

doi : 10. 6046/gtzyyg. 2016. 03. 01
引用格式: 曹永兴,薛志航. 基于高分辨率影像的城市地区气溶胶反演研究述评[J]. 国土资源遥感,2016,28(3):1-6. (Cao Y X,Xue Z H,et al. Review of the urban aerosol retrieval research based on high - resolution images[J]. Remote Sensing for Land and Resources ,2016,28(3):1-6.)

基于高分辨率影像的城市地区气溶胶反演研究述评

曹永兴,薛志航

(国网四川省电力公司电力科学研究院,成都 610072)

摘要: 介绍了大气气溶胶对全球气候变化和大气污染状况的影响,阐述了基于卫星遥感反演气溶胶的国内外研究现状;简要介绍了卫星遥感反演气溶胶的原理以及当前应用较为广泛的单通道和多通道法、基于对比度差异的空间结构法、基于多角度数据的反演方法、基于偏振数据的反演方法和基于星载激光雷达数据的反演方法等 5 类卫星遥感反演方法;最后根据上述反演方法以及城市地区气溶胶反演的难点,对城市地区气溶胶反演研究进行了论述分析和总结,点明了利用卫星高分辨率遥感影像对城市地区气溶胶反演研究的重要性,讨论了当前基于高分辨率影像的城市地区反演方法的不足,并对其存在的问题的突破点和解决途径进行了展望。

关键词: 气溶胶; 高分辨率; 卫星遥感; 反演方法

中图法分类号: X 513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2016)03-0001-06

0 引言

大气气溶胶是指固体和液体微粒悬浮物均匀地分散在地球大气中形成的多相体系。这些微粒悬浮物具有一定的稳定性,沉降速度小^[1],粒径多介于 0.001 ~ 100 μm 之间,其来源分为人为源和自然源。气溶胶粒子(尤其是人为源)与太阳辐射、地球、大气气体有剧烈的相互作用,可以对大气的物理和化学性质产生强烈影响,从而影响地球表层系统的辐射平衡,进而对全球气候变化造成影响。更重要的是气溶胶中包含一些对人体健康有害的粒子,对人类的健康和生活造成严重影响,尤其是对于人口密集、工业集中的城市地区。例如,现在城市居民越来越关注的 PM2.5 和雾霾等,都属于气溶胶多相体系中的一部分。因此,关于气溶胶的研究,对于解决其带来或诱发的气候变化和大气污染等问题,具有重要意义。有效治理和研究由气溶胶等带来的大气污染和气候变化等问题的前提条件是对大气气溶胶进行调查和监测。传统的地面实时观测仍是研究气溶胶的重要手段,目前已经在全球建立了多个气溶胶观测网络,如全球气溶胶监测网(aerosol robotic network,AERONET)在全球建立了超过五百多个站点,目前主要用于对卫星遥感结果进行校验;欧洲还建立了气溶胶研究激光雷达监测网(European aerosol

research LiDAR network,EARLINET)。但由于观测站点数量有限,且分布比较离散,这些监测系统仍无法反映整个区域的气溶胶空间分布情况,特别是城市等局部地区。卫星遥感技术连续、宏观、动态、快速的特点,为不同尺度的气溶胶观测和研究提供了可能^[2]。例如,利用较低分辨率卫星影像可以研究大区域的气溶胶问题,不过对于人们目前所关心的气溶胶带来的大气污染问题,较低分辨率影像还难以满足这方面的需求,高分辨率影像能够较好地反映局部地区的气溶胶状况。因此,利用高分辨率遥感影像监测气溶胶,对于研究城市等气溶胶空间变化剧烈的局部地区的大气污染状况可取得良好效果,同时对于大尺度的气溶胶研究也有一定帮助,因而具有重要的研究价值和广阔的应用前景。

1 研究现状

国外基于卫星遥感反演气溶胶的研究始于 20 世纪 70 年代中期,利用最早的数据是 AVHRR 数据,最初气溶胶遥感只能在海洋上空实现,算法为可见光单通道反射率方法。20 世纪 80 年代,开始了陆地气溶胶的遥感研究。这一时期反演算法主要有海洋-陆地对比法、双-多通道反射率法、结构函数法、暗像元法等多种算法,其中,暗像元算法经过不断改进,现已成为陆地上空应用最为广泛的算法。

收稿日期: 2015-03-31; 修订日期: 2015-07-25
基金项目: 国家电网公司总部科技项目(编号: 521997140007)资助。

进入 20 世纪 90 年代,气溶胶对气候和环境的影响得到世界各国政府和人民的高度重视,卫星遥感技术快速发展过程中,在设计传感器时开始考虑气溶胶遥感的需要,可用来研究气溶胶的卫星传感器逐年增加。进入 21 世纪后,多种搭载新型传感器的卫星相继成功发射,如新一代多光谱、多角度偏振探测卫星 PARASOL、云-气溶胶激光雷达和红外探测者卫星 CALIPSO 等,为气溶胶反演提供了丰富的数据源和新的反演思路。关于气溶胶的反演方法研究也取得了巨大的进展,Diner 第一次利用多视角成像分光辐射度计(multi-angle imaging spectroradiometer, MISR)多角度数据对气溶胶光学厚度进行了反演^[3]; Vachon 等分别利用 POLDER(polarization and directionality of earth reflectance)偏振资料和 MODIS 资料反演了气溶胶的光学特性^[4]; Thomason 等采用 CALIPSO 星载激光雷达数据,研究了大气平流层气溶胶含量及分布情况^[5]; Hsu 等提出了深蓝算法,对解决亮地表地区的气溶胶反演具有重要作用^[6-7]。

我国的大气环境遥感监测始于 20 世纪 80 年代中期。最初也是在海洋上空的气溶胶反演,如赵柏林利用 AVHRR 数据,在渤海上空对气溶胶进行了遥感反演试验^[8]。然后,随着国内外多个卫星的相继发射成功,其上搭载的多种传感器为气溶胶的遥感反演研究提供了更加丰富的信息。基于这些信息,在大量学者的努力之下,国内的气溶胶反演研究取得了迅猛的发展,如毛节泰等利用 MODIS 数据,在国内城市地区气溶胶反演方面取得了很好的效果^[9];黄建平等利用 CALIPSO 星载激光雷达观测资料,对沙尘气溶胶进行了大量的研究工作^[10];王磊等利用改进的沿轨迹扫描辐射计(advanced along-track scanning radiometer, AATSR)双角度观测数据,对亮地表地区进行了气溶胶反演研究^[11];王中挺、李莘莘等分别利用 PARASOL 偏振数据、MODIS 数据以及国产 HJ-1 数据,对我国陆地上空以及城市和冬季北方亮地表地区的气溶胶反演进行了研究^[12-13],促进了国内气溶胶研究领域的发展。

从 20 世纪 70 年代至今,通过国内外学者的共同努力,卫星在新型传感器的设计中也越来越考虑到对气溶胶监测的需求,卫星遥感气溶胶反演算法也在经历由海洋到陆地、由暗地表到亮地表的转变过程中有了长足的发展,其适用性和实用性得到了显著提升。目前利用卫星遥感手段和气溶胶反演算法,研究城市地区的气溶胶已成为一个研究热点。但是目前针对城市等亮地表地区的反演算法大多是基于中低分辨率的影像,这对于城市尺度的气溶胶

反演是十分不合适的,而基于高分辨率影像的城市地区气溶胶反演研究则相对较少,仍具有很大的研究空间。

2 气溶胶反演方法

利用卫星遥感数据反演气溶胶时明确的已知数据是表观反射率,它是地表、气溶胶和大气分子与入射辐射共同作用的结果,因此,要想对气溶胶进行反演就需要先将气溶胶部分与地表及大气分子部分区分开来。在实际应用中,大气分子贡献项通常可由选择的大气模式或依据其他某些参数得到,因此,只需将气溶胶部分和地表部分区分开来即可。由于利用不同的数据和不同的区分方法,气溶胶的反演方法有多种多样,但大体上可分为 5 类:单通道和多通道法、基于对比度差异的空间结构法、基于多角度数据的反演方法、基于偏振数据的反演方法和基于星载激光雷达数据的反演方法^[11]。

2.1 单通道和多通道法

根据上述反演原理可知,当地表反射率较大时,卫星观测值即表观反射率主要取决于地表的贡献项;当地表反射率较小时,则取决于大气气溶胶贡献项。当地表反射率较小时进行气溶胶反演,其结果相对比较准确。因此,单通道和多通道反演方法大部分都是选择与大气气溶胶具有较强相互作用的红($0.6 \sim 0.68 \mu\text{m}$)和蓝($0.40 \sim 0.48 \mu\text{m}$)通道和暗地表进行的。例如,最初在海洋上空采用的单通道算法和双通道算法,它们主要利用了海洋表面反射率低的特点。其中单通道算法是通过假定气溶胶光学厚度与表观反射率近似成线性关系,以实现气溶胶的反演;双通道算法则利用气溶胶在不同通道的显著差别,通过比较 2 个通道之间的比值(如 $0.630 \mu\text{m}$ 与 $0.830 \mu\text{m}$ 通道)来反演气溶胶的。后来,由于反演方法和传感器的发展,又涌现出了许多多通道反演方法,其中应用最为广泛的是暗像元算法和深蓝算法。

2.1.1 暗像元算法

由上文可知,只要将地表贡献项与气溶胶贡献项区分开来,即可求得气溶胶光学厚度,同时地表反射率越低,得到的结果越准确。因此,Kaufman 等人在大量实验的基础上提出了暗像元算法,其利用多种地物(如密集植被等)在红蓝波段反射率低的特性,最初以植被指数或 $2.1 \mu\text{m}$ 通道的表观反射率将密集植被等识别为暗像元,后来为了使算法的适用性更好,使用 $3.8 \mu\text{m}$ 或 $2.1 \mu\text{m}$ 通道的表观反射率来寻找暗像元,并通过大量的资料,考虑多种地表

覆盖,拟合得到暗像元红、蓝通道的地表反射率与2.1 μm 通道的表观反射率之间的关系^[14],即

$$\rho_R = \rho_{2.1}^*/2, \tag{1}$$
$$\rho_B = \rho_{2.1}^*/4, \tag{2}$$

式中: ρ_R 为红通道地表反射率; ρ_B 为蓝通道地表反射率; $\rho_{2.1}^*$ 为2.1 μm 通道的表观反射率。通过关系公式可以得到暗像元在红蓝通道的地表反射率,之后再合理假定气溶胶模型和大气模式,然后用6S 辐射传输模型计算气溶胶光学厚度。为了计算方便,一般利用查找表来获得气溶胶光学厚度。总体来说,暗像元算法是通过求得地表反射率,来区分地表与大气气溶胶的贡献项,进而实现气溶胶反演的。用该算法反演气溶胶光学厚度的最佳条件是短波长、暗地表($0.01 \leq \rho_{2.1}^* \leq 0.15$)^[14]。

2.1.2 深蓝算法

相比于红蓝波段,在深蓝(412 nm)波段,大部分地物的地表反射率都在0~0.1之间,明显低于其他波段;相比于紫外波段(0.1~0.4 μm),深蓝波段气溶胶对辐射的吸收明显小于紫外波段(气溶胶对辐射的吸收将造成气溶胶对表观反射率的贡献减小),因此利用深蓝波段反演气溶胶光学厚度是一个行之有效的方法。深蓝算法就是利用波长非常短的深蓝波段,同时结合蓝波段和红波段,进行气溶胶反演的。该算法与暗像元算法一样,都是通过求得地表反射率的值,从而将地表和大气气溶胶的贡献项区分开来的,不同的是地表反射率的获得方法,深蓝算法是利用最小反射率技术^[7,15],建立深蓝波段、蓝波段、红波段的地表反射率库,然后通过地表反射率库获得地表反射率的。后续步骤与暗像元算法相似。

2.2 基于对比度差异的空间结构法

大多数单通道和多通道算法是基于暗地表上的反演理论。但是,对于亮地表地区,这些反演方法会产生很大的反演误差。因此,在陆地亮地表上空,基于对比度差异的空间结构法被发展用于替代暗像元法。该方法主要利用同一地区不同时相影像的“模糊效应”反演相对气溶胶光学厚度,代表方法是结构函数法^[16]。

结构函数法通过探讨“清洁日”(指气溶胶光学厚度极小日)的数据在不同空间尺度上地表反射率的对比关系,弄清该地区的分布规律,假设该分布规律保持相对不变,待反演图像上的表观反射率的空间分布的变化则认为是由气溶胶光学厚度的变化引起的,进而可以反演出气溶胶光学厚度^[16]。结构函数法的难点在于“清洁日”影像的获取,以及要确保

待反演影像和其地表特征差别不大。

2.3 基于多角度数据的反演方法

该方法主要是根据大气和地表对大气层顶卫星信号贡献的比率随不同观测角度而不同这一特性,从而将两者剥离开来,提取出气溶胶贡献信号,此方法同样适用于沙漠等亮地表,为气溶胶的反演提供了一种新的思路。代表方法有基于AATSR 数据的双角度算法和基于MISR 数据的多角度算法^[11]。

基于AATSR 数据的双角度算法首先假设地表反射率在前向和底向的比值 k 是一个与波长无关的量,即

$$k = \frac{\rho_f(\lambda)}{\rho_n(\lambda)}, \tag{3}$$

式中 $\rho_f(\lambda)$ 和 $\rho_n(\lambda)$ 分别表示前向和底向的地表反射率。因为地表反射率随角度的变化主要取决于地表覆盖的宏观结构,而非波长,其不同波长的二向反射函数在相同形状上差不多是一致的,所以这是一个比较合理的假设^[17]。基于这个假设,再结合卫星2 个角度在大气层顶的表观反射率表达式并进行公式的比较变换,得到一个关于气溶胶光学厚度的函数,再通过假设气溶胶模型,就可以进行气溶胶光学厚度的反演计算^[11]。

多角度算法可以更好地区分地表和大气的贡献,从而更准确地反演出气溶胶光学厚度。其特点是对于均一地表无论是暗地表还是亮地表都有很好的适用性,缺点是对于非均一性地表还有局限性。

2.4 基于偏振数据的反演方法

在短波波段,大气上层偏振辐射主要来自于大气气溶胶粒子和大气分子的贡献。大气分子的贡献基本不变,可以用一些模型计算获得。因此可以利用大气上层偏振特性反演气溶胶。理论上只要求解描述辐射传输和能量再分配过程的矢量辐射传输方程即可得到气溶胶光学厚度,但该方程是一个复杂的非线性微分-积分方程,至今还没有解析解,必须使用数值的方法求解。目前对矢量辐射传输方程求解的方法有很多,主要有离散坐标法、倍加累加法RT3 和逐次散射法等。但是由于求解矢量辐射传输方程非常复杂,目前使用查找表法是一种既能保证计算精度又能加快计算速度的方法^[18-19]。基于偏振数据的反演方法其优点是可以同时反演气溶胶光学厚度和气溶胶粒子的有效粒径。但是这种方法需要假定气溶胶粒子为均一球状粒子,而实际上气溶胶粒子是非均一和非球形的,再加上地表偏振特性的影响,限制了这种方法的广泛应用。

2.5 基于星载激光雷达数据的反演方法

该方法可以获得气溶胶的垂直分布信息,可全

天候探测气溶胶的时空分布,已受到国内外的广泛关注。在进行星载数据反演时,要充分考虑星载探测的特点,与地基反演方法区别对待。以星载激光雷达 CALIPSO 为例,其反演过程分为以下 3 个步骤:①利用选择性迭代边界定位法,对回波信号廓线中包含的多种层次特征进行探测;②利用场景分类算法对所探测到的层次分类,主要包括云和气溶胶的区分、气溶胶具体类型的分类以及冰云和水云的区分;③利用混合消光系数反演算法,对云层和气溶胶层进行消光特性反演,最终得到气溶胶和云的空间分布信息、消光系数廓线等产品。其中,混合消光系数反演算法是在传统的消光特性反演方法上发展而来的。目前传统的消光特性反演方法主要有 Fernald 方法、Klett 方法和斜率法等^[20]。

但是无论哪种方法,都是基于一定的假设去对激光雷达方程求解。这些假设主要依赖于大气的分布状况以及气溶胶粒子的折射指数、尺度谱分布、形态及成分等性质。由于这些特性的变化范围比较大,因此假设都具有很大的不确定性,是影响反演精度的主要误差源。

3 城市地区气溶胶反演研究

对于城市地区的气溶胶反演而言,主要有以下 2 个难点:①城市地区地表类型复杂,包括建筑物、柏油马路、植被等多种类型,地表反射率的精确确定非常困难;②城市地区有些地表类型地表反射率较高,会显著影响气溶胶反演的精度。此外,对于城市地区,由于区域范围相对较小,气溶胶空间变化剧烈,低分辨率影像显然不能满足气溶胶监测的需求。因此,对于城市地区的气溶胶反演需要采用兼顾时间和空间的高分辨率影像,但是当前能符合这 2 方面要求的数据源过少,只能使用高空间分辨率影像来代替,如 TM,OLI 等影像。虽然其较低的时间分辨率影响了其实用性,但仍具有很好的研究价值,可为未来采用可能出现的兼顾时间和空间的高分辨率遥感影像反演气溶胶奠定方法基础。根据城市地区气溶胶反演的难点和对上述气溶胶反演方法的分析,发现当前的反演方法对于城市地区的气溶胶反演还存在许多不足之处。例如,上述算法的后 3 类算法都需要特定的数据源,且这些数据源本身的分辨率比较低,再加上算法自身的局限性,它们并不适合城市尺度的气溶胶反演。但可以预见的是,随着科技的发展,传感器分辨率的提高,以及算法的改进,这些算法将会对城市尺度的气溶胶反演注入新的活力。而前两类算法对于高空间分辨率低时间分

辨率的遥感影像来说,也都存在许多局限性,如暗像元算法对于暗地表反演结果比较理想,但不适用于亮地表;对于结构函数法来说,其“清洁日”影像的获得限制了其应用;对于深蓝算法,其地表反射率库的建立是一个难点等。虽然这些方法在一定程度上都存在一些局限性,但它们为城市地区气溶胶反演奠定了基础,提供了研究思路,尤其是对地表反射率的确定。对于气溶胶反演来说,地表反射率的确定是一个难点和重点,对于城市地区气溶胶反演更是如此,因而是城市地区气溶胶反演首先要解决的问题。相比于复杂的气溶胶模型,它具有更大的改进空间。为此,笔者认为,在现有的大量研究资料的基础之上,结合高分辨率影像,进行城市地区地表反射率确定方法的研究,是城市地区气溶胶反演的一个重要突破口。

4 结论

综上所述,在气溶胶反演方面,国内外研究人员已经进行了大量的研究工作,提出了很多有价值的研究方法,但是从目前的研究状况来看,基于高分辨率遥感影像的城市地区气溶胶反演方面还存在较大不足和研究空间。首先是算法都有很多局限性,再者是可用的高分辨率数据源比较少。

对于城市尺度的气溶胶反演方法来说,其重点研究方向应是对现有各种不同方法的深入研究,进而对其进行改进或寻找新的方法,解决在城市地区气溶胶反演过程中所遇到的问题,如地表反射率的确定等。对于城市尺度气溶胶反演所需的高分辨率数据来说,可操作的数据源过少,而且时间分辨率和空间分辨率不能兼顾,如 TM,OLI 等数据,其空间分辨率足够,但时间分辨率过低;MODIS,MISR 和 POLDER 等数据,则是时间分辨率足够,但空间分辨率过低。若是能两者兼顾,则将对城市尺度的气溶胶反演带来突破性的进展。尤其对于多角度数据、偏振数据和激光雷达数据等,由于它们对城市尺度的气溶胶反演带来了许多新的、可行的、有效的反演思路,希望今后在设计卫星传感器时能兼顾时间分辨率和空间分辨率的设置问题。

参考文献(References):

- [1] 毛节泰,张军华,王美华. 中国大气气溶胶研究综述[J]. 气象学报,2002,60(5):625-634.
Mao J T, Zhang J H, Wang M H. Summary comment on research of atmospheric aerosol in China [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2002,60(5):625-634.
- [2] 李成林. 城市大气污染的定量遥感监测方法研究[D]. 兰州:

兰州大学,2012.

Li C L. Remote Sensing of Aerosols Over Urban Areas [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012.

[3] Diner D J, Abdou W A, Bruegge C J. MISR aerosol optical depth retrievals over southern Africa during the SAFARI – 2000 dry season campaign [J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28 (16) : 3127 – 3130.

[4] Vachon F, Royer A, Aube M, et al. Remote sensing of aerosols over North American land surfaces from POLDER and MODIS measurements [J]. Atmospheric Environment, 2004, 38 (21) : 3501 – 3515.

[5] Thomason L W, Pitts M C, Winker D M. CALIPSO observations of stratospheric aerosols: A preliminary assessment [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007, 7 (20) : 5283 – 5290.

[6] Hsu N C, Tsay S C. Aerosol properties over bright – reflecting source regions [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42 (3) : 557 – 569.

[7] Hsu N C, Jeong M J, Bettenhausen C. Enhanced deep blue aerosol retrieval algorithm: The second generation [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013 (118) : 9296 – 9315.

[8] 赵柏林, 俞小鼎. 海洋大气气溶胶光学厚度的卫星遥感研究 [J]. 科学通报, 1986 (31) : 1645 – 1649.

Zhao B L, Yu X D. Satellite remote sensing research of Marine atmospheric aerosol optical thickness [J]. Chinese Science Bulletin, 1986 (31) : 1645 – 1649.

[9] 毛节泰, 李成才, 张军华, 等. MODIS 卫星遥感北京地区气溶胶光学厚度及与地面光度计遥感的对比 [J]. 应用气象学报, 2002, 13 (特刊) : 127 – 135.

Mao J T, Li C C, Zhang J H, et al. The comparison of remote sensing aerosol optical depth from MODIS data and ground sun – photometer observations [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2002, 13 (suppl) : 127 – 135.

[10] Huang J, Minnis P, Yi Y, et al. Summer dust aerosols detected from CALIPSO over the Tibetan Plateau [J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34 (18) : 1 – 5.

[11] 王 磊. 基于 AATSR 数据的双角度气溶胶反演研究 [D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2011.

Wang L. Dual angle aerosol inversion based on AATSR data [D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2011.

[12] 王中挺, 厉 青, 王 桥, 等. 利用深蓝算法从 HJ – 1 数据反演陆地气溶胶 [J]. 遥感学报, 2012, 16 (3) : 596 – 610.

Wang Z T, Li Q, Wang Q, et al. HJ – 1 terrestrial aerosol data retrieval using deep blue algorithm [J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16 (3) : 596 – 610.

[13] 李莘莘, 陈良富, 陶金花, 等. 城市与冬季北方亮目标地区气溶胶光学厚度反演 [J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42 (8) : 1253 – 1263.

Li S S, Chen L F, Tao J H, et al. Retrieval of aerosol optical depth over bright targets in the urban areas of North China during winter [J]. Sci China Earth Sci, 2012, 42 (8) : 1253 – 1263.

[14] 宋 薇. 利用扩展暗像元法和 V5. 2 算法反演兰州地区气溶胶光学厚 [D]. 兰州: 兰州大学, 2007.

Song W. Retrieval of aerosol optical depth by extended dark target method and V5. 2 algorithm over Lanzhou areas [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2007

[15] Herman J R, Celarier E A. Earth surface reflectivity climatology at 340 ~ 380 nm from TOMS data [J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102 (D23) : 22801 – 28003.

[16] 胡引翠. 气溶胶多尺度定量遥感监测及其网格计算研究 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2006.

Hu Y C. Multi – spatial scale aerosol distribution monitoring using remote sensing technique based on grid platform [D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences, 2006.

[17] Flowerdew R J, Haigh J D. An approximation to improve accuracy in the derivation of surface reflectance from multi – look satellite radiometers [J]. Geophysical Research Letters, 1995 (23) : 1693 – 1696.

[18] 孙 夏, 赵慧洁. 基于 POLDER 数据反演陆地上空气溶胶光学特性 [J]. 光学学报, 2009, 29 (7) : 1772 – 1777.

Sun X, Zhao H J. Retrieval algorithm for optical parameters of aerosol over land surface from POLDER data [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29 (7) : 1772 – 1777.

[19] 段民征, 吕达仁. 利用多角度 POLDER 偏振资料实现陆地上空大气气溶胶光学厚度和地表反照率的同时反演 II. 实例分析 [J]. 大气科学, 2008, 32 (1) : 27 – 35.

Duan M Z, Lyu D R. Simultaneously retrieving aerosol optical depth and surface albedo over land from polder’s multi – angle polarized measurement. II: A case study [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2008, 32 (1) : 27 – 35.

[20] 于娜娜. 气溶胶/云星载激光雷达数据反演算法初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.

Yu N N. Cloud – Aerosol satellite borne lidar data retrieval algorithms’ preliminary study [D]. Qingdao: Ocean university of China, 2012.

Review of the urban aerosol retrieval research based on high – resolution images

CAO Yongxing, XUE Zhihang

(State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: This paper describes the influence of aerosols on global climate change and air pollution situation , points out the importance of using high – resolution satellite images for urban aerosols inversion , elaborates the research status of the satellite remote sensing retrieval of aerosol , and briefly introduces the principle of satellite remote sensing retrieval of aerosol , and the single channel and multi – channel method , the contrast method based on

differences in the spatial structure , the inversion method based on multi - angle data , the inversion method based on polarization data and the inversion method based on laser radar satellite data , which constitute five kinds of satellite remote sensing inversion method widely used nowadays . According to the inversion method and the difficulties of the urban aerosol inversion , the inversion of aerosol in urban areas is analyzed and summarized , with a detailed discussion on the shortcomings of current inversion methods based on high - resolution images of urban areas and a forecast of breakthrough points and the solutions of the existing problems .

Keywords: aerosol ; high resolution ; satellite remote sensing ; inversion method

第一作者简介: 曹永兴(1964 -) , 男, 高级工程师, 主要研究方向为输电线安全防护和遥感应用。Email: xyj0943@163.com。
(责任编辑: 李 瑜)

下期要目

- 杨青山 一种新的融合像元形状和光谱信息的高分辨率遥感影像分类方法
- 李 亮 基于像斑直方图 G 统计量的遥感影像分类
- 杨晓楠 一种用于城市提取的改进居民地指数
- 程 滔 大数据时代遥感数据管理与服务模式探索
- 李晓民 青藏高原札达地区多年冻土遥感技术圈定方法与应用
- 李 曼 基于 PSInSAR 技术分析曹妃甸新区地面沉降发育特征及其影响因素
- 庄喜阳 面向对象的遥感影像最优分割尺度监督评价
- 李晓民 ZY - 1 02C 星数据在西藏札达地区水文地质调查中的应用
- 王治中 高分二号卫星全色相机在轨 MTF 测量和图像复原研究
- 魏丹丹 基于波谱模拟的红外成像仪信噪比指标设置研究
- 刁明光 矿山遥感监测属性数据复杂约束类型的描述方法