道水 平非均一地表上的漫反射效应,而这种漫反射效应一般是未知的;同时环境因子中没 有包含卫星视场地表本身的反射率信息,反映不出目标和环境视反射率差异的影响, 有待进一步发展。目前,系统地模拟研究各种水平非均一反射地表和不同大气条件下 辐射率场(卫星光学遥感关心的是卫星高度的辐射率),弄清邻近效应的主要因子及其 影响机制,是邻近效应研究的一个重要课题。

为了研究邻近效应,我们发展了一个可靠和较高计算效率的三维 Monte-Carlo (MC) 地气耦合辐射传输模式 (3DMC)^[14,15],并与 DISORT、FAUTMC^[16]和 RAINI-ER^① 三个模式作了严格对比验证^[15],与三个模式的相对误差小于 1%。

本文利用发展的 3DMC 模式模拟卫星视反射率,进行邻近效应问题研究,重点包括地表反射水平非均一分布对卫星光学遥感信号的效应,邻近效应的有效地表范围,以及从不同高度观测同一目标物时邻近效应与高度的关系三个方面。

2 邻近效应的敏感性试验

本文重点考查了地表反射率分布、相函数、光学厚度、卫星高度、卫星视场角和 太阳天顶角六个主要因子在邻近效应问题中的作用。模拟主要在气溶胶大气假设情况 下展开。本文大部分试验采用了 30 km 这种较低的探测器高度来研究邻近效应,因为 采用 MC 方法模拟正常高度的高分辨率卫星视反射率几乎不可能的,即使在 30 km 高 度假设下,本文进行每一次视反射率模拟试验在使用奔腾 IV 处理器的微机上也需要一 周多的计算时间。而我们采用 30 km 高度假设的依据,即合理性之一是考虑到实际大 气 30 km 高度以上的光学厚度已经很微小,可以忽略外,再者就是下文中 4.1 节的结 论:卫星视场角大小一样时,如果目标反射率和环境反射率分别相同,则卫星视反射 率相同,与卫星高度无关,使得本文上文模拟的 30 km 高度假设条件下各个试验结果 适用于相同大小视场角条件下的其他卫星高度。也正是从这个意义上,下文把模拟探 测器高度为 30 km 的情况也称为"卫星高度",而实际卫星高度要高得多,极轨卫星通 常接近上千公里。

2.1 卫星视反射率对地表反射率分布的敏感性

模拟试验把水平非均一地表分布状况依据目标反射率和环境反射率的不同分成内 小外大(分布A)和内大外小(分布B)两种情况[注:为方便论述,下文采用(a, b)表示目标反射率和环境反射率。例如,(0.4,0.0)表示目标反射率为0.4,环境反 射率为0.0,其他类推]。设大气集中在0~30 km高度范围内,考虑气溶胶光学厚度随 高度的分布(读入消光系数廓线),不考虑气溶胶相函数随高度的变化,该处模拟太阳 天顶角为0°,卫星垂直地面观测,设探测器高度为30 km,水平圆形目标物半径

① 可以从 Internet 上找到: ftp: /ftp. ifm. uni-kiel. de/pub/scheirer/grim.

0.524 km (对应视场角为1°)。图1是模拟所用的两个散射相函数,由 Mie 散射程序给 出,所用参数见图中注释,波长 0.44,气溶胶复折射率的实部为1.5,虚部为0.0,粒 子谱为 Junge 谱分布,分布中负幂数分别取值为 2 和 3 时,对应的相函数分别称为 P2 和 P3。P2 的前向散射比 P3 的强很多,约 7.5 倍;而 P2 的后向散射跟 P3 的差别不大, 稍强一些,接近 2 倍。即 P2 散射不对称性更强。



图 1 气溶胶散射相函数 (0.44 µm)

2.1.1 目标反射率小于环境反射率(分布A)时的敏感性试验。

表 1 所示是 P2 相函数和不同光学厚度条件下,目标反射率为 0.02 不变,环境反射 率从 0.02 逐渐增大为 0.42 时,0°观测天顶角的卫星视反射率的相对变化(相对于反照 率为 0.02 的水平均一反射地表情况下的模拟结果而言)。

从表1可见,第一,在三种光学厚度条件下,环境反射率从0.02逐渐增大时,引起卫星视反射率也逐渐增大。第二,当光学厚度为0.3,接近正常晴空大气气溶胶光学厚度时,如果目标反射率很小为0.02,环境反射率每增大0.1(10%),引起视反射率的相对增大几乎也正好为10%;当环境反射率比目标反射率高出0.05时,模拟视反射率的

相对增大超过 5%;也就是说在所用试 验条件下,环境地表反射率每增大 1%, 就能引起视反射率 1%的相对变化。这 表明即使在小光学厚度条件下,视反射 率对环境地表反射率的变化也是相当敏 感的。第三,大气气溶胶光学厚度较大 时与较小时相比,环境反射率的同样程 度的变化引起卫星视反射率的增大程度 也大,表中光学厚度 1.5 情况下引起的 相对变化比 0.3 时最大差别可以接近 60%。由于通常情况下地表是非均一 的,会存在邻近效应,所以在应用较浑 浊大气条件下的遥感资料时更要谨慎。

表 1	当环境反射率从 0.02 变为 0.42 时 0°观测
	天顶角卫星视反射率的相对变化

光学厚度	地表反射率	视反射率/ %	相对变化/ %
	(0.02, 0.02)	7.13	0
	(0.02, 0.07)	7.53	5.61
0.22	(0.02, 0.12)	8.05	12.90
0.33	(0.02, 0.22)	8.75	22.72
	(0.02, 0.32)	9.51	33.38
	(0.02, 0.42)	10.2	43.06
	(0.02, 0.02)	15.1	0
1.0	(0.02, 0.22)	21.5	40.52
	(0.02, 0.42)	28.2	86.75
	(0.02, 0.02)	19.4	0
1.5	(0.02, 0.22)	28.0	44.32
	(0.02, 0.42)	38.9	100.50

2.1.2 目标反射率大于环境反射率 (分布 B) 时的敏感性试验。

表 2 所示是 P2 和 P3 两种散射相函数,不同气溶胶光学厚度条件下,当环境反射率 从 0.4 变为 0.2 和 0.0 时,0°观测天顶角的卫星视反射率的相对变化(相对于反照率为 0.4 的水平均一反射地表情况而言)。

表 2 环境反射率从 0.4 变为 0.2 和 0.0 时, 0°观测天顶角卫星视反射率相对变化

光学	相函数	环境反射率变化	环境反射率变化
厚度		0.4→0.2	0.4→0.0
0.33	P2	-3.85%	-10.43%
	P3	-9.09%	-13.29%
1.5	P2	-26.41%	-42.83%
	P3	-31.93%	-50.0%

从表 2 可见:第一,环境反射率从 0.4 减小为 0.2 和 0.0,能引起卫星视反射率的明 显减小。就减小程度而言,当光学厚度为 0.3 时,在两种相函数情况下,由于目标反射率 较大,为 0.4,环境反射率变化 20%时,引 起视反射率的相对变化都小于 10%;比表 1 中的相对变化要小得多。第二,当光学厚度 为 1.5 时,与 0.3 时相比,环境反射率变化

引起卫星视反射率的相对变化要大很多,这种差别可以接近40%。第三,在散射不对称性较弱的P3相函数情况下,环境反射率的相同程度的减小引起卫星视反射率的相对变化比P2相函数时要大一些,考虑原因主要在于前者在水平方向的散射能力更强。2.1.3 两类不同非均一地表条件下的邻近效应对比

表1和表2分别是在目标反射率大于环境反射率(分布A)和目标反射率大于环境 反射率(分布B)地表条件下的试验结果,其中分布A代表内小外大的地表反射率分 布情况,比如绿洲;分布B代表内大外小的情形,比如岛屿。现在分析一下这两种不 同地表分布情况下的邻近效应的差异。

表 3 主要展示了表 1 和表 2 中的部分结 果:在 P2 相函数和两种光学厚度下环境反 射率变化的绝对值分别为 0.4 和 0.2 时(分 别从 0.4 到 0.2 和 0.0;从 0.02 到 0.22 和 0.42),0°观测天顶角的卫星视反射率相对 变化(分别相对于反照率为 0.4 和 0.02 的 均一地表情况而言)。

表 3 当环境反射率变化的绝对值为 0.4 时 0°观测天顶角卫星视反射率相对变化

环境反射率的变化	光学厚度 0.33	光学厚度 1.5
0.40→0.2	-3.85%	-26.41%
0.40→0.0	-10.43%	-42.83%
0.02→0.22	22.72%	44.32%
0.02→0.42	43.06%	100.5%

从表3可见,地表分布A时,卫星视反射率对地表分布的敏感性与分布B时存在 相似的规律,都随环境反射率的变化(增大或减小)而相应变化,对光学厚度的响应 规律也是相似的。而明显的不同在于,在目标反射率和环境反射率差别相同的情况下, 与分布B相比,分布A时模拟视反射率对环境地表反射率更敏感,也即邻近效应更加 明显(具体变化参考对表1、2的分析)。

总结表 1~3 可以得出:环境反射率引起的邻近效应明显影响卫星视反射率。在目标反射率和环境反射率差别相同的情况下,目标反射率小于环境反射率时的邻近效应 要明显得多。当目标反射率小于环境反射率时,在通常晴空大气光学厚度下,环境地 表反射率每增大 1%,就可能引起视反射率 1%的相对变化,这表明在绿洲条件下视反 射率对环境地表反射率的变化是相当敏感的,值得重视。气溶胶光学厚度越大,散射 相函数对称性越强时(此时粒子的大角散射能力强,而环境地表反射的能量要到达探 测器必须通过大角散射),卫星视反射率对环境反射率越敏感,邻近效应越强。

2.2 太阳天顶角对邻近效应的影响

表4给出了 P2 相函数和不同太阳天顶角时环境反射率变化,从0.02 变为0.42,引 起的卫星视反射率相对变化情况(相对于反照率0.02 的均一地表上模拟结果而言), 其中模拟所用气溶胶光学厚度为0.33,其他模拟条件同上。

表4中,当太阳天顶角为0°时,环境反射率 变化引起的视反射率的增大为0.0307,相对变 化为43.06%;而当太阳天顶角为30°时,引起 的视反射率的增大为0.0317,相对变化为 93.08%,比43.06%大一倍多。可见,太阳天 顶角增大为30°时,虽然环境地表的绝对贡献几

表 4 不同太阳天顶角时,0°观测天顶角 卫星视反射率的数值及其相对变化

地表状况	太阳天顶角 0°	太阳天顶角 30°
(0.02, 0.02)	0.0713	0.0375
(0.02, 0.42)	0.102	0.0692
相对变化	43.06%	93.08%

乎没变(0.0317≈0.0307),但目标地表的贡献大大减小,从而使得随着太阳天顶角的 增大,邻近效应明显增大。

3 邻近效应有效地表范围研究

定性地讲,无论某一点环境地表的反射率大小如何,只要距离目标物足够远,就 不会对卫星视反射率产生任何影响。现在来定量地模拟研究对卫星视反射率产生影响 的地表范围(论文称之为邻近效应有效地表范围)。方法是通过模拟远离目标的地表反 射率的变化对卫星视反射率的影响来实现这一目的,即令环境地表中靠近目标的部分 与目标反射率相等,而令远离目标的部分发生变化。

模拟按照分子大气和气溶胶大气两种假设情况进行,设二者分别集中在 0~30 km 的高度范围内,只考虑其光学厚度随高度的变化。仍采用 3DMC 模式,设探测器高 30 km,太阳和卫星都位于天顶,假设目标物为水平圆形,半径 0.524 km,分别试验 距离目标中心点的半径为 0.524 km (等于目标物半径大小)、3 km,5 km、7.5 km、 15 km 和 30 km 的圆形区域内地表反射率为 0.02,区域外地表反射率为 0.42 的情况。 采用分子散射相函数^[17]。图 2 是试验结果,给出了上述六种地表分布时的卫星视反射 率相对于均一地表情况下(反照率为 0.02)的相对变化。有关参数见图表。



图 2 分子和气溶胶大气条件下邻近效应有效地表范围 (分子光学厚度为 0.237; 气溶胶光学厚度为 0.33, P2 相函数)

28 卷

从图 2 可以看出,第一,在水平非均一反射地表上,气溶胶大气条件下(图中下 方的曲线),距离目标物越远的地表对视反射率影响越小;第二,相当大的地表范围都 对卫星视反射率存在影响。上述试验条件下,当距离目标中心点 30 km 外的环境地表 从 0.02 变为 0.42 时,引起卫星视反射率的相对变化仍然可以达到 0.98%,接近 1%。 这表明距离目标物相当远处的环境地表反射率的变化引起的邻近效应有时也不容忽视。 第三,与气溶胶相比,同样光学厚度条件下,分子的有效地表范围更大,邻近效应也 更强(图中分子光学厚度小于气溶胶光学厚度,而分子的邻近效应更明显)。第四,相 函数不对称性越弱(比如分子相函数),有效地表范围越大。

4 同一目标物的邻近效应与观测高度的关系

对同一目标物,环境地表也相同,卫星从不同高度观测时邻近效应有什么不同呢? 由于直接利用 3DMC 模拟真实卫星高度和分辨率需要大量的模拟计算时间(在微机上 难以进行),本文采用三段论的方式来论证研究这一问题,将从下文 4.1 节和 4.2 节两 部分的结论推断出同一目标物的邻近效应与观测高度的关系。

4.1 邻近效应对卫星高度的敏感性

我们知道,当卫星视场角大小一样时,卫星越高对应的目标范围就越大,那么在 这种卫星视场角固定的情况下邻近效应与高度有什么关系呢?

用 3DMC 模式分别对 30 km 和 90 km 两种观测高度进行了模拟。设太阳和遥感器 都位于天顶,观测天顶角分辨率相同(设对应视场角为 1°,此时探测器高度为 90 km 时,圆形目标物半径 1.57 km;探测器高度为 30 km 时,对应圆形目标物半径为 0.524 km),其他试验条件和结果见图 3,其中 0°观测天顶角对应的视反射率是卫星视 反射率。



图 3 相同分辨率不同高度时的模拟结果

从图 3 中得到两点结论:(1)当卫星视场角大小一样时,如果目标反射率和环境反 射率分别相同(卫星高度越高对应的目标范围越大),则卫星视反射率相同,与卫星高 度无关,表明此时邻近效应相同。(2)由第一条结论可知,本文上文模拟的 30 km 高度 假设条件下各个试验结果适用于相同大小视场角条件下的其他卫星高度。

4.2 邻近效应对卫星视场角的敏感性

邻近效应与卫星视场角有什么关系呢?采用 3DMC 对卫星高度为 30km,假设对应 圆形目标物半径为 0.524 km、1.57 km (对应视场角为 3°)和 2.63 km (对应视场角为 5°)。设太阳和卫星都位于天顶。表 5 是当环境反射率从 0.02 变化为 0.42 时 0°观测天 顶角的卫星视反射率的相对变化 (相对于反照率为 0.02 的水平均一地表而言)。

表 5 表明:(1)其他计算条件相同时,目标物越小,邻近效应越大,目标物半径为 2.63 km时比 0.524 km时的邻近效应减小约一半,目标物半径为 1.57 km时的邻近效 应居中。无论气溶胶光学厚度等于 0.33 还是 1.5 时情况都是如此。表明邻近效应与卫 星视场角关系是:视场角越小,卫星视反射率对环境反射率越敏感,邻近效应越大。

从中可以得到,同样地气条件下,卫星资料的空间分辨率越高,其中的邻近效应越强,在资料使用中越需要考虑邻近效应的影响。由于实际卫星的空间分辨率往往比本文所模拟的小很多,所以实际卫星资料的邻近效应很值得重视。这同时告诉我

表 5 0°观测天顶角卫星视反射率的相对变化

目标物半径/ km	光学厚度 0.33	光学厚度 1.5
0.524	43.06%	100.5%
1.57	27.99%	69.57%
2.63	21.54%	65.79%

们,从存在邻近效应的角度来讲,卫星的分辨率是不能无限制地提高的。(2)气溶胶光 学厚度大时,邻近效应更加明显。

有了 4.1 节和 4.2 节两部分的结论,现在可以采用三段论的方式来推断同一目标 物的邻近效应与观测高度的关系。因为对同一目标物,在不同高度观测,观测高度越高,则观测视场角越小。而由 4.1 节知道,在高处以小视场角观测的邻近效应等于在 低处以同样小视场角观测的邻近效应;由 4.2 节知道,同在低处,以小视场角观测的 邻近效应大于以大视场角观测的邻近效应。故此可以推断出如下结论:在高处以小视 场角观测比在低处以大视场角观测同一目标物的邻近效应要大。即卫星观测同一目标 物时,邻近效应随着探测器高度增高而变大。这一点很重要,因为它表明,由于邻近 效应的存在,卫星高度越高对地物的分辨能力将越差,据此可以推测对高度为上万公 里的静止卫星而言,其分辨率是不能太小的。这同时告诉我们,在可能的情况下,为 了提高卫星对地遥感的分辨能力,卫星高度要适当低些。

5 总结与讨论

本文主要应用 3DMC 数值模式比较系统地模拟研究了水平非均一反射地表上卫星 对地光学遥感中的邻近效应问题。重点考查了邻近效应中地表的水平非均一分布、大气 散射相函数、光学厚度等因子的影响;考查了邻近效应与卫星高度和观测视场角的关 系,以及邻近效应的有效地表范围问题。在定量分析的基础上,揭示了影响邻近效应 的主要因子及其影响机制,给出了一些新结论。把主要结论简要归纳如下:邻近效应 的对地表反射率分布、大气光学厚度、相函数、卫星视场角和太阳天顶角等都是比较 敏感的。环境反射率引起的邻近效应影响卫星视反射率。在目标反射率和环境反射率 差别相同的情况下,目标反射率小于环境反射率时邻近效应更加明显。气溶胶光学厚 度越大,散射相函数对称性越强,卫星视反射率对环境反射率越敏感,邻近效应越明

28 卷

显。光学厚度对邻近效应的影响密切依赖地表分布和相函数。随着太阳天顶角的增大, 邻近效应明显增大。几十公里范围的地表都对卫星视反射率存在影响。与气溶胶相比, 同样光学厚度条件下,分子的有效地表范围更大,邻近效应也更强。邻近效应与卫星 视场角有关系,视场角越小,邻近效应越大。卫星观测同一目标物时,邻近效应随着 探测器高度增高而变大。此外,本文还给出了一个水平非均一反射地表上卫星视反射率 的表达式,该式清楚地反映了邻近效应。

基于模拟试验的结果,本文认为对邻近效应的影响要予以重视。本文的部分模拟 试验中选取目标反射率和环境反射率的差异为 0.4,可以看到此时的邻近效应是非常惊 人的,不过这也不是说邻近效应就是如此可怕,因为在实际情况中目标和环境反射率 的差异往往没有如此明显,从而邻近效应也会相应减小。但也不能因此而掉以轻心, 因为实际中目标和环境反射率的差异达到 0.4 的情况还是可能存在的;同时模拟结果 还表明,当目标反射率很小时,邻近效应对环境反射率还是很敏感的,正如表 1 所显 示的,环境地表反射率每增大 1%,就能引起视反射率 1%的相对变化。

本文研究充分表明邻近效应十分重要。我们在进行卫星遥感的大气订正的时候, 应当对地表非均一带来的邻近效应给予足够的考虑,而不能仅仅纠正大气本身和地表 的双向反射特性两方面的影响;同时由于向上天空辐射亮度对地表反射率的敏感性一 般远强于大气参数的敏感性,邻近效应对大气遥感本身也会有更明显的影响。我们在 忽略邻近效应^[15]情况下,曾进行利用模拟的卫星资料反演地表反照率和植被指数的试 验,结果证明不考虑邻近效应会导致严重偏差。本文研究结果有利于提高对邻近效应 问题的认识、促进该问题的研究进展,并有利于卫星资料定量化应用的进程。

由于存在模拟计算时间过长的困难,本文没有对更小的视场角情况进行详细的模拟。而本文研究结果表明邻近效应随卫星分辨率的减小有增大的趋势,所以定量地研究更小视场角时的邻近效应很有必要,有待今后更深入的研究。我们将在今后对这一问题作进一步的研究。

参考文献

- Otterman, J., and R. S. Fraser, Adjacency effects on imaging by surface reflection and atmospheric scattering Cross radiance to zenith, *Applied Optics*, 1979, 18, 2852~2860.
- 2 Odell, A. P., and J. A. Weinman, The effect of atmospheric Haze on images of the Earth's surface, J. Geophys. Res., 1975, 80 (36), 5035~5040.
- Kaufman, Y. J., Effect of the Earth's atmosphere on contrast for zenith observation, J. Geophys. Res., 1979, 84 (C6), 3165~3172.
- 4 Mekler, Y., and Y. J. Kaufman, The effect of Earth's atmosphere on apparent contrast reduction for a non-uniform surface albedo and 'two-halves' field, J. Geophys. Res., 1980, 85 (C7), 4067~4083.
- 5 Kaufman, Y. J., Atmospheric effect on spatial resolution of surface imagery: errata, Appl. Opt., 1984, 23 (22), 4164~4172.
- 6 Diner, D. J., and J. V. Martonchik, Influence of aerosol scattering on atmospheric blurring of surface features, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1985, 23 (5), 618~624.
- 7 Holben, B., E. Vermote, Y. J. Kaufman et al., Aerosol retrieval over land from AVHRR data-application for atmospheric correction, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1992, **30** (2), 212~222.
- 8 Vermote, E. F., Member IEEE, Didier Tanre et al., Second simulation of the satellite signal in the solar spec-

trum, 6s: an overview, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1997, 35 (3), 675~686.

- 9 Sushkevich T. A., Multidimensional plane-parallel and spherical problems of the radiative transfer theory, In: IRS2000: Current Problems in Atmosphereic Radiation, Edited by William L. Smith and Yuriy M. Timofeyev, A. Deepak Publishing, 2000, 261~264.
- 10 Howard R. Gordon, and Wang Menghua, Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWIFs: a preliminary algorithm, Appl. Opt., 1994, 33 (3), 443~452.
- 11 Wang Menghua, and H. R. Gordon, Estimating aerosol optical properties over the oceans with the multi-angular imaging spectroradiometer: some preliminary studies, *Appl. Opt.*, 1994, **33** (18), 4042~4057.
- 12 Liu Guangyuan, and Sun Yiyi, Retrieval of the main factor affecting the accuracy of horizontal monitoring aerosol optical thickness over uniform underlying surface and case study, International Symposium on Test, Beijing, 1997, 1~4, 101~109.
- 13 刘广员、孙毅义,大气气溶胶光学厚度的卫星双通道遥感方法,南京气象学院学报,1998,21 (3),321~327.
- 14 刘广员、邱金桓, 一个三维 Monte-Carlo 地气耦合辐射传输模式, 大气科学, 2004, 28 (1), 69~77.
- 15 刘广员,卫星对地遥感应用中的邻近效应研究,中国科学院大气物理研究所博士学位论文,2002.
- 16 Macke, A., R. Dlhopolsky, J. Mueller et al., A study on bi-directional reflection functions for broken cloud fields over ocean, Adv. Space Res., 1995, 16, 55~58.
- 17 Young, A. T., Revised depolarization corrections for atmospheric extinction, Appl. Opt., 1980, 19, 3427~ 3428.

Adjacency Effect of Satellite Remote Sensing on Land Surface Studies

Liu Guangyuan, and Qiu Jinhuan

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Sensitivities of satellite apparent reflectance to parameters of surface, atmosphere and satellite measurements are simulated with a 3-dimensional Monte-Carlo model. Researches are mainly focused on three aspects: Sensitivities of satellite apparent reflectance to non-uniform reflection surface; to the effective surface range; and relations between adjacency effect and satellite altitude. Based on the sensitivity, the main adjacency effect factors and mechanism are uncovered. Some notable results are given as follows: Adjacency effect caused by surface's non—uniformity is of high importance. On the kind of oasis surface adjacency effect is especially distinct. The bigger the aerosol optical depth and the more symmetric the scattering phase function, the stronger the sensitivity is. Within a fair large horizontal range the adjacency surface has effect on satellite apparent reflectance, and the more symmetric (for example, molecular) the phase function is, the bigger the effective surface range is. For a certain surface target, the higher the satellite altitude is, the bigger the adjacency effect is.

Key words: adjacency effect; satellite remote sensing; apparent reflectance; non-uniform reflection surface