doi: 10.6046/gtzyyg.2017.01.19

引用格式: 马慧云,赵国庆,邹峥嵘,等. 基于 MODIS 数据验证分析雾参数反演算法和影响因素[J]. 国土资源遥感,2017,29 (1):122-128. (Ma H Y, Zhao G Q, Zou Z R, et al. Verification of the retrieval algorithm and analysis of influencing factors of fog physical parameters based on MODIS data[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2017,29(1):122-128.)

基于 MODIS 数据验证分析雾参数反演算法和影响因素

马慧云,赵国庆,邹峥嵘,张伟康

(中南大学地球科学与信息物理学院,长沙 410083)

摘要:基于遥感影像对雾进行定量分析是近年来的研究热点之一。地面能见度、雾顶高度、垂直总水汽含量和有效 粒子半径是对雾进行定量分析的重要参数。选取 MODIS 传感器数据为数据源,以发生于江苏省西南部的一次冬 季平流辐射雾为研究对象,结合来自南京信息工程大学的地面观测数据,对基于大气辐射传输方程模型和 SBDART 辐射传输的雾物理参数反演算法所反演的地面能见度和雾顶高度进行地面实测数据验证;分析影响这2个物理参 数精度变化的原因;在序列影像雾物理参数反演结果基础上,进一步结合地面高程和植被指数对雾物理参数影响 因素进行分析。结果表明,该次反演的雾能见度和雾顶高度与地面观测结果相关系数分别为0.908 和0.980,由于 SBDART 模型设置的参数以及 BP 神经网络训练次数等原因,夜间反演的能见度值偏大;此次大雾物理参数与地面 高程和植被指数之间具有一定的关系,地面高程与能见度呈正相关,植被指数和水汽含量呈正相关,与雾有效粒子 半径和光学厚度呈负相关;雾区物理参数易受水体和土地利用等影响。

关键词:雾;反演;物理参数;影响因素

中图法分类号: TP 79 文献标志码: A

文章编号: 1001-070X(2017)01-0122-07

0 引言

雾是一种发生在大气近地面层中的常见的灾害 性天气现象。近年来,由于极端气候现象的发生,大 气污染等多种原因,雾在中国各地频发,严重阻碍了 人们的交通出行;持续静稳的大气层和不断加重的 大气污染不仅会造成大雾发生,还会导致更为严重 的霾,空气中凝结核携带的病菌易引发各种呼吸道 等疾病的发生,持续的雾灾容易给人们带来了恐慌 和不安,在心理上造成巨大的压力。随着卫星观测 技术的发展,目前国内外对雾研究已从常规的地面 观测数据分析预报逐步转移到基于遥感影像的监测 预报。遥感定量反演的大雾物理参数有助于进一步 认识大雾、摸清大雾的形成与消散规律,判断雾的发 生强度,尽可能减轻大雾对人们日常活动的影响。 对雾进行物理参数反演及在此基础上进行雾的属性 研究,已渐渐成为雾研究的一个热点。国内外学者 从 20 世纪 70 年代开始应用卫星资料对典型大雾进 行实例分析,针对雾的时空分布、物理结构、化学组 分、数值模拟等方面进行了大量的研究工作,取得了 许多研究成果。Stephen 等假设理想大气条件下,通 过创建查找表和改进云辐射传输模型和参数反演模 型,得到稳定的大雾属性反演计算流程^[1]。Bendix 基于一种简单的辐射传输模型,利用 AVHRR 通道1 的反射率数据,对德国及欧洲西部 10 a 观测数据进 行了大雾物理属性反演及影响因素分析^[2],得出了 西欧地区大雾的普遍生消规律^[3]。吴晓京等利用 MODIS 数据对新疆北部雾的属性参数进行了反 演^[4]。邓军等利用辐射传输模型反演出了雾光学 厚度和有效粒子半径^[5]。张纪伟等利用 MODIS 卫 星资料对黄海海雾进行了海雾物理参数反演,并对 雾顶高度和能见度进行了验证^[6-7]。

本文拟对基于大气辐射传输方程模型和 SB-DART 辐射传输的雾物理参数反演算法反演的地面 能见度和雾顶高度进行地面实测数据验证,同时分 析影响这 2 个物理参数精度变化的原因,并在序列 遥感影像反演基础上进一步结合植被指数 NDVI 和 地面高程 DEM 数据分析此次雾物理参数变化的影 响因素,为进一步发现雾特性,完善雾预测预报系统 提供技术支持。研究数据选取 MODIS 卫星序列遥 感影像,研究对象为发生于 2006 年 12 月 24—27 日

收稿日期: 2015-08-26;修订日期: 2015-12-04

基金项目:湖南省教育厅科学研究开放平台项目"基于遥感影像雾灾预测的关键技术研究"(编号:14K103)和中南大学教师研究基金 项目"基于 FY-2 卫星遥感影像雾灾预测的研究"(编号:2014JSJJ002)共同资助。

第一作者:马慧云(1979-),女,博士,副教授,主要研究领域为遥感图像数据处理。Email: lingzi_2002@163.com。

的江苏省西南部的一次大雾,地面验证数据采用南 京信息工程大学的地面观测数据。

1 研究区概况和数据源

研究区江苏省位于我国东部沿海中段,介于 E116°18′~121°57′,N30°45′~35°20′之间。地形以 平原为主,地理位置优越,城市发展程度高,是长江 三角洲地区的重要组成部分,也是重要的经济区和 人口聚居区,是我国综合发展水平较高的省份之一。 境内分布众多水体,河湖较多,历来是大雾多发地区 之一,尤其是每年秋冬是雾频发季节。大雾给人们 交通出行以及生产、生活带来了很大的不利影响。 2006年12月24日晚至27日,江苏省西南部地区发 生了一场持续时间非常长的大雾。此次大雾浓度之 高是近十几年非常罕见的,具有一定的典型性。研 究此次大雾不仅具有较高的学术意义,而且对于认



识本地区大雾的发展规律,减少雾灾影响具有很大 的实用价值。

中分辨率成像光谱仪(moderate resolution imaging spectro - radiometer, MODIS)是 EOS 计划的主要探测仪器,有 36 个光谱通道,星下点空间分辨率分别为 250 m,500 m 和 1 000 m。相对现有的气象观测卫星,MODIS 具有光谱谱段多、空间分辨率高、数据 信噪比高等优点,已成为雾研究的重要数据源之一^[8]。本文在研究区域和研究时间范围内选择了7 幅 1 km 空间分辨率的 MODIS 影像作为研究数据。

地面实测验证数据来自于2006年12月24—27 日在南京信息工程大学进行的外场综合探测^[9]。 观测场设在南京信息工程大学的大操场草坪,距离 长江北岸约3km,详细地点见图1中红色标志。主 要观测内容包括雾的宏观与微观物理结构,如含水 量、能见度、雾顶高度、气溶胶等;观测仪器包括FM -100型雾滴谱仪等,仪器离地高度约1m,周围无



(a)研究区遥感影像图(R: MOD01; G; MOD02; B: MOD03)
 (b)观测站点局部放大图
 图 1 研究区遥感影像图和观测站点局部放大图(观测站点位于红色标记区)
 Fig. 1 Satellite imagery of study area and observation site

高大建筑物及树木。

本文选用地面观测获得的能见度和雾顶高度数

据验证由卫星数据反演的参数。MODIS 序列影像 接收时间和地面观测时间详见表1。

表 1 MODIS 序列影像接收时间和地面数据观测时间							
Tab.1 Time	e of MODIS	series images :	and ground o	bservation			
 10.05	10.05	10.06	12.26	12.26	12 26		

日期(2016年)	12.25	12.25	12.26	12.26	12.26	12.26	12.27
	Тегга	Aqua	Aqua	Тегга	Aqua	Тегта	Aqua
	11:20	13:00	02:40	10:25	13:40	21:30	01:45
地面观测时间(北京时)	11:00	13:00	03:00	11:00	14:00	22:00	03:00

2 雾物理参数反演算法

本文验证的雾物理参数反演算法是假设在理想 化的大气辐射传输条件下,根据 Stephen 等人对大 量实验数据分析所得到的经验公式,以及利用亮温 和双红外差值信息建立的基于 SBDART 辐射传输 模型和 BP 神经网络的夜间雾属性反演模型,详细 反演算法见参考文献[10-11],可反演得到光学厚 度、雾顶高度、垂直水汽含量、能见度和有效粒子半 径等5个属性参数。

 光学厚度 τ。是指在计算辐射传输时,2 个 给定高度层之间的单位截面铅直气柱内特定的吸收 或发射物质的质量,它与平均含水量、有效粒子半径 及其他参数具有密不可分的联系,是雾层属性状态 的综合反映。

白天雾光学厚度可根据 Stephen 等人的假 设^[1,12],利用雾在0.3~0.75 μm 波段对光吸收极少 的特性,光学厚度近似解为

$$\tau = \frac{R_{f(u_0)}u_0}{[1 - R_{f(u_0)}]\beta(u_0)} , \qquad (1)$$

式中: u_0 为特定时刻的太阳天顶角余弦; $\beta(u_0)$ 为 单向人射辐射在天顶角余弦为 u_0 时的后向散射系 数,可通过查找表获得^[13]; $R_{f(u_0)}$ 为太阳天顶角余弦 为 u_0 时的大雾在可见光波段的反射率值。本文选 择雾在 MODO1(620~670 µm) 波段接收的反射率 作为大雾在可见光的反射率值 $R_{f(u_0)}$,原因是雾的粒 子半径比可见光波段波长大得多,因此雾在可见光 波段发生无选择性散射,即在可见光波段任何波长 雾的散射强度相同,理论上在可见光各个波段雾的 反射率大致相同,但由于被云雾散射后的反射能量 到达传感器之前会继续途经大气层,这些剩余的能 量仍会部分被大气散射掉,此时的散射属于瑞利散 射,瑞利散射强度与波长的四次方成反比,因此相比 较蓝绿波段来说,红波段的瑞利散射较小。

夜间光学厚度反演算法是基于 SBDART 辐射 传输模型建立中红外波段(MODISB20)和热红外波 段(MODISB31)的亮温值与光学厚度之间的查找 表,通过训练 BP 神经网络快速通过查找表获得遥 感影像上对应像元的光学厚度。

2) 垂直总水汽含量 LWP。是雾中垂直积分的 液态水含量,可由光学厚度进一步计算得到,即

$$LWP = 10^{(0.545 4 \tau)^{0.254}}$$
(2)

3)雾有效粒子半径 r_e。是指研究区内雾滴大小 的加权意义上的半径,在可见光波段, 跟 LWP, τ 及 液态水密度 $\rho(g \cdot cm^{-3})$ 具有很强的相关性,即

$$r_{\rm e} = \frac{3LWP}{2\rho\tau} \quad . \tag{3}$$

4)雾顶高度△z。此次雾发生在内陆地势较低的平原上,且雾具有贴地性,可将雾的厚度看成雾顶高度。根据 Stephen 等人的研究结果,几何厚度和 光学厚度之间具有一定关系,白天雾顶高度△z 计 算公式为

$$\Delta z = 45\tau^{2/3} \quad (4)$$

可利用雾顶高度对温度敏感的特性,根据温度 绝热直减率反演夜间雾顶高度△z,即

$$\Delta z = \frac{T_1 - T_2}{\delta} 100 \quad , \tag{5}$$

式中: T_1 为发生大雾前一天同一太阳时晴空地表的 亮度温度; T_2 为发生大雾当天雾顶的亮度温度,亮 度温度选取 MODISB31 反演的亮度温度; $\delta = 0.65$ ℃/100 m。

5) 气象能见度 VIS。与大气的消光系数有直接 的关系,而消光系数又和雾区的光学厚度和垂直厚 度有关系。根据吴晓京^[11]等的研究,由柯喜密公式 得到的雾能见度 VIS 计算公式为

$$VIS = \frac{3.912 \Delta z}{\Delta \tau} \quad . \tag{6}$$

3 反演结果验证

以江苏省西南地区部 2006 年 12 月 25 日 13:00 Aqua/MODIS影像为例,在对提取的雾区雾检测的基础上,根据上述反演算法流程,进行雾物理参数反 演,得到了光学厚度、雾有效粒子半径、垂直水汽总 含量、雾能见度和雾顶高度等物理参数,见图 2。





取站点附近区域 10 个像元的 MODIS 影像反演 结果均值与地面观测值进行线性相关分析,对反演 得到的雾顶高度和雾能见度进行验证。在线性回归 分析中,方程斜率反映某一参数随另一参数变化的 大小,若其趋于1说明两者数值变化总体相差不大; 相关系数又称线性相关系数,它是衡量变量之间线 性相关程度的指标,越接近于1其相关性越高。

3.1 雾顶高度反演结果验证

影像反演雾顶高度结果与地面观测值详见表 2,两者的线性相关分析结果见图 3。

表 2 雾顶高度反演结果与地面观测值

Tab. 2	Inversion results of fog top height and
	the observed value

数据源	反演结果/m	地面观测值/m
Terra - 25 11:20	437.21	450
Aqua – 25 13 :00	285.74	270
Aqua – 26 02 :40	606.38	600
Terra - 26 10:25	454.83	500
Aqua – 26 13 :40	369.65	400
Terra - 26 21 :30	667.46	650
Aqua – 27 01 :45	802.52	770



Fig. 3 Regression analysis of fog top height

由表2和图3可知本次线性相关分析结果,方 程斜率为1.0739,相关系数为0.9807,说明反演结 果与地面观测结果相关性很强。对雾顶高度反演结 果同地面实测数据对比分析可知,二者分布趋势一 致,整体偏差较小,反演结果值存在客观差异,个别 反演数据较地面观测数据偏高或偏低。

3.2 雾能见度反演结果验证

影像反演雾能见度结果与地面观测值详见表 3,两者的线性相关分析结果见图4。

表3 能见度反演结果与地面观测值

Tab. 3 Inversion results of fog visibility and observed value

数据源	反演结果值/m	地面观测值/m
Terra - 25 11 :20	51.65	50
Aqua - 25 13 :00	63.89	50
Aqua – 26 00 :40	95.51	64
Aqua - 26 10:25	85.68	50
Aqua - 26 13 :40	86.43	96
Terra - 26 11 :30	102.45	90
Aqua – 27 01 :45	214.53	_190



Fig. 4 Regression analysis of fog visibility

由表3和图4可知本次线性相关分析结果,方 程斜率为1.0103,相关系数为0.9083,说明反演结 果与地面观测结果相关性很强。由表3知,地面观 测值变化幅度较小,在50~190m之间,反演结果值 在51~214m之间,整体发展趋势基本一致。

仔细分析地面观测值和反演结果可发现二者还 是存在一定的差异。引起差异的原因主要有 2 点, 一个是遥感影像的接收不可能完全满足假定的理想 条件,导致反演结果的精确性降低;另外,反演算法 和 SBDART 模型的具体参数设置以及 BP 神经网络 的训练次数均会带来一定的误差。

4 雾参数变化及影响因素分析

4.1 雾物理参数动态变化分析

时间序列的雾遥感影像对于宏观分析雾的发生 过程及发展规律具有十分重要的指导和现实意 义^[14]。本文利用研究区内不同时间获取的遥感数 据,分别反演了雾区光学厚度、垂直总水汽含量、雾 有效粒子半径3个参数的均值,进行了雾发展不同 阶段雾物理参数的动态变化分析,结果详见表4。

表4 雾物理参数均值表

Г	ab.	4	Mean	of	fog	physical	parame	ers
---	-----	---	------	----	-----	----------	--------	-----

数据源	τ	$LWP/(g \cdot m^{-2})$	r _e /μm	
Terra - 25 11 :20	24.18	88.45	3.76	
Aqua – 25 13 :00	14.91	43.86	3.44	
Aqua - 26 02 :40	16.61	179.69	10.47	
Aqua - 26 10:25	19.34	67.79	4.56	
Aqua - 26 13 :40	17.16	42.08	3.21	
Тегга - 26 21 :30	18.84	55.37	3.84	
Agua - 27 01 :45	17.85	50.47	2.95	

由表4可知,此次大雾发展过程中,垂直水汽含 量变化幅度很大,在42.08~179.69 g·m⁻²范围内; 粒子半径平均值为4.61 μm,变化范围为2.95~ 10.47 μm;光学厚度平均值为18.41,最小为14.91, 最大为24.18。大雾期间光学厚度一直维持在较高 水平,起伏状态小,在雾发展的稳定期(12月25日 13:00—12月26日21:30) 值变化更小, 造成了此次大雾能见度长时间低于50m的恶劣天气。

4.2 雾物理参数影响因素分析

雾发生发展受多种自然因素的影响。雾贴地发 生且不断向四周发展扩散,消散时上升为层云。雾 的这种现象决定了雾的接地特性,因此在不同的地 表地貌下,雾的发生发展受高程变化的制约;同时, 不同下垫面提供的水汽源不同,造成雾的发展有所 差异。其中 NDVI 的不同对雾的发展具有一定的影 响。因此,本文结合 DEM 和 NDVI 与反演得的雾物 理参数,分析了影响雾属性参数变化的原因,以期进 一步掌握植被覆盖度不同的下垫面和不同高程对雾 属性的影响程度。

以 12 月 26 日 13:40 获取的 Aqua 影像为例,在 大雾检测基础上经反演获取了雾区雾属性参数,在 研究区内选取7 个特定区段,进行了雾属性参数跟 NDVI 及 DEM 间的相关性分析。研究区内的地面 DEM,NDVI 和7 个特定区段的分布详见图 5。





(b) 研究区 NDVI

图 5 研究区域内的地面高程、植被指数和 7 个特定区段的分布图 Fig. 5 Ground elevation and vegetation indices of the study area, and the distribution of 7 specific regions

within the study area

1) DEM 对雾能见度影响因素分析。统计7个 选定区域内地面 DEM 平均值和雾能见度平均值,结 果详见表5。

表 5	7	个选定国	区域内	DEM	[平均	值和 VIS	平	均值
Tab.	5	Mean	of DE	M an	d fog	visibility	in	the

7 specific regions

区域编号	<i>DEM</i> /m	VIS/m
1	4.48	81
2	6.82	91
3	9.25	75
4	15.34	85
5	26.09	89
6	57.85	96
7	150.32	124

由表 5 可知,区域 1,4,5,6 和 7 的地面 DEM 逐 步增大,能见度相比也逐步增大,说明在此次大雾发 生过程中,随着地势的升高,能见度也逐步升高,雾 的浓度相对减小,充分显示了雾的谷底效应,即地势 较低区雾能见度低。但也有个别地区不符合这个趋 势,比如区域 3 地面 DEM 高于区域 1 和 2,但能见 度最低。仔细分析区域 3 所处的地理位置发现,区 域 3 位于河流旁边,说明充足的水汽源易造成能见 度降低,区域2的能见度亦相对区域1,4和5有所 增大,结合雾区范围发现,区域2位于雾区边缘。但 总的来说,地势越低的地区,能见度也越低,地势越 高的地区,能见度越高。

2)NDVI对雾垂直总水汽含量、光学厚度和粒 子半径的影响因素分析。统计7个选定区域内 ND-VI 均值、LWP 均值、r 均值和r。均值,结果详见表6。

Tab. 6	The me	an of v	egetation	index,	liquid	water	path,
optical t	hickness	and par	rticle rad	ius in t	the 7 s	pecific	region

区域编号	NDVI	$LWP/(g \cdot m^2)$	τ	r _e /μm
1	0.001	47.56	8.23	2.21
2	0.032	20.32	9.82	3.54
3	0.064	41.82	9.44	4.62
4	0.071	23.47	8.65	3.34
5	0.116	25.72	8.54	3.19
6	0.223	28.21	8.79	2.78
7	0.341	33.32	8.45	2.47

由表6可知:随着区域2-7上 DNVI 的增高, 水汽含量也随之增加。但区域1和3出现水汽含量 最大的现象,仔细分析区域1和区域3所处的地理 位置,发现二者均距离水体较近,导致虽然 DNVI 较小,但水汽含量值最高,说明水体对水汽含量的影响不可忽视,进一步说明水汽含量不仅受 DNVI 的影响,而且与周围环境相关。随着区域 2,3,4,5 和 7 处 DNVI 的增高,光学厚度逐渐降低,但此次大雾过程中光学厚度整体变化幅度均很小。

随着区域 2—7 处 DNVI 的增大,雾有效粒子半 径逐渐变小,说明植被浓密区空气质量相对较好,大 颗粒物质较少。进一步分析发现,区域1粒子半径 最小,这与区域1靠近水体有关,但区域3同样靠近 水体,粒子半径却最大,本文通过进一步与土地利用 图叠加分析发现区域3地处城镇建成区,说明人类 生产生活可造成大气中凝结核粒子半径的增大,而 远离城镇的区域大气较洁净,气溶胶粒子半径较小。

5 结论

本文以发生于江苏省西南部的一次冬季平流辐 射雾的 MODIS 遥感数据为数据源,采用南京信息工 程大学的地面观测数据对基于大气辐射传输方程模 型和 SBDART 辐射传输的雾物理参数反演算法进 行了验证,并在序列遥感影像雾区物理参数反演结 果基础上,结合植被指数和地面高程分析了影响此 次大雾物理参数的因素,得到以下主要结论:

1)反演的地面能见度和雾顶高度与地面观测 值相关系数分别为0.908 3 和0.980 7,说明该反演 算法精度较高。但由于传感器的观测条件的局限, 以及 SBDART 模型参数的设置和 BP 神经网络的训 练次数等原因,能见度反演值出现有偏小或偏大的 现象。

2)结合地面高程和植被指数2个因子对影响 雾物理参数变化的因素进行了分析,发现地势高低 和能见度大小呈现正相关。植被指数与水汽含量呈 正相关,与光学厚度和粒子半径呈负相关。

3)水体对雾物理参数影响较大,易造成雾区水 汽含量升高,能见度降低,光学厚度增大和雾有效粒 子半径减小等现象。

4)雾区雾有效粒子半径易受下垫面土地利用 的影响,城镇建成区内粒子半径值偏高。

参考文献(References):

- Stephens G L, Ackerman S, Smith E A. A shortwave parameterization revised to improve cloud absorption [J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1984, 41(4):687-690.
- [2] Bendix J. A case study on the determination of fog optical depth and liquid water path using AVHRR data and relations to fog liquid water content and horizontal visibility[J]. International Journal

of Remote Sensing, 1995, 16(3):515-530.

- Bendix J. A satellite based climatology of fog and low level stratus in Germany and adjacent areas [J]. Atmospheric Research, 2002,64(1/4):3-18.
- [4] 吴晓京,陈云浩,李三妹.应用 MODIS 数据对新疆北部大雾地 面能见度和微物理参数的反演[J].遥感学报,2005,9(6):688 - 696.

Wu X J, Chen Y H, Li S M. Utilizing MODIS data to retrieve the visibility and microphysical properties of fog happens in the northwest China [J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(6):688 - 696.

[5] 邓 军,白 洁,刘健文.基于 EOS/MODIS 的云雾光学厚度和有效粒子半径反演研究[J].遥感技术与应用,2006,21(3):220-226.
Deng J, Bai J, Liu J W. Remoting sensing cloud's optical thickness and effective radius using MODIS MULTSPECTRAL data[J]. Re-

and effective radius using MODIS MULTSPECTRAL data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21 (3): 220 – 226.

[6] 张纪伟,张苏平,吴晓京,等. 基于 MODIS 的黄海海雾研究——海雾特征量反演[J].中国海洋大学学报:自然科学版, 2009,39(S1):311-318.
 Zhang JW,Zhang SP,Wang X J, et al. The research on yellow sea

fog based on MODIS date: Sea fog properties retrieval and spatial – temporal distribution[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009,39(S1):311-318.

- [7] 蒋璐璐,魏鸣. FY 3A 卫星资料在雾监测中的应用研究[J]. 遥感技术与应用,2011,26(4):489-495.
 Jiang L L, Wei M. Application of fog monitoring with FY - 3A data
 [J]. Remote Sensing Technology and Application,2011,26(4): 489-495.
- [8] 杨 岚,魏 鸣,徐永明.长江三角洲雾的 MODIS 遥感检测[J].
 科技创新导报,2008(13):1.
 Yang L, Wei M, Xu Y M. Detection the Yangzi river delta fog by MODIS remote sensing [J]. Science and Technology Innovation Herald,2008(13):1.
- [9] 严文莲.南京冬季典型雾生消物理过程及爆发性增强特征
 [D].南京:南京信息工程大学,2008.
 Yan W L. The Physical Process of Genesis and Dissipation and the Characteristics of Burst Reinforcement on Typical Winter Fog in Nanjing[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology,2008.
- [10] 张伟康,马慧云,邹峥嵘,等. 基于 SBDART 辐射传输模型的夜间辐射雾自动检测及时间序列分析[J]. 国土资源遥感,2014,26(2):80-86.doi:10.6046/gtzyyg.2014.02.14.
 Zhang W K, Ma H Y, Zou Z R, et al. Automatic detection of night time radiation fog based on SBDART radiative transfer model and the analysis of time series[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2014,26(2):80-86.doi:10.6046/gtzyyg.2014.02.14.
- [11] 何卓臣,马慧云,邹峥嵘,等. 基于 MODIS 影像的陆地辐射雾微物理参数反演及动态变化分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2013,36(10):35-39.
 He Z C, Ma H Y, Zou Z R, et al. Retrieval of fog microphysical parameters and analysis of change condition based on MODIS sequence images about land radiation fog in the daytime[J]. Geomat-

ics & Spatial Information Technology, 2013, 36(10):35-39.

- [12] Stephens G L. Radiation profiles in extended water clouds. II: Parameterization schemes [J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1978, 35(11):2123-2132.
- [13] Bendix J, Thies B, Cermak J, et al. Ground fog detection from space based on MODIS daytime data – a feasibility study [J]. Weather and Forecasting, 2005, 20(6):989 – 1005.
- [14] 李亚春,孙 涵,徐 萌. 卫星遥感在大雾生消动态监测中的应用[J]. 灾害学,2001,16(1):45-49.
 Li Y C, Sun H, Xu M. A study on the application of remote sensing

technique to monitoring of the tendency of fog dissipation [J]. Journal of Catastrophology, 2001, 16(1): 45-49.

Verification of the retrieval algorithm and analysis of influencing factors of fog physical parameters based on MODIS data

MA Huiyun, ZHAO Guoqing, ZOU Zhengrong, ZHANG Weikang

(Department of Surveying and Geo - informatics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Retrieving fog physical parameters becomes one of the major hot spots of study in recent years based on remote sensing data. The visibility, top height of fog, effective particle radius, and liquid water path (LWP) of fog are the fundamental physical parameters for fog monitoring. In this study, the authors retrieved fog physical parameters from southwest Jiangsu Province according to the path model of fog radioactive phenomena and SBDART based on the MODIS images. The authors verified the visibility and top height of fog according to the data from the Nanjing Information Engineering University and analyzed the influencing factors for the changes of physical parameters. The results showed that the correlation coefficient of visibility and top height of fog was 0.908 3 and 0.980 7, indicating that the retrieval of remote sensing data was feasible. The study also found positive correlations between the fog physical parameters, the surface elevation and vegetation index. The vegetation index was negatively correlated with the radius and optical depth and positively correlated with the liquid water. There was a positively correlation between the visibility and the surface elevation.

Keywords: fog; inversion; physical parameters; influencing factor

(责任编辑:李瑜)